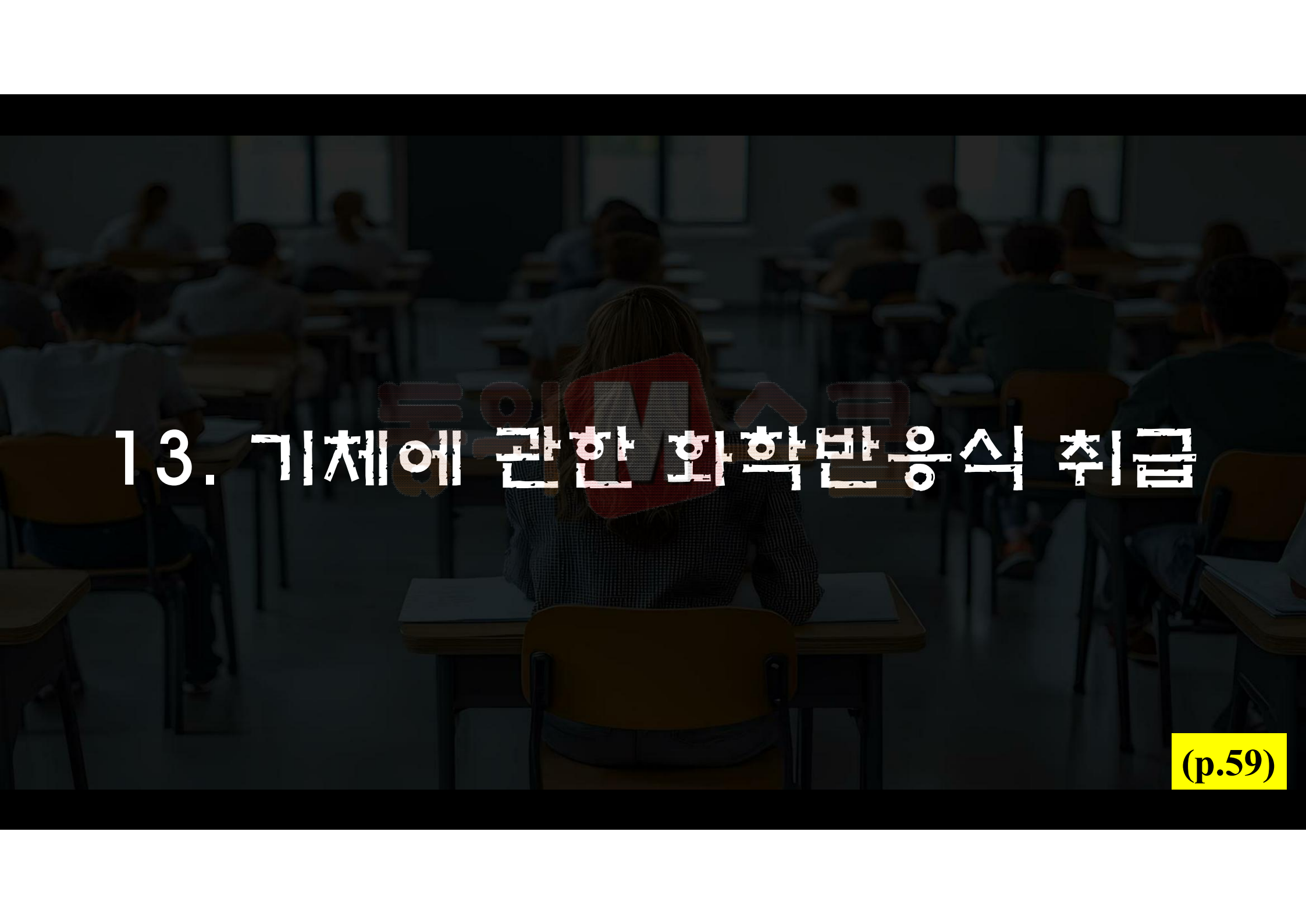
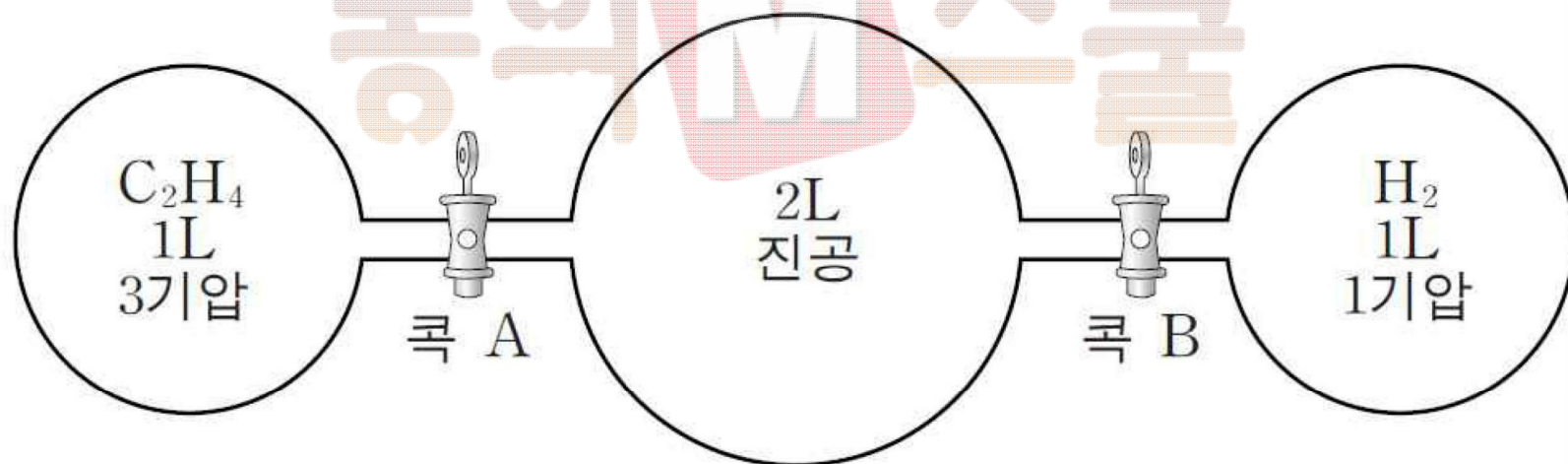




13. 기체에 관한 화학반응식 취급

(p.59)

에텐(C_2H_4)과 수소(H_2)는 촉매 존재 하에 반응하여 에테인(C_2H_6)을 생성한다. 일정한 온도에서 그림과 같이 에텐과 수소가 들어 있는 장치에서 콕 A와 B를 열어 모두 반응시켰을 때 반응 전과 후의 압력을 알 수 있다.



1. 먼저 에텐과 수소의 반응식을 쓴다. 『 $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$ 』

2. 콕 A와 B를 열었을 때 반응 전 혼합 기체의 전체 압력을 구한다.

$$\bullet P_{\text{혼합 전, } C_2H_4} \times V_{\text{혼합 전, } C_2H_4} + P_{\text{혼합 전, } H_2} \times V_{\text{혼합 전, } H_2} = P_{\text{전체, 반응 전}} \times V_{\text{전체, 반응 전}}$$

$$3\text{기압} \times 1\text{L} + 1\text{기압} \times 1\text{L} = P_{\text{전체, 반응 전}} \times 4\text{L}$$

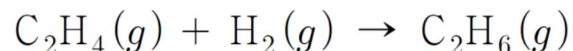
$$P_{\text{전체, 반응 전}} = \frac{3\text{기압} \times 1\text{L} + 1\text{기압} \times 1\text{L}}{4\text{L}} = 1\text{기압이다.}$$

3. 일정한 온도에서 두 기체의 몰수를 비교한다.

- 일정 온도에서 기체의 몰수는 압력과 부피의 곱인 PV 에 비례하므로 에텐과 수소의 몰수비는 3:1이다. $\text{예 } C_2H_4 : 1\text{L} \times 3\text{기압} = 3\text{기압} \cdot \text{L}, H_2 : 1\text{L} \times 1\text{기압} = 1\text{기압} \cdot \text{L}$

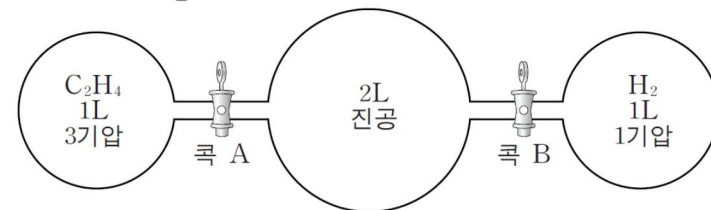
4. 반응 전과 반응 후의 몰수비를 고려하여 남아 있는 기체로 전체 압력을 구한다.

- 전체 몰수가 $\frac{1}{4}$ 만큼 감소하므로 $P_{\text{전체, 반응 후}} = 1\text{기압} \times \frac{3}{4} = 0.75\text{기압이다.}$



$$\text{반응 전 :} \quad 3.00 \quad 1.00 \quad 0.00$$

$$\text{반응 후 :} \quad 2.00 \quad 0.00 \quad 1.00$$



$$\bullet P_{\text{반응 후, } C_2H_4} = x_{\text{반응 후, } C_2H_4} \times P_{\text{전체, 반응 후}} = \left(\frac{2.00}{2.00 + 1.00} \right) \times 0.75\text{기압} = 0.50\text{기압}$$

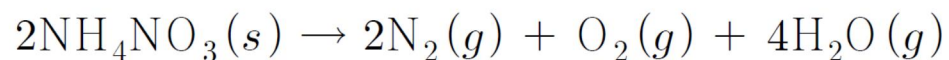
$$P_{\text{반응 후, } C_2H_6} = x_{\text{반응 후, } C_2H_6} \times P_{\text{전체, 반응 후}} = \left(\frac{1.00}{2.00 + 1.00} \right) \times 0.75\text{기압} = 0.25\text{기압이다.}$$



확인 문제

(p.60)

다음은 질산암모늄(NH_4NO_3)의 분해 반응식이다.



1.00 mol NH_4NO_3 이 완전히 분해되었을 때, 생성물에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 기체는 이상기체이고, N_A 는 아보가드로 수이다.)

<보 기>

ㄱ. N_2 의 질량은 28.0 g이다.

ㄴ. O_2 의 부피는 표준 온도 압력(STP)에서 11.2 L이다.

ㄷ. H_2O 의 분자수는 $4N_A$ 이다.

① ㄱ

② ㄷ

③ ㄱ, ㄴ

④ ㄴ, ㄷ

⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[정답] ③

[정답 해설]

1.00 mol NH_4NO_3 이 완전히 분해되었을 때, 각 화학종의 화학량론적인 관계는 다음과 같다.

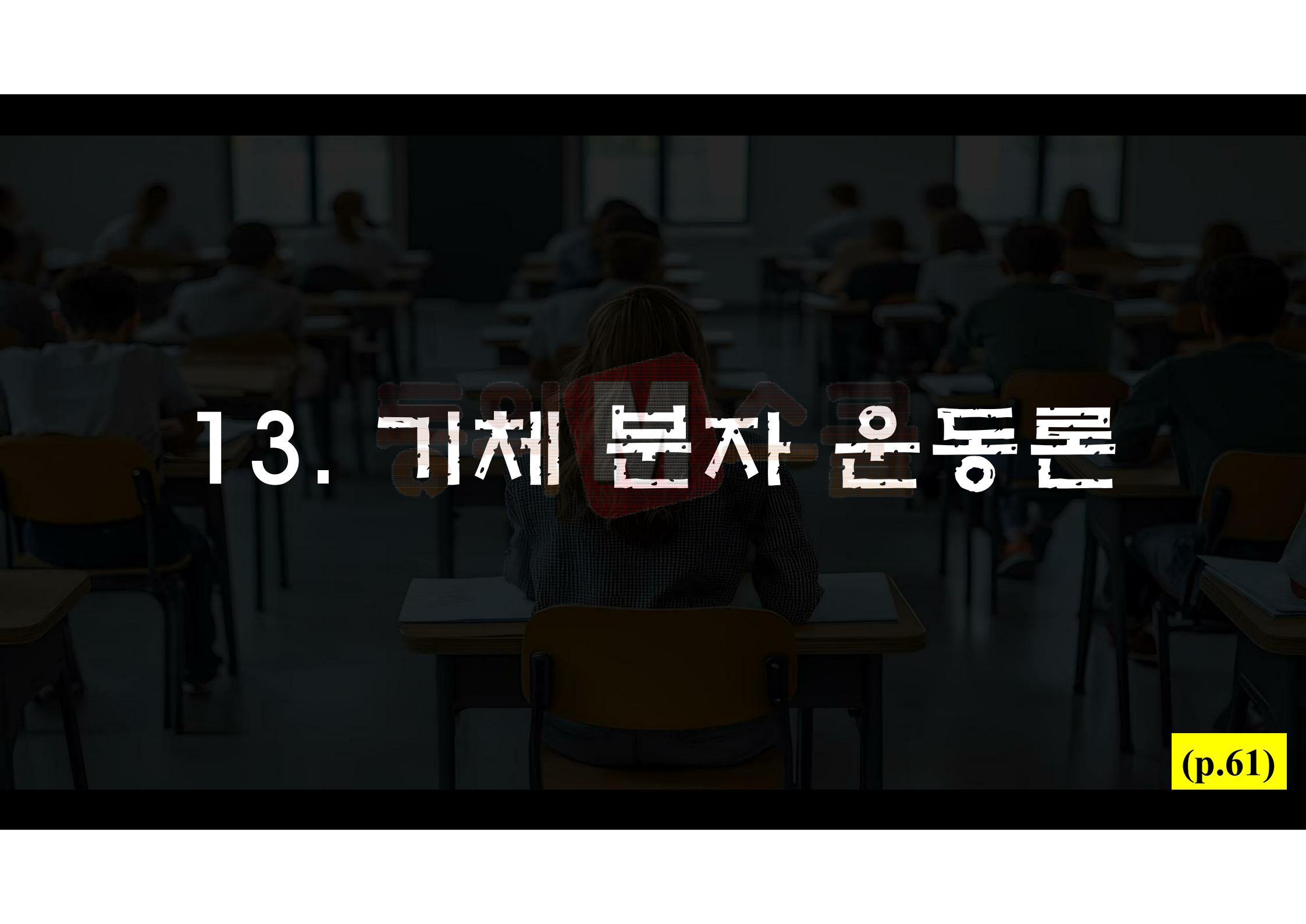
	$2\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$	$\rightarrow$	$2\text{N}_2(g)$	+	$\text{O}_2(g)$	+	$4\text{H}_2\text{O}(g)$
초기	1.00 mol		0		0		0
반응	- 1.00 mol		+ 1.00 mol		+ 0.50 mol		+ 2.00 mol
최종	0		1.00 mol		0.50 mol		2.00 mol
질량	0		28.0 g		16.0 g		36.0 g
부피	0		22.4 L		11.2 L		44.8 L
분자수	0		N_A		$0.5N_A$		$2N_A$

ㄱ. N_2 의 질량은 28.0 g이다.

ㄴ. O_2 의 부피는 표준 온도 압력(STP)에서 11.2 L이다.

[오답 피하기]

ㄷ. H_2O 의 분자수는 $2N_A$ 이다.

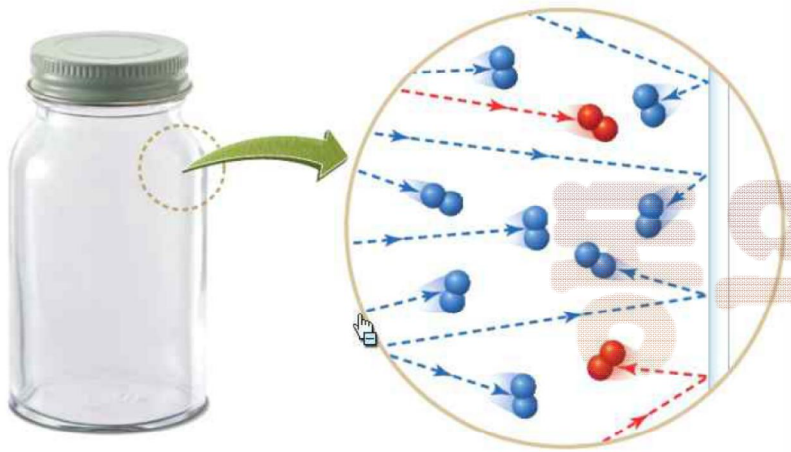


13. **기체 분자 운동론**

(p.61)

(1) 기체 분자 운동론(기체의 성질을 설명하기 위한 가정)

(p.60)

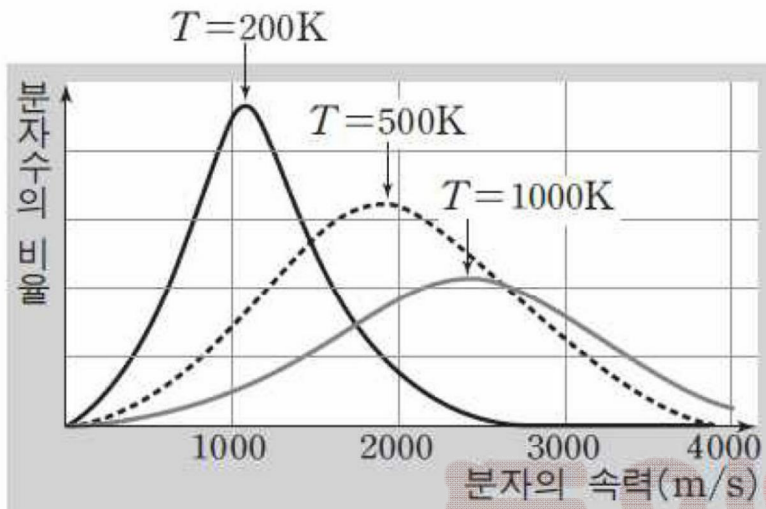


- ① 기체 분자는 서로 멀리 떨어져 있고 끊임없이, 무질서하게 빠른 속도로 직선 운동을 하며 용기 벽에 충돌하여 압력을 나타냄.
- ② 기체 분자 간에는 인력과 반발력이 작용하지 않음.
- ③ 분자들은 완전 탄성 충돌을 하기 때문에 충돌 전후에 에너지의 손실이 없음.
- ④ 기체 분자 자체의 부피는 용기의 부피에 비해 매우 작기 때문에 기체 분자의 부피는 무시할 수 있음.
- ⑤ 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례함. 즉, 온도가 같으면 기체 분자의 종류에 관계없이 평균 운동 에너지가 같음. 즉, $E_k = \frac{3}{2}kT$ (k = 볼츠만 상수, T = 절대 온도) 만족함.

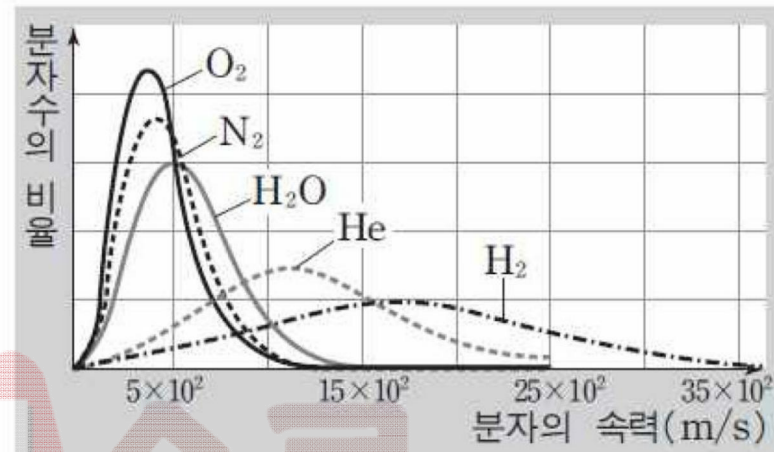
(2) Maxwell-Boltzmann 속력 분포식

: 분자 속력에 관한 Maxwell-Boltzmann 분포식이라고 부르고, 온도 T 의 기체 분자에 대한 엄밀한 꼴의 속력 분포 f 는 다음과 같음.

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{Mv^2}{2RT}}$$



서로 다른 온도에서 분자의 속도 분포



같은 온도에서 기체의 종류에 따른 분자의 속도 분포

- 분자량과 근 제곱 평균 속도 : $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT$ 이므로 다음의 식이 만족함.

(p.61)

$$v^2 = \frac{3kT}{m} \rightarrow v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3N_A kT}{mN_A}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (\because N_A k = R, mN_A = M)$$

⇒ 기체 분자의 근 제곱 평균 속력은 절대 온도의 제곱근에 비례하고, 분자량의 제곱근에 반비례함.

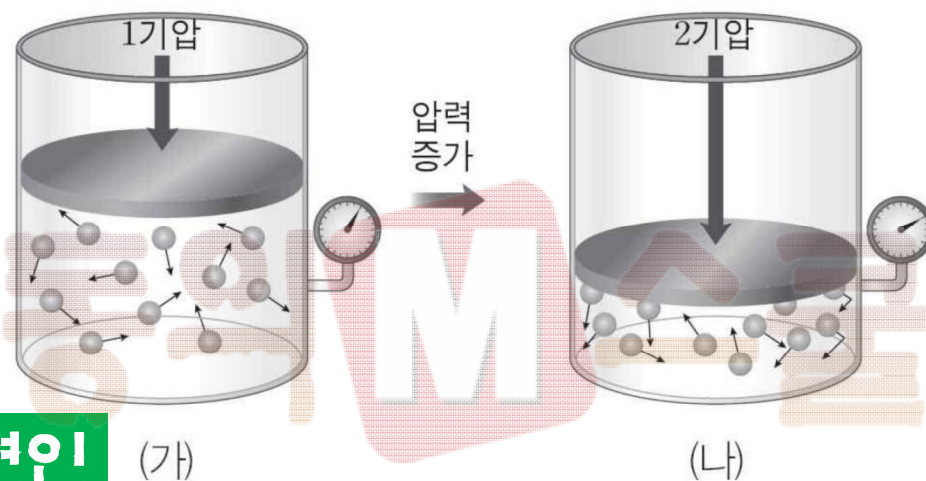
- 동일한 기체에 대해 온도가 높아질수록 속력이 넓게 분포됨.
- 동일한 온도 조건에서 가벼운 기체 분자는 무거운 기체 분자보다 속력이 더 넓게 분포됨.

(3) 기체 분자 운동론에 의한 보일의 법칙과 샤를의 법칙

(p.62)

- ① 보일의 법칙 : 일정한 온도에서 외부의 압력을 2배로 하면 기체의 부피가 $\frac{1}{2}$ 배로 줄어들게 됨. 따라서 그림과 같이 단위 부피당 분자수가 2배로 증가하여 단위 면적당 충돌 횟수도 2배로 증가함. 충돌 횟수가 2배가 되면 벽면에 미치는 힘의 크기도 2배가 되므로 기체의 내부 압력이 2배가 됨.

외부 압력을 2배로 높일 때	기체의 부피가 $\frac{1}{2}$ 배로 감소	단위 면적당 충돌 횟수가 2배로 증가	기체의 내부 압력이 2배로 증가
외부 압력을 $\frac{1}{2}$ 배로 낮출 때	기체의 부피가 2배로 증가	단위 면적당 충돌 횟수가 $\frac{1}{2}$ 배로 증가	기체의 내부 압력이 $\frac{1}{2}$ 배로 감소

**일정 조건****통제 변인**

(가)

(나)

온도	압력	부피	충돌 횟수	분자수	평균 운동 속도
(가)=(나)	(가)<(나)	(가)>(나)	(가)<(나)	(가)=(나)	(가)=(나)

- ② 샤를의 법칙 : 압력이 일정할 때 기체의 온도를 높이면 기체 분자의 평균 운동 에너지와 평균 운동 속력, 기체의 부피가 증가함. 즉, 온도가 높아지면 분자 운동이 활발해지므로 용기 벽면에 충돌 횟수가 증가하고, 용기의 벽면에 충돌하는 하는 힘이 커져서 용기 내부의 압력이 높아진다. 따라서 용기 내부의 압력과 외부의 압력이 같아질 때까지 용기 내부의 부피가 증가하게 됨.

온도를 높일 때	분자의 평균 운동 에너지 증가	분자의 평균 운동 속력 증가	기체의 부피 증가
온도를 낮출 때	분자의 평균 운동 에너지 감소	분자의 평균 운동 속력 감소	기체의 부피 감소



일정 조건

통제 변인

(가)

(나)

압력, 분자수	온도	부피	평균 운동 에너지	평균 운동 속도	충돌 세기
(가)=(나)	(가)<(나)	(가)<(나)	(가)<(나)	(가)<(나)	(가)<(나)

(4) 기체의 확산

(p.63)

: 분자 운동이 활발한 기체나 액체는 다른 기체나 액체 속으로 스스로 이동함. 같은 조건에서 한 기체가 다른 기체 속으로 균일하게 퍼져 들어가는 현상을 기체의 확산이라고 함.

① 공기 중에서 기체의 확산은 공기 분자와 계속 충돌하면서 일어남.

② 그레이엄의 확산 속도의 법칙 : 확산 속도는 분자량이나 밀도의 제곱근에 반비례함.

⇒ 분자량이나 밀도가 작은 기체일수록 확산이 잘 일어남.

$$\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{\frac{M_A}{M_B}} = \sqrt{\frac{d_A}{d_B}}$$



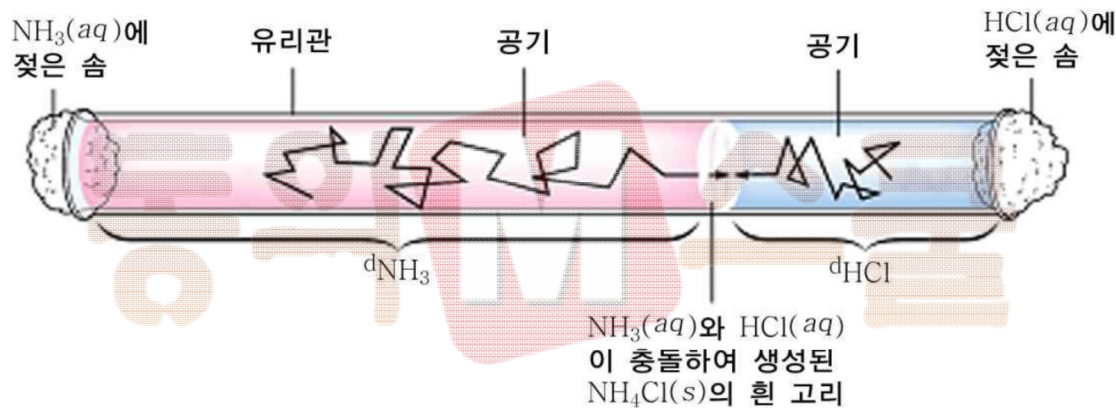
자료 분석

기체의 확산 실험

(p.63)

[실험 과정]

두 개의 삼각 플라스크에 진한 염산과 진한 암모니아수를 각각 넣고 다음 그림과 같이 장치한 후, 양쪽 유리관의 코클을 동시에 연다. 여기서, HCl과 NH₃의 분자량은 각각 36.5와 17이다.



[실험 결과]

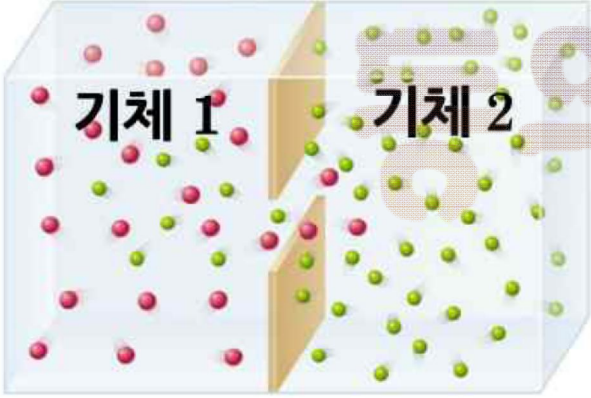
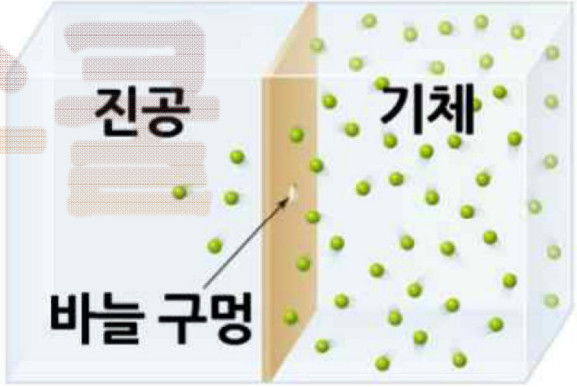
HCl(g)와 NH₃(g)가 만나면 $\text{HCl}(g) + \text{NH}_3(g) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(s)$ 의 흰 연기가 발생된다. 따라서 두 물질의 확산 속도비는 다음과 같다.

$$\frac{v_{\text{HCl}}}{v_{\text{NH}_3}} = \sqrt{\frac{M_{\text{NH}_3}}{M_{\text{HCl}}}} = \sqrt{\frac{17}{36.5}} \approx \frac{4}{6} = \frac{2}{3}$$

따라서 $d_{\text{HCl}} : d_{\text{NH}_3} = 2 : 3$ 의 위치에서 NH₄Cl의 흰 연기가 생성된다.

③ 분출 : 용기에 들어 있던 기체가 작은 구멍으로 빠져 나오는 현상.

④ 그레이엄의 확산 속도의 법칙은 확산(왼쪽 그림)과 분출(오른쪽 그림)에서 모두 성립한다.

확산	분출
	
확산을 분자들의 충돌이 일어나는 상황에서 무질서한 운동에 의해 기체 분자들이 섞이는 현상임.	분출을 작은 구멍을 통하여 진공이나 압력이 낮은 곳으로 기체 분자가 빠져나가는 현상임.

(5) 이상 기체와 실제 기체의 비교

(p.64)

① 이상 기체 : 이상기체상태방정식에 정확하게 적용되는 기체로, 실제로는 존재하지 않는 가상의 기체임.

② 실제 기체

- 실제 기체는 분자의 부피가 있고, 분자간의 인력이나 반발력이 작용하므로 이상기체상태방정식에 정확하게 적용되지 않음.
- 실제 기체는 온도가 높고, 압력이 낮아 기체 분자의 부피와 분자간의 인력이 무시될 수 있는 조건이 되면 이상기체상태방정식에 대체로 만족함.
- 분자량이 작은 기체일수록 분자간의 인력이 작아 이상기체상태방정식에 대체로 만족함.

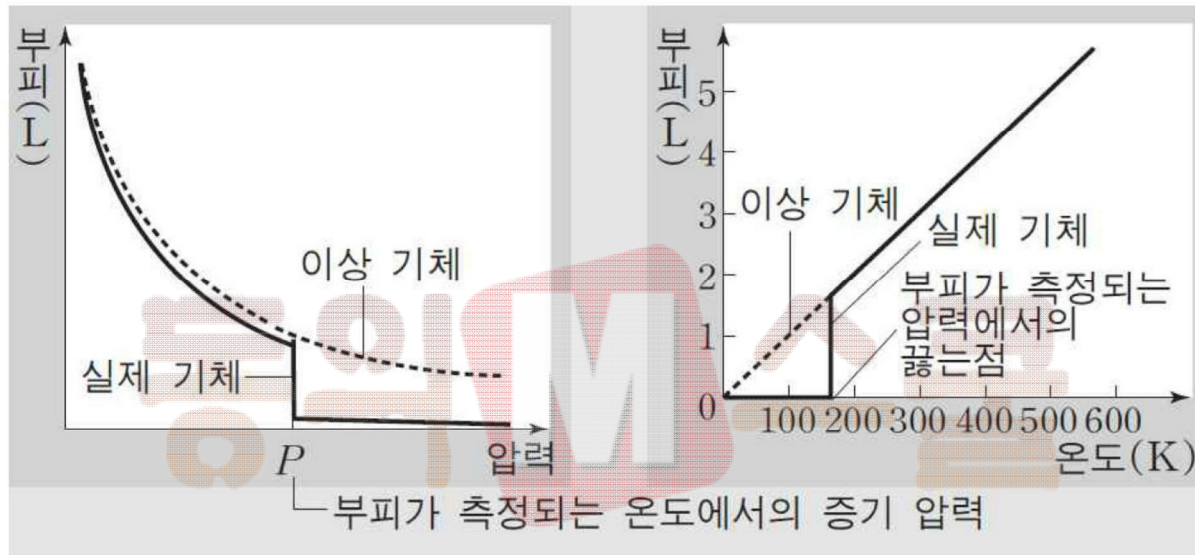
구분	이상 기체	실제 기체
분자의 크기	0	있음
분자의 질량	있음	있음
0 K에서의 부피	0	0 K 이전에 액화, 응고됨
기체에 관한 법칙	완전히 일치함	고온, 저압에서 일치함
분자가 인력, 반발력	없음	있음



자료 분석

(p.64)

실제 기체에서 보일과 샤를의 법칙의 그래프.



• 실제 기체에서 보일의 법칙 그래프

이상 기체는 압력이 아무리 커져도 액화되지 않으나 실제 기체는 압력이 커지면 액화된다. 액화되면서 부피가 급격히 감소하며 이때부터는 액체이므로 보일의 법칙이 적용되지 않는다.

• 실제 기체에서 샤를의 법칙 그래프

실제 기체는 이상 기체와 달리 온도가 낮아지면 액화된다. 액화될 때는 부피가 급격히 감소하여 이때부터는 샤를의 법칙이 적용되지 않는다.



확인 문제

(p.65)

다음 기체 중 가장 큰 평균 병진 운동에너지를 갖는 것은? 단, 모든 기체는 이상 기체로 고려한다.

- ① H_2 ② Xe ③ SO_2 ④ 모두 같음

[정답] ④ ; 이상 기체의 평균 운동 에너지는 일정한 온도에서 기체의 종류에 관계없이 일정하다.



확인 문제

표준 상태에서 0.5 mol H_2 기체와 1.0 mol He 기체를 비교할 때 수소가 헬륨에 비해 큰 값을 갖는 것은?

- ① 압력 ② 유출 속도 ③ 평균 분자 운동 에너지 ④ 부피

[정답] ② ; 유출(또는 분출) 속도는 몰부피가 동일한 실험 조건에서 적용이 가능함.

① $P_{H_2} = P_{He}$, ② $v_{H_2} > v_{He}$ ($\because M_{H_2} < M_{He}$), ③ $E_k(H_2) = E_k(He)$ ($\because E_k = \frac{3}{2} \frac{1}{N_A} RT$)

④ $V_{H_2} < V_{He}$ ($\because n_{H_2} < n_{He}$)이다.



확인 문제

(p.65)

0°C에서 CH₄의 확산 속도는 기체 A보다 2배 빠르다. 기체 A의 분자량은 얼마인가? (단, 원자량은 H = 1, C = 12이다.)

- ① 8 ② 16 ③ 32 ④ 64 ⑤ 128

$$\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{\frac{M_A}{M_B}} = \sqrt{\frac{d_A}{d_B}}$$

[정답] ④

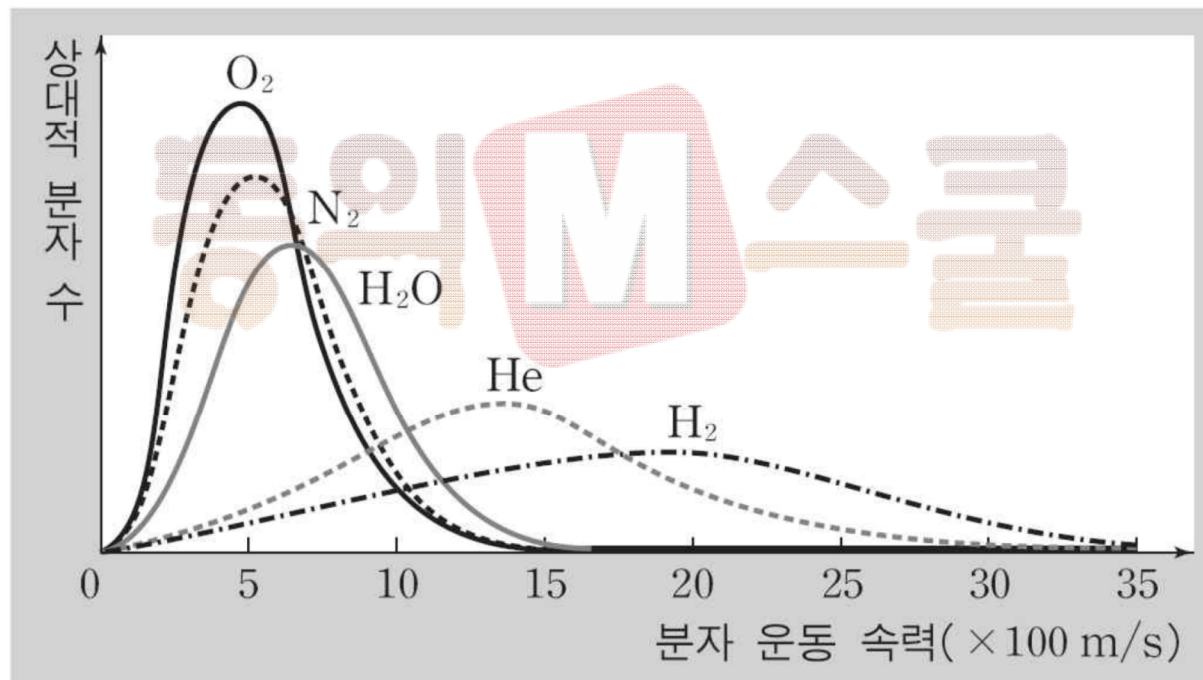
메테인(CH₄)의 질량은 16이다. 확산 속도는 질량의 제곱근에 반비례하므로, 기체 A의 분자량은 메테인의 4배인 64이다.



확인 문제

(p.66)

그림은 일정한 온도에서 여러 가지 기체 분자의 운동 속력에 따른 상대적 분자 수의 분포를 나타낸 것이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

(단, 분자량은 $O_2 > N_2 > H_2O > He > H_2$ 이며, 각 기체의 분자 수는 동일하다.)

<보 기>

- ㄱ. 분자량이 큰 분자는 분자량이 작은 분자보다 분자 운동 속력이 빠른 분자 수의 비율이 크다.
- ㄴ. He은 N₂보다 확산 속도가 빠른 분자 수가 많다.
- ㄷ. H₂는 O₂보다 기체 분자의 평균 운동 에너지가 크다.

① ㄱ

② ㄴ

③ ㄱ, ㄷ

④ ㄴ, ㄷ

⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(p.66)

[정답] ②

분자량이 작은 기체 분자일수록 분자의 평균 운동 속력이 상대적으로 큰 값을 나타내며, 넓은 범위의 속력 분포를 나타낸다.

[정답 해설]

ㄴ. He은 N₂보다 분자량이 작으므로 확산 속도가 빠르다. 즉, He은 N₂보다 확산 속도가 빠른 분자 수가 많다.

[오답 피하기]

ㄱ. 분자량이 큰 분자는 분자량이 작은 분자보다 분자의 평균 운동 속력이 느리며 분자 운동 속력이 느린 분자 수의 비율이 크다.

ㄷ. 일정한 온도에서 기체는 종류에 관계없이 기체 분자의 평균 운동 에너지가 같다.

.....



확인 문제

(p.67)

이상 기체에 관한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 이상 기체의 내부 에너지는 절대온도에 무관하다.
- ② 이상 기체 간에 인력(당기는 힘)은 존재하지 않으나 반발력(미는 힘)은 존재한다.
- ③ 이상 기체도 실제기체처럼 큰 압력을 가하면 액화될 수 있다.
- ④ 이상 기체의 부피는 압력에 비례한다.
- ⑤ 이상 기체는 질량을 가지고 있다.

[정답] ⑤

- ① 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례한다.
- ② 이상 기체 간에 인력과 반발력은 존재하지 않는다.
- ③ 실제 기체만이 압력을 가하면 액화된다.
- ④ 이상 기체의 부피는 압력에 반비례한다. (보일의 법칙)



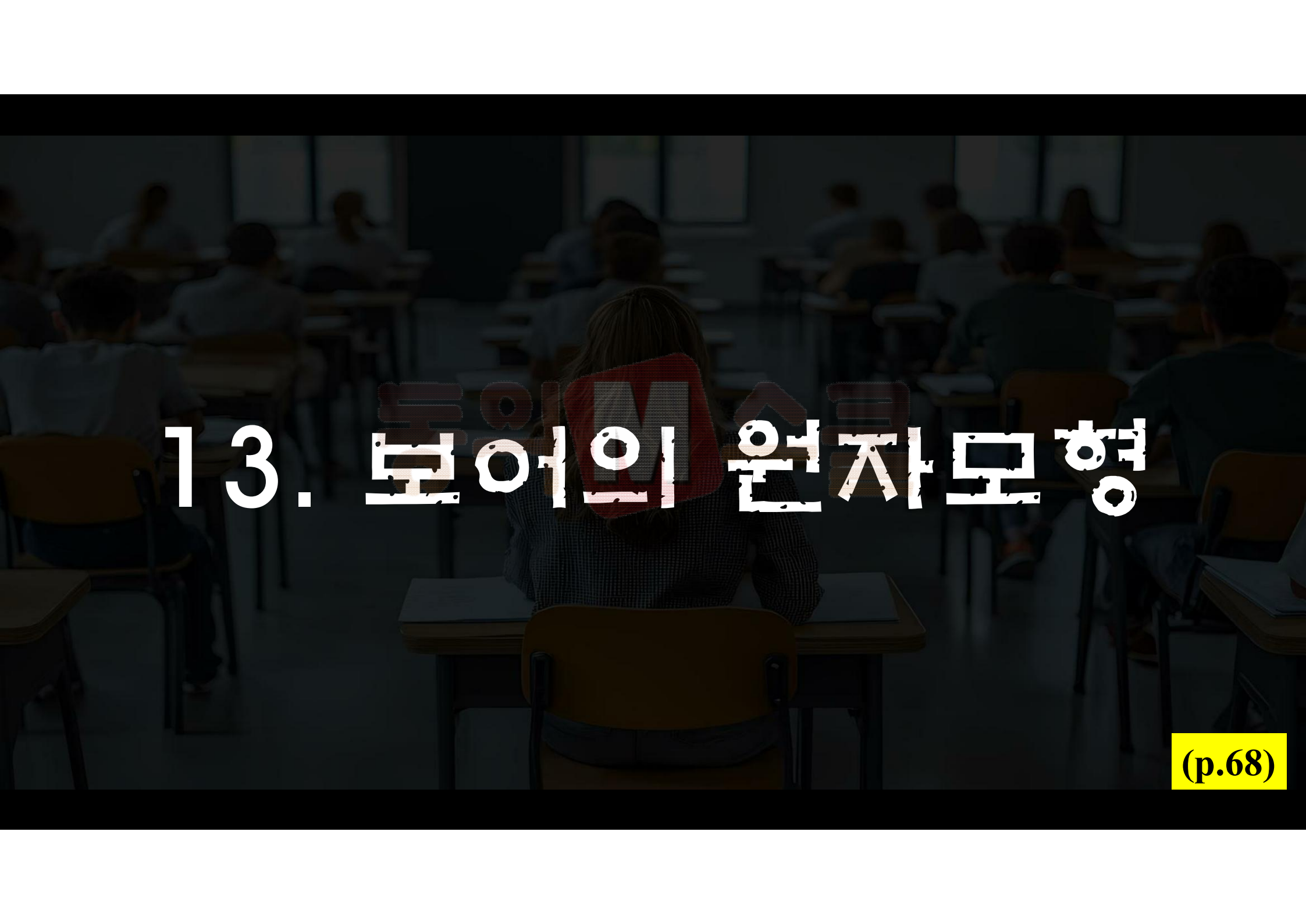
확인 문제

(p.67)

다음은 일상생활이나 실험실에서 관찰한 기체와 관련된 현상들이다. 실제기체의 성질이 이상 기체와 다르다는 것을 보여 주는 것은?

- ① 고무풍선에 든 헬륨(He) 기체가 빠져 나간다.
- ② 온도를 높이면 찌그러진 탁구공이 부풀어 오른다.
- ③ 열기구 내의 공기를 가열하면 열기구가 위로 올라간다.
- ④ 온도를 낮추면 산소 기체가 응축되어 액체 산소가 된다.
- ⑤ 일정한 온도에서 기체에 가하는 압력을 높이면 부피가 감소한다.

[정답] ④ ; 이상 기체의 가장 큰 특징은 분자간의 상호 작용이 없다는 것이다. 따라서 이상 기체일 경우에는 아무리 온도를 낮추어도 혹은 압력을 높여도 응축이 되어 액체나 고체로의 상전이가 일어나지 않는다고 가정한다.



13. 보어의 원자 모형

(p.68)