

# 분자간 힘과 액체 및 고체

9.1 액체와 고체의 분자 운동론

9.2 분자간 힘

9.3 액체의 특성

9.4 결정 구조

9.5 결정의 형태

9.6 비결정성 고체

9.7 상변화

9.8 상평형 도표

## 9.1 액체와 고체의 분자 운동론

기체 vs. 액체 vs. 고체

분자 운동 / 분자간 거리 / 분자간 힘 의 차이

표 9.1 기체, 액체 및 고체의 물리적 특성

물질의 상태	부피/모양	밀도	압축성	분자 운동
기체	용기에 따라 부피와 모양이 달라진다.	낮다.	압축성이 크다.	매우 자유롭다.
액체	일정한 부피를 지니지만, 용기에 따라 모양은 달라진다.	높다.	매우 조금 압축된다.	서로 자유롭게 움직인다.
고체	일정한 부피와 모양을 가진다.	높다.	압축이 안 된다.	고정된 위치에서 진동한다.

## 9.2 분자간 힘 (intermolecular force)

- 분자내 힘 (intramolecular force ) vs. 분자간 힘 (intermolecular force)

분자내 힘: 이온 결합, 공유 결합, 금속 결합

분자간 힘: 액체의 성질 (끓는점, 증기압력, 점도, 기화열),

고체의 성질(녹는점, 용융열) 에 직접적으로 영향을 미친다.

## 9.2 분자간 힘 (intermolecular force)

### ▪ 분자간 힘 (intermolecular force) 의 종류

그림 9.1 쌍극자-쌍극자 힘 고체상에서 분자들은 최대 인력을 유지하기 위하여 쌍극자가 반대 방향으로 배열된다.

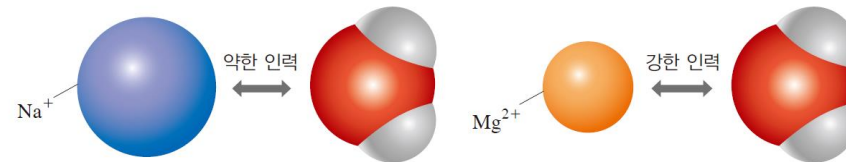
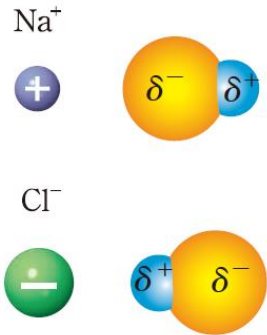
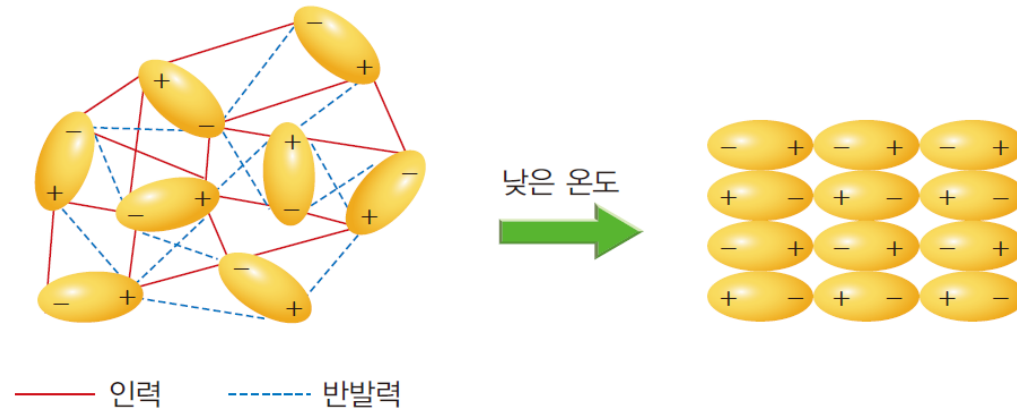
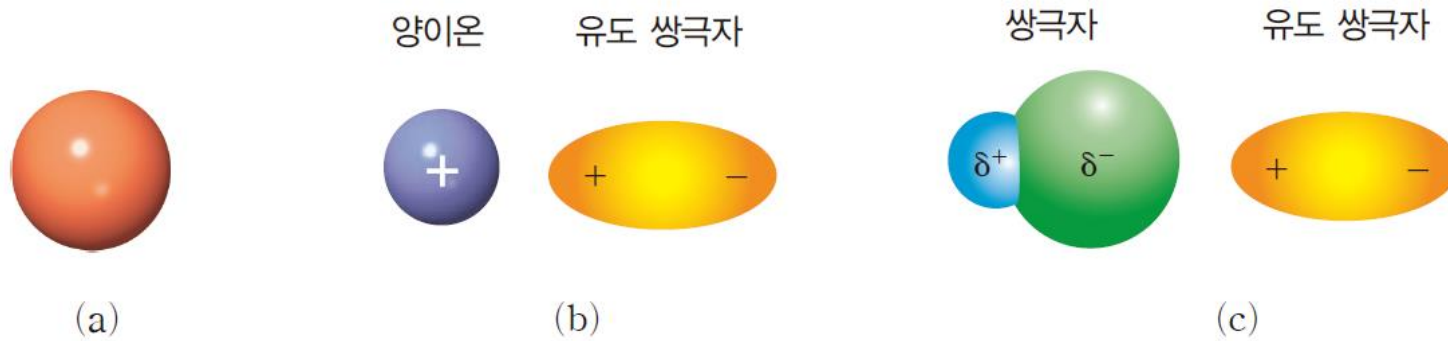


그림 9.2 이온-쌍극자간의 힘

## 9.2 분자간 힘 (intermolecular force)

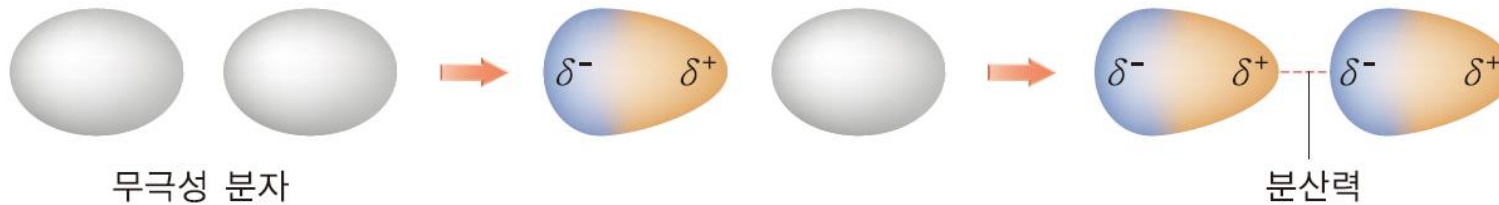
- 분자간 힘 (intermolecular force) 의 종류



**그림 9.4** (a) 헬륨(He) 원자의 전하 분포 (b) 양이온 접근에 따른 헬륨 원자의 순간적인 유도 쌍극자 발생 (c) 쌍극자가 존재할 때 이에 상응하는 유도 쌍극자 발생

## 9.2 분자간 힘 (intermolecular force)

### ▪ 분자간 힘 (intermolecular force) 의 종류



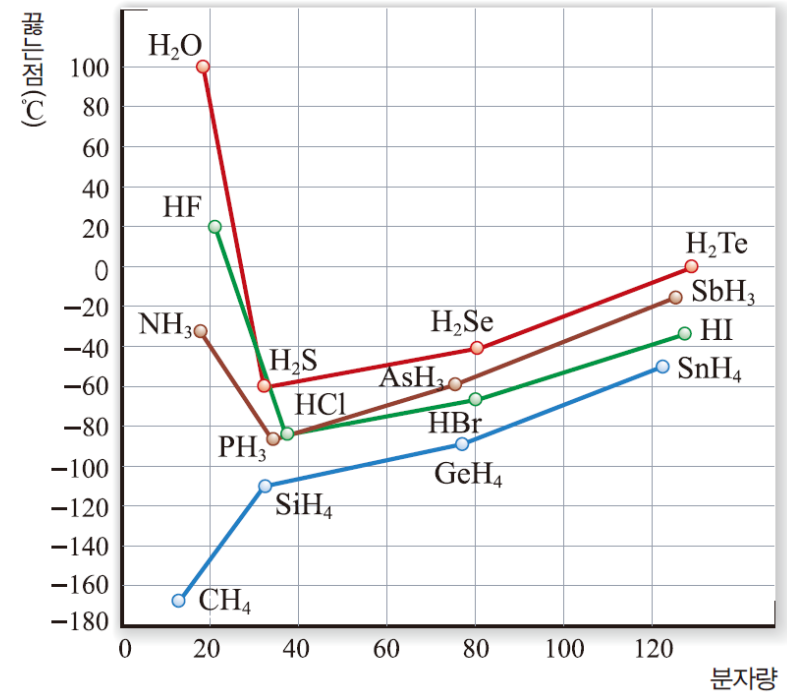
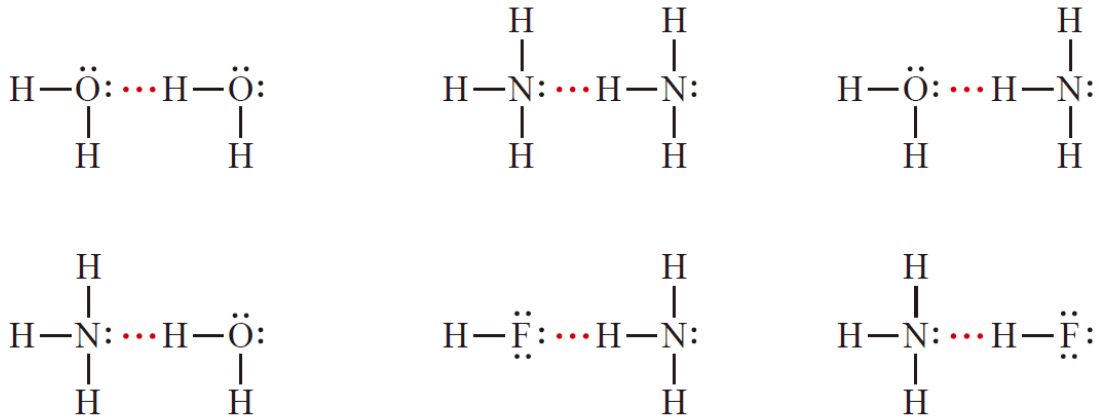
**그림 9.5** 무극성 분자에서 발생하는 순간적인 유도 쌍극자. 쌍극자가 형성되면 순차적으로 연속해서 배열이 형성된다.

**표 9.2** 무극성 화합물의 녹는점

화합물	녹는점(°C)
CH <sub>4</sub>	-182.5
CF <sub>4</sub>	-150.0
CCl <sub>4</sub>	-23.0
CBr <sub>4</sub>	90.0
Cl <sub>4</sub>	171.0

## 9.2 분자간 힘 (intermolecular force)

- 분자간 힘 (intermolecular force) 의 종류 : 수소 결합



## 9.2 분자간 힘 (intermolecular force)

### 예제 9.1

다음 화합물 사이에는 각각 어떤 종류의 분자간 힘이 작용하는가?

(a)  $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{H}_2\text{S}$     (b)  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CH}_3\text{Cl}$     (c)  $\text{CS}_2$ ,  $\text{Cl}_2$     (d)  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$



## 9.2 분자간 힘 (intermolecular force)

### 예제 9.2

다음 물질 중 분자 간 수소 결합이 가능한 물질은 어떤 것인가?

메테인( $\text{CH}_4$ )

플루오린화 수소( $\text{HF}$ )

아세트산( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )

아이오딘화 수소( $\text{HI}$ )

암모니아( $\text{NH}_3$ )

풀이

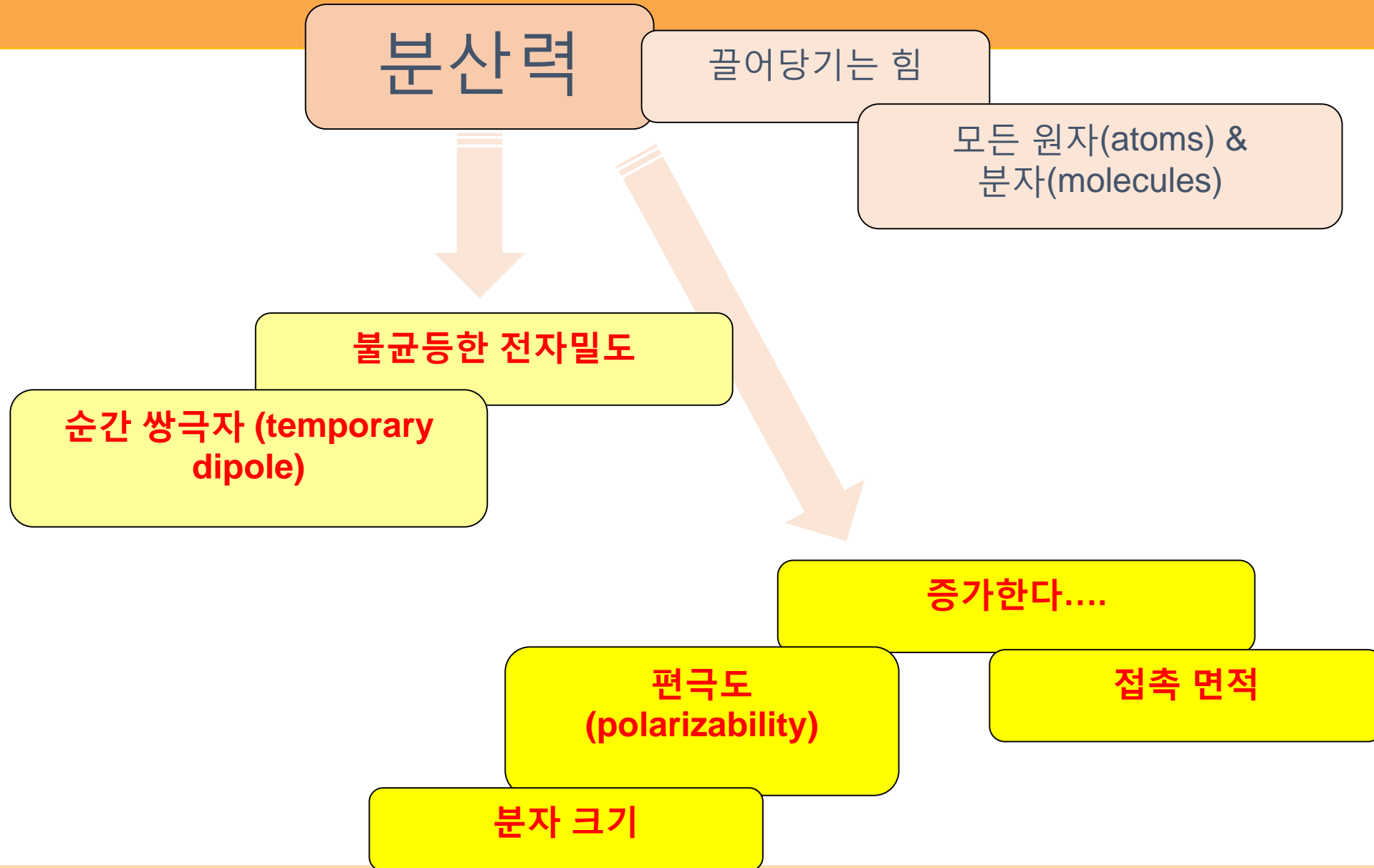
## 9.2 분자간 힘 (intermolecular force)

### 예제 9.3

다음 물질을 끓는점이 증가하는 순서로 나타내시오.

CO    He    KOH    CHCl<sub>3</sub>    NH<sub>3</sub>

## • 9.2 분자간 힘



## • 9.3 액체의 특성

### ▪ 표면 장력



그림 9.11 표면 장력을 나타내는 물방울  
출 © skyblue16/Shutterstock

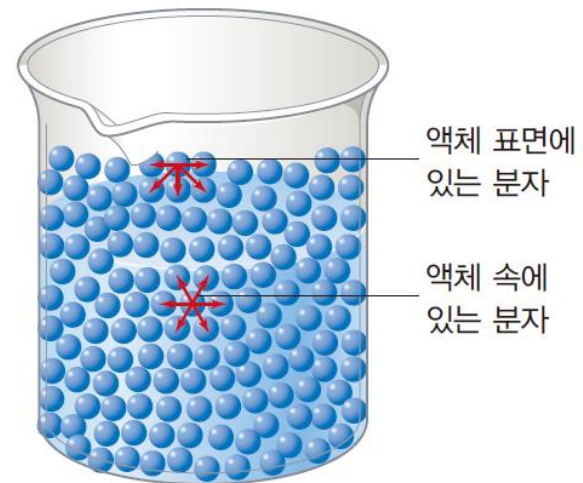
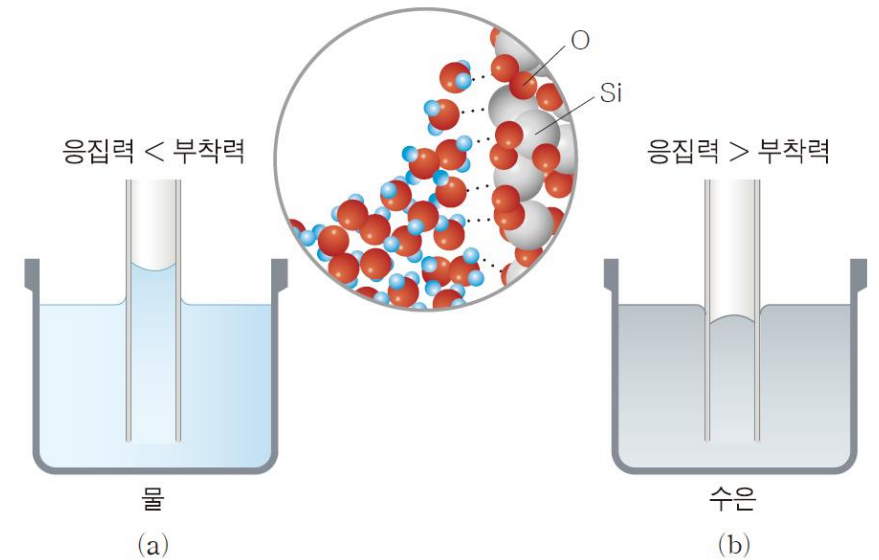


그림 9.10 액체 표면에 있는 분자와 액체 내부 분자 간의 인력. 표면 장력



응집력 < 부착력

물  
(a)

응집력 > 부착력

수은  
(b)

## • 9.3 액체의 특성

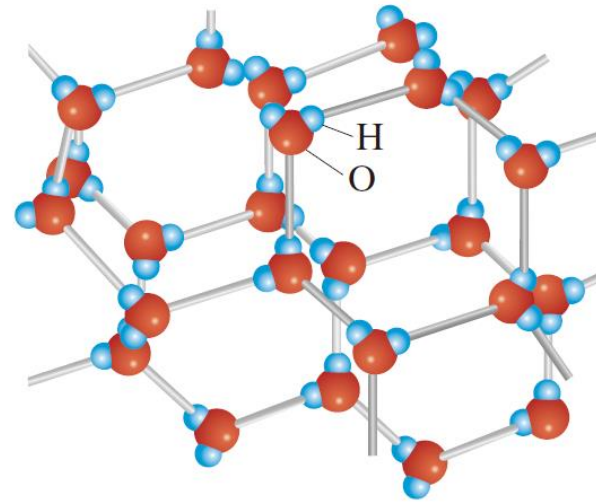
### ▪ 물의 특성과 구조



(a)

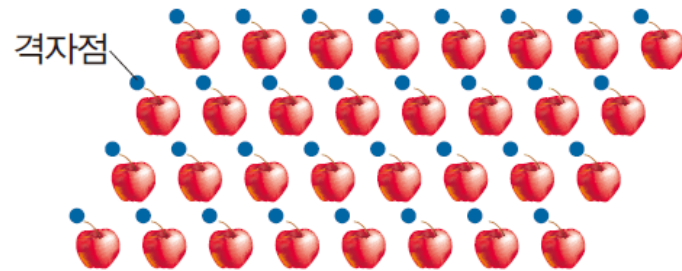


(b)

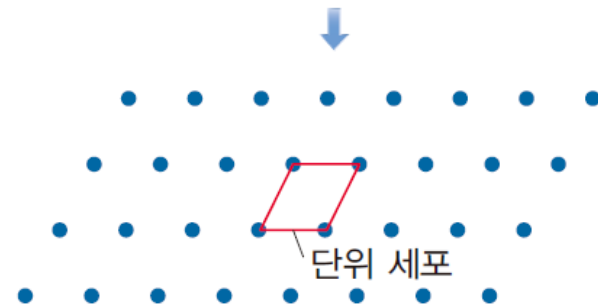


## • 9.4 결정 구조

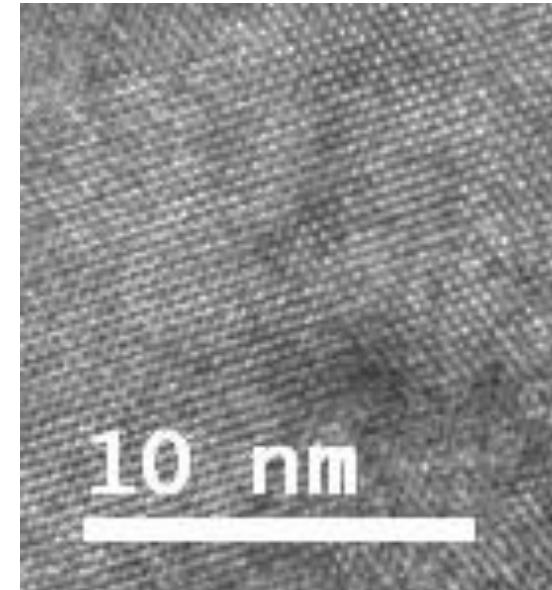
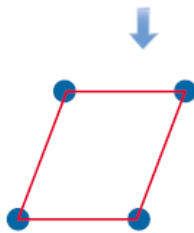
### ▪ 단위 세포와 격자



결정: 구성 성분의 규칙적이고 반복적인 배열



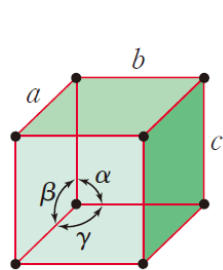
격자: 격자점의 규칙적이고 반복적인 배열



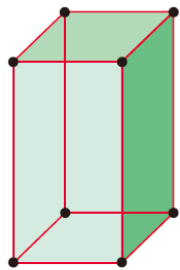
투과전자 현미경(TEM): Si 결정

## • 9.4 결정 구조

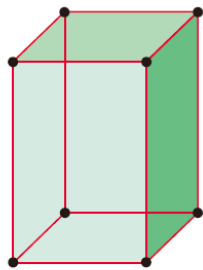
### ▪ 단위 세포와 격자



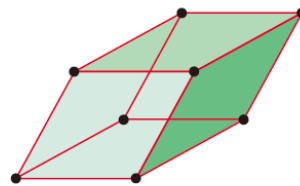
단순 입방정계  
 $a = b = c$   
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



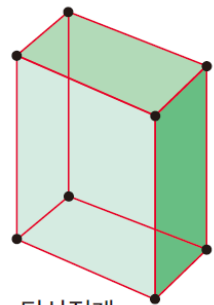
정방정계  
 $a = b \neq c$   
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



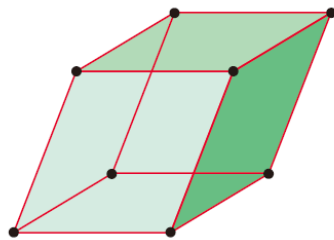
사방정계  
 $a \neq b \neq c$   
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



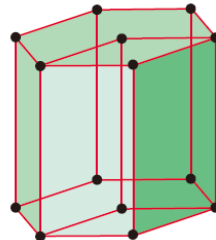
마름모정계  
 $a = b = c$   
 $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$



단사정계  
 $a \neq b \neq c$   
 $\gamma \neq \alpha = \beta = 90^\circ$



삼사정계  
 $a \neq b \neq c$   
 $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$



육방정계  
 $a = b \neq c$   
 $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$

그림 9.18 단위 세포의 7가지 모양

## • 9.4 결정 구조

### ▪ 구 쌓기

<https://www.youtube.com/watch?v=KNgRBqj9FS8>

그림 9.19 단순 입방체의 구 쌓임  
(a) 한 층 구조 (b) 단순 입방체 구조  
(c) 8개의 꼭짓점에 공유된 구 존재. 입  
방체 내부에 총 1개의 구 존재

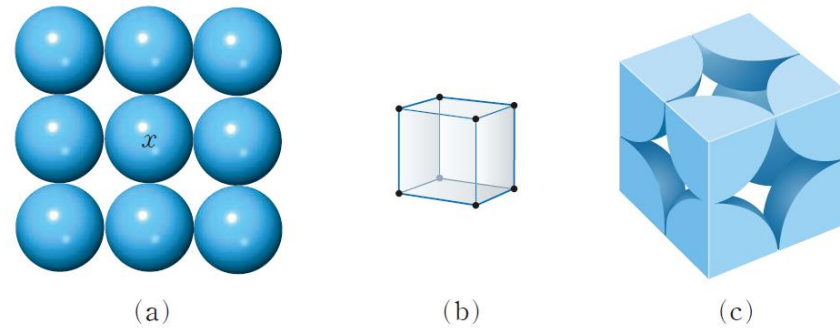
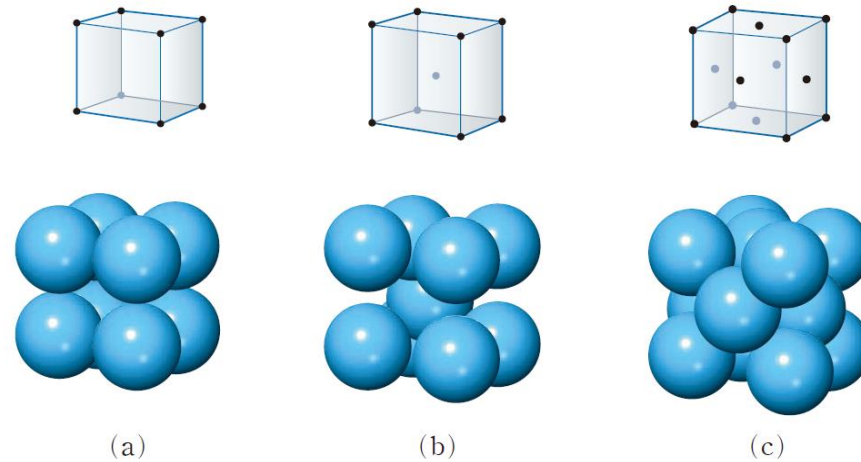


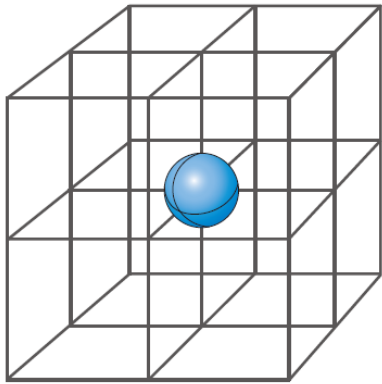
그림 9.20 고체 입방체의 세 종류  
(a) 단순 입방, (b) 체심 입방, (c) 면심 입  
방



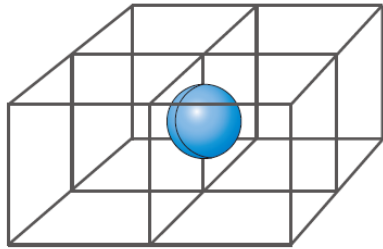


## • 9.4 결정 구조

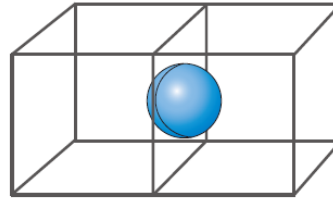
### ▪ 구 쌓기



(a)

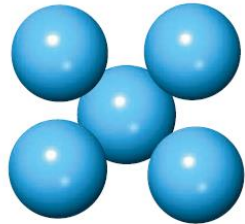


(b)

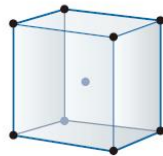


(c)

**그림 9.22** 구의 위치에 따른 형태 (a) 모든 입방체의 단위 세포 꼭짓점에 위치한 원자는 8개의 단위 세포로 나뉜다. (b) 꼭짓점이 아닌 곳에 위치한 원자는 4개의 단위 세포로 나뉜다. (c) 단위 세포 면의 중심에 위치한 원자는 2개의 단위 세포로 나뉜다.



(a)



(b)



(c)

**그림 9.21** 체심 입방체 구조 (a) 위에서 본 구조, (b) 체심 입방 단위 세포, (c) 체심 입방 단위 세포 내부에는 완전한 구 한 개가 있다.

## • 9.4 결정 구조

### ▪ 구 쌓기 : 최조밀 쌓임

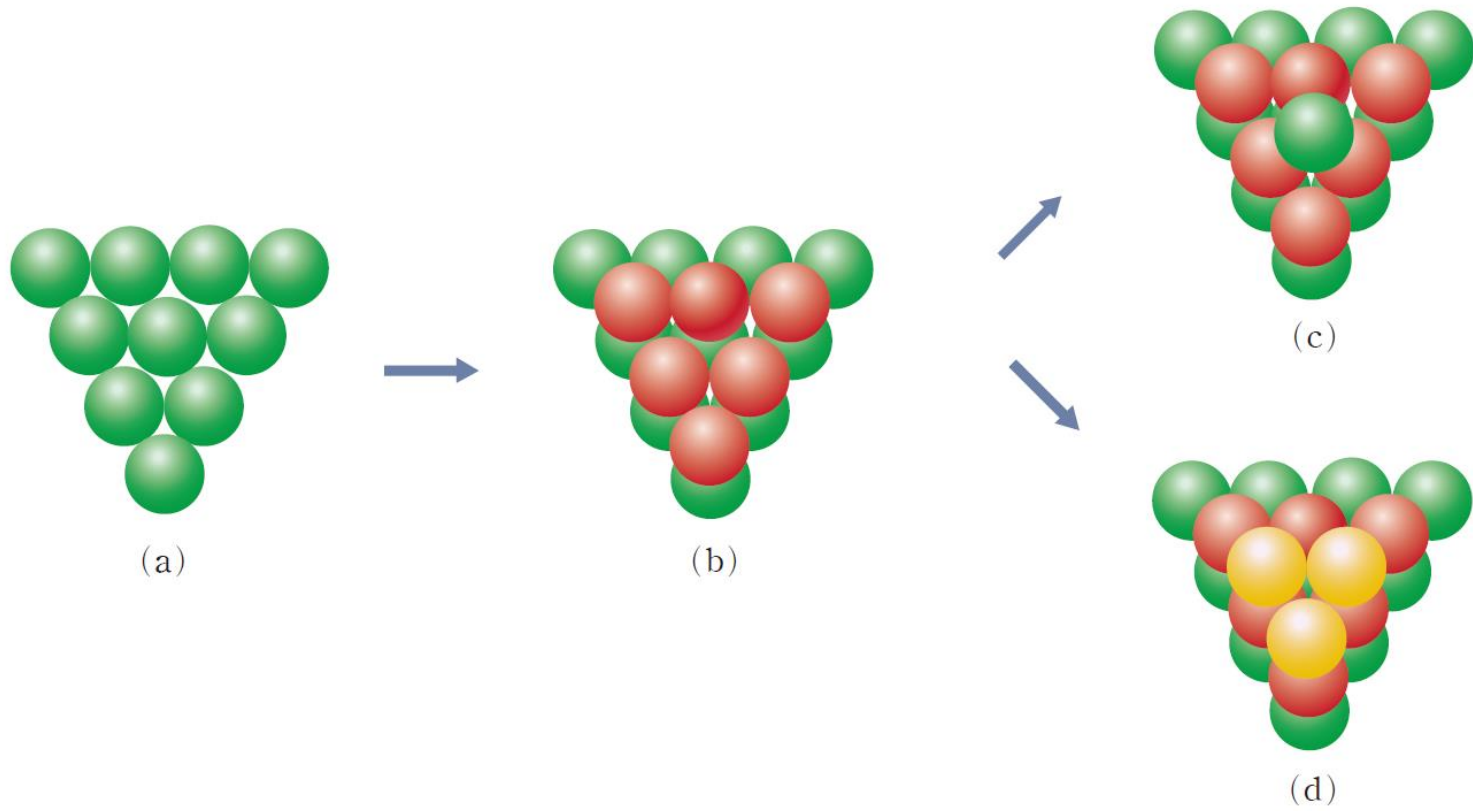


그림 9.23 최조밀 쌓임 구조의 형태  
(a) 각층에서 최조밀 쌓임 구조는 여섯 개의 구와 접촉, (b) 두 번째 층은 첫 번째 층의 구 사이에 위치, (c) 육방 최조밀 쌓임에서 세 번째 층은 첫 번째 층 바로 위에 위치, (d) 입방 최조밀 쌓임에서 세 번째 층의 구는 첫 번째 층의 구가 만드는 공간에 엇갈리면서 위치

## • 9.4 결정 구조

### ▪ 구 쌓기 : 최조밀 쌓임

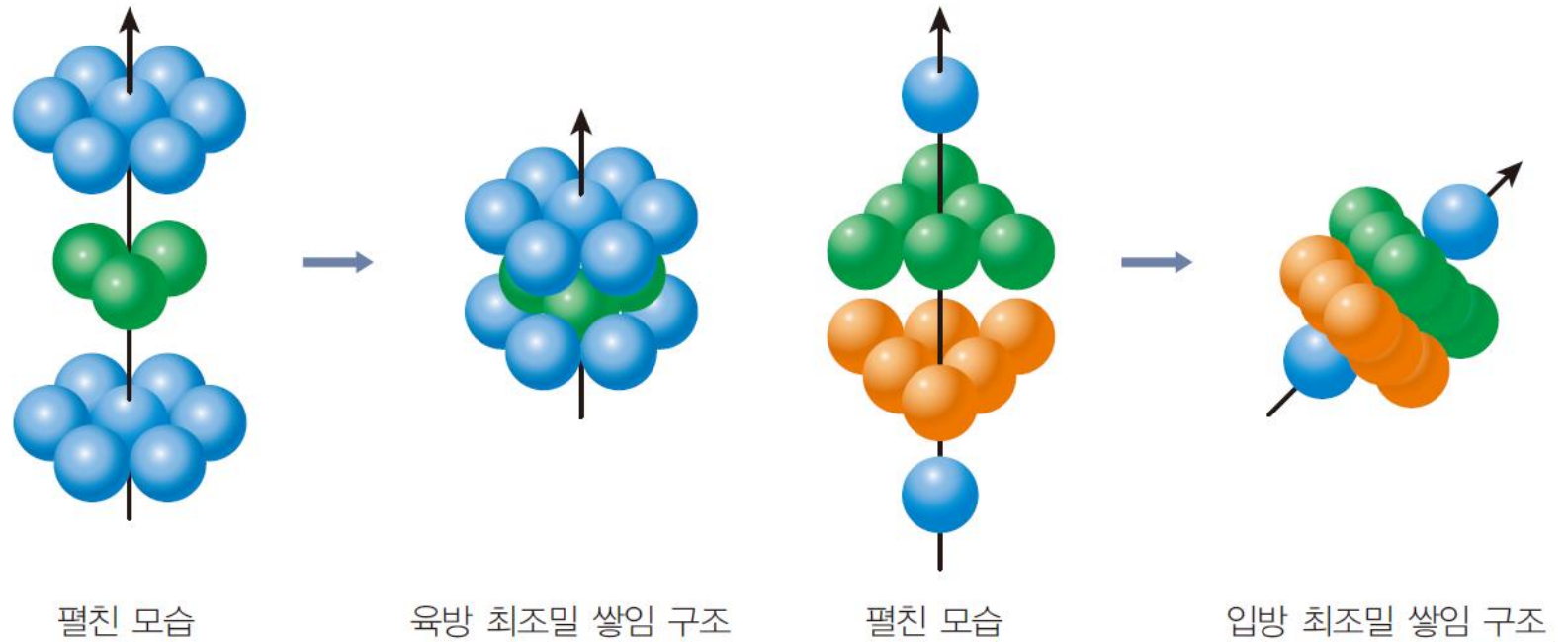
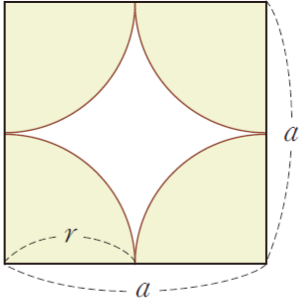
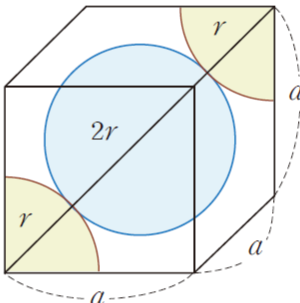
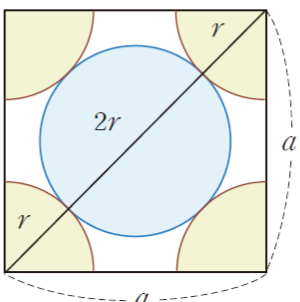


그림 9.24 (a) 육방 최조밀 쌓임 구조

(b) 입방 최조밀 쌓임 구조 그림

## • 9.4 결정 구조

### ▪ 구 쌓기 : 단위세포 길이와 반지름

단순 입방체	 $a = 2r, \quad \therefore r = \frac{a}{2}$
체심 입방체	 $a = \frac{4}{\sqrt{3}}r = \frac{4\sqrt{3}}{3}r, \quad \therefore r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$
면심 입방체	 $a = 2\sqrt{2}r, \quad \therefore r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$

**그림 9.25** 단순 입방체, 체심 입방체, 면심 입방체의 구조에서 단위 세포 길이와 반지름

## • 9.5 결정의 형태

### ▪ 이온성 고체

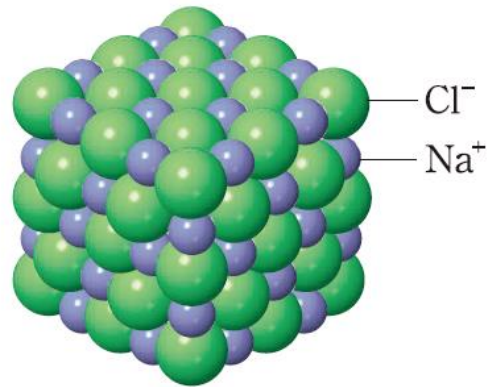


그림 9.26 이온성 구조인 NaCl  
Na<sup>+</sup>과 Cl<sup>-</sup>의 결합으로 형성된다.

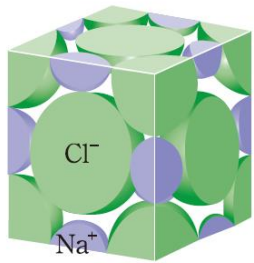


그림 9.27 NaCl의 면심 입방체 단위  
세포 구조

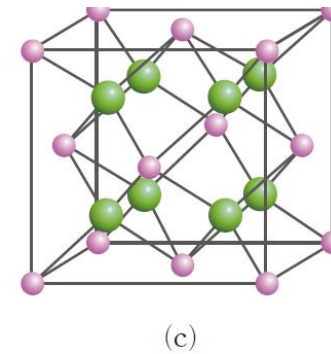
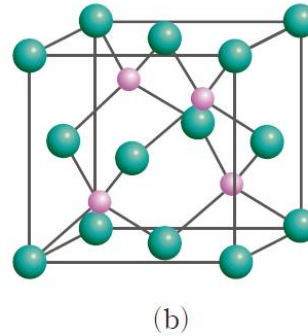
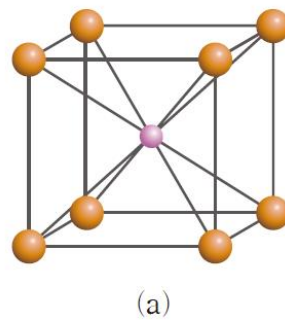


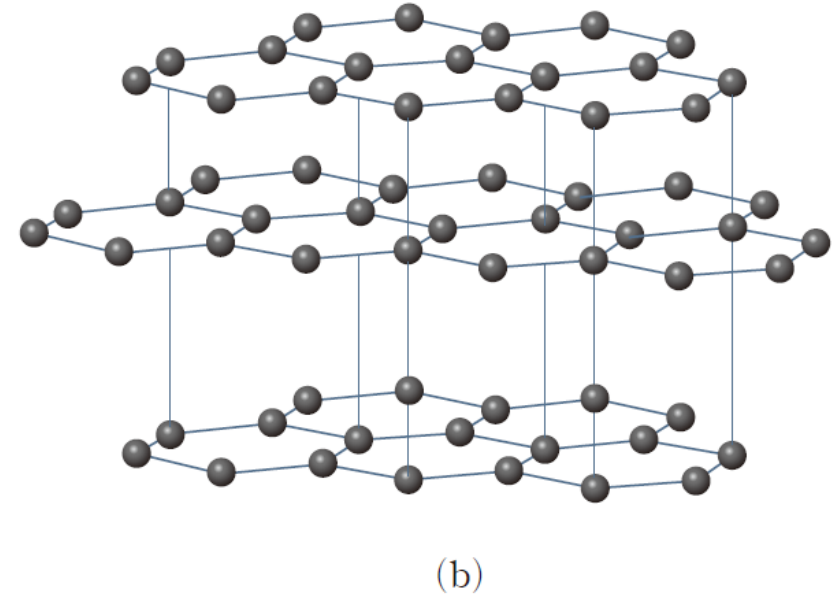
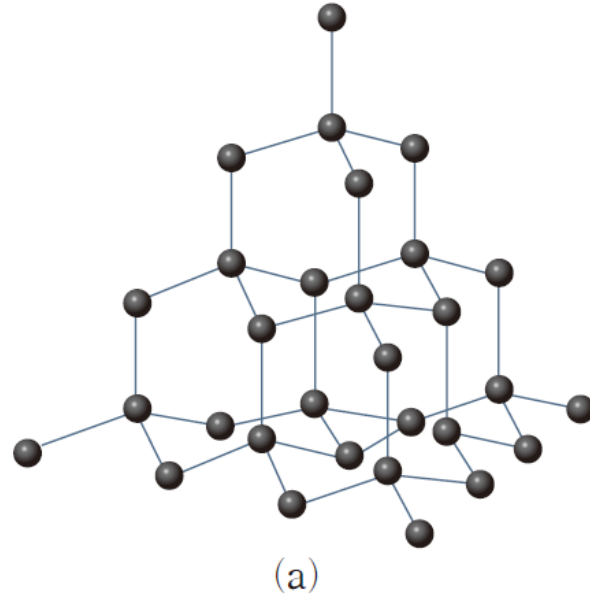
그림 9.28 (a) CsCl, (b) ZnS, (c)  
CaF<sub>2</sub>의 결정 구조

## • 9.5 결정의 형태

### ▪ 공유성 고체

원자들이 3차원적인 네트워크를 형성하면서 서로 공유 결합에 의해 묶여 있다.

그림 9.29 탄소 원자로 구성된 (a) 다이아몬드 구조, (b) 판상 구조인 흑연



## • 9.5 결정의 형태

### ▪ 분자성 고체

쌍극자-쌍극자 힘, 런던 분산력, 수소 결합과 같은 분자간 힘으로 결합된 원자나 분자로 구성된 고체

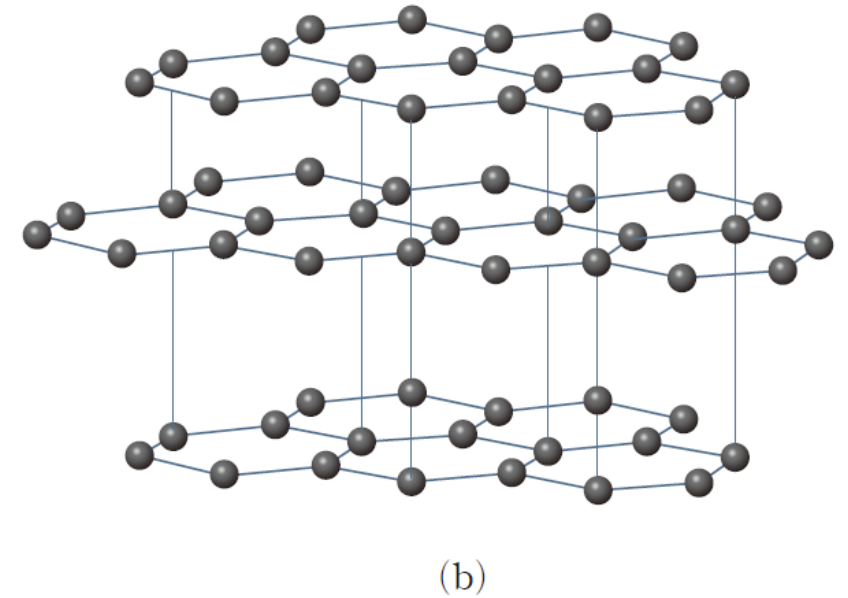
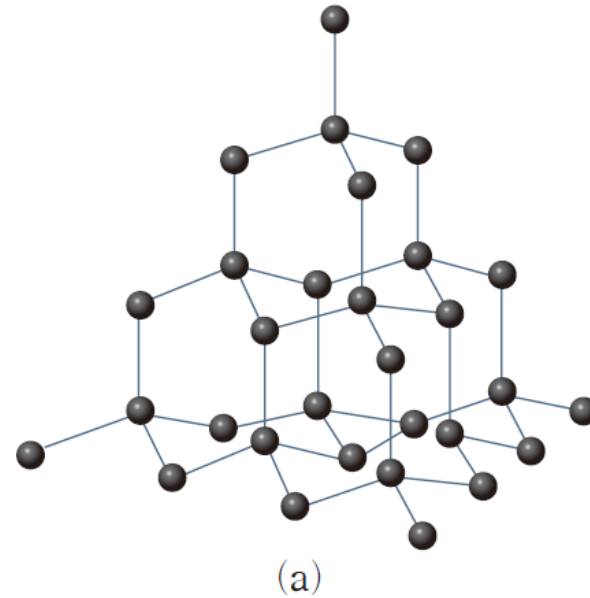


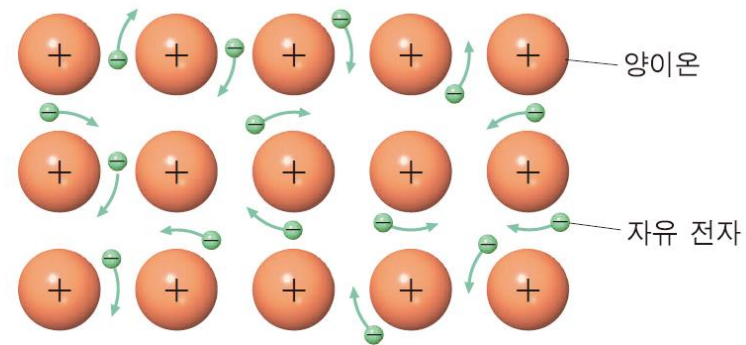
그림 9.29 탄소 원자로 구성된 (a) 다이아몬드 구조, (b) 판상 구조인 흑연

## • 9.5 결정의 형태

### ▪ 금속성 고체

동일 금속 원자가 모든 격자점을 차지하고 있는 가장 간단한 구조

**그림 9.32** 금속 결정의 전자 바다  
모형 금속 양이온은 전자로 둘러싸여 있다. 마치 전자의 바다 속에 양이온이 묻혀 있다.





## • 9.5 결정의 형태

### ▪ 결정의 형태

표 9.4 결정의 네 가지 형태와 물리적 특성

결정 형태	단위를 붙잡고 있는 힘	물리적인 특성	예
이온	정전기적 인력	단단하고 깨지기 쉬움, 높은 녹는점, 열과 전기의 부도체	NaCl, LiF, MgO, CaCO <sub>3</sub>
공유	공유 결합	단단함, 높은 녹는점, 열과 전기의 부도체	C(다이아몬드), SiO <sub>2</sub> (석영)
분자	분산력, 쌍극자-쌍극자 힘, 수소 결합	연함, 낮은 녹는점, 열이나 전기의 부도체	Ar, CO <sub>2</sub> , I <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (설탕)
금속	금속 결합	다양한 굳기, 다양한 녹는점, 열과 전기의 좋은 도체	모든 금속 원소: Na, Mg, Fe, Cu 등

## • 9.5 결정의 형태

### 예제 9.6

다음 물질들은 각각 어떠한 결정 형태의 고체(분자성, 금속성, 이온성, 공유성-그물 구조)인가?

(a)  $\text{CaCO}_3$

(b) Si

(c) 벤젠

(d)  $\text{I}_2$

(e) MgO

## • 9.6 비결정성 고체

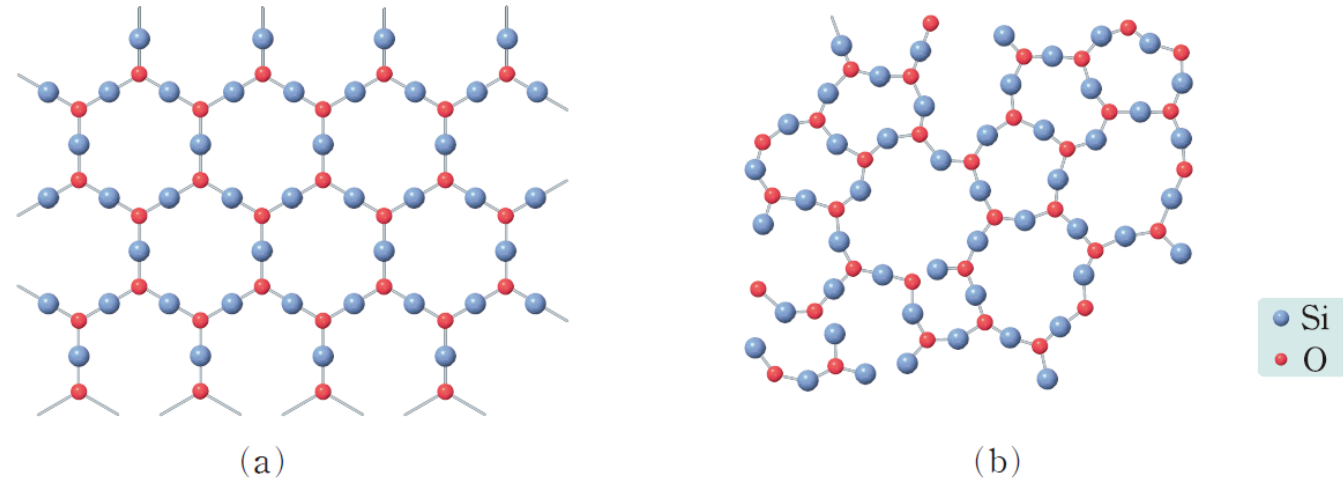


그림 9.33 (a) 결정 구조인 석영과 (b)  
비결정질 구조인 석영 유리의 비교