

실험 5

물질량 측정

Molar Mass Determination

- 목표 : 이상기체 상태 방정식을 이용해서 쉽게 증발하는 기체의 물질량을 결정한다.
- 핵심 개념 : 물질량(molar mass), 이상 기체(ideal gas), 상태 방정식(equation of state), 압력(pressure), 온도(temperature), 부피(volume), 몰(mole)
- 관련 개념 : 기화(vaporization)

1. 서론

원자나 분자는 매우 작은 입자이기 때문에 질량을 직접 측정하는 것은 매우 어렵다. 그래서 원자나 분자의 질량을 나타내기 위해서 상대적인 방법을 사용한다. 즉, 질량수

12인 탄소의 원자 물질량을 12라고 정의하고, 이 동위원소 12 g에 들어있는 탄소 원자의 수를 아보가드로 수(6.022×10^{23})라고 하며, 아보가드로 수만큼의 원자 또는 분자를 1몰이라고 정의한다. 따라서 분자의 물질량도 1몰에 해당하는 분자의 질량을 탄소 원자 1몰의 질량과 비교하여 결정한다.

분자의 물질량을 측정하는 방법은 여러 가지가 있다. 그 중에서도 가장 간단하게 물질량을 측정하는 방법은 기체의 상태 방정식을 이용하는 것이다. 대부분의 기체는 상온, 상압에서 이상기체 상태 방정식을 어느 정도 만족하기 때문에 기체의 부피, 온도, 압력과 함께 용기를 가득 채우는 데에 필요한 물질의 질량 W 를 측정하면 이상기체 상태 방정식으로부터 물질량 M 을 계산할 수 있다.

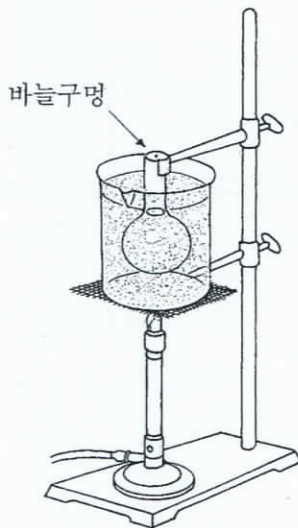


그림 5-1 분자량 측정 장치

$$M = \frac{WRT}{pV}$$

(5-1)

$$M = \frac{WRT}{pV}$$

이 실험에서는 액체를 가열해서 일정한 부피를 가진 플라스크의 내부를 기체로 채운 다음에 플라스크를 다시 냉각시켜 액체로 만든 다음에 질량을 측정하는 방법을 사용한다. 정밀한 측정을 위해서는 피크노미터(pycnometer)라고 하는 특별하게 만든 작은 플라스크를 사용하지만 이 실험에서는 100 mL 둥근 플라스크 또는 삼각 플라스크를 사용한다.

2. 실험 기구 및 시약

A. 실험 기구

- 100 mL 둥근 바닥 플라스크(round-bottom flask) 또는 삼각 플라스크(Erlenmeyer flask)
- 500 mL 비커(beaker)
- 10 mL 눈금 피펫(measuring pipet)
- 바늘(needle)
- 온도계(thermometer)
- 가열기(gas burner or hot plate)
- 스탠드, 클램프, 링 또는 삼각대 (stand with base, burette clamp, ring with clamp or single ring tripod) (링 대신에 삼각대를 사용하면 더 안전하며, hot plate를 사용하면 링이나 삼각대를 사용하지 않아도 된다.)
- 쇠그물망(wire heating pad)
- 화학 저울(chemical balance)
- 알루미늄박(aluminum foil)
- 종이수건
- 50 mL 눈금 실린더(graduated cylinder)
- 면장갑(cotton gloves)

B. 시약

- $\text{CH}_3\text{COOCH}(\text{CH}_3)_2$ (isopropyl acetate)
 - $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ (2-propanol, isopropyl alcohol)
 - $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ (ethyl acetate)
- 위 3개의 시료 중 하나 또는 둘을 골라서 사용한다.

3.

- 1) 깨
- 2) 뚜
- 3) 플
- 4) 5C
- 5) 플
- 6) 끓
- 기
- 세
- 대
- 7) 플
- 내
- 낸
- 8) 플
- 9) 바
- 10) 플
- 11) 사

4.

- 1) 끓
- 2) 가

5.

측정

체로 채운
을 사용한
작은 플
스크를 사

rlenmeyer

ring with
전하며, hot

3. 실험 방법

- 1) 깨끗하게 씻어서 말린 100 mL 둥근 바닥 플라스크에 알루미늄박으로 뚜껑을 만들어 씌우고, 바늘로 작은 구멍을 뚫는다. 구멍의 크기는 작을수록 좋다.
- 2) 뚜껑을 덮은 플라스크의 무게를 화학 저울을 사용해서 정확하게 측정한다.
- 3) 플라스크에 약 3 mL의 액체 시료를 넣고 뚜껑을 다시 막고 스탠드에 고정시킨다.
- 4) 500 mL 비커에 물을 절반 정도 채우고 끓을 때까지 가열한다.
- 5) 플라스크를 비커의 바닥에 닿지 않을 정도로 물 속에 깊이 넣는다.
- 6) 끓는 물의 온도와 대기압을 측정하고, 플라스크 속의 액체가 모두 기화할 때까지 기다린다. 플라스크를 비커에서 꺼내면 안 된다. 뚜껑에 뚫린 구멍을 옆에서 자세히 관찰하면 빛의 산란 때문에 기체가 새어 나오는 것을 관찰 할 수 있다. (휴대용 전지를 사용하면 좋다.)
- 7) 플라스크의 액체가 모두 기화하면 잠시 기다린 후에 플라스크를 끓는 물에서 꺼내 식힌다. 플라스크는 매우 뜨거우므로 손으로 만지지 말고 면장갑을 끼고 꺼낸다.
- 8) 플라스크 바깥에 묻어 있는 물기를 종이수건을 사용해서 완전히 닦아낸다.
- 9) 바깥을 완전히 말린 플라스크와 뚜껑의 무게를 다시 측정한다.
- 10) 플라스크를 깨끗하게 씻은 후에 증류수를 가득 채우고, 눈금 실린더를 사용해서 증류수의 부피를 측정하고 이 값을 이용해서 플라스크의 부피를 계산한다.
- 11) 시간이 허용되면 위의 실험을 한 번 더 반복한다.

4. 주의 및 참고 사항

- 1) 증발한 기체를 직접 흡입하지 않도록 조심하고, 실험실의 환기가 잘 되도록 유의한다.
- 2) 가열된 플라스크 등에 화상을 입지 않도록 주의한다.

5. 실험 결과 처리

측정한 값을 식 (5-1)을 이용하여 물질량을 계산한다.

6. 생각해볼 사항

- 1) 이 실험에 사용하는 액체 시료는 어떠한 성질을 가지고 있어야 실험 목적에 가장 적합하겠는지 생각해보자.
- 2) 액체 시료의 양이 충분하지 않아서 기화한 시료가 플라스크를 완전히 채우지 못했다면 어떤 결과가 얻어지겠는가? 분자량이 100이라면 최소한 몇 g의 시료가 필요한가?
- 3) 액체 시료에 기화하지 않는 불순물이 녹아있다면 실험 결과가 어떻게 되겠는가?
- 4) 이 실험에서 플라스크를 물 속 깊이 잠기도록 해야 하는 이유를 설명하여라.

7. 실험 결과

1. 플라스크와 알루미늄 뚜껑의 처음 무게 _____ g _____ g
2. 식힌 플라스크와 뚜껑의 무게 _____ g _____ g
3. 응축된 시료의 무게
(위 1에서 위 2를 뺀값) _____ g _____ g
4. 끓는 물의 온도 _____ °C _____ °C
5. 대기압 _____ atm _____ atm
6. 플라스크의 부피 _____ mL _____ mL
7. 액체 시료의 물질량 _____ g/mol _____ g/mol

수
실험
자나
량을
화
물은
6.02
나
정도
10⁻⁹
두께
자들
이 다
문학
"7
없이
가드로
될 수
이탈
서야
술회의
문도
아보
학자
가드로
장 중

몰(mole)

수소 원자 하나의 질량은 1.66×10^{-24} g이고, 크기는 10^{-8} cm에 불과하기 때문에 실험실에서 볼 수 있는 저울로는 절대 측정할 수 없을 정도로 작다. 그렇기 때문에 원자나 원자들이 결합하여 만들어진 분자의 질량을 이야기할 때 원자나 분자 하나의 질량을 대상으로 하는 것은 매우 불편하다.

화학에서는 이런 불편을 해결하기 위해서 "몰" (mole)이라는 단위를 사용한다. 1 몰은 질량수가 12인 탄소의 동위원소 12 g에 들어있는 탄소 원자의 수를 뜻하며, 6.022×10^{23} 이라는 엄청나게 큰 값을 갖는다. 개수를 셀 수 있는 것이라면 무엇이든 "몰"의 단위로 표현할 수 있다. 지구상에 살고 있는 사람의 수는 현재 60억명 정도로 1×10^{14} 몰에 불과하며, 우리 나라 정부의 1년 예산도 몰 단위로 표시하면 10^9 몰에 지나지 않는다. 모래알 1몰을 모으면 서울과 같은 정도의 도시를 수백미터의 두께로 덮을 수 있을 정도로 엄청난 양이 된다. 화학에서는 이렇게 엄청난 숫자의 분자들을 잘 조절해서 원하는 화학반응이 일어나도록 함으로써 현대 생활에 필요한 수없이 다양한 화합물을 만들어내고 있다. 그러니까 우리가 흔히 엄청나게 큰 숫자를 "천문학적"이라고 하지만 사실은 "화학적"이라고 하는 것이 더 적절하다.

아마데오 아보가드로 (1776~1856)



"같은 부피를 차지하는 기체 분자의 수는 기체의 종류에 상관 없이 언제나 같다"는 1811년 이탈리아의 과학자 아마데오 아보가드로의 주장을 기초로 현대적 의미의 원자량과 몰질량이 정의될 수 있게 되었다.

이탈리아의 법률가 집안에서 태어난 아보가드로는 법학을 공부하다가 24살이 되어 서야 과학을 공부하기 시작하였다. 대학에서 물리와 수학을 가르쳤던 아보가드로는 학술회의에 전혀 참석하지 않았으며 다른 과학자들과의 교류도 철저하게 외면하였고, 논문도 많이 발표하지 않았다.

아보가드로의 이러한 개인적인 성향 때문에 그가 죽은 후에 이탈리아의 또 다른 화학자 카니짜로(S. Cannizzarro)에 의해서 그의 업적이 세상에 알려지게 되었다. 아보가드로의 주장은 처음에는 "아보가드로의 가설"로 취급되었지만 지금은 화학에서 가장 중요한 법칙 중의 하나로 정립되었다.