

## 실험2. 이산화탄소의 헨리상수 결과레포트

2017-13717 신 제민

### 실험 결과

#### 1. 데이터 정리

[제반 사항] NaOH 농도 : 45.5mM, 탄산수 부피 : 5.0ml, 기체 분압 = 1atm, 온도 = 298.15K

[바탕 적정 결과]

	적정전(ml)	적정후(ml)	10회 NaOH양(ml)	NaOH양(ml)
증류수	29.59	29.04	0.55	0.06

$$CO_2 \text{ 농도}(M) = NaOH \text{ 농도} \times \frac{NaOH \text{ 부피}}{CO_2 \text{ 부피}}$$

	적정 전 (ml)	적정 후 (ml)	NaOH 양(ml)	보정NaOH 양(ml)	$CO_2$ 농도 (mM)	헨리상수 (mM/atm)
0 min	38.73	35.91	2.82	2.76	25.1	25.1
1 min	35.91	34.10	1.81	1.75	15.9	15.9
2 min	34.10	32.73	1.37	1.31	11.9	11.9
3 min	32.73	31.80	0.93	0.87	7.92	7.92
4 min	31.80	30.99	0.81	0.75	6.83	6.83
5 min	30.99	30.22	0.77	0.71	6.46	6.46

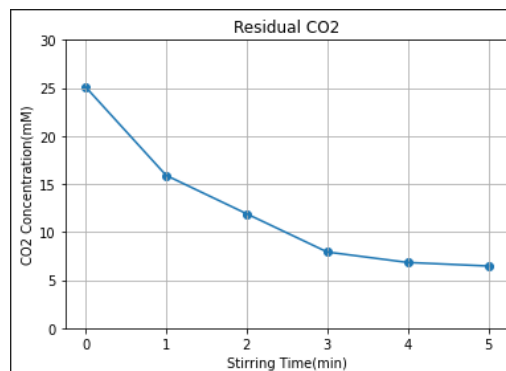


그림 1. 교반 시간에 따른 잔여 CO2 농도의 변화

#### 2. 이상적인 이산화탄소 헨리상수 값

3에서 언급한 오차가 없다고 가정하고 정리된 데이터를 바탕으로 이론적인 헨리상수 (34mM/atm)와의 오차를 계산해보면 아래 표와 같다.

	0 min	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min
Error	0.26	0.53	0.65	0.77	0.80	0.81

오차가 가장 적은 0min 교반 조건에서 가장 이상치에 근접한 헨리상수를 얻을 수 있다. 실제 실험에서는 교반 시간 0min 조건을 엄격하게 지키지 못하고 아래 3번의 두번째 이유로 언급한  $t_1$ 의 존재와 그 불확실성 때문에 이산화탄소의 헨리상수 이론값 보다 작게 나타난 것으로 보인다.

### 3. 오차를 유발하는 원인

첫째로 NaOH와  $CO_2$ 의 당량점 측정 기준을 육안으로 판단하기 때문에, 실험자의 주관이 개입되어 오차가 발생한다.

두번째로 실제 실험에서의 교반 시간은 측정 시작 전의 교반 시간  $t_0$ 와 측정 시작 이후 당량점에 도달하기 까지의 시간  $t_1$ 의 합이다. 그러나 위에서 정리한 결과에서의 교반 시간은  $t_0$ 이다.  $t_0$ 의 경우 오차를 최소화하여 정밀하게 시간을 맞출 수 있으나,  $t_1$ 은 NaOH 용액의 투입 속도에 따라 큰 폭으로 매번 달라질 수 있다. 따라서,  $t_1$ 에 의해 실제 실험에 있어서 발생하는  $t_0$ 에 대한 오차는 최대 +30초 까지 존재할 수 있었다. 이로 인해 0min 시점의  $CO_2$  농도를 측정할 때는 상당량의  $CO_2$ 가 이탈한 뒤 었을 것이고, 균일한 시간 간격으로 측정하지 못한 점을 고려해야 한다. 따라서 이러한 오차를 최소화 하기 위해서는,  $t_1$ 을 최소화 하여 최대한  $t_0$ 에 가깝게 하거나, 교반 시간의 정의를  $t_0 + t_1$ 으로 하여  $t_1$ 의 불확실성을 제거해야 한다.

마지막으로 NaOH를 표준화하여 농도를 다시 구했으나, 탄산수를 NaOH 용액으로 적정 하기까지 시간 동안 NaOH 용액의 농도가 감소 했을 수 있다. 그 이유는 NaOH는 이산화탄소와 반응하여 탄산나트륨을 생성하는데, NaOH 용액에 공기 중 이산화탄소가 녹아 해당 반응을 일으켰을 수 있다. 이러한 반응으로 인해 NaOH 용액의 농도가 감소하면  $OH^-$  이온의 농도가 낮아지는데, 이는 탄산수의 농도를 높게 측정하는 오차로 이어진다. 따라서 이러한 오차를 최소화 하기 위해서는, 적정 시간을 최대한 단축하여 진행해야만 한다.

## 과제

### 1. 표준화에 사용되는 표준물질의 조건, 바탕 적정의 목적 조사

본 실험에서 사용한 NaOH 용액은 조해성이 있어 수증기를 흡수하기 때문에 무게 오차가 발생하여 농도를 표준화 해야 한다. 이를 위한 표준 물질은 일차 표준물질을 이용한다. 일차 표준 물질이란, 순도가 높고 용액을 만들었을 시 무게 오차가 적어 예상한 농도와 거의 동일한 농도의 용액을 만들 수 있는 물질을 말한다. 그 조건은 다음과 같다. [1]

1. 정제하기 쉬워야 한다.

2. 흡수, 풍화, 공기 산화 등의 성질이 없고 오랫동안 보관하여도 변질되지 않아야 한다.
3. 반응이 정량적으로 진행되어야 한다.
4. 당량 중량이 커서 측량 오차가 크지 않아야 한다.

이렇게 일차 표준물질로 표준화하고, 이 용액을 이차 표준물질로 사용하여 이산화탄소의 헨리상수를 추정한다. 여기서 이차 표준물질은 다른 용액들의 정확한 농도를 확인하는데 사용되는 물질이다.

바탕 적정은 액체나 용액 자체에 포함되어 있는 산 또는 염기의 양을 측정하기 위해, 해당 용매 즉, 증류수를 적정하는 것을 말한다. 즉, 실험에 사용되는 증류수 자체에 산 또는 염기가 함유되어 있을 수 있기 때문에, 정확한 적정 결과를 얻기 위해서는 이를 보정해야 한다. 본 실험에서는 증류수 자체에 있는 산을 적정하는데 NaOH가 일정 부분 쓰일 수 있기 때문에 해당 부분을 바탕 적정을 수행하여 제거하여 순수한  $CO_2$ 를 적정하는데 필요한 NaOH 양을 구하여 헨리상수를 정확하게 얻을 수 있도록 한다.[2]

2. 이산화탄소와 산소의 헨리상수를 조사하고 차이를 유발하는 원인에 대해 고찰  
기온 298.15K, 물에 대한 이산화탄소의 헨리상수는 34 mM/atm, 산소의 헨리상수는 1.3 mM/atm이다.[3]  
한편, 헨리의 법칙은 다음과 같다.

$$M(\text{녹아 있는 기체의 농도}) = K_H(\text{헨리 상수}) \times P(\text{기체의 분압})$$

$$\therefore K_H(\text{헨리 상수}) = \frac{M(\text{녹아 있는 기체의 농도})}{P(\text{기체의 분압})}$$

헨리 상수는 일반적으로 기체와 용액 사이의 상호작용, 용액의 성질 및 온도에 의해 결정된다. 차이의 이유 중 하나는 극성이다. 물은 극성 분자로, 분자 내에서 부분적인 양과 음이 형성된다. 이산화탄소 분자도 극성 분자이며, 분자 내에서 C와 O 사이의 전하 차이로 부분적인 양과 음이 형성된다. 따라서, 이산화탄소 분자와 물 분자는 서로 극성이 비슷하며, 이는 둘 사이의 상호작용을 촉진한다. 반면, 산소 분자는 전하가 균일하게 분포된 비극성 분자로서 비교적 상호작용이 적다. 따라서, 물과의 상호작용이 많은 이산화탄소의 헨리 상수가 더 크게 나타난다.

## 참고 문헌

[1] Daniel.C.Harris, Quantitative Chemical Analysis, 7th ed, W.H.Freeman

[2] Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., & Woodward, P. M. (2008). Chemistry: The Central Science. (11 ed.) Pearson Prentice Hall.

[3] Sander, R.: Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 4399–4981, <https://doi.org/10.5194/acp-15-4399-2015>, 2015.

[4] 김희준, 일반화학실험(2023), 자유아카데미