



산 염기 평형

차례

Part 1 · 개념 정리	1
산과 염기의 세기	1
염의 가수 분해	8
완충 용액	10
Part 2 · 기본문제	17
Part 3 · 심화문제	20
Part 4 · 정답과 해설	26
개념 체크 정답	26
기본문제 해설	27
심화문제 해설	29

Part 1 · 개념 정리

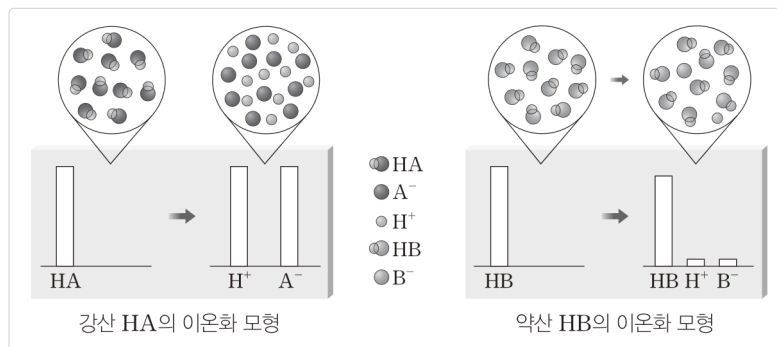
1 산과 염기의 세기

(1) 이온화와 산·염기의 세기

① **강산과 약산**: 물에 녹아 대부분 이온화하는 산을 강산, 물에 녹아 일부만 이온화하는 산을 약산이라고 한다.

예 강산: 염산(HCl), 황산(H_2SO_4), 질산(HNO_3) 등 / 약산: 탄산(H_2CO_3), 인산(H_3PO_4), 아세트산(CH_3COOH) 등

• 같은 온도, 농도의 수용액에서 강산은 약산보다 이온화하는 정도가 크다.



② **강염기와 약염기**: 물에 녹아 대부분 이온화하는 염기를 강염기, 물에 녹아 일부만 이온화하는 염기를 약염기라고 한다.

예 강염기: 수산화 나트륨(NaOH), 수산화 칼륨(KOH), 수산화 칼슘($Ca(OH)_2$) 등 / 약염기: 암모니아(NH_3), 메틸 아민(CH_3NH_2) 등

• 같은 온도와 농도의 수용액에서 강염기는 약염기보다 이온화하는 정도가 크다.

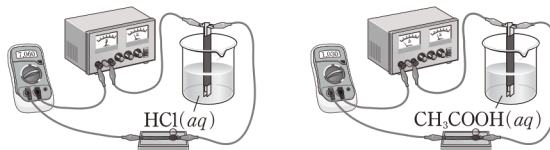
핵심 정리 강산과 강염기는 물에 녹아 대부분 이온화하는 산과 염기이고, 약산과 약염기는 물에 녹아 일부만 이온화하는 산과 염기이다.

개념 체크 A 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

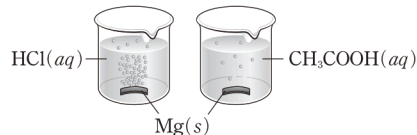
- 같은 온도와 농도의 수용액에서 HCl이 CH_3COOH 보다 이온화하는 정도가 _____ 다.
- 같은 온도와 농도, 같은 부피의 수용액에서 OH^- 수는 $NaOH(aq) > NH_3(aq)$ 이다. ()
- 같은 온도와 농도, 같은 부피의 수용액에서 전체 이온 수는 $CH_3COOH(aq) > HCl(aq)$ 이다. ()

탐구자료 살펴보기 산의 세기 비교

실험 과정 1. 농도와 부피가 같은 $\text{HCl}(aq)$ 과 $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ 을 2개의 비커에 각각 넣고, 전기 전도도계를 담근 후 전류의 세기를 측정하여 이온화하는 정도를 알아본다.



2. 농도가 같은 $\text{HCl}(aq)$ 과 $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ 이 각각 50 mL씩 들어 있는 비커에 동일한 마그네슘 조각을 넣고 반응 초기에 발생하는 $\text{H}_2(g)$ 의 양을 비교한다.



실험 결과 • 전류의 세기는 $\text{HCl}(aq)$ 에서가 $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ 에서보다 크다.
• 반응 초기에 발생하는 $\text{H}_2(g)$ 의 양은 $\text{HCl}(aq)$ 에서가 $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ 에서보다 많다.

분석 point 이온화가 잘 되어 산의 수용액 속 H^+ 의 농도가 클수록 전류의 세기가 크고, 반응 초기에 발생하는 $\text{H}_2(g)$ 의 양이 많다.
⇒ 수용액에 존재하는 H^+ 수 : $\text{HCl}(aq) > \text{CH}_3\text{COOH}(aq)$
⇒ 물에 녹아 이온화하는 정도는 HCl 이 CH_3COOH 보다 크다.

탐구자료 살펴보기 — 산의 세기 비교

과학 돋보기 이온화도

• 이온화 평형을 이루는 전해질 수용액에서 용해된 전해질의 양(mol)에 대한 이온화된 전해질의 양(mol)의 비율을 이온화도(α)라고 한다.

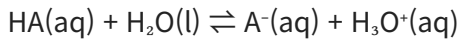
$$\text{이온화도}(\alpha) = \frac{\text{이온화된 전해질의 양(mol)}}{\text{용해된 전해질의 양(mol)}} \quad (0 < \alpha \leq 1)$$

• 온도와 농도가 같을 때 산과 염기의 이온화도가 클수록 산과 염기의 세기가 강하다.
• 강산과 강염기는 용해된 물질의 대부분이 이온화되므로 이온화도는 1에 가깝고, 약산과 약염기는 용해된 물질의 일부분만 이온화되므로 이온화도가 매우 작다.

과학 돋보기 — 이온화도

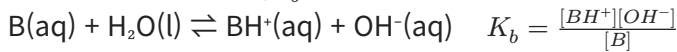
(2) 이온화 상수와 산과 염기의 세기

① **산의 이온화 상수(K_a)**: 산 HA는 물에 녹아 다음과 같이 이온화 평형을 이룬다.



이 반응의 평형 상수는 $K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}][\text{H}_2\text{O}]}$ 이다. 수용액에서 용매인 물의 농도는 평형 상수를 구하는 식에 나타나지 않으며, 상수 K_a 로 나타내면 $K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 이고, 이때 K_a 를 산의 이온화 상수라고 한다.

② **염기의 이온화 상수(K_b)**: 염기 B가 물에 녹아 이온화 평형을 이룰 때 염기의 이온화 상수 K_b 는 다음과 같다.



③ K_a 와 K_b 의 성질

- K_a 와 K_b 는 일종의 평형 상수이므로 온도에만 영향을 받고, 온도가 일정하면 농도에 관계없이 항상 일정하다.
- K_a 가 클수록 이온화가 잘 되어 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 크므로 상대적으로 강한 산이고, K_a 가 작을수록 상대적으로 약한 산이다.
- K_b 가 클수록 이온화가 잘 되어 $[\text{OH}^-]$ 가 크므로 상대적으로 강한 염기이고, K_b 가 작을수록 상대적으로 약한 염기이다.

• 몇 가지 산의 이온화 상수(K_a)

산	이온화 반응	K_a (25°C)
HCl	$\text{HCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	매우 큼
CH_3COOH	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	1.8×10^{-5}
HCN	$\text{HCN}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CN}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	6.2×10^{-10}

• 몇 가지 염기의 이온화 상수(K_b)

염기	이온화 반응	K_b (25°C)
CH_3NH_2	$\text{CH}_3\text{NH}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$	4.6×10^{-4}
NH_3	$\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$	1.8×10^{-5}

개념 체크 B 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. K_a 와 K_b 는 평형 상수이므로 _____ 에 의해서만 그 값이 변한다.
2. _____ 은 K_a 가 크고, _____ 은 K_a 가 작다.
3. 산 HA 수용액에서 $[\text{A}^-]$ _____ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이다.

탐구자료 살펴보기
산의 세기 비교

자료

분석

분석 point

• 산 HA와 HB의 이온화 반응과 이온화 상수(K_a)

산	이온화 반응	K_a (25°C)
HA	$HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$	매우 큼
HB	$HB(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons B^-(aq) + H_3O^+(aq)$	2×10^{-5}

• 이온화 상수가 $HA > HB$ 이므로 산의 세기는 $HA > HB$ 이다.
 • 수용액의 농도가 같을 때, $[H_3O^+]$ 는 $HA(aq) > HB(aq)$ 이다.

K_a 가 클수록 산의 세기가 강하다.

탐구자료 살펴보기 — 산의 세기 비교

과학 돋보기
약산 HA의 이온화 상수 구하기

$HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$ 의 이온화 평형을 이루는 0.1 M $HA(aq)$ 에서 H_3O^+ 의 농도가 1×10^{-3} M일 때 HA의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같이 구한다.

	$HA(aq)$	+	$H_2O(l)$	$\rightleftharpoons$	$A^-(aq)$	+	$H_3O^+(aq)$
처음 농도(M)	0.1				0		0
반응 농도(M)	-1×10^{-3}				$+1 \times 10^{-3}$		$+1 \times 10^{-3}$
평형 농도(M)	$0.1 - 1 \times 10^{-3}$				1×10^{-3}		1×10^{-3}

약산의 경우 산 HA의 농도에 비해 이온화된 H_3O^+ 의 농도가 매우 작아 $0.1 - 1 \times 10^{-3} \approx 0.1$ 로 계산할 수 있다.

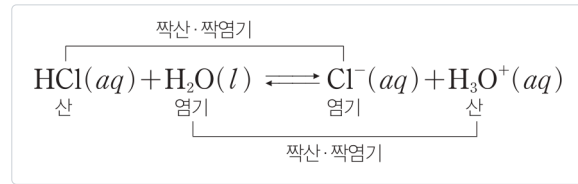
$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{0.1 - 1 \times 10^{-3}} \approx \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{0.1} = 1 \times 10^{-5}$$

과학 돋보기 — 약산 HA의 이온화 상수 구하기

(3) 짝산·짝염기와 산의 세기

① **산과 염기**: 브뢴스테드·로리 정의에 의하면 산은 수소 이온(H^+)을 내놓는 물질, 염기는 수소 이온(H^+)을 받는 물질이다.

② **짝산·짝염기**: 수소 이온(H^+)의 이동에 의해 염기와 산으로 되는 한 쌍의 산과 염기를 짝산·짝염기라고 한다.



③ **이온화 상수와 평형**: 산이나 염기가 수용액에서 평형을 이룰 때 이온화 상수가 클수록 대부분 생성물로 존재하여 생성물의 농도 곱이 크다.

④ **짝산과 짝염기의 상대적 세기**: 짝산과 짝염기의 쌍들이 H^+ 을 주고받는 정도에 따라 산과 염기의 상대적 세기를 나타낼 수 있다.

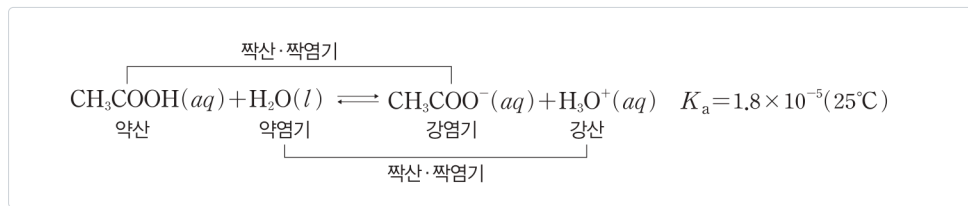
➡ 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하고, 산의 세기가 약할수록 그 짝염기의 세기는 강하다.

핵심 정리 짝산·짝염기는 수소 이온(H^+)의 이동이 일어나는 한 쌍의 산과 염기를 말한다.

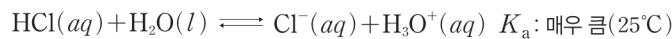
개념 체크 C 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하십시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 일정한 온도에서 산 HA와 HB의 이온화 상수가 $HA > HB$ 이면 산의 세기는 $HA > HB$ 이다. ()
2. HCl과 H_2O 의 반응에서 HCl의 짝염기는 _____ 이고, H_2O 의 짝산은 _____ 이다.
3. 짝산·짝염기는 _____ 의 이동에 의해 염기와 산으로 정의되는 한 쌍의 물질을 말한다.
4. NH_3 와 H_2O 의 반응에서 NH_3 의 _____ 은 NH_4^+ 이다.

예 약산인 CH_3COOH 의 이온화 반응은 K_a 가 매우 작으므로 역반응이 우세한 평형을 이룬다. H_3O^+ 은 CH_3COOH 보다 산의 세기가 강하므로 H_3O^+ 의 짝염기인 H_2O 은 CH_3COOH 의 짝염기인 CH_3COO^- 보다 염기의 세기가 약하다.



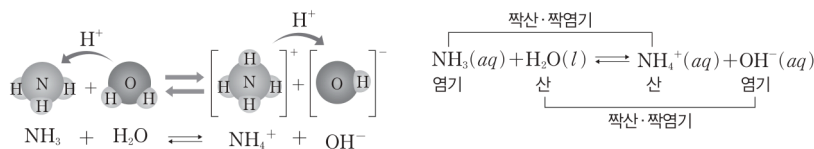
예 강산인 HCl 의 이온화 반응은 K_a 가 매우 크므로 정반응이 매우 우세한 평형을 이룬다. 따라서 염기로서 Cl^- 의 작용은 무시할 수 있을 만큼 작다.



과학 돋보기 NH_3 와 H_2O 의 반응에서 짝산·짝염기

[NH_3 와 H_2O 이 반응할 때의 반응 모형과 화학 반응식]

- 정반응에서 H_2O 이 내놓은 H^+ 을 NH_3 가 받으므로 H_2O 은 산이고, NH_3 는 염기이다.
- 역반응에서 NH_4^+ 이 내놓은 H^+ 을 OH^- 이 받으므로 NH_4^+ 은 산이고, OH^- 은 염기이다.
- NH_3 의 짝산은 NH_4^+ 이고, H_2O 의 짝염기는 OH^- 이다.



과학 돋보기 — NH_3 와 H_2O 의 반응에서 짝산·짝염기

개념 체크 D 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 산이나 염기가 수용액에서 평형을 이룰 때 이온화 상수가 큰 물질은 _____ 이 우세한 평형을 이룬다.
2. 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 _____ 하고, 산의 세기가 약할수록 그 짝염기의 세기는 _____ 하다.
3. $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ (25°C)인 반응에서 산의 세기는 HA _____ H_3O^+ 이고, 염기의 세기는 A^- _____ H_2O 이다.

탐구자료 살펴보기 산과 그 짝염기의 상대적 세기

산의 세기	짝산·짝염기		짝염기의 세기
	산	염기	
강 ↑ ↓ 약	H_3O^+	H_2O	약 ↓ ↑ 강
	HF	F^-	
	CH_3COOH	CH_3COO^-	
	NH_4^+	NH_3	
	H_2O	OH^-	

분석

- 산의 세기 : H^+ 을 잘 내놓을수록 강산이다. $\Rightarrow H_3O^+ > HF > CH_3COOH > NH_4^+ > H_2O$
- 짝염기의 세기 : H^+ 을 잘 받을수록 강염기이다. $\Rightarrow H_2O < F^- < CH_3COO^- < NH_3 < OH^-$

분석 point

- 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하다.

탐구자료 살펴보기 — 산과 그 짝염기의 상대적 세기

(4) 짝산·짝염기의 이온화 상수

① 산 HA의 이온화 평형이 $HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$ 일 때, HA의 짝염기인 A^- 의 이온화 평형은 $A^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HA(aq) + OH^-(aq)$ 이다.

② 산 HA의 이온화 상수는 $K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$ 이고, 염기 A^- 의 이온화 상수는 $K_b = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]}$ 이므로 $K_a \times K_b = [H_3O^+][OH^-] = K_w$ 이다.

개념 체크 E 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 같은 온도에서 짝산·짝염기 관계인 산의 이온화 상수와 염기의 이온화 상수의 곱은 _____ 하다.

2. 모든 염 수용액의 액성은 중성이다.

()

탐구자료 살펴보기 **짜산·짜염기의 상대적 세기와 이온화 상수**

짜산			짜염기		
이름	화학식	K_a (25°C)	이름	화학식	K_b (25°C)
아세트산	CH_3COOH	1.8×10^{-5}	아세트산 이온	CH_3COO^-	⑦
탄산	H_2CO_3	4.5×10^{-7}	탄산수소 이온	HCO_3^-	2.2×10^{-8}
암모늄 이온	NH_4^+	5.6×10^{-10}	암모니아	NH_3	1.8×10^{-5}

분석

- 25°C에서 산의 이온화 상수(K_a)가 $\text{CH}_3\text{COOH} > \text{H}_2\text{CO}_3$ 이므로 산의 세기는 $\text{CH}_3\text{COOH} > \text{H}_2\text{CO}_3$ 이며, 짜염기의 세기는 $\text{HCO}_3^- > \text{CH}_3\text{COO}^-$ 이므로 염기의 이온화 상수(K_b)는 $\text{HCO}_3^- > \text{CH}_3\text{COO}^-$ 이다. 따라서 ⑦은 2.2×10^{-8} 보다 작다.
- 25°C에서 짜산·짜염기 관계인 산 H_2CO_3 의 이온화 상수(K_a)와 염기 HCO_3^- 의 이온화 상수(K_b)를 곱하면 $K_a \times K_b = (4.5 \times 10^{-7}) \times (2.2 \times 10^{-8}) \approx 1.0 \times 10^{-14}$ 이고, 짜산·짜염기 관계인 산 NH_4^+ 의 이온화 상수(K_a)와 염기 NH_3 의 이온화 상수(K_b)를 곱하면 $K_a \times K_b = (5.6 \times 10^{-10}) \times (1.8 \times 10^{-5}) \approx 1.0 \times 10^{-14}$ 이다.
- 25°C에서 짜산·짜염기 관계인 산 CH_3COOH 의 이온화 상수(K_a)와 염기 CH_3COO^- 의 이온화 상수(K_b)의 곱은 $K_a \times K_b = (1.8 \times 10^{-5}) \times \text{⑦} = 1.0 \times 10^{-14}$ 에서 ⑦은 5.6×10^{-10} 이다.

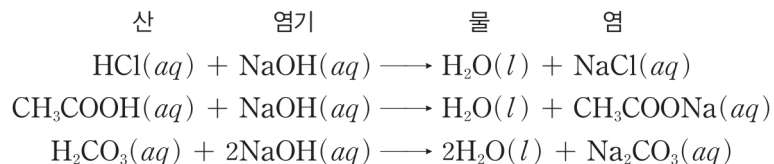
분석 point 같은 온도에서 짜산·짜염기의 이온화 상수를 곱한 값은 일정하다. $\therefore K_a \times K_b = K_w$

탐구자료 살펴보기 — 짜산·짜염기의 상대적 세기와 이온화 상수

2 염의 가수 분해

(1) 염

산의 음이온과 염기의 양이온이 결합하여 생성된 이온 결합 물질을 **염**이라고 한다. 다음과 같이 산과 염기가 중화 반응하면 물과 염이 생성된다.



(2) 염의 가수 분해

염의 수용액에서 염을 이루는 이온이 물과 반응하여 H_3O^+ 이나 OH^- 을 생성하는 반응을 **염의 가수 분해**라고 한다. 가수 분해에 의해 염 수용액의 액성이 결정된다.

① **강산과 강염기가 반응하여 생성된 염**: 강산의 음이온과 강염기의 양이온이 모두 가수 분해하지 않는다.

예 NaCl, KCl, NaNO₃ 등: 양이온과 음이온이 가수 분해하지 않으므로 수용액은 중성이다.

② **약산과 강염기가 반응하여 생성된 염**: 약산의 짝염기인 음이온이 가수 분해하여 OH⁻을 생성하므로 수용액은 염기성을 나타낸다.

예 CH₃COONa, NaHCO₃, Na₂CO₃ 등 / 가수 분해: $\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$

③ **강산과 약염기가 반응하여 생성된 염**: 약염기의 짝산인 양이온이 가수 분해하여 H₃O⁺을 생성하므로 수용액은 산성을 나타낸다.

예 NH₄Cl, (NH₄)₂SO₄ 등 / 가수 분해: $\text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$

반응한 산과 염기	염의 종류	염 수용액의 액성
강산+강염기	NaCl, KNO ₃ , Na ₂ SO ₄	중성
강산+약염기	NH ₄ Cl, (NH ₄) ₂ SO ₄ , NH ₄ NO ₃	산성
약산+강염기	CH ₃ COONa, KHCO ₃ , Na ₂ CO ₃	염기성

핵심 정리 강산과 약염기가 반응하여 생성된 염은 수용액에서 가수 분해하여 H₃O⁺을 생성하므로 액성은 산성이고, 약산과 강염기가 반응하여 생성된 염은 가수 분해하여 OH⁻을 생성하므로 액성은 염기성이다.

개념 체크 F 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 강산과 강염기가 반응하여 생성되는 염은 이온화되어도 _____ 하지 않는다.
2. CH₃COO⁻은 약산의 짝염기로 물과 반응하여 _____ 과 _____ 을 생성한다.
3. NH₄Cl 수용액에서 가수 분해하는 이온은 _____ 이다.

탐구자료 살펴보기
염 수용액의 액성

실험 과정

- 3개의 비커에 증류수를 각각 50 mL씩 넣는다.
- 과정 1의 비커에 $\text{NH}_4\text{Cl}(s)$, $\text{CH}_3\text{COONa}(s)$, $\text{NaCl}(s)$ 을 각각 2 g씩 넣어 녹인다.
- 각 수용액을 유리 막대에 묻힌 다음 pH 시험지를 이용하여 수용액의 액성을 알아본다.

자료

- NH_4Cl 은 산 HCl 과 염기 NH_3 가 중화 반응하여 생성된 염이다.
- CH_3COONa 은 산 CH_3COOH 과 염기 NaOH 이 중화 반응하여 생성된 염이다.
- NaCl 은 산 HCl 과 염기 NaOH 이 중화 반응하여 생성된 염이다.

실험 결과

염	염에 들어 있는 이온	염 수용액의 액성
NH_4Cl	NH_4^+ , Cl^-	산성
CH_3COONa	Na^+ , CH_3COO^-	염기성
NaCl	Na^+ , Cl^-	중성

- 강산 HCl 과 약염기 NH_3 가 반응하여 생성된 염인 NH_4Cl 은 수용액에서 NH_4^+ 이 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하므로 수용액은 산성이다.
- 약산 CH_3COOH 과 강염기 NaOH 이 반응하여 생성된 염인 CH_3COONa 은 수용액에서 CH_3COO^- 이 가수 분해하여 OH^- 을 생성하므로 수용액은 염기성이다.
- 강산 HCl 과 강염기 NaOH 이 반응하여 생성된 염인 NaCl 은 수용액에서 가수 분해하지 않으므로 수용액은 중성이다.

탐구자료 살펴보기 — 염 수용액의 액성

3 완충 용액

(1) 완충 용액

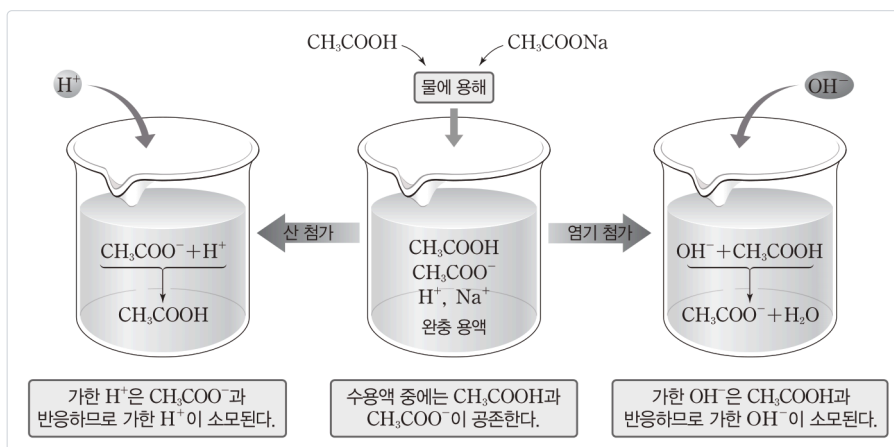
약산과 그 약산의 짝염기가 섞여 있는 수용액이나 약염기와 그 약염기의 짝산이 섞여 있는 수용액은 산이나 염기를 소량 가해도 pH가 거의 변하지 않는다. 이러한 용액을 **완충 용액**이라고 한다.

- 증류수는 산이나 염기를 조금 넣어도 pH가 크게 변하지만, 완충 용액은 pH가 거의 변하지 않는다.

완충 용액의 성분	완충 용액의 구성	pH(25°C) (성분 물질의 농도가 같을 때)
$\text{CH}_3\text{COOH} / \text{CH}_3\text{COO}^-$	약산 / 그 짝염기	4.75
$\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$	약염기 / 그 짝산	9.25
$\text{H}_2\text{CO}_3 / \text{HCO}_3^-$	약산 / 그 짝염기	6.35

① CH_3COOH 과 CH_3COONa 으로 이루어진 완충 용액

- 이온화 평형: $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ / $\text{CH}_3\text{COONa}(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq})$
- 용액에 약산인 CH_3COOH 과 그 짝염기인 CH_3COO^- 이 존재한다. $\Rightarrow$ 소량의 산을 가하거나 염기를 가해도 pH가 거의 변하지 않는다.



$\Rightarrow$ $\text{HCl}(\text{aq})$ 을 소량 가할 때: $\text{HCl}(\text{aq})$ 의 H^+ 이 CH_3COO^- 과 반응하여 CH_3COOH 이 되므로 가한 H^+ 이 소모되어 수용액의 pH는 거의 변하지 않는다.

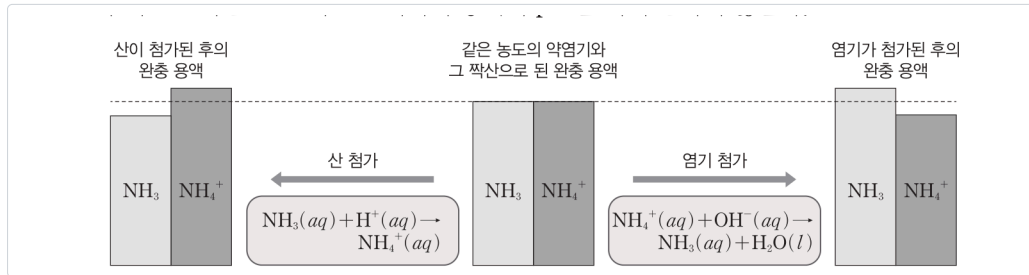
$\Rightarrow$ $\text{NaOH}(\text{aq})$ 을 소량 가할 때: $\text{NaOH}(\text{aq})$ 의 OH^- 은 CH_3COOH 과 반응하여 CH_3COO^- 과 H_2O 이 되므로 가한 OH^- 이 소모되어 수용액의 pH는 거의 변하지 않는다.

개념 체크 G 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. NH_3 와 NH_4Cl 으로 이루어진 완충 용액에서 용액에 약염기인 NH_3 와 그 짝산인 _____ 이 존재한다.
2. $\text{HCl}(\text{aq})$ 을 가하면 $\text{HCl}(\text{aq})$ 의 H^+ 이 _____ 와 반응한다.
3. NaOH 을 소량 가하면 수용액의 pH가 급격히 증가한다. ()

② NH_3 와 NH_4Cl 으로 이루어진 완충 용액

- 이온화 평형: $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$ / $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
- 용액에 약염기인 NH_3 와 그 짝산인 NH_4^+ 이 존재한다. ➡ 소량의 산을 가하거나 염기를 가해도 pH가 거의 변하지 않는다.
- ➡ $\text{HCl}(\text{aq})$ 을 소량 가할 때: $\text{HCl}(\text{aq})$ 의 H^+ 이 NH_3 와 반응하여 NH_4^+ 이 되므로 가한 H^+ 이 소모되어 수용액의 pH는 거의 변하지 않는다.
- ➡ $\text{NaOH}(\text{aq})$ 을 소량 가할 때: $\text{NaOH}(\text{aq})$ 의 OH^- 은 NH_4^+ 과 반응하여 NH_3 와 H_2O 이 되므로 가한 OH^- 이 소모되어 수용액의 pH는 거의 변하지 않는다.



핵심 정리 완충 용액은 약산과 그 약산의 짝염기가 섞여 있는 수용액이나 약염기와 그 약염기의 짝산이 섞여 있는 수용액으로, 산이나 염기를 소량 가해도 pH가 거의 변하지 않는다.

개념 체크 H 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. NH_3 와 NH_4Cl 으로 이루어진 완충 용액에 소량의 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 을 첨가하면 OH^- 이 _____ 와/과 반응하여 가한 OH^- 이 소모된다.
2. 증류수에 염기를 가해도 pH가 거의 변하지 않는다. ()

탐구자료 살펴보기

완충 용액의 특징

실험 과정

1. 삼각 플라스크 (가)와 (나)에는 증류수 100 mL를 넣고, 삼각 플라스크 (다)와 (라)에는 CH_3COOH 0.1 mol과 CH_3COONa 0.1 mol을 녹인 수용액 100 mL를 넣고 pH 측정기로 pH를 측정한다.



증류수

(가)



증류수

(나)

 $\text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{CH}_3\text{COONa}(aq)$

(다)

 $\text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{CH}_3\text{COONa}(aq)$

(라)

2. 과정 1의 (가)와 (다)에 1 M $\text{HCl}(aq)$ 을 각각 1 mL씩 떨어뜨린 후 pH 측정기로 pH를 측정한다.
3. 과정 1의 (나)와 (라)에 1 M $\text{NaOH}(aq)$ 을 각각 1 mL씩 떨어뜨린 후 pH 측정기로 pH를 측정한다.

실험 결과

실험	pH(25°C)	
	증류수	$\text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{CH}_3\text{COONa}(aq)$
과정 1에서	7.0	4.75
1 M $\text{HCl}(aq)$ 을 넣었을 때	2.0	4.74
1 M $\text{NaOH}(aq)$ 을 넣었을 때	12.0	4.76

- 증류수에 소량의 산이나 염기를 가하면 pH가 급격히 변한다.
- 약산 CH_3COOH 과 그 짝염기가 포함된 염 CH_3COONa 이 녹은 수용액은 완충 용액이며, 완충 용액에 소량의 산이나 염기를 가해도 pH가 거의 변하지 않는다.
 - ➔ CH_3COOH 과 CH_3COONa 이 같은 농도로 녹아 있는 완충 용액의 pH는 4.75 정도이며, 이 완충 용액에 산을 소량 가하면 pH가 조금 작아지고 염기를 소량 가하면 pH가 조금 커지지만, 그 변화 값이 매우 작아 4.75에 가깝다.

분석 point

완충 용액에 소량의 산이나 염기를 가해도 pH는 거의 변하지 않는다.

탐구자료 살펴보기 — 완충 용액의 특징

과학 돋보기

짝염기의 혼합 없이 약산만으로 완충 효과가 나타나지 않는 이유

- 산 HA의 이온화 상수(K_a) = $\frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$ 이다. 따라서 pH 변화는 $\frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$ 의 변화가 클수록 크게 나타난다.
- 약산 HA의 수용액에 소량의 $\text{HCl}(aq)$ 을 첨가할 경우 ➔ 약산 HA는 극히 일부만 이온화하므로 상대적으로 $[\text{HA}]$ 는 매우 크고, $[\text{A}^-]$ 는 매우 작다. 따라서 $\text{HA}(aq)$ 에 소량의 $\text{HCl}(aq)$ 을 첨가하여 평형 이동이 일어나면 $\frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$ 의 변화가 크게 나타나 완충 효과가 나타나지 않는다.
- 약산 HA의 수용액에 그 짝염기 A^- 을 혼합한 완충 용액에 소량의 $\text{HCl}(aq)$ 을 첨가할 경우 ➔ 약산 HA는 극히 일부만 이온화하지만 그 짝염기 A^- 을 혼합하였으므로 상대적으로 $[\text{HA}]$ 와 $[\text{A}^-]$ 는 모두 매우 크다. 따라서 이 완충 용액에 소량의 $\text{HCl}(aq)$ 을 첨가하여 평형 이동이 일어나면 $\frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$ 의 변화가 작게 나타나 완충 효과가 나타난다.

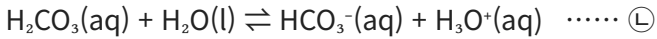
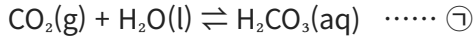
과학 돋보기 — 짝염기의 혼합 없이 약산만으로 완충 효과가 나타나지 않는 이유

(2) 생체 내 완충 용액

① 혈액은 pH가 7.4 정도로 일정하게 유지되는 완충 용액이다. 생체 내에서 일어나는 화학 반응은 다양한 효소가 관여하며, 효소의 작용은 pH의 영향을 크게 받으므로 적절한 pH를 유지하는 것이 매우 중요하다.

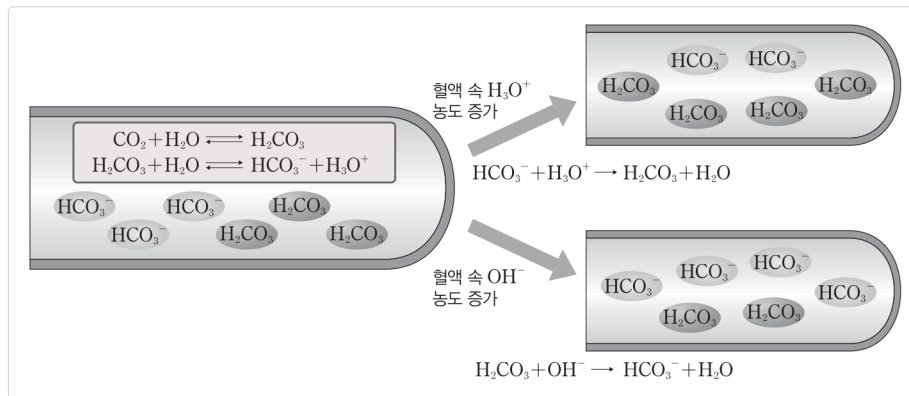
• **혈액에서의 완충 용액:** 혈액에서는 탄산(H_2CO_3)과 탄산수소 이온(HCO_3^-)의 완충 용액, 인산이 수소 이온(H_2PO_4^-)과 인산수소 이온(HPO_4^{2-})의 완충 용액 등이 완충 작용을 한다.

② **H_2CO_3 과 HCO_3^- 의 완충 용액:** 혈액에 녹은 이산화 탄소(CO_2)와 물(H_2O)이 반응하여 H_2CO_3 을 생성하며, 혈액 속에서 H_2CO_3 과 그 짝염기인 HCO_3^- 은 평형을 이룬다.



➡ **혈액 속 H_3O^+ 의 농도 증가:** 운동으로 생긴 젖산 등으로 혈액 속의 H_3O^+ 의 농도가 증가하면, 증가한 H_3O^+ 이 HCO_3^- 과 반응하여 소모되므로 혈액의 pH가 거의 일정하게 유지된다(㉡의 역반응).

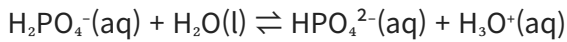
➡ **혈액 속 OH^- 의 농도 증가:** 혈액 속의 OH^- 의 농도가 증가하면 증가한 OH^- 이 H_2CO_3 과 반응하여 소모되므로 혈액의 pH가 거의 일정하게 유지된다.



개념 체크 I 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

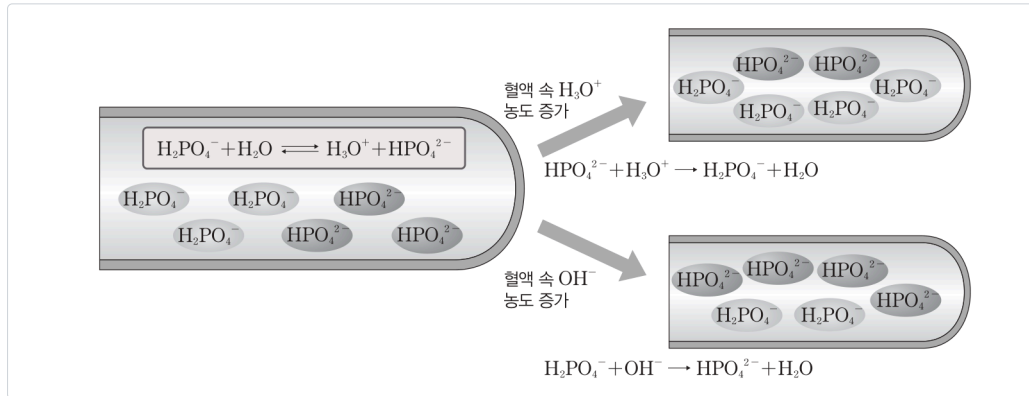
1. 혈액 속 H_3O^+ 의 농도가 증가하면, 혈액의 pH는 급격하게 감소한다. ()
2. 혈액 속의 H_2CO_3 은 HCO_3^- 의 짝염기이다. ()

③ H_2PO_4^- 과 HPO_4^{2-} 의 완충 용액: 혈액 속의 H_2PO_4^- 과 HPO_4^{2-} 의 완충 작용도 혈액의 pH 조절에 영향을 미치며 두 이온은 혈액 속에서 다음과 같은 평형을 이룬다.



➡ 혈액 속 H_3O^+ 의 농도 증가: 증가한 H_3O^+ 이 HPO_4^{2-} 과 반응하여 소모되므로 혈액의 pH가 거의 일정하게 유지된다.

➡ 혈액 속 OH^- 의 농도 증가: 증가한 OH^- 이 H_2PO_4^- 과 반응하여 소모되므로 혈액의 pH가 거의 일정하게 유지된다.



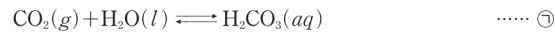
개념 체크 J 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 혈액 속에서 H_2PO_4^- 의 이온화 반응이 평형을 이루고 있을 때 산을 가하면 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. ()
2. 혈액 속의 _____의 농도가 증가하면 증가한 _____이 H_2PO_4^- 과 반응하여 소모되므로 혈액의 pH가 거의 일정하게 유지된다.

과학 돋보기

혈액의 pH와 질병

- 혈액에서는 H_2CO_3 과 그 짝염기인 HCO_3^- 이 1 : 20 정도의 비율을 유지하며 다음과 같은 평형을 이룬다.



- ➔ 산혈증과 알칼리혈증 : 산혈증은 폐에 이상이 생겨 몸속에서 생성된 이산화 탄소가 제대로 배출되지 않거나 신장에 이상이 생겨 산이 제대로 배출되지 않을 때 혈액의 pH가 적정 범위 이하로 떨어진 상태로 두통, 피로, 의식장애 등이 나타난다. 알칼리혈증은 과도한 호흡으로 이산화 탄소를 과다 배출했을 때 혈액의 pH가 적정 범위보다 높아지는 상태로 호흡곤란, 근육 경련, 의식장애 등이 나타난다.
- ➔ 고산병 : 높은 산에서는 산소가 부족해져 산소를 공급하기 위해 호흡량을 늘리면 CO_2 의 배출량이 증가하여 ㉠과 ㉡의 역반응이 우세하게 진행되며, 이로 인해 pH가 적정 범위보다 높아지게 되면, 구토, 두통 등이 일어날 수 있다.

과학 돋보기 — 혈액의 pH와 질병

과학 돋보기

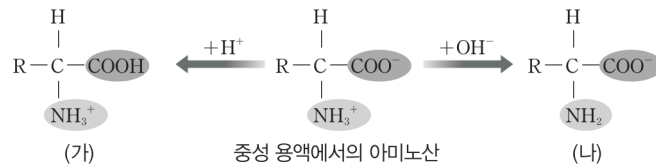
인체 속 완충 작용의 예

- 헤모글로빈의 완충 작용



- ➔ 폐를 지난 혈액의 적혈구 속 헤모글로빈은 산소와 결합한 형태로 인체 속 여러 세포로 이동하고, 세포 내 많은 대사 활동으로 양이 증가한 H^+ 과 반응하며 산소를 방출한다.

- 아미노산의 완충 작용



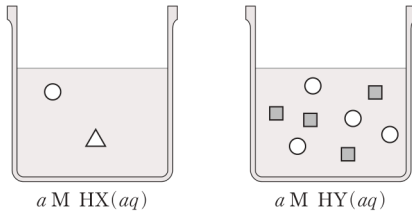
- ➔ 아미노산은 인체 내에서 H^+ 의 양이 증가할 때 H^+ 과 반응하여 (가)가 되고, OH^- 의 양이 증가할 때 OH^- 과 반응하여 (나)가 된다.

과학 돋보기 — 인체 속 완충 작용의 예

Part 2 · 기본문제

12문항 · 정답과 해설은 Part 4.

01 그림은 25°C에서 부피가 같은 a M $\text{HX}(aq)$ 과 a M $\text{HY}(aq)$ 에 들어 있는 이온을 모형으로 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

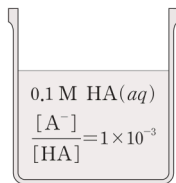
- ㄱ. $\bigcirc$ 은 H_3O^+ 이다.
- ㄴ. pH는 $\text{HX}(aq) > \text{HY}(aq)$ 이다.
- ㄷ. 25°C에서 이온화 상수(K_a)는 $\text{HX} > \text{HY}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 다음은 약산 HA 의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



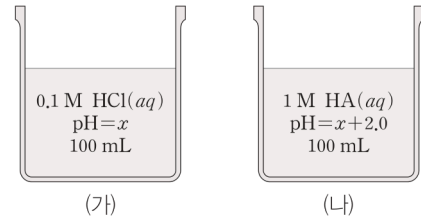
그림은 25°C에서 0.1 M $\text{HA}(aq)$ 을 나타낸 것이다.



a 는?

- ① 1×10^{-7} ② 1×10^{-6} ③ 1×10^{-5}
- ④ 1×10^{-4} ⑤ 1×10^{-3}

03 그림은 25°C에서 0.1 M $\text{HCl}(aq)$ 과 1 M $\text{HA}(aq)$ 을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x = 1.0$ 이다.
- ㄴ. H_3O^+ 의 양(mol)은 (가)에서가 (나)에서의 10배이다.
- ㄷ. 25°C에서 HA 의 이온화 상수(K_a)는 1×10^{-5} 이다.

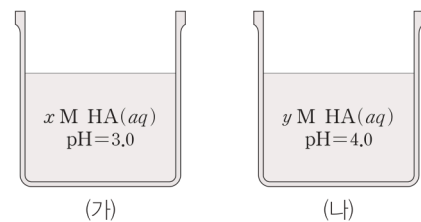
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 다음은 약산 HA 의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



$$K_a = 1 \times 10^{-5}$$

그림은 25°C에서 x M $\text{HA}(aq)$ 과 y M $\text{HA}(aq)$ 을 나타낸 것이다.



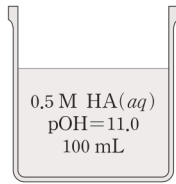
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x = 0.1$ 이다.
- ㄴ. $x > y$ 이다.
- ㄷ. $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림은 25°C에서 0.5 M HA(aq)을 나타낸 것이다.



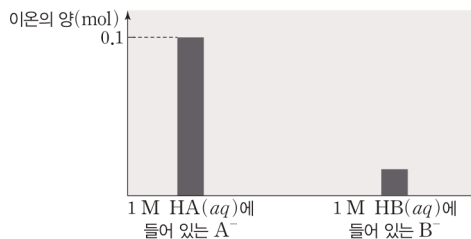
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하고, 25°C에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1×10^{-14} 이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. H_3O^+ 의 양은 1×10^{-4} mol이다.
 ㄴ. $\frac{[A^-]}{[HA]} = 1 \times 10^{-3}$ 이다.
 ㄷ. 수용액에 H_2O 를 넣으면 $[H_3O^+]$ 가 감소한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

06 그림은 25°C에서 1 M HA(aq) 1 L에 들어 있는 A^- 의 양(mol)과 1 M HB(aq) 1 L에 들어 있는 B^- 의 양(mol)을 나타낸 것이다.



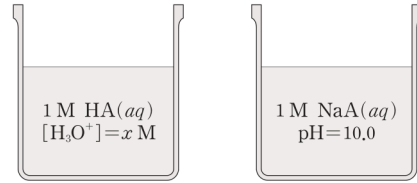
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 산의 세기는 $HA > HB$ 이다.
 ㄴ. pH는 1 M HB(aq) > 1 M HA(aq)이다.
 ㄷ. NaB(aq)은 염기성이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림은 25°C에서 1 M HA(aq)과 1 M NaA(aq)을 나타낸 것이다.



$x \times \frac{25^\circ\text{C에서 HA의 이온화 상수}(K_a)}{25^\circ\text{C에서 A}^-\text{의 이온화 상수}(K_b)}$ 는? (단, 25°C에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1×10^{-14} 이다.)

- ① $\frac{1}{1000}$ ② $\frac{1}{100}$ ③ $\frac{1}{10}$ ④ 10 ⑤ 100

08 다음은 약산 HA의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.

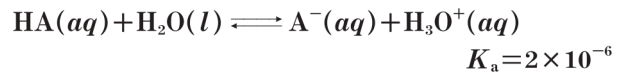
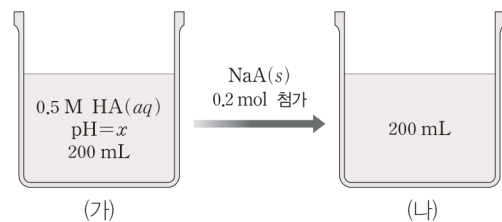


그림 (가)는 25°C에서 0.5 M HA(aq)을, (나)는 (가)에 NaA(s) 0.2 mol을 넣어 녹인 수용액을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하고, 고체의 용해에 따른 수용액의 부피 변화는 없다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x = 4.0$ 이다.
 ㄴ. (나)에서 $\frac{[A^-]}{[HA]} = 2$ 이다.
 ㄷ. $\frac{[HA]}{[A^-]}$ 는 (가)에서가 (나)에서의 1000배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 다음은 약염기 B의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_b)이다.



표는 25°C에서 수용액 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

수용액		pH
(가)	0.1 M B(aq) 100 mL	11.0
(나)	0.1 M BH ⁺ (aq) 100 mL	x

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

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $K_b = 1 \times 10^{-6}$ 이다.
- ㄴ. $x = 5.0$ 이다.
- ㄷ. (가)와 (나)의 혼합 용액의 pH=9.0이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 다음은 약산 HA의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.

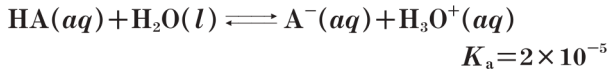
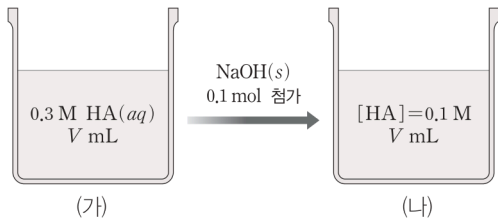


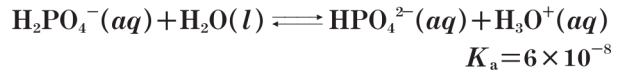
그림 (가)는 25°C에서 HA(aq)을, (나)는 (가)에 0.1 mol의 NaOH(s)을 넣어 녹인 수용액을 나타낸 것이다.



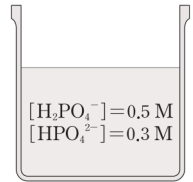
$\frac{V}{(나)의 pH}$ 는? (단, 수용액의 온도는 모두 25°C이고, 고체의 용해에 따른 수용액의 부피 변화는 없다.)

- ① 100 ② 125 ③ $\frac{400}{3}$ ④ $\frac{500}{3}$ ⑤ 200

11 다음은 약산 $H_2PO_4^-$ 의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



그림은 25°C에서 $H_2PO_4^-$ 과 HPO_4^{2-} 이 들어 있는 수용액을 나타낸 것이다.
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하다.)

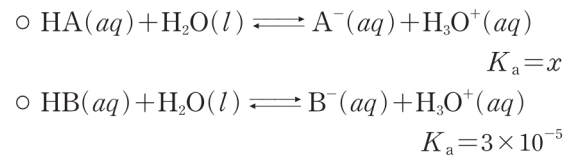


◀ 보기 ▶

- ㄱ. $H_2PO_4^-$ 의 짝염기는 H_2O 이다.
- ㄴ. 수용액의 pH=7.0이다.
- ㄷ. 수용액에 소량의 NaOH(s)을 넣으면 $H_2PO_4^-$ 의 양(mol)이 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 다음은 HA와 HB의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



표는 25°C에서 2가지 수용액을 혼합하여 만든 완충 용액 I과 II에 대한 자료이다.

완충 용액	혼합 전 수용액		$\frac{[A^-]}{[HA]}$ 또는 $\frac{[B^-]}{[HB]}$	pH
I	HA(aq)	NaA(aq)	1	5.0
II	HB(aq)	NaB(aq)	y	5.0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하다.)

◀ 보기 ▶

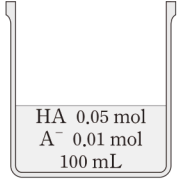
- ㄱ. 0.1 M HA(aq)의 pH=3.0이다.
- ㄴ. $y=3$ 이다.
- ㄷ. 1 M 수용액의 pH는 NaB(aq) > NaA(aq)이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

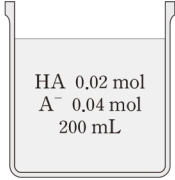
Part 3 · 심화문제

12문항 · 정답과 해설은 Part 4. 각 문항의 접근 Point는 해설에 수록.

01 다음은 25°C에서 약산 HA(aq)과 NaOH(aq)을 혼합하여 만든 수용액 (가)와 (나)에 대한 세 학생의 대화이다.



(가)



(나)

Na⁺의 양(mol)은 (나)에서가 (가)에서 보다 많아.

[HA]는 (가)에서가 (나)에서의 5배야.

pH는 (나)가 (가)보다 1.0만큼 커.

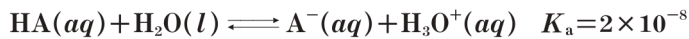


학생 A 학생 B 학생 C

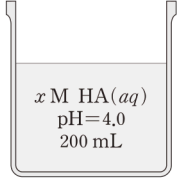
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하다.)

- ① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

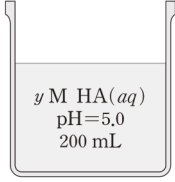
02 다음은 약산 HA의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



그림은 25°C에서 x M HA(aq)과 y M HA(aq)을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

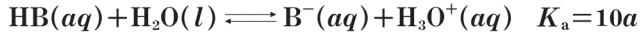
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하다.)

◀ 보기 ▶

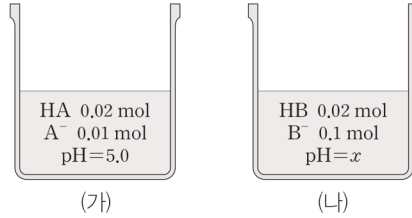
- ㄱ. (가)에 있는 H₃O⁺의 양은 1×10^{-4} mol이다.
 ㄴ. $x = 10y$ 이다.
 ㄷ. $\frac{[\text{A}^{\text{-}}]}{[\text{HA}]}$ 는 (나)가 (가)보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 다음은 약산 HA와 HB의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



그림은 25°C에서 HA(aq)과 NaOH(aq)을 혼합하여 만든 수용액 (가)와, HB(aq)과 NaOH(aq)을 혼합하여 만든 수용액 (나)를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하다.)

◀ 보기 ▶

ㄱ. $a = 5 \times 10^{-6}$ 이다.

ㄴ. $x = 5.0$ 이다.

ㄷ. (가)에 소량의 NaOH(s)을 넣으면 $\frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]} > 2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

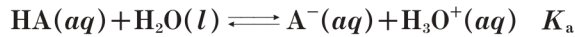
04 표는 25°C에서 약산 x M HA(aq) 200 mL에 1 M NaOH(aq)의 부피를 달리하여 혼합한 용액 (가)~(다)에 대한 자료이다.

혼합 용액	(가)	(나)	(다)
$[\text{Na}^+](\text{M})$	$\frac{1}{6}$	$\frac{3}{11}$	z
$\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}] + [\text{A}^-]}$	y	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$

$x \times y \times z$ 는? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하고, 혼합 용액의 부피는 혼합 전 각 용액의 부피의 합과 같다.)

- ① $\frac{1}{20}$ ② $\frac{1}{15}$ ③ $\frac{2}{15}$ ④ $\frac{3}{22}$ ⑤ $\frac{5}{16}$

05 다음은 약산 HA의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



표는 25°C에서 농도가 다른 HA(aq) (가)와 (나)에 각각 0.1 mol의 NaOH(s)을 넣어 녹인 수용액에 대한 자료이다.

구분	HA(aq)		0.1 mol의 NaOH(s)을 넣은 후	
	농도(M)	부피(mL)	[HA](M)	pH
(가)	x	500	0.1	5.0
(나)		500	0.4	㉠

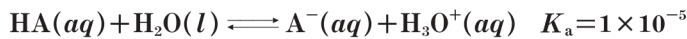
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하고, 25°C에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1×10^{-14} 이며, 고체의 용해에 따른 수용액의 부피 변화는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x=0.3$ 이다.
 ㄴ. ㉠>5.0이다.
 ㄷ. 0.2 M NaA(aq)의 pH=9.0이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 다음은 약산 HA의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



표는 0.1 M HA(aq)과 0.1 M NaA(aq)의 부피를 달리하여 혼합한 수용액 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

수용액	(가)	(나)
$\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]+[\text{A}^-]}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$

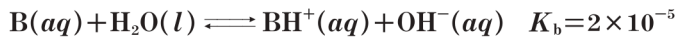
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하고, 혼합 용액의 부피는 혼합 전 각 용액의 부피의 합과 같다.)

◀ 보기 ▶

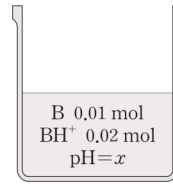
- ㄱ. (가)에서 $[\text{HA}]=\frac{1}{15}$ M이다.
 ㄴ. (나)에서 $[\text{Na}^+]=\frac{1}{15}$ M이다.
 ㄷ. (가)와 (나)를 같은 부피로 혼합한 수용액의 pH는 5.0이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 다음은 약염기 B의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_b)이다.



그림은 25°C에서 0.1 M B(aq)과 HCl(aq)을 혼합한 수용액을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하고, 25°C에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1×10^{-14} 이다.)

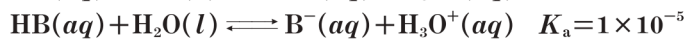


◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x=9.0$ 이다.
- ㄴ. 수용액에 NaOH(s)을 소량 가하면 $\frac{[BH^+]}{[B]} > 2$ 이다.
- ㄷ. 0.2 M B(aq)의 pH는 11.0보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 다음은 약산 HA와 HB의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



표는 수용액 (가)~(다)에 대한 자료이다. (가)와 (나)는 0.1 M HA(aq)에 NaOH(s)을, (다)는 0.1 M HB(aq)에 NaOH(s)을 각각 넣어 녹인 수용액이다.

수용액	(가)	(나)	(다)
산의 종류	HA	HA	HB
$\frac{[HA]}{[A^-]}$ 또는 $\frac{[HB]}{[B^-]}$	1	$\frac{1}{3}$	2
pH	x	y	y

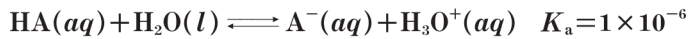
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하고, 고체의 용해에 따른 수용액의 부피 변화는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x > y$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 $[H_3O^+] = 2 \times 10^{-5}$ M이다.
- ㄷ. $a = 6 \times 10^{-5}$ 이다.

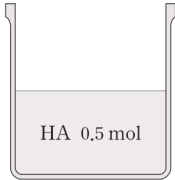
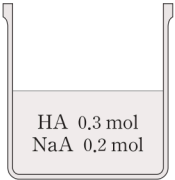
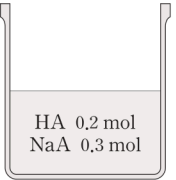
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 다음은 약산 HA의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



다음은 부피가 500 mL인 수용액 (가)~(다)에 대한 자료이다.

○ (가)~(다)에 녹아 있는 용질의 양(mol)

 HA 0.5 mol (가)	 HA 0.3 mol NaA 0.2 mol (나)	 HA 0.2 mol NaA 0.3 mol (다)
--	--	--

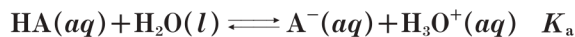
○ (가)~(다)의 pH 비교 :

○ (가)와 (나)에 각각 NaOH(s) 0.1 mol을 가할 때 pH 변화량 비교 :

㉠과 ㉡으로 옳은 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하고, 고체의 용해에 따른 수용액의 부피 변화는 무시한다.)

- | ㉠ | ㉡ |
|-------------------|-----------|
| ① (나) > (다) > (가) | (가) > (나) |
| ② (나) > (다) > (가) | (나) > (가) |
| ③ (다) > (가) > (나) | (가) > (나) |
| ④ (다) > (나) > (가) | (가) > (나) |
| ⑤ (다) > (나) > (가) | (나) > (가) |

10 다음은 약산 HA의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



표는 0.1 M HA(aq)과 0.1 M NaA(aq)의 부피를 달리하여 혼합한 용액 (가)~(다)에 대한 자료이다.

수용액	(가)	(나)	(다)
$\frac{[\text{HA}]}{[\text{Na}^+]}$	$\frac{1}{2}$	1	2
pH	a	b	

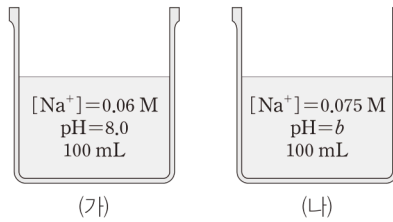
(다)의 pH로 옳은 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하고, 혼합 용액의 부피는 혼합 전 각 용액의 부피의 합과 같다.)

- ① $a - b$ ② $b - a$ ③ $2a - b$ ④ $2b - a$ ⑤ $4a - b$

11 다음은 약산 HA의 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



그림은 0.1 M HA(aq)과 0.1 M NaA(aq)의 부피를 달리하여 혼합한 용액 (가)와 (나)를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하고, 혼합 용액의 부피는 혼합 전 각 용액의 부피의 합과 같다.)



◀ 보기 ▶

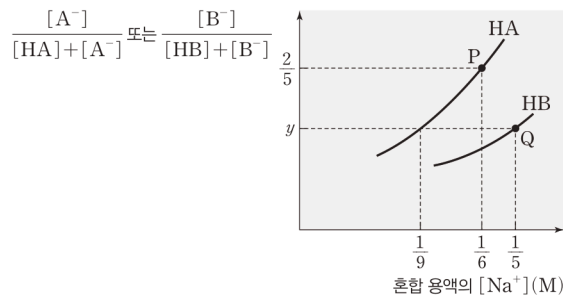
ㄱ. $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 는 (나)가 (가)의 2배이다.

ㄴ. $a = 1 \times 10^{-6}$ 이다.

ㄷ. $b > 8.0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 그림은 25°C에서 0.5 M 약산 HA(aq) 400 mL와 x M 약산 HB(aq) 200 mL에 각각 1 M NaOH(aq)을 가할 때, 평형 상태에서 혼합 용액의 $[\text{Na}^+]$ 에 따른 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}] + [\text{A}^-]}$ 또는 $\frac{[\text{B}^-]}{[\text{HB}] + [\text{B}^-]}$ 를 나타낸 것이다. P와 Q에서 pH는 같고, 25°C에서 HA와 HB의 이온화 상수(K_a)는 각각 a , b 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하고, 혼합 용액의 부피는 혼합 전 각 용액의 부피의 합과 같다.)

◀ 보기 ▶

ㄱ. P에서 $[\text{HA}] = \frac{1}{4}$ M이다.

ㄴ. $x = 4y$ 이다.

ㄷ. $a = 4b$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Part 4 · 정답과 해설

1 개념 체크 정답

A	1. 크	2. ○	3. ×
B	1. 온도	2. 강산, 약산	3. =
C	1. ○	2. Cl^- , H_3O^+	3. 수소 이온(H^+) 4. 짝산
D	1. 정반응	2. 약, 강	3. <, >
E	1. 일정	2. ×	
F	1. 가수 분해	2. CH_3COOH , OH^-	3. NH_4^+
G	1. NH_4^+	2. NH_3	3. ×
H	1. NH_4^+	2. ×	
I	1. ×	2. ×	
J	1. ×	2. OH^- , OH^-	

2 기본문제 해설

정답

01	③	02	①	03	①	04	⑤	05	④	06	⑤	07	③	08	④
09	④	10	①	11	②	12	③								

01 산의 세기

㉠. $\text{HX}(aq)$ 과 $\text{HY}(aq)$ 에서 공통으로 들어 있는 O 은 H_3O^+ 에 해당한다.

㉡. $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 $\text{HY}(aq) > \text{HX}(aq)$ 이므로 pH 는 $\text{HX}(aq) > \text{HY}(aq)$ 이다.

㉢. 농도가 $a \text{ M}$ 로 같은데 $\text{HY}(aq)$ 에서 이온화 반응이 많이 일어났으므로 산의 세기는 $\text{HY} > \text{HX}$ 이다. 즉, 이온화 상수(K_a)는 $\text{HY} > \text{HX}$ 이다.

02 산의 이온화 상수

HA 의 이온화 반응식은 다음과 같다.



HA 는 약산이고, 0.1 M $\text{HA}(aq)$ 에서 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 1 \times 10^{-3}$ 이므로 $[\text{A}^-] = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$ 이다. 따라서 25°C 에서 HA 의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같다.

$$K_a = a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{(1 \times 10^{-4})^2}{0.1} = 1 \times 10^{-7}$$

03 산의 이온화 상수

㉠. 0.1 M $\text{HCl}(aq)$ 에서 HCl 은 강산이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0.1 \text{ M}$ 이다. 따라서 $\text{pH} = 1.0$ 이다.

㉢. pH 는 (나)가 (가)보다 2.0만큼 크므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (가)가 (나)의 100배이다. 수용액의 부피가 100 mL 로 같으므로 H_3O^+ 의 양(mol)은 (가)가 (나)의 100배이다.

㉤. 1 M $\text{HA}(aq)$ 에서 $\text{pH} = 3.0$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이고, HA 는 약산이다. 따라서 25°C 에서 HA 의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{1} = 1 \times 10^{-6}$$

04 산의 이온화 상수

㉠. HA 의 이온화 상수 $K_a = 1 \times 10^{-5}$ 이다. $x \text{ M}$ $\text{HA}(aq)$ 에서 $\text{pH} = 3.0$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{x} = 1 \times 10^{-5}$$

따라서 $x = 0.1$ 이다.

㉡. pH 가 (가) < (나)이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (가) > (나)이다. 따라서 $\text{HA}(aq)$ 의 농도는 (가) > (나) ($x > y$)이다.

㉢. HA 의 이온화 상수 $K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = 1 \times 10^{-5}$ 이다. (가)와 (나)의 pH 는 각각 3.0, 4.0이므로, (가)와 (나)의 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 각각 $1 \times 10^{-3} \text{ M}$, $1 \times 10^{-4} \text{ M}$ 이다. 따라서 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 는 (가)와 (나)에서 각각 0.01, 0.1이므로, (나)에서가 (가)에서보다 크다.

05 산의 이온화 상수

㉠. $\text{pOH} = 11.0$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다. 수용액의 부피가 100 mL 이므로 H_3O^+ 의 양은 $1 \times 10^{-4} \text{ mol}$ 이다.

㉢. 0.5 M $\text{HA}(aq)$ 에서 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이므로 HA 는 약산이다. HA 의 이온화 상수는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{0.5} = 2 \times 10^{-6} \text{이다. 따라서 } \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 2 \times 10^{-3} \text{이다.}$$

㉤. 수용액에 물을 넣으면 $\text{HA}(aq)$ 의 농도가 작아지므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 감소한다.

06 산의 세기

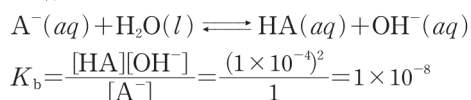
㉠. 1 M $\text{HA}(aq)$ 1 L에 들어 있는 A^- 의 양(mol)이 1 M $\text{HB}(aq)$ 1 L에 들어 있는 B^- 의 양(mol)보다 많으므로 산의 세기는 $\text{HA} > \text{HB}$ 이다.

㉡. 산의 세기는 $\text{HA} > \text{HB}$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 1 M $\text{HA}(aq) > 1 \text{ M}$ $\text{HB}(aq)$ 이다. 따라서 pH 는 1 M $\text{HB}(aq) > 1 \text{ M}$ $\text{HA}(aq)$ 이다.

㉢. $\text{NaB}(aq)$ 에서 B^- 은 약산인 HB 의 짝염기이다. 따라서 B^- 은 수용액에서 염기로 작용하므로 $\text{NaB}(aq)$ 은 염기성이다.

07 짝산·짝염기의 이온화 상수 관계

1 M $\text{NaA}(aq)$ 의 $\text{pH} = 10.0$ 이므로 A^- 은 약염기이다. A^- 의 이온화 반응식과 25°C 에서 A^- 의 이온화 상수(K_b)는 다음과 같다.



A^- 의 짝산은 HA 이다. 따라서 25°C 에서 HA 의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같다.



$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{K_w}{\text{A}^- \text{의 } K_b} = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-8}} = 1 \times 10^{-6}$$

1 M $\text{HA}(aq)$ 에서 $[\text{H}_3\text{O}^+] = x \text{ M}$ 이므로 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{x^2}{1} = 1 \times 10^{-6}, x = 1 \times 10^{-3}$$

따라서 $x \times \frac{25^\circ\text{C} \text{에서 } \text{HA} \text{의 이온화 상수}(K_a)}{25^\circ\text{C} \text{에서 } \text{A}^- \text{의 이온화 상수}(K_b)} = 1 \times 10^{-3} \times$

$$\frac{1 \times 10^{-6}}{1 \times 10^{-8}} = \frac{1}{10} \text{이다.}$$

08 완충 용액

✕. HA는 약산이다. 0.5 M HA(aq)에서 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{[A^-][H_3O^+]}{0.5} = 2 \times 10^{-6}$$

$[A^-] = [H_3O^+] = 1 \times 10^{-3}$ M이므로 pH=3.0($x=3.0$)이다.

㉠. (가) 0.5 M HA(aq) 200 mL에 녹인 HA의 양은 0.1 mol이다. (나)는 (가)에 0.2 mol의 NaA(s)를 넣은 수용액이므로, (나)에서 $\frac{[A^-]}{[HA]} = 2$ 이다.

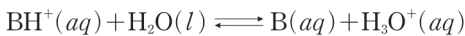
㉡. (가)에서 $\frac{[HA]}{[A^-]} = \frac{0.5}{1 \times 10^{-3}} = 500$ 이다. (나)에서 $\frac{[HA]}{[A^-]} = 0.5$ 이다. 따라서 $\frac{[HA]}{[A^-]}$ 는 (가)에서가 (나)에서의 1000배이다.

09 짝산·짝염기의 이온화 상수 관계

✕. 0.1 M B(aq)의 pH=11.0이므로 B는 약염기이다. pH=11.0이므로 $[OH^-] = 1 \times 10^{-3}$ M이며, B의 이온화 상수(K_b)는 다음과 같다.

$$K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]} = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{0.1} = 1 \times 10^{-5}$$

㉠. B의 짝산은 BH^+ 이다. 따라서 25°C에서 BH^+ 의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같다.



$$K_a = \frac{K_w}{B의 K_b} = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-5}} = 1 \times 10^{-9}$$

0.1 M $BH^+(aq)$ 에서 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[B][H_3O^+]}{[BH^+]} = \frac{[B][H_3O^+]}{0.1} = 1 \times 10^{-9}$$

$[B] = [H_3O^+] = 1 \times 10^{-5}$ M이므로 pH=5.0($x=5.0$)이다.

㉡. (가)와 (나)를 혼합한 용액은 약염기 B와 B의 짝산인 BH^+ 이 섞여 있으므로 완충 용액이다. 혼합 용액에서 $[B] = [BH^+]$ 이므로, B의 이온화 상수(K_b) 또는 BH^+ 의 이온화 상수(K_a)를 이용하여 pH를 구할 수 있다.

$$K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]} = [OH^-] = 1 \times 10^{-5}$$

따라서 pOH=5.0이고, pH=9.0이다.

10 완충 용액

HA는 약산이다. 0.3 M HA(aq)에 0.1 mol의 NaOH(s)을 넣었을 때 (나)에서 $[HA] = 0.1$ M가 되었다. 따라서 (나)에서 $[A^-] = 0.2$ M이며, 이는 (가)에서 0.1 mol의 HA가 0.1 mol의 NaOH과 반응하여 A^- 으로 된 것이다. 따라서 용액의 부피는 500 mL($V=500$)임을 알 수 있다. (나)에서 $[HA] = 0.1$ M, $[A^-] = 0.2$ M이고, HA의 이온화 상수 $K_a = 2 \times 10^{-5}$ 이므로 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = 2 \times [H_3O^+] = 2 \times 10^{-5}$$

$[H_3O^+] = 1 \times 10^{-5}$ M이고, pH=5.0이다. 따라서 $\frac{V}{(나)의 pH} =$

$$\frac{500}{5.0} = 100 \text{이다.}$$

11 완충 용액

✕. $H_2PO_4^-$ 의 짝염기는 HPO_4^{2-} 이다.

㉠. $H_2PO_4^-$ 의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[HPO_4^{2-}][H_3O^+]}{[H_2PO_4^-]} = \frac{0.3 \times [H_3O^+]}{0.5} = 6 \times 10^{-8}$$

$[H_3O^+] = 1 \times 10^{-7}$ M이고, pH=7.0이다.

✕. 수용액에 소량의 NaOH(s)을 넣으면 $H_3O^+(aq)$ 과 중화 반응하므로 평형이 오른쪽으로 이동하여 산 $H_2PO_4^-$ 의 양(mol)이 감소한다.

12 완충 용액

㉠. I에서 $\frac{[A^-]}{[HA]} = 1$ 이므로 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = [H_3O^+] = 1 \times 10^{-5}$$

따라서 $x = 1 \times 10^{-5}$ 이다.

0.1 M HA(aq)에서 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{[A^-][H_3O^+]}{0.1} = 1 \times 10^{-5}$$

$[A^-] = [H_3O^+] = 1 \times 10^{-3}$ M이므로 pH=3.0이다.

㉡. II에서 $\frac{[B^-]}{[HB]} = y$ 이므로 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[B^-][H_3O^+]}{[HB]} = y \times 10^{-5} = 3 \times 10^{-5}$$

따라서 $y = 3$ 이다.

✕. 산의 이온화 상수(K_a)는 $HB > HA$ 이므로, 짝염기의 이온화 상수(K_b)는 $A^- > B^-$ 이다. 따라서 농도가 같을 때 수용액의 pH는 $NaA(aq) > NaB(aq)$ 이다.

3 심화문제 해설

정답

01	⑤	02	②	03	③	04	②	05	④	06	⑤	07	①	08	④
09	④	10	④	11	③	12	③								

심화 01번

접근 Point 수용액 속 HA와 A⁻의 양(mol)으로부터 Na⁺의 양(mol)을 구할 수 있다.

01 산의 이온화 상수

㉠. 수용액에서 Na⁺의 양(mol)은 A⁻의 양(mol)과 같으므로 (가)에서 Na⁺의 양은 0.01 mol이고, (나)에서 Na⁺의 양은 0.04 mol이다.

㉡. (가)에서 $[HA] = \frac{0.05 \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = 0.5 \text{ M}$ 이고, (나)에서 $[HA] =$

$\frac{0.02 \text{ mol}}{0.2 \text{ L}} = 0.1 \text{ M}$ 이다. 따라서 [HA]는 (가)에서가 (나)에서의 5배이다.

㉢. HA의 이온화 상수(K_a)는 (가)와 (나)에서 같으므로 다음 관계가 성립한다.

$$(가) K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{0.01}{0.05} \times [H_3O^+]_{(가)}$$

$$(나) K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{0.04}{0.02} \times [H_3O^+]_{(나)}$$

$[H_3O^+]$ 는 (가)에서가 (나)에서의 10배이므로, pH는 (나)가 (가)보다 1.0만큼 크다.

심화 02번

접근 Point 약산의 이온화 상수를 식으로 나타내고 H_3O^+ 의 농도나 양(mol)을 구한다.

02 산의 이온화 상수

㉠. (가)의 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$ 이고 수용액의 부피가 200 mL이므로 (가)에 있는 H_3O^+ 의 양은 $2 \times 10^{-5} \text{ mol}$ 이다.

㉡. 강산의 경우는 수용액의 농도가 $\frac{1}{10}$ 로 희석되면 $[H_3O^+]$ 도

$\frac{1}{10}$ 로 감소하므로 pH가 1.0 증가한다. 그러나 HA는 약산이므로 수용액에서 이온화하는 정도가 농도에 따라 다르므로 수용액의 농도가 $\frac{1}{10}$ 로 희석된다고 해서 $[H_3O^+]$ 가 $\frac{1}{10}$ 로 감소하지 않는다. 따라서 $x \neq 10y$ 이다.

[다른 풀이] HA의 이온화 상수 $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = 2 \times 10^{-8}$ 이

다. (가)와 (나)에서 다음 관계가 성립한다.

$$\frac{(1 \times 10^{-4})^2}{x} = \frac{(1 \times 10^{-5})^2}{y} = 2 \times 10^{-8}$$

따라서 $x = 0.5$, $y = 0.005$ 이고, $x = 100y$ 이다.

㉢. $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$ 이며 $[H_3O^+]$ 는 (가)가 (나)보다 크다. 따

라서 $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 는 (나)가 (가)보다 크다.

심화 03번

접근 Point 약산과 약산의 짝염기가 함께 있는 용액은 완충 용액이며, 완충 용액에서 약산의 이온화 상수는 $K_a = \frac{[\text{짝염기}]}{[\text{약산}]} \times [H_3O^+]$ 이다.

03 산의 이온화 상수

㉠. (가)에서 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{0.01}{0.02} \times 1 \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-6}$$

따라서 $a = 5 \times 10^{-6}$ 이다.

㉡. (나)에서 $K_a = 10a = 5 \times 10^{-5}$ 이므로 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[B^-][H_3O^+]}{[HB]} = \frac{0.1}{0.02} \times [H_3O^+] = 5 \times 10^{-5}$$

따라서 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-5} \text{ M}$ 이고 $x = 5.0$ 이다.

㉢. (가)에 강염기인 NaOH(s)을 소량 넣으면 HA가 짝염기인

A⁻으로 되는 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 $\frac{[HA]}{[A^-]} < 2$ 이다.

심화 04번

접근 Point 완충 용액에서 약산의 이온화 상수는 $K_a = ([\text{짝염기}]/[\text{짝산}]) \times [\text{H}_3\text{O}^+]$ 이다. $[\text{A}^-]/([\text{HA}]+[\text{A}^-])$ 로부터 $[\text{A}^-]/[\text{HA}]$ 를 구한다.

04 산의 이온화 상수

혼합 용액에서 Na^+ 은 구경꾼 이온이므로 혼합 용액의 $[\text{Na}^+]$ 로부터 $x \text{ M HA}(aq)$ 200 mL에 가한 1 M $\text{NaOH}(aq)$ 의 부피를 알 수 있다. 약산 $\text{HA}(aq)$ 에 $\text{NaOH}(aq)$ 을 가하면 HA 가 A^- 으로 이온화된다.

(나)에서는 $[\text{Na}^+] = \frac{3}{11} \text{ M} \left(= \frac{3}{8+3} \text{ M} \right)$ 로 희석되었으므로

가한 1 M $\text{NaOH}(aq)$ 의 부피는 $\text{HA}(aq)$ 의 부피의 $\frac{3}{8}$ 에 해당하는 75 mL이고, NaOH 의 양은 75 mmol이다. (나)에서 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]+[\text{A}^-]} = \frac{1}{2} \left(= \frac{1}{1+1} \right)$ 이므로 $x \text{ M HA}(aq)$ 200 mL에 녹은 HA 의 양(200x mmol) 중 $\frac{1}{2}$ 에 해당하는 100x mmol이 NaOH 의 양(75 mmol)과 같고, $x = \frac{3}{4}$ 이다.

(가)에서는 $[\text{Na}^+] = \frac{1}{6} \text{ M} \left(= \frac{1}{5+1} \text{ M} \right)$ 로 희석되었으므로 가한

1 M $\text{NaOH}(aq)$ 의 부피는 $\text{HA}(aq)$ 의 부피의 $\frac{1}{5}$ 에 해당하는 40 mL이고, NaOH 의 양은 40 mmol이다. 따라서 (가)에서 $y = \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]+[\text{A}^-]} = \frac{40}{150} = \frac{4}{15}$ 이다.

(다)에서 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]+[\text{A}^-]} = \frac{2}{3} \left(= \frac{2}{1+2} \right) = \frac{100}{150}$ 이므로 가한 NaOH 의 양은 100 mmol이고, 가한 1 M $\text{NaOH}(aq)$ 의 부피는 100 mL이다. 따라서 (다)에서 $[\text{Na}^+] = \frac{1}{3} \text{ M}$ 이므로 $z = \frac{1}{3}$ 이고, $x \times y \times z = \frac{3}{4} \times \frac{4}{15} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{15}$ 이다.

심화 05번

접근 Point HA 가 약산일 때, $\text{HA}(aq)$ 에 $\text{NaOH}(s)$ 을 넣으면 HA 가 A^- 으로 된다.

05 산의 이온화 상수

㉠. (가)에서 $x \text{ M HA}(aq)$ 500 mL에 녹은 HA 의 양은 $0.5x \text{ mol}$ 이고, 0.1 mol의 $\text{NaOH}(s)$ 을 넣었으므로 0.1 mol의 HA 가 A^- 으로 이온화한다. 따라서 반응 후 HA 의 양은 $(0.5x - 0.1) \text{ mol}$ 이고, $\text{HA}(aq)$ 의 농도가 0.1 M이며 부피가 500 mL이므로 $x = 0.3$ 이다.

㉡. (가)와 (나)에서 $[\text{A}^-]$ 는 같지만 $[\text{HA}]$ 는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. HA 의 이온화 상수 $K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$ 는 (가)와 (나)에서 같으므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (나)가 (가)보다 크고, pH는 (가)가 (나)보다 크다. 따라서 ㉠ < 5.0이다.

㉢. HA 의 이온화 상수는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{0.2}{0.1} \times 10^{-5} = 2 \times 10^{-5} \text{이다.}$$

HA 의 짝염기인 A^- 의 이온화 상수는 다음과 같다.

$$K_b = \frac{K_w}{\text{HA의 } K_a} = 5 \times 10^{-10}$$

0.2 M $\text{NaA}(aq)$ 의 pH는 다음과 같이 구한다.



$$K_b = \frac{[\text{HA}][\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]} = \frac{[\text{HA}][\text{OH}^-]}{0.2} = 5 \times 10^{-10}$$

$[\text{OH}^-] = [\text{HA}]$ 이므로 $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-5} \text{ M}$ 이다. 따라서 $\text{pH} = 9.0$ 이다.

심화 06번

접근 Point 완충 용액에서 약산의 이온화 상수는 $K_a = ([\text{짝염기}]/[\text{짝산}]) \times [\text{H}_3\text{O}^+]$ 이다. $[\text{A}^-]/([\text{HA}]+[\text{A}^-])$ 로부터 $[\text{A}^-]/[\text{HA}]$ 를 구한다.

06 산의 세기

(가)와 (나)는 0.1 M $\text{HA}(aq)$ 과 0.1 M $\text{NaA}(aq)$ 의 부피를 달리하여 혼합한 수용액이므로 (가)와 (나)에서 $[\text{HA}] + [\text{A}^-] = 0.1 \text{ M}$ 의 관계가 성립한다.

㉠. (가)에서 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]+[\text{A}^-]} = \frac{1}{3} \left(= \frac{1}{2+1} \right)$ 이므로 $[\text{HA}] : [\text{A}^-] = 2 : 1$ 이다. 따라서 $[\text{HA}] = \frac{1}{15} \text{ M}$ 이다.

㉡. (나)에서 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]+[\text{A}^-]} = \frac{2}{3} \left(= \frac{2}{1+2} \right)$ 이므로 $[\text{HA}] : [\text{A}^-] = 1 : 2$ 이다. 혼합한 수용액에서 $[\text{Na}^+]$ 는 $[\text{A}^-]$ 와 같으므로, $[\text{Na}^+] = \frac{1}{15} \text{ M}$ 이다.

㉢. (가)에서 $[\text{HA}] : [\text{A}^-] = 2 : 1$ 이고, (나)에서 $[\text{HA}] : [\text{A}^-] = 1 : 2$ 이므로, (가)와 (나)를 같은 부피로 혼합한 수용액에서 $[\text{HA}] = [\text{A}^-]$ 이다. 25°C 에서 HA 의 이온화 상수는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = [\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-5}$$

따라서 (가)와 (나)를 같은 부피로 혼합한 수용액의 pH는 5.0이다.

심화 07번

접근 Point 약산과 약산의 짝염기가 함께 있는 용액은 완충 용액이며, 완충 용액에서 약염기의 이온화 상수는 $K_b = ([\text{짝산}]/[\text{짝염기}]) \times [\text{OH}^-]$ 이다.

07 짝산·짝염기의 이온화 상수 관계

㉠. B의 이온화 상수(K_b)는 다음과 같다.

$$K_b = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]} = \frac{0.02}{0.01} \times [\text{OH}^-] = 2 \times 10^{-5}$$

따라서 $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-5} \text{ M}$ 이고, $\text{pH} = 9.0(x = 9.0)$ 이다.

㉡. 수용액에 $\text{NaOH}(s)$ 을 소량 가하면 산인 BH^+ 이 B로 되는 쪽으로 평형이 이동하므로 $\frac{[\text{BH}^+]}{[\text{B}]} < 2$ 이다.

㉢. 0.2 M B(aq)에서 B의 이온화 상수를 정리하면 다음과 같다.

$$K_b = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]} = \frac{[\text{BH}^+]}{0.2} \times [\text{OH}^-] = 2 \times 10^{-5}$$

$[\text{BH}^+] = [\text{OH}^-]$ 이므로, $[\text{OH}^-] = 2 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다. 따라서 $\text{pH} > 11.0$ 이다.

심화 08번

접근 Point 완충 용액에서 약산의 이온화 상수는 $K_a = ([\text{짝염기}]/[\text{짝산}]) \times [\text{H}_3\text{O}^+]$ 이다. $[\text{A}^-]/[\text{HA}]$ 를 구한다.

08 완충 용액

✕. (가)에서 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{(가)} = a$$

(나)에서 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = 3 \times [\text{H}_3\text{O}^+]_{(나)} = a$$

따라서 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (가)가 (나)보다 크고, pH는 (나)가 (가)보다 크다($y > x$).

㉠. (나)와 (다)에서 pH가 같으므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 도 같다. (다)에서 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[\text{B}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HB}]} = \frac{1}{2} \times [\text{H}_3\text{O}^+]_{(다)} = 1 \times 10^{-5}$$

따라서 (나)에서 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2 \times 10^{-5} \text{ M}$ 이다.

㉡. (나)와 (다)에서 pH가 같으므로 HA의 이온화 상수(K_a)를 구할 수 있다.

$$K_a = a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = 3 \times 2 \times 10^{-5} = 6 \times 10^{-5}$$

심화 09번

접근 Point HA가 약산일 때, HA(aq)에 NaOH(s)을 넣으면 HA가 A⁻으로 된다.

09 완충 용액

㉠ HA의 이온화 상수 $K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$ 이다.

(가)는 1 M HA(aq)이며 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = 1 \times 10^{-6}$$

$[\text{A}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$, pH = 3.0

(나)와 (다)는 약산 HA와 그 짝염기인 A⁻이 함께 있는 완충 용액이며 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{2}{3} \times [\text{H}_3\text{O}^+]_{(나)} = \frac{3}{2} \times [\text{H}_3\text{O}^+]_{(다)} = 1 \times 10^{-6}$$

(나)의 $[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{3}{2} \times 10^{-6} \text{ M}$ 이고, (다)의 $[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{2}{3} \times 10^{-6} \text{ M}$

이다. 따라서 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (가) > (나) > (다)이고, pH는 (다) > (나) > (가)이다.

㉡ (가)는 완충 용액이 아니므로 염기를 가하면 수용액의 pH가 많이 변한다. (가)에 NaOH(s) 0.1 mol을 가하면 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} =$

$\frac{0.1}{0.4} = \frac{1}{4}$ 이 된다. 따라서 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 $1 \times 10^{-3} \text{ M}$ 에서 $4 \times 10^{-6} \text{ M}$ 로 $\frac{4}{1000}$ 배로 작아지므로 pH가 2.0 이상 증가한다.

(나)에 NaOH(s) 0.1 mol을 가하면 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{0.3}{0.2} = \frac{3}{2}$ 으로

변하므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 $\frac{3}{2} \times 10^{-6} \text{ M}$ 에서 $\frac{2}{3} \times 10^{-6} \text{ M}$ 가 된다. 즉,

$[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 $\frac{4}{9}$ 배로 작아지므로 pH가 1.0보다 작게 증가한다. 따라서 NaOH(s) 0.1 mol을 가할 때 pH 변화량은 (가) > (나)이다.

심화 10번

접근 Point 수용액에서 $[\text{Na}^+] = [\text{A}^-]$ 이므로 $[\text{Na}^+]/[\text{HA}]$ 로부터 $[\text{A}^-]/[\text{HA}]$ 를 구한다.

10 완충 용액

HA의 이온화 상수 $K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$ 이다.

$[\text{Na}^+] = [\text{A}^-]$ 이므로 (가)~(다)에서 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 는 각각 2, 1, $\frac{1}{2}$ 이다.

(가)와 (나)에서 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (나)가 (가)보다 2배 크고, (나)와 (다)에서 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (다)가 (나)보다 2배 크므로 (다)의 pH를 x 라 하면, $a - b = b - x$ 이다. 따라서 $x = 2b - a$ 이다.

[다른 풀이] (가)와 (나)에서 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (나)가 (가)의 2배이므로 pH는 (가)가 (나)보다 log2만큼 크다. 또한 (나)와 (다)에서 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (다)가 (나)의 2배이므로 pH는 (나)가 (다)보다 log2만큼 크다. (다)의 pH를 x 라 하면, $a - b = b - x$ 이다. 따라서 $x = 2b - a$ 이다.

심화 11번

접근 Point 수용액에서 $[\text{Na}^+] = [\text{A}^-]$ 이므로 수용액 속 $[\text{A}^-]$ 와 $[\text{HA}]$ 를 구한다.

11 완충 용액

HA의 이온화 상수 $K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$ 이다.

(가)와 (나)는 0.1 M HA(aq)과 0.1 M NaA(aq)의 부피를 달리하여 혼합한 것이므로 (가)와 (나)에서 $[\text{HA}] + [\text{A}^-] = 0.1 \text{ M}$ 이다.

㉠. $[\text{Na}^+] = [\text{A}^-]$ 이므로 (가)에서 $[\text{A}^-]$ 는 0.06 M이고, $[\text{HA}]$ 는 0.04 M이고, (나)에서 $[\text{A}^-]$ 는 0.075 M이고, $[\text{HA}]$ 는 0.025 M이다.

$\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 는 (가)는 $\frac{3}{2}$ 이고, (나)는 3이므로 (나)가 (가)의 2배이다.

✕. HA의 이온화 상수는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{6}{4} \times 10^{-8} = \frac{3}{2} \times 10^{-8}$$

따라서 $a = \frac{3}{2} \times 10^{-8}$ 이다.

㉡. (나)는 (가)에 비해 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 가 크므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 작고, pH는 크다. 따라서 $b > 8.0$ 이다.

심화 12번

접근 Point $[\text{Na}^+]$ 의 변화로부터 넣어 준 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 의 부피를 구한다.

12 완충 용액

혼합 용액에서 Na^+ 은 구경꾼 이온이므로 혼합 용액의 $[\text{Na}^+]$ 로부터 $\text{HA}(\text{aq})$ 400 mL에 가한 1 M $\text{NaOH}(\text{aq})$ 의 부피와 $\text{HB}(\text{aq})$ 200 mL에 가한 1 M $\text{NaOH}(\text{aq})$ 의 부피를 알 수 있다.

㉠ P에서 $[\text{Na}^+] = \frac{1}{6}$ M이고, $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}] + [\text{A}^-]} = \frac{2}{5}$ 이므로 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{2}{3}$ 이다. $[\text{Na}^+]$ 가 1 M에서 $\frac{1}{6}$ M로 희석되었으므로 $\text{HA}(\text{aq})$ 400 mL에 가한 1 M $\text{NaOH}(\text{aq})$ 의 부피는 80 mL이고 NaOH 80 mmol에 해당한다. 0.5 M $\text{HA}(\text{aq})$ 400 mL에 녹아 있는 HA 는 200 mmol이므로, P에서 HA 의 형태로 120 mmol, A^- 의 형태로 80 mmol이 있다. 따라서 P에서 $[\text{HA}] = \frac{120 \text{ mmol}}{480 \text{ mL}} = \frac{1}{4}$ M이다.

㉡ $[\text{Na}^+]$ 가 1 M에서 $\frac{1}{9}$ M로 희석될 때 $\text{HA}(\text{aq})$ 400 mL에 가한 1 M $\text{NaOH}(\text{aq})$ 의 부피는 50 mL이고 NaOH 50 mmol에 해당한다. 이때 혼합 용액에는 HA 의 형태로 150 mmol, A^- 의 형태로 50 mmol이 있으므로 $y = \frac{50}{150 + 50} = \frac{1}{4}$ 이다.

Q에서는 $[\text{Na}^+] = \frac{1}{5}$ M로 희석되었으므로 x M $\text{HB}(\text{aq})$ 200 mL에 가한 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 의 부피는 50 mL이고 NaOH 50 mmol에 해당한다. 이때 혼합 용액의 $\frac{[\text{B}^-]}{[\text{HB}] + [\text{B}^-]} = \frac{1}{4}$ 이므로 B^- 의 형태로 50 mmol, HB 의 형태로 150 mmol이 있다. 따라서 x M $\text{HB}(\text{aq})$ 200 mL에 녹아 있는 HB 는 200 mmol이므로 $x = 1$ 이고, $x = 4y$ 이다.

✕. HA 와 HB 의 이온화 상수(K_a)는 각각 a , b 이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a = \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \times [\text{H}_3\text{O}^+], \quad b = \frac{[\text{B}^-]}{[\text{HB}]} \times [\text{H}_3\text{O}^+]$$

P에서 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{2}{3}$ 이고, Q에서 $\frac{[\text{B}^-]}{[\text{HB}]} = \frac{1}{3}$ 이다. 또한 P와 Q에서의 pH가 같으므로 P와 Q에서 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이 같으므로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{3}{2}a = 3b$$

따라서 $a = 2b$ 이다.