

# Chapter 7

## 기 체

7.1 기체

7.2 기체의 압력

7.3 기체의 법칙

7.4 이상 기체 방정식

7.5 기체의 화학량론

7.6 돌턴의 부분 압력 법칙

7.7 기체의 분자 운동론

7.8 실제 기체의 성질



## 7.1 기 체

대부분 물질의 기본적인 물리적 상태 – 고체(solid), 액체(liquid), 기체(gas)

기 체 – 1. 분자간 평균 거리가 멀다.

2. 매우 무질서한 분자운동

3. 약한 분자간 인력

4. 온도, 압력 변화에 따른 팽창과 수축

# 7.1 기 체

족 주기	1	2																18
1	1 H 수소																	2 He 헬륨
2	3 Li 리튬	4 Be 베릴륨											5 B 붕소	6 C 탄소	7 N 질소	8 O 산소	9 F 플루오린	10 Ne 네온
3	11 Na 나트륨	12 Mg 마그네슘											13 Al 알루미늄	14 Si 규소	15 P 인	16 S 황	17 Cl 염소	18 Ar 아르곤
4	19 K 칼륨	20 Ca 칼슘	21 Sc 스칸듐	22 Ti 타이타늄	23 V 바나듐	24 Cr 크로뮴	25 Mn 망가니즈	26 Fe 철	27 Co 코발트	28 Ni 니켈	29 Cu 구리	30 Zn 아연	31 Ga 갈륨	32 Ge 저마늄	33 As 비소	34 Se 셀레늄	35 Br 브로민	36 Kr 크립톤
5	37 Rb 루비듐	38 Sr 스트론튬	39 Y 이트륨	40 Zr 지르코늄	41 Nb 나이오븀	42 Mo 몰리브덴	43 Tc 테크네튬	44 Ru 루테튬	45 Rh 로듐	46 Pd 팔라듐	47 Ag 은	48 Cd 카드뮴	49 In 인듐	50 Sn 주석	51 Sb 안티모니	52 Te 텔루륨	53 I 아이오딘	54 Xe 제논
6	55 Cs 세슘	56 Ba 바륨	57 La* 란타넘	72 Hf 하프늄	73 Ta 탄탈럼	74 W 텅스텐	75 Re 레늄	76 Os 오스뮴	77 Ir 이리듐	78 Pt 백금	79 Au 금	80 Hg 수은	81 Tl 탈륨	82 Pb 납	83 Bi 비스무트	84 Po 폴로늄	85 At 아스타틴	86 Rn 라돈
7	87 Fr 프랑슘	88 Ra 라듐	89 Ac** 악티늄	104 Rf 러더포듐	105 Db 더브늄	106 Sg 시보귀	107 Bh 보륨	108 Hs 하슘	109 Mt 마이트너뮴	110 Ds 다름슈타뮴	111 Rg 뢴트게뮴	112 Cn 코페르니슘	113 Nh 니호뮴	114 Fl 플레로븀	115 Mc 모스코븀	116 Lv 리버모륨	117 Ts 테네신	118 Og 오가네손

원자 번호 — 1  
H — 원소 기호  
수소 — 원소 이름

그림 7.1 주기율표 비활성 기체(18족)는 단원자 분자이다. 25 °C 1 atm에서 푸른색 원소들은 이원자 분자 상태인 기체로 존재한다.

단원자 기체 분자 – 18족 비활성 기체 ( He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn )

# 7.1 기 체

- 기체는 담는 용기에 따라 그 형태를 가지는 모양으로 나타낸다.
- 기체들은 같은 용기에 담겨 있을 때 완전히 균일하게 혼합된다.
- 기체는 가장 잘 압축될 수 있는 물질이다.
- 기체는 자유로운 분자 운동으로 인하여 액체와 고체보다 밀도가 훨씬 낮다.

표 7.2 대기압하에서의 기체의 밀도

기체	밀도(g/L)	기체	밀도(g/L)
수소	0.08987	공기	1.297
헬륨	0.179	산소	1.429
질소	1.256	아르곤	1.783
일산화 탄소	1.256	이산화 탄소	1.965

## 기체의 밀도

고체와 액체와는 달리 기체는 무게나 밀도를 측정하기에 그 값이 상당히 작고, 측정하기 쉽지 않아 압력, 부피, 온도를 주로 측정하여 관찰한다. 수용액의 밀도는 단위로 g/mL를 주로 사용하지만, 질량이 상대적으로 매우 작은 기체의 밀도 단위는 g/L를 사용한다.

# 압력 (Pressure)

압력의 단위

$$\text{속도} = \frac{\text{이동 거리}}{\text{경과 시간}}$$

$$\text{가속도} = \frac{\text{속도 변화}}{\text{경과 시간}}$$

$$\text{힘} = \text{질량} \times \text{가속도}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$$

$$\text{압력} = \frac{\text{힘}}{\text{면적}}$$

$$P = \frac{F}{A}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Pressure} = \frac{\text{Force}}{\text{Area}}$$

$$\text{Pascal (Pa)} = \text{N/m}^2$$

1 Pa :

0.1 mm 두께의 물층에 의해  
느껴지는 압력

$$1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

# 압력 측정 → 대기압측정 : 기압계 (barometer)

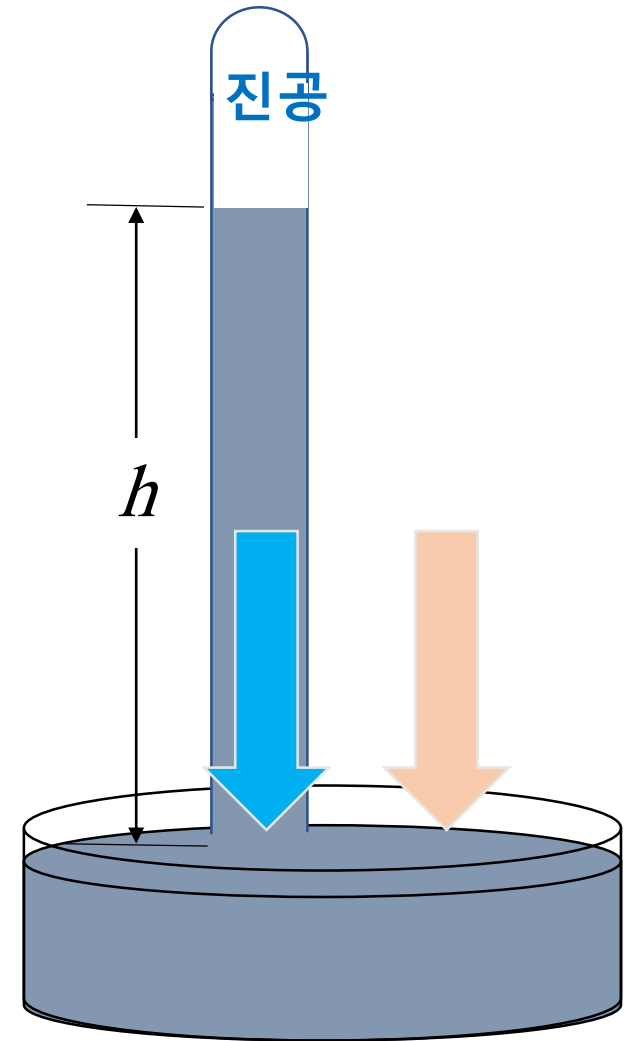
$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ torr}$$

$$1 \text{ pascal (Pa)} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ Pa}$$

## 대기압

대기압 1 atm은 해수면 단위 면적당,  
즉 1 m<sup>2</sup>당 가해지는 중력이다.



## 7.1 기 체

표준 대기압(**standard atmospheric pressure, 1 atm**)

- 섭씨 0 도의 해수면에서 정확히 760 mm 수은(Hg) 기둥을 지지하는 압력

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

$$\begin{aligned} 1 \text{ 대기압(atm)} &= 760 \text{ mmHg (76 cm Hg)} \\ &= 760 \text{ torr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 대기압(atm)} &= 101325 \text{ Pa} \\ &= 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa} \\ &= 1.01325 \times 10^2 \text{ kPa (1000 Pa = 1 kPa, kilopascal)} \end{aligned}$$

## 부피 일정

온도 up

물 → 수증기 (기체)

기체 분자 개수 up

기체의 용기 벽 충돌 up

압력 up

물이 모두 기체로 된 후

기체 분자 운동 up

압력 up



# The Gas Law

Pressure

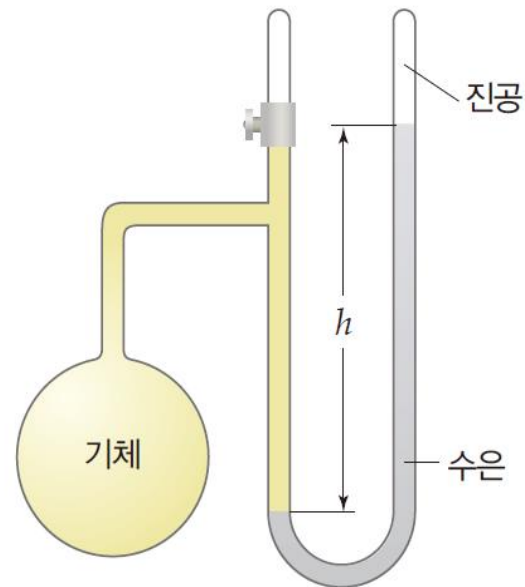
Temperature

Volume

Number of gas molecules

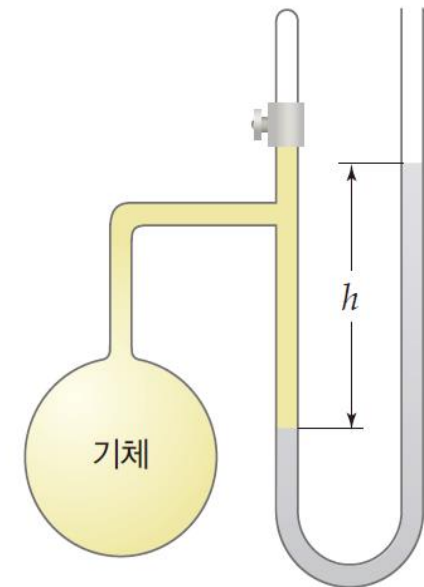
## 7.2 기체의 압력

압력계(manometer) 특정 용기 속에 담겨 있는 특정 기체의 압력을 측정하는 장치



$$P_{\text{기체}} = P_h$$

(a)



$$P_{\text{기체}} = P_h + P_{\text{대기압}}$$

(b)

**그림 7.3** (a) 대기압보다 낮은 기체 압력 (b) 대기압보다 높은 기체 압력을 측정하는 두 종류의 수은 압력계

## 7.2 기체의 압력

### 예제 7.1

에베레스트산 정상에서의 압력은 약 250 mmHg로 대기압보다 매우 낮아 적은 산소 분압으로 인하여 등산인들에게 호흡 곤란 상태가 발생한다. 에베레스트산 정상에서의 압력은 몇 atm인가?

풀이

압력 단위 관계를 파악한다. 대기압 1 atm은 수은으로 측정할 경우 수은의 높이가 76 cm로 나타나는 760 mmHg이다.

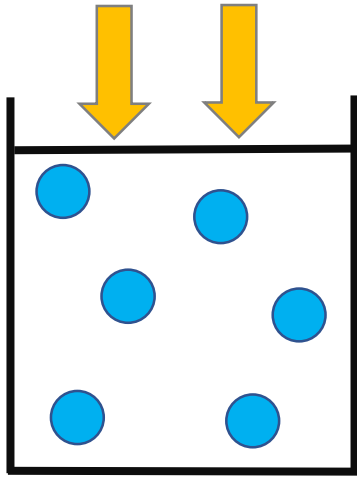
$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

$$\text{에베레스트산의 정상 압력} = 250 \cancel{\text{ mmHg}} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \cancel{\text{ mmHg}}} = 0.329 \text{ atm}$$

# Boyle's Law (at constant Temperature)

$$PV = k \text{ (상수)}$$

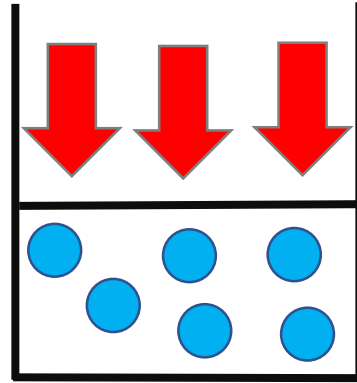
$$P \propto \frac{1}{V}$$



(a)

$P \rightarrow$  small

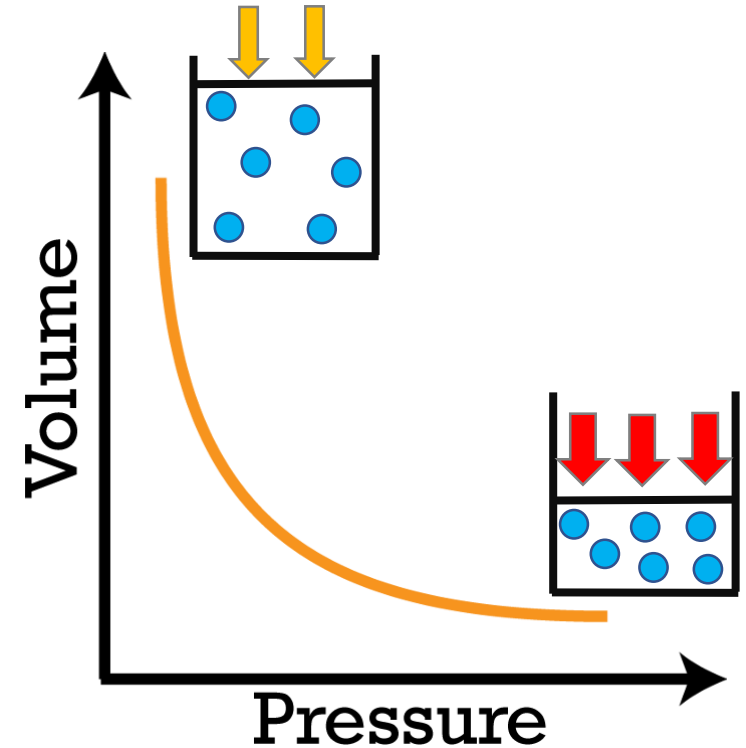
$V \rightarrow$  **BIG**



(b)

$P \rightarrow$  **BIG**

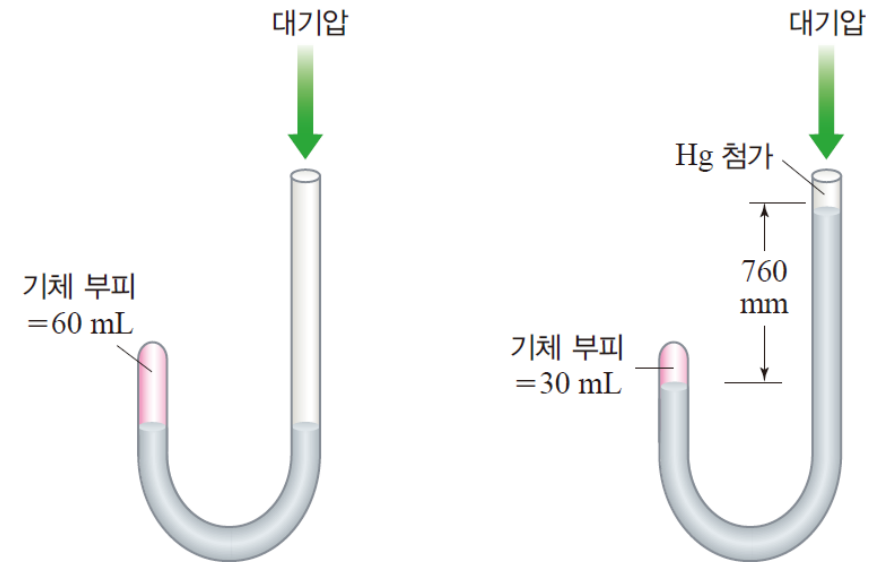
$V \rightarrow$  small



## 7.3 기체의 법칙

### 보일 법칙: 압력-부피 관계식

**그림 7.4** 기체의 압력과 부피와의 관계를 파악하기 위한 압력계 장치 대기압 상태(1 atm)에서 수은을 첨가하여 기체의 압력을 두 배로 증가시키면, 기체의 부피는 반으로 감소한다.



## 7.3 기체의 법칙

$$PV = k_1$$

(7.1)

그림 7.5 보일 법칙 일정 온도에서 기체의 부피 증가 및 감소

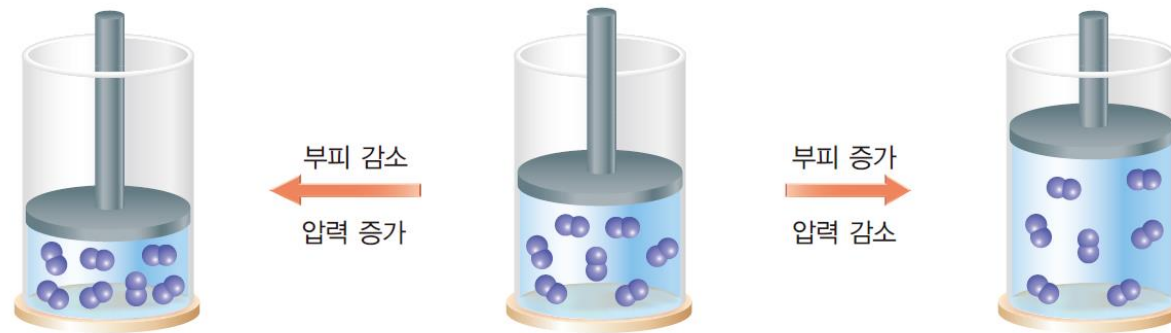


표 7.3 보일 법칙에 의한 압력-부피 관계

$P(\text{mmHg})$	724	869	951	998	1230	1893	2250
$V(\text{임의의 단위})$	1.50	1.33	1.22	1.18	0.94	0.61	0.58
$PV$	$1.09 \times 10^3$	$1.16 \times 10^3$	$1.16 \times 10^3$	$1.18 \times 10^3$	$1.2 \times 10^3$	$1.2 \times 10^3$	$1.3 \times 10^3$

## 7.3 기체의 법칙

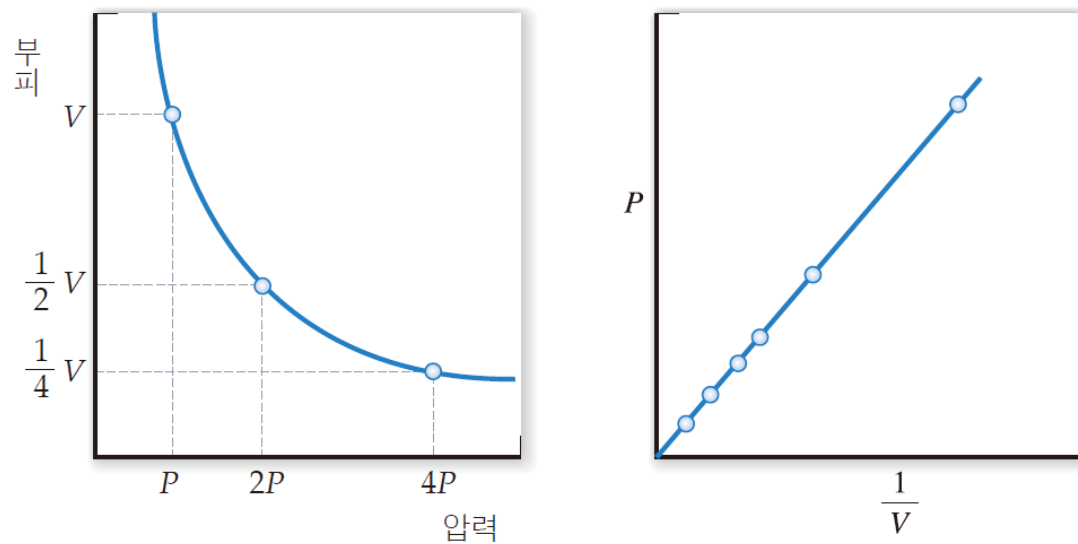


그림 7.6 보일 법칙에 근거한 그래프 (a) 압력과 부피는 반비례 관계 (b) 압력은  $\frac{1}{V}$ 에 비례

$$P_1 V_1 = k_1 = P_2 V_2 \quad (7.2)$$

## 7.3 기체의 법칙

### 예제 7.2

1.2 atm에서 13 L를 차지하는 질소 기체가 있다. 같은 온도에서 압력을 2.3 atm으로 증가시키면 이 질소 기체의 부피는 얼마인가?

풀이

일정 온도에서  $V = k\left(\frac{1}{P}\right)$ 인 보일 법칙에 따르면  $P_1 V_1 = P_2 V_2$ 이므로  $V_2$ 에 대하여 풀 수 있다.

$$P_1 = 1.2 \text{ atm} \quad V_1 = 13 \text{ L}$$

$$P_2 = 2.3 \text{ atm} \quad V_2 = ?$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{1.2 \text{ atm} \times 13 \text{ L}}{2.3 \text{ atm}} = 6.8 \text{ L}$$



# Charles's Law (at constant Pressure)

$$V \propto T$$

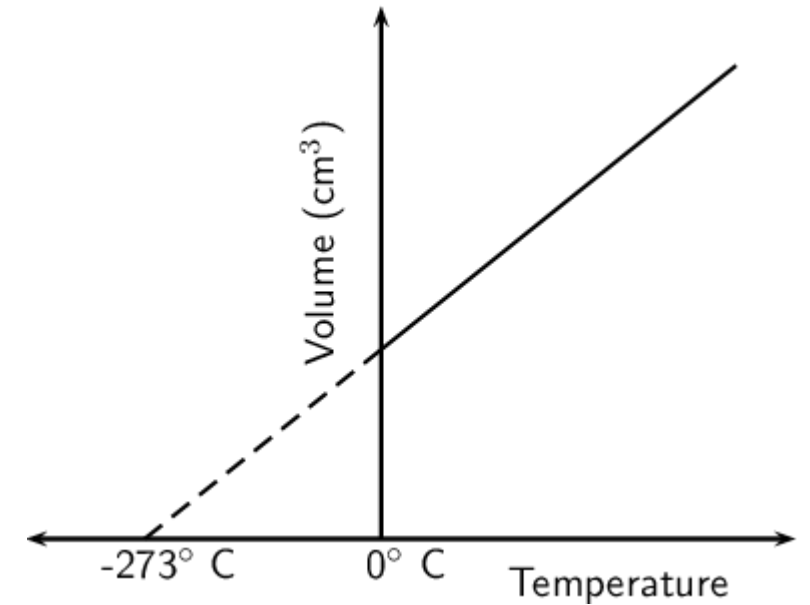
$$V = k \cdot T \quad (k; \text{상수})$$

T → low

V → small

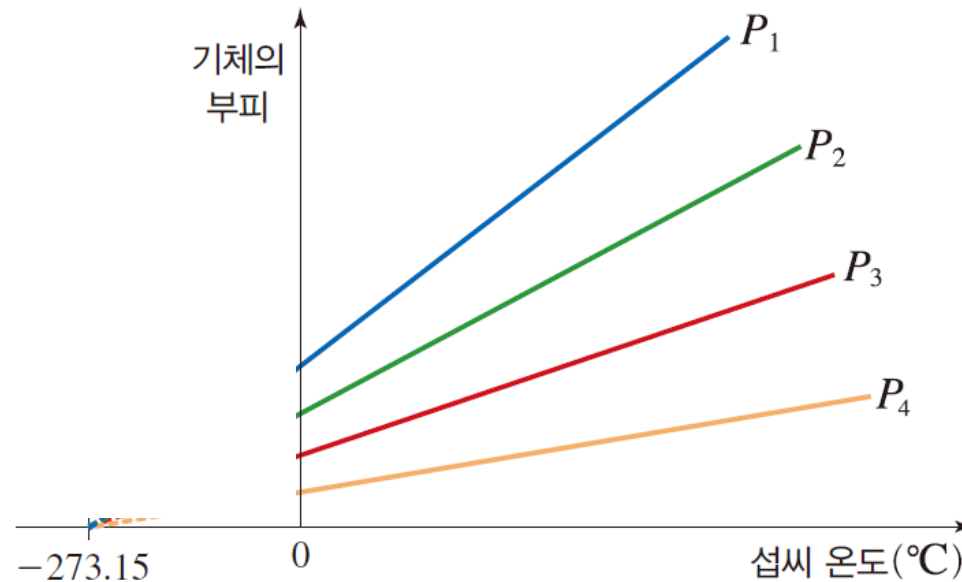
T → **High**

V → **BIG**



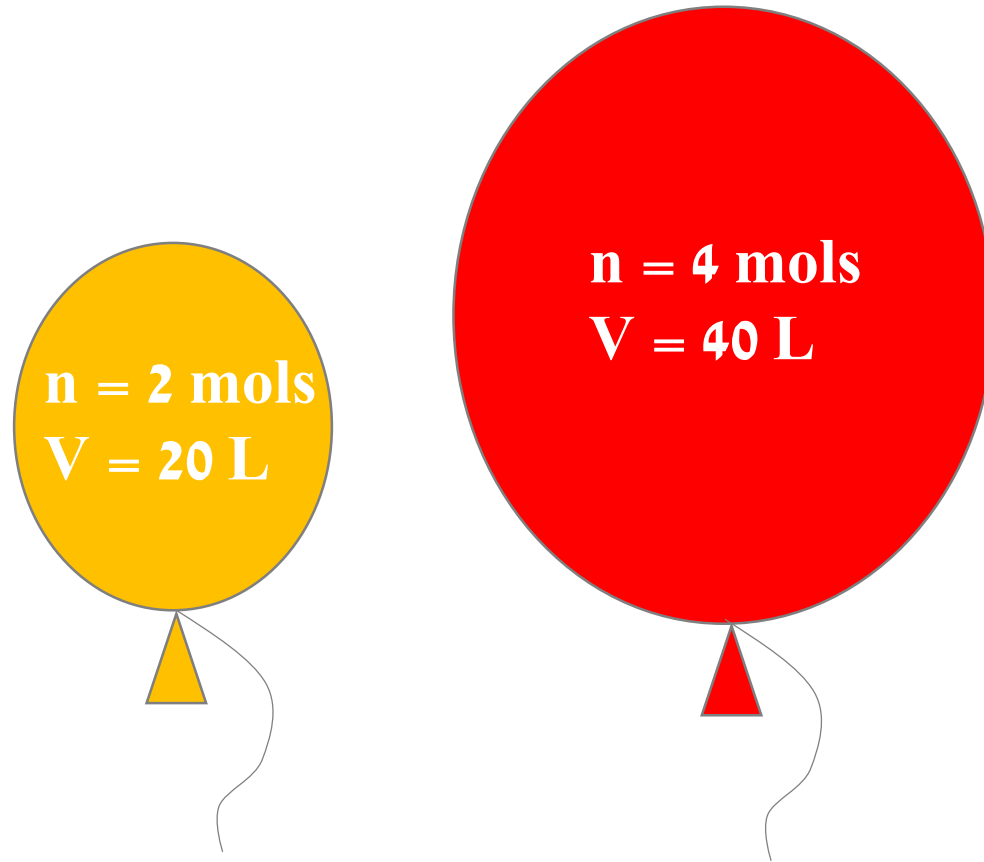
## 7.3 기체의 법칙

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$



**그림 7.8** 일정한 압력에서 온도에 따른 부피 변화 각 직선은 부피의 변화를 나타낸다. 압력은  $P_1$ 에서  $P_4$ 로 증가함을 나타낸다. 기체는 냉각시키면 부피가 감소한다. 기체를 점선 부분으로 외삽하면 모든 기체( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  및  $P_4$ )는  $-273.15$  °C로 모인다.

# Avogadro's principles (same condition of T and P)



$$n \propto V$$

$n \uparrow$   $V \uparrow$

## 7.3 기체의 법칙

### 아보가드로 법칙: 부피-양 관계식

$$V \propto n$$

$$V = k_4 n \quad (7.7)$$

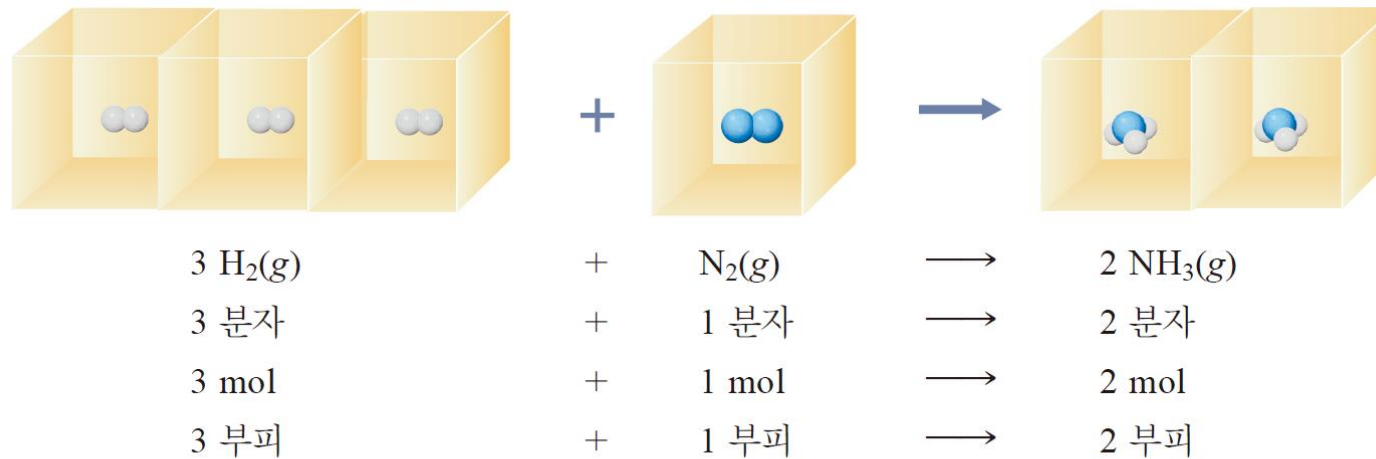


그림 7.10 기체 반응에서의 부피 관계 기체 반응에서의 부피비는 몰수비인 3 : 1 : 2와 같다.

## 7.4 이상 기체 방정식

보일 법칙:  $V \propto \frac{1}{P}$  (상수  $n$ 과  $T$ )

샤를 법칙:  $V \propto T$  (상수  $n$ 과  $P$ )

아보가드로 법칙:  $V \propto n$  (상수  $P$ 와  $T$ )

$$V \propto \frac{nT}{P}$$

$$V = R \frac{nT}{P}$$

$$PV = nRT \quad (7.8)$$

## 7.4 이상 기체 방정식

기체 상수  $R$

$$PV = nRT$$

$$R = \frac{PV}{nT}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1 \text{ atm} \times 22.414 \text{ L}}{1 \text{ mol} \times 273.15 \text{ K}} \\ &= 0.082057 \text{ L} \cdot \text{atm/K} \cdot \text{mol} \end{aligned}$$

# Combined Gas Law (for Ideal Gases)

$$PV = nRT$$

[동영상 보기](#)

R : Gas Constant (same for all gases)

$$= 0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} = 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

In Real Gases,  $P \rightarrow 0$  :  $PV = nRT$   
at normal  $P$  (?)

## 7.3 기체의 법칙

표준 상태(standard condition of temperature and pressure, STP)

**0 °C(273.15 °K), 1 atm(760 mmHg)**



그림 7.11 농구공과 비교한 표준 상태에서의 기체 1몰 부피

서로 다른 기체를 비교하기 위하여

일정 온도와 압력 조건인 STP 상태에서 아보가드로수를 적용해 보면

아보가드로 가설은 일정 온도와 압력 조건에서

모든 기체 22.4 L 속에는  $6.022 \times 10^{23}$ 개(1 mol)의 분자가 포함되어 있다.



## 7.4 이상 기체 방정식

### 예제 7.4

수소 기체는  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $896\text{ mmHg}$ 에서  $125\text{ L}$ 의 부피를 가진다.

이 수소 기체가 STP(표준 온도와 압력)에서 차지하는 부피는 얼마인가?

## 7.4 이상 기체 방정식

### 예제 7.5

대기 중에 헬륨(He) 기체로 채워진 기구는 680 L의 부피를 가진다.

이 기구를 23 °C에서 750 mmHg로 불려면 필요한 헬륨 기체의 양은 얼마인가?

## 7.4 이상 기체 방정식

### 예제 7.6

0.896 atm, 49 °C에서의 이산화 질소( $\text{N}_2\text{O}$ ) 기체의 밀도(g/L)는 얼마인가?

$$\text{밀도 (d)} = \text{질량} / \text{부피}$$

$$\text{질량 (m)} = \text{밀도 (d)} \times \text{부피 (V)} = \text{몰수 (n)} \times \text{몰질량 (M)}$$

$$\text{몰수 (n)} = \text{질량 (m)} / \text{몰질량 (M)}$$

$$\text{질량 (m)} = \text{몰수 (n)} \times \text{몰질량 (M)}$$

$$PV = nRT$$

$$n/V = P / RT$$

$$\text{밀도 (d)} = \text{몰수 (n)} \times \text{몰질량 (M)} / \text{부피 (V)}$$

$$= (P / RT) \times \text{몰질량 (M)}$$

$$d = \frac{P \times \text{몰질량 (M)}}{RT}$$

## 7.4 이상 기체 방정식

### 기체의 물질량



$$M = \frac{dRT}{P} \quad (7.12)$$

그림 7.12 기체의 밀도를 측정할 수 있는 구(bulb)

## 7.4 이상 기체 방정식

### 예제 7.7

어느 기체의 밀도가  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $1.75\text{ atm}$ 에서  $1.35\text{ g/L}$ 이다. 이 기체의 몰질량을 계산하시오.