

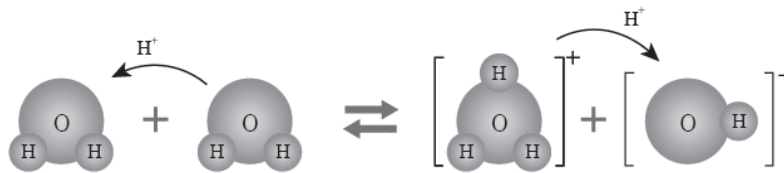
# | 물의 자동 이온화

## 1. 물의 자동 이온화

물은 대부분 분자 상태로 존재하지만 매우 적은 양의 물이 이온화하여 동적 평형을 이룬다.

물의 자동이온화 반응식:  $\text{H}_2\text{O}(l) + \text{H}_2\text{O}(l) \leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$

$\text{H}^+$ 은 수용액에서 물 분자와 배위 공유 결합을 하여  $\text{H}_3\text{O}^+$ 로 존재한다.  $\text{H}^+$ 와  $\text{H}_3\text{O}^+$ 는 이름과 표기 방식이 다를 뿐 수용액에서 같은 물질이다.



물질의 몰 농도 표현: 대괄호 [ ] 안에 화학식이 적힌 것은 화학식에 해당하는 물질의 몰농도를 뜻한다.

ex)  $[\text{OH}^-]$ :  $\text{OH}^-$ 의 몰농도

## 2. 물의 이온화 상수

물의 이온화 상수( $K_w$ ): 물의 자동 이온화 반응에서 생성된  $\text{H}_3\text{O}^+$ 와  $\text{OH}^-$ 의 몰 농도 곱을 물의 이온화 상수라고 한다.

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$$

물의 자동 이온화 반응은 가역 반응으로서 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 동적 평형 상태를 이루므로 일정한 온도에서  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와  $[\text{OH}^-]$ 는 일정한 값을 갖고  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와  $[\text{OH}^-]$ 의 곱인 물의 이온화 상수도 일정한 값을 갖는다.

25°C에서  $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ 이고, 순수한 물에서  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ 이므로  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{M}$ 이다.

# | 수소 이온 농도 지수(pH)

## 1. pH의 도입 과정

산의 세기는 수용액 속  $\text{H}_3\text{O}^+$ 의 농도로, 염기의 세기는 수용액 속  $\text{OH}^-$ 의 농도로 비교할 수 있다. 같은 온도에서 수용액의 종류와 관계없이  $\text{H}_3\text{O}^+$ 와  $\text{OH}^-$ 의 농도를 곱한 값이 일정하므로  $\text{H}_3\text{O}^+$ 의 농도로 산과 염기의 세기를 모두 비교할 수는 있다. 하지만  $\text{H}_3\text{O}^+$ 의 농도는 매우 작아 실제 값을 그대로 사용하기가 불편하다. 그래서 1909년 덴마크의 화학자 쇠렌센은  $\text{H}_3\text{O}^+$ 의 농도를 편리하게 사용하는 방법으로 수소이온 농도 지수(pH)를 도입하였다.

## 2. pH

pH는  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 에 상용로그 값에 음의 부호를 붙인 것이다.

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$$

**ex**  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1.0 \times 10^{-3} \rightarrow \text{pH} = 3$

$[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 클수록 pH가 작고,  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 작을수록 pH가 크다

pH와 마찬가지로 pOH는  $[\text{OH}^-]$ 의 상용로그 값에 음의 부호를 붙인 것이다

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$$

25°C에서  $[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ 이므로  $\text{pH} + \text{pOH} = 14$ 이다.

### 3. 25°C에서 수용액의 액성과 pH

순수한 물이나 모든 수용액은 항상  $\text{H}_3\text{O}^+$ 와  $\text{OH}^-$ 의 몰 농도 곱이  $1.0 \times 10^{-14}$ 으로 일정하고 pH와 pOH의 합은 14이다.

순수한 물이나 중성 수용액은 물의 자동 이온화에 의해  $\text{H}_3\text{O}^+$ 와  $\text{OH}^-$ 의 몰 농도가  $1.0 \times 10^{-7}\text{M}$ 로 같으며 pH와 pOH도 7로 같다

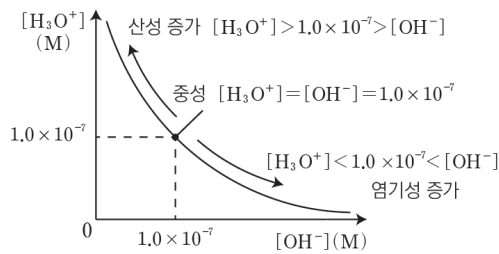
산성 수용액은 중성 수용액에 비해  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 큰 수용액이다.

따라서  $[\text{H}_3\text{O}^+] > 1.0 \times 10^{-7}\text{M}$ 이고,  $[\text{OH}^-] < 1.0 \times 10^{-7}\text{M}$ 이므로  $\text{pH} < 7$  이고,  $\text{pOH} > 7$ 이다.

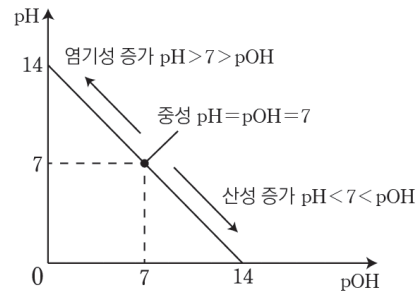
염기성 수용액은 중성 수용액에 비해  $[\text{OH}^-]$ 가 큰 수용액이다.

따라서  $[\text{OH}^-] > 1.0 \times 10^{-7}\text{M}$ 이고,  $[\text{H}_3\text{O}^+] < 1.0 \times 10^{-7}\text{M}$  이므로  $\text{pOH} < 7$  이고,  $\text{pH} > 7$ 이다.

액성	농도	pH, pOH
산성	$[\text{H}_3\text{O}^+] > 1.0 \times 10^{-7}\text{M}$	$\text{pH} < 7$ 이고, $\text{pOH} > 7$ 이다
중성	$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1.0 \times 10^{-7}\text{M} = [\text{OH}^-]$	$\text{pH} = \text{pOH} = 7$
염기성	$[\text{OH}^-] > 1.0 \times 10^{-7}\text{M}$	$\text{pOH} < 7$ 이고, $\text{pH} > 7$



(가)  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와  $[\text{OH}^-]$ 의 관계



(나) pH와 pOH의 관계

### 4. 우리 주변 생활 속 물질의 pH

우리 몸속의 위액, 레몬, 커피 등은 pH가 7보다 작은 산성 물질이고, 베이킹 소다, 비누, 제산제 등은 pOH가 7보다 작은 염기성을 띤다.

	1M HCl(aq)	위액	레몬	토마토	커피	우유	증류수	혈액	베이킹 소다	비누	하수구 세척액	1M NaOH(aq)			
$[\text{H}_3\text{O}^+]$	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$	$10^{-12}$	$10^{-13}$	$10^{-14}$
pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
수용액의 액성	산성			중성				염기성							
pOH	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
$[\text{OH}^-]$	$10^{-14}$	$10^{-13}$	$10^{-12}$	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1

## 5. pH, pOH 관련 준킬러 유형

해당 준킬러는 기본적인 논리에다가 어느정도 적용 연습만 한다면 크게 문제될 부분이 없다.

$[H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ ,  $pH + pOH = 14$  위 두가지 식만 안다면 해당 준킬러에서 풀지 못할 문제는 없다. 그러나 자주 출제되는 형태들이 있기에 이들을 눈여겨 둔다면 도움이 될 것이다.

**ex**  $[H_3O^+] : [OH^-] = 10^6 : 1$

**sol1**  $10^6 \times [OH^-] = [H_3O^+]$ 와  $[H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ 를 연립하여

$[H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-4}$ ,  $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-10}$  임을 구할 수 있다.

**sol2**  $[H_3O^+] : [OH^-] = 1 : 1$ 일 때가 각각  $pH = 7$ ,  $pOH = 7$ 일 때이므로 이를 기준으로 한다면,

$10^6 : 1$ 은 서로  $pH = pOH = 7$ 을 기준으로 3칸씩 떨어져있다고 생각할 수 있고

$[H_3O^+]$ 가  $[OH^-]$ 보다 크므로 pH는 산성이 커지는 쪽으로 3만큼 이동,

pOH는 염기성이 작아지는 쪽으로 3만큼 이동한다고 생각하면 된다.

\* 당연히 *sol1, sol2* 모두 할줄 알아야 하지만 실제 실전에서 *sol1* 뿐만 아니라 *sol2*를 활용하여 빠르게 사고할 수 있는 상황이 많이 발생하므로 기억해두자!

\* pH, pOH 관련 준킬러에서 조심해야 할점이, 일반적으로 몇몇의 학생이 pH나 pOH의 값이 반드시 정수로 출제될 것이라는 오해를 하는 경우가 있는데, 가장 최근에 치루어진 수능인 2022수능과 2022 9월 평가원에서 이미 pH와 pOH가 정수가 아닌 소수로 출제한 기출이 존재하기 때문에 절대 설부르게 단정하면 안되며 논리적 유기성을 통해 문제를 해결하기 바랍니다.

\* chapter3에서 이미 언급한 부분이긴 하지만, 위 단원 역시 부피에 관한 계산이 출제되므로 mL, L간의 단위를 맞추어 주는 과정을 반드시 고려하셔야 합니다. 저의 경우에는 L로 조건이 주어질 경우에는 해당 값을 그대로 쓰고, mL로 조건이 주어질 경우 뒤에 '10<sup>-3</sup>을 곱해서 L로 맞추어 주어야 겠다' 라는 생각을 항상 염두해둡니다.

## (1) 희석 시 pH의 변화

희석 시에는 무조건 부피 10배당, pH7(중성)쪽으로 한 칸 씩 이동한다고 생각하는게 좋다.

강한 산, 강한 염기를 조금씩 묽힌다고 받아들이면 되는데, 예를 들어 pH = 1인 수용액 10mL에 물을 첨가하여 100mL로 희석시킨다고 가정하면, 부피가 10배 늘어 났으므로, pH 역시 7 방향으로 1만큼 다가가서 pH = 2가 된다.

동일한 수용액 10mL를 1000mL로 희석시키면 부피가 100배이므로 pH7 방향으로 두 칸 이동하여 pH = 3이 된다.

단, 위 방법을 사용할 시에 pH7을 넘어서 이동하는 것은 불가능하다.

예를 들어 pH6인 수용액의 부피를 100배 하였다고 해도 pH가 8이 되지는 않는다.

10배 100배 등  $10^n$ 배 희석하는 것이 아니라 2배, 3배 희석 할 때의 경우도 생각해보자.

부피를  $x$ 배로 희석시켰다고 하면 해당 수용액 내에 들어 있는 몰수는 변화가 없다.

하지만 몰농도 =  $\frac{\text{몰 수}}{\text{부피}}$ 임을 통하여 몰농도는  $\frac{1}{x}$ 배 됨을 알 수 있다.

예를 들어, 0.5M NaOH 100mL에 물 150mL를 혼합하여  $y$ M NaOH를 만들었을 때의  $y$  값을 구해보자. (단, 부피를 혼합했을 때의 부피값은 유지된다.)

→ 수용액의 총 부피가 100mL에서 250mL로  $\frac{5}{2}$ 배 되었으므로

몰농도는 그 값의 역수인  $\frac{2}{5}$ 배 되어서 0.2M이 된다.  $y = 0.2$

물의 자동화와 pH 관련 준킬러에서 아직까지는 기출에서 1가 산, 염기만을 이용하였지만, 출제된 기출문제가 쌓이고 나중에 평가원에서 신유형을 개발하려고 할 때, 2가를 이용한 산, 염기 문제도 충분히 출제될 수 있기 때문에 이를 염두해두는 것을 추천드립니다.

위 단원의 pH,  $[H_3O^+]$ 를 사용하는 유형에서 양적인 계산이 최근 자주 출제되고 있으므로 정확한 계산 능력을 끌어올리면서 실수를 줄이는 연습이 필수적입니다.



Chapter  
**09** 유제(2)

**01** 22학년도 수능 12번

표는 수용액 (가)와 (나)에 대한 자료이다. (가)와 (나)는 각각  $\text{NaOH}(aq)$ 과  $\text{HCl}(aq)$  중 하나이다.

수용액	(가)	(나)
몰 농도(M)	$a$	$\frac{1}{10}a$
pH	$2x$	$x$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는  $25^\circ\text{C}$ 로 일정하며,  $25^\circ\text{C}$ 에서 물의 이온화 상수( $K_w$ )는  $1 \times 10^{-14}$ 이다.)

— <보 기> —

ㄱ. (나)는  $\text{HCl}(aq)$ 이다.  
 ㄴ.  $x = 4.0$ 이다.  
 ㄷ.  $10a \text{ M NaOH}(aq)$ 에서  $\frac{[\text{Na}^+]}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = 1 \times 10^8$ 이다.

**02** 21학년도 10월 16번

표는  $25^\circ\text{C}$ 에서 수용액 (가)와 (나)에 대한 자료이다. (가)와 (나)는 각각  $\text{HCl}(aq)$ ,  $\text{NaOH}(aq)$  중 하나이다.

수용액	몰 농도(M)	pOH	부피(mL)
(가)	$a$	$x$	$V$
(나)	$100a$	$3x$	$2V$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $25^\circ\text{C}$ 에서 물의 이온화 상수( $K_w$ )는  $1 \times 10^{-14}$ 이다.)

— <보 기> —

ㄱ. (가)는  $\text{HCl}(aq)$ 이다.  
 ㄴ. pH는 (가)가 (나)의 5배이다.  
 ㄷ.  $\frac{\text{(나)에서 } \text{OH}^- \text{의 양 (mol)}}{\text{(가)에서 } \text{H}_3\text{O}^+ \text{의 양 (mol)}} = \frac{1}{200}$ 이다.

### 03 22학년도 9월 13번

표는 25°C에서 수용액 (가)~(다)에 대한 자료이다.

수용액	(가)	(나)	(다)
$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{OH}^-]}$	$\frac{1}{10}$	100	1
부피		$V$	$100V$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C에서 물의 이온화 상수( $K_w$ )는  $1 \times 10^{-14}$ 이다.)

— <보 기> —

- ㄱ. (나)에서  $[\text{OH}^-] < 1.0 \times 10^{-7} \text{ M}$  이다.
- ㄴ.  $\frac{\text{(가)에서 } [\text{H}_3\text{O}^+]}{\text{(나)에서 } [\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1}{1000}$  이다.
- ㄷ.  $\frac{\text{(나)에서 } \text{H}_3\text{O}^+ \text{의 양 (mol)}}{\text{(다)에서 } \text{H}_3\text{O}^+ \text{의 양 (mol)}} = \frac{1}{10}$  이다.

### 04 21학년도 7월 14번

표는 25°C에서 수용액 (가)와 (나)에 대한 자료이다. (가)와 (나)의 액성은 각각 산성, 염기성 중

하나이며,  $\frac{\text{(가)의 pH}}{\text{(나)의 pH}} < 1$  이다.

수용액	(가)	(나)
$ \text{pH} - \text{pOH} $	4	2
부피 (mL)	100	500

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C에서 물의 이온화 상수( $K_w$ )는  $1 \times 10^{-14}$ 이다.)

— <보 기> —

- ㄱ. (가)는 산성이다.
- ㄴ.  $\text{H}_3\text{O}^+$ 의 양(mol)은 (가)가 (나)의 200배 이다.
- ㄷ.  $[\text{OH}^-]$ 는 (가) : (나) =  $1 : 10^2$  이다.