

# *Summer's Chemistry*

Chemistry I Column

[ 칼럼: 중화의 신(개념편) ]

by Summer(썸머, 박준영)



## 저자 소개

Summer - 박준영  
연세대학교 기계공학부

2018학년도 써머 모의고사 저  
2018학년도 윈터 모의고사 공저  
2019학년도 써머 모의고사 저  
2019학년도 강대 모의고사 출제 참여

2017학년도 써머 N제 배포  
2017학년도 탄화수소 구조 추론 칼럼 배포  
2018학년도 써머 N제 배포  
2018학년도 단위 부피당 기체 분자의 이해 칼럼 배포  
2019학년도 중화 반응 칼럼 배포

## 목차

1. 중화 반응의 기초
  - 액성
  - 생성된  $H_2O$
  - 농도
  - 구경꾼 이온과 알짜 이온
2. 혼합 적정과 연속 적정
  - 혼합 적정
  - 연속 적정
3. 중화 반응 접근법
  - 알짜 이온을 이용한 풀이법
  - 구경꾼 이온을 이용한 풀이법
  - 혼합 용액의 전체/양/음 이온 수를 이용한 풀이법

## 〈 중화 반응의 기초 〉

### [ I 액성 ]

산과 염기 수용액을 혼합하면  $H^+$ 와  $OH^-$ 가 1:1의 몰수 비로 반응하여 물( $H_2O$ ) 분자가 생성된다. 산과 염기 수용액에 있는  $H^+$ 과  $OH^-$  중에서 중화 반응이 일어난 후에 남아 있는 이온의 종류에 따라 혼합 용액의 액성이 결정된다.

1. 반응 후  $H^+$ 가 남아 있으면 혼합 용액의 액성은 산성이다.
2. 반응 후  $OH^-$ 가 남아 있으면 혼합 용액의 액성은 염기성이다.
3.  $H^+$ 와  $OH^-$ 가 모두 반응하면 혼합 용액의 액성은 중성이다.

### [ II 생성된 $H_2O$ ]

이때, 물 분자의 생성 반응식은 다음과 같다.



반응 전  $H^+$ 와  $OH^-$ 의 몰수가 표와 같다면,

	$H^+$	$OH^-$	생성 $H_2O$
반응 전	$N$	$2N$	
반응 후	0	$N$	$N$

생성된 물 분자 수는  $N$ 이다. 중화 반응에서 생성된 물 분자 수는 혼합 용액에서 반응한 알짜 이온의 수와 같고, 이는 부족했던 알짜 이온의 수(한계 반응물 개념)임을 명심하자.

[ Ⅲ 농도 ]

중화 반응에서는 최종적으로 혼합 전 산 또는 염기 수용액 얼마만큼의 부피에 얼마만큼의 이온이 들어 있는지 구해야 한다. 이를 ‘농도’라고 하는데, ‘농도’는 일정 부피에 해당 성분(용질)이 얼마나 많이 포함되어있는지를 나타내는 값이다. 수용액의 제조법에 따라 ‘농도’를 달리하여 만들 수 있기 때문에, 출제자는 이 값을 임의로 설정할 수 있고, 수용액의 ‘농도’는 문제마다 설정된 값이 다를 수 있다.

농도 개념은 개정 전과 후에 표와 같이 정리할 수 있다.

	표현
개정 전	혼합 전 ○○○ 수용액의 단위 부피당 이온 수
개정 후	몰 농도

따라서 우리는 최종적으로 혼합 전 산과 염기 수용액 각각 10mL에 들어 있는 입자 수(용질의 몰수)를 구하면 된다. 이때, 입자 수(용질의 몰수)는 수용액 속 HCl, NaOH와 같은 화합물의 몰수를 기준으로 한다.

단위 부피당 ○○○의 정의는 다음과 같다.

$$\text{단위 부피당 } \text{○○○} = \frac{\text{○○○의 수}}{\text{총 부피}}$$

예를 들어 개정 전에는 HCl(aq) 20mL에 들어 있는 Cl<sup>-</sup>의 수가 N이라 주어지면, HCl(aq)의 농도를 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$\begin{aligned} & \text{HCl(aq)의 농도} \\ &= \text{HCl(aq) 10mL에 들어 있는 HCl 분자 수} \\ & (= \text{HCl(aq) 10mL당 양이온 수} = \text{HCl(aq) 10mL당 음이온 수}) \\ &= \left[ \frac{0.5N}{10\text{mL}} \right] \end{aligned}$$

개정 후 몰 농도 개념이 추가됨에 따라 HCl(aq) 20mL에 들어 있는 Cl<sup>-</sup>의 수가 0.05몰이라 주어지면, HCl(aq)의 농도를 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>1)</sup>

$$\begin{aligned} & \text{HCl(aq)의 몰 농도} \\ &= \text{HCl(aq) 1L에 들어 있는 HCl 몰수} \\ &= \frac{0.05\text{몰}}{20\text{mL}} = 2.5\text{M} \end{aligned}$$

이때,  $\left[ \frac{0.5N}{10\text{mL}} \right]$ 는  $\left[ \frac{N}{20\text{mL}} \right]$ 과 같은 의미(10mL에 용질 0.5N이 들어 있음)를 갖는다.

1) 이번 칼럼에서는 개정 전 표현을 중심으로 문제를 풀 예정이지만, 본질적으로 두 표현은 의미가 같다.

[ IV 이온의 종류 ]

이온의 종류는 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

- 구경꾼 이온
- 알짜 이온

① 구경꾼 이온

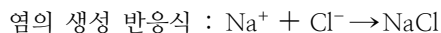
중화 반응이 진행되어도 다른 이온과 반응하지 않아 그 수가 변하지 않는 이온을 통칭한다. HCl에서  $\text{Cl}^-$ , HBr에서  $\text{Br}^-$ , NaOH에서  $\text{Na}^+$ , KOH에서  $\text{K}^+$  등이 있다.<sup>2)</sup>

구경꾼 이온은 첨가한 산 또는 염기 수용액의 부피에 비례한다.  $\text{HCl}(aq)$  10mL를 넣어준 용액에 존재하는  $\text{Cl}^-$ 의 수가  $N$ 이라면,  $\text{HCl}(aq)$  20mL를 넣어준 용액에 존재하는  $\text{Cl}^-$ 의 수가  $2N$ 임을 알 수 있다. 때문에 수용액의 농도를 알면 혼합 용액 속 구경꾼 이온 수를 알 수 있으며, 반대로 혼합 용액 속에 혼합 전 수용액의 부피와 구경꾼 이온 수를 알면 용액의 농도를 알 수 있다.

혼합 용액	혼합 전 수용액의 부피(mL)		혼합 용액 속 이온 수	
	$\text{HCl}(aq)$	$\text{NaOH}(aq)$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$
I	10	$V$	$N$	$N$
II	20	10	$xN$	$2N$

$V$ 와  $x$ 를 구해보자.<sup>3)</sup>

2) 간혹 염(산의 음이온과 염기의 양이온으로 이루어진 이온 결합 물질)의 생성 때문에 구경꾼 이온이 없어진다고 잘못 알고 있는 경우가 있는데, 이는 옳지 않다.



개정 한참 전에는 양금 생성이 교육 과정 범위 내여서 구경꾼 이온이 없어지는 반응도 고려해야했지만, 양금 생성 반응은 교과서에서 사라진지 오래이다. 구경꾼 이온은 수용액에서 계속 이온 상태로 존재한다고 볼 수 있다.

3) 구경꾼 이온은 첨가한 산 또는 염기 수용액의 부피에 비례하므로  $x=2$ 이다.  $\text{NaOH}(aq)$ 의 농도는  $\left[ \frac{2N}{10\text{mL}} \right]$ 이므로 혼합 용액 I에서  $V=5$ 이다.

② 알짜 이온

중화 반응이 진행될 때 서로 반응하여 H<sub>2</sub>O를 만드는 이온인 H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup>를 나타낸다. 중화 반응이 진행되면 H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup>의 수는 감소한다.

교과서에서는 중화 적정 문제의 풀이로 알짜 이온 수를 이용하는 방법을 소개한다. 어떤 산 수용액의 농도를  $M$ , 넣어준 부피를  $V$ , 산의 가수를  $n$ 이라 하면, 산 수용액 속 H<sup>+</sup>의 수는  $n \times M \times V$ 이다.<sup>4)</sup>

가수	산	염기
1가	HCl, HBr	NaOH, KOH
2가	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>
3가	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>
가수에 따른 산 염기의 예시		

이때, 중화점에서 반응 전 H<sup>+</sup>의 수는 반응 전 OH<sup>-</sup>의 수와 같다.

$$\text{반응 전 H}^+\text{의 수} = \text{반응 전 OH}^-\text{의 수}$$

첨가한 산의 농도를  $M$ , 넣어준 부피를  $V$ , 산의 가수를  $n$ 이라 하고, 염기의 농도를  $M'$ , 넣어준 부피를  $V'$ , 산의 가수를  $n'$ 이라 하면, 다음과 같은 식이 성립한다.

$$nMV = n'M'V'$$

보통은 중화 적정 실험이 농도  $M$ 을 알고 있는 산 수용액  $V$ mL에 농도를 모르는 염기 수용액을 조금씩 첨가하면서 중화점을 확인하는데, 염기 수용액이 총  $V'$ mL 필요하므로 농도  $M'$ 를 구할 수 있다는 식이다.

4) 산 분자 1개가 이온화하여  $n$ 개의 수소 이온을 방출할 때,  $n$ 을 산의 가수라 한다. 마찬가지로, 염기 1개에  $n$ 개의 수산화 이온이 포함될 때,  $n$ 을 염기의 가수라 한다.  $n=2$ 인 산 염기는 2가 산-염기,  $n=3$ 인 산 염기는 3가 산-염기라 한다.  $n \geq 2$ 인 산 또는 염기는 개정 전 평가원 교육청(2014~2019)에 기출된 적 없다.

## 〈 혼합 적정과 연속 적정 〉

[ 혼합 적정 ]

혼합 적정은 여러 가지 산 or 염기 수용액을 혼합하여 몇 가지의 혼합 용액을 만드는 실험이며, 문제들은 보통 ‘다음은 HA(aq), HB(aq), COH(aq)의 부피를 달리하여 혼합한 ~’으로 시작한다.

혼합 적정 실험에서 액성을 관찰할 때 다음과 같은 방법을 쓸 수 있다.

혼합 용액	HCl(aq) 부피	NaOH(aq) 부피	액성
(가)	10mL	20mL	산성
(나)	20mL	30mL	

표에서 혼합 용액 (가)에 넣어준 수용액의 부피를 각각 2배씩 하여 만든 용액을 (다)라 할 때, (다)는 HCl(aq)과 NaOH(aq)를 각각 20mL, 40mL 혼합한 용액이고 액성은 (가)와 마찬가지로 산성이다. 이때 (나)에서는 (다)에서에 비해 염기 수용액(NaOH(aq))이 더 적게 들어간 용액이므로 혼합 용액의 액성은 산성이다.

혼합 용액	HCl(aq) 부피	NaOH(aq) 부피	액성
A	10mL	20mL	산성
B	20mL	50mL	

다만, 이번 경우에 B의 액성은 ‘알 수 없음’이 맞다. 위에서와 마찬가지로 A에 넣어준 수용액의 부피를 각각 2배씩 하여 만든 용액을 C라 할 때, C에 NaOH(aq)가 10mL만큼 추가로 첨가한 용액이 B이다. 이때, B의 액성은 산성으로 단정 지을 수 없기 때문에 추가적인 조건을 해석하거나 액성을 가정하여 풀어야 한다.

첨가한 산 염기 수용액의 부피 비를 유지하며 용액의 부피를 늘이거나 줄이는 경우, 변하는 값과 변하지 않는 값이 있다. 혼합 용액을 추출하는 실험에도 마찬가지로 적용된다.

변하는 값	변하지 않는 값
(실제) 이온 수, 생성된 물 분자 수	단위 부피당 이온 수, 이온 수 비

예시를 들면 다음과 같다. (혼합 용액 10mL에 들어 있는 Na<sup>+</sup> 이온의 수를 N이라 하였음)

혼합 용액	HCl(aq) 부피	NaOH(aq) 부피	Na <sup>+</sup> 수	10mL당 Na <sup>+</sup> 수
(가)	10mL	20mL	3	N
(나)	20mL	40mL	6	N

단위 부피당 ○○○의 정의는 다음과 같다.

$$\text{단위 부피당 } \text{○○○} = \frac{\text{○○○의 수}}{\text{총 부피}}$$

단위 부피당 ○○○이 자료로 제시된 경우, 총 부피를 곱하여 실제 ○○○의 값을 구하면 된다. 반대로, 단위 부피당 ○○○의 값을 구해야 하는 경우, ○○○ 값을 총 부피로 나누어 계산해주면 된다.



[ 연속 적정 ]

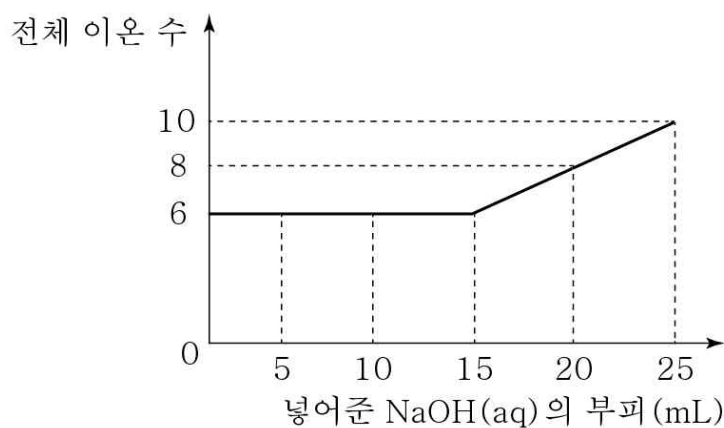
연속 적정은 수용액 A가 들어 있는 비커에 B를 조금씩 첨가하거나, B와 C 등을 연속해서 첨가하는 실험 등을 뜻한다. 표와 같이 일정량의 A(aq)가 들어 있는 서로 다른 비커에 B(aq)의 부피를 달리하여 첨가한 실험도 연속 적정으로 해석할 수 있다.

혼합 용액	HCl(aq) 부피	NaOH(aq) 부피
(가)	10mL	10mL
(나)	10mL	20mL
(다)	10mL	30mL

연속 적정에서 혼합 용액 액성의 관찰은 다음과 같이 할 수 있다. HCl(aq) 10mL가 들어 있는 비커에 NaOH(aq)를 조금씩 첨가한다. 이때, 혼합 용액의 전체/양/음 이온 수를 조사하자.

첨가한 NaOH(aq)의 부피(mL)		0	5	10	15	20	25
이온 수	H <sup>+</sup>	3	2	1	0	0	0
	Cl <sup>-</sup>	3	3	3	3	3	3
	Na <sup>+</sup>	-	1	2	3	4	5
	OH <sup>-</sup>	-	0	0	0	1	2
양이온 수(=음이온 수)		3	3	3	3	4	5
전체 이온 수		6	6	6	6	8	10

표에서와 같이, 혼합 용액의 액성이 산성~중화점에서는 전체/양/음 이온 수가 일정하다. 하지만 중화점 이후 액성이 바뀌는 순간, 전체/양/음 이온 수가 증가한다. 이는 NaOH(aq)가 들어 있는 비커에 HCl(aq)를 조금씩 첨가할때도 마찬가지이다. 위 표를 그래프로 나타내면 그림과 같다.



연속 적정 문제에서, 혼합 용액 속 전체/양/음 이온 수가 변하면 혼합 용액의 액성이 바뀌었음을 알 수 있다. 반대로 전체/양/음 이온 수가 변하지 않으면 혼합 용액의 액성이 변하지 않았든가, 혹은 중화점임을 알 수 있다.

## < 중화 반응 접근법 >

중화 반응에서 궁극적인 목표 : 농도(10mL당 이온 수) 구하기

- 중화 반응의 보편적 풀이 방법

- (1) 액성 판별
- (2) 이온 수 찾기
- (3) 농도 구하기

- 중화 반응의 3가지 접근법

- ① 알짜 이온을 이용한 풀이
- ② 구경꾼 이온을 이용한 풀이
- ③ 혼합 용액 전체/양/음 이온 수를 이용한 풀이

중화 반응에서는 풀이 ①~③ 모두 큰 틀에서는 보편적 풀이 방법을 따른다.

하지만 ①~③ 각각에서 주어진 자료와 집중할 대상이 다르다.

[ 중화 반응 풀이법 - 알짜 이온 ]

제시된 자료가  $H^+$  또는  $OH^-$ 의 수, 생성된 물 분자 수 등 알짜 이온에 대한 정보를 주는 경우, 수용액 속 알짜 이온 수를 체크할 수 있다. 생성된 물 분자 수도 결국 반응한 알짜 이온을 의미하기 때문에 알짜 이온에 대한 논의 범주 내이다.

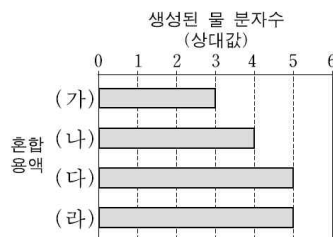
① 알짜 이온을 이용한 접근법

-  $H^+$  또는  $OH^-$ 의 수, 생성된 물 분자 수

- (1) 혼합 용액의 액성을 판별한다.
- (2) 자료를 통해 각 용액의  $H^+$  또는  $OH^-$  수를 구한다.
- (3) 각 수용액 농도를 구한다.  
(필요하다면 농도를 미지수로 두고 연립 방정식 작성)

다음과 같은 혼합 적정 문제에서 생성된 물 분자 수를 이용하는 방법을 알아보자.

혼합 용액	NaOH(aq) (mL)	HCl(aq) (mL)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (aq) (mL)
(가)	30	0	30
(나)	30	10	20
(다)	30	20	10
(라)	30	30	0



수용액의 액성을 판단해보자.

if, (가) = 산성

(가)에서 한계 반응물 OH<sup>-</sup>의 수가 3N이고, (나)~(라)에서 생성된 물 분자 수가 4N, 5N이 될 수 없다. 마찬가지로 이유로 (나)도 산성이 될 수 없다.

so, (가), (나) = 염기성

(가)에서 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq) 30mL에 들어 있는 H<sup>+</sup> 수는 3이다.

(나)에서 HCl(aq) 10mL에 들어 있는 H<sup>+</sup> 수는 2이다.

이때, (다)와 (라)에서 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq)와 HCl(aq)에서 나오는 수를 알 수 있다.

혼합 용액	NaOH(aq)	HCl(aq)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (aq)	반응 전 H <sup>+</sup> 수	생성된 물 분자 수
(다)	30	4/ 20	1/ 10	5	5
(라)	30	6/ 30	0	6	5

(라)에서 반응 전 H<sup>+</sup> 수가 6이고 생성된 물 분자 수가 5이므로 H<sup>+</sup> 5개와 OH<sup>-</sup> 5개가 반응하여 5H<sub>2</sub>O를 생성했음을 알 수 있다. 이때 (라)의 액성은 산성이고, NaOH(aq) 30mL에 들어 있는 OH<sup>-</sup> 수는 5이다.

역으로, (다)에서 반응 전 OH<sup>-</sup> 수가 5이므로 H<sup>+</sup> 5개와 OH<sup>-</sup> 5개가 반응하여 5H<sub>2</sub>O를 생성했고, 혼합 용액의 액성은 중성임을 알 수 있겠다.

농도를 구하면 다음과 같다.

$$\text{NaOH(aq)의 농도(= NaOH(aq) 10mL당 OH}^- \text{ 수)} = \left[ \frac{\frac{5}{3}N}{10\text{mL}} \right]$$

$$\text{HCl(aq)의 농도(= HCl(aq) 10mL당 H}^+ \text{ 수)} = \left[ \frac{2N}{10\text{mL}} \right]$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4\text{(aq)의 농도(= H}_2\text{SO}_4\text{(aq) 10mL당 H}^+ \text{ 수)} = \left[ \frac{1N}{10\text{mL}} \right]$$

다음과 같은 연속 적정 문제에서  $H^+$  또는  $OH^-$ 의 수를 이용하는 방법을 알아보자.

[실험 과정]			
(가) $HCl(aq)$ , $NaOH(aq)$ , $KOH(aq)$ 를 준비한다.			
(나) $HCl(aq)$ 10mL을 비커에 넣는다.			
(다) (나)의 비커에 $NaOH(aq)$ 10mL를 넣는다.			
(라) (다)의 비커에 $KOH(aq)$ 10mL를 넣는다.			
[실험 결과]			
과정	(나)	(다)	(라)
$H^+$ 또는 $OH^-$ 수	$4N$	$N$	$N$

수용액의 액성을 판단해보자. (나)는 산성이다.

if, (다)와 (라)의 액성이 같다면,  $KOH(aq)$ 의 농도는 [0]이고, 모순이 생긴다.

then, (다)와 (라)의 액성은 다르다. (라)에서 염기가 첨가됐으므로 (다)는 산성, (라)는 염기성이다.

표를 정리하자.

과정	(나)	(다)	(라)
$H^+$ 수	$4N$	$N$	
$OH^-$ 수			$N$

(다)에서 감소한  $H^+$  수가  $3N$ 이므로, 들어온  $OH^-$  수는  $3N$ 이다.

(라)에서 감소한  $H^+$  수는  $N$ 이고 증가한  $OH^-$  수는  $N$ 이므로, 들어온  $OH^-$  수는  $2N$ 이다.

(나)에서  $HCl(aq)$  10mL에 들어 있는  $H^+$  수는  $4N$ 이다.

(다)에서  $NaOH(aq)$  10mL에 들어 있는  $OH^-$  수는  $3N$ 이다.

(라)에서  $KOH(aq)$  10mL에 들어 있는  $OH^-$  수는  $2N$ 이다.

농도를 구하면 다음과 같다.

$$HCl(aq) \text{의 농도(= } HCl(aq) \text{ 10mL당 } H^+ \text{ 수)} = \left[ \frac{4N}{10mL} \right]$$

$$NaOH(aq) \text{의 농도(= } NaOH(aq) \text{ 10mL당 } OH^- \text{ 수)} = \left[ \frac{3N}{10mL} \right]$$

$$KOH(aq) \text{의 농도(= } KOH(aq) \text{ 10mL당 } OH^- \text{ 수)} = \left[ \frac{2N}{10mL} \right]$$

다음과 같은 혼합 적정 문제에서  $H^+$  또는  $OH^-$ 의 수를 이용하는 방법을 알아보자.

[실험 과정 및 결과]

(가) HCl, HBr, NaOH 수용액을 만들었다.

(나) (가)에서 만든 세 수용액을 실험 I ~ III과 같이 섞은 후, 혼합 용액에 존재하는  $H^+$  또는  $OH^-$ 의 수를 상대적으로 나타내었다.

실험	HCl(aq) 부피(mL)	HBr(aq) 부피(mL)	NaOH(aq) 부피(mL)	혼합 용액 속의 $H^+$ 또는 $OH^-$ 수
I	30	10	40	5N
II	20	30	30	0
III	20	40	20	6N

수용액의 액성을 먼저 판단한다.

II는 중성이다. III에서는 II에서에 비해 첨가된 산 수용액의 부피가 월등히 크므로 III는 산성이다. NaOH(aq)의 부피를 60mL로 맞추어 주면 쉽게 관찰할 수 있다.

실험	HCl(aq) 부피(mL)	HBr(aq) 부피(mL)	NaOH(aq) 부피(mL)	$H^+$ 또는 $OH^-$ 의 수
I	45	15	60	7.5N
II	40	60	60	0
III	60	120	60	18N

이때, HCl(aq), HBr(aq), NaOH(aq)의 농도(10mL당  $H^+$  또는  $OH^-$ 의 수)를 각각  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 라 놓고 식을 세우면 다음과 같다. 이때, HCl(aq) 10mL당  $H^+$ 의 수를  $+a$ , HBr(aq) 10mL당  $H^+$ 의 수를  $+b$ , NaOH(aq) 10mL당  $OH^-$ 의 수를  $-c$ 라 하여,  $H^+$ 는 양(+),  $OH^-$ 는 음(-)수로 취급한다. I의 액성을 모르니 절댓값을 씌운다.

$$|3a + b - 4c| = 5N$$

$$2a + 3b - 3c = 0$$

$$2a + 4b - 2c = +6N$$

I에서 절댓값을 벗길 때  $\pm 5N$  중 한 경우에는서는 모순이 나온다. 미지수 3가지에 식 3가지이므로  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 를 구할 수 있다.

[ 중화 반응 풀이법 - 구경꾼 이온 ]

기출된 문항의 대부분을 차지하는, 중화 반응 문제의 정석적 풀이법으로 소개된 내용이다.

② 구경꾼 이온을 이용한 접근법

- 단위 부피당 이온 모형, 이온 수의 비 등..

- (1) 혼합 용액에 존재할 수 있는 이온 종류를 모두 표시한다.
- (2) 액성을 추론하고, 이온의 종류와 수를 구경꾼 이온을 중심으로 찾는다.  
(상황에 따라 미지 이온의 종류를 관찰/가정해야 하기도 함)
- (3) 각 수용액 농도를 구한다.

중화 반응의 풀이를 간소화 할 수 있는 한 가지 방법을 소개한다.

※ 혼합 용액 속 양이온 수 = 음이온 수

모든 수용액에서 항상 양이온의 총 전하량 = 음이온의 총 전하량이다.

1가 산 염기의 중화 반응이 진행될 때,  
양이온의 총 전하량  
=  $\sum(\text{양이온 전하량}) \times (\text{양이온 수}) = \sum(\text{양이온 수}) = \text{전체 양이온 수이다.}$

마찬가지로, 음이온의 총 전하량  
=  $\sum(\text{음이온 전하량}) \times (\text{음이온 수}) = \sum(\text{음이온 수}) = \text{전체 음이온 수이다.}$

따라서, 1가 산 염기 중화 반응에서 전체 양이온 수 = 전체 음이온 수이다.

혼합 용액 속 양이온 수 = 음이온 수임을 이용하면 복잡하게 풀 문제를 쉽게 해결할 수 있다. 특히나 구경꾼 이온 수를 중심으로 이온 수를 파악하면 액성 관찰을 하기 쉽다는 장점이 있다. 아래 두 가지는 항상 성립한다. 숙지해 두자.

혼합 용액 속 전체 이온 수는 양이온 수와 음이온 수의 합이므로 다음이 성립한다.

$$1. \text{혼합 용액 속 양이온 수} = \text{음이온 수} = \frac{1}{2} \text{전체 이온 수}$$

혼합 용액의 구경꾼 이온 수는 넣어준 '해당' 수용액의 부피에 비례한다.

$$2. \text{구경꾼 이온 수} \propto \text{넣어준 '해당' 수용액의 부피}$$

예를 들어  $\text{HCl}(aq)$  10mL의  $\text{Cl}^-$  수가 2N이면  $\text{Cl}^-$  수가 4N 들어 있는 용액에 넣어준  $\text{HCl}(aq)$ 의 부피는 20mL이고,  $\text{NaOH}(aq)$  30mL의  $\text{Na}^+$  수가 3N이면  $\text{Na}^+$  수가 2N 들어 있는 용액에 넣어준  $\text{NaOH}(aq)$ 의 부피는 20mL이다.

예를 들어  $\text{HCl}(aq)$ 와  $\text{NaOH}(aq)$ 를 혼합하여 용액 (가), (나)를 만든 실험이 있다고 하자. 혼합 용액에 존재할 수 있는 이온 종류는  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{OH}^-$  등이 있다. 알짜 이온은  $\text{H}^+$ 와  $\text{OH}^-$ 이고, 구경꾼 이온은  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$ 이다.

혼합 용액	$\text{H}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{OH}^-$
(가)	$aN$	$3N$	$2N$	$bN$
(나)	$cN$	$5N$	$dN$	$N$

해설을 보기 전에  $a \sim d$ 를 한 번 채워 보자.

혼합 용액	$\text{H}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{OH}^-$
(가)	$aN$	$3N$	$2N$	$bN$
(나)	$cN$	$5N$	$dN$	$N$

중화 반응을 처음 배울 때 논리 흐름은 다음과 같다.

(가)에서 반응 전  $\text{H}^+$ 의 수 =  $\text{Cl}^-$ 의 수 =  $3N$ 이고, 반응 전  $\text{OH}^-$ 의 수 =  $\text{Na}^+$ 의 수 =  $2N$ 이다.  $\text{H}^+$ 과  $\text{OH}^-$ 이 반응하여  $\text{H}_2\text{O}$ 가  $2N$ 만큼 생성되고,  $\text{H}^+$ 가  $N$ 만큼 남는다.  $a = 1$ 이다. (가)의 액성은 산성이고,  $b = 0$ 이다.

(나)에서 반응 전  $\text{H}^+$ 의 수 =  $\text{Cl}^-$ 의 수 =  $5N$ 이고, 반응 전  $\text{OH}^-$ 의 수 =  $\text{Na}^+$ 의 수 =  $dN$ 이다.  $\text{H}^+$ 과  $\text{OH}^-$ 이 반응하여  $\text{H}_2\text{O}$ 가  $5N$ 만큼 생성되고,  $\text{OH}^-$ 가  $(d - 5)N = 1N$ 만큼 남는다.  $d = 6$ 이다. (나)의 액성은 산성이고,  $c = 0$ 이다.

혼합 용액 속 양이온 수 = 음이온 수임을 이용하여 위의 예제를 다시 풀어보자. 혼합 용액 (가)는  $\text{Cl}^-$ 가  $\text{Na}^+$ 보다 많으므로 산성이고 (나)는  $\text{OH}^-$ 가 남으므로 염기성이다.  $b = c = 0$ 이다. 정리하면 표와 같다.

혼합 용액	$\text{H}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{OH}^-$
(가)	$aN$	$3N$	$2N$	0
(나)	0	$5N$	$dN$	$N$

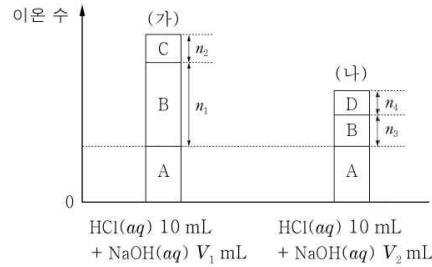
(가)에서 총 음이온 수( $\text{Cl}^-$ 의 수)는  $3N$ 이므로 총 양이온 수  $(a + 2)N = 3N$ 이다.  $a = 1$ 이다.

(나)에서 총 양이온 수( $\text{Na}^+$ 의 수)는  $dN$ 이고 총 음이온 수는  $6N$ 이므로  $d = 6$ 이다.

이처럼, 혼합 용액 속 양이온 수 = 음이온 수임을 이용하면 복잡하게 풀 문제를 쉽게 해결할 수 있다.

다음 문제에서 혼합 용액 속 양이온 수 = 음이온 수를 어떻게 이용할 수 있는지 알아보자.

18 그림은 HCl(aq) 10 mL에 NaOH(aq)  $V_1$  mL,  $V_2$  mL를 각각 넣은 혼합 용액 (가), (나)에 존재하는 이온 수를 나타낸 것이다. A ~ D는 각각  $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $OH^-$  중 하나이다.



(가)와 (나)에서 첨가한 HCl(aq)의 부피가 같고, A의 수가 변하지 않으므로 A는  $Cl^-$ 이다. (가)와 (나)에 B는 공통적으로 존재하므로 B는 구경꾼 이온( $Na^+$ )이다. C와 D는 알짜 이온( $H^+$  또는  $OH^-$ )이다.

혼합 용액 속 양이온 수 = 음이온 수이다. 그래프에서 각 이온의 수를 관찰하자.

(가)에서 양이온 수 = B의 수이고, 음이온 수 = A의 수 + C의 수이다. C는  $OH^-$ 이다.

(나)에서 음이온 수 = A의 수이고, 양이온 수 = B의 수 + D의 수이다. D는  $H^+$ 이다.

혼합 용액 (가), (나)의 이온 종류와 수를 표로 나타내면 다음과 같다.

혼합 용액	$H^+$	$Cl^-$	$Na^+$	$OH^-$
(가)	0	$n$	$n_1$	$n_2$
(나)	$n_4$	$n$	$n_3$	0

위의 문제에서와 같이, 혼합 용액의 액성에 따라 관찰할 수 있는 포인트가 있다. 산 수용액 1개(HA)와 염기 수용액 1개(BOH)의 혼합 실험에서 혼합 용액의 액성이 산성이면, 혼합 용액 속 음이온은  $A^-$ 로 유일하며,  $\frac{A^- \text{의 수}}{\text{전체 이온 수}}$ 는  $\frac{1}{2}$ 이 된다. 마찬가지로, 산 수용액 1개(HA)와 염기 수용액 1개(BOH)의 혼합 실험에서 혼합 용액의 액성이 염기성이면, 혼합 용액 속 음이온은  $B^-$ 로 유일하며,  $\frac{B^- \text{의 수}}{\text{전체 이온 수}}$ 는  $\frac{1}{2}$ 이 된다.

위의 문제에서  $n$ 과  $n_1 \sim n_4$ 에 숫자를 넣어 표를 완성해보았으니 필기를 하고 기억하도록 해보자.

혼합 용액	$H^+$	$Cl^-$	$Na^+$	$OH^-$	$\frac{Na^+ \text{의 수}}{\text{전체 이온 수}}$	$\frac{Cl^- \text{의 수}}{\text{전체 이온 수}}$
(가) 염기성	0	3	4	1		
(나) 산성	1.5	3	1.5	0		



14p에서 설명한 바를 바탕으로 다음 문제에서  $\text{HCl}(aq)$ 과  $\text{NaOH}(aq)$ 의 농도를 구해 보자.

구 분	실험 I	실험 II
$\text{HCl}(aq)$ 의 부피(mL)	20	80
$\text{NaOH}(aq)$ 의 부피(mL)	100	40
혼합 수용액 속에 존재하는 양이온 수(상대값)	5N	12N
혼합 수용액의 액성	염기성	산성

실험 I의 액성은 염기성이므로 혼합 용액의 양이온은  $\text{Na}^+$ 로 유일하고, 그 수는 5N이다.

실험 II의 액성은 산성이므로 혼합 용액의 음이온은  $\text{Cl}^-$ 로 유일하고, 그 수는 12N이다.

(항상 양이온 수는 음이온 수와 같기 때문에, 실험 II에서 전체 양이온 수 = 음이온 수 =  $\text{Cl}^-$ 수임을 기억하자.)

혼합 용액 (가), (나)의 이온 종류와 수를 표로 나타내면 다음과 같다.  $a \sim d$ 를 구해 보자.

혼합 용액	$\text{H}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{OH}^-$
(가)	0	$a\text{N}$	5N	$b\text{N}$
(나)	$c\text{N}$	12N	$d\text{N}$	0

표를 완성하는 과정은 다음과 같다.

첫째, 혼합 용액의 구경꾼 이온 수는 넣어준 '해당' 수용액의 부피에 비례한다.

혼합 용액	$\text{H}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{OH}^-$
(가)	0	3N	5N	$b\text{N}$
(나)	$c\text{N}$	12N	2N	0

둘째, 혼합 용액의 양이온 수 = 음이온 수이다.

혼합 용액	$\text{H}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{OH}^-$
(가)	0	3N	5N	2N
(나)	10N	12N	2N	0

셋째, 농도를 구하면 다음과 같다.

$$\text{HCl}(aq) \text{의 농도} (= \text{HCl}(aq) \text{ 10mL당 양이온 수} = \text{10mL당 음이온 수}) = \left[ \frac{1.5\text{N}}{10\text{mL}} \right]$$

$$\text{NaOH}(aq) \text{의 농도} (= \text{NaOH}(aq) \text{ 10mL당 양이온 수} = \text{10mL당 음이온 수}) = \left[ \frac{0.5\text{N}}{10\text{mL}} \right]$$

[ 중화 반응 풀이법 - 혼합 용액 속 양/음/전체 이온 수의 경향 ]

이 장에서 배울 내용은 13p의 내용을 응용한 것으로, 혼합 용액의 액성을 모를 때 혼합 수용액 속 양이온 수, 음이온 수 또는 전체 이온 수를 어떻게 해석해야 하는지에 관한 것이다.

③ 혼합 용액 속 전체/양/음 이온 수를 이용한 접근법

- 혼합 용액 속 전체/양/음 이온 수

- (1) 혼합 용액의 액성을 찾는다. 액성을 가정해야 하는 경우가 많다.  
(적정 실험의 경우 용액 액성이 바뀌면 전체/양/음 이온 수가 변함)
- (2) 각 수용액 농도를 구한다.

혼합 용액 속 전체/양/음 이온 수가 자료로 제시되는 경우, 구경꾼 이온 수나 알짜 이온 수를 특별히 파악할 일 없이 혼합 용액의 액성을 파악하면 농도를 구할 수 있다. 그 원리는 아래 설명되어있다.

※ 혼합 용액 속 전체 이온 수의 경향

HCl(aq)와 NaOH(aq)를 각각 10mL씩 혼합한다. 농도는 다음과 같다.

$$\text{HCl}(aq) : \left[ \frac{aN}{10\text{mL}} \right], \text{NaOH}(aq) : \left[ \frac{bN}{10\text{mL}} \right] \quad (\text{단, } a > b)$$

혼합 용액 속 각 이온 수는 표와 같다.

	H <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup>
혼합 용액	(a - b)N	aN	bN	0

혼합 용액 속 전체 이온 수를 구하면 2aN이다.

HCl(aq)와 NaOH(aq)를 혼합하여 용액의 액성이 산성이면, 혼합 용액의 전체 이온 수는 HCl(aq)의 농도와 부피에 영향을 받음을 알 수 있다. 마찬가지로 HCl(aq)와 NaOH(aq)를 혼합하여 용액의 액성이 염기성이면, 혼합 용액의 전체 이온 수는 NaOH(aq)의 농도와 부피에 영향을 받는다.

자료로써 ‘혼합 용액 속 전체 이온 수’가 제시되면, 혼합 용액의 액성과 첨가한 수용액의 부피를 아는 순간, 산 또는 염기 수용액의 농도를 알 수 있다. 예를 들어, 혼합 용액 속 전체 이온 수가 2aN이고, 혼합 용액의 액성이 산성이며, 첨가한 HCl(aq)의 부피가 10mL임이 주어지면, HCl(aq)의 농도가  $\left[ \frac{aN}{10\text{mL}} \right]$ 임을 알 수 있는 것이다.

혼합 용액 속 양/음/전체 이온 수가 자료로 제시되면 다음과 같은 메커니즘을 가진다.

1. 혼합 용액의 액성을 아는가? - 안다.

→ 액성이 산성이면 산 수용액의, 염기성이면 염기 수용액의 농도를 구할 수 있다.

2. 혼합 용액의 액성을 아는가? - 모른다.

→ 액성을 가정한다. 산성 또는 염기성 중 어느 한 경우에는 모순이 나온다.

→ 액성이 산성이면 산 수용액의, 염기성이면 염기 수용액의 농도를 구할 수 있다.

다음 문제는 혼합 용액의 액성을 아는 경우이다.

혼합 용액	혼합 전 용액의 부피(mL)		전체 양이온의 몰수	액성
	HCl(aq)	NaOH(aq)		
I	20	30	$1.0 \times 10^{-2}$	산성
II	20	40	$1.2 \times 10^{-2}$	염기성
III	30	40	$x \times 10^{-2}$	산성

전체 양이온 수 = 전체 음이온 수임을 이용하면, 전체 이온 수는  $2 \times$ (전체 양이온 수) 또는  $2 \times$ (전체 음이온 수)로 나타낼 수 있다. 전체 양이온 수의 경향과 전체 음이온 수의 경향은 모두 전체 이온 수와 같은 경향을 보인다. 헛갈리는 경우, 전체 양이온 수에 2를 곱하여 전체 이온 수로 만들어 준 다음 문제를 풀어보자.

이때, 각 수용액의 농도와  $x$ 를 바로 구할 수 있다.

전체 양이온 몰수  $1.0 \times 10^{-2}$ 를  $N$ 이라 하자. HCl(aq)과 NaOH(aq)의 농도는 다음과 같다.

$$\text{HCl(aq)} : \left[ \frac{0.5N}{10\text{mL}} \right]$$

$$\text{NaOH(aq)} : \left[ \frac{0.3N}{10\text{mL}} \right]$$

혼합 용액 III의 액성은 산성이므로, 전체 양이온의 몰수는 넣어준 HCl(aq)의 부피에 영향을 받는다. III에서 전체 양이온 몰수는 혼합 전 HCl(aq)의 부피와 농도의 곱으로 구할 수 있다.  $x = 1.5$ 이다.

다음 문제는 혼합 용액의 액성을 모르는 경우이다.

혼합 용액	NaOH(aq)의 부피(mL)	HCl(aq)의 부피(mL)	전체 이온의 몰수(몰)
(가)	30	20	$n$
(나)	10	40	$n$

‘전체 이온 수’가 자료로 제시되었지만 용액의 액성을 모르는 경우, 각각의 액성을 가정하여 모순이 되는 경우를 확인, 제거하고 농도를 구해야한다. 만약 (가)의 액성이 산성이라면, HCl(aq)의 농도는 다음과 같다.

$$\text{HCl}(aq) : \left[ \frac{0.5n}{20\text{mL}} \right]$$

이때 (나)에서 HCl(aq)의 부피가 40mL이므로 전체 이온의 몰수는  $2n$  이상이어야 하는 모순이 발생한다.

따라서 (가)의 액성은 염기성이다. NaOH(aq)의 농도를 구하면 다음과 같다.

$$\text{NaOH}(aq) : \left[ \frac{0.5n}{30\text{mL}} \right]$$

(나)에서 전체 이온의 몰수가  $n$ 이 되기 위해서는 (나)의 액성이 산성이어야 한다. HCl(aq)의 농도를 구하면 다음과 같다.

$$\text{HCl}(aq) : \left[ \frac{0.5n}{40\text{mL}} \right]$$

‘전체 이온 수’가 자료로 제시된 문제의 경우, 혼합한 수용액의 수에 따라 문제를 해결하는 방법에는 다음과 같은 메커니즘이 숨겨있다.

첨가한 수용액의 부피가 제시되고 ‘전체/양/음 이온 수’가 2개가 제시되면, 최대 2개 수용액의 농도를 구할 수 있다. 두 가지 수용액(예를 들어 HCl(aq)와 NaOH(aq))를 혼합한 경우, HCl(aq)와 NaOH(aq)의 부피를 달리하여 혼합한 2가지 용액에서 각각의 액성을 다르게 하여 HCl(aq)와 NaOH(aq)의 농도를 모두 구할 수 있게끔 문제가 설계된다.

마찬가지로, 세 가지 수용액이 혼합된 경우, 최대 3가지 수용액의 농도를 구할 수 있다. HCl(aq), NaOH(aq), KOH(aq)가 혼합된 경우, 혼합 용액 (가)~(다)의 액성은 순서 없이 산, 염, 염기 될 것이며, 3가지 수용액의 농도를 모두 구할 수 있게끔 문제가 설계된다.

[ 키워드 정리 ]

1. 중화 반응의 기초

- 액성
- 생성된  $H_2O$
- 농도
- 구경꾼 이온과 알짜 이온

2. 혼합 적정과 연속 적정

- 혼합 적정
- 연속 적정

3. 중화 반응 접근법

- 알짜 이온을 이용한 풀이법
- 구경꾼 이온을 이용한 풀이법
- 혼합 용액의 전체/양/음 이온 수를 이용한 풀이법

위 칼럼에 대한 저작권은 박준영에 있습니다. 2018/09/05  
상업적 사용과 무단 복제 및 전제를 금합니다.