

# 실험 4

## 아보가드로 수의 결정

### Determination of Avogadro's Number

- 목표 : 물 위에 생기는 기름막을 이용하여 물의 단위인 아보가드로 수를 결정한다.
- 핵심 개념 : 아보가드로 수(Avogadro's number), 몰(mole), 단분자층(monolayer), 극성(polarity)
- 관련 개념 : 몰질량(molar mass), 계면활성제(surfactant)

#### 1. 서론

질량수가 12인 탄소 12 g에 들어있는 탄소 원자의 수를 아보가드로 수(Avogadro's number,  $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ )라고 하며, 아보가드로 수 만큼에 해당하는 원자나 분자를 1몰(mole)이라고 한다. 이것은 마치 달걀 30개를 1판이라고 부르는 것과 마찬가지로이다. 다만 원자나 분자는 그 크기와 질량이 매우 작기 때문에 아보가드로 수가 대단히 클 뿐이다.

아보가드로 수는 탄소 원자 1몰이 차지하는 부피( $V_m$ )와 탄소 원자 하나가 차지하는 부피( $V_1$ )를 알면 아래 식을 이용해서 얻을 수 있다.

$$N_A = \frac{V_m}{V_1} \quad (4-1)$$

우선 지구상에 존재하는 탄소는 몇 가지 동위원소들이 섞여있기 때문에 탄소 1몰의 평균 질량은 12.011 g이고, 탄소 원자가 촘촘히 쌓여서 만들어진 다이아몬드의 밀도( $3.51 \text{ g/cm}^3$ )를 이용하면 탄소 원자 1몰이 차지하는 부피( $V_m$ )를 쉽게 계산할 수 있다.

탄소 원자 하나의 부피를 정확하게 알아내는 것은 그렇게 쉽지 않지만, 기름처럼 물에 섞이지 않는 탄소화합물을 이용하면 간단하게 짐작할 수 있다.

물( $\text{H}_2\text{O}$ )은 전자를 잘 잡아당기는 산소 한 개에 두 개의 수소가  $104.5^\circ$ 의 각도를 이루며 결합되어 있어서 전기쌍극자의 성질을 갖고 있는 극성 분자이다. 액체 상태에서 소금( $\text{NaCl}$ )이 물에 잘 녹는 것도 바로 물의 이런 극성때문이다. 그러나 전기쌍극자의 성질을 갖지 않는 벤젠이나 헥산과 같은 비극성 분자들은 물과 잘 섞이지 않는다.

스테아르산(stearic acid,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ )은 비극성을 나타내는 긴 탄화수소 사슬 ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}-$ )의 끝에 극성을 나타내는 카복실기( $-\text{COOH}$ )가 붙어있는 막대기처럼 생긴 분자이다. 이런 분자를 물 위에 떨어뜨리면 극성을 가진 카복실기는 물과 잘 달라붙지만 비극성의 탄화수소 사슬은 물과 잘 접촉하지 않으려는 경향이 있다. 그래서 물 위에 스테아르산을 충분히 떨어뜨리면 카복실기가 물 쪽으로 향하고 비극성의 탄화수소 사슬이 물층 위로 서있는 단분자층의 막이 형성되며, 이런 막을 단층막(monolayer)이라고 부른다.

일정한 면적을 가진 물 표면 전체에 스테아르산의 단분자층이 만들어지기 위해 필요한 스테아르산의 부피를 물 표면의 넓이로 나누어주면 스테아르산 분자의 길이를 얻게 된다. 곧은 사슬 모양의 스테아르산 분자는 탄소 원자 18개가 쌓여 있는 것으로 볼 수 있기 때문에 스테아르산의 길이로부터 탄소 원자 하나의 지름을 얻을 수 있고, 그 값을 이용하면 탄소 원자 하나가 차지하는 부피( $V_1$ )도 얻을 수 있다.

## 2. 실험 기구 및 시약

### A. 실험 기구

큰 물통(water container)  
눈금 실린더(graduated cylinder) 10 mL  
유리 모세관 피펫(glass capillary pipet)  
시약주걱(spetula)

### B. 시약

증류수(distilled water)  
헥산(hexane)  
스테아르산(stearic acid)  
송화가루

## 3. 실험 방법

- 1) 헥산(hexane)으로 내부를 씻은 피펫에 헥산을 충분히 채운다.
- 2) 피펫을 똑바로 세운 상태에서 눈금 실린더에 헥산 용액을 반쯤 채우고 눈금을 읽는다. 헥산 용액을 한 방울씩 떨어뜨려 부피가 1.00 mL가 되도록 한다. 만약

소 사슬  
처럼 생  
잘 달라  
래서 물  
탄화수  
nolayer)

해 필요  
를 얻게  
로 볼 수  
1, 그 값

1.00 mL의 방울수가 100 이하이면 구멍이 더 작은 피펫으로 바꾸어야 한다. 피펫을 기울이면 방울의 부피가 달라지기 때문에 똑바로 세워야 한다.

- 3) 큰 물통에 물을 반쯤 채우고 수면이 잔잔해질 때까지 기다린다.
- 4) 작은 시약주걱으로 송화 가루를 조금 떠서 물통의 가운데 부분에 조심스럽게 뿌려준다. 송화 가루가 물통의 벽에 닿지 않아야 하고, 물통에 원형으로 퍼지도록 해야 한다.
- 5) 0.01~0.02 g 정도의 스테아르산을 헥산 100 mL에 녹인 용액을 피펫에 넣어서 한 방울을 송화 가루가 퍼져있는 한 가운데에 떨어뜨린다. 스테아르산이 퍼지면서 생기는 원형 기름막의 경계면을 쉽게 구별할 수 있을 것이다.
- 6) 원형으로 퍼진 단분자층의 직경을 측정한다. 원형이 아닌 경우에는 대각선 방향의 길이를 여러 번 측정해서 평균값을 얻는다.

#### 4. 주의 및 참고 사항

- 1) 헥산은 인화성 물질이기 때문에 조심하여 취급한다.
- 2) 헥산은 휘발성이 크기 때문에 스테아르산 용액을 담은 용기는 마개를 막아두어야 한다. 그리고 스테아르산 용액을 넣은 피펫을 공기 중에 오래 놓아두면 헥산이 증발해서 스테아르산 용액이 진하게 된다. 따라서 피펫을 사용하기 전에 스테아르산 용액으로 여러 차례 헹구어 사용하는 것이 좋다.
- 3) 스테아르산과 헥산 용액은 학생들이 직접 제조할 수 있지만, 실험 시간이 충분하지 않으면 조교가 미리 만들어둔 용액을 사용해도 된다. 이 경우에는 농도를 확실하게 표시해 두어야 한다.

#### 5. 실험 결과 처리

- 1) 사용한 피펫에서 떨어지는 헥산 용액 한 방울의 부피를 계산한다.
- 2) 퍼진 단분자층의 직경으로부터 단분자층의 면적을 알아낸다 ( $A = \pi R^2$ ).
- 3) 물 위에 떨어뜨린 스테아르산 용액의 방울 수로부터 한 방울의 부피를 계산하고, 스테아르산의 농도를 이용해서 단분자층에 포함된 스테아르산의 질량을 계산한다. 스테아르산의 밀도( $0.941 \text{ g/cm}^3$ )를 사용하여 스테아르산의 부피를 계산한다.
- 4) 단분자층이 18개의 탄소 원자가 연결된 막대기 모양의 스테아르산이 뽁뽁하게 모여서 만들어진 것으로 여겨서 그 높이를 계산하고, 탄소 원자 하나의 지름  $r$ 을 알아낸다.

눈금을 읽  
한다. 만약

- 5) 다이아몬드의 밀도를 이용해서 탄소 1몰이 차지하는 부피( $V_m$ )를 계산한다.
- 6) 탄소 원자를 정육면체 모양에서 그 부피  $V_1$ 이  $r^3$ 이라고 생각하고 식 (4-1)을 이용해서 아보가드로 수를 계산하여 실제값과 비교한다.
- 7) 스테아르산 1개의 분자 단면적을 구한다.

## 6. 생각해볼 사항

- 1) 이 실험에서 사용한 스테아르산보다 탄화수소 사슬의 길이가 짧은 분자를 이용하면 실험 결과에 어떤 영향을 미치겠는가?
- 2) 스테아르산 대신 올레산과 같이 이중결합을 가진 분자를 사용하면 어떻게 되겠는가?
- 3) 스테아르산 단분자층의 높이로부터 스테아르산 알킬 사슬의 탄소-탄소 원자 사이의 평균 거리를 구한다. C-C-C 결합 각도를 109.5도라고 할 때 탄소와 탄소 사이의 결합길이를 계산하여라.

## 7. 실험 결과

### 1. 피펫의 보정

1.00 mL에 해당하는 hexan의 방울 수 \_\_\_\_\_  
 hexan 한 방울의 부피 \_\_\_\_\_ mL/방울

### 2. 스테아르산 용액 한 방울이 덮은 표면적

단층막의 직경 \_\_\_\_\_ cm  
 단층막의 넓이 \_\_\_\_\_  $cm^2$

### 3. 스테아르산 단층막의 두께

스테아르산 한 방울의 질량 \_\_\_\_\_ g/방울  
 스테아르산 한 방울의 부피 \_\_\_\_\_ mL  
 단층막의 넓이(물 표면적과 같음) \_\_\_\_\_  $cm^2$   
 단층막의 두께 \_\_\_\_\_ cm

다.  
4-1)을 이

4. 탄소 원자의 크기와 부피

단층막의 두께로부터 계산한 탄소의 크기(스테아르산은 탄소 원자 18개가 연결된 것으로 생각한다. \_\_\_\_\_ cm

탄소 원자가 정육면체라고 가정했을 때의 부피 \_\_\_\_\_ mL

5. 탄소 원자 1몰의 부피

다이아몬드의 밀도( $3.51 \text{ g/cm}^3$ )로부터 계산한 탄소의 몰 부피

\_\_\_\_\_ mL/mol

6. 아보가드로 수 계산

탄소의 몰 부피와 실험에서 얻은 탄소 원자의 부피로부터 계산한 아보가드로 수

\_\_\_\_\_ /mol

\* 실제 아보가드로 수와 비교해본다.

읽을거리

아보가드로 수를 결정하는 다른 방법들



Rayleigh



Millikan

1몰의 물질 속에 들어있는 분자의 수를 나타내는 아보가드로수는 여러 가지 다른 방법으로 결정할 수 있다. 물에 떠있는 꽃가루와 같은 미립자들이 무질서하게 움직이는 브라운 운동이나 콜로이드의 침강평형을 이용할 수도 있다. 콜로이드를 이용한 방법은 1908년 프랑스의 콜로이드학자 패랭이 고안한 것으로 달톤의 원자설을 직접 증명한 실험이기도 하다. 1899년 영국의 물리학자 레일리 경(J. W. S. Rayleigh)은 물 위에 떠있는 기름 층의 두께로부터 원자의 크기를 짐작하였고, 미국의 물리학자 밀리칸(R. A. Millikan)은 그의 유명한 기름방울 실험으로 전자 한 개의 전하량을 정확히 측정하여 아보가드로의 수를 결정하였다. 그러나 아보가드로수를 가장 정확하게 알아내는 방법은 다이아몬드에 X선을 쬐어서 생기는 회절 무늬를 분석하여 탄소 원자 사이의 거리를 직접 알아내는 방법이다.

## 스테아르산과 올레산

카복실산의 일종인 스테아르산(stearic acid,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ )과 올레산(oleic acid,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ )은 모두 18개의 탄소를 가지고 있는 지방산이다. 그러나 모든 탄소가 단일결합으로 연결된 막대 모양인 스테아르산은 동물성 지방에 많으며 상온에서 고체이지만, 하나의 이중결합을 가진 올레산은 식물성 기름에 많고 상온에서 액체인 불포화 지방산이다.

지방산은 인체의 에너지원이기도 하고, 인체의 세포막을 구성하는 중요한 성분이며, 호르몬과 신경전달물질의 기능을 조절하는 프로스타글란딘(prostaglandin)의 선구 물질이기도 하다. 소화 과정에서 음식물로 섭취한 지방은 지방산과 글리세롤로 분해되고, 인체에서 사용하고 남은 지방산과 글리세롤은 간에서 다시 지방으로 변환되어서 체내에 축적된다. 지방은 인체를 충격으로부터 보호해주고, 체온을 유지시켜주며, 체내의 장기를 보호해주는 역할도 한다.

자연에 존재하는 불포화 지방산은 모두 굽은 모양의 시스형이고, 체내에서 콜레스테롤의 대사에 관여해서 혈액에서의 콜레스테롤 농도를 낮추어주는 역할을 한다. 그러나 단일결합만으로 된 포화 지방산이나 직선형의 트랜스형 불포화 지방산은 콜레스테롤과 함께 혈관 내부에 달라붙어 동맥 경화 등의 질병을 일으키는 것으로 알려져 있다.

동물성 지방에 포함된 스테아르산을 수산화나트륨과 반응시키면 스테아르산 나트륨이라는 비누의 주성분이 만들어진다. 동물성 지방을 재를 태운 물(재물)과 함께 끓인 후에 소금을 넣어서 비누를 만드는 방법은 기원전 2500년경부터 사용되어 왔다. 기름처럼 물에 녹지 않는 얼룩 물질을 비누 성분의 탄화수소 사슬이 둘러싸게 되면 극성을 가진 카복실기가 바깥쪽으로 노출되어 물에 잘 녹게 된다.

이처럼 한 분자에 극성과 비극성 부분을 함께 가지고 있어서 물에 잘 녹지 않는 화합물을 둘러싸서 물에 잘 녹도록 만들어주는 특성을 가진 화합물을 "계면활성제"라고 부르며, 물의 표면 장력을 줄이는 역할을 한다. 그리고 비누, 샴푸, 합성 세제 등이 모두 그런 예이다. 계면활성제의 용도는 매우 다양하다. 염료가 섬유에 잘 스며들도록 만들거나, 물에 잘 녹지 않는 염료나 향료를 녹이는 데에도 사용하고, 거품을 만들거나 제거하기 위한 목적으로도 사용되며, 부식 방지, 제련, 석유 채취 등에도 활용된다.