**1) Title**

질량 측정과 액체 옮기기

**2) Purpose**

• 저울 사용법과 액체를 옮기는 기구의 사용법을 익힌다.

• 실험데이터의 처리 및 불확정도 추정 방법을 배운다.

**3) Theory**

(1) 화합물

화합물은 2종류 이상의 다른 원소들이 일정 조성비로 결합한 순물질로, 물리적인 방식으로는 분리할 수 없다. 또한 녹는점과 끓는점 등의 고유한 화학적 성질을 갖고 있으며, 이에 관한 내용은 단락 (6)에 기술하였다.

화합물은 탄소, 수소 포함여부에 따라 유기화합물, 무기화합물로 구분할 수 있고,

원소들의 결합방식에 따라 이온결합의 형식을 갖는 이온화합물과 공유결합의 형식을 갖는 분자화합물로 구분할 수 있다. 이외에도 조성 및 구조에 따라 다양한 명칭의 기준이 존재한다.

(2) 질량, 무게, 부피, 밀도

질량(mass) : 어떤 물체를 구성하는 물질의 고유한 양으로, 어느 위치에서든 불변한다.

질량은 작용 양상에 따라 관성질량, 중력질량 등의 세부개념으로 나뉜다. 지금까지의 실험으로는 관성질량과 중력질량이 유의미한 차이를 보이지 않으며 이는 등가원리의 한 예이다. 한편, 상대성이론에 의해 질량과 에너지는 동치이다. 따라서 ‘화학반응에서 반응물질의 질량합과 생성물질의 질량합이 같다’는 질량보존의 법칙이 엄밀히 말하면 성립하지 않지만 일반적인 경우, 그 영향이 충분히 작기에 여전히 정량분석의 기본이 되는 중요한 법칙으로 자리매김하고 있다.

이전에는 킬로그램 원기로 1kg을 정의하였지만, 얼마 전 국제도량형총회에서 플랑크 상수 h가 6.62607015×10-34J⋅s가 되도록 하는 질량의 단위로 킬로그램을 정의하였다.

무게(weight): 질량이 있는 모든 물체들 간에는 상호 인력인 만유인력이 존재하고, 이 중 지구와 물체의 상호 작용을 무게라 한다. 어떤 물체의 무게는 그 물체의 질량과 지구 중력가속도의 곱으로 나타낸다. (w=mg)

일상생활에서는 흔히들 질량을 무게와 혼동해서 사용하기도 한다. 하지만 질량은 물체의 고유한 양이며, 무게는 뉴턴 제2법칙에 의해 가속도에 따라 변하는 양이다. 따라서 무게의 단위는 힘의 단위를 사용하는 것이 바르며, 또한 지구는 완전한 구형이 아니기 때문에 위도나 지형에 따라 중력가속도의 차이가 있으며 무게 또한 변하기 때문에 정밀한 측정을 요할 때는 이를 고려하여야 한다.

부피 : 3차원 공간에서 한 물체가 차지하는 공간의 크기. 단위는 길이의 세제곱 또는 넓이와 길이의 곱인 m3을 사용하며 외에 리터(L) 등을 사용한다.

여러 입체들의 부피는 적분을 이용하여 구하며 입체의 모양이 단순하지 않을 경우 카발리에리의 원리를 이용하기도 한다.

기체의 부피) STP 상태에서, 이상기체 1mole은 22.4L의 부피를 차지한다는 아보가드로 법칙과, 부피와 압력의 관계를 기술하는 보일의 법칙, 부피와 온도의 관계를 기술하는 샤를의 법칙 등이 있으며 이들을 한 식으로 나타낸 이상기체 상태 방정식을 많이 사용한다.

밀도 : 밀도는 물체의 질량을 부피로 나눈 값, 즉 단위부피당 질량이다. 물질마다 고유한 값을 가지며, 물질의 양에 의존하지 않는 세기 변수이다. 국제단위계에서의 단위보다는 CGS 단위계에서의 단위를 주로 사용한다. 각기 다른 분야에서 밀도는 선밀도, 상태 밀도 등 단위부피당 질량에서 변형된 형태로 사용되기도 한다.

밀도는 온도와 압력에 따라 변하며 이는 상태 방정식에서 확인할 수 있다. 상태 방정식에서 몰 수와 분자량의 곱이 질량에 비례함을 이용하면 밀도가 포함된 식으로 나타낼 수 있다.

(3) 부피측정 장치

1. **눈금 실린더**

메스 실린더라고도 부르며 액체의 부피를 측정하는 데 사용하는 장치이다.

보통 길고 좁은 원통형으로 눈금과 숫자가 표시되어 있다. 눈금 실린더를 사용할 때에는 평평한 곳에서 액체의 높이와 눈높이를 맞추어 읽어야 한다. 물질에 따라 위로 볼록하거나 아래로 볼록해질 수 있는데, 부착력이 응집력보다 큰 경우에는 아랫부분(오목한 부분)을, 부착력이 응집력보다 작은 경우에는 윗부분(볼록한 부분)을 읽어주어야 한다.

눈금은 1mL 단위이며, 액체의 윗부분이나 아랫부분이 눈금 사이에 있다면, 눈금 한 칸을 10 등분으로 어림잡아 읽는다.

**(b) 뷰렛**

방울로 떨어트린 액체의 양을 측정하는 데에 사용되는 실험기구

가늘고 긴, 두께가 일정한 유리관에 눈금이 있으며 끝부분에 코크를 달아 떨어진 액체의 양을 측정한다. 뷰렛에 처음 넣은 액체의 눈금을 기록한 뒤, 코크를 열어 필요한 양의 액체를 취한다. 그리고 눈금을 읽어 처음 눈금과의 차이로부터 취한 액체의 양을 측정한다.

빛의 영향을 받는 액체는 착색 뷰렛을 사용하기도 한다.

**(c) 피펫**

미량의 액체를 옮기는 데에 쓰이는 실험 도구로 모양과 용량에 따라 눈금 피펫과 홀 피펫, 마이크로 피펫 등으로 나뉜다.

피펫으로 액체를 취할 때 고무 채우게를 이용하는데,

피펫을 필러의 아랫부분에 끼우고, 윗부분을 누른 상태로 구의 공기를 뺀 다음, 구 밑부분을 눌러 액체를 취한다. 다음 가지부분을 사용해 액체를 빼내면 된다.

이처럼 스포이드 방식을 사용하기도 하고, 슬라이딩 방식의 필러를 사용해서 액체를 취하는 경우도 있다.

**(d) 부피 플라스크**

일정한 양의 용액을 정확히 취할 수 있게 눈금이 새겨진 플라스크이다. 특정 용량 하나 이외의 다른 눈금은 없기 때문에 농도가 일정한 용액을 만드는 데에 사용한다.

부피 플라스크의 사용법은, 용질의 양을 정확하게 측정하여 플라스크의 소량의 용매에 녹인 다음, 용질을 플라스크에 넣고 용매를 눈금까지 채워 균일한 용액이 되도록 섞는다.

열출입이 심한 반응이나 반응이 격할 경우 조금씩 넣어주어 반응을 제어하여야 한다.

(4) 고체의 부피 측정

직육면체와 같이 겉모양이 일정한 물질은 변의 길이로 계산하거나, 적분과 같은 방법을 이용할 수 있다.

하지만 겉모양이 불균일한 물질의 부피는 액체가 담긴 눈금 실린더에 고체를 넣고 증가한 액체의 부피를 측정하여 결정한다.

일반적으로 물을 사용하지만 물보다 밀도가 작거나, 물에 녹을 수 있는 고체는 다른 액체를 사용하여 측정한다.

(5) 용해도

100 g의 용매에 최대로 녹을 수 있는 용질의 양을 의미한다.

즉, 용액이 포화상태일 때 녹아있는 용질의 양이 용해도를 결정한다. 용해도는 온도, 용매, 용질의 종류에 따라 상이하다. (용액의 포화는 용해 속도와 석출 속도가 같은 동적 평형상태를 의미한다.) 용질-용질 간의 인력이나 용매-용매 간의 인력보다 용질-용매 간의 인력이 같거나 클 때 용해가 잘 된다.

고체의 경우 대부분의 고체들이 용매에 녹을 때 열을 흡수하므로 일반적으로 온도가 높아질수록 고체의 용해도는 증가하며 반대로 기체의 용해도는 감소한다.

헨리의 법칙 (Henry’s law) :

온도가 일정할 때, 일정한 부피의 액체 용매에 녹는 기체의 양은 그 기체의 부분압력과 비례한다는 법칙이다. 단, 이 법칙은 암모니아와 물같이 기체가 용매에 잘 해리되는 경우에는 성립하지 않는다.

예로 탄산음료 뚜껑을 열면 소리가 나는 이유를 헨리의 법칙으로 설명할 수 있다.

Like dissolves like :

용해는 용질 분자가 용매 분자와 고루 섞이는 현상으로, 즉 분자들의 힘이 용해에 작용한다.

극성 분자는 말 그대로 쌍극자 모멘트의 합으로 극성을 띄기 때문에, 극성 용질은 극성 용매와 상호작용할 수 있어 극성 용질은 극성 용매에 잘 녹는다. 반대로 무극성 용질과 무극성 용매 사이에는 분산력이 작용할 수 있어 무극성 용질은 무극성 용매에 잘 녹는다.

이처럼 비슷한 성질을 가진 물질들끼리 잘 녹는다는 것을 like dissoleves like 이라고 한다.

(6) 녹는점과 끓는점

녹는점 : 어떤 기압에서 고체가 액체로 상을 바꾸는 온도를 의미한다. 과냉각 상태가 존재하기에 물질이 얼기 시작하는 온도와 녹기 시작하는 온도는 다를 수 있어 녹는 온도로 정의한다. 녹는점일 때 외부에서 계에 열을 가해주면, 열은 구성은 바꾸지만 온도를 높이지는 않는데, 이 때 외부에서 가한 열의 양을 숨은열이라고 한다.

끓는점 : 어떤 액체의 증기압력이 주변의 기압과 같아져 증발과 달리, 액체의 내부에서도 기화가 발생하는 온도를 의미한다. 그렇기에 녹는점보다 압력의 영향을 크게 받는다. 액체 분자가 기화하려면 분자 간의 인력을 이겨내야 하는데, 이 때문에 분자간의 인력이 큰 물질일수록 끓는점이 높다. 끓는점 역시 잠열이 존재하며, 혼합 용액에서는 증기압 내림으로 끓는점 오름이 발생한다.

물질의 고유한 특성 : 녹는점, 끓는점, 밀도, 용해도, 비열, 색, 결정모양 등

(7) 측정값의 불확정성

모든 정량적 측정은 언제나 불확실하며, 오차를 갖는다. 그렇기에 측정을 반복하거나, 측정 기기에 변화를 주며 그 오차를 최대한 줄이도록 노력한다. 따라서 우리는 실험 결과를 정량적으로 평가하기 위해 측정값의 타당성을 수치화하는 과정을 거친다.

오차는 크게 우연오차와 계통오차로 분류되며 이들은 각각 **정밀도의 부족**과 **정확도의 부족**을 야기한다.

**(a) 정밀도와 정확도**

정밀도란 측정이 반복될 때, 측정값의 균일한 정도를 의미한다. 즉 같은 실험을 반복할 때, 결과가 유사할수록 정밀도는 높다고 할 수 있다. 하지만 정밀도가 높더라도 각각의 값들이 참값과 유사한 정도는 별개의 문제이며 이는 정확도로 표현된다. 따라서 정밀도는 측정값의 평균에 대한 표준편차를 이용한다. 이는 표본표준편차의 식을 따른다.

우연오차에 기인한 정밀도는 측정횟수를 늘림으로써 불확실성을 줄일 수 있다. 그러나 계통오차가 존재하면 정확도는 계속해서 낮게 되고, 이는 실험기구 자체의 오류 또는 측정에 사용되는 기술의 근본적인 오류에 기인 할 수 있다.

**(b) 유효숫자**

실험에서 측정한 값에서 신뢰할 수 있는 수를 유효숫자라 하며 이를 이용해 불확정도를 표현할 수 있다.

유효 숫자에는 한 개의 추정수가 포함되며, 어떠한 측정에서든 가장 작은 눈금의 1/10을 읽는다.

1. 앞 위치의 0은 유효숫자가 아니다.

예) 0.0023 에서 유효숫자는 2, 3

2. 사이에 위치한 0은 유효숫자이다.

예) 1.0234 에서 유효숫자는 1, 0, 2, 3, 4

3. 뒤쪽의 0이 소수점 아래에 있으면 유효숫자이다.

예) 300.0 에서 유효숫자는 3, 0, 0, 0

유효숫자의 계산

1. 덧셈과 뺄셈:

두 숫자 중 소수점아래 자리가 적은 쪽으로 유효숫자를 일치시켜 준다.

예) 10.3 + 0.236 = 10.536 → 10.5

2. 곱셈과 나눗셈:

소수점 자릿수와 관계없이 가장 적은 유효숫자 개수를 기준으로 한다.

25.669 ÷ 23.1 = 1.11

(유효숫자:5개) (유효숫자:3개) (유효숫자:3개)

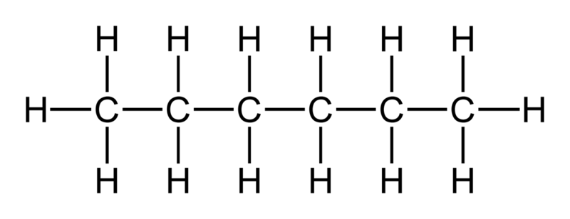
\* 제곱근, sin, cos, exp, log와 같은 함수들이 포함된 계산은 곱셈, 나눗셈에 준하여 유효숫자의 개수가 같도록 계산 한다.

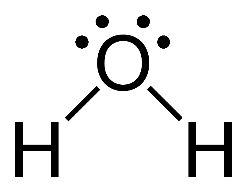
**4) Chemical & Apparatus**

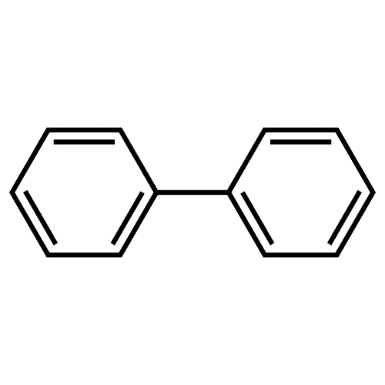
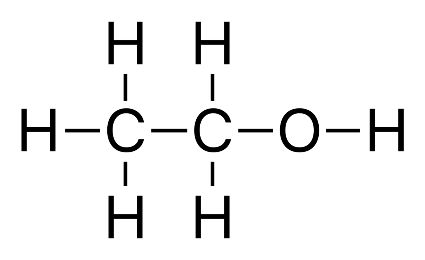
**⦁ Chemical**

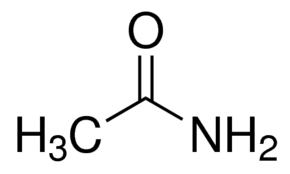
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Molecular formula** | **Molecular weight (g/mol)** | **Melting point (oC)** | **Boiling point (oC)** | | **Density (g/cm3)** | |
| Water | H2O | 18.02 | 0 | 100 | | 1.0 | |
| Ethanol | C2H6O | 46.07 | -114 | 78 | | 0.789 | |
| Hexane | C6H14 | 86.18 | -96~-94 | 68.5~69.1 | | 0.6606 | |
| Methylene chloride (MC) | CH2Cl2 | 84.93 | -96.7 | 39.6 | | 1.3266 | |
| 시료A: Biphenyl | C12H10 | 154.21 | 70.5 | 255.9 | | 1.150 | |
| 시료B: Acetamide | C2H5NO | 59.07 | 82.3 | 221 | | 1.159 | |
| Acetone | C3H6O | 58.08 | -94.82 | 56.3 | | 0.7908 | |
| Aluminum | Al | 26.98 | 660.32 | | 2470 | | 2.70 | |

물질의 구조가 용해도 실험에서 영향을 미치므로, 각 분자 구조식을 첨부한다.

**Water : Hexane :**

****

**Ethanol : Biphenyl :**

**Acetamide :**

⦁ **Apparatus**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **공통** |  |
| **A. 무게 측정** |  | 저울, 거름종이 |
| **B. 피펫을 이용한 액체의 이동** | 저울 , 증류수 , 비커(100 mL) | 피펫(10 mL), 고무채우게 |
| **C. 눈금실린더를 이용한 액체의 이동** | 눈금실린더(10 mL) |
| **D. 뷰렛을 이용한 액체의 이동** | 뷰렛(50 mL), 스탠드, 클램프 |
| **E. 화합물의 용해도 확인** | 시료A: Biphenyl  시료B: Acetamide | 시험관 6개 ,시험관대 ,Spatula, 증류수, Ethanol, Hexane |
| **F. 화합물의 녹는점 확인** | 모세관 2개, 녹는점 측정기 |
| **G. 화합물의 밀도 확인** |  | 눈금실린더(10 mL), Acetone, 드라이기  MC (Methylene chloride), Aluminum, Hexane |

**5) Procedure**

실험 A : 무게 측정

1. 사용할 저울의 제조회사와 모델, 측정 용량 (최대 측정 무게), 정밀도를 조사한다.
2. 저울의 올바른 사용법을 익힌다.

-저울 사용법

1. 저울이 수평이 되도록 놓는다.

2. 영점 보정 버튼(Tare)을 눌러 영점을 확인한다.

3. 저울의 접시에 시약이 떨어지지 않도록 조심하여, 시약을 떨어뜨린다. (거름종이 이용)

4. 저울에 숫자가 3초간 머물러있는 질량을 읽고, 노트에 옮겨 적는다.

실험 B : 피펫을 이용한 액체의 이동

1. 저울 위에 비커를 올리고 무게를 측정한다.
2. 고무 채우개로 피펫의 가장 위쪽 눈금 위까지 증류수를 채운다. (채울 때 공기가 빨려 들어가지 않게 피펫의 끝이 용액 속에 잠겨 있어야 하며, 빨개 속으로 용액이 들어가지 않도록 주의)
3. 저울 위에 놓인 비커에 10 mL의 증류수를 피펫으로부터 정확하게 옮기고 무게를 측정한다.
4. 위의 (2-3)과정을 3 회 반복하되, 비커를 비우지 말고 계속 누적하면서 매회 측정한다.
5. 물의 밀도를 이용하여 피펫으로 옮긴 증류수 부피의 평균값과 표준편차를 구한다.

실험 C: 눈금 실린더를 이용한 액체의 이동

1. 눈금 실린더의 안쪽 벽면에 물방울이 생기지 않도록 깨끗이 씻고 증류수로 헹군다.
2. 10 mL의 증류수를 눈금실린더에 채운 다음 실험 B와 같은 방법으로 저울 위에 놓인 비커에 옮기고 무게를 측정한다.
3. 총 3 회 반복하고, 물의 밀도를 이용하여 실린더로 옮긴 증류수 부피의 평균값과 표준편차를 구한다. 단, 실시할 때마다 비커를 헹구지 않고 누적해서 계속 실시한다.

실험D: 뷰렛을 이용한 액체의 이동

1. 깨끗하게 증류수로 헹군 뷰렛에 30 mL 눈금까지 증류수를 채운다. 공기 방울이 생길 경우 코크를 열어 공기를 빼낸다.
2. 약 10 mL의 증류수를 실험 B와 같은 방법으로 빼내어 무게를 잰다. 눈금을 정확히 읽는다. (측정 후 뷰렛을 비운다.)
3. 총 3 회 반복하여 증류수의 평균 밀도와 표준편차를 구한다. 단, 실시할 때마다 비커를 헹구지 않고 누적해서 계속 실시한다.

실험E: 화합물의 용해도 확인

1. 시료 A를 spatula를 사용하여 시험관에 ¼ spoon 넣는다.
2. 3 가지 용매 (물, Ethanol, Hexane)를 시험관의 바닥에서 1~2 cm높이까지 넣어준다. (높이는 동일하게 맞춰주도록 한다.)
3. 약 5 분간 잘 흔들어 준 후 상태를 관찰한다.
4. 실험결과를 S(soluble), I(insoluble)로 구별하여 기록한다.
5. 시료 B도 같은 방법으로 용해도를 조사한다.

(시료A : Biphenyl, 시료B : Acetamide)

실험F: 화합물의 녹는점 확인

1. 시료 A를 녹는점 측정용 모세관으로 4-5 회 찍는다.
2. 모세관 끝을 실험대 위에서 가볍게 쳐서 가루가 조밀하게 채워지도록 한다.
3. 녹는점 측정기에 넣은 후 녹는점을 측정한다. (녹기 시작하는 온도에서 완전히 녹은 온도까지 측정한다.)
4. 시료 B도 같은 방법으로 조사한다.

-시약이 너무 덩어리 질 경우, spatula로 눌러 으깨 주고 모세관에 채워준다.

[녹는점 측정기 사용법]

1. 화면에 나타나는 act. Temperature는 현재 내부의 온도를 나타냄.

2. starting temperature를 화살표를 통해 지정하고 start 버튼을 누름.

(starting temperature까지는 빠르게 승온)

3. starting temperature에 도달하면 소리가 나고 이 때 sample을 넣은 모세관을 꽂아줌.

4. start 버튼을 다시 누르면 1 oC/min의 속도로 온도가 올라감.

5. 샘플을 관찰하다가 녹는 순간 print 버튼을 누르면 그 때의 온도가 화면에 나타남

6. 내부의 온도를 식히고 다시 샘플을 측정! (start 버튼을 꾹 누름)

샘플을 측정한 뒤 50 oC 이하로 식힐 때 화살표를 눌러 starting temperature을

50 oC로 지정하고 start 버튼을 눌러 식힌다.

실험G: 화합물의 밀도 확인

1. Methylene chloride (MC): 메스실린더를 아세톤으로 씻어 드라이기로 말린 후 완전히 식혀서 무게를 측정하고 MC 10 mL를 취하여 무게를 측정한다.
2. Aluminum: 알루미늄 덩어리의 무게를 재고, 눈금실린더에 Hexane 5 mL를 넣은 뒤 알루미늄을 넣어 부피 변화를 측정한다.

**6) 실험 시 주의사항**

• 고무 채우개에 용액이 들어가지 않도록 특히 주의한다. (고무 채우개가 손상될 수도 있고, 안의 용액이 흘러나올 수 있다.)

• 피펫, 뷰렛의 끝에 달린 액체 방울도 용기에 옮긴다.

• 용해도 측정 시 시료를 조금만 넣는다.

• 녹는점 측정기는 사용 후 섭씨 50도 이하로 충분히 식힌 뒤 사용한다.

**7) Reference**

-Bruce E. Bursten 외 5인, Chemistry. The Central Science in SI Units, global edition 14th ed., Pearson (2018), p.61~65

-이진승 외 15인, 고등학교 심화 화학, 지엔피링크, 2017, p.18~23