제4장 기 체

4.1 압력의 단위
4.2 Boyle의 법칙
4.3 Charles의 법칙
4.4 Boyle-Charles의 법칙
4.5 기체 상태방정식
4.6 기체분자 운동론
4.7 Dalton의 분압법칙
4.8 기체의 확산에 관한 Graham의 법칙

4.1 압력의 단위

- 기체의 압력은 수 억 개의 입자가 용기의 표면에 충돌하는 것

(1) 수은주(millimeters of mercury)

– 가장 오래된 압력의 단위 (mmHg)

– 1 mmHg는 수은 기둥 1 mm에 해당되는 부분을 지탱할 수 있는 대기압을 말함

– 수은 기압계는 대기압을 측정하는 장치

– 기둥의 높이는 대기압 변화 뿐만 아니라 시간, 장소에 따라서도 변함

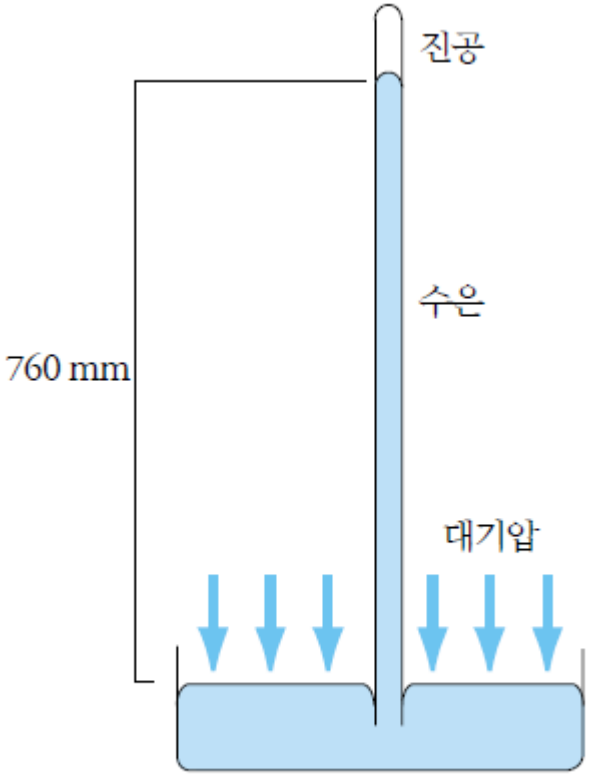


그림 4.1 수은기압계

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(2) 대기압(atmosphere)

- 표준 대기압은 해수면에서 0°C일 때 측정되는 평균 지구 대기압을 말함 $1\ \text{atm} = 760\ \text{mmHg}$
- STP(Standard Temperature Pressure, 표준온도, 압력)라 하는 조건은 0°C 1기압을 말함
- 영국에서 압력은 square inch 당의 pound(psi)로 계산

$$1\ \text{atm} = 14.7\ \text{psi}$$

(3) 토어(Torr)

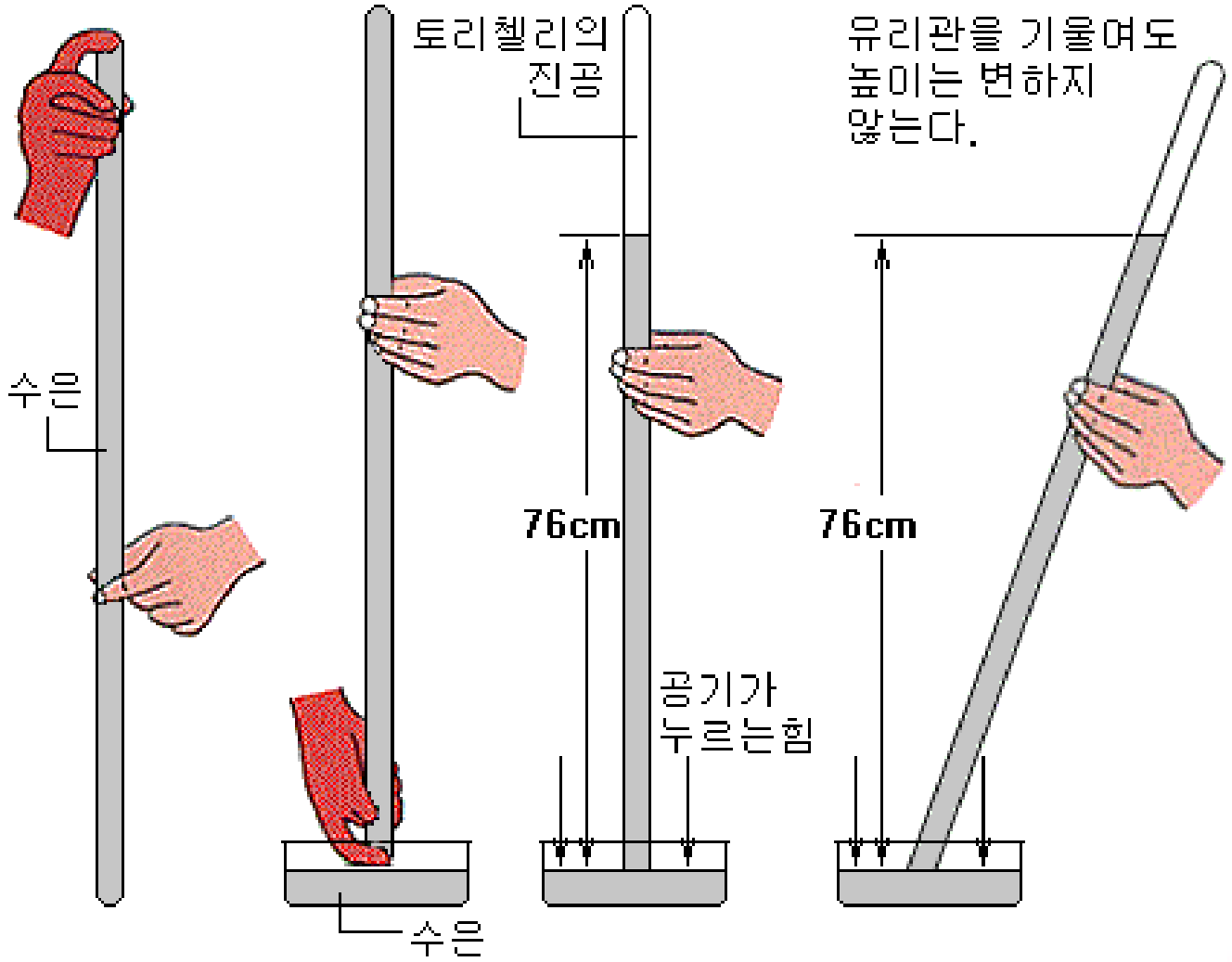
- Torr는 수은 기압계를 만든 17세기의 이탈리아 물리학자인 토리첼리를 기념해서 만든 압력의 단위

$$1\ \text{atm} = 760\ \text{torr},$$

$$1\ \text{torr} = 1\ \text{mmHg}$$

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

- 대기압 (atmospheric pressure)
  - 표준 대기압은 해수면에서 0°C 때 측정되는 평균 지구대기압
  - 1 atm = 760 mmHg = 수은주 760 mm를 올릴 수 있는 압력



〈토리첼리의 실험: 수은을 이용하여 기압을 정확히 측정〉

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

압력의 단위

수은주: mmHg, 1 mmHg 는 수은 기둥 1mm 에 해당되는 부분을 지탱할 수 있는 대기압

대기압 (Atmosphere)
- 표준 대기압은 해수면에서 0℃ 때 측정되는 평균 지구대기압
- 1 atm = 760 mmHg
- 1 atm = 14.7 psi (pounds per square inch)

Torr
- 1 torr = 1/760 atm
- 1 atm = 760 torr, 1 torr = 1 mmHg

Pascal
- 압력의 SI 단위 (Pa)
- 1 torr = 133.3 Pa

예제 2.45 atm은 몇 torr인가?

풀이 1 atm = 760 torr를 사용하면 된다. 즉

$$2.45\,\text{atm} \times \frac{760\,\text{torr}}{1\,\text{atm}} = 1862\,\text{torr}$$

4.2 Boyle(보일)의 법칙

- 압력과 부피 사이의 관계에 대한 법칙
- 온도가 일정할 경우, 기체의 부피와 압력은 반비례 함
- 부피감소 → 입자가 움직일 공간 부족 → 자주 부딪침 → 압력증가

$$V \propto \frac{1}{P}, \quad V = k\frac{1}{P} \quad \text{또는} \quad PV = k(\text{일정})$$

- $P_1V_1 = P_2V_2$ (초기압력 X 초기부피) = (나중 압력 X 나중 부피)

표 4.1 Boyle's law 데이터

압력(atm)	부피(ℓ)
8.0	0.50
4.0	1.0
2.0	2.0
1.0	4.0

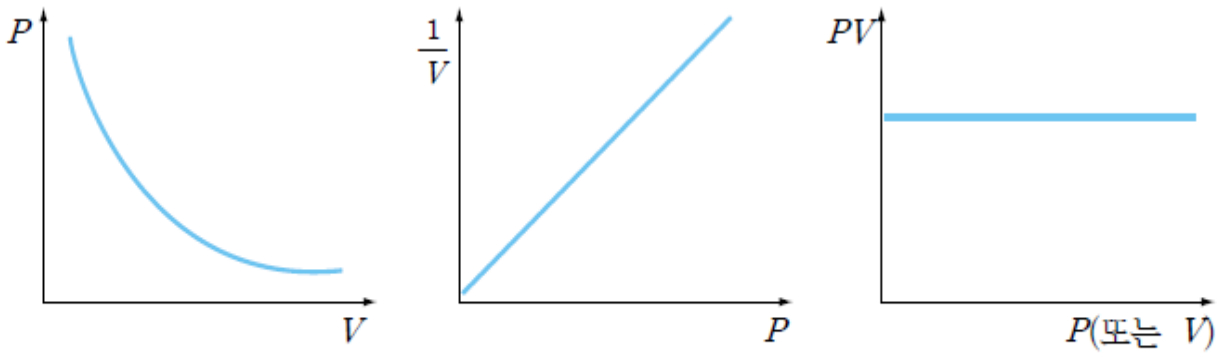
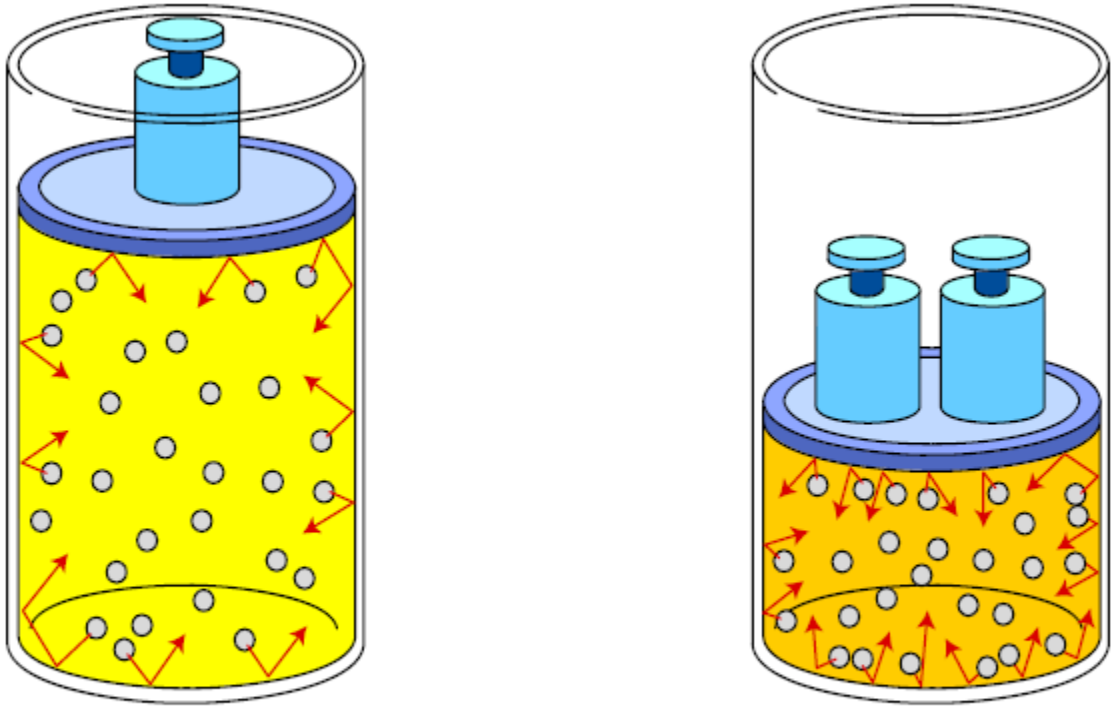


그림 4.2 Boyle의 법칙

부피가 줄은 만큼 압력이 커지므로 부피와 압력의 곱은 일정함



Boyle의 법칙에 의하면 기체의 부피가 감소하면 압력은 증가.

문제 4.2

25℃, 1 atm에서 4.0 ℓ의 산소를 같은 온도에서 380 mmHg인 곳에서 측정하면 부피는 몇 ℓ가 되겠는가?

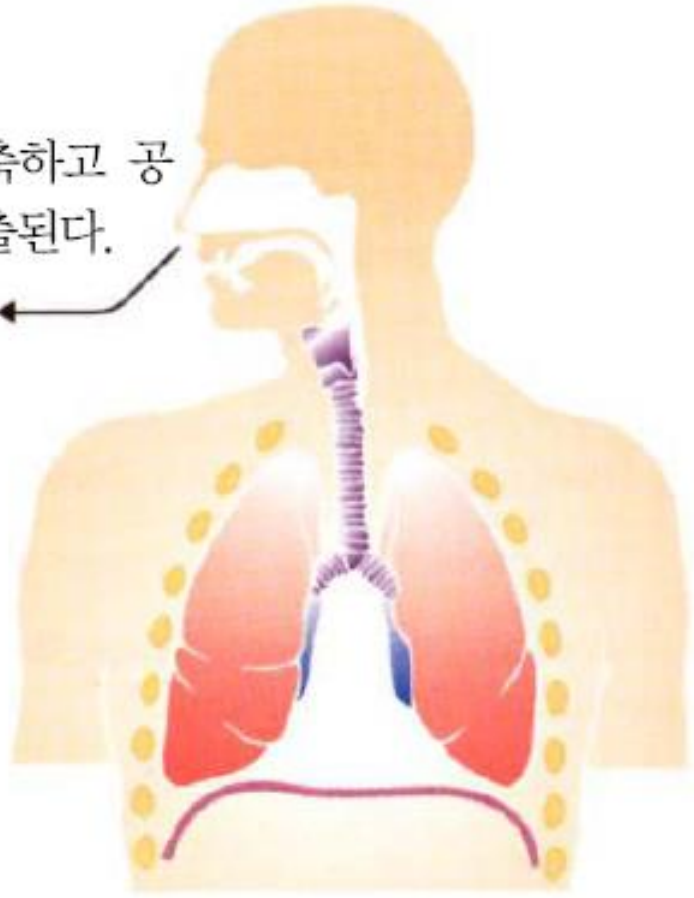
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

폐는 패창하고 공기가 내부로 들어간다.



횡격막 수축

폐는 수축하고 공기는 배출된다.



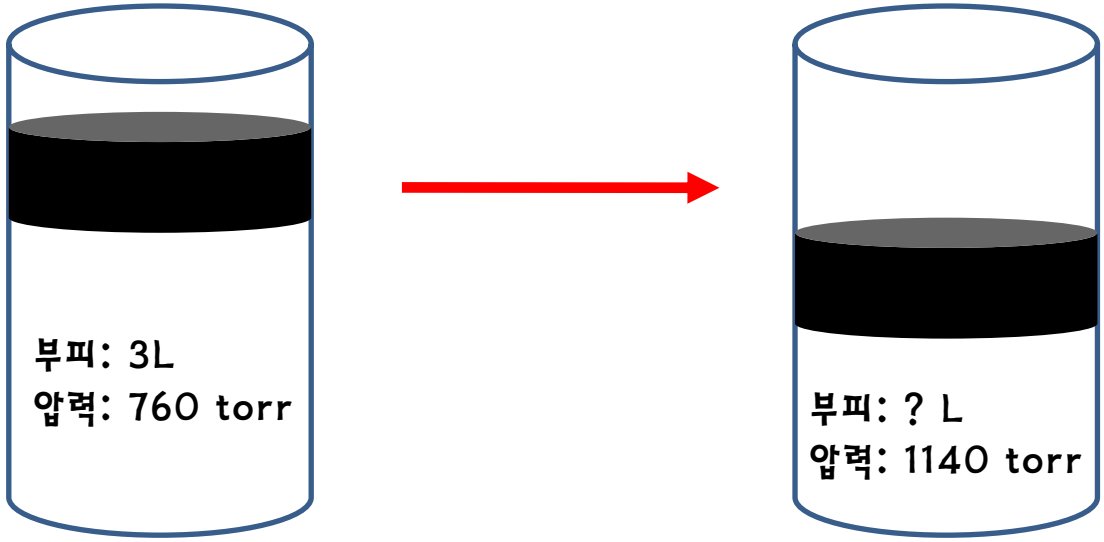
횡격막 이완

호흡은 Boyle의 법칙이 적용되는 예이다.

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

예제

움직일 수 있는 피스톤이 있는 실린더 내에 기체가 있다고 할 때, 기체의 부피는 3 L 이과 압력이 760 torr 이라면 온도는 일정하다고 가정할 때 압력이 1140 torr 로 증가하면 부피는 어떻게 되는가?



P1 = 760 torr　　V1 = 3 L
P2 = 1140 torr　　V2 = ?

보일의 법칙: 760 torr x 3 L = 1140 torr x V2

V2 = 760 torr x 3 L/1140 torr

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

4.3 Charles(샤를)의 법칙

- **부피**와 **온도** 사이의 관계에 대한 법칙
- 기체의 온도 증가 → 기체 입자의 운동 에너지 증가 → 압력 커짐 → 압력을 일정하게 유지하기 위해 용기의 부피 증가 시킴

$$V \propto T,\ V = kT\ , \qquad \frac{V}{T} = k(\text{일정})$$

- $V_1/T_1 = V_2/T_2$ (초기 부피/초기 온도) = (나중 부피/나중 온도)

  온도는 K(절대온도)

표 4.2 온도에 따른 부피의 변화

부피(ml)	섭씨온도(℃)	절대온도(K)
273	0	273
274	1	274
546	273	546
547	274	547

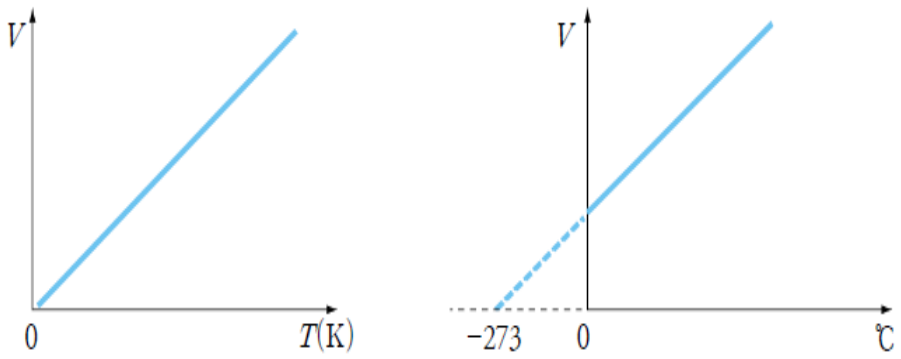
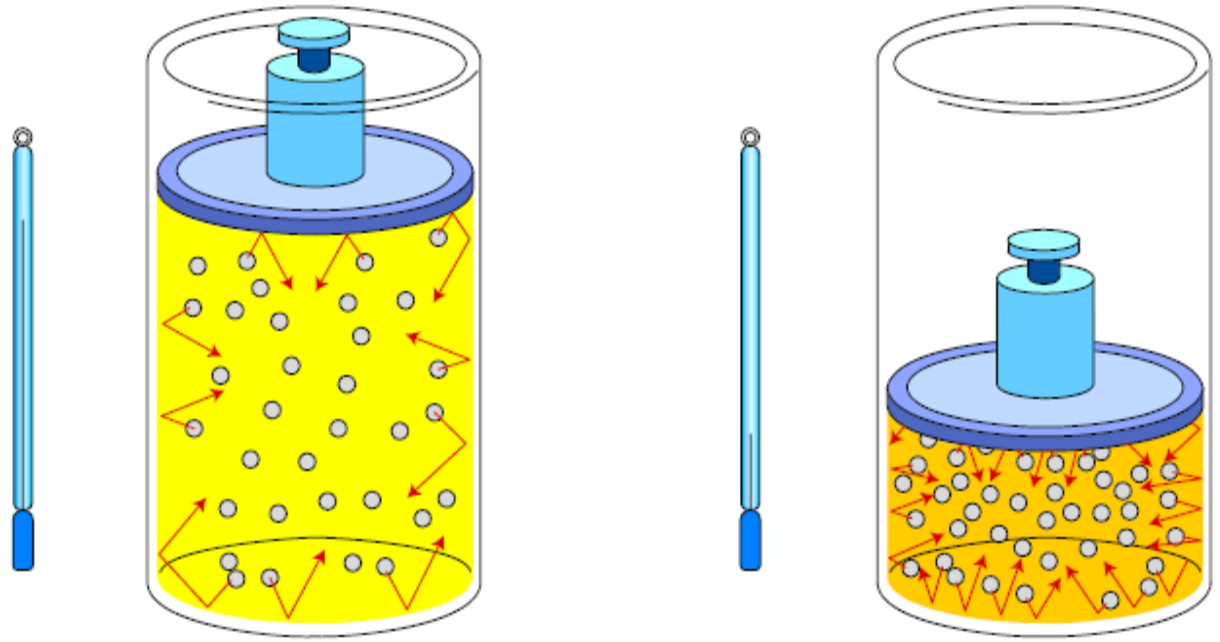


그림 4.3 Charles 법칙



Hot gas

Cold gas

Charles의 법칙에 의하면 기체의 온도가 증가하면 기체의 부피도 증가한다.

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

예제

27℃에서 기체가 2 L의 부피를 차지한다고 가정하자.

만약에 압력이 일정할 때 **부피**가 1.5 L로 줄어들면 기체의 **온도**는 어떻게 되는가?

샤를의 법칙에서 온도는 절대 온도이므로 섭씨를 절대온도로 바꾸어 주어야 함.

K = ℃ + 273, K = 300

2 L / 300 K = 1.5 L / ? K

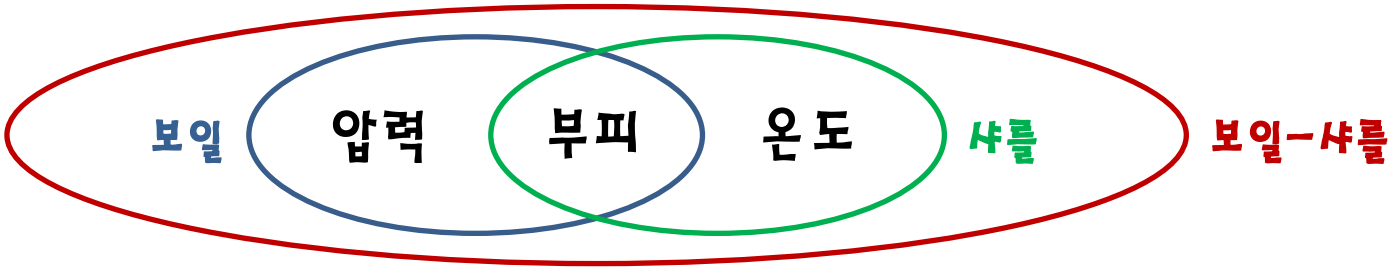
$$300\ K \times \frac{1.5L}{2L} = 225\ K$$

225 K = ℃ + 273 = −48 ℃

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

4.4 Boyle-Charles의 법칙

- 보일과 샤를 법칙의 종합 (일반 기체 법칙 General gas law)
- 압력, 온도, 부피가 주어졌을 때 일반적인 기체 운동을 법칙화 함



- 온도와 압력이 변할 때 일정 질량의 기체의 부피는 압력에 반비례하고 절대온도에 비례함

$$V = k\frac{T}{P}, \qquad PV = kT, \qquad \frac{PV}{T} = k(\text{일정}) \qquad \therefore \frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1}$$

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

표 4.3 기체에 관한 법칙

법 칙	뜻	식
Boyle's law	온도가 일정할 때 일정량의 기체가 차지하는 부피는 압력에 반비례한다.	$PV = P_1V_1$ $PV = K$(일정) $V \propto \frac{1}{P}$
Charle's law	압력이 일정할 때 기체의 부피는 절대온도에 비례한다.	$\frac{V}{T} = \frac{V_1}{T_1}$ $\frac{V}{T} = K$(일정) $V \propto T$
Boyle-Charle의 law	일정량의 기체의 부피는 절대온도에 비례하고, 압력에 반비례한다.	$\frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1}$ $\frac{PV}{T} = K$(일정)

예제 온도 27℃, 압력 400 mmHg에서 10 ℓ 의 기체는 표준상태에서의 부피는 얼마나 되겠는가?

풀이 $\frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1}$에 대입하면

$$\frac{400 \times 10}{273 + 27} = \frac{760 \times V_1}{273}$$

$$\therefore V_1 = \frac{4{,}000 \times 273}{300 \times 760} = 4.79\,\ell$$

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

4.5 기체 상태방정식

- Boyle-Charles의 법칙에 의하여 PV/T = k
- 모든 기체 1몰의 부피는 표준상태에서 22.4 ℓ
- 기체상수(gas constant) R의 값은

$$\frac{PV}{T} = mR$$

$$R = \frac{1\,\text{atm} \times 22.4\,\ell/\text{mol}}{273\,\text{K}} = 0.0821\,\ell\,.\,\text{atm/mol}\,.\,\text{K}$$

- 0°C, 1 atm에서 n몰의 기체는 $PV = nRT$
- 분자량 M인 기체 Wg의 몰수는

$$n = \frac{W}{M}RT$$

- 이들의 식을 기체 상태 방정식이라 하며, 기체의 분자량을 구할 때 이용

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

- 모든 온도, 압력조건하에서 Boyle-Charles의 법칙을 만족시키는 가상적인 기체를 이상기체(ideal gas)라 하며, 실제기체(real gas)는 분자간의 인력이 존재하므로 기체 상태방정식에는 맞지 않음

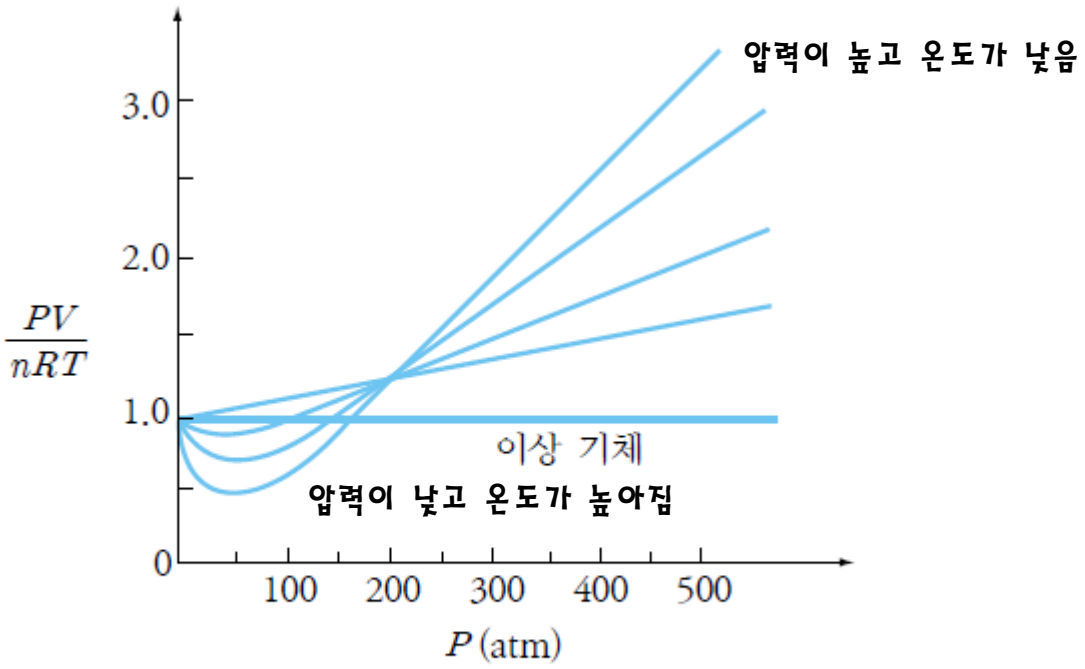


그림 4.5 이상기체의 상태 (질소)

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

예제 헬륨기체의 압력이 10.0 atm일 경우 25℃에서 50 ℓ 의 용기 속에는 몇 g의 헬륨이 들어 있는가?

풀이

$P = 10.0\,\text{atm},\ V = 50\,\ell,\ T = (25 + 273)\,\text{K},\ n = ?$

$PV = nRT$에서 $n = \dfrac{PV}{RT}$

$$n = \frac{10.0\text{atm} \times 50\ell}{0.0821\ell\cdot\text{atm/mol}\cdot\text{K} \times 298\,\text{K}} = 20.4\,\text{mol}$$

몰수를 질량으로 환산하면

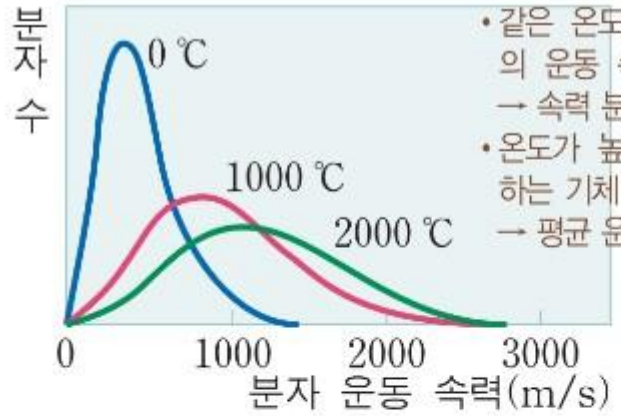
$$20.4\,\text{mol} \times \frac{4.0\,\text{g He}}{1\,\text{mol He}} = 81.6\,\text{g}$$

문제 4.4 0℃, 1 atm의 산소 5.6 ℓ 속에 들어있는 산소의 몰수는?

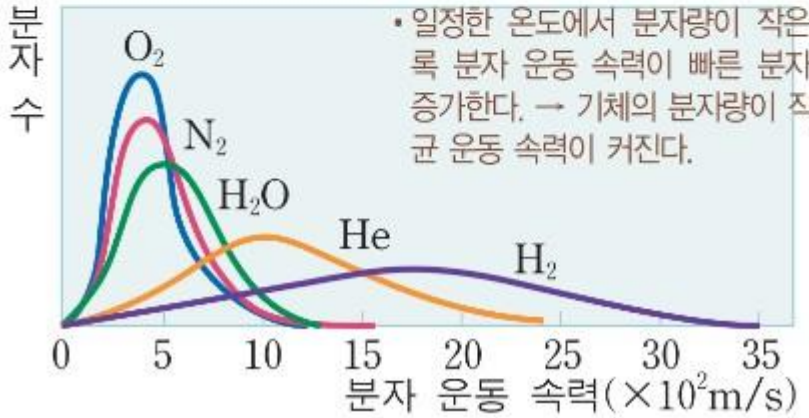
문제 4.5 어떤 화합물 0.60 g을 기화시킨 상태는 750 torr, 27℃에서 0.50 ℓ의 부피를 차지한다. 이 물질의 분자량을 계산하여라.

1 torr = 1/760 atm

4.6 기체분자 운동론



• 같은 온도에서도 기체 분자들의 운동 속력은 모두 다르다.
→ 속력 분포를 갖는다.
• 온도가 높을수록 빠르게 운동하는 기체 분자 수가 증가한다.
→ 평균 운동 속력이 증가한다.



• 일정한 온도에서 분자량이 작은 기체일수록 분자 운동 속력이 빠른 분자의 비율이 증가한다. → 기체의 분자량이 작을수록 평균 운동 속력이 커진다.

ZUM학습백과

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

4.7 Dalton의 분압법칙

- 기체의 분압(partial pressure): 기체 혼합물에서 기체의 압력은 각기 다른 가스의 압력의 합과 같음
- 일정 온도에서 기체의 압력을 결정하는 것 (기체 입자의 수에 의존)

$$P = P_A + P_B + P_C + \cdots \qquad P = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2 + P_3 V_3}{V}$$

예제 27℃에서 10.0 ℓ의 용기 속에 수소 0.40 g, 산소 16.0 g, 질소 14.0 g을 넣었다. 용기 내의 전체 압력은 몇 기압인가?

풀이 각 기체의 몰수를 질량으로부터 구한다.

H_2의 몰수 $= \frac{0.4\,\text{g}}{2.0\,\text{g}} = 0.2\,\text{mol}$

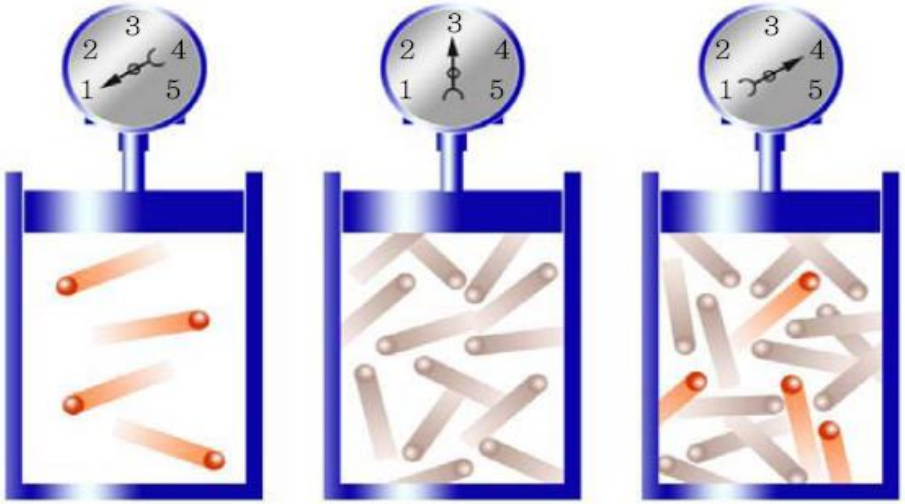
O_2의 몰수 $= \frac{16.0\,\text{g}}{32.0\,\text{g}} = 0.50\,\text{mol}$

N_2의 몰수 $= \frac{14.0\,\text{g}}{28.0\,\text{g}} = 0.50\,\text{mol}$

기체 전체의 몰수는 1.20 mol이면 전체압력은

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{1.20 \times 0.0821 \times (27 + 273)}{10.0} = 2.96\,\text{atm}$$

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY



Dalton의 법칙에 의하면 용기내의 총 압력은 용기에 포함된 각 기체의 분압의 합과 같다.

문제 4.6 질소 0.8몰과 산소 0.2몰이 혼합된 공기의 전체 압력이 760 mmHg이다. 각 기체의 부분 압력을 구하여라.

문제 4.7 2기압의 수소 2 ℓ와 3기압의 산소 3 ℓ를 5 ℓ의 용기에 넣었다면 전체압력은 몇 기압인가?

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

4.8 기체의 확산에 관한 Graham의 법칙

- 유출: 기체가 작은 구멍을 통해서 압력이 낮은 곳으로 움직이는 것
- 온도와 압력이 일정할 경우 기체는 각기 다른 유출 속도를 가짐
- 가벼운 기체가 무거운 기체보다 더 빨리 유출됨

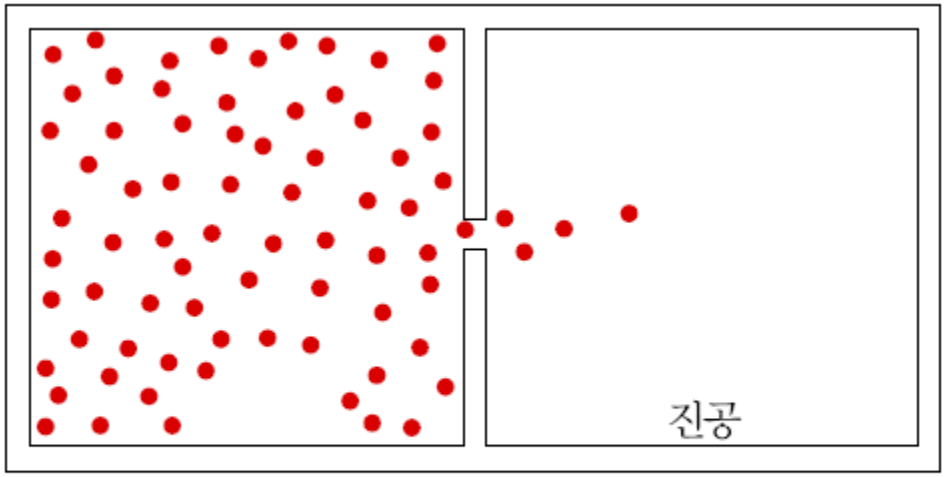
온도와 압력이 일정할 때 기체 A와 B의 확산속도를 V_A, V_B라 하고 밀도를 d_A, d_B 분출속도를 ν_1, ν_2라 하면 다음 관계가 성립한다.

$$\frac{V_A}{V_B} = \sqrt{\frac{d_B}{d_A}} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$$

온도와 밀도가 일정할 때 두 기체의 분출속도는 분자량의 제곱근에 반비례한다.

$$\frac{V_A}{V_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$$

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY



유출은 기체가 작은 구멍을 통해서 압력이 낮은 곳으로 움직이는 것이다.

예제 같은 온도와 압력에서 메탄기체와 이산화황 기체의 확산속도비를 구하여라.

풀이 CH_4의 분자량 16, SO_2의 분자량 64

$$\frac{\nu_1 CH_4}{\nu_2 SO_2} = \sqrt{\frac{64}{16}} = \sqrt{\frac{4}{1}} = \frac{2}{1}$$

$$\therefore \nu_1 CH_4 : \nu_2 SO_2 = 2 : 1$$

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

제5장 액체와 고체

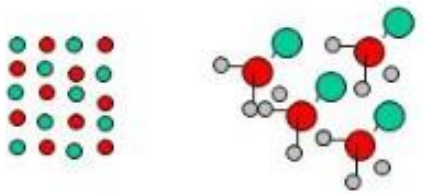
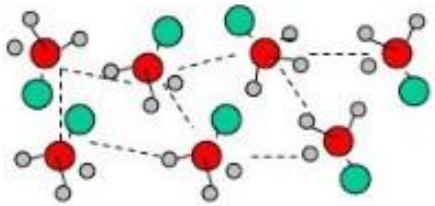
5.1 액체의 성질
5.2 액체의 증발과 증기압
5.3 임계온도와 임계압력
5.4 고체와 성질
5.5 결정의 구조
5.6 고체의 형태



물질의 세 가지 상태. 물은 고체, 액체, 기체로 존재한다.

중원대학교
JUNGWON UNIVERSITY

분자 운동

고체 (solid)		분자운동에너지 << 분자간 인력에너지	• Definite volume and shape • High density • Incompressible • Vibrate about fixed position
액체 (liquid)		분자운동에너지 ≈ 분자간 인력에너지	• Assumes the shape of container with definite volume • High density • Slightly compressive • Slide past one another freely
기체 (gas)		분자운동에너지 >> 분자간 인력에너지	• Assumes the shape of container with indefinite volume • Low density • Very compressible • Free motion

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

5.1 액체의 성질

- 기체의 온도가 낮아지면 분자의 평균속력이 느려지고, 기체의 압력이 커지면 기체 분자들 사이의 평균거리가 가까워져 일정한 부피를 가진 액체 상태로 됨
- 기체가 액체로 되는 과정을 **액화** 혹은 **응축**이라 함
- 증발: 액체 표면에서 에너지가 많은 입자가 떨어져 나가는 것. 에너지가 많은 입자가 없어지므로 남아있는 입자들의 에너지는 낮아짐. 냉각됨

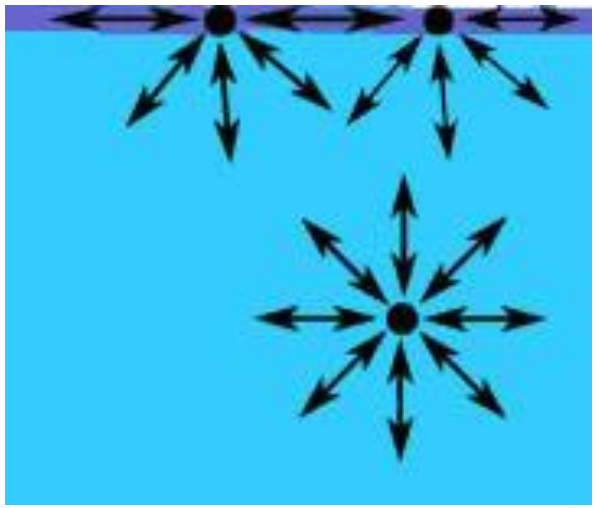
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(1) 표면장력

– 액체상태의 분자들이 서로 끌어당기기 때문에 발생하는 힘

– 액체중의 분자는 이웃하는 분자들에 의해 균등하게 당겨지는 힘이 발생

– 모든 방향으로 같은 크기의 힘이 작용하고 있으므로 합력은 0임



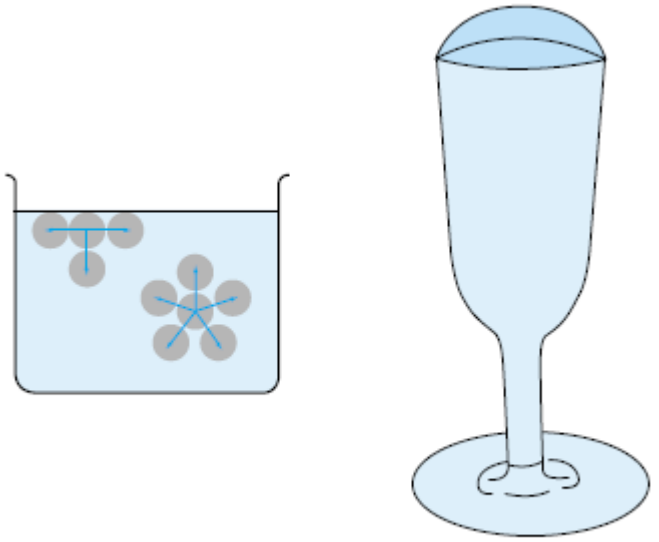


그림 5.1 표면장력이 생기는 원인

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(2) 점도

– 가해준 응력 (stress) 하에서 계의 흐름에 대한 저항. 얼마나 쉽게 액체가 흐르는지에 대한 성질을 나타냄

– 점도는 분자의 크기, 형태 및 화학적 성질에 의존함

– 분자 간 힘이 클수록 점도가 크며 같은 형태의 화합물에서는 분자량이 클수록 점도가 큼

(3) 기화

– 물질의 상태가 액체에서 기체로 변하는 현상

– 증발은 기화하는 현상

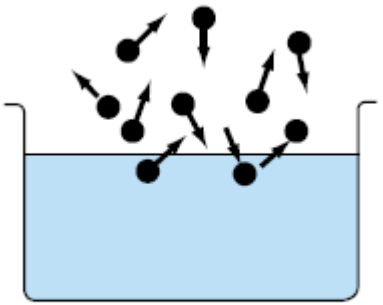
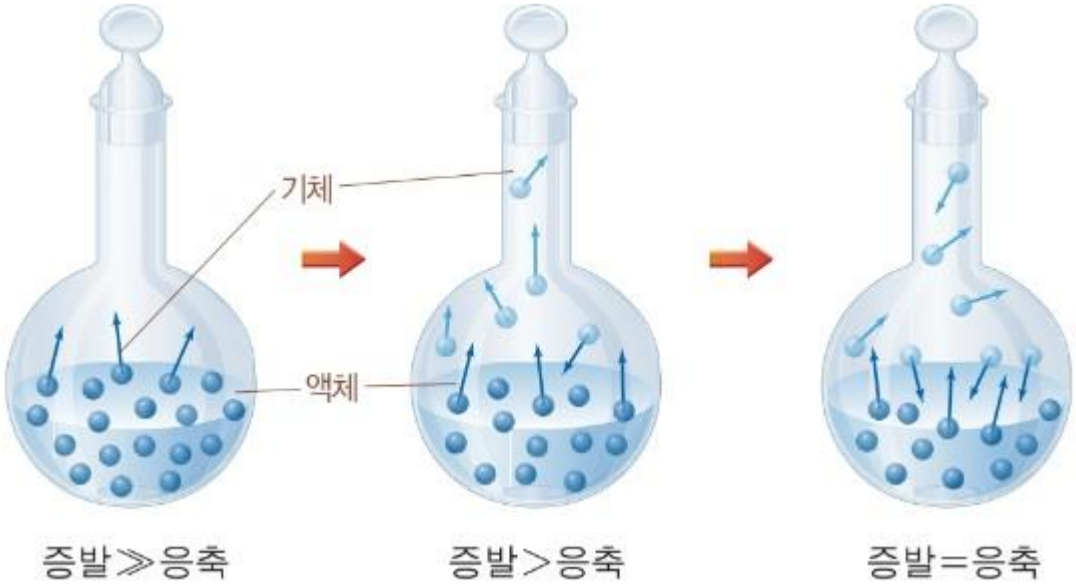


그림 5.2 액체의 기화

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

5.2 액체의 증발과 증기압



평형상태(equilibrium state)

액체와 기체가 평형을 이루고 있는 상태에서 기체가 나타내는 압력을
포화증기압(saturated vapor pressure) 또는 증기압(vapor pressure)

ZUM 학습백과

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

표 5.1 여러 가지 온도에서 각 물질의 증기압

물질	0℃	30℃	50℃	70℃	90℃	100℃
H_2O	4.6	31.8	92.5	233.7	525.8	760.0
에탄올 C_2H_5OH	12.2	78.8	222.2	542.5	1,187.1	1,693.3
에터 $(C_2H_5)_2O$	185.3	647.3	1,276.8	2,296.0	3,841.0	4,859.4

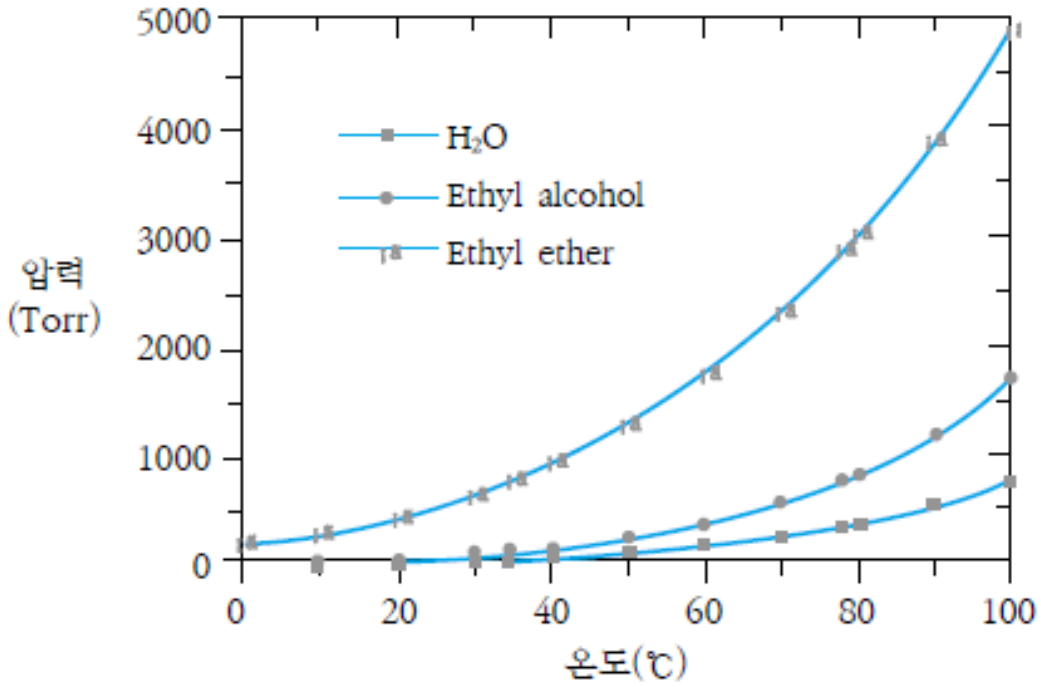


그림 5.4 물질의 증기압 곡선

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

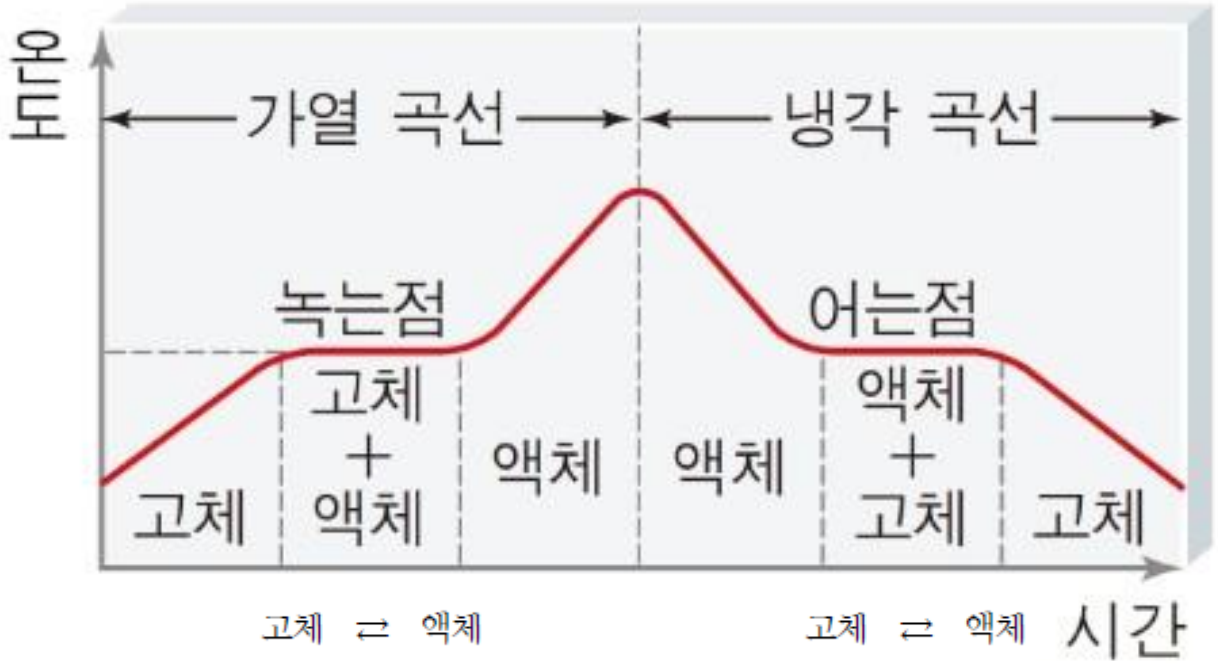
- 끓는점(boiling point): 액체의 증기압이 대기압과 동일해지는 온도
- 액체의 온도가 증가하면 증기압은 증가함
- 대기압은 변화될 수 있으므로 액체의 끓는점도 변함
- 1 기압하에서의 물의 끓는점은 100°C

  0.83 기압하에서는 물의 끓는점은 95°C
- 표준 끓는점이란 1기압하에서의 끓는점을 말함
- 끓는점에서 1g의 액체를 증발시키는데 필요한 열량을 증발열(heat of vaporization) 이라 함

  – 몰 증발열(molar heat of vaporization): 끓는점에서 1 mol의 액체가 완전히 증발하여 같은 온도의 기체로 되는데 필요한 열량







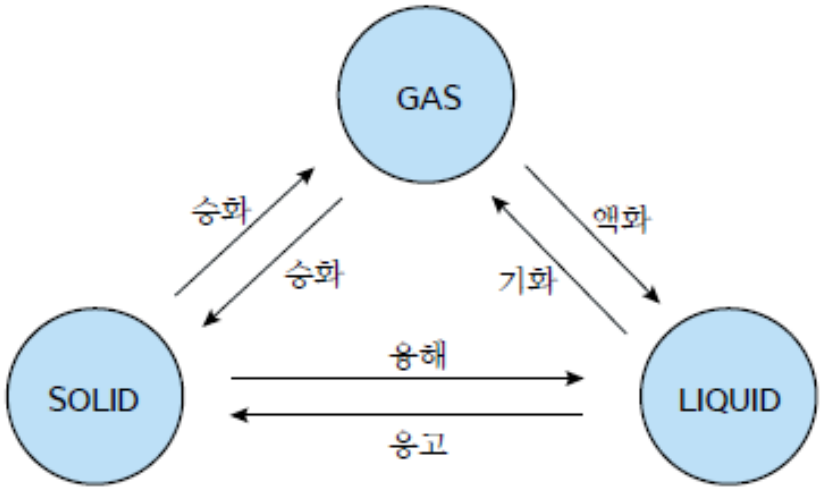


그림 5.5 물질의 세가지 상태

ZUM 학습백과
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

5.3 임계온도와 임계압력

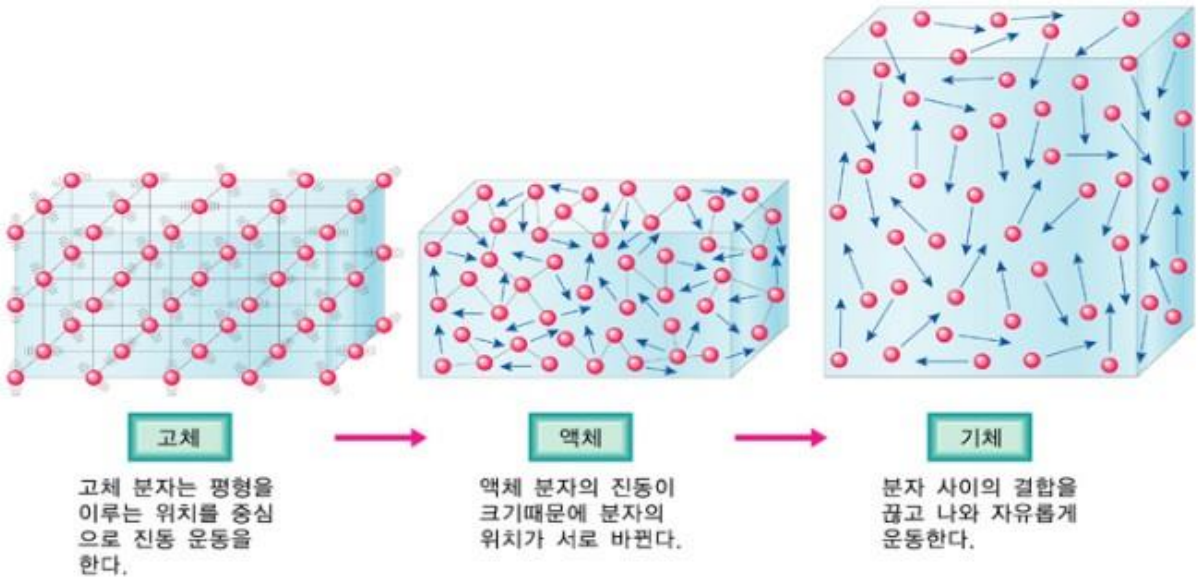
- 상온에서는 분자의 운동에너지가 커서 상호 간의 인력이 작아져서 액화가 잘 일어나지 못함
- 어느 온도 이하에서만 액화가 일어나며, 이때 액화가 일어날 수 있는 가장 높은 온도를 **임계온도(critical temperature)**라고 함
- 임계온도에서 기체를 액화시키는데 필요한 최소의 압력을 **임계압력(critical pressure)**이라고 함
- 임계온도 이상에서는 높은 압력을 가해도 액화가 일어나지 않음

  (NH_3 132°C, CO_2 31°C, O_2 −119°C)

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

5.4 고체의 성질

- 액체가 냉각되면서 열을 발산하면 고체가 됨
- 고체에서는 입자가 고정되어 있어서 그들의 움직임은 제한적인 진동만 있게 됨
- 입자의 제한적 운동으로 인하여 고체는 고정된 형태와 일정한 부피를 갖음



중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

- 고체는 결정이거나 비결정

표 5.2 결정고체와 무정형고체의 특성

고체의 종류	특 성	예
결 정	형태가 규칙적, 깨어지면 규칙적인 면이 생김, 일정한 온도에서 녹음	염화나트륨, 설탕, 금속
비 결 정	비결정성이며 형태가 불규칙적, 가열하면 넓은 온도 범위에서 녹는다.	아스팔트, 파라핀, 유리 등

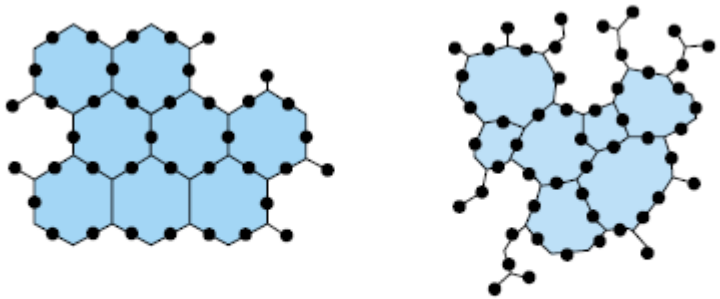


그림 5.6 (a) 결정성 이산화규소와 (b) 유리에서의 이산화규소의 배열 비교

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

5.5 결정의 구조

- 결정: 원자의 배열이 공간적으로 반복된 패턴을 가지는 물질
- 결정 격자(crystal lattice): 일정한 규칙으로 바르게 배열되어 있는 결정을 구성하는 원자들을 연결하여 생기는 3차원 격자
  - 결정 격자에서 반복되는 가장 간단한 기본단위를 단위세포(unit cell)라고 함

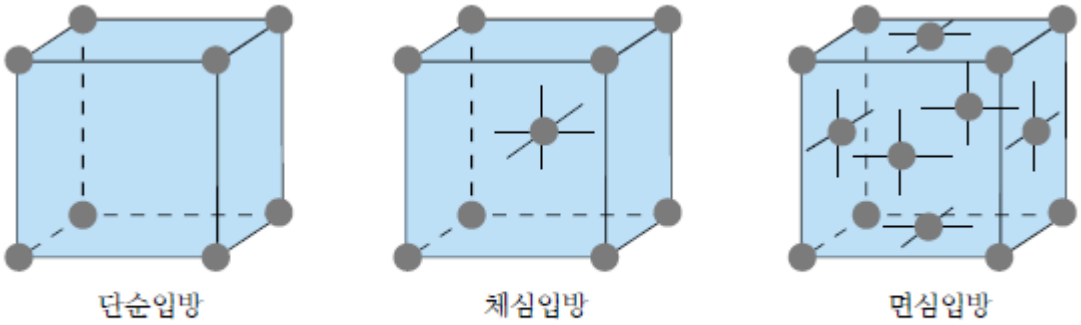
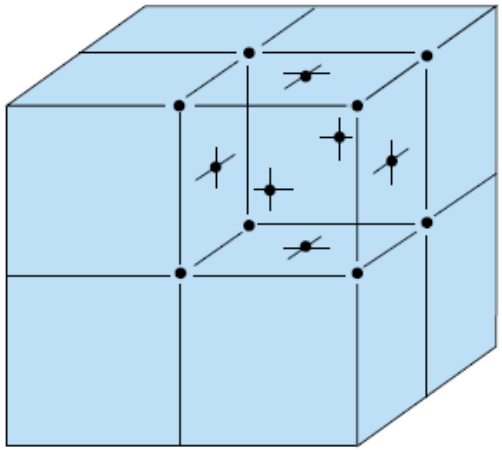


그림 5.7 입방 단위세포



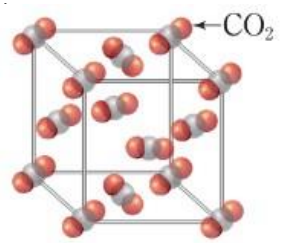
이 그림은 어떻게 단위세포가 격자를 이루는가를 나타내었다.

그림 5.8 면심 입방으로 이루어진 격자

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

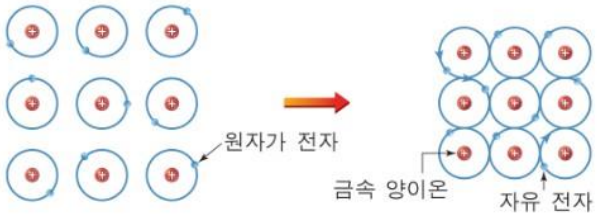
5.6 고체의 형태

(1) 분 자 성 고 체 (molecular solids): 분자 간의 힘에 의하여 분자가 고체를 이룬 것 (고체네온, 얼음, 드라이아이스

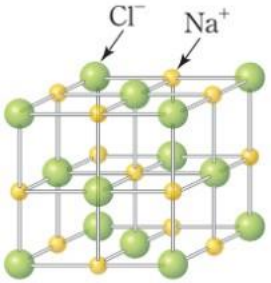


드라이아이스(CO_2)

(2) 금속성 고체(metalic solids): 금속결합에 의하여 이루어짐 (철, 구리, 은)

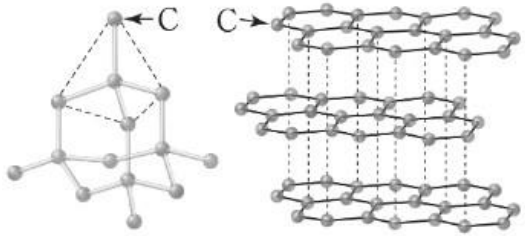


(3) 이온성 고체(ionic solids): 서로 반대전하를 띤 양이온과 음이온의 전기적 인력에 의하여 이루어짐 (염화세슘, 염화나트륨, 염화아연)



염화 나트륨 결정

(4) 공유성 고체(covalent network solids): 공유결합에 의해 커다란 망상이나 사슬과 같이 결합하고 있음



다이아몬드(C) 흑연(C)

ZUM 학습백과