

2023학년도 대수능 16번 [pH / pOH]

표는 25°C의 물질 (가)~(다)에 대한 자료이다. (가)~(다)는 HCl(aq), H₂O(l), NaOH(aq)을 순서 없이 나타낸 것이고, H₃O⁺의 양(mol)은 (가)가 (나)의 200배이다.

물질	(가)	(나)	(다)
$\frac{[H_3O^+]}{[OH^-]}$ (상댓값)	10 ⁸	1	10 ¹⁴
부피(mL)	10	x	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 곳은? (단, 25°C에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1×10⁻¹⁴이다.) [3점]

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)는 HCl(aq)이다.
 - ㄴ. x=500이다.
 - ㄷ. $\frac{\text{(나)의 pOH}}{\text{(다)의 pH}} > 1$ 이다.

[Comment]

상댓값에 현혹되지 말고, 이용하자! 실제값이 아니라 농도를 함부로 결정할 수는 없지만, (가), (나), (다) 용액의 '농도 비교'는 할 수 있어야 한다. 산 용액이 상댓값이 가장 클 수밖에 없음!

[문제 풀이]

$\frac{[H_3O^+]}{[OH^-]}$ 값이 가장 큰, (다)가 산인 HCl, 그 다음으로 큰 값인 (가)가 H₂O, (나)가 NaOH임을 알 수 있다. (ㄱ보기 틀림)

따라서 (가)H₂O의 실제 $\frac{[H_3O^+]}{[OH^-]}$ 값은 1, pH는 7임을 알 수 있고, (나)와 (다)의 $\frac{[H_3O^+]}{[OH^-]}$ 값은 각각 아래 표에 나타내었다. (나)의 $\frac{[H_3O^+]}{[OH^-]}$ 값이 (가)×10⁻⁸이므로 이는 (가)× $\frac{10^{-4}}{10^4}$ 임을 의미하고 pH값은 7+4=11임을 알 수 있다. 같은 방식으로, (다)의 $\frac{[H_3O^+]}{[OH^-]}$ 값은 (가)× $\frac{10^3}{10^{-3}}$ 이므로 pH값은 7-3=4임을 알 수 있다.

물질	(가) H ₂ O	(나) NaOH	(다) HCl
$\frac{[H_3O^+]}{[OH^-]}$ 실제값	1	10 ⁻⁸	10 ⁶
pH	7	11	4

H₃O⁺의 몰수가 (가)=(나)×200이라는 조건과 n=M×V임을 이용하여 ㄴ보기를 해결 할 수 있다. (나)의 pH 값을 구하는 과정에서 (가)의 [H₃O⁺]값이 (나)×10⁴라는 조건을 얻어낼 수 있다.

$$n = M \times V$$

$$\times 200 \quad \times 10^4 \quad \times \frac{1}{50}$$

따라서 $x \times \frac{1}{50} = 10$ 이므로 x=500 (ㄴ보기 맞음)

(다)의 pH는 4임을 이미 구했고, (나)의 pH는 11인 것을 통해 (나)의 pOH=14-11, 즉 3임을 알 수 있다.

따라서 $\frac{\text{(나)의 pOH}}{\text{(다)의 pH}}$ 값은 $\frac{3}{4}$ 이므로 ㄷ보기 틀림.

답) ㄴ

2023학년도 대수능 17번 [실험분석 - 중화적정]

다음은 25°C에서 식초 A 1g에 들어 있는 아세트산 (CH_3COOH)의 질량을 알아보기 위한 중화 적정 실험이다.

[자료]

- 25°C에서 식초 A의 밀도 : $d \text{ g/mL}$
- CH_3COOH 의 분자량 : 60

[실험 과정 및 결과]

(가) 식초 A 10mL에 물을 넣어 수용액 50 mL를 만들었다.

(나) (가)의 수용액 20mL에 페놀프탈레인 용액을 2~3방울 넣고 $a \text{ M}$ $\text{KOH}(aq)$ 으로 적정하였을 때, 수용액 전체가 붉게 변하는 순간까지 넣어 준 $\text{KOH}(aq)$ 의 부피는 30mL이었다.

(다) (나)의 적정 결과로부터 구한 식초 A 1g에 들어 있는 CH_3COOH 의 질량은 0.05g이었다.

a 는? (단, 온도는 25°C로 일정하고, 중화 적정 과정에서 식초 A에 포함된 물질 중 CH_3COOH 만 KOH 과 반응한다.) [3점]

[문제 풀이]

A의 밀도가 $d \text{ g/mL}$ 로 주어졌으므로 A 10mL는 10dg이고, (가)수용액 50mL 속에는 A가 10dg 들어있다. (나)에서 이 수용액을 20mL만 사용하였으므로 그 속에는 A가 4dg 들어있다. (다) 조건을 통해 식초 A 4dg에 들어있는 CH_3COOH 의 질량은 $4\text{dg} \times 0.05 = 0.2\text{dg}$ 이다.

(나)과정에서 $a \text{ M}$ 인 KOH 를 30mL 사용하였으므로

$$a \times 0.03\text{L} =$$

$$\frac{0.2\text{dg}(=\text{식초 A 4dg에 들어있는 } \text{CH}_3\text{COOH} \text{의 질량})}{60(=\text{CH}_3\text{COOH} \text{의 분자량})}$$

라는 식을 세울 수 있고, 정리하면 $a = \frac{d}{9}$ 이다.

답) $\frac{d}{9}$

[Comment]

모든 실험 분석 유형에서는 항상 '내가 지금 어디에 있는가'를 잊지 말자. 처음부터 우당탕탕 계산하다 보면 내가 어디에 있는지, 이제 무얼 해야 하는지 잊게 된다. 어떤 것을 구할 것인가에 대한 목적을 갖고, 문제를 넓게 보려고 노력하자. 전체적인 실험 과정을 이해한 뒤 내가 필요한 것만 계산하면 끝!

2023학년도 대수능 18번 [양적계산 - 혼합유형]

다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)와 D(g)를 생성하는 반응의 화학 반응식이다.



표는 실린더에 A(g)와 B(g)를 넣고 반응을 완결시킨 실험 I ~ III에 대한 자료이다. I 과 II에서 B(g)는 모두 반응하였고, I 에서 반응 후 생성물의 전체 질량은 21wg이다.

실험	반응 전		반응 후
	A(g)의 질량(g)	B(g)의 질량(g)	$\frac{\text{생성물의 전체 양(mol)}}{\text{남아 있는 반응물의 양(mol)}}$ (상댓값)
I	15w	16w	3
II	10w	xw	2
III	10w	48w	y

x + y는? [3점]

[Comment]

상댓값의 향연! 양적계산에서 질량 따로, 몰수 따로 출제하는 문제는 이제 더 이상 볼 수 없다. 나올 수 있는 모든 유형이 다 나왔으므로 우린 지금까지 나온 모든 걸 대비해야 한다. 실험을 3번이나 시행해 귀찮을 뿐이지, 상댓값을 실제값으로 바꾸어 양을 정리하면 그리 어렵지 않게 풀린다. '우리가 원하는 몰수 스케일로 질량을 바꾸기'가 이 문제의 키!

[문제 풀이]

반응 후 생성물의 전체 질량이 21wg이므로 반응한 반응물의 양이 21wg이어야 한다. B는 16wg 반응했으므로 A가 5wg 반응한 것. 따라서 A와 B의 반응비(질량비)는 5 : 16 이다.

A와 B의 반응비(몰수비)는 1 : 4이므로, A 5wg을 n몰, B 16wg을 4n몰이라 하면 주어진 표는 다음과 같이 고칠 수 있다.

실험	반응 전		반응 후	
	A	B	생성물/남은반응물 (실제값)	생성물/남은반응물 (상댓값)
I	3n몰	4n몰	$\frac{5n}{2n}$	$3 \times \frac{5}{6}$
II	2n몰		$\frac{5m}{3m}$	$2 \times \frac{5}{6}$
III	2n몰	12n몰		

실험 II에서 생성물을 5m이라 하면, 남은 반응물은 3m이라 할 수 있으므로 실험 II에 대한 반응을 정리하면 다음과 같다.

A	+	4B	->	3C	+	2D
4m = 2n		4m		0		0
-m몰		-4m몰		+3m몰		+2m몰
3m몰		0		3m몰		2m몰

m : n = 1 : 2 이므로 실험 II에서 반응 전 B의 몰수는 2n몰이다. 따라서 x는 8이다.

이제 실험 III을 분석하면 다음과 같다.

실험	반응 후	
	생성물/남은반응물 (실제값)	생성물/남은반응물 (상댓값)
III	$\frac{5}{2}$	$y \times \frac{5}{6}$

y = 3 이므로 x + y = 11이다.

답) 11

2023학년도 대수능 19번 [중화반응 - 혼합유형]

다음은 aM $HA(aq)$, bM $H_2B(aq)$, $\frac{5}{2}aM$ $NaOH(aq)$ 의 부피를 달리하여 혼합한 수용액 (가)~(다)에 대한 자료이다.

○ 수용액에서 HA 는 H^+ 과 B^{-2} 으로 모두 이온화된다.

혼합 수용액	혼합 전 수용액의 부피(mL)			모든 양이온의 몰농도(M) 합 (상댓값)
	HA (aq)	H ₂ B (aq)	NaOH (aq)	
(가)	3V	V	2V	5
(나)	V	xV	2xV	9
(다)	xV	xV	3V	y

○ (가)는 중성이다.

$\frac{y}{x}$ 는? (단, 혼합 수용액의 부피는 혼합 전 각 수용액의 부피의 합과 같고, 물의 자동 이온화는 무시한다.)

[Comment]

(몰농도M)×(부피L)=(몰수n)를 이용해 실제 부피(L)를 곱해 이온의 몰수를 구하려는 정직한 풀이도 있을 것이다. 근데 그렇게 안하잖아? 중화반응에서는 오직 '이온이 몇 개 인가'만 생각하자. 단위는 고민하지 말고, 있는 그대로의 부피를 곱해서 이온수를 꺼내자. 이 문제에서는 (나)의 산/염기를 결정할 때 어떤 단서를 이용해 판단했는지가 중요하다.

[문제 풀이]

중화반응에서는 모든 부피를 L로 바꿀 필요는 없다. (가)는 중성이므로 수용액 속 양이온은 오직 Na^+ 뿐이다. 전체 부피는 6V이므로 각 용액의 몰농도에 부피를 곱해 표로 정리하면 다음과 같다.

혼합 수용액	혼합 전 수용액의 부피(mL)			모든 양이온의 몰농도(M) 합 (상댓값)
	HA (aq)	H ₂ B (aq)	NaOH (aq)	
(가)	3a/3V	V	5a/2V	5×6=30

$$\begin{aligned} \rightarrow Na^+ & 30 \\ A^- & 18 \\ B^{-2} & 6 \end{aligned}$$

이를 토대로 주어진 표를 정리하면 다음과 같다

혼합 수용액	혼합 전 수용액의 부피(mL)			모든 양이온의 몰농도(M) 합 (상댓값)
	HA (aq)	H ₂ B (aq)	NaOH (aq)	
(가)	18/3V	6/V	30/2V	5
(나)	6/V	6x/xV	30x/2xV	9 ×(1+3x) =9+27x
(다)	6x/xV	6x/xV	45/3V	y

(나)에서

$$\begin{aligned} Na^+ & 30x & Na^+ & 30x \\ A^- & 6 & \text{또는} & A^- & 6 \\ B^{-2} & 6x & & B^{-2} & 6x \\ H^+ & & & OH^- & \end{aligned}$$

(나)에 H+가 있다해도 모두 1가 양이온이므로 (나)에서 양전하는 +(9+27x)이다. 따라서 음전하도 같은 양만큼 존재해야 하는데, 음전하가 A-와 B2-만 존재할 경우 -(6+12x)로 턱없이 부족하다. 따라서 OH-도 함께 존재한다.

(나)에서 양이온은 Na+만 존재하는데 양이온 수의 합이 9+27x 이므로 $30x = 9+27x$, $x = 3$ 이다. 이를 토대로 표를 완성하면 다음과 같다.

혼합 수용액	혼합 전 수용액의 부피(mL)			모든 양이온의 몰농도(M) 합 (상댓값)
	HA (aq)	H ₂ B (aq)	NaOH (aq)	
(가)	18/3V	6/V	30/2V	5
(나)	6/V	18/3V	90/6V	9
(다)	18/3V	18/3V	45/3V	y

(다)에서 이온의 조성은

Na⁺ 45

A⁻ 18

B⁻² 18

H⁺ 9

이다.

(다)에서 전체 부피는 9V이고, 모든 양이온의 양은 54이다. 따라서 몰농도

y = 6이다.

따라서 y/x = 2이다.

답)2

2023학년도 대수능 20번 [기체양론]

표는 $t^{\circ}\text{C}$, 1기압에서 실린더 (가)와 (나)에 들어 있는 기체에 대한 자료이다.

실린더	기체의 몰수비	전체 기체의 밀도 (상댓값)	$\frac{X \text{ 원자수}}{Y \text{ 원자수}}$
(가)	$X_a Y_{2b} : X_b Y_c = 1 : 2$	9	$\frac{13}{24}$
(나)	$X_a Y_{2b} : X_b Y_c = 3 : 1$	8	$\frac{11}{28}$

$\frac{X_b Y_c \text{의 분자량}}{X_a Y_{2b} \text{의 분자량}} \times \frac{c}{a}$ 는? (단, X와 Y는 임의의 원소 기호이다.) [3점]

[Comment]

기출이라는 것이 그렇다. 아무리 문제가 이상하고 난이도가 괴랄해도 한 번 출제된 순간, 그 문제는 기출이 되어 우리가 공부해야 할 과제로 남는다. 실제 시험장에서 이 문제를 풀었을 인원은 얼마 없었으므로 난이도를 논하는 것은 이제 의미가 없다. 다음 시험을 준비하는 우리들은 어떻게든 이 문제에서 무언가를 뽑아내려 노력하면 된다.

Nitro는 이 문제에 대해 두 가지 풀이를 제안한다. 두 개 모두 읽어보고, 논리적으로 타당한지 따져보며 앞으로 실제 시험장에서 사용할 수 있는 풀이인지 비판적으로 바라봐 주었으면 한다.

우리의 방법이 유일한 해답은 아닐 것이다. 하지만 우리는, 수험생이 우리의 풀이를 보고 새로운 아이디어를 얻었으면 한다. 그들에게 도움이 되길 바란다.

우리의 역할은 그걸로 충분하다.

[문제풀이_1]

(가)와 (나)모두 비율로 주어져 있으므로 기준점을 잡아야 한다. (가)에서 $X_a Y_{2b}$ 의 질량을 1g이라 하면 (가)에서 $X_b Y_c$ 의 질량은 2g이 된다. 또한 (나)에서 $X_a Y_{2b}$ 의 질량을 3g이라 하면 (나)에서 $X_b Y_c$ 의 질량은 1g이 된다. 전체 기체의 밀도는 질량 / 부피(몰수) 이므로, 실질적인 양과 관련이 있는 값이 아닌, 질량과 몰수의 비율이 된다. 실린더 (가)의 전체 질량을 3g, 실린더 (나)의 전체 질량을 4g이라 하면 실린더 (가)와 (나)의 전체 기체의 몰수 비는 2 : 3이 된다. (가)에서 $X_a Y_{2b}$ 의 몰수를 n몰이라 하면 (나)에서 $X_a Y_{2b}$ 의 몰수는 3n몰이 되고, (나)에서 $X_b Y_c$ 의 몰수를 2m몰이라 하면 (나)에서 $X_b Y_c$ 의 몰수는 m몰이 된다. 따라서 $n + 2m : 3n + m = 2 : 3$ 이므로 $n = 4, m = 3$ 이다. 동일 몰수에서의 질량 비는 곧 분자량비 이므로 $X_b Y_c$ 의 분자량 : $X_a Y_{2b}$ 의 분자량 = 4 : 3이다.

마지막 남은 자료인 X원자수/원자수를 이용하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{2a+3b}{4b+3c} = \frac{13}{24}, \quad \frac{4a+b}{8b+c} = \frac{11}{28}$$

이후 처리는 개인 취향이다. 미지수가 3개인 연립방정식으로 풀어도 답은 나온다. 그러나, 우리가 하는 건 수학이 아니라 화학이다. a, b, c에 적당한 수를 넣어 성립하는 경우를 찾아보면

$$a = 2, b = 3, c = 4 \text{이다. 따라서 } \frac{c}{a} = 2 \text{이다.}$$

따라서 답은 $\frac{8}{3}$ 이다.

(마지막 과정이 억지 같아 보여도, 가을 썸 되면 시간 단축에 매우 유용한 스킬임을 깨닫게 될 것이다.)

[문제풀이_2]

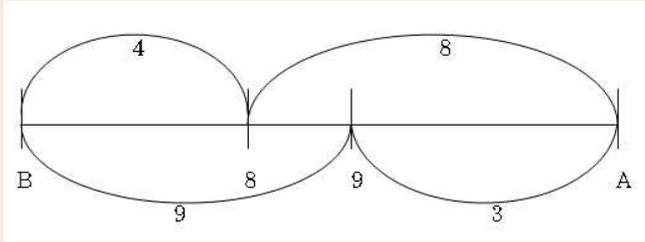
$X_a Y_{2b}$ 를 A, $X_a Y_c$ 를 B라 하자.

밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이므로, $\frac{1}{\text{밀도}} = \frac{\text{부피}}{\text{질량}}$ 이다. (가)와 (나)

의 $\frac{\text{부피}}{\text{질량}}$ 값은 8 : 9 임을 알 수 있고,

실린더	기체의 질량비	전체 기체의 $\frac{1}{\text{밀도}} (= \frac{\text{부피}}{\text{질량}})$
(가)	A : B = 1 : 2	8
(나)	A : B = 3 : 1	9

(가)에서 (나)로 A의 비율이 증가할 때, $\frac{1}{\text{밀도}}$ 값의 크기가 증가하므로, A가 B보다 더 큰 값을 가짐을 알 수 있다.



(가)에서 B의 비율이 많으므로 B에 더 가까운 1:2 내분점을 찍으면 8에 위치하고, (나)에서 A의 비율이 많은 3:1 내분점을 찍으면 9에 위치한다. 이때 1:2를 4:8로 하고, 3:1을 9:3으로 표현하면 위 그림과 같다.

이때 8과 9사이가 설정한 비율값의 5만큼을 차지하므로, 4:8을 $\frac{4}{5} : \frac{8}{5}$, 9:3을 $\frac{9}{5} : \frac{3}{5}$ 으로 값을 결정지을

수 있다. 따라서 B 위치의 값은 $8 - \frac{4}{5} = \frac{36}{5}$, A 위치

의 값은 $9 + \frac{3}{5} = \frac{48}{5}$ 임을 알 수 있는데, 이들의 역수

인 밀도가 분자량에 비례하므로, $\frac{\text{B의 분자량}}{\text{A의 분자량}}$ 값은

$$\frac{48}{36} = \frac{4}{3}$$

이다.

이때, A의 분자량과 B의 분자량을 각각 3과 4라고 가정하면 (가)에서 A와 B의 몰수비는 $\frac{1}{3} : \frac{1}{2}$ 즉,

2:3 이고, (나)에서는 $\frac{3}{3} : \frac{1}{4}$ 즉, 4:1임을 알 수 있

다.

따라서 (가)의 $\frac{X \text{ 원자수}}{Y \text{ 원자수}} = \frac{13}{24}$ 이므로,

$$\frac{2a + 3b}{4b + 3c} = \frac{13}{24}$$

(나)의 $\frac{X \text{ 원자수}}{Y \text{ 원자수}}$ 값은 $\frac{11}{28}$ 이므로, $\frac{4a + b}{8b + c} = \frac{11}{28}$ 이라는 식을 얻어낼 수 있다.

두 식을 연립하여 계산하면, $48a + 72b = 52b + 39c$ 즉, $20b = 39c - 48a$.

$$72a + 28b = 88b + 11c \text{ 즉, } 60b = 72a - 11c$$

$72a - 11c = 117c - 144a$ 이므로 $216a = 128c$ 이고, $\frac{c}{a} = 2$ 이다.

$$\frac{\text{B의 분자량}}{\text{A의 분자량}} \times \frac{c}{a} = \frac{4}{3} \times 2 = \frac{8}{3}$$