

\*

이 자료는 수능 약 2주전인 2021년 11월 8일에 배포되었습니다. 수능 후에 보는 학생들은 모든 내용을 정독하고 적용 해 보면 편찮을 거라고 생각합니다.

허나 수능 직전에 보는 학생의 경우 모르던 내용이 포함되어 있거나, 어렵다면 걱정하지 말고 넘기셔도 됩니다. 지금까지 충분히 잘 해오셨으니, 새로운 도구를 장착하실 필요는 없습니다. '정리 자료'로 봐주세요.

기출 문항이나 자작 문항이 예시로 제시되는데, 풀라는 직접적인 언급만 없으면 문제만 쓱 훑어보시면 됩니다.

## 0. 몰 농도 문항의 경우

이 자료에서 주로 다루고자 하는 내용은 아보가드로 법칙과 관련된 기체의 밀도입니다. 평가원에서는 아직 출제된 바 없으나, 교육청과 사설에서 자주 출제되는 퍼센트 농도 문항에서 밀도가 이따금 출제됩니다. 퍼센트 농도-몰 농도 전환 공식만 알고 계시면 됩니다. 단위에 유의해주세요.

$$(\text{몰 농도}) (M) = \frac{10xd}{a} (a : \text{화학식량}, x : \text{퍼센트 농도}(\%), d : \text{밀도}(g/mL))$$

이 밖에 고체나 액체의 밀도가 몰 농도 문항 말고 다른 곳에서 만약 출제가 된다면, 대개 말 그대로  $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 의 뜻으로 제시될 확률이 높습니다. 단위에 유의하면서 문제에 서 원하는 계산을 단순하게 하면 됩니다.

## 1. 분자량

밀도, 즉 단위 부피당 질량은 분자량과 비례하며 단위 질량당 부피는 분자량과 반비례 한다는 것을 이용하는 경우가 제일 많습니다.

5. 표는 25°C, 1기압에서 2가지 기체에 대한 자료이다.

분자식	$A_2B_4$	$A_4B_8$
부피(L)	3	2
총 원자 수(상댓값)	3	$x$
단위 부피당 질량(상댓값)	$y$	2

$x+y$ 는? (단, A, B는 임의의 원소 기호이다.) [3점]

- ① 2      ② 3      ③ 4      ④ 5      ⑤ 6

(180605)

이 문항의 경우 밀도는 분자량의 상댓값으로서 제시되었습니다.

19. 표는 일정한 온도와 압력에서 3가지 기체 분자에 대한 자료이다.

분자	분자량	단위 질량당 부피(L/g)	단위 질량당 원자 수(상댓값)
$X_2$	2	18	$d$
Y	4	$b$	3
$X_2Z$	$a$	$c$	2

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X~Z는 임의의 원소 기호이다.) [3점]

— <보기> —

ㄱ.  $a$ 는 18이다.  
 ㄴ.  $b$ 는 9이다.  
 ㄷ.  $d$ 는  $4c$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(171113)

밀도가 아니고 밀도의 역수인 단위 질량당 부피가 제시되었습니다. 실측값을 주었으나 기체 1mol당 부피를 제시하진 않았으니 분자량의 역수에 비례하는 상댓값을 준 것과 다를 것이 없습니다.

분자량과 단위 질량당 원자수를 곱하면 원자 개수의 상댓값을 얻을 수 있다는 것을 이용해서 풀면 되는 문항입니다.

추가적으로 이 문항에서  $X_2$ 에 제시된 자료를 통해 1mol당 부피를 알아낼 수 있긴 합니다.

$X_2$ 가 1mol 존재한다고 가정하면 분자량이 2이므로 질량은 2g이고, 단위 질량당 부피 자료에 의해 1mol당 부피는 36L인 것을 알 수 있습니다. 미출제요소이니 참고하세요.

18. 표는 원소 X와 Y로 이루어진 분자 (가)~(다)에서 구성 원소의 질량비를 나타낸 것이다.  $t^{\circ}\text{C}$ , 1 atm에서 기체 1 g의 부피비는 (가):(나) = 15:22이고, (가)~(다)의 분자당 구성 원자 수는 각각 5 이하이다. 원자량은 Y가 X보다 크다.

분자	(가)	(나)	(다)
$\frac{Y\text{의 질량}}{X\text{의 질량}}$ (상댓값)	1	2	3

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X와 Y는 임의의 원소 기호이다.)

<보 기>	
ㄱ.	$\frac{Y\text{의 원자량}}{X\text{의 원자량}} = \frac{4}{3}$ 이다.
ㄴ.	(나)의 분자식은 XY이다.
ㄷ.	$\frac{\text{(다)의 분자량}}{\text{(가)의 분자량}} = \frac{38}{11}$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄴ    ⑤ ㄴ, ㄷ

(220918)

1g당 기체의 부피이므로 밀도의 역수를 주었고, 분자량의 역수와 비례한다는 것을 이용해서 (가)와 (나)의 분자량 비가 22:15인 것을 이용해서 푸는 문항이었습니다.

이 자료에서 주로 다루려고 하는 내용은 아보가드로 유형 전체가 아닌 **아보가드로 유형과 양적 관계 유형의 혼합기체** 상황입니다. 그러니 아보가드로 유형에서 밀도와 관련하여 미출제 요소 딱 하나만 더 짚고 혼합 기체 상황으로 넘어가겠습니다.

‘1mol당 부피가 24L일 때,  $\text{CO}_2$ (분자량 44)의 밀도(g/L)는?’

$$\rightarrow \frac{44\text{g}}{24\text{L}} = \frac{11}{6}\text{g/L}$$

어렵진 않으나, 이렇게 밀도를 직접적으로 계산하는 걸 요구하진 않았습니다.

## 2. 혼합기체 전체의 밀도

- 단순 계산

뒤에서 다룰 내분의 경우 테크닉에 속합니다. 허나 내분은 **잘못 사용하면 독**이 되는 경우가 많은데요, 실제로 평가원에서 출제한 문항에서 함부로 내분을 사용하려고 들면 피를 보도록 설계한 문항이 존재합니다.

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

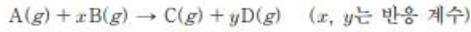
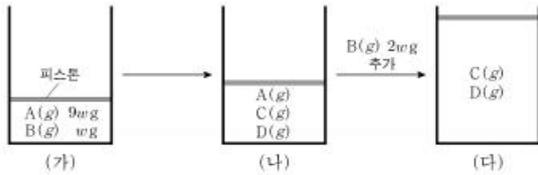


그림 (가)는 실린더에 A(g)와 B(g)가 각각 9w g, w g이 들어 있는 것을, (나)는 (가)의 실린더에서 반응을 완결시킨 것을, (다)는 (나)의 실린더에 B(g) 2w g을 추가하여 반응을 완결시킨 것을 나타낸 것이다. (가), (나), (다) 실린더 속 기체의 밀도가 각각  $d_1, d_2, d_3$ 일 때,  $\frac{d_2}{d_1} = \frac{5}{7}, \frac{d_3}{d_2} = \frac{14}{25}$ 이다. (다)의 실린더 속 C(g)와 D(g)의 질량비는 4:5이다.



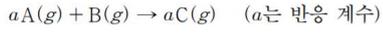
$\frac{D \text{의 분자량}}{A \text{의 분자량}} \times \frac{x}{y}$ 는? (단, 실린더 속 기체의 온도와 압력은 일정하다.) [3점]

- ①  $\frac{5}{54}$     ②  $\frac{4}{27}$     ③  $\frac{7}{27}$     ④  $\frac{10}{27}$     ⑤  $\frac{25}{54}$

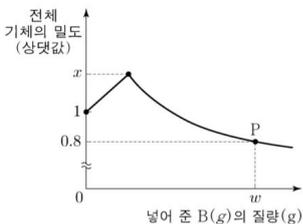
(211120)

이 문항의 경우, 밀도의 원래 뜻인  $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 를 이용해서, 혼합 기체 전체의 질량을 밀도로 나누면 부피를 얻을 수 있으므로, (가), (나), (다)의 부피 비가 5:7:15임을 먼저 구해서 풀도록 유도한 문항입니다. 혼합 기체의 밀도 내분을 사용하려 하면 시간만 날리게 됩니다.

19. 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)를 생성하는 화학 반응식이다. 분자량은 A가 B의 2배이다.



그림은 A(g) VL가 들어 있는 실린더에 B(g)를 넣어 반응을 완결시켰을 때, 넣어 준 B(g)의 질량에 따른 반응 후 전체 기체의 밀도를 나타낸 것이다. P에서 실린더의 부피는 2.5VL이다.



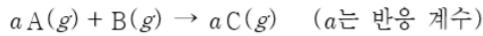
$a \times x$ 는? (단, 기체의 온도와 압력은 일정하다.)

- ①  $\frac{3}{2}$     ②  $\frac{5}{2}$     ③  $\frac{7}{2}$     ④  $\frac{15}{4}$     ⑤  $\frac{25}{4}$

(210619)

밀도 내분을 사용하면 더 수월하게 풀리나, 정의에 입각하여 풀어도 됩니다. B를 아직 넣지 않았을 때와 P에서 질량비가  $1 \times V : 0.8 \times 2.5V = 1 : 2$ 임을 구할 수 있고, 따라서 초기에 존재하던 A의 질량이 w g입니다.

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



표는 실린더에 A(g)와 B(g)를 넣고 반응을 완결시킨 실험 I ~ III에 대한 자료이다.

실험	반응 전			반응 후 전체 기체의 부피(상댓값)
	A(g)의 질량(g)	B(g)의 질량(g)	전체 기체의 밀도(상댓값)	
I	4	3	4	4
II	4	4		5
III	12	2	5	$x$

$\frac{x}{a}$ 는? (단, 기체의 온도와 압력은 일정하다.) [3점]

- ①  $\frac{3}{2}$     ②  $\frac{7}{3}$     ③ 3    ④  $\frac{7}{2}$     ⑤ 4

(201020) (풀어보시는걸 추천)

(스포 방지용 여백)

이 문항의 경우도 질량의 합을 밀도로 나눠줘서 부피 비를 구하고, A와 B의 질량 당 부피를 연립하여 실험 2에서의 상황을 구하면 수월하게 풀리는 문항입니다.

(참고로 단위 질량당 부피를 이용한 내분으로도 해결 가능하나, 이는 뒤에서 다루겠습니다. 또한 수능 직전의 학생의 경우 단위 질량당 부피를 이용한 풀이를 아직 몰랐다면, 굳이 익힐 필요는 없습니다)

문항을 직접 해결 해 보면

실험 1과 3에서 부피 비가  $\frac{7}{4} : \frac{14}{5} = 5 : 8$ 이므로 실험 1의 반응 전 부피는 5, 실험 3의 반응 전 부피는 8입니다.

A 4g당 몰수를  $t$ , B 1g당 몰수를  $k$ 라고 하면  $t + 3k = 5$ ,  $3t + 2k = 8$ 에서  $t = 2$ ,  $k = 1$ 을 얻습니다.

따라서 실험 1, 2, 3에서 반응 전 몰수를 각각 (A,B)로 표현하면 (2,3), (2,4), (6,2)입니다.

여기서 **논리적 오류**를 범하는 경우가 많습니다(그래서 풀어보시라고 했습니다). 무심코 임의로 잡은 몰수의 상댓값과 문제에서 제시하는 반응 후 전체 기체의 부피를 그냥 똑같은 단위로 두고 그냥 푸는 경우가 많은데요, 엄밀히는 두 상댓값이 같다는 것을 증명해야 합니다.

계수 비가  $A:B = a:1$ 이므로 실험 1, 2에서 한계 반응물은 둘 다 A이며, 그 몰수가 같으므로 반응량이 같고 총 몰수 변화량이 같습니다.

그런데 반응 후 총 몰수를 각각  $4n, 5n$ 으로 두면 변화량은  $5-4n = 6-5n$ 을 만족하므로  $n=1$ 이고 문제에서 제시한 부피의 상댓값과 우리가 잡은 몰수의 상댓값이 일치하게 됩니다.

(해설이기에 자세하게 말했으나, 축약한다면 반응량이 같은데 총 몰수와 반응 후 부피의 상댓값의 차이가 실험 1과 2에서 같으므로, 몰수와 부피의 상댓값이 같다는 것을 바로 알아낸다는 뜻입니다)

이제 실험 1에서 반응을 통해  $a$ 를 구해봅시다.  
(가리고 풀기를 아신다면, A를 가리고 풀면 됩니다)

(mol)	$aA(g)$	+	$B(g)$	→	$aC(g)$
반응 전	2		3		0
반응	-2		-?		+2
반응 후	0		?		2

반응 후 총 4mol이므로 반응 후 B의 양은 2mol이고, 반응량은 -1mol입니다. 즉

(mol)	$aA(g)$	+	$B(g)$	→	$aC(g)$
반응 전	2		3		0
반응	-2		-1		+2
반응 후	0		2		2

의 반응식이므로  $a=2$ 이고, 계산하면  $x=6$ 입니다.

답 : 3번

- 밀도 내분

많이들 아시는 혼합 기체의 밀도 내분입니다. 제일 대표적인 문제로 다음 문제가 있습니다.

모든 밀도 내분으로 풀리는 문항은, 깡계산으로 **전부** 풀립니다. 따라서 문제가 내분 각이 보이는데 살짝 막힌다면 **그냥 깡계산하시면** 충분히 풀 수 있습니다.

항상 말하지만 **내분은 각 안나오는데 역지로 하면 나락입니다.**

$$\frac{w_A + w_B}{V_A + V_B}$$

두 기체(A와 B)를 혼합했을 때 밀도는 위와 같습니다.

그런데 위 식을 변형하면

$$\frac{w_A + w_B}{V_A + V_B} = \frac{V_A d_A + V_B d_B}{V_A + V_B} \propto \frac{n_A M_A + n_B M_B}{n_A + n_B} (= \text{평균 분자량})$$

(단,  $d_A$ 와  $d_B$ 는 각각 A와 B의 밀도)

위 식과 같고, 이는 내분식과 형태가 일치합니다. 부피 비(몰수 비, 존재 비)의 반대로 내분 해 주면 혼합 기체의 밀도나, 평균 분자량을 구할 수 있습니다.

예를 들어, 산소(분자량 32)와 이산화탄소(분자량 44)를 섞었을 때 혼합 기체의 평균 분자량이 40이 되도록 하는 산소와 이산화탄소의 존재 비를 구해보면 40은 32와 44의 2:1 내분점이므로 이 반대인 1:2가 산소와 이산화탄소의 존재 비가 됩니다.

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



표는 실린더에 A(s)와 B(g)의 몰수를 달리하여 넣고 반응을 완결시킨 실험 I, II에 대한 자료이다.  $\frac{B \text{의 분자량}}{C \text{의 분자량}} = \frac{1}{16}$  이다.

실험	넣어 준 물질의 몰수(몰)		실린더 속 기체의 밀도 (상댓값)	
	A(s)	B(g)	반응 전	반응 후
I	2	7	1	7
II	3	8	1	x

$b \times x$ 는? (단, 기체의 온도와 압력은 일정하다.) [3점]

- ① 15      ② 20      ③ 21      ④ 24      ⑤ 32

(201119) - 풀어보시면 좋습니다.

고체를 주의해야 하는 문항이었습니다.

실험 I 만 같이 해 봅시다.

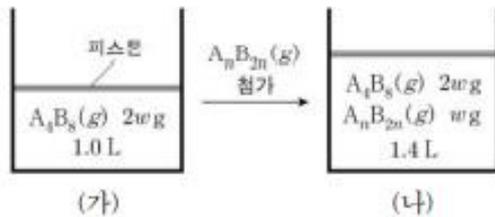
반응 전 기체는 B만 존재합니다. 따라서 반응 전 기체의 밀도(1)은 B의 밀도 이므로, C의 밀도는 분자량 비에 의해 16임을 알 수 있습니다.

반응 후 기체의 밀도가 16이 아니므로 실린더 내부에는 B가 존재해야 합니다. 반응은 완결되었으므로, 실험 I에서 A가 한계반응물입니다.

7은 1과 16의 2:3 내분점 이므로 B와 C의 존재 비율은 3:2임을 알 수 있으며, A와 C의 반응 계수가 같은데 A 2mol이 전부 반응하였으므로 C는 실린더 내에 2mol 존재합니다. 따라서 B는 3mol 존재하며, 반응 과정에서 그 양이 4mol 감소하였으므로  $b=2$ 를 수월하게 구할 수 있습니다.

(답 : 2)

14. 그림 (가)는 실린더에  $A_4B_8(g)$ 이 들어 있는 것을, (나)는 (가)의 실린더에  $A_nB_{2n}(g)$ 이 첨가된 것을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 실린더 속 기체의 단위 부피당 전체 원자 수는 각각  $x$ 와  $y$ 이다. 두 기체는 반응하지 않는다.



$n \times \frac{x}{y}$  는? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이며, 기체의 온도와

압력은 일정하다.) [3점]

- ①  $\frac{7}{3}$     ②  $\frac{10}{3}$     ③  $\frac{21}{5}$     ④  $\frac{14}{3}$     ⑤  $\frac{24}{5}$

$A_4B_8$ 과  $A_nB_{2n}$ 은 A와 B의 존재 비가 항상 1:2이므로(실험식이 같으므로) 전체 원자 수는 전체 질량과 비례하게 됩니다. 따라서 문제에서 물어본 단위 부피당 전체 원자 수는 혼합 기체의 밀도와 비례합니다.

문제를 풀어보면  $A_nB_{2n}$   $wg$ 이 0.4L인걸 이용해서  $A_4B_8$ 과 비교하면  $n=5$ 임을 구할 수 있습니다. ( $A_nB_{2n}$   $2wg$ 은 0.8L이므로,  $A_4B_8$ 와 질량을 똑같이 맞췄더니 부피 비가 5:4이므로  $n=5$ )

$A_4B_8$ 의 분자량(밀도)은 그냥 4,  $A_5B_{10}$ 의 분자량(밀도)은 5로 편히 잡으면 (가)에서의 밀도는 4, (나)에서의 밀도는 4와 5의 2:5 내분점인  $\frac{30}{7}$ 입니다.

따라서 답은  $5 \times \frac{4}{\frac{30}{7}} = \frac{14}{3}$ 입니다.

그런데 이 문항의 경우 깡계산도 상당히 빠릅니다. (가)에서의 질량은  $2w$ , (나)에서의 질량은  $w$ 이므로  $\frac{2w}{1}$ 와  $\frac{3w}{1.4}$ 가 각각  $x$ 와  $y$ 에 비례하게 됩니다.

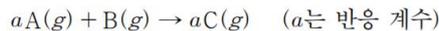
즉 흔한 혼합기체 상황이어도 굳이! 내분을 사용할 필요는 여전히 없습니다. 물론 이를 구분하긴 어려우니, 하다가 잘 안되면 깡계산으로 가는 것이 제일 현명한 방법이겠죠.

- 양적 관계 투입 유형에서의 그래프 개형

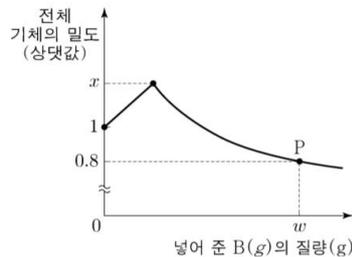
일반적인 투입 유형(A와 B가 반응하여 C가 되고, B를 투입하는 유형)에서는 반응 시작지점의 밀도는 A의 밀도, 완결점의 밀도는 C의 밀도가 됩니다. 당연히 시작지점은 A, 완결점은 C만 존재하니 당연합니다.

한편 완결점 이후에는 특이한 성질을 가집니다. B를 점점 무한히 넣으면 전체 기체의 밀도는 B의 밀도에 수렴하게 될 것임을 알 수 있습니다. 따라서 B의 밀도에 해당하는 방향으로 수렴하게 됩니다.

19. 다음은  $A(g)$ 와  $B(g)$ 가 반응하여  $C(g)$ 를 생성하는 화학 반응식이다. 분자량은 A가 B의 2배이다.



그림은  $A(g)$  VL가 들어 있는 실린더에  $B(g)$ 를 넣어 반응을 완결시켰을 때, 넣어 준  $B(g)$ 의 질량에 따른 반응 후 전체 기체의 밀도를 나타낸 것이다. P에서 실린더의 부피는  $2.5VL$ 이다.



$a \times x$ 는? (단, 기체의 온도와 압력은 일정하다.)

- ①  $\frac{3}{2}$       ②  $\frac{5}{2}$       ③  $\frac{7}{2}$       ④  $\frac{15}{4}$       ⑤  $\frac{25}{4}$

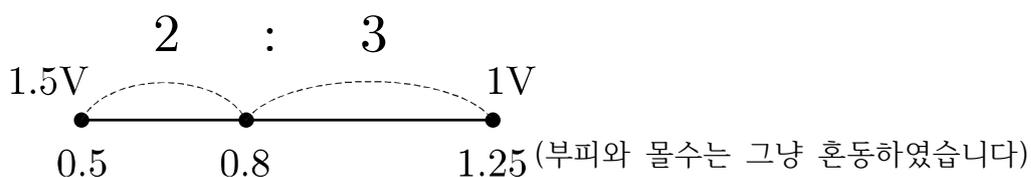
(210619) - 내분을 사용해서 풀어보면 좋습니다. 이미 그 풀이를 안다면 다시 풀 필요는 없습니다.

그래프 시작점은 A의 밀도, 완결점은 C의 밀도임을 알 수 있고, 완결점 이후에는 점 점 밀도가 감소하므로 B의 밀도가 C의 밀도가 작다는 것도 알 수 있습니다. 그래프 개형을 보면 수렴선이 적어도 1보단 작으므로, B의 밀도가 A의 밀도보다도 작다는 것도 알 수 있습니다.

풀어보면

A가 B의 분자량의 2배인데, 그래프에서 초기 시작점은 A의 밀도의 상댓값입니다. 이게 1이므로 B의 밀도는 0.5입니다.

P에서 B와 C의 존재 비율은 2:3인걸 이용하여 내분을 해 보면



위와 같이 C의 밀도 =  $x = 1.25$ 라는 것을 구할 수 있고

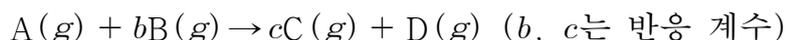
이를 통해  $a=2$ 임을 얻을 수 있습니다.

(답 : 2)

위와 같이 보통은 반응 시작점과 반응 완결점의 밀도의 정보를 통해 문제를 해결하게 됩니다. 한편 다음 상황도 나올 수 있습니다.(케미로직 핫픽스 2-2 예제 18)

**예제 18 - 자작 문항**

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



표는  $A(g)$  8mol이 들어 있는 실린더에  $B(g)$ 를 넣고 반응시켰을 때, B의 양에 따른 반응 후 전체 기체의 밀도에 대한 자료이다.

B의 양(mol)	2	4	12	16
전체 기체의 밀도(g/L)	$4d$	$4d$	$x$	$5d$

$x$ 는?

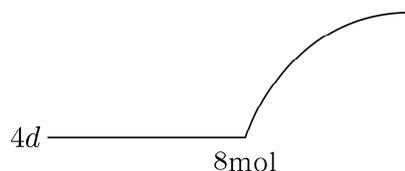
위와 같이 반응물이 두 개인 경우 특이한 상황이 됩니다. 문제의 난이도가 상당히 있는 편이기에, 시간이 없다면 안 풀으시고 풀이 초반만 읽으셔도 됩니다.

잘 안풀린다고 상처받을 필요는 없습니다(이런 문항이 나오긴 힘들고, 연습용입니다)

**풀이** (케미로직 핫픽스에서 복붙)

A가 8mol 존재하고 있었고, A와 B의 계수 비는  $1:b$ 이므로 완결점은 8mol, 16mol, 24mol... 이렇게 8의 배수에서 완결점이 생길 수 있습니다. 그런데, 만약 16mol지점이나 그 이후 지점이 완결점이라고 가정하면 모순이 발생합니다. B를 2mol 투입했을 때, 4mol 투입했을 때는 밀도가 같은데 16mol 투입했을 땐 밀도가 증가하므로, 중간에 첨점을 가져야 하고, 모순이 됩니다.

따라서 완결점은 8mol 지점이고,  $b=1$ 입니다. B를 2mol 투입했을 때, 4mol 투입했을 때 밀도가 같으므로 완결점 이전까지는 밀도가 일정하게 유지됩니다(밀도 그래프는 유리함수꼴(즉, 유리함수, 일차함수, 상수함수)이므로 완결점 이전에선 밀도 그래프가 상수함수여야 합니다). 의문이 생기신다면, 직접 식으로도 증명해보실 수 있습니다.



따라서 시작점과 완결점에서 밀도는 둘 다  $4d$ 입니다.

즉, A의 밀도는  $4d$ 이고, 완결점에서 C와 D는 각각  $8cmol$ ,  $8mol$  존재하므로 C와 D의 밀도를  $1:c$ 로 내분한 값도  $4d$ 입니다.

여기서 밀도 그래프가 완결점 이전에서 상수인 이유를 알 수 있습니다. C와 D는 반응 전 존재하지 않았으므로 실린더 내에서 항상 개수 비가  $c:1$ 로 유지됩니다. 즉 두 기체를 하나로 취급하면 밀도가  $4d$ 입니다. 즉, 완결점 이전에선 A의 밀도가  $4d$ , 'C와 D가 항상  $c:1$ 로 존재하므로 이 둘을 하나로 취급한 임의의 기체 E'의 밀도가  $4d$ 이므로, 분자량이 같은 기체를 섞은 것과 같고, 분자량이 같은 기체는 어떤 비율로 섞더라도 밀도가 일정하게 유지됩니다.

이제 C와 D를 묶어서 그냥 기체 E로 보고, 계수는  $c+1$ 이라고 하겠습니다.

시작점에서 A는 8mol 존재하고 밀도가  $4d$ 이므로 곱해서 질량을 적당히  $32d$ 라고 둘 수 있습니다. 완결점에서 E는  $(8c+8)mol$  존재합니다. 완결점에서도 밀도가  $4d$ 이므로 곱하면 질량은  $32cd+32d$ 입니다. 즉 추가로 투입된 질량은  $32cd$ 이며, 이는 B 8mol에 대응되므로 B는 1mol당 질량이  $4cd$ 입니다.

B를 16mol 투입했을 때 상황을 봅시다. 투입된 B의 질량은  $64cd$ 입니다. 초기 A의 질량은  $32d$ 이므로 전체 질량은  $64cd+32d$ 이고, 전체 몰수를 구해봅시다. 완결

점과 같이 E는  $(8c+8)$ mol 존재하고, 반응하지 않고 남은 B 8mol을 더해서,  $(8c+16)$ mol임을 알 수 있습니다. 따라서  $\frac{64cd+32d}{8c+16}=5d$ 를 풀면  $c=2$ 를 얻습니다.

마지막으로, 12mol 투입했을 때 상황을 관찰합시다.

E는  $(8c+8)$ mol = 24mol 존재하고, B는 4mol이 남습니다.

E는 1mol당 질량(즉 밀도)가  $4d$ 이고, B는  $4cd=8d$ 입니다.

따라서  $4d$ 와  $8d$ 를 1:6으로 내분하면 답은  $\frac{32}{7}d$ 입니다.

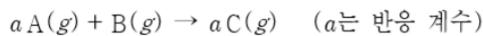
정답 :  $\frac{32}{7}d$

- 단위 질량당 부피의 활용

단순히 밀도의 역수로 생각해서 풀면 되는 경우가 많고 앞에서 이미 다뤘습니다. 이 파트에서는 단위 질량당 부피를 내분하는 법을 한번 알아보도록 합시다.

수능을 앞둔 학생들의 경우 모르셨다면 넘기셔도 됩니다. 굳이 새로 배울 필요는 없는 풀이입니다.

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



표는 실린더에 A(g)와 B(g)를 넣고 반응을 완결시킨 실험 I ~ III에 대한 자료이다.

실험	반응 전			반응 후 전체 기체의 부피(상댓값)
	A(g)의 질량(g)	B(g)의 질량(g)	전체 기체의 밀도(상댓값)	
I	4	3	4	4
II	4	4		5
III	12	2	5	$x$

$\frac{x}{a}$ 는? (단, 기체의 온도와 압력은 일정하다.) [3점]

- ①  $\frac{3}{2}$     ②  $\frac{7}{3}$     ③ 3    ④  $\frac{7}{2}$     ⑤ 4

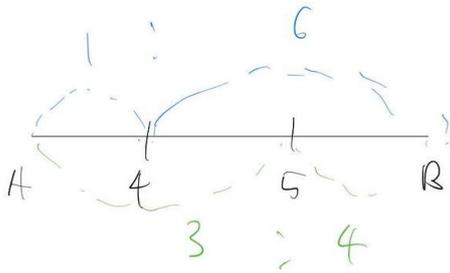
실험 I 과 III에서 밀도의 역수비는 5:4이므로 단위 질량당 부피의 비도 5:4입니다.

실험 I 에서 질량비는 4:3, 실험 II 에서는 6:1입니다.

따라서 A의 단위 질량당 부피와 B의 단위 질량당 부피를 3:4로 내분했을 때 5이고

A의 단위 질량당 부피와 B의 단위 질량당 부피를 1:6으로 내분했을 때 4입니다.

이 경우 수직선을 그리고 내분비를 두 번 나타내서 해결하면 됩니다.



A의 단위질량당 부피가 3.5, B의 단위질량당 부피가 7임을 알 수 있습니다.  
따라서 단위질량당 부피, 즉 1g당 질량의 비가 1:2이며, 분자량 비는 2:1입니다.  
따라서 실험 I의 반응 전 조성 몰비가 2:3임을 구할 수 있고 나머지는 같습니다.

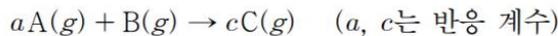
### 3. 혼합기체 내부 특정 기체의 밀도

혼합기체 내부 특정 기체의 밀도를 꼭 집어서 조건으로 제시하는 건 사설에선 빈출유형이나, 평가원이나 교육청에선 보통 전체 기체의 밀도를 조건으로 제시하였기에 자주 나오진 않았습니다. 그런데 이번 9평에서 핵심조건으로 제시되었고, 이 때문에 혼합기체 내부 특정 기체의 밀도가 어떤 의미를 가지는지 알아야 합니다.

- 단순 계산

혼합 기체의 총 부피와 특정 기체의 밀도를 곱하면 그 기체의 질량을 얻을 수 있습니다. 따라서 부피와 밀도의 곱은 그 기체의 질량 비(몰수 비)와 비례하게 됩니다.

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



표는 실린더에 A(g)와 B(g)의 질량을 달리하여 넣고 반응을 완결시킨 실험 I~III에 대한 자료이다.

실험	반응 전		반응 후		
	A의 질량(g)	B의 질량(g)	A 또는 B의 질량(g)	C의 밀도 (상댓값)	전체 기체의 부피(상댓값)
I	1	w	$\frac{4}{5}$	17	6
II	3	w	1	17	12
III	4	w+2		x	17

$\frac{x}{c} \times \frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}}$  은? (단, 온도와 압력은 일정하다.) [3점]

- ①  $\frac{21}{4}$     ②  $\frac{17}{2}$     ③  $\frac{39}{4}$     ④  $\frac{27}{2}$     ⑤  $\frac{39}{2}$

(220920) 이 칼럼의 핵심 문제이니 다시 풀어보시는걸 권장합니다.

우선 이 밀도 자료를 단순히 계산하여 이용한다면, 밀도는 같고 부피의 비가 1:2이므로 실험 I과 실험 II에서 생성된 C의 양이 1:2라는 것을 얻어내고 이를 통해 실험 I과 II를 분석할 수 있습니다. 이를 이용해서 문제를 풀어봅시다.

실험 I에서 한계 반응물이 B라면 실험 II에서도 한계 반응물은 B인데, 이러면 생성된 C의 양이 같아야 하므로 모순입니다. 따라서 실험 I에서 한계 반응물은 A입니다. 실험 II에서 한계 반응물이 A이면 생성된 A의 몰수 비가 실험 I과 II에서 1:3이 되는데, 이는 앞서 구한 비율과 모순이므로 실험 II에서 한계 반응물은 B입니다.

실험 II에서 반응 후 남은 A의 질량이 1g이므로 반응 질량비는  $2:w$ 입니다.

실험 I에서 반응 후 남은 B의 질량이  $\frac{4}{5}g$ 인데 반응 질량비를 이용하면 이는  $\frac{w}{2}$ 와 같습니다. 따라서  $w = \frac{8}{5}$ 입니다.

편하게 상댓값을 잡아봅시다. 반응 질량비를 이용하면, A 1g을  $a\text{mol}$ 이라고 두면 B  $\frac{8}{5}(=w)g$ 은  $2\text{mol}$ 이 됩니다.

실험 I, II, III에서 반응 전 질량을 몰수로 환산해주고 (A,B)쌍으로 나타내면  $(a, 2)$ ,  $(3a, 2)$ ,  $(4a, 4.5)$ 가 됩니다. 반응을 시켜주고 (A,B,C)쌍으로 나타내면  $(0, 1, c)$ ,  $(a, 0, 2c)$ ,  $(0, 0.5, 4c)$ 입니다.

몰수의 총 합은 전체 기체의 부피와 비례하므로

$1+c : a+2c : 0.5+4c = 6 : 12 : 17$ 를 잘 풀면  $a=2$ ,  $c=2$ 를 얻습니다.

따라서 반응 후 몰 순서쌍은  $(0, 1, 2)$ ,  $(2, 0, 4)$ ,  $(0, 0.5, 8)$ 이 됩니다.

실험 I에서 반응 후 C의 질량의 상댓값은  $17 \times 6$ 이고, 이는 C  $2\text{mol}$ 입니다.

실험 III에서 반응 후 C는  $8\text{mol}$ 이므로 질량의 상댓값은  $17 \times 24$ 입니다. 따라서  $x=24$ 를 얻습니다.

반응 질량비는  $A:B:C=5:4:9$ 이므로 반응 분자량 비는  $B:C=4:4.5$ 임을 쉽게 알 수 있습니다.

마무리해주면 답은 4번입니다.

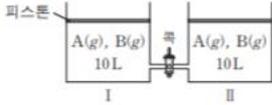
위와 같이 정직하게 밀도를 단위 부피당 질량 그 자체로 봐서 전체 기체의 부피를 곱해서 질량을 얻고, 해석하는 방법도 나쁘지 않습니다.

- 몰분율로의 해석

20. 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하는 화학 반응식과 실험이다.

○ 화학 반응식:  $A(g) + bB(g) \rightarrow 2C(g)$  ( $b$ 는 반응 계수,  $b < 4$ )

[실험 과정]  
 (가) 그림과 같이 실린더 I와 II에 A(g)와 B(g)의 혼합 비율을 달리하여 각각 10L씩 넣는다. 반응 전 I에서  $\frac{A \text{의 몰수}}{B \text{의 몰수}} > 2$ 이다.



(나) I와 II에서 반응이 완결된 후, 실린더 속 기체의 부피를 측정한다.  
 (다) 콕을 열어 반응이 완결된 후, 실린더 속 기체의 부피를 측정한다.

[실험 결과]

과정	I의 부피(L)	II의 부피(L)	I에서 C(g)의 단위 부피당 질량(g/L)
(나)	8	8	$d_1$
(다)	$V$	$V$	$d_2$

$\frac{d_1}{d_2}$ 은? (단, 온도와 대기압은 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰, 연결관의 부피는 무시한다.) [3점]

- ①  $\frac{3}{4}$     ②  $\frac{7}{12}$     ③  $\frac{1}{2}$     ④  $\frac{7}{16}$     ⑤  $\frac{3}{8}$

(170620) - 풀어볼 필요 없음

이 문항의 경우 마지막에서  $d_1$ 과  $d_2$ 를 C의 몰분율로 해석해서 구하면 편합니다.

몰분율은  $\frac{\text{해당 몰수}}{\text{전체 몰수}}$ 를 의미합니다. 예를 들어 A, B, C가 각각 4mol, 5mol, 1mol

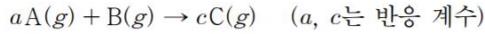
존재하는 혼합 기체 내에서 A의 몰분율은  $\frac{2}{5}$ , B의 몰분율은  $\frac{1}{2}$ , C의 몰분율은  $\frac{1}{10}$ 입니다.

특정 기체의 단위 부피당 질량은  $\frac{\text{특정 기체의 질량}}{\text{전체 부피}} \propto \frac{\text{특정 기체의 몰수}}{\text{전체 몰수}}$ 이므로 몰분율과 비례하게 됩니다.

위 문항에선  $d_1$ 과  $d_2$ 의 비율만을 물어봤습니다. 즉 상댓값으로 풀어도 무방하므로, 문자를 잡아서 소거를 할 필요 없이 그냥 C의 몰분율의 비율을 구해주면 마무리를 쉽게 할 수 있습니다.

이제 9평 문항을 다시 봅시다.

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



표는 실린더에 A(g)와 B(g)의 질량을 달리하여 넣고 반응을 완결시킨 실험 I~III에 대한 자료이다.

실험	반응 전		반응 후		
	A의 질량(g)	B의 질량(g)	A 또는 B의 질량(g)	C의 밀도 (상댓값)	전체 기체의 부피(상댓값)
I	1	w	$\frac{4}{5}$	17	6
II	3	w	1	17	12
III	4	w+2		x	17

$\frac{x}{c} \times \frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}}$  은? (단, 온도와 압력은 일정하다.) [3점]

- ①  $\frac{21}{4}$     ②  $\frac{17}{2}$     ③  $\frac{39}{4}$     ④  $\frac{27}{2}$     ⑤  $\frac{39}{2}$

실험 I 과 실험 II의 반응 전 A와 B의 조성비는 다릅니다. 그런데 반응 후 C의 밀도, 즉 C의 몰분율이 같으므로 실험 I 과 실험 II의 한계 반응물이 달라야 하며, 질량이 증가한 A를 관찰하면 실험 I에서는 A가 한계 반응물, 실험 II에서는 B가 한계 반응물임을 바로 얻을 수 있습니다.

위 문장이 바로 이해가지 않으니 조금 생각해 보세요. 아래에 좀 더 풀어서 설명하겠습니다.

위 문장을 제대로 증명 해봅시다. 실험 I, II에서 한계반응물이 같은데 반응 후 C의 몰분율이 같다고 가정하면, 반응 후 남은 물질과 C의 몰수 비가 같습니다. (예를 들어, C의 몰분율이  $\frac{1}{4}$ 이면 남은 반응물의 몰분율은  $\frac{3}{4}$ 가 되어야 합니다) 따라서 반응을 되돌리면 반응 전 반응물의 몰수 비도 같게 됩니다. 따라서 반응 후 C의 몰분율이 같으면 한계 반응물이 다르거나 반응 전 반응물의 몰수 비가 같아야 합니다.

**주의할 점 :** 반응 전에 생성물이 미리 존재하는 상황이면 위의 증명이 성립하지 않을 수 있습니다. 위 증명은 반응 전에 생성물이 미리 존재하지 않을 때만 성립합니다.

또한 마무리를 할 때, 밀도를 몰분율의 상댓값이라고 보고 마무리를 해 봅시다.

실험 I에서 반응 후 조성은 (A,B,C) = (0, 1, 2)이므로 반응 후 C의 몰분율은  $\frac{2}{3}$ 입니다. 실험 III에서 반응 후 조성은 (A,B,C) = (0, 0.5, 8)이므로 반응 후 C의 몰분율은  $\frac{16}{17}$ 입니다. 밀도는 몰분율의 상댓값이므로,  $\frac{2}{3} : \frac{16}{17} = 17 : x$ 를 풀어주면  $x = 24$ 를 얻을 수 있습니다.

- 물분율을 이용해서 전체 기체의 밀도 구하기

$$\frac{w_A + w_B}{V_A + V_B} = \frac{V_A d_A + V_B d_B}{V_A + V_B} = \frac{n_A d_A}{n_A + n_B} + \frac{n_B d_B}{n_A + n_B}$$
임을 이용합니다.

예시를 들어 빠르게 설명하고 넘어가겠습니다.

A가 혼자 존재할 때의 기체 밀도는  $4d$ , B는  $10d$ 라고 해 봅시다.

이 때 A와 B가 1:2로 존재한다면 내분을 사용하면 혼합 기체의 밀도가  $8d$ 임을 구할 수 있습니다.

하지만 물분율을 이용해서 생각하면, A의 밀도는  $4d \times \frac{1}{3} = \frac{4d}{3}$ 이고, 마찬가지로 B의 밀도는  $\frac{20d}{3}$ 이므로 그 둘의 합은  $8d$ 로 내분을 이용한 계산 결과와 같습니다.

- 양적 관계 투입 유형에서의 그래프 개형

혼한 상황인  $aA + bB \rightarrow cC$ 이고, A가 이미 들어있는 상황에서 B를 첨가하는 상황을 생각해 봅시다. (상태표시를 귀찮아서 하지 않았으나 모두 기체입니다)

반응물의 개형의 경우, 단순합니다. A는 처음에 자기 혼자 존재하므로 물분율이 1입니다. 즉 A의 밀도가 초기 지점에서 최대입니다. 반응 완결점에 도달하면 그 이후부터 A는 존재하지 않으므로 밀도는 0이 됩니다. 즉 시작점에서는 자기자신의 이고, 완결점에서 0이 되는 감소 그래프를 그리게 됩니다.

B는 완결점 이전까지 존재하지 않으므로, 물분율(밀도)가 0입니다. 완결점 이후부터 계속 B가 쌓이게 되는데, 충분히 무한히 투입하면 C를 무시할 수 있으므로 B 자기 자신의 밀도로(혼자 존재할 때 밀도)로 수렴하게 됩니다. 즉 완결점에서부터 밀도가 증가하고 자기 자신의 밀도로 수렴하는 그래프 개형이 그려집니다.

생성물인 C의 경우, 처음엔 존재하지 않으므로 밀도 0에서부터 시작합니다. 이후 완결점에서 C만 존재하므로 물분율은 최댓값인 1입니다. 따라서 이 때 C의 밀도는 C 자기 자신의 밀도가 됩니다. 이후 B를 더 투입하면 계속 감소하게 되고 0으로 수렴합니다.

생성물이 미리 존재한다면, A와 B를 미리 반응시켜서 C를 얻고, 거기에 B를 더 넣은 것처럼 생각하면 쉽습니다.

복잡한 상황인  $aA + bB \rightarrow cC + dD$ 의 경우 따질게 많습니다.

반응물의 경우 특별할건 없습니다.

생성물이 미리 존재하는 상황이 아니라면 C의 밀도는 완결점에서  $\frac{c}{c+d} \times d_c$ 가 됩니다( $d_c$ 는 C 혼자 존재 할 때의 밀도). 완결점에서 C와 D가  $c:d$ 로 존재하니 당연합니다. D도 비슷합니다.

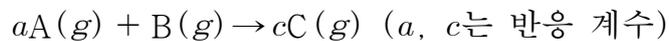
생성물이 미리 존재한다면 상당히 특이한 상황이니 물분을 그 자체로 보고 해석하는게 유리합니다. 개형적 특징을 이용하는게 불가능한 것은 아니나, 그 시간에 그냥 물 분으로 보고 해석하는게 더 빠릅니다.

C의 밀도 그래프를 이용한 문제를 마지막으로 풀어보고 끝내도록 하겠습니다.

(케미로직 핫픽스 예제 17, 어렵습니다. 안 풀고 첫 페이지 그래프 개형만 봐도 됩니다. 꽤 많이 어려우니 틀렸다고 상처받을 필요 없습니다)

### 예제 17 - 자작 문항

다음은  $A(g)$ 와  $B(g)$ 가 반응하는 화학 반응식이다.



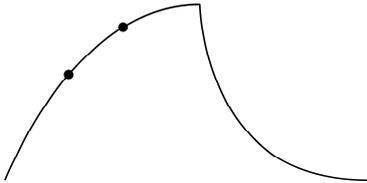
표는  $A(g)$  10mol이 들어 있는 실린더에  $B(g)$ 를 투입하여 반응을 완결시켰을 때, B의 질량에 따른 반응 후 실린더 내 기체에 대한 자료이다.

B의 질량(g)	$4w$	$5w$	$9w$
C의 단위 부피당 질량 (상댓값)	10	15	18
남은 반응물의 양(mol)	$x$		1

$\frac{c}{a} \times x$ 는(단, 온도와 압력은 일정하다)?

**풀이** (케미로직 핫픽스 복붙)

C의 단위 부피당 질량의 변화를 먼저 생각해 봅시다. C는 처음에 존재하지 않으므로 단위 부피당 질량은 시작점에서 0이고, 완결점에서 C만 존재하므로 최댓값에 도달할 것입니다. 또한 완결점 이후엔 B가 계속 투입되므로 0으로 수렴해 갈 것임을 예측할 수 있습니다.



대강 이런 개형이 됩니다.

투입한 B의 질량이  $4w$ ,  $5w$ ,  $9w$ 로 증가함에 따라 C의 단위 부피당 질량도 계속 증가하므로, 적어도  $4w$ 지점과  $5w$ 지점은 완결점 이전임을 예상할 수 있습니다.  $9w$ 지점이 완결점 이후인지 이전인지는 직접 증명해 봐야 알 수 있습니다.

우선  $4w$ 지점과  $5w$ 지점이 완결점 이전인 것은 확실하므로, 생성된 C의 양(mol)을 적당히 4, 5라고 상댓값을 잡아도 무관합니다. C의 몰수와 질량은 비례하므로, C의 양(mol)을 C의 단위 부피당 질량으로 나눠주면 전체 기체의 부피와 비례하는 값을 얻을 수 있습니다. 나눠주면 각각  $\frac{2}{5}$ 와  $\frac{1}{3}$ 을 얻고, 적당히 상댓값을 잡아 각각  $6k$ 과  $5k$ 라고 둡시다.

넣은 B	$0w$	$4w$	$5w$	(완결점) $tw$	
생성된 C	0	$4r$	$5r$	$t$	
C의 밀도	0	10	15	?	
전체 기체 부피	$10k$	$6k$	$5k$		

넣은 B의 질량이  $4w$ 에서  $5w$ 로 증가하면서 전체 기체 부피가  $k$  감소했습니다.  $4w$  되돌아가서 초기점을 보면, 선형성에 따라 시작점에서 전체 기체 부피는  $10k$ 가 될 것임을 알 수 있습니다.

한편 시작점에서 기체는 A만 존재하고, 10mol을 넣었으므로  $k=1$ 임을 알 수 있습니다.

### Case 1

만약  $9w$ 지점이 완결점 이전이라고 가정하면, 일차함수성에 의해 전체 기체의 양 (mol)이 1이 됩니다. 문제의 조건에 따르면  $9w$ 지점에서 남은 반응물의 양(mol)은 1mol인데 전체 기체의 양도 1mol이므로, 이러면 생성된 C의 양이 0mol이 되어 모순입니다.

### Case 2

따라서  $9w$ 지점은 완결점 이후입니다. 완결점에서 B를  $tw$  투입했다고 가정하면 표는 다음과 같이 그려집니다.

넣은 B	(시작점) $0w$	$4w$	$5w$	(완결점) $tw$	$9w$
생성된 C	0	$4r$	$5r$	$tr$	$tr$
C의 밀도	0	10	15	?	18
전체 기체 몰수	10	6	5	$10-t$	

여기서 발상이 필요합니다.  $9w$ 지점에서 존재하는 기체는 B와 C이며, 이때 C의 양(mol)은 완결점에서의 전체 기체 몰수와 일치합니다. 즉,  $10-t$ 입니다.

문제의 조건에 따르면  $9w$ 지점에서 남은 반응물(즉 B)의 양은 1mol이므로, 전체 기체의 몰수는  $11-t$ 임을 알 수 있습니다.

넣은 B	(시작점) $0w$	$4w$	$5w$	(완결점) $tw$	$9w$
생성된 C	0	$4r$	$5r$	$tr$	$tr$
C의 밀도	0	10	15	?	18
전체 기체 몰수	10	6	5	$10-t$	$11-t$

따라서, 표는 위와 같이 그려집니다.

한편, 생성된 C와 C의 밀도, 전체 기체 몰수 간의 상관관계를 다시 관찰하면, 앞서  $4w$ 지점과  $5w$ 지점에서 전체 기체 몰수의 상댓값을 구했을 때처럼, 생성된 C의 양을 C의 밀도로 나눠주고, 15를 곱한 후  $r$ 을 빼면 됩니다. (예를 들어,  $4w$ 지점

$$\text{에서 } \frac{4r}{10} \times 15 = 6r)$$

따라서  $9w$  지점에서  $\frac{t}{18} \times 15 = 11 - t$ 를 만족하므로,  $t = 6$ 을 얻습니다. 이제 완결점에서 생성된 C가 4mol인 것을 이용해서 표를 채우면 다음과 같습니다.

넣은 B	(시작점) $0w$	$4w$	$5w$	(완결점) $tw$	$9w$
생성된 C	0	$\frac{8}{3}$	(필요X)	4	4
C의 밀도	0	10	15	(필요X)	18
전체 기체 몰수	10	6	5	4	5

$6w$ 지점과  $9w$ 지점을 비교하면, 완결점 이후인데 전체 기체 몰수가 1 증가했으므로 B는  $3w$ 당 1mol입니다.

따라서, 완결점을 관찰하면 B 2mol과 A 10mol이 반응하여 C 4mol을 생성한다는 것을 알 수 있습니다. 따라서  $a = 5$ ,  $c = 2$ 입니다.

마지막으로,  $x$ 를 구해야 하는데 이는  $4w$ 지점에서 전체 기체 몰수에서 생성된 C의 양을 빼면 되므로  $x = \frac{10}{3}$ 입니다.

따라서  $\frac{c}{a} \times x = \frac{2}{5} \times \frac{10}{3} = \frac{4}{3}$ 입니다.

정답 :  $\frac{4}{3}$

긴 수험생활.. 정말 수고하셨습니다. 꼭 노력한 만큼, 아니 그 이상의 성적을 받으시길 바랍니다. 수능 당일 오후가, 그리고 그 이후도 행복하시길 바랍니다. 여러분은 그럴 자격이 있습니다.

감사합니다.