รองศาสตราจารย์ ดร. จารุมาศ เมฆสัมพันธ์
ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 02-9428701
E-mail: ffiscmc@ku.ac.th

จารุมาศ 2558 จากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำ บทบาททางนิเวศอุทกวิทยาและการจัดการเชิงอนุรักษ์ From Upstream to Estuary: Hydro-ecological Functions and Conservative Management มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง

From Upstream to Estuary
Hydro-ecological Functions
and Conservative Management

จากต้นน้ำ ถึงปากแม่น้ำ
บทบาททางนิเวศอุทกวิทยา
และการจัดการเชิงอนุรักษ์

รองศาสตราจารย์ ดร. จารุมาศ เมฆสัมพันธ์
ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

From Upstream to Estuary
Hydro-ecological Functions
and Conservative Management

จากต้นน้ำ ถึงปากแม่น้ำ
บทบาททางนิเวศอุทกวิทยาและการจัดการเชิงอนุรักษ์

ISBN 978-616-278-271-8
ผู้เขียน รองศาสตราจารย์ ดร.จารุมาศ เมฆสัมพันธ์
ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พิมพ์ครั้งที่ 1
จำนวนพิมพ์ 500 เล่ม
จำนวนหน้า 352 หน้า
จัดพิมพ์ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร 02-9428701
E-mail: ffiscmc@ku.ac.th

คำนำ

ลักษณะทางนิเวศอุทกวิทยาของแหล่งน้ำมีความซับซ้อนและละเอียดอ่อนซึ่งเชื่อมโยงตั้งแต่อนุภาคของสสารและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เราไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าจนกระทั่งถึงสัตว์น้ำขนาดใหญ่ที่เป็นผู้บริโภคในระบบของการกินต่อกันเป็นทอด ๆ ภายในระบบนิเวศทางน้ำสิ่งมีชีวิตหลากหลายชนิดมีการรวมกลุ่มกันเป็นประชาคมเกิดเป็นสังคมที่มีความสัมพันธ์ภายในกันขึ้นมาโดยมีลักษณะของการพึ่งพากัน การช่วยเหลือเกื้อกูล หรือการแก่งแย่งแข่งขันกันในระหว่างกลุ่ม ซึ่งเชื่อมโยงกันในรูปแบบของการเป็นอาหาร การถ่ายทอดพลังงานภายในกระบวนการผลิต การบริโภค และการย่อยสลาย ภายใต้การรักษาสมดุลของประชากรที่สอดคล้องตามสถานการณ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแหล่งที่อยู่อาศัย โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตภายในระบบนิเวศทางน้ำทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงในระดับของเซลล์หรือโครงสร้างของสภาพร่างกายไปตามวัฏจักรของเวลา ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีบทบาทต่อชีวิตและความเป็นอยู่ ประชาคมของสิ่งมีชีวิตทางน้ำจึงมีการเกิดการทดแทนที่ด้วยชนิดที่ปรับตัวได้ดี และสิ่งมีชีวิตที่ตายลงไปก็จะถูกย่อยสลายกลายเป็นสารอนินทรีย์ในรูปของแร่ธาตุหรือสารประกอบที่ละลายน้ำซึ่งหมุนเวียนภายในระบบนิเวศของแหล่งน้ำอย่างต่อเนื่องไป

ในท่ามกลางสภาวการณ์ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่นับวันจะรุนแรงขึ้น ผนวกกับสภาวะความกดดันจากการใช้ประโยชน์ในทรัพยากรทางน้ำและการใช้ที่ดินในพื้นที่รับน้ำโดยรอบการเปลี่ยนแปลงในทางลบต่อประชาคมของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทางน้ำจึงเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงได้ยาก ในรอบสองทศวรรษที่ผ่านมาทรัพยากรในแหล่งน้ำหลายแห่งได้สะท้อนภาพของความเสื่อมโทรมลงอย่างชัดเจน ด้วยเหตุที่แหล่งน้ำผิวดินมีอยู่อย่างจำกัดและยังเป็นแหล่งผลิตสัตว์น้ำนานาชนิด การอนุรักษ์ดูแลแหล่งน้ำให้มีคุณภาพที่ดีจึงเป็นเรื่องสำคัญและมีบทบาทเกี่ยวข้องกับคุณภาพชีวิตของเราได้

การบริหารจัดการแหล่งน้ำเชิงอนุรักษ์เพื่อการดูแลและใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำอย่างเหมาะสมนั้น จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในลักษณะทางธรรมชาติของแหล่งน้ำที่เป็นเครือข่ายเชื่อมโยงกันจากพื้นที่ต้นน้ำลำธาร ลงไปจนถึงบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแหล่งน้ำจืดตอนล่างสุดก่อนที่จะออกสู่เขตทะเล ทั้งนี้ เพื่อสามารถอธิบายสถานภาพและทิศทางความเป็นไปของแหล่งน้ำตลอดจนศักย์การผลิตทรัพยากรที่สำคัญในแต่ละระบบ รวมทั้งสามารถพัฒนาแนวทางในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับเป้าหมายในการอนุรักษ์ดูแลแหล่งน้ำจำเพาะที่มีในเขตพื้นที่ต่าง ๆ ได้

หนังสือ “***จากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำ บทบาททางนิเวศอุทกวิทยาและการจัดการเชิงอนุรักษ์***” เล่มนี้ เป็นการไล่เรียงความรู้และนำเสนอประสบการณ์ที่มีมาจากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแหล่งน้ำไหลประเภทต่าง ๆ ออกมาอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ มีการประมวลความรู้พื้นฐานที่เป็นแนวคิด ทฤษฎีหรือหลักการที่สำคัญ พร้อมทั้งสอดแทรกแนวคิดในการประยุกต์ใช้ความรู้ พร้อมยกตัวอย่างที่เป็นกรณีศึกษาในประเทศไทยมาประกอบ

เนื้อหาของหนังสือเล่มนี้ ประกอบด้วยส่วนของบทนำ *(บทที่ 1)* ที่กล่าวถึงลักษณะจำเพาะ คุณค่า และความสำคัญของแหล่งน้ำไหล จากนั้นได้นำเสนอเรื่องราวความรู้ของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลแต่ละประเภท ตามลำดับตั้งแต่พื้นที่ต้นน้ำซึ่งคือ ระบบนิเวศน้ำตกและลำธารต้นน้ำ (*บทที่ 2*) ระบบนิเวศแม่น้ำ (*บทที่ 3*) และระบบนิเวศปากแม่น้ำ (*บทที่ 4*) ที่ครอบคลุมสถานการณ์ปัญหาจนถึงเขตทะเล ภายในแต่ละบทมีรายละเอียดที่แสดงลักษณะจำเพาะและปัจจัยที่มีความโดดเด่น (โดยเฉพาะในด้านการชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อม) โดยเน้นความเข้าใจด้านเทคนิควิธีการเพื่อการวางแผนและการประเมินผลการศึกษา นอกจากนี้ ยังให้แนวคิดด้านการประเมินสถานการณ์สิ่งแวดล้อม ความอุดมสมบูรณ์ และมลภาวะของระบบนิเวศทางน้ำ (*บทที่ 5*) ให้ความรู้ความเข้าใจในสถานการณ์และแนวทางการจัดการปัญหายูโทรฟิเคชัน (*บทที่ 6*) ภายใต้การประยุกต์ใช้ความรู้ด้านปัจจัยและฟังก์ชันที่มีในระบบนิเวศทางน้ำแต่ละประเภท และในบทท้ายสุดของหนังสือ (*บทที่ 7*) เป็นการเสนอแนวคิดในการบูรณาการและประยุกต์ใช้ความรู้ทางนิเวศอุทกวิทยาร่วมกับความรู้ทางสังคมและชุมชน ทั้งนี้ เพื่อส่งเสริมการบริหารจัดการแหล่งน้ำเชิงอนุรักษ์ให้เกิดประสิทธิผลตามเป้าประสงค์

หนังสือเล่มนี้ สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คือ คุณพ่อโกเมศ เจริญพานิช ผู้ได้ให้การอบรมพร่ำสอนให้มีความอดทนและมุ่งมั่นในงานที่ทำ และสอนให้เรียนรู้ไปพร้อมกับการปฏิบัติเพื่อความเข้าใจอย่างถ่องแท้ ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์ ที่ได้ให้ทั้งความรู้ ให้กำลังใจและเป็นตัวอย่างของความเป็นครูที่มีเมตตาและขยันหมั่นเพียรอย่างสม่ำเสมอ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กังวาลย์ จันทรโชติ ในคำแนะนำที่มีคุณค่า ขอบคุณสำหรับหนังสือและงานเขียนของท่านที่ช่วยจุดประกายความคิดให้ได้เห็นความสำคัญของการขับเคลื่อนภาคสังคมในการบริหารจัดการทรัพยากรเชิงอนุรักษ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์จิราภัษ อัจจิมางกูร รองศาสตราจารย์ ดร.เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ ที่ให้โอกาสในการไปเรียนรู้ในภาคสนาม และให้ความรู้และคำแนะนำในการทำงานเชิงพื้นที่ ขอขอบคุณทีมงานวิจัย คณาจารย์รุ่นน้องและนิสิตระดับปริญญาโท ปริญญาเอก ผู้ช่วยวิจัย ห้องปฏิบัติการวิจัยดินตะกอนและสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ภาควิชาชีววิทยาประมง รวมทั้งทีมงานจากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลและภาควิชาการจัดการประมง คณะประมง ทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการสำรวจภาคสนามและร่วมกันทำวิจัยอย่างไม่ย่อท้อ

ขอขอบพระคุณ คุณนันทวัน เนตรสาน รวมทั้งนิสิตในที่ปรึกษาทุกคนที่ช่วยกันจัดพิมพ์ต้นฉบับอย่างขยันขันแข็งและอดทน ขอขอบคุณทีมงานจากกรมประมง กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช ที่ให้ความช่วยเหลือในการสำรวจ และขอขอบคุณพี่น้องในชุมชนประมงท้องถิ่น สำหรับข้อมูลความรู้ การแลกเปลี่ยนประสบการณ์ และน้ำใจไมตรีที่ได้รับ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิในหลากหลายสาขา ที่ได้กรุณาช่วยอ่านและตรวจแก้ไขต้นฉบับของหนังสือนี้ให้ ไม่ว่าจะเป็น รองศาสตราจารย์ ดร.นิตยา เลาหะจินดา รองศาสตราจารย์ ดร.ณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์ ผอ.สิทธิชัย ฤทธิธรรม ผช.ทวีป บุญวานิช ดร.ชำนาญ พงษ์ศรี คุณนิพนธ์ อัครศวเมฆ ผศ.ดร.กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์ และดร.ศันสนีย์ หวังวรลักษณ์ ที่กรุณาให้แนวทางในการพัฒนางานเขียน ตลอดจนให้คำแนะนำอันมีคุณค่าที่เปี่ยมไปด้วยความตั้งใจและประสบการณ์ที่ถ่ายทอดมาถึง จนทำให้หนังสือเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวและลูก ๆ อันเป็นที่รัก ในความเข้าใจและกำลังใจที่มีให้กันมาโดยตลอด ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนในศึกษาหาความรู้ทางด้านนิเวศอุทกวิทยา ทรัพยากรทางน้ำ สิ่งแวดล้อม หรือสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง และหวังว่าจะช่วยเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างสรรค์แนวคิดเชิงอนุรักษ์ที่สอดคล้องกับสภาพทางธรรมชาติของแหล่งน้ำและนำไปสู่การพัฒนาใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำต่าง ๆ ของประเทศไทยเราได้อย่างเหมาะสมต่อไป

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์

กันยายน 2558

From Upstream to Estuary
Hydro-ecological Functions
and Conservative Management
จากต้นน้ำ ถึงปากแม่น้ำ
บทบาททางนิเวศอุทกวิทยาและการจัดการเชิงอนุรักษ์

สารบัญ

บทที่ 1

ลักษณะจำเพาะ ความสำคัญ และคุณค่าของแหล่งน้ำไหล 1

Specific Characters, Importance and Values of Running Waters

1.1) ลักษณะทั่วไปของแหล่งน้ำไหล 2
1.2) แม่น้ำและสมดุลน้ำบนผิวโลก 4
1.3) ระบบแม่น้ำและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง 8
1.4) ความสำคัญและคุณค่าของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล 13
1.5) แหล่งน้ำไหลในประเทศไทย 18
1.6) มนุษย์และการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศแม่น้ำ 19
1.7) บทสรุปภาพรวม 22

บทที่ 2

ระบบนิเวศน้ำตกและลำธารต้นน้ำ 24

The Waterfall and Headwater Stream Ecosystem

2.1) ลักษณะจำเพาะทางนิเวศอุทกวิทยาในเขตพื้นที่น้ำตกและลำธารต้นน้ำ 25
2.1.1) ระบบนิเวศน้ำตกในพื้นที่ช่วงบน 26
2.1.2) ระบบนิเวศน้ำตกในพื้นที่ช่วงกลาง 28
2.1.3) ระบบนิเวศน้ำตกในพื้นที่ช่วงล่างและลำธารส่วนท้าย 29
2.2) ปัจจัยทางนิเวศอุทกวิทยาและการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศน้ำตกและลำธารต้นน้ำ
2.2.1) ปัจจัยทางกายภาพของน้ำ 32
2.2.1.1) ปริมาณการไหลของน้ำ 33
2.2.1.2) อุณหภูมิของน้ำ 36

2.2.2) ปัจจัยทางเคมีของน้ำ 38
2.2.2.1) การนำไฟฟ้าของน้ำ 38
2.2.2.2) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 38
2.2.2.3) ความเป็นกรด-เบสของน้ำ 39
2.2.2.4) แร่ธาตุอาหารในน้ำ 41
2.2.3) ปัจจัยทางชีวภาพของน้ำ 46
2.2.3.1) ผู้ผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศน้ำตก 46
2.2.3.2) ผู้บริโภคและบทบาทในห่วงโซ่อาหาร 48
2.2.4) ปัจจัยในบริเวณพื้นท้องน้ำ 52
2.2.4.1) ปริมาณน้ำในดินและสารอินทรีย์รวมในดิน 54
2.2.4.2) ขนาดของอนุภาคบริเวณพื้นท้องน้ำ 55
2.3) ปัจจัยภายนอกและบทบาทต่อระบบนิเวศน้ำตกและลำธารเขตต้นน้ำ 59
2.3.1) ลักษณะทางภูมิอากาศ 59
2.3.2) ลักษณะการใช้ประโยชน์และบทบาทต่อพื้นที่ท้ายน้ำ 60
2.4) บทสรุปภาพรวม 64

บทที่ 3

ระบบนิเวศแม่น้ำ 65

The River Ecosystem

3.1) ธรรมชาติของระบบนิเวศแม่น้ำ 66
3.2) ลักษณะจำเพาะที่มีความสำคัญทางนิเวศอุทกวิทยาในระบบนิเวศแม่น้ำ
3.2.1) ปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากในระบบแม่น้ำ 71
3.2.2) กระบวนการผลิตและแหล่งของอินทรีย์สารในระบบแม่น้ำ 74
3.2.3) ปิรามิดห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศแม่น้ำ 76
3.2.4) การเคลื่อนตัวแบบวนเป็นเกลียวในระบบนิเวศแม่น้ำ 77
3.2.5) ความเชื่อมต่อของระบบนิเวศตามเส้นทางของลำน้ำ 78
3.3) ปัจจัยหลักทางนิเวศวิทยาและอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศแม่น้ำ
3.3.1) ปริมาณการไหลและความเร็วของน้ำ
3.3.1.1) ลักษณะพื้นฐานและเทคนิคการศึกษาติดตามระบบการไหล 81
3.3.1.2) ผลกระทบจากสภาวะน้ำท่วมหลากและความแห้งแล้ง 85
3.3.1.3) ความเร็วน้ำและบทบาทต่อพรรณไม้ในระบบนิเวศแม่น้ำ 87
3.3.1.4) ความเร็วน้ำและบทบาทต่อสาหร่ายในระบบนิเวศแม่น้ำ 89
3.3.1.5) ความเร็วน้ำและบทบาทต่อสัตว์ที่อาศัยในระบบนิเวศแม่น้ำ 90
3.3.1.6) ความเร็วน้ำและบทบาทต่อพื้นท้องน้ำ 92

3.3.2) ลักษณะพื้นท้องน้ำ
3.3.2.1) สารอนินทรีย์ในพื้นท้องน้ำและบทบาทต่อสิ่งมีชีวิต 95
3.3.2.2) สารอินทรีย์ในพื้นท้องน้ำและบทบาทต่อสิ่งมีชีวิต 97
3.3.3) ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ
3.3.3.1) ผลกระทบต่อผู้ผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศแม่น้ำ 100
3.3.3.2) ผลกระทบต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในแม่น้ำ 101
3.3.3.3) ผลกระทบต่อทรัพยากรปลาในแม่น้ำ 102
3.3.3.4) ปัจจัยที่มีบทบาทต่อระดับของผลกระทบ 102
3.3.4) อุณหภูมิของน้ำ
3.3.4.1) ธรรมชาติของอุณหภูมิในพื้นที่แม่น้ำ 105
3.3.4.2) บทบาทของอุณหภูมิต่อสิ่งมีชีวิตทางน้ำ 106
3.3.5) ออกซิเจนละลายน้ำ
3.3.5.1) การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในพื้นที่แม่น้ำ 108
3.3.5.2) ออกซิเจนละลายน้ำและบทบาทต่อสิ่งมีชีวิตในพื้นที่แม่น้ำ 109
3.3.6) แร่ธาตุอาหารในระบบนิเวศแม่น้ำ
3.3.6.1) แร่ธาตุอาหารที่สำคัญในระบบนิเวศแม่น้ำ 110
3.3.6.2) ความเข้มข้นและลักษณะการเคลื่อนตัวของแร่ธาตุอาหาร 118
3.3.6.3) บทบาทของแร่ธาตุอาหารต่อผู้ผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศแม่น้ำ 120
3.4) สายใยอาหารและการหมุนเวียนสารในระบบนิเวศแม่น้ำ
3.4.1) ผู้ผลิตขั้นต้นและลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศแม่น้ำ 122
3.4.2) ผู้บริโภคและบทบาทในห่วงโซ่อาหาร 124
3.4.3) สัตว์พื้นท้องน้ำและการใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ 127
3.5) บทสรุปภาพรวม 129

บทที่ 4

ระบบนิเวศปากแม่น้ำ 130

The Estuarine Ecosystem

4.1) ลักษณะจำเพาะและการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ปากแม่น้ำ
4.1.1) ลักษณะจำเพาะ ขอบเขต และรูปแบบของพื้นที่ปากแม่น้ำ 132
4.1.2) สถานการณ์ปัญหาและผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ 140
4.1.2.1) การใช้ประโยชน์ทั่วไปในพื้นที่ปากแม่น้ำ 143
4.1.2.2) การปล่อยน้ำเสียที่มีสารปนเปื้อนลงสู่พื้นที่ปากแม่น้ำ 145
4.1.2.3) การปรับเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของปากแม่น้ำ 147
4.1.2.4) การทำประมงในพื้นที่ปากแม่น้ำ 151

4.1.3) อิทธิพลจากแผ่นดินต่อระบบนิเวศปากแม่น้ำ
4.1.3.1) แร่ธาตุอาหารและสารอินทรีย์คาร์บอน 153
4.1.3.2) สารมลพิษที่ไหลลงสู่ปากแม่น้ำ 157
4.1.3.3) น้ำจืดที่ไหลลงจากแผ่นดิน 159
4.2) ลักษณะสำคัญทางนิเวศวิทยาและห่วงโซ่อาหารในพื้นที่ปากแม่น้ำ
4.2.1) ระบบการผลิต ห่วงโซ่อาหาร และความหลากหลายทางชีวภาพ 162
4.2.2) ผู้ผลิตขั้นต้นในพื้นที่ปากแม่น้ำ 168
4.2.3) ผู้บริโภคในพื้นที่ปากแม่น้ำ 169
4.2.4) พื้นท้องน้ำและสิ่งมีชีวิต 173
4.3) ปัจจัยหลักทางนิเวศวิทยาและอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศปากแม่น้ำ
4.3.1) ความเค็มของน้ำ 178
4.3.2) ดินตะกอนพื้นท้องน้ำ 185
4.3.3) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 189
4.3.4) อุณหภูมิของน้ำ 191
4.3.5) แร่ธาตุอาหารในน้ำ 192
4.4) บทสรุปภาพรวม 199

บทที่ 5

การประเมินสถานการณ์สิ่งแวดล้อม ความอุดมสมบูรณ์และมลภาวะของระบบนิเวศทางน้ำ 201

Assessment of Environmental Status, Trophic State, and Pollution of Aquatic Ecosystems

5.1) การวิเคราะห์สถานการณ์คุณภาพน้ำเบื้องต้น
5.1.1) มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริหารจัดการแหล่งน้ำ 202
5.1.2) ปัจจัยคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการประเมินสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทางน้ำ 201
5.2) การประเมินสถานการณ์ความเป็นอยู่ของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตทางน้ำ
5.2.1) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมและความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ 209
5.2.2) การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ 211
5.2.3) ความจำเพาะของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำในระบบนิเวศน้ำตก 217
5.2.4) ความจำเพาะของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำในระบบนิเวศแม่น้ำ 219
5.2.5) ความจำเพาะของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำในระบบนิเวศปากแม่น้ำ 220
5.3) การประเมินสถานการณ์ด้านความอุดมสมบูรณ์และกำลังผลิตของแหล่งน้ำ
5.3.1) ความสำคัญและความเป็นมาในการศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ 227

5.3.2) ปัจจัยชี้วัดและการจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ 228
5.3.2.1) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมและความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่แม่น้ำลำธาร 230
5.3.2.2) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมและความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำเขตชายฝั่ง 231
5.3.3) ดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำที่สำคัญ
5.3.3.1) แร่ธาตุอาหาร 234
5.3.3.2) คลอโรฟิลล์ 234
5.3.3.3) ความโปร่งแสงของน้ำ 236
5.3.4) สถานการณ์ของปัจจัยชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ในแหล่งน้ำเขตชายฝั่งของประเทศไทย 237
5.3.5) ดัชนีทางนิเวศวิทยาและการประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ 238
5.4) การประเมินสถานการณ์ด้านมลภาวะของแหล่งน้ำ
5.4.1) เกณฑ์คุณภาพน้ำ: การประยุกต์ใช้เพื่อประเมินสถานการณ์มลภาวะ 241
5.4.2) ประเภทของมลพิษที่ควรศึกษาติดตามในแหล่งน้ำไหล 243
5.4.3) พื้นที่สำหรับการศึกษาติดตามมลพิษในแหล่งน้ำไหล 245
5.4.4) ความเร็วของน้ำและการศึกษามลภาวะในแหล่งน้ำไหล 246
5.4.5) ความเค็มของน้ำและการศึกษามลภาวะในระบบนิเวศปากแม่น้ำ 248
5.5) บทสรุปภาพรวม 250

บทที่ 6

สถานการณ์และแนวทางในการจัดการปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำไหล 252
Status and Management Approach of Eutrophication Problems in Running Waters
6.1) ความเป็นมาและผลกระทบของปัญหายูโทรฟิเคชัน 253
6.2) สถานการณ์และปัญหาของยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำต่าง ๆ 255
6.2.1) กระบวนการยูโทรฟิเคชัน: พัฒนาการเรียนรู้จากแหล่งน้ำนิ่ง 255
6.2.2) สถานการณ์และปัญหายูโทรฟิเคชันในพื้นที่แม่น้ำ 259
6.2.2.1) คลอโรฟิลล์และสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันในพื้นที่แม่น้ำ 260
6.2.2.2) พรรณไม้น้ำและสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันในพื้นที่แม่น้ำ 262
6.2.3) สถานการณ์และปัญหายูโทรฟิเคชันในพื้นที่ปากแม่น้ำ 263
6.3) ปัจจัยทางนิเวศอุทกวิทยาและบทบาทในกระบวนการยูโทรฟิเคชัน 267
6.3.1) อัตราการถ่ายเทมวลน้ำ 268
6.3.2) แร่ธาตุอาหารในน้ำ 271

6.3.3) องค์ประกอบทางชีวภาพในระบบนิเวศแม่น้ำ 273
6.3.4) แสงในระบบนิเวศแหล่งน้ำ 275
6.3.5) ความเร็วในการไหลของน้ำ 276
6.3.6) ลักษณะจำเพาะทางภูมิสัณฐานวิทยา 279
6.4) การดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหายูโทรฟิเคชัน 281
6.4.1) ลักษณะการดำเนินการทั่วไป 281
6.4.2) การวิจัยและแนวคิดเพื่อการแก้ปัญหายูโทรฟิเคชัน 283
6.4.3) การประยุกต์ใช้ความรู้เพื่อควบคุมแร่ธาตุอาหารที่เข้าสู่แหล่งน้ำ 285
6.4.4) การฟื้นฟูแหล่งน้ำที่เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน 287
6.5) บทสรุปภาพรวม 290

บทที่ 7

นิเวศอุทกวิทยาสู่การบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์ 291

Eco-hydrology and the Conservation Management Approach

7.1) ฟังก์ชันของระบบนิเวศและแนวคิดในการบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์ 292
7.1.1) การกำหนดเป้าหมายของการอนุรักษ์ 293
7.1.2) การกำหนดปัจจัยเพื่อใช้ในการศึกษาติดตาม 294
7.1.3) การกำหนดระดับของปัจจัยเป้าหมาย 298
7.2) นิเวศอุทกวิทยาและแนวทางในการบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์ 305
7.2.1) ระบบนิเวศแหล่งน้ำตกและลำธารสาขา 306
7.2.2) แนวทางการบริหารจัดการระบบนิเวศแม่น้ำ 308
7.2.3) แนวทางการบริหารจัดการระบบนิเวศปากแม่น้ำ 313
7.3) ปัจจัยที่มีบทบาทต่อความสำเร็จในการบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์ 316
7.3.1) การสร้างเสริมความรู้และเครือข่ายทางวิชาการ 318
7.3.2) การปรับปรุงแก้ไขกฎระเบียบและมาตรการ 319
7.3.3) การสร้างเสริมประสิทธิภาพระบบการบริหารจัดการ 320
7.3.4) การสร้างเสริมประสิทธิภาพทรัพยากรบุคคล 321
7.4) บทสรุปภาพรวม 323

บรรณานุกรม 324
ดัชนีคำสำคัญ 351

บทที่ 1

ลักษณะจำเพาะ ความสำคัญ และคุณค่าของแหล่งน้ำไหล

Specific Characters, Importance and Values of Running Waters

แหล่งน้ำไหล (Running waters) เป็นระบบนิเวศที่มีลักษณะเฉพาะตัว มีลักษณะแตกต่างจากระบบนิเวศอื่น ๆ ที่จะเห็นได้เด่นชัดที่สุด คือ การที่มวลน้ำภายในระบบมีการเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลา เมื่อพิจารณาแหล่งน้ำไหล อาทิ แม่น้ำ เราพบว่าการไหลของมวลน้ำในพื้นที่แม่น้ำมักมีทิศไปในทางเดียวกันในช่วงเขตพื้นที่ของลำน้ำช่วงหนึ่ง ๆ ซึ่งความเร็วในการไหลของน้ำมักจะมีค่าสูงในบริเวณแนวกลางร่องน้ำ และลดต่ำลงในบริเวณใกล้ขอบฝั่งหรือในบริเวณที่พบสิ่งกีดขวาง อาทิ ดงพรรณไม้น้ำที่ขึ้นกระจายแน่นอยู่ (**ภาพที่ 1.1**)

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 1.1 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาและนิเวศวิทยาในระบบแม่น้ำแต่ละแห่งที่มีบทบาทต่อการไหลของมวลน้ำ (ก; แม่น้ำเพชรบุรี, ข; แม่น้ำยม, ค; แม่น้ำน่าน)

โครงสร้างทางสัณฐานวิทยา อาทิ ความกว้าง ความลาดชัน และลักษณะของสิ่งกีดขวางทางกายภาพที่มีในแนวลำน้ำ นับเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ความเร็วในการไหลของน้ำ

เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ ความเร็วในการไหลของน้ำจะมีค่าที่ลดลงในส่วนของลำน้ำที่มีความลาดชันต่ำ (อาทิ แม่น้ำยม ในเขตอุทยานแห่งชาติภูนาง; **ภาพที่ 1.1 ข**) แต่จะมีค่าสูงในบริเวณแม่น้ำที่อยู่ใกล้แนวเขาสูง (อาทิ แม่น้ำน่าน ในเขตอุทยานแห่งชาติแม่จริม; **ภาพที่ 1.1 ค**) ส่วนลักษณะทางนิเวศวิทยาในระบบแม่น้ำแต่ละแห่งที่มีบทบาทต่อความเร็วในการไหลของมวลน้ำ จะพบเห็นได้จากการที่ภายในลำน้ำมีการเจริญของพรรณไม้ใต้น้ำอย่างหนาแน่น ซึ่งมักพบในแม่น้ำที่ค่อนข้างใส (อาทิ ในแม่น้ำเพชรบุรี เขตอำเภอบ้านลาด; **ภาพที่ 1.1 ก**) ลักษณะที่มีพรรณไม้น้ำดังกล่าวมีผลทำให้ความเร็วในการไหลของน้ำลดลงได้อย่างชัดเจน

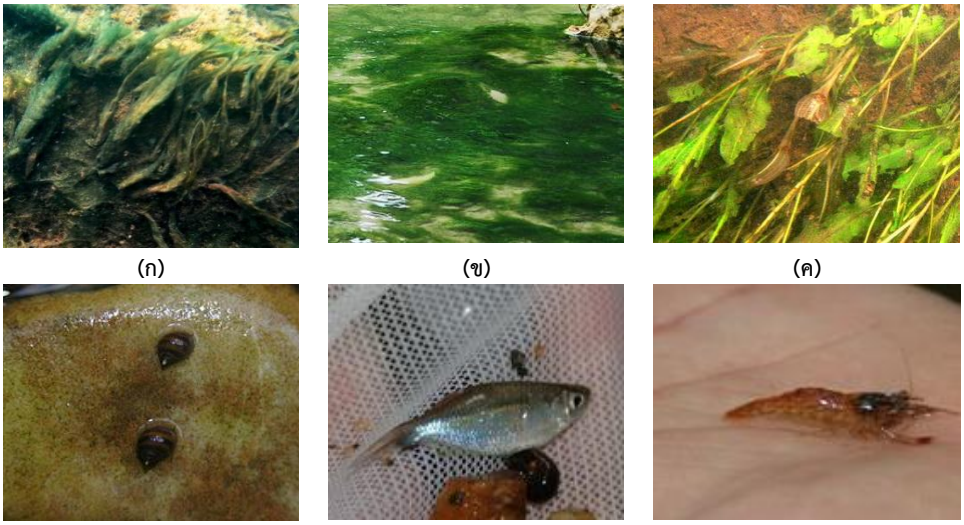
ลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำในรูปแบบต่างๆ นับว่ามีบทบาทและความสัมพันธ์กับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำน้ำหรือพื้นท้องน้ำ นอกจากนี้ ยังมีความเชื่อมโยงไปสู่การเกิดแหล่งที่อยู่อาศัยที่มีความจำเพาะตามเขตพื้นที่ (Specific habitat) เกี่ยวข้องลักษณะการถ่ายทอดพลังงานและอาหารในสายใยอาหาร (Trophic dynamics) การขนส่งและหมุนเวียนของแร่ธาตุอาหาร (Nutrient transportation and cycling) และกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีหรือธรณีเคมี (Biogeochemical changes) ในมวลน้ำรวมทั้งในบริเวณพื้นท้องน้ำ ลักษณะดังกล่าวนี้จัดเป็นความจำเพาะทางด้าน *"นิเวศอุทกวิทยา"* ที่ปรากฏภายในระบบนิเวศย่อยต่าง ๆ ของลำน้ำ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการพบความหลากหลายทางชนิด ความชุกชุม และความเป็นอยู่ของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตทางน้ำทุกประเภทที่มีในแหล่งน้ำ

1.1) ลักษณะทั่วไปของแหล่งน้ำไหล

ในแหล่งน้ำไหลมีปัจจัยที่สำคัญมาก คือ ความเร็วของน้ำ ซึ่งมีบทบาทต่อกระบวนการทั้งทางกายภาพและเคมีต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ความเร็วในการไหลของมวลน้ำจะเปลี่ยนไปจากอิทธิพลของการมีสิ่งกีดขวาง หรือการเกิดกลุ่มของพรรณไม้น้ำในพื้นที่ลำน้ำแต่ละช่วง นอกจากนี้ยังแตกต่างกันไปตามระดับความลึกและความลาดชันของลำน้ำ รวมทั้งอิทธิพลจากการเสียดทานหรือแรงต้านที่มาจากบริเวณพื้นท้องน้ำซึ่งอาจเป็นพื้นดินโคลน ทราย หรือหิน ที่แตกต่างกันไปในแต่ละแห่งด้วย

เมื่อพิจารณาไปยังบริเวณแม่น้ำลำธารโดยทั่วไป เรามักเห็นลักษณะของน้ำเพียงบริเวณผิวหน้าน้ำ อาจมองเห็นลักษณะของโครงสร้างทางกายภาพของแม่น้ำหรือพบความแตกต่างระหว่างขอบฝั่งด้านหนึ่งกับอีกด้านหนึ่ง อย่างไรก็ตาม นับเป็นเรื่องสำคัญที่ควรจินตนาการให้เห็นภาพในมิติที่เชื่อมโยงต่อไปว่าภายในสายของแม่น้ำลำธารแต่ละแห่งนั้น นับเป็นบ้านหรือเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอย่างหลากหลายซึ่งเป็นระบบนิเวศที่มีความสมบูรณ์ในตัวเอง

ในระบบนิเวศแม่น้ำลำธาร ประกอบด้วยทั้งผู้ผลิต (อาทิ สาหร่าย พรรณไม้น้ำ) ผู้บริโภค (อาทิ หอย ปลา และกุ้งชนิดต่าง ๆ) (**ภาพที่ 1.2**) รวมทั้งมีผู้ย่อยสลาย (อาทิ แบคทีเรียในน้ำและในดินที่เรามองไม่เห็นด้วยตาเปล่า) จัดเป็นระบบนิเวศที่ไม่เคยหยุดนิ่ง เนื่องจากทั้งสิ่งมีชีวิตและตัวกลาง (ซึ่งก็คือมวลน้ำ) มีการเปลี่ยนแปลงหรือเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา



(ก) (ข) (ค)

(ง) (จ) (ฉ)

ภาพที่ 1.2 ลักษณะของสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่างๆ ที่พบในระบบนิเวศแม่น้ำลำธารของประเทศไทย (ก; สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน, ข; สาหร่ายสีเขียว, ค; พรรณไม้น้ำ (สันตะวา), ง; หอยคัน, จ; ปลาซิวใบไผ่ และ ฉ; กุ้งน้ำตกขนาดเล็ก)

การเคลื่อนตัวของมวลน้ำอย่างต่อเนื่องนั้น เกิดขึ้นตั้งแต่ชั้นน้ำที่อยู่ผิวบนสุดลงไปถึงบริเวณที่ชิดกับพื้นท้องน้ำทางด้านล่าง หากเรามีโอกาสได้ลงไปสัมผัสและพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงด้วยตนเองอย่างจริงจังแล้ว จะเห็นได้ว่าในระบบของแม่น้ำลำธารมีการเคลื่อนตัวของมวลน้ำเกิดได้ทั้งในแนวราบ ในลักษณะการเคลื่อนเป็นเส้นทางตามลำน้ำ (Laminar flow) และการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง (Advection) ที่มีลักษณะคล้ายการหมุนวนเป็นวงลงไปแล้วหมุนกลับขึ้นมาเป็นระลอกๆ ในรูปแบบที่คล้ายเกลียว (Spiral movement) ไปตามทิศทางของน้ำ โดยเมื่อสังเกตที่ผิวหน้าน้ำจะเห็นลักษณะคล้ายเป็นวงเกิดขึ้นเป็นระลอก ๆ (**ภาพที่ 1.3**)

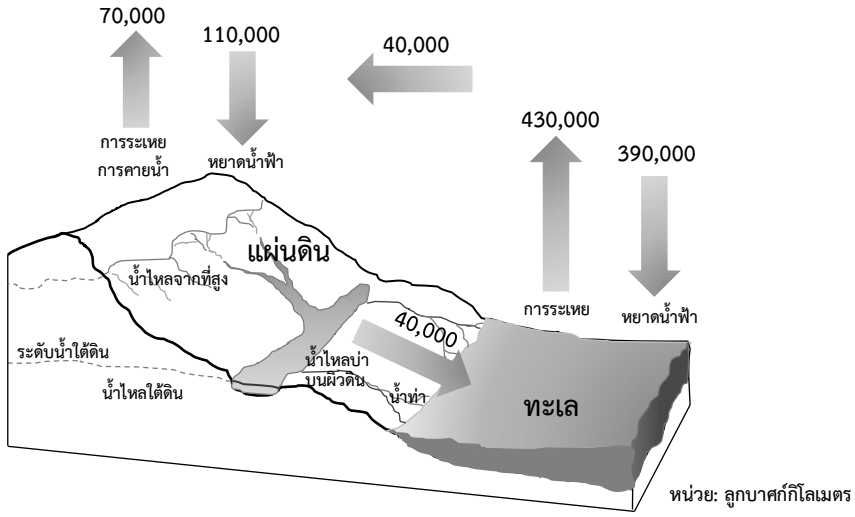
อย่างไรก็ตาม มวลของน้ำโดยรวมจะมีการไหลลงไปตามความลาดชันของพื้นที่ (ไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ) โดยในระหว่างทางที่น้ำมีการเคลื่อนตัวไปนั้นจะเกิดกระบวนการเคลื่อนย้ายถ่ายเทของมวลสารต่างๆ ตามลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของสารที่ปรากฏ นอกจากนี้ ยังมีมวลสารอีกหลายประเภทที่มีบทบาทหรือเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (อาทิ แร่ธาตุอาหารที่ละลายน้ำ) ก็จะถูกสิ่งมีชีวิตดึงไปใช้ในกระบวนการทางชีวเคมี การเจริญเติบโตและการสร้างสารสะสมภายในเซลล์ ฯลฯ ซึ่งสารดังกล่าวสามารถหมุนเวียนโดยการถูกย่อยสลายเกิดเป็นวัฏจักรกลับคืนสู่การเป็นสารอินทรีย์ได้ใหม่ ทั้งนี้ จะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่เราติดตามลักษณะของสารซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางหรือตำแหน่งต่าง ๆ ในแม่น้ำได้อยู่ตลอดเวลา

ภาพที่ 1.3 ลักษณะของผิวหน้าน้ำที่แสดงการเคลื่อนตัวของน้ำในรูปแบบหมุนวนหลายทิศทาง *(สถานที่: แม่น้ำเพชรบุรี เขตอำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี)*

1.2) แม่น้ำและสมดุลน้ำบนผิวโลก

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าน้ำที่ปรากฏบนผิวโลกนั้นแต่เดิมได้รับการผลักดันขึ้นมาจากชั้นใต้เปลือกโลกด้วยอิทธิพลของภูเขาไฟ (Cushing and Allan, 2001) น้ำที่มีบนผิวโลก ทำให้เกิดสรรพสิ่งที่มีชีวิตและเกิดกระบวนการทางกายภาพและชีวเคมีต่างๆ อย่างมากมายและต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำบนผิวโลกเชื่อมโยงกับน้ำในชั้นบรรยากาศโดยรอบโลก ซึ่งทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงสถานภาพอยู่ตลอดเวลา เกิดเป็นวัฏจักรหมุนเวียนของน้ำที่ไม่รู้จบ โดยผ่านกระบวนการที่เราคุ้นเคยกัน อาทิ การตกของน้ำฝน การระเหยของน้ำบริเวณผิวดิน การแทรกซึมของน้ำผ่านชั้นผิวดินลงไป และการไหลบ่าของน้ำไปตามที่ต่างๆ เกิดเป็นลำธารขนาดเล็ก เป็นห้วย หนอง บึง หรือรวมตัวกันเป็นลำน้ำ เกิดเป็นสายของแม่น้ำไหลลงสู่พื้นที่ที่ความลาดชันต่ำกว่า ต่อเนื่องไปถึงพื้นที่ราบลุ่มปากแม่น้ำ และไหลออกสู่ทะเลและมหาสมุทรในท้ายที่สุด

เพื่อให้ง่ายต่อการติดตามทำความเข้าใจ ตลอดจนการนำข้อมูลความรู้ไปสู่การบริหารจัดการระบบน้ำที่เหมาะสมในภายหลัง นักวิทยาศาสตร์จึงนิยมจำแนกเขตพื้นที่ลำน้ำที่พิจารณาระบบของน้ำที่เกี่ยวข้องออกเป็นส่วนๆ และศึกษาทิศทางและอัตราการถ่ายเท (Flux) ของมวลสารในระหว่างส่วนต่างๆ ที่จำแนกนั้น ซึ่งหากพิจารณาด้านวัฏจักรของน้ำในภาพรวม ดังแสดงใน **ภาพที่ 1.4** แล้ว จะพบว่ามวลน้ำในบรรยากาศของโลกที่กระจายหมุนเวียนอยู่ในระบบของพื้นแผ่นดิน และในระบบทะเลและมหาสมุทร มีอยู่ประมาณ 180,000 และ 820,000 ลูกบาศก์กิโลเมตร ตามลำดับ โดยในเขตพื้นแผ่นดินนั้น มีสัดส่วนของน้ำที่ระเหยหรือเปลี่ยนรูปไปในชั้นบรรยากาศในระดับประมาณ 70,000 ลูกบาศก์กิโลเมตร ขณะที่น้ำที่ตกลงมาจากชั้นบรรยากาศมีระดับประมาณ 110,000 ลูกบาศก์กิโลเมตร สัดส่วนของการถ่ายเทจากชั้นบรรยากาศที่มากกว่านี้ ทำให้มวลของน้ำจากแผ่นดินได้ไหลลงสู่ระบบทะเลและมหาสมุทรประมาณ 40,000 ลูกบาศก์กิโลเมตร ขณะที่น้ำที่ระเหยจากเขตมหาสมุทร ก็ได้หมุนเวียนกลับมาสู่ที่ผิวโลกในสัดส่วนเช่นเดียวกัน (Cushing and Allan, 2001)



ภาพที่ 1.4 วัฏจักรของน้ำที่หมุนเวียนระหว่างระบบในพื้นแผ่นดินกับระบบทะเลและมหาสมุทร
(ที่มา: ปรับปรุงจาก Cushing and Allan, 2001)

นักอุทกวิทยานิยมใช้หลักการสมดุลของสาร (Mass balance) ภายในระบบเพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายถ่ายเทของสารในแหล่งน้ำ หลักการนี้เราสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบลักษณะของระบบลุ่มน้ำและผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ โดยในการศึกษาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าออกในระบบของแม่น้ำหนึ่ง ๆ หากไม่มีการเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำที่เกิดจากระบบผันน้ำแล้ว ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ระบบควรจะต้องเท่ากับปริมาณน้ำที่ไหลออกจากระบบ จากแนวคิดดังกล่าวเราสามารถคำนวณหาปริมาณหรือความเข้มข้นของสารสำคัญต่าง ๆ ที่ถูกเคลื่อนย้ายเข้าออกระหว่างส่วนต่างๆ

ของลำน้ำหรือใช้ประมาณสัดส่วนของอนินทรีย์สารที่แปรรูปไปหรือเปลี่ยนสภาพเข้าสู่สิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ในระบบนิเวศของลำน้ำนั้นได้

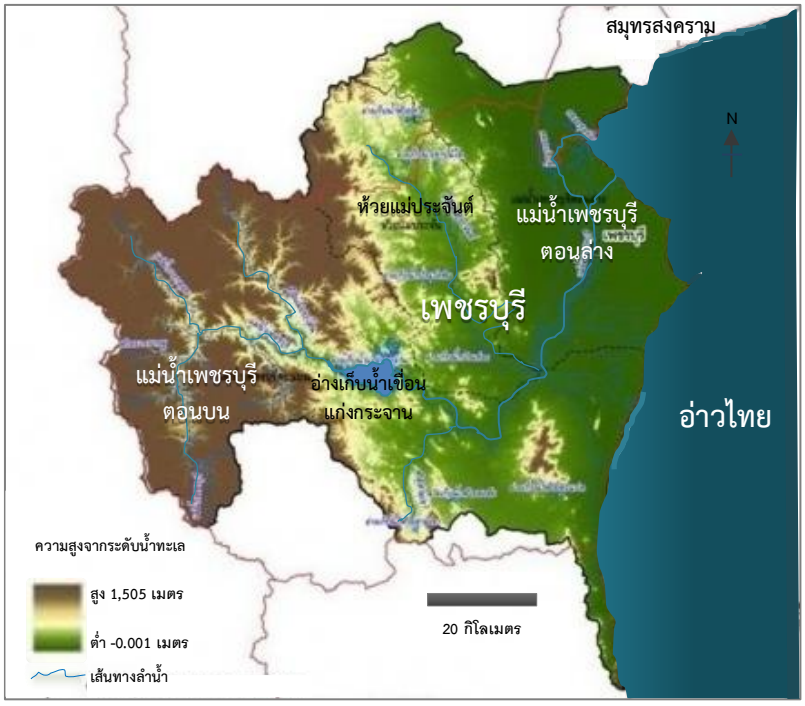
ตามธรรมชาติแล้วพบว่าปริมาณน้ำที่ไหลอยู่ในระบบแม่น้ำรวมทั้งบริเวณลำธารน้ำที่อยู่ใต้ดินนั้น มีระดับน้อยกว่าหนึ่งในสามส่วนของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาที่ผิวโลกทั้งหมด ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำส่วนใหญ่ได้มีการระเหยกลับขึ้นไปสู่ชั้นของบรรยากาศดังเดิม และน้ำอีกส่วนหนึ่งในชั้นบรรยากาศก็มาจากการคายน้ำของพืชบนผิวโลก เมื่อพิจารณาในแต่ละส่วนย่อยของบริเวณผิวโลกเขตต่าง ๆ อาจพบการเกิดสมดุลของระบบการหมุนเวียนน้ำได้ยาก อย่างไรก็ตาม ความสมดุลในระบบมหภาคยังคงเกิดขึ้น ซึ่งนับเป็นระบบมวลรวมของน้ำทั้งโลก ในพื้นที่หนึ่ง ๆ ของแต่ละภูมิภาคอาจมีการระเหยของน้ำออกสู่ชั้นบรรยากาศมากกว่าอีกพื้นที่หนึ่ง ขณะที่ในบางพื้นที่อาจพบแม่น้ำที่มีมวลของน้ำมหาศาลไหลลงสู่ทะเลอย่างต่อเนื่อง บางแม่น้ำในอีกพื้นที่หนึ่งการไหลของน้ำอาจไหลช้าลงเรื่อย ๆ เสมือนมีน้ำต้นทุนที่กำลังลดน้อยถอยลงไปทุกที ส่งผลให้มวลน้ำที่ไหลลงสู่เขตทะเลลดลงตามไปด้วย

ความแตกต่างในแต่ละพื้นที่ดังกล่าว นอกจากจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและอุตุนิยมวิทยาโดยธรรมชาติแล้ว การปรับเปลี่ยนพื้นที่โดยรอบแหล่งน้ำเพื่อตอบสนองต่อความต้องการในการใช้ประโยชน์ของผู้คนในรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะเพื่อการตั้งถิ่นฐาน การสร้างบ้านเรือนที่อยู่อาศัย การสร้างชุมชนเมืองที่ขยายตัวอย่างรวดเร็ว และการใช้พื้นที่โดยรอบแม่น้ำประกอบอาชีพทางการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ก็นับว่ามีบทบาทต่อทั้งปริมาณและคุณภาพของน้ำในแต่ละพื้นที่ของลำน้ำได้อย่างชัดเจน ดังตัวอย่างงานวิจัยในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน ซึ่งเป็นลุ่มน้ำที่มีการใช้พื้นที่โดยรอบเพื่อทำนา ตั้งแต่ในช่วงตอนบน (ในเขตจังหวัดชัยนาท) ลงมาถึงตอนกลาง (ในเขตจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดนครปฐม) เราพบว่าในมวลน้ำของแม่น้ำช่วงตอนกลางนั้นมีความเข้มข้นของสารในกลุ่มแอมโมเนียม รวมทั้งไนเตรทไนโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้นจากระดับพื้นฐานเดิม (ซึ่งเป็นระดับในมวลน้ำต้นทุนที่ไหลลงมาจากแม่น้ำเจ้าพระยา) ถึงประมาณ 2-3 เท่า (Meksumpun *et al*., 2008; Thaipichitburapa *et al*., 2010)

ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำในแม่น้ำบนพื้นผิวโลกจะนับเป็นปริมาณที่ไม่มากนัก และคิดเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าหนึ่งในสามของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาบนผิวโลก อย่างไรก็ตาม สัดส่วนดังกล่าวนี้นับว่าให้คุณค่าต่อมนุษย์เราในการดำรงชีวิตประจำวันเป็นอย่างยิ่ง หากเรายืนอยู่ริมฝั่งแม่น้ำและมองดูสายน้ำที่กำลังไหลไปอยู่นั้น เราอาจมองเห็นแค่เพียงมวลน้ำที่เคลื่อนตัวเฉพาะบริเวณที่เห็นเบื้องหน้าเรา แต่หากพิจารณาให้ดีแล้วจะพบว่าสายน้ำที่อยู่ตรงหน้าจัดเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่าย หรือ “Network” ของระบบลุ่มน้ำ ที่มีต้นน้ำซึ่งอาจเป็นสายน้ำจากลำห้วยขนาดเล็กในพื้นที่สูง (Headwater streams) มีที่มาจากหลายทิศทาง ไหลรวมกันลงมาเกิดเป็นเส้นสายของแม่น้ำที่เห็นอยู่ตรงหน้า

ตัวอย่างของ “*แม่น้ำเพชรบุรี*” ใน **ภาพที่ 1.5** ซึ่งแสดงการไหลของมวลน้ำจากเขตต้นน้ำบริเวณภูเขาสูงทางฝั่งตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ ไหลขึ้นไปทางทิศเหนือเข้าสู่ระบบนิเวศอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจานที่มีระดับความสูงที่ลดหลั่นกันลงมา แม่น้ำเพชรบุรีในส่วนที่อยู่เหนืออ่างเก็บน้ำถูกจัดว่าเป็น “*แม่น้ำเพชรบุรีตอนบน*” ซึ่งหลังจากนั้น ลำน้ำได้ไหลพาดผ่านไปตามเขตที่ราบต่ำที่อยู่

ถัดลงไปทางทิศตะวันออก โดยในระหว่างทางมีแม่น้ำสายย่อยจากแหล่งต้นน้ำอื่น ๆ (อาทิ ลำห้วยแม่ประจันต์ ที่รับน้ำมาจากเขตจังหวัดราชบุรี) ได้ไหลมาบรรจบรวมตัวกันกับแม่น้ำสายหลัก แม่น้ำเพชรบุรีในส่วนที่นับจากเขตอำเภอเมืองลงไปนั้น ถูกจัดว่าเป็น*"แม่น้ำเพชรบุรีตอนล่าง"* ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการใช้ที่ดินในการทำกิจกรรมการเกษตรและเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน และท้ายที่สุดมวลของน้ำในแม่น้ำเพชรบุรีได้ไหลลงสู่พื้นที่ปากแม่น้ำในสองบริเวณ คือ ในเขตปากแม่น้ำเขตอำเภอบ้านแหลม และปากแม่น้ำเขตอำเภอบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งอยู่ทางตะวันออกสุดของพื้นที่ อยู่ในเขตอ่าวไทยตอนใน (อ่าวไทยรูปตัว ก) ในภาพรวมนับเป็นเส้นทางการเคลื่อนตัวของมวลน้ำจากต้นน้ำในบริเวณเทือกเขาสูง จนกระทั่งไหลออกสู่ทะเลในลักษณะของการเป็น Network ที่กว้างขวาง ซึ่งพร้อม ๆ กับการเคลื่อนตัวของน้ำตามระยะทางนั้น ในระหว่างเส้นทางก็มีการเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในมวลน้ำ ทั้งที่มาจากอิทธิพลตามธรรมชาติของพื้นที่ สภาวะภูมิอากาศ และจากอิทธิพลของการใช้ประโยชน์ในพื้นที่โดยชุมชนรอบแหล่งน้ำ นับเป็น Network ของน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงในคุณภาพและปริมาณอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับจนถึงเขตทะเล (**ภาพที่ 1.5**)



ภาพที่ 1.5 โครงสร้างทางภูมิสัณฐานวิทยาและเครือข่าย (Network) ของ *"ลุ่มน้ำเพชรบุรี"* จังหวัดเพชรบุรี จากเขตต้นน้ำทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ไหลลงสู่อ่าวไทยทางด้านตะวันออกของพื้นที่ *(ที่มา: ปรับปรุงจาก กรมแผนที่ทหาร, 2554)*

อนึ่ง Cushing and Allan (2001) ระบุว่าปริมาณน้ำจืดที่มนุษย์เราใช้ได้บริเวณพื้นผิวโลกนับว่ามีปริมาณเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับมวลน้ำทั้งหมดที่มีบนโลกนี้ โดยในสัดส่วนของปริมาณน้ำจืดที่มี (คือ แค่ 2.8 % นั้น) แหล่งน้ำจืดที่สำคัญอยู่ในส่วนของผิวโลกที่เป็นน้ำแข็ง 2.2 % ส่วนอีก 0.6 % จะเป็นน้ำที่อยู่ใต้ดิน การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าน้ำจากทะเลสาบเขตน้ำจืดมีสัดส่วนน้อยกว่าหนึ่งในร้อยของปริมาณน้ำจืดบนผิวโลกที่มี สำหรับน้ำจืดจากแหล่งแม่น้ำ ยังมีปริมาณน้อยกว่านั้นลงไปอีก (มีสัดส่วนน้อยกว่าแหล่งน้ำในพื้นที่ทะเลสาบน้ำจืด ถึงประมาณ 10 เท่า)

ด้วยข้อมูลที่มีดังกล่าว เราพบว่าแหล่งน้ำจืดของมนุษย์นั้นมีปริมาณจำกัดมาก จึงนับเป็นเรื่องสำคัญที่ทุกคนควรได้ตระหนักถึง และหันมาให้ความสำคัญในการอนุรักษ์ดูแลอย่างจริงจัง ทั้งนี้เพื่ออนาคตของคนรุ่นลูกรุ่นหลานที่จะมีแหล่งน้ำที่ดีได้ใช้ประโยชน์สืบต่อไป

1.3) ระบบแม่น้ำและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

Allan (1995), Stanford (1996), Cushing and Allan (2001), และ Gordon *et al.* (2004) ได้อาศัยหลักการทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำในการจัดจำแนกระบบแม่น้ำพื้นฐานซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันเพื่อการศึกษาด้านต่าง ๆ การจำแนกดังกล่าวใช้กรอบแนวคิดจากลักษณะทางธรรมชาติของแม่น้ำซึ่งเริ่มนับตั้งแต่จุดกำเนิดของแม่น้ำ จนถึงตอนท้ายสุดของแม่น้ำตามลำดับลงไป

จุดกำเนิดของแม่น้ำ พบอยู่ในเขตของพื้นที่ป่าเขาในบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีความชุ่มชื้นสูง (มักเป็นเขตป่าต้นน้ำ *"Headwaters"* ที่จัดเป็นพื้นที่อนุรักษ์) ซึ่งแม่น้ำที่พบในตอนต้นนี้ มักอยู่ในลักษณะของลำห้วยน้ำตก หรือลำธารขนาดเล็ก ซึ่งอาจมีความกว้างไม่เกิน 2-3 เมตร ลำธารในพื้นที่ต้นน้ำดังกล่าว เกิดจากการอิ่มตัวของตาน้ำในดิน ซึ่งดันให้มวลน้ำไหลซึมออกมา ไหลมารวมกันจนเป็นลำธารเล็กๆ ซึ่งพื้นที่โดยรอบมักมีลักษณะเป็นป่าทึบ มีความชุ่มชื้นสูงและมีความอุดมสมบูรณ์ของพรรณไม้ชนิดต่างๆ อย่างหนาแน่น ลำธารน้ำในลักษณะเช่นนี้ จัดเป็นลำธาร อันดับที่ 1 (1^{st} Order stream) ของระบบแม่น้ำ ซึ่งสามารถพบได้ในที่สูง ซึ่งอาจมีความลาดชันของพื้นที่แตกต่างกันไป ดังตัวอย่างของพื้นที่ต้นน้ำของลุ่มน้ำเพชรบุรี (**ภาพที่ 1.6** ซ้าย) ที่อยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

การไหลของน้ำในระบบนิเวศลำธารต้นน้ำขนาดเล็กในพื้นที่ป่า มักได้รับอิทธิพลโดยตรงจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา ลำธารในบริเวณดังกล่าวนี้ บางครั้งเราอาจไม่พบการไหลของน้ำเลย เพราะปริมาณน้ำอาจน้อยลงมาก (โดยเฉพาะในหน้าแล้ง) และในบางเวลาน้ำก็อาจเหือดแห้งไปได้ ซึ่งในภาพรวมแล้ว ลำธารน้ำในอันดับที่ 1 นี้ จะมีปริมาณและอัตราไหลของน้ำ รวมถึงความกว้างและความลึกของตัวลำธาร ที่ผันแปรสูงตามเวลา ด้วยเหตุดังกล่าวแหล่งน้ำบริเวณนี้จึงมักมีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตที่ค่อนข้างต่ำ และพบปริมาณของสิ่งมีชีวิตทางน้ำที่ไม่แน่นอนตามไปด้วย (จารุมาศและคณะ 2554)

ภาพที่ 1.6 ลักษณะของลำธารต้นน้ำที่พบในบริเวณป่าเขาอันชุ่มชื้นและอุดมสมบูรณ์ในเขตอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี (ภาพบน ซ้ายและขวา) และส่วนต้นของแม่น้ำเพชรบุรี ณ บริเวณที่รับน้ำจากลำห้วยตะเกลพาดู (ภาพล่าง) *(ที่มา: จารุมาศและคณะ 2550)*

ในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงภายในเขตป่าเขาอันอุดมสมบูรณ์ น้ำจากลำห้วยน้ำตกขนาดเล็ก หรือจากลำธารสายเล็ก ๆ จะไหลลงมาตามระดับของชั้นความสูงในพื้นที่ เกิดการไหลมารวมตัวกันในแนวร่องเขา หรือพื้นที่ที่ต่ำกว่า และเกิดเป็นลำธารน้ำที่เรียกว่า ลำธารอันดับที่ 2 (2^{nd} Order

stream; **ภาพที่ 1.6** บนขวา) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีมวลน้ำมากขึ้น ซึ่งนอกจากจะเป็นมวลน้ำที่ไหลบนผิวดินแล้ว ยังเริ่มเกิดเครือข่ายของน้ำใต้ดินที่อิ่มตัวและเชื่อมโยงสู่กัน ทั้งทางด้านข้างและแนวใต้พื้นลำธาร ซึ่งจะผลักดันให้ลำธารน้ำในอันดับที่ 2 นี้ มีปริมาณน้ำไหลแทบตลอดทั้งปี

ลำธารน้ำในอันดับนี้ สามารถไหลไปรวมกับลำธารขนาดเล็กอื่นๆ ตามลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยา และเกิดเป็นลำธารน้ำในอันดับที่ 3 (3rd Order stream) ซึ่งสามารถรวมตัวกันต่อ ๆ ไป เป็นลักษณะของแม่น้ำสายต่าง ๆ (**ภาพที่ 1.6** ล่าง) หรือพัฒนาเกิดเป็นโครงสร้างเครือข่าย (Network) ของระบบแม่น้ำ ดังตัวอย่างของระบบแม่น้ำเพชรบุรีจากเขตต้นน้ำจนถึงพื้นที่ปากแม่น้ำ (**ภาพที่ 1.5**) ที่จัดเป็นเครือข่ายของแม่น้ำที่มีขนาดขยายใหญ่ขึ้นเป็นลำดับ *(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในบทที่ 3)*

ในประเทศไทยเรา แม่น้ำส่วนใหญ่ที่ไหลจากเทือกเขาสูงต่างๆ ผ่านลงสู่ที่ราบต่ำ มักจะไหลลงสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเล เกิดเป็นบริเวณที่มวลน้ำจืดมีการผสมผสานกับน้ำทะเล เกิดการพัฒนาของระบบนิเวศปากแม่น้ำ (ซึ่งเป็นระบบนิเวศน้ำกร่อย) (**ภาพที่ 1.7**) และเป็นอีกหนึ่งบริเวณที่นับว่ามีความอุดมสมบูรณ์ในทรัพยากรทางธรรมชาติ พร้อมด้วยความหลากหลายทางชีวภาพเป็นอย่างยิ่ง

ภาพที่ 1.7 ลักษณะของพื้นที่ปลายน้ำ ซึ่งเป็นบริเวณที่แม่น้ำได้รับน้ำจากแม่น้ำสาขาต่าง ๆ ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และไหลรวมลงสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเลเกิดเป็นระบบนิเวศน้ำกร่อยขึ้นมา *(ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี ในช่วงเดือนสิงหาคม 2555)*

ลักษณะการจัดจำแนกระบบแม่น้ำดังกล่าว ทำให้เราสามารถติดตามวิเคราะห์ด้านรูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระบบมวลน้ำ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางนิเวศวิทยาภายในระบบแม่น้ำในพื้นที่ส่วนต่างๆ ของประเทศ นอกจากนี้ จะทำให้สามารถวางแผนการติดตามคุณภาพน้ำเพื่อการบริหารจัดการคุณภาพน้ำ โดยอาจจำแนกลำน้ำเป็นส่วนๆ (Zonation) และทำการประเมินผลกระทบจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ รวมทั้งอิทธิพลจากการใช้ประโยชน์ที่เกี่ยวข้องโดยรอบ ซึ่งจะทำให้เราทราบที่มาที่ไปหรือวิเคราะห์สาเหตุแห่งปัญหาที่เกิดได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ เพื่อประสิทธิภาพในการวางแผนด้านการอนุรักษ์ดูแลคุณภาพน้ำ การควบคุมเรื่องการปล่อยน้ำเสียหรือการฟื้นฟูพื้นที่ส่วนต่างๆ ของลำน้ำได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพตามธรรมชาติ โดยครอบคลุมทั้งระบบเครือข่ายของลุ่มน้ำได้อย่างต่อเนื่อง

การจัดจำแนกระบบแม่น้ำตามวิธีการข้างต้นที่กล่าวมานี้ สามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ในหลากหลายด้าน ซึ่งในการศึกษาทางภูมิศาสตร์ของระบบแม่น้ำ จะพบว่าจำนวนของสายลำธารขนาดเล็กในแต่ละอันดับ มักมีจำนวนเป็น 3-4 เท่าของลำดับที่สูงขึ้นไปเสมอ ๆ โดยจำนวนลำธารเหล่านั้น ส่วนใหญ่จะมีความยาวน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของสายหลักที่ไปรวมตัวกัน นอกจากนี้ มักจะครอบคลุมพื้นที่รับน้ำในส่วนย่อยทางตอนบนของพื้นที่ ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้อยกว่า 1 ใน 5 ส่วนของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งระบบ (Gordon *et al.*, 2004)

อนึ่ง แม่น้ำที่พบในปัจจุบันของไทยเรา มักมีขนาดเล็ก ถึงขนาดกลาง อย่างไรก็ตาม แม่น้ำสายหลักโดยส่วนใหญ่จะจัดอยู่ในอันดับของแม่น้ำ (River order) ที่สูง ทั้งนี้ เนื่องจากโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของประเทศเป็นที่ราบลุ่มน้ำกว้างใหญ่ เกิดสาขาย่อยของแม่น้ำลำธารได้หลายสาขา และลำน้ำสาขาย่อยต่างๆ เหล่านั้น ได้ไหลมารวมตัวกัน เกิดเป็นแม่น้ำสายหลักซึ่งเป็นที่รู้จักกันดี อาทิ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำบางปะกง เป็นต้น การทราบข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวกับเครือข่ายของแม่น้ำสายต่าง ๆ ดังกล่าว จะมีบทบาทต่อการพินิจพิเคราะห์ลักษณะจำเพาะของแม่น้ำแต่ละสาย ทำให้เราทราบความเชื่อมโยง และโอกาสความเป็นไปในระบบแม่น้ำ และตระหนักได้ว่า กระบวนการในการบริหารจัดการแม่น้ำลำธารเพื่อการอนุรักษ์และการพัฒนาใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงตั้งแต่ส่วนของลำธารต้นน้ำ (Headwater streams) จนกระทั่งถึงแม่น้ำที่เป็นปลายน้ำ (Downstream หรือ low-land river) เนื่องจากทั้งหมดเป็นระบบที่มีความเชื่อมโยงและส่งอิทธิพลถึงกันอยู่ตลอดเวลา

ลักษณะการไหลของมวลน้ำในแม่น้ำ

การศึกษาติดตามปริมาณของน้ำที่ไหลผ่านตำแหน่งหนึ่งๆ ของแม่น้ำ หรือหาอัตราไหลของน้ำ ณ จุดสำรวจต่างๆ ตามเวลาที่ผันแปรในรอบวัน แล้วนำมาเขียนเส้นกราฟ ที่เรียกว่า “Hydrograph” เพื่อแสดงปริมาณการไหล (Discharge) ของมวลน้ำตามเวลานั้นนับเป็นเครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่ง ในการอธิบายลักษณะทางอุทกวิทยาของแม่น้ำ ปริมาณการไหลของน้ำดังกล่าวมักจะแสดงในหน่วย *“ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที”* หรือ *“ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที”* ซึ่งสามารถประเมินได้จากการตรวจวัดความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านภาคตัดขวางหนึ่งๆ ของลำน้ำ (นิยมตรวจวัดความเร็ว

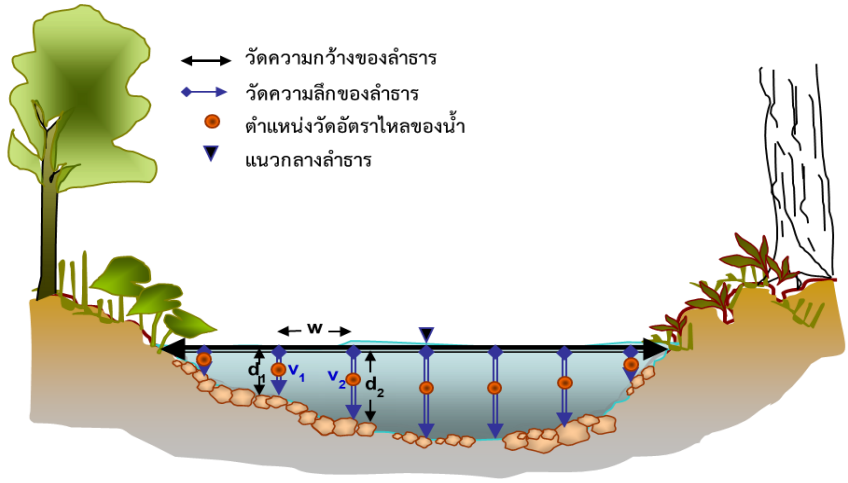
ของน้ำอย่างน้อย 3-7 ตำแหน่ง ในแนวภาคตัดขวาง โดยทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความกว้างและลักษณะจำเพาะของแม่น้ำที่ศึกษา)

ในการศึกษาภาคตัดขวางของลำน้ำ (**ภาพที่ 1.8**) โดยทั่วไปดำเนินการโดยแบ่งส่วนของลำน้ำตามแนวภาคตัดขวางออกเป็นส่วนหน้าตัดย่อย (i) ที่เรียงต่อกัน จากนั้นวัดความกว้าง (w_i) ความลึก (d_i) และอัตราเร็ว (v_i) ในการไหลของน้ำในแต่ละส่วนย่อยนั้น ๆ แล้วคำนวณ ปริมาณการไหล (D_i) ของน้ำสำหรับแต่ละส่วนออกมา ดังสมการ;

$$D_i = w_i \times d_i \times v_i$$

หลังจากนั้น นำค่าปริมาณการไหลของแต่ละส่วนย่อยมาบวกรวมกัน ก็จะได้ค่าปริมาณการไหลรวมที่ผ่านภาคตัดขวางของแม่น้ำ ณ แนวสำรวจนั้นๆ

ในการสำรวจปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำ หน่วยงานที่มีหน้าที่ในการติดตามตรวจสอบ (อาทิ กรมชลประทาน กรมควบคุมมลพิษ และ/หรือกรมประมง) มักใช้เครื่องตรวจวัดปริมาณการไหลอัตโนมัติ (Stream gage) เพื่อความสะดวกในการติดตามปริมาณการไหล และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ เครื่องมือดังกล่าวสามารถแสดงข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำ ที่คำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและความลึกของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาได้ และข้อมูลที่ได้ในแต่ละส่วนของแม่น้ำ จะสามารถบอกสถานการณ์ของน้ำทั้งในรอบวันตลอดจนลักษณะการเปลี่ยนแปลงในฤดูกาลต่าง ๆ ในรอบปี ซึ่งหากมีการติดตามอย่างสม่ำเสมอ เราก็จะสามารถเห็นภาพของการเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องเป็นระยะหลายปี และสามารถนำไปประเมินแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในมวลน้ำ ที่จะเกิดขึ้นต่อไปในอนาคตได้



ภาพที่ 1.8 แผนภาพแสดงการกำหนดตำแหน่งศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (ความกว้าง; w, ความลึก; d) และตำแหน่งตรวจวัดความเร็วของน้ำ (จุดสีส้ม) ที่ไหลผ่านปริมาตร (v) ในส่วนย่อยต่าง ๆ ตามแนวภาคตัดขวางของลำน้ำ

1.4) ความสำคัญและคุณค่าของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล

แม่น้ำลำธารนั้นเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรน้ำบนผิวโลก ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญหนึ่งในการแลกเปลี่ยนถ่ายเท ทำให้เกิดสมดุลของระบบน้ำที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณและคุณภาพน้ำของระบบน้ำบนผิวโลก ในส่วนของตัวแม่น้ำเองก็มีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่ไหลหรือการเปลี่ยนแปลงในรูปทรงของลำน้ำและขอบฝั่ง แม่น้ำยังมีการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างทางกายภาพ เคมี และชีวภาพภายในมวลน้ำได้อย่างต่อเนื่อง นับเป็นการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่อดีตกาลนับพันปี มาจนถึงในปัจจุบันและในอนาคตที่จะเกิดจากนี้ไป

แม่น้ำ ถือเป็นกลจักรสำคัญในการเคลื่อนย้ายถ่ายเทเอาแร่ธาตุต่างๆ จากผืนแผ่นดินลงสู่เขตชายฝั่งและเขตทะเล ทำให้แผ่นดินบริเวณชายฝั่งค่อย ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งนับเป็นการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบของพื้นแผ่นดินเขตแถบไหล่ทวีปทีละน้อยมาอย่างต่อเนื่อง น้ำในแม่น้ำสามารถใช้ในการอุปโภคบริโภคในครัวเรือน ใช้เพื่อการดำรงชีวิต การคมนาคมขนส่ง การผลิตพลังงานไฟฟ้า และการผลิตพืชผลทางการเกษตรเพื่อการจำหน่าย ทำให้เกิดการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมของชุมชนโดยรอบ ในมวลของน้ำเองยังมีการผลิตทรัพยากรทางชีวภาพในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศ ก่อให้เกิดทรัพยากรสัตว์น้ำธรรมชาติ ที่สามารถใช้เป็นอาหารโปรตีนที่มีคุณค่าต่อมนุษย์เรา

เมื่อพิจารณาถึงคุณค่าของระบบนิเวศในแหล่งน้ำไหลอย่างถ่องแท้แล้ว นอกจากประโยชน์ซึ่งเกิดจากการที่มนุษย์เรานำน้ำมาใช้ในการดำเนินชีวิต และ/หรือเพื่อการอุปโภค บริโภคโดยตรงแล้ว แหล่งน้ำไหลยังเอื้อประโยชน์ในด้านที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม (ทั้งภายในและภายนอกระบบแหล่งน้ำ) นอกจากนี้ ยังมีคุณค่าในเชิงการพัฒนาของสังคมเมือง การสืบสานวัฒนธรรม ตลอดจนคุณค่าในเชิงนามธรรมโดยก่อให้เกิดความสุขทางจิตใจของคนเราที่มีโอกาสได้พบเห็นหรือสัมผัสแหล่งน้ำไหลที่งดงามตามธรรมชาติต่าง ๆ

ในท่ามกลางคุณค่าที่หลากหลายของแหล่งน้ำไหล คุณค่าทางด้านนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม เป็นเรื่องที่คนส่วนใหญ่มักมองข้าม และทำให้เกิดปัญหาการขาดความรู้ความเข้าใจในการอนุรักษ์แหล่งน้ำ รวมทั้งการบริหารจัดการเชิงคุณภาพได้อย่างครบถ้วนเหมาะสม คุณค่าทางด้านนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำไหล ประกอบด้วยรายละเอียดสำคัญ ดังนี้

คุณค่าทางด้านนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม

แหล่งน้ำไหลอาจนับเป็นแหล่งน้ำผิวดินแหล่งแรกที่กำเนิดขึ้นจากความอุดมสมบูรณ์ของสภาพป่าต้นน้ำลำธารในเขตที่สูง และยังประโยชน์สู่การผลิตทรัพยากรมีชีวิตในลำดับของห่วงโซ่อาหารและสายใยอาหารในระบบนิเวศ ซึ่งก่อให้เกิดการขับเคลื่อนพลวัตของอนินทรีย์สาร ตลอดจนการเคลื่อนย้ายถ่ายเทของพลังงานที่เชื่อมโยงกัน ทั้งระหว่างสิ่งมีชีวิตด้วยกันและ สิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ในเชิงชีวเคมีในโมเลกุล น้ำ จัดเป็นสารตั้งต้นที่มีความจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์สารอินทรีย์ของผู้ผลิตขั้นต้นชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะสาหร่าย พรรณไม้น้ำ และแพลงก์ตอนพืช ที่กระจายอยู่ในแหล่งน้ำ ซึ่งภายใต้กระบวนการ *“สังเคราะห์ด้วยแสง”* (Photosynthesis) นั้น

หลังจากที่แพลงก์ตอนพืชหรือผู้ผลิตขั้นต้นเหล่านั้นได้รับพลังงานจากแสงที่เปลี่ยนรูปมาเป็นพลังงานเคมีที่สะสมไว้ในเซลล์ โมเลกุลของน้ำจะถูกดึงเข้าไปใช้ในขั้นตอนของการออกซิเดชัน เพื่อเอารูปของไฮเดรทของออกซิเจนเข้าไปใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก อาทิ Pyruvic acid ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในขั้นตอนการสังเคราะห์โปรตีน

ลักษณะของการเคลื่อนตัวของน้ำ ที่จัดเป็นลักษณะเด่นของน้ำในแหล่งน้ำไหลนั้น ยังนับเป็นคุณลักษณะที่กระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนตัวของอนุภาคขนาดใหญ่น้อยต่างๆ ตลอดจนการแพร่กระจายของสารละลายในมวลน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกายภาพและกระบวนการทางชีวเคมีมากมายในระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

การเคลื่อนตัวของของแข็ง ที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยภายในมวลน้ำ ซึ่งเป็นการถูกนำพาโดยอัตราการไหลของน้ำ นับเป็นการส่งเสริมให้อนุภาคสารต่างๆ ได้เกิดการกระจายตัวออกไปจากแหล่งกำเนิดเดิม โดยเฉพาะการกระจายของตะกอนดินและซากพืชซากสัตว์จากพื้นที่สูง ไหลลงไปยังพื้นที่บริเวณที่ต่ำกว่า เกิดการตกตะกอนทับถมเป็นโครงสร้างทางธรณีสัณฐานวิทยาของผืนแผ่นดินตามชายน้ำในรูปแบบต่างๆ ตลอดจนทำให้เกิดการพัฒนาของพื้นที่ราบลุ่มชายฝั่งและการเกิดดอนเลนที่มีสารอินทรีย์สูงในบริเวณปากแม่น้ำ (**ภาพที่ 1.9**) ซึ่งนับเป็นบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์เนื่องจากการมีแร่ธาตุอาหารหมุนเวียนสูง โดยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดอย่างต่อเนื่องในห่วงโซ่อาหาร ลักษณะดังกล่าวนับเป็นกระบวนการที่เชื่อมโยงจากผืนแผ่นดินสู่ท้องทะเลและมหาสมุทร นับแต่อดีตกาลมาจนถึงปัจจุบัน

มวลน้ำที่มีการไหลอยู่ในแหล่งน้ำไหล โดยเฉพาะในระบบลำธารต้นน้ำ และในบริเวณแม่น้ำที่มีความลาดชันค่อนข้างสูง ซึ่งส่วนใหญ่มักมีความเร็วของน้ำสูงได้ถึง 40–80 เซนติเมตรต่อวินาทีนั้น นับว่ามีบทบาทต่อการเคลื่อนย้ายอนุภาคของแข็งที่กระจายอยู่ในบริเวณพื้นท้องน้ำ และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบอนุภาคในพื้นท้องน้ำทางกายภาพ ซึ่งจะเชื่อมโยงสู่พลวัตของสมดุลทางเคมีในบริเวณชั้นรอยต่อระหว่างน้ำและพื้นท้องน้ำ ตลอดจนการพัฒนาประชากรและการเกิดทดแทนที่ของสิ่งมีชีวิตพื้นท้องน้ำ ได้อย่างจำเพาะกับพื้นที่แต่ละส่วนของลำธารน้ำได้ (Madsen *et al.,* 2001; จารุมาศและคณะ, 2553)

การศึกษาในเชิงกายภาพ ด้านการเคลื่อนย้ายของอนุภาคแต่ละประเภทในบริเวณพื้นท้องน้ำนั้น รูปแบบของกระแสน้ำ (ทั้งความเร็วและทิศทางของน้ำ) นับเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อการโยกย้ายตะกอนหรือกรวดทรายในบริเวณพื้นท้องน้ำ (Bed-loaded transport) (Petticrew and Kalff, 1992; Madsen *et al.*, 2001; Sangmek and Meksumpun, 2013) สำหรับในเชิงอุทกวิทยาแล้ว ความรู้ในการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่เช่นนี้จะเอื้ออำนวยต่อการประเมินโครงสร้างของลำน้ำ และการเปลี่ยนแปลงสภาพลำน้ำในบริเวณที่จำเป็นต้องมีการพัฒนาด้านการชลประทานเพื่อการเกษตรกรรม ทั้งนี้ เนื่องจากความเร็วกระแสน้ำจะผันแปรได้มากตามลักษณะพื้นท้องน้ำและการจัดการผันน้ำ นอกจากนี้ ความรู้ดังกล่าว ยังนำมาใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพื้นท้องน้ำ ในช่วงที่เกิดสภาวะน้ำท่วมหลากในระบบลำน้ำนั้น ๆ ได้

ในเชิงชีววิทยาประชากร การที่กระแสน้ำในแหล่งน้ำไหลนำพาเอาอนุภาคขนาดเล็ก และตะกอนอินทรีย์ให้กระจายลงมาจากพื้นที่ป่าเขาอันอุดมสมบูรณ์ ลงมายังบริเวณแนวปากแม่น้ำ ซึ่ง

นับเป็นแนวรอยต่อที่ความเร็วของน้ำจากแม่น้ำจะถูกลดระดับลงจนแทบหมดนั้น เสมือนเป็น *"การสร้างบ้าน"* หรือสร้างแหล่งที่อยู่อาศัย ให้สิ่งมีชีวิตได้ก่อเกิดขึ้น ตั้งแต่สิ่งมีชีวิตในกลุ่มของ *"ผู้ย่อยสลาย"* (ซึ่งเป็นพวกจุลินทรีย์ ที่ทำการย่อยสารอินทรีย์ให้แตกตัวออก และก่อให้เกิดการหมุนเวียนของสารอนินทรีย์และแร่ธาตุอาหารพืชชนิดต่างๆ กลับเข้าสู่มวลน้ำ) **(ภาพที่ 1.9)** ทั้งนี้ ยังมี *"ผู้ผลิต"* (ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่สามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์ด้วยตัวเองได้จากสารอนินทรีย์ที่มีในแหล่งน้ำ) ตลอดจน *"ผู้บริโภค"* (ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่ใช้ประโยชน์จากอินทรีย์สารที่ผู้ผลิตในแหล่งน้ำสร้างขึ้น) ซึ่งมีมากมายหลายชนิด และอาศัยอยู่ร่วมกันในพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำ

ภาพที่ 1.9 ลักษณะการทับถมของตะกอนในแนวป่าโกงกางและการเกิดดอนเลนบริเวณตอนหน้าของปากแม่น้ำซึ่งนับเป็นบริเวณที่อุดมสมบูรณ์ มีความหลากหลายในทรัพยากรชีวภาพสูง และเป็นพื้นที่ทำประมงที่สำคัญของประเทศ (บริเวณป่าชายเลนคลองช้าง และปากแม่น้ำบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี)

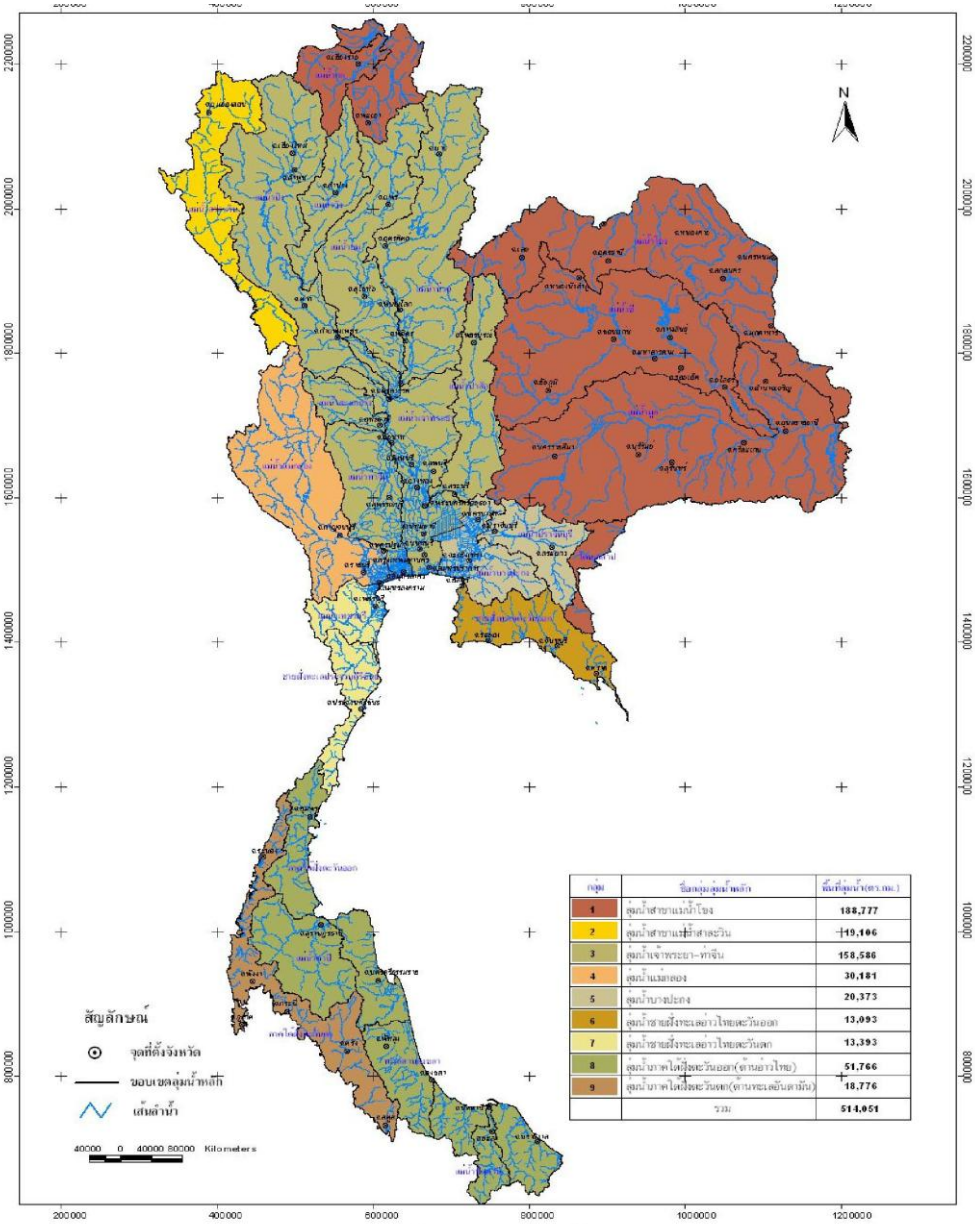
ในระบบของพวก *"แพลงก์ตอนพืช"* ที่ถูกนำพามาพร้อมกับมวลน้ำจากแหล่งน้ำตอนบนลงไปสู่พื้นที่ทางตอนล่างบริเวณที่ถัดลงไปนั้น เราสามารถพบการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของประชาคม ทั้งเชิงคุณภาพ (องค์ประกอบทางชนิด) และปริมาณ (ความหนาแน่นที่พบ) ตามระยะทางในแม่น้ำ ทั้งนี้ แพลงก์ตอนพืชที่พบในระบบนิเวศแม่น้ำ มักมีการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบทางชนิด ซึ่งเป็นการเกิดทดแทนที่ตามลักษณะจำเพาะของแร่ธาตุอาหารที่พบในแต่ละบริเวณ โดยการได้รับเซลล์แพลงก์ตอนพืชที่มาจากแม่น้ำทางตอนบน เสมือนเป็นการเติม *หัวเชื้อ* แรกเริ่มให้ลำน้ำในแต่ละตอน เซลล์แพลงก์ตอนพืชเหล่านั้น จะมีการเพิ่มจำนวนขึ้นเป็นทวีคูณ หากอยู่ในสภาวะที่มีแร่ธาตุอาหารพืชมากเพียงพอและมีระดับแสงที่พอเหมาะ โดยทั่วไป ความเข้มของสีน้ำจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะทางสู่ปลายน้ำ ซึ่งหมายถึง การเพิ่มในความหนาแน่นเซลล์

แพลงก์ตอนพืช (Thongdonphum *et al*., 2011) ที่สอดคล้องกับลักษณะการไหลของน้ำที่มักช้าลง พร้อม ๆ กับการสะสมของปริมาณแร่ธาตุที่เพิ่มมากขึ้นในพื้นที่เขตปากแม่น้ำ ทั้งนี้ เป็นอิทธิพลจากลักษณะทางนิเวศอุทกวิทยา และปริมาณการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ที่จำเพาะในบริเวณปากแม่น้ำนั่นเอง

เมื่อพิจารณาในแง่คุณค่าทางการรักษาสมดุลธรรมชาติ และ/หรือการอนุรักษ์สภาพทางธรรมชาติของพื้นที่แหล่งน้ำแล้ว การมีแหล่งน้ำไหล ที่มวลน้ำยังคงไหลลงมาจากพื้นที่เขาสูงสู่ตอนล่างได้อย่างต่อเนื่อง นับว่าเป็น *"ระบบแห่งการทำความสะอาด"* โดยพลังของมวลน้ำที่มาจากธรรมชาติเขตต้นน้ำ จะสามารถชะล้างเอาความสกปรกหรือเจือจางมลพิษต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายให้มีระดับความเข้มข้นที่ต่ำลง รวมทั้งยังช่วยนำพาออกไปสู่ระบบทะเลภายนอกที่ห่างไกลจากการสัมผัสของมนุษย์เราโดยตรงต่อไปได้

ในกรณีศึกษาของระบบแม่น้ำท่าจีน (Thaipichitburapa *et al*., 2010) ที่กล่าวถึงศักยภาพในการบำบัดมลภาวะ (Self-remediation potentials) ของตัวลำน้ำในเขตจังหวัดต่างๆ ตั้งแต่พื้นที่น้ำจืดตอนบนที่เป็นเขตของจังหวัดชัยนาท ลงมาถึงพื้นที่ตอนกลางในเขตของจังหวัดสุพรรณบุรี ตอนล่างในเขตจังหวัดนครปฐม จนถึงพื้นที่ปากแม่น้ำตอนล่างสุดในเขตจังหวัดสมุทรสาคร ตามลำดับ นั้น เราพบว่าในส่วนของพื้นที่ตอนกลางของระบบแม่น้ำ (ในเขตจังหวัดสุพรรณบุรี) การที่อัตราการไหลของลำน้ำลดลง (จากช่วงต้นฤดูน้ำหลาก) เมื่อเข้าสู่ปลายฤดูน้ำหลาก (จาก 24.67 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน เป็น 16.82 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ได้ส่งผลให้พื้นที่ดังกล่าว มีประสิทธิภาพในการบำบัดมลภาวะในรูปออร์โธฟอสเฟตที่ต่ำลงจากระดับเดิมได้ถึงประมาณ 59 % ในทางตรงกันข้าม พื้นที่ในส่วนปลายน้ำลงไป ซึ่งโดยปกติจะพบปัญหาการสะสมของมลภาวะสูงมาก โดยเฉพาะในเขตจังหวัดนครปฐม จะพบมวลน้ำสมทบลงมามากขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงปลายฤดูน้ำหลาก เราพบว่าการที่อัตราการไหลของลำน้ำมีค่าสูงขึ้น (จาก 35.78 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน เป็น 51.27 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ได้ช่วยส่งผลให้พื้นที่ดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการบำบัดมลภาวะ (รูปออร์โธฟอสเฟต) ได้สูงมากขึ้นจากเดิมถึงประมาณ 70 %

ปรากฏการณ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า อัตราการไหลของลำน้ำ นับเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อกระบวนการทางชีวเคมีในระบบภาพรวมของแหล่งน้ำไหล และสำหรับแม่น้ำต่าง ๆแล้ว การชะลอตัวในความเร็วของน้ำ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลทางสัณฐานวิทยาตามธรรมชาติของพื้นที่ หรือผลกระทบจากการสร้างเขื่อนและ/หรือทำนบกั้นขวางทางเดินของลำน้ำในรูปแบบต่าง ๆ นั้น ส่งผลทำให้ระบบนิเวศแม่น้ำมีประสิทธิภาพในการบำบัดมลภาวะต่ำลง เกิดภาวะของการสะสมของมลพิษเพิ่มขึ้น และท้ายที่สุดจะกลับเป็นผลเสียต่อคุณภาพชีวิตของชุมชนที่เกี่ยวข้อง ด้วยเหตุนี้ การให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์รูปแบบและปริมาณการไหลของน้ำในระบบแม่น้ำ โดยตระหนักว่าเป็นสิ่งที่สร้างคุณประโยชน์ทั้งในเชิงนิเวศวิทยา สิ่งแวดล้อม และคุณภาพชีวิตแก่เรานั้น จึงนับว่าเป็นประเด็นจำเป็นที่ทุกคนควรหันมาให้ความสำคัญเพื่อรณรงค์สร้างจิตสำนึกเชิงอนุรักษ์ร่วมกัน ทั้งนี้ เพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาการใช้ประโยชน์ในพื้นที่อย่างระมัดระวังและสอดคล้องกับสมดุลทางนิเวศวิทยาของระบบลำน้ำที่มีได้ต่อไป

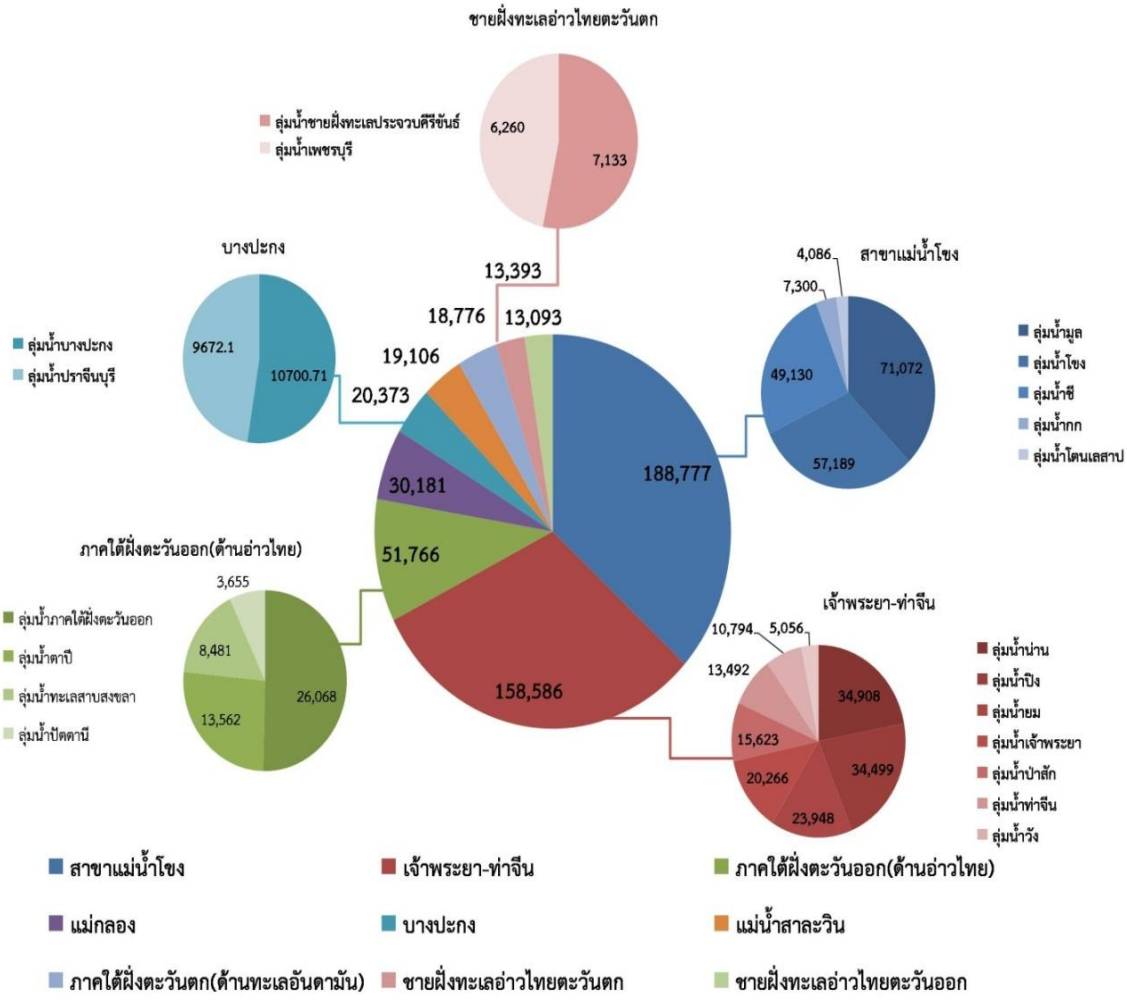


กลุ่ม	ชื่อลุ่มน้ำหลัก	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)
1	ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำโขง	188,777
2	ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสาละวิน	19,106
3	ลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน	158,586
4	ลุ่มน้ำแม่กลอง	30,181
5	ลุ่มน้ำบางปะกง	20,373
6	ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออก	13,093
7	ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันตก	13,393
8	ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก(ด้านอ่าวไทย)	51,766
9	ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก(ด้านทะเลอันดามัน)	18,776
	รวม	514,051

ภาพที่ 1.10 ลักษณะขอบเขตและพื้นที่ครอบคลุมของ 9 กลุ่มลุ่มน้ำที่มีในประเทศไทย *(ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ, 2552)*

1.5) แหล่งน้ำไหลในประเทศไทย

ในประเทศไทยของเราได้มีการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำไหลอย่างหลากหลาย ซึ่งโดยทั่วไปพบว่ามากกว่า 70 % ของแหล่งน้ำได้ถูกนำขึ้นมาใช้เพื่อการเกษตรกรรมและการอุปโภคบริโภค สำหรับการจัดจำแนกระบบแม่น้ำของประเทศไทยนั้น สำนักวิจัยพัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ (2552) ได้จัดแบ่งลุ่มน้ำหลักในประเทศไทยออกเป็น 25 ลุ่มน้ำ (**ภาพที่ 1.10**)



ภาพที่ 1.11 สัดส่วนเชิงพื้นที่ของ 9 กลุ่มลุ่มน้ำ และองค์ประกอบของลุ่มน้ำสาขาต่าง ๆ *(ที่มา: ปรับปรุงจาก กรมทรัพยากรน้ำ, 2552)*

นอกจากนี้ เราพบว่ากลุ่มลุ่มน้ำที่ค่อนข้างใหญ่และครอบคลุมอาณาเขตพื้นที่มากกว่า 20,000 ตารางกิโลเมตร ได้แก่ กลุ่มลุ่มน้ำทางภาคใต้ฝั่งตะวันออก (51,766 ตารางกิโลเมตร) กลุ่มลุ่มน้ำแม่กลอง (30,181 ตารางกิโลเมตร) และกลุ่มลุ่มน้ำบางปะกง (20,373 ตารางกิโลเมตร) ตามลำดับ ส่วนตามเขตชายฝั่งทะเล เรายังมีลุ่มน้ำที่กระจายตัวอยู่ ทั้งชายฝั่งทะเลอันดามัน และชายฝั่งอ่าวไทยทางตะวันตก และตะวันออก ในขนาดพื้นที่ที่เล็กลงมา ตามลำดับ (**ภาพที่ 1.10, 1.11**)

กลุ่มลุ่มน้ำที่กระจายตัวครอบคลุมทั้งประเทศในลักษณะดังกล่าวนี้สะท้อนให้เห็นถึงความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรแหล่งน้ำในประเทศไทย ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชนตั้งแต่ระดับท้องถิ่นที่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้โดยตรง ทั้งการอุปโภคบริโภค การเกษตรกรรม และการคมนาคม และยังก่อให้เกิดความเจริญในระดับภูมิภาคที่ขยายวงกว้างตามมาจากฐานการพัฒนาด้านการเกษตร การผลิตอาหาร การพาณิชย์ และกิจกรรมเชิงอุตสาหกรรมที่พัฒนาจากการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำในแต่ละพื้นที่

อนึ่ง ลักษณะของระบบลุ่มน้ำ ที่พัดพาเอามวลน้ำให้ไหลจากแผ่นดินในภูมิภาคต่างๆ ลงสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเลโดยรอบอ่าวไทย และเขตทะเลอันดามัน ยังก่อให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่อยู่ในบริเวณรับน้ำ โดยเฉพาะพื้นที่ในเขตอ่าวไทยตอนใน หรือพื้นที่อ่าวกึ่งปิดตามชายฝั่งต่าง ๆ ซึ่งนับเป็นพื้นที่ที่มีการสะสมของตะกอนอินทรีย์สารและได้รับแร่ธาตุอาหารที่มาจากแผ่นดิน ลักษณะดังกล่าวก่อให้เกิดการขับเคลื่อนของระบบนิเวศ เกิดการถ่ายทอดอาหารและพลังงานภายในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาในการผลิตทรัพยากรสัตว์น้ำ และเป็นประโยชน์ต่อชุมชนและสังคมได้อย่างต่อเนื่องไป

1.6) มนุษย์และการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศแม่น้ำ

อิทธิพลจากมนุษย์เราที่ดำเนินกิจกรรมการใช้พื้นที่โดยรอบแหล่งน้ำ เพื่อการอยู่อาศัย การทำการเกษตรและอุตสาหกรรม ตลอดจนการปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพของระบบลำน้ำในรูปแบบต่างๆ เพื่อวัตถุประสงค์ในการผันน้ำมาใช้ประโยชน์ นับเป็นสิ่งที่ทำให้ระบบแม่น้ำลำธารเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบในการไหลอย่างชัดเจน นอกจากนี้ การปรับเปลี่ยนลำน้ำโดยการสร้างเขื่อนขนาดใหญ่กั้นขวางลำน้ำนับเป็นกิจกรรมจากมนุษย์อย่างหนึ่งที่มีบทบาทต่อระบบนิเวศแม่น้ำเป็นอย่างยิ่ง (**ภาพที่ 1.12**)

การสร้างเขื่อนโดยทั่วไปให้ประโยชน์ในการลดอิทธิพลของการเกิดน้ำท่วมหลากในพื้นที่ตอนล่างแม่น้ำ และสามารถปรับเส้นทางน้ำหรือจัดสรรมวลน้ำเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการชลประทานเพื่อการเกษตร หรือการผลิตกระแสไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนระบบนิเวศพื้นที่ลำน้ำธรรมชาติมาเป็นเขื่อน โดยปรับเป็นลักษณะของการเก็บกักน้ำนั้น สร้างผลกระทบต่อคุณภาพของมวลน้ำที่ไหลมาอย่างต่อเนื่องได้อย่างเด่นชัด โดยคุณภาพน้ำในบริเวณท้ายเขื่อนจะเปลี่ยนไป (โดยเฉพาะปัญหาการลดลงของออกซิเจนละลายน้ำ) สืบเนื่องจากการเกิดระบบนิเวศใหม่ ที่แตกต่างจากความเป็นธรรมชาติเดิมของแม่น้ำที่เคยเป็น (พิชาศิษฐ์ และคณะ 2554) ทางด้านตอนบนของเขื่อนนั้น สายของลำน้ำที่ไหลลงมาจะปะทะกับมวลน้ำที่ถูกกักเก็บในตัวเขื่อน มวลน้ำจะ

เกิดการเคลื่อนตัวที่ช้าลง ตามลำดับ จนเปลี่ยนเป็นรูปแบบของน้ำนิ่ง หรือแทบไม่มีการเคลื่อนตัวเลยในบริเวณตอนกลางและตอนล่างของพื้นที่อ่างเก็บน้ำ

ภาพที่ 1.12 ลักษณะของลำธารและแม่น้ำที่ถูกปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพไปจากเดิม (ภาพบน ซ้ายและขวา; ลำธาร ณ บริเวณกิโลเมตรที่ 18 และตอนท้ายของแค้มป์บ้านกร่าง อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน, ภาพล่าง; แม่น้ำน่าน ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดน่าน)

การเกิดสภาพของระบบน้ำนิ่งจากการปิดกั้นขวางทางเดินของน้ำดังกล่าว (ดังตัวอย่างใน **ภาพที่ 1.12** บนขวา) จะทำให้น้ำโดยเฉพาะในเขตลึกหรือบริเวณที่ถูกเก็บกักมีคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในภาพรวมจะทำให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำลง น้ำเกิดตะกอนและซากอินทรีย์สารตกทับถม และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างประชาคมสัตว์น้ำที่มี พรรณปลาที่เคยเป็นชนิดหลักในแหล่งน้ำไหลมักจะลดลง และเกิดการเจริญทดแทนที่ด้วยกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่ปรับตัวได้ หรือเหมาะกับสภาพความเป็นอยู่ในระบบนิเวศแบบใหม่นั้น ๆ

อนึ่ง กิจกรรมการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินโดยการถางพื้นที่เพื่อเป็นที่อยู่อาศัย และ/หรือการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อทำพื้นที่ปลูกพืช ซึ่งทำให้น้ำที่ไหลบ่าจากอิทธิพลของน้ำฝนได้เพิ่มความรุนแรงมากขึ้น และเกิดการไหลเซาะเป็นร่องน้ำหรือลำธารน้ำที่ไหลเชี่ยวในช่วงเกิดพายุฝน และในทางตรงกันข้ามก็จะทำให้พื้นที่ที่หน้าดินว่างเปล่าเหล่านั้นเกิดการแห้งแล้งลงได้อย่างรวดเร็วในช่วงที่ฝนทิ้งช่วงหรือเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง ลักษณะการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินดังกล่าวจัดเป็นปัญหาสำคัญในปัจจุบัน ซึ่งสร้างผลกระทบต่อทรัพยากรของแหล่งน้ำและระบบนิเวศที่เกี่ยวข้องในวงกว้างจากการที่ระบบลำน้ำมีความเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่ายนั่นเอง

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่ากิจกรรมของมนุษย์นับว่ามีบทบาทต่อแม่น้ำเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม โดยสภาพตามธรรมชาติแล้วแม่น้ำเองยังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงจากระบบธรรมชาติ (อาทิ พายุ กระแสลม ความชื้น และอุณหภูมิของอากาศ) ที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้ ยังมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการทางกายภาพและกระบวนการทางชีวภาพที่อยู่ภายในระบบนิเวศของแม่น้ำนั้น ๆ (อาทิ การเกิดสันดอน การกัดเซาะขอบฝั่ง และเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ) การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เหล่านี้ ก็นับว่ามีบทบาทสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณการไหลและคุณภาพน้ำในช่วงต่าง ๆ ของระบบแม่น้ำได้เช่นกัน

ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของปริมาณการไหลในพื้นที่แม่น้ำลำธาร ทำให้เราทราบว่าในช่วงเวลาที่พิจารณาหนึ่ง ๆ ไม่ว่าจะสั้น หรือยาว ปริมาณการไหลของน้ำจะไม่เคยคงที่เลย และบางวันอาจพบปริมาณที่ขึ้น ๆ ลง ๆ เป็นพลวัตของการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เฉพาะตัว อย่างไรก็ตาม มวลน้ำในภาพรวมก็จะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเข้าสู่ช่วงกลางฤดูฝน โดยเฉพาะในพื้นที่ลำธารต้นน้ำ แต่ถ้าเป็นพื้นที่ของแม่น้ำสายใหญ่ ๆ ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำกว้างหรือเกิดจากการไหลรวมมาจากแม่น้ำสายย่อย ๆ หลายสายประกอบกัน ปริมาณการไหลก็จะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเข้าสู่ช่วงกลางถึงปลายฤดูน้ำหลาก ซึ่งจะเป็นระยะเวลาที่ถัดออกไปจากพื้นที่ต้นน้ำ และมักอยู่ในช่วงปลายฤดูฝน

นอกจากลักษณะของการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแล้ว แม่น้ำยังมีการเปลี่ยนแปลงด้านขนาดหรือพื้นที่ ที่ครอบคลุมขึ้นไปยังพื้นที่ชายขอบฝั่งด้านข้างอย่างไม่สม่ำเสมออีกด้วย โดยทั้งนี้การเพิ่มของปริมาณน้ำจากอิทธิพลของน้ำต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้นจากการปล่อยน้ำหรือจากภาวะน้ำท่วมเฉียบพลัน ก็จะทำให้แม่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ขอบฝั่ง ที่มักจะถูกท่วมสูงขึ้น หรือลดระดับต่ำลงได้อยู่ตลอดเวลา โดยเราจะสังเกตแนวของน้ำที่ยกระดับขึ้นสูงจากเศษซากของพรรณไม้หรือเศษกิ่งไม้แห้งต่างๆ ตามแนวสูงสุดที่น้ำเพิ่มระดับขึ้นไป หรืออาจสังเกตได้จากแนวน้ำหมาดหรือการกัดเซาะพังทลายของตลิ่งชายขอบน้ำ ที่อาจเปลี่ยนรูปทรงและความลาดชันไปก็ได้

1.7) บทสรุปภาพรวม

ในภาพรวมของลักษณะจำเพาะของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่าแหล่งน้ำไหล โดยเฉพาะ *แม่น้ำ* จัดเป็นมวลน้ำที่ไหลอย่างไม่เคยหยุดนิ่ง ไม่เคยคงที่ มีสภาพทั้งภายในและภายนอกที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แหล่งน้ำไหลต่าง ๆ ได้รับอิทธิพลจากโครงสร้างของผืนแผ่นดินทางภูมิสัณฐานวิทยา ทำให้เกิดเป็นเส้นทางการไหลในรูปแบบที่หลากหลาย ขณะเดียวกันตัวแม่น้ำเองก็ยังผลสะท้อนไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและนิเวศวิทยาของพื้นที่ที่เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่องกันไปได้

ลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำในรูปแบบต่างๆ นับว่ามีบทบาทและความสัมพันธ์กับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำน้ำหรือพื้นท้องน้ำ นอกจากนี้ ยังมีความเชื่อมโยงไปสู่การเกิดแหล่งที่อยู่อาศัยที่มีความจำเพาะตามเขตพื้นที่ เกี่ยวข้องลักษณะการถ่ายทอดพลังงานและอาหารในสายใยอาหาร การหมุนเวียนของแร่ธาตุอาหาร และกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในมวลน้ำรวมทั้งในบริเวณพื้นท้องน้ำ ลักษณะดังกล่าวจัดเป็นความจำเพาะทางด้าน *“นิเวศอุทกวิทยา”* ที่ปรากฏภายในระบบนิเวศย่อยต่าง ๆ ของลำน้ำ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อความเป็นอยู่ของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตทางน้ำที่มีในแหล่งน้ำแต่ละพื้นที่นั้น

การศึกษาเกี่ยวกับแหล่งน้ำไหลในภาพรวมจึงควรประกอบไปด้วยศาสตร์และวิทยาการหลากหลายด้านเข้ามาเกี่ยวข้อง อาทิ ศาสตร์ทางธรณีวิทยา (Geology) และสัณฐานวิทยา (Morphology) ที่ใช้เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ในการเกิดของลำน้ำ ตลอดจนกระบวนการทางกายภาพและเคมี ที่มีบทบาทในการควบคุมลักษณะของคุณภาพน้ำ ศาสตร์ทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) ที่ใช้ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยภายนอก โดยเฉพาะทางด้านภูมิอากาศ และศาสตร์ทางภูมิสัณฐานวิทยา (Morphological geography) ที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนพื้นที่บนแผ่นดิน และบทบาทจากกิจกรรมของมนุษย์

นอกจากนี้ ยังมีศาสตร์ทางอุทกวิทยา (Hydrology) ซึ่งมุ่งเน้นอธิบายความสัมพันธ์ของมวลน้ำกับปริมาณน้ำฝน น้ำใต้ดิน การไหลของน้ำบริเวณผิวหน้าดิน รวมถึงปรากฏการณ์ต่างๆ ที่สัดส่วนของน้ำจะเกิดการเคลื่อนย้ายถ่ายเท หรือเปลี่ยนแปลงรูป ภายในวัฏจักรของน้ำในชั้นบรรยากาศโดยรวมของโลก และศาสตร์ทางนิเวศวิทยา (Ecology) ซึ่งส่วนใหญ่จะอธิบายผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการทางกายภาพและเคมีที่มีต่อทรัพยากรสิ่งมีชีวิตรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างประชาคมทางชีวภาพ ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่แม่น้ำนั้น

จากภาพรวมที่กล่าวมาเราพบว่าในการศึกษา *แหล่งน้ำไหล* เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจที่จะสามารถนำไปสู่การบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์ และ/หรือเพื่อการส่งเสริมการใช้ประโยชน์อย่างสมดุลและยั่งยืนนั้น จำเป็นต้องประมวลความรู้จากศาสตร์มากมายหลายด้าน โดยเฉพาะศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับด้านนิเวศวิทยาประยุกต์ (Applied ecology) ที่มีความครอบคลุมในการอธิบายสถานการณ์ของระบบนิเวศจากความสัมพันธ์ในห่วงโซ่ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ และสภาวะแวดล้อม ทั้งนี้ เพื่อใช้คาดการณ์หรือทำนายการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น และวางแผนการพัฒนาการใช้ประโยชน์ ให้เกิดความสอดคล้องและเหมาะสมกับลักษณะจำเพาะของแต่ละระบบนิเวศย่อยของแหล่งน้ำไหลในส่วนต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดต่อไป

บทที่ 2

ระบบนิเวศน้ำตกและลำธารต้นน้ำ

The Waterfall and Headwater Stream Ecosystems

แหล่งน้ำผิวดินประเภท ***น้ำตก*** นับเป็นแหล่งน้ำที่มีลักษณะจำเพาะที่ชัดเจน ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการไหลรวมตัวกันของลำห้วยต้นน้ำหลายสาย จนเกิดเป็นมวลน้ำที่มีปริมาณมากและไหลรวมตัวตกจากพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง น้ำตกโดยทั่วไปจะไหลผ่านแนวหน้าผาหรือชั้นของหินที่มีระดับลดหลั่นกันลงมาตามแนวภูเขาสู่พื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำกว่าทางด้านล่างลงไป (**ภาพที่ 2.1**)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของน้ำตกที่พบในพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารเขตอุทยานแห่งชาติเขาสอยดาว จังหวัดพิษณุโลก (ช่วงกลางฤดูฝน เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555)

ในการศึกษาเอกสารการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำผิวดินทั้งในและต่างประเทศเราพบว่าการศึกษาติดตามหรือวิเคราะห์ข้อมูลทางนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำตก โดยเฉพาะในด้านความหลากหลายทางชีวภาพของทรัพยากรมีชีวิตและความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมนั้นมีอยู่น้อยมาก (แสงสรรค์ 2546; จารุมาศและคณะ 2552; Torrente-Vilara *et al*., 2011; Offem and Ikpi, 2012) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากในอดีตที่ผ่านมาพื้นที่น้ำตกได้รับความสนใจในเฉพาะเชิงภูมิสัณฐานวิทยา

และอุทกวิทยา หรือเพื่อการเข้าไปใช้ประโยชน์จากพื้นที่เพื่อการท่องเที่ยวเป็นหลัก (Chester *et al*., 1999; Fischer and Harris, 2003) นอกจากนี้ โดยสภาพทางธรรมชาติแล้วน้ำตกส่วนใหญ่ยังเข้าถึงได้ค่อนข้างยาก สำหรับในประเทศไทย ณ ปัจจุบัน แหล่งน้ำตกแทบทั้งหมดอยู่ในบริเวณป่าต้นน้ำลำธารซึ่งเป็นพื้นที่เขตอนุรักษ์ (มีการควบคุมดูแลโดยกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช) ลักษณะของพื้นที่อุทยานแห่งชาติในแต่ละภูมิภาค โดยเฉพาะลักษณะทางภูมิประเทศและองค์ประกอบทางธรณีวิทยาและพรรณพืช ตลอดจนลักษณะทางภูมิอากาศจะมีความแตกต่างกันไป ลักษณะเหล่านี้นับว่ามีอิทธิพลต่อสถานภาพของระบบนิเวศในแหล่งน้ำ (โดยเฉพาะในปัจจัยด้านคุณภาพน้ำ องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตทางน้ำที่ปรากฏในพื้นที่น้ำตกช่วงชั้นต่าง ๆ และในลำห้วยต้นน้ำ) และมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เกิดขึ้น

ด้วยเหตุดังกล่าวความรู้ความเข้าใจในลักษณะทางธรรมชาติของพื้นที่แหล่งน้ำและบริเวณโดยรอบ จึงนับเป็นเรื่องพื้นฐานที่จำเป็นต้องเข้าใจและนำมาใช้สำหรับการกำหนดแผนเพื่อการศึกษาวิจัย ตลอดจนการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เพื่อจะได้สามารถอธิบายเหตุและผล รวมทั้งกระบวนการในการเปลี่ยนแปลงที่อาจเป็นผลกระทบจากการใช้ในที่ดินโดยรอบที่จะเกิดขึ้นต่อระบบของแหล่งน้ำ ทั้งนี้ เพื่อนำไปสู่การกำหนดแนวทางการอนุรักษ์ดูแลหรือการใช้ประโยชน์ในแหล่งน้ำตกและลำธารเขตต้นน้ำได้อย่างเหมาะสมต่อไป

2.1) ลักษณะจำเพาะทางนิเวศอุทกวิทยาในเขตพื้นที่น้ำตกและลำธารต้นน้ำ

ในพื้นที่แหล่งน้ำตกโดยทั่วไปพบในบริเวณแนวเทือกเขาที่มีความลาดชันสูงซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของแม่น้ำลำธาร โดยแหล่งกำเนิดของน้ำอาจเกิดจากบริเวณ*ตาน้ำ* ซึ่งเป็นลักษณะของการไหลซึมของน้ำออกมาจากรอยแยกของผืนแผ่นดินในป่าที่มีความอิ่มตัวด้วยมวลน้ำภายใต้ แล้วค่อย ๆ ไหลรวมกันลงมา หรืออาจเกิดจากการที่มีลำห้วยสาขาย่อยต่าง ๆ ไหลมารวมตัวกันแล้วไหลตกลงมาจากพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงกว่าเป็นช่วง ๆ ลงมาจนถึงพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำในพื้นที่ราบด้านล่างสุด

การศึกษาวิเคราะห์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำตกจึงควรคำนึงถึงความแตกต่างในเรื่องของตำแหน่งที่ตั้งหรือความสูงของพื้นที่ เนื่องจากมีความสัมพันธ์โดยตรงกับโครงสร้างของระบบนิเวศป่าไม้ ภูมิอากาศ และโอกาสการได้รับผลกระทบจากการใช้ประโยชน์โดยชุมชน

ในเบื้องต้นเราสามารถจัดแบ่งระบบนิเวศน้ำตกของพื้นที่น้ำตกหนึ่ง ๆ ออกเป็น 3 ช่วง ประกอบด้วย ระบบนิเวศน้ำตกช่วงบน (ซึ่งเป็นช่วงชั้นที่พบการไหลลงมาของมวลน้ำในระยะแรกและอยู่ในพื้นที่สูงสุดของระบบน้ำตกนั้น) ระบบนิเวศน้ำตกช่วงกลาง (ซึ่งมักมีมวลน้ำมากขึ้นและมีการไหลรวมของลำห้วยสาขาที่มีโดยรอบ นับเป็นช่วงที่ครอบคลุมพื้นที่มากและมีความหลากหลายในโครงสร้างของพื้นที่โดยรอบ) และระบบนิเวศน้ำตกช่วงล่าง (ซึ่งอยู่ในพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำที่สุด มักมีคุณภาพน้ำที่แปรผันตามฤดูกาลรวมทั้งมีการเข้าไปใช้ประโยชน์โดยชุมชนได้) ระบบนิเวศในช่วงชั้นดังกล่าวมีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

2.1.1) ระบบนิเวศน้ำตกในพื้นที่ช่วงบน

ลักษณะของระบบนิเวศน้ำตกช่วงบน โดยทั่วไปมีความจำเพาะและแตกต่างกันไปตามภูมิภาค ตามระดับความสูง ความลาดชัน หรือโครงสร้างของพื้นที่ป่าไม้โดยรอบ อย่างไรก็ตาม แหล่งน้ำตกในช่วงชั้นบนโดยเฉพาะบริเวณชั้นบนสุดนั้น มักเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ยากต่อการขึ้นไปถึง จัดเป็นแหล่งน้ำที่สะอาดและมีคุณภาพน้ำที่ดีซึ่งไม่ถูกรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ สำหรับในด้านของการอนุรักษ์แล้วพื้นที่บริเวณนี้มักเป็น *"เขตต้นน้ำ"* ที่มีความเปราะบางและจำเป็นต้องให้ความระมัดระวังในการรักษาสภาพเดิมเป็นอย่างมาก

ภาพที่ 2.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและภูมิทัศน์ของระบบนิเวศน้ำตกเอราวัณช่วงชั้นบนสุด (ชั้นที่ 7) ซึ่งประกอบด้วยบริเวณแอ่งตื้นทางฝั่งซ้าย (ภาพซ้าย) และบริเวณที่ลึกกว่ารับน้ำจากยอดเขาทางฝั่งขวา (ภาพขวา)

ระบบนิเวศของน้ำตกช่วงบนสุดในกรณีของพื้นที่น้ำตกเอราวัณ (อยู่ในบริเวณชั้นที่ 7) นับเป็นบริเวณที่รับน้ำซึ่งตกลงมาจากแอ่งของเขาสูงชันที่อยู่ด้านบน น้ำไหลผ่านหน้าผาหินปูนซึ่งมีลักษณะคล้ายรูปหัวของช้างขนาดใหญ่ น้ำที่ไหลลงมาจากด้านบนนั้นไหลมาอย่างไม่ขาดสายและไม่เคยเหือดแห้งไม่ว่าในฤดูกาลใด (รวมทั้งในช่วงฤดูแล้งที่แทบไม่มีฝนตกลงมาเลยก็ตาม) สภาวะการไหลของน้ำในระบบนิเวศช่วงชั้นบนของน้ำตกที่มีน้ำไหลตลอดปีดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงการคงความอุดมสมบูรณ์และความชุ่มชื้นของผืนป่าที่ปกคลุมพื้นที่ต้นน้ำ ซึ่งนับเป็นศักยภาพของผืนป่าที่สะท้อนสภาพการดูแลรักษาเป็นอย่างดี ในลักษณะของการเป็นพื้นที่อนุรักษ์ในเขตอุทยานแห่งชาติเอราวัณ มวลน้ำที่ไหลตกลงมาจากน้ำตกช่วงชั้นบนจะไหลผ่านหน้าผาที่มีโครงสร้างเป็นเนินหินปูนแผ่กว้าง น้ำได้ไหลลงมายังแอ่งกระทะด้านล่าง ที่มีลักษณะคล้ายอ่างธรรมชาติขนาดใหญ่ มีขอบของอ่างเป็นเนินหินปูนกลมมนโดยรอบ และพื้นด้านล่างเป็นกรวดขนาดเล็กสีเทาขาว ซึ่งเป็น

องค์ประกอบของหินปูนผสมผสานกับก้อนกรวดและทรายขนาดต่าง ๆ บริเวณนี้นับเป็นพื้นที่ที่นักท่องเที่ยวสามารถลงไปใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการ (**ภาพที่ 2.2** ขวา) ซึ่งในบางช่วงที่เป็นฤดูกาลท่องเที่ยวจะพบการกวนเอาตะกอนบริเวณพื้นท้องน้ำให้ฟุ้งขึ้นมา ทำให้มวลน้ำในบริเวณใจกลางแอ่งดังกล่าวเปลี่ยนเป็นสีขุ่นขาวขึ้นมาได้

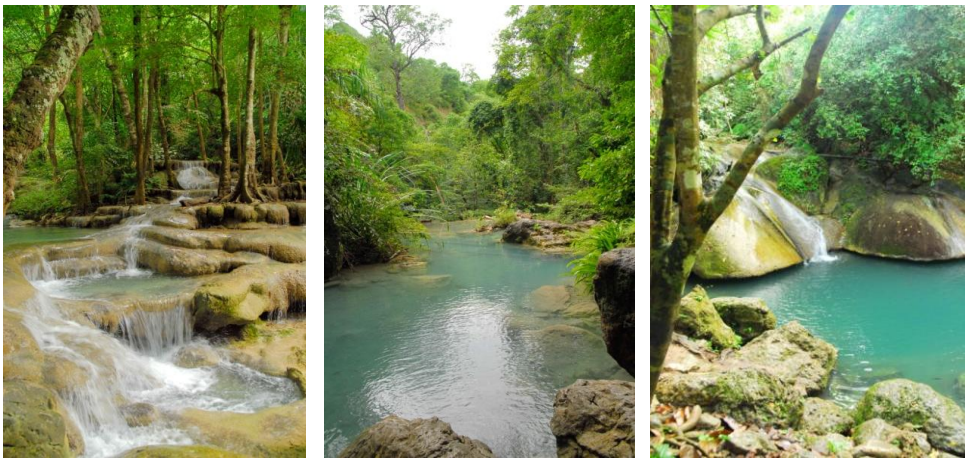
โดยธรรมชาติแล้วพื้นที่น้ำตกในแต่ละช่วงชั้นจะประกอบด้วยลักษณะของพื้นท้องน้ำที่แตกต่างกันไปได้ตามอิทธิพลหลักมาจากปริมาณและความเร็วของน้ำที่มี สำหรับลักษณะของพื้นท้องน้ำในบริเวณชั้นบนสุดของน้ำตกเอราวัณ สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ลักษณะ โดยบริเวณที่รับมวลน้ำที่ตกลงมาอย่างแรงจะมีลักษณะของพื้นท้องน้ำที่หยาบ ประกอบด้วยหินกรวดมน ซึ่งเป็นก้อนหินปูนขนาดต่าง ๆ กระจายอยู่ มีน้ำที่ใสมากและหมุนเวียนเป็นอย่างดี ส่วนอีกบริเวณหนึ่งซึ่งเป็นแอ่งน้ำที่ตื้นกว่ามาก ได้เกิดจากน้ำที่เอ่อไหลจากบริเวณแรกเข้าไปขัง น้ำเคลื่อนตัวน้อยและพบพรรณพืชชนิดต่าง ๆ เจริญขึ้นมาในแนวชายขอบได้มากกว่าบริเวณแรกอย่างชัดเจน ลักษณะของพื้นท้องน้ำส่วนนี้ประกอบด้วยตะกอนที่มีเนื้อละเอียดสีเทาปนสีครีมหรือสีเทาปนสีน้ำตาลเข้มซึ่งเป็นเศษซากพืชซากสัตว์ที่ตกทับถมกันอยู่ มีการผสมผสานของตะกอนหินปูนเนื้อละเอียด ทั้งนี้ ลักษณะของพื้นท้องน้ำในเขตที่น้ำเบาเช่นนี้มีลักษณะคล้ายเป็นแอ่งตกตะกอน และมักพบลักษณะของพื้นท้องน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง และมักเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน ซึ่งมักจะพบเห็นฝูงปลาขนาดเล็กอาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวได้มากกว่า (**ภาพที่ 2.2** ซ้าย)

สภาวะทางอุทกวิทยาของแหล่งน้ำในระบบนิเวศน้ำตกตอนบน โดยเฉพาะในด้านอัตราการไหลของน้ำและปริมาณน้ำที่ถูกเก็บกักในตะพักน้ำอาจมีการผันแปรตามฤดูกาลในรอบปีได้ โดยในช่วงฤดูแล้งที่มีฝนตกน้อยพบว่ามีอัตราการไหลและปริมาณน้ำจะที่ลดต่ำลง อย่างไรก็ตามอัตราการไหลจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงต้นฤดูฝน ขณะที่ปริมาณน้ำที่ถูกเก็บกัก (หรือความลึกของน้ำในแต่ละบริเวณ) จะเพิ่มสูงขึ้นในระยะหลังจากนั้น คือ ในราวกลางฤดูฝนถึงปลายฤดูฝน อนึ่ง ในบางปีพบว่าหากพื้นที่โดยรอบมีสภาพอากาศที่ร้อนจัดมากมาตั้งแต่ช่วงฤดูร้อนจนถึงกลางฤดูฝนและปริมาณน้ำฝนในช่วงกลางปีมีน้อย สภาพผืนป่าที่แห้งแล้งลงมากซึ่งเป็นผลกระทบจากสภาวะภูมิอากาศดังกล่าวสามารถทำให้อัตราการไหลของน้ำและปริมาณน้ำในแอ่งของพื้นที่น้ำตกลดระดับต่ำลงอย่างชัดเจน (อาทิ ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ที่จังหวัดกาญจนบุรีเกิดสภาพอากาศที่ร้อนจัด มีอุณหภูมิสูงสุดถึงประมาณ 40 องศาเซนเซียส และปริมาณน้ำฝนได้น้อยลงมาก)

สำหรับในพื้นที่น้ำตกที่มีช่วงชั้นบนเป็นบริเวณรับน้ำกว้างใหญ่นั้น ในบางปีช่วงกลางฤดูฝนถึงปลายฤดูฝนอาจพบปรากฏการณ์ที่น้ำจำนวนมากไหลทะลักล้นลงมาจากยอดเขาทางด้านเหนือน้ำ ปรากฏการณ์นี้มักจะเกิดหลังจากการที่มีฝนตกลงมาต่อเนื่องอยู่หลายวัน ซึ่งนอกจากจะเป็นความสวยงามตามธรรมชาติแล้ว การที่มีน้ำจำนวนมากไหลทะลักลงมาจากยอดเขาไหลเข้าท่วมทั่วพื้นที่น้ำตกตอนบนลงมายังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำอย่างกะทันหัน ทำให้เกิดการกระจายของตะกอนขนาดต่าง ๆ เกิดการกระจายความขุ่นของน้ำและแร่ธาตุอาหารที่มี ซึ่งจะมีบทบาทต่อประชาคมปลาที่อาศัยและแพร่พันธุ์อยู่ในพื้นที่น้ำตก ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายแหล่งที่อยู่ หรือกระจายประชากรสู่ระบบน้ำทางตอนล่างได้อย่างรวดเร็ว

2.1.2) ระบบนิเวศน้ำตกในพื้นที่ช่วงกลาง

ลักษณะของระบบนิเวศน้ำตกช่วงกลางนับเป็นชั้นของระบบน้ำตกที่มีความจำเพาะและแตกต่างกันไปตามภูมิภาคโดยคุณภาพน้ำและลักษณะทางอินทรีย์สารของพื้นท้องน้ำได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบทางนิเวศวิทยาของพื้นที่ป่าไม้โดยรอบมากขึ้นกว่าพื้นที่ช่วงบน โดยทั่วไปพื้นที่น้ำตกในช่วงกลางมักมีอาณาบริเวณที่กว้างใหญ่ขึ้น ซึ่งเกิดจากการรวมเอามวลน้ำทั้งที่มาจากช่วงบนโดยตรงรวมทั้งที่ไหลมาจากลำห้วยหรือลำธารน้ำขนาดเล็กอื่น ๆ ที่มีโดยรอบของพื้นที่



ภาพที่ 2.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและภูมิทัศน์ของน้ำตกเอราวัณช่วงกลาง (ชั้นที่ 4; ภาพขวา, ชั้นที่ 5; ภาพกลางและซ้าย)

น้ำตกในช่วงชั้นนี้ยังจัดเป็นบริเวณที่ค่อนข้างยากต่อการเข้าถึงและจัดเป็นแหล่งน้ำมีความสะอาดตามธรรมชาติสูง อย่างไรก็ตามเนื่องจากการที่มีมวลน้ำมากขึ้นและอยู่ในระดับที่ถัดลงมา เราจึงมักพบการใช้ประโยชน์ อาทิ การวางท่อ*ส่งน้ำ*หรือการติดตั้งระบบ*ประปาภูเขา* ที่ชุมชนได้เข้ามาเอาน้ำไปใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภคได้

ระบบนิเวศช่วงกลางของน้ำตกมักพบลักษณะของการเป็นแอ่งน้ำลึก ดังตัวอย่างของพื้นที่น้ำตกเอราวัณในบริเวณชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 จะมีลักษณะเป็นแอ่งน้ำลึกและกว้างกว่าตอนบน และสามารถพบลักษณะของหน้าผาน้ำตกแต่จะมีลักษณะที่โค้งมนกว่าจากการที่มีกระแสน้ำไหลกัดเซาะมาอย่างต่อเนื่อง (**ภาพที่ 2.3**) นอกจากนี้ ยังมักพบกลุ่มของปลาในความหนาแน่นที่สูงกว่าที่พบในบริเวณน้ำตกช่วงบน และประกอบด้วยขนาดที่หลากหลายกว่า อย่างไรก็ตาม ปลาที่พบในบริเวณนี้ไม่มีความหลากหลายทางชนิดเท่าใด ส่วนใหญ่จัดเป็นกลุ่มของปลาพลวงและตะเพียนน้ำตก (ใน Family Cyprinidae) ซึ่งเป็นชนิดหลักในระบบนิเวศน้ำตกของประเทศไทยเรา

พื้นท้องน้ำภายใต้แอ่งน้ำตกในช่วงนี้สามารถพบตะกอนได้หลายขนาด ในกรณีที่โครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่เป็นเขาหินปูน พื้นท้องน้ำมักพบตะกอนมีเนื้อละเอียดสีเทาปนน้ำตาล (ซึ่ง

เป็นตะกอนหินปูนที่ถูกกัดกร่อนลงมา) ปนกับซากพืชซากสัตว์ เศษพรรณไม้ขนาดเล็กหรือซากใบไม้ที่ตกลงมาจากระบบป่าที่ปกคลุมพื้นที่อยู่ อนึ่ง ตำแหน่งที่น้ำเบามากหรือในบริเวณซอกหินที่น้ำหมุนเวียนน้อยเราสามารถพบตะกอนที่ละเอียดสะสมอยู่ในปริมาณมากได้

ในพื้นที่น้ำตกช่วงกลางโดยทั่วไปเราสามารถพบเห็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะของน้ำในช่วงฤดูฝน (ราวเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม) ทั้งนี้ เนื่องจากระบบนิเวศของพื้นที่ช่วงกลาง นอกจากจะรับน้ำมาจากลำธารต้นน้ำแล้ว ยังสามารถรับน้ำที่เกิดจากสาขาย่อยของลำห้วยต้นน้ำต่าง ๆ ที่มีในพื้นที่ ที่ไหลลงมารวมกัน โดยเฉพาะในช่วงกลางถึงปลายฤดูฝนนั้นน้ำในลำห้วยมักจะไหลบ่าท่วมตลิ่ง ชะเอาหน้าดินรวมทั้งเศษซากพืชต่าง ๆ ที่ทับถมอยู่ด้านข้างให้ไหลลงมา ทำให้น้ำในแอ่งของน้ำตกในช่วงนี้ไม่ใสเหมือนในช่วงฤดูแล้ง น้ำมักขุ่นขึ้นมา เปลี่ยนเป็นสีเทาปนครีมหรือสีน้ำตาลอ่อนจนสังเกตเห็นได้

สำหรับด้านผลกระทบจากชุมชนนั้น อาจมีการเข้าไปใช้ประโยชน์เพื่อการนันทนาการ อย่างไรก็ตาม จากการที่ลักษณะของน้ำตกในช่วงกลางส่วนใหญ่ประกอบด้วยโครงสร้างของพื้นที่เป็นแอ่งน้ำที่ค่อนข้างลึกหรือยังเข้าถึงได้ยาก นักท่องเที่ยวที่เข้าไปใช้ประโยชน์จึงมีน้อย กอปรกับการที่มีน้ำปริมาณมากและถ่ายเทดี จึงมักไม่พบผลกระทบการใช้ประโยชน์ที่มีต่อปัจจัยคุณภาพน้ำ (จารุมาศและคณะ, 2552)

2.1.3) ระบบนิเวศน้ำตกในพื้นที่ช่วงล่าง

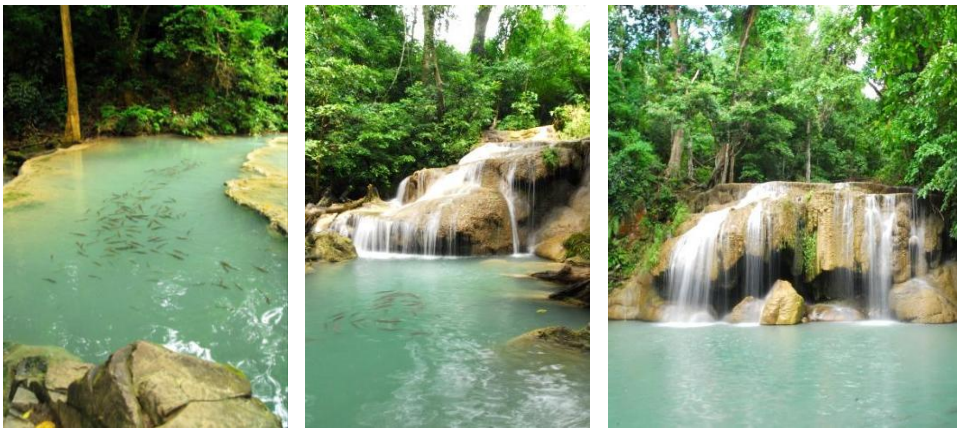
ลักษณะของระบบนิเวศน้ำตกช่วงล่างนับเป็นระบบนิเวศที่ได้รับอิทธิพลทั้งจากลักษณะทางธรรมชาติของพื้นที่ และปัจจัยด้านรูปแบบและปริมาณการเข้ามาใช้ประโยชน์ในพื้นที่โดยนักท่องเที่ยวและ/หรือชุมชนในท้องถิ่น แหล่งน้ำตกในช่วงล่างนี้ โดยธรรมชาติมักมีความลาดชันของพื้นที่ต่ำลง พื้นที่ราบมากขึ้น และมักมีอาณาบริเวณกว้างขึ้นหรือพบการแยกสาขาของลำธารน้ำมากขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงบน ผืนป่าโดยรอบมีลักษณะที่เปิดโล่งมากขึ้น ตัวน้ำตกจึงมีโอกาสได้รับแสงแดดส่องลงที่ผิวน้ำมากขึ้น นอกจากนี้ โดยรอบบริเวณตลิ่งอาจมีการปรับแต่งพื้นที่ให้สอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ อาทิ การจัดทำทางเดิน ลานสำหรับนั่งพักผ่อน ร้านค้า หรือสิ่งก่อสร้างเพื่อการอำนวยความสะดวกอื่น ๆ

ลักษณะทางนิเวศสัณฐานวิทยาของพื้นที่น้ำตกช่วงล่างประกอบด้วยลักษณะของพื้นที่ย่อยที่หลากหลาย อาจมีทั้งแอ่งน้ำลึกที่อยู่ใจกลางพื้นที่ใกล้กับแนวที่มวลน้ำด้านบนตกลงมา หรือมีแอ่งน้ำค่อนข้างตื้นที่สามารถยืนถึงได้ซึ่งประกอบด้วยเนินหินที่มีร่องทางน้ำไหลผ่าน รวมทั้งการพบแอ่งตื้นมากตามบริเวณริมชายน้ำซึ่งมักครึ้มกว่าแนวกลางเนื่องจากการกำบังโดยต้นไม้ใหญ่ และพื้นท้องน้ำมีการสะสมของตะกอนละเอียดตามซอกของก้อนหินที่ซึ่งน้ำมีอัตราการไหลต่ำลง

ตะกอนที่พบในระบบนิเวศน้ำตกชั้นล่างมีคุณภาพที่สอดคล้องกับโครงสร้างทางธรณีวิทยาโดยรวมของพื้นที่ หากเป็นในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณซึ่งมีโครงสร้างของฐานพื้นที่ประกอบด้วยหินปูน ตะกอนที่พบบริเวณพื้นน้ำตกจะเป็นสารประกอบหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) ที่แตกตัวมาจากการที่เนินหินตามตะพักของชั้นน้ำตกแต่ละชั้นได้ถูกกัดกร่อนเกิดเป็น

เศษชิ้นส่วนขนาดเล็กและถูกพัดพาด้วยแรงน้ำจากตัวน้ำตกชั้นบน ตามลำดับลงมาเรื่อย ๆ จนถึงบริเวณที่ความเร็วของน้ำลดลง (โดยเฉพาะในบริเวณที่เป็นแอ่งกว้างหรือแนวที่มีหินกำบัง) ซึ่งทำให้ตะกอนเหล่านั้นเกิดการตกทับถม ตะกอนหินปูนที่พบมักมีลักษณะละเอียดนุ่มมือ สีเทาอ่อนปนครีม ซึ่งแตกต่างกับพื้นที่น้ำตกที่มีโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เป็นหินแกรนิตหรือหินดินดานซึ่งตะกอนที่พบมักมีลักษณะเป็นกรวดหยาบ มีเนื้อแข็งและมีลักษณะของการเป็นผลึกสีต่าง ๆ ปนอยู่

เมื่อพิจารณาตัวอย่างของพื้นท้องน้ำในพื้นที่น้ำตกเอราวัณชั้นที่ 1 ซึ่งนับเป็นบริเวณชั้นล่างสุดของตัวน้ำตกก่อนที่โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของพื้นที่จะราบลงกลายเป็นลำธารน้ำนั้น ถึงแม้ว่าในส่วนต้นของพื้นที่นี้ยังมีน้ำค่อนข้างแรงและอนุภาคเล็กทั่วไปไม่สามารถตกตะกอนลง ทำให้พบกรวดขนาดเล็กปนกับก้อนหินขนาดต่าง ๆ เป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามในส่วนท้ายของพื้นที่ซึ่งมีลักษณะการถูกโอบล้อมด้วยตะพักหินปูนเป็นแนวคั่นขวางมวลน้ำเป็นระยะ ๆ ทำให้น้ำไหลช้าลง และตะกอนละเอียดรวมทั้งอินทรีย์สารต่าง ๆ สามารถตกสะสมที่พื้นท้องน้ำได้เป็นอย่างดี ในบริเวณดังกล่าวเราสามารถพบตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตเนื้อละเอียดสะสมอยู่มากจนเกิดเป็นชั้นเลนนิ่มที่มีความลึกได้ถึงมากกว่า 30 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบเศษเปื่อยยุ่ยของใบไม้กิ่งไม้ที่ตกทับถมกันลงมาซึ่งมีสีน้ำตาลปนดำทำให้พื้นท้องน้ำมีระดับของอินทรีย์สารในปริมาณที่สูง (**ภาพที่ 2.4** กลางและซ้าย) และจัดเป็นบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติสูงมากกว่าช่วงชั้นทางตอนบน



ภาพที่ 2.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและภูมิทัศน์ของน้ำตกเอราวัณช่วงล่าง (ชั้นที่ 1; ภาพกลางและซ้าย, ชั้นที่ 2; ภาพขวา)

โดยทั่วไปพื้นที่น้ำตกช่วงล่างมักเป็นบริเวณที่คุณภาพน้ำ (โดยเฉพาะทางด้านความขุ่นของน้ำ) เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดจากการใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการโดยนักท่องเที่ยวที่เข้าไปในพื้นที่ การมีแอ่งน้ำกว้างในตอนกลางของชั้นน้ำตก ประกอบกับการมีพื้นที่ตื้นโดยรอบ มักดึงดูดให้นักท่องเที่ยวมาลงเล่นน้ำได้มาก ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะจากการฟุ้งของตะกอนและเศษซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมนั้นสามารถนำไปสู่การเพิ่มของระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารในมวล

น้ำโดยเฉพาะแอมโมเนียมไนโตรเจน (จารุมาศและคณะ 2554) ซึ่งเกิดการพัดพาโดยมวลน้ำต่อเนื่องลงไปสู่ระบบนิเวศทางตอนท้ายน้ำได้

คุณภาพน้ำในพื้นที่น้ำตกช่วงล่างยังเป็นลักษณะสะท้อนสภาพของป่าไม้และโครงสร้างแผ่นดินโดยรอบของพื้นที่ ในช่วงเวลาที่มีฝนตกหนักเราจะพบการกัดเซาะหน้าดินโดยน้ำฝน และทำให้เกิดการพัดพาเอาดินตะกอนที่อยู่บริเวณโดยรอบเข้าไปสู่บริเวณน้ำตกชั้นล่าง ทำให้น้ำมักมีตะกอนลักษณะคล้ายเลนอยู่บริเวณขอบฝั่งหรือในบริเวณที่กระแสน้ำเบา คุณภาพน้ำจึงมีโอกาสได้รับผลกระทบหรือเสื่อมโทรมลงได้ง่ายกว่าบริเวณอื่น อย่างไรก็ตามเนื่องจากการที่ระบบน้ำตกส่วนใหญ่มีมวลน้ำที่ไหลเวียนอยู่เสมอ คุณภาพน้ำโดยทั่วไปของระบบน้ำตก (เมื่อเทียบกับแหล่งน้ำผิวดินอื่น ๆ) จึงยังคงแสดงสถานภาพของ *น้ำดี* โดยเฉพาะการมีระดับออกซิเจนละลายน้ำที่ค่อนข้างสูงซึ่งยังประโยชน์ได้ทั้งต่อการอุปโภคบริโภคของชุมชนและเป็น *มวลน้ำต้นทุน* ที่จะไหลลงสู่ระบบแม่น้ำหรืออ่างเก็บน้ำ นับเป็นมวลน้ำที่มีบทบาทต่อคุณภาพน้ำของแม่น้ำช่วงแรก ๆ และเชื่อมโยงสู่การเกิดทรัพยากรสัตว์น้ำวัยอ่อนในห่วงโซ่อาหารตามช่วงฤดูกาลต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์เราได้ต่อไป

ในภาพรวมแล้วพบว่าระบบนิเวศน้ำตกในช่วงล่างนี้ทำหน้าที่คล้ายเป็นพื้นที่รองรับตะกอนหรือเก็บกักตะกอนที่เกิดขึ้นจากพื้นที่น้ำตกชั้นที่สูงกว่าซึ่งถูกพัดพาลงมาและตกลงสะสมในบริเวณนั้น ลักษณะดังกล่าวทำให้ระบบนิเวศของน้ำช่วงล่างโดยทั่วไปมีความอุดมสมบูรณ์ของพื้นท้องน้ำสูงและมีบริเวณที่เกิดการสะสมของตะกอน ซากพืช ซากสัตว์ รวมถึงอินทรีย์สาร ต่าง ๆ ได้มากกว่าชั้นบนอย่างชัดเจน

ลำธารส่วนท้ายของระบบนิเวศน้ำตก

ในลำธารน้ำตอนท้ายของระบบนิเวศน้ำตกซึ่งเป็นพื้นที่ราบเชิงเขา บริเวณโดยรอบ ลำธารน้ำมักถูกปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพโดยชุมชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เพื่อการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำในด้านต่าง ๆ โดยทั่วไปเราสามารถพบการก่อสร้างสิ่งกีดขวางทางน้ำ อาทิ ฝายทดน้ำเพื่อการชลประทาน เขื่อนขนาดเล็กเพื่อกักเก็บน้ำ หรือถนนตัดผ่านเส้นทางน้ำเพื่อการคมนาคมขนส่ง สิ่งก่อสร้างโดยเฉพาะลักษณะที่คล้ายทำนบกั้นน้ำนั้นทำให้การไหลของมวลน้ำในลำธารน้ำถูกกั้นขวางและน้ำเคลื่อนตัวช้าลงจนอาจหยุดนิ่ง ซึ่งพบการตกทับถมของตะกอนหรือซากอินทรีย์สารต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นตามมา (**ภาพที่ 2.5**) ซึ่งในระยะยาวทำให้ระบบนิเวศของลำธารน้ำเดิมเปลี่ยนแปลงไปได้

อนึ่ง การมีทำนบกั้นขวางลำธารน้ำทำให้ระบบนิเวศของลำธารน้ำเดิมเปลี่ยนแปลงไป จากระบบน้ำไหลกลายเป็นระบบน้ำนิ่งซึ่งพบการทับถมของซากพืชเน่าเปื่อยได้เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีดินเลนเนื้อละเอียดมาทับถมกันเป็นชั้นที่หนาขึ้นได้เรื่อย ๆ และพบธาตุอาหารในน้ำที่มีระดับสูงกว่าในพื้นที่น้ำไหลในลำธารส่วนต้นทาง ด้วยปัจจัยดังกล่าว เรามักพบการเจริญของสาหร่ายน้ำจืดได้หลายชนิด (อาทิ *Cladophora* ที่มีลักษณะเป็นเมือกลื่น สีเขียวเข้ม) โดยเฉพาะบริเวณที่มีโอกาสรับแสงแดดจัดในเวลากลางวัน รวมทั้งยังสามารถพบพรรณไม้น้ำชายน้ำเจริญ

ขึ้นมาได้อย่างหนาแน่นเนื่องจากการที่บริเวณนี้มีแร่ธาตุอาหารในน้ำและในพื้นดินที่สูง กอปรกับการที่มีความเร็วของน้ำที่ลดต่ำลงมากนั่นเอง

ภาพที่ 2.5 ลักษณะทางภูมิทัศน์ของลำธารน้ำทางตอนล่างสุดของน้ำตกเอราวัณ ก่อนที่จะไหลลงแม่น้ำแคว ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกของเขตอุทยานแห่งชาติเอราวัณ

2.2) ปัจจัยทางนิเวศอุทกวิทยาและการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศน้ำตก

2.2.1) ปัจจัยทางกายภาพของน้ำ

ลักษณะการไหลของน้ำตามธรรมชาติในบริเวณลำห้วยน้ำตกเป็นลักษณะที่เกิดจากการผสมผสานของระบบการไหลทั้งในแนวราบและแนวดิ่งซึ่งผสมผสานกันในรูปแบบที่ไม่แน่นอน โดยหากพื้นท้องน้ำมีลักษณะที่ค่อนข้างเรียบหรือมีสิ่งกีดขวางน้อยมวลของน้ำโดยรวมก็จะเกิดการไหลตามแนวราบในทิศทางจากต้นน้ำไปเรื่อย ๆ โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วตามระดับความลาดชันและองค์ประกอบของพื้นท้องน้ำและปริมาณมวลน้ำต้นทุนเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม พื้นท้องน้ำในบริเวณแต่ละช่วงชั้นของลำห้วยน้ำตกมีลักษณะที่หลากหลาย (อาทิ มีแนวหินกั้นขวาง มีก้อนหินขนาดที่แตกต่างกันกระจายอยู่อย่างระเกะระกะ หรือการเป็นแอ่งลึก) ลักษณะพื้นท้องน้ำดังกล่าวส่งผลให้มวลของน้ำที่ไหลลงมาเกิดการเปลี่ยนทิศทางไปโดยมักเกิดเป็นรูปแบบที่หมุนวน ไม่มีทิศทางชัดเจน พบการเคลื่อนตัวตามแนวขวางมากขึ้นหรือแนวดิ่งมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการฟุ้งของตะกอนขึ้นมาจากพื้นท้องน้ำได้ ลักษณะด้านการไหลของน้ำจัดเป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญต่อองค์ประกอบทาง

กายภาพและทางเคมีของพื้นท้องน้ำ (อาทิ ขนาดอนุภาคของตะกอน ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน) อย่างเห็นได้ชัด

ลักษณะการไหลของน้ำไม่ว่าในรูปแบบใดเกิดจากอิทธิพลจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นที่ ประกอบกับผลจากปริมาณและความเร็วในการไหลของมวลน้ำต้นทุน รวมทั้งมวลน้ำที่มาจากลำห้วยสาขาที่ไหลเข้ามาในช่วงทางต่าง ๆ ซึ่งผลจากในภาพรวมทำให้คุณภาพน้ำที่ปรากฏในแต่ละชั้นของน้ำตกมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ในการศึกษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมในแต่ละชั้นของระบบนิเวศน้ำตกในเบื้องต้นเราจึงควรทำความเข้าใจสถานการณ์ตามธรรมชาติจากลักษณะปรากฏของปัจจัยทางกายภาพดังกล่าว ทั้งนี้ อาศัยความรู้พื้นฐานและแนวทางในการศึกษาติดตามสำหรับปัจจัยสำคัญต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1.1) ปริมาณการไหลของน้ำ

ปริมาณการไหลของน้ำ (Flow) หรือความเร็วของน้ำ (Water velocity) นับเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่เป็นหัวใจของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล ทั้งนี้ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าว ก่อให้เกิดความแตกต่างในโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา อาทิ ความลึก ความลาดชัน และองค์ประกอบทางกายภาพของพื้นท้องน้ำในแต่ละพื้นที่ (Fischer and Harris, 2003) นอกจากนี้ ยังมีบทบาทในทางนิเวศวิทยาที่เกี่ยวข้องในด้านความชุกชุมและการแพร่กระจายทางชนิด รวมทั้งสภาพความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ในแหล่งน้ำไหลประเภทน้ำตกและลำธารต้นน้ำ (Adebisi, 1981; Offen *et al.,* 2008; จารุมาศและคณะ 2553; จารุมาศและคณะ 2554)

มีรายงานการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าอัตราการไหลของน้ำมีบทบาทสำคัญต่อการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนพืชในประเทศเขตร้อน (Silva, 2004) สำหรับในพื้นที่ลำธารน้ำตกซึ่งมักอยู่ภายใต้เขตป่าไม้นั้นพบว่าประชากรสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยในพื้นที่ดังกล่าว ได้รับอิทธิพลจากอัตราการไหลของน้ำ นอกจากนี้ ยังได้รับอิทธิพลจากความเร็วของน้ำและความลึกของน้ำในแต่ละพื้นที่ (Victor and Ogbeibu, 1991; Tumwesigwe *et al*., 2000) อัตราการไหลของน้ำยังมีบทบาทต่อการแพร่กระจายของปลาหลายชนิด (Welcome, 2003) และในการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ของ Offem and Ikpi (2012) ที่ดำเนินการสำรวจระบบนิเวศของน้ำตก Agbokim ประเทศไนจีเรีย ยังแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลและความเร็วของน้ำมีอิทธิพลในเชิงบวกต่อประชากรปลาในครอบครัว Cyprinidae (โดยพบความชุกชุมที่มากขึ้นในบริเวณชั้นน้ำตกที่มีน้ำไหลหมุนเวียนดี) อย่างไรก็ตาม ปัจจัยดังกล่าวทำให้เกิดการตอบสนองในทางลบสำหรับประชาคมของพืชชั้นต่ำที่มีขนาดเล็ก (Chlorophytes) และกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyanophyceae) ตลอดจนประชาคมของแพลงก์ตอนสัตว์โดยเฉพาะในกลุ่มของ Rotifers และ Cladocerans ซึ่งจะลดปริมาณลงในพื้นที่ที่มีอัตราการไหลของน้ำสูง

การศึกษาติดตามอัตราการไหลของน้ำในพื้นที่ลำธารน้ำตกต่าง ๆ สามารถดำเนินการโดยการวัดปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่ภาคตัดขวางในหนึ่งหน่วยเวลา (มักแสดงค่าในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง; m^3/hr)

ในการศึกษาจำเป็นต้องตรวจวัดข้อมูลความเร็วของน้ำ โดยใช้เครื่องมือ Flow meter ณ ตำแหน่งกึ่งกลางความกว้างของลำธารและตำแหน่งตามแนวภาคตัดขวางทางด้านซ้ายและขวาของแนวกึ่งกลางอีกอย่างน้อยด้านละ 1-3 ตำแหน่ง (ดู **ภาพที่ 1.6** *ในบทที่ 1*) ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่เป็นตัวแทนของมวลน้ำอย่างครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของลำธารนั้น ๆ (ซึ่งควรพิจารณาตามความกว้างหรือลักษณะจำเพาะในโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของลำธารมาประกอบ)

อนึ่ง ในการวัดความเร็วของน้ำโดยใช้เครื่องมือ Flow meter นั้น เนื่องจากความเร็วของน้ำได้รับอิทธิพลจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นท้องน้ำร่วมด้วย ดังนั้น ตำแหน่งในการวัดที่เหมาะสม จึงกำหนดให้วัดที่ ณ ระดับความลึกน้ำประมาณ 1 ใน 3 ของความลึกสูงสุดที่พบในแต่ละตำแหน่ง ระดับดังกล่าวจะให้ค่าความเร็วของน้ำที่ใกล้เคียงกับ *ค่าเฉลี่ย* ของความเร็วน้ำได้มากที่สุด (Hauer and Lamberti, 1996) ส่วนการประเมินขนาดของพื้นที่ (Area) ตามแนวภาคตัดขวางของลำธารน้ำ ดำเนินการโดยการวัดความกว้างและความลึกของ ลำธารในส่วนย่อยต่าง ๆ ในตลอดแนวภาคตัดขวางที่กำหนด ซึ่งระยะห่างในการวัดแต่ละตำแหน่ง ควรพิจารณาตามความกว้างของลำธารเป็นหลัก โดยอย่างน้อยควรวัดทุก ๆ ระยะ 1-2 เมตร ตลอดแนวภาคตัดขวางของลำธาร ทั้งนี้ เพื่อข้อมูลที่ละเอียดและสามารถนำมาคำนวณอัตราการไหลรวมของมวลน้ำต่อเวลา (Q) ได้ตามสมการ

$$Q = \sum_{i=1}^{n} A_i V_i$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหลรวมของน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) A_i คือ พื้นที่หน้าตัดย่อย (ตารางเมตร) และ V_i คือ ความเร็วของน้ำ (เมตรต่อชั่วโมง) ที่ไหลผ่านหน้าตัดย่อย i โดยที่

$$A_i = W_i \times (D_i + D_{i+1})/2$$

โดยที่ W_i คือ ความกว้าง (เมตร) ของช่วงพื้นที่หน้าตัดย่อย D_i และ D_{i+1} คือ ความลึก (เมตร) ของพื้นที่หน้าตัดที่ตำแหน่งแรกและตำแหน่งถัดไป ตามลำดับ และ

$$V_i = (v_i + v_{i+1})/2$$

โดยที่ v_i และ v_{i+1} คือ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านตำแหน่งแรกและตำแหน่งถัดไป (เมตรต่อชั่วโมง) ตามลำดับ

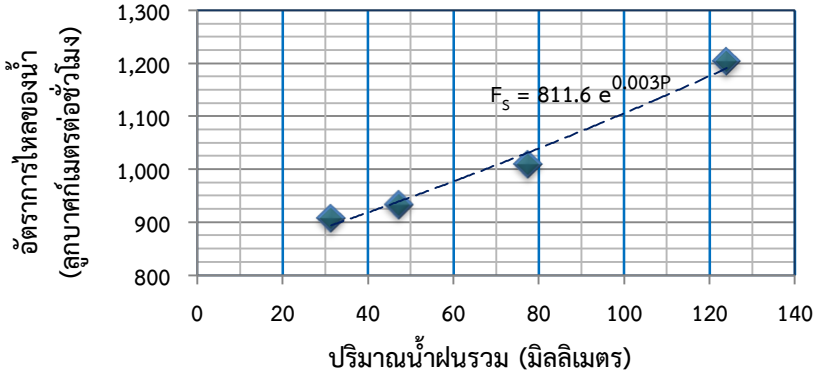
จากรายงานการศึกษาทางอุทกวิทยาของระบบนิเวศน้ำตก โดยทั่วไปจะพบว่าน้ำตกที่อยู่ในช่วงชั้นบนมักจะมีอัตราการไหลของน้ำต่ำกว่าน้ำตกในช่วงชั้นล่าง (Chester *et al.*, 1999; Fischer and Harris, 2003) ทั้งนี้ เนื่องจากการมีพื้นที่ภาตตัดขวางขนาดเล็กกว่าโดยมีพื้นที่ในลักษณะเป็นช่องทางน้ำแคบ ๆ ในแบบของการเป็น *ต้นน้ำ* ที่แคบกว่าในช่วงชั้นล่างนั่นเอง สำหรับในพื้นที่น้ำตกของประเทศไทย มีรายงานการศึกษาด้านอัตราการไหลของน้ำอยู่น้อยมาก จารุมาศและคณะ (2554) ได้ศึกษาอัตราการไหลของน้ำในพื้นที่น้ำตกเอราวัณเปรียบเทียบในแต่ละช่วงชั้น ซึ่งพบว่าชั้นบนสุดของน้ำตก (ชั้นที่ 7) นับเป็นชั้นที่มีอัตราการไหลของน้ำต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นอื่น ๆ โดยมีค่าของอัตราการไหลของน้ำในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 อยู่ในช่วง

150-220 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขณะที่ในน้ำตกชั้นถัดลงไป อาทิ ชั้นที่ 5 พบอัตราการไหลของน้ำสูงขึ้นกว่าในชั้นบนสุด มีค่าอยู่ในช่วง 160-570 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ ยังพบว่าอัตราการไหลของน้ำมีค่าเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยมีค่ามากขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงกลางฤดูฝนถึงปลายฤดูฝน

สำหรับในพื้นที่น้ำตกชั้นล่างซึ่งเปิดโล่งขึ้น มักมีลักษณะเป็นแอ่งรับน้ำซึ่งรวมน้ำมาจากแหล่งน้ำด้านบน พบลักษณะเด่นของข้อมูลอัตราการไหลของน้ำผ่านพื้นที่หน้าตัด คือ การที่อัตราดังกล่าวมีค่าสูงที่สุดในช่วงต้นฤดูฝน และมีค่าน้อยลงในช่วงกลางถึงช่วงปลายฤดูฝน สภาวะในการแปรผันของอัตราดังกล่าว จารุมาศ และคณะ (2554) ได้วิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลด้านปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่และพบว่าอัตราการไหลของน้ำในพื้นที่น้ำตกชั้นล่างสุดนั้น มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำฝนรวมที่ตกในรายเดือน (**ภาพที่ 2.6**) ดังความสัมพันธ์ในรูปแบบ Exponential function;

$$F_s = 811.6\, e^{0.003P} \quad (R^2 = 0.98)$$

โดยที่ F_s คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านพื้นที่ตัดขวาง (Flow across section; มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) และ P คือ ปริมาณน้ำฝนรวม (Total precipitation; มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร) ในเดือนที่ทำการสำรวจ



ภาพที่ 2.6 เส้นแนวโน้มแสดงบทบาทของปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน (มิลลิเมตร) ที่มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำผ่านพื้นที่ภาคตัดขวาง (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) ในบริเวณน้ำตกเอราวัณชั้นที่ 1 *(ปรับปรุงจาก: จารุมาศและคณะ 2554)*

ความสัมพันธ์ข้างต้นสะท้อนให้เห็นว่าน้ำตกในช่วงชั้นล่างเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการบ่าของมวลน้ำที่ไหลลงมาจากพื้นที่ป่าโดยรอบหลังจากฝนตก ซึ่งมวลน้ำดังกล่าวมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างไปจากมวลน้ำที่ไหลลงมาตามลำดับของลำธารน้ำตกจากช่วงชั้นบน ด้วยเหตุนี้พื้นที่น้ำตกในช่วงชั้นล่างจึงมักมีคุณภาพน้ำที่แตกต่างไปจากชั้นอื่น ๆ ทางตอนบน รวมทั้งมีโอกาสเปลี่ยนแปลง

ในลักษณะของคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำได้สูงตามสภาวะความปรวนแปรทางภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในรอบปี

ในพื้นที่รับน้ำชั้นล่างลงไปจากน้ำตกช่วงชั้นนี้อาจมีอัตราการไหลของน้ำที่เปลี่ยนแปลงน้อยลงหรือไม่มีทิศทางที่ชัดเจน ทั้งนี้ เนื่องจากลำธารได้ไหลเข้าสู่พื้นที่ราบมากขึ้น และเกิดการแตกเป็นสาขาย่อยออกไปและมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะทางสัณฐานวิทยาไปตามพื้นที่ทางธรรมชาติโดยรอบ นอกจากนี้ ตัวลำธารน้ำอาจถูกเปลี่ยนสภาพไปเพื่อการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ อาทิ การจัดทำฝายชะลอน้ำ ซึ่งจะทำให้น้ำมีอัตราไหลลดต่ำลงและมีคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำรวมทั้งทรัพยากรชีวภาพทางน้ำที่ปรับเปลี่ยนไปได้เรื่อย ๆ ตามระยะทาง

อนึ่ง การศึกษาด้านอัตราการไหลของน้ำในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณที่น่าสนใจประเด็นหนึ่ง คือ การพบว่าน้ำตกเอราวัณชั้นบนสุดมีศักยภาพในการรักษาระดับอัตราการไหลของน้ำที่มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันไม่ว่าจะอยู่ในช่วงฤดูกาลใดของรอบปี (จารุมาศและคณะ 2554) ลักษณะความมีเสถียรภาพใน*มวลน้ำต้นทุน*ดังกล่าวนี้สะท้อนให้เราทราบถึงความเป็นผืนป่าแหล่งต้นน้ำลำธารที่ชุ่มชื่นและอุดมสมบูรณ์ ซึ่งส่งผลให้เกิดมวลน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ประเด็นนี้นับเป็นตัวอย่างที่ดีในด้านผลของมาตราการอนุรักษ์ดูแลผืนป่าต้นน้ำที่มีประสิทธิผล ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำตามเส้นทางของน้ำตกสู่ระบบแม่น้ำซึ่งสร้างคุณค่าและยังประโยชน์สู่ชุมชนท้ายน้ำได้อย่างมากมาย

2.2.1.2) อุณหภูมิของน้ำ

ในระบบนิเวศของแหล่งน้ำโดยทั่วไปอุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยพื้นฐานทางกายภาพที่มีบทบาทต่อกระบวนการทางชีวเคมี (อาทิ อัตราการผลิตอินทรีย์สารของสาหร่ายบริเวณพื้นท้องน้ำ อัตราการย่อยสลายของแบคทีเรีย) และเกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ อุณหภูมิของน้ำมักได้รับความสนใจเนื่องจากสามารถสะท้อนสภาวะความอุดมสมบูรณ์หรือผลผลิตของแหล่งน้ำที่คนเราสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ส่วนปัจจัยทางเคมีในน้ำ อาทิ ค่าของออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณแร่ธาตุอาหารในน้ำ นับเป็นปัจจัยแวดล้อมร่วมที่สามารถใช้สะท้อนสถานการณ์มลภาวะหรือบ่งบอกโอกาสในการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำได้เช่นกัน

สำหรับในระบบนิเวศน้ำตกโดยทั่วไปพบว่าอุณหภูมิของน้ำมีระดับที่ต่ำกว่าในแหล่งน้ำผิวดินประเภทอื่น ทั้งนี้ เนื่องจากอิทธิพลของทำเลที่ตั้งซึ่งมักอยู่ในที่สูงแนวเทือกเขาหรืออยู่ในพื้นที่ป่าไม้ที่ชุ่มชื้นและอุดมสมบูรณ์ อุณหภูมิของน้ำตกในเขตภาคตะวันตกของประเทศไทยมีระดับเฉลี่ยที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิของน้ำตกมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศในพื้นที่เดียวกันและเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปีค่อนข้างน้อย ยกตัวอย่างในพื้นที่น้ำตกเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี (**ตารางที่ 2.1**) พบว่าอุณหภูมิของน้ำตกที่ชั้น 7 ในช่วงฤดูร้อน (เดือนพฤษภาคม) มีค่าสูงกว่าช่วงฤดูฝน (เดือนสิงหาคม) เพียงประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปีสำหรับอุณหภูมิในแต่ละชั้นของน้ำตกสะท้อนให้เห็นการผันแปรตามเวลาอยู่เล็กน้อย โดยพบว่าระดับเฉลี่ยของอุณหภูมิสำหรับแต่ละพื้นที่หรือแต่ละชั้นของน้ำตกมีความแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ น้ำตกช่วงบนมักมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของน้ำที่ต่ำ

กว่าน้ำตกในช่วงล่าง นอกจากนี้ อุณหภูมิของน้ำตกช่วงบนยังมีการแปรผันตามเวลาในรอบปีน้อยกว่าน้ำตกช่วงล่าง ซึ่งอุณหภูมิที่ต่างกันไปนั้นเกิดจากอิทธิพลของลักษณะทางธรรมชาติโดยรอบอาทิ ความหนาแน่นของป่าไม้โดยรอบ และโอกาสการรับแสงแดดที่ตกกระทบแหล่งน้ำตกในแต่ละบริเวณนั้น

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบลักษณะของปัจจัยคุณภาพน้ำของพื้นที่น้ำตกตามช่วงเวลา ในช่วงต้นฤดูร้อน (เดือนพฤษภาคม) และกลางฤดูฝน (เดือนสิงหาคม) ปี พ.ศ. 2552 *(ที่มา: ปรับปรุงจาก จารุมาศและคณะ 2552)*

บริเวณที่สำรวจ	อุณหภูมิของน้ำ (°C)		ความเป็นกรด-เบสของน้ำ		ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)		แอมโมเนียม (μM)	
	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
[1]น้ำตกป่าละอู *ชั้น 1*	26.2	25.6	7.96	8.51	10.23	10.16	*nd*	0.78
[2]น้ำตกเอราวัณ *ชั้น 7*	24.7	24.5	9.14	8.22	9.13	7.86	*nd*	0.78
[2]น้ำตกเอราวัณ *ชั้น 1*	25.5	25.1	9.08	8.27	9.30	9.12	*nd*	13.96
[3]น้ำตกไทรโยค *ถ้ำวังบาดาล*	23.5	23.6	9.16	8.56	7.63	7.68	1.69	1.55

(nd = non-detected level)

หมายเหตุ [1]อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี, [2]อุทยานแห่งชาติเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี, และ [3]อุทยานแห่งชาติไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิของน้ำตามฤดูกาลยังมีความแตกต่างกันไปสำหรับแต่ละชั้นของน้ำตก ซึ่งโดยส่วนใหญ่พื้นที่น้ำตกช่วงบนสุดหรือช่วงชั้นแรกจะมีที่มาของน้ำจากแหล่งน้ำใต้ชั้นผิวดินที่อิ่มตัวไหลซึมออกมา น้ำจึงมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศและมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดปี อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่น้ำตกช่วงล่างที่มักมีโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาที่ความลาดชันน้อยกว่า เป็นพื้นที่เปิดโล่งรับแสงแดดได้มากกว่าน้ำตกช่วงบน และมวลน้ำไหลแผ่กระจายออกตามแนวราบมากขึ้น ลักษณะดังกล่าวทำให้อุณหภูมิของน้ำในพื้นที่น้ำตกช่วงล่างมักมีค่าที่สูงขึ้นในช่วงฤดูร้อน (มากกว่าระดับเฉลี่ยประมาณ 1-1.5 องศาเซลเซียส)

ผลการติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิของชั้นน้ำตกต่าง ๆ ในรอบหลายปีต่อเนื่องกัน (จารุมาศและคณะ 2554) ยังสะท้อนภาพของการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิน้ำว่าได้รับอิทธิพลจากอัตราการไหลของน้ำ โดยพื้นที่ที่มีอัตราไหลสูงและแทบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะส่งผลให้ระดับของอุณหภูมิน้ำมีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนพื้นที่ที่มีอัตราไหลต่ำและมีค่าลดลงในช่วงฤดูแล้งอย่างชัดเจนนั้น ระดับของอุณหภูมิน้ำก็จะแปรปรวนสูงและมักมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วง ฤดูร้อนได้อย่างชัดเจน

2.2.2) ปัจจัยทางเคมีของน้ำ

2.2.2.1) การนำไฟฟ้าของน้ำ

ปัจจัยด้านการนำไฟฟ้าของน้ำในระบบนิเวศน้ำตกสะท้อนถึงปริมาณการมีอนุภาคที่สามารถนำไฟฟ้าได้ (โดยเฉพาะจากการแตกตัวของเกลืออนินทรีย์ชนิดต่าง ๆ) ละลายปนอยู่ในมวลน้ำ นอกจากนี้ เป็นปัจจัยที่แปรผันตามระดับของอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ ระดับการนำไฟฟ้าที่พบยังได้รับอิทธิพลจากโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่น้ำตกแต่ละแห่ง ในรายงานการศึกษาที่ผ่านมา (วิบูลย์ 2539; จารุมาศและคณะ 2554) พบค่าการนำไฟฟ้าใน ลำห้วยน้ำตกของประเทศไทยที่ระดับประมาณ 200-500 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (μS/cm) โดยพื้นที่น้ำตกที่มีค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูง คือ น้ำตกเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี (พบค่าสูงสุดในช่วงปลายฤดูฝน เท่ากับ 580 μS/cm) ค่าดังกล่าวสูงกว่าระดับที่พบในพื้นที่แม่น้ำส่วนใหญ่ (150-300 μS/cm) อย่างไรก็ตาม ยังมีระดับที่ต่ำกว่าในพื้นที่ปากแม่น้ำซึ่งสามารถพบค่าสูงมากกว่า 10,000 μS/cm เนื่องจากอิทธิพลของแร่ธาตุจำนวนมากที่ละลายปนอยู่ในน้ำจากอิทธิพลของเขตทะเล

ในแต่ละช่วงชั้นของน้ำตกแห่งหนึ่ง ๆ สามารถพบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่มีความแตกต่างกันไปมากกว่า 100 μS/cm นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำตกชั้นล่างลงไปมักแสดงแนวโน้มของการลดลงในค่าการนำไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม สำหรับแหล่งน้ำตกในชั้นเดียวกัน ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือตามฤดูกาลค่อนข้างน้อย โดยแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือตามฤดูกาลนี้ได้รับอิทธิพลจากอัตราการไหลของน้ำที่เปลี่ยนไป การเพิ่มขึ้นในอัตราการไหลของน้ำจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของแหล่งน้ำตกต่ำลงได้โดยเฉพาะในช่วงปลายฤดูฝน ทั้งนี้ เนื่องจากการเจือจางโดยมวลน้ำใหม่และการผสมผสานกับซากพืชซากอินทรีย์สารต่าง ๆ (ที่ไม่นำไฟฟ้า) ซึ่งถูกชะล้างลงมาจากผืนป่าโดยรอบแหล่งน้ำตกในช่วงฤดูฝน

ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในแต่ละชั้นของน้ำตกยังมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบหลายปีค่อนข้างน้อย ข้อมูลการศึกษาที่มีแสดงให้เห็นว่าในระยะประมาณ 2-3 ปีที่ต่อเนื่องกันนั้นค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตกแต่ละชั้นในช่วงฤดูกาลเดียวกันมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ±50 μS/cm ซึ่งภาพรวมแสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยคุณภาพน้ำอื่น ๆ ปัจจัยด้านการนำไฟฟ้าของน้ำในพื้นที่น้ำตกจัดเป็นปัจจัยที่มีเสถียรภาพสูงจึงมักไม่มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงของประชาคมสิ่งมีชีวิตภายในระบบนิเวศน้ำตกนั้น

2.2.2.2) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่น้ำตกโดยทั่วไป มีค่าอยู่ในระดับสูงในช่วงประมาณ 7-9 mg/L โดยมีค่าสูงได้ถึงระดับจุดอิ่มตัวของการละลายของออกซิเจนจากอากาศ (ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของอุณหภูมิน้ำ ณ เวลานั้น) ค่าที่สูงดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากรูปแบบการไหลของมวลน้ำในระบบนิเวศน้ำตกซึ่งน้ำมักเกิดการกระจายตัวออกเป็นฝอยและสัมผัสกับอากาศได้มาก ประกอบกับการที่น้ำมีความเร็วค่อนข้างสูง ไหลเวียนดีและเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลา โดยในช่วงต้นฤดูฝนถึงกลางฤดูฝน

ซึ่งเป็นระยะที่มีมวลน้ำในระบบนิเวศน้ำตกมีมากขึ้นเรื่อย ๆ และอัตราการไหลของน้ำมักเพิ่มขึ้นตามไปด้วยนั้นจะพบค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่น้ำตกสูงได้ถึงประมาณ 10 mg/L (จารุมาศและคณะ 2554; **ตารางที่ 2.1**)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่พบในระบบนิเวศน้ำตกแต่ละแห่งเป็นผลสุทธิจากกระบวนการโดยรวมทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพที่มาเกี่ยวข้อง (อาทิ อุณหภูมิของอากาศ ปริมาณน้ำฝน อัตราการไหลของน้ำ ปริมาณอินทรีย์สาร และปริมาณสาหร่ายในน้ำ) ด้วยเหตุดังกล่าวเราจึงมักไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับปัจจัยจำเพาะใด ๆ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่พบสูงขึ้นในพื้นที่น้ำตกบางช่วงชั้นอาจเป็นอิทธิพลของสาหร่ายน้ำจืดที่เจริญขึ้นมาอย่างหนาแน่นบนผิวก้อนหินหรือบริเวณพื้นท้องน้ำ (**ภาพที่ 2.7**) สาหร่ายเหล่านั้นสามารถทำการสังเคราะห์ด้วยแสงและผลิตออกซิเจนสู่ออกมวลน้ำในระบบนิเวศน้ำตกได้อย่างต่อเนื่อง

ภาพที่ 2.7 ลักษณะสาหร่ายในพื้นที่ลำห้วยน้ำตกซึ่งมีบทบาทในการเพิ่มปริมาณของออกซิเจนละลายน้ำภายในระบบนิเวศน้ำตกได้

ในระบบนิเวศน้ำตกแห่งหนึ่ง ๆ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่พบในแต่ละช่วงชั้นน้ำตกมีความแตกต่างกันไปได้เล็กน้อย ซึ่งเกิดจากอิทธิพลจากทั้งลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยา อัตราไหลของน้ำและปริมาณผู้ผลิตขั้นต้น (สาหร่ายหรือพรรณไม้น้ำ) ที่มีในน้ำของแต่ละช่วงชั้น อย่างไรก็ตามความแตกต่างที่พบมักมีค่าไม่เกิน ± 1 mg/L (**ตารางที่ 2.1**) ทั้งนี้ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำภายในแต่ละช่วงชั้นน้ำตกอาจมีการผันแปรตามเวลาได้เล็กน้อย

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลในภาพรวมยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในระบบนิเวศน้ำตกนี้นับเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีเสถียรภาพสูงและมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาน้อย โดยมีระดับทั่วไปที่สูงถึงค่าประมาณในจุดอิ่มตัวของการละลายจากอากาศ ซึ่งนับเป็นระดับที่ไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อการเจริญพันธุ์หรือความเป็นอยู่ของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

2.2.2.3) ความเป็นกรด-เบสของน้ำ

ความเป็นกรด-เบสของน้ำในระบบนิเวศน้ำตกเป็นปัจจัยที่ได้รับอิทธิพลอย่างชัดเจนจากโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ ยกตัวอย่างเช่นในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี แหล่งน้ำในแต่ละชั้นน้ำตกจะมีค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำที่ค่อนข้างสูงอยู่เสมอ

(ประมาณ 8.0-8.5) ทั้งนี้ เนื่องจากบริเวณชั้นน้ำตกประกอบด้วยโครงสร้างของหินปูน ($CaCO_3$) เป็นหลัก (**ภาพที่ 2.8**) ในขณะที่ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกป่าละอู จังหวัดเพชรบุรี โครงสร้างของน้ำตกส่วนใหญ่เป็นหินอัคนีและหินแกรนิต คุณภาพน้ำในแต่ละชั้นของน้ำตกป่าละอูจึงมีค่าความเป็นกรด-เบสที่ต่ำกว่าพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณ โดยมีค่าในระดับปานกลางที่ประมาณ 7-7.5 เท่านั้น (จารุมาศและคณะ 2552)

อิทธิพลจากลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ดังกล่าวยังมีบทบาททำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำในระบบนิเวศน้ำตกแต่ละแห่งมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลน้อยมากถึงแม้ว่าจะเป็นช่วงฤดูฝนซึ่งได้รับปัจจัยด้านปริมาณน้ำและอัตราการไหลที่มากขึ้น (รวมทั้งการพัดพาลงมาของตะกอนอินทรีย์ต่าง ๆ จากบริเวณโดยรอบ) อย่างไรก็ตาม ด้วยการที่ระบบนิเวศน้ำตกมีมวลน้ำต้นทุนที่ไหลลงมาในสัดส่วนที่มากกว่าปริมาณน้ำที่เพิ่มโดยฝน ค่าความเป็นกรด-เบสของพื้นที่น้ำตกโดยทั่วไปจึงค่อนข้างคงตัวหรือผันแปรจากเดิมไม่เกินประมาณ $\pm$0.5 เท่านั้น (จารุมาศ และคณะ 2552)

ภาพที่ 2.8 โครงสร้างทางธรณีวิทยาของชั้นน้ำตก ในอุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีหินปูน ($CaCO_3$) เป็นองค์ประกอบหลัก (ภาพซ้าย) เปรียบเทียบกับโครงสร้างที่เป็นหินอัคนี (ภาพขวา) ในอุทยานแห่งชาติน้ำตกป่าละอู จังหวัดเพชรบุรี

เมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงชั้นของน้ำตกบางแห่งจะพบว่าค่าความเป็นกรด-เบสมีความแตกต่างกันได้เล็กน้อยจากอิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีของหินและผืนดิน รวมทั้งโอกาสการกัดเซาะและพัดพาในบริเวณโดยรอบของน้ำตกแต่ละช่วงชั้นที่อาจมีมากน้อยแตกต่างกันไป ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบโอกาสการเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือตามฤดูกาลในแต่ละช่วงชั้นของน้ำตกจะพบว่า

น้ำตกช่วงบนมักสะท้อนภาพของการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสตามฤดูกาลที่น้อยกว่าน้ำตกช่วงล่าง ทั้งนี้ เกิดจากอิทธิพลของมวลน้ำต้นทุนที่มีเสถียรภาพของคุณภาพน้ำที่มากกว่านั่นเอง

สำหรับในน้ำตกช่วงล่างสุดจนถึงพื้นที่ส่วนที่เป็นลำธารสาขาที่ไหลลงไปรวมกันในตอนล่างนั้นสามารถพบการเปลี่ยนแปลงในค่าความเป็นกรด-เบสตามฤดูกาลได้มากขึ้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากอิทธิพลของมวลน้ำที่มาจากหลายแหล่งซึ่งไหลรวมมาจากลำห้วยในระดับที่สูงกว่า ประกอบกับการกัดเซาะจากพื้นที่โดยรอบซึ่งมีการสะสมของซากพืชซากสัตว์ที่แตกต่างกันไป ซึ่งโดยรวมแล้วลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำตกแต่ละช่วงชั้นที่ได้กล่าวมาจะพบได้เพียงในช่วงกลางฤดูฝนหรือช่วงที่มีปริมาณการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเท่านั้น

2.2.2.4) แร่ธาตุอาหารในน้ำ

จากข้อมูลการศึกษาวิจัยในแหล่งน้ำตกตามเขตภูมิภาคต่าง ๆ พบคุณภาพน้ำที่ดีโดยมีระดับของแร่ธาตุอาหารในรูปของฟอสเฟทที่ต่ำมาก (โดยเฉลี่ยต่ำกว่า 0.1 μM) อย่างไรก็ตาม พบระดับของซิลิเกทที่ค่อนข้างสูง (โดยเฉลี่ยมากกว่า 70 μM) ส่วนแร่ธาตุอาหารในรูปของไนโตรเจนจะแสดงความแปรผันสูง ซึ่งในแต่ละพื้นที่อาจมีค่าที่แตกต่างกันมากกว่า 10 เท่า ทั้งนี้ เราพบว่าในระบบนิเวศน้ำตกบริเวณ*ช่วงกลาง*และ*ช่วงล่าง*มักมีค่าของไนไตร์ทไนเตรท-ไนโตรเจนในปริมาณที่มากกว่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (**ตารางที่ 2.2**) ส่วนระบบนิเวศน้ำตกบริเวณ*ช่วงบน*มักมีค่าของแอมโมเนียม-ไนโตรเจนที่สูงกว่า ซึ่งเป็นอิทธิพลของระบบน้ำซับจากผืนดินในเขตป่าเขาที่เป็นแหล่งที่มาที่สำคัญของมวลน้ำต้นทุนในระบบนิเวศน้ำตกแต่ละแห่งนั้น (จารุมาศและคณะ 2554)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณแร่ธาตุอาหารในน้ำ (ไมโครโมลาร์; μM) ที่พบในพื้นที่น้ำตกทางภาคเหนือ (จังหวัดแม่ฮ่องสอน[1]) และภาคตะวันตก (จังหวัดกาญจนบุรี[2-3] และเพชรบุรี[4]) ของประเทศไทย

บริเวณที่สำรวจ	แอมโมเนียม (μM)	ไนไตร์ทไนเตรท (μM)	ซิลิเกท (μM)	ฟอสเฟต (μM)	ช่วงเวลาที่ศึกษา
[(1)] น้ำตกโอโละโกร	*nd*	10.91	108.40	0.03	มีนาคม 2548
[(2)] น้ำตกไทรโยค	*nd*	21.98	70.91	*nd*	พฤษภาคม 2552
[(3)] น้ำตกเอราวัณ *ชั้น 7*	*nd*	3.54	67.50	*nd*	พฤษภาคม 2552
[(3)] น้ำตกเอราวัณ *ชั้น 1*	*nd*	4.15	81.17	*nd*	พฤษภาคม 2552
[(4)] น้ำตกทอทิพย์ *ชั้น 5*	*nd*	4.31	77.71	0.12	พฤษภาคม 2549
[(4)] น้ำตกป่าละอู *ชั้น 1*	1.69	29.30	82.02	*nd*	พฤษภาคม 2552

(nd = non-detected level)

หมายเหตุ [(1)]อุทยานแห่งชาติแม่เงา จังหวัดแม่ฮ่องสอน, [(2)]อุทยานแห่งชาติไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี, [(3)]อุทยานแห่งชาติเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี และ [(4)]อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

ความรู้ความเข้าใจในระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในมวลน้ำของพื้นที่น้ำตกต่าง ๆ นับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญหนึ่งในการประเมินสถานภาพและลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลหรือตามอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกที่มีต่อระบบนิเวศน้ำตกได้ ระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารในมวลน้ำมีความเกี่ยวข้องกับวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงทั้งในกระบวนการผลิตและกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ซึ่งระดับที่พบนอกจากสะท้อนถึงความอุดมสมบูรณ์พื้นฐานของชั้นน้ำตกที่ก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของผู้ผลิตขั้นต้น (อาทิ สาหร่ายน้ำจืดและพรรณไม้น้ำชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่) และเกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ของทรัพยากรมีชีวิตภายในระบบนิเวศแล้ว ยังแสดงถึงอิทธิพลของระบบนิเวศป่าไม้และลักษณะการใช้ที่ดินโดยรอบซึ่งมีบทบาทต่อระดับของแร่ธาตุอาหาร (โดยเฉพาะในกลุ่มไนโตรเจน) ที่ถูกพัดพาเข้ามาสู่ระบบลำห้วยน้ำตกได้ด้วย ความรู้พื้นฐานที่สำคัญในด้านแร่ธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในมวลน้ำของพื้นที่น้ำตก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แร่ธาตุอาหารในกลุ่มไนโตรเจน

ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารละลายในน้ำ อาทิ แอมโมเนียม ไนไตรท์ และไนเตรท เป็นที่ยอมรับกันว่ามีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ สารละลายของไนโตรเจนทั้งสามรูปนี้มีการเปลี่ยนแปลงไปมาได้โดยแปรผันไปตามสภาวะของออกซิเจนละลายน้ำที่มีอยู่ หรือตามกิจกรรมของจุลินทรีย์ในน้ำที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน (Nitrification-denitrification) รวมทั้งตามอิทธิพลของผู้ผลิตขั้นต้นที่นำสารละลายเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและนำมาซึ่งการผลิตสารอินทรีย์ในระบบแหล่งน้ำนั้น ๆ

แอมโมเนียม ในระบบนิเวศน้ำตกส่วนใหญ่มีที่มาจากการย่อยสลายของซากอินทรีย์สาร ใบไม้ กิ่งไม้ หรือซากสัตว์ต่าง ๆ ที่ทับถมภายใต้ระบบนิเวศป่าไม้ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของมวลน้ำต้นทุนนั้น แอมโมเนียมที่ถูกพัดพาลงมาพร้อมกับมวลน้ำต้นทุนในช่วงแรกอาจมีการเติมเพิ่มได้ตามระยะทางของน้ำตกในช่วงชั้นต่าง ๆ (โดยเฉพาะจากบริเวณที่มีการสะสมของซากอินทรีย์สารและมีกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้มาก) ด้วยเหตุดังกล่าวการเปลี่ยนแปลงระดับของแอมโมเนียมในระบบนิเวศน้ำตกจึงมักมีทิศทางที่ไม่แน่นอน แต่โดยส่วนใหญ่เราพบว่าน้ำตก*ช่วงบน*มีการแปรผันของความเข้มข้นแอมโมเนียมตามฤดูกาลได้น้อยกว่าในพื้นที่น้ำตก*ช่วงกลาง*หรือ*ช่วงล่าง* (**ตารางที่ 2.2**) อนึ่ง ในกรณีศึกษาระดับของแอมโมเนียมของพื้นที่น้ำตกเอราวัณเปรียบเทียบในชั้น 7 และชั้น 1 พบว่าในทั้งสองชั้นมีแอมโมเนียมในน้ำที่เพิ่มระดับสูงกว่าปกติในช่วงกลางฤดูฝน (เดือนสิงหาคม) โดยค่าดังกล่าวจะค่อย ๆ ลดลงสู่ระดับเฉลี่ยเดิมในช่วงปลายฤดูฝนเป็นต้นไป (จารุมาศ และคณะ 2552) ลักษณะเช่นนี้น่าจะเกิดจากการที่มวลน้ำในช่วงกลางฤดูฝนมีแหล่งที่มาของแอมโมเนียมที่หลากหลายมากขึ้นนั่นเอง

ไนไตรท์และไนเตรท เป็นแร่ธาตุอาหารที่มีความเกี่ยวข้องกับแอมโมเนียมและเกิดจากกระบวนการย่อยสลายของซากอินทรีย์สารซึ่งมีกระบวนการออกซิเดชันที่ต่อเนื่องไปตามลำดับ ในพื้นที่น้ำตกส่วนใหญ่เราพบว่าค่าความเข้มข้นของไนไตรท์ไนเตรทที่ค่อนข้างสูง (และมีการ

เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่น้อยกว่าแอมโมเนียม) นอกจากนี้ ระดับของไนไตรท์ไนเตรทที่พบมักมีค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้นในพื้นที่น้ำตกช่วงล่างลงไป และยังมักมีค่าที่สูงขึ้นในช่วงกลางถึงปลายฤดูฝนอีกด้วย

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระดับของแอมโมเนียม-ไนโตรเจนและไนไตรท์ไนเตรท-ไนโตรเจนข้างต้นแสดงให้ถึงอิทธิพลจากธรรมชาติที่มีต่อความผันแปรในระดับแร่ธาตุอาหารภายในมวลน้ำ ลักษณะจำเพาะดังกล่าวนี้นับเป็นเรื่องที่นักนิเวศวิทยาหรือผู้ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในพื้นที่น้ำตกแต่ละแห่งควรให้ความสนใจศึกษาติดตาม ทั้งนี้ เพื่อความไม่ผิดพลาดในการพิจารณาข้อมูลเชิงเปรียบเทียบถึงผลกระทบที่อาจเกิดจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่จะมีต่อคุณภาพน้ำของพื้นที่น้ำตกได้อย่างรัดกุมและถูกต้องตามความเป็นจริงได้ต่อไป

แร่ธาตุอาหารในกลุ่มซิลิคอน

ซิลิเกท-ซิลิคอนจัดเป็นแร่ธาตุอาหารที่มาจากการชะล้างหรือการกัดเซาะในโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่น้ำตก จัดเป็นแร่ธาตุอาหารที่สำคัญในระบบนิเวศทางน้ำเนื่องจากความจำเป็นต่อการนำไปใช้เป็นองค์ประกอบโครงสร้างเซลล์ของผู้ผลิตขั้นต้นโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มไดอะตอม (Division Bacillariophyta) แร่ธาตุอาหารพืชในรูปซิลิเกท-ซิลิคอนที่พบในแหล่งน้ำยังสะท้อนสภาวการณ์ด้านผลกระทบจากการตัดไม้ทำลายป่า ทั้งนี้ เนื่องจากซิลิเกท-ซิลิคอนเป็นองค์ประกอบของหิน ทราย และกรวดต่าง ๆ ซึ่งหากพื้นที่โดยรอบระบบแหล่งน้ำขาดพรรณไม้ปกคลุมหน้าดินอย่างเพียงพอแล้ว เมื่อการเกิดสภาพน้ำท่วมหลากหรือเกิดการกัดเซาะโดยฝนที่ตกอย่างรุนแรงก็จะผืนดินถูกชะล้างและพื้นที่รับน้ำโดยรวมก็จะมีระดับความเข้มข้นของซิลิเกท-ซิลิคอนเพิ่มสูงขึ้นได้อย่างชัดเจน

ในระบบนิเวศน้ำตกส่วนใหญ่มีระดับความเข้มข้นของซิลิเกท-ซิลิคอนที่แปรปรวนสูง (**ตารางที่ 2.2**) และพบว่าอาจมีแนวโน้มที่จะสูงเพิ่มขึ้นได้ในช่วงกลางฤดูฝน (เดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม) อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงในระดับดังกล่าวพบได้ในพื้นที่น้ำตกช่วงบนมากกว่าช่วงล่าง ทั้งนี้ อาจเกิดจากอิทธิพลด้านความลาดชันของพื้นที่ประกอบกับลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาในแต่ละช่วงชั้นที่มวลน้ำได้ไหลผ่านลงไป

แร่ธาตุอาหารในกลุ่มฟอสฟอรัส

ในการศึกษาติดตามสถานภาพของแหล่งน้ำไหลรวมทั้งระบบนิเวศของพื้นที่ป่าไม้ การหมุนเวียนของฟอสฟอรัสนับเป็นประเด็นที่สำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถใช้อธิบายสภาวะความอุดมสมบูรณ์ ตลอดจนศักยภาพการหมุนเวียนหรือการถ่ายเทมวลสารภายใต้ปัจจัยร่วมทางอุทกวิทยาและนิเวศวิทยา ซึ่งเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศแหล่งน้ำนั้น

ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (Orthophosphate-P) หรือเรียกกันว่า Reactive-P จัดเป็นรูปของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (ซึ่งมีแหล่งที่มาจากกระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์สารต่าง ๆ ภายในแหล่งน้ำรวมทั้งการถูกพัดพาลงมาจากบริเวณโดยรอบแหล่งน้ำ) และเป็นแร่ธาตุสำคัญที่ผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำ (ได้แก่ พรรณไม้น้ำ สาหร่าย และแพลงก์ตอนพืช) จำเป็นต้องใช้

เพื่อการผลิตโครงสร้างของเซลล์ แร่ธาตุอาหารกลุ่มนี้จึงนับว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างอินทรีย์สารในแหล่งน้ำเช่นเดียวกับไนโตรเจน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการในแหล่งน้ำทั่วไปมักมีปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่ค่อนข้างต่ำ ปัจจัยนี้จึงมักถูกจัดว่าเป็นปัจจัยจำกัด (Limiting factor) ที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกำลังผลิตขั้นต้นของระบบนิเวศแหล่งน้ำ

พื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณเป็นตัวอย่างหนึ่งของระบบนิเวศน้ำตกที่มีระดับความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตที่ต่ำมาก (มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 0.1 μM) โดยเฉพาะในน้ำตกช่วงชั้นล่างซึ่งบางครั้งมีค่าต่ำถึงระดับที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ ความเข้มข้นที่พบอาจสูงขึ้นได้เล็กน้อยในช่วงต้นฤดูฝนจากนั้นจะลดลงหรือแปรผันอย่างไม่มีทิศทาง ลักษณะดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าออร์โธฟอสเฟตในระบบน้ำตกมีแหล่งที่มาหลักจากมวลน้ำต้นทุนของระบบมากกว่าการถูกเติมในระหว่างทางที่มวลน้ำเคลื่อนตัวลงสู่ช่วงชั้นต่าง ๆ ตอนล่างลงไป

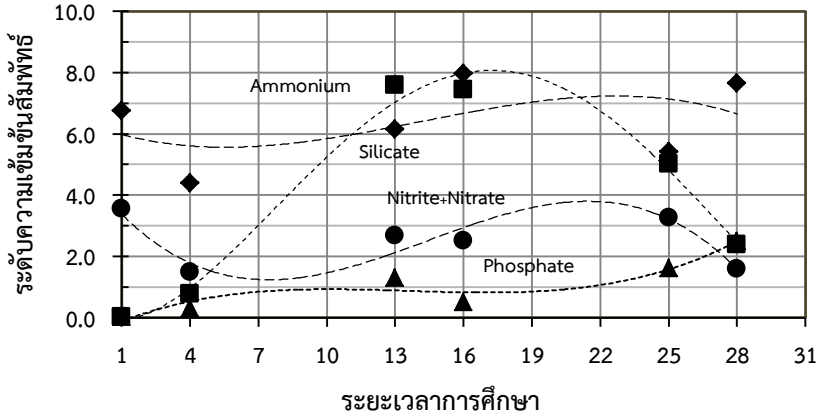
ระดับแร่ธาตุอาหารพื้นฐาน “*Based-line Concentration*” ในระบบนิเวศน้ำตก

ด้วยเหตุที่แร่ธาตุอาหารเป็นปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็นต่อกระบวนการผลิตทรัพยากรชีวภาพในระบบห่วงโซ่อาหารทางน้ำและสะท้อนสภาวะความอุดมสมบูรณ์และการเปลี่ยนแปลง รวมทั้งสถานการณ์มลภาวะหรือการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำได้ การศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารจึงมีความสำคัญ และอาจประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการเฝ้าระวังแหล่งน้ำเพื่อเป้าหมายในการอนุรักษ์คุณภาพน้ำและการควบคุมการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำอย่างเหมาะสม โดยไม่ทำให้ระบบนิเวศทางน้ำได้รับผลกระทบหรือสูญเสียสภาวะสมดุลเดิมที่มีไป

ในการประเมินระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารพื้นฐาน (Based-line concentration) ที่มีของระบบนิเวศน้ำตกแต่ละช่วงชั้นซึ่งจัดเป็นระดับตามธรรมชาติของพื้นที่แต่ละแห่ง จำเป็นต้องศึกษาติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหาร ให้ครอบคลุมช่วงระยะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดตามช่วงฤดูกาลในรอบปีและติดตามทิศทางการเปลี่ยนแปลงหรือเสถียรภาพของระบบในช่วงอย่างน้อย 2-3 ปี ที่ต่อเนื่องกันไป ผลจากการศึกษาติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้สามารถวิเคราะห์ “***ประเภทของดัชนีชี้วัด***” ที่มีศักยภาพสูงในการสะท้อนหรือตอบสนองการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้

ตัวอย่างการศึกษาติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหาร 4 ชนิด ได้แก่ 1) แอมโมเนียม-ไนโตรเจน 2) ไนไตรท์ไนเตรท-ไนโตรเจน 3) ซิลิเกต-ซิลิกอน และ 4) ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ซึ่ง ดำเนินการศึกษาวิจัยในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2552 ถึงเดือนสิงหาคม 2554 รวมระยะเวลาประมาณ 3 ปี (จารุมาศและคณะ 2554) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแร่ธาตุอาหารทั้ง 4 ชนิดข้างต้น “ซิลิเกต-ซิลิกอน”เป็นแร่ธาตุอาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงในระดับความเข้มข้นน้อยที่สุด (**ภาพที่ 2.9**) ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของซิลิเกตสำหรับพื้นที่น้ำตกเอราวัณอยู่ที่ค่าประมาณ 70 μM ซึ่งมักไม่พบความแตกต่างในระหว่างชั้นของน้ำตกแต่ละชั้นเท่าใด ผลจากการศึกษาติดตามในช่วงสามปีแสดงให้เห็นถึงความมีเสถียรภาพในความเข้มข้นของซิลิเกตในน้ำได้มากกว่าแร่ธาตุอาหารชนิดอื่น ส่วนแร่ธาตุอาหารอื่นที่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยเช่นกัน คือ ไนไตร์ทไนเตรท ในทาง

ตรงกันข้าม แร่ธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นผันแปรตามฤดูกาลได้มากที่สุด คือ แอมโมเนียม (ซึ่งพบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นได้มากถึงประมาณ 50 เท่าของระดับเดิมที่มี) และฟอสเฟต (ซึ่งถึงแม้จะมีระดับเฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำไม่เกิน 0.1 μM แต่พบความผันแปรได้มากถึงประมาณ 20 เท่า)



ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นสัมพัทธ์ (Comparative concentrations) ของแร่ธาตุอาหาร; แอมโมเนียม (Ammonium; μM), ซิลิเกต (Silicate; $x10^{-1}$ μM), ไนไตรท์+ไนเตรท (Nitrite+Nitrate; μM) และออร์โธฟอสเฟต (Phosphate; x10 μM) ที่พบในพื้นที่น้ำตกเอราวัณชั้น 7 ในช่วงระยะเวลาการศึกษา 3 ปี (Survey times 1-4, 13-16, และ 25-28 คือ การสำรวจในช่วงเดือนพฤษภาคม–สิงหาคม ในปี พ.ศ. 2552, 2553, และ 2554 ตามลำดับ) *(ปรับปรุงจาก; จารุมาศและคณะ 2554)*

อนึ่ง ผลการศึกษาติดตามข้อมูลในพื้นที่น้ำตกแหล่งอื่น ๆ พบว่าแร่ธาตุอาหาร “ฟอสเฟต” มีการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นตามระยะเวลาได้บ้าง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระดับความเข้มข้นโดยส่วนใหญ่ที่พบมีค่าที่ต่ำมากจนบางครั้งไม่สามารถตรวจวัดได้ ทำให้ฟอสเฟตอาจไม่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นดัชนีประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศทางน้ำ ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาปัจจัยด้านแอมโมเนียมซึ่งมีระดับความเข้มข้นที่สามารถติดตามได้อย่างต่อเนื่องนั้นจะพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมตามธรรมชาติ *(Based-line concentration)* ในแต่ละช่วงเวลามีความผันแปรสูง นอกจากนี้ ยังพบความแตกต่างในระดับความเข้มข้นตามช่วงชั้นของระบบนิเวศน้ำตก เนื่องจากการได้รับอิทธิพลจากสภาพทางภูมิอากาศผนวกกับลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาและนิเวศวิทยาของน้ำตกแต่ละชั้นที่แตกต่างกันไป ด้วยเหตุดังกล่าวการวางแผนการศึกษาติดตามหรือประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ใด ๆ ในอนาคตโดยการประยุกต์ใช้ปัจจัยด้านแอมโมเนียมนั้น เราจำเป็นต้องทำการศึกษาติดตามโดยพิจารณาแต่ละช่วงชั้นของน้ำตกแยกจากกันไป

ในภาพรวมของความรู้ข้อมูลด้านแร่ธาตุอาหารในระบบนิเวศน้ำตกที่ได้กล่าวมาสะท้อนให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นที่เป็น *"Based-line"* นั้น มีความจำเพาะแตกต่างกันไปตามชนิดของแร่ธาตุอาหาร ตามช่วงชั้นของน้ำตก และขึ้นอยู่กับระยะเวลา (หรือฤดูกาล) ดังนั้นการศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอก (อาทิ จากการเข้าไปใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการ หรือการใช้พื้นที่โดยรอบเพื่อทำการเกษตร) ให้มีความถูกต้องเหมาะสมนั้น จำเป็นต้องมีข้อมูลพื้นฐานที่แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยชี้วัดตามสภาพธรรมชาติอย่างต่อเนื่องมาก่อน นอกจากนี้ ควรพิจารณาคัดเลือกปัจจัยชี้วัดเฉพาะชนิดที่มีศักยภาพและสามารถสะท้อนสภาวะของผลกระทบได้ดี (ซึ่งอาจแตกต่างกันไปตามแหล่งน้ำ) มาใช้ในประเมิน ทั้งนี้ ควรคำนึงถึงคุณลักษณะของปัจจัยที่มีความสอดคล้องกับกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่จะเกิดขึ้น รวมทั้งกำหนดระยะเวลาการศึกษาที่จะทราบผลกระทบจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ในช่วงเวลาที่สอดคล้องกับกิจกรรมนั้นด้วย

2.2.3) ปัจจัยทางชีวภาพของน้ำ

ระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลประเภทน้ำตกและลำธารสาขาในเขตต้นน้ำนับเป็นเขตพื้นที่หนึ่งที่มีความหลากลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตสูง ซึ่งนอกเหนือจากระบบนิเวศของป่าไม้และพรรณไม้ชายน้ำต่าง ๆ แล้ว ในระบบนิเวศทางน้ำยังสามารถพบสัตว์พื้นท้องน้ำและพรรณปลานานาชนิด นอกจากนี้ในส่วนของมวลน้ำที่ไหลลงมาจากแต่ละชั้นของน้ำตกยังพบสิ่งมีชีวิตขนาดจิ๋วในกลุ่มของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช ซึ่งจัดเป็นผู้ผลิตออกซิเจนที่สำคัญในแหล่งน้ำและพบกระจายอยู่ในทุกช่วงชั้นของน้ำตกโดยมีองค์ประกอบทางชนิดและปริมาณที่แตกต่างกันไป

สิ่งมีชีวิตเหล่านี้นับเป็น ***ปัจจัยทางชีวภาพ*** ที่มีบทบาทต่อระบบนิเวศทางน้ำและยังเป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติหรือเปลี่ยนแปลงจากอิทธิพลของมนุษย์ที่เข้ามาใช้ประโยชน์ ความรู้ความเข้าใจในปัจจัยทางชีวภาพเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งในการประเมินสภาวะความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ ตลอดจนสามารถประยุกต์ใช้ในการศึกษาติดตามสถานการณ์คุณภาพน้ำและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดการวางแผนบริหารจัดการแหล่งน้ำเชิงอนุรักษ์ ซึ่งรวมถึงการวางแผนการใช้ประโยชน์ในแหล่งน้ำได้อย่างเหมาะสม

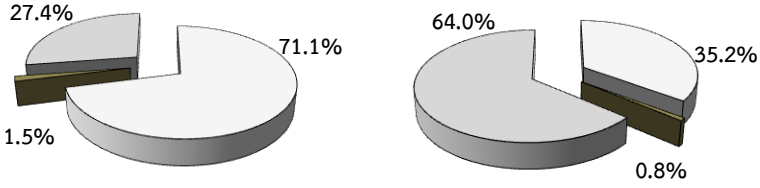
2.2.3.1) ผู้ผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศน้ำตก

แพลงก์ตอนพืชในระบบนิเวศน้ำตกและลำธารต้นน้ำ

ในระบบนิเวศน้ำตกมีรายงานการศึกษาวิจัยด้านแพลงก์ตอนพืชค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เนื่องจากสภาพตามธรรมชาติโดยทั่วไปเป็นพื้นที่ที่มีน้ำไหลแรงและมักไม่มีทิศทางที่แน่นอน ซึ่งทำให้การรวมกลุ่มกันของแพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำเกิดได้ยาก ตัวอย่างการศึกษาที่ผ่านมาในแหล่งน้ำตกเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี พบแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Division Cyanophyta อาทิ *Oscillatoria, Merismopedia, Microcystis*, *Spirulina, Lyngbya*) และกลุ่ม

ไดอะตอม (Division Bacillariophyata อาทิ *Fragilaria, Synedra, Navicula*, *Pleurosigma*) เป็นกลุ่มหลัก ส่วนกลุ่มรองลงมา คือ สาหร่ายสีเขียว (Division Chlorophyta อาทิ *Coelastrum, Oocystis, Scenedesmus, Spirogyra*) (จารุมาศและคณะ 2554)

แพลงก์ตอนพืชที่พบเหล่านี้มีความจำเพาะทางความหนาแน่นที่แตกต่างกันไปตามช่วงชั้นของน้ำตก โดยพบต่างกันในพื้นที่น้ำตกแต่ละช่วงชั้นได้มากกว่า 10-100 เท่า นอกจากนี้ ยังพบการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นไปตามระยะเวลาที่สำรวจ (อาทิ ในพื้นที่น้ำตกเอราวัณชั้นบนสุดพบความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพิ่มจากระดับประมาณ 200 เซลล์ต่อลิตร (ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554) เป็นระดับประมาณ 1,700 เซลล์ต่อลิตร (ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554) ขณะที่ในน้ำตกชั้นล่างสุด ณ เวลาเดียวกันกลับพบการลดลงในสัดส่วนของประชากรสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (จาก 71.1 % เป็น 35.2 %) แต่กลุ่มไดอะตอมมีสัดส่วนที่เพิ่มมากขึ้น (จาก 27.4 % เป็น 64.0 %) (**ภาพที่ 2.10**)



ภาพที่ 2.10 องค์ประกอบทางชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่สำรวจพบในอุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณช่วงเดือนพฤษภาคม (ภาพซ้าย) และสิงหาคม (ภาพขวา) พ.ศ. 2554 (สีเทาอ่อน; Cyanophyta, สีเทา; Diatoms, สีดำ; Chlorophyta)

ข้อมูลความรู้ด้านความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชในระบบนิเวศน้ำตกที่ผ่านมานั้นแสดงให้เห็นว่าทั้งด้านสัดส่วนซึ่งหมายถึงองค์ประกอบชนิดของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละกลุ่ม (Division) และด้านปริมาณ (ความหนาแน่น) ในแต่ละชนิดของแพลงก์ตอนพืชมีความแปรปรวนตามเวลาสูง นอกจากนี้ ยังพบการเกิดทดแทนที่ของแพลงก์ตอนพืชในอัตราค่อนข้างเร็ว โดยแต่ละชั้นของน้ำตกแสดงความจำเพาะไม่เหมือนชั้นอื่น ๆ ถึงแม้ว่ามวลน้ำจะไหลลงไปเชื่อมโยงกันก็ตาม ลักษณะของปัจจัยด้านแพลงก์ตอนพืชดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า *"Based-line density"* ของแพลงก์ตอนพืชนั้นจะไม่มีเสถียรภาพตามเวลา ด้วยลักษณะดังกล่าวการประยุกต์ใช้ข้อมูลด้านแพลงก์ตอนพืชเพื่อการประเมินผลกระทบจากปัจจัยแวดล้อม หรือประเมินอิทธิพลจากการใช้ประโยชน์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่สนใจจึงเป็นไปได้ค่อนข้างยากซึ่งต้องอาศัยฐานข้อมูลที่ละเอียดเพื่อการประเมินผลที่รัดกุม

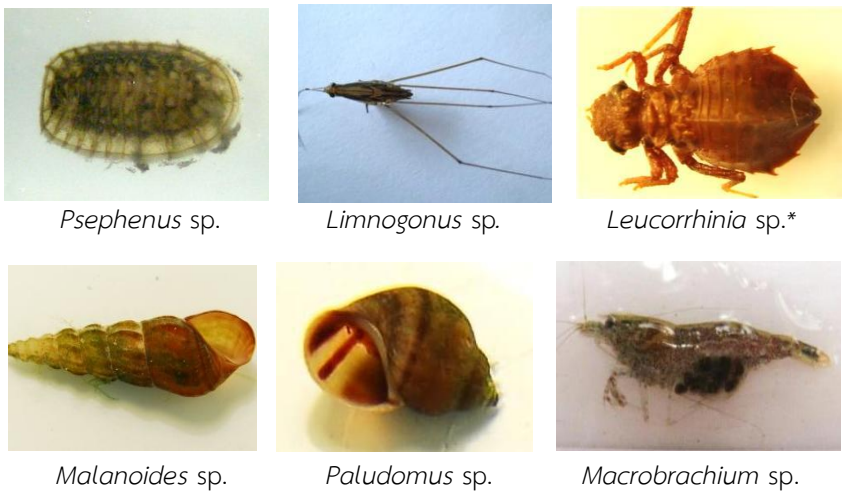
อย่างไรก็ตาม ด้วยธรรมชาติในการตอบสนองของแพลงก์ตอนพืชต่อปัจจัยคุณภาพน้ำ (อาทิ ด้านแร่ธาตุอาหารในน้ำ ความขุ่นของน้ำ ปริมาณแสงที่ตกกระทบ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงใน

อัตราการไหลของน้ำ) ที่เร็วกว่าทรัพยากรชีวภาพอื่น ๆ การศึกษาค้นคว้าด้านพลวัตการเปลี่ยนแปลงของประชาคมแพลงก์ตอนพืชและความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ อาจมีความสำคัญในอนาคต โดยเฉพาะการใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ที่ถูกปรับเปลี่ยนจากระบบน้ำไหลเป็นระบบน้ำที่นิ่งกว่าหรือมีอัตราไหลที่ต่ำลง ซึ่งในระบบดังกล่าวแพลงก์ตอนพืชจะมีศักยภาพในการเจริญและเพิ่มจำนวนได้มากขึ้น ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงผลผลิตในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศแหล่งน้ำต่อไปได้

2.2.3.2) ผู้บริโภคและบทบาทในห่วงโซ่อาหาร

สัตว์พื้นท้องน้ำ

สัตว์พื้นท้องน้ำที่พบได้ในพื้นที่เขตน้ำตกทั่วไปมักเป็นพวกแมลงน้ำ กุ้ง ปู (Phylum Arthropoda) สัตว์ในกลุ่มหอย (Phylum Mollusca) และกลุ่มของไส้เดือนน้ำ (Phylum Annelida) (**ภาพที่ 2.11**) โดยกลุ่มหลักที่พบว่ามีความหลากหลายทางชนิดมากที่สุด คือ กลุ่มของแมลงน้ำ (Class Insecta) ยกตัวอย่างเช่น แมลงน้ำใน Order Ephemeroptera (แมลงชีปะขาว) Plecoptera (แมลงเกาะหิน) Odonata (แมลงปอ) Hemiptera (มวนน้ำ) และ Diptera (แมลงสองปีก) เป็นต้น สัตว์พื้นท้องน้ำที่กระจายอยู่ในพื้นที่ส่วนต่าง ๆ ของน้ำตกนั้นโดยส่วนใหญ่จะพบในบริเวณที่มีแนวหินกำบังซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเร็วของน้ำลดลงกว่าบริเวณแนวกลางน้ำและมักเป็นบริเวณที่มีการสะสมของตะกอนเลนหรือเศษกิ่งไม้ใบไม้ที่ตกทับถมกันลงมา



Psephenus sp. *Limnogonus* sp. *Leucorrhinia* sp.*

Malanoides sp. *Paludomus* sp. *Macrobrachium* sp.

ภาพที่ 2.11 ลักษณะของสัตว์พื้นท้องน้ำที่พบได้บ่อยในระบบนิเวศน้ำตกหรือบริเวณลำห้วยต้นน้ำของประเทศไทย *(*ภาพโดย: กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์)*

การประยุกต์ใช้สัตว์พื้นท้องน้ำเพื่อเป็นดัชนีทางชีวภาพ ในระบบนิเวศน้ำตกและลำธารต้นน้ำ แมลงน้ำนับเป็นสัตว์พื้นท้องน้ำกลุ่มที่โดดเด่น เนื่องจากตามธรรมชาติจะมีโอกาสพบได้มากในพื้นที่แหล่งน้ำสะอาด น้ำไหลเร็ว และมีออกซิเจนละลายน้ำที่ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม แมลงน้ำโดยทั่วไปมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Metamorphosis) ในแต่ละระยะของวงจรชีวิต บางชนิดที่พบนั้นจะไม่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำตลอดระยะวงจรชีวิต แมลงหนอนปลอกน้ำ (Caddis fly) มีระยะในวงจรชีวิต 4 ระยะ โดยเริ่มจากไข่และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างสมบูรณ์ (Complete metamorphosis) ส่วนแมลงชีปะขาว (May fly) และแมลงเกาะหิน (Stone fly) ในวงจรชีวิตมี 3 ระยะและมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete metamorphosis) ซึ่งในแต่ละระยะมีรูปร่างลักษณะที่แตกต่างกันไป

แมลงน้ำยังมีแหล่งที่อยู่อาศัยที่แตกต่างกันไป ชนิดที่อาศัยในบริเวณน้ำไหลแรงจะยึดเกาะที่ก้อนหินด้านพื้นใต้ล่างและมักมีลักษณะรูปร่างที่แบนราบเพื่อป้องกันการถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำ ส่วนในบริเวณแหล่งน้ำที่กระแสน้ำไหลช้าพบแมลงน้ำหลายชนิดที่ปรับตัวและอาศัยฝังอยู่ในตะกอนดิน หรืออาจสร้างปลอกหุ้มห่อลำตัวที่มีลักษณะคล้ายรังช่วยในการป้องกันศัตรูในพื้นที่จำเพาะต่าง ๆ สำหรับในการอาศัยอยู่ในน้ำนั้น ทั้งนี้ แมลงน้ำจำเป็นต้องอาศัยออกซิเจนที่อยู่ในน้ำโดยการหายใจทางเหงือก และอาศัยอาหารที่อยู่ในน้ำเพื่อการดำรงชีวิต

จากความจำเพาะของแมลงน้ำกลุ่มต่าง ๆ เราควรวางแผนศึกษาวิเคราะห์ความเป็นไปของแมลงน้ำแยกตามกลุ่มที่อาจจำแนกด้วยลักษณะของการกินอาหาร (Feeding behavior) อาทิ ตัวอ่อนแมลงชีปะขาวกินพืชเป็นอาหาร ขณะที่พวกผู้ล่า เช่น แมลงเกาะหินกินแมลงชีปะขาวและสัตว์ขนาดเล็กอื่น ๆ เป็นอาหาร ทั้งนี้ เนื่องจากการติดตามในแต่ละกลุ่มจะสะท้อนสภาวะของแหล่งอาหารและผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำโดยรอบที่อาจเปลี่ยนแปลงไป การวิเคราะห์เชิงกลุ่มยังจะทำให้เกิดความรู้เชื่อมโยงสู่กระบวนการผลิตทรัพยากรชีวภาพ อื่น ๆ ในห่วงโซ่อาหารและสามารถประเมินทิศทางความเป็นไปภายใต้ระบบการกินต่อกันเป็นทอด ๆ ในระบบนิเวศของพื้นที่แหล่งน้ำที่สนใจได้

อนึ่ง ถึงแม้ว่าการพบตัวอย่างแมลงน้ำอาจสะท้อนสภาวะด้านอาหารที่สอดคล้องกับการดำรงชีวิตของแมลงน้ำชนิดนั้น ๆ (อาทิ แมลงพวกที่กินอินทรียวัตถุจะพบในพื้นที่บริเวณที่เป็นแหล่งรวมของเศษซากอินทรียวัตถุและตะกอน) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในน้ำและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปในแต่ละระยะซึ่งมีลักษณะและหน้าที่ที่แตกต่างกันไป การตอบสนองของแมลงน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมทางน้ำจึงมักมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน ซึ่งอาจวิเคราะห์เชิงปริมาณได้ค่อนข้างยาก มีตัวอย่างงานวิจัยในพื้นที่ลำธารน้ำตกโตนงาช้าง จังหวัดสงขลา (พรจรส, 2554) พบว่าชนิดของแมลงน้ำในบริเวณลำธารเขตต้นน้ำมีมากกว่าในบริเวณกลางน้ำและบริเวณปลายน้ำ ตามลำดับ โดยในบริเวณต้นน้ำพบแมลงหนอนปลอกน้ำสูงถึง 26 ชนิด พบแมลงชีปะขาว 14 ชนิด และแมลงเกาะหิน 5 ชนิด ขณะที่ในบริเวณปลายน้ำพบแค่แมลงชีปะขาวเพียง 3 ชนิดเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ข้อมูลของแมลงน้ำโดยส่วนใหญ่ไม่แสดงความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำที่ชัดเจน มีเพียงจำนวนของหนอนปลอกน้ำที่พบเฉพาะในบริเวณลำธารเขตต้นน้ำที่แสดงความสัมพันธ์กับความเป็นกรด-เบสของน้ำ และจำนวนของแมลงชีปะขาวในเขตปลายน้ำแสดง

ความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่ โดยในภาพรวมแล้วถึงแม้ว่าการใช้ประโยชน์ในพื้นที่เพื่อกิจกรรมทางการเกษตรและการอยู่อาศัยของชุมชนในบริเวณปลายน้ำอาจมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อปริมาณของแมลงน้ำเหล่านั้น แต่การประยุกต์ใช้ข้อมูลด้านแมลงน้ำยังต้องอาศัยความรอบคอบและคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ อย่างรัดกุม

อนึ่ง ปริมาณของสัตว์พื้นท้องน้ำในกลุ่มของหอยขนาดเล็ก (Phylum Mollusca) ที่กระจายตัวอยู่ตามพื้นท้องน้ำ (**ภาพที่ 2.11**) นับเป็นปัจจัยที่มีความน่าสนใจติดตามเนื่องจากสัตว์ในกลุ่มหอยมีลักษณะที่สังเกตได้ง่าย เคลื่อนที่ได้น้อย และอาศัยอยู่ในระบบนิเวศน้ำตกตลอดระยะเวลาของวงชีวิต หอยฝาเดียวบางชนิดที่มักพบในแหล่งลำธารน้ำตกตามธรรมชาติสามารถตอบสนองต่อระดับน้ำในลำธารและปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบนิเวศทางน้ำ ด้วยคุณลักษณะและพฤติกรรมดังกล่าวการศึกษาติดตามการแพร่กระจายของหอยฝาเดียวในแต่ละช่วงชั้นน้ำตกหรือในพื้นที่ส่วนต่าง ๆ ของระบบนิเวศน้ำตกน่าจะเป็นประโยชน์ในการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยสิ่งแวดล้อม (อาทิ ปริมาณการไหลของน้ำ ความขุ่นของพื้นที่ลำธาร และปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่แหล่งน้ำ) ซึ่งสามารถนำข้อมูลความรู้ไปประกอบการวางแผนเพื่อการฟื้นฟูคุณภาพน้ำโดยเฉพาะในพื้นที่ที่เกิดปัญหาจากสารอินทรีย์ได้อย่างทันต่อเหตุการณ์ต่อไป

พรรณปลาในระบบนิเวศน้ำตกและลำธารต้นน้ำ

ในระบบนิเวศน้ำตกและลำธารต้นน้ำของประเทศไทย มีรายงานการพบปลาชนิดเด่น ได้แก่ ปลาซิวใบไผ่เล็กแถบขาว (*Brachydanio albolineata*) ปลากินยุง (*Gambusia affinis*) ปลาเลียหิน (*Garra cambodgiensis*) ปลาพลวง (*Neolissochilus stracheyi*) ปลาหางนกยูง (*Poecilia reticutata*) และปลาตะเพียนน้ำตก (*Systomus binotatus*) เป็นต้น (**ภาพที่ 2.12**)

ปลาที่พบเหล่านี้มีลักษณะทางชีววิทยาและนิเวศวิทยาที่จะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้เพื่อประเมินสถานภาพของแหล่งน้ำรวมทั้งผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นได้ (จารุมาศและคณะ 2552) ดังรายละเอียดตามลำดับ ดังนี้

ปลาซิวใบไผ่เล็กแถบขาว *(Brachydanio albolineatus)* มีความยาวประมาณ 3-6 เซนติเมตร มีหนวด 2 คู่ คู่ที่ขากรรไกรบนยาวกว่าความยาวของหัว เกล็ดใหญ่ ลำตัวสีคล้ำอมน้ำเงินแก้มสีเงิน หลังมีสีคล้ำ ท้องสีส้มหรือเหลือง และมีแถบสีส้มจากหน้าครีบหลังถึงโคนหาง ครีบสีน้ำเงินคล้ำ ขอบครีบท้องมีสีส้ม ครีบหลังอยู่ค่อนไปทางด้านท้าย ครีบก้นยาว ครีบหางเว้าตื้น ปลาเพศเมียในวัยเจริญพันธุ์จะมีขนาดใหญ่กว่าเพศผู้ และปลาเพศผู้จะมีสีสันมากกว่า ปลาซิวใบไผ่เป็นปลาที่อาศัยอยู่บริเวณต้นน้ำลำธารและในแหล่งน้ำที่ใสสะอาด กินแมลงน้ำและแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดเล็กเป็นอาหาร ชอบอยู่รวมเป็นฝูงในระดับใกล้พื้นท้องน้ำ และมักชุกตัวอยู่ใต้ใบไม้ซึ่งพบได้ค่อนข้างชุกชุม

ปลากินยุง *(Gambusia affinis)* เป็นปลาขนาดเล็กที่พบชุกชุมในลำธารน้ำ รวมทั้งในหนองบึง และแหล่งน้ำกร่อย มีความยาว 4-7 เซนติเมตร ลักษณะคล้ายปลาหางนกยูงแต่มีขนาดใหญ่กว่า ปากแหลมกว่าและปลายปากจะเชิดขึ้นด้านบน ที่ตามีเส้นสีเข้มพาดในแนวดิ่งผ่านรูม่านตาลงมาถึงใต้ตา ตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าตัวผู้ ทั้งปลาตัวเมียและตัวผู้มีจุดสีเข้มซึ่งมักเห็นได้ชัดเจนเมื่อ

ปลายังเล็ก ต่อเมื่อปลาโตขึ้นจุดดังกล่าวมักจางลง หากดูด้านข้างของปลาตัวเมียในที่สว่างจะเห็นสีเหลือบอมเขียวฟ้าหรือสีเหลือง ปลากินยุงกินแพลงก์ตอนสัตว์ แมลงขนาดเล็กรวมทั้งซากเน่าเปื่อยเป็นอาหาร โดยปกติแล้วเป็นปลาที่จู่โจมปลาชนิดอื่น และมักทนทานในน้ำที่มีออกซิเจนต่ำลงได้

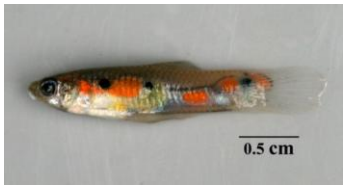
ปลาเลียหิน *(Garra cambodgiensis)* มีความยาว 8-15 เซนติเมตร ลำตัวทรงกระบอก ปากเล็กอยู่ด้านล่างของจะงอยปาก ริมฝีปากมีแผ่นหนังกลม ใต้คางมีหนวดสั้น 1 คู่ ปลายจมูกมักมีตุ่มแหลม ลำตัวสีน้ำตาลแดง และมีลายพาดสีคล้ำตามแนวกลางลำตัว ครีบหลังสีเหลืองและมีขอบคล้ำหรือสีแดง ครีบหางสีแดงเรื่อ ปลาเลียหินเป็นปลาที่พบอาศัยอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำที่เป็นหิน มีกระแสน้ำค่อนข้างแรง เช่น ในลำธาร หรือน้ำตก ปกติกินตะไคร่น้ำ อินทรีย์สารและแมลงน้ำขนาดเล็กเป็นอาหาร

ปลาพลวง *(Neolissochilus stracheyi)* มีความยาวอยู่ในช่วง 50-80 เซนติเมตร ลำตัวทรงกระบอก แบนข้างเล็กน้อย หัวมน ปากเล็ก และมีหนวด 2 คู่ เกล็ดใหญ่ ลำตัวสีน้ำตาลทองหรือเทา ด้านข้างมีสีเหลือบเงินและมีแถบสีคล้ำพาดยาวไปถึงโคนหาง ท้องสีจาง ครีบหางเว้าลึก ครีบก้นค่อนข้างเล็ก ปลาพลวงเป็นปลาที่พบตามลำธารในป่าที่มีน้ำใสสะอาด และบางครั้งก็พบในแม่น้ำ ชอบอาศัยอยู่เป็นกลุ่มในแอ่งน้ำตกและลำธาร นอกจากนี้ ในถ้ำบางแห่งยังพบปลาพลวงอาศัยเป็นฝูงใหญ่ ปลาพลวงจะกินพืชและผลไม้ที่ตกลงมาในน้ำเป็นอาหาร

ปลาหางนกยูง *(Poecilia reticutata)* มีความยาว 2-6 เซนติเมตร ครีบหางมีขนาดใหญ่ ตัวผู้และตัวเมียแตกต่างกันชัดเจน โดยตัวผู้มีขนาดลำตัวที่เล็กกว่ามากแต่มีสีสันและครีบที่สวยงามกว่า ขณะที่ตัวเมียมีขนาดตัวใหญ่กว่า ท้องอูม ไม่มีสีสัน และครีบมีขนาดเล็กกว่า ปลาหางนกยูงเป็นปลาที่ค่อนข้างทนทาน กินพืช สัตว์น้ำ รวมถึงแมลงหรือตัวอ่อนแมลงขนาดเล็กเป็นอาหาร โดยจะมีพฤติกรรมที่อาศัยอยู่รวมเป็นฝูงหากินบริเวณผิวน้ำ เป็นปลาที่ปฏิสนธิภายในตัวและออกลูกเป็นตัว

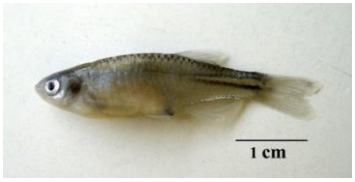
ปลาตะเพียนน้ำตก *(Systomus binotatus)* มีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตรแต่บางครั้งอาจพบมีขนาดใหญ่ถึง 20 เซนติเมตร ลำตัวรูปไข่ แบนข้างเล็กน้อย ปากเล็กและมีหนวด 2 คู่ ลำตัวสีเงินเหลือบเขียวอ่อนหรือเหลือง ครีบใสสีเหลืองอ่อน กลางลำตัว โคนครีบหลังและโคนหางมีจุดสีดำจาง ๆ ที่โคนครีบหาง ก้านครีบแข็งของครีบหลังเป็นหยักแบบละเอียด ครีบหางเว้าลึกสีเหลืองอ่อนหรือน้ำตาล โดยทั่วไปปลาตะเพียนน้ำตกเป็นปลาที่ชอบอยู่ในบริเวณที่มีน้ำใส พื้นเป็นทรายปนกรวดหรือหิน อยู่ตามลำธารในพื้นที่ป่าไม้ ปลาตะเพียนน้ำตกกินแพลงก์ตอนสัตว์ ตัวอ่อนแมลงน้ำและลูกไม้ที่หล่นลงมาเป็นอาหาร

ลักษณะทางชีววิทยาและนิเวศวิทยาของปลาที่กล่าวมาข้างต้นสะท้อนให้เห็นถึงความเป็นอยู่ที่จำเพาะในแหล่งน้ำสะอาดซึ่งมีการไหลเวียนดีและมีออกซิเจนละลายน้ำที่สูง อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปการศึกษาวิจัยที่ปรากฏยังเป็นการศึกษาข้อมูลเชิงคุณภาพเป็นหลัก ไม่พบข้อมูลเชิงปริมาณหรือการใช้สถานการณ์ด้านความหนาแน่นของประชากรปลาในเขตลำธารน้ำตกเพื่อบ่งบอกสถานภาพความอุดมสมบูรณ์หรือผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย



ปลาหางนกยูง
(*Poecillia reticutata*)

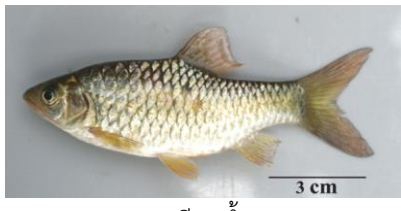
ปลากินยุง
(*Gambusia affinis*)



ปลาชิวใบไผ่เล็กแถบขาว
(*Brachydanio albolineatus*)

ปลาเลียหิน
(*Garra cambodgiensis*)

ปลาพลวง
(*Neolissochilus stracheyi*)



ปลาตะเพียนน้ำตก
(*Systomus binotatus*)

ภาพที่ 2.12 ลักษณะของชนิดพันธุ์ปลาที่พบได้ในระบบนิเวศน้ำตกและบริเวณลำห้วยต้นน้ำของประเทศไทย *(ภาพโดย: สันติ พ่วงเจริญ)*

ปัญหาด้านข้อจำกัดของข้อมูลเชิงปริมาณข้างต้นอาจเกิดเนื่องจากการสำรวจในเขตพื้นที่น้ำตกและลำธารต้นน้ำนั้นทำได้ค่อนข้างยาก นอกจากนี้ ธรรมชาติของประชากรปลาในพื้นที่มักมีการเคลื่อนที่ไปมาในระหว่างช่วงชั้นน้ำหรือในพื้นที่ลำธารที่ต่อเนื่องกัน ความจำเพาะดังกล่าวนี้จัดเป็นข้อจำกัดของการใช้ปัจจัยด้านพรรณปลาเป็นดัชนีชี้วัด และจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจที่เพียงพอสำหรับอธิบายลักษณะการกระจายของประชากรปลาและพลวัตการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในเบื้องต้นได้อย่างชัดเจน

2.2.4) ปัจจัยในบริเวณพื้นท้องน้ำ

ดินพื้นท้องน้ำนับเป็นโครงสร้างทางนิเวศสัณฐานวิทยาของพื้นที่น้ำตกที่เป็นเสมือนบ้านเป็นแหล่งสารอาหาร รวมทั้งแหล่งที่อยู่อาศัยให้สิ่งมีชีวิตประเภทต่าง ๆ ได้อาศัยเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ คุณลักษณะของดินพื้นท้องน้ำนับว่ามีบทบาททางในทางนิเวศวิทยาภายในระบบนิเวศ

น้ำตก โดยเฉพาะความเกี่ยวข้องในความเป็นอยู่ของสัตว์บริเวณพื้นท้องน้ำ พรรณไม้น้ำ และสิ่งมีชีวิตทางน้ำอีกหลากหลายประเภท

เมื่อพิจารณาในเชิงชีวเคมีแล้วดินพื้นท้องน้ำเป็นแหล่งสะสมของอินทรีย์สาร ซากพืช ซากสัตว์ต่าง ๆ ที่ตกลงมาจากมวลน้ำเบื้องบน อินทรีย์สารภายในพื้นท้องน้ำนั้นจะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มของแบคทีเรียในดิน ส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุอาหารกลับขึ้นสู่มวลน้ำได้อีกครั้ง ในแอ่งน้ำตกแต่ละชั้นซึ่งพบการทับถมของอินทรีย์สารและซากพืชซากสัตว์ต่าง ๆ อยู่มากนั้น นับเป็นแหล่งของแอมโมเนียมไนโตรเจนซึ่งสามารถแพร่กระจายออกสู่มวลน้ำและไหลลงไปสู่ชั้นน้ำที่อยู่ในพื้นที่ตอนล่างได้อย่างต่อเนื่อง

ภาพที่ 2.13 ลักษณะการจำแนกพื้นที่ย่อยภายในระบบนิเวศน้ำตกเอราวัณชั้น 2 เพื่อการศึกษาติดตามผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ (ประกอบด้วยบริเวณชายน้ำที่มีนักท่องเที่ยวลงไปมาก; *S1*, แนวกลางของน้ำตกที่ค่อนข้างลึก; *S2*, และพื้นที่ตื้นที่มีการตกตะกอนทับถมอยู่มาก; *S3*)

ในพื้นที่น้ำตกแต่ละแห่งลักษณะของดินพื้นท้องน้ำจะได้รับอิทธิพลหลักจากโครงสร้างทางธรณีสัณฐานวิทยาซึ่งประกอบด้วยปัจจัยสำคัญ ได้แก่ คุณสมบัติของดิน หิน แร่ และความลาดชันของพื้นที่ ฯลฯ นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพดินในแต่ละชั้นน้ำตกยังแสดงถึงความแตกต่างในลักษณะของพื้นที่ย่อย อาทิ การเป็นบริเวณตื้นหรือจุดตกตะกอนที่มีกระแสน้ำค่อนข้างเบา และการเป็นบริเวณที่น้ำลึกหรือแนวรับมวลน้ำที่ตกลงมาซึ่งมีน้ำไหลแรงมีการหมุนเวียนได้ดี ด้วยลักษณะที่หลากหลายดังกล่าวการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินพื้นท้องน้ำใน

ระบบนิเวศน้ำตก (รวมทั้งการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสำคัญตามฤดูกาลในรอบปี) จึงจำเป็นต้องกำหนดบริเวณศึกษาที่จำเพาะเจาะจง โดยควรเป็นตัวแทนที่ครอบคลุมในลักษณะของบริเวณย่อยต่าง ๆ ที่มีในแต่ละชั้นของน้ำตกได้อย่างครบถ้วน

ยกตัวอย่างกรณีศึกษาดินพื้นท้องน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี (จารุมาศและคณะ 2554) ซึ่งดำเนินการศึกษาภายใต้เป้าหมายการวิเคราะห์สถานภาพการเปลี่ยนแปลง และผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการในพื้นที่น้ำตก ตำแหน่งของสถานีศึกษาที่เป็นตัวแทนสำหรับแต่ละชั้นของน้ำตก ได้ถูกกำหนดดังแสดงใน **ภาพที่ 2.13** พื้นที่ตัวแทนดังกล่าวประกอบด้วย *สถานี **S1*** เป็นบริเวณที่มีการลงเล่นน้ำของนักท่องเที่ยวมากที่สุด *สถานี **S2*** เป็นพื้นที่รอยต่อระหว่างบริเวณที่ใช้ประโยชน์กับบริเวณที่มีการตกตะกอนทับถมซึ่งอยู่ส่วนกลางของชั้นน้ำตก และ*สถานี **S3*** เป็นบริเวณที่เกิดการตกตะกอนและการทับถมของเศษซากพืชต่าง ๆ อยู่มากและเป็นมุมอับในพื้นที่ตื้นใกล้ชายน้ำ ซึ่งแต่ละบริเวณมีลักษณะทางธรรมชาติที่แตกต่างกันทำให้การได้รับผลกระทบหรือการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ จะเกิดได้แตกต่างกันไปด้วย

2.2.4.1) ปริมาณน้ำในดินและสารอินทรีย์รวมในดิน

ปริมาณน้ำในดิน (Water content) เป็นปัจจัยพื้นฐานทางกายภาพที่สะท้อนศักยภาพในการอุ้มน้ำ ความละเอียดของเนื้อดิน และการสะสมของอินทรีย์สารในเนื้อดิน ส่วนปริมาณสารอินทรีย์รวมในดิน (Total organic content) เป็นปัจจัยทางเคมีที่บ่งบอกสภาวะความอุดมสมบูรณ์ของดินพื้นท้องน้ำด้วยการแสดงระดับการสะสมของอินทรีย์สารที่สะสมภายใน ทั้งสองปัจจัยนับว่ามีบทบาทต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตพื้นท้องน้ำ (จารุมาศ 2548) นอกจากนี้ ยังสามารถสะท้อนอิทธิพลของลักษณะทางอุทกวิทยาตลอดจนผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทางน้ำโดยรอบได้ (Sangmek and Meksumpun, 2014)

ดินพื้นท้องน้ำบริเวณจุดตกตะกอนในแต่ละชั้นของระบบนิเวศน้ำตกจะมีปริมาณน้ำในดินและปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินมากกว่าบริเวณอื่น ๆ ในพื้นที่น้ำตกเอราวัณพบค่าของสารอินทรีย์รวมในดินบริเวณจุดตกตะกอนในระดับที่สูงกว่า 3.5 % ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่สูงกว่าระดับเฉลี่ยที่พบทั่วไป หากประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์โดยจำแนกตามวิธีของชัยฤกษ์ (2536) จะพบว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินบริเวณดังกล่าวสะท้อนสภาพความอุดมสมบูรณ์ที่สูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากการที่เป็นบริเวณชายขอบของตัวน้ำตก มีการรบกวนน้อย น้ำไหลเบา ซึ่งเอื้ออำนวยต่อการตกตะกอนของอนุภาคต่าง ๆ รวมทั้งซากใบไม้กิ่งไม้ที่ร่วงหล่นลงมาจากต้นไม้ชายน้ำหรือที่ถูกพัดพาลงมาแล้วเกิดการทับถมกันอย่างต่อเนื่อง

เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละชั้นของน้ำตกจะพบว่าบริเวณจุดตกตะกอนในแต่ละชั้นมักให้ค่าของสารอินทรีย์รวมในดินที่ใกล้เคียงกัน **(ตารางที่ 2.3)** ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มักไม่ถูกรบกวนจากภายนอก นอกจากนี้ ยังมีแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่เป็นซากพืชพรรณต่าง ๆ มาจากพื้นที่ป่าไม้ที่มีโครงสร้างทางชีววิทยาเดียวกันนั่นเอง

สำหรับพื้นท้องน้ำบริเวณที่นักท่องเที่ยวนิยมลงเล่นน้ำในแต่ละชั้นของน้ำตกนั้นโดยทั่วไปมักมีน้ำที่ใสกว่า พื้นประกอบด้วยทรายหยาบหรือกรวดขนาดใหญ่ พบตะกอนละเอียดอยู่ค่อนข้าง

น้อย บริเวณนี้จัดเป็นพื้นที่ที่มีโอกาสถูกกวนขุ่นได้มาก ทำให้อนุภาคขนาดเล็กที่ปนอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำมีโอกาสฟุ้งกระจายขึ้นมาได้เสมอ ๆ ด้วยเหตุดังกล่าว พื้นท้องน้ำบริเวณนี้จึงมักพบแต่กรวดทรายที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าซึ่งมีระดับของอินทรีย์สารในปริมาณที่ต่ำกว่าบริเวณจุดตกตะกอนทั่วไป สำหรับพื้นท้องน้ำบริเวณใจกลางของน้ำตกโดยทั่วไปที่เป็นแอ่งน้ำลึกและกว้างนั้น บริเวณพื้นมักพบกรวดขนาดใหญ่หรือทรายหยาบได้มาก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการที่เป็นแอ่งลึก เราจึงพบการสะสมของเลนละเอียดหรือเศษซากใบไม้กิ่งไม้ที่ปะปนอยู่ในดินใต้แอ่งนั้นและทำให้ระดับของอินทรีย์สารอาจสูงขึ้นได้บ้าง

ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของปริมาณน้ำในดิน (Water content; %) และสารอินทรีย์รวมในดิน (Total organic content; %) ในพื้นที่น้ำตกเอราวัณ ชั้น 7 และชั้น 1

พื้นที่ศึกษา	บริเวณ	ปริมาณน้ำในดิน (%)				ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดิน (%)			
		พ.ค.54	มิ.ย.54	ก.ค.54	ส.ค.54	พ.ค.54	มิ.ย.54	ก.ค.54	ส.ค.54
ชั้น 7	*S1*	36.53	48.91	39.77	41.62	1.58	3.74	2.22	3.37
	S2	25.25	24.27	40.72	45.07	0.81	0.84	2.52	2.70
	S3	38.98	51.27	40.21	43.91	3.99	6.91	3.69	5.63
ชั้น 2	*S1*	28.43	29.94	27.90	30.44	1.32	1.36	2.00	2.63
	S2	29.57	30.42	26.63	27.04	1.32	1.01	1.41	1.49
	S3	53.24	44.33	40.81	55.05	4.19	4.52	2.95	7.16

หมายเหตุ S1 คือ บริเวณชายน้ำที่มีนักท่องเที่ยวลงไปมาก, S2 คือ แนวกลางของน้ำตกที่ค่อนข้างลึก และ S3 คือ พื้นที่ตื้นที่มีการตกตะกอนทับถมอยู่มาก *(ที่มา: ปรับปรุงจาก จารุมาศและคณะ 2554)*

การเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาของปัจจัยด้านปริมาณน้ำในดินและปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินนั้น (**ตารางที่ 2.3**) โดยทั่วไปพบแนวโน้มที่เป็นไปในทางบวกในแทบทุกบริเวณ โดยบางครั้งพบการเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 2-3 เท่าของค่าเดิม อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวมิทิศทางที่ไม่ชัดเจน ซึ่งทั้งนี้น่าจะเกิดจากอิทธิพลของความแรงของมวลน้ำที่มีการเคลื่อนตัวผ่านหน้าดินที่แตกต่างกันไปตามแต่ละช่วงเวลานั่นเอง การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางคุณภาพดินพื้นท้องน้ำข้างต้นสะท้อนให้เห็นว่า *ฤดูกาล* ในเขตป่าต้นน้ำนับเป็นปัจจัยที่มีบทบาทต่อระบบนิเวศน้ำตกโดยเฉพาะในช่วงตั้งแต่ *"ต้นฤดูฝนถึงกลางฤดูฝน"* ซึ่งระบบนิเวศน้ำตกได้รับผลกระทบทั้งจากปริมาณน้ำที่มากขึ้น และปริมาณของสารอินทรีย์ใหม่ ๆ ที่ถูกนำพามาจากระบบของผืนป่าโดยรอบลงมาสู่ลำห้วยต้นน้ำรวมทั้ง ลำธารน้ำตกทำให้ปัจจัยในบริเวณพื้นท้องน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้

2.2.4.2) ขนาดของอนุภาคบริเวณพื้นท้องน้ำ

ขนาดอนุภาคของดินพื้นท้องน้ำนับเป็นปัจจัยทางกายภาพซึ่งบ่งบอกความละเอียด หรือความหยาบของเนื้อดิน ซึ่งโดยธรรมชาตินั้นดินพื้นท้องน้ำบริเวณหนึ่ง ๆ จะประกอบไปด้วยอนุภาค

ได้หลากหลายขนาดขึ้นอยู่แหล่งที่มา (ลักษณะทางธรณีวิทยาและนิเวศวิทยาของพื้นที่โดยรอบ) ประกอบกับปัจจัยทางอุทกวิทยาโดยเฉพาะด้านความแรงของน้ำที่มีบทบาทต่อการกระจายและการตกตะกอนของอนุภาคขนาดต่าง ๆ อนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก (เล็กกว่า 63 μm) ที่มีลักษณะเป็นเนื้อโคลนละเอียด (Silt) มักเกิดจากซากของพืช สัตว์ รวมทั้งกลุ่มของแพลงก์ตอนที่ตายลงและตกตะกอนทับถมลงสู่พื้นท้องน้ำ อนุภาคที่มีขนาดเล็กส่วนใหญ่จึงมีระดับของอินทรีย์สารที่สูง สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง (ขนาดไม่เกิน 250 μm) จัดเป็นกลุ่มทรายละเอียด (Fine sand) ที่มีระดับของอินทรีย์สารต่ำลงมา ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กลุ่มทรายหยาบ (Coarse sand; ใหญ่กว่า 500 μm) หรือพวกกรวดต่าง ๆ (Gravel; ใหญ่กว่า 2,000 μm) นั้น จะมีระดับของอินทรีย์สารต่ำที่สุด (จารุมาศ 2548)

ภาพที่ 2.14 ลักษณะความอุดมสมบูรณ์ทางอินทรีย์สาร และองค์ประกอบทางกายภาพของดินพื้นท้องน้ำในระบบนิเวศน้ำตกบริเวณต่าง ๆ ที่มีความแตกต่างกันออกไป (3 ภาพบน; แสดงเนื้อดินที่เป็นโคลนละเอียดปนซากใบไม้กิ่งไม้ที่ทับถมปนกันอยู่ มีสารอินทรีย์สูง, 3 ภาพล่าง; จากซ้ายไปขวา แสดงเนื้อดินที่เป็นทรายหยาบ ทรายหยาบมากปนกรวดหิน และก้อนกรวดขนาดต่าง ๆ ที่ใหญ่ขึ้นไป มีระดับของสารอินทรีย์ที่ต่ำลง ตามลำดับ)

ขนาดของอนุภาคที่มีอยู่จึงแสดงถึงสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ทางอินทรีย์สาร การจัดเรียงตัวหรือความโปร่งของพื้นท้องน้ำ นอกจากนี้ ยังสะท้อนถึงโอกาสในการสะสมและการหมุนเวียนของแร่ธาตุอาหาร รวมทั้งโอกาสในการสะสมมลพิษ ลักษณะของพื้นท้องน้ำทางกายภาพดังกล่าวยังสามารถใช้ประเมินความเหมาะสมในการอยู่อาศัยของสัตว์หน้าดินที่จำเพาะต่อคุณภาพ

ของดินพื้นท้องน้ำแต่ละประเภท ทั้งนี้ เนื่องจากพื้นดินถือเป็นทั้งแหล่งที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหาร ซึ่งมีบทบาทต่อพฤติกรรมความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำได้มากมาย (Lenat *et al*., 1981; Ogbeibu and Oribhabor, 2002; จารุมาศ 2548)

การประเมินลักษณะของพื้นท้องน้ำทางด้านขนาดอนุภาคนั้น นิยมใช้เทคนิควิธีการวิเคราะห์สัดส่วน (ร้อยละ) ขององค์ประกอบแต่ละขนาด ที่ทำการร่อนแยกแบบเปียก (Wet sieving) ผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานที่มีขนาดช่องตา 1,000 μm, 500 μm, 250 μm, 125 μm และ 63 μm ไล่ลงมาตามลำดับ วิธีการนี้ทำให้เราสามารถจำแนกดินตะกอนเป็นกลุ่มทรายหยาบมาก (Very coarse sand; >1,000 μm) ทรายหยาบ (Coarse sand; 500 - 1,000 μm) ทรายขนาดกลาง (Medium sand; 250 - 500 μm) ทรายละเอียด (Fine sand; 125 - 250 μm) ทรายละเอียดมาก (Very fine sand; 63 - 125 μm) และโคลน (Silt and clay; <63 μm) ซึ่งค่าสัดส่วนของแต่ละกลุ่มที่พบเกิดจากการคำนวณโดยใช้น้ำหนักแห้งของตะกอนที่ติดบนแต่ละชั้นของตะแกรงร่อนมาเปรียบเทียบกัน

ดินตะกอนพื้นท้องน้ำที่พบในระบบนิเวศน้ำตกและลำธารต้นน้ำมักมีองค์ประกอบที่หลากหลายและผันแปรตามพื้นที่ย่อยของแต่ละชั้นน้ำตก (**ภาพที่ 2.14**) ดินพื้นท้องน้ำที่พบสัดส่วนของอนุภาคขนาดเล็กอยู่มาก (ขนาดเล็กกว่า 125 μm) จะให้ระดับของสารอินทรีย์รวมในดินที่สูง อย่างไรก็ตาม ดินพื้นท้องน้ำที่มีสัดส่วนของอนุภาคขนาดใหญ่เป็นส่วนมาก (ขนาดใหญ่กว่า 1,000 μm) ซึ่งจัดเป็นทรายหยาบหรือเป็นก้อนกรวดขนาดใหญ่นั้นจะให้ระดับของสารอินทรีย์รวมในดินที่ต่ำ เว้นเสียแต่ว่าองค์ประกอบของชิ้นส่วนขนาดใหญ่ที่พบจะเป็นซากจากใบไม้กิ่งไม้หรือสิ่งมีชีวิตซึ่งจะทำให้ปริมาณสารอินทรีย์รวมมีค่าที่สูงขึ้นได้

ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณ ระบบพื้นท้องน้ำได้รับอิทธิพลหลักจากลักษณะทางนิเวศอุทกวิทยา และบางส่วนเกิดจากผลกระทบของกิจกรรมการใช้ประโยชน์ในพื้นที่โดยรอบ (จารุมาศและคณะ 2554) ความแตกต่างในแต่ละบริเวณของน้ำตกจะชัดเจนมากในช่วงต้นฤดูฝน (ประมาณเดือนพฤษภาคม) ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ของน้ำตกมีสัดส่วนของทรายหยาบ หิน และก้อนกรวดขนาดต่าง ๆ (ขนาด > 500 μm) ประมาณ 50-80 % ของบริเวณพื้นท้องน้ำในบริเวณโดยรวม และพบตะกอนขนาดเล็กกว่า 125 μm เป็นสัดส่วนประมาณ 2-8 % เท่านั้น (**ตารางที่ 2.4**)

ในพื้นที่ส่วนที่เป็นบริเวณตกตะกอน (*S3*) ในน้ำตกชั้น 2 สามารพบตะกอนละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 125 μm) สะสมอยู่มากคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 60 % (**ตารางที่ 2.4**) พื้นที่ดังกล่าวเป็นบริเวณที่น้ำค่อนข้างนิ่ง และมีการสะสมของตะกอนได้หลายประเภท ทั้งที่ถูกพัดมากับมวลน้ำตอนบนและเกิดจากเศษเน่าเปื่อยของพรรณไม้บริเวณขอบฝั่ง ส่วนหนึ่งของตะกอนที่มาตกทับถมยังมีที่มาจากการชะล้างพื้นดินขอบฝั่งในช่วงที่มีฝนตกลงมาอย่างต่อเนื่องด้วย

การมีสัดส่วนของอนุภาคที่ละเอียด (มีขนาดเล็กกว่า 125 μm) กระจายอยู่ในดินพื้นท้องน้ำในแต่ละบริเวณนับว่ามีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบนิเวศนั้น ทั้งนี้เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วอนุภาคที่ละเอียดจะมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายอยู่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคที่ขนาดใหญ่หรือบริเวณที่เป็นกรวดทรายหรือซากใบไม้กิ่ง

ไม้ที่ยังไม่ย่อยสลาย ด้วยเหตุดังกล่าวการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะ การสะสมของอนุภาคขนาดเล็กจึงนับว่ามีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับการผลิตทางชีวภาพภายในระบบนิเวศ

ตารางที่ 2.4 สัดส่วนทางขนาดอนุภาคของดินพื้นท้องน้ำ (Grain size composition; %) ในพื้นที่น้ำตกเอราวัณ ชั้น 7 และชั้น 2 ที่สำรวจในช่วงต้นฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554)

พื้นที่ศึกษา	บริเวณ	ขนาดอนุภาคของดินพื้นท้องน้ำ (%)					
		>1,000 μm	500-1,000 μm	250-500 μm	125-250 μm	63-125 μm	<63 μm
ชั้น 7	*S1*	69.8	15.7	9.9	2.4	0.2	2.0
	S2	60.8	22.1	7.7	1.9	0.5	6.9
	S3	36.1	3.7	4.4	4.4	4.8	46.6
ชั้น 2	*S1*	48.3	29.8	16.0	3.2	0.5	2.3
	S2	32.7	30.7	26.9	6.6	0.6	2.5
	S3	1.7	0.8	7.4	28.8	32.5	28.7

หมายเหตุ S1 คือ บริเวณชายน้ำที่มีนักท่องเที่ยวลงไปมาก, S2 คือ แนวกลางของน้ำตกที่ค่อนข้างลึกและ S3 คือ พื้นที่ตื้นที่มีการตกตะกอนทับถมอยู่มาก *(ที่มา: ปรับปรุงจาก จารุมาศและคณะ 2554)*

ในกรณีศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในช่วงตั้งแต่ต้นฤดูฝนเป็นต้นไปยังพบว่าอนุภาคขนาดเล็ก (เล็กกว่า 125 μm) มีแนวโน้มการเพิ่มสัดส่วนขึ้นตามระยะเวลา โดยบริเวณที่เป็น *จุดตกตะกอน* ใกล้แนวขอบฝั่งของน้ำตกชั้นล่าง สามารถพบการทับถมของอนุภาคขนาดเล็กเพิ่มขึ้นในแต่ละเดือนอย่างต่อเนื่องและส่งผลให้สัดส่วนเปลี่ยนแปลงกลายเป็นมากกว่า 90 % ในช่วงกลางฤดูฝน (จารุมาศและคณะ 2554)

การที่ในบริเวณตกตะกอนของแต่ละชั้นน้ำตกมีสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของพื้นท้องน้ำสูง ส่งผลดีต่อระบบนิเวศสิ่งแวดล้อมของน้ำตกในด้านการเป็นแหล่งอาหารและพลังงานภายในห่วงโซ่อาหารทางน้ำ แต่ในทางตรงกันข้ามหากพิจารณาในด้านทัศนียภาพหรือการใช้ประโยชน์ทางการท่องเที่ยว (ซึ่งจัดเป็นวัตถุประสงค์หนึ่งของการใช้ประโยชน์ในอุทยานแห่งชาติ) จะพบว่าบริเวณตกตะกอนของแต่ละชั้นน้ำตกอาจทำให้ทัศนียภาพที่ดีของน้ำตกเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้หากมีการลงเล่นน้ำหรือเดินย่ำในพื้นที่ดังกล่าวเพียงเล็กน้อย ตะกอนที่สะสมอยู่จะสามารถฟุ้งกระจายขึ้นทำให้เกิดน้ำขุ่นและออกซิเจนในน้ำอาจลดลงอย่างรวดเร็วได้

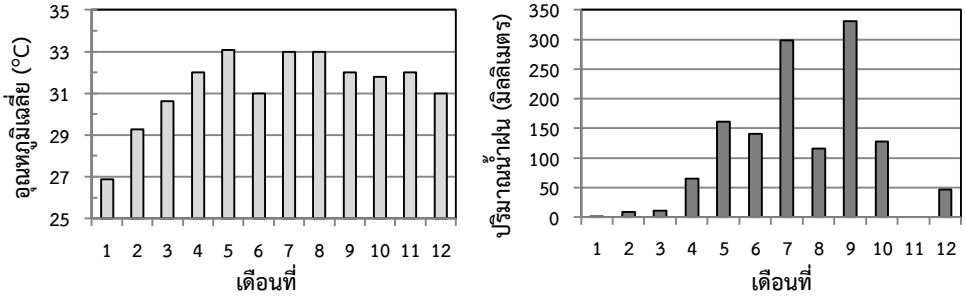
ด้วยเหตุดังกล่าว บริเวณตกตะกอนในแต่ละชั้นน้ำตกจึงเป็นบริเวณที่ควรให้ความระมัดระวังและควบคุมการเข้าไปใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ การจัดการฟื้นฟูและพัฒนาพื้นที่ อาทิ การขุดลอกทำความสะอาดหรือการกำจัดซากกิ่งไม้ใบไม้ที่ทับถมอยู่บริเวณชายตลิ่งออกเป็นระยะ ๆ จะส่งผลดีต่อการอนุรักษ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำของระบบนิเวศน้ำตกในช่วงชั้นนั้น และในตอนถัดลงไปได้

2.3) ปัจจัยภายนอกและบทบาทต่อระบบนิเวศน้ำตกและลำธารเขตต้นน้ำ

2.3.1) ลักษณะทางภูมิอากาศ

ข้อมูลด้านภูมิอากาศที่สามารถตรวจสอบจากฐานข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาหรือศึกษาติดตามจากข้อมูลการบันทึกที่มี ณ อุทยานแห่งชาติแต่ละแห่ง สะท้อนให้เห็นว่าปัจจัยทางภูมิอากาศสำคัญที่มีการผันแปรตามเวลาในรอบปีและมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยสิ่งแวดล้อมและสถานภาพของทรัพยากรทางน้ำ คือ ปัจจัยด้านอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่แต่ละแห่ง ยกตัวอย่างในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณ (ซึ่งมีสถานีตรวจวัดข้อมูลด้านภูมิอากาศในพื้นที่ ณ บริเวณที่ทำการอุทยานฯ) พบว่ามีลักษณะของภูมิอากาศทางด้านอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในช่วงปี พ.ศ. 2553 ดังรายละเอียดใน**ภาพที่ 2.15**

จากข้อมูลที่ศึกษาพบว่าอุณหภูมิของอากาศมีการแปรผันตามเวลาในรอบปี (**ภาพที่ 2.15** ซ้าย) โดยอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำจะพบได้ในช่วงฤดูหนาวราวเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (พบระดับของอุณหภูมิต่ำสุดที่ประมาณ 26 °C) จากนั้นอุณหภูมิของอากาศจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเข้าสู่หน้าแล้ง ตั้งแต่ช่วงเดือนมีนาคมเป็นต้นไป โดยมีอัตราเพิ่มถึง 1- 2°C ต่อเดือน (โดยทั่วไปพบว่าในพื้นที่ภาคตะวันตกของประเทศไทยมีอุณหภูมิของอากาศที่ค่อนข้างสูง) สำหรับพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณพบระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรอบปีที่ประมาณ 32 °C โดยช่วงที่อุณหภูมิมีค่าสูงที่สุดในรอบหลายปีที่ผ่านมาจะเป็นช่วงปลายหน้าแล้งต่อต้นฤดูฝน (ราวเดือนพฤษภาคมของทุกปี) ที่มีค่าอุณหภูมิของอากาศสูงประมาณ 33 °C



ภาพที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของอากาศและปริมาณน้ำฝนในบริเวณพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณ ตามรายเดือน ในปี พ.ศ. 2553 *(ที่มา: ปรับปรุงจาก จารุมาศและคณะ 2554)*

เมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิของอากาศกับ*ปริมาณน้ำฝน*นั้น พบว่าปริมาณน้ำฝนที่พบในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างชัดเจนกว่าอุณหภูมิของอากาศ โดยปริมาณน้ำฝนในรอบปี พ.ศ. 2553 **(ภาพที่ 2.15** ขวา) ในช่วงฤดูหนาวจนถึงฤดูแล้ง (เดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน) มีปริมาณน้ำฝนที่ตกรายเดือนต่ำมาก (เฉลี่ยในระดับ

20 มิลลิเมตรต่อเดือน) แต่เมื่อเข้าช่วงต้นฤดูฝนไปจนถึงกลางฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม) พบปริมาณน้ำฝนมากขึ้นสูงถึงประมาณ 300 มิลลิเมตรต่อเดือน ซึ่งนับเป็นช่วงเวลาที่ฝนตกมากที่สุดในพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำฝนจะลดลงอย่างชัดเจนอีกครั้งในช่วงฤดูหนาว (เดือนธันวาคม) ซึ่งในภาพรวมนั้นการเปลี่ยนแปลงด้านภูมิอากาศในทั้งสองปัจจัยมีบทบาทต่อปริมาณน้ำต้นทุน (ในพื้นที่ที่เป็นตาน้ำและในลำห้วยต้นน้ำ) และระดับน้ำที่เก็บกักได้ในแต่ละชั้นของน้ำตก นอกจากนี้ ยังมีอิทธิพลต่อปัจจัยคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำทั้งด้านกายภาพและด้านเคมีภายในระบบนิเวศน้ำตก ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

2.3.2) ลักษณะการใช้ประโยชน์และบทบาทต่อพื้นที่ท้ายน้ำ

การเรียนรู้การเปลี่ยนแปลงในคุณภาพน้ำจากระบบนิเวศน้ำตกและลำธารต้นน้ำมาเป็นระบบนิเวศแม่น้ำซึ่งเริ่มมีการใช้ประโยชน์ในที่ดินโดยรอบเข้ามาเกี่ยวข้องนับว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนากระบวนทัศน์ด้านความเชื่อมโยงของระบบแม่น้ำและการวางแผนบริหารจัดการแหล่งน้ำเชิงบูรณาการ

ตารางที่ 2.5 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยคุณภาพน้ำที่พบในเขตต้นน้ำจากพื้นที่ลำธารขนาดเล็กจนกระทั่งกลายเป็นแม่น้ำ (ในบริเวณตอนต้นของลุ่มน้ำเพชรบุรี เขตอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี)

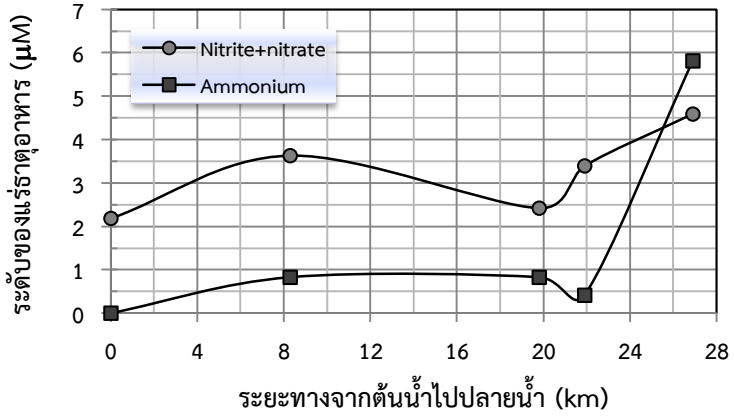
บริเวณที่สำรวจ	ระยะทางจากต้นน้ำ (km)	อุณหภูมิของน้ำ (°C)	ความเร็วของน้ำ (cm/S)	การนำไฟฟ้า (μS/cm)	ความเป็นกรด-เบสของน้ำ	ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)
ต้นแม่น้ำเพชรบุรี บริเวณเคยูแค้มป์[1]	0	23.25	25	40	9.59	8.47
ลำธารช่วงกลาง เนินแก่งกระจาย[2]	8	24.20	83	43	8.58	8.72
ลำธารในพื้นที่วังข่า[3]	20	24.42	67	60	8.75	8.88
ลำธารหน้าหน่วยพิทักษ์ฯโป่งลึก[4]	22	23.73	83	70	8.60	8.91
ลำห้วยครก/แม่น้ำเพชรบุรีตอนต้น[5]	27	25.46	68	96	8.45	9.24

หมายเหตุ สำรวจในช่วงวันที่ 30 มิถุนายน – 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ตามพิกัด; [1]1422197N 532756E, [2]1428725N 532128E, [3]1434103N 536856E, [4]1434626N 540762E, และ [5]1430018N 554454E ตามลำดับ

ในการศึกษาติดตามคุณภาพน้ำของแม่น้ำเพชรบุรี จากพื้นที่ลำห้วยต้นน้ำ (บริเวณเคยูแค้มป์ซึ่งรับน้ำจากลำห้วยน้ำตกทอทิพย์) ไปตามระยะทางการไหลของแม่น้ำที่ผ่านป่าเขาในเขตอุทยานแห่งชาติ จนกระทั่งออกสู่พื้นที่ภายนอกที่มีการตั้งบ้านเรือนและมีการใช้ประโยชน์ในที่ดินโดยชุมชน ในระยะทางประมาณ 28 กิโลเมตรจากพื้นที่ลำห้วยต้นน้ำนั้น ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นระดับอุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ การนำไฟฟ้า หรือความเป็นกรด-เบสของน้ำนั้น มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางน้อยมาก (**ตารางที่ 2.5**)

อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่เป็นดัชนีชี้วัดการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน คือ ปัจจัยแร่ธาตุอาหารในน้ำ โดยเฉพาะในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจน ที่พบการเพิ่มขึ้นจากระดับเฉลี่ยเดิมประมาณ 6 เท่า ขณะที่พบการเพิ่มของไนไตร์ทไนเตรทไนโตรเจนเพียงประมาณ 2 เท่า (**ภาพที่ 2.16**)

กรณีศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในส่วนท้ายของอุทยานแห่งชาติเอราวัณ (สถานี EW0) และคุณภาพน้ำในส่วนของลำน้ำแควใหญ่ (สถานี KW1) ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกของเขตอุทยานฯ และรับน้ำที่มาจากลำธารน้ำตกบางส่วน (จารุมาศและคณะ 2554) มีผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำรวมทั้งหมด 9 พารามิเตอร์ ซึ่งเป็นการศึกษาตามฤดูกาลในรอบสามปี (พ.ศ. 2552-2554)



ภาพที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงระดับของแร่ธาตุอาหารในรูปของแอมโมเนียม (Ammonium; µM) และไนไตร์ทไนเตรท (Nitrite+nitrate; µM) ตามระยะทางจากพื้นที่ลำห้วยต้นแม่น้ำเพชรบุรี (Headwaters; 0 km) ไปตามเส้นทางแม่น้ำจนถึงที่พื้นที่วังข่า (19.8 km) หน่วยพิทักษ์ป่าบ้านโป่งลึก (21.9 km) และพื้นที่การเกษตรแนวใกล้ลำห้วยครก (26.9 km) ตามลำดับ

ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเอราวัณพบว่าโดยทั่วไปอุณหภูมิของระบบนิเวศน้ำตก (26.2 ±1.40 องศาเซลเซียส) จะต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำประมาณ 1 องศาเซลเซียส ขณะเดียวกันจะให้ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย (399±19 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยในพื้นที่แม่น้ำ (258±6 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) (**ตารางที่ 2.6**)

ตารางที่ 2.6 คุณภาพน้ำของน้ำตกเอราวัณส่วนลำธารตอนล่าง (Station EW0) เปรียบเทียบกับในส่วนของลำน้ำแควใหญ่ตอนต้น (Station KW1) ในปัจจัยด้านอุณหภูมิของน้ำ (Temp; °C) การนำไฟฟ้า (Cond; μS/cm) ออกซิเจนละลายน้ำ (DO; mg/L) ความเป็นกรด-เบส (pH) ความเข้มข้นของแอมโมเนียม (NH_4^+; μM) ไนไตรท์ไนเตรท (NO_2^- +NO_3^-; μM) อนินทรีย์ไนโตรเจนรวม (DIN; μM) ออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}; μM) และซิลิเกท ($SiOH_4$; μM) ที่ได้สำรวจตามฤดูกาลในช่วงปี พ.ศ. 2552-2554 *(ที่มา: ปรับปรุงจาก จารุมาศและคณะ 2554)*

Station	Data	Temp	Cond	DO	pH	NH_4^+	NO_2^- +NO_3^-	DIN	PO_4^{3-}	$SiOH_4$
EW0	Mean	26.20	399	8.11	8.18	4.67	7.64	12.31	0.76	69.13
	SD	1.40	19	1.90	0.17	3.68	5.07	8.13	1.34	23.46
KW1	Mean	27.54	258	4.47	8.19	20.53	0.66	21.19	0.30	80.10
	SD	0.96	6	1.53	0.37	8.19	0.66	7.62	0.54	18.21

ทั้งนี้ พบว่าปัจจัยที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ ระดับของออกซิเจนละลายน้ำซึ่งระบบนิเวศน้ำตกมีค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลายน้ำที่สูงถึง 8.11±1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม มวลน้ำในแม่น้ำแควใหญ่ในเขตที่ต่อเนื่องกันมีค่าของออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำกว่ามาก (4.47±1.53 มิลลิกรัมต่อลิตร) ถึงแม้จะได้รับมวลน้ำบางส่วนจากพื้นที่ลำธารน้ำตกตลอดเวลา

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงด้านออกซิเจนละลายน้ำกับปัจจัยด้านแร่ธาตุอาหารในน้ำจะพบว่าสัดส่วนของแอมโมเนียมต่อไนไตรท์ไนเตรทในส่วนของแม่น้ำมีการแปรผันในทางตรงกันข้าม โดยแอมโมเนียมในแม่น้ำได้เพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 5 เท่าจากน้ำต้นทุน และมีค่าสูงถึงประมาณ 20 ไมโครโมลาห์ (**ตารางที่ 2.6**)

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำดังกล่าว สะท้อนอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบพื้นฐานของระบบนิเวศทางน้ำซึ่งมีความเชื่อมโยงต่อกระบวนการทางชีววิทยาในแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะการไหลของน้ำที่ช้าลง ลักษณะของดินพื้นท้องน้ำที่เปลี่ยนจากตะกอนหินปูนและก้อนหินกรวดมนขนาดต่าง ๆ ในระบบนิเวศน้ำตก มาเป็นตะกอนเนื้อละเอียดที่มีสีเข้มขึ้น (ซึ่งมีที่มาจากการสะสมของซากพืชที่ปกคลุมชายขอบน้ำรวมทั้งสารอินทรีย์จากชุมชนเมืองที่ไหลรวมลงมาในแม่น้ำ) ตลอดจนลักษณะการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบทางชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและการย่อยสลายในแหล่งน้ำที่เชื่อมโยงกัน

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของแร่ธาตุอาหารที่พบในลำห้วยต้นน้ำในเขตภูมิภาคอื่น ๆ ของประเทศไทย ได้สะท้อนภาพของการเพิ่มขึ้นในระดับของแอมโมเนียมไนโตรเจนในพื้นที่ที่พบการเข้ามาอยู่อาศัยโดยชุมชนรวมถึงการใช้ประโยชน์ในที่ดินโดยรอบเช่นเดียวกัน ยกตัวอย่าง เช่น คลองท่าดี ในพื้นที่ตำบลคีรีวง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นบริเวณที่ตั้งของหมู่บ้านขนาดใหญ่ คลองนี้รับน้ำต้นทุนมาจากเขาหลวง (ต้นแม่น้ำตาปี) เราพบว่าระดับของแอมโมเนียมไนโตรเจนในคลองท่าดีได้เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 4 μM จากระดับเดิมที่แทบตรวจไม่พบเลย ในทำนองเดียวกันที่ในพื้นที่ห้วยอุมโล๊ะ จังหวัดแม่ฮ่องสอน และในพื้นที่ห้วยขุนกระเวน จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งพื้นที่รับน้ำ

ด้านบนของลำห้วยได้ถูกใช้ประโยชน์ในที่ดินเพื่อทำการเกษตร ระดับของแอมโมเนียมไนโตรเจนในมวลน้ำก็มีการเพิ่มสูงขึ้นได้ ในขณะที่ระดับของไนเตรทในน้ำมีความผันแปรและอาจมีแนวโน้มที่ลดลงไปในบางพื้นที่ (**ตารางที่ 2.7**)

ตารางที่ 2.7 ปริมาณแร่ธาตุอาหารในน้ำพื้นที่ลำห้วยต้นน้ำ[(1)-(5)] ในเขตภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย ซึ่งมีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง* ที่แตกต่างกัน

บริเวณที่สำรวจ	ความสูง* (m)	แอมโมเนียม (μM)	ไนไตร์ทไนเตรท (μM)	ซิลิเกท (μM)	ฟอสเฟต (μM)	ช่วงเวลาที่ศึกษา
ต้นน้ำตาปี[(1)]	1,600	0.37	1.15	2.67	*nd*	พค. 2547
ห้วยสายใน[(1)]	800	*nd*	1.57	14.68	0.21	พค. 2547
คลองลำงา[(2)]	250	*nd*	0.94	54.27	0.35	มิย. 2547
คลองปง[(2)]	120	*nd*	0.31	64.05	0.29	มิย. 2547
คลองท่าดี[(2)]	50	4.04	0.63	31.14	0.09	มิย. 2547
ห้วยโอโละโกร[(3)]	650	*nd*	7.52	128.17	0.06	มีค. 2548
ห้วยอุมโล๊ะ[(3)]	270	0.84	*nd*	165.79	0.18	มีค. 2548
ห้วยทอทิพย์[(4)]	280	*nd*	2.18	212.98	*nd*	กค. 2550
ห้วยมาอิแอด[(4)]	250	*nd*	4.35	214.45	*nd*	กค. 2550
ห้วยตะเกลพาดู[(4)]	280	0.42	3.63	129.26	*nd*	กค. 2550
ห้วยขุนกระเวน[(4)]	250	1.00	0.97	211.52	*nd*	กค. 2550
ห้วยบ้านกร่าง[(5)]	400	2.53	12.21	82.02	0.38	พค. 2552
		0.78	11.47	48.50	0.18	สค. 2552

(nd = non-detected level)

หมายเหตุ [(1)]ต้นน้ำ/ลำธารในเขตอุทยานแห่งชาติเขาหลวง จังหวัดนครศรีธรรมราช, [(2)]ต้นแม่น้ำตาปีในเขตชุมชนคีรีวง อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช, [(3)]ลำห้วยต้นน้ำแม่เงา อุทยานแห่งชาติแม่เงา จังหวัดแม่ฮ่องสอน, [(4)]ลำห้วยต้นน้ำแม่น้ำเพชรบุรี รับน้ำหลักจากน้ำตกทอทิพย์ อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี, [(5)]ต้นน้ำแม่น้ำปราณบุรี เขตบ้านกร่าง(กิโลเมตรที่ 18) อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในแต่ละระบบนิเวศที่กล่าวมาข้างต้นอาจมีความแตกต่างกันออกไปตามภูมิภาคได้บ้าง อย่างไรก็ตาม ปัญหาการลดลงของออกซิเจนละลายน้ำและการเพิ่มขึ้นในสัดส่วนของแอมโมเนียมไนโตรเจนที่มีในปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำรวมจัดเป็นปัจจัยชี้วัดสำคัญที่บ่งบอกสภาวการณ์การเปลี่ยนแปลงจากระบบนิเวศลำห้วยน้ำตกมาเป็นระบบนิเวศแม่น้ำซึ่งสะท้อนภาพของการเข้าไปใช้ประโยชน์ในที่ดินโดยรอบได้

2.4) บทสรุปภาพรวม

ระบบนิเวศของพื้นที่น้ำตกและลำธารต้นน้ำส่วนใหญ่ของประเทศไทยอยู่ในพื้นที่ป่าต้นน้ำ ภายใต้การอนุรักษ์ดูแลโดยกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช ระบบนิเวศประเภทนี้ได้รับอิทธิพลจากลักษณะพื้นฐานทางธรณีวิทยาและสัณฐานวิทยาของแต่ละเขตภูมิภาค นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงในลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการไหลของน้ำต้นทุน ก็นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อคุณภาพน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของดินพื้นท้องน้ำตลอดจนสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นภายในระบบนิเวศ

ปัจจัยคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำภายในระบบนิเวศน้ำตกมีลักษณะจำเพาะที่หลากหลาย โดยหลายปัจจัย อาทิ ออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-เบส และอุณหภูมิของน้ำ จัดเป็นปัจจัยซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ ขณะที่มีอีกหลายปัจจัย อาทิ ระดับของแร่ธาตุอาหาร (โดยเฉพาะในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจน) และปริมาณอินทรีย์สารบริเวณพื้นท้องน้ำ ที่แสดงความแปรปรวนสูง ทั้งตามพื้นที่ย่อยในแต่ละช่วงชั้นของน้ำตก และตามฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงไปในรอบปี ทั้งนี้ ภาพรวมของการศึกษาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำและระบบการผลิตทรัพยากรภายในระบบนิเวศแหล่งน้ำตกจะสัมพันธ์กับปริมาณการไหลของมวลน้ำที่นำพาเอาอินทรีย์สารและแร่ธาตุมาจากระบบนิเวศป่าไม้โดยรอบเข้ามาสู่แหล่งน้ำเป็นหลัก

ปัจจุบันพื้นที่น้ำตกทั่วไปมีสถานการณ์คุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่ดีมาก มีระดับของออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยในระดับสูง อย่างไรก็ตาม ในบริเวณลำน้ำสาขาที่อยู่ถัดลงไปทางตอนล่างมักเกิดสภาวะที่คุณภาพน้ำได้เสื่อมโทรมลงไปเรื่อย ๆ ซึ่งถึงแม้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงในคุณภาพน้ำอาจมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละภูมิภาค ปัญหาการลดลงของออกซิเจนละลายน้ำและการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียมไนโตรเจนยังจัดเป็นปัญหาที่พบได้ทั่วไป ซึ่งสะท้อนสภาวการณ์การเข้าไปใช้ประโยชน์ในที่ดินโดยรอบแหล่งน้ำอย่างขาดความระมัดระวัง และการเปลี่ยนแปลงจากระบบนิเวศลำห้วยน้ำตกมาเป็นระบบนิเวศแม่น้ำซึ่งรับเอามวลน้ำมาจากหลายทิศทาง

จากข้อมูลความรู้ดังกล่าวการอนุรักษ์ดูแลมวลน้ำต้นทุน (ซึ่งมาจากระบบป่าต้นน้ำลำธาร) ให้มีคุณภาพดีและมีปริมาณที่สม่ำเสมอจึงนับเป็นเรื่องสำคัญที่ทุกคนควรตระหนักร่วมกัน นอกจากนี้ เราควรหาทางเฝ้าระวังปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นภายในแหล่งต้นน้ำโดยหมั่นติดตามวิเคราะห์คุณภาพน้ำและควรวางแผนการศึกษาติดตามที่สอดคล้องกับลักษณะการใช้ประโยชน์จำเพาะในแต่ละพื้นที่ ทั้งนี้ ควรนำเอาความรู้ด้านระดับตามธรรมชาติพื้นฐาน (Based-line concentrations) ของปัจจัยที่สนใจมาร่วมพิจารณาด้วย

บทที่ 3

ระบบนิเวศแม่น้ำ

The River Ecosystem

จากบทก่อนหน้าที่ได้กล่าวถึงระบบนิเวศของพื้นที่น้ำตกและแหล่งต้นน้ำซึ่งเป็นระบบนิเวศที่มีความจำเพาะในทำเลที่ตั้งที่มักพบตามบริเวณภูเขาสูงที่เป็นเขตต้นน้ำลำธารและมีความโดดเด่นในลักษณะด้านความลาดชันและปริมาณการไหลของน้ำในพื้นที่ ในบทนี้จะเป็นเรื่องราวของแหล่งน้ำไหลประเภท “***แม่น้ำ***” ที่อยู่ต่อเนื่องจากระบบนิเวศตอนบนโดยพบในบริเวณที่มีความลาดชันที่ลดหลั่นลงมาและมักเป็นพื้นที่ราบซึ่งเปิดโล่งมากกว่าเดิม (**ภาพที่ 3.1**)

ภาพที่ 3.1 ลักษณะของแม่น้ำที่รับน้ำจากพื้นที่ป่าเขาโดยรอบ (แม่น้ำน่าน ในเขตอุทยานแห่งชาติแม่จริม จังหวัดน่าน)

แหล่งน้ำไหลประเภทแม่น้ำ จัดเป็นระบบนิเวศที่มีความจำเพาะที่มีลักษณะการไหลของน้ำในอัตราที่หลากหลาย เร็วบ้างช้าบ้าง ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตามฤดูกาลและสภาพความลาดชันตามธรรมชาติของพื้นที่ นอกจากนี้ อัตราการไหลยังมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางและปริมาณการไหลตามการจัดการการใช้ประโยชน์ในแหล่งน้ำโดยมนุษย์

แม่น้ำขนาดเล็กในบริเวณใกล้เขตป่าต้นน้ำลำธารมักจะแคบ มีความลึกไม่มาก มีน้ำที่ไหลแรง และมีพื้นท้องน้ำแบบผสมผสาน ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรวดหินขนาดต่าง ๆ กระจายอยู่ทั่วไปและพบมากกว่าพื้นท้องน้ำที่เป็นตะกอนขนาดเล็ก เมื่อแม่น้ำลำธารสาขาต่าง ๆ ไหลมาบรรจบกันลงมาสู่ที่ราบลุ่มด้านล่าง ลักษณะการแผ่กระจายออกของมวลน้ำที่อาจแตกสาขาไปตามพื้นที่โดยรอบจะส่งผลให้ความเร็วของน้ำลดต่ำลง และเกิดการสะสมของตะกอนขนาดเล็กละเอียดได้มากขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งถึงพื้นที่ปากแม่น้ำที่มักมีตะกอนละเอียดสะสมอยู่เป็นหลัก

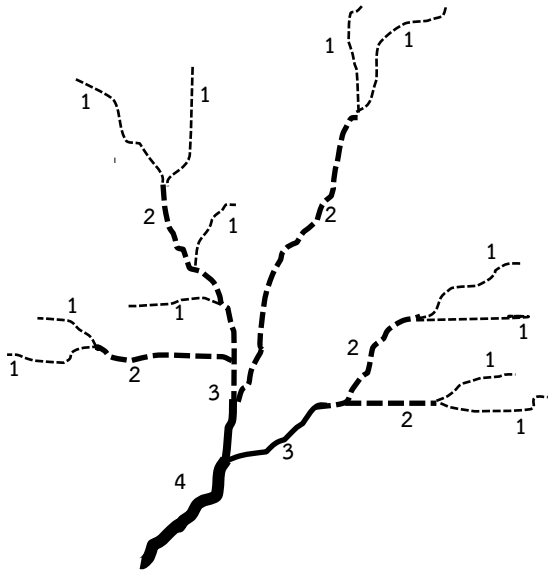
ระบบนิเวศแม่น้ำนับเป็นระบบนิเวศที่ซับซ้อนระบบหนึ่ง ประกอบด้วยกระบวนการของสิ่งมีชีวิต ตั้งแต่ระดับของผู้ผลิตขั้นต้น ผู้บริโภคระดับขั้นต่าง ๆ ขึ้นไป และผู้ย่อยสลาย ซึ่งดำเนินกิจกรรมการดำรงชีวิตภายใต้ระบบการเคลื่อนตัวของน้ำที่ไม่เคยหยุดนิ่ง ลักษณะด้านทิศทางและปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำนับเป็นลักษณะทางกายภาพพื้นฐานที่สำคัญยิ่งที่มีบทบาทในการควบคุมอัตราการเกิดกระบวนการทางชีวภาพโดยกลุ่มของสิ่งมีชีวิต และยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางเคมี โดยเฉพาะด้านอัตราการละลายหรือการแลกเปลี่ยนของก๊าซ และการแพร่กระจายของแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในมวลน้ำ การเคลื่อนตัวของมวลน้ำที่เชื่อมโยงไปถึงโอกาสการกัดเซาะบริเวณชายตลิ่ง และการตกตะกอนที่พบเพิ่มขึ้นในบางพื้นที่ ตามระยะเวลาหรือตามฤดูกาลต่าง ๆ ยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปทรงทางสัณฐานวิทยาของแม่น้ำอย่างค่อยเป็นค่อยไป นอกจากนี้ ยังมีบทบาทต่อการนำพาเอาตะกอนสารอินทรีย์และแร่ธาตุอาหารจากบริเวณแผ่นดินลงมาสู่ปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรสัตว์น้ำที่สำคัญ และมีบทบาทเชื่อมโยงกับระบบนิเวศทางทะเลที่ต่อเนื่องไป ระบบของแม่น้ำในภาพรวมจึงเป็นส่วนสำคัญในวัฏจักรน้ำที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของมวลน้ำจืด ทำให้เกิดการหมุนเวียนถ่ายทอดสสารและพลังงานในระหว่างระยะทางที่ไหลพาดผ่านลงสู่พื้นที่ในวงกว้างจนถึงเขตชายฝั่งทะเล พื้นที่บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเป็นอาณาบริเวณที่นับว่าสำคัญที่สุดในการตั้งถิ่นฐานของชุมชน และเป็นแหล่งการใช้ประโยชน์ในการผลิตพืชผลทางการเกษตร ตลอดจนการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม ทั้งนี้ เริ่มจากความจำเป็นในการที่มนุษย์เราต้องใช้แหล่งน้ำจืดเพื่อการดำรงอยู่ของชีวิตเป็นพื้นฐานนั่นเอง

3.1) ธรรมชาติของระบบนิเวศแม่น้ำ

เมื่อพิจารณาแม่น้ำ ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ ในรอบวัน เราจะพบว่าอัตราไหลรวมทั้งระดับความลึกของน้ำอาจเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แม่น้ำที่อยู่ใกล้เขตป่าต้นน้ำลำธาร จะเปลี่ยนแปลงอัตราไหลของน้ำโดยอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ในแต่ละช่วง มวลของน้ำในพื้นที่รับน้ำเกิดจากการไหลบ่าลงมาของน้ำฝนที่ตก ซึ่งบางครั้งอาจมีความเร็วของน้ำเพิ่มอย่าง

กะทันหันหลังจากที่ฝนตกในพื้นที่ไปแล้วหลายชั่วโมง และการเพิ่มของระดับน้ำในภาพรวมมักพบในช่วงของกลางฤดูฝนเป็นส่วนใหญ่

แม่น้ำในตำแหน่งที่อยู่ตอนล่างลงมา จะเกิดจากการไหลรวมตัวของลำธารขนาดเล็ก หรือสายของแม่น้ำต่าง ๆ ที่ไหลลัดเลาะลงมาจากแนวร่องเขา เกิดการรวมตัวของมวลน้ำกลายเป็นแม่น้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ อาจมีมวลน้ำมากขึ้น ลึกขึ้น หรือบางพื้นที่ที่เป็นที่ค่อนข้างราบ แม่น้ำจะแผ่กว้างและตื้นขึ้น พร้อมทั้งอัตราไหลที่มักลดลง



ภาพที่ 3.2 ลักษณะการจัดระบบแม่น้ำออกเป็นอันดับ (Order) โดยเรียงจากอันดับที่ 1 ซึ่งเป็นลำธารขั้นแรกสุด พบในเขตป่าต้นน้ำ ไปสู่ลำดับที่มากขึ้นเมื่อเกิดการรวมตัวกันมาเรื่อย ๆ ทางส่วนปลายน้ำ *(ที่มา: ปรับปรุงจาก Allan, 1995)*

แม่น้ำที่พิจารณาในพื้นที่แบบหลังนี้จะไม่แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงอัตราไหลหรือระดับความลึกของน้ำจากอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนเหมือนแม่น้ำลำธารในเขตป่าต้นน้ำอีกต่อไป แต่การเปลี่ยนแปลงในอัตราไหลและระดับน้ำจะได้รับอิทธิพลจากปัจจัยที่ผสมผสานกันหลายอย่าง อาทิ สภาวการณ์ในการระเหยของน้ำ ลักษณะความลาดชันของพื้นที่ องค์ประกอบของพื้นท้องน้ำและสิ่งกีดขวางในน้ำ การบริหารจัดการน้ำเพื่อการชลประทานหรือเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคจากพื้นที่ชุมชนโดยรอบ เป็นต้น

การจัดอันดับสำหรับระบบแม่น้ำ

การศึกษาระบบแม่น้ำที่มีมาทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในลักษณะพื้นฐานทางนิเวศอุทกวิทยาของระบบแม่น้ำว่ามีความแตกต่างกันไปตามพื้นที่และปัจจัยแวดล้อมหลายประการ และเพื่อให้สามารถเข้าใจลักษณะและเกิดการเรียนรู้ด้านปัจจัยตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างจำเพาะเจาะลงและเหมาะสมกับแต่ละเขตพื้นที่ จึงได้มีการจัดจำแนกลักษณะของแม่น้ำโดยจัดแบ่งออกมาเป็น ***อันดับ*** (Order) (Allan, 1995; **ภาพที่ 3.2**) ทั้งนี้ แม่น้ำลำธารที่อยู่ในเขตต้นน้ำและมีความเปลี่ยนแปลงอัตราไหลซึ่งตอบสนองกับปริมาณน้ำฝนอย่างชัดเจนได้ถูกจัดอยู่ในอันดับที่ 1 (First-order stream) ซึ่งเป็นอันดับแรกสุด และเมื่อลำธารอันดับแรกเหล่านี้เกิดการไหลรวมตัวกันก็จะเกิดเป็นลำธารอันดับที่ 2 (Second-order stream) และต่อ ๆ ไป ตามลำดับ

ลักษณะการจัดระบบในลุ่มน้ำที่มีลำน้ำสาขาไหลมารวมตัวกันจากหลากหลายพื้นที่พบว่าจะมีปากน้ำ (หรือส่วนท้ายสุดของลุ่มน้ำ) ที่มีเลขอันดับที่สูง ในทางตรงกันข้ามสำหรับลุ่มน้ำที่เกิดขึ้นจากแม่น้ำไม่กี่สายและไหลเป็นเส้นทางค่อนข้างตรงไม่คดเคี้ยวมาก มักมีระยะทางของแม่น้ำที่สั้นกว่าก็จะมีเลขอันดับที่ต่ำกว่า (ดังตัวอย่างใน **ตารางที่ 3.1**)

ตารางที่ 3.1 อันดับ (Order; 1-10) ของแม่น้ำในประเทศสหรัฐอเมริกาเปรียบเทียบกับลักษณะทางด้านจำนวนของแม่น้ำ (Number) ค่าเฉลี่ยของความยาว (Average length; km) และค่าเฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำ (Mean drainage area; km^2) *(ที่มา: ปรับปรุงจาก Cushing and Allan, 2001)*

อันดับ	จำนวนของแม่น้ำ	ความยาวเฉลี่ยของแม่น้ำ (km)	พื้นที่รับน้ำเฉลี่ย (km^2)
1	1,570,000	1.6	2.6
2	350,000	3.7	12.2
3	80,000	8.8	67
4	18,000	19	282
5	4,200	45	1,340
6	950	102	6,370
7	200	235	30,300
8	41	540	144,000
9	8	1,240	684,000
10	1	2,880	3,240,000

ความเข้าใจใน “อันดับ” เหล่านี้ สามารถสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างในแหล่งที่มาของมวลน้ำในแม่น้ำ รวมทั้งทำให้เราสามารถจินตนาการด้านความยาวหรือระยะทางที่แม่น้ำครอบคลุมตลอดจนขนาดของพื้นที่รับน้ำ และประเมินโอกาสในการเกิดผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ในแหล่งน้ำโดยมนุษย์ที่มีความแตกต่างกันและมักมีปริมาณมากขึ้นตามลำดับเลขที่สูงขึ้นตามลำดับด้วย

อัตราไหลของน้ำในพื้นที่แม่น้ำ

อัตราไหล หรือ Flow rate ในแต่ละพื้นที่แม่น้ำ (โดยทั่วไปแสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) เป็นปัจจัยทางอุทกวิทยาที่มีความสำคัญมากในการอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวภาพและเคมีในลำน้ำที่เราสนใจศึกษาติดตาม

กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำ (Hydrograph) ที่แสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในรอบวัน (หรือเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนในรอบปี) จากการประเมินปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ ณ ตำแหน่งสำรวจหนึ่ง ๆ อย่างต่อเนื่อง จะสามารถแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของมวลน้ำตามฤดูกาลในแต่ละปีที่ต่อเนื่องกันว่าเหมือนกันหรือไม่ อย่างไร หรือมีรูปแบบอย่างไร ซึ่งการติดตามผลในระยะยาวตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไปจนถึง 10 ปี จะทำให้ทราบลักษณะพื้นฐานตามธรรมชาติของระบบนิเวศแม่น้ำนั้นๆ ได้อย่างชัดเจน (ยกตัวอย่างเช่น การพบว่ามีรอบฤดูกาลของความแห้งแล้งเกิดทุกระยะ 3-4 ปี หรือการพบสถานการณ์น้ำท่วมหลาก น้ำล้นตลิ่งขึ้นไปสูง หรือทำให้เกิดการกัดเซาะพังทลายของพื้นที่โดยรอบและเกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำโดยรวมในทุกช่วงกลางฤดูฝน เป็นต้น)

ตารางที่ 3.2 ลักษณะการจัดจำแนกประเภทของแม่น้ำ (Type of river) ตามอัตราการไหล (Average discharge) พื้นที่การรับน้ำ (Drainage area) ความยาวของแม่น้ำ (Length of river) และอันดับของแม่น้ำ (Order of river) *(ที่มา: ปรับปรุงจาก Chapman, 1992)*

ลักษณะของแม่น้ำ	อัตราไหลเฉลี่ย ($m^3 s^{-1}$)	พื้นที่การรับน้ำ (km^2)	ความยาวของแม่น้ำ (km)	อันดับของแม่น้ำ
แม่น้ำขนาดใหญ่มาก	>10,000	>1,000,000	>1,500	>10
แม่น้ำขนาดใหญ่	1,000-10,000	100,000-1,000,000	800-1,500	7-11
แม่น้ำขนาดปานกลาง	100-1,000	10,000-100,000	200-800	6-9
แม่น้ำขนาดเล็ก	10-100	1,000-10,000	40-200	4-7
ลำธาร	1-10	100-1,000	8-40	3-6
ลำธารขนาดเล็ก	0.1-1.0	10-100	1-8	2-5
ลำธารขนาดเล็กมาก	<0.1	<10	<1	1-3

ในงานวิจัยด้านแม่น้ำที่ผ่านมามีการใช้ค่าอัตราไหลนี้เป็นปัจจัยหลักในการจำแนกประเภทหรือขนาดของแม่น้ำ (**ตารางที่ 3.2**) ทั้งนี้ ใช้การพิจารณาร่วมกับปัจจัยทางด้านพื้นที่การรับน้ำ ความยาวของแม่น้ำ และ*อันดับ*ที่ประเมินได้สำหรับแม่น้ำนั้น ๆ ซึ่งการประยุกต์ใช้ลักษณะการจำแนกเช่นนี้ทำให้เราสามารถประเมินในเบื้องต้นได้ว่าแต่ละประเภทของแม่น้ำมีกระบวนการในการเปลี่ยนแปลงและลักษณะการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่างเช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำเพชรบุรี หากพิจารณาในด้านอัตราไหลเฉลี่ยและความยาวของแม่น้ำเหล่านี้จะพบว่าจัดอยู่ในประเภทที่ต่างกันไป โดยแม่น้ำเจ้าพระยาจัดเป็นแม่น้ำขนาดใหญ่ แม่น้ำท่าจีนจัดเป็นแม่น้ำขนาดปานกลาง และแม่น้ำเพชรบุรีจัดเป็นแม่น้ำขนาดเล็ก ตามลำดับ

อนึ่ง ข้อมูลความรู้ด้านอัตราการไหลของน้ำ ยังจำเป็นในการประยุกต์ใช้สำหรับพื้นที่แม่น้ำที่ถูกควบคุมการไหลโดยการจัดสร้างฝายทดน้ำเพื่อการชลประทานหรือเป้าประสงค์อื่นๆ ลักษณะการควบคุมการไหลของน้ำที่มนุษย์เราเข้าไปจัดการจะทำให้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (หรือฤดูกาล) ของอัตราไหลในแม่น้ำนั้น ๆ เปลี่ยนไป โดยอาจมีค่าค่อนข้างจะคงที่ ขึ้นอยู่กับลักษณะการควบคุมการเปิด-ปิดประตูน้ำ ซึ่งมักจะกำหนดเพื่อสนับสนุนการใช้ประโยชน์จากน้ำ อาทิ เพื่อทำการเกษตรกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้า หรือการใช้เพื่อการผลิตน้ำประปา เป็นต้น

สำหรับพื้นที่แม่น้ำที่มีการจัดสร้างฝายทดน้ำโดยเฉพาะเพื่อการชลประทานนั้น อาจจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนระดับการควบคุมอัตราการไหลเพื่อตอบสนองความต้องการใช้น้ำที่มากขึ้นจากปัญหาภัยแล้งด้านท้ายน้ำ หรือบางครั้งอาจจำเป็นต้องปล่อยน้ำระบายออกมาสูงกว่าปกติที่เคยดำเนินการเป็นประจำเนื่องจากปัญหาอุทกภัยที่ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณโดยรอบของลำน้ำก็เป็นได้

การเคลื่อนย้ายของสารในระบบนิเวศแม่น้ำ

การแตกของหินขนาดต่าง ๆ เป็นอนุภาคขนาดเล็กเกิดจากแรงบดอัดที่ทำให้เกิดการแตกหักพังทลาย รวมทั้งการกัดเซาะโดยแรงของน้ำ เกิดการเคลื่อนตัวและการตกกระแทกระหว่างการเคลื่อนลงมาจากที่สูง อนุภาคต่าง ๆ เหล่านี้เมื่ออยู่ในแม่น้ำจะถูกเคลื่อนย้ายให้ไหลไปด้วยแรงของน้ำทั้งในสภาวะของการเป็นสารละลาย (Dissolved loads) การเป็นสารแขวนลอยในน้ำ (Suspended loads) หรือการเป็นอนุภาคที่ถูกพัดพาให้เคลื่อนที่บริเวณพื้นท้องน้ำ (Particle loads / Bed loads)

ในพื้นที่แม่น้ำเราจะพบการเคลื่อนย้ายของสารต่างๆ อย่างเห็นได้ชัดมากกว่าในระบบนิเวศน้ำตกหรือในเขตลำธารต้นน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปพบว่าสัดส่วนในการพัดพาของสารแขวนลอยมักพบมากในระบบลุ่มน้ำที่ค่อนข้างแห้งแล้งหรือในเขตหนาว ขณะที่ในพื้นที่เขตอบอุ่นและเขตร้อนโดยเฉพาะบริเวณที่มีความชื้นสูงเราพบว่าสัดส่วนในการพัดพาของสารละลายจะมีค่าสูงมาก ขณะที่สัดส่วนในการพัดพาอนุภาคบริเวณพื้นท้องน้ำจะน้อยมากและอาจทำการประเมินได้ค่อนข้างยาก ทั้งนี้ ต้องอาศัยกระบอกหรือท่อดักตะกอนแบบพิเศษที่ออกแบบมาเพื่อการตรวจวัดปริมาณการเคลื่อนที่ของอนุภาคในบริเวณพื้นท้องน้ำที่จำเพาะสำหรับแต่ละพื้นที่

ธรรมชาติของแม่น้ำและคุณลักษณะเพื่อการบริหารจัดการ

ในระบบนิเวศแม่น้ำนั้นพบว่ารูปแบบและอัตราการไหล ซึ่งหมายถึงความแรงของน้ำ รวมทั้งทิศทางที่น้ำกระทำต่อขอบฝั่งของแม่น้ำมีบทบาทต่ออัตราการกัดเซาะและการเคลื่อนย้ายของอนุภาคในรูปแบบต่าง ๆ และยังมีบทบาทต่ออัตราการตกตะกอนทับถมในพื้นที่จำเพาะบางแห่ง รูปแบบและอัตราการไหลของน้ำนอกจากจะก่อให้เกิดการปรับเปลี่ยนลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแม่น้ำ (อาทิ การเกิดพื้นที่งอกใหม่ในด้านที่เกิดการตกตะกอนอย่างต่อเนื่อง หรือการหายไปของฝั่งด้านที่น้ำไหลกัดเซาะแรง) ยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนของสารที่ถูกเคลื่อนย้ายได้อย่างต่อเนื่อง สารที่มีในแม่น้ำทั้งในรูปแบบของสารละลายและสารแขวนลอยนั้นก็จะมีอิทธิพลในทางนิเวศวิทยาในพื้นที่ส่วนต่าง ๆ ของลำน้ำ ทั้งนี้ จะมีผลต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตและก่อให้เกิดความแตกต่างในความหลากหลายทางชนิดตลอดจนความชุกชุมของสิ่งมีชีวิตทางน้ำได้

อนึ่ง การบริหารจัดการระบบนิเวศแม่น้ำแต่ละแห่งเพื่อคงไว้ซึ่งคุณภาพน้ำที่ดีและยังประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืนนั้น ความรู้ความเข้าใจในลักษณะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา นิเวศอุทกวิทยา และทรัพยากรมีชีวิตในแหล่งน้ำนับเป็นประเด็นที่มีความจำเป็นและควรให้ความสนใจศึกษาวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระหว่างกัน เนื่องจากระบบนิเวศแม่น้ำแต่ละแห่งนั้นมีความจำเพาะตัว นอกจากนี้ ยังประกอบด้วยระบบนิเวศย่อยในแต่ละเขตพื้นที่ต่าง ๆ ที่ได้รับอิทธิพลปัจจัยภายนอกรวมทั้งจากการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะสะท้อนออกมาในสถานการณ์คุณภาพน้ำและลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ต่างกันไปได้อย่างหลากหลาย

3.2) ลักษณะจำเพาะที่มีความสำคัญทางนิเวศอุทกวิทยาในระบบนิเวศแม่น้ำ

ภายในระบบนิเวศของแม่น้ำหนึ่งๆ เราสามารถพบการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบทางชนิดและปริมาณของทรัพยากรชีวภาพซึ่งเป็นผลจากปรากฏการณ์หรือกระบวนการที่เกิดขึ้นซึ่งจะเป็นตัวกำหนดลักษณะเด่นของแม่น้ำแต่ละบริเวณ ปรากฏการณ์หรือกระบวนการดังกล่าวเกิดจากผลกระทบของปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากในพื้นที่ นอกจากนี้ในระบบนิเวศแม่น้ำยังมีลักษณะจำเพาะสำคัญอื่น ๆ อาทิ ด้านที่มาและลักษณะในการเกิดของสารอินทรีย์ ด้านการเกิดมวลชีวภาพต่าง ๆ ในรูปแบบปิรามิดกลับหัว ด้านการเคลื่อนที่ของแร่ธาตุอาหารที่วนเป็นเกลียวลงไปตามเส้นทางของแม่น้ำ และด้านความเชื่อมโยงภายในโครงสร้างของระบบแม่น้ำทั้งสายตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ซึ่งในภาพรวมพบว่าระบบนิเวศแม่น้ำมีลักษณะสำคัญที่เกิดภายในระบบ ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1) ปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากในระบบแม่น้ำ

ปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากอาจพบได้ไม่บ่อยนักในระบบนิเวศลุ่มหนึ่ง ๆ โดยอาจพบประมาณ 1-2 ครั้งในรอบ 10 ปี (หรืออาจบ่อยกว่านั้นในพื้นที่ราบต่ำที่น้ำท่วมได้ง่าย) (**ภาพที่ 3.3**) อย่างไรก็ตามโดยธรรมชาติของระบบนิเวศแม่น้ำของประเทศไทย โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลาง ซึ่งเป็นบริเวณที่ราบต่ำและรับน้ำมาจากพื้นที่โดยรอบ ปรากฏการณ์นี้จึงเป็นปรากฏการณ์ที่

เกิดขึ้นได้บ่อยครั้งกว่า และมักพบเป็นประจำทุกปีในช่วงต้นถึงกลางฤดูฝน ปรากฏการณ์ดังกล่าวก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อระบบนิเวศแม่น้ำในวงกว้าง

ภาพที่ 3.3 ลักษณะของปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนภายในระบบนิเวศของแม่น้ำเพชรบุรี (ภาพซ้าย) และแม่น้ำท่าจีน (ภาพขวา)

มีตัวอย่างงานศึกษาของ Lamberti *et al*. (1991) ชี้ให้เห็นว่าการเกิดน้ำท่วมหลากในลำธารแห่งหนึ่งส่งผลให้เกิดการพัดพาของมวลน้ำที่ประกอบด้วยซากพืชซากสัตว์ โคลน ก้อนหินและดินตะกอนจากพื้นที่รับน้ำโดยรอบลงมาสู่แม่น้ำได้มากถึง 10,000 ลูกบาศก์เมตร การพัดพาในลักษณะนี้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อระบบนิเวศเดิมอย่างเด่นชัด โดยเฉพาะผลกระทบด้านการจำกัดการเจริญเติบโตของผู้ผลิตขั้นต้นชนิดต่าง ๆ ในแม่น้ำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่อย่างกะทันหันและการเกิดความขุ่นของน้ำที่ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหลายวัน (Biggs, 1995, 2000) ด้วยผลกระทบดังกล่าวทำให้เราจำเป็นต้องเรียนรู้และเข้าใจสภาพการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดจากปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากอย่างเพียงพอ ทั้งนี้ เพื่อการหาแนวทางด้านการ “อนุรักษ์” สำหรับเขตพื้นที่ที่เป็นแหล่งผลิตทรัพยากรให้คงไว้ หรือเพื่อหาทาง “ฟื้นฟู” ระบบนิเวศในเขตย่อยที่มีโอกาสจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงที่สูงในลำดับต่อไป

ในแหล่งแม่น้ำของประเทศไทย โดยเฉพาะในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางที่มีกลุ่มลุ่มน้ำเจ้าพระยา (ประกอบด้วยลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำท่าจีน ฯลฯ) และกลุ่มลุ่มน้ำฝั่งตะวันตก (ประกอบด้วย ลุ่มน้ำเพชรบุรี ลุ่มน้ำแม่กลอง) นับเป็นบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากได้บ่อยครั้ง หากไม่นับรวมถึงมหาอุทกภัยที่เกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2554-2555 ที่ผ่านมา การเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยานับว่ามีมาบ่อยครั้ง และทำให้เกิดการพัดพาของตะกอนแขวนลอยลงสู่ปากแม่น้ำในปริมาณมหาศาล

สำหรับในแม่น้ำขนาดเล็กที่มีพื้นที่รับน้ำที่จากหลายทิศทาง อาทิ แม่น้ำเพชรบุรี ผลกระทบจากปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากจะเกิดได้อย่างชัดเจน แม่น้ำเพชรบุรีนับเป็นกรณีศึกษาที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นแม่น้ำที่ถูกควบคุมอัตราการไหลโดยเขื่อนทดน้ำ โดยในบริเวณลุ่มน้ำเพชรบุรีทางตอนกลางได้มีการจัดสร้างเขื่อน (เขื่อนเพชรบุรี) เพื่อจัดสรรน้ำสำหรับการชลประทานเพื่อการเกษตรกรรมและส่งน้ำแยกจากตัวลำน้ำเดิมออกไปเป็นสาขาย่อยต่าง ๆ ที่กระจายน้ำไปใช้ในพื้นที่การเกษตรโดยรอบ พื้นที่ลำน้ำเดิมทางตอนท้ายของเขื่อนโดยทั่วไปจึงมีอัตราการไหลของน้ำที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ (ยกเว้นในช่วงกลางฤดูฝนที่มีปริมาณน้ำต้นทุนที่สูงขึ้นและจำเป็นต้องระบายน้ำมากกว่าเดิมเล็กน้อย) การเกิดปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากในพื้นที่รับน้ำทางตอนบนของแม่น้ำเพชรบุรีจึงมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับน้ำ และอัตราการไหลที่เพิ่มสูงขึ้นจากเดิมอย่างมาก (**ภาพที่ 3.3**)

ด้วยเหตุที่สภาพธรรมชาติของแม่น้ำเพชรบุรีมีลักษณะที่ค่อนข้างแคบ มีความกว้างเฉลี่ยของลำน้ำไม่เกิน 40 เมตร และบางช่วงพื้นที่มีความลาดชันของตลิ่งค่อนข้างสูง (Sangmek and Meksumpun, 2014) เมื่อเกิดสภาวะน้ำท่วมฉับพลันจะทำให้มวลน้ำในแม่น้ำเพิ่มระดับสูงขึ้นจากเดิมได้มากกว่า 5 เมตร บางบริเวณที่มีลำน้ำแคบลง ระดับน้ำก็จะเพิ่มขึ้นสูงได้มากกว่า 10 เมตร และทำให้เกิดการกัดเซาะที่ดินชายตลิ่งไปพร้อม ๆ กับการพัดพาซากพืชซากสัตว์ เศษต้นไม้กิ่งไม้ที่มีในพื้นที่การเกษตรโดยรอบลงสู่ลำน้ำ

ตัวอย่างของปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากที่กะทันหันมากในพื้นที่แม่น้ำเพชรบุรี พบในช่วงปลายปี พ.ศ. 2555 ที่มีการระบายน้ำจากลุ่มน้ำแม่กลองทางตอนบนลงมาอย่างฉับพลัน ทำให้น้ำปริมาณมหาศาลเอ่อท่วมแม่น้ำเพชรบุรีในเขตตอนกลางลงมาถึงตอนล่าง และครอบคลุมพื้นที่อยู่อาศัยของชุมชนโดยรอบ ทำให้ระบบนิเวศของแม่น้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน พรรณไม้น้ำที่มีรากยึดเกาะไม่แน่นหนาได้ถูกพัดพาออกไปจากบริเวณที่รับน้ำแรงแทบทั้งหมด ซึ่งหลังจากระดับน้ำได้ลดลงพบว่าบริเวณพื้นท้องน้ำมีอนุภาคของทรายหยาบและกรวดขนาดต่าง ๆ ตกทับถมลงบริเวณพื้นหน้าดินเกิดเป็นชั้นกรวดทรายขึ้นมาแทน ส่วนในมวลน้ำยังพบความขุ่นที่สูงต่อเนื่องได้หลายวัน และในมวลน้ำประกอบไปด้วยอนุภาคแขวนลอยและแร่ธาตุต่าง ๆ โดยพบปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในน้ำ (Total suspended solids) มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากระดับเฉลี่ยเดิมมากกว่า 15 เท่า

อนึ่ง ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงโดยปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากได้ทำให้เกิดผลกระทบโดยเฉพาะต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาพื้นฐานของลำน้ำ คุณภาพน้ำ และพรรณไม้น้ำ ซึ่งความสัมพันธ์กับระดับของออกซิเจนในระบบนิเวศแม่น้ำ แต่สภาวการณ์ดังกล่าวส่งผลทางบวกต่อการกระจายทางชนิดของพันธุ์ปลา (Melis *et al*., 2011) รวมทั้งเป็นการกระตุ้นให้เกิดการผสมพันธุ์วางไข่ของปลาหลายชนิด นับเป็นประโยชน์ได้อีกทางหนึ่ง สำหรับในด้านการฟื้นคืนสภาพของคุณภาพน้ำที่มีภายในระบบนิเวศของแม่น้ำนั้นอาจจำเป็นต้องใช้ระยะเวลานับสัปดาห์หรือมากกว่านั้น ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณของมวลน้ำต้นทุนที่ไหลเติมลงมาและกระบวนการทางชีวเคมีภายในนั่นเอง

ในภาพรวมของการศึกษาติดตามผลกระทบของปรากฏการณ์น้ำท่วมหลากพบว่านอกจากการประเมินผลกระทบที่มีต่อคุณภาพน้ำในแม่น้ำและความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์แล้ว การวิเคราะห์ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นต่อเสถียรภาพการผลิตทรัพยากรสัตว์น้ำเศรษฐกิจก็นับว่าเป็นเรื่องที่จำเป็นสำหรับการบริหารจัดการในแต่ละระบบลุ่มน้ำ ในการนี้ วางแผนบริหารจัดการเพื่อการฟื้นฟูคุณภาพน้ำจำเป็นต้องคำนึงถึงแนวทางการกำหนดหรือควบคุม "***อัตราการไหล***" หรือ "***การระบายน้ำ***" ที่เหมาะสม เพื่อเอื้ออำนวยให้เกิดการฟื้นฟู***คุณภาพน้ำ*** ที่เสื่อมโทรมไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นการอนุรักษ์ดูแลทรัพยากรสัตว์น้ำตามธรรมชาติที่มีในระบบลำน้ำนั้น ๆ ให้คงอยู่ได้ต่อไป

3.2.2) กระบวนการผลิตและแหล่งของอินทรีย์สารในระบบแม่น้ำ

ในการศึกษาระบบนิเวศแม่น้ำเพื่อให้เกิดความเข้าใจในองค์ประกอบทางชนิดหรือปริมาณของสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่าง ๆ ที่มีในระบบ ความสัมพันธ์ระหว่างกันภายในสายใยอาหาร ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของประชาคมตามอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ของแม่น้ำ เราจำเป็นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานในที่มาที่ไปของแหล่ง "อาหาร" หรือ "พลังงาน" ที่กลุ่มสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ จะได้รับ ณ เวลาหนึ่ง ๆ เนื่องจากลักษณะเหล่านี้จะเชื่อมโยงไปสู่พฤติกรรมการกินอาหาร ความเป็นอยู่ วัฏจักรชีวิต ตลอดจนโอกาสในการเจริญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตที่มีนั้น

ในระบบนิเวศแม่น้ำพบว่ามีปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเคมีหลายประการที่ควบคุมทั้งความชุกชุมและลักษณะของกิจกรรมจำเพาะที่จะเกิดขึ้นโดยสิ่งมีชีวิต ซึ่งในเบื้องต้นเราจำเป็นที่จะต้องแยกกลุ่มของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศแม่น้ำออกมา โดยกลุ่มที่สร้างอาหารเองได้ (Autotrophs) มีความแตกต่างจากกลุ่มที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (Heterotrophs) ในลักษณะของที่มาของสารและพลังงานสำหรับการดำรงชีวิต ทั้งนี้ กลุ่ม Autotrophs ในระบบนิเวศแม่น้ำ(อาทิ พวกพืชชายน้ำ สาหร่าย และพรรณไม้น้ำ ฯลฯ) จัดเป็นกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างพลังงานด้วยตนเองจากการใช้อินทรีย์สารในแหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตเหล่านี้สามารถสร้างสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์และอินทรีย์สารอื่น ๆ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเราเรียกสารที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้ว่าเป็น ***ผลผลิตขั้นต้น*** (Primary production) เนื่องจากการเป็นสารอินทรีย์ใหม่ที่เป็นผลผลิตจากสารอนินทรีย์ในแหล่งน้ำ

ส่วนกลุ่ม Heterotrophs (อาทิ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังพื้นท้องน้ำ แพลงก์ตอนสัตว์ และปลาชนิดต่าง ๆ) ไม่สามารถผลิตอาหารด้วยตนเองและอาศัยการกินอาหาร (อินทรีย์สาร) เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานในการดำรงชีวิต สิ่งมีชีวิตกลุ่ม Heterotrophs อาทิ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดเล็ก แบคทีเรีย รา และโปรโตซัว ฯลฯ จัดเป็น ***ผู้บริโภค*** จำเป็นต้องกินสารอินทรีย์ที่มีในแหล่งน้ำเพื่อการเจริญเติบโต และเมื่อ Heterotrophs เหล่านี้เจริญเติบโตและขยายพันธุ์เพิ่มขึ้นมากกว่ามวลชีวภาพโดยรวมที่มีเดิม ก็จะเกิดเป็น ***ผลผลิตขั้นที่สอง*** (Secondary production) ที่เพิ่มขึ้นมาในแหล่งน้ำ

โดยทั่วไปเราพบว่าโครงสร้างของห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศแม่น้ำมักมีความซับซ้อนประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตที่หลากหลาย ในบางระบบแม่น้ำอาจพบว่าพรรณไม้น้ำมีบทบาทสำคัญในการเป็นผู้ผลิตขั้นต้น (ดังตัวอย่างของดีปลีน้ำที่พบได้อย่างหนาแน่นในพื้นที่แม่น้ำเพชรบุรีตอนกลาง;

ภาพที่ 3.4 ซ้ายและกลาง) ขณะที่ในบางระบบแม่น้ำอาจพบว่าพืชพรรณไม้ที่อยู่โดยรอบแหล่งน้ำ รวมทั้งซากของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ จัดเป็นแหล่งที่มาสำคัญของสารอินทรีย์ที่เข้ามาสู่แหล่งน้ำได้อย่างชัดเจนกว่า

ภาพที่ 3.4 ลักษณะของแม่น้ำเพชรบุรีในบริเวณต่าง ๆ ที่มีผู้ผลิตขั้นต้นชนิดหลักในระบบนิเวศทางน้ำเป็นกลุ่มของสาหร่ายหรือพรรณไม้น้ำ (ก; ห้วยผาก, ข; บ้านสาระเห็ด, ค; ท้ายเขื่อนเพชร ซึ่งอยู่ในส่วนของแม่น้ำเพชรบุรีตอนกลาง เขตอำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี)

เมื่อพิจารณาห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศแม่น้ำโดยทั่วไปเราจะพบว่าอินทรีย์สารที่ได้จากผู้ผลิตขั้นต้น (อาทิ พรรณไม้น้ำ) อาจไม่จำเป็นมากนักในการเป็นแหล่งอาหารและพลังงานขั้นแรก ๆ ภายในระบบ โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาแม่น้ำลำธารที่อยู่ในเขตต้นน้ำหรือในพื้นที่ที่สามารถรับน้ำที่กัดเซาะมาจากแผ่นดิน เนื่องจากในพื้นที่ดังกล่าวมีอินทรีย์สารที่ถูกพัดพาลงมาสู่แม่น้ำได้ง่ายและเป็นแหล่งสำคัญของอาหารและพลังงานภายในระบบนิเวศของแม่น้ำ อินทรีย์สารที่ถูกพัดพาเข้ามาจะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มของผู้ย่อยสลายต่าง ๆ (จุลินทรีย์ในน้ำและในดิน) เมื่อจุลินทรีย์มีการเจริญและขยายปริมาณเพิ่มขึ้นก็จะสามารถเป็นอาหารให้สิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้บริโภคอื่น ๆ ได้ต่อไปตามลำดับ

สารอินทรีย์ที่ถูกพัดพาลงมาสู่แม่น้ำในลักษณะที่เป็นซากของสิ่งมีชีวิต (Detritus) มักประกอบด้วยเศษกิ่งไม้ ใบไม้ ซากพืช ซากสัตว์และเศษตะกอนต่าง ๆ ที่ถูกพัดพาลงสู่ระบบแม่น้ำ นอกจากจะเป็นองค์ประกอบในรูปของแข็ง (Particulate organic matter; POM) แล้ว ยังมีองค์ประกอบที่อยู่ในรูปของสารละลาย (Dissolved organic matter; DOM) อีกด้วย สารอินทรีย์เหล่านี้เมื่อเข้ามาสู่ระบบนิเวศแม่น้ำแล้วจะค่อนข้างยากที่จะจำแนกแหล่งที่มาได้ อย่างไรก็ตาม นักนิเวศวิทยาได้มีความพยายามจำแนกแหล่งที่มาของสารอินทรีย์เหล่านี้ให้ชัดเจนที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยใช้เทคนิคด้านการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของธาตุคาร์บอนเพื่อระบุเป็นสัดส่วนของผลผลิตจากภายนอกระบบ (Allochthonous production) เทียบกับผลผลิตที่เกิดขึ้นภายในระบบ (Autochthonous production) ทั้งนี้ เพื่อประโยชน์ในการอธิบายความเป็นไปหรือเสถียรภาพของระบบนิเวศ และการประยุกต์ใช้ข้อมูลความรู้เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรมีชีวิตทางน้ำได้ต่อไป

ความรู้ความเข้าใจในกระบวนการผลิตของอินทรีย์สาร ยังใช้ประโยชน์ในการอธิบายสถานภาพของระบบนิเวศแม่น้ำ ว่ามีกระบวนการสุทธิของระบบภายในอยู่ในสถานภาพที่ค่อนไปทาง ***ระบบผลิต*** (Autotrophic system) หรือ ***ระบบบริโภค*** (Heterotrophic system) มากกว่ากัน ทั้งนี้ มีการใช้เทคนิคการประเมินอัตราผลิตของออกซิเจนภายใต้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (P) เปรียบเทียบกับอัตราการใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นภายใต้กระบวนการหายใจ (R) ซึ่งข้อมูลด้านสัดส่วน P : R ที่ได้จากการวัดในพื้นที่จริงมักแสดงให้เห็นว่าระบบนิเวศแม่น้ำโดยส่วนใหญ่มักอยู่ในสถานภาพของการเป็น*ระบบบริโภค* ซึ่งมีสัดส่วนของ P : R น้อยกว่า 1 ถึงแม้ว่าจะเป็นพื้นที่แม่น้ำที่มีแสงสว่างอย่างเพียงพอ (Young and Huryn, 1999)

ลักษณะปรากฏเช่นนี้สะท้อนให้เห็นว่าพื้นที่แม่น้ำแต่ละส่วนมีการใช้ออกซิเจนมากกว่าการผลิตออกซิเจน นอกจากนี้ เรายังสามารถอนุมานได้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาของอินทรีย์สารเพื่อการบริโภคในขั้นที่สองหรือขั้นต่อ ๆ ไปจากแหล่งภายนอกของระบบแม่น้ำ

3.2.3) ปิรามิดห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศแม่น้ำ

ในระบบนิเวศแม่น้ำลำธาร การติดตามประชากรของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและการประเมินบทบาทความสัมพันธ์ต่อมวลชีวภาพของผู้บริโภคลำดับขั้นต่าง ๆ นับเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจศึกษากันมาก ผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังโดยเฉพาะกลุ่มของแมลงน้ำที่เป็นผู้บริโภคประเภทต่าง ๆ มีจำนวนประชากรในกลุ่มที่มีลำดับขั้นการกินที่สูงในปริมาณที่มากกว่าประชากรในกลุ่มที่อยู่ในขั้นแรก ๆ อย่างเห็นได้ชัด ลักษณะที่ปรากฏเช่นนี้ สะท้อนให้เห็นลักษณะ

ของปิรามิดการกินต่อกันเป็นทอด ๆ ที่มีฐานของปิรามิดด้านล่างขนาดเล็กกว่าปริมาณผลผลิตที่อยู่ในช่วงชั้นบน ซึ่งจัดเป็นลักษณะของ ***ปิรามิดแบบกลับหัว*** นอกจากนี้ ยังพบว่าหากพิจารณาเฉพาะผลผลิตของปลาที่พบในลำธารหนึ่ง ๆ ผลผลิตดังกล่าวมักมีค่าที่สูงมากเกินกว่าปริมาณอาหารที่เป็นปริมาณสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังต่าง ๆ ที่พบ ทั้งนี้ ผลผลิตปลาเหล่านั้นจำเป็นต้องใช้อาหารเพื่อการบริโภคอย่างน้อย 100 เท่าของปริมาณสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่พบในระบบลำธารนั้น (Hynes, 1970) ข้อมูลความรู้เหล่านี้ทำให้ทราบว่าระบบนิเวศแม่น้ำลำธารมีความจำเพาะด้านแหล่งที่มาของอินทรีย์สารที่มาจากภายนอกระบบเป็นส่วนใหญ่

การค้นพบนี้เรียกว่า ***ปรากฏการณ์ของ Allen*** (Allen Paradox) ซึ่งเป็นหนึ่งในลักษณะจำเพาะของระบบแม่น้ำลำธารที่ไม่เหมือนกับระบบนิเวศแหล่งน้ำอื่น และทำให้การประเมินประชากรสัตว์น้ำที่เป็นผู้บริโภคขั้นสูงจากฐานข้อมูลของปริมาณผลผลิตขั้นต้นและ/หรือปริมาณผลผลิตขั้นที่สองนั้นมีข้อจำกัดโดยไม่สามารถประเมินตามปริมาณของผลผลิตในช่วงชั้นล่างของปิรามิดได้โดยตรง ทั้งนี้ จำเป็นต้องทำการศึกษาอย่างรอบคอบในแหล่งที่มาอื่น ๆ ของอินทรีย์สารที่เข้าสู่ระบบนิเวศแม่น้ำให้ชัดเจนต่อไป

3.2.4) การเคลื่อนตัวแบบวนเป็นเกลียวในระบบนิเวศแม่น้ำ

ลักษณะการเคลื่อนตัวของอนุภาคสารในรูปของแร่ธาตุอาหารที่มีลักษณะเป็นเกลียว วนลงตามระยะทางของแม่น้ำ ซึ่งเรียกว่า ***Nutrient spiraling*** (Webster, 1975) จัดเป็นลักษณะจำเพาะของระบบนิเวศแม่น้ำที่สำคัญมากอีกเรื่องหนึ่งที่พบจากการศึกษาติดตามการเคลื่อนตัวของอนุภาคสารในมวลน้ำ ทั้งนี้ พบว่าแร่ธาตุอาหารที่อยู่ในมวลน้ำไม่ได้มีรูปแบบการเคลื่อนตัวเป็นเส้นตรงลงมาตามน้ำ หรือไม่ได้เคลื่อนที่ในแบบเป็นวง (ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานสำหรับการอธิบายการเปลี่ยนแปลงในระบบน้ำนิ่ง) แต่จะมีวัฏจักรและระยะทาง (ซึ่งรวมไปถึงระยะเวลาที่ใช้) ภายในมวลน้ำที่นานขึ้น โดยเมื่อแร่ธาตุอาหารถูกนำพาเข้ามาสู่ระบบแม่น้ำในตำแหน่งหนึ่ง ๆ โมเลกุลของแร่ธาตุอาหารนั้นจะถูกผลักให้เคลื่อนวนไปภายในมวลน้ำ ในลักษณะที่เป็นเกลียวและหมุนวนขึ้นลงในมวลน้ำพร้อม ๆ กับการไหลลงไปเรื่อย ๆ

ในขณะที่โมเลกุลของแร่ธาตุอาหารเคลื่อนตัวภายในมวลน้ำ โมเลกุลบางส่วนก็จะถูกดูดซับเข้าไปใช้โดยผู้ผลิตขั้นต้นที่มีในมวลน้ำหรือโดยพรรณไม้ชนิดต่าง ๆ ที่ขึ้นบริเวณพื้นท้องน้ำ และส่วนที่เหลือยังหมุนวนลงมาตามทางของแม่น้ำเรื่อย ๆ โดยมีอัตราเร็วที่ช้าลงตามลำดับ แร่ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นในการเจริญเติบโตและมีปริมาณน้อย (อาทิ ฟอสเฟตและแอมโมเนียม) มักมีระยะทางการเคลื่อนตัวที่ไม่ไกลจากจุดกำเนิดเดิมนัก เนื่องจากจะถูกใช้หมดไปได้เร็วกว่าแร่ธาตุอาหารอื่นที่มีปริมาณมากในแหล่งน้ำ

การอธิบายการเคลื่อนตัวของแร่ธาตุอาหารในลักษณะข้างต้น ได้มีการศึกษาวิเคราะห์ โดยอาศัยโมเดลทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วย (Newbold *et al*., 1981) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของการอธิบายมักเกิดจากการที่แต่ละระบบแม่น้ำมีการปนเปื้อนของแร่ธาตุอาหารเข้ามาในระหว่างทางได้บ่อยครั้ง นอกจากนี้ กระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่หรือการหมุนวนกลับขึ้นมาใหม่จากบริเวณพื้น

ท้องน้ำที่มีการสะสมของอินทรีย์สารสูง ก็สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเพิ่มปริมาณในภาพรวมได้ (Mulholland and De Angelis, 2006)

ประเด็นสำคัญที่เกิดจากความรู้ความเข้าใจด้านการเคลื่อนตัวแบบวนเป็นเกลียวของแร่ธาตุอาหาร คือ การที่เราทราบว่าหาก*อัตราไหล*ของมวลน้ำต้นทุนมีค่าสูง ระยะทางในการเคลื่อนตัวของแร่ธาตุอาหารตามเส้นทางในแม่น้ำก็จะสูงไปด้วย ผลดังกล่าวจะเกิดเช่นเดียวกัน กับการเพิ่มความเร็วของน้ำหรือการลดอัตราการนำไปใช้ รวมทั้งการควบคุมปริมาณของผู้ผลิตขั้นต้นในบริเวณพื้นท้องน้ำ ประเด็นเหล่านี้ได้ก่อให้เกิดการอธิบายลักษณะการคงตัวของแร่ธาตุอาหารในมวลน้ำที่มีความแตกต่างตามประเภท องค์ประกอบ หรือรูปแบบของแม่น้ำ (Elwood *et al*., 1983) ความรู้ข้างต้นอาจจะสามารถประยุกต์ใช้เพื่อการควบคุมหรือกระตุ้นการใช้แร่ธาตุอาหารในพื้นที่แม่น้ำขนาดเล็กที่เราสามารถบริหารจัดการลักษณะการไหลหรือองค์ประกอบทางชนิดของพรรณไม้หรือสาหร่ายที่เกิดขึ้นในบริเวณพื้นท้องน้ำได้

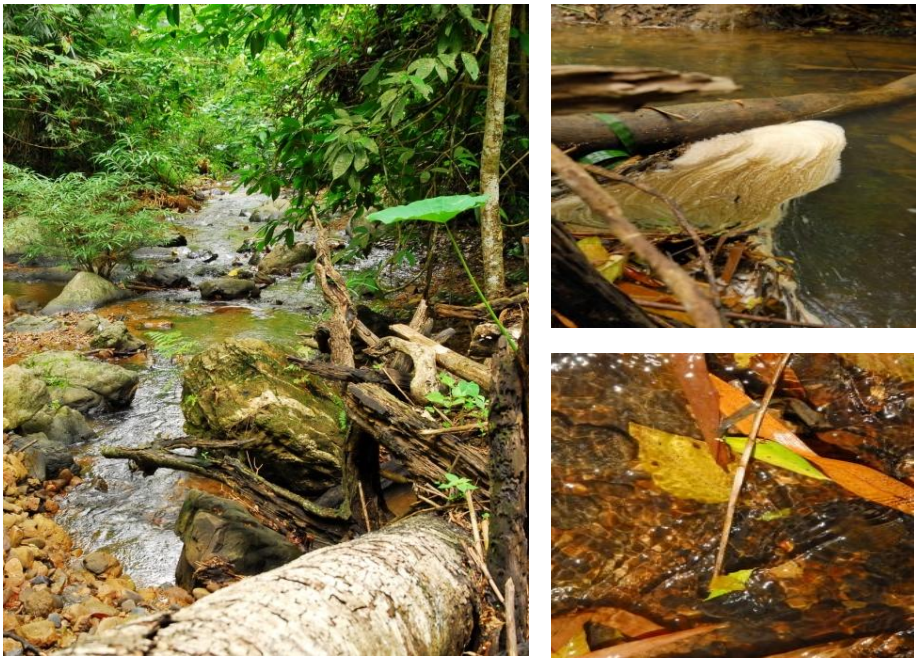
3.2.5) ความเชื่อมต่อของระบบนิเวศตามเส้นทางของลำน้ำ

ลักษณะจำเพาะด้านความเชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างของระบบนิเวศแม่น้ำลงมาตามเส้นทางของลำน้ำเป็นลักษณะสำคัญของแม่น้ำภายใต้แนวคิดที่เรียกกันมาว่า ***River continuum concept*** (Vannote *et al*., 1980) เป็นความรู้พื้นฐานที่มีความสำคัญในการอธิบายลักษณะการปรากฏของประชาคมสิ่งมีชีวิตภายในระบบนิเวศแม่น้ำโดยการบูรณาการข้อมูลความรู้ด้านองค์ประกอบทางภูมิสัณฐานวิทยาของพื้นที่ชายตลิ่งของแม่น้ำและการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีของแม่น้ำเข้าไว้ด้วยกัน

River continuum concept เป็นแนวคิดที่ใช้อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบทางนิเวศวิทยาของระบบน้ำไหลซึ่งเป็นความเชื่อมโยงที่ต่อเนื่องกันมา ตั้งแต่ลำธารขนาดเล็กในพื้นที่ป่าต้นน้ำที่ไหลลงมาเรื่อย ๆ จนกลายเป็นแม่น้ำที่เริ่มเปิดโล่งและมีขนาดใหญ่ขึ้นจนกระทั่งถึงพื้นที่แม่น้ำขนาดใหญ่ทางตอนล่างซึ่งเป็นบริเวณล่างสุดของระบบแม่น้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำหรือไหลลงสู่เขตทะเล แนวคิดดังกล่าวเกิดจากการนำข้อมูลการสำรวจระบบแม่น้ำจำนวนมากมาพิจารณาร่วมกันและสังเคราะห์ความรู้สำคัญออกมา ซึ่งพบว่าจุดเด่นของระบบนิเวศแม่น้ำ คือ ลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาที่ครอบคลุมในระดับมหภาคและบทบาทของลักษณะจำเพาะ ในพื้นที่รับน้ำโดยรอบลำน้ำแต่ละแห่งมีบทบาทในการควบคุมลักษณะปรากฏของประชาคมสิ่งมีชีวิต คุณภาพน้ำ ตลอดจนกระบวนการผลิตทรัพยากรชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศแม่น้ำ

เราพบว่าในพื้นที่ลำธารขนาดเล็กในเขตป่าต้นน้ำมักจะมีร่มเงาของต้นไม้ขนาดใหญ่น้อยที่ขึ้นอย่างสมบูรณ์มาบดบังแสงที่จะส่องลงไปในลำธาร (**ภาพที่ 3.5**) แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในพื้นที่แม่น้ำจะไม่ได้เกิดจากการผลิตโดยสาหร่ายหรือพรรณไม้น้ำในระบบ แต่จะเกิดจากการตกทับถมลงมาของใบไม้ กิ่งไม้ รวมทั้งสารอินทรีย์อื่น ๆ (Allochthonous organic matter) ที่มาจากพื้นที่ป่าโดยรอบเป็นหลัก

พื้นที่แม่น้ำลำธารในลักษณะนี้จะพบสิ่งมีชีวิตกลุ่มหลักเป็นพวกแมลงน้ำและตัวอ่อนของแมลงน้ำ ที่เป็นพวกสร้างใยยึดเกาะหรือมีโพรงอาศัยอยู่ในช่องว่างระหว่างก้อนหินหรือบริเวณซอกหินใต้น้ำ



ภาพที่ 3.5 ลักษณะของลำธารขนาดเล็กในเขตป่าต้นน้ำซึ่งอยู่ใต้ร่มเงาของต้นไม้ขนาดใหญ่และได้รับสารอินทรีย์มาจากพื้นที่ป่าไม้โดยรอบ

เมื่อลำธารมีขนาดใหญ่ขึ้นจากการรวมตัวของลำธารขนาดเล็กหลายสาขา เกิดเป็นลักษณะของแม่น้ำซึ่งมีขนาดกว้างขึ้นกว่าเดิม ทำให้แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านลงมาถึงพื้นท้องน้ำได้และส่งผลให้สาหร่าย อาทิ ไดอะตอม ที่เจริญขึ้นเคลือบอยู่ตามบริเวณผิวก้อนหินและพื้นทรายบริเวณที่ได้รับแสงเกิดการเจริญเติบโต ในพื้นที่บริเวณนี้พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่เกิดจากการทับถมของใบไม้จะน้อยลงมาก และเริ่มพบบทบาทของระบบผลิตภายในตัวเองที่เรียกว่า “Autotrophic system” ซึ่งทำให้เกิดการสร้างสารอินทรีย์ขึ้นมา (Autochthonous organic matter)

แม่น้ำส่วนนี้มักมี “ผู้ผลิตขั้นต้น” ที่เจริญเติบโตได้ดีภายในระบบแม่น้ำ นอกจากนี้ สาหร่ายที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าดิน รวมทั้งสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็ก (ที่อาจพัดลงมาจากระบบแม่น้ำตอนต้น) จะเป็นแหล่งอาหารอย่างดีให้กลุ่มของแมลงน้ำที่มีพฤติกรรมการกินแบบขุดแทะหรือแบบกินตะกอนดิน แมลงน้ำกลุ่มเหล่านี้ก็จะพบได้มากขึ้นและกลายเป็นประชากรเด่นขึ้นมาในระบบแม่น้ำบริเวณดังกล่าว

ในพื้นที่แม่น้ำดังกล่าว สัตว์ในกลุ่มแมลงน้ำรวมทั้งสารอินทรีย์ในรูปต่าง ๆ จะถูกใช้ประโยชน์หรือสามารถถูกกินต่อไปเป็นทอด ๆ ในสายใยอาหาร (Food web) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจนถึงผู้บริโภคขั้นบนสุดในแหล่งน้ำ เรามักพบสัตว์น้ำในกลุ่มของปลาเป็นหลัก ในพื้นที่แม่น้ำลำธารส่วนนี้ จะสามารถพบพรรณปลาได้หลากหลายชนิดและยังมีพฤติกรรมความเป็นอยู่ที่แตกต่างกันไป อาทิ ปลาพลวงที่มักมีพฤติกรรมการกินพืช ลูกไม้ที่หล่นลงมาในน้ำ หรือสาหร่ายที่มีเป็นอาหาร (Herbivorous feeder) ปลาตะเพียนน้ำตกที่มักมีพฤติกรรมการกินแพลงก์ตอนสัตว์รวมทั้งตัวอ่อนแมลงน้ำและลูกไม้ทีหล่นลงมาในน้ำเป็นอาหาร (Omnivorous feeder) ปลากินยุงที่มักมีพฤติกรรมการกินแพลงก์ตอนสัตว์เป็นอาหาร (Zooplankton feeder) และปลาเลียหินที่มักกินซากอินทรีย์สารตามพื้นท้องน้ำเป็นอาหาร (Detritus feeder) เป็นต้น

สำหรับในพื้นที่แม่น้ำที่มีขนาดใหญ่หรือบริเวณปลายน้ำ เรามักพบว่าน้ำมีความขุ่นมากขึ้น ผู้ผลิตขั้นต้นที่เป็นพวกสาหร่ายบริเวณหน้าดินมักไม่สามารถเจริญเติบโตได้และโดยทั่วไปพบการเจริญทดแทนที่โดยกลุ่มของสาหร่ายขนาดเล็กที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ (Phytoplankton) ในมวลน้ำบริเวณตอนปลายของแม่น้ำนี้ยังสามารถพบการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนสัตว์ได้หลากหลายชนิด สำหรับสัตว์พื้นท้องน้ำในกลุ่มของแมลงน้ำจะมีสัดส่วนของชนิดที่มีพฤติกรรมการกินตะกอนดินเป็นอาหารและพบกลุ่มที่ขุดรูอาศัยอยู่ในดินได้มากขึ้น พื้นที่บริเวณตอนปลายสุดของระบบนิเวศแม่น้ำยังเป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์จากมนุษย์อย่างหนาแน่น โดยมักเป็นแหล่งชุมชน ตลอดจนเป็นพื้นที่ทำการเกษตรและประกอบกิจกรรมทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งทำให้แม่น้ำมีโอกาสได้รับสารอินทรีย์ที่มาจากแล่งภายนอก (Allochthonous organic matter) ได้ตลอดเวลา ลักษณะเช่นนี้ทำให้สัดส่วนของออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีในระบบแม่น้ำบริเวณนี้ มีค่าที่สูงกว่าออกซิเจนที่เกิดจากการผลิตโดยผู้ผลิตขั้นต้นที่มีในแหล่งน้ำ

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบของระบบนิเวศที่เชื่อมโยงจากลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาและนิเวศวิทยาของพื้นที่แม่น้ำที่ต่อเนื่องกันจากต้นน้ำถึงปลายน้ำเช่นนี้ นับเป็นความรู้สำคัญที่จุดประกายให้นักนิเวศวิทยาและนักอนุรักษ์ได้มองเห็นความสำคัญของการควบคุมดูแลการใช้ประโยชน์ในทั้งพื้นที่แหล่งต้นน้ำลำธาร และในส่วนของแม่น้ำส่วนต่าง ๆ ลงมาตามลำดับ โดยพยายามให้มีความเหมาะสมหรือก่อผลกระทบต่อแหล่งน้ำให้น้อยที่สุด อนึ่ง การเปลี่ยนแปลงสภาพระบบนิเวศอย่างชัดเจน อาทิ การตัดไม้ทำลายป่าในเขตพื้นที่ป่าต้นน้ำ หรือการสร้างเขื่อนหรือสิ่งกีดขวางเส้นทางการไหลของน้ำในพื้นที่ลำน้ำตอนกลาง ฯลฯ ก็จะทำให้ระบบนิเวศของแม่น้ำในภาพรวมได้รับการกระทบกระเทือน โดยเฉพาะประเด็นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในมวลน้ำ ความเร็วน้ำ ตลอดจนปริมาณและประเภทของสารอินทรีย์ที่เป็นอาหารธรรมชาติ และคุณภาพน้ำที่สำคัญต่าง ๆ ทั้งนี้ จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชาคมสัตว์พื้นท้องน้ำที่เป็นอาหารสำคัญของผู้บริโภคในลำดับขั้นที่สูงขึ้นไป และท้ายที่สุดย่อมจะทำให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรสัตว์น้ำในระบบนิเวศแม่น้ำแต่ละส่วนต่อไปได้

3.3) ปัจจัยหลักทางนิเวศวิทยาและอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศแม่น้ำ

3.3.1) ปริมาณการไหลและความเร็วของน้ำ

ในพื้นที่แหล่งน้ำไหล มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางกายภาพหลายปัจจัยที่มีบทบาทโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศนั้น ปริมาณการไหลของน้ำ (Flow) นับว่าเป็นปัจจัยทางกายภาพที่สำคัญซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างในลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาที่เป็นพื้นฐานของพื้นที่ เราพบว่าปริมาณการไหลจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อแม่น้ำลำธารสาขาต่าง ๆ ไหลรวมกันลงมาจากพื้นที่ต้นน้ำที่มีความลาดชันที่สูงกว่าลงมาถึงพื้นที่ตอนล่างตามลำดับ ในแต่ละส่วนย่อยของแม่น้ำสองฟากฝั่งยังพบการเปลี่ยนแปลงในปริมาณการไหล ซึ่งสามารถสังเกตเห็นพื้นที่ชายตลิ่งในฝั่งหนึ่งที่อาจมีมวลน้ำแรงไหลพุ่งเข้ามา ขณะที่ในทางตรงกันข้ามก็มีฝั่งที่น้ำไหลเบากว่า ซึ่งส่งผลต่ออัตราการตกตะกอนของอนุภาคสารในระดับที่แตกต่างกันออกไป

การไหลของน้ำนับเป็นลักษณะที่โดดเด่นที่สุดในระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล และมีบทบาทต่อพฤติกรรมความเป็นอยู่และการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตทางน้ำที่แตกต่างออกไปจากระบบน้ำนิ่ง การไหลของน้ำทำให้เกิดการเติมแร่ธาตุอาหารและออกซิเจนใหม่ ๆ เข้ามาสู่ระบบตลอดเวลา ขณะที่ของเสียต่าง ๆ ก็จะถูกพัดพาให้เคลื่อนตัวไปได้เรื่อย ๆ ผลการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ที่เท่ากัน อัตราเมตาโบลิซึมของทั้งพืชและสัตว์ที่อยู่ในแหล่งน้ำไหลจะมีระดับที่สูงกว่าในแหล่งน้ำนิ่ง (Hynes, 1970) สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำไหลยังจำเป็นต้องใช้พลังงานที่มากระดับหนึ่ง (อาทิ เพื่อการว่ายน้ำหาอาหาร การทรงตัวและรักษาตำแหน่งที่อยู่ในมวลน้ำไหล การยึดเกาะหรือแนบลำตัวกับโครงสร้างบริเวณพื้นท้องน้ำเพื่อต้านความแรงของกระแสน้ำ) โดยเป็นการรักษาสภาวะความเป็นอยู่ในแหล่งน้ำไหลให้เป็นปกติ

3.3.1.1) ลักษณะพื้นฐานและเทคนิคการศึกษาติดตามระบบการไหล

ในการศึกษาติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงในการไหลของน้ำนั้น เราใช้การวัด “ความเร็วของน้ำ” (Water velocity) ในหน่วยของเซนติเมตรต่อวินาที (หรือเมตรต่อวินาที) เป็นหลักในการศึกษาโดยทั่วไป ทั้งนี้ พบว่าความเร็วของน้ำมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นตามทิศทางของแม่น้ำจากต้นทางลงไปยังส่วนปลายน้ำ (ถึงแม้จะพบว่าในลำธารเขตป่าต้นน้ำบางแห่งอาจมีความเร็วของน้ำที่สูงเป็นพิเศษ) ความเร็วของน้ำที่พบในแต่ละส่วนของแม่น้ำอาจมีความแตกต่างกันออกไปตามตำแหน่งที่จำเพาะต่าง ๆ หรือแตกต่างไปตามลักษณะการคดเคี้ยว หรือการมีองค์ประกอบของพื้นท้องน้ำ/สิ่งกีดขวางในส่วนย่อยของแม่น้ำที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุดังกล่าว การใช้ “ความเร็วเฉลี่ย” ของมวลน้ำในภาพรวมจึงไม่สามารถสะท้อนลักษณะจำเพาะที่เกิดขึ้นในแต่ละเขตพื้นที่ย่อย และมักไม่สามารถใช้อธิบายบทบาทหรือความสัมพันธ์กับประชาคมสิ่งมีชีวิตที่พบในแม่น้ำนั้น ๆ อนึ่ง ความเร็วของน้ำจะแปรผันตรงกับปริมาณการไหลที่ได้กล่าวมาในตอนต้น ซึ่งเมื่อปริมาณการไหลของน้ำเพิ่มมากขึ้นก็จะมีความเร็วของน้ำเพิ่มตามสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่น้ำไหลเร็วจำเป็นต้องปรับตัวโดยหาที่หลบ

ซ่อนตามแอ่งน้ำที่หมุนวนเข้าไปด้านข้างลำธาร หรืออาจหลบอยู่ใต้ก้อนหิน/สิ่งกีดขวางตามพื้นดิน หรืออาจไปอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีพรรณไม้น้ำเจริญขึ้นมากันแรงน้ำที่มีได้

ภาพปรากฏของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ที่สามารถอาศัยหากินอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำใต้แม่น้ำลำธารที่มีกระแสน้ำไหลตลอดเวลา สะท้อนให้เห็นถึงความเป็นจริง (ซึ่งนับเป็นเรื่องสำคัญในการพิจารณาด้านนิเวศวิทยาของแม่น้ำ) ว่าความเร็วของน้ำที่พบบริเวณผิวหน้าน้ำ รวมทั้งบริเวณกลางน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับใน *"ชั้นรอยต่อบริเวณหน้าดิน"* (Benthic boundary layer) ที่อยู่ชิดกับพื้นท้องน้ำนั้น มีระดับที่ไม่เท่ากันอย่างแน่นอน ในประเด็นนี้ได้มีงานศึกษาวิจัยที่อธิบายลักษณะการลดลงในความเร็วของน้ำที่เกิดจากผลของแรงเสียดทานที่พื้นท้องน้ำ รวมถึงการอธิบายทิศทางการเคลื่อนตัวของน้ำภายในระบบแม่น้ำแบบหมุนวนหรือไหลในทิศทางต่าง ๆ ซึ่งเป็นการบูรณาการความรู้ทางอุทกวิทยาและจลศาสตร์ของการไหล เชื่อมโยงกับลักษณะทางกายวิภาคและพฤติกรรมความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ที่สามารถปรับตัวให้อาศัยอยู่ในพื้นที่แม่น้ำได้

เมื่อพิจารณาในระบบพื้นท้องน้ำอย่างละเอียดจะพบการเกิดของสัตว์ขนาดเล็ก อาทิ กลุ่มของโปรโตซัวอาศัยอยู่บนเศษใบไม้ที่ตกทับถมใต้ลำธาร ซึ่งแนวที่ชิดกับพื้นท้องน้ำบริเวณนั้นอาจเป็นชั้นของน้ำที่บางมากและมีความเร็วของน้ำเข้าใกล้ศูนย์ ในพื้นผิวดินใต้ลำธารเรายังสามารถพบการเกิดเมือกลื่นขึ้นเคลือบบนผิวของก้อนหินหรือวัสดุใต้น้ำ ซึ่งเมื่อนำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะพบสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่มากมาย อาทิ กลุ่มของแบคทีเรีย โปรโตซัว รา รวมทั้งสาหร่ายขนาดเล็ก นับเป็นประชาคมสิ่งมีชีวิตที่น่าสนใจและมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของสารอินทรีย์ที่ตกทับถมอยู่ รวมทั้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำนั้นได้

ความเร็วของน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายในขนาดอนุภาคของดินตะกอนบริเวณพื้นท้องน้ำ เนื่องจากเป็นแรงที่ทำให้ตะกอนขนาดต่าง ๆ เกิดการยกหรือถูกนำพาให้เคลื่อนที่ไป ความเร็วของน้ำจึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างทางกายภาพของพื้นท้องน้ำ และมีบทบาทต่อสภาวะอาหารที่สะสมหรือหมุนเวียนในบริเวณพื้นท้องน้ำ นอกจากนี้ ยังมีบทบาทโดยตรงต่อการแพร่กระจายทางชนิดรวมทั้งพฤติกรรมความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต ความรู้ความเข้าใจในบทบาทของความเร็วน้ำและความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับสิ่งมีชีวิตในแต่ละส่วนย่อยของแม่น้ำจึงมีความจำเป็นสำหรับประยุกต์ใช้เพื่อวางแผนด้านการฟื้นฟูสภาพพื้นท้องน้ำในแม่น้ำลำธารและการอนุรักษ์ทรัพยากรมีชีวิตให้คงอยู่ได้อย่างต่อเนื่อง

การประเมินรูปแบบการไหลของน้ำเชิงปริมาณ

สำหรับนักนิเวศวิทยาที่สนใจสิ่งมีชีวิตในพื้นที่น้ำไหล ความรู้ความเข้าใจในพลวัตของไหลจะสร้างสรรค์ให้เกิดการต่อยอดความรู้ในการอธิบายสถานการณ์ทางกายภาพที่มีบทบาทต่อความเป็นอยู่และการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น แต่เดิมการศึกษาด้านพลวัตของไหลจะเป็นศาสตร์ทางวิศวกรรมที่ค่อนข้างแยกส่วน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการเล็งเห็นความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศ นักนิเวศวิทยาจำนวนมากจึงได้มุ่งศึกษาหาความรู้และพยายามวิเคราะห์ถึงบทบาทในการอธิบายระบบแหล่งน้ำ โดยเฉพาะในเรื่องที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของพื้นท้องน้ำและสิ่งมีชีวิต (Vogel, 1981; Denny, 1988; Davis and Barmuta, 1989; Carling, 1992)

ในการวิเคราะห์ด้านพลวัตของไหลนั้น เราพบว่าปัจจัยสำคัญที่นักนิเวศวิทยาควรมีความรู้ในเบื้องต้น คือ ค่าอัตราการไหล ที่แสดงระดับของการไหลในพื้นที่หนึ่ง ๆ เรียกกันว่า “Reynolds number ; R_e” โดยคำนวณจากสมการ

$$R_e = \frac{\bar{u}L}{\nu}$$

โดยที่ $\bar{u}$ คือ ค่าความเร็วในของไหล (ในหน่วยของเมตรต่อวินาที) L คือ ค่าแสดงระยะทางที่ต้องการพิจารณา (หน่วยเป็นเมตร) และ ν คือ ค่าคงที่ทางจลศาสตร์ของความหนืด (Kinetic viscosity; มีค่าเท่ากับ 1.004×10^{-6} ตารางเมตรต่อวินาที ในน้ำจืดที่มีอุณหภูมิ 20°C) ทั้งนี้อาจปรับเปลี่ยนหน่วยที่ใช้โดยรวมอย่างสมดุลกันโดยคำนึงถึงปริมาณหรือระยะที่ต้องการพิจารณาเป็นสำคัญ

ค่า R_e นี้สามารถใช้อธิบายทั้งในระยะทางตามแนวแม่น้ำหรือใช้ประเมินสำหรับบริเวณพื้นท้องน้ำ หรือแม้กระทั่งใช้สำหรับพื้นที่จำเพาะสำหรับสิ่งมีชีวิตหนึ่ง ๆ ที่อยู่ในสภาวะการเคลื่อนที่ผ่านโดยของไหลนั้น ทั้งนี้ ค่า R_e ในแม่น้ำอาจสามารถคำนวณได้ง่าย ๆ โดยใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยของน้ำและค่าความลึกของน้ำ ซึ่งค่าความเร็วเฉลี่ยของน้ำสามารถคำนวณจากค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความเร็วน้ำตามความลึกหรือจากการตรวจวัดที่ตำแหน่งตัวแทนซึ่งกำหนดให้วัด ณ ความลึกจากผิวน้ำลงไปที่ระยะ $0.6 \times D$ (โดย D หมายถึง ความลึกของน้ำ) ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแม่น้ำลำธารส่วนใหญ่จะมีรูปแบบของการไหลแบบ Turbulent flow ทั้งนั้น (R_e มีค่ามากกว่า 10^3-10^4) ส่วนรูปแบบการไหลแบบ Laminar flow (R_e มีค่าน้อยกว่า 500) จะพบได้เฉพาะในแม่น้ำที่มีความเร็วน้อยกว่า 10 เซนติเมตรต่อวินาที ในกรณีที่ความลึกของน้ำบริเวณนั้นมากกว่า 0.1 เมตร ซึ่งลักษณะดังกล่าวสะท้อนภาพรวมของลำธารที่ตื้นและมีน้ำที่ไหลเอื่อย ๆ เท่านั้น

ค่าของ Reynolds Number (R_e) นี้จะสะท้อนภาพของสภาวะความปั่นป่วนของมวลน้ำในพื้นที่ที่เราสนใจศึกษาได้เป็นอย่างดี ค่าดังกล่าวจะแสดงให้เห็นความเหมาะสมหรือโอกาสในการอยู่อาศัยของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่แตกต่างกันไป (สัตว์ที่สามารถว่ายน้ำหรือสามารถต้านทานการไหลของน้ำได้ดีจะอยู่อาศัยในพื้นที่ที่น้ำไหลแรงได้) ซึ่งข้อมูลความรู้ดังกล่าวอาจนำไปสู่การประเมินลักษณะการเคลื่อนย้ายถ่ายเทมวลของสารอินทรีย์หรือแร่ธาตุอาหารที่มีในแม่น้ำ ที่ได้รับการกระตุ้นโดยกระบวนการทางด้านการไหลของน้ำที่จำเพาะตามเขตต่าง ๆ ได้

ในกรณีที่ต้องการประเมินระดับการไหลของน้ำผ่านลำตัวของสิ่งมีชีวิต (อาทิ ปลา หรือ ตัวอ่อนของแมลงน้ำ) เราก็สามารถทำได้โดยการประเมินจากความยาวของสิ่งมีชีวิตนั้นตามทิศทางของกระแสน้ำที่ไหลผ่าน ส่วนการวัดความเร็วของน้ำ ควรวัดจากบริเวณส่วนหน้าของสิ่งมีชีวิตที่เราสนใจนั้น (หรือหากเป็นกรณีที่ทำการทดลองในสภาวะน้ำนิ่ง ก็สามารถประเมินความเร็วจาก “ความเร็วในการว่ายน้ำ” ของสิ่งมีชีวิตนั้นมาใช้แทน) ทั้งนี้ ผลการศึกษาโดยทั่วไป พบว่าสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กหรือมีการแนบลำตัวลงอยู่จนชิดพื้นท้องน้ำได้มาก ก็จะมีค่า R_e ที่ต่ำ ขณะที่สิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่กว่าที่อาศัยอยู่ในแนวน้ำแรงก็จะมีค่า R_e ที่สูงอย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณาอย่างถ่องแท้จะพบว่า ค่า R_e เป็นการวิเคราะห์สัดส่วนของแรงกระทำที่เกิดจากความเร็วของน้ำผนวกกับขนาดของวัตถุ เปรียบเทียบกับค่าคงที่ที่แสดงความหนืดของน้ำ ถ้าค่า R_e ต่ำก็แสดงว่าวัตถุ (หรือสิ่งมีชีวิต) ที่อยู่ภายในน้ำ ณ เวลานั้น อยู่ภายใต้อิทธิพลของความหนืดมากกว่าความเร็วของน้ำ ซึ่งทำให้เกิดรูปแบบการเคลื่อนตัวแบบราบเรียบค่อยเป็นค่อยไป ในทางตรงกันข้าม หากค่า R_e สูงมาก แนวโน้มของการมีแรงลากจูง (Drag force) ก็จะสูงขึ้น สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในมวลน้ำนั้นจึงจำเป็นต้องปรับตัว โดยอาจมีโครงสร้างหรือรูปร่างที่เรียวลงจากด้านหัวไปหาง (Vogel, 1981) ลักษณะรูปร่างดังกล่าวจะช่วยลดสภาวะกดดันจากแรงกระทำของน้ำได้เป็นอย่างดี

อนึ่ง ค่าคงที่ที่น่าสนใจอีกค่าหนึ่ง คือ ค่าที่เรียกกันว่า “Froude Number” หรือ F_rซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$F_r = \frac{\bar{u}}{\sqrt{g \times D}}$$

โดยที่ $\bar{u}$ คือ ค่าเฉลี่ยของความเร็วน้ำ ค่า D คือ ความลึกของน้ำ และค่า g คือ ค่าความเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก (มีค่าเท่ากับ 9.8 ตารางเมตรต่อวินาที) ค่า F_r นี้เกิดจากการพิจารณาสัดส่วนของแรงที่ทำให้เกิดการไหลไป เทียบกับแรงที่เกิดจากการดึงดูดลงด้านล่างจากแรงดึงดูดของโลก ทั้งนี้ หากค่า F_r มีค่าเท่ากับ 1 แสดงให้เห็นว่าอยู่ในสภาวะการไหลขั้นวิกฤต (Critical flow) และหากค่า F_r มีค่ามากเกิน 1 แสดงให้เห็นว่าอยู่ในสภาวะการไหลขั้นวิกฤตมาก (Super-critical flow) ซึ่งมวลน้ำจะเกิดความปั่นป่วนสูงหรือมีการเคลื่อนตัวอย่างรุนแรง

ประเด็นที่น่าสนใจอีกเรื่องหนึ่งที่นักนิเวศวิทยาควรเรียนรู้ คือ ช่วงความหนาของ “ชั้นรอยต่อบริเวณพื้นท้องน้ำ” (Benthic boundary layer) ที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้น ซึ่งในช่วงชั้นนี้เป็นบริเวณที่เกิดแรงเสียดทานระหว่างน้ำที่ไหลอยู่ด้านบนกับผิวหน้าของวัตถุพื้นท้องน้ำที่เป็นของแข็งซึ่งไม่มีการเคลื่อนตัว จากการศึกษาเปรียบเทียบในห้องปฏิบัติการ (Allan, 1995) พบว่าความหนาของชั้นนี้อยู่ที่ความลึกซึ่งมีค่าความเร็วน้ำลดลงมาถึงระดับประมาณ 90% ของความเร็วเฉลี่ยของน้ำ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบหรือความขรุขระของวัตถุรวมทั้งสิ่งมีชีวิตที่เกาะติดอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำ โดยทั่วไปพบว่ามีเพียงชั้นบาง ๆ ที่อยู่ติดวับวัตถุพื้นท้องน้ำเท่านั้น ที่น้ำจะมีการไหลแบบ Laminar flow ยกตัวอย่างในพื้นที่ที่ความเร็วของน้ำสูง ในช่วง 20-50 เซนติเมตรต่อวินาที เราพบว่าลักษณะการไหลแบบราบเรียบและมีทิศทางคงที่จะเกิดได้น้อยมาก และอาจมีการไหลแบบดังกล่าวได้ในชั้นที่หนาแค่ประมาณ 0.5 – 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ชิดผิวหน้าดินเท่านั้น

จากข้อมูลความรู้ดังกล่าวเราพบว่าผลกระทบจากกระแสน้ำหรือความเร็วน้ำจะถูกบรรเทาเบาบางลงได้ก็ด้วยการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตที่จะเปลี่ยนรูปร่างให้บางลงหรือแนบลำตัวชิดกับวัตถุใต้ลำน้ำให้มากที่สุด ซึ่งในทางกลับกันหากเราจะประเมินความเร็วของน้ำจากลักษณะของสิ่งมีชีวิต ลักษณะรูปร่างหรือพฤติกรรมบางอย่างของสิ่งมีชีวิตที่พบก็จะสามารถบ่งบอกสถานการณ์ในความเร็วของมวลน้ำได้ ทั้งนี้ นับเป็นการใช้สิ่งมีชีวิตมาเป็น “ดัชนีทางชีวภาพ” (อาทิ การใช้ “คู่มือผู้นำนักสืบ

สายน้ำ"; สรณรัชฎ์และนิรมล, 2545) ที่ช่วยสะท้อนสถานการณ์คุณภาพน้ำหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยอาจไม่จำเป็นต้องมีเครื่องมือตรวจวัดความเร็วของน้ำหรือเครื่องมือที่จำเพาะอื่น ๆ มาใช้

3.3.1.2) ผลกระทบจากสภาวะน้ำท่วมหลากและความแห้งแล้ง

พื้นที่แม่น้ำใดที่ปริมาณการไหลของน้ำมีความผันแปรสูง สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ก็จำเป็นต้องมีการปรับตัวดี โดยเฉพาะในพฤติกรรมด้านการกินอาหาร การเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ ในพื้นที่แม่น้ำเหล่านั้นปริมาณการไหลจะกลายเป็นปัจจัยที่มีบทบาทต่อประชาคมปลาในแม่น้ำได้มากกว่าปัจจัยด้านชีวภาพอื่น ๆ (อาทิ การแข่งขัน การถูกล่า หรือแหล่งอาหาร ฯลฯ) (Pusey and Arthington, 1990)

ในสถานการณ์ที่มวลน้ำมีปริมาณผันแปรสูง อาทิ ในช่วงที่น้ำท่วมหลาก หรือช่วงที่เกิดสภาวะความแห้งแล้งในแต่ละปี สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในพื้นที่แม่น้ำจะได้รับผลกระทบอย่างเห็นได้ชัด ในกรณีที่น้ำท่วมหลากและเกิดการกัดเซาะชายตลิ่งโดยแรงน้ำ ผลกระทบเบื้องต้นที่เกิดขึ้น คือ การที่พืชพรรณไม้น้ำและพืชชายน้ำชนิดต่าง ๆ จะหยุดชะงักการเจริญเติบโตหรือตายลงไป อย่างไรก็ตามสภาวะน้ำท่วมหลากหรือในช่วงที่เกิดอุทกภัยอย่างรุนแรงในพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำ นับเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้แร่ธาตุอาหารปริมาณมหาศาลจากแผ่นดินถูกพัดพาลงสู่แม่น้ำ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในคุณภาพน้ำ และความเป็นอยู่ของทรัพยากรสัตว์น้ำที่เกี่ยวข้องตามมา

ในพื้นที่เขตร้อน อาทิ พื้นที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย สภาวะน้ำท่วมหลากในลักษณะพื้นที่ราบลุ่มเช่นนี้จัดเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติได้บ่อยครั้ง (**ภาพที่ 3.6**) ปรากฏการณ์ดังกล่าวนับว่าเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่ก่อประโยชน์ต่อการแพร่กระจายพันธุ์ปลาในแหล่งน้ำสาขาและพื้นที่ที่เชื่อมโยงโดยรอบ

การท่วมหลากของน้ำในช่วงต้นถึงกลางฤดูฝน จัดเป็นปัจจัยกระตุ้นหรือเป็นสัญญาณทางธรรมชาติที่ทำให้เกิดการผสมพันธุ์และวางไข่ของปลาได้หลากหลายชนิด (Puangchareon *et al*., 2012) อาทิ ปลาในครอบครัว Cyprinidae ได้แก่ ปลาสร้อยขาว ปลาตะเพียน ปลากระมัง และส่งผลให้เกิดการกระจายชนิดพรรณและการมีทรัพยากรปลาชนิดต่าง ๆ อย่างอุดมสมบูรณ์เมื่อน้ำลดลงและแยกไหลลงไปตามสาขาย่อยของแม่น้ำนั้น

เมื่อพิจารณาในทางตรงข้ามหากระบบนิเวศแม่น้ำได้เกิดสภาวะความแล้งที่ทำให้น้ำในแม่น้ำลดระดับลงมากซึ่งน้ำไม่สามารถเพิ่มสูงหรือกระจายไปในพื้นที่โดยรอบ รวมทั้งในกรณีที่เกิดผลกระทบจากการสร้างสิ่งกีดขวางลำน้ำหรือการทำกำแพงสูงกันขอบตลิ่งโดยรอบอย่างที่เห็นได้มากขึ้นในปัจจุบัน ลักษณะดังกล่าวนับว่าเป็นการตัดทอนโอกาสในการขยายพันธุ์ของปลาในแหล่งน้ำและจะทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำในฐานะที่เป็นแหล่งผลิตอาหารโปรตีนที่มีคุณค่าให้มนุษย์เราเกิดการลดน้อยลงไปเป็นลำดับ

ภาพที่ 3.6 ลักษณะของที่ราบลุ่มแม่น้ำท่าจีนทางตอนบนสุดในเขตจังหวัดชัยนาท (ภาพถ่ายในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ.2554) ที่เกิดสภาวะน้ำท่วมหลากครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างอย่างชัดเจน

ในกรณีของแม่น้ำที่มีปริมาณการไหลน้อยลงมาก (ซึ่งอาจเกิดจากสภาวะความแห้งแล้งตามธรรมชาติหรือจากการจัดสรรน้ำไปใช้ตามความจำเป็นในการอุปโภคบริโภค) พื้นที่แม่น้ำนั้นจะเกิดสภาวะการแห้งขอดเป็นส่วน ๆ ซึ่งจะทำให้ระดับของอุณหภูมิน้ำและความเข้มข้นในแร่ธาตุของน้ำเพิ่มสูงขึ้นได้อย่างมาก ในสภาวะนั้นส่วนใหญ่เราจะพบการเจริญขึ้นมาโดยพรรณไม้ชนิดต่าง ๆ ในขณะเดียวกันสิ่งมีชีวิตทางน้ำอีกหลายชนิดจะอยู่ในสภาวะความตึงเครียดเนื่องจากปัญหาคุณภาพน้ำ

ตลอดจนการถูกจำกัดอยู่ในที่แคบลง มีสภาวะการแก่งแย่งมากขึ้นและเกิดการถูกล่าได้ง่ายขึ้น สภาวะเช่นนี้อาจสะท้อนออกมาในรูปของประชาคมสิ่งมีชีวิตที่จะเกิด “ชนิดเด่น” (Dominant species) เกิดขึ้นมาในสภาวะแวดล้อมที่จำเพาะหนึ่ง ๆ สิ่งมีชีวิตชนิดเด่นนั้นมักเป็นชนิดที่ปรับตัวได้ดี มีความทนทานสูง หรืออาจมีวงชีวิตสั้นซึ่งเกิดการเพิ่มประชากรขึ้นมาได้ง่าย (อาทิ การเกิดสัตว์พื้นท้องน้ำในกลุ่มของริ้นน้ำจืด; *Chironumus* sp. ในพื้นที่เขตตื้นขึ้นที่มีการทับถมของซากอินทรีย์สาร) ขณะเดียวกันหากพิจารณาถึง “ความหลากหลายทางชนิด” (Species diversity) เราก็มักพบว่าค่าความหลากหลายทางชนิดจะต่ำลงเนื่องจากสิ่งมีชีวิตหลายชนิดลดจำนวนลงอย่างมาก สำหรับสิ่งมีชีวิตในแม่น้ำลำธารที่แห้งขอดซึ่งปรับตัวได้ดีนั้น ยกตัวอย่าง เช่น กลุ่มตัวอ่อนของแมลงน้ำบางชนิดที่สามารถขุดรูลึกลงไปในพื้นท้องน้ำที่มีความชื้นอยู่ หรือพวกที่สร้างไข่หรือสปอร์ที่ทนทานและฝังตัวอยู่ในแอ่งน้ำเล็ก ๆ รอสภาวการณ์ที่น้ำจะเพิ่มระดับขึ้นมาใหม่ ซึ่งก็จะกลับมาเจริญเติบโตและขยายประชากรได้ดังเดิมอีกครั้ง

ในภาพรวมเราพบว่าการศึกษาผลกระทบของปริมาณการไหลของน้ำจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อระบบแม่น้ำที่ *“ถูกควบคุม”* โดยมนุษย์ (Regulated river) (Sangmek and Meksumpun, 2014) เนื่องจากผลจากการศึกษาจะนำไปสู่ความรู้ความเข้าใจในการกำหนด “อัตราไหลต่ำสุด” (Minimum flow) ที่จะยังคงรักษาสมดุลในระบบนิเวศแม่น้ำ รวมทั้ง “อัตราไหลสูงสุด” (Maximum flow) ที่ไม่ทำให้เกิดการทำลายระบบนิเวศแม่น้ำในระดับที่ยากจะฟื้นฟู อย่างไรก็ตาม ข้อมูลความรู้ในการบริหารจัดการมวลน้ำอย่างสมดุลรวมทั้งการประยุกต์ใช้อัตราการไหลที่สามารถให้ประโยชน์ต่อทั้งความต้องการในการใช้น้ำและการอนุรักษ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำยังเป็นเรื่องที่ต้องทำการศึกษาค้นคว้าอีกมาก

3.3.1.3) ความเร็วของน้ำและบทบาทต่อพรรณไม้ในระบบนิเวศแม่น้ำ

จากการศึกษาผลกระทบหรือบทบาทของความเร็วของน้ำต่อสิ่งมีชีวิตเราพบว่าสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งอาจสามารถปรับตัวให้อยู่ในพื้นที่ที่มีความเร็วน้ำสูงได้ ขณะที่บางชนิดพบได้ในที่มีความเร็วน้ำต่ำ แต่เรามักจะไม่พบสิ่งมีชีวิตที่เหมือนกันอยู่ได้ในทั้งสองบริเวณ ลักษณะที่ปรากฏดังกล่าวสะท้อนให้เห็นข้อจำกัดสำหรับสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดในการอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำไหล ซึ่งความจำเพาะกับพื้นที่หรือความเร็วน้ำดังกล่าวสามารถใช้สะท้อนภาพของระดับความเร็วน้ำที่เหมาะสมสำหรับความเป็นอยู่ นอกจากนี้ ยังทำให้เราสามารถประเมินการเปลี่ยนแปลงในประชาคมสิ่งมีชีวิตที่จะเกิดในอนาคต หากความเร็วของน้ำหรืออัตราการไหลได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

พรรณไม้น้ำเป็นผู้ผลิตขั้นต้นที่โดดเด่นในพื้นที่แม่น้ำที่มีน้ำใสไหลแรงและมีลักษณะเปิดโล่งซึ่งรับแสงได้เต็มที่ พรรณไม้น้ำมีบทบาททำให้เกิดความแตกต่างในพื้นที่ส่วนย่อยของลำน้ำ เนื่องจากประสิทธิภาพในการทำให้เกิดการตกตะกอนหรือเกิดการสะสมของอนุภาคละเอียดที่พัดพาลงมาในพื้นที่แม่น้ำ นอกจากนี้ ในประชาคมของพรรณไม้น้ำยังเป็นบริเวณที่อยู่อาศัยที่สำคัญของสัตว์ขนาดเล็กที่เกิดบริเวณพื้นผิวของวัตถุ รวมทั้งเป็นที่รวมตัวของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังนานาชนิด และยังเป็นแหล่งอาศัยหากินตลอดจนเป็นที่หลบภัยของปลาในแหล่งแม่น้ำ (Carpenter and

Lodge, 1986; Dibble *et al*., 1996; Diehl and Kornijow, 1998; Peng *et al*., 2012; Biggs, 1996; Burkholder, 1996; Death 2000)

รูปแบบของการไหลในพื้นที่แม่น้ำหนึ่ง ๆ นับว่ามีบทบาทสำคัญต่อความหนาแน่นของพรรณไม้น้ำ บางพื้นที่ของแม่น้ำอาจมีพรรณไม้น้ำเจริญงอกงาม ขณะที่บางพื้นที่แทบไม่มีพรรณไม้น้ำขึ้นอยู่เลย ลักษณะดังกล่าวเกิดจากอิทธิพลที่ผสมผสานจากปริมาณการไหลหรือความเร็วของน้ำ รวมทั้งลักษณะของพื้นท้องน้ำที่มีบทบาทต่อโอกาสการเจริญพันธุ์ของพรรณไม้ชนิดต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไป ในประเด็นนี้ Biggs (1996) ได้เสนอแนวคิดการพิจารณาจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยอาทิ รูปแบบของการไหล (ซึ่งหมายความรวมถึงความแปรปรวนในสภาวะน้ำท่วม) และความมีเสถียรภาพของพื้นท้องน้ำมาพิจารณาร่วมกัน ผลจากการศึกษาค้นคว้าที่ผ่านมานั้นเราพบว่าพื้นที่ที่มีอัตราการเกิดน้ำท่วมที่ต่ำ และลักษณะของพื้นท้องน้ำที่มีเสถียรภาพอยู่ในระยะเวลาที่นานพอ ก็จะเป็นพื้นที่ที่ประชาคมพรรณไม้น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดีและพัฒนาขยายพื้นที่ต่อไปได้

ในด้านผลกระทบของสภาวะน้ำท่วมต่อพันธุ์ไม้น้ำนั้น Haslam (1978) ได้รายงานข้อมูลที่ค้นพบว่าในสภาวะที่เกิดน้ำท่วมสูงซึ่งมีปริมาณการไหลประมาณ 2.5 เท่าของอัตราปกติที่เคยเป็นอยู่จะทำให้พันธุ์ไม้น้ำชนิดเด่น อาทิ สาหร่ายฉัตร (Eurasian watermilfoil; *Myriophyllum spicatum*) ลดจำนวนลง ซึ่งการลดลงจะมากถึงครึ่งหนึ่งเมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นเป็น 4 เท่า โดยจะมีผลกระทบต่อพันธุ์ไม้อื่น ๆ ที่มีในพื้นที่แม่น้ำด้วย ผลการศึกษาที่สอดคล้องกันนี้ได้รายงานโดย Henriques (1987) และ Chamber *et al*. (1991) ซึ่งพบความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่างความเร็วน้ำและมวลชีวภาพของพรรณไม้น้ำ ยกตัวอย่าง เช่น เมื่อความเร็วของน้ำต่ำกว่า 0.2 เมตรต่อวินาที จะพบการปกคลุมของพรรณไม้น้ำได้มากกว่า 75 % ของพื้นที่แม่น้ำในส่วนนั้น ในทางตรงกันข้าม หากความเร็วของน้ำเพิ่มสูงกว่า 0.9 เมตรต่อวินาที ซึ่งนับว่าเป็นน้ำที่ไหลแรงมากนั้น การปกคลุมของพรรณไม้น้ำในพื้นที่จะลดลงเหลือต่ำกว่า 10 % เท่านั้น

ผลกระทบของรูปแบบการไหล โดยเฉพาะจากความรุนแรงของปริมาณน้ำในช่วงน้ำท่วมหลาก (รวมทั้งการปล่อยน้ำลงมาในพื้นที่แม่น้ำ) และอิทธิพลจากความเร็วน้ำ ความลึกของลำน้ำตลอดจนรูปแบบของพื้นท้องน้ำ จัดเป็นปัจจัยที่ได้รับการศึกษามาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อหาคำอธิบายที่จำเพาะเจาะจงสำหรับการบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่แม่น้ำ Wade *et al*. (2003) ได้พัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่แสดงบทบาทของอัตราการไหลของน้ำต่อความชุกชุมของพรรณไม้น้ำและอธิบายลักษณะการเกิดของสาหร่ายที่ขึ้นมาปกคลุม (Epiphyte) ซึ่งเจริญขึ้นมาบดบังแสงและเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำได้

ยังมีการศึกษาวิจัยที่น่าสนใจในพื้นที่แม่น้ำ 15 แห่งของประเทศนิวซีแลนด์ โดย Riss and Biggs (2003) พบความสัมพันธ์เชิงผกผันอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างอัตราการเกิดน้ำท่วมกับความชุกชุม ($r^2 = 0.52$, $p = 0.002$) และความหลากหลายทางชนิด ($r^2 = 0.53$, $p = 0.022$) ของพรรณไม้น้ำ โดยเมื่อเกิดน้ำท่วมมากกว่า 13 ครั้งต่อปี จะไม่พบพรรณไม้น้ำเหลืออยู่เลย ทั้งนี้ สาเหตุที่เน้นย้ำว่ามีความสำคัญ คือ การที่ส่วนของรากของพรรณไม้น้ำได้โผล่ลอยขึ้นมาจากผืนดิน (ซึ่งสำคัญมากกว่าปัญหาจากการแตกหักหรือขาดลอยไปในส่วนของลำต้น) นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างความชุกชุมของพรรณไม้น้ำกับความเร็วน้ำเฉลี่ย (ณ ตำแหน่งใกล้เคียงซึ่งไม่มีพรรณไม้น้ำ

ขึ้นอยู่) โดยพบว่าระดับความชุกชุมสูงสุดจะพบได้ ณ ความเร็วของน้ำที่ประมาณ 0.4 เมตรต่อวินาที และขีดจำกัดบนสุดที่พรรณไม้น้ำจะเจริญได้ อยู่ที่ความเร็วน้ำไม่เกิน 0.8 เมตรต่อวินาที

บทบาทความสัมพันธ์ของปัจจัยทางนิเวศอุทกวิทยา (อาทิ ปริมาณการไหลและคุณภาพของดินตะกอน) นับเป็นเรื่องที่มีการศึกษาติดตามกันมาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เชื่อมโยงไปสู่กิจกรรมทางชีวภาพและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายในระบบนิเวศแม่น้ำ (Franklia *et al*., 2008; Haley 2009; Uedeme-Naa *et al*., 2011) และนำพาให้เกิดการถ่ายทอดของสารอินทรีย์จากบริเวณพื้นท้องน้ำไปสู่แม่น้ำในตอนล่างที่ถัดลงไป (Petticrew and Calff, 1992) ความรู้ความเข้าใจเรื่องความสัมพันธ์เหล่านี้นับว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการแหล่งน้ำที่มนุษย์เราเข้าไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะเพื่อการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งอาศัยและทรัพยากรประมงในพื้นที่ลุ่มน้ำ

ในงานการศึกษาวิจัยพื้นที่การเจริญของพรรณไม้น้ำในลำน้ำเพชรบุรีตอนกลาง ซึ่งได้รับอิทธิพลด้านปริมาณการไหลจากการควบคุมโดยโครงการจัดการน้ำเพื่อการชลประทานของเขื่อนเพชรบุรี ที่เขตอำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี (พิชาศิษฐ์ 2557; Sangmek and Meksumpun, 2014) ให้ผลการศึกษาที่สนับสนุนแนวคิดที่ว่าปริมาณการไหลของของน้ำหรือความเร็วของน้ำมีบทบาทต่อการหายไปและการเจริญเติบโตทดแทนที่ของพรรณไม้น้ำ ซึ่งในการศึกษาดังกล่าวพบว่าพรรณไม้น้ำหลักทั้งสองชนิดที่พบ ได้แก่ ดีปลีน้ำ (*Potamogeton* sp.) และสาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla* sp.) ได้ถูกจำกัดการเจริญเติบโตด้วยความเร็วน้ำที่สูงกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที อย่างไรก็ตาม ดีปลีน้ำแสดงศักยภาพในการเกิดทดแทนที่ได้ดีกว่าสาหร่ายหางกระรอก

ผลการศึกษาในภาพรวมสะท้อนให้เราเห็นถึงความจำเป็นที่จะต้องหันมาให้ความสำคัญกับรูปแบบในการจัดการความเร็วน้ำหรือการดูแลควบคุมปริมาณการระบายน้ำอย่างเหมาะสม โดยควรคำนึงถึงการอนุรักษ์ทรัพยากรพรรณไม้น้ำซึ่งถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดของชีวิตใหญ่น้อยในระบบนิเวศแม่น้ำให้มีเสถียรภาพ นอกจากจะส่งเสริมให้เกิดการผลิตทรัพยากรสัตว์น้ำอย่างยั่งยืนแล้ว ยังเป็นการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่ดีไว้ต่อไปได้ด้วย

3.3.1.4) ความเร็วของน้ำและบทบาทต่อสาหร่ายในระบบนิเวศแม่น้ำ

ในระบบแม่น้ำ “ความเร็วของน้ำ” เป็นปัจจัยที่ยอมรับกันว่ามีบทบาทสำคัญมากที่สุดต่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้นในกลุ่มของสาหร่ายยึดเกาะ (Periphyton) ด้วยเช่นกัน ความเร็วของน้ำที่กดดันและทำให้เกิดแรงเสียดทานกระทำต่อพื้นผิววัตถุที่สาหร่ายเหล่านั้นยึดเกาะอยู่ นับเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สาหร่ายถูกกัดเซาะหลุดลอยออกไปได้ ซึ่งการหลุดลอยนี้ยังรวมถึงกลุ่มของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอีกมากมายที่อาศัยอยู่ร่วมเป็นประชาคมในบริเวณเหล่านั้น

จากลักษณะดังกล่าว มวลชีวภาพหรือความหนาแน่นของสาหร่ายที่เราสำรวจพบในบริเวณพื้นท้องน้ำจึงนับเป็นผลสุทธิของอัตราการถูกกัดเซาะหายไปโดยแรงน้ำและอัตราการเจริญทดแทนขึ้นมาใหม่ (Biggs, 1995; Horner & Welch, 1981; Biggs *et a*l., 1998) ผลงานศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสาหร่ายกลุ่มไดอะตอมที่พบการปกคลุมด้วยเมือกบาง ๆ บนผิวของวัตถุอีกทีจะมีความต้านทานต่อแรงน้ำที่พัดพาได้ดีที่สุด ขณะที่พวกสาหร่ายสีเขียวที่เป็นเส้นสายมักมีมวลชีวภาพลดลง

อย่างชัดเจนเมื่อความเร็วของน้ำเพิ่มสูงเกิน 50 ถึง 80 เซนติเมตรต่อวินาที ลักษณะอิทธิพลของความเร็วน้ำเช่นนี้จะเด่นชัดขึ้นหากพื้นท้องน้ำเป็นกรวดขนาดเล็กหรือเป็นทรายที่อนุภาคถูกพัดให้เคลื่อนตัวได้ง่าย สำหรับในกรณีที่เข้าช่วงฤดูน้ำหลากหรือมีน้ำท่วมสูง มวลน้ำที่พัดพามาซึ่งประกอบไปด้วยตะกอนขนาดใหญ่ ซากพรรณไม้ หรือของแข็งแขวนลอยมากขึ้นจะทำให้เกิดการหลุดลอกของสาหร่ายยึดเกาะได้เพิ่มขึ้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลได้อย่างชัดเจน

ความเร็วของน้ำยังมีบทบาทต่ออัตราการดูดซับแร่ธาตุอาหารโดยกลุ่มของสาหร่ายที่ขึ้นในพื้นที่แม่น้ำลำธาร การศึกษาของ Horner *et al*. (1983, 1990) พบว่า ณ ความเร็วน้ำประมาณ 15 เซนติเมตรต่อวินาที สาหร่ายโดยเฉพาะพวกที่เป็นเส้นสายจะดูดซับเอาแร่ธาตุอาหารจากน้ำได้ดีที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปความเร็วของน้ำที่ต่ำกว่า 50-60 เซนติเมตรต่อวินาที นับเป็นผลดีต่อสาหร่ายมากกว่าความเร็วที่สูงเกินไป สาหร่ายที่เป็นเส้นสายจึงมักไม่พบในที่น้ำแรงมากหรือในส่วนต้น ๆ ของแม่น้ำลำธาร แต่จะพบในเขตน้ำเบาลงแต่ยังมีแสงส่องถึงเพียงพอ ในขณะที่สาหร่ายกลุ่มที่มีเมือกบาง ๆ เคลือบและสามารถยึดติดกับผิววัตถุได้ดี อาทิ ไดอะตอม ก็จะสามารถต้านทานต่อแรงน้ำได้มากกว่าและเจริญเติบโตในที่น้ำไหลค่อนข้างแรงได้ดีกว่า ทั้งนี้ ในภาพรวมพบว่าการเปลี่ยนแปลงในอัตราการไหลไม่ว่าจะเกิดโดยธรรมชาติจากลักษณะความชันของพื้นที่ ผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนตามช่วงฤดูกาล หรือจากกิจกรรมของมนุษย์ (อาทิ การจัดสร้างสิ่งกีดขวางเส้นทางน้ำ) ล้วนแล้วแต่มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นหรือการเกิดทดแทนที่ของสาหร่ายที่แตกต่างกันไปตามเวลาและพื้นที่ต่าง ๆ ได้

3.3.1.5) ความเร็วน้ำและบทบาทต่อสัตว์ที่อาศัยในระบบนิเวศแม่น้ำ

บทบาทของความเร็วในการไหลของน้ำในแม่น้ำที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในกลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและสัตว์อื่น ๆ ที่อาศัยในระบบนิเวศแม่น้ำเป็นเรื่องค่อนข้างซับซ้อน ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์แต่ละชนิดมีความแตกต่างในพฤติกรรมการอยู่อาศัย การหาอาหาร รวมทั้งลักษณะทางกายวิภาคหรือโครงสร้างของร่างกายซึ่งรับแรงกระทำจากมวลน้ำได้แตกต่างกันไป ในการพิจารณาบทบาทของความเร็วในการไหลของน้ำซึ่งครอบคลุมทั้งในด้านรูปแบบของการไหลและปริมาณการไหลนั้น เราจำเป็นต้องทำความเข้าใจในเบื้องต้นก่อนว่าสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต่างกันภายในระบบนิเวศแม่น้ำย่อมได้รับแรงกระทำจากน้ำในระดับที่ต่างกัน สัตว์ในกลุ่มหอยฝาเดียว อาทิ หอยคัน ซึ่งมีขนาดเล็กและใช้ส่วนเท้ายึดเกาะกับก้อนหินบริเวณที่น้ำไหลกระแทกกระทั้นย่อมได้รับแรงจากน้ำที่มากกว่าพวกตัวอ่อนของแมลงน้ำซึ่งมีบริเวณอาศัยหากินอยู่ใต้ซอกของก้อนหินใต้น้ำ ขณะที่ตัวอ่อนของแมลงน้ำเหล่านั้นก็ได้รับแรงของน้ำที่มากกว่าพวกสาหร่ายหรือโปรโตซัวที่เจริญขึ้นโดยอยู่ภายใต้เยื่อเมือกบาง ๆ (ที่มีความหนาไม่ถึง 1 มิลลิเมตร) ซึ่งเคลือบติดอยู่กับผิวก้อนหินใต้น้ำ

ผลการศึกษาติดตามการเจริญเติบโตของแมลงน้ำในกลุ่มที่มีพฤติกรรมการกินอาหารแบบดักจับตะกอนแขวนลอย (Suspension feeders) พบว่าแมลงน้ำชนิด *Hydropsyche instabilis* สามารถอาศัยยึดเกาะกับก้อนหิน ณ บริเวณที่มีความเร็วของน้ำในช่วงกว้าง (15-100 เซนติเมตรต่อวินาที) ขณะที่แมลงน้ำชนิด *Plectrocnemia conspersa* จะพบในบริเวณที่มีความเร็วของน้ำต่ำกว่า โดยความเร็วสูงสุดที่พบมักไม่เกิน 20 เซนติเมตรต่อวินาทีเท่านั้น (Allan, 1995) อนึ่ง ผลการ

ทดลองนำตัวอ่อนของแมลงน้ำทั้งสองชนิดมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการภายใต้ระบบที่ควบคุมความเร็วของน้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่าสัดส่วนในจำนวนตัวของแต่ละชนิดที่สร้างใยสำหรับการดักจับอาหารต่อไปได้มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (**ตารางที่ 3.3**) นอกจากนี้ โครงสร้างของเส้นใยที่สร้างขึ้นเป็นรังยังได้รับอิทธิพลจากแรงน้ำโดยพบว่ามีความแข็งแรงที่ต่างกันไปด้วย

ตารางที่ 3.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการสร้างใย (คิดเป็นค่าร้อยละ; %) สำหรับการดักจับอาหารของแมลงน้ำ (Caddis larvae) 2 ชนิด ภายใต้สภาวะที่ได้รับอิทธิพลจากความเร็วของน้ำซึ่งแตกต่างกัน 3 ระดับ *(ที่มา: ปรับปรุงจาก Allan, 1995)*

ชนิดของแมลงน้ำ	ความเร็วของน้ำ (เซนติเมตรต่อวินาที)		
	10	15	20
Hydropsyche instabilis	20 %	48 %	73 %
Plectrocnemia conspersa	72 %	50 %	4 %

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการแพร่กระจายและความชุกชุมของสัตว์ที่เป็นผู้บริโภคต่าง ๆ ยังได้รับอิทธิพลจากแหล่งของสารอินทรีย์ที่เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโต (ซึ่งมีความต้องการแตกต่างกันไปในแต่ละชนิด) รวมทั้งปัจจัยทางชีวภาพภายในประชาคมสัตว์ที่อาศัยอยู่ร่วมกัน (อาทิ ปัจจัยด้านการแก่งแย่งแข่งขันและปริมาณของผู้ล่าที่มีในระบบ) อย่างไรก็ตาม อิทธิพลจากการไหลของน้ำยังจัดเป็นอิทธิพลที่มีความสำคัญในลำดับต้น ๆ และมีบทบาทครอบคลุมลักษณะทางนิเวศวิทยาอื่น ๆ ของพื้นที่

ภายในระบบนิเวศที่มีน้ำไหลแรง เราพบว่าแมลงน้ำหลายชนิดสามารถปรับตัวในด้านความเป็นอยู่เพื่อไม่ให้ตัวเองไหลไปกับกระแสน้ำที่พัดพาอย่างรุนแรงนั้น ยกตัวอย่าง เช่น แมลงน้ำชนิด *Simulium* มีลักษณะของการสร้างเส้นใยเหนียวบนผิวของก้อนหินเพื่อช่วยการยึดเกาะและการปรับโครงสร้างของขาส่วนหน้าให้มีลักษณะเป็นวงที่ยึดเกาะได้ดี ส่วนในตัวอ่อนของแมลงน้ำชนิด *Philorus* มีลักษณะที่ประกอบด้วยอวัยวะคล้ายเท้าขนาดเล็กที่เป็นปุ่มยึดเกาะพื้นหิน นอกจากนี้ สัตว์ในกลุ่มหอยสองฝา อาทิ Zebra mussel *(Dreissena polymorpha)* สามารถใช้โครงสร้างสำหรับยึดเกาะที่มีลักษณะเป็นเส้นใยเหนียวแข็งแรง เรียกว่า “Byssal threads” ซึ่งนับเป็นตัวอย่างของการปรับตัวของสัตว์ในระบบนิเวศแม่น้ำเพื่อให้สามารถอาศัยหากินอยู่ในพื้นที่ที่มีน้ำไหลแรงในระดับต่าง ๆ กันได้

3.3.1.6) ความเร็วน้ำและบทบาทต่อพื้นท้องน้ำ

ในการทำความเข้าใจระบบนิเวศแม่น้ำนั้นปัจจัยต้นที่เป็นสาเหตุหลักที่นักนิเวศวิทยาส่วนใหญ่ให้ความสำคัญในการศึกษาวิเคราะห์หนีไม่พ้นปัจจัยด้านกระแสน้ำหรือความเร็วของน้ำที่ปรากฏในระบบนิเวศแม่น้ำส่วนจำเพาะต่าง ๆ ซึ่งมีบทบาทอย่างยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตที่สนใจศึกษาติดตาม นอกจากนี้ ศาสตร์ทางด้านอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) ซึ่งเป็นศาสตร์ที่ผนวกเอาความรู้ทางสาขาทางฟิสิกส์และเคมีเข้าด้วยกันยังได้ถูกประยุกต์มาใช้เพื่ออธิบายสถานการณ์ของความเร็วน้ำที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมและความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะกลุ่มที่อาศัย ณ บริเวณพื้นท้องน้ำด้านล่างสุด หรือบริเวณขอบของก้อนหินหรือในน้ำชั้นบาง ๆ ที่อยู่ชิดผิวดินตะกอน ทั้งนี้ บริเวณดังกล่าวมีความเร็วของน้ำที่แตกต่างจากระดับความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่ตรวจวัดได้ในบริเวณกลางลำน้ำอย่างสิ้นเชิง

อย่างไรก็ตาม ณ ปัจจุบันเรายังไม่มีคำอธิบายที่สมบูรณ์แบบสำหรับความเร็วน้ำในระบบนิเวศของแหล่งแม่น้ำหนึ่ง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดด้านเทคนิควิธีการตรวจวัดความเร็วน้ำ ณ ผิวสัมผัสกับสิ่งมีชีวิตบริเวณพื้นท้องน้ำเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก นอกจากนี้ ในสภาพพื้นที่ตามธรรมชาติยังมีรูปแบบของพื้นท้องน้ำที่หลากหลาย มีทั้งโครงสร้างของพื้นหิน กรวด หรือดินตะกอนละเอียดที่ไม่สม่ำเสมอ และในระบบแม่น้ำยังมีอัตราไหลที่เปลี่ยนไปตามลักษณะของสิ่งกีดขวางรวมทั้งความลาดชันในพื้นที่ แต่ทั้งนี้ ความรู้สำคัญที่ควรตระหนักถึงเสมอ คือ ความเข้าใจในเบื้องต้นว่าสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในต่างบริเวณในพื้นที่แม่น้ำลำธารนั้นย่อมรับแรงกระทำจากมวลน้ำในระดับที่ไม่เท่ากัน จากความรู้ดังกล่าวความพยามอธิบายเรื่อง “แรงกระทำ” จากมวลน้ำในตำแหน่งจำเพาะของแม่น้ำจึงจัดเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมเพื่อการวางแผนบริหารจัดการแม่น้ำที่คำนึงถึงความเป็นอยู่ของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในแม่น้ำนั้น

หากพิจารณาไปที่มวลน้ำในแม่น้ำจะเห็นสภาพการณ์ที่มวลน้ำเคลื่อนที่หมุนวนบ้าง ดูเป็นเกลียว หรือมีการผุดขึ้นหรือมุดลงไปเป็นระยะ ๆ บางแห่งคล้ายลักษณะการเกิดพายุที่ไม่มีทิศทางภายในที่แน่นอนใด ๆ ในหลักการเบื้องต้นด้านการเคลื่อนที่ของของไหล (Fluids) นักวิทยาศาสตร์ได้มีการจำแนกรูปแบบการไหลของออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) Laminar flow 2) Turbulent flow และ 3) Transition flow โดยการไหลในแบบ Laminar flow นั้น เป็นลักษณะการไหลที่มีรูปแบบสม่ำเสมอ ไหลเรียบ ๆ ไป โดยอนุภาคที่อยู่ภายในจะเคลื่อนไหลภายใต้ลักษณะของแผ่นชั้นที่ขนานกันไปเรื่อย ๆ และมีการผสมผสานกันน้อยมาก ส่วนการไหลในแบบ Turbulent flow นั้น เป็นการเคลื่อนตัวของของไหลในรูปแบบที่ไม่มีทิศทางแน่นอนและเกิดการผสมผสานกันภายในได้อย่างมาก และสำหรับการไหลแบบ Transition flow จัดเป็นรูปแบบที่ผสมผสานทั้งสองรูปแบบแรกไว้ด้วยกัน ซึ่งในความเป็นจริงตามธรรมชาติของแม่น้ำพบว่าการไหลแบบ Laminar flow แทบไม่มีอยู่เลย อาจเป็นรูปแบบของการไหลในอุดมคติ หรือใช้พิจารณาเฉพาะพื้นที่ตั้งต้นของการไหลหนึ่ง ๆ เพื่อใช้เป็น “จุดอ้างอิง” อย่างไรก็ตามในบริเวณพื้นท้องน้ำที่เรียบสม่ำเสมอหรือบริเวณเหนือผิวโคลนละเอียดที่กระจายปกคลุมพื้นท้องน้ำเราอาจพบการเคลื่อนตัวของมวลน้ำแบบ Laminar flow ได้ โดยเฉพาะในชั้นบาง ๆ เหนือพื้นท้องน้ำ ซึ่งหากมีก้อนหินหรือกรวดทรายที่มีความขรุขระเกิดขึ้น ลักษณะการไหลเช่นนี้ก็จะแปรเปลี่ยนไป โดยมวลน้ำจะยกตัวขึ้นตามพื้นผิวของวัตถุกีดขวาง ทำให้เกิดการ

ผสมผสานในระหว่างชั้นของน้ำขึ้นมาได้และเกิดเป็นรูปแบบของ Turbulent flow ซึ่งมีอัตราการผสมผสานแตกต่างกันไปตามลักษณะของสิ่งกีดขวางที่มีนั้น

เมื่อพิจารณาบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นมวลน้ำผิวหน้าดิน (ซึ่งเป็นของเหลว) กับดินตะกอนหรือกรวดหินบริเวณพื้นท้องน้ำ (ซึ่งเป็นของแข็ง) ณ บริเวณดังกล่าว หากไม่มีการกัดเซาะใด ๆ เกิดขึ้น จะมีความเร็วของน้ำ ณ บริเวณรอยต่อนั้นเท่ากับ “ศูนย์” ซึ่งเป็นสภาวการณ์ที่หยุดนิ่งเรียกว่า “No-slip condition” (Vogel, 1981) ในแม่น้ำทั่วไปที่มีความเร็วของน้ำที่สูงในบริเวณผิวน้ำและกลางน้ำ การเกิดสภาพการลดหลั่นของความเร็วอย่างรวดเร็ว ณ บริเวณใกล้พื้นท้องน้ำของแม่น้ำ (รวมทั้งด้านข้างตลิ่งของลำน้ำ) จึงเกิดขึ้น ลักษณะการลดลงของความเร็วน้ำตามความลึกของน้ำจนถึงพื้นท้องน้ำนั้นเป็นลักษณะของพื้นที่บริเวณที่เกิดแรงเสียดทาน (Shear stress) กับพื้นท้องน้ำและทำให้เกิดอาณาบริเวณที่เรียกว่า “ชั้นรอยต่อบริเวณพื้นท้องน้ำ” (Benthic boundary layer) ขึ้นมา ช่วงชั้นนี้นับเป็นบริเวณที่สำคัญมากที่เราควรศึกษาติดตาม ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงและมีบทบาทสำคัญต่อพฤติกรรมและความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตพื้นท้องน้ำ ทั้งนี้ ชั้น Benthic boundary layer จะมีอาณาบริเวณครอบคลุมจากแนวที่ชิดพื้นท้องน้ำขึ้นไปจนถึงระดับที่ยังมีแรงเสียดทาน (หรือมีการเปลี่ยนแปลงในความเร็วของน้ำ) จากอิทธิพลของพื้นท้องน้ำอยู่ อนึ่ง สำหรับในแม่น้ำที่ค่อนข้างตื้น ช่วงชั้นรอยต่อดังกล่าวอาจครอบคลุมบริเวณตลอดทั้งระดับความลึกของน้ำ และอิทธิพลจากลักษณะของพื้นท้องน้ำจะมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งความเร็วและทิศทางของมวลน้ำที่ไหลผ่านอย่างเห็นได้ชัด

3.3.2) ลักษณะพื้นท้องน้ำ

พื้นท้องน้ำเป็นบริเวณที่มีองค์ประกอบที่หลากหลาย หากพิจารณาในเชิงกายภาพจะพบว่าพื้นท้องน้ำมีหลายประเภท มีความซับซ้อนและแตกต่างกันไปตามลักษณะทางภูมิประเทศและสัณฐานวิทยาที่เป็นที่ตั้งของแม่น้ำแต่ละแห่ง พื้นท้องน้ำในพื้นที่แม่น้ำเดียวกันยังแสดงความแตกต่างกันไปตามบริเวณจำเพาะต่าง ๆ อาทิ ในพื้นที่เขตน้ำแรงจะพบพื้นท้องน้ำประกอบด้วยอนุภาคขนาดค่อนข้างใหญ่ ขณะที่ในพื้นที่เขตน้ำเบาหรือในมุมอับบริเวณใกล้ชายตลิ่งก็มักพบพื้นท้องน้ำที่มีการสะสมของตะกอนขนาดเล็กอยู่มากกว่า

ในแม่น้ำใกล้เขตป่าเขาหรือเขตพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะพบพื้นท้องน้ำประกอบด้วยหินขนาดใหญ่ (Boulder) กระจัดกระจายอยู่ซึ่งอาจมีลักษณะคล้ายหินในบริเวณตอนปลายของพื้นที่น้ำตก แม่น้ำบริเวณดังกล่าวจะมีน้ำไหลแรงและพื้นท้องน้ำยังประกอบด้วยก้อนหิน (Cobble) ขนาดต่าง ๆ กันใหญ่บ้างเล็กบ้าง รวมทั้งก้อนกรวด (Pebble) ที่มีขนาดเล็กลงมาผสมปนเปกันไป พื้นที่แม่น้ำที่มีความลาดชันของตลิ่งสองข้างมากจะพบการกัดเซาะพังทลายจากพื้นที่ชายตลิ่งได้ง่าย และเรามักพบกรวดขนาดเล็ก (Gravel) ปะปนอยู่กับทรายขนาดต่าง ๆ ซึ่งถูกพัดพาให้เคลื่อนตัวตามแรงของน้ำได้ พื้นท้องน้ำในลักษณะนี้มักขาดเสถียรภาพ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงได้บ่อยครั้ง อย่างไรก็ตาม เมื่อเข้าสู่พื้นที่ราบต่ำที่ถัดลงมา แม่น้ำโดยทั่วไปมักจะแผ่กว้างออกและตื้นขึ้น พร้อม ๆ กับความเร็วของน้ำก็เริ่มลดลงเป็นลำดับ ด้วยเหตุดังกล่าวพื้นท้องน้ำในส่วนปลายของแม่น้ำมักเกิดจากการสะสมของอนุภาคขนาดเล็กละเอียดที่เคลื่อนตัวลงมาถึง อนุภาคดังกล่าวอาจเกิดจากการกัดกร่อน

ของชั้นหินแร่ต่าง ๆ ซึ่งจัดเป็นสารอนินทรีย์และพบได้ในรูปของทรายละเอียดรวมทั้งอนุภาคขนาดเล็ก ๆ เป็นลักษณะของโคลน (Silt) โดยเมื่อน้ำลดความเร็วลง (โดยเฉพาะในบริเวณมุมอับซึ่งมีสิ่งกีดขวางหรือในแนวพรรณไม้บริเวณชายน้ำที่ขึ้นหนาแน่น) อนุภาคเหล่านั้นก็จะตกตะกอนลงสะสมเกิดเป็นพื้นท้องน้ำที่มีเนื้อละเอียดประกอบด้วยโคลนเลนเป็นหลัก

ตารางที่ 3.4 การจำแนกลักษณะพื้นท้องน้ำที่เป็นอนินทรีย์สารตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (Wentworth scale; Cummins, 1962; Minshall, 1984) *(ที่มา: ปรับปรุงจาก Allan, 1995)*

ลักษณะพื้นท้องน้ำที่จำแนกเป็นกลุ่มตามขนาดของอนุภาค	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (mm)	ค่า Phi (ø) ($-\log_2$ ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุด)
ก้อนหิน (Boulder)	>256	≤-8
หินกรวด (Cobble)		
ขนาดใหญ่ (Large)	128-256	-7
ขนาดเล็ก (Small)	64-128	-6
กรวด (Pebble)		
ขนาดใหญ่ (Large)	32-64	-5
ขนาดเล็ก (Small)	16-32	-4
กรวดทราย (Gravel)		
หยาบ (Coarse)	8-16	-3
ขนาดปานกลาง (Medium)	4-8	-2
ขนาดละเอียด (Fine)	2-4	-1
ทราย (Sand)		
หยาบมาก (Very coarse)	1-2	0
หยาบ (Coarse)	0.5-1	1
ขนาดปานกลาง (Medium)	0.25-0.5	2
ขนาดละเอียด (Fine)	0.125-0.25	3
ขนาดละเอียดมาก (Very fine)	0.063-0.125	4
ทรายแป้ง (Silt)	<0.063	≥5

ตารางที่ 3.4 แสดงการจำแนกขนาดของอนุภาคบริเวณพื้นท้องน้ำจากหินขนาดใหญ่ไปจนถึงกรวดทรายและโคลนที่มีขนาดเล็กมาก ตามลำดับ อนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกันเหล่านี้ เกิดจากอิทธิพลหลักจากกระแสน้ำที่มีในพื้นที่แม่น้ำแต่ละบริเวณ อย่างไรก็ตาม ในบริเวณหนึ่ง ๆ เราอาจพบองค์ประกอบของอินทรีย์สารที่มีขนาดใหญ่มาก (อาทิ ท่อนไม้ หรือต้นไม้ที่จมลงมา) พร้อม ๆ กับองค์ประกอบที่มีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น (อาทิ ซากของสาหร่ายและแพลงก์ตอน)

แทรกอยู่เป็นองค์ประกอบโดยรวมของพื้นท้องน้ำ ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าพื้นท้องน้ำเป็นบริเวณที่มีความหลากหลายสูงอย่างเห็นได้ชัด พื้นท้องน้ำที่แตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณจะมีบทบาทต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำและทรัพยากรที่เกี่ยวข้องโดยตรง (โดยเฉพาะในบริเวณผิวสัมผัสกับพื้นท้องน้ำ) ทั้งนี้ มีรายงานการศึกษาจำนวนมากที่แสดงให้เห็นอิทธิพลของพื้นท้องน้ำต่อประชาคมของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งการเจริญพันธุ์และการเกิดทดแทนที่ ซึ่งจะกล่าวถึงในลำดับต่อไป

เนื่องจากความหลากหลายของพื้นท้องน้ำที่พบ เราจำเป็นต้องกำหนดปัจจัยที่ใช้ศึกษาวิเคราะห์หรือติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นท้องน้ำที่ชัดเจนและเหมาะสมกับธรรมชาติของพื้นที่ รวมทั้งสอดคล้องกับเป้าหมายในการประเมินแต่ละครั้ง เราสามารถศึกษา “ขนาดของอนุภาค” ที่เป็นองค์ประกอบของพื้นท้องน้ำที่สนใจ หรือการวิเคราะห์ “ขนาดอนุภาคเฉลี่ย” ของพื้นที่ได้ ในขณะเดียวกันหากมีความจำเป็นการศึกษาถึง “พื้นที่ผิว” ของก้อนหินก็จะมีความหมายต่อการประเมินการเกิดของสาหร่ายบางชนิดได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ การศึกษา “ช่องว่างระหว่างอนุภาค” (Interstitial space) จะมีประโยชน์ในการประเมินประชากรสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดเล็กที่แทรกตัวอยู่ (เพื่อการกำบังกระแสน้ำที่มาปะทะ) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความลาดชันและองค์ประกอบของหน้าดินตามแนวราบในพื้นที่แม่น้ำจะสามารถสะท้อนโอกาสการเจริญพันธุ์ของพรรณไม้น้ำชนิดต่าง ๆ ขณะที่การศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามแนวดิ่งที่ลึกลงไปในดินพื้นท้องน้ำซึ่งให้ข้อมูลองค์ประกอบของขนาดอนุภาค การจัดเรียงตัว หรือคุณภาพทางเคมีก็จะสะท้อนภาพความอุดมสมบูรณ์หรือความเหมาะสมต่อความเป็นอยู่ของสัตว์พื้นท้องน้ำในแต่ละบริเวณได้

ในภาพรวมแล้วไม่ว่าเราจะศึกษาติดตามปัจจัยใดเรามักพบการเปลี่ยนแปลงทั้งตามแนวราบและตามแนวดิ่ง รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงของฤดูกาล (โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงในอัตราการไหลของน้ำ) หรือการใช้ประโยชน์ในที่ดินโดยรอบที่ส่งผลกระทบ อนึ่ง การศึกษาวิเคราะห์พื้นท้องน้ำโดยจำแนกประเภทแยกออกเป็นเป็นลักษณะเชิง “สารอนินทรีย์” และ “สารอินทรีย์” นับเป็นวิธีการหนึ่งที่จะทำให้เกิดความชัดเจนและสะดวกในการประเมินเชิงคุณภาพของพื้นท้องน้ำ ซึ่งลักษณะของพื้นท้องน้ำดังกล่าวมีรายละเอียดที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

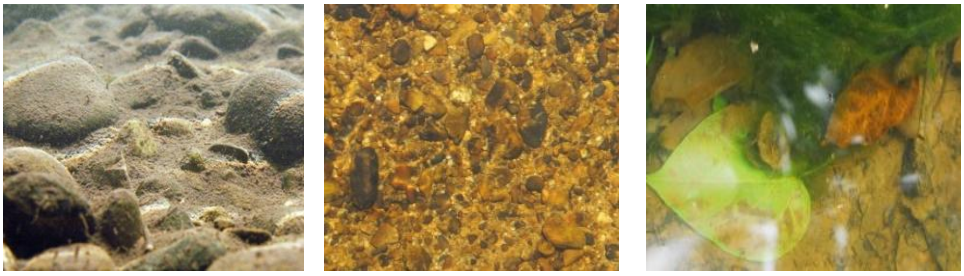
3.3.2.1) สารอนินทรีย์ในพื้นท้องน้ำและบทบาทต่อสิ่งมีชีวิต

ในความเป็นจริงแล้วอาจไม่มีพื้นท้องน้ำบริเวณใดที่ไม่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์เจือปนอยู่ อย่างไรก็ตามพื้นท้องน้ำของแม่น้ำลำธารโดยเฉพาะในเขตต้นน้ำจะมีมวลขนาดใหญ่น้อยของสารอนินทรีย์ประกอบกันเป็นโครงสร้างหลักของพื้นท้องน้ำอยู่เสมอ พื้นท้องน้ำอาจเป็นก้อนหินขนาดใหญ่จำนวนมาก จนถึงการเป็นกรวดละเอียดซึ่งมักพบในส่วนปลายของแม่น้ำ เมื่อเราต้องพิจารณาในเชิงกายภาพของพื้นท้องน้ำจะพบว่าปัจจัยทางด้านขนาดของอนุภาค (Particle size) ลักษณะของพื้นผิววัตถุ (Surface texture) ตลอดจนความมีเสถียรภาพ (Stability) ของพื้นท้องน้ำตามเวลา เหล่านี้นับเป็นปัจจัยเด่นที่ควรให้ความสนใจศึกษาติดตาม เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลเชื่อมโยงต่อประชาคมสิ่งมีชีวิตและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำในพื้นที่แต่ละแห่ง

ขนาดของอนุภาคเป็นปัจจัยทางกายภาพที่มีการศึกษากันอย่างงแพร่หลาย เราสามารถประเมินขนาดของอนุภาคได้จากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคโดยตรง (เหมาะสำหรับพื้นที่ลำ

ธารที่มีพื้นเป็นก้อนหินขนาดใหญ่) หรือจากการประเมินผ่านเทคนิคการตกตะกอน รวมทั้งเทคนิคการร่อนแยก (Sieving) โดยการใช้ตะแกรงร่อนขนาดตาที่เรียงกันไปตามลำดับจากใหญ่ไปเล็ก อนุภาคขนาดใหญ่กว่าจะถูกร่อนแยกออกมาได้ง่ายกว่า ขณะที่อนุภาคละเอียดที่เป็น Silt หรือ Clay นั้นจำเป็นต้องใช้ความละเอียดและใช้เวลาในการตกตะกอนก่อนที่อนุภาคทั้งหมดจะถูกนำมาทำให้แห้งเพื่อหาน้ำหนักรวมของแต่ละกลุ่มขนาดต่อไป ทั้งนี้ การจำแนกขนาดของอนุภาคตามเส้นผ่านศูนย์กลางและการจัดกลุ่มต่าง ๆ นั้น ใช้เกณฑ์ดัง **ตารางที่ 3.4** จากตารางนี้จะพบลักษณะการจัดแบ่งช่วงของขนาดอนุภาคโดยเพิ่มขึ้นช่วงชั้นละ 2 เท่า นอกจากนี้ ยังมีการใช้ค่า Phi (**ø**) ซึ่งเกิดจากการคำนวณ ค่า – $\log_2$ ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคขนาดเล็กที่สุดในแต่ละช่วงชั้นมาพิจารณาเพื่อความสะดวกในการประเมินอีกด้วย

สำหรับการนำเสนอข้อมูลนั้นเราสามารถแสดงในค่าเฉลี่ยของขนาด (Median particle size; MPS) พร้อม ๆ กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลด้านขนาดที่พบ (Standard deviation; SD) อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดของการประเมินคุณภาพของพื้นท้องน้ำในลักษณะนี้โดยเฉพาะในบริเวณที่พื้นท้องน้ำมีลักษณะพิเศษ อาทิ การเป็นฐานหินเรียบหรือแนวสันหินขนาดใหญ่ หรือการมีผิวหน้าดินที่อัดตัวกันแน่นหรือมีผิวเรียบเกิดอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่พบหินปูนอยู่มากและเกิดการตกตะกอนของสารประกอบแคลเซียมเคลือบอยู่ที่พื้นท้องน้ำ



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 3.7 ลักษณะความแตกต่างของขนาดอนุภาคที่พบได้ในพื้นท้องน้ำของแม่น้ำเพชรบุรี โดยที่ในภาพ ก จะพบก้อนหิน (Boulder) ส่วนภาพ ข และ ภาพ ค แสดงพื้นท้องน้ำที่ประกอบด้วยกรวดขนาดเล็ก (Small pebble) และทรายละเอียด (Fine sand) ตามลำดับ

ลักษณะการแพร่กระจายเชิงขนาดของอนุภาคในพื้นท้องน้ำแสดงลักษณะทั่วไปที่อาจจำแนกตามระยะทางจากต้นน้ำสู่ปลายน้ำได้ โดยเราจะพบก้อนหินขนาดใหญ่กว่าในพื้นที่ส่วนต้นของแม่น้ำที่มีน้ำไหลแรง และเมื่อลงมาสู่พื้นที่ปลายน้ำหรือบริเวณที่มีน้ำไหลช้าลงก็จะพบ อนุภาคที่มีขนาดเล็กในสัดส่วนที่มากขึ้น อนุภาคละเอียดประเภท Silt มักพบในเขตที่ความเร็วของน้ำลดลงมากพอที่อนุภาคเหล่านั้นจะตกตะกอนลงได้ จึงมักพบบริเวณที่น้ำนิ่งขึ้นมากหรือในแอ่งน้ำที่น้ำหมุนวนย้อนกลับในบริเวณข้างตลิ่งของแม่น้ำที่มีวัตถุกำบัง อย่างไรก็ตาม การสะสมของอนุภาคขนาดเล็กมักมีความผันแปรได้มากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ทั้งนี้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในความเร็วของน้ำเพียง

เล็กน้อยก็ทำให้เกิดการพัดพาออกไปหรือการสะสมตัวลงที่เปลี่ยนแปลงไปได้ องค์ประกอบของขนาดอนุภาคในพื้นที่แม่น้ำเพชรบุรีเป็นตัวอย่างหนึ่งของความแตกต่าง ถึงแม้ว่าอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกันความแตกต่างดังกล่าวพบได้ทั้งตามแนวภาคตัดขวางของลำน้ำและในแต่ละบริเวณของแม่น้ำ (**ภาพที่ 3.7**) ทั้งนี้ เกิดจากความเร็วของน้ำในแต่ละบริเวณนั้นมีความแตกต่างกันไปนั่นเอง (พิชาศิษฐ์ 2557)

โดยทั่วไปแม่น้ำในแต่ละบริเวณมักมีลักษณะของพื้นท้องน้ำทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ค่อนข้างน้อย และได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราไหลหรือ ปริมาณของน้ำตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงที่กะทันหัน อาทิ การเกิดสภาวะน้ำท่วมหลากอย่างฉับพลัน (**ภาพที่ 3.3**) นับเป็นกระบวนการทางธรรมชาติหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนสภาพตลิ่งของแม่น้ำ ทำให้เกิดการกัดเซาะพังทลายและเกิดการพัดพาเอากรวดทรายลงสู่ระบบแม่น้ำได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้สภาวะน้ำท่วมหลากยังมีผลกระทบต่อประชาคมสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้มักพบการเกิดทดแทนที่ของสัตว์หน้าดินขนาดเล็กมาทดแทนสัตว์ในกลุ่มของหอยสองฝาที่มีความทนทานน้อยกว่าในกลุ่มแรกนั้น

3.3.2.2) สารอินทรีย์ในพื้นท้องน้ำและบทบาทต่อสิ่งมีชีวิต

การประเมินลักษณะของพื้นท้องน้ำ โดยการพิจารณาจากคุณภาพและปริมาณของสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนทับถมกันหรือสะสมอยู่ในรูปแบบของซากพืชซากสัตว์ กิ่งไม้ ใบไม้ นับเป็นเรื่องที่จำเป็นสำหรับการอธิบายความอุดมสมบูรณ์ของอาหารหรือแหล่งที่อยู่อาศัยบริเวณพื้นท้องน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปพบว่าตะกอนที่มีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร) มักจะมีคุณลักษณะในเชิงของ “การเป็นอาหาร” มากกว่าการเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์พื้นท้องน้ำ (ยกเว้นสำหรับกลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีขนาดเล็กมากหรือจุลินทรีย์ต่าง ๆ) ในทางตรงกันข้าม ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น รวมทั้งเศษกิ่งไม้ ท่อนไม้ ใบและซากพืชต่าง ๆ ก็มักจะมีคุณลักษณะในเชิงของการเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยมากกว่าเป็นแหล่งอาหาร (Benke *et al*., 1984) อย่างไรก็ตาม การจำแนกในเชิงของขนาดดังกล่าวอาจมีข้อจำกัด เนื่องจากเศษกิ่งไม้ ใบไม้ ยังสามารถเป็นอาหารที่ดีได้ด้วย (โดยเฉพาะสำหรับพวกแมลงน้ำบางกลุ่มซึ่งอาศัยกัดแทะกินสาหร่ายบนผิววัตถุและยังกินเศษซากใบไม้ขนาดเล็กเป็นอาหารได้) การจำแนกวัตถุพื้นท้องน้ำที่เป็นสารอินทรีย์ออกตามขนาด จึงนับว่าเป็นประโยชน์ต่อการประเมินโอกาสการเปลี่ยนแปลงของวัตถุเหล่านั้นและเชื่อมโยงกับการเกิดประชาคมหรือการเกิดทดแทนที่ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ที่สามารถอยู่อาศัยได้

โดยทั่วไปเราควรแจกแจงวัตถุบริเวณพื้นท้องน้ำออกมาเป็นกลุ่ม ๆ (อาทิ ตะกอนละเอียด เศษซากใบไม้ที่ร่วงมาทับถม กิ่งไม้หรือท่อนไม้ที่จมน้ำอยู่ หรือพื้นที่ว่างที่สาหร่ายหรือพรรณไม้น้ำต่าง ๆ สามารถเจริญเติบโตได้) ซึ่งจะทำให้เห็นภาพความเป็นไปของระบบนิเวศในบริเวณนั้นได้ชัดเจน นอกจากนี้ การประเมินสัดส่วนของกลุ่มดังกล่าวและการติดตามการเปลี่ยนแปลงตามเวลาขององค์ประกอบที่มียังให้ประโยชน์ในการอธิบายความเป็นอยู่ของทรัพยากรมีชีวิตที่อาศัยบริเวณพื้นท้องน้ำ มีงานศึกษาวิจัยที่ได้ติดตามความเป็นอยู่ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดเล็กในลำธารซึ่งพบว่าปริมาณของสัตว์เหล่านั้นแปรผันตามกับปริมาณซากใบไม้และอินทรียวัตถุที่เน่าเปื่อยทับถมอยู่ ณ

บริเวณพื้นท้องน้ำ ทั้งนี้ เนื่องจากการที่ซากใบไม้และอินทรียวัตถุต่าง ๆ เกี่ยวข้องในฐานะการเป็นอาหารของสัตว์เหล่านั้นนั่นเอง (Egglishaw, 1964; Reice, 1980)

อย่างไรก็ตาม พื้นท้องน้ำที่มีพรรณไม้น้ำหรือมีสาหร่ายขนาดใหญ่ขึ้นอยู่ จะอยู่ในสถานะของการเป็นที่อยู่อาศัยหรือพื้นที่กำบังกระแสน้ำที่ดีสำหรับให้สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ มาอาศัยอยู่ได้ (อาทิ พวก Amphipod และ Isopod) ทั้งนี้ พรรณไม้น้ำเหล่านั้นมักมีอิทธิพลต่อการตกตะกอนของสารอินทรีย์ขนาดเล็ก ๆ แต่ไม่ได้มีอิทธิพลโดยตรงในด้านการเป็นแหล่งอาหารให้แก่สิ่งมีชีวิตที่มาอาศัยอยู่นั้น ด้วยลักษณะจำเพาะที่เกิดจากพฤติกรรมความเป็นอยู่ ลักษณะการกินอาหาร และการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตแต่ละกลุ่มที่แตกต่างกันไปดังกล่าว การพิจารณาอิทธิพลจากองค์ประกอบในพื้นท้องน้ำที่มีจึงจำเป็นต้องมีความจำเพาะกับชนิดหรือกลุ่มประชาคมสัตว์พื้นท้องน้ำที่สนใจ และทำการประเมินบทบาทความสัมพันธ์ไปตามกลุ่มที่มีรูปแบบด้านพฤติกรรมความเป็นอยู่หรือการกินอาหารที่แตกต่างกันไป

ตารางที่ 3.5 ชนิด จำนวน และมวลชีวภาพของสิ่งมีชีวิตพื้นท้องน้ำที่พบในบริเวณที่มีการทับถมของซากกิ่งไม้ใบไม้ (Wood substrates) เปรียบเทียบกับในทราย (Sand) หรือโคลน (Mud) ในแม่น้ำ Satilla ประเทศสหรัฐอเมริกา (บริเวณที่ศึกษามีสัดส่วนของ Wood substrates : Mud : Sand = 1:3.6:18) *(ที่มา: ปรับปรุงจาก Benke et al., 1984)*

ชนิดของสิ่งมีชีวิตในบริเวณพื้นท้องน้ำ	ซากกิ่งไม้ใบไม้		ทราย		โคลน	
	จำนวนชนิด	มวลชีวภาพ (mg/m^2)	จำนวนชนิด	มวลชีวภาพ (mg/m^2)	จำนวนชนิด	มวลชีวภาพ (mg/m^2)
กลุ่มแมลงน้ำ						
Diptera	17	243	15	64	11	148
Trichoptera	9	4,222	0	-	3	24
Ephemeroptera	5	97	0	-	0	-
Plecoptera	2	137	0	-	0	-
Coleoptera	3	218	1	8	0	-
Megaloptera	1	379	0	-	0	-
Odonata	3	529	1	-	0	-
กลุ่มไส้เดือนน้ำ						
Oligochaeta	0	-	3	22	3	420
รวม	40	5825	20	94	17	592

เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมของพื้นท้องน้ำทั้งที่เป็นอนินทรีย์สารและอินทรีย์สาร เราพบว่าสิ่งมีชีวิตพื้นท้องน้ำมีความหลากหลายทางชีวภาพและมีความชุกชุมที่แตกต่างกันไปตามประเภทหลักหรือองค์ประกอบหลักของพื้นท้องน้ำในแต่ละบริเวณ ทั้งนี้ พบว่าพื้นท้องน้ำที่มีการทับถมของซากกิ่งไม้ ใบไม้ ซากพืชซากสัตว์ต่าง ๆ มักจะมีจำนวนชนิดของสัตว์พื้นท้องน้ำมากกว่าในพื้นที่ที่เป็นทรายหรือพื้นที่โคลน (**ตารางที่ 3.5**) (Benke *et al*., 1984) นอกจากนี้ ยังพบว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ทรายมักเป็นพวกไส้เดือนน้ำที่มีขนาดเล็กมาก ทำให้ค่าของน้ำหนักที่พบต่อพื้นที่มักมีค่าต่ำกว่า แม้จะมีจำนวนตัวต่อพื้นที่ไม่ได้แตกต่างจากพื้นที่โคลนก็ตาม

3.3.3) ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ

ในมวลน้ำที่มีการเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลานั้น เราจะพบอนุภาคที่เป็นของแข็งซึ่งอาจเป็น สารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์ก็ได้ล่องลอยอยู่ทั่วไป อนุภาคเหล่านั้นล่องลอยอยู่ได้ด้วยแรงพยุงซึ่งเกิดจากการเคลื่อนตัวของน้ำทำให้เกิดการแขวนลอยอยู่ได้ ของแข็งแขวนลอย หรือ Suspended solids (SS) เป็นปัจจัยที่นักชลธีวิทยาให้ความสำคัญในลำดับต้น ๆ ปัจจัยหนึ่ง ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณสมบัติทางกายภาพ (อาทิ ความโปร่งแสง) และสมบัติทางเคมี (อาทิ แร่ธาตุอาหาร ความเป็นกรด-เบส และการนำไฟฟ้า) ของน้ำในพื้นที่นั้น

หากพิจารณาของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในด้าน *“ขนาดของอนุภาค”* ก็มักพบว่าประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 62 ไมโครเมตร (Waters, 1995) อย่างไรก็ตาม ในสภาพความเป็นจริงแล้วของแข็งเหล่านั้นมักจะยึดเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนบาง ๆ ที่มีรูปทรงไม่แน่นอน (Droppo, 2001; Phillips and Walling, 1995) ซึ่งอาจสังเกตด้วยตาเปล่าได้ในบางครั้ง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่รับน้ำเสียจากชุมชนและกิจกรรมทางการเกษตร (อาทิ ในพื้นที่แม่น้ำท่าจีนตอนล่างในเขตจังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาคร) ซึ่งหากพิจารณาอย่างละเอียดจะเห็นลักษณะของตะกอนแขวนลอยกระจายตัวอยู่ผสมผสานภายในมวลน้ำอย่างมากมาย

ในแม่น้ำตามธรรมชาติจะมีการพัดพาเอาของแข็งแขวนลอยมากับมวลน้ำเสมอ (Ryan, 1991) ทั้งนี้ ปริมาณหรือความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่มีในน้ำ (ประเมินในหน่วยของมิลลิกรัมต่อลิตร) จะแปรผันตามสภาพธรรมชาติโดยรอบ โดยเฉพาะลักษณะทางธรณีสัณฐานวิทยาของพื้นที่รับน้ำหรือภายในลุ่มน้ำนั้น ๆ เป็นหลัก ข้อมูลการศึกษาของแข็งแขวนลอยในแม่น้ำของไทยแสดงให้เห็นว่าพื้นที่แม่น้ำแต่ละแห่งมีระดับของแข็งแขวนลอยที่แตกต่างกันไป (**ตารางที่ 3.6**) และบริเวณที่มีค่าของแข็งแขวนลอยตามธรรมชาติที่ค่อนข้างสูงกว่าพื้นที่อื่นมักอยู่ในพื้นที่ราบลุ่มน้ำภาคกลาง ทั้งนี้หากได้พิจารณาในรายละเอียดเพิ่มเติมจะพบว่าของแข็งแขวนลอยมีการเปลี่ยนแปลงระดับตามฤดูกาลอย่างชัดเจน ซึ่งมักเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูฝนจนถึงกลางฤดูน้ำหลากจากอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนที่ชะแผ่นดินลงมาและมวลของน้ำท่าซึ่งไหลรวมมาจากพื้นที่รับน้ำโดยรอบที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 3.6 ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวม (Total suspended solids; TSS) ที่พบในพื้นที่แม่น้ำต่าง ๆ ของประเทศไทย

พื้นที่แม่น้ำ	TSS (mg/L)	ปีที่ศึกษา	แหล่งที่มา
แม่น้ำแม่กลอง	24-367	2538	ผุสดี (2540)
แม่น้ำเจ้าพระยา	8-180	2540	ณฐกร (2543)
แม่น้ำท่าจีน	2-71	2549	อรอิงค์ (2551)
แม่น้ำท่าจีน	11-165	2552	จารุมาศและคณะ (2556)
แม่น้ำบางปะกง	18-168	2547	กัญญาณัฐและคณะ (2549)
แม่น้ำบางปะกง	18-664	2548	ชลาทิพ (2549)
แม่น้ำเพชรบุรี	0.2-36	2555	พิชาศิษฐ์ (2557)
แม่น้ำหลังสวน	2.4-6.4	2557	มณช์นิศาษ์และคณะ (2558)

อิทธิพลจากการใช้ประโยชน์ในที่ดินโดยชุมชน (อาทิ การปรับเปลี่ยนพื้นที่เพื่อการอยู่อาศัย การทำการเกษตร หรือการจัดสร้างโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ) ยังเป็นสาเหตุให้ระดับของของแข็งแขวนลอยในพื้นที่แม่น้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงได้สูง นอกจากนี้ ยังมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติทางกายภาพ (อาทิ การเพิ่มความขุ่นของน้ำ ลดการส่องผ่านของแสง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำ และการสะสมของตะกอนที่ทำให้พื้นที่ตื้นเขิน) และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำ อาทิ การเพิ่มปริมาณโลหะหนักและสารในกลุ่มยาฆ่าแมลง (Kronvang *et al*., 2003; Thaipichitburapa *et al*., 2010) และการเพิ่มแร่ธาตุโดยเฉพาะฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ (จารุมาศและเชษฐพงษ์ 2553; Haygarth *et al*., 2006; Meksumpun and Meksumpun, 2008)

นอกจากนี้ ในกรณีที่ของแข็งแขวนลอยที่ถูกพัดพาลงมานั้นมีการปนเปื้อนของปริมาณอินทรีย์สารสูง ภายในแหล่งน้ำก็จะเกิดกระบวนการย่อยสลายและทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เกิดการลดลงอย่างต่อเนื่อง จนอาจถึงระดับที่ขาดแคลนหรือไม่เหมาะสมต่อความเป็นอยู่ของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่น้ำเคลื่อนตัวน้อยลงซึ่งเกิดเป็นปัญหาได้ (Ryan, 1991) ในภาพรวมพบว่าผลกระทบของการเพิ่มปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถเกิดได้ทั้งต่อแพลงก์ตอนพืช สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง รวมทั้งทรัพยากรปลาชนิดต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำ โดยมีรายละเอียดสำหรับแต่ละกลุ่มสิ่งมีชีวิตหลักดังกล่าว ดังต่อไปนี้

3.3.3.1) ผลกระทบต่อผู้ผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศแม่น้ำ

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของพรรณไม้น้ำชนิดต่าง ๆ และสาหร่ายที่อยู่ในระบบนิเวศแม่น้ำได้เนื่องจากอิทธิพลด้านการบดบังแสงที่ส่องผ่านลงไปในน้ำทำให้กระบวนการผลิตหรือการเจริญเติบโตภายใต้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีอัตราที่ลดต่ำลงไป อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำแทบไม่ส่งผลกระทบ

ในทางลบต่อแพลงก์ตอนพืชที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ (โดยเฉพาะในบริเวณใกล้ผิวน้ำ) หรือต่อพรรณไม้น้ำที่มีส่วนของใบลอยขึ้นมาบริเวณผิวน้ำ รวมทั้งพวกที่เป็นพืชลอยน้ำประเภทต่าง ๆ ผลกระทบที่เกิดจึงมักพบกับพรรณไม้บริเวณพื้นท้องน้ำ สาหร่ายที่เจริญติดกับวัตถุที่พื้นท้องน้ำ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้บริโภคขั้นแรก ๆ ที่กินสาหร่ายเหล่านั้นเป็นอาหาร

ในพื้นที่แม่น้ำลำธารเขตต้นน้ำโดยเฉพาะในบริเวณที่อยู่ในเขตป่าไม้หนาแน่น เราจะพบว่าการที่ของแข็งแขวนลอยประเภทต่าง ๆ ถูกพัดพาลงมาจากระบบนิเวศป่าไม้โดยรอบนับเป็นกระบวนการหลักในการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งแม่น้ำลำธารนั้น กระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญมากกว่ากระบวนการผลิตอินทรีย์สารโดยการสังเคราะห์ด้วยแสงในผู้ผลิตขั้นต้นเสียอีก (Cowie, 1985) ด้วยเหตุนี้ การประเมินรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของแข็งแขวนลอยในเขตต่าง ๆ ของแม่น้ำจึงมีความสำคัญต่อการอธิบายความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ กรณีเป็นแม่น้ำในเขตถัดลงมา เราควรพิจารณาบทบาทความสำคัญของปริมาณของแข็งแขวนลอยไปตามลักษณะทางนิเวศอุทกวิทยา รวมทั้งลักษณะการใช้ประโยชน์โดยรอบพื้นที่แหล่งน้ำนั้นมาประกอบด้วย

3.3.3.1) ผลกระทบต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในแม่น้ำ

ในแหล่งน้ำไหลเราสามารถจำแนกสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ (อาทิ แพลงก์ตอนสัตว์) และกลุ่มที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำ หรือพวกสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน (อาทิ แมลงน้ำ หอย กุ้ง และปู) ของแข็งแขวนลอยที่ถูกพัดพาลงมาพร้อม ๆ กับการไหลของน้ำผ่านผิวหน้าดินสามารถส่งผลกระทบต่ออวัยวะในการหายใจของสัตว์หน้าดินได้หลายชนิด นอกจากนี้ ตะกอนขนาดค่อนข้างใหญ่ที่ไหลเข้ามายังอาจทำให้เกิดการกระแทกกับสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน แล้วทำให้สัตว์เหล่านั้นหลุดลอยขึ้น และได้รับผลกระทบจากผู้ล่าได้ง่ายขึ้น (Langer, 1980) การศึกษาวิจัยของ Gammon (1970) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของแข็งแขวนลอยเพียงประมาณ 40-80 mg/L จากระดับเดิม สามารถทำให้กลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินล่องลอยขึ้นมามากขึ้นถึง 25-90 % นอกจากนี้ Ryder (1989) พบว่าการลงเกาะของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในบริเวณพื้นท้องน้ำที่มีความขุ่นสูงนั้นจะเป็นไปได้ยากอีกด้วย

สำหรับกลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีพฤติกรรมการกรองกิน (Filter-feeding invertebrate) การเพิ่มขึ้นของของแข็งแขวนลอยในแหล่งน้ำจะมีผลโดยตรงต่อโครงสร้างที่ใช้ในการกรองกินของสัตว์กลุ่มนี้ ผลที่ตามมา คือ การทำให้ประสิทธิภาพการกินอาหารลดต่ำลง ทำให้ลดอัตราการเจริญเติบโตและอาจทำให้ตายลงไปได้ในที่สุด (Hynes, 1970) สำหรับกลุ่มของสัตว์พวกที่กินสาหร่ายซึ่งเจริญขึ้นบริเวณผิวของวัตถุใต้น้ำเป็นอาหารนั้นพบว่าการเพิ่มปริมาณของแข็งแขวนลอยมีผลในทางลบต่อความเป็นอยู่ของสัตว์ในกลุ่มนี้ด้วย ทั้งนี้ สืบเนื่องจากปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแสงที่ส่องลงมาและทำให้สาหร่ายเริ่มตายลง อาหารตามธรรมชาติจึงลดน้อยลงไป ซึ่งนับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการกินต่อกันเป็นทอด ๆ ที่เกิดขึ้นภายในห่วงโซ่อาหารนั่นเอง

3.3.3.3) ผลกระทบต่อทรัพยากรปลาในแม่น้ำ

ผลการศึกษาวิจัยด้านผลกระทบจากของแข็งแขวนลอยที่มีต่อทรัพยากรปลาในพื้นที่แม่น้ำของไทยเรานั้นยังไม่มีความชัดเจนเท่าใดนัก โดยส่วนใหญ่เป็นการรายงานเชิงชนิดพันธุ์ปลาที่พบและสถานการณ์คุณภาพน้ำทั่วไป ยังขาดการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระหว่างปัจจัยที่มีนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม การที่ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความขุ่นของน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการกินอาหาร การหลบหลีกศัตรู การวางไข่ และการอนุบาลปลาวัยอ่อน ปริมาณของแข็งแขวนลอยจึงนับเป็นปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาเพื่อประยุกต์ใช้ในการวางแผนการจัดการแหล่งน้ำอย่างเหมาะสม

งานศึกษาวิจัยในต่างประเทศสำหรับกลุ่มของปลาแซลมอนพบผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นผลกระทบจากจากของแข็งแขวนลอยและการทับถมของตะกอนละเอียดที่ทำให้การพัฒนาการของไข่และตัวอ่อนของปลาแซลมอนเกิดล่าช้าไป (Harrod and Theurer, 2002) ลักษณะดังกล่าวเกิดจากการที่ตะกอนไปกีดขวางการแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับมวลน้ำอย่างเพียงพอ การศึกษาผลกระทบจากของแข็งแขวนลอยในปลาชนิดอื่น ๆ ยังพบว่าหากของแข็งแขวนลอยมีปริมาณมากจะเกิดการเข้าไปอุดตันบริเวณซี่เหงือกของปลา นอกจากนี้ ยังทำให้ปลาอ่อนแอและเกิดโรคได้ง่าย (Redding *et al*., 1987) อย่างไรก็ตาม การศึกษาในกลุ่มปลาครอบครัว Cyprinidae (อาทิ ปลาตะเพียน) พบว่าการเปลี่ยนแปลงในปริมาณของแข็งแขวนลอยแสดงผลกระทบต่อปลากลุ่มนี้ไม่ชัดเจน (Alabaster, 1972) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่ปลากลุ่มนี้ในธรรมชาติจะมีความทนทานต่อสภาวะที่น้ำขุ่น หรือมีปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มากอยู่แล้วนั่นเอง

3.3.3.4) ปัจจัยที่มีบทบาทต่อระดับของผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศแม่น้ำ

ในการประเมินโอกาสการเกิดผลกระทบหรืออิทธิพลจากของแข็งแขวนลอยที่จะมีต่อสิ่งมีชีวิตประเภทต่าง ๆ ในระบบนิเวศทางน้ำนั้น เราควรศึกษาวิเคราะห์ประเด็นที่เกี่ยวกับของแข็งแขวนลอยใน 4 ด้านหลัก ประกอบด้วย 1) ระดับความเข้มข้นที่พบ 2) ระยะเวลาที่สิ่งมีชีวิตได้สัมผัส 3) องค์ประกอบทางเคมีของของแข็งแขวนลอย และ 4) การแพร่กระจายขนาดอนุภาคของแข็งแขวนลอย โดยมีรายละเอียดที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1) ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย

โดยทั่วไปความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่ปรากฏในแหล่งน้ำ (ในหน่วยของ มิลลิกรัมต่อลิตร) เป็นปัจจัยที่ถูกกำหนดเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เพื่อการประเมินสถานการณ์คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ ทั้งนี้ เนื่องจากระดับของของแข็งแขวนลอยมีบทบาทต่อการตอบสนองของประชาคมสิ่งมีชีวิต (อาทิ การเพิ่มปริมาณของแข็งแขวนลอยทำให้อัตราการเกิดผลกระทบด้านต่าง ๆ ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตทางน้ำเกิดได้เร็วมากขึ้น) (Newcombe and Mac Donald, 1991) อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงแล้วเรายังพบว่ามีปัจจัยอีกหลายประการที่เข้ามามีส่วนในผลกระทบที่เกิด ปัจจัยดังกล่าว

ได้แก่ ระยะเวลาการสัมผัส องค์ประกอบทางขนาดหรือทางเคมีของตะกอนแขวนลอย รวมทั้งมลภาวะจากสารพิษ (อาทิ ยาฆ่าแมลงหรือโลหะหนัก) ปัจจัยร่วมเหล่านี้ทำให้การเพิ่มระดับความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยเพียงอย่างเดียวไม่ได้มีบทบาทที่ชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงในประชากรของสิ่งมีชีวิต

ในทางตรงกันข้าม ในพื้นที่แม่น้ำลำธารเขตต้นน้ำบางแห่งพบรายงานว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ลดต่ำลงมีผลกระทบในทางลบต่อประชาคมสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ (Cowie, 1983, 1985) โดยเฉพาะการหายไปของของแข็งแขวนลอยในรูปของซากพืชที่ถูกชะล้างลงมา ทั้งนี้ เนื่องจากซากพืชเหล่านั้นจัดเป็นแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่สำคัญที่สุดในระบบนิเวศของลำธาร ซึ่งนอกจากจะเป็นแหล่งอาหารแล้ว ยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอีกมากมาย (โดยเฉพาะแบคทีเรีย รา และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง; Winterbourn, 1987) ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ลำธาร

2) ระยะเวลาในการรับสัมผัส

ระยะเวลาในการที่สิ่งมีชีวิตทางน้ำหนึ่ง ๆ จะ “รับสัมผัส” กับความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่เปลี่ยนแปลงไป นับว่าเป็นประเด็นสำคัญอย่างหนึ่งที่มีบทบาทต่อ “ผลกระทบ” หรือรูปแบบใน “การตอบเสนอง” ของสิ่งมีชีวิตที่สนใจนั้น ผลการศึกษาของ Suren *et al*. (2005) ชี้ให้เห็นว่าการที่สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (ที่ถึงแม้จะเป็นดัชนีชีวภาพที่สำคัญในแหล่งน้ำ) ไม่แสดงการตอบสนองต่อของแข็งแขวนลอยถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่ไหลผ่านในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง แต่เริ่มมีการตอบสนองในระยะเวลาที่ยาวนานกว่ามากนั้น ได้สะท้อนให้เราทราบว่าการตอบสนองอาจขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่รับสัมผัสหรือการที่ปัจจัยต้นนั้นได้ก่อให้เกิดผลกระทบสืบเนื่องที่มากพอ ซึ่งในกรณีของสารแขวนลอยนี้มักจะเป็นการทำให้สภาพแหล่งที่อยู่อาศัยเกิดการเปลี่ยนแปลง การที่ช่องว่างในระหว่างเม็ดดินถูกทับถมไป หรือคุณภาพของอาหารที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในปริมาณของของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

มีการศึกษาที่น่าสนใจของ Newcombe and MacDonald (1991) ที่ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง “ปริมาณ” ของของแข็งแขวนลอยที่มีต่อสิ่งมีชีวิต เปรียบเทียบกับ “ความเข้ม” ของของแข็งแขวนลอย ซึ่งคำนวณจากปริมาณที่พบคูณกับเวลาที่สัมผัส โดยเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลงานการศึกษามากกว่า 70 เรื่องที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของของแข็งแขวนลอยมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำกับการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตที่ศึกษา ($r^2 = 0.14$, $P < 0.01$) ความรู้ข้างต้นทำให้นักนิเวศวิทยาเกิดแนวคิดในการวางแผนศึกษาวิจัยและการวิเคราะห์บทบาทความสัมพันธ์ระหว่างของแข็งแขวนลอยกับสิ่งมีชีวิตได้อย่างรอบคอบมากขึ้น ทำให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงแค่ปริมาณหรือระดับที่พบอาจไม่ได้ก่อให้เกิดการตอบสนองที่ชัดเจนใด ๆ นอกจากนี้ ยังทำให้ตระหนักถึงปัจจัยด้าน “ระยะเวลา” ที่ของแข็งแขวนลอยจะคงตัวอยู่ในมวลน้ำ ทั้งนี้ จะได้รับอิทธิพลโดยตรงจากอัตราการไหลหรือความเร็วของน้ำ ตลอดจนลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาของพื้นที่ด้วย

อนึ่ง ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศทางน้ำที่มีต่อสิ่งมีชีวิตนั้น จะมีความรุนแรงเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ซึ่งเราควร

พิจารณาในเบื้องต้นว่าสิ่งมีชีวิตเป้าหมายที่ต้องการอธิบายความเป็นไปนั้นมีลักษณะวงชีวิตอย่างไร อาศัยอยู่ ณ บริเวณใดของแม่น้ำ และอยู่ในช่วงอายุเท่าใด ฯลฯ (ยกตัวอย่างในกรณีที่สัตว์น้ำอยู่ในช่วงของการวางไข่หรือเป็นระยะตัวอ่อนที่กำลังพัฒนา การเพิ่มปริมาณตะกอนแขวนลอยในระบบนิเวศทางน้ำก็จะมีผลกระทบที่รุนแรงกว่าในช่วงที่เป็นตัวเต็มวัย) ทั้งนี้ เนื่องจากลักษณะทางด้านพฤติกรรมความเป็นอยู่และด้านชีววิทยาของร่างกายจะมีความเกี่ยวข้องกับรูปแบบในการตอบสนองหรือลักษณะความรุนแรงของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นได้

3) องค์ประกอบทางธรณีเคมีในของแข็งแขวนลอย

องค์ประกอบทางเคมีหรือธรณีวิทยาในของแข็งแขวนลอยในน้ำ นับเป็นปัจจัยที่ยังมีการศึกษาในรายละเอียดยังไม่มากนัก ทั้งๆ ที่องค์ประกอบทางธรณีเคมีเป็นคุณลักษณะที่ควบคุมสมบัติทางกายภาพ (อาทิ ลักษณะรูปร่าง เหลี่ยม มุม และขนาดของอนุภาคสาร) และเกี่ยวข้องกับสมบัติทางเคมีของมวลน้ำที่นำพา อาทิ การมีบทบาทต่อค่าความเป็นกรด-เบส ค่าความเค็ม ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเข้มข้นของแร่ฟอสฟอรัส และการปนเปื้อนของสารพิษต่าง ๆ

ผลการศึกษาของ Stephan (1953) พบว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังกลุ่ม Cladoceran และ Copepod จะได้รับผลกระทบจากของแข็งแขวนลอยโดยการที่ของแข็งแขวนลอยเข้าไปอุดตันบริเวณอวัยวะที่ใช้ในการกรองกินอาหารและอวัยวะในระบบย่อยอาหาร ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะรุนแรงหรือชัดเจนมากกว่าหากของแข็งแขวนลอยนั้นอยู่ในรูปของโคลนละเอียด (Clay) ขณะที่ของแข็งแขวนลอยในกลุ่มที่เป็นทรายจะก่อผลกระทบน้อยที่สุด สำหรับสัตว์ในกลุ่ม Daphnia ยังพบว่าของแข็งแขวนลอยที่เป็นพวก Kaolinite จะเป็นอันตรายต่อประชากรเมื่อมีระดับสูงถึงประมาณ 390 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะเดียวกันของแข็งแขวนลอยที่เป็นพวกถ่าน (Charcoal) จะเป็นอันตรายเมื่อมีระดับสูงเพียงประมาณ 80 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น (Robertson, 1957b) ผลการศึกษาเหล่านี้สะท้อนให้เห็นความสำคัญในการพิจารณาของแข็งแขวนลอยในเชิงคุณภาพหรือชนิด และน่าจะจำเป็นที่จะต้องมาทบทวนเรื่องมาตรฐานของของแข็งแขวนลอยให้ครอบคลุมเชิงคุณสมบัติทางเคมีอย่างรัดกุมมากกว่าปัจจุบัน

4) การแพร่กระจายทางขนาดของของแข็งแขวนลอย

ลักษณะการแพร่กระจายทางขนาดของของแข็งแขวนลอยในระบบนิเวศแม่น้ำเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่าง “ขนาด” อนุภาค และ “ความเร็วของมวลน้ำ” ทั้งนี้ ขนาดอนุภาคจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะทางในการเคลื่อนตัวไปได้ของตะกอนหนึ่ง ๆ ตะกอนที่มีขนาดเล็กละเอียดก็จะถูกพัดพาไปได้ไกลกว่า (ซึ่งทำให้เกิดระยะเวลาในการสัมผัสกับสิ่งมีชีวิตได้นานกว่า) เมื่อเทียบกับตะกอนที่มีขนาดใหญ่ (Schindl *et al*., 2005) ในขณะเดียวกันหากเราพิจารณาในแนวดิ่งตามความลึกของมวลน้ำ บริเวณผิวน้ำหรือน้ำส่วนบนก็จะประกอบด้วยของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดอนุภาคเล็กและเบา ขณะที่บริเวณพื้นท้องน้ำหรือน้ำส่วนล่างใกล้ผิวดินก็จะประกอบด้วยของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า

การแพร่กระจายทั้งแนวราบและแนวดิ่งดังกล่าวนับว่ามีบทบาทต่อสิ่งมีชีวิตได้แตกต่างกันไป ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับว่าสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ จะอยู่บริเวณใด หรือนานเท่าใด โดยทั่วไปของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่าก็สามารถทับถมลงบนพื้นวางไข่หรือแหล่งตัวอ่อน ขณะที่ของแข็งแขวนลอยที่มีลักษณะละเอียดกว่า ก็มักมีผลกระทบต่อระบบการหายใจของสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในมวลน้ำช่วงกลางและแนวใกล้ผิวน้ำ

อนึ่ง ขนาดอนุภาคของของแข็งแขวนลอยนี้ยังนับว่ามีบทบาทต่อประสิทธิภาพการดูดซับสาร (Sorption capacity) ที่มีอยู่ในมวลน้ำ ทั้งนี้ ของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดเล็กละเอียดจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่าของแข็งแขวนลอยที่หยาบ เนื่องจากสัดส่วนในพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้ำที่มากกว่าและมักมีประจุที่ผิวมากกว่า (Brady and Weil, 1999) ลักษณะดังกล่าวจะทำให้ประเมินได้ว่าพื้นที่แหล่งน้ำนั้นมีโอกาสได้รับการปนเปื้อนเข้ามาอยู่ในระบบนิเวศได้มากน้อยอย่างไร ช่วงฤดูกาลใด และยาวนานแค่ไหน ปัจจัยเหล่านี้เกี่ยวข้องกับสมบัติทางเคมีของน้ำและมีบทบาทต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำได้โดยตรง

3.3.4) อุณหภูมิของน้ำ

3.3.4.1) ธรรมชาติของอุณหภูมิในพื้นที่แม่น้ำ

อุณหภูมิของน้ำในแหล่งน้ำไหลดังเช่นในแม่น้ำมีการผันแปรทั้งตามฤดูกาลและตามเวลาในรอบวัน ทั้งนี้ เนื่องจากอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ ลักษณะทางภูมิประเทศหรือความสูงของพื้นที่ ปริมาณหรือความหนาแน่นของพืชพรรณบริเวณชายน้ำ และลักษณะของน้ำใต้ดินที่ไหลเข้ามาเติมเต็มในระบบแม่น้ำนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม การผันแปรตามฤดูกาลในแหล่งน้ำของประเทศเขตร้อนเช่นในประเทศไทยเรานับว่ามีค่อนข้างน้อย เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศมีการแปรผันไม่มากเท่าในเขตอบอุ่นหรือเขตหนาว อุณหภูมิของน้ำใต้ดินที่เติมเต็มระบบแม่น้ำลำธาร อยู่นั้นมักมีค่าแทบจะคงที่ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยไม่ต่างจากค่าเฉลี่ยรายปีของอุณหภูมิอากาศเท่าใด (แตกต่างน้อยกว่า ± 1°C) ในการศึกษาแม่น้ำที่มีขนาดใหญ่มาก อาทิ แม่น้ำอเมซอน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญมากของทวีปอเมริกาใต้นั้น พบว่าค่าอุณหภูมิน้ำ (29±1°C) แทบจะไม่มีการแปรผันในรอบปีเลย (Sioli, 1984)

ในประเทศไทยอุณหภูมิของน้ำในแต่ละฤดูกาลอาจถูกเหนี่ยวนำจากอุณหภูมิอากาศให้มีค่าสูงขึ้นหรือต่ำลงได้เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศอาจลดลงมากในช่วงฤดูหนาว (ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) อุณหภูมิน้ำจะไม่ลดต่ำลงเท่า ๆ กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในทำนองเดียวกันเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงฤดูร้อน อุณหภูมิของน้ำจะไม่สูงขึ้นรวดเร็วเหมือนอากาศโดยรอบ แต่จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เท่านั้น

ในพื้นที่แม่น้ำขนาดใหญ่ที่เปิดโล่งไม่มีร่มไม้โดยรอบมาปกคลุม การรับแสงอาทิตย์ในรอบวันจะมีบทบาททำให้อุณหภูมิของอากาศช่วงกลางวันสูงขึ้นกว่าในตอนเช้าหรือตอนกลางคืนได้ เราพบว่าในวันที่อากาศร้อนจัดแสงอาทิตย์มีบทบาทในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำท่าจีนในช่วงบ่ายได้สูงกว่าช่วงเช้าถึงประมาณ 1-2 °C (จารุมาศและคณะ, 2557) ส่วนในพื้นที่ลำธารขนาดเล็กในเขตต้นน้ำที่อยู่ภายใต้ร่มเงาของต้นไม้ขนาดใหญ่ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำในลำธารในรอบวันก็จะ

เกิดได้น้อยมาก ยกเว้นในบางช่วงของลำธารที่มีต้นไม้เบาบางหรือในส่วนที่ลำธารเปิดโล่งรับแสงแดดได้ (ซึ่งอาจเป็นบริเวณที่ป่าไม้ถูกแพ้วถางออกและปรับเปลี่ยนพื้นที่ไปเพื่อการจัดสร้างแหล่งที่อยู่อาศัยหรือกิจกรรมทางการเกษตรในพื้นที่สูง) แต่สำหรับในพื้นที่เขตอบอุ่นบางแห่ง พบว่าอุณหภูมิของน้ำในลำธารช่วงกลางวันมีการเพิ่มได้มากกว่าระดับที่พบในช่วงกลางคืนถึงประมาณ 3 เท่า (Allan, 1985)

โดยธรรมชาติของแม่น้ำ ส่วนของแม่น้ำตอนบนสุดที่น้ำมีอัตราการไหลหรือความเร็วของน้ำค่อนข้างสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำที่น้อยกว่าในส่วนของแม่น้ำทางตอนล่างที่มวลน้ำชะลอตัวลงและมีอัตราการไหลที่ต่ำลงไป และในทำนองเดียวกัน แม่น้ำที่มีขนาดใหญ่หรือมีปริมาตรของน้ำมากก็จะมีการเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิของน้ำได้น้อยกว่าในแม่น้ำที่มีขนาดเล็ก

ตารางที่ 3.7 ระดับอุณหภูมิของน้ำในน้ำชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่างของแม่น้ำท่าจีนที่ไหลผ่านเขตจังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี นครปฐม และสมุทรสาคร ตามลำดับ *(สถานีศึกษาอยู่บริเวณตอนกลางของแต่ละเขตจังหวัด)*

ชั้นของน้ำในแม่น้ำและระดับความลึกของน้ำที่ทำการตรวจวัด	ค่าอุณหภูมิน้ำ (°C) ตามเขตจังหวัดที่แม่น้ำท่าจีนไหลผ่าน			
	ชัยนาท	สุพรรณบุรี	นครปฐม	สมุทรสาคร
ชั้นบน (30 cm)	28.80	30.49	30.58	29.89
ชั้นกลาง (2 m)	28.49	30.49	30.55	29.86
ชั้นล่าง (4 m)	28.44	30.45	30.19	29.85

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิของน้ำตามแนวดิ่งหรือตามความลึกของน้ำ เราจะพบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิค่อนข้างน้อย (**ตารางที่ 3.7**) อุณหภูมิน้ำอาจลดลงได้เล็กน้อย (ประมาณ 1-2 °C) ในแม่น้ำที่มีความลึกมากกว่า 5 เมตร อย่างไรก็ตาม ในระบบแม่น้ำที่น้ำมีอัตราไหลเร็วจะพบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำตามความลึกที่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากมวลน้ำมักจะผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน ยกเว้นในกรณีที่มีการไหลแทรกขึ้นมาของมวลน้ำจากใต้ผิวดินที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ซึ่งในกรณีหลังนี้เราจะพบชั้นบาง ๆ ของน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไหลเลาะอยู่ในบริเวณพื้นท้องน้ำ ในลักษณะเช่นนี้จะพบว่าสิ่งมีชีวิตหน้าดินหรือสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ก็จะได้รับอิทธิพลของอุณหภูมิน้ำในระดับที่แตกต่างจากระดับที่พบ ณ บริเวณผิวหน้าน้ำด้วย

3.3.4.2) บทบาทของอุณหภูมิต่อสิ่งมีชีวิตทางน้ำ

อุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำนับว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ ด้วยความที่สัตว์น้ำเป็นสัตว์เลือดเย็นและมีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของร่างกายตามอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมโดยรอบ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำ ที่เพิ่มขึ้นประมาณ 1°C จะทำ

ให้อัตราเมตาโบลิซึมของสัตว์น้ำเพิ่มสูงได้มากถึงประมาณ 10 % (Q_{10} law; Moore, 1989) ด้วยเหตุดังกล่าวเราจะพบว่าสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในพื้นที่แหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะมีอัตราการหายใจและการกินอาหารที่เพิ่มมากกว่าสัตว์ชนิดเดียวกันที่อาศัยอยู่พื้นที่ที่น้ำเย็นกว่า

สำหรับสัตว์น้ำในกลุ่มปลา การเพิ่มของอุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำที่สูงมากขึ้นอย่างไม่ปกติ (อาทิ ในบริเวณที่แม่น้ำถูกปิดกันด้วยระบบชลประทาน ซึ่งน้ำจะไม่เคลื่อนตัวและได้รับแสงแดดจัดตลอดเวลา) จะมีผลทำให้ปลาอ่อนแอลงและเป็นโรคได้ง่าย นอกจากนี้ ยังพบรายงานที่แสดงให้เห็นว่าปลามีการเคลื่อนที่อย่างผิดปกติไป (Platts *et al*., 1983) ปัจจัยของอุณหภูมิจึงถูกจัดว่าเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อม (โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวเคมีในน้ำ ระดับของแร่ธาตุอาหาร และออกซิเจนละลายน้ำ) ซึ่งมีบทบาทต่อประชาคมของสิ่งมีชีวิตทางน้ำทุกกลุ่มในระบบนิเวศ

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำ นับว่ามีบทบาทอย่างชัดเจนต่อการเจริญเติบโตของสัตว์กลุ่มแมลงน้ำในพื้นที่แม่น้ำเขตอบอุ่น (Benke, 1993) ซึ่งผลการศึกษาพบว่าตัวอ่อนของริ้นน้ำจืดจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลงในช่วงที่อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 25°C อย่างไรก็ตาม แมลงน้ำแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อการเพิ่มของอุณหภูมิที่แตกต่างกันไป แมลงน้ำในกลุ่มแมลงชีปะขาวบางชนิด (อาทิ ใน genus *Baetis*) มีความทนทานต่ออุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาในเชิงของการหาชนิดที่จะใช้เป็น “ดัชนีชีวภาพ” ที่เหมาะสม เพื่อสะท้อนผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแล้ว เราจำเป็นต้องคัดเลือกและ “กำหนด” ชนิดที่จะใช้เป็นตัวแทนที่ดี ซึ่งควรเป็นชนิดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในประชากรหรือเกิดการตอบสนองได้อย่างชัดเจน ไม่ใช่เป็นกลุ่มที่พบมากแต่มีความทนทานสูง เนื่องจากจะประเมินผลกระทบใด ๆ ไม่ได้

อนึ่ง อุณหภูมิของแม่น้ำที่เพิ่มสูงขึ้นยังมีผลต่อขนาดของตัวเต็มวัยและความดกไข่ของแมลงน้ำอีกด้วย (Vannote and Sweeney, 1980) ทั้งนี้ พบว่าแมลงน้ำชนิดเดียวกันที่พบในพื้นที่น้ำเย็นอาจมีขนาดของตัวเต็มวัยที่ใหญ่กว่าตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่ที่อุณหภูมิสูงถึงเกือบประมาณ 2 เท่า อย่างไรก็ตาม การพิจารณาการตอบสนองในภาพรวมควรมุ่งเน้นชนิดที่มีวงชีวิตสั้นและได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำในแต่ละระยะของช่วงชีวิต ซึ่งทั้งนี้ การพิจารณากลุ่มของแมลงน้ำที่มีวงชีวิตยาวกว่า 1 ปี (อาทิ Stone fly ขนาดใหญ่ หรือแมลงน้ำใน Order Megaloptera; Hynes, 1970) จะไม่สามารถสะท้อนสภาวะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระยะสั้นหรือตามฤดูกาลเช่นนี้ได้

3.3.5) ออกซิเจนละลายน้ำ

ออกซิเจนละลายน้ำเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งยวดต่อระบบการหายใจของสิ่งมีชีวิตทางน้ำทุกชนิด นอกจากนี้ ยังมีบทบาทต่อการหมุนเวียนหรือวัฏจักรของสารอินทรีย์ในพื้นที่แม่น้ำ ระดับของออกซิเจนละลายน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามอิทธิพลของอุณหภูมิในบรรยากาศและอุณหภูมิของน้ำ ทั้งนี้พบว่าอัตราการละลายของออกซิเจนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำมีระดับสูงขึ้น (โดยเฉพาะในช่วงของฤดูร้อน) ระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่พบในพื้นที่แม่น้ำมีลักษณะจำเพาะในการเปลี่ยนแปลงและมีบทบาทความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศของแม่น้ำ ดังต่อไปนี้

3.3.5.1) การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในพื้นที่แม่น้ำ

ในพื้นที่แม่น้ำลำธารในเขตต้นน้ำที่น้ำมีการไหลอย่างรุนแรงหรือมวลน้ำมีการผสมผสานและเคลื่อนตัวได้ดีนั้น ระดับของออกซิเจนละลายน้ำมักมีค่าสูงถึงประมาณระดับอิ่มตัวที่จะละลายได้ ณ อุณหภูมิของน้ำในพื้นที่ ซึ่งระดับดังกล่าวเกิดจากบทบาทของกระบวนการทางกายภาพในแม่น้ำนั้นเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม เมื่อแม่น้ำมีการเคลื่อนตัวไหลลงมาตอนล่างเรื่อย ๆ มวลของน้ำมักมีความเร็วที่ชะลอตัวลง จะพบว่าระดับของออกซิเจนละลายน้ำก็มักจะต่ำลงกว่าระดับที่อิ่มตัว ซึ่งในพื้นที่ลำน้ำทางตอนล่าง นอกจากกระบวนการทางกายภาพที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของน้ำแล้ว เราพบว่ากระบวนการทางชีวภาพ (อาทิ การสังเคราะห์ด้วยแสงของผู้ผลิตขั้นต้น) ก็จะเข้ามามีบทบาทในระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่แม่น้ำแต่ละแห่งมากขึ้น นอกจากนี้ ยังมีการลดลงของออกซิเจนจากกระบวนย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดการสะสมในบริเวณต่าง ๆ

ในเขตพื้นที่ที่น้ำไหลช้าลงมากเราอาจสังเกตพบการเปลี่ยนแปลงของระดับออกซิเจนละลายน้ำในรอบวัน ซึ่งจะเพิ่มสูงจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่มากขึ้นในช่วงบ่ายของแต่ละวันแต่จะลดต่ำลงด้วยกระบวนการหายใจที่เกิดขึ้นเป็นหลักในช่วงเวลากลางคืน มีการศึกษาที่ผ่านมารายงานว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับออกซิเจนในรอบวันสามารถประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินผลผลิตขั้นต้นที่เกิดขึ้นในระบบลำธาร ทั้งนี้ อาศัยเทคนิคการประเมินปริมาณคาร์บอนสุทธิที่สามารถผลิตขึ้นภายใต้ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศลำธารนั้น ๆ (Bayly and Wilhams, 1973) อนึ่ง ในพื้นที่แม่น้ำลำธารที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มักพบการแปรผันของปริมาณออกซิเจนในรอบวันได้มากกว่าพื้นที่แม่น้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งการใช้ลักษณะของพลวัตในออกซิเจนดังกล่าว ยังเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์สถานภาพของระบบนิเวศ หรือใช้เพื่อประเมินผลกระทบของระบบจากปัญหามลภาวะได้ด้วย (Auer and Effler, 1989)

ในระบบแม่น้ำลำธารที่มีน้ำค่อนข้างใส ผู้ผลิตออกซิเจนหลักในแหล่งน้ำมักเป็นพวกพรรณไม้น้ำหรือสาหร่ายที่ยึดเกาะกับผิววัตถุบริเวณพื้นท้องน้ำ ยกตัวอย่างเช่น ในแม่น้ำเพชรบุรี ซึ่งมีลักษณะคุณภาพน้ำที่ค่อนข้างดี พื้นที่มักเปิดโล่ง น้ำค่อนข้างใสและมีอัตราการไหลเฉลี่ยมากกว่า 20 เซนติเมตรต่อวินาที ในพื้นที่แม่น้ำนี้พบว่าระดับของออกซิเจนละลายน้ำมีการแปรผันในรอบวัน เนื่องจากอิทธิพลของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เกิดอย่างมีประสิทธิภาพในเวลากลางวัน พรรณไม้น้ำหลักจำพวกสันตะวาและสาหร่ายหางกระรอกมีบทบาทในการให้ออกซิเจนเข้าสู่ระบบแม่น้ำได้สูงสุดถึงประมาณ 40% ของแหล่งที่มาโดยรวม (Sangmek and Meksumpun, 2014)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแม่น้ำเพชรบุรีถูกควบคุมอัตราการไหลโดยระบบชลประทานเพื่อการทำการเกษตร นอกจากนี้ ยังมีการผันน้ำเข้ามาในปริมาณมากในบางช่วงเวลาที่เกิดปัญหาน้ำท่วมหลากในพื้นที่รับน้ำตอนบน ขณะที่บางช่วงของลำน้ำที่ผ่านเขตเมืองยังได้รับน้ำทิ้งที่ปล่อยลงมา ลักษณะของการแปรผันในระดับของออกซิเจนละลายน้ำจึงมีทิศทางที่ไม่แน่นอน ซึ่งจะทำให้ระบบนิเวศทางน้ำโดยเฉพาะประชาคมของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ขาดเสถียรภาพและอาจเกิดการเปลี่ยนกลุ่มหรือการเกิดทดแทนที่ได้ตลอดเวลา ซึ่งในภาพรวมแล้วพบว่าการตัดสินใจใช้ “ดัชนีชี้วัด” ไม่ว่าจะเป็นดัชนีทางกายภาพ ทางเคมี หรือทางชีวภาพใด ๆ เข้ามาเพื่อการประเมินสถานการณ์มลภาวะหรือ

การเปลี่ยนแปลงในสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ในพื้นที่จึงอาจทำได้ค่อนข้างยาก ต่างกับพื้นที่แม่น้ำลำธารที่มีลักษณะของการไหลตามระบบของธรรมชาติที่ค่อยเป็นค่อยไปและค่อนข้างสม่ำเสมอกว่า

เมื่อประมวลความรู้ในภาพรวมแล้วจะพบว่าระดับของออกซิเจนละลายน้ำมักจะไม่เป็น “ปัจจัยจำกัด” ในระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลโดยเฉพาะในพื้นที่แม่น้ำ มีเพียงบางบริเวณเท่านั้นที่ออกซิเจนอาจมีบทบาทเพิ่มมากขึ้น (อาทิ ในบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำที่อยู่ถัดชั้นดินที่มีสารอินทรีย์สูง ในพื้นที่แอ่งแนวชายตลิ่งที่อัตราการไหลของน้ำต่ำมาก หรือในบริเวณที่น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก) ทั้งนี้อิทธิพลดังกล่าวมักจะเกี่ยวข้องกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพในระบบแหล่งน้ำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับลักษณะของการไหล การหมุนเวียนของมวลน้ำ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

อนึ่ง ในสภาวะปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากแม่น้ำ (โดยเฉพาะในส่วนปลายน้ำ) ที่มากขึ้น จะพบว่าการปล่อยน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนสูง โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากบ้านเรือน รวมทั้งจากการทำปศุสัตว์และกิจกรรมทางการเกษตร นับเป็นสาเหตุสำคัญมากที่ทำให้ปริมาณของออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่แม่น้ำได้รับผลกระทบในทางลบอย่างชัดเจน

3.3.5.2) ออกซิเจนละลายน้ำและบทบาทต่อสิ่งมีชีวิตในพื้นที่แม่น้ำ

ออกซิเจนละลายน้ำนับเป็นปัจจัยที่มีความโดดเด่นและมีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ตลอดจนพฤติกรรมและความอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่อาศัยอยู่ในน้ำ เมื่อพิจารณาในกลุ่มของสัตว์น้ำจำพวกปลาที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำไหลพบว่าออกซิเจนละลายน้ำมีบทบาทต่อความเร็วในการว่ายน้ำของปลา โดยเฉพาะในกลุ่มปลา Salmon (Hynes, 1970) ส่วนปลาในครอบครัว Cyprinidae (อาทิ ปลาสร้อย ปลาตะเพียน ปลากะมัง) จะมีความสามารถในการอาศัยอยู่ในพื้นที่แม่น้ำที่มีระดับของออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยต่ำกว่าในพื้นที่แม่น้ำที่ปลา Trout ชอบอาศัยอยู่ (อาทิ ผลการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง; อภิชาติและอภิรดี 2551)

ดังนั้น ปัญหาของการลดต่ำลงของออกซิเจนละลายน้ำจึงมีความแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของปลาในแต่ละบริเวณที่สนใจ อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่แม่น้ำที่มีปริมาณออกซิเจนที่ค่อนข้างต่ำหากแต่ยังมีอัตราการไหลหรือมีการถ่ายเทของน้ำอยู่อย่างต่อเนื่อง พบว่าปัญหาที่เกิดผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของปลาก็จะบรรเทาลงไปได้ (Hawkes, 1975)

ด้วยข้อมูลความรู้ดังกล่าว การพิจารณาระดับของออกซิเจนละลายน้ำเพียงปัจจัยเดียว อาจทำให้การวิเคราะห์สถานการณ์ของแหล่งน้ำหรือการประเมินผลกระทบที่จะเกิดกับประชาคมสิ่งมีชีวิตยังขาดความรัดกุม ในระบบนิเวศแม่น้ำนั้น ปัจจัยด้านความเร็วของน้ำ (หรือปริมาณการไหล) นับเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ควรนำมาพิจารณาร่วมด้วย ซึ่งปรากฏการณ์ที่ความเร็วของน้ำจะสามารถผันแปรตามลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาของลำน้ำ (อาทิ การพบน้ำหมุนวนหรือแทบหยุดนิ่งในบริเวณขอบฝั่งหรือแอ่งตกตะกอนด้านข้างตลิ่ง) และตามความลึกของน้ำ(โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางหลายประเภท) นับเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญและนำมาพิจารณาประกอบเพื่อการตัดสินใจที่รัดกุมต่อไป

3.3.6) แร่ธาตุอาหารในระบบนิเวศแม่น้ำ

ในแหล่งน้ำพบสารละลายอยู่มากมาย ที่ถูกพัดพาให้เคลื่อนย้ายไปตามลักษณะการไหลของน้ำ พร้อม ๆ กับการเกิดกระบวนการที่เปลี่ยนรูปร่าง เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี หรือมีการถูกใช้ไปหรือเติมเพิ่มเข้ามาในระบบนิเวศของแหล่งน้ำไหลอย่างตลอดเวลา การเกิดสารละลายต่าง ๆ ภายในระบบนิเวศแม่น้ำได้รับอิทธิพลจากทั้งการพัดพาลงมา (Runoff) จากแผ่นดินโดยรอบ การรับน้ำหรือมวลสารที่มาพร้อมกับการตกลงมาของหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) การไหลเข้ามาจากแหล่งน้ำใต้ดิน (Ground waters) ตลอดจนการรับน้ำทิ้งที่มาจากการใช้ประโยชน์โดยชุมชน (Domestic discharges) รวมทั้งกิจกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรมต่าง (Agricultural and industrial discharges) สารละลายในน้ำที่นับว่ามีความเกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่และการเปลี่ยนแปลงของประชากรของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ โดยเฉพาะการมีบทบาทโดยตรงต่อระบบการผลิตขั้นต้น (เกิดโดยผู้ผลิตขั้นต้นต่าง ๆ อาทิ สาหร่าย พรรณไม้น้ำ และแพลงก์ตอนพืชในน้ำ) ซึ่งทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรทางน้ำที่มนุษย์เราจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไปนั้น เป็นสารละลายในน้ำที่เรานิยมเรียกกันว่าเป็น “สารอาหารพืช” หรือเป็น “แร่ธาตุอาหาร” (Nutrients) นั่นเอง

3.3.6.1) แร่ธาตุอาหารที่สำคัญในระบบนิเวศแม่น้ำ

แร่ธาตุอาหารมีบทบาททางนิเวศอุทกวิทยาที่สำคัญทั้งในส่วนของมวลน้ำและในบริเวณพื้นท้องน้ำ แร่ธาตุอาหารสำคัญและนับเป็นแร่ธาตุอาหารหลักที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการทางชีวเคมีและการผลิตทรัพยากรมีชีวิตในระบบนิเวศแม่น้ำ ประกอบด้วยแร่ธาตุอาหารที่อยู่ในกลุ่มของคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิกอน ซึ่งนับเป็นแร่ธาตุอาหารหลัก (Macronutrients) ที่ผู้ผลิตขั้นต้นจำเป็นต้องใช้ในการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแร่ธาตุอาหารในกลุ่มของธาตุคาร์บอนในแหล่งน้ำ (อาทิ ในรูปของสารละลาย Bicarbonate) ที่ผู้ผลิตขั้นต้นนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นมีอยู่ในปริมาณมากและเพียงพอต่อกระบวนการผลิต เราจึงมักไม่นิยมกล่าวถึงหรือให้การศึกษาติดตามกันมากนัก ทั้งนี้ จะให้ความสนใจแร่ธาตุอาหารอีกสามกลุ่มหลังซึ่งพบอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่า โดยในบางกรณีมีปริมาณน้อยจนกลายเป็น “ปัจจัยจำกัด” (Limiting factor) ในการเจริญเติบโตหรือการเพิ่มจำนวนของผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำนั้น

ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสนับเป็นแร่ธาตุอาหารหลักที่มักพบว่าเป็นปัจจัยจำกัดในกระบวนการผลิตของพืชหรือผู้ผลิตขั้นต้นอื่น ๆ ในแหล่งน้ำ ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Dissolved inorganic phosphorus; DIP) จัดเป็นฟอสฟอรัสในรูปที่ผู้ผลิตขั้นต้นดึงเข้าไปใช้ในเซลล์และเปลี่ยนรูปหรือนำไปสร้างสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสขึ้นมา (Particulate organic phosphorus; POP) สารอินทรีย์เหล่านี้อาจถูกปลดปล่อยออกจากเซลล์ในรูปของสารละลายฟอสฟอรัส ทั้งรูปที่เป็นสารอินทรีย์ (Dissolved organic phosphorus; DOP) หรือในรูปที่เป็นสารอนินทรีย์ (Dissolved inorganic

phosphorus, DIP) ซึ่งในภาพรวมเมื่อเซลล์ของผู้ผลิตขั้นต้นตายลงหรือเน่าเปื่อยไปจะมีกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้น สารอินทรีย์เหล่านั้นก็จะถูกจุลินทรีย์เปลี่ยนรูปไปเป็นฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ละลายน้ำดังเดิมซึ่งนับเป็นวัฏจักรที่เกิดหมุนเวียนไปได้เรื่อย ๆ

นอกจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสที่เกิดโดยกิจกรรมทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตแล้ว ในระบบแม่น้ำยังมีกระบวนการทางกายภาพและทางเคมีที่ทำให้ฟอสฟอรัสในน้ำมีการเปลี่ยนรูปแบบไป (อาทิ กระบวนการดูดซับเอา DIP โดยอนุภาคของโคลนละเอียดหรือโดยสารอินทรีย์ที่มีประจุ ซึ่งเกิดในสภาวะที่มีความเข้มข้นของ DIP สูง) นอกจากนี้ในสภาวะไร้ออกซิเจน ณ บริเวณพื้นท้องน้ำ สารละลายฟอสฟอรัสสามารถทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของโลหะบางชนิดและเกิดเป็นตะกอนอนินทรีย์สะสมอยู่ในพื้นท้องน้ำได้ ส่วนการละลายออกมาใหม่อีกครั้งของแร่ธาตุอาหารในรูปฟอสฟอรัสยังพบได้เสมอโดยเฉพาะในบริเวณแอ่งน้ำที่มีการสะสมของอินทรีย์สารอยู่มาก ทั้งนี้ เราสามารถพบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายฟอสฟอรัสได้ตามการเปลี่ยนแปลงระดับการสะสมของอินทรีย์สารที่เกิดขึ้นในแต่ละฤดูกาลได้

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำมีอยู่ด้วยกันหลายรูปซึ่งสามารถจำแนกได้เบื้องต้นโดยวิธีการกรองผ่านกระดาษกรอง 0.45 µm โดยรูปของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (Orthophosphate) ซึ่งสามารถวัดโดยเทคนิค Acid Molybdate method (APHA, 1985) จัดเป็นรูปของฟอสฟอรัสที่สามารถนำไปใช้โดยแพลงก์ตอนพืชหรือผู้ผลิตขั้นต้นต่าง ๆ ที่มีในแหล่งน้ำ ฟอสฟอรัสในน้ำที่ได้จากการกรองอาจเจือปนด้วยอนุภาคของฟอสฟอรัสขนาดเล็กมากแขวนลอยอยู่ในน้ำ ทั้งนี้ ถูกเรียกรวมว่า Soluble reactive phosphorus หรือ SRP ซึ่งมีความหมายเทียบเท่ากับปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Dissolved inorganic phosphorus; DIP) ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสรวม (Total phosphorus; TP) จะหาจากการย่อยฟอสฟอรัสในน้ำที่ไม่ได้กรอง โดยการใช้สาร Persulphate (หรือสารกัดกร่อนที่รุนแรงอื่น) ซึ่งหากเรานำน้ำที่กรองแล้วมาทำการย่อย TP ในที่นี้เมื่อหักลบค่า SRP แล้ว ก็จะเป็นสารละลายฟอสฟอรัสอินทรีย์ (Dissolved organic phosphorus; DOP) ที่มีในน้ำที่กรองมานั้น ซึ่งหากจะประเมินปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นของแข็งแขวนลอยรวม (Total particulate phosphorus; TPP) ก็สามารถประเมินได้จากผลต่างระหว่างค่า TP และผลรวมของ DIP + DOP นั่นเอ

โดยทั่วไปเรามักนิยมวัดค่า TP และ SRP ซึ่งผลต่างของระดับดังกล่าวอาจใช้แทนค่า TPP ได้ (เนื่องจาก DOP ในน้ำมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก) ค่า TP ที่ปล่อยจากระบบน้ำทิ้งต่าง ๆ มักมีค่าสูงถึงประมาณ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ SRP ซึ่งมีบทบาทต่อปริมาณความชุกชุมของสาหร่ายในแหล่งน้ำ) อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ที่มีระดับของแร่ธาตุอาหารน้อย (Oligotrophic waters) ระดับของ TP อาจมีค่าน้อยกว่า (ในระดับไมโครกรัมต่อลิตร) ซึ่งอาจจำเป็นต้องวิเคราะห์อย่างละเอียดในขั้นต่อไป

ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ค่อนข้างลึก ผู้ผลิตขั้นต้นในรูปของแพลงก์ตอนพืชจะเป็นผู้ใช้ SRP ที่สำคัญ ขณะที่ในพื้นที่ตื้นและแสงส่องถึง กลุ่มของพรรณไม้น้ำหรือสาหร่ายชนิดต่างๆ จะเป็นกลุ่มหลักในการใช้ SRP ที่มีในมวลน้ำและเจริญเติบโตขึ้นเป็นอาหารสู่ผู้บริโภคในขั้นต่าง ๆ จนกระทั่งเกิดการตายลงและย่อยสลายโดยแบคทีเรีย สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ก็จะถูกเปลี่ยน

กลับมาให้อยู่ในรูปสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (DIP) อีกครั้ง การดูดซับและการตกตะกอนบริเวณพื้นท้องน้ำนับเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ทำให้ฟอสฟอรัสหายออกไปจากระบบน้ำ อย่างไรก็ตาม ในสภาวะที่ออกซิเจนต่ำมากและอุณหภูมิสูงขึ้น หรือค่า pH สูงขึ้นเราจะพบการละลายของฟอสฟอรัสออกมาจากพื้นดินได้มากขึ้น (Golterman, 2001; Jensen *et al.,* 1992)

ซิลิกอน

ซิลิกอนนับเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มของไดอะตอม ซึ่งนับว่ามีความสำคัญในแหล่งน้ำไหล เนื่องจากไดอะตอมมีบทบาทในกระบวนการผลิตในพื้นที่ลำธารหรือในลำน้ำที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก ซิลิกอนเป็นแร่ธาตุที่มีวัฏจักรที่ค่อนข้างเรียบง่ายและไม่ซับซ้อนเท่าฟอสฟอรัส โดยมีแหล่งที่มาสำคัญจากการละลายของหินแร่ซึ่งออกมาในรูปของ Silicic acid รวมทั้งมาจากการปล่อยน้ำทิ้งจากชุมชนและการอุตสาหกรรม สารละลายซิลิกอนจะถูกดูดซับเข้าไปใช้โดยไดอะตอมเพื่อการสร้างส่วนของผนังเซลล์ที่เป็นโครงสร้างแข็งที่เรียกว่า Frustule โดยจากโครงสร้างนี้ซิลิกอนสามารถละลายกลับออกมาใหม่โดยกระบวนการทางเคมี รวมทั้งจากการย่อยสลายหรือการเปลี่ยนรูปโดยเอนไซม์ของแบคทีเรียในแหล่งน้ำ

ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นแร่ธาตุที่มีวัฏจักรค่อนข้างซับซ้อน ทั้งนี้เนื่องจากการมีรูปแบบทางเคมีที่หลากหลายและมีความเกี่ยวข้องในกระบวนการทางชีวเคมีของแบคทีเรียหลายกลุ่ม สารละลายอินทรีย์ไนโตรเจนที่เป็นกลุ่มหลักซึ่งพบได้มาก คือ ยูเรีย กรดยูริค และกรดอะมิโน ส่วนสารละลายอนินทรีย์ไนโตรเจนประกอบด้วยรูปของแอมโมเนียม ไนเตรท และไนไตร์ท นอกจากนี้ เรายังสามารถพบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของก๊าซ N_2 หรือก๊าซ N_2O อีกด้วย

สารประกอบไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ เหล่านี้ มีแหล่งที่มาที่หลากหลายเช่นกัน มีทั้งมาจากบรรยากาศ (ซึ่งเกิดการแพร่ลงมาสู่แหล่งน้ำ) จากการกัดเซาะพัดพาของน้ำที่ไหลผ่านแผ่นดิน น้ำทิ้งจากบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย และน้ำทิ้งจากกิจกรรมการเกษตร (โดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยในการปลูกพืชบริเวณโดยรอบแหล่งน้ำ) นอกจากนี้ ในพื้นที่อุตสาหกรรมที่หนาแน่นยังอาจสามารถพบการละลายของธาตุไนโตรเจนลงมาพร้อมกับน้ำฝน ที่ทำให้น้ำฝนมีสภาวะเป็นกรดอ่อนและจัดเป็นปัญหามลภาวะที่พบได้มากขึ้นในปัจจุบัน

ภายใต้ความซับซ้อนของกระบวนการต่าง ๆ ที่ทำให้สารประกอบของไนโตรเจนเปลี่ยนรูปแบบนั้น เราจำเป็นที่จะต้องแยกให้ชัดเจนระหว่างการดึงเข้าไปใช้เพื่อการ *“สร้างเป็นโครงสร้างทางอินทรีย์สาร”* หรือการดึงเข้าไปใช้เนื่องจาก *“ต้องการพลังงาน”* เพื่อใช้ในปฏิกิริยาที่จำเป็นต่าง ๆ สำหรับการดำรงชีวิต ในสถานการณ์ที่ต่างกันนี้ กระบวนการ “Nitrogen fixation” หรือ “Nitrogen assimilation” จัดเป็นการดึงเอาไนโตรเจนเข้าไปในเซลล์เพื่อการสร้างเป็นโครงสร้างทางอินทรีย์สารภายในเซลล์ ขณะที่กระบวนการ “Nitrification” หรือ “Denitrification” เป็นกระบวนการที่

แบคทีเรียทำเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานโดยการดึงเอาใช้แอมโมเนียหรือไนเตรทไปใช้ในการทำปฏิกิริยาตามลำดับ (Day *et al*., 1989)

เมื่อพิจารณาถึงการดูดซับเอาไนโตรเจน เพื่อนำไปสร้างเป็นโครงสร้างทางอินทรีย์สารนั้น สิ่งมีชีวิตกลุ่มที่เราเรียกว่าผู้ ผลิตขั้นต้น (Primary producers) ซึ่งเป็นพวกที่สร้างอาหารเองได้ (Autotrophs) (อาทิ แพลงก์ตอนพืช แบคทีเรีย และราบางชนิด) จะใช้ DIN ในรูปของแอมโมเนียมได้ง่ายกว่าในรูปของไนไตร์ทหรือไนเตรท (ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของโมเลกุลที่เล็กกว่า) การปรากฏของแอมโมเนียมในแหล่งน้ำจึงมีความสำคัญ และมักได้รับความสนใจศึกษาติดตามถึงการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อประชาคมของผู้ผลิตขั้นต้น ตลอดจนการส่งต่อในห่วงโซ่อาหารทางน้ำในลำดับขั้นที่สูงขึ้นไป

สำหรับ Nitrogen fixation ซึ่งเกิดจากการที่แบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจน และเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมเพื่อนำเข้าไปสร้างโครงสร้างของเซลล์นั้น เรามักจะพบในสภาวะที่แหล่งน้ำมี DIN อยู่จำกัด ส่วนปฏิกิริยา Nitrification – Denitrification นั้น มักทำให้ DIN หายออกไปจากระบบแหล่งน้ำ โดยออกไปในรูปของก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่แบคทีเรียกลุ่ม *Nitrobacter* sp. (Nitrifying bacteria) เปลี่ยนรูปแอมโมเนียมให้เป็นไนเตรทภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ขณะที่แบคทีเรียกลุ่ม *Nitrosomonas* sp. (Denitrifying bacteria) ใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และเกิดก๊าซไนโตรเจนหลุดออกนอกระบบแหล่งน้ำในบริเวณนั้นไปได้

ในแหล่งน้ำที่พื้นท้องน้ำเป็นกรวดหรือทราย ซึ่งมีการถ่ายเทออกซิเจนกับมวลน้ำได้ดี สภาวะ Denitrification แทบจะไม่เกิดขึ้นเลย ในขณะที่พื้นท้องน้ำบางบริเวณที่มีสารอินทรีย์สะสมอยู่มาก มีลักษณะเนื้อดินเป็นโคลนละเอียดที่มีรูพรุนน้อย มีการแพร่ผ่านของออกซิเจนจากมวลน้ำลงไปได้น้อย ในพื้นที่ดินบริเวณที่ลึกลงไปนั้นเราจะพบว่ากระบวนการ Denitrification มีบทบาทที่สำคัญมากและส่งผลให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียมในพื้นท้องน้ำบริเวณนั้น ๆ ได้มาก ซึ่งทั้งนี้ อาจส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาคมสิ่งมีชีวิตหรือเกิดการทดแทนที่ของสิ่งมีชีวิตที่ทนทานขึ้นมาแทน

ไนโตรเจนรูปทั่วไปที่พบมากที่สุดในโลกของเรา คือ ไนโตรเจนในรูปของก๊าซ N_2 ซึ่งมีอยู่ในบรรยากาศประมาณ 78% ถึงแม้ ก๊าซ N_2 จะมีการละลายในน้ำได้น้อยกว่าออกซิเจน แต่เนื่องจากมีปริมาณในอากาศมากจึงละลายลงมาได้เรื่อย ๆ และมีปริมาณเท่า ๆ กับออกซิเจนที่ละลายลงมาในแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากก๊าซ N_2 มีพันธะทางเคมีที่แข็งแรงจึงเป็นการยากที่จะนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต ซึ่งมักจะมาใช้สารประกอบของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) หรือ ไนเตรท (NO_3^-) ได้มากกว่า

NH_4^+ จะอยู่ในรูปที่มีประจุเช่นนี้ในสภาพน้ำที่เป็นกลางหรือเป็นกรด แต่เมื่อน้ำอยู่ในสภาวะที่เป็นด่างจะมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายถ่ายเทในระหว่างน้ำและชั้นบรรยากาศด้านบนได้ ส่วนไนไตร์ท (NO_2^-) มักพบในน้ำในปริมาณที่ไม่มาก แต่จะเพิ่มปริมาณขึ้นในพื้นที่ที่รับน้ำทิ้งที่เน่าเสียต่าง ๆ (โดย NO_2^- จัดเป็นรูปของไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตทางน้ำ) ซึ่งหากเราพิจารณาถึงรูปของไนโตรเจนละลายน้ำที่ผู้ผลิตขั้นต้นสามารถนำไปใช้ได้

นั้น เราจะหมายถึงผลรวมของ NO_3^- NO_2^- และ NH_4^+ ซึ่งจัดเป็น “สารละลายไนโตรเจนอนินทรีย์” หรือ “Dissolved inorganic nitrogen; DIN” ที่นับว่ามีความสำคัญต่อการควบคุมระดับความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ (ทั้งนี้ปริมาณ DIN จะไม่รวมส่วนของ N_2 ที่ละลายอยู่ในน้ำ เนื่องจากเป็นรูปที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้น้อย) สำหรับสารอินทรีย์ไนโตรเจนก็มีอยู่หลายรูปเช่นกัน อาทิ กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิค โปรตีน และยูเรีย ทั้งนี้ ยูเรีย นับว่ามีความเชื่อมโยงกับระบบการหมุนเวียนของไนโตรเจนได้ชัดเจนมากกว่ารูปอื่นเนื่องจากมีการปนมาในสิ่งขับถ่ายจากร่างกายของสิ่งมีชีวิต

การหมุนเวียนของไนโตรเจนในแหล่งน้ำมีรูปแบบและทิศทางไปตามองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้บริโภคและผู้ผลิตภายในแหล่งน้ำ สัตว์ต่าง ๆ ที่เป็นผู้บริโภคจะมีเอนไซม์ที่ใช้ย่อยโปรตีนรวมทั้งกรดอะมิโนหรือไนโตรเจนอินทรีย์อื่น ๆ ขณะที่ผู้ผลิตขั้นต้นที่ใช้สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะสามารถใช้ไนโตรเจนที่ละลายน้ำไม่ว่าจะเป็น NO_3^- NO_2^- และ NH_4^+ อย่างไรก็ตามเนื่องจากรูป NO_3^- เป็นรูปที่ผู้ผลิตขั้นต้นจำเป็นต้องใช้ในการสังเคราะห์สารต่างๆ จึงจะมีเอนไซม์ “Nitrate reductase” และ “Nitrite reductase” มาเปลี่ยนรูปของ NO_3^- และ NO_2^- ตามลำดับ ในการนี้จำเป็นต้องใช้พลังงานที่มาจากอิเลคตรอนของ NADH, NADPH หรือ ferridoxin (ในการทำงานของเอนไซม์ Nitrate reductase นั้นจำเป็นต้องมีแร่ธาตุ Molybdenum เพื่อให้เอนไซม์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ธาตุ Molybdenum นี้จึงนับว่ามีความสำคัญ หากขาดไปจะทำให้ผู้ผลิตขั้นต้นไม่สามารถดึงเอา NO_3^- มาใช้ได้) เมื่อผู้ผลิตขั้นต้นดึงเอา NO_3^- เข้าไปได้แล้วก็จะเกิดการสังเคราะห์สารอินทรีย์ไนโตรเจนในลำดับต่อไป

อนึ่ง ในแหล่งน้ำที่มีแบคทีเรีย (Chemoautotrophic bacteria) ที่สามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์โดยใช้ “พลังงาน” จากกระบวนการ Oxidation ของแอมโมเนียมและไนไตรท์ (ผ่านปฏิกิริยา “Ammonium oxidation” และ “Nitrite oxidation” โดยแบคทีเรีย อาทิ *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* ตามลำดับ) ไนโตรเจนเหล่านี้ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปไป และจะทำให้ได้พลังงานเพื่อใช้ในกระบวนการตรึงเอาคาร์บอนเข้ามาสร้างสารอินทรีย์ในเซลล์ได้

กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) เป็นกระบวนการที่ NH_4^+ ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็น NO_2^- และมีการเปลี่ยนแปลงขั้นต่อไปจนสุดท้ายได้ NO_3^- เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนโดยแบคทีเรียกลุ่มหลัก คือ *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* และให้พลังงานออกมาจากปฏิกิริยา ดังสมการทางเคมี :

$$2NH_4^+ + 3O_2 \text{ ----> } 2NO_2^- + 2H_2O + 2H^+ + \text{พลังงาน}$$

$$2NO_2^- + O_2 \text{ ----> } 2NO_3^- + \text{พลังงาน}$$

ส่วนกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในสภาวะที่แทบไม่มีหรือไม่มีออกซิเจนเลย โดยแบคทีเรีย อาทิ *Thiobacillus denitrificans* ซึ่งนับเป็นกระบวนการที่ทำการ “สังเคราะห์เคมี” ซึ่งเกิดปฏิกิริยาดังสมการ :

$$5S^{2-} + 6NO_3^- + 2H_2O \text{ ----> } 5SO_4^{2-} + 3N_2 + 4H^+ + \text{พลังงาน}$$

สำหรับแบคทีเรียที่มีลักษณะการดำรงชีวิตโดยการใช้สารอินทรีย์เป็นอาหาร อาทิ *Micrococcus*, *Serratia*, *Pseudomonas* และ *Achromobacter* แบคทีเรียเหล่านี้ก็สามารถใช้ NO_3^- และทำให้ NO_3^- ลดลงในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อยมากภายใต้ในกระบวนการ Denitrification ได้เช่นกัน ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้จะใช้ NO_3^- และเปลี่ยนรูปเป็น NO_2^- และสุดท้ายจะเกิดปฏิกิริยาต่อจนได้รูปของก๊าซไนโตรเจน (NO_2 หรือ N_2O) ซึ่งมีผลทำให้แร่ธาตุไนโตรเจนได้ลดปริมาณออกจากแหล่งน้ำโดยออกไปในรูปของก๊าซต่าง ๆ ทั้งนี้ มักเกิดในสภาวะที่แหล่งน้ำมีอินทรีย์สารสูงและออกซิเจนในน้ำที่ระดับลดลงจนสามารถเกิดกระบวนการดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์

สำหรับกระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation) เกิดในลักษณะตรงกันข้าม คือเป็นการ “ใช้พลังงาน” ในสภาวะที่มีออกซิเจน เกิดโดยกลุ่มของแบคทีเรีย อาทิ *Azotobacter* และ *Clostridium* นอกจากนี้ ยังเกิดโดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน อาทิ *Nostoc, Anabaena, Anabaenopsis, Gleotrichia* และ *Aphanizomenon* ซึ่งมักพบในแหล่งน้ำที่มีแร่ธาตุอาหารสูง ในช่วงฤดูร้อน มีรายงานว่ากระบวนการตรึงไนโตรเจนนี้ สามารถนำเอาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำได้สูงสุดถึง 43 % ในพื้นที่ทะเลสาบของแคลิฟอร์เนีย (Horne and Goldman, 1972) นอกจากนี้ *Anabaena* มีอัตราการตรึงไนโตรเจนต่อวันได้สูงสุดที่ระดับประมาณ 70 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งนับเป็นอัตราที่สูงกว่าระดับไนโตรเจนอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นใหม่ภายในระบบอยู่หลายเท่า (Welch and Jacoby, 2004)

ในภาพรวมเราพบว่าสารอาหารพืชในรูปของไนโตรเจน ถึงแม้ว่าจะมีความซับซ้อนแต่จะอยู่ในมวลน้ำได้นานกว่าสารในรูปของฟอสฟอรัส (ทั้งนี้ เนื่องจากฟอสฟอรัสมีแหล่งที่มาที่จำกัดกว่า และยังถูกดูดซับโดยดินพื้นท้องน้ำได้ง่าย) ไนโตรเจนจึงมักพบในปริมาณที่มากกว่าฟอสฟอรัสและมักไม่เป็นปัจจัยที่จำกัดในการเพิ่มกำลังผลิตขั้นต้นของแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตาม ไนโตรเจนในแหล่งน้ำอาจมีโอกาสหายออกไปนอกระบบนิเวศแหล่งน้ำโดยกระบวนการ Denitrification ได้มาก ซึ่งมักเกิดในแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีการสสะสมของสารอินทรีย์อยู่สูง

ซัลเฟอร์

สำหรับวัฏจักรของซัลเฟอร์ในแหล่งน้ำ ได้รับความสนใจเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปัญหามลภาวะทางน้ำมากกว่าประเด็นการจำกัดของสารประกอบซัลเฟอร์ต่อกระบวนการผลิตในแหล่งน้ำนั้น โดยทั่วไปแหล่งน้ำมีสารละลายซัลเฟต (SO_4^{2-}) อยู่ในระดับที่มากเพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนหรือสาหร่ายชนิดต่าง ๆ ในน้ำ อย่างไรก็ตาม ในแหล่งน้ำที่ได้รับการปล่อยน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมาสูง ทำให้เกิดปัญหาการลดต่ำลงของออกซิเจนในน้ำเนื่องจากการถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายอย่างมาก แหล่งน้ำนั้น ๆ จะเริ่มเข้าสู่สภาวะการขาดออกซิเจน และ SO_4^{2-} ก็จะถูกนำไปใช้เพื่อเป็นตัวรับอิเลคตรอน ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้นแทน ในกระบวนการดังกล่าวจะเกิดผลผลิตของก๊าซ H_2S (ก๊าซไข่เน่า) จากกระบวนการย่อย

สลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้น (ถ้าในแหล่งน้ำนั้นมี NO_3^- ที่มากเพียงพอ แบคทีเรียจำพวกที่ใช้ NO_3^- จะทำงานและปัญหาการเกิดกลิ่นกาซไข่เน่าจะบรรเทาลง)

H_2S นับเป็นสารประกอบที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ก่อให้เกิดอันตรายและมีผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของปลาในแหล่งน้ำ การเกิด H_2S โดยเฉพาะจากชั้นดินในพื้นที่แม่น้ำบางบริเวณจึงเป็นปัญหาต่อประชากรปลาและสิ่งมีชีวิตบริเวณพื้นท้องน้ำอย่างหลากหลาย H_2S ที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับธาตุเหล็ก และอยู่ในรูปของ FeS (ferrous sulphide) ในดินนั้น สามารถถูกออกซิไดซ์กลับออกมาอยู่ในรูปของ H_2SO_4 โดยแบคทีเรียชนิด *Thiobacillus ferroxidans* ซึ่งอาจทำให้สภาวะแวดล้อมบริเวณนั้นมีความเป็นกรดสูงขึ้นได้ SO_4^{2-} ในแหล่งน้ำมีแหล่งที่มาทั้งจากบรรยากาศและจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง นอกจากนี้ ยังเกิดจากกระบวนการกัดเซาะจากผืนแผ่นดินลงมา กระบวนการเปลี่ยนรูปของ SO_4^{2-} เป็น H_2S ที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถเกิดได้ภายในน้ำที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดดินที่ค่อนข้างแน่นและมีออกซิเจนจำกัด นับเป็นกระบวนการที่ไม่จำเป็นต้องเกิดในดินระดับลึกมากเสมอไป

ความเข้มข้นของสารอาหารและสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทางน้ำ

เป็นเรื่องสำคัญที่เราควรตระหนักว่าระดับความเข้มข้นของสารอาหารชนิดที่สำคัญดังกล่าวที่ปรากฏในระบบแม่น้ำไม่ได้เป็นเพียงปัจจัยเดียวที่ส่งบทบาทต่อความเป็นอยู่ของประชาคมสิ่งมีชีวิตรวมทั้งการผลิตทรัพยากรทางน้ำโดยรวม อย่างไรก็ตาม มีหลายการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นทิศทางความสัมพันธ์ในความเข้มข้นของสารอาหารกับสถานภาพความชุกชุมของแพลงก์ตอนพืชรวมทั้งผลผลิตขั้นต้นและขั้นที่สองในแหล่งน้ำนิ่งประเภททะเลสาบ (Wetzel, 1983) จากลักษณะความสัมพันธ์ที่พบดังกล่าว บทบาทของสารอาหารต่อระบบนิเวศแม่น้ำน่าจะมีอยู่ระดับหนึ่งเช่นกัน

ด้วยความที่ในระบบนิเวศแม่น้ำมีปัจจัยที่หลากหลายและมีความผันแปรสูงโดยเฉพาะในพื้นที่แม่น้ำขนาดเล็กหรือบริเวณที่มีลักษณะเป็นลำธาร การพิจารณาบทบาทความสัมพันธ์หรือการประเมินสถานภาพในเชิงการผลิตที่เกี่ยวข้องกับสารอาหารจึงจำเป็นต้องจำแนกแม่น้ำตามลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาในเบื้องต้นออกมาก่อน นอกจากนี้ ยังควรพิจารณาตาม “สถานการณ์” หรือ “ผลกระทบจากการใช้ประโยชน์” และ “กระบวนการทางชีวเคมี” ที่มีการผันแปรตามเวลาหรือฤดูกาล ซึ่งนับว่ามีความจำเป็นและสามารถนำมาประกอบการวิเคราะห์เพื่อความเข้าใจอย่างชัดเจนในอิทธิพลของสารอาหารที่มีอยู่ในสภาวะความแตกต่างแต่ละประเภท

สารอาหารและบทบาทความสำคัญในพื้นที่แม่น้ำขนาดใหญ่

แม่น้ำที่มีขนาดใหญ่โดยทั่วไปมักเป็นบริเวณส่วนปลายของระบบลุ่มน้ำต่าง ๆ ซึ่งมวลน้ำเกิดจากการรวมตัวของลำน้ำสาขาที่หลากหลายและมีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่เกิดจากชุมชนโดยรอบอย่างหนาแน่น ทั้งการตั้งถิ่นฐาน การทำเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม นอกจากนี้ ยังมักมีการ

ควบคุมปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำด้วยระบบเขื่อนทดน้ำเพื่อการชลประทานหรือเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ อาทิ การป้องกันน้ำท่วม หรือการผลิตกระแสไฟฟ้า

ด้วยลักษณะของความกว้างใหญ่ของแต่ละระบบลุ่มน้ำ ลักษณะทางภูมิอากาศ ธรณีวิทยาและอุทกวิทยาของแต่ละพื้นที่จะมีความแตกต่างกันไปมาก นอกจากนี้ ด้วยลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันไป ลักษณะการเข้ามาอาศัยของชุมชนหรือการใช้ประโยชน์ในพื้นที่จึงมักมีความแตกต่างกัน (ยกตัวอย่างเช่นแม่น้ำที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบต่ำจะเหมาะในการทำเป็นพื้นที่นา ขณะที่บางแม่น้ำอยู่ในพื้นที่ลาดชันสูงในเขตภูเขาและป่าไม้ อาจจัดอยู่ในเขตพื้นที่อนุรักษ์หรือใช้เป็นส่วนหนึ่งของการจัดสร้างเขื่อนเพื่อการกักเก็บน้ำ) การพิจารณาในด้านระดับของสารอาหารและลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (หรือตามฤดูกาลการใช้ประโยชน์) จึงควรพิจารณาแยกกันแต่ละแห่งไป ไม่ควรนำมาเปรียบเทียบกัน โดยเฉพาะในด้าน “ความเข้มข้นของสารอาหาร” ที่พบ เนื่องจากแต่ละพื้นที่ย่อมมีความแตกต่างกันไปและมีระดับความเข้มข้นพื้นฐาน (Base-line concentration) ที่จำเพาะสำหรับแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำ

พื้นที่ลุ่มน้ำที่มนุษย์แทบจะไม่มีการเข้าไปใช้ประโยชน์เลยนั้น หากวิเคราะห์ติดตามด้านความเข้มข้นของสารอาหาร อาจจะพบระดับที่เรียกว่าเป็น “***ระดับธรรมชาติ***” (Natural level) ซึ่งมักจะมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่พบในน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ และนับเป็นระดับที่บริสุทธิ์มากปลอดจากสภาวะมลพิษใด ๆ ในบริเวณดังกล่าว อาจพบระดับของฟอสเฟตมีค่าเพียง 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และระดับ DIN (ผลรวมของแอมโมเนียม ไนไตร์ท และไนเตรท) มีค่าประมาณ 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ไนเตรทเป็นไนโตรเจนรูปหลัก ส่วนแอมโมเนียมและไนไตร์ทมีระดับเพียงประมาณ 15% และ 1% ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม พื้นที่แหล่งน้ำโดยส่วนใหญ่มีการเข้าถึงโดยมนุษย์และได้รับการปรับเปลี่ยนสภาพเพื่อการใช้ประโยชน์ในพื้นที่โดยรอบอย่างไม่รู้จบ ผลการประมวลข้อมูลที่มีในงานศึกษาวิจัยของต่างประเทศพบว่าในเขตยุโรปและอเมริกาเหนือมีระดับความเข้มข้นของสารอาหารเหล่านี้ในระบบแม่น้ำสูงขึ้นกว่าระดับธรรมชาติเดิมถึง 10-15 เท่า (Golterman, 1975; Sioli, 1984) ซึ่งแตกต่างกันไปตามพื้นที่ ประเภท และปริมาณการใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปความเข้มข้นของสารอาหารจะสูงขึ้นในส่วนปลายของลุ่มน้ำแต่ละแห่งเนื่องจากปริมาณการใช้ประโยชน์และการทิ้งน้ำเสียลงสู่แม่น้ำเป็นสำคัญ โดยมักพบว่ากิจกรรมทางการเกษตรที่มีการใช้ปุ๋ยมักจะส่งผลให้แหล่งน้ำมีการปนเปื้อนของ “ไนเตรท” ขณะที่น้ำทิ้งจากชุมชนมักจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของ “ฟอสเฟต” ได้มากกว่า (จารุมาศและเชษฐพงษ์ 2553) ในพื้นที่แม่น้ำขนาดใหญ่เหล่านี้ ปัจจัยในการเปลี่ยนแปลงทางฤดูกาลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางอุทกวิทยา (อาทิ ปริมาณการไหลของน้ำตลอดจนการปล่อยน้ำจากชุมชน) จะเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารในแม่น้ำ และในบางพื้นที่พบว่าเพียงแค่การมีปริมาณการไหลที่ต่ำลงในช่วงฤดูแล้งก็สามารถส่งผลให้แร่ธาตุอาหารมีความเข้มข้นที่สูงขึ้น และสูงได้มากที่สุด ณ ช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำลดต่ำที่สุดนั่นเอง (Edwards and Brooker, 1975)

3.3.6.2) ความเข้มข้นและลักษณะการเคลื่อนตัวของแร่ธาตุอาหาร

ความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารในระบบนิเวศแม่น้ำ

เมื่อพิจารณาในพื้นที่ลำธารและแม่น้ำที่มีขนาดค่อนข้างเล็กเราจะพบว่าความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้รับอิทธิพลจากการใช้ประโยชน์ในที่ดินโดยรอบอย่างชัดเจน ทั้งนี้ แทบไม่พบว่าลักษณะทางธรณีวิทยาจะมีบทบาทต่อความเข้มข้นดังกล่าวแต่อย่างใด และพบอีกว่าพื้นที่ทำกิจกรรมทางการเกษตร โดยเฉพาะการปลูกพืชผลซึ่งมีการใช้ปุ๋ยนั้นมีบทบาทชัดเจนต่อระดับของสารอนินทรีย์ไนโตรเจน อย่างไรก็ตาม ในลำธารเขตป่าไม้ที่มีโครงสร้างทางธรณีวิทยาของแผ่นดินที่จำเพาะ อาจส่งผลให้ระดับของฟอสเฟตมีค่าสูงตามธรรมชาติ ทั้ง ๆ ที่ไม่มีการใช้ที่ดินหรือการปล่อยน้ำเสียจากชุมชนใด ในการศึกษาสถานการณ์คุณภาพน้ำของลำธารต้นน้ำในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน การพบระดับของแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ค่อนข้างสูงและสูงสุดได้ถึงมากกว่า 25 ไมโครโมลาร์ ไม่ถือว่าเป็นเรื่องผิดปกติ (จารุมาศและคณะ 2552) เนื่องจากโดยส่วนใหญ่มวลน้ำในพื้นที่เหล่านี้มีแหล่งที่มาจากน้ำใต้ดิน รวมทั้งมีลำห้วยหรือแอ่งน้ำขนาดเล็กที่เต็มไปด้วยแร่ธาตุอาหารที่เกิดจากการย่อยสลายของใบไม้กิ่งไม้ซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมลงมาอยู่ตลอดเวลา

อนึ่ง ถึงแม้ว่าในบางขณะหรือบางช่วงของแม่น้ำจะพบระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารหลักในแม่น้ำลำธารมีค่าสูง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของแหล่งน้ำนิ่งประเภททะเลสาบจะพบว่าอยู่ในระดับที่อาจมากพอที่สามารถกระตุ้นให้เกิดปัญหายูโทรพิเคชันได้แล้วนั้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความจำเพาะของระบบน้ำไหลซึ่งมีกระแสน้ำเคลื่อนตัวหมุนเวียนไปอยู่ตลอดเวลา รวมทั้งยังมีการเคลื่อนที่อย่างไม่มีทิศทางและพัดไหลลงไปตามลำดับความลาดชันของพื้นที่ ปัญหายูโทรพิเคชันในลักษณะที่ทำให้แพลงก์ตอนพืชเกิดการสะพรั่งหรือการพบสาหร่ายเกิดได้อย่างหนาแน่นในพื้นที่แม่น้ำจึงเป็นไปได้ค่อนข้างยากและถูกควบคุมด้วยปัจจัยร่วมอื่น ๆ ได้มากมาย

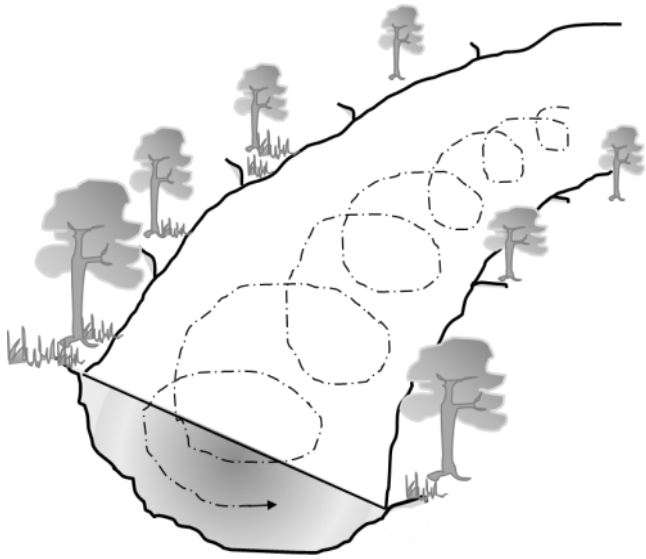
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายฟอสฟอรัสและสารละลายไนโตรเจนในภาพรวมแล้วเราพบว่าสารละลายฟอสฟอรัสนับเป็น “ปัจจัยจำกัด” (Limiting factor) ที่มีบทบาทต่อการยับยั้งหรือการกระตุ้นการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่พบในพื้นที่แม่น้ำลำธารได้มากกว่า (Stockner and Shortreed, 1978; Peterson *et al*., 1983; Pringle and Bowers, 1984) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่พบว่าสัดส่วนของ DIN : DIP ที่พบในแม่น้ำมีคุณลักษณะที่สามารถใช้เพื่อประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ หรือกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการเกิดผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำไหลได้ (Hynes, 1968; Thongdonphum *et al*., 2011)

การเคลื่อนตัวของแร่ธาตุอาหารในระบบนิเวศแม่น้ำ

เมื่อพิจารณาพื้นที่แม่น้ำหนึ่ง ๆ จะเห็นว่ามวลน้ำมีการเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลาทั้งในแนวราบ แนวดิ่ง หรือหมุนวนเป็นวง โดยมีทิศทางไล่ลำดับลงมาจากแม่น้ำทางตอนต้นมาสู่บริเวณปลายน้ำไปเรื่อย ๆ การแพร่กระจายของแร่ธาตุอาหารในแม่น้ำไม่อยู่ในลักษณะแค่การหมุนเวียนอยู่

ภายในพื้นที่ แต่เป็นการหมุนเวียนที่เกิดพร้อม ๆ กับการเคลื่อนตัวแล้วไหลลงมาตามเส้นทางของลำน้ำ ซึ่งในระหว่างทางมีการเติมเข้ามาใหม่ มีการเปลี่ยนแปลงรูป การถูกดูดซับถูกนำไปใช้ทั้งภายในมวลน้ำและที่บริเวณผิวหน้าดิน ขณะเดียวกันก็มีการหมุนเวียนขึ้นมาใหม่จากพื้นท้องน้ำ ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งเป็นผลจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่มีในระบบนิเวศของแม่น้ำ

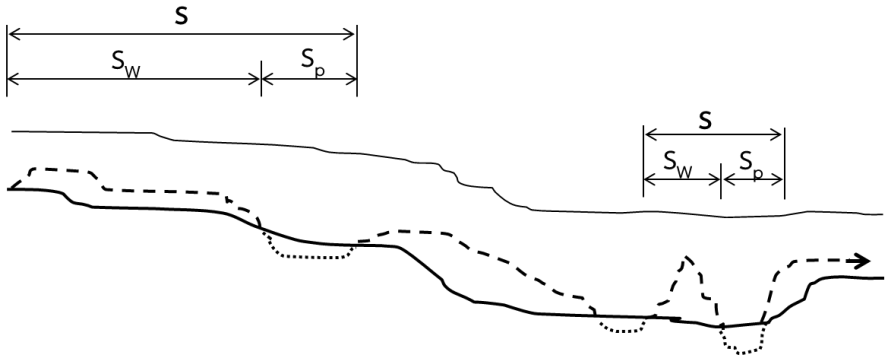
Websters (1975) ได้อธิบายลักษณะการเคลื่อนตัวของสารละลายต่าง ๆ ในแม่น้ำซึ่งเน้นให้เห็นว่าสารเหล่านั้นมีลักษณะที่ “***เคลื่อนตัวแบบเป็นเกลียว***” (Spiral movement) ซึ่งทำให้มีระยะทางที่ยาวขึ้นและไกลกว่าการวัดระยะการเคลื่อนที่ของสารตามแนวระนาบหรือตามเส้นทางของลำน้ำ (**ภาพที่ 3.8**)



ภาพที่ 3.8 ลักษณะการเคลื่อนตัวของสารในรูปแบบ Spiral movement ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญภายในระบบนิเวศแม่น้ำ *(ที่มา: ปรับปรุงจาก Newbold, 1996)*

แร่ธาตุอาหารที่เคลื่อนในน้ำจะถูกดูดซับโดยอนุภาคสารแขวนลอยหรือนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (อาทิแพลงก์ตอนพืช แบคทีเรีย) ซึ่งมีการเคลื่อนตัวต่อไปพร้อม ๆ กับมวลน้ำในลักษณะของการเคลื่อนแบบควงสว่านต่อไปเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ หากเราพิจารณาภาพรวมของเส้นทางในวัฏจักรแร่ธาตุอาหาร ซึ่งประกอบด้วยระยะทาง (S_w) ที่โมเลกุลของแร่ธาตุอาหารหนึ่ง ๆ ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายเข้าสู่ระบบแม่น้ำ จากนั้นเข้าสู่การดูดซับหรือนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตและเคลื่อนตัวต่อไปตามระยะทาง (S_p) จนกระทั่งมีการหมุนเวียนกลับออกมาเป็นสารละลายสู่มวลน้ำอีกครั้งนั้น จะพบว่ามีเส้นทางการเคลื่อนที่รวม (S) เท่ากับระยะทางของ $S_w + S_p$ นั่นเอง (**ภาพที่ 3.9**)

ระยะทาง (S) ดังกล่าวมีความมากน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยในระบบแหล่งน้ำ (อาทิ อัตราการไหล ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลาย) บริเวณที่มีอัตราการไหลที่สูงจะมีผลให้แร่ธาตุอาหารถูกดูดซับได้ยากและเคลื่อนตัวไปตามแม่น้ำได้ไกลขึ้น ส่วนบริเวณที่มีอัตราไหลที่ต่ำกว่า หรือในลำน้ำมีลักษณะคดเคี้ยวหรือมีสิ่งกีดขวางมาก ก็จะทำให้น้ำชะลอตัวลงและเกิดโอกาสในการดูดซับแร่ธาตุอาหารได้มาก ทำให้แร่ธาตุอาหารในน้ำเคลื่อนตัวไปได้ไม่ไกลนัก ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้ผู้ผลิตขั้นต้นต่าง ๆ เจริญทดแทนที่ขึ้นมาได้ง่ายกว่าบริเวณแรกนั้น



ภาพที่ 3.9 เส้นทางในวัฏจักรของแร่ธาตุอาหาร (S) ซึ่งประกอบด้วยระยะทาง (S_W) ที่โมเลกุลของแร่ธาตุอาหารเข้าสู่ระบบแม่น้ำ จากนั้นเข้าสู่การดูดซับหรือนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต และเคลื่อนตัวต่อไปตามระยะทาง (S_p) จนกระทั่งมีการหมุนเวียนกลับออกมา เป็นสารละลายสู่มวลน้ำอีกครั้ง *(ที่มา: ปรับปรุงจาก Newbold, 1996)*

3.3.6.3 บทบาทของแร่ธาตุอาหารต่อผู้ผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศแม่น้ำ

ในการศึกษาแหล่งแม่น้ำลำธารพบว่าสาหร่ายบริเวณพื้นท้องน้ำจะเจริญเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อระดับของแร่ธาตุอาหารในน้ำสูงขึ้น Stockner and Shortreed (1978) รายงานว่าแร่ธาตุอาหารในรูปของฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นจากระดับที่น้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อลิตร กลายเป็นสูงขึ้นถึงประมาณ 9 ไมโครกรัมต่อลิตร ได้ทำให้ไดอะตอมที่ขึ้นบริเวณริมลำธารเพิ่มปริมาณถึง 1 เท่าจากเดิม

ในทำนองเดียวกันกลุ่มของสาหร่ายที่ยึดเกาะตามผิวของวัตถุก็สามารถเพิ่มจำนวนจากที่มีระดับของคลอโรฟิลล์ เอ ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร กลายเป็นมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร เมื่อในน้ำมีออร์โธฟอสเฟตเพิ่มสูงจากระดับเดิม 1-20 ไมโครกรัมต่อลิตร ในช่วงฤดูแล้งที่น้ำน้อย มวลน้ำลดระดับและอ่อนกำลังลง เราจึงมักพบสาหร่ายยึดเกาะ (ที่เป็นเส้นสาย) อาทิ *Ulothrix* และ *Spirogyra* เกิดเพิ่มขึ้นได้มากและมักเจริญคลุมทดแทนที่กลุ่มของไดอะตอมได้ (Perrin *et al*., 1987)

สาหร่ายชนิด *Cladophora* สามารถเจริญขึ้นมาเป็นกลุ่มเด่น เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสรวมสูงประมาณ 20 ไมโครกรัมต่อลิตร และสามารถพบได้หนาแน่นมากจนระดับคลอโรฟิลล์สูงถึงประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร ภายในหนึ่งสัปดาห์ (Walton *et al*., 1995; Anderson *et al*., 1999) ในแหล่งน้ำลำธารเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติเอราวัณ พบการขึ้นของ *Cladophora* อย่างหนาแน่นเช่นกัน (จารุมาศ และคณะ, 2552) ทั้งนี้ จะเกิดชัดเจนในบริเวณลำธารเขตตื้นในตอนท้ายที่น้ำอ่อนตัวลง และเป็นช่วงที่ลำน้ำเปิดโล่งได้รับแสงแดดเต็มที่ ซึ่งในบริเวณดังกล่าวเราพบระดับของออร์โธฟอสเฟตอยู่ในช่วงประมาณ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร

ในผลการศึกษาวิจัยจากหลายพื้นที่ทำให้เราทราบว่านอกจากแร่ธาตุในรูปฟอสเฟตแล้ว สารประกอบของไนโตรเจนโดยเฉพาะในรูปไนเตรทก็นับว่าเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายในพื้นที่แม่น้ำลำธารได้ (Welch *et al*., 1989; Chessman *et al*., 1992; Lohman *et al*. 1991) นอกจากนี้ Sosiak (2002) แสดงให้เห็นว่าการควบคุมสารละลายของไนโตรเจนจะสามารถลดปริมาณการแพร่ระบาดของพรรณไม้น้ำ (อาทิ Pond weeds) ได้อย่างมาก แร่ธาตุอาหารในกลุ่มของไนโตรเจนนี้จึงนับเป็นปัจจัยที่ควรให้ความสำคัญในการศึกษาติดตามด้วยเช่นกัน

สำหรับในพื้นที่แม่น้ำในที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทยเราซึ่งมักมีความขุ่นสูงและมีความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ค่อนข้างสูงนั้น สาหร่ายยึดเกาะหรือพรรณไม้ใต้น้ำชนิดต่าง ๆ มักไม่สามารถเจริญได้ ยกตัวอย่าง เช่น ในพื้นที่แม่น้ำท่าจีน โดยเฉพาะในเขตปลายน้ำซึ่งน้ำมีความขุ่นสูงมาก ถึงแม้จะมีแร่ธาตุอาหารอยู่มากแต่เนื่องจากปัจจัยจำกัดด้านแสงทำให้กลุ่มของผู้ผลิตขั้นต้นชนิดหลักในระบบแม่น้ำดังกล่าวเป็นกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชขึ้นมาแทน (จารุมาศและคณะ, 2552)

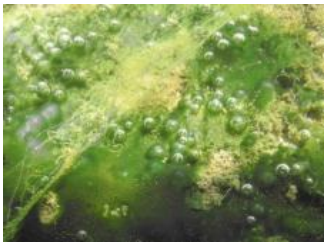
ในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีนนี้พบว่าการเพิ่มระดับของออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในแต่ละส่วนพื้นที่ลำน้ำจากตอนบนลงมาตอนล่างมีบทบาทต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในมวลน้ำ (ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดปริมาณแพลงก์ตอนพืชรวม) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระดับของคลอโรฟิลล์เอ (Chl_a) เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของฟอสเฟต มีดังสมการ $Chl_a = 2.13\ [PO_4^{3-}]^{0.61}$ ($r = 0.94$) ทั้งนี้ พบว่าการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่มากเกินไปสะท้อนถึงปัญหายูโทรฟิเคชันที่ตามมา ซึ่งจะเกิดผลกระทบต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีในรอบวัน โดยพบการลดต่ำลงของออกซิเจนในระบบ นับเป็นปัญหาต่อทรัพยากรสิ่งมีชีวิตทางน้ำอย่างต่อเนื่องไปได้

ด้วยเหตุดังกล่าว จึงมีการเสนอ “เกณฑ์” หรือระดับในการควบคุมปริมาณผู้ผลิตขั้นต้นให้อยู่ในสมดุลธรรมชาติของแหล่งน้ำแต่ละแหล่ง ยกตัวอย่าง เช่น ในระบบลำธารต้นน้ำ ควรควบคุมมวลชีวภาพของสาหร่ายยึดเกาะให้มีไม่เกิน 150 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อตารางเมตร ซึ่งระดับนี้จะเป็นผลดีต่อคุณภาพน้ำในระบบนิเวศภาพรวม และไม่ก่อให้เกิดปัญหาในเชิงทัศนียภาพของลำธารหรือการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องควบคุมระดับของฟอสเฟตโดยรวม (Total dissolved phosphate; TDP) ให้มีไม่เกินประมาณ 6 ไมโครกรัมต่อลิตร (Sosiak, 2002) และควบคุมให้มีสาหร่ายที่เป็นเส้นสายเจริญขึ้นปกคลุมพื้นที่ไม่เกินประมาณ 20 % ของพื้นที่โดยรวมนั้น (Welch *et al*., 1988)

3.4) สายโซ่อาหารและการหมุนเวียนสารในระบบนิเวศแม่น้ำ

3.4.1) ผู้ผลิตขั้นต้นและลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศแม่น้ำ

ในระบบนิเวศแม่น้ำมีกลุ่มผู้ผลิตขั้นต้นซึ่งสามารถสังเคราะห์แสงเองได้ที่เป็นกลุ่มเด่นคือ พวกสาหร่ายยึดเกาะ (Periphyton) พรรณไม้น้ำ (Aquatic plant) และแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) ที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ ทั้งนี้ พวกสาหร่ายยึดเกาะมักพบในแหล่งลำธารหรือแม่น้ำขนาดเล็กที่มักอยู่ในที่มีความลาดชันสูง น้ำมีการไหลแรง สาหร่ายเหล่านี้จะยึดเกาะอยู่ ณ บริเวณพื้นท้องน้ำ ส่วนพรรณไม้น้ำมักพบในแม่น้ำขนาดกลางหรือในบริเวณข้างตลิ่งหรือแอ่งน้ำบริเวณด้านข้างของแม่น้ำขนาดใหญ่ขึ้นที่มีน้ำค่อนข้างใส ขณะที่พวกแพลงก์ตอนพืชจะเริ่มพัฒนาประชากรและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นได้เมื่อเข้าเขตแม่น้ำในตอนกลางหรือตอนล่างที่พื้นที่มีความลาดชันต่ำลงและมวลน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ช้าลงตามลำดับ (**ภาพที่ 3.10**)



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 3.10 ลักษณะของผู้ผลิตขั้นต้นชนิดต่าง ๆ ในแหล่งแม่น้ำลำธาร (ก; สาหร่ายสีเขียวและสีเขียวแกมน้ำเงินที่เจริญขึ้นมาคลุมก้อนหินใต้น้ำ, ข และ ค; ดีปลีน้ำและสาหร่ายพุงชะโดตามลำดับ ซึ่งเป็นพรรณไม้ที่เจริญอยู่ใต้น้ำโดยมีรากยึดเกาะกับพื้นดิน และทอดส่วนลำต้นไปตามการไหลของลำธารน้ำ

การเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบทางชนิดและความชุกชุมของกลุ่มผู้ผลิตขั้นต้นในพื้นที่แม่น้ำเกิดขึ้นเนื่องจากบทบาทของลักษณะทางอุทกวิทยาและนิเวศวิทยาของพื้นที่ในแต่ละบริเวณ และถึงแม้ว่าจะมีความแปรผันค่อนข้างสูงเราพบว่าสาหร่ายยึดเกาะโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยกลุ่มของไดอะตอม สาหร่ายสีเขียว และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นกลุ่มเด่นตามลำดับ สาหร่ายยึดเกาะเหล่านี้ขึ้นอยู่บนพื้นผิวของหิน กรวด ทราย หรือแม้กระทั่งพื้นโคลนและตามลำต้นและใบของพรรณไม้น้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมา ซึ่งปริมาณหรือความหนาแน่นที่พบนั้นจะได้รับอิทธิพลจากความแรงของน้ำในการพัดพาผิวหน้าของวัตถุหรือมวลน้ำที่สามารถเคลื่อนย้ายวัตถุบริเวณพื้นท้องน้ำให้กลิ้งหรือเคลื่อนไป ซึ่งทั้งนี้ อาจพบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่ชัดเจน (โดยเฉพาะในพื้นที่เขตต้นน้ำ) และพบว่าปัจจัยด้านแสงจัดเป็นปัจจัยจำกัดในเขตลำธารที่อยู่ในระบบนิเวศป่าไม้ที่ค่อนข้างหนาแน่น

ส่วนปัจจัยด้านแร่ธาตุอาหาร โดยเฉพาะในกลุ่มของฟอสฟอรัสก็จัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สามารถจำกัดการเจริญของสาหร่ายเหล่านี้ได้

เนื่องจากสาหร่ายยึดเกาะจัดเป็นอาหารที่สำคัญของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและสัตว์น้ำขนาดเล็กอื่น ๆ ปัจจัยทางชีวภาพภายในระบบนิเวศลำธารที่สามารถควบคุมปริมาณของ สาหร่ายยึดเกาะได้ชัดเจนก็คือปริมาณของสัตว์เหล่านั้น ซึ่งเป็นกลุ่มของสัตว์กินพืช (Herbivores) ที่มีในพื้นที่ ในอีกทางหนึ่งหากพบว่าพื้นที่หนึ่ง ๆ มีปริมาณสาหร่ายยึดเกาะเพิ่มมากจากเดิมอย่างผิดปกติ ก็อาจแสดงว่า “ผู้บริโภค” ดังกล่าวมีปริมาณลดน้อยลง ในแหล่งน้ำบางแห่งเราพบการใช้ยาฆ่าหอยเชอรี่ในพื้นที่นาโดยรอบแหล่งน้ำ ผลสะท้อนที่พบ คือ การที่สาหร่ายยึดเกาะเกิดขึ้นอย่างหนาแน่นและขาดผู้มากิน เนื่องจากในแม่น้ำก็ได้รับน้ำที่มีมลพิษดังกล่าวเข้ามาสู่และทำให้สัตว์กลุ่มหอยขนาดเล็กอื่น ๆ ที่อาศัยอยู่บริเวณชายตลิ่งได้ตายลงไปด้วย

สำหรับพรรณไม้น้ำที่พบถูกจัดแบ่งตามลักษณะของการเกิดเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ 1) พวกพืชชายน้ำที่ขึ้นบริเวณชายขอบตลิ่ง 2) พวกที่เกิดอยู่ใต้น้ำแต่มีส่วนใบยื่นขึ้นมาที่ระดับผิวน้ำ 3) พวกที่ล่องลอยเป็นอิสระอยู่ตามมวลน้ำ และ 4) พวกที่ขึ้นอยู่ใต้น้ำ พรรณไม้น้ำเหล่านี้มักมีวงจรชีวิตที่ยาวนานและมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านความเร็วของน้ำและความเข้มแสงนับว่ามีบทบาทต่อความหนาแน่นของพรรณไม้น้ำที่พบในส่วนของแม่น้ำแต่ละส่วน อย่างไรก็ตาม พบว่าบทบาทของแร่ธาตุอาหารในน้ำมีน้อยลงไป ทั้งนี้เนื่องจากพรรณไม้น้ำเหล่านั้นสามารถดูดซับเอาแร่ธาตุอาหารทั้งจากส่วนของลำต้นหรือใบที่อยู่ในน้ำและในส่วนของรากที่ยึดเกาะหรือแทงลงไปภายในดินพื้นท้องน้ำ สำหรับในแหล่งแม่น้ำที่มีความลึกมาก (โดยเฉพาะที่มากกว่า 4-5 เมตร) ปัจจัยเรื่องแสงและความขุ่นของน้ำมักกลายเป็นปัจจัยจำกัดที่เข้ามามีบทบาทต่อการเจริญของพรรณไม้ในแม่น้ำ โดยเฉพาะแม่น้ำในเขตร้อน และประเทศไทยเราในเขตที่ราบลุ่มต่ำซึ่งมีการชะล้างของตะกอนโคลนเลนละเอียดปนลงสู่แม่น้ำได้มากในช่วงฤดูน้ำหลาก ซึ่งหากมีปรากฏการณ์เช่นนี้บ่อยครั้งก็จะทำให้ในพื้นที่แม่น้ำนั้นแทบไม่พบพรรณไม้น้ำ (โดยเฉพาะพวกพืชจมน้ำ) อยู่เลย

อนึ่ง ปัจจัยด้านการกินโดยสัตว์กัดแทะหรือพวกสัตว์กินพืชต่าง ๆ ที่มีต่อพรรณไม้น้ำนั้นพบว่ามีน้อยกว่าที่มีต่อกลุ่มของสาหร่ายยึดเกาะ อย่างไรก็ตาม การตายลงตามธรรมชาติเองเนื่องจากการเจริญขึ้นมาอย่างหนาแน่นและบดบังแสงซึ่งกันและกันกลับเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พรรณไม้น้ำเกิดการลดความหนาแน่นลงได้อย่างรวดเร็ว และจากนั้นจะเกิดการพัดพาและไปตกทับถมลงในพื้นที่ที่น้ำมีความเร็วลดลง ซากพรรณไม้น้ำนับเป็นแหล่งของสารอินทรีย์ที่สำคัญที่จะยังประโยชน์ต่อพื้นที่แม่น้ำในบริเวณตอนกลางและตอนล่างได้ต่อไป

สำหรับกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำ ก็คือ ระยะเวลาที่มวลน้ำสามารถคงตัวอยู่ในบริเวณหนึ่ง ๆ หรือที่เรียกว่า “Residence time” ซึ่งเป็นปัจจัยที่ได้รับอิทธิพลจากความเร็วน้ำในแต่ละส่วนของแม่น้ำ สำหรับปัจจัยด้านปริมาณของแร่ธาตุอาหารในแม่น้ำนั้นพบว่ามีบทบาทที่น้อยลงไปสำหรับแพลงก์ตอนพืช

เนื่องจากมวลน้ำมีการเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลาและมักมีแร่ธาตุอาหารที่เพียงพออยู่แล้ว ส่วนในพื้นที่ที่ถึงแม้จะมีการไหลที่ช้าลงหรือมี Residence time ที่ยาวนาน แต่พบว่าน้ำมีความขุ่นสูง การเจริญของประชากรแพลงก์ตอนพืชจะถูกจำกัดด้วยความขุ่นหรือปริมาณแสงที่มีจำกัดได้ ด้วยเหตุดังกล่าวระดับของแพลงก์ตอนพืชที่พบในแม่น้ำจึงมักไม่สอดคล้องกับปริมาณแร่ธาตุอาหารที่พบเพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลมาจากปัจจัยร่วมโดยเฉพาะด้านปริมาณแสงที่มีในน้ำ และด้วยเหตุนี้ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่พบจึงมักเป็นอิทธิพลจากการเพิ่มจำนวนจากส่วนตอนกลางแล้วถูกพัดพาลงมารวมตัวกันทางตอนล่างเรื่อย ๆ มากกว่าการที่จะเกิดการพัฒนาประชากรในบริเวณตอนล่างนั้น

3.4.2) ผู้บริโภคและบทบาทในสายใยอาหาร

ในระบบนิเวศแม่น้ำลำธารนั้นรูปแบบของการกินต่อเนื่องกันในห่วงโซ่อาหารมีความซับซ้อนและมีลักษณะพิเศษ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการทางกายภาพรวมทั้งลักษณะทางอุทกวิทยาของน้ำมีบทบาทต่อรูปแบบการดำรงชีวิตของผู้บริโภคในลำดับขั้นต่าง ๆ อยู่มาก เราไม่อาจจำแนกลักษณะการกินอาหารแค่เพียงตามลักษณะของอาหารที่กิน อาทิ การเป็นพวกที่กินพืช (Herbivores) กินสัตว์ (Carnivores) กินทั้งพืชและสัตว์ (Omnivores) หรือกินซากพืชซากสัตว์ (Detritivores) แต่จำเป็นต้องวิเคราะห์ลงไปถึงลักษณะพฤติกรรมในการกินหรือรูปแบบในการกินอาหารแต่ละประเภทนั้น จึงจะสามารถอธิบายความเป็นไปของการหมุนเวียนสารและพลังงานภายในระบบนิเวศแม่น้ำได้อย่างรัดกุม

ยกตัวอย่างเช่นในสัตว์กลุ่มของปลาที่อยู่ในแม่น้ำลำธารซึ่งกินสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังเป็นอาหาร จะสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยที่ชัดเจนลงไปอีกหากได้พิจารณาว่า “แหล่งหาอาหาร” อยู่บริเวณใด โดยในปลานี้เราสามารถจัดแบ่งเป็นพวกที่หากินบริเวณพื้นท้องน้ำ หรือพวกที่หากินในมวลน้ำด้านบนที่เคลื่อนตัวอยู่ ส่วนในสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังก็เช่นกัน เราสามารถจำแนกกลุ่มย่อยไปตามลักษณะของ “การได้รับอาหาร” หรือบทบาทที่มีต่อสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ อาทิ การได้รับอาหารที่เป็นตะกอนอินทรีย์โดยการกรองกินจากมวลน้ำ หรือการกินตะกอนที่ตกทับถมอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำ เป็นต้น

สำหรับในแหล่งน้ำประเภทลำธารต้นน้ำนั้น ผลการศึกษาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า “ผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์” มีบทบาทที่สำคัญมากต่อการทำให้สารอินทรีย์ที่เข้ามาในแหล่งน้ำมีขนาดเล็กลงหรือเปลี่ยนรูปเป็นสารอินทรีย์ขนาดเล็ก เกิดเป็นตะกอน หรือเกิดเป็นสารละลายอินทรีย์ ที่สามารถนำไปใช้ต่อโดยกลุ่มของสิ่งมีชีวิตขนาดต่าง ๆ ได้ สายใยอาหารที่เกิดจากการขับเคลื่อนโดยสิ่งมีชีวิตขนาดจิ๋ว (จุลินทรีย์) ซึ่งเป็นผู้ย่อยสลายในระบบแม่น้ำลำธารนี้เรียกกันว่า “Microbial loop” ซึ่งเป็นระบบที่ก่อให้เกิดการหมุนเวียนของสารไปสู่สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ (ไม่ว่าจะเป็นโปรโตซัว สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่กรองกินในน้ำหรือแมลงน้ำที่กัดแทะหากินตามพื้นท้องน้ำ ฯลฯ) Microbial loop นี้ได้รับการกล่าวถึงอย่างมากว่ามีบทบาทต่อการหมุนเวียนของคาร์บอนและแร่ธาตุอื่น ๆ ในระบบแม่น้ำ (Pomeroy and Wiebe, 1988) รวมทั้งมีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์และการหมุนเวียนกลับมาใหม่ (Remineralization) ของแร่ธาตุต่าง ๆ (Edwards *et al*., 1990) จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นยังเป็นอาหารที่ดีของพวกโปรโตซัว (โดยเฉพาะกลุ่ม Flagellates และ Ciliates) ที่

อาศัยอยู่บริเวณดินพื้นลำธาร (Bott and Kaplan, 1990) ทำให้เกิดการขับเคลื่อนสายใยอาหาร โดยมีบทบาทสูงถึงแม้จะมีขนาดเล็ก ทั้งนี้ เนื่องจากการมีอัตราการเพิ่มจำนวนที่รวดเร็วนั่นเอง

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง *ผู้บริโภคกลุ่มเด่นในระบบนิเวศแม่น้ำ*

เมื่อพิจารณาระบบนิเวศแม่น้ำในด้านบทบาทของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้บริโภคและการหมุนเวียนของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีจะพบว่าการศึกษาติดตามกลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีความจำเพาะกับประเภทของอาหาร (มีวิธีการได้รับอาหารที่แตกต่างกันไป) นับเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการประเมินสถานภาพของแหล่งน้ำ และใช้ติดตามประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดขึ้นต่อไปได้

ผู้บริโภคสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ในระบบแม่น้ำลำธารประกอบด้วย สัตว์ในกลุ่ม Crustaceans (โดยเฉพาะพวก Amphipods, Isopods และกุ้งขนาดเล็กต่าง ๆ) ตลอดจนพวกหอยและตัวอ่อนของแมลงน้ำ (Cummins *et al*., 1989) ในส่วนของกลุ่มแมลงน้ำสามารถพบ Orders หลัก คือ Trichoptera (ในครอบครัว Limnephilidae, Lepidostomatidae, Sericostomatida) และ Plecoptera (ในครอบครัว Peltoperlidae, Pteronacidae, Nemouridae) สัตว์เหล่านี้สามารถกัดแทะหรือบดเคี้ยวสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ประมาณ 1 มิลลิเมตรขึ้นไปได้ ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านั้นมักเป็นพวกซากพืช ใบไม้ เปลือกไม้ที่เน่าเปื่อยหรือถูกย่อยสลายไปบางส่วน

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 3.11 ตัวอย่างของแมลงน้ำที่เป็นผู้บริโภคสำคัญในพื้นที่แม่น้ำลำธารทางภาคเหนือของประเทศไทย; (ก) ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว (Mayfly; Family Caenidae), (ข) ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำ (Caddisfly; Family Psychomyiidae), และ (ค) มวน (Creeping water bug; Family Naucoridae) *(ภาพโดย: กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์)*

สำหรับผู้บริโภคสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กละเอียด รวมทั้งกินแบคทีเรียและซากสาหร่ายขนาดเล็ก ได้แก่ กลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่สามารถกรองกินหรือดักตะกอนกินเป็นอาหาร (Suspension feeders หรือ Filter feeders) สัตว์กลุ่มนี้มีขนละเอียดหรือเส้นใยคล้ายตาข่ายที่กรองเอาอนุภาคสารอินทรีย์ขนาดเล็กมาเป็นอาหารได้ (ส่วนใหญ่เป็นพวกแมลงน้ำซึ่งสามารถสร้างเส้นใยได้ (อาทิ Order Trichoptera; Simuliidae และ Diptera) นอกจากนี้ ยังมีแมลงน้ำหลายชนิด (อาทิ Order Ephemenoptera พวกหนอนแดง Chironomidae และ Ceratopogonidae) ซึ่ง

อาศัยบริเวณพื้นท้องน้ำและกินตะกอนละเอียดในชั้นบาง ๆ บริเวณหน้าดินเป็นอาหาร (Deposit feeders หรือ Collectors / Gatherers)

อนึ่ง ผู้บริโภคที่กิน “ผู้ผลิตขั้นต้น” เป็นอาหาร จัดเป็นตัวขับเคลื่อนสำคัญที่เชื่อมโยงระหว่างกลุ่มผู้บริโภคขั้นสูง (ปลาชนิดต่างๆ) กับผู้ผลิตขั้นต้นที่มีในระบบนิเวศแหล่งน้ำ ในพื้นที่ลำธารเขตต้นน้ำที่มีสภาวะคุณภาพน้ำที่ดีมีออกซิเจนละลายน้ำค่อนข้างสูงนั้น ผู้บริโภคเหล่านี้ จะประกอบไปด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังกลุ่มแมลงน้ำที่มีขนาดเล็ก อาทิ Caddisfly (ครอบครัว Hydroptilidae) ซึ่งสามารถค่อยๆ กัดแทะโครงสร้างของสาหร่ายหรือไดอะตอมที่ขึ้นเคลือบตามพื้นผิวของก้อนหินหรือดินพื้นท้องน้ำมาเป็นอาหารได้ (**ภาพที่ 3.11**) สัตว์กลุ่มที่ถูกเรียกว่าพวก “Grazer” ได้แก่ แมลงน้ำในครอบครัว Ephemeroptera และ Trichoptera บางชนิด และในกลุ่ม Diptera, Lepidoptera และ Coleoptera บางชนิด ทั้งนี้ กระบวนการบริโภคอาหารของสัตว์เหล่านี้ได้รับอิทธิพลจากความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน รวมทั้งปริมาณอาหารที่มีในแหล่งจำเพาะหนึ่ง ๆ ของแม่น้ำลำธารนั้น

อนึ่ง ผู้บริโภคที่กิน “ผู้ผลิตขั้นต้น” เป็นอาหาร จัดเป็นตัวขับเคลื่อนสำคัญที่เชื่อมโยงระหว่างกลุ่มผู้บริโภคขั้นสูง (ปลาชนิดต่างๆ) กับผู้ผลิตขั้นต้นที่มีในระบบนิเวศแหล่งน้ำ ในพื้นที่ลำธารเขตต้นน้ำที่มีสภาวะคุณภาพน้ำที่ดีมีออกซิเจนละลายน้ำค่อนข้างสูงนั้น ผู้บริโภคเหล่านี้ จะประกอบไปด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังกลุ่มแมลงน้ำที่มีขนาดเล็ก อาทิ Caddisfly (ครอบครัว Hydroptilidae) ซึ่งสามารถค่อยๆ กัดแทะโครงสร้างของสาหร่ายหรือไดอะตอมที่ขึ้นเคลือบตามพื้นผิวของก้อนหินหรือดินพื้นท้องน้ำมาเป็นอาหารได้ (**ภาพที่ 3.11**) สัตว์กลุ่มที่ถูกเรียกว่าพวก “Grazer” ได้แก่ แมลงน้ำในครอบครัว Ephemeroptera และ Trichoptera บางชนิด และในกลุ่ม Diptera, Lepidoptera และ Coleoptera บางชนิด ทั้งนี้ กระบวนการบริโภคอาหารของสัตว์เหล่านี้ได้รับอิทธิพลจากความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน รวมทั้งปริมาณอาหารที่มีในแหล่งจำเพาะหนึ่ง ๆ ของแม่น้ำลำธารนั้น

ผู้บริโภคในกลุ่มที่สูงขึ้นไปของห่วงโซ่อาหารในพื้นที่แม่น้ำลำธารถูกเรียกว่าเป็น “ผู้ล่า” (Predator) ซึ่งส่วนใหญ่จะสามารถกินเหยื่อได้ทีเดียวทั้งตัว อย่างไรก็ตาม มีผู้บริโภคบางส่วนที่กินสัตว์ขนาดเล็กกว่าโดย “บังเอิญ” อาทิ พวกที่กรองกินโปรโตซัวหรือแมลงน้ำวัยอ่อนที่มีขนาดเล็กเข้าไปโดยวิธีการกรองกิน ผู้ล่าโดยส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นปลาที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ ในบางพื้นที่ สัตว์มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ อาทิ สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ สัตว์เลื้อยคลาน และพวกนก ก็นับว่ามีบทบาทในระบบนิเวศแม่น้ำลำธารได้ Petranka (1984) แสดงข้อมูลชี้ให้เห็นว่าซาลาแมนเดอร์มีบทบาทต่อประชากรของแมลงน้ำและพวก Crustaceans ที่อยู่ในแม่น้ำ อย่างไรก็ตาม การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสัตว์เหล่านี้ยังมีค่อนข้างน้อยและเป็นผลการศึกษาที่ยังจำเพาะสำหรับแต่ละพื้นที่เท่านั้น

เมื่อพิจารณาทั้งระบบการเชื่อมโยงของสายใยอาหารในพื้นที่แม่น้ำลำธาร จะพบว่ากระบวนการผลิตและ “การกิน” เป็นทอด ๆ เป็นการกินเอาสารอินทรีย์เข้าไปสร้างเป็นพลังงานในการมีชีวิตและเจริญเติบโต มากกว่าการดูดซึมเอาสารอินทรีย์มาสังเคราะห์และ/หรือผลิตเป็นสารอินทรีย์ใหม่ ๆ ในระบบ ระบบนิเวศแม่น้ำลำธารโดยเฉพาะในเขตตอนบนหรือใกล้ป่าเขาต้นน้ำ

จึงมีแหล่งที่มาของอินทรีย์สารที่ถูกพัดพาลงมาจากภายนอกมากกว่าการสร้างขึ้นใหม่เองในระบบ (ลักษณะเช่นนี้นับเป็นคุณลักษณะที่มีความแตกต่างจากแหล่งน้ำนิ่งเช่นในทะเลสาบ) ทั้งนี้ เมื่อสารอินทรีย์เข้ามาสู่ระบบแม่น้ำก็จะได้รับการเปลี่ยนรูปโดยกลุ่มของจุลินทรีย์ หรือโดยกระบวนการทางกายภาพ เช่น การถูกกัดแทะโดยสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (Allan, 1995) และจากนั้นก็เกิดการส่งต่อกันไปโดยรูปแบบของการกินเป็นทอด ๆ ที่อาจจะซับซ้อน ด้วยลักษณะดังกล่าว เราไม่ควรจำแนกสิ่งมีชีวิตตามประเภทของอาหารเท่านั้น แต่ควรพิจารณา ตาม “รูปแบบ” หรือ “วิธีการ” ซึ่งเป็นทิศทางและการใช้ประโยชน์ของอาหารที่ได้มา ซึ่งอาหารนั้นก็จะทำให้เกิดภาพของสายใยอาหารสำหรับแต่ละส่วนพื้นที่ของแม่น้ำได้ชัดเจนขึ้น ข้อมูลความรู้ที่รัดกุมเหล่านี้ก็จะสามารถใช้เพื่อการประเมินสถานภาพและผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับแต่ละเขตพื้นที่ได้ในโอกาสต่อไป

3.4.3) สัตว์พื้นท้องน้ำและการใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

ในการศึกษาสถานภาพของแหล่งน้ำโดยการใช้สัตว์พื้นท้องน้ำมาเป็นดัชนีชี้วัดนั้นที่ผ่านมาพบว่ามีการใช้ทั้งชนิดและปริมาณของสัตว์พื้นท้องน้ำเพื่อสะท้อนสภาวะเชิงคุณภาพของแหล่งน้ำไหล รวมทั้งใช้เพื่อประเมินระดับของมลภาวะที่เกิดขึ้นต่อระบบนิเวศโดยเฉพาะในแหล่งแม่น้ำทางตอนต้นในพื้นที่เขตต้นน้ำลำธารและตอนกลางหรือในส่วนของแม่น้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีการใช้ประโยชน์ในที่ดินโดยรอบมากขึ้น ซึ่งแต่ละบริเวณจะพบประชาคมของสัตว์พื้นท้องน้ำและการตอบสนองที่แตกต่างกันไป ในลำธารเขตอเมริกาเหนือจนถึงอเมริกาใต้ Hilsenhoff (1977) ได้ประยุกต์ใช้ดัชนีชีวภาพที่เรียกว่า “$Biotic\ Index$” ซึ่งเดิมได้พัฒนาขึ้นมาโดย Chutter (1972) โดยมีการปรับใช้ค่าเชิงคุณภาพที่เรียกว่า (Hilsenhoff’s Quality value; Q_i) ของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดที่ปรากฏในพื้นที่ศึกษาเข้าไปผนวกกับการคำนวณเชิงปริมาณ (n_i) ของแต่ละชนิดที่พบ ดังสมการ

$$Biotic\ Index\ =\ \frac{\sum_{i=1}^{k}(n_i Q_i)}{n}$$

ทั้งนี้ n_i คือ จำนวนของแต่ละชนิด ในผลรวมทั้งหมด k ชนิด และ n คือ จำนวนรวมทั้งหมดที่พบ และ Hilsenhoff’s quality value มีค่าตั้งแต่ 0-5 ผลจากการคำนวณ $Biotic\ Index$ นั้น หากได้ต่ำกว่า 1.75 จะแสดงสภาวะการเป็นแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่สะอาดมากหรือแทบไม่ได้รับการรบกวนใด ๆ ส่วนค่า $Biotic\ Index$ ที่มากกว่า 3.75 จะแสดงสภาวะที่แหล่งน้ำถูกรบกวนและเกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอย่างชัดเจน ทั้งนี้ รวมถึงการมีโอกาสเกิดสภาวะมลพิษที่สูงไปตามลำดับด้วย

United States Environmental Protection Agency (USEPA) เป็นอีกองค์กรหนึ่งที่พัฒนาดัชนีทางชีวภาพทางน้ำเพื่อเป้าหมายในการอนุรักษ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายใต้การรักษาสมดุลธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตภายในระบบนิเวศทางน้ำ ในการนี้ได้มีการพัฒนารูปแบบในการประเมินประชาคมสิ่งมีชีวิตทางน้ำ 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) สาหร่ายยึดเกาะ 2) ปลา และ 3) สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน (Plafkin *et al*., 1989; Barbour *et al*., 1999) ซึ่งนอกเหนือจากการพิจารณาด้านชนิดและความชุกชุมซึ่งเป็นพื้นฐานเดิมแล้วยังได้เน้นการให้ความสำคัญทั้งด้านบทบาทหน้าที่ของ

สิ่งมีชีวิตตลอดจนโครงสร้างหรือองค์ประกอบของประชาคมสิ่งมีชีวิตเข้ามาด้วย เราเรียกดัชนีชีวภาพดังกล่าวนี้ว่า Index of Biotic Integrity; IBI (Karr, 1981) ทั้งนี้ เป็นดัชนีที่ประเมินผลความสัมพันธ์ภาพรวมในรูปแบบเมตริก (Metrics) ของปัจจัยสำคัญด้านต่าง ๆ มาเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน ค่า IBI นี้นับว่ามีประสิทธิภาพในการใช้ประเมินผลกระทบจากชุมชน มลภาวะทางอินทรีย์สาร หรือผลกระทบจากการทำการเกษตร ปศุสัตว์ รวมทั้งการขยายตัวของชุมชนและแหล่งอยู่อาศัย ฯลฯ ที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศทางน้ำ ในการใช้ดัชนีนี้หากพบว่าค่า IBI ได้ต่ำกว่า 15 จะสะท้อนสภาวะของระบบนิเวศทางน้ำที่เกิดความเสื่อมโทรมลงอย่างชัดเจน (Welch and Jacoby, 2004)

สำหรับแหล่งน้ำประเภทแม่น้ำลำธารเราพบว่าปัจจัยที่มีความโดดเด่นและเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญ ได้แก่ ความชุกชุม (Richness) องค์ประกอบทางชนิด (Species composition) สัดส่วนของชนิดที่ทนทานต่อมลภาวะ (Pollution tolerance) สัดส่วนของชนิดที่ทำการกินอาหารแบบกรองกิน (Filterers) หรือสัดส่วนของชนิดที่ปรับตัวเข้ากับความจำเพาะของพื้นที่อยู่อาศัยได้ เป็นต้น

อนึ่ง ยังมีดัชนีทางชีวภาพอีกหลายประเภทที่มีการนำมาใช้เพื่อการอธิบายลักษณะของประชาคมสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ อาทิ ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Diversity index) (Shannon and Weaver, 1948) หรือดัชนีความชุกชุมทางชนิดของสิ่งมีชีวิต (Richness index) (Margalef, 1958) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากดัชนีเหล่านี้พิจารณาเฉพาะแค่ชนิดและจำนวนที่พบ จึงเหมาะกับการอธิบายโครงสร้างของประชาคมสิ่งมีชีวิตมากกว่าการสะท้อนสภาวะการปรับตัวหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการรับมลภาวะในระดับต่าง ๆ *(อ่านเพิ่มเติมได้ในบทที่ 5)*

การพิจารณาเลือกใช้ดัชนีดังกล่าวจึงควรมีกรอบด้านเป้าหมายที่ชัดเจนและสอดคล้องตามคุณลักษณะของดัชนีที่เลือกใช้ นอกจากนี้ การศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประเมินตามดัชนีชี้วัดต่าง ๆ ควรเทียบเคียงกับผลการศึกษาหรือเกณฑ์ที่มีสำหรับแหล่งน้ำที่มีลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกัน เช่น เป็นลำธารขนาดเล็ก เป็นแม่น้ำในพื้นที่เขตป่าไม้ หรือเป็นแม่น้ำตอนกลางในเขตที่ราบลุ่มที่เริ่มมีการใช้ประโยชน์ของชุมชนเพิ่มมากขึ้น เป็นต้น การนำค่าจากการประเมินตามดัชนีไปเปรียบเทียบระหว่างแหล่งน้ำต่างประเภทกัน อาทิ การนำข้อมูลจากการศึกษาพื้นที่แม่น้ำลำธารไปเปรียบเทียบกับข้อมูลของแหล่งน้ำนิ่งจะทำให้เราตีความข้อมูลไม่ถูกต้องและไม่สามารถสะท้อนสภาวะของประชาคมสิ่งมีชีวิตตามสมดุลธรรมชาติจำเพาะในเขตต่าง ๆ ที่เป็นอยู่ได้

ในภาพรวมของการประเมินสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทางน้ำหรือผลกระทบจากมลภาวะที่รอบคอบนั้น เราควรให้ความสำคัญกับลักษณะจำเพาะทางนิเวศวิทยาของแต่ละพื้นที่ที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ การแจกแจงพื้นที่ขนาดใหญ่ออกเป็น “เขตทางนิเวศวิทยา” (Eco-region) ที่คล้ายคลึงกันนับเป็นเรื่องที่เราควรให้ความสนใจเอาใจใส่ในการดำเนินการ การนำความรู้ความเข้าใจใน *เขตทางนิเวศวิทยา* เข้ามาช่วยจะเป็นการบูรณาการปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายด้าน (อาทิ ลักษณะการไหลของน้ำ คุณภาพดิน พรรณพืช สภาวะอากาศ ธรณีวิทยา และภูมิสัณฐานวิทยา) มาผนวกเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งความเข้าใจในพื้นฐานของเขตทางนิเวศวิทยานี้จะทำให้เราสามารถกำหนดดัชนีชี้วัดที่เหมาะสม และสามารถกำหนดวิธีการในการศึกษาประเมิน ที่สอดคล้องกับดัชนีนั้น ๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดข้อมูลที่ดีและสามารถพัฒนาใช้ประโยชน์จากข้อมูลเพื่อการบริหารจัดการในเขตพื้นที่ได้อย่างเป็นรูปธรรมต่อไป

3.5) บทสรุปในภาพรวม

การศึกษาวิจัยในระบบนิเวศแม่น้ำ ได้ดำเนินมาบนพื้นฐานความรู้ความเข้าใจในความสำคัญของปัจจัยที่เป็นตัวขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลง ซึ่งได้แก่ ปริมาณการไหล (หรือความเร็วของน้ำ) ลักษณะพื้นท้องน้ำ ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และปริมาณแร่ธาตุอาหารที่มีในระบบนิเวศแม่น้ำ ฯลฯ ในท่ามกลางปัจจัยดังกล่าว ปริมาณการไหลและปริมาณแร่ธาตุอาหารที่มี นับเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในลำดับต้น ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงในคุณภาพน้ำและทรัพยากรชีวภาพที่เกี่ยวข้อง ส่วนปัจจัยด้านอุณหภูมิของน้ำ (โดยเฉพาะในประเทศเขตร้อนเช่นในไทยเรานั้น) จัดเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยและมีบทบาทต่อระบบนิเวศและทรัพยากรไม่เด่นชัด

ระบบนิเวศแม่น้ำจัดเป็นระบบนิเวศที่ได้รับแหล่งที่มาของสารอินทรีย์จากภายนอกระบบเป็นหลัก สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่เข้าสู่แหล่งน้ำจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดระบบการหมุนเวียนสารที่เรียกว่า Microbial loop อย่างไรก็ตาม ยังมีเส้นทางการย่อยสลายหรือการทำให้สารอินทรีย์มีขนาดเล็กลงด้วยกลุ่มของผู้บริโภคซึ่งเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดเล็กบริเวณพื้นท้องน้ำ ทั้งนี้ ชนิดและจำนวนของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่พบสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดสถานการณ์คุณภาพน้ำในเบื้องต้นได้

ในสภาวะปัจจุบันเราพบปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพธรรมชาติในพื้นที่แม่น้ำลำธารมากขึ้น สาเหตุหนึ่งเกิดเนื่องจากความจำเป็นในการนำเอาทรัพยากรน้ำมาใช้ประโยชน์อย่างมากขึ้น รวมทั้งมีการปล่อยน้ำเสีย สิ่งปฏิกูล และสารมลพิษลงสู่แหล่งน้ำมากขึ้นทุกวัน ผลกระทบหลักที่เกิดขึ้นต่อลักษณะทางนิเวศอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ ก็คือ การเพิ่มของสารอินทรีย์ ปริมาณของแข็งแขวนลอย และปริมาณแร่ธาตุอาหารในน้ำ และส่งผลกระทบต่อระดับของออกซิเจนละลายน้ำ ทำให้บางพื้นที่ โดยเฉพาะในเขต “ปลายน้ำ” มีระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่ลดลงอย่างน่าเป็นห่วง

ในภาพรวมจะเห็นได้ว่าความรู้ความเข้าใจแค่เพียงในพื้นที่แม่น้ำลำธารมีทรัพยากรมีชีวิตอะไรอยู่บ้าง หรือมีลักษณะปรากฏของคุณภาพน้ำในแต่ละพื้นที่หรือในช่วงเวลาต่าง ๆ อย่างไรนั้น นับว่ายังไม่เพียงพอที่จะใช้ประเมินโอกาสในความเสื่อมโทรมในประชากรหรือบอกทิศทางการเกิดทดแทนที่ รวมทั้งการหาแนวทางที่เหมาะสมในการปรับสมดุลธรรมชาติเพื่อฟื้นคืนสภาพแวดล้อมในระบบแหล่งน้ำให้เอื้ออำนวยต่อการดำรงไว้ซึ่งทรัพยากรมีชีวิตทางน้ำต่อไปได้ การศึกษาวิจัยของนักนิเวศวิทยาในพื้นที่แหล่งน้ำที่มีต่าง ๆ จึงเป็นความพยายามในการประมวลเอาความรู้ในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องหลายสาขาเข้ามาผนวกรวมกัน ทั้งนี้ เพื่อการอธิบายถึง “สาเหตุ” และ “การเปลี่ยนแปลง” ซึ่งเน้นการวิเคราะห์ออกมาในเชิง “ปริมาณ” ให้เกิดเป็นภาพของบทบาทความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสภาวะแวดล้อมหลายประเภทอย่างเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น

บทที่ 4

ระบบนิเวศปากแม่น้ำ

The Estuarine Ecosystem

พื้นที่ปากแม่น้ำ (Estuarine area; **ภาพที่ 4.1**) นับเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญในการผลิตทรัพยากรชีวภาพในบริเวณชายฝั่ง ซึ่งกินอาณาบริเวณครอบคลุมระบบนิเวศทางน้ำทั้งหมดที่ได้รับอิทธิพลจากการผสมผสานของน้ำจืดที่พัดพาลงจากแผ่นดินกับมวลของน้ำทะเลที่ถูกผลักดันให้ขึ้นลง เกิดการผสมผสานกันตามอิทธิพลของการขึ้นลงของน้ำทะเล (Kennish, 1997, 2001) อิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของความเค็มน้ำจากเขตทะเลขึ้นไปตามเส้นทางลำน้ำที่ไหลลงมา เกิดการผสมผสานและแปรเปลี่ยนความเค็มไปตามอิทธิพลของปัจจัยสำคัญ อาทิ ปริมาณน้ำจืดที่ไหลลง ลักษณะความคดเคี้ยวของลำน้ำ และความลาดชันของพื้นที่โดยรอบ

ภาพที่ 4.1 ลักษณะของพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีการใช้ประโยชน์เพื่อการทำแปลงเลี้ยงหอยแครง (ภาพถ่ายบริเวณปากแม่น้ำอ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี ในช่วงเวลาที่น้ำลงต่ำสุด เดือนพฤษภาคม 2554)

ในพื้นที่ลุ่มราบต่ำบางแห่ง พบว่าอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล ได้มีบทบาทแผ่กระจายขึ้นไปในพื้นที่แม่น้ำด้านบนหลายสิบกิโลเมตรและทำให้เกิดเป็นพื้นที่เขตน้ำกร่อย (Brackish waters) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของน้ำจืดและน้ำทะเลทำให้ความเค็มของน้ำและพื้นที่ในแผ่นดินมีค่ามากกว่าศูนย์ การเปลี่ยนแปลงของความเค็มของน้ำในพื้นที่น้ำกร่อยดังกล่าวมักได้รับอิทธิพลจากฤดูกาลที่เกี่ยวข้องกับการหลากของน้ำท่าลงมาจากแผ่นดิน ฤดูกาลใดที่มีมวลของน้ำท่าไหลลงมามาก ในช่วงนั้นความเค็มของน้ำในแม่น้ำในเขตน้ำกร่อยนี้ก็จะลดต่ำลงจนเข้าใกล้ศูนย์ได้ถึงแม้จะอยู่ในเขตทางตอนล่างติดเขตทะเลก็ตาม

เมื่อเราพิจารณาพื้นที่ปากแม่น้ำ ในเบื้องต้นจะสามารถจำแนกพื้นที่ออกเป็นเขตที่มีลักษณะจำเพาะแตกต่างกันออกไปได้อย่างน้อย 3 เขต ประกอบด้วย **1) เขตแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลจากทะเล** ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเค็มของน้ำทะเลขึ้นไปผสมผสานน้อย แต่ยังได้รับอิทธิพลจากการขึ้นของกระแสน้ำทำให้มวลน้ำมีการไหลย้อนขึ้นในช่วงที่น้ำขึ้นและไหลลงมาเท่ากับระดับน้ำทะเลอีกครั้งในช่วงที่น้ำทะเลกำลังลง **2) เขตพื้นที่หลักของปากแม่น้ำ** ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณที่มีการผสมผสานของน้ำจืดและน้ำทะเลอย่างเห็นได้ชัด และมีการเปลี่ยนแปลงทั้งปัจจัยทางกายภาพ เคมี และชีวภาพอย่างชัดเจนตามทิศทางและระดับของการผสมผสานจากเขตปากแม่น้ำที่รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงอย่างเต็มที่จนออกสู่บริเวณทะเลจนถึงในระยะของพื้นที่ครอบคลุมเขตน้ำขึ้นน้ำลง และ **3) เขตพื้นที่ปากแม่น้ำตอนนอก** ซึ่งยังเป็นแนวน้ำที่มีความขุ่นสูงกว่าในเขตทะเล เป็นพื้นที่แนวรอยต่อของเขตพื้นที่ปากแม่น้ำหลักและเขตทะเลซึ่งสามารถพบอิทธิพลของน้ำจากแผ่นดินได้ในช่วงที่น้ำลงต่ำสุดออกไปสู่ตอนนอกนั้นๆ ได้ (Kennish, 1997)

พื้นที่ปากแม่น้ำและพื้นที่เขตชายฝั่งทะเลของทุกๆ ประเทศ นับเป็นส่วนพื้นที่ที่มีการขยายตัวของประชากรสูงมาก มีการตั้งถิ่นฐานและการอพยพเข้ามาอยู่ใหม่ และเป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์จากแผ่นดินและแหล่งน้ำอย่างมากมายมหาศาล การประมาณการของ Weber (1994) และ Hameedi (1997) แสดงให้เห็นว่าประชากรมนุษย์โลกที่อาศัยอยู่ในบริเวณชายฝั่งนี้จะเพิ่มขึ้นได้ถึงแปดพันล้านล้านคน (8 billions) ในราวปี ค.ศ. 2025 (อีกประมาณ 10 ปีต่อจากนี้) การเพิ่มประชากรดังกล่าวจะตามมาด้วยการใช้ประโยชน์ในแหล่งน้ำและปัญหาน้ำเสียที่ควบคุมได้ยาก มีการพัฒนาทางอุตสาหกรรมซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งของการปล่อยของเสียในกลุ่มของสารพิษที่มีอันตรายและมีการสะสมในระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตทางน้ำ มีการปรับเปลี่ยนพื้นที่เพื่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมทั้งการจัดสร้างบ้านเรือนที่อยู่อาศัย กิจกรรมการใช้ประโยชน์เหล่านี้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพทางธรรมชาติของพื้นที่และการนำพาเอามลพิษที่มีบทบาทต่อความเป็นอยู่ของทรัพยากรมีชีวิตลงสู่แหล่งน้ำ

พื้นที่ปากแม่น้ำจึงมักได้รับการกล่าวถึงในฐานะที่มีความเสื่อมโทรมมากกว่าระบบนิเวศทางน้ำอื่นๆ นอกจากนี้ระบบนิเวศปากแม่น้ำในภาพรวมส่วนใหญ่อยู่ในสภาวการณ์ที่เสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงในทางลบ ซึ่งจำเป็นต้องหาทางดูแลและบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์จากการประยุกต์ใช้ฐานความรู้ความเข้าใจในธรรมชาติ ลักษณะการใช้ประโยชน์ และการเปลี่ยนแปลงทางนิเวศอุทกวิทยาที่จำเพาะพื้นที่อย่างเหมาะสม

4.1) ลักษณะจำเพาะและการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ปากแม่น้ำ

4.1.1) ลักษณะจำเพาะ ขอบเขต และรูปแบบของพื้นที่ปากแม่น้ำ

ปากแม่น้ำ ถูกให้คำนิยามถึงลักษณะเฉพาะตัวมามากกว่า 40 แบบ (Kaiser *et al.*, 2005) ด้วยความแตกต่างของลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยา ลักษณะการผสมผสานของน้ำทะเลและบทบาทของกระแสน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้เกิดลักษณะปรากฏในปากแม่น้ำแต่ละแห่งในรูปแบบที่ไม่ตายตัว เป็นที่ทราบกันว่า พื้นที่ปากแม่น้ำเป็นบริเวณที่ “น้ำจืด” พบ “น้ำทะเล” และเกิดการผสมสานกัน ก่อให้เกิดเป็นระบบนิเวศเฉพาะตัว จึงมีการใช้ค่า “**ความเค็ม**” ของน้ำมาช่วยในการจำแนกเขตทางนิเวศวิทยาของปากแม่น้ำแต่ละแห่งออกเป็นเขตย่อยต่างๆ ถึงกระนั้นก็ตามความแตกต่างในแต่ละปากแม่น้ำโดยเฉพาะปัจจัยด้านปริมาณน้ำจืดที่ไหลลง ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อการแพร่กระจายของปัจจัยทางเคมีของน้ำ ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการทางชีวเคมีและระบบการผลิตทรัพยากรชีวภาพในพื้นที่ปากแม่น้ำแต่ละแห่งได้อย่างชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น ในปากแม่น้ำอเมซอนซึ่งพบว่าถึงแม้อิทธิพลของการขึ้นลงของน้ำทะเลจะครอบคลุมพื้นที่ได้ประมาณ 735 กิโลเมตรในภาพรวม แต่ด้วยความที่แม่น้ำอเมซอนเป็นแม่น้ำขนาดใหญ่มากและมีอัตราการไหลลงของน้ำจืดสู่ทะเลอย่างมหาศาล จะพบว่าไม่มีการแพร่กระจายในความเค็มของน้ำทะเลขึ้นไปยังเขตปากแม่น้ำทางตอนในเลย โดยทั้งนี้ การผสมผสานในความเค็มของน้ำทะเลที่เริ่มชัดขึ้นพบ ณ ระยะประมาณ 1,000 กิโลเมตร จากปากแม่น้ำออกไป มวลของน้ำจืดและอัตราการไหลจึงมีบทบาทมากต่อปัจจัยทางเคมีพื้นฐานในระบบนิเวศ ซึ่งเมื่อเรามาพิจารณาเปรียบเทียบกับปากแม่น้ำของไทยในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน จะพบว่าแม่น้ำที่ไหลลงอ่าวไทยบริเวณดังกล่าวทุกสายรวมกันยังไม่สามารถต้านอิทธิพลในการขึ้นลงของน้ำทะเล โดยน้ำทะเลมีบทบาทต่อพื้นที่ราบลุ่มน้ำภาคกลางของไทยมากและการผสมผสานของความเค็มสามารถพบได้ชัดเจนในระยะตั้งแต่แนวขอบฝั่งทะเลจนเข้าไปในพื้นที่แผ่นดินได้ไกล

สำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีขนาดเล็ก อาทิ ปากแม่น้ำท่าจีนในประเทศไทย เราสามารถพบพื้นที่การผสมผสานของน้ำทะเลที่ชัดเจนได้ใกล้ฝั่งภายในระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตร และการขึ้นของน้ำทะเลยังส่งผลให้พื้นที่เขตปากแม่น้ำและด้านข้างของแม่น้ำที่ไหลลงรับการแพร่กระจายของความเค็มน้ำขึ้นไปในระยะทางที่มากถึงประมาณ 60-70 กิโลเมตร (ถึงเขตจังหวัดนครปฐม; จารุมาศและคณะ, 2556) นับเป็นลักษณะจำเพาะของพื้นที่แต่ละแห่งซึ่งมีความแตกต่างกันออกไปตามปัจจัยทางภูมิสัณฐานวิทยา (ความลาดชัน) และอุทกวิทยา (ปริมาณน้ำ) ของแม่น้ำที่ไหลลงมาสู่ปากแม่น้ำนั้น ทั้งนี้ พบว่าในทุกพื้นที่ปากแม่น้ำปัจจัยด้านการขึ้นลงของน้ำนับว่ามีบทบาทสำคัญต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะลักษณะของการเคลื่อนย้ายถ่ายเทมวลสาร และการเกิดทรัพยากรที่เป็นผลผลิตขั้นต้นและขั้นอื่น ๆ ที่ตามมาในพื้นที่ปากแม่น้ำ อย่างไรก็ตามข้อมูลการศึกษาที่มีส่วนมากยังเป็นการศึกษาอธิบายการเปลี่ยนแปลงสำหรับพื้นที่เขตอบอุ่นหรือในแนวที่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรออกไป การติดตามลักษณะผลกระทบจากอิทธิพลดังกล่าวในพื้นที่เขตร้อน เช่น ในประเทศไทยเรายังมีไม่มากนัก (ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง,

2556, 2557) นอกจากนี้ การศึกษาที่พบส่วนใหญ่ยังแสดงเพียงลักษณะการแพร่กระจายของปัจจัยพื้นฐานและทรัพยากรชีวภาพ ซึ่งจำเป็นต้องวิเคราะห์ด้านกระบวนการและความสัมพันธ์ที่มี และเพิ่มเติมการเก็บรวบรวมข้อมูลในปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์ต่อไป

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การกำหนดเขตของพื้นที่ปากแม่น้ำอย่างจำเพาะเจาะจงว่าบริเวณใดเป็น *แนวในสุด* ในแผ่นดิน หรือบริเวณใดเป็น *แนวนอกสุด* ที่ออกไปในทิศทางของทะเลนั้นมีข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะการแปรเปลี่ยนของปริมาณน้ำที่ไหลลงตามฤดูกาลและอิทธิพลในการขึ้นลงของน้ำทะเลที่พบได้ในแต่ละวัน อย่างไรก็ตาม การกำหนดขอบเขตดังกล่าวอาจไม่จำเป็นเท่ากับความเข้าใจถึงคุณค่าทางนิเวศวิทยาและการผลิตทรัพยากรในพื้นที่ นอกจากนี้ คือ การตระหนักว่าระบบปากแม่น้ำเป็นระบบที่เชื่อมโยงอย่างต่อเนื่องระหว่างระบบแม่น้ำและระบบทะเล และเป็นพื้นที่สำคัญที่รับภาระของเสียโดยรวมจากแผ่นดิน ซึ่งมีความเสี่ยงในการดูแลอนุรักษ์ให้มีคุณภาพที่ดีได้อย่างยั่งยืน

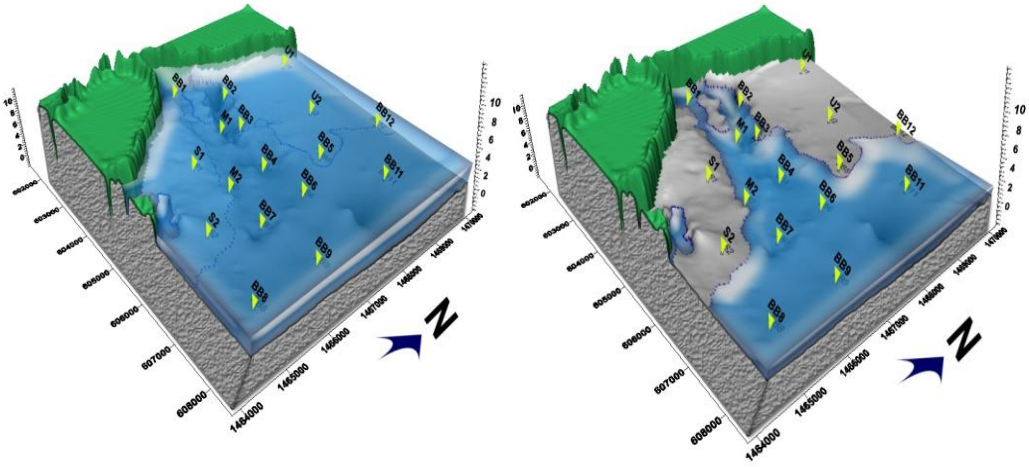
ด้วยเหตุดังกล่าวการกำหนดขอบเขตของปากแม่น้ำควรพิจารณาถึงความจำเป็นในการบริหารจัดการพื้นที่เชิงอนุรักษ์เพื่อการส่งเสริมความยั่งยืนในการผลิตทรัพยากร ในบางประเทศพบว่าการกำหนดขอบเขตที่ใกล้ฝั่ง (อาทิ ระยะจากฝั่งออกไปในแนวไม่เกิน 3 ไมล์ทะเล) ให้เป็นพื้นที่สำคัญสำหรับการควบคุมสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทางน้ำ รวมทั้งการเข้ามาใช้ประโยชน์ในทรัพยากรในเขตปากแม่น้ำ จึงเป็นการตัดสินใจที่เป็นประโยชน์และให้ผลสะท้อนกลับในทางที่มีบทบาทในด้านการอนุรักษ์แหล่งที่อยู่อาศัยและทรัพยากรที่มีได้ ขอบเขตปากแม่น้ำที่แท้จริงจึงดูเหมือนจะไม่สำคัญเท่ากับการมีเป้าหมายและแนวทางในการดูแลรักษาที่เหมาะสมกับพื้นที่แต่ละแห่งนั้น

รูปแบบของปากแม่น้ำ

การจำแนกรูปแบบหรือประเภทของปากแม่น้ำแบบดั้งเดิมที่มีการศึกษากันมาใช้พิจารณาจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะการเกิดของปากแม่น้ำแต่ละแห่งเป็นหลัก (Kaiser *et al.,* 2005) อาทิ ลักษณะของปากแม่น้ำที่เกิดจากลำธารน้ำแข็ง (Fjord-type estuary) จะมีความลึกมากและเชื่อมต่อกับพื้นที่ภูเขาน้ำแข็งที่มีความสูงชัน เกิดเป็นร่องน้ำรูปตัวยูหรือตัววีจากการผลักดันของมวลน้ำแข็งที่ละลายไหลทะลักลงมา อย่างไรก็ตามรูปแบบพื้นที่ดังกล่าวไม่พบในเขตเมืองร้อนอย่างประเทศไทยเรา ในประเทศไทยนั้น ลักษณะของปากแม่น้ำโดยรวมเกิดในพื้นที่ราบลุ่มน้ำที่เชื่อมต่อกับเขตทะเลและเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำ การเกิดของปากแม่น้ำจึงสะท้อนให้เห็นภาพของการไหลลงของน้ำอย่างค่อยเป็นค่อยไปในพื้นที่ราบชายฝั่ง (Coastal plain type estuary) หรือเกิดเป็นร่องทางเดินน้ำคล้ายรูปกรวย (Funnel-shape type estuary) ในบางพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีลักษณะของการโอบโค้งของแผ่นดินคล้ายเป็นแอ่งหรืออ่าว (Bar-built type estuary) ซึ่งมักพบลักษณะการแห้งขอดลงของน้ำในช่วงหน้าน้ำแล้ง นอกจากนี้ ยังพบว่าปากแม่น้ำหลายแห่งได้รับอิทธิพลจากตะกอนที่นำพามากับแม่น้ำสายต่าง ๆ ซึ่งเกิดการตกสะสมเป็นดอนเลนในบริเวณกว้างและเห็นได้ชัดเวลาที่น้ำลง (Delta-front

type estuary) ปากแม่น้ำลักษณะเช่นนี้มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางในการขึ้นลงของน้ำทะเลในพื้นที่ได้

ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน ปากแม่น้ำบางตะบูน เป็นรูปแบบของปากแม่น้ำที่มีการตกทับถมของตะกอนเลนขึ้นเป็นเนินและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นทางของน้ำที่ไหลลงหรือการเคลื่อนตัวในพื้นที่หลายรูปแบบ (**ภาพที่ 4.2**) จะเป็นลักษณะของปากแม่น้ำที่มีดินดอนเกิดขึ้น (Delta-front type estuary) และเป็นลักษณะที่พบมากในหลายพื้นที่ของไทยทั้งในเขตอ่าวไทยตอนใน (อาทิ ปากแม่น้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสาคร) อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (ปากแม่น้ำเวฬุ จังหวัดจันทบุรี) และอ่าวไทยฝั่งตะวันตก (ปากแม่น้ำบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี) ในพื้นที่ปากแม่น้ำดังกล่าวถึงแม้จะมีลักษณะทางโครงสร้างภายนอกที่ปรากฏคล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตามพบว่าใช้ลักษณะเพียงรูปแบบดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะอธิบายลักษณะการตอบสนองทางนิเวศวิทยา หรือสถานการณ์และปัญหาในการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำและทรัพยากรที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่าง ๆ ได้



ภาพที่ 4.2 แบบจำลองสามมิติแสดงลักษณะของปากแม่น้ำที่มีการตกทับถมของตะกอนเลนขึ้นเป็นเนินและมีเส้นทางของน้ำเคลื่อนตัวในพื้นที่หลายรูปแบบ (ใช้ฐานข้อมูลทางสัณฐานวิทยาและความลึกของน้ำที่ตรวจวัดทุกระยะประมาณ 500 เมตร ในพื้นที่ปากแม่น้ำอ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี ในช่วงน้ำขึ้นสูงสุด; (ก) และในช่วงน้ำลงต่ำสุด; (ข) ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554) *(ที่มา: จารุมาศและคณะ, 2556)*

เมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดด้านคุณภาพน้ำบริเวณปากแม่น้ำ เราพบว่าปัจจัยคุณภาพน้ำสำคัญที่เป็นดัชนีชี้วัดที่ชัดเจนหนึ่ง คือ ค่าของความเค็มของน้ำ ซึ่งเป็นผลจากการผสมผสานของมวลน้ำจืดที่ไหลลงมาและน้ำทะเลที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและรูปแบบของกระแสน้ำที่ครอบคลุมในพื้นที่ ค่าความเค็มของน้ำสะท้อนให้เห็นสัดส่วนของการผสมผสานทาง

กายภาพ แต่เชื่อมโยงไปสู่กระบวนการชีวเคมีทั้งที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบนิเวศภาพรวม จากความสำคัญดังกล่าว การจัดแบ่งพื้นที่ปากแม่น้ำออกเป็นเขตย่อยๆ ที่มีความแตกต่างในเรื่องของ “**ความเค็มของน้ำ**” จึงนับว่าเป็นแนวคิดที่น่าสนใจและเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการแหล่งทรัพยากรในพื้นที่ปากแม่น้ำได้อย่างเหมาะสม ตัวอย่างหนึ่งของการจัดแบ่งเขตปากแม่น้ำตามลักษณะการแพร่กระจายของความเค็มมาจากรายงานการประมวลผลการศึกษาของ Kaiser *et al.* (2005) ซึ่งจำแนกเขตปากแม่น้ำในภาพรวมออกเป็น 4 เขตย่อย ดังนี้

เขตที่ 1 ปากแม่น้ำส่วนต้น (Head)

เป็นพื้นที่ปากแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลจากความเร็วและปริมาณการไหลของตัวแม่น้ำโดยตรง โดยทั่วไปน้ำมีค่าความเค็มน้อยกว่า 5 psu และมักพบตะกอนขนาดใหญ่ได้

เขตที่ 2 ปากแม่น้ำตอนบน (Upper reaches)

เป็นพื้นที่ปากแม่น้ำที่เกิดการผสมผสานของมวลน้ำจืดและน้ำทะเลอย่างชัดเจน ค่าความเค็มในพื้นที่มีการแปรผันตามเวลาสูง (อาทิ ในช่วง 5-18) มีอิทธิพลของกระแสน้ำจากเขตทะเลไม่ชัดเจนเท่าใดและเป็นพื้นที่ที่พบการตกตะกอนทับถมของโคลนเลนละเอียดได้มาก

เขตที่ 3 ปากแม่น้ำตอนกลาง (Middle reaches)

เป็นพื้นที่ปากแม่น้ำส่วนที่ถัดออกมาซึ่งได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำขึ้นลงในเขตทะเลมากขึ้น ค่าความเค็มของน้ำสูงขึ้นอยู่ในช่วง 18-25 และมักพบตะกอนโคลนเลนผสมผสานกับตะกอนทรายได้

เขตที่ 4 ปากแม่น้ำตอนนอกสุด (Mouth)

เป็นบริเวณขอบเขตของปากแม่น้ำตอนนอกสุด ที่ค่าความเค็มของน้ำสูงขึ้นมาเท่ากับเขตทะเลตอนนอก ในพื้นที่นี้อาจพบตะกอนทรายในบริเวณพื้นท้องน้ำมากขึ้น และอาจพบเศษเปลือกหอยหรือกรวดขนาดใหญ่ขึ้นได้

อนึ่ง การจำแนกรูปแบบของปากแม่น้ำในบางกรณีมีอาจพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำขึ้นน้ำลงในพื้นที่ ซึ่งเกิดตามอิทธิพลจากลักษณะพิสัยน้ำที่ขึ้นลงในรอบวัน (Tidal range; m) โดยมีการจำแนกเป็นพื้นที่ที่มีระดับน้ำขึ้นลงน้อย (Micro tidal; <2 m) มีระดับน้ำขึ้นลงปานกลาง (Meso tidal; 2-4 m) มีระดับน้ำขึ้นลงสูง (Macro tidal; 4-6 m) และมีระดับน้ำขึ้นลงสูงมาก (Hyper tidal; > 6 m) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระดับของน้ำในรอบวันดังกล่าวมีบทบาทมากต่อการเคลื่อนย้ายมวลน้ำเข้าหรือออกจากระบบปากแม่น้ำ และส่งผลให้เกิดกระบวนการทางชีวภาพที่แตกต่างกันไป สำหรับในประเทศไทยเรานั้นลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำที่ขึ้นลงน้อยกว่า 2 เมตร ซึ่งสะท้อนสภาพการเปลี่ยนถ่ายมวลน้ำที่ต่ำและมีโอกาสการสะสมของมลภาวะทางอินทรีย์สารหรือสารพิษประเภทต่าง ๆ ได้มาก

ในพื้นที่ปากแม่น้ำขนาดเล็ก การจัดทำโครงสร้างเส้นทางเดินของลำน้ำที่แคบลงจะส่งผลให้เกิดการบีบตัวของมวลน้ำ และสะท้อนให้เห็นอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่สูงขึ้นได้ ยกตัวอย่างเช่น ในประเทศอังกฤษ บริเวณ London Bridge ที่ระดับน้ำขึ้นลงมีค่าผันแปรมากกว่า 10 เมตร ทั้งนี้ เนื่องจากการปรับพื้นที่ของแม่น้ำ Thames ให้แคบลงอย่างมาก

การจำแนกปากแม่น้ำตามลักษณะการผสมผสานของน้ำ

ในการจำแนกรูปแบบของปากแม่น้ำ ยังมีแนวทางการจำแนกที่ใช้ทั้งลักษณะของการกระจายในค่าความเค็มของน้ำ ผนวกกับลักษณะในการผสมผสานของน้ำ (Dodds, 2002) ซึ่งจำแนกประเภทของพื้นที่ปากแม่น้ำออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) ปากแม่น้ำแบบแยกชั้นความเค็ม (Stratified / Salt-wedge estuary) 2) ปากแม่น้ำแบบผสมผสานบางส่วน (Partial-mixed estuary) 3) ปากแม่น้ำที่มีการผสมผสานกันอย่างทั่วถึง (Well-mixed estuary) และ 4) ปากแม่น้ำที่น้ำเค็มผลักดันเข้ามา (Negative circulation estuary) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ปากแม่น้ำแบบแยกชั้นความเค็ม (Stratified / Salt-wedge estuary)

ปากแม่น้ำลักษณะนี้เกิดจากการที่แม่น้ำหรือแหล่งน้ำจืดที่ไหลลงมามีการแพร่กระจายมวลน้ำจืดแผ่ออกปกคลุมทั่วผิวน้ำทะเลเป็นชั้นที่หนามาก ทำให้แทบไม่พบลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงในบริเวณนั้นเลย แต่ในชั้นน้ำด้านล่างที่มีมวลน้ำทะเลอยู่จะมีการไหลของน้ำทะเลแทรกขึ้นไปตามแนวร่องน้ำชิดพื้นท้องน้ำ คล้ายเป็นลิ่มน้ำเค็ม (Salt wedge) แทงขึ้นไป ทำให้เมื่อเราพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มตามแนวดิ่ง จะพบความแตกต่างอย่างชัดเจน โดยมวลน้ำด้านบนมีค่าความเค็มต่ำมาก ขณะที่มวลน้ำด้านล่างมีความเค็มที่สูง อย่างไรก็ตาม เราอาจพบการหมุนวนของน้ำที่มีความเค็มสูงขึ้นมาผสมผสานในช่วงรอยต่อได้บ้างเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากมีแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นของมวลน้ำที่มีความหนาแน่นต่างกันนั่นเอง

การเกิดตำแหน่งของการแทรกของชั้นน้ำเค็มขึ้นมาในส่วนของมวลน้ำจืดดังกล่าวนี้ อาจอยู่สูงเข้าไปในเขตแผ่นดินในกรณีที่มวลน้ำจืดมีปริมาณลดน้อยลง แต่หากมวลน้ำที่ไหลลงมีปริมาณมากการแทรกสอดของน้ำเค็มจากด้านล่างก็จะน้อยลงไปตามลำดับ อย่างไรก็ตามในพื้นที่แหล่งน้ำที่มีการพัดพาลงมาของตะกอนในปริมาณสูง และตะกอนเกิดการตกทับถมในลักษณะของดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำซึ่งส่งผลให้มวลน้ำจืดชะลอตัวลงและ/หรือไหลแยกออกเป็นช่องทางย่อยตามแนวร่องน้ำออกเป็นหลายช่องทางไป การหมุนวนของน้ำก็จะเกิดขึ้นและเกิดรูปแบบการกระจายของมวลน้ำจืดลงมาโดยมีทิศทางไม่แน่นอน ยกตัวอย่างเช่นในพื้นที่ที่ปากแม่น้ำ Nile และปากแม่น้ำ Mississippi อิทธิพลของการผสมผสานจากการขึ้นลงของน้ำทะเลก็จะมากขึ้นและจะไม่พบลักษณะของ Salt-Wedge ในพื้นที่ปากแม่น้ำทั้งสองนี้

ปากแม่น้ำแบบผสมผสานบางส่วน (Partially-mixed estuary)

ปากแม่น้ำลักษณะนี้เกิดในพื้นที่ที่มวลน้ำจากแม่น้ำไหลลงสู่เขตทะเลที่มีอิทธิพลการขึ้นลงของน้ำอยู่ในระดับปานกลาง อิทธิพลดังกล่าวทำให้น้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำแสดงลักษณะการยกตัวขึ้นลงตามรูปแบบและระยะเวลาที่น้ำมีการขึ้นและลงในบริเวณนั้น จากอิทธิพลดังกล่าวเราจะพบว่าแรงเสียดทานที่มาจากความแตกต่างของความหนาแน่นของมวลสารไม่ได้เกิดเฉพาะในช่วงชั้นน้ำที่เป็นรอยต่อระหว่างมวลน้ำจืดและมวลน้ำเค็มที่ผลักขึ้นมาทางด้านล่างเหมือนใน Salt-Wedge estuary แต่ยังเกิดขึ้นอย่างมากบริเวณผิวหน้าดินซึ่งถูกแรงกระทำจากมวลน้ำทะเลที่เคลื่อนตัวไปมาอย่างชัดเจน ทำให้พื้นท้องน้ำมีการฟุ้งกระจายและขุ่นขึ้นมาอย่างเห็นได้ชัด

พื้นที่ปากแม่น้ำในลักษณะเช่นนี้จึงมีการผสมผสานของน้ำในแนวดิ่งมากขึ้น และจากแรงดันจากการเสียดทานดังกล่าวเส้นกราฟที่แสดงชั้นของน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าความเค็ม (Halocline) จึงไม่ชัดเจนเมื่อเทียบกับปากแม่น้ำในแบบแรก มวลของน้ำจืดและน้ำทะเลมีการผสมผสานกันพอสมควร เมื่อพิจารณาบริเวณปากแม่น้ำตอนนอกสุดที่น้ำไหลออกไปนั้นพบว่าผลรวมของมวลน้ำที่ไหลออกไปส่วนหนึ่งมาจากมวลของน้ำจืด และอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญก็คือมวลของน้ำทะเลที่เข้ามาผสมผสานและถูกนำพาออกไปในช่วงที่น้ำลงนั่นเอง

ในพื้นที่ลักษณะนี้มีกระแสน้ำที่เกิดขึ้นจากการผสมผสานของมวลน้ำทั้งสอง ซึ่งเป็นผลสุทธิจากการเคลื่อนตัวของมวลน้ำจืดที่ไหลลงมาและมวลของน้ำทะเลที่เกิดจากแรงดันของน้ำขึ้นน้ำลง กระแสน้ำนี้มีทิศทางการไหลและความแรงที่แตกต่างกันไปตามพื้นที่ย่อยตำแหน่งต่าง ๆ ในปากแม่น้ำ ซึ่งเราอาจเรียกว่าเป็น *กระแสน้ำปรากฏ* (Residual Current) ซึ่งนับเป็นปัจจัยที่มีบทบาทต่อการเคลื่อนย้ายมวลสาร โดยเฉพาะแร่ธาตุอาหารและ/หรือมลพิษต่าง ๆ และจำเป็นต้องประยุกต์ใช้ข้อมูล*กระแสน้ำปรากฏ*นี้ในการติดตามและประเมินสถานการณ์ของคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ รวมทั้งการติดตามลักษณะการเคลื่อนที่หรือประเมินโอกาสในการรวมกลุ่มของประชากรแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ที่กระจายอยู่ในมวลน้ำอีกด้วย

ปากแม่น้ำที่มีการผสมผสานกันอย่างทั่วถึง (Well-mixed estuary)

ปากแม่น้ำลักษณะนี้มักมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นที่ที่กว้างและค่อนข้างตื้น มวลน้ำที่ผสมผสานกันดีนั้นเกิดจากอิทธิพลการขึ้นลงของน้ำทะเลที่ชัดเจน และยังมีอิทธิพลของกระแสน้ำที่เกิดจากคลื่นลมในพื้นที่ ทั้งนี้ Well-mixed estuary เป็นลักษณะของปากแม่น้ำส่วนใหญ่ที่พบในประเทศไทยของเราซึ่งมีแนวที่น้ำไหลลงทะเลเป็นพื้นที่ราบลุ่มต่ำ (อาทิ ปากแม่น้ำบางตะบูนและปากแม่น้ำเวฬุ) ลักษณะในการแบ่งชั้นของน้ำตามการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มน้ำ (Halocline) ในพื้นที่ปากแม่น้ำลักษณะนี้จึงแทบไม่พบเลย โดยจะพบว่าค่าความเค็มของน้ำจากน้ำผิวหน้าลงไปตามความลึกมักมีระดับที่เท่า ๆ กันลงไปตลอดเนื่องจากการผสมผสานของน้ำที่ดีมาก อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ปากแม่น้ำประเภทนี้ยังสามารถพบความแตกต่างของระดับความเค็มตามแนวพื้นที่หรือตามแนวราบได้ ขึ้นอยู่กับว่าตำแหน่งที่ศึกษานั้นอยู่ใกล้หรือไกลจากการรับน้ำจืดจากแผ่นดินมากน้อยเพียงใด และในพื้นที่ปากแม่น้ำเช่นนี้มวลน้ำที่ไหลออกจากปากแม่น้ำในภาพรวมจะมีค่าเท่ากับปริมาณการไหลลงของน้ำจืดทั้งหมดที่มาจากแม่น้ำนั่นเอง

อนึ่ง ในปากแม่น้ำลักษณะเช่นนี้ การไหลลงของน้ำมักมีทิศทางเอียงไปด้านใดด้านหนึ่งจากอิทธิพลของแรงผลักดันจากกระแสน้ำหลักของไหล่ทวีปและสภาวะทิศทางของมรสุมที่มีในพื้นที่ ลักษณะดังกล่าวก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของ *กระแสน้ำปรากฏ* ไปในแนวราบหรือในลักษณะของการเคลื่อนที่เป็นวงกลมในบริเวณต่าง ๆ ของพื้นที่ปากแม่น้ำ ลักษณะน้ำที่เคลื่อนตัวเป็นวงเช่นนี้มักเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวกันของตะกอนเบารวมทั้งเซลล์ของแพลงก์ตอนที่เจริญขึ้นมาหรือเริ่มตายลงในพื้นที่ (**ภาพที่ 4.3**) โดยสามารถสังเกตเห็นสีที่เด่นชัดขึ้นในบางบริเวณของปากแม่น้ำได้

ภาพที่ 4.3 ลักษณะการรวมตัวกันของตะกอนสารอินทรีย์รวมทั้งเซลล์ของแพลงก์ตอนที่เจริญขึ้นมาหรือที่เริ่มตายลงแล้ว เกิดเป็นแนวยาวตามอิทธิพลของกระแสน้ำซึ่งมักสังเกตเห็นได้ในบริเวณตอนกลางของปากแม่น้ำออกไป

ปากแม่น้ำที่น้ำเค็มผลักดันเข้ามา (Negative circulation estuary)

เป็นลักษณะของปากแม่น้ำเฉพาะแห่งที่พบการระเหยของน้ำจืดในพื้นที่ตอนในของของปากแม่น้ำในระดับที่สูงมาก (ยกตัวอย่างเช่น ในพื้นที่อ่าว Arabian) ลักษณะการระเหยดังกล่าวทำให้น้ำที่ไหลลงมาจากตอนในมีค่าความเค็มที่สูงมากกว่าในเขตทะเลและไหลออกปากแม่น้ำ และพบว่าน้ำในบริเวณใกล้ผิวหน้าดินซึ่งเป็นมวลน้ำทะเลที่ไหลขึ้นไปนั้นจะมีระดับของความเค็มค่อนข้างสม่ำเสมอ (Isohaline) นับจากเขตทะเลขึ้นไปตามแนวแม่น้ำด้านในซึ่งเป็นระยะทางที่ไกลพอสมควร

การจำแนกปากแม่น้ำตามลักษณะการไหลออกของน้ำ

ในกรณีที่พิจารณาพื้นที่ปากแม่น้ำเพื่อการวิเคราะห์เชิงภาระมลพิษ (Pollution loads) หรือโอกาสการเกิดปัญหามลภาวะจากสารที่ถูกพัดพาจากแผ่นดินเข้าสู่ระบบ เราสามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลความรู้จากการประเมินอัตราการไหลเข้าออกของน้ำมาช่วยในการพิจารณาเปรียบเทียบกัน ทั้งนี้ ใช้แนวคิดที่ว่าพื้นที่ปากแม่น้ำเสมือนมีท่อน้ำทิ้งไหลเข้ามาและมีการถูกนำพาออกไปด้วยอิทธิพลของการผสมผสานและการเคลื่อนตัวออกด้านนอกด้วยระบบการขึ้นลงของน้ำทะเล ซึ่งสัมพันธ์กับระยะเวลาที่มวลน้ำไหลเวียนอยู่ภายในเขตปากแม่น้ำนั้นๆ ในการนี้พบว่ามลพิษที่ไหลลงสู่ปากแม่น้ำเมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลจะมีค่าประมาณเท่ากับปริมาณมลพิษที่ไหลออกนอกปากอ่าวออกไป ซึ่งเราสามารถประมาณค่าดังกล่าวด้วยวิธีการคำนวณหาอัตราการไหลออกของน้ำ (Flushing rate)

เวลาที่ใช้ในการไหลออก (Flushing time; T_F) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่มวลน้ำในปากแม่น้ำใช้ในการไหลออกจากปากแม่น้ำจนหมดนั้น สามารถคำนวณจากลักษณะการผสมผสานกับน้ำเค็ม ดังสมการ;

$$T_F = Q/R$$

โดยที่ Q หมายถึง ปริมาตรรวมของน้ำจากแม่น้ำที่มีในพื้นที่ปากแม่น้ำ (River water volume) และ R หมายถึง อัตราการไหลลงของน้ำท่า (River inflow rate) ทั้งนี้ ในความเป็นจริงเนื่องจากมวลน้ำจืดในพื้นที่ปากแม่น้ำมีการผสมผสานกับน้ำทะเลและเกิดระดับความเค็มที่ลดหลั่นกันไปในระดับต่างๆ การคำนวณปริมาตรของน้ำจืดจากแม่น้ำ ณ ตำแหน่งต่างๆ จึงต้องนำค่าสัดส่วน (Fraction; f) ของน้ำจืดที่พบในแต่ละตำแหน่งของปากแม่น้ำนั้นมาประกอบ ดังสมการ;

$$f = (S_S - S)/S$$

โดยที่ S_S เป็นระดับความเค็มของน้ำทะเลตอนนอกสุด ขณะที่ S เป็นค่าความเค็มเฉลี่ยในรอบคาบน้ำของตำแหน่งที่พิจารณานั้นๆ จากข้อมูลประกอบดังกล่าว เราสามารถประเมินค่า Q หรือปริมาตรรวมของน้ำจากแม่น้ำที่มีในพื้นที่ปากแม่น้ำ ได้จากสมการ;

$$Q = \int f \, dv$$

ซึ่งจะสามารถคำนวณหาระยะเวลาที่มวลน้ำจืดใช้ในการไหลออก (Flushing time; T_F) ได้ในลำดับต่อไป

หากผลการศึกษาพบว่าเวลาที่น้ำจืดใช้ในการไหลออกจากปากแม่น้ำ (T_F) มีระยะที่ยาวนานหรือพบว่าในพื้นที่ปากแม่น้ำมีอัตราการไหลสุทธิ (Residual flow) ที่ต่ำ มวลของน้ำจืดก็จะคงตัวอยู่ในพื้นที่ปากแม่น้ำได้นาน ลักษณะดังกล่าวสะท้อนภาพของปากแม่น้ำที่มีโอกาสเกิดปัญหาในการสะสมมลพิษได้สูง ในทางตรงกันข้ามหากพื้นที่ปากแม่น้ำมีระยะเวลา T_F ที่สั้น ก็จะ

สะท้อนให้เห็นประสิทธิภาพของพื้นที่ในการพัดพาน้ำออกอย่างมีประสิทธิภาพโดยอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเราพบว่าลักษณะของปากแม่น้ำที่มีการผสมผสานของน้ำบางส่วน (Partially-mixed estuary) เป็นลักษณะที่มีศักยภาพในการบำบัดมลภาวะสูงที่สุด (Dobson and Frid, 1998) ซึ่งจะมีปริมาตรน้ำไหลที่ออกรวม มาจากผลรวมของปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงผสมกับมวลของน้ำทะเลปริมาณมากที่ไหลเข้ามาในอ่าวนั่นเอง

4.1.2) สถานการณ์ปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปากแม่น้ำ

พื้นที่ปากแม่น้ำนับเป็นพื้นที่ที่ได้รับการใช้ประโยชน์จากมนุษย์มาหลายพันปีแล้ว ซึ่งแรกเริ่มในสมัยก่อนมักเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรทางทะเล อาทิ การจับหอยหรือปลามาใช้บริโภค หลังจากนั้นการใช้ในพื้นที่เริ่มมีการขยายออกไปเพื่อประโยชน์ทางการคมนาคมขนส่ง มีเรือขนส่งสินค้าทั้งในและระหว่างประเทศเข้ามาใช้พื้นที่เขตตื้นใกล้ฝั่งเพื่อการจอดกำบังลมหรือขนถ่ายสินค้าทั้งทางเกษตรและอุตสาหกรรม ด้วยเหตุดังกล่าวพื้นที่ปากแม่น้ำจึงมีการขยายตัวของการพัฒนาโดยเฉพาะการเกิดสังคมเมืองและการตั้งถิ่นฐานอย่างหนาแน่นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ Dobson and Frid (1998) ระบุว่าในเมืองหลวงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก 10 แห่งนั้น อย่างน้อย 7 แห่งตั้งอยู่ในพื้นที่ปากแม่น้ำ ซึ่งหากลองพิจารณาในประเทศอังกฤษประเทศเดียวก็จะพบได้ว่า 1 ใน 3 ของประชากรทั้งหมดของประเทศอาศัยอยู่ในเขตเมืองในพื้นที่ที่เป็นบริเวณปากแม่น้ำด้วยกันทั้งสิ้น

ปัญหาการเกิดตะกอนตกสะสมในบริเวณปากแม่น้ำมากขึ้น ซึ่งเกิดจากการที่พื้นที่ตื้นใกล้เขตชายฝั่งมักถูกปรับเปลี่ยนเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การก่อสร้างที่อยู่อาศัยและโรงงานอุตสาหกรรม (**ภาพที่ 4.4**) ซึ่งนับเป็นปัญหาหลักที่พบในระยะปัจจุบัน ทั้งนี้ เนื่องจากบริเวณปากแม่น้ำเป็นพื้นที่ที่สะดวกต่อการขนถ่ายสินค้าหรือวัตถุดิบเพื่อการผลิตในระบบอุตสาหกรรมต่าง ๆ

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งเหล่านี้หากพิจารณาในทางนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อมจะเห็นได้ว่าทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบการผลิตทรัพยากรและเกิดปัญหาการสะสมของมลภาวะต่าง ๆ ในพื้นที่ปากแม่น้ำเป็นอย่างมาก เนื่องจากพื้นที่ที่ถูกทับถมไปนั้นเดิมมักเป็นดอนเลนตื้นในเขตน้ำขึ้นน้ำลง (Intertidal flat) เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำวัยอ่อน เป็นพื้นที่ที่ให้ผลผลิตสูงและมีกระบวนการทางชีวเคมีที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนและ/หรือการแลกเปลี่ยนของสารได้ดีเมื่อเทียบกับพื้นที่ทะเลเขตอื่นทั่วไป การขยายพื้นที่เพื่อการใช้ประโยชน์โดยเฉพาะในทางอุตสาหกรรมยังมีแนวโน้มที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำโดยรอบ และพบปัญหาจากผลกระทบในการขุดลอกร่องน้ำเพื่อการเดินทางหรือการขนส่งด้วยเรือขนาดใหญ่ ซึ่งนับแต่จะทำให้พื้นที่ปากแม่น้ำเกิดการเสื่อมโทรมลง หากไม่มีการควบคุมดูแลอย่างจริงจัง

ในประเทศไทย การอยู่อาศัยในพื้นที่ปากแม่น้ำไม่ว่าจะด้วยลักษณะของการเกิดสังคมเพื่อการเกษตรหรืออุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่จะพบการทิ้งของเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง ของเสียส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ ซึ่งหากเป็นแหล่งชุมชนหนาแน่นจะพบการทิ้งขยะสิ่งปฏิกูล

ปนมากับน้ำเสียจากการซักล้างและน้ำทิ้งต่าง ๆ ลงมาในลักษณะของการไหลลงรวมกันลงมากับทางระบายน้ำทิ้งหรือการไหลซึมจากบ้านเรือนทั่วไป

ภาพที่ 4.4 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างหนาแน่นโดยรอบพื้นที่ปากแม่น้ำเพื่อเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ ยังมีการใช้ที่ดินเพื่อทำกิจกรรมทางการเกษตรและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

ในพื้นที่ปากแม่น้ำจึงมักพบผลกระทบจากการเพิ่มของอินทรีย์สารได้ชัดเจน มีการลดต่ำลงของออกซิเจนละลายน้ำที่เป็นผลจากกระบวนการย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในน้ำ ของเสียและสิ่งปฏิกูลที่เป็นอินทรีย์สารยังเกิดการตกตะกอนลงหรือทับถมในพื้นที่ที่น้ำมีความเร็วของน้ำลดลง ทำให้บริเวณผิวหน้าดินเต็มไปด้วยสารอินทรีย์ที่มีอัตราการสะสมตัวที่ค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในบริเวณอ่าวไทยตอนใน (พิชาศิษฐ์และคณะ, 2557) ตะกอนของสารอินทรีย์ดังกล่าวยังทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายในบริเวณหน้าดินมากขึ้น ทำให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำบริเวณพื้นท้องน้ำและในส่วนของเนื้อดินลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว พร้อม ๆ กับการเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจน (กระบวนการซัลเฟทรีดักชัน) ในดินชั้นลึกลงไปซึ่งทำให้เกิดการสะสมของมลพิษในรูปของซัลไฟด์เพิ่มมากขึ้น ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนทางฝั่งตะวันตกเราสามารถพบการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ผุดขึ้นมาจากดิน โดยในเนื้อดินชั้นบนที่ระดับความลึกเพียง 1 เซนติเมตร สามารถพบปริมาณซัลไฟด์รวมในดิน (ในรูป Acid volatile sulfides; $H_2S+Fe_2S_3+FeS_2$) ได้สูงมากถึงระดับประมาณ 1.2 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของดิน (จารุมาศและคณะ, 2554)

ในพื้นที่ปากแม่น้ำของไทย ปัญหาการสะสมของสารซัลไฟด์ในดินอาจสามารถคาดคะเนได้จากพื้นที่ที่พื้นท้องน้ำมีลักษณะเป็นโคลนละเอียด ทั้งนี้เนื่องจากพื้นดินโคลนละเอียดสะท้อนสภาวะของการมีสารอินทรีย์สูง (จารุมาศ, 2548) และมักเป็นพื้นที่ที่มวลน้ำเคลื่อนตัวช้ากว่าในพื้นเขตย่อยอื่น ๆ ของปากแม่น้ำ พื้นที่ดอนเลนในปากแม่น้ำอ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรีที่มีการเลี้ยงหอยแครงอย่างหนาแน่น นับเป็นพื้นที่หนึ่งที่พบการสะสมของซัลไฟด์สูง และเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของน้ำที่มีออกซิเจนต่ำและมีสารอินทรีย์สูง ซึ่งไหลพาดผ่านลงมาจากพื้นที่คลองตอนบนในบางช่วงของรอบปี (จารุมาศและคณะ, 2556) ปัญหาการขาดเสถียรภาพในคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำของพื้นที่ปากแม่น้ำเช่นนี้ อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงหอยแครงหรือทรัพยากรประมงอื่น ๆ ในพื้นที่ได้

สำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนซึ่งได้รับน้ำเสียในอัตราความเข้มข้นที่สูง พบค่าบีโอดีในน้ำที่สูงมากกว่าปากแม่น้ำอื่นประมาณ 3-5 เท่า (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) ในมวลน้ำที่ไหลลงมาสามารถพบตะกอนเบาซึ่งเป็นลักษณะของซากอินทรีย์สารต่างๆ ลอยกระจายปนอยู่ในมวลน้ำ ตะกอนเหล่านี้จะเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียในน้ำซึ่งมีการใช้ออกซิเจนได้ตลอดเวลา ลักษณะของน้ำดังกล่าวทำให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำลงได้ถึง 0.5 mg/L ในช่วงฤดูน้ำหลาก ระดับที่ต่ำนี้จัดเป็นปัญหาต่อความเป็นอยู่ของสัตว์น้ำในพื้นที่ นอกจากนี้เนื่องจากน้ำที่ไหลลงมาจากแม่น้ำมีระดับของแร่ธาตุอาหารที่สูงมาก ในพื้นที่ปากแม่น้ำจึงพบปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีเกิดขึ้นได้บ่อยครั้ง ซึ่งแพลงก์ตอนที่เกิดขึ้นในปริมาณมากเมื่อเกิดการตายลงก็จะตกทับถมลงสู่พื้นท้องน้ำ จัดเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย และจะทำให้สภาพพื้นท้องน้ำขาดออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น เกิดปัญหาการสะสมของซัลไฟด์ ซึ่งในภาพรวมแล้วเกิดเป็นผลเสียต่อประชากรสิ่งมีชีวิตพื้นท้องน้ำโดยรวม ประชากรของสัตว์หน้าดินที่อาศัยในพื้นที่ดังกล่าวจึงจำเป็นต้องปรับตัวได้ดี ทั้งนี้ สัตว์หน้าดินที่ทนทานอยู่ได้มักเป็นกลุ่มของไส้เดือนทะเลที่มีขนาดเล็ก (ในครอบครัว Spionidae หรือ Capitellidae) ส่วนสัตว์หน้าดินในกลุ่มอื่นๆ อาทิ พวกหอยที่มีความทนทานน้อยกว่าก็มักจะตายลงไป (กาญจนาและจารุมาศ, 2558) เป็นปัญหาความเสื่อมโทรมที่เราจะเห็นได้ชัดขึ้นทุกวัน

ผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ต่อระบบนิเวศปากแม่น้ำ

ในพื้นที่ปากแม่น้ำของประเทศไทยเรามักพบปัญหาผลกระทบที่เกิดจากการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำอย่างไม่เหมาะสม (อาทิ มีการทิ้งขยะ น้ำเสีย และสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ลงน้ำ) และปัญหาความขัดแย้งหรือการแก่งแย่งกันหาประโยชน์จากทรัพยากรในพื้นที่ (อาทิ การทำประมงหอยหลอด ในบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง และการทำประมงหอยลายและหอยจอบ ในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี) โดยขาดการเอาใจใส่ถึงผลจากการเปลี่ยนแปลงในสภาวะแวดล้อมและทรัพยากร จนเกิดเป็นปัญหาความเสื่อมโทรมในพื้นที่และทรัพยากรซึ่งยากต่อการแก้ไข

ในเขตปากแม่น้ำประเทศอื่นๆ ก็เช่นเดียวกัน พบรายงานความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ การปรับเปลี่ยนพื้นที่ชายฝั่งและการทำลายป่าชายเลน และสถานการณ์การถดถอยของทรัพยากรทางน้ำซึ่งมีมาอย่างต่อเนื่อง (Clark, 1992; Goldberg, 1995; McIntyre, 1995;

Kennish, 1997, 2000) ผลกระทบที่เห็นเด่นชัดขึ้นในระยะหลัง คือ การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร (Nutrients) ที่มาจากพื้นที่ทำการเกษตร ปศุสัตว์ และครัวเรือนที่ขาดการบำบัด นอกจากนี้ ยังพบการทิ้งน้ำเสียที่มีตะกอนอินทรีย์สารสูงและมีการปนเปื้อนของสารประเภทโลหะหนักซึ่งมีความเป็นพิษโดยตรงต่อสัตว์น้ำ เกิดการสะสมหรือถ่ายทอดไปสู่ห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศทางน้ำ ซึ่งมีโอกาสก่อผลกระทบกลับมาสู่มนุษย์เราซึ่งเป็นผู้บริโภคได้ ในภาพรวมเราพบผลกระทบที่สำคัญด้านต่างๆ จากการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ปากแม่น้ำ ดังต่อไปนี้

4.1.2.1) ผลกระทบจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ทั่วไป

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปากแม่น้ำส่วนใหญ่เกิดจากการพัฒนาสภาพพื้นที่และปรับเปลี่ยนลักษณะของระบบนิเวศดั้งเดิมเพื่อการใช้ประโยชน์ในการขยายสังคมเมือง การจัดสร้างแหล่งที่อยู่อาศัย การสร้างโรงงานอุตสาหกรรม การใช้ประโยชน์ในพื้นที่เพื่อการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การเปลี่ยนแปลงพื้นที่เพื่อการท่องเที่ยวในเขตปากแม่น้ำและชายฝั่งทะเล ตลอดจนการจัดทำเส้นทางเดินเรือหรือขุดลอกพื้นที่เพื่อการคมนาคมขนส่งและการขยายอุตสาหกรรม (Boesch *et al*., 1994; Cheney *et al*., 2000; Adum, 2002) ลักษณะเหล่านี้สร้างผลกระทบต่อกระบวนการทางนิเวศวิทยาในบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งไม่ใช่แค่การเปลี่ยนสภาพโครงสร้างทางกายภาพ แต่รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงในลักษณะทางอุทกวิทยารวมทั้งรูปแบบและปริมาณการแพร่กระจายของแร่ธาตุและตะกอนแขวนลอยภายในระบบ

การศึกษาในประเทศอเมริกาพบว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใกล้เขตชายฝั่งโดยการถมและขยายพื้นที่ตั้งชุมชนบ้านเรือนที่อยู่อาศัยนั้น ทำให้ลักษณะของดอนเลนในพื้นที่ปากแม่น้ำค่อยๆ ลดลงจนเหลือแค่ประมาณ 50% ของขนาดพื้นที่เดิม นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับเปลี่ยนพื้นที่ชุ่มน้ำเขตชายฝั่งทำให้ทรัพยากรปลาในอ่าวลดลงถึง 50% (Kennish, 2001) สำหรับในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่เรามักพบการปรับเปลี่ยนพื้นที่ชายฝั่งเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้น พบว่าการทำลายป่าชายเลนซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเหลือพื้นที่ไม่ถึง 50% ของสัดส่วนเดิมที่เคยมีมา ทำให้ทรัพยากรสัตว์น้ำบางชนิดลดน้อยลงมากจนถึงหายไปเลย (Eisma, 1998) ทั้งนี้ พบว่าในประเทศฟิลิปปินส์ ประมาณ 50% ของป่าชายเลนที่ถูกทำลายไปนั้นเกิดเนื่องจากการใช้ประโยชน์ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์ทะเลในระบบบ่อที่เกิดขึ้นตามแนวชายฝั่งนั่นเอง (Hopkins *et al.,* 1995)

การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพของพื้นที่ในเขตปากแม่น้ำที่เห็นได้บ่อยในประเทศไทยเกิดในลักษณะการขยายพื้นที่อยู่อาศัยออกไปจนแทบชิดหรือติดกับขอบชายฝั่งทะเล มีการทำลายพื้นที่ป่าชายเลนเดิมเพื่อการก่อสร้างบ้านเรือน สถานที่ท่องเที่ยวหรือปรับเป็นพื้นที่เพื่อกิจกรรมอุตสาหกรรมต่าง ๆ ยังมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่เขตใกล้ทะเลเพื่อเป็นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะบ่อเลี้ยงกุ้งหรือเป็นการเลี้ยงแบบผสมผสานที่มีการเลี้ยงปลาหรือหอยเพิ่มตามความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ (**ภาพที่ 4.5**) ผลกระทบจากการใช้ที่ดินเขตชายฝั่งใกล้แนวปากแม่น้ำทำให้เกิดปัญหาการลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนธรรมชาติโดยเฉพาะในเขตอ่าวไทยตอนในที่เกิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง (อาทิ ในเขตจังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งแต่เดิมเมื่อประมาณ 30 ปีที่ผ่านมามีพื้นที่

ป่าชายเลนประมาณ 100,000 ไร่ แต่ในระยะปัจจุบันเหลือสภาพพื้นที่ป่าที่สมบูรณ์เพียงไม่เกิน 500 ไร่ (กรมป่าไม้, 2555) ซึ่งคิดเป็นแค่ประมาณ 0.5 % ของปริมาณเดิมที่มีเท่านั้น

ภาพที่ 4.5 ลักษณะการปรับเปลี่ยนพื้นที่ป่าชายเลนตามธรรมชาติ ในเขตชายฝั่งของอ่าวไทยตอนใน (ในเขตจังหวัดสมุทรสาคร) เพื่อการใช้ประโยชน์ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการทำนาเกลือ

รายงานการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพื้นที่ขอบฝั่งให้เรียบตรงนั้นทำให้มวลน้ำที่ไหลลงมาจากแม่น้ำมีความเร็วมากขึ้น และทำให้มลพิษและแร่ธาตุต่างๆ ไหลลงสู่ปากแม่น้ำได้เป็นอย่างดี (Adum, 2002) ขณะที่กิจกรรมของมนุษย์ อาทิ การจัดสร้างเขื่อนหรือฝายทดน้ำมีบทบาทต่อการลดลงในปริมาณของตะกอน (Aubrey, 1990; พิชาศิษฐ์และจารุมาศ, 2556) ซึ่งทำให้มีตะกอนอินทรีย์จากแผ่นดินลงสู่ทะเลได้น้อยลงไป ทั้งนี้ การใช้ประโยชน์ของน้ำต้นทุนโดยการจัดสร้างเขื่อนหรือฝายทดน้ำรวมทั้งการเปลี่ยนเส้นทางน้ำเพื่อการชลประทานในส่วนของแม่น้ำที่ไหลลงสู่ปากแม่น้ำนั้น นับเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของพื้นที่ลำน้ำที่มีบทบาทต่อคุณภาพน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำ โดยในเบื้องต้นฝายทดน้ำแต่ละแห่งล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อการชะลอมวลน้ำและการกั้นขวางเส้นทางน้ำ ซึ่งเป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของสัตว์น้ำ (รวมทั้งการเคลื่อนที่เพื่อประโยชน์ในการขยายพันธุ์และหาแหล่งที่เหมาะสมสำหรับการวางไข่และเลี้ยงตัวอ่อน) การจัดทำเขื่อนยังก่อให้เกิดปัญหาด้านปริมาณน้ำจืดไหลลงปากแม่น้ำมีน้อยลง ทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการเป็นแหล่งอาหารของทรัพยากรสัตว์น้ำในพื้นที่ปลายน้ำลดน้อยลงตามไปด้วย และยังทำให้ขาดแคลนแรงดันจากน้ำต้นทุนที่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดปัญหาการรุกล้ำของน้ำเค็มจากเขตทะเลเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

อนึ่ง เรายังพบปัญหาการรุกล้ำของน้ำทะเลได้ในพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีการขุดเจาะน้ำบาดาลหรือน้ำใต้ดินมาใช้ประโยชน์กันมาก (Littlejohn, 1977) นอกจากนี้ Kassas (1972) ยังได้ชี้ให้เห็นว่าการจัดสร้างเขื่อนรวมทั้งการใช้ประโยชน์ในมวลน้ำจืดที่มากเกินควร และการตัดเส้นทางของน้ำและตะกอนที่ควรถูกพัดพาลงสู่ปากแม่น้ำ ยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้กระแสน้ำจากเขตทะเลมีอิทธิพลมากยิ่งขึ้น ทำให้เกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง (อาทิ ในทางฝั่งตะวันออกของดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำไนล์ ซึ่งพบอัตราการกัดเซาะประมาณ 0.5 เซนติเมตรต่อปี) ซึ่งน่าจะเป็นปัญหาได้อย่างต่อเนื่องในอนาคตสำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำและเขตชายฝั่งของแต่ละประเทศไทยเรา ที่มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำในลักษณะที่คล้ายคลึงกันนี้

4.1.2.2) การปล่อยน้ำเสียที่มีสารปนเปื้อนลงสู่พื้นที่ปากแม่น้ำ

ผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มปริมาณสารที่ไม่ใช่สารพิษในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายเข้าสู่กระบวนการทางนิเวศวิทยาของพื้นที่ปากแม่น้ำนั้น นับเป็นการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างประชาคมสิ่งมีชีวิตหรือเร่งกระบวนการเมตาบอลิซึมของระบบนิเวศให้เกิดขึ้น และเป็นส่วนเติมเต็มในด้านความอุดมสมบูรณ์ของระบบ Day *et al*. (1989) ชี้ให้เห็นว่ากระบวนการ “ยูโทรฟิเคชัน” นับเป็นหนึ่งในผลกระทบดังกล่าว ซึ่งเป็นลักษณะของผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มปริมาณแร่ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในระบบปากแม่น้ำ ในขณะที่การเพิ่มของความร้อน อาทิ การปล่อยน้ำจากระบบหล่อเย็นของโรงงานอุตสาหกรรมหรือโรงไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ริมน้ำ นับเป็นการกระตุ้นเมตาโบลิซึมของสิ่งมีชีวิตที่มีในพื้นที่เนื่องจากการที่อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้นกว่าระดับปกติที่มีในธรรมชาติ

การทิ้งน้ำที่มีการปนเปื้อนของแร่ธาตุอาหารที่ต่อเนื่องจะทำให้แพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำเกิดการเพิ่มจำนวนมากเกินควร การศึกษาในพื้นที่ Chesapeake Bay (Heinle *et al*. 1980) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของไนเตรทและฟอสฟอรัส จากแม่น้ำ Patuxent ที่ไหลลงมาทำให้ในพื้นที่อ่าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้นมาก ในพื้นที่เขตทะเล Baltic ก็มีสาเหตุในทำนองเดียวกัน (Jansson and Wulff, 1977) และพบว่าออกซิเจนละลายน้ำบริเวณผิวหน้าดินมีการลดต่ำลง ซึ่งเป็นผลจากจากย่อยสลายของตะกอนอินทรีย์ที่เป็นกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่ตายลงนั่นเอง

Bayley *et al*. (1978) ทำการศึกษาในพื้นที่ปากแม่น้ำ Chowan ทางตอนเหนือของรัฐ Carolina ประเทศสหรัฐอเมริกา และรายงานปัญหาการเกิดยูโทรฟิเคชันจากผลกระทบของการไหลลงของน้ำจากพื้นที่ทำการเกษตรที่มีการใช้ปุ๋ยในพื้นที่อย่างมาก พื้นที่ปากแม่น้ำนี้ยังได้รับแร่ธาตุอาหารจากพื้นที่ชุ่มน้ำใกล้เคียงทำให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำตามมา ปัญหาการรับเอาแร่ธาตุอาหารจากพื้นที่ชุมชน ซึ่งบางครั้งพบการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชและยาฆ่าแมลงที่ใช้ในการเกษตร ผนวกกับ ปัญหาการทิ้งน้ำที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยปนเปื้อนอยู่สูงลงมาสู่พื้นที่ปากแม่น้ำ นับว่าเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบในทางลบต่อแหล่งพืชพรรณในเขตปากแม่น้ำ ซึ่งผลการติดตามการลดลงของพรรณพืชใต้น้ำในบริเวณอ่าว Chesapeake (Kemp *et al*., 1983) ได้แสดงให้เห็นว่าผลจากปัญหาโดยรวมโดยเฉพาะการลดปริมาณแสงที่ส่องผ่านลงน้ำจากการเพิ่มของแพลงก์ตอนพืชในน้ำและจากปริมาณตะกอน

แขวนลอยที่มากขึ้น รวมทั้งการเกิดสาหร่ายขนาดเล็กเจริญขึ้นมาคลุมผิวใบและลำต้นของพืชน้ำ ได้ทำให้มวลชีวภาพของพืชใต้น้ำลดปริมาณลงอย่างต่อเนื่อง โดยทั้งนี้เมื่อได้วิเคราะห์ผ่านโมเดลทางนิเวศวิทยาพบว่าปัจจัยด้านแร่ธาตุอาหารมีบทบาทที่ชัดเจนกว่าปริมาณตะกอนหรือสารพิษประเภทยาฆ่าหญ้าที่ปนเปื้อนลงมาในพื้นที่อ่าวนี้ ด้วยความรู้ดังกล่าว การอนุรักษ์แหล่งพรรณไม้น้ำในเขตปากแม่น้ำจึงจำเป็นต้องหาแนวทางควบคุมปริมาณแร่ธาตุอาหารและปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ถูกพัดพาลงสู่พื้นที่ปากแม่น้ำให้อยู่ในระดับที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศบริเวณพื้นท้องน้ำให้น้อยที่สุด

ภาพที่ 4.6 ตัวอย่างของแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่มีการปนเปื้อนลงสู่พื้นที่แม่น้ำและปากแม่น้ำท่าจีน ประกอบด้วยโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร (ภาพบนซ้ายบน) น้ำทิ้งจากกิจกรรมการทำนาข้าว (ภาพซ้ายล่าง) และน้ำทิ้งจากโรงแปรรูปสัตว์น้ำ (ภาพขวา)

สำหรับในด้านสารอินทรีย์ที่มากเกินควรที่ถูกทิ้งลงในเขตปากแม่น้ำนั้น มักมีแหล่งที่มาจากการปล่อยน้ำจากกิจกรรมการทำนาข้าวและโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งรวมทั้งโรงงานที่ผลิตอาหารทะเลกระป๋องในพื้นที่ปากแม่น้ำ (**ภาพที่ 4.6**) ในพื้นที่เขตอ่าวไทยตอนในซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของการรับซื้อสินค้าสัตว์น้ำ การแปรรูปในอุตสาหกรรมการทำปลากระป๋อง และการทำปลาป่น พบการทิ้งน้ำจากการต้มสัตว์น้ำซึ่งมีการ

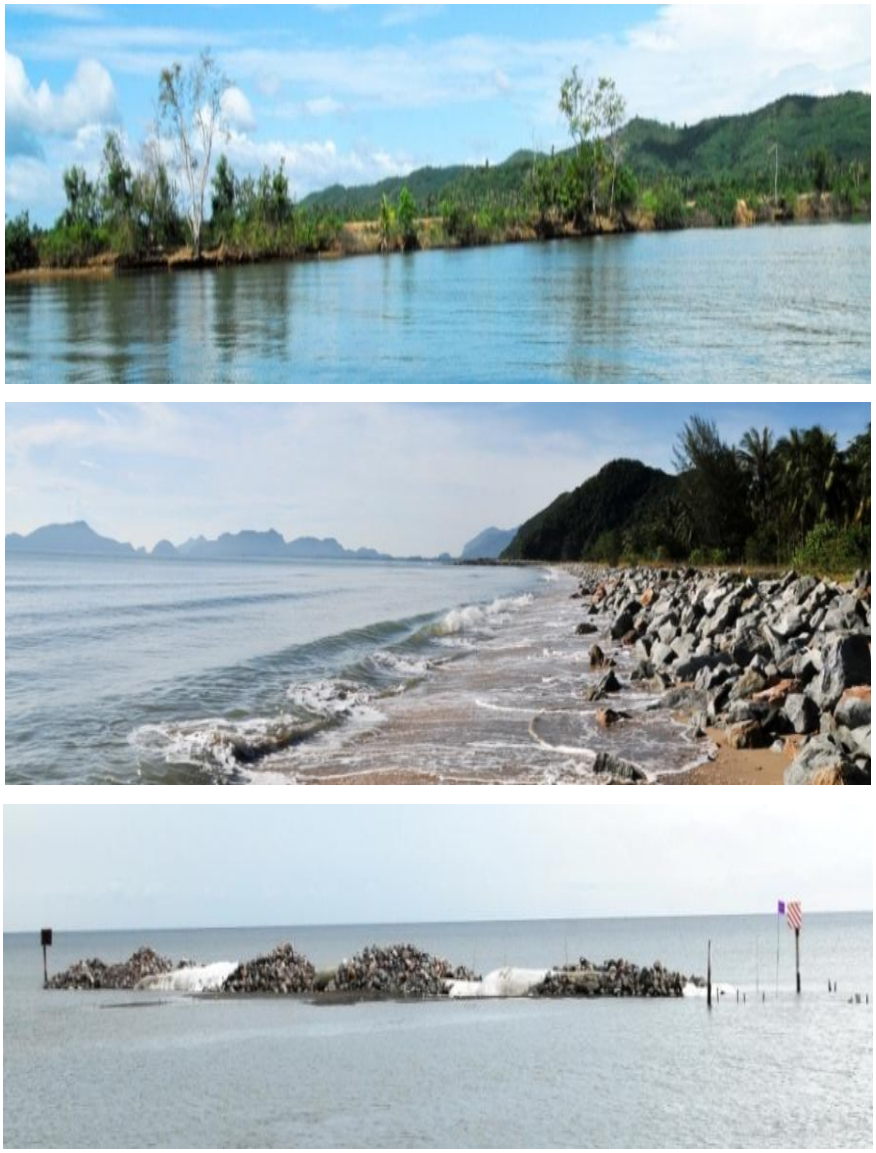
ปนเปื้อนของสารอินทรีย์สูงมากลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง น้ำเสียเหล่านี้จะเข้าสู่กระบวนการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่มีในระบบนิเวศทางน้ำและทำให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำลงได้

การเปลี่ยนแปลงในมวลน้ำดังกล่าวทำให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการทางเมตาโบลิซึมของสิ่งมีชีวิตมากมาย รวมทั้งกระทบต่อโครงสร้างประชาคมของสิ่งมีชีวิตทางน้ำที่มีทั้งนี้ เราพบการลดลงในความชุกชุมของสัตว์พื้นท้องน้ำ (Macrobenthos) โดยเฉพาะกลุ่มหอยสองฝา ขณะที่พบการเพิ่มปริมาณของไส้เดือนทะเลขนาดเล็ก (Spionid worms) (จารุมาศและคณะ, 2554) นอกจากนี้ สารอนินทรีย์ที่เป็นผลจากการย่อยสลายของอินทรีย์สารที่มีมากในมวลน้ำ จะไปมีบทบาทในการกระตุ้นการเจริญของประชากรแพลงก์ตอนพืช และทำให้เกิดปัญหาที่คล้ายคลึงกับการเพิ่มของแร่ธาตุอาหารที่เข้ามาสู่แหล่งน้ำได้เช่นเดียวกัน

สารอินทรีย์ในแหล่งปากแม่น้ำยังมีที่มาจากการเพาะเลี้ยงปลาในกระชัง ยกตัวอย่างในบริเวณเขตปากแม่น้ำและใกล้ชายฝั่งของประเทศญี่ปุ่น Tsutsumi and Montani (1993) พบว่าการเลี้ยงปลา (Yellow tail tuna) ส่งผลให้เกิดการให้ตกทับถมของเศษอาหารที่เหลือรวมทั้งมูลจากการขับถ่ายของปลาที่เลี้ยง ทำให้ดินพื้นท้องน้ำเกิดการสะสมของสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง ผลกระทบจากการเลี้ยงปลาดังกล่าวยังได้ทำให้ดินพื้นท้องน้ำบางบริเวณเกิดปัญหาการขาดออกซิเจนหรือพบการที่ชั้นของดินที่มีออกซิเจน (Oxygenated zone) ได้ลดระดับแคบลงจนอาจไม่พบเลย ซึ่งพบว่าปัญหาสำคัญที่เกิดตามมา คือ การลดลงของสัตว์พื้นท้องน้ำโดยเฉพาะในกลุ่มหอยและสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (Macrobenthos) และเกิดการเปลี่ยนกลุ่มเป็นประชากรของสัตว์หน้าดินขนาดเล็กที่มีความทนทานในระดับออกซิเจนต่ำๆ ได้ (อาทิ ไส้เดือนทะเลในครอบครัว Capitellidae; *Capitella*) ขึ้นมาทดแทน ทั้งนี้ พบว่า *Capitella* เป็นไส้เดือนทะเลขนาดเล็กที่สามารถขยายพันธุ์ได้เร็ว มีวงจรชีวิตที่สั้น เพิ่มจำนวนในพื้นที่ได้ง่ายเนื่องจากมีระยะตัวอ่อนที่ว่ายน้ำไม่นาน สามารถฝังตัวลงดินและใช้สารอินทรีย์ในดินบริเวณพื้นท้องน้ำเป็นอาหารได้เป็นอย่างดี (Tsutsumi and Montani, 1993; Chareonpanich *et al.,* 1994) ไส้เดือนทะเลชนิดนี้จัดเป็นดัชนีชี้วัดมลภาวะของพื้นท้องน้ำที่โดดเด่นในพื้นที่ปากแม่น้ำหลายประเทศรวมทั้งในประเทศไทย (Ritnim and Meksumpun, 2011)

4.1.2.3) การปรับเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของปากแม่น้ำ

ลักษณะการเปลี่ยนพื้นที่ชายฝั่งหรือตามริมขอบแม่น้ำและปากแม่น้ำในรูปแบบต่างๆ อาทิ การจัดสร้างแนวคอนกรีตกันคลื่น การขยายพื้นที่ถมชายฝั่งเพื่อการสร้างสิ่งก่อสร้างหรือที่อยู่อาศัย การจัดสร้างท่าเทียบเรือประมงหรือเรือพาณิชย์ขนาดใหญ่ และการจัดสร้างถนนหรือทางเดิมริมขอบฝั่งทะเล ในปัจจุบันพบว่าเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมการพัฒนาชุมชนเมือง รวมทั้งการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งเพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ สังคมและเพื่อประโยชน์ในการท่องเที่ยว (**ภาพที่ 4.7**) อย่างไรก็ตามการพัฒนาพื้นที่ในลักษณะดังกล่าว ย่อมทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศปากแม่น้ำและบริเวณชายฝั่ง ทั้งในลักษณะที่เกิดทันทีและในลักษณะของผลกระทบในระยะยาว



ภาพที่ 4.7 ลักษณะการปรับเปลี่ยนพื้นที่ปากแม่น้ำและบริเวณชายฝั่งที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศทางน้ำ (ภาพบน; การใช้ดินลูกรังถมพื้นที่ป่าชายเลน ในเขตอำเภอปากน้ำหลังสวน จังหวัดชุมพร, ภาพกลาง; การใช้หินก้อนขนาดใหญ่ถมแนวชายหาด ในเขตอำเภอสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์, ภาพล่าง; การใช้หินและกระสอบบรรจุทรายถมเป็นแนวในพื้นที่ใกล้ชายฝั่ง ตำบลกาหลง จังหวัดสมุทรสาคร)

ผลกระทบจากการก่อสร้างโดยทั่วไป จะทำให้เกิดปริมาณตะกอนอนินทรีย์แขวนลอยลงสู่แหล่งน้ำได้มากขึ้น ทำให้น้ำมีความขุ่นที่เพิ่มมากขึ้นและแผ่ขยายเป็นวงกว้างออกไปครอบคลุมพื้นที่ใกล้เคียง ตะกอนเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความเป็นอยู่ของทรัพยากรปลาวัยอ่อน รวมทั้งสัตว์พื้นท้องน้ำที่เคลื่อนที่ไม่ได้อย่างชัดเจน ยังทำให้เกิดการบดบังแสงและสร้างผลกระทบต่อการผลิตออกซิเจนของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายบริเวณหน้าดิน นอกจากนี้ตะกอนอินทรีย์ที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจะเป็นแหล่งอาหารอย่างดีของแบคทีเรียที่เป็นผู้ย่อยสลายในน้ำ ส่งผลให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำในบริเวณโดยรอบนั้นลดต่ำลง (โดยเฉพาะในเวลากลางคืน)

สำหรับการจัดสร้างทำโครงสร้างแข็งตามแนวชายฝั่งเพื่อเป้าหมายในการลดแรงปะทะของคลื่นลมในบางลักษณะทำให้เกิดปัญหาต่อระบบนิเวศบริเวณนั้น ๆ ยกตัวอย่างเช่น การนำพลาสติกหนาเป็นท่อทรงยาวบรรจุกกรวดทรายภายใน (ลักษณะเหมือนไส้กรอกขนาดใหญ่) วางทอดยาวแนวขนานกับชายฝั่งในพื้นที่บริเวณตำบลกาหลง จังหวัดสมุทรสงคราม (**ภาพที่ 4.7** ล่าง) เมื่อถุงเริ่มมีการแตกฉีกขาดหรือเปื่อยลง เม็ดกรวดทรายขนาดต่างๆ จะหลุดออกจากถุงและกระจายออกไปเป็นวงกว้าง แล้วเกิดการทับถมในบริเวณพื้นท้องน้ำโดยรอบของแนวกันคลื่น การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหน้าดินดังกล่าวมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำโดยเฉพาะในกลุ่มของหอยที่มีตามธรรมชาติของพื้นที่ดินโคลนเลนเดิม โดยพบว่าหอยมักจะได้รับเม็ดกรวดทรายนั้นๆ เข้าไปในตัวและไม่นิยมนำมาบริโภค เกิดเป็นปัญหาต่ออาชีพประมงและชุมชนท้องถิ่นเป็นอย่างมาก

การจัดสร้างกำแพงคอนกรีตในบริเวณชายขอบของแม่น้ำหรือตามแนวชายฝั่งทะเล ยังมีผลต่อลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำโดยทั่วไป การมีสิ่งก่อสร้างที่แข็งแรงในลักษณะของกำแพง (มาทดแทนพื้นที่เดิมที่มักเป็นแนวป่าชายเลนประเภทต่างๆ หรือแนวหาดทรายที่มีความลาดชันต่ำตามธรรมชาติ) จะทำให้เกิดคลื่นปะทะที่มีความรุนแรงขึ้นกว่าเดิม เป็นการเพิ่มความเร็วของน้ำ เกิดแนวปะทะและเกิดผลเชื่อมโยงต่อลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่ออกไปได้เป็นระยะไกล (Nordstrom and Roman, 1996; Nordstrom, 2000) ซึ่งบางครั้งออกไปได้หลายกิโลเมตร นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแหล่งที่อยู่อาศัย (Glasby and Connell, 1999) เป็นผลกระทบระยะยาวและยากต่อการฟื้นฟูกลับมา ทั้งนี้ ผลกระทบจะรุนแรงมากหากในพื้นที่โดยรอบเป็นแหล่งทรัพยากรประมง หรือเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สำหรับการแก้ไขปัญหาต่อจากนี้ คือ การสร้างความรู้ความเข้าใจถึงผลกระทบและการเปลี่ยนแปลงที่ได้เกิดไปแล้ว การวิเคราะห์โอกาสและทิศทางการฟื้นฟูที่เหมาะสม และการจัดสร้างแผนระยะยาวเพื่อการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ เพื่อการคงไว้ซึ่งทรัพยากรมีชีวิต ซึ่งนับเป็นเรื่องสำคัญยิ่งที่จะทำให้ประเทศของเรายังคงรักษาแหล่งทรัพยากรทางธรรมชาติเอาไว้ได้

อนึ่ง ภายในพื้นที่อ่าวตอนกลางของเขตปากแม่น้ำ ปัญหาที่พบมากที่สุดคือ การตกทับถมของตะกอนเลนที่มาจากการขุดลอกในพื้นที่ตอนบนของแม่น้ำและในบริเวณปากแม่น้ำนั่นเอง การขุดลอกที่เกิดแต่ละครั้งจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนอินทรีย์สารขึ้นมาจากพื้นท้องน้ำ ผนวกกับการที่แร่ธาตุอาหารสารละลายต่างๆ และมลพิษที่จับตัวอยู่ในดิน ได้กลับออกมาสู่มวลน้ำอีกครั้ง (Kennish, 2001) ปรากฏการณ์ที่เด่นชัดและเป็นปัญหาคือ การฟุ้งกระจายของ

ซัลไฟด์จากพื้นท้องน้ำขึ้นมา ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นพิษโดยตรงต่อสัตว์น้ำ และนอกจากนี้จะเกิดการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนละลายน้ำที่มีในพื้นที่และทำให้ระดับของออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างรวดเร็วจนบางครั้งค่าเข้าใกล้ศูนย์ นับเป็นผลกระทบที่เกิดในระยะสั้นที่หลีกเลี่ยงได้ยากมาก

ในพื้นที่ปากแม่น้ำที่เป็นเส้นทางการเข้าออกของเรือประมงหรือเรือพาณิชย์ขนาดใหญ่ต่าง ๆ จะพบว่าโครงสร้างของพื้นท้องน้ำรวมทั้งลักษณะการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตพื้นท้องน้ำที่เกี่ยวข้องจะได้รับอิทธิพลจากลักษณะการใช้ประโยชน์ดังกล่าว นั่นคือ ในแนวร่องน้ำซึ่งเป็นเส้นทางสัญจรหลักจะมีระดับความลึกมากกว่าพื้นที่ในอ่าวทั่วไป และมีการพัดพาของกระแสน้ำที่รุนแรงกว่า เป็นช่องทางการไหลหลักของมวลน้ำจืดที่ลงมาจากแผ่นดิน และผลของน้ำทะเลโดยเฉพาะในช่วงที่น้ำเริ่มขึ้นและผลักดันมวลน้ำกลับขึ้นไปตามลำน้ำด้านบน ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและอุทกวิทยาดังกล่าว ส่งผลให้พื้นท้องน้ำบริเวณแนวร่องน้ำ ประกอบด้วยอนุภาคที่หนักหรือจับตัวกันแน่นกว่าพื้นท้องน้ำในบริเวณด้านข้างของร่อง รวมถึงบริเวณที่ราบน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal flat) สองฝั่งทางตะวันออกหรือตะวันตกของร่องน้ำ ซึ่งจะเป็นบริเวณที่พบตะกอนเบาสะสมอยู่แนวใกล้พื้นท้องน้ำและในบริเวณหน้าดินได้

เส้นทางการสัญจรทางเรือหรือทางเข้าออกหลักของปากน้ำแต่ละแห่งจึงมีลักษณะเฉพาะตัวและมีความแตกต่างจากพื้นที่ด้านข้างสองฝั่งของปากแม่น้ำ ซึ่งนอกจากลักษณะของอนุภาคที่สะสมบริเวณพื้นท้องน้ำที่แตกต่างกันไปแล้ว มวลของน้ำที่ไหลลงมาตามแนวร่องน้ำยังมีความแตกต่างกับมวลของน้ำที่พบในบริเวณด้านข้างของร่องน้ำ ทั้งนี้ ในเส้นทางเข้าออกหลักจะพบการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่ชัดเจนและมีลักษณะเป็นเส้นทางการแพร่กระจายตามแนวร่อง ซึ่งสะท้อนมลภาวะจากเขตแผ่นดิน (โดยเฉพาะในรูปของแร่ธาตุอาหารและสารละลายมลพิษต่าง ๆ) ออกไปสู่เขตทะเลได้ตามลำดับ

สำหรับในบริเวณแนวน้ำขึ้นตอนนอกของปากแม่น้ำซึ่งมีความเค็มสูงขึ้นมากกว่าตอนในมักจะเป็นเขตสุดท้ายที่ตะกอนและมวลสารจากแผ่นดินลงมาถึงนั้นมีความเร็วที่เกิดจากแรงผลักดันของมวลน้ำจืดลดลงจนแทบไม่มี แต่เกิดการผสมผสานกับน้ำทะเลอย่างมาก พื้นที่บริเวณนั้น ถึงแม้จะอยู่แนวเส้นทางหลักของการเดินเรือ แต่ด้วยความลึกผนวกกับลักษณะการผสมผสานดังที่กล่าวข้างต้น มวลน้ำบริเวณนี้มักแสดงลักษณะจำเพาะที่ต่างไปจากแนวร่องน้ำเดิม โดยมักพบการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชทะเลอย่างหนาแน่นกว่าปกติ โดยอาจกระจายออกด้านข้างเป็นแนวคล้ายครึ่งวงกลมที่โอบล้อมปากแม่น้ำตอนนอกเอาไว้ การเกิดผลผลิตทางชีวภาพเช่นนี้ สามารถพบได้ในลักษณะเดียวกันในบริเวณดอนทั้งสองฝั่ง ทั้งนี้ อาจเกิดจากการพัดพาของแพลงก์ตอนพืชจากแนวน้ำขึ้นตอนนอกวนกลับเข้าไปช่วงน้ำขึ้น หรือเกิดการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชเดิมที่อยู่ในบริเวณสองฝั่งปากแม่น้ำ อย่างไรก็ตามเรา จะไม่พบการสะพรั่งตามแนวร่องน้ำโดยเฉพาะในเขตตอนบนสุดของปากแม่น้ำ ยกเว้นในกรณีที่เป็นช่วงที่น้ำทะเลกำลังขึ้นสูงสุด และผลักดันเอามวลน้ำที่มีแพลงก์ตอนพืชจากตอนนอก ให้ไหลเข้าไปตามแนวร่องน้ำนั้น ๆ

พื้นที่ตอนในที่มีการเข้าออกของเรือและในส่วนที่เป็นบริเวณการจอดเรือต่างๆ ยังมักพบการปนเปื้อนของสารเคมีอันตรายที่ใช้เป็นสีกันเพรียง หรือสารเคมีอื่นๆ ที่มีการใช้ในเรือ นอกจากนี้พื้นที่ดังกล่าวยังพบการปนเปื้อนของน้ำมันได้มาก ซึ่งมาจากกิจกรรมการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันและการล้างเรือที่มีเป็นระยะ ๆ ในบริเวณดังกล่าวนั้น Albers (2002) รายงานว่า มลภาวะที่มาจากเรือยนต์ประกอบด้วยน้ำมันและเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังพบสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นพิษ (PAHs; Polycyclic aromatic hydrocarbon) ซึ่งสามารถสะสมอยู่ในดินพื้นท้องน้ำในบริเวณปากแม่น้ำได้ และสร้างผลกระทบด้านความเป็นพิษสะสมในห่วงโซ่อาหารของพื้นที่ปากแม่น้ำในระยะยาวต่อไปได้

ในพื้นที่ปากแม่น้ำยังมีการจัดสร้างท่าเรือ การปรับเปลี่ยนพื้นที่ขอบฝั่งเพื่อเป็นอู่จอดเรือและการใช้พื้นที่เป็นท่ารับซื้อสัตว์น้ำ (แพปลา) ในบริเวณตอนกลางซึ่งเป็นทางสัญจรของเรือประมงและเรือพาณิชย์ขนาดใหญ่ยังพบการขุดลอกร่องน้ำให้กว้างและลึกขึ้นเพื่อความสะดวกในการเข้าออกของเรือ การขุดลอกร่องน้ำนับเป็นกิจกรรมที่นอกจากจะทำให้เกิดการแพร่กระจายในความขุ่นของน้ำแล้ว สารประเภทซัลไฟด์ที่สะสมอยู่ภายใต้ชั้นดินที่ไม่มีออกซิเจน เมื่อถูกกวนขึ้นมาในมวลน้ำก็จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนที่มีในน้ำทำให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่ที่ขุดลอกและบริเวณโดยรอบลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว เกิดผลกระทบที่รุนแรงต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะสัตว์น้ำตามธรรมชาติที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นได้ นอกจากนี้ตะกอนของสารอินทรีย์ที่ฟุ้งขึ้นมายังถูกพัดพาให้กระจายออกไปในวงกว้าง กระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายโดยกลุ่มของจุลินทรีย์ในน้ำ และสารอนินทรีย์ที่เป็นแร่ธาตุอาหารโดยเฉพาะในกลุ่มแอมโมเนียมไนโตรเจน (โดยทั่วไปจะมีความเข้มข้นที่สูงกว่าในน้ำถึงประมาณ 100 เท่า) ก็สามารถกระจายตัวขึ้นไปในมวลน้ำและอาจก่อให้เกิดการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชในระยะที่น้ำเริ่มใสขึ้น จัดเป็นปัญหาต่อเนื่องสำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีการใช้ประโยชน์เช่นนี้

จากลักษณะดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ของปากแม่น้ำทางกายภาพในรูปแบบต่างๆ แม้เพียงทำในพื้นที่ส่วนน้อยของเขตปากแม่น้ำ ก็สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ และมีความเกี่ยวข้องกับการตอบสนองทางนิเวศวิทยาของทรัพยากรมีชีวิตที่อยู่ในพื้นที่ปากแม่น้ำแต่ละแห่งได้อย่างต่อเนื่อง

4.1.2.4) การทำประมงในพื้นที่ปากแม่น้ำ

การใช้พื้นที่ปากแม่น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังตัวอย่างเช่น การเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชัง การปักหลักเป็นแนวเพื่อเลี้ยงหอยแมลงภู่ การเลี้ยงหอยนางรมแบบแขวน ฯลฯ นับเป็นกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ปากแม่น้ำทางตอนในและตอนกลาง โดยเฉพาะการทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในดินบริเวณที่เลี้ยงเพิ่มสูงขึ้น และเกิดการทับถมของตะกอนเลน รวมทั้งเศษเปลือกหอย และซากสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่ตายลงมา นอกจากนี้ ยังมีผลให้บางพื้นที่ที่น้ำเคลื่อนตัวช้า (อาทิ แนวคลองสาขาในพื้นที่ป่าชายเลน บริเวณปากแม่น้ำเวฬุ จังหวัดจันทบุรี; จันทรา, 2546) เกิดการตื้นเขินขึ้น และเป็นปัญหาการผลิตทรัพยากร รวมทั้งการสัญจรทางน้ำในระยะต่อมา

สำหรับผลกระทบจากกิจกรรมการทำประมงในพื้นที่ปากแม่น้ำอย่างเด่นชัด มักพบในรูปแบบที่มาจากการคราดหน้าดินเพื่อเก็บรวบรวมหอยที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจในบริเวณที่น้ำมีระดับไม่ลึกมากนัก (โดยทั่วไปการคราดหอยบริเวณใกล้ฝั่งทำที่ความลึกของน้ำประมาณ 2-5 เมตร) การคราดหอยดังกล่าวมีลักษณะการใช้เครื่องมืออุปกรณ์และปริมาณการลงแรงรวมทั้งพื้นที่ทำประมงที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของหอยที่ต้องการรวบรวม อย่างไรก็ตาม พบว่าการคราดแต่ละครั้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำอย่างชัดเจน และการฟื้นตัวของระบบนิเวศพื้นท้องน้ำอาจต้องใช้เวลามากกว่า 3 ปี (Polunin, 2008)

ในพื้นที่ปากแม่น้ำของไทยเราก็เช่นกัน พบการคราดหอยในพื้นที่เขตตื้นใกล้ฝั่งโดยมักเป็นการคราดหอยแครงที่ทำการเลี้ยงไว้ตามดอนเลนในบริเวณปากแม่น้ำต่าง ๆ (อาทิ ปากแม่น้ำบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี และปากแม่น้ำอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี) การคราดหอยแครงแต่ละครั้งทำให้น้ำขุ่นดำขึ้นมาอย่างชัดเจน และเกิดปัญหาออกซิเจนในน้ำลดต่ำลงอย่างเฉียบพลัน โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่น้ำตาย (ช่วงวันที่น้ำทะเลขึ้นลงน้อยหรือแทบไม่เคลื่อนตัว) (ขนิษฐาและจารุมาศ, 2557) ปัญหาดังกล่าวหากเกิดอย่างต่อเนื่องและพร้อมๆ กันทั่วทั้งพื้นที่จะมีผลทำให้ทรัพยากรมีชีวิตในพื้นที่ได้รับผลกระทบหรือเกิดภาวะชะงักการเจริญเติบโต นอกจากนี้ การคราดเอาเปลือกหอยขึ้นในสภาวะที่ดินเริ่มเน่าเสียยังเป็นปัญหาสำคัญในพื้นที่ที่ส่งผลกระทบต่อหอยที่ยังเลี้ยงอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง นับเป็นปัญหาในการจัดการระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่ภาคส่วนที่เกี่ยวข้องควรหาเทคนิควิธีการที่เหมาะสมและทำการส่งเสริมความรู้ความเข้าใจร่วมกันเพื่อการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ได้อย่างยั่งยืนต่อไป

อนึ่ง ปัญหาที่รุนแรงจากการใช้ประโยชน์จากพื้นท้องน้ำในลักษณะดังกล่าวยังพบได้ในพื้นที่ใกล้ฝั่งถัดจากแนวปากแม่น้ำออกไปซึ่งเป็นพื้นที่เขตลึกกว่า โดยมีลักษณะของพื้นท้องน้ำเป็นทรายปนโคลนและเป็นแหล่งของหอยลายที่สำคัญในประเทศไทย รายงานการศึกษาของศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง (2554) พบว่าพื้นที่เขตทะเลฝั่งตะวันตกแนวเขตจังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีการใช้เรือขนาดใหญ่มาคราดหอยลายในพื้นที่อย่างมากในช่วงปี พ.ศ. 2552 การคราดในช่วงเวลาที่พร้อมๆ กันทำให้น้ำทะเลบริเวณนั้นเปลี่ยนเป็นสีดำคล้ำของตะกอนเลนที่ฟุ้งขึ้นมา ผลกระทบนอกจากจะเกิดกับทรัพยากรอื่นที่ปรากฏอยู่ในช่วงนั้น ๆ แล้ว การกระจายของมลภาวะยังเกิดเชื่อมต่อไปยังพื้นที่แนวชายฝั่ง ไล่ลงไปตามการเคลื่อนตัวของน้ำไปทางทิศใต้ ทำให้เกิดผลกระทบต่อกลุ่มประชากรสัตว์น้ำธรรมชาติอย่างชัดเจน ปลาขนาดเล็กมีการตายลงไปและสามารถพบการทดแทนที่ของประชากรหมึกขึ้นมาภายหลัง พื้นที่เกิดการเสียสมดุลธรรมชาติและขาดเสถียรภาพในการให้ผลผลิตทรัพยากรพื้นท้องน้ำอย่างต่อเนื่องเหมือนเช่นเคย พื้นที่บริเวณฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยนี้ใช้ระยะเวลายาวนานกว่า 4 ปี ในการที่ประชากรหอยลายได้เริ่มฟื้นตัวกลับขึ้นมาอีกครั้ง อย่างไรก็ตาม การที่โครงสร้างดินที่เปลี่ยนไป จากการมีเศษเปลือกหอยเก่ากระจายขึ้นมาและตกทับถมบริเวณหน้าดินมากขึ้น ทำให้ปริมาณสัตว์หน้าดินธรรมชาติรวมทั้งหอยที่เกิดมีน้อยลงกว่าเดิมมาก นับเป็นผลกระทบในระยะยาวที่ควรเรียนรู้และหาทางวางแผนบริหารจัดการการใช้ประโยชน์ทางการประมงในเขตพื้นที่ชายฝั่งเช่นนี้อย่างเหมาะสมต่อไป

4.1.3) อิทธิพลจากแผ่นดินต่อระบบนิเวศปากแม่น้ำ

4.1.3.1) แร่ธาตุอาหารและสารอินทรีย์ในน้ำ

ในพื้นที่ปากแม่น้ำทั่วไปจะพบว่าปัญหาการเพิ่มของแร่ธาตุอาหาร การไหลลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน การรั่วและการปนเปื้อนของน้ำมัน และการปนเปื้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและโลหะหนักจากแผ่นดิน นับเป็นปัญหาสำคัญในลำดับต้น ๆ ปัญหาเหล่านี้ทำให้เกิดผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมทางน้ำ บางครั้งทำให้เกิดการตายลงและการสูญพันธุ์ของสัตว์น้ำบางชนิด และยังเกิดการสะสมมลภาวะผ่านทางการกินต่อกันเป็นทอด ๆ ในห่วงโซ่อาหารทางน้ำ ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์เราได้ในที่สุด

ปัญหาการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร โดยเฉพาะสารละลายอนินทรีย์ไนไตรเจน ฟอสฟอรัสและซิลิกอนซึ่งเป็นแร่ธาตุอาหารที่ผู้ผลิตขั้นต้น (ได้แก่ สาหร่าย พรรณไม้น้ำ รวมทั้งแพลงก์ตอนพืช) นำมาใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มมวลชีวภาพหรือเพื่อการขยายจำนวนประชากรในแหล่งน้ำ รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์คาร์บอนที่มากับแหล่งน้ำทิ้งต่าง ๆ ลงสู่แหล่งน้ำ นับเป็นปัญหาที่ส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อมทำให้ระดับแร่ธาตุอาหารในพื้นที่ปากแม่น้ำเพิ่มสูงขึ้น และเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างมากเกินไปของผู้ผลิตขั้นต้นในพื้นที่ปากแม่น้ำตามมา ปัญหาจากการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารนี้ เป็นลักษณะในการเกิดสถานการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ซึ่งนับเป็นปัญหาที่สำคัญและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับของออกซิเจนและยังมีบทบาทต่อกระบวนการทางชีวเคมี ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงในมวลชีวภาพของผลผลิตประเภทต่างๆ ของแหล่งน้ำทุกประเภท (Dederen, 1992; McComb, 1995; Nixon, 1995; Valiela *et al.*, 1997; Livingston, 2002; Meksumpun and Meksumpun, 2008) ในการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันโดยทั่วไปพบว่าแหล่งน้ำจะรับเอาแร่ธาตุอาหารมาจากแหล่งที่มาที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งอย่างชัดเจนได้ (Non-point source) ซึ่งประกอบไปด้วยแร่ธาตุอาหารที่มาจากกิจกรรมทางการเกษตร ปศุสัตว์ รวมทั้งน้ำทิ้งจากบ้านเรือนและของเสียชุมชนที่ไหลรวมกันลงมาสู่แหล่งน้ำ (Carpenter *et al.*, 1998; Thaipichiburapa and Meksumpun, 2010)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า เมื่อโลกเรามีประชากรเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ปัญหาการทิ้งน้ำเสียที่มีสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์คาร์บอนก็นับวันจะเพิ่มมากขึ้น และมีผลกระทบโดยตรงในพื้นที่ปากแม่น้ำ (Balls *et al*. 1995) การเพิ่มจำนวนของแร่ธาตุอาหารในกลุ่มฟอสเฟตฟอสฟอรัสสะท้อนบทบาทในการกระตุ้นการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชจนเกิดเป็นปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีอย่างรุนแรงในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน (Chuenniyom *et al.*, 2012) (**ภาพที่ 4.8**)

ภาพที่ 4.8 ปัญหาน้ำเสียสีดำคล้ำที่มีออกซิเจนต่ำมาก วัชพืช และขยะต่าง ๆ ซึ่งไหลลงมาจากแผ่นดิน (ภาพซ้าย) และการปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีของแพลงก์ตอนพืชในกลุ่ม Dinoflagellates ชนิด *Ceratium* sp. (ภาพกลาง) และ *Noctiluca scintillans* (ภาพขวา) ที่พบในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน

ปัญหาดังกล่าว เหนี่ยวนำให้เกิดการลดลงของออกซิเจนละลายน้ำโดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งเมื่อผนวกเข้ากับปัญหาน้ำเสียที่นำพาเอามวลน้ำที่มีระดับของออกซิเจนละลายน้ำต่ำลงมาในพื้นที่ปากแม่น้ำด้วยแล้ว ปากแม่น้ำท่าจีนตอนในจึงเกิดความเสื่อมโทรมในทรัพยากรโดยเฉพาะสัตว์หน้าดินที่เคลื่อนย้ายหนีไปไหนไม่ได้และพบปัญหาลูกหอยที่เกิดใหม่ตายลงไปเกือบหมด (กาญจนาและจารุมาศ, 2557) นอกจากนี้ ยังพบการเปลี่ยนแปลงในประชากรสัตว์หน้าดินโดยมีการเกิดไส้เดือนทะเลในกลุ่ม Spionidae ขึ้นมาทดแทน ซึ่ง Spionids จัดเป็นกลุ่มไส้เดือนทะเลที่สะท้อนสภาวะการสะสมของสารอินทรีย์ในดินที่สูง (Ritnim and Meksumpun, 2001) นับเป็นปัญหาที่เกิดมาต่อเนื่อง และทำให้ทรัพยากรประมงที่ยังประโยชน์ในการเป็นอาหารของมนุษย์เรามีโอกาสลดน้อยถอยลงหรืออาจสูญพันธุ์ไปได้ในที่สุด

ในประเทศไทย พื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนตอนล่างและเขตปากแม่น้ำจัดเป็นพื้นที่ที่มีระดับของออกซิเจนในน้ำต่ำกว่า 1 mg/L (ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง, 2557) ซึ่งจัดว่าเป็นระดับที่ต่ำมาก (Hypoxia) จนอยู่ในขั้นที่ไม่เหมาะสมต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ จากการศึกษาในระยะปัจจุบันยังพบว่าถึงแม้ในพื้นที่ปากแม่น้ำจะมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่เพิ่มจำนวนขึ้นได้อย่างหนาแน่นมากตามระดับของแร่ธาตุอาหารพืชที่ได้รับจากแม่น้ำ การมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่สูงดังกล่าว ไม่อาจยังประโยชน์โดยการถ่ายทอดไปยังลำดับขั้นต่อไปของผู้บริโภคได้ ทั้งนี้น่าจะเนื่องจากสาเหตุที่มีระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำมากเป็นปัจจัยจำกัดอยู่ ทำให้กลุ่มของสัตว์ผู้บริโภคชนิดต่างๆ ไม่สามารถทนอยู่ได้นั่นเอง จารุมาศและคณะ (2557) รายงานว่าในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนนี้พบปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ในระดับความหนาแน่นที่ควรจะมีได้ถึง 2-10

เท่า และพบได้น้อยกว่าในพื้นที่ปากแม่น้ำใกล้เคียงอื่น ๆ (อาทิ ปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำเจ้าพระยา) นอกจากนี้ยังพบว่าแหล่งลูกหอยพิมที่เกิดใหม่ได้รับผลกระทบจากปัญหาน้ำเสีย ทำให้แหล่งที่อยู่อาศัยเดิมเปลี่ยนแปลงในทางที่เสื่อมโทรมลงจนไม่สามารถพบจำนวนประชากรในบางพื้นที่ได้อีก

ลักษณะปรากฏการณ์ดังกล่าว สอดคล้องกับการศึกษาในแหล่งน้ำหลายแหล่งในต่างประเทศ (Weston, 1990; Costello and Read, 1994; Alongi, 1998; Rennish, 2000; Howarth *et al.,* 2000) ที่เน้นให้เห็นผลกระทบของยูโทรฟิเคชันต่อปริมาณทรัพยากรและความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ซึ่งนับวันก็จะยิ่งเสื่อมโทรมลง การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในบางประเทศยังพบแพลงก์ตอนพืชที่สามารถสร้างสารพิษและทำให้ปลาตาย และยังมีผลกระทบต่อสัตว์ในกลุ่มหอยทำให้เกิดการสะสมของสารพิษเป็นอันตรายต่อมนุษย์เราหากรับประทานเข้าไป (Burkholder, 1998) การเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในพื้นที่เขตตะวันออกเฉียงเหนือของอ่าวเม็กซิโกในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชอย่างหนาแน่นและเกิดปัญหาการขาดออกซิเจนตามมา และได้ทำให้เกิดปัญหาการเสียสมดุลในห่วงโซ่อาหาร (Levingston, 2000, 2002) และปัญหาในทำนองเดียวกันยังพบใน Wadden Sea ประเทศเนเธอร์แลนด์ (Rennish, 1998) ในปากแม่น้ำ Harvey-Peel ประเทศออสเตรเลีย (McComb, 1996) และปากแม่น้ำอ่าว Barnegar ประเทศอเมริกา (Kennish, 2001) ซึ่งในภาพรวมแล้วเราพบว่าปากแม่น้ำที่ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ค่อนข้างตื้นและมีการไหลออกของมวลน้ำที่ช้า (หรือน้ำมีการคงตัวอยู่ในบริเวณอ่าวค่อนข้างนาน) ก็มักจะได้รับผลกระทบจากปัญหายูโทรฟิเคชันอย่างชัดเจนและรุนแรงได้

ในพื้นที่ปากแม่น้ำทั่วไปพบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำนั้นมาจากการพัดพาของแม่น้ำที่ไหลลงมา ซึ่งนับว่าเป็นแหล่งที่มาที่เกิดจากภายนอกระบบ (Allochthonous source) มากกว่าการเกิดจากการผลิตภายในระบบ (Autochthonous sources) โดยที่พื้นที่ปากแม่น้ำทั่วไปมักมีพืชพรรณต่าง ๆ เกิดได้น้อย (ทั้งนี้อาจมีข้อยกเว้นในพื้นที่จำเพาะบางแห่งที่น้ำค่อนข้างใสทางตอนนอกของปากแม่น้ำออกไปซึ่งเป็นบริเวณแหล่งหญ้าทะเล) และการเกิดแพลงก์ตอนพืชที่เจริญขึ้นมาก็พบได้เป็นช่วงๆ ตามลักษณะในการตอบสนองต่อแร่ธาตุอาหารและปัจจัยแวดล้อมผนวกกับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำ ด้วยเหตุดังกล่าวกระบวนการผลิตหรือการเกิดของสิ่งมีชีวิตขั้นที่สูงขึ้นไปในสายใยอาหารทางน้ำของพื้นที่ปากแม่น้ำจึงเกี่ยวข้องกับการใช้ผลผลิตที่เป็นสารอินทรีย์หรือซากพืชซากสัตว์ที่ถูกพัดพาลงมาในปริมาณที่มากนั้นเป็นหลัก

ในพื้นที่ปากแม่น้ำเขตรัฐแมริแลนด์ ทางฝั่งตะวันออกของสหรัฐอเมริกา พบรายงานการมีปริมาณอินทรีย์สารแขวนลอยในน้ำในระดับสูงถึงมากกว่า 100 mg/L ขณะที่ในพื้นที่เขตทะเลตอนนอกออกไปมีระดับที่ต่ำลงเหลือเพียงประมาณ 1-3 mg/L เท่านั้น (Kaiser *et al*., 2005) ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาบริเวณพื้นท้องน้ำพบว่า ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในดินที่สามารถส่งต่อให้สัตว์พื้นท้องน้ำมากกว่าในเขตทะเลอย่างน้อย 10 เท่า ด้วยเหตุดังกล่าวในพื้นที่เขตปากแม่น้ำโดยทั่วไปเราจึงมักพบความชุกชุมหรือมวลชีวภาพของสัตว์พื้นท้องน้ำได้มากกว่าในเขตทะเลตอนนอก และบริเวณปากแม่น้ำจึงเป็นแหล่งผลิตทรัพยากรประมงที่สำคัญ (อาทิ เป็นแหล่ง

หอยแครงและหอยลายตามธรรมชาติ; **ภาพที่ 4.9**) และมีการใช้ประโยชน์ในพื้นที่เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ (อาทิ การเลี้ยงปลากะพงขาว การทำแปลงเลี้ยงหอยแครงในเขตใกล้ฝั่ง และการทำแพแขวนเลี้ยงหอยนางรมในส่วนปากแม่น้ำตอนกลางและตอนนอก) อย่างต่อเนื่องมาจนปัจจุบัน

ภาพที่ 4.9 ลักษณะของทรัพยากรสัตว์น้ำเศรษฐกิจในกลุ่มหอยสองฝาที่ได้จากการผลิตบริเวณพื้นท้องน้ำในแนวกลางของพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร (ภาพซ้าย; ทรัพยากรหอยแครง, และภาพขวา; ทรัพยากรหอยลาย)

สำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำส่วนใหญ่ของประเทศไทย มวลน้ำจืดมีการพัดพาเอาตะกอนแขวนลอยจากแผ่นดินเข้ามาในระดับที่สูงมาก โดยพบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยมีการแปรผันตามฤดูกาล ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนในช่วงฤดูน้ำแล้ง พบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยจะมีค่าน้อยกว่าในช่วงฤดูที่น้ำหลากประมาณ 1.5-2 เท่า (ภัทราวุธ, 2556) ในพื้นที่ปากแม่น้ำเขตอ่าวไทยตอนใน ซึ่งแม่น้ำที่ไหลลงแต่ละแห่งมีการใช้ประโยชน์ที่สูงมากและรับภาระด้านแร่ธาตุอาหารพืชทั้งที่มาจากกิจกรรมการทำการเกษตรและจากบ้านเรือนชุมชน พื้นที่ปากแม่น้ำเขตนั้นจึงมีระดับของแร่ธาตุอาหารที่สูงแทบตลอดทั้งปี และเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันซึ่งพบการเจริญของผักตบชวาอย่างหนาแน่นมาก (เห็นได้ชัดในพื้นที่แม่น้ำช่วงแคบๆ อาทิ บริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนกลาง) ซึ่งผักตบชวาเหล่านั้นหากตายลงหรือถูกพัดพาลงไปในพื้นที่ที่มีความเค็มสูงทางตอนล่างก็จะตายลงและกลายเป็นแหล่งสำคัญของสารอินทรีย์ในน้ำรวมทั้งยังเกิดการตกทับถมลงสู่บริเวณพื้นท้องน้ำได้ต่อไป

สำหรับในพื้นที่ลำน้ำที่มีความใสค่อนข้างมาก จะสามารถพบการเจริญงอกงามของพรรณไม้น้ำจืด อาทิ สันตะวา ดีปลีน้ำ และสาหร่ายหางกระรอก (พิชาศิษฐ์และจารุมาศ, 2555) พรรณไม้เหล่านี้มักเจริญขึ้นมาอย่างหนาแน่นมากในช่วงฤดูน้ำแล้งที่ระดับน้ำลดต่ำลงพร้อม ๆ กับการมีแสงแดดจัด ซึ่งพรรณไม้น้ำเหล่านั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพโดยการเกิดทดแทนที่ในแต่ละชนิดขึ้นมาเป็นระยะ ๆ อย่างไรก็ตามเมื่อเข้าสู่ช่วงกลางฤดูน้ำหลากถึงปลายฤดูน้ำ

หลาก ปัจจัยจำกัดด้านความขุ่นของน้ำจะเพิ่มมากขึ้น ผนวกกับมวลน้ำที่แรงและยกตัวสูงขึ้นจะทำให้พรรณไม้เกิดการตายลงและเน่าเปื่อยหลุดออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ลอยลงไปตามน้ำเข้าสู่ระบบปากแม่น้ำทางตอนล่าง ซึ่งจัดเป็นอาหาร (อินทรีย์สาร) ที่ดีสำหรับสัตว์พื้นท้องน้ำ (กลุ่มที่กรองกินรวมทั้งกลุ่มที่กินซากพืชซากสัตว์) นับเป็นการส่งต่อผลผลิตในสายใยอาหารของระบบนิเวศแม่น้ำสู่พื้นที่ปากแม่น้ำ ได้ตามลำดับ

ในพื้นที่ปากแม่น้ำอ่าวบางตะบูนพบว่าตะกอนที่ตกลงมาสู่พื้นท้องน้ำมีระดับของอินทรีย์สารในช่วงประมาณ 14-20 % (จารุมาศและคณะ, 2555) ซึ่งอัตราการตกตะกอนของสารอินทรีย์ดังกล่าวแปรผันตามพื้นที่ย่อยในเขตปากแม่น้ำและได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนตัวของมวลน้ำ ทั้งนี้ พบว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมในบริเวณดินชั้นบน (0-1 cm) ของเขตดอนเลนละเอียดมีค่าประมาณ 12-13 % แต่ในบริเวณที่อยู่ใกล้แนวที่น้ำไหลแรงกว่าหรือใกล้ร่องน้ำปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินจะมีระดับที่ต่ำลง (ประมาณ 6-8 %) ระดับของสารอินทรีย์ในดินของปากแม่น้ำอ่าวบางตะบูนนี้มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าที่พบในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนอยู่เล็กน้อย จารุมาศและคณะ (2557) รายงานว่าในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนมีปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนในระดับที่สูงถึงสูงมาก โดยในดินตะกอนชั้นความลึก 0-1 เซนติเมตร พบปริมาณสารอินทรีย์รวมอยู่สูงที่สุดถึงประมาณ 19 % สถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์ในดินมากมักอยู่ทางฝั่งตะวันตกและแนวน้ำชนตอนนอกมากกว่าทางฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในช่วงปี พ.ศ. 2552-2553 พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนของปากแม่น้ำท่าจีนมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นในหลายบริเวณ (นิตยา, 2554) อย่างไรก็ตาม ในภาพรวมแล้วพบว่าทั้งสองพื้นที่ปากแม่น้ำดังที่กล่าวมามีปริมาณสารอินทรีย์ในดินที่สูงกว่าในบริเวณดอนหอยหลอด จังหวัดสมุทรสงคราม (ชยานิตย์, 2553) ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นทรายปนโคลนและรับน้ำจากแม่น้ำแม่กลอง (ที่มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีที่สูงกว่า) ปริมาณน้ำท่านี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อกระบวนการทางกายภาพและทางเคมีของพื้นท้องน้ำ ซึ่งส่งผลให้เกิดความแตกต่างในลักษณะของสิ่งมีชีวิตและศักย์การผลิตทรัพยากรบริเวณพื้นท้องน้ำแต่ละส่วนได้ต่อไป

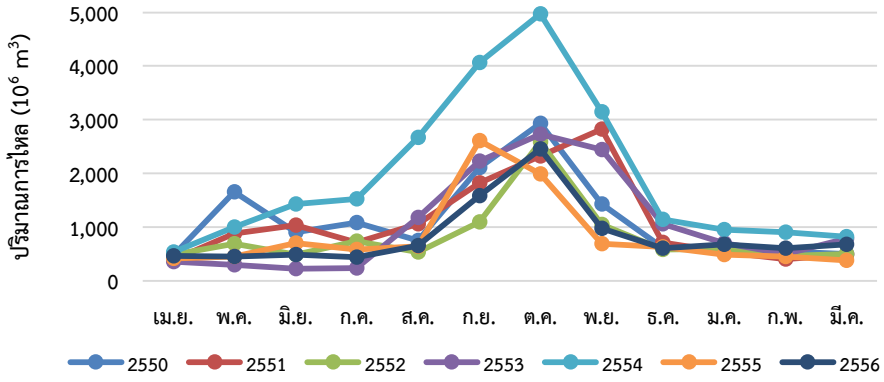
4.1.3.2) สารมลพิษที่ไหลลงสู่ปากแม่น้ำ

การรับสารมลพิษจากกิจกรรมทางการเกษตร อุตสาหกรรม และแหล่งชุมชนยังพบได้มากในพื้นที่ปากแม่น้ำตอนในสุดที่รับน้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ โดยตรง สารมลพิษสำคัญที่มีการกล่าวถึงและก่อให้เกิดอันตราย ได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และโลหะหนัก ซึ่งมีผลกระทบในทางลบต่อทรัพยากรมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำ (Rennish, 1992; McDowell, 1993) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหอย และยาปราบวัชพืช นับเป็นสารพิษที่สามารถตกค้างในแหล่งน้ำ ในดินตะกอนพื้นท้องน้ำ และสะสมในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในบริเวณนั้น

ในรายงานการศึกษาสถานการณ์ของสารพิษในพื้นที่แม่น้ำท่าจีนพบว่าลักษณะการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำ ไม่ว่าจะเป็นปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ยังมีค่าต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ (อรอิงค์, 2551) อย่างไรก็ตาม ผลการ

ติดตามพลวัตของสารกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่แม่น้ำท่าจีนพบว่าสารกำจัดศัตรูพืชสองชนิด ได้แก่ ไดเอรอนและเอนโดซันฟานซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงมากนั้น มีการสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตจำพวกปลาที่อาศัยหากินบริเวณแม่น้ำทางตอนล่างในระดับที่สูงมากจนเกินระดับควบคุมที่มีการกำหนดไว้ (มีรายงานการพบสารเอนโดซันฟานในปลาดุก ปลาสวาย และปลาสลิด ที่ระดับ 0.711, 0.109, 0.076 µg/g ตามลำดับ; ภัทราวุธ, 2556) ปัญหาดังกล่าวแสดงถึงสภาวะการปนเปื้อนของสารมลพิษจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ทางการเกษตรในพื้นที่ราบลุ่มน้ำโดยเฉพาะตั้งแต่ตอนกลางลงมาถึงตอนล่าง ซึ่งมีความจำเป็นที่ทุกภาคส่วนควรเร่งให้ความสำคัญและร่วมมือกันควบคุมและแก้ไขปัญหา เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางอาหารและคุณภาพชีวิตของชุมชนที่เกี่ยวข้อง และเป็นปัญหาที่อาจทวีความรุนแรงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในประเทศของเรายังมีข้อจำกัดในการควบคุมการใช้สารพิษเหล่านี้ในการทำการเกษตรซึ่งมีอยู่ในปริมาณมากโดยรอบแหล่งน้ำแทบทุกแห่ง

อนึ่ง สำหรับการปนเปื้อนของสารพิษประเภทโลหะหนักซึ่งมีแหล่งที่มาแตกต่างจากบริเวณแหล่งการเกษตรกรรมนั้น สามารถพบในพื้นที่ที่รับน้ำจากอุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่อาทิ ในแหล่งน้ำเขตอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช และในส่วนหนึ่งของพื้นที่ทะเลสาบสงขลา (ไตรภพและดรุณี, 2545; ปิยวรรณ, 2549) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาติดตามสถานการณ์ปัญหาโลหะหนักในระบบนิเวศปากแม่น้ำในเขตอ่าวไทยตอนใน ไม่ว่าจะเป็นที่แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง หรือในแม่น้ำบางปะกง (กรมควบคุมมลพิษ, 2549; อรอิงค์, 2551) พบว่ายังอยู่ในระดับการปนเปื้อนไม่เกินค่ามาตรฐานตามที่กำหนดไว้



ภาพที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาตามรายเดือนในช่วงปี พ.ศ. 2550-2556 (ตรวจวัด ณ ตำบลบ้านป้อม อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา) *(ที่มา: ปรับปรุงจากกรมชลประทาน, 2556)*

4.1.3.3) น้ำจืดที่ไหลลงจากแผ่นดิน

รูปแบบการเคลื่อนตัวของน้ำโดยเฉพาะในพื้นที่อ่าวไทยตอนในมีบทบาทอย่างมากต่อพลวัตการเปลี่ยนแปลงของประชากรแพลงก์ตอนพืชและความอุดมสมบูรณ์ในทรัพยากรประมงในพื้นที่อ่าวและบริเวณใกล้เคียง ผลจากการศึกษาลักษณะของการแบ่งชั้นและการผสมผสานกันของชั้นน้ำ (Buranapratheprat *et al*., 2008; Buranapratheprat and Yanagi, 2003; Buranapratheprat *et al*., 2002) แสดงให้เห็นว่าการแปรผันของปัจจัยด้านคุณภาพน้ำ (โดยเฉพาะระดับของความเค็มของน้ำ อุณหภูมิน้ำ รวมทั้งระดับของแพลงก์ตอนพืชที่วัดโดยค่าคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำ) ในพื้นที่อ่าวไทยตอนในนี้ได้รับอิทธิพลจากปริมาณการไหลลงของน้ำจากแผ่นดินผนวกกับปัจจัยด้านการแลกเปลี่ยนถ่ายเทความร้อนที่ผิวน้ำและปัจจัยด้านกระแสน้ำและลมที่มีในพื้นที่ ทั้งนี้พบว่าการมีปริมาณน้ำจืดไหลลงน้อยและลมที่แรง ผนวกกับปัจจัยด้านการสูญเสียความร้อนที่ผิวหน้าน้ำในช่วงประมาณเดือนธันวาคมของทุกปี มีผลทำให้ระบบน้ำในพื้นที่อ่าวไทยตอนในเกิดการผสมผสานกันอย่างทั่วถึงทุกระดับความลึกของน้ำและมีบทบาทต่อกระบวนการเกิดของผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำได้

โดยทั่วไปเราพบว่าในพื้นที่ปากแม่น้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทยจะมีปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงสูงขึ้นเมื่อเข้าช่วงต้นฤดูน้ำหลาก (เดือนพฤษภาคมและเดือนมิถุนายน) ซึ่งมวลน้ำจืดจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนโดยสามารถเพิ่มสูงจากระดับเดิมถึงประมาณ 1.5-2 เท่าในช่วงกลางฤดูฝน (เข้าฤดูน้ำหลาก ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม) จากนั้นปริมาณน้ำจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงปลายฤดูน้ำหลาก (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม) จนกระทั่งมีระดับที่ต่ำที่สุดในราวเดือนเมษายนของทุกปี (กรมชลประทาน, 2556; **ภาพที่ 4.10**, **ตารางที่ 4.1**) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในปริมาณน้ำที่ไหลลงนี้มีบทบาทเหนี่ยวนำให้เกิดการแบ่งชั้นของน้ำได้มากกว่าอุณหภูมิของอากาศในแต่ละช่วงฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ซึ่งสามารถสะท้อนภาพความแตกต่างของชั้นน้ำจากอิทธิพลของน้ำที่ไหลลงมาได้มากกว่าในเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม (ที่มีอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยที่สูงขึ้นแต่มีปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงน้อยกว่า)

การไหลลงของน้ำ ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่นำพาเอาปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended solids; SS) รวมทั้งแร่ธาตุอาหารต่างๆ อาทิ Orthophosphate (PO_4^{3-}) และ Total nitrogen (TN) ลงสู่ระบบปากแม่น้ำและส่งผลให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ในทรัพยากรที่เกิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่องในระบบนิเวศ ความแตกต่างในปริมาณตะกอนหรือปริมาณ PO_4^{3-} ที่พบในแต่ละปากแม่น้ำจะสะท้อนสภาวะของการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ที่ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะหน้าดินลงมาหรือปริมาณการใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของชุมชน (Piyakarnchana *et al*., 1990) ความแตกต่างดังกล่าวยังได้รับอิทธิพลจากลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาของพื้นที่ อาทิ ด้านความลาดชันและโครงสร้างทางธรณีวิทยา ซึ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยผสมผสานที่ทำให้ลักษณะเชิงคุณภาพของมวลน้ำจืดที่ไหลลงมาในพื้นที่ปากแม่น้ำมีความแตกต่างกันออกไป

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบปริมาณการไหลของน้ำ (Inflow; $x10^6$ m^3) ของแม่น้ำสายต่าง ๆ ตามเดือน ในช่วงปี พ.ศ. 2552-53 *(ที่มา: ปรับปรุงจากกรมชลประทาน 2556)*

พื้นที่สำรวจ	ปี พ.ศ. 2552-53			
	เมษายน	สิงหาคม	ตุลาคม	มกราคม
แม่น้ำเจ้าพระยา อ.พระนครศรีอยุธยา จ.อยุธยา	494.89	538.98	2,584.66	601.55
แม่น้ำแม่กลอง อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	384.6	1,196	1,353	489.3
แม่น้ำเพชรบุรี อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี	13.48	74.53	43.10	16.90
แม่น้ำหลังสวน อ.เมือง จ.ชุมพร	11.90	114.22	183.26	89.58
แม่น้ำประแสร์ อ.แกลง จ.ระยอง	11.30	19.26	213.54	14.96

ปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงจากแผ่นดินมาสู่ปากแม่น้ำก่อให้เกิดการนำพาตะกอนอินทรีย์สารและแร่ธาตุอาหารลงมาสู่ระบบนิเวศปากแม่น้ำ ส่งผลให้เกิดกระบวนการผลิตในห่วงโซ่อาหารและความอุดมสมบูรณ์จากการผลิตทรัพยากรชีวภาพต่าง ๆ ที่มนุษย์เราสามารถใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิตได้ มวลน้ำจืดที่ไหลลงมายังช่วยรักษาสมดุลของความเค็มในพื้นที่ปากแม่น้ำโดยรวม โดยทำหน้าที่เสมือนกำแพงธรรมชาติที่กันการรุกล้ำของความเค็มจากเขตทะเล และยังช่วยลดผลกระทบจากอิทธิพลของคลื่นและกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลที่พัดเข้ามากระแทกแนวขอบฝั่งได้

ในปัจจุบันพบการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำจืดเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความจำเป็นในความต้องการทรัพยากรน้ำเพื่อกิจกรรมการเกษตร อุตสาหกรรม และการอุปโภคบริโภคต่างๆ ดังนั้น การจัดสร้างฝายทดน้ำหรือประตูควบคุมการเก็บกักน้ำและจัดสรรน้ำเพื่อให้มีปริมาณน้ำกระจายออกตามพื้นที่ด้านข้างของแม่น้ำสายหลักต่าง ๆ จึงเป็นเรื่องที่เห็นกันได้ทั่วไป ระบบชลประทานเพื่อการเกษตรที่เกิดขึ้นเป็นเครือข่ายในพื้นที่ราบลุ่มน้ำของไทยเรา ส่งผลต่อการพัฒนาพืชผลทางการเกษตรที่ต้องการผลิตบนแผ่นดิน แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลลงภายในระบบแม่น้ำธรรมชาติเดิมได้ลดน้อยลงไปตามลำดับ

ยกตัวอย่างในพื้นที่แม่น้ำเพชรบุรี ในเขตลำน้ำส่วนที่แยกลงไปออกปากอ่าวบางตะบูนนั้นพบว่ามวลน้ำประมาณ 95% ถูกผันไปใช้เพื่อกิจกรรมการเกษตรและการใช้ประโยชน์ในชุมชนด้านต่าง ๆ (ผ่านทางระบบคลองชลประทานที่มีในพื้นที่) เหลือส่วนน้อยเพียง 5% ที่ได้ปล่อยออกลงสู่แม่น้ำตามธรรมชาติ (Sangmek and Meksumpun, 2014) ผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างสังเกตได้ คือ ปัญหาการรุกล้ำของน้ำเค็มที่เกิดจากอิทธิพลของเขตทะเล ทำให้มวลน้ำกร่อยขึ้นมาเกือบถึงตัวอำเภอเมืองเพชรบุรี และปัญหาน้ำที่จะใช้ทำนาในตอนล่างของพื้นที่ลุ่มน้ำมีความเค็มสูงขึ้นซึ่งไม่เหมาะสมต่อการทำนาของชุมชนบริเวณตอนล่าง นอกจากนี้ยังพบว่าในพื้นที่อ่าวบางตะบูนยังพบปัญหาการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในแนวที่ชิดเขตตอนในของปากแม่น้ำได้บ่อยขึ้น (ระยะทางไม่เกิน 5-7 กิโลเมตร; ณิศราและคณะ, 2555) ซึ่งเดิมเคยมีพื้นที่ของการเกิด

ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีที่ห่างออกไปทางตอนนอก ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้อาจส่งผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่อ่าวและเป็นปัญหาในภาพรวมต่อไปได้

พื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำท่าจีนทางตอนล่างก็พบปัญหาจากการเก็บกักน้ำไว้ใช้เพื่อการทำนาปรังในช่วงกลางปี มวลน้ำที่ถูกเก็บกักไว้เหนือประตูระบายน้ำบริเวณแต่ละช่วงของแม่น้ำได้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำตามระยะเวลาที่ถูกกักเก็บ ซึ่งทั้งนี้มักทำให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำลงเรื่อย ๆ การปิดกั้นเส้นทางแม่น้ำเป็นช่วง ๆ โดยมีระยะเวลาการปิดกั้นที่นานและขาดการระบายเป็นระยะ ๆ นับเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำที่จะไหลลงสู่ปากแม่น้ำเกิดความเสื่อมโทรมลงไปเรื่อย ๆ จารุมาศและคณะ (2556) รายงานความแตกต่างในระดับออกซิเจนละลายน้ำบริเวณลำน้ำส่วนด้านหน้าประตูระบายน้ำกับระดับที่พบในแม่น้ำ โดยทั่วไปพบว่าปริมาณและคุณภาพน้ำที่ไหลลงสู่ระบบนิเวศปากแม่น้ำที่แปรเปลี่ยนไปนี้มีบทบาทต่อความหนาแน่นและรูปแบบการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ (Chuenniyom *et al.*, 2012) นอกจากนี้ ยังพบว่าความเร็วในการไหลลงของน้ำมีความสัมพันธ์กับศักยภาพในการบำบัดตัวตามธรรมชาติของระบบแม่น้ำ โดย Thaipichitburapa and Meksumpun (2010) แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของน้ำเป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญต่อการฟื้นฟูคุณภาพน้ำ ทั้งนี้ การควบคุมความเร็วของน้ำที่เหมาะสมจะช่วยในการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีนตอนล่างและเขตปากแม่น้ำได้

ปัญหาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลของน้ำดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นมักเป็นปัญหาที่พบในเขตเฉพาะที่ โดยระดับของปัญหามักแตกต่างกันออกไปซึ่งอาจไม่รุนแรงหรือครอบคลุมไปทั่วเขตภูมิภาค ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะทางภูมิอากาศในภาพรวมสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบน้ำในเชิงมหภาคได้ ยกตัวอย่างเช่นการเปลี่ยนแปลงสภาวะการไหลของแม่น้ำในพื้นที่ราบลุ่มตอนบนและตอนกลางของประเทศไทยในช่วงกลางปี พ.ศ. 2556 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดปรากฏการณ์มหาอุทกภัยครั้งใหญ่ มีการเกิดฝนตกหนักและน้ำท่วมหลากครอบคลุมเป็นบริเวณกว้าง ปรากฏการณ์เช่นนี้มีผลให้ระบบน้ำในกลุ่มลุ่มน้ำเดียวกันและบริเวณใกล้เคียงได้รับผลกระทบที่คล้ายคลึงกันในวงกว้างได้

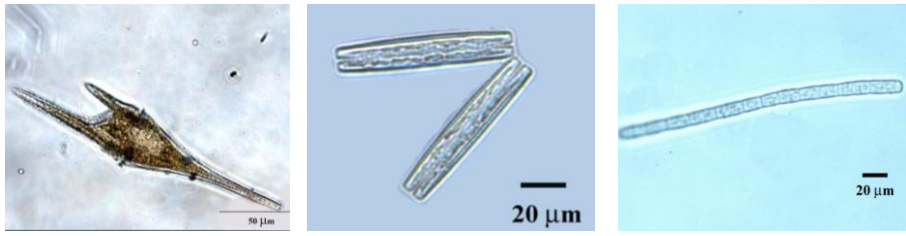
อนึ่ง ในปัจจุบันพบว่าการบริหารจัดการระบบลุ่มน้ำอย่างเชื่อมโยงและครบวงจรเป็นประเด็นที่ทุกภาคส่วนเริ่มให้ความสำคัญกันมากขึ้น ทั้งนี้ มีการดำเนินการจัดตั้งคณะกรรมการเฉพาะกิจ อาทิ คณะกรรมการบริหารจัดการลุ่มน้ำต่าง ๆ ขึ้นมา โดยให้ผู้เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำทุกภาคส่วนได้หันมาร่วมมือวางแผนการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม ในการบริหารจัดการเพื่อการอนุรักษ์หรือการคงไว้ซึ่งศักย์การผลิตของทรัพยากรชีวภาพในน้ำอย่างยั่งยืนนั้น ยังเป็นประเด็นที่ได้รับความสำคัญน้อย ทั้งนี้ อาจเนื่องจากเมื่อถูกประเมินความสำคัญโดยเปรียบเทียบกับมูลค่าในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำเพื่อการผลิตอื่นๆ แล้ว มูลค่าของทรัพยากรสัตว์น้ำมักมีค่าที่ต่ำกว่ามูลค่าของผลผลิตทางการเกษตร รวมทั้งผลผลิตที่เกิดจากการใช้น้ำในระบบอุตสาหกรรมและการบริการ ฯลฯ และเรายังขาดการคำนึงถึงคุณค่าทางนิเวศวิทยาและคุณภาพชีวิตที่ควรให้ความสำคัญสำหรับการอนุรักษ์ดูแลพื้นที่แหล่งน้ำในระยะยาว

4.2) ลักษณะสำคัญทางนิเวศวิทยาและห่วงโซ่อาหารในพื้นที่ปากแม่น้ำ

4.2.1) ระบบการผลิตและห่วงโซ่อาหาร

ระบบนิเวศของพื้นที่ปากแม่น้ำมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยองค์ประกอบ (ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ) ตามเวลาหรือตามฤดูกาลในรอบปีอย่างชัดเจน มีลักษณะของการจำแนกพื้นที่ภายในออกเป็นเขตย่อย ๆ ได้ หากพิจารณาความแตกต่างของปัจจัยตามแนวราบรวมตามระดับความลึก แต่ละปากแม่น้ำจะมีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันออกไป ตั้งแต่ลักษณะพื้นฐานในด้านสัณฐานวิทยา (อาทิ ขนาด ความกว้าง ความลึก และความลาดชันของพื้นที่ ฯลฯ) ด้านอุทกวิทยา (อาทิ ปริมาณการไหลของมวลน้ำ ทิศทางการเคลื่อนตัวของน้ำ และระยะเวลาการคงตัวของมวลน้ำในพื้นที่อ่าว ฯลฯ) และด้านนิเวศวิทยา (อาทิ ลักษณะการเกิดของผู้ผลิตขั้นต้น การเกิดทดแทนที่ของผู้บริโภคกลุ่มต่าง ๆ และลักษณะการแพร่กระจายของปัจจัยแวดล้อมที่มีบทบาทต่อกระบวนการผลิต ฯลฯ)

กำลังผลิตขั้นต้น (Primary productivity) ที่เกิดในพื้นที่ปากแม่น้ำเป็นปัจจัยที่แสดงศักยภาพในการผลิตอินทรีย์สารของแหล่งน้ำและสะท้อนสภาวะการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชซึ่งเป็นผู้ผลิตขั้นต้นหลักที่มีในพื้นที่ปากแม่น้ำ (**ภาพที่ 4.11**) กำลังผลิตขั้นต้นนับเป็นลักษณะพื้นฐานอย่างหนึ่งที่สะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างในเขตย่อยของพื้นที่ปากแม่น้ำหนึ่ง ๆ และแสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนในระหว่างพื้นที่ปากแม่น้ำอื่นที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกัน ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณและการกระจายของผลผลิตขั้นต้น (Primary production) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นปริมาณแพลงก์ตอนพืช (หรือปริมาณคลอโรฟิลล์) ในแต่ละช่วงเวลานั้นได้รับอิทธิพลจากปัจจัยควบคุมหลายปัจจัยที่แปรผันตามฤดูกาล รวมทั้งจากสภาวการณ์ทางภูมิอากาศที่จำเพาะถิ่น รวมทั้งจากบทบาทของลมมรสุมที่อาจเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลาจำเพาะในแต่ละปี



ภาพที่ 4.11 แพลงก์ตอนพืชชนิดหลักซึ่งเป็นผู้ผลิตขั้นต้นที่สำคัญในพื้นที่ปากแม่น้ำของไทย (ภาพซ้าย; *Ceratium* sp., ภาพกลาง; *Thallasionema* sp., ภาพขวา; *Trichodesmium* sp.)

ระบบนิเวศปากแม่น้ำนับเป็นระบบที่มีความซับซ้อนซึ่งเกิดจากการผสมผสานของบทบาทจากปัจจัยแวดล้อมทั้งทางกายภาพ ทางเคมี รวมทั้งกระบวนการทางชีววิทยาที่มีความเกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตที่หลากหลาย ในขณะเดียวกันระบบนิเวศปากแม่น้ำเองยังจัดเป็นระบบที่มี

ศักยภาพในการผลิตที่สูงมากเมื่อเทียบกับระบบนิเวศแม่น้ำลำธารหรือระบบนิเวศน้ำตกดังที่ได้กล่าวมาในบทต้นๆ ทั้งนี้ ภายในพื้นที่ปากแม่น้ำมีทั้งการใช้และการผลิตสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีการกระตุ้นให้ขับเคลื่อนและเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยที่โดดเด่น ได้แก่ แร่ธาตุอาหารที่มีในปริมาณสูง ความลึกเฉลี่ยของพื้นที่ที่ค่อนข้างต่ำ มีดินตะกอนพื้นท้องน้ำที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่อุดมสมบูรณ์ การมีพลังงานกระตุ้นที่เกิดจากคลื่นลมและกระแสน้ำที่สามารถเคลื่อนย้ายถ่ายเทมวลสารได้อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการได้รับสารอาหารและอินทรีย์สารจากแผ่นดินมาเติมอยู่ตลอดเวลา ฯลฯ

ระบบนิเวศลักษณะนี้ยังสะท้อนให้เห็นว่าคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำมีความสำคัญต่อสภาวะทรัพยากรและการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิด ซึ่งปัจจัยกระตุ้นที่สำคัญมากและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่ามีบทบาทต่อการเกิดผลผลิตขั้นต้นในพื้นที่ คือ ปริมาณแร่ธาตุอาหารที่มีมาก ทั้งที่เกิดขึ้นเองจากแหล่งที่มาภายในระบบ (Autochthonous source; อาทิ การนำพาโดยการเคลื่อนตัวเข้าออก การขึ้นลงของน้ำทะเล) หรือจากแหล่งภายนอกระบบ (Allochthonous source; อาทิ การรับน้ำจากแหล่งชุมชน จากเขตแผ่นดิน) ก็ตาม

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ปากแม่น้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณและช่วงเวลาที่มีการเกิดของผลผลิตขั้นต้น ซึ่งเชื่อมโยงสู่การเจริญทดแทนที่ (Succession) โดยกลุ่มของแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดเล็กที่ประชากรสามารถขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วจากการบริโภคแพลงก์ตอนพืชที่ขยายจำนวนขึ้นในบริเวณต่างๆ ของปากแม่น้ำนั้นเป็นอาหาร และเกิดเป็นห่วงโซ่การกินต่อกันเป็นทอด ๆ สิ่งมีชีวิตที่สามารถเคลื่อนที่และว่ายน้ำได้ดีโดยเฉพาะพวกปลาที่พบในบริเวณปากแม่น้ำมักเป็นพวกที่อยู่ไม่ประจำถิ่น การเคลื่อนที่ของฝูงปลาขนาดเล็กเกิดจากการว่ายตามมากินอาหาร (แพลงก์ตอนที่มีขนาดเล็กกว่า) ขณะเดียวกันยังมีปลาหลายชนิดที่มีการอพยพจากพื้นที่น้ำเค็ม (Anadromous fish) ขึ้นมายังส่วนตอนในของปากแม่น้ำที่เป็นพื้นที่รับน้ำจืดเพื่อการมาขยายพันธุ์ ขณะที่มีปลาอีกกลุ่มหนึ่งที่เคลื่อนที่ในทางกลับกัน คือ อพยพออกสู่พื้นที่น้ำเค็มเพื่อการขยายพันธุ์ (Catadromous Fish) แล้วจึงค่อยอพยพกลับสู่แหล่งอาศัยเดิม ส่วนใหญ่ปลาที่พบในพื้นที่ปากแม่น้ำมักจะขยายพันธุ์วางไข่ด้านนอกฝั่งออกไป ยกตัวอย่างเช่น กลุ่มปลาผิวน้ำ อาทิ ปลากะตัก ปลาทู หลังจากวางไข่แล้วตัวอ่อนที่เกิดขึ้นจึงจะว่ายเข้ามาหาอาหารและเจริญเติบโตในพื้นที่ปากแม่น้ำหรือเขตใกล้ฝั่งที่มีอาหารอุดมสมบูรณ์กว่า และเมื่อเจริญพันธุ์จนถึงระยะวัยรุ่นแล้วจึงค่อย ๆ อพยพออกจากฝั่งไปไกลขึ้นและขยายพื้นที่หากินออกสู่เขตทะเลด้านนอก

ลักษณะการอพยพย้ายถิ่นของประชากรสัตว์น้ำในบางระยะหรือบางช่วงของชีวิต รวมทั้งการเกิดประชากรผู้ผลิตขั้นต้นและผู้บริโภคขั้นแรก ๆ ในส่วนย่อยพื้นที่ปากแม่น้ำต่าง ๆ ทำให้เกิดภาพของความแตกต่างในการกระจายของทรัพยากรชีวภาพตามเขตของปากแม่น้ำแต่ละบริเวณ ซึ่งเราอาจสังเกตเห็นได้ว่าในพื้นที่ปากแม่น้ำแต่ละแห่ง จะมีบริเวณที่เป็น *“แหล่งทำการประมงที่ดี”* อยู่ในระยะห่างออกจากฝั่งในแนวที่ต่างกันออกไป ทั้งนี้ พื้นที่ที่เป็นแหล่งทรัพยากรประมงทั่วไปมักไม่พบในแนวตรงกลางร่องน้ำหรือด้านในสุดของปากแม่น้ำ แต่จะเป็นพื้นที่ทางทิศตะวันออกหรือตะวันตกของแนวร่องน้ำทางด้านข้าง หรือหากเป็นแนวตรงร่องน้ำ

พอดีก็จะพบการใช้ประโยชน์พื้นที่ด้านประมงที่มีระยะที่ห่างจากแผ่นดินออกไปในทะเลระยะหนึ่ง ซึ่งมักเรียกกันว่าเป็น *"แนวน้ำชน"* มีระดับความเค็มของน้ำใกล้เคียงกับความเค็มทะเลหรือสูงกว่าในพื้นที่ปากแม่น้ำตอนในอย่างชัดเจน (มีความเค็มประมาณ 18-20 ขึ้นไป)

ลักษณะการแพร่กระจายของปัจจัยทางคุณภาพน้ำและทรัพยากรมีชีวิตที่ปรากฏในพื้นที่ปากแม่น้ำดังที่ได้กล่าวมานั้น ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทางธรรมชาติของพื้นที่ซึ่งประกอบด้วยลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยา (ความลึก พื้นที่ผิวหน้าตัด และลักษณะโครงสร้างที่เชื่อมโยงกับพื้นที่เขตทะเลตอนนอก) และลักษณะของมวลน้ำจืดที่ถูกพัดพาลงมาว่ามีการนำพาของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำรวมทั้งสารแขวนลอยอนินทรีย์และอินทรีย์สารต่าง ๆ มากน้อยเพียงใด (Livingston, 2000; 2002) นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดตามฤดูกาลของปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ (อาทิ อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณน้ำฝน หรือน้ำหลาก ฯลฯ) ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่กระตุ้นการเปลี่ยนแปลงในผลผลิตขั้นต้นและทรัพยากรชีวภาพอื่น ๆ ที่เกิดในพื้นที่ปากแม่น้ำทำให้เกิดเป็นพลวัตในรอบปี

อนึ่ง เราพบว่าการเปลี่ยนแปลงผลผลิตของทรัพยากรทางน้ำบางชนิดได้รับผลกระทบจากการใช้ประโยชน์โดยมนุษย์อย่างชัดเจน ยกตัวอย่าง เช่น ทรัพยากรหอยลาย การทำประมงคราดหอยลายที่ทำกันอย่างหนานแน่นในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ในช่วงปี พ.ศ. 2549 ทำให้ประชากรหอยลายหายไปจากพื้นที่เป็นระยะเวลาหลายปีต่อจากนั้น (ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง, 2552) อย่างไรก็ตาม ทรัพยากรบางชนิดที่มีการเกิดทดแทนที่ได้เร็ว เช่น ทรัพยากรเคยในพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีวงชีวิตที่สั้นกว่าและเกิดขึ้นได้เป็นระยะๆ ในรอบปี การเปลี่ยนแปลงในผลผลิตก็จะได้รับผลกระทบจากการใช้ประโยชน์โดยมนุษย์ไม่ชัดเจน และโดยทั่วไปพบว่าการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของทรัพยากรขนาดเล็กที่จัดเป็นพวกแพลงก์ตอนในน้ำนั้นมักจะได้รับอิทธิพลจากภาวะความกดดันทางคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่อาจไม่เหมาะสมในบางช่วงเวลา

ห่วงโซ่อาหารในพื้นที่ปากแม่น้ำ

เมื่อพิจารณาในด้านห่วงโซ่อาหารแล้วพบว่าพื้นที่ปากแม่น้ำส่วนต่าง ๆ จะมีแหล่งอาหาร (สารอินทรีย์) ที่สำคัญและเป็นหลักในการพัฒนาของห่วงโซ่อาหารที่มีความแตกต่างกันไป ในพื้นที่ตอนในสุดและตอนกลางของปากแม่น้ำจะมีแหล่งของสารอินทรีย์ที่มาพร้อมกับการไหลลงของน้ำจืดจากแผ่นดินเป็นหลักและมีสัดส่วนของสารอินทรีย์จากพื้นที่น้ำกร่อยโดยรอบหรือจากแพลงก์ตอนพืชในบริเวณนั้นเป็นส่วนน้อย แต่ในพื้นที่เขตตอนนอกของปากแม่น้ำมีรายงานว่าแหล่งสารอินทรีย์หลักจะเกิดจากแพลงก์ตอนพืชที่มาจากเขตทะเล (Raiser *et al*. 2005) อย่างไรก็ตามเมื่อติดตามสิ่งมีชีวิตที่เคลื่อนที่ได้ดี (อาทิ กลุ่มกุ้งที่อาศัยอยู่ในแนวหญ้าทะเลในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำ) พบว่าถึงแม้ว่าอินทรีย์สารที่สะสมบริเวณพื้นท้องน้ำส่วนใหญ่เกิดจากซากเน่าเปื่อยของหญ้าทะเลหรือสารอินทรีย์ที่พัดพาลงมาตกตะกอนอยู่บริเวณนั้นก็ตาม แต่แหล่งอาหารของกุ้งเหล่านั้นกลับมีความหลากหลายที่มากกว่าในบริเวณพื้นท้องน้ำ (Lonerogan *et al*. 1997) ในทำนองเดียวกัน ในพื้นที่ปากแม่น้ำตอนในที่เป็นพื้นที่เขตป่าชายเลนซึ่งมีการสะสมของซากอินทรีย์สารจากป่าโกงกาง ก็พบว่าอาหารหรือ "แหล่งคาร์บอน" ที่ถ่ายทอดในระบบของ

ห่วงโซ่อาหารไม่ได้ประกอบด้วยสารอินทรีย์เหล่านั้นอย่างเดียว การได้รับอาหารของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหารของปากแม่น้ำจึงเป็นความเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการเลือกกินและขอบเขตในการเคลื่อนที่หากิน ที่อาจครอบคลุมอาณาเขตกว้างมากกว่าในพื้นที่เฉพาะตำแหน่งก็เป็นได้

การวิเคราะห์โครงสร้างของสายใยอาหารตามธรรมชาติในระบบนิเวศปากแม่น้ำเป็นเรื่องที่ซับซ้อน ทั้งนี้ เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนตัวของกระแสน้ำมีบทบาทสำคัญต่อการแพร่กระจายและการเคลื่อนตัวของทรัพยากรมีชีวิตชนิดต่างๆ รวมทั้งต่อปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ในทิศทางที่ไม่สม่ำเสมอ ปัจจุบันมีการใช้เทคนิคการติดตามค่าไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($\delta^{15}N$) ที่สะสมอยู่ในบริเวณพื้นท้องน้ำเพื่อมาประเมินด้านประเภท (แหล่งที่มา) ของตะกอนอินทรีย์ที่มีการสะสมอยู่ในดินพื้นท้องน้ำ โดยทั้งนี้ หากค่าไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินมีค่าต่ำที่ระดับประมาณ 2-3 per mille จะทำให้เราทราบว่าตะกอนอินทรีย์ในดินพื้นท้องน้ำนั้นเกิดจากแพลงก์ตอนพืชที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำนั้นเป็นหลัก และถ้าหากค่าไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินมีค่าสูงขึ้นไปจากเดิมประมาณ 3 per mille ก็จะทำให้ทราบตะกอนอินทรีย์ในดินพื้นท้องน้ำเกิดจากผู้บริโภคขั้นต้นที่กินผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำ ทั้งนี้ การเพิ่มของค่าไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในช่วงชั้นทีละ 3 per mille ทำให้เราสามารถประเมินลักษณะของแหล่งอาหารที่เกิดจากการกินต่อกันเป็นทอด ๆ หรือทำให้ทราบแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ได้

ในพื้นที่ปากแม่น้ำ Exe ทางใต้ของประเทศอังกฤษ ซึ่งเป็นแหล่งหอยแมลงภู่ขนาดใหญ่ (*Mytilus edulis*) และพบปัญหาการเสื่อมโทรมลงของประชากรหอยแมลงภู่เกิดขึ้น การใช้ค่าไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($\delta^{15}N$) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของอาหารที่กินในกระเพาะของหอยแมลงภู่ทำให้ทราบว่าหอยแมลงภู่กินแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่ม Copepod (*Mytilicola intestinalis*) อย่างมากมาย และ copepod ชนิดนี้มีลักษณะของความเป็น “ปาราสิต” อยู่ (Gresty *et al*. 1993) สำหรับในประเทศไทยเรายังไม่พบรายงานการใช้เทคนิคของไนโตรเจนไอโซโทปเสถียรเช่นนี้ในแหล่งปากแม่น้ำ มีการประยุกต์ใช้ค่าไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) สำหรับการประเมินอิทธิพลของสารอินทรีย์จากแผ่นดินที่มีต่อพื้นท้องน้ำในเขตอ่าวไทยตอนกลางและตอนล่าง (Meksumpun *et al*. 2005) ผลการศึกษาพบว่า ตะกอนของสารอินทรีย์ที่ถูกพัดพาลงมาจากแผ่นดินเข้ามาสู่อ่าวไทยตอนในนั้น จะเกิดการสะสมหรือตกตะกอนลงที่ผิวหน้าดินในระยะทางห่างจากฝั่งโดยเฉลี่ยแล้วไม่เกิน 30 ไมล์ทะเล ตะกอนจากแผ่นดินดังกล่าวได้ตกทับถมในบริเวณปากแม่น้ำทางตอนนอกเป็นหลัก ขณะที่ตะกอนอินทรีย์สารที่พบสะสมในพื้นท้องน้ำของเขตที่ออกนอกฝั่งออกไปนั้น เป็นตะกอนที่เกิดขึ้นจากแพลงก์ตอนพืชที่เกิดขึ้นในเขตทะเล ทั้งนี้ พบว่าค่า $\delta^{13}C$ ในพื้นดินเขตอ่าวไทยนั้นมีระดับที่ใกล้เคียงกับค่า $\delta^{13}C$ ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Division Cyanophyta; *Trichodesmium)* ผลการศึกษาดังกล่าวทำให้เราทราบว่าตะกอนส่วนใหญ่ที่สะสมอยู่ในเขตตอนกลางของอ่าวไทยมีที่มาจากแพลงก์ตอนพืชหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เจริญขึ้นมาในพื้นที่เขตทะเลนั้นนั่นเอง

ความหลากหลายทางชีวภาพ

พื้นที่ปากแม่น้ำ เป็นพื้นที่ที่คนส่วนใหญ่ตระหนักว่าเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงมาก อย่างไรก็ตามปากแม่น้ำทั่วไปมักจะมีความหลากหลายทางชีวภาพในระดับที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากมีจำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตซึ่งสามารถปรับตัวหรือมีความทนทานต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในสภาวะแวดล้อมที่แปรปรวนตลอดเวลาได้นั้นอยู่ในระดับที่จำกัด โดยเฉพาะในพื้นที่ปากแม่น้ำตอนกลางที่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ สูงที่สุด พบการมีจำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตน้อยกว่าในพื้นที่ตอนนอกสุดที่มีค่าความเค็มใกล้เคียงกับระดับน้ำทะเลหรือในพื้นที่ตอนในสุดที่เป็นเขตน้ำจืด อย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบความหลากหลายทางชีวภาพกับบริเวณที่เป็นเขตทะเลตอนนอกที่อยู่ถัดออกไป จำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตในเขตปากแม่น้ำตอนนอกยังสะท้อนภาพของพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงมากกว่าเขตทะเล ทั้งนี้ ในพื้นที่ปากแม่น้ำบริเวณที่มีค่าความเค็มของน้ำในช่วงประมาณ 5-18 จัดเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงในจำนวนชนิดซึ่งมักลดระดับลงต่ำกว่าบริเวณอื่น บริเวณดังกล่าวนี้จึงมีเสถียรภาพต่ำและมีโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยต่าง ๆ ได้สูง และเป็นพื้นที่สำคัญที่สะท้อนสภาวะปัญหาความกดดันจากเขตน้ำจืด (รวมทั้งอิทธิพลจากมลภาวะที่มาจากการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ปากแม่น้ำในแถบภูมิภาคต่าง ๆ กันแล้วจะพบว่าปากแม่น้ำที่อยู่ในเขตอบอุ่นหรือเขตหนาวมักจะมีความหลากหลายทางองค์ประกอบชนิดของสิ่งมีชีวิตที่ต่ำกว่าปากแม่น้ำในเขตร้อน ทั้งนี้ เนื่องจากปัจจัยกดดันในด้านการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีขอบเขตที่กว้างมากกว่านั่นเอง

ในพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีมลภาวะทางอินทรีย์สารสูงมาก อาทิ ปากแม่น้ำท่าจีน ในเขตจังหวัดสมุทรสาคร ผลการศึกษาดัชนีชี้วัดความหลากหลายทางชีวภาพ (Biological diversity index; H' หรือ Channon-Wiener diversity index; Ludinig and Reynold, 1988) พบว่าค่า H' ของสัตว์พื้นท้องน้ำมีค่ากระจายอยู่ในช่วง 0.81-1.76, 0.75-1.58, และ 1.19-1.70 สำหรับในช่วงปลายฤดูน้ำหลาก ช่วงกลางฤดูน้ำหลาก และช่วงฤดูน้ำแล้งของปี พ.ศ. 2550-2551 ตามลำดับ ในภาพรวมแล้วค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพมีค่าอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำถึงระดับที่ต่ำมาก แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่มีองค์ประกอบทางชนิดของสิ่งมีชีวิตที่ค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวมีลักษณะความแตกต่างตามบริเวณย่อยต่าง ๆ ของปากแม่น้ำอยู่พอสมควร ยกตัวอย่างเช่น ในตำแหน่งที่ใกล้ร่องน้ำตอนบน พบว่า H' ต่ำ (0.81) ในช่วงปลายฤดูน้ำหลาก แต่มีค่าสูงขึ้นในช่วงฤดูน้ำแล้ง (1.78) ของปีถัดไป ในขณะที่พื้นที่ตอนนอกสุดใกล้เขตทะเล ค่า H' ในช่วงปลายฤดูน้ำหลากนี้จะมากกว่าเล็กน้อย (1.18 และ 1.22) และไม่แปรเปลี่ยนตามฤดูกาลเท่าใด

จากลักษณะดังกล่าว การประยุกต์ใช้ค่าความหลากหลายทางชีวภาพ (H') เพื่อการประเมินสถานการณ์ในเชิง "ความอุดมสมบูรณ์" ของพื้นที่ปากแม่น้ำอาจพบข้อจำกัด ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ปากแม่น้ำมีสภาวะแวดล้อมที่แปรปรวนสูง การประเมินสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์จึงควรพิจารณาจากระดับ "มวลชีวภาพ" ของสิ่งมีชีวิต ที่จะสามารถส่งต่อไปสู่ช่วงชั้นของการกินต่อกันเป็นทอด ๆ ในระบบนิเวศมากกว่า อนึ่ง ผลการศึกษาที่ผ่านมายังพบว่าค่า H'

ไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมทางน้ำ อาทิ ค่าความเค็ม ระดับแร่ธาตุอาหาร ระดับออกซิเจนในน้ำ หรือระดับของอินทรีย์สารและซัลไฟด์ในดินพื้นท้องน้ำ (Ritnim and Meksumpun, 2011)

ในระบบนิเวศปากแม่น้ำเขตร้อนเช่นในประเทศไทยนี้ สัตว์หน้าดินที่พบเป็นประชากรเด่นมักเป็นไส้เดือนทะเลใน Phylum Annelida ซึ่งพบความหนาแน่นได้สูงถึงประมาณ 20,000 ตัวต่อตารางเมตร ตามมาด้วยสัตว์ในกลุ่มของหอย สัตว์เหล่านี้ได้รับอิทธิพลจากปริมาณการไหลลงของน้ำจืดจากแม่น้ำอย่างมาก เราพบว่าความหนาแน่นของประชากรสัตว์หน้าดินโดยส่วนใหญ่จะลดลงในช่วงที่มีมวลน้ำจืดไหลลงน้อย ในขณะที่ช่วงฤดูน้ำหลากพบการเปลี่ยนแปลงที่หลากหลาย โดยมีทั้งบริเวณที่สัตว์หน้าดินเจริญได้ดีและในบริเวณที่เกิดการลดลงของประชากรอย่างชัดเจน ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนตอนบนและตอนกลางเราสามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของไส้เดือนทะเลชนิด *Nereis* และ *Prionospio* และหอยสองฝาขนาดเล็กชนิด *Arcuatula* เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำได้ ทั้งนี้ พบว่าจำนวนของหอยดังกล่าวจะลดน้อยลงเมื่อแหล่งน้ำมีระดับของแอมโมเนียมไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น ($p<0.05$) ส่วนไส้เดือนทะเลจะเพิ่มความชุกชุมขึ้นในช่วงมีปริมาณสารอินทรีย์ในดินสูงขึ้น (Ritnim and Meksumpun, 2011) ในพื้นที่นี้ยังพบว่าหอยสองฝาบางชนิด อาทิ หอยพิม (*Pholas orientalis*) อาจได้รับผลกระทบจากปริมาณซัลไฟด์ในดินที่มากเกินไป ซึ่งมักเป็นในช่วงกลางฤดูน้ำหลากที่เริ่มมีการสะสมของสารอินทรีย์ในดินในระดับที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ลักษณะผลกระทบดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นที่จะต้องควบคุมการทิ้งน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์รวมทั้งแร่ธาตุอาหารโดยเฉพาะกลุ่มไนโตรเจนรูปแบบต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อแหล่งปากแม่น้ำ มิเช่นนั้นแล้วอาจจะเป็นปัญหาต่อการสูญพันธุ์ของหอยบางชนิดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจและเกิดปัญหาในด้านการทำประมงซึ่งเป็นผลกระทบในภาพกว้างได้

พื้นที่ปากแม่น้ำนับเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีความหลากหลายของชนิดพันธุ์สัตว์น้ำสูงมาก ยกตัวอย่างในระบบนิเวศน้ำกร่อยปากแม่น้ำบางปะกง มีรายงานพบชนิดพันธุ์ปลารวม 170 ชนิด ใน 53 วงศ์ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2548) และยังมีสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ อีกหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นหอยชนิดต่าง ๆ และกลุ่มกุ้ง ปู ฯลฯ โดยทั่วไปพื้นที่ปากแม่น้ำนับเป็นพื้นที่ที่มีกำลังผลิตสูงมากเมื่อเทียบกับแหล่งน้ำในเขตชายฝั่งหรือในเขตทะเล (Jørgensen *et al*., 2013) ซึ่งเมื่อเทียบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่แล้วพื้นที่ปากแม่น้ำมีกำลังผลิตสูงกว่าพื้นที่เขตชายฝั่งทะเลทั่วไปถึงประมาณ 2 เท่า (Knoppers, 1994) ลักษณะดังกล่าวเกิดจากการมีมวลน้ำที่ไหลลงจากแผ่นดินและการขึ้นลงของน้ำจากเขตทะเลที่สมดุลและต่อเนื่องกันมา ทำให้พื้นที่เกิดความอุดมสมบูรณ์และเกิดกำลังผลิตของแพลงก์ตอนที่สูง ซึ่งก่อให้เกิดผลผลิตอื่น ๆ ตามมา ไม่ว่าจะเป็นผลจากทรัพยากรประมงที่เกิดตามธรรมชาติ หรือการใช้ประโยชน์ในพื้นที่เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ยังรายได้ให้แก่ชุมชนโดยรอบและยังก่อให้เกิดอาหารโปรตีนที่เป็นประโยชน์ในวงกว้าง ทั้งระดับภูมิภาคและระดับประเทศต่อไปได้

4.2.2) ผู้ผลิตขั้นต้นในพื้นที่ปากแม่น้ำ

ระบบแพลงก์ตอนในพื้นที่ปากแม่น้ำ

ในพื้นที่ปากแม่น้ำส่วนใหญ่สามารถพบแพลงก์ตอนพืชที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้นกลุ่มหลัก 5 กลุ่ม ได้แก่ ไดอะตอม (Diatoms) ไดโนแฟลกเจลเลท (Dinoflagellate) คอคโคลิโธฟอริด (Coccolithophorid) ซิลิโคแฟลกเจลเลท (Silicoflagellate) และแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้ (Photosynthetic bacteria) ซึ่งแต่ละกลุ่มมีลักษณะพื้นฐาน ดังนี้

Diatoms: เป็นกลุ่มแพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดที่หลากหลาย มีผนังเซลล์ประกอบด้วยซิลิกาหรือเพคตินซึ่งมีลักษณะเป็นลวดลายหลายรูปแบบ การสะสมของซิลิกาที่มีระดับมากกว่าในน้ำถึงประมาณ 2.6 เท่าทำให้ Diatoms หนักกว่าน้ำและมีการปรับตัวทางสรีรวิทยาเพื่อการลอยตัว Diatom ยังมีการใช้ Vacuole ในเซลล์เพื่อการกักเก็บแร่ธาตุอาหารไว้ได้

Dinoflagellate: เป็นกลุ่มแพลงก์ตอนพืชที่มีหนวดและบางชนิดมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ มีขนาดทั่วไปเท่าๆ กับ Diatoms แต่อาจเล็กกว่าเล็กน้อยอยู่ในช่วง 1-100 μm ทั้งนี้ เซลล์ที่มีขนาดเล็กจะมีสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาณของเซลล์มากกว่า ทำให้มีศักยภาพในการดึงเอาแร่ธาตุอาหารจากน้ำที่มีความเข้มข้นต่ำกว่ามาใช้ได้ดี Dinoflagellate ยังสามารถใช้หนวดในการว่ายน้ำไปในแหล่งที่มีแร่ธาตุอาหารหรือใช้หมุนตัวหรือพัดโบกรอบเพื่อเพิ่มโอกาสการรับสัมผัสกับแร่ธาตุอาหารในน้ำได้ด้วย

Coccolithophorid: เป็นกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่เซลล์ถูกห่อหุ้มด้วยแผ่นบาง ๆ ของแคลเซียมคาร์บอเนตภายใต้เยื่อเมือกที่หุ้มเซลล์ แหล่งที่พบส่วนมากอยู่เขตทะเลไกลฝั่งหรือทะเลตอนนอกของพื้นที่เขตน้ำอุ่นแต่อาจพบหนาแน่นเป็นบางบริเวณได้ในพื้นที่ใกล้ฝั่ง

Silicoflagellate: เป็นกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดเล็ก มีหนวด ส่วนของโครงสร้างโดยรอบเซลล์มีลักษณะจำเพาะที่เป็นองค์ประกอบของซิลิกาอยู่ แพลงก์ตอนพืชกลุ่มนี้มักพบในแหล่งน้ำเขตหนาวที่มีแร่ธาตุอาหารสูง

Photosynthetic bacteria: เป็นกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่มีผนังเซลล์เป็นไคติน (Chitin) มีขนาดของเซลล์ที่หลากหลาย อาทิ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Synechococcus* ซึ่งมีขนาดเล็กประมาณ 1-2 μm ขณะที่ *Trichodesmium* เซลล์สามารถต่อกันเป็นสายได้ยาวมากกว่า 100 μm

อนึ่ง การวิเคราะห์กลุ่มของแพลงก์ตอนพืชตามขนาดของเซลล์ เป็นแนวทางสำคัญหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายกระบวนการทางนิเวศวิทยาและบทบาทของแพลงก์ตอนพืชที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของแหล่งอาหารภายในห่วงโซ่อาหารทางน้ำ ในการจำแนกกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชออกตามขนาดของเซลล์ (Mann, 2000) สามารถจัดแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) Microplankton มีขนาด 20-200 μm ประกอบด้วยกลุ่ม Diatoms และ Dinoflagellates เป็นหลัก 2) Nanoplankton มีขนาด 2-20 μm ประกอบด้วยกลุ่ม Diatoms, Coccolithophore

และ Silicoflagellates เป็นหลัก และ 3) Picoplankton มีขนาดเล็กกว่า 2 μm ประกอบด้วยกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายขนาดเล็กมากชนิดอื่น ๆ

ไดอะตอมมักเป็นกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่มีน้ำหนักมากกว่า จึงจำเป็นต้องพยายามรักษาระดับให้อยู่ในมวลน้ำที่มีกระแสน้ำแรง เพื่อให้เกิดการผลักดันให้หมุนวนอยู่ในมวลน้ำส่วนบน ส่วนพวกไดโนแฟลกเจลเลทไม่มีโครงสร้างแข็งภายนอก เป็นพวกที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับน้ำ (โดยทั่วไปมักมีขนาดเฉลี่ยที่เล็กกว่าไดอะตอม) จึงเป็นกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่สามารถแพร่กระจายได้มากกว่าและพบในน้ำที่นิ่งกว่าหรือมีแร่ธาตุอาหารที่ต่ำกว่าได้ ในพื้นที่ปากแม่น้ำ อาทิ ในอ่าว Narragansett ประเทศอเมริกา พบว่าไดอะตอมชนิด *Skeletonema costatum* แพร่กระจายอยู่เป็นชนิดเด่น และพบมากกว่า 80% ในช่วงฤดูใบไม้ผลิ (Mann, 2000) อย่างไรก็ตามในหลายเขตพื้นที่พบว่าแพลงก์ตอนพืชชนิดเล็กในกลุ่มของ Picoplankton (< 2 μm) มักเจริญขึ้นมาถึงระดับความหนาแน่นที่สูงมากกว่า 10 ล้านเซลต่อลิตร (Klinkenberg and Schumann, 1995) โดยเฉพาะในพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีแร่ธาตุอาหารสูง ทั้งนี้ พบว่า Picoplankton ชนิด *Synechococcus* และ Flagellate บางชนิดที่เป็น Nanoplankton (Lewitus *et al.,* 1998) ถึงแม้จะมีความชุกชุมแค่ประมาณครึ่งหนึ่งของมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชรวม แต่ยังให้กำลังขั้นต้นที่สูงมากได้ด้วย

4.2.3) ผู้บริโภคในพื้นที่ปากแม่น้ำ

แพลงก์ตอนที่เป็นผู้บริโภคในพื้นที่ปากแม่น้ำ

ผลผลิตของแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ปากแม่น้ำมีปริมาณเฉลี่ยที่สูงกว่าในพื้นที่ชายฝั่งทั่วไป ไม่ว่าจะในบริเวณที่เป็นสภาพธรรมชาติดั้งเดิมหรือบริเวณที่มีการใช้ประโยชน์จากมนุษย์ ทั้งนี้ เนื่องจากในพื้นที่ปากแม่น้ำมีการเคลื่อนตัวของน้ำมีแร่ธาตุอาหารสูงที่นำพาลงมาพร้อม ๆ กับมวลของน้ำจืดที่ไหลลงและน้ำจากเขตทะเลมาบรรจบกัน พื้นที่ปากแม่น้ำยังมีกิจกรรมการใช้ประโยชน์โดยรอบ ซึ่งมีทั้งการตั้งถิ่นฐานของชุมชนอย่างหนาแน่น และการพัฒนาของสังคมทั้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม พื้นที่บริเวณนี้จึงเป็นบริเวณที่มีแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ได้มากกว่าเขตชายฝั่งทั่วไปหรือเขตทะเลทางตอนนอก และมีการเกิดของผลผลิตขั้นต้นที่มากขึ้นตามไปด้วย

ลักษณะความอุดมสมบูรณ์พื้นฐานดังกล่าวนี้เป็นที่มาของการเกิดประชากรแพลงก์ตอนที่เป็น “ผู้บริโภค” ในบริเวณปากแม่น้ำได้หลากหลายชนิด โดยแพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ก็จะเป็นอาหารต่อไปของแพลงก์ตอนสัตว์ (โดยเฉพาะ Copepod เป็นกลุ่มหลัก) และแพลงก์ตอนสัตว์ชนิดต่าง ๆ **(ภาพที่ 4.12**) ก็จะเป็นอาหารต่อไปให้กับสัตว์น้ำผู้มาบริโภค และมีบทบาทต่อการเกิดของทรัพยากรประมงที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจได้หลากหลายชนิดในห่วงโซ่อาหาร ส่วนแพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดเล็กมากจะมีเส้นทางในห่วงโซ่อาหารไปในอีกทิศทางหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ (Microbial loop) ซึ่งเป็นวงจรการหมุนเวียนของอนินทรีย์สารและอินทรีย์สารในแหล่งน้ำและนับว่ามีความสำคัญในระบบนิเวศปากแม่น้ำมากเช่นกัน

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.12 แพลงก์ตอนสัตว์ทั่วไปที่พบในพื้นที่ปากแม่น้ำของประเทศไทย (ตัวอย่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร: ภาพ ก; Polychaete larvae, ภาพ ข; Copepod, ภาพ ค; Mysid) *(ภาพโดย: มณฑ์นิศาษ์ ศรีสมวงศ์)*

แพลงก์ตอนที่เป็นผู้บริโภคในพื้นที่ปากแม่น้ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่มที่เป็นแพลงก์ตอนล่องลอยอยู่ในมวลน้ำตลอดวงชีวิต (Holoplankton) และกลุ่มที่เป็นแพลงก์ตอนแค่ระยะหนึ่งของวงชีวิต (Meroplankton) อาทิ สัตว์หน้าดินหรือปลาในระยะวัยอ่อน ทั้งนี้ การจำแนกแพลงก์ตอนสัตว์สามารถใช้ขนาดตาของถุงลากเพื่อการจำแนกด้านขนาด (โดยทั่วไปเริ่มจากถุงลากแพลงก์ตอนที่มีขนาดตา 20 μm) ซึ่งทำให้เราสามารถจำแนกเป็นกลุ่มเบื้องต้น ได้ดังนี้

ขนาด 20-2,000 μm	จัดเป็นกลุ่ม Net plankton หรือ Microplankton
ขนาด > 2,000 μm	จัดเป็นกลุ่ม Macrozooplankton
ขนาด < 20 μm	จัดเป็นกลุ่ม Nanoplankton
ขนาด < 2 μm	จัดเป็นกลุ่ม Picoplankton หรือ Ultraplankton

โดยทั่วไป “Net plankton” เป็นกลุ่มทีมีการศึกษาวิเคราะห์และเก็บตัวอย่างมากกว่ากลุ่มอื่น โดยภายในกลุ่มนี้จะพบ Copepod ขนาดเล็กซึ่งเป็นแพลงก์ตอนสัตว์ชนิดเด่นและเป็นทั้งผู้บริโภคแพลงก์ตอนพืชและเป็นอาหารของปลาได้หลากหลายชนิด Copepod จึงนับเป็นสิ่งมีชีวิตสำคัญที่เป็นตัวประสานความเชื่อมโยงระหว่างผู้ผลิตขั้นต้นและทรัพยากรประมงในพื้นที่ปากแม่น้ำ

ในการพิจารณาเชิงปริมาณหรือความชุกชุมที่ผ่านมาพบว่าแพลงก์ตอนสัตว์มีมวลชีวภาพที่หลากหลายและแปรผันมากทั้งในปากแม่น้ำต่างกันหรือในปากแม่น้ำเดียวกันแต่คนละช่วงเวลา (**ตารางที่ 4.2**) มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบใน 1 ลูกบาศก์เมตรของน้ำอาจมีค่าต่ำถึง 1 มิลลิกรัม จนถึงมากกว่า 100 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง โดยพบว่ามีอัตราผลิตที่แปรผันสูงและมีค่าสูงได้ถึงประมาณ 90 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน อย่างไรตาม เมื่อศึกษาเปรียบเทียบกับอัตราผลิตของผู้ผลิตขั้นต้นซึ่งพิจารณาในหน่วยของคาร์บอนที่ผลิตได้ในพื้นที่

แหล่งน้ำหนึ่ง ๆ (ในหน่วยกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อปี; g C/m^2/yr) เราพบว่าขณะที่แพลงก์ตอนพืชให้อัตราผลิตในช่วง 100-500 g C/m^2/yr นั้น แพลงก์ตอนสัตว์มักแสดงระดับการผลิตที่ต่ำกว่าประมาณสิบถึงร้อยเท่า โดยอยู่ในช่วงประมาณ 5-10 g C/m^2/yr (Mann, 2000)

ตารางที่ 4.2 ความแปรผันในความหนาแน่นของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในพื้นที่ปากแม่น้ำต่าง ๆ ของประเทศไทย

แหล่งปากแม่น้ำ	ความหนาแน่น (ตัว/ลูกบาศก์เมตร)	ที่มา
ปากแม่น้ำท่าจีน จ.สมุทรสาคร	24-22,819	จารุมาศและคณะ, 2557
ปากแม่น้ำท่าจีน จ.สมุทรสาคร	156,334	พิสมัย, 2544
ปากแม่น้ำท่าจีน จ.สมุทรสาคร	28,000-76,000	ลออศรีและธรรมนูญ, 2525
ปากแม่น้ำบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา	13,000-51,000	หัตถยา, 2530
ปากแม่น้ำแม่กลอง จ.สมุทรสงคราม	10,000,000	รังสิมันต์, 2540
ปากแม่น้ำแม่กลอง จ.สมุทรสงคราม	2,000-540,000	ศิริพร, 2549
ป่าชายเลนคลองสิเกา จ.ตรัง	10,000-39,000	ศิริลักษณ์, 2541
คลองปากเม็ง จ.ตรัง	65,300-268,000	พรเทพ, 2547

การเกิดของแพลงก์ตอนสัตว์ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องตามปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่เกิดขึ้นเสมอไป ทั้งนี้ เนื่องจากเหตุผลหลายประการ ส่วนหนึ่งก็คือการพบว่าแพลงก์ตอนสัตว์สามารถเลือกกินเฉพาะชนิด หรือเฉพาะขนาดของแพลงก์ตอนพืชที่มี นอกจากนี้แพลงก์ตอนสัตว์จำนวนมากยังสามารถใช้ซากพืชซากสัตว์ (Detritus) ที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำเป็นแหล่งของอินทรีย์สาร นอกจากนี้ สำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีความแปรปรวนของมวลน้ำตลอดเวลา การเกิดของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์จะได้รับอิทธิพลจากการผสมผสานของน้ำได้มาก และยังขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมจำเพาะบางประการที่ผสมผสานกันในพื้นที่

สำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่พบคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมมาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะปัญหายูโทรฟิเคชันที่รุนแรง (Hypertrophic condition) ซึ่งพบระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำมากเป็นช่วง ๆ จากหลายสาเหตุ (จารุมาศ และคณะ, 2557) ผลการศึกษาติดตามความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในเขตปากแม่น้ำท่าจีนพบว่ามีค่าความหนาแน่นที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชที่พบ ผลการศึกษาดังกล่าวนับเป็นการสะท้อนให้เห็นปัญหาคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ (โดยเฉพาะด้านออกซิเจน) ซึ่งก่อผลกระทบต่อการผลิตของแพลงก์ตอนสัตว์ในพื้นที่ และยังจะส่งผลกระทบถึงทรัพยากรประมงที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ที่มีในห่วงโซ่อาหารของพื้นที่ปากแม่น้ำ

กำลังผลิตขั้นที่สองในบริเวณพื้นท้องน้ำ

การเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ในบริเวณพื้นท้องน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศปากแม่น้ำได้สองทาง ทางแรก คือ การเข้าสู่ระบบการย่อยสลาย ซึ่งมีแบคทีเรียเป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อนกระบวนการ แล้วส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุอาหารกลับขึ้นไปสู่กระบวนการใช้โดยผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำ ทางที่สอง คือ การที่สารอินทรีย์เหล่านั้นถูกใช้เป็นอาหารโดยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหลากหลายชนิดที่เกิดการเจริญเติบโตขึ้นมาในพื้นที่ แล้วจากนั้นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กดังกล่าวเกิดการถูกกินต่อกันเป็นทอด ๆ ในสายใยอาหาร ทำให้เกิดกลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและปลาชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มนุษย์เรานำมาใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

การเกิดของผลผลิตขั้นที่สองในบริเวณพื้นท้องน้ำ ส่วนใหญ่เป็นการเกิดของประชากรสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่สามารถใช้อินทรีย์สารบริเวณหน้าดินหรือในเนื้อดินตะกอนเป็นแหล่งสารอินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาขยายขนาดประชากร ในการศึกษามวลชีวภาพของไส้เดือนทะเลหลายชนิด (เช่น *Arenicola*) รวมทั้งสัตว์ในกลุ่มหอยที่กรองกินตะกอนได้ (เช่น *Macoma*) พบว่ามวลชีวภาพมีการแปรผันในช่วงกว้าง ประมาณ 0.2-25.0 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร และพบว่ามีกำลังผลิตอยู่ในช่วง 0.8-28.0 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อปี (Mann, 2000) สัดส่วนของอัตราผลิต (Productivity; P) ต่อมวลชีวภาพ (Biomass; B) หรือ P/B มีค่าแปรปรวนที่สูง โดยจะพบว่าค่า P/B จะมีค่าต่ำกว่า 1 หากสัตว์หน้าดินที่สนใจนั้นมีวงชีวิตที่ค่อนข้างยาว ซึ่งหมายถึงในรอบปีจะมีการเกิดของประชากรใหม่ ๆ น้อยกว่ามวลชีวภาพของสัตว์ชนิดนั้น ๆ ที่ปรากฏอยู่ในพื้นที่ ในทางตรงกันข้ามหากสัตว์หน้าดินที่สนใจมีวงชีวิตที่สั้น และขยายพันธุ์หรือออกไข่ได้บ่อยๆ การเกิดประชากรใหม่ๆ ที่เพิ่มขึ้นก็มักจะมีมาก ทำให้เกิดสัดส่วนของ “P” มากกว่า “B” และค่า P/B นี้จะสูงกว่า 1 ได้หลายเท่า

การเกิดของผลผลิตขั้นที่สองนับเป็นการเกิดของผลผลิตที่เชื่อมโยงสู่ประโยชน์ในการเป็นอาหารของมนุษย์หรือเกี่ยวพันกับห่วงโซ่อาหารที่ส่งต่อไปยังทรัพยากรประมงที่มีคุณค่าในทางเศรษฐกิจ ความพยายามในการประเมินผลผลิตขั้นที่สองในพื้นที่ปากแม่น้ำจึงนับเป็นเรื่องที่น่าสนใจและส่งผลต่อการกำหนดแผนบริหารจัดการด้านการอนุรักษ์หรือการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรสัตว์น้ำอย่างเหมาะสม

ในการศึกษาที่ผ่านมาของ Robertson (1979) ซึ่งทำการวิเคราะห์ข้อมูลกำลังผลิตของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (Macrobenthos) จากข้อมูลการศึกษาต่าง ๆ รวมประมาณ 80 เรื่อง พบผลการศึกษาที่น่าสนใจว่าสัดส่วนของ “P/B” ได้รับอิทธิผลอย่างชัดเจนจากระยะเวลาของวงชีวิต (Life Span; L ในหน่วยของ ปี) โดยพบความสัมพันธ์;

$$\log_{10} P/B = 0.660 - 0.726 \log_{10} L$$

ทั้งนี้ พบว่าความแปรผันที่ต่างไปจากเส้นแนวโน้มตามความสัมพันธ์นี้สามารถเกิดได้ โดยขึ้นอยู่กับอิทธิพลในด้านอุณหภูมิ แหล่งอาหาร และปัจจัยอื่น ๆ ที่จำเพาะในพื้นที่ปากแม่น้ำแต่ละแห่ง ในการนี้ เราจะสามารถประเมินผลผลิตขั้นที่สองสำหรับแต่ละพื้นที่ในเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นแนวทางพิจารณาสำหรับวางแผนการบริหารจัดการที่เหมาะสมต่อไปได้

จากภาพรวมของการติดตามการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรพื้นท้องน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำยังพบว่าบทบาทของมนุษย์ที่ทำให้เกิดผลกระทบด้านการเพิ่มปริมาณอินทรีย์สารลงสู่พื้นที่ปากแม่น้ำที่มากเกินควรได้ทำให้เกิดปัญหาการลดระดับของออกซิเจนละลายน้ำ และชั้นหน้าดินที่มีออกซิเจนจะบางลงเรื่อยๆ เป็นปัญหาต่อความเป็นอยู่ของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ และเกิดการทดแทนที่โดยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กกว่า จนบางพื้นที่เกิดการตายลงและเน่าเสีย ทำให้พบเพียงกลุ่มของแบคทีเรีย นับเป็นผลกระทบที่รุนแรงต่อผลผลิตทางการประมงซึ่งเป็นอาหารโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์เรา จากสถานการณ์ดังกล่าวในอนาคตอันใกล้เราจึงจำเป็นต้องหาทางควบคุมปริมาณน้ำเสียที่มี “สารอินทรีย์” ปนเปื้อนให้เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ในการนี้ อาจจำเป็นต้องพิจารณาและออกระเบียบมาตรการที่จำเพาะต่อสภาพธรรมชาติหรือสมดุลของพื้นที่ปากแม่น้ำแต่ละแห่ง (ซึ่งไม่จำเป็นต้องเท่ากัน) ทั้งนี้เพื่อการอนุรักษ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมในมวลน้ำและบริเวณพื้นท้องน้ำ เพื่อการดูแลกำลังผลิตของทรัพยากรขั้นที่สองหรือขั้นที่สูงขึ้นในพื้นที่ให้เกิดอย่างยั่งยืนได้

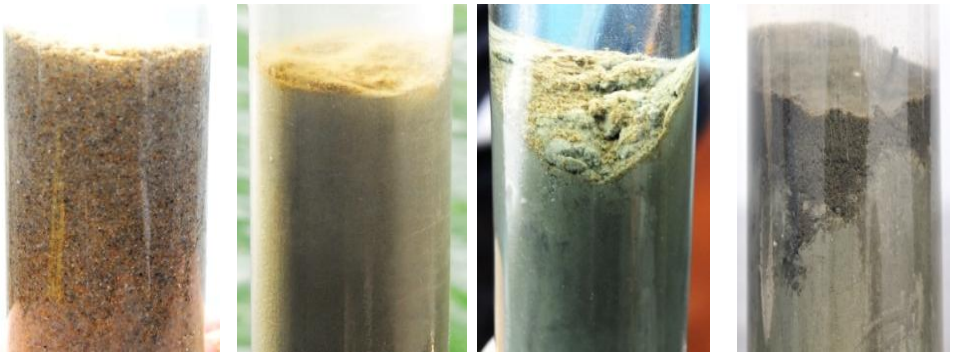
4.2.4) พื้นท้องน้ำและสิ่งมีชีวิต

ในบริเวณพื้นผิวของดินในเขตปากแม่น้ำโดยทั่วไปพบว่าไดอะตอมและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเป็นผู้ผลิตขั้นต้นชนิดหลัก ตัวอย่างชนิดของผู้ผลิตในพื้นที่ปากแม่น้ำบริเวณเกาะ Sapelo ในรัฐจอร์เจีย ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นไดอะตอมชนิดเด่น ได้แก่ *Cylindrotheca, Gyrosigma, Navicula* และ *Nitzschia* การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบชนิดของผู้ผลิตบริเวณพื้นท้องน้ำเหล่านั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยร่วมหลายด้าน อาทิ โอกาสที่หน้าดินโผล่พ้นน้ำ ปริมาณแสงที่ตกกระทบหน้าดิน ลักษณะหรือคุณภาพของตะกอนที่ผิวหน้าดิน และความแรงของคลื่นลมหรือกระแสน้ำ เป็นต้น โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมักพบมากกว่าในเขตตอนในของปากแม่น้ำที่มีค่าเฉลี่ยของความเค็มน้ำในระดับที่ค่อนข้างต่ำ ขณะที่กลุ่มของไดอะตอมพบได้มากขึ้นในพื้นที่เขตใกล้ทะเลทางตอนนอกออกไป ซึ่งผลผลิตขั้นต้นในบริเวณพื้นท้องน้ำมีการแปรผันอยู่ในช่วงกว้างประมาณ 25-240 g C/m^2/yr (Mann, 2000)

บทบาทความสำคัญของผู้ผลิตขั้นต้นบริเวณพื้นท้องน้ำ (Benthic primary producer) ที่มีต่อลักษณะทางนิเวศวิทยาของปากแม่น้ำขึ้นอยู่กับโอกาสการโผล่พ้นน้ำของหน้าดินว่ามีมากหรือน้อย ในปากแม่น้ำที่มีความลึกน้อย ในช่วงน้ำลงบริเวณดินดอนจะมีโอกาสโผล่ขึ้นหรืออยู่ใกล้ผิวน้ำมากพอที่จะได้รับการส่องสว่างของแสงอย่างเต็มที่ ผู้ผลิตขั้นต้นในปากแม่น้ำเช่นนี้จะมีมากและมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวเคมีและการหมุนเวียนของแร่ธาตุอาหารได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม สำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีพิสัยการเปลี่ยนแปลงในการขึ้นลงของน้ำน้อยหรือเป็นพื้นที่ที่น้ำมีความลึกค่อนข้างมาก พื้นที่ดังกล่าวจะพบอิทธิพลของผู้ผลิตข้างต้นต่อระบบนิเวศในภาพรวมได้น้อยลง และการสะสมของอินทรีย์สารที่เกิดบริเวณพื้นท้องน้ำส่วนใหญ่มักเกิดจากผลผลิตขั้นต้นที่ตกตะกอนลงมาจากมวลน้ำเหนือผิวดินนั้น

ในบริเวณพื้นท้องน้ำ เราพบการตกสะสมของสารอินทรีย์จากแหล่งที่มาที่หลากหลาย ทั้งจากแพลงก์ตอนพืชที่ตายลงตกตะกอนทับถมลงมา จากสารอินทรีย์ที่ไหลมากับมวลน้ำจาก

แม่น้ำซึ่งนำพาเอาซากพืชซากสัตว์จากแหล่งป่าชายเลนโดยรอบ รวมทั้งจากการพัดพาเอาซากแพลงก์ตอนพืชหรือซากสัตว์อื่น ๆ ที่เกิดในเขตทะเลให้เข้ามาในพื้นที่ปากแม่น้ำจากอิทธิพลการขึ้นของน้ำและการหมุนเวียนของกระแสน้ำในพื้นที่ สำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำที่อยู่ใกล้เขตชุมชนหรือเขตเมืองที่มีการใช้ประโยชน์ในพื้นที่อย่างหนาแน่น การเพิ่มของอินทรีย์สารที่แขวนลอยในระบบปากแม่น้ำจะได้รับอิทธิพลอย่างชัดเจนจากน้ำทิ้งที่ปล่อยลงมาจากเขตชุมชนหรือจากกิจกรรมทางการเกษตรที่มีในลุ่มน้ำนั้น นอกจากนี้ พื้นที่ปากแม่น้ำที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาทิ การเลี้ยงปลาในกระชัง บริเวณพื้นท้องน้ำมักมีการสะสมของสารอินทรีย์ที่มาจากเศษอาหารที่เหลือรวมทั้งจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำเอง ส่วนการทำแพเลี้ยงหอยนางรมมักพบเศษเปลือกหอยขนาดต่าง ๆ รวมทั้งสิ่งขับถ่ายที่มีลักษณะจำเพาะตกทับถมอยู่ในพื้นท้องน้ำบริเวณนั้นอยู่เป็นจำนวนมาก



(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 4.13 ลักษณะของพื้นท้องน้ำในเขตปากแม่น้ำซึ่งมีองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของดินที่แตกต่างกันไปตามอิทธิพลจากกระแสน้ำ (รูป ก-ค; เป็นตัวอย่างของดินทรายหยาบ ทรายละเอียด และโคลนปนทราย ซึ่งได้จากสำรวจพื้นที่ปากแม่น้ำหลังสวน จังหวัดชุมพร ส่วนภาพ ง ได้จากปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร)

ในพื้นที่ปากแม่น้ำทั่วไปจะพบว่าดินพื้นท้องน้ำมีลักษณะองค์ประกอบที่ผิวหน้าดินรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงตามความลึกของดินที่แตกต่างกันไปในระหว่างในแนวที่มีคลื่นลมแรงหรือมีน้ำไหลแรง และแนวที่คลื่นลมเบากว่า อาทิ พื้นดอนที่มีเลนสะสมหรือในแนวน้ำชนซึ่งเป็นพื้นที่การตกตะกอนตอนนอกของปากแม่น้ำ (**ภาพที่ 4.13**) ลักษณะดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการสะสมของสารอินทรีย์ที่ผิวหน้าดินและในดินที่ชั้นลึกลงไปมีความแตกต่างกันไปตามบริเวณต่าง ๆ ของปากแม่น้ำ ทั้งนี้ บริเวณที่ใกล้แนวน้ำแรงมากกว่า อาทิ สถานีทางฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำท่าจีน จะมีระดับเฉลี่ยของสารอินทรีย์รวมในดินที่ต่ำกว่าพื้นที่ในเขตแนวน้ำเบา ทั้งในบริเวณดอนฝั่งตะวันตก หรือในพื้นที่ตอนนอกสุด (Lower reach) ของปากแม่น้ำที่เป็นแนวน้ำชนและมีความเค็มค่อนข้างสูง ซึ่งบริเวณดังกล่าวมักเป็นพื้นที่ที่เกิดการทับถมของซากแพลงก์ตอนพืช

หลังจากการเจริญขึ้นมาอย่างหนาแน่น (เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี) เป็นระยะ ๆ ในบริเวณตอนนอกนั้น

สัตว์พื้นท้องน้ำ พฤติกรรมการกินอาหาร และบทบาททางนิเวศวิทยา

มีสารอินทรีย์จำนวนมากที่ตกลงมาสะสมบริเวณหน้าดินเกิดการหมุนเวียนต่อไปในรูปแบบของการเป็นแหล่งอาหารที่ดีของสัตว์ที่อาศัยบริเวณพื้นท้องน้ำ โดยเฉพาะจากกิจกรรมที่เรียกว่า “Bioturbation” ซึ่งเป็นพฤติกรรมการกินอาหารที่ผสมผสานกับการเคลื่อนที่ของสัตว์พื้นท้องน้ำ ทำให้ช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ในดินและส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนของออกซิเจนเข้าสู่หน้าดินได้มากขึ้น สัตว์พื้นท้องน้ำส่วนใหญ่เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดเล็กซึ่งเป็นพวกที่กินสารอินทรีย์จากการเน่าเปื่อย (Detritivores) สามารถจำแนกเป็นกลุ่มย่อยตามลักษณะของอาหารที่กินหรือพฤติกรรมในการกินอาหาร อาทิ พวกที่ขูดแทะหรือกัดกิน (Shredders) พวกกรองกิน (Filter feeders) และพวกที่กินตะกอนดินหรือสารที่ตกทับถมที่พื้นท้องน้ำได้โดยตรง (Deposit feeders) นอกจากนี้พบว่าไส้เดือนทะเลบางชนิด (กลุ่ม Spionids) สามารถปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการกินจากการกรองเอาตะกอนแขวนลอย (Suspension feeding) ไปเป็นการกินตะกอนดิน (Deposit feeding) ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของน้ำหรือในช่วงที่ปริมาณตะกอนแขวนลอยลดน้อยลงไป (Taghon and Greene, 1992)

ในพื้นที่ปากแม่น้ำถึงแม้จะได้รับความเข้าใจว่าเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง อย่างไรก็ตามสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำมักมีจำนวนชนิดไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับระบบนิเวศอื่น ๆ ในพื้นที่ใกล้เคียง (ไม่ว่าจะเป็นระบบนิเวศหาดหิน หรือระบบนิเวศแนวปะการัง) สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังพื้นท้องน้ำกลุ่มหลักที่พบส่วนมากเป็นกลุ่มที่สามารถปรับตัวได้ดีและทนความเค็มในช่วงกว้างได้ ยกตัวอย่างพวกสัตว์ที่หากินโดยการกัดแทะกิน (กลุ่ม Shredders หรือ Browsers) เป็นกลุ่มที่มีลักษณะเด่น คือ สามารถเคลื่อนที่ได้ดีบริเวณเหนือผิวหน้าดิน และกัดแทะสาหร่ายบริเวณผิวหน้าดิน รวมทั้งกลืนกินดินตะกอนบริเวณผิวหน้าเป็นอาหารได้ดี ตัวอย่างของสัตว์กลุ่มนี้ ได้แก่ พวก Amphipods, Isopods, และสัตว์ในกลุ่มหอย ทั้งนี้ พบว่าหอยฝาเดียว (Gastropods) สามารถขูดแทะสาหร่ายหรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กบนพื้นผิวของวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่บริเวณพื้นท้องน้ำกินเป็นอาหารได้

สัตว์พื้นท้องน้ำในกลุ่ม “Filter feeders” หรือ “Suspension feeders” อาทิ หอยสองฝา (Bivalves) ฟองน้ำ (Sponges) เพรียงหัวหอม (Ascidians) และไส้เดือนทะเลกลุ่ม Fan worms ฯลฯ เป็นพวกที่มีเส้นขนขนาดเล็ก (Cilia) ช่วยในการพัดโบกให้เกิดการเคลื่อนตัวของมวลน้ำและนำพาเอาตะกอนอินทรีย์สารมากรองผ่านอวัยวะที่ใช้ในการกรอง โดยอาจมีเยื่อเมือกช่วยนำพาสารเข้าสู่ช่องปาก สัตว์ในกลุ่ม Filter feeders หรือ Suspension feeders นี้นับว่ามีความสำคัญต่อระบบนิเวศพื้นท้องน้ำเนื่องจากมีความสามารถในการดักจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากในระดับไมโครเมตรจนถึงขนาดที่ใหญ่ในระดับมิลลิเมตรได้ (Wotton, 1990) Filter feeders หลายชนิดมีลำตัวฝังอยู่ในดินซึ่งสามารถกรองเอาตะกอนอินทรีย์จากน้ำผิวหน้าดินหรือดักจับอนุภาคแล้วดึงเข้าร่างกายลงไปใช้ สารอินทรีย์บางส่วนที่ไม่ถูกใช้จะถูกขับถ่ายออกจากตัว

(Fecal pellets) มีลักษณะเป็นเม็ดอินทรีย์สารขนาดเล็กๆ สีน้ำตาลปนเทาพบสะสมอยู่ในพื้นท้องน้ำบริเวณที่มีสัตว์พื้นท้องน้ำนั้นอาศัยอยู่

สำหรับสัตว์พื้นท้องน้ำในกลุ่ม “Deposit feeders” จัดเป็นพวกที่สามารถกินตะกอนทั้งอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารที่สะสมรวมตัวกันอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำเป็นอาหาร และสามารถย่อยเอาสารอินทรีย์ส่วนที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์ แล้วปล่อยสิ่งขับถ่ายที่มีสารอินทรีย์ในระดับต่ำกว่าออกมาภายนอกตัว สัตว์พื้นท้องน้ำพวก Deposit feeders กลุ่มหลักมักเป็นพวกไส้เดือนทะเล (Polychaetes; **ภาพที่ 4.14**) นอกจากนี้ ยังมีหอยฝาเดียว (Gastropods) หลายชนิด และพวกปลิงทะเล (Holothurians) อนึ่ง สัตว์พื้นท้องน้ำพวก Crustaceans หลายชนิดก็มีพฤติกรรมการกินอาหารเช่นนี้ได้ ซึ่งในภาพรวมพบว่าสัตว์เหล่านี้สามารถหากินตะกอนที่สะสมในดินชั้นลึกและปล่อยสิ่งขับถ่ายออกมาบริเวณใกล้ผิวดิน หรืออาจหากินบริเวณผิวดินแล้วขับถ่ายในชั้นดินที่ลึกลงไปก็ได้

ภาพที่ 4.14 ลักษณะการสร้างท่อและการขุดรูลงในดินโดยสัตว์พื้นท้องน้ำในกลุ่มไส้เดือนทะเล (Polychaetes) ในบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน ซึ่งให้ประโยชน์ในการเพิ่มออกซิเจนลงสู่ดิน (โดยจะสามารถสังเกตเห็นสีของดินบริเวณรอบ ๆ รู ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม)

ลักษณะพฤติกรรมความเป็นอยู่ของสัตว์พื้นท้องน้ำกลุ่มนี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างการจัดเรียงตัวของอนุภาคดิน และทำให้เกิดการแพร่กระจายหรือการผสมผสานของสารอินทรีย์ในดินได้ (จัดเป็นบทบาทในลักษณะ “*Bioturbation*”) โดยเฉพาะพวกที่สามารถขุดรูหรือสร้างท่อสำหรับใช้อยู่อาศัยหรือเป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ในชั้นดิน จะมีผลทำให้เนื้อดินมีโอกาสรับเอาออกซิเจนละลายน้ำที่แพร่ผ่านเข้าไปตามท่อหรือรูเหล่านั้นลงไปในดินที่ลึกขึ้นได้หลายเซนติเมตร (**ภาพที่ 4.14**)

ด้วยลักษณะความเป็นอยู่ดังกล่าว สัตว์พื้นท้องน้ำเหล่านี้จะมีบทบาทในการใช้ประโยชน์จากสารอินทรีย์ นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มขอบเขตหรือบริเวณที่มีออกซิเจนเข้ามาในเนื้อดิน เป็นการส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนได้เป็นอย่างดี (Chareonpanich *et al*., 1993; นิตยาและจารุมาศ, 2552) ซึ่งในภาพรวมของการมีสัตว์พื้นท้องน้ำอาศัยอยู่นั้น จะยัง

ประโยชน์ให้เกิดการฟื้นฟูคุณภาพดิน และเป็นประโยชน์ต่อความเป็นอยู่ของสัตว์พื้นท้องน้ำในกลุ่มอื่น ๆ ต่อไปได้

ในเมื่อพิจารณาในชั้นของดินที่มีออกซิเจน (Oxidized zone) ซึ่งอยู่บริเวณผิวหน้าดินลงไปไม่มากนั้น จะพบว่ากระบวนการด้านการถ่ายเทมวลสารหรือความแรงของน้ำนับว่ามีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพดิน โดยบริเวณที่น้ำมีการเคลื่อนตัวน้อยหรือมีอัตราการไหลไม่รุนแรงจะพบอนุภาคขนาดเล็กละเอียด (เช่น Silt, Clay) หรือสารอินทรีย์เบาต่าง ๆ มีโอกาสตกทับถมลงบนหน้าดินได้ พื้นท้องน้ำบริเวณดังกล่าวจึงมักประกอบด้วยอนุภาคขนาดละเอียดสะสมลงมา ซึ่งอาจมีการแพร่ผ่านของออกซิเจนลงไปตามช่องว่างระหว่างอนุภาคได้น้อย ทำให้มีช่วงชั้นของ Oxidized zone ที่บางตามไปด้วย ทั้งนี้ พบว่าชั้นของดินที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic layer) จึงแทบจะพบที่ระดับบนที่แทบติดผิวหน้าดิน พื้นท้องน้ำบริเวณนี้จัดเป็นบริเวณที่ไส้เดือนทะเลซึ่งดำรงชีวิตแบบ Deposit feeders อยู่อาศัยได้เป็นอย่างดี ในทางตรงกันข้ามหากเป็นบริเวณที่มีมวลน้ำเหนือดินที่เคลื่อนตัวอย่างรุนแรงกว่าหรือเป็นบริเวณที่มีความเร็วของน้ำค่อนข้างสูง พื้นที่ดังกล่าวจะมีการสะสมของอนุภาคละเอียดได้น้อย เนื่องจากความเร็วของน้ำที่มีสูงเกินกว่าอนุภาคเหล่านั้นจะตกตะกอนได้ พื้นที่ดังกล่าวจึงมักประกอบด้วยอนุภาคของทรายหรือทรายปนโคลน มีปริมาณสารอินทรีย์ในดินที่ต่ำกว่า และมีการแพร่ผ่านของออกซิเจนลงไปได้ลึกกว่า พื้นที่ในลักษณะหลังนี้จะมีกลุ่มสัตว์พื้นท้องน้ำพวก Deposit feeders จำนวนน้อยลง แต่มีสัตว์พื้นท้องน้ำพวก Filter feeders ได้มากขึ้น ซึ่งเป็นพวกที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ดีเนื่องจากสามารถกรองกินเอาสารอินทรีย์ที่ฟุ้งกระจายอยู่จากชั้นน้ำที่อยู่ชิดผิวหน้าดินมาเป็นอาหารได้

อนึ่ง ในกรณีที่ปากแม่น้ำนี้อยู่ใกล้แหล่งชุมชนที่หนาแน่นหรือได้รับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงลงมาอย่างต่อเนื่อง ดินพื้นท้องน้ำมักเกิดความเสื่อมโทรมลงโดยเฉพาะจากปัญหาที่มีตะกอนอินทรีย์ตกทับถมมาก และพบกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นในบริเวณพื้นท้องน้ำได้สูง เกิดปัญหาการลดต่ำลงของออกซิเจนละลายน้ำตามมา ทั้งนี้ สัตว์พื้นท้องน้ำหลายกลุ่มจะได้รับผลกระทบโดยอาจอาศัยอยู่ไม่ได้ (โดยเฉพาะสัตว์ในกลุ่มหอยที่มีความทนทานต่อการลดลงในระดับของออกซิเจนได้น้อย) ทำให้ในบางพื้นที่จะพบเพียงไส้เดือนทะเลขนาดเล็กเพียงไม่กี่ชนิดที่ยังอาศัยอยู่ได้ (อาทิ ไส้เดือนทะเลชนิด *Capitella* และ *Prionospio* ที่จัดเป็นพวก Organic pollution indicators) ส่วนสัตว์พื้นท้องน้ำขนาดใหญ่จะเริ่มหายไปเรื่อย ๆ และหากพื้นที่เสื่อมโทรมมากจนผิวหน้าดินแทบไม่มีออกซิเจนเลยและพบการสะสมของซัลไฟด์ในดินในระดับที่สูง พื้นท้องน้ำบริเวณนั้นก็จะไม่พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่อยู่เลย ประชาคมของสิ่งมีชีวิตมักจะเปลี่ยนเป็นกลุ่มของสัตว์ขนาดกลาง (Meiofauna) ที่มีความทนทานสูงกว่าและสามารถอาศัยในช่องว่างระหว่างเม็ดดินได้ นอกจากนี้ จะพบการเปลี่ยนกลุ่มของจุลินทรีย์ในดิน เกิดการทดแทนที่ของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ขึ้นมาแทนกลุ่มเดิม

4.3) ปัจจัยหลักทางนิเวศวิทยาและอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศปากแม่น้ำ

4.3.1) ความเค็มของน้ำ

ความเค็มของน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำได้รับการยอมรับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญมากและมีบทบาทต่อความเป็นอยู่และการกระจายของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ ทั้งนี้ อาจเนื่องจากลักษณะเด่นของปัจจัยซึ่งเป็นที่สังเกตได้อย่างชัดเจนว่ามีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ปากแม่น้ำตั้งแต่เขตตอนในจนออกสู่เขตทะเล ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระดับของความเค็ม ที่วัดในหน่วยของ Practical Salinity Unit หรือ “psu” มีลักษณะทั้งทิศทางตามแนวราบหรือตามเส้นทางเป็นแนวจากแม่น้ำออกสู่ทะเล ซึ่งพบค่าผันแปรของความเค็มตั้งแต่ 0 จนถึงค่าประมาณ 28-30 psu ที่ตอนนอกสุดของปากแม่น้ำ

ในเขตปากแม่น้ำของประเทศเขตร้อนพบว่าบางบริเวณของพื้นที่ปากแม่น้ำในช่วงที่อากาศร้อนจัดสามารถพบค่าความเค็มของน้ำที่สูงขึ้นได้มากเนื่องจากมีอัตราการระเหยของน้ำผิวหน้าที่สูงกว่าประเทศเขตหนาวหรือเขตอบอุ่น ลักษณะที่สำคัญที่สุดเมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความเค็มของปากแม่น้ำ คือ การที่ต้องตระหนักเสมอว่า *“ในตำแหน่งหนึ่งๆ ของปากแม่น้ำ ค่าความเค็มมีการผันแปรได้มากและตลอดเวลา”* โดยข้อมูลความรู้ที่สำคัญ คือ การเปลี่ยนแปลงในการขึ้นลงของน้ำมีบทบาทสูงและสามารถส่งผลให้ ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ ในพื้นที่ปากแม่น้ำมีค่าของความเค็มแปรผันจากระดับที่เข้าใกล้ศูนย์ในช่วงที่น้ำลง แต่มีค่าสูงเท่า ๆ กับค่าความเค็มของน้ำทะเลในช่วงที่น้ำขึ้นได้ ยกตัวอย่างในตอนกลางของปากแม่น้ำอ่าวบางตะบูน พบว่าการแปรผันในความเค็มของน้ำ ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ มีค่าแปรผันในช่วง 5-28 psu ตามช่วงการขึ้นลงของน้ำในรอบวัน (จารุมาศและคณะ, 2555)

เมื่อพิจารณาทั่วทั้งบริเวณของปากแม่น้ำจะพบว่าลักษณะการผันแปรในความเค็มของน้ำจะอยู่ในช่วงกว้างหรือแคบนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่พิจารณาในพื้นที่ปากแม่น้ำ ผลการศึกษาติดตามค่าความเค็มในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน (กาญจนา, 2557) แสดงให้เห็นว่าสถานีศึกษาที่อยู่บริเวณแนวร่องน้ำ (ซึ่งจำแนกตามระยะทางออกเป็น 3 ระยะจากปากแม่น้ำ; ตอนในสุด ตอนกลาง และตอนนอก) เมื่อเปรียบเทียบกับสถานีทางฝั่งตะวันตกและตะวันออกของร่องน้ำ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการไหลลงของน้ำจืดและการขึ้นลง (การผสมผสาน) ของน้ำทะเลที่ต่างกันนั้น มีผลให้ช่วงของการผันแปรค่าความเค็มของน้ำในรอบปีมีความแตกต่างกันออกไป (**ตารางที่ 4.3**)

จากการศึกษาติดตามที่ผ่านมาพบว่าพื้นที่ศึกษาที่อยู่ในแนวร่องน้ำหรือใกล้ร่องน้ำส่วนตอนกลางของปากแม่น้ำจัดเป็นบริเวณที่มีการผันแปรของค่าความเค็มของน้ำมากที่สุด ขณะที่พื้นที่บริเวณตอนในสุดหรือช่วงขอบนอกที่เป็นรอยต่อ (หรือแนวน้ำชน) กับเขตทะเลนั้นจะมีการแปรผันของค่าความเค็มน้ำต่ำกว่า พื้นที่แนวน้ำชนมักพบการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชของเขตทะเลได้มาก (นิศราและคณะ, 2555) และเป็นบริเวณที่พบว่าเป็น “แหล่งกำเนิดเซลล์” สำหรับปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี ซึ่งเกิดจากการเจริญเติบโตและขยายประชากรของแพลงก์ตอนพืชจำเพาะชนิดอย่างรวดเร็วจนเกิดความหนาแน่นสูงและเห็นสีของน้ำที่เปลี่ยนไปตามลักษณะสีของแพลงก์ตอนชนิดเด่นที่เพิ่มจำนวนขึ้นมา

ตารางที่ 4.3 ค่าความเค็มของน้ำ (Salinity; psu) ที่พบในสถานีศึกษาบริเวณต่าง ๆ ของพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน ในช่วงปี พ.ศ. 2555-2556 *(ที่มา: ปรับปรุงจาก กาญจนา, 2557)*

ตำแหน่งศึกษา	ระยะห่างจากปากร่อง(km)	ความเค็มของน้ำ (psu)			
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	SD
แนวร่องน้ำตอนในสุด	0	0.70	12.87	4.09	4.67
แนวร่องน้ำตอนกลาง	2.5	3.65	22.87	10.58	7.79
แนวร่องน้ำตอนนอก	5.0	17.12	18.06	24.19	3.75
ฝั่งตะวันตก	3.0	15.37	25.92	21.63	3.98
ฝั่งตะวันออก	3.0	13.69	24.20	19.02	3.68

การเคลื่อนตัวของมวลน้ำจากแนวน้ำชนเข้ามายังตอนในของปากแม่น้ำในช่วงที่น้ำทะเลกำลังขึ้น (โดยมวลน้ำมักกระจายตัวออกทางด้านข้างสองฝั่งมากกว่าในแนวร่องน้ำ) จัดเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้แพลงก์ตอนพืชที่เจริญจนหนาแน่นเหล่านั้นได้ถูกพัดพาเข้าไปสู่ตอนในของปากแม่น้ำ เกิดเป็นวงจรห่วงโซ่อาหารและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของประชากรสัตว์น้ำที่เป็นผู้บริโภค รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนผลิตและการย่อยสลายของสารอินทรีย์ (อาทิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ) ที่มีในมวลน้ำ ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงในปัจจัยด้านความเค็มจะน้อยลงหากอยู่ในช่วงที่น้ำทะเลมีการขึ้นลงน้อย (ช่วงน้ำตาย; Neap tide) นอกจากนี้ พบว่าพื้นที่บางเขตของปากแม่น้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มที่น้อยมาก (Attrill, 2002) ซึ่งความแตกต่างในอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มที่มีในแต่ละพื้นที่ย่อยนับว่ามีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางชีวภาพในพื้นที่นั้น

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มในดินพื้นท้องน้ำ (Bottom sediment) พบว่ามีพิสัยของการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำกว่าค่าความเค็มของน้ำด้านบน ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณพื้นท้องน้ำเป็นแหล่งที่รวมตัวของน้ำทะเลที่มีความเข้มข้นของแร่ธาตุหรือสารละลายต่าง ๆ ปนอยู่มาก มวลของน้ำที่อยู่เหนือผิวดิน (Overlying water) ซึ่งจืดกว่าน้ำที่อยู่ในเนื้อดิน จึงมักจะพัดผ่านแค่บริเวณผิวหน้าดินหรือลอยตัวอยู่ด้านเหนือขึ้นไป ทำให้เกิดผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มในดินน้อยมาก Attrill and Rundlo (2002) พบว่าโดยทั่วไปค่าความเค็มในดินพื้นท้องน้ำมักเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2 psu หรืออาจสูงกว่าค่าเฉลี่ยของความเค็มน้ำที่อยู่ชิดผิวหน้าดินบริเวณนั้น ๆ เล็กน้อย

ในภาพรวมของปัจจัยทางด้านความเค็มในพื้นที่ปากแม่น้ำพบว่ามวลของน้ำจืดที่ไหลลงมาจากแผ่นดินมีบทบาทสำคัญมากต่อรูปแบบและระดับของความเค็มที่เปลี่ยนไปในมวลน้ำ น้ำที่ไหลลงมามากจะทำให้เกิดแรงผลักดันออกไปสู่แนวนอกมากขึ้น และเกิดรูปแบบการปะทะหรือการผสมผสานกับน้ำทะเลที่กำลังขึ้นมาในลักษณะที่แตกต่างกันไปตามเขตพื้นที่ย่อยในบริเวณปากแม่น้ำนั้น การศึกษาพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้ความรู้ด้านรูปแบบการแพร่กระจายความเค็มหรือ

อัตราการผสมผสานของมวลน้ำ (Salinity profile / Mixing ratio) สำหรับการจำแนกลักษณะจำเพาะของปากแม่น้ำและประเมินปรากฏการณ์ทางนิเวศวิทยาที่สามารถเกิดขึ้นได้จึงเป็นเรื่องที่ควรดำเนินการในแต่ละพื้นที่ต่อไป

บทบาทของมวลน้ำจืดและความเค็มต่อสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำ

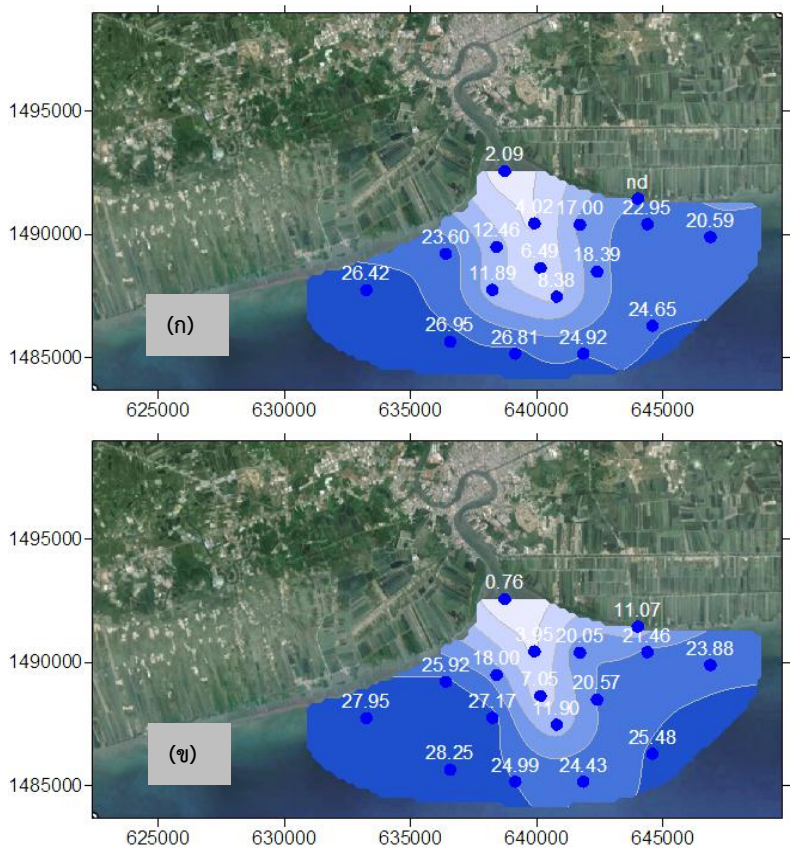
ในการศึกษาระบบนิเวศปากแม่น้ำ มีหลายกรณีที่เราพยายามอธิบายบทบาทของการเปลี่ยนแปลงของคาบน้ำ (Tidal cycles) ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการขึ้นลงของน้ำที่มีต่อกระบวนการทางชีวเคมีและสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำ ในเขตพื้นที่ภูมิภาคที่มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาอย่างชัดเจน อาทิ ในแถบประเทศเขตร้อนอย่างประเทศไทย บทบาทจากการเปลี่ยนแปลงในมวลน้ำจืดหรือปริมาณน้ำท่า (Inflow) ที่ไหลลงสู่ปากแม่น้ำซึ่งได้รับอิทธิพลจากภูมิอากาศหรือลมมรสุม นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการขับเคลื่อนประชากรสิ่งมีชีวิตให้เกิดเพิ่มขึ้นหรือหายไป ซึ่งเป็นบทบาทที่เห็นได้อย่างชัดเจนในช่วงระยะเวลาที่จำเพาะได้เช่นกัน

ในช่วงที่น้ำลงในรอบวัน สิ่งมีชีวิตที่อาศัยในบริเวณพื้นท้องน้ำ (ซึ่งโดยทั่วไปมีความเค็มในดินที่สูงเกือบเท่าเขตทะเล) จะมีการปรับตัวในลักษณะของการหลีกเลี่ยงการปะทะกับมวลน้ำจืดหรือน้ำที่มีความเค็มต่ำ สัตว์พื้นท้องน้ำที่เคลื่อนที่ได้มักทำการขุดรูลงไปในที่ลึกขึ้น หากเป็นสัตว์ในกลุ่มหอยจะพบการปิดเปลือกของตัวเองเข้าด้วยกันเพื่อการป้องกันตัว ส่วนในสัตว์กลุ่มปลาหรือสัตว์น้ำอื่นที่เคลื่อนที่ได้ดีมักจะอาศัยการเคลื่อนที่ออกหรือเข้าไปตามมวลน้ำทะเลที่เคลื่อนตัวไปมาจากอิทธิพลของช่วงน้ำลงหรือน้ำขึ้นที่เกิดในพื้นที่นั้น ๆ เพื่อการรักษาเสถียรภาพในปัจจัยแวดล้อมด้านความเค็มให้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

สำหรับการเปลี่ยนแปลงในปริมาณน้ำที่ไหลลงมาจากแม่น้ำในแต่ละช่วงฤดูกาลที่กล่าวว่ามีความสำคัญมากนั้น เนื่องจากปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงมามากในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงกลางฤดูน้ำหลากจะมีผลทำให้น้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำตอนในมีค่าความเค็มของน้ำลดต่ำลงกระจายเป็นบริเวณที่ชัดเจน มวลน้ำจืดนั้นจะอยู่คงตัวในพื้นที่ตอนในและตอนกลางของปากแม่น้ำในระยะเวลาที่ยาวนานกว่าการขึ้นลงของน้ำในรอบวัน ลักษณะเช่นนี้เสมือนการเทน้ำจืดลงอ่างน้ำเค็มที่มีทางเปิดออกสู่ตอนนอก มวลน้ำจืดจะขยายวงกว้างออกไปตามแนวร่องน้ำได้ไกลมากกว่าปกติ (**ภาพที่ 4.15**) และทำให้แนวน้ำชนซึ่งเป็นแนวนอกสุดของการผสมผสานและมีความเค็มใกล้เคียงกับเขตทะเลนั้นได้ขยับระยะออกห่างฝั่งไปไกลมากขึ้น

สิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำมีการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความเค็มโดยปรับเปลี่ยนพฤติกรรมความเป็นอยู่ให้เหมาะสมขึ้น (ในกรณีที่ความเค็มของน้ำไม่เปลี่ยนแปลงมากเกินไป) สิ่งมีชีวิตยังมีวิธีการปรับตัวโดยอาศัยการอพยพย้ายถิ่น (Migration) หรือใช้การล่องลอยตามไป (Drift) ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากเกิดขึ้นในบางบริเวณที่มีการลดลงของความเค็มอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน (อาทิ เกินช่วงสัปดาห์หนึ่งไป) ซึ่งในกรณีเช่นนี้สิ่งมีชีวิตพื้นท้องน้ำที่เคลื่อนที่ได้น้อยก็จะตายลงไปเป็นจำนวนมาก ลักษณะของการปรับตัวในสองแบบหลังนี้นับว่ามีผลกระทบต่อการเปลี่ยนโครงสร้างประชาคมและความชุกชุมของ

สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศปากแม่น้ำภาพรวมและยังทำให้เกิดรูปแบบของการกระจายประชากรในแบบใหม่ตามรอบของฤดูกาลหรือวัฏจักรชีวิต ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนับว่ายังมีการศึกษาติดตามไม่มากนัก จำเป็นต้องวิเคราะห์ผลกระทบเพื่อการวางแผนบริหารจัดการการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงนั้นต่อไป



ภาพที่ 4.15 การกระจายของค่าความเค็มน้ำ ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนเปรียบเทียบในเดือนพฤษภาคม (ต้นฤดูน้ำหลาก; **ก**) และเดือนสิงหาคม (กลางฤดูน้ำหลาก; **ข**) ของปี พ.ศ. 2555 *(ที่มา: จารุมาศและคณะ 2557)*

สำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำขนาดเล็ก เช่น ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน (Ritnim and Meksumpun, 2012) การตอบสนองของสัตว์พื้นท้องน้ำต่อปริมาณการไหลลงของน้ำจืดตามฤดูกาลในรอบปีจะแตกต่างกันไปตามบริเวณย่อยในพื้นที่ปากแม่น้ำ หากเป็นปากแม่น้ำตอนในสุดไม่ว่าจะเป็นทางฝั่งตะวันออกหรือตะวันตกของปากแม่น้ำ ประชาคมสัตว์พื้นท้องน้ำมีการเปลี่ยนแปลงสูงและขาดเสถียรภาพ พบการทดแทนที่ของสัตว์พื้นท้องน้ำในกลุ่มไส้เดือนทะเลเข้า

มาแทนสัตว์พื้นท้องน้ำพวกหอยสองฝา (โดยเฉพาะในบริเวณที่มีสารอินทรีย์ตกทับถมกันอยู่มาก) ในขณะที่พื้นที่ทางตอนนอกออกไปพบองค์ประกอบทางชนิดและปริมาณของสัตว์พื้นท้องน้ำที่ค่อนข้างคงที่กว่า อนึ่ง พื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนในระยะปัจจุบัน มักพบค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำกว่า 1 mg/L ดังนั้น ปัญหาที่สร้างผลกระทบในพื้นที่นอกจากจะเป็นค่าของความเค็มของน้ำที่ลดต่ำลงแล้ว ยังเกิดจากการที่มวลน้ำมีระดับของออกซิเจนละลายน้ำต่ำมาก ไม่เหมาะต่อความเป็นอยู่ของสัตว์น้ำและสัตว์พื้นท้องน้ำ ทำให้เกิดปัญหาการตายลงของลูกหอยที่เกิดในพื้นที่ตอนในตามมา กาญจนาและจารุมาศ (2554) ได้ชี้ให้เห็นว่ามวลน้ำท่าทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพเป็นปัจจัยที่มีผลต่อทรัพยากรหน้าดิน ทั้งนี้ ได้สร้างผลกระทบในทางลบต่อหอยพิมซึ่งเป็นทรัพยากรประมงที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงและเคยทำรายได้ให้กับชุมชนในพื้นที่มาก่อน

ในปากแม่น้ำของต่างประเทศ สามารถพบการเปลี่ยนแปลงของสัตว์พื้นท้องน้ำตามฤดูกาลต่าง ๆ ของปากแม่น้ำได้เช่นเดียวกัน (Chapman and Brinkhurst, 1981) พื้นที่แม่น้ำบางแห่งในบริเวณที่เชื่อมต่อกับพื้นที่น้ำกร่อยตอนล่างซึ่งพบไส้เดือนน้ำชนิด *Tubifex tubifex* อยู่มาก พบว่าประชากรของ *T. tubifex* จะหายไปในช่วงหน้าหนาว หรือในช่วงที่มวลน้ำจืดลงมาน้อยและได้รับอิทธิพลจากทะเลมากขึ้น ในขณะเดียวกันไส้เดือนชนิด *Paranais frici* ที่เป็นชนิดหลักที่พบในเขตน้ำจืดก็จะถูกทดแทนที่ด้วยชนิด *P. litorali* ซึ่งเป็นชนิดที่ทนทานกว่าและมักพบในเขตปากแม่น้ำ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสะท้อนบทบาทของปริมาณการไหลลงของมวลน้ำจืดที่ส่งผลต่อองค์ประกอบทางชนิดของสัตว์พื้นท้องน้ำได้

ผลกระทบของความเค็มของน้ำที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย (อาทิ การเพิ่มค่าความเค็มเพียงประมาณ 0.25) ยังสามารถพบได้ในกลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังโดยเฉพาะในกลุ่มแมลงน้ำ Attrill *et al.* (1996) รายงานว่าเมื่อค่าความเค็มเพิ่มขึ้นแมลงน้ำหลายชนิดจะหายไปและทำให้ค่าความหลากหลากทางชีวภาพต่ำลง เกิดการทดแทนที่ด้วยชนิดที่สามารถทนทานได้เท่านั้น โดยทั่วไป “ตอนบน” ของพื้นที่ปากแม่น้ำจะมีค่าของความเค็มไม่เกิน 5 psu ภายใต้ค่าความเค็มที่มีนั้น สิ่งมีชีวิตแต่ละกลุ่มมีระดับความทนทานที่แตกต่างกันไป ซึ่งบางชนิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มที่สูงขึ้นเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ประชากรสูญหายไปได้เลย

นอกจากการพบว่าปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงปากแม่น้ำจะมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มประชากรของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำตอนในแล้ว อัตราการไหลลง (Inflow rate) ของน้ำจืดที่เข้าสู่ปากแม่น้ำยังมีอิทธิพลต่อสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของปากแม่น้ำในภาพรวม (Montagne and Kalke, 1992) การศึกษาเปรียบเทียบปากแม่น้ำสองแห่งที่อยู่ในรัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา พบว่าปากแม่น้ำ Guadalupe ซึ่งมีอัตราการไหลลงของน้ำจืดมากกว่าปากแม่น้ำ Nueces ประมาณ 80 เท่า มีความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่และปริมาณการผลิตของหอยที่มากกว่าและพบสัตว์หน้าดินขนาดกลางได้น้อยกว่า ลักษณะดังกล่าวเกิดจากอิทธิพลของมวลน้ำจืดที่นำพาเอาแร่ธาตุอาหารในปริมาณมากลงมาด้วยและส่งผลให้เกิดผลผลิตขั้นต้นมากขึ้น ภายในระบบนิเวศปากแม่น้ำจึงเกิดการกินต่อกันเป็นทอด ๆ โดยสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่จะมีบทบาทในเชิงของการเป็นผู้บริโภคสัตว์ขนาดเล็กที่เกิดขึ้นได้ ในทำนองเดียวกันกับที่ปากแม่น้ำข้างต้น ผลการศึกษาในปากแม่น้ำ Swan ประเทศออสเตรเลีย (Chan and Hamilton, 2001) ก็

พบว่าอัตราไหลของน้ำที่ลงมามีบทบาทในองค์ประกอบเชิงคุณภาพของแพลงก์ตอนพืชที่เกิดขึ้นภายในปากแม่น้ำ โดยมีผลทำให้ปริมาณและสัดส่วนของแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น (กลุ่มสาหร่ายสีเขียวและไดอะตอม) เกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้

บทบาทของความเค็มต่อปัจจัยทางชีวภาพในพื้นที่ปากแม่น้ำ

สิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำสามารถจำแนกเป็นกลุ่มตามลักษณะของที่มาและพฤติกรรมการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มของน้ำได้เป็น 3 กลุ่มเบื้องต้น ได้แก่ 1) กลุ่มที่มีแหล่งที่มาจากเขตทะเล 2) กลุ่มที่มีแหล่งที่มาจากเขตน้ำจืด และ 3) กลุ่มที่เป็นชนิดในเขตปากแม่น้ำอย่างแท้จริง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในลักษณะการกระจายทางชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตจะพบว่าในพื้นที่ปากแม่น้ำประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตหลักเป็นกลุ่มที่มาจากเขตทะเล สิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีตั้งแต่ระดับของผู้ผลิตขั้นต้น ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช (อาทิ Dinoflagellate; *Noctiluca)* และผู้บริโภคต่างๆ ได้แก่ แพลงก์ตอนสัตว์ (อาทิ Copepods) จนกระทั่งถึงกลุ่มของกุ้งเคยที่อาศัยหากินในพื้นที่เขตน้ำกร่อย รวมทั้งปลาชนิดต่าง ๆ (อาทิ ปลากระบอก และปลากะพง) ซึ่งเป็นชนิดที่มาจากเขตทะเลแต่สามารถปรับตัวและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของความเค็มในช่วงกว้างได้ (Euryhaline species) โดยทั่วไปความสามารถในการปรับตัวหรือขอบเขตของความทนทานจะขึ้นอยู่กับชนิด โดยสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำทั่วไปสามารถทนอยู่ได้ในระดับความเค็มที่ลดต่ำลงถึงระดับประมาณ 18 psu ทั้งนี้ อาจมีบางชนิดเท่านั้นที่สามารถทนความเค็มระดับต่ำได้ถึงประมาณ 5 psu

สิ่งมีชีวิตจากเขตทะเลที่ปรับตัวได้บ้าง แต่ทนทานการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มในช่วงที่แคบกว่า (Stenohaline species) จะพบได้ในเขตปากแม่น้ำตอนนอกสุดที่มีความเค็มเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงกว่าบริเวณอื่น และแทบจะไม่พบว่ามีการแพร่กระจายเข้ามาในเขตตอนในที่ความเค็มต่ำกว่า 25 psu เลย ในทำนองเดียวกัน สิ่งมีชีวิตจากเขตน้ำจืดที่ปกติอาศัยอยู่ในบริเวณที่ความเค็มต่ำมาก (Oligohaline species) มักจะไม่สามารถทนความเค็มที่เพิ่มขึ้นสูงเกินระดับประมาณ 5 psu ได้ ดังนั้นจึงมักจะไม่พบชนิดของสิ่งมีชีวิตจากเขตน้ำจืดเหล่านี้ในบริเวณปากแม่น้ำเลย ในภาพรวมเมื่อเราพิจารณาบทบาทการแพร่กระจายของค่าความเค็มต่อชนิดของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำแล้วจะพบว่าบริเวณที่มีค่าความเค็มอยู่ระหว่าง 7-10 psu จะเป็นบริเวณสำคัญที่มีการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบทางชนิดที่ชัดเจน ซึ่งทำให้พบลักษณะของการแบ่งขอบเขตทางชนิดของกลุ่มน้ำจืดทางตอนใน และชนิดที่ชอบน้ำเค็มทางตอนนอกให้ออกจากกันได้ (Dobson and Frid, 1998)

ถึงแม้ว่าสิ่งมีชีวิตที่มาจากเขตน้ำจืดจะเป็นชนิดหลักที่พบในเขตในสุดของพื้นที่ปากแม่น้ำ ขณะที่สิ่งมีชีวิตที่มาจากเขตทะเลจะมีความหลากหลายมากขึ้นเมื่อระดับของความเค็มของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ในพื้นที่ภาพรวมของปากแม่น้ำยังพบ “จำนวนชนิด” ในแต่ละเขตนั้นๆ ค่อนข้างต่ำกว่าแหล่งน้ำประเภทอื่น ทั้งนี้ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในพื้นที่ปากแม่น้ำนี้จำเป็นต้องอาศัยการปรับตัวอย่างยิ่งยวดอยู่ตลอดเวลา โดยสิ่งมีชีวิตที่มาจากเขตทะเลจะต้องปรับสมดุลน้ำและเกลือแร่ในตัวเอง (Osmoregulation) ให้อยู่ในระดับเหมาะสม และสิ่งมีชีวิตจากเขตน้ำจืดก็มีข้อจำกัด

ด้านความเค็มโดยต้องพยายามควบคุมขนาดของเซลล์ไม่ให้เปลี่ยนแปลงตามระดับความเค็มของน้ำที่แปรผันไปให้ได้

สิ่งมีชีวิตที่เป็นชนิดในเขตปากแม่น้ำอย่างแท้จริงนั้น ก็ไม่สามารถอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีค่าความเค็มของน้ำเท่ากับเขตทะเล ในพื้นที่ช่วงกลางของปากแม่น้ำอาจพบการแก่งแย่งแข่งขันกับชนิดที่ทนความเค็มในช่วงแคบ (Stenohaline species) จึงมักพบอยู่ในเขตถัดเข้ามา ซึ่งมีช่วงของค่าความเค็มประมาณ 5-18 psu (ซึ่งเป็นบริเวณที่ Stenohaline species มีน้อยลง) เนื่องจากพื้นที่บริเวณที่ถัดเข้ามานี้นับว่ามีการเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วงกว้าง สิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้จึงต้องพยายามหลีกเลี่ยงในการปะทะกับมวลน้ำจืดหรือพยายามปรับพฤติกรรมเพื่อความอยู่รอดให้ได้

ลักษณะการปรับตัวทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตในเขตปากแม่น้ำ

การศึกษาการปรับตัวทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตในเขตปากแม่น้ำที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ากลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีลำตัวอ่อนนุ่มโดยส่วนใหญ่มีข้อจำกัดในการปรับสมดุลเกลือแร่ในร่างกาย (Rankin and Davenport, 1981) ความพยายามในการปรับสมดุลดังกล่าว พบในสัตว์พื้นท้องน้ำกลุ่มไส้เดือนทะเล (*Nereis diversicolor)* ซึ่งใช้วิธีการปรับระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดอะมิโนให้เท่าหรือใกล้เคียงกับความเข้มข้นของสารละลายภายนอกตัว (ในมวลน้ำที่อาศัยอยู่) ทั้งนี้ การปรับลดระดับความเข้มข้นดังกล่าวสามารถทำได้จนกระทั่งค่าความเค็มของน้ำลดลงถึงช่วงประมาณ 10-20 psu เท่านั้น ในขณะเดียวกันพบว่าสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ อาทิ ปู (*Carcinus)* และกุ้ง (*Palaemonertes)* (Nelson-Smith, 1977) สามารถทนทานต่อการลดระดับความเค็มของน้ำได้ดีโดยใช้วิธีการการรักษาสมดุลเกลือแร่ในร่างกายและมีการดูดซับเอาเกลือแร่เข้าไปทดแทน รวมทั้งใช้การปล่อยของเสียที่เจือจางมาก ๆ เป็นการรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลายในร่างกายให้เกือบคงที่อยู่ได้ตลอดเวลา

ลักษณะการปรับตัวดังกล่าวสะท้อนให้เห็นโอกาสในการแพร่กระจายในช่วงกว้างของสัตว์ในกลุ่มกุ้งและปู ซึ่งมีเปลือกแข็งช่วยลดการแพร่ผ่านของสารออกนอกเซลล์ได้มากกว่าสัตว์ในกลุ่มที่มีโครงสร้างอ่อนนุ่มหรือไม่มีเปลือกหุ้ม นอกจากนี้ สัตว์หน้าดินในกลุ่มหอยยังมีพฤติกรรมของการปิดฝาอย่างสนิทหรือใช้แผ่นปิด (Operculum) เพื่อป้องกันการรับสัมผัสกับน้ำที่มีความเค็มต่ำที่เข้ามาในพื้นที่ (ซึ่งจะทำให้ไม่มีการกินอาหารในบางช่วงเวลาที่มีพฤติกรรมนั้น

สำหรับการเปลี่ยนแปลงในระดับความเค็มบริเวณพื้นท้องน้ำหรือในเนื้อดินนั้น พบว่า มีค่าน้อยมากหรือน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงในมวลน้ำอยู่มาก ด้วยลักษณะตามธรรมชาติดังกล่าวสิ่งมีชีวิตที่ขุดรูอยู่ในดินจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความเค็มน้อยกว่าสิ่งมีชีวิตที่อยู่บริเวณผิวหน้าดิน สัตว์ในกลุ่มหอยในพื้นที่โคลน (Hydrobia) และกุ้งขนาดเล็ก (Crangon) เป็นตัวอย่างหนึ่งที่สามารถขุดลงไปในดินในช่วงน้ำลงเพื่อหลีกเลี่ยงการปะทะกับมวลน้ำที่มีความเค็มต่ำได้ ทั้งนี้ พบว่าลักษณะการแพร่กระจายของชนิดจากเขตน้ำเค็มจะเริ่มเข้าใกล้ฝั่งในช่วงที่เป็นฤดูน้ำแล้ง ซึ่งมีมวลน้ำจืดจากเขตทะเลไหลลงปากแม่น้ำน้อยลง การเคลื่อนตัวของสัตว์ในกลุ่มปลาที่เข้าใกล้ฝั่งยังเป็นผลจากกระบวนการที่ผสมผสานด้านการเปลี่ยนแปลงในปริมาณอาหาร

และการอพยพเข้าไปเพื่อการขยายพันธุ์นอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงในเรื่องความเค็มเพียงอย่างเดียว และสำหรับการเคลื่อนตัวของสิ่งมีชีวิตในกลุ่มแพลงก์ตอนสัตว์ ยังพบว่าการแพร่กระจายตามแนวราบหรือตามพื้นที่เขตย่อยต่าง ๆ ในปากแม่น้ำนั้น นอกจากจะได้รับอิทธิพลจากปัจจัยด้านความเค็มของน้ำแล้ว ปัจจัยทางด้านอุณหภูมิของน้ำ ด้านความขุ่น และรูปแบบการเคลื่อนตัวของกระแสน้ำ ยังนับว่าเป็นปัจจัยร่วมที่มีบทบาทได้มากเช่นเดียวกัน (Laprise and Dodson, 1994)

4.3.2) ดินตะกอนพื้นท้องน้ำและอัตราการตกตะกอน

ดินตะกอนในพื้นที่ปากแม่น้ำนับเป็นปัจจัยเด่นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีบทบาทต่อลักษณะการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิต ซึ่งบางครั้งได้รับการกล่าวถึงว่ามีบทบาทที่ชัดเจนมากกว่าปัจจัยในด้านความเค็มของน้ำ (Barnes, 1989) ดินในพื้นที่ปากแม่น้ำมีการแปรปรวนในองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีตามลักษณะอิทธิพลของความแรงของกระแสน้ำและคุณภาพน้ำเหนือผิวดิน อย่างไรก็ตาม ลักษณะโดยทั่วไปของดินในบริเวณปากแม่น้ำมักเป็นดินโคลนเนื้อละเอียด หรือดินโคลนปนทรายและมีขนาดของอนุภาคส่วนใหญ่ (มากกว่า 50%) ที่เล็กกว่า 125 μm ซึ่งมักพบการสะสมของอินทรีย์สารในระดับปานกลางจนถึงระดับสูง (7-15%) และสามารถพบการสะสมของสารประกอบซัลไฟด์ที่ทำให้ดินมีสีดำคล้ำและเกิดกลิ่นของก๊าซไข่เน่าโชยขึ้นมาได้

ดินในพื้นที่ปากแม่น้ำมีการกระจายในขนาดอนุภาคของตะกอนในทิศทางที่สอดคล้องกับความเร็วของน้ำ บริเวณที่น้ำที่มีความเร็วมากมักพบดินที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าในบริเวณที่ความเร็วของน้ำลดลง (โดยเฉพาะในแนวน้ำชนหรือแนวที่น้ำมีการหมุนวน) จากลักษณะดังกล่าว พื้นท้องน้ำที่มีทรายเป็นองค์ประกอบจึงพบได้บริเวณตอนบน อาทิ ในส่วนของแม่น้ำที่น้ำมีความเร็วสูงอยู่ รวมทั้งบริเวณชายฝั่งทะเลที่มีกระแสน้ำรุนแรงหรือในเขตตอนนอกของปากแม่น้ำใกล้เขตทะเลซึ่งมีอิทธิพลของคลื่นลมและกระแสน้ำที่มากขึ้น ส่วนพื้นท้องน้ำที่มีโคลนเนื้อละเอียดเป็นองค์ประกอบจะพบได้บริเวณช่วงรอยต่อที่เขตน้ำจืดและทะเลชนกันและมีความเร็วของน้ำต่ำลง และอนุภาคขนาดเล็กที่มีน้ำหนักเบาสามารถตกตะกอนสะสมลงในบริเวณพื้นท้องน้ำได้ ทั้งนี้ ลักษณะการกระจายของดินพื้นท้องน้ำอาจไม่มีรูปแบบในแนวเส้นตรงจากร่องน้ำออกไปในทิศทางที่อยู่ตอนนอกปากแม่น้ำเพียงทางเดียว แต่อาจเกิดเป็นรูปแบบตามเส้นทางในการเคลื่อนที่และการหมุนวนของน้ำ ซึ่งสามารถทำให้เราพบลักษณะของเนินเลนขึ้นมาได้ในหลายบริเวณย่อยของพื้นที่ปากแม่น้ำหนึ่ง ๆ

ตะกอนเลนขนาดเล็กละเอียดที่กำลังจะตกทับถมหรือแขวนลอยอยู่ใกล้ผิวหน้าดินจะมีการเคลื่อนตัวได้ง่ายเนื่องจากมีน้ำหนักน้อยและอยู่ในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงในกระแสน้ำตลอดเวลา พื้นท้องน้ำในระบบนิเวศปากแม่น้ำจึงนับว่ามีเสถียรภาพต่ำและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพื้นท้องน้ำได้ดีจำเป็นต้องมีความสามารถในการปรับตัวได้ดีมาก โดยเฉพาะในด้านความทนทานต่อการเกิดตะกอนขุ่นข้นขึ้นมาบางเวลา (ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อการอุดตันของอวัยวะและระบบการหายใจ) และปัญหาการลดต่ำลงของออกซิเจนบริเวณผิวหน้าดิน ทั้งนี้ พบว่าสัตว์ในกลุ่มหอยและไส้เดือนทะเลมักเป็นสัตว์พื้นท้องน้ำชนิดเด่นในพื้นที่ปากแม่น้ำ ขณะที่ในบริเวณย่อยที่มีการ

สะสมของอินทรีย์สารได้มาก ประชาคมสัตว์หน้าดินก็จะมีการเปลี่ยนชนิดไปโดยมักเกิดการทดแทนที่ด้วยไส้เดือนทะเลขนาดเล็กในครอบครัว Spionidae หรือ Capitellidae (จารุมาศและคณะ, 2557; กาญจนาและจารุมาศ, 2557) ส่วนสัตว์ในกลุ่มหอยที่มีความทนทานน้อยกว่าจะเกิดการตายลงไปหรือมีจำนวนลดต่ำลงไปเรื่อย ๆ

ด้วยสภาพการณ์ทั่วไปพบว่าพื้นท้องน้ำในเขตปากแม่น้ำเป็นบริเวณที่มีการสะสมของสารอินทรีย์ในปริมาณค่อนข้างสูง ส่งผลให้บริเวณปากแม่น้ำมีศักยภาพในการให้ผลผลิตขั้นที่สอง (Secondary production) สูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ โดยในพื้นที่ตอนกลางของปากแม่น้ำที่มีการสะสมของสารอินทรีย์สูงนั้น หากสัตว์พื้นท้องน้ำในกลุ่มไส้เดือนทะเลดังที่กล่าวมาสามารถปรับตัวและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงในสภาวะแวดล้อมที่ผันแปรได้ ก็จะเกิดการเพิ่มจำนวนของประชากรได้อย่างมาก ในการศึกษาติดตามลักษณะและอิทธิพลของสารอินทรีย์ที่มีปริมาณสูงมากในพื้นที่ในเขตปากแม่น้ำท่าจีนที่มีภาระทางมลภาวะสูง พบว่าความชุกชุมของไส้เดือนทะเลในกลุ่ม Spionids เพิ่มจำนวนได้สูงถึงมากกว่า 10,000 ตัว/ตารางเมตร (Ritnim and Meksumpun, 2011) นับเป็นระดับความหนาแน่นที่มีค่ามากกว่าพื้นที่ปากแม่น้ำอื่นๆ ในเขตอ่าวไทยตอนใน อย่างไรก็ตาม ปริมาณที่พบดังกล่าวอาจมีข้อจำกัดในการถ่ายทอดสู่ช่วงชั้นของห่วงโซ่อาหาร (ผ่านระบบการกินต่อกันเป็นทอดๆ) ทั้งนี้ เนื่องจากปัญหาที่สภาวะออกซิเจนในมวลน้ำมีค่าต่ำมากเกินไป

ออกซิเจนในดินเป็นปัจจัยจำกัดอย่างหนึ่งของพื้นที่ปากแม่น้ำ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีสารอินทรีย์สะสมสูงซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียในดิน ดินพื้นท้องน้ำในเขตปากแม่น้ำจึงมักแสดงการเปลี่ยนแปลงในสีของดินจากหน้าดินที่มีสีอ่อน (อาทิสีน้ำตาล หรือเทาปนเหลือง) สะท้อนสภาพที่มีออกซิเจนที่ได้รับจากมวลน้ำด้านบน เปลี่ยนเป็นดินสีเทาปนดำในชั้นบาง ๆ ที่เชื่อมต่อกับดินชั้นล่าง และมักมีสีดำขึ้นเมื่อลึกลงไปที่ระดับประมาณ 3-5 เซนติเมตร ซึ่งพบการสะสมของสารประกอบซัลไฟด์ในดินที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในดินระดับลึกนั้น ๆ ลักษณะการสะสมของซัลไฟด์ในดินที่ระดับลึกลงไปจะเห็นได้ชัดเจนในบริเวณที่มีกระแสน้ำเบาลงในเขตปากแม่น้ำตอนนอกออกไป โดยเฉพาะในแนวน้ำชนซึ่งมักพบการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืช ในการศึกษาติดตามคุณภาพดินในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน โดย พิชาศิษฐ์และจารุมาศ (2558) พบว่าระดับการสะสมของซัลไฟด์ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินบริเวณต่าง ๆ ของปากแม่น้ำ และระดับดังกล่าวมีบทบาทต่อความเป็นอยู่ของทรัพยากรสัตว์พื้นท้องน้ำในพื้นที่

สำหรับสารอินทรีย์ที่พัดพามาจากแผ่นดินหรือเลนละเอียดที่มาจากพื้นที่แม่น้ำตอนบนนั้นพบว่ามีลักษณะของการตกตะกอนทับถมในพื้นที่ปากแม่น้ำตามอิทธิพลจากทิศทางของกระแสลม (Trade wind) ที่ครอบคลุมพื้นที่อยู่ กระแสลมจะมีผลทำให้เกิดเส้นทางการเคลื่อนที่ของน้ำในบริเวณที่อยู่ทางเหนือและทางใต้ของเส้นศูนย์สูตรในลักษณะที่ตรงกันข้ามกัน (Kaiser *et al*., 2005) สำหรับในประเทศไทยซึ่งมีบริเวณปากแม่น้ำตั้งอยู่บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรจะพบว่าเส้นทางการไหลออกของมวลน้ำจากแม่น้ำมักนำพาให้ตะกอนเบาไหลลงไปทางทิศตะวันตกและเกิดการตกตะกอนทับถมในแถบตะวันตกของร่องน้ำ ในขณะเดียวกันตะกอนเบาหรือซาก

ของแพลงก์ตอนที่เกิดจากเขตทะเลจะมีการหมุนวนขึ้นไปโดยไม่สามารถไหลขึ้นในทิศตะวันตกได้ โดยตรงแต่มวลสารจากเขตทะเลมักจะไหลขึ้นไปทางฝั่งตะวันออกของปากแม่น้ำแล้วจึงถูกพัดให้กระจายออกไปอีกครั้ง ดังตัวอย่างในพื้นที่ของปากแม่น้ำท่าจีนและปากแม่น้ำบางตะบูนที่พบว่าลักษณะของตะกอนละเอียดจะเกิดการสะสมทางฝั่งตะวันตกของร่องน้ำได้มากกว่าทางฝั่งตะวันออก (จารุมาศและคณะ, 2556, 2557)

อนึ่ง สารอินทรีย์ที่พัดพาลงมาจากเขตแผ่นดินเข้าไปในพื้นที่ปากแม่น้ำและเข้าสู่เขตทะเลนั้นมีขอบเขตของการแพร่กระจายเข้าไปในพื้นที่ทะเลเพียงระยะทางหนึ่งเท่านั้น จากการศึกษาของ Meksumpun *et al.* (2007) ซึ่งใช้ดัชนีทางธรณีเคมีประเภทไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน (Stable carbon isotope) มาประเมินคุณภาพดินในพื้นที่อ่าวไทยโดยรวมพบว่าแหล่งที่มาของตะกอนที่พบการสะสมในพื้นท้องน้ำของอ่าวไทยแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกัน ส่วนมากประกอบด้วยแหล่งที่มาจากแพลงก์ตอนพืชที่เกิดในเขตทะเลกลางอ่าวไทยเอง และบางส่วนได้รับอิทธิพลจากเขตแผ่นดิน ทั้งนี้ พบว่าการพัดพาตะกอนจากปากแม่น้ำมีอิทธิพลต่อพื้นท้องน้ำในบริเวณที่ไม่เกินระยะทางประมาณ 30 ไมล์ทะเลจากเขตชายฝั่ง ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าพื้นที่ปากแม่น้ำจนถึงแนวน้ำชนตอนนอกสุดของแต่ละปากแม่น้ำจะเป็นอาณาบริเวณสำคัญที่สุดที่ได้รับอิทธิพลอย่างชัดเจนมาจากแผ่นดิน ทั้งนี้ จะได้รับอิทธิพลทั้งด้านความอุดมสมบูรณ์ของสารอินทรีย์และแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ถูกพัดพาลงมา รวมทั้งอิทธิพลในด้านมลภาวะซึ่งเกิดจากน้ำเสียและการปนเปื้อนของสารพิษต่าง ๆ ที่ถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ

ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนปากแม่น้ำ

การศึกษาความแปรปรวนของปริมาณสารอินทรีย์รวมที่พบในพื้นที่ปากแม่น้ำต่างๆ ตั้งแต่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก อ่าวไทยตอนใน อ่าวไทยฝั่งตะวันตก และอ่าวไทยตอนล่าง ทำให้ทราบว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมมีค่าตั้งแต่น้อยมากจนถึงสูงมากกว่าร้อยละ 10 ขึ้นไป (**ตารางที่ 4.4**) ปริมาณสารอินทรีย์ในดินยังมีความแปรปรวนสูงภายในพื้นที่ปากแม่น้ำหนึ่ง ๆ สะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างในลักษณะของพื้นท้องน้ำของแต่ละปากแม่น้ำว่าประกอบด้วยพื้นท้องน้ำทั้งบริเวณที่เป็นทราย ทรายปนโคลน จนถึงพื้นที่ที่เป็นเนื้อโคลนละเอียดที่มีสารอินทรีย์สูงสะสมอยู่ และพบว่าปริมาณซัลไฟด์รวมในดินก็มีความแตกต่างกันไปได้มากเช่นกัน

ระดับของซัลไฟด์ที่พบในดินพื้นท้องน้ำในบางพื้นที่ไม่ได้แปรผันตามปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินที่พบเสมอไป เช่น ในพื้นที่ปากแม่น้ำหลังสวน จังหวัดชุมพร ซึ่งมีระดับสูงสุดของสารอินทรีย์รวมในดินสูงถึงประมาณ 17 % แต่กลับพบระดับของซัลไฟด์รวมสูงสุดที่ประมาณ 0.2 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของดิน (mg/g dw) ขณะที่ในปากแม่น้ำท่าจีนที่มีสารอินทรีย์ในดินที่สูงในระดับเท่าๆ กัน แต่มีระดับของซัลไฟด์รวมในดินสูงถึงประมาณ 2 mg/g dw (จารุมาศและคณะ, 2557) ทั้งนี้ ระดับของซัลไฟด์ในพื้นที่ปากแม่น้ำหลังสวนที่มีค่าต่ำกว่าปากแม่น้ำท่าจีนถึงประมาณ 10 เท่านั้น น่าจะเกิดจากการที่มวลน้ำเหนือผิวดินในพื้นที่หลังสวนมีคุณภาพที่ดีกว่าโดยเฉพาะการมีระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่สูง (ประมาณ 4-5 mg/L) ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ย

ของมวลน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนประมาณ 3-5 เท่า ระดับออกซิเจนที่มากเพียงพอนี้ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในดินพื้นท้องน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำหลังสวนในรูปแบบที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic decomposition) ยังคงเกิดได้อย่างต่อเนื่อง ขณะที่กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาทิ กระบวนการ Sulfate reduction ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้สารประกอบซัลไฟด์ในดินเกิดได้น้อย

ตาราง 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์รวม (TOM; %) และซัลไฟด์รวม (Acid volatile sulfides; AVS: mg/g dw) ที่พบในดินพื้นท้องน้ำของปากแม่น้ำต่าง ๆ ในประเทศไทย

พื้นที่ปากแม่น้ำ ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	ปริมาณสารอินทรีย์รวม (%)	ปริมาณซัลไฟด์รวม (mg/g dw)	ที่มา
ปากแม่น้ำเวฬุ จ.จันทบุรี	0.90 – 38.5	nd – 1.860	ทิพวัลย์ (2546)
ปากแม่น้ำท่าจีน จ.สมุทรสาคร	2.46 – 17.50	0.002 – 2.092	นิตยา (2554)
ปากแม่น้ำแม่กลอง จ.สมุทรสงคราม	0.82 – 11.46	nd – 1.344	บุณฑริกา (2554)
ปากแม่น้ำบางตะบูน จ.เพชรบุรี	6.92 – 14.39	nd – 1. 721	จารุมาศและคณะ (2555)
ปากแม่น้ำปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์	3.65 – 13.32	nd – 1.154	เชษฐพงษ์และคณะ (2557)
ปากแม่น้ำหลังสวน จ.ชุมพร	1.32 – 17.11	nd – 0.290	จารุมาศและคณะ (2557)

บทบาทของการตกตะกอนต่อสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำ

การตกตะกอนของสารต่าง ๆ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของผิวหน้าดินที่เกิดจากอิทธิพลของกระแสน้ำที่ทำให้ผิวหน้าดินชั้นบาง ๆ เกิดการเคลื่อนตัวหรือการฟุ้งกระจายขึ้นมาจากพื้นท้องน้ำนั้นจัดเป็นเรื่องปกติของปากแม่น้ำทั่วไป อัตราการตกตะกอน (Sedimentation rate) ที่พบในพื้นที่ปากแม่น้ำมีค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงกว่าพื้นที่ระบบนิเวศทางน้ำอื่น ๆ โดยพบค่าประมาณ 5 g/m^2/day ในพื้นที่ที่มีสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ในระดับปานกลาง อาทิ ในเขตอ่าวไทยตอนบน (Windom *et al*., 1982) และมีค่าสูงได้ถึงประมาณ 3,000 g/m^2/day ในบริเวณที่ได้รับสารอินทรีย์สูง อาทิ ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน (Thaipichitburapa *et al*., 2009)

การตกตะกอนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปากแม่น้ำก่อให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์และอนุภาคอนินทรีย์ขนาดต่าง ๆ ที่อยู่ในมวลน้ำลงมายังบริเวณพื้นท้องน้ำ สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการตกตะกอนสูงรวมทั้งบริเวณที่มักพบตะกอนเบากระจายอยู่ใกล้ผิวหน้าดิน จึงมักเป็นกลุ่มที่มีความทนทานต่อลักษณะตะกอนเช่นนั้น และมีพฤติกรรมความเป็นอยู่ตลอดจนรูปแบบในการกินอาหารที่สอดคล้องกับธรรมชาติของพื้นที่ ในบริเวณดังกล่าวพบว่ากลุ่มของสิ่งมีชีวิตพื้นท้องน้ำที่มีศักยภาพในการอยู่อาศัยที่สุดมักเป็นสัตว์หน้าดินในกลุ่ม “ไส้เดือนทะเล”

รวมถึงในกลุ่ม “หอยสองฝา” ที่มีศักยภาพในการขุดรูอยู่ กินเนื้อดินเป็นอาหาร หรือเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว

สัตว์หน้าดินในกลุ่มไส้เดือนทะเลที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ปากแม่น้ำโดยส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการหาอาหารแบบการกลืนกินตะกอนขนาดเล็กที่มีสารอินทรีย์สูงผ่านเข้าไปทางช่องปาก จัดเป็นพวกที่เรียกว่า “Deposit-feeding polychaetes” ซึ่งแตกต่างจากพวกที่ “กรองกิน” (Filter-Feeding Polychaetes) ที่ใช้อวัยวะมีลักษณะคล้ายซี่กรองยื่นออกมาจากตัวเพื่อดักจับตะกอน ทั้งนี้ พวกที่กรองกินมักมีความชุกชุมที่น้อยลงอย่างมากในพื้นที่ที่มีการตกตะกอนสูงหรือพื้นที่ที่มีความขุ่นสูงมาก ๆ เช่นนี้

ไส้เดือนทะเลที่ขุดรูอาศัยอยู่ในดิน (Burrowing polychaete; **ภาพที่ 4.5**) สามารถใช้ลักษณะของรูหรือท่อที่มีสารเมือกเคลือบบาง ๆ ด้านใน (ทำให้มีโครงสร้างที่ค่อนข้างคงตัว) เป็นส่วนที่นำพาเอามวลน้ำปริมาณน้อยแต่มีออกซิเจนที่เพียงพอเข้ามาภายในท่อนั้นโดยอาศัยการเคลื่อนตัวหรือเคลื่อนที่ภายในท่อเป็นจังหวะ ไส้เดือนทะเลเหล่านี้สามารถเคลื่อนที่ขึ้นมากินอาหารบริเวณผิวหน้าดิน หรือกลืนกินอนุภาคสารอินทรีย์ที่ยังไม่ได้ย่อยสลายในชั้นดินที่ลึกกว่าเป็นอาหารได้ การอยู่ภายในรูที่ขุดในชั้นที่ต่ำลงจากผิวหน้าดินและศักยภาพในการเคลื่อนที่ขึ้นลงได้รวดเร็วยังเป็นประโยชน์ในการหลีกเลี่ยงจากปัญหาการเปลี่ยนแปลงด้านความขุ่นหรือการเคลื่อนตัวของตะกอนที่ผิวหน้าดิน และยังช่วยหลบหลีกจากศัตรูหรือผู้ล่า โดยเฉพาะในเวลาที่ผิวหน้าดินมีการโผล่ขึ้นในช่วงเวลาที่น้ำลงต่ำสุดอีกด้วย

4.3.3) ระดับของออกซิเจนละลายน้ำ

ออกซิเจนละลายน้ำเป็นปัจจัยทางเคมีที่มีความสำคัญและได้รับความสนใจเนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงต่อความเป็นอยู่ของทรัพยากรมีชีวิตทางน้ำ และเกี่ยวข้องกับระบบการย่อยสลายตลอดจนกระบวนการทางชีวเคมีอีกมากภายในระบบนิเวศแหล่งน้ำ สำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำพบว่าลักษณะการกระจายในระดับของออกซิเจนละลายน้ำมีความจำเพาะกับพื้นที่ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลักษณะการไหลของน้ำและสถานการณ์มลภาวะทางอินทรีย์สารหรือธาตุอาหารที่หมุนเวียนอยู่ในระบบนิเวศปากแม่น้ำนั้น ๆ

ปากแม่น้ำที่มีการพัดพาลงมาของมวลน้ำที่มีคุณภาพน้ำดี อาจมีปริมาณของออกซิเจนละลายน้ำในระดับที่สูงถึง 4-6 mg/L (อาทิ ในระบบลุ่มน้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี และลุ่มน้ำหลังสวน จังหวัดชุมพร) จะพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระดับของออกซิเจนละลายน้ำเกิดได้ตามเส้นทางการไหลที่ได้รับอิทธิพลจากรูปแบบและปริมาณการใช้ประโยชน์ของพื้นที่โดยชุมชนที่อาศัยรายรอบแหล่งน้ำนั้นเป็นหลัก พื้นที่ที่มีชุมชนอาศัยอยู่หนาแน่นหรือมีการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร การตลอดจนกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่หนาแน่น จะมีระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่ลดต่ำลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้ เนื่องจากมวลของสารที่อินทรีย์ถูกพัดพาลงมาจากแม่น้ำจะเริ่มชะลอความเร็วลงจากการผสมผสานและแรงผลักดันของน้ำทะเล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในความเร็วของน้ำผนวกกับการที่ในน้ำเกิดกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่ถูกพัดพามารวมตัวกันในพื้นที่

(โดยเฉพาะเขตปากแม่น้ำตอนในและตอนกลาง) ระดับของออกซิเจนละลายน้ำจึงมักต่ำลงไปจากเดิม (ลดลงมากกว่า 2 mg/L) ได้อย่างชัดเจน

สภาวะการลดต่ำลงของออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำมักจะเกิดขึ้นในระยะทางที่ไม่ไกล เนื่องจากอิทธิพลในการผสมผสานและการเจือจางโดยน้ำจากเขตทะเล และเมื่อผ่านไปตามระยะทางหนึ่งซึ่งออกไปใกล้ตอนนอกของปากแม่น้ำ (บริเวณที่น้ำมีความเค็มใกล้เคียงกับน้ำทะเล) ในพื้นที่ดังกล่าวมักจะพบการรวมตัวกันของเซลล์แพลงก์ตอนพืชจากเขตทะเล (ซึ่งเป็นผู้ผลิตออกซิเจนที่สำคัญในแหล่งน้ำ) แพลงก์ตอนพืชที่กระจายตัวอยู่ในแนวนอกนี้เองจะช่วยทำให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำสูงกลับขึ้นมาดังเดิมหรืออาจสูงกว่าระดับเดิมที่พบในแม่น้ำ เนื่องจากการมีความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชที่สูงมากกว่าในแม่น้ำก็เป็นได้

สำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีปัญหายูโทรฟิเคชัน เนื่องจากการรับภาระด้านแร่ธาตุอาหารมาจากบ้านเรือนชุมชนหรือจากพื้นที่การใช้ประโยชน์ทางการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมนั้น พื้นที่ปากแม่น้ำดังกล่าวมักมีระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำมากในช่วงตั้งแต่ก่อนจะไหลลงพื้นที่อ่าว (ยกตัวอย่างในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่มวลน้ำมีค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำต้นทางที่จะไหลลงพื้นที่อ่าวในระดับที่ต่ำถึง 0.5 mg/L; จารุมาศและคณะ 2557) การไหลของน้ำที่มีออกซิเจนละลายน้ำต่ำมากนี้ อาจเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้นเมื่อออกสู่พื้นที่ปากแม่น้ำ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีอิทธิพลจากน้ำทะเลค่อนข้างสูง (เช่น พื้นที่ราบลุ่มน้ำภาคกลางของประเทศไทย) ซึ่งพบว่าการเกิดของประชากรแพลงก์ตอนจากเขตทะเลมีบทบาทอย่างยิ่งต่อการฟื้นฟูระดับของออกซิเจนละลายน้ำในระบบปากแม่น้ำ ทั้งนี้ ในระยะทางที่ไม่ไกลจากฝั่งจะสามารถพบการเพิ่มจำนวนเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชได้อย่างหนาแน่นและส่งผลให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่ตรวจวัดได้ในช่วงกลางวันมีค่าสูงเพิ่มขึ้นจากมวลน้ำต้นทางได้ถึง 2-10 เท่า

รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำนี้ยังสอดคล้องกับลักษณะการหมุนเวียนหรือการผสมผสานของน้ำทะเลที่มีการขึ้นลงอยู่เสมอ ด้วยอิทธิพลของปัจจัยร่วมดังกล่าว ช่วงเวลาในการขึ้นลงของน้ำทะเลในช่วงวันจึงมีความสำคัญมาก ทั้งนี้ พบว่าการขึ้นของน้ำในเวลากลางวันหรือตั้งแต่ช่วงบ่ายถึงเย็นที่มีแสงจัดจะช่วยกระตุ้นอัตราการผลิตออกซิเจนของเซลล์ในมวลน้ำได้มากกว่าการที่น้ำขึ้นในช่วงเช้า นอกจากนี้ ในช่วงที่ “น้ำตาย” ก็นับเป็นช่วงที่ประชากรของแพลงก์ตอนพืชมีโอกาสรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนในบริเวณจำเพาะต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจนมากกว่าช่วง “น้ำเกิด” ที่น้ำมีการขึ้นลงมากและไหลเวียนดี ช่วงน้ำตายจึงมักพบ ความแตกต่างในระดับของออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำได้มากกว่าในช่วงที่น้ำเกิด

อนึ่ง ในพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีการเจริญของแพลงก์ตอนพืชอย่างหนาแน่นมาก (อาจมากกว่า 100 cells/ml สำหรับกลุ่ม Microplankton หรือมากกว่า 1 cells/ml สำหรับไดโนแฟลกเจลเลทชนิด *Noctiluca* ที่เซลล์มีขนาดใหญ่ประมาณ 1 mm) ระดับของออกซิเจนละลายในน้ำโดยทั่วไปจะมีค่าที่สูงมาก ซึ่งมักมากกว่าระดับการละลายอิ่มตัวของออกซิเจนที่อุณหภูมิอากาศนั้น ๆ ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนมีรายงานการพบระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่สูงกว่า 17 mg/L ซึ่งเทียบเป็นค่าการละลายอิ่มตัวถึง > 200% (จารุมาศและคณะ, 2556; กาญจนา 2557) ปรากฏการณ์ดังกล่าวสะท้อนสภาวะความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชที่มากเกินไปจนอยู่ใน

ระดับของปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี ลักษณะเช่นนี้จะเป็นปัญหาในเวลากลางคืนซึ่งพบปัญหาออกซิเจนละลายน้ำที่ลดต่ำลงมาก (Hypoxia) เนื่องจากกระบวนการหายใจและการย่อยสลายต่างๆ และก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำที่อาศัยหากินในพื้นที่ปากแม่น้ำได้

4.3.4) อุณหภูมิของน้ำ

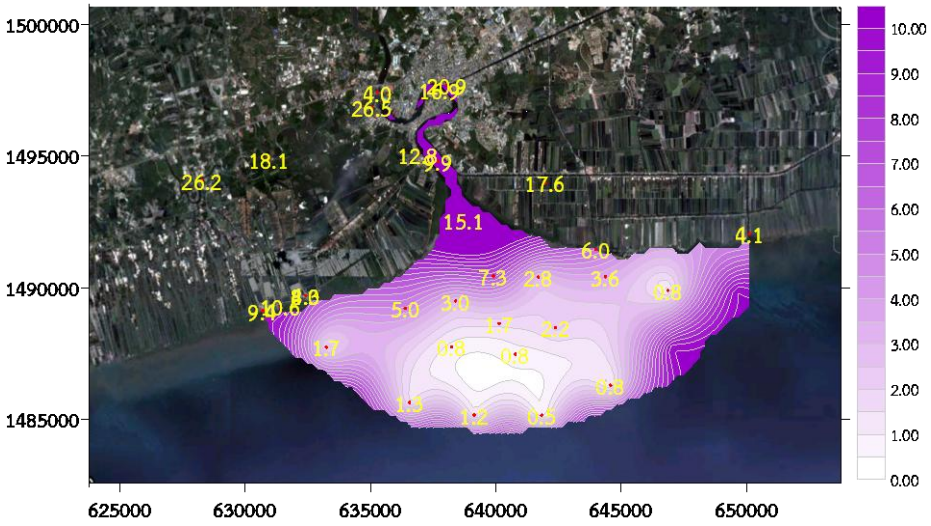
อุณหภูมิของน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำจัดเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่โดยรวมได้น้อยกว่าปัจจัยด้านความเค็มหรือปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาที่น้ำตาย (สภาพที่น้ำไม่ค่อยขึ้นลง) อุณหภูมิของน้ำในฤดูร้อนที่มีแดดจัดจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นได้อีก 2-3 °C ในช่วงบ่าย การที่มวลน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำร้อนขึ้นอย่างชัดเจนนี้จัดเป็นการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในมวลน้ำและในระบบนิเวศพื้นท้องน้ำได้เป็นอย่างดี ในช่วงอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นดังกล่าว เราจึงมักสังเกตเห็นฟองก๊าซผุดขึ้นมาจากหน้าดิน ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในดิน (อาทิ ไฮโดรเจนซัลไฟด์) มีผลให้ออกซิเจละลายน้ำลดต่ำลงและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทางน้ำได้

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำในรอบปีในพื้นที่ปากแม่น้ำนั้น ในประเทศไทยเราได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิอากาศซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงฤดูฝน (มรสุมตะวันตกเฉียงใต้) และช่วงฤดูหนาว (มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) ในระดับที่ไม่มากนัก ซึ่งอุณหภูมิของน้ำได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิของอากาศเล็กน้อย โดยพบว่าในช่วงหน้าหนาวประมาณเดือนธันวาคมจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ อุณหภูมิของน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำของไทยจะอยู่ในช่วงประมาณ 27-32 °C ทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเล็กน้อยในช่วงเช้าเกิดจากอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ลดลงในเวลากลางคืน ส่วนอุณหภูมิของน้ำในช่วงหน้าร้อนมักมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันที่น้อยกว่าหน้าหนาว (อยู่ในช่วงประมาณ 29-32 °C) โดยอุณหภูมิของน้ำแทบไม่ลดลงในช่วงเวลากลางคืนและไม่เพิ่มสูงตามอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงในช่วงกลางวัน (จารุมาศและคณะ 2556) ในภาพรวมพบว่าการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างน้อยเช่นนี้เกิดเนื่องจากมวลน้ำมีการเคลื่อนย้ายเข้าออกและผสมผสานกันอยู่ตลอดเวลา

อุณหภูมิของน้ำในเขตปากแม่น้ำยังได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิของน้ำท่าที่ไหลลงสู่ปากแม่น้ำ โดยทั่วไปน้ำจากแม่น้ำจะมีระดับของอุณหภูมิที่ต่ำกว่าในพื้นที่ปากแม่น้ำเขตตอนในและตอนกลาง ประมาณ 0.5-1 °C อิทธิพลจากอุณหภูมิของน้ำท่ามักพบได้ชัดขึ้นในช่วงฤดูหนาวที่น้ำจากแม่น้ำมีอุณหภูมิที่เย็นลง ทั้งนี้ อิทธิพลดังกล่าวมักมีระยะทางที่ไม่เกินเขตตอนกลางของปากแม่น้ำนั้น ๆ อนึ่ง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำบางบริเวณอาจได้รับอิทธิพลจากการใช้ประโยชน์ที่จำเพาะประเภทในพื้นที่ปากแม่น้ำ อาทิ การเป็นที่ตั้งของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีการปล่อยน้ำหล่อเย็นจากพื้นที่โรงงาน ซึ่งผลการศึกษาด้านผลกระทบของโรงไฟฟ้าที่ตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง (เชษฐพงษ์และคณะ, 2552) แสดงให้เห็นว่าบทบาทของมวลน้ำอุณหภูมิสูงที่ปล่อยออกมาจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้ามีผลกระทบต่ออุณหภูมิของลำน้ำส่วนใหญ่ค่อนข้างน้อย ทั้งนี้ พบว่าอุณหภูมิของน้ำที่ได้รับผลกระทบโดยเพิ่มสูงขึ้นได้บ้างจะพบในขอบเขตที่ห่างจากตำแหน่งปล่อยออกไปในระยะทางประมาณไม่เกิน 100 เมตรเท่านั้น

4.3.5) แร่ธาตุอาหารในน้ำ

การกระจายของปัจจัยด้านแร่ธาตุอาหาร โดยเฉพาะสารละลายในกลุ่มไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งนับว่ามีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิตทรัพยากรชีวภาพขั้นต้นในแหล่งน้ำ สะท้อนให้เห็นถึงลักษณะการผสมผสานของมวลน้ำที่นำพาเอาแร่ธาตุอาหารในปริมาณมากที่ไหลลงมาจากแผ่นดินกับมวลของน้ำที่มาจากเขตทะเล ซึ่งเกิดจากอิทธิพลร่วมของการเกิดน้ำขึ้นน้ำลงในพื้นที่ปากแม่น้ำ



ภาพที่ 4.16 ลักษณะการแพร่กระจายของแร่ธาตุอาหารในรูปออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัสในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการเจือจางโดยน้ำทะเล และการใช้แร่ธาตุอาหารโดยแพลงก์ตอนพืชที่เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างหนาแน่นในบริเวณแนวกลางของพื้นที่ *(ที่มา: ปรับปรุงจาก เชษฐพงษ์และคณะ, 2557)*

ระดับของแร่ธาตุอาหารที่กระจายอยู่ในพื้นที่ปากแม่น้ำมีลักษณะการเจือจางความเข้มข้นด้วยมวลของน้ำทะเล ซึ่งจะพบการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ตรงข้ามกับความเค็มของน้ำ ช่วงฤดูกาลที่น้ำความเค็มต่ำ (หรือมีมวลน้ำจืดจำนวนมาก) ได้แผ่กระจายลงมาจากแม่น้ำ ระดับของแร่ธาตุอาหาร (โดยเฉพาะบริเวณตอนในสุดของปากแม่น้ำ) ก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นสูงตามไปด้วย ในทางตรงกันข้าม หากเป็นช่วงเวลาหรือฤดูกาลที่มีปริมาณน้ำท่าน้อยลง หรือได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล (ที่มีความเค็มสูงกว่า) เกิดพัดพาเข้าสู่แผ่นดินและไหลขึ้นไปตามเส้นทางของลำน้ำ ซึ่งทำให้น้ำเกิดการผสมผสานกับน้ำทะเลและมีระดับความเค็มที่สูงขึ้น ก็จะพบว่าขอบเขตการแพร่กระจายของมวลน้ำที่มีแร่ธาตุอาหารสูงจะถูกจำกัดอยู่เฉพาะพื้นที่ทางตอนในสุด (**ภาพที่**

4.16) นับเป็นอิทธิพลอย่างชัดเจนจากการขึ้นลงของน้ำและปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงมาในบริเวณปากแม่น้ำนั้น ๆ

ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่มีการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี โดยเฉพาะในเขตตอนกลางและตอนนอกของปากแม่น้ำ ที่เป็นพื้นที่รอยต่อกับเขตทะเล (ในระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตรจากแนวขอบฝั่ง และมีค่าความเค็มของน้ำในช่วงประมาณ มากกว่า 25 psu) เราพบว่าปริมาณของแร่ธาตุอาหารมักได้รับอิทธิพลจากการเจริญของแพลงก์ตอนพืชที่พบหนาแน่นขึ้นมามากในบางบริเวณย่อยซึ่งครอบคลุมอาณาบริเวณหนึ่ง ๆ ที่เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Chuenniyem *et al.,* 2012) ลักษณะดังกล่าวมักพบได้ชัดเจนในช่วงน้ำตาย ซึ่งน้ำมีความเร็วในการเคลื่อนตัวน้อย เราจะพบการเกิดเป็นหย่อมของแพลงก์ตอนพืชที่มีความหนาแน่นของจำนวนเซลล์สูงมากและน้ำเกิดการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจน แพลงก์ตอนพืชที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปากแม่น้ำบริเวณจำเพาะดังกล่าว สามารถทำให้ระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารในพื้นที่ปากแม่น้ำบริเวณนั้นลดระดับลง ซึ่งทั้งนี้ เกิดจากการที่แพลงก์ตอนพืชได้มีการนำเอาแร่ธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำเข้าไปใช้ในกระบวนการผลิตสารอินทรีย์และการขยายจำนวนประชากรให้เพิ่มมากขึ้น

โดยทั่วไปการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชชนิดที่พบได้มากในพื้นที่ปากแม่น้ำ มักเป็นการเจริญและขยายประชากรของชนิดที่มีแหล่งกำเนิดในเขตทะเลหรือจากพื้นที่ที่มีความเค็มของน้ำระดับค่อนข้างสูง ส่วนแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในเขตลำน้ำซึ่งเป็นมวลน้ำจืดที่ถูกพัดพาลงมาเรื่อย ๆ ก็จะมีขอบเขตการกระจายที่ถูกจำกัดด้วยความเค็ม (ดูรายละเอียดในส่วนของ “แพลงก์ตอน” ในเขตปากแม่น้ำ) ด้วยเหตุดังกล่าว พื้นที่ช่วงรอยต่อของการผสมผสานในเขตรับน้ำกร่อยแนวปากแม่น้ำตอนในจึงยังคงสภาพการมีแร่ธาตุอาหารที่สูงดังเดิม โดยอาจมีความชุกชุมของแพลงก์ตอนพืชลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงลำน้ำตอนปลายหรือช่วงปากแม่น้ำตอนนอกออกไป พื้นที่ตอนในถึงตอนกลางของปากแม่น้ำจึงมักพบระดับของแร่ธาตุอาหาร รวมทั้งสารมลพิษที่พัดพาลงมาได้ในระดับที่สูงมากกว่าตอนนอกเสมอ

ระดับของแร่ธาตุอาหารในพื้นที่ปากแม่น้ำต่าง ๆ มีรูปแบบการกระจายตามลักษณะทางนิเวศอุทกวิทยาของพื้นที่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลักษณะการใช้ประโยชน์และโอกาสการรับน้ำเสียที่มาจากชุมชนโดยรอบ ทั้งนี้ การรับเอาปริมาณแร่ธาตุอาหารที่สูงมากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันที่รุนแรง และมีผลกระทบด้านการจำกัดการเจริญเติบโตของผู้บริโภคขั้นต่าง ๆ ในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งเชื่อมโยงสู่ปัญหาการผลิตทรัพยากรประมงได้อย่างมากในลำดับต่อไป

กระแสน้ำและการหมุนเวียนแร่ธาตุอาหาร

ปากแม่น้ำทุก ๆ แห่งไม่ว่าจะเป็นปากแม่น้ำประเภทใด จะมีมวลน้ำที่ถูกพัดพาออกนอกเขตไปสู่ทางทะเล ตามบทบาทกระแสน้ำที่เป็นผลสุทธิระหว่างแรงดันของมวลน้ำ น้ำจืดที่ไหลลงและการผลักดันจากการขึ้นลงของน้ำทะเล ทั้งนี้ การไหลออกของมวลน้ำในภาพรวมจะไม่มีบทบาทต่อทรัพยากรขนาดใหญ่ที่สามารถว่ายน้ำเองได้ดี อย่างไรก็ตาม จะมีบทบาทต่อสิ่งมีชีวิตที่เคลื่อนตัวไปพร้อม ๆ กับมวลน้ำหรือไม่สามารถเคลื่อนที่ต้านทานแรงของกระแสน้ำนั้นได้

แพลงก์ตอนสัตว์ เป็นตัวอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิตที่ได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของมวลน้ำ อย่างไรก็ตาม แพลงก์ตอนสัตว์สามารถปรับพฤติกรรมความเป็นอยู่เพื่อการรักษาสมดุลในประชากรที่เกิดขึ้น แพลงก์ตอนสัตว์หลายชนิดในเขตปากแม่น้ำ (โดยเฉพาะในกลุ่มของสัตว์น้ำวัยอ่อน) ใช้ลักษณะของการเคลื่อนตัวตามแนวดิ่งในช่วงของการขึ้นลงของน้ำเพื่อการรักษาสมดุลของประชากร โดยในช่วงที่น้ำลงซึ่งมีมวลน้ำจืดเคลื่อนตัวลงมามาก แพลงก์ตอนสัตว์ก็จะเคลื่อนที่ขึ้นไปยังบริเวณผิวน้ำเพื่อกินอาหารในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ หลักจากนั้น พอเข้าช่วงที่น้ำขึ้นในรอบวันแพลงก์ตอนสัตว์เหล่านั้นก็จะเคลื่อนที่ลงลึก และอาศัยการขึ้นของมวลน้ำเค็มที่พัดพาขึ้นมาช่วยในการนำพาเอาประชากรย้อนกลับเข้าไปสู่เขตปากแม่น้ำในบริเวณเดิมได้อีกครั้ง (Hill, 1991)

การเคลื่อนตัวในลักษณะที่สอดคล้องกับการไหลของมวลน้ำ ยังพบในประชากรของ***แพลงก์ตอนพืช*** การศึกษาแพลงก์ตอนพืชในอ่าว Chesapeake ประเทศสหรัฐอเมริกา (Tyler and Seliger, 1978) พบว่าการกระจายของแพลงก์ตอนพืชชนิด *Prorocentrum* ซึ่งเป็นชนิดหลักที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี จะมีการกระจายของเซลล์ออกไปสู่อ่าวตอนนอกในช่วงปลายฤดูหนาว และผสมผสานกับมวลของน้ำทะเลแล้วลดระดับต่ำลง พอเข้าสู่ในช่วงฤดูใบไม้ผลิ ซึ่งเริ่มมีการละลายของน้ำแข็งและมีมวลน้ำจืดไหลลงสู่อ่าวมากยิ่งขึ้น มวลน้ำจืดและน้ำเค็มที่เคลื่อนตัวสวนทางกันทำให้เกิดชั้นความต่างในความหนาแน่นของแร่ธาตุอาหาร ในช่วงดังกล่าว *Prerocentrum* จะถูกพัดพากลับเข้าไปในอ่าวตามมวลน้ำเค็มที่ไหลแนบพื้นท้องน้ำเข้าไปตามแนวร่องน้ำ ซึ่งจะยกตัวขึ้นเมื่อเจอกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นที่ *Prorocentrum* ที่มากับมวลน้ำที่มีแร่ธาตุอาหารสูงเมื่อลอยสูงขึ้นและได้รับแสงอย่างเต็มที่มักเกิดการเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วและกระจายตัวออกไปในแนวผิวหน้าน้ำตามอิทธิพลของลักษณะการไหลออกของมวลน้ำที่มีความเค็มน้อยกว่าได้อีกครั้งในช่วงปลายฤดูใบไม้ผลิ ปริมาณของเซลล์จะรวมตัวกันมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงช่วงฤดูร้อนที่มีมวลน้ำจืดไหลลงน้อยมาก ประชากรของแพลงก์ตอนจะมีขอบเขตหนาแน่นเพียงแค่แนวนอกสุดของปากแม่น้ำและไม่ถูกพัดพาออกไปไกลกว่านั้น ซึ่งประชากรดังกล่าวเมื่อเข้าสู่ช่วงปลายฤดูหนาวก็จะลดระดับตกลงสู่มวลน้ำที่มีความเค็มสูงกว่าทางด้านล่าง เกิดเป็นวัฏจักรในการไหลวนเข้าสู่อ่าวตอนในอีกครั้ง เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูใบไม้ผลิ

สำหรับ ***สัตว์พื้นท้องน้ำ*** ในพื้นที่ปากแม่น้ำ โดยส่วนใหญ่จะเป็นชนิดที่เป็นสัตว์ทะเลซึ่งมีการขยายพันธุ์ได้หลายช่วงในรอบปี และมักมีระยะตัวอ่อนที่เป็นแพลงก์ตอนล่องลอยไปในน้ำ ด้วยลักษณะดังกล่าวการพัดพาของมวลน้ำสุทธิออกนอกระบบปากแม่น้ำจึงมีส่วนทำให้เกิดการสูญหายไปของประชากรสัตว์พื้นท้องน้ำโดยเฉพาะในระยะวัยอ่อนก่อนที่จะฝังตัวลงดินและเจริญเติบโตต่อไปได้ ประชากรของสัตว์พื้นท้องน้ำชนิดที่มีการพัฒนาของระยะวัยอ่อนอย่างรวดเร็วหรือชนิดที่มีระยะการเป็นแพลงก์ตอนแค่ในช่วงสั้นๆ จึงมักจะเป็นชนิดที่ยังสามารถคงประชากรในพื้นที่ปากแม่น้ำได้อย่างต่อเนื่อง การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสัตว์พื้นท้องน้ำในกลุ่มไส้เดือนทะเล โดยเฉพาะชนิด *Capitella capitata* (ซึ่งมีระยะวงชีวิตที่ค่อนข้างสั้นและสามารถ

เจริญเป็นตัวเต็มวัยที่ขยายพันธุ์ได้ในระยะประมาณไม่เกิน 28-30 วัน) จัดเป็นชนิดที่มีการปรับตัวได้ดีและสามารถฟื้นคืนประชากรได้เร็วหากได้รับผลกระทบที่ทำให้ประชากรลดลงไป (Grassle and Grassle, 1974; Giangrande *et al*., 1994)

ภาพที่ 4.17 ลักษณะความสมบูรณ์ของหอยพิม (*Pholas orientalis*; ภาพบนซ้าย) ที่ได้ในพื้นที่ตอนกลางของปากแม่น้ำท่าจีน ในช่วงปี พ.ศ. 2555 เปรียบเทียบกับภาพความเสื่อมโทรมลงของประชากรหอยพิมในช่วงประมาณ 2 ปีถัดไป (ภาพบนขวา) และการเกิดหอยสองฝาขนาดเล็กอื่น ๆ อาทิ กลุ่มของหอยกระสือ (ภาพล่างซ้าย) และหอยกะพง (ภาพล่างขวา) ขึ้นมาในบางพื้นที่

ในพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ หรือได้รับภาวะน้ำเสียบ่อยครั้ง ประชากรของสัตว์พื้นท้องน้ำที่มีการขยายพันธุ์ได้น้อย (จำนวนไข่น้อย) หรือมีระยะแพลงก์ตอนที่ยาวนานจึงมักมีแนวโน้มในการหายไปของประชากรได้มากกว่า ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนเป็นตัวอย่างหนึ่งของปัญหาการลดลงในประชากรสัตว์พื้นท้องน้ำ เนื่องจากผลกระทบของความเสื่อมโทรมในพื้นที่ ยกตัวอย่างเช่นความเสื่อมโทรมของประชากรหอยพิม (**ภาพที่ 4.17** บนขวา) ซึ่งเดิมมักได้มากอยู่ในบริเวณตอนกลางและตอนในของปากแม่น้ำ ในระยะหลังพบการเกิดทดแทนที่โดยหอยขนาดเล็กอื่น ๆ ที่พบได้ในแนวเลนทางตอนในเข้ามา (อาทิ หอยกะพง; **ภาพที่ 4.17** ล่างขวา) ซึ่งทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ลงฝังตัวน่าจะเกิดจากอิทธิพลจากการหนุนของมวลน้ำ

ทะเลที่มากกว่าแรงดันของมวลน้ำจืดที่ลดน้อยลง (กาญจนาและจารุมาศ, 2557) อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบก็คือ หอยที่เกิดขึ้นมักจะตายลงไปในระยะไม่นานหลังจากนั้น เนื่องจากปัญหาน้ำเสียที่ขาดออกซิเจนได้ไหลลงมาจากพื้นที่ชุมชนเป็นจำนวนมาก

สถานการณ์ปัญหาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า นอกจากปริมาณน้ำจืดที่ถูกควบคุมหรือมีการนำไปใช้ประโยชน์ในระหว่างเส้นทางของแม่น้ำที่มากเกินควร (ซึ่งมีอิทธิพลต่อมวลน้ำสุทธิที่จะไหลลงสู่ปากแม่น้ำ) จะมีบทบาทต่อพื้นที่การเกิดของประชากรสัตว์พื้นท้องน้ำแล้ว คุณภาพของมวลน้ำจืดที่ไหลลงมาสู่เขตปากแม่น้ำก็เป็นปัจจัยร่วมที่สำคัญมาก ที่มีบทบาทต่อความเป็นอยู่และผลผลิตของทรัพยากร และจำเป็นต้องหาทางบริหารจัดการคุณภาพน้ำ ทั้งนี้ เพื่อการอนุรักษ์ดูแลพื้นที่วางไข่และขยายพันธุ์ของทรัพยากรประมงในพื้นที่ปากแม่น้ำได้อย่างเหมาะสมต่อไป

แร่ธาตุอาหารและบทบาทต่อแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ปากแม่น้ำ

แร่ธาตุอาหาร นับเป็นปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันและการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี โดยเฉพาะในเขตพื้นที่อ่าวไทยตอนใน (Suvapepun, 1989; Chongprasith and Srinetr, 1998; Meksumpun and Meksumpun, 2008) ผลของแร่ธาตุอาหารซึ่งมักมีระดับความเข้มข้นสูงมากในเขตแม่น้ำตอนล่างและในเขตปากแม่น้ำยังเป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีได้บ่อยครั้งในรอบปี เกิดเป็นปัญหาต่อเนื่องในด้านความแปรปรวนของออกซิเจนละลายน้ำในรอบวันและปัญหาออกซิเจนลดต่ำมากในเวลากลางคืน และส่งผลกระทบต่อระบบการผลิตทรัพยากรประมงตั้งแต่ระดับของผู้บริโภคขั้นแรก ๆ ในระบบนิเวศของพื้นที่ปากแม่น้ำ (ศูนย์พัฒนาชายฝั่ง, 2557)

ในพื้นที่แม่น้ำซึ่งมีชุมชนอาศัยอยู่หนาแน่นมักมีการปล่อยน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยแร่ธาตุต่างๆ ลงมามาก ยกตัวอย่างเช่นในแม่น้ำท่าจีนทางตอนล่าง พบปริมาณการไหลลงของสารละลายไนโตรเจนอนินทรีย์และออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัสในระดับสูงถึงประมาณ 146 และ 36 ตันต่อวัน ตามลำดับ (Thaipichitburapa *et al.,* 2010) นับเป็นปัญหามลภาวะรูปแบบหนึ่งที่มาจากกิจกรรมของชุมชน โดยเฉพาะจากแหล่งที่อยู่อาศัยรวมทั้งกิจกรรมการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ที่ทำการเกษตรและอุตสาหกรรมซึ่งดำเนินการต่อเนื่องกันมายาวนาน ในปัจจุบันหลายภาคส่วนได้เริ่มตระหนักถึงปัญหาและกำลังหาทางบริหารจัดการมลภาวะทางน้ำดังกล่าว ซึ่งทั้งนี้ อาจจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาและการประชาสัมพันธ์ที่เพียงพอเพื่อการสร้างความรู้ความเข้าใจของผู้ใช้ประโยชน์ในแหล่งน้ำและส่งเสริมให้เกิดความร่วมมือในการจัดการปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

เมื่อพิจารณาในมุมมองทางนิเวศวิทยาจะพบว่าแร่ธาตุอาหารที่มีในน้ำ (ไม่ว่าจะอยู่ในกลุ่มของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือซิลิกอน) ล้วนแต่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและการขยายประชากรของแพลงก์ตอนพืช สำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำของประเทศไทยเรานั้น พบแพลงก์ตอนพืชที่มักเพิ่มจำนวนและทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีได้บ่อยครั้ง ได้แก่ ชนิด *Noctiluca* และ *Ceratium* ซึ่งจัดอยู่ใน Division Pyrrophyta (กลุ่ม Dinoflagellate)

ในแหล่งปากแม่น้ำของประเทศไทย *Noctiluca scintillan* สามารถดำรงชีวิตคล้ายเป็นแพลงก์ตอนสัตว์ โดยมีการใช้แส้ (Flagellum) ในการจับเอาแพลงก์ตอนพืชสีเขียว (Division Chlorophyta) ชนิด *Pedinomonas* เข้าไปในเซลล์เพื่อเป็นแหล่งอาหาร ขณะเดียวกัน *Pedinomonas* (ที่อยู่ภายในเซลล์ของ *N. scintillan* ซึ่งมีผนังเซลล์ใสเหมือนเป็นถุงกลมบาง ๆ) ก็สามารถเจริญและขยายพันธุ์ ในลักษณะของการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพา (Symbiosis) ไปได้ด้วย ด้วยลักษณะดังกล่าว การเพิ่มจำนวนประชากรของ *N. scintillan* ในพื้นที่ปากแม่น้ำ จึงนับว่าเป็นการเพิ่มแหล่งอาศัยให้กับเซลล์ของ *Pedinomonas* ทั้งนี้ *N. scintillan* จะทำการดึงเอาแร่ธาตุอาหารจากภายนอกผ่านผนังเซลล์เข้าไปสะสมในตัวเอง แร่ธาตุอาหารที่ถูกดึงเข้าไปในเซลล์ของ *N. scintillan* จะถูกนำไปใช้ต่อในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดย *Pedinomonas* ที่เจริญอยู่ภายใน และทำให้เกิดการผลิตออกซิเจน การเพิ่มของสารอินทรีย์ภายในเซลล์ รวมทั้งการขยายประชากรของ *Pedinomonas* ต่อไปได้เรื่อย ๆ (Montani *et al.*, 1998)

สำหรับในแหล่งปากแม่น้ำเขตอบอุ่น อาทิ ในประเทศญี่ปุ่น *N. scintillan* ที่พบนั้นไม่มีลักษณะของการ Symbiosis กับแพลงก์ตอนพืชสีเขียวชนิด *Pedinomonas* ทำให้ในช่วงที่มีการเพิ่มจำนวนของ *N. scintillan* อย่างหนาแน่น เราจะมองเห็นมวลน้ำเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง การเพิ่มจำนวนของประชากรของ *N. scintillan* ในพื้นที่ปากแม่น้ำ จึงไม่เกี่ยวข้องกับดึงเอาแร่ธาตุอาหารในน้ำเข้าไปในเซลล์โดยตรง แต่นับเป็นปรากฏการณ์ทางอ้อมจากการที่แร่ธาตุอาหารได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากแร่ธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นนั้นจะไปกระตุ้นให้เกิดการเจริญของแพลงก์ตอนชนิดต่าง ๆ ที่ *N. scintillan* สามารถใช้เป็นอาหารได้ (Pithakpol *et al*., 2000; Sriwoon *et al*. 2008) เมื่อปริมาณอาหารเพิ่มขึ้น ประชากรของ *N. scintillan* ก็จึงค่อย ๆ เจริญและขยายจำนวนตามไป โดยเราสามารถความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างความหนาแน่นของ *N. scintillan* กับการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแพลงก์ตอนอื่น ๆ ที่มีในแหล่งน้ำ (Huang and Qi, 1997; Micyaguchi *et al*. 2006) หรือสัมพันธ์กับมวลชีวภาพรวม (Schaumann *et al*. 1998) ของแพลงก์ตอนอื่น ๆ ที่เจริญขึ้นมาภายในมวลน้ำบริเวณนั้น

บทบาทของแร่ธาตุอาหารในเขตจำเพาะต่าง ๆ ของปากแม่น้ำ

จากลักษณะที่ปากแม่น้ำเป็นพื้นที่ที่มีการเคลื่อนตัวของน้ำสูง การเปลี่ยนแปลงในความชุกชุมของประชากรแพลงก์ตอนพืชไม่ว่าจะทางบวก (การที่มีความหนาแน่นของเซลล์มากขึ้น) หรือในทางลบ (มีความหนาแน่นน้อยลง) ย่อมได้รับอิทธิพลจากอัตราการผสมผสานของน้ำที่มากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละเขต การเปลี่ยนแปลงความชุกชุมดังกล่าวมีความเชื่อมโยงกับลักษณะในการผสมผสานในแหล่งที่มาของเซลล์ต้นกำเนิด ตลอดจนความเหมาะสมพอดีของปัจจัยแวดล้อมที่จำเป็นสำหรับการเพิ่มจำนวนประชากร

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของปากแม่น้ำโดยส่วนใหญ่พบว่าพื้นที่ที่พบการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืช หรือพื้นที่ที่มีการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี อยู่บริเวณปากแม่น้ำส่วนกลางถึงส่วนนอก (Middle to lower reach estuary) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากแพลงก์ตอนชนิดเด่นที่เกิดการสะพรั่งนั้นเป็นแพลงก์ตอนที่มีที่มาจากเขตทะเล ในเขตดังกล่าวระดับของความเค็มของน้ำที่พบมี

ขอบเขตที่อาจแบ่งเป็นกลุ่มได้ 3 ส่วน ตามพื้นที่ย่อยจากตอนกลางสู่ตอนนอก ประกอบด้วยพื้นที่ที่มีค่าความเค็มในช่วง 14-17 psu, 18-24 psu, และช่วง 25-29 psu ตามลำดับ ผลการศึกษาของ Chuenniyom *et al.* (2012) แสดงให้เห็นว่าแพลงก์ตอนพืชชนิด *Noctiluca sciintillan* ที่เกิดการสะพรั่งในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนนี้ มีความสัมพันธ์กับระดับของแร่ธาตุอาหารพืชในกลุ่มไนโตรเจนรวม (Dissolved inorganic nitrogen; DIN) ประมาณ 68% ($P < 0.01$) และมีความสัมพันธ์กับระดับของแอมโมเนียม (NH_4^+-N) ที่ค่อนข้างสูงถึงประมาณ 74% ($P < 0.05$) โดยความสัมพันธ์หรือบทบาทของแร่ธาตุอาหารที่พบดังกล่าว สะท้อนได้เฉพาะในเขตพื้นที่ปากแม่น้ำส่วนนอกสุด ที่มีช่วงความเค็มของน้ำประมาณ 25-29 psu เท่านั้น ส่วนพื้นที่ทางตอนในเข้าไป พบความแปรปรวนของข้อมูลด้านความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชมีค่าสูง และไม่พบบทบาทของแร่ธาตุอาหารที่ชัดเจน ทั้งนี้ อาจเนื่องจากเป็นพื้นที่ส่วนในนี้มีการเปลี่ยนแปลงมวลน้ำที่เกิดจากอิทธิพลจากการผสมผสานของน้ำที่สูงมากกว่าพื้นที่ปากแม่น้ำส่วนนอกนั่นเอง

โดยทั่วไปการวิเคราะห์บทบาทของแร่ธาตุอาหารสำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีปริมาณแร่ธาตุอาหารสูงมากและเพียงพออยู่แล้ว ผลการวิเคราะห์มักไม่สะท้อนบทบาทที่ชัดเจนแต่อย่างใด การเปลี่ยนแปลงในจำนวนเซลล์หรือความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชที่พบในแต่ละพื้นที่ย่อย มักเกิดจากการเจือจางหรือการผสมผสานกับมวลน้ำโดยรวมมากกว่า การวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับค่าความเค็มของน้ำจึงมักให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงบวกสำหรับแพลงก์ตอนพืชชนิดที่มีแหล่งที่มาจากเขตทะเล ซึ่งหมายถึง การพบความหนาแน่นของประชากรที่มากขึ้นในพื้นที่ตอนนอกสุดที่มีความเค็มใกล้เคียงกับเขตทะเล

ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนช่วงปี พ.ศ. 2550-2551 พบปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (DIN) สูงมาก ในช่วงประมาณ 14-47 μM และมีออร์โธฟอสเฟทฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}) สูงถึงประมาณ 3 μM นับเป็นพื้นที่หนึ่งที่พบการสะพรั่งของแพลงตอนพืชชนิด *Noctiluca* ได้เกือบตลอดทั้งปี (จารุมาศ และคณะ 2557) อย่างไรก็ตาม การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในพื้นที่ปากแม่น้ำแห่งนี้มักพบในช่วงปลายฤดูน้ำหลาก ซึ่งมีแร่ธาตุอาหารลงมาจากปากแม่น้ำสูงกว่าในช่วงฤดูน้ำแล้งถึง 2-8 เท่า (Chueniyom *et al*., 2012) และการพบปริมาณเซลล์ที่หนาแน่นที่สุด (ประมาณ 72,000 เซลต่อลิตร) สามารถพบได้ในบริเวณเขตปากแม่น้ำตอนนอกที่มีค่าความเค็มของน้ำอยู่ในช่วง 25-29 psu

ในช่วงปี พ.ศ.2555 พื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนมีการรายงานระดับของ DIN สูงสุดมากถึงประมาณ 106 μM และมีระดับของ PO_4^{3-} สูงสุดถึงประมาณ 16 μM (Thawonsode *et al*. 2013) เป็นการเพิ่มมากขึ้นถึงประมาณ 2 เท่า และ 5 เท่า จากเดิม ตามลำดับ การเพิ่มของแร่ธาตุอาหารดังกล่าวทำให้ระดับของคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มสูงขึ้นถึง 200 μg/L นับเป็นปัญหายูโทรฟิเคชันในขั้นที่รุนแรงมากซึ่งจำเป็นต้องได้รับการแก้ไขต่อไป

4.4) บทสรุปในภาพรวม

ระบบนิเวศปากแม่น้ำ มีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างไปจากระบบนิเวศแม่น้ำที่ได้กล่าวมาในบทก่อนหน้า โดยเฉพาะในประเด็นสำคัญ คือ การเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากทั้งปริมาณและคุณภาพของมวลน้ำจืดที่ไหลลงจากแผ่นดิน ผสมผสานกับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล ในพื้นที่ปากแม่น้ำจะมีลักษณะในการเคลื่อนตัวของน้ำได้หลายทิศทาง ประกอบด้วยการไหลขึ้นลงตามแนวร่องลึกของปากแม่น้ำ และการไหลหมุนวนไปหรือเข้าออกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นที่ ทำให้ในภาพรวมปากแม่น้ำจึงเป็นพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยทางคุณภาพน้ำได้มาก และเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นได้ทั้งในช่วงรอบวัน (ตามลักษณะการขึ้นลงของน้ำทะเล) และในช่วงฤดูกาล (ตามความแตกต่างของมวลน้ำจืดที่ไหลลงมาจากแผ่นดิน) ซึ่งมีจำเพาะและแตกต่างกันไปในปากแม่น้ำแต่ละแห่ง

พื้นที่ปากแม่น้ำยังเป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ในที่ดินโดยรอบแหล่งน้ำสูงมากกว่าระบบนิเวศแหล่งน้ำประเภทอื่น ส่งผลให้เรามักพบสถานการณ์ปัญหาที่เกิดจากน้ำเสียจากชุมชน น้ำทิ้งจากการเกษตรและจากระบบอุตสาหกรรมต่าง ๆ มาอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ ในพื้นที่ปากแม่น้ำยังมักพบปัญหายูโทรฟิเคชันจากการรับเอาปริมาณแร่ธาตุอาหารในรูปของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูงเกินไปซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีได้บ่อยครั้ง รวมทั้งยังพบปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษต่าง ๆ การลดต่ำลงของค่าออกซิเจนละลายน้ำ และปัญหาความเสื่อมโทรมในความหลากหลายทางชีวภาพของทรัพยากรประมงที่มี ทั้งในมวลน้ำและในบริเวณพื้นท้องน้ำอย่างมากขึ้นทุกวัน

ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบสถานการณ์คุณภาพน้ำและเสถียรภาพในการผลิตทรัพยากรในพื้นที่ปากแม่น้ำต่าง ๆ เราสามารถพิจารณาจากปัจจัยในด้านปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณแร่ธาตุอาหารในน้ำ ปริมาณของอินทรีย์สารหรือปริมาณของซัลไฟด์ในดินพื้นท้องน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การพิจารณาเปรียบเทียบอย่างรอบคอบและรัดกุมนั้นเราจำเป็นต้องใช้ความรู้พื้นฐานในรูปแบบทางนิเวศอุทกวิทยาและโครงสร้างทางกายภาพของปากแม่น้ำแต่ละแห่งมาประกอบ และศึกษาสถานการณ์คุณภาพน้ำในบริเวณที่เป็นตัวแทนของเขตย่อยต่าง ๆ ในพื้นที่ปากแม่น้ำ ซึ่งมีลักษณะค่าความเค็มของน้ำที่ต่างกัน โดยทั้งนี้ สามารถแบ่งเขตของปากแม่น้ำแต่ละแห่งตามระดับเฉลี่ยของความเค็มน้ำที่พบในรอบปี ออกเป็น 4 เขตย่อย ได้แก่ เขตปากแม่น้ำส่วนต้น เขตปากแม่น้ำตอนบน เขตปากแม่น้ำตอนกลาง และเขตปากแม่น้ำตอนนอกสุด ซึ่งมีค่าความเค็มน้ำเฉลี่ยที่ประมาณ 0-5 psu, 5-18 psu, 18-25 psu และมากกว่า 25 psu ตามลำดับ

อนึ่ง จากสถานการณ์ปัจจุบันในด้านความเสื่อมโทรมของปากแม่น้ำ ไม่ว่าจะเป็นในด้านคุณภาพน้ำ หรือปริมาณของทรัพยากรประมงที่ลดน้อยถอยลง การแก้ปัญหาอย่างเร่งด่วนโดยทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจึงเป็นเรื่องที่ควรเร่งรัดดำเนินการ

ในการนี้ การส่งเสริมแนวคิดเชิงอนุรักษ์รวมทั้งการส่งเสริมจิตสำนึกของสังคมและชุมชนในส่วนรวมเพื่อการอนุรักษ์ดูแลคุณภาพน้ำในพื้นที่โดยรอบปากแม่น้ำนับเป็นเรื่องที่จำเป็นมาก ทั้งนี้ พบว่าเราควรมุ่งเน้นการสื่อสารให้สังคมและชุมชนที่เกี่ยวข้องนั้น ๆ ได้ตระหนักถึงความสำคัญของการคงอยู่ของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตทางน้ำให้มากขึ้น โดยควรมีการพัฒนาระบบฐานข้อมูลทางด้านทรัพยากรประมงที่สำคัญ ซึ่งควรครอบคลุมถึงทรัพยากรหอยและปลาชนิดหลักที่พบในแต่ละพื้นที่

นอกจากนี้ ควรส่งเสริมงานวิชาการโดยเฉพาะการศึกษาพัฒนาดัชนีชี้วัดที่เหมาะสมเพื่อเชื่อมโยงบทบาทของคุณภาพน้ำสู่ระบบการผลิตทรัพยากรทางน้ำภายในระบบนิเวศปากแม่น้ำให้เกิดภาพที่ชัดเจนและเข้าใจได้ง่าย ซึ่งจะทำให้สังคมในวงกว้างได้รับทราบถึงผลกระทบของคุณภาพน้ำต่อ *“เสถียรภาพทางอาหาร”* และตระหนักถึงความจำเป็นที่จะต้องร่วมกันอนุรักษ์ดูแลพื้นที่ปากแม่น้ำอย่างจริงจังมากขึ้นในโอกาสต่อไป

บทที่ 5

การประเมินสถานการณ์สิ่งแวดล้อม ความอุดมสมบูรณ์ และมลภาวะของระบบนิเวศทางน้ำ

Assessment of Environmental Status, Trophic State, and Pollution of Aquatic Ecosystems

การบริหารจัดการแหล่งน้ำเชิงอนุรักษ์เพื่อเป้าหมายในการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้อย่างคุ้มค่า ยั่งยืน และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบในทางลบหรือก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมในระบบนิเวศสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรต่าง ๆ จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในธรรมชาติของแหล่งน้ำแต่ละแห่ง ซึ่งหมายถึงความเข้าใจในสถานการณ์ปัจจุบันของระบบแหล่งน้ำที่ครอบคลุมความรู้ด้านองค์ประกอบทางชนิด ปริมาณ สถานการณ์ความเป็นอยู่ของทรัพยากร และความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับลักษณะทางสัณฐานวิทยา อุทกวิทยา และนิเวศวิทยาภายในระบบที่จำเพาะต่าง ๆ นอกจากนี้ความรู้ความเข้าใจในลักษณะของการปรับตัวของสิ่งมีชีวิต หรือการตอบสนองของประชาคมสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากความกดดัน ไม่ว่าจะเป็นอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติในพื้นที่หรือเป็นผลกระทบที่ได้รับจากการใช้ประโยชน์โดยมนุษย์ นับว่าเป็นประเด็นสำคัญที่จะทำให้เราสามารถประเมินทิศทางการเปลี่ยนแปลงหรือโอกาสความเสื่อมโทรมที่อาจจะเกิดขึ้นต่อทรัพยากรในช่วงเวลาต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำถามที่มักจะถูกถามเมื่อจำเป็นต้องบริหารจัดการพื้นที่แหล่งน้ำที่ใดที่หนึ่งมักเริ่มจากคำถามทั่วไปว่า แหล่งน้ำนี้อยู่ใน *"สถานการณ์"* อย่างไร มีสภาวการณ์ของความเสื่อมโทรมมากน้อยเพียงใด มีความอุดมสมบูรณ์สูงหรือไม่ มีกำลังผลิตเท่าใด มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือไม่ รวมทั้งมีความสามารถ หรือมี *"ศักยภาพ"* ในการรองรับมลภาวะหรือการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ (อาทิ การใช้แหล่งน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) ได้มากน้อยเพียงใด เป็นต้น คำถามดังกล่าวนับเป็น *"จุดเริ่ม"* สำคัญที่นักบริหารจัดการจำเป็นต้องนำมาพิจารณาไตร่ตรองและค้นคว้าหาคำตอบ เพื่อให้ได้ความรู้พื้นฐานสำหรับการกำหนดแผนการจัดการแหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อไปได้

ในเนื้อหาของบทนี้จึงเป็นการนำเสนอองค์ความรู้ รวมทั้งแนวคิดที่จะนำไปสู่ความเข้าใจในสถานการณ์ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของระบบนิเวศทางน้ำ โดยให้ความรู้ในลักษณะการตอบสนองของระบบนิเวศต่อผลกระทบต่าง ๆ และประมวลแนวคิดในการวิเคราะห์สถานการณ์

คุณภาพน้ำเบื้องต้น การประเมินสถานการณ์ความเป็นอยู่และการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ และการประเมินสถานการณ์มลภาวะของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลประเภทต่าง ๆ ที่กระจายตั้งแต่ในเขตพื้นที่ลาดชันสูง (อาทิ ลำห้วย น้ำตก ลำธารต้นน้ำ) ลงมาถึงแหล่งน้ำไหลประเภทแม่น้ำ ในพื้นที่รับน้ำทางตอนล่างบริเวณที่ราบลุ่ม รวมถึงเขตปากแม่น้ำซึ่งเป็นบริเวณน้ำกร่อยและเขตทะเลที่ต่อเนื่องกันไป โดยมีรายละเอียดในประเด็นสำคัญดังนี้

5.1) การวิเคราะห์สถานการณ์คุณภาพน้ำเบื้องต้น

การวิเคราะห์สถานการณ์คุณภาพน้ำเบื้องต้น เราสามารถเทียบเคียงหรือประยุกต์ใช้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ (Water quality standard) ที่มีการประกาศใช้ทั่วไปสำหรับภูมิภาคที่ศึกษาและ/หรือตามความจำเพาะในประเภทของแหล่งน้ำและการใช้ประโยชน์ที่สนใจ ทั้งนี้ มาตรฐานคุณภาพน้ำที่มีการพิจารณากำหนดเป็นกฎหมายหรือบทบัญญัติทางด้านสิ่งแวดล้อมจะให้ประโยชน์ในการทำความเข้าใจสถานภาพของแหล่งน้ำ ทำให้ทราบแนวโน้มของผลกระทบจากลักษณะการใช้ประโยชน์ในแหล่งน้ำระยะปัจจุบันและ/หรือใช้กำหนดรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่จะมีขึ้นในพื้นที่แหล่งน้ำนั้น ๆ ได้อย่างเหมาะสมกับลักษณะทางคุณภาพน้ำ ซึ่งในภาพรวมจะนำไปสู่การบริหารจัดการแหล่งน้ำเชิงอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำได้อย่างเหมาะสม

การพัฒนาแนวทางและการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำนั้น มีรากฐานมาจากการคำนึงถึงความปลอดภัย และสุขภาพของมนุษย์ผู้บริโภคอุปโภคที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามเนื่องจากปัญหาความเสื่อมโทรมลงของสภาพแวดล้อมที่ได้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิต การกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำภายใต้เป้าหมายในเชิงของการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจึงได้รับความสำคัญและก่อเกิดขึ้นมาเรื่อย ๆ มีการพัฒนามาตรฐานใหม่ ๆ เพิ่มเติม อาทิ มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนสำหรับประเทศไทย ส่วนในต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่นและประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการพัฒนามาตรฐานเพื่อการควบคุมแร่ธาตุอาหารประเภทไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการป้องกันปัญหายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ที่มักจะเกิดขึ้นในแหล่งน้ำนิ่ง (อาทิ ในเขตทะเลสาบ) และในพื้นที่ปากแม่น้ำโดยเฉพาะบริเวณที่ใกล้แหล่งชุมชนซึ่งได้รับน้ำเสียมาจากกิจกรรมของชุมชนหลากหลายประเภท

5.1.1) มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริหารจัดการแหล่งน้ำ

ในการกำหนดเกณฑ์หรือมาตรฐานคุณภาพน้ำ มีประเด็นสำคัญหลักที่ควรคำนึงถึง คือ การจำแนกประเภทของแหล่งน้ำ และรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสม โดยทั่วไปแหล่งน้ำถูกจัดจำแนกประเภทในเบื้องต้นเป็นอย่างน้อย 3 ระบบ ได้แก่ ระบบแม่น้ำ ระบบทะเลสาบ และระบบชายฝั่ง (River, Lake, and Coastal Waters) เนื่องจากความแตกต่างในลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยา อุทกวิทยา ตำแหน่งที่ตั้ง และองค์ประกอบทางนิเวศวิทยา นอกจากนี้ ยังมีการพิจารณาแหล่ง

น้ำในลักษณะของการเป็นแหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำบาดาล แหล่งน้ำในระบบอุตสาหกรรม หรือแหล่งน้ำทะเล ฯลฯ ซึ่งมักมีการกำหนดเกณฑ์หรือมาตรฐานโดยหน่วยงานทางราชการที่เกี่ยวข้อง (อาทิ สำนักแผนและนโยบายสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กรมควบคุมมลพิษ กรมประมง หรือกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง)

ตารางที่ 5.1 ลักษณะการกำหนด *"มาตรฐานคุณภาพน้ำ"* สำหรับปัจจัยสำคัญ อาทิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) บีโอดี (BOD) และแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total coliform bacteria) ในแต่ละประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน และการระบุรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสม *(ปรับปรุงจาก: กรมควบคุมมลพิษ, 2535)*

ประเภทแหล่งน้ำ	ลักษณะการใช้ประโยชน์	ระดับของปัจจัย
ประเภทที่ 1	แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ	DO *(ตามธรรมชาติ)* BOD *(ตามธรรมชาติ)* Total coliform *(ตามธรรมชาติ)*
ประเภทที่ 2	แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ (3) การประมง (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ	DO ≥6 mg/L BOD ≤1.5 mg/L Total coliform ≤5,000 MPN/100ml
ประเภทที่ 3	แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การเกษตร	DO ≥4 mg/L BOD ≤2.0 mg/L Total coliform ≤20,000 MPN/100ml
ประเภทที่ 4	แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน (2) การอุตสาหกรรม	DO ≥2 mg/L BOD ≤4.0 mg/L Total coliform *ไม่กำหนด*
ประเภทที่ 5	แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ การคมนาคม	DO *ไม่กำหนด* BOD *ไม่กำหนด* Total coliform *ไม่กำหนด*

เมื่อสามารถจำแนกประเภทของแหล่งน้ำในเบื้องต้นได้แล้ว ในขั้นตอนถัดมาจะทำการกำหนดรายละเอียดในรูปแบบการใช้ประโยชน์สำหรับแต่ละประเภทของแหล่งน้ำ ทั้งนี้ การกำหนดเกณฑ์หรือมาตรฐานคุณภาพน้ำควรอยู่บนความตระหนักถึงประโยชน์ที่จะเอื้ออำนวยต่อการ *"อนุรักษ์สถานภาพของสิ่งมีชีวิต"* ให้เกิดการคงอยู่อย่างยั่งยืน โดยสอดคล้องกับการรักษาสมดุลภายในระบบแหล่งน้ำนั้น ๆ (ดังตัวอย่างการกำหนดระดับของปัจจัยสำคัญสำหรับแต่ละประเภทของแหล่งน้ำและรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่แสดงใน **ตารางที่ 5.1**)

ในการกำหนดเกณฑ์หรือมาตรฐานคุณภาพน้ำ นอกจากจะขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งน้ำและรูปแบบการใช้ประโยชน์แล้ว การกำหนดเกณฑ์เพื่อเป้าหมายในการประเมินแหล่งน้ำเพื่อการอนุรักษ์ การพัฒนาการใช้ประโยชน์ หรือการฟื้นฟูสภาพแหล่งน้ำในรูปแบบที่เหมาะสมนับว่ามีความสำคัญเช่นกัน ซึ่งในกรณีดังกล่าวจำเป็นต้องพิจารณาประเด็นที่เชื่อมโยง อาทิ ด้านโอกาสในการเกิดปัญหาต่อทรัพยากร รูปแบบการใช้น้ำ ณ ปัจจุบันและในอนาคต และ/หรือความรุนแรงของมลพิษและแหล่งที่มาของมลพิษ ฯลฯ มาประเมินร่วมด้วย เกณฑ์คุณภาพน้ำที่มีจึงถูกกำหนดจากปัจจัยชี้วัดคุณภาพน้ำหลายประเภท ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพของแหล่งน้ำที่สามารถสะท้อนสถานการณ์ของแหล่งน้ำ โดยเฉพาะการแสดงออกถึงสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต ปัญหามลภาวะหรือโอกาสการปนเปื้อนของแร่ธาตุรวมทั้งสารพิษประเภทต่าง ๆ ที่สามารถก่ออันตรายต่อสุขภาพหรือความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำและมนุษย์เราซึ่งจำเป็นต้องใช้น้ำในการอุปโภค บริโภคหรือเพื่อประโยชน์ในด้านต่าง ๆ

5.1.2) ปัจจัยคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการประเมินสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทางน้ำ

ปัจจัยคุณภาพน้ำเบื้องต้นที่ได้รับการกล่าวถึงและกำหนดเป็นมาตรฐานคุณภาพน้ำที่มีเหมือนกันในทั่วทุกภูมิภาคของโลก ได้แก่ ปัจจัยด้านความเป็นกรด-เบส (pH) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen; DO) การบริโภคออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ในน้ำ (Biochemical oxygen demand; BOD) อัตราการใช้ออกซิเจนทางเคมีของน้ำ (Chemical oxygen demand; COD) และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform group) เป็นต้น นอกจากนี้ ปัจจุบันได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Total nitrogen and phosphorus) ในหลายประเทศ อาทิ ในประเทศสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรป ทั้งนี้ เพื่อการป้องกันปัญหาจากการเพิ่มของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำจนทำให้เกิดปัญหาการขยายจำนวนของพรรณไม้น้ำหรือการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืช ตลอดจนปัญหาจากปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Red tide outbreaks) ซึ่งเป็นผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของทรัพยากรในแหล่งน้ำที่ทำให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนและความเสื่อมโทรมของทรัพยากรมีชีวิตทางน้ำตามมาได้ อนึ่ง ปัจจัยด้านคุณภาพน้ำบางประเภท อาทิ ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) สีของน้ำ (Water color) ระดับของแร่ธาตุปริมาณน้อย อาทิ แมงกานีส (Mn) และเหล็ก (Fe) มักเป็นปัจจัยที่มีบทบาทความสำคัญน้อยกว่าและมักยกเว้นไม่กล่าวถึงในบางกรณีได้

ในระบบนิเวศของแหล่งน้ำโดยทั่วไปพบว่าค่าความเป็นกรด-เบสและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีความสำคัญมาก ปัจจัยดังกล่าวจึงมักได้รับการศึกษาและพิจารณาอย่างรอบคอบสำหรับในพื้นที่ชายฝั่งทะเลและในเขตปากแม่น้ำจะพบว่าปัจจัยทางด้านการใช้ออกซิเจนทางเคมีของน้ำ ปริมาณตะกอนแขวนลอย และการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียจะเป็นตัวชี้วัดเพิ่มเติมที่สำคัญซึ่งสะท้อนผลกระทบจากชุมชนโดยรอบแหล่งน้ำเนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับระบบการถ่ายเทของเสียและสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ลงมา นอกจากนี้ ในพื้นที่ชายฝั่งที่มีการทำประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ปัจจัยทางด้านไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำยังได้รับความสนใจศึกษาติดตาม ทั้งนี้เนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงต่อความเป็นอยู่ของทรัพยากรสัตว์น้ำในพื้นที่นั้น ปัจจัยคุณภาพน้ำเบื้องต้นที่สำคัญในลำดับต้น ๆ สำหรับระบบแม่น้ำ มีรายละเอียดด้านคุณลักษณะและการประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทางน้ำ ดังต่อไปนี้

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

การกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) นั้น แต่แรกเริ่มเป็นการให้ความสำคัญกับการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นหลัก ค่ามาตรฐานดังกล่าวนับเป็นค่าที่ถูกให้ความสำคัญตั้งแต่ระยะแรก ๆ ของการพัฒนาเกณฑ์มาตรฐานทางด้านคุณภาพน้ำขึ้นมา ทั้งนี้เนื่องจากค่านี้มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำโดยตรง

สำหรับในแหล่งน้ำดีมากควรมีค่า DO สูงกว่า 6.5 mg/L ขึ้นไป จะสามารถพัฒนาใช้เป็นพื้นที่ที่ลงอาบน้ำได้ และมนุษย์เราสามารถนำน้ำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคได้ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งน้ำที่ดีมากสำหรับการนำน้ำมาใช้ในระบบอุตสาหกรรมและกิจกรรมทางการประมง โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มสัตว์น้ำที่มีถิ่นที่อยู่อาศัยดั้งเดิมอยู่ในแหล่งน้ำสะอาด (อาทิ ในประเทศญี่ปุ่น พบว่าแหล่งน้ำที่ปลากลุ่ม Salmon สามารถวางไข่และฟักเป็นตัวอ่อนได้อย่างดีขึ้นจะต้องมีค่า DO มากกว่า 7.0 mg/L) ซึ่งในแถบประเทศเขตอบอุ่นโดยทั่วไปกำหนดว่าน้ำที่มีคุณภาพดีที่สัตว์น้ำอาศัยอยู่ได้ควรมีค่า DO มากกว่า 6 mg/L สำหรับในรัฐ Ohio ประเทศสหรัฐอเมริกานั้นกำหนดค่า DO สำหรับการประกอบกิจกรรมทางการประมงต้องมีค่ามากกว่า 5 mg/L ซึ่งเป็นระดับเดียวกันกับมาตรฐานสำหรับประเทศญี่ปุ่น (มาตรฐานทางการประมง ประเภทที่ 3; Okada and Peterson, 2000)

อนึ่ง ในประเทศญี่ปุ่นได้ระบุว่าสำหรับการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรมนั้น ค่า DO ควรมีค่ามากกว่า 5 mg/L เช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากค่า DO ที่ต่ำกว่า 5 mg/L จะขัดขวางการเจริญเติบโตของรากพืชได้ และสำหรับการอนุรักษ์สถานภาพสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาตินั้น มีการกำหนดค่าของ DO ไว้ว่าไม่ควรให้มีค่าต่ำกว่า 2 mg/L ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดสภาวะการเน่าเสียเนื่องจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic decomposition) ซึ่งระดับดังกล่าวสอดคล้องกับค่าที่กำหนดสำหรับแหล่งน้ำผิวดินของประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ

โดยทั่วไประดับของความเป็นกรด-เบส (pH) ในแหล่งน้ำประเภทแม่น้ำจะมีค่าเท่ากับ 7 (ส่วนในเขตปากแม่น้ำจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.5-8.5) ระดับของ pH ดังกล่าวถูกให้ความสำคัญมาแต่ดั้งเดิมเนื่องจากมีบทบาทต่ออุตสาหกรรมการผลิตน้ำประปาในประเทศ ทั้งนี้ หากค่า pH สูงเกินกว่า 8.5 จะมีผลกระทบต่อระบบการเติมคลอรีนเพื่อทำความสะอาดน้ำ และเพื่อให้การนำน้ำมาใช้ในระบบดังกล่าวเกิดประสิทธิภาพ หน่วยงานที่ควบคุมระบบจะเฝ้าระวังมิให้ค่า pH มีการแปรผันอยู่นอกพิสัยระหว่าง 6.5-8.5 ในกรณีที่น้ำมีค่า pH อยู่นอกพิสัยดังกล่าว นอกจากมีผลกระทบต่อการทำน้ำประปาแล้ว ยังจะทำให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนังและเยื่อตาของมนุษย์เรา และทำให้เกิดผลกระทบในทางลบต่อการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำ ค่า pH ที่ต่ำของน้ำหากเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกข้าวแล้ว รากของข้าวจะได้รับความกระทบกระเทือนอย่างรุนแรง โดยจะเกิดการละลายของเกลือออกมาจากโครงสร้างเซลล์ ขณะที่ค่า pH ที่สูงจะทำให้บริเวณใบมีสีซีดจางจนขาว โดยทั่วไปพบว่าค่า pH ที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างปกติจะอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ดังนั้น ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำของปัจจัย pH สำหรับเป้าหมายในการใช้ประโยชน์จากน้ำเพื่อการกสิกรรมจึงมักถูกกำหนดให้อยู่ในช่วงของ 6.5-7.5 นั่นเอง

การบริโภคออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ในน้ำ

ค่าการบริโภคออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ในน้ำ (Biochemical oxygen demand; BOD) เป็นค่าที่ถูกกำหนดให้ใช้พิจารณาสำหรับแหล่งน้ำประเภทแม่น้ำ เนื่องจากความจำเป็นในการติดตามตรวจสอบทางด้านศักยภาพในการบำบัดตัวเองตามธรรมชาติ (Self-purification) ของแหล่งน้ำซึ่งในขณะเดียวกันยังสะท้อนสภาวะการปนเปื้อนของอินทรีย์สารในมวลน้ำ โดยทั่วไปแหล่งน้ำที่มีค่า BOD น้อยกว่า 1 mg/L เป็นแหล่งน้ำที่ค่อนข้างเป็นธรรมชาติที่สะอาดมาก ยังไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ และเป็นแหล่งน้ำที่มีศักยภาพในการส่งเสริมเป็นแหล่งอนุรักษ์เพื่อการดูแลให้เป็นแหล่งน้ำสะอาดหรือเพื่อการสงวนไว้ซึ่งทรัพยากรและความหลากหลายทางชีวภาพในแหล่งน้ำ (Okada and Peterson, 2000)

ในกรณีที่ระดับของ BOD ในน้ำที่นำมาใช้เพื่อการผลิตน้ำดื่มมีค่าสูงเกินกว่า 3 mg/L กระบวนการผลิตจะถูกกระทบกระเทือนเนื่องจากปัญหาการตกตะกอนและการกรองทรายที่จำเป็นต้องเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้นทุนทั้งด้านวัตถุดิบและเวลาสูงขึ้นได้ ดังนั้นในกรณีที่แหล่งน้ำมีเป้าหมายในการถูกนำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการผลิตน้ำดื่ม ก็ควรจะควบคุมค่า BOD ในระดับมาตรฐานไม่เกิน 2-3 mg/L สำหรับในแหล่งน้ำที่มีเป้าหมายในการใช้ประโยชน์เพื่อการประมง หากเป็นลำธารน้ำสะอาดและเย็น อาทิ ในประเทศญี่ปุ่นมีการอนุรักษ์ปลา Salmon จำเป็นที่จะต้องควบคุมค่า BOD ให้น้อยกว่า 1 mg/L เนื่องจากปลา Salmon ชอบอาศัยในน้ำที่มีค่า BOD ต่ำกว่า 2 mg/L ดังนั้นการกำหนดค่ามาตรฐานจึงมักกำหนดในระดับที่ไม่เกิน 2 mg/L ในกรณีที่เป็นการ

อนุรักษ์ดูแลหรือการเพาะเลี้ยงกลุ่มปลา Carp หรือปลาอื่น ๆ ที่ต้องการ BOD ต่ำกว่า 3-5 mg/L การกำหนดค่ามาตรฐานเพื่อกำกับดูแลค่า BOD จะกำหนดที่ระดับน้อยกว่า 3 mg/L เป็นต้น

ในกรณีของประเทศญี่ปุ่นที่มีเป้าหมายในการดูแลแหล่งน้ำเพื่อการอนุรักษ์สถานภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ค่า BOD มาตรฐานมักกำหนดให้มีค่าที่น้อยกว่า 10 mg/L ทั้งนี้ เพื่อการควบคุมไม่ให้น้ำเกิดมีกลิ่นเน่าเหม็นเนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic decomposition) เกิดขึ้น

ปริมาณตะกอนแขวนลอย

โดยทั่วไปปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended solids; SS) ในแหล่งแม่น้ำควรมีค่าน้อยกว่า 25 mg/L ทั้งนี้ เพื่อป้องกันปัญหาผลกระทบที่จะเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศทางน้ำ (**ตารางที่ 5.2**) ความเข้มข้นของปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มากกว่า 50 mg/L จะมีผลต่อระบบการทำงานของเหงือกปลาอย่างชัดเจน นอกจากนี้ความขุ่นของน้ำ (Turbidity) ที่มีค่าสูงถึง 30 Nansan turbidity unit (NTU) ซึ่งเทียบเท่ากับ 30 mg/L นั้น จะส่งผลทางลบต่อระบบการกรองทราย (Sand filtering system) ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำสะอาด ความรู้ดังกล่าวทำให้เราสามารถกำหนดค่ามาตรฐานของ SS ให้มีค่าเท่ากับ 50 mg/L และ 25 mg/L สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำจากแหล่งน้ำ ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 ระดับของปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended solids; SS) ในแหล่งน้ำและผลกระทบที่สามารถเกิดขึ้นในการใช้ประโยชน์จากน้ำ *(ปรับปรุงจาก: Okada and Peterson, 2000)*

ระดับของตะกอนแขวนลอย (mg/L)	ระดับของผลกระทบ
< 25 mg/L	ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ
25-80 mg/L	ผลกระทบเล็กน้อย
80-400 mg/L	ผลกระทบอย่างชัดเจน
> 4,00 mg/L	สูงมากจนยอมรับไม่ได้

ปริมาณตะกอนแขวนลอย (SS) ยังมีบทบาทต่อกิจกรรมการใช้น้ำเพื่อทำการเกษตร ทั้งนี้เนื่องจากค่า SS ที่สูงจะลดขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคดินตะกอน (Soil pore size) ซึ่งจะขัดขวางการแพร่ผ่าน (Permeability) ของสารในดิน ค่ามาตรฐาน SS สำหรับการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรจึงมักควบคุมให้มีค่าไม่เกิน 100 mg/L นอกจากนี้ขีดจำกัดของ SS ที่ควรปรากฏในมวลน้ำและ/หรือในสภาพของการแขวนลอยยังควรคำนึงถึงปัญหาที่อาจส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังโดยเฉพาะกลุ่มที่มีพฤติกรรมการหาอาหารแบบกรองกิน

(Filter-feeding invertebrates) รวมทั้งควรคำนึงถึงการดูแลทัศนียภาพของแหล่งน้ำเพื่อไม่ให้เกิดสภาพที่เสื่อมโทรมลงไปจากเดิมด้วย

โคลิฟอร์มแบคทีเรีย

โดยปกติแล้วโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform bacteria) โดยตัวของมันเองไม่ได้ก่อผลกระทบโดยตรงต่อมนุษย์ อย่างไรก็ตาม ระดับที่ปรากฏของ Coliform bacteria จะสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดโอกาสในการพบแบคทีเรีย (Pathogenic bacteria) ที่จะก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์เราได้ด้วยเหตุดังกล่าว ปริมาณ Coliform bacteria จึงไม่ควรพบในน้ำที่คนเราใช้ดื่มกิน ทั้งนี้ ปริมาณที่พบในหน่วยของ Most Probable Number (MPN) ในน้ำที่ใช้ดื่ม 100 mL ที่ได้รับการฆ่าเชื้อด้วยระบบคลอรีน (ที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ 98%) ควรมีไม่เกิน 1 MPN และจากระดับควบคุมดังกล่าวน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ดีซึ่งเหมาะสมในการนำมาฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนเพื่อการบริโภคนั้น จึงควรมีปริมาณ Coliform bacteria แรกเริ่มไม่เกิน 50 MPN/100 mL

สำหรับในกรณีที่สามารถบำบัดน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นภายใต้การนำระบบการกรองทราย (Sand filtration technique) เข้ามาช่วย ระดับ Coliform bacteria แรกเริ่มที่กำหนดสำหรับระบบอุตสาหกรรมการผลิตน้ำดื่มอาจอนุโลมให้มีได้ไม่เกิน 1,000 MPN/100 ml และไม่เกิน 2,500-5,000 MPN/100 ml ในระบบที่การบำบัดน้ำมีประสิทธิภาพสูงมาก ในภาพรวมของการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับ Coliform bacteria ปัจจุบันมีการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบบำบัดสูงขึ้น จึงอนุโลมให้มีปริมาณ Coliform bacteria ได้ไม่เกิน 5,000 MPN/100 ml สำหรับการใช้น้ำเพื่อนำมาอาบนั้น ระดับมาตรฐานของ Coliform bacteria ได้ถูกกำหนดให้มีไม่เกิน 1,000 MPN/100 ml ทั้งนี้ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้น้ำเป็นสำคัญ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

จากข้อมูลความรู้ด้านเกณฑ์หรือมาตรฐานคุณภาพน้ำตามปัจจัยสำคัญที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้ความรู้เหล่านี้เพื่อการประเมินว่าแหล่งน้ำธรรมชาติที่เราสนใจอยู่ในสถานการณ์คุณภาพน้ำที่ดี ปานกลาง หรือกำลังเสื่อมโทรมลงนั้น จะขึ้นอยู่กับเป้าหมายในการใช้ประโยชน์และ/หรือผู้ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้นเป็นสำคัญ ในกรณีที่นำเกณฑ์หรือมาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับปัจจัยทางด้านออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเป็นกรด-เบส และปริมาณตะกอนแขวนลอย มาใช้พิจารณา จะเป็นกรณีที่ให้ความสำคัญกับสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำเป็นหลัก ในขณะที่การประยุกต์ใช้เกณฑ์สำหรับปัจจัยทางด้านการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียมาประเมินคุณภาพน้ำ ก็นับเป็นการให้ความสำคัญกับการนำน้ำมาใช้ประโยชน์โดยมนุษย์เรามากกว่า

5.2) การประเมินสถานการณ์ความเป็นอยู่ของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตทางน้ำ

5.2.1) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมและความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ

เมื่อกล่าวถึงการประเมิน “สถานการณ์” เชิงคุณภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล โดยทั่วไป เราจำเป็นต้องแจกแจงลักษณะเป้าหมายหรือทิศทางในการประเมินคุณภาพของระบบนิเวศให้ชัดเจนว่าจะมุ่งเน้นในด้านความเป็นอยู่ของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในน้ำ ด้านความอุดมสมบูรณ์หรือกำลังผลิตของระบบนิเวศ หรือด้านมลภาวะและการปนเปื้อนมลพิษที่เข้ามาสู่ระบบนิเวศที่สนใจ

การประเมินสถานการณ์ในด้านความเป็นอยู่ของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตนั้น เป็นการประเมินเชิงคุณภาพของระบบนิเวศเบื้องต้นที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องโดยตรงต่อการรักษาสมดุลของทรัพยากรมีชีวิตในแหล่งน้ำ ในการประเมินมักมุ่งเน้นการพิจารณาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งยวดต่อการดำรงชีวิต อาทิ ปัจจัยด้านออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งจัดเป็นปัจจัยที่ทรัพยากรสัตว์น้ำทุกชนิดจำเป็นต้องใช้เพื่อการดำรงชีวิต โดยใช้ในกระบวนการหายใจและกิจกรรมเมตาโบลิซึมต่าง ๆ ในร่างกาย ปัจจัยด้านออกซิเจนยังมีบทบาทต่อกระบวนการในทางชีววิทยา อาทิ การสืบพันธุ์ และการพัฒนาการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงการเวลาของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะมีส่งผลต่อการดำรงพันธุ์และรูปแบบการแพร่กระจายประชากรได้

นอกจากระดับของออกซิเจนละลายน้ำแล้ว ปัจจัยคุณภาพสิ่งแวดล้อมอื่นที่นับว่ามีความเกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ถึงแม้ว่าอาจไม่ส่งผลกระทบอย่างชัดเจนเท่ากับปริมาณของออกซิเจนละลายน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ อัตราการไหลของน้ำ ความเข้มแสง ความขุ่น หรือปริมาณตะกอนแขวนลอย ฯลฯ ปัจจัยเหล่านี้นับว่ามีบทบาทในทางอ้อม โดยมีบทบาทต่อกระบวนการทางชีวเคมีในร่างกายหลายด้าน สามารถชะลอการเจริญเติบโต หรือไปยับยั้งการเจริญเติบโตหากเปลี่ยนแปลงไปสู่ระดับที่ไม่เหมาะสม

นอกจากปัจจัยดังกล่าว ยังมีปัจจัยจำเพาะที่เกี่ยวข้องกับสภาพอาหารที่สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจำเป็นต้องใช้บริโภคหรือใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต อาทิ ปริมาณสารอินทรีย์ในบริเวณพื้นท้องน้ำ และปัจจัยด้านขนาดอนุภาคของดินพื้นท้องน้ำและอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจำกัดขอบเขตแหล่งที่อยู่อาศัยของทรัพยากรพื้นท้องน้ำ ปัจจัยเหล่านี้นับว่ามีศักยภาพในการใช้เป็นดัชนีชี้วัดสถานการณ์ด้านความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้ (ด้วยระดับความสำคัญที่แตกต่างกันออกไป) ทั้งนี้ ภายในปัจจัยทั้งหมด ระดับของออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen; DO) นับเป็นปัจจัยที่ควรให้ความสำคัญเป็นลำดับแรก ๆ เนื่องจากสามารถสะท้อนให้เห็นทั้งความจำกัดของแหล่งน้ำต่อการดำรงชีวิตและ/หรือโอกาสในความอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ นอกจากนี้ยังแสดงถึงเสถียรภาพของแหล่งน้ำที่อาจมีการผันแปรตามเวลา และทำให้เราสามารถประเมินคุณลักษณะและความจำเพาะในแต่ละประเภทของระบบนิเวศที่มีได้อย่างชัดเจน

ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแหล่งน้ำไหลโดยทั่วไปมีระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่หลากหลาย จากข้อมูลใน **ตารางที่ 5.3** จะเห็นได้ว่าความจำเพาะในลักษณะทางนิเวศอุทกวิทยาของแหล่งน้ำแต่ละประเภทส่งผลให้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำแตกต่างกันออกไป

ตารางที่ 5.3 ลักษณะการกระจายของค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO; mg/L) ที่พบในแหล่งน้ำประเภทน้ำตก ลำธารเขตต้นน้ำ แม่น้ำ และปากแม่น้ำของประเทศไทย (ข้อมูลเปรียบเทียบฤดูแล้ง; เดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม และฤดูน้ำหลาก; เดือนสิงหาคมถึงตุลาคม ในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556) *(ที่มา: [1] จารุมาศและคณะ, 2554 [2] จารุมาศและคณะ, 2553 [3] จารุมาศและคณะ, 2552 [4] ภัทราวุธ, 2556 [5] พิชาศิษฐ์, 2557 [6] นิตยา, 2553 [7]วรรณศิริ, 2554 [8] กาญจนา, 2558)*

ประเภทของแหล่งน้ำ	DO (mg/L)		พื้นที่ศึกษา (ปีที่ศึกษา)
	ฤดูแล้ง	ฤดูน้ำหลาก	
น้ำตก	9.51-10.36	5.92-9.80	น้ำตกเอราวัณ จ.กาญจนบุรี (พ.ศ. 2554)[1]
	7.00-9.05	7.63-8.28	น้ำตกป่าละอู จ.เพชรบุรี (พ.ศ. 2553)[2]
ลำธารเขตต้นน้ำ	6.41-7.20	8.58-9.45	แค้มป์บ้านกร่าง อช.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี (พ.ศ. 2553)[2]
	9.71-10.23	10.16-11.57	ตอนท้ายของน้ำตกไทรโยคน้อย จ.กาญจนบุรี (พ.ศ. 2552)[3]
แม่น้ำ	4.21-8.59	1.66-5.53	แม่น้ำท่าจีนตอนบน จ.ชัยนาท (พ.ศ. 2551-2553)[4]
	0.62-2.82	0.93-3.50	แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง จ.สมุทรสาคร (พ.ศ. 2551-2553)[4]
	6.02-9.75	7.60-7.84	แม่น้ำเพชรบุรี อ.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี (พ.ศ. 2553-2554)[5]
	1.49-4.26	4.62-4.96	แม่น้ำเพชรบุรี อ.บางตะบูน จ.เพชรบุรี (พ.ศ. 2553-2554)[5]
ปากแม่น้ำ	0.91-8.49	1.53-15.53	ปากแม่น้ำท่าจีน จ.สมุทรสาคร (พ.ศ. 2552)[6]
	0.50-12.01	0.09-9.63	ปากแม่น้ำท่าจีน จ.สมุทรสาคร (พ.ศ. 2553)[7]
	0.90-13.70	1.39-10.02	ปากแม่น้ำท่าจีน จ.สมุทรสาคร (พ.ศ. 2555-2556)[8]

พื้นที่แหล่งน้ำตกที่มีการไหลของน้ำเป็นอย่างดีและมีโครงสร้างของพื้นที่ซึ่งยกตัวเป็นระดับที่มีความลาดชันสูงจะเอื้ออำนวยให้มวลน้ำเคลื่อนตัวดีและมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศได้อย่างทั่วถึง ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูง (5.92-10.36 mg/L) ซึ่งอยู่ในระดับประมาณ 80% ของระดับการละลายได้สูงสุด ทั้งนี้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่สูงนั้นส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการทางกายภาพซึ่งเป็นอิทธิพลการผสมผสานของน้ำและการละลายของออกซิเจนจากบรรยากาศลงมาในมวลน้ำเป็นหลัก ส่วนในพื้นที่แม่น้ำพบว่าระดับของออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละแห่ง (หรือในแต่ละบริเวณของแม่น้ำ) จะมีความแตกต่างกันไปมาก โดยส่วนใหญ่แม่น้ำที่อยู่ทางตอนบน (Upper reach) มักจะมีระดับของออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าทางตอนล่าง (Lower reach)

เมื่อพิจารณาระดับของออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละแหล่งน้ำเปรียบเทียบกัน จะพบว่าพื้นที่ในเขตปากแม่น้ำจะมีระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่ผันแปรในช่วงกว้างได้มากที่สุด (0.50-15.53 mg/L; **ตารางที่ 5.3**) ลักษณะการผันแปรดังกล่าวเกิดจากการที่พื้นที่ปากแม่น้ำทางตอนในมีโอกาสได้รับน้ำเสียที่ขาดออกซิเจนปนเปื้อนลงมา แต่ในขณะเดียวกันยังเป็นพื้นที่ที่ได้รับแร่ธาตุอาหารสูง ทำให้แพลงก์ตอนพืชสามารถขยายจำนวนขึ้นอย่างหนาแน่นจนเกิดสภาวการณ์น้ำเปลี่ยนสี ซึ่งส่งผลให้พบระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่สูงขึ้นจนเกินจุดอิ่มตัวได้บ่อยครั้ง

5.2.2) การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

ในระบบนิเวศทางน้ำเราพบว่ามีปัจจัยทางนิเวศวิทยาหลายประการที่สะท้อนความเป็นอยู่ของประชาคมสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้นได้ สิ่งมีชีวิตมีการตอบสนองในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดในประเด็นการตอบสนองที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

- **การหายไปของสิ่งมีชีวิตบางชนิด**: เป็นลักษณะการตอบสนองเบื้องต้นที่พบได้ในแหล่งน้ำ ยกตัวอย่าง เช่น การลดจำนวนของพรรณไม้ใต้น้ำในพื้นที่ที่มีความขุ่นของน้ำเพิ่มมากขึ้น การลดจำนวนของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในกลุ่มแมลงน้ำในเขตพื้นที่ที่รับน้ำซึ่งมีธาตุอาหารสูงและมีออกซิเจนต่ำ การหายไปของหญ้าทะเลบางชนิดและการตายลงของปะการังในเขตใกล้ฝั่งจากการปกคลุมทดแทนที่ของสาหร่ายหลังจากแหล่งน้ำมีธาตุอาหารและความขุ่นเพิ่มขึ้นจากเดิม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในพื้นที่แหล่งน้ำโดยเฉพาะในเขตทะเลเรามักไม่พบชนิดของสัตว์น้ำมากนัก การหายไปเลยของแต่ละชนิดอาจพบได้ยากและจำเป็นต้องเก็บข้อมูลศึกษาติดตามเป็นระยะเวลายาวนาน การเปลี่ยนแปลงในเบื้องต้นจึงมักเริ่มจากการลดจำนวนประชากรที่สังเกตเห็นได้ชัดในชนิดสำคัญที่พบในระบบนิเวศแต่ละแห่ง

- **การเปลี่ยนแปลงค่า "ความหลากชนิด"**: ดัชนีความหลากชนิดหรือ Diversity index เป็นดัชนีที่สะท้อนความซับซ้อนของการพบจำนวนและชนิดของสิ่งมีชีวิตหลายประเภทภายในระบบนิเวศหนึ่งออกมาให้เห็นภาพในเชิงเปรียบเทียบ โดยค่าที่สูงกว่าแสดงถึงการมีชนิดของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลาย และยิ่งหากมีจำนวนในแต่ละชนิดสูงก็จะมีระดับของค่านี้สูงขึ้นตามไปด้วย ใน

การศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีรายงานการลดต่ำลงของค่าความหลากชนิด จากผลกระทบของสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น (Pearson and Rosenberg, 1978; Ritnim and Meksumpun, 2012) ผลกระทบจากปัญหาน้ำมันรั่ว (Gray *et al*., 1990) และจากน้ำทิ้งของการทำเหมืองแร่ (Olsgard, 1993) อย่างไรก็ตาม กล่าวกันว่าดัชนีค่าความหลากชนิดนี้จะสะท้อนผลได้ชัดเจนก็ต่อเมื่อระบบนิเวศทางน้ำนั้น ๆ ได้รับผลกระทบที่ค่อนข้างรุนแรงเข้ามาเท่านั้น (Gray *et al*., 1990; Warwick and Clarke, 1991)

- **การเปลี่ยนแปลงชนิดหรือความชุกชุมของสิ่งมีชีวิตชนิดเด่น:** สิ่งมีชีวิตชนิดเด่น (Dominant species) ที่พบในแต่ละระบบนิเวศแหล่งน้ำที่นับเป็นองค์ประกอบมากกว่า 50-60% ในทางความชุกชุม นับเป็นดัชนีชี้วัดอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการติดตามประเมินการตอบสนองของระบบนิเวศได้ ในพื้นที่แหล่งน้ำที่ได้รับผลกระทบสิ่งแวดล้อมพบว่าปริมาณของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงไป ในบางครั้งจะพบการลดจำนวนของชนิดหลัก แต่ในบางครั้งจะพบการเปลี่ยนชนิดใหม่ขึ้นมาทดแทน ในการพบสภาวะมลพิษจากอินทรีย์สารพบว่า จำนวนชนิดมักจะลดลงและชนิดเด่นที่เกิดขึ้นมาใหม่มักมีขนาดเล็กลง เป็นชนิดที่มีวงชีวิตที่สั้นและมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว (Opportunistic species) ยกตัวอย่าง ได้แก่ การเกิดกลุ่มไส้เดือนทะเลจำพวก Capitellids และ Spionids ขึ้นมาในพื้นที่เขตชายฝั่งที่ได้รับสารอินทรีย์ลงไปสะสมบริเวณพื้นท้องน้ำสูง (Pearson and Rosenberg, 1978; Chareonpanich *et al*., 1993; จารุมาศและคณะ 2557) อย่างไรก็ตาม ผลกระทบทางกายภาพ อาทิ การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นที่ก็สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชนิดและจำนวนดังกล่าวได้เช่นเดียวกัน ซึ่งอาจเป็นสภาวการณ์ที่ไม่จัดว่าเป็น “มลภาวะ” และจำเป็นต้องให้ความระมัดระวังในการศึกษาและตีความอย่างรัดกุมต่อไป

- **การลดขนาดของสิ่งมีชีวิต:** ลักษณะการตอบสนองของประชากร โดยเฉพาะในกลุ่มสัตว์น้ำเศรษฐกิจหลายชนิดที่ได้รับผลกระทบจากการจับที่มากเกินควร (Overfishing) มักเกิดในรูปแบบที่มีขนาดเฉลี่ยในแต่ละชนิดลดลงกว่าเดิม ดังมีรายงานพบในประเทศฟิลิปปินส์ที่พบขนาดของกุ้งมังกรเล็กลง (Junio, 1984) ในประเทศแคนาดาพบขนาดของเม่นทะเล (Sea urchin) เล็กลง (Sloan *et al*., 1987) และในประเทศชิลี พบว่าหอย Limpet ในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์สูงจะมีขนาดเล็กลงกว่าในพื้นที่อื่น (Oliva and Castilla, 1986) เป็นต้น ในประเทศไทยพบรายงานว่าสัตว์น้ำเศรษฐกิจในท้องตลาดที่อยู่ในระยะสืบพันธุ์ อาทิ ปลาทู มีขนาดเล็กลง (จารุมาศ, 2557) ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลกระทบหรือแรงกดดันจากการจับขึ้นมาใช้ประโยชน์อย่างมากเกินควร ผนวกกับสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะด้านอุณหภูมิของน้ำและความอุดมสมบูรณ์ที่เพิ่มมากขึ้นในปริมาณของแพลงก์ตอนพืชก็เป็นได้ อนึ่ง การพิจารณาการตอบสนองจากการเปลี่ยนแปลงในขนาดเฉลี่ยของประชากร จึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับปัจจัยแวดล้อมที่มีบทบาทร่วมอื่น ๆ นอกจากนี้ ควรวิเคราะห์โดยพิจารณาลักษณะของ *“วงจรชีวิต”* หรือ *“รอบการผันแปรในขนาด”* ที่จำเพาะสำหรับแต่ละชนิดของสัตว์น้ำด้วย

ในภาพรวมของการศึกษาติดตามผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่ผ่านมา นักนักวิทยาศาสตร์มักจะให้ความสนใจในปัจจัยที่สะดวกต่อการติดตาม อาทิ “ความหนาแน่น” หรือ “ขนาด” ของประชากรที่เปลี่ยนแปลง ทำให้สองปัจจัยนี้มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม ยังมีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันในลักษณะของสมการหลายตัวแปร โดยมีการศึกษาในกลุ่มสัตว์พื้นท้องน้ำในพื้นที่โคลนปนทรายเขตชายฝั่ง (Gray *et al*. 1990; Warwick and Clarke, 1991, 1993) และพบว่าการใช้ดัชนีในระดับของครอบครัว (Family) ก็สามารถประยุกต์ใช้เพื่อประเมินผลกระทบจากปัญหามลภาวะได้ (Heip *et al*., 1988; Herman and Heip, 1988; Warwick, 1988)

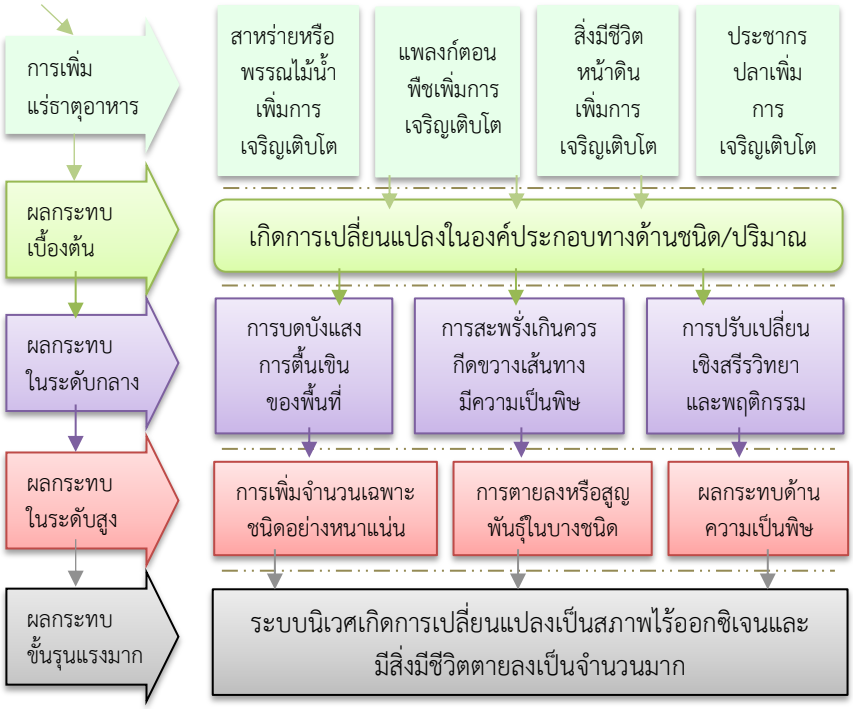
- **การเปลี่ยนแปลงในกระบวนการทางชีววิทยาของสิ่งมีชีวิต:** เมื่อพิจารณาการตอบสนองในเชิงลึก กระบวนการทางชีววิทยาที่มีความจำเพาะในแต่ละชนิดของสิ่งมีชีวิต (อาทิ ความดกไข่ อัตราการเกิด รูปแบบการเกิดทดแทนที่ หรือทางขนาด ลักษณะ/อายุที่ตายลง) ล้วนแล้วแต่ประกอบด้วยปัจจัยที่สามารถใช้ติดตามลักษณะการตอบสนองซึ่งเป็นผลกระทบจากปัญหาสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ ได้ ในช่วงระยะหลังนี้ยังมีการพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การอธิบายสาเหตุหรือที่มาของการเปลี่ยนแปลงนั้นได้มากขึ้น (Clarke and Ainsworth 1993) แต่ประเด็นสำคัญที่อาจเป็นปัญหาอยู่ ก็คือ จะใช้ลักษณะการตอบสนองที่เกิดขึ้นในภาพรวมเหล่านี้ไปแยกแยะความแตกต่างหรือระดับของมลภาวะแต่ละประเภทให้ชัดเจนได้อย่างไร นอกจากนี้ ปัจจัยบางประเภท อาทิ กลุ่มสารพิษที่ปนเปื้อนลงมาในน้ำ ส่วนใหญ่มีบทบาทต่อสิ่งมีชีวิตตามช่วงอายุอย่างแตกต่างกันไป และมักให้ผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในระยะวัยอ่อนได้รวดเร็วและชัดเจนกว่าในระยะตัวเต็มวัย ลักษณะการตอบสนองดังกล่าวทำให้การประเมินข้อมูลเพื่ออธิบายสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทางน้ำจำเป็นต้องมีความรอบคอบและจำเพาะเจาะจงกับทั้งชนิดและช่วงอายุของสิ่งมีชีวิตที่ใช้พิจารณาลักษณะการตอบสนองที่เกิดขึ้นนั้น

การตอบสนองของประชาคมสิ่งมีชีวิตต่อการเพิ่มของแร่ธาตุอาหารในน้ำ

การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตกลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มผู้ผลิตขั้นต้น (อาทิ สาหร่าย พรรณไม้น้ำ แพลงก์ตอนพืชในน้ำ) กลุ่มผู้บริโภคขั้นต้นโดยเฉพาะสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังพื้นท้องน้ำ และกลุ่มสัตว์น้ำเศรษฐกิจซึ่งมีตัวแทนเป็นประชากรปลาที่พบในแหล่งน้ำจะมีการตอบสนองต่อสถานการณ์การเพิ่มแร่ธาตุอาหารในรูปแบบที่เป็นลำดับขั้นและเชื่อมโยงกัน ดัง**ภาพที่ 5.1** โดยทั่วไปพบว่าแร่ธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นสู่แหล่งน้ำในระดับต่ำจะกระตุ้นให้สิ่งมีชีวิตกลุ่มผู้ผลิตขั้นต้นมีการเพิ่มจำนวนของประชากรมากยิ่งขึ้น และส่งผลต่อการเพิ่มของสัตว์ขนาดเล็กที่เป็นผู้บริโภค รวมทั้งประชากรปลาในแหล่งน้ำนั้น ๆ

ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ผลิตขั้นต้นจะทำให้ความชุกชุมเริ่มเปลี่ยนแปลงไป โดยหลังจากนั้นไม่นานอาจมีเฉพาะชนิดหลักไม่กี่ชนิดที่สามารถเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างหนาแน่น การจับเป็นกลุ่มอย่างหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช สาหร่ายใต้น้ำ รวมทั้งพรรณไม้น้ำเกิดขึ้นได้มากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของผู้ผลิตขั้นต้นเกี่ยวข้องโดยตรงต่อกระบวนการในห่วงโซ่อาหาร และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของแหล่งน้ำ (อาทิ การบดบังแสง การเกิดการตกตะกอน

มากขึ้น หรือมีระดับออกซิเจนละลายน้ำที่ผันแปรสูงในรอบวัน) และทำให้เกิดสภาวะการขาดออกซิเจน เนื่องจากการตกทับถมของสารอินทรีย์ในบริเวณพื้นท้องน้ำที่เพิ่มมากขึ้น (**ภาพที่ 5.1**)



ภาพที่ 5.1 ลักษณะการตอบสนองของระบบนิเวศแหล่งน้ำ และผลกระทบจากสถานการณ์การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร (Eutrophication impact) ต่อสิ่งมีชีวิตกลุ่มหลักที่อาศัยอยู่ในมวลน้ำและพื้นท้องน้ำ (ตั้งแต่กลุ่มผู้ผลิตขั้นต้น แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์หน้าดิน และปลา)
(ที่มา: ปรับปรุงจาก Gray, 1992)

การเปลี่ยนแปลงในระบบแหล่งที่อยู่อาศัยดังกล่าว หากเกิดขึ้นอย่างชัดเจนจะทำให้เกิดผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต เกิดการตายลง มีการทดแทนที่ด้วยกลุ่มที่มีความทนทานสูง มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมจนกระทั่งมีการเคลื่อนย้ายออกไปหรือทำให้เกิดการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตบางกลุ่มได้ ในท้ายที่สุดแหล่งน้ำที่ได้รับแร่ธาตุอาหารสูงและต่อเนื่องจนทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศในขั้นที่รุนแรงมากขึ้น ทำให้ระบบนิเวศนั้นเสื่อมโทรมลงจากการขาดออกซิเจนและเกิดการเน่าเสีย ซึ่งทรัพยากรสัตว์น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์เราได้ก็จะไม่สามารถคงประชากรอยู่ในพื้นที่ได้อีกต่อไป

ในทางปฏิบัติสำหรับการติดตามตรวจสอบผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรทางน้ำเพื่อประเมินสถานการณ์ปัญหาจะทำได้ค่อนข้างยากหากผลกระทบนั้นยังอยู่ในขั้นต้นถึงระดับปานกลาง (**ภาพที่ 5.1**) เนื่องจากจะเป็นช่วงของการปรับตัวของประชาคมสิ่งมีชีวิตเพื่อเข้าสู่สมดุลใหม่หรืออาจเป็นช่วงที่ระบบเกิดการพัฒนาเชิงบวกจากการที่ผลผลิตขั้นต้นที่เกิดขึ้นสามารถถูกใช้ประโยชน์ต่อยอดไปยังผู้บริโภคขั้นต่างๆ ในห่วงโซ่อาหารจนเป็นการเพิ่มผลผลิตของทรัพยากรสัตว์น้ำที่เราสามารถเก็บเกี่ยวหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้ ยังมีความพยายามในการใช้ดัชนีด้าน *"คลอโรฟิลล์"*เพื่อการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงขั้นต้นนั้น ในมุมมองเชิงบวกสำหรับการเพิ่ม *"ความอุดมสมบูรณ์"* ของแหล่งน้ำจากการเพิ่มปริมาณแร่ธาตุอาหารในขั้นต้นถึงระดับปานกลางนั้น เราสามารถจำแนกแหล่งน้ำตามสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์จากระดับที่เรียกว่า มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และมีความอุดมสมบูรณ์สูง ไปตามลำดับขั้น แต่หากระดับของแร่ธาตุอาหารสูงขึ้นมากและทำให้เกิดผลกระทบในระดับสูงถึงขั้นที่รุนแรงมากไปแล้ว ระบบนิเวศจะเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็วและเกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมาได้มาก ซึ่งนับเป็นระยะที่ต้องหาทางฟื้นฟูให้กลับคืนสภาพมา ทั้งนี้ จำเป็นต้องอาศัยเทคนิควิธีการแก้ปัญหาทั้งภายในระบบแหล่งน้ำเอง (อาทิ การขุดลอกแหล่งน้ำเพื่อเพิ่มอัตราการไหล การให้ออกซิเจนเสริม การส่งเสริมพันธุ์สัตว์น้ำทดแทน ฯลฯ) และการควบคุมแหล่งที่มาของแร่ธาตุอาหารที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหาอย่างจริงจังต่อไป

ตัวอย่างของการศึกษาติดตามผลกระทบในสภาวะแร่ธาตุอาหารระดับต่าง ๆ ที่มีบทบาทต่อผู้ผลิตขั้นต้นในพื้นที่แม่น้ำลำธารมักเป็นรายงานการวิจัยจากประเทศในเขตอบอุ่น Stevenson and Pan (1999) พบว่าการใช้สาหร่ายพื้นท้องน้ำกลุ่มไดอะตอมเพื่อประเมินสภาวะผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านแร่ธาตุอาหารนั้นเป็นแนวทางที่สามารถทำได้ อย่างไรก็ตามควรให้ความระมัดระวังในการสังเกตกลุ่มของสาหร่าย (Kelly, 2002) ทั้งนี้ เนื่องจากนอกจากการเปลี่ยนแปลงในทางความหนาแน่นแล้ว ยังพบการเปลี่ยนกลุ่มหรือชนิดของสาหร่ายพื้นท้องน้ำในแหล่งที่มีระดับของแร่ธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นในแต่ละขั้นของสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ Dodds and Gudder (1992) และจารุมาศและคณะ (2551) รายงานการเพิ่มของสาหร่ายสีเขียวชนิด *Cladophora* ในพื้นที่ลำธารน้ำที่ค่อนข้างใสว่าเป็นตัวอย่างของสาหร่ายที่ตอบสนองต่อสภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำโดยเฉพาะในพื้นที่รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมของชุมชนและบ้านเรือน สาหร่ายชนิดนี้สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างหนาแน่นในแหล่งน้ำไหลหลายแห่ง และก่อปัญหาด้านการลดต่ำของออกซิเจนในเวลากลางคืน นอกจากนี้ ยังมีผลทำให้เกิดการอุดตันของระบบน้ำที่ใช้ในการอุตสาหกรรมและในชุมชนได้

ในการพิจารณาปัญหาการเพิ่มของแร่ธาตุอาหารในแหล่งแม่น้ำลำธาร มีความต่างจากแหล่งปากแม่น้ำและเขตทะเลอีกประการหนึ่งที่สำคัญ คือ ในแหล่งแม่น้ำลำธารมักได้รับอิทธิพลจากสภาวะน้ำท่วมหลากหรือการไหลบ่าของน้ำฝน ซึ่งอาจไม่สม่ำเสมอตามเวลาเท่าใดนัก ปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้สถานการณ์แร่ธาตุอาหารในเขตแม่น้ำลำธารไม่มีความสม่ำเสมอและอาจพบผลกระทบได้ไม่ชัดเจน ในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมบ่อยครั้งจะพบว่าบทบาทของแร่ธาตุอาหารที่เพิ่มมากขึ้นไม่ได้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณสาหร่ายหรือผู้ผลิตขั้นต้นในพื้นที่ ในทางตรงกันข้าม แม่น้ำที่มี

อัตราไหลที่คงที่กว่ามักจะสะท้อนสภาวะของปัญหาการเพิ่มของแร่ธาตุอาหารได้อย่างชัดเจนกว่า (Biggs, 2000) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำในเขตปากแม่น้ำหรือเขตทะเลแล้วจะเห็นความจำเพาะที่แตกต่างกันไป ซึ่งในภาพรวมจะพบว่าปัจจัยทางด้าน “ความเร็วหรืออัตราการไหล” ของมวลน้ำ เป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญต่อรูปแบบการตอบสนองของผู้ผลิตขั้นต้น (**ตารางที่ 5.4**) และการเกิดของทรัพยากรชีวภาพที่เกี่ยวข้องต่อไปได้

จากความจำเพาะของแม่น้ำซึ่งมีลักษณะของการไหลเป็นปัจจัยทางกายภาพสำคัญ การเกิดของผู้ผลิตขั้นต้นโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำจึงเป็นผลสะท้อนร่วมของทั้งปัจจัยด้านแร่ธาตุอาหารและอัตราการไหลของน้ำ (กรณีที่ไม่มีข้อจำกัดด้านความเข้มแสงในน้ำนั้น) ซึ่งแม่น้ำที่มีการไหลช้าหรือในแม่น้ำทางตอนล่างที่ไหลเข้าสู่ระบบน้ำที่นิ่งขึ้น อาทิ ส่วนที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำหรือเขตใกล้ปากแม่น้ำ จึงมักจะพบปริมาณผู้ผลิตขั้นต้นที่หนาแน่นได้มากกว่าแม่น้ำทางตอนบนอย่างชัดเจน

ตารางที่ 5.4 การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ (อัตราการไหล; Flow, อุณหภูมิของน้ำ; Temp, ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวม; TSS, และแร่ธาตุอาหารในน้ำ; Nutrients) เพื่อประกอบการประเมินสถานการณ์ด้านความเป็นอยู่ของผู้ผลิตขั้นต้นที่มีในแหล่งน้ำประเภทน้ำตก ลำธารเขตต้นน้ำ แม่น้ำ และปากแม่น้ำในประเทศไทย

ปัจจัย สิ่งแวดล้อมทางน้ำ	น้ำตก	ลำธาร เขตต้นน้ำ	แม่น้ำ (ตอนบน)	แม่น้ำ (ตอนล่าง)	ปากแม่น้ำ (แนวใน)	ปากแม่น้ำ (แนวนอก)
Flow (m^3/S)	4	4	4	3	3	3
Temp (^oC)	1	2	1	1	2	3
TSS (mg/L)	2	3	3	2	3	2
Nutrients (μM)	3	2	2	4	4	4

หมายเหตุ ตัวเลข 4, 3, 2, และ 1 แสดงความสำคัญของปัจจัยจากมาก ปานกลาง น้อย และน้อยมาก ตามลำดับ

อนึ่ง สำหรับลักษณะการตอบสนองของผู้ผลิตขั้นต้นในกลุ่มพรรณไม้น้ำในพื้นที่แม่น้ำต่อปัญหาการเพิ่มของแร่ธาตุอาหารนั้น โดยทั่วไปพบว่าพรรณไม้น้ำมีลักษณะการตอบสนองที่ไม่ชัดเจน Sangmek and Meksumpun (2014) พบว่าในแม่น้ำเพชรบุรีตอนล่างที่ถูกควบคุมอัตราการไหลโดยประตูผันน้ำเพื่อการชลประทานนั้น อัตราการไหลของน้ำมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงในมวลชีวภาพของพรรณไม้น้ำในกลุ่มดีปลีน้ำ (*Potamogeton*) ได้มากกว่าระดับของแร่ธาตุอาหารในน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตาม รายงานการวิจัยของ Sosiak (2002) กลับแสดงให้เห็นว่ามวลชีวภาพของพรรณไม้น้ำในแม่น้ำ Bow (ซึ่งมีต้นน้ำอยู่ในภูมิภาคที่เป็นเทือกเขาสูงและไหลผ่านเมือง Alberta ประเทศแคนาดา) สะท้อนการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณแร่ธาตุอาหารในน้ำ โดยมวลชีวภาพของพรรณไม้น้ำมีระดับที่ลดลงเมื่อน้ำทิ้งจากชุมชนโดยรอบ (ที่มีไนโตรเจนสูง) ได้รับการ

ควบคุมการปล่อยอย่างเข้มงวด จากผลการศึกษาในภาพรวมทำให้ทราบว่าการตอบสนองของผู้ผลิตขั้นต้นต่อระดับของแร่ธาตุอาหารในน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นมีความจำเพาะต่อพื้นที่ (**ตารางที่ 5.3**) และจำเป็นต้องศึกษาวิเคราะห์เป็นกรณี ๆ ไป

5.2.3) ความจำเพาะของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำในระบบนิเวศน้ำตก

การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลของออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่น้ำตกพบว่าในแต่ละชั้นของน้ำตก แนวที่มีมวลน้ำไหลแรงในแนวกลางจะมีค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ค่อนข้างสูง (6-7 mg/L) และแทบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในเขตน้ำตกมักมีส่วนที่เป็นแอ่งตื้นที่มีการตกตะกอนทับถมของเศษใบไม้กิ่งไม้ หรือมีพื้นที่มุมอับซึ่งน้ำไหลเวียนได้น้อย พื้นที่บริเวณดังกล่าวจึงมีระดับเฉลี่ยของออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำกว่าแนวกลางที่น้ำไหลแรงถึงประมาณ 1-3 mg/L ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากอิทธิพลของกระบวนการย่อยสลายในตะกอนอินทรีย์สารและซากพืชซากสัตว์ที่มีในบริเวณจำเพาะนั้นๆ

การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่น้ำตกบางบริเวณ อาจไม่มีความสำคัญหากเรามุ่งให้ความสนใจเฉพาะในความเป็นอยู่ของทรัพยากรในมวลน้ำที่ไหลแรงในแนวกลาง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ณ บริเวณพื้นที่มุมอับส่วนใหญ่มักพบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดเล็กกลุ่มต่าง ๆ รวมตัวกันได้ดี และอยู่อาศัยในระดับความชุกชุมที่สูงมากกว่าในแนวกลางอย่างชัดเจน นอกจากนี้ บริเวณที่มีลักษณะเป็นแอ่งตื้นด้านข้างยังมักพบลูกปลาวัยอ่อนที่ยังไม่สามารถเคลื่อนที่ต้านทานแรงกระแสน้ำได้ดีมารวมตัวกันอยู่เป็นจำนวนมาก (จารุมาศและคณะ, 2552) ด้วยลักษณะความสำคัญดังกล่าว การพิจารณาระดับและการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่มุมอับหรือแอ่งตื้นต่าง ๆ จึงนับว่ามีความสำคัญในเชิงของการวางแผนบริหารจัดการดูแลคุณภาพน้ำเพื่อการอนุรักษ์พันธุ์สัตว์น้ำที่มีให้คงอยู่สืบต่อไปได้ ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสิ่งมีชีวิตแต่ละกลุ่มมีความต้องการระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่แตกต่างกันไปและความรู้พื้นฐานดังกล่าวเป็นเหตุผลของการพบชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่างในแต่ละบริเวณที่แตกต่างกันไปได้

อนึ่ง ในพื้นที่เขตน้ำตก “อัตราการไหลของน้ำ” นับเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญไม่น้อยกว่าระดับของออกซิเจนละลายน้ำ อัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละบริเวณมีอิทธิพลต่อลักษณะการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่าง ๆ ที่แตกต่างกันไป และยังมีบทบาทต่อปริมาณการสะสมของอินทรีย์สารที่เป็นแหล่งอาหารและพลังงานของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้บริโภคในขั้นต่าง ๆ ซึ่งในภาพรวมอัตราการไหลของน้ำเกี่ยวข้องกับการเกิดทรัพยากรมีชีวิตทางน้ำขนาดเล็ก และการเปลี่ยนแปลงในห่วงโซ่อาหาร และเชื่อมโยงสู่การกระจายของประชากรของสัตว์น้ำในพื้นที่น้ำตก

โดยทั่วไปในพื้นที่น้ำตกแต่ละแห่งมีการลดระดับของมวลน้ำในช่วงหน้าแล้ง เนื่องจากปริมาณการไหลจากน้ำต้นทุนที่ลดระดับลง การเปลี่ยนแปลงในอัตราการไหลตามฤดูกาลนับเป็นเรื่องตามธรรมชาติของพื้นที่ ซึ่งอาจแตกต่างไปตามแต่ละช่วงชั้นของน้ำตก การเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลนี้มีบทบาทต่อปัจจัยทางคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ (รวมทั้งระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่

พบ) ด้วยเหตุดังกล่าวการประเมินสถานภาพและการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำในระบบนิเวศน้ำตก จึงจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในธรรมชาติของช่วงฤดูกาลที่จำเพาะและแตกต่างกันไป ในการประเมินสถานการณ์ของระบบนิเวศในด้านความเป็นอยู่ของทรัพยากรที่สนใจ จึงจำเป็นต้องเทียบเคียงระดับของปัจจัยที่สนใจกับระดับที่พบตามธรรมชาติ (Based-line level) ในแต่ละฤดูกาล ทั้งนี้ ไม่ควรใช้ค่าเฉลี่ยรายปีของปัจจัยนั้นมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา

อนึ่ง เนื่องจากเราไม่สามารถกำหนดเกณฑ์หรือระดับที่ตายตัวสำหรับปัจจัยทางอ้อมที่มีในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะในกรณีที่ปัจจัยดังกล่าวนั้นไม่อยู่ในสถานการณ์ที่รุนแรง หรือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างยิ่งยวด (โดยเฉพาะจากสาเหตุภัยธรรมชาติที่ปัจจุบันทันด่วน) การประเมินสถานการณ์ด้านความเป็นอยู่ของสัตว์น้ำหรือทรัพยากรมีชีวิตที่สนใจ จึงอาจจำเป็นต้องพิจารณาแค่ “โอกาสในการเปลี่ยนแปลง” ซึ่งหมายถึง การค่อย ๆ หายไปหรือเกิดการทดแทนที่ด้วยสิ่งมีชีวิตอื่น หากปัจจัยทางอ้อมนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก “สภาพธรรมชาติ” ไปอย่างน้อย 25-50% (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะจำเพาะของปัจจัยว่ามีความเกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่และกระบวนการทางชีววิทยาที่จำเพาะกับแต่ละชนิดมากน้อยเพียงใด

การเปลี่ยนแปลงใน “อัตราการไหล” ของน้ำ อาทิจากการสร้างฝายทดน้ำหรือเขื่อนกั้นน้ำในพื้นที่ลำธารต้นน้ำ พบเป็นตัวอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการลดลงของอัตราการไหลมากกว่า 50% การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแทบจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับของออกซิเจนละลายน้ำในระยะแรก ๆ ของการจัดสร้าง อย่างไรก็ตามผลจากการที่มวลน้ำถูกกั้นขวางและซากอินทรีย์สารมีการตกตะกอนลงทับถมได้มากขึ้นเรื่อย ๆ ระดับของออกซิเจนในน้ำจะเริ่มเปลี่ยนไป รวมทั้งการเปลี่ยนกลุ่มของสิ่งมีชีวิตมาเป็นกลุ่มที่กินตะกอนเป็นอาหาร ซึ่งหากการหายไปของสิ่งมีชีวิตบางกลุ่มสะท้อนสภาพความไม่เหมาะสมต่อความเป็นอยู่แบบเดิมแล้ว แหล่งน้ำบริเวณที่มีสร้างฝายทดน้ำหรือเขื่อนกั้นน้ำก็นับว่าอยู่ในสถานการณ์ที่เริ่มไม่เหมาะสมจนถึงในระดับที่ไม่เหมาะสมมาก หากมีการหายไปของสิ่งมีชีวิตบางชนิดจากระดับประมาณ 25% จนถึงมากกว่า 80% ของระดับเดิมที่พบตามลำดับ

ในแหล่งน้ำประเภทน้ำตกและลำธารต้นน้ำ ปัจจัยทางอ้อมที่นับว่ามีความสำคัญรองลงมาจากปริมาณการไหล คือ ปัจจัยกายภาพทางด้านความขุ่นของน้ำ (รวมถึงปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มี) และปัจจัยทางเคมี อาทิ ปริมาณแร่ธาตุอาหารในน้ำ ทั้งนี้ เนื่องจากปัจจัยทั้งสองมีโอกาสเพิ่มสูงขึ้นจากการเข้ามาใช้ประโยชน์ในพื้นที่โดยมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมการเข้ามาท่องเที่ยวในพื้นที่และกิจกรรมการสร้างสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ในพื้นแหล่งน้ำและบริเวณโดยรอบ ปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงโดยมนุษย์มักมีผลกระทบต่อแหล่งน้ำได้ชัดเจน โดยเฉพาะปัจจัยด้านความขุ่นของน้ำนั้น มีผลโดยตรงต่อประชากรปลาที่ชอบอาศัยในพื้นที่น้ำสะอาด และยังมีผลต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงในปริมาณการตกตะกอนที่มีผลกระทบต่อแหล่งที่อยู่อาศัยและคุณภาพของอาหารตามธรรมชาติ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงในปริมาณแร่ธาตุอาหารที่อาจเกิดจากการถูกกวนขึ้นมาจากพื้นท้องน้ำส่วนที่เป็นบริเวณตกตะกอน หรือการเพิ่มจากน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนหรือร้านอาหารในบริเวณใกล้เคียง ยังส่งผลชัดเจนต่อการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายหรือพันธุ์ไม้น้ำโดยเฉพาะในพื้นที่ช่วงเปิดโล่งที่รับแสงแดดอย่างพอเพียง หรือในลำธารน้ำตื้นที่มีความลาดชัน

ต่ำลง ซึ่งมักสังเกตพบสาหร่ายขึ้นปกคลุมบริเวณผิวของหิน หรือเกิดบริเวณพื้นท้องน้ำได้มากขึ้นอย่างชัดเจน

5.2.4) ความจำเพาะของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำในระบบนิเวศแม่น้ำ

เมื่อพิจารณาถึงแหล่งน้ำไหลประเภทแม่น้ำ จะพบว่าลักษณะจำเพาะในแต่ละส่วนของแม่น้ำมีบทบาทมากต่อการพิจารณากำหนดดัชนีชี้วัดเพื่อประเมินสถานการณ์ความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านออกซิเจนละลายน้ำก็ยังได้รับการยอมรับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการประเมินความเหมาะสมของคุณภาพน้ำต่อการดำรงชีวิตและการอยู่อาศัยของทรัพยากรสัตว์น้ำ สำหรับปัจจัยที่มีความสำคัญอื่น ๆ อาทิ ปัจจัยด้านอัตราการไหลของน้ำ (Flow rate) และความเร็วของน้ำ (Water velocity) ก็นับเป็นปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี ตลอดจนลักษณะความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิต ปัจจัยด้านอัตราการไหลและความเร็วของน้ำนี้ มักมีความแตกต่างไปตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยมีระดับที่ต่ำลงในช่วงหน้าแล้ง และเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน หรือในช่วงฤดูน้ำหลาก

บทบาทของอัตราการไหลและความเร็วของน้ำในพื้นที่แม่น้ำ มีบทบาทต่อการเคลื่อนย้ายและการตกสะสมของอินทรีย์สารที่ถูกพัดพาลงมาในบริเวณต่างๆ ของแม่น้ำ และยังเกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของแร่ธาตุอาหารในมวลน้ำ โดยมักพบความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารในพื้นที่แม่น้ำตอนล่างมากกว่าในลำธารเขตต้นน้ำ ทั้งนี้ เนื่องจากอิทธิพลจากการกัดเซาะและชะล้างจากพื้นที่แผ่นดินโดยรอบที่ไหลรวมลงมา และจากเขตชุมชน พื้นที่ทำการเกษตร ปศุสัตว์ และอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยทิ้งน้ำลงมาสู่พื้นที่แม่น้ำ

ในพื้นที่แม่น้ำ ปัจจัยคุณภาพน้ำที่สำคัญและมีบทบาทต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ คือ ปัจจัยด้านออกซิเจนละลายน้ำ เช่นเดียวกับในพื้นที่เขตลำห้วยน้ำตก ปัจจัยด้านออกซิเจนนี้นับว่าเป็นปัจจัยหลักในการติดตามสถานการณ์สิ่งแวดล้อมและประเมินโอกาสการตอบสนองที่จะเกิดในระบบนิเวศร่วมกับปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญอื่นๆ ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าหากในพื้นที่แม่น้ำมีระดับของออกซิเจนละลายน้ำโดยเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูง (ในช่วงประมาณ 4-6 mg/L) และแปรผันน้อยตามพื้นที่ย่อยและเวลา ปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ก็จะมีอิทธิพลต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำไม่เด่นชัด อย่างไรก็ตาม หากในพื้นที่แม่น้ำบริเวณที่สนใจมีระดับเฉลี่ยของออกซิเจนละลายน้ำที่ค่อนข้างต่ำ (ต่ำกว่า 3-4 mg/L) สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่มักอยู่ในสภาวะความเครียดสูงและ/หรือมักอ่อนแออยู่ในระดับหนึ่งแล้ว หากมีการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ เกิดขึ้น (อาทิ ลักษณะอัตราการไหลที่ลดลง การมีความขุ่นมาก หรือมีปริมาณตะกอนแขวนลอยที่เพิ่มมากขึ้น ฯลฯ) จะทำให้เกิดผลกระทบต่อประชาคมของสิ่งมีชีวิตที่มิได้ง่าย และเกิดปัญหาด้านทรัพยากรในภาพรวมตามมาได้ ลักษณะจำเพาะที่เกิดจากปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมเหล่านี้ เป็นตัวอย่างที่ทำให้เห็นว่าเราไม่อาจกำหนดเกณฑ์ที่ตายตัวสำหรับประเมินการเปลี่ยนแปลงผลกระทบจากปัจจัยหนึ่ง ๆ ได้อย่างจำเพาะเจาะจงสำหรับแหล่งน้ำโดยรวม ทั้งนี้ เนื่องจากโอกาสการเกิดผลกระทบมีความแตกต่างกันไปตามระดับของปัจจัยพื้นฐานที่เป็นปัจจัยชี้วัดที่สำคัญในแต่ละบริเวณที่ศึกษา

จากลักษณะการไหลของน้ำที่มีความเร็วลดระดับลงกว่าในพื้นที่น้ำตกหรือลำธารเขตต้นน้ำ ที่มีความลาดชันสูง เมื่อกลายมาเป็นสภาพของแม่น้ำที่อยู่ในพื้นที่ราบ และมีความลาดชันต่ำ มวลน้ำจะมีการเคลื่อนตัวช้าลงตามลำดับของระยะทาง ความแตกต่างในลักษณะการไหลของน้ำส่วนต่างๆ ในแม่น้ำที่ลดหลั่นกันลงมานั้น เสมือนการมีกรอบทางด้านอุทกวิทยาที่ทำให้แต่ละพื้นที่แม่น้ำมีลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และองค์ประกอบในชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกันไป การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้มีการวิเคราะห์พื้นที่และจัดแบ่งส่วนของแม่น้ำออกเป็นอย่างน้อย 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนบน (Upper reach) ส่วนกลาง (Middle reach) และส่วนล่าง (Lower reach) ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดการศึกษาวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบหรือกระบวนการที่เกี่ยวข้องในแต่ละส่วนอย่างจำเพาะและแยกกันออกไป แนวคิดในการจัดแบ่งส่วนนี้ ทำให้นักนิเวศวิทยาสามารถวิเคราะห์รูปแบบการแพร่กระจายและการตอบสนองตอบของสิ่งมีชีวิตในแต่ละส่วนได้อย่างชัดเจนขึ้น และทำให้สามารถกำหนดปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดซึ่งสะท้อนภาพการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตได้เหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพธรรมชาติในแต่ละส่วนพื้นที่ได้สะดวกขึ้น

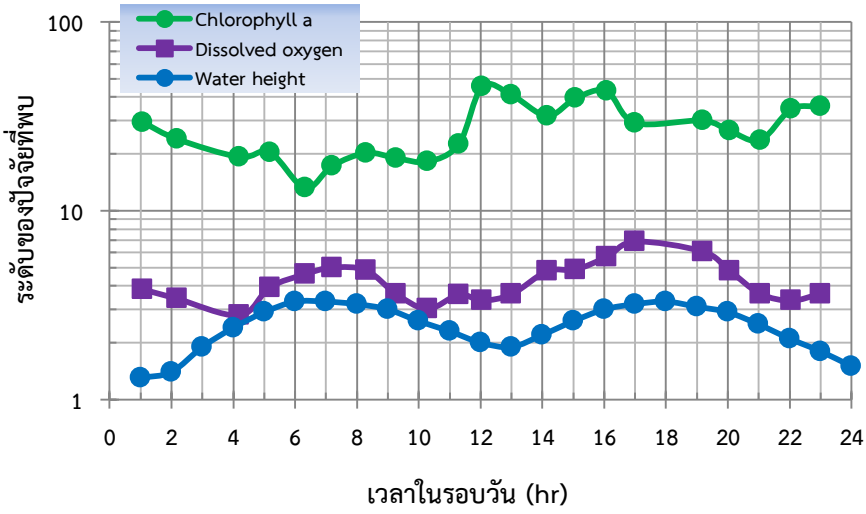
ในการนี้ หากพิจารณาถึงการเกิดของผลผลิตขั้นต้น ซึ่งเป็นการติดตามสถานการณ์ความเป็นอยู่ของแพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำ เราพบว่าปัจจัยด้านแร่ธาตุอาหารในน้ำโดยเฉพาะระดับของแอมโมเนียมไนโตรเจนและออร์โธฟอสเฟทฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อความเป็นอยู่ การเกิดทดแทนที่ หรือการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืช ในขณะที่ความเร็วของน้ำและปริมาณแสง (หรือความขุ่นของน้ำ) กลับเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อกลุ่มผู้ผลิตขั้นต้นประเภทพรรณไม้น้ำ ที่มีระบบรากและสามารถดึงเอาแร่ธาตุอาหารจากดินพื้นท้องน้ำขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้ และหากพิจารณาสิ่งมีชีวิตทางน้ำที่มีขนาดใหญ่ เช่น ปลาที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ปัจจัยด้านระดับของออกซิเจนละลายน้ำ ลักษณะทางนิเวศวิทยาของแหล่งที่อยู่อาศัย (Habitat) และความอุดมสมบูรณ์ของปริมาณอาหาร (Food source) จะจัดเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงในประชากร (ถึงแม้ว่าผลกระทบในการเปลี่ยนแปลงจะไม่เกิดเด่นชัดเท่ากับในพื้นที่แหล่งน้ำนิ่งที่มีขอบเขตของระบบที่จำกัดกว่าก็ตาม)

5.2.5) ความจำเพาะของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำในระบบนิเวศปากแม่น้ำ

ในระบบนิเวศปากแม่น้ำ ถึงแม้ว่าปัจจัยด้านออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำนับเป็นปัจจัยคุณภาพน้ำที่สำคัญและมีบทบาทต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำเช่นเดียวกับในพื้นที่เขตน้ำตกและแม่น้ำ อย่างไรก็ตาม การพิจารณาสถานภาพด้านความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตจากระดับของออกซิเจนละลายน้ำ นับเป็นเรื่องที่จำเป็นต้องพิจารณาอย่างรัดกุม ทั้งนี้ เนื่องจากในพื้นที่ปากแม่น้ำได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล มวลน้ำมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันสูงมาก โดยทั่วไปจึงมีระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่เปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง โดยอาจมีค่าต่ำถึง 0.5 mg/L ในตำแหน่งที่รับน้ำเสียจากแผ่นดินหรือหากเก็บตัวอย่างในช่วงน้ำลงเต็มที่ และอาจสูงได้มากกว่า 10 mg/L ในพื้นที่ปากแม่น้ำตอนนอกที่เกิดการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืช หรือทำการเก็บตัวอย่างในช่วงที่น้ำขึ้นเต็มที่และพาเอาปริมาณแพลงก์ตอนพืชจากเขตทะเลขึ้นมาสู่ตอนใน

ลักษณะการแปรผันตามเวลาในรอบวันของออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำส่วนใหญ่เกิดจากอิทธิพลจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช ทั้งนี้ เนื่องจากในพื้นที่ปากแม่น้ำมีแร่ธาตุอาหารที่พอเพียงต่อการเจริญเติบโต แพลงก์ตอนพืชจึงสามารถเจริญและมีการรวมกลุ่มกันอย่างหนาแน่นได้มาก จนบางครั้งเกิดสภาพที่สีของน้ำเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน ที่เรียกว่าปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Red tide) ในช่วงดังกล่าว ระดับของออกซิเจนละลายน้ำในช่วงเช้าและบ่ายอาจมีค่าแตกต่างกันได้สูงถึงประมาณ 4-5 mg/L โดยค่าสูงสุดของ ออกซิเจนละลายน้ำที่พบในช่วงบ่ายที่แสงแดดจัดมักมีค่าเกินระดับการอิ่มตัวในการละลายได้ของออกซิเจน ณ อุณหภูมิภาคสนามนั้นๆ ทั้งนี้พบว่าการละลายออกซิเจนอาจสูงได้ถึงประมาณ 120-180% ของระดับอิ่มตัว ดังกรณีที่พบในพื้นที่ที่เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีของ *Noctiluca scintillan* ในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน (จารุมาศและคณะ, 2557)

ในทางตรงกันข้ามกับการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนละลายน้ำในช่วงกลางวัน หากพิจารณาในช่วงกลางคืนที่ไม่มีแสงจะพบว่าระดับของออกซิเจนละลายน้ำถูกลดระดับได้อย่างมากในช่วงเวลากลางคืน การลดลงดังกล่าวเกิดจากกระบวนการหายใจของแพลงก์ตอนพืชที่มีหนาแน่น ในมวลน้ำเป็นหลัก และเกิดเป็นปัญหามากในพื้นที่ที่พบระดับของแพลงก์ตอนพืชที่หนาแน่นมากในช่วงการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี หรือในกรณีที่น้ำมีระดับของคลอโรฟิลล์เอสูงกว่า 20-30 µg/L



ภาพที่ 5.2 การเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a; µg/L) ระดับของออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen; mg/L) และระดับความสูงของน้ำ (Water height; m) ในเขตตอนกลาง (Middle reach estuary) ของพื้นที่ปากแม่น้ำอ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี *(สำรวจในช่วงวันที่ 10-11 ตุลาคม พ.ศ. 2554)*

ตัวอย่างการศึกษาติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับออกซิเจนละลายน้ำในรอบวันในพื้นที่ปากแม่น้ำบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี แสดงดัง **ภาพที่ 5-2** ทั้งนี้ บริเวณที่ศึกษาเป็นแนวปากแม่น้ำตอนกลาง (Middle reach estuary) ซึ่งรับอิทธิพลทั้งจากน้ำจืดที่ไหลลงมา จากการขึ้นลงของน้ำทะเล และการเปลี่ยนแปลงในระดับความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชที่ถูกพัดพาและหมุนเวียนในพื้นที่

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าธรรมชาติของพื้นที่ปากแม่น้ำแนวนี้มีความอุดมสมบูรณ์เฉลี่ยค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาจากค่าคลอโรฟิลล์เอที่พบในน้ำ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ทั้งระดับของคลอโรฟิลล์เอและออกซิเจนละลายน้ำมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันอย่างชัดเจน โดยค่าที่สูงสุดมีระดับสูงกว่าค่าต่ำสุดที่พบถึงประมาณ 2-3 เท่า

ข้อมูลความรู้ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการกำหนดแนวทางด้าน “ช่วงเวลา” ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำอย่างรอบคอบรัดกุม โดยต้องสามารถสะท้อนสภาพปัญหาในปัจจัยชี้วัดที่สนใจได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และสามารถเปรียบเทียบกันตามฤดูกาลต่างๆ ได้ ทั้งนี้ ในแต่ละฤดูกาลควรกำหนดตัวแทนที่ดีของช่วงเวลาที่มีคาบน้ำเดียวกัน และกำหนดสถานีศึกษาที่กระจายในแต่ละแนวของปากแม่น้ำ (จากแนวใน แนวกลาง และแนวนอก) อย่างครบถ้วน

ด้วยสภาวะที่พื้นที่ปากแม่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีของน้ำในช่วงกว้าง และการกระจายของทรัพยากรชีวภาพ โดยเฉพาะพวกที่เป็นแพลงก์ตอนจะได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำที่มีทั้งการพัดพาออกไปและวกกลับเข้ามา หรือมีการหมุนวนอยู่ในแต่ละเขตปากแม่น้ำในรูปแบบที่จำเพาะตามโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาและปริมาณน้ำจืดที่ผลักดันเข้าในเขตปากแม่น้ำนั้น การประเมินสถานการณ์ความเหมาะสมของปัจจัยแวดล้อมต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตจึงจำเป็นต้องพิจารณาสำหรับแต่ละเขตย่อยภายในปากแม่น้ำที่มีความแตกต่างกัน โดยอาศัยค่าเฉลี่ยในระดับของ “ความเค็มของน้ำ” มาเป็นกรอบในการจำแนกเขตย่อยที่มี (ดูรายละเอียดในบทที่ 4) ในการนี้จะพบว่าองค์ประกอบทางชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืช รวมทั้งสัตว์พื้นท้องน้ำชนิดต่าง ๆ ที่กระจายอยู่ในแต่ละเขตมักแตกต่างกันออกไป การจำแนกเป็นเขตย่อยดังกล่าวจะทำให้เราสามารถพิจารณาความเหมาะสมของปัจจัยหรือผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างจำเพาะเจาะจงกับชนิดของสิ่งมีชีวิตที่มีในแต่ละเขตย่อยนั้น

อนึ่ง จากลักษณะของการเปลี่ยนแปลงในระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่มีในช่วงกว้าง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในระดับของปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ (อาทิ ค่าความเค็ม และปริมาณตะกอนแขวนลอย) ที่มีตามธรรมชาติของพื้นที่ปากแม่น้ำก็มีช่วงกว้างเช่นเดียวกัน ลักษณะดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแต่ละเขตได้ดีจะมีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ ได้เป็นอย่างดีด้วย ด้วยเหตุดังกล่าวการประเมิน “ความเหมาะสม” หรือ “ผลกระทบ” ของปัจจัยแวดล้อมที่มีบทบาทต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ โดยการใช้เกณฑ์ที่กำหนดจากระดับของปัจจัย ณ ระดับหนึ่ง ๆ อาจไม่เหมาะสม เนื่องจากการตอบสนอง (ไม่ว่าจะเป็นทางลบหรือทางบวก) ของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่นั้นจะเกิดได้อย่างชัดเจนเมื่อระดับของปัจจัยที่มีผลกระทบได้เปลี่ยนแปลงไปจนพ้นขอบเขตหรือพิสัยของการเปลี่ยนแปลงที่มีอยู่เดิมเท่านั้น

ความรู้ความเข้าใจดังกล่าว จะทำให้เรามีแนวทางการพิจารณาจาก “ช่วงพิสัย” โดยกำหนดเกณฑ์เป็น “ค่าต่ำสุด” และ “ค่าสูงสุด” ที่ยอมให้มีได้สำหรับแต่ละเขตย่อยของพื้นที่ปากแม่น้ำแต่ละเขตแทน ทั้งนี้ การจำแนกพื้นที่ย่อยในเขตปากแม่น้ำ ควรจำแนกออกเป็นพื้นที่ตอนในพื้นที่ตอนกลาง และพื้นที่ตอนนอก หรืออาจเพิ่มพื้นที่ที่เป็นแนวร่องรับน้ำ หรือแนวที่เป็นดอนเลนเข้ามาประกอบ และทำการติดตามวิเคราะห์ช่วงของปัจจัยเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันและตามฤดูกาล เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจธรรมชาติของแต่ละเขตอย่างชัดเจนว่าปัจจัยที่สำคัญต่าง ๆ มีระดับพื้นฐาน (Based-line levels) ที่กระจายในช่วงเท่าใด มีการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติอย่างไร ทั้งนี้ เพื่อการนำข้อมูลความรู้ไปสู่การประเมินสถานภาพที่เป็นอยู่ และใช้เป็นแนวทางในการกำหนดเกณฑ์ต่ำสุดและสูงสุดที่ยอมให้มีได้ เพื่อประกอบการประเมินโอกาสในการเปลี่ยนแปลงจากผลกระทบที่จะเกิดขึ้นได้ต่อไป

ในภาพรวมของการประเมินสถานการณ์ด้านความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำนั้น การพิจารณาความเหมาะสมของปัจจัยคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำจากระดับของปัจจัยหลายประเภทมาประกอบกันจะส่งผลให้การประเมินรัดกุมยิ่งขึ้น **ตารางที่ 5.5** แสดงประเภทของปัจจัยสำคัญ 4 ประเภท (ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-เบส ปริมาณตะกอนแขวนลอย และอุณหภูมิของน้ำ) ที่นับว่ามีความสำคัญต่อสภาพความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำ ซึ่งแนวทางการประเมินสถานการณ์ด้านความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต สามารถจำแนกเพื่อความชัดเจนออกเป็น 4 ระดับสถานการณ์ คือ 1) สถานการณ์ที่เหมาะสม 2) สถานการณ์ที่ไม่เหมาะสมเล็กน้อย 3) สถานการณ์ที่ไม่เหมาะสมปานกลาง และ 4) สถานการณ์ที่ไม่เหมาะสมอย่างมาก ตามลำดับ

ในการพิจารณาปัจจัยด้านออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในพื้นที่ปากแม่น้ำ เราจำเป็นต้องกำหนดทั้งขอบเขตที่ระดับต่ำสุดและขอบเขตในทางตรงกันข้ามว่าควรมีค่าสูงสุดไม่เกินเท่าใด ทั้งนี้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดำรงชีวิตและการขยายพันธุ์ของทรัพยากรปลาในแหล่งน้ำโดยทั่วไปได้รับการศึกษาว่าควรมีค่าประมาณ 4 mg/L ขึ้นไป (Okada and Peterson, 2000) ดังนั้น หากระดับออกซิเจนละลายน้ำในแหล่งน้ำมีค่ามากกว่า 4 mg/L ขึ้นไป ย่อมแสดงว่าแหล่งน้ำมี “สถานการณ์ที่เหมาะสม” ต่อการดำรงชีวิต สำหรับสถานการณ์ที่ “ไม่เหมาะสม” นั้น ใช้แนวทางประเมินจากอิทธิพลที่ออกซิเจนละลายน้ำมีต่อการดำรงชีวิตและการขยายพันธุ์ของสัตว์น้ำธรรมชาติเป็นหลัก โดยการลดระดับของออกซิเจนละลายน้ำลงมาอยู่ในช่วง 2-3 mg/L นับว่าเป็นสถานการณ์ที่มีความกดดันปานกลาง ซึ่งสัตว์น้ำเกิดสภาวะความตึงเครียดได้ง่ายขึ้น ขณะที่หากออกซิเจนละลายน้ำลดลงต่ำกว่า 2 mg/L จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการหายใจ เกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม และมีผลกระทบต่อการพัฒนาการของไข่และระยะวัยอ่อนของสัตว์น้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นสถานการณ์ของแหล่งน้ำที่ไม่เหมาะสมมากขึ้นตามลำดับ

การพิจารณาด้านค่าสูงสุดที่ปัจจัยด้านออกซิเจนละลายน้ำควรมีไม่เกินเท่าใดมาช่วยประเมินสถานการณ์ของแหล่งน้ำนั้น เกิดจากกรณีที่ระดับของออกซิเจนละลายน้ำอาจมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเกินไปจากอิทธิพลของการสะพรั่งอย่างหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช (รวมทั้งผู้ผลิตขั้นต้นประเภทอื่นๆ ที่มีในแหล่งน้ำ) การสะพรั่งดังกล่าวเป็นภาพสะท้อนของสถานการณ์ปัญหาการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีที่มักพบในพื้นที่ปากแม่น้ำ (จารุมาศและคณะ 2556) ที่เราสามารถพบ

แพลงก์ตอนพืชที่หนาแน่นมากเกินไปและเป็นปัญหาต่อเนื่องไปยังระดับของออกซิเจนที่จะลดลงอย่างมากจากกระบวนการหายใจในช่วงเวลากลางคืนและเป็นปัญหาต่อสัตว์น้ำได้ ด้วยสภาพการณ์ดังกล่าว เราจำเป็นต้องมีขอบเขตสูงสุดของออกซิเจนละลายน้ำเพื่อใช้ประเมินความเป็นอยู่ของสัตว์น้ำที่มีเสถียรภาพ ในการนี้ การกำหนดขอบเขตสูงสุดของออกซิเจนละลายน้ำโดยเทียบเคียงกับค่าความอิ่มตัวในการละลายในน้ำ (% Saturation) ณ อุณหภูมิขณะศึกษาในพื้นที่ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถใช้ประเมินสถานการณ์ได้ ทั้งนี้ จากการศึกษาปัญหาคุณภาพน้ำและปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีที่พบในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนและปากแม่น้ำบางตะบูน (กาญจนา 2558; จารุมาศและคณะ 2552, 2554) พบว่าในช่วงของการเกิดปัญหาการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชอย่างหนาแน่นและพบการตายของสัตว์นั้น ระดับของออกซิเจนละลายน้ำมีค่า % Saturation สูงสุดถึงประมาณ 180-200% ซึ่งเป็นสภาวการณ์ที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (**ตารางที่ 5.5**)

ตารางที่ 5.5 แนวทางในการประเมินสถานการณ์ความเหมาะสมของปัจจัยคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ปากแม่น้ำ ณ เขตตอนกลาง (มีระดับความเค็มแปรผันอยู่ในช่วง 10-20 psu)

ปัจจัย	สถานการณ์ที่ “เหมาะสม”	ระดับของสถานการณ์ที่ “ไม่เหมาะสม”		
		เล็กน้อย	ปานกลาง	มาก
ออกซิเจนละลายน้ำ	> 4 mg/L (60-100%)	3-4 mg/L (100-120%)	2-3 mg/L (120-180%)	< 2 mg/L (>180%)
ความเป็นกรด-เบส	Nat_L หรือ 7.5-8.5	Nat_L ± 1.0 หรือ 8.5-9.0	Nat_L ± 1.5 หรือ 9.0-10.0	Nat_L ± 2.0 หรือ >10.0
ตะกอนแขวนลอย	Nat_L mg/L	Nat_L ± 50%	Nat_L ± 100%	Nat_L ± 200%
อุณหภูมิของน้ำ	Nat_L ^{o}C	Nat_L ± 2 ^{o}C	Nat_L ± 4 ^{o}C	Nat_L ± 6 ^{o}C

หมายเหตุ Nat_L หมายถึง ระดับตามธรรมชาติพื้นฐาน (Natural level) ที่พบในพื้นที่ที่ศึกษา

สำหรับปัจจัยด้านความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิของน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำจัดเป็นปัจจัยรองที่ไม่ก่อผลกระทบต่อการตายลงได้ชัดเจนเหมือนกับปัจจัยด้านออกซิเจนละลายน้ำ อย่างไรก็ตาม เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาโบลิซึมและปฏิกิริยาทางชีวเคมีของเซลล์สิ่งมีชีวิต สำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีความแปรผันของปัจจัยต่าง ๆ ในช่วงกว้าง การกำหนดระดับความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิของน้ำที่ตายตัวเพื่อประเมินสถานการณ์จึงไม่จำเป็น ในการนี้เรานิยมใช้เกณฑ์เทียบเคียงกับระดับตามธรรมชาติพื้นฐาน (Natural level; Nat_L **ตารางที่ 5.5**) ที่ปรากฏในสภาพพื้นที่นั้น และ/หรือใช้การเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของปัจจัยที่พบในแต่ละช่วงฤดูกาลสำหรับเขตพื้นที่ย่อยต่าง ๆ ในปากแม่น้ำมาเป็นแนวทางในการพิจารณา

สำหรับในพื้นที่ปากแม่น้ำของประเทศไทยนั้น สภาพการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-เบส (มีค่าสูงกว่า 9) มักพบได้บ่อยครั้งในช่วงที่แสงแดดจัดในบริเวณที่เกิดการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชอย่างหนาแน่น รวมทั้งในบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำที่มีการขึ้นปกคลุมโดยพรรณพืชใต้น้ำ (อาทิ สาหร่ายหรือหญ้าทะเล) พื้นที่ที่พบปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีอย่างรุนแรงมีค่าความเป็นกรด-เบสสูงถึงประมาณ 10 ในช่วงที่แดดจัดของรอบวัน (จารุมาศและคณะ, 2557) ค่าความเป็นกรด-เบสที่เปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลจากอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่สูงมากในพื้นที่ ซึ่งทำให้สารประกอบไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ที่มีสภาพเป็นกรดอ่อนในน้ำถูกดึงเข้าไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างมาก การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสที่เพิ่มสูงขึ้นมากนี้ จึงสะท้อนความหนาแน่นของผู้ผลิตขั้นต้นที่สูงเกินสมดุลของศักย์การควบคุมระดับกรด-เบส (Buffer system) ตามธรรมชาติที่มีของแหล่งน้ำ และแสดงให้เห็นว่าแหล่งน้ำอยู่ในสถานการณ์ที่ “ไม่เหมาะสม” (ดังแสดงระดับการประเมินใน **ตารางที่ 5.5**) ซึ่งปัญหาที่ตามมาจะเกิดในทำนองเดียวกันกับปัญหาด้านออกซิเจนละลายน้ำ โดยหากเป็นช่วงที่ไม่มีแสงเพียงพอหรือเข้าสู่ช่วงเวลากลางคืน พื้นที่แหล่งน้ำบริเวณที่เกิดการสะพรั่งดังกล่าวย่อมมีโอกาสเกิดสภาวะที่ออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำลงได้อย่างมาก เนื่องมาจากกระบวนการหายใจจากผู้ผลิตที่มีมากเหล่านั้นในช่วงที่ไม่มีแสง ซึ่งจะเป็นปัญหาต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพื้นที่นั้นได้

อนึ่ง สำหรับระดับอุณหภูมิของน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำซึ่งมีการแปรผันในรอบวันจากปริมาณความเข้มแสงที่สูงขึ้นในช่วงเวลาบ่ายถึงเย็น นับเป็นข้อควรระวังในการพิจารณาผลกระทบที่มีต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในด้านลักษณะการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความเป็นอยู่ รูปแบบการกินอาหาร ตลอดจนการเคลื่อนที่ขึ้นลงในมวลน้ำหรือในดินพื้นท้องน้ำเพื่อการปรับตัวให้เหมาะสมในแต่ละสภาวการณ์ อุณหภูมิของน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำทั่วไปมักแสดงความแตกต่างระหว่างช่วงกลางคืนและกลางวันได้ชัดเจนในช่วงปลายฤดูน้ำหลากถึงต้นฤดูแล้ง ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของน้ำในรอบวันสามารถผันแปรได้มากถึง 2-4 $^{\circ}$C ในวันที่น้ำมีการขึ้นลงน้อย (เป็นช่วงน้ำตาย; Neap tide) แต่หากเป็นช่วงวันที่น้ำเกิด (Spring tide) อุณหภูมิของน้ำในรอบวันก็จะแตกต่างกันน้อยกว่า (ซึ่งทั้งนี้ เกิดจากอิทธิพลในการเคลื่อนตัวและการผสมผสานของน้ำในแต่ละช่วงคาบน้ำ) อุณหภูมิของน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำยังมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลซึ่งเกิดจากอิทธิพลจากอุณหภูมิของอากาศ โดยในช่วงหน้าหนาวหรือช่วงปลายฤดูน้ำหลากถึงต้นฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์) อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยจะมีค่าต่ำกว่าในช่วงต้นฤดูน้ำหลากถึงกลางฤดูน้ำหลาก (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม) อยู่ประมาณ 2-3 $^{\circ}$C (กาญจนา, 2557)

การเปลี่ยนแปลงในทางบวก (การเพิ่มของอุณหภูมิน้ำ) ที่มากกว่า 2 $^{\circ}$C นับเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เหนี่ยวนำให้อัตราเมตาโบลิซึมในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ มีอัตราที่เพิ่มสูงขึ้นได้อย่างชัดเจน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงในทางลบ (การลดของอุณหภูมิน้ำ) ทำให้อัตราเมตาโบลิซึมคงที่หรือลดต่ำลง สำหรับในประเทศไทยเราซึ่งเป็นประเทศในเขตร้อนนั้นพบการลดของอุณหภูมิน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำจะไม่เด่นชัด ทำให้การประเมินผลกระทบจากอุณหภูมิในภาพรวมมักมุ่งเน้นการพิจารณาผลกระทบจากการเพิ่มของอุณหภูมิน้ำมากกว่า ในการนี้ การเพิ่มของอุณหภูมิน้ำจากระดับเฉลี่ยเดิมเพิ่มขึ้นเป็นช่วงละประมาณ 2 $^{\circ}$C จะทำให้เกิดการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ได้ชัดเจน (Giorgio

and Williams, 2005) ช่วงการเพิ่มของอุณหภูมิน้ำทีละ 2 °C ดังกล่าว นับว่าครอบคลุมระดับความแปรผันของอุณหภูมิน้ำที่มี (ทั้งตามรอบวันและตามฤดูกาล) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ลักษณะการเพิ่มนี้เพื่อประเมินสถานภาพด้านความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต ว่ายังเป็นปกติอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยตามธรรมชาติ (Natural level; Nat_L) ซึ่งจัดเป็นสถานการณ์ที่ “เหมาะสม” หรืออาจจะเริ่มแสดงสถานการณ์ที่ “ไม่เหมาะสม” อย่างไรบ้างซึ่งแปรผันตามระดับการเพิ่มของอุณหภูมิที่เป็นผลกระทบนั้น **(ตารางที่ 5.5**)

สำหรับการประเมินความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตจากระดับของตะกอนแขวนลอยที่พบในพื้นที่ปากแม่น้ำนั้น อาศัยความรู้ความเข้าใจธรรมชาติของพื้นที่ว่าโดยปกติมีระดับการกระจายของตะกอนแขวนลอยในเขตปากแม่น้ำตอนใน ตอนกลาง หรือตอนนอกเป็นอย่างไรมาเป็นพื้นฐาน งานศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าในพื้นที่ปากแม่น้ำตอนในสุดมักมีปริมาณตะกอนแขวนลอยมากกว่าในเขตตอนนอกอย่างชัดเจน ยกตัวอย่างในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนบริเวณตอนในที่รับน้ำลงมาจากการพัดพาของแม่น้ำท่าจีนที่มีกิจกรรมการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ตอนบนอย่างหลากหลาย พบปริมาณตะกอนแขวนลอยรวม (Total suspended solids; TSS) ที่สูงในระดับเฉลี่ยที่มากกว่า 70-80 mg/L โดยพบว่าค่า TSS นี้จะสูงขึ้นเกือบ 2 เท่าในช่วงกลางฤดูน้ำหลาก (จารุมาศและคณะ, 2557) ระดับ TSS ที่มีทำให้มีการพัดพาไปตามแนวร่องน้ำในขณะที่น้ำลง และมีการหมุนวนออกสองฝากของปากแม่น้ำเนื่องจากอิทธิพลของกระแสน้ำจากเขตทะเล ซึ่งรูปแบบการเคลื่อนตัวของน้ำที่จำเพาะนั้นทำให้พื้นที่ตอนกลางของปากแม่น้ำทางฝั่งตะวันออกและตะวันตกของร่องน้ำมีระดับของ TSS ที่ค่อนข้างสูงตามไปด้วย

ในเขตปากแม่น้ำตอนนอก (โดยเฉพาะเขตที่มีค่าความเค็มของน้ำในช่วงประมาณ 20-28 psu) ความเร็วของมวลน้ำจากแม่น้ำได้ลดลงเรื่อย ๆ กระแสน้ำมีความเร็วสุทธิที่ต่ำลงกว่าตอนในส่งผลให้ตะกอนเบาที่ถูกพัดพาลงมามีโอกาสตกลงและทับถมลงสู่พื้นท้องน้ำได้มากขึ้น น้ำในเขตตอนนอกจึงมักจะใสขึ้น มีความขุ่นน้อยลง ถึงแม้ว่าเรามักจะพบการสะพรั่งของกลุ่มแพลงก์ตอนพืชได้เป็นระยะ ๆ ในเขตตอนนอก แต่กลุ่มประชากรของแพลงก์ตอนพืชมักลอยตัวอยู่ในมวลน้ำชั้นบน (ในระดับที่มีความเข้มแสงพอเหมาะ) ไม่ได้กระจายไปทั่วทั้งมวลน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะที่แตกต่างจากตะกอนอินทรีย์อื่น ๆ ที่ถูกพัดพาลงมาในพื้นที่

ลักษณะปรากฏของตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ จึงมีความจำเพาะต่อเขตย่อยต่าง ๆ ของพื้นที่ปากแม่น้ำ ซึ่งย่อมส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในมวลน้ำที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากตะกอนแขวนลอยได้แตกต่างกันไป ด้วยเหตุดังกล่าว การประเมินสถานการณ์ความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ จาก “ระดับ” และ “การเปลี่ยนแปลง” จึงควรจำแนกการประเมินตามเขตพื้นที่ย่อยในปากแม่น้ำ ทั้งนี้ไม่ควรกำหนดค่าที่ตายตัว แต่ควรพิจารณาจากระดับธรรมชาติ (Natural level; Nat_L) ที่มี แล้วนำมาประเมินสถานการณ์ที่อาจไม่เหมาะสม ว่าอยู่ในระดับที่ ไม่เหมาะสมเล็กน้อย ไม่เหมาะสมปานกลาง หรือไม่เหมาะสมมาก จากการเปลี่ยนแปลงในการเพิ่มของปริมาณตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ ที่เพิ่มจากระดับเดิมประมาณ 50 %, 100 % และ 200 % ตามลำดับ (**ตารางที่ 5.5**)

5.3) การประเมินสถานการณ์ด้านความอุดมสมบูรณ์และกำลังผลิตของแหล่งน้ำ

5.3.1) ความสำคัญและความเป็นมาในการศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ

ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำและกำลังผลิตของแหล่งน้ำเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญต่อสถานภาพของทรัพยากรชีวภาพในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งรวมถึงการเกิดของทรัพยากรประมงที่มนุษย์เรานำมาใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีวิต การประเมินสถานการณ์ด้านความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำจากความรู้ความเข้าใจในระดับการเกิดของ “ผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำ” และความสัมพันธ์กับปัจจัยเหนี่ยวนำ (อาทิ ระดับของแร่ธาตุอาหารพืชในรูปของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) นั้น ได้รับความสนใจจากนักนิเวศวิทยามานาน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหาที่พบการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชที่มากเกินควรในพื้นที่แหล่งน้ำนิ่งในเขตน้ำจืด (ในส่วนของทะเลสาบ หนอง บึง หรืออ่างเก็บน้ำ) จนเป็นที่มาของการกำหนดจำกัดความเกี่ยวกับกระบวนการ “ยูโทรฟิเคชัน” (Eutrophication) ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับสภาพความอุดมสมบูรณ์ที่เพิ่มขึ้นของแหล่งน้ำ และส่งผลให้ระบบนิเวศแหล่งน้ำนั้น ๆ มีกำลังผลิตขั้นต้นที่เพิ่มมากขึ้นจากอิทธิพลของการกระตุ้นโดยแร่ธาตุอาหารพืชที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

การเพิ่มของแร่ธาตุอาหารลงสู่แหล่งน้ำสามารถเกิดได้เองจากกระบวนการทางธรรมชาติ (Natural causes) ซึ่งเป็นอิทธิพลจากลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาในพื้นที่แหล่งน้ำหนึ่ง ๆ ที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลา กระบวนการในการเพิ่มแร่ธาตุอาหารที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เรา (Cultural causes) นับว่าเป็นส่วนหลักที่สำคัญและมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบสิ่งแวดล้อมทางน้ำในระยะปัจจุบันเป็นอย่างยิ่ง การเปลี่ยนแปลงโดยรวมจะส่งผลต่อการปรับเปลี่ยนสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ (Trophic state) ที่ประเมินได้จากการมี “อาหาร” หรือ “ผลผลิตขั้นต้น” มากน้อยเพียงใดในแหล่งน้ำ ซึ่งสถานภาพดังกล่าว จะช่วยให้เราสามารถเข้าใจหรือเปรียบเทียบสถานการณ์ของแหล่งน้ำหนึ่ง ๆ กับแหล่งน้ำอื่น ๆ หรือประเมินลักษณะ และ/หรืออัตราในการเปลี่ยนแปลงสถานภาพนี้ตามเวลา เพื่อกำหนดแผนการด้านการอนุรักษ์ดูแลคุณภาพแหล่งน้ำ หรือบริหารจัดการการใช้ประโยชน์ในแหล่งน้ำอย่างสอดคล้องต่อศักยภาพตามธรรมชาติของพื้นที่ได้

การกำหนดระดับของสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ หรือ Trophic State สำหรับแหล่งน้ำนั้น นับว่ามีความจำเป็นสำหรับการประเมินผลกระทบจากมนุษย์ ในการศึกษาที่ผ่านมา มีการจัดจำแนกระดับความอุดมสมบูรณ์ออกเป็นอย่างน้อย 3 ระดับ ได้แก่ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Oligotrophic) ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (Mesotrophic) และความอุดมสมบูรณ์สูง (Eutrophic) โดยที่เน้นระดับของการที่ระบบนิเวศนั้นมี “Trophic” ซึ่งหมายถึง อาหาร (Food) ในแหล่งน้ำ ว่ามีอยู่ในระดับน้อย (Oligo-) ปานกลาง (Meso-) หรือมาก (Eu-) ซึ่งแนวคิดนี้เป็นที่นิยมในการใช้ประเมินสถานการณ์ของแหล่งน้ำนิ่งประเภททะเลสาบมานับทศวรรษแล้ว (Dodds, 2002) ทั้งนี้ การใช้แนวคิดดังกล่าวมาประเมินสถานการณ์สำหรับแหล่งน้ำไหลประเภทลำธาร แม่น้ำ รวมทั้งแหล่งน้ำใต้ดิน และเขตใกล้ทะเล ยังไม่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างชัดเจนนัก

นักชลธีวิทยาสมัยแรกเริ่ม ได้สังเกตความแตกต่างของกลุ่มแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ในเขตทะเลสาบที่มีแร่ธาตุอาหารอยู่สูงว่าต่างจากในพื้นที่ที่มีแร่ธาตุอาหารอยู่ต่ำ ซึ่งทำให้เกิดการริเริ่มการศึกษาเปรียบเทียบกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชว่ามีองค์ประกอบทางชนิดอย่างไร (Hutchinson, 1967) และพบว่าสามารถจำแนกทะเลสาบออกเป็นกลุ่มตามระดับความสมบูรณ์ได้ โดยบทบาทของแร่ธาตุอาหารที่มีต่อปริมาณแพลงก์ตอนพืช (มวลชีวภาพ) กำลังผลิต และคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องได้ถูกติดตามและวิเคราะห์ในความสัมพันธ์เชิงปริมาณหลังจากนั้นเป็นต้นมา

การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำในช่วงประมาณ 10 ปีที่ผ่านมานี้ นิยมใช้ปัจจัยพิจารณา 3 ด้าน ได้แก่ ลักษณะความใสของน้ำ ปริมาณมวลชีวภาพของแพลงก์ตอน (หรือพิจารณาจากระดับคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำ) และระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารมาเป็นปัจจัยชี้วัดสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปแหล่งน้ำที่จัดอยู่ในระดับความอุดมสมบูรณ์แบบ “Oligotrophic” มักมีมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชต่ำ (มีกำลังผลิตต่ำ) แร่ธาตุอาหารในน้ำมีน้อย น้ำใสมาก และแสงส่องลงไปได้ลึก ส่วนแหล่งน้ำที่เป็นแบบ “Eutrophic” จะมีแร่ธาตุอาหารสูง มักมีการสะพรั่งของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และมีความผันแปรของระดับออกซิเจนละลายน้ำที่พบในรอบวันได้สูง นอกจากนี้ ยังมักพบสภาวะการขาดออกซิเจนที่ชั้นน้ำระดับลึก (Hypolimnion) หรือบริเวณใกล้ผิวหน้าดินพื้นท้องน้ำ และยังมักพบปรากฏการณ์ที่สัตว์น้ำขาดออกซิเจนและตายลงได้ ทั้งนี้ ในกรณีที่แหล่งน้ำมีแร่ธาตุอาหารสูง แต่อยู่ในเขตตื้นและรับแสงแดดส่องถึงบริเวณพื้นท้องน้ำได้ดี แทนที่จะพบแพลงก์ตอนพืชในปริมาณมาก เราอาจสามารถพบพรรณไม้น้ำชนิดต่าง ๆ เจริญเติบโตขึ้นมาอย่างหนาแน่นแทนได้

5.3.2) ปัจจัยชี้วัดและการจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ

หลักการที่พัฒนามาแต่ดั้งเดิมโดย The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD, 1982) ในเบื้องต้นสามารถใช้จำแนกแหล่งน้ำนิ่ง ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Oligotrophic waters) แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (Mesotrophic waters) และแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (Eutrophic waters) ทั้งนี้ เป็นการจัดแบ่งประเภทจากระดับความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ (ในหน่วยของ µg/L) ที่มีโอกาสพบในแหล่งน้ำแต่ละประเภทที่แตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตาม ลักษณะการกระจายของระดับของคลอโรฟิลล์ที่ปรากฏในแหล่งน้ำแต่ละประเภทอาจแปรผันในช่วงกว้าง แหล่งน้ำที่ถูกจัดอยู่ในประเภท “eutrophic” บางแห่งก็พบค่าของคลอโรฟิลล์ไม่สูงมากนัก เนื่องจากอาจมีปัจจัยจำกัดด้านความเข้มแสง และในอีกทางหนึ่งระดับของคลอโรฟิลล์ที่พบค่าหนึ่ง ๆ อาจสะท้อนโอกาสการเป็นแหล่งน้ำได้ทั้งประเภท “eutrophic” หรือ “mesotrophic” ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยจำกัดอื่น ๆ ที่เป็นข้อจำกัดอยู่ในแหล่งน้ำนั้น

การจำแนกประเภทแหล่งน้ำตามระดับของความอุดมสมบูรณ์ดังกล่าว มักนิยมใช้ “เกณฑ์เชิงตัวเลข” สำหรับค่าของคลอโรฟิลล์ ความโปร่งแสง หรือปริมาณแร่ธาตุในรูปของฟอสฟอรัส มาประเมิน ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความชัดเจนและสะดวกในการประเมินที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน **ตารางที่ 5.6** แสดงระดับของปัจจัยสำคัญต่าง ๆ ที่ใช้จำแนกระดับความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำนิ่ง

เปรียบเทียบตามหลักเกณฑ์ของ OECD (1982) และจากงานศึกษาของ Nurnberg (1996) ทั้งนี้ มีการระบุค่าของปัจจัยสำคัญ ได้แก่ ระดับของฟอสฟอรัสรวม ไนโตรเจนรวม ค่าเฉลี่ยของคลอโรฟิลล์ และค่าเฉลี่ยของความโปร่งแสงของน้ำ พบว่าหลักเกณฑ์ที่ใช้อยู่ช่วงที่ใกล้เคียงกัน อาทิ ในแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (Eutrophic waters) กำหนดระดับของฟอสฟอรัสรวม ปริมาณคลอโรฟิลล์ และค่าความโปร่งแสงของน้ำอยู่ในช่วงประมาณ 30-100 µg/L, 8-25 µg/L และ 1-3 m ตามลำดับ

ในที่นี้พบว่า Nurnberg (1996) เน้นความสำคัญของปัจจัยอีก 2 ด้านที่เพิ่มเข้ามา ได้แก่ ระดับของไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) และอัตราการลดลงของออกซิเจน (Oxygen depletion rate) ที่มีในแหล่งน้ำ และแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มของฟอสฟอรัสรวมจากระดับต่ำกว่า 10 µg/L ประมาณ 2.3 เท่า และ 3-10 เท่า จะทำให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนสภาพความอุดมสมบูรณ์จากประเภท “Oligotrophic” เป็น “Mesotrophic” และ “Eutrophic” ได้ตามลำดับ

ตารางที่ 5.6 ค่าของปัจจัยทางด้านฟอสฟอรัส (Total phosphorus; Total P) ไนโตรเจน (Total nitrogen; Total N) คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll; Chl) และความโปร่งแสงของน้ำ (Secchi disc depth; Secchi) ที่ใช้สำหรับจำแนกประเภทของแหล่งน้ำนิ่งออกเป็นระดับความอุดมสมบูรณ์ต่าง ๆ จากระดับที่ต่ำมาก (Ultra-oligotrophic) ระดับต่ำ (Oligotrophic) ระดับปานกลาง (Mesotrophic) ระดับสูง (Eutrophic) และระดับสูงมาก (Hypertrophic) ตามลำดับ *(ที่มา: ปรับปรุงจาก Dodds, 2002)*

Parameters	Ultra-oligo trophic	Oligo- trophic	Meso- trophic	Eu- trophic	Hyper- trophic
OECD (1982)					
Total P (µg/L)	< 4	4-10	10-35	35-100	> 100
Mean Chl (µg/L)	< 1	1-2.5	2.5-8	8-25	> 25
Maximum Chl (µg/L)	> 2.5	2.5-8	8-25	25-75	> 75
Mean Secchi (m)	> 12	12-6	6-3	3-1.5	< 1.5
Nurnberg (1996)					
Total P (µg/L)	-	< 10	10-30	30-100	> 100
Total N (µg/L)	-	< 350	350-650	650-1,200	> 1,200
Mean Chl (µg/L)	-	< 3.5	3.5-9	9-25	> 25
Mean Secchi (m)	-	> 4	4-2	2-1	< 1
$O_{2(DR)}$*(mg/m^2/day)	-	< 250	250-400	400-550	> 550

* $O_{2(DR)}$= Oxygen depletion rate

ในบางพื้นที่แหล่งน้ำเราอาจพบความไม่สอดคล้องกับปัจจัยที่พบ อาทิ อาจพบค่าของฟอสฟอรัสที่สูงจนอยู่ในระดับ “Eutrophic” ได้ แต่กลับพบว่าปริมาณแพลงก์ตอนพืช (หรือ

คลอโรฟิลล์) มีค่าต่ำ ลักษณะดังกล่าวเกิดเนื่องจากผลกระทบของปัจจัยร่วมอื่น อาทิ การมีตะกอนแขวนลอยในน้ำมาก ที่ทำให้เกิดข้อจำกัดด้านปริมาณแสงที่ส่องผ่านลงไป หรือในบางกรณีอาจพบว่าแหล่งน้ำระดับ “Eutrophic” มีมวลชีวภาพของผู้ผลิตขั้นต้นจำพวกพรรณไม้น้ำที่สูงมาก แต่น้ำกลับใส มีแพลงก์ตอนพืชต่ำ และมีระดับของแร่ธาตุอาหารในน้ำต่ำได้ (Brenner *et al.,* 1999)

5.3.2.1) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมและความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่แม่น้ำลำธาร

เมื่อพิจารณาแหล่งน้ำประเภทลำธารหรือแม่น้ำที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก จะพบว่าในพื้นที่ที่มีลักษณะการไหลของน้ำที่แรง การเกิดหรือความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำมักมีระดับที่ต่ำลง และมักพบผู้ผลิตขั้นต้นในกลุ่มสาหร่ายและ/หรือพรรณไม้น้ำอื่น ๆ ที่มีส่วนยึดเกาะกับพื้นท้องน้ำได้มากกว่าการพบปริมาณของแพลงก์ตอนพืช ด้วยเหตุดังกล่าว การประยุกต์ใช้ระดับของคลอโรฟิลล์ในน้ำจึงมีข้อจำกัดและอาจไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง ในการนี้ มีการเสนอแนะให้ใช้ระดับของแร่ธาตุอาหารในรูปฟอสฟอรัสหรือไนโตรเจนที่มีในมวลน้ำมาเป็นตัวชี้วัด หรือใช้การพิจารณาจากความหนาแน่นของสาหร่ายที่ขึ้นบริเวณพื้นท้องน้ำ รวมทั้งสาหร่ายหรือซากพรรณพืชใต้น้ำที่ถูกพัดพาขึ้นมาโดยอิทธิพลของกระแสน้ำที่กระแทกกระทั้นเป็นบางช่วงเข้ามาช่วยประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ในเบื้องต้นได้

ในแม่น้ำทั่วไปยังมีผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วมหลากในบางฤดูกาลที่ทำให้น้ำมีความขุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้ ในพื้นที่แม่น้ำลำธาร (โดยเฉพาะในเขตป่าต้นน้ำ) ที่บริเวณขอบตลิ่งมักพบร่มเงาของต้นไม้ขนาดใหญ่มาบดบังปริมาณแสงที่จะตกกระทบลำน้ำ ความอุดมสมบูรณ์ที่ประเมินจากมวลชีวภาพของสาหร่ายที่ยึดเกาะบริเวณพื้นผิวใต้น้ำจึงอาจมีข้อจำกัด และพบว่ามวลชีวภาพของสาหร่ายในพื้นที่ลำธารมักไม่แปรผันตามปริมาณแร่ธาตุอาหารที่มีในบริเวณนั้น ๆ โดยมวลชีวภาพมีความแปรปรวนตามพื้นที่ย่อยเขตต่าง ๆ และเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปีได้สูงมาก การที่พื้นที่ลำธารและแม่น้ำขนาดเล็กส่วนใหญ่มีระบบการเกิดผลผลิตภายในห่วงโซ่อาหารที่พัฒนาจากอินทรีย์สารซึ่งถูกพัดพาลงมาจากบริเวณโดยรอบมากกว่าจากการผลิตของผู้ผลิตขั้นต้นอย่างแพลงก์ตอนพืชหรือสาหร่ายในน้ำ การติดตามระบบนิเวศและ/หรือการประเมินการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากมวลชีวภาพของสาหร่ายหรือแพลงก์ตอน จึงมักไม่สำคัญต่อสภาพ “ความอุดมสมบูรณ์” ในภาพรวมของแหล่งน้ำเท่ากับบทบาทจากระดับของอินทรีย์สารที่พัดพามาจากภายนอกเข้าสู่ระบบ

อนึ่ง ในการศึกษาลำธารในประเทศเขตอบอุ่น Dodds *et al*. (1998) ได้เสนอแนวทางการจำแนกระดับความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ลำธารจากการพิจารณาค่าคลอโรฟิลล์ที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นท้องน้ำ (Benthic chlorophyll; ในหน่วยของ mg/m^2) โดยเสนอว่าระดับคลอโรฟิลล์พื้นท้องน้ำที่ต่ำกว่า 20 mg/m^2 แสดงสภาพแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Oligotrophic stream) ขณะที่หากระดับคลอโรฟิลล์พื้นท้องน้ำมีค่าสูงกว่า 70 mg/m^2 จะแสดงสภาพของแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (Eutrophic stream) ทั้งนี้ การจำแนกดังกล่าวไม่เหมาะสำหรับแหล่งน้ำลำธารที่มีพรรณไม้น้ำเกิดขึ้นหนาแน่นหรือเป็นผู้ผลิตขั้นต้นชนิดหลักในระบบนิเวศนั้น

5.3.2.2) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมและความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำเขตชายฝั่ง

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแร่ธาตุอาหารเป็นปัจจัยต้นที่สำคัญมากต่อการเกิดของผลผลิตขั้นต้นซึ่งสะท้อนสภาพความอุดมสมบูรณ์ในแหล่งน้ำเขตชายฝั่ง อย่างไรก็ตามระดับที่ปรากฏของแร่ธาตุอาหารไม่ใช่เป็นปัจจัยเดียวที่มีบทบาทต่อระดับความเข้มข้นของมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช (ปริมาณคลอโรฟิลล์) ที่พบในแหล่งน้ำ งานวิจัยของ Dugdale (1967) ชี้ให้เห็นว่าการดึงแร่ธาตุในรูปไนโตรเจนเข้าไปใช้ในเซลล์และการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชเกิดขึ้นตามลักษณะความสัมพันธ์ที่จำเพาะ (Michaelis-Menten Equation) ซึ่งไม่ใช่ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ผลการวิจัยดังกล่าวทำให้เราตระหนักว่าการแสดงออกถึงผลผลิตหรือการเกิดของห่วงโซ่อาหารในขั้นที่สูงขึ้นไปย่อมมีข้อจำกัดหรือมีการแปรเปลี่ยนตามอิทธิพลของปัจจัยต้นหลายปัจจัย ทั้งนี้ สามารถแปรผันตามเวลาและฤดูกาลได้

ตารางที่ 5.7 แสดงให้เห็นผลจากการศึกษาของ Ignatiades *et al*. (1992) ที่นำข้อมูลการกระจายของระดับแร่ธาตุอาหารในกลุ่มพื้นที่ 3 กลุ่มหลักในเขตชายฝั่งซึ่งสะท้อนความเป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (พื้นที่เขตชายฝั่งบริเวณอ่าว Saronikos) ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (พื้นที่เขตนอกฝั่งของอ่าว Saronikos) และความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (พื้นที่เขตนอกฝั่งที่ไกลออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของทะเล Aegean) และทำการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลสิ่งแวดล้อม 5 ด้านหลัก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของปัจจัยที่พบในเขตที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงมีค่าฟอสเฟทฟอสฟอรัสประมาณ 0.34 μM มีค่าไนไตร์ทไนไตรทไนโตรเจนประมาณ 0.53 μM และมีค่าแอมโมเนียมไนโตรเจนประมาณ 1.15 μM ระดับที่พบดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเพาะของพื้นที่บริเวณนั้นซึ่งมีระดับแร่ธาตุอาหารพื้นฐานที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับพื้นที่เขตชายฝั่งทะเลของประเทศไทย โดยหากพิจารณาตามเกณฑ์ระดับของแร่ธาตุอาหารจากการกำหนดข้างต้นจะพบว่าในประเทศเรามีระดับระดับแร่ธาตุอาหารอยู่ในระดับที่สูงมาก โดยสูงกว่าอ่าว Saronikos ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงถึงประมาณ 2-10 เท่า

ตารางที่ 5.7 ระดับของแร่ธาตุอาหารประเภทฟอสเฟทฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}-P; μM) ไนไตร์ทไนไตรทไนโตรเจน (NO_3^-+NO_2^--N; μM) และแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N; μM) ที่ใช้เป็นแนวทางจำแนกประเภทความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำชายฝั่งบริเวณอ่าว Saronikos ในเขตสหภาพยุโรป *(ที่มา: ปรับปรุงจาก Ignatiades et al., 1992)*

Nutrient Types	Oligotrophic waters	Mesotrophic waters	Eutrophic waters
PO_4^{3-}-P	0.02	0.09	0.34
NO_3^-+NO_2^--N	0.21	0.33	0.53
NH_4^+-N	0.36	0.84	1.15

การใช้ระดับของแร่ธาตุอาหารเป็นแนวทางนั้น ยังมีลักษณะของการประยุกต์ใช้ค่าเฉลี่ยรายปี (Annual average; OECD, 1982) รวมทั้งการใช้ค่าเฉลี่ยตามฤดูกาล (Seasonal average; OSPAR, 2003) มาเทียบเคียง ทั้งนี้ OECD (1982) ได้เสนอว่าระดับของฟอสฟอรัสรวมที่มากกว่า 35 µg/L เป็นระดับที่ระบบนิเวศจะปรับเปลี่ยนจากสภาวการณ์ที่มีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลางไปเป็นสภาวการณ์ที่มีความอุดมสมบูรณ์ระดับสูง ในขณะที่ OSPAR (2003) เสนอการใช้ระดับของฟอสฟอรัสรวมที่มากกว่า 0.8 µM (หรือ > 76 µg/L) เป็นระดับที่จะเปลี่ยนไปสู่สภาวการณ์ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงดังกล่าว

ในระยะถัดมา Karydis (2005) ได้เสนอแนวทางการประเมินสถานภาพแหล่งน้ำเชิงนิเวศวิทยา โดยจัดแบ่งสถานการณ์ของระบบนิเวศออกเป็น 5 ช่วงชั้น ได้แก่ ระดับดีมาก (High condition) ระดับดี (Good condition) ระดับปานกลาง (Moderate condition) ระดับเริ่มเสื่อมโทรม (Poor condition) และระดับที่เสื่อมโทรมมาก (Bad condition) โดยอาศัยเกณฑ์ตาม **ตารางที่ 5.8**

ตารางที่ 5.8 ระดับของแร่ธาตุอาหารรูปฟอสเฟทฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}-P; µM) ไนไตร์ทไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^-+NO_2^--N; µM) และแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N; µM) ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดแบ่งช่วงชั้นของคุณภาพน้ำทางนิเวศวิทยาสำหรับเขตชายฝั่งทะเล ออกเป็นระดับ ดีถึงดีมาก (High-good condition) ระดับปานกลางถึงดี (Good-moderate condition) ระดับเริ่มเสื่อมโทรมถึงปานกลาง (Moderate-poor condition) และระดับเริ่มเสื่อมโทรมถึงเสื่อมโทรมมาก (Poor-bad condition) ตามลำดับ *(ที่มา: ปรับปรุงจาก Karydis, 2005)*

Factors	Ecological Quality Classes			
	High-good condition	Good-moderate condition	Moderate-poor condition	Poor-bad condition
PO_4^{3-}-P	0.4	0.8	1.4	2.8
NO_2^-+NO_3^--N	5	10	20	40
NH_4^+-N	1	2	4	8

ใน **ตารางที่ 5.8** เป็นการใช้แนวทางในการแบ่งจากระดับของแร่ธาตุอาหารในกลุ่มของฟอสเฟทฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}-P) ไนไตร์ทไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^-+NO_2^- -N) และแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) ที่คล้ายคลึงแบบเดิม แต่มีข้อสังเกตว่าแนวทางนี้ใช้เกณฑ์ของแต่ละปัจจัยที่สูงขึ้นกว่าเดิมอย่างน้อย 4 เท่าขึ้นไป ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระดับความอุดมสมบูรณ์สูงที่แสดงใน **ตารางที่ 5.7** แล้ว พบว่าระดับของแร่ธาตุอาหารในเกณฑ์นี้ทำให้สามารถประเมินว่าแหล่งน้ำอยู่ในสถานการณ์ที่คุณภาพน้ำเข้าระยะเริ่มเสื่อมโทรม (**ตารางที่ 5.8**; Poor condition) ซึ่งลักษณะการ

ใช้เกณฑ์ที่แตกต่างกันนี้ แสดงให้เห็นถึงความจำเพาะของการกำหนดเกณฑ์ที่ใช้ว่าควรมีระดับที่เหมาะสมกับแต่ละสภาพพื้นที่ นอกจากนี้ ยังควรคำนึงถึงโอกาสในการที่ปัจจัยหลักต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือตามฤดูกาลมาประกอบด้วย

สำหรับการประเมินสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำโดยใช้การพิจารณาจากปริมาณแร่ธาตุอาหาร “ที่ได้รับ” เข้าสู่พื้นที่ประกอบด้วยนั้น Karydis *et al*. (1983) เสนอสมการเพื่อประเมินระดับยูโทรฟิเคชัน ที่เรียกว่า Nutrient Eutrophication Index (I) จากความสัมพันธ์ของ log ของความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารหนึ่งๆ ที่ได้รับ (C) และความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารนั้นที่เหลืออยู่ในแหล่งน้ำ (x) ในแต่ละตำแหน่งซึ่งมีจำนวนสถานีศึกษาเท่ากับ A ตำแหน่ง ดังสมการ

$$I = \frac{C}{C - \log X} + \log A$$

ทั้งนี้ สำหรับการใช้สมการที่ (1) ในการจำแนกประเภทแหล่งน้ำ ในกรณีที่ปัจจัยแร่ธาตุอาหารที่พิจารณาเป็นฟอสเฟตฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}-P) หรือไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) แล้ว ค่าดัชนี I ที่คำนวณได้ที่ประมาณ 4 จะแสดงว่าแหล่งน้ำนั้นอยู่ในสถานการณ์ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงหรือค่อนข้างสูง แต่ในกรณีที่ปัจจัยแร่ธาตุอาหารที่พิจารณาเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ค่าดัชนี I ที่แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นอยู่ในสถานการณ์ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงควรมีค่าที่คำนวณได้ตั้งแต่ 5 ขึ้นไป

5.3.3) ดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำที่สำคัญ

จากการประมวลผลการศึกษาที่ผ่านมาได้ผลสรุปด้านแนวคิดสำหรับการกำหนดดัชนีชี้วัดเพื่อใช้ประเมินสถานภาพด้านความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ โดยดัชนีที่ดีควรมีศักยภาพในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) เป็นดัชนีที่สามารถสะท้อนระดับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มของ “แร่ธาตุอาหาร” ในน้ำ (ไม่ใช่ผลจากปัจจัยด้านอื่น) ที่มีต่อผู้ผลิตขั้นต้น โดยทำให้เห็นภาพตามปริมาณการได้รับและ/หรือสะท้อนการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลหรือตามสภาวะทางภูมิอากาศในช่วงเวลาที่ชัดเจนได้

2) เป็นดัชนีที่มีศักยภาพในการชี้วัด หรือ มี “Sensitivity” ที่ดีพอ ซึ่งทำให้เราสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากผลกระทบได้ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลเพื่อการจัดทำระบบการแจ้งเตือนล่วงหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) เป็นดัชนีที่เป็นสากลหรือสามารถใช้ได้เหมือนกันในหลายภูมิภาคทั่วโลก เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างแหล่งน้ำหรือระหว่างประเทศต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดความเข้าใจรวมกันและวางนโยบายในการบริหารจัดการร่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

4) เป็นดัชนีที่ใช้ได้ง่ายหรือสามารถได้ข้อมูลและวิเคราะห์ผลได้ไม่ยากเกินไป และเหมาะสมสำหรับการศึกษาติดตามในระยะยาวผ่านแต่ละรุ่นของนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งนับว่ามีความจำเป็นสำหรับการวางแผนศึกษารวมทั้งการกำหนดมาตรการในการควบคุมดูแลแหล่งน้ำในระยะยาวได้ต่อไป

ในการนี้ ดัชนีที่มีการศึกษากันมามากและเป็นดัชนีที่ได้รับการยอมรับว่ามีศักยภาพในการใช้ประเมินสถานภาพด้านความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ มีดังนี้

5.3.3.1) แร่ธาตุอาหาร

สัดส่วนของแร่ธาตุอาหารที่พิจารณาในลักษณะสัดส่วนจำนวนอะตอมของแร่ธาตุชนิดหลักนับเป็นอีกดัชนีหนึ่งที่น่าสนใจและสามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์เพื่อประเมินโอกาสในการเจริญเติบโตรวมทั้งประเมินด้านข้อจำกัดในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชได้ แนวคิดในการใช้สัดส่วนจำนวนอะตอมของแร่ธาตุชนิดหลัก เกิดจากงานศึกษาวิจัยของ Parsons *et al*. (1984) ที่แสดงให้เห็นว่าจากการที่สัดส่วนจำนวนอะตอมของแร่ธาตุหลัก ได้แก่ ออกซิเจน คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (O : C : N : P) ที่พบในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชมีค่าเท่ากับ 276 : 106 : 16 : 1 (Redfield Ratio; Redfield *et al*., 1963)

เมื่อเราพิจารณาสัดส่วนอะตอมของแร่ธาตุอาหารสำคัญที่แพลงก์ตอนพืชต้องการ คือ ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) แล้ว ในแหล่งน้ำที่มีค่า N : P ประมาณ 16 : 1 จัดเป็นสภาวะที่ประชากรของแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และ/หรือแหล่งน้ำมีความอุดมสมบูรณ์สูง ซึ่งค่า N : P ที่เท่ากับ 16 : 1 นี้ สามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงเพื่อการเปรียบเทียบสถานภาพระหว่างแหล่งน้ำ หรือใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะด้านแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำหนึ่ง ๆ ตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ หากพบสัดส่วนของ N : P ลดลงต่ำกว่า 16 แสดงว่าแหล่งน้ำขณะนั้นมีสภาวะที่ไนโตรเจนในแหล่งน้ำมีระดับต่ำ ซึ่งไนโตรเจนมีโอกาสเป็นปัจจัยที่จำกัดการเพิ่มประชากรของแพลงก์ตอนพืชในน้ำ ในทางตรงกันข้ามหากสัดส่วนของ N : P เพิ่มมากขึ้น สูงกว่า 16 ก็สะท้อนให้เห็นว่าแหล่งน้ำขณะนั้นมีสภาวะที่ฟอสฟอรัสลดต่ำลง และฟอสฟอรัสจะมีโอกาสเป็นปัจจัยจำกัดในการเพิ่มประชากรของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ ซึ่งทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำต่ำลงได้

รายงานการศึกษาวิจัยในระยะต่อมาของ Pavlidou and Georgopoulos (2001) ได้มีการประยุกต์ใช้สัดส่วนของ DIN : P ซึ่งเป็นสารละลายอนินทรีย์ไนโตรเจนรวม (Dissolved inorganic nitrogen; DIN) เปรียบเทียบกับสารละลายอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Dissolved inorganic phosphorus; P) และมีการใช้สัดส่วนของซิลิกอน (Si) ได้แก่ Si : DIN และ Si : P มาร่วมในการประเมินผลกระทบของน้ำที่ไหลลงมาจากแม่น้ำต่อสถานภาพของแร่ธาตุอาหารในพื้นที่เขตทะเลใกล้เคียงอีกด้วย

5.3.3.2) คลอโรฟิลล์

ในทำนองเดียวกันกับการประยุกต์ใช้ดัชนีด้านปริมาณแร่ธาตุอาหาร การกำหนดเกณฑ์ของค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในพื้นที่แหล่งน้ำก็สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ระดับพื้นฐานและจัดกลุ่มข้อมูลจากระดับความเข้มข้นที่น้อยที่สุด (ในเขตทะเลที่เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ) จนกระทั่งถึงระดับความเข้มข้นที่สูงที่สุด (ในเขตใกล้ฝั่งหรือปากแม่น้ำ ซึ่งรับน้ำที่มีแร่ธาตุอาหารสูงมาจากเขตแผ่นดิน) ยกตัวอย่างเช่นในการศึกษาของ Karydis (2009) สำหรับแหล่งน้ำในเขตทะเล

เมดิเตอร์เรเนียน พบว่าค่าเฉลี่ยของคลอโรฟิลล์จากระดับต่ำไปสูงที่จัดแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ในช่วง 0.16-0.37 µg/L, 0.45-0.61 µg/L, และ 1.16-1.84 µg/L สะท้อนสภาวะของแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ที่ต่ำกว่า มีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลาง และมีความอุดมสมบูรณ์ที่สูงกว่า ในเชิงการเปรียบเทียบสำหรับพื้นที่ในภาพรวมที่พิจารณา ตามลำดับ

ในช่วงก่อนหน้านั้น OECD (1982) ได้เสนอระดับเฉลี่ยสูงสุดของคลอโรฟิลล์ที่ประมาณ 8 µg/L ที่สามารถแสดงสภาวะที่แหล่งน้ำเปลี่ยนสถานภาพเข้าสู่สถานการณ์ยูโทรฟิเคชัน ขณะที่ CSTT (1994) เสนอระดับสูงสุดของคลอโรฟิลล์ในช่วงฤดูร้อนในระดับที่ใกล้เคียงกัน (> 10 µg/L) ซึ่งแสดงสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันได้ หลังจากนั้นมีการศึกษาของ Karydis (1999) ในการใช้คลอโรฟิลล์เป็นเกณฑ์ในแถบ Greek Seas และมีการพัฒนาต่อโดย Simboura *et al.* (2005) เพื่อการกำหนดสถานการณ์คุณภาพน้ำให้ชัดเจน ซึ่งภายหลังมีการเสนอช่วงค่าของคลอโรฟิลล์สำหรับแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดีมากจนถึงแหล่งน้ำที่เสื่อมโทรมมาก โดยกำหนดช่วงของคลอโรฟิลล์เท่ากับ < 0.1 µg/L, 0.1-0.4 µg/L, 0.4-0.6 µg/L, 0.6-2.21 µg/L, และ > 2.21 µg/L เป็นแหล่งน้ำที่คุณภาพดีมาก คุณภาพดี คุณภาพปานกลาง คุณภาพเริ่มเสื่อมโทรม และคุณภาพที่เสื่อมโทรมมาก ตามลำดับ

ระดับของคลอโรฟิลล์ดังกล่าว นับเป็นดัชนีชี้วัดสถานภาพความอุดมสมบูรณ์และคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม ด้วยเหตุที่แต่ละกลุ่มแหล่งน้ำ (โดยเฉพาะในแต่ละภูมิภาคมีความแตกต่างกันจากอิทธิพลของลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยา อุทกวิทยา อุตุนิยมวิทยา และการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ ฯลฯ การนำเกณฑ์เชิงระดับโดยการอ้างอิงมาใช้โดยตรงจึงมักไม่เหมาะสมกับพื้นที่ที่สนใจ แนวคิดในเชิงอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับคลอโรฟิลล์ในช่วงต่าง ๆ ตามระดับความอุดมสมบูรณ์และสภาวการณ์ในแหล่งน้ำนับเป็นเรื่องที่นำมาประยุกต์ใช้ได้

จากแนวคิดดังกล่าว เราจะพบว่าการเพิ่มของคลอโรฟิลล์จากระดับต่ำสุดในแต่ละเขตพื้นที่ขึ้นประมาณ 6 เท่า จะสะท้อนสภาวะของแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงมากจนถึงการเข้าสู่สถานการณ์ที่เริ่มเสื่อมโทรมลง ซึ่งเมื่อเทียบกับสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันของแหล่งน้ำทั่วไปที่พบ จะเห็นได้ว่าระดับของคลอโรฟิลล์เพิ่มสูงขึ้นจากระดับพื้นฐานไปประมาณ 20 เท่า แสดงสภาวะที่แหล่งน้ำนั้นอยู่ในสถานการณ์ที่เสื่อมโทรมมากหรือเกิดสภาวะยูโทรฟิเคชันอย่างรุนแรงได้

อนึ่ง การพิจารณาสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำจากระดับความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชนั้น ยังไม่มีรายงานการศึกษาวิจัยที่ชัดเจน มีการใช้ระดับความหนาแน่นเพื่ออธิบายการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนพืชตามพื้นที่ได้ Kitsiou and Karydis (2002) พบว่าระดับความหนาแน่นในช่วง < 6 x 10^3 cells/L แสดงสถานการณ์ของแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขณะที่ความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นประมาณ 100 เท่า ในช่วง 6 x 10^3 – 1.5x10^5 cells/L และระดับที่มากกว่า 1.5 x 10^5 cells/L แสดงสถานการณ์ของแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางและความอุดมสมบูรณ์สูง ตามลำดับ ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นการเพิ่มจำนวนเซลล์จากระดับพื้นฐานขึ้นมาทีละประมาณ 100 เท่า ต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความอุดมสมบูรณ์ในแต่ละช่วงชั้นของแหล่งน้ำ

5.3.3.3) ความโปร่งแสงของน้ำ

ปัจจัยทางด้านความโปร่งแสงของน้ำ (Transparency) ซึ่งวัดโดยการหย่อนแผ่น Secchi disc ลงไปในน้ำแล้วตรวจดูระยะความลึก (Secchi disc depth) ที่ยังมองเห็นได้นั้น นับว่าเป็นปัจจัยที่ทำการตรวจวัดได้ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำในการศึกษาติดตามสถานการณ์คุณภาพน้ำ ในการศึกษาสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ การใช้ Secchi disc วัดจะเหมาะกับพื้นที่ทะเลทางตอนนอกฝั่งที่น้ำค่อนข้างใสจนถึงเขตที่น้ำใสมาก เนื่องจากจะสามารถประเมินหรือเปรียบเทียบความอุดมสมบูรณ์ที่เกิดจากการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชได้ชัดเจน อย่างไรก็ตาม การใช้ Secchi disc วัดในพื้นที่ใกล้ฝั่งหรือเขตปากแม่น้ำตอนในที่มีโอกาสรับมวลน้ำที่มีความขุ่นสูง ซึ่งเป็นความขุ่นที่เกิดจากตะกอนดินโคลนที่ถูกกัดเซาะมา หรือตะกอนพื้นท้องน้ำรวมทั้งซากอินทรีย์สารต่าง ๆ ที่ฟุ้งกระจายขึ้นมาช่วงที่มวลน้ำเคลื่อนตัวรุนแรง ค่า Secchi disc depth ที่ได้ จะเกิดจากผลกระทบจากตะกอนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งไม่ใช่ความขุ่นที่เกิดจากผลผลิตของแพลงก์ตอนพืชที่มีในน้ำ ทำให้การประเมินความอุดมสมบูรณ์ในพื้นที่นั้นเกิดความคลาดเคลื่อนหรือไม่ถูกต้องได้

Ignatiades *et al*. (1995) แสดงข้อมูลแจกแจงระดับความลึกของ Secchi disc depth ที่วัดในเขตทะเลเมดิเตอร์เรเนียนออกเป็น 3 ช่วง ซึ่งแสดงความโปร่งแสงของน้ำจากช่วงที่มีค่ามากไปยังช่วงที่มีค่าน้อย ได้แก่ 20-40 m, 10-20 m, และน้อยกว่า 10 m โดยจำแนกพื้นที่ในเขตที่พบค่านั้นๆ ว่าเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ที่ต่ำ มีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลาง และมีความอุดมสมบูรณ์สูง ตามลำดับ นอกจากความพยายามในการใช้ค่าความโปร่งแสงของน้ำแล้ว ยังมีงานศึกษาต่อมาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่เป็นการตรวจวัดความเข้มของแสงที่ส่องผ่านลงไปในน้ำแล้วทำการประเมินช่วงความลึกของน้ำที่มีความเข้มแสงลดลงเหลือแค่ประมาณ 1% ของระดับที่ตกกระทบผิวน้ำมาใช้พิจารณา (Ignatiades, 2005) ระดับความลึกดังกล่าว เรียกว่า “Compensation depth” ในหน่วยของ “m” โดยมีเกณฑ์เบื้องต้นว่าหาก Compensation depth มีค่า > 15 m จะแสดงสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ในระดับต่ำ (Oligotrophic) และหาก Compensation depth มีค่าในช่วง 10-15 m, 5-10 m และ < 5 m จะแสดงสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ในระดับต่ำถึงปานกลาง (Lower-mesotrophic) ระดับปานกลางถึงสูง (Higher-mesotrophic) และระดับสูง (Eutrophic) ตามลำดับ

ในภาพรวมพบว่าการประยุกต์ใช้ดัชนีที่เกี่ยวข้องกับปริมาณแสงที่ลดลงไปในน้ำไม่ว่าจะเป็นค่า Secchi disc depth หรือ Compensation depth ดังที่ได้กล่าวมา จัดเป็นการประเมินอิทธิพลโดยรวม ที่มาจากทั้งผลผลิตของแพลงก์ตอนในมวลน้ำ นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ที่ถูกพัดพาเข้ามาและอนุภาคอินทรีย์สารอื่น ๆ ที่แขวนลอยอยู่ในมวลน้ำ ดัชนีเหล่านี้จึงมีข้อจำกัดในการใช้ประเมินสำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำที่มีความขุ่นสูง และ/หรือในแหล่งน้ำที่ระบบการผลิตทรัพยากรในห่วงโซ่อาหารไม่ได้เกิดจากปัจจัยด้านแพลงก์ตอนพืชเพียงอย่างเดียว ซึ่งนับเป็นข้อควรระวังที่สำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้ดัชนีในการศึกษาประเมินแหล่งน้ำที่สนใจต่อไป

5.3.4) สถานการณ์ของปัจจัยชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ในแหล่งน้ำเขตชายฝั่งของประเทศไทย

เมื่อพิจารณาระดับของปัจจัยชี้วัดสำคัญ 3 ประเภท ได้แก่ แร่ธาตุอาหาร คลอโรฟิลล์ และความโปร่งแสง ที่มีการกล่าวถึงแนวคิดในการใช้เกณฑ์และ/หรือขอบเขตของปัจจัยแต่ละประเภทเพื่อการจำแนกระดับความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำที่ผ่านมา ผลศึกษาเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นฐานของปัจจัยเหล่านี้ในพื้นที่ชายฝั่งและบริเวณปากแม่น้ำที่อยู่ในเขตอ่าวไทยสะท้อนให้เห็นว่าในเขตชายฝั่งทะเลของน่านน้ำไทยมีระดับพื้นฐานของแร่ธาตุอาหารไม่ว่าจะเป็นค่าไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงกว่าการศึกษาในพื้นที่ที่กล่าวมาข้างต้นอยู่มาก โดยเฉพาะในเขตพื้นที่อ่าวไทยตอนในที่รับมวลน้ำจากแม่น้ำสายหลัก 4 สาย (ประกอบด้วยแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำท่าจีน) นั้น พื้นที่ในบริเวณปากแม่น้ำและเขตชายฝั่งตลอดพื้นที่มีค่าความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารประเภทต่างๆ สูงมาก นอกจากนี้ ยังพบว่าปากแม่น้ำท่าจีนได้รับแร่ธาตุอาหารในรูปฟอสเฟตฟอสฟอรัสจากแผ่นดินสูงมากที่สุดถึงประมาณ 12 µm (ในช่วงปีพ.ศ. 2556) โดยถูกจำแนกเป็นแหล่งน้ำประเภท “Hypertrophic waters” ที่มีแร่ธาตุอาหารสูงมากจนถึงระดับที่ก่อให้เกิดผลกระทบในทางลบต่อระบบนิเวศและทรัพยากรทางน้ำที่เกี่ยวข้อง (จารุมาศ และคณะ, 2554; Meksumpun and Meksumpun, 2008; Thaipichitpurapa *et al.* 2010; Ritnim and Meksumpun, 2011) ระดับฟอสเฟตฟอสฟอรัสดังกล่าว มีค่าสูงกว่าระดับที่ Karydis (2005) ได้จัดประเภทแหล่งน้ำเขตชายฝั่งของภูมิภาคยุโรปให้อยู่ในประเภทที่เสื่อมโทรม (Poor condition) ถึงประมาณ 10 เท่า

ผลจากระดับเฉลี่ยของปริมาณแร่ธาตุอาหารที่สูงมากในเขตปากแม่น้ำและชายฝั่งของประเทศไทยโดยทั่วไป มีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยในมวลน้ำมีค่าสูงกว่าในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนถึงมากกว่า 10 เท่า นอกจากนี้ ค่าความโปร่งแสงในพื้นที่ปากแม่น้ำแทบทุกแห่งมีค่าต่ำกว่า 2-5 m ซึ่งไม่ว่าในการพิจารณาปัจจัยใด หากอ้างอิงตามเกณฑ์ของ Ignatiades (2005) แล้วเขตปากแม่น้ำและชายฝั่งของประเทศไทยโดยทั่วไปจะถูกจัดอยู่ในสถานการณ์ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงมาก ซึ่งทั้งนี้ อาจขาดเสถียรภาพได้ง่ายและ/หรือเกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำบางประการในระยะต่อมาได้

เป็นที่น่าเสียดายว่าในปัจจุบันยังไม่มีรายงานการศึกษาในประเทศไทยที่จะพยายามเชื่อมโยงและวิเคราะห์สหสัมพันธ์ในระหว่างชุดข้อมูลด้านแร่ธาตุอาหาร ค่าความโปร่งแสงของน้ำ และปริมาณคลอโรฟิลล์ สำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำและเขตชายฝั่งทะเลของไทยออกมาอย่างเป็นรูปธรรม การประเมินสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์หรือภาพปัญหาต่าง ๆ โดยการใช้เกณฑ์ที่อ้างอิงมาข้างต้น จึงอาจไม่เหมาะสม นอกจากนี้ยังอาจทำให้เราขาดความตระหนักในปัญหาที่แท้จริงและไม่สามารถกำหนดแผนการบริหารจัดการที่เหมาะสมหรือทันต่อเหตุการณ์สำหรับแต่ละพื้นที่ได้

อนึ่ง มีรายงานการศึกษาที่มีขอบเขตเฉพาะพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน (Chueniyom *et al.* 2012) ซึ่งได้สะท้อนให้เห็นว่าการเพิ่มของออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัสจากแผ่นดินออกไปสู่แนวน้ำตอนนอก (ที่มีค่าความเค็มเฉลี่ยมากกว่า 20) จะมีบทบาทต่อการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีของแพลงก์ตอนพืชชนิด *Noctiluca scintillans* โดยกระตุ้นให้เกิดการแบ่งเซลล์ ได้เซลล์ขนาดเล็กเพิ่ม

ปริมาณมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัสกับความหนาแน่นของ *Noctiluca* ในพื้นที่ตอนใน ตอนกลาง หรือในส่วนอื่น ๆ ใดของปากแม่น้ำ

ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดในการประเมินสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์หรือภาพปัญหาต่างๆ ในเขตปากแม่น้ำจากระดับของแร่ธาตุอาหารเพียงอย่างเดียว และยังพบว่าการกำหนดแผนการบริหารจัดการที่เหมาะสมควรคำนึงถึงพื้นที่ย่อยภายในเขตปากแม่น้ำอย่างรอบคอบ การศึกษาวิจัยของ Chueniyom *et al.* (2012) นี้ ให้ความสำคัญกับระดับของออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัสในพื้นที่จำเพาะที่มักเกิดปัญหาเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี และเสนอแนวทางให้ควบคุมระดับของออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัสในเขตตอนนอกดังกล่าวให้มีค่าไม่เกิน 1 µm ทั้งนี้ยังต้องการข้อมูลที่เชื่อมโยงในเรื่องการเคลื่อนตัวและรูปแบบการผสมผสานของน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำที่ชัดเจน ผนวกกับการใช้ความรู้ความเข้าใจร่วมกันในระบบการบริหารจัดการควบคุมคุณภาพของน้ำท่าที่ไหลลงมา ซึ่งนับเป็นเรื่องที่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมและหาทางดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

อนึ่ง ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ นอกจากจะมีการใช้ดัชนีทางด้านแร่ธาตุอาหาร คลอโรฟิลล์ และค่าความโปร่งแสงของน้ำมาช่วยในการพิจารณาแหล่งน้ำแล้ว ที่ผ่านมายังมีความพยายามในการประยุกต์ใช้ดัชนีที่มาจากการตรวจวัด “กำลังผลิต” หรือ “อัตราการผลิต” ของแหล่งน้ำในหน่วยของ mg $C/m^3/h$ มาใช้ Karydis (2009) พบว่าในพื้นที่เขตทะเล Mediterranean บริเวณที่มีสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ในระดับต่ำ (Oligotrophic) ระดับปานกลาง (Mesotrophic) และระดับสูง (Eutrophic) มีอัตราการผลิตคาร์บอนของผู้ผลิตขั้นต้น อยู่ในช่วงประมาณ 0.16-1.37, 1.37-1.58 และ 3.02-4.37 mg $C/m^3/h$ ตามลำดับ ข้อมูลในช่วงดังกล่าวนับว่ามีความจำเพาะสำหรับแหล่งน้ำที่ศึกษา ถึงแม้ว่าจะยังไม่สามารถใช้เป็นขอบเขตในการจำแนกสถานภาพความอุดมสมบูรณ์สำหรับแหล่งน้ำอื่น (โดยเฉพาะในเขตร้อนหรือในพื้นที่ที่มีความแตกต่างในสภาพการใช้ประโยชน์สูง อาทิ ในพื้นที่ปากแม่น้ำเขตอ่าวไทยตอนใน) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าดัชนีชนิดนี้มีการกระจายของข้อมูลที่ชัดเจนและไล่ลำดับเพิ่มขึ้นในช่วงละประมาณ 3 เท่า นับเป็นดัชนีที่มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำในเขตอื่น ๆ ได้ หากได้มีการนำข้อมูลจำเพาะถิ่นมาใช้พิจารณาอย่างชัดเจน

5.3.5) ดัชนีทางนิเวศวิทยาและการประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์

สำหรับดัชนีทางนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ (Ecological Indicators) โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตที่พบในแหล่งน้ำแต่ละแห่ง เป็นดัชนีที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษาติดตามเพื่อใช้ในการประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้เช่นกัน ดัชนีทางนิเวศวิทยาที่สำคัญต่าง ๆ ที่มีการศึกษามานั้น มีลักษณะของข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้และข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) Margalef's Index (Species Richness Index; $\mathbf{D_{Mg}}$)

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$

Margalef's Index ($\mathbf{D_{Mg}}$) หรือ Species Richness Index เป็นค่าดัชนีความชุกชุมของสิ่งมีชีวิต โดย N คือ จำนวนรวมของทุกชนิดที่พบ และ S คือ จำนวนชนิดที่พบทั้งหมด ในการประยุกต์ใช้ค่าดังกล่าวนี้เพื่อประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำนั้น ที่ผ่านมาพบปัญหาว่าในแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ระดับเฉลี่ยที่พบจากการใช้ดัชนีนี้ให้ระดับที่ใกล้เคียงกัน (Karydis & Tsirtsis, 1996) ทำให้ไม่สามารถตีความข้อมูลหรือใช้ในการจำแนกประเภทของแหล่งน้ำดังกล่าวได้

2) Simpson's Index (Diversity Index; $\mathbf{D_S}$)

$$D_S = \frac{\sum_{i=1}^{s} n_i \times (n_i - 1)}{N \times (N-1)}$$

Simpson's Index หรือ Diversity Index ($\mathbf{D_S}$) เป็นค่าดัชนีที่แสดงความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต โดย n_i คือ จำนวนที่พบของชนิด i, N คือ จำนวนรวมที่พบทั้งหมด และ S คือ จำนวนชนิดที่พบทั้งหมด (Pieloa, 1977) จัดเป็นดัชนีที่นิยมใช้กันมากในด้านการอธิบายโอกาสของการพบชนิดของสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกันออกไป ในการประยุกต์ใช้ค่าดังกล่าวนี้เพื่อประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำนั้นอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากที่ผ่านมาพบข้อจำกัดในกรณีที่ใช้ฐานข้อมูลด้าน "ชนิดของแพลงก์ตอนพืช" สำหรับจำแนกสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ ซึ่งมักได้ค่าที่แปรผันสูงและไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง (Sandin and Johnson, 2000; Carpenter *et al*., 2006; Benllinger *et al*., 2006)

3) Shannon's Index (Diversity Index; $\mathbf{H'}$)

$$H' = \sum_{i=1}^{s} \frac{n_i}{n} \times \ln \frac{n_i}{n}$$

Shannon's Index หรือ Diversity Index (H') เป็นค่าดัชนีที่แสดงความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตเช่นเดียวกันกับ Simpson's Index โดย n_i คือ จำนวนที่พบของชนิด i, n คือ จำนวนรวมที่พบทั้งหมด และ S คือ จำนวนชนิดที่พบทั้งหมด Shannon's Index นี้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงโอกาสความแปรผันในการพบสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งๆ ในพื้นที่ศึกษา และจัดเป็นดัชนีทางนิเวศวิทยาที่นิยมใช้กันมากที่สุด (Nuccio *et al*,. 2003; Salas *et al*., 2006; Bellinger *et al*., 2006; Simboura and Reizopoulou, 2007) ดัชนีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตดังกล่าวนี้มีข้อจำกัดในการ

ประยุกต์ใช้ และไม่แนะนำให้ใช้เพื่อการประเมินสถานภาพด้านความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ (Danilov and Ekelund, 1999)

อนึ่ง Shannon's Index เป็นดัชนีที่นิยมใช้กันมากเพื่อตรวจประเมินความหลากหลายทางชนิดของสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารระดับต่าง ๆ ซึ่งสะท้อนให้เห็นโอกาสการส่งต่อด้านพลังงานในทิศทางที่หลากหลายภายใต้ระบบของสายใยอาหาร และสามารถใช้ประเมิน "ความมั่นคง" ของระบบนิเวศได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปัญหาที่พบว่าค่าดังกล่าวมักสะท้อนระดับการตอบสนองที่ต่ำกว่าความเป็นจริง (Salas *et al*., 2006) นอกจากนี้ ยังสะท้อนปัญหาผลกระทบหลายประเภทไม่ได้ (Insensitive index; Boyle *et al*., 1990) ดัชนีนี้จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้เพื่อประเมินสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ (Danilov and Ekelund, 1999)

ในการศึกษาวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon's Index) สำหรับกลุ่มสัตว์พื้นท้องน้ำขนาดใหญ่ในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนของประเทศไทยเรา (Ritnim and Meksumpun, 2012) ยังพบว่าค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพสำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำมีค่าแปรผันสูงอยู่ในช่วง 0.75-1.70 ทั้งนี้ ไม่พบทิศทางการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนทั้งตามเขตพื้นที่ที่รับผลกระทบและตามช่วงฤดูกาลที่มีการเปลี่ยนแปลง ค่าดัชนีดังกล่าวจึงไม่น่าเหมาะสมในการใช้เพื่อประเมินผลกระทบจากน้ำเสีย และ/หรือประเมินสถานการณ์ยูโทฟิเคชันที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปากแม่น้ำ

4) Evenness Index (Equality index; E)

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Evenness Index หรือ Equality index (E) เป็นค่าดัชนีที่แสดงความเท่าเทียมในการพบสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ โดย H' คือ ค่า Shannon's diversity index และ S คือ จำนวนชนิดที่พบทั้งหมด ดัชนีนี้ใช้เพื่อบ่งบอกระดับของความเท่าเทียมกันในความชุกชุมของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ และพบว่าเป็นดัชนีที่ดีและสามารถใช้จำแนกระดับความอุดมสมบูรณ์ออกเป็นระดับต่าง ๆ ได้ อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อจำกัดโดยเฉพาะในกรณีที่สิ่งมีชีวิตที่ใช้เป็นแพลงก์ตอนพืช ซึ่งจะได้ข้อมูลที่มีความแปรผันสูงและไม่สามารถตีความได้อย่างชัดเจน (Karydis and Tsirtsis, 1996; Kitsiou and Karydis, 2000; Bellinger *et al*., 2006)

5.4) การประเมินสถานการณ์ด้านมลภาวะของแหล่งน้ำ

การประเมินสถานการณ์ด้านมลภาวะ จัดเป็นการประเมินที่ชัดเจนที่สุดในด้านของการแปรผลที่ตรวจวัดได้ ทั้งนี้ เนื่องจากในทุกพื้นที่หรือภูมิภาคเขตต่างๆ มีเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ประกาศออกมาอย่างเป็นทางการโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการดูแลคุณภาพแหล่งน้ำ ทั้งนี้ การประเมินสถานการณ์ดังกล่าว มีข้อควรคำนึงถึงดังต่อไปนี้

5.4.1) เกณฑ์คุณภาพน้ำ: การประยุกต์ใช้เพื่อประเมินสถานการณ์มลภาวะ

ในประเทศไทยเราได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับปัจจัยคุณภาพน้ำประเภทต่าง ๆ ที่แตกต่างกันไปภายใต้ลักษณะของพื้นที่ (อาทิ มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินและมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง) และตามลักษณะจำเพาะของการใช้ประโยชน์ (อาทิ มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม) การกำหนดดังกล่าวดำเนินการโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ภายใต้การดำเนินการของสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนดมีความครอบคลุมในปัจจัยทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์มลภาวะ ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่ไม่เหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตหรือทำให้เกิดผลกระทบต่อความเป็นอยู่ ทำให้เกิดอันตรายต่อทรัพยากรในแหล่งน้ำและ/หรือต่อมนุษย์เราที่จะเข้าไปใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้นๆ

การพิจารณาสถานการณ์ “มลภาวะ” จึงเป็นการประเมินคุณภาพแหล่งน้ำจากระดับของ “มลพิษ” หรือ “สารพิษ” ต่าง ๆ ที่มีในแหล่งน้ำ ทั้งที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติและที่ถูกพัดพา หรือปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำโดยอิทธิพลจากมนุษย์ การประเมินสถานการณ์มลภาวะในเบื้องต้นจำเป็นต้องตรวจวัดระดับของ*มลพิษ*ที่สนใจศึกษาติดตามในพื้นที่ แล้วนำค่าที่ตรวจพบเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนด (ซึ่งเป็นระดับที่จำเพาะสำหรับแต่ละประเภทของแหล่งน้ำ และรูปแบบในการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ)

ในการพิจารณาสถานการณ์มลภาวะของพื้นที่แหล่งน้ำในเขตชายฝั่งทะเล เราสามารถอ้างอิงค่ามาตรฐานจากประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง (พ.ศ.2549) ซึ่งกำหนดระดับมาตรฐานของมลพิษสำคัญดังตัวอย่างที่แสดงใน **ตารางที่ 5.9** จากการกำหนดค่ามาตรฐานดังกล่าวจะเห็นได้ว่าระดับการควบคุมที่เข้มงวดพบในสารพิษในกลุ่ม “สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช” ซึ่งโดยส่วนใหญ่แสดงระดับความเป็นอันตรายมากกว่าสารประเภท “โลหะหนัก” อย่างน้อย 10 เท่าขึ้นไป การเฝ้าระวังและติดตามปัญหาของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจึงนับว่าเป็นเรื่องที่ควรตระหนักโดยทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง

ในประเทศไทยเรายังพบปัญหาการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอยู่แทบทุกภูมิภาค โดยเฉพาะในพื้นที่ราบลุ่มน้ำภาคกลางและทุกพื้นที่ที่มีการทำเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลัก พบรายงานการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีนและแม่กลองที่แสดงให้เห็นถึงการพบสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (ภิญญาและคณะ, 2539, 2542) โดยเฉพาะในแม่น้ำท่าจีน พบไดเอรอนในน้ำมีค่าที่สูงมาก (ประมาณ 2-20 µg/L) และพบเอ็นโดซัลฟานที่สูงถึงระดับประมาณ 0.02-0.05 µg/L (ภัทราวุธ, 2556) มวลน้ำที่มาจากระบบแม่น้ำดังกล่าวได้ไหลลงเขตอ่าวไทยตอนในอยู่ตลอดเวลา นับเป็นสถานการณ์ปัญหาที่สามารถส่งผลกระทบต่อเนื่องจากการสะสมของสารพิษเหล่านี้เข้าไปในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณปากแม่น้ำ โดยเฉพาะการสะสมในทรัพยากรประมงที่เรานำมาบริโภคกันอย่างมาก นับเป็นปัญหาที่ต้องหาทางแก้ไขตั้งแต่ระดับของแหล่งกำเนิดกันต่อไป

ตารางที่ 5.9 ระดับมาตรฐานของสารพิษในประเภทโลหะหนักและสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชบางชนิดสำหรับน้ำทะเลชายฝั่งที่ควบคุมให้ไม่ควรมีเกินระดับที่กำหนด (สำหรับประเภทการใช้ประโยชน์ในแหล่งน้ำทุกประเภท) *(ที่มา: ปรับปรุงจากมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล กรมควบคุมมลพิษ, 2549)*

กลุ่มของสารพิษ	ชนิดของสารพิษ	ระดับมาตรฐาน (µg/L)
โลหะหนัก	ปรอท (Hg)	< 0.1
	แคดเมียม (Cd)	< 5
	ทองแดง (Cu)	< 8
	ตะกั่ว (Pb)	< 8.5
	สารหนู (As)	< 10
	สังกะสี (Zn)	< 50
	โครเรียมรวม (Cr)	< 100
	เหล็ก (Fe)	< 300
สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (ที่มีคลอรีน)	ดีดีที (DDT)	< 0.0010
	ดิลดริน (Dieldrin)	< 0.0019
	เอนดริน (Endrin)	< 0.0023
	คลอเดน (Chlordane)	< 0.0040
	เอ็นโดซัลฟาน (Endosulfan)	< 0.0087
สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (ชนิดอื่น)	ไดเอรอน (Diuron)	ตรวจไม่พบ
	มาลาไธออน (Malathion)	ตรวจไม่พบ
	พาราไธออน (Parathion)	ตรวจไม่พบ
	โปรพานิล (Propanil)	ตรวจไม่พบ
	คาร์บาริล (Carbaryl)	ตรวจไม่พบ

โดยทั่วไปเราสามารถประเมินสถานภาพแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารพิษที่ก่อให้เกิดมลภาวะ จากปัจจัยทั้งด้าน “ประเภท” และ “ปริมาณการปนเปื้อน” ของสารพิษที่พบในระบบแหล่งน้ำ สารพิษในประเภทที่มีความเป็นพิษสูงมาก (โดยค่ามาตรฐานได้กำหนดไว้ให้ตรวจไม่พบหรือให้อยู่ในระดับความเข้มข้นที่ไม่ควรเกิน 0.1 µg/L) หากพบในแหล่งน้ำใดแสดงว่าแหล่งน้ำนั้นมีสถานการณ์มลภาวะในขั้นที่รุนแรงมาก และหากมีสารพิษที่มีความเป็นพิษสูงในระดับที่ลดหลั่นลงมา โดยพบสารที่มีค่ามาตรฐานกำหนดไว้ให้ควบคุมในระดับประมาณ 0.1-10 µg/L, 10-100 µg/L และ 100-1000 µg/L ก็แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นมีสถานการณ์มลภาวะในขั้นที่รุนแรง ค่อนข้างรุนแรง และปานกลาง ตามลำดับ ลดหลั่นกันลงมา อนึ่ง ระดับการปนเปื้อนของสารพิษชนิดหนึ่ง ๆ ที่พบสูง

กว่าระดับมาตรฐานตั้งแต่ 2-5 เท่าขึ้นไป จัดเป็นสภาวะที่สะท้อนให้เห็นว่าแหล่งน้ำนั้นกำลังอยู่ในสถานการณ์มลภาวะที่รุนแรงจนถึงรุนแรงมากได้เช่นกัน

5.4.2) ประเภทของมลพิษที่ควรศึกษาติดตามในแหล่งน้ำไหล

การพิจารณากำหนดประเภทหรือชนิดของมลพิษในแหล่งน้ำไหลหนึ่ง ๆ เพื่อการศึกษาติดตามสถานการณ์ด้านมลภาวะนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงทำเลที่ตั้งและลักษณะการใช้ประโยชน์ของชุมชนโดยรอบพื้นที่แหล่งน้ำว่าจะมีโอกาสได้รับมลพิษประเภทใดเป็นหลัก สำหรับสารพิษในกลุ่มที่ใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืชมักได้รับความสนใจศึกษาติดตามในพื้นที่ที่มีโอกาสรับน้ำทิ้งจากกิจกรรมการเกษตร โดยเฉพาะการทำนาหรือทำสวนผักผลไม้โดยรอบแม่น้ำ หรือสามารถประเมินจากข้อมูลปริมาณการใช้ประโยชน์พื้นที่ อาทิ แม่น้ำท่าจีนพบว่ามีพื้นที่โดยรอบในแต่ละเขตจังหวัด ตั้งแต่ตอนบนสุด คือ จังหวัดชัยนาท ไล่ลงมาด้านล่างเป็นจังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม และสมุทรสาคร ซึ่งอยู่ปลายสุดก่อนไหลลงอ่าวไทยตอนใน พบว่ามีสัดส่วนการใช้ประโยชน์ในพื้นที่เพื่อการเกษตรกรรมสูงมากคิดเป็นร้อยละถึงประมาณ 90%, 76%, 94% และ 69% ตามลำดับ (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2552) จากลักษณะการใช้พื้นที่เพื่อการเกษตรกรรมดังกล่าว ปัญหามลภาวะทางน้ำที่มีโอกาสเป็นไปได้มากจึงเป็นปัญหาจากการปล่อยน้ำเสียที่มีการชะล้างของสารอินทรีย์สารและการปนเปื้อนของแร่ธาตุอาหารพืช (ซึ่งมาจากการใช้ปุ๋ยในพื้นที่) นอกจากนี้ ยังพบการปนเปื้อนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้หลายชนิด

ในงานวิจัยของ Thaipichitburapa and Meksumpun (2013) พบว่าในมวลน้ำของแม่น้ำท่าจีนมีการปนเปื้อนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดไดเอรอนสูงกว่ามาตรฐาน (1.30 µg/L) ที่กำหนดโดย UC Davis (2010) ถึงประมาณ 15 เท่า และยังพบสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดเอ็นโดซัลฟานสูงกว่ามาตรฐาน (0.003 µg/L) ที่กำหนดโดย Canadian Council of Ministers of the Environment (2010) ถึงประมาณ 17 เท่า ซึ่ง การศึกษาในช่วงปี พ.ศ. 2553 (ภัทราวุธ, 2556) พบการสะสมของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดไดเอรอนและเอ็นโดซัลฟานอยู่ในปลาที่อาศัยตามพื้นที่แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง (โดยเฉพาะปลาสลิด ปลาดุก และปลาสวาย) ซึ่งในปลาสลิดพบค่าไดเอรอนและเอ็นโดซัลฟานสะสมอยู่สูงถึง 0.20 µg/g และ 0.076 µg/g ตามลำดับ

สำหรับสารพิษประเภทโลหะหนัก ควรติดตามในพื้นที่แหล่งน้ำที่มีความเกี่ยวข้องหรือมีโอกาสรับน้ำทิ้งจากระบบอุตสาหกรรมด้านเครื่องจักรกล โรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานถลุงแร่และโลหะ โรงงานอัลลอยด์ โรงงานชุบโลหะ โรงงานทำสี ฟอกย้อม และโรงงานผลิตแบตเตอรี่ เป็นต้น โรงงานดังกล่าวอาจรวมกลุ่มกันอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามก็มีการกระจายตัวแทรกไปกับระบบโรงงานด้านการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร หรืออยู่ในบริเวณแหล่งชุมชนได้ พื้นที่ดังกล่าวมักมีลักษณะสำคัญ คือ มีการตั้งอยู่ใกล้เส้นทางการขนส่งไม่ว่าจะเป็นทางบกหรือทางน้ำ หรืออาจอยู่บริเวณเขตปากแม่น้ำและชายฝั่งทะเล ทั้งนี้ เพื่อความสะดวกในการขนถ่ายสินค้าและ/หรือการรับวัตถุดิบเพื่อการผลิตที่จำเพาะต่าง ๆ

ที่มาของโลหะหนักในพื้นที่แหล่งน้ำไหลยังมีสาเหตุมากิจกรรมของโรงงานถลุงแร่ต่าง ๆ ซึ่งสามารถพบได้ในบริเวณเทือกเขาซึ่งเป็นเขตต้นน้ำลำธาร กรณีศึกษาที่เป็นบทเรียนสำคัญซึ่งทำให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงต่อผู้คนท้องถิ่น คือ โรงงานแต่งแร่ตะกั่วขนาดใหญ่ บริเวณหมู่บ้านคลิตี้ (เดิมเคยเป็นแหล่งผลิตหัวแร่ตะกั่วที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้; วันชัย, 2548) เดิมอยู่ในพื้นที่เขตป่าสงวนซึ่งปัจจุบันได้ประกาศเป็นเขตอุทยานแห่งชาติลำคลองงู อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี โรงแต่งแร่ตะกั่วนี้ได้เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ.2510 และยาวนานนับ 20 กว่าปี ตั้งแต่นั้นมาหางแร่ตะกั่วที่มีความเข้มข้นสูงได้ถูกปล่อยลงสู่ลำห้วยและเปลี่ยนสภาพธรรมชาติให้เต็มไปด้วยพิษจากสารตะกั่ว ดินในพื้นที่ยังมีระดับตะกั่วที่ปนเปื้อนสูงกว่าค่ามาตรฐานนับร้อยเท่าและเป็นปัญหารุนแรงที่ส่งผลให้ผู้คนล้มป่วยและตายลงต่อเนื่อง นับเป็นผลกระทบที่ยากต่อการแก้ไขและเป็นปัญหามาจนถึงปัจจุบัน

สำหรับพื้นที่โดยรอบของแม่น้ำที่มีการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมทางการเกษตรโดยทั่วไปนั้นพบว่ามีการปนเปื้อนของตะกั่วและปรอทได้บ้างแต่อยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับในแหล่งอุตสาหกรรม การปนเปื้อนของตะกั่วและปรอทมีโอกาสพบในแหล่งชุมชนที่อาศัยกันอย่างหนาแน่นได้มากกว่าแหล่งเกษตรกรรม (ตีรณรรถ, 2549) ด้วยลักษณะการพบการปนเปื้อนที่จำเพาะกับการใช้ประโยชน์ที่ดินดังที่ได้กล่าวมา การศึกษาติดตามการปนเปื้อนของโลหะหนักจึงมักดำเนินการทั้งในพื้นที่ที่มีการตั้งถิ่นฐานของชุมชนอย่างหนาแน่น ในแหล่งน้ำที่ใกล้ระบบอุตสาหกรรมที่จำเพาะตลอดจนในแหล่งน้ำที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบเพื่อการเกษตร ซึ่งผลที่ได้จะเป็นสภาพสะท้อนของปัญหาโดยรวมที่เราจำเป็นต้องนำค่าที่ตรวจวัดนั้นมาประเมินระดับความรุนแรงของสถานการณ์มลภาวะโดยใช้การเปรียบเทียบกับเกณฑ์หรือค่ามาตรฐานที่มีสำหรับแต่ละประเภทของมลพิษนั้นต่อไป

ปัจจัยคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำอื่น ๆ ที่สามารถแสดงความเป็นพิษได้และเกี่ยวข้องกับลักษณะการใช้ประโยชน์พื้นที่โดยรอบในรูปแบบของการเป็นแหล่งชุมชนหรือเป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ ปัจจัยทางด้านแอมโมเนีย (NH_3) และซัลไฟด์ (Sulfide) ในน้ำ ปัจจัยคุณภาพน้ำดังกล่าว มีระดับมาตรฐานที่กำหนดว่าควรมีไม่เกิน 100 µg N/L และ 10 µg/L ตามลำดับ สำหรับพื้นที่แหล่งน้ำชายฝั่งที่มีการใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) อนึ่ง ในการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ชายฝั่งในการเป็นแหล่งขุดเจาะน้ำมันหรือใช้เพื่อการขนส่งน้ำมันทางเรือ ปัจจัยคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่สำคัญและควรศึกษาติดตามมักเป็นปัจจัยด้านระดับของพีซีบี (PCBs; Polychlorinated Biphenyl) ซึ่งอาจเกิดการปนเปื้อนได้จากกิจกรรมดังกล่าว

น้ำทิ้งจากชุมชนรวมทั้งโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีบทบาทต่อปริมาณตะกอนแขวนลอยที่เพิ่มมากขึ้น ขยะพลาสติก ขยะโฟม และสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ก็นับเป็นของเสียที่ถูกทิ้งลงสู่แหล่งน้ำและทำให้เกิดปัญหามลภาวะได้ อย่างไรก็ ตามลักษณะแหล่งน้ำที่มีปัญหาเช่นนี้มักเป็นบริเวณของแม่น้ำในตอนกลาง (Middle-reach river) หรือบริเวณตอนล่างที่ใกล้เขตปากแม่น้ำ (Estuary and lower-reach river) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีชุมชนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น แต่สำหรับในพื้นที่ตอนบนของแม่น้ำ (Upper-reach river) ที่อยู่ในเขตต้นน้ำลำธาร (Upstream zone) นั้น

พบว่าลักษณะการเกิดของมลภาวะมักแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทของการใช้ประโยชน์ของที่ดินโดยรอบ หากเป็นพื้นที่ลาดชันที่มีการทำแปลงเกษตรในที่สูง น้ำในลำห้วยที่รับน้ำจากพื้นที่จะมีโอกาสปนเปื้อนจากสารเคมีที่ใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืช รวมทั้งจากปุ๋ย การกัดเซาะเอาตะกอนผิวหน้าดินลงมา ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการศึกษาประเมินคุณภาพน้ำด้วยลักษณะของ “มลพิษ” ที่มีนั้น เป็นการศึกษาติดตาม “ระดับของสารพิษ” แล้วเทียบเคียงกับ “ค่ามาตรฐาน” ที่มีการกำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยคุณภาพน้ำบางประเภท อาทิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ที่โดยทั่วไปมักมองว่าเป็นปัจจัยเชิงบวกและก่อประโยชน์ต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตนั้น ในทางกลับกันหากมีระดับที่วัดได้สูงมากเกินควรก็สามารถส่งผลกระทบในทางลบต่อแหล่งน้ำได้ ยกตัวอย่างเช่นในการศึกษาสมดุลนิเวศในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน (จารุมาศและคณะ, 2557) ซึ่งพบระดับ DO ที่สูงมากเกินจุดอิ่มตัวไปหลายเท่า โดยมีค่าสูงสุดถึงประมาณ 16 mg/L โดยเกิดในสภาวะที่มีแพลงก์ตอนพืชเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างหนาแน่นมากหรือในช่วงของการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี ผลกระทบในทางลบในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นได้โดยเฉพาะในเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงและกระบวนการหายใจของแพลงก์ตอนที่มีปริมาณมากจะทำให้ระดับ DO ในพื้นที่นั้นลดระดับลงอย่างรวดเร็ว นับเป็นปัญหาต่อสัตว์น้ำ และจัดว่าเป็น “มลภาวะ” สำคัญมากสำหรับสัตว์น้ำที่เคลื่อนที่ได้น้อยหรือสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงอยู่ในเขตพื้นที่บริเวณนั้น ด้วยเหตุดังกล่าว การพิจารณาใช้ค่ามาตรฐานที่กำหนดขอบเขตความเหมาะสมเพียงแค่ระดับต่ำสุด อาจไม่เพียงพอต่อการประเมินสถานการณ์อย่างรัดกุมสำหรับการอนุรักษ์ดูแลพื้นที่และวางแผนเพื่อการจัดการได้อย่างทันท่วงที

5.4.3) พื้นที่สำหรับการศึกษาติดตามมลพิษในแหล่งน้ำไหล

ในการกำหนดพื้นที่เพื่อศึกษาติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำสำหรับการประเมินสถานการณ์มลภาวะของแหล่งน้ำไหลนั้นจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลพื้นฐานในด้านแหล่งที่มาและประเภทของมลภาวะที่เกิดขึ้นภายในแหล่งน้ำ โดยควรตรวจสอบลักษณะหรือรูปแบบการใช้ประโยชน์ของชุมชนโดยรอบพื้นที่แหล่งน้ำเบื้องต้น และพิจารณาปัจจัยทางนิเวศอุทกวิทยาที่สำคัญต่าง ๆ อาทิ ระดับของออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ ฯลฯ มาประกอบ ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงหากพื้นที่นั้นได้รับมลภาวะโดยเฉพาะในรูปของ “สารอินทรีย์” และ/หรือ “ตะกอนแขวนลอย” จากกิจกรรมของชุมชนที่มีการทิ้งน้ำเสียจากครัวเรือน รวมทั้งกิจกรรมทางการเกษตร น้ำเสียจากกิจกรรมปศุสัตว์ ตลอดจนการปล่อยน้ำออกจากพื้นที่ทำนา (ที่มักมีการขังน้ำไว้ในช่วงการไถพรวนและปล่อยน้ำที่มีตะกอนเลนขุ่นปนกับซากพืชซากสัตว์ลงสู่แหล่งน้ำในระยะก่อนการปลูกข้าว)

ระดับของออกซิเจนละลายน้ำซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญยิ่งต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำจะได้รับผลกระทบและมักมีระดับที่ลดต่ำลงอย่างชัดเจนในบริเวณที่ได้รับน้ำเสียโดยตรง และมีระดับที่ดีขึ้นเมื่อห่างจากบริเวณที่รับน้ำออกไปตามลำดับ การรับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์สูงในลักษณะเช่นนี้ ยังสามารถประเมินได้จากระดับตะกอนแขวนลอยในน้ำรวมทั้งค่าของบีโอดีที่เปลี่ยนแปลงไปจากระดับปกติที่เป็นธรรมชาติของแหล่งน้ำเดิม พื้นที่ที่มีลักษณะการ

เปลี่ยนแปลงในปัจจัยดังกล่าว นับเป็นพื้นที่จำเพาะที่ควรมุ่งเน้นการศึกษาติดตามผลกระทบที่จะเกิดต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำและกำหนดเป็นพื้นที่ศึกษาที่ครอบคลุมตั้งแต่บริเวณที่คาดว่าได้รับผลกระทบมากที่สุด บริเวณที่คาดว่าได้รับผลกระทบมาก บริเวณที่คาดว่าได้รับผลกระทบปานกลาง และบริเวณที่คาดว่าได้รับผลกระทบต่ำ ทั้งนี้ การกำหนดสถานีศึกษาควรพิจารณาข้อมูลด้านปริมาณของน้ำเสีย ทิศทางการไหลของมวลน้ำหลัก และลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาของพื้นที่มาประกอบ

5.4.4) ความเร็วของน้ำและการศึกษามลภาวะในแหล่งน้ำไหล

ในแหล่งน้ำไหลที่เป็นลำห้วยต้นน้ำหรือแม่น้ำลำธารที่กระจายอยู่ในภูมิภาคซึ่งมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันไปนั้น ปัจจัยด้านความเร็วของน้ำ (Water velocity) นับว่ามีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของมลภาวะภายในแหล่งน้ำ ณ ตำแหน่งเริ่มพบมลพิษไปตามเส้นทางการไหลไป ความเร็วของน้ำเป็นปัจจัยที่พัดพาเอาทั้ง “มลพิษ” และยังนำพาเอา “ผู้ได้รับผลกระทบ” ให้เคลื่อนตัวไปตามรูปแบบของการไหลในแต่ละแห่งไปเรื่อย ๆ จัดเป็นปัจจัยทางกายภาพที่มีบทบาทอย่างชัดเจนต่อกระบวนการทางชีวเคมีในระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล

โดยทั่วไปเราสามารถประเมินผลกระทบของมลภาวะจากรูปแบบการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ในห่วงโซ่อาหารทางน้ำ การศึกษาวิเคราะห์สิ่งมีชีวิตที่เริ่มจากผู้ผลิตขั้นต้น อาทิ แพลงก์ตอนพืช (มักใช้ปัจจัยชี้วัด คือ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในน้ำ) จึงได้รับความนิยมกันมาก ซึ่งในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผู้ผลิตขั้นต้นในมวลน้ำที่เคลื่อนตัวไปเรื่อยๆนั้น การกำหนดตำแหน่งหรือสถานีสำรวจตามเส้นทางการไหลของน้ำจึงเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องมีความรอบคอบในการพิจารณา ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ตัวแทนของพื้นที่ที่เหมาะสมและได้ข้อมูลที่สอดคล้องกับลักษณะการตอบสนองทางชีววิทยาของสิ่งมีชีวิตกลุ่มเป้าหมายที่สนใจได้

ในการกำหนดตำแหน่งศึกษา การคำนึงถึงความเร็วในการไหลของน้ำที่มีในพื้นที่นับว่าเป็นประโยชน์มาก ทั้งนี้ เนื่องจากความเร็วน้ำเป็นปัจจัยที่ควบคุมด้านระยะเวลาในการที่แพลงก์ตอนพืชจะถูกนำพาจากบริเวณหนึ่งไปอีกบริเวณหนึ่งที่อยู่ถัดลงไปตามเส้นทางการไหลของแม่น้ำ นอกจากนี้ยังเป็นตัวควบคุมระยะเวลาที่ทุกปัจจัยที่เกี่ยวข้องในน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยที่เป็นสารมลพิษเอง หรือเป็นปัจจัยคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับสารพิษและแพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำ และสำหรับการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของแพลงก์ตอนพืช นอกจากความเร็วของน้ำแล้วเรายังจำเป็นต้องคำนึงถึง *ระยะเวลา* ที่ประชากรของแพลงก์ตอนพืชจำเป็นต้องใช้ในการตอบสนอง (Effective time) หลังจากการได้รับอิทธิพลร่วมจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในรอบวันเข้ามาด้วย ซึ่งโดยทั่วไปพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในกลุ่มประชากรของแพลงก์ตอนพืชมีลักษณะของการเป็นพลวัต (Bio-rhythm) ที่มีรอบการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วงเวลาอย่างน้อย 4-6 ชั่วโมง (Reynolds, 2006)

จากข้อมูลความรู้ข้างต้นเราสามารถประเมินตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาติดตามแพลงก์ตอนพืชตามเส้นทางของลำน้ำจากการประยุกต์ใช้ค่าความเร็วของน้ำเฉลี่ยที่พบและค่า Effective time ที่แพลงก์ตอนใช้ในการตอบสนองได้ดังแสดงใน **ตารางที่ 5.10** ในตารางแสดง

ตัวอย่างการใช้ข้อมูลความเร็วของน้ำเพื่อประเมินช่วงระยะทางที่แพลงก์ตอนพืช (รวมทั้งสารพิษที่สนใจศึกษาติดตาม) ซึ่งจะถูกพัดพาลงไปจากตำแหน่งตั้งต้นตามเส้นทางการไหลของน้ำ จากตารางจะเห็นได้ว่าหากแม่น้ำมีการไหลด้วยอัตราเร็วที่สูง (ประมาณ 25-30 เซนติเมตร/วินาที) เราควรกำหนดระยะห่างระหว่างสถานีศึกษาตามเส้นทางน้ำในช่วงประมาณทุกระยะ 5-6 กิโลเมตรขึ้นไป ทั้งนี้เนื่องแพลงก์ตอนพืชในน้ำจะถูกพัดพาไปได้เร็วโดยอาจยังไม่ทันมีการเปลี่ยนแปลงประชากรอย่างชัดเจนภายในช่วงระยะทางที่ต่ำกว่านั้น (หรือในช่วงเวลาที่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง) ในทางตรงกันข้าม หากน้ำในแม่น้ำมีการไหลด้วยความเร็วต่ำ (ประมาณ 5 เซนติเมตร/วินาที) โอกาสในการเกิดกระบวนการทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับแพลงก์ตอนพืช รวมทั้งการแบ่งเซลล์และการเพิ่มขนาดของประชากรในมวลน้ำก็จะเกิดขึ้นได้ อย่างชัดเจนในระยะทางที่ไม่ห่างจากจุดแรกเริ่มเท่าใดนัก การกำหนดระยะห่างที่เป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงควรแคบลง โดยกำหนดเป็นทุกระยะประมาณไม่เกิน 1 กิโลเมตร ซึ่งจะทำให้เราสามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงประชากรของแพลงก์ตอนพืชตลอดจนการเปลี่ยนแปลงในมลพิษและปัจจัยแวดล้อมสำคัญต่าง ๆ ภายในระบบแหล่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิผล

ตารางที่ 5.10 ความเร็วของน้ำและการประเมินช่วงระยะทางตามเส้นทางการไหลของน้ำที่อนุภาคสารจะถูกพัดพาลงไปจากตำแหน่งตั้งต้น

ระดับความเร็วในการไหลของน้ำ	ความเร็วเฉลี่ย (cm/s)	ระยะทางสูงสุดใน 1 ชั่วโมง (km)	ระยะห่างระหว่างสถานี (km)*
ความเร็วสูง	30	1.08	6.48
	25	0.90	5.40
ความเร็วปานกลาง	20	0.72	4.32
	15	0.54	3.24
ความเร็วต่ำ	10	0.36	2.16
	5	0.18	1.08

หมายเหตุ *ประเมินจากระยะทางของน้ำที่ไหลไปได้ใน 1 ชั่วโมง คูณกับ ค่า Effective time (6 ชั่วโมง) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ประชากรของแพลงก์ตอนพืชใช้ในการตอบสนองและเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน

อนึ่ง การกำหนดสถานีระหว่างกลาง (หรือระหว่างตำแหน่งหลักที่ประเมินคร่าว ๆ จากตารางข้างต้น) เพิ่มอีก 1-2 สถานี อาจมีความจำเป็นในกรณีที่ในระหว่างเส้นทางของลำน้ำพบตำแหน่งที่สามารถเป็นแหล่งที่มาของมลพิษที่เพิ่มเติมเข้าสู่ระบบ นอกจากนี้ การพิจารณาเพิ่มสถานีย่อย ณ ตำแหน่งที่อยู่บริเวณขอบเขตของการแบ่งพื้นที่การปกครองในส่วนท้องถิ่นต่าง ๆ ก็นับว่ามีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้รับทราบเพื่อการจัดสรรภาระหน้าที่ความรับผิดชอบในการควบคุมดูแลคุณภาพแหล่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพในโอกาสต่อไป

5.4.5) ความเค็มของน้ำและการศึกษามลภาวะในระบบนิเวศปากแม่น้ำ

สถานการณ์มลภาวะทางน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลตามลักษณะการผสมผสานหรือการเจือจางด้วยมวลน้ำจากเขตทะเล พื้นที่ปากแม่น้ำที่มีความลาดชันต่ำหรือมีปริมาณการไหลลงของมวลน้ำจืดจากแผ่นดินค่อนข้างน้อยจะเกิดบริเวณที่ตะกอนจากแม่น้ำมาตกทับถมเกิดเป็นดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำในลักษณะที่แคบซึ่งอาจมีระยะห่างออกจากฝั่งไม่มาก (ไม่เกิน 5-7 กิโลเมตร สำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนและปากแม่น้ำอ่าวบางตะบูน; จารุมาศและคณะ, 2552, 2557)

การสะสมมลภาวะประเภทโลหะหนักหรือสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชประเภทต่าง ๆ มักเกิดได้มากในบริเวณที่มีสารอินทรีย์สะสมอยู่ ดินพื้นท้องน้ำที่ประกอบด้วยอนุภาคละเอียดสะสมอยู่จึงมีโอกาสพบการสะสมมลภาวะประเภทโลหะหนักหรือสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้ แต่ในทางตรงกันข้ามการสะสมจะพบได้น้อยกว่าในบริเวณพื้นท้องน้ำที่มีอนุภาคหยาบหรือเป็นกรวดทราย จากลักษณะดังกล่าวการติดตามประเมินสถานการณ์มลภาวะบริเวณพื้นท้องน้ำในเขตปากแม่น้ำจึงจำเป็นต้องกำหนดพื้นที่ศึกษาให้ครอบคลุมลักษณะการกระจายของโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของดินตะกอนที่ทับถมอยู่ในพื้นที่ ทั้งนี้ ควรมุ่งเน้นการติดตามผลหรือเฝ้าระวังในบริเวณพื้นท้องน้ำที่มีสารอินทรีย์สูงเนื่องจากมีโอกาสที่จะได้รับผลกระทบการสภาวะมลพิษได้มากกว่าพื้นที่อื่น ๆ

แนวคิดในการกำหนดสถานีเพื่อศึกษาติดตามสถานการณ์มลภาวะในเขตปากแม่น้ำนอกจากจะพิจารณาจาก *"คุณภาพดิน"* ดังกล่าวแล้ว การกำหนดสถานีจากลักษณะของปัจจัยที่สะท้อนสภาวะการเคลื่อนตัวของน้ำ อาทิ ความเร็วของกระแสน้ำที่วัดได้โดยตรง หรืออัตราการผสมผสานของน้ำทะเลในพื้นที่ปากแม่น้ำโดยรวมซึ่งประเมินจากรูปแบบการกระจายในค่าความเค็มน้ำ จะทำให้เราสามารถวางแผนศึกษาติดตามการกระจายตัวของมลพิษที่มีแหล่งกำเนิดมาจากแผ่นดินซึ่งมาสะสมในบริเวณย่อยต่าง ๆ ของปากแม่น้ำได้อย่างครบถ้วนตามลักษณะของแต่ละพื้นที่ย่อยที่มี

การใช้ปัจจัยด้าน *"ความเค็ม"* เพื่อช่วยในการวางแผนศึกษาสถานการณ์มลภาวะหรือการตอบสนองของทรัพยากรมีชีวิตต่าง ๆ ในระบบปากแม่น้ำ นับเป็นเรื่องที่จำเป็นและมีความสำคัญสำหรับแต่ละเขตพื้นที่ที่แตกต่างกันไป การประเมินสถานการณ์มลภาวะในเขตปากแม่น้ำที่มีประสิทธิผลจำเป็นต้องคำนึงถึงช่วงเวลาที่ทำการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากเขตปากแม่น้ำเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล การประเมินสถานการณ์มลภาวะที่มาจากแผ่นดินจึงจำเป็นต้องตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำในขณะที่น้ำกำลังลงหรืออยู่ในช่วงที่น้ำลงต่ำสุดเสมอ ในพื้นที่ปากแม่น้ำเมื่อพิจารณาในสภาวะน้ำลงต่ำสุด จะพบการกระจายของค่าความเค็มน้ำจากระดับต่ำสุด (ในช่วง 0-5 psu) อยู่บริเวณ "ตอนใน" ค่าความเค็มน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วง "ตอนกลาง" จนมีระดับที่ใกล้เคียงกับน้ำทะเล และเขต "ตอนนอก" จะมีค่าความเค็มน้ำสูงที่สุด (ในช่วง 25-28 psu) เมื่อเทียบกับพื้นที่โดยรวม

ขอบเขตหรือการจัดแบ่งพื้นที่ย่อยในปากแม่น้ำด้วยค่าของความเค็มน้ำขณะที่ *น้ำลงต่ำสุด* นี้ นับเป็นแนวทางที่ดีมากสำหรับการกำหนดสถานีตัวแทนในการสุ่มตัวอย่างภายในแต่ละพื้นที่ปากแม่น้ำ ในการดำเนินการดังกล่าว เราควรวิเคราะห์หาค่า *"ความเค็มเฉลี่ยในรอบปี"* ของแต่ละ

ตำแหน่งย่อยออกมาในเบื้องต้นก่อน (เนื่องจากค่าความเค็มจะมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงปากแม่น้ำ) แล้วจึงนำข้อมูลภาพรวมที่ได้มาพิจารณาและจัดกลุ่ม (Cluster) ออกเป็นเขตพื้นที่ย่อยที่มีค่าความเค็มในช่วงใกล้เคียงกันได้ต่อไป

อนึ่ง ในกรณีที่ไม่สะดวกในการสุ่มตัวอย่างจากสถานีตัวแทนที่ใช้ค่าความเค็มของน้ำเป็นแนวแบ่ง แต่ใช้การกำหนด *"พิกัดทางภูมิศาสตร์"* ที่ตายตัวสำหรับแต่ละสถานีเพื่อการศึกษาในระยะยาว การระมัดระวังเรื่องความเค็มของน้ำที่แปรผันไปตามลักษณะการขึ้นลงของน้ำในแต่ละครั้งของการออกสำรวจจะมีความจำเป็นมาก เนื่องจากความเค็มของน้ำที่แปรผันไปจะมีบทบาทต่อการเจือจางที่อาจแตกต่างกัน และเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญในการตีความข้อมูลอย่างระมัดระวังทุกครั้ง ด้วยเหตุดังกล่าวค่าของ *"ความเค็ม"* จึงมีบทบาทต่อการระดับมลภาวะที่ปรากฏยกตัวอย่าง เช่น ในสภาวการณ์ที่น้ำมีความเค็มสูงขึ้นมาก (ช่วงน้ำขึ้นสูงสุด) ระดับมลภาวะที่พบมักมีค่าต่ำลงเนื่องจากการผสมผสานโดยน้ำทะเลจากภายนอก ทั้ง ๆ ที่ในช่วงดังกล่าวนั้นอาจมีปริมาณน้ำเสียจากแผ่นดินไหลลงมามากกว่าช่วงอื่นก็เป็นได้

สำหรับการกำหนดด้านระยะเวลาหรือฤดูกาลในการศึกษาติดตามสภาวะมลพิษ ต้องพิจารณาจากลักษณะของอิทธิพลที่มาจากกระบวนการทางธรรมชาติและจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ ซึ่งในลักษณะของกระบวนการทางธรรมชาตินั้นหากเป็นเขตพื้นที่ลำห้วยน้ำตกหรือลำธารขนาดเล็กจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ ในน้ำมาจากอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่เป็นหลัก ด้วยเหตุดังกล่าวการกำหนดช่วงเวลาในการศึกษาติดตามจึงควรนำข้อมูลด้านปริมาณน้ำฝน (นิยมใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือนในช่วง 5 ปีย้อนหลัง) มาพิจารณาประกอบ แล้วกำหนดช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนในระดับ ต่ำ ปานกลาง และ สูง เป็นอย่างน้อยเพื่อการศึกษา

พื้นที่แม่น้ำที่มี *อันดับ* (Order) ที่สูงมากขึ้น ซึ่งเป็นลำน้ำขนาดใหญ่ที่เกิดจากการรวมตัวของลำห้วยสาขาหรือลำธารสายเล็ก ๆ มารวมตัวกัน ลงมาจนถึงแม่น้ำตอนล่าง ซึ่งมักเป็นแม่น้ำขนาดใหญ่ที่เกิดจากการรวมตัวของแม่น้ำเล็ก ๆ หลายสาย ในพื้นที่แม่น้ำที่ใหญ่ขึ้นดังกล่าวจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงแทบทุกด้านในมวลน้ำได้รับการเหนี่ยวนำจากปริมาณน้ำท่า (Inflow) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในรอบปี ข้อมูลด้านปริมาณน้ำท่า (ปริมาตรการไหลของมวลน้ำผ่านหน้าตัดลำน้ำในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ) จึงจัดเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรนำมาใช้กำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการศึกษาติดตาม มากกว่าการใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนซึ่งมีบทบาทชัดเจนเฉพาะในพื้นที่เขตต้นน้ำลำธารเท่านั้น

สำหรับช่วงเวลาในรอบปีที่เกิดจากอิทธิพลของกิจกรรมโดยมนุษย์ โดยเฉพาะกิจกรรมทางการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำ การผันน้ำ รวมทั้งกิจกรรมด้านอุตสาหกรรมการเกษตรที่จำเป็นต้องใช้วัตถุดิบซึ่งเป็นพืชผลทางการเกษตรที่เกิดตามรอบฤดูกาลจำเพาะมาดำเนินการนั้น ความรู้ความเข้าใจใน "ปฏิทินฤดูกาล" ซึ่งให้รายละเอียดในช่วงเวลาที่มีกิจกรรมนั้น ๆ เกิดขึ้น ในปริมาณมาก จะเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดระยะเวลาในการศึกษาติดตามเพิ่มเติม ทั้งนี้ เนื่องจากกิจกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรหลายประเภทส่งผลต่อปริมาณการปล่อยน้ำเสีย/มลพิษในรูปต่าง ๆ ลงสู่แหล่งน้ำ การศึกษาข้อมูลจากปฏิทินฤดูกาลหรือกิจกรรมที่มีในพื้นที่จึง

จะทำให้ทราบ “ช่วงเวลาที่ก่อมลพิษได้สูงสุด” ซึ่งจำเป็นต้องใช้เพื่อการกำหนดในแผนเพื่อการศึกษาติดตามและวิเคราะห์ผลได้อย่างเหมาะสม

5.5) บทสรุปภาพรวม

ความรู้ความเข้าในในธรรมชาติของแหล่งน้ำ โดยเฉพาะในสภาวการณ์ด้านมลภาวะ ความเสื่อมโทรม หรือความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ ตลอดจนลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือตามปัจจัยจำเพาะที่เกี่ยวข้องกับสภาพการใช้ประโยชน์ในพื้นที่แหล่งน้ำ นับเป็นเรื่องสำคัญสำหรับการกำหนดแผนการบริหารจัดการแหล่งน้ำอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

ภาพที่ 5.3 แนวทางการประเมินสถานการณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำ

จากภาพรวมในการประมวลองค์ความรู้ที่ผ่านมาพบว่าการประเมินสถานการณ์ของทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศทางน้ำในด้านดังกล่าว นอกจากจะต้องพิจารณาจากระดับของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่ปรากฏแล้ว ยังจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลความรู้ในลักษณะการตอบสนองในกลุ่มของสิ่งมีชีวิต (หรือทรัพยากรชีวภาพที่สำคัญในระบบนิเวศ) ที่มีต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ นั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกัน นอกจากนี้ ยังจำเป็นต้องแยกวิเคราะห์ตามลักษณะจำเพาะของกลุ่มพื้นที่หรือประเภทของแหล่งน้ำ รวมทั้งคำนึงถึงความจำเพาะในเป้าหมายของการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำที่สนใจนั้นมาประกอบการพิจารณา (**ภาพที่ 5.3**)

ทั้งนี้ เราสามารถประเมินสภาวการณ์ของแหล่งน้ำในด้านคุณภาพน้ำเบื้องต้น (ซึ่งเชื่อมโยงกับสภาพความเป็นอยู่หรือความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ) ออกเป็นด้านต่าง ๆ ได้แก่ มีความเหมาะสม ไม่เหมาะสมเล็กน้อย ไม่เหมาะสมปานกลาง และไม่เหมาะสมมาก ตามลำดับ ส่วนในสภาวการณ์ด้านความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำนั้น สามารถจำแนกออกเป็นระดับความอุดมสมบูรณ์ที่; มีค่าต่ำมาก มีค่าต่ำ มีค่าปานกลาง มีค่าสูง จนถึงสภาวะที่สูงเกินไปจนระบบเสียสมดุล (หรือเกิดความเสื่อมโทรมลงไป) ตามลำดับ และสำหรับด้านมลภาวะนั้นสามารถจำแนกออกเป็นสถานการณ์ที่; ไม่พบมลภาวะ มีมลภาวะต่ำ มีมลภาวะปานกลาง มีมลภาวะรุนแรง และมีมลภาวะรุนแรงมาก ตามลำดับ (**ภาพที่ 5.3**)

ความรู้ความเข้าใจในธรรมชาติของแหล่งน้ำและการจำแนกสถานการณ์แหล่งน้ำอย่างชัดเจนดังกล่าวจะช่วยในการประเมินศักย์การรองรับมลภาวะ (หรือผลกระทบจากสภาวะกดดันต่าง ๆ) และประเมินรูปแบบ/ปริมาณการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในระบบนิเวศได้อย่างเหมาะสม และสามารถต่อยอดไปสู่การควบคุมและการวางแผนเพื่อการอนุรักษ์ดูแลแหล่งน้ำให้มีคุณภาพน้ำที่ดีหรือมีการผลิตทรัพยากรอย่างมีเสถียรภาพต่อไปได้

บทที่ 6

สถานการณ์และแนวทางในการจัดการปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำไหล

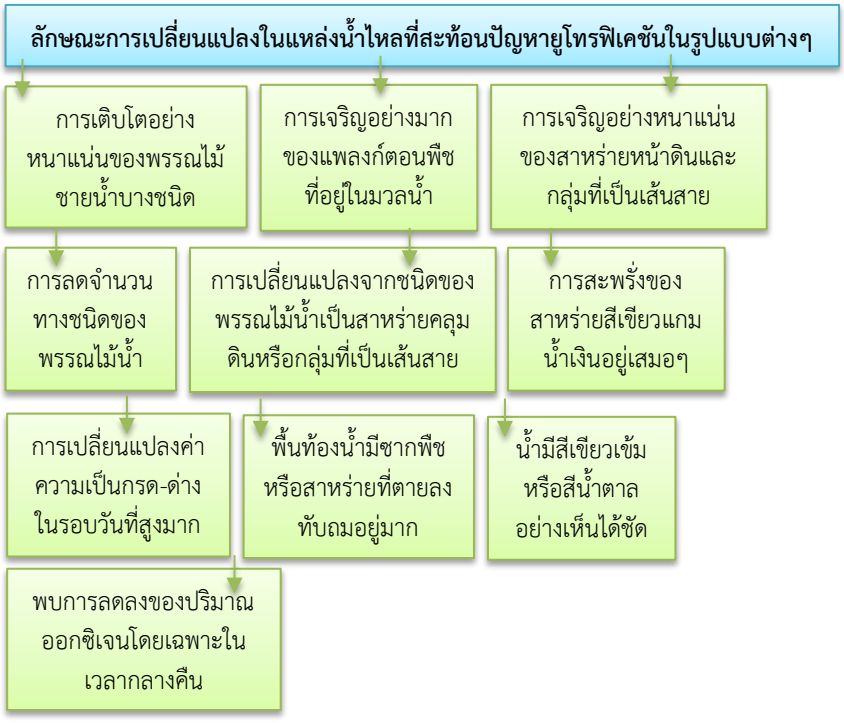
Status and Management Approach of Eutrophication Problems in Running Waters

ในทุก ๆ ประเทศที่มีการพัฒนาและการขยายตัวทางเศรษฐกิจอุตสาหกรรม และการขยายพื้นที่ทำการเกษตรและการตั้งถิ่นฐานของสังคมเมือง ปัญหาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมักจะเกิดสืบเนื่องตามมา ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งน้ำมีโอกาสได้รับน้ำทิ้งจากการใช้ประโยชน์ของชุมชนในรูปแบบต่าง ๆ มากขึ้น โดยทั่วไปปัญหาเบื้องต้นในแหล่งน้ำมักเกิดจากการที่จุลินทรีย์ในมวลน้ำทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย (Easily degraded organic matter) ที่ปนเปื้อนเข้ามาในมวลน้ำนั้น และทำให้เกิดปัญหาการลดลงของออกซิเจนละลายน้ำและส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทางน้ำ ปัญหาคุณภาพน้ำซึ่งในปัจจุบันได้รับการยอมรับว่าเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในแทบทุก ๆ แหล่งน้ำของโลกก็คือ การเพิ่มจำนวนของผู้ผลิตขั้นต้นในกลุ่มของแพลงก์ตอนพืช สาหร่ายหรือพรรณไม้น้ำภายในแหล่งน้ำ ทั้งในระบบนิเวศทะเลสาบ ในอ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ และปากแม่น้ำ (Mainstone and Parr, 2002) การเพิ่มจำนวนที่พบมากขึ้นเรื่อย ๆ และปัญหาการควบคุมได้ยากนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากการที่แหล่งน้ำได้รับปริมาณของแร่ธาตุอาหาร (โดยเฉพาะในกลุ่มของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) ลงมาอย่างมากเกินควร ทำให้เกิดการกระตุ้นการเจริญเติบโตจนหนาแน่นเกินควรและเกิดผลกระทบอย่างต่อเนื่องในแหล่งน้ำโดยเฉพาะปัญหาการขาดออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงของกลุ่มสิ่งมีชีวิตซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพในห่วงโซ่อาหารและผลผลิตทางการประมง ทำให้สถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายทางชีวภาพของแหล่งน้ำลดต่ำลง แหล่งน้ำเกิดปัญหาการเสื่อมโทรมลงอย่างยากต่อการฟื้นฟูในที่สุด

ปัญหายูโทรฟิเคชันจึงนับเป็นปัญหาที่เราทุกคนควรให้ความสนใจในการศึกษาติดตาม ทั้งนี้เพื่อสามารถหาทางป้องกันหรือบรรเทาเบาบางปัญหาได้อย่างเหมาะสมและทันท่วงที เนื้อหาในบทที่ 6 นี้ จึงเน้นการประมวลและสังเคราะห์ข้อมูลความรู้ในด้านสาเหตุของกระบวนการยูโทรฟิเคชันและรูปแบบของการเกิดขึ้นในแหล่งน้ำประเภทต่าง ๆ นอกจากนี้ ได้ให้ความรู้ความเข้าใจในอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำหรือการใช้ประโยชน์ที่มีต่อกระบวนการยูโทรฟิเคชัน และให้แนวคิด/หลักการด้านการแก้ปัญหา ตลอดจนประมวลเทคนิควิธีการในการบริหารจัดการเพื่อการป้องกันและการแก้ไขสถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างรอบคอบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1) ความเป็นมาและผลกระทบของปัญหายูโทรฟิเคชัน

ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) เป็นคำที่แสดงถึงการเพิ่มความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารที่พืชใช้ในพื้นที่แหล่งน้ำนิ่งและแหล่งน้ำอื่น ๆ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นตามมาในระบบนิเวศทางน้ำ ก็คือการเพิ่มปริมาณของพืชน้ำ รวมทั้งแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ และส่งผลถึงการเพิ่มทางปริมาณตลอดจนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชนิดของผู้ผลิตขั้นต้นชนิดที่มีความสามารถในการดึงเอาแร่ธาตุอาหารมาใช้ เกิดกระบวนการพัฒนาประชากร การแข่งขันการเจริญเติบโต (ซึ่งได้รับอิทธิพลจากทั้งระดับของธาตุอาหารและความเข้มแสงที่จำเพาะสำหรับแต่ละชนิด) และการเกิดทดแทนที่ของชนิดที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมใหม่นั้น ๆ (**ภาพที่ 6.1**) ผลที่เกิดขึ้นตามมาคือการเปลี่ยนแปลงภายในห่วงโซ่อาหาร (อาทิ การเปลี่ยนระดับความชุกชุมของผู้บริโภคในขั้นที่ต่อเนื่องต่าง ๆ) และผลในทางอ้อม คือ ความผันแปรของระดับออกซิเจนที่ละลายน้ำซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของซากพืชและ/หรือแพลงก์ตอนพืชที่ตายลง



ภาพที่ 6.1 ผลกระทบของปัญหายูโทรฟิเคชันต่อองค์ประกอบทางชีวภาพ (โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ผลิตขั้นต้น) และคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องในแหล่งน้ำประเภทแม่น้ำ

ในการศึกษาติดตามแหล่งน้ำที่มีการเกิดยูโทรฟิเคชันพบว่าปัญหาที่รุนแรงคือการทำให้เกิดสภาวะขาดออกซิเจนในแหล่งน้ำ (Oxygen-deficient condition) โดยเฉพาะในบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำ (ดังในรายงานของ Jorgensen and Richardson, 1996) ซึ่งทำให้ระดับของก๊าซอื่น ๆ อาทิ Nitrous oxide และ Methane ถูกปลดปล่อยออกมาสู่บรรยากาศของโลกมากขึ้น นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงในสถานการณ์การแลกเปลี่ยนถ่ายเทอิเลคตรอนของระบบการย่อยสลายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า Reduction–oxidation potential ภายในระบบนิเวศ ซึ่งส่งผลต่อการเคลื่อนย้ายหรือการเปลี่ยนรูปของมลพิษที่เป็นสารประกอบอินทรีย์และโลหะต่าง ๆ นับเป็นผลกระทบที่เกิดกับกระบวนการทางชีวเคมีและนิเวศวิทยาภายในแหล่งน้ำนั้น ๆ จากภาพรวมดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการเพิ่มปริมาณของแร่ธาตุอาหารที่เข้ามาสู่แหล่งน้ำโดยกระบวนการจากแผ่นดิน (ทั้งกระบวนการทางธรรมชาติและจากอิทธิพลของมนุษย์) จะมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศ และสามารถเกิดผลกระทบต่อสภาวะทางเศรษฐกิจสังคมของชุมชนที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้

ในด้านของสังคมในภาพรวมของภูมิภาคต่าง ๆ ในโลกทั้งที่อยู่ในเขตหนาว เขตร้อน หรือเขตอบอุ่น พบปัญหาการเกิดยูโทรฟิเคชันได้เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จากเดิมซึ่งเคยบันทึกไว้เกี่ยวกับการสะพรั่งของ Cyanobacteria ซึ่งทำให้เกิดภาวะมลพิษทางน้ำในช่วงปีค.ศ. 1980 (Anon, 1992) หลังจากนั้นพบว่ามีรายงานเกี่ยวกับปัญหานี้อย่างมากมาย และยังพบปัญหาการสะพรั่งของ Dinoflagellates ที่สร้างสารพิษและ/หรือส่งผลกระทบต่อระดับออกซิเจนในน้ำได้อย่างรุนแรงในแหล่งน้ำขนาดใหญ่หลายแห่ง โดยช่วงประมาณ 20 กว่าปีที่ผ่านมา มีการตีพิมพ์ผลงานการศึกษาวิเคราะห์ปัญหายูโทรฟิเคชัน โดยอธิบายด้านความเป็นมา สาเหตุ และมีการเสนอแนวทางในการจัดการ และมีการจัดทำเป็นคู่มือ (A Manual for Organization for Economics Cooperation and Development) ที่ให้ความรู้พื้นฐานและแนวทางการจัดการที่เป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง (Vollenweider and Kerekos, 1982) ผลการศึกษาดังกล่าวกระตุ้นให้นักวิชาการเริ่มหันมาสนใจปัญหานี้อย่างจริงจัง และเกิดความตื่นตัวในการวางแผนเพื่อการศึกษาติดตามและหาแนวทางป้องกัน อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันพบว่าปัญหายูโทรฟิเคชันยังคงมีการเกิดมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะในประเทศที่มีการพัฒนาทางการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วและมีการตั้งบ้านเรือนชุมชนที่หนาแน่นในบริเวณใกล้เคียงแหล่งน้ำ ปัญหาดังกล่าวสะท้อนสภาวะในการพัฒนาของโลกยุคใหม่และสังคมเมืองที่ขาดความเอาใจใส่ในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติอย่างเพียงพอ

การศึกษาในรอบสองทศวรรษที่ผ่านมาทำให้เราทราบว่าสาเหตุของปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ คือ แร่ธาตุในกลุ่มของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยไนโตรเจนมีแหล่งที่มาหลักมาจากพื้นที่ที่ประกอบกิจกรรมด้านการเกษตร ส่วนธาตุฟอสฟอรัสมีแหล่งที่มาหลัก คือ น้ำทิ้งจากบ้านเรือน (ซึ่งประมาณร้อยละ 50 เป็นสัดส่วนของสิ่งขับถ่ายจากมนุษย์และน้ำทิ้งจากการซักล้าง) การที่มีแหล่งของน้ำทิ้งจากบ้านเรือนจำนวนมากก็จะทำให้ระดับของปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจน ณ ปัจจุบันยังพบว่าฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำมีระดับเพิ่มขึ้นในเขตพื้นที่ที่รับน้ำจากกิจกรรมทางการเกษตร (Mc Garrigle, 1993) เนื่องมาจากสาเหตุในการชะล้างหน้าดินที่ถูกปรับเปลี่ยนพื้นที่ (Sharpley and Smith, 1990) การเพิ่มความหนาแน่นในการทำฟาร์มปศุสัตว์

(Wilson *et al*., 1993) และการทิ้งน้ำเสียจากฟาร์ม ตลอดจนการใช้ปุ๋ยในการปลูกพืชที่มีส่วนผสมของฟอสฟอรัส (Sharpley *et al*., 1994) ความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะชัดเจนขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูกาลที่มีปริมาณน้ำต้นทุนน้อยหรือในช่วงที่น้ำมีอัตราการไหลต่ำลง จากภาพรวมดังกล่าวเราควรให้ความสำคัญกับการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งสามารถเริ่มได้จากการจักสร้างระบบบำบัดน้ำเสียของชุมชนขนาดเล็ก ๆ ตามลำดับไป

นอกจากปัญหาในด้านการเพิ่มเชิงปริมาณของผู้ผลิตขั้นต้นในกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายในน้ำแล้ว ยังมีการเปลี่ยนแปลงทางชนิด โดยเฉพาะชนิดที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ตามมา อาทิ Cyanobacteria ที่มีการเพิ่มจำนวนในแหล่งน้ำจืด (Anon, 1992) และ Dinoflagellates ที่มีการเพิ่มจำนวนในพื้นที่ปากแม่น้ำ (Okada and Peterson, 2000) นอกจากนี้หากแหล่งน้ำมีแสงสว่างถึงพื้นท้องน้ำ ก็จะพบการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายบริเวณหน้าดินได้อย่างหนาแน่น ทั้งนี้พบว่าสำหรับพื้นที่แหล่งน้ำนิ่ง การเพิ่มจำนวนของสาหร่ายและพืชใต้น้ำจะเป็นปรากฏการณ์ที่สะท้อนสภาวการณ์ของยูโทรฟิเคชันที่เกิดขึ้นได้ ส่วนในพื้นที่แม่น้ำพบว่าสาหร่ายในกลุ่ม *Cladophora* และ *Enteromorpha* (Malati and Fox, 1985) มักเป็นตัวชี้วัดสภาวการณ์ของยูโทรฟิเคชันที่เด่นชัด โดยสามารถพบการเพิ่มของอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเหล่านี้จนปกคลุมพื้นที่ได้

ปัญหาจากกระบวนการยูโทรฟิเคชันโดยส่วนใหญ่อาจก่อผลกระทบที่ไม่เด่นชัดต่อสุขภาพของมนุษย์เราโดยตรง (ยกเว้นการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชที่ทำให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตราย) อย่างไรก็ตาม กระบวนการยูโทรฟิเคชันมีบทบาทต่อสมดุลธรรมชาติและการผลิตทรัพยากรชีวภาพในแหล่งน้ำ เราสามารถพบปัญหาการเพิ่มของสาหร่ายปกคลุมหน้าดินหรือการลดจำนวนของพรรณไม้ชายน้ำขนาดใหญ่ที่มีรากยึดเกาะ และปัญหาการลดระดับความหลากหลายทางชีวภาพของทรัพยากรมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น ๆ ตามมา (Mainstone and Parr, 2002) นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในแหล่งน้ำสามารถสร้างผลกระทบต่อสภาวะทางเศรษฐกิจในด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ ยกตัวอย่างเช่น ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำและตามแม่น้ำพบว่าการสะพรั่งของสาหร่ายและพรรณไม้น้ำอย่างหนาแน่นมีผลกระทบในทางลบต่อการท่องเที่ยวในพื้นที่อย่างชัดเจน ปัญหาในแหล่งน้ำยังมีผลต่อมูลค่าทางเศรษฐกิจของพื้นที่ชายน้ำที่ได้รับผลกระทบ ส่วนในกรณีที่แหล่งน้ำนั้นใช้เพื่อประโยชน์ในการผลิตน้ำประปา ปัญหายูโทรฟิเคชันซึ่งทำให้แพลงก์ตอนพืชเพิ่มจำนวนอย่างหนาแน่นยังจะมีผลกระทบต่อระบบการผลิตน้ำ ซึ่งทำให้เราต้องเพิ่มต้นทุนและระยะเวลาในการทำความสะอาดน้ำดิบเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

6.2) สถานการณ์และปัญหาของยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำต่าง ๆ

6.2.1) กระบวนการยูโทรฟิเคชัน: พัฒนาการเรียนรู้จากแหล่งน้ำนิ่ง

พื้นที่ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หรือหนองบึงต่าง ๆ มีลักษณะที่แตกต่างจากแม่น้ำ คือการเป็นแหล่งน้ำนิ่งซึ่งมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเสมือนเป็นอ่างกระทะที่รองรับมวลน้ำจากที่ต่าง ๆ โดยรอบ พื้นที่ดังกล่าวจึงมีแนวโน้มที่จะตื้นเขินขึ้นเนื่องจากการตกทับถมของตะกอนใหม่ๆ ทั้งที่เกิด

จากภายในแหล่งน้ำและตะกอนที่ถูกพัดพาลงมาเข้ามาสู่พื้นที่แหล่งนั้น ๆ แหล่งน้ำนิ่งในลักษณะนี้เมื่อได้รับแร่ธาตุอาหารที่ถ่ายเทลงมา (ทั้งจากกระบวนการกัดเซาะโดยฝนและการทิ้งน้ำเสียจากบ้านเรือนหรือกิจกรรมจากชุมชนโดยรอบ) ก็ย่อมมีแนวโน้มที่จะเกิดการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชขึ้นมาได้โดยง่าย (Moss, 1980)

ลักษณะปัญหาของยูโทรฟิเคชันในพื้นที่แหล่งน้ำนิ่งโดยทั่วไปจะสามารถสังเกตเห็นได้ง่ายจากการที่สีของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงจากน้ำที่ใสมาเป็นน้ำที่มีความขุ่นมากขึ้น พบตะกอนแขวนลอยเป็นจำนวนมาก อาจมีสีน้ำตาลเหลือง สีเขียวเข้ม หรือสีเขียวแกมน้ำเงิน และมักจะมีการเกิดของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ขึ้นมาอย่างมากจนสังเกตได้ชัดเจน ความขุ่นของน้ำโดยทั่วไปจะเกิดจากการสะพรั่งของสาหร่ายขนาดเล็กซึ่งลอยตัวอยู่ในมวลน้ำ ปัญหาดังกล่าวนอกจากจะทำให้พื้นที่สูญเสียลักษณะทางทัศนียภาพที่งดงามแล้ว แหล่งน้ำนิ่งดังกล่าวยังจะทำให้เสียต้นทุนในการบำบัดสูงขึ้น ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้เป็นน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำสะอาดในการอุปโภคบริโภคอีกด้วย

การศึกษาด้านยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำนิ่งประเภททะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หรือหนองบึงขนาดต่าง ๆ ได้รับความสนใจโดยเฉพาะในประเด็นด้านกระบวนการ รูปแบบ สาเหตุในการเกิดและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มของแร่ธาตุอาหาร ซึ่งเป็นผลจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ โดยทั้งนี้มีเป้าหมายในการศึกษาติดตามเพื่อการหาทางควบคุมสถานการณ์ปัญหาและฟื้นฟูพื้นที่แหล่งน้ำให้กลับมาอยู่ในสถานภาพที่ยอมรับได้ การศึกษาถึงปัญหาและกระบวนการเกิดสภาวะยูโทรฟิเคชันจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลแหล่งน้ำในแผ่นดินที่จำแนกตามประเภท ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ และลักษณะการใช้ประโยชน์ ตลอดจนใช้ข้อมูลด้านปัจจัยแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีบทบาทเกี่ยวข้องหลายปัจจัยมาประกอบกัน จากการศึกษาวิจัยในสหภาพยุโรปของ Vollenweider (1968) และ OECD (1982) เป็นกรณีศึกษาหนึ่งที่สำคัญและนับว่าเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาความรู้ทางด้านยูโทรฟิเคชันตั้งแต่สมัยแรกเริ่ม งานวิจัยดังกล่าวได้ดำเนินการภายใต้ความร่วมมือระดับนานาชาติ มีการศึกษาข้อมูลสถานภาพปัญหาและคุณภาพน้ำในพื้นที่ทะเลสาบจำนวนมากกว่า 100 แห่ง และได้ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ได้แก่ ระดับของแร่ธาตุอาหาร ค่าความขุ่นของน้ำ และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในน้ำ มาช่วยจัดจำแนกประเภทของแหล่งน้ำตามสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์และ/หรือระดับของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (**ตารางที่ 6.1**) โดยแบ่งออกเป็นออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ 1) แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก (Ultra-oligotrophic waters) 2) แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Oligotrophic waters) 3) แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (Mesotrophic waters) 4) แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (Eutrophic waters) และ 5) แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงมาก (Hypertrophic waters) ตามลำดับ

การจัดจำแนกประเภทแหล่งน้ำนิ่งในแผ่นดินตามระดับของแร่ธาตุอาหาร หรือระดับความอุดมสมบูรณ์ (ประเมินจากระดับของคลอโรฟิลล์ของแพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำ) ถือเป็นก้าวแรกที่สำคัญในการกำหนดทิศทางและรูปแบบในการศึกษาติดตามและการควบคุมดูแลแหล่งน้ำเพื่อการอนุรักษ์และการพัฒนาใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมต่อไปได้ ซึ่งหลังจากการจำแนกระดับความอุดมสมบูรณ์หรือสถานภาพทางด้านแร่ธาตุอาหารของแหล่งน้ำต่าง ๆ แล้ว การศึกษารายละเอียด

สำหรับแต่ละแหล่งน้ำเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหาด้านยูโทรฟิเคชันจะมีทิศทางที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 6.1 เกณฑ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่ OEDC (1982) เสนอให้ใช้ในการจำแนกสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ (Trophic category) ออกเป็น 5 ประเภท ไล่จากความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก (Ultra-oligotrophic) ไปจนถึงระดับสูงมาก (Hypertrophic) ตามลำดับ

สถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ	ฟอสเฟทในน้ำ (μg/L)	คลอโรฟิลด์เฉลี่ย (μg/L)	คลอโรฟิลด์สูงสุด (μg/L)	ความโปร่งแสงเฉลี่ย (m)	ความโปร่งแสงต่ำสุด (m)
ความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก	≤ 4.0	≤ 1.0	≤ 2.5	≥ 12.0	≥ 6.0
ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	≤ 10.0	≤ 2.5	≤ 8	≥ 6.0	≥ 3.0
ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	10 - 35	2.5 - 8	8 - 25	6 - 3	3 – 1.5
ความอุดมสมบูรณ์สูง	35 - 100	8 – 25	25 – 75	3 – 1.5	1.5 – 0.7
ความอุดมสมบูรณ์สูงมาก	≥ 100	≥ 25	≥ 75	≤ 1.5	≤ 0.7

เมื่อพิจารณาด้านแร่ธาตุอาหารที่เป็นสาเหตุสำคัญของปัญหายูโทรฟิเคชันและได้รับการกล่าวถึงกันอย่างมาก พบว่าประเด็นการศึกษาวิจัยด้านแร่ธาตุอาหารได้มุ่งเน้นการวิเคราะห์หาระดับของแร่ธาตุอาหารที่เป็น “ปัจจัยจำกัด” (Limiting nutrient) ที่จำเพาะเจาะจงสำหรับแหล่งน้ำหนึ่ง ๆ ซึ่งการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ Limiting nutrient ดังกล่าวมีรากฐานมาจากแนวคิดของ Hutchinson (1973) ผนวกกับงานศึกษาค้นคว้าแรกเริ่มที่มีมาในด้านองค์ประกอบของแร่ธาตุอาหารในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในสัดส่วนที่ค่อนข้างชัดเจน โดยมีธาตุซิลิกอนเป็นองค์ประกอบสำคัญเพิ่มเติมสำหรับแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มไดอะตอม (Redfield, 1934) ทั้งนี้ พบว่าแพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำจะสามารถแบ่งเซลล์จาก 1 เซลล์แม่ เป็น 2 เซลล์ลูก ได้เรื่อยไปตราบเท่าที่ยังมีแร่ธาตุอาหารในน้ำที่พอเพียงต่อการเจริญเติบโต ซึ่งจัดเป็นวิธีการขยายขนาดประชากรของแพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำ อย่างไรก็ตาม เมื่อมีประชากรขยายไปจนถึงระดับหนึ่งที่ขยายต่อไปไม่ได้ จะพบว่า ณ ขณะนั้นแร่ธาตุอาหารประเภทใดประเภทหนึ่งได้ลดจำนวนลงมากหรืออาจถูกใช้หมดไป ซึ่งผลการศึกษาในภาพรวมได้ชี้ให้เห็นว่ามวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่จะเกิดขึ้นได้สูงสุด ณ อุณหภูมิและความเข้มแสงหนึ่ง ๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณหรือความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัดนั้น

ในแหล่งน้ำประเภททะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำโดยทั่วไปมีรายงานว่าแร่ธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัด คือ ฟอสฟอรัส มีเพียงบางแหล่งน้ำที่พบว่าไนโตรเจน หรือทั้งฟอสฟอรัสและไนโตรเจน

เป็นปัจจัยจำกัด ซึ่งจะเป็นการรายงานจากแหล่งน้ำที่มีความเป็นกรดสูง (Acidic lake; Maberly *et al*., 2002, 2003) หรือพื้นที่ที่มีการรับน้ำที่มีฟอสฟอรัสสูงเข้ามา (อาทิ จากรายงานของ James *et al*., 2003) การถูกจำกัดโดยแร่ธาตุอาหารดังกล่าวมักเกิดในช่วงฤดูที่มีการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชในรอบปี ซึ่งผลจากความรู้ความเข้าใจดังกล่าวนี้จะทำให้เราสามารถประเมินสถานการณ์ของแร่ธาตุอาหารที่สำคัญและการวางแผนในการควบคุมได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป

การพัฒนาความรู้อีกด้านหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่งต่อกระบวนการในการบริหารจัดการแหล่งน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ คือ ความรู้ในเรื่อง “อัตราการถ่ายเทออก” หรือ Flushing rate ของระบบแหล่งน้ำที่มีความจำเพาะตัวและมีบทบาทต่อการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ การติดตามวิเคราะห์ “Flushing rate” เป็นแนวคิดสำคัญซึ่ง Vollenweider (OECD, 1982) ได้นำเสนอจากรากฐานความรู้ทางด้านวิศวกรรมเคมีเพื่อการอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงของอัตราทางชีวเคมีต่าง ๆ ในแหล่งน้ำ Flushing Rate ในที่นี้คำนวณมาจากสัดส่วนของอัตราการไหลต่อปริมาตรในภาพรวมของมวลน้ำที่พิจารณา (Flow rate/volume) ซึ่งหากพิจารณาในประเด็นด้าน “เวลา” ที่มวลน้ำคงตัวอยู่ในแหล่งน้ำนั้น ๆ หรือ “Water Retention Time” ก็จะพบว่าปัจจัยดังกล่าวนี้มีบทบาทสำคัญต่อโอกาสในการเจริญเติบโตของประชากรแพลงก์ตอนพืชหรือพรรณไม้น้ำอื่น ๆ ที่เป็นผู้ใช้แร่ธาตุอาหาร (เป็นผู้ผลิตขั้นต้น) ในแหล่งน้ำ

ในกรณีที่แหล่งน้ำมี Flushing Rate สูงกว่าอัตราการเจริญของประชากรแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำจะไม่สามารถเจริญเติบโตจนมีมวลชีวภาพได้สูงสุดตามที่ระดับแร่ธาตุอาหารในน้ำเอื้ออำนวยให้ ทั้งนี้ เนื่องจากแพลงก์ตอนที่กำลังเจริญขึ้นมาจะถูกพัดพาหรือถ่ายเทออกไปตามมวลน้ำสู่นอกระบบที่พิจารณานั้น ๆ ด้วยลักษณะดังกล่าวแหล่งน้ำประเภททะเลสาบอ่างเก็บน้ำ หรือหนองบึงใด ๆ ที่มวลน้ำมีอัตราการถ่ายเทออกได้สูง (High flushing rate) และ/หรือมีระยะเวลาที่มวลน้ำคงตัวอยู่ในพื้นที่ได้แค่ช่วงสั้น ๆ (Low retention time) แหล่งน้ำนั้น ๆ มักจะไม่พบการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชที่ชัดเจน ถึงแม้ว่าจะได้รับแร่ธาตุอาหารจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์โดยรอบแหล่งน้ำนั้นมากก็ตาม

สำหรับในกรณีที่แหล่งน้ำนั้นมีการเคลื่อนตัวของมวลน้ำน้อย มวลน้ำแทบจะไม่มีการเคลื่อนย้ายออกนอกระบบ ซึ่งแสดงความคงตัวอยู่ในระบบแหล่งน้ำนั้นนิ่งนานไปเรื่อย ๆ แพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำจะสามารถเจริญเติบโตและขยายขนาดของประชากรเพิ่มขึ้นได้เรื่อย ๆ จนมีความหนาแน่นที่สูง แหล่งน้ำดังกล่าวมักจะเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันจากการเพิ่มจำนวนอย่างหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชและพรรณไม้น้ำชนิดต่าง ๆ รวมทั้งอาจเกิดปรากฏการณ์ที่แร่ธาตุอาหารถูกใช้หมดไป เกิดการจำกัดของแร่ธาตุอาหารในบางชนิดที่จะถูกใช้มาก (Limiting nutrient) ซึ่งหลังจากนั้นมักพบการตายลงของแพลงก์ตอนพืชเป็นจำนวนมาก และส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมทางน้ำโดยเฉพาะการขาดออกซิเจนละลายน้ำในช่วงเวลากลางคืนได้

ความรู้ทางด้านแร่ธาตุอาหาร ผนวกกับปัจจัยที่แพลงก์ตอนพืชจำเป็นต้องใช้ คือ เรื่องของแสง ปัจจัยด้านอุณหภูมิในแหล่งน้ำ ตลอดจนอัตราการเคลื่อนย้ายถ่ายเทของมวลน้ำ ได้นำมาสู่การพัฒนาโมเดลต้นแบบเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงหรือการตอบสนองทางมวลชีวภาพของประชากรแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ โมเดลที่มีความสำคัญและมีการประยุกต์ใช้กันมาก ได้แก่ PROTECH

model (Reynold *et al*., 2001) ซึ่งก่อให้เกิดการบริหารจัดการแหล่งน้ำ และการกำหนดนโยบายเพื่อการควบคุมแร่ธาตุอาหารสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มประชากรของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำต่อมา (Hilton *et al*., 1992, May *et al*., 2001)

ผลจากการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านนิเวศวิทยาประชากรของแพลงก์ตอนพืช โดยเฉพาะในรูปแบบของโมเดลทางนิเวศวิทยาที่นำมาสู่การควบคุมปริมาณการปล่อยของเสียในรูปแร่ธาตุอาหารลงมาสู่แหล่งน้ำประเภททะเลสาบและอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ก่อให้เกิดการเรียนรู้ตามมาว่าการฟื้นฟูแหล่งน้ำที่มีความลึกมาก ๆ อาทิ อ่างเก็บน้ำที่มีชั้นของน้ำด้านบนและด้านล่างแยกชั้นกันอย่างชัดเจนอย่างน้อยในช่วงฤดูกาลหนึ่ง (มักเป็นฤดูร้อน) ในรอบปีนั้น หากสามารถควบคุมหรือจำกัดแร่ธาตุอาหารที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำแล้ว คุณภาพของแหล่งน้ำจะค่อย ๆ พัฒนาขึ้นและระบบนิเวศของแหล่งน้ำจะกลับมาสู่สมดุลในสภาพที่มีแร่ธาตุอาหารต่ำลงได้ในเวลาไม่กี่ปี อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่เป็นแหล่งน้ำนิ่งที่มีความลึกน้อยและน้ำไม่แบ่งชั้นกันเลยนั้น การฟื้นฟูให้แหล่งน้ำนั้นกลับมาดีได้ใหม่อาจจำเป็นต้องใช้เวลาเป็นสิบ ๆ ปีหรือยาวนานมากกว่านั้น (Osborne, 1980; Sas, 1989; Phillips, 1984; Edmonson and Lehman, 1981) เหตุที่เป็นเช่นนั้นเนื่องมาจากแร่ธาตุอาหารมีแหล่งที่มาเพิ่มเติมจากบริเวณพื้นท้องน้ำซึ่งเกิดกระบวนการหมุนเวียนแร่ธาตุอาหารกลับขึ้นมาสู่มวลน้ำได้ง่ายและส่งผลให้แพลงก์ตอนพืชสามารถเจริญเติบโตและขยายประชากรได้อยู่เสมอนั่นเอง

ประเด็นที่แร่ธาตุอาหารสามารถหมุนเวียนกลับขึ้นมาสู่มวลน้ำได้นี้ นับว่าเป็นเรื่องสำคัญอีกเรื่องหนึ่งที่ทำให้เห็นความจำเป็นในการปรับปรุงโมเดลความสัมพันธ์ในระบบนิเวศโดยการเพิ่มสัดส่วนของแร่ธาตุอาหารที่มาจากกระบวนการที่เกิดจากบริเวณพื้นท้องน้ำเข้ามาสู่โมเดลเพื่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงในประชากรของผู้ผลิตขั้นต้นภาพรวม ซึ่ง ณ ปัจจุบันการศึกษาวิจัยทางด้านนี้ยังต้องการการพัฒนาอีกมาก ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลความรู้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเรื่องระดับของแสงและการกระตุ้นโดยกระบวนการทางกายภาพต่าง ๆ อาทิ การเคลื่อนตัวของน้ำจากการพัดพาของลมที่ผิวน้ำ และการแพร่ของสาร ฯลฯ หรือโดยกระบวนการทางชีวเคมี อาทิ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในภาวะไร้ออกซิเจน และการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากหน้าดิน ฯลฯ ยังนับว่ามีอยู่น้อยและยังไม่ชัดเจน นอกจากนี้ ในแต่ละพื้นที่ยังมีปัจจัยร่วมที่มีบทบาทเฉพาะที่แตกต่างกันไปและจำเป็นต้องศึกษาและพัฒนาความรู้เพื่อการนำไปใช้แก้ปัญหาได้อย่างเป็นรูปธรรมต่อไป

6.2.2) สถานการณ์และปัญหายูโทรฟิเคชันในพื้นที่แม่น้ำ

ความจำเพาะของแม่น้ำซึ่งเป็นแหล่งน้ำไหล (Running waters) ที่มีความแตกต่างกับแหล่งน้ำนิ่งอย่างมาก (โดยเฉพาะลักษณะพื้นฐานทางสัณฐานวิทยาที่ค่อนข้างตื้นกว่าเมื่อเทียบกับผิวสัมผัสด้านบนสุดที่มีและลักษณะทางอุทกวิยาที่มวลน้ำมีการเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลา) ทำให้การประยุกต์ใช้เกณฑ์การแบ่งระดับความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำที่เคยใช้เป็นหลักการอ้างอิงสำหรับแหล่งน้ำนิ่งแต่เดิมมาได้ถูกปรับเปลี่ยนให้มีความเหมาะสมกับสภาพทางนิเวศวิทยาและการตอบสนองของทรัพยากรผู้ผลิตขั้นต้นในมวลน้ำที่มีความแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตาม ระบบนิเวศของแหล่งแม่น้ำลำธารส่วนใหญ่ได้รับแหล่งที่มาของสารอินทรีย์มาจากภายนอกระบบ ซึ่งเป็นการพัดพาเข้ามาแล้วเกิดการบริโภค ย่อยสลาย หรือใช้ประโยชน์เพื่อการผลิต (Heterotrophic

production) ในสัดส่วนที่มากกว่ากระบวนการสร้างสารอินทรีย์ขึ้นมา (Autotrophic production) ภายในระบบนั้น ด้วยเหตุดังกล่าวการพิจารณาสถานภาพในการผลิตของระบบน้ำไหล เช่น แม่น้ำลำธาร จึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการประเมินกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการพัดพาของคาร์บอนอินทรีย์ที่เข้ามาสู่แหล่งน้ำนั้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำนิ่ง แหล่งน้ำไหลทั่วไปมักมีความลึกที่น้อยกว่าและมวลน้ำมีโอกาสเคลื่อนตัวและแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับชั้นบรรยากาศได้ตลอดเวลา ดังนั้นลักษณะการเกิดชั้นความลึกของน้ำที่ระดับออกซิเจนละลายน้ำได้ลดลงมากและเกิดชั้นน้ำที่มีออกซิเจนต่ำ (Hypolimnion) ดังเช่นการพบในแหล่งน้ำนิ่งเขตทะเลสาบที่มีสถานภาพความอุดมสมบูรณ์สูงนั้นก็จะไม่พบในแหล่งน้ำไหลเลย นอกจากนี้ในแหล่งน้ำไหลนั้นแร่ธาตุอาหารที่ถูกเติมเข้ามาภายในระบบมักเกิดจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในมวลน้ำที่มี หรือมาจากการพัดพาของน้ำใต้ดิน และ/หรือจากการกัดเซาะที่เกิดภายในพื้นที่นั้น ๆ เป็นหลัก ด้วยเหตุดังกล่าวการจำแนก “เขตทางนิเวศวิทยา” (Eco-zonation) ของพื้นที่แหล่งน้ำไหลที่ชัดเจนจึงมีความจำเป็น ในการนี้หากได้นำข้อมูลด้านแร่ธาตุอาหาร ผลผลิตขั้นต้น รวมทั้งระดับของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในแต่ละเขตมาพิจารณาลักษณะการกระจายและแนวโน้มความสัมพันธ์ภายในที่มี จะทำให้เราสามารถเข้าใจสถานภาพจาก “ระดับพื้นฐาน” (Based-line concentration) ของปัจจัยสำคัญต่าง ๆ ได้ถูกต้องอย่างเหมาะสมกับเขตพื้นที่ สามารถเปรียบเทียบระดับในแต่ละเขตแหล่งน้ำหรือระหว่างแต่ละลุ่มน้ำได้ และใช้เป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์โอกาสการเพิ่มขึ้นหรือการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของผลผลิตที่มีในแหล่งน้ำได้ต่อไป

6.2.2.1) คลอโรฟิลล์และสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันในพื้นที่แม่น้ำ

ในหลักการแต่เดิมมาเราจะใช้การแบ่งกลุ่มระดับความอุดมสมบูรณ์จากระดับการมีแร่ธาตุอาหารต่ำสุด สำหรับแหล่งน้ำไหลที่ไม่ได้รับผลกระทบหรือการใช้ประโยชน์ใด ๆ จากมนุษย์ มาเป็นระดับกลางและระดับสูงสุดที่มีในระบบนิเวศที่คล้ายคลึงกันหรืออยู่ในเขตภูมิภาคเดียวกัน โดยในการแบ่งแต่ละกลุ่มนั้น จะกำหนดการกระจายของแต่ละส่วนให้เท่าๆ กัน (อย่างละ 1 ใน 3 ของการกระจายในข้อมูลทั้งหมด) และจำแนกระดับความอุดมสมบูรณ์เป็นระดับต่ำ ปานกลาง และ สูง (Oligotrophic-, Mesotrophic- และ Eutrophic-) ตามกลุ่มที่จัดไว้นั้น ตามลำดับ แนวทางการแบ่งกลุ่มดังกล่าวจะทำให้เราสามารถเห็นสถานการณ์ในภาพรวมของพื้นที่เชิงเปรียบเทียบและสามารถประเมินผลเมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ สำหรับการประเมินสถานการณ์ปัญหายูโทรฟิเคชันในพื้นที่แม่น้ำแต่เดิมมานั้น มีการใช้ระดับของคลอโรฟิลล์ที่ยึดเกาะตามพื้นผิวของวัตถุพื้นท้องน้ำเป็นเกณฑ์ โดยหากคลอโรฟิลล์มีระดับที่สูงกว่า 100 mg/m^2 แหล่งน้ำนั้นจะจัดอยู่ในสถานการณ์ที่เริ่มเกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน ซึ่งอย่างน้อยจะทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่เหมาะสมสำหรับแหล่งน้ำ (Welch *et al*., 1988) จากการจัดแบ่งกลุ่มของแหล่งน้ำตามเกณฑ์ข้างต้นพบว่าแหล่งน้ำประเภทที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำส่วนใหญ่ (มากกว่า 90 %) จะแสดง “ค่าเฉลี่ย” ของคลอโรฟิลล์พื้นท้องน้ำต่ำกว่าเกณฑ์นี้ อย่างไรก็ตามในแหล่งน้ำดังกล่าวเราสามารถพบค่าสูงสุดของคลอโรฟิลล์

พื้นท้องน้ำในบางบริเวณที่อาจเพิ่มขึ้นสูงกว่า 100 mg/m^2 เนื่องจากในระบบของแม่น้ำทั่วไปมักมีความแปรปรวนในพื้นที่ย่อยต่าง ๆ ค่อนข้างมาก

แนวคิดสำคัญที่เรียนรู้ได้จากการศึกษาวิจัยข้อมูลของแหล่งน้ำไหลในประเทศเขตอบอุ่น คือ ความจำเป็นที่จะต้องเทียบเคียงสถานภาพในการกระจายของข้อมูลด้านแร่ธาตุอาหารในกลุ่มพื้นที่แหล่งน้ำที่อยู่ในเขตทางนิเวศวิทยาที่คล้ายคลึงกัน โดยในเบื้องต้นควรนำข้อมูลด้านแร่ธาตุอาหารจากกลุ่มพื้นที่แหล่งน้ำในเขตทางนิเวศวิทยาแต่ละเขตนั้นมาจัดเรียงและ/หรือจัดกลุ่มย่อยภายในออกเป็นอย่างน้อย 3 กลุ่มจากน้อยไปมาก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำความเข้าใจระดับของคลอโรฟิลล์พื้นฐาน (คลอโรฟิลล์ระดับต่ำสุด) ที่เกิดตามลักษณะธรรมชาติหรือตามปัจจัยทางนิเวศวิทยาของพื้นที่ (ซึ่งเป็นระดับที่ได้รับผลกระทบจากมนุษย์น้อยที่สุด) มาใช้เทียบเคียงเพื่อประเมินสถานภาพและลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มพื้นที่ได้ต่อไป

ผลการศึกษาของ Basu and Pick (1996) ในพื้นที่แม่น้ำของประเทศแคนาดาพบความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุอาหารไนโตรเจนรวม (Total N; µg/L) กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในมวลน้ำ (Planktonic chlorophyll; µg/L) ดังสมการ; Log Planktonic chlorophyll = -1.247 + 0.676 log Total N (r^2 = 0.65) สมการนี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวกหรือ บทบาทของแร่ธาตุอาหารที่สามารถกระตุ้นให้ระดับของคลอโรฟิลล์ในแม่น้ำเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าระดับคลอโรฟิลล์ในเขตแม่น้ำมีลักษณะการตอบสนองต่อการเพิ่มของระดับแร่ธาตุอาหาร Total N หรือ Total P ในอัตราที่ต่ำกว่าคลอโรฟิลล์ที่พบในเขตน้ำเสมอ (Søballe and Kimmel, 1987)

ในพื้นที่แม่น้ำท่าจีนของประเทศไทย เราพบระดับของระดับแร่ธาตุอาหารในรูปออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}) ที่สูงมาก (Meksumpun and Meksumpun, 2008) ผลการศึกษาวิจัยในช่วงปี พ.ศ. 2549-2550 พบว่าในแม่น้ำท่าจีนมีระดับ PO_4^{3-} สูงกว่าระดับในประเทศแคนาดาที่กล่าวมาข้างต้นถึง 10-15 เท่า โดยมีระดับสูงสุดถึงประมาณ 1,000 µg/L ความเข้มข้นที่สูงมากดังกล่าวทำให้ฟอสเฟตไม่ได้เป็นปัจจัยจำกัดหลักในแหล่งแม่น้ำนี้ (โดยเฉพาะในช่วงที่ระดับของฟอสเฟตสูงเกิน 2 µm ไป) และพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในมวลน้ำได้รับอิทธิพลจากปัจจัยร่วมอื่น อาทิ ปริมาณแสง และอัตราการไหลของแม่น้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากพิจารณาพื้นที่แม่น้ำออกเป็นระบบนิเวศย่อยต่าง ๆ จากตอนบนลงมาตอนล่าง (4 เขต) ซึ่งมีลักษณะการไหลของน้ำและการรับอิทธิพลจากการใช้ประโยชน์ในรอบปีแตกต่างกัน และนำค่าเฉลี่ยของระดับคลอโรฟิลล์ (Chl *a*; µg/L) และค่าเฉลี่ยของฟอสเฟต (PO_4^{3-}; µm) ในแต่ละเขตมาพิจารณาจะพบว่าระดับคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสเฟต ดังสมการ Log Chl *a* = log 2.13 + 0.61 log PO_4^{3-} (r^2 = 0.88) (จารุมาศและคณะ 2554) นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2549-2553 ระดับของคลอโรฟิลล์ในแต่ละเขตของแม่น้ำมีลักษณะที่ค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้ ในพื้นที่ตอนบนสุดมีระดับที่ต่ำกว่าในพื้นที่ตอนล่างและเขตปากแม่น้ำประมาณ 17 เท่า ลักษณะความแตกต่างดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความจำเพาะของแต่ละเขตพื้นที่ที่แตกต่างกันไป ซึ่งเป็นความรู้ที่ควรนำไปใช้ในการวางแผนบริหารจัดการด้านการดูแลคุณภาพน้ำและการควบคุมสถานการณ์แหล่งน้ำให้เป็นไปตามระดับธรรมชาติที่มีอย่างยั่งยืน

6.2.2.2) พรรณไม้น้ำและสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันในพื้นที่แม่น้ำ

ในการศึกษาวิจัยด้านระดับของยูโทรฟิเคชันในแม่น้ำบางพื้นที่ที่มวลน้ำมีการถ่ายเทดี (Short-retention time river) ซึ่งมักเป็นบริเวณที่มีน้ำไหลเร็ว น้ำค่อนข้างใส และประกอบด้วยผู้ผลิตขั้นต้นหลักเป็นกลุ่มของพรรณไม้น้ำรวมทั้งสาหร่ายชนิดต่าง ๆ ในพื้นที่แม่น้ำดังกล่าวเราสามารถจัดจำแนกสถานภาพของยูโทรฟิเคชันของแม่น้ำตามแนวทางของ Hilton *et al*. (2006) ซึ่งเป็นการตอบสนองทางนิเวศวิทยาของกลุ่มของพรรณไม้น้ำและสาหร่ายต่อสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันที่เกิดในพื้นที่แม่น้ำออกเป็น 4 สถานภาพ ตามลักษณะดังนี้

1) **สถานภาพที่มีแร่ธาตุอาหารต่ำ** (Oligotrophic status)

ในแม่น้ำจะประกอบไปด้วยพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่โดยเฉพาะพรรณไม้ที่อยู่ใต้น้ำ (Submerged species) ที่มีความสมบูรณ์แข็งแรงและมีความหลากหลายทางชนิดสูง

2) **สถานภาพที่มีแร่ธาตุอาหารปานกลาง** (Mesotrophic status)

ในแม่น้ำประกอบไปด้วยพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ที่สมบูรณ์ และมีการเจริญของพรรณไม้ที่มีประสิทธิภาพในการรับแสงมากขึ้น อาทิ ในกลุ่มของพรรณไม้กึ่งจมน้ำและกลุ่มที่ชูลำต้นหรือส่วนใบและดอกโผล่พ้นผิวน้ำ นอกจากนี้ยังพบการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็กบริเวณผิวของใบหรือในบริเวณผิวหน้าดินและหินใต้ท้องน้ำ

3) **สถานภาพที่มีแร่ธาตุอาหารสูง** (Eutrophic status)

ในแม่น้ำประกอบด้วยพรรณไม้ใต้น้ำที่ค่อนข้างเสื่อมโทรมจากการถูกปกคลุมโดยสาหร่ายขนาดเล็กที่กระจายเต็มส่วนของใบและลำต้นใต้น้ำ พรรณไม้ชนิดเด่นมักเป็นพวกที่มีใบลอยอยู่ที่ระดับผิวน้ำหรือกลุ่มที่ชูลำต้นโผล่พ้นน้ำขึ้นมาได้ และพบเห็นสาหร่ายบริเวณหน้าดินได้อย่างชัดเจน

4) **สถานภาพที่มีแร่ธาตุอาหารสูงมาก** (Hyper-eutrophic status)

ในแหล่งน้ำไม่พบพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่เลย เป็นแหล่งน้ำที่ดูโล่ง แต่จะถูกปกคลุมด้วยสาหร่ายที่เป็นเส้นสายหรือเป็นเมือกเคลือบบริเวณผิวหน้าของพื้นท้องน้ำ (อาทิ พบการปกคลุมของสาหร่ายชนิด *Cladophora* อย่างหนาแน่น) (**ภาพที่ 6.2**)

อนึ่ง ระดับของแร่ธาตุอาหารที่พบในแต่ละสถานการณ์ของยูโทรฟิเคชันต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีระดับที่สูงมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อการจำแนกประเภทของแหล่งน้ำหรือสถานการณ์ของยูโทรฟิเคชันในน้ำนิ่ง (เขตทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ) ซึ่งเราไม่สามารถนำมาเทียบเคียงกันได้ นอกจากนี้ ระดับของแร่ธาตุอาหารในรูปของฟอสฟอรัสในแม่น้ำยังควรพิจารณารูปของฟอสฟอรัสที่พรรณไม้น้ำสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม บทบาทของแร่ธาตุอาหารในแม่น้ำจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำมากน้อยเพียงใดนั้น ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญอื่น ๆ อาทิ ลักษณะในการเคลื่อนตัวของมวลน้ำหรือความเร็วของน้ำในแม่น้ำอีกด้วย

ภาพที่ 6.2 ลักษณะของการที่สาหร่ายสีเขียวได้เจริญขึ้นคลุมพื้นที่เดิมที่เคยมีพรรณไม้น้ำในกลุ่มสาหร่ายหางกระรอกและดีปลีน้ำอย่างหนาแน่น (พบในลำธารน้ำตื้นบริเวณท้ายเขื่อนเพชร จังหวัดเพชรบุรี มีความลึกน้ำประมาณ 30-50 cm)

6.2.3) สถานการณ์และปัญหายูโทรฟิเคชันในพื้นที่ปากแม่น้ำ

ในพื้นที่ปากแม่น้ำ เขตชายฝั่งและในพื้นที่ทะเลนั้นนับว่ามีการพูดถึงปัญหายูโทรฟิเคชันมากกว่าในเขตแม่น้ำ โดยเฉพาะในประเทศที่มีพื้นที่ชายทะเลและอ่าวลักษณะกึ่งปิดจำนวนมาก เช่น ประเทศเนเธอร์แลนด์ อังกฤษ และเดนมาร์ก ซึ่งโดยทั่วไปพบว่าสาเหตุของการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในพื้นที่ดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับแหล่งน้ำนิ่งในแผ่นดิน อย่างไรก็ตาม กระบวนการในพื้นที่เขตชายฝั่งน้ำตื้น ที่อิทธิพลของกระแสน้ำสามารถส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุฟอสฟอรัสขึ้นมาใหม่ นอกจากนี้ยังมักพบกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของไนเตรท (Denitrification) ซึ่งส่งผลให้ธาตุไนโตรเจนมีโอกาสเปลี่ยนรูปและหายออกนอกระบบขึ้นไปในชั้นบรรยากาศ เป็นผลให้พื้นที่ดังกล่าวมักมีการขาดแร่ธาตุไนโตรเจน(Nitrogen limitation) ได้มากกว่าในพื้นที่แหล่งน้ำนิ่งในเขตแผ่นดิน

สำหรับปัญหาการชะล้างพังทลายของดินและการรับเอาแร่ธาตุอาหารจากหน้าดินที่มักเกิดขึ้นในส่วนพื้นที่รับน้ำในแผ่นดินนั้นมักไม่ค่อยส่งผลมาถึงบริเวณปากแม่น้ำและเขตทะเล ได้ในบริเวณกว้าง ทั้งนี้ เนื่องจากในระบบของลุ่มน้ำปัจจุบันมีการพัดพาปริมาณน้ำและตะกอนลงสู่เขตทะเลได้น้อยลงซึ่งเป็นผลจากการปรับระบบทางเดินของน้ำเพื่อการจัดสรรด้านชลประทาน มีการสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำ และมีการทำประตูผันน้ำเป็นระยะ ๆ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบลุ่มน้ำเดิมที่ธรรมชาติของน้ำจะมีการพัดพาเอาตะกอนสารแขวนลอยและสารละลายต่าง ๆ ลงสู่เขตทะเล ในประเด็นดังกล่าวนี้มีรายงานของ Milliman *et al.* (1984) และ Halim (1991) ได้

แสดงให้เห็นผลกระทบของปัญหาของการมีประตูกั้นน้ำต่อการกัดเซาะพังทลายของพื้นที่ชายฝั่งที่มีมากขึ้นเรื่อย ๆ และเกิดผลกระทบต่อผลผลิตทางการประมงในพื้นที่เขตทะเลใกล้เคียงได้

อย่างไรก็ตาม สืบเนื่องจากปัญหาน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนในเขตพื้นที่ปากแม่น้ำ เราพบว่าแร่ธาตุอาหารที่นำพาลงมาโดยมวลน้ำจากแม่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไปตามอิทธิพลของแหล่งที่มา ไม่ว่าจะเป็นที่อยู่อาศัยของชุมชน กิจกรรมทางการเกษตร หรืออุตสาหกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะแร่ธาตุอาหารในรูปของไนเตรทและฟอสเฟตนั้น พบว่าในช่วงประมาณ 20 กว่าปีที่ผ่านมา การเปลี่ยนแปลงของสังคมและระบบอุตสาหกรรมอย่างมากทำให้ความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารในยุคนั้นเพิ่มขึ้นถึงมากกว่า 2 เท่า (Meybeck, 1998) ซึ่งสำหรับในประเทศไทยเราพบว่าแม่น้ำสายหลักต่าง ๆ (อาทิ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำบางปะกง) มีความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารในรูปแอมโมเนียมและฟอสเฟตในระดับที่ค่อนข้างสูงอย่างต่อเนื่องมาตลอด การศึกษาวิจัยในพื้นที่แม่น้ำท่าจีนพบว่าในช่วงประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา พบระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมและฟอสเฟตในพื้นที่แม่น้ำตอนล่างช่วงฤดูแล้ง (มีนาคม พ.ศ. 2549) มีค่าสูงถึงประมาณ 80 μM และ 10 μM ตามลำดับ (อรอิงค์ 2551) ซึ่งถึงแม้ว่าในระยะปัจจุบันเราพบแนวโน้มการลดลงในระดับความเข้มข้นของฟอสเฟตเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ระดับของฟอสเฟตในพื้นที่แม่น้ำตอนล่างยังแสดงความแปรปรวนสูงและพบค่าเฉลี่ยที่สูงถึงประมาณ 5 μM ซึ่งจัดเป็นระดับความเข้มข้นที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ในการเจริญและเพิ่มจำนวนประชากรได้เป็นอย่างดี (จารุมาศและคณะ 2556)

งานการศึกษาวิจัยในประเทศเขตร้อนทั่วไปพบปัญหาการเพิ่มขึ้นของตะกอนแขวนลอยเนื่องจากการกัดเซาะพังทลายของหน้าดินมีมากขึ้น ซึ่งเป็นปัญหาที่สืบเนื่องมาจากพื้นที่ป่าต้นน้ำถูกทำลาย มีการลักลอบตัดไม้ทำลายป่าในหลายพื้นที่ในทุกภูมิภาคแถบนี้ (Milliman and Meade, 1983) นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในผิวหน้าดินในพื้นที่เขตแผ่นดิน ซึ่งส่งผลกระทบเกิดเป็นปัญหาการเพิ่มของไนโตรเจน (โดยเฉพาะในรูปแอมโมเนียม) อย่างมากในระบบแหล่งน้ำ เกิดผลกระทบต่อเนื่องสู่คุณภาพน้ำในพื้นที่แม่น้ำและบริเวณปากแม่น้ำตามมา (Ittekkot and Zhang, 1989)

ผลกระทบจากแร่ธาตุอาหารที่เพิ่มมากขึ้นในพื้นที่ปากแม่น้ำนั้น จะมีลักษณะการเกิดที่คล้ายคลึงกับในพื้นที่แหล่งน้ำนิ่งเขตน้ำจืด โดยพบว่าแพลงก์ตอนพืชจะมีการเพิ่มจำนวนอย่างมาก (**ภาพที่ 6.3**) และมีปัญหาความเป็นพิษจากแพลงก์ตอนพืช นอกจากนี้ยังทำให้เกิดปัญหาการลดลงของออกซิเจนละลายน้ำเนื่องจากการตายลงและกระบวนการย่อยสลายที่เกิดตามมา และทำให้เกิดการเปลี่ยนกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้บริโภคในแหล่งน้ำ ซึ่งในภาพรวมจะทำให้เกิดความแปรผันในความหลากหลายทางชีวภาพ รวมทั้งการมีมวลชีวภาพที่ลดลงได้ในที่สุด

ประเด็นที่มีความแตกต่างกับระบบนิเวศน้ำนิ่งในเขตน้ำจืดที่สำคัญอย่างหนึ่ง ก็คือ การที่ปากแม่น้ำที่มีความลึกไม่มากนัก มักมีการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายที่ขึ้นคลุมผิวหน้าดินตะกอนเป็นปริมาณมากและเป็นสาเหตุของการลดลงของออกซิเจนที่ชั้นผิวหน้าดินและช่วงรอยต่อระหว่างดินกับน้ำได้อย่างชัดเจน ซึ่งผลที่เกิดตามมา คือ การลดลงของพื้นที่หากินหรือพื้นที่วางไข่ของสัตว์น้ำวัยอ่อน ทำให้ทรัพยากรประมงได้รับผลกระทบและเสื่อมโทรมลงไปเป็นลำดับ อนึ่ง ปัญหาในพื้นที่ปาก

แม่น้ำโดยทั่วไปมักจะมีความรุนแรงกว่าปัญหาในพื้นที่แหล่งน้ำนิ่งในแผ่นดิน ทั้งนี้ อาจเนื่องจากปากแม่น้ำจะเป็นพื้นที่รวมของแม่น้ำสายต่าง ๆ ที่ไหลลงสู่ทะเล มลภาวะต่าง ๆ จากชุมชนและกิจกรรมทั้งการเกษตรและอุตสาหกรรมในพื้นที่โดยรอบนับวันจะมีมากขึ้นและยากต่อการควบคุม ส่งผลให้ปริมาณแร่ธาตุอาหารได้ถูกพัดพาลงมาก็มากขึ้นตามไปเรื่อย ๆ นอกจากนี้การจัดการกับปัญหาในพื้นที่เขตปากแม่น้ำยังทำได้ยากกว่า และปัจจุบันยังขาดการเอาใจใส่และการมองเห็นปัญหาจากทุกภาคส่วนร่วมกันอย่างจริงจัง

ภาพที่ 6.3 ลักษณะการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในเขตชายฝั่งและแนวปากแม่น้ำจากผลกระทบของปัญหายูโทรฟิเคชัน (ภาพบนซ้ายและขวา; *Noctiluca* redtide พบบริเวณใกล้ปากน้ำหลังสวน จังหวัดชุมพร, ภาพล่างซ้ายและขวา; *Ceratium* redtide พบบริเวณปากแม่น้ำอ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี)

ความรู้ความเข้าใจในสถานการณ์ด้านปัญหายูโทรฟิเคชันของพื้นที่ปากแม่น้ำเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่งต่อการดูแลอนุรักษ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีความสัมพันธ์หรือเกื้อหนุนต่อความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรทางน้ำและระบบการผลิตทรัพยากรทางน้ำอย่างยั่งยืน ในการพิจารณาสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันดังกล่าว จำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้ความรู้ทางนิเวศวิทยาสิ่งแวดล้อมมาทำการจัดแบ่งกลุ่มหรือสถานภาพของแหล่งน้ำตามลักษณะปรากฏของแร่ธาตุอาหารหรือปริมาณผลผลิตขั้นต้น (อาทิ แพลงก์ตอนพืช) ที่เกี่ยวข้อง การศึกษาปัญหายูโทรฟิเคชันนับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาติดตามสถานการณ์มลภาวะ (Pollution) ของแหล่งน้ำชายฝั่งทะเล (Rodhe, 1969; Hooper, 1969; Vollenweider *et al*., 1992) ทั้งนี้ ได้มีการแบ่งประเภทแหล่งน้ำชายฝั่งออกเป็น

ประเภทที่มีแร่ธาตุอาหารน้อยหรือมีกำลังผลิตต่ำ (Oligotrophic waters) แหล่งน้ำที่มีแร่ธาตุอาหารสูงและมีมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนอยู่มาก (Eutrophic waters) และแหล่งน้ำที่มีลักษณะกลาง ๆ ระหว่างสองประเภทนั้น (Mesotrophic waters) ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

ภาพรวมของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัญหายูโทรฟิเคชันจะขึ้นอยู่กับความรุนแรงของปัญหา สำหรับในแหล่งน้ำที่เริ่มเกิดสถานการณ์ยูโทรฟิเคชัน มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชมักมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและโครงสร้างของประชาคมสิ่งมีชีวิตทางน้ำพื้นฐานต่าง ๆ (โดยเฉพาะองค์ประกอบทางชนิดของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์) อาจเปลี่ยนแปลงไปไม่มากนัก สำหรับในแหล่งน้ำที่เริ่มมีสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันที่รุนแรงขึ้นจะพบว่าความโปร่งแสงของน้ำจะต่ำลงมากและเกิดการตกตะกอนทับถมของสารอินทรีย์ (หรือซากแพลงก์ตอนที่ตายลง) ซึ่งเป็นระยะที่มักพบการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชบางชนิด (รวมทั้งการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี) ทั้งนี้ เมื่อสถานการณ์ด้านยูโทรฟิเคชันรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ เรามักพบปัญหาที่ออกซิเจนละลายน้ำลดระดับต่ำลงมากขึ้น เรียกว่าเป็นสถานการณ์ “Hypoxia” และหากรุนแรงมากจนทำให้ไม่พบออกซิเจนละลายน้ำ หรืออยู่ในสถานการณ์ “Anoxia” ก็นับว่าเป็นระดับอันตรายที่สุดของปัญหายูโทรฟิเคชันที่พบในแหล่งน้ำ (Gray, 1992) และทำให้เกิดเป็นแหล่งน้ำที่เสื่อมโทรมอย่างรุนแรง (Dystrophic waters) นับเป็นปัญหาการเน่าเสียของแหล่งน้ำอย่างชัดเจนและไม่สามารถให้ผลผลิตทรัพยากรทางการประมงได้อีกต่อไป

ในการศึกษาปัญหายูโทรฟิเคชันที่พบในแหล่งน้ำเขตชายฝั่งและเขตทะเลที่มีมาเดิม (ตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ. 1974 จนถึงปี ค.ศ. 1995) ได้มีการให้คำนิยามของยูโทรฟิเคชัน รวมทั้งลักษณะการเกิดและปัจจัยที่เกี่ยวข้องไว้อย่างน่าสนใจ ดังต่อไปนี้

Steele (1974): ยูโทรฟิเคชัน คือ การเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งเป็นผลตามมาจากการเพิ่มของแร่ธาตุอาหาร (Nutrients) ในเขตทะเล โดยมีลักษณะปรากฏอื่น ๆ ตามมา

Vollenweider (1992): ยูโทรฟิเคชัน คือ กระบวนการที่มีการเพิ่มแร่ธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะกลุ่มไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งไปกระตุ้นการผลิตของผู้ผลิตขั้นต้นต่าง ๆ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจนสามารถสังเกตเห็นการเพิ่มจำนวนการเกิดเป็นกลุ่มก้อนของแพลงก์ตอนพืช หรือกระตุ้นการเจริญเติบโตของสาหร่ายบริเวณพื้นท้องน้ำ รวมถึงพรรณไม้น้ำประเภทที่ลอยน้ำ *(หมายเหตุ: เป็นคำจำกัดความที่ครอบคลุมทั้งแหล่งน้ำจืดและน้ำทะเล)*

Gray (1992): ยูโทรฟิเคชัน จะเกิดขึ้นเมื่อมีแร่ธาตุอาหารถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ (ซึ่งไม่มีความเป็นพิษ) และหากอยู่ในสภาวะที่มีแสงเพียงพอจะทำให้ไปเพิ่มการเจริญเติบโตของผู้ผลิตขั้นต้น (Autotrophic growth) รวมทั้งกระตุ้นการเจริญของผู้บริโภค (Heterotrophic growth) ได้อีกด้วย

OSPAR (2003): ยูโทรฟิเคชัน หมายถึง การเพิ่มปริมาณแร่ธาตุอาหารสู่แหล่งน้ำ ซึ่งทำให้เกิดการกระตุ้นการเจริญเติบโตของสาหร่าย และ/หรือพืชชั้นสูงอื่น ๆ ทำให้เกิดผล

กระทบต่อสมดุลของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น รวมทั้งมีผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่เกี่ยวข้อง

UNEP (2003): ยูโทรฟิเคชันเป็นลักษณะของผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีสาเหตุจากการได้รับสารอินทรีย์ที่มากเกินควร

Nixon (1995): ยูโทรฟิชันเป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นในอัตราการเติมสารอินทรีย์ลงสู่ระบบนิเวศหนึ่งๆ เป็นกระบวนการที่มีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงในปริมาณสารอินทรีย์และเกิดผลกระทบต่อผลผลิตทางชีวภาพเป็นประเด็นหลัก

คำจำกัดความที่ยกตัวอย่างมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของแพลงก์ตอนพืชหรือผู้ผลิตขั้นต้นอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ว่าผลกระทบนั้นอยู่ในระยะใด ทั้งนี้ พบว่าคำจำกัดความของ Vollenweider (1992) ให้รายละเอียดที่ค่อนข้างครอบคลุม ส่วน Gray (1992) ได้แยกเอา “สารพิษ” ออกจากต้นเหตุของปัญหายูโทรฟิชัน สำหรับคำจำกัดความของ UNEP ค่อนข้างจะให้กรอบที่แคบ เนื่องจากสาร “อนินทรีย์” ในหลายประเภท (อาทิ ปุ๋ยที่ใช้ในระบบเกษตรกรรมในลุ่มน้ำต่าง ๆ) สามารถเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันได้ในหลายพื้นที่แหล่งน้ำ อย่างไรก็ตามในภาพรวมแล้วพบว่าทุกคำจำกัดความได้เน้นจุดเด่นที่เหมือนกัน ก็คือการกล่าวว่าสถานการณ์ “ยูโทรฟิเคชัน” ไม่ใช่ “มลภาวะ” (Pollution) แต่เป็นสถานการณ์ของ “ผลกระทบ” (Disturbance) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมาในแหล่งน้ำเท่านั้น

จากข้อมูลความรู้ในภาพรวมของปัญหายูโทรฟิชันในเขตชายฝั่งและทะเล จะเห็นได้ว่ามีความจำเป็นที่เราควรกำหนดขอบเขตในระดับที่พบของดัชนีชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้จำแนกประเภทของแหล่งน้ำเขตชายฝั่งและทะเลออกเป็นอย่างน้อย 3 ประเภท (ได้แก่ Oligotrophic, Mesotrophic และ Eutrophic waters) ดังเช่นแนวทางที่ดำเนินการสำหรับพื้นที่แม่น้ำ ในการนี้ ปัจจัยชี้ชัดที่มีลักษณะโดดเด่นและสามารถใช้เป็นดัชนีสำหรับแหล่งน้ำชายฝั่ง (เนื่องจากสามารถสะท้อนสภาพของระบบนิเวศในภาพรวมและสื่อให้เห็นถึงความจำเป็นหรือสภาวการณ์เร่งด่วนหากต้องเข้าไปจัดการแก้ไขได้) ประกอบด้วยปัจจัยทางด้าน “แร่ธาตุอาหาร” ซึ่งเป็นปัจจัยใช้สะท้อนสถานภาพในห่วงโซ่อาหาร (Ignatiades *et al*., 1992) ปัจจัยด้านระดับความเข้มข้นของ “คลอโรฟิลล์” ซึ่งมีการใช้เพื่อแสดงศักยภาพทางมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชทั้งในแหล่งน้ำจืด (OECD, 1982) และในเขตทะเล (Giovanardi and Tromellini, 1992; Kitsiou and Karydis, 2002) และปัจจัยด้านความโปร่งแสงของน้ำ (Transparency) ซึ่งใช้การวัดโดย Secchi disk (Ignatiades *et al*., 1995) เป็นต้น

6.3) ปัจจัยทางนิเวศอุทกวิทยาและบทบาทในกระบวนการยูโทรฟิเคชัน

จากประสบการณ์และความรู้ที่มีนักวิทยาศาสตร์หลายสาขาที่ได้พยายามอธิบายกระบวนการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันภายในแหล่งน้ำนิ่งประเภททะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หรือหนองบึงประเภทต่าง ๆ มา เราพบว่าปัจจัยที่ควรให้ความสำคัญในการพิจารณาเพื่อทำนายสถานภาพหรือ

ติดตามสถานการณ์จำเพาะที่เกิดขึ้นต่าง ๆ ในระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลโดยเฉพาะพื้นที่แม่น้ำมีหลายด้าน อาทิ ลักษณะการไหลเวียนถ่ายเทของน้ำ (หรือเวลาในการคงตัวอยู่ในบริเวณหนึ่ง ๆ ของมวลน้ำ) ระดับความเข้มข้นสุทธิหรือความจำกัดในแร่ธาตุอาหารบางชนิด องค์ประกอบทางชีวภาพในการเกิดทดแทนที่ ปัจจัยจำกัดทางด้านแสง ความเร็วในการไหลของน้ำ ตลอดจนลักษณะจำเพาะทางโครงสร้างและนิเวศวิทยาของพื้นที่แหล่งน้ำที่สนใจ ฯลฯ ปัจจัยข้างต้นเหล่านี้มีความสำคัญและมีบทบาทต่อระบบนิเวศแม่น้ำในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป โดยมีรายละเอียด ดังนี้

6.3.1) อัตราการถ่ายเทมวลน้ำ

จากความรู้ความเข้าใจพื้นฐานทางด้านปัจจัยจำกัด (แสงและสารอาหาร) และปัจจัยที่มีบทบาทหลัก (ความเร็วน้ำหรือการคงตัวอยู่ของมวลน้ำ) ที่ได้มีการเรียนรู้กันมาตั้งแต่การศึกษาในระบบแหล่งน้ำนิ่งจนกระทั่งมาสู่การศึกษาในระบบแม่น้ำนั้น ปัจจุบันพบว่ารูปแบบในการเปลี่ยนแปลงของแม่น้ำที่ตอบสนองต่อปัญหายูโทรฟิเคชันได้รับอิทธิพลจากลักษณะพื้นฐานทางกายภาพของแม่น้ำ โดยเฉพาะในด้านความยาว (ระยะทาง) และความสัมพันธ์กับ *"อัตราการไหล"* ของแม่น้ำ ทั้งนี้ พบว่าแม่น้ำที่มีความยาวมากและมวลของน้ำที่ไหลสามารถวนเวียนอยู่ภายในระบบของแม่น้ำนั้นได้นาน แม่น้ำนั้นก็จะมีการตอบสนองของผู้ผลิตขั้นต้นซึ่งเป็นกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชโดยการเพิ่มมวลทางชีวภาพเมื่อได้รับปริมาณแร่ธาตุอาหารเข้ามาอย่างเพียงพอ ในทางตรงกันข้ามในกรณีที่แม่น้ำมีอัตราการเคลื่อนย้ายถ่ายเทสูง มวลน้ำมีการเคลื่อนตัวได้เร็วและสามารถไหลผ่านตลอดทั้งระยะทางของแม่น้ำโดยใช้เวลาสั้น (ซึ่งอาจน้อยกว่า 2-3 วัน) กลุ่มของผู้ผลิตขั้นต้นที่จะเกิดขึ้นมาทดแทนหรือมีปริมาณมากขึ้นได้เรื่อย ๆ จะไม่ใช่เป็นกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชแต่จะเกิดกลุ่มของสาหร่ายที่สามารถยึดเกาะตามพื้นผิวต่าง ๆ (Periphytes) รวมทั้งสาหร่ายที่ขึ้นปกคลุมบริเวณผิวหน้าดิน (Benthic algae) เจริญเติบโตขึ้นมาแทน

โดยทั่วไปเมื่อเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในแม่น้ำที่มีระยะเวลาการคงตัวของน้ำในช่วงสั้น (Short retention time river) การเจริญของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ที่มีจะได้รับผลกระทบจากการที่แสงไม่เพียงพอทั้งนี้เนื่องจากการบดบังแสงโดยกลุ่มของสาหร่ายที่เจริญขึ้นปกคลุมบริเวณ ลำต้นและใบ ในพื้นที่แม่น้ำดังกล่าวพบว่าแสงจะเป็นปัจจัยจำกัดที่มีบทบาทมากขึ้นกว่าปัจจัยจำกัดทางด้านแร่ธาตุอาหาร และทำให้เกิดการปรับตัวของประชากรที่มีให้เหมาะสมกับสภาพของแสงโดยเกิดการทดแทนที่ขึ้นมาในแหล่งน้ำนั้น เมื่อเริ่มเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันเราจึงมักจะพบทิศทางของการเปลี่ยนกลุ่มของต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีส่วนต้นหรือใบส่วนหนึ่งจมน้ำ มาเป็นพรรณไม้น้ำที่สามารถยืดขึ้นหรือชูส่วนของใบให้สูงใกล้ผิวน้ำ และหลังจากนั้นจะปรับเปลี่ยนไปเป็นกลุ่มพืชที่สามารถชูส่วนของลำต้นหรือใบให้สูงขึ้นเหนือผิวน้ำ ตามลำดับ การเกิดขึ้นทดแทนที่ในลักษณะนี้อาจแปรผันตามลักษณะของอัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกันออกไปได้

เวลาในการคงตัวอยู่ของมวลน้ำ (Retention time): เป็นปัจจัยที่ Vollenweider (OECD, 1982) ได้แสดงให้เห็นว่ามีบทบาทสำคัญต่อโอกาสในการที่แพลงก์ตอนพืชในน้ำจะเกิดการเพิ่มจำนวนจนมีมวลทางชีวภาพที่หนาแน่นเท่าที่ระดับแร่ธาตุอาหารในน้ำเอื้ออำนวยให้เกิดการ

เจริญของประชากรได้ เวลาในการคงตัวอยู่ของมวลน้ำนี้หากมีระยะที่เร็วกว่าระยะเวลาที่แพลงก์ตอนพืชจำเป็นต้องใช้ในการเพิ่มจำนวนขึ้นเป็นสองเท่า (Doubling time; ซึ่งโดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 2-4 วัน สำหรับแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มของไดโนแฟลกเจลเลท และมีค่าประมาณ 1-3 วัน สำหรับแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) จะส่งผลให้มวลน้ำตั้งต้นนั้นถูกพัดพาออกไปก่อนที่แพลงก์ตอนพืชจะขยายขนาดประชากรได้ทัน ทำให้เราไม่พบการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชถึงแม้ว่าแหล่งน้ำจะได้รับแร่ธาตุอาหารที่เพียงพอก็ตาม

เวลาที่มวลน้ำคงตัว (Retention time) อยู่ในทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำหนึ่ง ๆ เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับลักษณะที่จำเพาะของความเป็นแม่น้ำที่มีความโดดเด่นในเรื่องของ “การไหล” ไปตามเส้นทางที่ชัดเจน อาจไม่เหมือนกันเท่าใดนัก สิ่งที่สำคัญคือประเด็นการที่มวลน้ำจะมีการผสมผสานและคงตัวในเวลาที่เพียงพอต่อการเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งตัวเป็นสองของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับพื้นที่ในทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ จะพบว่าลักษณะการผสมผสานของมวลน้ำในพื้นที่แม่น้ำใช้ระยะเวลาในการผสมผสานที่น้อยกว่า โดยอนุภาคของสารและมวลของแพลงก์ตอนต่าง ๆ ที่อยู่ในภาคตัดขวางของลำน้ำนั้นจะถูกผสมผสานกันในรูปแบบของการหมุนวนเป็นเกลียว (Spiral mixing) พร้อม ๆ กับการถูกพัดพาลงไปเรื่อย ๆ จะไม่มีการวนกลับมาผสมกันตามสายของลำน้ำย้อนขึ้นมาเหมือนกับลักษณะของการผสมผสานวนเวียนไปมา เช่น ในเขตทะเลสาบ ลักษณะของการหมุนวนเป็นเกลียวเช่นนี้ทำให้การพิจารณา Retention time ของพื้นที่แม่น้ำ จึงต้องปรับเปลี่ยนไปเป็นการพิจารณาลักษณะของเวลาในการเคลื่อนย้ายของมวลสารจากส่วนต้นสุดของแม่น้ำมายังส่วนท้ายสุดของแม่น้ำ หรือที่เรียกว่า “Travel time” หรือ “Transfer time” โดยเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาในเขตน้ำนิ่งข้างต้นแล้ว Travel time ของอนุภาคในพื้นที่แม่น้ำมักจะมีระยะเวลาที่ยาวนานกว่า และขึ้นอยู่กับรูปแบบของการแพร่กระจายในมวลน้ำ ซึ่งมีความจำเพาะตัวไปตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแม่น้ำแต่ละแห่ง

การเจริญของแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่แม่น้ำ: แพลงก์ตอนพืชที่แขวนลอยอยู่ในมวลน้ำถือเป็นส่วนหนึ่งของมวลสารทางชีวภาพตั้งต้นที่มี ณ จุดกำเนิดของแม่น้ำ ซึ่งอาจเป็นลำธารสายขนาดเล็กในพื้นที่ป่าต้นน้ำ แพลงก์ตอนพืชเหล่านี้จะเคลื่อนตัวผสมผสานไปกับมวลน้ำทั้งตามขวางโดยมีการหมุนเป็นเกลียวพร้อมๆ กับการเคลื่อนตัวยกขึ้นและหมุนวนลงแล้วไหลไปตามเส้นทางของลำน้ำ ในขณะที่มีการไหลลงไปนั่นเองแพลงก์ตอนพืชก็จะทำการเจริญพันธุ์และเพิ่มมวลทางชีวภาพโดยการแบ่งเซลล์ไปด้วย อย่างไรก็ตาม เราพบว่าพื้นที่แม่น้ำในตอนต้น โดยเฉพาะตามพื้นที่ลำธารและลำห้วยน้ำตกต่าง ๆ มักไม่มีการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชในน้ำจนถึงระดับที่ทำให้เกิดการสังเกตเห็นสีของน้ำที่เขียวขึ้นหรือเกิดระดับที่เป็นปัญหาเลย ทั้งนี้เนื่องจากในพื้นที่ต้นน้ำนั้นมีจำนวนเซลล์ตั้งต้นแพลงก์ตอนพืชอยู่ในระดับต่ำ (โดยอาจมีจำนวนเซลล์เพียงประมาณ 200-1,000 เซลล์ต่อลิตร; จารุมาศและคณะ, 2552) นอกจากนี้ในพื้นที่ดังกล่าวมักมีอัตราการไหลของน้ำที่แรงมาก มวลน้ำและแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ภายในจะถูกเคลื่อนย้าย (Flushing) ให้กระจายตัวออกไปในเวลาอันรวดเร็ว ผลจากกระบวนการเคลื่อนย้าย ที่เร็วเช่นนี้จึงทำให้เราไม่พบปัญหายูโทรฟิเคชันในพื้นที่ส่วนตอนต้นของแม่น้ำ รวมถึงในพื้นที่แม่น้ำที่มีระยะทางสั้นหรือมีความลาดชันสูง ซึ่งการไหลของ

น้ำจากส่วนตอนต้นไปยังตอนปลายของแม่น้ำใช้ระยะเวลาสั้นและเร็วกว่าเวลาที่แพลงก์ตอนพืชจำเป็นต้องใช้ในการแบ่งเซลล์

ในทางตรงกันข้าม สำหรับพื้นที่แม่น้ำขนาดใหญ่หรือมีความลึกมาก มวลของน้ำมีการเคลื่อนตัวอยู่ในระบบแม่น้ำทั้งตามแนวขวางและตามความยาวของแม่น้ำที่เนิ่นนาน โดยอาจมีเวลาคงตัวใกล้เคียงกับลักษณะที่เกิดขึ้นในเขตทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ แพลงก์ตอนพืชที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำนี้ก็จะมีเวลาเพียงพอที่จะเพิ่มขยายจำนวนประชากรขึ้นมา และเราสามารถสังเกตเห็นการเพิ่มจำนวนเซลล์ที่สะท้อนออกมาในรูปการเปลี่ยนสีของน้ำเป็นสีเขียวเหลืองหรือสีเขียวปนน้ำตาลได้ตั้งแต่ตอนกลางลงมาจนถึงตอนล่างของลำน้ำ ลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าโอกาสในการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในแม่น้ำจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหลของแม่น้ำเป็นสำคัญ โดยแม่น้ำที่มีความลึกและมีขนาดที่กว้างใหญ่มากก็สามารถประยุกต์ใช้โมเดลทางนิเวศวิทยาที่ใช้เพื่อประเมินการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชที่มีความคล้ายคลึงกับโมเดลสำหรับพื้นที่ในเขตทะเลสาบได้

จากการศึกษาวิจัยระบบแม่น้ำที่ผ่านมาพบว่าพื้นที่แม่น้ำเทมส์ทางตอนล่าง (Lower River Thames) ในประเทศอังกฤษ และแม่น้ำล้อทในประเทศฝรั่งเศส (River Lot) สามารถนำโมเดล PROTECH ที่ใช้สำหรับเขตทะเลสาบมาประยุกต์ใช้ในการอธิบายการพัฒนาประชากรของแพลงก์ตอนพืชในแม่น้ำเหล่านี้ได้ (Reynold *et al*., 1998; Thebault and Qotbi, 1999) อย่างไรก็ตาม ในแม่น้ำบางแห่งที่พบลักษณะของการตีฟุ้งของตะกอนจากพื้นท้องน้ำขึ้นมาและสาหร่ายที่พบอยู่ในมวลน้ำเป็นสาหร่ายที่ขึ้นปกคลุมหน้าดินมาก่อน (ไม่ใช่แพลงก์ตอนพืชที่เกิดการขยายประชากรในมวลน้ำ) การอธิบายการพัฒนาประชากรของแพลงก์ตอนพืชในแม่น้ำเหล่านี้ก็ไม่ควรใช้โมเดลดังกล่าวมาอธิบาย ยกตัวอย่าง เช่น ในแม่น้ำโฟรม (River Frome) ประเทศอังกฤษ ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำประมาณ 400 ตารางกิโลเมตร มีความยาวของแม่น้ำ 58.5 กิโลเมตร และค่าเฉลี่ยมัธยฐานของเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนตัวของมวลสารตลอดลำน้ำ (Travel time) เพียงประมาณ 60 ชั่วโมง (Marker and Gunn, 1977)

อนึ่ง สำหรับแม่น้ำที่มีแหล่งน้ำต้นทุนที่เกิดจากพื้นที่อ่างเก็บน้ำหรือหนองบึงที่มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชแรกเริ่มสูงอยู่แล้ว และมี Travel time ที่ยาวนาน แพลงก์ตอนพืชในแม่น้ำจะสามารถขยายประชากรได้อย่างชัดเจนและก่อให้เกิดปัญหาได้ง่าย หากแม่น้ำที่รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำแต่สายของแม่น้ำมีลักษณะที่สั้นหรือมีการผสมผสานสูง มีการเคลื่อนตัวที่รวดเร็ว ก็จะทำให้มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชที่เกิดการแขวนลอยเป็นแค่ส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดเป็นความขุ่นในมวลน้ำแต่ไม่สามารถแบ่งเซลล์ได้ทันในช่วงระยะทางของแม่น้ำนั้น ๆ เลย

จากภาพรวมจะเห็นได้ว่าการพัฒนาประชากรของแพลงก์ตอนพืชในแม่น้ำนอกจากจะขึ้นอยู่กับเวลาที่แพลงก์ตอนพืชคงตัวอยู่ในระบบแม่น้ำแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปริมาณเซลล์แรกเริ่มของแพลงก์ตอนพืชว่ามีมากน้อยเพียงใดด้วย สำหรับในแหล่งน้ำที่มีการถ่ายเทสูงและมีการรับเอาธาตุอาหารสูง แทนที่จะเป็นการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืช เราจะสามารถพบเห็นการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายตามพื้นท้องน้ำซึ่งยึดเกาะหรือเจริญขึ้นมาเคลือบบนผิวของก้อนหินหรือวัสดุต่าง ๆ ใต้น้ำ หรืออาจพบการเพิ่มจำนวนของพรรณไม้น้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาแทนได้

6.3.2) แร่ธาตุอาหารในน้ำ

ในพื้นที่แม่น้ำที่มีการรับเอาแร่ธาตุอาหารเข้ามามาก ซึ่งจัดอยู่ในสถานการณ์ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงหรือสูงมาก (Eutrophic - hypertrophic waters) นั้น พรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นมักจะถูกปกคลุมไปด้วยสาหร่ายขนาดเล็กที่เจริญขึ้นคลุมตามลำต้นและใบ (กลุ่ม Epiphytic algae) และเมื่อพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ที่ถูกคลุมตายลง สาหร่ายในกลุ่มที่เป็นเส้นสาย (Filamentous algae) มักจะเจริญขึ้นมาทดแทน และในท้ายที่สุดแล้วพื้นท้องน้ำในบริเวณนั้นก็จะถูกปกคลุมด้วยกลุ่มของสาหร่ายบริเวณพื้นท้องน้ำ (Benthic algae) อย่างหนาแน่น และระบบนิเวศก็จะค่อย ๆ เน่าเสีย เสื่อมโทรมลง และอาจเข้าสู่สภาวะการขาดออกซิเจนอย่างรุนแรงได้ในท้ายที่สุด

แร่ธาตุอาหารถือว่าเป็นปัจจัยหลักในการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในพื้นที่แหล่งน้ำนิ่ง อาทิ ทะเลสาบ และอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ (Schneider and Melzer, 2003) อย่างไรก็ตามรายงานผลการศึกษาวิจัยที่เน้นย้ำความสำคัญและบทบาทของแร่ธาตุอาหารในระบบนิเวศแม่น้ำต่อปัญหายูโทรฟิเคชันยังไม่มีเท่าใดนัก ผลการศึกษาวิจัยที่มีมาโดยทั่วไปเป็นการกล่าวถึงบทบาทของแร่ธาตุ อาทิ ฟอสฟอรัสต่อการเจริญและโครงสร้างประชาคมของพรรณไม้น้ำ (Macrophyte) (Dawson *et al*., 1999) และพบว่าฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญของสาหร่ายยึดเกาะประเภทต่าง ๆ (Carr and Goulder, 1990) นอกจากนี้ ยังพบว่าพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่มีมวลชีวภาพที่สัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในดิน (Carr and Chambers, 1998)

ฟอสฟอรัสนับว่าเป็นแร่ธาตุที่สำคัญสำหรับพื้นที่แม่น้ำ การศึกษาที่ผ่านมาได้รายงานว่าบทบาทของฟอสฟอรัสที่พรรณไม้น้ำหรือสาหร่ายสามารถใช้ประโยชน์ได้โดยตรง (Soluble reactive phosphorus; SRP) มีความสำคัญและมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำได้มากกว่าปริมาณฟอสฟอรัสรวม (Total phosphorus) ที่ถูกปล่อยลงสู่ระบบแม่น้ำ และหากแร่ธาตุ SRP ดังกล่าวมีปริมาณสูงและน้ำในระบบแม่น้ำมีการไหลเวียนในอัตราเร็วปานกลางหรือค่อนข้างสม่ำเสมอ จะส่งผลให้พรรณไม้น้ำเจริญเติบโตได้ดีกว่าในพื้นที่ที่มีการไหลของน้ำในอัตราที่ต่ำ ในทางตรงกันข้าม หากมวลของน้ำมีการเพิ่มขึ้นหรือมีอัตราการไหลที่สูงมาก (อาทิ ในกรณีการเกิดน้ำท่วมบ่าไหลลงสู่ระบบ) ปัจจัยดังกล่าวจะทำให้พรรณไม้น้ำเกิดความเสื่อมโทรมลงไปได้ในที่สุด

อนึ่ง มีรายงานการศึกษาหลายเรื่องที่พบว่าทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายยึดเกาะประเภทต่าง ๆ (อาทิ Matlock *et al*., 1998*;* Marcus, 1980) อย่างไรก็ตาม พบว่าในแม่น้ำโดยทั่วไปมักมีระดับของแร่ธาตุทั้งสองอยู่ในระดับปานกลางหรือค่อนข้างสูง ทำให้ปัญหาในการจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพรรณไม้น้ำชนิดต่าง ๆ จึงไม่น่าจะเกิดขึ้นจากระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารที่มีในน้ำ แม้กระทั่งในลำธารเขตพื้นที่ต้นน้ำยังสามารถพบระดับของไนเตรทและฟอสเฟตที่มาจากการชะล้างรวมทั้งการย่อยสลายของสารอินทรีย์จากระบบนิเวศป่าไม้โดยรอบ ดังนั้นในพื้นที่เขตต้นน้ำจึงมักมีแร่ธาตุอาหารที่เพียงพอ และทำให้ปัจจัยจำกัดในการเจริญเติบโตจึงกลับเป็นด้านปริมาณแสงที่ได้รับอิทธิพลจากต้นไม้ใหญ่ที่มาบดบังมากกว่า สำหรับในพื้นที่ลำธารบริเวณที่เปิดโล่งหรือบริเวณที่มีโอกาสรับแสงแดดเต็มที่ (โดยเฉพาะพื้นที่ในแอ่งชายตลิ่งแนวตื้นที่น้ำมีการเคลื่อนตัวช้าลง) จึงสามารถสังเกตพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายยึดเกาะประเภทต่าง ๆ ขึ้นปกคลุมตามพื้นลำธารและก้อนหินบริเวณนั้นได้อย่างชัดเจน

โดยทั่วไปหากในพื้นที่แม่น้ำลำธารมีระดับของไนโตรเจนที่มากกว่า 1 mg N/L และมีระดับของฟอสฟอรัสมากกว่า 30 µg P/L ก็จะถือว่าพื้นที่นั้นมีระดับแร่ธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ (Westlake, 1981) และหากเป็นในกลุ่มของสาหร่ายยึดเกาะที่มีขนาดเล็กกว่าหรือมีการกระจายอยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างไป ระดับของแร่ธาตุอาหารที่ต้องการอาจมีค่าน้อยหรือมากกว่าขอบเขตดังกล่าวได้ ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยข้างต้นทำให้ทราบว่าแร่ธาตุอาหารนับเป็นปัจจัยที่สำคัญหนึ่งที่ก่อให้เกิดการพัฒนาของมวลชีวภาพของผู้ผลิตขั้นต้นชนิดสำคัญในพื้นที่แม่น้ำ ถึงแม้ว่าปริมาณแร่ธาตุอาหารที่ถูกพัดพาเข้ามา (Loaded volume) สู่แม่น้ำจะไม่สำคัญเท่ากับความเข้มข้นสุทธิ (Net concentration) ของแร่ธาตุอาหารที่พบในระบบนิเวศแม่น้ำเดิม ภาวะด้านแร่ธาตุอาหารที่แม่น้ำได้รับก็ส่งผลเชื่อมโยงสู่สถานการณ์คุณภาพน้ำและการนำพาแร่ธาตุอาหารจากพื้นที่แม่น้ำลงไปสู่บริเวณปากแม่น้ำและเขตทะเล

การประเมินปริมาณแร่ธาตุอาหารที่เข้าสู่ระบบแม่น้ำ ต้องอาศัยความรู้ในด้านปริมาณความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารที่ถูกปล่อยลงมาจากส่วนรับน้ำต่าง ๆ นอกจากนี้ ยังต้องใช้ข้อมูลทางด้านกลไกการเคลื่อนย้าย (อาทิ อัตราการไหลในปริมาณผิวน้ำในชั้นใต้ผิวน้ำหรือในชั้นน้ำใต้ดิน) และกลไกการคงตัวอยู่หรือระยะเวลาที่ถูกเก็บกักไว้ในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น ๆ ทั้งนี้ ปัจจัยตัวแปรที่สำคัญที่จำเป็นต้องติดตามภายในแหล่งน้ำประกอบด้วยปัจจัยด้านความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารสำคัญต่าง ๆ (อาทิ ไนโตรเจนรวม ไนเตรท แอมโมเนียม และฟอสฟอรัสรวมในน้ำ) อัตราการผลิตขั้นต้นที่เกิดจากชนิดที่จำเพาะของผู้ผลิตหลักในแหล่งแม่น้ำบริเวณที่ศึกษา อัตราการย่อยสลายหรือการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ที่ปรากฏอยู่ในรูปแบบสารแขวนลอยและสารที่ละลายน้ำ ฯลฯ อนึ่ง พบว่าระดับของตัวแปรด้านความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารสำคัญเหล่านี้มักสอดคล้องกับรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่โดยรอบและคุณสมบัติของดินพื้นฐาน ในปัจจุบันพบโมเดลทางคณิตศาสตร์จำนวนมากที่แสดงความสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบแหล่งน้ำหรือคุณสมบัติของดินที่มีต่อระดับของแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่ปรากฏในแหล่งแม่น้ำ (Allan *et al.*, 1997; Peters, 2009)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบนิเวศแม่น้ำและระบบนิเวศทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำที่เป็นแหล่งน้ำนิ่ง พบว่าในแหล่งน้ำนิ่งนั้นปริมาณการรับเอาแร่ธาตุอาหารจากกิจกรรมโดยรอบแหล่งน้ำ (ในรูปของฟอสฟอรัส) มีความสัมพันธ์หรือมีบทบาทอย่างชัดเจนต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งในระดับของค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดที่พบในรอบปี (OECD, 1980) ผลการค้นพบดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าฟอสฟอรัสที่ถูกพัดพาเข้ามาในระบบน้ำนิ่งจะถูกกักเก็บไว้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถอาศัยกระบวนการทางชีวเคมีเปลี่ยนแปลงรูปของฟอสฟอรัสจากสภาพที่เป็นสารแขวนลอยรวมทั้งในตะกอนที่ตกทับถมอยู่ให้เป็นสภาพของสารละลายที่แพลงก์ตอนพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ในระบบนิเวศของแม่น้ำซึ่งมีการเคลื่อนย้ายมวลสารสูงกว่าในแหล่งน้ำนิ่ง แร่ธาตุอาหารในมวลน้ำมีการเคลื่อนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแหล่งที่มาของแร่ธาตุอาหารเกิดทั้งจากพื้นที่โดยรอบและจากบริเวณพื้นท้องน้ำที่แตกต่างกันไปตามเขตพื้นที่ย่อยบริเวณต่าง ๆ ในแหล่งแม่น้ำยังพบกลุ่มของผู้ผลิตขั้นต้นที่หลากหลายกว่า ไม่ว่าจะเป็นแพลงก์ตอนพืช สาหร่ายยึดเกาะ หรือพรรณไม้น้ำประเภทต่าง ๆ และผู้ผลิตขั้นต้นนี้มีความต้องการในเชิงปริมาณและรูปแบบของแร่ธาตุอาหารที่แตกต่างกันออกไป ด้วยลักษณะของปัจจัยพื้นฐานที่เกี่ยวข้องหลายประเภทดังกล่าวทำให้บทบาทของแร่ธาตุอาหารที่เข้ามา

สู่ระบบแม่น้ำมักไม่ชัดเจนหรือไม่พบว่ามีต่อการเปลี่ยนแปลงในความอุดมสมบูรณ์หรือการเกิดของผู้ผลิตขั้นต้นในแม่น้ำนั้น

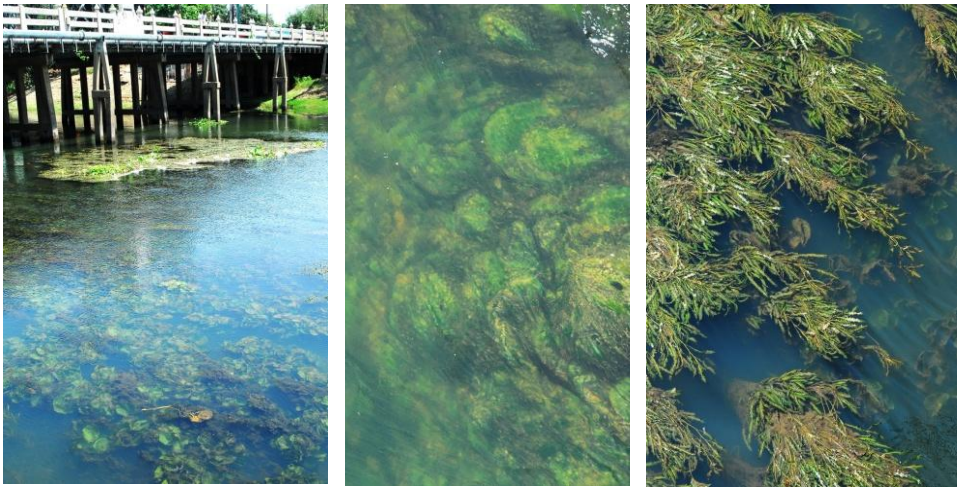
ในภาพรวมของการประมวลความรู้ด้านแร่ธาตุอาหารสำหรับพื้นที่แม่น้ำพบว่าเราควรมุ่งเน้นความสำคัญในความเข้มข้นสุทธิของแร่ธาตุอาหารในแต่ละพื้นที่ย่อยของแม่น้ำมากกว่าระดับของแร่ธาตุอาหารที่ถูกพัดพาเข้ามาในระบบแม่น้ำ ทั้งนี้ เนื่องจากความเข้มข้นสุทธิของแร่ธาตุอาหารในระบบแม่น้ำที่มีอยู่จะมีบทบาทโดยตรงต่อการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันภายในระบบแม่น้ำนั้น อนึ่ง ในพื้นที่แม่น้ำยังมีปัจจัยสำคัญทางด้านระดับของน้ำ (Water depth) และอัตราการถ่ายเทของมวลน้ำ (Flushing Rate) ที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาล ซึ่งปัจจัยเหล่านี้นับว่ามีบทบาทในการเจือจางปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ภายในพื้นที่แม่น้ำ ด้วยเหตุดังกล่าวการวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหายูโทรฟิเคชันที่รอบคอบเพื่อหาแนวทางจัดการที่เหมาะสมต่อไปนั้น นอกจากจะประเมินจากปัจจัยด้านแร่ธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยหลักแล้ว ยังจำเป็นต้องศึกษาติดตามปัจจัยทางสัณฐานวิทยาหรือโครงสร้างในภาพรวมของพื้นที่รับน้ำและตัวลำน้ำ รวมทั้งวิเคราะห์ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับอัตราการไหลและการเจือจางของมวลน้ำไปพร้อม ๆ กันด้วย

6.3.3) ผู้ผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศแม่น้ำ

ในระบบนิเวศของแหล่งน้ำนิ่ง การเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศทางน้ำไปสู่สถานการณ์ของการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันโดยส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนแปลงผู้ผลิตขั้นต้นที่เดิมเป็นพรรณไม้น้ำกลายเป็นกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่จะเกิดขึ้นมาอย่างหนาแน่นจนน้ำเปลี่ยนเป็นสีเขียวขุ่นไปทั่ว การเกิดทดแทนที่ของแพลงก์ตอนพืชจะเกิดได้เมื่อพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่เริ่มตายลงหลังจากที่ถูกปกคลุมด้วยสาหร่ายยึดเกาะที่เจริญขึ้นมาคลุมตามใบและลำต้นจนไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้อย่างเพียงพอ หลังจากนั้นแร่ธาตุฟอสฟอรัสที่มีในระบบจะถูกใช้โดยกลุ่มของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งจะเกิดทดแทนที่ขึ้นมาอย่างหนาแน่นในมวลน้ำ

ลักษณะการเกิดทดแทนที่ในระบบนิเวศแม่น้ำที่มีแร่ธาตุอาหารสูง มีลักษณะที่มีความคล้ายคลึงกันกับแหล่งน้ำนิ่งในประเด็นที่มักพบการเกิดของสาหร่าย (Epiphytes) ขึ้นปกคลุมส่วนของลำต้นและใบของพรรณไม้น้ำ มีรายงานว่าในแม่น้ำ Lambounn พบสาหร่ายขึ้นปกคลุมส่วนของลำต้นและใบของพรรณไม้น้ำชนิด *Ranunculus* ทำให้พรรณไม้ชนิดนี้ขยายพื้นที่ได้ช้าลงไปมาก นอกจากนี้ ยังพบว่าในเขตแม่น้ำที่มีอัตราการไหลต่ำ สาหร่ายที่ขึ้นปกคลุมจัดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทควบคุมการเจริญของพรรณไม้ในพื้นที่แม่น้ำ (Hann *et al*., 1981) การศึกษาที่ผ่านมาแต่ไม่ได้แสดงผลของแร่ธาตุอาหารในน้ำที่มีต่อพรรณไม้น้ำ (รวมทั้งแพลงก์ตอนพืชในน้ำ) ซึ่งนับเป็นเรื่องที่แตกต่างกับผลการศึกษาในระบบน้ำนิ่ง (เช่น ในเขตทะเลสาบดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น) ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของแม่น้ำโดยทั่วไปมีเวลาการคงตัวของน้ำในพื้นที่หนึ่ง ๆ ไม่นาน ทำให้การพัฒนาประชากรของพรรณไม้น้ำหรือแพลงก์ตอนพืชที่น่าจะเกิดขึ้นมาเพิ่มนั้นเป็นไปได้ยาก นอกจากนี้ ยังพบว่าไม่ว่าจะเป็นพรรณไม้น้ำหรือสาหร่ายที่เจริญขึ้นมาชนิดต่าง ๆ มักไม่แสดงความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณแร่ธาตุอาหารที่เข้าสู่แหล่งน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากพรรณไม้และสาหร่ายเหล่านั้น

สามารถใช้แร่ธาตุอาหารจากแหล่งที่มาบริเวณพื้นท้องน้ำได้นั่นเอง (Holmes and Newbold, 1984)



ภาพที่ 6.4 ลักษณะการเจริญของพรรณไม้น้ำจนหนาแน่นและปกคลุมพื้นท้องน้ำในพื้นที่แม่น้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

ในพื้นที่แม่น้ำที่มีระดับของฟอสฟอรัสสูงมากและมีเวลาในการไหล (Travel time) ของมวลสารที่เร็ว อาทิ ในแม่น้ำ Frome ประเทศอังกฤษ พบว่ามีฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (ในรูป Soluble Reactive Phosphorus) สูงถึงประมาณ 200 µg P/L การเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในน้ำจึงเป็นการเจริญอย่างมากมายของพรรณไม้น้ำหลากหลายชนิด โดยเฉพาะ *Rannunculus* ไม่ใช่ลักษณะการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชเช่นที่มักจะพบในพื้นที่ทะเลสาบ (Hilton *et al*., 2006) สำหรับในประเทศไทยเรา ในแม่น้ำที่มีลักษณะของน้ำที่ตื้นและใสและมีอัตราการไหลค่อนข้างสูง อาทิ แม่น้ำเพชรบุรี เราสามารถพบการเจริญของพรรณไม้น้ำได้หลากชนิดจนหนาแน่นและปกคลุมพื้นท้องน้ำ (**ภาพที่ 6.4**) โดยเฉพาะในบริเวณสถานีที่แม่น้ำไหลผ่านเขตชุมชนเมือง พรรณไม้น้ำเหล่านั้นได้มีการเจริญขึ้นจนถึงระดับที่หนาแน่นมากในช่วงฤดูร้อนที่มีปริมาณน้ำน้อย หลังจากนั้นจะเกิดการตายลงไปเนื่องจากการบดบังแสงซึ่งกันและกัน และซากของพรรณไม้น้ำจะถูกพัดพาลงไปตามลำน้ำเป็นระยะ ๆ จนกระทั่งถึงฤดูน้ำหลากที่กระแสน้ำมีความเร็วและแรง สามารถหอบพาเอาซากพรรณไม้ที่ตายลงออกไปจากระบบจนเกือบหมด เกิดเป็นวัฏจักรของการเพิ่มและลดปริมาณพรรณไม้น้ำที่เปลี่ยนไปตามช่วงฤดูกาลอย่างน่าสนใจมาก

ในพื้นที่แม่น้ำเพชรบุรี พิชาศิษฐ์และคณะ (2554) พบว่าความเร็วของน้ำมีบทบาทต่อมวลทางชีวภาพโดยรวมของพรรณไม้น้ำ ขณะที่ไม่พบบทบาทของแร่ธาตุอาหารที่มีต่อความผันแปรในมวลชีวภาพดังกล่าว สำหรับในพื้นที่แม่น้ำที่มีลักษณะของน้ำที่ลึกกว่าหรือขุ่นกว่า และมีอัตราการไหลค่อนข้างต่ำ (อาทิ แม่น้ำท่าจีน) ซึ่งระดับความเข้มแสงไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณ

ไม้ใต้น้ำ พื้นที่แม่น้ำเช่นนี้มักไม่พบพรรณไม้น้ำแต่จะเกิดการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชอย่างหนาแน่นขึ้นมาแทน โดยเฉพาะในช่วงแม่น้ำตอนล่างที่มีปริมาณแร่ธาตุอาหารในรูปฟอสเฟตถึงประมาณ 10 μM (สูงกว่าตอนบนประมาณ 10-20 เท่า) และมีมวลน้ำที่เคลื่อนตัวช้าลงตามลำดับ นั้น สามารถพบค่าคลอโรฟิลล์ในน้ำได้สูงถึง 20-50 μg/L (จารุมาศและเชษฐพงษ์, 2553; Thaipichitburapa *et al*., 2010) นับเป็นสถานการณ์ปัญหายูโทรฟิเคชันที่น่าเป็นห่วงและควรหาทางแก้ไขปัญหาอย่างเหมาะสมต่อไป

6.3.4) แสงในระบบนิเวศแหล่งน้ำ

แสงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีการศึกษากันมากเนื่องจากเป็นพลังงานที่ผู้ผลิตขั้นต้นจำเป็นต้องใช้ในการเจริญเติบโตและขยายขนาดประชากร พรรณไม้น้ำชนิดต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่แม่น้ำลำธารนับว่ามีการปรับตัวมากขึ้นกว่าพืชบกในหลายรูปแบบ อาทิ การเปลี่ยนแปลงสภาพของลำต้นใต้น้ำให้ยืดยาวขึ้นเพื่อชูส่วนใบให้ถึงระดับผิวน้ำ การมีผิวมันวาว และมีเยื่อปกคลุมชั้นนอกที่หนาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงทนทาน และการมีส่วนใบเป็นแฉกเล็กแตกเป็นฝอยหรือแผ่ออกกว้างเพื่อการรับแสงได้มากขึ้น ฯลฯ ในแหล่งน้ำยังประกอบด้วยพรรณไม้หลากหลายชนิด ตั้งแต่ในกลุ่มของพืชริมรอบฝั่ง (Marginal plants) กลุ่มพืชลำต้นใต้น้ำ (Submerged plants) กลุ่มพืชลอยน้ำ (Floating plants) ตลอดจนกลุ่มพืชที่ขึ้นได้ในที่มีแสงน้อยบริเวณผิวหน้าดินและพืชใต้น้ำ (Emergent and submerged plants) ซึ่งจะมีการกระจายพันธุ์ในที่ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละชนิด

การแพร่กระจายของพรรณไม้น้ำกลุ่มเด่น ๆ ในพื้นที่แม่น้ำลำธาร ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงทดแทนที่เกิดจากความเหมาะสมด้านสิ่งแวดล้อมและสัณฐานวิทยาของแหล่งน้ำที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญพันธุ์และการปรับตัวเพื่อความอยู่รอดของพรรณไม้น้ำแต่ละชนิด (Wade *et al*., 1990) กลุ่มที่เป็นพืชที่มีลำต้นใต้น้ำ ทุกชนิดสามารถอยู่ในแหล่งน้ำหรือในบริเวณที่มีแสงอิ่มตัวแค่เพียง 10-50% ของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวน้ำ ขณะที่พวกกลุ่มพืชลอยน้ำและพวกที่ชูใบหรือลำต้นขึ้นมาเหนือผิวน้ำจะใช้แสงในระดับความเข้มแสงที่ตกกระทบผิวน้ำโดยตรง (Spencer and Bowes, 1990) โดยทั่วไปเมื่อแหล่งน้ำมีการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร กลุ่มพรรณไม้น้ำที่ขึ้นหนาแน่นขึ้นมาในช่วงแรกมักเป็นพวกที่ลอยน้ำหรือมีลำต้นยืดยาวและมีส่วนใบและดอกโผล่พ้นน้ำ ลักษณะการเจริญงอกงามเช่นนี้มักพบในพื้นที่ที่น้ำยังมีการไหลเวียนดีซึ่งยังไม่ก่ออันตรายหรือเกิดผลกระทบทางลบต่อประชาคมพรรณพืชเหล่านี้

ความสัมพันธ์กับปัจจัยทางด้านแสงที่น่าสนใจอีกเรื่องหนึ่ง คือ การที่พรรณไม้น้ำโดยส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพในการใช้แสงได้เป็นอย่างดี โดยระดับความเข้มแสงที่ต่ำก็สามารถนำไปใช้ได้ ผลที่ตามมาก็คือ พรรณไม้น้ำขนาดเล็กที่เป็นพวกที่ขึ้นเกาะตามผิวของวัตถุรวมทั้งส่วนใบและลำต้นของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่กว่าอื่น ๆ ก็สามารถเจริญเติบโตขึ้นมาปกคลุมต้นใหญ่นั้นได้ (ในกรณีที่ต้นที่ใหญ่กว่านั้นมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้ากว่า) ยกตัวอย่างเช่น สาหร่ายชนิด *Cladophora* มีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วและมักพบขึ้นปกคลุมพื้นผิวของวัตถุต่าง ๆ ในบริเวณพื้นท้องน้ำที่มีแสงส่องถึงได้ ดังนั้นการเกิดทดแทนที่ของพรรณไม้น้ำในพื้นที่ที่เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันจึงมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงทางชนิด เกิดเป็นพวกที่เจริญได้ดีในที่ที่มีแสงน้อย พบในปริมาณมากกว่าชนิดที่

ทนทานต่อสภาวการณ์จำกัดของฟอสฟอรัส(ซึ่งมักเกิดขึ้นหลังจากการขยายการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพรรณไม้น้ำชนิดต่าง ๆ) (Hilton *et al*., 2006)

เมื่อเข้าสู่สถานการณ์ยูโทรฟิเคชันในแม่น้ำ เรามักจะสังเกตเห็นว่าส่วนใบและลำต้นของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ชนิดต่าง ๆ (ไม่ว่าจะเป็นสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด กลุ่มดีปลีน้ำ หรือสันตะวา ฯลฯ) มักถูกสาหร่าย (Epiphytes) ที่มีลักษณะเป็นเส้นสายหรือคล้ายเป็นแผ่นฟิล์ม หรือเมือกสีเขียวเข้มปนน้ำตาลปกคลุมอยู่ ความหนาของชั้นสาหร่ายที่ปกคลุมอยู่นั้นได้รับอิทธิพลจากทั้งปัจจัยภายในตัวของมันเอง (นั่นคือการบดบังแสงซึ่งกันและกัน) และจากปัจจัยภายนอก (ได้แก่ อิทธิพลจากการถูกพัดพาหรือชะล้างออกโดยความแรงของน้ำที่มากระแทก และอิทธิพลจากการถูกกินถูกกัดแทะโดยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง อาทิ กลุ่มหอย ปู และกุ้งขนาดเล็กในน้ำ) ปัจจัยดังกล่าวมีบทบาทในการหลุดลอกออกเป็นชั้น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายชั้นในสุดที่ถูกบดบังแสงจะเริ่มอ่อนแอลงและขาดแรงยึดเกาะกับพื้นผิว นอกจากนี้กระบวนการทางกายภาพจากความเร็วของน้ำยังช่วยทำให้สาหร่ายที่ปกคลุมเหล่านี้หลุดขาดออกไปและพรรณไม้น้ำอาจสามารถฟื้นฟูขึ้นมาใหม่ได้เมื่อได้รับแสงที่เพียงพออีกครั้ง

การฟื้นฟูระบบนิเวศโดยการใช้ความรู้ด้านบทบาทของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังต่าง ๆ ที่มีวงจรชีวิตอยู่ภายในแหล่งน้ำนั้น ๆ เป็นแนวคิดที่น่าสนใจ แนวคิดดังกล่าวมาจากความรู้ที่ว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการขยายของสาหร่ายที่มาปกคลุมพรรณไม้น้ำ โดยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่เป็นพวก Grazers (อาทิ กลุ่มหอยฝาเดียว; Gastropods) จะกัดแทะสาหร่ายและกินเป็นอาหาร (Ledger and Hildrew, 1998, 2000) มีรายงานการศึกษาในพื้นที่แม่น้ำ Cocker และแม่น้ำ Derwent ประเทศอังกฤษ ซึ่งพบว่าน้ำเสียที่ปล่อยจากฟาร์มปศุสัตว์ได้ทำให้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (Macroinvertebrates) ในพื้นที่แม่น้ำได้ตายลง ทำให้เกิดผลกระทบอย่างรุนแรงต่อประชาคมพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ ซึ่งจะเกิดการตายลงตาม เนื่องจากพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่เหล่านั้นถูกทดแทนที่ด้วยสาหร่ายขนาดเล็กที่เจริญขึ้นมาปกคลุมเป็นแผ่นฟิล์ม เกิดเป็นชั้นบาง ๆ เคลือบปกคลุมบริเวณใบและตามหน้าดินมากเกินไปและไม่มีสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังมาช่วยในการควบคุมปริมาณ (Hilton *et al*., 2006) ผลจากการศึกษาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นความสำคัญของการรักษาสมดุลของสิ่งมีชีวิตประเภทต่างๆ ทั้งกลุ่มของผู้ผลิตและผู้บริโภคภายในระบบนิเวศของแม่น้ำ อนึ่ง การที่ตัวอ่อนของแมลงน้ำได้มีการเจริญเป็นแมลงตัวเต็มวัยและออกไปจากระบบแหล่งน้ำอย่างมาก รวมทั้งการที่แหล่งน้ำนั้นมีกลุ่มของปลาที่เป็นผู้ล่าอีกช่วงชั้นหนึ่งที่หนาแน่นมากเกินไป ทำให้สัตว์ขนาดเล็กที่กินสาหร่ายหรือปลากินพืชได้ลดจำนวนลง ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็สามารถทำให้ระบบนิเวศของแหล่งน้ำเสียสมดุลและเกิดการทดแทนที่ด้วยกลุ่มสิ่งมีชีวิตใหม่ขึ้นมาได้ในที่สุด

6.3.5) ความเร็วในการไหลของน้ำ

ความเร็วของน้ำในระบบนิเวศแม่น้ำเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่ควบคุมกระบวนการทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในระบบ (Dawson, 1988) ความเร็วของน้ำหรือ Water

Velocity เป็นปัจจัยที่ยังไม่ได้รับการกล่าวถึงมาก่อนในระบบนิเวศทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หรือหนองบึง เนื่องจากความเร็วน้ำเป็นปัจจัยจำเพาะที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศของแหล่งน้ำไหลต่าง ๆ เท่านั้น

ในระบบนิเวศแม่น้ำ ความเร็วน้ำได้รับการยอมรับว่าเป็นปัจจัยหลักที่มีบทบาทต่อรูปแบบการแพร่กระจาย ความหนาแน่น องค์ประกอบทางชนิด และลักษณะการกระจายของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่จนไปถึงสาหร่ายที่ยึดเกาะรวมทั้งแพลงก์ตอนพืชในมวลน้ำ ความเร็วน้ำนับเป็นปัจจัยทางกายภาพทางน้ำที่สำคัญและมีบทบาทต่อทั้งคุณภาพและปริมาณของพรรณไม้น้ำ นอกจากนี้ยังมีบทบาทต่อองค์ประกอบทั้งทางชีวภาพและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของระบบแม่น้ำ นอกเหนือไปจากการที่ระบบนิเวศในแม่น้ำเกิดการเปลี่ยนสถานภาพและโครงสร้างประชากรตามลักษณะบทบาทของกระบวนการยูโทรฟิเคชันซึ่งเหนี่ยวนำโดยการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำแล้ว ความเร็วน้ำนับเป็นปัจจัยที่ไม่ควรมองข้ามในระบบนิเวศของแหล่งน้ำไหลเช่นนี้ ดังนั้น ในการศึกษาพัฒนาโมเดลต้นแบบเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของประชากรสาหร่ายหรือพรรณไม้น้ำในพื้นที่แม่น้ำตามสภาพปัญหายูโทรฟิเคชันที่เกิดขึ้น จึงจำเป็นจะต้องนำข้อมูลความรู้ทางความเร็วของน้ำมาผนวกกับข้อมูลพลวัตการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแร่ธาตุอาหารที่ได้รับเข้ามาหรือที่มีอยู่ในระบบแม่น้ำเสมอ ๆ

ในระบบนิเวศของพื้นที่แม่น้ำที่มีการเกิดทดแทนที่ของสังคมสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ตลอดเวลานั้น นักวิทยาศาสตร์จากหลากหลายสาขาได้พยามศึกษาและอธิบายรูปแบบการเกิดทดแทนที่ของประชากรเด่น ๆ ในแม่น้ำ งานวิจัยที่น่าสนใจหนึ่ง คือ งานของ Grime (1977) ซึ่งได้พัฒนาแนวคิดทฤษฎีการเกิดทดแทนที่ของสิ่งมีชีวิตกลุ่มพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ในแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลจากความสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยด้านแสงที่มีความจำกัดและปัจจัยทางด้านการพัดพาหรือความเร็วของมวลน้ำนั้น ๆ จากความรู้ดังกล่าวจะพบว่าการเกิดหรือการตายของพรรณไม้น้ำในพื้นที่แม่น้ำ ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ จะเกิดขึ้นในรูปแบบเพื่อการตอบสนองปัจจัยที่เข้ามามีอิทธิพล ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของพรรณไม้น้ำแต่ละประเภท (ที่มีศักยภาพในทางสรีรวิทยา มีโครงสร้างทางกายภาพและอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันไป) หากจะจำแนกลักษณะของการตอบสนองเราอาจพบว่ามีพรรณไม้น้ำ 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ 1) กลุ่มที่มีความทนทานสูงต่อสภาพการจำกัดทั้งด้านแร่ธาตุอาหารและแสง แต่ทนทานต่อผลจากปัจจัยทางกายภาพต่ำ 2) กลุ่มที่มีความทนทานสูงต่อข้อจำกัดทางกายภาพแต่ทนทานต่ำต่อปัจจัยจำกัดด้านแร่ธาตุอาหารและแสง และ 3) กลุ่มที่มีความทนทานต่ำต่อทุกปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยทางแร่ธาตุอาหาร แสง หรือปัจจัยทางกายภาพ เช่น ความแรงของน้ำก็ตาม ซึ่งในภาพรวมแล้วไม่พบว่ามีพรรณไม้น้ำชนิดใดเลยที่มีความทนทานสูงหรือยังคงดำรงประชากรอยู่ได้ในสภาวะความกดดันจากทุก ๆ ปัจจัย

ผลการศึกษาค้นคว้าเชิงโมเดลความสัมพันธ์โดย Brigss (1996) เกี่ยวกับบทบาทของแสง แร่ธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคาร์บอน) และอุณหภูมิต่อการเกิดทดแทนที่ของพรรณไม้น้ำและสาหร่ายยึดเกาะประเภทต่าง ๆ พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดมวลทางชีวภาพของพรรณไม้น้ำเหล่านั้นอย่างชัดเจน ประกอบกับ 1) การเปลี่ยนแปลงในการเคลื่อนตัวของน้ำปริมาณมากตามฤดูกาล (อาทิ การเกิดน้ำท่วมหลาก) 2) การผสมผสานภายในพื้นที่ลำน้ำ (การเคลื่อนที่ของน้ำในส่วนต่าง ๆ ของลำน้ำและการเคลื่อนย้ายอนุภาคในบริเวณพื้นท้องน้ำ) และ 3) บทบาทจากการ

ถูกกินเป็นอาหารโดยสัตว์ต่าง ๆ ภายในระบบนิเวศทางแม่น้ำนั้น นอกจากนี้การศึกษาทางด้านนิเวศอุทกวิทยาของลำน้ำโดย Petts (1996) ยังได้เน้นให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำที่ควรนำมาพิจารณาเพื่อประเมินเสถียรภาพและทิศทางในการเปลี่ยนแปลงของแม่น้ำ อย่างน้อยจะต้องประกอบด้วยข้อมูลความรู้ทางด้าน 1) ความรุนแรงหรือระดับของการท่วมหลากของน้ำ 2) ความยาวนานในการเกิดการท่วมหลากของน้ำ 3) เวลาในช่วงฤดูกาลของรอบปีที่เกิดการท่วมหลากของน้ำ และ 4) ช่วงเวลาที่แหล่งน้ำใช้กลับคืนสู่สภาพเดิมได้อีกครั้ง ในสภาพความเป็นจริงแล้วไม่น่าจะมีพรรณไม้น้ำใด ๆ ที่จะเจริญเติบโตได้อย่างมีเสถียรภาพภายใต้พื้นที่ที่เผชิญสภาวะน้ำท่วมหลากบ่อยครั้ง หรือแม้กระทั้งในพื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายการเกิดภาวะน้ำท่วม ซึ่งอาจเป็นพื้นที่รับน้ำที่มีมวลน้ำในปริมาณมากและไหลบ่าอย่างรุนแรงและพื้นท้องน้ำมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพตลอดเวลา (อาทิ ในพื้นที่ตอนท้ายของประตูระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อนกั้นน้ำเพื่อการชลประทาน) ลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการและแนวคิดของ Briggs (1996) ที่ได้พัฒนาโมเดลจากแนวคิดของ Grime (1977) โดยอธิบายว่าในแหล่งน้ำที่ได้รับการบูรณะฟื้นฟูขึ้นและมีความเร็วของน้ำลดลง เราสามารถพบกลุ่มของสาหร่ายที่เป็น Periphyton เริ่มเจริญขึ้นมาได้ก่อน ตามมาด้วยการเจริญของพวก Bryophytes และท้ายที่สุด เมื่อแหล่งน้ำเข้าสู่สมดุลใหม่ที่นิ่งขึ้นเรื่อย ๆ กลุ่มพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ (Macrophytes) จึงจะเจริญกลับขึ้นมาในพื้นที่ได้

สภาวะของแม่น้ำที่มีการเสื่อมโทรมโดยส่วนใหญ่เกิดจากการที่พรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ได้รับผลกระทบจากความเร็วน้ำที่แรงมาก ซึ่งสามารถทำลายหรือก่อความเสียหายต่อโครงสร้างของลำต้นและใบ รวมทั้งก่อให้เกิดการเคลื่อนย้ายของพื้นหินหรือกรวดทรายในบริเวณพื้นท้องน้ำ และกระทบกระเทือนต่อระบบรากของพรรณไม้ขนาดใหญ่ที่จำเป็นต้องอาศัยรากในการยึดเกาะพื้นท้องน้ำ โดยทั่วไประบบนิเวศแม่น้ำที่อุดมสมบูรณ์และพอเหมาะพอดีต่อการเจริญของพรรณไม้น้ำ จึงไม่ควรมีความเร็วน้ำที่รุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่ควรเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำบ่าหรือน้ำท่วมหลากบ่อยครั้ง หรือเป็นพื้นที่ที่ต้องรับมวลน้ำจากการชลประทานในระบบแม่น้ำ ความเสื่อมโทรมของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่มักจะถูกเกิดทดแทนที่โดยสาหร่ายที่ขึ้นปกคลุมพื้นผิวต่าง ๆ รวมทั้งตามลำต้นและใบของพรรณไม้น้ำ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้อาจบรรเทาเบาบางโดยการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำในช่วงที่สาหร่ายเริ่มหนาขึ้นและเสื่อมโทรมลง เนื่องจากแรงของน้ำจะกระตุ้นให้เกิดการหลุดร่อนของสาหร่ายออกไปจากพื้นผิวและหากพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่นั้นยังแข็งแรงอยู่จะสามารถกลับมาเติบโตและขยายขึ้นได้ใหม่ โดยอาจใช้ช่วงเวลาฟื้นฟูภายในระยะ 3-4 วัน ก่อนที่สาหร่ายจะกลับเข้ามาปกคลุมอีกครั้ง

อนึ่ง ความเร็วน้ำที่มากเกินไปสำหรับบางแห่ง (อาทิ ในแม่น้ำ Wye) อาจทำให้พรรณไม้น้ำเสื่อมโทรมลงไปโดยเฉพาะในเขตพื้นที่ที่น้ำไหลเซาะป่าผ่านลำธารหินหรือร่องเขา (Wilby *et al.*, 1998) ขณะที่ความเร็วน้ำที่สูงที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อนของแม่น้ำ Lambourn กลับทำให้พรรณไม้น้ำมีมวลทางชีวภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำที่ไหลเข้ามาได้ช่วยเจือจางระดับของฟอสเฟตในน้ำส่งผลให้สาหร่ายที่ขึ้นปกคลุมเจริญได้น้อยลง และพรรณไม้น้ำได้รับแสงที่เพียงพอ จึงกลับมาเจริญได้ดีขึ้น (Ham *et al*., 1981) ผลการศึกษาในภาพรวมพบว่าปัจจัยด้านความเร็วของน้ำที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของมวลน้ำจะควบคุมการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายความชุกชุมของพรรณ

ไม้ในระบบนิเวศแม่น้ำ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความรุนแรงและความถี่ของการเกิดน้ำท่วมหลาก (Rils and Biggs, 2003) และองค์ประกอบด้านคุณภาพน้ำอื่น ๆ อาทิ Alkalinity (Westlake, 1981) ก็นับเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์ของพรรณไม้น้ำในพื้นที่ได้เช่นกัน

การบริหารจัดการแหล่งน้ำไม่ว่าจะเป็นการอนุรักษ์ การฟื้นฟู หรือการพัฒนาใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ จำเป็นต้องมีความเข้าใจปัจจัยที่มีบทบาทควบคุมหรือเหนี่ยวนำให้เกิดโครงสร้างของระบบนิเวศทางน้ำที่จำเพาะกับแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันตามลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาและอุทกวิทยา ปัจจัยหลักที่มีบทบาทในพื้นที่แหล่งน้ำประเภทแม่น้ำที่เป็นแหล่งน้ำไหลที่ชัดเจนนี้มักประกอบด้วยปัจจัยทางด้านสารอาหาร ปริมาณแสง และความเร็วของน้ำในแม่น้ำแต่ละส่วน ซึ่งเมื่อพิจารณาข้อมูลความรู้ที่มีมาเราพบว่ากระบวนการเพิ่มจำนวนของพรรณไม้น้ำตลอดจนสาหร่ายประเภทต่าง ๆ ในน้ำเกิดจากความพยายามที่จะมีชีวิตในระดับแสงที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการดึงเอาพลังงานแสงเข้ามาใช้ในการขยายขนาดประชากร ผลของการเจริญดังกล่าวทำให้พรรณไม้แต่ละชนิดชูลำต้นและใบขึ้นไปในทิศที่มีแสง พยามยืดระดับของลำต้นเพื่อให้ส่วนใบได้แผ่ออกบริเวณผิวหน้าน้ำหรือมีการเปลี่ยนรูปร่างของโครงสร้างทางกายภาพต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับสภาพของน้ำและแสงที่ต้องการเบื้องบน เราจะเห็นได้ว่าพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ที่มีระบบรากยึดเกาะและจำเป็นต้องชูใบขึ้นให้เหนือผิวน้ำ ก็มักจะอยู่ในที่ที่ไม่ลึกมากและเป็นบริเวณที่มีความเร็วของน้ำต่ำ อาทิ บริเวณชายตลิ่งของลำน้ำ สังคมของพรรณไม้น้ำจะพัฒนาขึ้นเป็นระบบนิเวศที่สมบูรณ์จากพื้นฐานขององค์ประกอบที่ไม่มีชีวิตต่าง ๆ ที่เป็นกรอบเบื้องต้นในการเจริญพันธุ์และผสมผสานกับองค์ประกอบที่มีชีวิต เช่น พรรณไม้น้ำหรือสาหร่ายชนิดอื่น ๆ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตทางน้ำนานาชนิด ซึ่งแต่ละส่วนของพื้นที่ลำน้ำย่อมจะมีความแตกต่างกันออกไป

ผลการศึกษาในภาพรวมแสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านความเร็วของน้ำในแม่น้ำนับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญและมีบทบาทต่อการวางแผนในการบูรณะฟื้นฟูแหล่งน้ำได้เป็นอย่างดี จากการศึกษาในด้านการควบคุมพรรณไม้น้ำพบว่าหากเราต้องการกำจัดพรรณไม้น้ำที่เกินพอในระบบก็สามารถประยุกต์เอาความรู้ด้านความเร็วน้ำเข้ามาใช้โดยปรับระดับความเร็วน้ำให้อยู่ในสถานการณ์ที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญพันธุ์ของพรรณไม้น้ำชนิดที่เป็นเป้าหมายได้

6.3.6) ลักษณะจำเพาะทางภูมิสัณฐานวิทยา

ผลกระทบจากปัญหายูโทรฟิเคชันเท่าที่ผ่านมาพบความแตกต่างหรือผลกระทบในความรุนแรงต่อระบบนิเวศและทรัพยากรทางน้ำได้ต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะจำเพาะของพื้นที่แม่น้ำแต่ละส่วนหรือตามเขตลุ่มน้ำที่ต่างกันค่อนข้างมาก ดังนั้นในการพัฒนาโมเดลทางนิเวศวิทยาเพื่อการประเมินผลกระทบด้านยูโทรฟิเคชันที่จะเกิดขึ้นจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้องเชิงพื้นที่อย่างละเอียดรอบคอบด้วย

ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงเพื่อการพัฒนาโมเดลทางนิเวศวิทยาสำหรับเขตพื้นที่จำเพาะ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการอธิบายศักยภาพการนำแร่ธาตุอาหารไปใช้โดยประชาคมสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้น

และผลกระทบที่จะเกิดตามมาในระบบนิเวศแหล่งน้ำนั้น ๆ ประกอบด้วยปัจจัยและข้อมูลความรู้อาทิ

- ลักษณะทางอุทกนิเวศวิทยาของลุ่มน้ำที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของระบบน้ำ ในพื้นที่ อาทิ อัตราไหลของน้ำ มวลน้ำที่ถูกปล่อยเพิ่มลงมา และลักษณะของพื้นท้องน้ำ การเปลี่ยนแปลงตามแนวราบ แนวดิ่ง พื้นที่ด้านข้าง พื้นที่โดยรอบและการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่มี
- ข้อมูลด้านแร่ธาตุอาหารในน้ำโดยเฉพาะชนิดที่เป็นปัจจัยจำกัดสำหรับผู้ผลิตขั้นต้นที่สำคัญในพื้นที่ที่ศึกษา ทั้งนี้ ควรทำการทบทวนเอกสารอย่างครบถ้วน รัดกุม เพื่อให้มีความรู้พื้นฐานถึงระดับโดยประมาณของแร่ธาตุอาหารที่สามารถควบคุมการเจริญเติบโตหรือมีศักยภาพในการเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำหรือสาหร่ายชนิดต่าง ๆ ในแหล่งน้ำที่ศึกษาได้ หากไม่มีข้อมูลพื้นฐานที่เพียงพอ การทำการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยจำลองอิทธิพลของการเติมแร่ธาตุอาหารลงในชุดการทดลองต่าง ๆ เพื่อการเปรียบเทียบกัน นับว่าเป็นเรื่องที่จำเป็น เนื่องจากจะทำให้ทราบว่าชนิดและระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัดและจะประเมินต่อไปได้ว่าแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำเป้าหมายนั้นจัดเป็นปัจจัยจำกัดหรือสมควรที่จะนำมาพิจารณาเพื่อการควบคุมดูแลอย่างไร
- ข้อมูลทางด้านฤดูกาล นับเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศของแม่น้ำลำธารในการศึกษาพัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อการประเมินโอกาสการเกิดหรือใช้ทำนายสถานการณ์ต่าง ๆ ทั้งนี้ ควรศึกษาข้อมูลความรู้ด้านอัตราการเปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งมักจะมีปัจจัยเกี่ยวข้องที่สำคัญ คือ ระดับของอุณหภูมิ ความเข้มแสง และปริมาณการได้รับน้ำเสียที่มีความแตกต่างตามฤดูกาลอย่างชัดเจนมากกว่าปัจจัยด้านอื่น

จากภาพรวมของการศึกษาที่ผ่านมา การอธิบายลักษณะการเกิดสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันในระบบนิเวศของแม่น้ำจึงควรประกอบด้วยการอธิบายปัจจัยหรือกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณแร่ธาตุอาหารที่รับเข้ามา ปริมาณแร่ธาตุอาหารที่ถูกนำไปใช้และถูกเคลื่อนย้ายออกจากระบบ กระบวนการเกิดสภาพยูโทรฟิเคชันในระบบแม่น้ำและการเปลี่ยนแปลงตามเวลา และลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาที่สำคัญของแหล่งน้ำในพื้นที่เป้าหมายที่ทำการศึกษา (Nijboer and Verdonchot, 2004) และเนื่องจากผลกระทบและสาเหตุที่มีความซับซ้อนของปัญหายูโทรฟิเคชัน กลยุทธ์ในการควบคุมหรือป้องกันปัญหาเป็นเรื่องที่ต้องอาศัยความรู้แบบองค์รวมโดยการประมวลความรู้ความเข้าใจตั้งแต่กระบวนการที่เกิดขึ้นในระดับของพื้นที่รับน้ำ (Catchment) ซึ่งครอบคลุมหลักการทางนิเวศอุทกวิทยา (Zalewski *et al*., 1997) เชื่อมโยงเข้าสู่ข้อมูลความรู้ด้านการจัดการที่เกี่ยวข้องกับระบบลุ่มน้ำที่หลากหลาย อาทิ ด้านการควบคุมปัญหาการชะล้างพังทลายของดินและการจัดการด้านการอนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำและพื้นที่เขตรอยต่อ (Straskraba, 1994) ซึ่งพบว่าในเร็วๆ นี้มีการบูรณาการความรู้และพัฒนาสู่แนวทางการจัดการที่ครบวงจรได้อย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น (Zalewski *et al*., 1997)

อนึ่ง การพัฒนาโมเดลทางนิเวศวิทยาภายใต้การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในปัจจุบัน จึงควรประกอบด้วยการประมวลข้อมูลทางนิเวศอุทกวิทยาที่ละเอียดรอบคอบและเพียงพอที่จะอธิบายลักษณะของพื้นที่แม่น้ำลำธารและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา นอกจากนี้ ควรมีข้อมูลความรู้ในด้านพื้นที่รับน้ำ (อาทิ การใช้ประโยชน์ของที่ดินโดยรอบ ประเภทของดิน ลักษณะการไหลของน้ำทั้งบริเวณผิวน้ำและชั้นน้ำใต้ดิน ฯลฯ) ด้านลักษณะภายในลำน้ำ (อาทิ ความห่างจากแหล่งรับสารปนเปื้อนหรือน้ำเสียประเภทต่าง ๆ ลำดับชั้นของแม่น้ำ ความกว้างและความลึกของแม่น้ำ พรรณพืชหรือลักษณะของป่าไม้ในพื้นที่ชายขอบของลำน้ำ ปริมาณน้ำเสียที่ได้รับ ความเร็วของน้ำ ลักษณะทางอินทรีย์สารและองค์ประกอบทางกายภาพของพื้นท้องน้ำ อุณหภูมิของน้ำ ความขุ่นของน้ำ และความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำได้สูงสุด ฯลฯ) ด้านแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (อาทิ ปริมาณไนโตรเจนรวม แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสรวม ฯลฯ) และด้านผู้ผลิตขั้นต้นและกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญ (อาทิ ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ การเจริญเติบโตปกคลุมของพรรณไม้ในแม่น้ำ สัดส่วนของมวลชีวภาพชนิดต่าง ๆ ที่มีในแหล่งน้ำ และความต้องการใช้ออกซิเจนทางชีวภาพในแหล่งน้ำ ฯลฯ)

สำหรับในพื้นที่แม่น้ำท่าจีน มีการพัฒนาแบบจำลองเพื่ออธิบายพลวัตของสารกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนเข้ามาสู่แหล่งแม่น้ำ และความเชื่อมโยงกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ (ภัทราวุธ, 2556) ซึ่งพบว่าปัจจัยคุณภาพน้ำหลายประเภทที่ศึกษาไม่แสดงบทบาทที่ชัดเจนใด ๆ มีเพียงแร่ธาตุอาหารประเภทแอมโมเนียม (NH_4^+; μM) ในน้ำ ที่แสดงความสัมพันธ์ *($P < 0.05$)* ในเชิงบวกกับสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มไดเอรอนในน้ำ (Diuron in water: D_{WATER}; μg/L) ดังสมการ

$$D_{WATER} = 1.33\ NH_4^+ - 11.60 \qquad (r^2 = 0.80)$$

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีปัจจัยทางนิเวศอุทกวิทยาจำเพาะประเภทที่จำต้องติดตามข้อมูล ประมวลผล และนำมาใช้ในการอธิบายกระบวนการทางยูโทรฟิเคชันที่เกิดขึ้น การพิจารณาข้อมูลโดยขาดเป้าหมายที่ชัดเจนหรือขาดความเข้าใจในสภาพพื้นที่อย่างเพียงพอ อาจทำให้ผลการวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาที่มีไม่รอบคอบ และไม่ทราบถึงทิศทางที่เหมาะสมในการบริหารจัดการเพื่อการแก้ปัญหาในระยะต่อไปได้

6.4) การดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหายูโทรฟิเคชัน

6.4.1) ลักษณะการดำเนินการทั่วไป

ปัญหายูโทรฟิเคชันพบได้มากขึ้นเรื่อยๆ ในประเทศที่มีกิจกรรมของชุมชนอย่างหนาแน่นตามริมทะเลสาบ แม่น้ำ หรือเขตชายฝั่ง กิจกรรมจากชุมชนก่อปัญหาการเพิ่มของแร่ธาตุอาหารซึ่งส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมทางการเกษตร (การใช้ปุ๋ยเป็นจำนวนมากลงในพื้นที่) กิจกรรมด้านการปศุสัตว์ การทิ้งน้ำเสียจากแหล่งชุมชน และกิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้เกิดการตัดไม้ทำลายป่าหรือการเปลี่ยนพื้นที่เพื่อการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ อาทิ สิ่งก่อสร้าง การทำถนน และการเปลี่ยน

พื้นที่เพื่อการเพาะปลูก ฯลฯ การศึกษาที่ผ่านมาในพื้นที่ปากแม่น้ำและเขตชายฝั่งพบว่าปัญหายูโทรฟิเคชันเกิดจากการเพิ่มแร่ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากกว่าการเพิ่มของธาตุซิลิกอน ซึ่งนอกจากการเปลี่ยนแปลงมวลทางชีวภาพของผู้ผลิตขั้นต้นโดยรวมแล้ว ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนกลุ่มหรือชนิดของแพลงก์ตอนพืชในเขตชายฝั่ง (Justic *et al.*, 1995) และมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงในผลผลิตทางการประมง ผลกระทบดังกล่าวทำให้ทางประเทศแถบยุโรปและอเมริกามีความพยายามในการควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งที่มาจากระบบน้ำทิ้งที่ชัดเจนต่าง ๆ (โดยเฉพาะการห้ามการใช้ผงซักฟอกที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ) ซึ่งผลจากการควบคุมอย่างเข้มงวดทำให้ระดับของฟอสเฟตในน้ำทิ้งเหล่านั้นลดลงได้ถึงประมาณ 50% (Dodds, 2002)

ปัญหายูโทรฟิเคชันได้รับการตระหนักถึงว่าเป็นผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำและทรัพยากรในแหล่งน้ำในระดับภูมิภาคและระดับโลก มีองค์กรทั้งภาครัฐ หน่วยงานราชการ มหาวิทยาลัย ตลอดจนองค์กรในภาคเอกชนซึ่งเป็นศูนย์การเรียนรู้และการอนุรักษ์ด้านต่าง ๆ ให้ความร่วมมือในการแก้ไขปัญหาและหาแนวทางดำเนินการเพื่อพัฒนาคุณภาพร่วมกัน ในที่นี้องค์กรระดับภูมิภาค อาทิ Council of European Committee (2000) ได้พัฒนากรอบยุทธศาสตร์เพื่อการบริหารจัดการคุณภาพน้ำของภูมิภาคยุโรปภายใต้แผน The Water Framework Directive of the European Community (WFD) ขึ้น โดยมีเป้าหมายในการแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำผิวดินที่เกี่ยวข้องอย่างจริงจัง

สำหรับในประเทศไทย มีองค์กรภาครัฐที่รับผิดชอบทั้งทางตรงและทางอ้อมในด้านการติดตาม แก้ปัญหา และฟื้นฟูสถานการณ์มลภาวะทางน้ำ ได้แก่ กรมควบคุมมลพิษ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กรมชลประทาน และกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง เป็นต้น อย่างไรก็ตามการพุ่งเป้าไปที่ปัญหายูโทรฟิเคชันยังไม่เด่นชัด ส่วนใหญ่เป็นการเฝ้าระวังและป้องกันปัญหาทางด้านสารพิษประเภทต่าง ๆ ที่จะเข้าสู่แหล่งน้ำและแก้ปัญหาด้านปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอในฤดูแล้ง และ/หรือการมีมากเกินไป (ในภาวะน้ำท่วม) สำหรับการใช้ในการอุปโภคบริโภคและการผลิต ทั้งภาคเกษตรและภาคอุตสาหกรรม

ทั้งนี้พบว่าสิ่งที่เป็นสาเหตุสำคัญหรือมีบทบาทต่อการเกิดภาวะยูโทรฟิเคชันของแหล่งน้ำที่ได้รับความสนใจและจับตามองที่สุด คือ แร่ธาตุอาหารในน้ำ ยกตัวอย่างการศึกษาประเมินผลกระทบของปัญหาในประเทศอังกฤษและสาธารณรัฐเวลส์ พบว่าปัญหาของการเกิดภาวะยูโทรฟิเคชันทำให้จำเป็นต้องเพิ่มต้นทุนในการบำบัด/ทำความสะอาดน้ำที่จะมาใช้ในการอุปโภคบริโภคและเกิดผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ ตลอดจนความงดงามของทัศนียภาพ คิดเป็นมูลค่าถึง 100 ล้านยูโรต่อปี ซึ่งหากจะต้องแก้ปัญหาโดยการฟื้นฟูคุณภาพน้ำ จะต้องใช้งบประมาณถึง 55 ล้านยูโรต่อปี (Pretty *et al*., 2003) ค่าใช้จ่ายดังกล่าวนับว่าเป็นปริมาณมหาศาล ซึ่งครอบคลุมการจัดการน้ำเสียที่มาจากแหล่งที่ชัดเจน (อาทิ จากระบบโรงงานอุตสาหกรรม) และน้ำทิ้งที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งหรือแหล่งกำเนิดมลพิษได้ (อาทิ จากพื้นที่ทำการเกษตร และน้ำที่มาจากการกัดเซาะหรือการพัดพาโดยอิทธิพลของฝนและการท่วมหลากของน้ำ) (Neal and Jarvie, 2005)

ภายใต้การคำนึงถึงการจัดการด้านแร่ธาตุอาหารในน้ำ ความรู้ความเข้าใจในสภาวะของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตลอดจนลักษณะทางนิเวศอุทกวิทยาที่มีบทบาทต่อการแสดง

สภาวะความรุนแรงของปัญหายูโทรฟิเคชันเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญ อย่างไรก็ตามยังเป็นเรื่องที่ถกกันถึงบทบาทของการใช้ระบบการผลักดันของน้ำจืดจากแหล่งน้ำต้นทุนเพื่อการบรรเทาเบาบางปัญหายูโทรฟิเคชัน เนื่องจากกระบวนการฟื้นฟูยังเป็นเรื่องที่ซับซ้อน และอาจเป็นการยากที่ระบบนิเวศของแหล่งน้ำจะย้อนกลับคืนมาสู่สภาวะที่เคยเป็นก่อนเกิดปัญหาได้

การเรียนรู้ถึงกระบวนการในการพัฒนาของยูโทรฟิเคชัน ปัจจัย สาเหตุต่าง ๆ และโอกาสในการเกิดปัญหาต่อระบบสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ความรู้ความเข้าใจในระบบนิเวศที่เกี่ยวข้องกับปัญหามลภาวะทางน้ำในลักษณะเช่นนี้ ได้รับการศึกษากันมากในระบบของทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ ซึ่งภายใต้หลักการและข้อมูลความรู้พื้นฐานที่มีมา เราสามารถเรียนรู้และพัฒนาต่อยอดเพื่อการแก้ปัญหายูโทรฟิเคชันในระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล ตามรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไป

6.4.2) การวิจัยและแนวคิดเพื่อการแก้ปัญหายูโทรฟิเคชัน

ในการพัฒนาแนวคิดจากการศึกษาวิจัยเพื่อการแก้ปัญหายูโทรฟิเคชันนั้น แต่เดิมอาศัยหลักการในกระบวนการทางชลธีวิทยา (Limnology) ซึ่งอธิบายลักษณะของการผลิตและการบริโภคขั้นตอนต่าง ๆ ในแหล่งน้ำผิวดิน โดยทั้งนี้ความพยายามในการจำแนกประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน โดยเฉพาะด้านความแตกต่างของความเข้มข้นของแร่ธาตุ สารอาหาร และปริมาณของแพลงก์ตอนพืช (ซึ่งเชื่อมโยงกับลักษณะทางภูมิสัณฐานวิทยาและลักษณะทางกายภาพโดยเฉพาะค่าความโปร่งแสงและความลึกของน้ำ) ได้นำมาสู่การจำแนกแหล่งน้ำตามสภาพ “ความอุดมสมบูรณ์” ออกเป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก (Ultra-oligotrophic waters) จนกระทั่งถึงแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงมาก (Hypertrophic waters) เป็นลำดับขึ้นไป

การศึกษาที่กล่าวถึงปัจจัยและบทบาทของปัจจัยสิ่งแวดล้อมในเชิงทางปริมาณได้อย่างชัดเจนเกิดจากการริเริ่มที่มีคุณค่าของ Vollenweider (Vollenweider, 1968; OECD, 1982) ซึ่งหลังจากนั้นในช่วงระยะประมาณ 40 ปีที่ผ่านมานี้มีงานศึกษาวิจัยอีกมากที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อการอธิบายกระบวนการพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ จนกระทั่งในที่สุดความรู้เรื่องปัจจัยจำกัดด้านสารอาหาร (Limiting nutrients) ก็เริ่มชัดเจนขึ้นและเกิดการพัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ทำนายการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างและมวลทางชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชตามเวลาได้ในที่สุด (อาทิ โมเดล PROTECH โดย Reynolds *et a*l., 2001)

งานศึกษาวิจัยทางด้านโมเดลทางนิเวศวิทยาสำหรับอธิบายการเปลี่ยนแปลงของประชากรแพลงก์ตอนพืชเริ่มแรกพบในพื้นที่ทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ซึ่งได้ดำเนินการเรื่อยมาจนสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงในปริมาณหรือมวลทางชีวภาพของแพลงก์ตอนสัตว์ที่เกี่ยวข้องได้ (Hitton, *et al*. 1992; 2001; May *et al*., 2001; Lewis *et al*., 2002; 2003) เมื่อมาพิจารณางานศึกษาปัญหายูโทรฟิเคชันในพื้นที่แม่น้ำ พบว่าเริ่มมีการนำคำนิยามของยูโทรฟิเคชันมาใช้สำหรับระบบนิเวศแม่น้ำตั้งแต่ปี ค.ศ. 1955 (Ohle, 1955) อย่างไรก็ตาม การพัฒนาความรู้เพื่อการอธิบายกระบวนการและการเกิดปัญหาในพื้นที่แม่น้ำยังมีค่อนข้างจำกัด โดยส่วนใหญ่จะอธิบายสถานการณ์ปัญหาทั่วไปเท่านั้น

ในระบบนิเวศแม่น้ำ Doscy (1992) ได้ให้แนวคิดไว้อย่างน่าสนใจว่าเนื่องจากแม่น้ำโดยเฉพาะในส่วนปลายน้ำหรือทางตอนล่างสุด มีอัตราการไหลของน้ำที่ช้าลง มีลักษณะคล้ายทะเลสาบน้ำจืดที่มีรูปทรงเรียวยาว ดังนั้นปัญหายูโทรฟิเคชันจึงสามารถเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกันกับแหล่งน้ำนิ่ง อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่อดีตมาด้วยการที่แม่น้ำมีลักษณะการไหลและการถ่ายเทของมวลน้ำอยู่ตลอดเวลา ภาพลักษณ์ของแม่น้ำจึงเป็นแค่ตัวกลางที่นำพาเอาแร่ธาตุอาหารให้ไหลรวมไปสู่แหล่งน้ำปลายทาง อาทิ ในเขตทะเลสาบน้ำจืดในแผ่นดิน หรือไหลลงสู่เขตทะเลในพื้นที่ปากแม่น้ำ ดังนั้น การศึกษาวิจัยเพื่อการเข้าใจปัญหาของยูโทรฟิเคชันในพื้นที่แม่น้ำในช่วงแรก ๆ จึงมีค่อนข้างน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาทางมลภาวะจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ แทบไม่มีการศึกษาด้านสภาวะและอิทธิพลของการเพิ่มของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Sweeting, 1994) ยกเว้นในการศึกษาเกี่ยวกับการใช้พรรณไม้น้ำเป็นดัชนีชี้วัดและการศึกษาด้านประชาคมของพรรณไม้น้ำในพื้นที่แม่น้ำซึ่งรายงานโดย Aolmes and Newbold (1984), Mainstone *et al.* (1994) และ Woodrow *et al.* (1994)

ในระยะถัดมาพบการอธิบายผลกระทบของแร่ธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและการเกิดทดแทนที่ของกลุ่มพรรณไม้น้ำในพื้นที่แม่น้ำ ในงานศึกษาวิจัยของ Dawson *et al.* (1999) และ Wilby *et al.* (2001) นอกจากนี้ ยังมีงานที่อธิบายความเกี่ยวข้องของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่และสาหร่ายที่ขึ้นเคลือบอยู่ตามผิวใบ (Epiphytes) อาทิ งานของ Flynn *et al*. (2002) และ Wade (1990) ถึงกระนั้นก็ตามงานศึกษาวิจัยในปัจจุบันยังต้องการงานวิจัยที่มุ่งเน้นกระบวนการเกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำในภาพรวม ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยการเชื่อมโยงความรู้ในความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่หลากหลาย รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาของปัจจัยที่ก่อผลกระทบภายในระบบนิเวศแต่ละแห่งที่มีโครงสร้างทางภูมิสัณฐานวิทยาและอุตุนิยมวิทยาที่มีความจำเพาะและแตกต่างกันไปด้วย

อนึ่ง จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าปัญหายูโทรฟิเคชันเกิดขึ้นจากการเพิ่มของแร่ธาตุอาหารในน้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากภาพรวมของหลายสาเหตุ ไม่ว่าจะเป็นพื้นฐานทางธรรมชาติที่มี (Natural background) หรือมาจากอิทธิพลของฝน กิจกรรมอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม และน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนทั้งที่มีจุดกำเนิดที่แน่นอน (Point-source runoff) และไม่แน่นอน (Non-point source runoff) ซึ่งผลกระทบจากการเพิ่มของแร่ธาตุอาหารนี้ได้ทำให้เกิดการปรับตัวของธรรมชาติให้สมดุลกับปริมาณของแร่ธาตุอาหารจำเพาะต่าง ๆ (อาทิ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซิลิเกต) และปริมาณของแสงที่มีในแหล่งน้ำ จากการศึกษาประมวลผลในงานวิจัยทางวิชาการที่หลากหลายพบว่ากระบวนการที่สำคัญยิ่งในการควบคุมระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารให้มีระดับที่เพียงพอหรือมากน้อยเท่าใดในแหล่งน้ำนั้น คือ กระบวนการทางอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเราสามารถวิเคราะห์ผลและอธิบายการเปลี่ยนแปลงของปัญหายูโทรฟิเคชัน ตลอดจนใช้เพื่อทำนายโอกาสในการเกิด การคงตัวหรือการเปลี่ยนแปลงตามเวลาผ่านการศึกษาวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา (อาทิ การวิเคราะห์รูปแบบและอัตราการไหลของมวลสารในพื้นที่หนึ่ง การแยกชั้นและการผสมผสานของน้ำ และอัตราการตกตะกอนของสารในแหล่งน้ำ เป็นต้น) นอกจากนี้ การประเมินผลกระทบของยูโทรฟิเคชันที่ตระหนักถึงความสำคัญและบทบาทของปัญหาต่อพื้นที่ลุ่มน้ำในภาพรวมทำให้ประเด็นการวิเคราะห์ด้านปริมาณน้ำท่า อัตราการไหลลงในพื้นที่รับน้ำ การชะล้างพังทลาย

และการเกิดของตะกอน ตลอดจนกระบวนการเคลื่อนย้ายของมวลสารต่าง ๆ ในระบบแหล่งน้ำ ได้รับความสนใจในการศึกษาติดตามมากยิ่งขึ้น (Harper, 1992) การศึกษาระยะปัจจุบันยังมีการพัฒนาทางคอมพิวเตอร์โมเดลเพื่ออธิบายการแพร่กระจายและผลกระทบจากปัญหายูโทรฟิเคชัน โดยมีการผนวกเข้ากับการใช้ข้อมูลสารสนเทศที่ละเอียดและเชื่อมโยงกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบ มีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียม และข้อมูลภูมิสารสนเทศ (GIS) ที่เป็นความรู้ในด้านต่าง ๆ มาประกอบ

6.4.3) การประยุกต์ใช้ความรู้เพื่อควบคุมแร่ธาตุอาหารที่เข้าสู่แหล่งน้ำ

ในการจัดการปัญหามลภาวะด้วยการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุ อาทิ การจัดการกับลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นไปแล้วนั้น นอกจากจะมีค่าใช้จ่ายสูงแล้วยังจะเกิดปัญหาตามมาได้อีกอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการจัดการที่มีประสิทธิภาพและให้ผลอย่างคุ้มค่าและยั่งยืน จึงควรเน้นการควบคุมที่สาเหตุแห่งปัญหามากกว่า

แร่ธาตุอาหารที่เข้าสู่แหล่งน้ำที่มาจากแหล่งที่มีจุดกำเนิดที่ชัดเจน (อาทิ ท่อน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ลำรางน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม หรือน้ำทิ้งจากฟาร์มปศุสัตว์ขนาดใหญ่) นับเป็นแร่ธาตุอาหารกลุ่มที่สามารถจัดการด้านการควบคุมได้สะดวกกว่าแร่ธาตุอาหารในน้ำทิ้งที่ไม่พบแหล่งกำเนิดที่เด่นชัด เนื่องจากจะสามารถกำหนดตำแหน่งการควบคุมและวางแนวทางในการสำรวจติดตามเพื่อการประเมินผลได้ไม่ยาก แร่ธาตุอาหารซึ่งมาจากการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ในภาพกว้าง อาทิ จากกิจกรรมการทำการเกษตร การผลิตพืชผล การปรับเปลี่ยนพื้นที่เพื่อการจัดสร้างแหล่งที่อยู่อาศัย รวมทั้งน้ำทิ้งจากชุมชนที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้อย่างจำเพาะเจาะจง เหล่านี้นับเป็นแหล่งที่มาที่ยากต่อการบริหารจัดการ แต่ขณะเดียวกันกลับมีบทบาทที่ทำให้ระดับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้นได้เรื่อยๆ ในการศึกษาของ Caraco and Cole (1999) พบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนประชากรในชุมชนที่มีในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำกับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่พบในมวลน้ำ และยังพบว่าในพื้นที่ที่พบกิจกรรมทางการเกษตรและการใช้ประโยชน์ในที่ดินที่เพิ่มขึ้นประมาณ 50% จะทำให้แร่ธาตุในรูปไนโตรเจนมีการเพิ่มได้มากถึงสองเท่า

ข้อมูลความรู้ข้างต้นทำให้เกิดการมองภาพลุ่มน้ำเป็นระบบของความเชื่อมโยงที่ต่อเนื่องกัน มีการใช้ระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์บทบาทหรือโอกาสของผลกระทบที่จะเกิดจากการใช้ประโยชน์ในพื้นที่โดยรอบระบบลุ่มน้ำต่อคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำนั้น ๆ และมีการวิเคราะห์เชิง “กลุ่มพื้นที่” ที่มีความคล้ายคลึงกันจากลักษณะการตอบสนองทางนิเวศวิทยา แนวทางเหล่านี้สามารถนำไปสู่การวางแผนบริหารจัดการคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำอย่างจำเพาะแห่ง ขณะเดียวกันก็เกิดเป็นระบบเครือข่ายที่เชื่อมโยงภาพรวมต่อไปได้ นอกจากนี้ ยังมีการวิเคราะห์ระบบลุ่มน้ำออกเป็นเชิง “กลุ่มการบริหารจัดการ” ที่จำเพาะตามบริบทของการแบ่งเขตปกครองส่วนจังหวัดหรือส่วนท้องถิ่น (ดังในกรณีศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีนตามเขตการปกครองในจังหวัดชัยนาท ลงมาถึงจังหวัดสมุทรสาคร; Thaipichitburapa *et al.*, 2010) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนตัว การบำบัดตัวเอง รวมทั้งการถ่ายเทสารมลพิษแยกตามส่วนต่าง ๆ ของเขตจังหวัด

อย่างชัดเจน (พร้อมกับการใช้ Box model มาประกอบ) นับเป็นแนวคิดที่น่าสนใจและทำให้แต่ละภาคส่วนได้ตระหนักถึงปัญหาในเขตพื้นที่ของตนเอง รวมทั้งเห็นภาพความจำเป็นในการวางแผนบริหารจัดการควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

การศึกษาที่ผ่านมาสะท้อนภาพความยากลำบากในการจัดการแก้ไขปัญหายูโทรฟิเคชันหากได้เกิดขึ้นมาแล้ว ดังนั้น ความพยายามในการลดสาเหตุของปัญหาจึงเป็นเรื่องที่ทุกฝ่ายเริ่มหันมาให้ความสำคัญมากกว่าการจัดการที่ปลายเหตุ การศึกษาของ Schindler (1974) ที่ประเทศแคนาดา พบว่าการควบคุมการปล่อยของ “ฟอสฟอรัส” ที่ลงสู่แหล่งน้ำเป็นทางออกที่ดี และเกิดผลได้ชัดเจนกว่าการควบคุมปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่เข้าสู่แหล่งน้ำ ฟอสฟอรัสนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถจำกัดการเพิ่มจำนวนของผลผลิตขั้นต้น (Shindler, 1974; Correll, 1999) อย่างไรก็ตาม ในแหล่งน้ำเขตร้อนบางแห่งอาจพบว่าไนโตรเจนก็มีบทบาทในการเป็นปัจจัยจำกัดที่สำคัญ ซึ่งผลจากการศึกษาทางชีววิเคราะห์ภายหลังจากได้พบว่าสัดส่วนของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสนับเป็นอีกปัจจัยที่ควบคุมการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ (Golterman and de Oude, 1991)

ในการควบคุมระดับของแร่ธาตุอาหาร จำเป็นต้องมีการประเมินระดับของแร่ธาตุอาหารที่มีในแหล่งน้ำ หรือระดับที่มีโอกาสเกิดขึ้นจากการรับน้ำเสียเข้ามาสู่ระบบนิเวศแหล่งน้ำนั้น ๆ นอกจากนี้ยังควรทราบบทบาทความสัมพันธ์ของระดับแร่ธาตุอาหารที่ปรากฏและปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ถูกกระตุ้นให้เพิ่มจำนวนขึ้น ตัวอย่างสมการความสัมพันธ์พื้นฐาน (Dodds, 2002) ที่แสดงระดับของฟอสฟอรัสรวม (**TP**; mg/m^3) ที่เกิดจากบทบาทของปริมาณฟอสฟอรัสที่รับเข้ามา (Loaded P; **L**; mg/m^2/yr) และปัจจัยสะท้อนสภาวะทางนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ ซึ่งได้แก่ ความลึกเฉลี่ยของน้ำ (**Z**; m) ค่าอัตราการไหลออก (Flushing rate; ρ; per year) และอัตราการตกตะกอน (σ; per year) ซึ่งมีค่าประมาณ 10 / **Z** นั้น สามารถแสดงได้ดังนี้

$$TP = \frac{L}{Z(\rho+\sigma)}$$

สมการดังกล่าวเป็นการทำนายอย่างง่ายที่คำนึงถึง “แหล่งที่มา” ที่มาจากการรับน้ำจากแม่น้ำ ลำธาร (รวมทั้งจากแหล่งบรรยากาศและน้ำใต้ดิน) และ “การหายไป” ที่เกิดจากการไหลออกนอกระบบและการตกตะกอนลงที่พื้นท้องน้ำ โดยกำหนดให้ระบบอยู่ในสภาวะที่ค่อนข้างเสถียรและมีการรับแร่ธาตุอาหารที่เกิดมาจากพื้นท้องน้ำในระดับที่ต่ำ ทั้งนี้ การประเมินค่าปัจจัยแต่ละองค์ประกอบอย่างละเอียดจะก่อให้เกิดการทำนายระดับ **TP** ที่จะมีได้อย่างใกล้ความเป็นจริงมากที่สุด

ในขั้นตอนสำคัญต่อไป คือ การประเมินระดับของคลอโรฟิลล์ที่จะเกิดจากการกระตุ้นให้เกิดขึ้นจากระดับของ **TP** ที่พบนั้น ผลการศึกษาของ Jones and Bachmann (1976) เสนอความสัมพันธ์ที่ชัดเจนจากการรวบรวมข้อมูลในเขตทะเลสาบ 143 แห่ง ดังนี้

$$\text{Log Chl}a = 1.46 \text{ Log TP} - 1.09 \quad (r^2 = 0.90)$$

ซึ่งในที่นี้ Chl*a* เป็นค่าเฉลี่ยของคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll *a*; µg/L) ในช่วงฤดูร้อน ส่วน TP คือ ระดับของฟอสฟอรัสรวม (Total phosphorus; µg/L) ในช่วงฤดูเดียวกัน อย่างไรก็ตาม การศึกษาหลังจากนั้นพบว่าระดับความสัมพันธ์อาจไม่ชัดเจนหากระดับของ “ไนโตรเจน” ในน้ำมีค่าต่ำ ซึ่งได้ทำให้เราเห็นว่าไนโตรเจนก็มีส่วนร่วมในการขับเคลื่อนให้เกิดปริมาณคลอโรฟิลล์ขึ้นมา ในการนี้ Smith (1982) จึงเสนอสมการใหม่ ดังนี้

$$\text{Log Chl}a = 0.640 \text{ Log TP} + 0.587 \text{ Log TN} - 0.753 \quad (r^2 = 0.75)$$

สมการดังกล่าวนี้ เหมาะกับพื้นที่ที่มี TP สูง ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับแหล่งน้ำในเขตร้อนเท่าใดนัก (Cooke *et al*., 1993; Sarnelle *et al*., 1998) และจากความสัมพันธ์ดังกล่าว การควบคุมระดับของคลอโรฟิลล์ให้อยู่ในสมดุลธรรมชาติหรืออยู่ในระดับปกติที่เป็นพื้นฐานเดิม (Based-line level) สำหรับแต่ละแหล่งน้ำ จึงนับเป็นเรื่องที่สามารถประเมินย้อนกลับไปได้ว่าจะต้องควบคุม TP ที่มีในแหล่งน้ำให้อยู่ในระดับเท่าใด และจะทำให้เราสามารถประเมินไปถึงระดับของฟอสฟอรัสที่เกิดจากระดับของ “L” ที่เข้ามาสู่แหล่งน้ำที่เหมาะสมว่าควรมีไม่เกินเท่าไรได้ต่อไป

6.4.4) การฟื้นฟูแหล่งน้ำที่เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน

การแก้ปัญหาด้วยระบบบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีหนึ่งที่มีการใช้ (อาทิ การใช้สารเคมี เช่น Fe^{3+} เพื่อการจับฟอสเฟตให้ตกตะกอนลงบางส่วนหรือการปรับ pH ของน้ำให้แอมโมเนียมในน้ำเสียเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซแอมโมเนียออกไป) อย่างไรก็ตาม การบำบัดเหล่านี้ส่วนใหญ่มีต้นทุนที่สูงมาก และเป็นข้อจำกัดสำคัญในการดำเนินการ จึงนับเป็นเทคนิควิธีการที่จำเป็นต้องหาทางพัฒนาและหรือหาแนวทางการปรับเปลี่ยนเพื่อการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการให้มากยิ่งขึ้นต่อไป

จากผลการศึกษาวิเคราะห์สถานภาพของแหล่งน้ำประเภทแม่น้ำที่เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน เราจะพบว่าสถานการณ์ปัญหาในเบื้องต้นคือการเหนี่ยวนำให้ระบบนิเวศเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างประชาคมไปสู่แบบต่าง ๆ ด้วยสาเหตุการเพิ่มขึ้นของระดับแร่ธาตุอาหารที่ถูกถ่ายเทลงสู่ระบบแม่น้ำ สำหรับในพื้นที่ที่ผู้ผลิตขั้นต้นเป็นพรรณไม้น้ำ มีหลักฐานจากการค้นพบทางวิทยาศาสตร์ชี้ให้เห็นว่าสาเหตุหลักในความเสื่อมโทรมของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่โดยเฉพาะกลุ่มพืชใต้น้ำเกิดจากปัญหาการถูกจำกัดในเรื่องของแสง อย่างไรก็ตาม ต้นเหตุของปัญหา คือ สาหร่ายที่ขึ้นคลุมพืชใต้น้ำเหล่านั้นเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้นเมื่อได้รับการกระตุ้นจากการเติมแร่ธาตุอาหาร โดยเฉพาะในรูปของฟอสฟอรัสเข้าสู่ในมวลน้ำ กระบวนการนี้สอดคล้องกับรายงานดั้งเดิมของ Phillips *et al*. (1978) ที่กล่าวว่าการปรับเปลี่ยนจากสภาวะที่พรรณไม้น้ำเป็นกลุ่มเด่นไปสู่การที่แพลงก์ตอนพืชเป็นกลุ่มเด่นเมื่อแร่ธาตุอาหารในน้ำสูงขึ้นนั้น มักเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการที่มีสาหร่ายขนาดเล็กในกลุ่ม Epiphytes เจริญขึ้นมาปกคลุมบนใบของพรรณไม้น้ำชนิดต่าง ๆ ก่อน

ด้วยเหตุดังกล่าววิธีการพื้นฐานสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่ปกคลุมพรรณพืชในแหล่งน้ำ ก็คือ การควบคุมหรือการลดการปล่อยน้ำทิ้งหรือของเสียที่มีแร่ธาตุอาหารสูงลงสู่ระบบนิเวศของแม่น้ำ กระบวนการดังกล่าวจำเป็นต้องเร่งดำเนินการให้เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการควบคุมการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำซึ่งสาหร่ายขนาดเล็กนำไปใช้ได้ง่าย (Soluble reactive phosphorus; SRP) ซึ่งมีแหล่งที่มาจากทั้งระบบของโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งเกษตรกรรม และการปศุสัตว์โดยรอบแหล่งน้ำ มิเช่นนั้นแล้วการฟื้นตัวของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ภายใต้กระบวนการทางชีวภาพและกายภาพต่าง ๆ ก็จะไม่สัมฤทธิ์ผลอย่างยั่งยืน ทั้งนี้ เนื่องจากสาหร่ายขนาดเล็กเหล่านั้นยังจะสามารถเจริญกลับขึ้นมาปกคลุมได้อีกเรื่อยไป

อนึ่ง การฟื้นฟู Stock ของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ก็นับว่ามีความจำเป็น ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงที่ระบบนิเวศพัฒนาตัวสู่สถานภาพที่มีแร่ธาตุอาหารสูง และอยู่ในสภาวะที่มีแร่ธาตุอาหารสูง (Eutrophic conditions) แล้ว พรรณไม้น้ำส่วนใหญ่มักมีระบบรากที่ตื้นขึ้นเพื่อการแผ่ขยายออกทางแนวราบที่รวดเร็ว สถานภาพดังกล่าวอาจถูกกระทบกระเทือนด้วยความเร็วของน้ำที่รุนแรงขึ้นในบางช่วงฤดูกาลได้ง่าย ดังนั้น การเพิ่มปริมาณตั้งต้นของพรรณไม้น้ำชนิดที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงสถานการณ์ด้านแร่ธาตุอาหารและตำแหน่งพื้นที่ที่มีความเร็วของน้ำที่เหมาะสมจะเป็นอีกวิธีหนึ่งในการฟื้นฟูระบบนิเวศของแม่น้ำได้

ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีหลากหลายวิธีที่นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามหาทางฟื้นฟูระบบนิเวศของแหล่งน้ำที่เกิดปัญหาการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชอย่างหนาแน่นจนมากเกินไป อาทิ การนำพรรณไม้น้ำที่เคยมีในระบบไปปลูกขยายในพื้นที่เดิมขึ้นมาใหม่ (Scheffer *et al*., 1993) โดยพบว่าการปลูกขยายพรรณไม้น้ำในพื้นที่ส่งผลให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำลดปริมาณลง และยังผลดีกลับมาสู่พรรณไม้น้ำเนื่องจากเป็นการเพิ่มความเข้มแสงที่ส่องสว่างและทำให้สามารถสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตได้ดีขึ้น หากการขยายพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ประสบความสำเร็จยังจะเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนไปตามระบบรากของพรรณไม้และทำให้หน้าดินเปลี่ยนสภาพมาเป็นระบบที่มีออกซิเจนมากขึ้น นับเป็นการลดการปลดปล่อยของแร่ธาตุอาหารในกลุ่มฟอสฟอรัสซึ่งได้มาจากกระบวนการทางชีวเคมีภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนภายในดิน นอกจากนี้ระบบรากและลำต้นของพรรณไม้น้ำขนาดใหญ่ที่เจริญขึ้นจะสามารถลดการเคลื่อนตัวของมวลน้ำที่ถูกกระตุ้นโดยแรงลม ซึ่งสามารถลดอัตราการแพร่ของแร่ธาตุอาหารจากพื้นท้องน้ำขึ้นมายังมวลน้ำเบื้องบนได้

อนึ่ง ปัญหาของโมเดลด้านแร่ธาตุอาหารที่พบในปัจจุบันก็คือการมุ่งประเด็นไปที่การอธิบายกระบวนการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันโดยพิจารณาจากการที่มีแร่ธาตุอาหารในน้ำที่มีอยู่ในระดับน้อยหรือปานกลางไปสู่ระดับที่มาก และมีเพียงส่วนน้อยที่พยายามอธิบายกระบวนการที่จะเกิดขึ้นเมื่อลดระดับของแร่ธาตุอาหารจากมากไปน้อย ทำให้การประยุกต์ใช้ความรู้เพื่อการฟื้นฟูยังทำได้ค่อนข้างลำบาก แนวคิดของ Scheffer *et al*. (1993) และ Moss *et al*. (1996) ที่เป็นการฟื้นฟูระบบนิเวศหลังจากการลดระดับแร่ธาตุอาหารด้วยกระบวนการทางชีวภาพที่เหมาะสมของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ (Biomanipulation) ได้เสนอให้ใช้แนวทางการลดจำนวนปลาที่กินแพลงก์ตอน

สัตว์ออกจากระบบ ทั้งนี้ เพื่อให้แพลงก์ตอนสัตว์ได้เจริญเติบโตขึ้นและกินแพลงก์ตอนพืชที่มีปริมาณมากมายในแหล่งน้ำแทน วิธีนี้หากทำได้ประสบผลสำเร็จก็จะทำให้น้ำมีความใสมากขึ้นและพรรณไม้น้ำจะสามารถเจริญเติบโตทดแทนที่กลับคืนขึ้นมาใหม่ได้ อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตดังกล่าวจะอยู่ภายในขอบเขตของสมดุลแร่ธาตุอาหารในน้ำที่มีนั้น

ยังมีงานศึกษาวิจัยของ Jones and Sayer (2003) ซึ่งให้แนวคิดที่น่าสนใจเกี่ยวกับบทบาทของสาหร่ายที่เป็น “Epiphyte” ในพื้นที่แม่น้ำที่เจริญขึ้นอย่างหนาแน่นบนใบของพรรณไม้น้ำในช่วงที่มีแร่ธาตุอาหารในน้ำสูงขึ้นเรื่อย ๆ งานศึกษาวิจัยนี้ได้ค้นพบว่าปริมาณของสาหร่าย Epiphyte จะไม่สัมพันธ์กับปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์หรือแร่ธาตุอาหารในน้ำ แต่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ที่กินสาหร่ายเหล่านี้เป็นอาหาร และจากผลการศึกษาของ Jone and Sayer (2003) ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเรานำปลาออกนอกระบบไปบ้าง จะเป็นการลดอัตราการกินสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยหากินตามใบของพรรณไม้น้ำเหล่านั้น ซึ่งในท้ายที่สุดจะยังผลให้สาหร่ายที่ปกคลุมใบพรรณไม้น้ำได้รับการกำจัดทางชีวภาพและพรรณไม้น้ำกลับมาเจริญเติบโตได้ใหม่ เกิดเป็นการฟื้นฟูระบบนิเวศทางชีวภาพที่ครบวงจรและเกิดการเข้าสู่สมดุลใหม่ได้อย่างยั่งยืน

ในการศึกษาระบบนิเวศทางน้ำและผลกระทบของการใช้ประโยชน์ในพื้นที่โดยรอบลุ่มน้ำท่าจีน พบว่าจุดเด่นของปัญหาการเพิ่มของแร่ธาตุอาหารในน้ำมาจากกิจกรรมทางการเกษตร โดยเฉพาะการทำนาปลูกข้าวในพื้นที่โดยรอบเป็นหลัก ซึ่งแนวทางจากนี้ไปที่จะมีประโยชน์ในการควบคุมปริมาณแร่ธาตุอาหารที่มากเกินไปนั้น ประกอบด้วยการลดปริมาณการใช้ปุ๋ย การมีช่วงเวลาที่ใช้ประโยชน์ที่ชัดเจนและใกล้เคียงกัน และการที่มีการกันพื้นที่ชายขอบเพื่อการดูแลให้เป็นพื้นที่ธรรมชาติหรือเป็นพื้นที่ที่ป้องกันและบรรเทาเบาบางปัญหาการกัดเซาะที่จะลงสู่แม่น้ำโดยตรง อย่างไรก็ตาม แนวทางข้างต้นนับว่าเป็นไปได้ค่อนข้างยากเมื่อพิจารณาจากลักษณะการทำเกษตรกรรมในพื้นที่ ณ ปัจจุบันของประเทศไทยเรา อุปสรรคสำคัญที่สุดที่พบ คือ การที่ผู้ประกอบกิจกรรมการเกษตรยังไม่ได้ตระหนักถึงปัญหาและผลกระทบที่จะเกิด นอกจากนี้ชุมชนโดยรอบและสังคมในภาพรวมยังขาดความรู้ความเข้าใจในแนวทางของการอนุรักษ์แหล่งน้ำที่เพียงพอ ยังไม่สามารถเป็นแรงกระตุ้นซึ่งกันและกันได้

ในการนี้ การแก้ปัญหาด้านยูโทรฟิเคชันในระยะยาวจึงควรหันมาให้ความสำคัญกับการสร้าง “ความรู้” ด้านการอนุรักษ์ดูแลสิ่งแวดล้อมทางน้ำและทรัพยากรที่เกี่ยวข้องให้กับสังคม โดยควรเน้นการถ่ายทอดและแลกเปลี่ยนความรู้ สร้างความเข้าใจและความตระหนักถึงปัญหาและผลกระทบที่จะกลับมาสู่สังคมของเราในอนาคตเพื่อให้เห็นภาพร่วมกัน อันจะนำไปสู่ความร่วมมือในการบริหารจัดการการใช้ประโยชน์ในพื้นที่เชิงอนุรักษ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

6.5) บทสรุปภาพรวม

ปัญหายูโทรฟิเคชันนับเป็นปัญหาสำคัญที่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรทางน้ำที่เราควรให้ความสนใจในการศึกษาติดตาม ทั้งนี้ เพื่อสามารถหาทางป้องกันหรือบรรเทาเบาบางปัญหาได้อย่างเหมาะสม ผลการประมวลและสังเคราะห์ข้อมูลความรู้ในด้านสาเหตุของกระบวนการยูโทรฟิเคชันพบว่าสาเหตุหลักมาจากการที่แหล่งน้ำได้รับแร่ธาตุอาหารประเภทฟอสฟอรัสและไนโตรเจนที่มากเกินสมดุล ซึ่งผู้ผลิตขั้นต้น (ได้แก่ พรรณไม้น้ำและแพลงก์ตอนพืช) จะได้รับผลกระทบโดยตรง

ผู้ผลิตขั้นต้นจะมีรูปแบบของการตอบสนองในแหล่งน้ำประเภทต่าง ๆ ที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางนิเวศอุทกวิทยา อาทิ อัตราการถ่ายเทมวลน้ำ ความเร็วในการไหลของน้ำ ปริมาณแร่ธาตุอาหารในน้ำ องค์ประกอบทางชีวภาพในระบบนิเวศ ปริมาณแสง และลักษณะจำเพาะทางภูมิสัณฐานวิทยา ฯลฯ ทั้งนี้ การพัฒนาประชากรของผู้ผลิตขั้นต้น โดยเฉพาะในกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ (ที่ไม่ว่าจะเป็นระบบนิเวศแม่น้ำลำธารหรือในระบบนิเวศปากแม่น้ำ) นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณเซลล์ต้นทุนของแพลงก์ตอนพืชว่ามีมากน้อยเพียงใดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ คือ อัตราการถ่ายเทมวลน้ำ ที่มีความเกี่ยวข้องกับ *ระยะเวลา* ที่แพลงก์ตอนพืชจะคงตัวอยู่ในระบบน้ำนั้น ๆ

ถึงแม้ว่ากระบวนการอธิบายการเคลื่อนตัวของแร่ธาตุอาหารในระบบแหล่งน้ำไหลจะยังไม่สมบูรณ์เท่าใดนัก อย่างไรก็ตามในรอบประมาณ 40 ปีที่ผ่านมานี้พบว่าความรู้ความเข้าใจในกระบวนการเกิดและบทบาทของปัจจัยโดยเฉพาะด้านแร่ธาตุอาหารที่จำเพาะชนิดต่าง ๆ ที่เข้ามาสู่ระบบแหล่งน้ำประเภททะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และหนองบึงขนาดใหญ่ ได้มีความก้าวหน้าไปมาก ยังผลให้เกิดการจัดการด้านการฟื้นฟูและการวางแผนเพื่อการอนุรักษ์ดูแลระบบนิเวศดังกล่าวอย่างเป็นรูปธรรมได้มากมาย การศึกษาข้อมูลความรู้และประสบการณ์จากการแก้ปัญหาด้านยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำดังกล่าว สามารถใช้เป็นรากฐานสำหรับสร้างความรู้ต่อยอดและพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำไหลได้

ในภาพรวมเราพบว่าแนวคิดด้านการแก้ปัญหายูโทรฟิเคชันที่สำคัญ คือ การหาทางแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ โดยเฉพาะการควบคุมปริมาณแร่ธาตุอาหารที่เข้าสู่แหล่งน้ำ ซึ่งควรประยุกต์ใช้ข้อมูลความรู้เชิงสหวิชาการเพื่อประเมินระดับที่ควรควบคุมที่สอดคล้องกับสภาพทางธรรมชาติของพื้นที่ ตลอดจนควรหาเทคนิควิธีการในการจัดการปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างรอบคอบและเหมาะสมกับแหล่งน้ำ โดยคำนึงถึงการควบคุมดูแลปัจจัยทั้งด้านกายภาพและเคมี และควรหาทางประยุกต์ใช้องค์ประกอบทางชีวภาพเพื่อการฟื้นฟูภายในระบบนิเวศอย่างมีประสิทธิภาพด้วย ทั้งนี้ ไม่ควรลืมความสำคัญของชุมชนโดยรอบแหล่งน้ำ โดยให้ความสำคัญในด้านการส่งเสริมความรู้และความตระหนักถึงปัญหาที่จะเกิดร่วมกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดการขับเคลื่อนในการแก้ปัญหายูโทรฟิเคชันและทรัพยากรทางน้ำที่เกี่ยวข้องได้อย่างเป็นรูปธรรมต่อไป

บทที่ 7

นิเวศอุทกวิทยาสู่การบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์

Eco-hydrology and the Conservation Management Approach

นิเวศวิทยาของแหล่งน้ำและการบริหารจัดการ นับเป็นศาสตร์สำคัญสองเรื่องที่มีบทบาทต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรให้คงอยู่ในแหล่งน้ำ เพื่อการอำนวยประโยชน์ให้แก่มนุษย์โดยเฉพาะการก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรทางน้ำได้อย่างยั่งยืนหรือยาวนานที่สุด โดยศาสตร์ทางนิเวศวิทยาจะให้ความรู้ในการศึกษาติดตามสถานภาพของทรัพยากรหรือสิ่งแวดล้อม ทำให้ทราบศักยภาพในการผลิตทรัพยากรของพื้นที่ และ/หรือช่วยในการประเมินผลกระทบที่เกิดจากการใช้ประโยชน์โดยชุมชนในหลากหลายรูปแบบที่มีต่อทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ขณะที่ศาสตร์ด้านการบริหารจัดการจะให้ความรู้ทางสังคมวิทยา รวมทั้งการวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจและการปกครองที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งให้ประโยชน์ในการวางแผนพัฒนาหรือการขับเคลื่อนชุมชนในพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม โดยสอดคล้องกับสมรรถนะและก่อให้เกิดประสิทธิผลตามวัตถุประสงค์ได้

ความรู้ความเข้าใจทางนิเวศวิทยา ยังเป็นเครื่องมือที่ทำให้เกิดหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ชัดเจนที่จะตอบว่า *"เท่าไร" "ที่ไหน"* และ *"เมื่อไร"* ที่ผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ได้เกิดขึ้นกับทรัพยากร หรือปัจจัยคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่มีภายในระบบนิเวศ จากความเข้าใจอย่างชัดเจนดังกล่าว แนวทางในการบริหารจัดการที่เหมาะสมกับ *ทรัพยากร* หรือ *ปัจจัย* ที่ควรดูแล จะสามารถกำหนดขึ้นมาอย่างเป็นรูปธรรม และก่อให้เกิดการอนุรักษ์ ฟื้นฟูหรือแก้ปัญหาที่พบนั้น ท้ายที่สุดจะเป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

สิ่งสำคัญหนึ่งที่ควรตระหนักในการอนุรักษ์ คือ ประเด็นที่ว่า "การอนุรักษ์เน้นความสำคัญของผลที่จะก่อเกิดต่อคุณภาพของทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมใน *วันข้างหน้า* อาจนับตั้งแต่วันพรุ่งนี้ไปหรือในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น เกี่ยวข้องกับอนาคตของผู้คนในรุ่นลูกหลานของเราปัจจุบัน" การ *อนุรักษ์* (Conservation) มีความแตกต่างจาก การเก็บรักษา (Preservation) โดยที่การเก็บรักษานั้นมักเน้นความสำคัญในการป้องกันการดูแลสิ่งมีชีวิตที่ใกล้สูญพันธุ์ หรือการดูแลทรัพยากรธรรมชาติที่มีจำกัดหรือกำลังจะหมดไป โดยอาจมีการใช้กฎระเบียบหรือมาตรการควบคุมการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงมาตรการการป้องกันดูแลในเขตพื้นที่ที่มีความจำเพาะ (อาทิ เขตต้นน้ำลำธารที่มีความเปราะบาง) ส่วนการอนุรักษ์ทรัพยากรหรือระบบนิเวศแหล่งหนึ่งแหล่งใด นับเป็นแนวทางที่ยังเอื้อให้ผู้คนได้ใช้ประโยชน์ในทรัพยากรหรือระบบนิเวศนั้นๆ ได้ ขณะเดียวกัน มีการบริหารจัดการในลักษณะของการควบคุมหรือเฝ้าระวังการใช้ประโยชน์ที่จะไม่ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมหรือเสียสมดุลในทรัพยากรหรือระบบนิเวศ หรือทำให้เกิดผลกระทบในทางลบต่อปริมาณและ/หรือคุณภาพของทรัพยากรที่จะเกิดต่อไปในอนาคต

การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ตามคำจำกัดความของ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2537) หมายถึง การใช้ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้วยความชาญฉลาด ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อมนุษย์ให้มากที่สุด และมีระยะเวลาในการใช้งานยาวนานที่สุด การอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมนั้น จึงไม่ใช่เป็นเพียงรูปแบบของการกระทำที่อาศัยหลักการด้านมนุษยธรรมเท่านั้น แต่หากมุ่งยังเป้าหมายในการอยู่รอดของมวลมนุษย์เป็นสำคัญ ทั้งนี้ ตามกรอบคำจำกัดความข้างต้น มีการกำหนดวัตถุประสงค์หลักในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมไว้ 4 ประการ ประกอบด้วย 1) เพื่อการธำรงไว้ซึ่งปัจจัยสำคัญของระบบสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อมนุษย์และสัตว์และระบบสนับสนุนการดำรงชีวิต 2) เพื่อการสงวนรักษาการกระจายของชาติพันธุ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ 3) เพื่อเป็นหลักประกันในการใช้พันธุ์พืชพันธุ์สัตว์ และ 4) เพื่อการสงวนรักษาโบราณสถาน โบราณวัตถุหรือระบบสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่มนุษย์สร้างขึ้นให้สามารถสืบทอดต่ออนุชนรุ่นหลัง

ทั้งนี้ ในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยทั่วไป มีแนวทางดำเนินการโดยวิธีการ อาทิ

- การให้การศึกษาเผยแพร่ความรู้ การประชาสัมพันธ์ให้ชุมชนวงสังคมตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาที่จะเกิดขึ้น
- การปรับปรุงคุณภาพหรือสภาพแวดล้อมในพื้นที่ให้เหมาะสม
- การจัดการเพื่อลดอัตราการเสื่อมสูญหรือการนำกลับมาใช้ใหม่
- การใช้สิ่งทดแทนในทรัพยากรที่ร่อยหรอลงไป
- การสำรวจหาทรัพยากรใหม่ๆ และ
- การป้องกันปัญหาความเสื่อมโทรมในสภาพสิ่งแวดล้อม รวมทั้งป้องกันมวลสาร หรือวัตถุเป็นพิษ ไม่ให้ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์อาศัย หรือระบบนิเวศที่เป็นฐานในการผลิตทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ของมนุษย์

ซึ่งในการป้องกันปัญหาความเสื่อมโทรมในประเด็นหลังนี้ นับเป็นเรื่องที่มีความสำคัญและจำเป็นต้องใช้องค์ความรู้เชิงสหวิชาการมาพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพทางนิเวศวิทยาของแต่ละพื้นที่ เพื่อหาแนวทางเชิงปฏิบัติที่เหมาะสมกับศักยภาพทางสังคม/ชุมชนที่เกี่ยวข้อง

7.1) ฟังก์ชันของระบบนิเวศและแนวคิดในการบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์

ในปัจจุบัน เราพบการเปลี่ยนแปลงในสภาวะทางภูมิอากาศที่แปรปรวนสูง เกิดปัญหาน้ำท่วมหลาก ปัญหาภัยแล้ง และการเปลี่ยนแปลงในฤดูกาลได้บ่อยครั้ง นับเป็นเรื่องค่อนข้างยากในการประเมินว่า ในระบบนิเวศมี *"ปัจจัยคุณภาพน้ำใด"* หรือ *"ทรัพยากรชีวภาพใด"* ที่มีสัญญาณว่ากำลังถูกคุกคาม/อยู่ในสภาวะการกดดันจากการใช้ประโยชน์โดยมนุษย์ หรือกำลังเกิดการเปลี่ยนแปลงในทางลบ ซึ่งเป็นทิศทางที่บ่งบอกถึงโอกาสการเสียสมดุลของระบบนิเวศทางน้ำนั้น ๆ ได้ ทั้งนี้ เนื่องจาก*ปัจจัย*หรือ*ทรัพยากร*ในระบบนิเวศมีการตอบสนองทั้งจากกิจกรรมที่เกิดโดย

มนุษย์และอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติไปพร้อม ๆ กัน อย่างไรก็ตาม ด้วยเทคนิควิธีการติดตามวิเคราะห์ทางนิเวศวิทยา ภายใต้ความรู้ความเข้าใจในพื้นฐานของทรัพยากร ลักษณะการตอบสนองที่จำเพาะ รวมทั้งการแสดงออกในความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อม ผนวกกับการมีเกณฑ์การประเมินที่ใช้อ้างอิงได้สะดวกขึ้น ทำให้การประเมินผลกระทบเพื่อบ่งบอกสถานภาพของการถูกคุกคามจากอิทธิพลต่าง ๆ ทั้งในเชิง*คุณภาพ*และ*ปริมาณ*จึงดำเนินการได้ง่ายขึ้น

ในภาพรวมของการบริหารจัดการทรัพยากรและระบบนิเวศเชิงอนุรักษ์อย่างมีประสิทธิภาพ เราจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐาน หรือมีเป้าหมายเพื่อความพยายามในการตอบโจทย์ที่สำคัญต่าง ๆ อาทิ

- *ทรัพยากร* หรือ *ปัจจัย* ที่ต้องควบคุมดูแล คือ อะไร
- *"เท่าไร"* ถึงเป็นผลกระทบที่มากเกินไป
- ต้อง*ควบคุมเท่าไร* ถึงจะช่วยอนุรักษ์สมดุลนิเวศไว้ได้
- ควรใช้*เทคนิควิธีการ*อย่างไร จึงจะควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- *"ใคร"* หรือ *หน่วยงานใด* ควรมีบทบาทหน้าที่รับผิดชอบในการควบคุมดูแล เป็นต้น

ในการประยุกต์ใช้ความรู้จากฟังก์ชันทางนิเวศอุทกวิทยา เพื่อนำไปสู่การบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์นั้น (**ภาพที่ 7.1**) อาศัย 3 แนวทางหลักที่เป็นพื้นฐานในการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2537) ประกอบด้วย

1) แนวทางการอนุรักษ์ให้เกิดการใช้ประโยชน์ภายใต้การคงสมดุลธรรมชาติ

2) แนวทางการฟื้นฟูคุณภาพทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมที่เกิดความเสื่อมโทรมลงไป และ

3) แนวทางการพัฒนาการใช้ประโยชน์ในทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำอย่างเหมาะสม

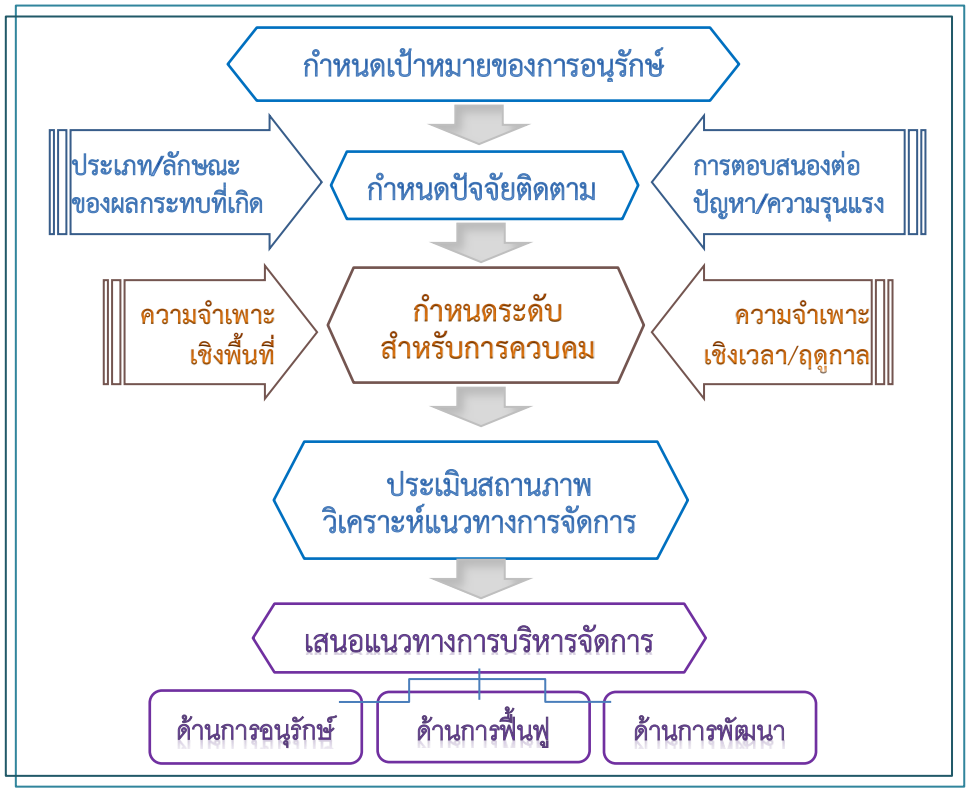
ทั้งนี้ การพัฒนากระบวนทัศน์ตามกรอบแนวคิดดังกล่าว มีประเด็นที่ควรพิจารณาและ/หรือให้ความสำคัญตามลำดับขั้น ดังต่อไปนี้

7.1.1) การกำหนดเป้าหมายของการอนุรักษ์

เป้าหมายของการอนุรักษ์ (**ภาพที่ 7.1**) นับเป็นหัวใจของการบริหารจัดการที่ทำให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องได้เห็นภาพในการพัฒนาและมีแนวทางในการดูแลทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมร่วมกัน เป้าหมายของการอนุรักษ์นี้สามารถกำหนดจากความรู้ความเข้าใจในสภาพปัญหาหรือสถานการณ์ที่เผชิญอยู่ที่อาจแตกต่างกันไป (อาทิ ปัญหายูโทรฟิเคชันที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำ ปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำ ปัญหาการเน่าเสียของดินพื้นท้องน้ำและการขาดออกซิเจนในน้ำ หรือปัญหาการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี เป็นต้น)

การกำหนดเป้าหมายของการอนุรักษ์จากปัญหาดังกล่าว ควรมีความจำเพาะเจาะจงกับพื้นที่หรือบริเวณที่ชัดเจนในระบบนิเวศแหล่งน้ำเป้าหมาย โดยคำนึงถึงความแตกต่างตามช่วงเวลาหรือฤดูกาลที่มี ซึ่งในระบบนิเวศแหล่งน้ำหนึ่ง ๆ อาจมีประเด็นปัญหาพื้นฐานได้มากกว่า 1 เรื่อง

อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เป็นเป้าหมายหลักควรชัดเจนและเป็นที่ยอมรับกันในวงกว้าง ทั้งนี้ เพื่อการกำหนด*ปัจจัย*หลักที่จะใช้ในการศึกษาติดตามได้อย่างเป็นรูปธรรม และสอดคล้องต่อสถานการณ์ปัญหาตลอดจนความเปลี่ยนแปลงที่อาจจะเกิดขึ้นต่อไปได้



ภาพที่ 7.1 กรอบแนวคิดในการบูรณาการองค์ความรู้ในฟังก์ชันของระบบนิเวศเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำเชิงอนุรักษ์

7.1.2) การกำหนดปัจจัยเพื่อใช้ในการศึกษาติดตาม

ในทางปฏิบัติ การกำหนด*ปัจจัยติดตาม* (**ภาพที่ 7.1**) สามารถเป็น *ดัชนีชี้วัดทางนิเวศวิทยา* (Ecological indicator) ที่เหมาะสม เพื่อนำไปสู่กระบวนการวางแผนเพื่อการบริหารจัดการที่ดี นับเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญและค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากปัจจัยติดตามดังกล่าวจะต้องเป็นปัจจัยที่สามารถสะท้อนสถานการณ์และการเปลี่ยนแปลงซึ่งเกิดจากปัญหาที่สนใจได้อย่างชัดเจน ด้วยเหตุดังกล่าวการกำหนดปัจจัยติดตามหรือปัจจัยชี้วัด จึงจำเป็นต้องอาศัยการประมวลความรู้ทางนิเวศวิทยาที่เกี่ยวข้องในความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งที่มีและไม่มีชีวิตต่าง ๆ ประกอบกับความรู้ในด้านการตอบสนองทางชีววิทยาและสรีรวิทยา (อาทิ การขยายพันธุ์ การ

เจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์) และ/หรือความรู้ในด้านพฤติกรรมและการตอบสนองของประชาคมสิ่งมีชีวิต เข้ามาช่วยอธิบายความเป็นไปที่เกิดจากปัญหาที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศนั้น ๆ ได้

การคัดเลือกปัจจัยติดตามที่เหมาะสมควรคำนึงถึงคุณลักษณะของปัจจัย ดังนี้

1) มีความสัมพันธ์กับปัญหาหรือสามารถสะท้อนผลจากปัญหาที่เป็นเป้าหมายของการศึกษาติดตามได้อย่างชัดเจน อาทิ การเลือกใช้ปัจจัยด้านมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชในน้ำหรือปริมาณคลอโรฟิลล์*เอ*ในน้ำ เพื่อสะท้อนปัญหาจากการรับน้ำทิ้งประเภทปุ๋ยที่ใช้ในการปลูกพืชที่มาจากแหล่งทำการเกษตรใกล้เคียง (ซึ่งจัดเป็นสารพิษที่ไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดอย่างจำเพาะเจาะจง) และเกิดผลกระทบต่อผู้ผลิตขั้นต้นในมวลน้ำ
2) มีความสะดวกในการเรียนรู้ การทำความเข้าใจ หรือสามารถถ่ายทอดเทคนิคการตรวจวัดให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องหรือรับผิดชอบในการศึกษาติดตามผลในวงกว้างได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดความร่วมมือในการเฝ้าระวัง/ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบหรือชุมชนในเขตพื้นที่ได้
3) มีความหมายหรือมีคุณค่าทางนิเวศวิทยาที่เชื่อมโยงกับระบบนิเวศโดยรวม โดยเป็นคุณค่าที่สามารถระบุเหตุผลในทางวิทยาศาสตร์ได้ชัดเจน ทั้งนี้ ไม่ควรกำหนดเพียงประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจหรือมูลค่าทางการค้าของปัจจัยนั้น
4) สามารถนำเสนอระดับในเชิง“*ปริมาณ*”ได้ โดยสามารถวัดและแสดงระดับออกมาได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเทียบเคียงกับสถานภาพเดิมหรือสามารถใช้อ้างอิงในการศึกษาติดตามความเป็นไปด้านการฟื้นคืนสภาพในระบบนิเวศที่มี และนำไปสู่การประเมินสถานการณ์ของแหล่งน้ำเชิงคุณภาพ (อาทิ สถานการณ์มลภาวะและสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ) โดยอาจสามารถเทียบเคียงกับเกณฑ์หรือค่ามาตรฐานสากลที่มีการกำหนดไว้ได้
5) มี*ความอ่อนไหว*สูง มีศักยภาพในการสะท้อนสภาวะการเปลี่ยนแปลงแม้เพียงเล็กน้อยได้ดี หรือตอบสนองต่อระดับของปัญหาที่เข้ามาได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะทำให้เห็นปัญหาได้อย่างทันท่วงที
6) มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการติดตามตรวจสอบไม่สูงมากนัก ซึ่งทั้งนี้จะเป็นการประหยัดงบประมาณและเกิดการดำเนินการศึกษาได้ในวงกว้าง

7) มีความครอบคลุมต่อปัญหาที่เกิดขึ้น โดยสามารถสะท้อนปัญหาที่เกิดในแง่มุมต่าง ๆ ได้อย่างครบถ้วน ช่วยในการประเมินโอกาสการเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของระบบนิเวศได้

ปัจจัยติดตามที่มีศักยภาพในการเป็นปัจจัยชี้วัดทางนิเวศวิทยาที่ได้มีการศึกษากันมากและนิยมใช้เพื่อศึกษาประเมินปัญหาด้านยูโทรฟิเคชัน ได้แก่ ปัจจัยด้านคลอโรฟิลล์*เอ* (Chlorophyll *a*; ในหน่วย mg/m^3) กำลังผลิตขั้นต้น (Primary production; ในหน่วย mg C/m^3/year) รวมทั้งความโปร่งแสงของน้ำ (Transparency; ในหน่วย m) ในกรณีที่พื้นที่แหล่งน้ำที่สนใจ(โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ใกล้เขตนิคมอุตสาหกรรมหรือเขตชุมชน) มีโอกาสรับผลกระทบจาก"*มลพิษ*" จำเพาะประเภท ปัจจัยชี้วัดทางนิเวศวิทยาที่ใช้ศึกษาติดตามควรเป็นสารพิษประเภทต่าง ๆ ที่มีโอกาสปนเปื้อนจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่มีในพื้นที่นั้น ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถศึกษาติดตามสถานการณ์ปัญหาได้สอดคล้องกับสภาพของพื้นที่มากที่สุด

สำหรับการศึกษาติดตามการปนเปื้อนของวัตถุมีพิษที่ปนเปื้อนเข้ามาสู่ระบบนิเวศแหล่งน้ำ (อาทิ สารป้องกันกำจัดวัชพืชที่มีการใช้ในพื้นที่การเกษตรโดยรอบแหล่งน้ำ) การศึกษาติดตามระดับสารพิษจำเพาะชนิดที่ตรวจพบ "ภายในร่างกาย" ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำ นับเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจดำเนินการกันมาก เนื่องจากโดยทั่วไปเราอาจไม่สามารถตรวจพบระดับของสารพิษนั้นได้โดยตรงในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนระดับปานกลางถึงต่ำ หากพื้นที่แหล่งน้ำนั้นได้รับการปนเปื้อนจากสารพิษมาอย่างต่อเนื่อง จะสามารถตรวจพบการสะสมของสารพิษได้ในเซลล์หรือร่างกายของสิ่งมีชีวิตทางน้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น การตรวจพบดังกล่าวเกิดจากกระบวนการสะสมและถ่ายทอดของสารพิษผ่านระบบการกินอาหารต่อกันเป็นทอด ๆ ในห่วงโซ่อาหาร ทำให้ระดับความเข้มข้นของสารพิษมีค่าสูงขึ้น (Bio-magnification) ในสัตว์น้ำที่อยู่ตามลำดับขั้นการกินอาหารที่สูงขึ้นไป นอกจากนี้ ระดับความเข้มข้นของสารพิษยังมีค่าสูงขึ้นได้ตามระยะเวลาการอยู่อาศัยในพื้นที่ที่ยาวนาน จากลักษณะตามธรรมชาติของการสะสมดังกล่าวทำให้ผลการติดตามตรวจวัดสารพิษในสิ่งมีชีวิตทางน้ำ โดยเฉพาะในกลุ่มปลากินเนื้อซึ่งเป็นผู้บริโภคขั้นสูง จึงแสดงให้เห็นระดับของสารพิษได้อย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าคุณภาพน้ำบริเวณนั้นจะมีระดับของสารพิษที่พบต่ำหรือมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์คุณภาพน้ำที่กำหนดไว้ก็ตาม

เมื่อปัจจัยติดตาม (**ภาพที่ 7.1**) ได้ถูกพิจารณาอย่างถ้วนถี่และกำหนดขึ้นมาอย่างเหมาะสม การศึกษาสถานการณ์ปัญหาและการประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงก็จะดำเนินการได้อย่างรัดกุมและสามารถสื่อสารด้านสถานการณ์ความเป็นไปสู่ประชาสังคมในวงกว้างได้อย่างเข้าใจ ยังผลให้ตระหนักในปัญหาร่วมกันและนำไปสู่การสร้างความร่วมมือในการแก้ไขปัญหาต่อไปได้ ในทางตรงกันข้าม หากการกำหนดปัจจัยติดตามทำไปโดยขาดความรู้ความเข้าใจ หรือใช้การสุ่มตรวจวัดปัจจัยคุณภาพน้ำตามความเคยชินโดยขาดการพิจารณาอย่างรอบคอบ หรือขาดความรู้ความเข้าใจในรูปแบบ/ระดับการตอบสนองตามธรรมชาติของปัจจัยนั้นแล้ว ข้อมูลผลการศึกษาที่ได้จะไม่สามารถสะท้อนการเปลี่ยนแปลงและสภาพปัญหาที่แท้จริง และอาจเกิดการตีความที่คลาดเคลื่อน เป็นปัญหาต่อการบริหารจัดการในภายหลัง

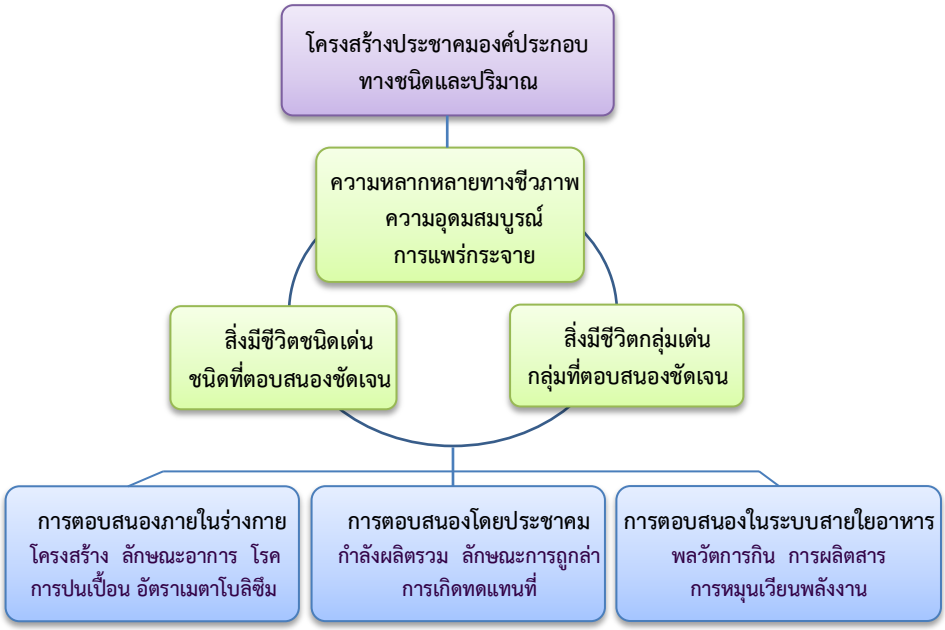
การศึกษาติดตามปัญหาน้ำเสียในพื้นที่ปากแม่น้ำในเขตอ่าวไทยตอนใน ซึ่งมักมีการติดตามตรวจวัดปัจจัยด้านออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) โดยตรวจวัด ณ บริเวณผิวหน้าน้ำ เป็นตัวอย่างหนึ่งที่น่าสนใจวิเคราะห์ ทั้งนี้ ปัญหาจากน้ำเสียที่มีระดับของออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำนั้น ทำให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์น้ำอย่างรุนแรงในช่วงที่น้ำลง หรือในเวลากลางคืนที่ไม่มีแสง โดยมักพบการตายลงของสัตว์น้ำโดยเฉพาะพวกที่อยู่ประจำถิ่นหรือกลุ่มที่เคลื่อนที่ได้น้อย อย่างไรก็ตามเราพบว่าการศึกษาติดตามด้วยการใช้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำเป็นดัชนีชี้วัดในสถานีตรวจวิเคราะห์ตามส่วนต่าง ๆ ของเขตปากแม่น้ำจะให้ค่าของออกซิเจนละลายน้ำที่แปรผันในช่วงกว้างมาก (> 2-3 mg/L) นอกจากนี้ ระดับของออกซิเจนละลายน้ำมักมีค่าที่สูงขึ้นมากในช่วงบ่าย หรือในช่วงที่น้ำขึ้นเต็มที่ ซึ่งลักษณะของผลการศึกษาดังกล่าวยากต่อการประเมินและส่วนใหญ่จะไม่สามารถสะท้อนปัญหาของน้ำเสียที่ไหลลงมาได้

เมื่อพิจารณาตามลักษณะทางธรรมชาติของออกซิเจนละลายน้ำในเขตปากแม่น้ำจะพบว่าระดับของออกซิเจนละลายน้ำได้รับอิทธิพลจากปัจจัยแวดล้อมหลายประการมาก (อาทิ ช่วงการขึ้นหรือลงของน้ำ ช่วงที่เป็นน้ำเกิดหรือน้ำตาย ความเร็วที่น้ำมีการเคลื่อนตัว รวมทั้งช่วงเวลาที่ตรวจวัดในรอบวัน) การติดตามตรวจวัดระดับของออกซิเจนละลายน้ำในช่วงที่น้ำขึ้นจึงมักให้ค่าของข้อมูลที่สูงกว่าช่วงน้ำลง เนื่องจากอิทธิพลของน้ำทะเลที่นำเอากลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่หนาแน่นกว่าพัดเข้ามาสู่ตอนในในช่วงเวลาที่น้ำขึ้น ดังนั้น การติดตามตรวจสอบโดยการใช้ระดับของออกซิเจนละลายน้ำเป็นปัจจัยติดตามจำเป็นต้องวางแผนการศึกษาอย่างรัดกุม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สอดคล้องกับสภาพปัญหาที่แท้จริง เพื่อการแก้ปัญหาได้ทันต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้น

จากตัวอย่างข้างต้นนี้ การกำหนดปัจจัยชี้วัดทางนิเวศวิทยาที่เป็นปัจจัยทางเคมีหรือทางกายภาพที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องมีความรู้ในลักษณะทางธรรมชาติของปัจจัยนั้น ๆ ที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบนิเวศของแหล่งน้ำที่สนใจ ทั้งนี้ ควรทราบว่าปัจจัยนั้นมีระดับเฉลี่ยที่ประมาณเท่าไร หรือมีลักษณะการผันแปรอย่างไรตามช่วงวัน หรือตามช่วงเวลา (ในเดือนต่าง ๆ หรือในแต่ละฤดูกาล) นอกจากนี้ ยังควรทราบอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ว่ามีบทบาทอย่างไร หรือมีส่วนที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงหรือไม่ อย่างไร เป็นต้น ความรู้ความเข้าใจในลักษณะพื้นฐานของปัจจัยที่ใช้ติดตามอย่างเพียงพอ จะช่วยให้เราสามารถกำหนดวิธีการศึกษาที่เหมาะสมและสอดคล้องกับธรรมชาติของปัจจัยนั้น และที่สำคัญ คือ ทำให้สามารถอธิบาย *"สถานการณ์"* จากลักษณะปรากฏและประเมิน *"แนวโน้ม"* หรือโอกาสความเป็นไปจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่พบในช่วงของการศึกษาติดตามได้อย่างถูกต้อง

สำหรับการกำหนดปัจจัยติดตามที่เป็น*"ปัจจัยทางชีวภาพ"*หรือการพิจารณาสถานการณ์จากการศึกษาติดตาม*"สิ่งมีชีวิต"*ในระบบนิเวศแหล่งน้ำ เป็นประเด็นที่น่าสนใจอีกด้านหนึ่งซึ่งควรศึกษาพัฒนาด้านเทคนิควิธีการให้รัดกุม ทั้งนี้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับศักย์การผลิตของระบบนิเวศและ/หรือสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรสัตว์น้ำตามธรรมชาติที่จะมีได้ในพื้นที่แหล่งน้ำหนึ่ง ๆ และนับว่ามีความสัมพันธ์กับมนุษย์เราอย่างชัดเจน

การประยุกต์ใช้*ปัจจัยทางชีวภาพ*มีแนวทางในการวิเคราะห์จากประเด็นสำคัญต่าง ๆ ดังแสดงรายละเอียดใน **ภาพที่ 7.2** ซึ่งจะเห็นได้ว่าการประเมินผลกระทบด้วยปัจจัยทางชีวภาพสามารถดำเนินการได้จากการเริ่มพิจารณาที่ *"ปริมาณ"* ของมวลทางชีวภาพ (หรือความหนาแน่น) ของสิ่งมีชีวิต จนกระทั่งถึงขั้นที่ละเอียดขึ้นไป ในรูปแบบของการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์หรือร่างกาย การติดตามลักษณะการเกิดโรค การเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพ การเกิดปฏิกิริยาหรือกระบวนการที่เกี่ยวโยงสู่ประชาคมภาพรวมในเชิงอัตราการผลิต การถ่ายทอดอาหาร รวมทั้งการหมุนเวียนของสารอาหารหรือพลังงานในระบบนิเวศทางน้ำในบริเวณที่สนใจนั้น



ภาพที่ 7.2 แนวทางการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยทางชีวภาพของระบบนิเวศทางน้ำเพื่อการประเมินผลกระทบจากการใช้ประโยชน์หรือการเปลี่ยนแปลงในสภาวะแวดล้อม

7.1.3) การกำหนดระดับของปัจจัยเป้าหมาย

การกำหนดระดับของปัจจัยเป้าหมาย (**ภาพที่ 7.1**) ในที่นี้ หมายถึง การพิจารณาตัดสินใจคัดเลือก *"ระดับของปัจจัย"* ที่วัดได้ในเชิงปริมาณซึ่งเป็นขอบเขตสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ โดยเป็นระดับที่จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบในทางลบต่อทรัพยากรหรือคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ โดยเฉพาะในกรณีที่ปัจจัยนั้นอยู่ในลักษณะที่เป็นสารมลพิษ (Pollutants) โดยทั่วไปในปัจจุบันเราสามารถเทียบเคียงขอบเขตสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำจากเกณฑ์หรือมาตรฐานคุณภาพน้ำที่ประกาศใช้โดยกรมควบคุมมลพิษ หรือองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการแหล่งน้ำในระดับ

นานาชาติ อาทิ The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) ของทางสหภาพยุโรป หรือ US Environmental Protection Agency (US EPA) ที่เป็นที่ยอมรับกันดีในวงวิชาการ

ในการกำหนดระดับของปัจจัยที่ยอมให้มีได้สูงสุด ควรคำนึงถึงสถานภาพตามธรรมชาติของปัจจัยว่ามีระดับความเข้มข้นพื้นฐานตามธรรมชาติ (Based-line concentration) เป็นเท่าไรในสภาพแหล่งน้ำบริเวณที่สนใจนั้น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปพบว่าระดับความเข้มข้นพื้นฐานของปัจจัยได้รับอิทธิพลจากลักษณะที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ลักษณะทางอุทกวิทยา ภูมิอากาศ รวมถึงรูปแบบและปริมาณการใช้ประโยชน์ในพื้นที่โดยรอบแหล่งน้ำ ทำให้แต่ละแหล่งน้ำมีระดับความเข้มข้นพื้นฐานของปัจจัยที่แตกต่างกันไป

ยกตัวอย่างในพื้นที่แม่น้ำท่าจีน พบว่าปริมาณของแร่ธาตุอาหารทั้งในกลุ่มของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิกอน ในแต่ละส่วนของแม่น้ำตามเขตจังหวัดที่ไหลผ่าน 4 จังหวัด ตั้งแต่จังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี นครปฐม จนถึงสมุทรสาคร มีความแตกต่างกันออกไป โดยมีค่าเฉลี่ยที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในแม่น้ำตอนล่างลงไปเป็นลำดับ นอกจากนี้ ระดับของแพลงก์ตอนพืชที่พบในน้ำซึ่งตรวจวัดโดยค่าของคลอโรฟิลล์เอก็มีความสอดคล้องกัน และมีค่าสูงขึ้นนับสิบเท่าในบริเวณใกล้เขตปากแม่น้ำ ความแตกต่างของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำตามเขตย่อยของแม่น้ำในลักษณะเช่นนี้เกิดต่อเนื่องกันมาเป็นระยะเวลานับสิบปี (จารุมาศและคณะ 2558) แสดงให้เห็นถึงความจำเพาะของระดับความเข้มข้นสำหรับแต่ละประเภทของปัจจัยที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจำเป็นต้องนำมาใช้พิจารณาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในเขตต่าง ๆ ของแม่น้ำอย่างจำเพาะเจาะจง

อนึ่ง การเทียบเคียงค่าความเข้มข้นของปัจจัยกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดังที่ได้กล่าวมาในตอนต้น จะทำได้เพียงบอกให้ทราบว่าระดับความเข้มข้นในพื้นที่นั้น ๆ มีค่าต่ำกว่าหรือเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ หรือสามารถจำแนกประเภทของแหล่งน้ำ ว่ามีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบใดได้บ้าง ในการบริหารจัดการแหล่งน้ำอย่างยั่งยืนนั้น นอกจากการจำแนกประเภทของแหล่งน้ำแล้วเราจำเป็นต้องทราบลักษณะของผลกระทบหรือการตอบสนองของปัจจัยทางนิเวศวิทยารวมทั้งการเปลี่ยนแปลงที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถวางแผนบริหารจัดการอย่างถูกต้องและเหมาะสมได้ ซึ่งการประยุกต์ใช้ค่าระดับความเข้มข้นพื้นฐานของปัจจัยจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่ทราบสถานการณ์ที่เป็นธรรมชาติที่สุดของพื้นที่แหล่งน้ำนั้นก่อนการได้รับผลกระทบใด ๆ จากมนุษย์

ระดับพื้นฐานตามธรรมชาติของปัจจัยทางนิเวศอุทกวิยาของแหล่งน้ำ จึงสามารถใช้เป็น *เกณฑ์*หรือเทียบเคียงให้เป็น*ค่าควบคุม*ที่ควรมีหรือเป็นอยู่สำหรับแต่ละพื้นที่ ระดับพื้นฐานนี้โดยทั่วไปมีการแปรผันตามฤดูกาล เนื่องจากอิทธิพลจากสภาวะแวดล้อม อาทิ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า และความเร็วในการไหลของมวลน้ำ ฯลฯ ที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของกิจกรรมการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ที่มีความจำเพาะตามช่วงฤดูกาล ยกตัวอย่างเช่นในช่วงฤดูการทำนา การทำสวน หรือการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบริเวณที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำ ด้วยลักษณะการแปรผันดังกล่าวการกำหนดระดับพื้นฐานที่จะมาใช้เป็นเกณฑ์ควรดำเนินการอย่างรัดกุมโดยอาศัยข้อมูลการศึกษาติดตามอย่างน้อยในช่วง 5 ปี ที่ต่อเนื่องกันมา ทั้งนี้ ควรพิจารณาแยกตาม

เขตพื้นที่ส่วนจำเพาะต่าง ๆ ของแหล่งน้ำ และตามช่วงเวลา (ฤดูกาลหรือกิจกรรมหลัก) ที่ปัจจัยภายนอกมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงในแหล่งน้ำนั้น

การประยุกต์ใช้ข้อมูลระดับความเข้มข้นพื้นฐาน

คำถามที่ถามว่า *"มากเท่าไรถึงเกินพอหรือเกินสมดุล"* เป็นคำถามที่กระตุ้นให้นักวิชาการที่เกี่ยวข้องพยายามไตร่ตรองเพื่อหาคำตอบที่สามารถนำไปสู่การบริหารจัดการหรือใช้กำหนดแผนการควบคุมดูแลแหล่งน้ำอย่างเป็นรูปธรรมต่อไป อย่างไรก็ตาม การตอบคำถามข้างต้นนับเป็นเรื่องที่ซับซ้อน เนื่องด้วยธรรมชาติของระบบนิเวศแต่ละแห่งมีการปรับตัวเพื่อรักษาสมดุลของระบบอยู่ตลอดเวลา โดยการปรับตัวนั้นเกิดตั้งแต่หน่วยย่อยของสิ่งมีชีวิตแต่ละหน่วยที่มีในประชากรกลุ่มต่าง ๆ จนถึงความสัมพันธ์ภายในประชาคมขนาดใหญ่ที่มีกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายและมีความเชื่อมโยงกันภายในระบบของสายใยอาหารและการหมุนเวียนพลังงาน

เพื่อความสะดวกในการประเมินสถานภาพและรูปแบบการตอบสนองของปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีที่มีในแหล่งน้ำ การเปลี่ยนแปลงจากระดับความเข้มข้นพื้นฐานในช่วงไม่เกิน $\pm$25 % ของระดับเดิมนั้น โดยทั่วไปถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ยอมรับได้หรืออนุโลมให้เกิดขึ้นได้ในแหล่งน้ำ ช่วงดังกล่าวอาจเรียกว่าเป็น *"การผันแปรตามธรรมชาติ"* ของปัจจัยนั้นเองที่ตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปในบางขณะ

อย่างไรก็ตาม หากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับปัจจัยทำให้ระดับความเข้มข้นของปัจจัยนั้นเกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเกินกว่า 25 % ของระดับเดิม ย่อมสะท้อนให้เห็นถึงแรงกดดันที่มากพอและส่งผลเกินขอบเขตของความปกติหรือเกินความเป็นธรรมชาติของการแปรปรวนของปัจจัยนั้น ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบนิเวศขณะนั้นได้รับแรงกดดันสูงจนเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ซึ่งนอกจากจะมีผลต่อกระบวนการทางชีวเคมีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง (อาทิ กระบวนการสังเคราะห์สาร กระบวนการหายใจ และกระบวนการการย่อยสลาย ฯลฯ) ยังจะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนในโครงสร้างทางชีวภาพของระบบนิเวศทางน้ำ เกิดการเปลี่ยนแปลงในมวลทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่าง ๆ และเข้าสู่สมดุลแบบใหม่ได้

ลักษณะจำเพาะของการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยทางกายภาพและทางเคมี

ในการศึกษาปัจจัยทางกายภาพหรือทางเคมี พบว่าระดับการเปลี่ยนแปลงประมาณ $\pm$25 % ของแต่ละปัจจัยนั้นมีค่าสุทธิที่แตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่นปัจจัยด้านออกซิเจนละลายน้ำ การเปลี่ยนแปลงในช่วง $\pm$25 % จะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับออกซิเจนละลายน้ำที่ไม่เกิน 2 mg/L แต่ถ้าเป็นกรณีของปริมาณของแข็งแขวนลอยรวม (Total suspended solids) การเปลี่ยนแปลงในช่วง $\pm$25 % ของปริมาณของแข็งแขวนลอยรวม จะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในระดับประมาณ 20 mg/L ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าระดับของการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับฐาน*ความเข้มข้นเฉลี่ย*ของแต่ละปัจจัยที่พบในพื้นที่จำเพาะหรือในฤดูกาลที่จำเพาะเจาะจงหนึ่ง ๆ ที่กำลังพิจารณา

ลักษณะจำเพาะของการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยทางชีวภาพ: แพลงก์ตอนพืช

ในกรณีที่ปัจจัยชี้วัดเป็นปัจจัยทางชีวภาพหรือเป็นสิ่งมีชีวิต การกำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงที่ยอมให้เกิดขึ้นในลักษณะที่ไม่เกินค่าบวกหรือลบ 25 % เหมือนดังเช่นปัจจัยทางกายภาพหรือทางเคมี ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น อาจเป็นการกำหนดที่ไม่เหมาะสม และทำให้การแปรผลข้อมูลผิดพลาดไปได้ ทั้งนี้ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีธรรมชาติของการเพิ่มจำนวนหรือการ *"ขยายพันธุ์"* ในรูปแบบเชิงปริมาณที่แตกต่างจากปัจจัยทางกายภาพหรือทางเคมีของน้ำ ยกตัวอย่างเช่นการเปลี่ยนแปลงในจำนวนเซลล์ของ*แพลงก์ตอนพืช* ที่มีความสามารถในการเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ โดยการแบ่งเซลล์จากหนึ่งเซลล์เป็นสองเซลล์ (ในช่วงที่มีการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ) ซึ่งหากกำหนดให้ n คือ จำนวนเซลล์ตั้งต้นโดยรวมของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำหนึ่ง ๆ แล้ว ในกรณีที่แหล่งน้ำนั้นได้รับปริมาณแร่ธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น จนส่งผลให้กระตุ้นการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วและทุกเซลล์เกิดการแบ่งตัวได้ จะพบว่าจำนวนเซลล์สุดท้ายที่ได้จะเท่ากับ 2n เซลล์ เป็นการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้น 2 เท่า หรือ 100 %

โดยทั่วไปในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม (อาทิ การมีปริมาณแสงที่เพียงพอ) เราสามารถพบการแบ่งเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชเกิดขึ้นได้เป็นระยะ ๆ ต่อเนื่องกันไป ส่งผลให้จำนวนเซลล์เพิ่มปริมาณขึ้นไปได้อย่างรวดเร็วและเกิดเป็นช่วงการเจริญเติบโตในลักษณะที่เรียกว่า Exponential growth phase การติดตามวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในระดับความหนาแน่นของเซลล์ที่เพิ่มขึ้นตามเวลาสำหรับแพลงก์ตอนพืชนั้น จึงมักใช้กราฟที่มีการ plot สำหรับแกน Y (ระดับความหนาแน่นของเซลล์) ให้อยู่ในแบบ log-scale เพื่อทำให้เห็นรูปแบบในการเพิ่มขึ้นนั้นเทียบเคียงกับระดับแรกเริ่มในช่วงเวลาแรก ๆ ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่ามากได้

จากลักษณะทางธรรมชาติของแพลงก์ตอนพืชดังกล่าว การประเมินการตอบสนองต่อสิ่งเร้า (โดยเฉพาะปัจจัยด้านแร่ธาตุอาหารที่สร้างปัญหาด้านยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ) จึงจำเป็นต้องใช้ *"เกณฑ์"* ในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ใช่ระดับเพียง 25 % เนื่องจากระดับดังกล่าว อาจเป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงในลักษณะแค่ *"ความแปรปรวน"* ของข้อมูล ณ ตำแหน่งสำรวจต่าง ๆ โดยทั่วไปการประเมินการตอบสนองหรือการเปลี่ยนแปลงของประชากรแพลงก์ตอนพืช จึงนิยมพิจารณาจากการ plot ความหนาแน่นลงในแกน log และวิเคราะห์ลักษณะการเพิ่มขึ้นนั้น ทั้งนี้ระดับที่เพิ่มอย่างน้อย 2-4 เท่า จากระดับเดิมขึ้นไปจึงจะถือว่าเป็นการตอบสนองเชิงบวกที่ชัดเจน และเป็นลักษณะที่ประชากรแพลงก์ตอนพืชจะเปลี่ยนแปลงหรือเข้าสู่สมดุลใหม่ ซึ่งจะมีบทบาทต่อระดับแร่ธาตุอาหารในน้ำ ตลอดจนการเกิดผลผลิตทางชีวภาพในระบบสายใยอาหารภาพรวมในลำดับต่อไปได้

ลักษณะจำเพาะของการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยทางชีวภาพ: สัตว์พื้นท้องน้ำ

สำหรับการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณของสัตว์พื้นท้องน้ำ (Benthic fauna) ที่เป็นกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (Invertebrates) จะมีความคล้ายคลึงกับการพิจารณาการ

เปลี่ยนแปลงในแพลงก์ตอนพืช ซึ่งไม่ควรประเมินการเพิ่มหรือการลดความหนาแน่นของประชากรจากการเปลี่ยนแปลงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างไปจาก 1 เป็น 2 หรือต่างไปเป็นรายหน่วย ทั้งนี้ เนื่องจากสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังพื้นท้องน้ำแทบทุกชนิดมีปริมาณไข่เป็นจำนวนมากและ/หรือสามารถออกลูกได้ครั้งละนับร้อยตัวในช่วงของการขยายพันธุ์ การประเมินประชากรที่เพิ่มขึ้นว่า *"เท่าไร"* ถึงเป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าอย่างแท้จริง (ไม่ใช่แค่เป็นเพียงค่าความแปรปรวนในการกระจายความหนาแน่น) จำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางชีววิทยาและนิเวศวิทยาที่จำเพาะชนิดของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังนั้นเข้ามาประกอบในการประมวลผล ทั้งนี้ มีประเด็นความรู้สำคัญที่ควรนำมาประยุกต์ดังต่อไปนี้

ความรู้ทางชีววิทยาและนิเวศวิทยาสำหรับการประเมินผลเชิงปริมาณ

- **ความดกไข่ จำนวนลูก และลักษณะตัวอ่อน**

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังพื้นท้องน้ำที่มีปริมาณไข่มาก หรือสามารถออกลูกได้ครั้งละมาก ๆ ในแต่ละช่วงของการขยายพันธุ์ อาทิ สัตว์ในกลุ่มไส้เดือนทะเล (Polychaetes) ที่อาศัยในเขตปากแม่น้ำ บางชนิดมีไข่จำนวนมากกว่า 200-400 ฟอง ทำให้ในช่วงการขยายพันธุ์จะมีโอกาสพบจำนวนตัวขนาดเล็กมากขึ้นหลายเท่าจากจำนวนตั้งต้น (ขนาดใหญ่) ที่มีอยู่เดิม (Chareonpanich *et al*. 1994) นอกจากนี้ ในช่วงการขยายพันธุ์นั้น ไส้เดือนทะเลส่วนใหญ่จะมีระยะตัวอ่อนในสภาพกึ่งแพลงก์ตอนที่ว่ายน้ำได้เล็กน้อย (ในระยะที่เรียกว่า Trochophore larvae) ซึ่งได้รับอิทธิพลร่วมจากกระแสน้ำเหนือผิวดินให้เคลื่อนตัวไปได้ ก่อนที่จะลงฝังตัวในดิน และพัฒนารูปร่างยืดยาวออกต่อไป การที่ไส้เดือนทะเลแต่ละชนิดมีระยะ Trochophore larvae ที่แตกต่างกันไปนั้น มีผลต่อลักษณะการแพร่กระจายจากแหล่งพ่อแม่พันธุ์ได้แตกต่างกันไปด้วย (Grassle and Grassle, 1974) สำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำในเขตอ่าวไทยที่มีการขึ้นลงของน้ำสองครั้งในรอบวัน ไส้เดือนทะเลกลุ่มที่มีระยะ Trochophore ประมาณ 24 ชั่วโมง มักมีโอกาสกระจายพันธุ์อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งเดิมได้มาก เนื่องจากน้ำจะถูกพัดขึ้นลงมาครบรอบอีกครั้งในบริเวณใกล้เคียงเดิมพอดี ในทางตรงกันข้าม หากเป็นไส้เดือนทะเลกลุ่มที่มีระยะ Trochophore larvae ช่วงสั้นกว่า (ประมาณ 3-6 ชั่วโมง) การกระจายของประชากรสามารถเกิดในบริเวณที่ไกลออกไปจากแหล่งเดิม ตามอิทธิพลของการพัดพาโดยกระแสน้ำไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งในพื้นที่ปากแม่น้ำได้

การกระจายพันธุ์ของไส้เดือนทะเลเหล่านี้ ยังได้รับอิทธิพลจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นที่ โดยในพื้นที่ที่มีความหลากหลายในรูปทรงของดอนเลน หรือเป็นพื้นที่กว้างใหญ่/พบร่องน้ำย่อยอยู่มาก จะพบลักษณะการกระจายของประชากรที่ไม่สม่ำเสมอจากอิทธิพลในการเคลื่อนตัวของน้ำหลายรูปแบบ ความหนาแน่นที่พบจึงมักมีความแปรปรวนสูงถึงแม้ว่าอยู่ในบริเวณที่

ใกล้เคียงกัน (Ritnim and Meksumpun, 2011) ด้วยลักษณะตามธรรมชาติดังที่ได้กล่าวมา การวิเคราะห์เชิงปริมาณของประชากรไส้เดือนทะเลหรือสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังพื้นท้องน้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำ จึงจำเป็นต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นที่สูงกว่าค่า *ความแปรปรวน* ในความหนาแน่นตามธรรมชาติที่พบในพื้นที่บริเวณหนึ่ง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่า 50-100 % (1.5-2 เท่า) ของระดับความหนาแน่นเฉลี่ยเดิม จึงจะสะท้อนตอบสนองของประชากรที่มีต่อสถานการณ์สิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้อย่างชัดเจน

- **ความถี่ในการขยายพันธุ์และช่วงชีวิต**

ลักษณะทางชีววิทยาของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังพื้นท้องน้ำในด้านความถี่ของการขยายพันธุ์ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ๆ (อาทิ ในรอบปี) สะท้อนให้เห็นถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณประชากร รวมทั้งโอกาสการเกิดทดแทนที่โดยชนิดจำเพาะที่มีศักยภาพในการขยายพันธุ์ในระบบนิเวศพื้นท้องน้ำแต่ละแห่งได้ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังพื้นท้องน้ำบางชนิดสามารถออกไข่ได้ทุกระยะประมาณ 20-30 วัน ยกตัวอย่างเช่น ไส้เดือนทะเลขนาดกลาง (Meiofaunal polychaete) ชนิด *Capitella capitata* ในครอบครัว Capitellidae (Chareonpanich *et al*., 1994) ซึ่งเป็นชนิดที่มีโอกาสเกิดทดแทนที่ขึ้นมาใหม่ได้ง่าย และมีศักยภาพในการใช้ติดตามการตอบสนองต่อปัจจัยแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยสามารถติดตามผลเชิงปริมาณภายในช่วงฤดูกาลย่อยที่สนใจได้ชัดเจน อย่างไรก็ตาม ไส้เดือนทะเลบางชนิดรวมทั้งสัตว์ในกลุ่มหอยที่มีขนาดใหญ่กว่ามักมีระยะการเจริญเติบโตที่นานกว่าจะถึงวัยเจริญพันธุ์ บางชนิดใช้ระยะเวลาเจริญเติบโตจนถึงช่วงสมบูรณ์เพศนานถึง 10-12 เดือน และปล่อยไข่ได้เพียงปีละ 1 ครั้ง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังพื้นท้องน้ำกลุ่มหลังนี้จึงเป็นกลุ่มที่มีการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณตามช่วงฤดูกาลได้น้อยมาก ซึ่งโดยทั่วไปมักไม่สามารถใช้ข้อมูลเชิงปริมาณมาอธิบายการตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งเร้าในช่วงสั้น ๆ (ถึงแม้ว่าจะเป็นเชิงบวกก็ตาม) หากคุณภาพน้ำในพื้นที่ที่อยู่อาศัยเกิดการเสื่อมโทรมลงอย่างต่อเนื่อง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังพื้นท้องน้ำเหล่านี้อาจค่อย ๆ ตายลง หรือหายไปจากแหล่งที่เคยอยู่อาศัย การเกิดทดแทนที่กลับมาจะมีโอกาสเป็นไปได้ยากมากกว่ากลุ่มเกิดทดแทนที่ขึ้นมาใหม่ได้ง่าย

- **ธรรมชาติในการกระจายของประชากรบริเวณพื้นท้องน้ำ**

การกระจายด้านความหนาแน่นในบริเวณพื้นท้องน้ำ เป็นลักษณะจำเพาะของแต่ละกลุ่มประชากรที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบในการขยายพันธุ์ ลักษณะการเลือกที่อยู่ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับการหาอาหารหรือการล่าเหยื่อเป็นหลัก โดยทั่วไปในพื้นที่ระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล อาทิ ในเขตชายฝั่งทะเลหรือแนวใกล้ปากแม่น้ำ จะพบการแปรผันในเชิงปริมาณของสิ่งมีชีวิตในบริเวณพื้นท้องน้ำได้สูงมาก โดยเฉพาะในเขตปากแม่น้ำที่มีทั้งพื้นที่ที่เป็นดอน เป็นทรายบนโคลน มีแนว

เลน แนวร่องน้ำ อยู่ในบริเวณที่ไม่ห่างกันมากนัก พื้นที่ปากแม่น้ำเป็นพื้นที่ที่มีความแตกต่างของกระแสน้ำและคลื่นลมในแต่ละเขตย่อยต่าง ๆ ที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในลักษณะทางโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของพื้นท้องน้ำ นับเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อความเป็นอยู่และการเจริญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในบริเวณพื้นท้องน้ำในแต่ละเขตนั้น

ด้วยลักษณะพื้นท้องน้ำที่หลากหลาย ผนวกกับโอกาสในการขยายพันธุ์และพฤติกรรมความเป็นอยู่ของประชากรสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ การศึกษาติดตามสัตว์พื้นท้องน้ำเชิงปริมาณในเขตแหล่งน้ำหนึ่ง ๆ จึงจำเป็นต้องวางแผนการศึกษาอย่างรอบคอบ เพื่อสามารถติดตามและ/หรือเปรียบเทียบความเป็นไปของประชากรที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยเป้าหมายที่สนใจ โดยไม่ใช่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยแทรกซ้อนอื่น ๆ ที่อาจมีอยู่อย่างมากในบริเวณนั้น การกำหนดพื้นที่การสำรวจประชากรสัตว์พื้นท้องน้ำแต่ละชนิด ควรสอดคล้องกับลักษณะด้านขนาด รูปแบบการแพร่กระจาย และความแปรปรวนตามธรรมชาติที่มี (Underwood and Chapman, 2013) โดยหากเป็นประชากรสัตว์พื้นท้องน้ำที่มีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง (มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 500 μm) การสุ่มตรวจในพื้นที่หนึ่ง ๆ โดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินหรือการกำหนดกรอบการศึกษาที่มีขอบเขตประมาณ 15X15 cm ก็นับว่าเป็นตัวแทนได้ หากเป็นประชากรสัตว์พื้นท้องน้ำที่มีขนาดใหญ่ (อาทิ สัตว์ในกลุ่มหอย ปลิง หรือดาวทะเล) การศึกษาติดตามจำเป็นต้องปรับขยายกรอบพื้นที่ให้กว้างขึ้น และปรับเปลี่ยนเทคนิคการศึกษาให้เหมาะสมกับพฤติกรรมความเป็นอยู่หรือตามลักษณะทางขนาดของสัตว์พื้นท้องน้ำนั้น ๆ อาทิ ทำการนับจำนวนประชากรหอยฝาเดียวในพื้นที่ quadrat ขนาด 1X1 m หรือทำการสำรวจจำนวนประชากรปลิงในแนวที่ขึงเชือก (ในแต่ละเขตพื้นที่ย่อย) ในขอบเขตประมาณ 4x4 ตารางเมตร เป็นต้น การกำหนดขอบเขตเชิงพื้นที่ดังกล่าวควรใช้สำหรับสัตว์พื้นท้องน้ำที่อยู่ประจำที่หรือสัตว์พื้นท้องน้ำที่เคลื่อนที่ได้น้อย ทั้งนี้ เราสามารถประเมินขอบเขตเบื้องต้นได้จากขนาดเฉลี่ยของสัตว์พื้นท้องน้ำที่สนใจนั้น ซึ่งโดยทั่วไปควรให้ขอบเขตของพื้นที่ศึกษาโดยรวมครอบคลุมอาณาเขตอย่างน้อยประมาณ 100 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสัตว์พื้นท้องน้ำที่ศึกษาติดตาม ก็จะทำให้ได้ผลการศึกษาที่เป็นตัวแทนของสภาพพื้นที่ได้เป็นอย่างดี

จากภาพรวมในแนวคิดที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นถึงความจำเป็นในการใช้ความรู้พื้นฐานทั้งทางชีววิทยาและนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิตที่เป็นเป้าหมายในการศึกษา มาใช้ประกอบการวางแผนการศึกษา ใช้กำหนดรูปแบบวิธีการศึกษา รวมทั้งแปรผลข้อมูลที่ได้เพื่อนำไปสู่การประเมินผลกระทบหรือการตอบสนองของประชากรในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม ในการนี้ ไม่ควรนำจำนวนของสิ่งมีชีวิตต่างชนิดที่พบมารวมกันเพื่อการอธิบายการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีรูปแบบของประชากรทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ (หรือบทบาทหน้าที่ในระบบนิเวศ) ที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้การกำหนด *“พื้นที่ศึกษา”* และ *“ช่วงเวลาศึกษา”* ที่เหมาะสม จะส่งผลให้เกิดการศึกษาติดตามที่มีประสิทธิภาพ และสะท้อนปัญหาในพื้นที่ได้อย่างจำเพาะเจาะจง และการศึกษาที่ดียังควรวางแผนการติดตามตรวจสอบให้ต่อเนื่อง เพื่อการประเมินผลในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

7.2) นิเวศอุทกวิทยาและแนวทางในการบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์

ในการบริหารจัดการระบบนิเวศนั้น มีการให้คำนิยามที่จำเพาะหลายด้าน FEMAT (1993) กล่าวว่า “การจัดการระบบนิเวศเป็นกลยุทธ์เพื่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่รวมกันทั้งหมด ไม่ใช่การมุ่งเน้นที่แผนการจัดการสปีชีส์หนึ่งสปีชีส์ใด” ขณะที่ Wood (1994) ให้คำจำกัดความว่า “เป็นการประมวลหลักการทางนิเวศวิทยา เศรษฐศาสตร์ และสังคมศาสตร์ เพื่อการจัดการระบบทางชีวภาพและกายภาพ เพื่อรักษาความยั่งยืนทางนิเวศวิทยา ความหลากหลายทางธรรมชาติ และผลผลิตของภูมิทัศน์” ซึ่งในระยะหลัง จิรากรณ์และนันทนา (2552) ได้ประมวลภาพรวมของการศึกษาที่เกี่ยวข้องและสรุปว่า “การจัดการระบบนิเวศ คือ การจัดการที่มีการกำหนดจุดมุ่งหมายที่แน่นอนเป็นแรงผลักดัน และดำเนินการจัดการโดยอาศัยนโยบาย วิธีการ และการปฏิบัติ ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งอ้างอิงกระบวนการติดตามตรวจสอบและการวิจัยที่มีพื้นฐานอยู่บนความรู้ความเข้าใจอย่างดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ของปฏิสัมพันธ์และกระบวนการทางนิเวศวิทยาที่จำเป็นสำหรับความยั่งยืนของโครงสร้างและการทำหน้าที่ของระบบนิเวศ ทั้งนี้ ไม่ได้มุ่งเน้นที่ผลผลิตและการบริการที่จะได้รับ แต่เน้นที่*ความยั่งยืนของโครงสร้างและการทำหน้าที่*ของระบบนิเวศ ที่จำเป็นต่อการสร้างผลผลิตและบริการนั้น ๆ”

สมาคมนิเวศวิทยาแห่งอเมริกา (The Ecological Society of America) ได้นำเสนอประเด็นสำคัญที่ถือเป็นแนวทางการศึกษาวิจัยเร่งด่วนทางนิเวศวิทยา 3 ด้านหลัก ประกอบด้วย 1) ด้านการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมโลก (ที่รวมถึงสาเหตุและผลสืบเนื่องของการเปลี่ยนแปลงดินฟ้าอากาศตามธรรมชาติ) 2) ด้านความหลากหลายทางชีวภาพ ทั้งจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติและจากมนุษย์ และ 3) ด้านระบบนิเวศที่ยั่งยืน ซึ่งรวมถึงการติดตามด้านความกดดันในระบบนิเวศทั้งที่เกิดตามธรรมชาติและโดยมนุษย์ การฟื้นฟูระบบที่ได้รับความเสียหาย การจัดการระบบนิเวศเพื่อให้มีความยั่งยืน และความเชื่อมโยงระหว่างกระบวนการทางนิเวศวิทยากับระบบสังคมมนุษย์ จิรากรณ์และนันทนา (2552) ให้แนวคิดเพิ่มเติมว่าประเด็นข้อหลังสุดเป็นสิ่งที่จำเป็นมากในปัจจุบัน แต่ยังได้รับการดำเนินการน้อยกว่าประเด็นแรก ๆ ซึ่งในการศึกษาวิจัยทางด้านระบบนิเวศที่ยั่งยืนนั้น ยังจำเป็นต้องอาศัยการวางแผนเชิงสหวิชาการและอาศัยความรู้ทางนิเวศวิทยาเป็นแกนกลางเพื่อการพัฒนาในขั้นต่อไป

สำหรับการบริหารจัดการเพื่อระบบนิเวศที่ยั่งยืน (Sustainable ecosystem) นั้น Chapin *et al.* (1996) ได้เสนอแนวคิดไว้ว่า “ระบบนิเวศที่ยั่งยืน” ควรเป็นระบบที่สามารถรักษาคุณลักษณะของความหลากหลายของกลุ่มที่ทำหน้าที่หลัก (Functional group) และรักษาผลผลิตความอุดมสมบูรณ์ของระบบ ตลอดจนอัตราการหมุนเวียนทางชีวธรณีเคมีไว้ได้ภายใต้วงจรปรากฏการณ์ทั้งที่เกิดขึ้นตามปกติและในลักษณะที่มีการรบกวนระบบที่เกิดขึ้นด้วย จากแนวคิดดังกล่าวจะเห็นได้ว่าความมั่นคงทางนิเวศ คือ *“สถานภาพที่สิ่งแวดล้อมและธรรมชาติยังคงความสามารถในการสนับสนุนการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต ตอบสนองความจำเป็นในทางวัตถุและจิตวิญญาณแก่มนุษยชาติทั้งปวงไว้ได้”*

ในการบริหารจัดการระบบนิเวศแหล่งน้ำเชิงอนุรักษ์ที่เป็นเป้าหมายในการพิจารณาต่อจากนี้ จัดเป็นส่วนหนึ่งของความพยายามในการรักษาความมั่นคงทางนิเวศของแหล่งน้ำให้ยั่งยืน โดยอาศัยการประยุกต์ใช้ความรู้ทางนิเวศอุทกวิทยาที่มีความจำเพาะสำหรับประเภทของแหล่งน้ำ ผนวกกับความรู้ความเข้าใจในลักษณะการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีรายละเอียดสำคัญสำหรับแต่ละประเภทของแหล่งน้ำ ดังต่อไปนี้

7.2.1) ระบบนิเวศแหล่งน้ำตกและลำธารสาขา

ความรู้ทางนิเวศวิทยาและอุทกวิทยาที่สำคัญสำหรับแหล่งน้ำไหลประเภทน้ำตกและลำธารสาขา โดยเฉพาะในพื้นที่เขตป่าต้นน้ำ คือ ความรู้ด้านกระบวนการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศแหล่งน้ำจากอิทธิพลของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและจากการใช้ประโยชน์โดยมนุษย์ ซึ่งในส่วนหลังนี้ มักเป็นประเด็นจากการเข้าไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่เพื่อเป้าหมายทางกิจกรรมการเกษตร นอกจากนี้ ยังเกี่ยวข้องกับการพัฒนาพื้นที่เป็นแหล่งท่องเที่ยว โดยมีผู้คนเข้าไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ ที่มากขึ้น

ภายใต้แนวคิดในการประเมิน *"ขีดความสามารถทางนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ"* เพื่อการประเมินขีดความสามารถในการรองรับการใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการสำหรับพื้นที่เขตน้ำตก การสำรวจระบบนิเวศน้ำตกและลำธารสาขาในเขตอุทยานแห่งชาติเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี ได้ดำเนินการขึ้น ในช่วงปี พ.ศ. 2552-2554 (จารุมาศและคณะ 2554) ผลการศึกษาพบว่าในการวิเคราะห์สภาวะการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของพื้นที่น้ำตกที่เกิดจากผลกระทบภายนอกจำเป็นต้องอ้างอิงระดับพื้นฐานตามธรรมชาติ (Based-line concentrations) ซึ่งแสดงสถานภาพทางธรรมชาติในฤดูกาลต่าง ๆ ของปัจจัยชี้วัดที่กำหนดมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา ทั้งนี้ การศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการใช้ประโยชน์อย่างรัดกุม ยังจำเป็นต้องกำหนดเทคนิคการประเมินผลกระทบที่สอดคล้องกับลักษณะของกิจกรรมการใช้ประโยชน์โดยนักท่องเที่ยวหรือชุมชนในพื้นที่จำเพาะนั้น ๆ (**ภาพที่ 7.3**)

ในแหล่งน้ำประเภทน้ำตกนั้น ปัจจัยคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำในประเภทของ*แร่ธาตุอาหารพืช* โดยเฉพาะในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจน จัดเป็นปัจจัยคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่มีศักยภาพในการใช้ประเมินผลกระทบจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์โดยนักท่องเที่ยวได้ (จารุมาศและคณะ 2554) ด้วยคุณลักษณะดังกล่าว การควบคุมไม่ให้ระดับของแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำมีระดับเพิ่มสูงขึ้นเกิน 25% ของระดับพื้นฐานตามธรรมชาติที่มี ณ พื้นที่น้ำตกในแต่ละช่วงชั้น จึงเป็นแนวทางที่นำไปสู่การกำหนดปริมาณนักท่องเที่ยวที่เหมาะสม ซึ่งเป็นการควบคุมการใช้ประโยชน์ในพื้นที่เพื่อการอนุรักษ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำอย่างเป็นรูปธรรมได้อีกวิธีหนึ่ง

ลักษณะทางธรรมชาติของพื้นที่น้ำตก โดยเฉพาะองค์ประกอบของภูมิประเทศ สัณฐานวิทยา นิเวศวิทยา ตลอดจนบทบาทของลักษณะทางภูมิอากาศที่มี นับเป็นลักษณะสำคัญที่มีส่วนในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่ปรากฏในลำห้วยน้ำตกชั้นต่าง ๆ และทำให้แต่ละช่วงชั้นของน้ำตกอาจมีคุณภาพน้ำที่แตกต่างกันออกไปได้ ด้วยเหตุดังกล่าวการวางแผนประเมินศักย์การ

รองรับทางนิเวศวิทยา ตลอดจนการวิเคราะห์และอธิบายกระบวนการรวมทั้งผลกระทบที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศน้ำตกเพื่อการอนุรักษ์ดูแลและวางแผนใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมต่อไปนั้น จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงลักษณะดังกล่าว ทั้งนี้ ควรแยกพิจารณาตามช่วงชั้นของน้ำตก และ/หรือวิเคราะห์แยกช่วงฤดูกาลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของพื้นที่นั้น ๆ

ภาพที่ 7.3 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่พบในระบบนิเวศของแหล่งน้ำตกและลำธารสาขา (ภาพซ้าย; น้ำตกป่าละอู จังหวัดเพชรบุรี, ภาพกลางและภาพขวา; น้ำตกเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี)

ในการศึกษาเปรียบเทียบทางด้านปัจจัยต่าง ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ระบบนิเวศน้ำตก เราพบว่าผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ที่เกิดขึ้นต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนโตรเจน (โดยเฉพาะในพื้นที่ย่อยของแต่ละชั้นที่มีตะกอนละเอียดทับถมอยู่) จะชัดเจนมากกว่าการเปลี่ยนแปลงในระดับของไนไตร์ทไนเตรทไนโตรเจนประมาณ 2-3 เท่า ปัจจัยด้านแอมโมเนียมไนโตรเจนนี้ ยังมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายรวมทั้งพรรณพืชในแหล่งน้ำ ซึ่งจะเชื่อมโยงสู่ผลผลิตขั้นต้นและความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน้ำตกได้ สำหรับปัจจัยคุณภาพน้ำทั่วไปอื่น ๆ ในพื้นที่ อาทิ ด้านการนำไฟฟ้า และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ พบความแปรปรวนที่สูง และมักแสดงความผันแปรจากการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในธรรมชาติมากกว่าผลกระทบที่มาจากการใช้ประโยชน์ที่สนใจ

อนึ่ง ผลกระทบจากการเข้าไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่โดยกิจกรรมการท่องเที่ยว โดยเฉพาะการเหยียบย่ำเข้าไปในบริเวณตกตะกอน สามารถทำให้ตะกอนจากพื้นท้องน้ำจำนวนมากฟุ้งกระจายขึ้นมา เกิดสภาพน้ำที่ขุ่น และทำให้คุณภาพน้ำโดยรวมเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุดังกล่าวหน่วยงานที่ดูแลรับผิดชอบในพื้นที่ จึงควรหาแนวทางตักเตือนหรือควบคุมการเข้าไปใช้ประโยชน์ในบริเวณตกตะกอน หรือจัดการทำความสะอาดพื้นที่เพื่อไม่ให้เกิดการทับถมของตะกอนและเศษซากพืชซากสัตว์ในบางบริเวณอย่างมากเกินควร นอกจากนี้ การดูแลคุณภาพน้ำในภาพรวม (อาทิ การบริหารจัดการน้ำทิ้ง และสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ) จะก่อประโยชน์ต่อการอนุรักษ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำทั้งในเขตต้นน้ำลำธาร ตลอดจนในบริเวณท้ายน้ำที่ต่อเนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวนี้ได้

ในการศึกษาวิจัยแหล่งต้นน้ำลำธารอื่น ๆ อาทิ ในเขตแค้มป์บ้านกร่าง (จารุมาศและคณะ 2552) ซึ่งอยู่ในส่วนของอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี พบว่ารูปแบบในการใช้พื้นที่ลำธารเพื่อเป็นเส้นทางการสัญจรผ่านโดยรถยนต์ของนักท่องเที่ยว สำหรับเดินทางขึ้นไปสู่ยอดเขาพะเนินทุ่งนั้น มีบทบาทต่อการเพิ่มปริมาณของแข็งแขวนลอย ตลอดจนความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่ฟุ้งกระจายขึ้นมาจากพื้นท้องน้ำให้แพร่ตามแนวลำธารลงไป ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในส่วนท้ายน้ำได้ ความรู้ความเข้าใจดังกล่าวนับเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ *“อิทธิพลจากการใช้ประโยชน์”* ในรูปแบบที่จำเพาะเจาะจงสำหรับแต่ละพื้นที่ ที่มีต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงหรือการตอบสนองของระบบนิเวศทางน้ำ และสามารถยังประโยชน์ในการกำหนดแนวทางเพื่อการบริหารจัดการแหล่งน้ำเชิงอนุรักษ์ หรือนำไปควบคุมการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมและไม่ก่อให้เกิดผลกระทบในทางลบต่อแหล่งน้ำได้ต่อไป

7.2.2) แนวทางการบริหารจัดการระบบนิเวศแม่น้ำ

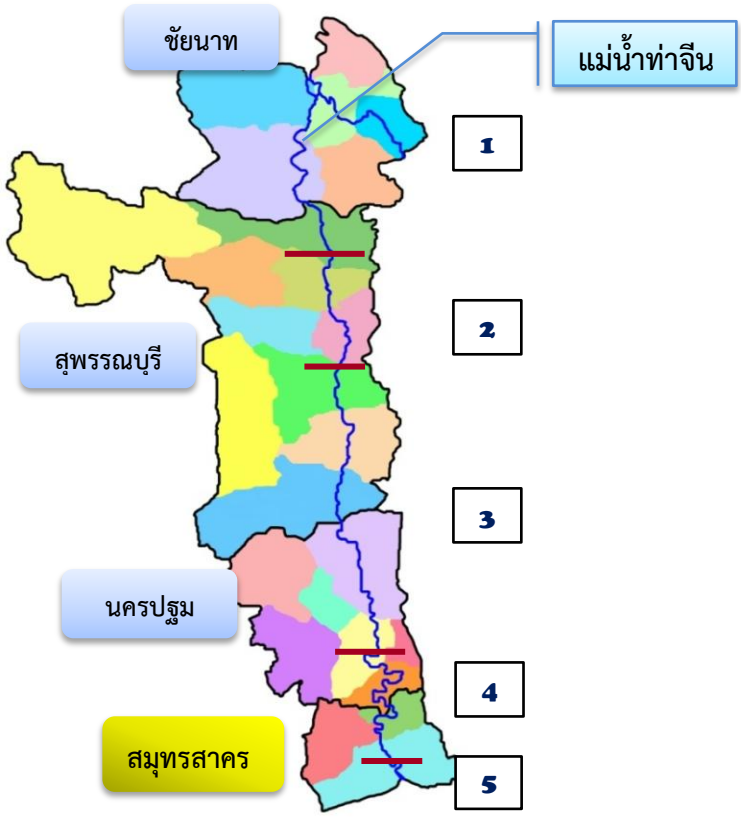
แม่น้ำนับเป็นแหล่งน้ำไหลที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีบทบาทต่อการพัฒนาอาชีพทางการเกษตร และเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของสังคมไทยมาช้านาน อย่างไรก็ตาม ด้วยการปล่อยปละละเลยในการควบคุมการใช้ประโยชน์ของพื้นที่แผ่นดินโดยรอบ ผนวกกับปัญหาการทิ้งน้ำเสีย ขยะและสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ลงสู่แม่น้ำอย่างต่อเนื่อง ทำให้แม่น้ำเข้าสู่สถานการณ์ที่เสื่อมโทรมลงมาเรื่อย ๆ นับเป็นระยะเวลาหลายทศวรรษ โดยเฉพาะในพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำภาคกลาง รวมถึงแม่น้ำสายหลักที่กระจายอยู่ในเขตภูมิภาคต่าง ๆ โดยเฉพาะใกล้แหล่งของชุมชนเมือง หรือบริเวณที่มีการใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมการเกษตรและอุตสาหกรรมอย่างหนาแน่น (**ภาพที่ 7.4**) ปัจจุบันพบว่าในท่ามกลางพื้นที่ลุ่มน้ำสำคัญต่าง ๆ ในประเทศไทยนั้น ลุ่มน้ำท่าจีนตอนล่างสุด (จากเขตอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ถึงบริเวณปากแม่น้ำในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร) เป็นบริเวณที่มีสถานการณ์คุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมที่สุด โดยในระยะปัจจุบันพบระดับเฉลี่ยของออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 2 mg/L (จารุมาศ และคณะ 2556) และจัดอยู่ในคุณภาพของแหล่งน้ำประเภทที่ 5 (ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน กรมควบคุมมลพิษ 2537) ซึ่งจัดเป็นบริเวณรับน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่าง ๆ และควรใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคมเท่านั้น

ศาสตร์ทางนิเวศอุทกวิทยาสำคัญ ที่นับว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการแม่น้ำในเชิงคุณภาพ คือ ความรู้ในลักษณะของอิทธิพลจากแร่ธาตุอาหารที่เป็นสาเหตุแห่งปัญหายูโทรฟิเคชันในน้ำ และแนวทางการควบคุมระดับของ “ไนโตรเจน” และ “ฟอสฟอรัส” จากประสบการณ์ที่เรียนรู้ในแหล่งแม่น้ำสำคัญที่ต่าง ๆ ซึ่งนับเป็นความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่ผ่านมาที่นำไปสู่การบริหารจัดการเพื่อการควบคุมการปล่อยน้ำเสียอย่างเป็นรูปธรรมได้ (Okada and Peterson, 2000) ในกระบวนการควบคุมคุณภาพแม่น้ำนั้น การอธิบาย“ศักย์การรองรับทางนิเวศวิทยา” ของแม่น้ำ นับว่าเป็นเรื่องสำคัญที่นำไปสู่การบริหารจัดการแม่น้ำเพื่อการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน โดยทั่วไปนิยมใช้ระดับของคลอโรฟิลล์เอในน้ำ ซึ่งเป็นผลผลิตอินทรีย์สารขั้นต้นในห่วงโซ่อาหารทางน้ำมาเป็นดัชนีทางชีวภาพสำหรับการติดตามการตอบสนองของผู้ผลิตหลักในระบบนิเวศแม่น้ำ ทั้งนี้ มีข้อจำกัดในบริเวณที่ผลผลิตขั้นต้นหลักของพื้นที่ไม่ได้เกิดจากแพลงก์ตอนพืช แต่เป็นสารอินทรีย์ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากภายนอกที่ถูกพัดพาเข้ามาสู่ระบบ ในกรณีดังกล่าว การควบคุมแหล่งสารอินทรีย์จากภายนอกจึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญร่วมไปด้วย

ภาพที่ 7-4 ลักษณะการใช้ประโยชน์ภายในระบบนิเวศของแม่น้ำและพื้นที่โดยรอบลุ่มน้ำท่าจีน

ในประเทศไทยเรามีการประยุกต์ใช้ข้อมูลความรู้ด้านการแพร่กระจายของแร่ธาตุอาหารและศักย์การบำบัดตัวเองตามธรรมชาติของระบบแม่น้ำ เพื่อเสนอแนวทางการบริหารจัดการแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำ Thaipichitburapa *et al*. (2010) ศึกษาพลวัตของแร่ธาตุอาหารในรูปของ Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN; NH_4^++NO_3^-+NO_2^-) และ Orthophosphate Phosphorus (PO_4^{3-}) ในพื้นที่แม่น้ำท่าจีนตลอดลำน้ำที่ไหลผ่าน 4 จังหวัด และทำการประเมินลักษณะการเคลื่อนย้ายของแร่ธาตุอาหาร ศักย์การบำบัดตัวเองตามธรรมชาติ และวิเคราะห์ปริมาณการไหลเข้า-

ออกของน้ำในแต่ละส่วนของแม่น้ำ พบว่ามวลน้ำที่มีแร่ธาตุอาหารปนเปื้อนสูงซึ่งเข้ามาจากพื้นที่ภายในแต่ละส่วนจังหวัด (โดยเฉพาะจากพื้นที่เขตจังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาคร) ทำให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงมากกว่ามวลน้ำที่ไหลลงมาจากเขตจังหวัดด้านบน (ตามเส้นทางแม่น้ำ) ประเด็นความรู้ความเข้าใจดังกล่าวทำให้จังหวัดทางตอนล่าง (โดยเฉพาะจังหวัดสมุทรสาคร) ได้ตระหนักถึงปัญหาของการปล่อยน้ำเสียภายในเขตจังหวัดของตนเอง (จารุมาศและคณะ, 2556) และเร่งหาแนวทางประสานข้อมูลกับหลายภาคส่วนที่เกี่ยวข้องเพื่อจัดการปัญหาอย่างตรงจุดต่อไป



ภาพที่ 7.5 ลักษณะการจำแนก “***เขตทางนิเวศอุทกวิทยา***” ของพื้นที่แม่น้ำท่าจีน ออกเป็น 5 เขต ประกอบด้วย เขตที่ **1** แม่น้ำท่าจีนตอนบนสุด (ชัยนาท - สุพรรณบุรี) เหนือประตูระบายน้ำสามชุก เขตที่ **2** แม่น้ำท่าจีนตอนบน (สุพรรณบุรี) เหนือประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา เขตที่ **3** แม่น้ำท่าจีนตอนกลาง (สุพรรณบุรี - นครปฐม) อ.นครชัยศรี ขึ้นไป เขตที่ **4** แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง (นครปฐม - สมุทรสาคร) เหนือแนวคลองมหาชัยขึ้นไป และ เขตที่ **5** ปากแม่น้ำท่าจีน (สมุทรสาคร) จากแนวคลองมหาชัย ออกสู่พื้นที่เขตทะเล *(ปรับปรุงจาก: จารุมาศและคณะ, 2556)*

ในการศึกษาติดตามสถานการณ์มลภาวะจากปัจจัยชี้วัดมลภาวะทางน้ำสำหรับระบบนิเวศลุ่มน้ำท่าจีนในระยะยาวในช่วงปี พ.ศ. 2548-2556 (จารุมาศและคณะ 2556) พบว่า “ช่วงฤดูกาลในรอบปี” มีอิทธิพลต่อปัจจัยคุณภาพน้ำต่าง ๆ โดยเฉพาะระดับของอัตราการไหล ปริมาณแร่ธาตุอาหารที่ถูกชะล้างลงมา และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ทั้งนี้ พบการเปลี่ยนแปลงช้า ๆ อย่างค่อยเป็นค่อยไปตามเวลาในรอบ 9 ปี โดยพบว่าระดับของปัจจัยสำคัญมีความแตกต่างกันตามเขตทางนิเวศวิทยาของแม่น้ำ ซึ่งจำแนกได้เป็น 5 เขต จากตอนบนลงล่าง ได้แก่ ช่วง 80 กิโลเมตรแรก 80-120 กิโลเมตร 120-240 กิโลเมตร 240-320 กิโลเมตร และที่มากกว่า 320 กิโลเมตรลงไป (หรือเขตติดทะเลส่วนล่างสุด) ตามลำดับ (**ภาพที่ 7.5**)

ในแต่ละเขตดังกล่าว พบค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลายน้ำ เท่ากับ 5.60$\pm$1.68, 3.68$\pm$1.25, 2.78$\pm$0.82, 1.94$\pm$0.89 และ 2.22$\pm$1.51 mg/L ตามลำดับ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความจำเพาะในแต่ละเขตพื้นที่ที่มีระดับ Based-line concentrations ที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ ผลการศึกษาที่ผ่านมายังพบความเสื่อมโทรมอย่างต่อเนื่องของน้ำต้นทุนที่แยกมาจากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยพบการลดลงของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในรอบ 9 ปี ด้วยอัตราประมาณ 4% ต่อเดือน

สำหรับในด้าน “อัตราการไหลของน้ำ” การศึกษาที่ผ่านมาหลายเรื่องแสดงให้เห็นว่าการควบคุมปริมาณการไหลของน้ำด้วยเขื่อนกั้นน้ำหรือประตูระบายน้ำเพื่อการชลประทาน มีบทบาททำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำลง ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทางน้ำที่อยู่ปลายน้ำ การปิดกั้นส่วนของแม่น้ำยังทำให้ตะกอนซากพืชซากสัตว์ที่ไหลลงมาเกิดการทับถมในบริเวณตอนหน้าของเขื่อน นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดปัญหาที่พรรณไม้น้ำ (อาทิ ผักตบชวา) ซึ่งเจริญเติบโตและขยายจำนวนจนหนาแน่น เกิดการระบาดจนไปกีดขวางหรือปิดกั้นการสัญจรทางน้ำได้ อนึ่ง ประตูกั้นน้ำในพื้นที่แม่น้ำบริเวณตอนล่างที่สร้างขึ้นจากแนวคิดเพื่อป้องกันปัญหาจากการรุกล้ำของน้ำเค็มนั้น ยังมักก่อให้เกิดปัญหาแรงดันของน้ำทะเลที่ขึ้นมาและไปกัดเซาะพื้นที่ริมฝั่งบริเวณท้ายประตูกั้น และทำให้เกิดการกัดเซาะพังทลายของพื้นที่ริมฝั่งได้เป็นบริเวณกว้าง ปัญหาเหล่านี้ล้วนสร้างผลกระทบต่อทั้งชุมชนที่อาศัยอยู่โดยรอบแหล่งน้ำ และมีผลต่อสิ่งมีชีวิตทางน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนั้น ในการบริหารจัดการแม่น้ำอย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาว จำเป็นต้องบริหารจัดการ “อัตราการไหลของน้ำ” อย่างสมดุลและให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ

การฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำในระบบแม่น้ำโดยการขุดลอกเลนที่สะสมในเส้นทางน้ำ นับเป็นแนวทางการฟื้นฟูระบบแม่น้ำที่มีความสำคัญ เนื่องจากจะส่งเสริมให้น้ำเกิดการไหลถ่ายเทได้ดี ลดปัญหาการสะสมของอินทรีย์สารและมลภาวะที่อาจปนเปื้อนในพื้นที่ อย่างไรก็ตาม การจัดการขุดลอกเลนในพื้นที่แม่น้ำ โดยเฉพาะในส่วนที่มีเขื่อนกั้นเส้นทางน้ำไม่ให้เคลื่อนตัว จะก่อปัญหาการขาดออกซิเจนในระบบแม่น้ำอย่างกะทันหัน และเป็นอันตรายอย่างรุนแรงต่อทรัพยากรประมงได้ (จารุมาศและคณะ 2556) ด้วยเหตุดังกล่าว การดำเนินการขุดลอกที่ดี จึงควรประสานงานด้านการระบายน้ำกับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องล่วงหน้า เพื่อจัดการให้น้ำเสียที่ฟุ้งขึ้นมาได้ไหลเวียนหรือถ่ายเทออกไปจากพื้นที่ให้เร็วที่สุด หรือให้น้ำดีมาไล่น้ำเสียได้ทันในรอบวันนั้น ๆ นอกจากนี้ การขุดลอกเลนในเขตแม่น้ำตอนล่างในพื้นที่ใกล้เขตปากแม่น้ำยังจำเป็นต้องคำนึงถึง

อิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล โดยไม่ควรดำเนินการในช่วงที่คาบน้ำอยู่ในสภาวะที่เป็น “น้ำตาย” ซึ่งน้ำจากเขตทะเลแทบจะคงระดับเดิมหรือมีการขึ้นลงได้น้อยมาก สภาวะดังกล่าวจะทำให้ปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากการขุดลอกพื้นที่คงตัวอยู่ในบริเวณนั้น ๆ นานเกินควร และเป็นอันตรายต่อทรัพยากรสิ่งมีชีวิตทางน้ำได้

ในด้านการฟื้นฟูระบบนิเวศแม่น้ำที่เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน อาทิ ในเขตพื้นที่แม่น้ำท่าจีนที่พบการแพร่ระบาดของผักตบชวาอย่างหนาแน่น การจัดเก็บผักตบชวาขึ้นจากน้ำนับเป็นเรื่องที่จำเป็น โดยเฉพาะในบริเวณที่ทำให้น้ำลดการเคลื่อนตัว มีการบดบังแสง หรือลดการแลกเปลี่ยนออกซิเจน รวมทั้งในพื้นที่ที่เกิดปัญหาการกีดขวางการสัญจรทางน้ำ อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่แม่น้ำบางแห่ง เช่น แม่น้ำเพชรบุรี ที่มีสภาพน้ำค่อนข้างใสและตื้นมากพอที่แสงส่องลงไปในน้ำได้เพียงพอถึงแม้มีแร่ธาตุอาหารในน้ำในระดับปานกลาง เราจะสามารถพบการแพร่กระจายของพรรณไม้ใต้น้ำ อาทิ สันตะวา ดีปลีน้ำ และสาหร่ายหางกระรอกได้อย่างชัดเจน

ภาพที่ 7.6 ลักษณะการทำลายตลิ่งชายน้ำและการรื้อถอนพรรณไม้น้ำที่ทำให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพของระบบนิเวศและทรัพยากรมีชีวิตทางน้ำ

ในพื้นที่แม่น้ำเช่นนี้ การจัดเก็บพรรณไม้น้ำ หรือการ “ทำความสะอาดแม่น้ำ” โดยการขุดลอกและนำพรรณไม้ใต้น้ำเหล่านั้นออกจากระบบนิเวศทางน้ำจนแทบหมด (**ภาพที่ 7.6**) กลับส่งผลเสียต่อระบบนิเวศ (Sangmek and Meksumpun, 2014; พิชาศิษฐ์ 2556) เนื่องจากพบว่าพรรณไม้ใต้น้ำเหล่านั้นมีบทบาทสำคัญในการผลิตออกซิเจน ซึ่งมีศักยภาพในการผลิตมากกว่า 40 % ของออกซิเจนโดยรวมที่พบในระบบนิเวศแม่น้ำ

สำหรับในต่างประเทศ ยังมีงานวิจัยที่น่าสนใจของ Moss (2010) ที่แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการกำจัดพรรณไม้ใต้น้ำในระบบลำธารที่มีน้ำค่อนข้างใสและมักมีพรรณไม้น้ำขึ้นอย่างหนาแน่นนั้น ควรจัดการให้ปริมาณพรรณไม้น้ำคงปริมาณเหลือประมาณ 1 ใน 3 ส่วน ของพื้นที่แม่น้ำแต่ละบริเวณ ทั้งนี้ เพื่อให้พรรณไม้น้ำยังคงมีบทบาทในการรักษาสมดุลของคุณภาพน้ำในระบบนิเวศส่วนนั้น ๆ ให้ดีต่อไปได้ นอกจากการกำจัดปริมาณพรรณไม้น้ำโดยการตัดออกแล้ว การควบคุมในทางอ้อม เช่น เพิ่มการบดบังแสงที่ส่องลงสู่แม่น้ำ นับเป็นวิธีการหนึ่งที่มีการศึกษามา ซึ่งทำได้โดยการปลูกต้นไม้ที่มีขนาดใหญ่ตามบริเวณชายน้ำเป็นแนวตลอดความยาวของแม่น้ำ ทั้งนี้ ผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการมีร่มเงาของต้นไม้ใหญ่บริเวณชายน้ำ จะสามารถควบคุมปริมาณพรรณไม้น้ำไว้ได้เนื่องจากเป็นการลดปริมาณแสงที่ส่องลงแม่น้ำลงได้อย่างน้อย 20 % จากเดิม วิธีการทางอ้อมดังกล่าวนี้ นอกจากจะมีค่าใช้จ่ายที่ไม่มากไปกว่าการนำเอาพรรณไม้น้ำออกโดยตรงแล้ว ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดูแลรักษาในช่วงระยะประมาณ 10-20 ปี ต่อจากนั้น ก็จะใช้ไม่เกิน 2 เท่า ของค่าใช้จ่ายในปีแรกเท่านั้น

7.2.3) แนวทางการบริหารจัดการระบบนิเวศปากแม่น้ำ

ในการบริหารจัดการระบบนิเวศปากแม่น้ำในเชิงอนุรักษ์ อาจนับเป็นเรื่องที่ยากและซับซ้อนกว่าพื้นที่แหล่งน้ำไหลอื่น ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้น ทั้งนี้ เนื่องจากเมื่อพิจารณาในเชิงที่ตั้งแล้ว พื้นที่ปากแม่น้ำจัดอยู่ในส่วนของทะเลถึงมากกว่า 60-70 % ของพื้นที่โดยรวม ทำให้ยากต่อการจัดการ หรือจำเป็นต้องใช้งบประมาณในการดำเนินการที่สูงกว่า การฟื้นฟูระบบนิเวศปากแม่น้ำที่เกิดปัญหาต่าง ๆ ทางสิ่งแวดล้อม จึงมักถูกมองข้ามไป (ยกเว้นในกรณีที่บางครั้งเกิดปัญหาด้านมลภาวะที่รุนแรง หรือเป็นประเด็นที่สังคมจับตามอง อาทิ กรณีเรือบรรทุกน้ำมันล่ม เป็นต้น)

ทางปฏิบัติที่เป็นไปได้มากสำหรับการอนุรักษ์คุณภาพทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ปากแม่น้ำ คือ การหาทาง “ป้องกัน” ปัญหามลภาวะก่อนที่จะเกิดหรือควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาในระดับที่รุนแรงไปมากกว่านี้ โดยการดำเนินการจัดการควบคุมปริมาณการปล่อยของเสียจากแผ่นดินทุกรูปแบบอย่างจริงจัง

ในกรณีที่พื้นที่ปากแม่น้ำมีการใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (**ภาพที่ 7.7**) โดยเฉพาะกิจกรรมการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปักหลัก หรือทำคอกอยู่ประจำที่ ลักษณะการใช้ประโยชน์ในบริเวณส่วนต่าง ๆ ของปากแม่น้ำ อาจทำให้เกิดผลกระทบในทางลบต่อระบบนิเวศทั้งระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งท้ายที่สุดอาจเป็นปัญหาต่อสัตว์น้ำที่ทำการเพาะเลี้ยงได้ มีกรณีตัวอย่างในการใช้พื้นที่เพื่อการเลี้ยงหอยในเขตปากแม่น้ำเวฬุ (จันทรา, 2546) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศทีละน้อย โดยเฉพาะด้านการสะสมของตะกอนสารอินทรีย์ที่เกิดมากขึ้นในพื้นท้องน้ำบริเวณที่น้ำไม่ค่อยเคลื่อนตัว และพบปัญหาการลดต่ำของออกซิเจนละลายน้ำตามมา

กรณีศึกษาในด้านการเลี้ยงหอยแครงในพื้นที่ปากแม่น้ำอ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี ที่มีการเลี้ยงติดต่อกันมาเป็นระยะเวลายาวนานหลายทศวรรษ ปัจจุบันพบสภาพความกดดันที่เกิดจากทั้งสภาวะน้ำเสียที่ไหลลงมาบ่อยครั้ง ระบบการเลี้ยงที่ยังขาดการประสานความเข้าใจ/การ

แลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างผู้ประกอบการด้วยกัน และการขาดแนวทางหรือตัวอย่างในการจัดการระบบดินพื้นท้องน้ำที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการส่งเสริมการเลี้ยงหอยได้อย่างยั่งยืน มีงานศึกษาวิจัย *ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางนิเวศอุทกวิทยาต่อศักย์การผลิตทรัพยากรหอยแครง* เกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2554-2556 (จารุมาศและคณะ, 2556) ซึ่งดำเนินการภายใต้เป้าหมายการอนุรักษ์และการพัฒนาแหล่งน้ำในบริเวณอ่าวบางตะบูนเพื่อการใช้ประโยชน์ ทั้งด้านการประมงและการเพาะเลี้ยงหอยแครงอย่างคุ้มค่าและยั่งยืน

ภาพที่ 7.7 ลักษณะการใช้ประโยชน์ในพื้นที่เขตปากแม่น้ำด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ภาพบนซ้าย; ปากแม่น้ำเวฬุ จังหวัดจันทบุรี, ภาพอื่น ๆ; ปากแม่น้ำบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี)

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในแต่ละเขตย่อยของปากแม่น้ำอ่าวบางตะบูน มีศักยภาพทางธรรมชาติที่แตกต่างกันออกไป และได้รับอิทธิพลอย่างชัดเจนจากการเคลื่อนตัวของมวลน้ำในระบบการขึ้นลงของน้ำ ทิศทางของกระแสน้ำภาพรวมจะเหนี่ยวนำให้มวลเบาและอนุภาคแขวนลอยต่าง ๆ ถูกพัดลงมายังอ่าวทางทิศใต้ และพบว่าปัจจัยชี้วัดทางอุทกนิเวศวิทยาที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตของหอยแครงในพื้นที่ คือ ปัจจัยด้านความเค็มของน้ำ ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวม และปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* (โดยระดับความเค็มของน้ำและปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมมีบทบาทในทางบวกต่ออัตราการเจริญเติบโตของหอยแครง ส่วนระดับของคลอโรฟิลล์ *เอ* แสดงบทบาทในทิศทางที่ผกผัน) นอกจากนี้ ยังพบว่าผลผลิตหอยแครงได้รับ

ผลกระทบจากน้ำเสียที่มาจากแผ่นดิน รวมทั้งน้ำเสียที่มีการขนถ่ายมาทิ้งโดยเรือในเขตทะเลใกล้เคียง

งานศึกษาสถานภาพและการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของดินพื้นท้องน้ำในพื้นที่อ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี (พิชาศิษฐ์และจารุมาศ, 2555) มีเป้าหมายเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ซึ่งเชื่อมโยงสู่ศักยภาพในการผลิตหอยแครงอย่างยั่งยืนนั้น พบว่าพื้นที่เลี้ยงภาพรวมมีความอุดมสมบูรณ์ด้านสารอินทรีย์ในดินค่อนข้างสูง (6.92-14.39 %) โดยเฉพาะบริเวณดอนทางด้านทิศใต้ ซึ่งน่าจะมีการทับถมของตะกอนอินทรีย์มากกว่าบริเวณอื่น และส่งผลให้บริเวณนั้นมีอัตราผลิตของหอยแครงสูงกว่าส่วนอื่น ระดับของซัลไฟด์ในดินพื้นท้องน้ำมีค่าที่สูงขึ้นตามเวลา (สูงสุดถึง 1.721 mg/g ซึ่งเป็นระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ) และพบการสะสมในหลายชั้นความลึกของดิน นับเป็นเรื่องที่ควรพิจารณาหาทางแก้ปัญหา เพื่อการอนุรักษ์สภาพแวดล้อมที่ดีและการส่งเสริมประสิทธิภาพในการเลี้ยงในพื้นที่ต่อไป ทั้งนี้ การศึกษาที่ผ่านมาของกาญจนาและจารุมาศ (2558) ในด้านสมดุลนิเวศของพื้นท้องน้ำ ได้ประมวลความรู้ทางชีววิทยาและนิเวศวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายและการเกิดทดแทนที่ของประชากรสัตว์พื้นท้องน้ำ และเสนอแนวทางการฟื้นฟูสภาพดินพื้นท้องน้ำ งานศึกษานี้ได้แนะนำให้มีการ *"พักดิน"* ไว้อย่างน้อย 3-6 เดือน ก่อนที่จะทำการปล่อยหอยรุ่นต่อไป ทั้งนี้ เพื่อให้เวลาในการฟื้นตัวของประชากรสัตว์พื้นท้องน้ำตามธรรมชาติ (โดยเฉพาะชนิดที่ทนทานและฟื้นคืนประชากรได้ง่าย) ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ดินพื้นท้องน้ำมีตัวช่วยบำบัดมลพิษตามธรรมชาติ นับเป็นการอนุรักษ์สภาพหน้าดินให้มีคุณลักษณะทางชีวภาพที่เหมาะสมและใช้ประโยชน์ในระยะยาวต่อไปได้

อนึ่ง ปัจจัยด้านการได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในด้านการปรับรูปแบบการเลี้ยง การแก้ไขปัญหา และการจัดการการเลี้ยงหอยแครงระหว่างเกษตรกรผู้เลี้ยง ก็นับว่ามีบทบาทต่อการส่งเสริมให้เกษตรกรมีความพร้อมและสามารถแก้ไขปัญหาหรือจัดการการเลี้ยงหอยแครงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (จารุมาศและคณะ 2556) โดยแนวทางของการจัดการทรัพยากรที่เหมาะสมและจะทำให้เกิดความยั่งยืน คือ การที่ทุกฝ่าย (ทั้งกลุ่มผู้นำ ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และชาวประมง) หันมาร่วมกันพิจารณาทางออกภายใต้ฐานข้อมูลความรู้ที่มี ทั้งนี้ ชุมชนควรมีการทบทวนการปฏิบัติตามกฎระเบียบ และ/หรือมีการสร้างข้อตกลงร่วมในการใช้ประโยชน์และการดูแลพื้นที่ให้เกิดขึ้นอย่างเป็นธรรม

ยังมีความพยายามของนักนิเวศวิทยาทางน้ำที่ศึกษาในเชิงสุขภาพของระบบนิเวศ (Ecosystem Health; Costanza *et al*., 1992) และเน้นให้สังคมตระหนักถึงความจำเป็นที่เราทุกคนทุกภาคส่วนควรหันมาให้ความสนใจในระบบนิเวศ และช่วยกันดูแลให้ระบบนิเวศมีคุณภาพที่ดีต่อไปได้ ในการนี้ ยังมีการใช้ความรู้เชิงบูรณาการซึ่งประเมิน "มูลค่า" ของการบริการโดยระบบนิเวศ (Ecosystem Services; Wallace 2007) โดยมีจุดเด่นในการวิเคราะห์มูลค่าทางนิเวศวิทยา (Ecological Value) ซึ่งเป็นการนำเสนอมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์อย่างเป็นรูปธรรม

ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน มีการศึกษาวิเคราะห์มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตทางการประมง (*โครงการประเมินผลผลิตทางชีวภาพและมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของทรัพยากรประมงในระบบนิเวศปากแม่น้ำท่าจีน;* จารุมาศและคณะ 2557) รวมถึงมูลค่าในศักยภาพ

ของพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนด้านการบำบัดมลภาวะ ซึ่งอยู่ภายใต้ชุดโครงการวิจัย *"การประเมินคุณค่าของพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำภายใต้หลักสมดุลธรรมชาติ"* ซึ่งดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2555-2556 ผลการศึกษาแสดงมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนโดยรวม ประกอบด้วยมูลค่าจากผลผลิตทางการประมงที่เกิดบริเวณกลางอ่าวจากพื้นที่ฝั่งตะวันตก และพื้นที่ฝั่งตะวันออก (392 ล้านบาท/ปี) และมูลค่าในเชิงศักยภาพการบำบัดมลภาวะด้านไนโตรเจนที่ปนเปื้อนในรูปอนินทรีย์สาร (6,550 ล้านบาท/ปี) ซึ่งรวมแล้วสูงถึงประมาณ 7,000 ล้านบาท/ปี

มูลค่าทางนิเวศวิทยาดังกล่าว อาจไม่ได้รับการตระหนักในวงสังคมหากขาดการนำข้อมูลความรู้ไปประชาสัมพันธ์อย่างทั่วถึง ทั้งนี้ เนื่องจากในปัจจุบันเรายังขาดการสร้างระบบการประชาสัมพันธ์ หรือการส่งเสริมการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ (Netharn *et al.*, 2013) ทำให้ข้อมูลความรู้ยังไม่ได้รับการส่งต่อเท่าที่ควร และการสร้างความตระหนักถึงความสำคัญและปัญหาต่อสังคมในวงกว้างจึงยังไม่เกิดขึ้นอย่างเพียงพอ

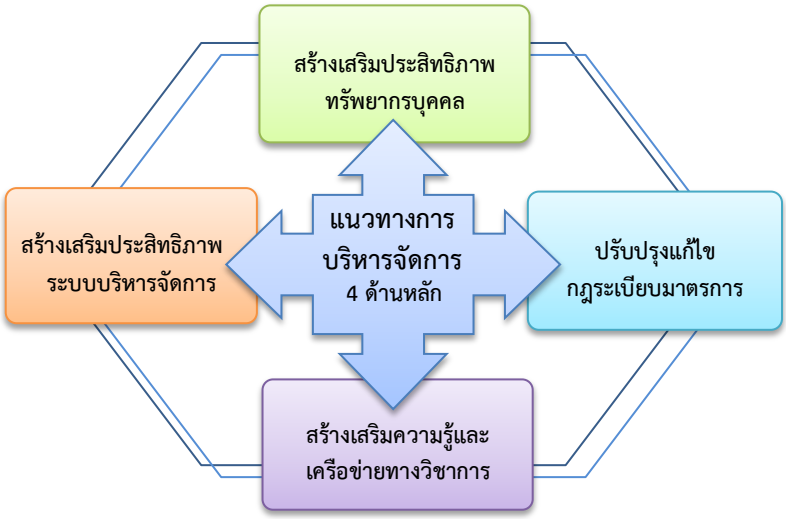
จากประสบการณ์การศึกษาและความพยายามแก้ปัญหาด้านยูโทรฟิเคชันของระบบนิเวศแหล่งน้ำในหลายประเทศที่มีมา แสดงให้เห็นว่าเพียงความพยายามทางวิชาการในการหาคำตอบที่ชัดเจนถึงความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุอาหารและผลผลิตทางการประมงในแหล่งน้ำ ยังไม่สามารถใช้แก้ไขปัญหาที่เกิดต่อทรัพยากรในแหล่งน้ำได้ อย่างไรก็ตาม เป็นที่แน่นอนว่าการศึกษาค้นคว้าและการติดตามผลทางวิชาการในหลายด้านนั้น ยังจำเป็นต้องดำเนินการต่อไปบนหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่ชัดเจนและสมเหตุสมผล ขณะเดียวกันกระบวนการในการขับเคลื่อนเชิงรุกเพื่อการหยุดยั้งสาเหตุแห่งปัญหานับเป็นสิ่งที่สังคมควรตระหนักและให้ความสำคัญนับตั้งแต่วันนี้ การผลักดันให้มีการบังคับใช้กฎหมายหรือมาตรการที่เกี่ยวกับการดูแลคุณภาพน้ำ เป็นเรื่องสำคัญอีกด้านหนึ่งที่ต้องดำเนินการไปพร้อม ๆ กัน นอกจากนี้ การสร้างความร่วมมือในการสอดส่องดูแลปัญหา รวมถึงการสร้างความรู้ความเข้าใจและความร่วมมือจากผู้คนที่มีส่วนในการใช้ประโยชน์นับเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่ง ที่จะทำให้การอนุรักษ์คุณภาพทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่แหล่งน้ำแต่ละแห่งเกิดขึ้นได้อย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืน

7.3) ปัจจัยที่มีบทบาทต่อความสำเร็จในการบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์

ในการบริหารจัดการด้านการอนุรักษ์ รวมถึงการพัฒนา หรือ การฟื้นฟูพื้นที่ระบบนิเวศแหล่งน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ พบว่า การใช้ "ความรู้ในเชิงวิชาการ" เป็นเพียงแค่ก้าวแรกๆ หรือเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบภาพรวม ที่ยังไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าการบริหารจัดการนั้น ๆ จะสำเร็จหรือไม่ การบริหารจัดการที่ดี หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็น "การบริหารจัดการในอุดมคติ" ควรมีการคำนึงถึงประเด็นสำคัญอื่น ๆ อีก อาทิ การค้นคว้าวิจัยที่ตรงจุดและต่อเนื่อง การมีกฎหมายและการบังคับใช้กฎหมายที่มีประสิทธิภาพ การให้การศึกษาในสังคมอย่างเพียงพอ การใช้กระบวนการ

ทางการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ และการประยุกต์ใช้กลยุทธทางเศรษฐกิจและ/หรือทางการเมืองมาช่วย ฯลฯ

จากประสบการณ์การศึกษาปัญหาในแหล่งน้ำที่ผ่านมา พบว่าการบริหารจัดการเพื่อการอนุรักษ์ที่มีประสิทธิภาพ ควรมุ่งเน้นแนวทาง 4 ด้านหลัก ได้แก่ 1) การสร้างเสริมความรู้และเครือข่ายทางวิชาการ 2) การปรับปรุงแก้ไขกฎระเบียบและมาตรการ 3) การสร้างเสริมประสิทธิภาพระบบการบริหารจัดการ และ 4) การสร้างเสริมประสิทธิภาพทรัพยากรบุคคล (**ภาพที่ 7.8**)



ภาพที่ 7.8 แนวทางในการบริหารจัดการเพื่อการอนุรักษ์และฟื้นฟูสถานภาพทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

โดยทั้งนี้ แนวทางแต่ละด้าน ควรมีความเหมาะสมกับแต่ละสภาพทางธรรมชาติของพื้นที่และการใช้ประโยชน์ของผู้คนที่เกี่ยวข้อง แนวทางที่กำหนดอย่างรัดกุมและชัดเจน จะสามารถนำไปสู่การกำหนดแผนปฏิบัติการและ/หรือโครงการที่สอดคล้องกับเป้าหมายเพื่อการดำเนินการอย่างเป็นรูปธรรม นอกจากนี้ ยังสามารถพัฒนารูปแบบการศึกษาวิจัยหรือการส่งเสริมความรู้สู่ชุมชนที่จะยังประโยชน์ต่อการบริหารจัดการทรัพยากรในพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม แนวทาง 4 ด้านข้างต้น มีรายละเอียดดังนี้

7.3.1) การสร้างเสริมความรู้และเครือข่ายทางวิชาการ

การให้ความรู้สู่สังคม การสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ เพื่อให้คนในสังคมได้มีความรู้ที่ถูกต้อง เพียงพอ และการสร้างความตระหนักในปัญหาร่วมกันได้นั้น ปัจจุบันได้รับการยอมรับว่าเป็นหัวใจของการขับเคลื่อนเพื่อการแก้ปัญหาในแทบทุกด้านของประเทศ

การให้ศึกษาแก่ประชาชนในสังคมทุกภาคส่วน ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานหรือองค์กรที่รับผิดชอบด้านการบริหารจัดการ ประชาชนที่เป็นผู้ผลิตทรัพยากร ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ชาวประมง รวมทั้งผู้บริโภค หรือผู้ที่เข้าไปใช้ประโยชน์ในแหล่งน้ำ ฯลฯ อย่างทั่วถึง จะทำให้การบริหารจัดการทรัพยากรและระบบนิเวศแหล่งน้ำเกิดได้อย่างราบรื่น จากความร่วมมือโดยทุกภาคส่วน และก่อให้เกิดผลสำเร็จตามเป้าหมายได้ในที่สุด

ภาพที่ 7.9 ลักษณะการจัดเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้และพูดคุยถึงสถานการณ์ปัญหาปัจจุบันกับชุมชนประมงในพื้นที่ภูมิภาคต่าง ๆ ไปพร้อม ๆ กับการสอดแทรกแนวคิดในเชิงอนุรักษ์ และการหาแนวทางการจัดการร่วมโดยชุมชนที่เหมาะสม

ในด้านการส่งเสริมชุมชน เพื่อเป้าหมายการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำ และการดูแลจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนาสามารถทำได้โดยการเพิ่มโอกาสการรับรู้ข่าวสารและ/หรือการมีแหล่งข่าวสารที่ดีให้ชุมชนอย่างต่อเนื่อง มีกระบวนการที่เน้นย้ำให้ชุมชนเห็นถึงประโยชน์ที่จะได้รับ นอกจากนี้ การสร้างกิจกรรมร่วมในระหว่างกลุ่มเพื่อการศึกษาวิเคราะห์ การวางแผนดูแลรักษา และการใช้ประโยชน์จากสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร (**ภาพที่ 7.9**) การสร้างเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้ การสร้างและขยายเครือข่ายในความร่วมมือ จะช่วยให้เกิดการประสานประโยชน์และสร้างความเข้าใจอันดีต่อกัน ซึ่งจะสร้างเสริมการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำในแต่ละพื้นที่ที่ร่วมกันดูแลได้ต่อไป

สำหรับประเด็นด้านการค้นคว้าวิจัยนั้น การค้นคว้าวิจัยเชิงวิชาการที่ตอบปัญหาได้ตรงจุดทันต่อเหตุการณ์ รวมทั้งมีความต่อเนื่องในช่วงเวลาที่เหมาะสมกับการตอบสนองของปัจจัยทางชีวภาพในแหล่งน้ำและ/หรือครอบคลุมในวงชีวิตของทรัพยากรเป้าหมายที่ควรติดตาม จะทำให้ได้ข้อมูลความรู้เพื่อประเมินสถานการณ์ของทรัพยากรและแหล่งน้ำแต่ละพื้นที่ได้ สามารถนำไปสู่การวางแผนแก้ปัญหา หรือรับมือกับสถานการณ์ปัญหาที่อาจจะเกิดจากการใช้ประโยชน์ในระยะต่อไปได้อย่างรัดกุมเหมาะสม

ตัวอย่างประเด็นการศึกษาวิจัยที่วงวิชาการต้องการ สำหรับการวางแผนอนุรักษ์และฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรสัตว์น้ำเศรษฐกิจในพื้นที่เขตทะเลของไทย (จารุมาศและคณะ 2556) ประกอบด้วยหัวข้อการวิจัย อาทิ ศักย์การผลิตทรัพยากร การเกิดทดแทนที่และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรสัตว์น้ำในพื้นที่เขตจำเพาะต่าง ๆ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศ พลวัตห่วงโซ่อาหารตามธรรมชาติและพื้นท้องน้ำที่มีต่อทรัพยากร สถานภาพและแนวโน้มการใช้ประโยชน์จากทรัพยากร สมรรถนะของชุมชนในการขับเคลื่อนกลุ่มอย่างเข้มแข็งและเทคนิควิธีในการพัฒนานักส่งเสริมที่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น

7.3.2) การปรับปรุงแก้ไขกฎระเบียบและมาตรการ

ปัญหาในทรัพยากรและระบบนิเวศแหล่งน้ำที่มีมานาน ส่วนหนึ่งสะท้อนผลจากปัญหาความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ในการกำหนดปัจจัยชี้วัด หรือกำหนดพื้นที่ควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ไม่เหมาะสมกับธรรมชาติของทรัพยากรและระบบนิเวศแหล่งน้ำนั้น ๆ มาตรการบางอย่างล้าหลัง ไม่ทันต่อเหตุการณ์ นอกจากนี้ ยังมีการปล่อยปละละเลยในการการบังคับใช้กฎหมาย มีการละเมิดกฎหมายหรือมาตรการที่จำเพาะพื้นที่อยู่ตลอดเวลา

ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรสัตว์น้ำในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน (จารุมาศและคณะ 2556) พบว่าปัญหาการขาดประสิทธิภาพในการบังคับใช้กฎหมายนับเป็นปัญหาที่สะสมมานาน ทั้งนี้พบว่าการพัฒนาประสิทธิภาพในการบังคับใช้กฎหมาย และการบริหารจัดการปริมาณการทำประมงอย่างรัดกุม จะนำไปสู่ความสำเร็จในการอนุรักษ์และฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรสัตว์น้ำได้ อย่างไรก็ตาม การขับเคลื่อนที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องอาศัยองค์ประกอบหลายด้าน อาทิ การมีนโยบายทางเศรษฐกิจและการปกครองอย่างชัดเจน ความมุ่งมั่นของผู้บังคับใช้กฎหมาย การมีจิตสำนึกของผู้ถูกบังคับใช้กฎหมาย การมีนักส่งเสริมชุมชนที่มีประสิทธิภาพ การมีงานทางวิชาการที่รองรับอย่างเพียงพอ (เช่น การประเมินศักย์การผลิตและปริมาณการจับสัตว์น้ำที่เหมาะสมกับเขตพื้นที่ต่าง ๆ) และการมีกระบวนการบริหารจัดการทรัพยากรทางน้ำระดับประเทศถึงระดับท้องถิ่นที่ชัดเจนและเป็นขั้นตอนสะดวกต่อการดำเนินการ เป็นต้น

7.3.3) การสร้างเสริมประสิทธิภาพระบบการบริหารจัดการ

ในการสร้างเสริมประสิทธิภาพระบบการบริหารจัดการนั้น แนวทางการประยุกต์ใช้กลยุทธทางเศรษฐกิจ อาทิ การกีดกันทางการค้าสำหรับทรัพยากรหรือผลผลิตจำเพาะชนิด ที่ได้มาจากกระบวนการที่ขาดการอนุรักษ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ดี การประกันราคาสัตว์น้ำที่มีคุณภาพสูง การไม่รับซื้อ/ขายสัตว์น้ำที่มีไข่หรือมีขนาดไม่ถึงวัยเจริญพันธุ์ รวมทั้งการส่งเสริมให้ผู้บริโภคเลือกซื้อหรือบริโภคเฉพาะสินค้าสัตว์น้ำที่ถูกสุขลักษณะหรือไม่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อม ฯลฯ นับเป็นแนวทางที่สร้างเสริมประสิทธิภาพในการบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์ได้ จารุมาศและคณะ (2556) ยังแสดงให้เห็นว่า ระบบการจัดการคุณภาพสัตว์น้ำเพื่อการเพิ่มมูลค่าและการพัฒนาเศรษฐกิจของชาวประมงภายใต้การวิเคราะห์โอกาสในเส้นทางสายโซ่อุปทานของสัตว์น้ำ จะช่วยแก้ปัญหาด้านราคาสัตว์น้ำที่มีและพัฒนาระบบธุรกิจสัตว์น้ำอย่างครบวงจร ซึ่งจะนำไปสู่การอนุรักษ์ทรัพยากรสัตว์น้ำได้

สำหรับแนวทางการประยุกต์ใช้ยุทธวิธีทางการเมือง อาทิ การกระจายอำนาจบริหารจัดการแหล่งน้ำสู่ระดับท้องถิ่น หรือการให้มีการบริหารจัดการภายใต้มาตรการเชิงพื้นที่ ฯลฯ มาช่วยดำเนินการเพื่อการส่งเสริมการบริหารจัดการทรัพยากรและระบบนิเวศแหล่งน้ำนั้น จัดเป็นแนวคิดที่ดีและสามารถก่อให้เกิดการขับเคลื่อนการกำหนดกระบวนการบริหารจัดการ รวมทั้งการดำเนินการตามขั้นตอนเชิงปฏิบัติต่าง ๆ ได้อย่างเป็นรูปธรรม นับเป็นแนวทางที่เป็นประโยชน์หากได้พิจารณาศึกษาและนำมาใช้อย่างเหมาะสมกับธรรมชาติของทรัพยากรและระบบนิเวศแหล่งน้ำเป้าหมายนั้น

7.3.4) การสร้างเสริมประสิทธิภาพทรัพยากรบุคคล

ปัญหาที่พบในการส่งเสริมการอนุรักษ์ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ชุมชน โดยเฉพาะชุมชนประมงตามภูมิภาคชายฝั่งทะเลต่าง ๆ ของไทยเรา คือ ปัญหาสมรรถนะของชุมชนในด้านความรู้และการมีส่วนร่วมในกิจกรรมต่าง ๆ มีระดับต่ำ ในชุมชนทั่วไปยังขาดการวางแผนการใช้ประโยชน์ทรัพยากรในระยะยาว ขาดความรู้ด้านสิ่งแวดล้อม และแนวทางการใช้ประโยชน์ทรัพยากรประมงที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลไปถึงความไม่พร้อมของชุมชนในการกำหนดระเบียบหรือข้อตกลงการใช้ประโยชน์ในทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการติดตามตรวจสอบกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดในพื้นที่

ประเด็นสำคัญด้านชุมชนที่ควรเร่งพัฒนา คือ ทักษะและความสามารถของคนหรือผู้นำในชุมชน ซึ่งที่ผ่านมามักพบว่าคนในชุมชนมีทักษะน้อยในด้านการทำงานเชิงกลุ่ม และขาดความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์อย่างเพียงพอ นอกจากนี้ ตัวผู้นำชุมชนทั่วไปยังมีทักษะน้อยในด้านการริเริ่มใหม่ ๆ ขาดแนวทางการประเมินปัญหาในการทำประมง/การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการให้คำแนะนำในการดูแลทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่จะเป็นประโยชน์ต่อส่วนรวม อนึ่ง การส่งเสริมให้เกิดการรับข้อมูลข่าวสารด้านสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ และการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์แนวทางการใช้ประโยชน์ระหว่างชาวประมงและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหลายกลุ่ม จะเป็นการส่งเสริมความพร้อมเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงในสภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำได้อย่างเหมาะสม และยังสามารถวางแผนการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กรณีศึกษาในงานวิจัยของ เสาวภาและคณะ (2555) พบว่าการขับเคลื่อนการบริหารจัดการเพื่อการแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมให้เกิดขึ้นได้อย่างเป็นรูปธรรมนั้น “หน่วยงานของภาครัฐ” หลายฝ่ายจำเป็นต้องร่วมมือกันขับเคลื่อนแผนการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่มีอย่างจริงจัง ทั้งนี้ต้องให้ชุมชนท้องถิ่นและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้ *เข้าใจ* และ *เข้าถึง* ความรู้เกี่ยวกับพื้นที่อย่างเพียงพอเพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนได้ ทั้งนี้ “กลยุทธ”ในการพัฒนาที่สำคัญ คือ การที่ภาครัฐมีนโยบายพัฒนาการศึกษาหลักสูตรจำเพาะท้องถิ่น โดยให้มีการเรียนการสอนในวิชาด้านทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่นนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม ควรมีการวิจัยเพื่อผลิตหนังสือที่เป็นเนื้อแท้ของท้องถิ่นนั้น ๆ ออกมาให้ชัดเจน ในลักษณะการใช้เป็นคู่มือสำหรับการถ่ายทอดได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ควรมีการจัดทำแผนพัฒนาบุคคลากรที่รับผิดชอบด้านการถ่ายทอดความรู้ (อาทิ ครูวิทยาศาสตร์) เพื่อให้มีรากฐานทางวิชาการที่เข้มแข็ง และมีความเป็นผู้นำในการปลูกสร้างจิตสำนึกสู่เยาวชนและผู้คนที่เกี่ยวข้องในวงกว้างต่อไปได้

จะเห็นได้ว่าการสร้างเสริมประสิทธิภาพของชุมชน เป็นแนวทางการบริหารจัดการที่มีความจำเป็น ทั้งนี้เนื่องจาก “คนในชุมชน” เป็นผู้มีบทบาทโดยตรงต่อทรัพยากรสัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อมทางน้ำ การสร้างเสริมประสิทธิภาพของชุมชนจำเป็นต้องมีการปลูกฝังความรู้ความเข้าใจต่าง ๆ ผ่านกระบวนการทางการสื่อสาร ทั้งนี้พบว่า กระบวนการทางการสื่อสารนับเป็นเรื่องที่ขาดทั้งด้านความรู้และการให้ความสำคัญ และเป็นปัญหาในการขับเคลื่อนการบริหารจัดการเพื่อแก้ปัญหาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมมาโดยตลอด ในการนี้ หากได้มีการพิจารณาและหาทาง

ดำเนินการแก้ไข โดยใช้คุณลักษณะของงานด้านการประชาสัมพันธ์/การสื่อสารที่เหมาะสม มาช่วยในการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำให้เกิดได้ในวงกว้าง (อาทิ การสร้างโอกาสการได้รับข่าวสารข้อมูลความรู้ในชุมชน การสร้างสื่อประชาสัมพันธ์ที่เหมาะสมกับวิถีชุมชน การพัฒนานักส่งเสริมที่มีประสิทธิภาพ การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ความรู้ การสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์ทรัพยากรทางน้ำ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในระหว่างหน่วยงานภาครัฐที่รับผิดชอบในการบริหารจัดการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และการสร้างเครือข่ายในแวดวงทางวิชาการอย่างเพียงพอ ฯลฯ) การบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่มีประสิทธิภาพย่อมเกิดตามมาได้

ในด้านชุมชนและการแก้ปัญหาด้านแหล่งน้ำนั้น ประเด็นสำคัญหนึ่งที่ได้จากการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์การวิเคราะห์สถานการณ์การจัดการแหล่งน้ำที่ต่าง ๆ (Grumbine, 1994; Chamber, 1994, 1997; Pound *et al*., 2003; Fraser *et al*., 2006) คือ พบว่าการที่จะสร้างความร่วมมือในการติดตามปัญหาคุณภาพทรัพยากรหรือสิ่งแวดล้อมได้นั้น จำเป็นต้องให้คนในชุมชน ณ พื้นที่แหล่งน้ำได้มีส่วนร่วมในการเป็นหูเป็นตา หรือมีส่วนร่วมในการเฝ้าระวังและติดตามปัญหาได้ด้วยตนเอง ซึ่งในความร่วมมือดังกล่าว การเลือก “ปัจจัย” ที่ใช้ในการติดตาม (หรือปัจจัยชี้วัด) จึงจำเป็นต้องอยู่บนพื้นฐานความรู้ความเข้าใจและการยอมรับได้ของชุมชน โดยบางครั้งอาจจำเป็นต้องให้ชุมชนได้เป็นผู้กำหนดเองว่าในพื้นที่แหล่งน้ำที่ดูแลจะใช้อะไรเป็นปัจจัยสังเกตได้ดีที่สุด

ในบางกรณี ควรจัดกิจกรรมส่งเสริมให้ความรู้ ให้การแนะนำ หรือถ่ายทอดแนวทางหรือเทคนิควิธีการในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการตรวจวัด ถ้าเป็นไปได้ก็ควรมีการจัดหาเครื่องมือนั้นประจำไว้ในพื้นที่ เพื่อให้เกิดการรับผิดชอบติดตามตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่อง ผลการศึกษาติดตามสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยชุมชนมาเป็นผู้รับผิดชอบดำเนินการเอง จะเป็นผลที่ทันต่อเหตุการณ์และสะท้อนสภาพความเป็นจริงได้ดีที่สุด ซึ่งผลที่ได้จำเป็นต้องนำไป “ส่งต่อ” โดยกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ถึงมือหน่วยงานหรือองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจบริหารจัดการโดยตรง

การสร้างความตระหนักในมูลค่าภาพรวมของระบบนิเวศทางน้ำและปัญหาที่เกี่ยวข้องกับความขาดเสถียรภาพในสถานการณ์ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ สามารถใช้การจัดเวทีประชุมระดมความคิดระหว่างภาคชุมชน/ภาครัฐ/และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกภาคส่วน ให้โอกาสการนำเสนอข้อมูลความรู้ที่ได้เรียนรู้ร่วมกันภายใต้การเน้นย้ำถึงความสำคัญของพื้นที่ที่มี และสร้างเป้าหมายร่วมกันในด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูสถานภาพทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำต่อไป

7.4) บทสรุปภาพรวม

ภาพรวมของการศึกษาติดตามสถานการณ์ปัญหาในแหล่งน้ำต่าง ๆ ที่ผ่านมา ได้ให้แนวคิดสำคัญว่า วิทยาศาสตร์หรือศาสตร์ทางนิเวศอุทกวิทยาที่ได้กล่าวมาตั้งแต่ต้น เป็นเพียงแค่ *"เครื่องมือ"* ที่ใช้ในการหาหลักฐานหรือใช้ติดตามความเป็นไป แต่การตระหนักอย่างถ่องแท้ว่าหลักฐานนั้นมีคุณค่าพอที่จะยอมรับหรือมีคุณค่าอย่างแท้จริง ซึ่งก่อให้เกิดการขับเคลื่อนเพื่อการบริหารจัดการอย่างใดอย่างหนึ่งนั้น ย่อมต้องอาศัย *"กระบวนการทางสังคม"* ด้านต่าง ๆ เข้ามามีบทบาท นอกจากนี้ อาจจำเป็นต้องอาศัยแรงผลักดันทาง *เศรษฐกิจ* และ *การเมือง* ที่จะทำให้ผู้คนในสังคมวงกว้างได้ยอมรับและนำไปสู่การปฏิบัติอย่างแท้จริง

ด้วยความรู้ความเข้าใจดังกล่าว การบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์ทุกด้านที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรและแหล่งน้ำจากนี้ จึงควรให้ความสำคัญในการพัฒนาความรู้ความเข้าใจของคนหรือชุมชนที่เป็นหัวใจของการขับเคลื่อน ไปพร้อม ๆ กับการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ที่กำลังก้าวเดินไป ทั้งนี้ การพัฒนาเชิงชุมชนมีกระบวนการที่ใช้กันอยู่หลายแนวทาง แต่สำหรับในสถานการณ์ของชุมชนที่เกี่ยวข้องกับระบบทรัพยากรสัตว์น้ำของไทยโดยตรงนั้น ประเด็นจุดอ่อนสำคัญที่มักพบคือ การที่ชุมชนยังขาดผู้นำในการขับเคลื่อนที่ชัดเจน ยังขาดผู้นำที่กล้าในการตัดสินใจ และคิดเชิงรุกเพื่อการวางแผนไปข้างหน้าอย่างเป็นรูปธรรม

สุดท้ายพบว่า *คำถามสำคัญ* ที่จะนำไปสู่การบริหารจัดการทรัพยากรและระบบนิเวศแหล่งน้ำอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ควรเป็นคำถามที่ถามกันว่า ***"เราทุกคนต้องการเห็นแหล่งน้ำเป็นอย่างไร"*** มากกว่าคำถามทั่วไปที่มักชอบถามว่า *"ตอนนี้แหล่งน้ำอยู่ในสถานการณ์ใด"* เพราะคำถามแรกเป็นการกำหนดเป้าหมาย และจะทำให้เกิดการแก้ปัญหา และการวางแผนไปสู่เป้าหมายได้อย่างชัดเจนและทันการณ์ ซึ่งก่อให้เกิดการมองต่อไปยังวันข้างหน้า ที่เป็นอนาคตของเราทุกคนได้เป็นอย่างดี

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2549. มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล. ส่วนแหล่งน้ำทะเล สำนักงานการจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2555. มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล. ส่วนแหล่งน้ำทะเล สำนักงานการจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมชลประทาน. 2556. ปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่าวไทย. web.rid.go.th>lproject>const>water25.

กรมป่าไม้. 2555. สถานการณ์พื้นที่ป่าชายเลน จังหวัดสมุทรสาคร. www.forest.go.th/index.php.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2537. การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม. ISBN 974-7570-39-4 พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2537. กองส่งเสริมและเผยแพร่. กรุงเทพ. 130 หน้า.

กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์ ชลาทิพย์ จันทร์ชมภู จารุมาศ เมฆสัมพันธ์ และ เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์. 2549. การประเมินการตอบสนองของแหล่งน้ำต่อภาวะมลพิษที่เกิดจากการใช้ประโยชน์: กรณีศึกษาแม่น้ำบางปะกง เขตอำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา. *ใน* เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 สาขาประมง. หน้า 68-76.

กาญจนา เม่งช่วย และ จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2558. การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของสัตว์พื้นท้องน้ำบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน: กรณีศึกษาเพื่อประเมินพื้นที่จำเพาะสำหรับส่งเสริมพันธุ์หอยพิม. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 9(2) *in press*.

ขนิษฐา บัวแก้ว และ จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2558. ผลกระทบจากการเลี้ยงหอยแครงต่อการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของสัตว์พื้นท้องน้ำในอ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 9(1): 85-95.

จันทรา ศรีสมวงศ์. 2546. ศักยภาพของพื้นที่เลี้ยงหอยบริเวณปากแม่น้ำเวฬุ จังหวัดจันทบุรีและจังหวัดตราด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2542. กำลังผลิตขั้นต้นของแหล่งน้ำ. เอกสารประกอบการสอนวิชากำลังผลิตขั้นต้นของแหล่งน้ำ ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 77 หน้า.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2548. ดินตะกอน. ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 146 หน้า.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2552. รายงานผลการปฏิบัติงานโครงการติดตามผลการศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการในอุทยานแห่งชาติ (การศึกษาวิจัยระบบนิเวศทางน้ำและคุณภาพน้ำในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี และอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานจังหวัดเพชรบุรี). ศูนย์ศึกษาและวิจัยอุทยานแห่งชาติที่ 1 กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2557. กู้วิกฤตปลาทูด้วยฐานความรู้ของสังคมไทย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 22 หน้า.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์ และ ศันศนีย์ หวังวรลักษณ์. 2557. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการประเมินผลผลิตทางชีวภาพและมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของทรัพยากรประมงในระบบนิเวศปากแม่น้ำท่าจีน (ภายใต้แผนวิจัยการประเมินคุณค่าของพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำภายใต้หลักสมดุลธรรมชาติ). ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และ แสงเทียน อัจจิมางกูร. 2554. การบูรณาการองค์ความรู้ทางนิเวศอุทกวิยาเพื่อประเมินมูลค่าทางนิเวศวิทยาของระบบนิเวศปากแม่น้ำและแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง: กรณีศึกษาปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 5(1): 99-108.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, แสงเทียน อัจจิมางกูร, ศันศนีย์ หวังวรลักษณ์, จันทรา ศรีสมวงศ์ และอุไรรัตน์ เนตรหาญ. 2554. รายงานฉบับสมบูรณ์ แผนวิจัยศักย์การผลิตและการอนุรักษ์ทรัพยากรทางน้ำเพื่อพัฒนาเขตการใช้ประโยชน์ในบริเวณลุ่มน้ำท่าจีน. ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, แสงเทียน อัจจิมางกูร, ศันศนีย์ หวังวรลักษณ์, จันทรา ศรีสมวงศ์ และอุไรรัตน์ เนตรหาญ. 2558. รายงานปีที่ 1 โครงการวิเคราะห์ศักย์การผลิตทางนิเวศวิทยาการปรับตัวและการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรประมง ภายใต้แผนงานวิจัยเรื่อง กลยุทธ์การบริหารจัดการร่วมตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียงและการอนุรักษ์สมดุลนิเวศเพื่อความยั่งยืนด้านประโยชน์ทางการประมง: กรณีศึกษาชุมชนประมงจังหวัดชุมพร. ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, ทวีป บุญวานิช, สุชาดา บุญภักดี, แสงเทียน อัจจิมางกูร และ ศันศนีย์ หวังวรลักษณ์. 2556. เส้นทางปลาทูไทย คุณค่า อนาคต และความเสี่ยง. ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 224 หน้า.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, นิตยา ฤทธิ์นิ่ม, ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา และ เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์. 2554. การวิเคราะห์ลักษณะการตอบสนองของสัตว์พื้นท้องน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงทางสิ่งแวดล้อม: แนวทางสู่การจัดการเชิงอนุรักษ์สำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน. *ใน* บทคัดย่อการประชุมวิชาการประมง ครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่, 1-3 ธันวาคม 2554.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ, นิตยา ฤทธิ์นิ่ม, วรรณศิริ ชื่นนิยม และ ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา. 2553. รายงานผลการปฏิบัติงานโครงการติดตามผลการศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการในอุทยานแห่งชาติ (การศึกษาวิจัยระบบนิเวศและคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำในอุทยานแห่งชาติเอราวัณและอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน). ศูนย์ศึกษาและวิจัยอุทยานแห่งชาติที่ 1 กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ร่วมกับภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ, วรรณศิริ ชื่นนิยม, ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา และ นิตยา ฤทธิ์นิ่ม. 2552. รายงานฉบับสมบูรณ์ “โครงการศึกษากระทบจากการท่องเที่ยวต่อทรัพยากรทางน้ำ ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี และอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี เพื่อประเมินขีดความสามารถในการรองรับการใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการในเขตอุทยาน”. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ, วรรณศิริ ชื่นนิยม, ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา และ นิตยา ฤทธิ์นิ่ม. 2555. กระบวนทัศน์ด้านขีดความสามารถทางนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำและการประยุกต์ใช้ความรู้เพื่อการบริหารจัดการเชิงอนุรักษ์: กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติน้ำตกเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี. *ใน* บทคัดย่อการประชุมวิชาการ นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก, 28-29 กรกฎาคม 2555.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ, วรรณศิริ ชื่นนิยม, ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา, นิตยา ฤทธิ์นิ่ม และธรรมนูญ เต็มไชย. 2554. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการติดตามผลการศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเอราวัณ (การศึกษาวิจัยระบบนิเวศและคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ). ศูนย์ศึกษาและวิจัยอุทยานแห่งชาติที่ 1 กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ร่วมกับภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา, ณิศรา ถาวรโสตร์, พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ และ เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์. 2556. การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของปัจจัยชี้วัดมลภาวะทางน้ำในระบบนิเวศลุ่มน้ำท่าจีน: ผลศึกษาติดตามระยะยาวในรอบ 9 ปี. *ใน* บทคัดย่อการประชุมวิชาการประมง ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่, 4-6 ธันวาคม 2556.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา และ เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์. 2554. แนวทางการบริหารจัดการแม่น้ำที่ได้รับภาระด้านแร่ธาตุอาหารสูงภายใต้ฐานข้อมูลทางนิเวศวิทยา: การประยุกต์ใช้ดัชนีชี้วัดทางด้านคลอโรฟิลล์ เอ สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน. *ใน* บทคัดย่อการประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 5 จ. สงขลา, 16-18 มีนาคม 2554.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา, ณิศรา ถาวรโสตร์, พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ และ เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์. 2556. การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของปัจจัยชี้วัดมลภาวะทางน้ำในระบบนิเวศลุ่มน้ำท่าจีน: ผลศึกษาติดตามระยะยาวในรอบ 9 ปี. *ใน* บทคัดย่อการประชุมวิชาการประมง ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่, 4-6 ธันวาคม 2556.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา, พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ, นิตยา ฤทธิ์นิ่ม และ ธรรมนูญ เต็มไชย. 2553. การบูรณาการองค์ความรู้ด้านนิเวศอุทกวิทยาเพื่อการอนุรักษ์ระบบนิเวศทางน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติ: กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ และอุทยานแห่งชาติเอราวัณเขตจังหวัดกาญจนบุรี. *ใน* เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ อุทยาน นันทนาการ และการท่องเที่ยว ครั้งที่ 2. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วันที่ 21-22 มกราคม 2553.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์ และ เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์. 2553. การพัฒนาเกณฑ์คุณภาพน้ำและดินตะกอนพื้นท้องน้ำเพื่อประเมินสถานการณ์ยูโทรฟิเคชันและมลภาวะทางน้ำ: กรณีศึกษาระบบนิเวศแม่น้ำและปากแม่น้ำในพื้นที่แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำบางปะกง และแม่น้ำเวฬุ. วารสารวิชาการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย 24(1): 129-138.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, แสงเทียน อัจจิมางกูร, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, อุไรรัตน์ เนตรหาญ และ จันทรา ศรีสมวงศ์. 2555. บูรณาการความรู้นิเวศอุทกวิทยา ชีววิทยาประชากร และชุมชน เพื่อพัฒนาการเลี้ยงหอยแครงอย่างมีประสิทธิภาพ: กรณีศึกษาอ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี. *ใน* บทคัดย่อการประชุมวิชาการประมง ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่, 6-8 ธันวาคม 2555.

จิรากรณ์ คชเสนี และ นันทนา คชเสนี. 2552. นิเวศวิทยาประยุกต์: การจัดการสิ่งแวดล้อม ทรัพยากร และการพัฒนาที่ยั่งยืน. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพ. 242 หน้า.

ชลาทิพ จันทร์ชมภู. 2549. การศึกษาคุณภาพน้ำและดินตะกอน เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์และมลภาวะของแหล่งน้ำในแม่น้ำบางปะกง เขตอำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ แสงเทียน อัจจิมางกูร จารุมาศ เมฆสัมพันธ์ ศันศนีย์ หวังวรลักษณ์ จันทรา ศรีสมวงศ์ และอุไรรัตน์ เนตรหาญ. 2552. รายงานฉบับสมบูรณ์ ชุดโครงการวิจัยเรื่อง การประเมินบทบาทของปะการังเทียมต่อโครงสร้างของพื้นท้องน้ำและระบบนิเวศของแหล่งน้ำชายฝั่งอำเภอปราณบุรีและอำเภอสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ แสงเทียน อัจจิมางกูร จารุมาศ เมฆสัมพันธ์ ศันศนีย์ หวังวรลักษณ์ จันทรา ศรีสมวงศ์ และอุไรรัตน์ เนตรหาญ. 2557. รายงานฉบับสมบูรณ์ ชุดโครงการวิจัยเรื่อง การประเมินคุณค่าของพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำภายใต้หลักสมดุลธรรมชาติ. ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณิศรา ถาวรโสตร์, จารุมาศ เมฆสัมพันธ์ และ เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์. 2555. สถานการณ์ธาตุอาหารและรูปแบบการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนในบริเวณพื้นที่อ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี. *ใน* บทคัดย่อการประชุมวิชาการประมง ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่, 6-8 ธันวาคม 2555.

ตีรณรรถ ศรีสุนนท์. 2549. การปนเปื้อนของปรอท ตะกั่ว และแคดเมียมจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประเภทป่าไม้และเกษตรกรรมในลุ่มน้ำบางปะกง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และ ดรุณี ผ่องสุวรรณ. 2545. ความเข้มข้นโลหะหนัก Mn, Fe, Ni, Pb, Cr และ Cd ในตะกอนท้องน้ำทะเลสาบสงขลาตอนนอกที่ตกตะกอนระหว่างปี พ.ศ. 2520-2538. วารสารสงขลานครินทร์ วทท. 24(1): 89-106.

ทิพวัลย์ พลเดโช. 2546. การศึกษาคุณภาพดินตะกอนและคุณภาพน้ำในดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำเวฬุ จังหวัดจันทบุรีและจังหวัดตราด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิตยา ฤทธิ์นิ่ม และ จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2554. การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลชีววิทยาสัตว์พื้นท้องน้ำสำหรับประเมินศักย์การผลิตของระบบบ่อเลี้ยงกุ้งวิถีเลียนแบบธรรมชาติ: กรณีศึกษาในบ่อเขตทะเลถึงเขตน้ำกร่อยแนวปากแม่น้ำท่าจีน ตำบลพันท้ายนรสิงห์ จังหวัดสมุทรสาคร. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 5(1): 109-120.

นิตยา เลาหะจินดา. 2546. นิเวศวิทยา: พื้นฐานสิ่งแวดล้อมศึกษา. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 292 หน้า.

บุณฑริกา ทองดอนพุ่ม. 2554. การพัฒนาแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อการประเมินขีดความสามารถในการรองรับมลพิษของระบบนิเวศปากแม่น้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประดิษฐ์ มีสุข. 2542. การหาปริมาณสารหนูและโลหะหนักในดินตะกอนจากทะเลสาบสงขลา. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-สิงหาคม 2542. หน้า 77-82.

ผุสดี เทียนถาวร. 2540. ความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชกับคุณภาพน้ำบางประการในแม่น้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรเทพ เนียมพิทักษ์. 2547. การบำบัดน้ำทิ้งและตะกอนเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabrucius) ระดับห้องปฏิบัติการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ. 2557. การบูรณาการองค์ความรู้ทางนิเวศวิทยา อุทกวิทยา และสัณฐานวิทยาเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางนิเวศอุทกวิทยา: กรณีศึกษาแม่น้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ และ จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2554. อิทธิพลด้านอุทกวิทยาที่มีต่อการแพร่กระจายทางชนิดและปริมาณของพรรณไม้น้ำในแม่น้ำที่มีการควบคุมอัตราการไหล: กรณีศึกษาแม่น้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี. *ใน* บทคัดย่อการประชุมวิชาการประมง ครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่, 1-3 ธันวาคม 2554.

พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ และ จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2555. สถานการณ์ของดินพื้นท้องน้ำในพื้นที่อ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี: แนวโน้มของปัญหาและแนวทางใช้ประโยชน์เชิงอนุรักษ์. *ใน* บทคัดย่อการประชุมวิชาการประมง ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่, 6-8 ธันวาคม 2555.

พิชาศิษฐ์ แสงเมฆ และ จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2556. พรรณไม้น้ำและบทบาทที่มีต่อระบบของออกซิเจนในแม่น้ำเพชรบุรี. *ใน* บทคัดย่อการประชุมวิชาการประมง ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่, 4-6 ธันวาคม 2556.

พิสมัย โพธิ์ศรี. 2544. ผลตกค้างระยะยาวของปุ๋ยฟอสเฟตที่มีต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารของถั่วเหลืองที่ปลูกบนชุดดินสตึก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา. 2556. แบบจำลองพลวัตสารกำจัดศัตรูพืชสำหรับระบบนิเวศทางน้ำแม่น้ำท่าจีน ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภิญญา จำรัสกุล. 2539. การแพร่กระจายของสารกำจัดศัตรูพืชเข้าสู่สภาพแวดล้อม. ข่าวสารวัตถุมีพิษ. 23(3): 125-129.

ภิญญา จำรัสกุล, พงศ์ศรี ใบอดุลย์, พูลสุข หฤทัยธนาสันติ์ และ ศิวาภรณ์ สกุลเที่ยงตรง. 2542. การแพร่กระจายของวัตถุมีพิษในน้ำและดินตะกอนบริเวณลุ่มน้ำแม่กลองและคลองแยก. ข่าวสารวัตถุมีพิษ 26(2): 43-56. http://agkb.lib.ku.ac.th/main/search_detail/result/

มณช์นิศาษ์ ศรีสมวงศ์, จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, แสงเทียน อัจจิมางกูร, ศันศนีย์ หวังวรลักษณ์ และ อุไรรัตน์ เนตรหาญ. 2558. รายงานปีที่ 2 (6 เดือนแรก) โครงการวิเคราะห์ศักย์การผลิตทางนิเวศวิทยาการปรับตัวและการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรประมง ภายใต้แผนงานวิจัย เรื่อง กลยุทธ์การบริหารจัดการร่วมตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียงและการอนุรักษ์สมดุลนิเวศเพื่อความยั่งยืนด้านประโยชน์ทางการประมง: กรณีศึกษาชุมชนประมงจังหวัดชุมพร. ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รังสิมันต์ บัวทอง. 2540. ความสัมพันธ์ระหว่างประชากรแพลงก์ตอนกับความหนาแน่นและฤดูกาลสืบพันธุ์ของหอยสกุล *Solen* ณ ดอนหอยหลอด จังหวัดสมุทรสงคราม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณศิริ ชื่นนิยม. 2555. การประเมินบทบาทของ *Noctiluca scintillans* (Macartney) Ehrenberg ต่อการใช้ธาตุอาหารในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริลักษณ์ ช่วยพนัง. 2541. แพลงก์ตอนสัตว์ในบริเวณป่าชายเลนอำเภอสิเกา จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์ (ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริพร บุญดาว. 2549. ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชกับแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสาคร.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง. 2556. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการประเมินการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและนิเวศอุทกวิทยาบริเวณปากแม่น้ำของพื้นที่อ่าวบางตะบูนจังหวัดเพชรบุรี. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ศูนย์วิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่ง. 2557. รายงานปีที่ 1 ชุดโครงการวิจัยกลยุทธ์เชิงรุกในการบริหารจัดการทรัพยากรสัตว์น้ำในอ่าวไทยภายใต้สภาวะความกดดันทางการประมงและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก: กรณีศึกษาทรัพยากรหมึกบริเวณ อ.ปราณบุรี และ อ.สามร้อยยอด จ.ประจวบคีรีขันธ์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน. 2548. ระบบนิเวศน้ำกร่อยแม่น้ำบางปะกง. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 189 หน้า.

สรณรัชฎ์ กาญจนะวณิชย์ และ นิรมล มูนจินดา. 2545. คู่มือผู้นำนักสืบสายน้ำ. มูลนิธิโลกสีเขียว. อัมรินทร์พริ้นติ้ง. 52 หน้า.

สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2552. รายงานประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2552. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยพัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2552. แผนที่มาตรฐานการแบ่งลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำสาขาของประเทศไทย (อ้างอิงแผนที่ภูมิประเทศ 1: 50,000 ชุด L7018 WGS84 UTM Zone 47N). โรงพิมพ์สหมิตรพริ้นติ้งแอนด์พับลิสชิ่ง ISBN 978-974-286-639-6.

เสาวภา อังสุภานิช, เอกรินทร์ รอดเจริญ, สุทธิวรรณ สุทธิ และ สุธินี หีมยิ. 2555. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การเชื่อมโยงระหว่างการศึกษาพรรณสัตว์พื้นท้องน้ำใต้น้ำในทะเลสาบสงขลาและการถ่ายทอดความรู้สู่ชุมชนท้องถิ่น. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 88 หน้า.

หัตธยา ธงรบ. 2530. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิชาติ เติมวิชชากร และ อภิรดี หันพงศ์กิตติกูล. 2551. ความหลากชนิดของพรรณปลาในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงและลุ่มน้ำปราจีนบุรี. เอกสารวิชาการฉบับที่ 105/2551, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 56 หน้า.

อรอิงค์ เวชสิทธิ์. 2551. การศึกษาคุณภาพน้ำและปริมาณโลหะหนักในน้ำ ดินตะกอนและพรรณไม้น้ำบางชนิดบริเวณแม่น้ำท่าจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adebisi, A. A. 1981. The physico-chemical hydrology of tropical seasonal river-upper Ogun River. *Hydrobiol*. 79: 157-168.

Alabaster, J. S. 1972. Suspended solids and fisheries. *Proc. R. Soc. Lond.* B180: 395-406.

Allan, J. D. 1995. Stream Ecology: Structure and function of running waters. Chapman and Hall, UK. 388 pp.

Allan, J. D. and E. Russek. 1985. The quantification of stream drift. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 210-215.

Allan, J. D., D. L. Erickson and J. Fay. 1997. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshw. Biol.* 37: 149–161.

Alongi, D. M. 1998. Coastal ecosystem processes. CRC Press, New York. 419 pp.

American Public Health Association. 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Anderson, E. L., E. B. Welch, J. M. Jacoby, G. M. Schimek, and R. R. Horner. 1999. Periphyton removal related to phosphorus and grazer biomass level. *Freshwater Biol.* 41: 633-651.

Andeson, N. H. and J. R. Sedell. 1979. Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. *Ann. Rev. Entomol.* 24: 351-377.

Attrill, M. J. 2002. Community-level indicators of stress in aquatic ecosystems. *In* Adams, S. M. (ed.), Biological Indicators of Aquatic Ecosystem Stress. Bethesda, M. D. American Fisheries Society.

Aubrey, D. G. 1990. Interdisciplinary Estuarine Research: A Challenge for the Future. *In* Cheng, R.T. (ed.), Residual Currents and Long-Term Transport, Springer-Verlag, p. 7-14.

Auer, M. T. and S.W. Effler. 1989. Variability in photosynthesis: Impact on DO models. *J. Environ. Eng.* 115: 944-963.

Bachelet, G., X. de Montau Douin, I. Auby and P. J. Labourg. 2000. Seasonal change in macrophyte and mcrozoobenthos assemblages in three coastal lagoons under varying degrees of eutrophication. *ICES J. Mar. Sci.* 57: 1495-1506.

Balls, P. W., A. Macdonald, K. Pugh, and A.C. Edwards. 1995. Long-term nutrient enrichment of an estuarine system, Ythan, Scotland (1958–1993). *Environment. Poll*. 90: 311–321.

Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Snyder and J. B. Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, 2nd edn. EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.

Barko, J. W. and R. M. Smart. 1983. Effects of organic matter additions to sediment on the growth of aquatic plants. *J. Ecol.* 71: 161–175.

Barko, J. W., M. S. Adams and N. S. Clesceri. 1986. Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: A review. *J. Aquat. Plant Manage.* 24: 1–10.

Barnes, R. S. K. 1989. What, if anything, is a brackish water fauna? Transactions of the Royal Society of Edinburgh, *Earth Sci.* 80: 235-240.

Basu, B. K. and F. R. Pick. 1996. Factors regulating phytoplankton and zooplankton biomass in temperate lakes. *Limnol. Oceanogr.* 41: 1572-1577.

Bayly I. A .E., Williams W. D. 1973. Inland Waters and their Ecology. Longman, Australia: Camberwell, Victoria. 316 pp.

Bellinger, B. J., C. Cocquyt and C. M. O'Reilly. 2006. Benthic diatoms as indicators of eutrophication in trophic streams. *Hydrobiol*. 573: 75-87

Benke G. M. 1993. Concepts and patterns of invertebrate production in running waters. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 15–38.

Benke, A. C., T. C. Van Arsdall, Jr., D. M. Gillespie and F. K. Parish. 1984. Invertebrate productivity in a subtropical blackwater river: The importance of habitat md life history. *Ecol. Monogr.* 54(1): 25-63.

Biggs, B. J. F. 1995. The contribution of flood disturbance, catchment geology and land use to the habitat templates of periphyton in streams. *Freshwater Biol.* 33: 419-438.

Biggs, B. J. F. 1996. Hydraulic habitat of plants in streams. Regulated Rivers*: Research and Management* 12: 131–144.

Biggs, B. J. F. 2000. Eutrophication of streams and rivers: dissolved nutrient-chlorophyll relationships for benthic algae. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 19: 17-31.

Biggs, B. J. F., D. G. Goring, V. I. Nikora. 1998. Subsidy and stress responses of stream periphyton to gradients in water velocity as a function of community growth form. *J. Phycol.* 34: 598-607.

Boesch, D. F., M. N. Josselyn, A. J. Mehta, J. T. Morris, W. K. Nuttle, C. A. Simenstad and D. J. P. Swift. 1994. Scientific assessment of coastal wetland loss, restoration and management in Louisiana. *J. Coast. Res.* 20: 103 pp.

Bott, T. L. and L. A. Kaplan. 1990. Potential for protozoan grazing of bacteria in streambed sediments. J. N. Am. *Benthol. Soc.* 9: 336-345.

Botter-Carvalho, M. L., P. V., V. C. Calrvalho, and P. J. P. Santos. 2011. Recovery of macrobenthos in defaunated tropical estuarine sediments. *Marine. Poll. Bull*. 62: 1867-1876.

Boyle, T. P., G. M. Smillie, J. C. Anderson and D. R. Beeson. 1990. A sensitivity analysis of seven diversity and seven similarity indexes. *Res. J. Water Pollut. C.* 62: 749-762.

Boynton, W. R., J D. Hagy, L. Murray, C. Stokes and W. M. Kemp. 1996. A Comparative Analysis of Eutrophication Patterns in a Temperate Coastal lagoon. *Estuaries* 19: 408-421.

Brady, N. C. and R. P. Weil. 1999. Soil Organic Matter. *In* The Nature and Properties of Soils, Brady, N.C. and R.P. Weil (eds.).Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey. pp: 446-490.

Brassington, R. 2007. Field Hydrogeology: The Geological Field Guide series. 3rd ed. Willey, Chichester, 264 pp.

Brenner, M., T. J. Whitmore, M. A. Lasi, J. E. Cable and P. H. Cable. 1999. A multi-proxy trophic state reconstruction for shallow Orange Lake, Florida USA: Possible influence of macrophhytes on limnetic nutrient concentrations. *J. Paleolimnol.* 21: 215-233.

Briggs, B. J. F. 1996. Hydraulic habitat of plants in stream. *Regul. Rivers Res. Manage.* 12: 131-144.

Buranapratheprat, A. and T. Yanagi. 2003. Seasonal variation in circulation and average residence time of the Bangpakong estuary, Thailand. *La Mer* 21: 199-213.

Buranapratheprat, A., T. Yanagi and P. Sawangwong. 2000. Seasonal variation in circulation and salinity distributions in the upper Gulf of Thailand: modelling approach. *La Mer* 40: 147-155.

Buranapratheprat, A., T. Yanagi and S. Matsumura. 2008. Seasonal variation in water conditions in the upper gulf of Thailand. *Cont. Shelf. Res.* 28: 2509-2522.

Burkholder, J. M. 1996. Interactions of benthic algae with their substrate, p. 253–298. *In* R. J. Stevenson, M. L. Bothwell, and R. L. Lowe [eds.], Algal ecology: Freshwater benthic environments. Academic Press.

Burkholder, J. M. 1998. Implications of harmful marine microalgae and heterotrophic dinoflagellates in management of sustainable marine fisheries. *Ecol. Appl.* 8(1): 37-62.

Camargo, J. A. and A. Alonso. 2006. Ecological and Toxicological Effects of Inorganic Nitrogen Pollution in Aquatic Systems: A Global Assessment. *Environ. Inter.* 32: 831-849.

Canadian Council of Ministers of the Environment. 2010. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life, Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment. Winnipeg, Canada. http://ceqg-rcqe.ccme.

Caraco, N. F., and J. J. Cole. 1999. Human impact on nitrate export: An analysis using major world rivers. *Ambiol.* 28: 167–170.

Carling, P. A. 1992. The natural of the fluid boundary layer and the selection of parameters for benthic ecology. *Freshwater Biol.* 28: 273-284.

Carpenter, K. E., J. M. Johnson and C. Buchanan. 2006. An index of biotic integrity based on the summer polyhaline zooplankton community of the Chesapeake Bay. *Mar. Environ. Res.* 62: 165-180.

Carpenter, S. R., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley, and V. H. Smith. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Appl.* 8: 559-568.

Carpenter, S. R. 2008. Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication. *PNAS* 105 32: 11039-11040.

Carpenter, S. R., and D. M. Lodge. 1986. Effect of submersed macrophytes on ecosystem processes. *Aquat. Bot., 26*: 341-370.

Carr, G.M. and P.A. Chambers. 1998. Macrophyte growth and sediment phosphorus and nitrogen in a Canadian prairie river. *Freshwater Biol.* 39: 525-536.

Carr, G. M. and P. A. Chambers. 1998. Spatial and temporal patterns in nutrients and algal abundance in Alberta Rivers. Environment Canada, National Water Research Institute, Burlington, Saskatoon, NWRI Contribution No. 98-225.

Carr, O.vJ. and R. Goulder. 1990. Fish-farm effluents in rivers. II. Effects on inorganic nutrients, algae and the macrophyte *Ranunculus penicillatus*. *Water Res.* 24: 639–647.

Chambers, P. A., E. E. Prepas, H. R. Hamilton, and M. L. Bothwell. 1991. Current velocity and its effect on aquatic macrophytes in flowing waters. *Ecol. Appl.* 1: 249–257.

Chambers, R. 1994. Participatory Rural Appraisal PRA: Challenges, Potentials, and Paradigm. *World Dev* 22 (10): 1437-1454.

Chambers, R. 1997. Whose Reality Counts? Putting the First Last. Intermediate Technology Publication, London.

Chan, T. U. and D. P. Hamilton. 2001. The effect of freshwater flow on biomass and succession of phytoplankton in a seasonal estuary. *Mar. Freshw. Res*. 52: 869-884.

Chapin III, F, S., M. S. Torn, and M. Tateno. 1996. Principles of Ecosystem Sustainability. *Am. Nat.* 148: 1016-1037.

Chapman, D. 1992. Water Quality Assessment. 2nd edn. World Health Organization, New York, USA.

Chapman, P. M. & R. O. Brinkhurst. 1981. Seasonal changes in interstitial and seasonal movements of subtidal benthic invertebrates in the Fraser River estuary. B.C. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 12: 49-66.

Chareonpanich, C., H. Tsutsumi and S. Montani. 1994. Efficiency of the decomposition of organic matter, loaded on the sediment, as a result of the biological activity of *Capitella* sp. I. *Marine. Poll. Bull*. 28(5): 314-318

Chareonpanich, C., H. Tsutsumi and S. Montani. 1994. Efficiency of the Decomposition of Organic Matter, Loaded on the Sediment, as a Result of the Biological Activity of *Capitella* sp. I. *Mar. Pollut. Bull.* 28(5): 314-318.

Chareonpanich, C., S. Montani and H. Tsutsumi. 1994. Roles of a deposit-feeding polychaete, *Capitella* sp. I, on the biological and chemical changes of the experimental marine sediment systems. *Tech. Bull. Fac. Agri.*, Kagawa University 46(1): 21-26.

Chareonpanich, C., S. Montani, H. Tsutsumi and H. Nakamura. 1994. Estimation of oxygen consumption of a deposit-feeding polychaete, *Capitella* sp. I. *Fish. Sci.* 60(3): 249-251.

Chareonpanich, C., S. Montani, H. Tsutsumi and S. Matsuoka. 1993. Modification of chemical characteristics of organically enriched sediment by *Capitella* sp. I. *Marine. Poll. Bull*. 26(7): 375-379.

Chaney, E., W. Elmore, and W.S. Platt. 1990. Livestock grazing on western riparian areas. US Environmental Protection Agency. Washington, DC.

Chernicoff, S., H. Fox and R. Venkatakrishnan. 1997. Essentials of Geology. Worth Publishers, New York.

Chesman, B. C., P. E. Hutton, and J. M. Burch. 1992. Limiting nutrient for periphyton growth in sub-alpine, forest, agricultural, and urban stream. *Freshwater Biol.* 28: 349-361.

Chester, T., J. Strong and P. SGM. Ayers. 1999. The Waterfalls. New York.

Choi, K. H., S. M. Lee, S. M., Lim, M. Walton and G. S. Park. 2010. Benthic habitat quality change as measured by macroinfaunal community in a tidal flat on the West Coast of Korea. *J. Oceanography* 66: 307-317.

Chongprassith, P. and V. Srineth. 1998. Marine water quality and pollution of the Gulf of Thailand. p. 137-204. *In* D. M. Johnston (ed.) SEAPOL Integrated Studies of the Gulf of Thailand. Vol.1. Southeast Asian Program in Ocean Law, Policy and Management.

Chuenniyom, W., C. Meksumpun and S. Meksumpun. 2012. Impacts of nutrients and related environmental factors on distribution and size structure of *Noctiluca scintillans* populations of the eutrophic Tha Chin Estuary, Thailand. *Wat. Sci. Tech.* 65 (11): 1994-2002.

Chutter, F. M. 1972. An empirical biotic index of the quality of water in South African streams and rivers. *Water Res.* 6: 19-30.

Clark, R. B. 1992. Marine pollution. 3rd edn. Clarendon Press, Oxford. 172 pp.

Clarke, K. R. and M. Ainsworth. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar. Ecol. Progr.* 92: 221-232.

Conley. D. J., H. W. Paerl, R. W. Howarth, D. F. Boesch, S. P. Seitzinger, K .L. Harvens, C. Lanelot and G. E. Likens. 2009. Controlling Eutrophication. *Science* 323: 1014-1015.

Cooke, G. D., E. B. Welch, S. A. Peterson and P. R. Newroth. 1993. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. 2nd ed. Lewis, Boca Raton, Florida. 616 pp.

Correll, D. L. 1999. Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. *Poultry. Sci.* 78: 674-682.

Costanza, R., B. G. Norton, and B. D. Haskell. 1992. Ecosystem health. Washington, D. C. Island Press.

Costello, M. J. and P. Read. 1994. Toxicity of sewage sludge to marine organisms: a review. *Mar. Environ. Res.* 37: 23-42.

Council of European Communities. 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the community action in the field of water policy. CEC, L 327: 0001-0073. http://europa.eu.int/comm/ environment/water/water-framework/index_en.html.

Cummins, K. W. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water. *Am. Midl. Nat*. 67: 477-504.

Cummins, K. W. 1973. Trophic relation of aquatic insects. *Ann. Rev. Antomol.* 18: 183-206.

Cummins, K. W. 1974. Structure and function of stream ecosystem. *Bioscience* 24: 631-641.

Cummins, K. W. and M. J. Klug. 1979. Feeding ecology of stream invertebrate. *Ann. Rev. Ecol. Systematics* 10: 147-172.

Cushing, C. E. and J. D. Allan. 2001. Stream: Their Ecology and Life. Academic Press, London. 365 pp.

Danilov, R. A. and N. G. A. Ekelund. 1999. The efficiency of seven diversity and one similarity indices based on phytoplankton data for assessing the level of eutrophication in the lakes of central Sweden. *Sci. Total. Environ.* 234: 15-23.

Davis, J. A and L. A. Barmuta. 1989. An ecologically useful classification of mean and near-bed flows in streams and rivers. *Freshwater Biol.* 21: 271-282.

Dawson, F. H. 1988. Water flow and vegetation of running waters. *In* Symoens, J. J., editor. Handbook of Vegetation Sciences Series. 15, Vegetation of inland water the Hague: Junk. pp. 283-309.

Dawson, F. H., J. R. Newman, M. J. Gravelle, K. J. Rouen and P. Henville. 1999. Assessment of the trophic status of river using macrophytes: evaluation of the mean trophic rank. Environmental Agency (R&D Technical Report E39). 179 pp.

Day, J. W., C. A. S. Hall, W. M. Kemp, W. M. and A. Yanez-Arancibia. 1989. Estuarine Ecology. Wiley-Interscience, New York. 576 pp.

Death, R. 2000. Invertebrate-substratum relationships. *In* K. J. Collier and M. J. Winterbourn [eds.], New Zealand stream invertebrates: Ecology and management. New Zealand. Limnol. Soc.

Dederen, L. H. 1992. Marine eutrophication in Europe: similarities and regional differences in appearance. *In* Vollenweider, R. A., R. Marchetti and R. Viviani. (eds.), Marine Coastal Eutrophication. *Sci. Total. Environ.* (Suppl.): 663-672.

Dibble, E. D., K. J. Killgore and S. L. Harrel. 1996. Assessment of fish-plant interactions. *In* Miranda, E. and D. R. DeVries, (eds.), Multidimensional Approaches to Reservoir Fisheries Management. Lamerican Fisheries Society, Symposium 16, Bethesda, Maryland. pp. 357-372.

Dibble, E. D., K. J. Killgore and S. L. Harrel. 1996. Assessment of fish-plant interactions. *Amer. Fish. Soc. Symp.*, 16: 357-372.

Diehl, S., and R. Kornijów. 1998. Influences of submerged macrophytes on trophic interactions among fish and macroinvertebrates. *In*. E. Jeppesen, M. Søndergaard, M. Søndergaard, and K. Christoffersen (eds.), The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes. Springer, New York. pp. 24-46.

Dobson, M. and C. Frid. 1998. Ecology of Aquatic Systems. Addison Wesley Longman Limited, England. 222 pp.

Dodds, W. K. 2002. Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications. Academic Press, UK. 829 pp.

Dodds, W. K. 2006. Eutrophication and trophic state in river and streams. *Limnol. Oceanogr.* 51 (1, part 2): 671-680.

Dodds, W. K. and D. A. G Udder. 1992. The ecology of *Cladophora*. *J. Phycol.* 28: 415–427.

Dodds, W. K., J. R. Jones and E. B. Welch. 1998. Suggested classification of stream trophic state: Distribution of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Res.* 32: 1455-62.

Dropp I. G. 2001. Rethinking what constitutes suspended sediment. *Hydrol. Process.*15: 1551-1564.

Dugdate, R. C. 1967. Nutrient limitation in the sea dynamics, identification and significance. *Limnol. Oceanogr.* 12: 685-695.

Edmonson, W. T. and J. T. Lehman. 1981. The effect of changes in the nutrient income on the condition of Lake Washington. *Limnol. Oceanogr.* 26: 1-29.

Edward R. W. and M. P. Brooker. 1975. Thee ecology of the Wye. *In* W. Junk (ed.), *Monographe Biol*ogy. The Hague.

Edwards, R. T., J. L. Mayer, and S. E. G. Findlay. 1990. The relative contribution of benthic and suspended bacteria to system biomass, production, and metabolism in a low-gradient Blackwater river. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 9: 216-218.

Egglishaw, H. J. 1964. The distributional relationship between the bottom fauna and plant detritus in stream. *J. Anim. Ecol.,* 38:19-33.

Eisma, D. 1998. Intertidal Deposits: River mouths, Tidal Flats and Coastal Lagoons. CRC Press, Boca Raton. 544 p.

Elliott, J. M., U. H. Humpesch and T. T. Macan. 1988. Larvae of the British Ephemeroptera: A Key with Ecological Notes. Cumbria, 145 pp.

Elwood, J. W., J. D. Newhold, R. V. O'Neill and W. Van Winkle. 1983. Resource spiraling: an operational paradigm for analyzing lotic ecosystems. *In* Fontaine, T. D. III, Bartell, S. M. (eds.), The dynamics of Lotic Ecosystems. pp. 3-27.

Fischer, G. and M. Harris. 2003. Waterfalls of Ontario. Waterfallogy 101. Ontario.

Flynn, N. J., D. L. Snook, A. J. Wade and H. P. Jarcie. 2002. Macrophyte and perriphyton dynamics in a UK. Cretaceous chalk stream: the River Kennet, a tributary of the Thames. *Sci. Total. Environ.* 282-283: 143-157.

Forest Ecosystem Management Team (FEMAT). 1993. Forest Ecosystem Management: an Ecological, Economic, and Social Assessment. Washington DC. Joint Publication.

Franklin, P., P. Dunbar and P. Whitehead. 2008. Flow controls on lowland river macrophytes: A review. *Sci. Tot. Environ.* 400: 369-378.

Fraser, Evan D. G., A. J. Dougill, W. E. Mabee, M. reed, and P. McAlpine. 2006. Bottom up and top down: Analysis of participatory processes for sustainability indicator identification as a pathway to community empowerment and sustainable environmental management. *J. Environ. Manage.* 78: 114-127.

Fraser, Evan D. G., W. Mabee, and O. Slaymaker. 2003. Mutual vulnerability, mutual dependence-the reflexive relation between human society and the environment. *Change-Human and Policy Dimensions* 13(2): 137-144.

Garcia-Barcina, J. M., J. A. Gonzalez-Oreja and A. De la Sota. 2006. Assessing the improvement of the Bilbao estuary water quality in response to pollution abatement measures. *Water Res.* 40: 951-960.

Gesteira J. L. G. and Dauvin, J. C. 2000. Amphipods are good indicators of the impact of oil spills on soft-bottom macrobenthic communities. *Marine. Poll. Bull.* 40: 1017-1027.

Giangrande, A., G. Belmonte and S. Geraci. 1994. Life cycle and life history traits diversity in marine invertebrates and implications in community dynamics. *Oceangr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 32: 305-333.

Giorgio, P. A. del and P. J. le Williams. 2005. Respiration in Aquatic Ecosystems. Oxford University Press. 315 pp.

Giovanardi, F. and E. Tromellini. 1992. Statistical assessment of trophic conditions. Application of the OECD methodology to the marine environment. *In* Vollenweider, R. A. and R. Viviani (eds.), Marine Coastal Eutrophication. Elsevier, London, pp. 211-233.

Glasby, T. M. and S. D. Connell. 1999. Urban structures as marine habitats. *Ambio* 28: 595-598.

Goldberg, E. D. 1995. Emerging problems in the coastal zone for the twenty first century. *Mar. Pollut. Bull.*, 31: 152-158.

Golterman, H. L. and N. T. De Oude. 1991. Eutrophication of lakes, rivers and coastal seas. *Handbook Environ. Chem.*, 5: 79–124.

Gordon, N. D., T. A. McMahon, B. L. Finlayson, C. J. Gippel, and R. J. Nathan. 2004. Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists. 2nd ed. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester. 429 pp.

Grassle, J. F. and J. P. Grassle. 1974. Opportunistic life histories and genetic systems in marine benthic polychaetes. *J. Mar. Res.* 32: 253-284.

Gray, J. S., K. R. Clarke, R. M. Warwick and G. Hobbs. 1991. Detection of the initial effects of pollution on marine benthos: an example from the Ekofisk and Eldfisk oilfield, North Sea. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 66: 285-299.

Gray, S. J. 1992. Eutrophication in the sea. *In* G. Colombo and R. Viviania (eds.), Marine Eutrophication and Pollution Dynamics, Olsen & Olsen, Fredensborg. 394 p.

Gresty K. A., Boxshall G. A., Nagasawa K. 1993. Antennalary sensors of the infective copepodid larva of the salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae). *In* Boxshall G. A., Defaye D. (eds.), Pathogens of Wild and Farmed Fish: Sea Lice. CRC Press. p. 83-98.

Grime, J. P. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Amer. Nat.* 111: 1169–1194.

Grumbine, R. E. 1994. What is ecosystem management? *Biol. Conserv.* 8(1): 27-38.

Hahn, S. K., E. R. Terry, K. Leuschner and T. P. Singh. 1981. Cassava improvement strategies for resistance to major economic diseases and pests in Africa. *In* Proceedings of Triennial Root Crops Symposium, 1980, International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, CA. p. 279.

Hakanson, L., J. M. Malmaeus, U. Bodemer and V. Gerhardt. 2003. Coefficients of variation for chlorophyll, green algae, diatoms, cryptophytes and blue-greens in rivers as a basis for predictive modeling and aquatic management. *Ecol. Model.* 169: 179-196.

Haley, M. A. 2009. The impact of stream support on the hydrology and macrophytes of the upper Bristol Avon. *Bioscience Horizons* 2(1): 44-54.

Halim, Y. 1991. The impact of human alterations of the hydrological cycle on ocean margin. *In* R. F. C. Mantoura, J. M. Martin and R. Wollast (eds.). Ocean Margin Process in Global Change. John Wiley and Sons Ltd. pp. 301-327.

Hall, S. J. 1999. The Effects of Fishing on Marine Ecosystem and Communities. Blackwell Science, USA.

Hameedi, M. J. 1997. Strategy for monitoring the environment in the coastal zone. *In* B.U. Haq (ed.), Coastal Zone Management Imperative for Maritime Developing Nations. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam. pp. 111-142

Harper, D. 1992. Eutrophication of freshwaters. Principles, problem and restoration. Chapman & Hall, London. 327 pp.

Haslam, S. M. 1978. River plants. Cambridge University Press.

Hauer, F. R. and G. A. Lamberti. 1996. Methods in stream ecology. Academic Press, New York. 674 pp.

Hawkes, H. A. 1975. River zonation and classification. *In* Whitton, B.A. (ed.), River Ecology. Blackwell Scientific, Oxford. pp. 312-374.

Heip, C., R. M. Warwick, M. R. Carr, P. M. J. Herman, R. Huys, N. Smol, K. Van Holsbeke. 1988. Analysis of community attributes of the benthic meiofauna of Frierfjord, Langesundfjord. *Mar Ecol. Prog. Ser.* 46: 171-180

Henriques, J. 1987. Aquatic macrophytes. *In* P.R. Henriques [ed.], Aquatic Biology and Hydroelectric Power Development in New Zealand. Oxford University Press. p. 207–222.

Herman, P. M., and C. Heip. 1988. On the use of meiofauna in ecological monitoring: Who needs taxonomy? *Bull. Mar. Sci*, 19: 665–668.

Hildrew, A. G., M. K. Dobson, and A. Groom. 1987. Flow and retention in the ecology of stream invertebrates. *Verh. Int. Vert. Theor. Ang. Limnol.* 24: 1742-1747.

Hilsenhoff, W. L. 1977. Use of arthropods to evaluate water quality of streams. Wisconsin Department of Natural Resources, Madison, Wisconsin. *Tech. Bull.* No. 100. 16 pp.

Hilton, J., A. E. Irish and C. S. Reynolds. 1992. Active reservoir management: a model solution. *In* Research and Application to Water Supply. Ambleside: FBA. pp. 185-196.

Hilton, J., M. O'Hare, M. J. Bowes and J. I. Jones. 2006. How green is my river? A new paradigm of eutrophication in river. *Sci. Total. Environ.* 365: 66-83.

Holmes N. T. H. and C. Newbold. 1984. River plant communities-reflectors of water and substrate chemistry. Focus on Nature Conservation No. 9, NCC, London.

Hooper F. F. 1969. Eutrophication indices and their relation to other indices of ecosystem change. *In* Eutrophication: Causes, consequences and correlatives, National Academy of Sciences, Washington, DC. pp. 225-235.

Hopkins, J. S., P. A. Sandifer, and C. L. Browdy. 1995. A review of water management regimes which abate the environmental impacts of shrimp farming. *In* C. L. Browdy, J. S. Hopkins (eds.), Swimming through Troubled Water, Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming, World Aquaculture Society, Louisiana, USA, pp. 157–166

Horne, A. J. and Goldman, C. R. 1972. Nitrogen fixation in clear lake, California. I. Seasonal variation and the roles of heterocysts. *Limnol. Oceanogr*. 17: 678-92.

Horner, R. R. and E. B. Welch. 1981. Stream periphyton development in relation to current velocity and nutrients. *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 449-457.

Horner, R. R., E. B. Welch, and Veenstra, R. B. 1983. Development of nuisance periphytic algae in laboratory stream in relation to enrichment and velocity. *In* R. G. Wetzel (ed.), Periphyton of Freshwater Ecosystem. *Hydrobiol.*17: 121-134.

Horner, R. R., E. B. Welch., M. R. Seeley, and J. M. Jacoby. 1990. Response of periphyton to changes in current velocity, suspended sediment and phosphorus concentration. *Freshwater Biol.* 24: 215-232.

Howarth, R. W., D. P. Swaney, T. J. Butler and R. Marino. 2000. Climatic control on eutrophication of the Hudson River estuary. *Ecosystems* 3: 210-215.

Huang C and Y. Qi. 1997. The abundance cycle and influence factors on red tide phenomena of *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in Dapeng Bay, the South China Sea. *J. Plankton. Res.* 19(3): 303-318.

Hutchinson, G. E. 1967. A Treatise on Limnology. An Introduction to Lake Biology and Limnoplankton. Vol. 2. John Wiley, New York. 1115 pp.

Hutchinson, R. W. 1973. Volcanogenic sulfide deposits and their metallogenic significance. *Econ. Geol.* 68: 1223-1246.

Hynes, H. B. N. 1970. The ecology of Running Waters. Liverpool University Press, Liverpool. 555 pp.

Ignatiades, L. 2005. Scaling the trophic status of the Aegean Sea, eastern Mediterranean. *J. Sea. Res.* 54: 51-57.

Ignatiades, L., D. Georgooulos and M. Karydis. 1995. Description of a phytoplanktonic community of the oligotrophic waters of SE Aegean Sea (Mediterranean), P.S.Z.I. *Mar. Ecol.* 16: 13-26.

Ignatiades, L., M. Karydis and P. Vounatsou. 1992. A possible method for evaluating oligotrophy and eutrophication based on nutrient concentrations. *Mar. Poll. Bull.* 24(5): 238-243.

Ittekkot, V. and S. Zhang. 1989. Pattern of particulate nitrogen transport in World Rivers. *Global. Biogeochem. CY.* 3: 383–391

James, C., J. Fisher and B. Moss. 2003. Nitrogen driven lakes: the Shropshire and Cheshire meres? Arch Hydroobiol. 158: 249-266.

Jansson B. O. and f. Wulff. 1997. Ecosystem analysis of a shallow sound in the northern Baltic – a joint study by the AskÖ group. *Contrib AskÖ Lab* 18: 1-160.

Jones, J. R. and R. W. Bachmann. 1976. Prediction of phosphorus and chlorophyll levels in lakes. *J. Water Pollut. Control Fed.* 48: 2176-2182.

Jones, J. I. and C. D. Sayer. 2003. Does the fish-invertebrate-periphyton cascade precipitate plant loss in shallow lakes? *Ecology* 84: 2155-2167.

Jørgensen B. B., K. Richardson. 1996. Eutrophication in Coastal Marine Ecosystems. American Geophysical Union, Washington, DC. 272 pp.

Jørgensen, S., J. G. Tundisi and T. M. Tundisi. 2013. Handbook of Inland Aquatic Ecosystem Management. CRC Press, United States. 430 pp.

Jorgensen, S., J. G. Tundisi, and T. M. Tundisi. 2013. Handbook of Inland Aquatic Ecosystem Management. CRC Press, New York.

Juinio, M. A. R. 1987. Some aspect of the reproduction of *Panulirus penicillatus* (Decapoda: Palinuridae). Bull. Mar. Sci. 41: 242-252.

Justic D, N. N. Rabalais and R. E. Turner. 1995. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication. *Mar. Pollut. Bull.* 30: 41–46.

Kaiser, M. J., M. J. Attrill, S. Jennings, D. N. Thomas, D. K. N. Barnes, A. S. Brierley, N. V. C. Polunin, D. G. Raffaelli, and P. J. le B. Williams. 2005. Marine Ecology: Processes, Systems and Impacts. Oxford University Press.

Kassas, M. 1972. Impact of river control schemes on the shoreline of the Nile Delta. *In* M. T. Farver and J. P. Milton (eds.), The Careless Technology: Ecology and International Development. Garden City, New York: Natural History Press. pp. 179-188.

Karr, J. R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fish.* 6: 21-27.

Karydis M. and Tsirtsis G. 1996. Ecological indices: a biometric approach for assessing eutrophication levels in the marine environment. *Sci. Total. Environ.* 186: 209-219.

Karydis, M. 1999. Evaluation report on the eutrophication level in coastal Greek areas. University of the Aegean, Mytilni, February 1999 (in Greek).

Karydis, M. 2005. Understanding marine eutrophication from agriculture runoff in semi enclosed areas: a presentation of quantitative methodology. *Global. Nest. J.* 7(2): 228-235.

Karydis, M. 2009. Eutrophication assessment of coastal waters based on indicators: A literature review. *Global. Nest. J.* 11: 373-390.

Karydis, M., L. Ignatiades and N. Moschopoulou. 1983. An index associated with nutrient eutrophcation in the marine environment. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 16: 339-344.

Kelly, M. G. 2002. Role of benthic diatoms in the implementation of the River Wear, north-east England. *J. Appl. Phycol.* 14: 9-18.

Kennish, M. J. (Ed.). 1997. Practical Handbook of Marine Science. CRC Press, Boca Raton, Florida. 544 pp.

Kennish, M .J. 2000. Estuary Restoration and Maintenance: The National Estuary Program. CRC Press, Boca Raton, Florida. 376 pp.

Kennish, M. J. 2001. Practical Handbook of Marine Science. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, Florida. 876 pp.

Kitsiou, D. and M. Karydis. 2000. Categorical mapping of marine eutrophication based on ecological indices. *Sci. Total. Environ.* 255: 113-127.

Kitsiou, D. and M. Karydis. 2002. Multi-dimensional evaluation and ranking of coastal areas using GIS and multiple criteria choice method. *Sci. Total. Environ.* 284: 1-17.

Klinkenberg G, R. Schumann. 1995. Abundance changes of autotrophic and heterotrophic picoplankton in the Zingster Strom, a shallow, tideless estuary south of the Darß- Zingst Peninsula (Southern Baltic Sea). *Arch Hydrobiol.* 134: 359–377.

Robertson, A. I. 1979. The relationship between annual production, biomass ratio and lifespans for marine macrobenthos. *Oecologia* 38: 193-202.

Knoppers, B. 1994. Aquatic primary production in coastal lagoons. *In* B. Kjerfve (ed.), Coastal Lagoon Process. Elsevier, Amsterdam. pp. 243-286.

Laprise, R. and J. J. Dodson. 1994. Environmental variability as a factor controlling spatial patterns in distribution and species diversity of zooplankton in the St. Lawrence Estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 107: 67-81.

Ledger, M. E. and A. G. Hildrew. 1998. Temporal and spatial variation in the epilithic biofilm of an acid stream. *Freshwater Biol*.40: 655–670.

Ledger, M. E. and A. G. Hildrew. 2000. Resource depression by a trophic generalist in an acid stream. *Oikos.* 90: 271–278.

Lenat D. R., D. L. Penrose and A. W. Eaglesor. 1981. Variable effects of sediment addition on stream benthos. *Hydrobiol.* 79: 187-197

Lewis, D. M., J. A. Elliott, J. D. Brooker, A. E. Irish, M. F. Lambert and C. S. Reynolds. 2003. Modelling the effects of artificial mixing and copper sulfate dosing on phytoplankton in a Australian reservoir. *Lake Reserv. Res. Manage.* 8: 31-40

Lewis, D. M., J. A. Elliott, M. F. Lambert and C. S. Reynolds. 2002. The simulation of an Australian reservoir using a phytoplankton community model (PROTECH). *Ecol. Model.* 150: 107-116.

Little, C. 2000. The biology of soft shores and estuaries. Oxford University Press. 252 pp.

Littlejohn, G. S. and D. A. Bruce. 1977. Rock Anchors - State of the Art. Foundation Publications, Essex, England, 50 p. (Previously published in Ground Engineering in 5 parts, 1975- 1976.)

Livingsione, D. M. 2000. Large-scale climate change on the thermal structure observation of lake in break-up. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 27: 2775-2783.

Livingston, R. J. 2002. Trophic Organization in Coastal Systems. CRC Press, Baca Raton, Florida. 408 pp.

Livingston, R. J. 2005. Restoration of Aquatic Systems. CRC Press. Taylor & Francis Group, London.

Lohman, K., J. R. Jone, and C. Baysinger-Daniel. 1991. Experimental evidence for nitrogen limitation in Northern Ozark streams. J. N. Am. *Benthol. Soc.* 10: 14-23.

Loneragan, N. R., S. E. Bunn and D. M. Kellaway. 1997. Are mangroves and seagrasses sources of organic carbon for penaeid prawns in a tropical Australian estuary? A multiple stable-isotope study. *Mar. Biol.* 130(2): 289-300.

Ludwig, J. A. and J. F. Reynolds. 1988. Statistical ecology: a primer on methods and computing. Wiley, New York. 368 pp.

Maberly S. C., L. King, C. E. Gibson, L. May, R. I. Jones, M. M. Dent and C. Jordan. 2003. Linking nutrient limitation and water chemistry in upland lakes to catchment characteristics. *Hydrobiologia* 506–507: 83–91.

Maberly, S. C., L. King, M. M. Dent, R. I. Johnes and C. E. Gibson. 2002. Nutrient limitation of phytoplankton and periphyton growth in upland lakes. *Freshwater. Biol.* 47: 2136-2152.

Macan, T. T. 1959. A Guide to Freshwater Invertebrate Animals. Wing Tai Cheung. Hong Kong. 118 pp.

Madsen, J. D., P. A. Chambers, W. F. James, E. W. Koch and D. F. Westlake. 2001. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia* 444: 71-84.

Mainstone, C. P., W. Parr. 2002. Phosphorus in rivers – ecology and management. *Sci. Total. Environ.* 282-283: 25-47.

Marcus, M. 1980. A theory of Syntactic Recognition for Natural Language. MIT Press, Cambridge, MA. 352 pp.

Margalef, R. 1958. Temporal Succession and Spatial Heterogeneity in Phytoplankton. Perspective in Marine Ecology. University of California Press. 323 pp.

Marker, A. F. H. and J. M. Gunn. 1977. The benthic algae of some streams in southern England III. Seasonal variations in chlorophyll *a* in the seston. *J. Ecol.* 65: 223-234.

Marques, L., A. Carrico, F. Bessa, R. Gaspar, J. M. Neto and J. Patricio. 2013. Response of Intertidal macrobenthic communities and primary producers mitigation measures in a temperate estuary. *Ecol. Indic.* 25: 10-22.

Matlock, M. D. M. E. Matlock, D. E. Storm, M. D. Smolen and W. J. Henley. 1998. Limiting nutrient determination in lotic ecosystems using a quantitative nutrient enrichment periphytometer. *JAWRA.* 35: 1141-1147.

McDowell, J. E. 1993. How marine animals respond to toxic chemicals in coastal ecosystems. *Oceanus* 36: 56-61.

McComb, A. J. 1995. Eutrophic Shallow Estuaries and Lagoons. CRC Press, Boca Raton, FL.

McGarrigle, M.L. 1993. Aspects of river eutrophication in Ireland. *Ann. Limnol.* 29: 355-364.

McIntyre, A. D. 1992. The current stage of the oceans. *Mar. Pollut. Bull.* 31: 147-151.

Meksumpun, C. and H. Inoue. 2000. Sediment oxygen uptake: Kinetic model expressions and their relations to sediment quality. *Kasetsart University Fish. Res. Bull.* 23: 21-41.

Meksumpun, C. and S. Meksumpun. 1999. Polychaete-sediment Relation in Rayong, Thailand. *J. Environ. Pollut.* 105: 447-456.

Meksumpun, C. and S. Meksumpun. 2002. Status, Problems and Future Trend on Application of Bioremedation Technology for Coastal Zone Development in Thailand. *Fish. Sci. (Supplement I)* 68: 604-608.

Meksumpun, C. and S. Meksumpun. 2003. Evaluation on roles of seagrasses on physicochemical qualities of bottom deposits in the Southwestern coast of Thailand. *In* Conservation of Tropical Seagrass Beds with Special Reference to their Roles on Function of Coastal Ecosystem (Ocean Research Institute, Tokyo University, Japan). p. 25-38.

Meksumpun, C. and S. Meksumpun. 2008. Integration of aquatic ecology and biological oceanographic knowledge for development of area based eutrophication assessment criteria leading to water resource remediation and utilization management: A case study in Tha Chin, the most eutrophic river of Thailand. *J. Water Sci. Tech.* 58(12): 2303-2311.

Meksumpun, C., S. Meksumpun, and S. Ajjimangkul. 2007. What we have learnt from multidisciplinary research on aquatic resource management of the largest reservoir of Thailand? *In* Proceedings of the Fifth International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 7-9 November 2007, Chiang Mai, Thailand, p. 180-188.

Meksumpun, C., S. Meksumpun and S. Ajjimangkul. 2009. Benthic biodiversity and ecosystem qnalysis for development of effective strategy on clam resource remediation: A case study in Thai coastal waters impacted by large-scale clam dredging fishery. *In* Proceedings of the International Conference on World Biodiversity Congress, 10-14 March 2009, Chiang Mai, Thailand.

Meksumpun, C., S. Meksumpun, S. Ajjimangkul, J. Srisomwong, S. Wangworalak and U. Netharn. 2013. Assessment of remediation potentials of the Tha Chin estuary and its adjacent coastal ecosystems. *In* Proceedings of the International Fisheries Symposium 2013, 28-30 November 2013, Pattaya, Thailand.

Meksumpun, S. and C. Meksumpun. 2002. Biochemical changes during life cycles of marine phytoflagellates. *Fish. Sci. (Supplement I)* 68: 489-492.

Meksumpun, S. and C. Meksumpun. 2002. Stable carbon and nitrogen isotope ratios of sediment in Ban Don Bay: Evidence for understanding sources of organic matters in the coastal environment. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 36: 75-82.

Meksumpun, S., C. Meksumpun, A. Hoshika, Y. Mishima and T. Tanimoto. 2005. Stable carbon and nitrogen isotope ratios of sediment in the Gulf of Thailand: Evidence for understanding of marine environment. *Cont. Shelf Res.* 25: 1905-1915.

Merritt, R. W. and K. W. Cummins. 1978. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 3rd ed. Kendrall-Hunt, USA. 862 pp.

Meybeck, M. 1998. Man and river interface: multiple impacts on water and particulates chemistry illustrated in the Seine river basin. *Hydrobiologia,* 373/374: 43831.

Meyers, D. G. and J. R. Strickler. 1984. Trophic Interactions within aquatic ecosystems. AAAS Selected Symposia Series New York. 472pp.

Milliman, J. D. and R. H. Meade. 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geol.* 91: 1–21

Milliman, J. D., G. S. Quraishee and M. A. A. Beg. 1984. Sediment discharge from the Indus River to the ocean: Past, present and future. *In* Haq, B. U., J. D. Milliman (eds.), Marine Geology and Oceanography of Arabian Sea and Coastal Pakistan. Van Nostrand Reinhold Company Scientific and Academic Editions, New York. pp. 65-70.

Miyaguchi, H., T. Fujiki, T. Kikuchi, V. S. Kuwahara and T. Tada. 2006. Relationship between bloom of *Noctiluca scintillans* and environmental factors in the coastal waters of Sagami Bay, Japan. J. *Plank. Res.* 28 (3): 313-324.

Montagna, P. A. and R. D. Kalke. 1992. The effect of fresh-water inflow on meiofaunal and macrofaunal populations in the Guadalupe and Nueces estuaries, Texas. *Estuaries* 15(3): 307-326.

Montani, S., S. Pithakpol and K. Tada. 1998. Nutrient regeneration in coastal sea by *Noctiluca scintillans*, a red tide causing dinoflagellate. *J. Mar. Biotechnol.* 6: 224–228.

Moore, M. L. 1989. NALMS Management Guide for Lakes and Reservoirs. North American Lake Management Society, P.O. Box 5443, Madison, WI, 53705-5443, USA (http://www. nalms.org).

Moss, B. 2010. Ecology of freshwaters. A View of the Twenty-first Century. Wiley-Blackwell, UK.

Moss, B., J. Stansfield, K. Irvine, M. Perrow and G.L. Phillips. 1996. Progressive restoration of the shallow lake: A 12-year experiment in isolation, sediment removal and biomanipulation. *J. Appl. Ecol.* 33: 71-86.

Mulholland, P. J. and D. L. De Angelis. 2000. Surface-subsurface exchange and nutrient spiraling. *In* J. B. Jones and P. J. Mulholland (eds.), Stream and Ground Waters. Academic Press.

Neal, C., H.P. Jarvie. 2005. Agriculture, community, river eutrophication and the water framework directive. *Hydrol. Process.* 19(9): 1895–1901.

Netharn U., S. Ajjimangkul, S. Wangworalak, J. Srisomwong, C. Meksumpun and S. Meksumpun. 2013. Analysis of Local Community and Related Stakeholders Competency on Conservation and Remediation of Aquatic Resources and Environment of the Tha Chin Estuary. *In* Proceedings of the International Fisheries Symposium 2013. 28-30 November 2013, Pattaya, Thailand.

Newbold, J. D., J. W. Elwood, R. V. O'Neill and W. Van Winkle. 1981. Measuring nutrient spiraling in streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 860-863.

Newman, M. C., Jr. M. H. Roberts and R. C. Hale. 2002. Coastal and estuarine risk assessment. Lewis Publishers, New York. 347 pp.

Newson, M. 1994. Hydrology and the River Environment. Clarendon Press, Oxford. 221 pp.

Nichols, S. A. and B. H. Shaw. 1986. Ecological life histories of the three aquatic nuisance plants, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton crispus* and *Elodea canadensis*. *Hydrobiologia* 131: 3–21.

Nielsen, S. L., K. Sand-Jensen, J. Borum and O. Geertz-Hansen. 2002. Phytoplankton, nutrients, and transparency in Danish Coastal Waters. *Estuaries* 25 (5): 930-937.

Nijboer, R. C. and Verdonschot, P.F.M. 2004. Variable selection for modelling effects of eutrophication on stream and river ecosystems. *Ecol. Model*. 177: 17-39.

Nixon, S. W. 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes and future concerns. *Ophelia* 41: 199-219.

Nordstrom, K. F. 2000. Beaches and Dunes of Developed Coasts. Cambridge University Press, United Kingdom. 356 pp.

Nuccio, C., C. Melillo, L. Massi and M. Innamorati. 2003. Phytoplankton abundance, community structure and diversity in the eutrophicated Orbetello lagoon (Tuscany) from 1995 to 2001. *Oceanol. Acta.* 26: 15-25.

Nürnberg, G. K. 1996. Trophic state of clear and colored, soft- and hard-water lakes with spatial consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. *Lake Reserv. Manag*. 12: 432-447.

OCED. 1982. Eutrophication of Water: Monitoring Assessment and Control. Organization of Economic Co-operation and Development, Paris.

Offem, B. O. and G. U. Ikpi. 2012. Distribution and dynamics of a tropical waterfalls ecosystem. *Int. J. Ecosyst.* 2(1): 28-37.

Offem, B. O., Akegbejo,- Y. Samsons, I. T. Omoniyi, and G .U. Ikpi. 2008. Dynamics of the limnological features and diversity of zooplankton populations of the Cross River System SE Ni-geria, Knowl. *Manage. Aquat. Ecosys.* 393: 2-19

Ogbeibu, A. E. and B. J. Oribhabor. 2002. Ecological impact of River im-poundment, using macro-invertebrates as indicators. *Wat. Res*. 36: 2427-2434

Okada, M. and S. A. Peterson. 2000. Water Pollution Control Policy and Management: The Japanese Experience. GYOSEI, Japan ISBN 4-324-06240-4(5105984-00-000). 287 pp.

Olive, D. and J. R. Castilla. 1986. The effect of human exclusion on the population structure of key-hole limpets *Fissurella crassa* and *F. limbata* on the coast of central Chile. *Mar. Ecol.* 7: 201-217.

OSPAR. 2003. Strategies of the OSPAR Commission for the protection of the Marine Environment of the north-East Atlantic (Reference number 2003-21). *In* OSPAR Convention for the protection of the marine environment of the North East Atlantic: Ministerial Meeting of the OSPAR Commission Bremen: 25 June 2003, Vol. Annex 31 (Ref. B-4.2).

Parsons, T. R., M. Takahashi and B. Hargrave. 1984. Biological Oceanic Processes. 3rd edn. Pergamon Press, Oxford.

Pavlidou, A. and G. Georgopoulos. 2001. Dissolved oxygen and nutrients in coastal water impacted by the Strymon River plume, North Aegean, Greece. *Global. Nest. J.* 3(2): 71-84.

Pearson, T. H. and R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol A. Rev.* 16: 229-311.

Peng, S., C. Liu and R. Shen. 2012. Stopping the tide of aquatic macrophytes: Be smarter in choosing proper control methods. *Disaster. Adv.* 5(4): 157-161.

Perrin, C. J., M. Y. Bothwell, and P. A. Slaney. 1987. Experimental enrichment of a coastal stream in British Columbia: Effects of organic and inorganic addition on autotrophic periphyton production. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 1247-1256.

Peters, N. E. 2009. Effects of urbanization on stream water quality in the city of Atlanta, Georgia, USA. *J. Hydrol. Proc*. 23: 2850-2878.

Peterson, B. J., J. E. Hobbie and T. L. Corliss. 1983. A continuous flow periphyton bioassay: Tests of nutrient limitation in a tundra stream. *Limnol. Oceanogr.* 28: 583-591.

Petranka, J. W. 1984. Ontogeny of diet and feeding behavior of *Eurycea bislineata* larvae. *J. Hepetol.* 18: 48-55.

Petticrew, E. L. and J. Kalff. 1992. Water flow and clay retention in submerged macrophyte beds. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.,* 49: 2483–2489.

Petts, G. E. 1996. Water allocation to protect river ecosystems. *Regulated Rivers: Res. Manage.* 12: 353–365.

Phillips, G. L. 1984. A large scale field experiment in the control of eutrophication in the Norfolk Broads. *J. Inst. Wat. Pollut. Cont.* 83: 400-408.

Phillips, G. L., D. Eminson, and B. Moss. 1978. A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated freshwaters. *Aquat. Bot.* 4: 103-126.

Phillips, J. M. and D. E. Walling. 1995. An assessment of the effects of sample collection, storage and resuspension on the representativeness of measurements on the effective particle size distribution of fluvial suspended sediment. *Water. Res.* 29: 2498-2508.

Pielou, E. C. 1997. Mathematical Ecology. J. Wiley & Sons, New York. 385 pp.

Plafkin, J. L., M. T. Barbour, K. D. Porter, S. K. Gross, and R. M. Hughes. 1989. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish. EPA 440-4-89-001. US Environmental Protection Agency, Assessment and Water Protection Division, Washington, DC.

Platts, W. S., W. F. Megahan, and G. W. Minshall. 1983. Methods for Evaluating Stream, Riparian, and Biotic Conditions. US Department of Agriculture, US Forest Service, Ogden, Utah. General Technical Report INT-138.

Polunin, N. V. C. 2008. Aquatic Ecosystem: Trends and Global Prospects. Cambridge University Press, New York. 512 pp.

Pomeroy, L. R. and W. J. Wieber. 1988. Energetic of microbial food webs. *Hydrobiologia* 159: 7-18.

Pound, B., S. Snapp, C. McDougall and A. Braun. 2003. Managing Natural Resources for Sustainable Livelihoods: Uniting Science and Participation. Earthscan, London.

Poungcharean, S. 2006. Distribution and early-life development of Thai river sprat *Clupeichthys aesarnensis* Wongratana larvae in Pasak Jolasid Reservoir, Lop Buri Province, Thailand. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 40(1): 188-195.

Pretty, J. 2003. Social capital and the collective management of resources. *Science* 302: 1912–1915.

Pritchard T. R., R. Lee, P. Ajani, P. Rendell and K. Black. 2000. How do ocean outfalls affect nutrient patterns in coastal waters of New South Wales Australia. *J. Coastal Res.* 34 *(special issue):* 96–109.

Rainboth, W. J. 1996. Fishes of the Cambodian Mekong. Food and Agriculture organization of the United Nations. Rome. 265 pp.

Rankin, J. C. and D. Davenprort. 1981. Animal osmoregulation. Blackie, Glasgow. 220 pp.

Redfield, A. C. 1934. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of phytoplankton: 176-192. *In* J. Livingstone Memorial Volume. University of Liverpool.

Redfield, A. C., B. H. Ketchum and F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. *In* M. N. Hill (ed.), The Sea, Vol. 2. Wiley Interscience, New York. pp. 26-77.

Reice, S. R. 1980. The role of substratum in benthic macroinvertebrate microdistribution and litter decomposition in a woodland stream. *Verh. Int. Ver. Theor. Ang. Limnol.* 20: 1396-1400

Reynolds, C. 2006. Ecology of phytoplankton. Cambridge University Press. 552 pp.

Reynolds, C. S., A. E. Irish and J. A. Elliott. 1998. The use of PROTECH-C to simulate phytoplankton behavior in reservoir and rivers: application to the potamoplankton of the River Thames. Contract Report-Thames Water.

Reynolds, C. S., A. E. Irish and J. A. Elliott. 2001. The ecological basis for simulating phytoplankton responses to environmental change (PROTECH). *Ecol. Model.* 140: 271-291.

Riis, T. and B. J. F. Biggs. 2003. Hydrologic and hydraulic control of macrophyte establishment and performance in streams. *Limnol. Oceanogr.* 48(4): 1488–1497.

Ritnim, N. and C. Meksumpun. 2011. Influence of environmental factors on abundance and temporal variation of benthic fauna resources in Eutrophic Tha Chin Estuary, Samut Sakhon Province, Thailand. *J. Wat. Sci. Tech*. 64(6): 1261-1269.

Rodhe, W. 1969. Crystallization of eutrophication concepts in Northern Europe. *In* Eutrophication: Causes, Consequences and Corrective: 50-64. National Academy of Sciences, Washington, DC.

Rolf, A. M. 1974. The Non-marine Aquatic Mollusca of Thailand. 423 pp.

Salas, S., J. Patricio, C. Marcos, M. A. Pardal, A. Perez-Ruzafa, and J. C. Marques. 2006. Are taxonomic distinctness measures compliant to other ecological indicators in assessing ecological status? *Mar. Pollut. Bull.* 52: 817-829.

Sandin, L. and R. K. Johnston. 2000. The statistical power of selected indicator metrics using macroinvertebrates for assessing acidification and eutrophication of running waters. *Hydrobiologia* 422: 233-243.

Sangmek, P. and C. Meksumpun. 2014. Assessment of impacts from various hydro-ecological factors on oxygen budgets of a regulated river: A case study of the Petchburi River, Western Thailand. *J. Wat. Sci. Tech.* 69(7): 1565-1572.

Sangmek, P. and C. Meksumpun. 2014. Influence of eco-hydrological factors on aquatic plant succession in a regulated river: A case study of the Petchburi River, Thailand. *Wat. Environ. J.* 65(11): 1994-2002.

Sarnelle, O., S. D. Cooper, S. Wiseman and K. M. Mavuti. 1998. The relationship between nutrients and trophic-level biomass in turbid tropical pond. *Freshwater Biol.* 40: 65-75.

Sas, H. 1989. Lake Restoration by Reduction of Nutrient Loading: Expectation, Experiences, Extrapolation. Academia, St Augustin, BRD. 497 pp.

Schaumann, K., Gerdes, D. and Hesse, K. J. 1988. Hydrographic and biological characteristics of a *Noctiluca scintillans* red tide in the German Bight. *Meeresforschung* 32: 77–91.

Scheffer, M., S. H. Hosper, M. L. Meijer, B. Moss and E. Jeppesen. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends. Ecol. Evol.* 8: 275-279.

Schindler, D. W. 1974. Eutrophication and recovery in experimental lakes: Implication for lake management. *Science* 184: 897-899.

Schindler, D. W. 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnol. Oceanogr.* 51 (1, part 2): 356-363.

Schneider, S. and A. Melzer. 2003. The trophic index of macrophytes (TIM)–a new tool for indicating the trophic state of running waters. *Int. Rev. Hydrobiol.* 88: 49-67.

Shannon, C. E. and W. Weaver. 1948. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana.

Sharopley, A. N. and S. J. Smith. 1990. Phosphorus transport in agricultural runoff: The role of soil erosion. *In* Boardman, J., L. D. L. Foster and J. A. Dearing (eds.), Soil Erosion on Agricultural Land. John Wiley and Sons, Chichester, New York. pp. 351-366.

Sharply, A. N., S. C. Chapra, R. Wedwpohl, J. T. Sims, T. C. Daniel and K. R. Reddy. 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. *J. Environ. Qual.* 23: 437-451.

Silva, EIL. 2004. Ecology of phytoplankton in tropical waters: Introduction to the topic and ecosystem changes from Sri Lanka. *Pollution,* 4: 25-35

Simboura, N. and S. Reizopoulou. 2007. A comparative approach of assessing ecological status in two coastal areas of Eastern Mediterranean. *Ecol. Indic.* 7: 455-468.

Simboura, N., P. Pansyotidis and E. Papathanassiou. 2005. A synthesis of the biological quality elements for the implementation of the European Water Framework Directive in the Mediterranean ecoregion: The case of Saronikos Gulf. *Ecol. Indic.* 5: 253-266.

Smith, V. H. 1982. The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: An empirical and theoretical analysis. *Limnol. Oceanogr.* 27: 1101-1112.

SØballe D. M. and B. L. Kimmel. 1987. A large-scale comparison of factors influencing phytoplankton abundance in river, lakes and impoundments. *Ecology* 68: 1943-1954.

Soontornprasit, K. and C. Meksumpun. 2008. Analysis of Aquatic Ecosystem Response for Zonation Management of Ban Pho Town, Chachoengsao Province, Thailand. *Kasetsart J. (Nat. Sci)* 42: 513-521.

Sosiak. A. J. 2002. Long-tem response of periphyton and macrophytes to reduced municipal nutrient loading to the Bow River (Alberta, Canada). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59: 987-1001.

Spencer, W. and G. Bowes. 1990. Ecophysiology of the world's most troublesome aquatic weeds. *In* Pieterse, A. H. and K.J. Murphy (eds.), Aquatic Weeds: The Ecology and Management of Nuisance Aquatic Vegetation. Oxford University Press, Oxford, pp. 39–73.

Steele, J. H. 1974. The Structure of Marine Ecosystem. Harvard University Press, Cambridge. 128 pp.

Sriwoon, R., P. Pholpunthin and T. Lirdwitayaprasit. 2008. Population dynamics of green *Noctiluca scintillans* (dinophyceae) associated with the monsoon cycle in the upper gulf of Thailand. *J. Phycol.* 44: 605-615.

Stevenson, R. J. and Y. Pan. 1999. Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. *In* Stoermer, E.F. and J.P. Smol (eds.), The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences. Cambridge University Press, Cambridge, UK. p. 11-40.

Stockner, J. G. and K. R. S. Shortreed. 1978. Enhancement of autotrophic production by nutrient addition in a coastal rain-forest stream on Vancouver Island. *J. Fish. Res. Board Canada* 35: 28-34.

Straskraba, M. 1994. Ecotechnological models for reservoir water quality management. *Ecol. Model.* 74: 1-38.

Suter, I. I., G. W., R. A. Efroymson, B. E. Sample and D. S. Jones. 2000. Ecological Risk Assessment for Contaminated Sites. Lewis Publishers, New York. 438 pp.

Suvapepun, S. 1989. Occurrences of red tide in the Gulf of Thailand. *In* Okaichi, T., D. M. Anderson and T. Nemoto (eds.), Red tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology. Elsevier, New York. p. 41-44.

Sweeting, R. A. 1994. River pollution. *In* Calow, P. and G. E. Petts (eds.), The Rivers Handbook 2: 23-32. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Taghon, G. L. and R. R. Greene. 1992. Utilization of deposited and suspended particulate matter by benthic “interface” feeders. *Limnol. Oceanogr.* 37: 1370-1391.

Thaipichitburapa, P. and C. Meksumpun. 2013. Impact of pesticides used in the Tha Chin River basin on natural fishery resources. *In* Proceedings of the International Fisheries Symposium, 28-30 November 2013, Pattaya, Thailand.

Thaipichitburapa, P., Meksumpun C. and S. Meksumpun. 2010. Province-based self-remediation efficiency of the Tha Chin River Basin, Thailand. *J. Water Sci. Techno.* 62(3): 594-602.

Thaipichitburapa, P., Meksumpun, C. and S. Meksumpun. 2010. Environmental Deteriorations and their Impacts on Surf Clam Resource: A Case Study of Eutrophic Tha Chin Estuary, Thailand. *In* Proceedings of the World Small-Scale Fisheries Conference, 18-22 October 2010, Bangkok, Thailand.

Thawonsode, N., C. Meksumpun and S. Meksumpun. 2013. Recent Eutrophication Status of the Tha Chin Estuary, Thailand: Evidences from Biological Important Nutrients and Chlorophyll a Productions. *In* Proceedings of the International Fisheries Symposium, 28-30 November 2013, Pattaya, Thailand.

Thebault, J. M., A. Qotbi. 1999. A model of phytoplankton development in the Lot River (France). Simulations of scenarios. *Wat. Res.* 33: 1065-1079.

Thomson G. B. and P. K. S. Shin. 1983. Sewage pollution and the infaunal benthos of Victoria Habour, Hong Kong. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 67: 279-299.

Thongdonphum, B., S. Meksumpun and C. Meksumpun. 2011. Environmental Impact Assessment of Mae Klong River and Estuarine Ecosystem: An Approach for Nutrient Criteria Development. *J. Water Sci. Technol.* 64(1): 178-188.

Tsutsumi H, S. Montani. 1993. Utilization of biological activities of capitellied polychaete for treatment of 'Hedoro' (organically enriched sediment) deposited on the marine bottom below fish net pen culture. Nippon Suisan Gakkaishi 59: 1343–1347.

Tumwesigwe, C, S. K. Yusuf and B. Makanga. 2000. Structure and composition of macro-invertebrates of a tropical forest stream, Western Uganda African. *J. Ecol.* 38 (1): 72-76.

Tyler, M. A. and H. H. Seliger. 1978. Annual subsurface trans-port of a redtide dinoflagellate to its bloom area: Water circulation patterns and organism distributions in the Chesapeake Bay. *Limnol. Oceanogr.* 23: 227-246.

Uedeme-Naa, B., U. U. Gabriel and O. A. Akinrotimi. 2011. The relationship between aquatic macrophytes and water quality in Nta-Wogba stream, Port Harcourt, Nigeria. *Continental J. Fisheries and Aquatic Science* 5(2): 6-16.

Underwood, J. U. and M. G. Chapman. 2013. Design and Analysis in Benthic Surveys in Environmental Sampling. *In* Eleftheriou, A. (ed.), Methods for the Study of Marine Benthos. Wiley Blackwell, UK. pp. 1-45.

UC Davis Methodology (UCDM). 2010. Water Quality Criteria. Reviews of Environmental Contamination. University of California.

UNEP. 2003. Eutrophication Monitoring Strategy of MED POL. UNEP (DEC)/MED/WG.231/14.

Valiela, I., J. McClellnd, J. Hauxwell, P. J. Behr, D. Hersh and K. Foreman. 1997. Macroalgal blooms in shallow estuaries: Controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnol. Oceanogr.* 42: 1105-1118.

Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell and C. E. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.

Victor, R. and A. E. Ogbeibu. 1991. Macro-invertebrates communities in the erosional biotope of an urban stream in Nigeria. *Trop. Zool.* 4: 1-12

Vollenweider, R. A. and J. Kerekes. 1982. Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control. OECD, Paris. 154 pp.

Vollenweider, R. A. 1968. Water management research. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Technical Report DAS/CSI/68.27. OECD, Paris.

Vollenweider, R. A., R. Marchetti and R. Viviani. 1992. Marine Coastal Eutrophication. Elsevier, London. 1341 pp.

Wade, P. M. 1990. General biology and ecology of aquatic weeds. *In* Pieterse. A.H., Murphy, K. J. (eds.), Aquatic Weeds: The Ecology and Management of Nuisance Aquatic Vegetation. Oxford University Press, New York. pp. 17-30.

Wade, A.J., P.G. Whiteheada, G.M. Hornbergerb, and D.L. Snooka. 2003. On modelling the flow controls on macrophyte and epiphyte dynamics in a lowland permeable catchment: the River Kennet, southern England. *The Science of the Total Environment* 282-283: 375-393.

Wade, A. J., P. G. Whitehed, G. M. Hornberger and D. L. Snook. 2002. On modelling the flow controls on macrophytes and epiphyte dynamics in a lowland permeable catchment: the river Kennet, Southern England. *Sci. Total Environ.* 282-283: 375-393.

Wallace, J. B. and R. W. Merritt. 1980. Filter-feeding ecology of aquatic insects. *Ann. Rev. Entomol.* 25: 103-132.

Wallace, K. J. 2007. Classification of Ecosystem Services: Problems and Solutions. *Biol. Conser.* 139: 235-146.

Walton, S. P., E. B. Welch and R. R. Horner. 1995. Stream periphyton response to grazing and changes in phosphorus concentration. *Hydrobiologia.* 302: 31-46.

Wanielista, M., R. Kersten and R. Eaglin. 1997. Hydrology: Water Quantity and Quality Control. John Wiley & Sons, Inc., New York. 567 pp.

Warwick, R. M. 1988. The level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities. *Mar. Pollut. Bull.* 196: 259-268.

Warwick, R. M. and K. R. Clarke. 1991. A comparison of some methods for analyzing changes in benthic community structure. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 71: 225-244.

Warwick, R. M. and K. R. Clarke. 1993. Comparing the sensitivity of disturbance: a meta-analysis of marine macrobenthic community data. *Mar. Ecol. Progr. Ser*. 92: 221-232.

Weber, P. 1994. It comes down to the coasts. World Watch 7(2): 20-29.

Webster, J. R. 1975. Analysis of potassium and calcium dynamic in stream ecosystems on three southern Appalachian watersheds of contrasting vegetation. Ph.D. thesis, University of Georgia, Athens.

Welch, E. B., C. L. De Gasperi, D. E. Spyridakis, and T. J. Belnick. 1988. Internal phosphorus loading and alum effectiveness in shallow lakes. *Lake Reservoir Management* 4: 27-34.

Welch, E. B., R. R. Horner, and C. R. Patmont. 1989. Prediction of nuisance periphytic biomass: A management approach. *Wat. Res.* 23: 401-405.

Welcomme, R. L. 2003. River Fisheries in Africa. The Relationship to Flow Regimes. NAGA, 26: 23-2

Welcomme, R. L. 2001. Inland Fisheries: Ecology and Management. FAO Fishing News Books. Blackwell Science, UK.

Westlake, D. F. 1981. Temporal changes in aquatic macrophytes and their environment. *In* Villeret, S. (ed.), Dynamiqua de populations et qualité de l'eau. Gauthier-Villars, Paris. pp. 109-138.

Wetzel, R. G. 1983. Limnology. Second edition. Saunders College Publishing, New York. 767 pp.

Wilby, N. J., J. R. Pygott and J. W. Eaton. 2001. Inter-relationships between standing crop, biodiversity and trait attributes of hydrophytic vegetation in artificial waterways. *Freshw. Biol.* 46: 883-902.

Wilby, R. L., R. J. Albrahart and C. W. Dawson. 2003. Detection of conceptual model rainfall-runoff processes inside and artificial neural network. *Hydro. Sci. J.* 48(2): 161-181.

Wilson, T. D., D. Lisle, J. Schooler, S. D. Hodges, K. J. Klaaren, and S. J. LaFleur. 1993. Introspecting about reasons can reduce post-choice satisfaction. *Pers. Soc. Psychol. Bull.* 19: 331-339.

Windom, H. L., K. T. Tenore and D. L. Rice. 1982. Metal accumulation by the polychaete *Capitella capitate*: influences of metal content and nutritional quality of detritus. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 191-196.

Wood, C. A. 1994. Ecosystem management: Achieving the new land ethic. *Renewable Resource Journal* 12: 6-12.

Wotton, R. 1991. Particulate and dissolved organic material as food. *In* Wotton, R. (ed.), The Biology of Particle in Aquatic systems. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Zalewski, M., G. A. Janauer and G. Jolankai. 1997. Ecohydrology: A New Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources. International Hydrological Programme. UNESCO, Paris. 58 pp.

ดัชนีคำสำคัญ

Subject index

กฎระเบียบและมาตรการ 317, 319
กระบวนการผลิต 42, 44, 49, 62
การแก้ปัญหา 297, 318, 323
การเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศ 19
การควบคุม 291, 300, 306, 309, 326
การเคลื่อนตัวแบบวนเป็นเกลียว 77, 78
การถ่ายเทมวลน้ำ 177, 268
การบริหารจัดการ 291, 317, 320
การใช้ประโยชน์ในพื้นที่ 7, 16, 21
การตอบสนอง 134, 151, 181, 211, 214
การทำประมง 151, 164, 167
การนำไฟฟ้า 38, 61, 62
การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 131, 143, 156, 167, 174, 189, 314
การฟื้นฟู 149, 161, 190, 287
การอนุรักษ์ 8, 11, 13, 16
กำลังผลิต 162, 172
ขนาดอนุภาคของดิน 38, 58
ของแข็งแขวนลอย 99, 129, 207
คุณค่าของระบบนิเวศ 13
คลอโรฟิลล์ 159, 197, 221, 234, 260
ความเค็ม 178, 248
ความเป็นกรด-เบส 39, 49, 62, 206
ความเป็นอยู่ 209, 224
ความเร็วของน้ำ 141, 149, 161, 177, 185, 189
ความอุดมสมบูรณ์ 145, 159, 182, 227, 229, 237
คุณภาพน้ำ 202
เครือข่ายทางวิชาการ 317
ซิลิเกต 112
ดัชนีชี้วัด 108, 121, 127, 227
ดัชนีทางนิเวศวิทยา 238
ดินตะกอน 157, 174, 185
น้ำตก 24, 217
นิเวศอุทกวิทยา 2, 16, 22
แนวคิด 283
ไนไตร์ท ไนเตรท 231
ปรากฏการณ์น้ำท่วมหลาก 71, 74
ปริมาณการไหลของน้ำ 33, 41, 50, 64, 81, 87, 129, 158, 276
ปริมาณน้ำในดิน 54
ออกซิเจนละลายน้ำ 38, 50, 61, 142, 161, 189, 205, 210, 221
น้ำเปลี่ยนสี 265
ปัจจัยทางกายภาพ 131
ปัจจัยทางเคมี 132, 189
ปัจจัยทางชีวภาพ 183, 298
ปากแม่น้ำ 130
ผลกระทบ 142
ผู้บริโภค 48, 169
ผู้ผลิตขั้นต้น 39, 42, 46, 273

ดัชนีคำสำคัญ

Subject index

พรรณไม้น้ำ 262
พลวัต 158, 164
พื้นท้องน้ำ 93, 129
แพลงก์ตอนพืช 162, 166
แพลงก์ตอนสัตว์ 169, 194
ฟอสเฟท 110, 192, 231
ภูมิสัณฐานวิทยา 279
ภูมิอากาศ 7, 22, 25, 36, 59
มลภาวะ 139, 187, 196, 240
มาตรฐานคุณภาพน้ำ 203
ยูโทรฟิเคชัน 145, 153, 198, 253
ระบบนิเวศแม่น้ำ 219
ระบบนิเวศปากแม่น้ำ 130, 220
แร่ธาตุอาหาร 3, 14, 44, 56, 64, 153, 192, 197, 271
รูปแบบปากแม่น้ำ 135, 139
ลำธารต้นน้ำ 2
ปลา สัตว์น้ำ 19, 143, 158, 183, 200
วงชีวิต 170, 194
สมการ 139, 172, 233
สมดุลน้ำ 4
สัตว์พื้นท้องน้ำ 80, 127, 193
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง 74, 125, 172, 182
สายใยอาหาร 157, 165
สารอนินทรีย์ 147, 164
สารอินทรีย์ 66, 74, 97, 187
สารอินทรีย์รวมในดิน 54, 57
ซัลไฟด์รวมในดิน 141, 187
มลพิษ 139, 157, 193, 242
สาหร่าย 156, 165, 175, 183
สิ่งแวดล้อมทางน้ำ 257
แสง 145, 149, 156, 173, 197
ห่วงโซ่อาหาร 44, 48, 58, 164, 186
แหล่งน้ำไหล 1, 2, 13, 17, 23
อุณหภูมิของน้ำ 37, 60, 64
แอมโมเนียม 31, 231

From Upstream to Estuary
Hydro-ecological Functions and Conservative Management

จากต้นน้ำ ถึงปากแม่น้ำ
บทบาททางนิเวศอุทกวิทยาและการจัดการเชิงอนุรักษ์

ประวัติผู้เขียน

รองศาสตราจารย์ ดร.จารุมาศ เมฆสัมพันธ์

รองศาสตราจารย์ ระดับ 9 ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษา: จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วท.บ. (ประมง) (เกียรตินิยมอันดับ 1) จากคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2530 และจบการศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอก (ทางด้าน Environmental Sciences) จากมหาวิทยาลัย Kagawa และมหาวิทยาลัย Ehime ประเทศญี่ปุ่น ในปี พ.ศ. 2534 และ 2537 ตามลำดับ

การทำงาน: รับราชการที่คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 ปัจจุบันรับผิดชอบงานสอนระดับปริญญาตรี ในรายวิชาหลักนิเวศวิทยาทางน้ำ สอนระดับปริญญาโทในรายวิชากำลังผลิตขั้นต้นของแหล่งน้ำ นิเวศวิทยาแหล่งน้ำจืด และนิเวศวิทยาดินตะกอน และสอนระดับปริญญาเอกในรายวิชานิเวศอุทกวิทยาและความสามารถในการรองรับเพื่อการบริหารแหล่งน้ำเชิงบูรณาการ เคมีธรณีทางชีวภาพของชั้นแนวต่อบริเวณพื้นท้องน้ำ สัมมนา และระเบียบวิธีวิจัยขั้นสูงทางวิทยาศาสตร์การประมง

การวิจัยและหนังสือ: ดำเนินโครงการวิจัยมา 35 โครงการ มีผลงานตีพิมพ์รวม 138 เรื่อง; ในวารสารระดับนานาชาติ 27 เรื่อง ในเอกสารการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 37 เรื่อง ในเอกสารการประชุมวิชาการระดับประเทศ 45 เรื่อง ตีพิมพ์ในวารสารระดับประเทศ 7 เรื่อง เขียนบทความทางวิชาการ 17 เรื่อง และเขียนตำราและหนังสือ 5 เรื่อง

โครงการวิจัยที่ดำเนินการ (*ในช่วง 5 ปี ย้อนหลังถึงปัจจุบัน*):

- โครงการศึกษากระทบจากการท่องเที่ยวต่อทรัพยากรทางน้ำ ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี และอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี เพื่อประเมินขีดความสามารถในการรองรับการใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการ (พ.ศ. 2552-2554)
- โครงการสังเคราะห์ทิศทางงานวิจัยเพื่อการอนุรักษ์และฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรปลาทูในอ่าวไทย (พ.ศ. 2554-2555)
- แผนวิจัยผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางนิเวศอุทกวิทยาต่อศักย์การผลิตทรัพยากรหอยแครงในพื้นที่อ่าวบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี (พ.ศ. 2554-2555)
- แผนวิจัยการประเมินคุณค่าของพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำภายใต้หลักสมดุลธรรมชาติ (พ.ศ. 2555-2556)
- แผนวิจัยกลยุทธ์การบริหารจัดการร่วมตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียงและการอนุรักษ์สมดุลนิเวศเพื่อความยั่งยืนด้านประโยชน์ทางการประมง: *กรณีศึกษาชุมชนประมงจังหวัดชุมพร* (พ.ศ. 2557-2558)
- แผนวิจัยกลยุทธ์เชิงรุกในการบริหารจัดการทรัพยากรสัตว์น้ำในอ่าวไทยภายใต้สภาวะความกดดันทางการประมงและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก: *กรณีศึกษาทรัพยากรหมึกบริเวณ อ.ปราณบุรี และ อ.สามร้อยยอด จ.ประจวบคีรีขันธ์* (พ.ศ. 2557-2558)