

# Chapter 9

## 화학 결합의 모형

- 9.1 원자의 성질과 화학 결합
- 9.2 이온 결합 모형
- 9.3 공유 결합 모형
- 9.4 결합 에너지와 화학 변화
- 9.5 양 극단 사이: 전기음성도와 결합극성

### 이온 결합, 공유 결합, 금속 결합

본 자료의 모든 그림, 표, 예제 등은 다음의 문헌을 참고하였습니다.

참고문헌 : Martin S. Silverberg, 화학교재연구회 옮김. “실버버그의 일반화학”, 3rd ed., 사이플러스, 2014.

## 9.1 원자의 성질과 화학 결합

### ■ 결합의 유형

#### [1] 금속과 비금속 간 결합: 이온 결합 (ionic bonding)

- 이온화 에너지가 작은 금속 원자 + 전자친화도가 큰 비금속 원자
- 3차원 배열을 갖는 이온성 고체 형성, 실험식으로 나타냄.

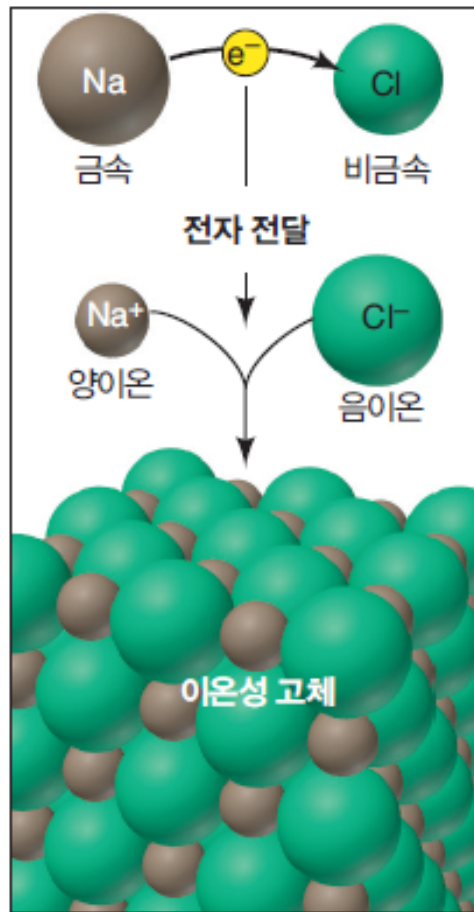
#### [2] 비금속과 비금속 간 결합: 공유 결합 (covalent bonding)

- 공유된 전자쌍 : 두 원자들 사이에 “편재” (localization)됨.
- 분자식으로 나타냄.

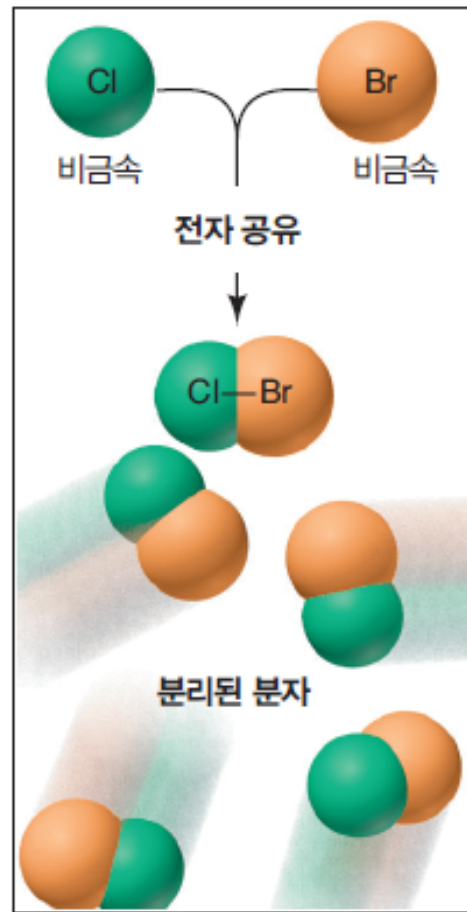
#### [3] 금속과 금속 간 결합: 금속 결합 (metallic bonding)

- 원자가 전자들이 모여서 전자의 바다를 형성. → 자유전자 (free electron)
- 금속 이온과 자유전자 사이에 인력 형성.
- 자유 전자는 금속 전체를 통해 자유롭게 움직임. 비편재화 (delocalization)

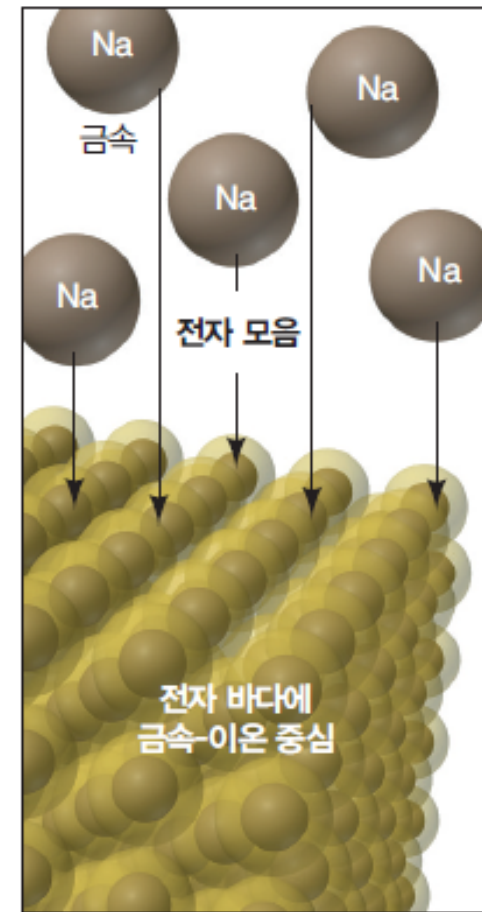
# 9.1 원자의 성질과 화학 결합



A. 이온 결합



B. 공유 결합



C. 금속 결합

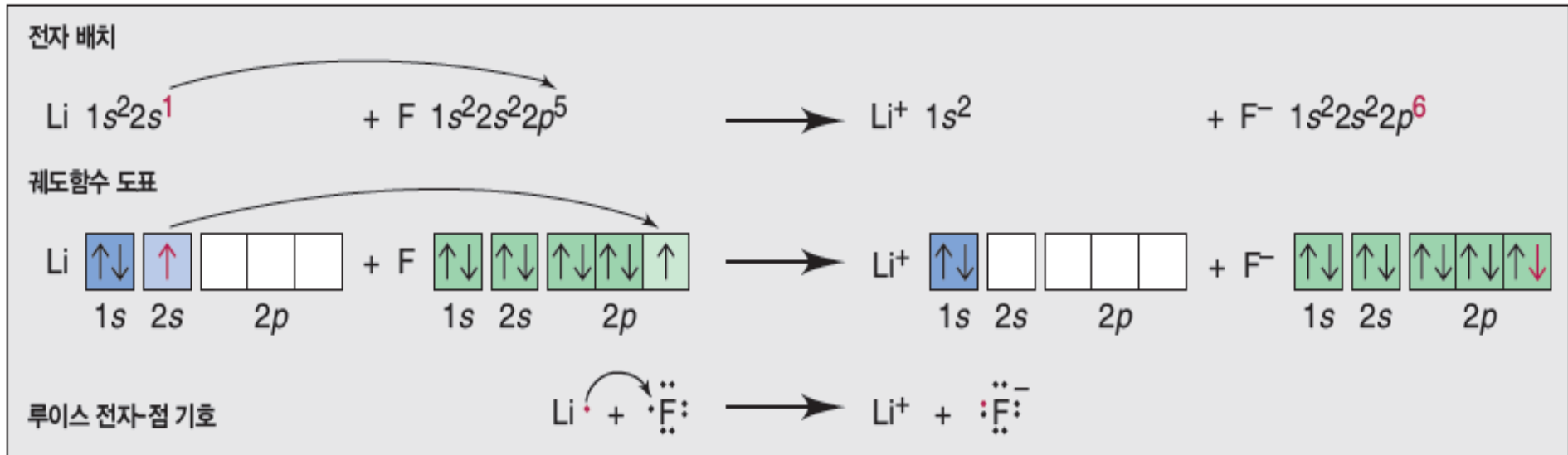
# 9.1 원자의 성질과 화학 결합

- 루이스 전자-점 기호 (Lewis electron-dot symbol)

		1A(1)	2A(2)	3A(13)	4A(14)	5A(15)	6A(16)	7A(17)	8A(18)
		$ns^1$	$ns^2$	$ns^2np^1$	$ns^2np^2$	$ns^2np^3$	$ns^2np^4$	$ns^2np^5$	$ns^2np^6$
주기	2	• Li	• Be •	• B •	• C •	• N •	• O •	• F •	• Ne •
	3	• Na	• Mg •	• Al •	• Si •	• P •	• S •	• Cl •	• Ar •

\* 팔전자 규칙 (octet rule)

## 9.2 이온 결합 모형



### ■ 예제 9.1)

## 9.2 이온 결합 모형

### ■ 이온 결합 형성 : 격자 에너지 (lattice energy)

✓ 격자 에너지 :

- 1 mol의 이온성 고체가 각각의 기체 이온들로 분리될 때의 엔탈피 변화
- 이온 결합의 강도를 말해 줌.



✓ 격자 에너지의 주기적 경향

$$\text{정전기적 에너지} \propto \frac{\text{전하 A} \times \text{전하 B}}{\text{거리}}$$

$$\text{정전기적 에너지} \propto \frac{\text{양이온전하} \times \text{음이온전하}}{\text{양이온반지름} + \text{음이온반지름}} \propto \Delta H_{\text{격자}}^\circ$$

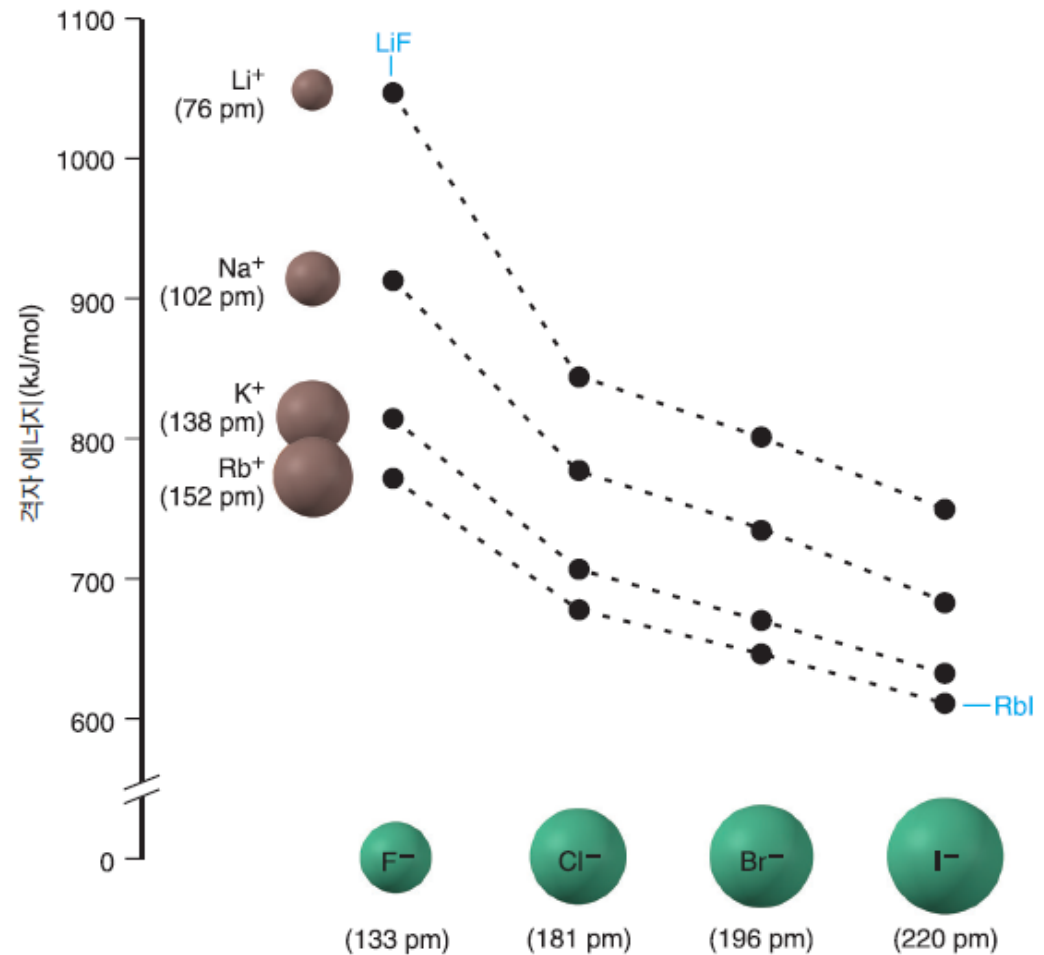
## 9.2 이온 결합 모형

### ✓ 격자 에너지의 주기적 경향

1) 이온 크기의 효과 : 이온 반지름이 증가할수록 정전기적 인력 감소.

2) 이온 전하량의 효과 : 이온의 전하량이 증가할수록 정전기적 인력 증가.

ex)  $\text{LiF} \rightarrow 1050 \text{ kJ/mol}$  vs.  
 $\text{MgO} \rightarrow 3923 \text{ kJ/mol}$



## 9.2 이온 결합 모형

### 이온성 고체의 성질

Martin S. Silverberg, 화학교재연구회 옮김.  
 “실버버그의 일반화학”, 3rd ed., 사이플러스, 2014.

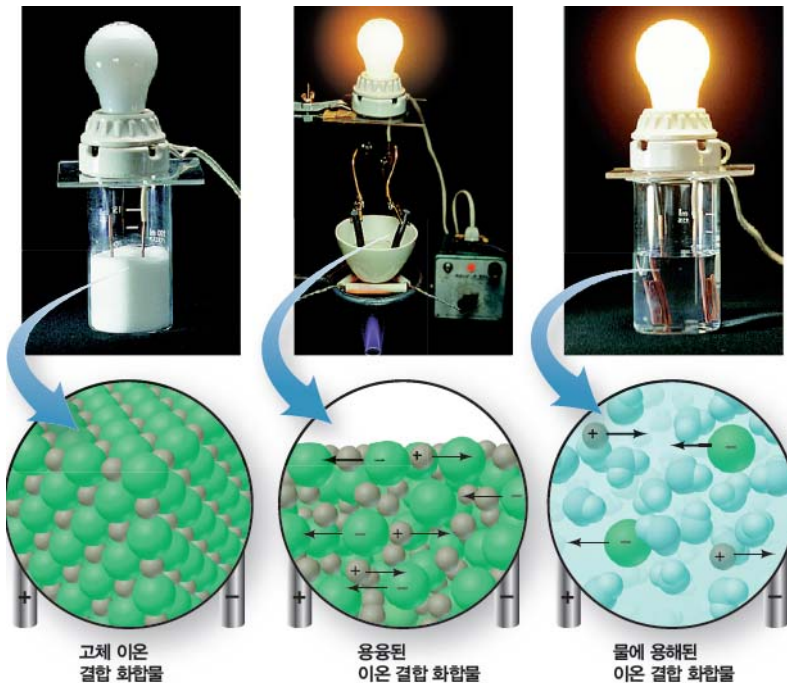
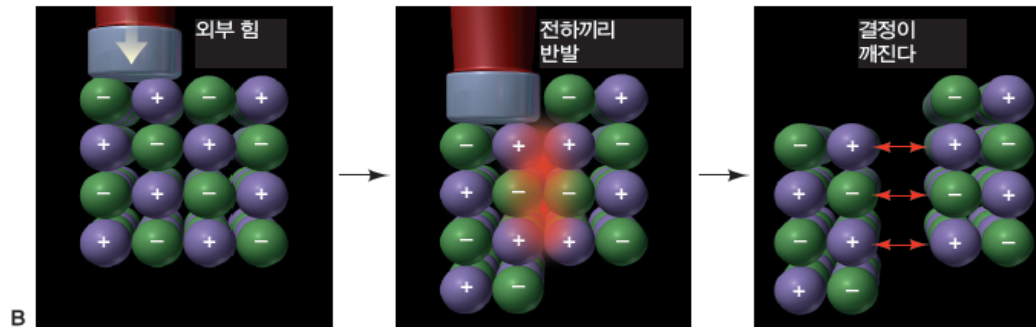


표 9.1 몇 가지 이온 결합 화합물의 녹는점과 끓는점

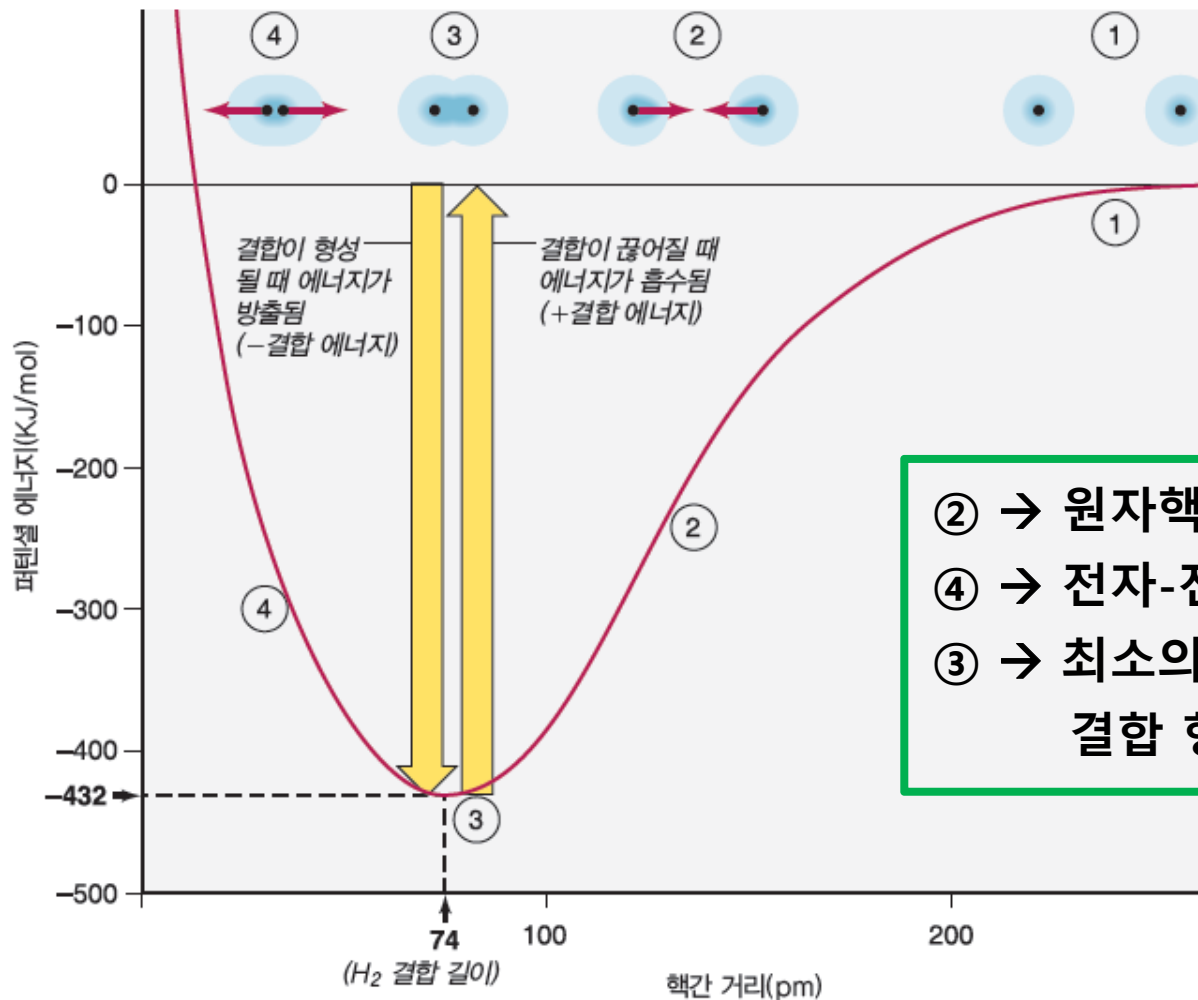
화합물	녹는점(°C)	끓는점(°C)
CsBr	636	1300
NaI	661	1304
MgCl <sub>2</sub>	714	1412
KBr	734	1435
CaCl <sub>2</sub>	782	>1600
NaCl	801	1413
LiF	845	1676
KF	858	1505
MgO	2852	3600



## 9.3 공유 결합 모형

### 공유 결합 형성

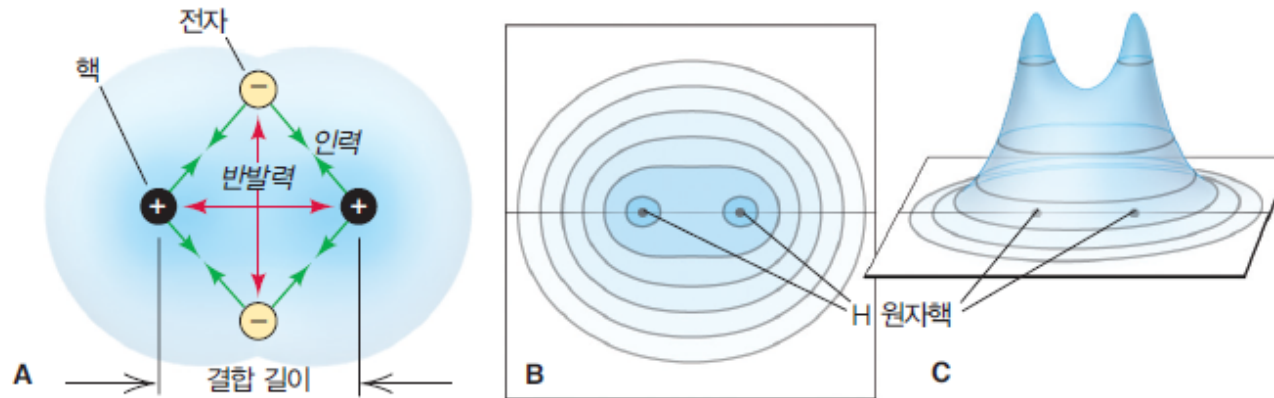
Martin S. Silverberg, 화학교재연구회 옮김.  
“실버버그의 일반화학”, 3rd ed., 사이플러스, 2014.



- ② → 원자핵과 공유전자간의 인력 증가
- ④ → 전자-전자, 핵-핵 간의 반발력 증가
- ③ → 최소의 에너지를 갖는 지점에서 결합 형성 (결합 길이)

## 9.3 공유 결합 모형

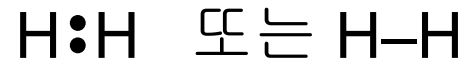
그림 9.11  $H_2$  에서 전자 밀도 분포.



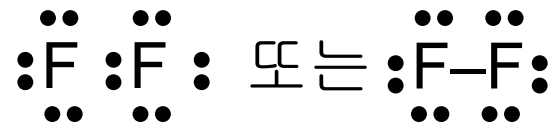
공유 결합 : 핵-전자 사이의 인력과 전자-전자, 핵-핵 사이의 반발력의 균형에 의해 형성.

## 9.3 공유 결합 모형

- 결합 전자쌍과 고립 전자쌍



→ 결합 전자쌍 (**bonding pair**) 또는 공유 전자쌍 (**shared pair**)  
이라 명명.



→ 비공유 전자쌍 (**unshared pair**) 또는 고립 전자쌍 (**lone pair**) 이라 명명.

## 9.3 공유 결합 모형

### 공유 결합 : 결합 차수, 결합 에너지, 결합 길이

#### ✓ 결합 차수 (bond order)

- 단일 결합 : 1쌍의 공유 전자쌍 (2개의 전자 공유), 결합차수 1
- 이중 결합 : 2쌍의 공유 전자쌍 (4개의 전자 공유), 결합차수 2
- 삼중 결합

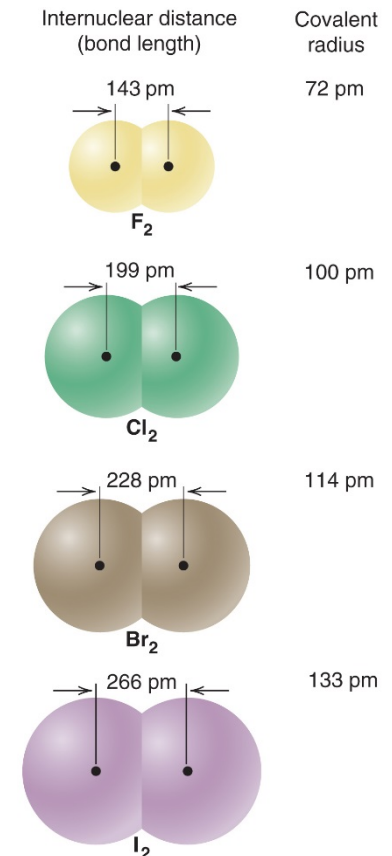
#### ✓ 결합 에너지 (binding energy)

- 1 mol 기체 분자의 결합을 해리시킬 때의 표준 엔탈피 변화



#### ✓ 결합 길이 (bond length)

- 핵 사이의 거리, 원자 크기가 커짐에 따라 증가.



## 9.3 공유 결합 모형

- ✓ 결합 차수 증가 → 결합길이 감소, 결합에너지 증가
- ✓ 원자 크기 감소 → 결합길이 감소, 결합에너지 증가

표 9.3 결합 차수, 결합 길이 및 결합 에너지의 관계

결합	결합 차수	평균 결합 길이(pm)	평균 결합 에너지(kJ/mol)
C—O	1	143	358
C=O	2	123	745
C≡O	3	113	1070
C—C	1	154	347
C=C	2	134	614
C≡C	3	121	839
N—N	1	146	160
N=N	2	122	418
N≡N	3	110	945

## 9.4 결합 에너지와 화학 변화

---

- 예제 9.2)

## 9.3 공유 결합 모형

Martin S. Silverberg, 화학교재연구회 옮김.  
 “실버버그의 일반화학”, 3rd ed., 사이플러스, 2014.

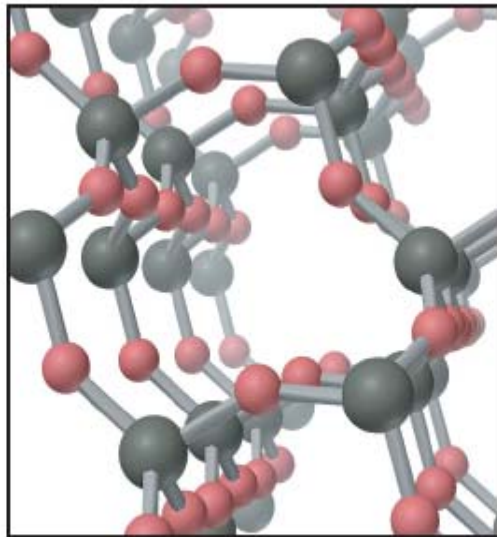
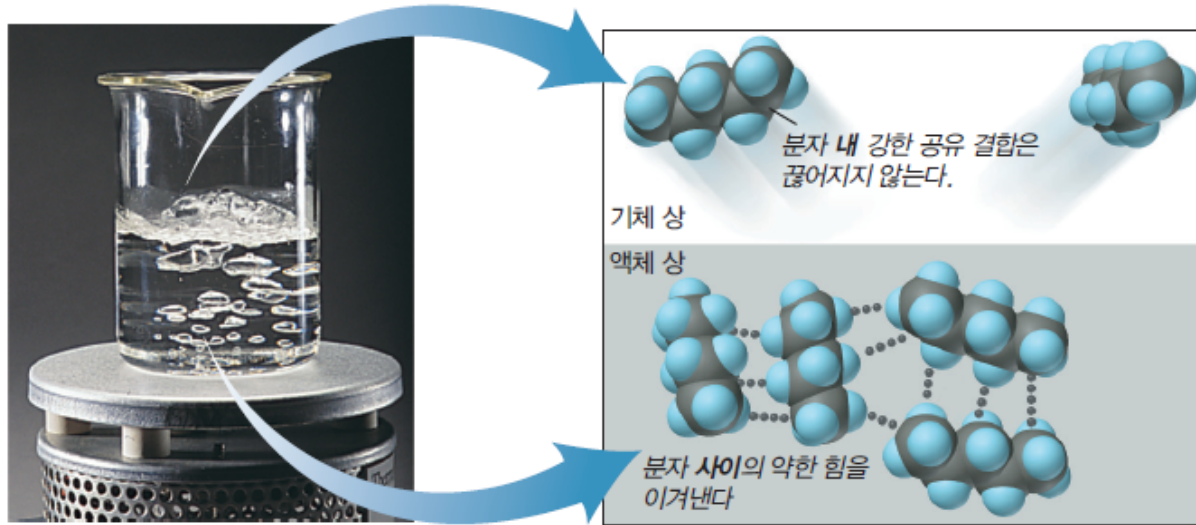
표 9.2 평균 결합 에너지(kJ/mol)와 결합 길이(pm)

결합	에너지	길이	결합	에너지	길이	결합	에너지	길이	결합	에너지	길이
<b>단일 결합</b>											
H—H	432	74	N—H	391	101	Si—H	323	148	S—H	347	134
H—F	565	92	N—N	160	146	Si—Si	226	234	S—S	266	204
H—Cl	427	127	N—P	209	177	Si—O	368	161	S—F	327	158
H—Br	363	141	N—O	201	144	Si—S	226	210	S—Cl	271	201
H—I	295	161	N—F	272	139	Si—F	565	156	S—Br	218	225
			N—Cl	200	191	Si—Cl	381	204	S—I	~170	234
C—H	413	109	N—Br	243	214	Si—Br	310	216			
C—C	347	154	N—I	159	222	Si—I	234	240	F—F	159	143
C—Si	301	186							F—Cl	193	166
C—N	305	147	O—H	467	96	P—H	320	142	F—Br	212	178
C—O	358	143	O—P	351	160	P—Si	213	227	F—I	263	187
C—P	264	187	O—O	204	148	P—P	200	221	Cl—Cl	243	199
C—S	259	181	O—S	265	151	P—F	490	156	Cl—Br	215	214
C—F	453	133	O—F	190	142	P—Cl	331	204	Cl—I	208	243
C—Cl	339	177	O—Cl	203	164	P—Br	272	222	Br—Br	193	228
C—Br	276	194	O—Br	234	172	P—I	184	246	Br—I	175	248
C—I	216	213	O—I	234	194				I—I	151	266
<b>다중 결합</b>											
C=C	614	134	N=N	418	122	C≡C	839	121	N≡N	945	110
C=N	615	127	N=O	607	120	C≡N	891	115	N≡O	631	106
C=O	745	123	O <sub>2</sub>	498	121	C≡O	1070	113			

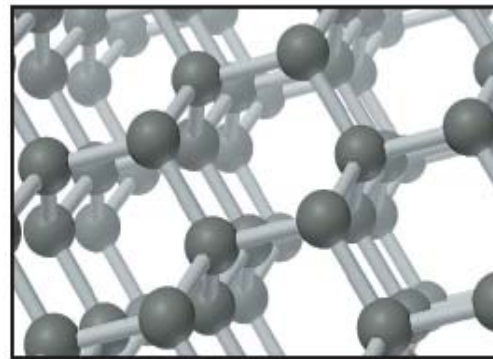
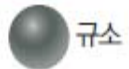
(CO<sub>2</sub>에서 799)

# 9.3 공유 결합 모형

Martin S. Silverberg, 화학교재연구회 옮김.  
"실버버그의 일반화학", 3rd ed., 사이플러스, 2014.



수정



다이아몬드



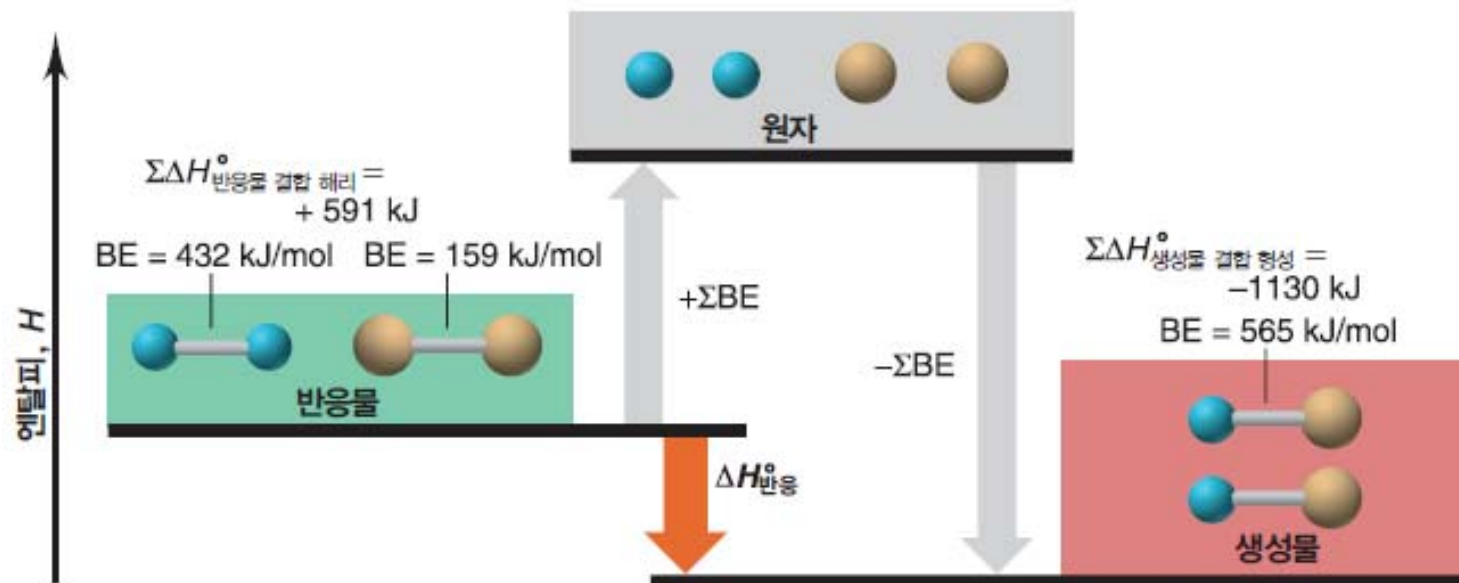
그물 구조 공유성 고체의 공유 결합: 수정과 다이아몬드.



## 9.4 결합 에너지와 화학 변화

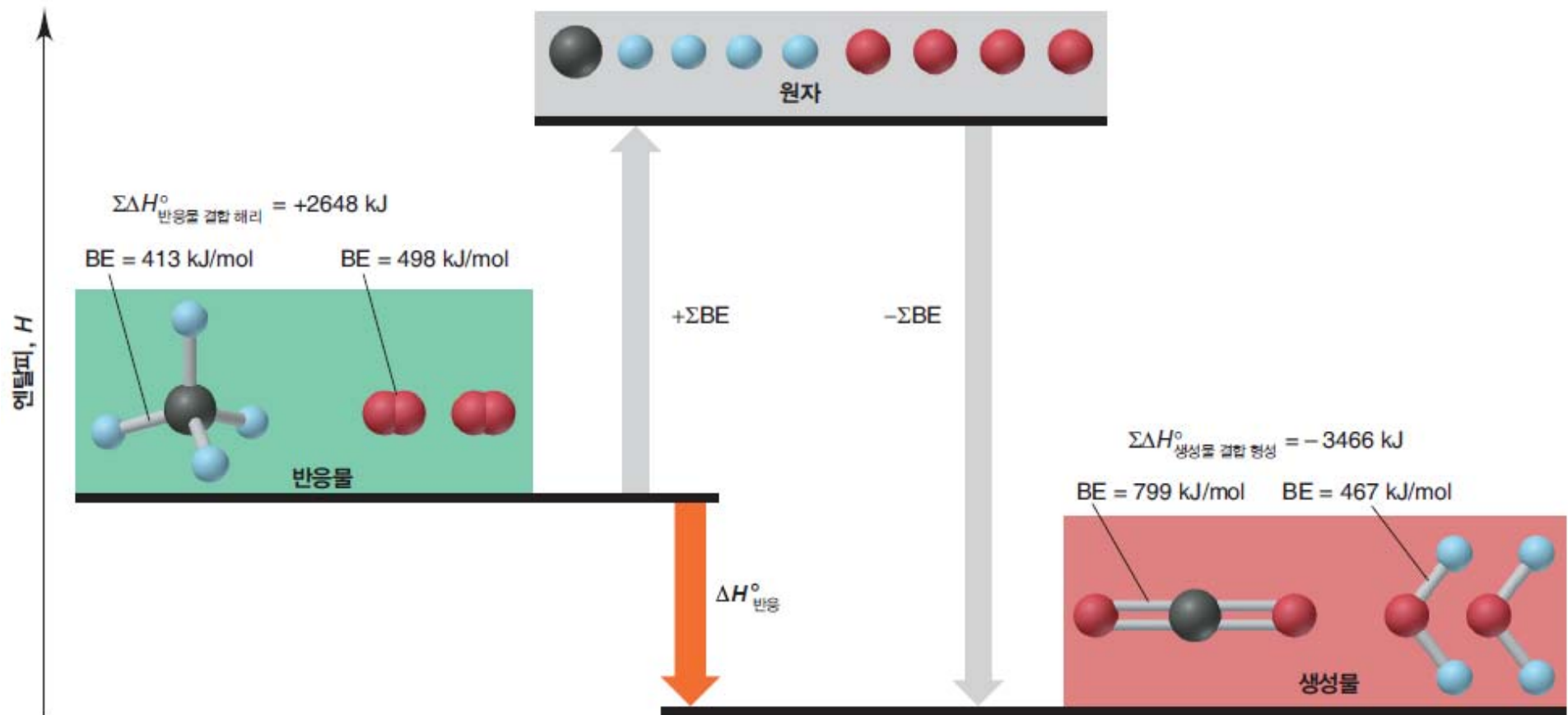
Martin S. Silverberg, 화학교재연구회 옮김.  
"실버버그의 일반화학", 3rd ed., 사이플러스, 2014.

- 결합 에너지의 변화:  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$  은 어디로부터 오는가? (중요!)



$$\Delta H^{\circ}_{\text{반응}} = \Sigma\Delta H^{\circ}_{\text{반응물 결합 해리}} + \Sigma\Delta H^{\circ}_{\text{생성물 결합 형성}}$$

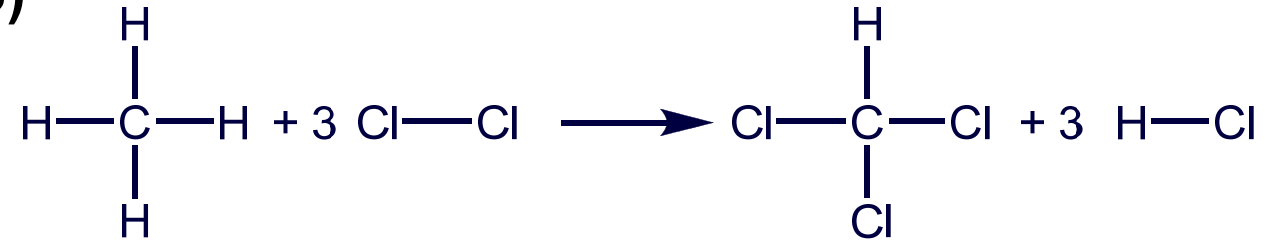
# 9.4 결합 에너지와 화학 변화



Martin S. Silverberg, 화학교재연구회 옮김.  
 “실버버그의 일반화학”, 3rd ed., 사이플러스, 2014.

## 9.4 결합 에너지와 화학 변화

■ 예제 9.3)



## 9.5 양 극단 사이: 전기음성도와 결합 극성

### ■ 전기음성도 (electronegativity, EN) 개념의 도입

#### ✓ 전기음성도 란?

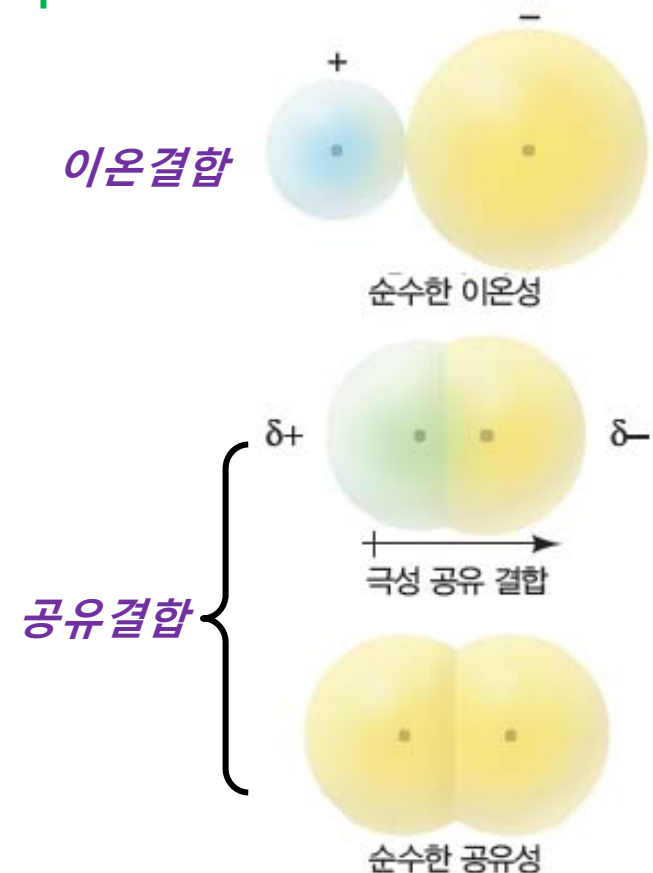
: 결합된 원자가 공유 전자를 끌어당기는 상대적인 능력

#### ✓ 미국의 화학자 폴링 (Linus Pauling)

#### ✓ 도입의 유래: 결합에너지 비교

H-H (432 kJ/mol), F-F (159 kJ/mol)

→ H-F의 경우는?

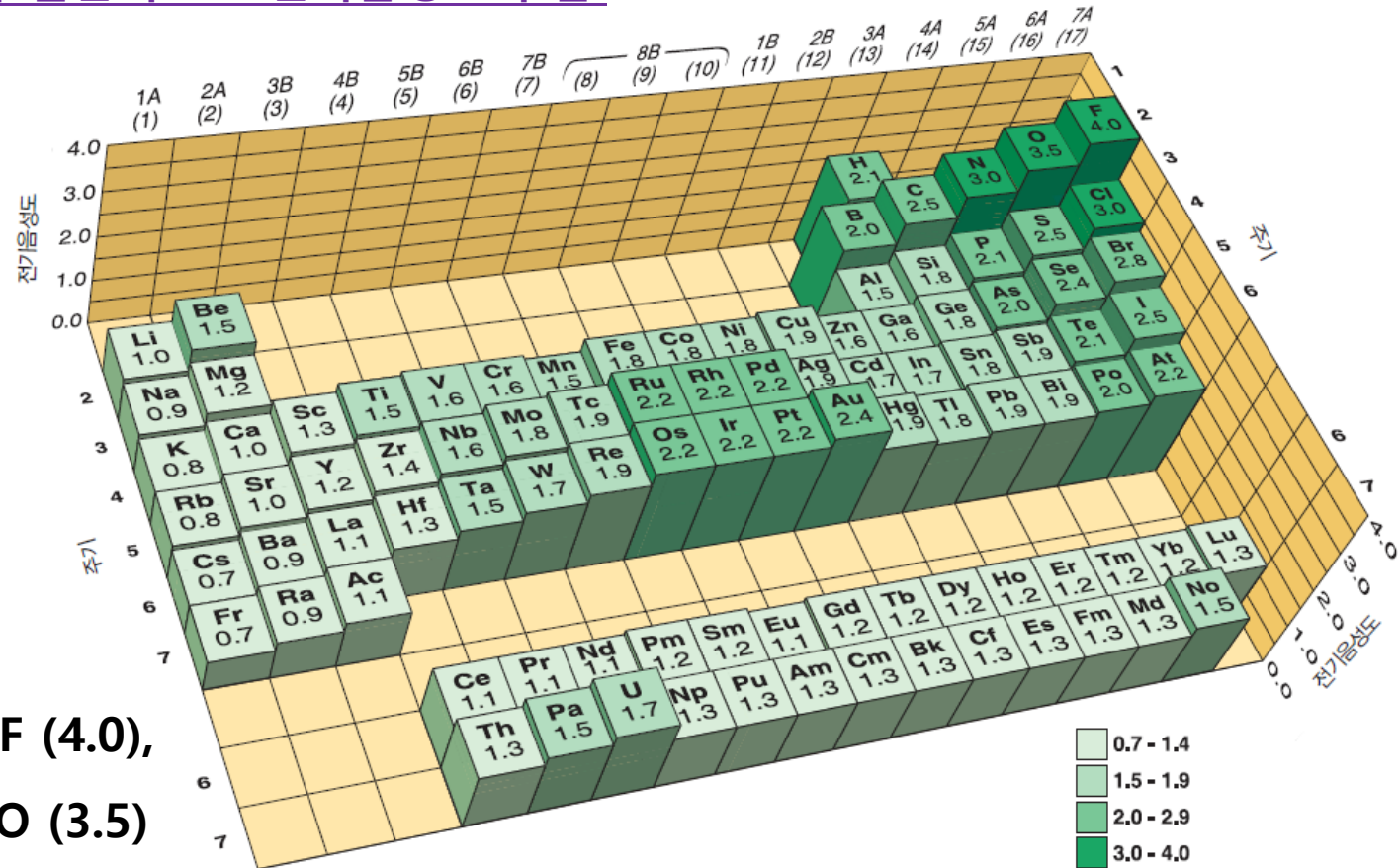


# 9.5 양 극단 사이: 전기음성도와 결합 극성

## ■ 전기음성도 (electronegativity, EN)의 경향성

- ✓ 작은 원자의 핵은 큰 원자의 핵보다 공유 전자쌍에 더 가까이 있음.
- 결합 전자들을 더 강하게 끌어당김.
- 작은 원자 일수록 일반적으로 전기음성도가 큼.

Martin S. Silverberg, 화학교재연구회 옮김.  
 “실버버그의 일반화학”, 3rd ed., 사이플러스, 2014.

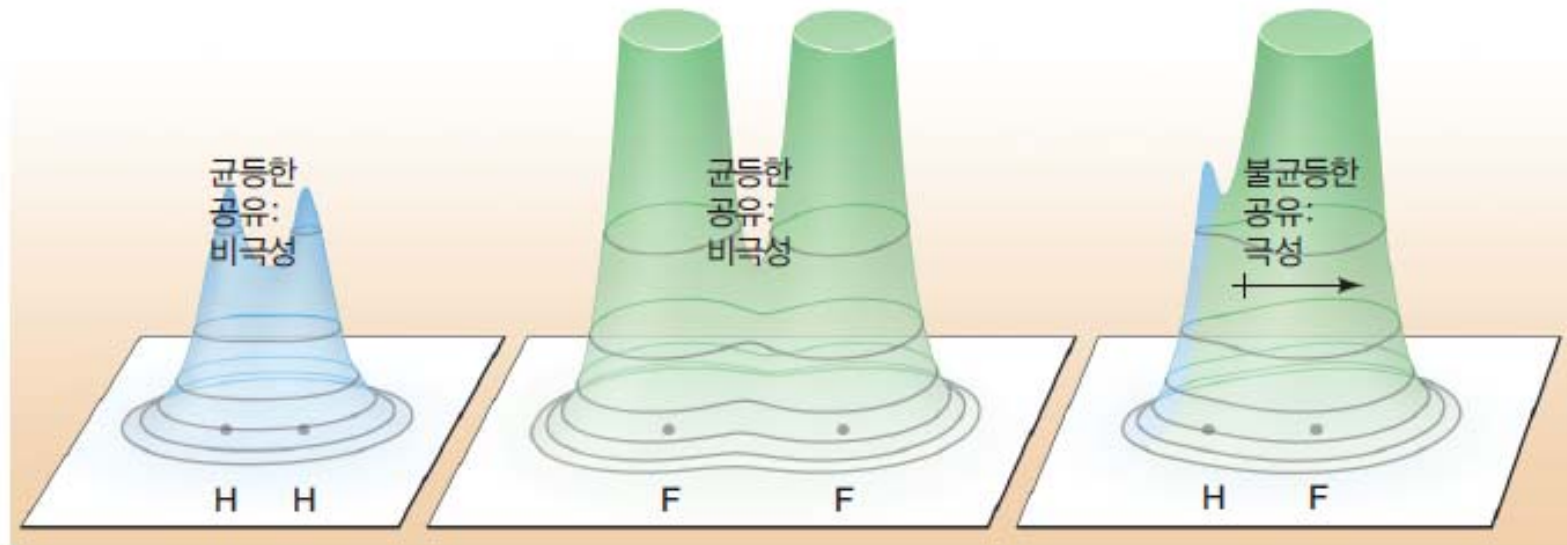


- ✓ EN 1위: F (4.0),  
2위: O (3.5)

## 9.5 양 극단 사이: 전기음성도와 결합 극성

### ▪ 결합 극성과 부분 이온성

✓ 극성 공유 결합 (polar covalent bond)의 표시



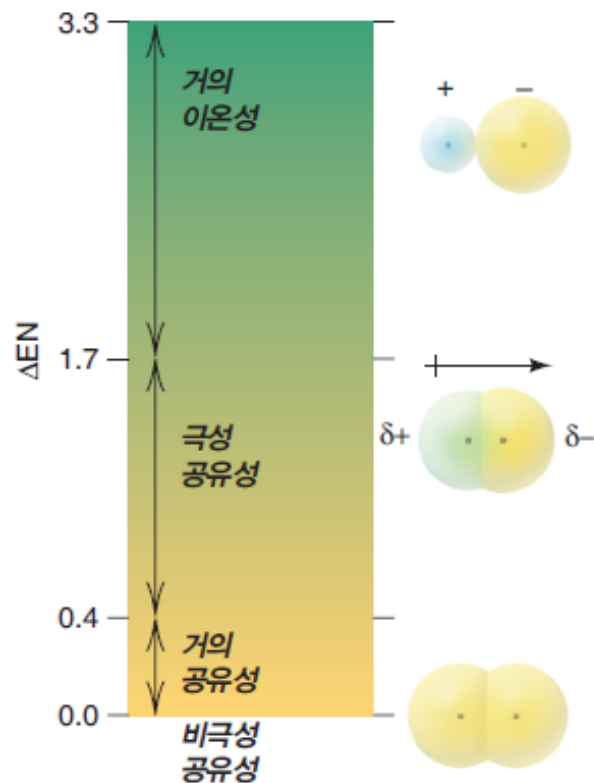
→ 비극성 공유결합 vs. 극성 공유결합

## 9.5 양 극단 사이: 전기음성도와 결합 극성

### ■ 전기음성도 차이 ( $\Delta EN$ ) 의 중요성

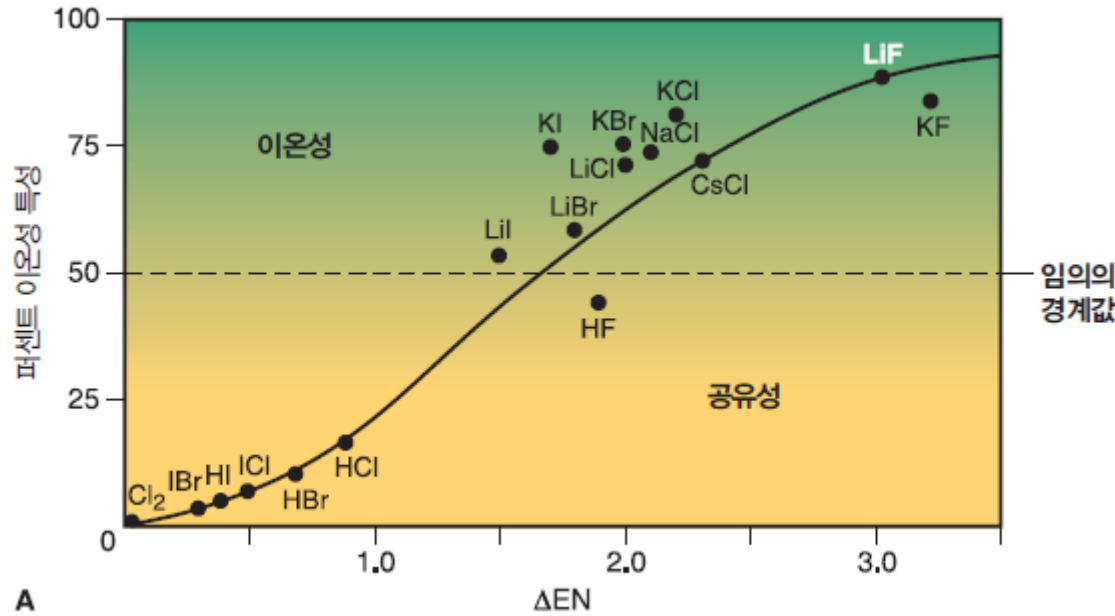
✓ 전기음성도 차이 ( $\Delta EN$ )

: 극성 공유결합이냐, 비극성 공유결합이냐, 이온결합이냐 를 결정함!



Ex) LiCl vs. HCl vs. Cl<sub>2</sub>

# 9.5 양 극단 사이: 전기음성도와 결합 극성



A



B



## 9.5 양 극단 사이: 전기음성도와 결합 극성

---

- 예제 9.4)

# Ch. 9 Summary & Points

- ✓ 결합의 유형 : 이온결합, 공유결합, 금속결합
- ✓ 공유결합 형성 : 원자핵-공유전자간의 인력 vs. 전자-전자, 핵-핵 간의 반발력  
→ 최소의 에너지를 갖는 지점에서 결합 형성 (결합 길이)
- ✓ 공유결합의 결합 차수 증가 → 결합길이 감소, 결합에너지 증가  
원자 크기 감소 → 결합길이 감소, 결합에너지 증가
- ✓ 결합에너지로 부터  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$  유도해내기 중요! (예제 9.3)
- ✓ 전기음성도 란? : 결합된 원자가 공유 전자를 끌어당기는 상대적인 능력  
작은 원자 일수록 일반적으로 전기음성도가 큼
- ✓ 결합의 유형 : 이온결합, 극성 공유결합, 비극성 공유결합  
→ 전기음성도 차이 ( $\Delta EN$ )가 결정함.