

화학실험 (004): 이산화탄소의 헨리상수 결과보고서

제출일 2023.03.30

담당 교수님: 이은성 교수님

담당 조교: 백승현 조교

공과대학 컴퓨터공학부

강명석 (2024-10387)

실험개요

이 실험에서는 50mM로 농도를 알고 있는 KHP 용액을 사용하며 농도를 모르는 NaOH 용액을 표준화한다. 또한 드라이아이스를 녹인 탄산수에 표준을 진행한 NaOH 용액을 가해 중화 적정을 진행한다. 드라이아이스가 모두 녹은 후 1~5분간 저어준 용액에 대해서도 1분 간격으로 같은 실험을 진행한다. 실험 데이터에 헨리의 법칙을 사용하여 이산화탄소의 헨리상수를 계산한다.

배경이론

1) 헨리법칙

헨리의 법칙은 기체의 용해도와 그 기체의 부분압력 사이의 관계에 대한 법칙이다. 어떤 기체가 있어서, 그것의 농도를 C , 그 기체가 가지는 분압을 P 라고 한다면, 둘 사이에는 아래 관계가 성립한다.

$$C = kP$$

식에서 k 는 헨리상수로, 기체마다 다른 값을 갖는다. 단위는 $\text{mol/L} \cdot \text{atm}$ 이다.

2) 중화적정

적정은 농도를 알고 있는 다른 용액을 섞어 농도를 모르는 다른 용액의 농도를 계산하는 방법이다. 그중에서도 중화적정은 중화반응의 양적관계를 활용해 적정을 진행하는 방법이다. 만약 농도가 M_1 인 n_1 가 산 V_1 에 농도가 M_2 인 n_2 가 염기 V_2 를 넣어 산염기평형이 이루어졌다면, 이들에는 아래 관계가 성립한다.

$$n_1 M_1 V_1 = n_2 M_2 V_2$$

실험1 Data & Result

1) 수산화나트륨(NaOH) 용액의 표준화

삼각플라스크에 농도가 50mM으로 알려진 KHP 용액 5.0mL를 50mL 플라스크에 담아주었다. 이후 플라스크에 페놀프탈레인 지시약을 플라스크에 두 방울 떨어뜨려주었고, 연한 분홍빛이 나타날 때까지 NaOH 용액을 가해주었다. 해당 실험을 2회 반복하였다.

실험결과, 삼각플라스크에 분홍빛이 들 때까지 가해준 NaOH 용액의 부피는 1회차 실험에서 5.25mL, 2회차 실험에서 5.15mL였다.

2) 수산화나트륨(NaOH) 용액의 농도 계산

KHP와 NaOH 모두 산과 염기의 가수가 1이다. 따라서 KHP의 농도와 부피를 M , V 그리고 NaOH의 부피를 M' , V' 라고 한다면 $MV = M'V'$ 가 성립한다. 다른 값을 모두 알고 있으므로 식에 따라 V' 를 구할 수 있다.

$$M' = \frac{MV}{V'} = \frac{50\text{mM} \cdot 5.0\text{mL}}{5.20\text{mL}} = 48\text{mM}$$

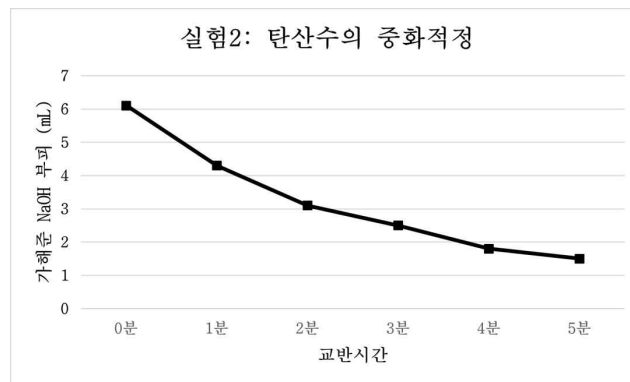
이것에 따라 NaOH용액의 몰농도는 약 50mM임을 알 수 있다.

실험2 Data & result

1) 탄산수의 적정

증류수 5.0mL를 플라스크에 가한 뒤 적절한 크기의 드라이아이스를 넣어 모두 녹였다. 드라이아이스가 모두 녹은 직후에는 앞서 농도를 구한 NaOH용액을 사용해 적정을 진행하였다. 또한, 드라이아이스가 녹은 후 1~5분간 교반을 해준 탄산수에 대해서도 적정을 진행하여 넣어준 NaOH용액의 부피를 기록하였다.

또한 Blank값으로써 증류수를 적정하여 그 값을 측정하였다. 증류수에 넣어준 페놀프탈레인 지시약은 NaOH 한 방울로도 색이 급격하게 변하였으며, 이것의 부피는 0.7mL에 해당한다.



2) 이산화탄소의 헨리상수 계산

앞선 실험 1과 유사하게 적정시 넣어준 NaOH용액의 농도와 부피를 M , V 그리고 탄산수의 농도와 부피를 M' , V' 라고 한다면 $MV = 2M'V'$ 라고 할 수 있다. 이것을 이용하여 M' 를 결정할 수 있다. 이때 V' 는 실제로 넣어준 부피에 Blank값 0.7mL를 뺀 부피를 사용한다.

$$M' = \frac{MV}{2V'} = \frac{50\text{mM} \cdot 5.4\text{mL}}{2 \cdot 5\text{mL}} = 27\text{mM}$$

앞서 M' 로 표현된 탄산수의 농도를 C , 이산화탄소의 분압을 P , 이산화탄소의 헨리상수를 k 라고 하자. 그러면 헨리법칙에 의해 $C = Pk$ 가 성립한다. 이것에 근거해 이산화탄소의 헨리상수를 계산할 수 있다.

$$k = \frac{C}{P} = 2.7 \times 10^{-2} (\text{mol/L} \cdot \text{atm})$$

3) Blank값을 고려하지 않았을 때의 헨리상수 오차를 계산

만약 Blank값을 부피에서 빼지 않았을 경우, 탄산수의 농도는 $MV/2V' = 30.5\text{mM}$ 라고 결론 지을 수 있다. 이 경우 헨리상수는 $k = C/P = 3.05 \times 10^{-2}(\text{mol/L} \cdot \text{atm})$ 라고 할 수 있다. 이 값을 이전에 구한 헨리상수 값과 비교하여 Blank값을 고려하지 않음으로 인해 발생하는 오차를 알 수 있다.

$$\left(\frac{3.05 \times 10^{-2}}{2.7 \times 10^{-2}} - 1 \right) \times 100 = 13.0\%$$

Discussion

실험2에서 드라이아이스가 녹은 후 교반해준 시간이 길어질수록 넣어준 NaOH의 부피가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 교반을 진행하면서 탄산수에 녹아있던 이산화탄소가 공기 중으로 빠져나가기 때문이다. 교반을 진행하며 탄산수 위에 존재하던 기체 이산화탄소는 공기와 섞이게 되고, 이에 분압이 감소하여 결과적으로 이산화탄소가 석출된다. 이러한 현상은 오차원인 중 하나가 되므로, 적절한 이산화탄소의 헨리상수를 계산하기 위해서는 드라이아이스가 녹은 직후 적정하여 얻은 데이터를 사용해야 한다.

실험1에서 진행한 2회차의 실험에 약 0.1mL의 차이가 발생했음을 알 수 있다. 지시약을 사용하여 적정을 진행했으므로 “연한 분홍빛을 띤다”라는 판단하기 모호한 기준을 사용하였고, 이에 차이가 발생했을 것이라 생각한다. 또한 페놀프탈레인은 pH8.0d이 아닌 pH8.2에서부터 자주색을 띄므로, 적정을 통해 측정한 NaOH의 농도는 실제 값보다 조금 작을 것임을 예측할 수 있다.

실험2에서 진행한 실험에서 실험데이터를 통해 구한 이산화탄소의 헨리상수가 알려진 값보다 20% 정도 낮게 나타났다. 오차 원인으로는 여러가지가 있을 수 있다. 실험1과 같이 모호한 판단기준, 올바르게 못한 눈금읽기가 원인임을 추측할 수 있고, 다른 여러 원인들이 종합하여 오차가 발생했을 것이다.

Assignment 1

탄산 적정 곡선의 제1 당량점에서의 pH는 약 8.4이다. 페놀프탈레인 수용액은 극적인 상황을 제외하면 pH8.2를 기준으로 산성일 때 무색, 염기성일 때 자주색을 띤다. 이에 페놀프탈레인을 이용하여 제1 당량점을 관찰할 수 있다. 한편, 탄산 적정 곡선의 제2 당량점에서 pH는 11.4이고, 이것을 관찰하기 위해서 인디고 카민 지시약을 사용할 수 있다. 인디고 카민은 pH11.4~pH13.2에서 변색되므로, 제2 당량점을 관찰하기에 적절하다.

Assignment 2

(1)

이산화탄소의 헨리상수는 $3.4 \times 10^{-2} \text{mol/L} \cdot \text{atm}$ 이므로 1기압 상황에서 녹아있는 탄산수의 농도는 34mM이다. 수용액의 농도를 M, 부피를 V라고 하자. 상황에서 이산화탄소는 2가 산, NaOH는 1가 염기이므로 $2M_{\text{CO}_2}V_{\text{CO}_2} = M_{\text{NaOH}}V_{\text{NaOH}}$ 가 성립한다. 나머지 값을 모두 알고 있으므로 V_{NaOH} 를 식에 따라 계산할 수 있다.

$$V_{\text{NaOH}} = \frac{2M_{\text{CO}_2}V_{\text{CO}_2}}{M_{\text{NaOH}}} = \frac{2 \cdot 34\text{mM} \cdot 5\text{mL}}{40\text{mM}} = 8.50\text{mL}$$

(2)

$PV = nRT$ 에 근거하여 일반적인 상온 20도의 이산화탄소 0.5mL는 $2.07 \times 10^{-5} \text{mol}$ 의 양을 가진다. 이에 따라 적정할 때 $2 \cdot 2.07 \times 10^{-5} \text{mol} / M_{\text{NaOH}} = 1.04 \text{mL}$ 의 NaOH용액이 더 들어간다. 이것을 반영하여 헨리상수 $k = C/P$ 를 새로이 계산해줄 수 있다.

$$k = \frac{M_{\text{CO}_2}}{1 \text{atm}} = \frac{M_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{1 \text{atm} \cdot 2V_{\text{CO}_2}} = \frac{40 \text{mM} \cdot 9.54 \text{mL}}{1 \text{atm} \cdot 2 \cdot 5 \text{mL}} = 3.82 \times 10^{-2} (\text{mol/L} \cdot \text{atm})$$

새롭게 계산한 헨리상수를 원래의 값과 비교해 발생하는 오차를 계산해줄 수 있다.

$$\left(\frac{3.82 \times 10^{-2}}{3.4 \times 10^{-2}} - 1 \right) \times 100 = 12.4(\%)$$

Reference

김희준, 『일반화학실험』, 자유아카데미, 2010, 47~54p

Peter Atkins, Loretta Jones, Leroy Laveman 『화학의 원리(제7판)』, 김관, 김병문, 이상엽, 정두수, 정영근, 자유아카데미, 2018, 533~547p

R. Sander, 「Compilation of Henry's law constants (version 5.0.0) for water as solvent」, 『Atmospheric Chemistry and Physics』, 2023

실험 랩노트

[이산화탄소와 헥사산속]

실험 1.

(1회) NaOH 처음 \rightarrow ~~12.7~~ 12.7
 NaOH 나중 \rightarrow 17.95 } \rightarrow 차이 5.25mL.

(2회) NaOH 처음 \rightarrow 17.95
 NaOH 나중 \rightarrow 23.1 } \rightarrow 차이 5.15mL.

실험 2.

바탕적정: 한 방울로 색이 변함. 약 0.1mL

교반 0분: NaOH 처음 40.6
 NaOH 나중 46.7 } \rightarrow 차이 6.1mL

교반 1분: NaOH 처음 32.3
 NaOH 나중 36.6 } \rightarrow 차이 4.3mL

교반 2분: NaOH 처음 33.5
 NaOH 나중 36.6 } \rightarrow 차이 3.1mL

교반 3분: NaOH 처음 36.6
 NaOH 나중 39.1 } \rightarrow 차이 2.5mL.

교반 4분: NaOH 처음 37.3
 NaOH 나중 39.1 } \rightarrow 차이 1.8mL

교반 5분: NaOH 처음 39.1
 NaOH 나중 40.6 } \rightarrow 차이 1.5mL

HL06.