

9장 기체와 분자 운동론

9-1 고체, 액체 및 기체의 비교

물질은 세 가지 물리적 상태인 고체, 액체, 기체로 존재!!!

표 9-1 대기압에서 세 가지 물질의 밀도와 몰 부피

물질	고체		액체(20 °C)		기체(100 °C)	
	밀도 (g/mL)	몰 부피 (mL/몰)	밀도 (g/mL)	몰 부피 (mL/몰)	밀도 (g/mL)	몰 부피 (mL/몰)
물(H ₂ O)	0.917(0°C)	19.6	0.998	18.0	0.000588	30,600
벤젠(C ₆ H ₆)	0.899(0°C)	86.9	0.876	89.2	0.00255	30,600
사염화탄소(CCl ₄)	1.70(-25°C)	90.5	1.59	96.8	0.00503	30,600

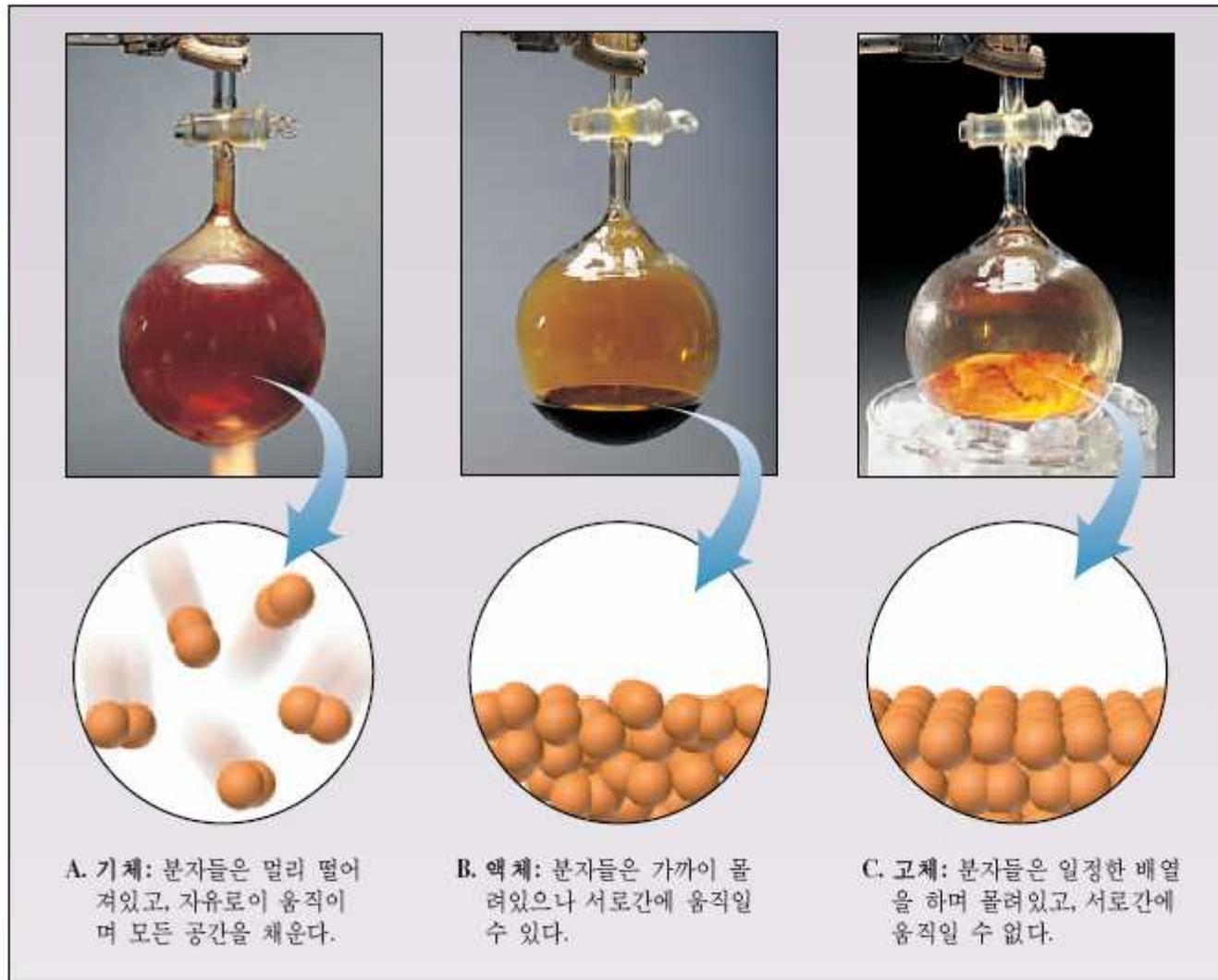
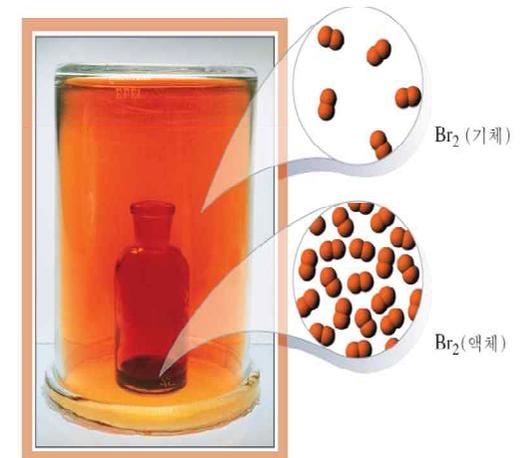


그림 5.1 물질의 3가지 상태. 브로민(Br_2)과 같은 많은 순물질들은 적절한 온도, 압력조건하에 A, 기체, B, 액체, 또는 C, 고체로 존재할 수 있다. 원자수준에서 보면 기체 내에서 분자들은 액체나 고체내에서 보다 훨씬 멀리 떨어져있다.



▲ 공기 중으로 브롬의 확산. 약간의 액체 브롬(붉은 적갈색)이 안쪽의 작은 병 속에 놓여 있다. 액체가 증발하여 생긴 적갈색 기체는 확산된다.

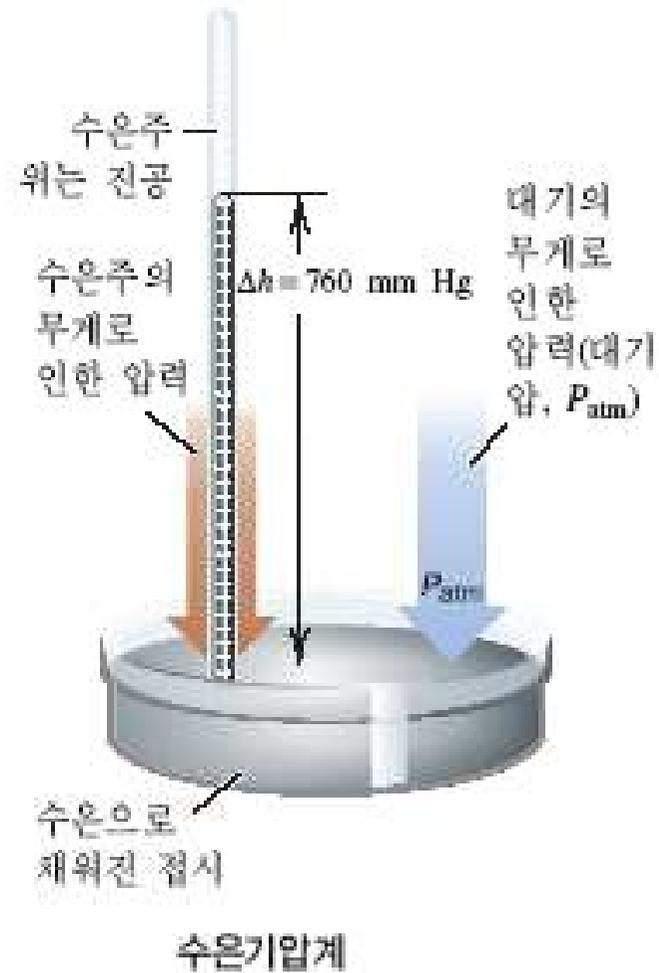
9-2 기체의 몇 가지 일반적인 성질

액체 고체로부터 기체의 구분

1. 기체의 부피는 압력에 따라 크게 변화한다.
2. 기체의 부피는 온도에 따라 크게 변화한다.
3. 기체는 상대적으로 낮은 점도를 갖는다.
4. 대부분의 기체는 정상조건에서 상대적으로 낮은 밀도를 갖는다.
5. 기체는 혼합된다.

9-3 압력

압력 (pressure) : 단위 면적에 작용하는 힘으로 정의.



압력의 단위

압력의 SI 단위 (국제 단위 체계) : 파스칼 (pascal, Pa)

1 m²의 면적당 작용하는 1 뉴턴(newton, N)의 힘

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$
$$(1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2)$$

표준기압 (standard atmosphere, atm)

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

기압계의 측정 : 1 mm Hg = 1 torr

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg} = 1/760 \text{ atm} = 101.325/760 \text{ kPa} = 133.322 \text{ Pa}$$
$$(1 \text{ 대기압(atm)} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ torr} \quad 0^\circ\text{C})$$

화학에서 보다 보편적으로 사용하는 1 bar

$$1 \text{ bar} = 1 \times 10^2 \text{ kPa} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

압력의 단위

단위	대기압	과학분야
파스칼 (Pa), 킬로 파스칼 (kPa)	$1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$, 101.325 kPa	SI 단위: 물리학, 화학
기압 (atm)	1 atm*	화학
mmHg	760 mmHg*	화학, 제약, 생물학
torr	760 torr*	화학
lb/in ² 또는 psi	14.7 lb/in ²	공학
bar	1.01325 bar	기상학, 화학, 물리학

*정확한 양임. 계산시 필요한 만큼의 유효숫자를 사용한다.

기체 법칙과 실험적 근거

4가지 기체 변수 : 압력(P), 부피(V), 온도(T), 양(몰수 n)

4가지 기체 변수 사이의 3가지 법칙 : 1. 보일의 법칙 : 부피와 압력의 관계 (9-4)

2. 샤를의 법칙 : 부피와 온도의 관계 (9-5)

3. 아보가드로의 법칙 : 부피와 양의 관계 (9-8)

→ 이들 각각의 효과를 이상기체 법칙(ideal gas law, 이상기체 방정식)

이라는 하나의 관계식으로 묶을 수 있다. (9-9)

9-4 보일의 법칙 : 부피 - 압력 관계

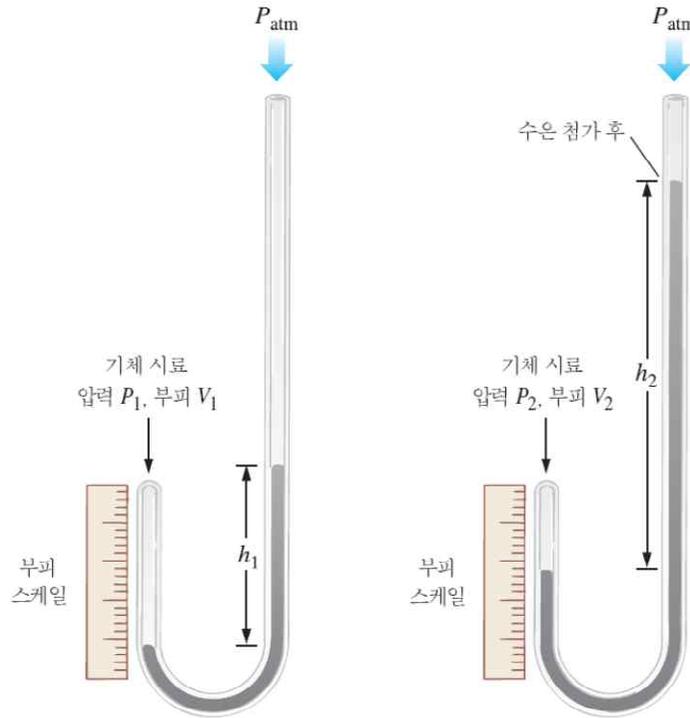
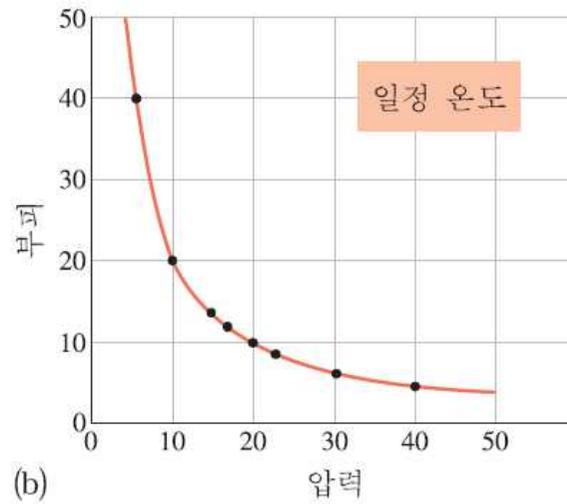


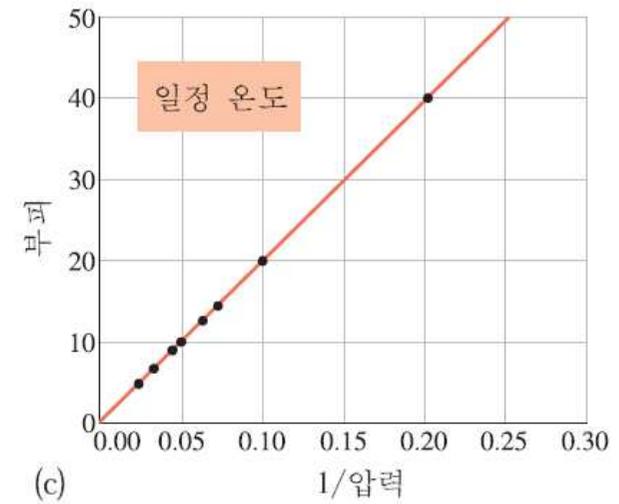
그림 9-3 보일의 실험 설명. 공기 시료는 공기의 압력이 변할 수 있고, 공기의 부피를 측정할 수 있게 되어 있다. P_{atm} 은 기압계로 측정되는 대기압이다. $P_1 = h_1 + P_{atm}$, $P_2 = h_2 + P_{atm}$.

P	V	$P \times V$	$1/P$
5.0	40.0	200	0.20
10.0	20.0	200	0.10
15.0	13.3	200	0.0667
17.0	11.8	201	0.0588
20.0	10.0	200	0.0500
22.0	9.10	200	0.0455
30.0	6.70	201	0.0333
40.0	5.00	200	0.0250

(a)



(b)



(c)

그림 9-4 (a) 그림 9-3의 실험에서 얻은 몇 가지 대표적인 실험 값. P 와 V 의 측정 값은 임의의 단위로 자료 첫 두 줄의 세로줄에 나타내었다. (b, c) (a)의 자료를 사용하여 보일의 법칙을 그래프로 나타낸 그림. (b) V 대 P . (c) V 대 $1/P$.

보일의 법칙

일정한 온도에서 일정 질량의 기체가 차지하는 부피(V)는 작용하는 압력(P)에 반비례한다.

$$V \propto \frac{1}{P} \quad \text{또는} \quad V = k \left(\frac{1}{P} \right) \quad (\text{단 } n, T \text{는 일정})$$

$$P_1 V_1 = k \quad (\text{단 } n, T \text{는 일정})$$

$$P_2 V_2 = k \quad (\text{단 } n, T \text{는 일정})$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (\text{일정한 온도, 일정 질량의 기체})$$

예제 9-1 보일의 법칙 계산

1.2 atm에서 12 L를 차지하는 기체 시료가 있다. 압력을 2.4 atm으로 증가시키면 이 기체의 부피는 얼마인가?

계획

기체의 처음 압력에서 부피를 알고 이것을 이용하여 기체의 압력이 변할 때 부피 변화를 구하고자 한다(일정한 온도). 이것은 보일의 법칙을 사용하면 된다. 알고 있는 양과 알고자 하는 양을 표로 만든 후, 구하려는 양(V_2)에 대하여 보일의 법칙 방정식을 푼다.

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad (\text{일정한 온도, 일정 질량의 기체})$$

예제 9-1 보일의 법칙 계산

1.2 atm에서 12 L를 차지하는 기체 시료가 있다. 압력을 2.4 atm으로 증가시키면 이 기체의 부피는 얼마인가?

계획

기체의 처음 압력에서 부피를 알고 이것을 이용하여 기체의 압력이 변할 때 부피 변화를 구하고자 한다(일정한 온도). 이것은 보일의 법칙을 사용하면 된다. 알고 있는 양과 알고자 하는 양을 표로 만든 후, 구하려는 양(V_2)에 대하여 보일의 법칙 방정식을 푼다.

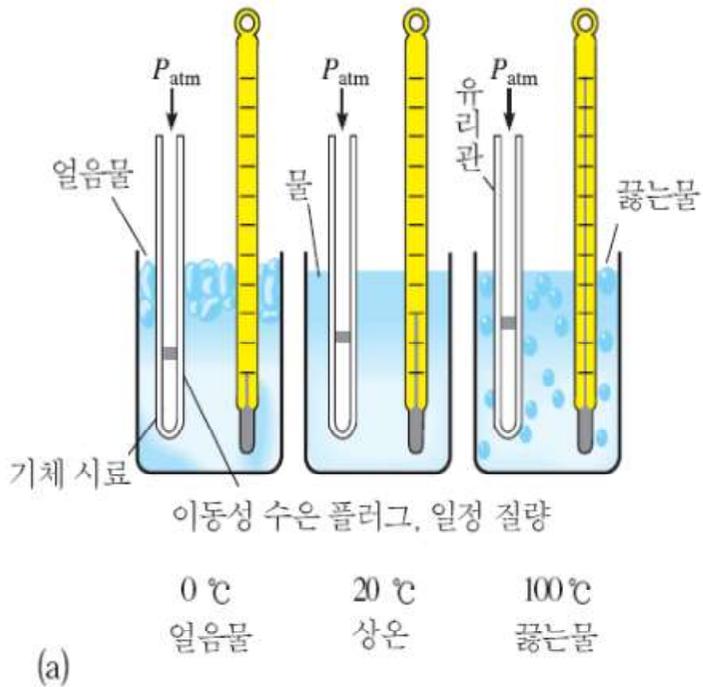
풀이

$$\begin{array}{ll} V_1 = 12 \text{ L} & P_1 = 1.2 \text{ atm} \\ V_2 = ? & P_2 = 2.4 \text{ atm} \end{array}$$

보일의 법칙 $P_1V_1 = P_2V_2$ 을 V_2 에 대하여 푼다.

$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2} = \frac{(1.2 \text{ atm})(12 \text{ L})}{2.4 \text{ atm}} = 6.0 \text{ L}$$

9-5 샤를의 법칙: 부피 - 온도 관계 ; 절대온도



t (°C)	V (mL)	T (K)
27	20.0	300
54	21.8	327
100	24.9	373
127	26.7	400
227	33.3	500
327	40.0	600
427	46.7	700

(b)

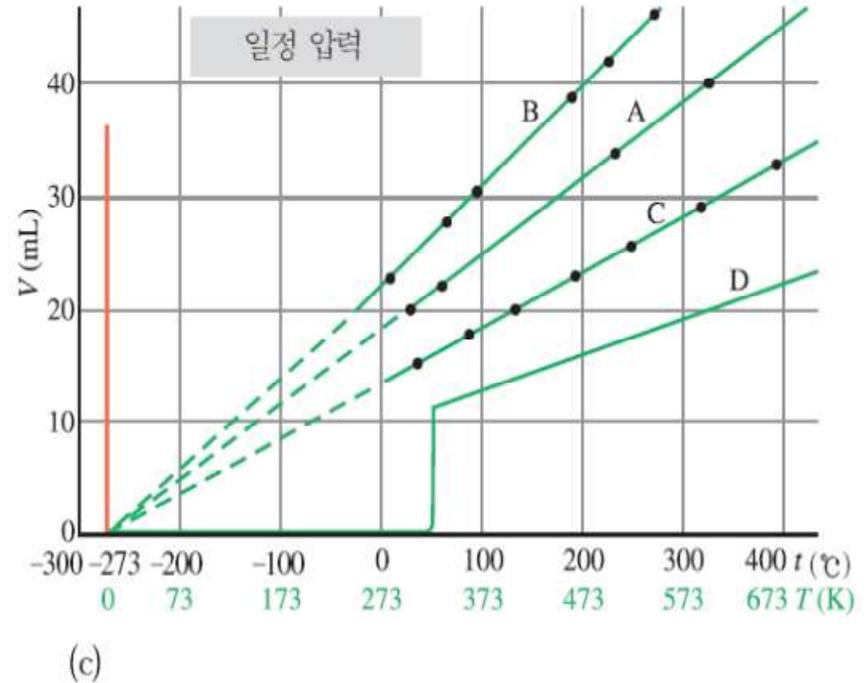


그림 9-5 일정한 압력에서 온도의 증가에 따른 기체의 부피 증가를 보여주는 실험. (a) 일정 질량의 수은 마개에 더해진 대기압은 잡혀진 공기의 압력을 일정하게 유지한다. (b) 일정한 압력에서 몇 개의 부피-온도 자료, t (°C)에 273 °C을 더하여 T (K)로 바꾸면 부피-온도 관계가 분명해진다. (c) 부피를 두 가지 다른 눈금의 온도로 도시한 그래프. 선 A, B, C는 같은 질량의 이상 기체를 다른 압력에서 얻은 값이다. 선 A는 (b)의 표에 있는 자료를 나타낸 것이다. 그래프 D는 기체가 냉각되어 액체(이 경우 50 °C)로 응축되는 거동을 보여준다.

$$V \propto T \text{ 또는 } V = kT \quad (n \text{과 } P \text{는 일정})$$

$$V/T = k \text{ (상수)}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (\text{일정한 압력, 일정 질량의 기체})$$

예제 9-2 샤를의 법칙 계산

100 °C에서 117 mL를 차지하는 질소 기체가 있다. 압력의 변화 없이 기체의 부피를 234 mL로 증가시키면 온도는 몇 °C인가?

계획

주어진 온도에서 기체의 부피를 알고, 이것을 이용하여 달라진 기체의 부피에서 변한 온도를 구하는 문제이다. 여기에 샤를의 법칙을 이용하면 된다. 이 계산에서 반드시 기억해야 할 것은 섭씨 온도를 절대 온도 단위로 바꾸어야 하는 것이다.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (\text{일정한 압력, 일정 질량의 기체})$$

온도 → K

예제 9-2 샤를의 법칙 계산

100 °C에서 117 mL를 차지하는 질소 기체가 있다. 압력의 변화 없이 기체의 부피를 234 mL로 증가시키면 온도는 몇 °C인가?

계획

주어진 온도에서 기체의 부피를 알고, 이것을 이용하여 달라진 기체의 부피에서 변한 온도를 구하는 문제이다. 여기에 샤를의 법칙을 이용하면 된다. 이 계산에서 반드시 기억해야 할 것은 섭씨 온도를 절대 온도 단위로 바꾸어야 하는 것이다.

풀이

$$V_1 = 117 \text{ mL} \quad V_2 = 234 \text{ mL} \quad T_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C} + 273^\circ = 373 \text{ K} \quad T_2 = ?$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{그리고} \quad T_2 = \frac{V_2 T_1}{V_1} = \frac{(234 \text{ mL})(373 \text{ K})}{(117 \text{ mL})} = 746 \text{ K}$$

$$^\circ\text{C} = 746 \text{ K} - 273^\circ = 473^\circ\text{C}$$

켈빈 단위로 기체의 온도는 373 K에서 746 K로 2배가 되므로 기체의 부피도 2배가 된다.

9-6 표준 온도와 압력

STP = 0 °C (273.15 K)와 1대기압(1 atm = 760 torr)

9-7 결합 기체 법칙 방정식

보일의 법칙과 샤를의 법칙을 하나의 결합 기체 법칙 방정식으로 :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (\text{일정 질량의 기체})$$

1. T 가 일정할 때 $P_1 V_1 = P_2 V_2$ (보일의 법칙)

2. P 가 일정할 때 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ (샤를의 법칙)

3. V 가 일정할 때 $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

예제 9-3 결합 기체 법칙 계산

27 °C, 985 torr에서 105 L를 차지하는 네온 기체가 있다. 이 기체는 표준 온도와 압력 (STP)에서 부피가 얼마인가?

계획

기체 시료의 세 가지 양 P , V 그리고 T 가 모두 변하였다. 따라서 결합 기체 법칙 방정식을 사용하는 것이 편리하다. 알고 있는 양과 알고자 하는 양을 표로 만들고 결합 기체 법칙 방정식을 알고자 하는 양 (V_2)에 대하여 풀고 주어진 값을 대입한다.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (\text{일정 질량의 기체})$$

풀이

$$V_1 = 105 \text{ L} \quad P_1 = 985 \text{ torr} \quad T_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C} + 273^\circ = 300 \text{ K}$$

$$V_2 = ? \quad P_2 = 760 \text{ torr} \quad T_2 = 273 \text{ K}$$

V_2 에 대하여 풀면 다음과 같다.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{따라서} \quad V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1} = \frac{(985 \text{ torr})(105 \text{ L})(273 \text{ K})}{(760 \text{ torr})(300 \text{ K})} = 124 \text{ L}$$

다른 방법으로 기체의 처음 부피에 보일의 법칙 인자와 샤를의 법칙 인자를 곱하는 것이 있다. 기체의 압력이 985 torr에서 760 torr로 감소하므로 기체의 부피는 보일의 법칙 인자 985 torr/760 torr만큼 증가한다. 온도는 300 K에서 273 K로 감소하므로 부피는 샤를의 법칙 인자 273 K/300 K만큼 감소한다. 기체의 처음 부피에 두 인자를 곱하면 같은 결과를 얻는다.

$$? \text{ L} = 105 \text{ L} \times \frac{985 \text{ torr}}{760 \text{ torr}} \times \frac{273 \text{ K}}{300 \text{ K}} = 124 \text{ L}$$

9-8 아보가드로의 법칙과 표준 몰 부피

아보가드로 가설

같은 온도, 같은 압력에서 모든 기체는 같은 부피 속에 같은 분자 수가 존재한다.

아보가드로 법칙

일정한 온도와 압력에서 일정 질량의 기체 시료가 차지하는 부피(V)는 기체의 몰 수(n)에 정비례한다.

$$V \propto n \quad \text{또는} \quad V = kn \quad \text{또는} \quad \frac{V}{n} = k \quad (\text{단 } P, T \text{는 일정})$$

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \quad (\text{단 } T, P \text{는 일정})$$

표준 몰 부피: 1 mol의 이상기체는 STP에서 22.414 L의 부피를 차지한다

표 9-3 몇 가지 기체의 표준 몰 부피 및 밀도

기체	화학식	(g/mol)	표준 몰 부피 (L/mol)	STP의 밀도 (g/L)
hydrogen	H ₂	2.02	22.428	0.090
helium	He	4.003	22.426	0.178
neon	Ne	20.18	22.425	0.900
nitrogen	N ₂	28.01	22.404	1.250
oxygen	O ₂	32.00	22.394	1.429
argon	Ar	39.95	22.393	1.784
carbon dioxide	CO ₂	44.01	22.256	1.977
ammonia	NH ₃	17.03	22.094	0.771
chlorine	Cl ₂	70.91	22.063	3.214

표 9-2에 주어진 부피 퍼센트는 몰 퍼센트와 같다.

예제 9-4 분자량, 밀도

특정 온도와 압력에서 기체 1몰의 부피가 27.0 L이고, 밀도는 1.41 g/L이다. 이 기체의 분자량은 얼마인가? 그리고 STP 상태에서 기체의 밀도는 얼마인가?

계획

밀도 1.41 g/L를 단위 환산하여 분자량(g/mol)으로 바꿀 수 있다. 표준 상태에서 기체의 밀도를 구하기 위해서는 기체 1몰이 차지하는 부피가 22.4L임을 알아야 한다.

$$\text{밀도} = \text{g/L}$$

예제 9-4 분자량, 밀도

특정 온도와 압력에서 기체 1몰의 부피가 27.0 L이고, 밀도는 1.41 g/L이다. 이 기체의 분자량은 얼마인가? 그리고 STP 상태에서 기체의 밀도는 얼마인가?

계획

밀도 1.41 g/L를 단위 환산하여 분자량(g/mol)으로 바꿀 수 있다. 표준 상태에서 기체의 밀도를 구하기 위해서는 기체 1몰이 차지하는 부피가 22.4 L임을 알아야 한다.

풀이

주어진 밀도에 27.0 L/1.00 mol을 곱하면 구하는 g/mol 단위를 만들 수 있다.

$$\frac{? \text{ g}}{\text{mol}} = \frac{1.41 \text{ g}}{\text{L}} \times \frac{27.0 \text{ L}}{\text{mol}} = 38.1 \text{ g/mol}$$

STP 상태에서 기체 1몰(38.1 g)은 22.4 L이므로 밀도는 다음과 같다.

$$\text{밀도} = \frac{38.1 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ mol}}{22.4 \text{ L}} = 1.70 \text{ g/L} \quad (\text{STP 상태에서})$$

9-9 기체 법칙의 요약: 이상 기체 방정식

이상기체의 거동 : 보일의 법칙	$V \propto \frac{1}{P}$	(단 T, n 은 일정)
샤를의 법칙	$V \propto T$	(단 P, n 은 일정)
아보가드로의 법칙	$V \propto n$	(단 T, P 는 일정)
종합	$V \propto \frac{nT}{P}$	(제한 없음)

$$V = R \left(\frac{nT}{P} \right) \quad \text{또는} \quad PV = nRT$$

이상기체방정식(ideal gas equation), 이상기체법칙

R : 기체 상수, universal gas constant

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{(1.0000 \text{ atm})(22.414 \text{ L})}{(1.0000 \text{ mol})(273.15 \text{ K})} = 0.082057 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$R = 0.08206 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = \frac{8.314 \text{ J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 8.314 \frac{\text{kPa} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$



이상 기체 법칙의 요약

1. 각 기체 법칙들은 주로 일정 질량의 기체에서 조건의 변화를 계산하는데 사용한다(참자는 변화 “전”과 “후”로 생각한다).

보일의 법칙 $P_1V_1 = P_2V_2$ (일정한 온도, 일정 질량의 기체)

샤를의 법칙 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ (일정한 압력, 일정 질량의 기체)

결합 기체 법칙 $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ (일정 질량의 기체)

아보가드로의 법칙 $\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$ (같은 온도와 압력의 기체 시료)

2. 이상 기체 방정식은 기체 시료의 상태를 나타내는 4가지 변수 P, V, n 그리고 T 중 한 가지 값을 구하는데 사용된다.

$$PV = nRT$$

예제 9-5 이상 기체 방정식

20 °C에서 1 L 플라스크에 54.0 g의 크세논(Xe)이 들어 있다면 압력은 몇 기압(atm)인가?

계획

먼저 알맞은 단위를 가진 변수로 표를 만든다. 그리고 P 에 대하여 이상 기체 방정식을 풀고 주어진 값을 대입한다.

예제 9-5 이상 기체 방정식

20 °C에서 1 L 플라스크에 54.0 g의 크세논(Xe)이 들어 있다면 압력은 몇 기압(atm)인가?

계획

먼저 알맞은 단위를 가진 변수로 표를 만든다. 그리고 P 에 대하여 이상 기체 방정식을 풀고 주어진 값을 대입한다.

풀이

$$V = 1.00 \text{ L}$$

$$n = 54.0 \text{ g Xe} \times \frac{1 \text{ mol}}{131.3 \text{ g Xe}} = 0.411 \text{ mol}$$

$$T = 20 \text{ }^\circ\text{C} + 273^\circ = 293 \text{ K} \quad P = ?$$

$PV = nRT$ 를 P 에 대하여 푼다.

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{(0.411 \text{ mol}) \left(\frac{0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right) (293 \text{ K})}{1.00 \text{ L}} = 9.89 \text{ atm}$$

예제 9-6 이상 기체 방정식

헬륨 기체로 채워진 기상 관측 기구는 7240 입방피트의 부피를 가진다. 21 °C에서 풍선을 745 torr로 불려면 몇 g의 헬륨이 필요한가?

계획

먼저 필요한 몰 수(n)를 구하기 위하여 이상 기체 방정식을 사용한 다음, 몰 수를 질량 단위로 변환시킨다. 주어진 값을 R ($R = 0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}$)에 쓰여진 단위의 값으로 변환시켜야 한다.

$$1 \text{ ft}^3 = 28.3 \text{ L}$$

예제 9-6 이상 기체 방정식

헬륨 기체로 채워진 기상 관측 기구는 7240 입방피트의 부피를 가진다. 21 °C에서 풍선을 745 torr로 불려면 몇 g의 헬륨이 필요한가?

계획

먼저 필요한 몰 수(n)를 구하기 위하여 이상 기체 방정식을 사용한 다음, 몰 수를 질량 단위로 변환시킨다. 주어진 값을 R ($R = 0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/\text{mol} \cdot \text{K}$)에 쓰여진 단위의 값으로 변환시켜야 한다.

풀이

$$P = 745 \text{ torr} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ torr}} = 0.980 \text{ atm} \quad T = 21 \text{ }^\circ\text{C} + 273^\circ = 294 \text{ K}$$

$$V = 7240 \text{ ft}^3 \times \frac{28.3 \text{ L}}{1 \text{ ft}^3} = 2.05 \times 10^5 \text{ L} \quad n = ?$$

$PV = nRT$ 를 n 에 대하여 풀고, 주어진 값을 대입하면 다음과 같다.

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(0.980 \text{ atm})(2.05 \times 10^5 \text{ L})}{\left(0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)(294 \text{ K})} = 8.32 \times 10^3 \text{ mol He}$$

$$? \text{ g He} = (8.32 \times 10^3 \text{ mol He}) \left(4.00 \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) = 3.33 \times 10^4 \text{ g He}$$

9-10 기체 물질의 분자량과 분자식 결정

이상기체법칙을 이용해서 몰수 구하고 질량을 몰수로 나누면 분자량이 된다.

예제 9-7 분자량

100 °C, 750 torr에서 순수한 기체 화합물 시료 0.109 g의 부피는 112 mL이다. 이 화합물의 분자량은 얼마인가?

계획

먼저 이상 기체 법칙($PV = nRT$)을 이용하여 기체의 몰 수를 구한다. 다음에 질량과 몰 수의 관계에서 1몰의 질량, 즉 분자량을 계산한다.

예제 9-7 분자량

100 °C, 750 torr에서 순수한 기체 화합물 시료 0.109 g의 부피는 112 mL이다. 이 화합물의 분자량은 얼마인가?

계획

먼저 이상 기체 법칙($PV = nRT$)을 이용하여 기체의 몰 수를 구한다. 다음에 질량과 몰 수의 관계에서 1몰의 질량, 즉 분자량을 계산한다.

풀이

$$V = 0.112 \text{ L} \quad T = 100 \text{ }^\circ\text{C} + 273^\circ = 373 \text{ K} \quad P = 750 \text{ torr} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ torr}} = 0.987 \text{ atm}$$
$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(0.987 \text{ atm})(0.112 \text{ L})}{\left(0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)(373 \text{ K})} = 0.00361 \text{ mol}$$

기체 0.00361몰의 질량이 0.109 g이므로 1몰의 질량은 다음과 같다.

$$\frac{? \text{ g}}{\text{mol}} = \frac{0.109 \text{ g}}{0.00361 \text{ mol}} = 30.2 \text{ g/mol}$$

9-11 돌턴의 분압 법칙

$$n_{\text{전체}} = n_A + n_B + n_C + \dots$$

:기체 혼합물에서 기체의 총 몰수는 각각의 몰수 합과 같다

$$P_{\text{전체}} = \frac{n_{\text{전체}} RT}{V} = \frac{(n_A + n_B + n_C + \dots)RT}{V}$$

:이상기체 방정식에 대입한다

$$P_{\text{전체}} = \frac{n_A RT}{V} + \frac{n_B RT}{V} + \frac{n_C RT}{V} + \dots$$

$$P_{\text{전체}} = P_A + P_B + P_C + \dots \quad (V, T \text{는 일정})$$

이상 기체 혼합물의 전체 압력은 각 기체의 분압의 합과 같다.

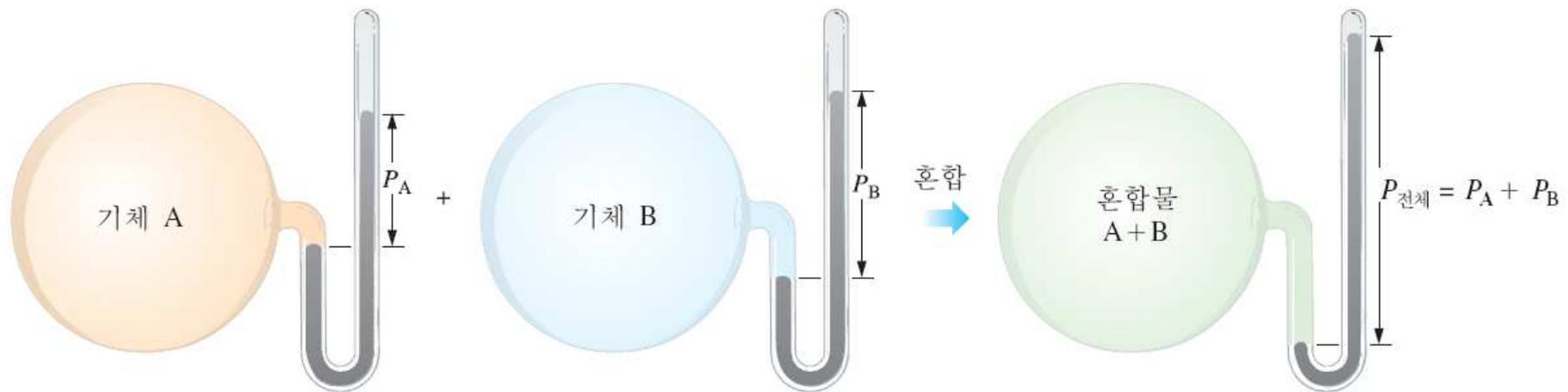


그림 9-6 돌턴의 법칙. 두 기체 A, B가 같은 온도에서 같은 용기에 혼합될 때 전체 압력은 각 기체의 분압의 합과 같다.

예제 9-8 기체 혼합물

25 °C에서 10 L 플라스크에 메탄 0.200몰, 수소 0.300몰 그리고 질소 0.400몰이 들어 있다. (a) 플라스크 속의 압력은 얼마인가? (b) 혼합 기체에서 각 성분 기체의 분압은 얼마인가?

계획

(a) 각 성분 기체의 몰 수가 주어져 있다. 따라서 이상 기체 법칙을 이용하여 전체 몰 수에서 전체 압력을 계산할 수 있다. (b) 혼합 기체에서 각 기체의 분압은 $PV = nRT$ 에 각 기체의 몰 수를 대입하여 구할 수 있다.

풀이

$$(a) \quad n = 0.200 \text{ mol CH}_4 + 0.300 \text{ mol H}_2 + 0.400 \text{ mol N}_2$$

$$V = 10.0 \text{ L} \quad T = 25 \text{ }^\circ\text{C} + 273^\circ = 298 \text{ K}$$

P 에 대하여 $PV = nRT$ 를 풀면 $P = nRT/V$ 이다. 주어진 값을 대입하면 다음과 같다.

$$P = \frac{(0.900 \text{ mol}) \left(0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right) (298 \text{ K})}{10.0 \text{ L}} = 2.20 \text{ atm}$$

(b) 이제 각 성분 기체의 분압을 구해보자. CH_4 의 경우 $n = 0.200$ 몰이고, V 와 T 는 주어진 값과 같다.

$$P_{\text{CH}_4} = \frac{(n_{\text{CH}_4}) RT}{V} = \frac{(0.200 \text{ mol}) \left(0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right) (298 \text{ K})}{10.0 \text{ L}} = 0.489 \text{ atm}$$

같은 방법으로 구한 수소와 질소의 분압은 다음과 같다.

$$P_{\text{H}_2} = 0.734 \text{ atm} \quad \text{그리고} \quad P_{\text{N}_2} = 0.979 \text{ atm}$$

돌턴의 법칙을 이용하여 계산한다: $P_{\text{전체}} = P_A + P_B + P_C + \dots$. 혼합물에서 각 기체의 분압을 더하면 전체 압력이 된다.

$$P_{\text{전체}} = P_{\text{CH}_4} + P_{\text{H}_2} + P_{\text{N}_2} = (0.489 + 0.734 + 0.979) \text{ atm} = 2.20 \text{ atm}$$

어떤 혼합물에서
 성분 A의 몰 분율 (mole fraction, X_A)

$$X_A = \frac{\text{A의 몰 수}}{\text{모든 성분의 총 몰 수}}$$

$$X_A = \frac{\text{A의 몰 수}}{\text{A의 몰 수} + \text{B의 몰 수} + \dots},$$

$$X_B = \frac{\text{B의 몰 수}}{\text{A의 몰 수} + \text{B의 몰 수} + \dots}, \dots$$

$$n_A = P_A V/RT, \quad n_B = P_B V/RT \quad \dots$$

$$n_{\text{전체}} = P_{\text{전체}} V/RT$$

$$X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B + \dots} = \frac{P_A V/RT}{P_{\text{전체}} V/RT}$$

$$X_A = \frac{P_A}{P_{\text{전체}}}; \text{ 이와 같이, } X_B = \frac{P_B}{P_{\text{전체}}} \quad \dots$$

$$X_A + X_B + X_C \dots = 1$$

$$P_A = X_A \times P_{\text{전체}}; \quad P_B = X_B \times P_{\text{전체}}; \quad \dots$$

기체 혼합물에서 각 기체의 분압은 각 기체의 몰 분율과 혼합물의 전체 압력을 곱한 값이다.

예제 9-9 분압, 몰 분율

대기 중 산소의 몰 분율은 0.2094이다. 대기압이 760 torr일 때 공기 중 존재하는 O_2 의 분압을 구하여라.

계획

기체 혼합물에서 각 기체의 분압은 혼합물의 전체 압력과 각 기체의 몰 분율을 곱한 값이다.

예제 9-9 분압, 몰 분율

대기 중 산소의 몰 분율은 0.2094이다. 대기압이 760 torr일 때 공기 중 존재하는 O₂의 분압을 구하여라.

계획

기체 혼합물에서 각 기체의 분압은 혼합물의 전체 압력과 각 기체의 몰 분율을 곱한 값이다.

풀이

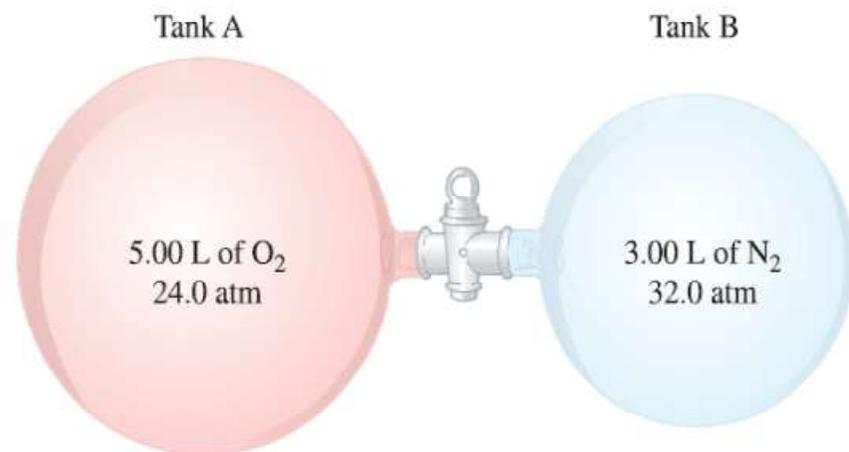
$$P_{\text{O}_2} = X_{\text{O}_2} \times P_{\text{전체}} = 0.2094 \times 760 \text{ torr} = 159 \text{ torr}$$

돌턴의 법칙은 아래의 예에서 보여주듯이 다른 기체 법칙과 결합하여 사용할 수 있다.

예제 9-10 기체 혼합물

두 용기가 닫힌 밸브로 연결되어 있다. 각 용기는 그림에서 보듯이 기체로 채워져 있으며, 같은 온도를 가진다. 밸브를 열고 기체를 섞는다.

- (a) 기체가 섞인 후 각 기체의 분압과 기체의 전체 압력을 구하여라.
- (b) 혼합물에서 각 기체의 몰 분율을 구하여라.



계획

- (a) 각 기체들의 부피는 5.00 L에 3.00 L를 더한 8.00 L로 팽창한다. 보일의 법칙을 이용하여 기체가 팽창하여 8.00 L가 될 때 각 기체의 분압을 구할 수 있다. 전체 압력은 두 기체 분압의 합과 같다.
- (b) 몰 분율은 전체 압력에 대한 각 기체의 분압 비에서 구할 수 있다.

풀이

(a) O₂에 대하여 풀면 다음과 같다.

$$P_1V_1 = P_2V_2 \text{ 또는 } P_{2,\text{O}_2} = \frac{P_1V_1}{V_2} = \frac{24.0 \text{ atm} \times 5.00 \text{ L}}{8.00 \text{ L}} = 15.0 \text{ atm}$$

N₂에 대하여 풀면 다음과 같다.

$$P_1V_1 = P_2V_2 \text{ 또는 } P_{2,\text{N}_2} = \frac{P_1V_1}{V_2} = \frac{32.0 \text{ atm} \times 3.00 \text{ L}}{8.00 \text{ L}} = 12.0 \text{ atm}$$

기체의 전체 압력은 각 기체 분압의 합과 같다.

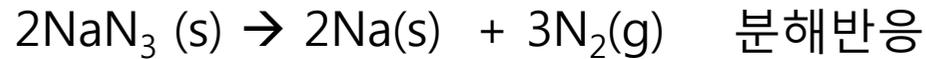
$$P_{\text{전체}} = P_{2,\text{O}_2} + P_{2,\text{N}_2} = 15.0 \text{ atm} + 12.0 \text{ atm} = 27.0 \text{ atm}$$

$$(b) \quad X_{\text{O}_2} = \frac{P_{2,\text{O}_2}}{P_{\text{전체}}} = \frac{15.0 \text{ atm}}{27.0 \text{ atm}} = 0.556$$

$$X_{\text{N}_2} = \frac{P_{2,\text{N}_2}}{P_{\text{전체}}} = \frac{12.0 \text{ atm}}{27.0 \text{ atm}} = 0.444$$

검산을 하면 몰 분율의 합은 1이다.

9-12 기체와 관련된 반응에서 질량-부피 관계



자동차가 충돌할 때 질소는 빠른 반응으로 ▶
생성되어 에어 백을 가득 채운다.



에어 백은 충돌 직후 1/20초 내에 기체로 가득
채워진다.

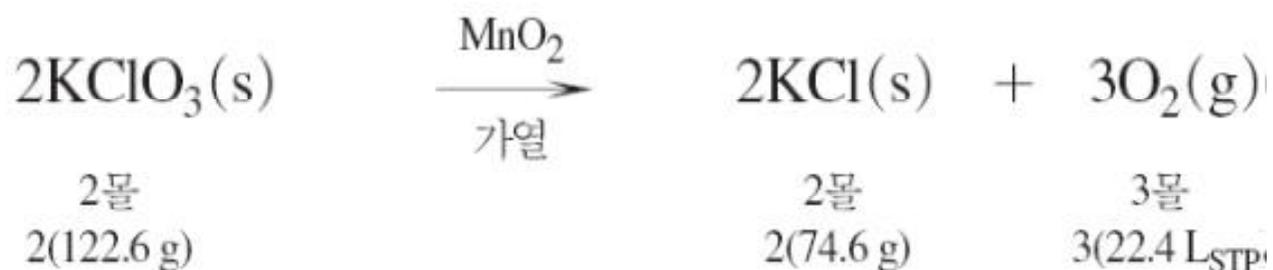


예제 9-12 화학 반응에서 기체의 부피

STP 상태에서 112 g의 KClO_3 을 가열할 때 생성되는 O_2 의 부피는 얼마인가?

계획

앞의 방정식에서 2몰의 KClO_3 는 3몰의 O_2 를 생성한다. 문제를 풀기 위하여 균형 방정식과 알맞은 단위를 가진 산소의 표준 몰 부피를 고려한다.



예제 9-12 화학 반응에서 기체의 부피

STP 상태에서 112 g의 KClO_3 을 가열할 때 생성되는 O_2 의 부피는 얼마인가?

계획

앞의 방정식에서 2몰의 KClO_3 는 3몰의 O_2 를 생성한다. 문제를 풀기 위하여 균형 방정식과 알맞은 단위를 가진 산소의 표준 몰 부피를 고려한다.

$$\text{풀이} \quad ? \text{ L}_{\text{STP}} \text{O}_2 = 112 \text{ g KClO}_3 \times \frac{1 \text{ mol KClO}_3}{122.6 \text{ g KClO}_3} \times \frac{3 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol KClO}_3} \times \frac{22.4 \text{ L}_{\text{STP}} \text{O}_2}{1 \text{ mol O}_2} = 30.7 \text{ L}_{\text{STP}} \text{O}_2$$

112 g의 KClO_3 가 열분해로 생기는 산소는 표준 상태에서 30.7 L이다.
