# 7.7 기체의 분자 운동론

### 기체 분자 운동론

1. 기체 분자는 분자의 크기에 비해 아주 멀리 떨어져 있다. 기체 분자는 질량은 있으나 부피는 무시할 수 있는 아주 작은 '점(point)'으로 간주한다.
2. 기체 분자들은 무질서한 방향으로 끊임없이 운동하고 있으며, 분자들은 서로 빈번히 충돌한다. 분자들 사이의 충돌은 완전 탄성 충돌로, 충돌의 결과로 에너지는 어떤 한 분자에서 다른 분자로 전달되지만, 모든 분자들의 총 에너지는 일정하다.
3. 기체 분자 간의 인력이나 반발력은 아주 작아 무시할 수 있을 정도이다.
4. 분자들의 평균 운동 에너지는 기체의 절대 온도에 비례한다. 어떤 일정한 온도에 있는 두 기체는 항상 같은 평균 운동 에너지를 갖는다.

# 7.7 기체의 분자 운동론

$$\overline{KE} = \frac{1}{2} m\overline{u^2}$$

$$\overline{u^2} = \frac{u_1^2 + u_2^2 + \cdots + u_N^2}{N}$$

$$\overline{KE} \propto T$$

$$\frac{1}{2} m\overline{u^2} \propto T$$

$$\frac{1}{2} m\overline{u^2} = CT \qquad (7.15)$$

# 7.7 기체의 분자 운동론

## 분자 속도의 분포

$$\frac{1}{2}m\overline{u^2} = CT \qquad (7.15)$$

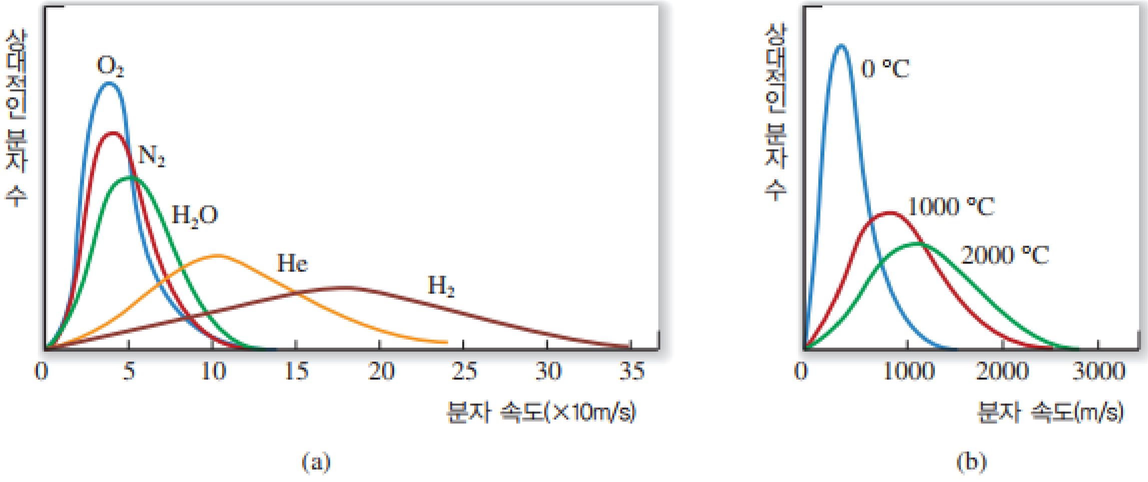


그림 7.17 분자 수와 분자 속도와의 관계 그래프 (a) 같은 온도에서 여러 기체가 나타내는 속도 분포도. 질량이 가벼운 $H_2$ 기체가 속도가 빠름 (b) 세 가지 다른 온도에서 질소 기체의 속도 분포도

# 7.7 기체의 분자 운동론

## 제곱근-평균-제곱 속도

제곱근-평균-제곱 속도($u_{\text{rms}}$)

$$N_A\left(\frac{1}{2}m\overline{u^2}\right)=\frac{3}{2}RT$$

$$\overline{u^2}=\frac{3RT}{M}$$

$$\sqrt{\overline{u^2}}=\sqrt{\frac{3RT}{M}} \qquad (7.16)$$

# 7.7 기체의 분자 운동론

분자 운동론을 기체 법칙에 적용

기체의 성질과 여러 가지 기체의 법칙은 분자 운동론으로 설명할 수 있어 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. **분자 운동론으로 보일 법칙 설명** 일정 온도에서 부피가 증가하면 압력은 감소한다. 온도가 일정하다는 것은 기체 분자의 평균 운동 에너지는 변하지 않고 유지된다는 뜻이다. 그러나 부피가 증가하면 분자 간의 거리가 멀어져 분자와 용기 벽 간의 충돌 횟수도 작아지므로 압력은 감소하게 된다.
2. **분자 운동론으로 샤를 법칙 설명** 일정 부피에서 온도가 증가하면 압력은 증가한다. 용기의 부피 변화는 없으므로 온도 증가는 기체 분자의 평균 운동 에너지의 증가를 가져오며, 기체 분자는 용기의 벽에 더욱 많이 충돌하게 된다. 이런 충돌로 운동량의 변화가 증가하여 기체 분자는 더 강하게 용기 벽에 충돌하므로 용기 내의 압력은 증가하게 된다.

# 7.7 기체의 분자 운동론

## 기체의 확산과 분출

**확산(difussion)** – 분자의 무질서한 운동으로 한 물질이 공간상에서 퍼져 나가는 현상

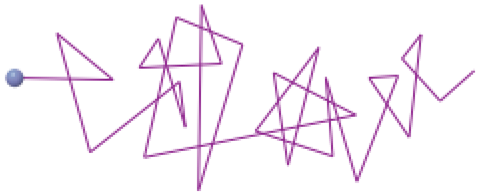

그림 7.19 기체 분자의 확산 기체 분자는 충돌 시 불규칙적으로 거동이 바뀐다.

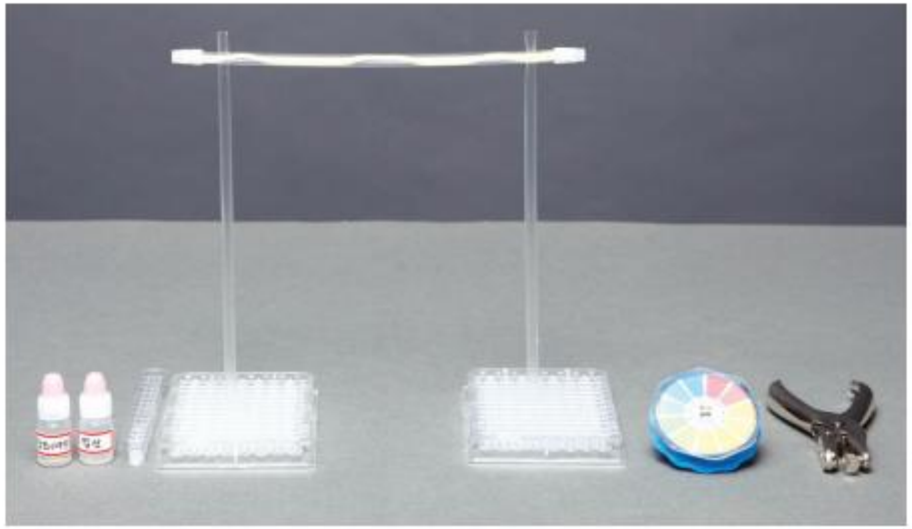

그림 7.20 기체의 확산 실험 진한 염산을 묻힌 탈지면 가까이에 흰색의 염화 암모늄 연기(고체)가 생성되는 것을 관찰할 수 있다.

# 7.7 기체의 분자 운동론

그레이엄(Graham, T., 1805~1869)은 같은 온도와 압력하에서 기체의 확산 속도는 몰질량의 제곱근에 반비례한다는 사실을 발견하였으며, 그레이엄의 확산 법칙으로 알려져 있다.

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad \begin{pmatrix} v_1,\ v_2\text{: 기체 1과 기체 2의 확산 속도} \\ M_1,\ M_2\text{: 기체 1과 기체 2의 몰질량} \end{pmatrix} \qquad (7.17)$$

# 7.7 기체의 분자 운동론

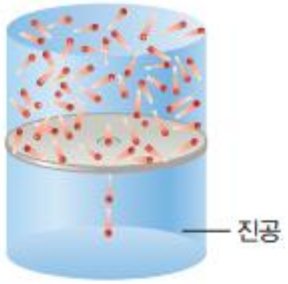


그림 7.21 기체의 분출 실험

분출
외력에 의하여 특정 방향으로 기체 분자가 이동하는 현상

기체의 분출 속도는 그레이엄의 확산 법칙과 같은 개념으로 분자량이 작은 기체가 빠르게 분출된다.

# 7.8 실체 기체의 성질

## 이상적 거동(ideal behavior)

$$\frac{PV}{RT} = n$$

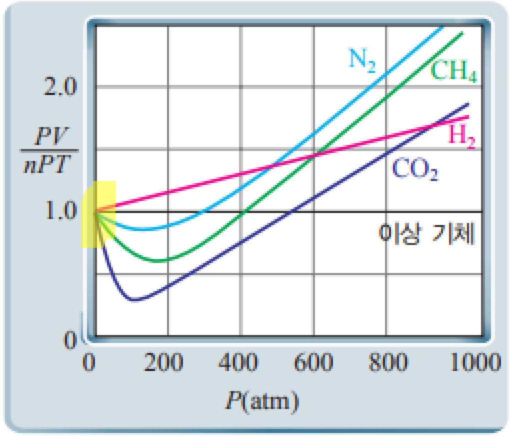


그림 7.22 압력 변화에 따른 실제 기체 거동의 변화 높은 압력하에서 실제 기체는 이상 기체의 거동과 많은 차이가 있다. 낮은 압력하에서(~1 atm) 실제 기체는 이상적으로 거동한다.

# 7.8 실체 기체의 성질

이상 기체 방정식(1몰의 기체에 대해)에 따르면 실제 기체의 압력에 무관하게 $\frac{PV}{RT}$는 항상 1이다($n=1$이면 $PV=nRT$는 $PV=RT$, 즉 $\frac{PV}{RT}=1$이 된다). 그림 7.22에서와 같이 실제 기체인 경우, 이 이론은 어느 정도의 낮은 압력($\leq 5$ atm) 하에서는 이상 기체와 유사하게 거동하지만, 압력이 증가함에 따라 이상적인 거동$\left(\frac{PV}{RT}=1\right)$에서 많이 벗어난다. 즉, 실제 기체는 높은 압력에서는 이상적으로 거동하지 않는다. 따라서 5 atm 이하 정도인 낮은 압력하에서는 큰 오차의 발생 없이 이상 기체 방정식을 사용할 수 있다.

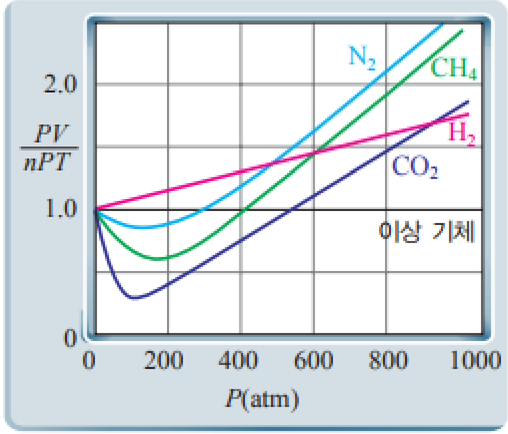


그림 7.22 압력 변화에 따른 실제 기체 거동의 변화 높은 압력하에서 실제 기체는 이상 기체의 거동과 많은 차이가 있다. 낮은 압력하에서(~1 atm) 실제 기체는 이상적으로 거동한다.

# 7.8 실체 기체의 성질

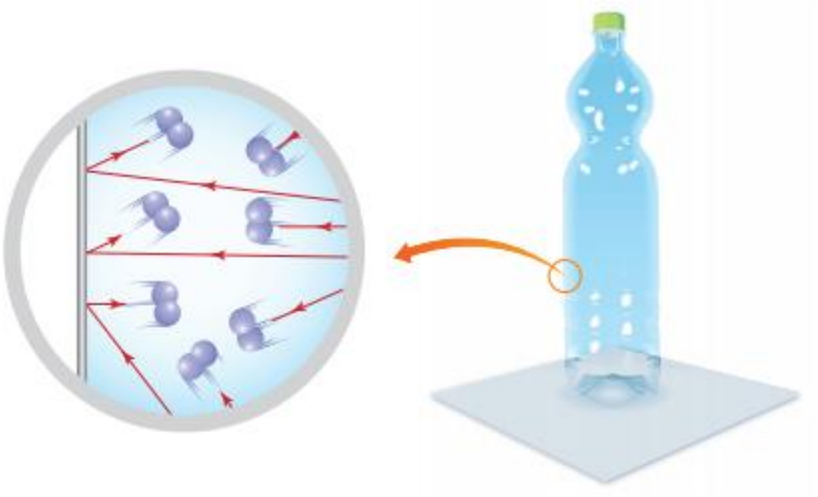

그림 7.23 기체 분자의 압력 기체 분자는 기체 분자 간의 인력에 의하여 벽에 미치는 압력은 감소한다. 이상 기체의 경우 분자 간의 인력이 없으므로 벽에 미치는 압력의 감소는 일어나지 않는다.

# 7.8 실체 기체의 성질

**반데르발스 식**

$$\underbrace{\left(P+\frac{an^2}{V^2}\right)}_{\text{보정된 압력}}\underbrace{(V-nb)}_{\text{보정된 부피}}=nRT \qquad (7.18)$$

**표 7.5** 실체 기체들의 반데르발스 상수($a$와 $b$)

| 기체 | $a$(atm · L$^2$/mol$^2$) | $b$(L/mol) |
|---|---|---|
| He | 0.034 | 0.0237 |
| Ne | 0.211 | 0.0171 |
| Ar | 1.34 | 0.0322 |
| Kr | 2.32 | 0.0398 |
| Xe | 4.19 | 0.0266 |
| $H_2$ | 0.244 | 0.0266 |
| $N_2$ | 1.39 | 0.0391 |
| $O_2$ | 1.36 | 0.0318 |
| $Cl_2$ | 6.49 | 0.0562 |
| $CO_2$ | 3.59 | 0.0427 |
| $CH_4$ | 2.25 | 0.0428 |
| $CCl_4$ | 20.4 | 0.138 |
| $NH_3$ | 4.17 | 0.0371 |
| $H_2O$ | 5.46 | 0.0305 |

# 7.8 실체 기체의 성질

**예제 7.15**

28 ℃에서 2.25몰의 메테인($CH_4$) 기체는 4.80 L의 부피를 차지한다. 이 상태에서 메테인 기체의 압력을 (a) 이상 기체 상태에서와 (b) 반데르발스 식을 적용한 실제 기체 개념에서의 압력으로 각각 계산하시오.

(a) 메테인 기체를 이상 기체로 적용하는 경우

$T = 28\ ℃ + 273 = 301\ \mathrm{K},\ V = 4.80\ \mathrm{L}$

$n = 4.55\ \mathrm{mol},\ R = 0.0821\ \mathrm{L \cdot atm/K \cdot mol}$

이상 기체 방정식을 적용하면,

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{(4.55\ \mathrm{mol})(0.0821\ \mathrm{L \cdot atm/K \cdot mol})(301\ \mathrm{K})}{4.80\ \mathrm{L}} = \boxed{23.4\ \mathrm{atm}}$$

(b) $a = 2.25\ \mathrm{atm \cdot L^2/mol^2}$ $b = 0.0428\ \mathrm{L/mol}$

반데르발스 식 $\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$에 $a$, $b$ 보정항을 적용하면

$$P = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{an^2}{V^2}$$

$$= \frac{(4.55\ \mathrm{mol})(0.0821\ \mathrm{L \cdot atm/K \cdot mol})(301\ \mathrm{K})}{(4.80\ \mathrm{L}) - (4.55\ \mathrm{mol})(0.0428\ \mathrm{L/mol})} - \frac{(2.25\ \mathrm{atm \cdot L^2/mol^2})(4.55\ \mathrm{mol})^2}{(4.80\ \mathrm{L})^2}$$

$$= \boxed{22.4\ \mathrm{atm}}$$