

03. 화학식, 화학반응식

미정계수법

: 반응식을 완결시키는 방법

① 임의의 계수 정하기



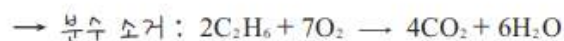
② 관계식 만들기

$$C : 2a = x$$

$$H : 6a = 2y$$

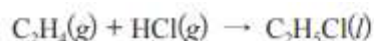
$$O : 2b = 2x + y$$

$$\text{if) } a=1 \text{ 면 } x=2, y=3, b=\frac{7}{2}$$



※ 반응식의 계수비 = 몰수의 비 = 분자수의 비 = 부피의 비(g)

• 화학 양론(화학 계산)



$C_2H_4(g)$ 가 15g이 있으면 반응하는 $HCl(g)$ 은 몇 g이 필요한가?

① $C_2H_4(g)$ 은 몇 몰인가?

$$C_2H_4(g) \text{의 몰질량} = 28g/mol$$

$$C_2H_4(g) \text{ 15g의 몰수} = \frac{15g}{28g/mol} = 0.536mol$$

② $C_2H_4(g)$ 1몰이 1몰과 반응하므로, $HCl(g)$ 도 $C_2H_4(g)$ 와 같은 개수(0.536mol)가 필요하다.

③ $HCl(g)$ 의 몰질량은?

$$1(H) + 35.5(Cl) = 36.5g/mol$$

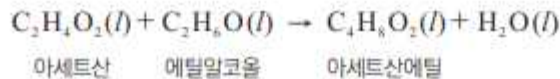
④ 0.536mol의 질량은?

$$0.536mol \times 36.5g/mol = 19.6g \text{ HCl}$$

∴ 15g과 반응하는 HCl 의 양은 19.6g이다.

$$\text{수득율} = \frac{\text{실제얻은 양}}{\text{이론적양}} \times 100$$

매니큐어를 지울 때 용매로써 사용되는 무색 액체인 아세트산에틸($C_4H_8O_2$)은 상업적으로 아세트산($C_2H_4O_2$)과 에틸알코올(C_2H_6O)의 반응에 의해 만들어진다. 반응의 백분 수득률이 87%일때, 45.0g의 아세트산으로부터 얻게 되는 아세트산에틸은 몇 g인가?



아세트산($C_2H_4O_2$)의 분자량 = $(2 \times 12.0) + (4 \times 1.0) + (2 \times 16.0) = 60.0 \text{ g/mol}$

아세트산에틸($C_4H_8O_2$)의 분자량 = $(4 \times 12.0) + (8 \times 1.0) + (2 \times 16.0) = 88.0 \text{ g/mol}$

45g의 아세트산의 몰수 = $45 \text{ g} / 60.0 \text{ (g/mol)} = 0.750 \text{ mol}$

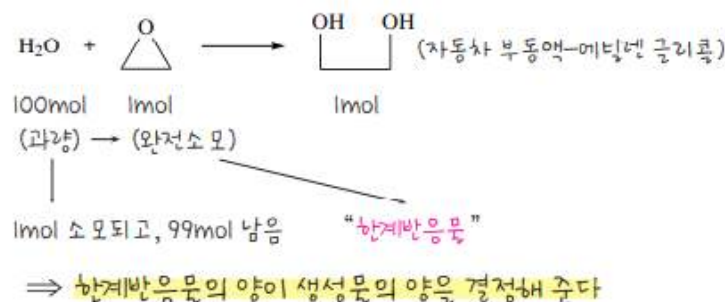
완결된 반응식에서 아세트산 1mol은 아세트산에틸 1mol을 생성하므로 이론적으로 아세트산에틸 0.750mol이 생성된다.

이론적인 아세트산에틸의 g수 = $0.750 \text{ mol} \times 88.0 \text{ (g/mol)} = 66.0 \text{ g}$

백분 수득률이 87%이므로 $66.0 \text{ g} \times 0.87 = 57 \text{ g}$ 의 아세트산에틸을 얻을 수 있다.

한계 반응물

: 반응물이 두 종류 혹은 세 종류 일 때 그 중에서 가장 적은 몰수준 가지고 있는 화합물



한계 반응물 문제의 해결 요령

반응물의 양 (몰수)가 제시된 문제는 거의 한계 반응물 문제이다. 이 경우에는 각각의 반응물에 대한 양론을 계산하는 것을 연습하도록 하라.

- ① 반응식을 완결한다(문제 중에는 화학 반응식이 제시되어 있지 않은 경우도 있다).
- ② 각각의 반응물에 대한 비례식을 수립하여 어느 반응물이 한계 반응물인지를 판단한다
- ③ 생성물의 양은 한계 반응물의 양에 의해 결정되므로 한계 반응물의 양에 중점을 둔다.

[문제 1]

다음 화학식에서 H_2 2mol과 CO 2mol이 반응하여 생성되는 CH_4 의 몰수를 산하라.



① 0.33mol

② 0.67mol

③ 2.0mol

④ 3.0mol

해설)



2mol 2mol ? mol

Point! 반응물의 양이 다 나와있다면 한계 반응물 문제이다.

$$\text{계수비} = 3 : 1 : 1 : 1$$

i) CO 에 대해 : CO 가 2mol이 있다고 했으므로

$$3 : 1 : 1 : 1 = 6 : 2 : 2 : 2$$

→ H_2 는 2mol 밖에 없으므로 H_2 는 모두 소모된다. 즉, H_2 는 한계 반응물이다!

ii) H_2 에 대해 : H_2 가 2mol이 있다고 했으므로

$$3 : 1 : 1 : 1 = 2 : 0.67 : 0.67 : 0.67$$

→ CO 는 2mol이 있으므로 0.67mol이 소모되고 1.33mol이 남는다.

∴ 한계 반응물인 H_2 가 CH_4 의 mol 수를 결정 ; 0.67mol

정답 : ②

[문제 2]

25g의 PCl_3 와 45g의 PbF_2 로부터 얻을 수 있는 PbCl_2 의 질량은 얼마인가?

(PCl_3 , PbF_2 , PbCl_2 의 g분자량은 각각 137, 264, 278g/mol이다)

① 43.5g

② 47.3g

③ 50.9g

④ 75.9g

해설)

문제의 제시된 바에 의하면 화학 반응식을 임의로 만들 수는 없다.

왜냐하면 생성물은 한 가지만 주어졌기 때문이다. 즉, 문제에서 제시된 내용에 의거하여 문제를 해결하여야 한다.

$\text{PCl}_3 + \text{PbF}_2 \rightarrow \text{PbCl}_2$ 의 반응식에서 PCl_3 에서는 Cl을 얻을 수 있고 PbF_2 에서는 Pb를 얻어 생성물이 된다고 생각할 수 있으며, 생성물이 1mol이 생성되기 위해서는 PCl_3 는 2/3mol이 반응하여야 하고 PbF_2 는 1mol이 반응하여야 한다.

즉, $\text{PCl}_3 : \text{PbF}_2 : \text{PbCl}_2 = 2/3\text{mol} : 1\text{mol} : 1\text{mol} = 2\text{mol} : 3\text{mol} : 3\text{mol}$ 의 몰수의 비를 얻을 수 있다. 또한 PCl_3 25g은 0.18mol에 해당하고, PbF_2 45g은 0.17mol에 해당함을 분자량으로써 알 수 있다. 이제 어느 반응물이 한계시약인지 결정하여야 한다.

○ PCl_3 에 대하여 :

$$\text{PCl}_3 : \text{PbF}_2 : \text{PbCl}_2 = 2\text{mol} : 3\text{mol} : 3\text{mol} = 0.18\text{mol} : 0.27\text{mol} : 0.27\text{mol}$$

⇒ 현재 PCl_3 가 0.18mol이 있으므로 반응할 수 있는 PbF_2 는 0.27mol까지 반응할 수 있으나, 현재 0.17mol밖에 없으므로 PbF_2 는 완전히 소비되어 버리며 한계시약이 된다.

○ PbF_2 에 대하여 :

$$\text{PCl}_3 : \text{PbF}_2 : \text{PbCl}_2 = 2\text{mol} : 3\text{mol} : 3\text{mol} = 0.11\text{mol} : 0.17\text{mol} : 0.17\text{mol}$$

⇒ PbF_2 가 0.17mol이 반응할 경우에 반응할 수 있는 최대 PbCl_2 는 0.11mol이나 현재는 0.18mol이 존재하므로 0.07mol이 남는다.

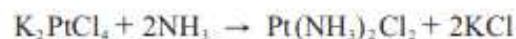
결론적으로 한계 반응물은 PbF_2 이며 PbF_2 의 몰수에 의하여 반응물의 양이 결정된다.

즉, 0.17mol의 PbF_2 가 반응할 때 생성물은 0.17mol이 생성되며 PbCl_2 0.17mol은 47g이다.

정답 : ②

[문제 3]

악성 종양을 치료하는데 쓰이는 항암제인 시스플라틴은 사염화백금산칼륨과 암모니아의 반응에 의해 만들어진다.



10.0g의 K_2PtCl_4 가 10.0g의 NH_3 와 반응한다고 가정하라.

(a) 어느 반응물이 한계 반응물이며, 어느 반응물이 과다한 상태로 존재하는가?

(b) 과다한 반응물 몇 g이 소비되는가?

(c) 시스플라틴 몇 g이 생성되는가? [K_2PtCl_4 : 415.3, $\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$: 300.1]

해설)

○ K_2PtCl_4 에 대해서 ⇒ $1\text{mol} : 2\text{mol} = 415.3\text{g} : 34\text{g} = 10\text{g} : 0.819\text{g}$ 현재 NH_3 는 10g이 있으므로 $10 - 0.819 = 9.191\text{g}$ 의 암모니아가 남으며, K_2PtCl_4 는 완전히 소모된다.

○ NH_3 에 대해서 ⇒ $1\text{mol} : 2\text{mol} = 415.3\text{g} : 34\text{g} = 122.1\text{g} : 10\text{g}$ 현재 K_2PtCl_4 는 10g밖에 없으므로 K_2PtCl_4 는 완전 소모된다.

- (a) 완전 소모가 되는 시약인 K_2PtCl_4 가 한계 시약이다. 또한 NH_3 는 과다한 상태로 존재한다.
 (b) 과다한 반응물 NH_3 는 0.819g이 소모되며, 9.191g이 남는다.
 (c) 생성되는 시스플라틴의 양은 한계시약인 K_2PtCl_4 에 의해서 결정되며, 1mol의 K_2PtCl_4 가 반응할 때 1mol의 시스플라틴이 생성되므로 $415.3g : 300.1g = 10g : 7.23g$, 즉 7.23g이 생성된다.

● $M(\text{몰})\text{농도} = \text{용액 } 1000\text{ml} : \text{용질 } \text{mol 수}$

몰농도는 용액 1000mL에 녹아 있는 용질의 몰수이다.

$$\text{몰농도}(M) = \frac{\text{용질의 몰수}(\text{mol})}{\text{용액의 부피}(L)}$$

[문제]

묽은 황산 2.355g을 녹여 최종 부피가 50.0mL가 되게끔 희석시켰을 때 만들어진 용액의 몰농도는?
 (황산의 분자량 : 98)



$$\text{용액 } 50\text{mL} : \text{용질 } 2.355\text{g} \rightarrow \text{용액 } 1000\text{mL} : x\text{ g}$$

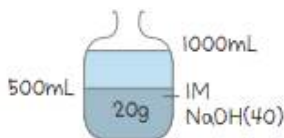
$$\therefore x = 47.1\text{g}$$

$$\text{황산의 분자량으로 나누어 주면 몰수를 구할 수 있다; 용질 몰수} = \frac{47.1\text{g}}{98} = 0.48\text{mol}$$

$$\text{용액 } 1000\text{mL} : \text{용질 } 0.48\text{mol} \rightarrow 0.48M$$

● 희석

: 농도를 묽혀준다



$$\text{희석 전} : 1M \text{ NaOH } 500\text{mL} \rightarrow \text{희석 후} : 1000\text{ml} : \text{용질 } 20\text{g} = 1000\text{ml} : 0.5\text{mol}$$

$$\text{용액 } 1000\text{mL} : \text{용질 } 1\text{mol} \quad \therefore 0.5M$$

$$= \text{용액 } 1000\text{ml} : \text{용질 } 40\text{g}$$

$$= \text{용액 } 500\text{ml} : \text{용질 } 20\text{g}$$

※ 희석이란 용질의 양은 변하지 않고, 농도만 묽혀주는 것

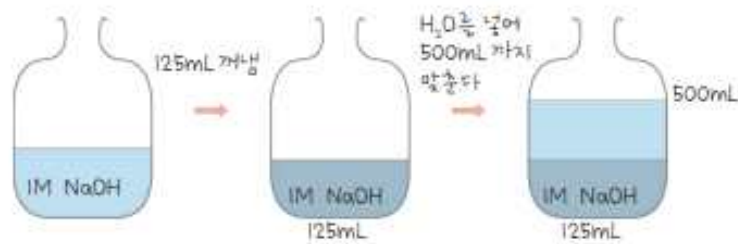
<ex> 1M NaOH로 0.25M NaOH 500mL 만들기

$$0.25M \rightarrow \text{용액 } 1000\text{mL} : \text{용질 } 0.25\text{mol} = \text{용액 } 500\text{mL} : 0.125\text{mol}$$

$$1M \text{ NaOH} \rightarrow \text{용액 } 1000\text{mL} : \text{용질 } 1\text{mol} = \text{용액 } x \text{ mL} : \text{용질 } 0.125\text{mol}$$

$$x = 125\text{mL}$$

\therefore 1M NaOH 125mL를 취해 500mL까지 물을 넣어 맞추어 주면 0.25M NaOH 500mL가 된다.



cf) 산을 묽힐 때에는 반드시 물에 산을 넣어야 한다. 왜냐하면 산에 물을 넣을 경우에는 급격한 발열반응이 일어나기 때문이다.

[문제 1]

HCl의 묽은 용액인 위산은 다음 반응에 따라 탄산수소나트륨(NaHCO_3)과의 반응에 의하여 중화될 수 있다.



18.0mL의 0.100M HCl을 중화하는 데 몇 mL의 0.125M NaHCO_3 용액이 필요한가?

해설)

○ 0.100M HCl 18.0mL

$$\rightarrow \text{용액 } 1000\text{mL} : \text{용질 } 0.100\text{mol} = \text{용액 } 18.0\text{mL} : \text{용질 } 1.80 \times 10^{-3}\text{mol}$$

○ $\text{HCl} : \text{NaHCO}_3 = 1\text{몰} : 1\text{몰}$ 의 화학양론으로 반응하므로 NaHCO_3 도 $1.80 \times 10^{-3}\text{mol}$ 이 필요하다.

○ 0.125M NaHCO_3 용액 1000mL : 용질 0.125mol = 14.4mL : 용질 $1.80 \times 10^{-3}\text{mol}$ 의 관계식이 성립하므로 NaHCO_3 는 14.4mL가 필요하다.

[문제 2] M/D기출

<표>는 몇 가지 제산제의 성분과 물질량을 나타낸 것이다.

제산제	(가)	(나)	(다)	(라)
성분	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	NaHCO_3	CaCO_3
물질량(g/mol)	58.3	78.0	84.0	100.1

같은 질량의 제산제를 투여했을 때 과다한 위산을 제거하는 효과가 가장 큰 것(A)과 가장 작은 것(B)을 바르게 짝지은 것은? (단, 각 제산제는 순수한 물질이라고 가정한다)

- | | | | | | |
|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| A | B | A | B | A | B |
| ① (가) | (나) | ② (가) | (라) | ③ (나) | (다) |
| ④ (나) | (라) | ⑤ (다) | (가) | | |

해설)

위산을 제거하기 위해서는 제산제가 염기로서 중화반응을 일으킬 수 있어야 한다. 같은 질량을 가지고 최대의 효과를 내려면 화학식량이 작고, 다가 염기일수록 좋은 제산제로 작용할 것이다. 예를 들어 위 물질들이 각 100g이 있다고 가정하면

$$\text{(가) 제거되는 HCl의 몰수} = \frac{100\text{g}}{58.3\text{g/mol}} \times 2 = 3.43\text{mol}$$

$$\text{(나) 제거되는 HCl의 몰수} = \frac{100\text{g}}{78.0\text{g/mol}} \times 3 = 3.84\text{mol}$$

$$\text{(다) 제거되는 HCl의 몰수} = \frac{100\text{g}}{84.0\text{g/mol}} \times 1 = 1.20\text{mol}$$

$$\text{(라) 제거되는 HCl의 몰수} = \frac{100\text{g}}{100.1\text{g/mol}} \times 2 = 2.0\text{mol}$$

따라서 위 성분들의 제산 효과를 순서대로 나열하면 (나) > (가) > (라) > (다)순이다.

정답 : ③

산, 염기의 적정

: 적정 - 미지 화합물의 농도를 결정하는 방법



부피분석은 적정을 하여 어떤 물질의 양을 측정하는 방법이다. 적정은 농도를 알고 있는 용액(적정 시약)을 뷰렛으로부터 분석하려는 물질의 용액(분석 시약)에 가하여, 적정 시약에 포함된 물질이 분석 시약과 반응하도록 한다. 적정을 할 때에는 조사하려는 물질과 완전히 반응할 때까지 적정 시약이 가해지는데, 이 적정이 완결되는 점을 당량점(equivalent point) 또는 화학양론적 종말점(stoichiometric end point)이라 한다.

이 점은 흔히 지시약이라 부르는 화학 물질을 적정하기 전에 반응 용액에 넣어주어서 당량점이나 그 부근에서 색 변화가 일어나는 것으로 알 수 있다. 산-염기 적정에서 가장 많이 쓰이는 지시약으로 페놀프탈레인이 있는데, 이 지시약은 산성에서는 무색이지만, 염기성 용액에서는 분홍색이다. 따라서 산을 염기로 적정할 때, 산이 모두 반응하고 과량의 염기 첫 방울이 가해지기 전까지 페놀프탈레인은 무색으로 남아 있게 된다. 이 경우 용액에 무색으로부터 분홍색으로 변하는 종말점은 화학양론적 종말점에서 한 방울의 염기를 가할 때 얻어진다.

- ① 농도를 모르는 HCl 20mL를 취하여 삼각 플라스크에 넣고 그 용액에 페놀프탈레인을 몇 방울 넣는다.
- ② 농도를 정확하게 결정한 0.1M NaOH를 천천히 첨가하여 색 변화를 관찰한다.
- ③ 색이 붉은색으로 변하는 순간 첨가된 NaOH의 양을 측정한다.
(이때 들어간 양이 48.6mL라고 가정).

- ④ HCl의 농도를 계산한다.

화학반응식은 $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ 이다.

$\text{NaOH } 0.1\text{M} \Rightarrow \text{용액 } 1000\text{mL} : \text{용질 } 0.1\text{몰} = \text{용액 } 48.6\text{mL} : \text{용질 } 4.86 \times 10^{-3}\text{몰}$

화학반응은 HCl : NaOH는 1몰 : 1몰로 반응하므로 HCl도 용질 $4.86 \times 10^{-3}\text{몰}$ 이 20mL에 있다는 것을 의미한다. 그러므로 $20\text{mL} : \text{용질 } 4.86 \times 10^{-3}\text{몰} = 1000\text{mL} : 0.243\text{몰} \Rightarrow 0.243\text{M}$ 의 HCl이다.

● 퍼센트 조성과 실험식

: 실험식 - 가장 간단한 비로 이루어짐

<ex> CO_2 ; 실험식이자 분자식이 됨

C : O

원자 몰비 = 1 : 2

질량비 = 12g : 32g

질량 %비 = $\frac{12}{44} \times 100 : \frac{32}{44} \times 100$

질량비나 질량%비를 원자 몰비로 바꾸는 방법은 해당 원자의 원자량으로 나누어 주면 된다. 질량비나 질량%비를 해당 원자의 원자량으로 나누어 준 값인 원자 몰비를 알면 가장 간단한 비로 이루어진 실험식을 알 수 있으며 분자량을 알면 분자식을 알 수 있다.

[문제 1]

연소 분석에 의하면 0.450g의 카프로산은 H_2O 0.418g과 CO_2 1.023g을 낸다.

카프로산의 실험식과 분자량이 116.2amu일 때의 분자식을 구하라. (amu = g/mol)



$$0.450\text{g} \qquad 1.023\text{g} \quad 0.418\text{g}$$



$$44\text{g} : 12\text{g} = 1.023\text{g} : x\text{g} \qquad 18\text{g} : 2\text{g} = 0.418\text{g} : x\text{g}$$

$$x = 0.2791\text{g}$$

$$x = 0.0469\text{g}$$

$$\bullet \text{ C의 질량} : 0.2791\text{g}$$

$$\bullet \text{ H의 질량} : 0.0469\text{g}$$

$$\bullet \text{ O의 질량} : 0.450\text{g} - (0.2791\text{g} + 0.0469\text{g}) = 0.124\text{g}$$

$$\text{질량비} = \text{C} : \text{H} : \text{O} = 0.2791\text{g} : 0.0469\text{g} : 0.124\text{g}$$

$$\text{원자몰비} = \text{C} : \text{H} : \text{O} = \frac{0.2791}{12} : \frac{0.0469}{1} : \frac{0.124}{16} = 3 : 6 : 1$$

$$\therefore \text{실험식} = \text{C}_3\text{H}_6\text{O}$$

$$(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})n = 116.2$$

$$(12 \times 3 + 1 \times 6 + 16)n = 116.2$$

$$\therefore n = 2$$

$$\Rightarrow \text{분자식은 } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 \text{이다.}$$

[문제 2]

무게 비가 수소원자가 14.4%, 탄소원자가 85.6%인 기체의 밀도가 0°C , 1atm에서 2.5g/L이다. 이 기체의 분자식을 바르게 나타낸 것은?

① CH_2

② C_2H_4

③ C_4H_8

④ C_6H_{12}

해설)

해당 원자의 원자 몰비를 구하기 위해 질량%비를 원자량으로 나누어주면 다음과 같다.

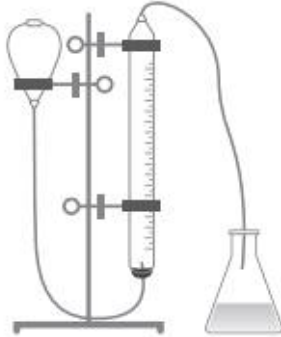
$$\text{C} : \text{H} = \frac{85.6}{12} : \frac{14.4}{1} = 1 : 2 \text{ 따라서 실험식은 } \text{CH}_2 \text{이다.}$$

STP에서 밀도가 2.5g/L이므로 이 기체의 분자량은 $2.5\text{g/L} \times 22.4\text{L} = 56\text{g}$ 이다. 따라서 분자식은 $(\text{CH}_2)_n = 56$, $14 \times n = 56$, $n=4$ 이므로 C_4H_8 이다.

정답 : ③

[문제 3] PEET 기출

다음은 어떤 알칼리 금속 이온(M^+)을 분석하기 위한 실험이다.



〈 실험과정 〉

(가) 금속 탄산염(M_2CO_3) 0.212g을 준비한다.

(나) 250mL 삼각 플라스크에 6M 염산(HCl) 50ml를 넣는다.

(다) 삼각 플라스크 입구를 유리관이 끼워진 고무마개로 닫고, 그림과 같이 부피 측정 장치와 삼각 플라스크를 고무관으로 연결한다.

(라) 고무마개를 열고 과정 (가)에서 준비한 시료를 재빨리 남김없이 삼각 플라스크에 넣고 마개를 빈틈없이 닫는다.

(마) 삼각 플라스크를 천천히 흔들며 기체가 더 이상 발생하지 않을 때까지 기다린 후, 발생한 기체의 부피를 정확히 측정한다.

〈 실험결과 〉

과정 (마)에서 발생한 기체의 부피는 표준 온도압력(STP) 상태로 환산했을 때 44.8mL이다.

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

(단, 발생한 기체는 이상 기체이고, 물에 대한 기체의 용해도는 무시한다)

㉠ 과정 (5)에서 발생한 기체는 수소(H_2)이다.

㉡ 한계 반응물은 M_2CO_3 이다.

㉢ M^+ 은 K^+ 이다.

① ㉠

② ㉡

③ ㉠, ㉢

④ ㉡, ㉢

⑤ ㉠, ㉡, ㉢

해설)

반응식은 다음과 같다. $M_2CO_3 + 2HCl \rightarrow H_2CO_3 + 2MCl$

여기서 생성된 H_2CO_3 는 CO_2 와 H_2O 로 해리되므로 생성된 기체는 $CO_2(g)$ 이다.

전체 반응식은 $M_2CO_3 + 2HCl \rightarrow CO_2 + H_2O + 2MCl$

6M HCl 50mL은 1000mL : 6mole = 50mL : 0.3mole이므로 6M HCl 50mL에는 HCl이 0.3mole 들어있다는 것을 의미한다. 생성되는 기체의 부피가 표준상태에서 44.8mL이므로 44.8mL는 2×10^{-3} mole이 들어있다는 것을 의미한다. 그렇다면 다음의 식이 성립되어야 할 것이다.

	M_2CO_3	+	$2HCl$	\rightarrow	$CO_2 + H_2O + 2MCl$
반응초기	2×10^{-3} mole		0.3mole		
반응	-2×10^{-3} mole		-4×10^{-3} mole		2×10^{-3} mole
반응후	0		$(0.3 - 4 \times 10^{-3})$ mole		2×10^{-3} mole

위 반응식을 보면 반응물 중 완전히 소모되는 한계 반응물은 M_2CO_3 이며 M은 Na가 되어야 0.212g이 2×10^{-3} mole이다. 왜냐하면 M_2CO_3 의 분자량은 106g/mol이기 때문이다.

㉠ 과정 (5)에서 발생한 기체는 $CO_2(g)$ 이다.

㉡ 한계 반응물은 M_2CO_3 이다.

㉢ M^+ 은 Na^+ 이 되어야 한다.

정답 : ㉡