제6장 화학결합

6.1 옥테트규칙
6.2 이온결합
6.3 Lewis 전자점 구조
6.4 공유결합
6.5 배위공유결합
6.6 금속결합
6.7 수소결합
6.8 전기음성도

화학식 (chemical formula)

원자의 종류를 **원소 기호**로, 원자들의 수를 **아래 첨자**로 나타내는 분자를 표현하는 방법

예: 이산화 탄소(CO_2), 수소(H_2), 물(H_2O), 산소(O_2), 암모니아(NH_3), 메테인(CH_4)

구조식 (structural formula)

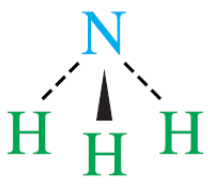
각 결합을 선으로 표현하는 분자를 표현하는 방법.

예:



물

물 분자의 실제
구조에 더 가깝다.



암모니아

(쐐기 모양은 지면 앞쪽,
점선은 지면 뒤쪽)

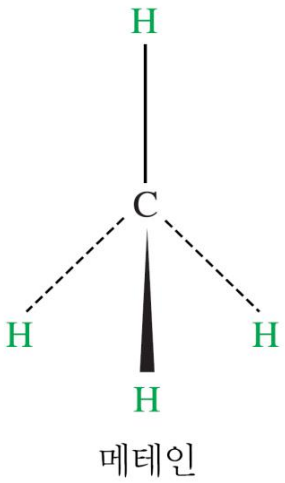
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

공간 채움 모형 (space-filling model):

원자들의 상대적인 위치뿐 아니라, 상대적인 크기도 나타낼 수 있는 분자의 구조식을 나타내는 방법.

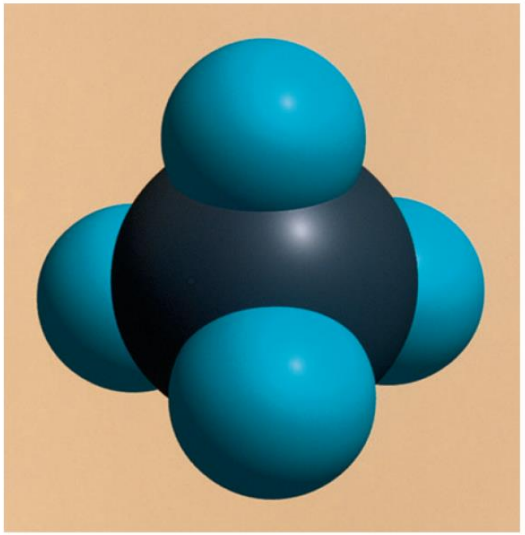
공-막대 모형 (ball-and-stick model):

원자를 공으로 공유 결합을 막대로 나타낸 분자의 구조식을 나타내는 방법.



메테인

(a)



(b) (실제에 가장 가까움)



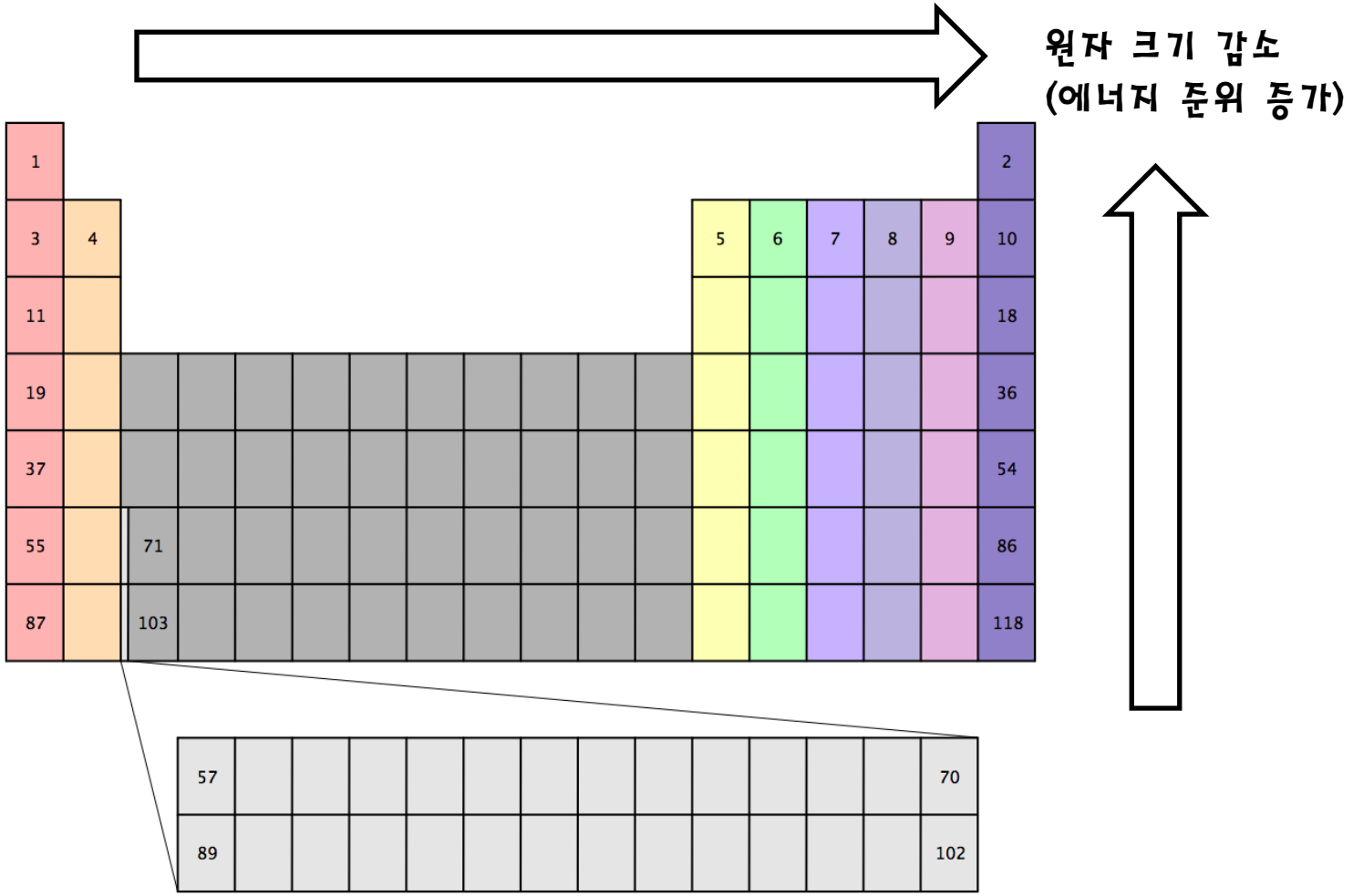
(c)

(a) 메테인의 구조식. (b) 메테인의 공간 채움 모형. 이 모형은 분자 내 원자의 상대적 공간 배치와 크기를 동시에 나타낸다. (c) 메테인의 공–막대 모형.

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

원자 크기

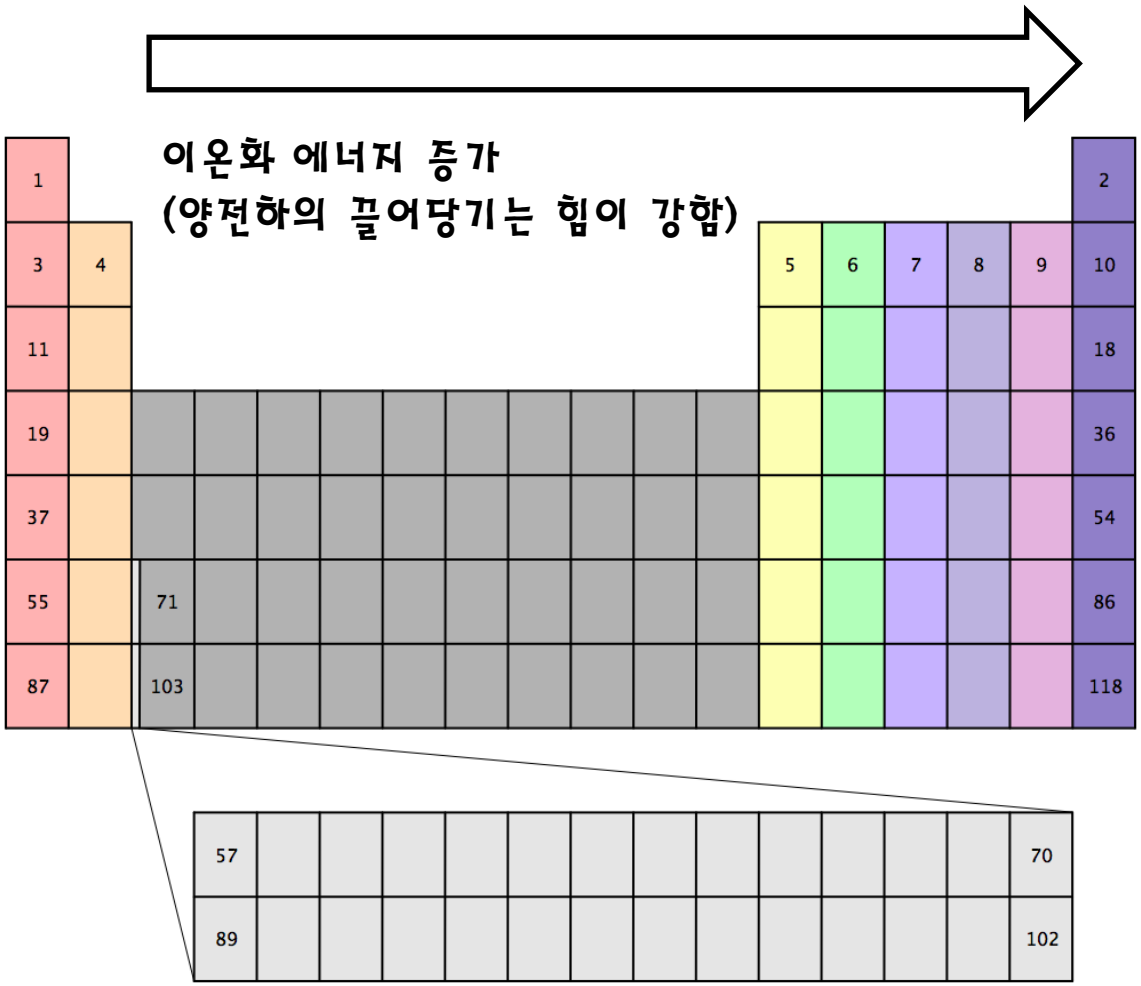
원자 반경은 주기에서는 오른쪽, 족에서는 위로 갈수록 감소한다
(같은 에너지 준위, 양성자 수의 증가로 바깥 전자 끌어당기는 인력증가)

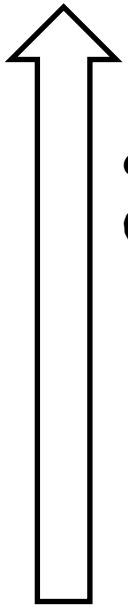


중원대학교
JUNGWON UNIVERSITY

이온화 에너지

최외각 에너지 준위에서 전자 한 개를 제거하기 위해서 원자에 가해 주어야 하는 에너지





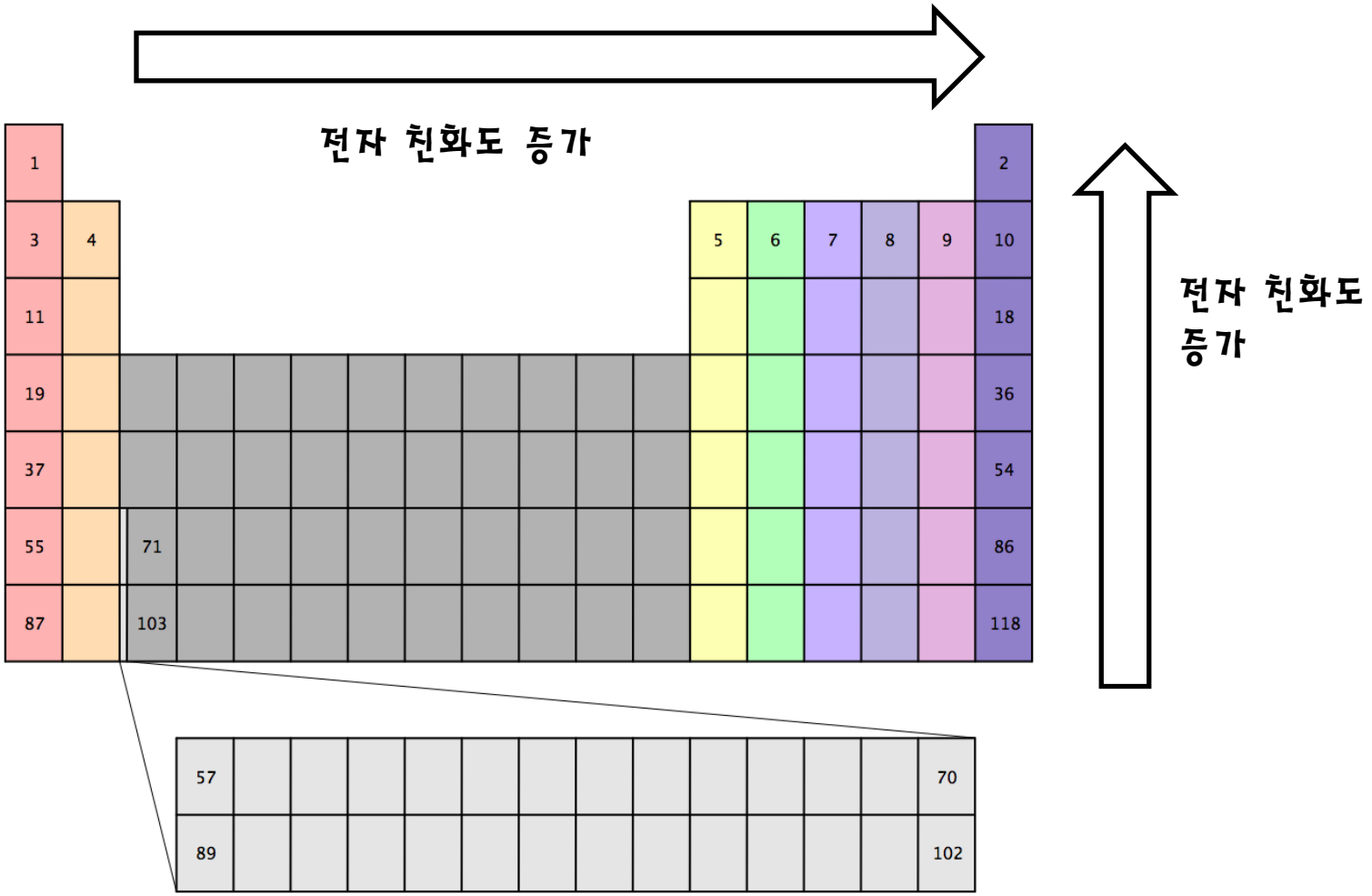
이온화 에너지 증가
(원자 반경감소하기 때문)

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

전자 친화도

중성상태의 원자에 전자 한 개가 가해졌을 때 배출되는 에너지 양

원자가 추가로 전자를 받아들이는 능력의 정도를 나타냄

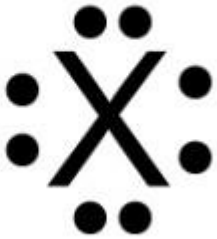


중원대학교
JUNGWON UNIVERSITY

6.1 옥테트 규칙 (Octet Rule)

- R. Abegg, JJ Thomson, CN Lewis, I. Langmuir
  원자구조에 대한 새로운 모델 개발
- I~VIII 군까지의 원소들이 8가의 전자로 끝나는 방식으로 전자들을 잃거나 얻음, 공유함으로써 화학적 결합을 함
- 외각에 8가 전자를 얻기 위해서 반응하는 원소들의 경향을 옥테트규칙이라고 함
- 무거운 원소들 중에서 많은 예외가 존재함

- Atom wants to have 8 valence electrons



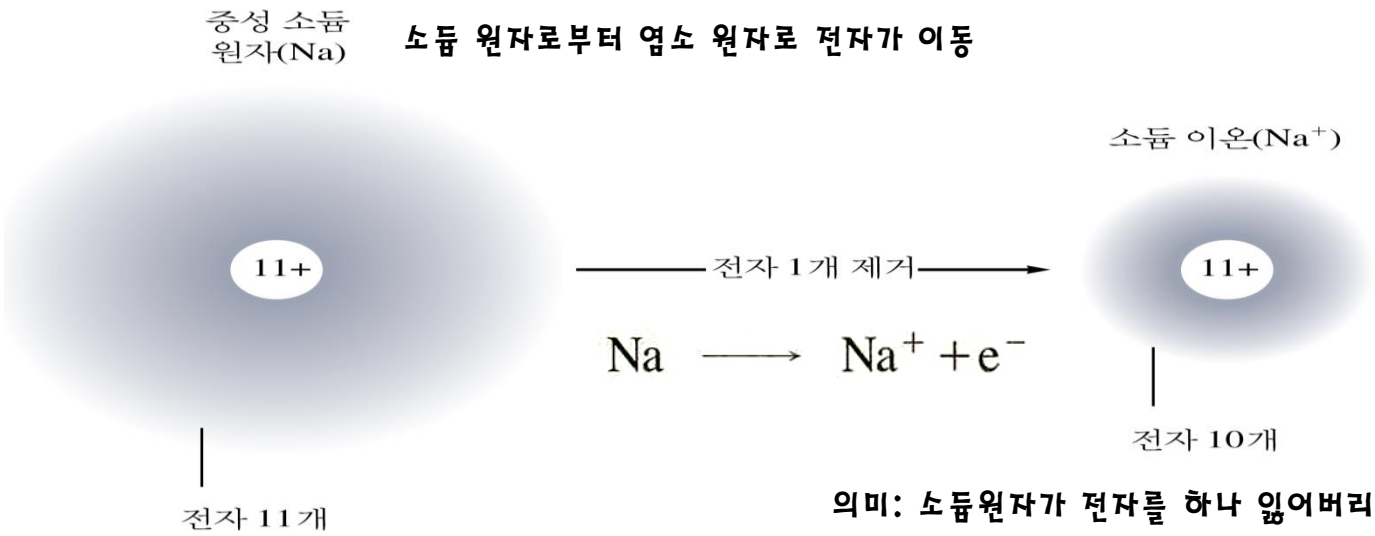
1족	2족	3족	4족	5족	6족	7족	8족
H •							• He •
Li •	• Be •	• B •	• C •	• N •	• O •	• F :	: Ne :
Na •	• Mg •	• Al •	• Si •	• P •	• S •	• Cl :	: Ar :
K •	• Ca •	• Ga •	• Ge •	• As •	• Se •	• Br :	: Kr :
Rb •	• Sr •	• In •	• Sn •	• Sb •	• Te •	• I :	: Xe :

돌은습관

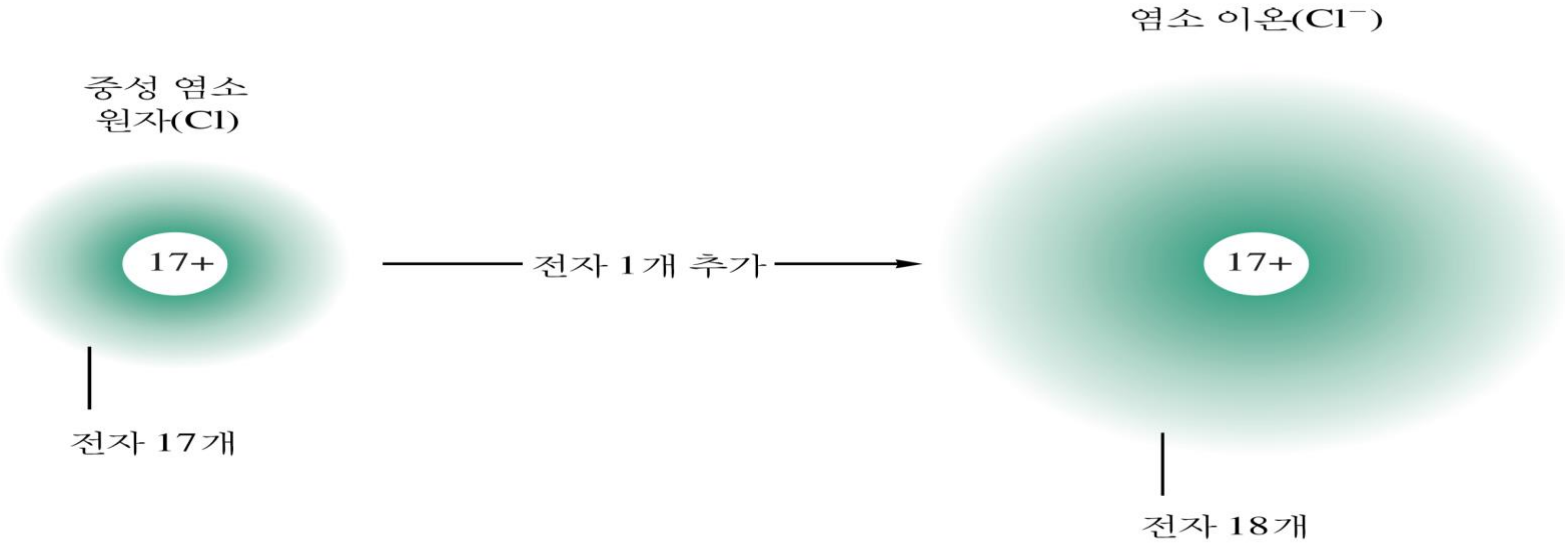
6.2 이온결합 (ionic bond)

- 전자가 남아서 버리려는 성질이 강한 것을 금속이라 하고, 전자가 모자라서 얻으려는 성질이 강한 것을 비금속이라 함
- 금속의 경우는 전자를 잃어버려 양이온이 되기 쉽고, 비금속은 음이온이 되기 쉬움
- 금속과 비금속이 반응하여 생성
- 한 원소에서 다른 원소로 전자들이 전달됨
- 양이온과 음이온이 정전기적인 인력에 의해서 결합함

$2Na + Cl_2 \rightarrow 2NaCl$



의미: 소듐원자가 전자를 하나 잃어버리고 양이온이 되었다



양이온과 음이온은 서로 반대 전하를 띠고 있으므로 서로 잡아당긴다 (이온 결합)

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

표 6.1 원자와 전자들의 전자배열

원 소	원자번호	전자배열			원 소	원자번호	전자배열		
		1	2	3			1	2	3
Sodium, Na	11	2	8	1	Chlorine, Cl	17	2	8	7
Sodium ion, Na^+	11	2	8		Chlorine ion, Cl^-	17	2	8	8
Neon, Ne	10	2	8		Argon, Ar	18	2	8	8

$$Na \rightarrow Na^+ + e^-$$
$$e^- + Cl \rightarrow Cl^-$$

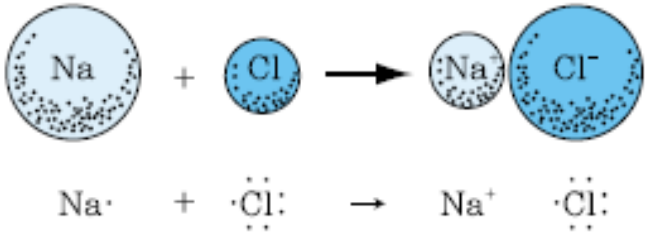
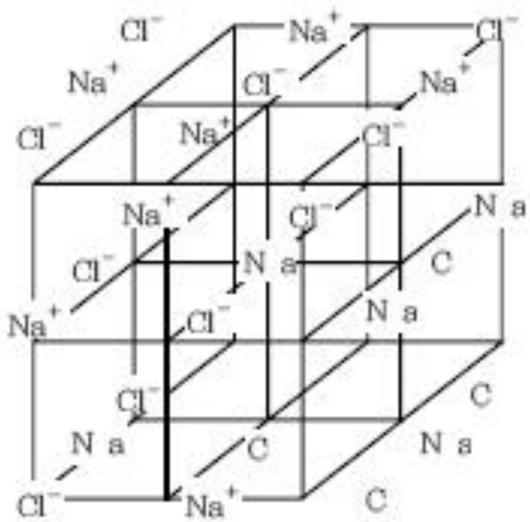
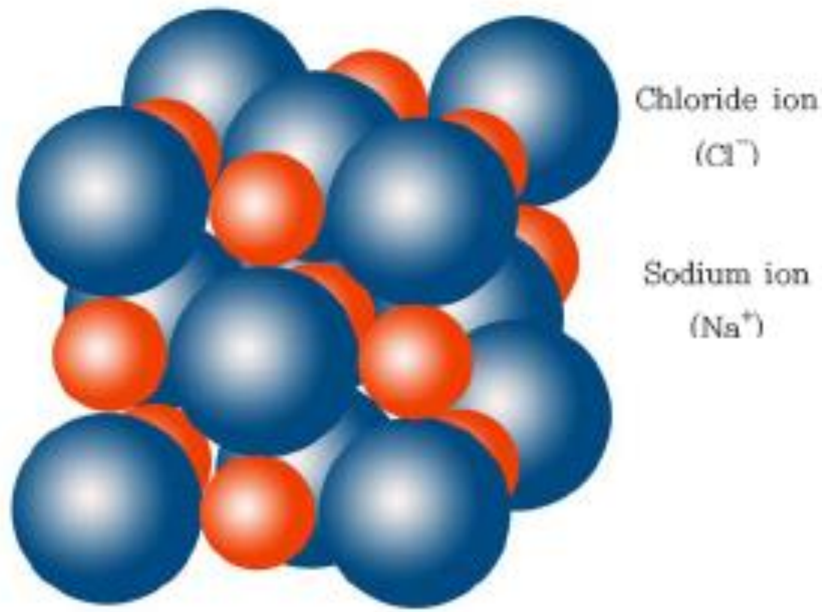


그림 6.1 소금의 형성에서 Na 원자는 염소원자에 하나의 전자를 잃게 되며 양의 나트륨 이온, Na^+과 음의 염소 이온, Cl^-를 생성한다.

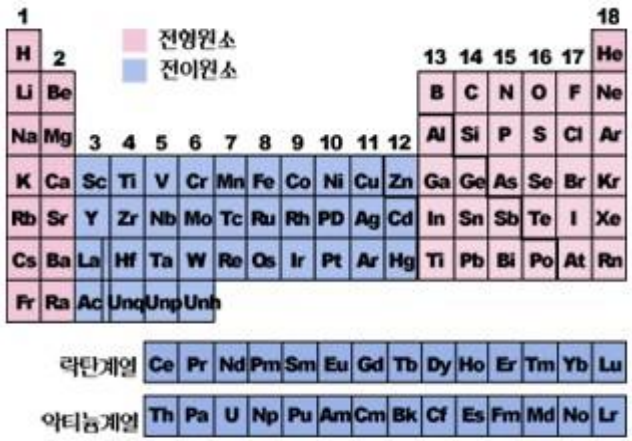
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY







소금 결정은 매우 밀집된 배열을 한 나트륨과 염소 이온들로 구성되어 있다(사진).



전형원소(typical element)들의 일반적 이온들

I 군	II 군	III 군	V 군	VI 군	VII 군
Li^+	Be^{2+}	Al^{3+}	N^{3+}	O^{2-}	F^-
Na^+	Mg^{2+}		P^{3+}	S^{2-}	Cl^-
K^+	Ca^{2+}			Se^{2-}	Br^-
Rb^+	Sr^{2+}			Te^{2-}	I^-
Cs^+	Ba^{2+}				

전이금속(transition element)의 일반적 이온들

금속	이온	금속	이온	금속	이온
Chromium	Cr^{2+}, Cr^{3+}	Copper	Cu^+, Cu^{2+}	Tin	Sn^{2+}, Sn^{4+}
Manganese	Mn^{2+}, Mn^{3+}	Zinc	Zn^{2+}	Lead	Pb^{2+}, Pb^{4+}
Iron	Fe^{2+}, Fe^{3+}	Silver	Ag^+		
Cobalt	Co^{2+}, Co^{3+}	Cadmium	Cd^{2+}		
Nickel	Ni^{2+}				

전이금속은 원자가 얻거나 잃는 전자의 수를 예측하기 어려움

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

6.3 Lewis 전자점 구조

- Lewis 구조는 분자 내에서 원자 주위에 원자가전자가 어떻게 배치되었나를 나타냄
- 안정한 화합물을 형성하는데 가장 중요한 점은 모든 원자들이 불활성 기체의 전자 배치를 갖는다는 것

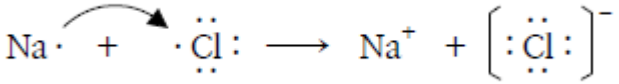
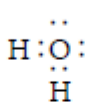
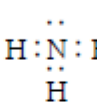
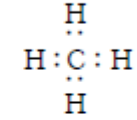
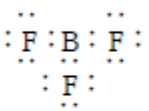
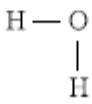
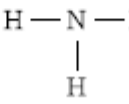
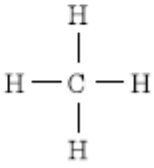
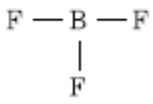


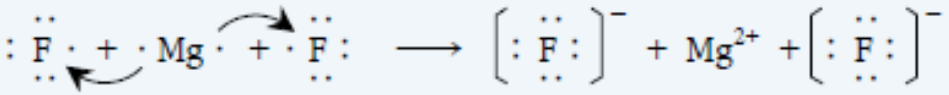
표 6.2 전자점 구조와 구조식

	F_2	HF	H_2O	NH_3	CH_4	BF_3
루이스 구조						
구 조 식						

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

예제 Lewis 전자점기호를 이용하여 Mg으로부터 F원자로 전자가 이동될 때 이들이 가지는 불활성기체배열을 나타내어라.

풀이 Mg과 F의 전자점기호는 $\cdot Mg \cdot$, $: \ddot{F} \cdot$ 이다. Mg는 전자 2개를 잃어 불활성기체배열을 가질 것으로 예상되나 F는 한 개의 전자만으로도 원자가 껍질을 채울 수 있다. 따라서 두 개의 F원자가 필요하며 표시는 아래와 같다.



중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

문제 6.1

다음에 주어진 분자들의 Lewis 전자점구조와 구조식을 그려라.

(a) Cl_2 (b) CH_4 (c) HCl (d) H_2O

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

문제 6.2

질소원자(N)의 루이스 점자점식을 이용하여 질소분자(N_2)의 생성을 나타내어라.

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

6.4 공유결합 (Covalent bond)

- 전자를 공유함으로써 안정한 형태를 이룸
- 두 양성핵이 같은 전자들을 서로 끌어당김으로써 두 핵을 밀접하게 함
- 두 개 이상의 원자들에서 나타날 수 있으며 정상적으로 비금속 원소들 사이에 형성됨
- 공유결합은 관련된 원소들의 화학적 기호 사이에 선(대쉬)를 그리는 것임. 이렇게 표현하는 방식을 결합도 (bond diagram) 라고 함
- 공유결합 하는 전자쌍의 수에 따라 단일공유결합 (–), 이중결합 (=), 삼중결합 (≡) 으로 나타냄

- 단일 결합: 한 개의 전자쌍을 공유한 결합
- 이중 결합: 두 개의 전자쌍을 공유한 결합
- 삼중 결합: 세 개의 전자쌍을 공유한 결합
- 공유된 전자쌍이 많을수록 결합 길이 짧아지고 결합 에너지 커짐

표 8.5 몇 가지 결합에 대한 결합 길이와 결합 에너지

결합	결합 유형	결합 길이 (pm)	결합 에너지 (kJ/mol)
C—C	Single	154	347
C═C	Double	134	614
C≡C	Triple	120	839
C—O	Single	143	358
C═O	Double	123	745
C—N	Single	143	305
C═N	Double	138	615
C≡N	Triple	116	891

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

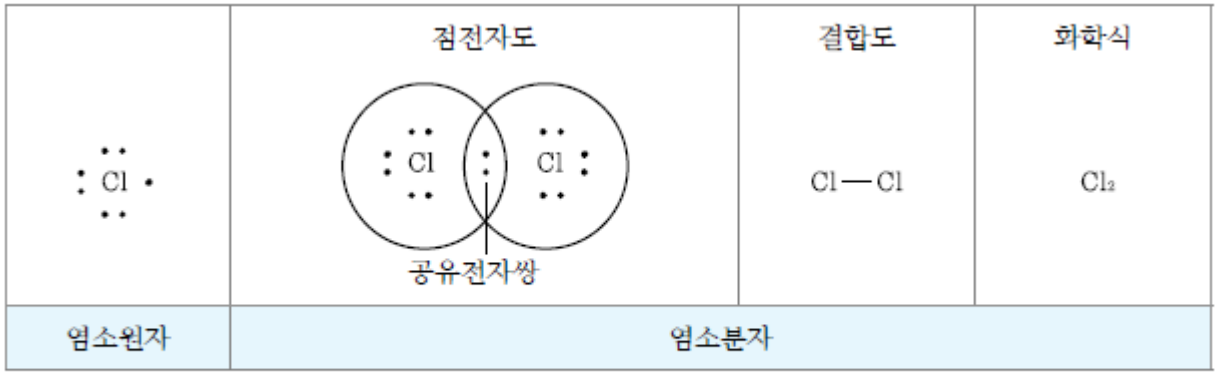


그림 6.2 단일의 공유결합을 함유하는 이원자성 염소분자

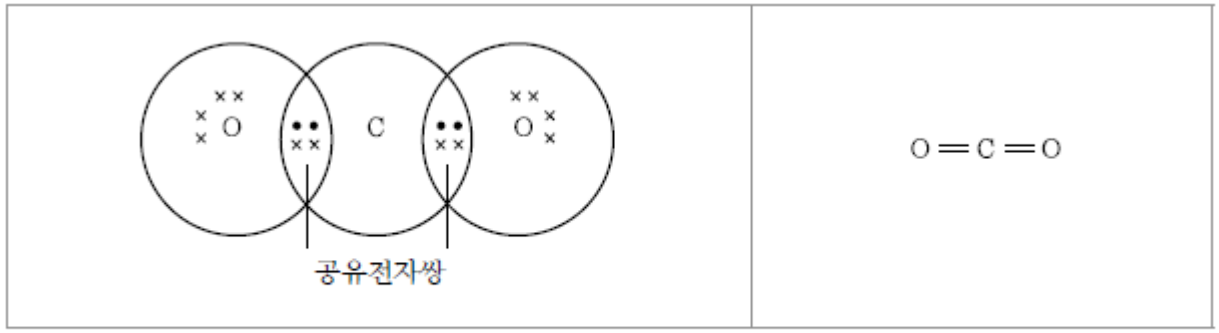


그림 6.3 이산화탄소 분자는 두 개의 이중결합을 함유한다.

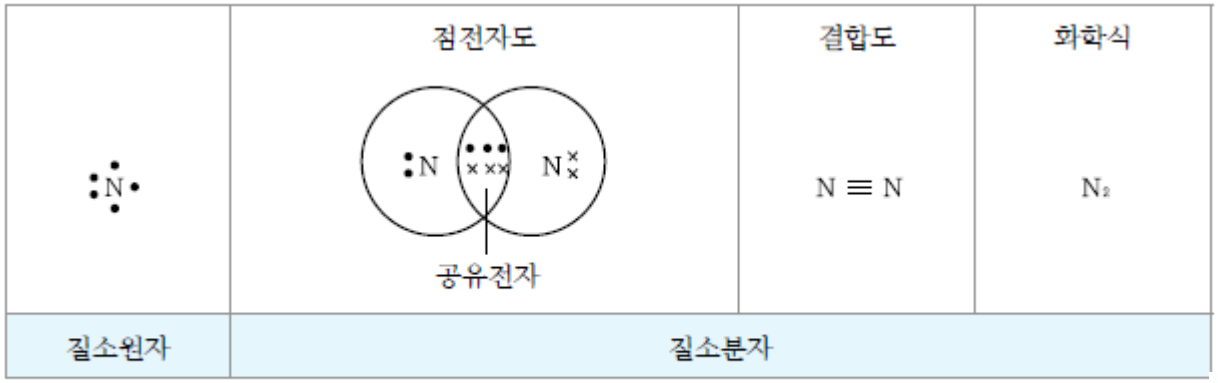


그림 6.4 이원자성 질소분자는 삼중의 공유결합을 함유한다.

중원대학교
JUNGWON UNIVERSITY

이원자성 분자 (Diatomic molecules)

- 자연계에 원자로서 존재하지 않으며 항상 같은 종류의 원자가 공유결합되어 있는 형태

표 6.3 이원자성 분자들로서 발견되는 원소들

Hydrogen H_2	Fluorine F_2
Nitrogen N_2	Chlorine Cl_2
Oxygen O_2	Bromine Br_2
	Iodine I_2

동일한 두 개의 원자는 어떻게 결합할 수 있을까?

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

- 두 수소 원자가 가깝게 접근했을 때,

  1) 양성자-양성자 반발력

  2) 전자-전자 반발력

  3) 양성자-전자 인력에 의한 퍼텐셜 에너지가 가장 낮은 에너지 상태가 될 때 결합형성. 즉, 수소 원자는 분자로 존재하게 됨

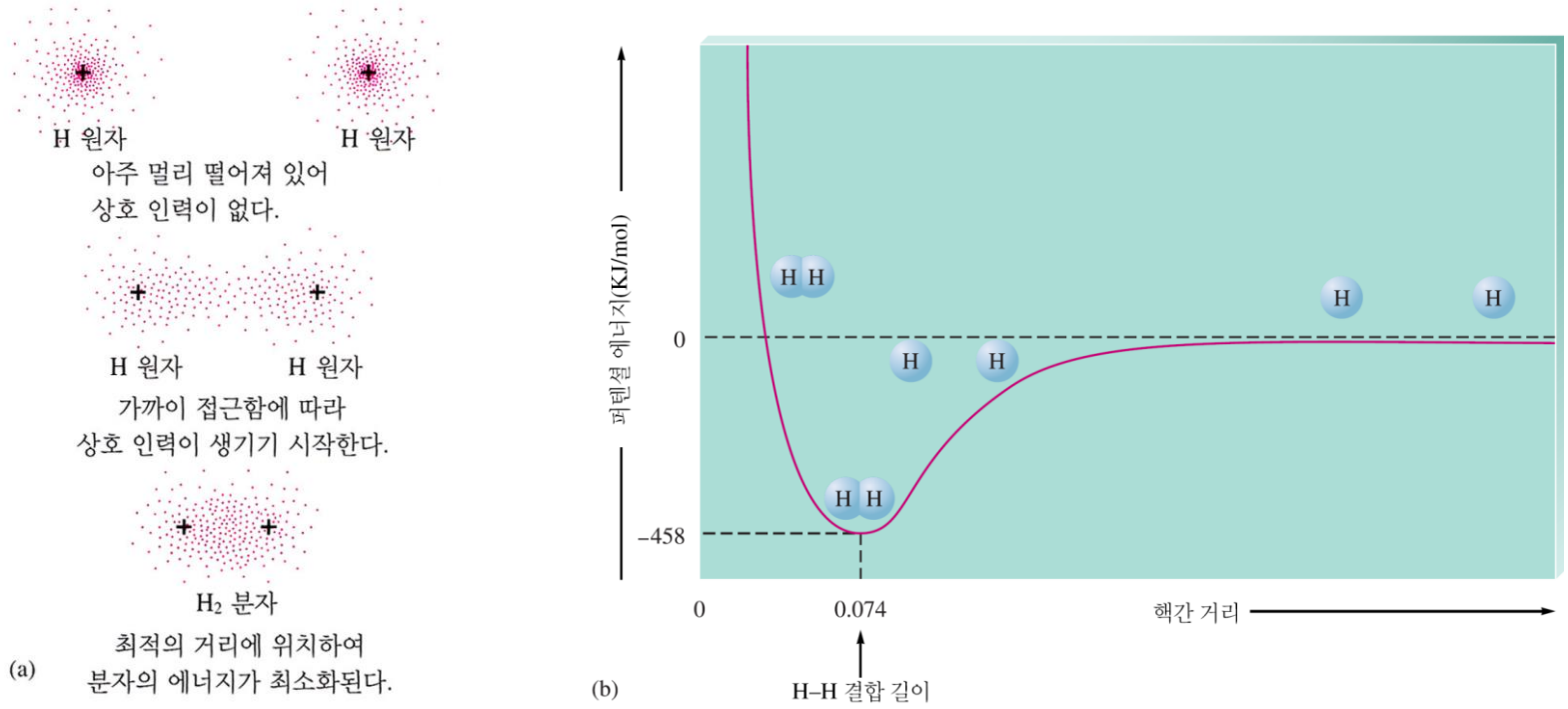
- 퍼텐셜 에너지가 최소일 때 두 원자간 거리 (결합 길이)

- 양성자와 두 전자 간의 인력은

  - 두 양성자를 서로 가까이 있게 하고

  - 결합 길이에 해당하는 거리에서 양성자-양성자 반발력 및 전자-전자 반발력과 균형

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY



(a) 두 수소 원자의 상호 작용 (b) 수소 핵간의 거리 함수로 나타낸 에너지의 도시. 두 수소 원자가 접근하면 (그림 오른쪽) 핵간 거리가 0.074 nm (0.74 Å) 에 이를 때까지 에너지가 감소하고, 더욱 가까워지면 핵간 반발력 때문에 에너지가 증가하기 시작한다.

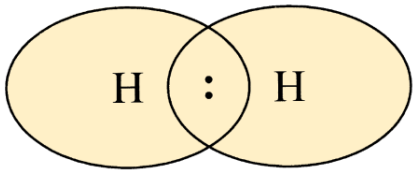
- **H_2 분자에서 전자들은 두 양성자에 의해 동시에 인력이 작용하여 두 핵 사이에 존재**
- **H_2 분자가 일정한 에너지 (결합 에너지) 만큼 안정화 되었다면 두 H 원자 사이에 결합(공유 결합)이 형성되었다고 말함**

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

- 첫 번째와 두 번째 주기의 원자로 이루어진 공유 결합 분자의 Lewis 구조에서 불활성 기체 전자 배치의 원리를 보면
  - 수소는 두 개의 전자를 공유하여 안정한 분자 형성 : 이전자 규칙(duet rule)



  - 전자를 공유하여 H_2의 각 수소는 두 전자를 가짐. 즉, 채워진 원자가 껍질을 가짐

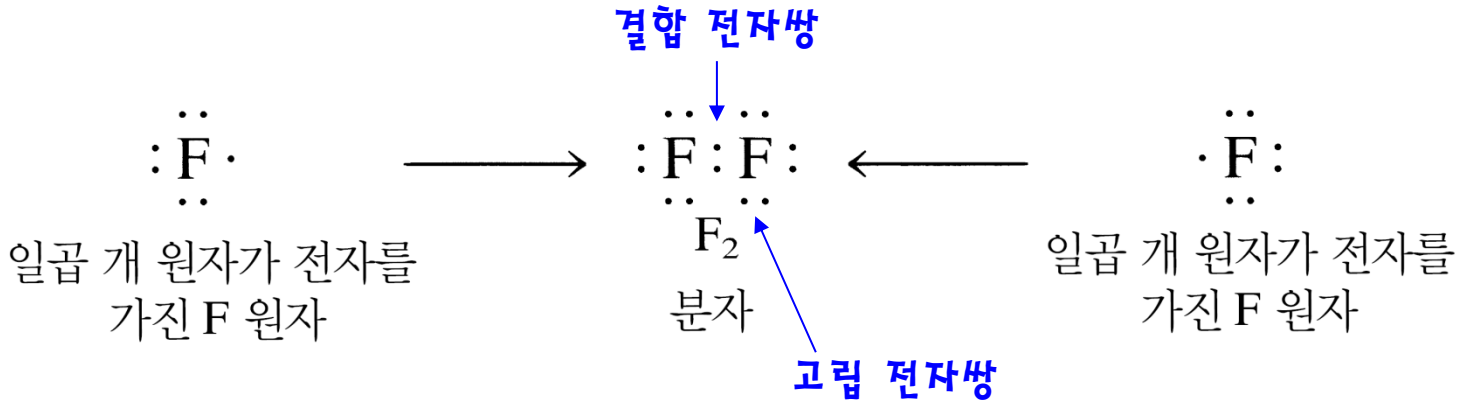


  - 헬륨은 원자가 궤도함수가 이미 채워져 있어 결합을 하지 않음 (불활성 기체)

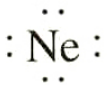
He:

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

- 두 번째 주기의 C에서 F까지의 비금속은 원자가 궤도함수가 모두 전자로 채워졌을 때, 안정한 분자 형성
  - ▶ 8개의 전자가 필요 (팔전자 규칙, octet rule)



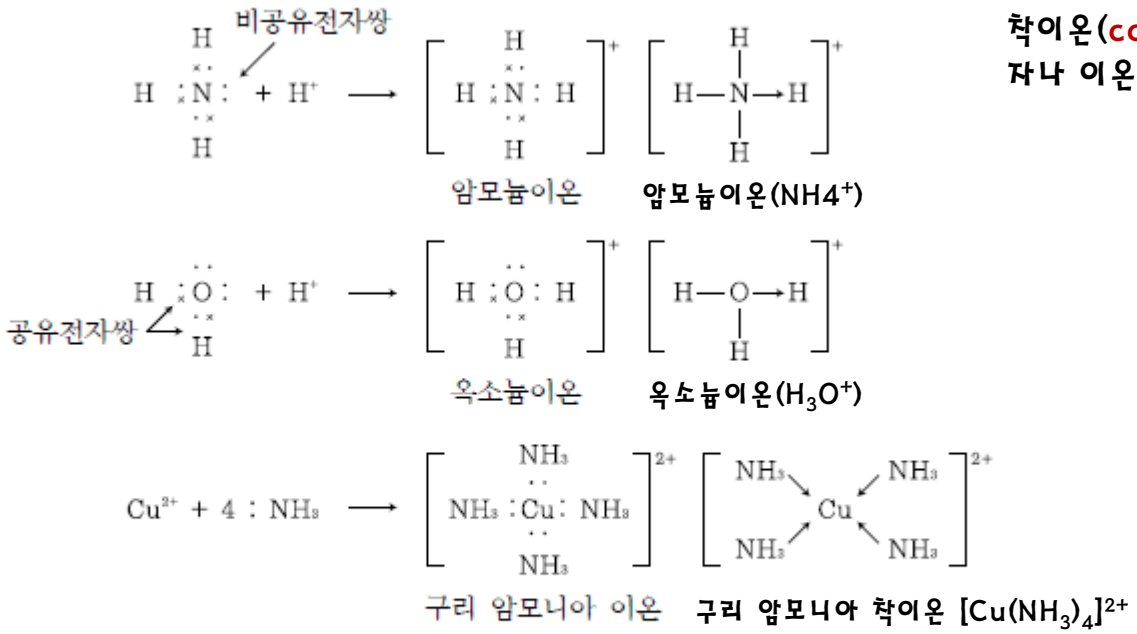
- Ne은 원자가 궤도함수가 이미 채워져 있어 결합을 하지 않음 (불활성 기체)



중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

6.5 배위공유결합

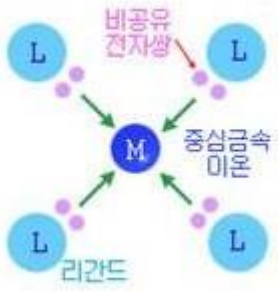
- 비공유 전자쌍을 가진 원자가 다른 원자나 이온에 **일방적으로 제공해 이루어지는 공유결합**을 배위결합 또는 배위공유결합이라고 함



구조식에서 배위결합을 표시할 때는 가표 대신에 전자를 필요로 하는 쪽으로 →를 사용할 때가 있다.

그림 6.5 배위결합의 형성

착이온(complex ion): 어떤 금속원자나 이온에 따른 분자나 이온이 결합하여 생긴 복잡한 구조의 새로운 이온



- 중심금속: 주로 전이원소의 금속
- 리간드(배위자): 비공유 전자쌍 있는 분자나 이온
- 결합 형식: 중심 금속과 배위자가 배위 결합

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

문제 6.3

배위공유결합인 것으로 짝지어진 것은?

(a) H_2O와 H_2O_2

(b) $CaCl_2$와 Al_2O_3

(c) $C_6H_{12}O_6$와 CH_3OH

(d) NH_4^+과 H_3O^+

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

6.6 금속결합

- 금속은 원자가 전자를 내놓고 금속 양이온으로 되어 안정하게 되고
- 원자로부터 떨어져 나온 원자가전자가 **자유전자가 되어 양이온 사이에 고르게 공유**되어 있는 상태를 **금속결합(metallic bond)** 이라고 함
- 금속**결합력**은 자유전자수가 많을수록, 금속원자 반지름이 작을수록 커짐
- 자유전자수가 많으면 많을수록 금속의 녹는점이나 끓는점이 높음
- 자유전자수가 많은 금속은 적은 금속보다 더 단단하고 조밀함

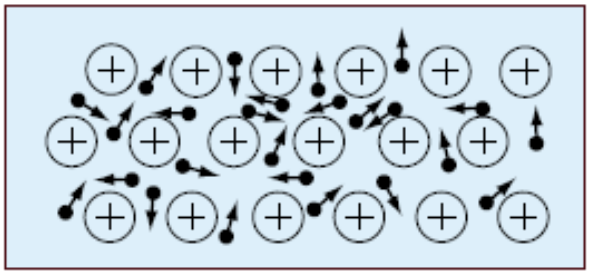


그림 6.6 금속결합

문제 6.4

다음 중 금속결합의 원인이 되는 것은?

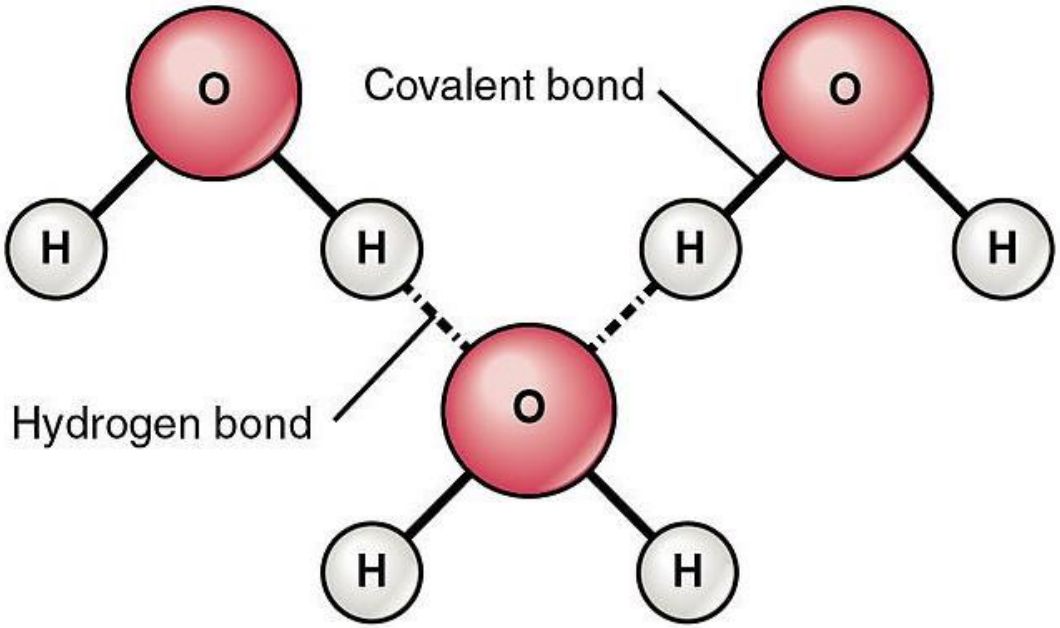
(a) 금속이온 간의 결합
(b) 양성자와 중성자의 인력
(c) 핵 간의 인력
(d) 자유전자의 공유

6.7 수소결합

- F, O, N과 같이 전기음성도가 큰 원자와 공유결합 하고 있는 수소원자와 다른 분자 중의 전기음성도가 큰 원자 사이에 작용하는 인력
- 수소결합은 점선으로 표기함



그림 6.7 수소결합

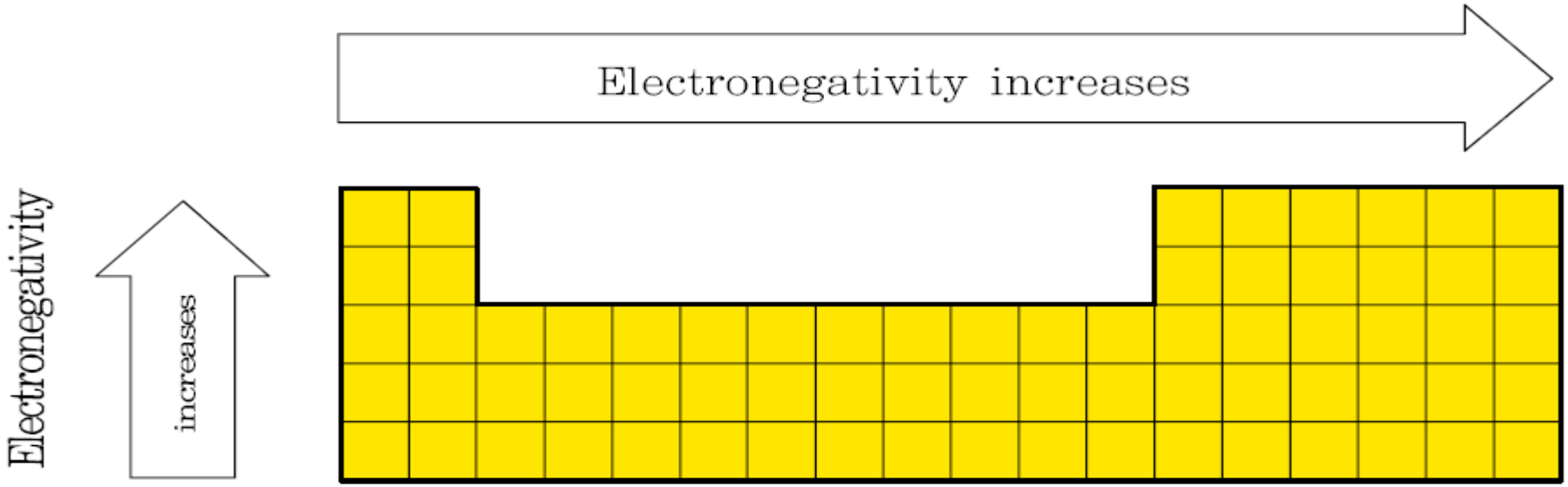


[그림 출처: commons.wikimedia.org] 공유결합과 수소결합.

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

6.8 전기음성도 (Electronegativity)

- 원자가 공유된 전자쌍을 끌어당기는 인력의 강도
- 주기율표의 각 주기에서 가장 작은 반경을 지니는 원소가 가장 음성적
- 모든 원소들 사이에 불소가 가장 큰 전기음성도를 가짐



전기음성도의 경향을 보여주는 주기율표

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

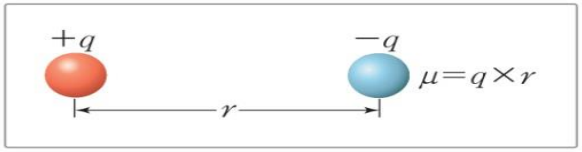
- 두 결합원자의 전기음성도차의 절대값을 통해 결합의 극성(polarity)을 예상할 수 있음
- 차이가 작으면 비극성 (<0.5), 크면 극성결합 (0.5~2.0), 아주 크면 이온결합(>2.0)
- 전기음성도차 H–H (0), H–Cl (0.9), Na–Cl (2.1)

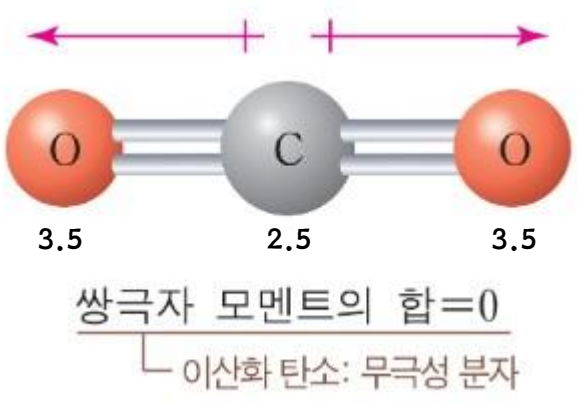
IA (1)	IIA (2)											IIIA (13)	IVA (14)	VA (15)	VIA (16)	VIIA (17)
								H 2.1								
Li 1.0	Be 1.5											B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0
Na 0.9	Mg 1.2	IIIB (3)	IVB (4)	VB (5)	VIB (6)	VIIB (7)	(8)	VIIIB (9)	(10)	IB (11)	IIB (12)	Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.0
K 0.8	Ca 1.0	Sc 1.3	Ti 1.5	V 1.6	Cr 1.6	Mn 1.5	Fe 1.8	Co 1.8	Ni 1.8	Cu 1.9	Zn 1.6	Ga 1.6	Ge 1.8	As 2.0	Se 2.4	Br 2.8
Rh 0.8	Sr 1.0	Y 1.2	Zr 1.4	Nb 1.6	Mo 1.8	Tc 1.9	Ru 2.2	Rh 2..2	Pb 2.2	Ag 1.9	Cd 1.7	In 1.7	Sn 1.8	Sb 1.9	Te 2.1	I 2.5
Cs 0.7	Ba 0.9	La–Lu 1.1–1.2	Hf 1.3	Ta 1.5	W 1.7	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.2	Pt 2.2	Au 2.4	Hg 1.9	Tl 1.8	Pb 1.8	Bi 1.9	Po 2.0	At 2.2
Fr 0.7	Ra 0.9	Ac–No 1.1–1.7														

그림 6.8 원소의 전기음성도

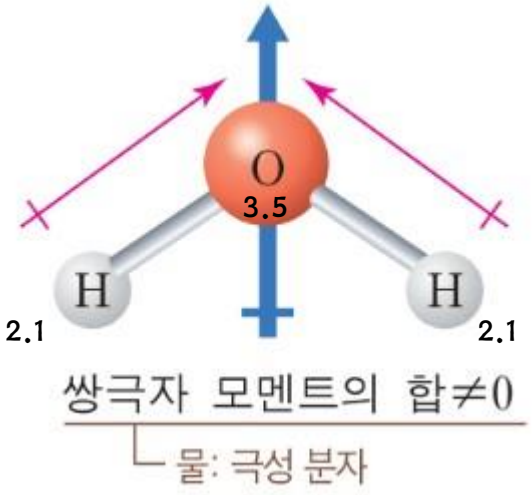
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

- 쌍극자: 전기음성도가 작은 원자는 부분적인 (+) 전하를 띠고, 전기음성도가 큰 원자는 부분적인 (−)전하를 띠는데, 크기가 같고 부호가 반대인 두 전하가 일정한 거리를 두고 부분적인 전하를 나타내는 것
- 쌍극자 모멘트: 결합의 극성 크기를 나타내는 척도로서, 전하량(quantity of electric charge)과 두 전하 사이의 거리(r)의 곱으로 나타냄
- 쌍극자 모멘트 값이 클수록 극성이 강함





대칭구조



비대칭구조

ZUM 학습백과

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

다원자성 이온 (Polyatomic Ions)

하나 이상의 이온이 공유적으로 결합된 원자들의 군으로, 전기적 전하를 띠나 안정해서 한 단위로서 대부분의 화학반응에 참여하는 것

이온이름 (관용명)	화학식	이온이름 (관용명)	화학식
Ammonium ion	NH_4^+	Permanganate ion	MnO_4^-
Acetate ion	$C_2H_3O_2^-$	Peroxide ion	O_2^{2-}
Carbonate ion	CO_3^{2-}	Phosphate ion	PO_4^{3-}
Hydrogen carbonate ion	HCO_3^-	Monohydrogen phosphate ion	HPO_4^{2-}
(bicarbonate)		Dihydrogen phosphate ion	$H_2PO_4^-$
Chlorate ion	ClO_3^-	Sulfate ion	SO_4^{2-}
Chromate ion	CrO_4^{2-}	Hydrogen sulfate ion	HSO_4^-
Dichromate ion	$Cr_2O_7^{2-}$	(bisulfate)	
Cyanide ion	CN^-	Sulfite ion	SO_3^{2-}
Hydroxide ion	OH^-	Hydrogen sulfite ion (bisulfite)	HSO_3^-
Nitrate ion	NO_3^-		
Nitrite ion	NO_2^-		

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY