NPRI 2022-14

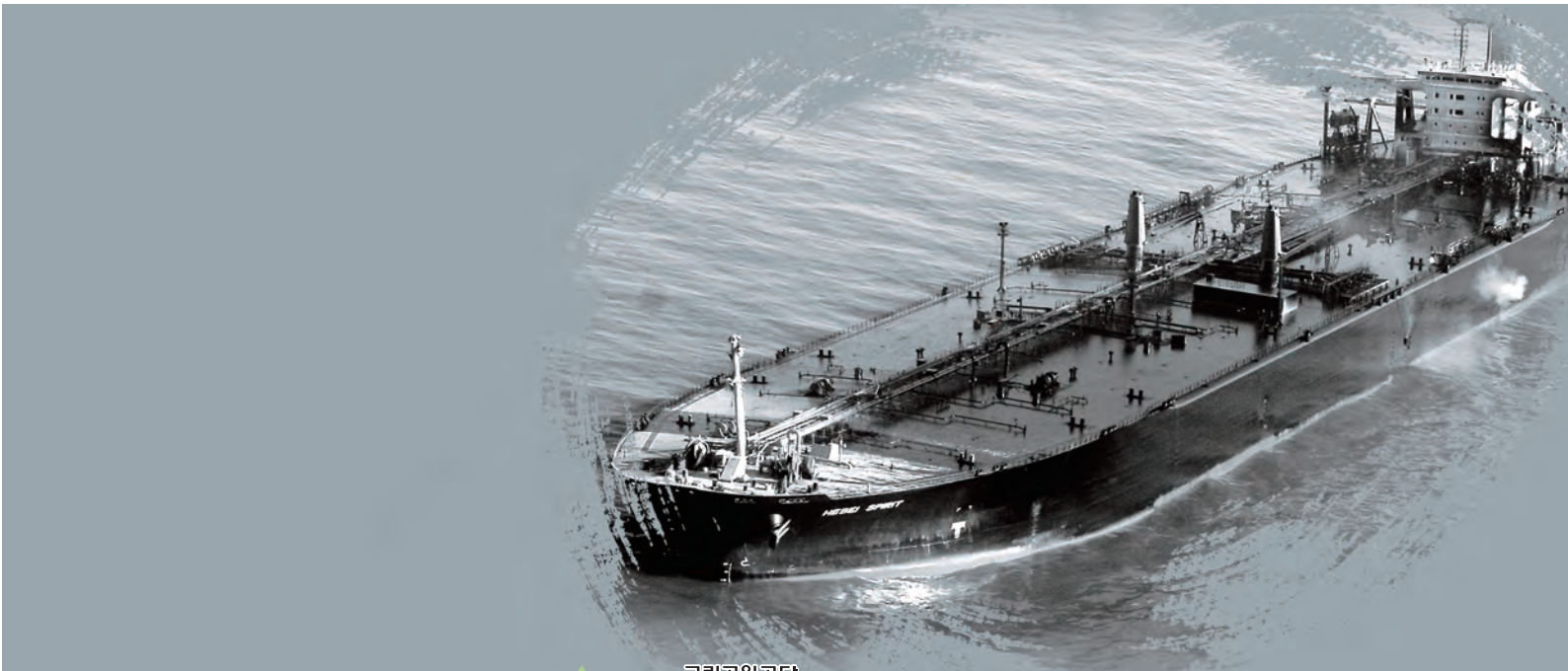
허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른

생태계 영향 장기모니터링

| 14차년도 |

2022.12.

공원 정책 | 생태 자원 | 모니 터링 | 문화 자원 | 안전 방재



국립공원공단
국립공원연구원
KOREA NATIONAL PARK RESEARCH INSTITUTE

허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른

생태계 영향 장기모니터링

| 14차년도 |

2022.12.

국립공원공단
국립공원연구원
KOREA NATIONAL PARK RESEARCH INSTITUTE

| 국립공원 탐방서비스 헌장 |

우리 공단 임직원은 국립공원이 우리나라의 자연생태계와 자연 및 문화경관 등을 대표하는 지역으로 후손에게 물려주어야할 소중한 유산임을 인식하고, 누구나 국립공원의 자연 속에서 건강하고 여유 있는 생활을 할 수 있도록 다음과 같은 자세로 공원 관리에 임할 것을 약속합니다.

1. 다양한 자연생태계, 자연·문화경관 및 지형·지질자원을 체계적으로 보전·관리하겠습니다.

1. 쾌적하고 안전한 국립공원 탐방환경을 유지하겠습니다.

1. 국민의 삶의 질을 향상시킬 수 있는 탐방프로그램을 운영하겠습니다.

1. 국립공원 관련 자료와 다양한 탐방 정보를 국민이 편리하게 이용할 수 있는 환경을 조성 하겠습니다.

1. 고객의 불편이 최소화될 수 있도록 항상 고객의 입장에서 생각하고 행동하겠습니다.

우리 공단 임직원 모두는 탐방서비스헌장을 이행함으로써 국민 모두가 건강하고 행복하게 국립공원을 탐방할 수 있도록 정성을 다 하겠습니다.

참여연구진

본 『허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(14차년도)』 연구는 다음과 같은 연구진에 의하여 수행되었습니다.

총 괄			
사업총괄	정용상	국립공원공단 국립공원연구원	원장
연구총괄	채희영	국립공원공단 국립공원연구원 정책개발실	실장
총괄책임	정원옥	국립공원공단 국립공원연구원 정책개발실 해양연구센터	센터장
연구진			
연구책임	정병관	국립공원공단 국립공원연구원 정책개발실 해양연구센터	
해양환경	정병관	국립공원공단 국립공원연구원 정책개발실 해양연구센터	김진현, 황다혜
PAHs 오염	황다혜	국립공원공단 국립공원연구원 정책개발실 해양연구센터	김진현
중금속 오염	정병관	국립공원공단 국립공원연구원 정책개발실 해양연구센터	김진현, 황다혜
식물플랑크톤	정병관	국립공원공단 국립공원연구원 정책개발실 해양연구센터	
동물플랑크톤	유재원	㈜한국연안환경생태연구소	성은주
해양저서무척추동물			박미라, 김성태, 이채린
해조류			강규상
해양어류(조수웅덩이)			정수영, 최광식
해양포유류	이병관	국립공원공단 국립공원연구원 정책개발실 해양연구센터	정병관, 김진현, 황다혜

목 차

목 차 ····· i
표 목 차 ····· ii
그림목차 ····· v
부록목차 ····· x

Ⅰ. HS호 장기모니터링 개요 ····· 3
1. 일반개요 ····· 3
2. 연구결과 요약(2022년) ····· 5

Ⅱ. 생태계 영향 장기모니터링 ····· 9
1. 해양환경 ····· 11
2. 중금속 오염 ····· 26
3. PAHs 오염 ····· 43
4. 식물플랑크톤 ····· 52
5. 동물플랑크톤 ····· 59
6. 해조류 ····· 83
7. 해양저서무척추동물 ····· 97
가. 조간대 저서무척추동물 ····· 97
나. 조하대 저서무척추동물 ····· 126
8. 해양어류(조수웅덩이) ····· 161
9. 해양포유류 ····· 175

Ⅲ. 부 록 ····· 183

표목차

표 Ⅱ-1-1. 조사대상별 조사지역 및 정점 ····· 11
표 Ⅱ-1-2. 해양수질 측정항목 및 분석방법 ····· 13
표 Ⅱ-1-3. 해양퇴적물 측정항목 및 분석방법 ····· 13
표 Ⅱ-1-4. 해양환경기준(해수수질) ····· 14
표 Ⅱ-1-5. 부영양화 관련 평가항목, 기준농도 및 평가점수 ····· 15
표 Ⅱ-1-6. 수질등급의 장기변화 ····· 25
표 Ⅱ-1-7. 장기적으로 수질등급에 영향을 주는 요인 ····· 25
표 Ⅱ-2-1. 조사대상별 조사지역 및 정점 ····· 26
표 Ⅱ-2-2. 해수 중금속 측정항목 및 분석방법 ····· 28
표 Ⅱ-2-3. 해수 표준물질(MESS-4) 분석결과 및 회수율 ····· 28
표 Ⅱ-2-4. 퇴적물 중금속 측정항목 및 분석방법 ····· 28
표 Ⅱ-2-5. 퇴적물 표준물질(MESS-4) 분석결과 및 회수율 ····· 29
표 Ⅱ-2-6. 해양생물 측정항목 및 분석방법 ····· 29
표 Ⅱ-2-7. 해양생물 표준물질(DORM-3) 분석결과 및 회수율 ····· 29
표 Ⅱ-2-8. 해양환경기준(해수수질) ····· 30
표 Ⅱ-2-9. 해양환경관리법에 따른 해저퇴적물 기준 ····· 30
표 Ⅱ-2-10. 해산 어패류에 대한 국내 및 외국의 허용기준 ····· 31
표 Ⅱ-3-1. 태안해안국립공원 PAHs 퇴적물 및 생물시료 채집기간 ····· 43
표 Ⅱ-3-2. 태안해안국립공원 PAHs 시료채집 및 보관방법 ····· 44
표 Ⅱ-3-3. 16종 PAHs 항목 ····· 45
표 Ⅱ-3-4. 태안해안국립공원 PAHs 분석방법 ····· 45
표 Ⅱ-3-5. 조간대 표층퇴적물 중 tPAHs의 기원 ····· 47
표 Ⅱ-4-1. 식물플랑크톤 조사시기 및 조사지역 ····· 52
표 Ⅱ-4-2. 조사시기별 식물플랑크톤의 우점종 ····· 56
표 Ⅱ-5-1. 동물플랑크톤 조사시기 및 조사지역 ····· 60
표 Ⅱ-5-2. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 상위 분류군에 따른 출현분류군수 ····· 64
표 Ⅱ-5-3. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 생태학적 제지수 ····· 72
표 Ⅱ-5-4. 동물플랑크톤 군집의 다변량 분석에 따른 각 정점군별 군집 특성 ····· 75
표 Ⅱ-5-5. 동물플랑크톤 군집 분포와 환경요인과의 상관관계 ····· 76
표 Ⅱ-5-6. 동물플랑크톤 군집의 조사시기별 우점종 ····· 78
표 Ⅱ-5-7. 동물플랑크톤 군집의 타 해역과 평균 개체수 및 평균 종 수 비교 ····· 80
표 Ⅱ-5-8. 동물플랑크톤 군집의 타 해역과 우점종 비교 ····· 80

표목차

표 Ⅱ-6-1. 조사정점별 시기별 해조류 출현종수 ····· 83
표 Ⅱ-6-2. 해조류 조사 정점 및 좌표 ····· 84
표 Ⅱ-6-3. 조사정점별 시기별 해조류 출현종수 ····· 86
표 Ⅱ-6-4. 조사정점별 시기별 해조류 생체량 ····· 87
표 Ⅱ-6-5. 하계에 출현한 해조류의 우점종 ····· 89
표 Ⅱ-6-6. 추계에 출현한 해조류의 우점종 ····· 89
표 Ⅱ-6-7. 조사정점에 따른 계절별 해조류의 군집지수 변화 ····· 90
표 Ⅱ-6-8. 해조류 군집별 주요 특성 ····· 91
표 Ⅱ-7-1. 조간대 저서무척추동물 조사시기 및 조사지역 ····· 97
표 Ⅱ-7-2. 조간대 저서무척추동물의 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 101
표 Ⅱ-7-3. 조간대 저서무척추동물 조사시기 및 지역별 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 103
표 Ⅱ-7-4. 학암포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 105
표 Ⅱ-7-5. 만리포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 105
표 Ⅱ-7-6. 파도리 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 106
표 Ⅱ-7-7. 연포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 107
표 Ⅱ-7-8. 몽산포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 107
표 Ⅱ-7-9. 마검포 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 108
표 Ⅱ-7-10. 꽃지 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 109
표 Ⅱ-7-11. 바람아래 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 109
표 Ⅱ-7-12. 조간대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(하계) ····· 110
표 Ⅱ-7-13. 조간대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(추계) ····· 111
표 Ⅱ-7-14. 조간대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(하계) ····· 113
표 Ⅱ-7-15. 조간대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(추계) ····· 113
표 Ⅱ-7-16. 조간대 저서무척추동물 군집의 생태지수 ····· 115
표 Ⅱ-7-17. 조간대 저서무척추동물 군집의 다변량 분석에 따른 각 정점군별 군집 특성 ····· 119
표 Ⅱ-7-18. 조간대 저서무척추동물 군집 분포와 환경요인과의 상관관계 ····· 120
표 Ⅱ-7-19. 조간대 저서생태계 건강도 평가 결과 ····· 120
표 Ⅱ-7-20. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 조사지역 ····· 126
표 Ⅱ-7-21. 조하대 저서무척추동물의 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 129
표 Ⅱ-7-22. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 출현종수 ····· 131
표 Ⅱ-7-23. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 서식밀도 ····· 133
표 Ⅱ-7-24. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 생체량 ····· 135

표목차

표 Ⅱ-7-25. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(동계) ····· 136
표 Ⅱ-7-26. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(동계) ····· 138
표 Ⅱ-7-27. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(춘계) ····· 139
표 Ⅱ-7-28. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(춘계) ····· 140
표 Ⅱ-7-29. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(하계) ····· 141
표 Ⅱ-7-30. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(하계) ····· 142
표 Ⅱ-7-31. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(추계) ····· 143
표 Ⅱ-7-32. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(추계) ····· 144
표 Ⅱ-7-33. 조사시기별 조하대 저서무척추동물 군집의 종 다양성 지수 ····· 145
표 Ⅱ-7-34. 조사시기별 조하대 저서무척추동물 군집의 종 균등도 지수 ····· 146
표 Ⅱ-7-35. 조사시기별 조하대 저서무척추동물 군집의 종 풍부도 지수 ····· 147
표 Ⅱ-7-36. 조하대 저서무척추동물 군집의 다변량 분석에 따른 각 정점군별 군집 특성 ····· 151
표 Ⅱ-7-37. 조하대 저서무척추동물 군집 분포와 환경요인과의 상관관계 ····· 152
표 Ⅱ-7-38. 조하대 저서생태계 건강도 평가 결과 ····· 153
표 Ⅱ-7-51. 조하대 ISEP 건강도지수 선행연구와의 비교 ····· 158
표 Ⅱ-8-1. 조사 정점 ····· 161
표 Ⅱ-8-2. 조수웅덩이 어류상 조사시기 ····· 162
표 Ⅱ-8-3. 조수웅덩이 어류 조사 정점별 다양성지수 분석 ····· 170
표 Ⅱ-8-4. 조수웅덩이 어류 군집별 주요 특성 ····· 171
표 Ⅱ-9-1. 관측된 해양포유류(상괭이)의 지점별 개체수 및 기본정보 ····· 177
표 Ⅱ-9-2. 연도별 계절별 해양포유류(상괭이) 개체수 및 출현빈도 ····· 180

그림목차

그림 Ⅱ-1-1. 조하대(해양수질 및 퇴적물) 조사 정점도 ····· 12
그림 Ⅱ-1-2. 태안해안국립공원 환경인자 및 해수 일반항목의 계절 변동 ····· 17
그림 Ⅱ-1-3. 태안해안국립공원 엽록소-a 및 영양염류의 계절 변동 ····· 19
그림 Ⅱ-1-4. 태안해안국립공원 해수 내 총유기탄소의 계절 변동 ····· 20
그림 Ⅱ-1-5. 계절별·정점별 해수 수질등급 ····· 21
그림 Ⅱ-1-6. 수질등급에 영향을 주는 환경인자 ····· 21
그림 Ⅱ-1-7. 조하대 퇴적물의 입도 변화 ····· 22
그림 Ⅱ-1-8. 하대 퇴적물의 강열감량, 화학적산소요구량, 산휘발성황화물 변동 ····· 24
그림 Ⅱ-1-9 태안해안국립공원 퇴적물 내 총유기탄소의 계절 변동 ····· 24
그림 Ⅱ-1-10. 용매추출유분의 장기변화 ····· 25
그림 Ⅱ-2-1. 조하대 해수 중금속의 정점별 분포 ····· 33
그림 Ⅱ-2-2. 조하대 퇴적물 중금속의 정점별 분포 ····· 34
그림 Ⅱ-2-3. 조간대 퇴적물 중금속의 정점별 분포 ····· 36
그림 Ⅱ-2-4. 조간대 패류 체내 중금속의 정점별 분포 ····· 38
그림 Ⅱ-2-5. 조간대(조수웅덩이) 어류 체내 중금속 정점별 분포 ····· 40
그림 Ⅱ-3-1. 조하대 표층퇴적물 PAHs 조사 정점도 ····· 44
그림 Ⅱ-3-2. 조하대 표층퇴적물의 정점별 tPAHs 분포 ····· 46
그림 Ⅱ-3-3. 조간대 표층퇴적물의 정점별 tPAHs 분포 ····· 46
그림 Ⅱ-3-4. 조간대 패류(굴, 담치) tPAHs 함량 ····· 48
그림 Ⅱ-3-5. 조간대 어류(베도라치, 조피볼락) tPAHs 함량 ····· 48
그림 Ⅱ-3-6. 조하대 표층퇴적물의 연간 계절별 tPAHs 함량 변동 ····· 49
그림 Ⅱ-3-7. 조간대 표층퇴적물의 연간 계절별 tPAHs 함량 변동 ····· 50
그림 Ⅱ-3-8. 조간대 해양생물(패류) 연간 tPAHs 함량 변동 ····· 50
그림 Ⅱ-4-1. 조사시기별 출현 개체수 및 종수 ····· 54
그림 Ⅱ-4-2. 조사시기별 종조성 변화 ····· 55
그림 Ⅱ-4-3. 조사시기별 식물플랑크톤 군집의 정점별 생태군집지수 ····· 57
그림 Ⅱ-4-4. 조사시기별 식물플랑크톤 군집 분석 결과 ····· 58
그림 Ⅱ-5-1. 동물플랑크톤 조사 정점도 ····· 61
그림 Ⅱ-5-2. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 출현 분류군수 ····· 65
그림 Ⅱ-5-3. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 출현 개체수 ····· 67
그림 Ⅱ-5-4. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 우점종 조성비 및 점유율 ····· 69
그림 Ⅱ-5-5. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 정점별 습중량 ····· 70

그림목차

그림 Ⅱ-5-6. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 정점별 생태학적 제지수 ····· 73
그림 Ⅱ-5-7. 전체 조사시기를 대상으로 한 동물플랑크톤 군집분석 ····· 74
그림 Ⅱ-5-8. 동물플랑크톤 군집 다차원척도법(n-MDS) 분석결과 (계절통합) ····· 75
그림 Ⅱ-5-9. 동물플랑크톤 군집의 출현 분류군수 장기변동 ····· 77
그림 Ⅱ-5-10. 동물플랑크톤 군집의 출현 개체수 장기변동 ····· 78
그림 Ⅱ-5-11. 동물플랑크톤 군집의 타 해역과 금회조사 영역 비교 ····· 79
그림 Ⅱ-6-1. 해조류 조사지역 전경 ····· 85
그림 Ⅱ-6-2. 해조류 출현종수에 대한 종 조성비 ····· 86
그림 Ⅱ-6-3. 해조류 습중량에 대한 종 조성비 ····· 88
그림 Ⅱ-6-4. 2022년 하계, 추계조사 시 생체량을 이용한 집괴분석 결과 ····· 91
그림 Ⅱ-6-5. 선행연구 조사년도 및 계절별 출현종수 비교 ····· 92
그림 Ⅱ-6-6. 선행연구 조사년도 및 계절별 생체량 비교 ····· 93
그림 Ⅱ-6-7. 최근 8년간 선행연구 조사년도 및 계절별 출현종 종조성 비교 ····· 93
그림 Ⅱ-6-8. 최근 8년간 선행연구 조사년도 및 계절별 정점간 분포양상 비교 ····· 94
그림 Ⅱ-7-1. 조간대 저서무척추동물의 조사 정점도 ····· 98
그림 Ⅱ-7-2. 조간대 저서무척추동물의 출현종수 종조성 ····· 101
그림 Ⅱ-7-3. 조간대 저서무척추동물의 서식밀도 종조성 ····· 102
그림 Ⅱ-7-4. 조간대 저서무척추동물의 생체량 종조성 ····· 102
그림 Ⅱ-7-5. 조간대 저서무척추동물의 출현종수, 서식밀도, 생체량 비교 ····· 103
그림 Ⅱ-7-6. 조간대 저서무척추동물의 출현종수, 서식밀도, 생체량 공간 분포 ····· 104
그림 Ⅱ-7-7. 학암포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교 ····· 105
그림 Ⅱ-7-8. 만리포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교 ····· 106
그림 Ⅱ-7-9. 파도리 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교 ····· 106
그림 Ⅱ-7-10. 연포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 ····· 107
그림 Ⅱ-7-11. 몽산포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교 ····· 108
그림 Ⅱ-7-12. 마검포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교 ····· 108
그림 Ⅱ-7-13. 꽃지 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교 ····· 109
그림 Ⅱ-7-14. 바람아래 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교 ····· 110
그림 Ⅱ-7-15. 조간대 저서무척추동물 서식밀도 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포 ····· 112
그림 Ⅱ-7-16. 조간대 저서무척추동물 생체량 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포 ····· 114
그림 Ⅱ-7-17. 조간대 저서무척추동물 군집의 생태지수 비교 ····· 116
그림 Ⅱ-7-18. 조간대 저서무척추동물 군집 집괴분석 결과(계절통합) ····· 117

그림목차

그림 Ⅱ-7-19. 조간대 저서무척추동물 군집 다차원척도법 분석 결과(계절통합) ····· 117
그림 Ⅱ-7-20. 조간대 저서무척추동물 군집 공간 분포도 ····· 118
그림 Ⅱ-7-21. 조하대 저서무척추동물 군집 조사시기별 집괴분석 결과 ····· 118
그림 Ⅱ-7-22. 조간대 저서생태계 건강도 종합 평가 분포도 ····· 121
그림 Ⅱ-7-23. 조간대 저서무척추동물 군집의 출현종수 장기 변동 ····· 122
그림 Ⅱ-7-24. 조간대 저서무척추동물 군집의 서식밀도 장기 변동 ····· 123
그림 Ⅱ-7-25. 조간대 저서무척추동물 군집의 생체량 장기 변동 ····· 124
그림 Ⅱ-7-26. 조간대 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 선행 연구와의 비교 ··· 125
그림 Ⅱ-7-27. 조하대 저서무척추동물 조사 정점도 ····· 127
그림 Ⅱ-7-28. 조하대 저서무척추동물 출현종수의 종조성 ····· 129
그림 Ⅱ-7-29. 조하대 저서무척추동물 서식밀도의 종조성 ····· 130
그림 Ⅱ-7-30. 조하대 조하대 저서무척추동물 생체량의 종조성 ····· 131
그림 Ⅱ-7-31. 조하대 저서무척추동물의 출현종수 공간 분포 ····· 132
그림 Ⅱ-7-32. 조하대 저서무척추동물의 서식밀도 공간 분포 ····· 134
그림 Ⅱ-7-33. 조하대 저서무척추동물의 생체량 공간 분포 ····· 136
그림 Ⅱ-7-34. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(동계) ····· 137
그림 Ⅱ-7-35. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(동계) ····· 138
그림 Ⅱ-7-36. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(춘계) ····· 139
그림 Ⅱ-7-37. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(춘계) ····· 140
그림 Ⅱ-7-38. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(하계) ····· 141
그림 Ⅱ-7-39. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(하계) ····· 142
그림 Ⅱ-7-40. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(추계) ····· 143
그림 Ⅱ-7-41. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(추계) ····· 144
그림 Ⅱ-7-42. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 종 다양성 지수 ····· 145
그림 Ⅱ-7-43. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 종 균등도 지수 ····· 146
그림 Ⅱ-7-44. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 종 풍부도 지수 ····· 147
그림 Ⅱ-7-45. 조하대 저서무척추동물 군집 집괴분석 결과(계절통합) ····· 148
그림 Ⅱ-7-46. 조하대 저서무척추동물 군집 공간 분포 ····· 148
그림 Ⅱ-7-47. 조하대 저서무척추동물 군집 조사시기별 집괴분석 결과 ····· 149
그림 Ⅱ-7-48. 조하대 저서무척추동물 군집 집괴분석 결과 ····· 150
그림 Ⅱ-7-49. 조하대 저서무척추동물 군집 다차원척도법(n-MDS) 분석 결과(공간 구분) ····· 150
그림 Ⅱ-7-50. 조하대 저서무척추동물 군집 다차원척도법(n-MDS) 분석 결과(계절 구분) ····· 151

그림목차

그림 Ⅱ-7-51. 조하대 저서생태계 건강도 종합 평가 분포도 ····· 154
그림 Ⅱ-7-52. 정점 St.15의 시기별 KBQI 점수 및 주요 지수 기여종의 서식밀도 변화 ····· 154
그림 Ⅱ-7-53. 조하대 저서무척추동물의 출현종수, 서식밀도, 생체량 장기 변동 ····· 155
그림 Ⅱ-7-54. 조하대 저서무척추동물 평균 출현종수, 출현종지수 타 해역과의 비교 ····· 156
그림 Ⅱ-7-55. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 타 해역과의 비교 ····· 157
그림 Ⅱ-7-56. 조하대 저서무척추동물 생체량 타 해역과의 비교 ····· 157
그림 Ⅱ-8-1. 정점별 조사대상 조수웅덩이 전경 ····· 162
그림 Ⅱ-8-2. 조수웅덩이 어류상 조사 전경 ····· 163
그림 Ⅱ-8-3. 2022년 채집된 조수웅덩이 어류의 목(Order) 단위 출현종수 ····· 164
그림 Ⅱ-8-4. 2022년 채집된 조수웅덩이 어류의 지역별 출현종수 ····· 164
그림 Ⅱ-8-5. 2022년 채집된 조수웅덩이 어류의 지역별 출현 개체수 ····· 165
그림 Ⅱ-8-6. 2022년 채집된 조수웅덩이 어류의 주요 우점종 ····· 166
그림 Ⅱ-8-7. 주요 우점종별 밀도(개체/10㎥) 분포 ····· 166
그림 Ⅱ-8-8. 학암포에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수 ····· 167
그림 Ⅱ-8-9. 의항에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수 ····· 167
그림 Ⅱ-8-10. 모항에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수 ····· 168
그림 Ⅱ-8-11. 청포대에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수 ····· 168
그림 Ⅱ-8-12. 삼봉에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수 ····· 169
그림 Ⅱ-8-13. 밧개에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수 ····· 169
그림 Ⅱ-8-14. 지점별·시기별 군집 분석 결과 ····· 171
그림 Ⅱ-8-15. 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수 변화 ····· 173
그림 Ⅱ-9-1. 해양포유류(상괭이) 조사지선 ····· 176
그림 Ⅱ-9-2. 해양포유류(상괭이)의 계절별 출현현황 ····· 177
그림 Ⅱ-9-3. 2022년 해양포유류(상괭이) 발견지점 ····· 178
그림 Ⅱ-9-4. 태안해안국립공원에 출현한 상괭이의 계절 및 연별 개체수 합(2008~2022년) ····· 179
그림 Ⅱ-9-5. 조사시기에 따른 해양포유류(상괭이) 개체수의 장기변동(2008~2022년) ····· 180
그림 Ⅱ-9-6. 해양포유류(상괭이)의 공간적 분포현황(2011년, 2014～2022년) ····· 181

부록목차

부록 Ⅲ-5-1. 동물플랑크톤의 정점별 현존량(동계) ····· 185
부록 Ⅲ-5-2. 동물플랑크톤의 정점별 현존량(춘계) ····· 186
부록 Ⅲ-5-3. 동물플랑크톤의 정점별 현존량(하계) ····· 187
부록 Ⅲ-5-4. 동물플랑크톤의 정점별 현존량(추계) ····· 188
부록 Ⅲ-6-1. 해조류의 정점별 출현종 목록 및 생체량(하계) ····· 189
부록 Ⅲ-6-2. 해조류의 정점별 출현종 목록 및 생체량(추계) ····· 191
부록 Ⅲ-7-1. 저서생태계 건강도 지수 등급 산정 기준 ····· 193
부록 Ⅲ-8-1. 2020년 태안해안국립공원 조간대에서 채집된 단위부피당(10 m^3) 어류 개체수 ····· 196
부록 Ⅲ-8-2. 조사시기별(2005~2022년) 조사지역의 우점종 현황 ····· 197
부록 Ⅲ-8-3. 조사시기별(2009~2022년) 단위부피당(10 m^3) 출현 개체수와 종수 ····· 198
부록 Ⅲ-8-4. 학암포 주요종 현황(2009~2022년) ····· 200
부록 Ⅲ-8-5. 의항 주요종 현황(2009~2022년) ····· 201
부록 Ⅲ-8-6. 모항 주요종 현황(2009~2022년) ····· 202
부록 Ⅲ-8-7. 청포대 주요종 현황(2009~2022년) ····· 203
부록 Ⅲ-8-8. 삼봉 주요종 현황(2009~2022년) ····· 204
부록 Ⅲ-8-9. 밧개 주요종 현황(2009~2022년) ····· 205

Ⅰ HS호 장기모니터링 개요

Ⅰ. HS호 장기모니터링 개요

1 일반개요

가. 연구배경

- 2007년 12월 7일(AM 07:06) 충청남도 태안군 소원면 만리포 북서 10㎞ 해상에서 유류유출사고 발생
- 홍콩선적 유조선 허베이 스프리트호와 예인선(삼성 T-5호, 삼호 T-3호)에 의해 예인중이던 삼성중공업 크레인바지선(삼성 1호)의 충돌로 중동산 원유 3종(Upper Zakum, Iranian Heavy, Kuwait Export) 12,547㎘(드럼통 62,735개)가 유출
- 유출된 유류는 태안해안국립공원 전 해역 및 연안으로 확산되어 생태계 교란 발생

나. 유류유출 사고 요약

- 유출된 원유는 중질유, 국제유조선선주오염연맹(ITOPE)에 의해 그룹Ⅲ(비중 0.85~0.95, API 17.5~35)으로 분류
- 확산: 태안반도→변산반도→다도해해상→제주도(2008. 1. 9, 486㎞)

○ 유류유출사고 요약

허베이 스피리트호	2007. 11. 16.(10:42)	아랍에미리트에서 출발
	12. 06.(19:18)	대산항 근처에 정박
	12. 07.(07:06)	크레인바지선과 충동

크레인바지선(삼성 1호)	2007. 12. 06.(14:50)	인천에서 출발
	12. 07.(06:52)	예의선의 줄이 끊어져 표류
	12. 07.(07:06)	허베이 스피리트호와 충돌

유출된 원유	운반량	유출량	수거량	폐기물 수거량
중질유	302,640㎘	12,547㎘	4,428㎘	31,900 ton

다. 추진현황

○ 단계별 추진 로드맵

장기모니터링 1단계(~'19년)		장기모니터링 2단계('20년~)
유류오염 사고 이후 오염 회복도 파악	▶	-환경 및 생물상의 자연적 가변성 파악 및 자료축적

○ 장기모니터링 사업 추진경위

일 시	내 용
'07. 12. 07.	허베이 스피리트호 유류유출사고 발생
'07. 12. 26.	환경부 소속 산화기관 랍동 생태계 조사단 구성 및 운영
'07. 12. 20. ~ '08. 1. 31.	생태계 피해 긴급현황 조사 - 태안해안국립공원, 생태민감지역, 특정도서 등
'08. 1. ~ 12.	생태계 영향 정밀조사 실시
'09. 1. ~ '19. 12.	유류사고 장기모니터링 1단계 사업 실시
'09. 3. 3. ~ 3. 5.	해양 유류오염 국제심포지엄 개최 - 태안, 국내·외 관련 전문가 410명 참석
'14. 2.	장기모니터링 사업 발전 워크숍 개최 - 군산대학교, 조사분야 및 사업의 방향, 장기 계획 논의
'17. 7. 7.	전국해양문화학자대회 특별분과 운영 - 군산대학교, 허베이스피리트(HS)호 유류유출사고 영향과 회복 노력
'18. 6.	장기모니터링 조하대 분야 종합분석 완료 - 1~9차년도 24분야 검증 및 DB화, 조하대 분야에 대한 종합분석 실시
'18. 6. 19. ~ 6. 21.	유류오염 국제컨퍼런스 개최 - 인천 송도, 국내·외 관련 전문가 및 학회 455명 참석
'19. 12.	유류유출 사고 해역 조간대 장기모니터링 종합분석 완료
'19. 12.	HS호 장기모니터링 논문집(특별호) 발간 - 장기모니터링 14개 분야 연구결과 수록(국립공원연구지 13권 3호)
'20. 1. ~ 현재	유류사고 장기모니터링 2단계 사업 실시

라. 연구목적

- 유류사고 이후 태안해안국립공원의 해양생태계 변화와 유류오염에 대한 영향 파악
- 사고전·후 자료를 확보하여 생태계 복원에 필요한 근거자료 제공
- 유류유출 영향조사 선도체제 강화의 일환 해양생태계 변동을 추적하고 DB를 구축하여 생태계의 온전성(ecological integrity) 및 회복력(resilience) 추정

2 연구결과 요약(2022년)

가. 해양환경

- 수온, 염분, 용존산소 등 환경인자는 계절적 특징을 보임
- 용매추출유분은 해양환경기준(10 ㎍/L)보다 현저히 낮은 수준
- 엽록소-a는 춘계의 남부해역에서 대발생(bloom)을 보였고, 이에따라 아질산+질산염, 인산염, 규산염의 감소, 식물플랑크톤 증식에 사용
- 태안해안국립공원 해역의 수질등급은 1~2등급의 수질을 보였고, 동계 투명도가 수질등급에 관여
- 해양 퇴적물의 조성비는 모래와 뻘로 이루어졌으며 모래의 비중이 높음, 사계절 퇴적물 조성비의 변화는 크지 않음
- 해양 퇴적물의 부영양화 지수를 확인해본 결과, 모두 기준이하로 양호한 수준

나. 중금속 오염

- 해수 중 중금속 모든 항목이 해역수질환경기준의 해양생태계 보호기준(단기기준)과 사람의 건강보호기준보다 낮은 농도
- 조하대 표층퇴적물에서 비소를 제외한 나머지 항목들은 해양환경기준의 주의기준보다 낮은 함량을 나타내어 해양생물에 부정적인 생태영향이 거의 없을 것으로 예측되는 농도 범위를 나타내었음
- 조간대 표층퇴적물은 모든 정점에서 해양환경기준의 주의기준보다 낮은 함량을 나타냄
- 2013년 이후 유의한 변화없이 유사한 분포를 보였으나 최근 어류의 납과 패류의 카드뮴과 납의 농축 농도가 높은 농도 또는 국내 허용기준을 초과하는 사례가 발생함에 따라 주의 깊은 관찰이 요구됨

다. PAHs 오염

- 조하대 및 조간대 퇴적물 모두 정점간 큰 변동을 보이지 않음
- 2022년 퇴적물의 tPAHs 기원은 Crude oil spil과 Crude oil burning 기원으로 나타남
- 장기적으로 조하대와 조간대 퇴적물의 경우, 2018년을 기점으로 증가하다 2020년 이후 다시 감소하는 경향을 보임
- 2022년 퇴적물의 tPAHs는 2021년에 비해 낮은 농도를 보였고, 유류유출 사고 이전에 조사된 태안해안 인근지역의 퇴적물 tPAHs 함량(13.7 ng/g dry wt.)과 근접한 수치를 보였고, 미국 NOAA 권고기준 보다 현저히 낮은 수치를 보임
- 해양생물(패류, 어류)의 tPAHs는 2008년부터 지속적으로 증감을 반복하는 경향을 보였고, 2022년은 2021년에 비해 낮은 농도를 보임
- tPAHs의 함량은 분해가 진행됨에 따라 상승과 하강을 반복하거나 일시적으로 증가하는 경향을 보이므로 tPAHs 함량 변동에 대한 지속적인 관찰 필요

라. 식물플랑크톤

- 조사기간 동안 태안해안국립공원에서 출현한 종은 총 7개 분류강으로 규조강(Bacillariophyceae) 58종, 은편모조강(Cryptophyceae) 1종, 대롱편모조강(Dictyochophyceae) 1종, 와편모조강(Dinophyceae) 23종, 유글레나강(Euglenoidea) 1종, 침편모조강(Raphidophyceae) 1종, 접합조강(Zygnematophyceae) 1종으로 총 86종이 출현
- 출현 개체수는 춘계에 높은 분포를 보였고, 공간적으로는 남부해역에서 높음
- 규조강의 우점하는 가운데 하계와 추계에는 와편모조강의 강세를 나타냄
- 우점종은 동계, 춘계, 추계에는 규조강이, 하계에는 와편모조강이 우점
- 다양도, 균등도, 풍부도 지수는 하계와 추계에 높고 우점도지수는 동계와 춘계에 높음
- 군집분석 결과 태안해안국립공원의 식물플랑크톤 군집은 북부해역과 남부해역으로 이원화되는 형태를 보임

마. 동물플랑크톤

- 총 분류군수는 동계에 최소 수준(14개 분류군)을 보이다가 점차 증가하여 추계에 최대수준(30개 분류군)
- 평균 출현 개체수는 동계에 최소 수준(408 개체/㎥)으로 점차 상승하여 하계에 최대 수준(23,370 개체/㎥)을 보이다가 추계에 다시 감소하는 경향
- 우점종은 우점율 52.9~90.8%의 범위로 연중 *Noctiluca scintillans*가 우점
- 평균 습중량은 15.7 ~ 1,811 ㎎/㎥의 범위로 춘계에 가장 높고 동계에 낮은 수준을 보여 계절별 개체수의 영향을 반영
- 군집분석 결과는 30% 유사도 수준에서 크게 3개의 군집으로 나뉘며, 계절과 정점의 위치에 따라 구분되는 특성
- 이에 따른 환경요인 분석결과도 수온이 가장 높은 상관계수(0.570)를 보이며 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 분석됨

바. 해조류

- 하계에 출현한 해조류는 총 61종이었으며, 홍조식물이 가장 많이 출현하였음. 다음으로 대롱편모조식물, 녹조식물, 해샨현화식물의 순으로 나타났음
- 추계에 출현한 해조류는 총 59종이었으며, 홍조식물이 가장 많이 출현하였음. 다음으로 대롱편모조식물, 녹조식물, 해샨현화식물의 순으로 나타났음
- 학암포(St.1), 만리포(St.2), 파도리(St.3)에서 상대적으로 출현종수가 높게 나타났으며, 채석포(St.4)와 방포(St.6)에서는 중간 수준을 보였으며, 몽산포(St.5)에서 상대적으로 출현종수가 낮게 나타났음
- 생체량은 하계에 44,396.12 gWWt/㎡, 추계에는 31.968.92 gWWt/㎡으로 나타남. 출현종수와 다르게 대롱편모조식물이 가장 높게 나타났으며, 홍조식물, 녹조식물, 해산현화식물의 순으로 나타났음
- 우점종은 하계에는 지충이, 작은구슬산호말, 구멍갈파래의 순으로 나타났고, 추계에는 지충이, 작은구슬산호말, 구멍갈파래 순으로 나타났음

사. 해양저서무척추동물

1) 조간대 저서무척추동물

- 저서무척추동물은 총 149 종/4.8㎡이 출현, 지역별로는 평균 32 종/0.3㎡이 서식하는 것으로 조사
- 서식밀도와 생체량은 평균 1,651 개체/㎡, 143.4 g/㎡으로 조사
- 지역별로는 연포에서 가장 다양한 저서무척추동물이 출현했으며, 생체량이 바지락(*Ruditapes philippinarum*)의 높은 서식밀도로 가장 높은 것으로 조사. 서식밀도는 둥근선녀얼굴갯지렁이(*Pseudopolydora paucibranchiata*)의 대량 서식으로 꽃지에서 가장 높은 것으로 조사
- 군집 구조는 공간에 따라 구분되고, 상부와 중·하부가 구분되는 경향. 퇴적환경 변수인 입도, 강열감량, 공극수 수온의 조합변수가 군집 구조와 가장 상관성 높은 것으로 분석
- 건강도 종합평가는 5등급(보통)에 해당하였고, 파도리를 기준으로 파도리 이북은 '보통'이하, 연포 이남은 대체로 '보통'이상의 공간분포가 나타남
- 연포는 높은 출현 종 수 더불어 바지락(*Ruditapes philippinarum*), 떡조개(*Dosinia japonica*)등 대형종이 출현하여 종합 3등급(매우좋음)으로 평가되었고 조사 대상 조간대 중 가장 건강도가 양호하였음
- 반면 만리포는 조사 대상 조간대 중 가장 낮은 출현 종 수와, 꼬마돌사리조개(*Felaniella sowerbyi*), 한꼬리모래옆새우(*Haustorioides indivisus*)등의 높은 서식밀도 우점으로, 종합 6등급(나쁨)의 낮은 건강도 평가를 받았고 조사 지역 조간대중 가장 낮은 건강도로 평가됨

2) 조하대 저서무척추동물

- 저서무척추동물은 총 401 종/6.0㎡(평균 43 종/0.1㎡), 평균 서식밀도와 생체량은 각각 평균 2,778 개체/㎡, 62.5 g/㎡로 조사
- 본 조사시기 Gammaropsis 속에 속하는 두 단각류로 넓적다리붙은꼬리옆새우(*Gammaropsis utinomii*)와 극동육질꼬리옆새우(*Gammaropsis japonica*), 버들갯지렁이류(*Mediomastus californiensis*), 긴얼굴갯지렁이류(*Polydora* spp.)가 서식밀도 기준 우점종으로 조사되었으며, 이들은 대부분 정점 15에서 집중 분포하고 있는 것으로 조사(*M. californiensis* 제외)
- 군집은 크게 5개의 군집으로 나뉘었으며, 크게 북부와 남부로 나뉘는 경향. 남부 지역에서 정점 3, 5, 10, 14~15과 6~13과 다른 군집으로 구분됨. 입자성부유물질(SPM)과 모래함량(Sand)의 조합변수가 군집 구조와 가장 상관성 높은 인자로 분석
- 건강도는 종합평가는 4등급(좋음)에 해당하였고, 일부정점을 제외하고는 대체로 연중 건강도의 변화가 크지 않았음
- 파도리를 기준으로 북부 정점(St.01~04)은 5등급의 '보통'수준을, 남쪽 정점은 4등급 '좋음'이상의 건강도 분포를 나타냄

- 2020년 선행연구의 ISEP 건강도 지수의 종합등급은 평균 4등급(좋음)으로 본 연구와 동일함
- 파도리 이북 정점들(St.01~04)의 건강도가 2020년 대비 하락하였고, 그 외 지역의 건강도 변화는 크지 않았음

아. 해양어류(조수웅덩이)

- 2007년 기름유출사고 이후 조수웅덩이의 어류는 3년 이내에 거의 사고 이전 수준으로 회복
- 2010년부터 2022년까지 분류군별 출현 어류의 종조성 및 출현량에 있어서 조사시기에 따른 계절적 변화를 제외한 유의할만한 변화는 없음
- 모니터링 과정에서 출현 어종 중 열대 해역에 분포하는 종으로는 범돔·벵에돔 등이 있으나 금년도 2022년의 조사에서는 관찰되지 않았으며, 이에 대해서는 지속적인 모니터링이 요구됨
- 사질 조간대 내 조수웅덩이가 위치한 청포대, 삼봉, 밧개의 조사 정점에서는 주로 망둑어과 어류가 우점하였고 경성조간대 내 조수웅덩이가 위치한 학암포, 의항, 모항의 조사 정점에서는 조피볼락이 우점하여 환경에 따른 어류 군집의 차이를 보임

자. 해양포유류

- 2008~2022년까지 총 1,977개체(416회 출현빈도)가 출현하였음. 2010년 이후 출현개체수와 빈도수가 증가
- 2008~2022년(13년간)까지 태안해안국립공원에서 상괭이 목시조사 결과, 춘계(1,068개체, 236회)>추계(514개체, 104회)>하계(395개체, 65회) 순으로 출현개체와 빈도가 높게 관측됨
- 2022년에는 총 80개체의 상괭이가 관측되었고, 춘계 60개체(75.0%), 추계 17개체(21.3%), 하계 3개체 (3.8%)로 출현하였음
- 전반적으로 해양포유류(상괭이)는 태안 중부지역인 신진도항 인근 해역과 북부 해역에서 상대적으로 높은 출현을 보이고 남부 해역에서 낮은 출현을 보임

Ⅱ 생태계 영향 장기모니터링

Ⅱ. 생태계 영향 장기모니터링

1 해양환경

가. 서론

1) 배경

- 2007년 12월 7일 허베이 스피리트호 유류유출사고로 태안해안국립공원 전역에 생태계 교란 발생
- 해양환경(수질, 퇴적물) 인자들은 해역에 서식하는 생물들의 성장과 생리에 영향을 주며, 해역의 영양단계 및 수질등급 선정에 활용됨으로 우선적 조사 필요

2) 연구목적

- 유류 사고 이후 해양수질 및 퇴적물의 상태를 파악하여, 해역의 수질등급 및 부영양화 정도를 파악하여 해양 생태계 평가에 필요한 자료 제공
- 국립공원 관리 및 해양환경변화 대비를 위한 기초자료를 구축

나. 조사내용 및 방법

1) 조사기간 및 지역

- 태안해안국립공원 15개 정점에 대하여 4계절조사 실시(표 Ⅱ-1-1, 그림 Ⅱ-1-1)

표 Ⅱ-1-1. 조사대상별 조사지역 및 정점

회차	조사기간	조사지역
1 (동계)	2022. 2. 24. ~ 25.	태안해안국립공원 조하대 (정점 1~15)
2 (춘계)	2022. 4. 28. ~ 29.	
3 (하계)	2022. 7. 5. ~ 6.	
4 (추계)	2022. 10. 6. / 2022. 10. 25.	

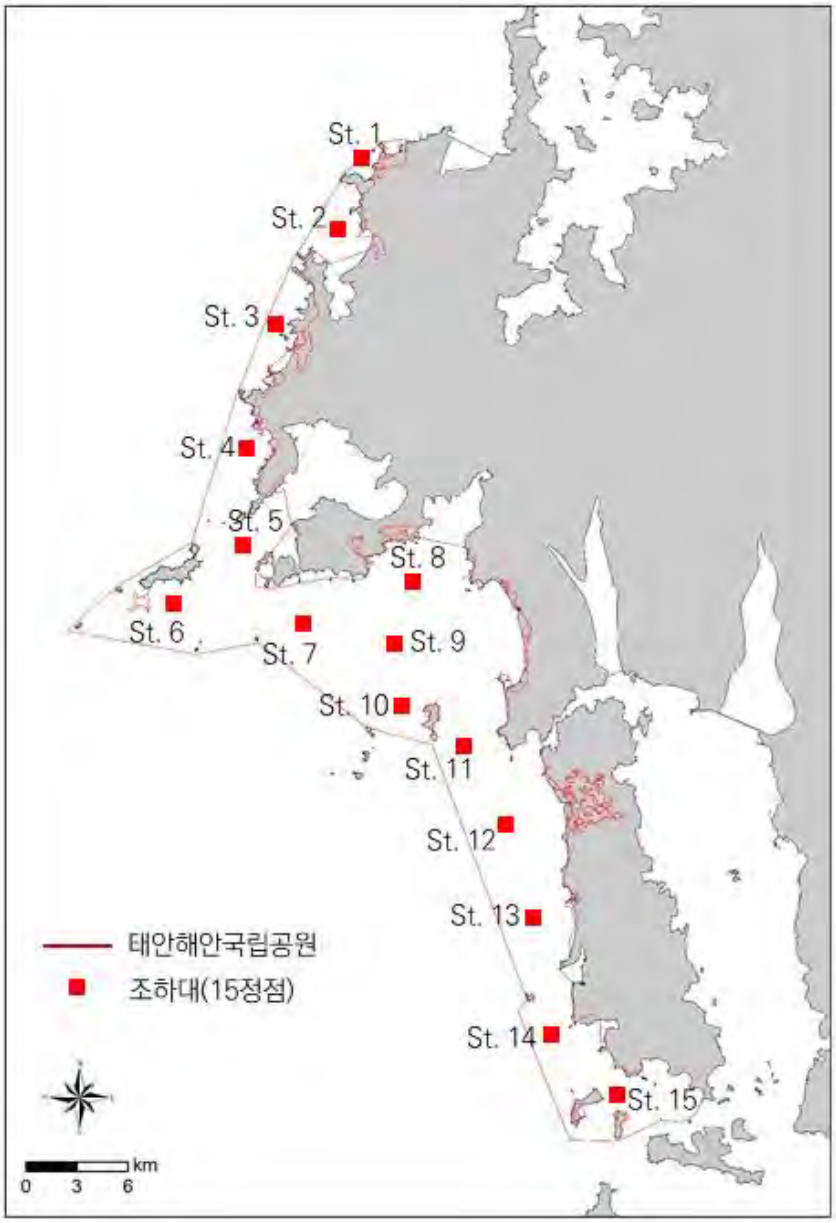


그림 Ⅱ-1-1. 조하대(해양수질 및 퇴적물) 조사 정점도

2) 조사방법

가) 시료채집

- 해수 시료는 채수기를 이용하여 표층과 저층에서 채집
- 퇴적물 시료는 반빈 채니기(van Veen grab)을 사용하여 채집

나) 분석방법

- 환경인자는 YSI(6600EDS)를 이용하였으며, 수질항목과 퇴적물 분석은 해양환경공정시험기준(국립수산과학원, 2021)에 따라 분석

표 Ⅱ-1-2. 해양수질 측정항목 및 분석방법

측정항목		분석방법	측정원리
해수	수온	현장측정	현장에서 YSI(6600EDS)를 이용하여 측정한다.
	염분		
	pH		
	용존산소		
	투명도	현장측정	투명도판(secchi disk)을 이용하여 측정한다.
	부유 입자물질	유리섬유 여과지법	일정량의 시료를 미리 무게를 알고 있는 유리섬유 여과지(GF/F)에 여과한 후 105~110℃에서 2시간 건조시킨 후 항량으로 하여 무게를 달아 여과 전・후의 무게차를 산출하여 부유물질의 양을 측정한다.
	화학적 산소 요구량	알카리성 $KMnO_4$법	시료 100 ㎖를 알카리성 하에서 과망간산칼륨용액 일정과량을 가하고 100℃ 수욕 상에서 1시간 가열한 후 냉각시키고 그 시료용액에 요오드화칼륨을 넣고 황산을 가해 남아있는 과망간산칼륨에 의해 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정한다.
	용매추출 유분	형광광도법	시료중의 유분을 사염화탄소(무형광용)로 추출한 다음 회전식 증발기를 이용하여 감압상태에서 유기용매를 증발시킨 후 10 ㎖ 시클로헥산(무형광용)에 재 용해시켜 여기파장 310 nm와 형광파장 360 nm에서 형광세기를 측정하여 유분을 측정한다.
	엽록소-a	형광광도법	해수 일정량은 GF/F로 여과 후 여과된 여지를 90% 아세톤에서 용출하여 형광광도계로 측정한다.
	암모니움	흡광광도법	암모니아질소가 알칼리성에서 페놀과 차아염소산의 존재 하에서 니트로프로시드의 촉매작용으로 페놀과 반응하여 생성된 청색의 인도페놀을 640 nm에서 흡광도를 측정한다.
	아질산+ 질산염	흡광광도법	아질산+질산질소를 황산구리용액으로 처리한 카드뮴 입자가 채워진 환원용 유리관을 통과시키면 질산질소는 정량적으로 아질산질소로 환원된다. 이렇게 환원된 아질산질소를 NED법으로 측정하여 시수 중에 들어있던 아질산+질산질소 농도를 산출한다.
	총질소	흡광광도법	시료중의 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 유기질소, 입자성질소 등을 알칼리성 과황산칼륨으로 분해하여 질산질소를 산화시킨 후 카드뮴-구리 환원칼럼을 통과시켜 질산이온을 아질산이온으로 환원시켜 NED법으로 측정한다.
	인산염	흡광광도법	몰리브덴산암모늄과 타르타르산안티모닐칼륨은 산성용액에서 인산이온과 반응하여 황색의 몰리브덴산 착체를 형성하고 이를 아스코르브산으로 환원시키면 청색의 몰리브덴산청이 생성되는데 이를 885 nm에서 흡광도를 측정한다.
	총인	흡광광도법	시료중의 용존, 입자형태 또는 무기, 유기형태 등 모든 인 화합물을 과황산칼륨으로 산화 분해하여 인산인 형태로 변화시켜 아스코르브산법으로 측정한다.
	규산염	흡광광도법	규산규소는 몰리브덴산과 반응하여 몰리브덴산 착체를 형성하고 이를 메톨과 옥살산으로 환원시키면 청색의 규소몰리브덴산 착체가 생성되는데 이를 810 nm에서 흡광광도계로 측정한다.

표 Ⅱ-1-3. 해양퇴적물 측정항목 및 분석방법

측정항목		분석방법	측정원리
퇴적물	입도	체질법	시료 중 일정량을 취하여 과산화수소수(H_2O_2)로 유기물을 제거하고 증류수를 이용하여 용해성 염분을 제거한 후 체질하여 자갈·모래·펄로 구분하였다.
	강열감량 (IL)	-	채취한 시료 일정량을 취하여 건조시킨 다음 곱게 분마하여 전기로(Furnace)를 이용하여 550℃에 2시간 동안 강열한 후 강열 전후의 무게 차이를 계산하여 구한다.
	산휘발성 황화물 (AVS)	황검지관법	황검지관을 사용하여 검지관에 흡수되는 황의 양으로부터 측정한다.
	화학적 산소요구량 (COD)	알카리성 과망간산칼륨법	시료 약 1 g의 무게를 정확히 달아 강산화제인 과망간산칼륨을 넣고 알칼리성으로 하여 수욕상에서 60분간 가열 반응시키고 요오드화칼륨 및 아지드화나트륨을 넣는다. 여기에 증류수를 넣어 여과하고 황산을 넣어 남아있는 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정한다.

다) 평가방법

- 수질등급 평가는 해양환경기준(해양수산부, 2018)을 이용
- 퇴적물의 부영영화 정도 평가는 해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정(해양수산부, 2021)의 부영양화 관련 평가항목, 기준농도 및 평가점수를 이용

표 Ⅱ-1-4. 해양환경기준(해수수질)

- 해양수산부고시 제2018-10호

- 생활환경 기준

항목	수소이온농도 (pH)	총대장균군 (총대장균군수/100 mL)	용매추출유분 (㎍/L)
기준	6.5-8.5	1,000 이하	10 이하

- 생태기반 해수수질 기준

등급	수질평가 지수값(Water Quality Index)
Ⅰ(매우좋음)	23 이하
Ⅱ(좋음)	24 - 33
Ⅲ(보통)	34 - 46
Ⅳ(나쁨)	47 - 59
Ⅴ(아주나쁨)	60 이상

- 수질평가지수(수질평가지수 항목별 점수를 이용하여 계산)

수질평가지수(WQI, Water Quality Index)
= 10 × [저층산소포화도(DO)] + 6 × [(식물플랑크톤 농도(Chl-a) + 투명도(SD))/2] + 4 × [(용존무기질소 농도(DIN) + 용존무기인 농도(DIP))/2]

- 수질평가지수 항목별 점수

항목별 점수	대상항목	
	Chl-a(㎍/L), DIN(㎍/L), DIP(㎍/L)	DO(포화도,%), 투명도(m)
1	기준값 이하	기준값 이상
2	< 기준값 + 0.10×기준값	> 기준값 - 0.10×기준값
3	< 기준값 + 0.25×기준값	> 기준값 - 0.25×기준값
4	< 기준값 + 0.50×기준값	> 기준값 - 0.50×기준값
5	≥ 기준값 + 0.50×기준값	≤ 기준값 - 0.50×기준값

* 기준값은「수질평가지수 항목의 해역별 기준값을 적용

- 수질평가지수 항목의 해역별 기준값

대상항목 / 생태구역	Chl-a (㎍/L)	저층 DO (포화도,%)	표층DIN (㎍/L)	표층DIP (㎍/L)	투명도 (m)
동해	2.1	90	140	20	8.5
대한해협	6.3		220	35	2.5
서남해역	3.7		230	25	0.5
서해중부	2.2		425	30	1.0
제주	1.6		165	15	8.0

- 저층 : 해저 바닥으로부터 최대 1 m 이내의 수층

표 Ⅱ-1-5. 부영양화 관련 평가항목, 기준농도 및 평가점수 - 해양수산부고시 제 2018-15호

항 목	단위	기준농도	평가점수
강열감량(IL)	%(건중량)	5 미만	0
		15 미만	3
		15 이상	6
화학적산소요구량(COD)	㎎/g(건중량)	13 미만	0
		20 미만	1
		30 미만	2
		40 미만	4
		40 이상	6
산휘발성황화물(AVS)	㎎/g(건중량)	0.6 미만	0
		1 미만	1
		5 미만	2
		10 미만	4
		10 이상	6

비고 1. 부영양화 관련 항목들에 대한 각각의 평가점수는 해저퇴적물시료에서 구한 항목들의 분석치로부터 기준 농도 구간별 설정된 수치로 한다.
2. 부영양화 정화지수(CI_{ET})는 산출된 평가항목들의 평가점수들을 합산한 값으로 한다.
3. 정화범위는 부영양화 정화지수(CI_{ET})가 6 이상인 구역으로 한다.

다. 결과 및 고찰

1) 환경인자 및 일반항목

가) 수온

- 연간 수온은 2.94~24.34℃ 범위로 동계에 낮고 하계에 높은 계절성을 보임(그림 Ⅱ-1-2)
- 춘계와 하계에는 태안 남부해역에서 표·저층간의 구배가 형성되며, 특히 하계에 차이가 커짐
- 동계와 춘계에는 북부에서 남부까지 정점간의 수온 격차가 크지 않으나, 하계와 추계에는 상대적으로 해류의 흐름이 약한 남부해역에서 높은 수온을 보임

나) 염분

- 연간 염분은 평균 32.39±0.44 psu(30.79~32.94 psu) 범위였으며, 상대적으로 동계와 춘계에 높고, 하계에 추계에 낮은 분포를 보임(그림 Ⅱ-1-2)
- 하계 천수만 방조제의 담수 방류의 영향을 받을 수 있는 중부해역에서 남부해역은 염분 감소를 나타냈으며, 저층보다 표층에서 낮은 농도를 나타냄

다) 수소이온농도

- 연간 수소이온농도는 평균 7.96±0.20(7.41~8.22)의 범위로, 해양환경기준(6.5~8.5)을 만족하였으며, 우리나라 일반 해역과 유사한 농도를 유지(그림 Ⅱ-1-2)
- 상대적으로 동계에서 상대적으로 낮은 농도를 보였으며, 정점별로는 표층과 저층간의 큰 차이는 보이지 않음

라) 용존산소

- 연간 용존산소는 평균 9.04±1.42 ㎎/L(7.04~11.14 ㎎/L) 범위였으며, 동계와 춘계에 높고 하계와 추계에 상대적으로 감소함(그림 Ⅱ-1-2)
- 모든 계절에 표층과 저층간의 차이는 크지 않음
- 수생생물 서식 어장환경기준인 3.0 ㎎/L를 만족함

마) 투명도

- 투명도는 0.5~7.0 m의 범위로 다른 항목에 비해 정점·계절별로 큰 변동을 보임(그림 Ⅱ-1-2)
- 동계와 추계의 투명도는 춘계와 하계에 비해 낮은 분포를 보임, 이는 계절적 특징으로 바람 또는 파도와 같은 물리 에너지가 강해짐으로써, 부유사(물의 흐름에 의해 떠다니는 토사)의 증가가 원인으로 판단됨
- 하계의 경우 상대적으로 중·남부해역의 투명도가 낮음, 이는 천수만의 방류에 의한 탁도 증가가 원인으로 판단됨

바) 부유입자물질

- 연간 평균 11.4±7.8 ㎎/L(0.6~34.8 ㎎/L) 범위로 정점·계절별로 큰 변동을 보임(그림 Ⅱ-1-2)
- 부유입자물질은 동계에 높고, 하계에 추계에 낮은 분포를 보임, 이는 투명도와 유사한 결과를 나타냄
- 상대적으로 모든 계절에 저층에서 높은 분포를 보임

사) 화학적산소요구량

- 연간 평균 2.50±0.48 ㎎/L(0.82~4.21 ㎎/L) 범위로, 일반적인 해역의 농도와 유사함(그림 Ⅱ-1-2)
- 평균적으로 저층에서 높은 분포를 보임

아) 용매추출유분

- 용매추출유분은 평균 0.578±0.144 ㎍/L(0.356~0.956 ㎍/L)의 범위로, 해양환경기준(10 ㎍/L)보다 현저히 낮은 수준임(그림 Ⅱ-1-2)

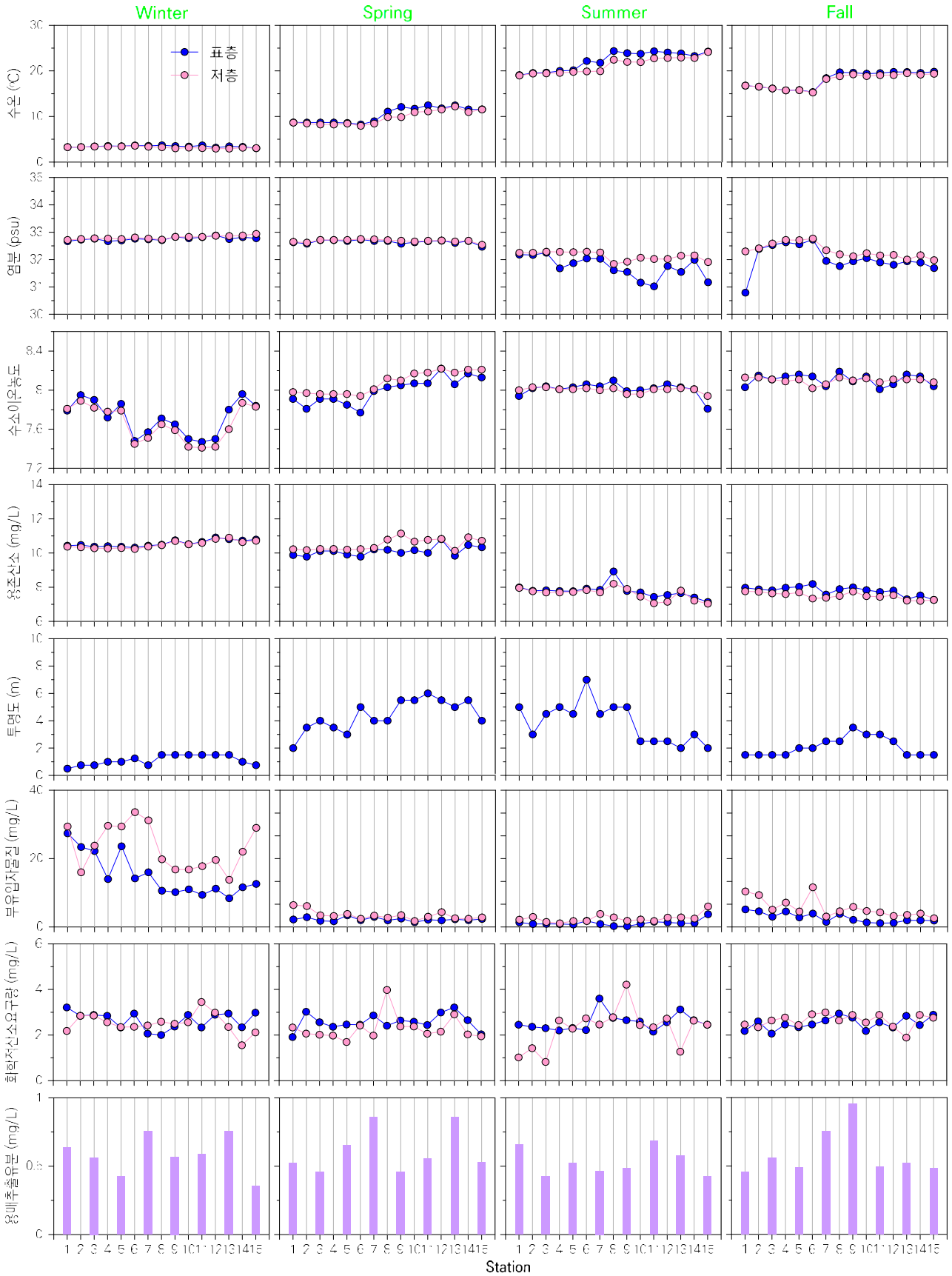


그림 Ⅱ-1-2. 태안해안국립공원 환경인자 및 해수 일반항목의 계절 변동

2) 엽록소-a 및 영양염류

가) 엽록소-a

- 평균 농도는 24.26±14.35 ㎍/L(0.06~32.94 ㎍/L) 범위였으며, 추계를 제외한 모든 계절의 남부해역에서 높은 농도를 보임(그림 Ⅱ-1-3), 남부해역은 북부해역에 비해 유속이 느려 체류시간이 증가가 식물플랑크톤 성장에 영향을 주었을 것으로 판단됨

나) 암모니움

- 평균 농도는 0.019±0.013 ㎎/L(0.001~0.064 ㎎/L) 범위로, 하계에 높은 농도를 보임(그림 Ⅱ-1-3), 암모니움은 담수의 유입에 의해 증가하는 대표적인 영양염류로 하계에 담수유입에 영향을 받은 것으로 판단됨

다) 아질산+질산염

- 평균 농도는 0.059±0.046 ㎎/L(0.004~0.173 ㎎/L) 범위로, 하계에 높은 농도를 보임(그림 Ⅱ-1-3), 아질산+질산염은 암모니움과 같이 담수의 유입에 따라 증가하는 영양염류로 하계에 담수유입에 영향을 받은 것으로 판단됨

라) 총질소

- 평균 농도는 0.211±0.065 ㎎/L(0.098~0.382 ㎎/L) 범위를 나타냈고, 계절별로는 동계에서 추계로 갈수록, 지역별로는 북부해역에서 남부해역으로 갈수록 감소하는 패턴을 보임(그림 Ⅱ-1-3)

마) 인산염

- 평균 농도는 0.009±0.005 ㎎/L(0.000~0.021 ㎎/L) 범위를 나타냈고, 하계를 제외한 모든 계절의 북부해역에서 높은 농도를 보였으며, 하계에 감소하는 패턴을 보임(그림 Ⅱ-1-3), 인산염은 클로로필 결과로 유추하였을 때 전형적인 동계-춘계 대증식에 따른 감소로 판단됨

바) 총인

- 평균 농도는 0.023±0.008 ㎎/L(0.011~0.055 ㎎/L) 범위였고, 인산염과 유사한 패턴을 보임(그림 Ⅱ-1-3)

사) 규산염

- 규산염의 평균 농도는 0.145±0.087 ㎎/L(N.D.~0.303 ㎎/L) 범위였으며, 특히 춘계의 남부해역에서 급격히 낮은 농도를 나타냄(그림 Ⅱ-1-3), 규산염은 식물플랑크의 세포벽 생성에 사용되는 주요 영양염으로 식물플랑크톤이 대증식했던 춘계 남부해역에서 급격한 감소를 보임

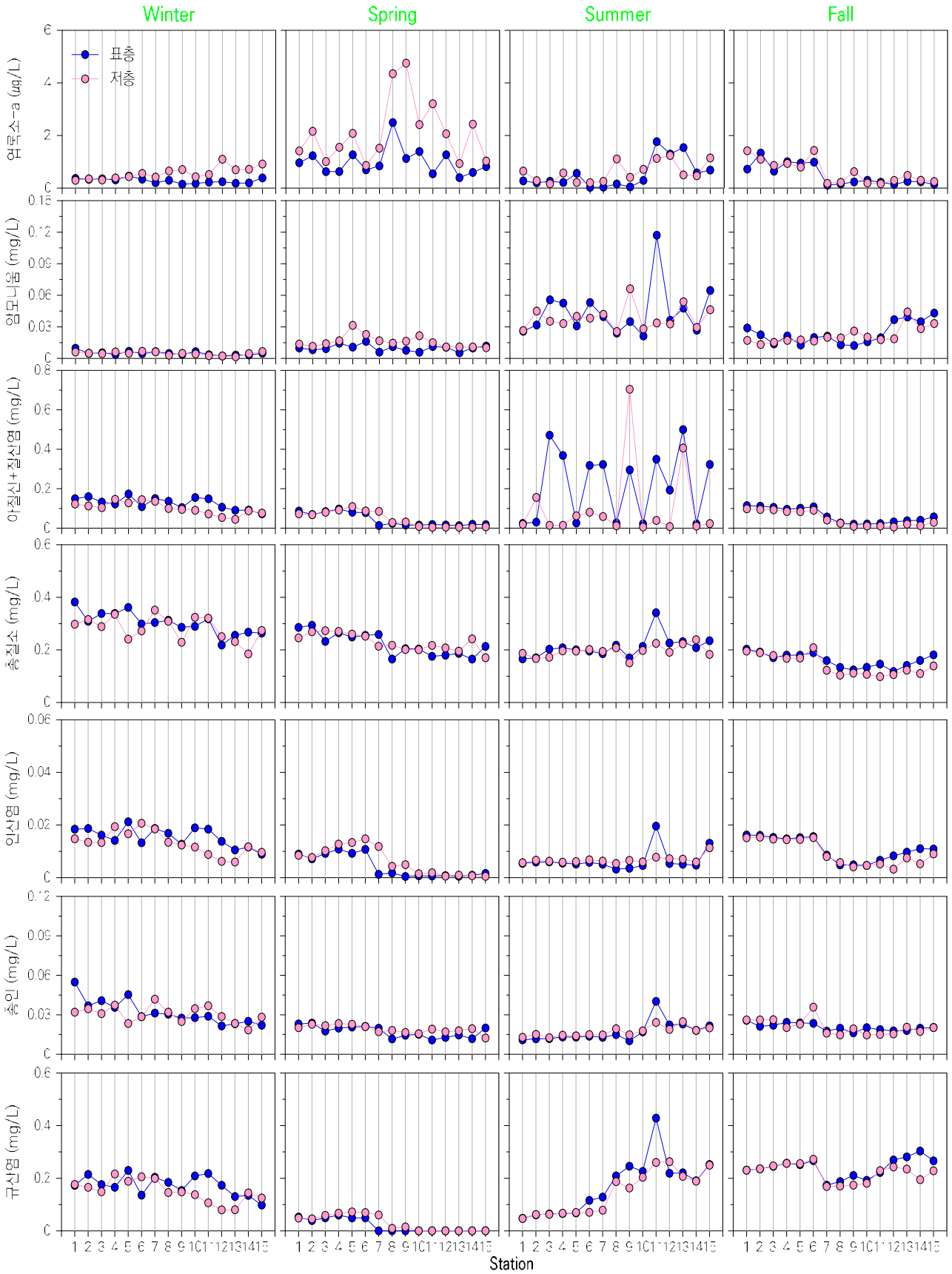


그림 Ⅱ-1-3. 태안해안국립공원 엽록소-a 및 영양염류의 계절 변동

아) 해수 내 총유기탄소(TOC)

- 평균 농도는 1.66±0.65 ㎎/L(1.01~5.02 ㎎/L) 범위를 나타냈고, 추계 남부지역으로 갈수록 감소하는 패턴을 보임(그림 Ⅱ-1-4)

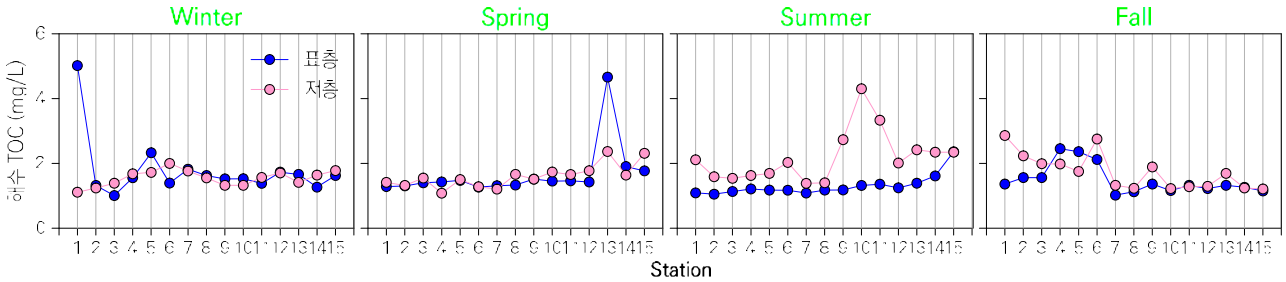


그림 Ⅱ-1-4. 태안해안국립공원 해수 내 총유기탄소의 계절 변동

3) 수질등급

- 태안해안국립공원의 연간 수질등급은 1~2등급의 수질을 보임(그림 Ⅱ-1-5)
- 동계에는 북부해역이 1~2등급의 수질을 나타냄
- 동계의 수질등급 또한 북부해역보다는 남부해역에서 수질등급이 낮은 패턴을 보임
- 춘계와 하계에는 모든 정점이 1등급의 수질을 나타냈으며, 추계에는 6번 정점을 제외한 모든 정점에서 1등급의 수질을 나타냄
- 수질등급에 영향을 주는 인자를 확인해 본 결과, 동계에는 투명도가 수질등급에 영향을 주는 인자로 확인됨(그림 Ⅱ-1-6)

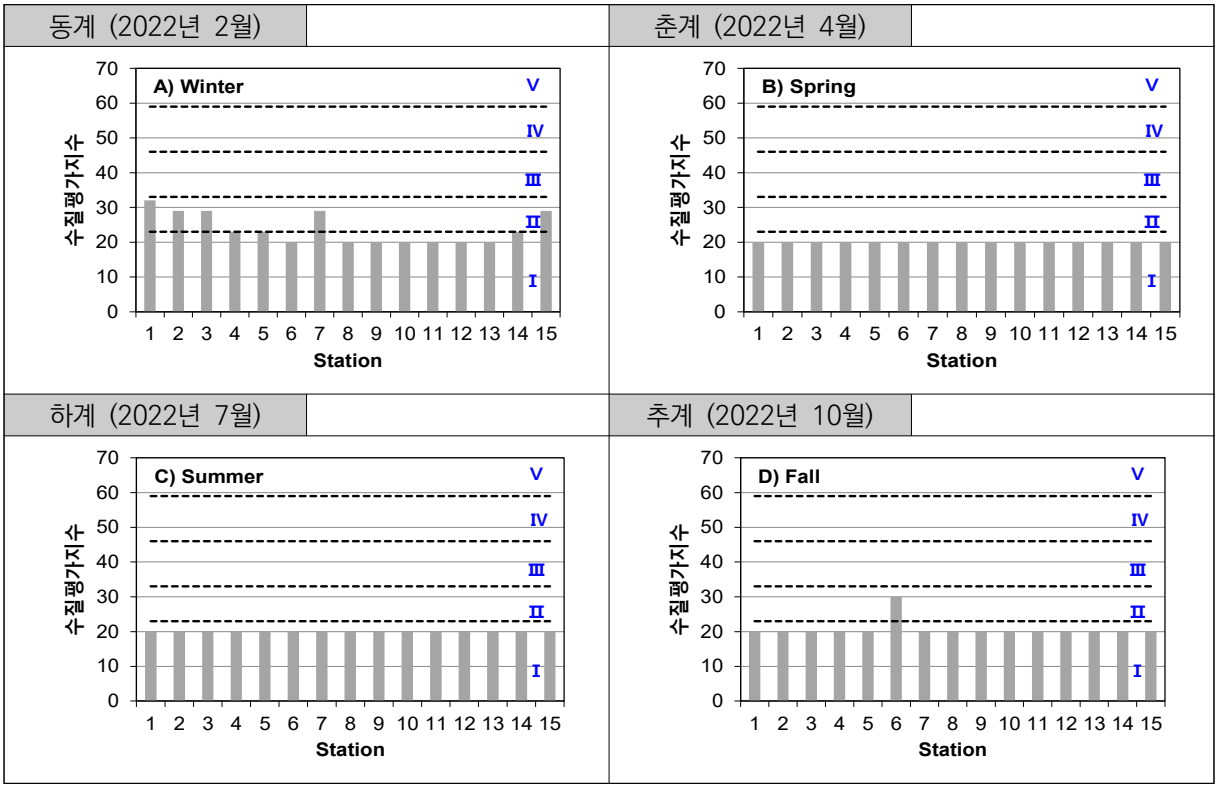


그림 Ⅱ-1-5. 계절별·정점별 해수 수질등급

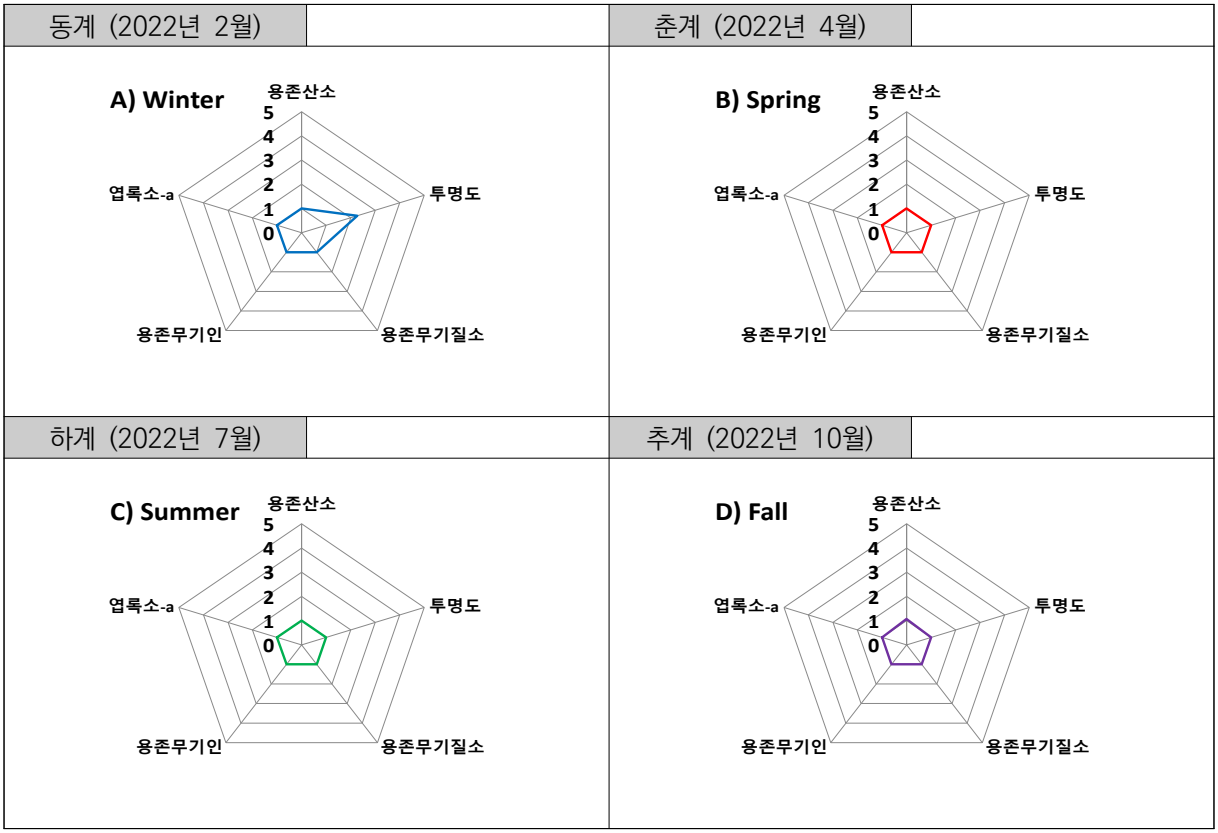


그림 Ⅱ-1-6. 수질등급에 영향을 주는 환경인자

4) 해양퇴적물

가) 입도

- 태안해안국립공원 해역의 퇴적물 조성비를 살펴보면, 모래와 뻘 기질로 이루어짐(그림 Ⅱ-1-7)
- 연간 조성비는 모래가 80.77%였으며, 뻘은 19.23%의 조성비를 보임
- 북부해역의 1~4정점은 모래의 비중이 높았으며, 이외 정점은 상대적으로 뻘의 조성이 높은 형태를 나타냄
- 시기별로 각 정점별 퇴적물의 조성비는 큰 변화없이 유사한 수준을 유지함

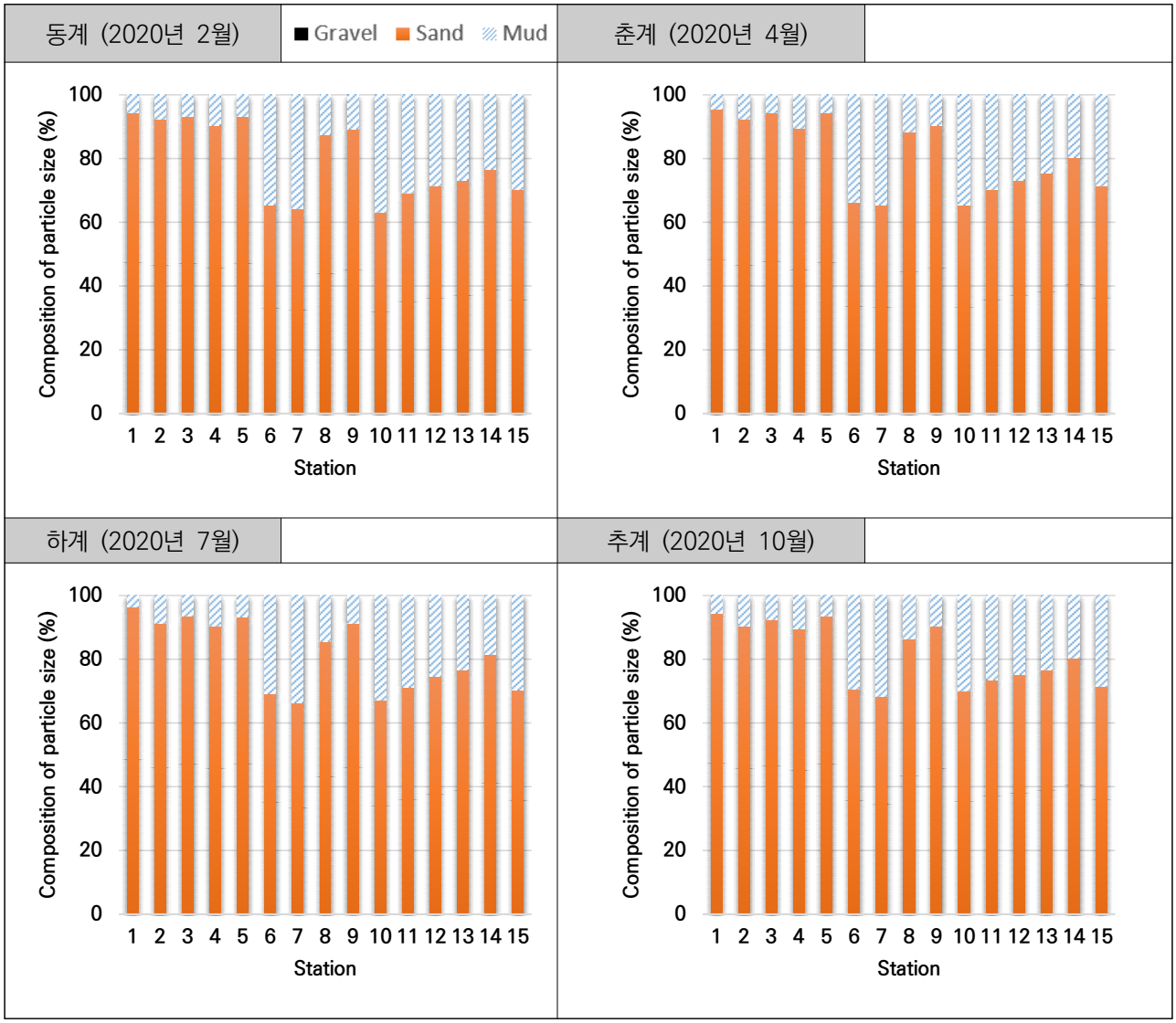


그림 Ⅱ-1-7. 조하대 퇴적물의 입도 변화

나) 강열감량(IL)

- 연간 퇴적물의 감열감량은 평균 2.63±1.20%(0.96~8.16%)로 추계의 남부지역 3개의 정점을 제외, 부영양화 관련 평가항목, 기준농도 및 평가점수의 최저 기준인 5%미만을 나타냄(그림 Ⅱ-1-8)
- 상대적으로 뻘의 조성이 높은 남부해역에서 높은 수치를 보임

다) 화학적산소요구량(COD)

- 연간 퇴적물의 화학적산소요구량은 평균 3.15±1.32 ㎎/g(0.98~6.59 ㎎/g)으로 조사기간 동안 부영양화 관련 평가항목, 기준농도 및 평가점수의 최저 기준인 13 ㎎/g미만을 나타냄(그림 Ⅱ-1-8)
- 본 조사항목 역시 뻘의 조성이 높은 남부해역에서 상대적으로 높은 수치를 나타냄

라) 산휘발성황화물(AVS)

- 연간 퇴적물의 산휘발성화화물은 평균 0.0159±0.0267 ㎎/g(N.D~0.1364 ㎎/g)의 범위로, 조사기간 동안 부영양화 관련 평가항목, 기준농도 및 평가점수의 최저 기준인 0.6 ㎎/g미만을 나타냄(그림 Ⅱ-1-8)
- 추계 중부해역(7~10정점)에서 상대적으로 높은 수치를 보임

마) 퇴적물 부영양화지수(CT_{ET})

- 태안해안국립공원의 연간 퇴적물 부영양화지수는 0~3점으로 나타냄(그림 Ⅱ-1-8)
- 추계 중부일부정점에서 강열감량 영향으로 평가점수 3점을 나타냄
- 화학적산소요구량과 산휘발성황화물은 평가점수에 대한 현저히 낮은 농도로 보임으로써 모든 계절과 정점에서 0점을 나타냄

바) 퇴적물 내 총유기탄소(TOC)

- 연간 퇴적물의 총유기탄소은 평균 0.67±0.43%(0.06~1.51%)로 남부지역으로 갈수록 감소하는 형태를 보임(그림 Ⅱ-1-9)

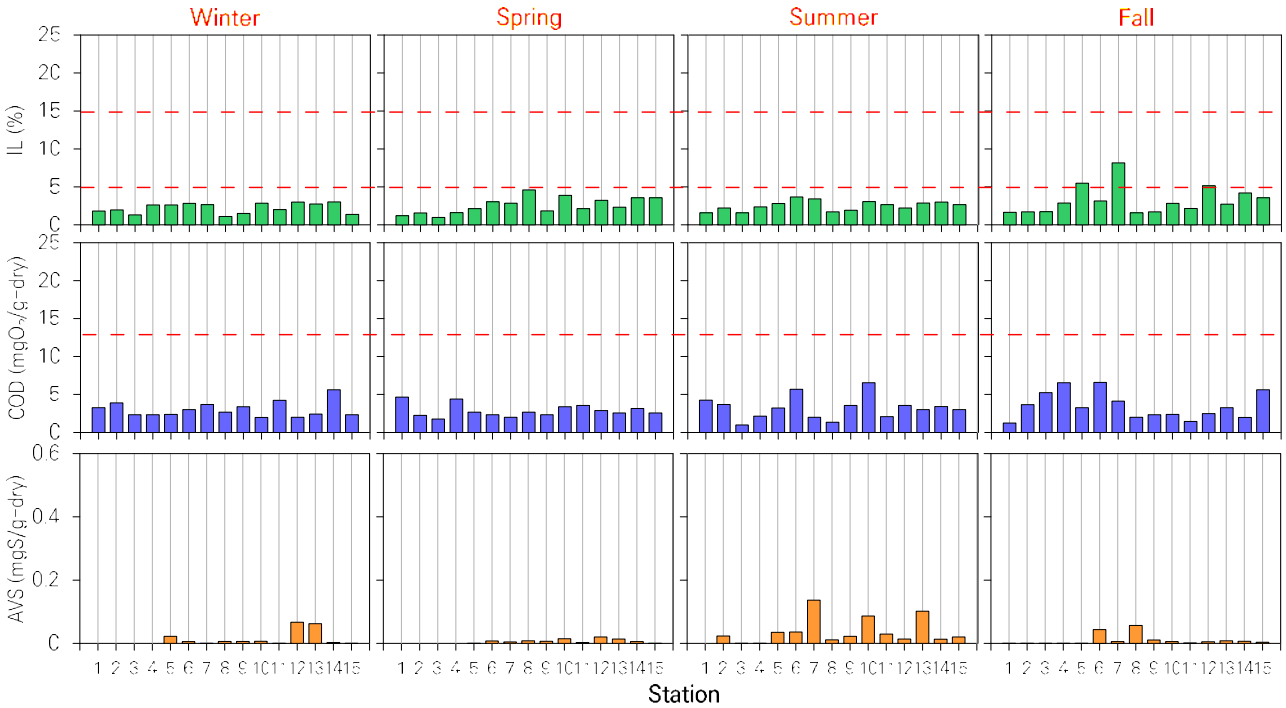


그림 Ⅱ-1-8. 조하대 퇴적물의 강열감량, 화학적산소요구량, 산휘발성황화물 변동

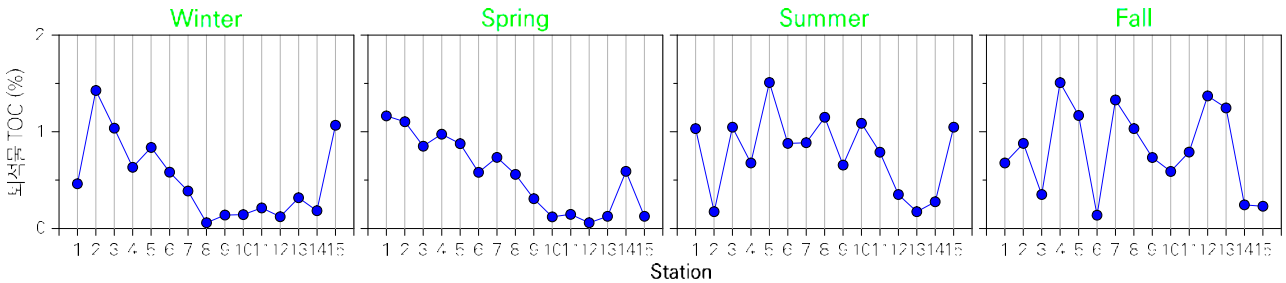


그림 Ⅱ-1-9 태안해안국립공원 퇴적물 내 총유기탄소의 계절 변동

라. 선행연구와 비교

- 유류사고 이후 해양환경분야의 거의 모든 조사항목들은 첫 조사시점부터 유류사고와 큰 연관성을 나타내지 않았거나, 매우 빠르게 사고 이전의 수치를 나타냄
- 유류사고 시 해수 중의 유류성분은 사고이후 첫 조사에서 다소 높은 분포를 보였으나, 이후 조사부터 급격한 감소를 보였고 장기적으로 큰 변동없이 유사한 농도 유지, 모든 조사에서 해양환경 기준인 10 ㎍/L이하를 나타냄(그림 Ⅱ-1-10)

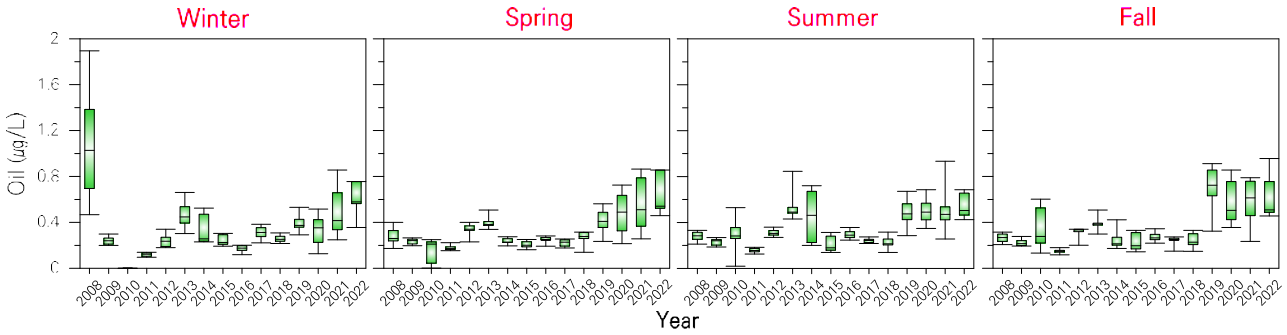


그림 Ⅱ-1-10. 용매추출유분의 장기변화

- 유류사고 이후 11년(2008~2009 제외)간의 수질등급은 1~3등급의 변화를 나타냄(표 Ⅱ-1-6)
- 수질등급에 영향을 준 환경인자를 파악해 본 결과, 엽록소의 농도가 주요인자로 확인되었고, 시기에 따라 투명도(동계)와 용존산소(2010년 추계)의 영향도 존재함(표 Ⅱ-1-7)
- 태안해안국립공원의 수질을 관리하기 위해 엽록소(식물플랑크톤)에 대한 제어가 필요
- 2008년부터 2022년까지 퇴적물의 부영양지수 산출점수는 6을 초과한 사례 없음

표 Ⅱ-1-6. 수질등급의 장기변화

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
동계	-	-	2	2	2	1	2	3	2	2	2	2	3	2	2
춘계	-	-	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1
하계	-	-	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1
추계	-	-	3	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1

표 Ⅱ-1-7. 장기적으로 수질등급에 영향을 주는 요인

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
동계	-	-	투명도 엽록소		엽록소		엽록소	엽록소	투명도	투명도	투명도	투명도	투명도	투명도 엽록소	투명도
춘계	-	-	엽록소	엽록소	엽록소	엽록소	엽록소	엽록소		투명도 엽록소	엽록소	엽록소	엽록소	엽록소	
하계	-	-	엽록소	엽록소	엽록소	엽록소	엽록소			엽록소					
추계	-	-	용존산소 엽록소	엽록소	엽록소				엽록소	엽록소		엽록소	엽록소		

마. 참고문헌

국립수산과학원. 2021. 해양환경공정시험기준. 국립수산과학원고시 제2021-7호.
해양수산부. 2018. 해양환경기준. 해양수산부고시 제2018-10호
해양수산부. 2021. 해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 등에 관한 규정. 해양수산부고시 제2021-79호

2 중금속 오염

가. 서론

1) 배경

- 허베이 스피리트호 유류유출 사고 이후 태안해안국립공원 해역 조하대 및 조간대 퇴적물, 해양생물(어류, 패류)을 대상으로 중금속 조사 수행
- 해양환경 내 중금속은 분해되지 않고 장기간 체류하며 생물농축(bioaccumulation)과 생물확대(biomagnification) 과정을 통하여 상위 영양 단계로 갈수록 급격한 체내 축적이 이루어지므로 이를 파악하는 것이 중요

2) 연구목적

- 태안해안국립공원의 중금속 오염 현황 파악
- 태안해안국립공원의 보전과 효율적인 관리를 위한 기초자료 확보

나. 조사내용 및 방법

1) 조사지역 및 시기

- 2022년 7월(하계) (표 Ⅱ-2-1)

표 Ⅱ-2-1. 조사대상별 조사지역 및 정점

조사대상		조사지역	정점	조사시기
해수(표층)		조하대	15 정점	2022. 7. 5.~6.
표층퇴적물		조하대	15 정점	2022. 7. 5.~6.
		구름포, 통개, 백사장(조간대)	상/중/하부 3정점	2022. 07. 14.~15.
해양생물	패류	구름포, 통개, 백사장(조간대)	각 1 정점	2022. 07. 14.~15.
	어류	학암포, 모항, 밧개(조수웅덩이)	각 1 정점	2022. 08. 14.~15.

3) 조사방법

가) 시료채집

- 중금속 시료의 채집은 해양환경공정시험기준(국립수산과학원, 2021)에 준하여 실시하고 분석 전까지 냉동보관(-20℃ 이하)

(1) 해수

- 해수 중금속 시료는 선박이 정지하기 전 선박의 선수에서 PVC 또는 카본 재질의 Pole sampler를 이용하여 표층수를 채취
- 채수병은 미리 산(Acid)과 초순수 증류수로 세척된 것을 사용하며, 채취 전 현장 해수로 3회 이상 헹군 다음 채수병에 담아 냉장 보관 후 실험실로 운반

(2) 표층퇴적물(조하대, 조간대)

- 조하대 퇴적물 시료는 0.1㎡ 크기의 반빈 채니기(van Veen grab)을 사용하여 채취하고 채니기 덮개와 접촉하지 않은 퇴적물의 상층 부분(표층 2 cm)을 플라스틱 주걱으로 취하여 시료 봉투에 담고 드라이아이스로 냉동 보관(-20℃이하)하여 실험실로 이동한 후 분석항목에 따라 전처리함
- 조간대 퇴적물 시료는 상부(H), 중부(M), 하부(L) 조간대에서 표층퇴적물의 상층 부분(표층 2 cm)을 플라스틱 주걱으로 취하여 시료 봉투에 담고 냉동보관하여 실험실로 이동한 후 분석항목에 따라 전처리

(3) 해양생물

- 해양생물 중 어류(베도라치류 및 조피볼락)는 각 조간대 조수웅덩이, 패류(굴, 담치)는 조간대에서 채집

나) 분석방법

(1) 해수

- 해수 시료는 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2020)에 따라 비소(As), 카드뮴(Cd), 6가크롬(Cr^{6+}), 구리(Cu), 수은(Hg), 납(Pb), 아연(Zn) 분석(표 Ⅱ-2-2)
- 연안 해수 표준물질인 NRCC(National Research Council Canada)의 표준물질(MESS-4) 및 유럽연합공동연구센터(EC JOINT RESEARCH CENTRE)의 표준물질(BCR-579)의 분석 회수율은 98~111%로 양호함(표 Ⅱ-2-3)

표 Ⅱ-2-2. 해수 중금속 측정항목 및 분석방법

측정항목	분석방법	측정원리
비소(As)	해수극미량원소 자동화분석시스템 (seaFAST-ICP-MS)	시료를 45㎛ filter로 여과하여 질산으로 pH2 이하로 한 뒤 해수자동분석기(SeaFAST SP3 System, ESI)를 이용하여 미량금속을 ICP-MS(iCAP Q, Thermo scientific)로 분석하여 농도를 측정
카드뮴(Cd)		
6가크롬(Cr^{6+})		
구리(Cu)		
납(Pb)		
아연(Zn)		
수은(Hg)	수은분석기	시료 중의 무기수은을 염화제일주석으로 환원시켜 수은전용분석기(DMA-80, MILESTONE)로 분석

표 Ⅱ-2-3. 해수 표준물질(MESS-4) 분석결과 및 회수율

항목		인증값	분석값 (평균 ± 표준편차)	회수율 (%)
As	(μg/L)	1.04 ± 0.10	1.09 ± 0.03	104
Cd	(μg/L)	0.0217 ± 0.0018	0.0237 ± 0.0013	109
Cr^{6+}	(μg/L)	0.100 ± 0.016	0.111 ± 0.002	111
Cu	(μg/L)	0.530 ± 0.032	0.577 ± 0.013	109
Hg	(ng/L)	1.90 ± 0.50	1.9 ± 0.02	98
Pb	(μg/L)	0.0106 ± 0.0040	0.0113 ± 0.0006	107
Zn	(μg/L)	1.27 ± 0.18	1.33 ± 0.09	105

*BCR-579 : 유럽연합공동연구센터(EC JOINT RESEARCH CENTRE) 표준물질

(2) 퇴적물

- 조간대 및 조하대 표층퇴적물과 주상퇴적물의 중금속 시료는 해양환경공정시험기준(국립수산과학원, 2021)에 따라 알루미늄(Al), 비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 수은(Hg), 납(Pb), 바나듐(V), 아연(Zn)을 분석(표 Ⅱ-2-4)
- 퇴적물 중금속의 정확도 검증을 위하여 사용한 NRCC(National Research Council Canada)의 표준물질(MESS-4) 및 유럽연합공동연구센터(EC JOINT RESEARCH CENTRE)의 표준물질(BCR-277R)의 분석 회수율은 91~102% 범위로 양호함(표 Ⅱ-2-5)

표 Ⅱ-2-4. 퇴적물 중금속 측정항목 및 분석방법

측정항목	분석방법	측정원리
알루미늄(Al)	완전분해법	건조한 시료를 질산, 과염소산, 불산으로 완전분해 후 잔류물을 질산으로 녹여 ICP-MS (iCAP Q, Thermo scientific)로 정량.
비소(As)		
카드뮴(Cd)		
크롬(Cr)		
구리(Cu)		
납(Pb)		
바나듐(V)		
아연(Zn)		
수은(Hg)	수은분석기	동결건조 후 수은전용분석기(DMA-80, Milestone)로 분석.

표 Ⅱ-2-5. 퇴적물 표준물질(MESS-4) 분석결과 및 회수율

항목		인증 값	분석 값 (Mean ± SD)	회수율 (%)
알루미늄(Al)	(%)	7.91 ± 0.2	7.68 ± 0.1	97
비소(As)	(㎎/㎏)	21.7 ± 2.8	21.5 ± 0.7	99
카드뮴(Cd)	(㎎/㎏)	0.28 ± 0.04	0.29 ± 0.02	102
크롬(Cr)	(㎎/㎏)	94.3 ± 1.8	92.2 ± 2.2	98
구리(Cu)	(㎎/㎏)	32.9 ± 1.8	31.9 ± 1.3	97
수은(Hg)*	(㎎/㎏)	0.128 ± 0.017	0.130 ± 0.008	101
납(Pb)	(㎎/㎏)	21.5 ± 1.2	19.9 ± 0.6	92
바나듐(V)	(㎎/㎏)	216 ± 8	210 ± 3	97
아연(Zn)	(㎎/㎏)	147 ± 6	133 ± 2	91

*수은 BCR-277R : 유럽연합공동연구센터(EC JOINT RESEARCH CENTRE) 표준물질

(3) 해양생물

- 해양생물 중 어·패류를 채취하여 해양환경공정시험기준(국립수산과학원, 2021)에 따라 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 수은(Hg), 니켈(Ni), 납(Pb), 바나듐(V), 아연(Zn)을 분석(표 Ⅱ-2-6)
- 분석의 정밀도와 정확도를 확인하기 위하여 NRCC (National Research Council Canada)의 표준물질(DORM-3)과 유럽연합공동연구센터(EC JOINT RESEARCH CENTRE)의 표준물질(BCR-277R)의 분석 회수율은 구리의 90.6%에서 바나듐의 109.8%의 범위로 양호함(표 Ⅱ-2-7)

표 Ⅱ-2-6. 해양생물 측정항목 및 분석방법

측정항목	분석방법	측정원리
카드뮴(Cd)	질산분해법	동결 건조한 시료를 질산으로 분해 후 ICP-MS (iCAP Q, Thermo scientific)로 정량
구리(Cu)		
니켈(Ni)		
납(Pb)		
바나듐(V)		
아연(Zn)		
수은(Hg)	수은분석기	동결 건조한 시료를 수은 전용분석기(DMA-80, Milestone)로 분석

표 Ⅱ-2-7. 해양생물 표준물질(DORM-3) 분석결과 및 회수율

항목		인증값	분석값 (Mean ± SD)	회수율 (%)
카드뮴(Cd)	(㎎/㎏)	0.299 ± 0.018	0.291 ± 0.015	97
구리(Cu)	(㎎/㎏)	15.7 ± 0.46	15.9 ± 0.58	102
수은(Hg)*	(㎎/㎏)	0.128 ± 0.017	0.126 ± 0.002	99
니켈(Ni)	(㎎/㎏)	1.34 ± 0.14	1.27 ± 0.06	94
납(Pb)	(㎎/㎏)	0.404 ± 0.062	0.436 ± 0.045	108
바나듐(V)	(㎎/㎏)	-	-	-
아연(Zn)	(㎎/㎏)	51.6 ± 0.28	52.3 ± 0.5	101

*수은 BCR-277R : 유럽연합공동연구센터(EC JOINT RESEARCH CENTRE) 표준물질

다) 평가방법

(1) 해수

- 해수 중금속 분석 결과는 해양환경기준(해양수산부, 2018)과 비교(표 Ⅱ-2-8)

표 Ⅱ-2-8. 해양환경기준(해수수질)

● 해양생태계 보호 기준 (단위 : ㎍/L)

중금속류	구리(Cu)	납(Pb)	아연(Zn)	비소(As)	카드뮴(Cd)	6가크롬(Cr^{6+})	수은(Hg)	니켈(Ni)
단기기준*	3.0	7.6	34	9.4	19	200	1.8	11
장기기준**	1.2	1.6	11	3.4	2.2	2.8	1.0	18

* : 단기기준 : 1회성 관측값과 비교 적용 ** : 연간평균값 (최소 사계절 조사 자료)과 비교 적용

● 사람의 건강보호 기준

등급	항목	기준(㎎/L)
전수역	6가크롬(Cr^{6+})	0.05
	비소(As)	0.05
	카드뮴(Cd)	0.01
	납(Pb)	0.05
	아연(Zn)	0.1
	구리(Cu)	0.02
	시안(CN)	0.01
	수은(Hg)	0.0005

(2) 퇴적물

- 퇴적물 중금속 분석 결과는 해양환경기준(해양수산부, 2018)과 비교(표 Ⅱ-2-9)

표 Ⅱ-2-9. 해양환경관리법에 따른 해저퇴적물 기준

단위: (㎎/㎏)

해양환경기준	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn
주의기준	14.5	0.75	116	20.6	0.11	44.0	68.4
관리기준	75.5	2.72	181	64.4	0.62	119	157

(1) 주의기준(Threshold Effects Level, TEL) 이하 : 부정적인 영향이 거의 없을 것으로 예측 되는 범위
(2) 주의기준과 관리기준 사이 : 부정적인 생태영향이 발현될 가능성이 있는 범위
(3) 관리기준(Probable Effects Level, PEL) 이상 : 부정적인 생태영향이 발현될 개연성이 매우 높은 범위
(4) 적용방법
- As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb는 시료와 각 기준 농도를 직접 비교
- Cu, Zn은 시료는 Li으로 측정 농도를 입도 보정하여 기준 농도와 비교
· Li으로 보정하는 방법

$$\text{입도보정한 } Cu \text{ 농도} = \left(\left(\frac{\text{시료의 } Cu \text{ 농도} - 4.10}{\text{시료의 } Li \text{ 농도} - 21.2}\right) \times 11.9\right) + 4.10$$

$$\text{입도보정한 } Zn \text{ 농도} = \left(\left(\frac{\text{시료의 } Zn \text{ 농도} - 30.4}{\text{시료의 } Li \text{ 농도} - 21.2}\right) \times 11.9\right) + 30.4$$

- 만일 시료의 Li 농도가 33.1ppm 이하이거나 입도보정 농도가 음의 값을 보일 경우 별도의 입도보정 없이 주의기준과 관리기준에 직접 비교

(3) 해양생물

- 생물체 내 중금속 분석 결과는 해산 어패류에 대한 허용기준(식품의약품안전처, 2018) 및 외국의 허용기준(표 Ⅱ-2-10)과 비교하였음

표 Ⅱ-2-10. 해산 어패류에 대한 국내 및 외국의 허용기준

구분		카드뮴(Cd)	구리(Cu)	수은(Hg)	메틸수은	납(Pb)	아연(Zn)
		(㎎/㎏ wet wt.)					
국내	해양어류	0.2 이하	-	0.5	1.0	0.5 이하	-
	연체류(패류)	2.0 이하	-	0.5	-	2.0 이하	-
	갑각류	1.0 이하	-	-	-	0.5 이하	-
	해조류	0.3 이하	-	-	-	0.5 이하	-

다. 결과 및 고찰

1) 해수

- 해수 중 비소(As)는 1.622~2.036 ㎍/L(평균 1.894 ㎍/L)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-1)
- 카드뮴(Cd)는 0.041~0.057 ㎍/L(평균 0.051 ㎍/L)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-1)
- 6가크롬(Cr^{6+})은 0.162~0.295 ㎍/L(평균 0.211 ㎍/L)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-1)
- 구리(Cu)는 0.583~0.918 ㎍/L(평균 0.683 ㎍/L)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-1)
- 수은(Hg)은 0.198~0.682 ㎍/L(평균 0.279 ㎍/L)의 범위로, 정점 9의 경우 타 정점에 다소 높은 농도를 보였으나 해양생태계 보호기준의 단기기준(1.8 ㎍/L)보다 현저히 낮은 수치를 나타냄(그림 Ⅱ-2-1)
- 납(Pb)은 0.095~0.297 ㎍/L(평균 0.175 ㎍/L)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-1)
- 아연(Zn)은 0.304~0.916 ㎍/L(평균 0.586 ㎍/L)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-1)
- 해수 중 중금속은 모든 항목에서 해양생태계 보호기준의 단기기준, 사람의 건강보호 기준 이하로 생태계 및 이간의 건강에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 판단됨

2) 퇴적물

가) 조하대

- 알루미늄(Al)은 1.835~4.514%(평균 3.436%)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-2)
- 비소(As)는 4.414~18.656 ㎎/㎏(평균 5.833 ㎎/㎏)의 범위로, 정점 3의 경우 해양환경기준(해저퇴적물)의 주의기준(14.5 ㎎/㎏)을 초과하였고, 정점 11의 경우도 주의기준을 초과하지는 않았으나 14.390 ㎎/㎏으로 기준에 근접한 농도가 관측됨으로서 지속적인 관찰이 요구됨 (그림 Ⅱ-2-2)
- 카드뮴(Cd)은 0.042~0.126 ㎎/㎏(평균 0.077 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-2)
- 크롬(Cr)은 15.107~54.847 ㎎/㎏(평균 33.955 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-2)
- 구리(Cu)는 2.598~11.757 ㎎/㎏(평균 5.694 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-2)
- 수은(Hg)은 0.002~0.018 ㎎/㎏(평균 0.007 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-2)
- 납(Pb)은 10.916~22.222 ㎎/㎏(평균 17.159 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-2)
- 바나듐(V)은 13.046~57.601 ㎎/㎏(평균 33.339 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-2)
- 아연(Zn)은 15.113~60.322 ㎎/㎏(평균 32.843 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-2)
- 조하대 표층퇴적물의 중금속은 비소를 제외한 모든 항목은 해양환경기준 주의기준 이하로 부정적인 생태영향이 미비할 것으로 판단됨
- 비소의 다양한 유입원 중 화력발전소의 분진이 주요 원인으로 분류됨에 따라 화력발전소가 인접한 태안해안국립공원의 경우 비소에 대한 지속적인 추적·관찰이 필요

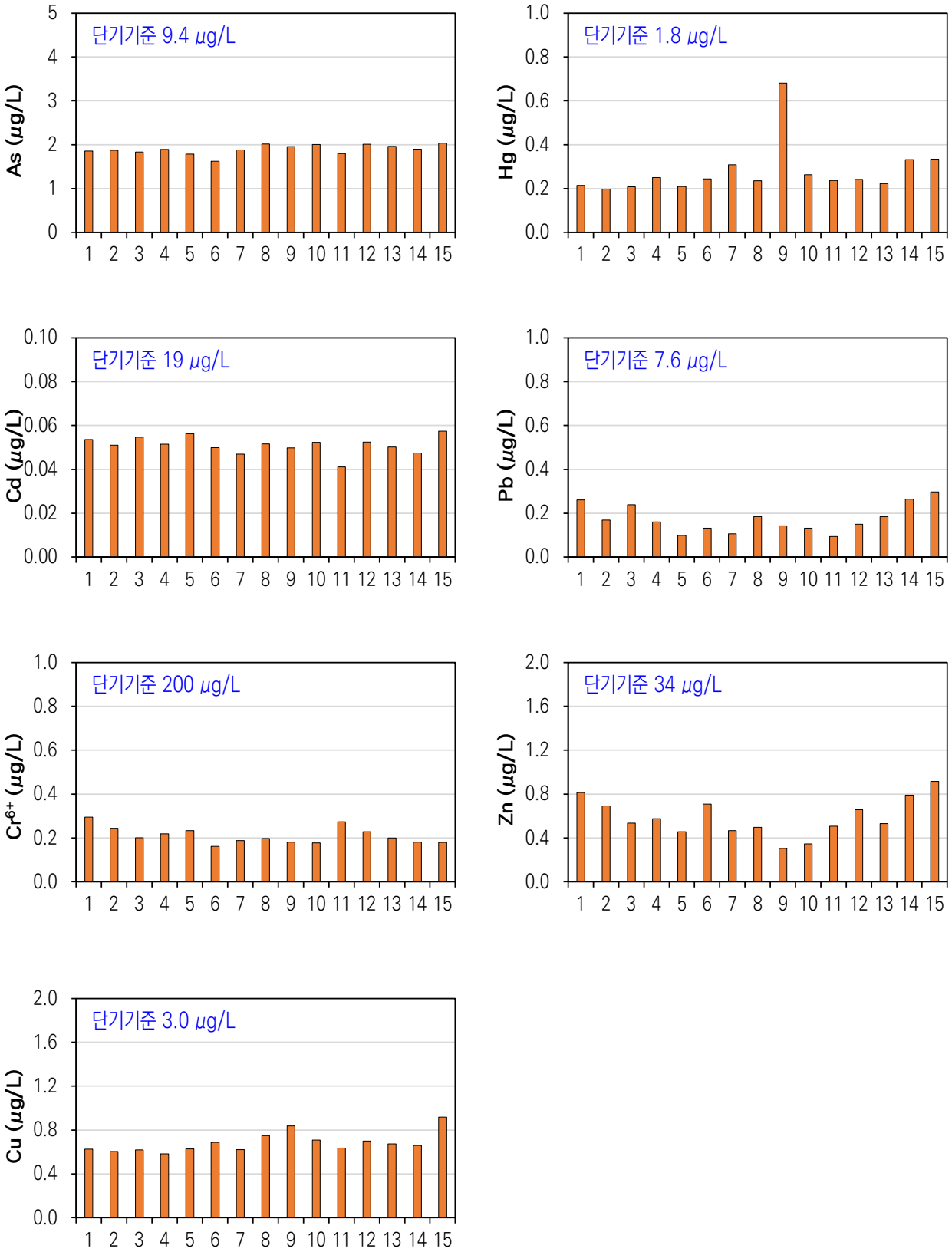


그림 Ⅱ-2-1. 조하대 해수 중금속의 정점별 분포

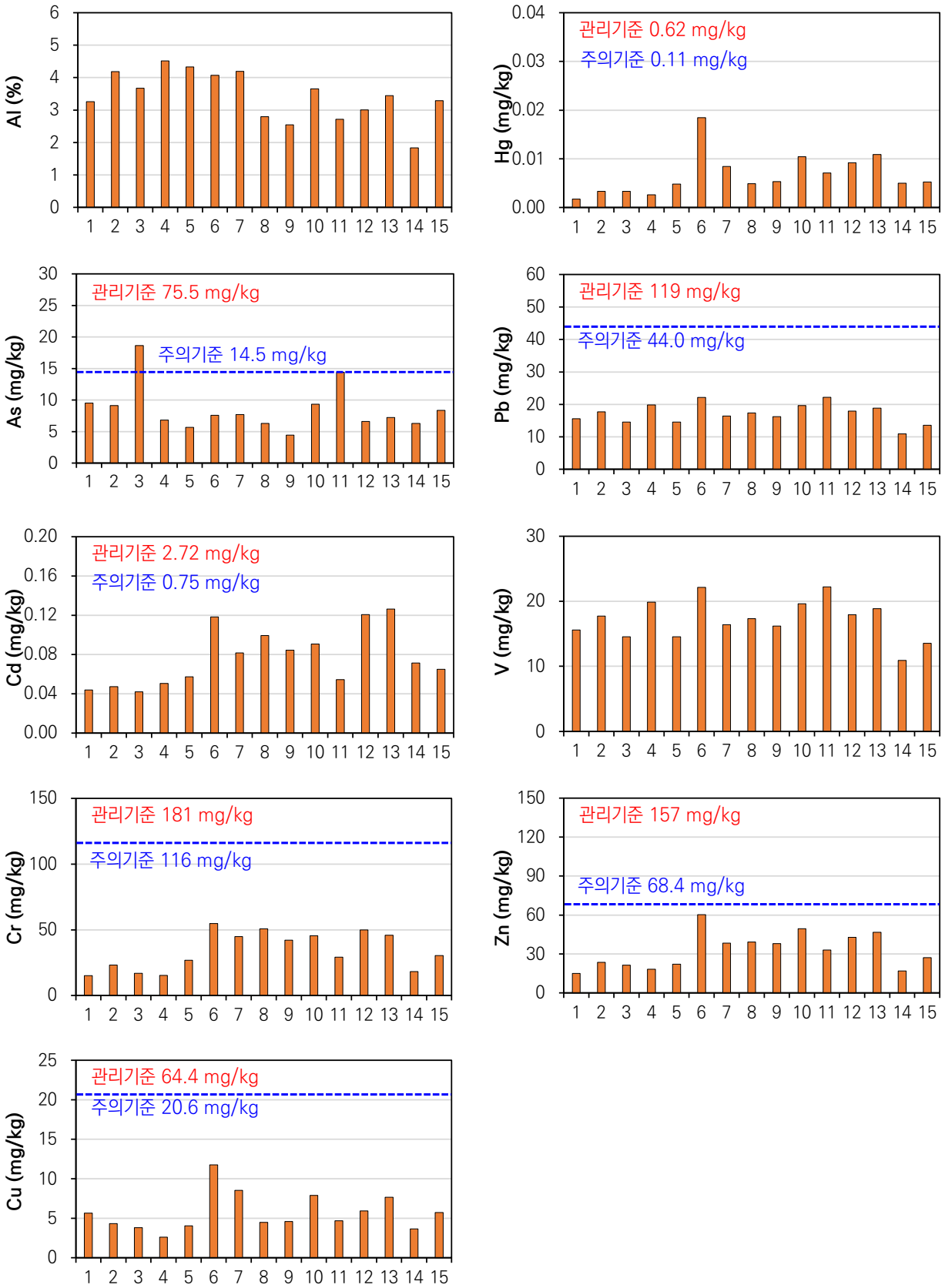


그림 Ⅱ-2-2. 조하대 퇴적물 중금속의 정점별 분포

나) 조간대

- 알루미늄(Al)은 구름포 0.963~1.744%(평균 1.444%), 통개 4.038~5.292%(평균 4.635%), 백사장 1.029~1.884%(평균 1.458%)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-3)
- 비소(As)는 구름포 7.534~9.271 ㎎/㎏(평균 8.393 ㎎/㎏), 통개 7.216~7.517 ㎎/㎏(평균 7.377 ㎎/㎏), 백사장 3.581~7.011 ㎎/㎏(평균 4.856 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-3)
- 카드뮴(Cd)은 구름포 0.024~0.034 ㎎/㎏(평균 0.029 ㎎/㎏), 통개 0.092~0.116 ㎎/㎏(평균 0.107 ㎎/㎏), 백사장 0.028~0.046 ㎎/㎏(평균 0.034 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-13)
- 크롬(Cr)은 구름포 21.998~26.003 ㎎/㎏(평균 23.432 ㎎/㎏), 통개 43.878~50.281 ㎎/㎏(평균 48.013 ㎎/㎏), 백사장 12.074~26.993 ㎎/㎏(평균 17.165 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-13)
- 구리(Cu)는 구름포 2.489~3.438 ㎎/㎏(평균 2.965 ㎎/㎏), 통개 15.532~20.454 ㎎/㎏(평균 17.988 ㎎/㎏), 백사장 1.507~1.996 ㎎/㎏(평균 1.679 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄, 통개의 경우 상부에서 하부조간대까지 주의기준과 근접한 농도를 나타냄에 따라 지속적인 관측이 필요(그림 Ⅱ-2-13)
- 수은(Hg)은 구름포 0.0006~0.0007 ㎎/㎏(평균 0.0006 ㎎/㎏), 통개 0.0084~0.0163 ㎎/㎏(평균 0.0127 ㎎/㎏), 백사장 0.0010~0.0014 ㎎/㎏(평균 0.0011 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-13)
- 납(Pb)은 구름포 10.488~11.718 ㎎/㎏(평균 11.074 ㎎/㎏), 통개 17.279~20.749 ㎎/㎏(평균 18.994 ㎎/㎏), 백사장 7.198~13.778 ㎎/㎏(평균 10.486 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-13)
- 바나듐(V)은 구름포 17.491~21.708 ㎎/㎏(평균 18.911 ㎎/㎏), 통개 38.913~49.795 ㎎/㎏(평균 45.070 ㎎/㎏), 백사장 8.885~24.414 ㎎/㎏(평균 15.299 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-13)
- 아연(Zn)은 구름포 12.593~15.916 ㎎/㎏(평균 13.914 ㎎/㎏), 통개 45.806~55.412 ㎎/㎏(평균 51.719 ㎎/㎏), 백사장 8.277~19.268 ㎎/㎏(평균 12.697 ㎎/㎏)의 농도 범위를 나타냄(그림 Ⅱ-2-13)
- 조간대 표층퇴적물의 중금속은 모든 항목이 해양환경기준 주의기준 이하로 부정적인 생태영향이 거의 없을 것으로 판단됨

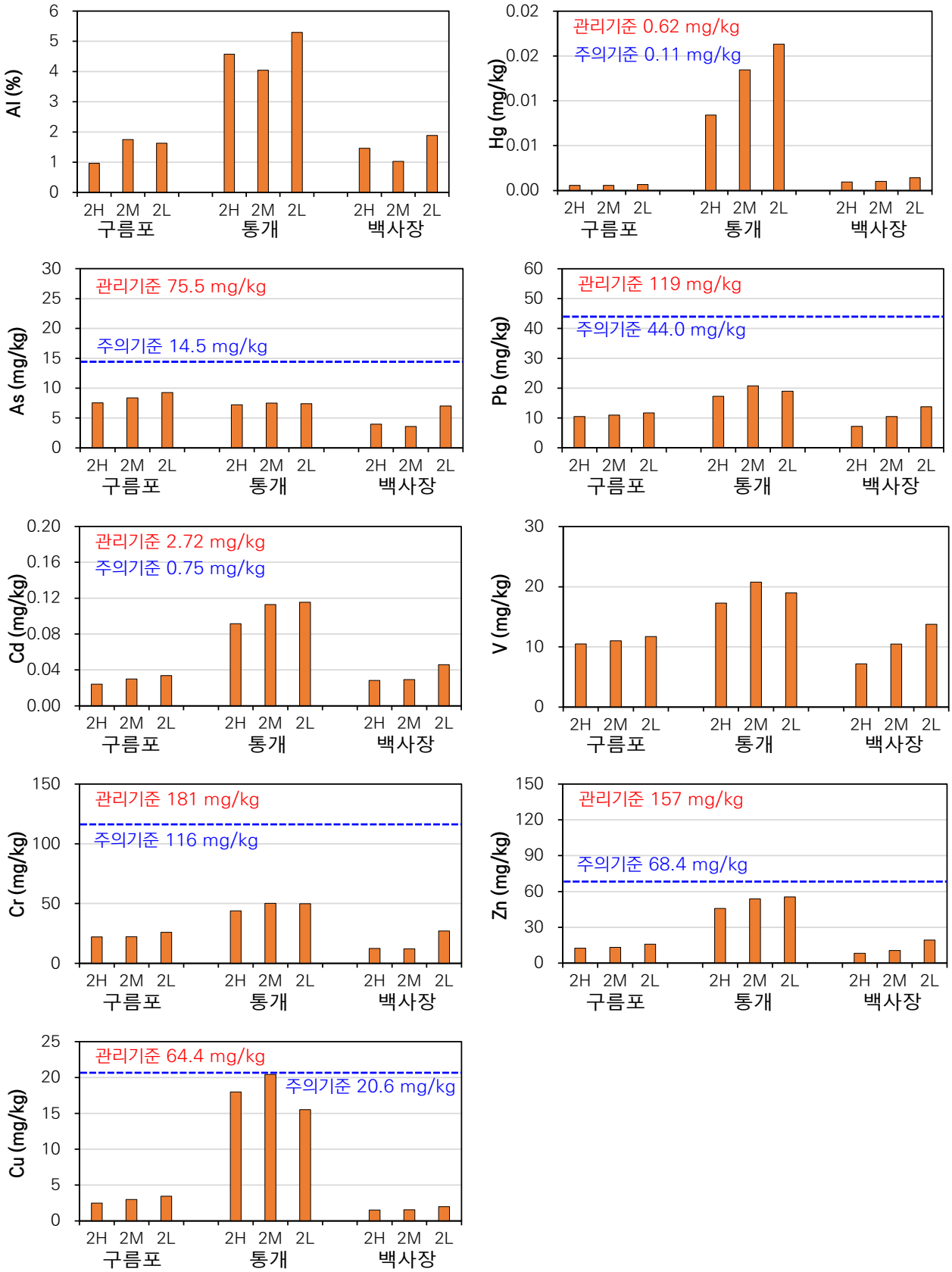


그림 Ⅱ-2-3. 조간대 퇴적물 중금속의 정점별 분포

3) 해양생물

가) 패류

- 패류 중 백사장 굴의 경우, 당시 시료 채취 불가로 분석에서 제외
- 굴에 농축되어 있는 카드뮴(Cd)은 구름포 2.905 ㎎/㎏, 통개 3.749 ㎎/㎏으로 국내 기준을 초과하였고, 담치는 구름포 2.686 ㎎/㎏, 통개 1.668 ㎎/㎏, 백사장 3.969 ㎎/㎏으로 구름포와 백사장에서 채집된 담치의 경우 국내 허용기준을 초과함(그림 Ⅱ-2-4)
- 굴에 농축된 구리(Cu)는 구름포 197.796 ㎎/㎏, 통개 261.081 ㎎/㎏의 농도를 나타냈고, 담치는 구름포 5.506 ㎎/㎏, 통개 5.737 ㎎/㎏, 백사장 77.467 ㎎/㎏의 농도를 나타냄, 구리는 상대적으로 담치보다는 굴이 높은 농축을 보임(그림 Ⅱ-2-4)
- 굴에 수은(Hg) 농축농도는 구름포 0.093 ㎎/㎏, 통개 0.084 ㎎/㎏이었으며, 담치는 구름포 0.063 ㎎/㎏, 통개 0.048 ㎎/㎏, 백사장 0.067 ㎎/㎏으로 모두 국내 허용기준 이하를 나타냄(그림 Ⅱ-2-4)
- 굴에 포함된 니켈(Ni)은 구름포 2.061 ㎎/㎏, 통개 1.636 ㎎/㎏이었고, 담치는 구름포 2.572 ㎎/㎏, 통개 4.402 ㎎/㎏, 백사장 0.482 ㎎/㎏을 나타냄(그림 Ⅱ-2-4)
- 굴에 농축된 납(Pb)의 농도는 구름포 1.809 ㎎/㎏, 통개 1.792 ㎎/㎏으로 국내 허용기준을 만족하였고, 담치는 구름포 1.261 ㎎/㎏, 통개 3.188 ㎎/㎏, 백사장 0.151 ㎎/㎏으로 통개에서 채집된 개체는 국내 허용기준을 초과함에 따라 지속적인 관측 필요(그림 Ⅱ-2-4)
- 굴에 포함된 바나듐(V)의 농도는 구름포 5.433 ㎎/㎏, 통개 5.389 ㎎/㎏이었으며, 담치는 구름포 2.973 ㎎/㎏, 통개 9.697 ㎎/㎏, 백사장 0.941 ㎎/㎏이었음(그림 Ⅱ-2-4)
- 굴 체내에 포함된 아연(Zn)은 구름포 788.784 ㎎/㎏, 통개 800.579 ㎎/㎏의 농도를 나타냈고, 담치는 구름포 61.318 ㎎/㎏, 통개 73.360 ㎎/㎏, 백사장 98.156 ㎎/㎏이었음(그림 Ⅱ-2-4)

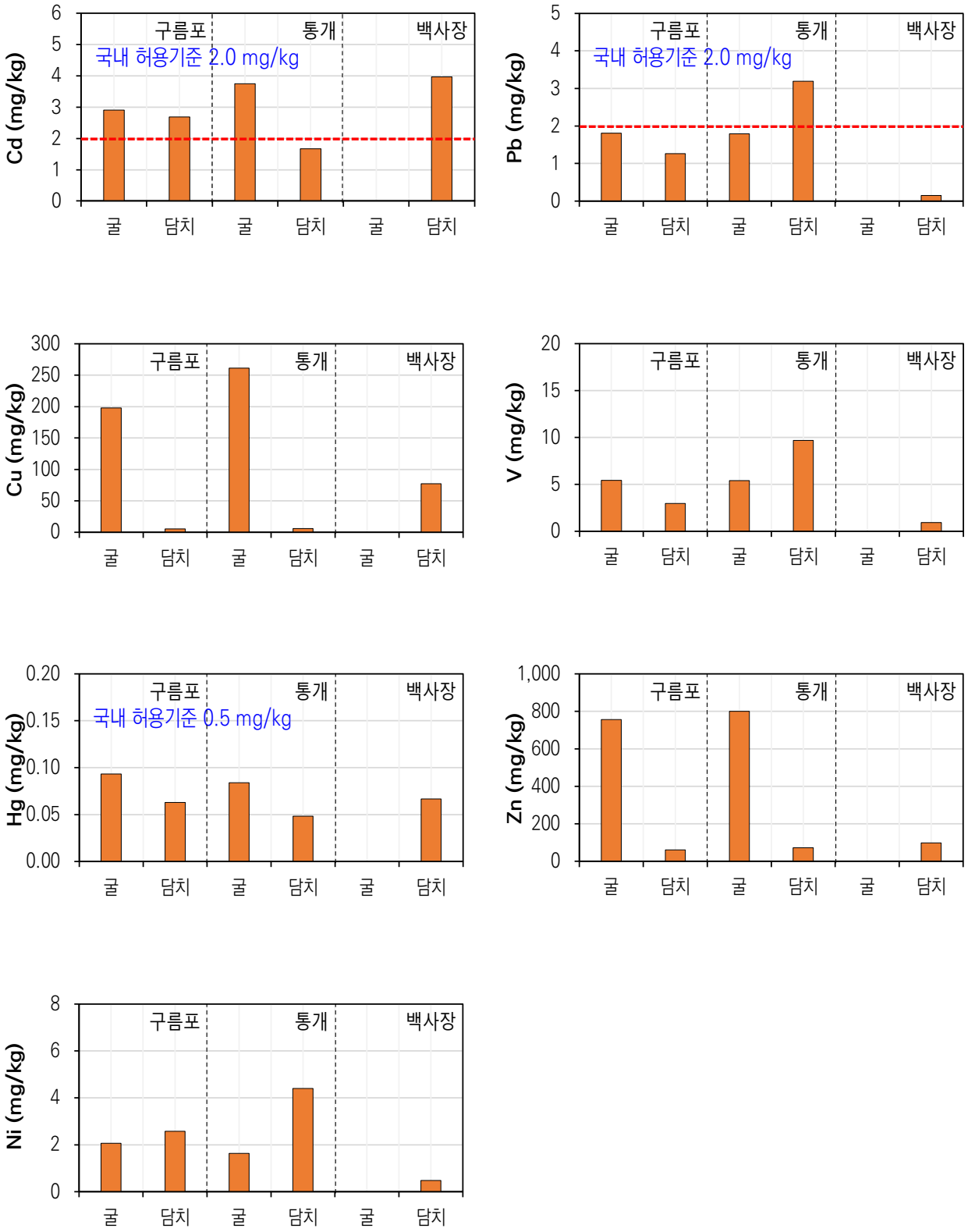


그림 Ⅱ-2-4. 조간대 패류 체내 중금속의 정점별 분포

나) 어류

- 베도라치 체내에 농축된 카드뮴(Cd)은 모항 0.036 ㎎/㎏, 밧개 0.069 ㎎/㎏, 학암포 0.140 ㎎/㎏의 농도를 나타냈고, 조피볼락은 모항 0.072 ㎎/㎏, 밧개 0.100 ㎎/㎏, 학암포 0.152 ㎎/㎏의 농도를 보임으로서 두 종 모두 국내 허용기준을 만족함(그림 Ⅱ-2-5)
- 베도라치 체내의 구리(Cu) 농도는 모항 2.784 ㎎/㎏, 밧개 3.169 ㎎/㎏, 학암포 4.927 ㎎/㎏이었고, 조피볼락은 모항 3.283 ㎎/㎏, 밧개 3.856 ㎎/㎏, 학암포 5.313 ㎎/㎏의 농도를 보임, 상대적으로 학암포에서 출현한 개체에서 구리 농도가 높음(그림 Ⅱ-2-5)
- 베도라치의 수은(Hg) 농축농도는 모항 0.033 ㎎/㎏, 밧개 0.038 ㎎/㎏, 학암포 0.028 ㎎/㎏이었고,조피볼락은 모항 0.042 ㎎/㎏, 밧개 0.026 ㎎/㎏, 학암포 0.043 ㎎/㎏으로 각 조간대별로 큰 차이를 보이지 않음(그림 Ⅱ-2-5)
- 베도라치 체내에 농축된 니켈(Ni)은 모항 1.735 ㎎/㎏, 밧개 2.099 ㎎/㎏, 학암포 3.182 ㎎/㎏이었으며, 조피볼락은 모항 0.666 ㎎/㎏, 밧개 0.829 ㎎/㎏, 학암포 0.656 ㎎/㎏의 농도를 나타냄, 학암포에서 출현한 베도라치의 농축농도가 가장 높음(그림 Ⅱ-2-5)
- 베도라치에 농축된 납(Pb) 농도는 모항 1.714 ㎎/㎏, 밧개 2.380 ㎎/㎏, 학암포 2.986 ㎎/㎏이었고, 조피볼락은 모항 0.647 ㎎/㎏, 밧개 0.775 ㎎/㎏, 학암포 0.669 ㎎/㎏로 모든 정점에서 출현한 어체에서 국내 허용기준은 0.5 ㎎/㎏를 초과, 특히 조피볼락보다는 베도라치에 더 높은 농축농도를 나타냄(그림 Ⅱ-2-5)
- 베도라치의 바나듐(V) 농도는 모항 9.408 ㎎/㎏, 밧개 8.805 ㎎/㎏, 학암포 9.598 ㎎/㎏이었고, 조피볼락은 모항 2.320 ㎎/㎏, 밧개 2.706 ㎎/㎏, 학암포 2.278 ㎎/㎏로 상대적으로 베도라치의 바나듐 농축농도가 높은 분포를 보임(그림 Ⅱ-2-5)
- 베도라치의 아연(Zn) 농도는 모항 39.712 ㎎/㎏, 밧개 54.369 ㎎/㎏, 학암포 71.515 ㎎/㎏이었고, 조피볼락은 모항 89.760 ㎎/㎏, 밧개 108.181 ㎎/㎏, 학암포 5.313 ㎎/㎏의 농도를 나타냄, 모항과 밧개는 조피볼락의 아연 농축농도가 높았으며, 학암포는 베도라치의 농축농도가 높았음(그림 Ⅱ-2-5)

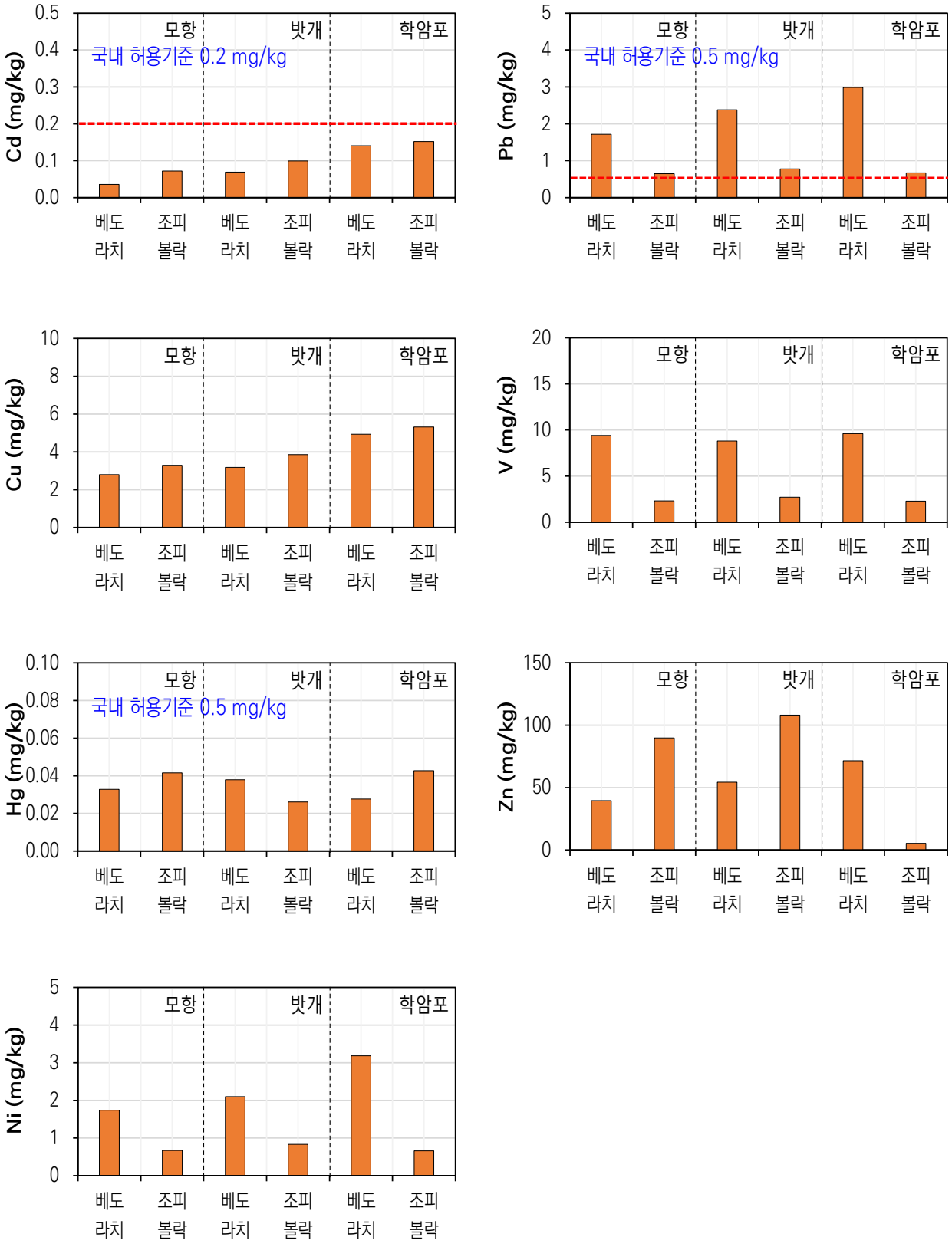


그림 Ⅱ-2-5. 조간대(조수웅덩이) 어류 체내 중금속 정점별 분포

라. 선행연구와의 비교

1) 해수

- 본 조사해역에서 2008년부터 수행된 장기모니터링 중금속 결과와 유사한 조사해역에서 실시한 서해안 연안환경 측정망 중금속 자료(충청남도, 2018; 2019; 2020)와 비교한 결과, 사고 초기를 제외한 최근에는 모든 중금속 항목에서 유사한 농도 분포를 보임
- 조사해역 장기변동 모니터링 결과, 시기별 변동은 있으나 유류유출 사고 초기를 제외한 대부분의 시기 및 정점에서 해양환경기준(해양수산부 고시 제2018-10호)의 해양생태계 보호 단기기준 및 장기기준, 사람의 건강보호 기준 이하임

2) 조하대 퇴적물

- 2008년부터 조하대 퇴적물 내 중금속 농도는 대부분 해양환경기준 주의기준(TEL) 이하임
- 수은은 2008년 추계와 2010년 춘계에 주의기준(TEL) 초과
- 태안해안국립공원과 유사한 공간적 범위에서 이루어진 서해안 연안환경측정망 조사(충청남도, 2018; 2019; 2020)에서 아연은 2018, 2019년도에 주의기준 초과
- 비소의 경우 일부정점에서 주의기준을 초과한 사례가 존재, 2022년 조사에서도 정점 3에서는 주의기준을 초과하였고, 정점11에서도 주의기준과 근사한 수치를 보임으로서 지속적인 관찰이 요구됨

3) 조간대 퇴적물

- 구름포, 통개, 백사장 조간대 퇴적물의 중금속은 유류유출 사고 직후인 2008년에 일시적으로 높은 함량을 나타내다가 2009년에 감소, 이후 2020년까지 유의한 변화 없이 유사한 분포임
- 2008년부터 조간대 퇴적물 내 중금속은 해양환경기준 주의기준(TEL) 이하임
- 2022년 조사에서도 모두 기준 이하의 결과를 보였으나, 통개의 경우 구리 농도가 주의기준 이하를 보였으나 기준과 근사한 수치를 나타냄으로서 지속적인 관찰이 요구됨

4) 해양생물

- 해양생물(어류, 패류) 내 중금속 농축 농도는 유류유출 사고 직후 높았다가 2013년 이후 유의한 변화없이 유사한 분포를 보였으나 최근 어류의 납 농축 농도와 패류의 카드뮴과 납의 농축 농도가 높은 농도 또는 국내 허용기준을 초과하는 사례가 발생함에 따라 주의 깊은 관찰이 요구됨

마. 참고문헌

국립수산과학원. 2021. 해양환경공정시험기준. 국립수산과학원고시 제2021-7호.

식품의약품안전처. 2018.「식품위생법」제7조에 따른「식품의 기준 및 규격」. 식품의약품안전처 고시 제2018-91호.

충청남도. 2018. 2017년 서해안 연안환경측정망 모니터링. 382 pp.

충청남도. 2019. 2018년 서해안 연안환경측정망 모니터링. 350 pp.

충청남도. 2020. 2019년 서해안 연안환경측정망 모니터링. 245 pp.

해양수산부. 2018. 해양환경기준. 해양수산부고시 제2018-10호.

3 PAHs 오염

가. 서론

1) 배경

- 2007년 12월 7일, 유조선에 적재되어 있던 원유 12,547 ㎘가 태안 해역으로 유출
- 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs)는 다양한 형태의 유류에서 가장 중요한 화합물로 유류오염의 특성을 가장 잘 나타낼 수 있음
- 용해성이 낮고 비교적 낮은 증기압을 지고 있어 입자상 물질에 쉽게 흡착(백성옥, 1999)
- 미국 독성물질 질병 등록국(Agency for Toxic Substances and Disease Registry; ATSDR)과 환경보호청(Environmental Protection Agency; EPA)은 독성, 인체 노출, 검출빈도 등을 고려해 벤조피렌(Benzo[a]pyrene)을 포함 16종 물질을 '우선대상 오염물질'로 지정하여 관리(EPA, 1991)
- 국내 환경보건법에서도 PAHs를 위해성평가 대상 환경유해인자로 포함

2) 연구목적

- 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs)를 분석함으로써 허베이 스피리트호 유류유출사고 이후 해양환경 및 생태계에 미치는 영향과 회복 판단 근거 자료 확보

나. 조사내용 및 방법

1) 조사기간 및 정점

- 2022년 7월(하계)(표 Ⅱ-3-1, 그림 Ⅱ-3-1)

표 Ⅱ-3-1. 태안해안국립공원 PAHs 퇴적물 및 생물시료 채집기간

조사대상	조사기간
	하계
조하대(표층퇴적물)	2022. 07. 05.~06.
조간대(표층·패류)	2022. 07. 14.~15.
조간대(어류)	2022. 08. 14.~15.

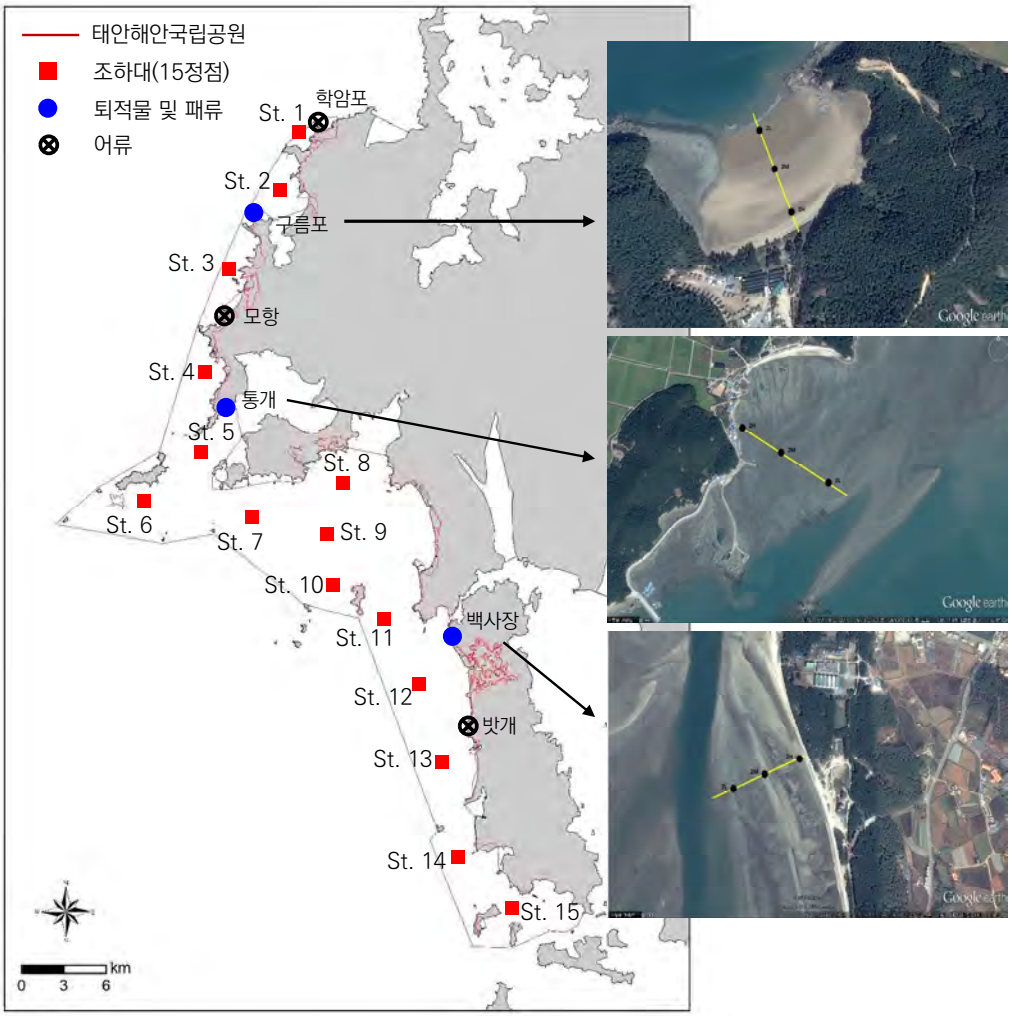


그림 Ⅱ-3-1. 조하대 표층퇴적물 PAHs 조사 정점도

2) 조사방법

가) 시료채집 및 보관방법

- 각 시료 채집 및 보관방법은 [표 Ⅱ-3-2]에 제시

표 Ⅱ-3-2. 태안해안국립공원 PAHs 시료채집 및 보관방법

조사대상	시료채집	시료보관
조하대(표층퇴적물)	반빈 그랩(Van Veen grab sampler)	-20℃이하 냉동보관
조간대(표층퇴적물)	스테인레스 약스푼(stainless spoon)	
조간대(패류)	끌개	
조간대(어류)	족대(망목크기 5×5m), 뜰망(망목크기 1×1 m)	

※ 해양환경공정시험기준(국립수산과학원, 2021)에 준하여 시료 채집 및 보관

나) 분석방법

- PAHs 분석항목, 분석방법, 측정원리는 [표 Ⅱ-3-3~4]에 제시

표 Ⅱ-3-3. 16종 PAHs 항목

화합물	약어	화학식	분자량 (g)
Napthalene	Nap	$C_{10}H_8$	128.2
Acenaphthylene	AcPy	$C_{12}H_8$	152.2
Acenaphthene	AcP	$C_{12}H_{10}$	154.2
Fluorene	Flu	$C_{13}H_{10}$	166.2
Phenanthrene	PhA	$C_{14}H_{10}$	178.2
Anthracene	AnT	$C_{14}H_{10}$	178.2
Fluoranthene	FluA	$C_{16}H_{10}$	202.3
Pyrene	Pyr	$C_{16}H_{10}$	202.1
Benzo(a)anthracene	B(a)A	$C_{18}H_{12}$	228.3
Chrysene	Chr	$C_{18}H_{12}$	228.3
Benzo(b)fluoranthene	B(b)F	$C_{20}H_{12}$	252.3
Benzo(k)fluoranthene	B(k)F	$C_{20}H_{12}$	252.3
Benzo(a)pyrene	B(a)P	$C_{20}H_{12}$	252.3
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	InP	$C_{22}H_{12}$	276.3
Dibenzo(a,h)anthracene	DbA	$C_{22}H_{14}$	278.3
Benzo(g,h,i)perylene	BghiP	$C_{22}H_{12}$	276.4

표 Ⅱ-3-4. 태안해안국립공원 PAHs 분석방법

분석항목	분석방법	측정원리
PAHs	GC-MS법	시료 중의 다환방향족탄화수소 화합물을 속슬렛(soxhlet) 추출방법을 이용하여 고순도 염화메틸렌(Dichloro methane)과 헥산(Hexane)으로 추출한 후, 추출액 중의 황과 같은 분석방해 물질 등을 환원구리 및 고체상 카트리지(sep-pak florisil, Waters®)를 이용하여 정제하였고, 기체크로마토그래피-질량분석기(GC-MS, Agilent® 7890B-5977A)를 이용하여 정량·정성 분석

※ EPA(Environmental Protection Agency) 시험방법(Method 3540, 3611), 해양환경공정시험기준(국립수산과학원, 2021)에 준하여 수행

다. 결과 및 고찰

1) 표층퇴적물

가) 조하대

- 하계 tPAHs는 10.8~24.4(평균 18.6) ng/g dry wt. 함량을 나타냄(그림 Ⅱ-3-2)

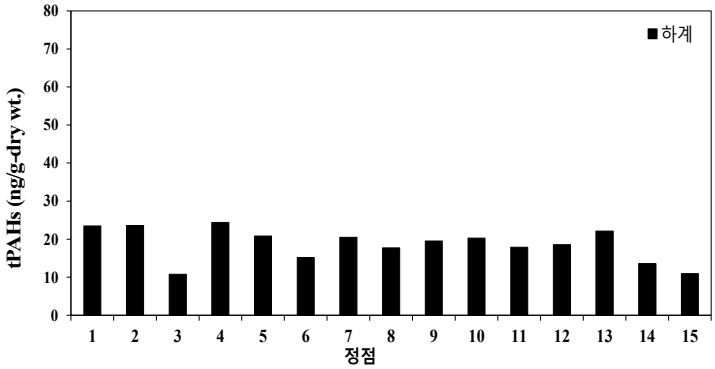


그림 Ⅱ-3-2. 조하대 표층퇴적물의 정점별 tPAHs 분포

나) 조간대

- 조간대 하계 tPAHs는 구름포 12.9~24.2(평균 17.5), 통개 12.7~25.5(평균 17.2), 백사장 14.2~16.8(평균 15.7) ng/g dry wt. 함량을 나타냄(그림 Ⅱ-3-3)
- 지역 및 정점간 큰 변동을 보이지 않음

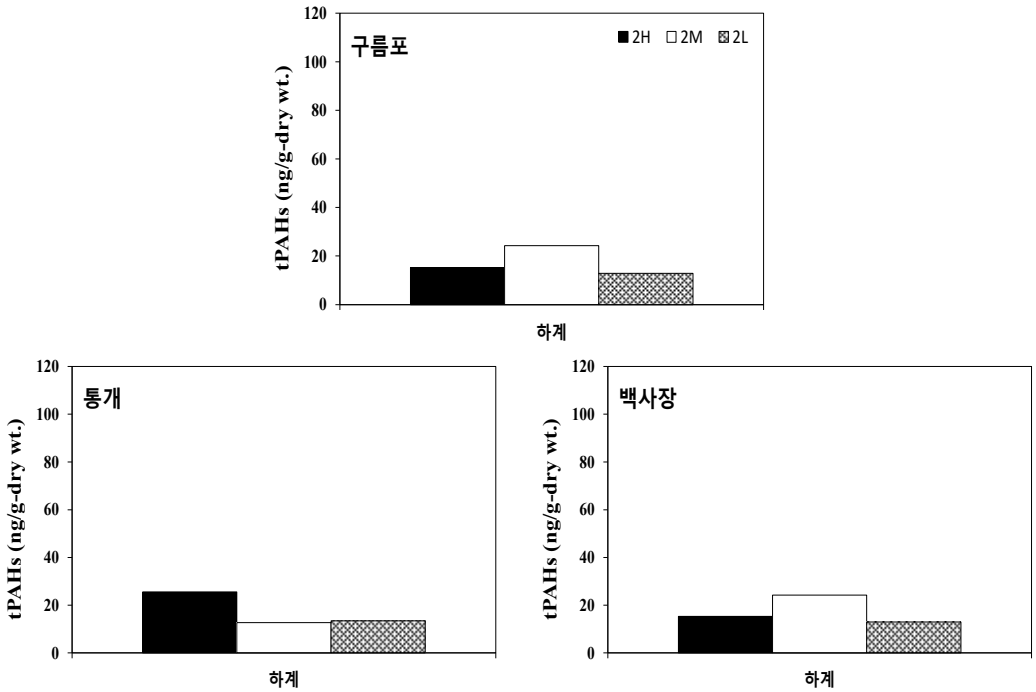


그림 Ⅱ-3-3. 조간대 표층퇴적물의 정점별 tPAHs 분포

- 퇴적물의 tPAHs 기원은 AnT/(AnT+Phe) 값이 0.1 이하이면 유류기원, 이상이면 열분해기원으로 분류되며, N.D.~1.00(평균 0.15)로 열분해기원으로 분류(표 Ⅱ-3-5)
- Flu(Flu+Pyr) 값은 0.04~0.43(평균 0.18)으로 Crude oil spil과 Crude oil burning 기원으로 분류(표 Ⅱ-3-5)

- 조하대 및 조간대 표층퇴적물의 tPAHs 화합물 함량은 미국 NOAA 권고기준(Long *et al.,* 1995) ERL 4,022 ng/g dry wt. 및 ERM 44,792 ng/g dry wt. 미만으로 나타남
- Ospar (2000)의 ecotoxicological assessment criteria인 1,050 ng/g dry wt.와 비교해도 현저히 낮음

표 Ⅱ-3-5. 조간대 표층퇴적물 중 tPAHs의 기원

지역(정점) \ 계절		AnT/(AnT+Phe)	Flu/(Flu+Pyr)
		하계	
구름포	2H	N.D.	0.04
	2M	0.06	0.10
	2L	0.30	0.15
	평균	0.12	0.10
통개	2H	N.D.	0.13
	2M	N.D.	0.22
	2L	N.D.	0.28
	평균	N.D.	0.21
백사장	2H	1.00	0.13
	2M	N.D.	0.12
	2L	N.D.	0.43
	평균	0.33	0.23
전체정점	최소값	N.D.	0.04
	최대값	1.00	0.43
	평균	0.15	0.18

- N.D : Not Detected
- $p>0.1$ pyrolytic source, $p<0.1$ petrogenic source (Budzinski *et al.,* 1997)
- Crude oil spil 0.22±0.07, Diesel oil spill 0.26±0.16, Diesel oil burning 0.39±0.11, Crude oil burning 0.44±0.12, Wood burning 0.51±0.06, Grass burning 0.58±0.04, Coal burning 0.72(Katsoyiannis *et al.,* 2007; Ravindra *et al.,* 2008)

2) 해양생물

가) 패류(굴, 담치)

- 굴 tPAHs 함량은 구름포 72.9 ng/g dry wt., 통개 109.1 ng/g dry wt., 백사장 80.5 ng/g dry wt.로 나타남(그림 Ⅱ-3-4)
- 담치 tPAHs 함량은 구름포 75.0 ng/g dry wt., 통개 85.4 ng/g dry wt.로 나타남(그림 Ⅱ-3-4)
- 굴, 담치 모두 통개에서 높고, 구름포에서 낮은 분포를 보임
- 백사장의 담치 경우, 시료 확보 불가로 분석에서 제외

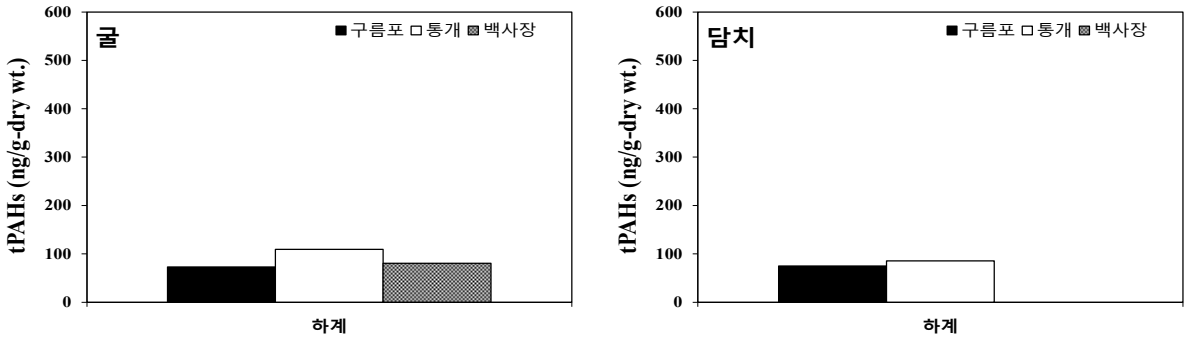


그림 Ⅱ-3-4. 조간대 패류(굴, 담치) tPAHs 함량

나) 어류(베도라치, 조피볼락)

- 베도라치 tPAHs 함량은 밧개 184.5 ng/g dry wt., 학암포 206.0 ng/g dry wt.로 나타남(그림 Ⅱ-3-5)
- 조피볼락 tPAHs 함량은 모항 155.6 ng/g dry wt., 밧개 176.9 ng/g dry wt., 학암포 192.1 ng/g dry wt.로 나타남(그림 Ⅱ-3-5)
- 베도라치, 조피볼락 모두 지역 간 큰 농도차를 보이지 않음
- 모항의 베도라치 경우, 시료 확보 불가로 분석에서 제외

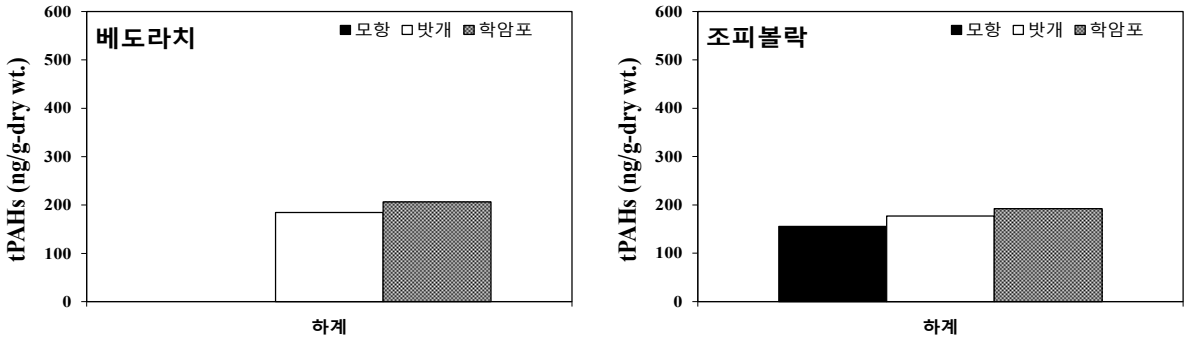


그림 Ⅱ-3-5. 조간대 어류(베도라치, 조피볼락) tPAHs 함량

라. 선행연구와의 비교

1) 조하대 표층퇴적물 비교

- 2022년 하계 tPAHs 농도의 경우 2008년~2021년도 하계 tPAHs 평균보다 낮은 농도를 보임(그림 Ⅱ-3-6)
- 계절별 tPAHs는 년도마다 각기 다른 계절이 높은 함량을 보였으나 대부분 동계, 춘계의 tPAHs 농도가 하계, 추계 비해 높게 나타남(그림 Ⅱ-3-6)

- 대기의 PAHs 분포의 경우 화석연료 사용이 많아지는 동계, 춘계에 증가하고, 기온과 광량이 높은 하계, 추계에 광분해에 의한 요인 등으로 농도가 감소함(Kaupp and McLachlan, 1998; Kim *et al.,* 2012; Masclet *et al.,* 1986)
- 또한, An *et al.* (2009)은 대기와 해양의 PAHs 기체 교환 플럭스 이동에 관한 연구에서 하계에는 해양에서 대기로, 동계에는 대기에서 해양으로 PAHs가 이동한다고 발표
- 유류유출 사고 전 Yim *et al.* (2007)이 보고한 태안해안 인근지역의 퇴적물 tPAHs 함량(13.7 ng/g dry wt.)보다는 높았으나 미국 NOAA 권고기준(Long *et al.,* 1995)보다 현저히 낮은 수치를 보임
- tPAHs의 함량은 분해가 진행됨에 따라 상승과 하강을 반복하거나 일시적으로 증가하는 경향을 보이므로 tPAHs 함량 변동에 대한 지속적인 관찰 필요

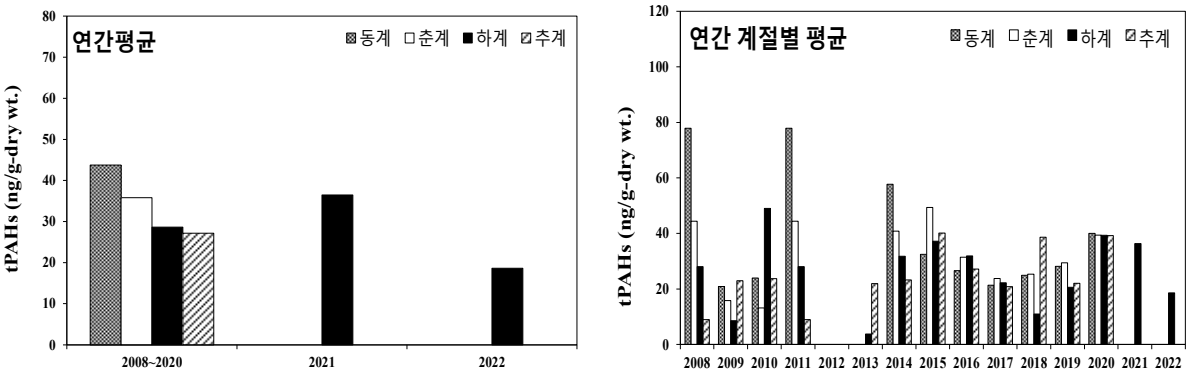


그림 Ⅱ-3-6. 조하대 표층퇴적물의 연간 계절별 tPAHs 함량 변동

2) 조간대 표층 비교

- 연간 tPAHs가 2015년 이후로 감소, 2019년부터 증가하는 경향을 보였으나 2021년부터 다시 감소하는 모습을 나타냄(그림 Ⅱ-3-7)
- 2021년도에 비해 낮은 분포를 보였으며 미국 NOAA 권고기준(Long *et al.,* 1995)과 비교해도 현저히 낮은 수치를 보임
- 조하대 표층퇴적물과 같이 tPAHs 함량 변동에 대한 지속적인 관찰 필요

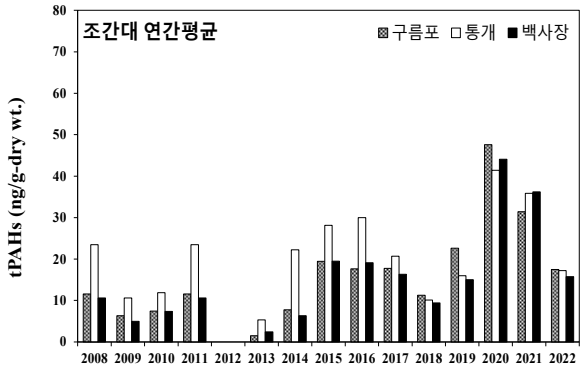


그림 Ⅱ-3-7. 조간대 표층퇴적물의 연간 계절별 tPAHs 함량 변동

3) 해양생물(패류) 비교

- 굴의 연간 tPAHs는 증감을 반복하였고, 2022년은 2021년에 비해 낮게 나타남(그림 Ⅱ-3-8)
- 담치 역시 굴과 같이 뚜렷한 패턴없이 증감을 반복하였고, 2021년에 비해 낮은 농도를 나타남(그림 Ⅱ-3-8)
- 굴은 Kim (1998)이 보고한 경남 하동의 굴 농도(107.6 ng/g dry wt.), Lee *et al.* (1998)이 조사한 경남 진해만의 굴 농도(838 ng/g dry wt.)보다 현저히 낮은 농도를 보임
- 담치 역시 Kim (1998)이 보고한 경남 하동의 담치 농도(1,430 ng/g dry wt.), Lee *et al.* (1998)이 조사한 경남 진해만의 담치 농도(760 ng/g dry wt.)보다 현저히 낮은 농도를 보임
- 굴, 담치 모두 tPAHs 함량이 증감을 반복하거나 일시적으로 증가하는 경향을 보이므로 함량 변동에 대한 지속적인 관찰 필요

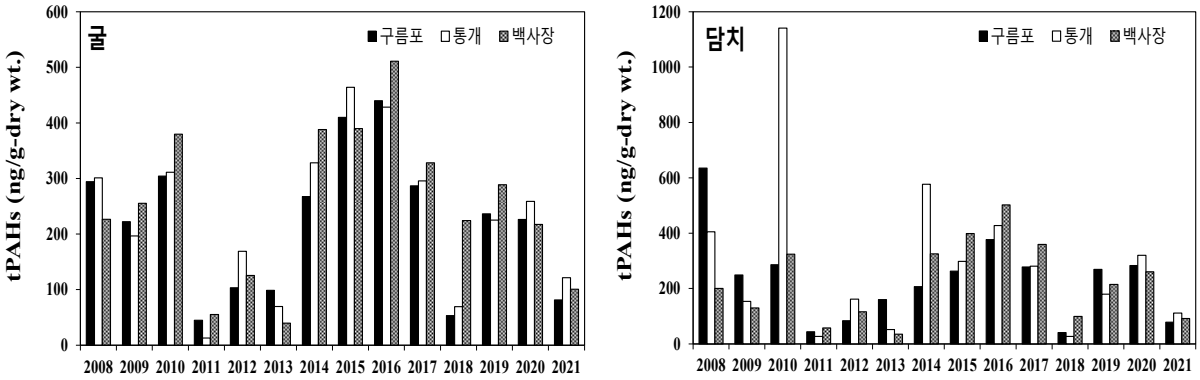


그림 Ⅱ-3-8. 조간대 해양생물(패류) 연간 tPAHs 함량 변동

마. 참고문헌

백성옥. 1999. 대기 중 다환방향족탄화수소-환경학적 고찰. 한국대기환경학회지 15(5): 525-544.

국립수산과학원. 2021. 해양환경공정시험기준. 국립수산과학원고시 제2021-7호.

An, JG, UH Yim, WJ Shim, BG Kim, SK Kim, and HI Yi. 2009. Seasonal Variation of

Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) on Anmyeon Island. Ocean and Polar Research 31:189-198.

Budzinski, H., I. Jones, J. Bellocq, C. Pierard and P. Garrigues. 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary, Marine Chemistry, 58(1-2): 85-97.

Environmental Protection Agency. 1991. Pollutants of concern in puget sound. EPA 910/9-91-003.

Kaupp H, MS McLachlan. 1998. Atmospheric particle size distributions of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their implications for wet and dry deposition. Atmospheric Environment 33:85-95.

Katsoyiannis, A., E. Terzi and Q. Y. Cai. 2007. On the use of PAH molecular dignostic ratios in sewage sludge for the understanding of the PAH sources, Is this use appropriate? Chemosphere 69(8): 1337-1339.

Kim DK, TJ Lee, SC Kim, DS Kim. 2012. Sources Apportionment Estimation of Ambient PM2.5 and Identification of Combustion Sources by Using Concentration Ratios of PAHs Journal of Korean Society for Atmospheric Environment 28:538-555.

Kim YH. 1998. The High Performance Liquid chromatography(HPLC) Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) in Sediment, Mussels, and Oysters from the Coastal Zone of Kwangyang Bay, Korea. MS thesis. Korea Maritime University.

Lee KS, I Noh, CS Lim and SD Chu. 1998. The High Performance Liquid Chromatography (HPLC) Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Oysters from the Intertidal and Subtidal Zones of Chinhae Bay , Korea. The Korean Environmental Sciences Society. 2(1): 57-68.

Long, E. R., D. D. Macdonald, S. L. Smith and F. D. Calder. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environ. Manage. 19: 81～97.

Masclet P, G Mouvier, K Nikolaou. 1986. Relative decay index and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons. Atmospheric Environment (1967) 20:439-446.

Ospar. 2000. Quality status report: Region Ⅳ-Bay of Biscay and Iberian Coast. OSPAR Commission. London. U.K. 134 pp.

Ravindra, K., R. Sokhi and R. Van Grieken. 2008. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons : source attribution, emission factors and regulation. Atmospheric environment 42(13): 2895-2921.

Yim, U. H., S. H. Hong and W. J. Shim. 2007. Distribution and characteristics of PAHs in sediments from the marine environment of Korea. Chemosphere 68: 85-92.

4 식물플랑크톤

가. 서론

1) 배경

- 허베이 스피리트호 유류유출 사고로 인한 해양생태계의 영향을 파악하기 위하여 태안해안국립공원의 식물플랑크톤 군집을 대상으로 2008년부터 2022년까지 장기모니터링 조사 수행

2) 연구목적

- 태안해안국립공원의 보전 및 관리를 위한 식물플랑크톤의 현황 파악
- 유류유출 사고 이후 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 변화 양상 파악

나. 조사내용 및 방법

1) 조사기간 및 지역

- 2022년 태안해안국립공원 조하대 15개 정점을 대상으로 계절조사 실시(표 Ⅱ-4-1, 그림 Ⅱ-1-1)

표 Ⅱ-4-1. 식물플랑크톤 조사시기 및 조사지역

회차	조사기간	조사지역
1 (동계)	2022. 2. 24. ~ 25.	태안해안국립공원 조하대
2 (춘계)	2022. 4. 28. ~ 29.	
3 (하계)	2022. 7. 5. ~ 6.	
4 (추계)	2022. 10. 6. / 2022. 10. 25.	

2) 조사방법

가) 시료채집

- 조하대 15개 정점의 표층에서 Niskin 채수기를 이용 식물플랑크톤 시료 채집
- 정량 및 정성 분석을 위해 500㎖ 차광 폴리에틸렌 병에 담아 Lugol 용액으로 즉시 고정

나) 분석방법

- 48시간 정치 후, syphon 원리를 이용하여 상등액을 제거하여 농축
- 농축된 시료는 광학현미경(ECLIPSE 80i, Nikon)에서 종 동정을 실시
- 종 동정에는 심재형(1994), Cupp (1943), Tomas (1997), Round *et al*. (1990), Yamaji (1979) 등의 문헌을 참고

다) 평가방법

- 군집 분석은 PRIMER 7을 이용, 생태지수(다양성, 풍부도, 균등도, 우점도)와 집괴분석 실시(Bray and Curtis, 1957; Margalef, 1958; Pielou, 1975; Shannon and Weaver, 1963)

다. 결과 및 고찰

1) 현존량 및 출현종

- 조사기간 동안 태안해안국립공원에서 출현한 종은 총 7개 분류강으로 규조강(Bacillariophyceae) 58종, 은편모조강(Cryptophyceae) 1종, 대롱편모조강(Dictyochophyceae) 1종, 와편모조강(Dinophyceae) 23종, 유글레나강(Euglenoidea) 1종, 침편모조강(Raphidophyceae) 1종, 접합조강(Zygnematophyceae) 1종으로 총 86종이 출현

가) 개체수 및 종수

- 동계에는 출현 개체수는 51~375 cells/㎖(평균 150 cells/㎖) 범위였고, 종수는 8~19종(평균 14종)이 관측됨(그림 Ⅱ-4-1)
- 춘계에는 32~790 cells/㎖(평균 305 cells/㎖) 범위에서 개체수를 나타냈고, 종수는 9~31종(평균 19종)이 관측됨(그림 Ⅱ-4-1)
- 하계에는 출현 개체수는 15~86 cells/㎖(평균 43 cells/㎖) 범위였고, 종수는 11~22종(평균 16종)이 관측됨(그림 Ⅱ-4-1)
- 추계에는 출현 개체수는 11~132 cells/㎖(평균 71 cells/㎖) 범위였고, 종수는 10~35종(평균 20종)이 관측됨(그림 Ⅱ-4-1)
- 하계에 출현 개체수가 높았고, 출현종수는 추계에 높은 결과를 보임(그림 Ⅱ-4-1)
- 공간적 분포를 보면 북부보다는 남부해역에서 높은 개체수를 보였고, 종수 역시 일반적으로 남부해역에서 높은 분포를 나타냄(그림 Ⅱ-4-1)

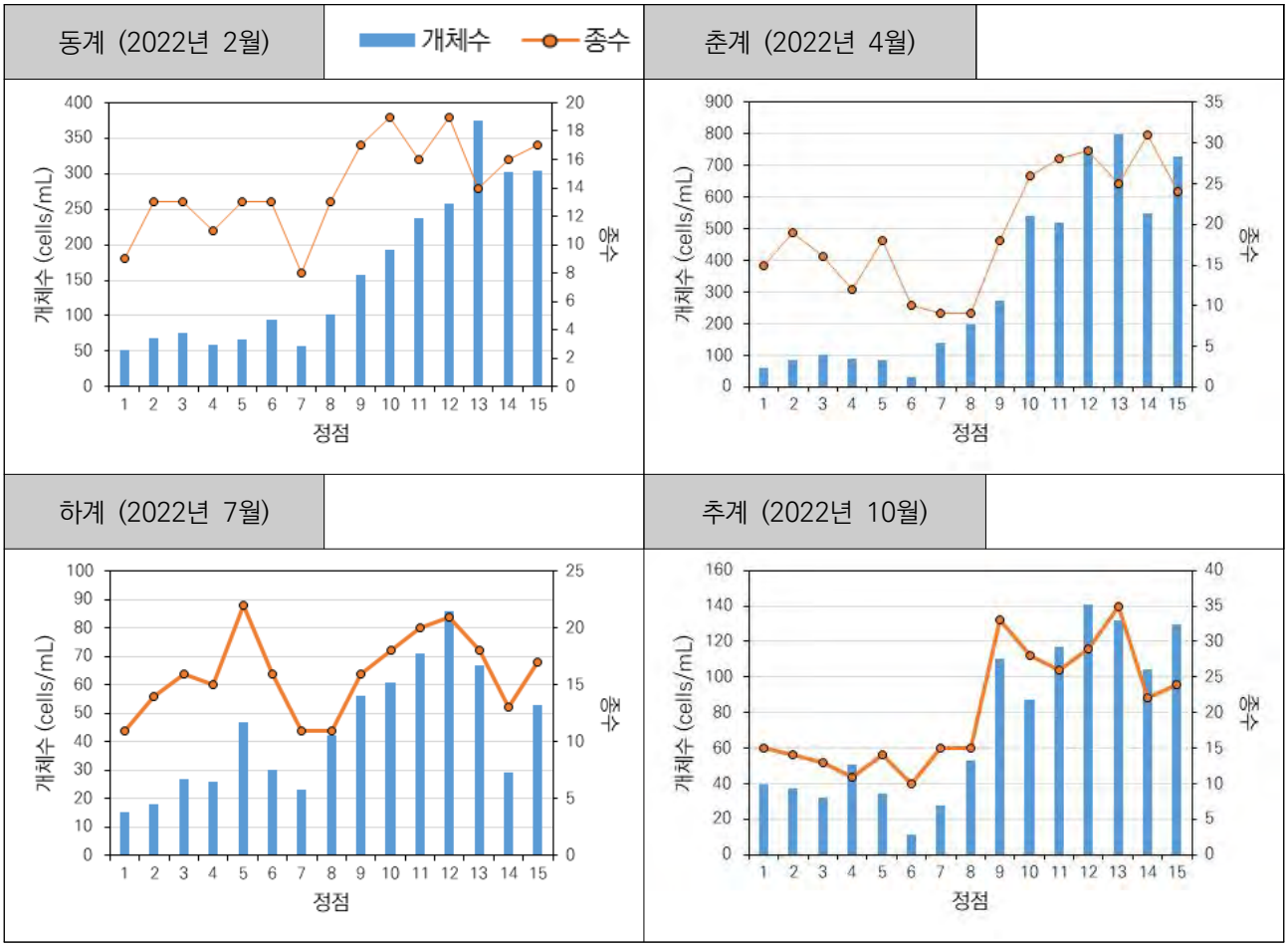


그림 Ⅱ-4-1. 조사시기별 출현 개체수 및 종수

나) 종조성

- 동계에는 총 4개 분류강으로 규조강 29종, 은편모조강 1종, 대롱편모조강 1종, 와편모조강 1종으로 32종 출현(그림 Ⅱ-4-2)
- 춘계에는 총 6개 분류강으로 규조강 39종, 은편모조강 1종, 대롱편모조강 1종, 와편모조강 3종, 유글레나강 1종, 접합조강 1종으로 46종 출현(그림 Ⅱ-4-2)
- 하계에는 총 6개 분류강으로 규조강 25종, 은편모조강 1종, 대롱편모조강 1종, 와편모조강 14종, 유글레나강 1종, 침편모조강 1종으로 43종 출현(그림 Ⅱ-4-2)
- 추계에는 총 4개 분류강으로 규조강 35종, 은편모조강 1종, 와편모조강 15종, 유글레나강 1종으로 52종 출현(그림 Ⅱ-4-2)
- 조사시기 별로 춘계와 하계에 가장 많은 분류군이 출현하였고, 종은 추계에 52종으로 가장 높은 출현율을 나타냄
- 일반적으로 규조강이 비율이 높은 분포(동계와 춘계 94~100%)를 보였으나 하계와 추계에는 와편모조강의 비율(최대 66%)이 높아짐
- 국내 연안의 일반적인 식물플랑크톤 군집과 유사함

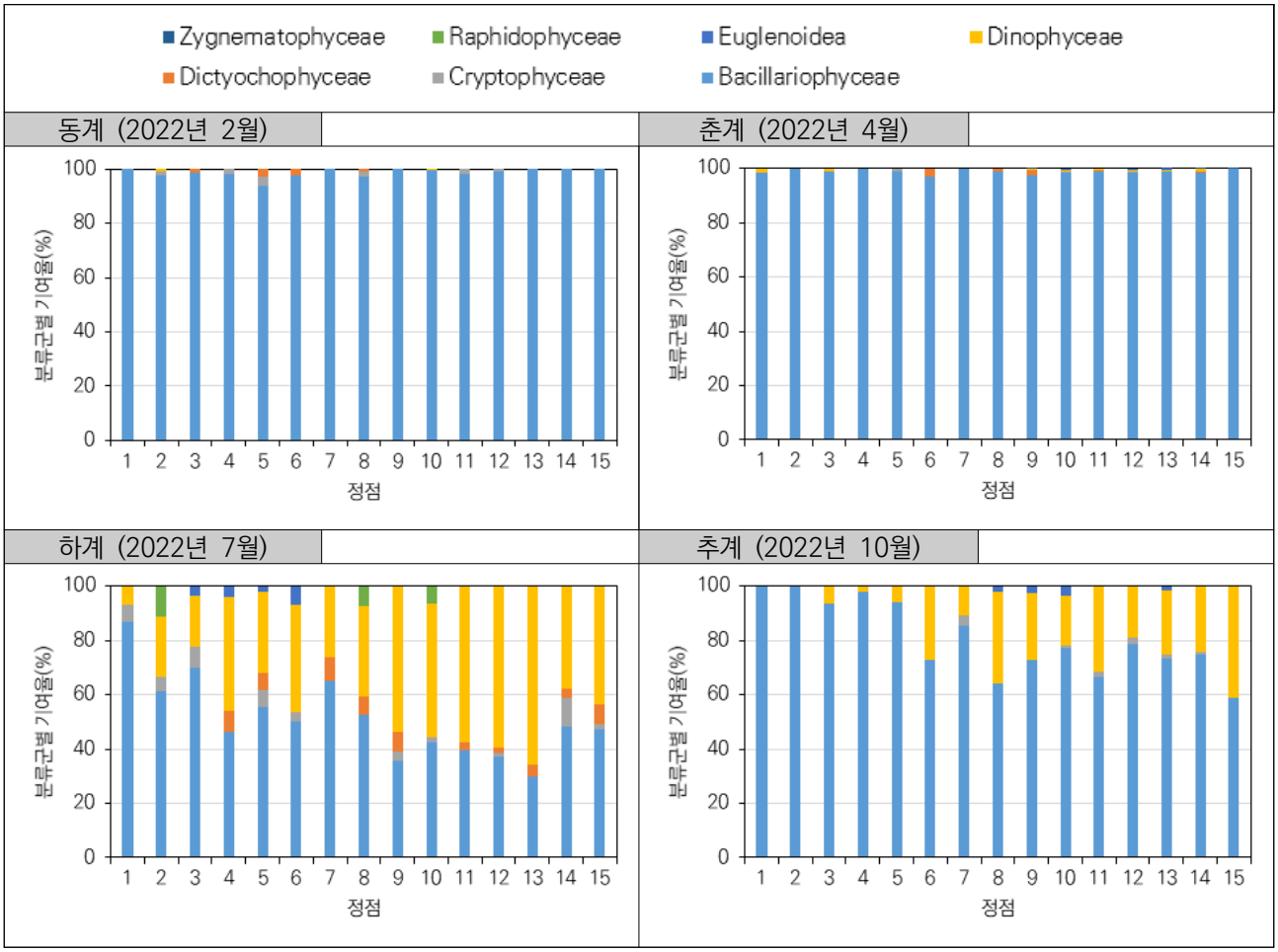


그림 Ⅱ-4-2. 조사시기별 종조성 변화

2) 우점종

- 동계조사에서 우점종은 규조강인 *Skeletonema costatum*이 41.1%로 우점하였고, 차우점 역시 규조강인 *Paralia sulcata*가 29.0%를 차지함(표 Ⅱ-4-2)
- 춘계조사에서도 규조강의 우점은 지속되었는데 동계 우점종이었던 *Skeletonema costatum*이 41.3%를 차지했고, 차우점은 *Asterionella glacialis*가 24.4%를 차지함(표 Ⅱ-4-2)
- 하계 조사에서는 와편모조강의 기여율이 증가하면서 우점종 역시 와편모조강에 *Prorocentrum micans*가 25.5%로 우점하였고, 차우점종은 규조강의 *Chaetoceros compressus*가 19.8%를 나타냄(표 Ⅱ-4-2)
- 하계 조사에서는 다시 우점종과 차우점종이 규조강으로 변경되면서 *Chaetoceros compressus*가 9.4%, *Leptocylindrus danicus*가 6.8%의 우점율을 나타냄(표 Ⅱ-4-2)

표 Ⅱ-4-2. 조사시기별 식물플랑크톤의 우점종

조사시기	우점종	평균 현존량 (cells/㎖)	점유율 (%)
동계 (2022년 2월)	*Skeletonema costatum*	988.0	41.1
	Paralia sulcata	697.0	29.0
춘계 (2022년 4월)	*Skeletonema costatum*	2045.0	41.3
	Asterionella glacialis	1210.0	24.4
하계 (2022년 7월)	*Prorocentrum micans*	81.1	25.5
	Chaetoceros compressus	63.0	19.8
추계 (2022년 10월)	*Chaetoceros compressus*	104.0	9.4
	Leptocylindrus danicus	75.0	6.8

3) 생태지수

- 각 조사시기별 생태지수는 [그림 Ⅱ-4-3]에 제시
- 계절별 다양도지수의 평균값은 동계 1.57, 춘계 1.61, 하계 2.53, 추계 2.55로 추계에 가장 높았으며, 공간적인 분포를 보면 동계와 추계의 경우 북부해역보다는 남부해역에서 높은 분포를 나타냄(그림 Ⅱ-4-3)
- 균등도지수의 동계와 춘계보다는 하계와 추계에 높은 분포를 나타냄, 동계와 추계에는 남부지역에서 다소 높은 분포를 보였고, 춘계에는 북부, 하계에는 정점간 큰 차이를 보이지 않음(그림 Ⅱ-4-3)
- 풍부도지수는 상대적으로 하계에 추계에 높은 분포를 보였고, 공간적으로는 남부해역이 다소 높은 분포를 보임, 태안해안국립공원의 중부(신진도 일대)에 위치한 정점은 다른 정점들에 비해 풍부도지수가 낮은 양상을 보였는데 이는 해당 지역의 유속이 빨라 식물플랑크톤이 체류할 수 있는 시간이 적기 때문이라도 판단됨(그림 Ⅱ-4-3)
- 우점도지수는 다양도와 균등도지수와 상반된 결과로 동계와 춘계에 높고 하계와 추계에 낮은 분포를 보임, 동계와 춘계 규조강에 의한 우점이 반영된 결과임(그림 Ⅱ-4-3)

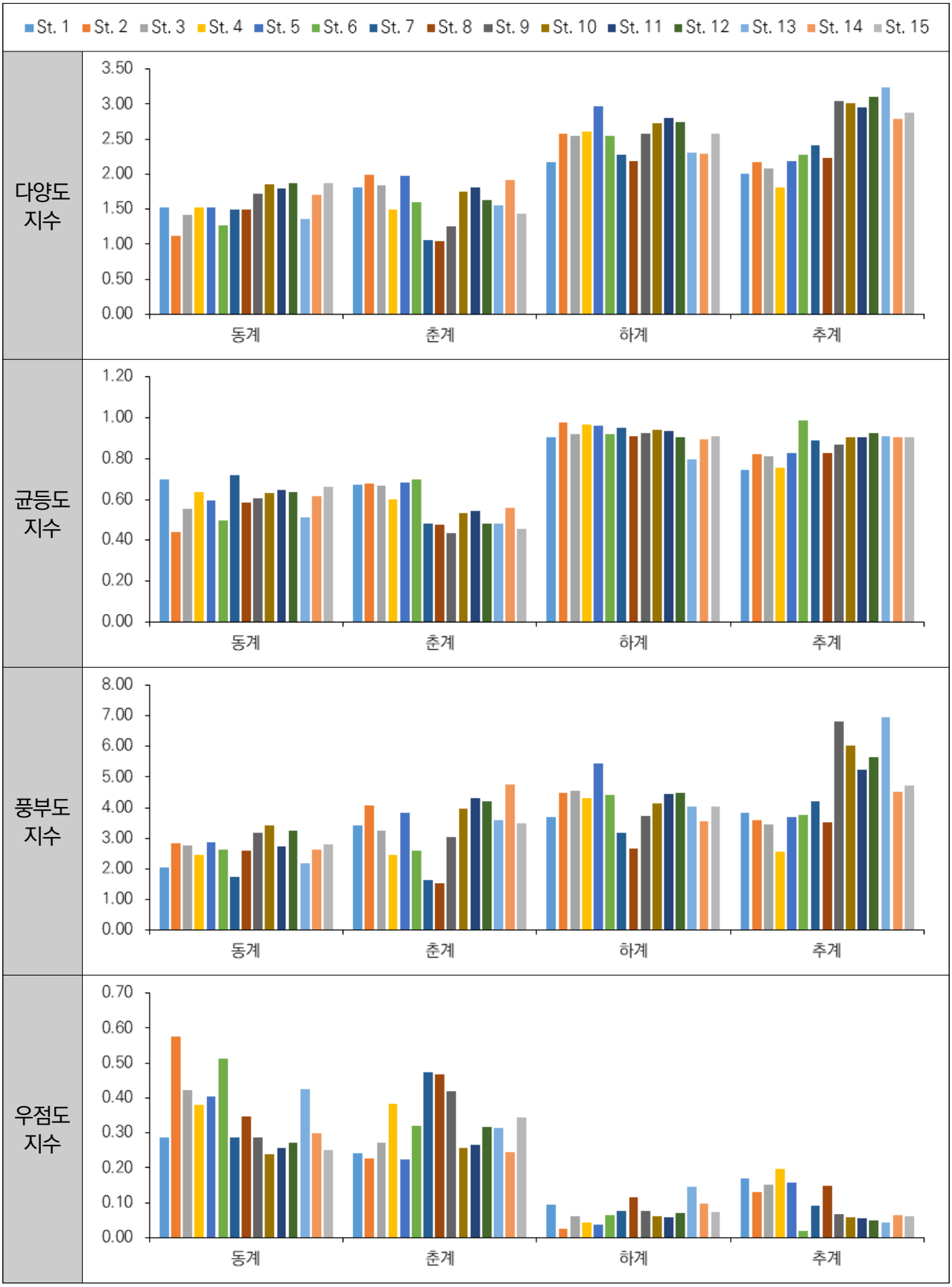


그림 Ⅱ-4-3. 조사시기별 식물플랑크톤 군집의 정점별 생태군집지수

4) 군집분석(집괴분석)

- 각 시기별 유사도분석을 실시한 결과, 태안해안국립공원의 식물플랑크톤 군집은 확연히 북부해역과 남부해역으로 구분되는 특징을 나타냄(그림 Ⅱ-4-4)
- 시기적으로 동계와 춘계에 유사도가 높고, 하계에 가장 낮은 유사도를 보임(그림 Ⅱ-4-4)

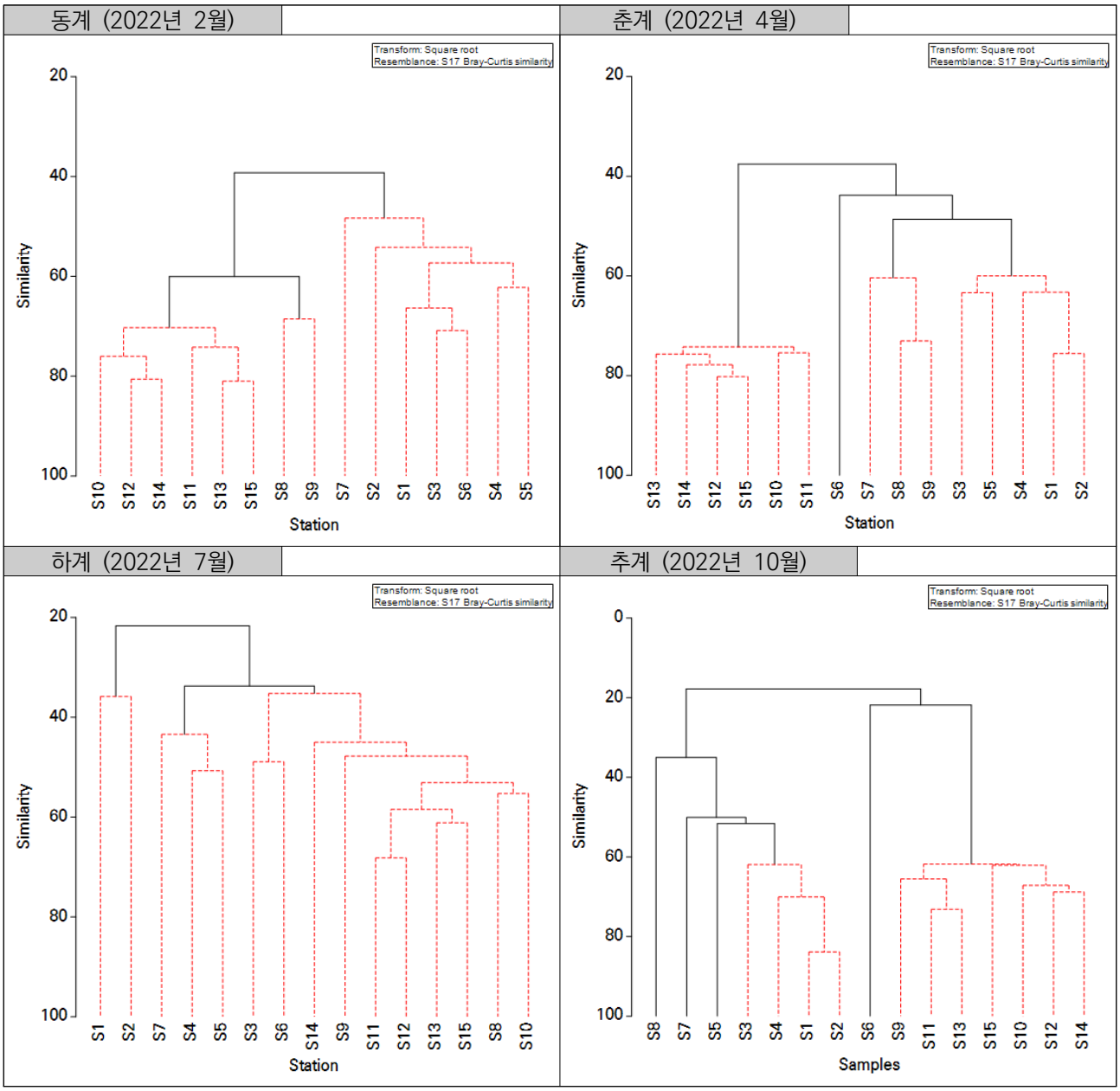


그림 Ⅱ-4-4. 조사시기별 식물플랑크톤 군집 분석 결과

라. 선행연구와의 비교

- 장기조사 결과 주로 규조강이 우세한 분포를 나타냈으며, 하계-추계에는 와편모조강이 증가하는 일반적인 형태를 나타냄
- 우점종으로는 동계와 춘계에 지속적으로 규조강(*Skeletonema* spp., *Asterionella* spp., *Paralia* spp., *Chaetoceros* spp. 등)이 우점하고, 하계에는 와편모조강의 우점이 빈번히 관측됨
- 태안해안국립공원에 출현하는 식물플랑크톤의 군집분석을 통해 북부해역과 남부해역으로 이원화되는 형태를 확인할 수 있었고 이러한 현상은 장기적으로 유지됨
- 지구 온난화와 더불어 와편모조류의 출현종수와 빈도가 증가함에 따라 지속적으로 유해적조종의 출현을 감시하고 자료를 수집해야 할 필요성 증가
- 수질등급(WQI) 분석에서 수질등급을 결정하는 요인 중에 태안해안국립공원에서는 장기적으로 엽록소의 농도가 주요 인자로 작용함에 따라 식물플랑크톤의 거동을 지속적으로 모니터링하고, 식물플랑크톤의 증식 원인에 대하여 파악할 필요가 있음

마. 참고문헌

심재형. 1994. 한국동식물도감 제 34권 식물편(해양식물플랑크톤). 문교부. 487 pp.

Bray JR, JT Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecological Monographs 27: 325-349.

Cupp EE. 1943. Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America. UC San Diego: Scripps Institution of Oceanography.

Margalef R. 1958. Perspectives in ecology theory. Chicago, University of Chicago Press. 112 pp.

Pielou EC. 1975. Ecological Diversity. John Wiley & Sons Inc. New York. 165 pp.

Round FE, RM Crawford, DG Mann. 1990. The diatoms: Biology and Morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge. 747 pp.

Shannon CE, W Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press. 117 pp.

Tomas CR. 1997. Identifying marine phytoplankton. Acdenic Press Inc. 858 pp.

Yamaji I. 1979. Illustrations of the marine plankton of Japan. Hoikusha Publ. Ltd. Osaka. 538 pp.

5 동물플랑크톤

가. 서론

1) 배경

- 허베이 스피리트호 유류유출 사고로 인한 해양생태계의 영향을 파악하기 위하여 태안해안국립공원의 동물플랑크톤 군집을 대상으로 2008년부터 2022년까지 장기모니터링 조사 수행
- 동물플랑크톤의 영향과 개체군 평가는 해양생태계 기초자료로 유용(Dagg *et al.*, 1984)

2) 연구목적

- 태안해안국립공원의 보전 및 관리를 위한 동물플랑크톤의 현황 파악
- 유류유출 사고 이후 동물플랑크톤 군집의 시·공간적 변화 양상 파악

나. 조사내용 및 방법

1) 조사기간 및 조사지역

- 2022년 2월 ~ 10월
- 태안해안국립공원 조하대 15정점

표 Ⅱ-5-1. 동물플랑크톤 조사시기 및 조사지역

회차	조사기간	조사지역
1 (동계)	2022. 2. 24. ~ 25.	태안해안국립공원 조하대 (정점 1~15)
2 (춘계)	2022. 4. 28. ~ 29.	
3 (하계)	2022. 7. 5. ~ 6.	
4 (추계)	2022. 10. 6. / 2022. 10. 25.	

2) 조사지역

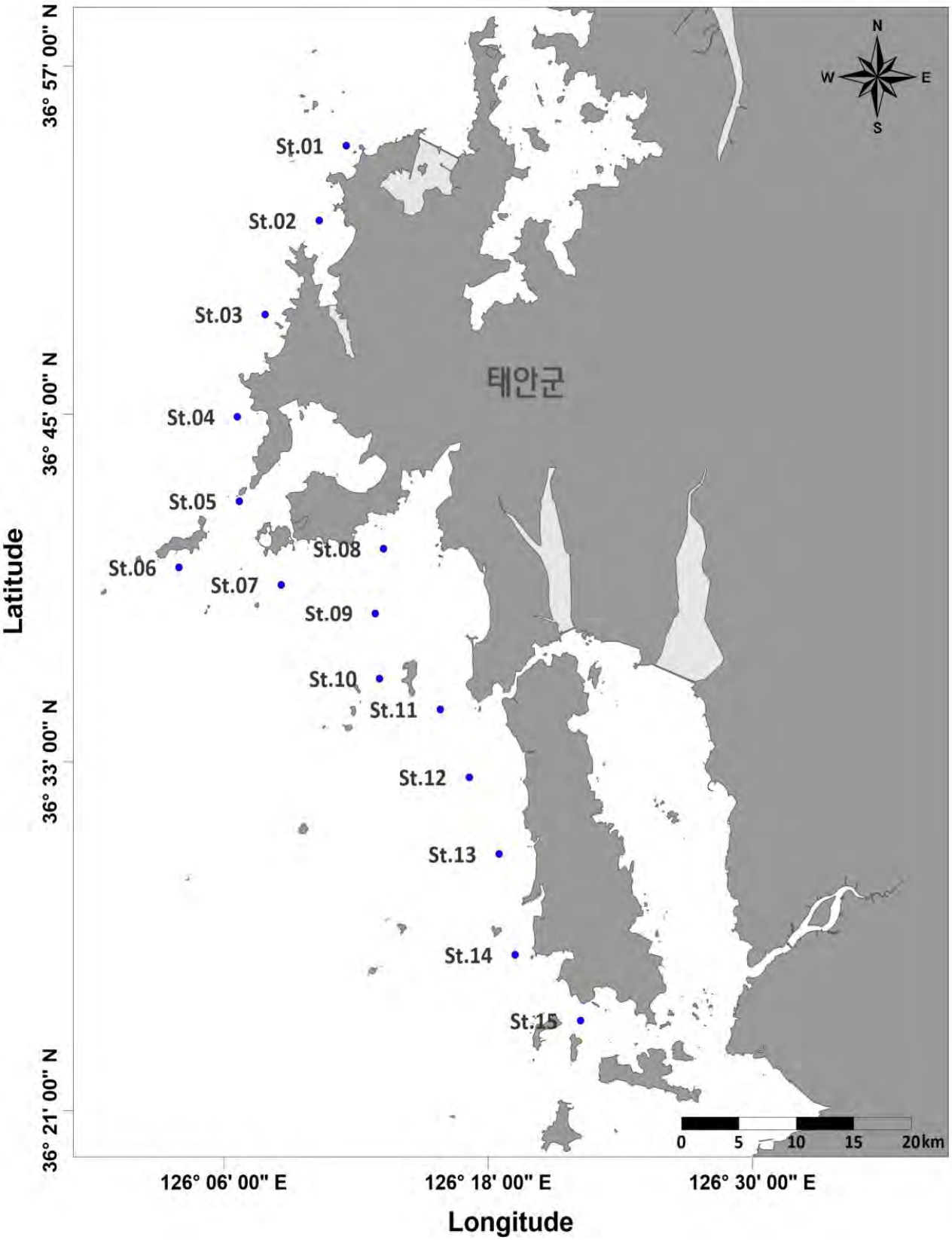


그림 Ⅱ-5-1. 동물플랑크톤 조사 정점도

3) 조사방법

가) 시료채집

- 채집 도구는 NORPAC형 net (구경 45 ㎝, 망목 300 ㎛, 측장 1.8 m) 이용
- 망구에 Digital flowmeter (Hydrobios, 438 110) 부착
- 각 정점의 해저상 2 m 지점에서부터 수직 예망
- 유량은 유량계의 회전수에 진행거리로 환산하기 위한 계수(0.3)와 망구의 면적을 곱하여(r2 x 3.14 x FR x 0.3) 산출
- 채집된 시료는 현장에서 중성 포르말린(최종농도 약5%)으로 고정하여 실험실로 운반

나) 분석방법

- 정성 및 정량 분석을 위하여 총량을 메스실린더로 계량
- 우점종이 100체 이상이 되도록 Folsom식 분할기로 분할(UNESCO, 1976)
- 저밀도의 시료의 경우 분할하지 않고 전량 계수
- 시료를 계수 챔버(Bogorov counting chamber)에 옮겨 해부현미경(Olympus SZX-12)으로 분류 및 계수
- 정밀한 동정은 부속지를 해부하여 광학현미경(Olympus BX-51)에서 동정
- 요각류는 대부분 종 수준까지 동정
- 요각류를 제외한 다른 동물플랑크톤은 광범위한 상위 분류군으로 구분
- 동정된 각 동물플랑크톤 분류군을 단위 체적(1 ㎥)당 개체수로 환산
- 종의 동정에는 박(1970), 김(1987), 임(1989), 박 등(1992), 유(1995), Mori (1964), Yamaji (1984), Kim (1985), Chihara and Murano (1997), Soh and Suh (2000) 등을 참조
- 전체적인 분류체계는 Bowman and Abele (1982) 참조
- 생체량 측정은 습중량(wet weight)으로 단위 부피당 생체량(㎎/㎥)으로 환산

다) 평가방법

- 종 다양성 지수(H'), 균등도 지수(J), 풍부도 지수(R)를 이용하여 대상해역 내의 군집구조를 파악
- 정점 간 유사도 분석(Cluster analysis)은 PRIMER6 프로그램의 Bray-Curtis 방법을 이용
- Group Average linkage법을 이용하여 수상도(Dendrogram)를 작성
- 동물플랑크톤 군집과 연관성을 갖는 환경요인 파악 위해 PRIMER6 프로그램의 BIO-ENV 시행

다. 결과 및 고찰

1) 종조성

- 동계에 최소 수준을 보이며 점차 증가하여 추계에 최대수준을 보이는 경향

가) 동계(2022년 2월) 조사

- 총 14개(평균 7개) 분류군 확인(표 Ⅱ-5-2)
- 전체 동물플랑크톤 중 절지동물이 10개 분류군으로 71.4%를 차지(그림 Ⅱ-5-2)
- 그 외 자포동물이 2개 분류군(14.3%), 원생동물 모악동물이 1개 분류군씩 출현하여 각 7.1% 점유율을 차지(그림 Ⅱ-5-2)

나) 춘계(2022년 4월) 조사

- 총 18개(평균 10개) 분류군 확인(표 Ⅱ-5-2)
- 전체 동물플랑크톤 중 절지동물이 11개 분류군 61.1%를 차지(그림 Ⅱ-5-2)
- 그 외 자포동물이 2개 분류군(11.1%), 원생동물, 유즐동물, 연체동물, 모악동물, 척삭동물이 모두 1개 분류군씩 출현하여 각 5.6% 점유율 차지(그림 Ⅱ-5-2)
- 조사해역의 남쪽의 정점 13에서 최대 수준, 근소만 북쪽 2와 4에서 최소 수준(그림 Ⅱ-5-2)

다) 하계(2022년 7월) 조사

- 총 23개(평균 10개) 분류군 확인(표 Ⅱ-5-2)
- 전체 동물플랑크톤 중 절지동물이 16개 분류군 69.6% 차지(그림 Ⅱ-5-2)
- 그 외 연체동물이 2개 분류군 출현하여 8.7%, 다음으로 원생동물, 자포동물, 환형동물, 모악동물, 척삭동물이 모두 1개 분류군씩 출현하여 4.3% 점유율 차지(그림 Ⅱ-5-2)
- 신진도 인근 정점 7에서 최대 수준, 근소만 북쪽 2에서 최소 수준(그림 Ⅱ-5-2)

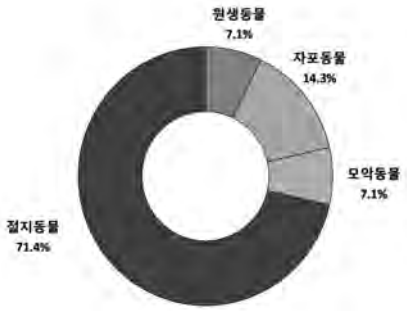
라) 추계(2022년 10월) 조사

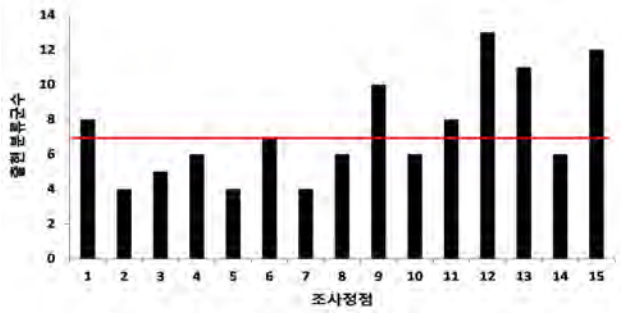
- 총 30개(평균 12개) 분류군 확인(표 Ⅱ-5-2)
- 전체 동물플랑크톤 중 절지동물이 21개 분류군 70.0% 차지(그림 Ⅱ-5-2)
- 자포동물, 연체동물, 모악동물이 2개 분류군씩 출현하여 각 6.7%씩 차지, 다음으로 원생동물, 환형동물, 척삭동물이 1개 분류군씩 출현하여 각 3.3%의 점유율 차지(그림 Ⅱ-5-2)
- 신진도 인근 정점 7에서 최대 수준, 3에서 최소 수준(그림 Ⅱ-5-2)

표 Ⅱ-5-2. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 상위 분류군에 따른 출현분류군수

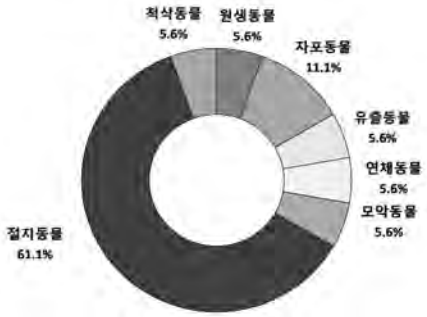
조사시기	분류군	조사정점															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	전체
동계 (2022년 2월)	원생동물	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	자포동물	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	2
	모악동물	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	절지동물	6	3	4	5	3	5	3	4	8	4	6	9	7	3	8	10
	총분류군수	8	4	5	6	4	7	4	6	10	6	8	13	11	6	12	14
춘계 (2022년 4월)	원생동물	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	자포동물	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	유즐동물	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
	연체동물	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
	모악동물	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1
	절지동물	6	5	7	5	7	8	7	6	7	7	7	5	7	5	5	11
	척삭동물	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	총분류군수	8	7	10	7	10	12	12	9	12	10	12	10	13	10	9	18
하계 (2022년 7월)	원생동물	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	자포동물	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
	환형동물	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
	연체동물	0	1	1	1	0	1	1	0	0	2	0	1	0	0	2	2
	모악동물	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	절지동물	7	4	8	6	6	3	7	5	8	7	5	6	5	7	8	16
	척삭동물	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1
	총분류군수	11	7	12	12	10	8	13	8	12	12	8	12	8	9	13	23
추계 (2022년 10월)	원생동물	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	자포동물	1	0	1	0	0	1	2	0	1	1	2	1	2	1	2	2
	환형동물	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	연체동물	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	2
	모악동물	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	2
	절지동물	5	10	5	7	8	7	12	6	9	9	6	10	8	7	8	21
	척삭동물	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
	총분류군수	10	13	7	9	9	9	17	8	13	14	12	16	14	11	13	30

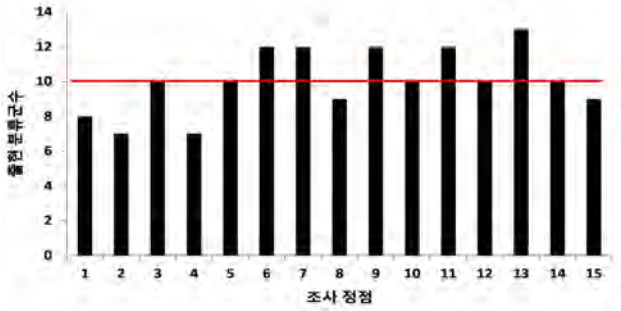
동계 (2022년 2월)



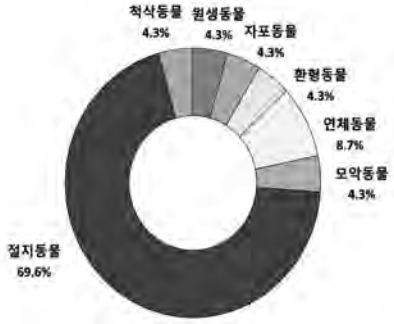


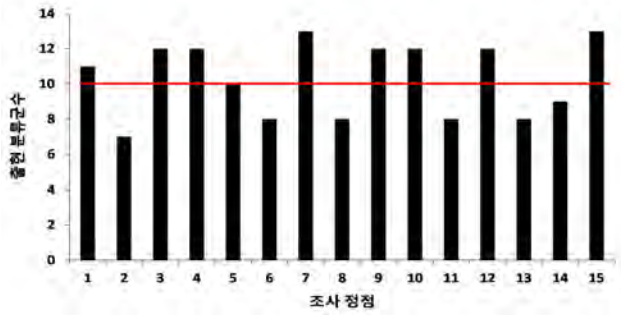
춘계 (2022년 4월)



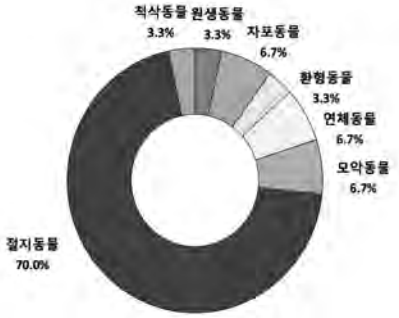


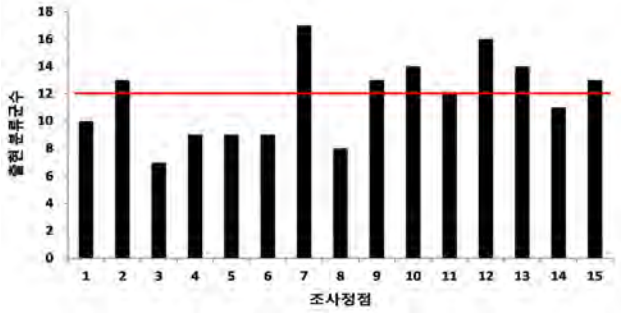
하계 (2022년 7월)





추계 (2022년 10월)





출현 분류군수 조성비	정점별 출현 분류군수 (가로선: 평균)

그림 Ⅱ-5-2. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 출현 분류군수

2) 출현 개체수

- 동계에 최소 수준을 보이며 춘계에서 상승하기 시작하여 하계에서 최대 수준, 추계에 감소하는 경향

가) 동계(2022년 2월) 조사

- 평균 408 개체/㎥로 37~1,257 개체/㎥ 범위(그림 Ⅱ-5-3)
- 외도 인근 정점 14에서 최고 수준 정점 6에서 최소 수준(그림 Ⅱ-5-3)
- 원생동물이 10.4~94.5%(평균 73.6%)의 점유율로 평균 408 개체/㎥가 출현하여 우점(그림 Ⅱ-5-3)

나) 춘계(2022년 4월) 조사

- 평균 10,713 개체/㎥로 370~45,880 개체/㎥ 범위(그림 Ⅱ-5-3)
- 안면도의 서쪽 정점 12에서 최고 수준, 정점 4에서 최소 수준(그림 Ⅱ-5-3)
- 원생동물이 2.1~96.6%(평균 90.8%)의 점유율로 평균 9,723 개체/㎥가 출현(그림 Ⅱ-5-3)

다) 하계(2022년 7월) 조사

- 평균 23,370 개체/㎥로 1,896~56,977 개체/㎥ 범위(그림 Ⅱ-5-3)
- 가의도 인근 정점 6에서 최고 수준, 정점 13에서 최소 수준(그림 Ⅱ-5-3)
- 원생동물이 19.0~96.6%(평균 90.4%)의 범위로 평균 21,137 개체/㎥가 출현하여 우점(그림 Ⅱ-5-3)

라) 추계(2022년 10월) 조사

- 평균 1,136 개체/㎥로 28~4,035 개체/㎥ 범위(그림 Ⅱ-5-3)
- 정점 13에서 최고 수준, 정점 3에서 최소 수준(그림 Ⅱ-5-3)
- 원생동물이 0.0~83.7%(평균 52.9%)의 범위로 평균 601 개체/㎥가 출현하여 우점(그림 Ⅱ-5-3)
- 절지동물이 11.6~90.9%(평균 37.1%)의 범위로 평균 421 개체/㎥가 출현(그림 Ⅱ-5-3)
- 두 분류군이 모든 정점에서 전체 현존량의 62.8~95.7% 차지(그림 Ⅱ-5-3)

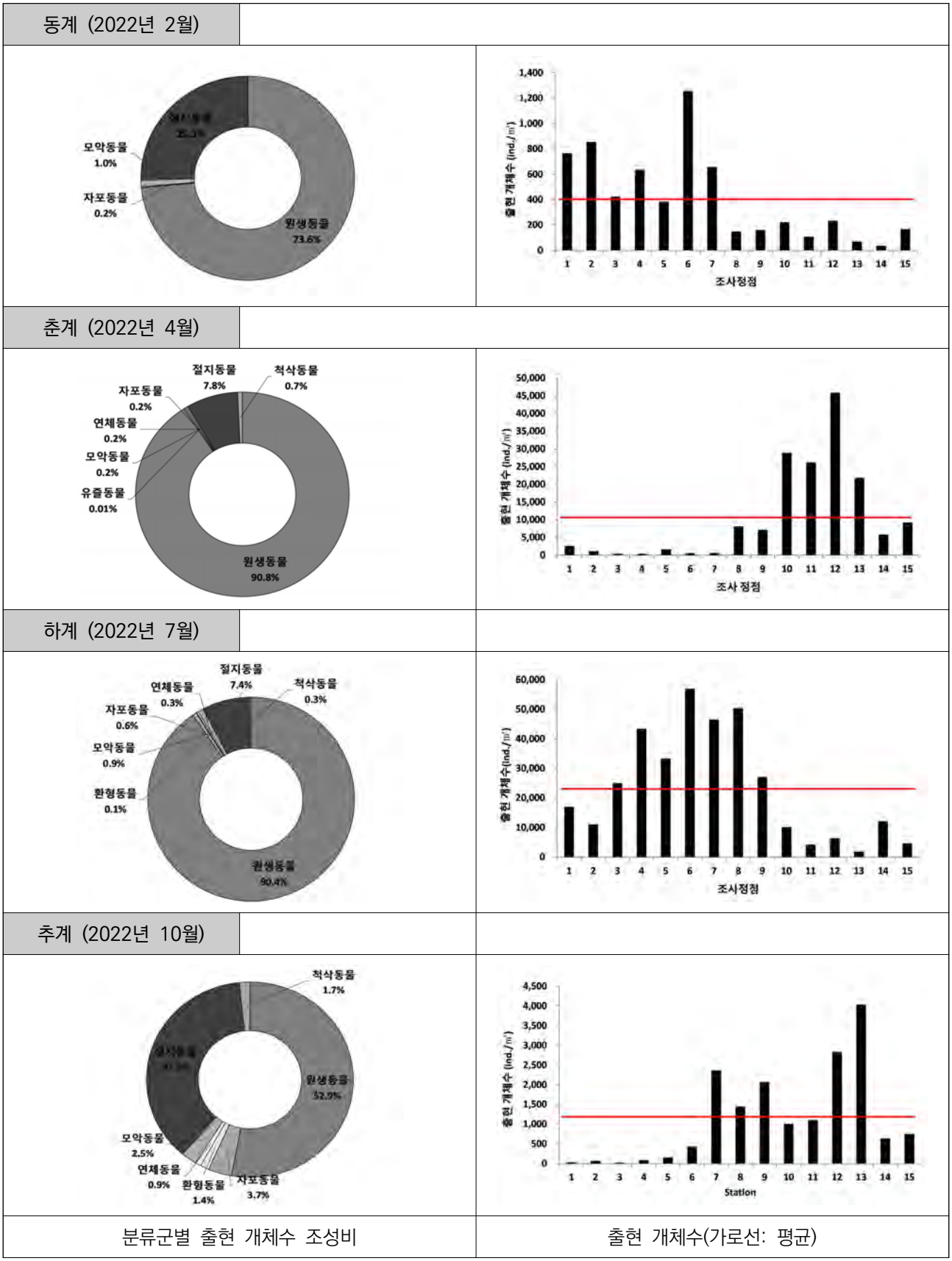


그림 Ⅱ-5-3. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 출현 개체수

3) 우점종

가) 동계(2022년 2월) 조사

- 원생동물 *Noctiluca scintillans*가 평균 300 개체/㎥로 73.6%의 점유율로 최우점(그림 Ⅱ-5-4)
- 절지동물 *Acartia hongi*가 9.8% (평균 40 개체/㎥), 절지동물 Copepodite가 7.3%(평균 30 개체/㎥)로 우점종 구성(그림 Ⅱ-5-4)

나) 춘계(2022년 4월) 조사

- 원생동물 *Noctiluca scintillans*가 평균 9,723 개체/㎥로 90.8%의 점유율로 최우점(그림 Ⅱ-5-4)
- 절지동물 *Centropages abdominalis*가 2.2% (평균 240 개체/㎥)로 차우점(그림 Ⅱ-5-4)

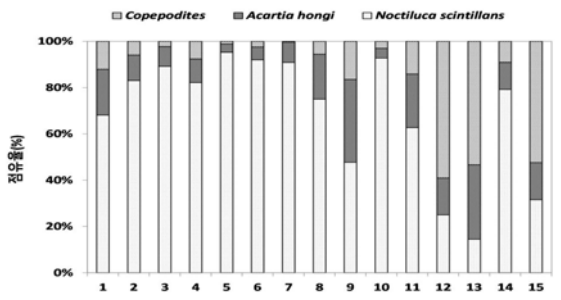
다) 하계(2022년 7월) 조사

- 원생동물 *Noctiluca scintillans*가 평균 21,137 개체/㎥로 90.4%의 점유율로 최우점(그림 Ⅱ-5-4)
- 절지동물 *Pseudevadne tergestina*가 1.9% (평균 439 개체/㎥)로 차우점(그림 Ⅱ-5-4)

라) 추계(2022년 10월) 조사

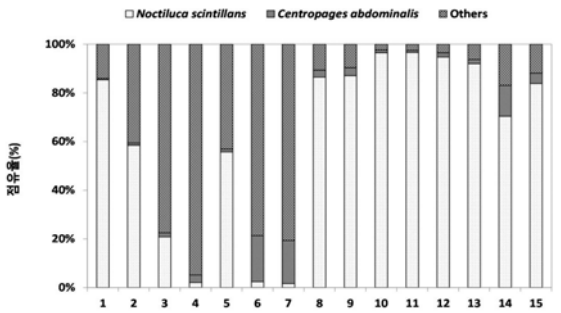
- 원생동물 *Noctiluca scintillans*가 평균 601 개체/㎥로 52.9%의 점유율로 최우점(그림 Ⅱ-5-4)
- 절지동물 *Tortanus forcipatus*가 13.6% (평균 154 개체/㎥)로 차우점(그림 Ⅱ-5-4)

동계 (2022년 2월)



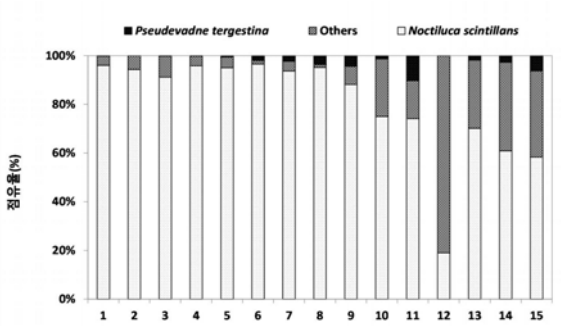
종명	출현 개체수 (개체/㎥)			점유율 (%)
	최소	최대	평균	
Noctiluca scintillans	7	1,115	300	73.6
Acartia hongi	4	99	40	9.8
Copepodites	2	96	30	7.3

춘계 (2022년 4월)



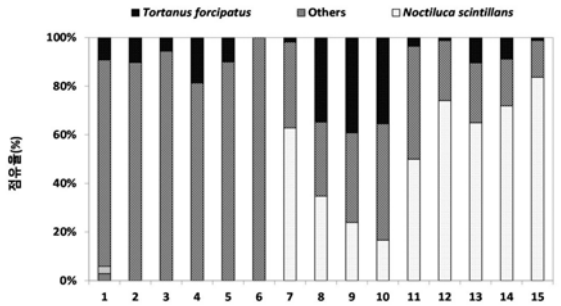
종명	출현 개체수 (개체/㎥)			점유율 (%)
	최소	최대	평균	
Noctiluca scintillans	8	43,457	9,723	90.8
Centropages abdominalis	325	1,637	239	2.2

하계 (2022년 7월)



종명	출현 개체수 (개체/㎥)			점유율 (%)
	최소	최대	평균	
Noctiluca scintillans	1,213	55,036	21,137	90.4
Pseudevadne tergestina	1,785	439	1.9	28.6

추계 (2022년 10월)



종명	출현 개체수 (개체/㎥)			점유율 (%)
	최소	최대	평균	
Noctiluca scintillans	0	2,620	601	52.9
Tortanus forcipatus	0	808	154	13.6

우점종 조성비	우점종 출현개체수 및 점유율

그림 Ⅱ-5-4. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 우점종 조성비 및 점유율

4) 습중량

- 동계(평균 15.7 ㎎/㎥)에 가장 낮고, 춘계(평균 1,811.0 ㎎/㎥)를 기점으로 최고 수준을 보였고 하계(평균 686.0 ㎎/㎥)에 하락하기 시작하여 추계(평균 250.0 ㎎/㎥)에 감소하는 경향으로 출현개체수와 유사한 양상(그림 Ⅱ-5-5)

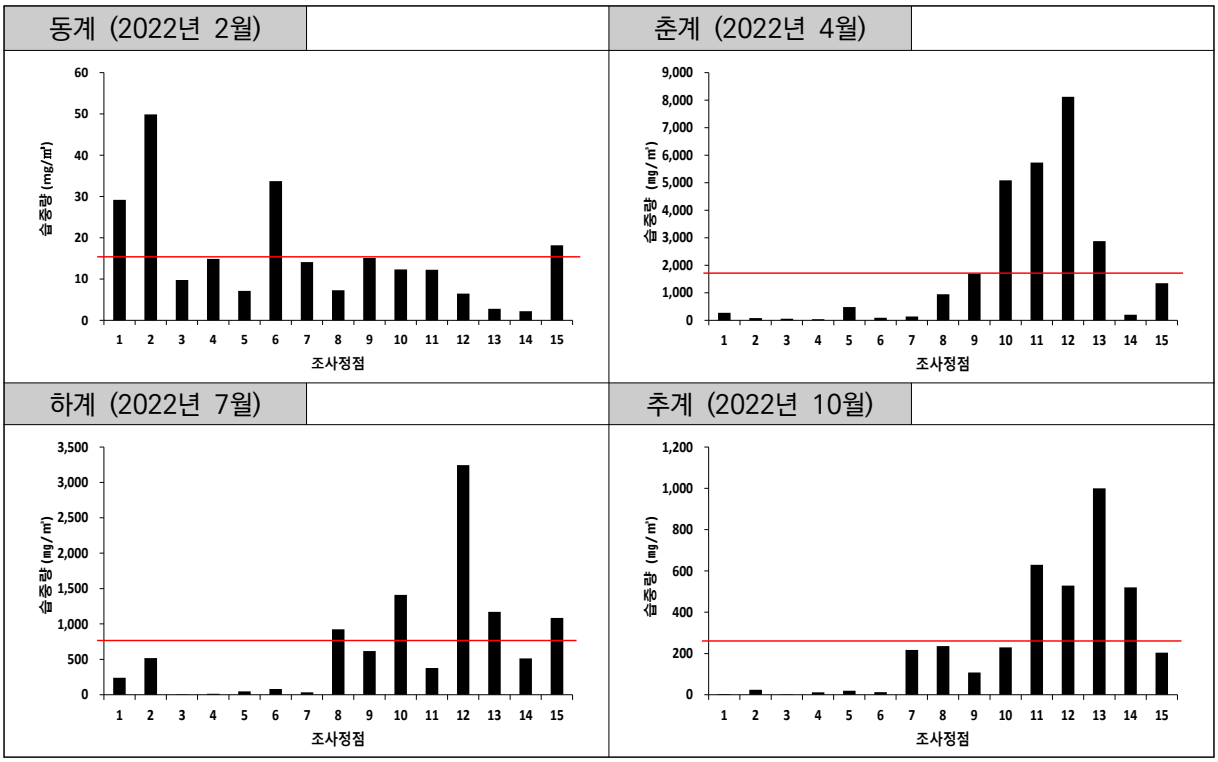


그림 Ⅱ-5-5. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 정점별 습중량

5) 생태지수

가) 동계 (2022년 2월) 조사

- 종 다양도 지수는 0.27~1.80 (평균 1.02), 정점 5에서 최소 수준, 정점 13에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)
- 균등도 지수는 0.19~0.80 (평균 0.50), 정점 5에서 최소 수준, 정점 1에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)
- 풍부도 지수는 0.44~2.36 (평균 1.20), 정점 2에서 최소 수준, 정점 13에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)

나) 춘계 (2022년 4월) 조사

- 종 다양도 지수는 0.21~1.85 (평균 0.98), 정점 10에서 최소 수준, 정점 7에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)
- 균등도 지수는 0.09~0.89 (평균 0.44), 정점 11에서 최소 수준, 정점 4에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)
- 풍부도 지수는 0.84~1.72 (평균 1.13), 정점 12에서 최소 수준, 정점 6에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)

다) 하계 (2022년 7월) 조사

- 종 다양도 지수는 0.20~2.08 (평균 0.75), 정점 6에서 최소 수준, 정점 12에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)
- 균등도 지수는 0.10~0.84 (평균 0.32), 정점 6에서 최소 수준, 정점 12에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)
- 풍부도 지수는 0.64~1.42 (평균 0.97), 정점 6에서 최소 수준, 정점 15에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)

라) 추계 (2022년 10월) 조사

- 종 다양도 지수는 0.84~2.14 (평균 1.59) 정점 15에서 최소 수준, 정점 10에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)
- 균등도 지수는 0.33~0.88 (평균 0.67) 정점 15에서 최소 수준, 정점 1에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)
- 풍부도 지수는 0.96~2.83 (평균 1.79) 정점 8에서 최소 수준, 정점 2에서 최대 수준(표 Ⅱ-5-3, 그림 Ⅱ-5-6)

표 II-5-3. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 생태학적 제지수

조사 시기	생태학적 제지수	조사정점															최소	최대	평균
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
동계 2월	풍부도 지수	1.05	0.44	0.66	0.77	0.50	0.84	0.46	1.00	1.78	0.93	1.50	2.20	2.36	1.39	2.15	0.44	2.36	1.20
	균등도 지수	0.80	0.44	0.32	0.48	0.19	0.27	0.29	0.52	0.60	0.28	0.69	0.69	0.75	0.47	0.70	0.19	0.80	0.50
	종 다양도 지수	1.67	0.61	0.51	0.85	0.27	0.52	0.41	0.94	1.39	0.50	1.43	1.76	1.80	0.84	1.74	0.27	1.80	1.02
춘계 4월	풍부도 지수	0.89	0.86	1.49	1.01	1.22	1.72	1.68	0.89	1.24	0.88	1.08	0.84	1.20	1.04	0.88	0.84	1.72	1.13
	균등도 지수	0.31	0.67	0.79	0.89	0.61	0.70	0.74	0.29	0.25	0.09	0.09	0.13	0.17	0.49	0.34	0.09	0.89	0.44
	종 다양도 지수	0.65	1.31	1.81	1.73	1.40	1.74	1.85	0.63	0.61	0.21	0.22	0.30	0.43	1.12	0.74	0.21	1.85	0.98
하계 7월	풍부도 지수	1.03	0.64	1.09	1.03	0.86	0.64	1.12	0.65	1.08	1.19	0.84	1.26	0.93	0.85	1.42	0.64	1.42	0.97
	균등도 지수	0.10	0.16	0.18	0.10	0.13	0.10	0.14	0.12	0.23	0.44	0.48	0.84	0.55	0.63	0.65	0.10	0.84	0.32
	종 다양도 지수	0.24	0.31	0.45	0.26	0.29	0.20	0.36	0.24	0.58	1.09	0.99	2.08	1.14	1.39	1.66	0.20	2.08	0.75
추계 10월	풍부도 지수	2.59	2.83	1.79	1.80	1.58	1.32	2.06	0.96	1.57	1.88	1.57	1.89	1.57	1.55	1.81	0.96	2.83	1.79
	균등도 지수	0.88	0.60	0.79	0.78	0.80	0.69	0.55	0.78	0.74	0.81	0.74	0.45	0.55	0.49	0.33	0.33	0.88	0.67
	종 다양도 지수	2.01	1.54	1.54	1.72	1.76	1.52	1.56	1.63	1.90	2.14	1.85	1.25	1.44	1.18	0.84	0.84	2.14	1.59

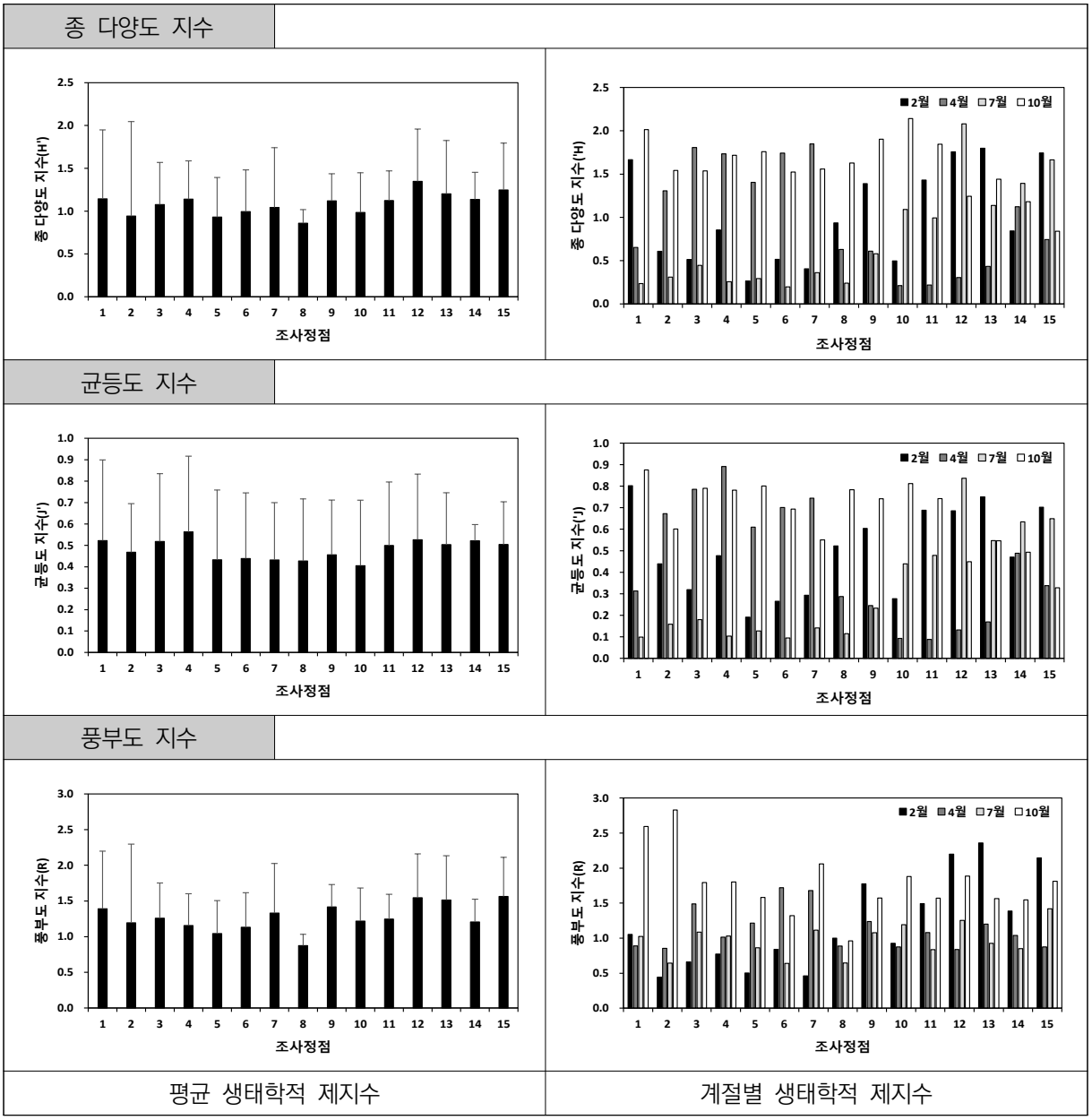


그림 Ⅱ-5-6. 조사시기별 동물플랑크톤 군집의 정점별 생태학적 제지수

6) 군집분석 및 주요 분포 조절인자의 추정

가) 군집분석

- 동물플랑크톤의 군집 유형을 알아보기 위해 2022년 전체 조사결과를 이용하여 다변량 군집분석(Cluster analysis)을 실시(그림 Ⅱ-5-7~8)
- 조사지역의 동물플랑크톤 군집은 유사도 30% 수준에서 크게 3개의 군집으로 나뉘며, 계절과 정점의 위치에 따라 구분되는 특성(그림 Ⅱ-5-7~8)
- 군집 A는 동계와 춘계(북부) 정점들로 야광충(*N. scintillans*)과 *A. hongi*의 기여도가 높음
- 군집 B는 춘계(남부), 하계, 추계(남부)의 정점들로 구성, 야광충과 요각류 미성체의 기여도가 높으며 타 군집에 비해 높은 출현 분류군수와 개체수(표 Ⅱ-5-4)
- 군집 C는 추계(북부)의 정점들로 구성, 요각류 *Paracalanus parvus*와 *Ditrichocorycaeus affinis*의 기여도가 높으며 낮은 개체수와 야광충이 출현하지 않은 정점들로 구성(표 Ⅱ-5-4)
- 조사해역은 우점종 등에서 보았듯이 계절(수온)의 영향으로 군집의 특성이 나뉘는 경향

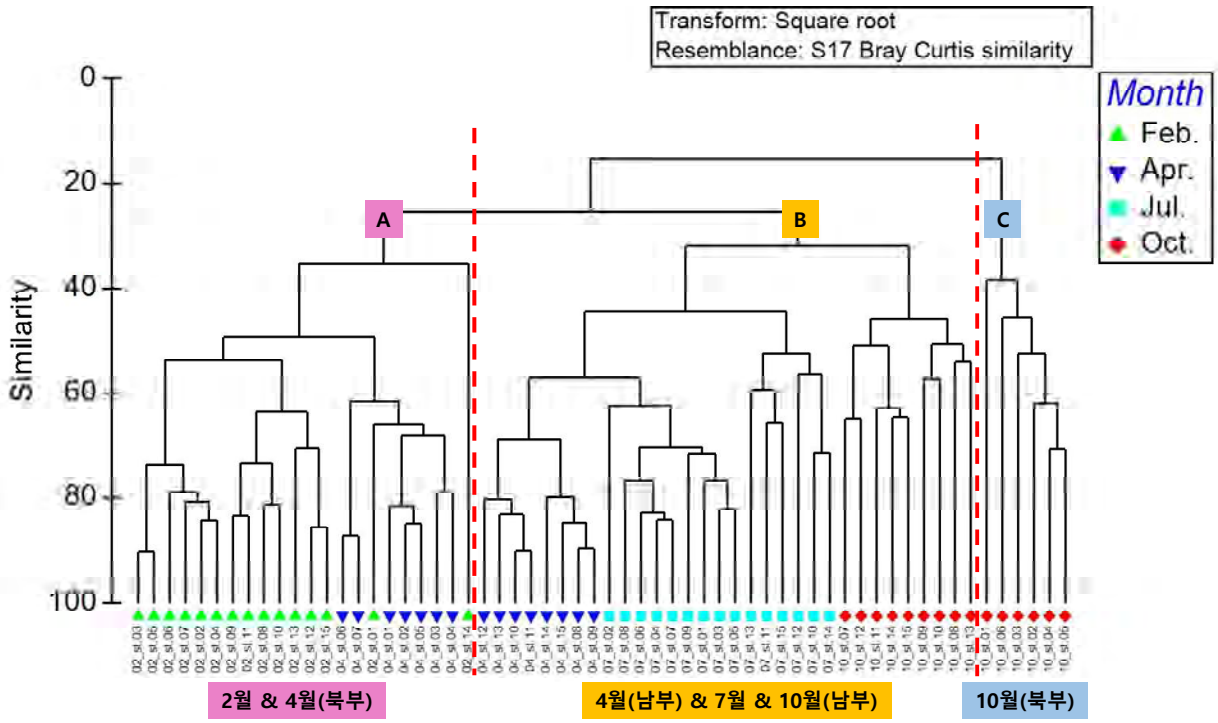


그림 Ⅱ-5-7. 전체 조사시기를 대상으로 한 동물플랑크톤 군집분석

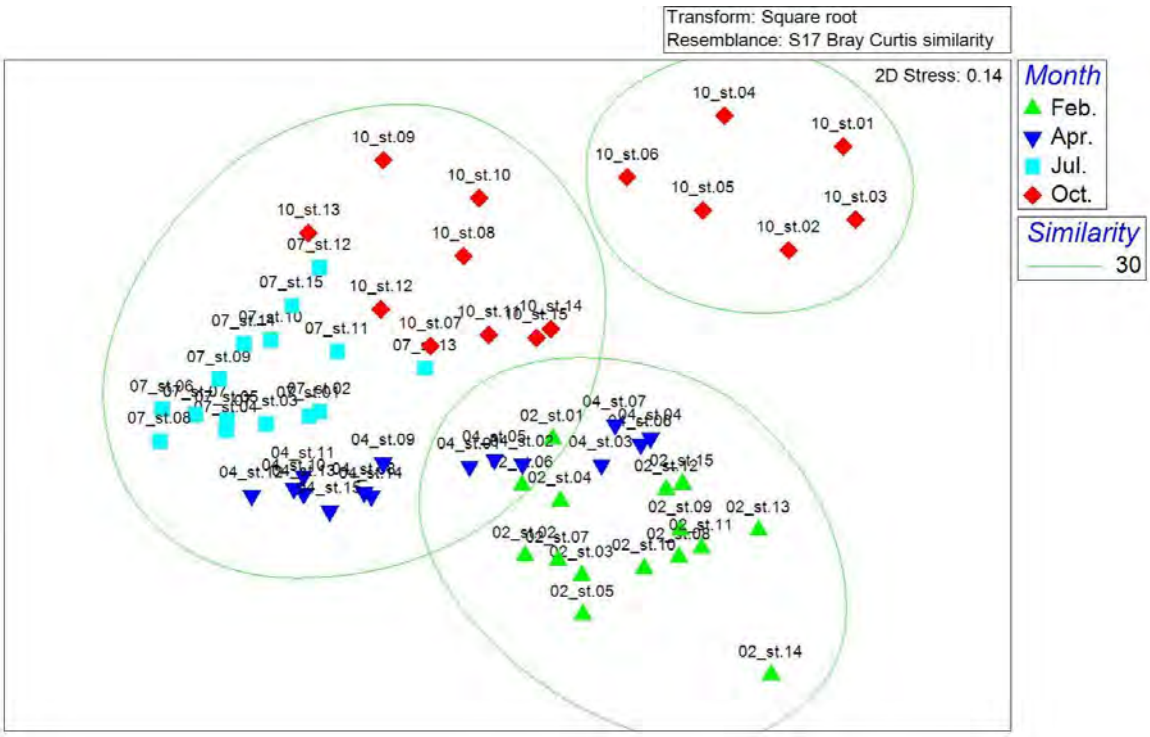


그림 Ⅱ-5-8. 동물플랑크톤 군집 다차원척도법(n-MDS) 분석결과 (계절통합)

표 Ⅱ-5-4. 동물플랑크톤 군집의 다변량 분석에 따른 각 정점군별 군집 특성

정점군	Group A	Group B	Group C
조사시기(정점)	2월(전체) & 4월(북부)	4월(남부) & 7월(전체) & 10월(남부)	10월(북부)
평균 유사도(%)	54.7	45.5	48.5
평균 분류군수	8±3	11±2	10±2
평균 개체수 (ind./㎥)	618±612	16,251±17,039	133±10
평균 수온 (℃)	5.08±2.49	18.88±4.52	16.05±0.53
평균 염분 (psu)	32.73±0.07	32.00±0.46	32.27±0.73
용존 산소 (㎎/L)	10.38±0.33	8.35±1.15	7.98±0.13
주요 우점종의 기여도	*Noctiluca scintillans* (36.5%)	*Noctiluca scintillans* (58.6%)	*Paracalanus parvus* (34.7%)
	Acartia hongi (21.7%)	Copepodites (6.6%)	*Ditrichocorycaeus affinis* (19.1%)

나) 주요 분포 조절인자

- 동물플랑크톤 군집과 밀접한 연관성을 갖는 환경요인을 파악하기 위해 BIO-ENV 시행
- 동물플랑크톤 종조성과 개체수를 기반으로 군집의 시·공간적 분포에 가장 큰 영향을 미친 단일변수는 수온(상관계수 0.570)였으며, 조합변수는 수온, 염분, 용존산소(상관계수: 0.638)의 조합(표 Ⅱ-5-5)
- 주요 환경 요인 중 수온이 동물플랑크톤 군집 분포에 있어 높은 상관성을 보인 것은 동물플랑크톤이 주로 계절에 따라 군집구조가 변화하는 일반적인 특성

표 Ⅱ-5-5. 동물플랑크톤 군집 분포와 환경요인과의 상관관계

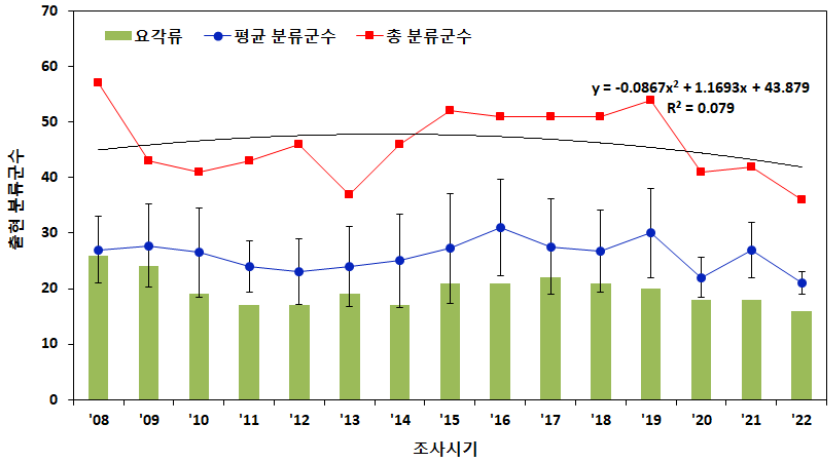
순위	단일변수		조합변수	
	상관계수	환경요인	상관계수	환경요인
1	0.570	수온	0.638	수온, 염분, 용존산소
2	0.503	염분	0.614	수온, 염분
3	0.490	용존산소	0.612	수온, 염분, 용존산소, 엽록소-a
4	0.291	총질소	0.611	수온, 염분, 탁도, 용존산소
5	0.288	총부유물질	0.610	수온, 염분, 용존산소, 엽록소-a, 총질소

라. 선행연구와의 비교

1) 종조성

- 총 출현 분류군수는 2014년부터 증가하며 높은 수준 유지(그림 Ⅱ-5-9)
- 연간 평균 출현분류군수는 2008년(27개 분류군)~2012년(23개 분류군)까지 감소, 2013년부터 2016년까지 증가양상 보였으나 최근 2~3년은 감소하며 금회 가장 낮은 수준(그림 Ⅱ-5-9)
- 과거 분류군수의 변화는 소수 분류군(요각류 등)과 야광충(*N. scintillans*)의 극우점의 영향 받았으나, 2014년 이후 야광충의 감소와 일반 서해연안 해역에서 관찰되는 절지동물(기수성 요각류, 연갑류), 자포동물(히드로충류, 해파리류), 척삭동물(탈리아류, 자치어), 환형동물(다모류)의 출현으로 분류군의 다양성 증가(그림 Ⅱ-5-9)
- 금회 조사의 경우 연중 야광충 우점하여 타분류군의 출현 비율이 다소 낮아짐(그림 Ⅱ-5-9)

조사시기별 출현분류군수 변화



종 다양성을 상승시킨 출현 분류군

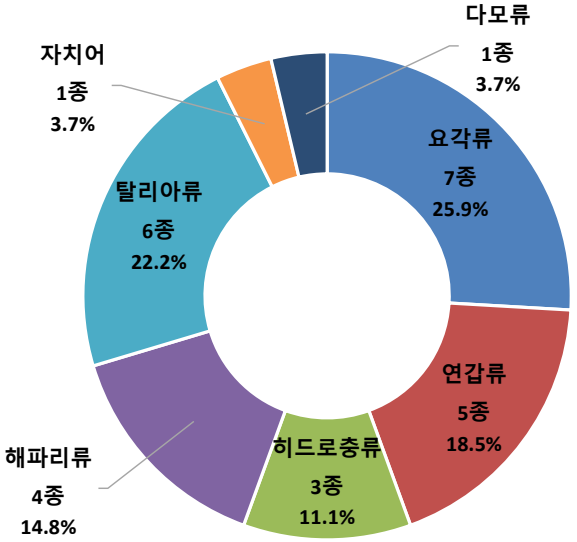


그림 Ⅱ-5-9. 동물플랑크톤 군집의 출현 분류군수 장기변동

2) 출현 개체수

- 2008년부터 2013년까지 평균 출현 개체수는 높은 수준(261~768,488 개체/㎥), 춘계, 하계, 추계 야광충의 극우점(우점율: 83.0% 이상, 개체수: 3,000 개체/㎥ 이상)에서 기인
- 2014년부터 2020년 까지 단일 종의 우점 현상감소, 일반적인 연안 수준으로 회복(60~2,324 개체/㎥)(그림 Ⅱ-5-10)
- 서해연안 주요 우점종인 요각류 *A. hongi*와 *P. parvus* s. l.의 개체수 및 우점종 출현비율 증가, 2021년부터 점차 야광충이 증가하여 금회조사에서 높은 우점율과 개체수 나타냄(그림 Ⅱ-5-10)

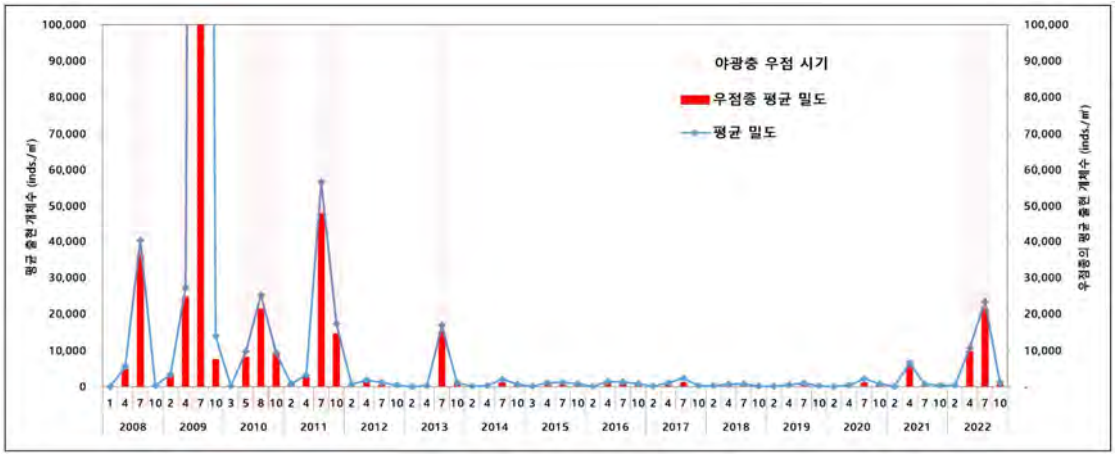


그림 Ⅱ-5-10. 동물플랑크톤 군집의 출현 개체수 장기변동

3) 우점종

- 2008년부터 금회조사까지 동계에 *Acartia hongi, Noctiluca scintillans,* Copepodites 우점(표 Ⅱ-5-6)
- 춘계에 *A. hongi, N. scintillans* 우점(표 Ⅱ-5-6)
- 하계에 *N. scintillans, Pseudevadne tergestina, Evadne nordmmani* 우점(표 Ⅱ-5-6)
- 추계에 *Tortanus forcipatus, N. scintillans, Paracalanus parvus* s. l. 우점(표 Ⅱ-5-6)
- 춘계부터 추계까지 우점종으로 출현했던 *N. scintillans*는 2017년부터 춘계에 A. hongi, 하계에 *P. tergestina*와 *P. parvus* s. l., 추계에 *P. parvus* s. l.로 변동하며 일반적인 서해 연안의 계절변동 양상과 유사(표 Ⅱ-5-6)
- 2020년부터 하계와 추계에 *N. scintillans* 재우점하기 시작하여 2022년 금회 조사 시 연중 우점(표 Ⅱ-5-6)

표 Ⅱ-5-6. 동물플랑크톤 군집의 조사시기별 우점종

조사 시기	동계 우점종 (%)		춘계 우점종 (%)		하계 우점종 (%)		추계 우점종 (%)	
2008	*Acartia hongi*	46.6	*Noctiluca scintillans*	88.3	*Noctiluca scintillans*	90.1	*Tortanus forcipatus*	45.3
2009	*Noctiluca scintillans*	92.6	*Noctiluca scintillans*	91	*Noctiluca scintillans*	99.5	*Paracalanus parvus* s. l.	54.6
2010	*Acartia hongi*	41.1	*Noctiluca scintillans*	83.8	*Noctiluca scintillans*	85	*Noctiluca scintillans*	97.1
2011	*Acartia hongi*	59.8	*Noctiluca scintillans*	79.6	*Noctiluca scintillans*	85.2	*Noctiluca scintillans*	89.6
2012	*Acartia hongi*	53.0	*Noctiluca scintillans*	71.5	*Pseudevadne tergestina*	45.0	*Paracalanus parvus* s. l.	41.2
2013	*Acartia hongi*	62.7	*Acartia hongi*	53.7	*Noctiluca scintillans*	89.2	*Paracalanus parvus* s. l.	56.3
2014	*Acartia hongi*	63.4	*Noctiluca scintillans*	66.3	*Noctiluca scintillans*	54.3	*Noctiluca scintillans*	67.2
2015	*Acartia hongi*	62.4	*Noctiluca scintillans*	52.1	*Noctiluca scintillans*	66.3	*Noctiluca scintillans*	52.9
2016	*Acartia hongi*	45.8	*Noctiluca scintillans*	84.2	*Noctiluca scintillans*	60.4	*Noctiluca scintillans*	62.6
2017	*Acartia hongi*	45.0	*Acartia hongi*	58.1	*Pseudevadne tergestina*	50.8	*Paracalanus parvus* s. l.	38.9
2018	*Acartia hongi*	73.4	*Acartia hongi*	64.3	*Noctiluca scintillans*	48.2	*Paracalanus parvus* s. l.	59.5
2019	*Acartia hongi*	60.2	*Acartia hongi*	68.0	*Paracalanus parvus* s. l.	41.1	*Paracalanus parvus* s. l.	48.1
2020	Copepodites	27.6	*Acartia hongi*	38.3	*Noctiluca scintillans*	60.1	*Noctiluca scintillans*	73.2
2021	*Calanus sinicus*	26.3	*Noctiluca scintillans*	86.5	*Evadne nordmanni*	48.2	*Noctiluca scintillans*	84.2
2022	*Noctiluca scintillans*	73.6	*Noctiluca scintillans*	90.8	*Noctiluca scintillans*	90.4	*Noctiluca scintillans*	52.9

4) 타 해역과의 비교

- 2006년~2008년 해양생태계 기본조사(해양수산부, 2006; 2007; 2008), 해양생태계 종합조사(해양수산부, 2015; 2017; 2019; 2021)를 본 조사 결과와 비교 분석함, 자료의 가용범위를 동일하게 적용하기 위하여 춘계와 하계 결과만 이용함(그림 Ⅱ-5-11)
- 평균 개체수는 해양생태계 기본조사(최대 22개 정점) 5,776 개체/㎥, 해양생태계 종합조사(총 63개 정점) 6,974~38,259 개체/㎥, 본 조사(15개 정점) 255,626 개체/㎥으로 분석됨
- 평균 총 종수는 해양생태계 기본조사 34~48종, 해양생태계 종합조사 49~58종, 본 조사 21종으로 분석됨(표 Ⅱ-5-7, 그림 Ⅱ-5-12)
- 우점종은 해양생태계 기본조사(해양수산부, 2006; 2007; 2008)시 동계에 *Acartia hongi*, 춘계와 하계에 *Acartia hongi*와 *Noctiluca scintillans*, 추계 *Paracalanus* sp.가 우점(표 Ⅱ-5-8)
- 해양생태계 종합조사(해양수산부, 2015; 2017; 2019; 2021)시 춘계와 하계에 *Acartia hongi*와 *Noctiluca scintillans*가 우점(표 Ⅱ-5-8)
- 본 조사 시 연중 *Noctiluca scintillans*가 우점(표 Ⅱ-5-8)
- 본 조사의 결과가 평균 개체수는 타 해역보다 높고, 총 종수는 낮은 수준으로 분석된 것은 타 해역의 넓은 조사 영역과 본 조사 시 이분법으로 빠르게 번식하는 야광충이 연중 우점하여 단일종의 대량번식에 의한 종 다양성 감소와 개체수 증가에서 기인
- 온대 연안 수역의 동물플랑크톤 군집은 인근 외해 수역에 비해 낮은 종 다양성과 높은 개체수가 출현하는 특징을 보여(Kimmerer, 1993), 본 조사 해역은 결과는 일반적인 연안해역의 특징을 보이는 것으로 판단

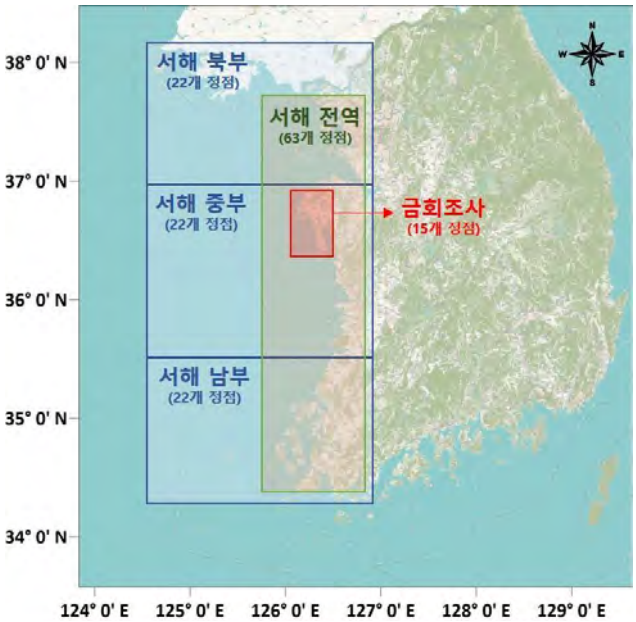


그림 Ⅱ-5-11. 동물플랑크톤 군집의 타 해역과 금회조사 영역 비교

표 Ⅱ-5-7. 동물플랑크톤 군집의 타 해역과 평균 개체수 및 평균 종 수 비교

구분	해양생태계 기본조사			해양생태계 종합조사				본 조사
	서해북부	서해중부	서해남부	서해 전역				태안연안
평균 개체수 (개체/㎥)	5,776	-	-	38,259	13,572	6,974	9,123	255,626
평균 총 종수	34	46	48	49	58	50	53	21

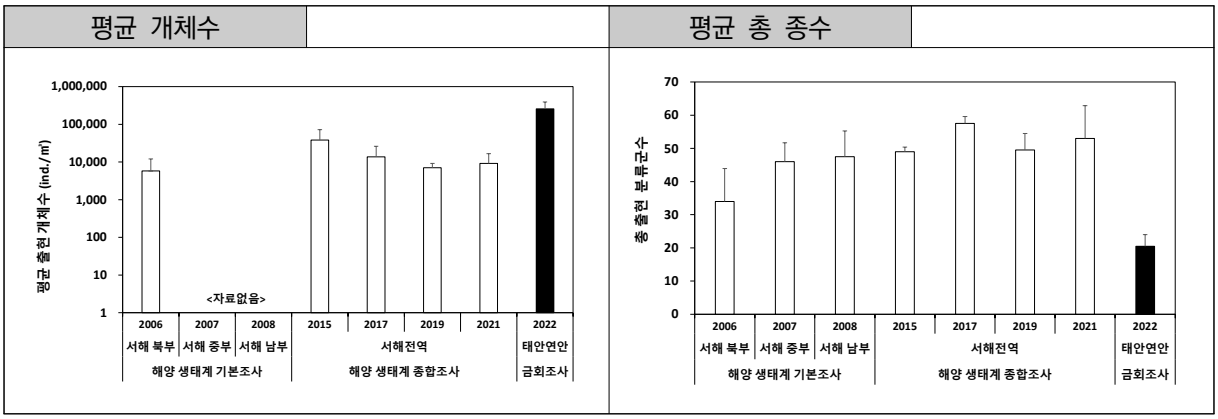


그림 Ⅱ-5-12. 동물플랑크톤 군집의 타 해역과 비교

표 Ⅱ-5-8. 동물플랑크톤 군집의 타 해역과 우점종 비교

구분		해양생태계 기본조사			해양생태계 종합조사				금회조사 2022
		해양수산부 2006	해양수산부 2007	해양수산부 2008	해양수산부 2015	해양수산부 2017	해양수산부 2019	해양수산부 2021	
조사해역		서해북부	서해중부	서해남부	서해전역				태안해안
주요 우점종	동계	*Acartia hongi*	*Acartia hongi*	*Acartia hongi*	-	-	-	-	*Noctiluca scintillans*
	춘계	*Acartia hongi*	*Acartia hongi*	*Noctiluca scintillans*	*Noctiluca scintillans*	*Acartia hongi*	*Noctiluca scintillans*	*Acartia hongi*	*Noctiluca scintillans*
	하계	*Paracalanus* sp.	*Paracalanus* sp.	*Paracalanus* sp.	*Noctiluca scintillans*	*Noctiluca scintillans*	*Noctiluca scintillans*	*Acartia hongi*	*Noctiluca scintillans*
	추계	*Paracalanus* sp.	*Paracalanus* sp.	*Paracalanus* sp.	-	-	-	-	*Noctiluca scintillans*

마. 참고문헌

국립공원공단. 2005. 태안해안국립공원 자연자원조사. p455-485.

국립공원공단 국립공원연구원. 2009a. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 태안해안국립공원 일대의 자연자원 정밀조사. 1102 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2009b. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(1차년도). 856 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2010. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(2차년도). 763 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2011. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(3차년도). 872 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2012. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(4차년도). 926 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2013. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(5차년도). 838 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2014. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(6차년도). 854 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2015. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(7차년도). 739 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2016. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(8차년도). 793 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2017. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(9차년도). 680 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2018. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(10차년도). 718 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2019. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(11차년도). 623 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2020. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(12차년도). 306 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2021. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(13차년도). 328 pp.

김동엽. 1987. 한국 서해안 Calanoida의 분류 및 분포에 관한 연구, 해양연구소, BSPE00096-148-3, 153 pp.

박주석. 1970. 한국근해의 모악류에 관한 연구. Bull. fish. Res. Dev. Agency 6: 175 pp.

유광일. 1995. 한국 동식물도감 제 35권 동물편(해양동물플랑크톤). 국정교과서 주식회사, 교육부. 415 pp.

임동현. 1989. 한국 근해에 있어 Oithonidae(Copepoda, Cyclopoida)과의 분류적 기재와 지리분포. 한양대학교 석사논문. 112 pp.

해양수산부. 2006. 해양생태계 기본조사, 37°아산만 ~ 38°최북단, 715 pp.

해양수산부. 2007. 해양생태계 기본조사, 35.5°곰소만 입구 ~ 37°아산만, 373 pp.

해양수산부. 2008. 해양생태계 기본조사 서해남부, 35.5°N 영광 ~ 34.5°N 진도, 692 pp.

해양수산부. 2015. 국가해양생태계 종합조사. Ⅱ. 연안생태계, 358 pp.

해양수산부. 2017. 국가해양생태계 종합조사, Ⅱ. 연안생태계, 641 pp.

해양수산부. 2019. 국가해양생태계 종합조사, Ⅱ. 연·근해생태, 568 pp.

Bowman TE, LG Abele. 1982. Classification of the Recent Crustacea. In: L. G. Abele(ed.) The biology of crustacea. Academic Press, New York 1: 1-27.

Chihara M, M Murano. 1997. An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan. Tokai University Press, Tokyo.

Dagg MJ, ME Clarke, T Nishiyama, SL Smith. 1984. Production and standing stock of copepod nauplii, food items for larvae for the walleye pollock Theragra chalcogramma in the southeastern Bering Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 19: 7-16.

Kim DY. 1985. Taxonomical study in calanoid copepod(Crustacea: Copepoda) in Korean waters. Ph. D. Thesis. Hanyang. Univ. 187 pp.

Kimmerer WJ. 1993. Distribution patterns of zooplakton in Tomales Bay, California. Estuariea 16: 254-272.

Margalef R. 1958. Perspectives in ecology theory. Chicago, University of Chicago Press. 112 pp.

Mori T. 1964. Pelagic copepoda from th neighboring waters of Japan. The Soyo Company Inc., Japan. 150 pp.

Shannon CE, W Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press. 117 pp.

Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. Nature, London 163: 688.

Soh HY, HL Suh. 2000. A new species of Acartia(Copepoda, Calanoida) from the Yellow Sea. J. Plankton Res. 22: 321-337.

Yamaji I. 1984. Illustrations of the marine plankton of Japan. Hoikusha Publ. 45: 160-188.

6 해조류

가. 서론

1) 배경

- 허베이 스피리트호 유류유출 사고로 인한 해양생태계의 영향을 파악하기 위하여 태안해안국립공원 조간대 해조류 군집을 대상으로 2008년부터 장기모니터링 조사수행

2) 연구목적

- 태안해안국립공원의 보전 및 관리를 위한 해조류 현황 파악
- 유류유출 사고 이후 해조류 군집의 시·공간적 변화 양상 파악

나. 조사내용 및 방법

1) 조사기간

- 2022년 하계(7월)와 추계(10월), 2차에 걸쳐 해조상 조사를 수행하였음(표 Ⅱ-6-1)

표 Ⅱ-6-1. 조사정점별 시기별 해조류 출현종수

구분	조사기간	조사지역
1차	2022. 07. 14 ~ 16	학암포, 만리포, 파도리, 채석포, 몽산포, 방포
2차	2022. 10. 08 ~ 10, 25	

2) 조사지역

- 태안해안국립공원 내 6개 정점에서 정성 및 정량 채집을 실시(표 Ⅱ-6-2, 그림 Ⅱ-6-1)
- 학암포(St.1)는 태안해안국립공원의 최북단 지역으로 인근에 화력발전소가 있고, 탐방객과 낚시꾼이 많으며, 조수웅덩이가 발달되었고 유류피해가 많았던 지역임
- 만리포(St. 2)는 해수의 투명도가 높고 다양한 크기의 조수웅덩이가 발달되어 있어 많은 해조류가 관찰되는 지역으로 유류 피해가 많았던 정점임
- 파도리는 갯벌로 차량이 다닐 수 있도록 콘크리트 길이 있어 인간 활동이 많고, 조수웅덩이에 해조류가 서식하고 있는 지역이며, 암반에 퇴적물이 많은 정점임
- 채석포는 해조류의 서식 환경으로 알맞지 않은 사니질 조간대가 발달되어 있고 어촌계의 바지락 양식장이 있음. 조간대 상부와 중부에는 조수웅덩이가 있으나 암반에 퇴적물이 많고 탁도가 높은 지역임

- 몽산포는 암반에는 많은 굴이 서식하고 조수웅덩이가 발견되며, 사니질 간석지로 둘러싸여 있어 탁도가 높은 지역임
- 방포는 국립공원에서 가장 하단에 있으며, 암반이 발달되어 있으나, 탐방객이 많은 꽃지 해수욕장의 인근에 위치함

표 Ⅱ-6-2. 해조류 조사 정점 및 좌표

조사정점	위 도	경 도	지 명
1	36° 54′ 01.30″	126° 11′ 55.12″	학 암 포
2	36° 47′ 07.73″	126° 07′ 50.82″	만 리 포
3	36° 44′ 35.40″	126° 08′ 03.30″	파 도 리
4	36° 41′ 42.95″	126° 13′ 53.12″	채 석 포
5	36° 40′ 14.40″	126° 17′ 08.80″	몽 산 포
6	36° 30′ 40.67″	126° 19′ 38.87″	방 포

3) 조사방법

가) 채집방법

- 해조류는 간조시에 정량 및 정성채집을 병행하여 실시하였으며, 정량조사는 방형구(50×50 ㎝)를 조간대 상, 중, 하부에 각기 3개씩 놓고 방형구 내에 출현하는 해조류를 전량채집
- 정성조사는 정점에서 서식하는 모든 해조류 채집

나) 분석방법

- 채집된 해조류는 현장에서 5~10% 포르말린 해수용액으로 고정시켜 실험실로 운반한 후 종 동정과 함께 방형구별 정량 및 정성자료를 산출
- 종의 동정에는 Boo and Choi (1989), Kang (1966), Lee (1980) 등을 참조
- 조위별(상부, 중부, 하부)로 각 3회씩 정량 채집된 해조류는 물기를 제거한 후 생체량 측정
- 생체량 값은 단위 면적당(㎡) 생체량(습중량)으로 환산(gWWt./㎡)한 후 평균 값을 계산하여 정점별 생체량 값 산출

다) 평가방법

- 출현종의 생물량 자료로 종 다양도 지수(H': diversity index), 균등도 지수(J'), 풍부도 지수(R)를 PRIMER version 6 (Clarke and Gorley, 2006)으로 계산
- 정점별 출현종의 유·무로써 계절별, 정점별 유사도(similarity)를 구함(Bray and Curtis, 1957)
- 유사도 분석에 따른 각 그룹의 유의차는 SIMPROF (similarity profile) test를 실시하여 검정

학암포

만리포

파도리

채석포

몽산포

방포

그림 Ⅱ-6-1. 해조류 조사지역 전경

다. 결과 및 고찰

1) 출현종수

- 6개 정점 조사결과, 출현한 해조류는 총 69종이었고, 녹조식물 12종(17.4%), 대롱편모조식물 18종(26.1%), 홍조식물 38종(55.1%), 해산현화식물 1종(1.4%)으로 홍조식물이 가장 많이 출현
- 조사시기별 출현종수는 하계에는 61종(녹조식물 10종, 대롱편모조식물 16종, 홍조식물 34종, 해산현화식물 1종)이, 추계에는 총 59종(녹조식물 11종, 대롱편모조식물 13종, 홍조식물 34종, 해산현화식물 1종)이 출현(그림 Ⅱ-6-2)

- 학암포(St.1), 만리포(St.2), 파도리(St.3)에서 상대적으로 출현종수가 높았으며, 채석포(St.4)와 방포(St.6)에서는 중간 수준을 보였으며, 몽산포(St.5)에서 상대적으로 낮았음(표 Ⅱ-6-3)

표 Ⅱ-6-3. 조사정점별 시기별 해조류 출현종수

분류군	하계(7월)						추계(10월)					
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
녹조식물	4	4	2	3	2	3	7	5	2	2	2	4
대롱편모조식물	5	4	2	5	2	6	2	4	4	6	2	5
홍조식물	19	14	20	8	5	8	13	13	19	6	8	9
해산현화식물	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0
합계	28	23	25	16	9	17	23	23	26	14	12	18

St.1: 학암포, St.2: 만리포, St.3: 파도리, St.4: 채석포, St.5: 몽산포, St.6: 방포

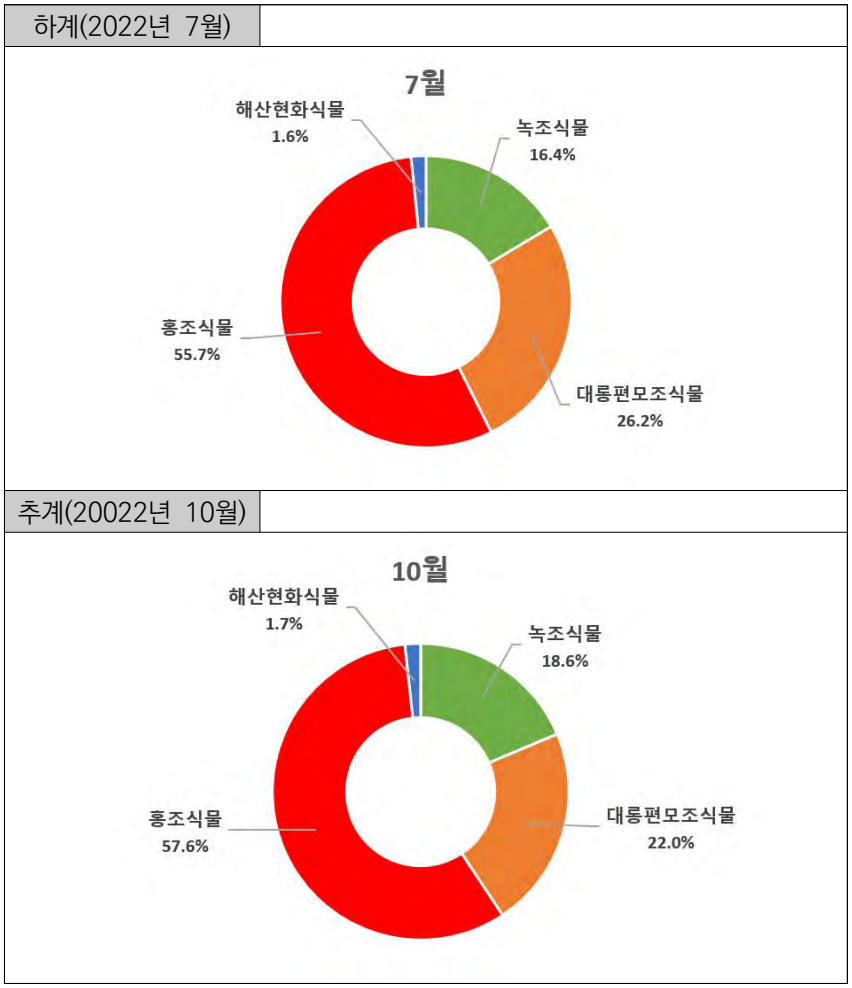


그림 Ⅱ-6-2. 해조류 출현종수에 대한 종 조성비

2) 생체량

- 하계 조사 결과, 해조류 생체량은 평균 7,399.35 gWWt/㎡이었고, 4,204.16 ~ 13,788.28 gWWt/㎡의 범위로 방포(St.6)에서 최고 값을, 파도리에서 최저 값을 나타냄(표 II-6-4).
- 이 중 대롱편모조식물이 5,671.96 gWWt/㎡으로 전체의 76.7%를 차지하는 주요 우점 분류군이었고, 다음으로 홍조식물, 녹조식물, 해산현화식물 순으로 높은 생체량을 기록(그림 II-6-3)
- 추계 조사 결과, 해조류 생체량은 평균 5,328.15 gWWt/㎡이었고, 3,719.28 ~ 6,490.04 gWWt/㎡의 범위로 몽산포(St.5)에서 최고 값을, 학암포(St.1)에서 최저 값을 기록(표 II-6-4)
- 이 중 대롱편모조식물이 4,179.89 gWWt/㎡으로 전체의 78.4%를 차지하는 주요 우점 분류군이었고, 다음으로 홍조식물, 해산현화식물, 녹조식물 순으로 높은 생체량을 기록(그림 II-6-3)
- 하계 방포(St.6)에서 높은 습중량을 기록한 것은 지충이의 높은 생체량(13,283.88 gW/㎡)에 기인한 것이며, 추계에 전반적으로 지충이의 생체량이 감소한 것으로 나타남

표 Ⅱ-6-4. 조사정점별 시기별 해조류 생체량 (단위 : gWWt/㎡)

분류군	하계(7월)						추계(10월)					
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
녹조류	2,820.76	191.36	439.80	39.32	24.32	288.24	229.28	258.08	402.80	10.28	28.76	6.32
대롱편모조류	3,000.56	5,577.28	2,177.56	4,987.48	4,839.16	13,449.72	700.48	2,473.04	4,314.08	6,050.36	6,122.64	5,418.72
홍조류	1,345.40	2,752.84	1,170.88	141.32	541.04	50.32	2,520.00	859.40	368.32	279.84	338.64	633.32
해산현화식물	0.00	142.84	415.92	0.00	0.00	0.00	269.64	140.76	544.16	0.00	0.00	0.00
합계	7,166.72	8,664.32	4,204.16	5,168.12	5,404.52	13,788.28	3,719.40	3,731.28	5,629.36	6,340.48	6,490.04	6,058.36

St.1: 학암포, St.2: 만리포, St.3: 파도리, St.4: 채석포, St.5: 몽산포, St.6: 방포

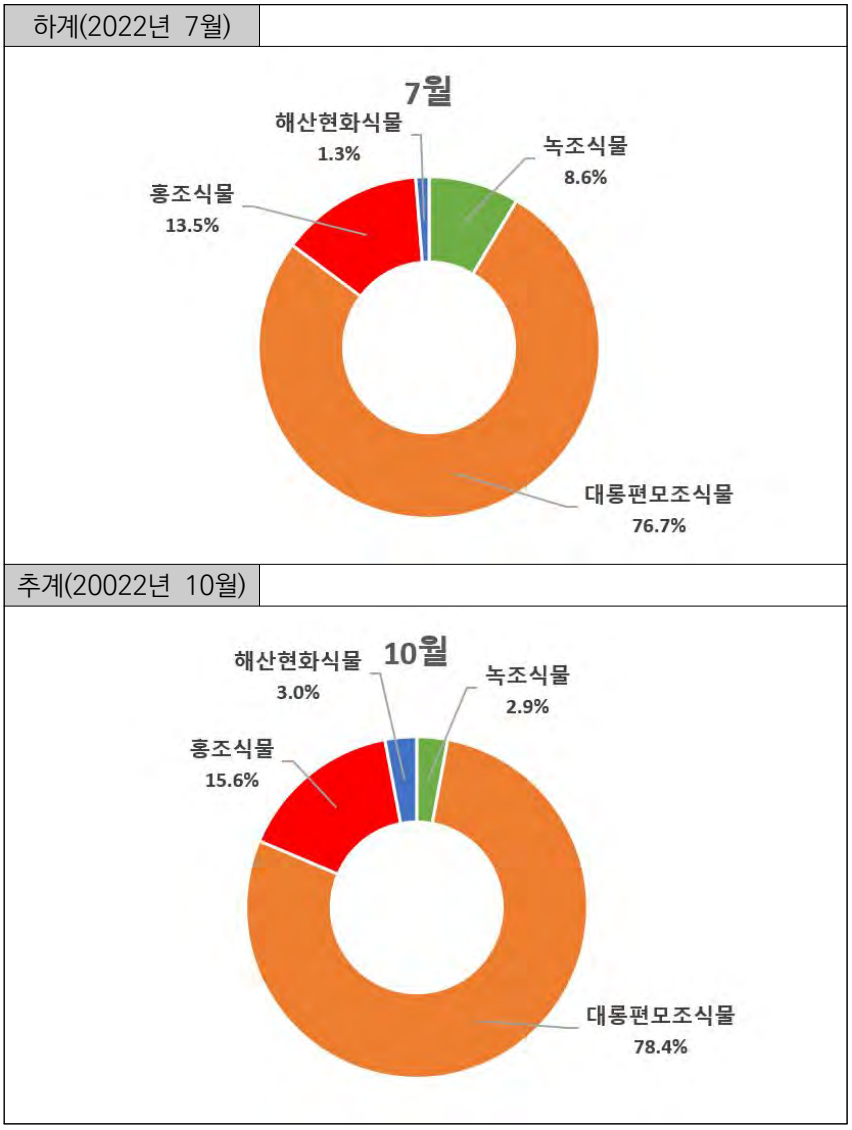


그림 Ⅱ-6-3. 해조류 습중량에 대한 종 조성비

3) 우점종

- 해조류의 우점종은 대롱편모조류의 지충이(*Sargassum thunbergii)*로 조사(표 Ⅱ-6-5~6)
- 분류군별 우점종은 녹조식물에서는 구멍갈파래(*Ulva australis*)와 납작파래(*Ulva compressa*)로 나타났으며, 대롱편모조류에서는 지충이와 모자반(*Sargassum fulvellum*), 그리고 홍조식물에서는 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*)과 부챗살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis*)로 조사됨
- 하계에 출현한 해조류의 우점종은 대롱편모조류의 지충이로 중요도 48.13%로 최우점하였으며, 다음으로 홍조식물의 작은구슬산호말이 15.30%, 녹조식물의 구멍갈파래가 7.19%로 순으로 나타났음(표 Ⅱ-6-5)
- 추계에 출현한 해조류의 우점종은 대롱편모조류의 지충이로 중요도 48.66%로 최우점하였으며, 다음으로 홍조식물의 작은구슬산호말이 8.75%, 녹조식물의 구멍갈파래가 7.88%로

순으로 나타났음(표 Ⅱ-6-6)

표 Ⅱ-6-5. 하계에 출현한 해조류의 우점종

분류군	학명	국명	생체량 (gWWt/㎡)	상대 피도(%)	상대 빈도(%)	중요도
대롱편모조식물	*Sargassum thunbergii*	지충이	32,747.88	50.82	45.43	48.13
홍조식물	*Corallina pilulifera*	작은구슬산호말	3,128.20	14.55	16.04	15.30
녹조식물	*Ulva australis*	구멍갈파래	2,775.48	6.92	7.45	7.19

표 Ⅱ-6-6. 추계에 출현한 해조류의 우점종

분류군	학명	국명	생체량 (gWWt/㎡)	상대 피도(%)	상대 빈도(%)	중요도
대롱편모조식물	*Sargassum thunbergii*	지충이	23,747.76	51.57	45.74	48.66
홍조식물	*Corallina pilulifera*	작은구슬산호말	2,290.24	8.65	8.85	8.75
녹조식물	*Ulva australis*	구멍갈파래	931.72	7.39	8.38	7.88

4) 생태지수

- 우점도 지수는 평균 0.31~1.20으로 방포 상부에서 최소였고 방포 하부에서 최대. 계절별 우점도 지수는 하계에는 0.14~1.51의 범위로 방포 상부에서 최소였고, 학암포 상부에서 최대. 추계에는 0.34~1.35의 범위로 몽산포 중부에서 최소였고 방포 하부에서 최대(표 Ⅱ-6-7)
- 균등도 지수는 평균 0.04~0.89로 몽산포 중부에서 최소였고 파도리 상부에서 최대. 계절별 균등도 지수는 하계에는 0.00~0.91의 범위로 방포 상부에서 최소였고, 파도리 상부에서 최대. 추계에는 0.02~0.88의 범위로 몽산포 중부에서 최소였고 파도리 상부에서 최대(표 Ⅱ-6-7)
- 다양도 지수는 평균 0.05~1.29로 몽산포 중부에서 최소였고 파도리 중부에서 최대(표 Ⅱ-6-7)
- 계절별 다양도 지수는 하계에는 0.00~1.61의 범위로 방포 상부에서 최소였고, 학암포 상부에서 최대(표 Ⅱ-6-7)
- 추계에는 0.02~1.42의 범위로 몽산포 중부에서 최소였고 학암포 중부에서 최대(표 Ⅱ-6-7)

표 Ⅱ-6-7. 조사정점에 따른 계절별 해조류의 군집지수 변화

정점	조위	우점도			균등도			다양도		
		하계	추계	평균	하계	추계	평균	하계	추계	평균
St.1	상부	1.51	0.45	0.98	0.70	0.66	0.68	1.62	0.72	1.17
	중부	0.76	0.85	0.80	0.49	0.79	0.64	0.89	1.42	1.15
	하부	1.07	0.81	0.94	0.48	0.52	0.50	1.00	0.93	0.97
St.2	상부	1.08	1.06	1.07	0.48	0.57	0.52	1.00	0.91	0.95
	중부	1.07	0.46	0.76	0.12	0.35	0.23	0.24	0.49	0.36
	하부	1.34	0.58	0.96	0.48	0.61	0.55	1.11	0.84	0.98
St.3	상부	0.70	0.54	0.62	0.91	0.88	0.89	1.00	0.96	0.98
	중부	1.11	0.93	1.02	0.57	0.72	0.64	1.18	1.40	1.29
	하부	1.29	1.06	1.18	0.66	0.23	0.44	1.45	0.47	0.96
St.4	상부	0.67	0.47	0.57	0.06	0.11	0.08	0.09	0.15	0.12
	중부	0.31	0.34	0.32	0.06	0.02	0.04	0.07	0.02	0.05
	하부	0.54	1.10	0.82	0.33	0.45	0.39	0.45	0.93	0.69
St.5	상부	0.95	0.92	0.93	0.21	0.03	0.12	0.41	0.06	0.24
	중부	0.50	0.80	0.65	0.42	0.09	0.25	0.59	0.16	0.37
	하부	0.50	0.83	0.67	0.08	0.33	0.21	0.12	0.58	0.35
St.6	상부	0.14	0.48	0.31	0.00	0.21	0.10	0.00	0.29	0.14
	중부	0.85	0.77	0.81	0.05	0.29	0.17	0.09	0.52	0.31
	하부	1.04	1.35	1.20	0.24	0.20	0.22	0.51	0.44	0.47

St.1: 학암포, St.2: 만리포, St.3: 파도리, St.4: 채석포, St.5: 몽산포, St.6: 방포

5) 군집분석

- 생체량을 이용한 군집분석 결과 유사도 45% 수준에서 A와 B 그룹으로 구분되는 것으로 나타났음. A 그룹은 방포, 채석포, 몽산포로 구분되었고, B 그룹은 학암포, 만리포, 파도리로 구분(그림 Ⅱ-6-4)
- A 그룹은 평균 출현종수가 25종으로 B 그룹의 14종보다 높았으며, 평균 생체량은 B 그룹이 A 그룹보다 높음(표 Ⅱ-6-8)
- 주요 우점종은 A, B 그룹 모두 지충이, 작은구슬산호말, 구멍갈파래 순으로 나타났으나, A 그룹은 최우점종인 지충이가 약 50%의 비율로 우점하였고, B 그룹은 80%에 가까운 비율로 우점(표 Ⅱ-6-8)

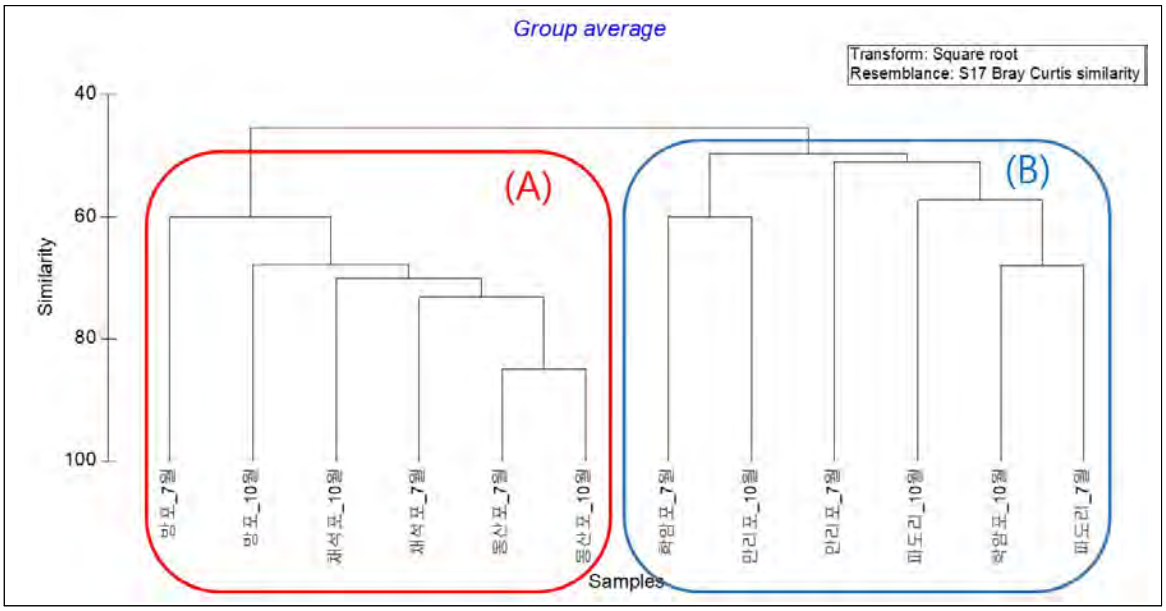


그림 Ⅱ-6-4. 2022년 하계, 추계조사 시 생체량을 이용한 집괴분석 결과

표 Ⅱ-6-8. 해조류 군집별 주요 특성

군집	지역	평균 종 수	평균 생체량 (gWWt/㎡)	주요 우점종
A	방포 채석포 몽산포	25±2	5,519.21±2,030.80	지충이(49.76%) 작은구슬산호말(14.26%) 구멍갈파래(12.48%)
B	학암포 만리포 파도리	14±3	7,280.30±3,265.07	지충이(79.97%) 작은구슬산호말(5.44%) 구멍갈파래(4.24%)

라. 선행연구와의 비교

1) 출현종수

- 2007년 이후 조사대상지에서 확인된 해조류는 평균 80종으로 조사
- 2022년 조사결과 출현종수는 2017년 수준과 유사하였으며, 2021년 조사 결과와 비교하면 하계와 추계에 각각 약 67% 수준으로 출현종이 나타나 감소한 것으로 나타났음(그림 Ⅱ-6-5)
- 출현종수는 증가감 현상이 뚜렷한 경향을 보이고 있지 않음(그림 Ⅱ-6-5)
- 평균 출현종수에 비하여 2022년 조사에서는 다소 감소한 경향을 보임(그림 Ⅱ-6-5)
- 최근 4년간 출현종수에 비하여 감소한 경향은 지충이와 같은 우점종의 증가 현상 그리고 출현종별 서식공간의 경쟁으로 인한 생육환경의 변화가 영향을 미쳤을 가능성이 있어 보임

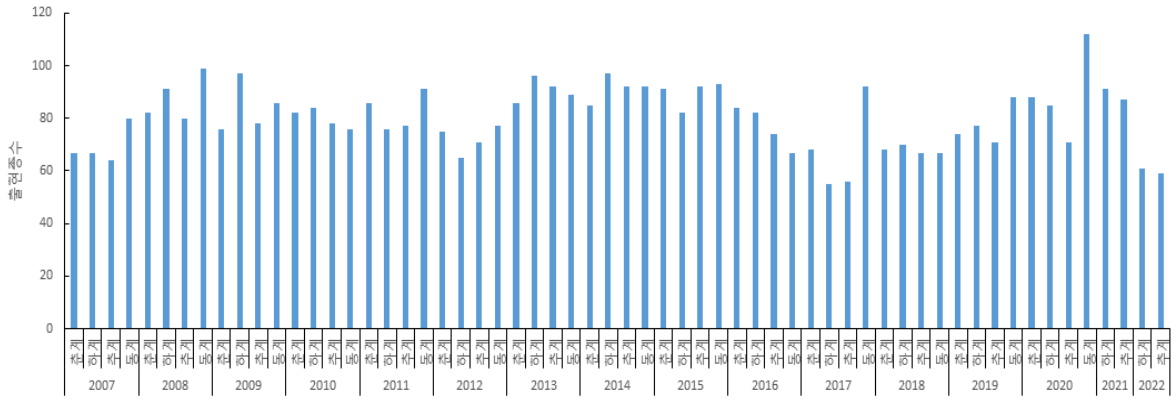


그림 Ⅱ-6-5. 선행연구 조사년도 및 계절별 출현종수 비교

2) 생체량

- 2008년 이후 조사한 해조류 출현량에서 2022년 조사에서 가장 높은 수치를 기록함(그림 Ⅱ-6-6)
- 2022년 조사에서 조간대 조수웅덩이를 중심으로 암반에는 지충이를 비롯하여 구멍갈파래의 생육량이 높았으며, 홍조류 중 서실류와 우뭇가사리류 또한 생육량이 높은 것으로 관찰되었음
- 최근 5년 조사에 비하여 높은 생물량을 보인 것은 안정된 서식환경과 개체당 생체량이 높은 해조류(예, 지충이 등)가 번성한 것이 원인으로 파악됨
- 생체량 구성비에 있어서도 갈조류가 다른 녹조류와 홍조류보다 월등히 높은 비율로 서식하는 경향을 지속하고 있음
- 계절별 비교하면 하계의 생체량이 추계보다 높은 경향을 보였으며, 이는 최근 10년간 생체량 비교에서도 유사한 경향을 지속해오고 있음(그림 Ⅱ-6-6)

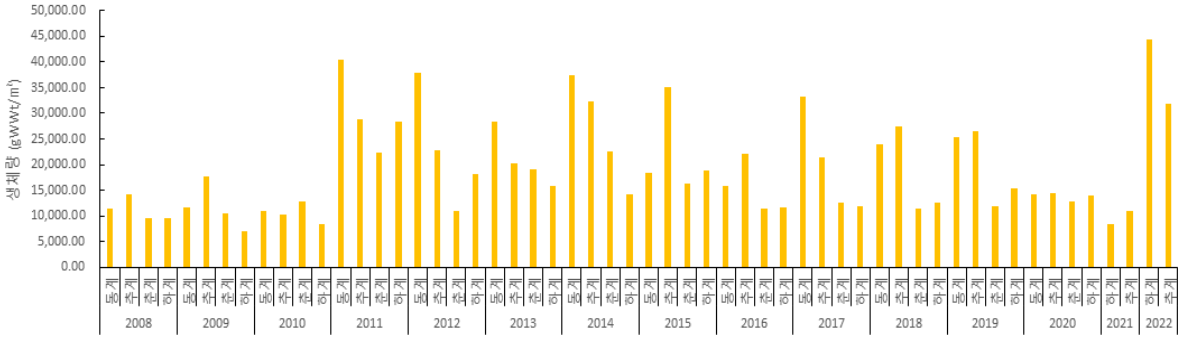


그림 Ⅱ-6-6. 선행연구 조사년도 및 계절별 생체량 비교

3) 종조성

- 최근 8년간 출현종 종조성은 홍조류가 가장 많은 비율로 출현하였으며, 대롱편모조류와 녹조류가 유사한 비율로 출현하는 경향을 보임(그림 Ⅱ-6-7)
- 2017년 이후 홍조류의 출현종 종조성이 다소 감소하는 경향을 보였으며, 녹조류가 증가하는 경향을 보임(그림 Ⅱ-6-7)
- 생물량의 많은 부분을 차지하는 대롱편모조류의 경우 다른 분류군에 비하여 유사한 수준으로 출현종수를 보이고 있음
- 녹조류에서는 파래류와 대마디말류가 다수 출현하였으며, 대롱편모조류에서는 모자반속(*Sargassum*)의 해조류가 주를 이루었으며, 홍조류에서는 진두발을 비롯하여 지누아리류, 빨간검둥이과, 우뭇가사리과, 산호말과 그리고 도박과 해조류가 다수 출현하는 경향을 보음

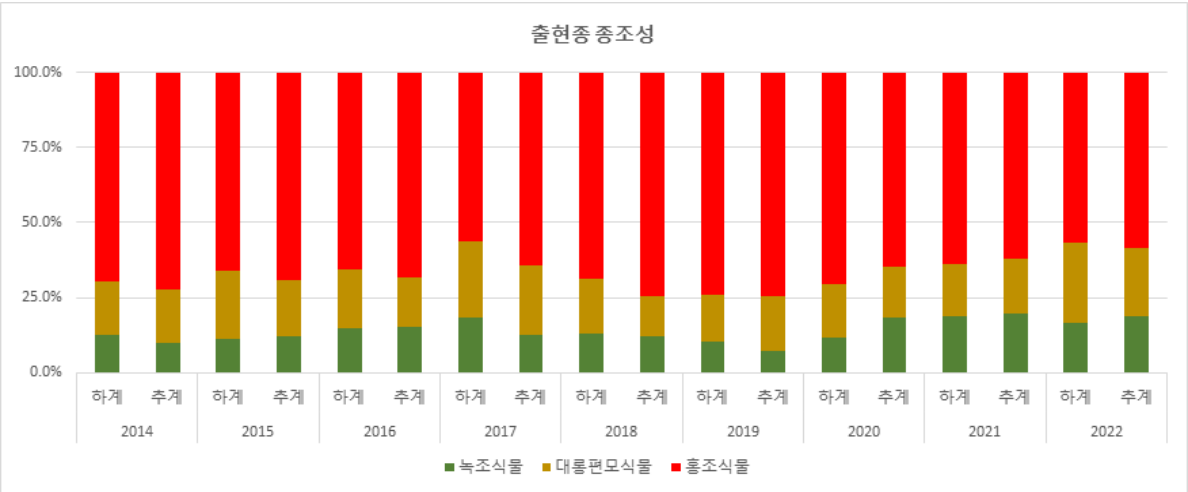


그림 Ⅱ-6-7. 최근 8년간 선행연구 조사년도 및 계절별 출현종 종조성 비교

4) 정점간 분포양상

- 최근 8년간 계절별 각 조사지점의 해조류 생물량은 평균 3,497.6 gWWt/㎡으로 나타났음
- 최근 8년간 조사 지점별 누적 출현생물량의 합이 가장 높은 지점은 St.2(만리포)였으며, St.6(방포) 〉 St.1(학암포) 〉 St.3(파도리) 〉 St.4(채석포) 〉 St.5(몽산포)순으로 나타남(그림 Ⅱ-6-8)
- St.6(방포)과 St.5(몽산포) 지점은 최근 생물량이 증가하는 경향을 보이고 있으며, St.1(학암포)과 St.2(만리포)는 증가감 현상이 나타남(그림 Ⅱ-6-8)

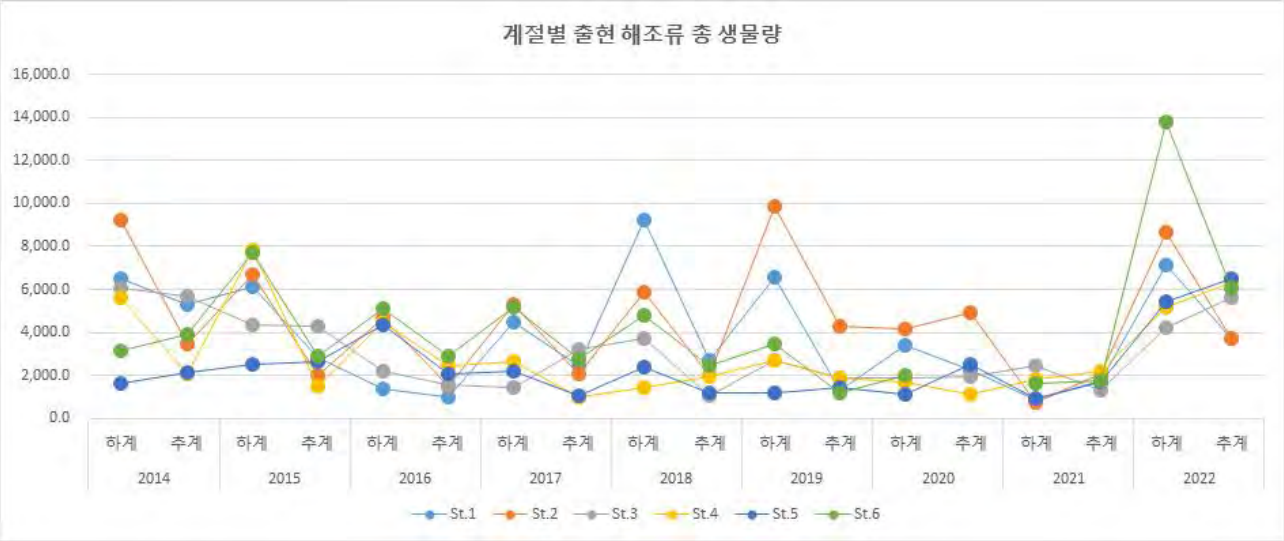


그림 Ⅱ-6-8. 최근 8년간 선행연구 조사년도 및 계절별 정점간 분포양상 비교

마. 참고문헌

국립공원공단 국립공원연구원. 2006. 태안해안국립공원 자원 모니터링(1차년도). 326pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2007. 태안해안국립공원 자원 모니터링(2차년도). 314pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2009a. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 태안해안국립공원 일대의 자연자원 정밀 조사. 1102pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2009b. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(1차년도). 856pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2010. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(2차년도). 763pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2011. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(3차년도). 872pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2012. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기

모니터링(4차년도). 926pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2013. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(5차년도). 838pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2014. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(6차년도). 854pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2015. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(7차년도). 739pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2016. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(8차년도). 793pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2017. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(9차년도). 680pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2018. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(10차년도) 718pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2019. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(11차년도). 623pp.
Boo SM, DS Choi. 1989. A summer marine flora of Anma-Islands. Rep. Surv. Nat. Environ. Korea 9: 207-238.
Choi HG, KH Kim, XQ Wan, HI Yoo, HH Park, JH Kim, IK Chung. 2008. Temporal variations in seaweed biomass in Korean coasts: Woejodo and Jusamdo, Jeonbuk. Algae 23: 335-342.
Clarke KR, RN Gorley. 2006. PRIMER v6: user manual/tutorial. PRIMER-E Ltd., Plymouth. 190pp.
De Forges BR, JA Koslow, GCB Poore. 2000. Diversity and endemism of the benthic seamount fauna in the southwest Pacific. Nature 405: 944-947.
Hooper DU, FS Chapin, JJ Ewel, A Hector, P Inchausti, S Lavorel, JH Lawton, M Loreau, S Naeem, B Schmid, H Setälä, AJ Symstad, J Vandermeer, DA Wardle. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. Ecol Monogr 75: 3-35.
Kang JW. 1966. Marine algae Ulrungdo Island in Japan Sea. Bull. Pusan. Fish. Coll 6: 41-58.
Kang JW, CH Sohn, CW Lee. 1980. Summer algal flora of Gogunsan Islands, western coast of Korea. Rep. KACN 18: 103-107.
Kim SJ. 2008. Herbei Sprit oil spill accident. Jounal of KESS 30(2): 146-152.
Lee IK. 1980. On the marine algae of Deokjeok Island, western coast of Korea.

Journal of National Academy of Science 19: 135-160.

Lee KH, HI Yoo, HG Choi. 2007. Seasonal community structure and vertical distribution of medicinal seaweeds at Kkotji in Taean Peninsula, Korea. Algae 22: 209-219.

Lindstrom SC. 2009. The biogeography of seaweeds in southeast Alaska. J Biogeogr 36: 401-409.

Oboho IE, O Oladimej. 2009. Studies on the short-term effects of the mobil Idoho oil spill on the littoral biota of southeastern Nigeria. West African Journal of Applied Ecology 11: 51-63.

Phillips JC, GA Kendrick, RS Lavery. 1997. A test of a functional group approach to detecting shift in macroalgal communities along a disturbance gradient. Mar. Ecol. Prog. Ser. 53: 125-138.

Szmant AM. 2002. Nutrient enrichment on Coral reefs: is it major cause of coral reef decline? Estuarises 25: 743-766.

Tribollet AD, PS Vroom. 2007. Temporal and spatial comparison of the relative abundance of macroalgae across the Mariana Archipelago between 2003 and 2005. Phycologia 46: 187-197.

Viaroli P, M Mistri, M Troussellier, S Guerzoni, AC Cardoso. 2005. Nutrient and iron limitation to Ulva blooms in a eutrophic coastal lagoon (Sacca di Goro, Italy). Hydrobioligia 550: 57-71.

Wells E, M Wilkinson, P Wood, C Scanlan. 2007. The use of macroalgal species richness and composition on intertidal rocky seashores in the assessment of ecological quality under the European water framework directive. Mar. Pollut. Bull. 55: 151-161.

Worm B, HK Lotze. 2006. Effects of europhication, grazing, and algal blooms on rocky shores. Limnol. Oceanogr. 51(1, part 2): 569-579.

Yoo HI, JH Lee, KH Beak, YB Heo, HS Noh, HG Choi. 2007. Summer marine algal floras and community structures in Taean thermal power plant, Korea. J. Kor. Fish. Soc. 40: 210-219.

7 해양저서무척추동물

가. 조간대 저서무척추동물

1) 서론

가) 배경

- 허베이 스피리트호 유류유출 사고로 인한 해양생태계의 영향을 파악하기 위하여 태안해안국립공원 조간대 저서무척추동물 군집을 대상으로 사고 발생 직후인 2008년부터 장기모니터링 조사 수행

나) 연구목적

- 태안해안국립공원의 보전 및 관리를 위한 저서무척추동물 현황 파악
- 유류유출 사고 이후 저서무척추동물 군집의 시·공간적 변화 양상 파악

2) 조사내용 및 방법

가) 조사기간

- 2022년 7월, 10월(연 2회)(표 Ⅱ-7-1)

표 Ⅱ-7-1. 조간대 저서무척추동물 조사시기 및 조사지역

회차	조사기간	조사지역
1 (하계)	2022. 7. 14. ~ 17.	태안해안국립공원 조간대 (정점 1~8)
2 (추계)	2022. 10. 09. ~ 12.	

나) 조사지역

- 태안해안국립공원 일대 조간대 8개소(그림 Ⅱ-7-1)

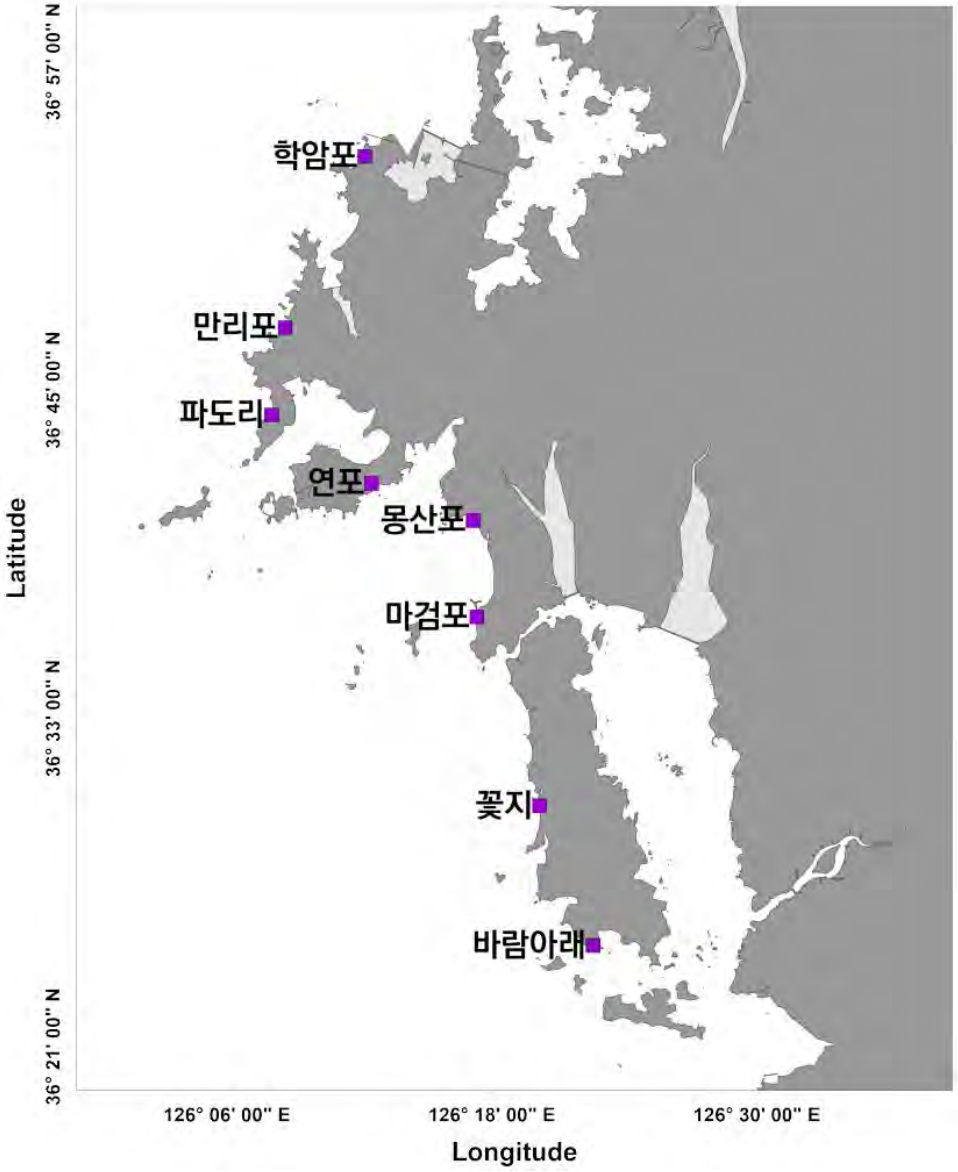


그림 Ⅱ-7-1. 조간대 저서무척추동물 조사 정점도

다) 조사방법

(1) 시료채집

- 시료의 채집은 원형 코어러(can corer, 표면적 0.008 ㎡)를 이용하여 각 정점별로 채집면적이 총 0.1 ㎡이 되도록 퇴적물을 채취
- 채집된 퇴적물은 망목크기 1.0 ㎜의 표준체로 습식 체질한 후 10% 중성 포르말린으로 고정하고 실험실로 운반

(2) 분석방법

- 실험실로 운반된 시료는 선별과정을 거쳐 종 수준까지 동정 실시
- 각 종별 개체수와 습중량을 측정하고, 단위면적당 평균 서식밀도(개체/㎡)와 평균 생체량(g/㎡)으로 환산하여 분석에 이용
- 우점종은 출현 개체수와 생체량을 기초로 선정하고, 조사시기별로 우점도 파악

(3) 평가방법

- 군집구조를 파악하기 위하여 다음의 식을 이용하여 생태군집지수 산출

종 다양성 지수 $H' = -\sum_{i=0}^{s} P_i \times \ln(P_i)$ (Shannon and Weaver, 1963)

종 풍부도 지수 $R = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$ (Margalef, 1958)

종 균등도 지수 $J = \frac{H'}{\ln(S)}$ (Pielou, 1966)

여기서, Pi : i번째 종의 점유율, S : 출현종수, N : 출현개체수

- 군집 분석은 PRIMER(Polymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer package를 이용하고, 수지도(dendrogram) 작성 및 다차원척도법(nMDS ordinatin) 분석 수행
- 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로 비가중평균연결법(unweighted pair using group method using arithmetic mean linkage method)을 적용
- 저서무척추동물 군집과 상관성 높은 환경요인의 파악을 위해 PRIMER6의 BIO-ENV 시행
- 대형저서동물의 군집특성을 기반으로 하는 복수의 생태계 건강도 평가지수인 ISEP와 KBQI를 사용하여 저서생태계의 건강성을 다양한 각도에서 평가
- ISEP (Inverse function of SEP, Yoo, *et al.*, 2010)는 서식밀도와 생체량의 종간 균등도를 기반으로 한 평가지수로, 대형저서생물 군집의 생물 구성이 몇몇 종에 치우침 없이 고르게 분포하고, 적은 수의 대형 생물이 출현할수록 건강한 서식처로 평가

$$ISEP = \log_{10}(1/SEP + 1)$$

$$\begin{aligned} SEP &= E(biomass)/E(abundance) \\ &= H'(biomass)/H'(abundance) \end{aligned}$$

E : 균등도지수(Pielous's evenness index)

H : 다양도지수(Shannon-Wiener diversity index)

- KBQI (Korean Benthic Quality Index)는 Rosenberg (2004)에 의해 제시된 BQI 인덱스를 우리나라 연안에 특별히 맞추어 변형한 것으로, 생물다양성이 높은, 건강한 서식처에서 출현하는 종이 많이 발견될수록 건강한 서식처로 평가

$$KBQI = \left(\sum_{i=1}^{n}\left(A_i / totA \times ES50_{0.05i}\right)\right) \times log_{10}(1+d)$$

A : 개체수

$totA$: 표본 내 총 개체수

d : 출현종지수(Whittaker's d, 출현종수/$\log_{10}$채집면적)

- 각 지수의 건강도 등급 평가 방법과 기준은 부록 Ⅲ-7-1에 서술 하였고, 종합평가는 두 평가지수를 통해 얻은 건강도 등급을 평균하여 실시함
- 선행 연구 결과와의 비교는 해양수산부(2006; 2007; 2008)와 해양수산부(2015)의 춘계와 하계 조사 결과를 활용
- 조사시기마다 다르게 채집된 조사 면적에 대한 출현종수를 비교하기 위해 출현종지수를 이용, 출현종지수는 Whittaker (1975) 공식을 따름

Whittaker's $d = SR_s / \log A$ 또는 $SR_s / \log N$

(SR_s=표본 내 총 종수, A=채집 면적(㎡), N=총 개체수)

3) 결과 및 고찰

가) 종조성

- 2022년 태안해안국립공원 조간대에서 출현한 저서무척추동물은 총 149 종/4.8㎡(정성 포함 총 165 종), 평균 32 종/0.3㎡, 평균 1,651 개체/㎡, 143.4 g/㎡로 조사(표 II-7-2)

표 Ⅱ-7-2. 조간대 저서무척추동물의 출현종수, 서식밀도, 생체량

조사시기	총 출현종수 (종/2.4 ㎡)	평균 출현종수 (종/0.3㎡)	평균 서식밀도 (개체/㎡)	평균 생체량 (g/㎡)
2022년 7월	112	33±8	2,038±3,265	85.6±157.4
2022년 10월	103	31±11	1,264±1,467	201.3±567.2
계절 통합	149(종/4.8㎡)	32±9	1,651±2,535	143.4±415.9

- 출현종수는 절지동물이 총 57 종/4.8㎡(38.3%)이 출현하여 가장 우세하였고, 다음으로 환형동물(52 종/4.8㎡), 연체동물(29 종/4.8㎡), 기타동물(10 종/4.8㎡), 극피동물(1 종/4.8㎡)의 순으로 높은 비중을 차지(그림 II-7-2)

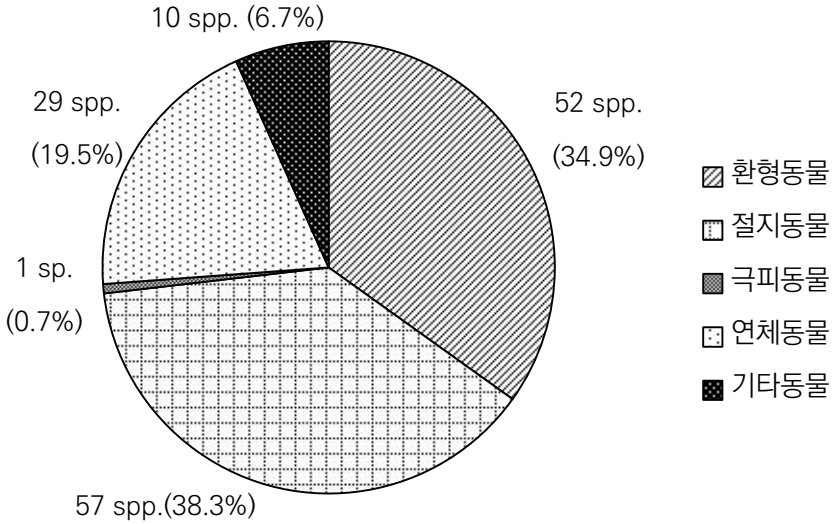


그림 Ⅱ-7-2. 조간대 저서무척추동물의 출현종수 종조성

- 서식밀도는 환형동물이 평균 649 개체/㎡(39.3%)로 가장 우점하고, 다음으로 절지동물(503 개체/㎡), 연체동물(486 개체/㎡), 기타동물(13 개체/㎡)의 순으로 높음(그림 II-7-3)

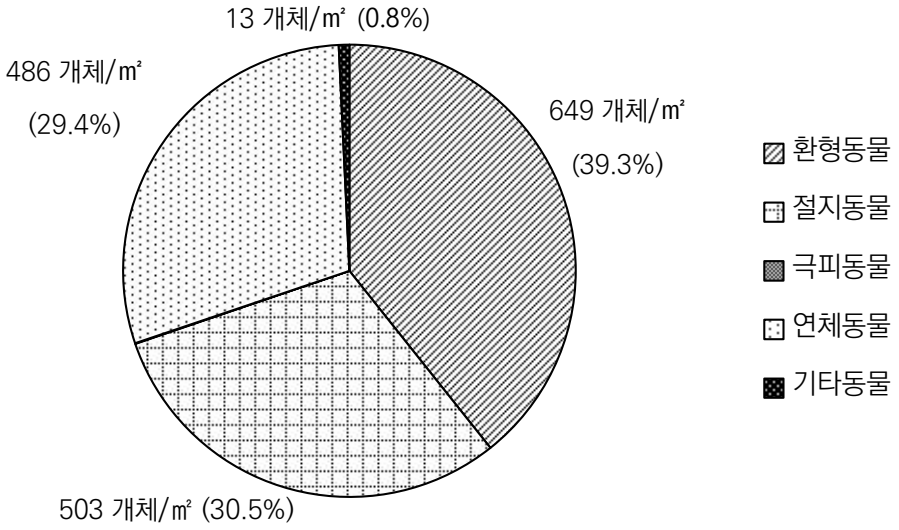


그림 Ⅱ-7-3. 조간대 저서무척추동물의 서식밀도 종조성

- 생체량은 연체동물이 평균 132.6 g/㎡(92.4%)로 가장 우점하였고, 환형동물(5.4 g/㎡), 절지동물(4.4 g/㎡), 기타동물(1.0 g/㎡)의 순으로 높은 비중을 차지(그림 II-7-4)

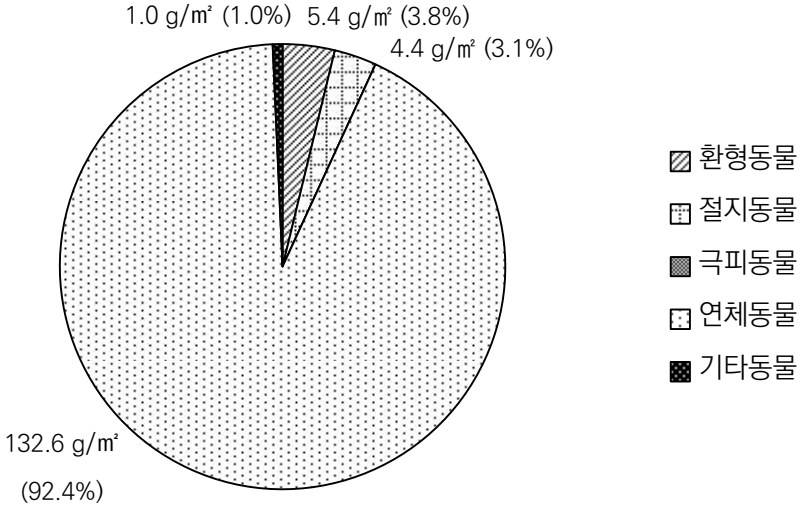


그림 Ⅱ-7-4. 조간대 저서무척추동물의 생체량 종조성

나) 출현종수, 서식밀도, 생체량

- 조간대 저서무척추동물의 출현종수는 두 시기 간 비슷한 양상(표 II-7-3, 그림 II-7-5)
- 서식밀도는 하계에 더 높고, 생체량은 추계에 더 높은 경향(표 II-7-3, 그림 II-7-5)
- 출현종수와 생체량은 연포에서 가장 높고, 서식밀도는 꽃지에서 가장 높은 경향(그림 II-7-5~6)

표 Ⅱ-7-3. 조간대 저서무척추동물 조사시기 및 지역별 출현종수, 서식밀도, 생체량

조사정점	출현종수(spp./0.3㎡)				서식밀도(개체/㎡)			생체량(g/㎡)		
	하계	추계	평균	총 (/0.9㎡)	하계	추계	평균	하계	추계	평균
학암포	28	34	31	47	1,340	653	997	12.5	17.1	14.8
만리포	20	13	17	24	2,020	267	1,143	17.4	3.6	10.5
파도리	26	17	22	35	930	323	627	5.2	3.0	4.1
연포	39	42	41	63	457	940	698	361.2	1,347.1	854.1
몽산포	44	40	42	60	1,287	1,940	1,613	108.2	34.1	71.2
마검포	33	29	31	43	1,180	913	1,047	80.2	28.3	54.2
꽃지	38	38	38	52	6,290	2,543	4,417	31.9	134.3	83.1
바람아래	39	36	38	53	2,803	2,530	2,667	67.8	43.2	55.5
평균	33 ±8	31 ±11	32 ±9	47 ±13	2,038 ±1,859	1,264 ±939	1,651 ±1,394	85.6 ±117.2	201.3 ±464.8	143.4 ±313.3

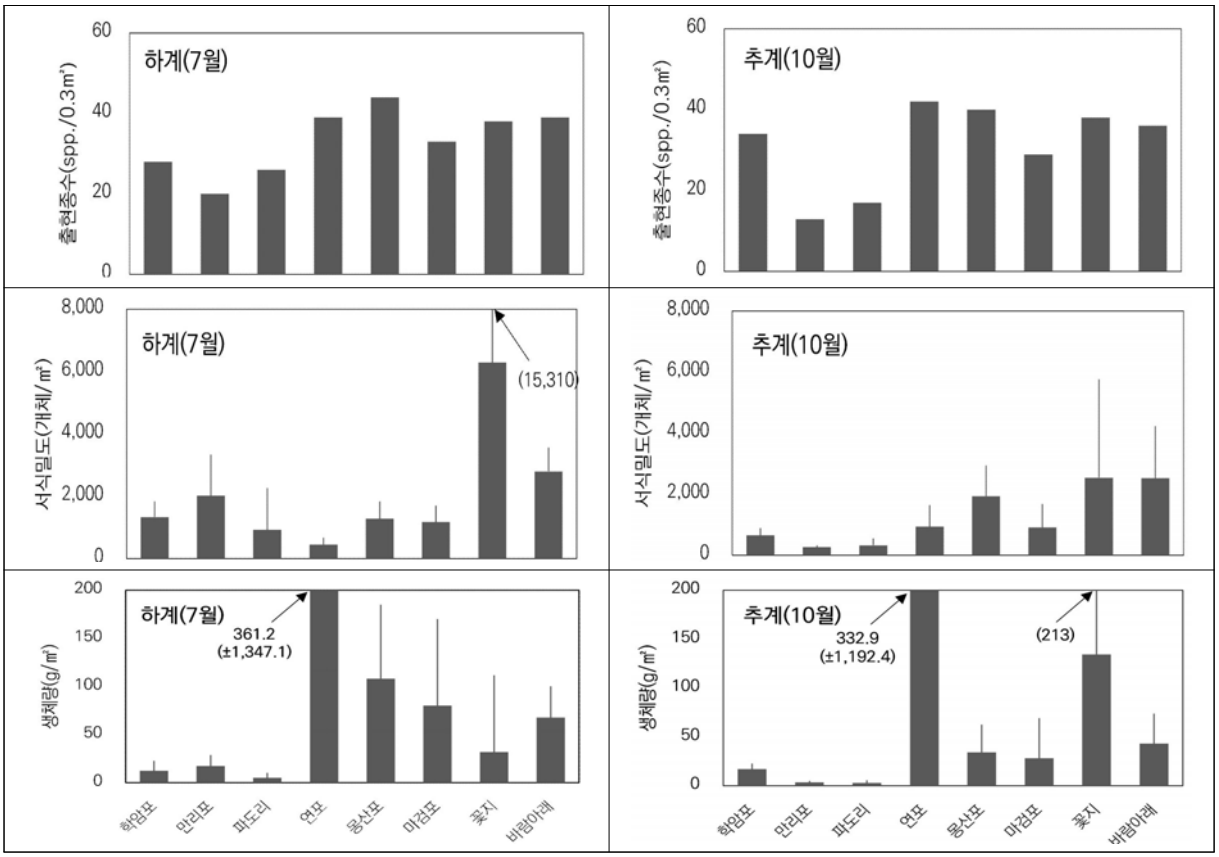


그림 Ⅱ-7-5. 조간대 저서무척추동물의 출현종수, 서식밀도, 생체량 비교

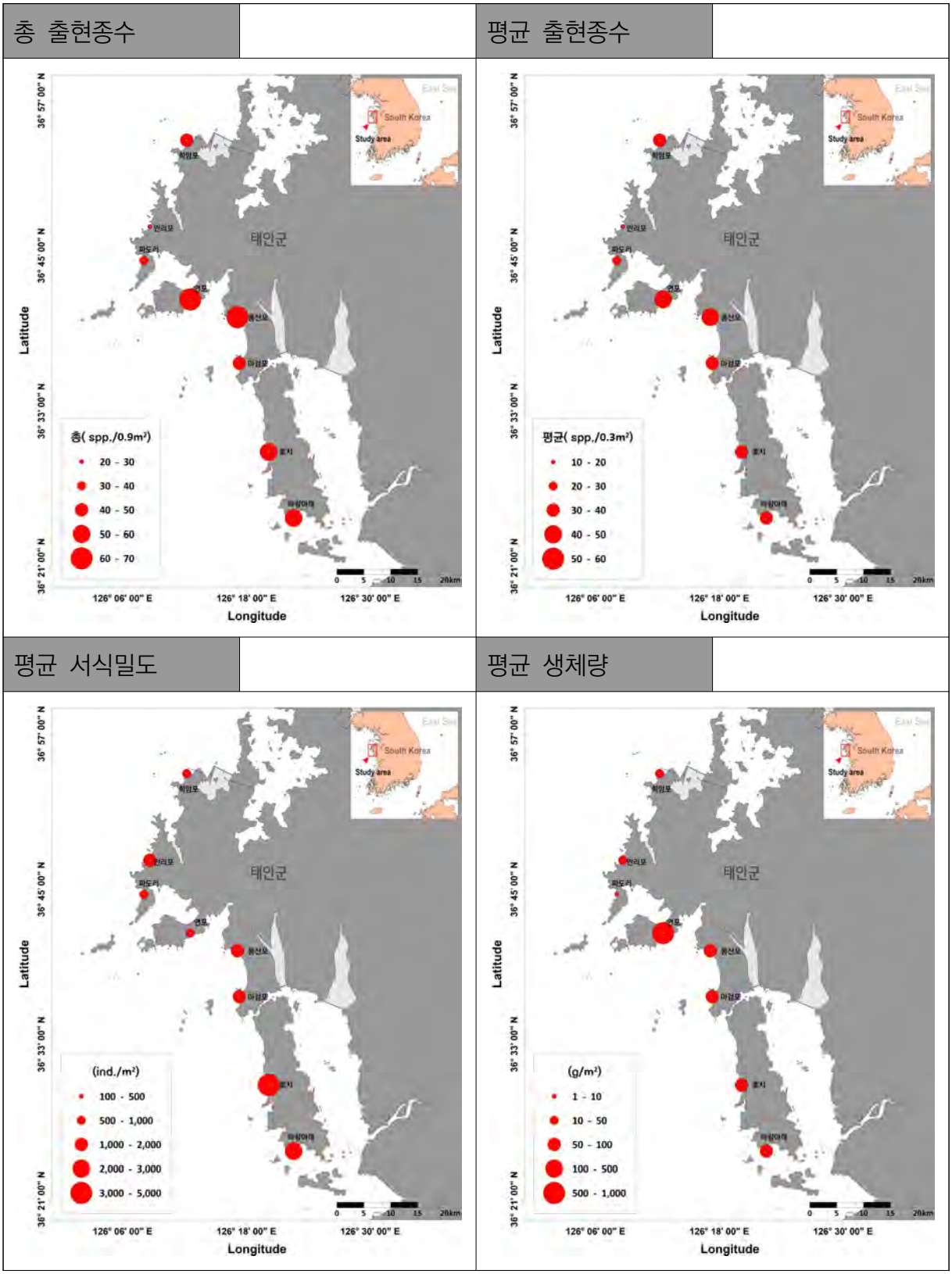


그림 Ⅱ-7-6. 조간대 저서무척추동물의 출현종수, 서식밀도, 생체량 공간 분포

(1) 학암포

- 총 47 종/0.6㎡, 평균 13 종/0.1㎡, 평균 997 개체/㎡, 14.8 g/㎡(표 II-7-4)
- 서식밀도는 하계에 상, 중, 하부에서 모두 두 배 가량 높은 수준(표 II-7-4, 그림 II-7-7)
- 생체량은 상부와 중부에서 추계에 더 높았음(표 II-7-4, 그림 II-7-7)

표 Ⅱ-7-4. 학암포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량

조위	출현종수(spp./0.1㎡)		서식밀도(개체/㎡)		생체량(g/㎡)	
	하계	추계	하계	추계	하계	추계
상부	7	9	850	380	1.5	12.6
중부	11	12	1,320	790	6.4	15.3
하부	21	18	1,850	790	29.6	23.4
평균	28	34	1,340±500	653±237	12.5±15.0	17.1±5.6
(spp./0.3㎡)	31±4		997±514		14.8±10.4	

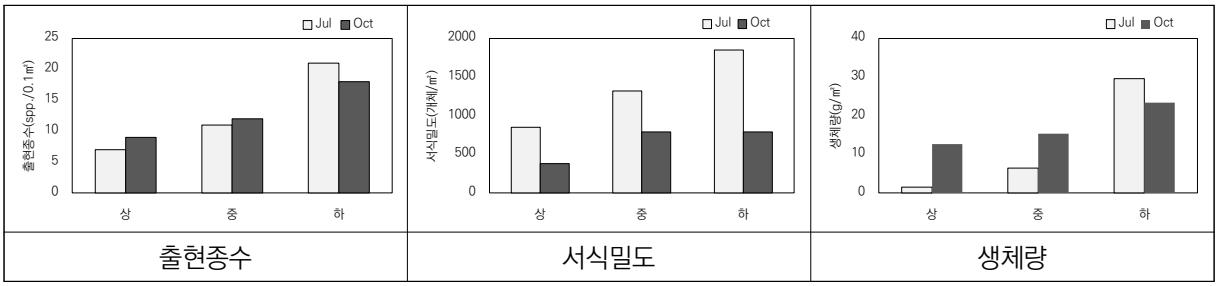


그림 Ⅱ-7-7. 학암포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교

(2) 만리포

- 총 24 종/0.6㎡, 평균 17 종/0.3㎡, 평균 1,143 개체/㎡, 10.5 g/㎡(표 II-7-5)
- 출현종수, 서식밀도, 생체량 모두 하계가 월등히 높은 수준(표 II-7-5, 그림 II-7-8)

표 Ⅱ-7-5. 만리포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량

조위	출현종수(spp./0.1㎡)		서식밀도(개체/㎡)		생체량(g/㎡)	
	하계	추계	하계	추계	하계	추계
상부	11	10	1,270	200	2.7	2.8
중부	9	6	3,540	300	30.0	2.7
하부	14	5	1,250	300	19.4	5.3
평균	20	13	2,020±1,316	267±58	17.4±13.7	3.6±1.4
(spp./0.3㎡)	17±5		1,143±1,272		10.5±11.5	

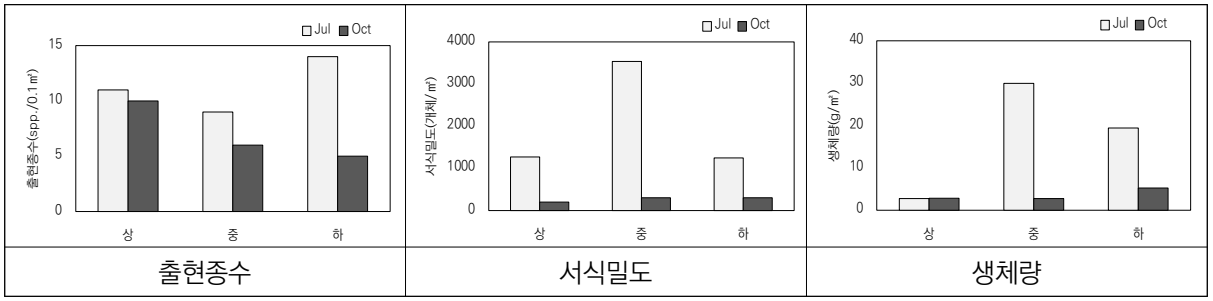


그림 Ⅱ-7-8. 만리포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교

(3) 파도리

- 총 35 종/0.6㎡, 평균 22 종/0.3㎡, 평균 627 개체/㎡, 4.1 g/㎡(표 Ⅱ-7-6)
- 출현종수, 서식밀도, 생체량은 모두 하계가 월등히 높은 수준(표 Ⅱ-7-6, 그림 Ⅱ-7-9)

표 Ⅱ-7-6. 파도리 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량

조위	출현종수(spp./0.1㎡)		서식밀도(개체/㎡)		생체량(g/㎡)	
	하계	추계	하계	추계	하계	추계
상부	4	5	40	100	0.0	0.7
중부	13	6	280	300	1.8	2.4
하부	17	12	2,470	570	13.9	5.8
평균	26	17	930±1,339	323±236	5.2±7.6	3.0±2.6
(spp./0.3㎡)	22±6		627±922		4.1±5.2	

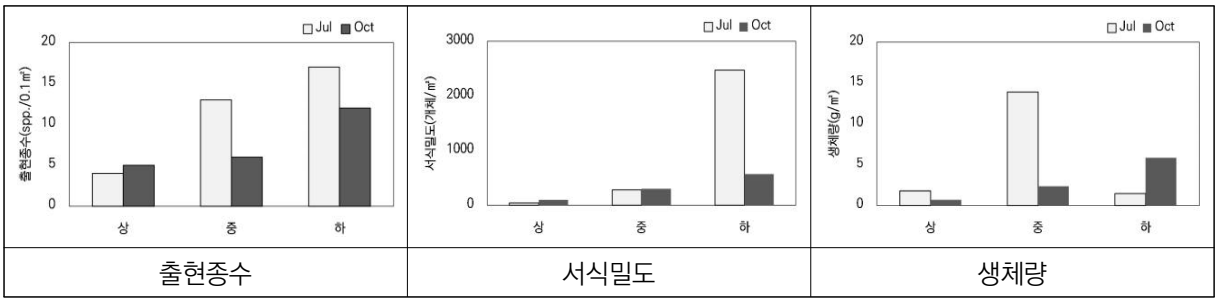


그림 Ⅱ-7-9. 파도리 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교

(4) 연포

- 총 63 종/0.6㎡, 평균 41 종/0.3㎡, 평균 698 개체/㎡, 854.1 g/㎡(표 II-7-7)
- 출현종수, 서식밀도, 생체량 모두 하계가 월등히 높은 수준(표 II-7-7, 그림 II-7-10)

표 Ⅱ-7-7. 연포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량

조위	출현종수(spp./0.1㎡)		서식밀도(개체/㎡)		생체량(g/㎡)	
	하계	추계	하계	추계	하계	추계
상부	8	4	200	150	1.5	2.0
중부	21	27	590	1,510	423.9	2,274.5
하부	25	25	580	1,160	658.4	1,764.7
평균	39	42	457±222	940±706	361.2±332.9	1,347.1±1,192.4
(spp./0.3㎡)	41±2		698±538		854.1±951.1	

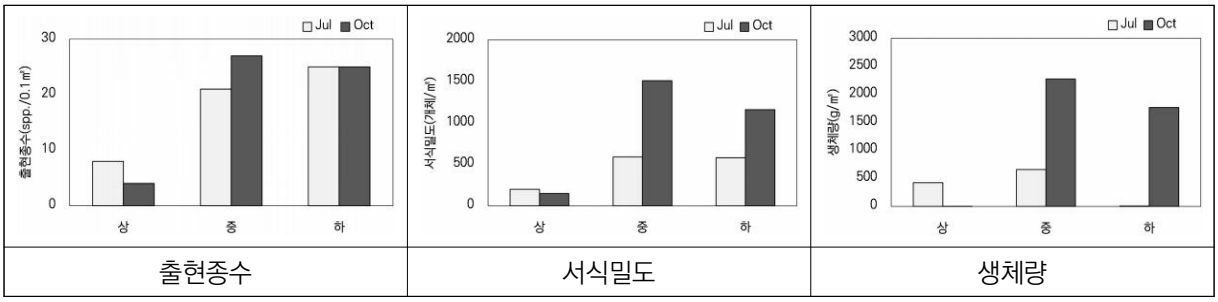


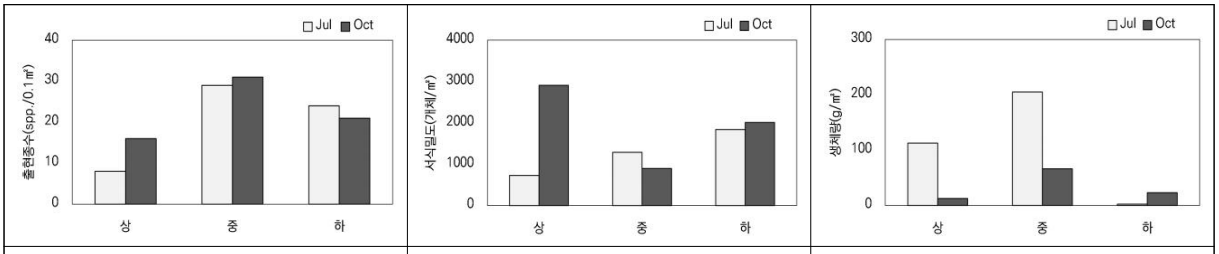
그림 Ⅱ-7-10. 연포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교

(5) 몽산포

- 총 60 종/0.6㎡, 평균 42 종/0.3㎡, 평균 1,613 개체/㎡, 71.2 g/㎡(표 II-7-8)
- 출현종수, 서식밀도, 생체량 모두 하계가 월등히 높은 수준(표 II-7-8, 그림 II-7-11)

표 Ⅱ-7-8. 몽산포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량

조위	출현종수(spp./0.1㎡)		서식밀도(개체/㎡)		생체량(g/㎡)	
	하계	추계	하계	추계	하계	추계
상부	8	16	730	2,910	7.0	12.8
중부	29	31	1,290	900	112.6	66.4
하부	24	21	1,840	2,010	205.1	23.2
평균	44	40	1,287±555	1,940±1,007	108.2±99.1	34.1±28.4
(spp./0.3㎡)	42±3		1,613±810		71.2±76.8	



출현종수	서식밀도	생체량

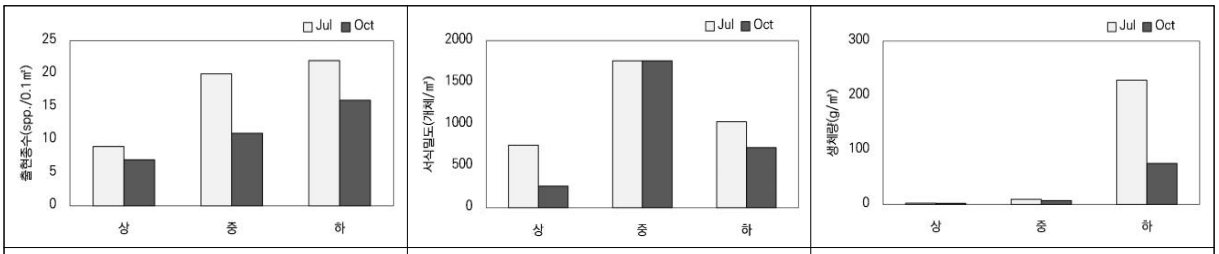
그림 Ⅱ-7-11. 몽산포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교

(6) 마검포

- 총 43 종/0.6㎡, 평균 14 종/0.1㎡, 평균 1,047 개체/㎡, 54.2 g/㎡(표 Ⅱ-7-9)
- 출현종수, 생체량은 하부로 갈수록 증가하는 경향, 서식밀도는 중부에서 가장 높음(표 Ⅱ-7-9, 그림 Ⅱ-7-12)

표 Ⅱ-7-9. 마검포 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 출현종수, 서식밀도, 생체량

조위	출현종수(spp./0.1㎡)		서식밀도(개체/㎡)		생체량(g/㎡)	
	하계	추계	하계	추계	하계	추계
상부	9	7	750	260	2.5	2.2
중부	20	11	1,760	1,760	9.7	7.1
하부	22	16	1,030	720	228.4	75.5
평균	33	29	1,180±521	913±768	80.2±128.4	28.3±41.0
(spp./0.3㎡)	31±3		1,047±605		54.2±89.9	



출현종수	서식밀도	생체량

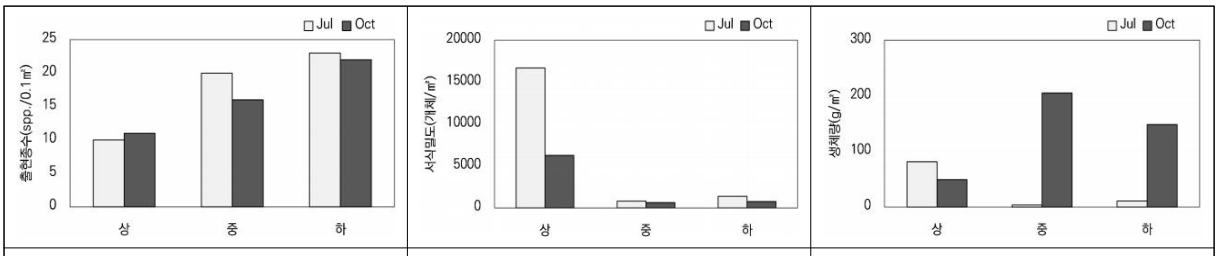
그림 Ⅱ-7-12. 마검포 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교

(7) 꽃지

- 총 52 종/0.6㎡, 평균 38 종/0.3㎡, 평균 4,417 개체/㎡, 83.1 g/㎡(표 II-7-10)
- 출현종수는 하부로 갈수록 증가, 서식밀도는 상부에서 가장 높은 경향, 생체량은 추계 중부와 하부에서 높은 경향(표 II-7-10, 그림 II-7-13)

표 Ⅱ-7-10. 꽃지 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 출현종수, 서식밀도, 생체량

조위	출현종수(spp./0.1㎡)		서식밀도(개체/㎡)		생체량(g/㎡)	
	하계	추계	하계	추계	하계	추계
상부	10	11	16,700	6,260	81.3	49.4
중부	20	16	790	630	3.5	205.2
하부	23	22	1,380	740	11.0	148.2
평균	38	38	6,290±9,020	2,543±3,219	31.9±43.0	134.3±78.8
(spp./0.3㎡)	38±0		4,417±6395		83.1±79.8	



출현종수 | 서식밀도 | 생체량

그림 Ⅱ-7-13. 꽃지 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교

(8) 바람아래

- 총 53 종/0.6㎡, 평균 38 종/0.3㎡, 평균 2,667 개체/㎡, 55.5 g/㎡(표 II-7-11)
- 중부에서 가장 높은 종다양성, 서식밀도, 생체량 값 관찰(표 II-7-11, 그림 II-7-14)

표 Ⅱ-7-11. 바람아래 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 출현종수, 서식밀도, 생체량

조위	출현종수(spp./0.1㎡)		서식밀도(개체/㎡)		생체량(g/㎡)	
	하계	추계	하계	추계	하계	추계
상부	18	11	2,690	1,500	69.6	38.3
중부	22	21	3,620	4,500	102.3	76.1
하부	15	15	2,100	1,590	31.6	15.3
평균	18	16	2,803±766	2,530±4	67.8±35.4	43.2±30.7
(spp./0.3㎡)	17±4		2,667±1193		55.5±32.5	

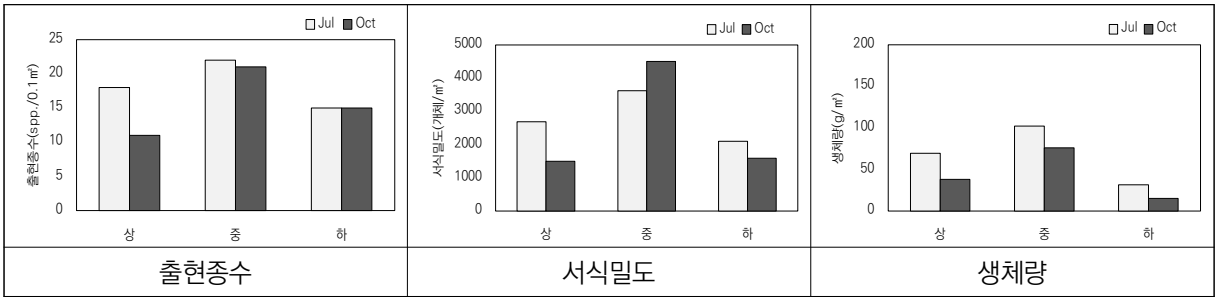


그림 Ⅱ-7-14. 바람아래 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 조위별 비교

다) 우점종

- 하계조사 서식밀도 기준 최우점종은 둥근선녀얼굴갯지렁이(*Pseudopolydora paucibranchiata*), 차우점종은 꼬마돌사리조개(*Felaniella sowerbyi*)로 조사(표 Ⅱ-7-12)
- 추계 역시 동일 종이 우점종으로 조사되었으나, 서식밀도는 절반 가량으로 감소한 수준(표 Ⅱ-7-13)
- 둥근선녀얼굴갯지렁이가 가장 많이 서식하는 곳은 꽃지 상부였으며, 하계에 15,220 개체/㎡로 출현하고, 추계에는 5,130 개체/㎡가 출현(그림 Ⅱ-7-15)
- 꼬마돌사리조개는 북부부터 남부 조간대까지 고르게 분포하고 있으며, 하계 만리포 중부에서 2,940 개체/㎡로 가장 높은 밀도를 보였으며, 바람아래 중부와 하부에서도 높은 밀도로 서식(그림 Ⅱ-7-15)
- 생체량 상위 10종은 대부분이 연체동물 이매패류로 바지락(*Ruditapes philippinarum*), 떡조개(*Dosinia japonica*), 민들조개(*Macridiscus aequilatera*) 등과 복족류 황해비단고둥(*Umbonium thomasi*)의 생체량이 비중이 높은 것으로 조사(표 Ⅱ-7-14~15)
- 하계와 추계 조사 모두 생체량 기준 최우점종은 바지락이었으며, 추계에 생체량이 크게 증가(그림 Ⅱ-7-16)

표 Ⅱ-7-12. 조간대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(하계)

순위	분류 코드	학명	국명	평균 서식밀도 (개체/㎡)	우점률 (%)	누적 우점률(%)
1	APol	*Pseudopolydora paucibranchiata*	둥근선녀얼굴갯지렁이	652	32.0	32.0
2	MBi	*Felaniella sowerbyi*	꼬마돌사리조개	458	22.5	54.5
3	CAm	*Haustorioides indivisus*	한꼬리모래옆새우	158	7.7	62.2
4	CAm	*Urothoe convexa*	볼록손모래무지옆새우사촌	151	7.4	69.6
5	MGs	*Umbonium thomasi*	황해비단고둥	78	3.8	73.4
6	CDB	*Scopimera globosa*	엽낭게	48	2.4	75.8
7	CAm	*Eohaustorius spinigerus*	가시발모래무지옆새우	43	2.1	77.9
8	APol	*Thoracophelia dillonensis*	요정갯지렁이류	36	1.8	79.6
9	CAm	*Eohaustorius setulosus*	털보모래무지옆새우	25	1.2	80.9
10	CIs	*Gnorimosphaeroma ovatum*	개펄잔벌레	23	1.1	82.0

표 Ⅱ-7-13. 조간대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(추계)

순위	분류코드	학명	국명	평균 서식밀도 (개체/㎡)	우점률 (%)	누적 우점률 (%)
1	APol	*Pseudopolydora paucibranchiata*	둥근선녀얼굴갯지렁이	280	22.2	22.2
2	MBi	*Felaniella sowerbyi*	꼬마돌사리조개	217	17.1	39.3
3	CAm	*Urothoe convexa*	볼록손모래무지옆새우사촌	99	7.8	47.2
4	CAm	*Eohaustorius spinigerus*	가시발모래무지옆새우	84	6.7	53.8
5	MBi	*Ruditapes philippinarum*	바지락	61	4.8	58.7
6	CAm	*Eohaustorius setulosus*	털보모래무지옆새우	58	4.6	63.2
7	APol	*Armandia lanceolata*	침보석요정갯지렁이	50	4.0	67.2
8	MGs	*Umbonium thomasi*	황해비단고둥	43	3.4	70.6
9	APol	*Thoracophelia dillonensis*	요정갯지렁이류	35	2.8	73.4
10	CDB	*Scopimera globosa*	엽낭게	30	2.4	75.8

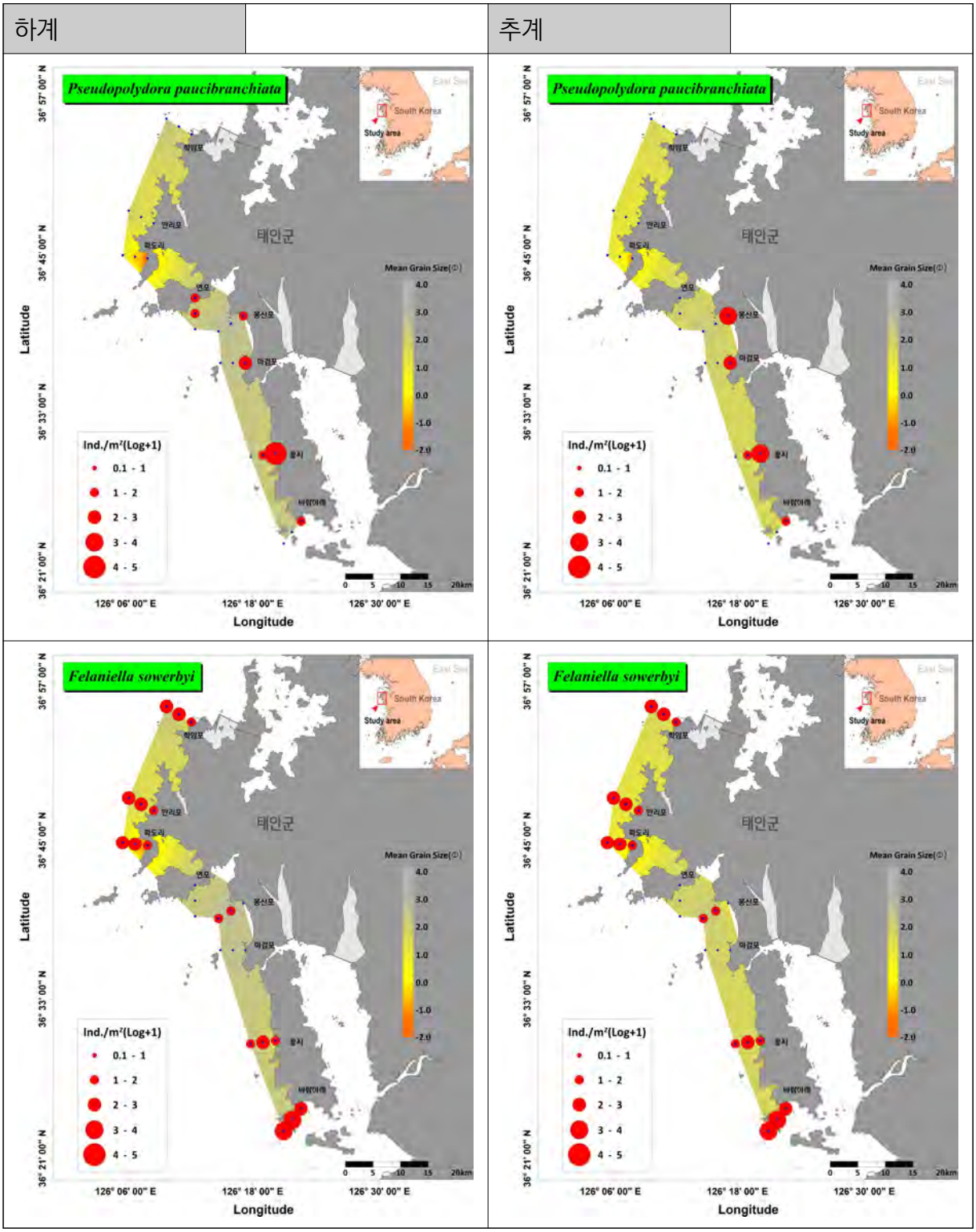


그림 Ⅱ-7-15. 조간대 저서무척추동물 서식밀도 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포

표 Ⅱ-7-14. 조간대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(하계)

순위	분류 코드	학명	국명	평균 생체량 (g/㎡)	우점률 (%)	누적 우점률(%)
1	MBi	*Ruditapes philippinarum*	바지락	29.4	14.6	14.6
2	MBi	*Dosinia japonica*	떡조개	27.1	13.5	28.1
3	MGs	*Umbonium thomasi*	황해비단고둥	4.8	2.4	30.5
4	MBi	*Mactra chinensis*	개량조개	4.4	2.2	32.6
5	MBi	*Felaniella sowerbyi*	꼬마돌사리조개	4.3	2.1	34.8
6	MBi	*Macridiscus aequilatera*	민들조개	3.1	1.5	36.3
7	CDB	*Scopimera globosa*	엽낭게	1.7	0.9	37.1
8	MBi	*Meretrix petechialis*	말백합	1.7	0.9	38.0
9	Others	*Diadumene lineata*	담황줄말미잘	1.0	0.5	38.5
10	MBi	*Jitlada culter*	민띠접시조개	0.6	0.3	38.8

표 Ⅱ-7-15. 조간대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(추계)

순위	분류 코드	학명	국명	평균 생체량 (g/㎡)	우점률 (%)	누적 우점률(%)
1	MBi	*Ruditapes philippinarum*	바지락	164.0	81.5	81.5
2	MBi	*Macridiscus aequilatera*	민들조개	8.2	4.1	85.6
3	MBi	*Mactra chinensis*	개량조개	5.6	2.8	88.3
4	MGs	*Umbonium thomasi*	황해비단고둥	4.2	2.1	90.4
5	CDB	*Scopimera globosa*	엽낭게	2.9	1.4	91.9
6	MBi	*Solen grandis*	대맛조개	2.6	1.3	93.2
7	MBi	*Felaniella sowerbyi*	꼬마돌사리조개	2.6	1.3	94.5
8	APol	*Lumbrineris japonica*	참송곳갯지렁이	1.2	0.6	95.1
9	CDB	*Macrophthalmus abbreviatus*	길게	1.0	0.5	95.6
10	APol	Terebellidae spp.	유령갯지렁이류	0.8	0.4	96.0

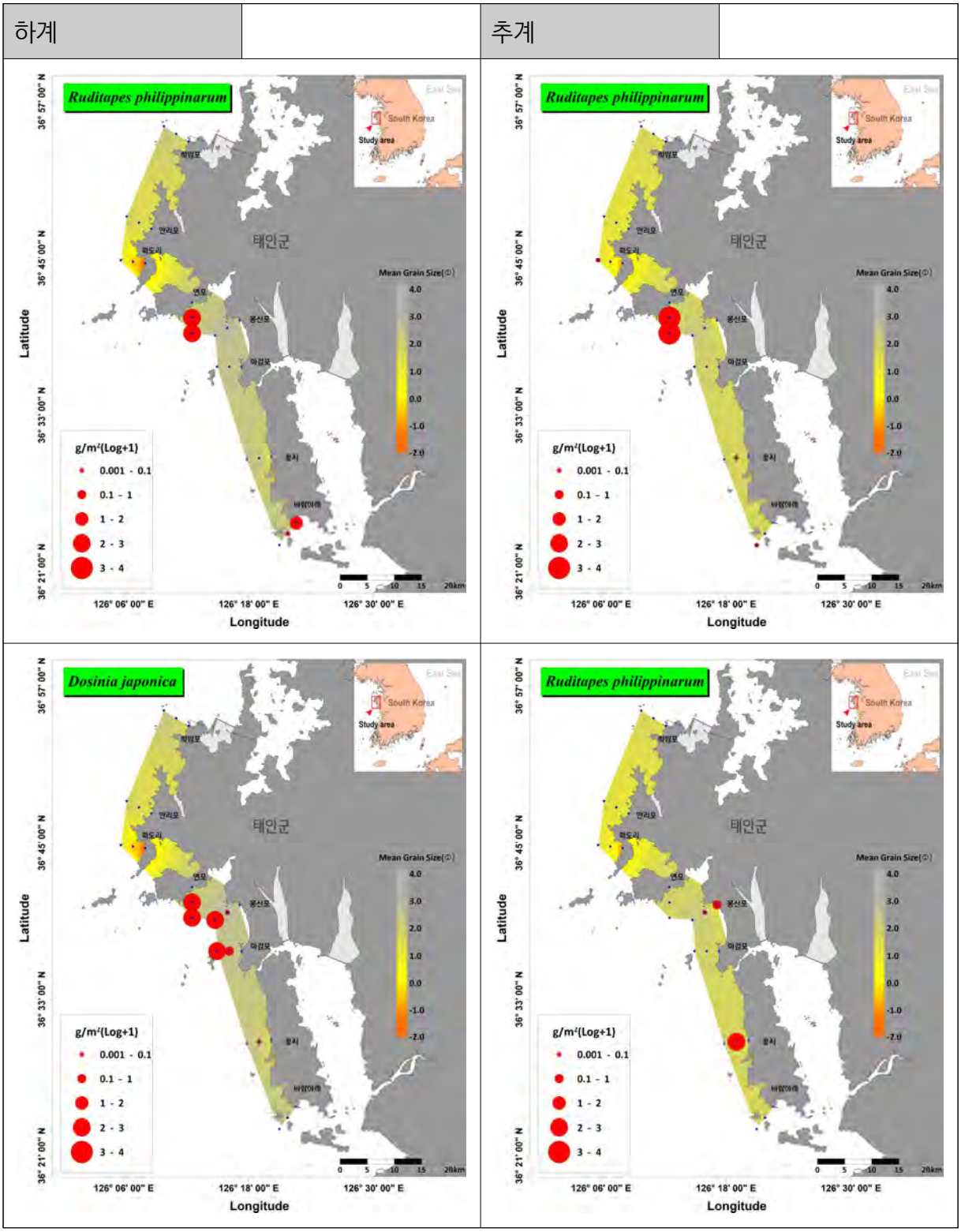


그림 Ⅱ-7-16. 조간대 저서무척추동물 생체량 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포

라) 생태군집지수

(1) 종 다양성 지수

- 종 다양도는 추계 몽산포 중부에서 최고 값을, 하계 꽃지 상부에서 최저 값을 기록하고, 추계보다 하계에 높은 경향(표 II-7-16, 그림 II-7-17)

(2) 종 균등도 지수

- 종 균등도는 하계 파도리 상부에서 1로 최고 값을, 하계 꽃지 상부에서 최저 값을 기록하고, 하계와 추계는 비슷한 수준(표 II-7-16, 그림 II-7-17)

(3) 종 풍부도 지수

- 종 풍부도는 추계 몽산포 중부에서 최고 값을, 추계 연포 상부에서 최저 값을 기록하고, 추계보다 하계에 높은 경향(표 II-7-16, 그림 II-7-17)

표 Ⅱ-7-16. 조간대 저서무척추동물 군집의 생태지수

조사지역	조위	종 다양성 지수(H')		종 균등도 지수(J')		종 풍부도 지수(RI)	
		하계	추계	하계	추계	하계	추계
학암포	상부	1.15	1.57	0.59	0.71	1.35	2.20
	중부	1.39	1.50	0.58	0.60	2.05	2.52
	하부	1.63	1.74	0.53	0.60	3.83	3.89
만리포	상부	0.98	1.93	0.41	0.84	2.06	3.00
	중부	0.70	1.21	0.32	0.68	1.36	1.47
	하부	1.79	1.38	0.68	0.86	2.69	1.18
파도리	상부	1.39	1.51	1.00	0.94	2.16	1.74
	중부	2.33	1.28	0.91	0.71	3.60	1.47
	하부	1.14	1.57	0.40	0.63	2.90	2.72
연포	상부	1.71	1.08	0.82	0.78	2.34	1.11
	중부	2.37	1.87	0.78	0.57	4.91	5.18
	하부	2.75	2.17	0.86	0.67	5.91	5.05
몽산포	상부	1.12	1.54	0.54	0.56	1.63	2.64
	중부	2.85	2.98	0.85	0.87	5.76	6.67
	하부	2.22	1.48	0.70	0.49	4.41	3.77
마검포	상부	1.69	1.54	0.77	0.79	1.85	1.84
	중부	1.90	0.73	0.63	0.30	3.68	1.93
	하부	2.47	2.13	0.80	0.77	4.53	3.51
꽃지	상부	0.43	0.74	0.19	0.31	1.21	1.55
	중부	2.35	2.15	0.78	0.78	4.35	3.62
	하부	2.48	2.77	0.79	0.90	4.47	4.88
바람아래	상부	1.89	1.53	0.65	0.64	3.04	2.00
	중부	1.46	1.65	0.47	0.54	3.56	3.27
	하부	1.12	1.30	0.41	0.48	2.62	2.76
평균		1.72±0.65	1.64±0.53	0.64±0.20	0.67±0.17	3.18±1.38	2.92±1.44

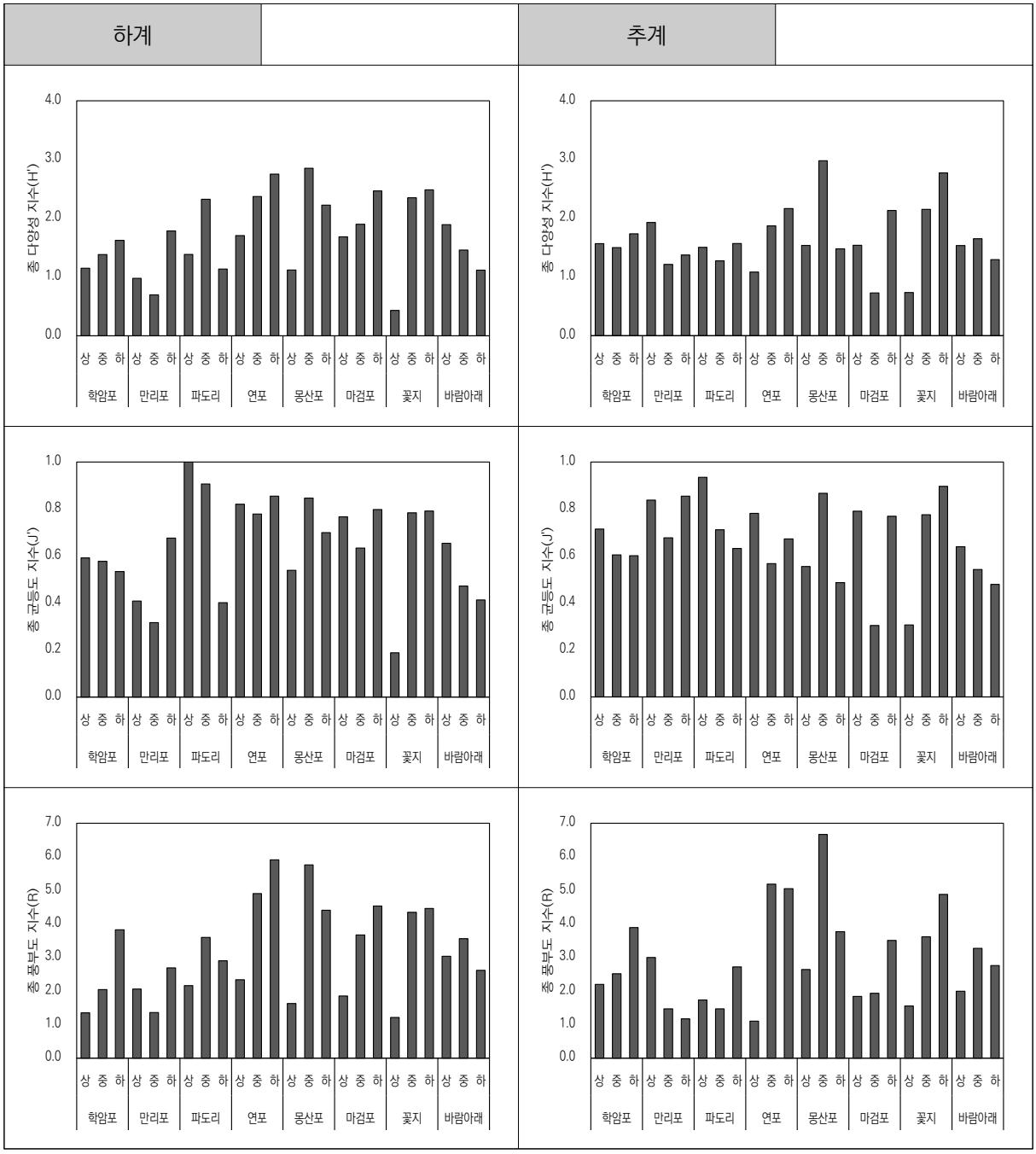


그림 Ⅱ-7-17. 조간대 저서무척추동물 군집의 생태지수 비교

마) 군집분석

(1) 군집분석

- 지역과 조위에 따라 유사도 25% 수준에서 4개의 군집으로 구분(그림 II-7-18~19)
- 가장 큰 군집은 군집 D로 학암포~파도리, 꽃지, 바람아래 지역이 같은 군집으로 구분되고 군집 내에서는 조위 별로 구분(그림 II-7-18)
- 다음으로 큰 군집은 연포, 몽산포, 마검포로 구분된 정점군이고, 학암포와 연포 상부 군집이 군집 A로, 파도리 상부 군집이 독립된 군집으로 구분(그림 II-7-18~20)

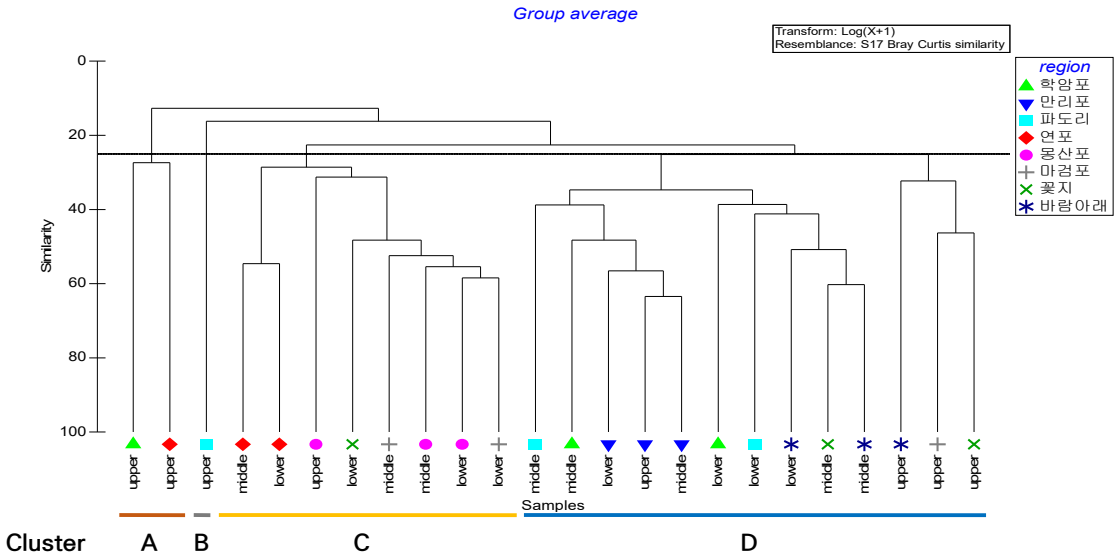


그림 Ⅱ-7-18. 조간대 저서무척추동물 군집 집괴분석 결과(계절통합)

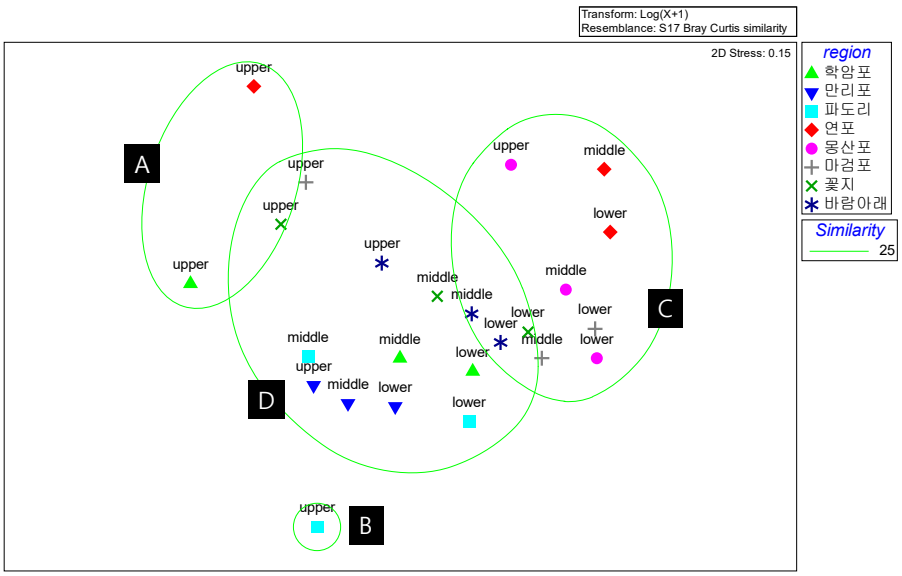


그림 Ⅱ-7-19. 조간대 저서무척추동물 군집 다차원척도법 분석 결과(계절통합)

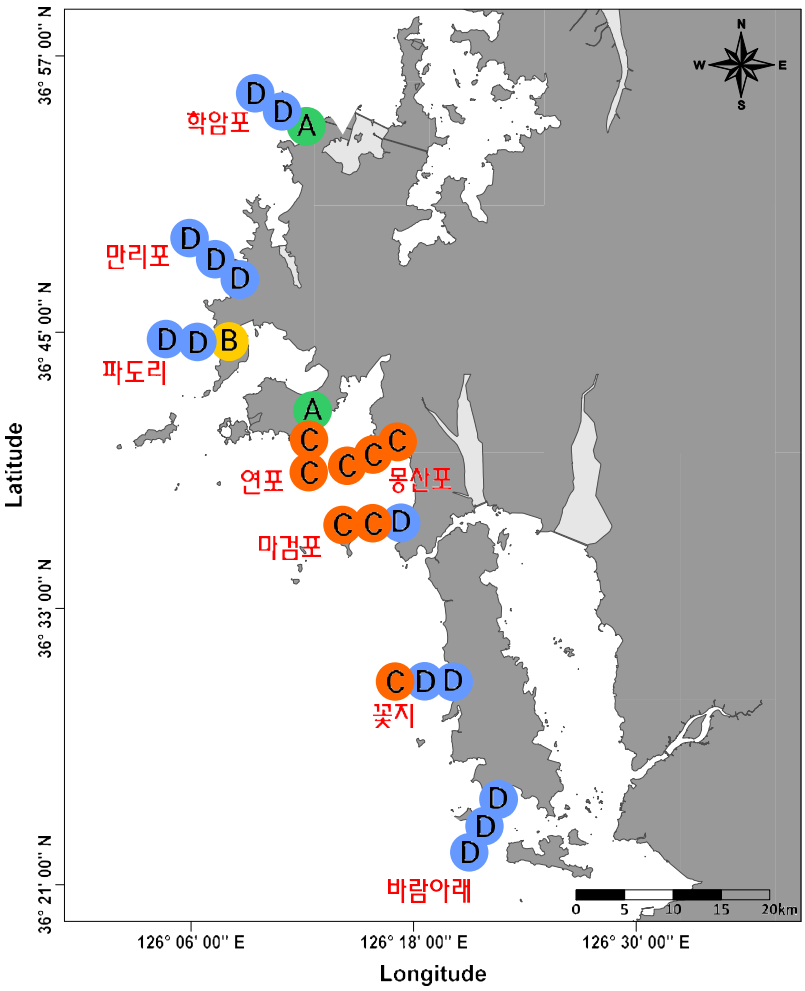


그림 Ⅱ-7-20. 조간대 저서무척추동물 군집 공간 분포도

- 시기별로는 4~5개의 군집으로 구분되었으며, 조위에 따라 상부와 중·하부가 구분되는 경향(그림 II-7-21)
- 파도리 상부는 두 시기 모두 독립된 군집으로 구분되었으며, 연포 중, 하부가 추계에 다른 지역과 구분(그림 II-7-21)

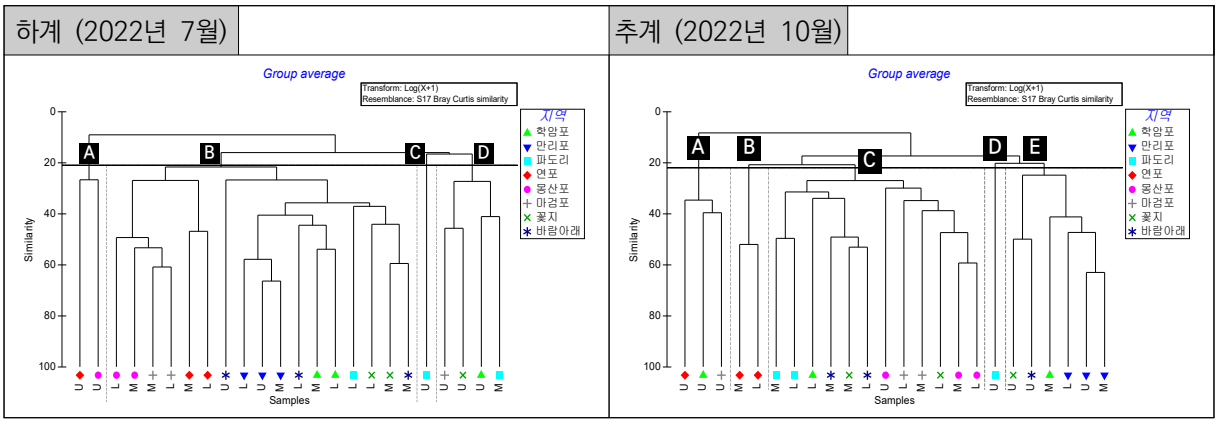


그림 Ⅱ-7-21. 조하대 저서무척추동물 군집 조사시기별 집괴분석 결과

(2) 군집 특성

- 정점군 A는 파도리 상부 군집인 정점군 B를 제외하고, 종 다양성, 서식밀도, 생체량이 가장 낮음(표 II-7-17)
- 정점군 C는 출현종수와 생체량이 가장 높은 군집이었으며, 입도가 2.5∅로 가장 세립한 환경이었음. 매끈백금갯지렁이(*Nephtys californiensis*), 혹달걀얼굴갯지렁이(*Spio filicornis*)가 군집 주요 기여종으로 분석(표 II-7-17)
- 정점군 D는 가장 많은 정점이 포함된 군집으로 평균 서식밀도가 군집 중에서 가장 높았음(표 II-7-17)
- 군집을 구분 짓는 주요 기여종은 꼬마돌사리조개(*Felaniella sowerbyi*), 볼록손모래무지옆새우사촌(*Urothoe convexa*), 한꼬리모래옆새우(*Haustorioides indivisus*)로 분석(표 II-7-17)

표 Ⅱ-7-17. 조간대 저서무척추동물 군집의 다변량 분석에 따른 각 정점군별 군집 특성

정점군	정점군 A	정점군 B	정점군 C	정점군 D
정점	학암포(상부), 연포(상부)	파도리(상부)	연포(중/하부), 몽산포(상/중/하부), 마검포(중/하부), 꽃지(하부)	학암포(중/하부), 만리포(상/중/하부), 파도리(중/하부), 마검포(상부), 꽃지(상/중부), 바람아래(상/중/하부)
평균 출현종수 (/0.1㎡)	7±2	5±1	21±6	13±5
평균 서식밀도 (개체/㎡)	395±319	70±42	1,307±638	2,178±3,317
평균 생체량 (g/㎡)	4.4±5.5	0.4±0.5	376.8±671.8	32.3±45.2
입도(∅)	1.9±0.4	-1.3±0.3	2.5±0.4	1.9±0.4
분급도(∅)	0.6±0.1	1.4±0.0	0.6±0.3	0.7±0.4
IL(%)	0.8±0.2	0.5±0.3	1.3±0.4	0.9±0.4
기여종 (개체/㎡, %)	*Excirolana chiltoni* (7.0%)	-	*Nephtys californiensis* (10.4%)	*Felaniella sowerbyi* (24.1%)
	Haustorioides nesogenes (6.6%)	-	*Spio filicornis* (9.9%)	*Urothoe convexa* (12.5%)
	Haustorioides indivisus (6.0%)	-	*Urothoe convexa* (8.7%)	*Haustorioides indivisus* (9.7%)

바) 환경요인과의 상관성

- 공극수 수온, 염분, 용존산소(DO), 퇴적물 입도, 분급도, 강열감량(IL)을 분석에 이용
- 조간대 저서무척추동물 군집과 가장 상관성 높은 환경요인은 입도, 강열감량, 수온의 복합요인이었으며, 단일변수는 입도가 가장 높은 상관성을 나타냄(표 II-7-18)

표 Ⅱ-7-18. 조간대 저서무척추동물 군집 분포와 환경요인과의 상관관계

순위	조합변수		단일변수	
	상관계수	환경요인	상관계수	환경요인
1	0.272	입도, 강열감량, 수온	0.250	입도
2	0.270	입도, 강열감량, 용존산소	0.144	강열감량
3	0.263	입도, 강열감량	0.138	용존산소

사) 저서생태계 건강성

- 조간대 저서생태계 건강도의 종합평가 결과는 2등급(매우좋음) 부터 7등급(매우나쁨)까지 다양하게 나타났고 종합평가는 5등급(보통)에 해당(표 II-7-19)
- 파도리를 기준으로 파도리 이북은 '보통'이하, 연포 이남은 대체로 '보통'이상의 공간분포를 나타냄(그림 II-7-22)

표 Ⅱ-7-19. 조간대 저서생태계 건강도 평가 결과

평가지수	지역	학암포			만리포			파도리			연포			몽산포			마검포			꽃지			바람아래		
	정선	L1			L2			L3			L4			L5			L6			L7			L8		
	조위	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
KBQI	7	5	5	6	5	7	6	5	6	6	4	2	2	6	6	3	4	3	4	4	5	5	5	5	6
	10	5	6	6	5	7	7	6	7	7	6	5	3	4	6	7	4	3	5	3	6	3	5	5	6
	평균	5	6	6	5	7	7	6	7	7	5	4	3	5	6	5	4	3	5	4	6	4	5	5	6
ISEP	7	6	5	5	7	7	6	6	4	7	2	3	3	1	5	3	5	7	3	6	4	5	4	6	5
	10	5	5	5	5	7	3	3	3	6	5	2	1	4	4	7	5	7	3	7	2	2	2	5	6
	평균	6	5	5	6	7	5	5	4	7	4	3	2	3	5	5	5	7	3	7	3	4	3	6	6
종합등급 (전체 평균)		5	5	6	6	7	6	5	5	7	4	3	2	4	5	5	5	5	4	5	4	4	4	5	6

기준등급	1	2	3	4	5	6	7
평가	매우 좋음			좋음	보통	나쁨	매우 나쁨

- 연포는 종합평가 2등급(매우좋음)에서 4등급(좋음)의 분포를 나타내어, 조사 대상 조간대 중 가장 건강도가 양호한 것으로 분석됨(표 II-7-19)
- 높은 출현 종 수(시기별 평균 41종/0.3㎡)와 더불어 바지락(*Ruditapes philippinarum*), 떡조개(*Dosinia japonica*)등 대형종 출현으로 KBQI 및 ISEP 에서 높은 평가를 받음(표 II-7-19)
- 반면 만리포는 조사 대상 조간대 중 가장 낮은 출현 종 수(시기별 평균 17종/0.3㎡)와, 꼬마돌사리조개(*Felaniella sowerbyi*), 한꼬리모래옆새우(*Haustorioides indivisus*)등이 서식밀도에서 크게 우점함으로써 종합평가 6등급(나쁨)에서 7등급(매우나쁨)의 낮은 건강도로 평가됨(표 II-7-19)

- 파도리 이북 지역에 비해 양호하게 평가된 연포 이남지역의 건강도는 비교적 다양한 종이 출현한 것에 기인함(지역별 평균 출현 종 수 파도리 이북: 17~31 종/0.3㎡, 연포 이남 31~42 종/0.3㎡)

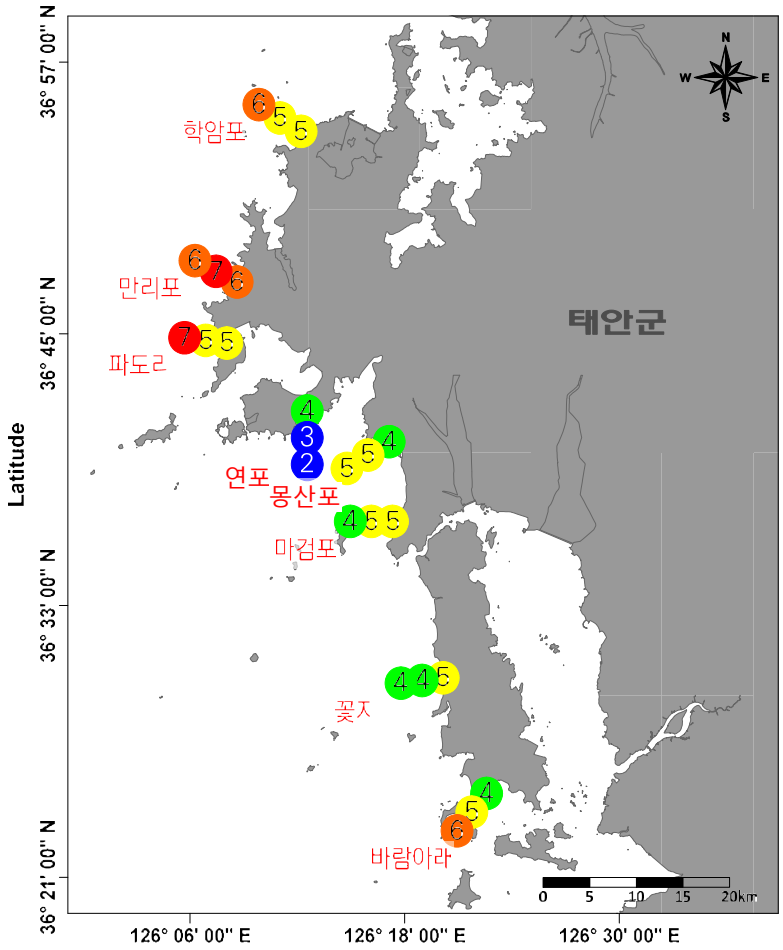


그림 Ⅱ-7-22. 조간대 저서생태계 건강도 종합 평가 분포도

- 꼬마돌사리조개, 볼록손모래무지옆새우(*Urothoe convexa*), 한꼬리모래옆새우(*Haustorioides indivisus*) 등이 밀도 높게 출현한 지역은 ISEP에서 대체로 낮은 평가를 받았으나(표 Ⅱ-7-19), 이들 종의 출현이 유기물 및 기타 오염에 의한 교란 징후로 판단되지 않음
- 꽃지 상부에서 매우 높은 밀도로 출현한 둥근선녀얼굴갯지렁이(*Pseudopolydora paucibranchiata*)는 해당 지역의 낮은 ISEP 평가에 기여했고 유기물 오염지시종으로 알려져있으나, 본 연구의 유기물함량 조사 결과 에서 상부의 유기물 오염 징후는 발견되지 않았음(평균 IL 0.6%)

아) 선행연구와의 비교

(1) 장기모니터링 조사 결과

- 유류유출 사고 이후, 8개의 조간대에서 저서무척추동물 군집의 변동 추세를 파악
- 출현종수는 만리포, 파도리, 바람아래를 제외하고 전반적으로 점진적으로 증가하였으며, 이러한 경향은 학암포에서 가장 뚜렷함(표 II-7-23)

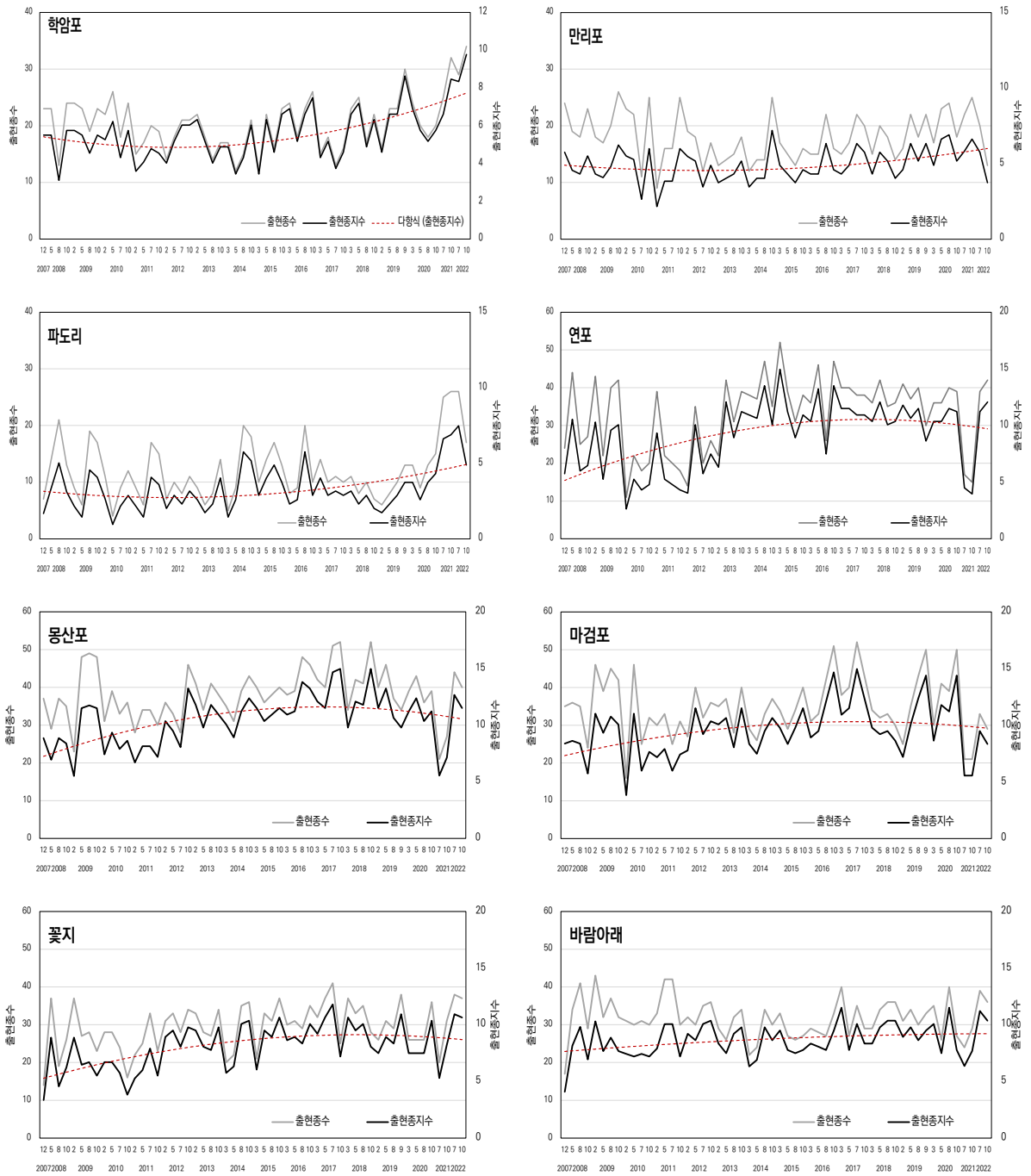


그림 Ⅱ-7-23. 조간대 저서무척추동물 군집의 출현종수 장기 변동

- 서식밀도는 모든 조사 지역에서 증가하였다가, 2017년을 전 후로 안정화되거나 감소하는 추세가 관찰(그림 II-7-24)
- 이러한 감소 경향은 연포, 몽산포, 마검포, 꽃지, 바람아래에서 뚜렷(그림 II-7-24)

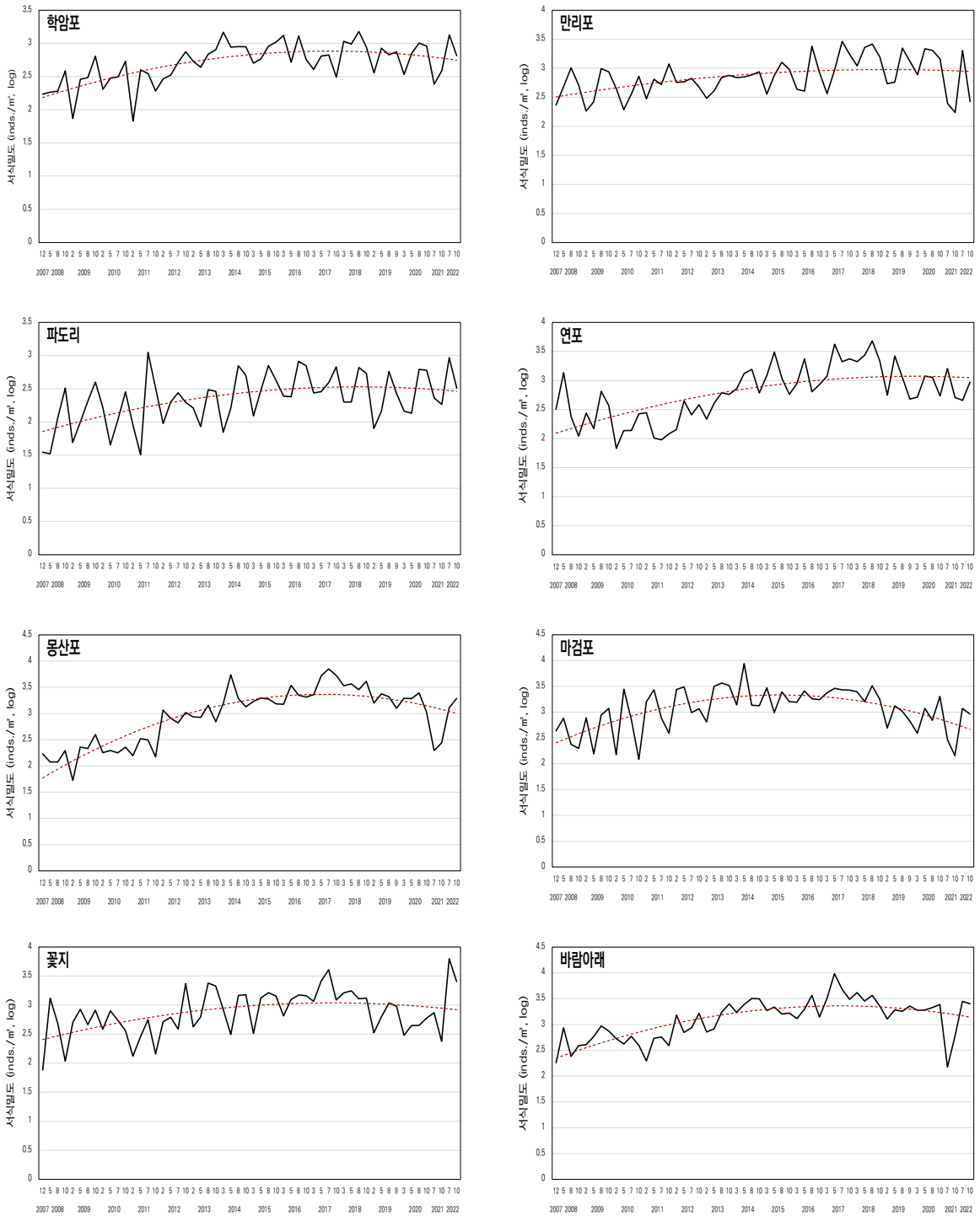


그림 Ⅱ-7-24. 조간대 저서무척추동물 군집의 서식밀도 장기 변동

- 생체량은 사고 초기 급격히 감소하는 현상이 사고 해역 북부에 위치한 학암포~연포 지역에서 관찰(그림 II-7-25)
- 이러한 감소 추세는 2012년 초봄까지 이어졌으며, 2012년 이후로 큰 폭으로 상승하여 일정 수준을 유지하거나 증가하고 있음(그림 II-7-25)
- 파도리의 경우, 2017년을 기점으로 크게 감소하였으나 2021년 큰 폭으로 증가한 이후로 일정 수준을 유지(그림 II-7-25)
- 꽃지는 사고 초기 감소하는 추세가 관찰되기는 했으나 몽산포와 함께 점진적으로 증가하는 추세가 관찰되었으며, 바람아래와 마검포는 2013년 이후부터 감소하는 추세를 나타냄(그림 II-7-25)

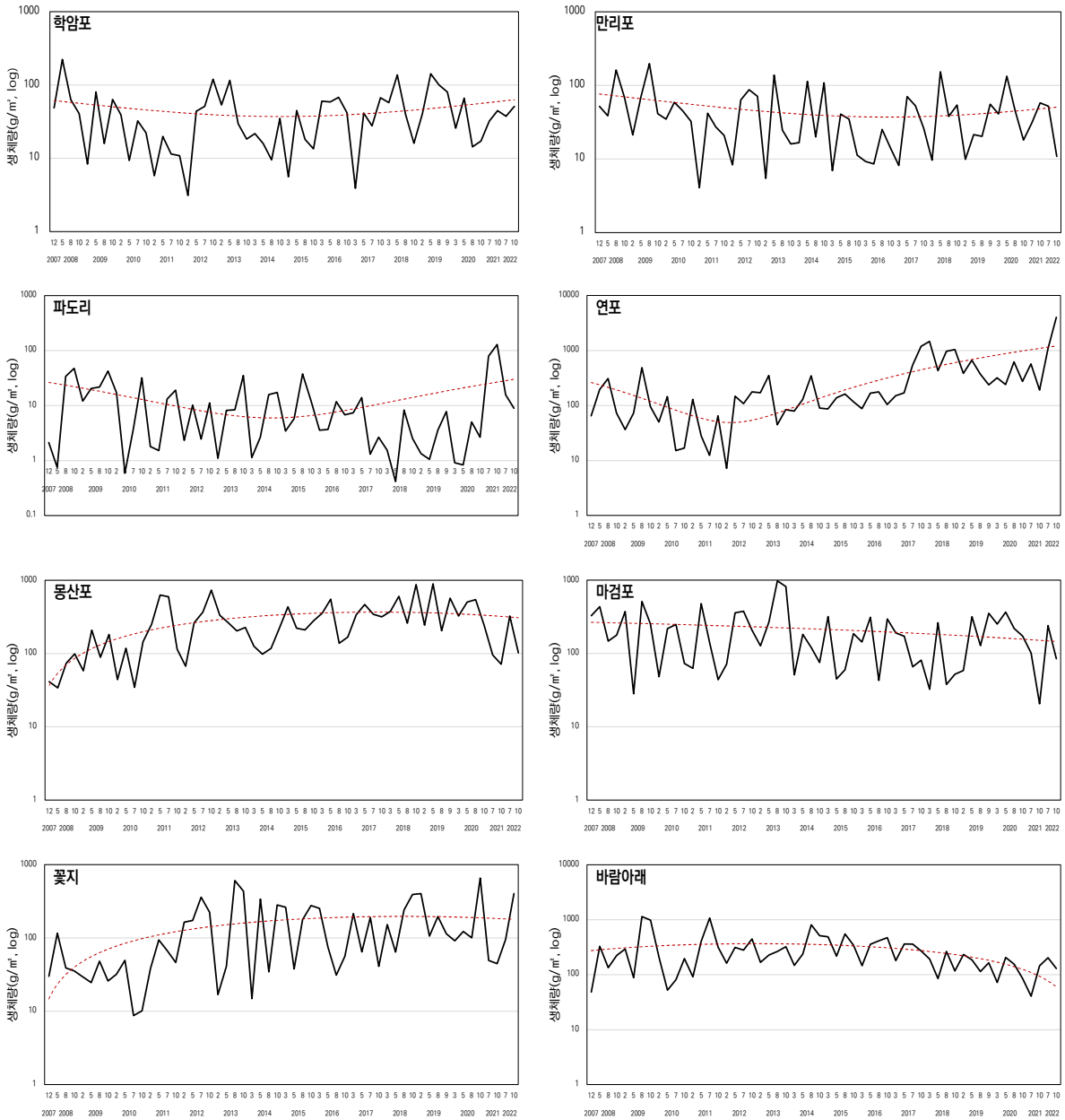


그림 II-7-25. 조간대 저서무척추동물 군집의 생체량 장기 변동

(2) 타 연구 결과와 비교

- 태안 해역 조간대에서 조사가 이루어진 연안습지기초조사(해양수산부, 2010; 2011)와 국가해양생태계종합조사(해양수산부, 2017)를 본 조사 결과와 비교하였음
- 북부 해역에서 출현종수는 유사한 수준, 본 조사 시 서식밀도는 추계에 크게 감소하고, 생체량은 2011년에 비해 두 시기 모두 절반 수준으로 감소(그림 II-7-26)
- 남부 해역의 출현종수, 서식밀도, 생체량은 과거 조사 시와 유사한 수준(그림 II-7-26)

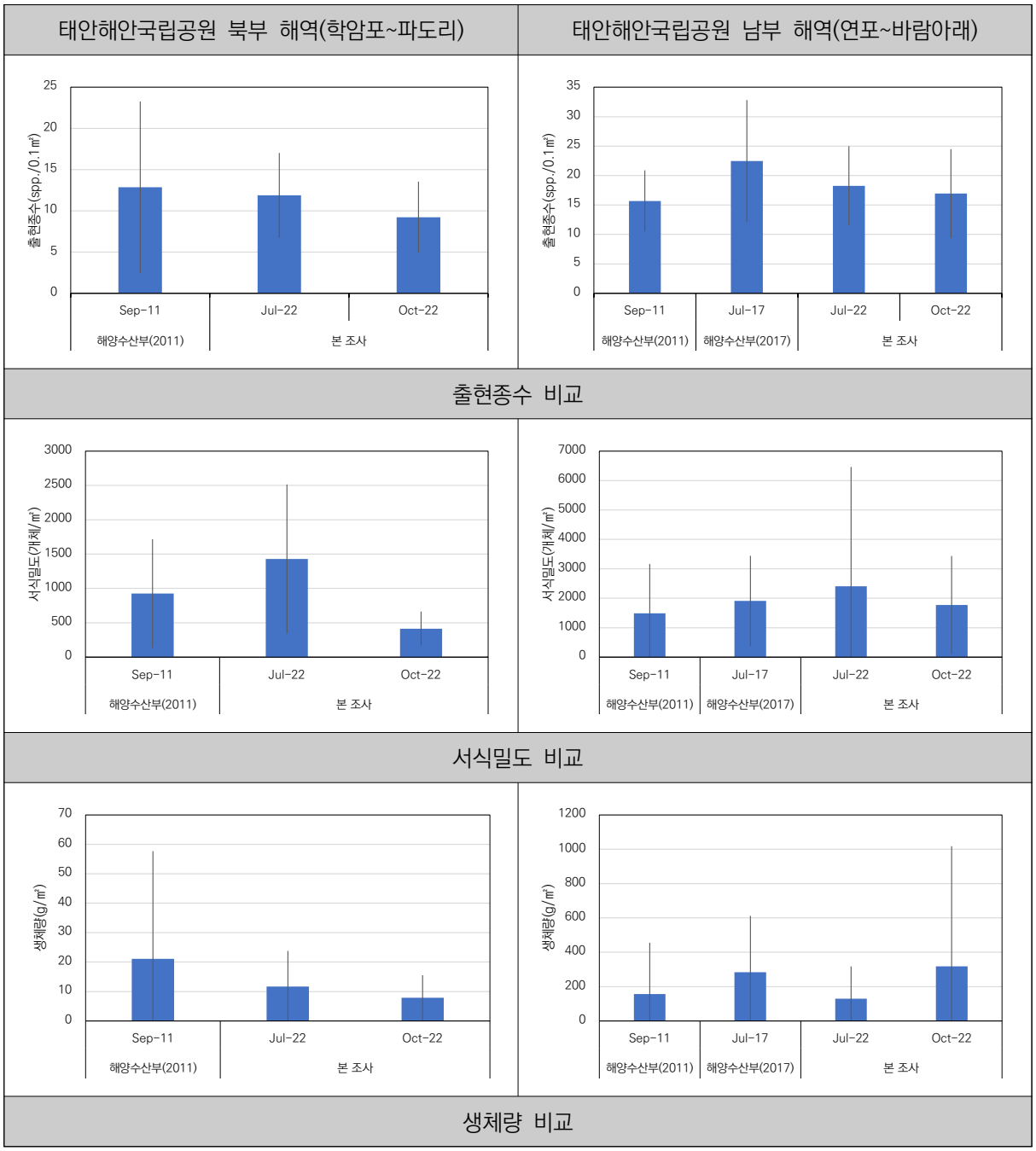


그림 Ⅱ-7-26. 조간대 저서무척추동물 군집의 출현종수, 서식밀도, 생체량 선행 연구와의 비교

나. 조하대 저서무척추동물

1) 서론

가) 배경

- 허베이 스피리트호 유류유출 사고로 인한 해양생태계의 영향을 파악하기 위하여 태안해안국립공원 조하대 저서무척추동물 군집을 대상으로 2008년부터 장기모니터링 조사 수행

나) 연구목적

- 태안해안국립공원의 보전 및 관리를 위한 저서무척추동물 현황 파악
- 유류유출 사고 이후 저서무척추동물 군집의 시·공간적 변화 양상 파악

2) 조사내용 및 방법

가) 조사기간

- 2022년 2월 ~ 10월(연 4회)(표 Ⅱ-7-20)

표 Ⅱ-7-20. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 조사지역

회차	조사기간	조사지역
1 (동계)	2022. 2. 24. ~ 25.	태안해안국립공원 조하대 (정점 1-15)
2 (춘계)	2022. 4. 28. ~ 29.	
3 (하계)	2022. 7. 5. ~ 6.	
4 (추계)	2022. 10. 6. / 2022. 10. 25.	

나) 조사지역

- 태안해안국립공원 일대 조하대 15개 정점(그림 Ⅱ-7-27)

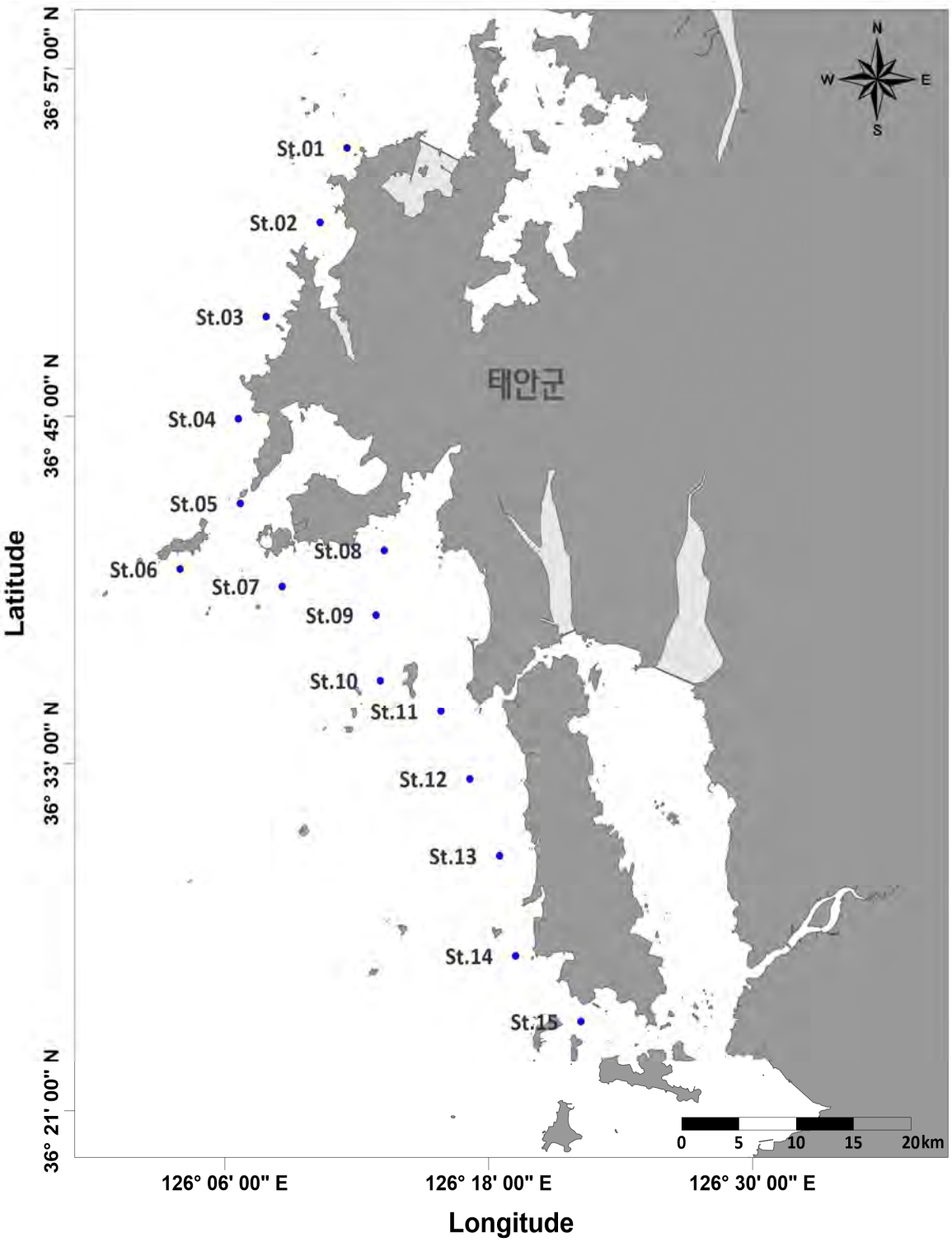


그림 Ⅱ-7-27. 조하대 저서무척추동물 조사 정점도

다) 조사방법

(1) 시료채집

- 시료의 채집은 van Veen grab(표면적 0.1 ㎡)을 이용하여 각 정점별로 채집면적이 총 0.1 ㎡이 되도록 퇴적물을 채취
- 채집된 퇴적물은 선상에서 망목크기 1.0 ㎜의 표준체로 습식 체질한 후 10% 중성 포르말린으로 고정하고 실험실로 운반

(2) 분석방법

- 실험실로 운반된 시료는 선별과정을 거쳐 종 수준까지 동정 실시
- 각 종별 개체수와 습중량을 측정하고, 단위면적당 평균 서식밀도(개체/㎡)와 평균 생체량(g/㎡)으로 환산하여 분석에 이용
- 우점종은 출현 개체수와 생체량을 기초로 선정하고, 조사시기별로 우점도 파악

(3) 평가방법

- 군집구조를 파악하기 위하여 다음의 식을 이용하여 생태군집지수 산출

종 다양성 지수 $H' = -\sum_{i=0}^{s} P_i \times \ln(P_i)$ (Shannon and Weaver, 1963)

종 풍부도 지수 $R = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$ (Margalef, 1958)

종 균등도 지수 $J = \frac{H'}{\ln(S)}$ (Pielou, 1966)

여기서, Pi : i번째 종의 점유율, S : 출현종수, N : 출현개체수

- 군집 분석은 PRIMER(Polymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer package를 이용하고, 수지도(dendrogram) 작성 및 다차원척도법(nMDS ordinatin) 분석 수행
- 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로 비가중평균연결법(unweighted pair using group method using arithmetic mean linkage method)을 적용
- 저서무척추동물 군집과 상관성 높은 환경요인의 파악을 위해 PRIMER6의 BIO-ENV 시행
- 대형저서동물의 군집특성을 기반으로 하는 복수의 생태계 건강도 평가지수, ISEP와 KBQI를 사용하여 저서생태계의 건강성을 다양한 각도에서 평가
- 각 지수별 적용 방법 및 평가 기준은 본 보고서의 조간대저서무척추동물(Ⅱ-7-가)의 저서생태계 평가방법과 동일

3) 결과 및 고찰

가) 종조성

- 2022년 태안해안국립공원 조하대에서 출현한 저서무척추동물은 총 401 종/6.0㎡(평균 43 종/0.1㎡), 평균 서식밀도와 생체량은 각각 평균 2,778 개체/㎡, 62.5 g/㎡로 조사(표 II-7-21)

표 Ⅱ-7-21. 조하대 저서무척추동물의 출현종수, 서식밀도, 생체량

조사시기	총 출현종수 (종/1.5㎡)	평균 출현종수 (종/0.1㎡)	평균 서식밀도 (개체/㎡)	평균 생체량 (g/㎡)
2022년 2월	244	45±22	2,172±2,002	91.4±123.1
2022년 4월	220	38±20	1,549±1,384	31.5±39.0
2022년 7월	259	49±26	5,528±13,403	57.6±114.6
2022년 10월	223	40±20	1,862±2,095	69.3±100.0
계절 통합	401(종/6.0㎡)	43±5	2,778±1,851	62.5±24.9

- 출현종수는 환형동물이 총 138 종/6.0㎡(34.4%)이 출현하여 가장 우세하였고, 다음으로 절지동물(115 종/6.0㎡), 연체동물(112 종/6.0㎡), 극피동물(19 종/6.0㎡), 기타동물(17 종/6.0㎡)의 순으로 종 다양성이 높음(그림 II-7-28)

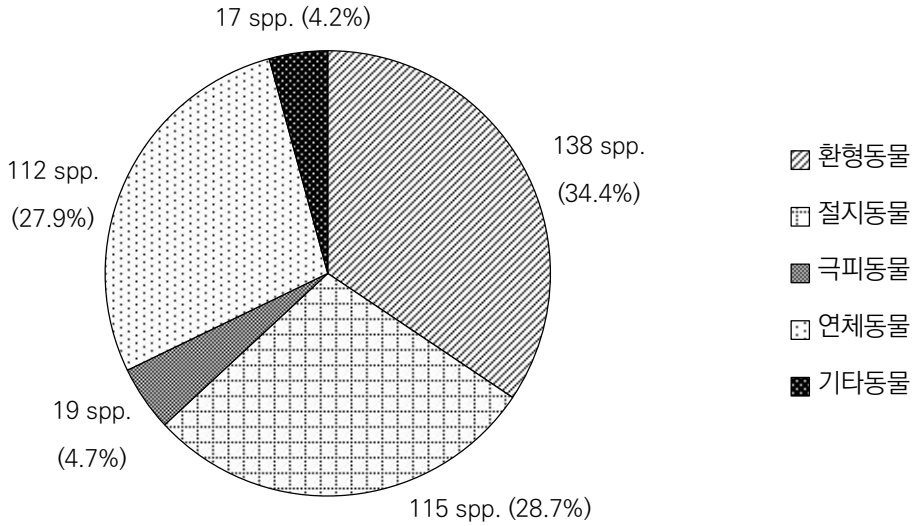


그림 Ⅱ-7-28. 조하대 저서무척추동물 출현종수의 종조성

- 서식밀도는 환형동물이 평균 1,833 개체/㎡(66.0%)로 가장 우점하고, 다음으로 절지동물(585 개체/㎡), 연체동물(260 개체/㎡), 기타동물(69 개체/㎡), 극피동물(31 개체/㎡)의 순으로 높음(그림 II-7-29)

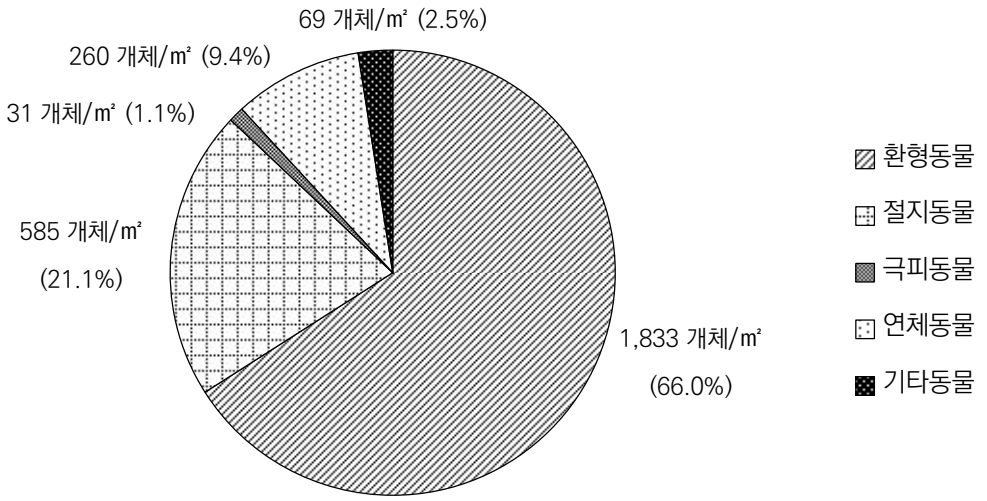


그림 Ⅱ-7-29. 조하대 저서무척추동물 서식밀도의 종조성

- 생체량은 극피동물이 평균 25.5 g/㎡(40.8%)로 가장 우점하고, 다음으로 환형동물(14.9 g/㎡), 연체동물(13.5 g/㎡), 절지동물(6.7 g/㎡), 기타동물(1.9 g/㎡)의 순으로 높음(그림 II-7-30)

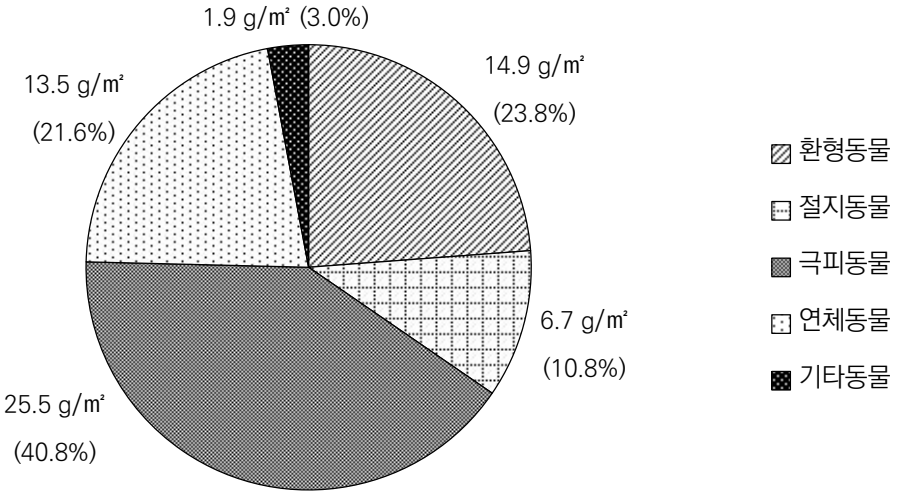


그림 Ⅱ-7-30. 조하대 저서무척추동물 생체량의 종조성

나) 출현종수

- 출현종수는 조사시기별로 평균 38~49 종/0.1㎡으로 하계에 가장 높고, 춘계에 가장 낮음(표 II-7-22)
- 북부 해역에 위치한 정점들에서 상대적으로 적은 종 수가 관찰(표 II-7-22, 그림 II-7-31)
- 정점 1에서 가장 적은 종수를 보였고, 정점 15에서 가장 많은 종 수를 기록(표 II-7-22, 그림 II-7-31)

표 Ⅱ-7-22. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 출현종수

조사정점	동계	춘계	하계	추계	평균
1	3	4	11	3	5±4
2	38	12	20	20	23±11
3	19	12	36	25	23±10
4	50	14	17	18	25±17
5	72	44	76	43	59±18
6	26	38	44	49	39±10
7	39	52	68	71	58±15
8	60	39	35	31	41±13
9	36	33	49	48	42±8
10	55	52	45	53	51±4
11	37	41	53	46	44±7
12	44	51	42	27	41±10
13	41	47	61	46	49±9
14	88	56	62	50	64±17
15	71	78	113	76	85±19
평균 출현종수 (종/0.1㎡)	45±22	38±20	49±26	40±20	43±5
총 출현종수 (종/1.5㎡)	244	220	259	223	237±18

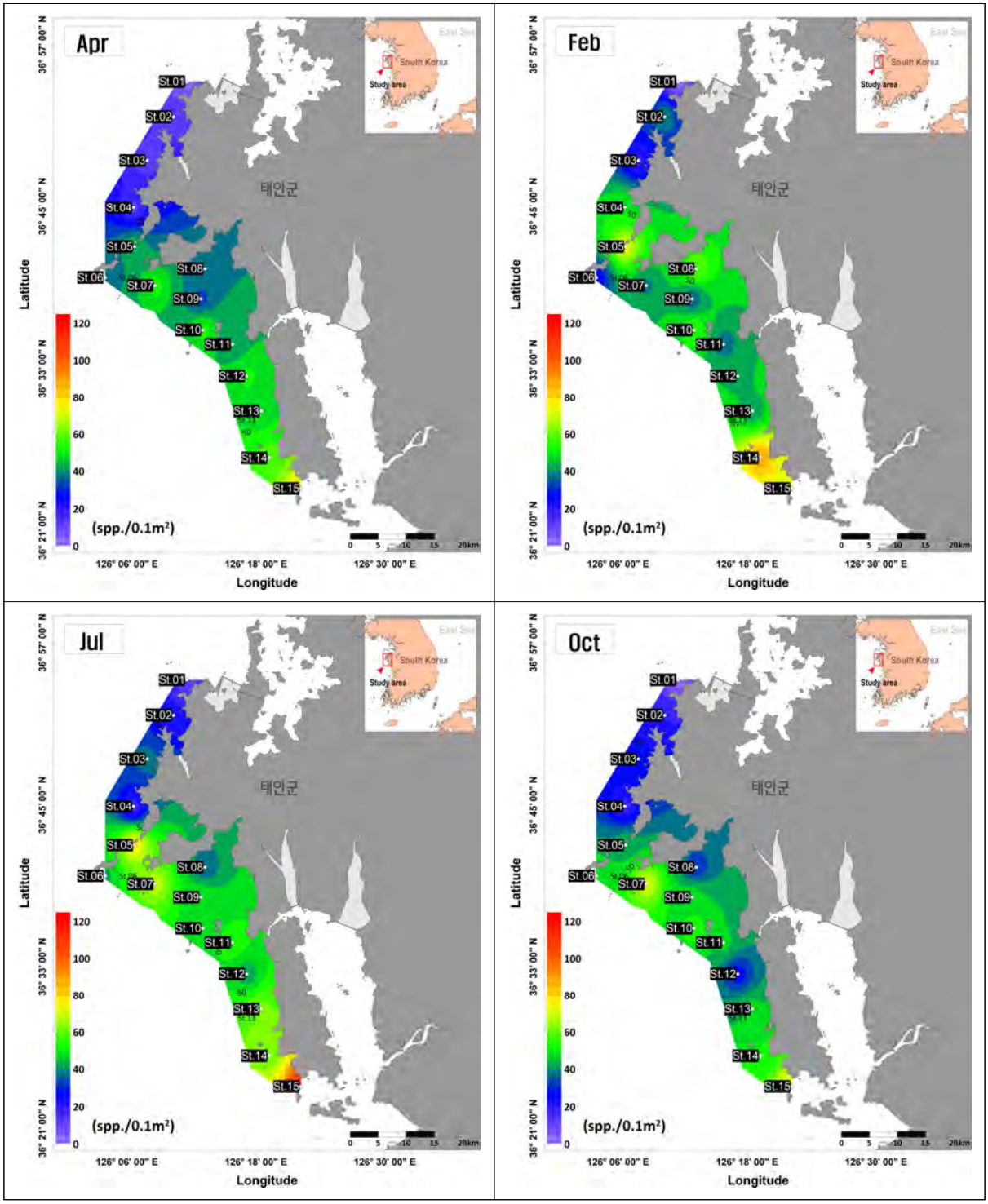


그림 Ⅱ-7-31. 조하대 저서무척추동물의 출현종수 공간 분포

다) 서식밀도

- 조사시기별 서식밀도는 평균 1,549~5,528 개체/㎡로 하계에 가장 높고, 춘계에 가장 낮음 (표 II-7-23)
- 서식밀도는 출현종수와 마찬가지로 북부 해역에서 상대적으로 낮고, 남부 해역에서 높은 경향 (표 II-7-23, 그림 II-7-32)
- 정점 1에서 최소 값을, 정점 15에서 최대 값을 기록(표 II-7-23, 그림 II-7-32)

표 Ⅱ-7-23. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 서식밀도

조사정점	동계	춘계	하계	추계	평균 서식밀도 (개체/㎡)
1	30	90	150	50	80±53
2	1,340	140	370	340	548±538
3	340	210	1,230	520	575±455
4	1,570	140	330	270	578±666
5	4,230	1,180	3,170	1,420	2,500±1,455
6	560	1,190	1,720	1,550	1,255±513
7	1,700	1,930	4,220	4,610	3,115±1,512
8	2,870	1,660	1,550	1,380	1,865±680
9	1,360	1,700	2,260	2,120	1,860±410
10	2,570	1,560	1,500	1,880	1,878±491
11	1,970	2,320	3,100	1,930	2,330±542
12	980	1,520	960	550	1,003±398
13	1,230	1,540	3,500	1,030	1,825±1,136
14	3,870	2,350	5,180	2,020	3,355±1,459
15	7,960	5,700	53,680	8,260	18,900±23,215
평균 서식밀도 (개체/㎡)	2,172 ±2,002	1,549 ±1,384	5,528 ±13,403	1,862 ±2,095	8,780±11,451

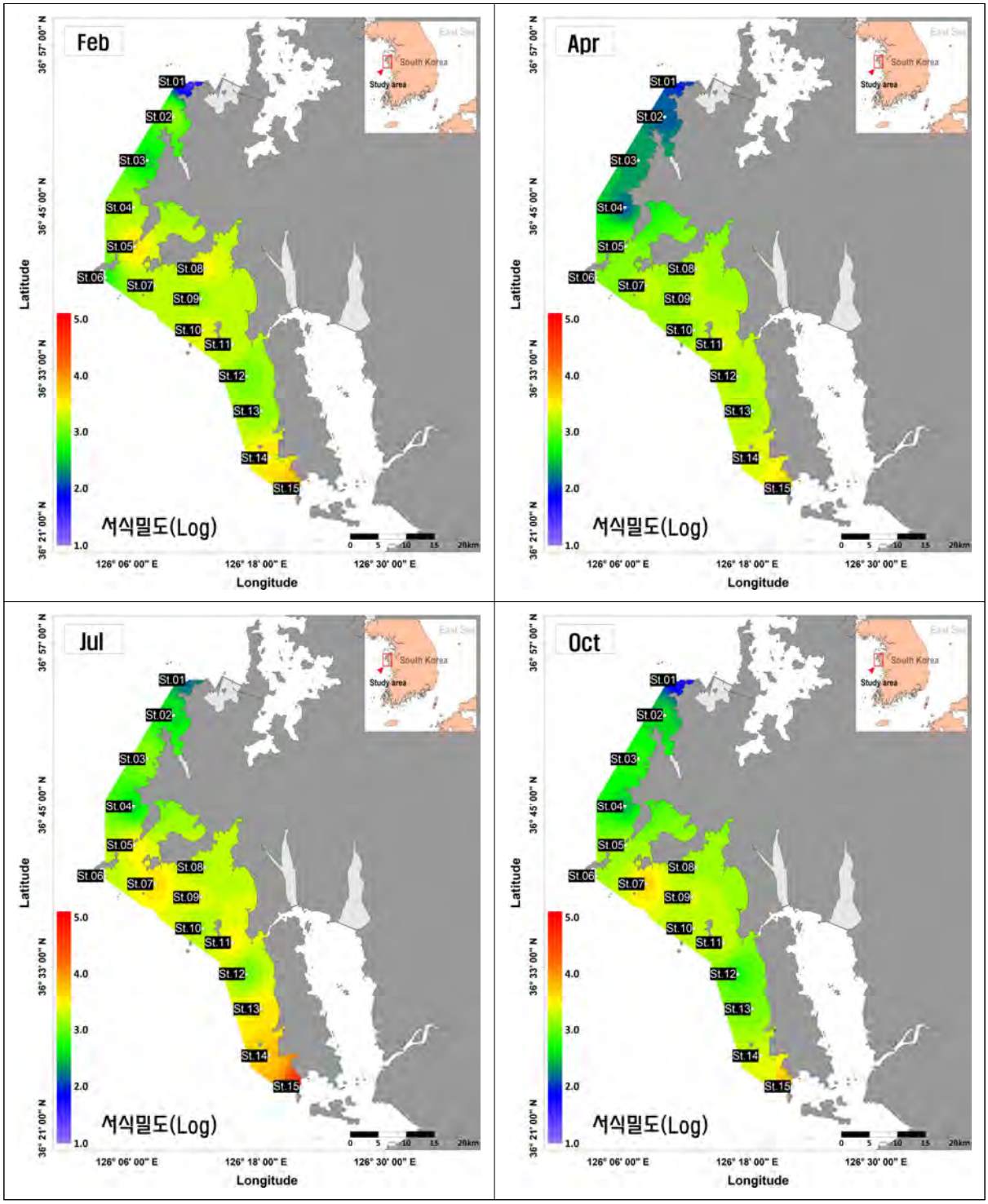


그림 Ⅱ-7-32. 조하대 저서무척추동물의 서식밀도 공간 분포

라) 생체량

- 조사시기별 생체량은 평균 31.5~91.4 g/㎡로 동계에 가장 높고, 춘계에 가장 낮음(표 II-7-24)
- 생체량 역시 북부 해역에서 상대적으로 낮고, 남부 해역에서 높은 경향(표 II-7-24, 그림 II-7-33)
- 출현종수, 서식밀도가 가장 높았던 정점 15에서 가장 높은 생체량 값이 관찰(표 II-7-24, 그림 II-7-33)

표 Ⅱ-7-24. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 생체량

조사정점	동계	춘계	하계	추계	평균 생체량 (g/㎡)
1	0.2	0.5	1.1	0.3	0.5±0.4
2	40.6	1.5	1.2	1.0	11.1±19.7
3	2.8	1.5	4.5	2.0	2.7±1.3
4	22.2	2.3	1.1	120.2	36.4±56.7
5	437.3	23.5	73.3	10.5	136.2±202.6
6	7.7	4.9	12.1	196.1	55.2±94.0
7	230.4	55.1	32.5	64.0	95.5±90.9
8	32.7	11.1	13.2	4.5	15.4±12.1
9	29.9	22.7	10.8	6.4	17.5±10.8
10	33.7	31.9	86.8	71.5	56.0±27.5
11	33.2	23.2	17.2	14.5	22.0±8.3
12	107.5	92.7	24.0	9.5	58.4±48.9
13	11.3	37.1	117.6	157.5	80.9±68.3
14	223.3	23.7	17.0	29.5	73.4±100.1
15	158.0	140.8	452.1	351.9	275.7±151.6
평균 생체량 (g/㎡)	91.4±123.1	31.5±39.0	57.6±114.6	69.3±100.0	62.5±24.9

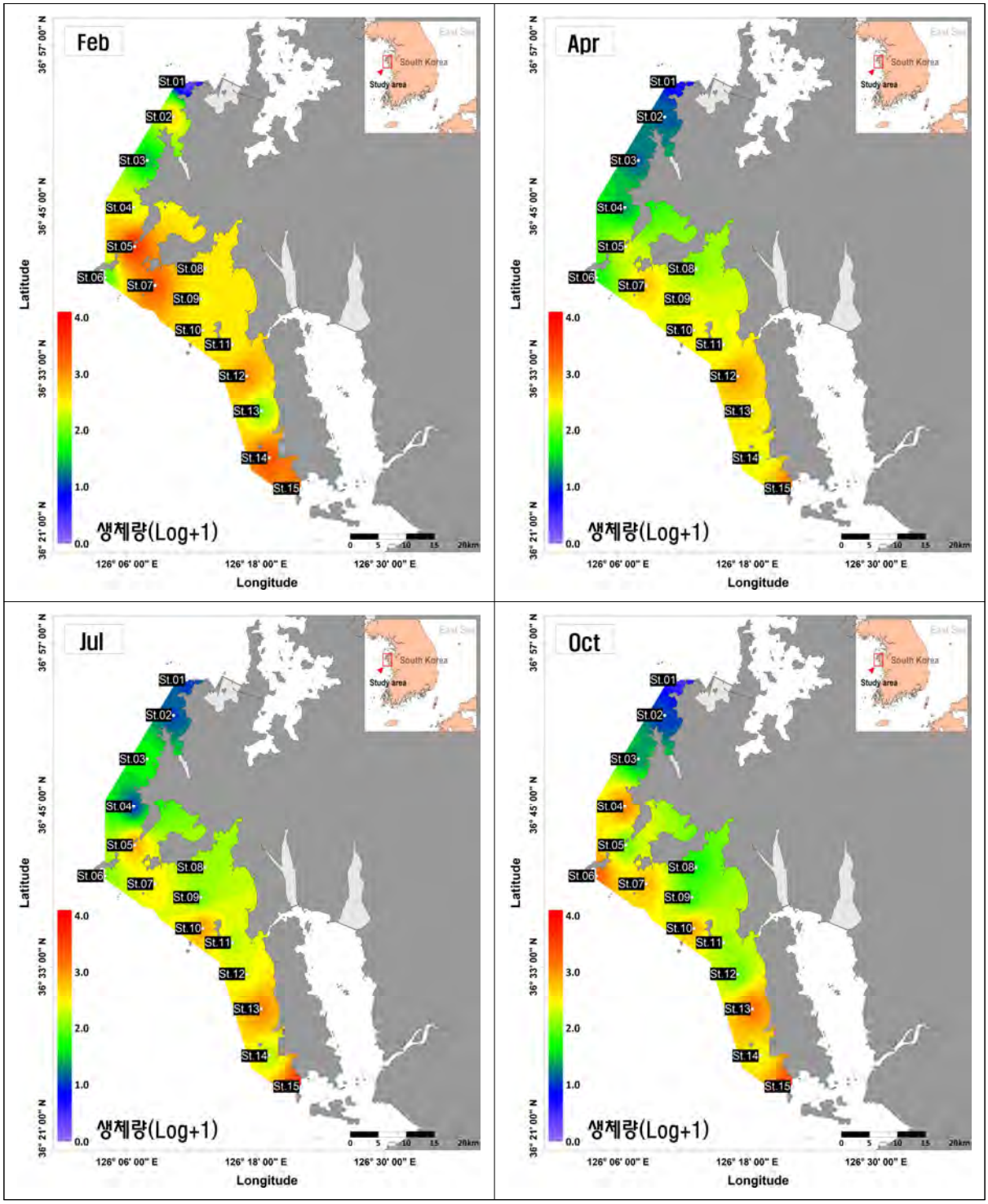


그림 Ⅱ-7-33. 조하대 저서무척추동물의 생체량 공간 분포

마) 우점종

(1) 동계(2월)

- 서식밀도 기준 최우점종과 차우점종은 *Gammaropsis* 속의 단각류로 넓적다리붙은꼬리옆새우(*Gammaropsis utinomii*)와 극동육질꼬리옆새우(*Gammaropsis japonica*)로 조사(표 II-7-25)
- 두 단각류는 정점 15에서 높은 밀도로 출현했으며, 각각 2,610개체/㎡, 2,010개체/㎡로 출현(그림 II-7-34)

표 II-7-25. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(동계)

순위	분류코드	학명	국명	평균 서식밀도 (개체/㎡)	우점률 (%)	누적 우점률(%)
1	CAm	*Gammaropsis utinomii*	넓적다리붙은꼬리옆새우	179	8.2	8.2
2	CAm	*Gammaropsis japonica*	극동육질꼬리옆새우	136	6.3	14.5
3	APol	*Mediomastus californiensis*	버들갯지렁이류	106	4.9	19.4
4	APol	*Cirrophorus furcatus*	두갈래별난가시갯지렁이	89	4.1	23.5
5	APol	*Cirrophorus branchiatus*	채찍별난가시갯지렁이	85	3.9	27.4
6	MBi	*Moerella hilaris*	분홍접시조개	85	3.9	31.3
7	APol	*Ampharete finmarchica*	작은사슴갯지렁이	56	2.6	33.9
8	APol	*Sigambra tentaculata*	투구갯지렁이	43	2.0	35.9
9	Others	*Micrura* spp.	투구갯지렁이	43	2.0	37.9
10	APol	*Tharyx* spp.	실타래갯지렁이류	43	2.0	39.9

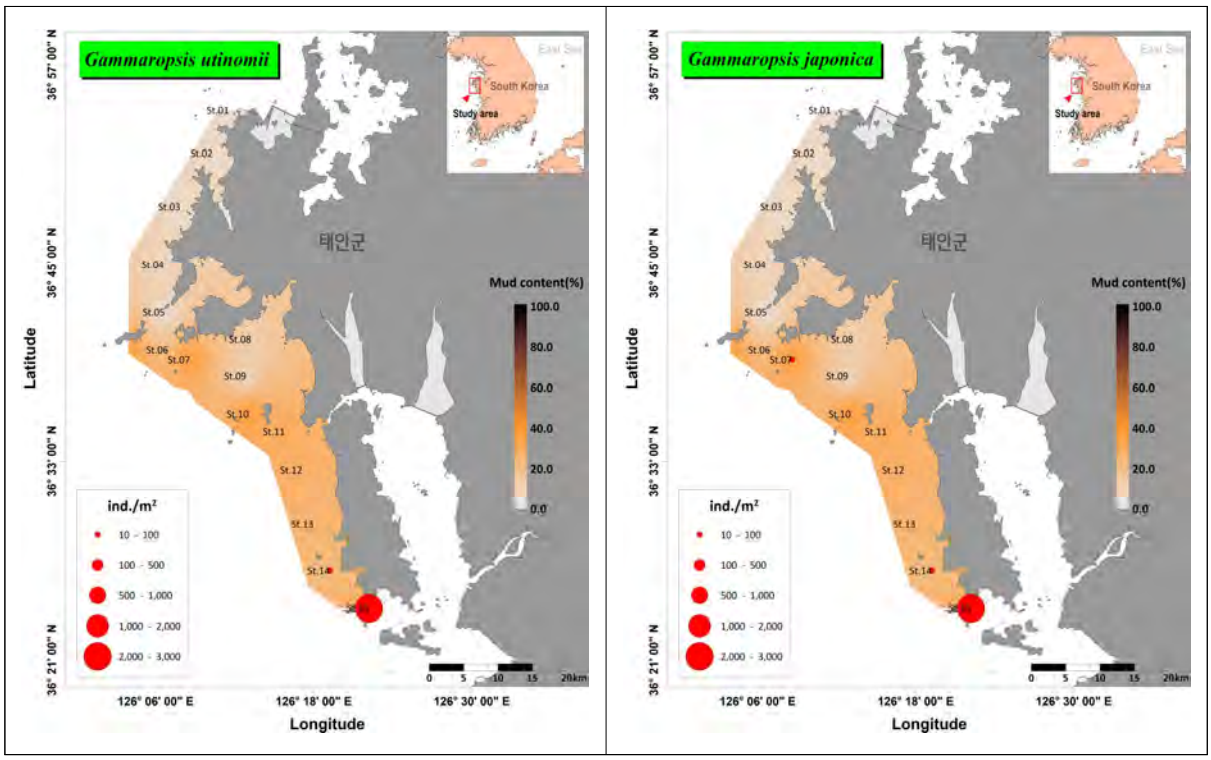


그림 II-7-34. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(동계)

- 생체량 기준 최우점종은 하드윅분지성게(*Temnopleurus hardwickii*), 차우점종은 별불가사리(*Patiria pectinifera*)로 조사(표 II-7-26)
- 하드윅분지성게는 정점 5에서 395.9 g/㎡을 기록하고, 별불가사리는 정점 7에서 110.5 g/㎡을 기록(그림 II-7-35)
- 생체량 기준 상위 10종에 대한 누적 우점률은 70.9%를 기록(표 II-7-26)

표 Ⅱ-7-26. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(동계)

순위	분류코드	학명	국명	평균 생체량 (g/㎡)	우점률 (%)	누적 우점률(%)
1	EEc	*Temnopleurus hardwickii*	하드윅분지성게	26.4	28.9	28.9
2	EAs	*Patiria pectinifera*	별불가사리	7.4	8.1	36.9
3	EEc	*Temnopleurus toreumaticus*	분지성게	7.4	8.0	45.0
4	MBi	*Macoma tokyoensis*	노랑꼭지대양조개	6.0	6.6	51.6
5	CDB	*Enoplolambrus validus*	자게	4.8	5.3	56.9
6	MGs	*Sydaphera spengleriana*	감생이고둥	3.6	4.0	60.8
7	MBi	*Moerella hilaris*	분홍접시조개	2.6	2.9	63.7
8	APol	*Urechis unicinctus*	개불	2.6	2.9	66.6
9	APol	*Amphicteis gunneri*	큰사슴갯지렁이	2.1	2.3	68.8
10	EHo	*Phyllophorus ordinata*	가시탑해삼	1.9	2.1	70.9

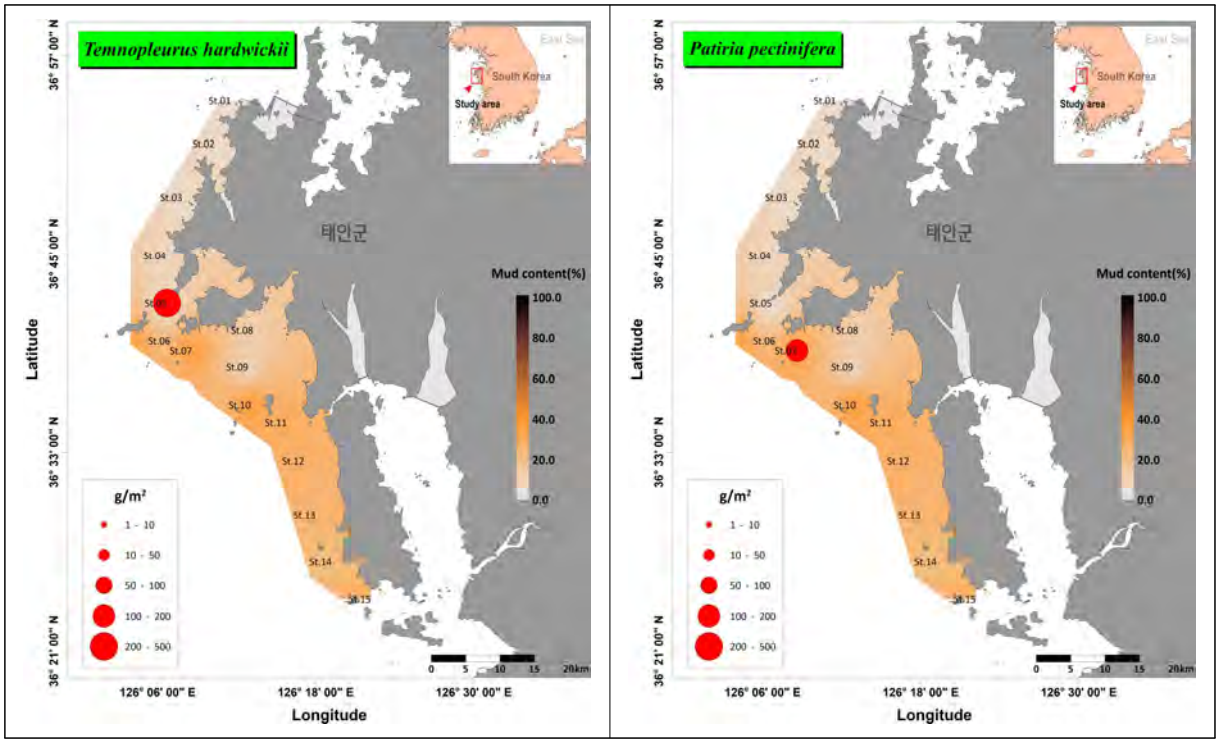


그림 Ⅱ-7-35. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(동계)

(2) 춘계(4월)

- 서식밀도 기준 상위 10종 중에서 다모류가 8종으로 가장 우점했으며, 상위 10종의 누적 우점률은 41.6%를 기록(표 II-7-27)
- 서식밀도 기준 최우점종 넓적다리붙은꼬리옆새우(*Gammaropsis utinomii*)는 정점 15에서 1,850 개체/㎡로 출현하고, 버들갯지렁이류는 정점 1, 2, 4를 제외하고 모든 정점에서 출현(그림 II-7-36)

표 Ⅱ-7-27. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(춘계)

순위	분류코드	학명	국명	평균 서식밀도 (개체/㎡)	우점률 (%)	누적 우점률(%)
1	CAm	*Gammaropsis utinomii*	넓적다리붙은꼬리옆새우	131	8.5	8.5
2	APol	*Mediomastus californiensis*	버들갯지렁이류	91	5.9	14.4
3	MBi	*Alveinus ojianus*	겨자씨조개	63	4.1	18.5
4	APol	*Galathowenia oculata*	관버섯갯지렁이	61	4.0	22.4
5	APol	*Cirrophorus furcatus*	두갈래별난가시갯지렁이	58	3.7	26.2
6	APol	*Cirrophorus branchiatus*	채찍별난가시갯지렁이	56	3.6	29.8
7	APol	*Amphicteis gunneri*	큰사슴갯지렁이	55	3.6	33.4
8	APol	*Ampharete finmarchica*	작은사슴갯지렁이	45	2.9	36.2
9	APol	*Polygordius* sp.	-	44	2.8	39.1
10	APol	*Chaetozone* spp.	바퀴실타래갯지렁이류	39	2.5	41.6

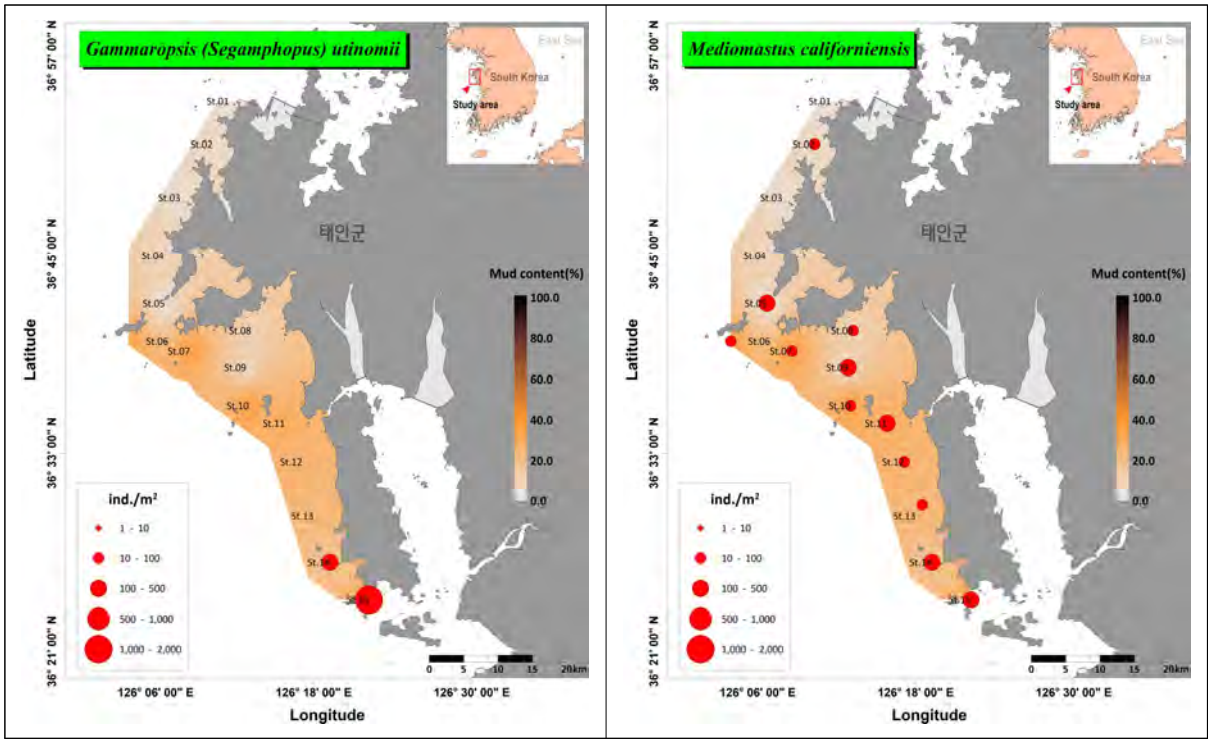


그림 Ⅱ-7-36. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(춘계)

- 생체량 기준 최우점종은 큰사슴갯지렁이(*Amphicteis gunneri*), 차우점종은 비단담치(*Jolya elongata*)로 조사(표 II-7-28)
- 큰사슴갯지렁이는 정점 5, 7, 14, 15에서 서식하며, 평균 5.4 g/㎡를 기록(그림 II-7-37)
- 비단담치는 정점 12에서 1개체만이 출현하였으나 75.2 g/㎡를 기록(그림 II-7-37)

표 Ⅱ-7-28. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(춘계)

순위	분류코드	학명	국명	평균 생체량(g/㎡)	우점률(%)	누적 우점률(%)
1	APol	*Amphicteis gunneri*	큰사슴갯지렁이	5.4	17.1	17.1
2	MBi	*Jolya elongata*	비단담치	5.0	15.9	33.0
3	EEc	*Temnopleurus toreumaticus*	분지성게	2.3	7.3	40.3
4	MBi	*Moerella hilaris*	분홍접시조개	1.9	6.1	46.4
5	APol	*Kuwaita heteropoda*	긴다리송곳갯지렁이	1.5	4.8	51.3
6	CAm	*Gammaropsis utinomii*	넓적다리붙은꼬리옆새우	1.3	4.1	55.4
7	APol	*Scoletoma nipponica*	짧은다리송곳갯지렁이	1.2	4.0	59.3
8	MBi	*Nitidotellina lischkei*	진주접시조개	1.0	3.2	62.6
9	APol	*Glycera onomichiensis*	오노미치미갑갯지렁이	1.0	3.2	65.8
10	APol	*Eunice* sp.	두수염털갯지렁이류	0.6	2.0	67.7

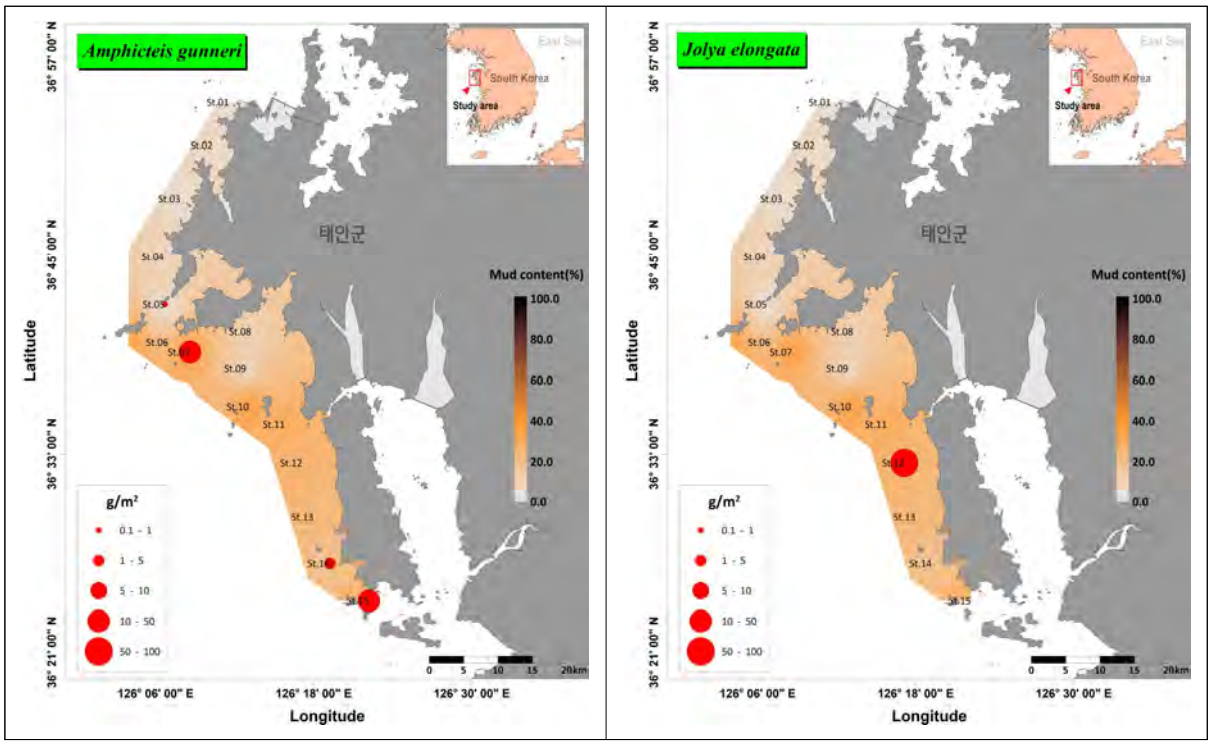


그림 Ⅱ-7-37. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(춘계)

(3) 하계(7월)

- 서식밀도 기준 상위 10종 중 다모류가 7종, 단각류가 3종을 차지, 누적 우점률은 68.5%를 기록(표 II-7-29)
- 서식밀도 기준 최우점종은 긴얼굴갯지렁이류(*Polydora* spp.)로 정점 15에서 32,010 개체/㎡의 고밀도로 출현(그림 II-7-38)
- 차우점종은 넓적다리붙은꼬리옆새우(*Gammaropsis utinomii*)로 정점 15에서 꾸준히 출현(그림 II-7-38)

표 II-7-29. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(하계)

순위	분류코드	학명	국명	평균 서식밀도 (개체/㎡)	우점률 (%)	누적 우점률(%)
1	APol	*Polydora* spp.	긴얼굴갯지렁이류	2,141	38.7	38.7
2	CAm	*Gammaropsis utinomii*	넓적다리붙은꼬리옆새우	732	13.2	52.0
3	CAm	*Ampelisca bocki*	오목손안경옆새우	175	3.2	55.1
4	APol	*Mediomastus californiensis*	버들갯지렁이류	164	3.0	58.1
5	APol	*Ampharete finmarchica*	작은사슴갯지렁이	149	2.7	60.8
6	APol	*Cirrophorus furcatus*	두갈래별난가시갯지렁이	111	2.0	62.8
7	APol	*Galathowenia oculata*	관버섯갯지렁이	82	1.5	64.3
8	CAm	*Gammaropsis japonica*	극동육질꼬리옆새우	81	1.5	65.8
9	APol	*Cirrophorus branchiatus*	채찍별난가시갯지렁이	78	1.4	67.2
10	APol	*Polygordius* sp.	-	73	1.3	68.5

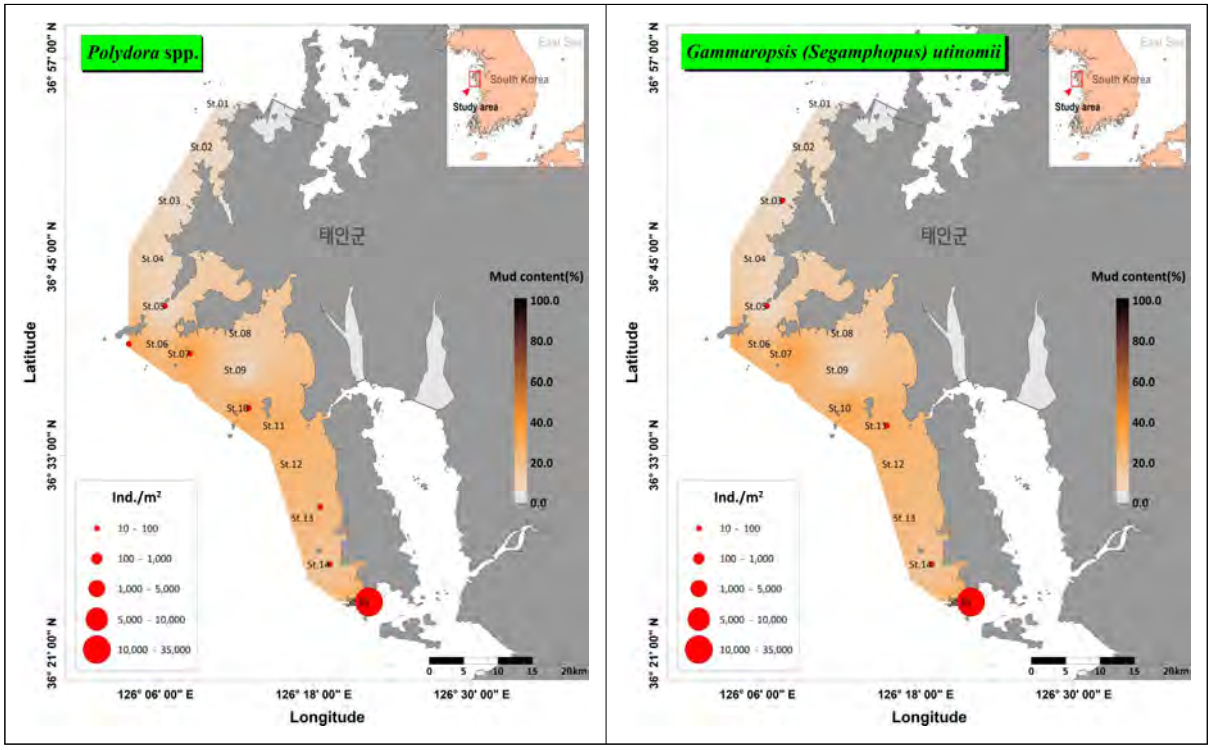


그림 II-7-38. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(하계)

- 생체량 기준 최우점종은 노랑꼭지대양조개(*Macoma tokyoensis*)로 정점 10과 13에서 각각 75.7 g/㎡, 78.5 g/㎡로 높은 생체량을 기록(표 II-7-30, 그림 II-7-39)
- 차우점종은 분지성게(*Temnopleurus toreumaticus*)는 정점 15에서만 출현하고, 115.7 g/㎡로 출현

표 Ⅱ-7-30. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(하계)

순위	분류 코드	학명	국명	평균 생체량 (g/㎡)	우점률 (%)	누적 우점률(%)
1	MBi	*Macoma tokyoensis*	노랑꼭지대양조개	10.3	17.8	17.8
2	EEc	*Temnopleurus toreumaticus*	분지성게	7.7	13.4	31.2
3	EAs	*Patiria pectinifera*	별불가사리	6.5	11.2	42.4
4	CDB	*Enoplolambrus validus*	자게	6.0	10.4	52.8
5	APol	*Eunice* sp.	두수염털갯지렁이류	2.4	4.1	57.0
6	MBi	*Moerella hilaris*	분홍접시조개	2.2	3.9	60.9
7	APol	*Polydora* spp.	긴얼굴갯지렁이류	2.1	3.7	64.5
8	MBi	*Anomia chinensis*	개굴잠쟁이	2.1	3.6	68.1
9	APol	*Glycera onomichiensis*	오노미치미갑갯지렁이	1.3	2.3	70.4
10	Others	*Lineus* spp.	연두끈벌레류	1.1	2.0	72.4

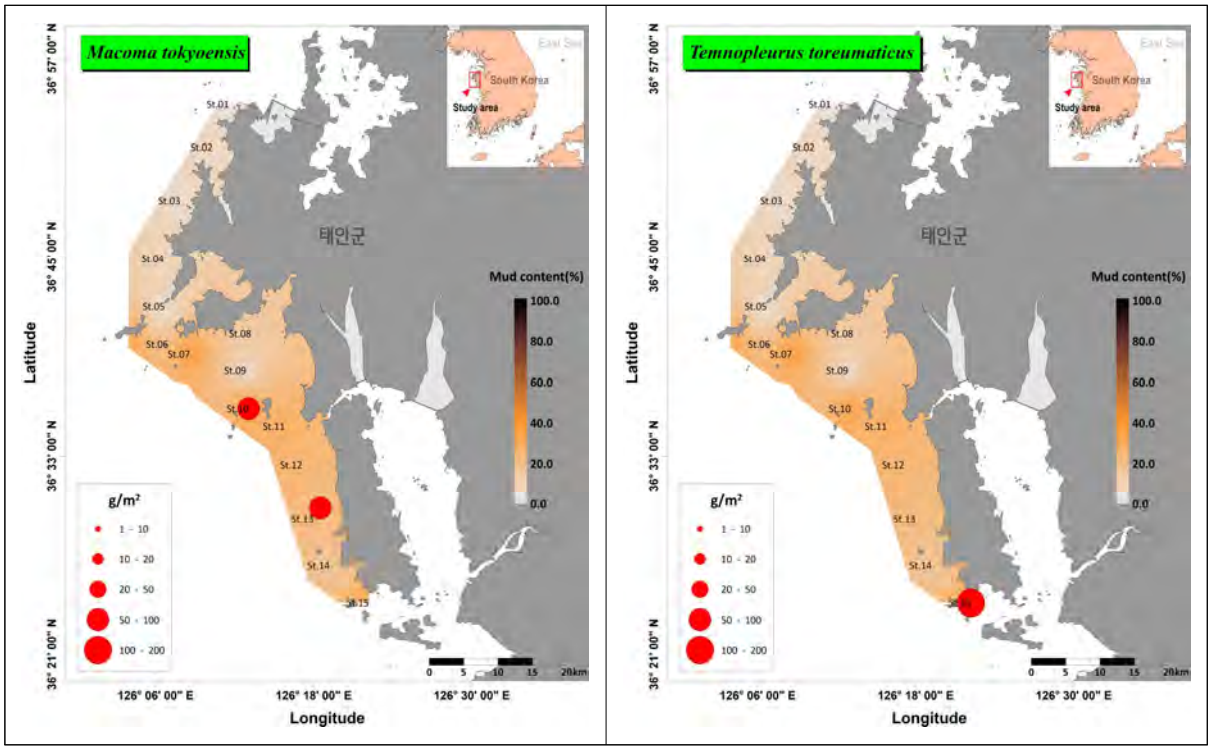


그림 Ⅱ-7-39. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(하계)

(4) 추계(10월)

- 서식밀도 기준 최우점종 긴얼굴갯지렁이류(*Polydora* spp.)는 하계와 마찬가지로 정점 15에서 가장 높은 값을 보였으나, 밀도는 4,970 개체/㎡로 하계에 비해 크게 감소(표 Ⅱ-7-31, 그림 Ⅱ-7-40)
- 서식밀도 기준 상위 10종은 모두 다모류였으며, 상위 10종에 대한 누적 우점률은 47.2%를 기록(표 Ⅱ-7-31)

표 Ⅱ-7-31. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 우점도 상위 10종(추계)

순위	분류코드	학명	국명	평균 서식밀도(개체/㎡)	우점률(%)	누적 우점률(%)
1	APol	*Polydora* spp.	긴얼굴갯지렁이류	334	17.9	17.9
2	APol	*Mediomastus californiensis*	버들갯지렁이류	188	10.1	28.0
3	APol	*Amphisamytha japonica*	고리사슴갯지렁이	81	4.4	32.4
4	APol	*Cirrophorus furcatus*	두갈래별난가시갯지렁이	63	3.4	35.8
5	APol	*Galathowenia oculata*	관버섯갯지렁이	47	2.5	38.3
6	APol	*Sigambra tentaculata*	투구갯지렁이	39	2.1	40.4
7	APol	*Lumbrineris cruzensis*	짧은가시송곳갯지렁이	37	2.0	42.4
8	APol	*Nephtys polybranchia*	남방백금갯지렁이	31	1.6	44.0
9	APol	*Amphicteis gunneri*	큰사슴갯지렁이	29	1.6	45.6
10	APol	*Cirrophorus branchiatus*	채찍별난가시갯지렁이	29	1.6	47.2

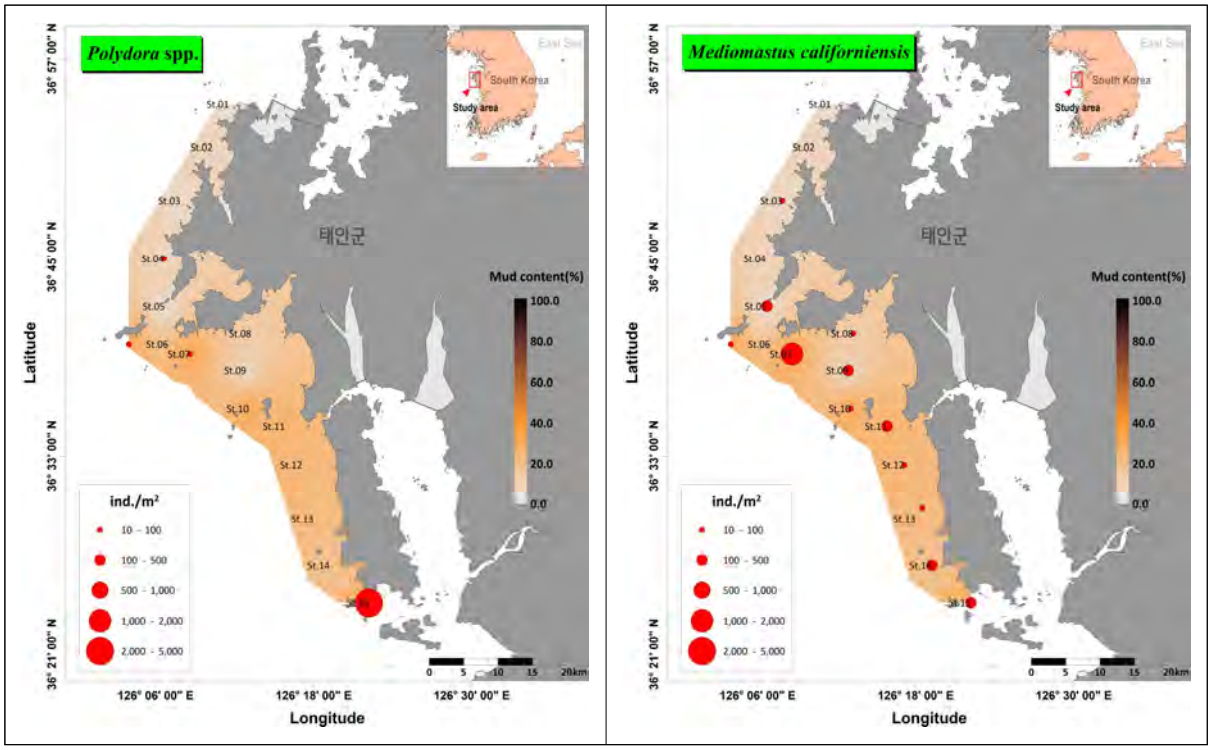


그림 Ⅱ-7-40. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(추계)

- 생체량 기준 최우점종은 별불가사리(*Patiria pectinifera*)로 정점 15에서만 출현하고 283.5 g/㎡를 기록(표 Ⅱ-7-32, 그림 Ⅱ-7-41)
- 차우점종은 모래무치염통성게(*Echinocardium cordatum*)는 정점 6에서만 출현하고, 162.4 g/㎡로 출현(표 Ⅱ-7-32, 그림 Ⅱ-7-41)

표 Ⅱ-7-32. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 우점도 상위 10종(추계)

순위	분류코드	학명	국명	평균 생체량 (g/㎡)	우점률 (%)	누적 우점률(%)
1	EAs	*Patiria pectinifera*	별불가사리	18.9	27.3	27.3
2	EEc	*Echinocardium cordatum*	모래무치염통성게	10.8	15.6	42.9
3	EHo	*Protankyra bidentata*	가시닻해삼	9.3	13.4	56.3
4	MGs	*Obesotoma okutanii*	갈색언청이고둥류	6.5	9.4	65.7
5	CDB	*Xenophthalmus pinnotheroides*	장님진흙살이게	2.0	2.9	68.7
6	APol	*Daylithos parmatus*	바늘더덕갯지렁이	1.5	2.1	70.8
7	APol	*Arctonoe* sp.	유령비늘갯지렁이류	1.4	2.1	72.8
8	APol	*Laonice cirrata*	납작얼굴갯지렁이	1.3	1.9	74.8
9	Others	Anthozoa spp.	산호충류	1.3	1.9	76.7
10	Others	*Lineus* spp.	연두끈벌레류	1.2	1.7	78.4

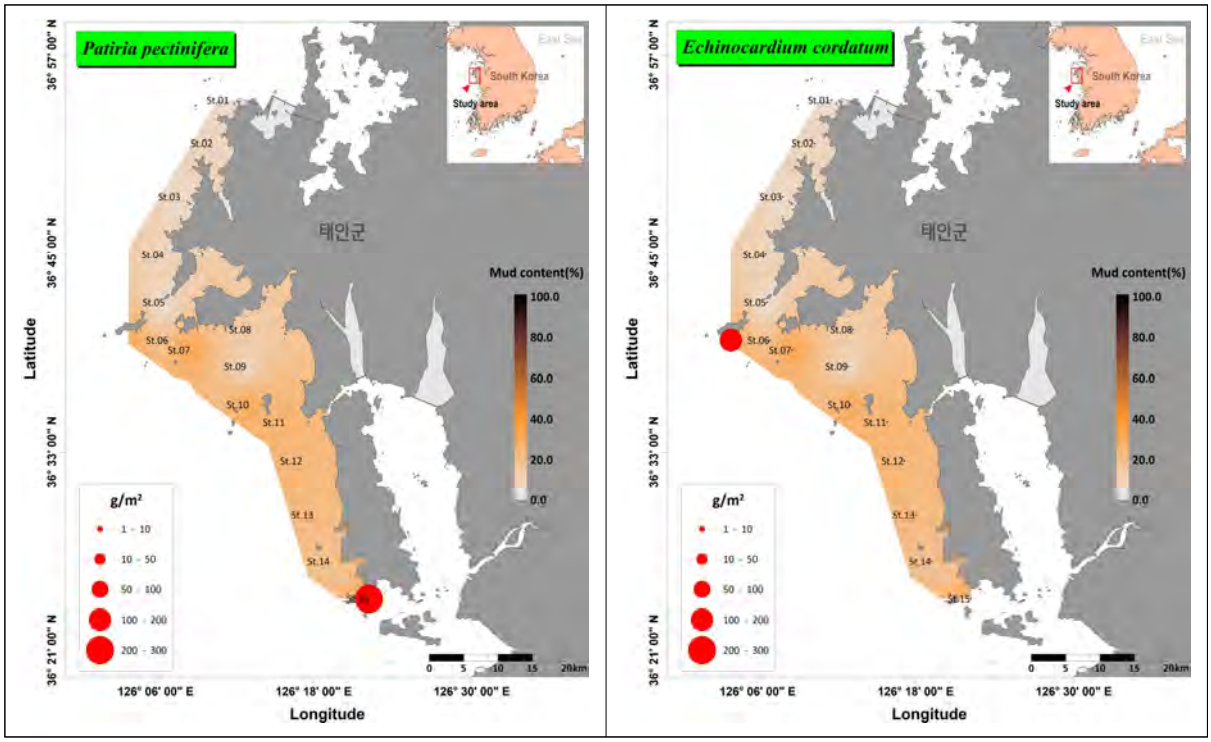


그림 Ⅱ-7-41. 조하대 저서무척추동물 생체량 기준 최우점종과 차우점종의 공간 분포(추계)

라) 생태군집지수

(1) 종 다양성 지수

- 조사기간 동안 조하대 저서무척추동물 군집의 종다양성지수는 평균 2.93이었으며, 동계에 가장 높고 하계에 가장 낮은 값을 기록(표 II-7-33)
- 정점별로는 평균적으로 정점 10에서 가장 높고, 정점 1에서 가장 낮음(표 II-7-33, 그림 II-7-42)

표 Ⅱ-7-33. 조사시기별 조하대 저서무척추동물 군집의 종 다양성 지수

조사정점	동계	춘계	하계	추계	평균
1	1.10	1.27	2.25	1.06	1.42±0.56
2	3.34	2.44	2.61	2.73	2.78±0.39
3	2.71	2.12	2.47	2.96	2.57±0.36
4	3.39	2.64	2.53	2.58	2.79±0.41
5	3.30	3.22	3.56	3.21	3.32±0.16
6	2.84	2.91	2.98	3.35	3.02±0.23
7	2.80	3.09	3.31	3.08	3.07±0.21
8	3.41	3.01	2.96	3.08	3.12±0.20
9	3.17	2.78	3.29	3.25	3.12±0.24
10	3.44	3.61	3.39	3.44	3.47±0.10
11	2.86	2.96	2.75	3.19	2.94±0.19
12	3.25	3.51	3.33	3.10	3.30±0.17
13	3.32	3.54	3.19	3.50	3.39±0.16
14	3.84	3.41	2.59	3.22	3.27±0.52
15	2.57	3.11	1.69	2.10	2.37±0.61
평균	3.02±0.63	2.91±0.61	2.86±0.51	2.92±0.63	2.93±0.52

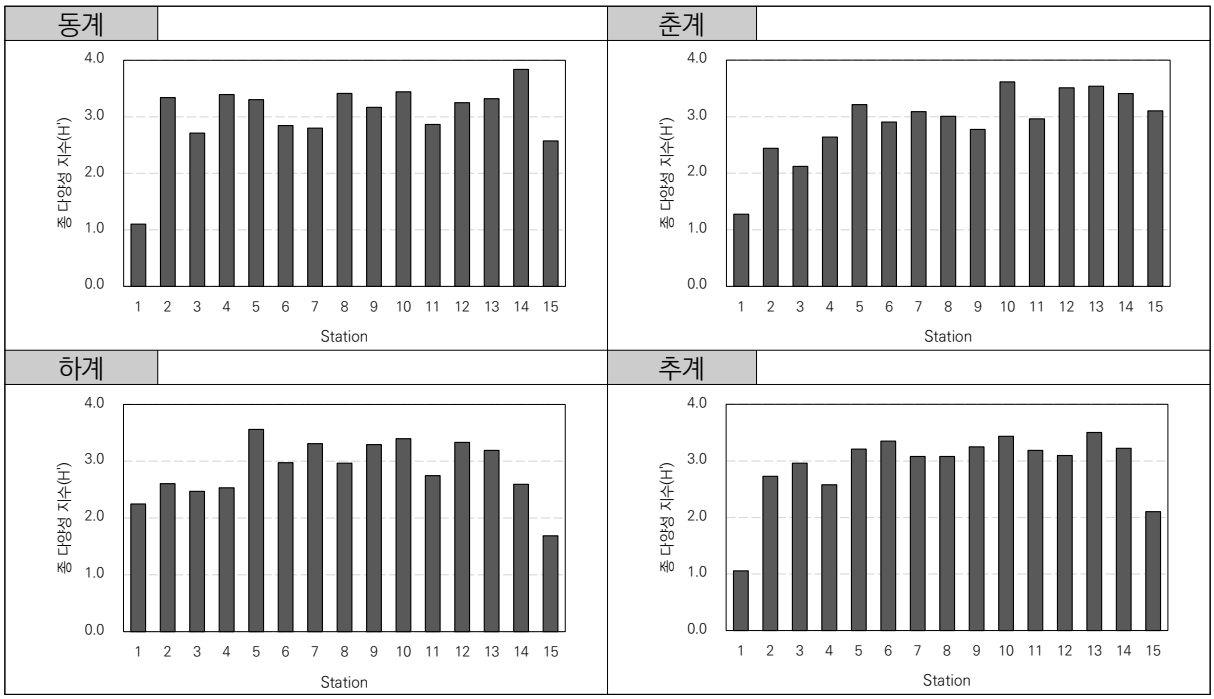


그림 Ⅱ-7-42. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 종 다양성 지수

(2) 종 균등도 지수

- 조사기간 동안 조하대 저서무척추동물 군집의 균등도지수는 평균 0.83이었으며, 춘계에 가장 높고 하계에 가장 낮은 값을 기록(표 II-7-34)
- 정점별로는 평균적으로 정점 1에서 가장 높고, 정점 15에서 가장 낮음(표 II-7-34, 그림 II-7-43)

표 Ⅱ-7-34. 조사시기별 조하대 저서무척추동물 군집의 종 균등도 지수

조사정점	동계	춘계	하계	추계	평균
1	1.00	0.92	0.94	0.96	0.95±0.04
2	0.92	0.98	0.87	0.91	0.92±0.05
3	0.92	0.85	0.69	0.92	0.85±0.11
4	0.87	1.00	0.89	0.89	0.91±0.06
5	0.77	0.85	0.82	0.85	0.82±0.04
6	0.87	0.80	0.79	0.86	0.83±0.04
7	0.76	0.78	0.78	0.72	0.76±0.03
8	0.83	0.82	0.83	0.90	0.85±0.03
9	0.88	0.79	0.85	0.84	0.84±0.04
10	0.86	0.91	0.89	0.87	0.88±0.03
11	0.79	0.80	0.69	0.83	0.78±0.06
12	0.86	0.89	0.89	0.94	0.90±0.03
13	0.89	0.92	0.78	0.91	0.88±0.07
14	0.86	0.85	0.63	0.82	0.79±0.11
15	0.60	0.71	0.36	0.49	0.54±0.15
평균	0.85±0.09	0.86±0.08	0.78±0.15	0.85±0.12	0.83±0.10

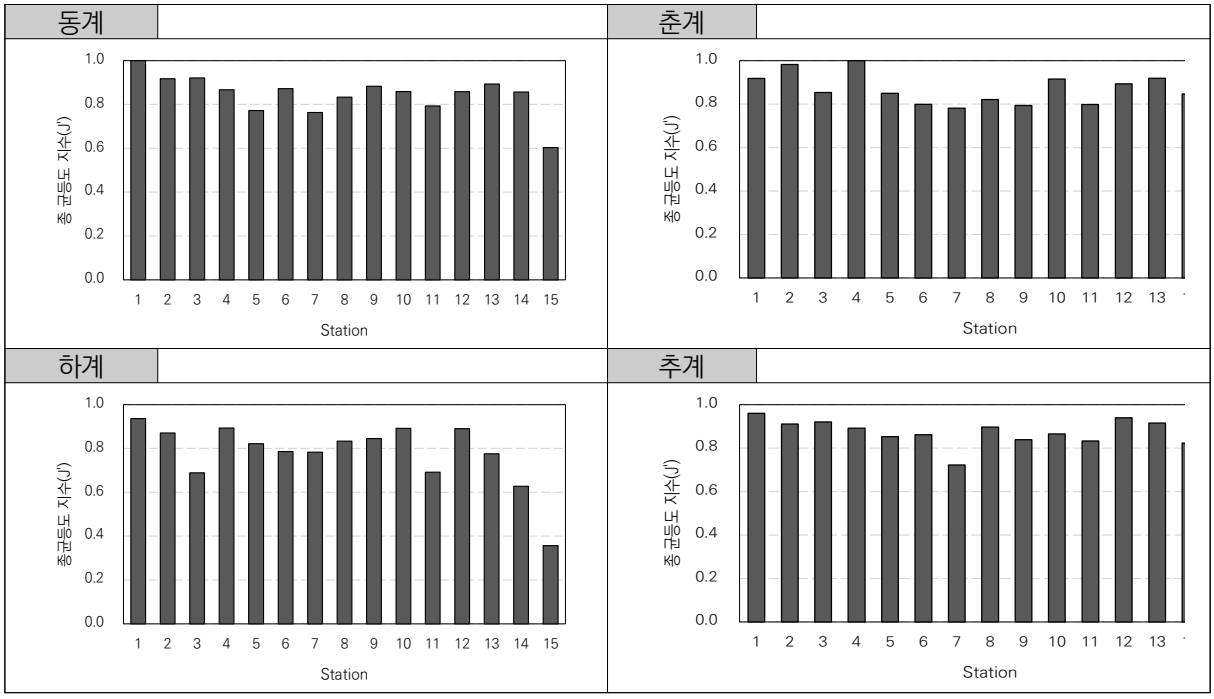


그림 Ⅱ-7-43. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 종 균등도 지수

(3) 종 풍부도 지수

- 조사기간 동안 조하대 저서무척추동물 군집의 종풍부도지수는 평균 8.09이었으며, 하계에 가장 높고 춘계에 가장 낮은 값을 기록(표 II-7-35)
- 정점별로는 평균적으로 정점 15에서 가장 높고, 정점 1에서 가장 낮음(표 II-7-35, 그림 II-7-44)

표 Ⅱ-7-35. 조사시기별 조하대 저서무척추동물 군집의 종 풍부도 지수

조사정점	동계	춘계	하계	추계	평균
1	1.82	1.37	3.69	1.24	2.03±1.14
2	7.55	4.17	5.26	5.39	5.59±1.42
3	5.10	3.61	7.27	6.07	5.52±1.55
4	9.69	4.93	4.58	5.16	6.09±2.41
5	11.74	9.01	13.02	8.48	10.56±2.17
6	6.21	7.74	8.35	9.52	7.96±1.38
7	7.40	9.69	11.08	11.41	9.90±1.82
8	10.42	7.43	6.74	6.09	7.67±1.91
9	7.12	6.23	8.86	8.77	7.75±1.29
10	9.73	10.10	8.78	9.93	9.64±0.59
11	6.81	7.34	9.07	8.55	7.94±1.04
12	9.38	9.95	8.98	6.49	8.70±1.53
13	8.31	9.13	10.24	9.71	9.35±0.83
14	14.60	10.07	9.76	9.23	10.92±2.48
15	10.48	12.13	13.04	11.17	11.71±1.12
평균	8.43±3.01	7.53±2.96	8.58±2.76	7.81±2.71	8.09±2.52

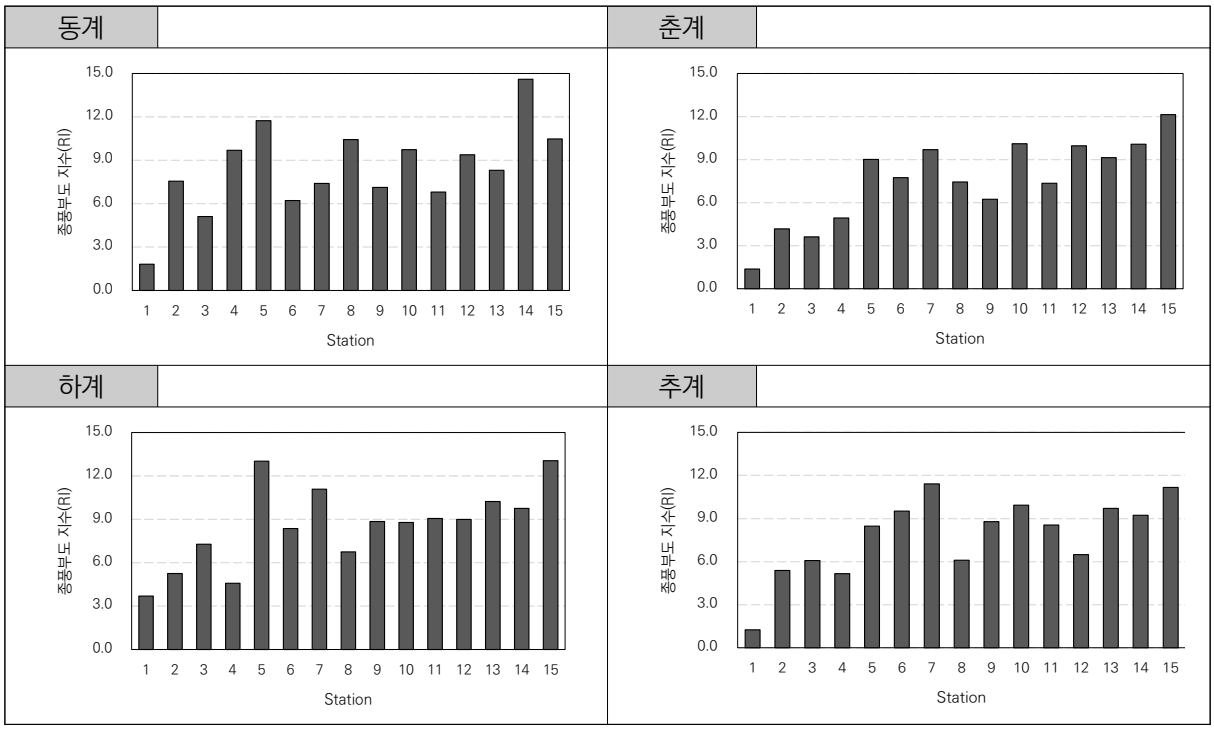


그림 Ⅱ-7-44. 조하대 저서무척추동물 조사시기 및 정점별 종 풍부도 지수

마) 군집분석

(1) 군집분석

- 계절 조사를 통합하여 집괴 분석한 결과, 조하대 저서무척추동물 군집은 유사도 33% 수준에서 크게 4개의 군집으로 구분(그림 Ⅱ-7-45~46)

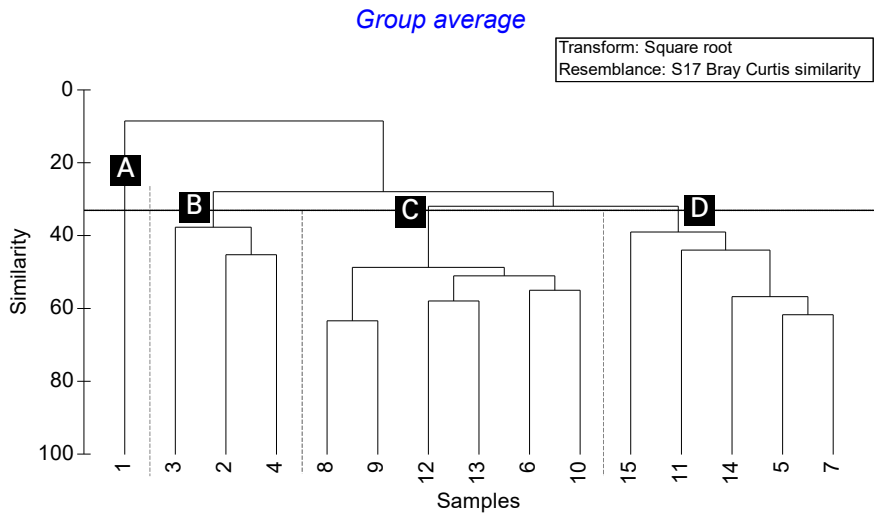


그림 Ⅱ-7-45. 조하대 저서무척추동물 군집 집괴분석 결과(계절통합)

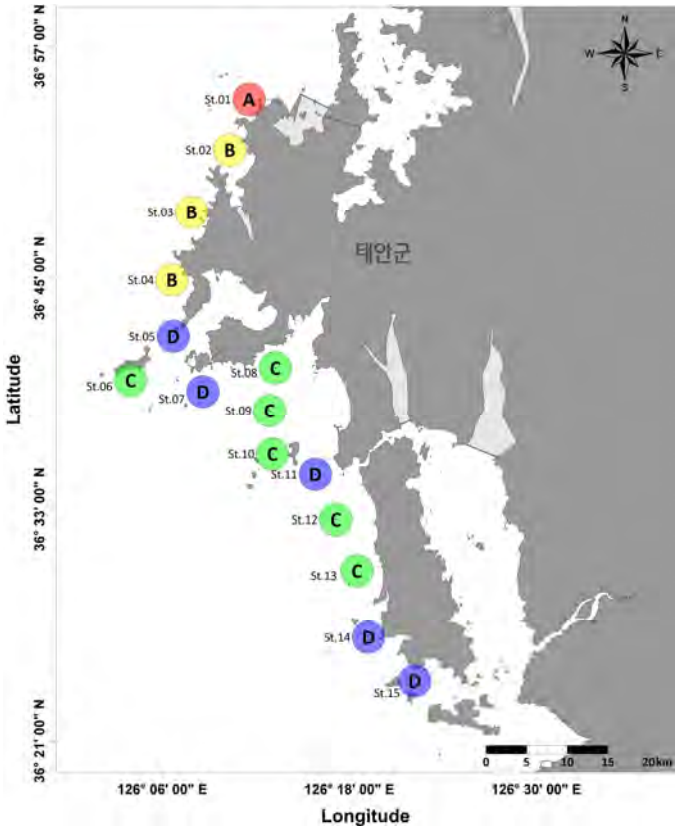


그림 Ⅱ-7-46. 조하대 저서무척추동물 군집 공간 분포

- 시기별로는 동계를 제외하고 나머지 조사시기에 유사하게 구분(그림 II-7-47)

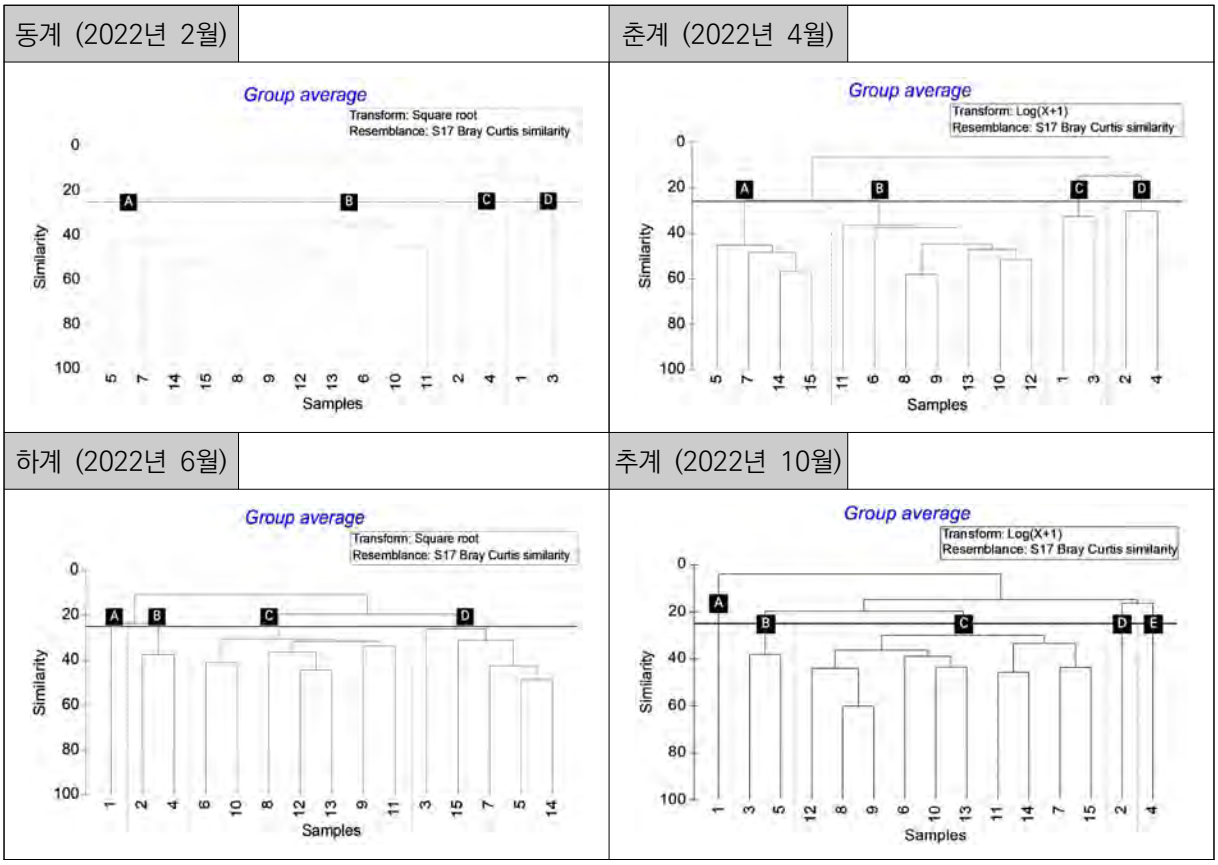


그림 Ⅱ-7-47. 조하대 저서무척추동물 군집 조사시기별 집괴분석 결과

(2) 군집 특성

- 조사시기 및 정점별로 군집 분석한 결과, 유사도 22% 수준에서 크게 5개의 군집으로 구분(그림 II-7-48~50)
- 군집은 크게 북부와 남부로 구분되는 경향을 보였으며, 북부 해역의 출현종수, 서식밀도, 생체량은 남부 해역에 비해 월등히 낮은 수준(표 II-7-36)
- 정점군 C, D, E는 북부에 위치한 군집으로 모래 함량이 90% 이상을 나타낸 반면, 정점군 A와 B는 남부에 위치한 군집으로 펄 함량이 20% 내외를 보임(표 II-7-36)
- 정점군 A와 정점군 B의 수질 및 퇴적 환경은 비슷하나, 정점군 B에서 출현종수, 서식밀도, 생체량이 월등히 높게 나타남(표 II-7-36)
- 정점군 B는 버들갯지렁이류(*Mediomastus californiensis*), 두갈래별난가시갯지렁이(*Cirrophorus furcatus*), 채찍별난가시갯지렁이(*Cirrophorus branchiatus*)가 군집을 구분 짓는 주요 기여종으로 분석(표 II-7-36)
- 정점군 A는 고리사슴갯지렁이(*Amphisamytha japonica*), 짧은가시송곳갯지렁이(*Lumbrineris cruzensis*), 분홍접시조개(*Moerella hilaris*)가 기여종으로 분석(표 II-7-36)

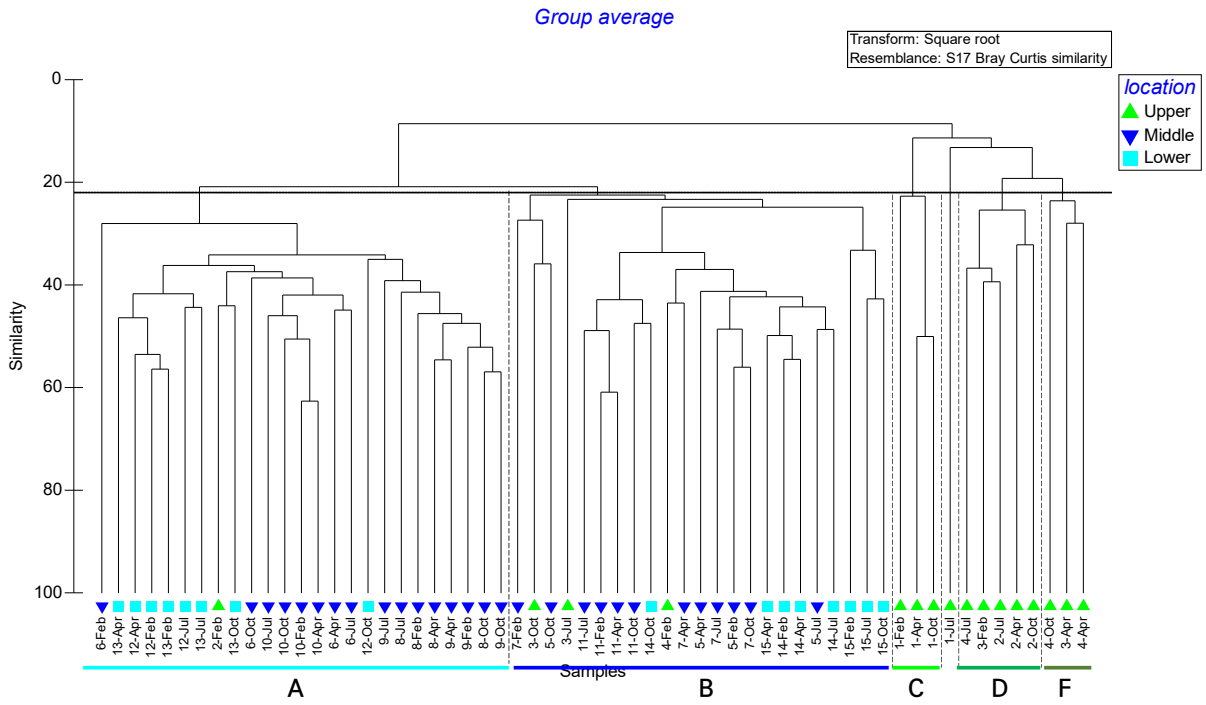


그림 Ⅱ-7-48. 조하대 저서무척추동물 군집 집괴분석 결과

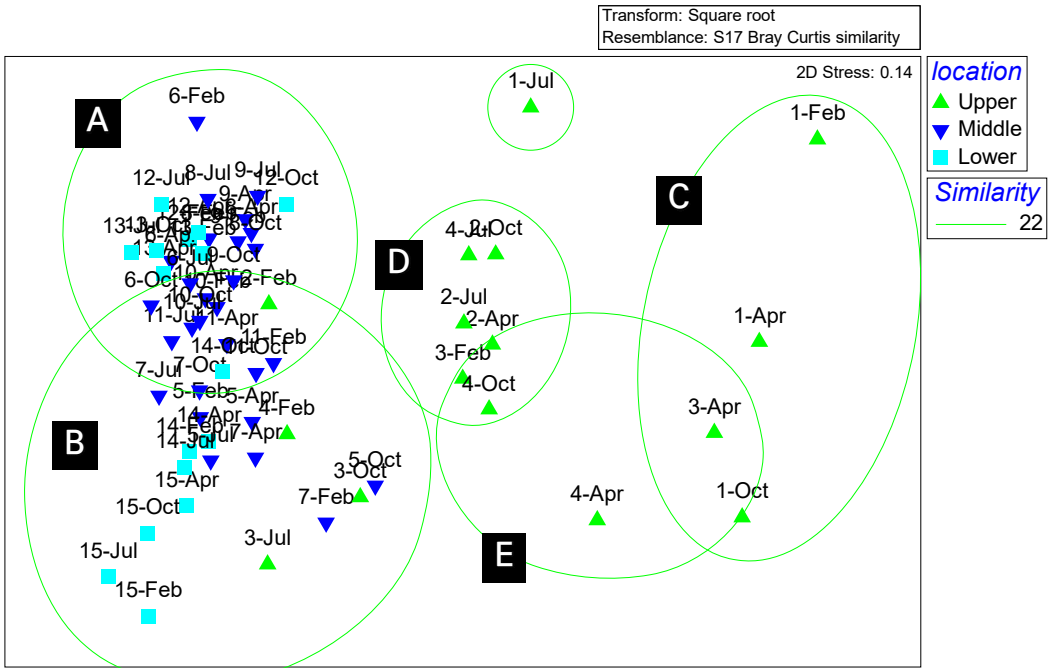


그림 Ⅱ-7-49. 조하대 저서무척추동물 군집 다차원척도법(n-MDS) 분석 결과(공간 구분)

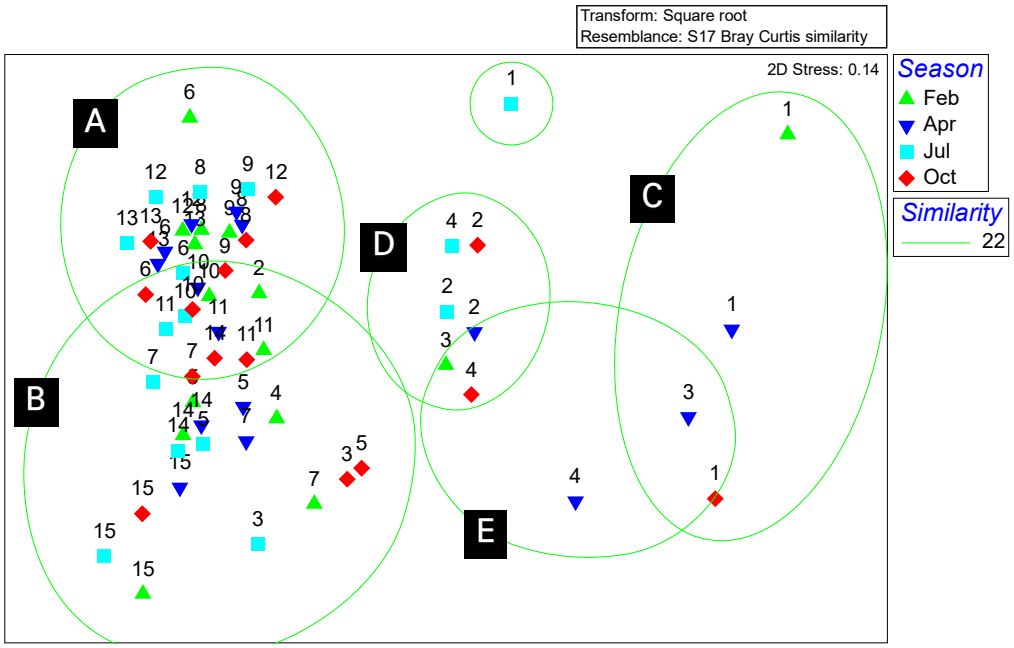


그림 Ⅱ-7-50. 조하대 저서무척추동물 군집 다차원척도법(n-MDS) 분석 결과(계절 구분)

표 Ⅱ-7-36. 조하대 저서무척추동물 군집의 다변량 분석에 따른 각 정점군별 군집 특성

정점군	정점군 A	정점군 B	정점군 C	정점군 D	정점군 E
정점	6~13	3, 5, 10, 14~15	1	2~4	3, 4
평균 출현종수 (/0.1㎡)	44±9	59±20	3±1	18±3	15±3
평균 서식밀도 (개체/㎡)	1,603±670	5,397±10,726	57±31	304±93	207±65
평균 생체량 (g/㎡)	47.0±51.6	106.1±139.3	0.4±0.2	1.5±0.8	41.3±68.3
Sand(%)	77.4±9.6	78.3±10.8	94.7±0.8	91.4±1.3	91.1±2.9
Mud(%)	22.6±9.6	21.7±10.8	5.3±0.8	8.6±1.3	8.9±2.9
SPM(㎎/L)	13.2±7.8	14.2±8.5	26.6±6.5	16.4±10.3	13.7±6.6
COD(㎎/g)	2.6±0.6	2.3±0.5	2.3±0.1	2.3±0.6	2.3±0.4
기여종 (개체/㎡, %)	*Amphisamytha japonica* (7.0%)	*Mediomastus californiensis* (9.1%)	Oligochaeta sp. (10.4%)	*Sinurothoe armatus* (30.7%)	*Micronephthys sphaerocirrata orientalis* (17.1%)
	Lumbrineris cruzensis (6.6%)	*Cirrophorus furcatus* (6.2%)	*Prionospio paradisea* (9.9%)	*Glycera capitata* (23.8%)	*Micrura* spp. (12.0%)
	Moerella hilaris (6.0%)	*Cirrophorus branchiatus* (5.2%)	*Micronephthys sphaerocirrata orientalis* (8.7%)	*Spio filicornis* (23.8%)	*Cadella narutoensis* (10.9%)

바) 환경요인과의 상관성

- 수질 환경 인자로 저층의 염분, Chl-a, 입자성부유물질(SPM), TP, DIN와 퇴적 환경 인자인 모래함량(Sand, %), 강열감량(IL, %), COD(㎎/g), 산휘발성황화합물(AVS), TOC(%)를 분석에 이용
- 조하대 저서무척추동물 군집과 가장 상관성 높은 환경요인은 입자성부유물질(SPM), 모래함량으로 분석(표 II-7-37)

표 Ⅱ-7-37. 조하대 저서무척추동물 군집 분포와 환경요인과의 상관관계

순위	조합변수		단일변수	
	상관계수	환경요인	상관계수	환경요인
1	0.282	SPM, Sand	0.189	Sand
2	0.262	SPM, Sand, COD	0.181	SPM
3	0.235	SPM, DIN, Sand	0.096	COD
4	0.230	SPM, Sand, IL	0.083	IL
5	0.229	Chl-a, SPM, Sand	0.038	DIN

사) 저서생태계 건강성

- 조하대 저서생태계 건강도 종합평가 결과는 3등급(매우좋음) 부터 5등급(보통)까지 다양하게 분포하였고 평균 4등급(좋음)에 해당함(표 II-7-38)
- KBQI 에서의 정점 St.15와 ISEP 에서의 정점 St.14를 제외하고는 대체로 연중 건강도의 변화가 크지 않음
- 파도리를 기준으로 북부 정점(St.01~04)은 5등급의 '보통'수준을, 남쪽 정점은 4등급 '좋음' 이상의 건강도를 나타냄(그림 II-7-51)
- St. 01은 낮은 생물다양성(평균 5종/0.1㎡)으로 KBQI에서 매 시기 낮은 평가를 받았으나, 큰머리미갑갯지렁이(*Glycera capitata*), 돗대기새우(*Leptochela gracilis*), 치로리미갑갯지렁이(*Glycera nicobarica*) 등 대형종이 출현하여 ISEP 에서 시기에 따라 2등급 '아주좋음'에서부터 4등급 '좋음'사이의 평가를 받음
- 북부에 위치한 St.02 ~ St.04 정점은 2월을 제외하고 KBQI 지수에서 연중 6등급 '나쁨'의 평가를 받았고, 이는 해당 정점의 낮은 출현종수에 기인함
- 정점 St.14는 6월에 ISEP 지수 에서, 6등급(나쁨)의 평가를 받았고 이는 다른 시기 대비 낮은 생체량에 의한 결과임

표 Ⅱ-7-38. 조하대 저서생태계 건강도 평가 결과

평가 지수	정점	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	St.06	St.07	St.08	St.09	St.10	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15
KBQI	2월	7	3	5	4	2	5	3	3	3	2	3	3	3	2	3
	4월	7	6	6	6	3	3	4	5	4	2	4	3	4	3	3
	7월	7	6	6	6	3	3	3	4	4	3	3	4	3	2	6
	10월	7	6	6	6	5	2	2	5	3	2	3	4	4	3	6
	평균	7	5	6	6	3	3	3	4	4	2	3	4	4	3	5
ISEP	2월	3	4	3	4	2	4	3	4	3	3	5	3	4	4	3
	4월	2	3	5	3	4	5	3	4	3	3	4	2	3	5	4
	7월	4	4	5	5	3	4	4	4	4	2	5	3	3	6	6
	10월	3	5	4	2	3	2	5	5	5	3	5	3	3	5	3
	평균	3	4	4	4	3	4	4	4	4	3	5	3	3	5	4
종합등급 (전체 평균)		5	5	5	5	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	4

기준등급	1	2	3	4	5	6	7
평가	매우 좋음			좋음	보통	나쁨	매우 나쁨

- St.15 또한 7월에 ISEP 6등급(나쁨)의 평가를 받았으나 정점 St.14와는 달리 다른 시기와 비슷한 생체량을 나타냈고 *Polydora* spp.(32,020 개체/㎡, 우점률 59.6%), 넓적다리붙은꼬리옆새우(*Gammaropsis utinomii*, 10,840 개체/㎡, 우점률 20.2%)가 서식밀도에서 매우 높은 우점률을 보여 낮은 ISEP 등급 평가에 영향을 준 것으로 보임
- St.15의 7월 KBQI 지수 하락은, 기존 2월과 4월 지수 산정에 크게 기여했던 극동육질꼬리옆새우(*G. japonica*), 넓적다리붙은꼬리옆새우(*G.(S.)unitnomii*)가 높은 밀도로 출현했음에도 *Polydora* spp.가 대량 출현함에 따라 상대적으로 우점률이 낮아져 이전만큼 높은 점수를 받지 못한 결과임(그림 Ⅱ-7-52)
- 이와는 다르게, 10월의 경우는 이들 *Gammaropsis* spp.가 크게 감소한 것이 직접적인 원인임

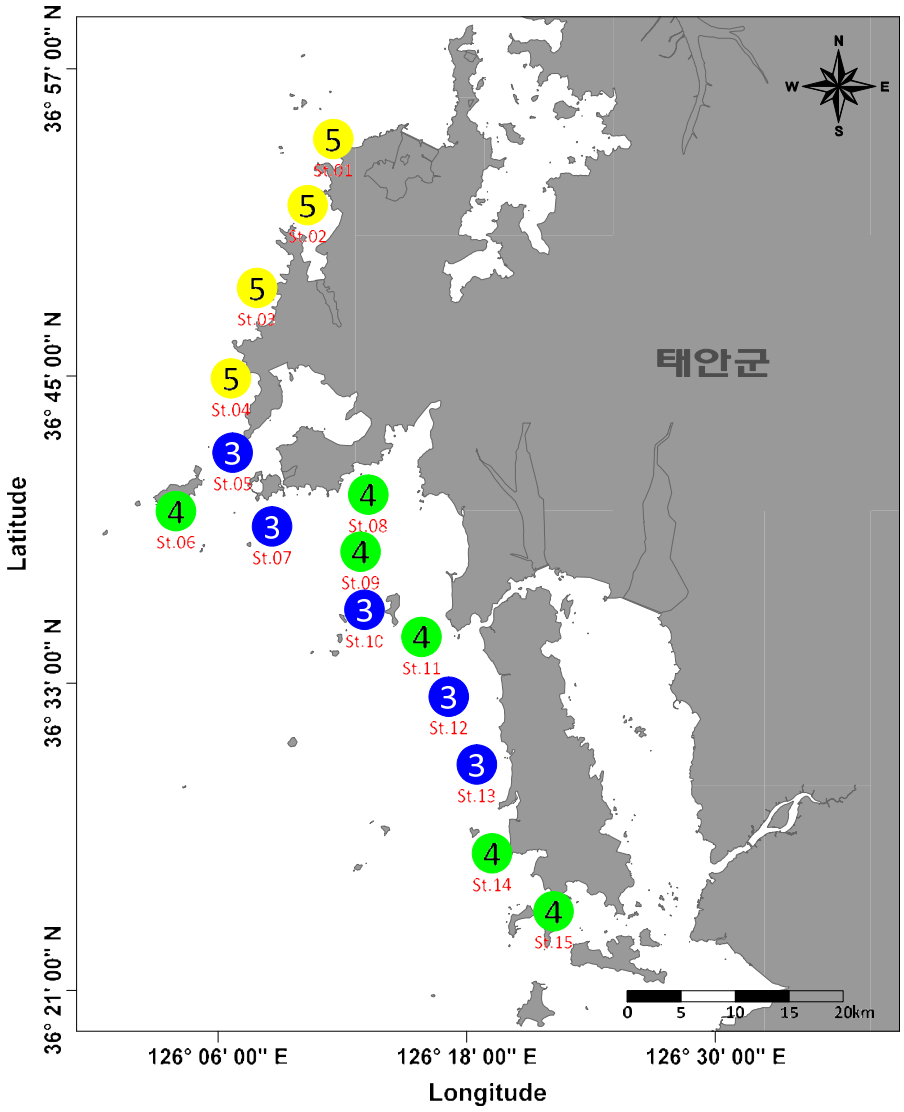
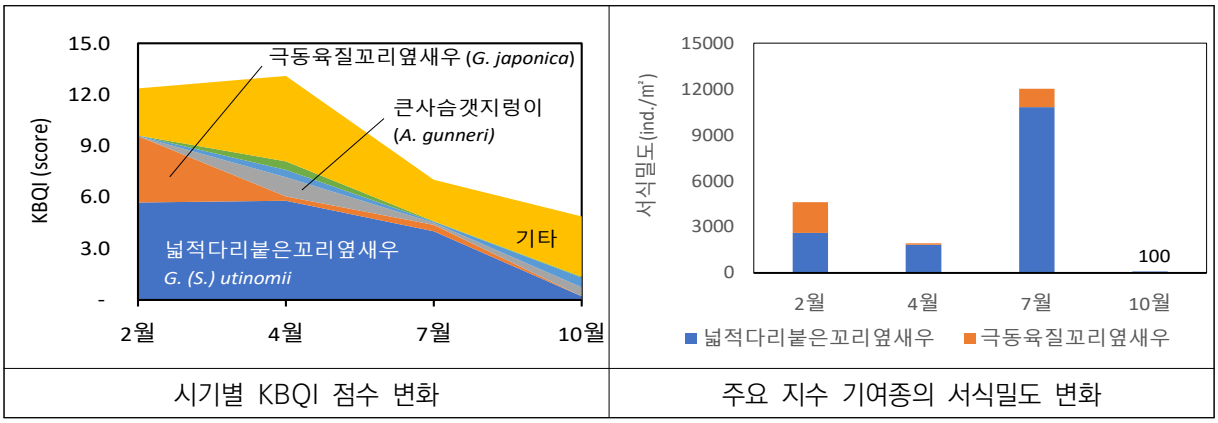


그림 Ⅱ-7-51. 조하대 저서생태계 건강도 종합 평가 분포도



시기별 KBQI 점수 변화	주요 지수 기여종의 서식밀도 변화

그림 Ⅱ-7-52. 정점 St.15의 시기별 KBQI 점수 및 주요 지수 기여종의 서식밀도 변화

아) 선행연구와의 비교

(1) 장기모니터링 조사 결과

- 유류유출 사고 이후 태안해안국립공원 조하대 저서무척추동물 군집의 출현종수와 생체량은 2011년을 기점으로 크게 증가하고 이후 증감을 반복하며 일정한 수준을 유지하고 있음(그림 II-7-53)
- 서식밀도는 특정시기에 기회종 아기반투명조개(*Theora lata*)와 긴얼굴갯지렁이류(*Polydora* spp.), 넓적다리붙은꼬리옆새우(*Gammaropsis utinommi*)의 출현으로 인해 일시적으로 높은 밀도가 관찰됨
- 생체량은 2018년부터 지속적 감소 추세에 있으며, 현재는 서해중부(114.7g/㎡, 해양수산부(2007)) 보다 다소 낮은 수준

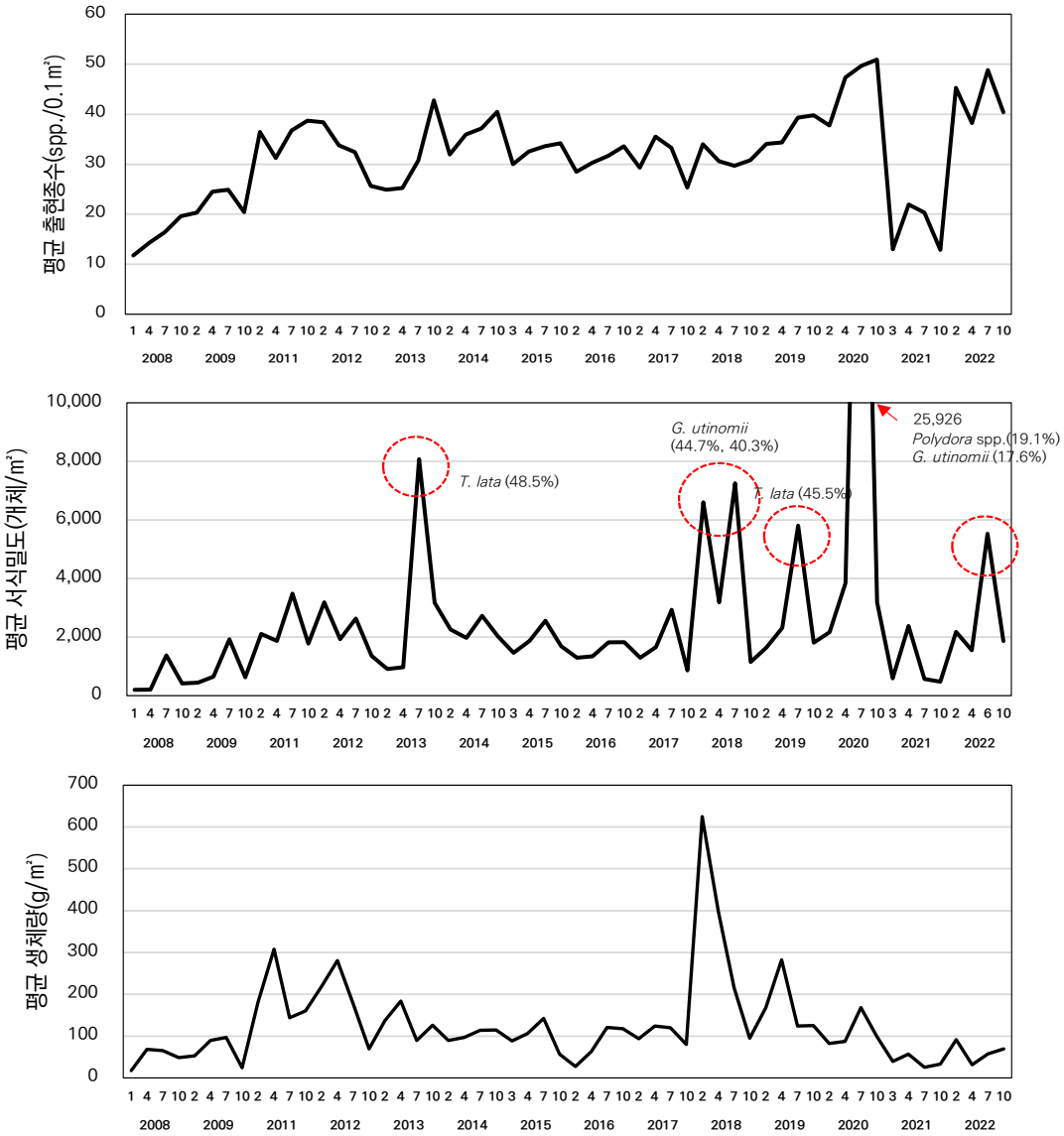


그림 Ⅱ-7-53. 조하대 저서무척추동물의 출현종수, 서식밀도, 생체량 장기 변동

(2) 타 연구 결과의 비교

- 춘계와 하계에 이루어진 2006년부터 2008년까지 서해북부와 중부, 남부 해역의 조사 결과(해양수산부, 2006; 2007; 2008)와 서해 연안 63개 정점을 대상으로 수행된 조사 결과(해양수산부, 2015)를 본 조사 결과와 비교
- 태안해안국립공원 조하대 해역에서 춘계와 하계에 출현한 저서무척추동물 평균 종 수는 44종/0.1㎡이었으며, 채집면적을 보정하여 산출한 출현종지수로 나타내어 타 해역과 비교한 결과, 2006년부터 서해를 대상으로 한 조사 결과와 유사한 수준이었음(그림 II-7-54)

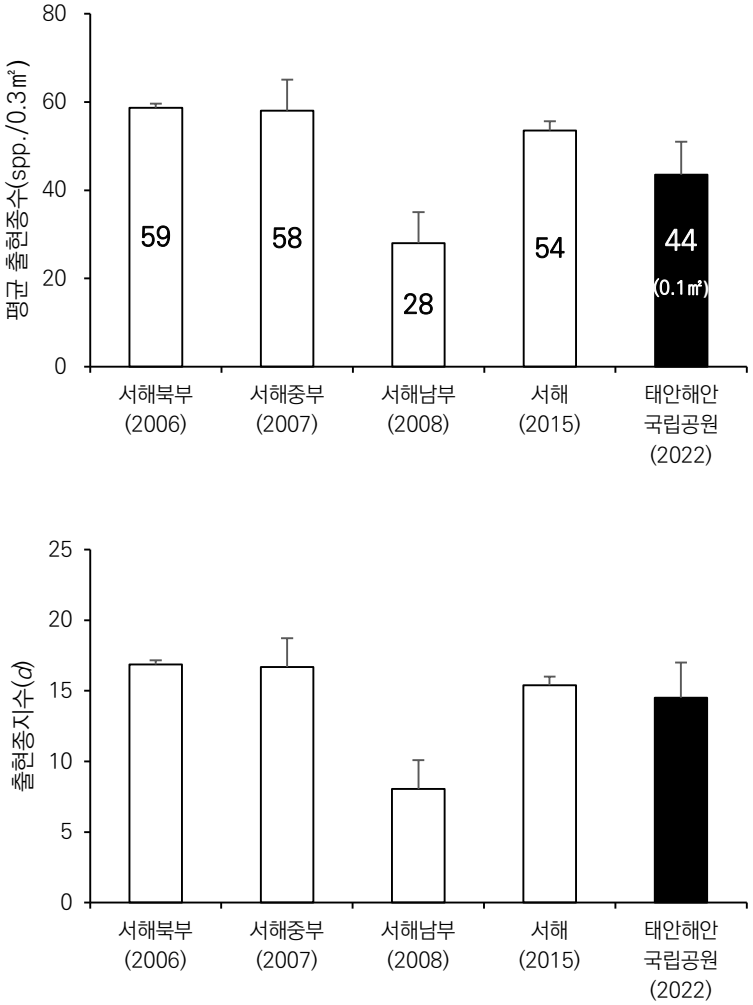


그림 Ⅱ-7-54. 조하대 저서무척추동물 평균 출현종수, 출현종지수 타 해역과의 비교

- 태안해안국립공원 조하대 저서무척추동물의 서식밀도는 기회종 다모류인 긴얼굴갯지렁이(*Polydora* spp.)와 넓적다리붙은꼬리옆새우(*Gammaropsis utinomii*)의 대량 출현으로 인해 서해 중부와 2015년 서해 전 연안의 평균 서식밀도에 비해 높은 수준이었음(그림 II-7-55)

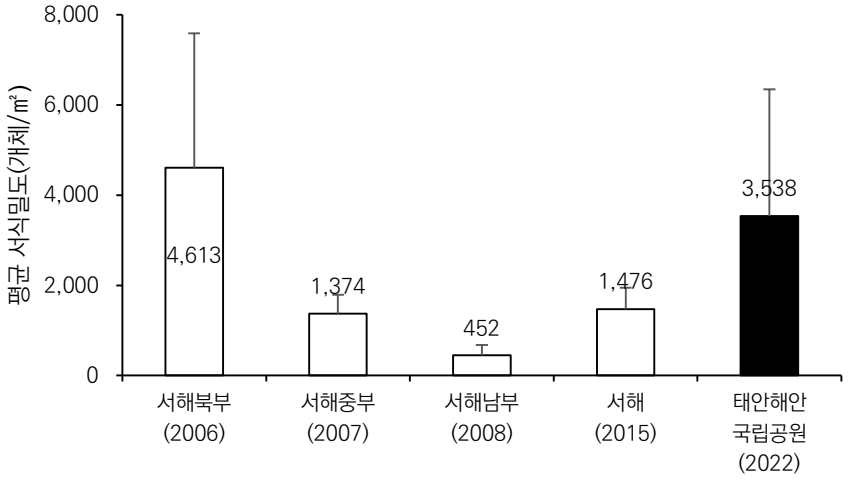


그림 Ⅱ-7-55. 조하대 저서무척추동물 서식밀도 타 해역과의 비교

- 2022년 태안해안국립공원 조하대 저서무척추동물 생체량은 서해 중부에 비해 월등히 낮은 수준이었음(그림 II-7-56)
- 2007년 서해 중부에서는 모래무치염통성게(*Echinocardium cordatum*)와 키조개(*Atrina pectinata*)가 생체량 기준 최우점종과 차우점종으로 각각 평균 46.5 g/㎡, 28.9 g/㎡를 기록함. 본 조사에서는 별불가사리(*Patiria pectinifera*)와 하드윅북지성게(*Temnopleurus hardwickii*)의 생체량이 가장 높았으며, 모래무치염통성게는 추계 정점 6에서 1개체만이 출현하여 평균 2.7 g/㎡를 기록함

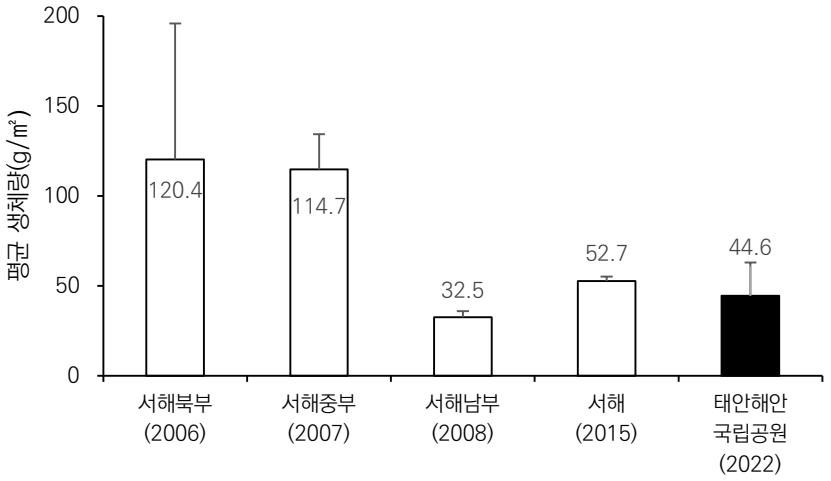


그림 Ⅱ-7-56. 조하대 저서무척추동물 생체량 타 해역과의 비교

- 2020년 선행연구의 ISEP 건강도 지수 평가 결과와 본 연구의 결과를 비교함
- 2020년 ISEP 건강도 지수의 정점별 종합등급은 3등급(아주좋음)에서 5등급(보통) 사이로 평균 4등급(좋음)에 해당하고 본 연구와 동일함(표 II-7-51)
- 정점 St.01은 2020년과 동일하게 5등급(보통)을 유지
- 본 연구결과 파도리 이북 정점들(St.01~04)의 건강도가 5등급(보통)으로 낮게 평가됨에 따라, 2020년 대비 등급 하락이 나타남
- 그 외 지역의 건강도 변동은 크지 않았음

표 Ⅱ-7-51. 조하대 ISEP 건강도지수 선행연구와의 비교

조사년도	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	St.06	St.07	St.08	St.09	St.10	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15	평균
2020	5	3	4	3	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4
2022	5	5	5	5	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	4	4
증감*	-	▼2	▼1	▼2	▲1	-	-	-	▼1	▲1	-	▲1	▲1	-	-	-

기준등급	1	2	3	4	5	6	7
평가	매우 좋음			좋음	보통	나쁨	매우 나쁨

*양수:등급 상승, 음수:등급하락

다. 참고문헌

국립공원공단 국립공원연구원. 2009a. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 태안해안국립공원 일대의 자연자원 정밀조사. 1102 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2009b. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(1차년도). 856 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2010. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(2차년도). 763 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2011. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(3차년도). 872 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2012. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(4차년도). 926 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2013. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(5차년도). 838 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2014. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(6차년도). 854 pp.

국립공원공단 국립공원연구원, 2015. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(7차년도). 739 pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2016. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(8차년도). 793 pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2017. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(9차년도). 680 pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2018. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(10차년도). 718 pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2019. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링 종합분석(11차년도). 623 pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2020. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(12차년도). 306 pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2021. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(13차년도). 328 pp.
인천광역시. 2019. 한강하구 생태·환경 통합관리체계 구축. 346 pp.
인천광역시. 2020. 한강하구 환경기초조사 연구 용역. 136 pp.
인천광역시. 2021. 한강하구 환경기초조사 연구용역. 174 pp.
해양수산부. 2006. 해양생태계 기본조사 -37° 아산만 ~ 38° 최북단-. 687 pp.
해양수산부. 2007. 해양생태계 기본조사 -35.5° 곰소만 입구 ~ 37° 아산만-. 373 pp.
해양수산부. 2008. 해양생태계 기본조사 서해 남부(35.5°N 영광 ~ 34.5°N 진도). 692 pp.
해양수산부. 2009. 해양생태계기본조사_남해 서부. 174 pp.
해양수산부. 2009. 해양생태계기본조사_서해 남부. 692 pp.
해양수산부. 2011a. 연안습지 기초조사(기본조사). 791 pp.
해양수산부. 2011b. 해양생태계기본조사_남해 동부. 927 pp.
해양수산부. 2012. 해양생태계기본조사_제주 이어도해역. 919 pp.
해양수산부. 2013. 해양생태계 기본조사_동해 남부해역_제1권. 600 pp.
해양수산부. 2013. 해양생태계 기본조사_동해 남부해역_제2권. 269 pp.
해양수산부. 2013. 해양생태계 기본조사_동해 남부해역_제3권. 241 pp.
해양수산부. 2014. 해양생태계 기본조사_동해 북부해역_제1권. 665 pp.
해양수산부. 2014. 해양생태계 기본조사_동해 북부해역_제2권. 249 pp.
해양수산부. 2014. 해양생태계 기본조사_동해 북부해역_제3권. 374 pp.
해양수산부. 2015. 해양생태계 기본조사_울릉도 독도해역. 373 pp.
해양수산부. 2015. 국가 해양생태계 종합조사[서해·남해서부] 조사연보 Ⅱ. 연안생태계. 358 pp.
해양수산부. 2017. [동해·서해·남해·제주] 국가 해양생태계 종합조사 Ⅰ. 갯벌생태계. 587 pp.

Bray JR, JT Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecological Monographs 27: 325-349.

Margalef R. 1958. Perspectives in ecology theory. Chicago, University of Chicago Press. 112 pp.

Pielou EC. 1966. The Measurement of diversity in different types of biological collections.

Shannon CE, W Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press. 117 pp.

Whittaker RH. 1975. Communities and ecosystems, 2nd edition. Macmillan, New York, 385 pp.

Yoo JW. YW Lee, JL Reusink, CG Lee, CS Kim, MR Park, KT Yoon, IS Hwang, JH Maeng, R Rosenberg, JS Hong. 2010. Environmental quality of Korean coasts as determined by modified Shannon-Wiener evenness proportion. Environmental monitoring and assessment 170(1): 141-157.

8 해양어류(조수웅덩이)

가. 서론

1) 배경

- 서해는 해안선이 복잡하고 조수간만의 차가 커 간조 시 넓은 간석지와 조수웅덩이가 형성됨에 따라 망둑어과 어류를 비롯한 많은 저서성 어류들이 서식하기에 좋은 조건
- 2007년 12월 발생한 허베이 스피리트호 유류유출사고로 인해 태안 연근해에 서식하는 해양생물의 직·간접적인 피해와 함께 조수웅덩이에 서식하는 저서어류에도 영향을 미쳤을 것으로 예상
- 최근 기후변화에 따른 해수온 상승으로 분포지가 제주도를 비롯한 남해안에 한정되어있던 어류들이 북상함에 따라 지속적인 관찰이 요구됨

2) 연구목적

- 유출된 유류가 태안해안국립공원 해안의 조수웅덩이에 서식하는 어류 분포에 미친 영향과 해수온 상승에 의한 조수웅덩이 어류 분포 변화를 파악

나. 조사내용 및 방법

1) 조사지역

- 기본 모니터링 보고서를 참조, 조사 지역별 대상 조수웅덩이 선정(표 Ⅱ-8-1, 그림 Ⅱ-8-1)

표 Ⅱ-8-1. 조사 정점

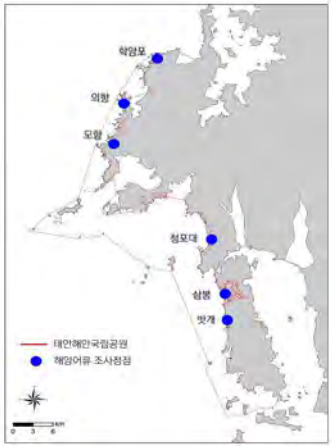
조사 정점도	정점	좌 표	
		위 도	경 도
	학암포	36° 54.039'N	126° 12.126'E
	의항	36° 49.482'N	126° 09.442'E
	모항	36° 46.451'N	126° 07.769'E
	청포대	36° 38.046'N	126° 17.836'E
	삼봉	36° 34.162'N	126° 18.757'E
	밧개	36° 31.662'N	126° 19.651'E

그림 Ⅱ-8-1. 정점별 조사대상 조수웅덩이 전경

2) 조사기간

- 2022년 하계 및 춘계의 2회 계절 조사 실시(표 Ⅱ-8-2)
- 각 계절별로 조석이 최간조에 해당하는 시기를 선정하여 현장 조사 수행

표 Ⅱ-8-2. 조수웅덩이 어류상 조사시기

구 분	조사시간	비 고
1차 조사	2022. 8. 13~15.	하 계
2차 조사	2022. 10. 25~27.	추 계

3) 조사방법

가) 시료채집 및 분석방법

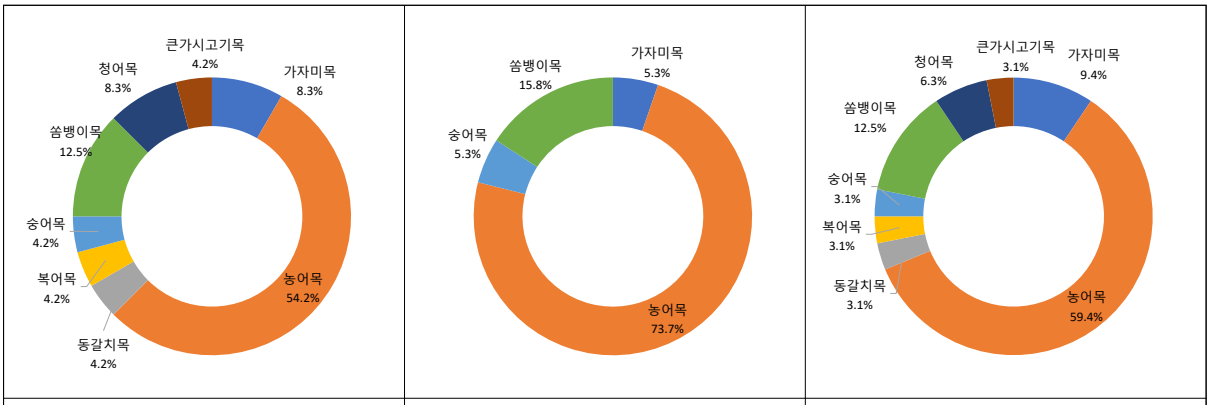
- 조수웅덩이가 드러나는 최저 간조 시 소형 양수기를 이용하여 웅덩이 내 해수를 최대한 제거
- 족대·뜰채 등을 이용하여 웅덩이 내 서식 어류를 전량 채집
- 채집한 시료는 냉동하여 실험실로 운반
- 김익수 등(2005), Masuda *et al.*(1988), Nakabo (2002) 등 문헌 참조
- 채집된 시료를 종 단위로 동정하고 각 종별 생체량(gWWt) 측정

그림 Ⅱ-8-2. 조수웅덩이 어류상 조사 전경

다. 결과 및 고찰

1) 종조성

- 8월 조사시 총 8목 16과 24종 채집, 10월 조사시 4목 9과 19종 채집(그림 Ⅱ-8-3)
- 이를 종합한 2022년 조사에서는 총 8목 20과 32종의 어류 채집
- 이 중 농어목에 해당하는 어류가 총 19종이 출현하여 전체 출현종수의 59.4%로 최우점
- 다음으로 쏨뱅이목(4종), 가자미목(3종) 등이 주요 출현 분류군으로 확인



2022년 8월	2022년 10월	2022년 종합

그림 Ⅱ-8-3. 2022년 채집된 조수웅덩이 어류의 목(Order) 단위 출현종수

- 6개 조사지역의 평균 출현종수는 13종/정점으로 조사(그림 Ⅱ-8-4)
- 지역별로는 청포대에서 총 18종으로 가장 많은 종수가 관찰되었고, 삼봉에서 9종으로 가장 적은 종수가 관찰됨

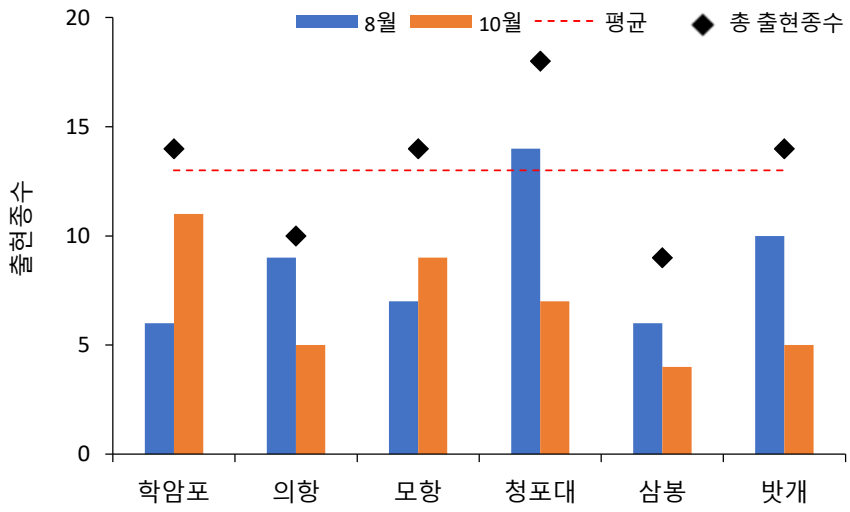


그림 Ⅱ-8-4. 2022년 채집된 조수웅덩이 어류의 지역별 출현종수

2) 단위부피(10㎥)당 개체수

- 본 조사시 평균 128 개체/10㎥의 조수웅덩이 어류 출현(그림 Ⅱ-8-5)
- 8월 조사시 32(의항)~489(삼봉) 개체/10㎥의 범위로, 평균 128 개체/10㎥의 조수웅덩이 어류 출현
- 10월 조사시 31(청포대)~248(모항) 개체/10㎥의 범위로, 평균 92 개체/10㎥의 조수웅덩이 어류 출현

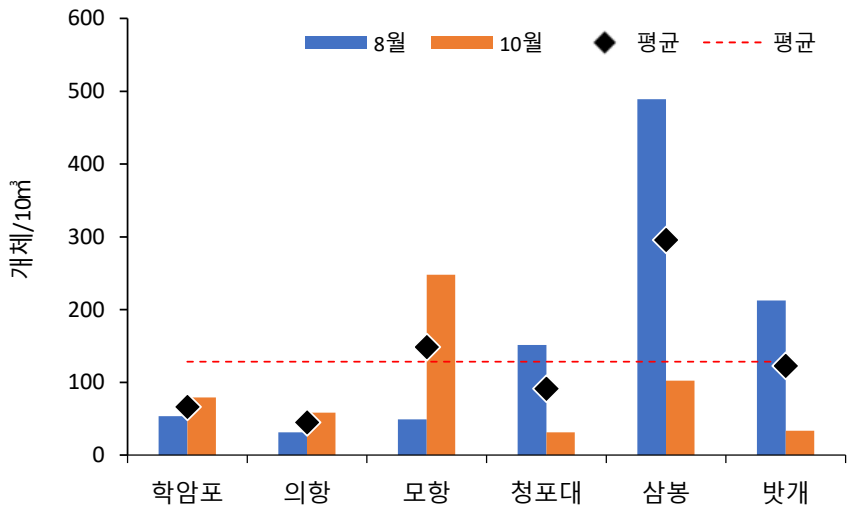
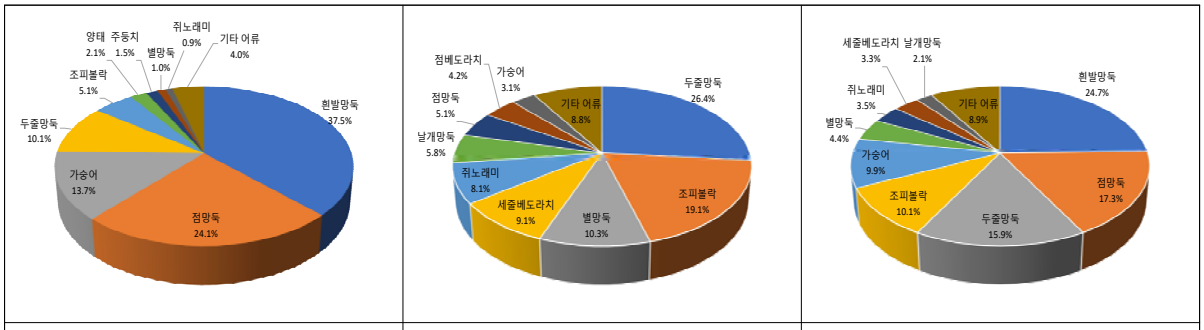


그림 Ⅱ-8-5. 2022년 채집된 조수웅덩이 어류의 지역별 출현 개체수

3) 우점종

- 조사시기별(2005~2022) 조사지역 우점종 현황은 [부록 Ⅲ-8-2]에 제시
- 8월 조사 시 흰발망둑이 37.5%로 우점, 점망둑이 24.1%로 차우점, 그 외 가숭어(13.7%), 두줄망둑(10.1%), 조피볼락(5.1%) 등이 높은 출현율을 보임
- 10월 조사 시 두줄망둑이 26.4%로 우점, 조피볼락이 19.1%로 차우점, 그 외 별망둑(10.3%), 세줄베도라치(9.1%), 쥐노래미(8.1%) 등이 높은 출현율을 보임
- 이를 종합한 2022년 조사에서의 주요 우점종은 흰발망둑(24.7%), 점망둑(17.3%), 두줄망둑(15.9%), 조피볼락(10.1%), 가숭어(9.9%) 등으로 농어목 망둑어과의 어종이 주로 우점하는 양상을 보임
- 2022년 조사에서 출현한 주요 우점종 5종(흰발망둑, 점망둑, 두둘망둑, 조피볼락, 가숭어)에 대한 밀도 분포 분석 결과는 다음의 그림 Ⅱ-8-7과 같음
- 흰발망둑, 두줄망둑은 사질로 구성된 조간대에서 주로 출현
- 점망둑은 조사 정점중 최북.최남단을 제외한 중부 지점에서 주로 출현
- 조피볼락은 학암포·의항·모항 등 암반으로 구성된 조간대에서 주로 출현
- 가숭어는 남측에 위치한 삼봉·밧개의 2개 정점에서 주로 출현



2022년 8월	2022년 10월	2022년 종합

그림 Ⅱ-8-6. 2022년 채집된 조수웅덩이 어류의 주요 우점종

흰발망둑

점망둑

두줄망둑

조피볼락

가숭어

그림 Ⅱ-8-7. 주요 우점종별 밀도(개체/10㎥) 분포

4) 정점별 어류분포 특징

- 조사시기별(2009~2022년) 단위부피당 출현 개체수와 종수는 [부록 Ⅲ-8-3]에 제시

가) 학암포

- 8월(하계)에 6종, 10월(추계)에 11종이 출현하여, 총 4목 11과 14종 출현(그림 Ⅱ-8-8)
- 출현 개체수의 경우 8월(하계) 53 개체/10㎥, 10월(추계) 79 개체/10㎥로, 평균 66 개체/10㎥ 출현
- 우점종은 조피볼락(67.4%), 아우점종은 쥐노래미(8.0%)로 확인(그림 Ⅱ-8-8)

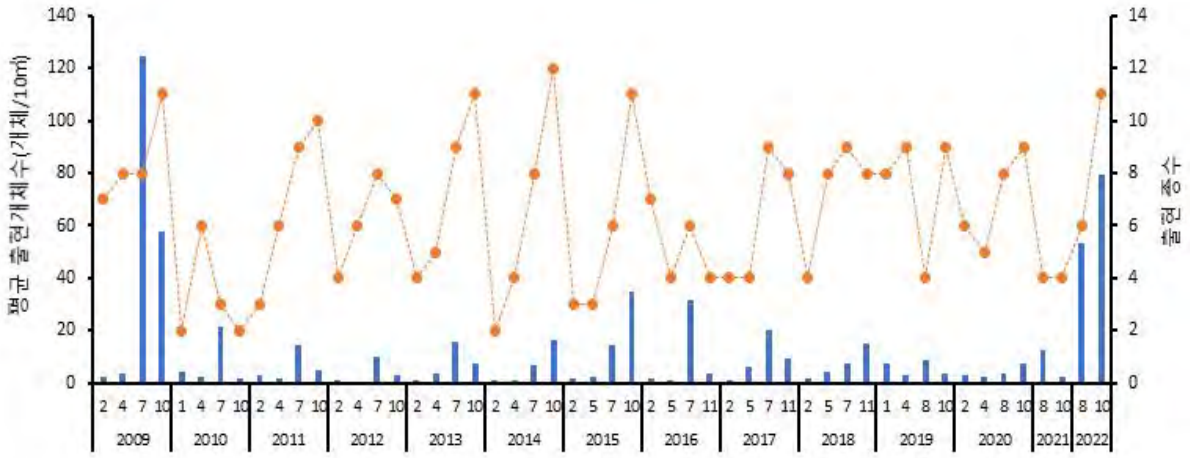


그림 Ⅱ-8-8. 학암포에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수

나) 의항

- 8월(하계)에 9종, 10월(추계)에 5종이 출현하여, 총 3목 6과 10종 출현(그림 Ⅱ-8-9)
- 출현개체수의 경우 8월(하계) 32 개체/10㎥, 10월(추계) 59 개체/10㎥가 출현하여 평균 45 개체/10㎥ 출현
- 우점종은 점망둑(39.0%), 아우점종은 조피볼락(26.0%)로 확인(그림 Ⅱ-8-9)

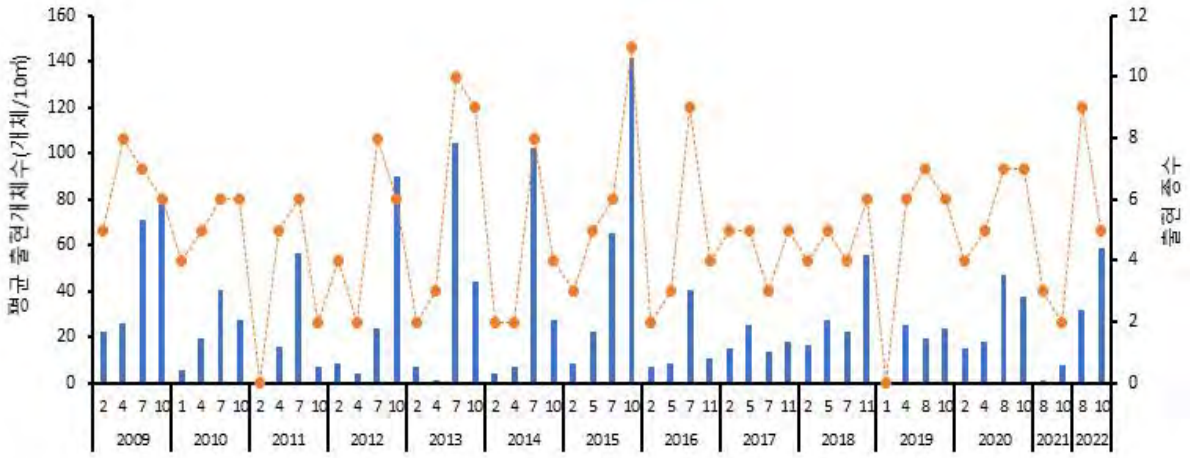


그림 Ⅱ-8-9. 의항에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수

다) 모항

- 8월(하계)에 7종, 10월(추계)에 9종이 출현하여, 총 3목 8과 14종 출현(그림 Ⅱ-8-10)
- 출현개체수의 경우 8월(하계) 49 개체/10㎥, 10월(추계) 248 개체/10㎥가 출현하여 평균 149 개체/10㎥ 출현
- 우점종은 별망둑(21.0%), 아우점종은 세줄베도라치(17.0%)로 확인(그림 Ⅱ-8-10)

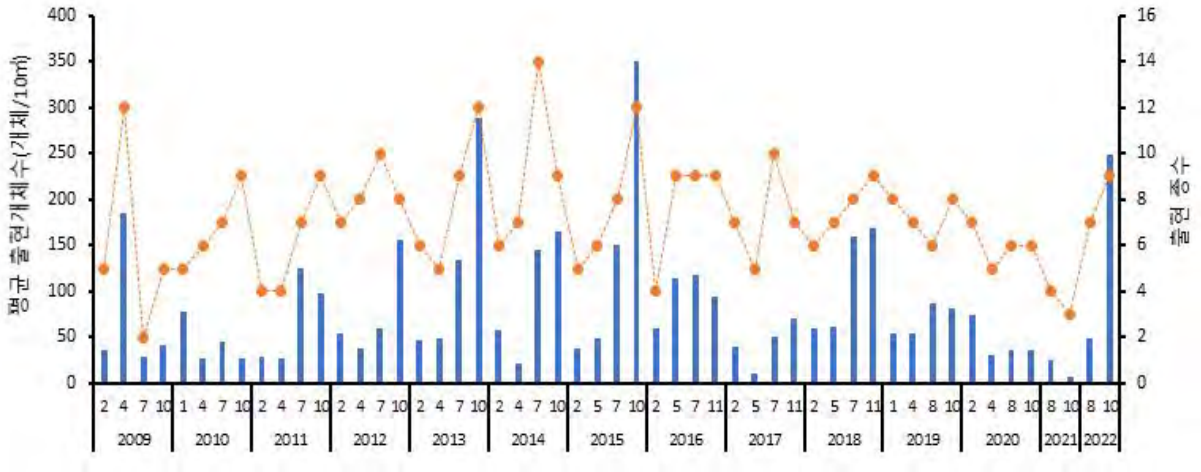


그림 Ⅱ-8-10. 모항에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수

라) 청포대

- 8월(하계)에 14종, 10월(추계)에 7종이 출현하여, 총 6목 13과 18종 출현(그림 Ⅱ-8-11)
- 출현개체수의 경우 8월(하계) 152 개체/10㎥, 10월(추계) 31 개체/10㎥가 출현하여 평균 91 개체/10㎥ 출현
- 우점종은 가숭어(39.3%), 아우점종은 두줄망둑(15.9%)로 확인(그림 Ⅱ-8-11)

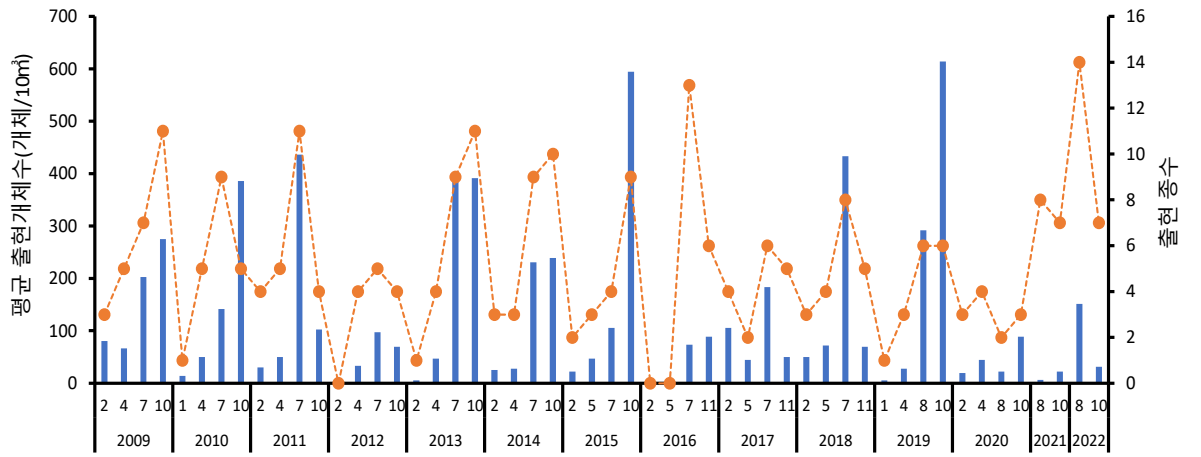


그림 Ⅱ-8-11. 청포대에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수

마) 삼봉

- 8월(하계)에 6종, 10월(추계)에 4종이 출현하여, 총 3목 6과 9종 출현(그림 Ⅱ-8-12)
- 출현개체수의 경우 8월(하계) 489 개체/10㎥, 10월(추계) 102 개체/10㎥가 출현하여 평균 91 개체/10㎥ 출현
- 우점종은 흰발망둑(50.0%), 아우점종은 점망둑(26.3%)로 확인(그림 Ⅱ-8-12)

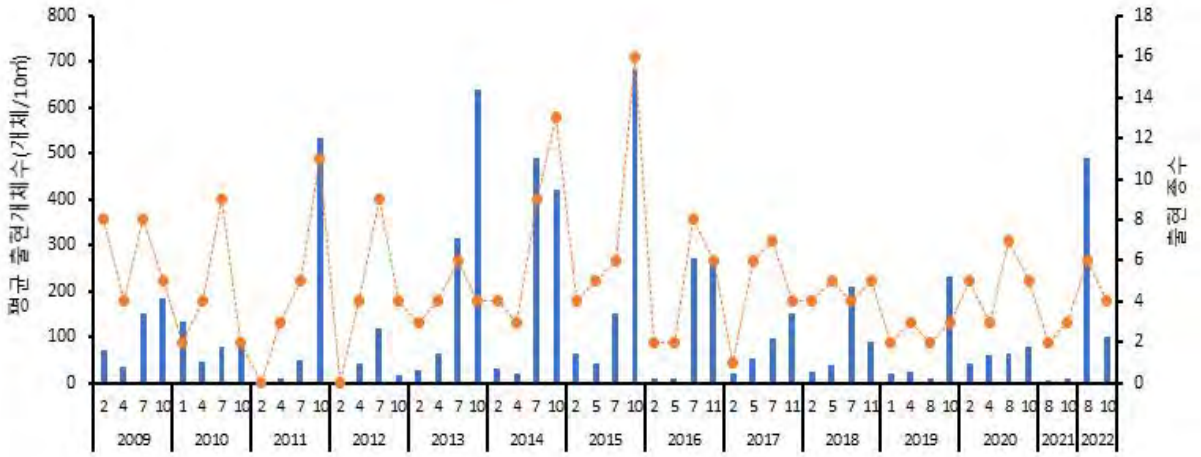


그림 Ⅱ-8-12. 삼봉에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수

바) 밧개

- 8월(하계)에 10종, 10월(추계)에 5종이 출현하여, 총 5목 10과 14종 출현(그림 Ⅱ-8-13)
- 출현개체수의 경우 8월(하계) 213 개체/10㎥, 10월(추계) 34 개체/10㎥가 출현하여 평균 123 개체/10㎥ 출현
- 우점종은 가숭어(30.6%), 아우점종은 흰발망둑(29.7%)로 확인(그림 Ⅱ-8-13)

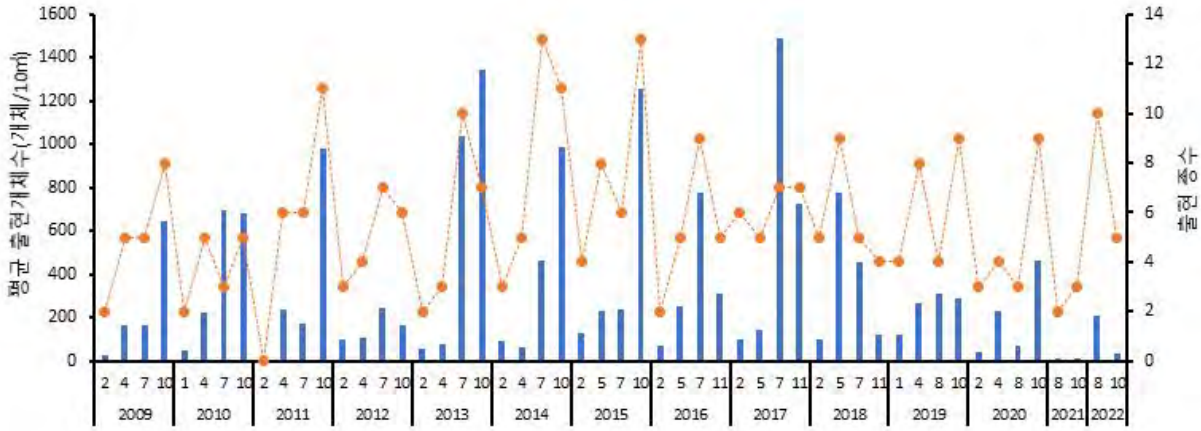


그림 Ⅱ-8-13. 밧개에서 채집된 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수

5) 종 다양성지수 분석

- 2022년 8월 조사 시 다양성지수는 0.66(학암포)~1.89(의항)의 범위로 평균 1.25±1.49 수준을 나타냄
- 2022년 10월 조사 시 다양성지수는 0.36(삼봉)~1.71(모항)의 범위로 평균 1.19±0.49 수준을 나타냄
- 1.00 미만의 상대적으로 낮은 다양성지수가 관찰된 정점은 출현종수가 타 시기에 비해 낮거나(삼봉 8, 10월), 우점종의 우점율이 매우 높은 정점(학암포 8월, 밧개 10월)에 해당(표 Ⅱ-8-3)

표 Ⅱ-8-3. 조수웅덩이 어류 조사 정점별 다양성지수 분석

조사 시기	구분	학암포	의항	모항	청포대	삼봉	밧개	평균
8월	출현종수	6	9	7	14	6	10	9±3
	개체수	101	27	79	276	222	426	189±149
	다양성지수 (H')	0.66	1.89	0.92	1.73	0.94	1.39	1.25±0.49
10월	출현종수	11	5	9	7	4	5	7±3
	개체수	150	50	58	57	224	66	101±71
	다양성지수 (H')	1.54	1.33	1.71	1.34	0.36	0.89	1.19±0.49

6) 군집분석

- 2022년 하계 및 추계 총 12개 조사 정점에 대해 어류 출현현황을 기반으로 군집분석 수행 결과, 정점별 조수웅덩이가 위치한 지역에 따른 구분이 나타남(그림 Ⅱ-8-14)
- 암반 위주의 경성조간대 상에 위치한 학암포·의항·모항이 하나의 군집을 형성하였고, 이때 시기간 구분은 나타나지 않음(그림 Ⅱ-8-14)
- 사질 위주의 연성조간대가 주를 이루는 밧개·삼봉·청포대의 3개 지역은 조사시기에 따라 주요 우점종의 차이가 있었으며, 이에 따라 하계와 추계의 시기별로 독립된 군집을 형성(표 Ⅱ-8-4)

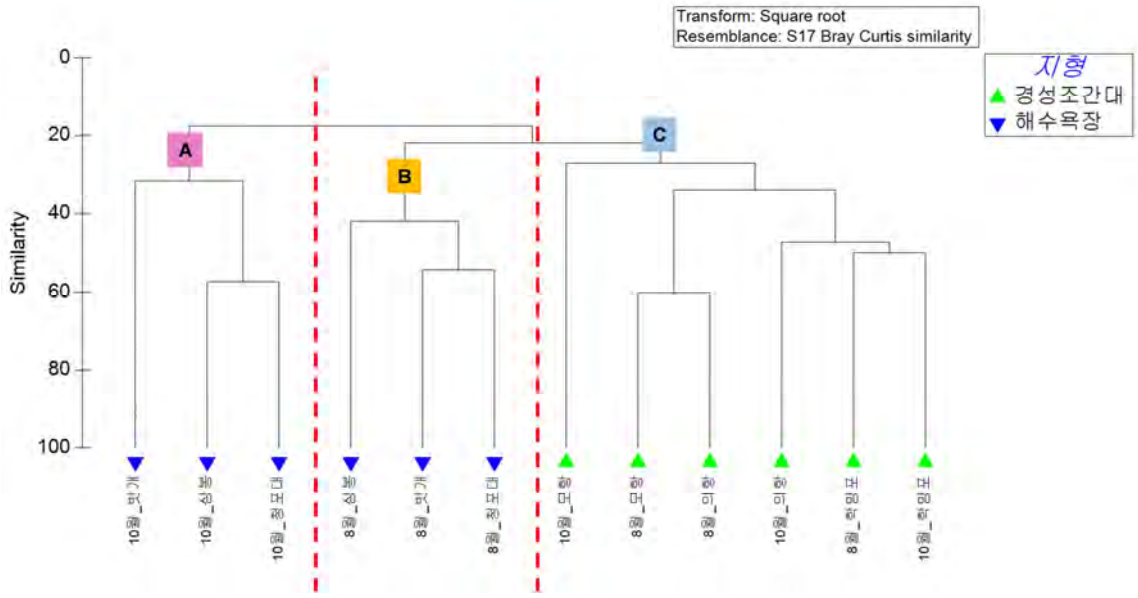


그림 Ⅱ-8-14. 지점별·시기별 군집 분석 결과

표 Ⅱ-8-4. 조수웅덩이 어류 군집별 주요 특성

군집	조사시기	평균 유사도 (%)	평균 종 수	평균 개체수 (개체/10㎥)	주요 우점종	비 고
A	2022년 10월	31.6	8±2	116±94	두줄망둑 (68.0%) 날개망둑 (18.4%)	사질 조간대 내 암반지대
B	2022년 8월	42.0	10±4	308±106	흰발망둑 (31.8%) 가숭어 (28.7%)	사질 조간대 내 암반 지대
C	2022년 8, 10월	27.1	8±2	8±2	조피볼락 (46.0%) 점망둑 (20.4%)	경성 조간대

라. 선행연구와의 비교

- 2022년 조사에서 출현한 총 8목 20과 32종의 어류에 대해 연속 출현 여부를 확인

1) 연속적·단일성 출현 어종 현황

가) 14년(연속적) 출현 현황

- 학암포 : 점망둑, 조피볼락, 쥐노래미, 두줄망둑 (4종)
- 의항 : 쥐노래미 (1종)
- 모항 : 점망둑, 별망둑 (2종)
- 청포대, 삼봉 밧개 : 연속 출현 종 없음

나) 1회(단일성) 출현 현황(*: 2022년 조사결과 출현어종)

- 학암포 : 벵에돔, 청멸, 벼슬베도라치, 양태, 별망둑, 감성돔, 꽃돛양태, 왜도라치, 흰베도라치*, 흰발망둑*, 돌돔* (11종)
- 의항 : 흰발망둑, 개볼락, 꽃돛양태, 무늬횟대, 문절망둑, 벼슬베도라치, 복섬, 어름돔, 얼룩망둑, 풀망둑, 황점베도라치 (11종)
- 모항 : 붕장어, 어름돔, 학공치, 해마, 흰꼬리볼락, 넙치, 황점베도라치, 얼룩망둑, 도다리, 꼬치고기, 복섬* (11종)
- 청포대 : 삼세기, 노래미, 쉬쉬망둑, 실고기, 앞동갈베도라치, 흑대기, 창꼬치, 민물검정망둑, 까나리, 꼬치고기, 돌돔*, 평삼치* (12종)
- 삼봉 : 왜풀망둑, 줄망둑, 전어, 해마, 괴도라치, 멸치, 범돔, 삼치, 주둥치, 청멸, 양태, 일곱동갈망둑, 학공치, 실고기, 밴댕이, 흰발망둑* (16종)
- 밧개 : 줄공치, 청멸, 베도라치, 학공치, 풀망둑, 얼룩망둑, 왜도라치, 산호해마*, 양태*, 흰발망둑*, 참서대* (11종)

2) 장기변동 분석 결과

- 동계 및 춘계에 출현종수 및 개체수가 감소하고, 하계 및 추계에 증가하는 계절적 변동 관찰 (그림 Ⅱ-8-15)
- 계절적 영향을 배제하고 볼 때 증가 혹은 감소 추세는 관찰되지 않았으며, 시기별로 관찰된 조수웅덩이 어류의 출현양상 변화는 자연적인 수준의 변화로 판단됨
- 시기별로 종조성에 일부 차이가 관찰되지만 서해 연안역의 암반지형에서 흔하게 서식하는 망둑어과·조피볼락·쥐노래미 등이 지속적으로 출현하는 등 출현 종 구성은 조사 해역에서 출현하는 일반적인 어류상의 범위 내에 해당
- 일부 조사시기에서 범돔·벵에돔 등 열대/아열대 해역에 주로 서식하는 종이 출현하였으나 모니터링 과정에서 꾸준히 관찰되지 않은 점을 고려할 때 어린 개체들이 난류를 타고 북상하여 채집된 것으로 판단됨

- 열대/아열대성 어종에 대한 지속적 모니터링 및 조사지역 인근에서 난류성 어종의 성체 출현 및 산란·생장 여부에 대한 조사가 필요함

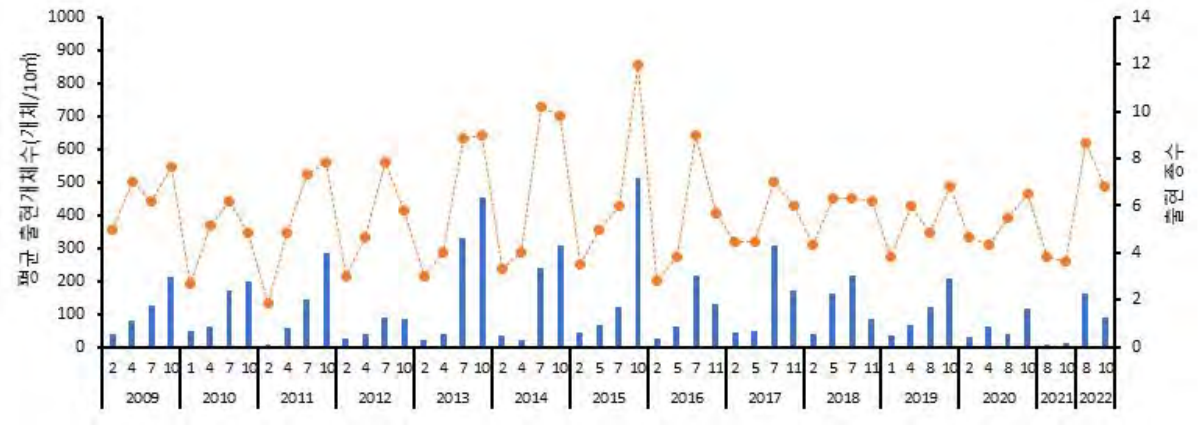


그림 Ⅱ-8-15. 조수웅덩이 어류의 조사시기별 출현종수 및 개체수 변화

마. 참고문헌

국립공원공단 국립공원연구원. 2009a. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 태안해안국립공원 일대의 자연자원 정밀조사. 1102 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2009b. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(1차년도). 856 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2010. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(2차년도). 763 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2011. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(3차년도). 872 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2012. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(4차년도). 926 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2013. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(5차년도). 838 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2014. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(6차년도). 854 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2015. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(7차년도). 739 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2016. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(8차년도). 793 pp.

국립공원공단 국립공원연구원. 2017. 허베이 스피리트호 유류유출사고에 따른 생태계 영향 장기

모니터링(9차년도). 680 pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2018. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(10차년도). 718 pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2019. HS호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링 종합분석(11차년도). 623 pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2020. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(12차년도). 306 pp.
국립공원공단 국립공원연구원. 2021. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링(13차년도). 328 pp.
김익수, 최윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 한국어류대도감, 교학사, 615pp.
Masuda H, K Amaoka, C Araga, T Uyeno, T Yoshino. 1988. The fishes of the Japanese Archipelago. Tokai Univ. Press. Text and Plate 437 pp, 380 plates.
Nakabo T. (ed) 2002. Fishes of Japan with pictorial keys the species, Tokai Univ. Press. 1749 pp.

9 해양포유류

가. 서론

1) 배경

- 해양포유류에 속한 상괭이는 해양생태계 최상위 영양단계에 위치
- 생태계 교란 또는 서식환경의 변화에 따른 먹이자원의 감소등은 이 개체군들의 수와 분포에 막대한 영향을 미침
- 태안해안국립공원은 2007년 12월 7일 유류사고가 발생되었던 해역으로 사고와 함께 생태계 전반에 걸쳐 큰 피해가 발생, 장기모니터링 연구의 일환으로 최상위 포식자의 변동을 추적하여 생태계 회복에 대한 자료 확보 필요

2) 연구목적

- 해양포유류(상괭이)의 출현 현황을 파악하여 생태계 회복에 대한 근거자료 확보

나. 조사내용 및 방법

1) 조사기간

- 연 3회 조사[춘계(4. 25.~26.), 하계(7 .7.~8.), 추계(10. 12.~13.)]

2) 조사지역

- 학암포 인근해역을 시작으로 행정구역상 보령시에 소속된 고대도 인근 해역까지 조사지선(transect line) 설정(그림 Ⅱ-9-1)

3) 조사방법

- 선박을 이용하여 3~7 knot(5.5~12.9 ㎞/h)의 속도로 항해하며 목시조사를 실시
- 육안과 쌍안경을 이용하여 관측자는 선수(船首)에서 전방과 좌·우측, 선미(船尾)에서 후방 관측하며 사진촬영, 현장의 환경인자 측정을 위한 기기 측정과 조사표 작성
- 조사표는 관측자가 알려주는 조사선박에서 해양포유류(상괭이)의 거리와 각도, 이동방향을 기록하고, 휴대용 GPS(Oregon-550, Garmin)를 이용, 위치정보를 기록
- 해양포유류(상괭이) 출현 해역 주변에서 수질측정기(YSI 6600v2 EDS)를 이용하여 수온, 염분, pH 측정하고, 선박에 있는 음향측심기를 이용, 수심을 확인하고 기록

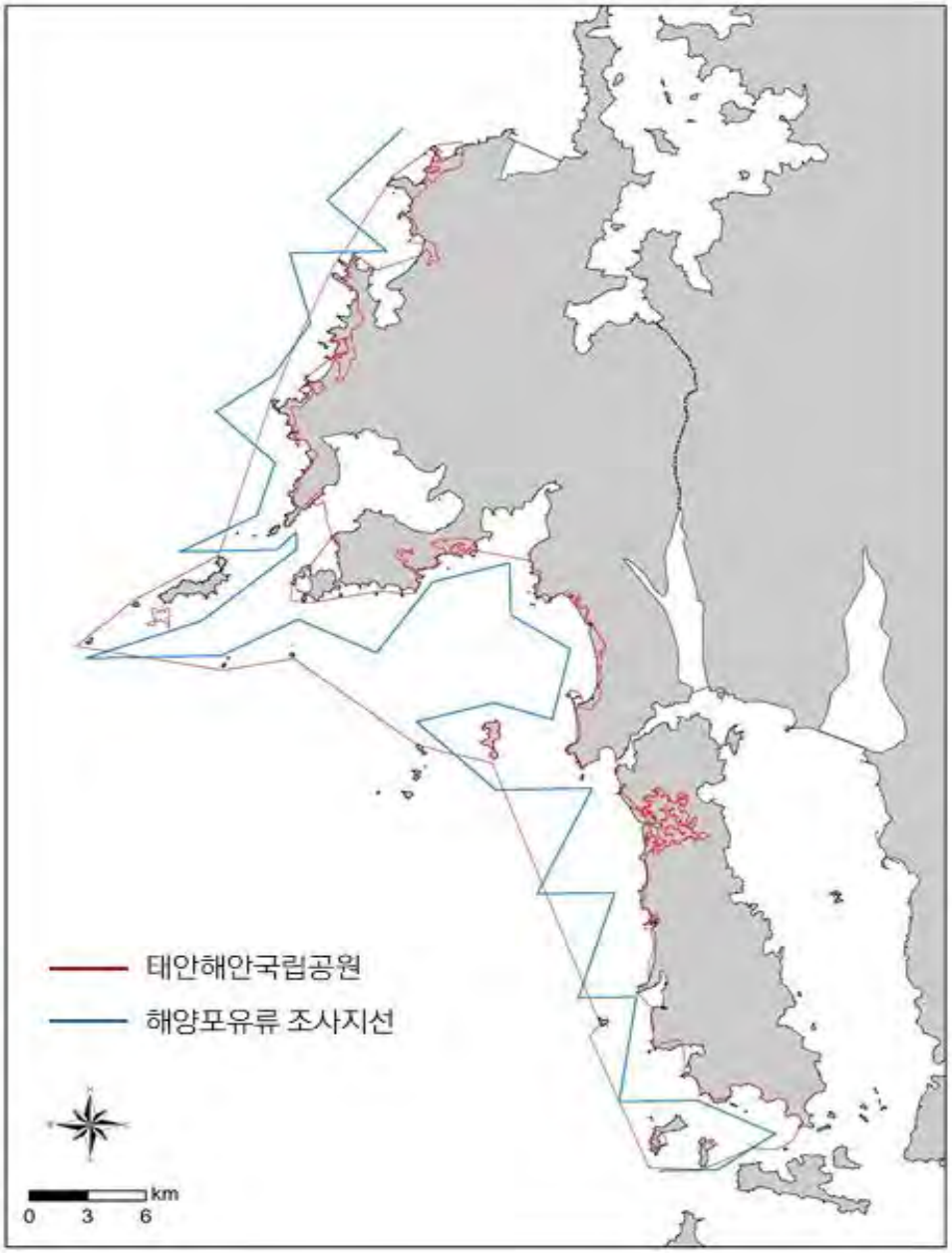


그림 Ⅱ-9-1. 해양포유류(상괭이) 조사지선

다. 결과 및 고찰

1) 해양포유류 출현 현황

- 2022년 해양포유류(상괭이) 출현 현황은 [표 Ⅱ-9-1]에 제시
- 춘계 60개체(75.0%), 하계 3개체(3.8%), 추계 17개체(21.3%)로 출현(그림 Ⅱ-9-2)
- 2022년 해양포유류(상괭이)는 총 10회 출현하였고 태안 중부지역 신진도항 인근 해역과 태안 북부 해역에서 9회 출현하고 남부지역에서 1회 출현을 보임(그림 Ⅱ-9-3)

표 Ⅱ-9-1. 관측된 해양포유류(상괭이)의 지점별 개체수 및 기본정보

날짜	관측정점좌표						개체수	수온 (℃)	수심 (m)
	위도(N)			경도(E)					
	도	분	초	도	분	초			
춘계 (2022.4.25.~26.)	36	32	47.43	126	16	44.10	26	8.54	30.1
	36	41	58.22	126	6	31.91	3		
	36	42	44.69	126	6	22.85	12	8.16	23.1
	36	43	29.27	126	6	22.90	9		
	36	47	14.25	126	6	38.91	4	7.97	29.3
	36	47	49.20	126	7	00.31	6		29.0
소계(춘계)							60		
하계 (2022.7.7.~8.)	36	37	36.12	126	14	33.96	3	24.87	8.4
소계(하계)							3		
추계 (2022.10.12.~13.)	36	43	20.72	126	6	10.60	5	17.45	26
	36	44	24.83	126	6	25.87	9	17.67	23
	36	50	3.18	126	7	59.64	3	18.03	30
소계(추계)							17		
총 개체수							80		

그림 Ⅱ-9-2. 해양포유류(상괭이)의 계절별 출현현황

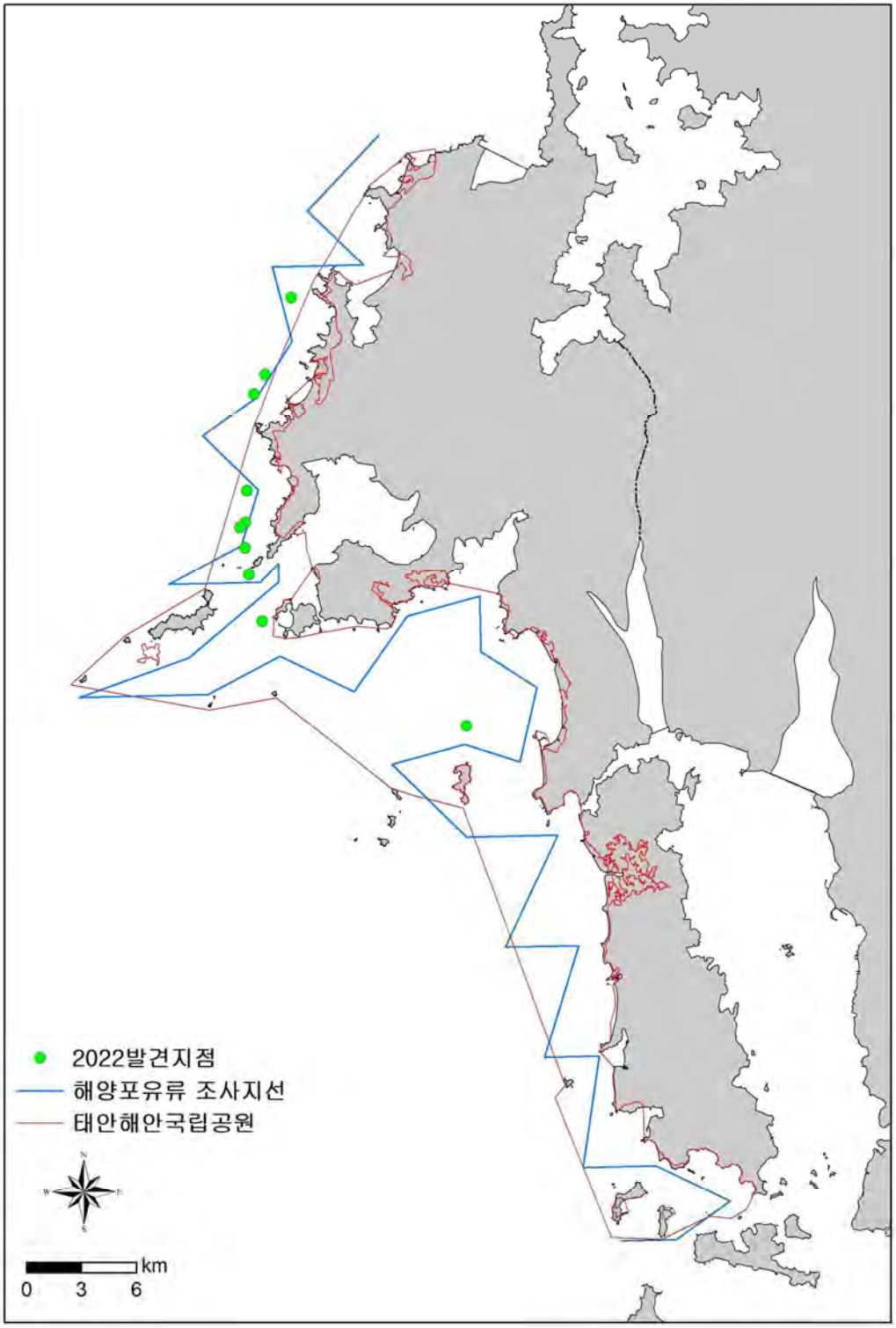


그림 Ⅱ-9-3. 2022년 해양포유류(상괭이) 발견지점

라. 선행연구와의 비교

- 2008~2022년(2012~2013년 제외)에 총 1,977개체, 416회 출현 빈도 보임(표 Ⅱ-9-2)
- 출현 빈도 및 개체수는 춘계(1,068개체, 236회)>추계(514개체, 104회)>하계(395개체, 65회) 순으로 출현(그림 Ⅱ-9-4A). 이는 국내 및 일본에서 출현하는 상괭이의 출현과 유사하며, 춘계 번식기와 관련되는 것으로 판단됨(Kasuya and Kureha, 1979; Lee *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2017; Shirakihara *et al.*, 1994)
- 유류사고 이후 2010년까지는 38~97개체의 범위를 보였으나, 2011년에 309개체, 2014년에 301개체, 2016년에 336개체로 급격히 증가(그림 Ⅱ-9-4B, 표 Ⅱ-9-2)
- 2011년부터 크고 작은 집단(20~50개체)을 이루며 먹이활동으로 추정되는 모습들이 관측되기 시작하였고, 출현 개체수가 점진적으로 증가하는 경향을 감안할 때, 2011년을 기점으로 해양생태계가 회복의 단계로 전환되는 시기였을 것으로 판단(그림 Ⅱ-9-5)
- 해양포유류(상괭이)는 태안해안국립공원 북부해역에서 상대적으로 높은 출현을 보이며, 특히 신진도항와 가의도 사이의 해역에 집중, 이 지역에서는 먹이활동으로 추정되는 집단들이 지속적으로 관측됨(그림 Ⅱ-9-6)
- 2015년 상괭이의 먹이원을 추정하기 위해 진행된 연구에서, 태안해안국립공원 북부지역은 상괭이가 선호하는 갑각류, 특히 새우류의 서식이 높은 것으로 확인됨(국립공원연구원, 2015; Park *et al.*, 2002; Park *et al.*, 2011)

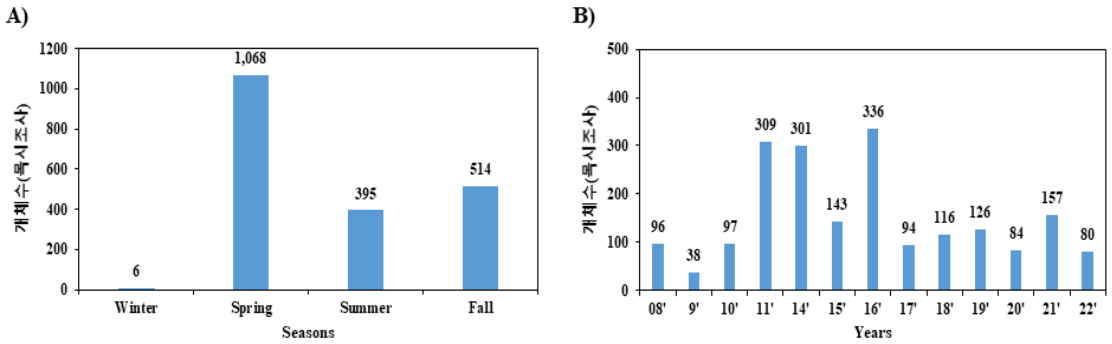


그림 Ⅱ-9-4. 태안해안국립공원에 출현한 상괭이의 계절 및 연별 개체수 합(2008~2022년)

표 Ⅱ-9-2. 연도별 계절별 해양포유류(상괭이) 개체수 및 출현빈도

조사방법	구분	춘계		하계		추계		합계	
		개체수	출현빈도	개체수	출현빈도	개체수	출현빈도	개체수	출현빈도
정점 조사	2008년	56	7	6	3	34	8	96	18
	2009년	15	2	1	1	22	6	38	9
	2010년	44	13	53	7	0	0	97	20
	소계	115	22	60	11	56	14	231	47
선 조사	2011년	216	58	3	2	90	9	309	69
	2014년	76	39	40	15	185	15	301	69
	2015년	60	15	43	16	40	15	143	46
	2016년	117	24	184	12	35	12	336	48
	2017년	59	23	12	7	23	19	94	49
	2018년	82	12	26	6	8	4	116	22
	2019년	107	16	3	2	16	4	126	22
	2020년	72	12	5	1	7	7	84	20
	2021년	104	9	16	3	37	2	157	14
	2022년	60	6	3	1	17	3	80	10
	소계	953	214	335	65	458	90	1,746	369
합계		**1,068**	**236**	**395**	**65**	**514**	**104**	**1,977**	**416**

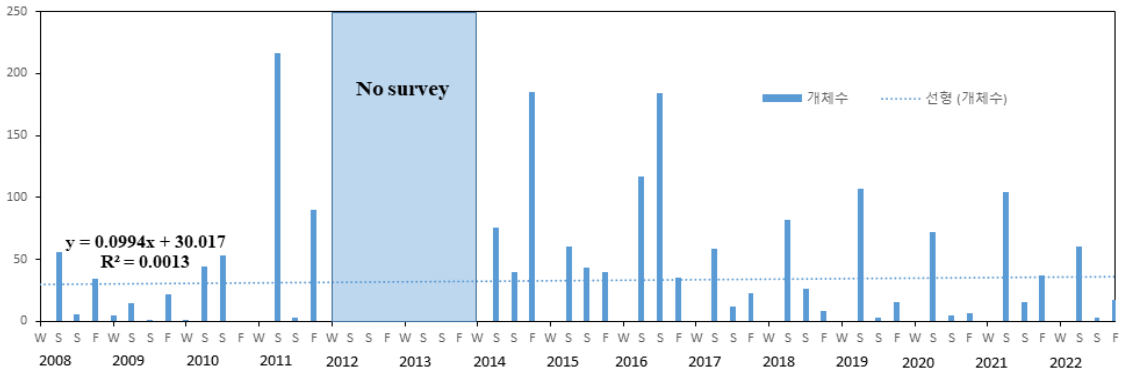


그림 Ⅱ-9-5. 조사시기에 따른 해양포유류(상괭이) 개체수의 장기변동(2008~2022년)

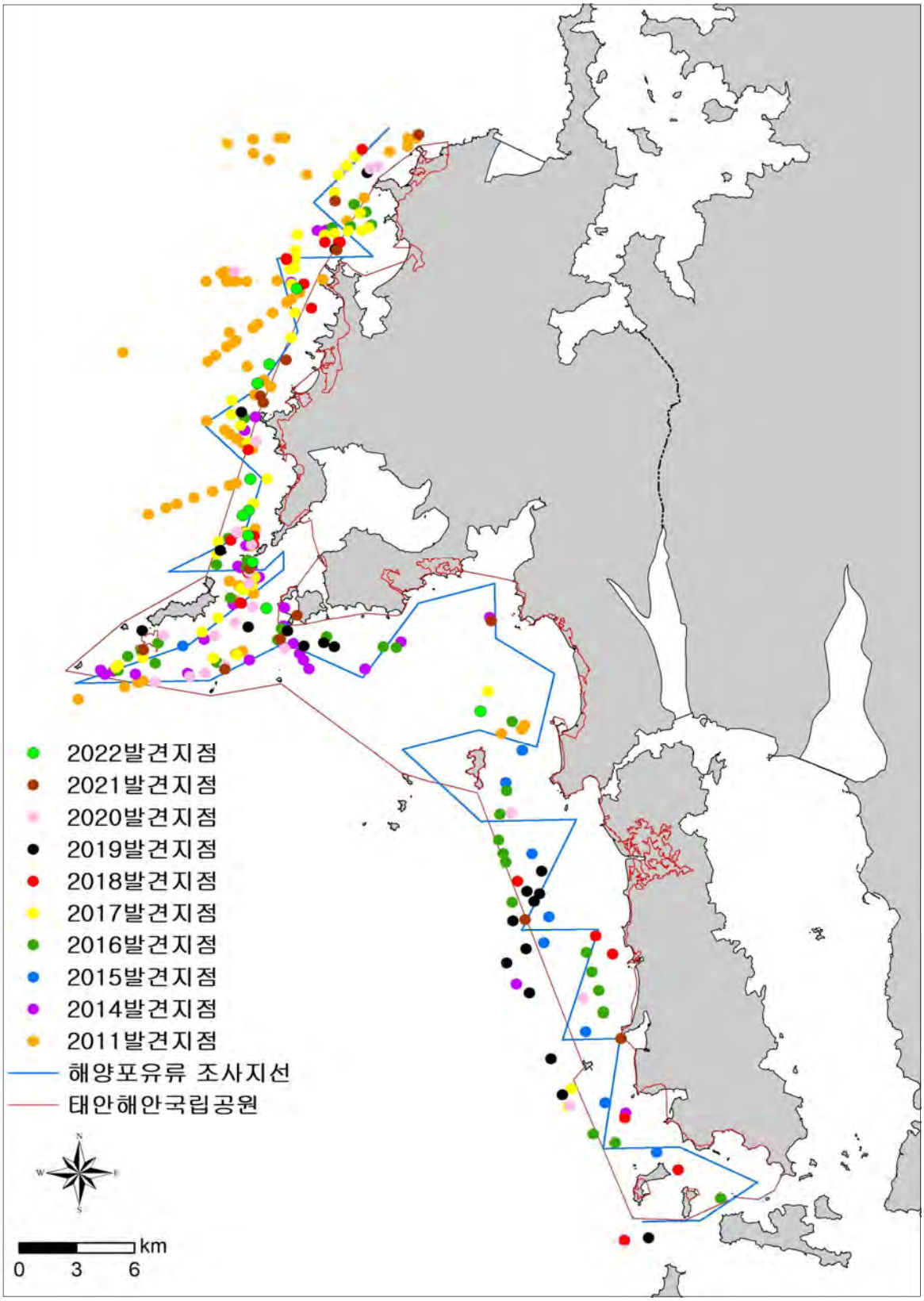


그림 Ⅱ-9-6. 해양포유류(상괭이)의 공간적 분포현황(2011년, 2014~2022년)

마. 참고문헌

국립공원연구원. 2015. 허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링(7차년도). 739 pp.

Kasuya T, K Kureha. 1979. The population of finless porpoise in the Inland Sea of Japan. Scientific Reports of the Whales Research Institute 31: 1-44.

Lee YR, YR An, KJ Park, H Sohn, DH An, SA Kim. 2013. Age and reproduction of the finless porpoises, Neophocaena asiaeorientalis, in the Yellow Sea, Korea. Animal Cells and Systems 17: 366-373.

Park KJ, YR An, YR Lee, JE Park, DY Moon, SG Choi. 2011. Feeding Habits and Consumption by Finless Porpoises (Neophocaena asiaeorientalis) in the Yellow Sea. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 44: 78-84.

Park KJ, YG Yoon, JH Sin, H Sohn, YM Choi. 2017. Distribution and Seasonal Changes in Finless Porpoise (Neophocaena asiaeorientalis) Populations Near Gadeok Island, Korea. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 50: 561-566.

Park KJ, CI Zhang, ZG Kim, H Sohn. 2002. Feeding habits and trophic level of finless porpoise, Neophocaena phocaenoides in the Yellow Sea. Journal of the Korean Society of Fisheries Resources 5: 52-63.

Shirakihara M, K Shirakihara, A Takemura. 1994. Distribution and Seasonal Density of the Finless Porpoise Neophocaena phocaenoides in the Coastal Waters of Western Kyushu, Japan. Fisheries Science 60: 41-46.

Ⅲ 부 록

부록 Ⅲ-5-1. 동물플랑크톤의 정점별 현존량(동계) (ind./㎥)

분류군	출현종	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	평균	%
Protozoa	*Noctiluca scintillans*	340.5	703.7	369.1	485.6	362.2	1114.5	586.8	104.8	69.1	196.1	55.8	40.7	7.2	27.8	40.1	300.3	73.6
Cnidaria	Cnidaria sp.												0.6	0.6		1.2	0.2	*
	Hydrozoa sp.												0.6	2.8	0.5	3.1	0.5	0.1
Chaetognatha	*Aidanosagitta crassa*	5.5					10.8		2.2	3.8	6.7	5.4	11.7	2.8	0.5	11.7	4.1	1.0
Arthropoda	*Acartia hongi*	98.9	93.3	35.3	60.2	13.4	67.3	56.8	27.1	51.9	9.0	20.5	25.9	16.0	4.1	20.3	40.0	9.8
	Calanus sinicus	43.9	7.2	9.4	32.1	3.4	21.5		3.1	2.9	0.7	2.5	8.0	2.2		4.9	9.5	2.3
	Centropages abdominalis						2.7			3.3		9.6	35.1	7.2		11.1	4.6	1.1
	Labidocera euchaeta												5.5		0.5	1.2	0.5	0.1
	Paracalanus parvus	115.3			8.0		10.8	11.8	3.1	1.9	1.5	0.8	6.2	2.8		6.8	11.3	2.8
	Psudodiaptomus marinus													0.6		0.6	0.1	*
	Ditrichocorycaeus affinis	43.9		1.2	4.0					0.5			0.6			0.6	3.4	0.8
	Oithona atlantica	57.7								1.0		0.8	1.2	0.6			4.1	1.0
	Harpacticoida sp.									1.0			1.8				0.2	*
	Copepodites	60.4	50.3	9.4	45.2	4.5	29.6	2.4	7.9	23.8	6.4	12.6	96.2	26.5	3.2	66.6	29.6	7.3
현존량 (ind./㎥)		766.2	854.5	424.4	635.1	383.4	1257.1	657.8	148.0	159.1	220.4	108.1	234.2	68.9	36.4	168.3	408.1	100.0
출현종수		8	4	5	6	4	7	4	6	10	6	8	13	11	6	12	7	

* : 0.1 ind./㎥ 또는 0.1% 미만. -: 미출현

부록 Ⅲ-5-2. 동물플랑크톤의 정점별 현존량(춘계) (ind./㎥)

분류군	출현종	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	평균	%
Myzozoa	*Noctiluca scintillans*	2243.2	650.3	87.3	7.6	918.2	14.6	11.8	7051.6	6243.7	27914.3	25360.0	43456.5	20053.6	4080.3	7754.7	9723.2	90.8
Cnidaria	*Muggiaea* sp.						2.9										0.2	*
	Hydrozoa sp.							3.0	20.3	14.6	13.1	69.9	98.2	15.9	66.9	78.6	25.4	0.2
Annelida	Polycheata larvae									4.9				15.9			1.4	*
Mollusca	Gastropoda larvae							3.0		4.9		78.6	98.2	79.4	22.3	26.2	20.8	0.2
Chaetognatha	*Aidanosagitta crassa*	19.6	21.5	14.0	41.9	29.9	2.9	8.9				17.5	98.2	47.6	66.9	0.0	24.6	0.2
Arthropoda	*Acartia hongi*	101.5	107.5	115.3	68.6	292.8	131.0	129.9	209.6	156.0	209.6	113.5	491.2	285.8	156.1	262.0	188.7	1.8
	Calanus sinicus	88.4	107.5	38.4	83.8	126.4	104.8	180.1	142.0	29.2	52.4	26.2	65.5	301.7	156.1	262.0	117.6	1.1
	Centropages abdominalis	13.1	10.7	7.0	11.4	20.0	113.5	124.0	236.6	234.0	314.4	227.1	786.0	365.2	735.8	393.0	239.5	2.2
	Paracalanus parvus	39.3	48.4	62.9	64.8	89.8	23.3	20.7	27.0	92.6	39.3	8.7	98.2	15.9			42.1	0.4
	Ditrichocorycaeus affinis									4.9	52.4	43.7					6.7	0.1
	Oithona sp.						2.9							15.9			1.3	*
	Harpacticoida sp.	6.5		3.5		10.0					13.1						2.2	*
	Copepodites	114.6	166.6	83.8	91.5	146.4	186.3	171.2	311.0	302.2	248.9	200.9	425.7	428.7	267.6	262.0	227.2	2.1
	Amphipoda sp.					3.3	5.8	11.8		4.9				15.9	44.6		5.8	0.1
	Euphausiacea Calytopis								6.8			26.2					2.2	*
	Decapoda larvae			3.5			2.9	14.8								78.6	6.7	0.1
Chordata	*Oikopleura dioica*			3.5		10.0	8.7	23.6	148.7	78.0	65.5	78.6	262.0	158.8	200.7	131.0	77.9	0.7
현존량 (ind./㎥)		2626.2	1112.5	419.2	369.6	1646.8	599.6	702.8	8153.6	7169.9	28923.0	26250.9	45879.7	21800.3	5797.3	9248.1	10713.3	100.0
출현종수		8	7	10	7	10	12	12	9	12	10	12	10	13	10	9	10	

* : 0.1 ind./㎥ 또는 0.1% 미만. -: 미출현

부록 Ⅲ-5-3. 동물플랑크톤의 정점별 현존량(하계) (ind./㎥)

분류군	출현종	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	평균	%
Myzozoa	*Noctiluca scintillans*	16347.8	10422.7	22825.3	41629.7	31705.6	55035.9	43648.7	48049.7	23927.8	7621.3	3172.9	1213.4	1330.7	7390.7	2729.5	21136.8	90.4
Cnidaria	Hydrozoa sp.	27.9		32.7	123.3	44.6	155.2	45.6		174.7	381.1	174.7	661.9	133.1		195.0	143.3	0.6
Annelida	Polycheata larvae	27.9			41.1		77.6	45.6	77.6				110.3				25.3	0.1
Mollusca	Bivalvia larvae										63.5		220.6			146.2	28.7	0.1
	Gastropoda larvae		56.6	32.7	41.1		77.6	91.1			63.5					146.2	33.9	0.1
Chaetognatha	*Aidanosagitta crassa*	27.9	113.3	262.0	123.3	267.6	155.2	91.1		174.7	381.1	116.4	441.2	133.1	551.5	146.2	199.0	0.9
Arthropoda	*Penilia avirostris*											29.1				97.5	8.4	*
	Pseudevadne tergestina	27.9		32.7	41.1	178.4	1086.7	1047.9	1785.4	1164.4	127.0	436.6		33.3	330.9	292.4	439.0	1.9
	Acartia pacifica		56.6	65.5				318.9								243.7	45.7	0.2
	Calanus sinicus	27.9		65.5	369.9							29.1					32.8	0.1
	Centropages abdominalis			32.7					77.6				110.3				14.7	*
	Clausocalanus furcatus	27.9						45.6		58.2							8.8	*
	Labidocera euchaeta									58.2							3.9	*
	Paracalanus parvus	307.4	226.6	327.5	575.3	356.7	232.9	273.4	77.6	232.9	254.0	116.4	2095.9	33.3	551.5		377.4	1.6
	Psudodiaptomus marinus					44.6										48.7	6.2	*
	Tortanus forcipatus								77.6		63.5						9.4	*
	Ditrichocorycaeus affinis	55.9	113.3	98.2	164.4	267.6	155.2	136.7		174.7			330.9		551.5	146.2	146.3	0.6
	Copepodites	111.8	56.6	196.5	41.1	89.2		136.7		58.2	63.5		220.6	66.5	661.9	292.4	133.0	0.6
	Amphipoda sp.															48.7	3.2	*
	Decapoda Zoea								232.9	174.7	190.5	203.8	220.6	33.3	330.9	146.2	102.2	0.4
	Decapoda larvae	27.9		1047.9	205.5	356.7		318.9			635.1				110.3		180.2	0.8
	Balanus larvae									873.3	317.6		441.2	133.1	1654.6		228.0	1.0
Chordata	*Oikopleura dioica*				82.2	44.6		364.5	77.6	58.2			330.9				63.9	0.3
현존량 (ind./㎥)		17018.4	11045.8	25019.4	43437.9	33355.5	56976.5	46564.7	50456.1	27129.8	10161.8	4279.1	6397.9	1896.3	12134.0	4679.1	23370.2	100.0
출현종수		11	7	12	12	10	8	13	8	12	12	8	12	8	9	13	10	

* : 0.1 ind./㎥ 또는 0.1% 미만. -: 미출현

부록 Ⅲ-5-4. 동물플랑크톤의 정점별 현존량(추계)

(ind./㎥)

분류군	출현종	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	평균	%
Myzozoa	*Noctiluca scintillans*							1488.1	503.0	494.0	167.7	550.2	2095.9	2619.8	460.3	628.8	600.5	52.9
Cnidaria	*Muggiaea* sp.	1.0						41.9				39.3	34.9	52.4	11.2	8.7	12.6	1.1
	Hydrozoa sp.			1.6			11.8	21.0		134.7	62.9	39.3		157.2		8.7	29.1	2.6
Annelida	Polychaeta larvae									44.9	41.9	39.3	34.9	52.4	11.2	8.7	15.6	1.4
Mollusca	Bivalvia larvae	4.2									21.0	39.3		52.4			7.8	0.7
	Gastropoda larvae	1.0											34.9				2.4	0.2
Chaetognatha	*Aidanosagitta crassa*		2.8	3.1	25.5	44.0	27.5	21.0			21.0	117.9			11.2	8.7	18.8	1.7
	Flaccisagitta enflata	2.5	0.8							44.9			34.9	52.4			9.0	0.8
Arthropoda	*Penilia avirostris*							21.0					34.9	52.4	11.2		8.0	0.7
	Pseudevadne tergestina												34.9			8.7	2.9	0.3
	Acartia pacifica		0.4					21.0		44.9	21.0		104.8			8.7	13.4	1.2
	Calanus sinicus		0.4	1.6		6.3	3.9	104.8				39.3	34.9	52.4	11.2	8.7	17.6	1.5
	Centropages abdominalis							21.0			62.9	78.6				8.7	11.4	1.0
	Clausocalanus furcatus			1.6	2.0	3.1	55.0										4.1	0.4
	Labidocera rotunda		1.2		2.0	6.3	7.9		62.9	179.6		39.3	34.9	52.4		8.7	26.3	2.3
	Tortanus forcipatus	3.1	7.1	1.6	15.7	15.7		41.9	503.0	808.4	356.3	39.3	34.9	419.2	56.1	8.7	154.1	13.6
	Temora discaudata		0.4					21.0									1.4	0.1
	Monstrilloida sp.									44.9				52.4			6.5	0.6
	Paracalanus parvus	10.3	40.5	14.1	25.5	40.9	224.0	230.5			83.8					17.5	45.8	4.0
	Psudodiaptomus marinus									44.9							3.0	0.3
	Ditrichocorycaeus affinis	5.0	5.5	4.7	3.9	34.6	66.8	83.8	62.9		21.0	39.3	34.9	157.2	22.5	17.5	37.3	3.3
	Oithona sp.		2.0					21.0									1.5	0.1
	Copepodites	2.1	5.1			3.1	11.8	41.9	125.8	44.9		39.3	69.9		22.5		24.4	2.1
	Amphipoda sp.		0.4		2.0	3.1	19.6										1.7	0.1
	Decapoda Megalopa									44.9	41.9						5.8	0.5
	Decapoda Zoea				2.0				62.9	44.9	21.0			157.2	11.2		19.9	1.8
	Decapoda larvae							21.0	62.9		21.0			104.8	11.2		14.7	1.3
	Cirriped larvae	1.9											34.9				2.5	0.2
	Balanus larvae							62.9		89.8	62.9		69.9				19.0	1.7
Chordata	*Oikopleura dioica*	1.0	2.8		5.9			104.8	62.9				104.8				18.8	1.7
현존량 (ind./㎥)		32.3	69.2	28.3	84.5	157.2	428.3	2368.3	1446.1	2065.9	1006.0	1100.3	2829.4	4034.5	640.0	751.0	1136.1	100.0
출현종수		10	13	7	9	9	9	17	8	13	14	12	16	14	11	13	12	

* : 0.1 ind./㎥ 또는 0.1% 미만. -: 미출현

부록 Ⅲ-6-1. 해조류의 정점별 출현종 목록 및 생체량(하계) +:정성조사

학명	국명	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
Chlorophyta	녹조식물						
Cladophora sp.	대마디말류		1.76				
Pseudocladophora conchopheria	고둥옷헛대마디말		0.04		0.04	+	0.12
Ulva australis	구멍갈파래	2,628.36	179	439.8	6.32	24.32	288.12
Ulva compressa	납작파래	192.40					
Ulva conglobata	모란갈파래				32.96		
Ulva lactuca	참갈파래		10.56				
Ulva linza	잎파래			+			
Ulva prolifera	가시파래						+
Ulva sp.	파래류	+					
Ulvaria obscura	개홑파래	+					
Ochrophyta	대롱편모조식물						
Colpomenia sinuosa	불레기말			+			
Dictyopteris divaricata	미끈벼대그물말						5.04
Silvetia siliquosa	뜸부기						+
Ishige foliacea	넓패						154.96
Leathesia marina	바위두둑		+				
Myelophycus simple	바위수염	+	+				
Sargassum sp.	모자반류				+		
Sargassum fulvellum	참모자반						+
Sargassum fusiforme	톳				+		
Sargassum horneri	괭생이모자반				+		
Sargassum thunbergii	지충이	2,972.72	4,493.72	2,177.56	4,987.48	4,832.52	13,283.88
Scytosiphon canaliculatus	매끈이고리매	22.28					
Scytosiphon lomentaria	잘록이고리매	+					
Sphacelaria sp.	갯쇠털류					6.64	5.84
Sphacelaria californica	굵은갯쇠털				+		
Undaria pinnatifida	미역	5.56	1,083.56				
Rhodophyta	홍조식물						
Acrosorium sp.	분홍잎류						+
Acrosorium yendoi	누은분홍잎	24.32					
Ahnfeltia plicata	싹새기			11.44	24.44		
Ahnfeltiopsis flabelliformis	부챗살	44.56	8.48	25.68	16.80	24.48	27.68
Botryocladia wrightii	누른끈적이		172.48				
Callophyllis sp.	붉은잎류				+		
Caulacanthus ustulatus	애기가시덤불	+	243.88	+		46.92	9.32
Ceramium japonica	깃꼴비단풀	13.00	+				
Ceramium kondoi	비단풀				+		
Chondracanthus sp.	돌가사리류	11.36					
Chondria sp.	서실류	16.60	163.52	1.76			1.80
Chondria crassicaulis	개서실	599.36	23.40	87.20			
Chondrus canaliculatus	대롱진두발	+	+				
Chondrus ocellatus	진두발	39.88	3.56	10.52			+
Corallina pilulifera	작은구슬산호말	62.60	1,872.44	791.56	+	457.24	+
Dumontia simplex	미끌풀	+	+				
Gelidiophycus freshwateri	애기우뭇가사리			37.40	92.00	5.92	+

St.1: 학암포, St.2: 만리포, St.3: 파도리, St.4: 채석포, St.5: 몽산포, St.6: 방포

부록 Ⅲ-6-1. 계속

학명	국명	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
Gelidium elegans	우뭇가사리	168.72		158.64		6.48	11.52
Gloiopeltis complanata	풀가사리	+					
Gloiopeltis furcata	불등풀가사리	+					
Gloiosiphonia capillaris	실풀			+			
Gracilaria vermiculophylla	꼬시래기	23.56	152.08	20.40	+		
Grateloupia elliptica	참도박			+			
Hypnea charoide	참가시우무		14.20				
Laurencia okamurae	쌍발이서실			+			
Lomentaria catenata	마디잘록이			+			
Lomentaria hakodatensis	애기마디잘록이			+			
Neorhodomela munita	가는새빨간검둥이	309.36	59.96	+	8.08		
Palisada intermedia	검은담서실			+			
Polysiphonia sp.	붉은실류	+					
Polysiphonia morrowii	모로우붉은실			+			
Pterocladiella capillacea	개우무			11.28			
Symphyocladia latiuscula	참보라색우무	+		15.00			
Symphyocladia linearis	가는보라색우무	32.08	38.84				
Tracheophyta	**해산현화식물**						
Phyllospadix iwatensis	새우말		142.84	415.92			

St.1: 학암포, St.2: 만리포, St.3: 파도리, St.4: 채석포, St.5: 몽산포, St.6: 방포

부록 Ⅲ-6-2. 해조류의 정점별 출현종 목록 및 생체량(추계) +:정성조사

학명	국명	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
Chlorophyta	**녹조식물**						
Cladophora sp.	대마디말류		1.36				+
Cladophora albida	솜대마디말	+					
Codium fragile	청각						+
Pseudocladophora conchopheria	고둥옷헛대마디말			0.00	0.08	0.04	0.16
Ulva australis	구멍갈파래	227.12	256.72	402.80	10.20	28.72	6.16
Ulva compressa	납작파래	+	+				
Ulva conglobata	모란갈파래	2.16					
Ulva linza	잎파래	+					
Ulva prolifera	가시파래	+					
Ulva sp.	파래류	+	+				
Ulvaria obscura	개홑파래		+				
Ochrophyta	**대롱편모조식물**						
Colpomenia sinuosa	불레기말		+				
Silvetia siliquosa	뜸부기				25.40		
Ishige foliacea	넓패						+
Ishige okamurae	패						83.88
Myelophycus simple	바위수염	+	+				
Saccharina japonica	다시마			17.72			
Sargassum sp.	모자반류				+	0.72	
Sargassum fulvellum	참모자반			634.76			28.44
Sargassum fusiforme	톳				540.60		
Sargassum horneri	괭생이모자반		+		+		
Sargassum thunbergii	지충이	700.48	2,473.04	3,661.60	5,484.36	6,121.92	5,306.36
Sphacelaria sp.	갯쇠털류			+	+		
Sphacelaria californica	굵은갯쇠털						0.04
Rhodophyta	**홍조식물**						
Acrosorium sp.	분홍잎류			0.24			
Acrosorium ciliolatum	갈고리분홍잎			+			
Acrosorium polyneurum	잔금분홍잎			+			
Acrosorium yendoi	누은분홍잎	+					
Ahnfeltia plicata	싹새기			93.68			39.52
Ahnfeltiopsis flabelliformis	부챗살	183.36	+	45.64	80.44	63.24	552.60
Benzaitenia yenoshimensis	서실더부살이		1.80				
Callophyllis sp.	붉은잎류			+			
Caulacanthus ustulatus	애기가시덤불	+	122.72	0.72	+	1.00	+
Ceramium japonica	깃꼴비단풀			6.72			
Ceramium kondoi	비단풀			+			
Chondracanthus intermedius	애기돌가사리			26.72			
Chondracanthus sp.	돌가사리류	+					
Chondria sp.	서실류						33.80
Chondria crassicaulis	개서실	81.52	428.52	+		2.52	
Chondrus canaliculatus	대롱진두발			+			
Chondrus ocellatus	진두발	224.92	36.24	10.08			+
Corallina pilulifera	작은구슬산호말	1,865.84	+	128.48	41.60	252.52	1.80
Dumontia simplex	미끌풀	+					

부록 Ⅲ-6-2. 계속

학명	국명	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
Gelidiophycus freshwateri	애기우뭇가사리	164.36		+	0.72	7.52	+
Gelidium elegans	우뭇가사리		18.28	56.04	151.40		1.80
Gloiopeltis complanata	풀가사리	+					
Gloiopeltis furcata	불등풀가사리	+					
Gloiosiphonia capillaris	실풀		5.80				
Gracilaria vermiculophylla	꼬시래기				5.68	11.84	
Grateloupia elliptica	참도박	+	+				
Hypnea charoide	참가시우무					+	
Laurencia okamurae	쌍발이서실			+			
Lomentaria catenata	마디잘록이		+				
Lomentaria hakodatensis	애기마디잘록이		14.00				
Neorhodomela munita	가는새빨간검둥이		232.04				3.80
Polysiphonia sp.	붉은실류					+	
Polysiphonia morrowii	모로우붉은실	+	+	+			
Symphyocladia latiuscula	참보라색우무			+			
Tracheophyta	**해산현화식물**						
Phyllospadix iwatensis	새우말	269.64	140.76	544.16			

St.1: 학암포, St.2: 만리포, St.3: 파도리, St.4: 채석포, St.5: 몽산포, St.6: 방포

부록 Ⅲ-7-1. 저서생태계 건강도 지수 등급 산정 기준

- **조간대 저서생태계 ISEP** (Inverse function of SEP, Yoo, *et al.*, 2010) 지수의 건강도 등급 평가는 해양수산부 (2014)를 바탕으로 함
- 문헌은 2008년부터 2013년까지 우리나라 서해안 및 남해안 갯벌을 대상으로한 연안습지기초조사(해양수산부)의 조사자료(정점 수 : 890, grab 채집)와 동기간 한국연안환경생태연구소(KICE)에서 같은 해역을 대상으로 수행한 한국연안환경생태연구소 대형저서동물 데이터베이스(한국연안환경생태연구소, 정점 수 : 1,852, corer 채집)를 바탕으로, 조위 와 입도에 따른 군집 특성과 채집기에 따른 표집효과를 반영하여 다음과 같이 건강도 등급 기준을 제시 하고 있음

표 Ⅲ-7-1. 정점별 ISEP 분포에 기초한 배점 기준(Grab)

등급	평가	백분위 (%)	ISEP index	
			평균입도 ≤2.660 & 〉6.912	평균입도 〉2.660 & ≤6.912
7	아주나쁨	≤10	≤0.30	≤0.29
6	나쁨	〉10 ~ ≤20	〉0.30 ~ ≤0.33	〉0.29 ~ ≤0.32
5	보통	〉20 ~ ≤40	〉0.33 ~ ≤0.39	〉0.32 ~ ≤0.36
4	좋음	〉40 ~ ≤60	〉0.39 ~ ≤0.49	〉0.36 ~ ≤0.43
3	아주 좋음	〉60 ~ ≤80	〉0.49 ~ ≤0.70	〉0.43 ~ ≤0.56
2		〉80 ~ ≤90	〉0.70 ~ ≤0.90	〉0.56 ~ ≤0.71
1		〉90	〉0.90	〉0.71

표 Ⅲ-7-2. 정점별 ISEP 분포에 기초한 배점 기준(Corer)

등급	평가	백분위 (%)	ISEP index			
			Tidal level 1		Tidal level 1.5-3	
			평균입도 ≤2.660 & 〉3.632	〉2.660~ ≤3.632	평균입도 ≤2.660 & 〉3.632	〉2.660~≤3.632
7	아주나쁨	≤10	≤0.26	≤0.23	≤0.29	≤0.33
6	나쁨	〉10 ~ ≤20	〉0.26 ~ ≤0.32	〉0.23 ~ ≤0.35	〉0.29 ~ ≤0.34	〉0.33 ~ ≤0.39
5	보통	〉20 ~ ≤40	〉0.32 ~ ≤0.39	〉0.35 ~ ≤0.44	〉0.34 ~ ≤0.42	〉0.39 ~ ≤0.48
4	좋음	〉40 ~ ≤60	〉0.39 ~ ≤0.48	〉0.44 ~ ≤0.46	〉0.42 ~ ≤0.52	〉0.48 ~ ≤0.56
3	아주 좋음	〉60 ~ ≤80	〉0.48 ~ ≤0.59	〉0.46 ~ ≤0.64	〉0.52 ~ ≤0.72	〉0.56 ~ ≤0.70
2		〉80 ~ ≤90	〉0.59 ~ ≤0.75	〉0.64 ~ ≤0.91	〉0.72 ~ ≤1.02	〉0.70 ~ ≤0.98
1		〉90	〉0.75	〉0.91	〉1.02	〉0.98

- **조하대 저서생태계 ISEP** 지수의 건강도 등급 평가는 Yoo *et al.* (2010)을 바탕으로 실시
- 문헌은 1995년과 2007년 우리나라 서, 남해안 23개 지역, 1,492개 조하대 정점의 ISEP 지수 결과를 바탕으로 non-parametric bootstrap resampling 기법을 통해 5,000개의 결과를 재생산하고, 그 분포를 7등급의 백분위로 나눈 뒤 다음과 같이 건강도 등급 기준을 제시 하고 있음

표 Ⅲ-7-3. ISEP지수 분포의 5,000개 bootstrap 시료의 분위수 분포 및 등급 산정 기준 (Yoo *et al.*, 2010)

% 분위수	0	10	20	40	60	80	90
ISEP 점수	0	0.144	0.291	0.359	0.426	0.610	0.912
등급	7	6	5	4	3	2	1
평가	아주나쁨	나쁨	보통	좋음	아주좋음		

부록 Ⅲ-7-1. 계속

- KBQI (Korean Benthic Quality Index) 지수는 교란에 대한 내성이 고려된 '종별 민감도'를 기반으로 하며, 이는 해당 종이 출현한 정점들의 ES50분포중 하위 5% 값($ES50_{0.05}$)으로써 표현됨
- ES50는 한 정점에서 50개체의 생물을 채집하였을 때 예측할 수 있는 출현 종 수의 값으로, 정점의 종 다양성이 높을수록 높은 값을 가짐
- 때문에, 지시자(indicator)로 사용되는 종의 종류가 다양할수록, 조사된 정점과 자료의 수가 많을수록 더욱 정교한 평가가 가능
- **조간대 저서생태계 KBQI** 지수의 건강도 등급 평가는 해양수산부 (2014)를 바탕으로 함
- 문헌은 2008년부터 2013년까지 우리나라 서해안 및 남해안 갯벌을 대상으로한 연안습지기초조사(해양수산부)의 조사자료(정점 수: 890, grab 채집)와 동기간 한국연안환경생태연구소(KICE)에서 같은 해역을 대상으로 수행한 한국연안환경생태연구소 대형저서동물 데이터베이스(한국연안환경생태연구소, 정점 수 1,852, corer 채집)를 바탕으로, 조위 와 입도에 따른 군집 특성과 채집기에 따른 표집효과를 반영하여 다음과 같이 건강도 등급 기준을 제시 하고 있음

표 Ⅲ-7-4. 정점별 KBQI 분포에 기초한 배점 기준(Grab)

등급	평가	백분위 (%)	KBQI (Korean Benthic Quality Index)					
			Tidal level 1-1.5		2-2.5		3	
			평균입도 ≤2.666	〉2.666	≤2.666	〉2.666	≤2.666	〉2.666
7	아주나쁨	≤10	≤0.47	≤1.89	≤0.95	≤2.89	≤1.20	≤2.61
6	나쁨	〉10 ~ ≤20	〉0.47 ~ ≤1.63	〉1.89 ~ ≤2.27	〉0.95 ~ ≤1.56	〉2.89 ~ ≤3.29	〉1.20 ~ ≤1.82	〉2.61 ~ ≤3.56
5	보통	〉20 ~ ≤40	〉1.63 ~ ≤3.07	〉2.27 ~ ≤3.39	〉1.56 ~ ≤2.95	〉3.29 ~ ≤3.87	〉1.82 ~ ≤3.29	〉3.56 ~ ≤4.79
4	좋음	〉40 ~ ≤60	〉3.07 ~ ≤3.42	〉3.39 ~ ≤4.37	〉2.95 ~ ≤3.41	〉3.87 ~ ≤4.71	〉3.29 ~ ≤5.06	〉4.79 ~ ≤6.02
3	아주 좋음	〉60 ~ ≤80	〉3.42 ~ ≤5.03	〉4.37 ~ ≤5.06	〉3.41 ~ ≤6.11	〉4.71 ~ ≤5.89	〉5.06 ~ ≤6.55	〉6.02 ~ ≤7.86
2		〉80 ~ ≤90	〉5.03 ~ ≤5.85	〉5.06 ~ ≤6.52	〉6.11 ~ ≤6.27	〉5.89 ~ ≤7.54	〉6.55 ~ ≤7.81	〉7.86 ~ ≤9.15
1		〉90	〉5.85	〉6.52	〉6.27	〉7.54	〉7.81	〉9.15

표 Ⅲ-7-5. 정점별 KBQI 분포에 기초한 배점 기준(Corer)

등급	평가	백분위 (%)	KBQI (Korean Benthic Quality Index)		
			Tidal level 1-1.5		
			평균입도 ≤2.160 & 〉4.560	〉2.160~≤2.660	〉2.660~≤4.560
7	아주나쁨	≤10	≤0.45	≤0.43	≤1.87
6	나쁨	〉10 ~ ≤20	〉0.45 ~ ≤0.88	〉0.43 ~ ≤1.10	〉1.87 ~ ≤2.69
5	보통	〉20 ~ ≤40	〉0.88 ~ ≤1.99	〉1.10 ~ ≤1.74	〉2.69 ~ ≤3.58
4	좋음	〉40 ~ ≤60	〉1.99 ~ ≤3.62	〉1.74 ~ ≤2.51	〉3.58 ~ ≤4.47
3	아주 좋음	〉60 ~ ≤80	〉3.62 ~ ≤4.94	〉2.51 ~ ≤3.69	〉4.47 ~ ≤5.15
2		〉80 ~ ≤90	〉4.94 ~ ≤5.82	〉3.69 ~ ≤4.52	〉5.15 ~ ≤5.62
1		〉90	〉5.82	〉4.52	〉5.62

부록 Ⅲ-7-1. 계속

표 Ⅲ-7-6. 계속

등급	평가	백분위 (%)	KBQI (Korean Benthic Quality Index) Tidal level 2		
			평균입도 ≤2.160 & >4.560	>2.160~≤2.660	>2.660~≤4.560
7	아주나쁨	≤10	≤1.27	≤1.24	≤2.53
6	나쁨	>10 ~ ≤20	>1.27 ~ ≤2.14	>1.24 ~ ≤1.41	>2.53 ~ ≤3.43
5	보통	>20 ~ ≤40	>2.14 ~ ≤2.83	>1.41 ~ ≤2.24	>3.43 ~ ≤4.53
4	좋음	>40 ~ ≤60	>2.83 ~ ≤3.74	>2.24 ~ ≤2.66	>4.53 ~ ≤5.45
3	아주 좋음	>60 ~ ≤80	>3.74 ~ ≤5.75	>2.66 ~ ≤3.42	>5.45 ~ ≤6.38
2		>80 ~ ≤90	>5.75 ~ ≤6.51	>3.42 ~ ≤4.67	>6.38 ~ ≤6.70
1		>90	>6.51	>4.67	>6.70

등급	평가	백분위 (%)	KBQI (Korean Benthic Quality Index) Tidal level 2.5-3		
			평균입도 ≤2.160 & >4.560	>2.160~≤2.660	>2.660~≤4.560
7	아주나쁨	≤10	≤1.46	≤0.88	≤2.60
6	나쁨	>10 ~ ≤20	>1.46 ~ ≤2.13	>0.88 ~ ≤1.45	>2.60 ~ ≤3.23
5	보통	>20 ~ ≤40	>2.13 ~ ≤3.48	>1.45 ~ ≤2.31	>3.23 ~ ≤4.71
4	좋음	>40 ~ ≤60	>3.48 ~ ≤5.48	>2.31 ~ ≤2.98	>4.71 ~ ≤5.63
3	아주 좋음	>60 ~ ≤80	>5.48 ~ ≤6.58	>2.98 ~ ≤4.52	>5.63 ~ ≤6.72
2		>80 ~ ≤90	>6.58 ~ ≤7.46	>4.52 ~ ≤5.16	>6.72 ~ ≤7.42
1		>90	>7.46	>5.16	>7.42

- **조하대 저서생태계의 KBQI** 지수 계산을 위한 지시자를 선정하기 위해 2006년부터 2015년까지 우리나라 전 연안 조하대의 대형저서동물을 군집을 대상으로 실시한 국토해양부(2006, 2007, 2007b, 2008, 2009a, 2009b, 2011, 2012) 및 해양수산부(2013a, 2013b, 2013c, 2014a, 2014b, 2014c, 2015) 조사 자료와 2019년부터 2021년까지 한강 하구역 조하대의 대형저서동물 군집을 대상으로 수행한 인천광역시(2019, 2020, 2021)의 조사 자료를 사용
- 총 2,044종의 분포자료를 바탕으로, 지시자들의 ES50 분포 및 근연종과의 통계적 유의성 등을 고려하여 최종적으로 BQI 인덱스에 사용할 787종을 지시자로 선별, 종별 민감도 ($ES50_{0.05}$)를 얻음
- 같은 연구 자료를 활용하여 우리나라 전 연안 조하대의 KBQI 등급 분포를 계산한 뒤 그 분포를 7등급의 백분위로 나누어 다음과 같이 KBQI 지수의 건강도 등급 기준을 제시

표 Ⅲ-7-7. KBQI지수 시료의 분위수 분포 및 등급 산정 기준

% 분위수	0	10	20	40	60	80	90
ISEP 점수	0	4.60	7.04	9.53	11.51	13.65	15.00
등급	7	6	5	4	3	2	1
평가	아주나쁨	나쁨	보통	좋음	아주좋음		

부록 Ⅲ-8-1. 2020년 태안해안국립공원 조간대에서 채집된 단위부피당(10 m^3) 어류 개체수

학명국명 \ 조사지역	학암포	의항	모항	청포대	삼봉	밧개	합계	우점율
Pleuronectiformes 가자미목								
Pleuronectidae 가자미과								
Pleuronectes yokohamae 문치가자미	0.26						0.26	0.03%
Paralichthyidae 넙치과								
Paralichthys olivaceus 넙치	0.26						0.26	0.03%
Cynoglossidae 참서대과								
Cynoglossus joyneri 참서대						0.93	0.93	0.12%
Perciformes 농어목								
Scombridae 고등어과								
Scomberomorus koreanus 평삼치				0.27			0.27	0.04%
Oplegnathidae 돌돔과								
Oplegnathus fasciatus 돌돔	0.53			0.27			0.80	0.10%
Gobiidae 망둑어과								
Favonigobius gymnauchen 날개망둑				3.30	3.66	9.15	16.11	2.09%
Tridentiger trigonocephalus 두줄망둑	1.85	1.76	17.68	14.56	63.32	23.61	122.78	15.94%
Luciogobius guttatus 미끈망둑			0.62	0.82			1.44	0.19%
Chaenogobius gulosus 별망둑		2.34	31.26				33.60	4.36%
Chaenogobius annularis 점망둑	1.59	17.56	18.42	12.63	77.78	5.09	133.07	17.28%
Acanthogobius lactipes 흰발망둑	4.76			1.37	147.78	36.57	190.48	24.73%
Sillaginidae 보리멸과								
Sillago japonica 청보리멸				3.84			3.84	0.50%
Stichaeidae 장갱이과								
Dictyosoma burgeri 그물베도라치	0.26	0.59					0.85	0.11%
Alectrias benjamini 벼슬베도라치			3.16				3.16	0.41%
Ernogrammus hexagrammus 세줄베도라치			25.28				25.28	3.28%
Zoarchias uchidai 우베도라치	1.85			0.82	0.46	0.25	3.38	0.44%
Leiognathidae 주둥치과								
Nuchequula nuchalis 주둥치				7.41			7.41	0.96%
Blenniidae 청베도라치과								
Omobranchus elegans 앞동갈베도라치	0.79	4.10	0.31		0.46	0.93	6.59	0.86%
Parablennius yatabei 청베도라치		0.59					0.59	0.08%
Pholidae 황줄베도라치과								
Pholis nebulosa 베도라치			3.16				3.16	0.41%
Pholis crassispina 점베도라치	2.12	0.59	9.48	0.27	1.11	1.39	14.96	1.94%
Pholis fangi 흰베도라치	0.26	0.59	0.31			0.46	1.62	0.21%
Beloniformes 동갈치목								
Hemiramphidae 학공치과								
Hyporhamphus sajori 학공치				2.20			2.20	0.29%
Tetraodontiformes 복어목								
Tetraodontidae 참복과								
Takifugu niphobles 복섬			0.31	0.27			0.58	0.08%
Mugiliformes 숭어목								
Mugilidae 숭어과								
Chelon haematocheilus 가숭어	1.85			35.98	0.56	37.65	76.04	9.87%
Scorpaeniformes 쏨뱅이목								
Cottidae 둑중개과								
Furcina osimae 무늬횟대			3.16				3.16	0.41%
Scorpaenidae 양볼락과								
Sebastes schlegelii 조피볼락	44.7	11.7	19.75	1.10	0.56	0.25	78.06	10.13%
Platycephalidae 양태과								
Platycephalus indicus 양태				4.39		6.02	10.41	1.35%
Hexagrammidae 쥐노래미과								
Hexagrammos otakii 쥐노래미	5.29	5.27	15.80			0.25	26.61	3.45%
Clupeiformes 청어목								
Clupeidae 청어과								
Sardinella zunasi 밴댕이				1.65			1.65	0.21%
Konosirus punctatus 전어				0.27			0.27	0.04%
Gasterosteiformes 큰가시고기목								
Syngnathidae 실고기과								
Hippocampus mohnikei 산호해마						0.46	0.46	0.06%
합계	66.37	45.09	148.70	91.42	295.69	123.01	770.28	100%

부록 Ⅲ-8-2. 조사시기별(2005~2022년) 조사지역의 우점종 현황

조사시기 \ 조사지역		학암포	의항	모항	청포대	삼봉	밧개
2005	우점종	두줄망둑 (26.9%)	날개망둑 (40.4%)	점망둑 (34.1%)	숭어 (84.2%)	두줄망둑 (56.9%)	숭어 (45.5%)
	아우점종	점망둑 (15.2%)	조피볼락 (19.2%)	별망둑 (30.3%)	날개망둑 (5.3%)	날개망둑 (16.5%)	날개망둑 (18.2%)
2009	우점종	두줄망둑 (46.5%)	날개망둑 (46.2%)	별망둑 (32.1%)	-	날개망둑 (51.7%)	날개망둑 (53.5%)
	아우점종	조피볼락 (17.2%)	점망둑 (18.3%)	점망둑 (30.9%)	-	조피볼락 (26.4%)	조피볼락 (26.3%)
2010	우점종	조피볼락 (90.7%)	멸치 (24.3%)	조피볼락 (32.5%)	날개망둑 (17.8%)	조피볼락 (37.5%)	조피볼락 (26.2%)
	아우점종	쥐노래미 (2.4%)	조피볼락 (23.0%)	그물베도라치 (22.0%)	미끈망둑, 두줄망둑 (11.9%)	날개망둑 (23.2%)	날개망둑 (17.7%)
2011	우점종	조피볼락 (81.3%)	조피볼락 (30.7%)	그물베도라치 (20.3%)	멸치 (53.7%)	조피볼락 (34.5%)	두줄망둑 (34.6%)
	아우점종	두줄망둑 (6.4%)	날개망둑 (11.5%)	점망둑 (14.3%)	날개망둑 (16.4%)	날개망둑 (21.5%)	숭어 (25.5%)
2012	우점종	조피볼락 (30.6%)	쥐노래미, 날개망둑 (25.4%)	그물베도라치 (20.8%)	멸치, 숭어 (24.3%)	두줄망둑 (47.9%)	두줄망둑 (41.2%)
	아우점종	쥐노래미 (24.9%)	그물베도라치 (10.3%)	조피볼락 (16.9%)	두줄망둑 (24.3%)	날개망둑 (26.5%)	우베도라치 (12.5%)
2013	우점종	조피볼락 (46.5%)	쥐노래미 (35.0%)	세줄베도라치 (22.9%)	멸치 (37.3%)	두줄망둑 (55.5%)	두줄망둑 (36.0%)
	아우점종	쥐노래미 (19.3%)	조피볼락 (10.9%)	그물베도라치 (22.5%)	조피볼락 (25.0%)	조피볼락 (20.9%)	조피볼락 (13.0%)
2014	우점종	조피볼락 (66.5%)	점망둑 (68.9%)	조피볼락 (16.0%)	멸치 (25.7%)	조피볼락 (33.6%)	조피볼락 (37.1%)
	아우점종	두줄망둑 (8.7%)	별망둑 (8.4.0%)	두줄망둑 (14.0%)	청멸 (16.8%)	날개망둑 (18.9%)	우베도라치 (21.9%)
2015	우점종	조피볼락 (30.5%)	점망둑 (62.1%)	점망둑 (42.2%)	멸치 (34.6%)	조피볼락 (28.5%)	조피볼락 (34.5%)
	아우점종	점망둑 (25.5%)	쥐노래미 (12.4%)	별망둑 (19.3%)	두줄마둑 (26.6%)	두줄망둑 (24.3%)	숭어 (29.5%)
2016	우점종	조피볼락 (43.8%)	숭어, 점망둑 (25.0%)	학공치 (36.1%)	날개망둑 (43.1%)	조피볼락 (23.5%)	날개망둑 (34.2%)
	아우점종	미끈망둑 (12.7%)	조피볼락 (23.6%)	그물베도라치 (16.1%)	조피볼락 (22.5%)	두줄망둑 (20.9%)	조피볼락 (20.3%)
2017	우점종	조피볼락 (32.6%)	쥐노래미 (44.2%)	두줄망둑 (21.8%)	전갱이 (28.3%)	두줄망둑 (46.4%)	조피볼락 (46.6%)
	아우점종	그물베도라치 (15.0%)	조피볼락 (21.6%)	그물베도라치, 점망둑 (15.4%)	황해볼락 (11.6%)	황해볼락 (13.6%)	두줄망둑 (28.08%)
2018	우점종	조피볼락 (19.8%)	조피볼락 (23.9%)	그물베도라치 (20.7%)	가숭어 (30.2%)	조피볼락, 쥐노래미 (20.0%)	조피볼락 (24.3%)
	아우점종	두줄망둑 (17.4%)	점망둑 (21.6%)	두줄망둑 (16.7%)	밴댕이 (19.6%)	점망둑 (18.6%)	세줄베도라치 (18.6%)
2019	우점종	조피볼락 (27.2%)	점망둑 (22.5%)	세줄베도라치 (31.5%)	멸치 (52.7%)	두줄망둑 (50.5%)	조피볼락 (32.9%)
	아우점종	점망둑 (25.9%)	조피볼락, 그물베도라치 (16.3%)	점베도라치 (16.9%)	날개망둑 (28.1%)	앞동갈베도라치 (21.6%)	우베도라치 (23.1%)
2020	우점종	조피볼락 (31.1%)	노래미 (30.6%)	그물베도라치 (36.1%)	날개망둑, 두줄망둑 (31.8%)	두줄망둑 (44.2%)	세줄베도라치 (28.5%)
	아우점종	노래미, 점베도라치 (13.2%)	그물베도라치 (21.2%)	세줄베도라치 (14.5%)	멸치 (17.5%)	점베도라치 (16.8%)	우베도라치 (22.4%)
2021	우점종	조피볼락 (73.3%)	점망둑 (86.96%)	점망둑 (78.5%)	멸치 (37.8%)	점망둑 (45.5%)	복섬 (40.8%)
	아우점종	쥐노래미, 점망둑 (8.3%)	쥐노래미 (87.0%)	가숭어 (15.4%)	점망둑 (33.2%)	가숭어 (30.3%)	가숭어 (30.6%)
2022	우점종	조피볼락 (67.4%)	점망둑 (39.0%)	별망둑 (21.0%)	가숭어 (39.3%)	흰발망둑 (50.0%)	가숭어 (30.6%)
	아우점종	쥐노래미 (8.0%)	조피볼락 (26.0%)	세줄베도라치 (17.0%)	두줄망둑 (15.9%)	점망둑 (26.3%)	흰발망둑 (29.7%)

부록 Ⅲ-8-3. 조사시기별(2009~2022년) 단위부피당(10 m³) 출현 개체수와 종수

조사지역		학암포	의항	모항	청포대	삼봉	밧개
2009. 2.	개체수/10 ㎥	2.2	22.2	35.5	80.5	70.3	27.7
	종수	7	5	5	3	8	2
2009. 4.	개체수/10 ㎥	3.5	26.3	184.4	66.6	36.4	166.6
	종수	8	8	12	5	4	5
2009. 7.	개체수/10 ㎥	124.4	70.8	28.8	202.7	151.0	166.6
	종수	8	7	2	7	8	5
2009. 10.	개체수/10 ㎥	57.8	77.7	42.2	275	184.8	645.8
	종수	11	6	5	11	5	8
2010. 1.	개체수/10 ㎥	4.5	5.5	77.7	13.8	132.8	46.8
	종수	2	4	5	1	2	2
2010. 4.	개체수/10 ㎥	2.4	19.4	26.6	50.0	46.8	222.2
	종수	6	5	6	5	4	5
2010. 7.	개체수/10 ㎥	21.8	40.2	44.4	141.6	78.1	694.4
	종수	3	6	7	9	9	3
2010. 10.	개체수/10 ㎥	2.0	27.7	26.6	386.1	78.1	680.5
	종수	2	6	9	5	2	5
2011. 2.	개체수/10 ㎥	2.9	0	28.8	30.5	0	0
	종수	3	0	4	4	0	0
2011. 4.	개체수/10 ㎥	1.8	16.0	26.6	50.0	10.4	236.1
	종수	6	5	4	5	3	6
2011. 7.	개체수/10 ㎥	14.3	56.9	124.4	436.4	49.4	173.6
	종수	9	6	7	11	5	6
2011. 10.	개체수/10 ㎥	5.2	6.9	97.7	102.7	533.8	979.1
	종수	10	2	9	4	11	11
2012. 2.	개체수/10 ㎥	1.2	8.3	53.3	0	0	97.2
	종수	4	4	7	0	0	3
2012. 4.	개체수/10 ㎥	0.2	4.1	37.7	33.3	41.6	111.1
	종수	6	2	8	4	4	4
2012. 7.	개체수/10 ㎥	9.8	23.6	60.0	97.2	119.7	243.0
	종수	8	8	10	5	9	7
2012. 10.	개체수/10 ㎥	3.3	90.2	155.5	69.4	18.2	166.6
	종수	7	6	8	4	4	6
2013. 2.	개체수/10 ㎥	1.1	7.1	46.6	5.5	28.6	55.5
	종수	4	2	6	1	3	2
2013. 4.	개체수/10 ㎥	3.5	1.1	48.8	47.2	65.5	76.3
	종수	5	3	5	4	4	3
2013. 7.	개체수/10 ㎥	15.5	104.2	133.3	386.1	315.1	1,034.7
	종수	9	10	9	9	6	10
2013. 10.	개체수/10 ㎥	7.4	44.4	288.9	391.7	638.0	1,340.3
	종수	11	9	12	11	4	7
2014. 2.	개체수/10 ㎥	1.1	4.1	57.7	25.0	33.8	90.2
	종수	2	2	6	3	4	3
2014. 4.	개체수/10 ㎥	0.9	6.9	22.2	27.7	20.8	62.5
	종수	4	2	7	3	3	5
2014. 7.	개체수/10 ㎥	7.1	102.7	144.4	230.5	489.5	465.2
	종수	8	8	14	9	9	13
2014. 10.	개체수/10 ㎥	16.7	27.7	164.4	238.8	421.8	986.1
	종수	12	4	9	10	13	11
2015. 2.	개체수/10 ㎥	1.5	8.3	37.7	22.2	65.1	131.9
	종수	3	3	5	2	4	4
2015. 5.	개체수/10 ㎥	2.3	22.2	48.8	47.2	44.2	229.1
	종수	3	5	6	3	5	8

부록 Ⅲ-8-3. 계속

조사지역		학암포	의항	모항	청포대	삼봉	밧개
2015. 7.	개체수/10 ㎥	14.2	65.2	151.1	105.5	153.6	236.1
	종수	6	6	8	4	6	6
2015. 10.	개체수/10 ㎥	35.0	141.6	351.1	594.4	682.2	1,256.9
	종수	11	11	12	9	16	13
2016. 2.	개체수/10 ㎥	1.9	6.9	60.0	0	10.4	69.4
	종수	7	2	4	0	2	2
2016. 5.	개체수/10 ㎥	1.3	8.3	113.3	0	10.4	250.0
	종수	4	3	9	0	2	5
2016. 7.	개체수/10 ㎥	31.5	40.2	117.0	73.3	270.8	777.7
	종수	6	9	9	13	8	9
2016. 11.	개체수/10 ㎥	3.6	11.1	93.3	88.8	270.8	312.5
	종수	4	4	9	6	6	5
2017. 2.	개체수/10 ㎥	1.2	15.3	40.0	105.5	20.8	97.2
	종수	4	5	7	4	1	6
2017. 5.	개체수/10 ㎥	6.3	25.0	11.1	44.4	54.7	145.8
	종수	4	5	5	2	6	5
2017. 7.	개체수/10 ㎥	20.5	13.9	51.1	183.3	99.0	1,486.1
	종수	9	3	10	6	7	7
2017. 11.	개체수/10 ㎥	9.5	18.1	71.1	50.0	151.0	722.2
	종수	8	5	7	5	4	7
2018. 2.	개체수/10 ㎥	2.1	16.6	60.0	50.0	260	97.2
	종수	4	4	6	3	4	5
2018. 5.	개체수/10 ㎥	4.6	27.7	62.2	72.2	39.0	777.7
	종수	8	5	7	4	5	9
2018. 7.	개체수/10 ㎥	7.6	22.2	160.0	433.3	208.3	458.3
	종수	9	4	8	8	4	5
2018. 11.	개체수/10 ㎥	15.0	55.5	168.8	69.4	91.1	125.0
	종수	8	6	9	5	5	4
2019. 1.	개체수/10 ㎥	7.2	0	53.3	5.6	20.8	125
	종수	8	0	8	1	2	4
2019. 4.	개체수/10 ㎥	3.0	25.0	53.3	27.8	26.0	263.9
	종수	9	6	7	3	3	8
2019. 8.	개체수/10 ㎥	9.0	19.4	86.7	291.7	10.4	312.5
	종수	4	7	6	6	2	4
2019. 10.	개체수/10 ㎥	3.6	23.6	82.2	613.9	231.8	291.7
	종수	9	6	8	6	3	9
2020. 2.	개체수/10 ㎥	2.9	15.3	73.3	19.4	41.7	41.7
	종수	6	4	7	3	5	3
2020. 4.	개체수/10 ㎥	2.5	18.1	31.1	44.4	59.9	229.2
	종수	5	5	5	4	3	4
2020. 8.	개체수/10 ㎥	3.8	47.2	35.6	22.2	65.1	69.4
	종수	8	7	6	2	7	3
2020. 10.	개체수/10 ㎥	7.5	37.5	35.6	88.9	80.7	465.3
	종수	9	7	6	3	5	9
2021. 8.	개체수/10 ㎥	12.5	1.4	25.0	6.6	6.5	9.5
	종수	4	3	4	8	2	2
2021. 10.	개체수/10 ㎥	2.5	7.8	7.5	21.9	10.0	15.0
	종수	4	2	3	7	3	3
2022. 8.	개체수/10	53.4	31.6	49.3	151.6	488.9	212.5
	종수	6	9	7	14	6	10
2022. 10.	개체수/10	79.3	58.5	248.1	31.3	102.5	33.5
	종수	11	5	9	7	4	5

부록 Ⅲ-8-4. 학암포 주요종 현황(2009~2022년)

목 록	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	빈도
점망둑	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	14
조피볼락	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	14
쥐노래미	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	14
두줄망둑	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	14
점베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
우베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
앞동갈베도라치		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	12
그물베도라치	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●		●	12
미끈망둑	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●			11
숭어	●	●	●		●		●		●	●	●	●			9
날개망둑	●	●	●	●	●	●		●	●	●					9
세줄베도라치	●	●	●	●	●	●				●	●				8
문치가자미	●		●	●	●	●	●					●		●	8
복섬	●	●	●			●			●	●					6
황해볼락	●	●	●						●	●	●				6
넙치	●	●	●			●			●					●	6
가숭어	●	●								●				●	4
괴도라치			●	●	●										3
점넙치	●						●		●						3
풀망둑		●	●						●						3
흑대기	●	●					●								3
멸치				●					●	●					3
범돔			●	●							●				3
청베도라치			●								●	●			3
베도라치		●	●										●		3
민물두줄망둑				●					●						2
밴댕이				●		●									2
참돛양태	●		●												2
벵에돔												●			1
청멸					●										1
벼슬베도라치									●						1
양태			●												1
별망둑			●												1
감성돔								●							1
꽃돛양태						●									1
왜도라치											●				1
흰베도라치														●	1
흰발망둑														●	1
돌돔														●	1

부록 Ⅲ-8-5. 의항 주요종 현황(2009~2022년)

목 록	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	빈도
쥐노래미	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	14
조피볼락	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
그물베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
앞동갈베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
점베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
점망둑	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	12
세줄베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●			10
노래미	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●			10
고려실횟대	●	●		●	●		●	●	●	●	●				9
별망둑		●	●	●	●	●			●			●		●	8
두줄망둑			●	●	●		●	●	●			●		●	8
날개망둑	●	●	●		●				●	●					6
황해볼락	●		●				●			●	●				5
미끈망둑	●			●	●										3
멸치	●	●													2
우베도라치	●						●								2
베도라치			●							●					2
두줄비늘횟대			●									●			2
문치가자미	●												●		2
흰베도라치		●												●	2
청베도라치												●		●	2
흰발망둑													●		1
개볼락								●							1
꽃돛양태	●														1
무늬횟대	●														1
문절망둑	●														1
벼슬베도라치	●														1
복섬		●													1
어름돔	●														1
얼룩망둑					●										1
풀망둑						●									1
황점베도라치									●						1

부록 Ⅲ-8-6. 모항 주요종 현황(2009~2022년)

목 록	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	빈도
점망둑	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	14
별망둑	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	14
세줄베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
조피볼락	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
앞동갈베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
그물베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			12
점베도라치	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●	12
쥐노래미	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	12
두줄망둑	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●	12
고려실횟대	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●			11
미끈망둑	●	●	●	●	●	●		●	●	●		●		●	11
황해볼락	●	●	●	●	●			●	●	●					8
우베도라치	●	●	●	●		●	●	●			●				8
베도라치		●	●						●	●			●	●	6
두줄비늘횟대	●	●			●	●		●							5
노래미	●					●	●		●						4
민물두줄망둑	●					●				●			●		4
날개망둑			●		●				●						3
무늬횟대	●	●												●	3
벼슬베도라치							●	●						●	3
숭어				●					●						2
흰베도라치			●											●	2
가숭어									●				●		2
붕장어			●												1
어름돔			●												1
학공치	●														1
해마				●											1
흰꼬리볼락							●								1
넙치						●									1
황점베도라치				●											1
얼룩망둑									●						1
도다리									●						1
꼬치고기													●		1
복섬														●	1

부록 Ⅲ-8-7. 청포대 주요종 현황(2009~2022년)

목 록	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	빈도
미끈망둑	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
두줄망둑	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
날개망둑	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●	12
멸치	●	●	●		●	●	●	●		●	●	●	●		11
조피볼락	●	●	●		●	●	●	●	●	●				●	10
숭어	●	●	●		●	●	●	●	●		●		●		10
민물두줄망둑	●	●	●	●	●	●			●		●		●		9
복섬		●	●		●			●	●	●		●	●	●	9
우베도라치	●	●	●		●	●	●				●			●	8
점망둑				●	●		●		●	●			●	●	7
밴댕이	●	●						●		●	●		●	●	7
쥐노래미	●	●	●			●	●				●				6
점베도라치					●	●	●							●	4
학공치								●	●	●				●	4
삼치		●			●			●					●		4
가숭어								●	●	●				●	4
풀망둑						●	●			●					3
황해볼락						●			●	●					3
감성돔			●		●			●							3
양태								●	●					●	3
흰발망둑				●									●	●	3
전어					●								●	●	3
주둥치									●				●	●	3
얼룩망둑			●		●										2
넙치					●			●							2
청멸	●					●									2
황줄망둑	●		●												2
까지양태			●						●						2
전갱이					●				●						2
참돔								●		●					2
모치망둑	●			●											2
그물베도라치										●		●			2
청보리멸					●									●	2
삼세기												●			1
노래미				●											1
쉬쉬망둑				●											1
실고기			●												1
앞동갈베도라치	●														1
흑대기		●													1
창꼬치					●										1
민물검정망둑							●								1
까나리											●				1
꼬치고기													●		1
돌돔														●	1
평삼치														●	1

부록 Ⅲ-8-8. 삼봉 주요종 현황(2009~2022년)

목 록	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	빈도
두줄망둑	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
쥐노래미	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			12
조피볼락	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●		●	12
우베도라치	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●	12
점베도라치	●	●	●	●	●			●	●		●	●		●	10
날개망둑	●	●	●	●	●	●		●	●					●	9
황해볼락	●	●	●			●	●	●	●	●					8
숭어	●	●	●		●	●	●		●						7
세줄베도라치		●	●	●		●	●	●				●			7
앞동갈베도라치	●			●	●				●		●	●		●	7
점망둑	●					●	●			●		●	●	●	7
미끈망둑	●		●	●	●				●	●					6
그물베도라치	●		●			●	●		●			●			6
청베도라치	●	●						●	●		●	●			6
민물두줄망둑	●		●	●					●	●					5
문치가자미	●	●	●				●								4
얼룩망둑	●		●	●					●						4
가숭어				●				●					●	●	4
노래미	●		●	●											3
복섬	●					●				●					3
참돛양태	●	●													2
청보리멸	●					●									2
풀망둑	●		●												2
왜풀망둑													●		1
줄망둑													●		1
전어													●		1
해마												●			1
괴도라치		●													1
멸치	●														1
범돔	●														1
삼치				●											1
주둥치	●														1
청멸	●														1
양태						●									1
일곱동갈망둑					●										1
학공치									●						1
실고기									●						1
밴댕이									●						1
흰발망둑														●	1

부록 Ⅲ-8-9. 밧개 주요종 현황(2009~2022년)

목 록	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	빈도
조피볼락	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
우베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	13
세줄베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			12
그물베도라치	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			12
쥐노래미	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●		●	12
점베도라치	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	12
두줄망둑	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●	12
앞동갈베도라치	●		●	●	●	●	●		●		●	●		●	10
날개망둑	●	●	●	●	●	●		●	●	●				●	10
숭어	●	●			●	●	●		●	●					7
청베도라치	●	●	●					●	●		●				6
고려실횟대					●	●		●		●	●	●			6
미끈망둑	●		●	●	●						●		●		6
황해볼락	●	●						●	●	●					5
복섬	●		●			●			●				●		5
점망둑	●				●					●			●	●	5
흰베도라치						●		●	●					●	4
민물두줄망둑	●					●			●						3
가숭어									●		●			●	3
넙치	●								●						2
별망둑								●		●					2
괴도라치		●	●												2
노래미		●		●											2
문치가자미	●		●												2
줄공치				●											1
청멸	●														1
베도라치			●												1
학공치						●									1
풀망둑									●						1
얼룩망둑									●						1
왜도라치								●							1
산호해마														●	1
양태														●	1
흰발망둑														●	1

허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른 생태계 영향 장기모니터링 (14차년도)

발 행 일 | 2022.12.
발 행 인 | 국립공원연구원장 정용상
발 행 처 | 국립공원공단 국립공원연구원
(26441) 강원도 원주시 단구로 171
홈페이지 | http://research.knps.or.kr
가 격 | 비매품

ISBN 979-11-91392-78-4 93060

본 출판물은 저작권법에 따라 보호되는 저작물이므로 국립공원공단
국립공원연구원의 사전 승인 없이 무단 복제 및 전재를 금합니다.

자연과 사람, 그리고 미래
Nature and People, Our Future

허베이 스피리트호 유류유출 사고에 따른

생태계 영향 장기모니터링

| 14차년도 |

국립공원연구원

[26441] 강원도 원주시 단구로 171
TEL. 033-769-1614 / FAX. 033-769-1609
http://research.knps.or.kr

이 책에 실린 내용의 무단 전재 및 무단 복제를 금합니다.

ISBN 979-11-91392-78-4 93060