

14 장

액체와 고체

Chapter 14

Table of Contents

14.1 물과 물의 상 변화

14.2 상태 변화에 따른 에너지 요구

14.3 분자간 힘

14.4 증발과 증기압

14.5 고체의 상태:고체의 유형

14.6 고체의 결합

Section 14.1

Water and Its Phase Changes

14.1 물과 물의 상 변화

학습목표 : 몇 가지 물의 중요한 특성을 배운다.

Section 14.1

Water and Its Phase Changes



표 14.1

물의 세 가지 상태의 밀도

상태	밀도(g/cm^3)
고체(0°C , 1기압)	0.9168
액체(25°C , 1기압)	0.9971
기체(100°C , 1기압)	5.88×10^{-4}

액체와 고체는 비슷하며,
액체와 고체는 기체와는
뚜렷이 다르다

Section 14.1

Water and Its Phase Changes



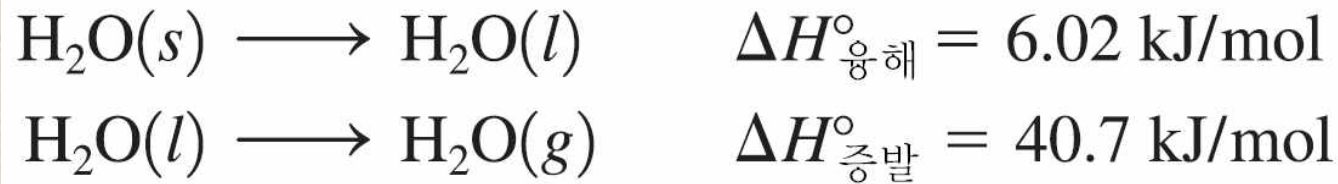
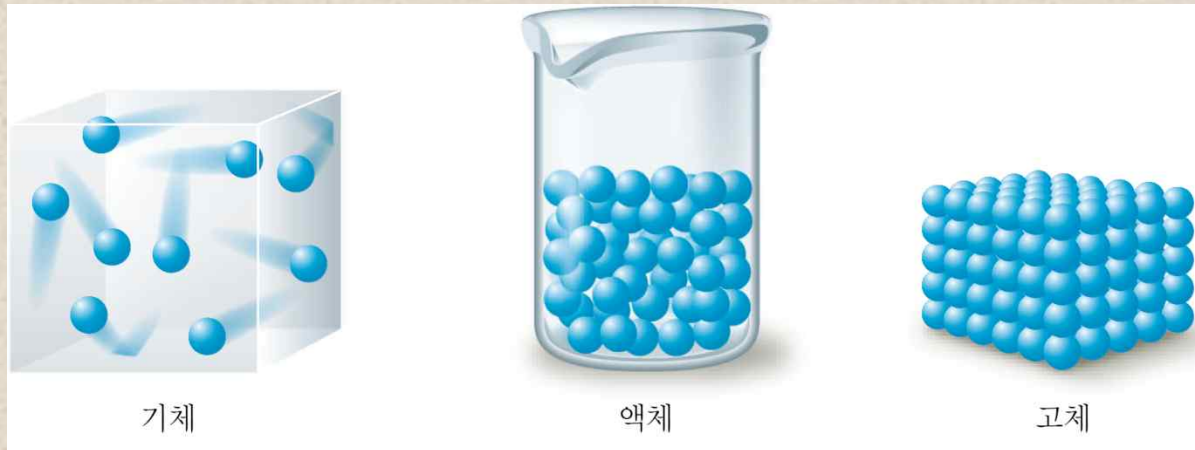
- 기체
- 낮은 밀도
- 고압축성
- 용기를 가득 채움

- 고체
- 높은 밀도
- 저압축성
- 단단함 (모양 유지)

[Return to TOC](#)

Chapter 14

Table of Contents



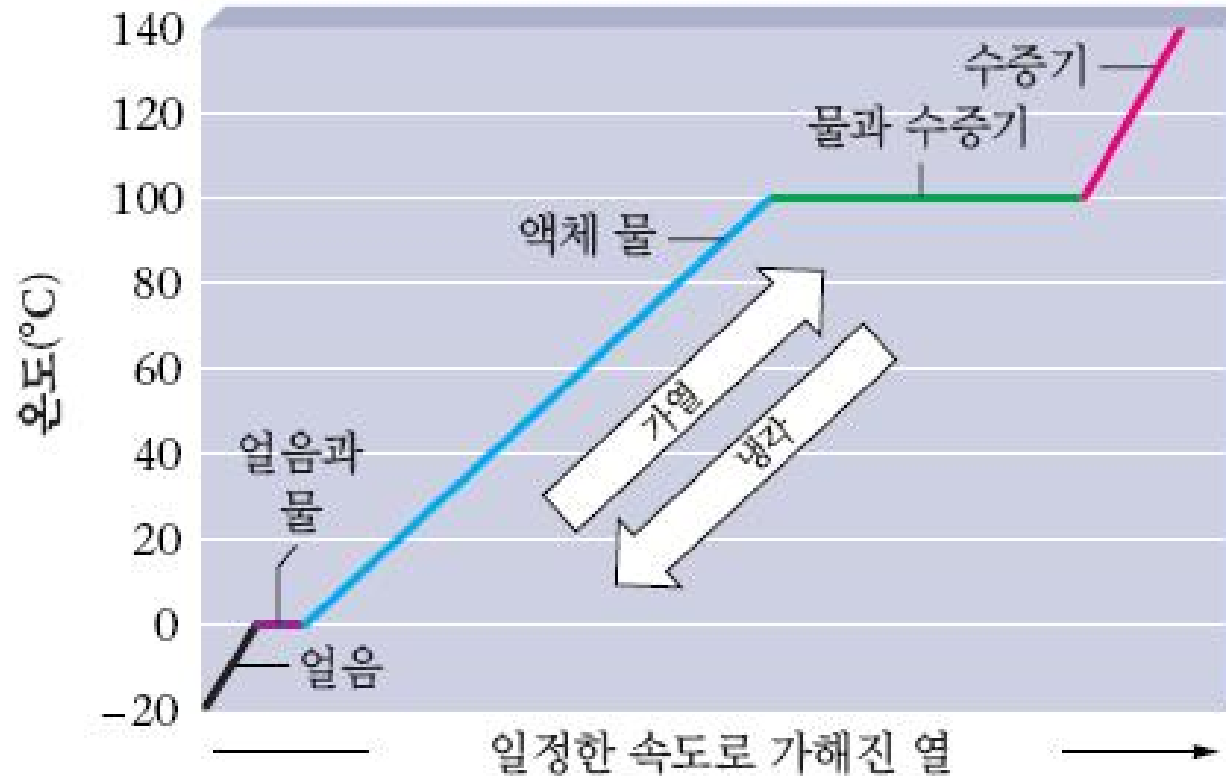
고체에서 액체로의 변화보다 액체에서 기체로 갈 때
변화의 정도가 훨씬 더 큼.

Section 14.1

Water and Its Phase Changes

가열/냉각 곡선

- 정상 끓는 점: 1 기압 = 100°C
- 정상 어는점: 1 기압 = 0°C



[Return to TOC](#)

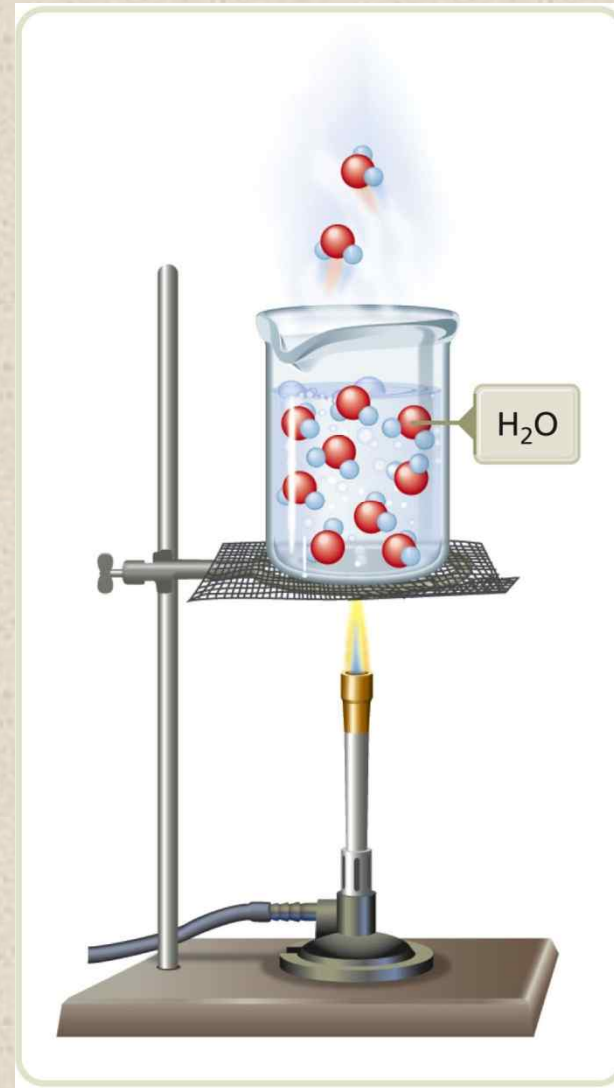
Section 14.2

Energy Requirements for the Changes of State

액체 상태 물과 기체 상태의 물은 모두 H_2O 분자들이다. 액체 상태인 물에서 H_2O 분자들은 서로 근접해 있으나, 기체 상태에서는 분자들이 서로 멀리 떨어져 있다. 기포들은 기체 상태인 물을 포함하고 있다.



- 상태 변화는 물리적 변화이다.
 - 화학적 결합은 깨지지 않음.



Energy Requirements for the Changes of State

상 변화

- 고체가 액체와 기체로 변화할 때 그 분자는 변하지 않는다.
- 상태 변화는 분자 *내* 힘보다는 분자 *간* 힘의 변화이다.

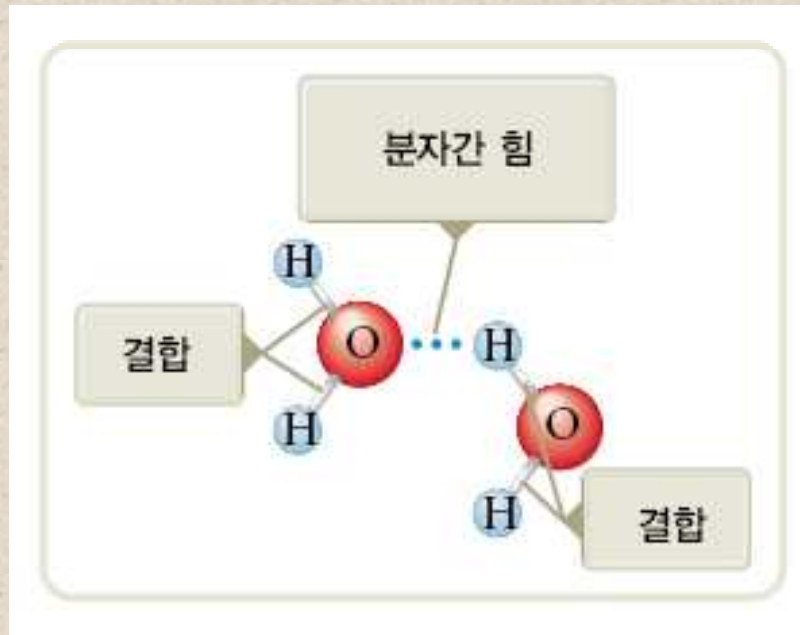
Section 14.2

Energy Requirements for the Changes of State

화학 결합

분자 내 힘(결합)
(intramolecular bonding)

1. 공유 결합
2. 이온 결합
3. 배위 결합
4. 금속 결합



분자 간 힘
(intermolecular force)

1. 이온-쌍극자 힘
2. 수소 결합
3. 쌍극자-쌍극자
4. 이온-유도 쌍극자 힘
5. 쌍극자-유도 쌍극자 힘
6. 분산력

Section 14.2

Energy Requirements for the Char

[용액에서의 분자간 힘]

1. 이온-쌍극자 힘 :

물에 대한 이온 화합물의

용해도를 결정하는 주된 힘.

2. 수소 결합 : 수용액에서 특히 중요.

3. 쌍극자-쌍극자

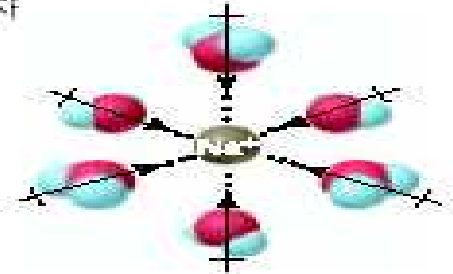
4. 이온-유도 쌍극자 힘

5. 쌍극자-유도 쌍극자 힘

6. 분산력

용액에서
분자간 힘이
약해지는 순서

이온-쌍극자
(40-600)



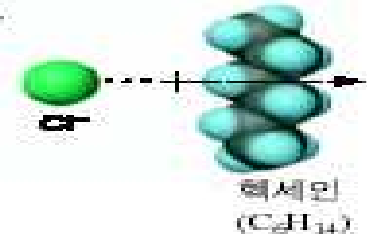
수소 결합
(10-40)



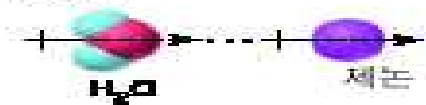
쌍극자-쌍극자
(5-25)



이온-유도 쌍극자
(3-15)



쌍극자-유도 쌍극자
(2-10)



분산력
(0.05-40)

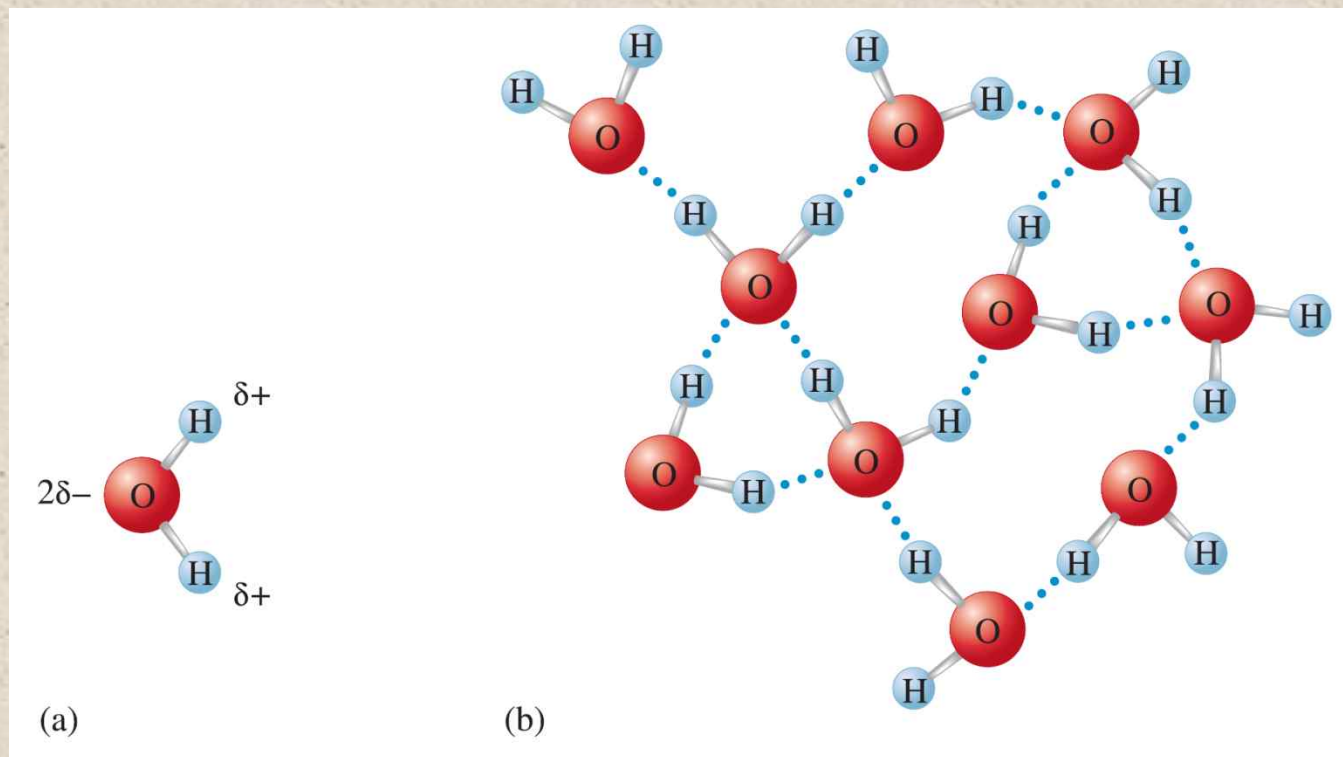


수소 결합

N, O, F 와 같이 전기음성도가 큰 원자에 H가 결합된 분자들 사이에는 매우 큰 쌍극자-쌍극자 힘: 수소 결합(hydrogen bonding)

-결합의 극성이 큼.

-H의 크기가 작기에 쌍극자들이 가까이 올 수 있음.



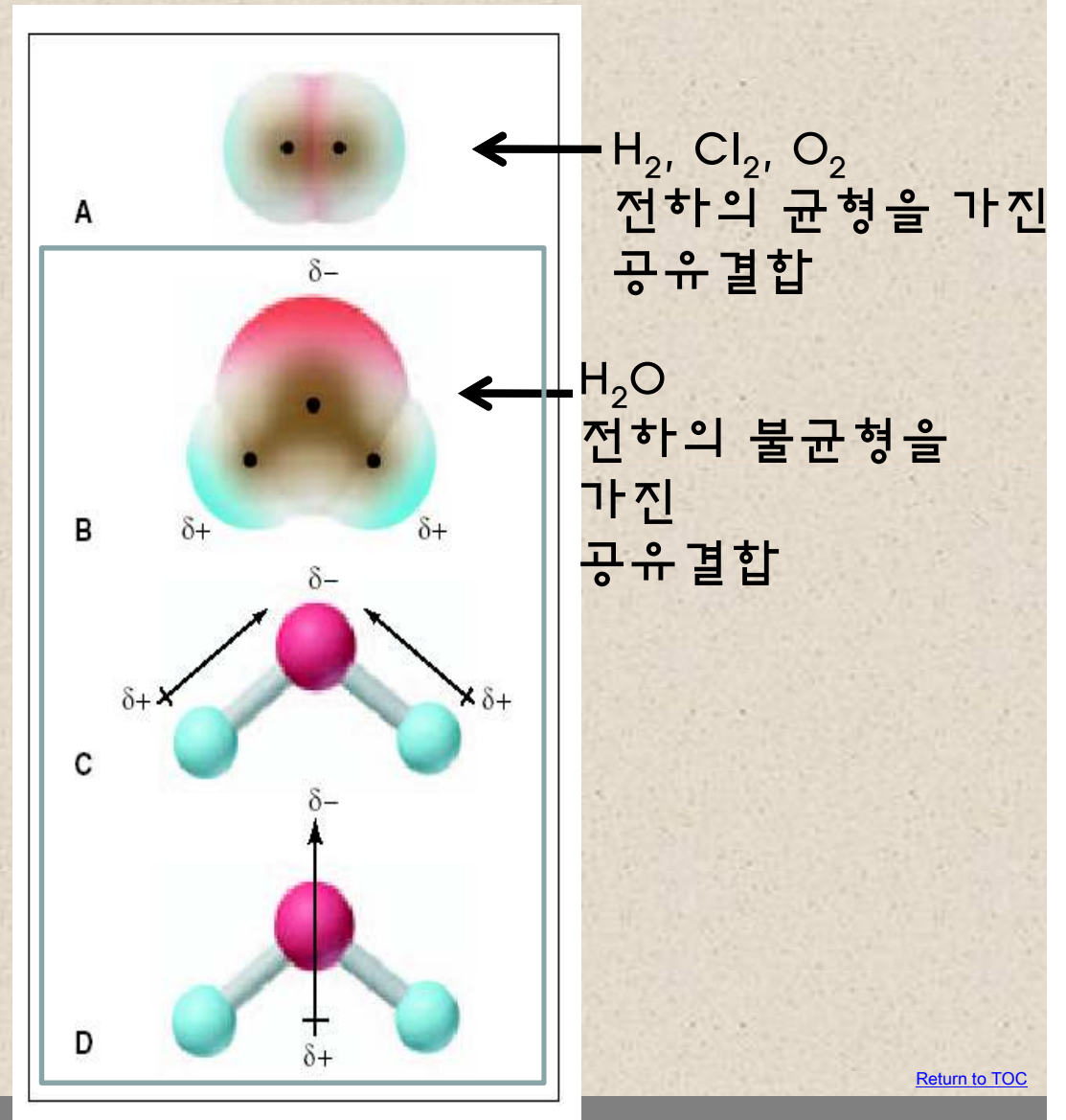
(a) 극성인 물 분자. (b) 물 분자들 간의 수소 결합(•••). 수소 원자의 크기가 작아서 가까운 거리에서의 상호작용이 가능해진다는 것에 주목하라.

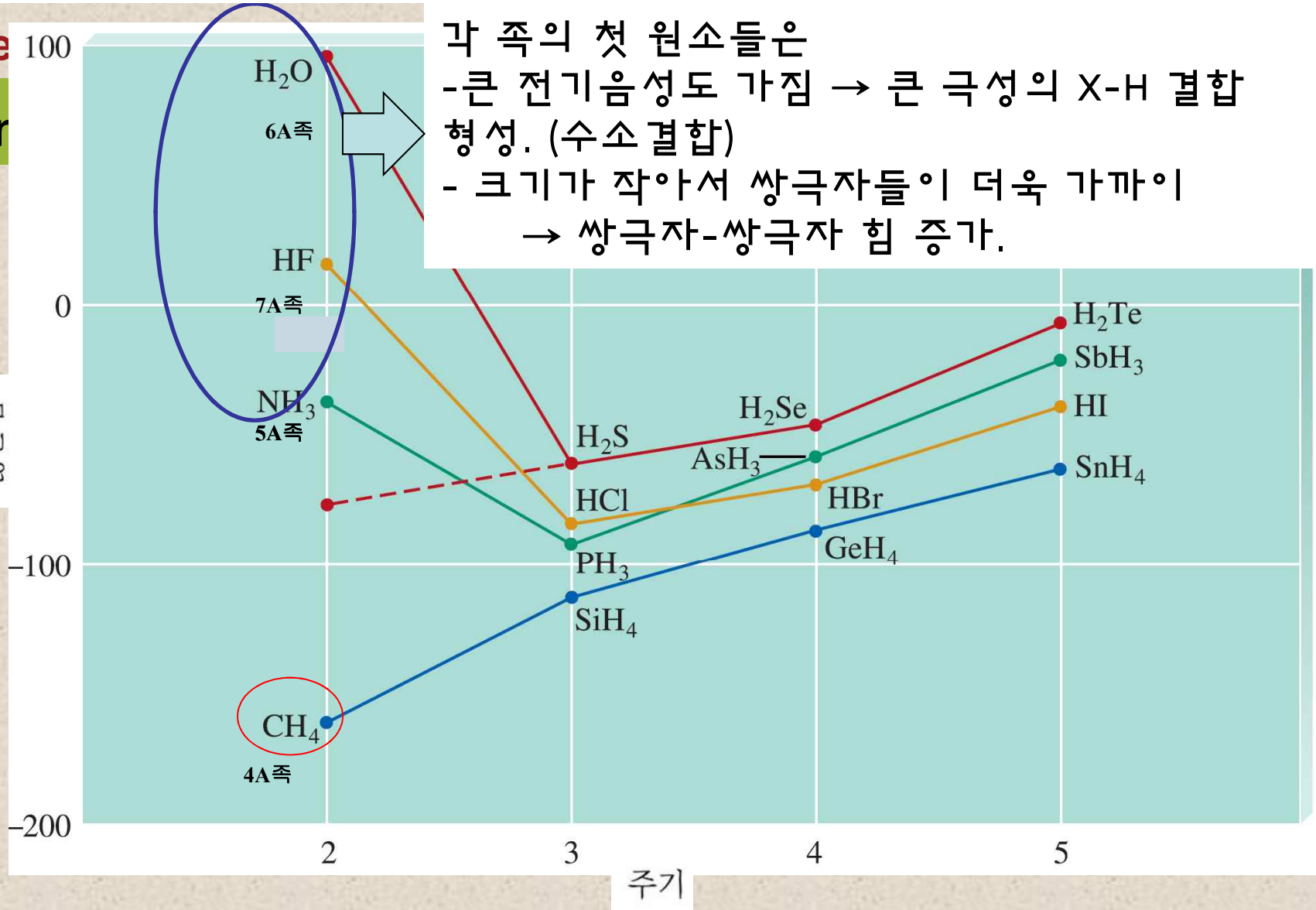
참고 - 복습

Energy Requirements for the Changes of State

[물의 극성]

H₂와 H₂O 분자의 전자 분포.
A, H₂에서 같은 핵이 전자를 균등하게 끌어당긴다. 전자 밀도가 높은 중간 부분(붉은 색)은 전자 밀도가 더 낮은 영역들(푸른색)과 균형을 이룬다. B, H₂O 분자에서 O 핵은 H 핵보다 공유된 전자를 더 세게 끌어당긴다. C, 공-막대 모형에서 극성 화살표는 각 O—H 결합의 음극을 가리킨다. D, 두 극성 O—H 결합과 굽은 모양 때문에 H₂O 분자는 극성을 이룬다.





4A, 5A, 6A, 및 7A족의 원소들에 대한 공유 결합성 수소화물에 대한 끓는점. 점선은 수소 결합이 없을 경우 예상되는 물의 끓는점을 보여준다.

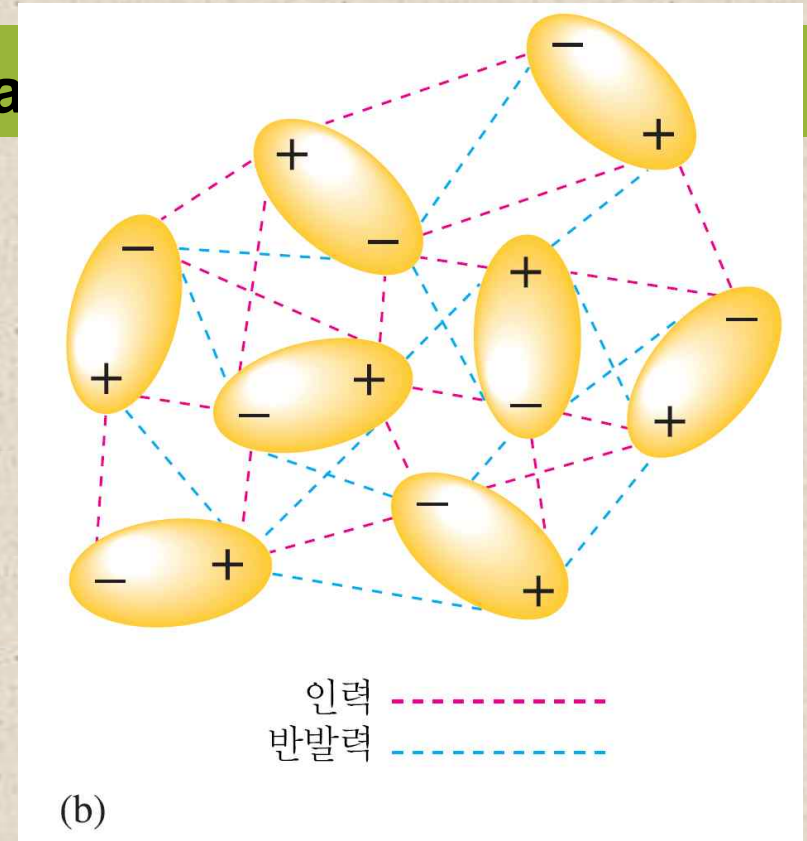
쌍극자-쌍극자 힘

Energy Requirements for the Cha



(a) 두 극성 분자 분자의 정전기적 인력
(쌍극자-쌍극자 인력)

(b) 응축상(액체와 고체)에서 +/- 사이의 인력을 극대화하고, +/+ 또는 -/- 사이의 반발력을 최소화하도록 하는 배열을 함.

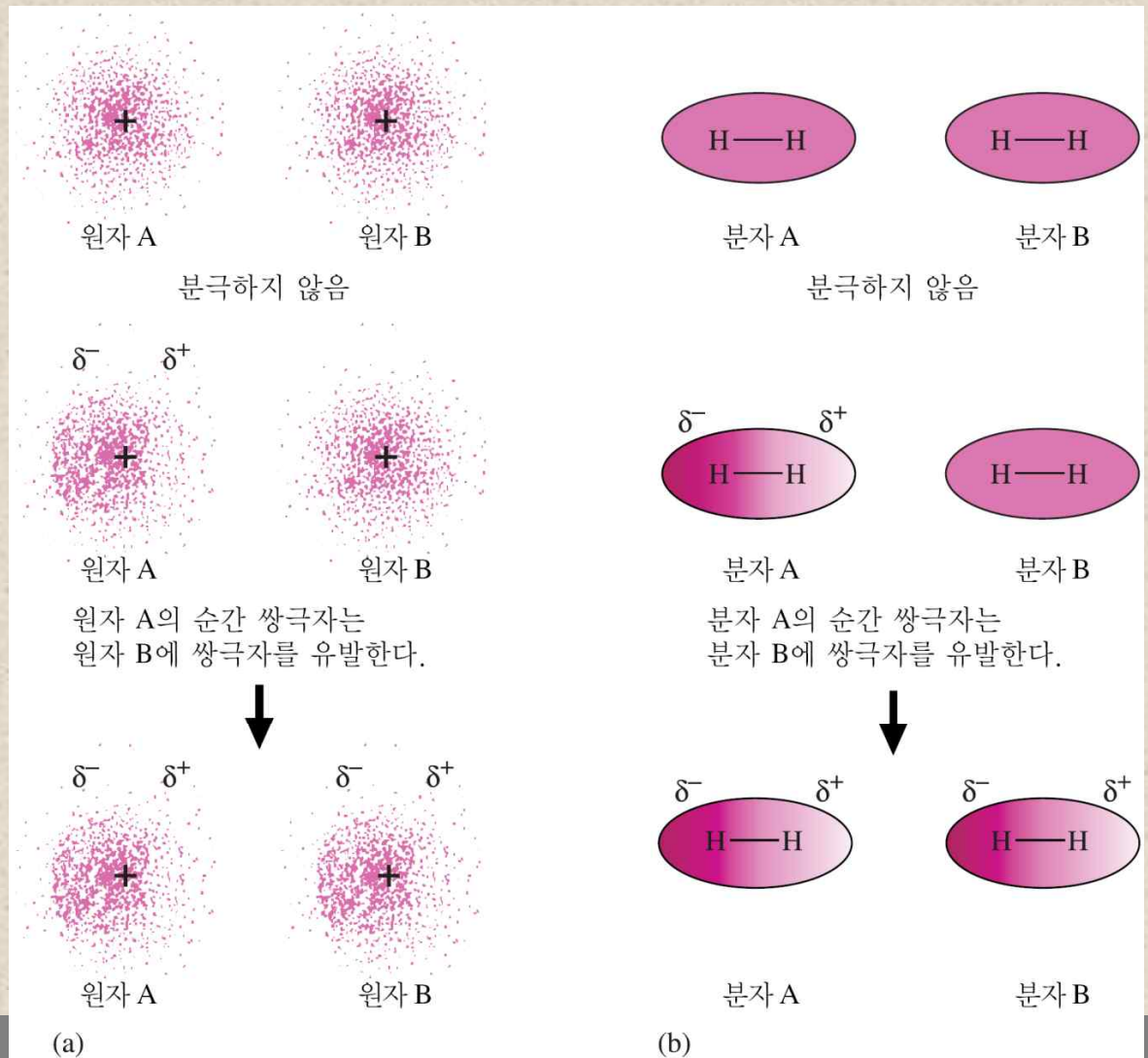


쌍극자-쌍극자 힘은 공유 결합 또는 이온 결합의 약 1%에 불과하며 쌍극자 간의 거리가 증가함에 따라 급격히 약화.

London 분산력

: 불활성 기체 원자들 또는 비극성 분자들 사이에 존재하는 비교적 약한 힘. 순간 쌍극자와 이에 의한 유발 쌍극자에 기인.

(a) 원자 A에서 순간적인 편극 현상이 일어나면 순간적인 쌍극자가 형성된다. 이 쌍극자는 이웃하는 원자 B에 유발 쌍극자가 형성되게 한다.
 (b) H₂와 같은 무극성 분자들도 순간적인 유발 쌍극자를 형성할 수 있다.



Energy Requirements for the Changes of State

쌍극자 모멘트가 없는 분자들 간에도 힘이 작용함.

원자 또는 비극성 분자(H_2 , CH_4 , CCl_4 , CO_2)는 **순간적으로**

비대칭적인 전하 분포를 하여 **순간 쌍극자**를 만들.

→ 순간 쌍극자는 인접한 원자/비극성 분자에 **유발 쌍극자**를 생성.

for the Changes of State

표 10.2 8A족 원소들에 대한 어는점

원소	어는점(°C)
헬륨*	-269.7
네온	-248.6
아르곤	-189.4
크립톤	-157.3
제논	-111.9

끓는점 높아진다

표 10.2에서 어는 점은 족의 아래로 내려감에 따라 상승.

∴ (1) 원자번호 증가 → 전자수 증가 → 순간 쌍극자 인력의 발생 확률 증가.

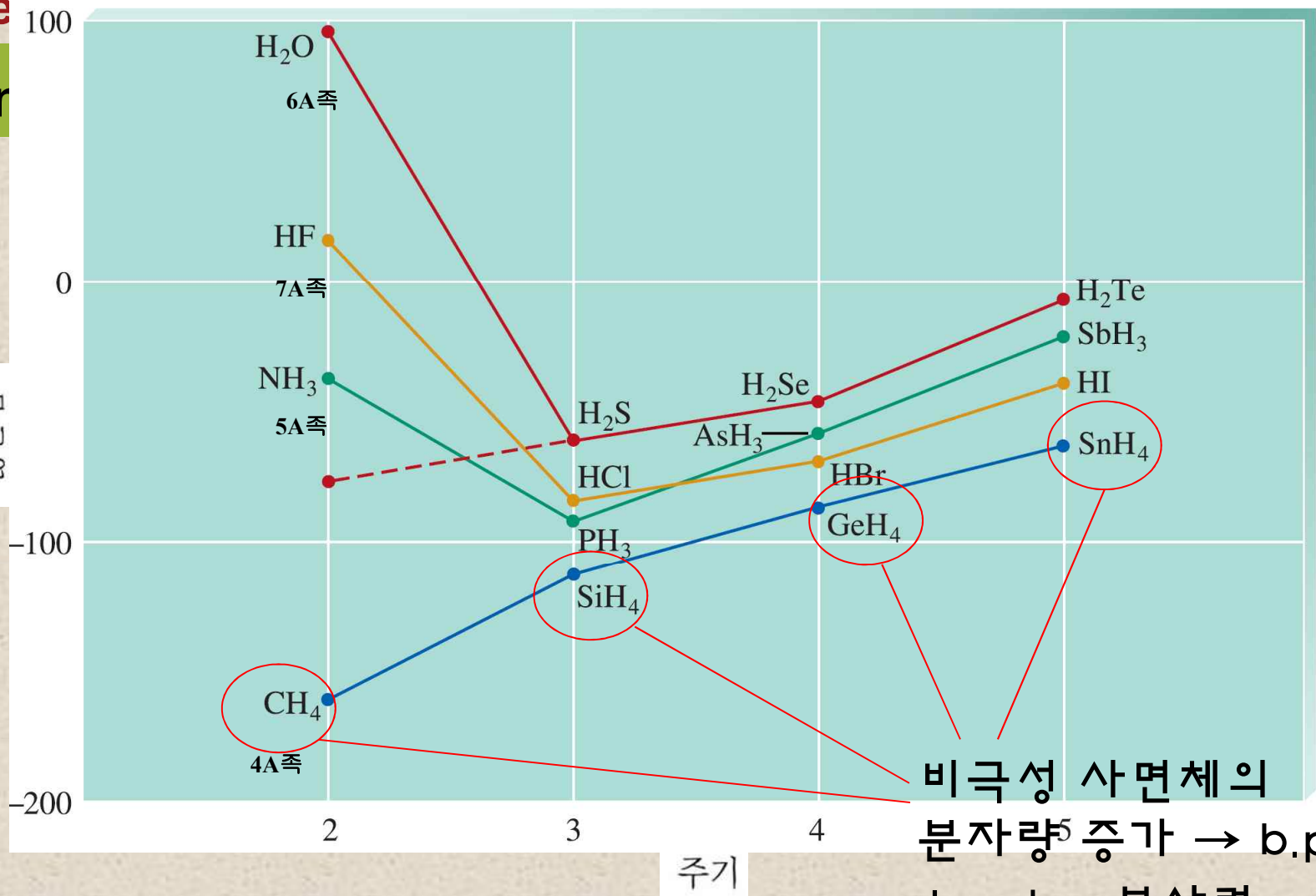
(2) 분극성 : 원자의 전자 구름이 쌍극자 전하 분포를 가짐을 나타냄

많은 전자를 가진 원자/비극성 분자는

→ 더 큰 분극성 (polarizability)

→ 더 큰 London 분산력

끓는점



비극성 사면체의
분자량⁵ 증가 → b.p. 증가
London 분산력

4A, 5A, 6A, 및 7A족의 원소들에 대한 공유 결합성 수소화물에 대한 끓는점. 점선은 수소 결합이 없을 경우 예상되는 물의 끓는점을 보여준다.

Intermolecular Forces

- 분자간 힘.
 - 수소 결합
 - 쌍극자-쌍극자 힘
 - 런던 분산력

Intermolecular Forces

수소 결합

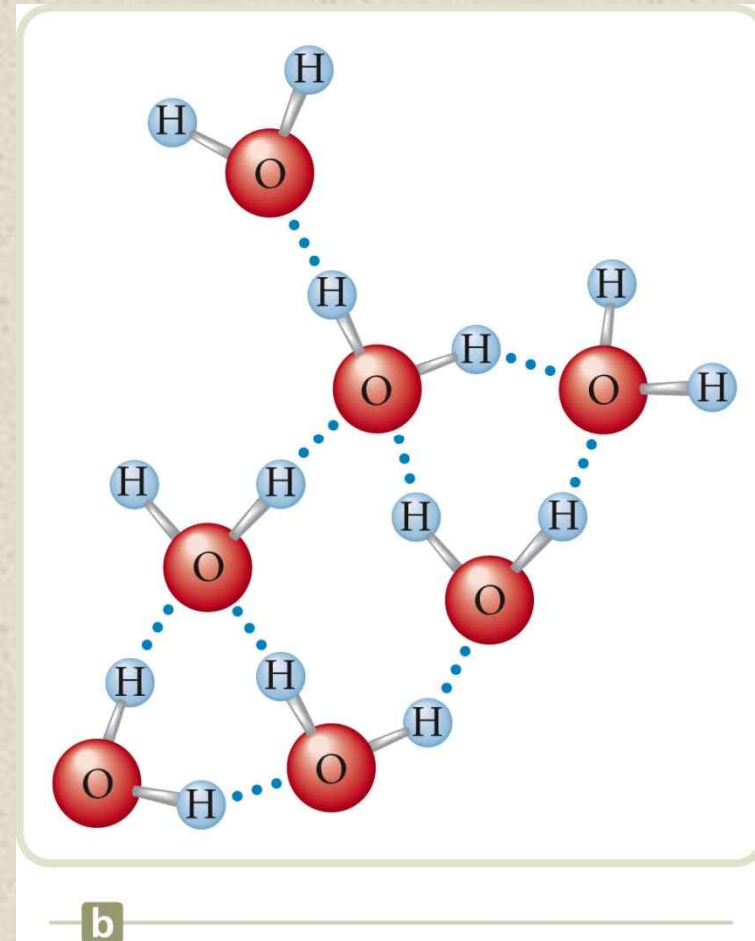
- 강한 쌍극자-쌍극자 힘
- 수소가 전기 음성도가 강한 원자에 묶여있다.- 질소, 산소, 불소.

Section 14.3

Intermolecular Forces

물의 수소 결합

- 푸른 점선은 물 분자 사이의 분자간 힘이다.

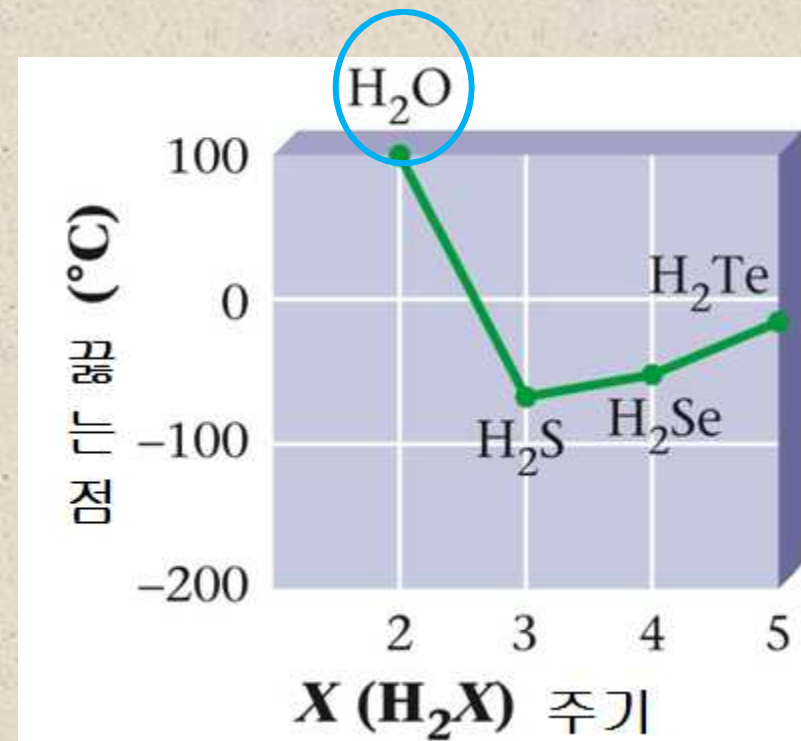


Section 14.3

Intermolecular Forces

수소 결합

- 물리적 성질에 영향을 준다
 - 높은 끓는점

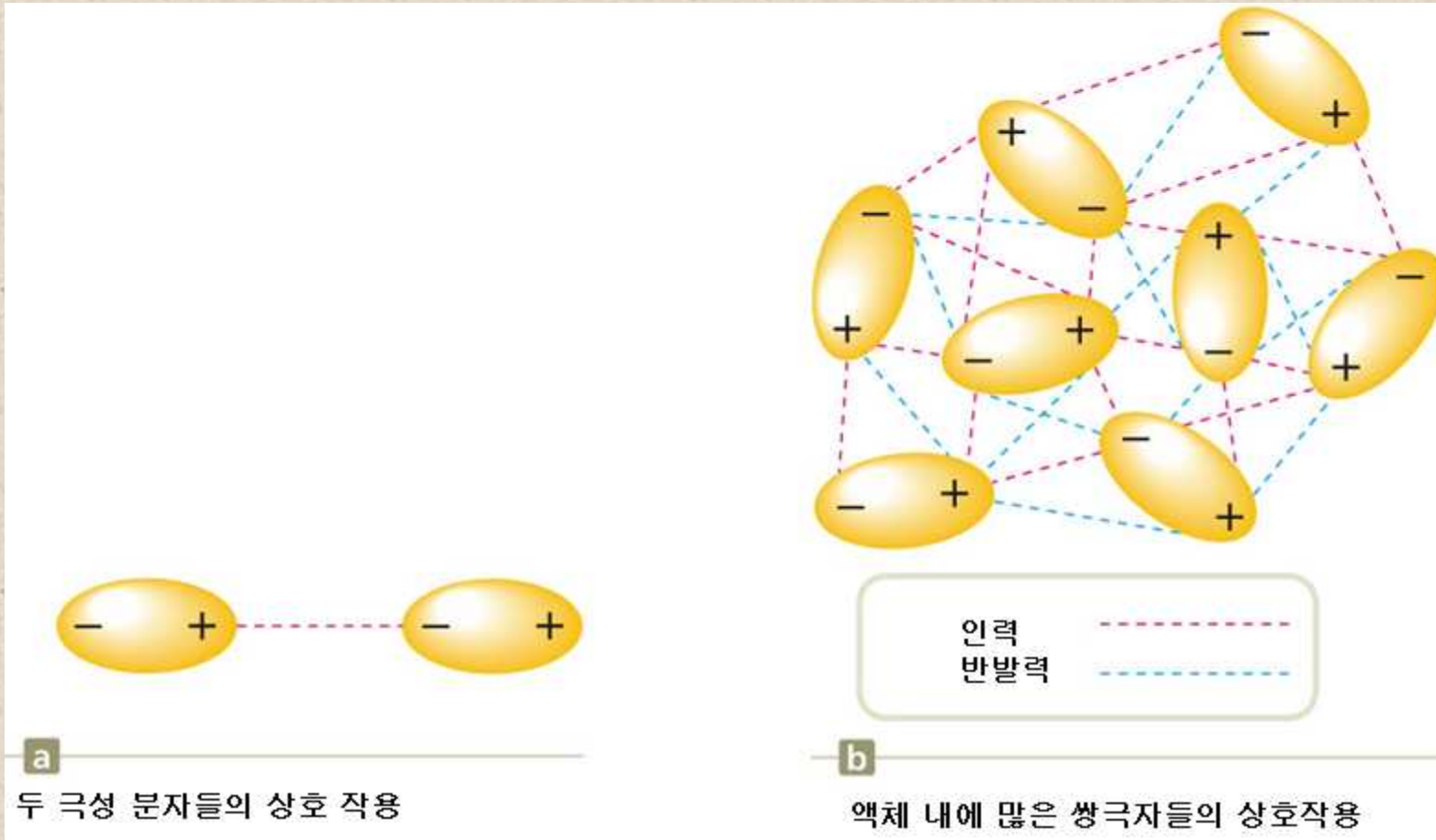


[Return to TOC](#)

Section 14.3

Intermolecular Forces

쌍극자-쌍극자 인력



[Return to TOC](#)

Intermolecular Forces

쌍극자-쌍극자 힘

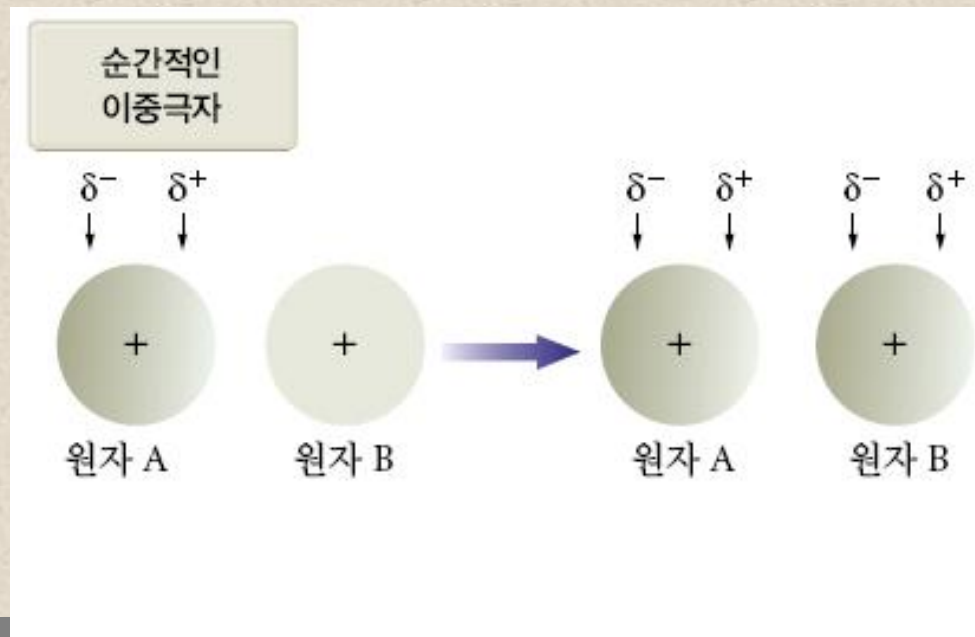
- 쌍극자 모멘트 - 분자들이 양전하 중심과 음전하 중심을 가지고 있다면 그들의 극성 결합은 전기장에서 행동하는 것처럼 한다.
- 쌍극자 모멘트를 가진 분자들은 정전기적으로 끌어 당길 수 있다. 그들은 각각의 양전하의 끝과 음전하의 끝이 가까워지도록 배열한다.
- 공유 결합이나 이온결합의 1% 정도의 세기이다.

Section 14.3

Intermolecular Forces

런던 분산력

- 순간 쌍극자(Instantaneous dipole)는 이웃한 원자에 비슷한 쌍극자를 유도할 수 있다.
- 원자나 분자의 크기가 클수록 이 힘은 중요하다.
- 비극성 분자를 포함한 모든 분자에서 생길 수 있다.

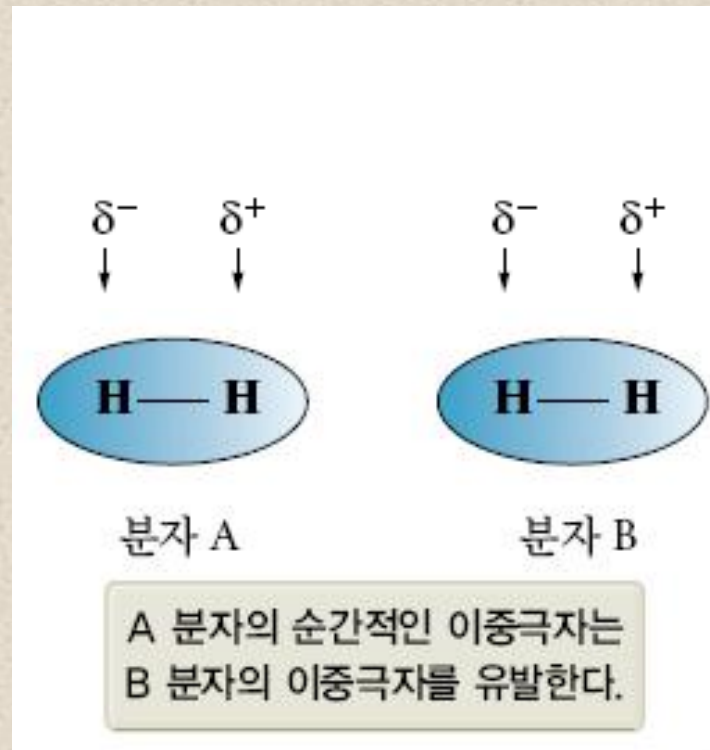


[Return to TOC](#)

Section 14.3

Intermolecular Forces

런던 분산력- 비극성 분자



Section 14.3

Intermolecular Forces

런던 분산력

- 원자나 분자의 크기가 증가할 수록 커진다.

표 14.2 8족 원소의 어는점

원소	어는점(°C)
헬륨(He)*	-272.0(25기압)
네온(Ne)	-248.6
아르곤(Ar)	-189.4
크립톤(Kr)	-157.3
제논(Xe)	-111.9

* 헬륨은 압력을 1 기압 이상으로 증가시키지 않는 한, 얼지 않는다.

Intermolecular Forces

녹는점과 끓는점

- 일반적으로 분자간 힘이 강할 수록 더 높은 녹는점과 끓는점을 갖는다.

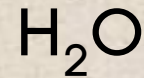
Section 14.3

Intermolecular Forces



개념 점검

분자간 힘이 더 강하게 형성될 수 있는 분자는 어느 것인가?



설명하라.

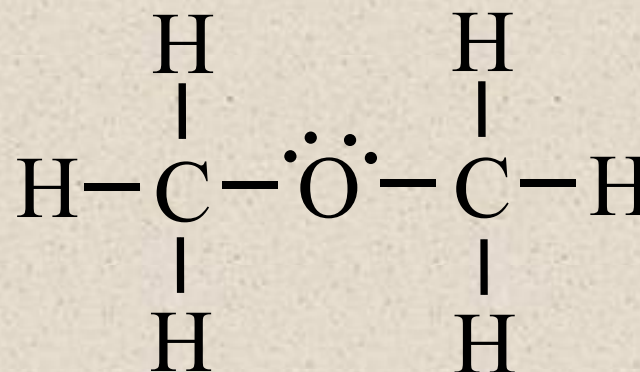
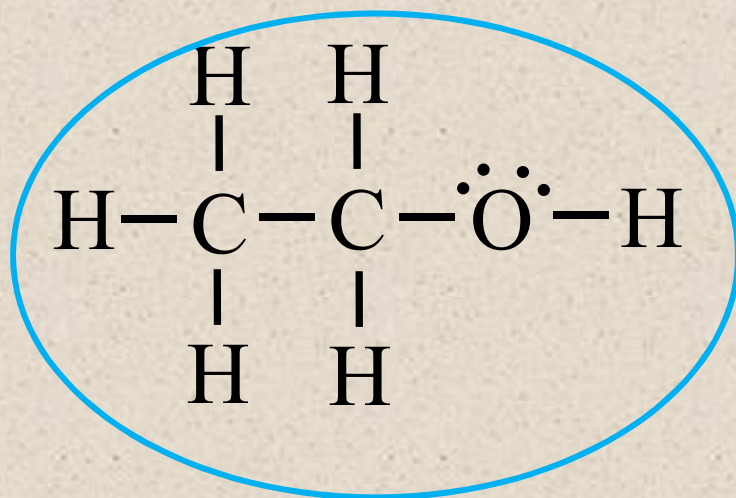
Section 14.3

Intermolecular Forces



개념 점검

C_2H_6O 분자식에 대한 2개의 루이스 구조가 있다.
두 분자 중 끓는점이 높은 것은?



[Return to TOC](#)

Section 14.3

Intermolecular Forces



개념 점검

다음 화합물에 대하여:



런던 분산력이 나타나는 화합물은 몇 개인가?

- a) 0
- b) 1
- c) 2
- d) 3

63. 다음의 각각에서 어느 물질이 가장 높은 끓는점을 갖는가?
이유를 설명하시오.

a. Ga, KBr, O₂

b. Hg, NaCl, He

c. H₂, O₂, H₂O

64. 다음 각각에서 어느 물질이 가장 낮은 녹는점을 갖는가? 이
유를 설명하시오.

a. H₂, N₂, O₂

b. Xe, NaCl, C (다이아몬드)

c. Cl₂, Br₂, I₂

Evaporation and Vapor Pressure

끓음 혹은 증발 Vaporization or Evaporation

- 액체 분자는 액체의 표면을 벗어나 기체를 형성한다.
- 흡열 반응— 액체 내에서 상대적으로 강한 분자간 힘을 극복하는데 요구되는 에너지.

Section 14.4

Evaporation and Vapor Pressure

증기압

- 액체는 처음에는 감소하다가 일정하게 된다.
- **응축** - 증기 분자가 액체로 변하는 과정.
- 반대 과정이 서로 정확히 균형을 이루어 더 이상의 변화를 볼 수 없을 때 - **평형**



[Return to TOC](#)

Evaporation and Vapor Pressure

증기압

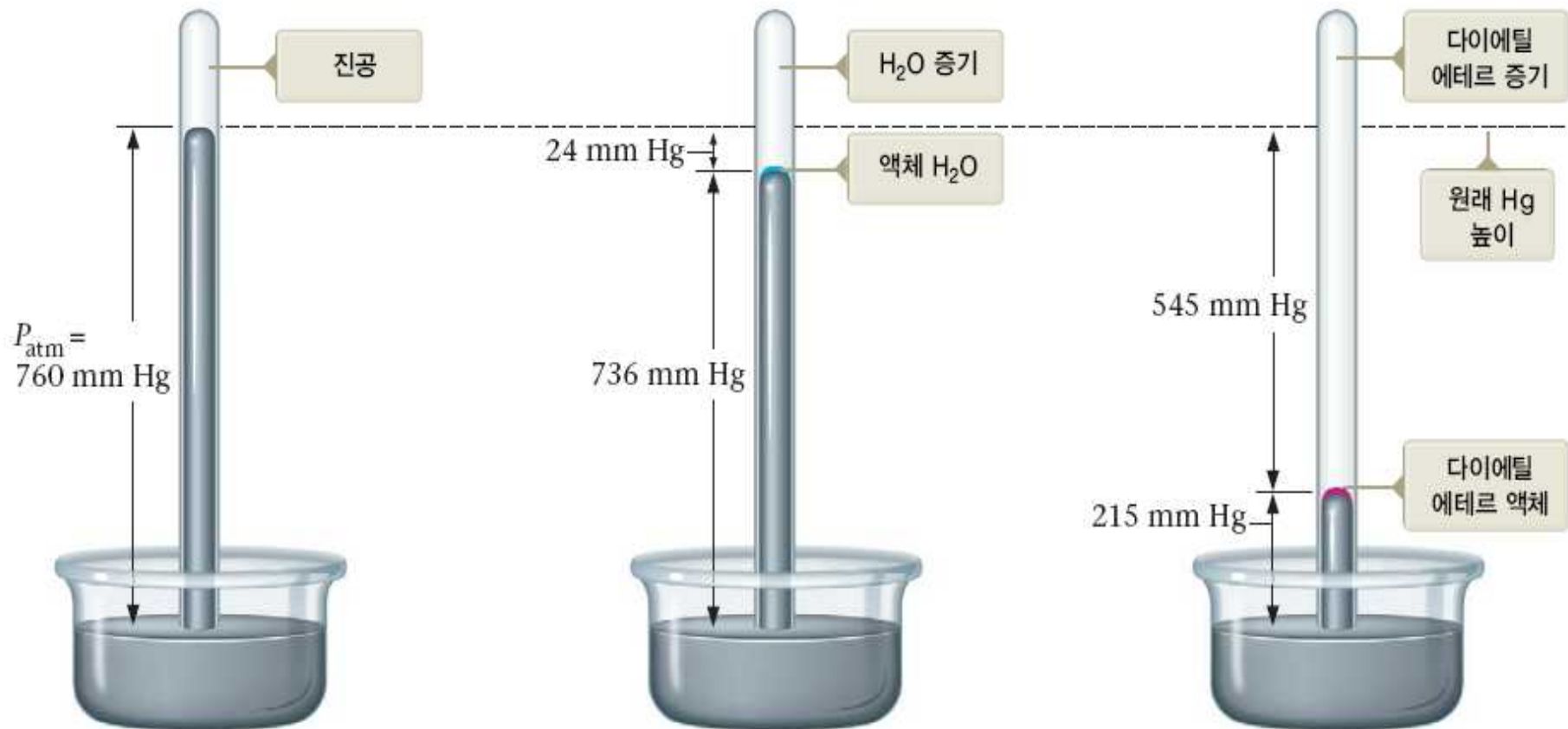
- 증기압은 평형에서 존재한다.
- 두 반대 과정이 정확히 평형을 이루기 때문에 액체나 증기의 양의 변화가 일어나지 않을 때 계는 평형에 있다.

Section 14.4

Evaporation and Vapor Pressure

증기압

- 분자간 힘이 **강한** 액체는 상대적으로 **낮은** 증기압을 갖는다.



예제 14.3

분자간 힘에 대한 지식을 이용하여 증기압 예측하기

일정한 온도에서 다음 각 쌍의 물질 중에서 어느 것이 더 큰 증기압을 갖는지를 예측하십시오.

- $\text{H}_2\text{O}(l)$, $\text{CH}_3\text{OH}(l)$
- $\text{CH}_3\text{OH}(l)$, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}(l)$

예제 14.3**분자간 힘에 대한 지식을 이용하여 증기압 예측하기**

일정한 온도에서 다음 각 쌍의 물질 중에서 어느 것이 더 큰 증기압을 갖는지를 예측하십시오.

- a. $\text{H}_2\text{O}(l)$, $\text{CH}_3\text{OH}(l)$
- b. $\text{CH}_3\text{OH}(l)$, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}(l)$

풀이

- a. 물은 두 개의 극성 O—H 결합들을 갖는데, 메탄올(CH_3OH)은 단지 한 개만을 갖는다. 그러므로 H_2O 분자들 사이의 수소 결합은 CH_3OH 분자들 사이의 수소 결합보다 훨씬 더 강할 것으로 예상된다. 따라서, 물이 메탄올보다 더 낮은 증기압을 나타낸다.
- b. 이 분자들은 모두 한 개의 극성인 O—H 결합을 가진다. 그러나 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ 이 CH_3OH 보다 훨씬 더 큰 분자이기 때문에, 훨씬 더 큰 London 힘을 갖게 되어서 액체로부터 분자 이탈이 보다 적어질 것이다. 따라서 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}(l)$ 이 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 보다 더 낮은 증기압을 갖는다. ■

Section 14.4

Evaporation and Vapor Pressure



개념 점검

실온에서 가장 높은 증기압을 가졌을 것이라고 예측되는 것은 어느 것 인가?

- a) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
- b) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$
- c) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
- d) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$

35. 다음 각 쌍에서 어느 물질이 덜 휘발성인가? 그 이유를 설명하시오.

a. $C_4H_{10}(l)$ 또는 $H_2O(l)$

b. $NH_3(l)$ 또는 $NH_2OH(l)$

c. $CH_3OH(l)$ 또는 $CH_4(l)$

36. 다음 각 쌍에서 어느 물질이 주어진 온도에서 가장 큰 증기 압을 나타낼 것으로 기대되는가? 그 이유를 설명하시오.

a. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 또는 $\text{HF}(l)$

b. $\text{CH}_3\text{OCH}_3(l)$ 또는 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(l)$

c. $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 또는 $\text{CH}_3\text{SH}(l)$