

탐구수업 지도자료

- 학 년 중학교 1학년
- 단 원 분자의 운동
- 소 단 원 9장 기타 배경 지식
- 대표 저자 노태희(서울대학교)
- 공동 저자 강훈식(서울대학교)
 김보경(서울대학교)
 박현주(서울대학교)

이 자료는 서울대학교 과학교육연구소가 교육인적자원부의 과학교육 연구기관으로 지정받아 수행하고 있는 「탐구·실험 중심의 과학교육 활성화를 위한 연구개발 사업」의 일환으로 개발되었습니다.



서울대학교 과학교육연구소

Seoul National University Science Education Research Center



기타 배경 지식



서울대학교
과학교육연구소

배경 지식 넓히기

1. 이상기체 상태 방정식

각 기체 법칙은 두 가지 변수를 순서에 따라 상수로 유지하면서 다른 변수들이 서로 어떻게 영향을 주는가를 살펴 구하였다.

(1) 보일의 법칙 : 일정한 온도(T)에서 기체 부피(V)는 압력(P)에 반비례한다.

(제7장 기체의 압력과 부피 참조)

$$V \propto \frac{1}{P} \quad (\text{기체의 몰수 일정, 온도 일정})$$

(2) 샤를의 법칙 : 일정한 압력에서 기체 부피는 절대 온도에 정비례한다.

(제8장 기체의 온도와 부피 참조)

$$**\text{절대 온도 } T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$$

$$V \propto T \quad (\text{기체의 몰수 일정, 압력 일정})$$

(3) 보일-샤를의 법칙

보일의 법칙과 샤를의 법칙으로부터 기체 상태에서 부피는 압력에 반비례하고, 절대 온도에 비례한다는 사실을 알 수 있다. 이것을 보일-샤를의 법칙이라고 한다.

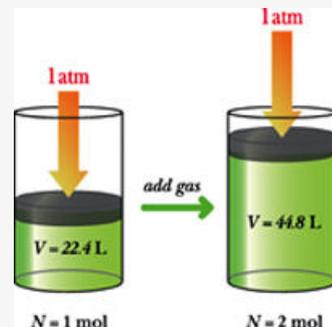
$$\frac{PV}{T} = k \quad (k \text{는 비례 상수})$$

- T 가 일정할 때, $PV = k$ (보일의 법칙)
- P 가 일정할 때, $V = kT$ (샤를의 법칙)
- V 가 일정할 때, $P = kT$

(같은 기체 부피에서 온도가 올라감에 따라 기체 상태의 분자의 운동이 활발해지고 용기 벽에 충돌하는 횟수가 증가하여 압력이 커지게 된다)

(4) 아보가드로의 법칙

같은 온도와 압력에서 같은 기체 부피 속에는 같은 분자가 들어있다.(아보가드로의 가정) 일정한 온도와 압력에서 기체 부피는 기체의 몰수(n)에 정비례한다. 예를 들어, 기체의 몰수가 2배가 되면 부피도 2배가 된다. 일반적으로, 0°C , 1기압에서 기체의 종류에 무관하게 22.4L 속에는 6.02×10^{23} 개의



[그림 9.1]
아보가드로의 법칙



서울대학교
과학교육연구소



서울대학교
과학교육연구소

기체 상태의 분자가 존재한다.

$$V \propto n (T, P \text{ 일정})$$

(5) 이상 기체 상태 방정식

아보가드로의 법칙과 보일-샤를의 법칙을 적용하여 기체 1몰에 대한 보일-샤를의 법칙에서 비례상수 k 를 구할 수 있다.

기체 1몰은 0°C, 1기압에서 부피가 22.4L 이므로(아보가드로의 법칙),

$$\frac{PV}{T} = \frac{1 \text{ atm} \times 22.4 \text{ L/mol}}{273 \text{ K}} = 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$$

여기서 $0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$ 를 기체상수라고 정의하며, 이를 R 로 표시한다.

따라서, 보일-샤를의 법칙은 1몰의 기체에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{PV}{T} = R, PV = RT$$

일반적으로 n 몰의 기체에 대해서는, $PV = nRT$

이 식은 이상 기체 상태 방정식으로, 이상 기체는 압력, 부피, 온도의 변화를 완전히 이상 기체 상태 방정식으로 설명하는 가상적 기체를 말한다.

위의 식에서 보면, 일정한 온도와 부피에서 압력은 기체의 몰수에 정비례한다는 사실을 알 수 있다. 이것은 기체의 몰수가 많아지면 분자간의 충돌하는 횟수가 증가하여 압력이 커지는 것을 의미한다.

$$P \propto n (T, V \text{ 일정})$$

여기서 이상 기체 상태 방정식이 적용될 수 있는 온도와 압력 범위에서 기체의 분자량과 밀도를 구할 수 있다.

$$PV = nRT \text{에서 } PV = \frac{w}{M} RT$$

$$M = \frac{wRT}{PV}, \quad d = \frac{PM}{RT}$$

여기서 밀도에 관한 관계식은 열기구의 원리에 적용할 수 있다. 열기구 내부의 공기를 가열하면 안쪽의 공기가 따뜻해져서 열기구의 부피가 커지고 밀도가 작아진 공기는 가벼워져서 열기구가 뜨게 된다.

여기서 열기구의 부피가 최대가 되어 더 이상 증가할 수 없게 되면 공기의 일부는 기구의 아래쪽 입구를 통하여 빠져 나온다. 이 때 열기구의 안쪽 공기의 부피는 일정하지만 빠져 나온 공기만큼 질량이 감소하므로, 열기구의 밀도가 작아져 열기구가 더 잘 뜨게 된다.

M : 분자량 [g/mol]
 w : 기체의 질량 [g]
 n : 몰수 ($\frac{w}{M}$),
 d : 기체의 밀도 ($\frac{w}{V}$)



[그림 9.2] 열기구

이것은 $n = \frac{PV}{RT}$ 에서 P 와 V 가 일정할 경우 n 은 T 에 대해 반비례하는 것으로도 확인할 수 있다. 즉, 아주 높이 올라가지 않는 한 압력은 거의 일정하고 열기구의 최대 부피도 일정하므로, 열기구의 안쪽 공기를 가열하면 공기의 양은 감소하고 결과적으로 바깥쪽



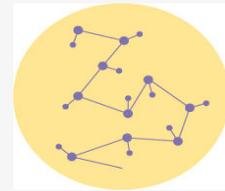
보다 밀도가 작아져 열기구가 더 잘 떠오르는 것이다.

2. 기체 분자 운동론

이상 기체는 기체들이 어떻게 운동하는가를 설명하지만 기체들이 왜 그렇게 움직이는지를 설명하지 못한다. 그리하여 기체들의 행동을 설명하기 위해 만들어진 모델이 기체 분자 운동론이다. 기체 분자 운동론은 기체를 이루고 있는 작은 입자, 즉 원자(0족 기체-He, Ne, Ar) 또는 분자의 운동을 설명하는 이론으로 다음과 같다.

(1) 연속, 불규칙한 운동

기체를 이루고 있는 분자들은 연속적으로 불규칙하게 움직이고 있으며, 이렇게 기체가 운동하며 용기의 벽에 충돌하여 단위 면적당 받는 힘이 압력을 나타낸다.



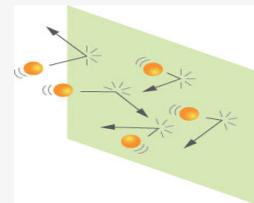
[그림 9.4] 불규칙한 분자의 운동

(2) 기체 분자 부피 ≈ 0

기체 분자가 차지하는 부피는 기체의 전체 부피에 대해 무시할 수 있을 정도로 작고, 기체 분자간의 인력과 반발력은 무시할 정도이다.

(3) 탄성 충돌

기체 분자는 완전 탄성체라고 가정한다. 에너지는 충돌하는 동안 분자간에 이동할 수 있지만 기체 온도를 일정하게 유지하면 평균 분자 운동 에너지는 시간에 따라 변하지 않는다. 즉, 외부 환경과의 마찰로 인한 에너지 손실이 없으므로 충돌 전후의 운동 에너지는 변하지 않는 것이다.



[그림 9.4] 분자의 탄성 운동

(4) 평균 분자 운동 에너지 \propto 절대 온도(T)

기체의 평균 분자 운동 에너지는 절대 온도에 정비례한다. 즉, 온도가 올라가면 기체 분자의 운동 속도가 빨라지므로 기체의 운동 에너지가 증가한다. 어떤 일정한 온도에서 기체 분자는 그 종류에 관계없이 같은 평균 분자 운동 에너지를 갖는다.

$$\text{기체의 총 운동 에너지 } E_k = \frac{3}{2} nRT$$

3. 실제 기체

(1) 기체 분자 운동론에서 벗어나는 실제 기체 현상

이상 기체 상태 방정식은 이상 기체의 운동을 설명하는 데는 매우 유용하지만 실제 기체의 운동에는 그대로 적용되지 않는다. 왜냐하면 이상 기체는 분자 자체의 부피가 매우 작으며(기체 분자 부피 ≈ 0) 서로 간에 인력이 없지만, 실제 기체는 일정한 부피를 가지고 있으며 분자간의 인력도 작용하기 때문이다.



서울대학교
과학교육연구소



서울대학교
과학교육연구소



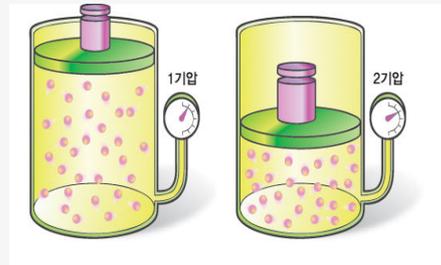
서울대학교
과학교육연구소

① 낮은 압력

분자간의 거리가 멀어지므로 용기 부피에 비하여 기체에서의 분자의 부피는 무시될 정도로 작아진다. 따라서 이상 기체의 운동과 비슷하다.

② 높은 압력

분자들이 이동할 수 있는 공간이 용기 부피보다 작아지므로, 이 때에는 분자 자체의 부피를 고려해야 한다. 또한 분자간의 인력으로 용기 벽과 충돌하는 분자들의 힘은 줄어들게 되므로 압력은 이상 기체보다 더 작게 된다. (오른쪽 그림)



③ 낮은 온도

평균 분자 운동 에너지가 감소하여 분자 운동이 둔해지지만 인력은 일정하게 유지되므로 인력의 영향을 받게 된다.

④ 높은 온도

분자 운동이 활발하여 분자간의 거리가 멀어지므로 인력의 영향이 줄어든다.

따라서, 실제 기체의 운동은 낮은 압력과 높은 온도에서 이상기체와 가까워진다.

[그림 9.5]

고압에서 실제 기체의 부피변화

(2) 실제 기체 방정식 (van der Waals식)

실제 기체에 대해 분자간 인력과 분자 자체의 부피를 고려하여 van der Waals는 다음과 같이 상태 방정식을 나타내었다.

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

| | |
|--------|---|
| b | 기체 1몰의 분자가 차지하는 유효부피이며, 분자가 차지한 부피는 nb 인만큼 감소함. 기체를 압축할 수 있는 자유공간 $\rightarrow (V - nb)$ |
| a | 인력을 나타내는 계수이며, 분자간의 인력으로 용기 벽에 나타내는 힘이 $\left(\frac{n}{V} \right)^2$ 으로 감소하여 압력손실이 발생 $\rightarrow \frac{n^2 a}{V^2}$ |
| a, b | 각 기체의 고유상수로 온도와 압력에 무관하다. 일반적으로 분자의 질량이 증가할수록, 그리고 분자가 복잡할수록 그 값이 커진다. |

