

수능특강

과학탐구영역
화 학 Ⅱ

I 물질의 세 가지 상태와 용액	01 기체	04
	02 액체와 고체	21
	03 용액	44
II 반응 엔탈피와 화학 평형	04 반응 엔탈피	67
	05 화학 평형과 평형 이동	86
	06 산 염기 평형	112
III 반응 속도와 촉매	07 반응 속도	131
	08 반응 속도에 영향을 미치는 요인	151
IV 전기 화학과 이용	09 전기 화학과 이용	165

학생

인공지능 DANCHO 푸리봇 문제|검색

EBSi 사이트와 EBSi 고교강의 APP 하단의 AI 학습도우미 푸리봇을 통해 문항코드를 검색하면 푸리봇이 해당 문제의 해설과 해설 강의를 찾아 줍니다. 사진 촬영으로도 검색할 수 있습니다.

문제별 문항코드 확인 문항코드 검색

[26028-0001] 26028-0001

1. 아래 그래프를 이해한 내용으로 가장 적절한 것은?

1. 사진 촬영 검색

선생님

EBS 교사지원센터 교재 관련 자료|제공

교재의 문항 한글(HWP) 파일과 교재이미지, 강의자료를 무료로 제공합니다.

한글다운로드 교재이미지 강의자료

- 교사지원센터(teacher.ebsi.co.kr)에서 '교사인증' 이후 이용하실 수 있습니다.
- 교사지원센터에서 제공하는 자료는 교재별로 다를 수 있습니다.

교육과정의 핵심 개념 학습과 문제 해결 능력 신장

[EBS 수능특강]은 고등학교 교육과정과 교과서를 분석·종합하여 개발한 교재입니다.

본 교재를 활용하여 대학수학능력시험이 요구하는 교육과정의 핵심 개념과 다양한 난이도의 수능형 문항을 학습함으로써 문제 해결 능력을 기를 수 있습니다. EBS가 심혈을 기울여 개발한 [EBS 수능특강]을 통해 다양한 출제 유형을 연습함으로써, 대학수학능력시험 준비에 도움이 되기를 바랍니다.

충실한 개념 설명과 보충 자료 제공

1. 핵심 개념 정리

주요 개념을 요약·정리하고 탐구 상황에 적용하였으며, 보다 깊이 있는 이해를 돕기 위해 보충 설명과 관련 자료를 풍부하게 제공하였습니다.

과학 돋보기

개념의 통합적인 이해를 돕는 보충 설명 자료나 배경 지식, 과학사, 자료 해석 방법 등을 제시하였습니다.

탐구자료 살펴보기

주요 개념의 이해를 돕고 적용 능력을 기를 수 있도록 시험 문제에 자주 등장하는 탐구 상황을 소개하였습니다.

2. 개념 체크 및 날개 평가

본문에 소개된 주요 개념을 요약·정리하고 간단한 퀴즈를 제시하여 학습한 내용을 갈무리하고 점검할 수 있도록 구성하였습니다.

단계별 평가를 통한 실력 향상

[EBS 수능특강]은 문제를 수능 시험과 유사하게 **수능 2점 테스트**, **수능 3점 테스트**로 구분하여 제시하였습니다. 수능 2점 테스트는 필수적인 개념을 간략한 문제 상황으로 다루고 있으며, 수능 3점 테스트는 다양한 개념을 복잡한 문제 상황이나 탐구 활동에 적용하였습니다.

개념 체크

➔ **기체의 압력** : 기체 분자가 용기의 벽면에 충돌하여 힘을 가해 기체의 압력이 나타난다.

➔ **기체의 부피** : 기체가 운동하는 공간으로, 기체가 들어 있는 용기의 부피와 같다.

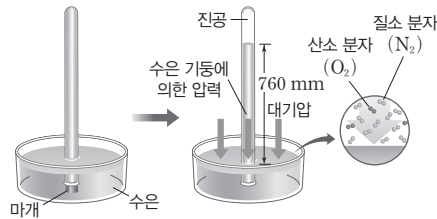
1. 기체의 ()은 용기의 벽에 기체 분자가 충돌하여 나타난다.

2. H₂와 O₂가 부피가 V L인 용기 안에 같이 들어 있을 때 기체의 부피는 H₂와 O₂가 각각 $\frac{V}{2}$ L이다. (O. ×)

1 기체의 성질

(1) 기체의 압력과 부피

- ① 기체의 압력 : 기체 분자들은 자유롭게 운동하면서 기체가 담긴 용기의 벽에 충돌하여 힘을 가하는데, 이로 인해 기체의 압력이 나타난다. 이 충돌이 지속적으로 일어나면서 단위 면적당 작용하는 힘이다.
- ② 대기 압력의 측정 : 1643년 토리첼리는 수은을 채운 유리관을 이용하여 대기 압력을 측정하였다. 이때 해수면에서 측정한 수은 기둥 높이 760 mm에 해당하는 대기 압력을 1 atm이라고 한다.

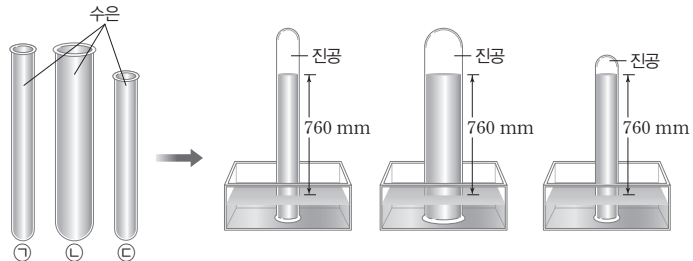


$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

- ③ 기체의 부피 : 기체 분자들이 운동하는 공간을 의미하며, 기체는 용기 전체로 퍼지는 성질이 있으므로 기체의 부피는 항상 기체가 들어 있는 용기의 부피와 같다. 또한 2가지 이상의 기체가 한 용기에 들어 있을 때에도 각 기체의 부피는 용기의 부피와 같다.

탐구자료 살펴보기 대기압의 측정

실험 과정



- ㉠ 한쪽 끝이 막힌 유리관 ㉠에 수은을 가득 채운다.
- ㉡ (가)의 유리관을 뒤집어 수은이 들어 있는 수조에 거꾸로 세운다.
- ㉢ 일정 시간이 흐른 뒤 수은 기둥의 높이를 측정한다.
- ㉣ (가)에서 사용한 유리관과 길이는 같고 단면적이 다른 유리관 ㉣을 이용하여 (가)~(다)의 과정을 반복한다.
- ㉤ (가)에서 사용한 유리관과 단면적은 같고 길이가 다른 유리관 ㉤을 이용하여 (가)~(다)의 과정을 반복한다.

실험 결과

• 각 유리관에서 수은 기둥의 높이

유리관	㉠	㉡	㉢
수은 기둥의 높이(mm)	760	760	760

분석 point

• 수은이 들어 있는 유리관의 길이와 단면적에 관계없이 1 atm에 해당하는 수은 기둥의 높이는 760 mm로 일정하다.

정답

1. 압력
2. ×

- (2) **보일 법칙** : 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피(V)는 압력(P)에 반비례한다. 즉, 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱은 항상 일정하다.

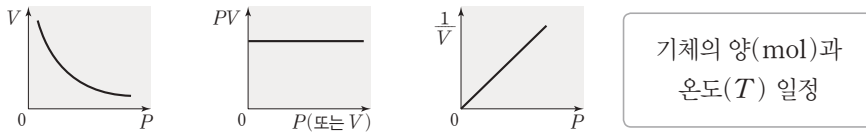
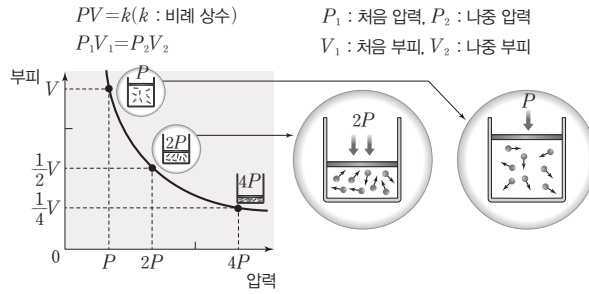
개념 체크

① 보일 법칙 : 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피는 서로 반비례한다.

➔ 기체가 들어 있는 실린더의 외부에서 압력을 가하면 내부 압력과 외부 압력이 같아질 때까지 기체의 부피가 감소한다.

1. $t^{\circ}\text{C}$, 1 atm에서 일정량의 기체의 부피가 $V\text{ L}$ 일 때, 같은 온도에서 압력을 2 atm으로 증가시키면 부피는 () L가 된다.

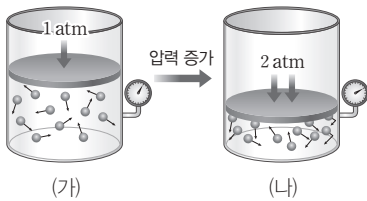
2. 보일 법칙에 따르면 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱은 일정하다. (O, X)



① 일상생활에서 보일 법칙 사례

- 자동차가 충돌할 때 팽창한 에어백은 사람과 부딪히면서 압력을 받게 되고 부피가 줄어들면서 사람에게 가해지는 충격이 완화된다.
- 물속에서 잠수부의 호흡으로 만들어진 기포는 수면에 가까워질수록 받는 압력이 감소하므로 부피가 점점 커진다.
- 하늘로 날린 풍선은 위로 올라갈수록 대기 압력이 감소하므로 크기가 점점 커진다.

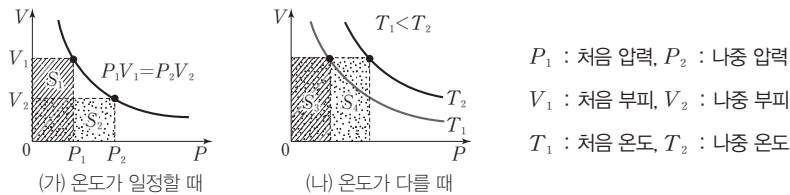
② 기체 분자 운동과 보일 법칙 : 일정한 온도에서 외부 압력을 2배로 하면 기체의 부피가 $\frac{1}{2}$ 배로 줄어든다. 따라서 단위 부피당 분자 수가 2배로 증가하여 단위 면적당 충돌 횟수도 2배로 증가한다. 충돌 횟수가 2배로 증가하면 단위 면적에 미치는 힘의 크기도 2배로 증가하므로 기체의 압력이 2배가 된다.



온도, 기체 분자 수	평균 운동 에너지	평균 속력
(가)=(나)	(가)=(나)	(가)=(나)
압력	부피	단위 면적당 충돌 횟수
(가)<(나)	(가)>(나)	(가)<(나)

탐구자료 살펴보기 보일 법칙과 그래프

자료 온도가 일정할 때와 온도가 다를 때 일정량의 기체의 압력에 따른 부피 비교



분석 (가) : 부피 축과 압력 축에 각각은 수선 아래 면적은 압력과 부피의 곱으로, 온도가 일정할 때 어느 점에 서나 같은 값을 갖는다($S_1 = S_2$).

(나) : 온도가 다른 경우 부피 축과 압력 축에 그은 수선 아래 면적은 높은 온도에서가 낮은 온도에서보다 항상 크다($S_3 < S_4$).

분석 point 기체의 양(mol)과 압력이 일정할 때 기체의 부피는 절대 온도에 비례하고, 기체의 양(mol)과 부피가 일정할 때 기체의 압력은 절대 온도에 비례한다. 따라서 (나)에서 온도가 증가하면 부피 축에 그은 수선 아래의 면적은 증가한다.

정답

1. $\frac{V}{2}$
2. O

개념 체크

☞ 샤를 법칙 : 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다.

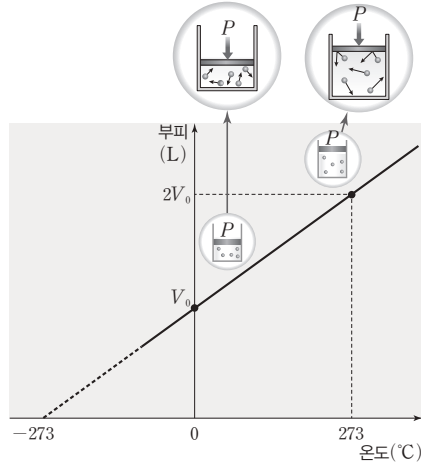
➔ 기체가 들어 있는 실린더의 온도를 높여 주면 내부 압력이 외부 압력보다 커지므로 내부 압력이 외부 압력과 같아질 때까지 부피가 증가한다.

1. 샤를 법칙에 따르면 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 온도가 1°C 올라갈 때마다 ()의 $\frac{1}{273}$ 씩 증가한다.

2. 샤를 법칙이 성립할 때 기체의 부피(V)는 절대 온도(T)에 비례한다. (O, X)

3. 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물에 넣으면 탁구공이 펴지는 것은 보일 법칙의 사례이다. (O, X)

(3) 샤를 법칙 : 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피(V)는 절대 온도(T)에 비례한다. 온도가 1°C 높아질 때마다 0°C일 때 부피(V_0)의 $\frac{1}{273}$ 씩 증가한다.



$$V = V_0 + \frac{V_0}{273}t = \frac{V_0}{273}(273+t)$$

(V_0 : 0°C일 때의 부피)

$$\text{절대 온도}(T) = \text{섭씨온도}(t) + 273$$

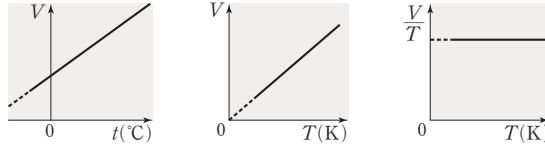
$$V = \frac{V_0}{273}T \text{이다.}$$

$\frac{V_0}{273}$ 는 일정한 상숫값이므로 k 로 나타내면

$$V = kT \text{이다.}(k : \text{비례 상수}).$$

$$\Rightarrow V \propto T$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

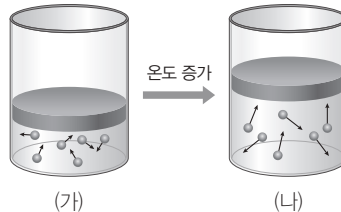


기체의 양(mol)과 압력(P) 일정

① 일상생활에서 샤를 법칙 사례

- 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물에 넣으면 탁구공이 펴진다.
- 자동차 타이어는 추운 겨울철에 여름철보다 부피가 줄어들어 공기를 더 주입한다.
- 풍선을 액체 질소에 넣으면 쭈그러들고 꺼내면 다시 원래의 모양이 된다.
- 열기구에 열을 가하면 기체의 부피가 팽창하여 밀도가 줄어들어 위로 뜬다.

② 기체 분자 운동과 샤를 법칙 : 일정한 압력에서 실린더 속에 들어 있는 기체의 온도를 높이면 기체 분자의 평균 운동 에너지가 증가하여 기체 분자가 더 빠르게 운동한다. 이때 실린더 내부 벽면에 충돌하는 기체 분자의 단위 시간당 충돌 횟수와 충돌의 세기가 증가하게 된다. 따라서 실린더 내부의 압력(기체의 압력)이 높아지고 실린더 내부의 압력과 외부 압력이 같아질 때까지 실린더 내부의 부피가 증가하게 된다. 또한 이때 부피가 증가하여 일정하게 된 후의 압력은 온도를 높이기 전의 압력과 같다.



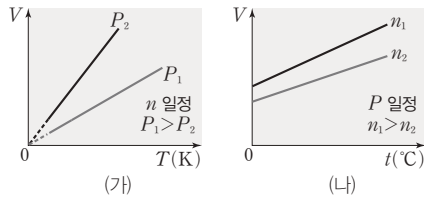
압력, 분자 수	온도	부피
(가)=(나)	(가)<(나)	(가)<(나)
평균 운동 에너지		평균 속력
(가)<(나)		(가)<(나)

정답

- 0°C일 때의 부피
- O
- X

탐구자료 살펴보기 **샤를 법칙과 그래프**

자료 기체의 압력(P)이 다를 때와 기체의 양(mol)이 다를 때 온도와 부피(V)의 관계(n : 기체의 양(mol))



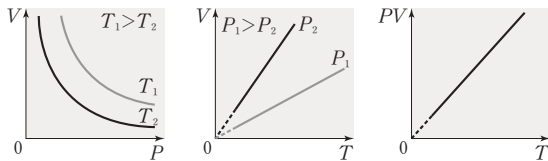
분석 (가) : 일정량의 기체에서 압력(P)이 서로 다를 때 절대 온도(T)에 따른 기체의 부피(V)를 나타낸 것이다. 온도가 일정한 경우 압력이 작을수록 부피가 크므로 $P_1 > P_2$ 임을 알 수 있으며, 압력 P가 일정할 때 기울기인 $\frac{V}{T}$ 는 항상 같은 값을 갖는다.

(나) : 압력(P)이 같을 때 섭씨온도(t)에 따른 기체의 부피(V)를 나타낸 것이다. 같은 온도에서 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례하므로 기체의 양(mol)은 $n_1 > n_2$ 이다.

분석 point 기체의 양(mol)과 온도가 일정할 때 기체의 부피는 압력에 반비례하고, 기체의 온도와 압력이 일정할 때 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례한다.

(4) **보일·샤를 법칙** : 일정량의 기체에 대해 기체의 부피(V), 압력(P), 절대 온도(T) 사이의 관계를 정리한 것으로, 부피(V)는 압력(P)에 반비례하고, 절대 온도(T)에 비례한다.

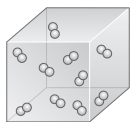
• 보일 법칙 : $V \propto \frac{1}{P}$ (T 일정) • 샤를 법칙 : $V \propto T$ (P 일정)
 • 보일·샤를 법칙 : $V \propto \frac{T}{P} \Rightarrow \frac{PV}{T} = k, \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = k$
 (k : 상수, P_1 : 처음 압력, V_1 : 처음 부피, T_1 : 처음 온도
 P_2 : 나중 압력, V_2 : 나중 부피, T_2 : 나중 온도)



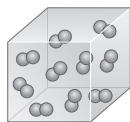
기체의 양(mol) 일정

(5) **아보가드로 법칙** : 온도와 압력이 일정할 때 기체의 종류에 관계없이 같은 부피에 들어 있는 기체의 양(mol)은 같다.

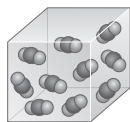
① 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피(V)는 기체의 종류에 관계없이 기체의 양(mol)에 비례한다.



수소(H₂)
(0°C, 1 atm)



산소(O₂)
(0°C, 1 atm)



이산화 탄소(CO₂)
(0°C, 1 atm)

$V \propto n$ 또는 $V = kn$ (k는 상수)

② 기체 1 mol의 부피 : 0°C, 1 atm에서 기체 1 mol의 부피는 기체의 종류에 관계없이 22.4 L이다.

개념 체크

- ⑤ **보일·샤를 법칙** : 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례하고, 절대 온도에 비례한다.
- ⑤ **아보가드로 법칙** : 일정한 온도와 압력에서 기체의 종류와 관계없이 같은 부피에 들어 있는 기체의 양(mol)은 같다.

1. 보일·샤를 법칙에 따르면 일정량의 기체의 ()는 압력에 반비례하고, 절대 온도에 비례한다.
2. 일정량의 기체는 절대 온도(T), 압력(P), 부피(V) 관계인 $\frac{PV}{T}$ 가 일정하다. (○, ×)
3. 아보가드로 법칙에 따르면 0°C, 1 atm에서 11.2 L의 부피를 차지하는 기체의 양은 () mol이다.

정답

1. 부피
2. ○
3. 0.5

개념 체크

➔ 이상 기체 방정식 : 보일 법칙, 샤를 법칙, 아보가드로 법칙을 하나의 관계식으로 나타낸 것이다.

➔ $PV = nRT$

➔ 기체 분자 운동론 : 기체 분자의 자유로운 운동을 토대로 기체의 법칙을 설명하기 위해 제안된 가정이다.

1. 이상 기체 방정식 $PV = nRT$ 에서 R 은 ()이다.

2. 이상 기체는 분자 간 인력과 반발력이 모두 작용하지 않고, 기체 분자 자체의 부피를 무시한다. (○, ×)

3. 이상 기체 방정식으로부터 분자량(M)을 구하는 식을 나타내면 $M = ()$ 이다.

4. 기체 분자 운동론에 따르면 기체 분자의 평균 운동 에너지는 섭씨온도에 비례한다. (○, ×)

(6) 이상 기체 방정식

기체의 압력과 부피, 기체의 양(mol), 절대 온도 사이의 관계를 나타낸 방정식이다.

$$PV = nRT$$

$$\left(\begin{array}{l} P : \text{기체의 압력(atm)}, V : \text{기체의 부피(L)}, n : \text{기체의 양(mol)} \\ R : \text{기체 상수 (=0.082 atm}\cdot\text{L/(mol}\cdot\text{K))}, T : \text{절대 온도(K)} \end{array} \right)$$

① 이상 기체는 분자 간 인력과 반발력이 모두 작용하지 않고, 기체 분자 자체의 부피를 무시할 수 있는 가상의 기체이다.

② 기체의 분자량 측정 : 이상 기체 방정식을 이용하여 기체 분자의 분자량을 구할 수 있다.

➔ 어떤 기체의 분자량을 M 이라고 하면 기체의 양(mol) $n = \frac{w}{M}$ (w : 기체의 질량)이므로 다음과 같이 이상 기체 방정식을 이용하여 분자량을 구할 수 있다.

$$n = \frac{PV}{RT} \Rightarrow \frac{w}{M} = \frac{PV}{RT} \Rightarrow M = \frac{wRT}{PV}$$

(7) 기체 분자 운동론

기체 분자의 운동을 설명하기 위한 이론을 기체 분자 운동론이라고 하는데, 기체 분자 운동론은 다음과 같은 가정을 바탕으로 두고 있으며, 이와 같은 특성을 가지는 기체를 이상 기체라고 한다.

- ① 기체 분자 자체의 부피는 기체가 차지하는 전체 부피에 비하여 매우 작으므로 무시한다.
- ② 기체 분자 간에는 인력과 반발력이 작용하지 않는다.
 - ➔ 모든 온도와 압력에서 이상 기체 방정식을 만족한다.
- ③ 기체 분자들은 무질서한 방향으로 끊임없이 불규칙한 직선 운동을 한다.
- ④ 기체 분자는 완전 탄성체로서 충돌에 의한 에너지 손실이 없다.
- ⑤ 기체 분자의 평균 운동 에너지(E_k)는 절대 온도(T)에만 비례하며 분자의 크기, 모양 및 종류와는 관계없다($E_k \propto T$).

① 보일 법칙과 기체 분자 운동론 : 온도가 일정할 때 기체 분자들의 평균 운동 속력은 일정하므로 기체가 들어 있는 실린더 내부 벽에 충돌할 때 일정한 압력을 유지한다. 이때 외부 압력을 증가시키면 다음과 같은 과정을 통해 기체의 부피가 감소한다.

$$P_{\text{외부}} \text{ 증가} \Rightarrow P_{\text{외부}} > P_{\text{내부}} \Rightarrow V \text{ 감소} \Rightarrow \text{실린더 내부 기체 분자들의 충돌 수 증가}$$

$$\Rightarrow P_{\text{내부}} \text{ 증가} \Rightarrow P_{\text{외부}} = P_{\text{내부}} \text{ 일 때 부피 일정하게 유지}$$

② 샤를 법칙과 기체 분자 운동론 : 기체의 온도가 높아지면 기체 분자의 평균 운동 에너지가 증가하면서 기체 분자의 평균 운동 속력이 증가한다. 이때 기체가 들어 있는 실린더 내부 벽에 충돌하는 충돌 수 및 충돌의 세기가 증가하면서 내부 압력이 증가하고, 기체의 부피가 증가한다.

정답

- 1. 기체 상수
- 2. ○
- 3. $\frac{wRT}{PV}$
- 4. ×

T 증가 \Rightarrow 기체 분자의 충돌 수 및 충격량 증가 $\Rightarrow P_{\text{내부}}$ 증가 $\Rightarrow P_{\text{내부}} > P_{\text{외부}}$
 $\Rightarrow V$ 증가 \Rightarrow 분자 사이 거리가 멀어지면서 실린더 내부 기체 분자들의 충돌 수 감소
 $\Rightarrow P_{\text{내부}}$ 감소 $\Rightarrow P_{\text{외부}} = P_{\text{내부}}$ 일 때 부피 일정하게 유지

③ 아보가드로 법칙과 기체 분자 운동론 : 기체 분자의 양(mol)이 증가하면 다음과 같은 과정을 통해 기체의 부피가 증가한다.

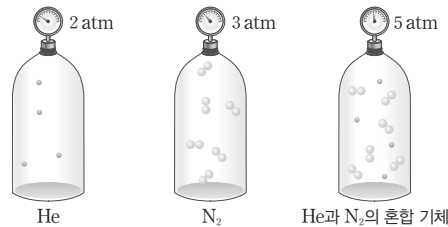
기체 분자의 양(mol) 증가 \Rightarrow 실린더 내부 기체 분자들의 충돌 수 증가 $\Rightarrow P_{\text{내부}}$ 증가
 $\Rightarrow P_{\text{내부}} > P_{\text{외부}} \Rightarrow V$ 증가 \Rightarrow 분자 사이 거리가 멀어지면서 실린더 내부 기체 분자들의
 충돌 수 감소 $\Rightarrow P_{\text{내부}}$ 감소 $\Rightarrow P_{\text{외부}} = P_{\text{내부}}$ 일 때 부피 일정하게 유지

2 혼합 기체와 부분 압력

(1) 부분 압력 법칙

① 부분 압력과 전체 압력 : 서로 반응하지 않는 2가지 이상의 기체가 같은 용기 속에 혼합되어 있을 때, 각 성분 기체가 나타내는 압력을 각 성분 기체의 부분 압력이라고 하며, 혼합된 각 기체의 부분 압력의 합을 전체 압력이라고 한다.

㉮ 일정한 온도에서 같은 부피의 용기 속에 들어 있는 2 atm의 헬륨(He) 기체와 3 atm의 질소(N₂) 기체를 같은 부피의 용기에 함께 넣어 혼합하면 전체 압력은 5 atm이 된다.



② 부분 압력 법칙 : 일정한 온도 T 에서 n_A 만큼의 양(mol)의 기체 A를 부피가 V 인 용기에 넣었을 때의 압력을 P_A 라고 하고, n_B 만큼의 양(mol)의 기체 B를 부피가 V 인 용기에 넣었을 때의 압력을 P_B 라고 하면, 이상 기체 방정식으로부터 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$P_A = \frac{n_A RT}{V}, \quad P_B = \frac{n_B RT}{V}$$

일정한 온도에서 서로 반응하지 않는 n_A 만큼의 양(mol)의 기체 A와 n_B 만큼의 양(mol)의 기체 B를 부피가 V 인 용기에 함께 넣어 혼합하면 혼합 기체의 전체 압력 P_T 는 전체 양(mol)인 $n_A + n_B$ 에 비례한다.

$$P_T = (n_A + n_B) \frac{RT}{V} = P_A + P_B$$

따라서 $P_T = P_A + P_B$ 임을 알 수 있다. 1801년 돌턴은 혼합 기체의 전체 압력은 각 성분 기체의 부분 압력의 합과 같다는 사실을 밝혀냈고, 이것을 부분 압력 법칙이라고 한다.

개념 체크

- ④ 부분 압력 : 서로 반응하지 않는 2가지 이상의 기체가 같은 용기 안에 들어 있을 때, 각 성분 기체가 나타내는 압력이다.
- ④ 부분 압력 법칙 : 혼합 기체의 전체 압력은 각 성분 기체의 부분 압력의 합과 같다.

1. 같은 부피의 용기에 들어 있는 He(g)과 Ne(g)의 부분 압력이 각각 2 atm, 3 atm일 때 전체 기체 압력은 () atm이다.
2. 1 mol의 H₂(g)와 2 mol의 Ne(g)이 들어 있는 용기의 전체 기체 압력이 3 atm일 때 H₂(g)의 부분 압력은 () atm이다.
3. 전체 기체 압력이 5 atm인 용기 안에 기체 A와 B가 3 : 2의 몰비로 들어 있을 때, B(g)의 부분 압력은 () atm이다.

정답

1. 5
2. 1
3. 2

개념 체크

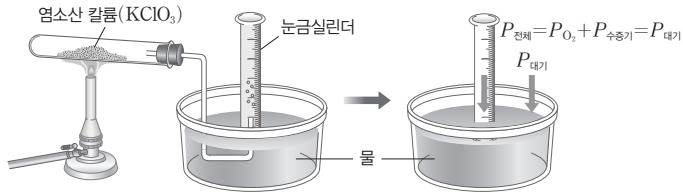
- ➔ **몰 분율** : 혼합 기체에서 성분 기체의 양(mol)을 전체 기체의 양(mol)으로 나눈 값이다.
- ➔ **몰 분율과 부분 압력** : 전체 기체의 압력에 몰 분율을 곱하면 부분 압력을 구할 수 있다.

1. He(g)과 Ne(g)이 각각 1 mol, 2 mol 들어 있는 용기 속에서 He(g)의 몰 분율은 ()이다.
2. A(g)와 B(g)가 들어 있는 전체 압력이 5 atm인 용기 속에서 A(g)의 부분 압력이 2 atm일 때, B(g)의 몰 분율은 ()이다.
3. 수상 치환으로 O₂를 포집하면 용기 내부에는 O₂만 존재한다. (○, ×)

탐구자료 살펴보기

기체의 분자량 측정

실험 과정



1. 시험관에 고체 염소산 칼륨(KClO₃)을 넣고 시험관의 질량(w_1)을 측정 후 그림과 같이 장치하여 가열한다.
2. 염소산 칼륨이 열분해되면서 발생하는 기체를 물이 가득 들어 있는 논금실린더에 포집한다.
3. 기포 발생이 멈추면 논금실린더 안과 밖의 수면 높이를 같게 하여 포집한 기체의 부피(V)를 측정한다.
4. 물의 온도(T)와 대기압($P_{\text{대기}}$)을 측정하고, T 에서의 수증기압($P_{\text{수증기}}$)을 문헌값을 통해 확인한다.
5. 시험관이 식으면 반응하고 남은 KClO₃이 들어 있는 시험관의 질량(w_2)을 다시 측정한다.
6. 이 실험에서 측정된 결과로부터 이상 기체 방정식을 이용하여 발생한 기체의 분자량(M)을 계산한다.

실험 결과

- 논금실린더에 포집한 기체는 순수한 산소가 아니라 논금실린더 속 물 표면에서 증발한 수증기도 포함되므로 논금실린더 속 기체의 전체 압력($P_{\text{전체}}$)은 산소의 부분 압력(P_{O_2})과 수증기의 부분 압력($P_{\text{수증기}}$)을 합한 값이다.
- 발생한 산소의 질량(w)은 $(w_1 - w_2)$ 이며, 산소의 부분 압력(P_{O_2})은 $(P_{\text{대기}} - P_{\text{수증기}})$ 이다.
- 측정된 결과를 이상 기체 방정식에 대입하여 산소의 분자량(M_{O_2})을 계산한다.

분석 point

$$PV = nRT = \frac{w}{M}RT \text{에서 기체의 분자량 } M = \frac{wRT}{PV} \text{이므로 } M_{\text{O}_2} = \frac{(w_1 - w_2)RT}{(P_{\text{대기}} - P_{\text{수증기}})V} \text{이다.}$$

(2) 몰 분율

- ① **몰 분율** : 혼합 기체에서 각 성분 기체의 양(mol)을 전체 기체의 양(mol)으로 나눈 값을 그 기체의 몰 분율이라고 한다. 용기 속에 기체 A, B가 각각 n_A mol, n_B mol이 존재하면 각 기체의 몰 분율은 다음과 같다.

$$A \text{의 몰 분율}(X_A) = \frac{A \text{의 양(mol)}}{\text{전체 기체의 양(mol)}} = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

$$B \text{의 몰 분율}(X_B) = \frac{B \text{의 양(mol)}}{\text{전체 기체의 양(mol)}} = \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

- ② **부분 압력과 몰 분율** : 혼합 기체에서 각 성분 기체의 부분 압력은 그 기체의 몰 분율에 비례한다. 즉, 혼합 기체에서 각 성분 기체의 부분 압력은 전체 압력(P_T)에 그 기체의 몰 분율을 곱한 값과 같다.

$$P_A = P_T \times \frac{n_A}{n_A + n_B} = P_T \times X_A$$

$$P_B = P_T \times \frac{n_B}{n_A + n_B} = P_T \times X_B$$

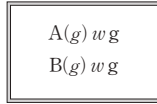
$$\left(\begin{array}{l} P_T : \text{전체 압력, } P_A, P_B : A, B \text{의 부분 압력} \\ n_A, n_B : A, B \text{의 양(mol)} \\ X_A, X_B : A, B \text{의 몰 분율} \end{array} \right)$$

정답

1. $\frac{1}{3}$
2. 0.6
3. ×

[26028-0001]

01 그림은 온도 T K에서 강철 용기에 같은 질량의 A(g)와 B(g)가 들어 있는 것을 나타낸 것이다. 부분 압력은 B가 A보다 크다. 용기 속 기체 B가 A보다 큰 값을 갖는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



◀ 보기 ▶

ㄱ. 밀도 ㄴ. 양(mol) ㄷ. 분자량

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0002]

02 다음은 토리첼리가 대기압을 측정하기 위해 수행했던 실험이다.

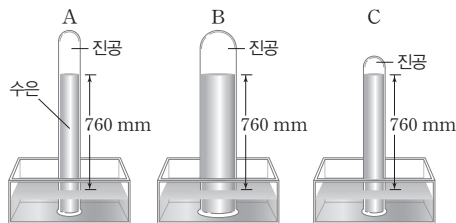
[가설] ○ 1 atm에 해당하는 수은 기둥의 높이는



[실험 과정]

- (가) 한쪽 끝이 막힌 유리관 A에 수은을 가득 채운다.
 (나) 1 atm에서 (가)의 유리관을 뒤집어 수은이 들어 있는 수조에 거꾸로 세운다.
 (다) 일정 시간이 흐른 뒤 유리관 속 수은 기둥의 높이를 측정한다.
 (라) 유리관 A와 길이가 같고 단면적이 다른 유리관 B와 단면적은 같고 길이가 다른 유리관 C를 이용하여 (가)~(다)의 과정을 반복한다.

[실험 결과]



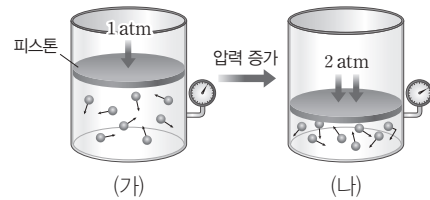
[결론] ○ 가설은 타당하다.

토리첼리의 실험 과정 및 결과와 결론이 타당할 때, ㉠으로 가장 적절한 것은?

- ① 유리관의 길이에 관계없이 일정하다.
 ② 유리관의 단면적에 관계없이 일정하다.
 ③ 유리관의 길이와 단면적에 관계없이 일정하다.
 ④ 유리관의 길이에 따라 달라진다.
 ⑤ 유리관의 길이와 단면적에 따라 달라진다.

[26028-0003]

03 그림 (가)는 1 atm에서 실린더 속에 들어 있는 기체를, (나)는 (가)에 압력을 가한 후의 모습을 나타낸 것이다.



실린더 속 기체 (나)가 (가)보다 2배의 값을 갖는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실린더 속 기체의 온도는 일정하고, 기체는 반응하지 않으며, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

ㄱ. 밀도
 ㄴ. 분자량
 ㄷ. 평균 운동 속력

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0004]

04 다음은 기체 분자 운동론에 대한 세 학생의 대화이다.

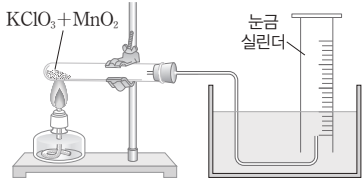
- 학생 A : 기체 분자 자체의 부피는 전체 부피에 비하여 매우 작으므로 무시한다고 가정해야 해.
 학생 B : 그러면 샤를 법칙에 따라 온도가 계속 낮아지면 이론적으로 기체의 부피가 0이 되는 온도가 있을 거야.
 학생 C : 이론적으로 기체의 부피가 0이 되는 온도를 절대 영도(0 K)라고 할 수 있겠구나.

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② B ③ A, C
 ④ B, C ⑤ A, B, C

[26028-0005]

05 그림은 1 atm에서 염소산 칼륨($KClO_3$)과 이산화 망가니즈(MnO_2)를 넣은 시험관을 가열하여 기체 X 200 mL를 포집한 모습을 나타낸 것이다. 물의 온도는 300 K이다.



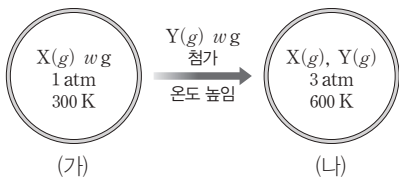
X의 분자량을 측정하기 위해 필요한 자료만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 눈금실린더 안과 밖 수면의 높이는 같고, 물에 대한 기체 X의 용해는 무시한다.)

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. 기체 상수
 - ㄴ. 300 K에서 물의 수증기압
 - ㄷ. 가열 전과 후 시험관 속 전체 물질의 질량 변화

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

[26028-0006]

06 그림 (가)는 강철 용기에 X(g)가 들어 있는 것을, (나)는 (가)에 Y(g)를 첨가하고 온도를 높인 상태를 나타낸 것이다.

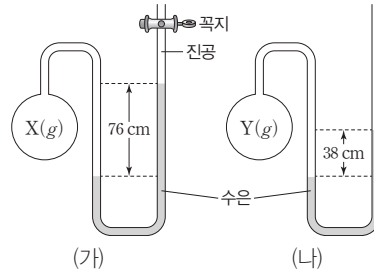


$\frac{Y \text{의 분자량}}{X \text{의 분자량}}$ 은? (단, 두 기체는 반응하지 않는다.)

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

[26028-0007]

07 그림은 T K에서 부피가 같은 용기에 같은 질량의 기체 X와 Y가 들어 있는 장치를 나타낸 것이다. 대기압은 760 mmHg이고, 1 atm은 760 mmHg이다.



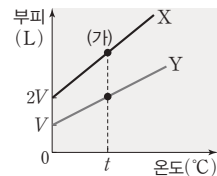
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 연결관의 부피와 수은의 증기 압력은 무시한다.)

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. (나)에서 Y의 압력은 1.5 atm이다.
 - ㄴ. (가)에서 꼭지를 열면 수은 기둥의 높이 차는 0이 된다.
 - ㄷ. 분자량비는 X : Y = 2 : 3이다.

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

[26028-0008]

08 그림은 일정한 압력에서 질량이 같은 기체 X와 Y의 온도에 따른 부피를 나타낸 것이다. 0°C는 273 K이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. (가)에서 X의 부피는 $(2V + \frac{V}{273}t)$ L이다.
 - ㄴ. $\frac{Y \text{의 분자량}}{X \text{의 분자량}} = 2$ 이다.
 - ㄷ. 819 K에서 Y의 부피는 3V L이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0009]

09 표는 A(g)~C(g)에 대한 자료이다. A(g)와 B(g)의 양(mol)은 같다.

기체	압력(atm)	부피(L)	온도(K)	질량(g)
A(g)	P	V	T	w
B(g)	2P	xV	2T	4w
C(g)	2P	3V	2T	8w

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x=2$ 이다.
- ㄴ. 기체의 양(mol)은 C(g)가 B(g)의 3배이다.
- ㄷ. $\frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{3}{2}$ 이다.

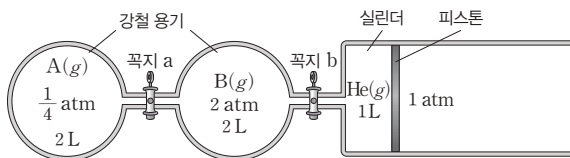
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0010]

10 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)와 D(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



그림은 온도 T에서 두 강철 용기에 A(g)와 B(g)가, 실린더에 He(g)이 들어 있는 것을 나타낸 것이다.

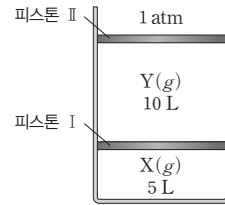


꼭지 a를 열고 반응을 완결시킨 후 꼭지 b를 열어 충분한 시간이 흘렀을 때, 실린더 속 기체의 부피와 He의 몰 분율은? (단, 온도는 일정하고, 외부 압력은 1 atm으로 일정하며, 연결관의 부피와 피스톤의 마찰은 무시한다.)

	실린더 속 기체의 부피(L)	He의 몰 분율
①	1	$\frac{1}{5}$
②	1	$\frac{1}{6}$
③	2	$\frac{1}{5}$
④	2	$\frac{1}{6}$
⑤	3	$\frac{1}{6}$

[26028-0011]

11 그림은 온도 400 K에서 피스톤 I과 II로 분리된 실린더에 X(g)와 Y(g)가 들어 있는 상태를 나타낸 것이다.



피스톤 I을 고정하고 후 외부 압력을 2 atm, 온도를 200 K로 하였을 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

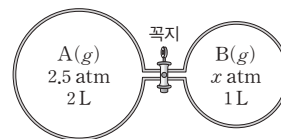
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 기체의 양(mol)은 Y가 X의 2배이다.
- ㄴ. X와 Y의 부피가 같다.
- ㄷ. 기체 X의 압력은 2 atm이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0012]

12 그림은 꼭지로 분리된 강철 용기에 A(g)와 B(g)를 각각 넣은 것을 나타낸 것이다. 꼭지를 열고 충분한 시간이 흘렀을 때, 전체 기체의 압력은 $\frac{7}{3}$ atm이고, A(g)의 부분 압력은 P atm이었다.



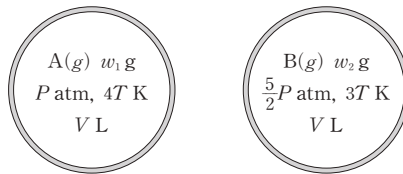
$x \times P$ 는? (단, 온도는 일정하고, 두 기체는 반응하지 않으며, 연결관의 부피는 무시한다.)

- ① 2 ② $\frac{5}{2}$ ③ $\frac{8}{3}$ ④ $\frac{10}{3}$ ⑤ 4

[26028-0013]

이상기체방정식 $PV = nRT$ 에서 기체의 양(mol)은 $n = \frac{PV}{RT}$ 이다.

01 그림은 A(g)와 B(g)가 강철 용기에 들어 있는 것을 나타낸 것이다. 분자량은 A가 B의 2배이다.



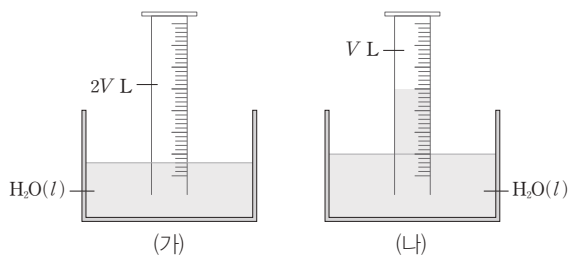
$\frac{w_2}{w_1}$ 는?

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

(가)와 (나)의 눈금실린더 속에 $O_2(g)$, $H_2O(g)$ 가 들어 있고, $H_2O(g)$ 의 부분 압력은 60 mmHg로 일정하다.

[26028-0014]

02 그림 (가)와 (나)는 T K에서 $O_2(g)$ 를 눈금실린더에 각각 모은 상태를 나타낸 것이다. T K에서 수증기압은 60 mmHg이고, $RT = 26 \text{ atm} \cdot \text{L/mol}$ 이다.



눈금실린더 속 기체에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 760 mmHg이고, 온도는 일정하며, 물에 대한 O_2 의 용해는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $H_2O(g)$ 의 양(mol)은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.
- ㄴ. $O_2(g)$ 의 부분 압력은 (가)와 (나)에서 같다.
- ㄷ. (가)에서 O_2 의 양(mol)은 $\frac{1}{13}V$ 보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0015]

03 표는 A(g)~C(g)에 대한 자료이다.

기체	질량(g)	부피(L)	압력(atm)	온도(K)
A	w	$2V$	P	T
B	w	V	$2P$	$2T$
C	$2w$	V	$2P$	$2T$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A~C는 반응하지 않는다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 기체의 양(mol)은 A가 B의 2배이다.
 ㄴ. 분자량비는 B : C = 1 : 4이다.
 ㄷ. T K에서 $4V$ L의 강철 용기에 A~C의 기체를 각각 w g 넣었을 때, 전체 압력은 $\frac{7}{8}P$ atm이다.

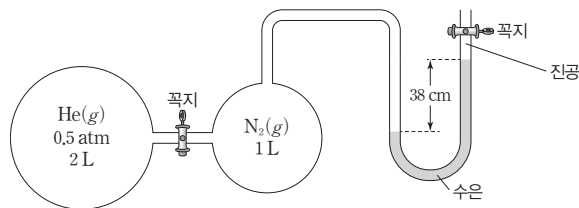
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$$PV = nRT \text{에서 } n = \frac{w}{M} \text{이}$$

$$\text{므로 } PV = \frac{w}{M}RT \text{이다.}$$

[26028-0016]

04 그림은 T K에서 꼭지로 분리된 용기에 각각 He(g)과 N₂(g)를 넣은 것을 나타낸 것이다.



꼭지를 모두 열고 충분한 시간이 흘렀을 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도와 외부 압력은 각각 T K와 76 cmHg로 일정하고, 연결관의 부피와 수은의 증기 압력은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

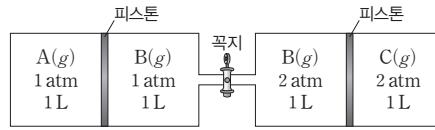
- ㄱ. He(g)의 부분 압력은 0.5 atm이다.
 ㄴ. N₂(g)의 압력은 혼합 전이 혼합 후의 3배이다.
 ㄷ. 수은 기둥의 높이 차는 38 cm이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

He(g)의 압력은 0.5 atm이고, N₂(g)의 압력은 꼭지가 닫혀 있으므로 0.5 atm이다.

꼭지를 열었을 때, 모든 기체의 압력은 P atm이 되고, 전체 부피는 4 L가 된 것으로 생각하면 $P \times 4 = (1 \times 1) + (1 \times 1) + (2 \times 1) + (2 \times 1)$ 이므로 $P = 1.5$ 이다.

05 그림은 꼭지로 분리된 실린더에 A(g)~C(g)가 들어 있는 것을 나타낸 것이다.



꼭지를 열고 충분한 시간이 흘렀을 때의 모습으로 옳은 것은? (단, 온도는 일정하고, A~C는 반응하지 않으며, 연결관의 부피와 피스톤의 마찰은 무시한다.)

- ①

A(g)	B(g)
1 atm	1 atm
1 L	1 L

B(g)	C(g)
2 atm	2 atm
1 L	1 L
- ②

A(g)	B(g)
1.5 atm	1.5 atm
1 L	1 L

B(g)	C(g)
1.5 atm	1.5 atm
1 L	1 L
- ③

A(g)	B(g)
1.5 atm	1.5 atm
$\frac{2}{3}$ L	$\frac{4}{3}$ L

B(g)	C(g)
1.5 atm	1.5 atm
1 L	1 L
- ④

A(g)	B(g)
1.5 atm	1.5 atm
$\frac{2}{3}$ L	$\frac{4}{3}$ L

B(g)	C(g)
1.5 atm	1.5 atm
$\frac{2}{3}$ L	$\frac{4}{3}$ L
- ⑤

A(g)	B(g)
1.5 atm	1.5 atm
$\frac{2}{3}$ L	$\frac{4}{3}$ L

B(g)	C(g)
1.5 atm	1.5 atm
$\frac{4}{3}$ L	$\frac{2}{3}$ L

화학 반응식이 $2A(g) \rightarrow B(g)$ 이므로 분자량비는 A : B = 1 : 2이다.

06 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.

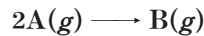
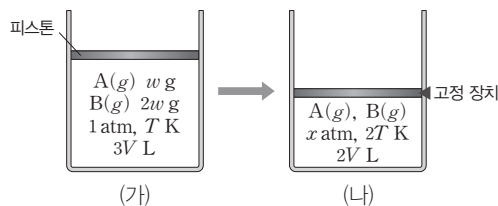


그림 (가)는 T K에서 실린더에 A(g)와 B(g)가 들어 있는 초기 상태를, (나)는 $2T$ K에서 A(g)의 일부를 반응시킨 후 부피를 $2V$ L가 되게 고정시킨 상태를 나타낸 것이다. $\frac{\text{(나)에서 기체의 양(mol)}}{\text{(가)에서 기체의 양(mol)}} = \frac{5}{6}$ 이다.



(나)에서 A(g)의 부분 압력(atm)은?

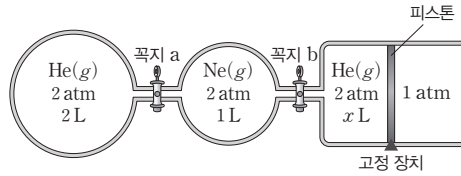
- ① $\frac{1}{2}$
- ② $\frac{3}{5}$
- ③ 1
- ④ $\frac{3}{2}$
- ⑤ 2

[26028-0019]

07 다음은 온도 T K에서 기체의 성질에 관한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 꼭지로 분리된 2개의 강철 용기와 실린더에 각각 He(g)과 Ne(g)을 넣는다.



(나) 꼭지 a를 열고 충분한 시간이 지난 후 용기 속 전체 기체의 압력을 측정한다.

(다) 꼭지 b를 열고 실린더의 고정 장치를 제거한 후 충분한 시간이 지난 뒤 실린더 속 기체의 부피를 측정한다.

[실험 결과]

- (나) 과정 후 용기 속 전체 기체의 압력 : P atm
- (다) 과정 후 실린더 속 기체의 부피 : 5 L

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도와 외부 압력은 각각 T K와 1 atm으로 일정하고, 연결관의 부피와 피스톤의 마찰은 무시한다.)

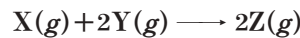
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $P+x=3$ 이다.
- ㄴ. (나) 과정 후 용기 속 He의 몰 분율은 $\frac{2}{3}$ 이다.
- ㄷ. (다) 과정 후 Ne의 부분 압력은 $\frac{1}{4}$ atm이다.

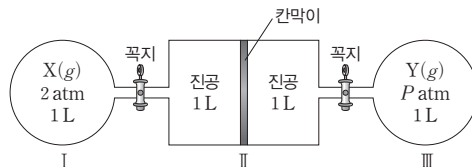
- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0020]

08 다음은 X(g)와 Y(g)가 반응하여 Z(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



그림은 꼭지로 분리된 용기와 실린더에 X(g)와 Y(g)가 들어 있는 모습을 나타낸 것이다.



꼭지를 모두 열고 칸막이를 제거한 후 반응을 완결시켰을 때, X(g)가 남아 있었고, Z(g)의 부분 압력은 0.5 atm이었다.

P는? (단, 온도는 일정하고, 칸막이와 연결관의 부피는 무시한다.)

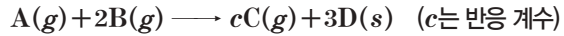
- ① 1
- ② 2
- ③ 2.5
- ④ 3
- ⑤ 4

온도가 일정하면 기체의 양 (mol)은 압력(P)과 부피(V)의 곱에 비례한다.

반응 전 X(g)의 양을 $2n$ mol 이라고 하면, Y(g)의 양은 Pn mol이다.

I에서 A(g)의 몰 분율이 $\frac{1}{4}$ 이므로 A(g)와 B(g)의 양을 각각 n mol, $3n$ mol이라고 할 수 있다.

09 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)와 D(s)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



표는 온도 T에서 강철 용기에 A(g)와 B(g)를 넣은 후 반응을 완결시킨 실험 I과 II에 대한 자료이다. I과 II에서 반응 전 A의 몰 분율은 다르다.

실험	반응 전		반응 후
	전체 기체의 압력(atm)	A(g)의 몰 분율	C(g)의 부분 압력(atm)
I	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$
II	1	x	$\frac{1}{2}$

$c \times x$ 는? (단, 온도는 일정하고, 고체의 부피와 증기 압력은 무시한다.)

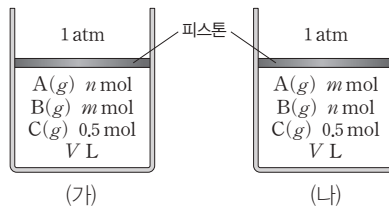
- ① $\frac{1}{3}$ ② 1 ③ 2 ④ 4 ⑤ 5

(가)에서 반응이 완결되었을 때, A(g)와 B(g)가 모두 반응하였으므로 $m=2n$ 이다.

10 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)와 D(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



그림 (가)는 온도 T에서 실린더에 A(g)~C(g)를 넣은 초기 상태를, (나)는 (가)의 A(g)와 B(g)의 양을 달리하여 넣은 초기 상태를 나타낸 것이다. (가)에서 반응이 완결되었을 때 A(g)와 B(g)가 모두 반응하여 소모되었고, $\frac{D(g) \text{의 부분 압력}}{C(g) \text{의 부분 압력}} = 2$ 이었다.



(나)에서 반응이 완결된 후, $\frac{C(g) \text{의 부분 압력(atm)}}{\text{실린더 속 기체의 부피(L)}}$ 은? (단, 온도와 외부 압력은 각각 T와 1 atm으로 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

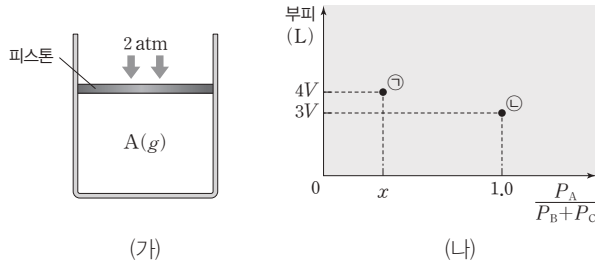
- ① $\frac{3}{25V}$ ② $\frac{1}{8V}$ ③ $\frac{3}{16V}$ ④ $\frac{6}{25V}$ ⑤ $\frac{1}{4V}$

[26028-0023]

11 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



그림 (가)는 온도 T 와 외부 압력 2 atm에서 실린더에 A(g)를 넣은 모습을, (나)는 (가)에서 반응이 진행되는 동안 A(g)~C(g)의 부분 압력비 $\frac{P_A}{P_B+P_C}$ 와 실린더 속 기체의 부피(L)를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도와 외부 압력은 각각 T 와 2 atm으로 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x = \frac{1}{5}$ 이다.
 ㄴ. 남은 A(g)의 양(mol)은 ㉡에서가 ㉠에서보다 많다.
 ㄷ. ㉡에서 P_A 는 0.5 atm이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

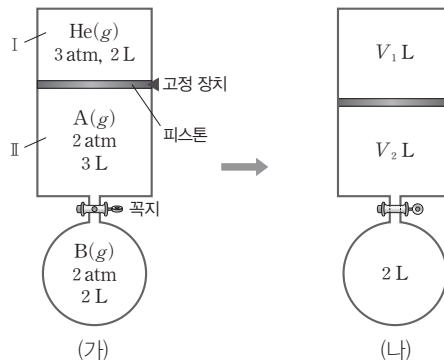
[26028-0024]

12 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



그림 (가)는 피스톤으로 분리된 실린더 I과 II에 각각 He(g)와 A(g)를, 꼭지로 분리된 강철 용기에 B(g)를 넣은 초기 상태를, (나)는 꼭지를 열고 반응을 완결시킨 후 고정 장치를 제거하고 충분한 시간이 지난 상태를 나타낸 것이다. (나)에서 $\frac{V_2}{V_1} = \frac{19}{21}$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하고, 연결관의 부피와 피스톤의 질량 및 마찰은 무시한다.)



I에서 He(g)의 양(mol)을 $6n$ mol이라고 하면, 반응 후 혼합 기체의 양(mol)은 $(2+4c)n$ 이고, He(g)의 양(mol)은 $6n$ 이므로 전체 기체의 양은 $(8+4c)n$ mol이다.

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $c=1$ 이다.
 ㄴ. (나)의 II와 강철 용기에서 남은 반응물의 몰 분율은 $\frac{1}{5}$ 이다.
 ㄷ. (나)에서 He(g)의 압력은 $\frac{16}{7}$ atm이다.

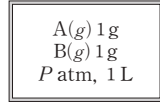
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

수능 3점 테스트

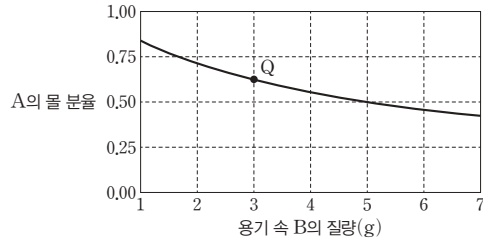
[26028-0025]

A(g)가 1g, B(g)가 5g일 때 A의 몰 분율이 0.5이므로 이때 몰비는 A : B = 1 : 1이다.

13 그림 (가)는 T K에서 강철 용기에 A(g)와 B(g) 각각 1g을 넣은 모습을, (나)는 (가)의 강철 용기에 B(g)를 추가로 넣었을 때, 용기 속 B의 질량에 따른 A의 몰 분율을 나타낸 것이다. Q에서 A의 부분 압력은 Q_A atm이다.



(가)



(나)

$Q_A \times \frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}}$ 은? (단, 온도는 일정하고, A와 B는 반응하지 않는다.)

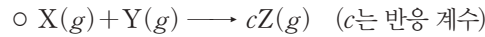
- ① $\frac{1}{10}P$ ② $\frac{1}{6}P$ ③ $\frac{1}{5}P$ ④ $\frac{4}{3}P$ ⑤ $\frac{25}{6}P$

[26028-0026]

강철 용기 II와 I에 각각 들어 있는 X(g)와 Y(g)의 양 (mol)은 2n, n이다.

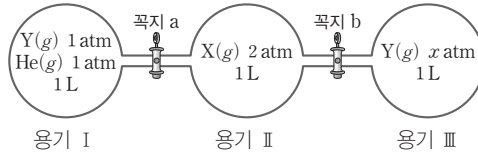
14 다음은 기체의 성질을 알아보기 위한 실험이다.

[화학 반응식]



[실험 과정]

(가) 그림과 같이 꼭지로 분리된 3개의 강철 용기에 X(g), Y(g), He(g)을 넣는다.



(나) 꼭지 a를 열어 반응을 완결시키고 충분한 시간이 흐른 후 꼭지를 닫는다.

(다) 꼭지 b를 열어 반응을 완결시키고 충분한 시간이 흐른 후 꼭지를 닫는다.

[실험 결과]

- (나) 과정 후 용기 II에서 X(g)의 몰 분율은 $\frac{1}{3}$ 이다.
- (다) 과정 후 $\frac{\text{용기 III에서 Y(g)의 부분 압력(atm)}}{\text{용기 I에서 He(g)의 부분 압력(atm)}} = \frac{5}{2}$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하고, 연결관의 부피는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $c + x = 4$ 이다.
- ㄴ. (다) 과정 후 용기 II에서 Z(g)의 몰 분율은 $\frac{1}{7}$ 이다.
- ㄷ. (다) 과정 후 꼭지를 모두 열고 반응을 완결시킨 후 전체 기체의 압력은 $\frac{11}{6}$ atm이다.

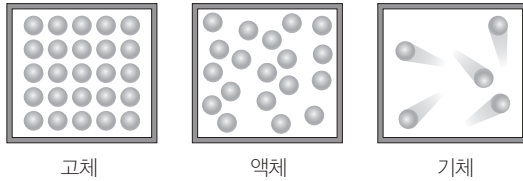
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 액체와 고체

1 분자 간 상호 작용

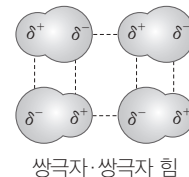
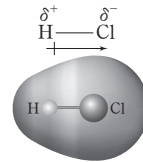
(1) 분자 간 힘과 물질의 상태

- ① 온도와 분자 운동 : 액체에 열에너지를 가하면 분자의 평균 운동 속력이 증가하여 분자 운동이 활발해져 액체의 온도가 높아진다. 이때 분자의 운동 에너지가 분자 사이에 작용하는 힘을 극복할 만큼 커지면 물질의 상태가 변하면서 기체 상태로 존재한다.
- ② 분자 운동과 물질의 상태 : 물질의 상태에 따른 분자의 평균 운동 에너지는 고체 < 액체 < 기체 이므로 분자 운동은 기체가 가장 활발하다. 이때 분자 사이에 작용하는 힘의 세기는 고체 > 액체 > 기체이다.
- ③ 분자 간 힘과 끓는점 : 분자 사이에 작용하는 힘이 클수록 액체에서 기체로의 상태 변화에 많은 에너지가 필요하므로 끓는점이 높다.



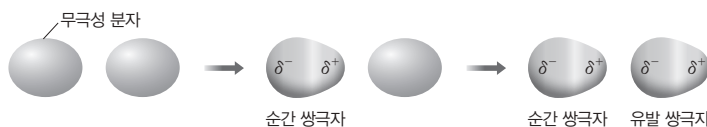
(2) 쌍극자·쌍극자 힘

- ① 쌍극자 : 염화 수소(HCl)와 같은 극성 분자에서 공유 전자쌍은 전기 음성도가 큰 원자 쪽으로 치우쳐 존재하게 된다. 이때 전기 음성도가 큰 Cl는 부분적인 음전하(δ^-)를, 전기 음성도가 작은 H는 부분적인 양전하(δ^+)를 띠게 되는데, 이와 같이 분자 내에 존재하는 양전하와 음전하의 쌍을 쌍극자라고 한다. 쌍극자 모멘트는 분자의 극성을 나타내는 척도 중 하나이다.
- ② 쌍극자를 갖는 극성 분자들이 서로 접근하면 쌍극자와 쌍극자 사이의 전기적인 인력이 작용하는데, 이러한 분자 간의 힘을 쌍극자·쌍극자 힘이라고 한다.
- ③ 쌍극자·쌍극자 힘은 분자의 극성이 클수록 강하다(쌍극자 모멘트의 크기는 분리된 전하의 크기가 클수록, 두 전하 사이의 거리가 멀수록 커지고, 쌍극자 모멘트의 크기가 클수록 대체로 분자의 극성이 크다).
 ➔ 전기적 인력은 전하를 띤 입자의 거리가 가까울수록, 전하의 크기가 클수록 크다.
- ④ 분자량이 비슷하면 무극성 분자 사이에 작용하는 힘보다 극성 분자 사이에 작용하는 힘이 크다.



(3) 분산력

- ① 편극 현상 : 분자에서 전자구름이 일시적으로 한쪽으로 치우쳐서 부분적인 전하를 띠는 현상이 일어나는데, 이를 편극 현상이라고 한다.
- ② 분산력 : 무극성 분자 내의 편극 현상에 의해 순간적으로 형성된 쌍극자와 이웃한 분자의 유발 쌍극자 사이에 작용하는 분자 간 힘을 분산력이라고 한다. 전자가 존재하면 편극 현상이 일어나므로 모든 분자에서 분산력이 작용한다.



개념 체크

- ① 상태에 따른 분자 운동 에너지 : 기체 > 액체 > 고체
- ② 쌍극자 : 극성 분자 내에 존재하는 양전하와 음전하의 쌍을 쌍극자라고 한다.
- ③ 분산력 : 모든 분자 사이에 작용하는 분자 간 상호 작용으로 순간 쌍극자와 이에 의해 유발된 유발 쌍극자 사이에 작용하는 힘이다.

1. 어떤 물질의 고체, 액체, 기체 상태에서 분자 사이에 작용하는 힘의 크기는 고체 > 액체 > 기체이다. (○, ×)
2. 극성 분자에서 ()가 큰 원자 쪽으로 공유 전자쌍이 치우치게 되어, 분자 내에 양전하와 음전하의 쌍이 존재하게 된다.
3. 분산력은 무극성 분자 사이에서만 일어나는 분자 간 상호 작용이다. (○, ×)

정답

1. ○
2. 전기 음성도
3. ×

개념 체크

- ➔ 대체로 분자량이 클수록 분산력이 크고, 분자량이 비슷하면 표면적이 클수록 분산력이 크다.
- ➔ 수소 결합을 하는 분자는 분자량이 비슷한 다른 분자들보다 끓는점이 높다.

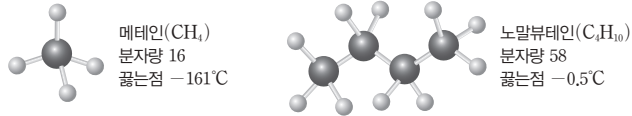
1. 대체로 분자량이 큰 분자들이 분산력이 크다. (○, ×)

2. F, O, N와 같이 전기 음성도가 매우 큰 원자에 결합된 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 작용하는 강한 인력을 ()이라고 한다.

3. DNA의 염기 사이에는 수소 결합이 작용한다. (○, ×)

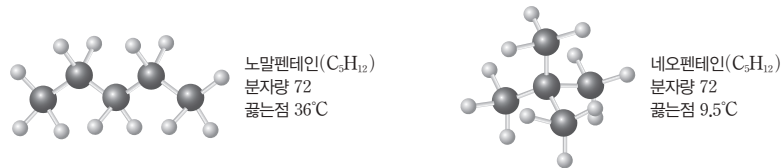
- ③ 전자의 분포는 분자 간의 영향으로 항상 변화하므로 분산력은 모든 분자 사이에 작용한다.
- ④ 분자량이 클수록 분자 내 전자가 많아 전자구름의 편극 현상이 크게 일어나므로 대체로 분자량이 큰 분자일수록 분산력이 크다.

예 메테인과 노말부테인 : 분자량은 노말부테인이 메테인보다 크므로 노말부테인이 메테인보다 분산력이 크고, 끓는점이 높다.



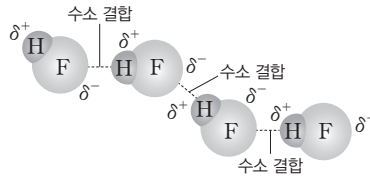
- ⑤ 분자량이 비슷한 분자의 경우 구조에 따라 분자의 표면적이 클수록 분산력이 크다.

예 노말펜테인과 네오펜테인 : 노말펜테인과 네오펜테인은 분자량이 같지만 표면적은 노말펜테인이 네오펜테인보다 커서 노말펜테인이 네오펜테인보다 분산력이 크고, 끓는점이 높다.

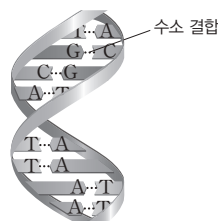


(4) 수소 결합

- ① F, O, N와 같이 전기 음성도가 매우 큰 원자에 결합된 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 작용하는 강한 인력이다.



- ② 수소 결합을 하는 대표적인 물질에는 HF, H₂O, NH₃ 등이 있다.
- ③ 수소 결합을 하는 물질은 분자량이 비슷한 다른 물질보다 끓는점이 높다.
- ④ 수소 결합은 분자 사이에 작용하는 강한 힘이다. 그러나 이온 결합, 공유 결합, 금속 결합과 같은 화학 결합에 비해서는 약한 힘이다.
- ⑤ DNA가 이중 나선 구조를 형성하거나 단백질의 일부가 나선 구조를 이루는 것은 수소 결합이 존재하기 때문으로, 수소 결합은 생명체 내에서도 중요한 역할을 한다.



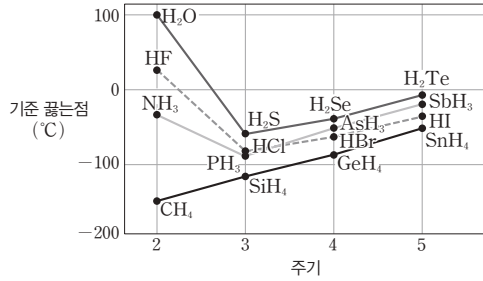
DNA 이중 나선 구조

정답

1. ○
2. 수소 결합
3. ○

탐구자료 살펴보기 **수소 화합물의 끓는점**

자료 14~17족 원소의 수소 화합물의 주기에 따른 기준 끓는점 비교



- 분석**
- 14족부터 17족까지의 원소는 수소와 공유 결합하여 분자를 형성한다.
 - 끓는점은 분자 사이의 인력이 커질수록 높아진다.
 - 14족 원소의 수소 화합물은 무극성 분자이므로 분산력만 작용한다. 이때 14족 원소의 원자 번호가 커질수록 분자량이 커져 분산력이 증가하고, 끓는점은 높아진다.
 - 15족, 16족, 17족 원소의 수소 화합물은 극성 분자이므로 분산력 외에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다. 그런데 같은 족에서 3주기, 4주기, 5주기로 갈수록 끓는점이 높아지는 것은 원소의 원자 번호가 커질수록 분자량이 커져 분산력이 증가하기 때문이다.
 - HF, H₂O, NH₃가 끓는점이 높은 것은 분자 사이에 수소 결합이 존재하기 때문이다.

분석 point 수소 결합을 하는 수소 화합물은 수소 결합을 하지 않는 수소 화합물에 비해 대체로 끓는점이 높다. 또한 분산력은 모든 분자에 작용하는 힘으로 극성 분자의 경우도 분자량이 클수록 분산력이 크게 작용하여 끓는점이 높다.

개념 체크

- ➔ 14족 수소 화합물의 끓는점 : 14족 원소들의 수소 화합물은 분산력만 작용하므로 분자량이 커질수록 분자 간 힘이 증가한다.
- ➔ 15, 16, 17족 수소 화합물의 끓는점 : 극성 분자이므로 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하지만, 주기가 증가할수록 분산력이 증가한다.
- ➔ H₂O, NH₃, HF의 끓는점이 높은 이유 : 수소 결합이 존재하기 때문이다.

1. NH₃의 끓는점이 다른 15족 원소의 수소 화합물보다 높은 것은 () 이 존재하기 때문이다.
2. SiH₄의 끓는점이 CH₄보다 높은 것은 분자량이 커서 분산력이 크기 때문이다. (○, ×)
3. HBr가 HCl보다 끓는점이 높은 주된 이유는 쌍극자·쌍극자 힘이 크기 때문이다. (○, ×)

과학 돋보기 **분자 간 힘 비교**

물질	분자량	끓는점(°C)
H ₂ O	18	100
Cl ₂	71	-34.0
HCl	36.5	-85
F ₂	38	-188.1

[분산력 비교]

분자량이 클수록 분산력이 대체로 크다.

예 F₂과 Cl₂의 비교 : 분자량이 Cl₂(71)가 F₂(38)보다 크므로 분산력은 Cl₂가 F₂보다 크다.

[쌍극자·쌍극자 힘 유무 비교]

분자량이 비슷하면 분산력은 비슷하므로 쌍극자·쌍극자 힘이 존재하는 극성 분자가 쌍극자·쌍극자 힘이 존재하지 않는 무극성 분자보다 분자 사이에 작용하는 힘이 크다.

예 F₂과 HCl의 비교 : 분자량은 F₂(38)과 HCl(36.5)가 비슷하지만, HCl은 극성 분자이고, F₂은 무극성 분자이므로 분자 사이에 작용하는 힘은 HCl이 F₂보다 크다.

[수소 결합의 유무에 따른 비교]

F, O, N에 결합된 H 원자와 이웃하는 분자의 F, O, N 사이에 작용하는 수소 결합은 매우 강한 힘으로, 수소 결합을 하는 물질은 분자 사이에 작용하는 힘이 매우 크다.

예 H₂O과 Cl₂의 비교 : 분자량은 Cl₂(71)가 H₂O(18)보다 크지만, H₂O은 수소 결합을 하므로 분자 사이에 작용하는 힘은 H₂O이 Cl₂보다 크다.

정답

1. 수소 결합
2. ○
3. ×

개념 체크

☞ 물의 수소 결합과 밀도 : 고체 상태의 물이 액체 상태의 물보다 밀도가 작은 이유는 고체 상태에서는 수소 결합을 하면서 육각 구조의 빈 공간이 있는 결정을 형성하기 때문이다.

1. 물의 분자 모양은 () 이다.
2. 물 분자 사이에는 수소 결합이 형성된다. (O, X)
3. 액체 상태의 물이 고체 상태의 물이 되면 분자당 수소 결합의 수가 감소한다. (O, X)
4. 같은 질량의 물의 부피는 액체 상태에서의 고체 상태에서의보다 크다. (O, X)

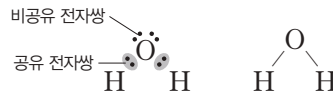
2 액체의 성질

(1) 액체

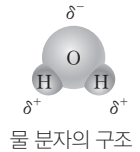
- ① 외부 압력에 따른 액체의 부피 변화는 기체에 비해 매우 작다.
- ② 액체는 유동성을 갖는 상태로 일정한 모양이 없고 용기에 따라 모양이 달라진다.
- ③ 같은 질량의 기체에 비해 그 부피가 매우 작아 기체보다 밀도가 크다.

(2) 물 분자 구조와 극성

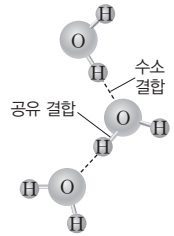
- ① 분자 구조 : 물은 산소 원자 1개와 수소 원자 2개가 공유 결합하여 형성된다. 중심 원자인 산소 원자에 2개의 공유 전자쌍과 2개의 비공유 전자쌍이 있어 그림과 같이 분자 모양은 굽은 형이다.



- ② 극성 : 물 분자는 전기적으로 볼 때 전체적으로 중성이다. 그러나 전기 음성도가 상대적으로 큰 산소 원자 쪽으로 공유 전자쌍이 치우침에 따라 산소 원자 쪽은 부분적인 음전하(δ^-)를 띠고, 수소 원자 쪽은 부분적인 양전하(δ^+)를 띤다. 또한 굽은 형의 분자 구조를 가지는 물 분자의 쌍극자 모멘트는 0이 아니므로 물은 극성 분자이다.

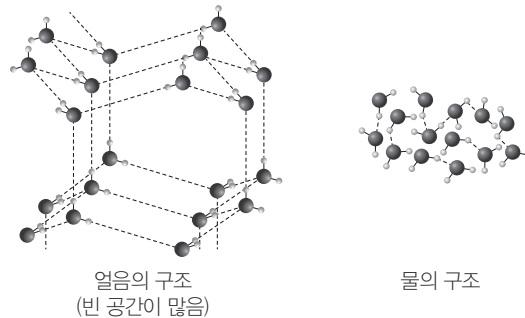


- ③ 물의 수소 결합 : 물 분자 내의 부분적인 음전하(δ^-)를 띠는 산소 원자는 이웃하는 물 분자의 부분적인 양전하(δ^+)를 띠는 수소 원자와 수소 결합을 형성한다. 물 분자 사이에 작용하는 수소 결합은 매우 강하게 작용하는 분자 사이의 힘으로, 이 힘을 끊기 위해서는 많은 에너지가 필요하다. 물은 다른 물질과는 다른 독특한 성질을 나타내는데, 이러한 물의 특성은 대부분 수소 결합과 관련이 있다.



(3) 수소 결합에 의한 물의 특성

- ① 밀도와 부피 변화 : 일반적으로 물질의 상태에 따른 밀도의 크기는 고체 > 액체 > 기체이다. 그러나 물은 고체인 얼음의 밀도가 액체인 물의 밀도보다 작다. 즉, 같은 질량의 얼음의 부피는 물의 부피보다 크다. 그 이유는 물이 얼 때 1개의 물 분자가 주변에 이웃한 4개의 물 분자와 수소 결합을 하면서 입체 육각 구조의 빈 공간이 있는 결정을 형성하기 때문이다. 이것으로 얼음이 물 위에 뜨는 이유를 설명할 수 있다.

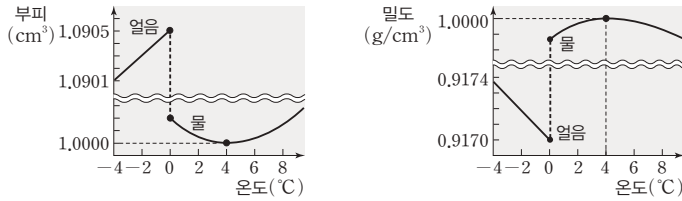


정답

1. 굽은 형
2. O
3. X
4. X

탐구자료 살펴보기 온도에 따른 H₂O의 부피와 밀도

자료 1 atm에서 얼음을 가열하여 물이 될 때 H₂O 1g의 온도에 따른 부피와 밀도 변화



- 분석**
- 얼음의 온도가 높아지면 분자 운동이 활발해지므로 부피가 증가하고 밀도는 감소한다.
 - 0°C에서 얼음이 녹아 0°C 물이 될 때 얼음의 결정 구조를 이루는 수소 결합의 일부가 끊어지면서 부피는 감소하고 밀도는 증가한다.
 - 0°C → 4°C에서는 열팽창에 의해 생기는 액체의 부피 증가보다 수소 결합이 끊어지면서 생기는 부피 감소가 더 크기 때문에 물의 부피는 감소하고 밀도는 증가한다.
 - 4°C 이상에서는 온도 증가에 따른 액체의 열팽창으로 인해 부피가 증가하고 밀도는 감소한다.

분석 point 물 분자 간 수소 결합은 매우 강하여 얼음이 될 때 입체 육각 구조가 형성되어 유지되면서 빈 공간들이 나타난다. 따라서 물은 다른 물질과 달리 고체인 얼음의 밀도가 액체인 물의 밀도보다 작다.

개념 체크

➔ **물의 특성** : 물은 분자 간에 강한 수소 결합을 형성하므로 분자량이 비슷한 다른 물질들에 비하여 분자 간 힘이 크다.
 ➔ 끓는점이 높고, 기화열, 비열, 표면 장력이 크다.

1. 0°C 얼음의 부피는 0°C 물보다 크다. (○, ×)
2. 0°C에서 4°C로 될 때 액체 상태의 물의 밀도는 증가한다. (○, ×)
3. 물의 밀도는 0°C일 때가 가장 크다. (○, ×)
4. 물은 분자량이 큰 다른 물질에 비하여 비열이 크므로 온도 변화가 크게 나타난다. (○, ×)

② 녹는점과 끓는점

- 고체가 액체로 상태가 변화되거나 액체가 기체로 상태가 변화될 때는 분자 간 힘을 끊어야 하므로 열에너지가 필요하다. 일반적으로 분자 사이에 작용하는 힘이 클수록 고체가 액체로 되거나 액체가 기체로 될 때 더 많은 열에너지가 필요하므로 녹는점과 끓는점이 높다.
- 물은 분자 간에 수소 결합을 형성하므로 분자량이 비슷한 다른 물질에 비해 분자 간 힘이 크다. 따라서 분자량이 비슷한 다른 물질에 비해 녹는점과 끓는점이 높다.

물질	분자량	녹는점(°C)	끓는점(°C)
메테인(CH ₄)	16	-182.5	-161.5
암모니아(NH ₃)	17	-77.7	-33.3
물(H ₂ O)	18	0	100

③ **기화열(증발열)** : 물 분자는 분자 간 힘이 커서 분자량이 비슷한 다른 물질에 비해 분자 사이에 작용하는 힘을 끊고 상태를 변화시키는 데 필요한 열량이 크다. 즉, 물은 분자량이 비슷한 다른 물질보다 기화열(증발열)이 매우 크다.

예 더운 여름철 마당에 물을 뿌리면 시원해진다. 그 이유는 증발열이 큰 물이 증발하면서 주변의 열을 많이 흡수하기 때문이다.

④ **비열** : 물질 1g의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열량을 비열이라고 한다.

- 같은 물질이라도 물질의 상태에 따라 비열이 달라지고, 질량이 같을 때 비열이 큰 물질일수록 온도를 높이는 데 많은 열량이 필요하다. 따라서 비열이 큰 물질일수록 같은 열량에 따른 온도 변화가 작게 나타난다.

H ₂ O의 상태	고체(얼음)	액체(물)	기체(수증기)
비열(J/(g·°C))	2.10	4.18	2.08

정답

1. ○
2. ○
3. ×
4. ×

개념 체크

④ **비열** : 물질 1g의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열량으로, 질량이 같을 때 비열이 큰 물질일수록 온도를 높이는 데 더 많은 열량이 필요하다.

⑤ **표면 장력** : 액체의 표면적을 단위 면적만큼 증가시키는 데 필요한 에너지이다.

→ 표면 장력이 클수록 액체 방울의 표면이 구형에 가까워진다.

1. 낮에는 해풍이 불고 밤에는 육풍이 부는 까닭은 물의 ()이 크기 때문이다.

2. 액체의 표면적을 단위 면적만큼 증가시키는 데 필요한 에너지를 ()이라고 한다.

3. 물이 가득 담긴 컵에 동전을 넣어도 물이 넘치지 않는 것은 물의 표면 장력이 크기 때문이다.
(○, ×)

• 물은 비열이 크므로 같은 질량의 다른 액체 물질에 비해 가열할 때 온도가 서서히 높아지고 냉각할 때 온도가 서서히 낮아진다.

물질	물(H ₂ O)	에탄올(C ₂ H ₅ OH)	아세트산(CH ₃ COCH ₃)
비열(J/(g·°C))	4.18	2.44	2.18

• 한낮에는 바다보다 비열이 작은 육지의 온도가 더 빨리 높아지기 때문에 육지 쪽 공기가 상대적으로 따뜻하고, 바다 쪽 공기가 상대적으로 차갑다. 반면, 밤에는 육지의 온도가 더 빨리 낮아지기 때문에 육지 쪽 공기가 상대적으로 차갑고, 바다 쪽 공기가 상대적으로 따뜻하다. 이러한 이유로 낮에는 해풍이, 밤에는 육풍이 분다.

• 생물체 내의 물은 외부 기온의 변화에 관계없이 체온을 일정하게 유지하는 데 도움을 준다.

⑤ **표면 장력** : 표면 장력은 액체의 표면적을 단위 면적만큼 증가시키는 데 필요한 에너지로 정의되며, 표면 장력이 클수록 액체가 표면적을 최소화하려는 경향이 크다. 표면 장력이 생기는 이유는 액체 내부의 분자는 모든 방향으로 힘을 받지만 액체 표면의 분자는 액체 내부로만 힘을 받기 때문에 불안정하다. 따라서 표면으로 분자를 끌어내는 데 에너지가 필요하며, 액체는 표면적을 줄여 에너지를 최소화하려는 성질을 가진다.



분자 사이에 작용하는 힘이 큰 액체일수록 대체로 표면 장력이 크다. 물은 분자 간에 수소 결합을 하기 때문에 다른 물질에 비해 분자 간 힘이 크므로 표면 장력이 크다. 물방울 표면에 있는 물 분자들은 물방울 중심 방향으로만 힘을 받게 되면서 구형을 이루게 되는데, 이는 액체가 구형일 때 가장 작은 표면적을 갖기 때문이다.

- 예
- 물보다 밀도가 큰 바늘이나 클립 등을 물 위에 띄울 수 있다.
 - 물이 가득 담긴 유리컵에 클립이나 동전을 넣어도 물이 바로 흘러넘치지 않는다.
 - 소금쟁이가 물 위에 떠서 다닐 수 있다.
 - 풀잎에 물방울이 둥근 모양으로 맺힌다.

탐구자료 살펴보기 **물의 표면 장력**

실험 과정 실험 I. 물과 잘 섞이지 않는 양초로 문지른 유리 판의 표면에 스포이트로 물을 몇 방울 떨어뜨린 후 관찰한다.

실험 II. 컵에 물을 가득 담고, 클립을 1개씩 조심스럽게 넣으면서 물의 표면을 관찰한다.

실험 결과 실험 I. 물방울이 둥근 모양이다.

실험 II. 컵의 물이 바로 넘치지 않고 컵 위로 볼록하게 올라온다.



실험 I



실험 II

분석 point

- 실험 I에서 물방울이 둥근 모양을 나타내는 이유는 물의 표면 장력이 작용하기 때문이다.
- 실험 II에서 물이 바로 넘치지 않고 위로 볼록하게 올라오는 이유는 물의 표면 장력이 작용하여 가장자리 물이 넘치지 않도록 내부의 물이 강하게 잡아당기고 있기 때문이다.

정답

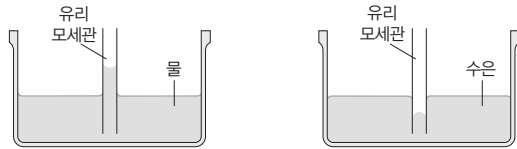
1. 비열
2. 표면 장력
3. ○

⑥ 모세관 현상 : 액체 속에 모세관을 넣었을 때 모세관 내의 액체 면이 외부의 액체 면보다 높아지거나 낮아지는 현상을 모세관 현상이라고 한다.

- 물속에 유리 모세관을 넣었을 때는 물과 유리 모세관 사이의 부착력이 물 분자들끼리의 응집력보다 크기 때문에 모세관 안쪽 수면은 모세관 바깥 쪽보다 위로 올라가고, 모양은 아래로 오목해진다.

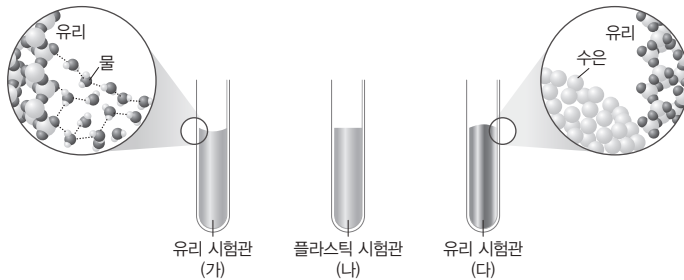
예 종이나 수건의 주성분인 셀룰로스에 대하여 물의 부착력이 커서 종이나 수건의 미세한 틈 사이로 물이 스며든다.

- 수은 속에 유리 모세관을 넣었을 때는 수은의 응집력이 수은과 유리 모세관 사이의 부착력보다 크기 때문에 모세관 안쪽 수은 면은 모세관 바깥쪽보다 아래로 내려가고, 모양은 위로 볼록해진다.

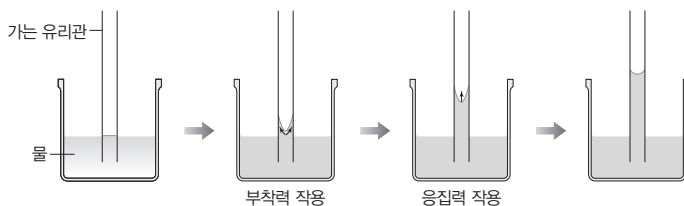


과학 돋보기

물의 부착력과 응집력



- (가) : 유리 시험관에 물을 넣었을 때 수면은 가운데 부분이 오목하게 들어가고 가장자리 쪽은 시험관 벽에 붙어 약간 올라간다.
- (나) : 플라스틱 시험관에 물을 넣었을 때 수면은 거의 수평이다.
- (다) : 유리 시험관에 수은을 넣었을 때 수은 면은 가운데 부분이 볼록하게 올라가고 가장자리 쪽은 약간 내려간다.
- 물 분자 사이의 힘과 같이 같은 종류의 입자 사이에 작용하는 힘을 응집력이라고 하고, 물과 유리와 같이 다른 종류의 입자 사이에 작용하는 힘을 부착력이라고 한다.
- (가)에서 유리와 물 분자 사이의 부착력이 물 분자 사이의 응집력보다 크기 때문에 물 분자가 유리벽을 타고 더 올라가게 되어 수면의 가운데 부분이 오목해진다.
- (다)에서 수은 사이의 응집력이 유리와 수은 사이의 부착력보다 크기 때문에 수은 면의 가운데 부분이 볼록해진다.
- 모세관 현상의 원리 : 물이 들어 있는 용기에 가느다란 유리관을 세워 놓으면 유리관 내부 벽과 물 분자 사이의 부착력으로 물 분자가 올라가게 되고, 유리벽을 따라 올라간 물 분자와 수면의 물 분자 사이의 응집력에 의해 당겨져 올라가기 때문에 모세관 현상이 나타난다. 부착력과 응집력에 의해 모세관 안쪽의 수면은 점점 올라가다가 모세관 안쪽과 바깥쪽의 중력 차를 더 이상 극복하지 못하는 높이에서 멈춘다.



개념 체크

➔ 모세관 현상 : 가느다란 관을 따라 액체가 올라가거나 내려가는 현상을 말한다.

1. 물속에 유리 모세관을 넣으면 모세관 안쪽 수면은 바깥쪽보다 위쪽으로 올라가는데, 이를 () 이라고 한다.
2. 모든 액체에 모세관을 넣으면 모세관 안쪽 수면이 바깥쪽보다 위로 올라간다. (O, X)
3. 수은은 부착력이 응집력보다 작기 때문에 수은에 유리관을 넣으면 안쪽 수은 면이 바깥쪽보다 높이가 낮다. (O, X)

정답

1. 모세관 현상
2. X
3. O

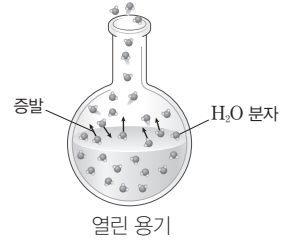
개념 체크

- ▶ 액체의 증기 압력 : 밀폐된 용기에 들어 있는 액체의 증발 속도와 응축 속도가 같은 동적 평형 상태에서 증기가 나타내는 압력이다.
- ▶ 증기 압력 곡선 : 온도에 따른 액체의 증기 압력을 나타낸 것이다.

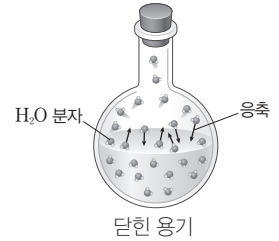
1. 액체의 증기 압력은 밀폐된 용기에서 증발 속도와 () 속도가 같은 동적 평형 상태에서 증기가 나타내는 압력이다.
2. 증발과 응축은 액체의 표면에서 일어나는 현상이다. (○, ×)
3. 액체의 온도가 높아지면 분자의 평균 운동 에너지가 증가하여 액체의 증기 압력이 커진다. (○, ×)

(4) 액체의 증기 압력

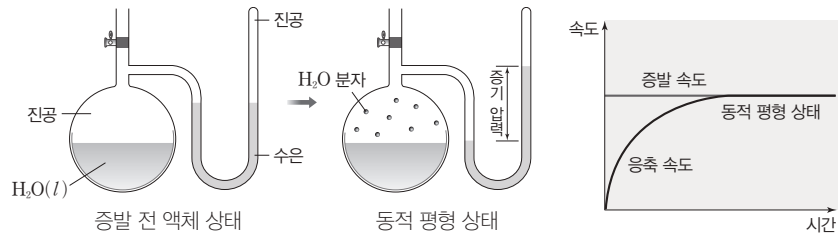
- ① 증발 : 액체 표면의 분자는 내부에 있는 분자에 비해 분자 사이에 작용하는 힘이 상대적으로 작기 때문에 기화되어 날아가는데 이러한 현상을 증발이라고 한다.
 ▶ 열린 용기에 물을 담아두면 증발이 일어나 시간이 지나면 물의 양이 점점 줄어든다.



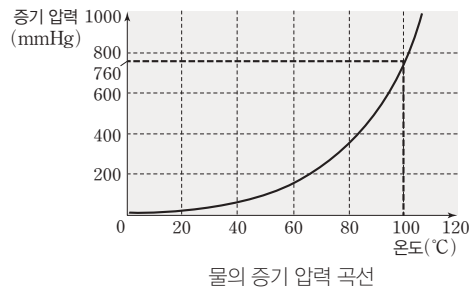
- ② 응축 : 액체가 담긴 용기를 뚜껑으로 막으면 오랜 시간이 지나도 액체의 양은 거의 변하지 않는다. 이는 액체 표면에서 증발된 기체 분자들 중 일부가 액체 표면과 충돌을 통해 다시 액체로 변하기 때문인데 이를 응축이라고 한다.



- ③ 동적 평형과 증기 압력 : 액체 표면에서 일어나는 증발은 액체 분자의 분자 사이의 힘과 운동에 따라 달라지므로 온도의 영향을 받는다. 따라서 온도가 일정할 때 액체 표면에서 일어나는 증발 속도는 일정하다. 그러나 증발된 기체 분자가 다시 응축되는 것은 단위 부피당 기체 분자 수가 많을수록 잘 일어나므로 닫힌 용기에서 응축 속도는 시간이 지날수록 증가하게 된다. 일정한 온도에서 닫힌 용기 내 액체 표면에서의 증발 속도와 증기의 응축 속도가 같아져 동적 평형이 되면 증기의 양이 일정하게 유지된다. 이때 증기가 나타내는 압력을 그 액체의 증기 압력이라고 한다.



- ④ 온도와 증기 압력 : 액체의 온도가 높아지면 분자의 평균 운동 에너지가 증가하여 분자들의 증발 속도가 증가하고 이에 따라 증기 압력이 증가한다. 이와 같이 온도에 따른 액체의 증기 압력을 나타낸 것을 증기 압력 곡선이라고 한다.



정답

1. 응축
2. ○
3. ○

- ⑤ 증기 압력 곡선과 끓는점 : 액체의 온도가 높아져서 증기 압력이 점점 증가하다가 액체의 증기 압력이 외부 압력과 같아지게 되면 액체 내부에서도 기화가 일어나면서 기포가 발생하게 되는데 이러한 현상을 끓음이라고 한다. 또한 이때의 온도를 액체의 끓는점이라고 한다. 특히 외부 압력이 1 atm 일 때의 끓는점을 기준 끓는점이라고 하며 물의 기준 끓는점은 100°C이다.
- ⑥ 분자 사이의 힘과 끓는점 : 액체 상태에서 분자 사이의 힘이 클수록 분자 사이의 힘을 끊고 기체로 상태 변화되기 위해 많은 열에너지가 필요하다. 대체로 분자 사이의 힘이 클수록 액체 표면에서의 증발 속도는 작게 나타나며 증기 압력도 작게 나타난다. 분자 사이의 힘이 클수록 외부 압력과 같아지기 위해 보다 많은 열에너지가 필요하므로 높은 온도에서 끓게 된다. 따라서 분자 사이의 힘이 클수록 같은 온도에서 대체로 증기 압력이 작으며, 기준 끓는점이 높은 경향이 있다.

개념 체크

☞ 끓는점 : 액체가 기체로 상태 변화할 때의 온도로, 액체의 증기 압력이 외부 압력과 같을 때의 온도이다. ➔ 분자 사이의 힘이 클수록 끓는점이 높다.

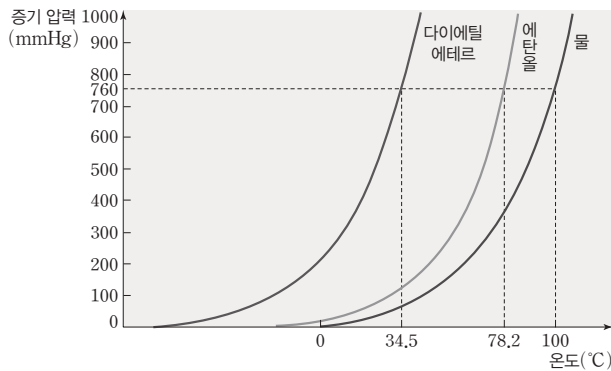
1. 끓는점은 액체의 () 압력이 외부 압력과 같을 때의 온도이다.
2. 액체 A의 끓는점이 액체 B보다 높으면, 분자 사이의 인력은 A (> , <) B이다.

[3~4] 탐구자료 살펴보기

3. 34.5°C에서 3가지 물질의 증기 압력을 비교하시오.
4. 다이에틸 에테르의 기준 끓는점은 에탄올보다 ()다.

탐구자료 살펴보기 여러 가지 물질의 증기 압력 곡선

자료 다이에틸 에테르, 에탄올, 물의 증기 압력 곡선



- 분석**
- 온도가 높아질수록 액체의 증기 압력이 커지는데, 이는 온도가 높아질수록 액체 표면에서의 증발 속도가 커지면서 증기의 양(mol)이 증가하고, 또한 증기의 온도가 높아지기 때문이다.
 - 액체의 증기 압력이 외부 압력과 같을 때의 온도를 끓는점이라고 하며, 외부 압력이 1 atm(760 mmHg) 일 때의 끓는점을 기준 끓는점이라고 한다.
 - 각 액체의 기준 끓는점

물질	다이에틸 에테르	에탄올	물
기준 끓는점(°C)	34.5	78.2	100

- 상온(25°C)에서 증기 압력은 다이에틸 에테르 > 에탄올 > 물이고, 분자 사이의 힘이 작을수록 증기 압력이 크므로 분자 사이의 힘은 물 > 에탄올 > 다이에틸 에테르이다.
- 증기 압력이 작은 물질일수록 외부 압력과 증기 압력이 같아지기 위해 높은 온도가 필요하므로 끓는점이 높다. 따라서 분자 사이의 힘이 클수록 기준 끓는점이 높다.
- 외부 압력이 1 atm보다 작으면 물은 100°C보다 낮은 온도에서 끓는다.

분석 point 액체 분자 사이의 힘이 클수록 대체로 증기 압력이 작고 끓는점은 높다. 따라서 물질의 기준 끓는점을 알면 액체 분자 사이의 힘을 비교할 수 있다.

정답

1. 증기
2. >
3. 다이에틸 에테르 > 에탄올 > 물
4. 낮

개념 체크

- ④ 결정성 고체는 녹는점이 일정하고, 비결정성 고체는 녹는점이 일정하지 않다.
- ⑤ 분자 결정 : 분자 사이의 약한 힘에 의해 규칙적으로 배열되어 이루어진 결정이다.
- ⑥ 공유 결정 : 원자들이 공유 결합에 의해 복잡하게 배열되어 이루어진 결정이다.
- ⑦ 금속 결정 : 금속 양이온과 자유 전자 사이의 전기적 인력에 의한 결합인 금속 결합으로 이루어진 결정이다.

1. 비결정성 고체는 입자 사이에 작용하는 힘의 크기가 일정하지 않으므로 녹는점이 일정하지 않다. (○, ×)
2. 드라이아이스(CO₂), 얼음(H₂O)은 () 결정이다.
3. 다이아몬드(C), 석영(SiO₂)은 () 결정이다.
4. 고체 나트륨(Na), 고체 마그네슘(Mg) 등의 금속 결정에는 금속 양이온 사이를 자유롭게 돌아다니는 ()가 있다.

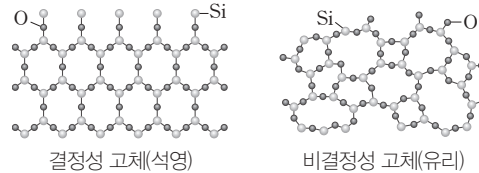
정답

1. ○
2. 분자
3. 공유(원자)
4. 자유 전자

3 고체

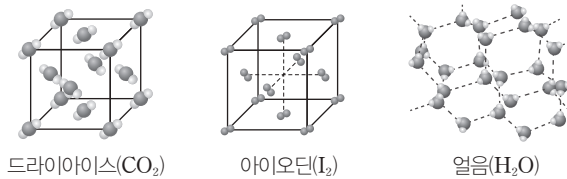
(1) 고체의 분류

- ① 결정성 고체 : 고체를 이루는 원자, 이온, 분자 등이 규칙적으로 배열되어 있다. 입자 사이에 작용하는 힘의 크기가 일정하므로 녹는점이 일정하다. 예) 석영, 염화 나트륨 등
- ② 비결정성 고체 : 고체를 이루는 원자, 이온, 분자 등이 불규칙적으로 배열되어 있다. 기본 입자 사이에 작용하는 힘의 크기가 일정하지 않으므로 녹는점이 일정하지 않다. 예) 유리, 옻, 고무 등

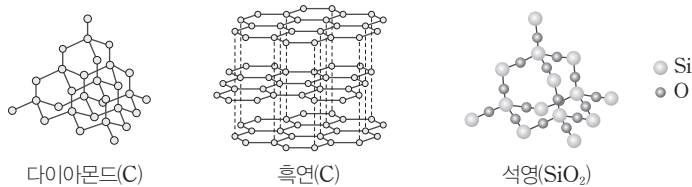


(2) 결정의 종류

- ① 분자 결정 : 대체로 비금속 원자들의 공유 결합으로 형성된 분자들이 분자 사이에 작용하는 힘에 의해 규칙적으로 배열되어 이루어진 결정이다. 일반적으로 화학 결합에 비해 분자 사이에 작용하는 힘은 상대적으로 매우 약해 녹는점과 끓는점이 대체로 낮고, 승화성이 있는 물질도 있다. 고체 상태와 액체 상태에서 전기 전도성이 없다.



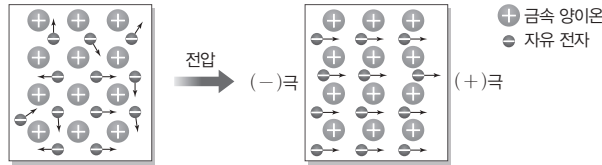
- ② 공유 결정(원자 결정) : 구성 원자들이 모두 공유 결합에 의해 그물처럼 복잡하게 배열되어 이루어진 결정이다. 녹는점, 끓는점이 매우 높으며 고체 상태에서 전기 전도성은 대부분 없지만 흑연의 경우에는 구조적인 특성으로 전기 전도성이 있다.



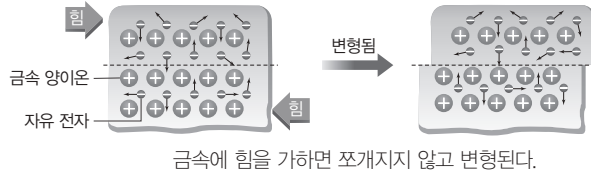
- ③ 금속 결정 : 금속은 양전하를 띠는 금속 양이온이 규칙적으로 배열되어 있고, 음전하를 띠는 자유 전자가 금속 양이온 사이를 자유롭게 돌아다니는 상태로 구성되어 있다. 이들 금속 양이온과 자유 전자 사이의 전기적 인력에 의한 화학 결합을 금속 결합이라고 하며, 금속 결합으로 이루어진 결정을 금속 결정이라고 한다. 대부분의 금속은 밀도가 크며, 녹는점과 끓는점이 비교적 높아 수은을 제외한 대부분의 금속은 상온에서 결정성 고체로 존재한다. 또한 금속 양이온 사이를 자유롭게 돌아다니는 자유 전자 때문에 금속은 다양한 특성을 갖는다.

• 열 전도성과 전기 전도성이 크다.

➔ 열을 가했을 때 자유 전자의 활발한 운동에 의해 열이 잘 전달되고, 전압을 걸어 주면 금속의 자유 전자가 (-)극에서 (+)극 쪽으로 이동하면서 전류가 잘 흐른다.



• 전성(퍼짐성)과 연성(뽐힘성)이 좋다. ➔ 외부에서 힘을 가하면 금속 양이온들의 배열이 달라지면서 이웃한 양이온 사이의 반발력이 증가하지만 자유 전자에 의해 반발력이 완화되면서 변형된 형태가 유지된다. 이러한 금속의 성질을 이용하여 가공을 통해 다양한 형태의 금속 제품을 만들거나 실과 같은 가느다란 형태로 뽑아 이용하기도 한다.



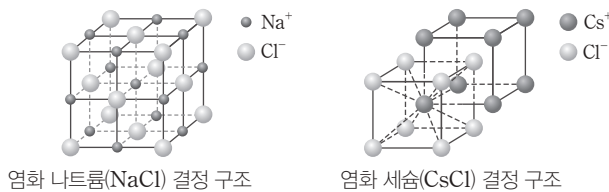
금속의 전성을 이용하여 얇은 금속판을 만든다.



금속의 연성을 이용하여 전선을 만든다.

④ 이온 결정 : 양이온과 음이온이 전기적 인력으로 결합되어 이루어진 결정이다. 결정을 이루는 이온의 종류와 크기에 따라 다양하고 독특한 모양의 결정 구조를 갖는다. 대표적인 예는 염화 나트륨과 염화 세슘이다.

- 염화 나트륨 결정의 경우 1개의 나트륨 이온(Na^+) 주위에 전후상하좌우로 6개의 염화 이온(Cl^-)이 배치되어 있다. 마찬가지로 1개의 염화 이온(Cl^-) 주위에 전후상하좌우로 6개의 나트륨 이온(Na^+)이 배치되어 있다.
- 염화 세슘 결정의 경우 1개의 세슘 이온(Cs^+)이 정육면체의 중심에 있다고 할 때, 8개의 염화 이온(Cl^-)이 정육면체의 각 꼭짓점에 배치되어 있다. 마찬가지로 1개의 염화 이온(Cl^-) 주위에 8개의 세슘 이온(Cs^+)이 정육면체의 각 꼭짓점에 배치되어 있다.



⑤ 결정의 종류와 특성 : 분자 결정, 공유 결정(원자 결정), 금속 결정, 이온 결정의 4가지 결정은 각각의 몇 가지 물리적 특성을 이용하여 구분할 수 있다.

개념 체크

- ➔ 금속이 전성(퍼짐성)과 연성(뽐힘성)이 좋은 이유는 금속 결합의 특징 때문이다.
- ➔ 이온 결정 : 양이온과 음이온의 전기적 인력으로 결합되어 이루어진 결정이다.

1. 금속이 전성과 연성이 좋은 이유는 금속 결합을 이루는 자유 전자에 의해 결합이 끊어지지 않고 유지되기 때문이다. (O, X)
2. 고체 NaCl과 고체 CsCl은 () 결정이다.
3. 고체 NaCl에서 Na^+ 은 1개의 Cl^- 에 둘러싸여 있다. (O, X)

정답

1. O
2. 이온
3. X

개념 체크

- ▶ **단위 세포** : 결정 격자 구조에서 3차원적으로 반복되는 가장 작은 단위 구조이다.
- ▶ 단위 세포당 입자 수는 단순 입방 구조가 1, 체심 입방 구조가 2, 면심 입방 구조가 4이다.

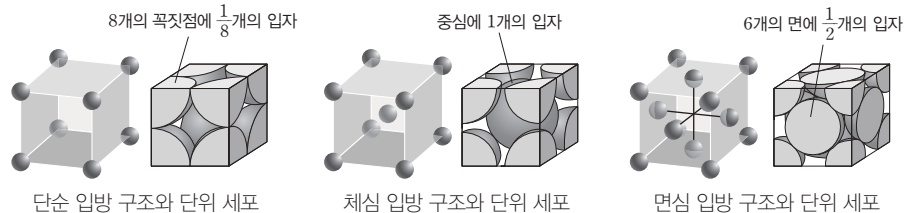
1. 단순 입방 구조는 단위 세포를 정육면체라고 가정할 때, 꼭짓점에 () 개의 입자가 배열된 구조이다.
2. 체심 입방 구조는 단위 세포를 정육면체라고 가정할 때, 꼭짓점에 () 개, 중심에 () 개의 입자가 배열된 구조이다.
3. 면심 입방 구조는 단위 세포를 정육면체라고 가정할 때, 꼭짓점에 () 개, 단위 세포의 면 중심에 () 개의 입자가 배열된 구조이다.
4. 단위 세포당 입자 수는 단순 입방 구조가 () 개, 체심 입방 구조가 () 개, 면심 입방 구조가 () 개이다.

결정의 종류	구성 입자	입자 사이의 힘	녹는점	전기 전도성	
				고체	액체
분자 결정	분자	분자 간 힘	대체로 낮음	없음	없음
공유 결정 (원자 결정)	원자	공유 결합	매우 높음	없음	없음
금속 결정	금속 양이온과 자유 전자	금속 결합	높음	있음	있음
이온 결정	이온	이온 결합	높음	없음	있음

※ 원자 결정 중 흑연과 같은 물질은 전기 전도성이 있음

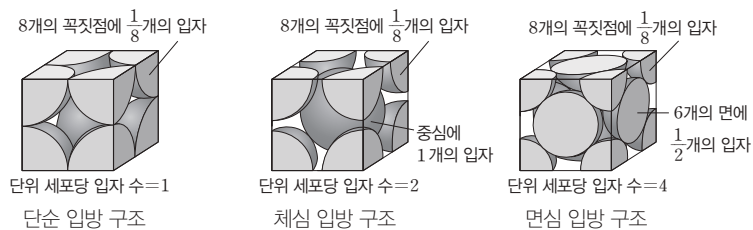
(3) 결정 구조

- ① **단위 세포** : 각 결정성 고체를 구성하는 입자들은 규칙적인 배열을 갖는 결정 격자 구조를 가지고 있는데, 각 결정 격자 구조에서 3차원적으로 반복되는 가장 작은 단위 구조를 단위 세포라고 한다. 이들 단위 세포가 반복적으로 배열되면서 결정성 고체를 형성한다.
- ② **단순 입방 구조** : 단위 세포를 정육면체라고 가정할 때, 정육면체의 8개의 꼭짓점에 동일한 입자가 배열된 구조이다.
- ③ **체심 입방 구조** : 단위 세포를 정육면체라고 가정할 때, 정육면체의 8개의 꼭짓점과 단위 세포 중심에 각각 동일한 입자가 배열된 구조이다.
- ④ **면심 입방 구조** : 단위 세포를 정육면체라고 가정할 때, 정육면체의 8개의 꼭짓점과 단위 세포의 6개의 면 중심에 각각 동일한 입자가 배열된 구조이다.



- ⑤ **단위 세포당 입자 수** : 단위 세포의 각 꼭짓점은 8개의 단위 세포가 만나는 지점이고, 단위 세포의 각 면은 2개의 단위 세포가 공유한다. 또한 단위 세포의 각 모서리는 4개의 단위 세포가 공유하므로 단위 세포에서 입자가 위치하는 지점에 따라 단위 세포에 포함된 입자 수는 다음과 같다.

- 꼭짓점에 있는 입자 : $\frac{1}{8}$ 개의 입자
- 모서리에 있는 입자 : $\frac{1}{4}$ 개의 입자
- 면에 있는 입자 : $\frac{1}{2}$ 개의 입자
- 중심에 있는 입자 : 1 개의 입자



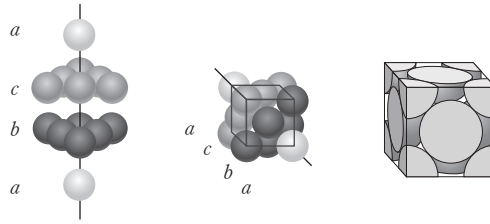
정답

1. 8
2. 8, 1
3. 8, 6
4. 1, 2, 4

탐구자료 살펴보기 면심 입방 구조의 단위 세포 만들기

실험 과정

1. 스티로폼 공 6개로 이루어진 삼각형 모양 b, c 를 만든다.
2. 삼각형 c 를 180° 돌려 삼각형 b 와 어긋나게 쌓는다.
3. 위 아래 삼각형의 중심에 공 a 를 각각 붙인다.
4. 구조물을 바닥에 놓고 정육면체로 단면을 자른다.



실험 결과

- 과정 1~3과 같이 공을 붙이면 정육면체의 면심 입방 구조가 완성된다.
- 과정 4와 같이 단면을 자르면 면심 입방 구조의 단위 세포가 만들어진다.

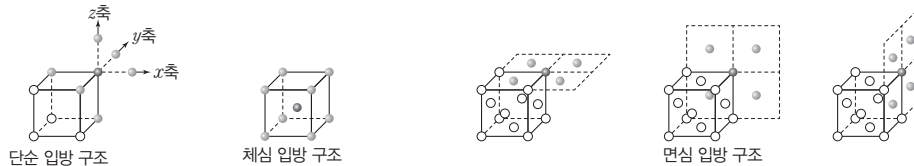
분석 point

단위 세포에서 정육면체의 8개의 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 개의 입자와 6개의 면에 $\frac{1}{2}$ 개의 입자가 존재하므로 단위 세포에 포함된 입자 수는 4이다.

과학 돋보기

결정 구조에서 한 입자를 둘러싸고 있는 가장 가까운 입자 수

- 단순 입방 구조 : 정육면체의 각 꼭짓점에 입자가 위치하므로 단위 세포의 한 입자를 중심으로 볼 때 이 입자는 8개의 단위 세포가 공유하고 있다. 따라서 x, y, z 축 방향으로 각각 2개의 입자가 둘러싸고 있는 구조이다. \Rightarrow 6개
- 체심 입방 구조 : 단위 세포 중심에 위치한 입자를 중심으로 볼 때 가장 가까운 거리에 있는 입자는 정육면체의 8개 꼭짓점에 위치한 입자이다. \Rightarrow 8개
- 면심 입방 구조 : 단위 세포에서 꼭짓점에 있는 입자를 중심으로 볼 때, 이 입자를 포함하는 xy, yz, xz 평면으로 각각 4개씩의 입자가 같은 거리에 위치하여 둘러싸고 있다. \Rightarrow 12개
(※ 입자를 둘러싸고 있는 가장 가까운 입자 수를 파악할 수 있도록 각각 다른 색으로 표현하였으나 한 단위 세포 내에서 모든 입자는 동일한 입자이다.)



(4) 기체, 액체, 고체 사이의 상변화

① 온도에 따른 상변화 : 일정한 압력에서 물질을 일정한 열원으로 가열하면 상변화가 없을 때는 온도가 높아지지만, 상변화가 일어날 때는 가해 준 열이 상변화에만 쓰이므로 온도가 일정하게 유지된다. 이때 고체에서 액체로의 상변화 온도는 녹는점이고, 액체에서 기체로의 상변화 온도는 끓는점이다.

예 1 atm에서 고체인 얼음을 일정한 열원으로 가열하면 0°C 에서 물로 상변화가 일어나고, 100°C 에서 수증기로 상변화가 일어난다.

② 압력에 따른 상변화 : 일정한 온도에서 물질에 가해지는 압력을 변화시키면 상변화가 일어난다. 기체에 압력을 가하면 부피가 줄어들면서 기체 분자 사이의 거리가 가까워져 상호 간 작용하는 힘이 증가하므로 액체나 고체로 변하게 된다.

예 스케이트를 신고 얼음판 위에 서면 얼음이 녹아 물이 되면서 스케이트가 잘 미끄러진다.

개념 체크

② 한 입자를 둘러싸고 있는 가장 가까운 입자의 수 : 단순 입방 구조는 6, 체심 입방 구조는 8, 면심 입방 구조는 12이다.

1. 단위 세포에 포함된 입자 수 비는 단순 입방 구조 : 체심 입방 구조 : 면심 입방 구조 = ()이다.

2. 한 입자를 둘러싸고 있는 가장 가까운 입자 수 비는 단순 입방 구조 : 체심 입방 구조 : 면심 입방 구조 = ()이다.

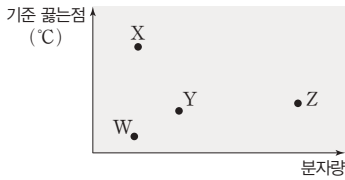
3. 0°C , 1 atm에서 물의 안정한 상은 ()가지이다.

정답

1. 1 : 2 : 4
2. 3 : 4 : 6
3. 2

[26028-0027]

01 그림은 4가지 화합물의 분자량과 기준 끓는점을 나타낸 것이다. W~Z는 각각 CH_4 , H_2O , PH_3 , HBr 중 하나이다.



액체 상태의 W~Z에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, H, C, O, P, Br의 원자량은 각각 1, 12, 16, 31, 80이다.)

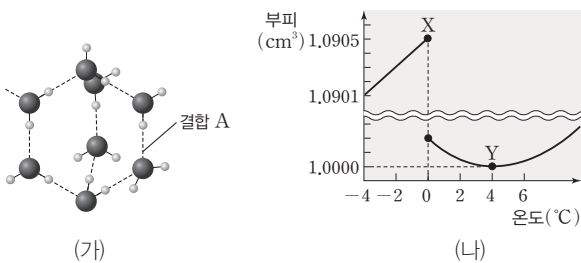
◀ 보기 ▶

- ㄱ. W 분자 사이에는 분산력만 작용한다.
- ㄴ. W보다 X의 기준 끓는점이 높은 주된 이유는 수소 결합 때문이다.
- ㄷ. Y와 Z에는 모두 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 존재한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0028]

02 그림 (가)는 $\text{H}_2\text{O}(s)$ 의 모형을, (나)는 1 atm에서 H_2O 1 g의 부피를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

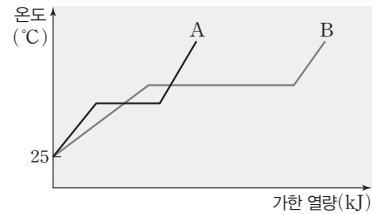
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (나)에서 Y일 때, H_2O 분자 사이에는 결합 A가 있다.
- ㄴ. (나)에서 X일 때, $\text{H}_2\text{O}(s)$ 의 모형은 (가)와 같다.
- ㄷ. 1 L에 들어 있는 H_2O 의 분자 수는 $X > Y$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0029]

03 그림은 25°C, 1 atm에서 같은 질량의 A(l)와 B(l)를 각각 가열할 때, 가한 열량에 따른 온도를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 기준 끓는점은 B가 A보다 높다.
- ㄴ. 액체 상태의 비열($\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$)은 $A > B$ 이다.
- ㄷ. 기화열(kJ/g)은 $A > B$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0030]

04 다음은 물과 관련된 일상생활 속 현상에 대한 설명이다.

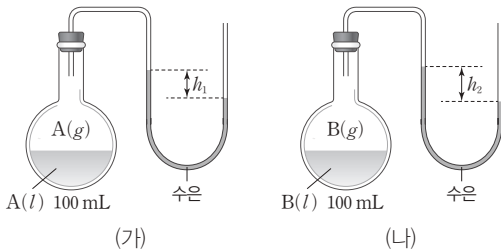
- (가) 젖은 머리카락이 서로 붙는다.
- (나) 빨대 속 물이 위로 올라간다.
- (다) 물 위에 떠 있는 클립이 가라앉지 않는다.
- (라) 페이퍼 타월로 손의 물을 닦을 수 있다.

(가)~(라)의 주된 이유를 물의 표면 장력과 모세관 현상으로 옳게 구분한 것은?

- | | | |
|------------|-------|----------|
| | 표면 장력 | 모세관 현상 |
| ① (가), (나) | | (다), (라) |
| ② (가), (다) | | (나), (라) |
| ③ (가), (라) | | (나), (다) |
| ④ (나), (다) | | (가), (라) |
| ⑤ (나), (라) | | (가), (다) |

[26028-0031]

05 그림은 $t^\circ\text{C}$ 에서 진공 용기에 A(l)와 B(l)를 각각 넣고 평형에 도달한 것을 나타낸 것이다. $h_2 > h_1$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하고, 대기압은 760 mmHg이며, 수은의 증기 압력은 무시한다. 온도에 따른 A와 B의 증기 압력 곡선은 교차하지 않는다.)

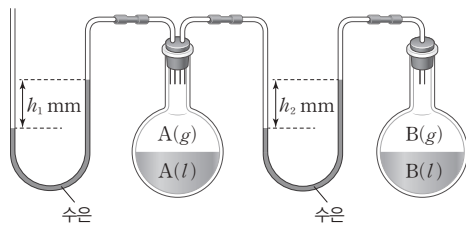
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 A(l) 10 mL를 추가하여 평형에 도달하면 h_1 은 감소한다.
- ㄴ. $t^\circ\text{C}$ 에서 B(l)의 증기 압력은 760 mmHg보다 작다.
- ㄷ. 기준 끓는점은 B(l)가 A(l)보다 높다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0032]

06 그림은 25°C 에서 같은 부피의 A(l)와 B(l)를 진공 용기에 각각 넣어 평형에 도달한 것을 나타낸 것이다.



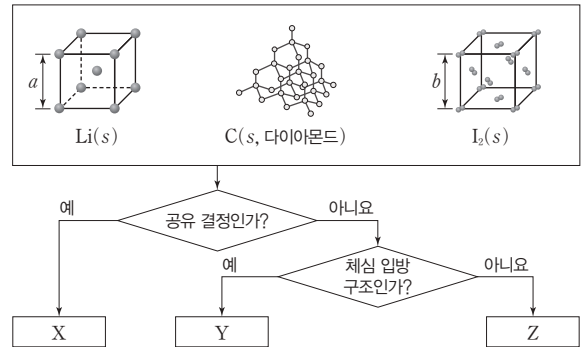
25°C 에서 B(l)의 증기 압력(mmHg)과, A(l)와 B(l)의 기준 끓는점을 비교한 것으로 옳은 것은? (단, 대기압은 760 mmHg이고, 수은의 증기 압력은 무시하며, 온도에 따른 A와 B의 증기 압력 곡선은 교차하지 않는다.)

25°C 에서 B(l)의 증기 압력(mmHg) 기준 끓는점

- ① $760 - h_1 - h_2$ A(l) > B(l)
- ② $760 - h_1 - h_2$ A(l) < B(l)
- ③ $760 - h_2$ A(l) > B(l)
- ④ $760 - h_2$ A(l) < B(l)
- ⑤ $760 - h_1 + h_2$ A(l) = B(l)

[26028-0033]

07 그림은 고체 X~Z를 분류하는 과정을 나타낸 것이다. X~Z는 각각 Li(s), C(s, 다이아몬드), I_2 (s) 중 하나이고, 각 고체의 결정 구조를 모형으로 나타내었다. Li(s)와 I_2 (s)의 단위 세포는 한 변의 길이가 각각 a, b인 정육면체이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. X는 전기 전도성이 있다.
- ㄴ. Y의 단위 세포에 포함된 원자 수는 4이다.
- ㄷ. Z는 1 atm에서 승화성이 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0034]

08 표는 3가지 결정 구조에 대한 자료이다. (가)~(다)는 단순 입방 구조, 체심 입방 구조, 면심 입방 구조를 순서 없이 나타낸 것이다.

결정 구조	(가)	(나)	(다)
단위 세포 속 원자 $\frac{1}{8}$ 개에 해당하는 입자 수	8	a	b
단위 세포 속 원자 c개에 해당하는 입자 수	0	6	0
단위 세포 속 원자 1개에 해당하는 입자 수	1	0	0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

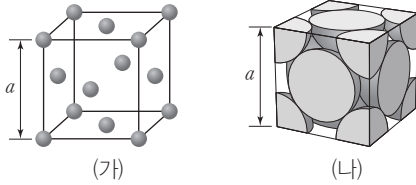
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)는 체심 입방 구조이다.
- ㄴ. $(a+b) \times c = 4$ 이다.
- ㄷ. (가)~(다) 중 단위 세포에 포함된 입자 수는 (가)가 가장 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0035]

09 그림 (가)와 (나)는 Al(s)의 결정 구조 모형과 단위 세포 모형을 순서 없이 나타낸 것이다. Al(s)의 단위 세포는 한 변의 길이가 각각 a 인 정육면체이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

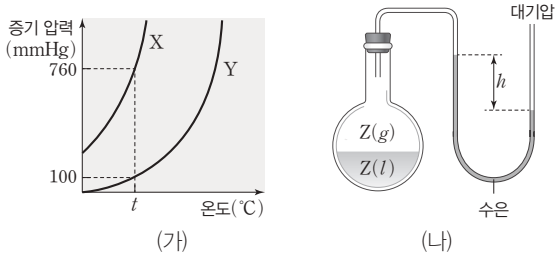
◀ 보기 ▶

- ㄱ. Al(s)은 면심 입방 구조를 갖는다.
- ㄴ. (가)는 Al(s)의 단위 세포 모형이다.
- ㄷ. Al(s)은 원자 결정이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0036]

10 그림 (가)는 X(l)와 Y(l)의 증기 압력 곡선을, (나)는 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 진공 상태의 플라스크에 Z(l)를 넣고 평형에 도달하였을 때의 모습을 나타낸 것이다. Z는 X와 Y 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 760 mmHg이고, 수은의 증기 압력은 무시한다.)

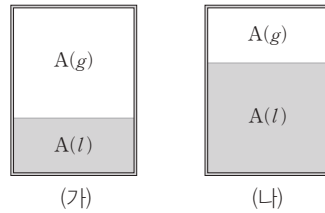
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 기준 끓는점은 $Y > X$ 이다.
- ㄴ. Z는 Y이다.
- ㄷ. $h = 100$ mm이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0037]

11 그림은 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 같은 크기의 진공 용기에 서로 다른 부피의 A(l)를 넣은 후 평형에 도달한 상태를 나타낸 것이다.



(가)에서 (나)에서보다 큰 값을 갖는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

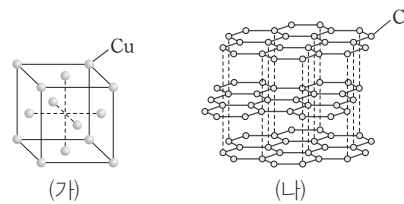
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A(l)의 증기 압력
- ㄴ. A(g)의 분자 수
- ㄷ. $\frac{A(g)\text{의 응축 속도}}{A(l)\text{의 증발 속도}}$

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0038]

12 그림은 Cu(s)와 C(s, 흑연)의 결정 구조를 모형으로 나타낸 것이다.



(가)와 (나)의 공통점으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 전기 전도성이 있다.
- ㄴ. 금속 결합으로 이루어져 있다.
- ㄷ. 면심 입방 구조이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0039]

01 표는 4가지 수소 화합물에 대한 자료이다. Ge, As, Se은 각각 4주기 14족, 15족, 16족 원소이다.

물질	(가)	(나)	(다)	(라)
분자식	GeH ₄	AsH ₃	H ₂ Se	C ₄ H ₉ OH
분자량	77	78	81	71
기준 끓는점(°C)	-89	-63	-41	118

분자 사이의 인력이 크면 기준 끓는점이 높고, 분산력은 모든 분자 사이에 작용하는 힘이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

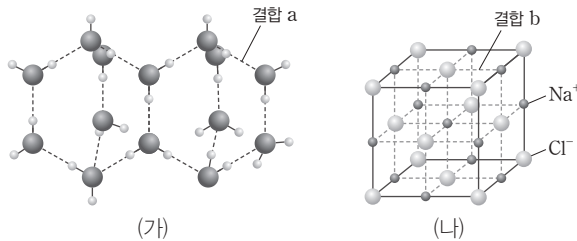
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 기준 끓는점이 (라) > (가)인 주된 이유는 수소 결합 때문이다.
- ㄴ. (가)~(라) 중 1 atm, 25°C에서 안정한 상이 기체인 것은 3가지이다.
- ㄷ. (가)~(라) 중 액체 분자 사이에 분산력이 작용하는 것은 4가지이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0040]

02 그림은 H₂O(s)과 NaCl(s)의 결정 구조를 모형으로 나타낸 것이다. 녹는점은 (나) > (가)이다.



결합 a는 H₂O 분자 사이에 작용하는 힘이고, 결합 b는 Na⁺과 Cl⁻ 사이의 인력이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

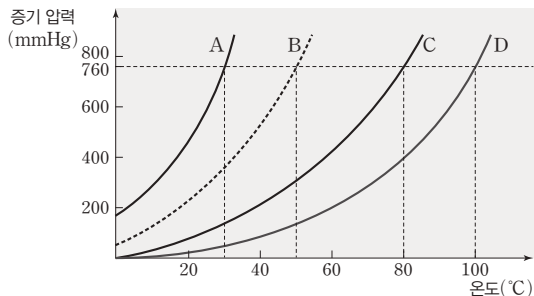
- ㄱ. (가)는 공유 결정이다.
- ㄴ. 결합의 세기는 b > a이다.
- ㄷ. (나)에서 Na⁺은 면심 입방 구조를 이룬다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0041]

기준 끓는점은 외부 압력이 1 atm(760 mmHg)일 때의 끓는점이다.

03 그림은 A(l)~D(l)의 증기 압력 곡선을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 760 mmHg이다.)

◀ 보기 ▶

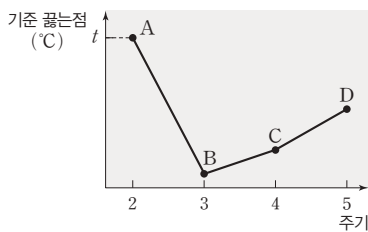
- ㄱ. 액체 상태에서 분자 사이의 인력은 A > B이다.
- ㄴ. A~D 중 기준 끓는점이 60°C 이하인 것은 2가지이다.
- ㄷ. 높은 산에 올라가면 D의 끓는점이 높아진다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

A~D는 각각 HF, HCl, HBr, HI이다.

[26028-0042]

04 그림은 17족 원소의 수소 화합물 A~D의 기준 끓는점을 17족 원소의 주기에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

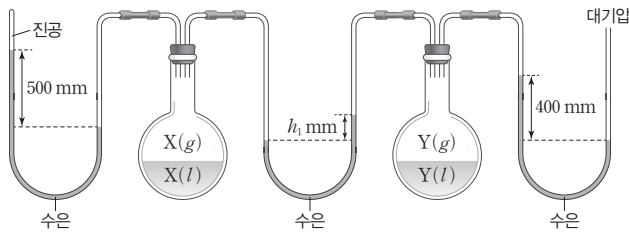
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A의 기준 끓는점이 가장 높은 주된 요인은 수소 결합이다.
- ㄴ. C가 B보다 끓는점이 높은 주된 요인은 쌍극자·쌍극자 힘이다.
- ㄷ. A(l)~D(l) 중 분산력은 D(l)가 가장 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0043]

05 그림은 25°C에서 X(l)와 Y(l)가 각각 평형에 도달한 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 760 mmHg이고, 수은의 증기 압력은 무시하며, 온도에 따른 A와 B의 증기 압력 곡선은 교차하지 않는다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 기준 끓는점은 $X > Y$ 이다.
- ㄴ. 25°C에서 X(l)와 Y(l)의 증기 압력 차는 140 mmHg이다.
- ㄷ. Y의 기준 끓는점은 25°C보다 높다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

Y(l)의 증기 압력 + 400 mmHg = 760 mmHg이다.

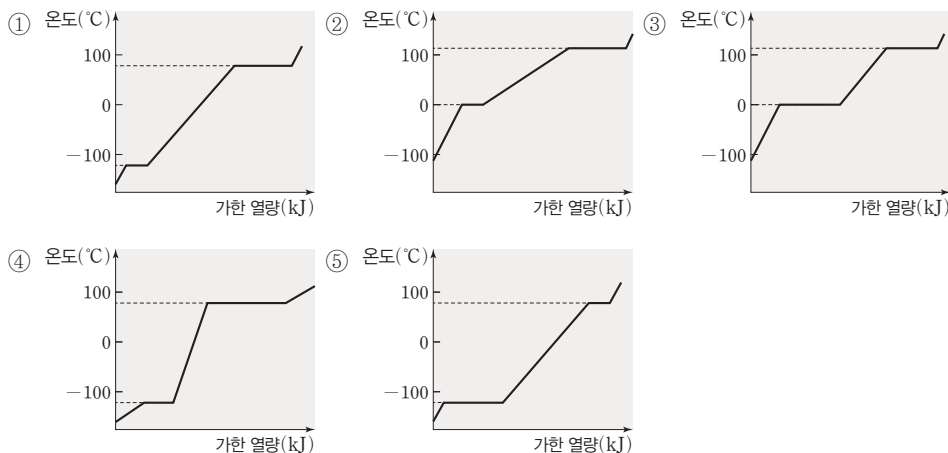
06 다음은 1 atm에서 물질 A에 대한 자료이다.

[26028-0044]

- 녹는점 : -114°C
- 끓는점 : 78°C
- 고체 상태의 비열 : $1.25 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$
- 액체 상태의 비열 : $2.51 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$
- 기화열이 용해열의 2배이다.

액체 상태의 비열이 고체 상태의 비열보다 크므로 액체 상태의 온도 변화의 기울기가 고체 상태의 온도 변화의 기울기보다 작다.

1 atm에서 A(s)를 가열할 때, 다음 중 가한 열량에 따른 온도를 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?



B의 기준 끓는점은 B(l)의 증기압력이 1 atm(760 mmHg)일 때의 온도이다.

07 표는 A(l)~C(l)의 증기압력과 온도에 대한 자료이다. B의 기준 끓는점은 100°C이다.

물질	A(l)	B(l)	C(l)
증기압력이 500 mmHg일 때의 온도(°C)	61	84	92
증기압력이 x mmHg일 때의 온도(°C)	76	99	113

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 1 atm은 760 mmHg이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x > 760$ 이다.
- ㄴ. 61°C일 때 분자 사이의 인력은 $C(l) > A(l)$ 이다.
- ㄷ. 1 atm, 100°C일 때 C의 안정한 상은 기체이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

액체의 표면 장력이 클수록 표면적을 작게 하여 액체 방울의 모양이 구형에 가까워진다. 물 분자 사이의 인력이 감소하면 물의 표면 장력이 감소한다.

08 다음은 학생 A가 수행한 탐구이다.

[가설]

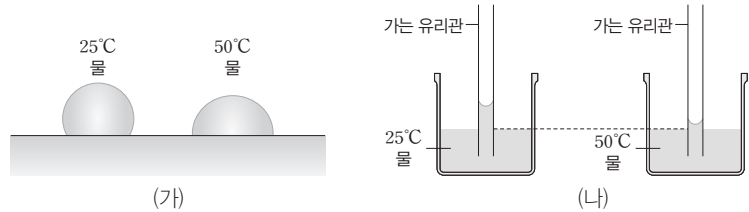
○

[실험 과정]

(가) 아크릴 판 위에 같은 부피의 25°C와 50°C의 물을 각각 떨어뜨리고 액체 방울의 모양을 관찰한다.

(나) 25°C와 50°C의 물이 들어 있는 용기에 가는 유리관을 세워 올라오는 물의 높이를 관찰한다.

[실험 결과]



[결론]

○ 가설은 옳다.

학생 A의 실험 결과와 결론이 타당할 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

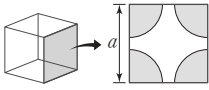
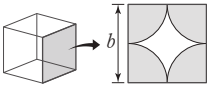
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 표면 장력은 25°C의 물이 50°C의 물보다 크다.
- ㄴ. 물 분자와 유리관 사이의 부착력이 물 분자 사이의 응집력보다 크다.
- ㄷ. '물의 온도가 높아지면 표면 장력이 감소한다.'는 ㉠으로 적절하다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0047]

09 표는 금속 A~C의 결정에 대한 자료이다. A~C의 결정 구조는 각각 단순 입방 구조, 체심 입방 구조, 면심 입방 구조 중 하나이고, A~C의 단위 세포는 한 변의 길이가 각각 a, b, c 인 정육면체이다.

금속	A	B	C
단위 세포의 면			
단위 세포에 포함된 원자 수	x	y	4

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

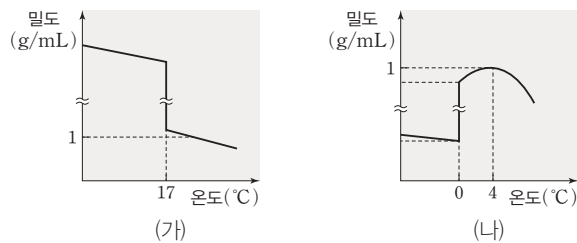
- ㄱ. A의 결정 구조는 단순 입방 구조이다.
- ㄴ. $x=2y$ 이다.
- ㄷ. C는 단위 세포에 포함된 $\frac{1}{2}$ 개 입자에 해당하는 입자 수가 6이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

C는 단위 세포에 포함된 원자 수가 4이므로 면심 입방 구조이다.

[26028-0048]

10 그림 (가)와 (나)는 각각 물질 A와 B의 1 atm에서 고체와 액체 상태의 온도에 따른 밀도를 나타낸 것이다.



1 atm에서 녹는점은 A와 B가 각각 $17^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C}$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

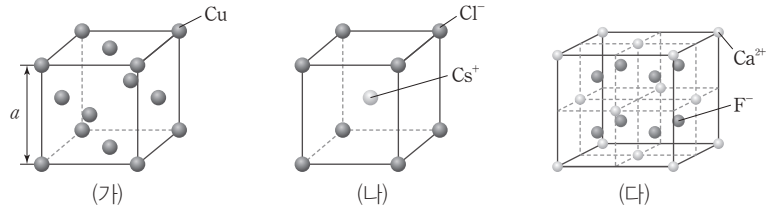
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 녹는점은 $A > B$ 이다.
- ㄴ. 고체 상태에서 1g의 부피는 $B > A$ 이다.
- ㄷ. 1 atm, 4°C 에서 A와 B의 안정적인 상은 모두 액체이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(가)는 면심 입방 구조이다.

11 그림은 $\text{Cu}(s)$, $\text{CsCl}(s)$, $\text{CaF}_2(s)$ 의 결정 구조를 나타낸 것이다. $\text{Cu}(s)$ 의 단위 세포는 한 변의 길이가 a 인 정육면체이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)의 단위 세포에 포함된 Cu 원자 수는 4이다.
- ㄴ. 전기 전도성은 $\text{Cu}(s) > \text{CsCl}(s)$ 이다.
- ㄷ. (다)에서 Ca^{2+} 은 면심 입방 구조를 이룬다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$\text{Al}(s)$ 결정 구조의 단위 세포에 들어 있는 Al 원자 수는 4이다.

12 표는 $\text{Al}(s)$, $\text{CO}_2(s)$, $\text{NaCl}(s)$ 에 대한 자료이다. $\text{Al}(s)$ 의 단위 세포는 한 변의 길이가 a 인 정육면체이고, 아보가드로수는 6×10^{23} 이다.

물질	$\text{Al}(s)$	$\text{CO}_2(s)$	$\text{NaCl}(s)$
결정 구조 모형			
화학식량	27	44	58,5
1 atm에서 녹는점 또는 승화점(°C)	660	-78,5	801

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\text{Al}(s)$ 의 단위 세포의 질량은 $1,8 \times 10^{-22}$ g이다.
- ㄴ. a 는 Al의 원자 반지름의 2배이다.
- ㄷ. Al, CO_2 , NaCl은 1 atm, -50°C 에서 안정한 상의 종류가 모두 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0051]

13 표는 A(*l*)~C(*l*)의 증기 압력 자료이다.

증기 압력(atm)	온도(°C)		
	A(<i>l</i>)	B(<i>l</i>)	C(<i>l</i>)
0.01	-52.6	-29	86
0.1	-18	2.5	132
1	34	58	197

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

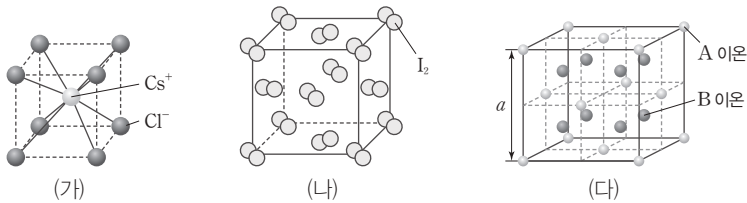
- ㄱ. 분자 사이의 인력은 B(*l*) > A(*l*)이다.
- ㄴ. B의 기준 끓는점에서 C(*l*)의 증기 압력은 0.01 atm보다 크다.
- ㄷ. 100°C, 1 atm에서 B의 안정한 상은 기체이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

기준 끓는점은 증기 압력이 1 atm일 때의 온도이므로 C > B > A이다.

[26028-0052]

14 그림은 3가지 물질의 결정 구조를 나타낸 것이다. A 이온은 양이온이고, (다)의 단위 세포는 한 변의 길이가 a 인 정육면체이다.



(가)는 화학식이 CsCl인 이온 결정, (나)는 화학식이 I₂인 분자 결정, (다)는 화학식이 AB₂인 이온 결정이다.

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

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (나)에서 구성 분자 사이에는 분산력이 작용한다.
- ㄴ. 양이온 1개를 둘러싼 가장 가까운 음이온의 수는 (가)와 (다)가 같다.
- ㄷ. (다)의 화학식은 AB이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

개념 체크

➔ 퍼센트 농도 : 용액 100 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸 농도이다.

➔ 몰 농도 : 용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 의미하므로 용액의 몰 농도와 용액의 부피를 알면 용액 속 용질의 양(mol)을 알 수 있다.

1. 퍼센트 농도는 용액 속 녹아 있는 용질의 양(mol)을 나타낸 것이다. (○, ×)
2. 10% 염화 나트륨 수용액 100 g에 녹아 있는 염화 나트륨의 질량은 10 g이다. (○, ×)
3. 25°C, 10% 염화 나트륨 수용액의 온도를 50°C로 높여 주면 농도는 5%가 된다. (○, ×)
4. 물 45 g에 염화 나트륨 5 g이 녹아 있는 수용액의 퍼센트 농도는 ()%이다.
5. 지하수 10⁶ g 중에 산소가 10 g 녹아 있을 때 이 지하수에 녹아 있는 산소의 ppm 농도는 ()ppm이다.

정답

1. ×
2. ○
3. ×
4. 10
5. 10

1 용액의 농도

(1) 농도

용매와 용질이 섞여 있는 비율을 용액의 농도라고 하며, 농도의 종류에는 퍼센트 농도, ppm 농도, 몰 농도, 몰랄 농도 등이 있다.

(2) 퍼센트 농도

용액 100 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸 농도로, 단위는 %를 사용한다.

$$\begin{aligned} \text{퍼센트 농도}(\%) &= \frac{\text{용질의 질량}(g)}{\text{용액의 질량}(g)} \times 100 \\ &= \frac{\text{용질의 질량}(g)}{(\text{용매} + \text{용질})\text{의 질량}(g)} \times 100 \end{aligned}$$

- ① 용액과 용질의 질량으로 나타내므로 온도나 압력의 영향을 받지 않는다.
- ② 용액의 퍼센트 농도를 이용하면 용액에 녹아 있는 용질의 질량을 구할 수 있다.

$$\text{용질의 질량}(g) = \text{용액의 질량}(g) \times \frac{\text{퍼센트 농도}(\%)}{100}$$

(3) ppm 농도

ppm은 'parts per million'의 약자로 백만분의 1을 나타내는 단위이다.

- ① 주로 공기나 물속에 극소량 들어 있는 물질의 농도를 나타낼 때 사용한다.
- ② 용액의 농도로 쓰일 때에는 용액 10⁶ g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸다.

$$\text{ppm 농도}(\text{ppm}) = \frac{\text{용질의 질량}(g)}{\text{용액의 질량}(g)} \times 10^6$$

(4) 몰 농도

용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 나타낸 농도로, 단위는 mol/L 또는 M를 사용한다.





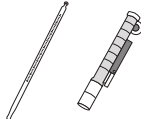
$$\text{몰 농도}(M) = \frac{\text{용질의 양}(\text{mol})}{\text{용액의 부피}(L)} = \frac{\text{용질의 양}(\text{mol})}{\text{용액의 부피}(mL)} \times 1000(mL/L)$$

- ① 용액의 부피를 기준으로 하기 때문에 화학 실험에서 사용하기에 편리하다.

- ② 온도에 따라 용액의 부피가 변하므로 몰 농도는 온도에 따라 달라진다.
- ③ 용액의 몰 농도와 부피를 알면 용액에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 구할 수 있다.

$$\text{용질의 양(mol)} = \text{몰 농도(mol/L)} \times \text{용액의 부피(L)}$$

④ 특정한 몰 농도의 용액을 만들 때 필요한 기구

전자저울	비커	부피 플라스크	씻기병	피펫과 피펫 필러
				
용질의 질량을 측정한다.	용질을 소량의 용매에 용해시킨 후 용액을 부피 플라스크에 옮길 때 사용한다.	표시선까지 용매를 채워 일정 부피의 용액을 만들 때 사용한다.	비커에 남아 있는 용액을 행구거나 부피 플라스크의 표시선까지 용매를 넣을 때 사용한다.	액체의 부피를 정확히 측정하여 옮길 때 사용한다.

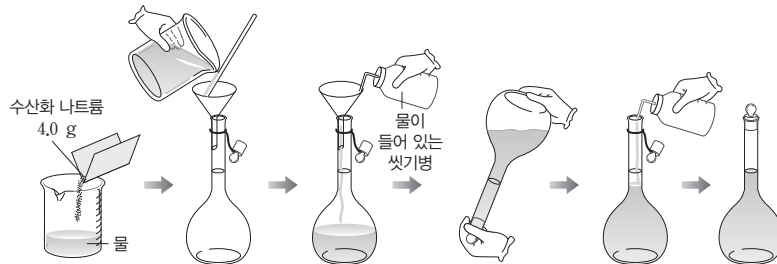
개념 체크

➔ 몰 농도는 용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 나타낸 것이다. 용액 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)은 온도에 따라 변하지 않지만 용액의 부피는 온도에 따라 변하므로 온도가 변하면 몰 농도도 변한다.

1. 용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 나타내는 농도는 ()이다.
2. 0.1 M 설탕 수용액 100 mL에 녹아 있는 설탕의 양은 () mol이다.
3. 용액의 몰 농도는 용액의 ()가 기준이므로 온도가 달라지면 몰 농도가 달라진다.

탐구자료 살펴보기 0.1 M 수산화 나트륨 수용액 1 L 만들기

- 실험 과정**
1. 수산화 나트륨(NaOH) 4.0 g을 정확히 측정한 다음 적당량의 물이 들어 있는 비커에 넣어 완전히 녹인다.
 2. 깔때기를 이용하여 1 L 부피 플라스크에 비커의 용액을 넣은 다음 물로 비커와 깔때기에 묻어 있는 용액을 씻어 넣는다.
 3. 부피 플라스크에 물을 $\frac{2}{3}$ 정도 넣은 다음 흔들거나 뒤집어서 용액을 잘 섞는다.
 4. 물을 가하여 용액을 표시선까지 넣은 다음 용액이 잘 섞이도록 충분히 흔들어서 준다. 실온으로 식힌 후 다시 표시선까지 물을 채운다.



실험 결과 • 수산화 나트륨(NaOH)의 화학식량은 40이므로 4.0 g은 0.1 mol에 해당하며, 이를 1 L 부피 플라스크에 넣고 물을 표시선까지 채워 0.1 M 수산화 나트륨 수용액을 만들었다.

분석 point 0.1 M 용액 1 L를 만들기 위해서는 용질 0.1 mol에 해당하는 질량을 정확히 측정하여 용매에 녹인 후 용액의 전체 부피를 1 L로 맞추어야 한다.

정답

1. 몰 농도
2. 0.01
3. 부피

개념 체크

- ① 어떤 용액에 용매를 가해 희석할 때 용액의 부피와 몰 농도는 달라지지만 용질의 양(mol)은 달라지지 않는다.
- ② 몰 농도가 서로 다른 두 용액을 혼합할 때 혼합 용액 속 용질의 양(mol)은 혼합 전 각 용액 속 용질의 양(mol)의 합과 같다.
- ③ 몰랄 농도는 용매 1 kg에 녹인 용질의 양(mol)을 나타낸 농도이다.
- ④ 몰 분율은 균일한 혼합물에서 각 성분의 양(mol)을 혼합물의 전체 양(mol)으로 나눈 값이다.

1. 어떤 수용액에 물을 가하여 희석하여도 용액 속 ()의 양(mol)은 변하지 않는다.
2. 몰 농도가 $M(\text{mol/L})$ 인 용액 $V(\text{L})$ 에 용매를 가하여 몰 농도가 $M'(\text{mol/L})$ 인 용액 $V'(\text{L})$ 가 되었다면 $MV = ()$ 가 성립한다.
3. 1 kg의 용매에 녹인 용질의 양(mol)을 나타낸 농도를 ()라고 한다.
4. 포도당 수용액에서 물의 몰 분율이 0.95이면 포도당의 몰 분율은 ()이다.
5. 용매 0.8 mol과 용질 0.2 mol로 이루어진 용액에서 용질의 몰 분율은 ()이다.

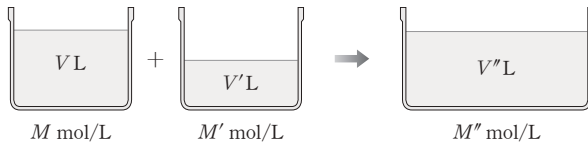
정답

1. 용질
2. MV'
3. 몰랄 농도
4. 0.05
5. 0.2

- ⑤ 용액 희석하기 : 어떤 용액에 용매를 가하여 용액을 희석했을 때, 용액의 부피와 농도는 달라지지만 그 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)은 변하지 않는다. 용액의 농도가 $M(\text{mol/L})$ 인 용액 $V(\text{L})$ 에 용매를 가하여 농도가 $M'(\text{mol/L})$ 인 용액 $V'(\text{L})$ 가 되었다면 두 용액에서 용질의 양(mol)이 같으므로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} \text{용질의 양(mol)} &= \text{몰 농도(mol/L)} \times \text{용액의 부피(L)} \\ \Rightarrow \text{용질의 양(mol)} &= MV = M'V' \end{aligned}$$

- ⑥ 혼합 용액의 몰 농도 : 같은 종류의 용질이 용해되어 있고 농도가 서로 다른 두 용액을 혼합하면, 용질의 전체 양(mol)은 변하지 않으므로 다음과 같은 관계가 성립한다.



$$MV + M'V' = M''V'' \Rightarrow M'' = \frac{MV + M'V'}{V''} (\text{mol/L})$$

(5) 몰랄 농도

용매 1 kg에 녹인 용질의 양(mol)을 나타낸 농도로, 단위는 mol/kg 또는 m 를 사용한다.

$$\text{몰랄 농도}(m) = \frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$$

- ① 용매의 질량과 용질의 양(mol)은 온도의 영향을 받지 않으므로 몰랄 농도는 온도의 영향을 받지 않는다.
- ② 용액의 몰랄 농도와 용매의 질량을 알면 용액에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 구할 수 있다.

$$\text{용질의 양(mol)} = \text{몰랄 농도(mol/kg)} \times \text{용매의 질량(kg)}$$

(6) 몰 분율

균일한 혼합물에서 각 성분의 양(mol)을 혼합물의 전체 양(mol)으로 나눈 값이다.

- ① 몰 분율은 용매와 용질 구분없이 입자 수를 기준으로 하며, 각 성분의 몰 분율을 모두 더하면 1이 된다.

$$X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B + \dots}$$

(X_A : 성분 A의 몰 분율
 n_A, n_B, \dots : 각 성분의 양(mol))

- ② 용질의 몰 분율이 클수록 일정량의 용매에 녹인 용질의 양(mol)이 크므로 몰 분율도 농도의 의미를 포함한다.
- ③ 물질의 양(mol)은 온도의 영향을 받지 않으므로 몰 분율은 온도의 영향을 받지 않는다.

과학 돋보기 에탄올 수용액에서의 몰 분율

물(H₂O) 54 g과 에탄올(C₂H₅OH) 92 g을 혼합한 수용액에서 물의 분자량은 18이므로 물 54 g은 $\frac{54 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 3 \text{ mol}$ 이고, 에탄올의 분자량은 46이므로 에탄올 92 g은 $\frac{92 \text{ g}}{46 \text{ g/mol}} = 2 \text{ mol}$ 이다. 따라서 에탄올 수용액에서 물의 몰 분율은 $\frac{3 \text{ mol}}{3 \text{ mol} + 2 \text{ mol}} = 0.6$ 이고, 에탄올의 몰 분율은 $\frac{2 \text{ mol}}{3 \text{ mol} + 2 \text{ mol}} = 0.4$ 이므로 몰 분율은 물질의 양(mol)이 큰 물이 에탄올보다 크다.

(7) 농도의 변환

① 퍼센트 농도(%)를 몰 농도(M)로 변환

용액의 부피를 1 L라고 가정하고, 용액의 밀도, 퍼센트 농도, 용질의 화학식량을 이용하여 몰 농도를 구한다.

[화학식량이 x 인 용질이 녹아 있는 $a\%$ 용액의 밀도가 $d(\text{g/mL})$ 일 때 용액의 몰 농도]

- 용액 1 L의 질량을 구한다.
 $\Rightarrow 1000 \text{ mL} \times d(\text{g/mL}) = 1000d(\text{g})$
 - 용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 질량을 구한다.
 $\Rightarrow 1000d(\text{g}) \times \frac{a}{100} = 10ad(\text{g})$
 - 용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 구한다.
 $\Rightarrow \frac{10ad}{x}(\text{mol})$
- $\therefore a\%$ 용액의 몰 농도(M) = $\frac{10ad}{x}(\text{mol/L})$

과학 돋보기 98%의 진한 황산으로 0.1 M 황산 수용액 만들기

[밀도가 1.84 g/mL인 98%의 황산(H₂SO₄ 분자량 98)으로 0.1 M 황산 수용액 1 L를 만드는 과정]

- (가) 0.1 M 황산 수용액 1 L를 만드는 데 필요한 H₂SO₄의 질량을 구한다.
 $\Rightarrow 0.1(\text{mol/L}) \times 1(\text{L}) \times 98(\text{g/mol}) = 9.8(\text{g})$
- (나) 98% 황산 100 g 속에는 98 g의 H₂SO₄이 들어 있음을 이용하여 0.1 M 황산 수용액 1 L를 만들기 위해 필요한 98% 황산의 질량을 구한다.
 $\Rightarrow 100 : 98 = x : 9.8 \quad \therefore x = 10(\text{g})$
- (다) 부피 = $\frac{\text{질량}}{\text{밀도}}$ 을 이용해 필요한 98% 황산 10 g의 부피(V)를 구한다.
 $\Rightarrow V = \frac{10(\text{g})}{1.84(\text{g/mL})} \approx 5.43(\text{mL})$
- (라) 필요한 98% 황산의 부피(5.43 mL)를 피펫으로 정확히 취한 후 적당량의 물이 담긴 비커에 조금씩 넣으며 저어 준다.
- (마) (라)의 용액을 1 L 부피 플라스크에 모두 옮긴 후 표시선까지 물을 채운다.

개념 체크

→ 질량과 물질의 양(mol)은 온도에 따라 달라지지 않으므로 몰랄 농도와 몰 분율은 온도에 따라 달라지지 않는다.

1. 0.1 M 포도당 수용액 100 mL에 물을 가해 200 mL로 만들면, 이 수용액의 몰 농도는 () M이다.
2. 물 0.5 kg에 염화 나트륨 1 mol을 녹인 수용액의 몰랄 농도는 () m이다.
3. 분자량이 180인 포도당 18 g이 물 100 g에 녹아 있는 수용액의 몰랄 농도는 () m이다.
4. 퍼센트 농도(%)를 이용하여 용액의 몰 농도를 구하기 위해서는 용질의 화학식량과 용액의 ()를 알아야 한다.

정답

1. 0.05
2. 2
3. 1
4. 밀도

개념 체크

☞ 농도를 나타내는 방법

[일정량의 용액에 녹아 있는 용질]

• 퍼센트 농도(%) : 용액 100 g에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸 농도

• ppm 농도 : 용액 10⁶ g에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸 농도

• 몰 농도(M) : 용액 1 L에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 나타낸 농도

• 용질의 몰 분율 : 용질의 양(mol)을 용액의 전체 양(mol)으로 나눈 값

[일정량의 용매에 녹인 용질]

• 몰랄 농도(m) : 용매 1 kg에 녹인 용질의 양(mol)을 나타낸 농도

1. 퍼센트 농도(%)를 이용하여 용액의 몰랄 농도를 구하기 위해서는 용질의 ()을 알아야 한다.

2. 용액의 몰 농도를 몰랄 농도로 변환하려면 용질의 ()과 용액의 ()를 알아야 한다.

정답

- 1. 화학식량
- 2. 화학식량, 밀도

② 퍼센트 농도(%)를 몰랄 농도(m)로 변환

용액의 질량을 100 g이라고 가정하고, 용액의 퍼센트 농도와 용질의 화학식량을 이용하여 몰랄 농도를 구한다.

[화학식량이 x인 용질이 녹아 있는 a% 용액의 몰랄 농도]

• 용액 100 g 속에 녹아 있는 용질의 질량은 a(g)이고, 용질의 양은 $\frac{a}{x}$ (mol)이다.

• 용액 100 g 속에 들어 있는 용매의 질량을 구한다.

→ $(100 - a)(g)$

• 용매 1 kg에 들어 있는 용질의 양(mol, y)을 구한다.

→ $(100 - a) : \frac{a}{x} = 1000 : y$

∴ a% 용액의 몰랄 농도(m) = $\frac{y(\text{mol})}{1(\text{kg})} = \frac{1000a}{(100 - a)x}$ (mol/kg)

③ 몰 농도(M)를 몰랄 농도(m)로 변환

용액의 부피를 1 L라고 가정하고, 용액의 밀도, 몰 농도, 용질의 화학식량을 이용하여 몰랄 농도를 구한다.

[화학식량이 x인 용질이 녹아 있는 b M 용액의 밀도가 d(g/mL)일 때 용액의 몰랄 농도]

• 용액 1 L의 질량을 구한다.

→ $1000 \text{ mL} \times d(\text{g/mL}) = 1000d(\text{g})$

• 용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)과 질량을 구한다.

→ $b(\text{mol}), bx(\text{g})$

• 용액 1 L 속에 들어 있는 용매의 질량을 구한다.

→ $(1000d - bx)(\text{g})$

• 용매 1 kg에 들어 있는 용질의 양(mol, y)을 구한다.

→ $(1000d - bx) : b = 1000 : y$

∴ b M 용액의 몰랄 농도(m) = $\frac{y(\text{mol})}{1(\text{kg})} = \frac{1000b}{1000d - bx}$ (mol/kg)

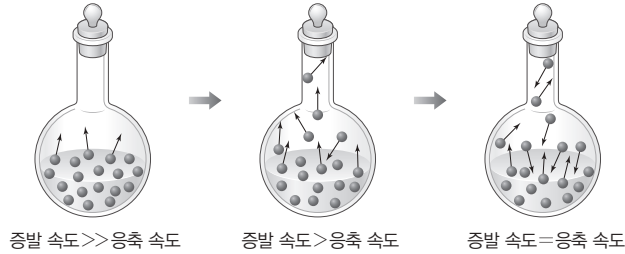
2 용액의 증기 압력 내림

(1) 증기 압력

일정한 온도에서 진공 상태의 밀폐 용기 속에 액체를 넣고 충분한 시간이 지나면 증발 속도와 응축 속도가 같아지는데, 이때 용기 속 기체가 나타내는 압력을 그 액체의 증기 압력이라고 한다.

과학 돋보기 증기 압력

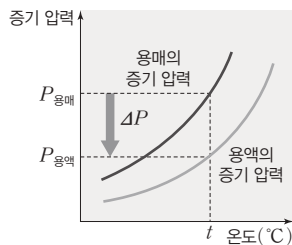
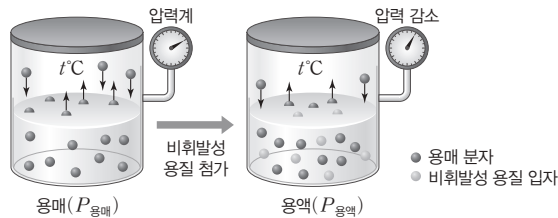
- 일정 온도에서 진공 상태의 밀폐된 용기에 액체를 넣어 두면 액체 표면에서 증발이 일어나면서 점차 용기 속 기체 분자 수가 많아진다.
- 기체 분자 수가 많아지면 기체 분자 중에서 액체 표면에 충돌하여 액체 상태로 되돌아오는 분자들도 많아진다.
- 일정한 시간 동안 증발하는 분자 수(증발 속도)와 응축하는 분자 수(응축 속도)가 같아지면 겉보기에 아무런 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는데, 이때 기체가 나타내는 압력이 증기 압력이다. 즉, 액체를 진공 상태의 밀폐 용기에 넣어 두고 충분한 시간이 경과하여 증발 속도와 응축 속도가 같아져 동적 평형이 되었을 때 용기 속 기체가 나타내는 압력이 증기 압력이다.



(2) 증기 압력 내림(ΔP)

비휘발성 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 작아진다. 이때 용매의 증기 압력과 용액의 증기 압력의 차이를 증기 압력 내림이라고 한다.

$$\text{증기 압력 내림}(\Delta P) = \text{용매의 증기 압력}(P_{\text{용매}}) - \text{용액의 증기 압력}(P_{\text{용액}})$$



- ① 용액의 농도가 진할수록 증기 압력 내림이 커진다.
- ② 온도가 일정할 때 증기 압력 내림은 용질의 종류에는 영향을 받지 않고, 용매의 종류와 용질의 입자 수(몰 분율)에만 영향을 받는다.

개념 체크

▶ 비휘발성 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 작다.

1. 일정한 온도에서 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 ()다.
2. 용매의 증기 압력에서 용액의 증기 압력을 뺀 값을 ()이라고 한다.
3. 증기 압력 내림은 용질의 종류에는 관계없이 용질의 ()에 영향을 받는다.

정답

1. 작
2. 증기 압력 내림
3. 입자 수(몰 분율)

개념 체크

➡ 라울 법칙은 용질의 종류에 관계없이 용질의 입자 수에만 관계된 법칙이다. 라울 법칙이 잘 적용되려면 묽은 용액이어야 한다.

1. 라울 법칙에 따르면 묽은 용액의 증기 압력 내림은 용질의()에 비례한다.
2. 용질이 비휘발성인 경우 용액의 농도가 진할수록 증기 압력 내림은()진다.
3. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 순수한 용매의 증기 압력이 300 mmHg일 때, 비휘발성, 비전해질 용질의 몰 분율이 0.01인 용액의 증기 압력은() mmHg이다.

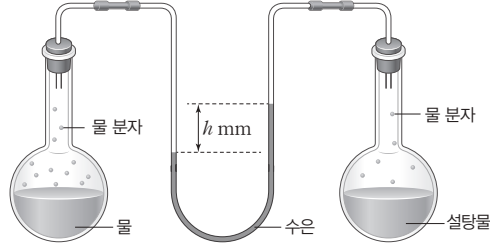
정답

1. 몰 분율
2. 커
3. 297

탐구자료 살펴보기 용액의 증기 압력 내림

실험 과정 물과 설탕물을 진공 상태의 플라스크에 넣어 그림과 같이 장치하고 일정한 온도에서 물과 설탕물의 증기 압력을 비교한다.

실험 결과 • 수은 기둥은 설탕물 쪽이 높으며, 수은 기둥의 높이 차는 h mm이었다.



분석 point • 설탕물은 물보다 증기 압력이 작다.
 • 증기 압력 내림(ΔP) = 물의 증기 압력 - 설탕물의 증기 압력 = h mmHg
 • 증기 압력은 용액의 부피에 영향을 받지 않으므로 온도와 설탕물의 농도가 일정하면 플라스크 속의 물이나 설탕물의 부피를 달리하여도 h 는 일정하다.

(3) 묽은 용액의 증기 압력 내림

① 라울 법칙 : 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 증기 압력($P_{\text{용액}}$)은 용매의 몰 분율($X_{\text{용매}}$)에 비례한다.

$$P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}}$$

② 묽은 용액의 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 몰 분율($X_{\text{용질}}$)에 비례한다.

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{\text{용매}} - P_{\text{용액}} \\ &= P_{\text{용매}} - P_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}} = P_{\text{용매}}(1 - X_{\text{용매}}) \\ 1 - X_{\text{용매}} &= X_{\text{용질}} \\ \therefore \Delta P &= P_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}} \end{aligned}$$

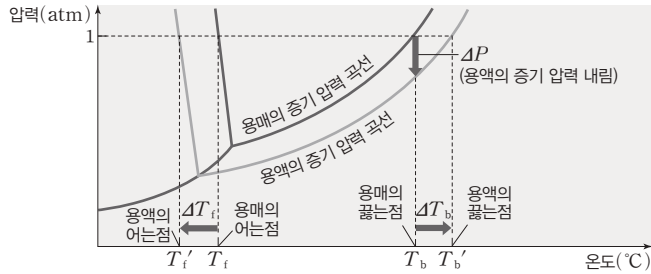
③ 용액의 농도가 진해질수록 용질의 몰 분율이 커지므로 증기 압력 내림도 커진다.

3 용액의 끓는점 오름과 어는점 내림

(1) 용액의 끓는점과 어는점

① 액체는 증기 압력이 외부 압력과 같을 때 끓게 된다. 같은 온도에서 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 작으므로 용액이 끓기 위해서는 용매의 끓는점보다 더 높은 온도로 가열해야 한다. 그러므로 용액의 끓는점은 용매의 끓는점보다 높다.

- ② 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액이 얼기 위해서는 순수한 용매의 어는점보다 더 낮은 온도로 냉각해야 한다. 그러므로 용액의 어는점은 용매보다 낮다.
- ③ 용액의 끓는점(T_b')과 용매의 끓는점(T_b)의 차를 끓는점 오름(ΔT_b)이라고 하고, 용매의 어는점(T_f)과 용액의 어는점(T_f')의 차를 어는점 내림(ΔT_f)이라고 한다.

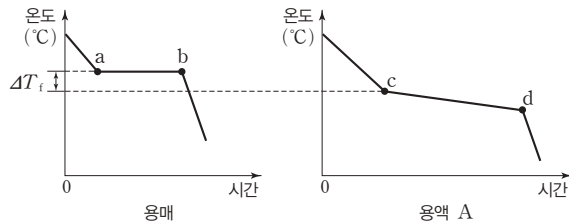
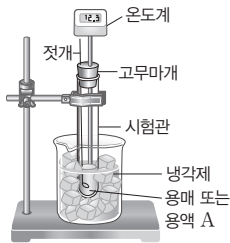


(2) 끓는점 오름(ΔT_b)과 어는점 내림(ΔT_f)에 영향을 미치는 요인

맑은 용액의 끓는점 오름(ΔT_b)과 어는점 내림(ΔT_f)은 용매의 종류와 용액 속에 녹아 있는 용질의 입자 수(몰랄 농도)에만 영향을 받는다.

탐구자료 살펴보기 어는점 내림 측정

실험 과정 및 결과 그림과 같이 장치하고 시험관 속의 순수한 용매를 젓개로 저어 주면서 시간에 따른 온도를 측정한다. 용액 A에 대해서도 같은 실험을 반복하여 아래와 같은 결과를 얻었다.



- 분석 point**
- 순수한 용매는 a점에서 얼기 시작하였고, 용액 A는 c점에서 얼기 시작하였다.
 - ➔ 용액 A의 어는점 내림(ΔT_f)은 (a점에서의 온도 - c점에서의 온도)이다.
 - 순수한 용매는 b점까지 온도가 일정하게 유지되나, 용액 A에서는 d점까지 어는점이 계속 낮아진다.
 - ➔ 용액에서는 용매만 얼어 용액의 농도가 점점 진해지기 때문이다.

(3) 몰랄 오름 상수와 몰랄 내림 상수

- ① 몰랄 오름 상수(K_b) : 용액의 농도가 1 m일 때의 끓는점 오름
- ② 몰랄 내림 상수(K_f) : 용액의 농도가 1 m일 때의 어는점 내림

개념 체크

- ➔ 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액은 순수한 용매보다 더 높은 온도에서 끓고, 더 낮은 온도에서 언다.
- ➔ 용매의 몰랄 오름 상수와 몰랄 내림 상수는 비휘발성, 비전해질 용질을 녹인 용액의 농도가 1 m일 때의 끓는점 오름과 어는점 내림이다.

1. 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액은 순수한 용매에 비해 끓는점은 ()고, 어는점은 ()다.
2. 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 끓는점 오름과 어는점 내림은 용질의 종류에 관계없이 ()에 영향을 받는다.
3. 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액이 어는 동안 용액의 농도가 점점 진해지므로 용액의 어는점은 점점 ()진다.

정답

1. 높, 낮
2. 용질의 입자 수(몰랄 농도)
3. 낮아

개념 체크

⑤ 용액의 끓는점 오름과 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례한다.

⑥ 용액의 끓는점 오름과 어는점 내림을 이용하면 용질의 분자량을 구할 수 있다.

1. 용액의 농도가 1 m로 같을 때 용매의 몰랄 오름 상수가 큰 용액일수록 끓는점 오름이 ()다.

2. 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 끓는점 오름은 용매의 몰랄 오름 상수에 용액의 ()를 곱한 값이다.

3. 끓는점 오름이나 어는점 내림을 측정하면 비휘발성, 비전해질 용질의 ()을 구할 수 있다.

정답

1. 크
2. 몰랄 농도
3. 분자량

③ 몰랄 오름 상수(K_b)와 몰랄 내림 상수(K_f)는 용질의 종류와는 관계없이 용매의 종류에 따라 달라진다.

용매의 종류	기준 끓는점(°C)	K_b (°C/m)	기준 어는점(°C)	K_f (°C/m)
물	100.0	0.51	0.0	1.86
아세트산	117.9	3.22	16.6	3.63
벤젠	80.1	2.64	5.5	5.07
사이클로헥세인	80.7	2.92	6.7	20.8
에틸렌 글라이콜	245.5	2.26	-10.3	3.11

※ 기준 끓는점과 기준 어는점 : 외부 압력이 1 atm일 때의 끓는점과 어는점

④ 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 끓는점 오름(ΔT_b)과 어는점 내림(ΔT_f)은 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다.

$$\Delta T_b = K_b \times m \quad (K_b : \text{몰랄 오름 상수})$$

$$\Delta T_f = K_f \times m \quad (K_f : \text{몰랄 내림 상수})$$

⑤ 끓는점 오름(ΔT_b)과 어는점 내림(ΔT_f)을 이용하여 묽은 용액에 녹아 있는 용질의 분자량을 구할 수 있다.

[몰랄 오름 상수가 K_b 인 용매 W g에 비휘발성, 비전해질 용질 w g이 녹아 있는 용액의 끓는점 오름이 ΔT_b 일 때 용질의 분자량 M]

- 용액의 몰랄 농도(m)를 구한다.

$$\Rightarrow W \text{ g} : \frac{w}{M} \text{ mol} = 1000 \text{ g} : m$$

$$m = \frac{1000w}{MW}$$
- 끓는점 오름(ΔT_b)을 이용하여 용질의 분자량(M)을 구한다.

$$\Rightarrow \Delta T_b = K_b \times m = K_b \times \frac{1000w}{MW}$$

$$\therefore \text{용질의 분자량 } M = \frac{1000K_b w}{\Delta T_b W}$$
- 어는점 내림(ΔT_f)과 용매의 몰랄 내림 상수(K_f)를 이용해서 같은 방법으로 용질의 분자량을 구할 수 있다.

과학 돋보기

어는점 내림을 이용하여 포도당의 분자량 구하기

1 atm에서 물 100 g에 포도당 9 g을 녹인 수용액의 어는점이 -0.93°C 이고 순수한 물의 어는점은 0°C , 물의 몰랄 내림 상수(K_f)가 $1.86^\circ\text{C}/m$ 라면, 포도당의 분자량(M)은 다음과 같이 구할 수 있다.

• 어는점 내림을 구한다.

$$\Rightarrow \Delta T_f = 0.93^\circ\text{C}$$

• 용액의 몰랄 농도를 구한다.

$$\Rightarrow 100 : \frac{9}{M} = 1000 : m \quad \therefore m = \frac{90}{M}$$

• $\Delta T_f = K_f \times m$ 에 대입하여 분자량(M)을 구한다.

$$\Rightarrow 0.93(^\circ\text{C}) = 1.86(^\circ\text{C}/m) \times \frac{90}{M}(m) \quad \therefore M = 180$$

(4) 일상생활에서의 끓는점 오름과 어는점 내림

① 끓는점 오름

- 냉각수에 에틸렌 글라이콜을 섞으면 끓는점이 올라가므로 엔진의 열기에 의해 냉각수가 끓어 넘치는 것을 방지한다.
- 1 atm에서 설탕 시럽을 만들 때 물에 다량의 설탕을 녹이면 100°C보다 높은 온도에서 끓는다.

② 어는점 내림

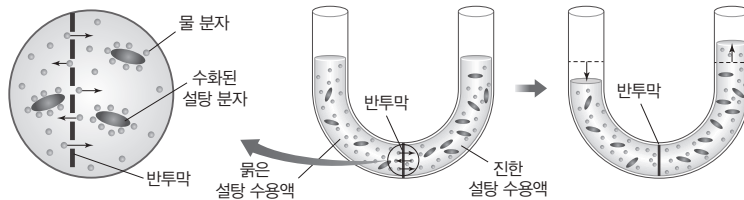
- 바닷물은 강물보다 더 낮은 온도에서 언다.
- 염화 칼슘을 뿌려 도로에 눈이 녹으면 다시 얼기 어렵다.

4 삼투 현상과 삼투압

(1) 삼투 현상

① 삼투 : 반투막을 사이에 두고 농도가 서로 다른 용액이 있을 때 용매 분자가 반투막을 통해 이동하여 농도가 진한 용액은 농도가 점점 묽어지고 농도가 묽은 용액은 농도가 점점 진해지는데, 이러한 현상을 삼투라고 한다.

- 예
- 소금물에 담가놓은 배추가 쭈글쭈글해진다.
 - 짠 음식을 먹으면 갈증을 더 많이 느낀다.

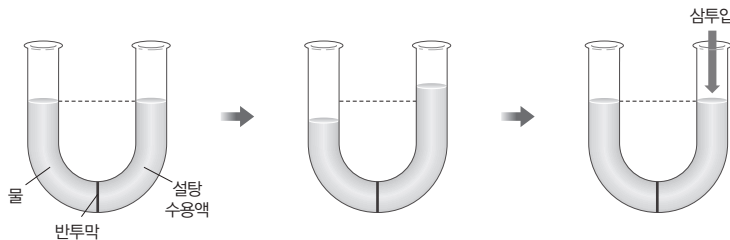


② 반투막 : 물과 같이 크기가 작은 용매 입자는 통과시키지만, 용매화되어 크기가 큰 용질 입자는 통과시키지 못하는 막을 반투막이라고 한다.

- 예
- 셀로판지, 달걀의 속껍질, 세포막

(2) 삼투압

① 삼투압 : 반투막을 사이에 두고 순수한 용매와 용액이 있을 때 용매 분자가 용액 쪽으로 더 많이 이동하는 삼투 현상을 막기 위해 용액 쪽에 가해 주어야 하는 최소한의 압력을 삼투압이라고 한다.



② 삼투압의 크기 : 용질의 종류와는 관계없이 일정량의 묽은 용액에 녹아 있는 용질의 입자 수에 비례한다.

개념 체크

☞ 삼투 : 반투막을 통해 농도가 묽은 용액의 용매 분자가 농도가 진한 용액 쪽으로 더 많이 이동하는 현상이다.

1. 크기가 작은 용매 입자는 통과시키지만 용매화되어 크기가 큰 용질 입자는 통과시키지 못하는 막을 () 이라고 한다.
2. 반투막을 경계로 농도가 진한 수용액과 농도가 묽은 수용액을 두면, 농도가 () 수용액에서 농도가 () 수용액으로 용매 분자가 더 많이 이동한다.
3. 반투막을 사이에 두고 용매와 용액이 있을 때 삼투 현상을 막기 위해 용액에 가해 주어야 하는 최소한의 압력을 () 이라고 한다.

정답

1. 반투막
2. 묽은, 진한
3. 삼투압

개념 체크

▶ **삼투압과 이상 기체 방정식** : 이상 기체 방정식($PV=nRT$)을 이용하여 기체 분자의 분자량을 구할 수 있듯이 반트호프 법칙($\pi V=nRT$)을 이용하여 비휘발성, 비전해질 용질의 분자량을 구할 수 있다.

▶ **묽은 용액의 총괄성과 농도** : 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 총괄성에서 증기 압력 내림은 용질의 몰 분율에, 끓는점 오름과 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에, 삼투압은 용액의 몰 농도에 비례한다.

1. 반트호프 법칙에 따르면 묽은 용액의 삼투압은 용액의 ()와 ()에 비례한다.

2. 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 용질의 종류에는 관계없이 용질의 입자 수에 관계되는 성질을 묽은 용액의 ()이라고 한다.

정답

- 1. 몰 농도, 절대 온도
- 2. 총괄성

(3) 반트호프 법칙

① 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압은 용액의 몰 농도와 절대 온도에 비례한다.

$$\pi = CRT \Rightarrow \pi V = nRT$$

$$\left[\begin{array}{l} \pi : \text{삼투압(atm)}, C : \text{몰 농도(M)} \\ R : \text{기체 상수}(0.082 \text{ atm}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})) \\ T : \text{절대 온도(K)}, V : \text{용액의 부피(L)} \\ n : \text{용질의 양(mol)} \end{array} \right]$$

② 반트호프 법칙을 이용한 비휘발성, 비전해질 용질의 분자량 측정 : 용질의 질량이 w g이고 분자량이 M 이면 용질의 양(mol) $n = \frac{w}{M}$ 이므로 반트호프 법칙을 이용하여 다음과 같이 용질의 분자량을 구할 수 있다.

$$\pi V = nRT = \frac{w}{M} RT \Rightarrow M = \frac{wRT}{\pi V}$$

과학 돋보기

삼투 현상을 이용한 혈액 투석

혈액 투석은 투석기를 이용하여 체외 순환을 통해 혈액을 정화하는 방법으로 삼투 현상을 이용한다. 투석기에는 물이나 전해질, 작은 분자는 통과하지만 단백질이나 혈구는 통과하지 못하는 반투막이 존재한다. 이 반투막을 사이에 두고 환자의 혈액과 투석액이 서로 반대 방향으로 흐르면서 혈액 속 노폐물이 투석액 쪽으로 이동하고, 혈구나 단백질 등 크기가 큰 물질은 반투막을 통과하지 못해 혈액 속에 남아 손실을 막아 준다. 이렇게 노폐물이 제거된 혈액을 환자의 체내로 다시 주입하는 과정을 지속적으로 해주는 것이 혈액 투석이다.

5 묽은 용액의 총괄성

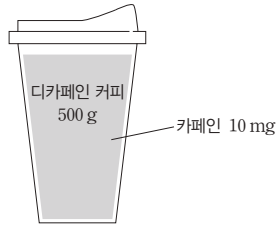
비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 증기 압력 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압은 용질의 종류와 관계없이 용질의 입자 수에만 비례하는데, 이러한 성질을 묽은 용액의 총괄성이라고 한다. 묽은 용액 속에 존재하는 용질의 입자 수가 증가하면 증기 압력 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압도 증가한다.

현상	표현식	관계
증기 압력 내림	$\Delta P = P_{\text{용매}} - P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}}$	$X_{\text{용질}}$ (용질의 몰 분율)에 비례
끓는점 오름	$\Delta T_b = K_b \times m$	m (용액의 몰랄 농도)에 비례
어는점 내림	$\Delta T_f = K_f \times m$	m (용액의 몰랄 농도)에 비례
삼투압	$\pi = CRT$	C (용액의 몰 농도)에 비례

수능 2점 테스트

01 그림은 디카페인 커피를 나타낸 것이다.

[26028-0053]



이 커피에서 카페인 ppm 농도와 퍼센트 농도는?

	ppm 농도(ppm)	퍼센트 농도(%)
①	20	0.002
②	20	0.0002
③	2	0.002
④	2	0.0002
⑤	0.2	0.002

02 표는 A(aq)에 대한 자료이다. A의 화학식량은 120이다.

[26028-0054]

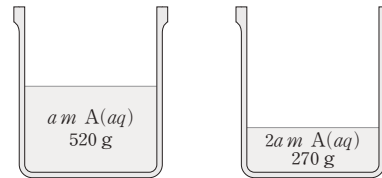
수용액	부피(mL)	밀도(g/mL)	농도(m)
A(aq)	500	1.06	0.5

A(aq)에 녹아 있는 A의 질량(g)은?

- ① 60 ② 50 ③ 40 ④ 30 ⑤ 20

03 그림은 녹아 있는 A의 질량이 같은 2가지 A(aq)을 나타낸 것이다. A의 화학식량은 100이다.

[26028-0055]

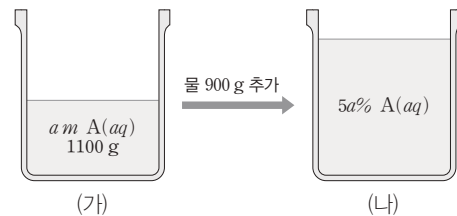


a는?

- ① 0.2 ② 0.3 ③ 0.4 ④ 0.5 ⑤ 0.6

04 그림은 A(aq) (가)에 물 900 g을 추가하여 A(aq) (나)를 만드는 과정을 나타낸 것이다. A의 화학식량은 100이다.

[26028-0056]

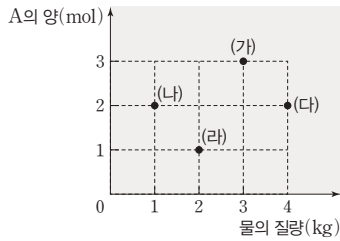


a는?

- ① 0.1 ② 0.2 ③ 0.5 ④ 1 ⑤ 2

[26028-0057]

05 그림은 A(aq) (가)~(라)의 물의 질량과 A의 양(mol)을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

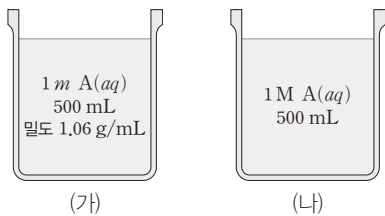
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (나)의 몰랄 농도는 2 m이다.
- ㄴ. 몰랄 농도는 (다)와 (라)가 같다.
- ㄷ. (나)와 (라)를 모두 혼합한 수용액의 몰랄 농도는 (가)와 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0058]

06 그림은 A(aq) (가)와 (나)를 나타낸 것이다. A의 화학식량은 60이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

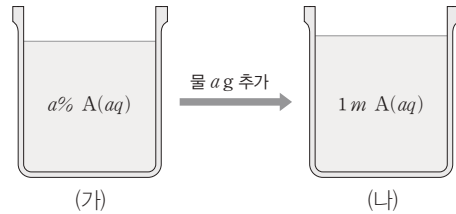
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)의 질량은 530 g이다.
- ㄴ. (나)에 녹아 있는 A의 양은 0.5 mol이다.
- ㄷ. 녹아 있는 A의 질량은 (가)와 (나)가 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0059]

07 그림은 A(s) a g이 녹아 있는 a% A(aq) (가)에 물 a g을 추가하여 A(aq) (나)를 만드는 과정을 나타낸 것이다. A의 화학식량은 40이다.

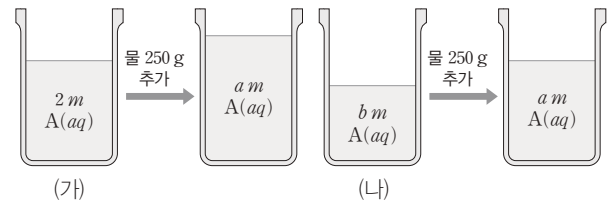


a는?

- ① 2 ② 4 ③ 6 ④ 8 ⑤ 10

[26028-0060]

08 그림은 A(aq) (가)와 (나)에 각각 물 250 g을 추가하였더니 두 수용액의 농도가 같아진 것을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 물의 질량은 각각 1000 g, 750 g이고, A의 화학식량은 40이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

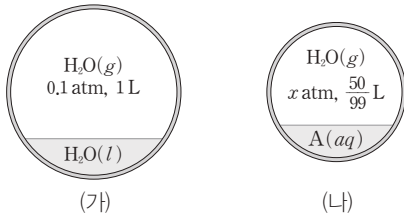
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에 녹아 있는 A의 질량은 80 g이다.
- ㄴ. $a = 1.6$ 이다.
- ㄷ. $b = \frac{32}{15}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0061]

09 그림은 크기가 다른 진공 강철 용기 (가)와 (나)에 $H_2O(l)$ 과 $A(aq)$ 을 각각 넣은 후 $t^\circ C$ 에서 평형에 도달한 것을 나타낸 것이다. 평형에 도달한 후 용기 내 $H_2O(g)$ 의 몰비는 (가) : (나) = 2 : 1이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A는 비휘발성, 비전해질이고, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $t^\circ C$ 에서 $H_2O(l)$ 의 증기 압력은 0.1 atm이다.
- ㄴ. $x=0.099$ 이다.
- ㄷ. 평형에 도달한 후 $A(aq)$ 에서 A의 몰 분율은 $\frac{1}{99}$ 이다.

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

[26028-0062]

10 다음은 $A(aq)$ 에 대한 자료이다.

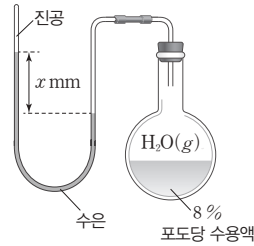
- 몰랄 농도 : 0.1 m
- $t^\circ C$ 에서 증기 압력 : 50 mmHg

$t^\circ C$ 에서 물의 증기 압력(mmHg)은? (단, 물의 분자량은 18이고, A는 비휘발성, 비전해질이며, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

- ① 49.91
- ② 50.09
- ③ 50.18
- ④ 50.9
- ⑤ 51.8

[26028-0063]

11 그림은 $t^\circ C$ 에서 8% 포도당 수용액이 평형에 도달한 것을 나타낸 것이다. $t^\circ C$ 에서 물의 증기 압력은 116 mmHg이고, 물과 포도당의 분자량은 각각 18, 180이다.

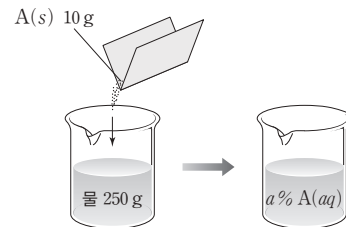


x는? (단, 용액은 라울 법칙을 따르고, 수은의 증기 압력은 무시한다.)

- ① 1
- ② 2
- ③ 58
- ④ 115
- ⑤ 116

[26028-0064]

12 그림은 물 250 g에 $A(s)$ 10 g을 모두 녹여 $a\% A(aq)$ 을 만드는 과정을 나타낸 것이다. A의 분자량은 60이고, 1 atm에서 물의 몰랄 내림 상수(K_f)는 $1.86^\circ C/m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A는 비휘발성, 비전해질이고, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $a=4$ 이다.
- ㄴ. $A(aq)$ 의 몰랄 농도는 $\frac{2}{3} m$ 이다.
- ㄷ. 1 atm에서 $A(aq)$ 의 어는점 내림은 $1.24^\circ C$ 이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0065]

13 다음은 1 atm에서 물과 포도당 수용액에 대한 실험이다. 포도당의 분자량은 180이고, 1 atm에서 물의 몰랄 오름 상수 (K_b)는 $a \text{ } ^\circ\text{C}/m$ 이다.

[실험 과정 및 결과]

- (가) 물의 끓는점을 측정하였더니 100°C 이었다.
- (나) 물 500 g에 포도당 18 g을 모두 녹여 포도당 수용액을 만든 후 끓는점을 측정하였더니 $x^\circ\text{C}$ 이었다.

x 는? (단, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

- ① $100 - 0.2a$ ② $100 - 0.1a$ ③ $100 + 0.1a$
- ④ $100 + 0.2a$ ⑤ $100 + a$

[26028-0066]

14 표는 용액 (가)와 (나)에 대한 자료이다. 1 atm에서 A(l)의 몰랄 오름 상수 (K_b)는 $x \text{ } ^\circ\text{C}/m$ 이다.

용액	조성	기준 끓는점($^\circ\text{C}$)
(가)	용매 A(l) 100 g + 용질 B(s) 0.01 mol	t_1
(나)	용매 A(l) 500 g + 용질 B(s) 0.01 mol	t_2

x 는? (단, B는 비휘발성, 비전해질이고, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

- ① $\frac{t_1 - t_2}{2}$ ② $\frac{25(t_1 - t_2)}{2}$ ③ $\frac{25(t_2 - t_1)}{2}$
- ④ $50(t_1 - t_2)$ ⑤ $50(t_2 - t_1)$

[26028-0067]

15 표는 물과 A(aq)에 대한 자료이다. 1 atm에서 물의 몰랄 내림 상수 (K_f)는 $1.86 \text{ } ^\circ\text{C}/m$ 이고, 물의 분자량은 180이다.

물 또는 수용액	퍼센트 농도 (%)	기준 어는점 ($^\circ\text{C}$)	$t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력 (atm)
물		0	P
A(aq)	$\frac{100}{101}$	-0.31	x

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A는 비휘발성, 비전해질이고, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

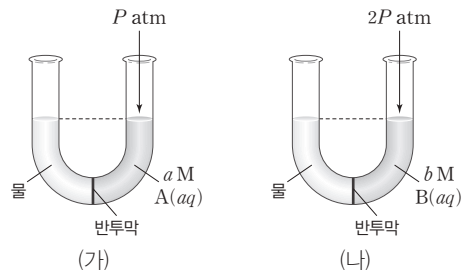
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A(aq)의 몰랄 농도는 $\frac{1}{6} m$ 이다.
- ㄴ. $x = \frac{500}{501}P$ 이다.
- ㄷ. A의 분자량은 180이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0068]

16 그림 (가)와 (나)는 25°C , 1 atm에서 반투막으로 분리된 2개의 U자관에 높이가 같도록 각각 같은 부피의 물과 $a M A(aq)$, 물과 $b M B(aq)$ 을 넣고 수용액에 각각 압력 $P \text{ atm}$, $2P \text{ atm}$ 을 가했을 때 U자관 양쪽의 높이가 같게 유지되는 모습을 나타낸 것이다.



$\frac{b}{a}$ 는? (단, 온도와 대기압은 각각 25°C , 1 atm으로 일정하고, A와 B는 비휘발성, 비전해질이다. 물의 증발은 무시하고, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

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

[26028-0069]

01 표는 1970년과 2000년에 A 강물의 중금속 농도에 대한 자료이다.

중금속	ppm 농도(ppm)	
	1970년	2000년
Cd	0,05	0,002
Pb	0,5	0,01

ppm 농도는 용액 10⁶ g에 녹아 있는 용질의 질량(g)이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, Cd과 Pb의 원자량은 각각 112,4, 207,2이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. A 강물 1 kg에 들어 있는 Cd의 질량은 1970년일 때가 2000년일 때보다 크다.
 ㄴ. 1970년 A 강물에서 Pb의 퍼센트 농도는 0,0005%이다.
 ㄷ. 2000년 A 강물 1 kg에 들어 있는 중금속의 양(mol)은 Pb이 Cd의 5배이다.

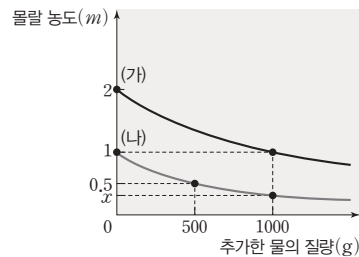
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0070]

02 표는 A(aq) (가)와 (나)에 대한 자료이고, 그림은 (가)와 (나)에 물을 각각 추가하였을 때 추가한 물의 질량에 따른 수용액의 몰랄 농도를 나타낸 것이다. A의 화학식량은 40이다.

수용액을 희석할 때 몰랄 농도는 물의 질량에 반비례한다.

A(aq)	(가)	(나)
물의 질량(g)	a	b
A의 질량(g)	c	
몰랄 농도(m)	2	1



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $a=2b$ 이다.
 ㄴ. $c=40$ 이다.
 ㄷ. $x < 0,3$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

$t^{\circ}\text{C}$ 에서 (가)의 증기 압력이 $\frac{250}{253}P$ atm이므로 (가)에서 물의 몰 분율은 $\frac{250}{253}$ 이다.

03 표는 A(aq) (가)와 (나)에 대한 자료이다. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 P atm이고, 물과 A의 분자량은 각각 18, 60이다.

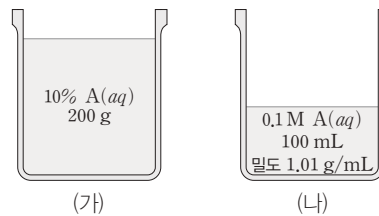
A(aq)	퍼센트 농도(%)	1 atm에서 끓는점 오름($^{\circ}\text{C}$)	$t^{\circ}\text{C}$ 에서 증기 압력(atm)
(가)	a	k	$\frac{250}{253}P$
(나)	$\frac{300}{253}$	xk	

$a \times x$ 는? (단, A는 비휘발성, 비전해질이고, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

- ① $\frac{1}{5}$ ② $\frac{3}{10}$ ③ $\frac{2}{3}$ ④ $\frac{15}{13}$ ⑤ $\frac{50}{39}$

(나)에 녹아 있는 A의 양은 0.01 mol이고, A의 질량은 1 g이다.

04 그림은 A(aq) (가)와 (나)에 대한 자료이다. A의 화학식량은 100이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

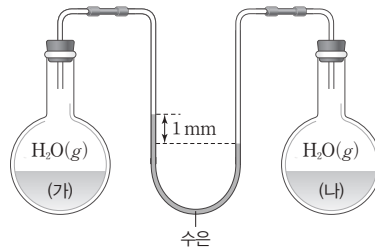
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에 들어 있는 물의 질량은 180 g이다.
- ㄴ. $\frac{\text{(가)에 녹아 있는 A의 양(mol)}}{\text{(나)에 녹아 있는 A의 양(mol)}} = 20$ 이다.
- ㄷ. (가)와 (나)를 모두 혼합하여 만든 수용액의 몰랄 농도는 0.75 m이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0073]

05 그림은 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물과 $a\%$ A(aq)이 각각 평형에 도달한 것을 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 물과 $a\%$ A(aq)을 순서 없이 나타낸 것이고, $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 81 mmHg 이며, 물과 A의 분자량은 각각 18, 60이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A는 비휘발성, 비전해질이고, 용액은 라울 법칙을 따르며, 수은의 증기 압력은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)는 물이다.
 ㄴ. $a\%$ A(aq)에서 물의 몰 분율은 $\frac{80}{81}$ 이다.
 ㄷ. $a=3$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0074]

06 표는 A(aq) (가)와 (나)에 대한 자료이다. A의 화학식량은 100이다.

A(aq)	농도	용액의 질량(g)	밀도(g/mL)
(가)	$a\%$	890	
(나)	0.1 M	$10a$	1

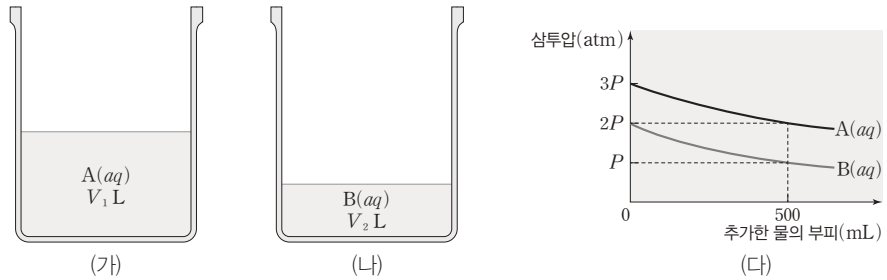
(가)와 (나)를 모두 혼합하여 만든 수용액의 몰랄 농도가 1 m 일 때, a 는?

- ① 10 ② 11 ③ 15 ④ 20 ⑤ 21

(가)에 녹아 있는 A의 질량은 $8.9a\text{ g}$ 이고, 물의 질량은 $(890 - 8.9a)\text{ g}$ 이다.

온도가 일정할 때 삼투압은
몰 농도에 비례한다.

07 그림 (가)와 (나)는 물에 같은 질량의 A(s)와 B(s)를 각각 녹인 A(aq)과 B(aq)을, (다)는 (가)와 (나)에 각각 물을 추가할 때 추가한 물의 부피에 따른 수용액의 삼투압을 나타낸 것이다. A와 B의 분자량은 각각 M_A , M_B 이다.



$\frac{M_B \times V_2}{M_A}$ 는? (단, 온도와 대기압은 일정하고, A와 B는 비휘발성, 비전해질이다. 용액은 라울 법칙을 따르고, 혼합 수용액의 부피는 혼합 전 수용액과 물의 부피의 합과 같다.)

- ① $\frac{1}{6}$ ② $\frac{2}{3}$ ③ $\frac{3}{2}$ ④ 3 ⑤ 6

A a mol이 녹아 있는 수용액 1 L의 몰 농도는 $\frac{a \text{ mol}}{1 \text{ L}} = a \text{ M}$ 이다.

08 다음은 $t^\circ\text{C}$ 에서 A(aq)에 대한 자료이다. A의 화학식량은 M_A 이다.

- 몰 농도 : $a \text{ M}$
- 몰랄 농도 : $1.1a \text{ m}$
- 밀도 : 1.1 g/mL

$a \times M_A$ 는?

- ① $\frac{1800}{11}$ ② $\frac{1900}{11}$ ③ $\frac{2000}{11}$ ④ $\frac{2100}{11}$ ⑤ 200

[26028-0077]

09 표는 A(aq)과 B(aq)에 대한 자료이다. $t_1^\circ\text{C}$, $t_2^\circ\text{C}$ 에서 물의 증기 압력(mmHg)은 각각 131, x 이고, 물, A, B의 분자량은 각각 18, 60, 180이다.

수용액	온도($^\circ\text{C}$)	퍼센트 농도(%)	증기 압력 내림(mmHg)
A(aq)	t_1	a	1
B(aq)	t_2	$2a$	1

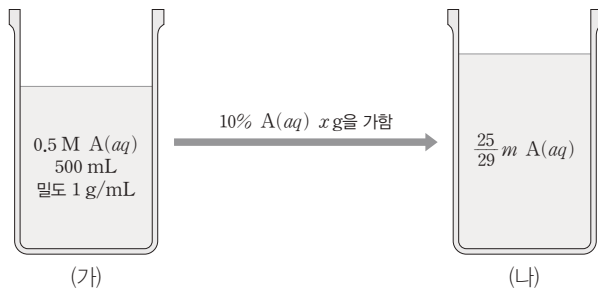
x 는? (단, A와 B는 비휘발성, 비전해질이고, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

- ① 90 ② 91 ③ 130 ④ 190 ⑤ 191

A(aq)에서 A의 몰 분율은 $\frac{1}{131}$ 이다.

[26028-0078]

10 그림 (가)는 0.5 M A(aq) 500 mL를, (나)는 (가)에 10% A(aq) x g을 가하여 만든 수용액을 나타낸 것이다. A의 화학식량은 40이다.



(가)에서 A의 양은 0.25 mol 이고, 질량은 10 g이다.

x 는?

- ① 80 ② 100 ③ 120 ④ 150 ⑤ 160

끓는점 오름과 어는점 내림은 몰랄 농도에 비례한다.

11 표는 A(aq)과 B(aq)에 대한 자료이다. 물, A, B의 분자량은 각각 18, 60, 180이다.

수용액	물의 질량 (kg)	용질의 질량 (g)	퍼센트 농도 (%)	1 atm에서 끓는점 오름(°C)	1 atm에서 어는점 내림(°C)
A(aq)			$\frac{100}{51}$	5k	a
B(aq)	1	x		3k	b

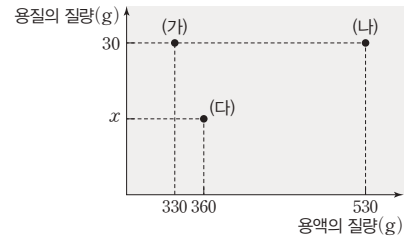
$\frac{a \times x}{b}$ 는? (단, A와 B는 비휘발성, 비전해질이고, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

- ① 30 ② 45 ③ 50 ④ 60 ⑤ 80

(가)와 (나)는 용질의 질량이 각각 30 g이므로 용매의 질량은 각각 300 g, 500 g이다.

12 표는 A(aq)~C(aq)에 대한 자료이고, 그림은 수용액 (가)~(다)의 용액의 질량과 용질의 질량을 나타낸 것이다. (가)~(다)는 A(aq)~C(aq)을 순서 없이 나타낸 것이다.

수용액	용질의 화학식량	몰랄 농도(m)
A(aq)	40	2
B(aq)	60	1
C(aq)	100	1



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)는 B(aq)이다.
- ㄴ. (나)에서 용질의 양은 0.5 mol이다.
- ㄷ. $x = \frac{80}{3}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0081]

13 표는 A(aq)과 B(aq)에 대한 자료이다. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 P atm이고, 물, A, B의 분자량은 각각 18, 60, 180이다.

수용액	퍼센트 농도(%)	기준 어는점($^{\circ}\text{C}$)	$t^{\circ}\text{C}$ 에서 증기 압력(atm)
A(aq)	a	-0.93	b
B(aq)	a	x	$\frac{1000}{1003}P$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물의 기준 어는점은 0°C 이고, A와 B는 비휘발성, 비전해질이며, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

◀ 보기 ▶

ㄱ. $\frac{b}{a} = \frac{1030}{3027}P$ 이다.

ㄴ. A(aq)의 몰랄 농도는 $0.5 m$ 이다.

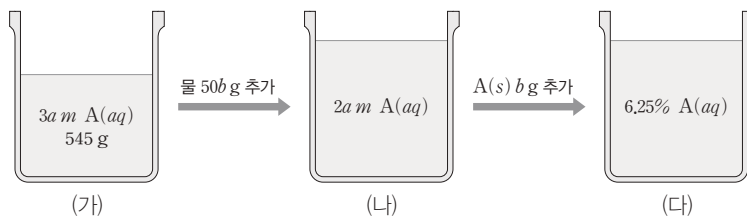
ㄷ. $x = -0.31$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$t^{\circ}\text{C}$ 에서 B(aq)의 증기 압력이 $\frac{1000}{1003}P$ atm이므로 물의 몰 분율은 $\frac{1000}{1003}$ 이다.

[26028-0082]

14 그림 (가)는 $3a m$ A(aq) 545 g을, (나)는 (가)에 물 50b g을 추가한 수용액을, (다)는 (나)에 A(s) b g을 추가하여 모두 녹인 수용액을 나타낸 것이다.



b 는?

- ① 4 ② 5 ③ 6 ④ 7 ⑤ 8

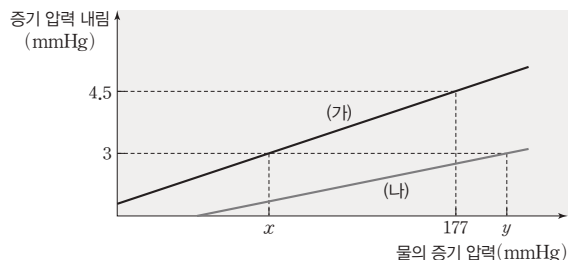
(가)에서 (나)가 될 때 몰랄 농도가 $\frac{2}{3}$ 배가 되었으므로 물의 질량이 $\frac{3}{2}$ 배로 증가했다.

수능 3점 테스트

[26028-0083]

물의 증기 압력이 같을 때 증기 압력 내림은 8% A(aq)이 5% A(aq)보다 크다.

15 그림은 물의 증기 압력에 대한 5% A(aq)과 8% A(aq)의 증기 압력 내림을 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 5% A(aq)과 8% A(aq)을 순서 없이 나타낸 것이고, 물과 A의 분자량은 각각 18, a이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A는 비휘발성, 비전해질이고, 용액은 라울 법칙을 따른다.)

◀ 보기 ▶

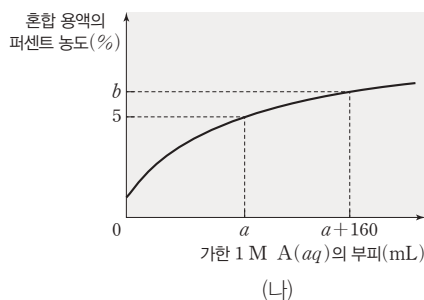
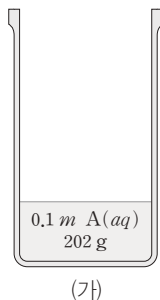
- ㄱ. (가)는 8% A(aq)이다.
- ㄴ. $a=60$ 이다.
- ㄷ. $y-x=80$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

1 M A(aq) a mL의 질량은 1.1a g이고, 녹아 있는 A의 질량은 0.1a g이다.

[26028-0084]

16 그림 (가)는 0.1 m A(aq)을, (나)는 (가)에 밀도가 1.1 g/mL인 1 M A(aq)을 가할 때 가한 1 M A(aq)의 부피에 따른 혼합 용액의 퍼센트 농도를 나타낸 것이다. A의 화학식량은 100이다.



$\frac{a}{b}$ 는? (단, 온도는 일정하다.)

- ① $\frac{12}{5}$ ② $\frac{5}{2}$ ③ $\frac{25}{4}$ ④ $\frac{36}{5}$ ⑤ $\frac{144}{5}$

04 반응 엔탈피

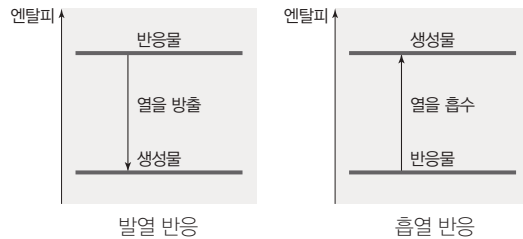
1 반응 엔탈피

(1) 반응열

- 반응물과 생성물이 가지고 있는 에너지가 다르기 때문에 화학 반응이 일어나면 항상 에너지의 출입이 뒤따른다. 화학 반응이 일어날 때 방출하거나 흡수하는 열을 반응열이라고 한다.
- 발열 반응** : 화학 반응이 일어날 때 열을 방출하는 반응으로 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.
- 흡열 반응** : 화학 반응이 일어날 때 열을 흡수하는 반응으로 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아진다.

(2) 엔탈피(H)

- 엔탈피** : 기호 H 로 나타내며, 일정한 압력에서 화학 반응이 일어날 때 반응물과 생성물의 엔탈피(H) 차이만큼 열이 방출되거나 흡수된다.
- 발열 반응과 흡열 반응에서 열의 출입**



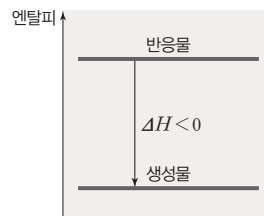
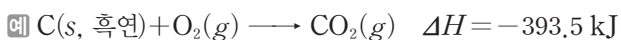
(3) 엔탈피 변화(ΔH)와 반응 엔탈피

- 일정한 압력에서 화학 반응이 일어나면 물질의 종류와 엔탈피가 달라지므로 반응물과 생성물의 엔탈피 차에 해당하는 열이 출입한다.
- 어떤 물질의 엔탈피(H)의 절대량을 직접 측정할 수는 없으나, 일정한 압력에서 화학 반응이 진행되는 동안 출입하는 반응열을 측정하면 엔탈피 변화(ΔH)를 알 수 있다.
- 일정한 압력에서 화학 반응이 일어날 때의 엔탈피 변화를 반응 엔탈피(ΔH)라고 한다. 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값으로 나타낸다.

$$\begin{aligned} \text{반응 엔탈피}(\Delta H) &= \text{엔탈피 변화}(\Delta H) = \text{생성물의 엔탈피 합} - \text{반응물의 엔탈피 합} \\ &= \sum H_{\text{생성물}} - \sum H_{\text{반응물}} \end{aligned}$$

(4) 발열 반응과 흡열 반응

- 발열 반응** : 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 커서 반응이 일어날 때 엔탈피 차에 해당하는 열을 방출하는 반응이다.
 - 엔탈피 변화(ΔH)가 0보다 작은 반응으로, 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.
 - 발열 반응에서는 엔탈피가 감소하므로 반응 엔탈피(ΔH)의 부호가 (-)이다. $\Rightarrow \sum H_{\text{반응물}} > \sum H_{\text{생성물}} \quad \therefore \Delta H < 0$



개념 체크

☞ 반응 엔탈피

= 엔탈피 변화(ΔH)

= 생성물의 엔탈피 합

- 반응물의 엔탈피 합

- 반응 엔탈피(ΔH)는 ()의 엔탈피 합에서 ()의 엔탈피 합을 뺀 값으로 나타낸다.
- 발열 반응은 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 ()다.
- 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다. (O, X)

정답

- 생성물, 반응물
- 크
- O

개념 체크

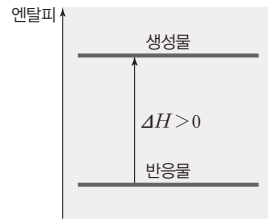
- ▶ 발열 반응 : 엔탈피의 합이 반응물 > 생성물이다.
- ▶ 흡열 반응 : 엔탈피의 합이 반응물 < 생성물이다.

1. 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 ()진다.
2. 흡열 반응은 반응 엔탈피 (ΔH)가 0보다 ()다.
3. 열화학 반응식에서 발열 반응은 반응 엔탈피(ΔH)의 부호가 ()이다.
4. () 반응은 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 작다.

② 흡열 반응 : 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 작아서 반응이 일어날 때 엔탈피 차에 해당하는 열을 흡수하는 반응이다.

- 엔탈피 변화(ΔH)가 0보다 큰 반응으로, 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아진다.

- 흡열 반응에서는 엔탈피가 증가하므로 반응 엔탈피(ΔH)의 부호가 (+)이다. $\rightarrow \sum H_{\text{반응물}} < \sum H_{\text{생성물}} \quad \therefore \Delta H > 0$



과학 돋보기

반응 엔탈피 (ΔH)의 부호

발열 반응	흡열 반응
<p>$\text{H}_2(g)$ 1 mol과 $\text{O}_2(g)$ 0.5 mol의 엔탈피 합이 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 1 mol의 엔탈피보다 241.8 kJ만큼 크므로 반응에서 241.8 kJ의 열이 방출되며, ΔH는 0보다 작다.</p>	<p>$\text{H}_2\text{O}(g)$ 1 mol의 엔탈피가 $\text{H}_2(g)$ 1 mol과 $\text{O}_2(g)$ 0.5 mol의 엔탈피 합보다 241.8 kJ만큼 작으므로 반응에서 241.8 kJ의 열이 흡수되며, ΔH는 0보다 크다.</p>

2 열화학 반응식

(1) 열화학 반응식

① 화학 반응이 일어날 때 출입하는 반응열은 반응 엔탈피(ΔH)로 나타내며, 화학 반응식과 반응 엔탈피를 함께 나타낸 식을 열화학 반응식이라고 한다.

② 열화학 반응식은 반응물과 생성물의 에너지 관계와 화학 반응에서 출입하는 열에너지에 대한 정보를 알려준다.

- C(s, 흑연) 1 mol이 $\text{O}_2(g)$ 1 mol과 반응하여 $\text{CO}_2(g)$ 1 mol이 생성되는 화학 반응식에서 반응 엔탈피(ΔH)가 -393.5 kJ 이므로, 이 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



▶ 반응 엔탈피의 부호가 (-)이므로 발열 반응이고, C(s, 흑연) 1 mol이 연소할 때 393.5 kJ의 열이 방출된다는 것을 알 수 있다.

- $\text{CaCO}_3(s)$ 1 mol이 $\text{CaO}(s)$ 1 mol과 $\text{CO}_2(g)$ 1 mol로 분해되는 화학 반응식에서 반응 엔탈피(ΔH)가 177.8 kJ 이므로, 이 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



▶ 반응 엔탈피의 부호가 (+)이므로 흡열 반응이고, $\text{CaCO}_3(s)$ 1 mol이 분해될 때 177.8 kJ의 열이 흡수된다는 것을 알 수 있다.

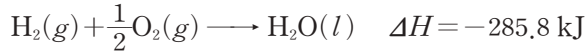
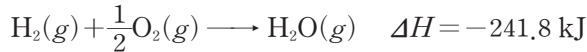
정답

1. 낮아
2. 크
3. -
4. 흡열

(2) 열화학 반응식을 나타내는 방법

① 물질의 상태에 따라 엔탈피가 달라지므로 열화학 반응식에는 물질의 상태를 반드시 표시해야 한다. 고체는 (s), 액체는 (l), 기체는 (g), 수용액은 (aq)로 표시한다.

예 수소 기체($\text{H}_2(g)$)와 산소 기체($\text{O}_2(g)$)가 반응하여 수증기($\text{H}_2\text{O}(g)$) 1 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피는 $\Delta H = -241.8 \text{ kJ}$ 이고, 물($\text{H}_2\text{O}(l)$) 1 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피는 $\Delta H = -285.8 \text{ kJ}$ 이다.



② 열화학 반응식에는 온도와 압력을 함께 표시한다. 온도와 압력 조건이 주어지지 않으면 일반적으로 25°C , 1 atm 이다.

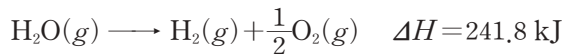
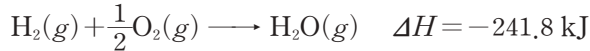
③ 같은 화학 반응이라도 반응 계수에 따라 반응 엔탈피가 달라진다. 반응 엔탈피는 물질의 양(mol)에 비례하므로 열화학 반응식에서 반응 계수가 달라지면 반응 엔탈피도 달라진다.

예 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 2 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피(ΔH)는 1 mol이 생성될 때의 2배이다.



④ 역반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 정반응의 반응 엔탈피(ΔH)와 절댓값은 같고, 부호는 반대이다.

예 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 1 mol이 생성되는 반응과 분해되는 반응에서 반응 엔탈피(ΔH)는 절댓값이 같고, 부호는 반대이다.



개념 체크

☞ 물질의 상태에 따라 엔탈피가 달라지므로 열화학 반응식에는 물질의 상태를 반드시 표시해야 한다.

1. 열화학 반응식에서 고체는 (), 액체는 (l), 기체는 (g), 수용액은 ()로 표시한다.

2. 열화학 반응식에서 반응 엔탈피는 물질의 ()에 비례한다.

3. 역반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 정반응의 반응 엔탈피(ΔH)와 절댓값은 (), 부호는 ()이다.

탐구자료 살펴보기

열화학 반응식 완성하기

자료 25°C , 1 atm 에서 메탄올(CH_3OH) 1 mol을 완전 연소시킬 때 726.4 kJ 의 열이 발생한다. 이 반응의 열화학 반응식은 다음의 단계를 통해 완성할 수 있다.

[1단계] 반응물과 생성물을 화학식으로 나타내고, 상태를 표시한다.

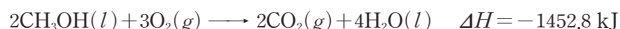
• 반응물 : $\text{CH}_3\text{OH}(l)$, $\text{O}_2(g)$

• 생성물 : $\text{CO}_2(g)$, $\text{H}_2\text{O}(l)$

[2단계] 메탄올(CH_3OH) 1 mol의 완전 연소 반응에 대한 반응 엔탈피를 표시한다. → 메탄올의 연소 반응은 발열 반응이므로 ΔH 는 부호가 (-)이다.

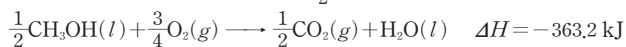
$$\Delta H = -726.4 \text{ kJ}$$

[3단계] 계수를 고려하여 열화학 반응식을 나타낸다. → 반응물의 양(mol)이 2배가 되면 출입하는 에너지도 2배가 된다. 반응물의 계수가 2배가 되었으므로 반응 엔탈피도 2배가 된다.



분석

• 화학 반응식에서 CH_3OH 앞의 계수를 $\frac{1}{2}$ 로 두었을 때의 열화학 반응식은 다음과 같다.



• CH_3OH 의 분자량이 32이므로 CH_3OH 1 mol은 32 g 이며, CH_3OH 32 g 이 완전 연소하면 726.4 kJ 의 열을 방출하고, CH_3OH 16 g 이 완전 연소하면 363.2 kJ 의 열을 방출한다.

정답

- (s), (aq)
- 양(mol)
- 같고, 반대

개념 체크

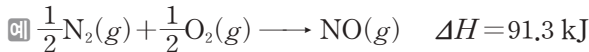
- ▶ 생성 엔탈피는 어떤 물질 1 mol 이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다.
- ▶ 흑연, 다이아몬드, 풀러렌 등의 동소체가 존재하는 탄소의 가장 안정한 원소는 흑연이므로 흑연의 표준 생성 엔탈피는 0이다.

1. 표준 생성 엔탈피는 () atm에서의 생성 엔탈피이다.
2. $H_2O(l)$ 은 $H_2O(g)$ 보다 표준 생성 엔탈피(ΔH)가 ()므로 엔탈피는 $H_2O(l)$ 이 $H_2O(g)$ 보다 작다.
3. 탄소의 동소체 중 흑연이 가장 안정한 물질이므로, C(s, 흑연)의 표준 생성 엔탈피는 ()이다.

3 생성 엔탈피

(1) 생성 엔탈피

- ① 어떤 물질 1 mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다.
- ② 1 atm에서의 생성 엔탈피를 표준 생성 엔탈피라고 하며 단위는 kJ/mol이다.



→ NO(g)의 표준 생성 엔탈피(ΔH)=91.3 kJ/mol

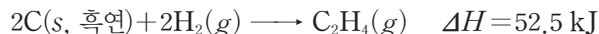
[몇 가지 물질의 표준 생성 엔탈피(ΔH)]

물질	메테인($CH_4(g)$)	에탄($C_2H_4(g)$)	수증기($H_2O(g)$)	이산화 탄소($CO_2(g)$)
표준 생성 엔탈피(ΔH) (kJ/mol)	-74.8	52.5	-241.8	-393.5

→ $CO_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피(ΔH)=-393.5 kJ/mol이고, 탄소와 산소의 가장 안정한 원소는 각각 C(s, 흑연)과 $O_2(g)$ 이므로 이를 열화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



→ $C_2H_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피(ΔH)=52.5 kJ/mol이고, 탄소와 수소의 가장 안정한 원소는 각각 C(s, 흑연)과 $H_2(g)$ 이므로 이를 열화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



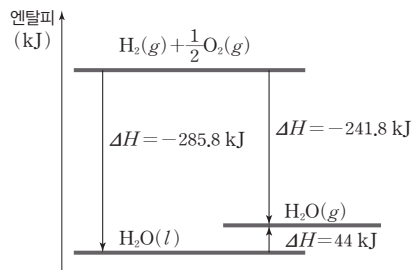
- ③ 원소의 표준 생성 엔탈피(ΔH) : 표준 상태에서 원소에 여러 가지 동소체가 존재하는 경우 가장 안정한 물질의 표준 생성 엔탈피는 0이다. 산소의 동소체에는 $O_2(g)$ 와 $O_3(g)$ 이 존재하는데, 가장 안정한 원소는 $O_2(g)$ 이므로 $O_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피가 0이다. 또한 탄소는 흑연, 다이아몬드, 풀러렌 등의 동소체가 존재하며, 이 중 가장 안정한 원소는 흑연이므로 흑연의 표준 생성 엔탈피는 0이다.

물질	산소			탄소		
	$O(g)$	$O_2(g)$	$O_3(g)$	$C(g)$	C(s, 흑연)	C(s, 다이아몬드)
표준 생성 엔탈피(ΔH) (kJ/mol)	249	0	143	716.7	0	1.9

과학 돋보기

$H_2O(l)$ 과 $H_2O(g)$ 의 엔탈피(H) 비교

- $H_2O(l)$ 과 $H_2O(g)$ 의 표준 생성 엔탈피(ΔH)를 비교하여 $H_2O(l)$ 과 $H_2O(g)$ 의 엔탈피(H)를 비교할 수 있다. 같은 물질이 상태가 다를 때 표준 생성 엔탈피가 작을수록 엔탈피가 작다. 25°C에서 $H_2O(l)$, $H_2O(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 다음과 같다.



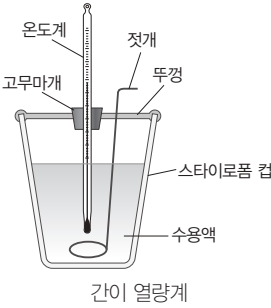
- $H_2O(l)$ 이 $H_2O(g)$ 보다 표준 생성 엔탈피(ΔH)가 작으므로 $H_2O(l)$ 의 엔탈피가 $H_2O(g)$ 의 엔탈피보다 작다.
- $H_2O(l)$ 1 mol이 $H_2O(g)$ 1 mol로 될 때는 $H_2O(g)$ 와 $H_2O(l)$ 의 표준 생성 엔탈피(ΔH) 차에 해당하는 44 kJ의 열을 흡수하며, 이때의 열화학 반응식은 다음과 같다.
 $H_2O(l) \longrightarrow H_2O(g) \quad \Delta H = 44 \text{ kJ}$

정답

1. 1
2. 작으
3. 0

(2) 간이 열량계를 이용한 반응열의 측정

- ① 발생하거나 흡수한 열에너지를 열량계 속의 수용액이 모두 흡수하거나 방출한다고 가정한다.
- ② 반응 과정에서 발생한 열에너지 = 수용액이 흡수한 열에너지(Q) = $c_{\text{수용액}} \times m_{\text{수용액}} \times \Delta t$
 - 비열(c) : 물질 1g의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열에너지로 단위는 J/(g·°C)이다.
 - $m_{\text{수용액}}$: 수용액의 질량(g)
 - Δt : 수용액의 온도 변화(°C) = $t_{\text{반응 후}} - t_{\text{반응 전}}$
- ③ 반응열을 간단하게 측정할 수 있으나, 반응열의 일부가 열량계 등 실험 기구의 온도를 변화시키는 데 쓰이거나 열량계 바깥과 열 교환이 일어나 오차가 발생한다.



개념 체크

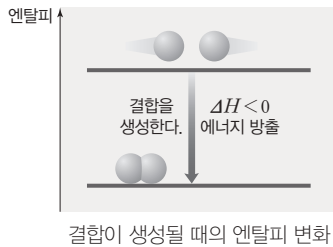
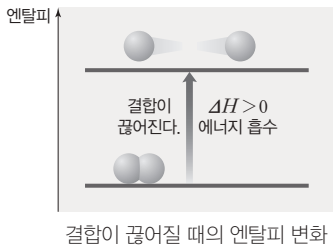
→ 간이 열량계에서 반응 과정에서 발생한 열에너지 = 수용액이 흡수한 열에너지(Q) = $c_{\text{수용액}} \times m_{\text{수용액}} \times \Delta t$

1. 간이 열량계에서는 반응에서 발생한 열에너지와 열량계 속 수용액이 흡수한 열에너지가 ()라고 가정한다.
2. ()은 물질 1g의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열에너지이다.

4 결합 에너지와 반응 엔탈피

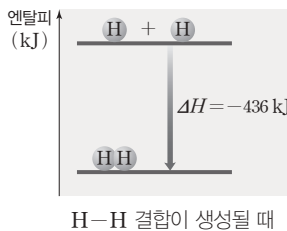
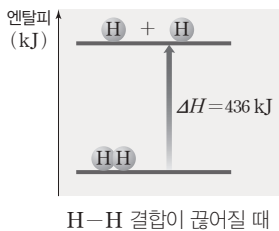
(1) 결합 에너지

- ① 화학 반응에서는 반응물을 이루는 원자 사이의 결합이 끊어지고 새로운 결합이 형성되면서 생성물을 만드는데, 이때 원자 사이의 결합이 끊어질 때에는 에너지가 흡수되고 생성될 때에는 에너지가 방출된다.



- ② 결합 에너지 : 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는데 필요한 에너지이다.
 - 결합을 끊으려면 에너지를 흡수해야 하므로 결합 에너지는 항상 (+)값을 갖는다.

예 H-H의 결합 에너지 : 기체 상태의 수소 분자(H₂) 1 mol이 분자 내 결합이 끊어져 기체 상태의 수소 원자(H)로 될 때 436 kJ의 에너지가 필요하므로 H-H의 결합 에너지는 436 kJ/mol이다.



③ 결합 에너지와 결합의 세기

- 원자 사이의 결합력이 클수록 결합을 끊기 어려우므로 결합 에너지는 원자 사이의 결합이 강할수록 크다.

정답

1. 같
2. 비열

개념 체크

➔ **결합 에너지** : 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다.

1. 두 원자 사이의 결합이 강할수록 결합 에너지가 ()다.
2. 공유 결합이 끊어질 때에는 에너지가 ()되고, 결합이 생성될 때에는 에너지가 ()된다.
3. 같은 원자 사이의 결합에서 공유 전자쌍 수가 증가하면 결합 에너지가 커진다. (○, ×)



➔ H-H의 결합 에너지(436 kJ/mol)는 Cl-Cl의 결합 에너지(243 kJ/mol)보다 크므로 결합의 세기는 H-H 결합이 Cl-Cl 결합보다 강하다.

- 같은 원자 사이의 결합이라도 공유 전자쌍 수가 증가할수록 결합 에너지가 증가한다.

예 결합 에너지 : $C \equiv C > C = C > C - C$, $N \equiv N > N = N > N - N$

- C-H의 결합 에너지는 메테인(CH₄)과 에테인(C₂H₆)에서 다르다. 이와 같이 다원자 분자에서 같은 원자 사이의 결합이라도 조건에 따라 결합 에너지가 다르게 나타나므로 결합 에너지는 평균값으로 나타낸다.

[몇 가지 결합의 결합 에너지]

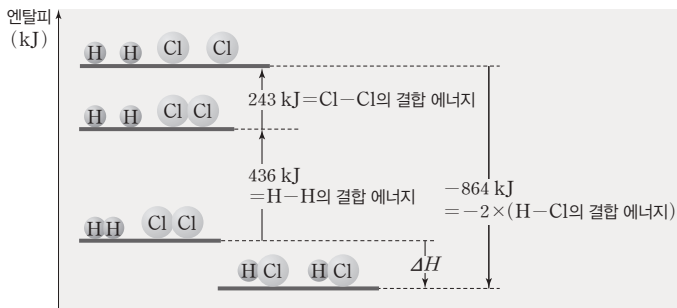
결합	결합 에너지(kJ/mol)	결합	결합 에너지(kJ/mol)	결합	결합 에너지(kJ/mol)
H-H	436	O-O	180	F-F	159
H-C	410	O=O	498	Cl-Cl	243
H-F	570	C-O	350	Br-Br	193
H-Cl	432	C=O	732	I-I	151
H-Br	366	N-N	240	C-C	350
H-I	298	N=N	418	C=C	611
H-O	460	N≡N	945	C≡C	835

※ 단, CO₂(g)에서 C=O의 결합 에너지는 799 kJ/mol이다.

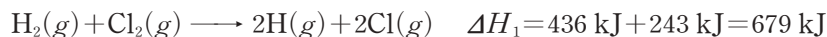
(2) 결합 에너지로부터 반응 엔탈피(ΔH) 구하기

- ① 결합이 끊어질 때 에너지를 흡수(ΔH > 0)하고, 결합이 생성될 때 에너지를 방출(ΔH < 0)한다. 그러므로 기체 반응은 반응물의 결합이 끊어져 원자 상태로 되고(1단계), 원자들이 결합하여 생성물이 되는(2단계) 2개의 단계로 생각할 수 있다.

예 수소(H₂(g))와 염소(Cl₂(g))로부터 염화 수소(HCl(g))가 생성될 때의 반응 엔탈피(ΔH) 구하기



[1단계] 반응물의 결합이 끊어지는 과정



[2단계] 생성물의 결합이 생성되는 과정



- 반응 엔탈피(ΔH) : 전체 반응은 1단계와 2단계 반응의 합이다.

$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 679 \text{ kJ} + (-864 \text{ kJ}) = -185 \text{ kJ}$

정답

1. 크
2. 흡수, 방출
3. ○

- ② 기체 반응에서 반응 엔탈피(ΔH)는 반응물의 결합이 끊어질 때 흡수하는 에너지(반응물의 결합 에너지 총합)에서 생성물의 결합이 생성될 때 방출하는 에너지(생성물의 결합 에너지 총합)를 뺀 값이다.

$$\Delta H = (\text{끊어지는 결합의 결합 에너지 총합}) - (\text{생성되는 결합의 결합 에너지 총합})$$

$$= (\text{반응물의 결합 에너지 총합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 총합})$$

염화 수소(HCl)의 생성 반응

$$\text{H}_2(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow 2\text{HCl}(g) \quad \Delta H$$

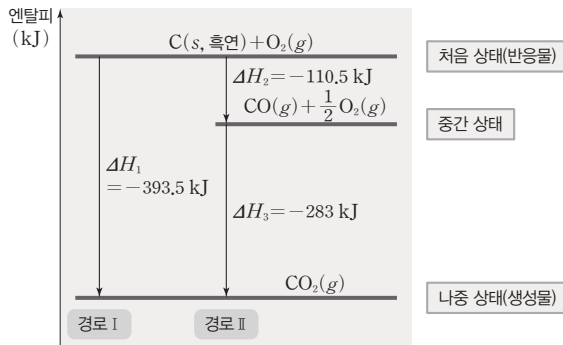
$$\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 총합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 총합})$$

$$= ((436 + 243) - 2 \times 432) \text{ kJ} = -185 \text{ kJ}$$

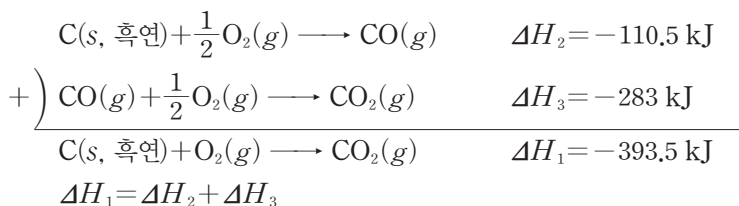
5 헤스 법칙

(1) **헤스 법칙** : 화학 반응이 일어나는 동안에 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다. 이를 헤스 법칙이라고 한다.

① 탄소의 연소 반응



- 경로 I : 탄소가 연소하여 직접 이산화 탄소가 되는 과정
 $\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) \quad \Delta H_1 = -393.5 \text{ kJ}$
- 경로 II : 탄소가 연소하여 일산화 탄소가 되었다가 이산화 탄소가 되는 과정
 $\text{C}(s, \text{흑연}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}(g) \quad \Delta H_2 = -110.5 \text{ kJ}$
 $\text{CO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) \quad \Delta H_3 = -283 \text{ kJ}$
- 경로 II의 반응 엔탈피의 합은 $\Delta H_2 + \Delta H_3 = -110.5 \text{ kJ} + (-283 \text{ kJ}) = -393.5 \text{ kJ}$ 로 경로 I의 반응 엔탈피 $\Delta H_1 = -393.5 \text{ kJ}$ 과 같다. 따라서 처음 물질(반응물)과 나중 물질(생성물)의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 출입하는 에너지는 같다.



개념 체크

➔ **헤스 법칙** : 화학 반응이 일어나는 동안에 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피 총합은 일정하다.

1. 기체 반응에서 반응 엔탈피(ΔH)는 ()의 결합 에너지 총합에서 ()의 결합 에너지 총합을 뺀 값과 같다.
2. 발열 반응인 기체 반응에서 반응물의 결합 에너지 총합은 생성물의 결합 에너지 총합보다 ()다.
3. $\text{H}_2(g)$ 1 mol이 $\text{H}(g)$ 2 mol이 될 때 에너지를 ()한다.
4. 화학 반응에서 반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 ()에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.
5. $\text{C}(s, \text{흑연})$ 1 mol이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피 (ΔH)는 $\text{CO}_2(g)$ 의 ()와 같다.
6. $\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피 (ΔH)는 0보다 ()다.

정답

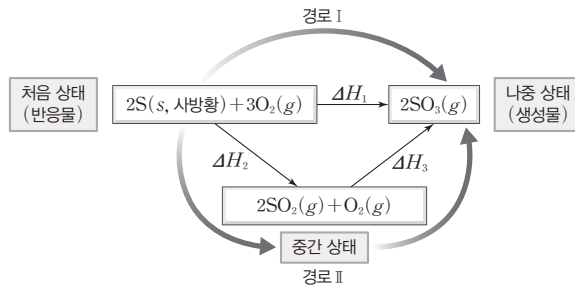
1. 반응물, 생성물
2. 작
3. 흡수
4. 반응 경로
5. 생성 엔탈피
6. 작

개념 체크

반응 엔탈피는 생성물의 생성 엔탈피 합에서 반응물의 생성 엔탈피 합을 뺀 값과 같다.

- 황이 연소되어 삼산화 황이 되는 반응은 발열 반응이다. (O, X)
- 발열 반응은 반응물의 생성 엔탈피 합이 생성물의 생성 엔탈피 합보다 ()다.

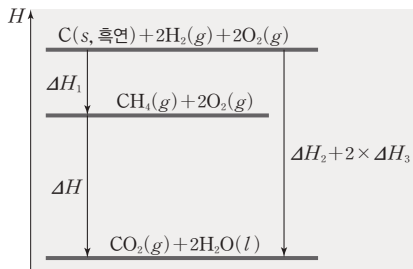
② 황의 연소 반응



- 경로 I : 황이 연소되어 직접 삼산화 황으로 되는 과정
 $2S(s, \text{사방황}) + 3O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g) \quad \Delta H_1$
- 경로 II : 황이 이산화 황이 되었다가 삼산화 황으로 되는 과정
 $2S(s, \text{사방황}) + 2O_2(g) \longrightarrow 2SO_2(g) \quad \Delta H_2$
 $2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g) \quad \Delta H_3$
- S(s, 사방황)은 경로 I 을 통해 바로 $SO_3(g)$ 이 될 수도, 경로 II 를 통해 $SO_2(g)$ 이 되었다가 $SO_3(g)$ 이 될 수도 있다.
- 경로 I 과 경로 II 의 처음 상태는 모두 S(s, 사방황), $O_2(g)$ 이고, 나중 상태는 모두 $SO_3(g)$ 으로 같다.
- 경로 I 의 반응 엔탈피와 경로 II 의 반응 엔탈피의 합이 같다. $\Rightarrow \Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$

과학 돋보기

생성 엔탈피와 헤스 법칙을 이용하여 반응 엔탈피(ΔH) 구하기



25°C, 1 atm에서 다음 3가지 물질이 생성되는 열화학 반응식은 다음과 같다.

- $C(s, \text{흑연}) + 2H_2(g) \longrightarrow CH_4(g) \quad \Delta H_1 \quad \dots \textcircled{1}$
- $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H_2 \quad \dots \textcircled{2}$
- $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l) \quad \Delta H_3 \quad \dots \textcircled{3}$

$\Delta H_1, \Delta H_2, \Delta H_3$ 은 각각 $CH_4(g), CO_2(g), H_2O(l)$ 의 생성 엔탈피이다.

25°C, 1 atm에서 $CH_4(g)$ 연소 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.

- $CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l) \quad \Delta H \quad \dots \textcircled{4}$

헤스 법칙을 이용하면 $\textcircled{4} = \textcircled{2} + 2 \times \textcircled{3} - \textcircled{1}$ 이므로 $\Delta H = \Delta H_2 + 2 \times \Delta H_3 - \Delta H_1$ 이다.

$\Rightarrow \Delta H_2 + 2 \times \Delta H_3$ 은 생성물의 생성 엔탈피 합이고, ΔH_1 은 반응물의 생성 엔탈피 합이므로 반응 엔탈피는 다음과 같다.

$$\text{반응 엔탈피}(\Delta H) = \text{생성물의 생성 엔탈피 합} - \text{반응물의 생성 엔탈피 합}$$

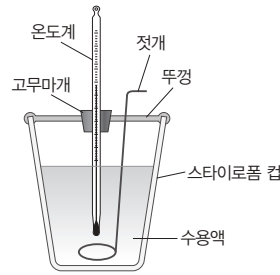
- 정답
- - 크

탐구자료 살펴보기 **헤스 법칙 확인**

실험 과정 [실험 I] 스타이로폼 컵에 25°C 물 100 mL를 넣은 후 NaOH(s) 2.0 g을 넣고 젓개로 저어 완전히 녹인 후 최고 온도를 측정한다.

[실험 II] 25°C, 1 M NaOH(aq) 50 mL를 비커에 넣고 다른 비커에 25°C, 1 M HCl(aq) 50 mL를 넣은 다음 두 용액을 스타이로폼 컵에 넣고 혼합한 후 용액의 최고 온도를 측정한다.

[실험 III] 스타이로폼 컵에 25°C, 0.5 M HCl(aq) 100 mL를 넣은 후 NaOH(s) 2.0 g을 넣고 젓개로 저어 완전히 녹인 후 용액의 최고 온도를 측정한다.



자료 각 실험 후 용액의 부피와 밀도, 비열이 동일하다.

- NaOH의 화학식량 : 40 • 용액의 부피 : 100 mL
- 용액의 밀도 : 1.02 g/mL • 용액의 비열 : 4.2 J/(g·°C)

실험 결과

실험	처음 온도(°C)	최고 온도(°C)
I	25.0	30.0
II	25.0	31.4
III	25.0	36.4

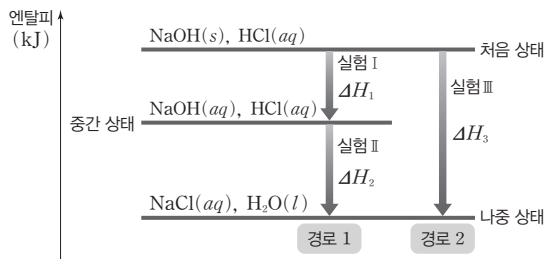
분석 point

• 반응 엔탈피 계산

실험	열화학 반응식	반응 엔탈피 계산
I	$\text{NaOH}(s) \longrightarrow \text{NaOH}(aq) \quad \Delta H_1$	$\Delta H_1 = -\frac{4.2 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C}) \times 102 \text{ g} \times 5.0^\circ\text{C}}{\frac{2 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}}}$ $= -42.84 \text{ kJ/mol}$
II	$\text{NaOH}(aq) + \text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{NaCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H_2$	$\Delta H_2 = -\frac{4.2 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C}) \times 102 \text{ g} \times 6.4^\circ\text{C}}{\frac{50}{1000} \text{ mol}}$ $\approx -54.84 \text{ kJ/mol}$
III	$\text{NaOH}(s) + \text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{NaCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H_3$	$\Delta H_3 = -\frac{4.2 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C}) \times 102 \text{ g} \times 11.4^\circ\text{C}}{\frac{50}{1000} \text{ mol}}$ $\approx -97.68 \text{ kJ/mol}$

→ 실험 I 과 II 의 반응 엔탈피 합은 실험 III 의 반응 엔탈피와 같다. ∴ ΔH₁ + ΔH₂ = ΔH₃

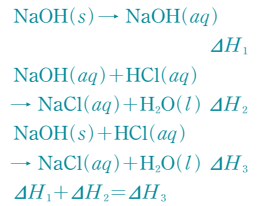
• NaOH(s)과 HCl(aq)의 반응에서 반응 경로에 따른 엔탈피 변화는 다음과 같다.



→ 경로 1과 경로 2의 처음 상태와 나중 상태가 같으므로 실험 I 과 실험 II 의 반응 엔탈피 합은 실험 III 의 반응 엔탈피와 같다.

개념 체크

① 헤스 법칙 확인



1. 수산화나트륨 (NaOH(s)) 이 물에 용해될 때는 열을 ()하므로 수용액의 온도는 ()아진다.

2. 중화 반응의 반응 엔탈피 (ΔH)는 0보다 작다. (O, ×)

정답

1. 방출, 높
2. O

개념 체크

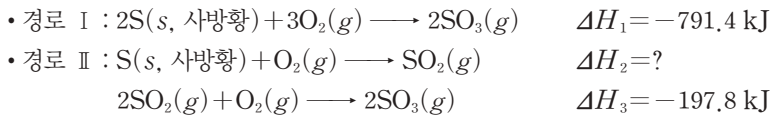
☞ **헤스 법칙의 이용** : 화학 반응의 반응 엔탈피를 직접 측정하기 어려운 경우 헤스 법칙을 이용한다.

1. $\text{SO}_3(g)$ 의 생성 엔탈피 (ΔH)는 -791.4 kJ/mol 이다. (O, X)
2. $\text{S}(s, \text{사방황})$ 이 연소하여 $\text{SO}_2(g)$ 이 될 때 열에너지를 ()한다.
3. 화학 반응에서 반응물의 생성 엔탈피와 ()를 알면 반응 엔탈피를 구할 수 있다.

(2) **헤스 법칙의 이용** : 화학 반응의 반응 엔탈피를 직접 측정하기 어려운 경우 헤스 법칙을 이용한다.

- ① 구하고자 하는 반응의 열화학 반응식을 적는다.
- ② 주어지거나 변형한 열화학 반응식을 더하거나 빼서 반응 엔탈피를 구한다.

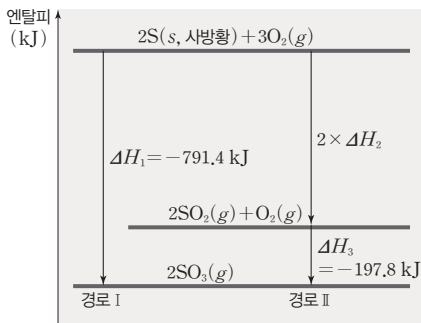
예 헤스 법칙을 이용한 이산화 황($\text{SO}_2(g)$)의 생성 엔탈피(ΔH) 구하기



⇒ $\Delta H_1 = 2 \times \Delta H_2 + \Delta H_3$ 에서 $\Delta H_2 = \frac{1}{2}(\Delta H_1 - \Delta H_3)$ 이다. 따라서

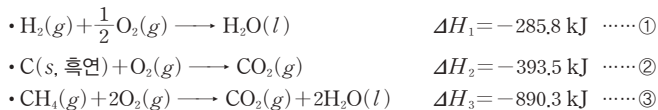
$$\Delta H_2 = \frac{1}{2}(-791.4 \text{ kJ} - (-197.8 \text{ kJ})) = -296.8 \text{ kJ}$$

이므로 $\text{SO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피 (ΔH)는 -296.8 kJ/mol 이다.

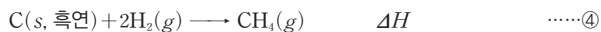


과학 돋보기 헤스 법칙의 이용

다음의 열화학 반응식을 이용하여 메테인(CH_4)의 생성 엔탈피(ΔH)를 구해 보자.



[1단계] 구하고자 하는 반응의 열화학 반응식을 적는다.



[2단계] 구하고자 하는 화학 반응식에 있는 물질의 계수와 주어진 열화학 반응식의 계수를 맞춘다.

- ④에서 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 계수는 1 ⇒ ②에서 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 계수는 1이고 반응식에서 같은 쪽에 있으므로 ② × 1
- ④에서 $\text{H}_2(g)$ 의 계수는 2 ⇒ ①에서 $\text{H}_2(g)$ 의 계수는 1이고 반응식에서 같은 쪽에 있으므로 ① × 2
- ④에서 $\text{CH}_4(g)$ 의 계수는 1 ⇒ ③에서 $\text{CH}_4(g)$ 의 계수는 1이지만 반응식에서 반대쪽에 있으므로 ③ × (-1)

[3단계] 주어지거나 변형한 열화학 반응식을 모두 더하여 반응 엔탈피를 구한다.

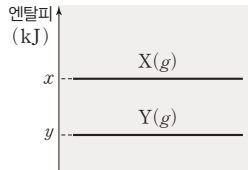
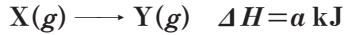
$$\begin{aligned} \text{CH}_4(g) \text{이 생성되는 반응의 화학 반응식} &= \text{①} \times 2 + \text{②} \times 1 + \text{③} \times (-1) \\ \text{CH}_4(g) \text{의 생성 엔탈피 } \Delta H &= 2 \times \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3 \\ &= (2 \times (-285.8) + (-393.5) - (-890.3)) \text{ kJ/mol} \\ &= -74.8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

정답

1. X
2. 방출
3. 생성물의 생성 엔탈피

[26028-0085]

01 다음은 25°C, 1 atm에서 X(g)로부터 Y(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응식이고, 그림은 25°C, 1 atm에서 X(g) 1 mol과 Y(g) 1 mol의 엔탈피를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

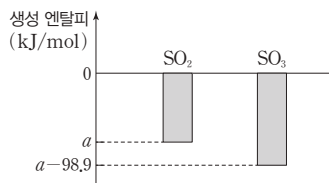
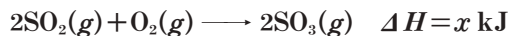
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 이 반응은 흡열 반응이다.
 ㄴ. $a < 0$ 이다.
 ㄷ. 25°C, 1 atm에서 반응 $2X(g) \longrightarrow 2Y(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $(2x - 2y)$ kJ이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0086]

02 다음은 25°C, 1 atm에서 SO₃(g)과 관련된 반응의 열화학 반응식과 2가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.

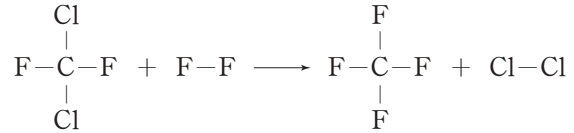


이 자료로부터 구한 x 는? (단, 25°C, 1 atm에서 O₂(g)의 생성 엔탈피는 0이다.)

- ① -197.8 ② -98.9 ③ 98.9
 ④ 197.8 ⑤ 296.7

[26028-0087]

03 다음은 25°C, 1 atm에서 CCl₂F₂(g)과 F₂(g)이 반응하여 CF₄(g)과 Cl₂(g)가 생성되는 반응을 구조식으로 나타낸 열화학 반응식과 4가지 결합의 결합 에너지이다.



$$\Delta H = x \text{ kJ}$$

결합	C-F	C-Cl	F-F	Cl-Cl
결합 에너지 (kJ/mol)	a	b	c	d

이 자료로부터 구한 x 는?

- ① $-2a + 2b$ ② $2a - 2b$
 ③ $-2a + 2b - c + d$ ④ $-2a + 2b + c - d$
 ⑤ $2a - 2b - c + d$

[26028-0088]

04 다음은 25°C, 1 atm에서 3가지 열화학 반응식이다.

- $\text{CH}_4(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow \text{CH}_3\text{Cl}(g) + \text{HCl}(g)$
 $\Delta H = -98 \text{ kJ}$
 ○ $\text{CH}_3\text{Cl}(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow \text{CH}_2\text{Cl}_2(g) + \text{HCl}(g)$
 $\Delta H = x \text{ kJ}$
 ○ $\text{CH}_4(g) + 2\text{Cl}_2(g) \longrightarrow \text{CH}_2\text{Cl}_2(g) + 2\text{HCl}(g)$
 $\Delta H = -202 \text{ kJ}$

이 자료로부터 구한 x 는?

- ① -300 ② -104 ③ -3 ④ 104 ⑤ 300

[26028-0089]

05 다음은 25°C, 1 atm에서 4가지 열화학 반응식이다.

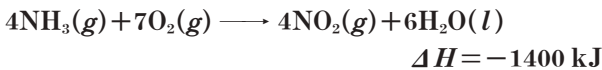
- $\text{CH}_4(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CH}_2\text{O}(g) + \text{H}_2\text{O}(g)$
 $\Delta H = a \text{ kJ}$
- $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$
 $\Delta H = b \text{ kJ}$
- (가) $\Delta H = c \text{ kJ}$
- $\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ $\Delta H = \frac{a-b+c}{2} \text{ kJ}$

(가)에 들어갈 화학 반응식으로 가장 적절한 것은?

- ① $\text{CH}_2\text{O}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(g)$
- ② $\text{CH}_2\text{O}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l)$
- ③ $2\text{CH}_2\text{O}(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$
- ④ $\text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow \text{CH}_2\text{O}(g) + \text{O}_2(g)$
- ⑤ $2\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow 2\text{CH}_2\text{O}(g) + 2\text{O}_2(g)$

[26028-0090]

06 다음은 25°C, 1 atm에서 $\text{NO}_2(g)$ 와 관련된 반응의 열화학 반응식과 4가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.



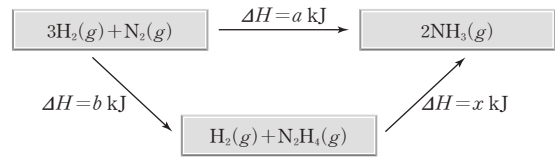
물질	$\text{NH}_3(g)$	$\text{O}_2(g)$	$\text{NO}_2(g)$	$\text{H}_2\text{O}(l)$
생성 엔탈피 (kJ/mol)	a	0	x	b

이 자료로부터 구한 x 는?

- ① $\frac{2a-3b-700}{2}$
- ② $\frac{2a-3b+700}{2}$
- ③ $4a-6b-1400$
- ④ $4a+6b-1400$
- ⑤ $4a-6b+1400$

[26028-0091]

07 그림은 25°C, 1 atm에서 3가지 반응의 반응 엔탈피 (ΔH)를 나타낸 것이다.



25°C, 1 atm에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C, 1 atm에서 $\text{H}_2(g)$, $\text{N}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 0이다.)

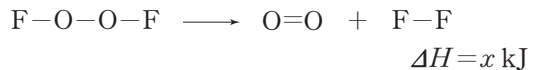
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\text{NH}_3(g)$ 의 생성 엔탈피는 $a \text{ kJ/mol}$ 이다.
- ㄴ. $\text{N}_2\text{H}_4(g)$ 의 생성 엔탈피는 $b \text{ kJ/mol}$ 이다.
- ㄷ. $x = a - b$ 이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0092]

08 다음은 25°C, 1 atm에서 $\text{O}_2\text{F}_2(g)$ 가 $\text{O}_2(g)$ 와 $\text{F}_2(g)$ 으로 분해되는 반응을 구조식으로 나타낸 열화학 반응식과 4가지 결합의 결합 에너지이다.



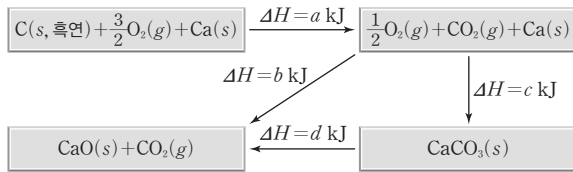
결합	O-O	O=O	O-F	F-F
결합 에너지 (kJ/mol)	180	498	a	159

이 자료로부터 구한 x 는?

- ① $-2a-837$
- ② $-2a+477$
- ③ $a-477$
- ④ $2a-477$
- ⑤ $2a+837$

[26028-0093]

09 그림은 25°C, 1 atm에서 4가지 반응의 반응 엔탈피 (ΔH)를 나타낸 것이다.



25°C, 1 atm에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C, 1 atm에서 C(s, 흑연), O₂(g), Ca(s)의 생성 엔탈피는 0이다.)

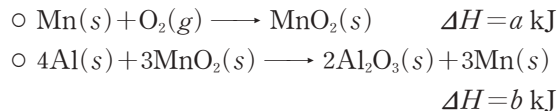
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $b = c + d$ 이다.
 ㄴ. CaO(s)의 생성 엔탈피는 b kJ/mol이다.
 ㄷ. CaCO₃(s)의 생성 엔탈피는 $(a + b - d)$ kJ/mol이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0094]

10 다음은 25°C, 1 atm에서 MnO₂(s)와 관련된 2가지 반응의 열화학 반응식이다.

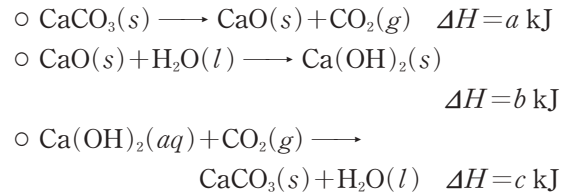


이 자료로부터 구한 25°C, 1 atm에서 Al₂O₃(s)의 생성 엔탈피(kJ/mol)는? (단, 25°C, 1 atm에서 O₂(g), Al(s)의 생성 엔탈피는 0이다.)

- ① $\frac{a+b}{2}$ ② $\frac{3a+b}{2}$ ③ $\frac{3a+2b}{2}$
 ④ $a+b$ ⑤ $3a+b$

[26028-0095]

11 다음은 25°C, 1 atm에서 3가지 열화학 반응식이다. Ca(OH)₂의 화학식량은 74이고, $a + b + c > 0$ 이다.

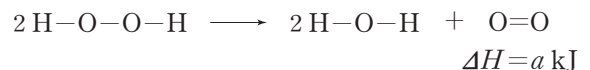


25°C, 1 atm에서 Ca(OH)₂(s) 37 g이 모두 물에 녹아 Ca(OH)₂(aq)이 생성될 때 방출하는 열(kJ)은?

- ① $-\frac{a+b+c}{2}$ ② $\frac{a+b+c}{2}$ ③ $\frac{a+b-c}{2}$
 ④ $-a-b-c$ ⑤ $a+b+c$

[26028-0096]

12 다음은 $t^\circ\text{C}$, 1 atm에서 H₂O₂(g)가 H₂O(g)와 O₂(g)로 분해되는 반응을 구조식으로 나타낸 열화학 반응식과 3가지 결합의 결합 에너지이다.



결합	H-O	O-O	O=O
결합 에너지(kJ/mol)	b	c	x

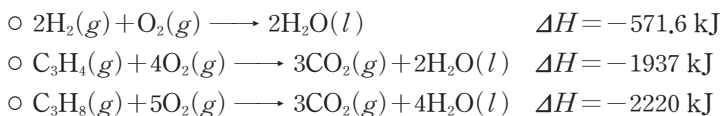
이 자료로부터 구한 x 는?

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

[26028-0097]

$C_3H_4(g)$ 1 g이 완전 연소하여 $CO_2(g)$ 와 $H_2O(l)$ 이 생성될 때 방출하는 열은 $\frac{1937}{40}$ kJ이다.

01 다음은 $25^\circ C$, 1 atm에서 3가지 열화학 반응식이다. C_3H_4 와 C_3H_8 의 분자량은 각각 40, 44이다.

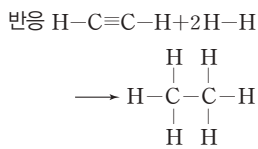


$25^\circ C$, 1 atm에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, $25^\circ C$, 1 atm에서 $H_2(g)$ 와 $O_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 0이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $H_2O(l)$ 의 생성 엔탈피는 -571.6 kJ/mol 이다.
 ㄴ. 1 g이 완전 연소하여 $CO_2(g)$ 와 $H_2O(l)$ 이 생성될 때 방출하는 열은 $C_3H_8(g)$ 이 $C_3H_4(g)$ 보다 크다.
 ㄷ. $C_3H_4(g)$ 이 $H_2(g)$ 와 반응하여 $C_3H_8(g)$ 22 g이 생성될 때의 반응 엔탈피(ΔH)는 -144.3 kJ 이다.

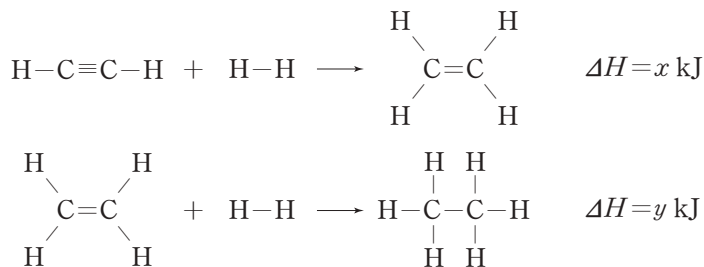
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ



의 반응 엔탈피(ΔH)는 $(x+y)$ kJ이다.

[26028-0098]

02 다음은 $25^\circ C$, 1 atm에서 2가지 반응을 구조식으로 나타낸 열화학 반응식과 5가지 결합의 결합 에너지이다.



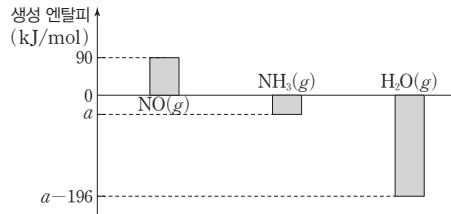
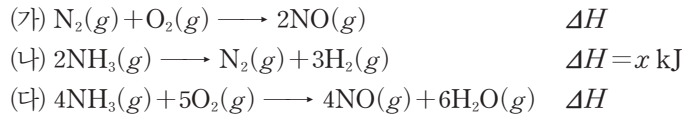
결합	H-H	H-C	C-C	C=C	C≡C
결합 에너지(kJ/mol)	a	b	c	d	e

이 자료로부터 구한 $x+y$ 는? (단, $25^\circ C$, 1 atm에서 반응물과 생성물은 모두 기체이다.)

- ① $a-2b-d+e$ ② $a-2b-c+d$ ③ $2a-4b-c+e$
 ④ $2a-4b-2c+2e$ ⑤ $2a-4b-c-d+e$

[26028-0099]

03 다음은 25°C, 1 atm에서 반응 (가)~(다)의 열화학 반응식과 3가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C, 1 atm에서 H₂(g), N₂(g), O₂(g)의 생성 엔탈피는 0이다.)

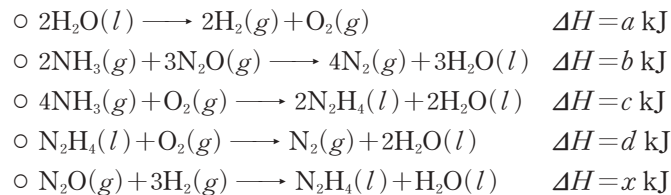
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)는 흡열 반응이다.
- ㄴ. 이 자료로부터 구한 $x = -a$ 이다.
- ㄷ. (다)는 발열 반응이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0100]

04 다음은 25°C, 1 atm에서 5가지 열화학 반응식이다.



이 자료로부터 구한 x 는?

- ① $\frac{-9a+2b-c-8d}{6}$ ② $\frac{9a-2b-c+8d}{6}$
 ③ $\frac{9a-2b+c+8d}{6}$ ④ $\frac{-4a+b-c-4d}{3}$
 ⑤ $\frac{4a-b+c+4d}{3}$

헤스 법칙에 따라 화학 반응이 일어나는 동안 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계 없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.

(가)의 생성 엔탈피-(나)의 생성 엔탈피=(나)의 결합 에너지 총합-(가)의 결합 에너지 총합이다.

05 표는 $t^{\circ}\text{C}$, 1 atm에서 분자식이 C_4H_6 인 기체 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

기체	(가)	(나)
구조식	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}=\text{C}=\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$
생성 엔탈피(kJ/mol)	a	b

결합 에너지로부터 $a-b$ 를 구하기 위해 반드시 이용해야 할 $t^{\circ}\text{C}$, 1 atm에서의 자료만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

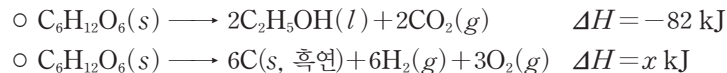
◀ 보기 ▶

- ㄱ. H-C의 결합 에너지
- ㄴ. C-C의 결합 에너지
- ㄷ. C=C의 결합 에너지
- ㄹ. C≡C의 결합 에너지

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

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$ 1 mol이 가장 안정한 성분 원소인 $\text{H}_2(\text{g})$, $\text{C}(\text{s}, \text{흑연})$, $\text{O}_2(\text{g})$ 로 분해될 때의 반응 엔탈피가 x kJ이므로 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$ 의 생성 엔탈피는 $-x$ kJ/mol이다.

06 다음은 25°C , 1 atm에서 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$ 과 관련된 2가지 반응의 열화학 반응식과 2가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.



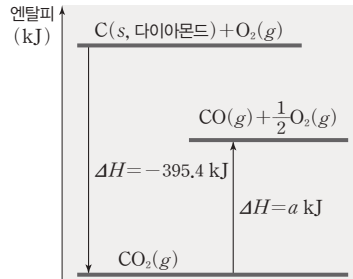
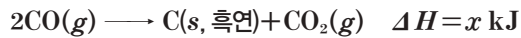
물질	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	$\text{CO}_2(\text{g})$
생성 엔탈피(kJ/mol)	-278	a

이 자료로부터 구한 x 는? (단, 25°C , 1 atm에서 $\text{H}_2(\text{g})$, $\text{C}(\text{s}, \text{흑연})$, $\text{O}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 0이다.)

- ① $-2a+196$ ② $-2a+474$ ③ $-a+196$ ④ $2a+196$ ⑤ $2a+474$

[26028-0103]

07 다음은 25°C, 1 atm에서 C(s, 흑연)과 관련된 반응의 열화학 반응식과 몇 가지 반응의 반응 엔탈피(ΔH)를 나타낸 것이다. 25°C, 1 atm에서 C(s, 흑연), O₂(g), CO₂(g)의 생성 엔탈피는 각각 0, 0, -393.5 kJ/mol이다.



25°C, 1 atm에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. C(s, 다이아몬드)의 생성 엔탈피는 1.9 kJ/mol이다.
- ㄴ. C(s, 흑연)과 C(s, 다이아몬드)를 각각 완전 연소시켜 CO₂(g) 1 mol을 생성할 때 방출하는 열은 C(s, 흑연)이 C(s, 다이아몬드)보다 크다.
- ㄷ. $x = -a + 393.5$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0104]

08 다음은 25°C, 1 atm에서 2가지 열화학 반응식과 2가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.

- $4\text{HCl}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) + 2\text{Cl}_2(g) \quad \Delta H = a \text{ kJ}$
- $2\text{HCl}(g) + \text{F}_2(g) \longrightarrow 2\text{HF}(g) + \text{Cl}_2(g) \quad \Delta H = b \text{ kJ}$

물질	HF(g)	H ₂ O(l)
생성 엔탈피(kJ/mol)	x	y

이 자료로부터 구한 $2x - y$ 는? (단, 25°C, 1 atm에서 H₂(g), O₂(g), F₂(g)의 생성 엔탈피는 0이다.)

- ① $-a + b$ ② $-a + 2b$ ③ $-\frac{a}{2} + b$ ④ $\frac{a}{2} - b$ ⑤ $a - b$

CO₂(g)의 생성 엔탈피는 -393.5 kJ/mol이므로
 $\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) \quad \Delta H = -393.5 \text{ kJ}$
 이다.

가장 안정한 성분 원소로부터 HF(g) 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은
 $\frac{1}{2}\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{F}_2(g) \longrightarrow \text{HF}(g) \quad \Delta H = x \text{ kJ}$ 이다.

$O(g)$ 의 생성 엔탈피가 b kJ/mol이므로 반응 $O_2(g) \rightarrow 2O(g)$ 의 반응 엔탈피 (ΔH)는 $2b$ kJ이다.

09 다음은 25°C , 1 atm 에서 $\text{NOCl}(g)$ 과 관련된 자료와 4가지 결합의 결합 에너지에 대한 자료이다.

- NOCl 의 구조식 : $\text{O}=\text{N}-\text{Cl}$
- $\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) + \text{Cl}_2(g) \rightarrow 2\text{NOCl}(g) \quad \Delta H = a \text{ kJ}$
- $O(g)$ 의 생성 엔탈피 : b kJ/mol

결합	$\text{N} \equiv \text{N}$	$\text{Cl}-\text{Cl}$	$\text{N}=\text{O}$	$\text{N}-\text{Cl}$
결합 에너지(kJ/mol)	945	243	c	x

이 자료로부터 구한 x 는? (단, 25°C , 1 atm 에서 $O_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 0이다.)

- ① $-a + b - c + 594$
- ② $-a + 2b - c + 1188$
- ③ $-\frac{a}{2} + \frac{b}{2} - c + 594$
- ④ $-\frac{a}{2} + b - c + 594$
- ⑤ $a - 2b - c + 1188$

가장 안정한 성분 원소인 $O_2(g)$ 로부터 $O_3(g)$ 1 mol 이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $\frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow O_3(g)$ $\Delta H = 143$ kJ이다.

10 다음은 25°C , 1 atm 에서 2가지 열화학 반응식과 2가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.

- $\text{NO}(g) + \text{O}(g) \rightarrow \text{NO}_2(g) \quad \Delta H = a \text{ kJ}$
- $\text{NO}(g) + \text{O}_3(g) \rightarrow \text{NO}_2(g) + \text{O}_2(g) \quad \Delta H = b \text{ kJ}$

물질	$O_2(g)$	$O_3(g)$
생성 엔탈피(kJ/mol)	0	143

25°C , 1 atm 에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 반응 $2O_3(g) \rightarrow 3O_2(g)$ 은 발열 반응이다.
- ㄴ. 반응 $O_2(g) + O(g) \rightarrow O_3(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $(-a+b)$ kJ이다.
- ㄷ. 이 자료로부터 구한 $\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지는 $(-a+b+143)$ kJ/mol이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ
- ⑤ ㄱ, ㄷ

[26028-0107]

11 표는 25°C, 1 atm에서 5가지 결합의 결합 에너지와 4가지 물질의 구조식과 생성 엔탈피에 대한 자료이다.

결합	H-C	H-O	C≡C	C=O	O=O
결합 에너지(kJ/mol)	a	b	c	d	e

물질	O ₂ (g)	H ₂ O(g)	CO ₂ (g)	C ₂ H ₂ (g)
구조식	O=O	H-O-H	O=C=O	H-C≡C-H
생성 엔탈피(kJ/mol)	0	x	y	z

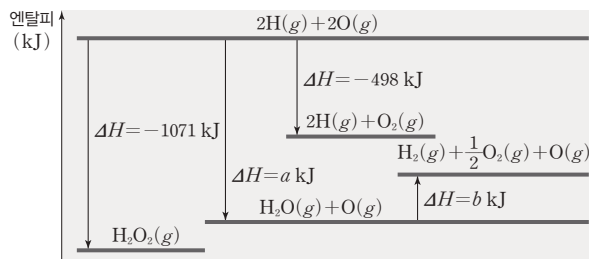
이 자료로부터 구한 $x+2y-z$ 는?

- ① $-4a+4b-2c+8d-5e$ ② $-2a+2b-c+4d-\frac{5}{2}e$
 ③ $a-b+\frac{1}{2}c-2d+\frac{5}{4}e$ ④ $2a-2b+c-4d+\frac{5}{2}e$
 ⑤ $4a-4b+2c-8d+5e$

반응 엔탈피(ΔH)가 $(x+2y-z)$ kJ인 반응은 $C_2H_2(g) + \frac{5}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(g) + 2CO_2(g)$ 이다.

[26028-0108]

12 그림은 25°C, 1 atm에서 몇 가지 반응의 반응 엔탈피(ΔH)를 나타낸 것이다.



H₂O₂의 구조식은 H-O-O-H이고, H₂O의 구조식은 H-O-H이다.

25°C, 1 atm에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 이 자료로부터 구한 H-H의 결합 에너지는 $(-a-b-249)$ kJ/mol이다.
 ㄴ. 이 자료로부터 구한 O-O의 결합 에너지는 $(a+1071)$ kJ/mol이다.
 ㄷ. 이 자료로부터 구한 H₂O₂(g)의 생성 엔탈피는 $(-a-b-822)$ kJ/mol이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

개념 체크

- ① **가역 반응** : 반응 조건(농도, 압력, 온도 등)에 따라 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 반응이다.
- ② **화학 평형 상태** : 가역 반응에서 반응물과 생성물의 농도가 변하지 않아서 겉으로 보기에 반응이 정지된 것처럼 보이는 동적 평형 상태이다.

1. 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 반응을 () 반응이라고 한다.
2. 연소 반응과 같이 한 방향으로만 진행되는 반응을 () 반응이라고 한다.
3. 정반응과 역반응이 모두 일어나고 있는 가역 반응에서 반응물의 농도와 생성물의 농도가 일정하게 유지되는 상태를 () 상태라고 한다.
4. 화학 평형 상태에서는 정반응 속도와 역반응 속도가 () 다.

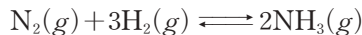
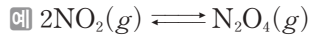
정답

1. 가역
2. 비가역
3. 화학 평형
4. 같

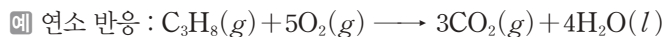
1 화학 평형

(1) 가역 반응과 비가역 반응

- ① **가역 반응** : 농도, 압력, 온도 등의 반응 조건에 따라 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 반응으로, 화학 반응식에서 \rightleftharpoons 로 나타낸다. 정반응은 화학 반응식에서 오른쪽으로 진행되는 반응이고 역반응은 왼쪽으로 진행되는 반응이다.

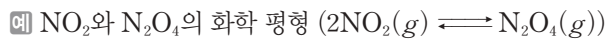


- ② **비가역 반응** : 한쪽 방향으로만 진행되는 반응으로, 정반응에 비해 역반응이 무시할 수 있을 만큼 거의 일어나지 않는다.

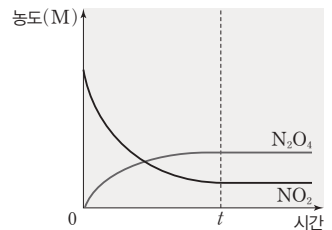


(2) 화학 평형 상태

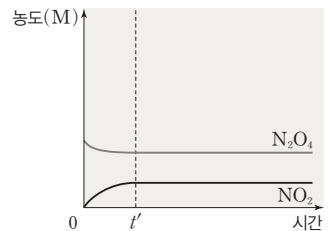
가역 반응에서 반응물과 생성물의 농도가 변하지 않아서 겉으로 보기에 반응이 정지된 것처럼 보이는 상태를 화학 평형 상태라고 한다. 그러나 반응이 정지된 것이 아니라 실제로 정반응과 역반응이 같은 속도로 일어나고 있는 동적 평형 상태이다.

① 반응 용기에 NO_2 만 넣었을 때

반응 용기에 NO_2 를 넣으면 정반응이 진행되어 시간이 지남에 따라 NO_2 의 농도는 감소하고 N_2O_4 의 농도는 증가한다. N_2O_4 가 생성되면 역반응도 진행된다. 시간 t 이후에는 NO_2 와 N_2O_4 의 농도는 각각 일정하다. NO_2 가 소모되는 반응과 NO_2 가 생성되는 반응이 같은 속도로 일어나 겉으로 보기에 반응이 정지된 것처럼 보인다. 시간 t 이후는 화학 평형 상태이다.

② 반응 용기에 N_2O_4 만 넣었을 때

반응 용기에 N_2O_4 를 넣으면 역반응이 진행되어 시간이 지남에 따라 N_2O_4 의 농도는 감소하고 NO_2 의 농도는 증가한다. 시간 t' 이후에는 NO_2 와 N_2O_4 의 농도는 각각 일정해진다. 시간 t' 이후는 화학 평형 상태이다.



(3) 화학 평형 상태의 성질

- ① 화학 평형 상태에서 외부 조건(온도, 압력 등)이 변하지 않으면 반응물과 생성물의 농도는 각각 일정하게 유지된다.

- ② 용기에 반응물이나 생성물만 넣어도 반응이 진행되면 화학 평형 상태에 도달한다.
- ③ 화학 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도비는 화학 반응식의 계수비와 무관하다.

예 강철 용기에서 일어나는 암모니아 합성 반응($N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$)에서 화학 평형 상태의 농도비는 계수비와 무관하다.

	$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$			
초기 농도(M)	1.000	1.000	0	
반응 농도(M)	-0.079	-0.237	+0.158	
평형 농도(M)	0.921	0.763	0.158	→ 평형 농도비 ≠ 1:3:2

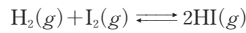
2 평형 상수

(1) 화학 평형 법칙

일정한 온도에서 어떤 가역 반응이 화학 평형 상태에 있을 때, 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비는 항상 일정하다. 화학 평형 상태에서 이 값을 평형 상수(K)라고 한다.

과학 돋보기 평형 상수

표는 일정한 온도에서 다음 반응이 화학 평형 상태에 도달했을 때, 각 물질의 평형 농도와 평형 농도 사이의 관계를 나타낸 것이다.

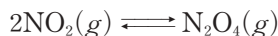


실험	평형 농도(M)			평형 농도 사이의 관계		
	$[H_2]$	$[I_2]$	$[HI]$	$\frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$	$\frac{2 \times [HI]}{[H_2][I_2]}$	$\frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$
I	0,252	0,119	1,228	40,950	81,899	50,286
II	0,055	0,055	0,390	128,926	257,851	50,281
III	0,165	0,165	1,170	42,975	85,950	50,281

실험 I, II, III에서 화학 평형 상태에서의 농도가 다르더라도 $\frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$ 의 값은 항상 일정하다.

→ 일정한 온도에서 반응물의 평형 농도 곱에 대한 생성물의 평형 농도 곱의 비는 일정하며, 이를 평형 상수라고 한다.

예 일정한 온도에서 NO_2 와 N_2O_4 를 서로 다른 초기 농도로 넣고 반응시켜 평형 상태에 도달하였을 때 $\frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$ 의 값은 항상 일정하다.



실험	초기 농도(M)		평형 농도(M)		평형에서 $\frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$
	$[NO_2]$	$[N_2O_4]$	$[NO_2]$	$[N_2O_4]$	
I	0,0800	0	0,0125	0,0338	216
II	0	0,0700	0,0169	0,0616	216
III	0,0400	0,0300	0,0141	0,0430	216

개념 체크

- 화학 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도는 외부 조건이 변하지 않으면 각각 일정하게 유지된다.
- 용기에 반응물이나 생성물만 넣어도 반응을 일으켜 화학 평형 상태에 도달한다.
- 화학 평형 법칙 : 일정한 온도에서 어떤 가역 반응이 화학 평형 상태에 있을 때, 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비는 항상 일정하다.

- 가역 반응에서 반응물만 넣을 경우 ()이 우선하게 진행되어 ()에 도달한다.
- 화학 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도비는 화학 반응식의 계수비와 항상 같다. (O, X)

정답

- 정반응, 화학 평형 상태
- X

개념 체크

▶ **평형 상수** : 일정한 온도에서 평형 상태에 있는 어떤 반응의 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비를 평형 상수라고 한다.

1. 일정한 온도에서 어떤 가역 반응이 화학 평형 상태에 있을 때, 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비를 () 라고 한다.

2. 반응 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ 의 평형 상수식은 ()이다.

3. 반응 $\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{B}(\text{g})$ 에서 용기에 A 1 M, B 2 M가 화학 평형 상태에 있을 때 평형 상수는 ()이다.

4. 정반응의 평형 상수가 K이면 역반응의 평형 상수는 ()이다.

5. $\text{A} \rightleftharpoons 2\text{B}$ 의 평형 상수가 K이면 $2\text{A} \rightleftharpoons 4\text{B}$ 의 평형 상수는 ()이다.

6. $2\text{A} \rightleftharpoons \text{B}$ 의 평형 상수가 K_1 이고, $\text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$ 의 평형 상수가 K_2 이면 $2\text{A} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$ 의 평형 상수는 ()이다.

(2) 평형 상수(K)

반응물 A와 B가 반응하여 생성물 C와 D가 생성되는 반응에서 평형 상수(K)는 각 물질의 평형 농도(M)로부터 다음과 같이 구할 수 있으며, 평형 상수는 단위가 없다.

$$a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons c\text{C} + d\text{D} \quad (a \sim d : \text{반응 계수})$$

$$\text{평형 상수}(K) = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b}$$

([A], [B], [C], [D]는 각각 A, B, C, D의 평형 농도(M))

① 평형 상수는 온도에 의해서만 달라지며 농도나 기체의 압력에 의해서는 달라지지 않는다.

② 정반응의 평형 상수가 K일 때 역반응의 평형 상수(K')는 $\frac{1}{K}$ 이다.

예 $2\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g}) \quad K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}]^2 [\text{B}]}$

$$2\text{C}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \quad K' = \frac{[\text{A}]^2 [\text{B}]}{[\text{C}]^2} = \frac{1}{K}$$

③ 고체 물질이나 용매는 평형 상수식에 나타내지 않는다.

예 $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \quad K = [\text{CO}_2]$

과학 돋보기

화학 반응식과 평형 상수

1. 정반응의 평형 상수가 K일 때 화학 반응식의 반응 계수를 n배하면 평형 상수는 K^n 이 된다.

예 $\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{B}(\text{g}) \quad K = \frac{[\text{B}]^2}{[\text{A}]}$

$$2\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{B}(\text{g}) \quad K' = \frac{[\text{B}]^4}{[\text{A}]^2} = K^2$$

2. 전체 반응의 평형 상수는 각 단계 반응의 평형 상수를 이용하여 구할 수 있다.

예 25°C에서 탄산(H_2CO_3)의 이온화 반응에서 평형 상수

$$\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{HCO}_3^-(\text{aq}) \quad K_1 = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 4.2 \times 10^{-7}$$

$$\text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \quad K_2 = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = 4.8 \times 10^{-11}$$

$$\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons 2\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \quad K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2 [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = K_1 \times K_2$$

$$= (4.2 \times 10^{-7}) \times (4.8 \times 10^{-11}) = 2.0 \times 10^{-17}$$

3. 온도가 일정한 1개의 반응 용기에서 2가지 화학 반응이 평형을 이루고 있을 때, 2개의 평형 상수를 곱하거나 나눈 값도 일정하다.

예 $\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{B}(\text{g}) \quad K_1 = \frac{[\text{B}]^2}{[\text{A}]}$

$$\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}(\text{g}) + \text{D}(\text{g}) \quad K_2 = \frac{[\text{C}][\text{D}]}{[\text{B}]}$$

$$K_1 \times K_2 = \frac{[\text{C}]^2 [\text{D}]^2}{[\text{A}]}$$

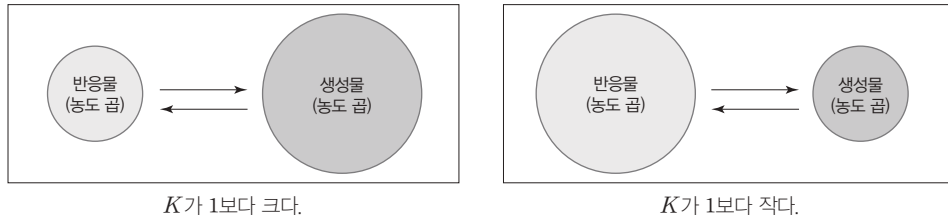
은 일정하며, 이는 화학 반응식 $\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g}) + 2\text{D}(\text{g})$ 의 평형 상수에 해당한다.

정답

1. 평형 상수
2. $\frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$
3. 4
4. $\frac{1}{K}$
5. K^2
6. $K_1 \times K_2$

(3) 평형 상수(K)의 의미

- ① K가 1보다 큰 경우 : 화학 평형 상태에서 반응물의 농도 곱에 비해 생성물의 농도 곱이 크다.
- ② K가 1보다 작은 경우 : 화학 평형 상태에서 생성물의 농도 곱에 비해 반응물의 농도 곱이 크다.

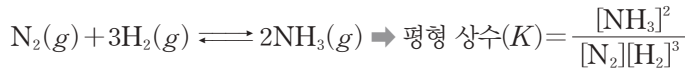


(4) 평형 상수의 계산

- ① 화학 반응식을 완결하고 평형 상수식을 쓴다.
- ② 화학 반응의 양적 관계를 이용하여 화학 평형 상태에서 각 물질의 몰 농도를 구한다.
- ③ 평형 상수식에 각 물질의 평형 농도(M)를 대입하여 평형 상수를 구한다.

☞ 일정한 온도에서 부피가 1.0 L인 강철 용기에 N₂ 2.5 mol, H₂ 6.5 mol을 넣고 반응시켰을 때 평형 상태에서 NH₃ 3.0 mol이 생성된 경우의 평형 상수 계산하기

- 화학 반응식과 평형 상수식 쓰기



- 평형 농도 구하기

	$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$		
초기 농도(M)	2.5	6.5	0
반응 농도(M)	-1.5	-4.5	+3.0
평형 농도(M)	1.0	2.0	3.0

- 평형 상수 구하기 : 평형 상수식에 평형 농도를 대입한다.

$$\Rightarrow K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{3.0^2}{1.0 \times 2.0^3} = \frac{9}{8}$$

(5) 반응 지수(Q)를 통한 화학 반응의 진행 방향 예측

- ① 반응 지수(Q) : 평형 상수식에 반응물과 생성물의 현재 농도(M)를 대입하여 구한 값이다.

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD \quad (a \sim d : \text{반응 계수})$$

$$\text{반응 지수}(Q) = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

([A], [B], [C], [D]는 각각 A, B, C, D의 현재 농도(M))

- ② 화학 반응의 진행 방향 예측 : 같은 온도에서 반응 지수(Q)를 평형 상수(K)와 비교하여 반응의 진행 방향을 예측할 수 있다. Q와 K가 같으면 화학 평형 상태이고, 평형에 도달하지 않은 반응은 Q가 K와 같아질 때까지 정반응 또는 역반응이 우세하게 진행된다.

구분	생성물의 농도	반응의 진행 방향
$Q < K$	현재 상태 < 평형 상태	생성물의 농도가 커져야 하므로 정반응이 우세하게 진행
$Q = K$	현재 상태 = 평형 상태	화학 평형 상태
$Q > K$	현재 상태 > 평형 상태	생성물의 농도가 작아져야 하므로 역반응이 우세하게 진행

개념 체크

- **K가 1보다 큰 경우** : 화학 평형 상태에서 반응물의 농도 곱에 비해 생성물의 농도 곱이 크다.
- **K가 1보다 작은 경우** : 화학 평형 상태에서 생성물의 농도 곱에 비해 반응물의 농도 곱이 크다.
- **반응 지수(Q)** : 평형 상수식에 반응물과 생성물의 현재 농도(M)를 대입하여 구한 값이다.
- **반응 지수와 평형 상수**
 - $Q < K$ 이면 정반응이 우세하게 진행된다.
 - $Q = K$ 이면 화학 평형 상태이다.
 - $Q > K$ 이면 역반응이 우세하게 진행된다.

1. 평형 상수 $K > 1$ 이면 화학 평형 상태에서 반응물의 농도 곱보다 생성물의 농도 곱이 ()다.
2. 반응물과 생성물의 현재 농도를 평형 상수식에 대입하여 구한 값을 ()라고 한다.
3. 반응 지수 $Q > K$ 일 때 ()이 우세하게 진행된다.
4. 반응 지수 $Q < K$ 일 때 ()이 우세하게 진행된다.

정답

1. 크
2. 반응 지수
3. 역반응
4. 정반응

개념 체크

▶ 르사틀리에 원리 : 화학 평형 상태에서 농도, 온도, 압력 등의 반응 조건을 변화시키면, 그 변화를 상쇄하려는 방향으로 반응이 진행되어 새로운 평형에 도달하게 된다.

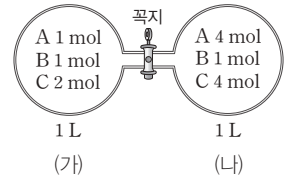
▶ 화학 평형 상태에서 반응물 농도 증가 : 정반응이 우세하게 진행되어 새로운 평형에 도달한다.

▶ 화학 평형 상태에서 생성물 제거 : 정반응이 우세하게 진행되어 새로운 평형에 도달한다.

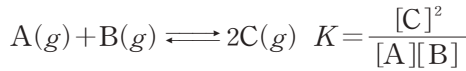
1. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq})$
반응이 평형 상태에 있을 때 NaOH 수용액을 소량 첨가하면 평형은 () 쪽으로 이동하고, H_2SO_4 수용액을 소량 첨가하면 평형은 () 쪽으로 이동한다.

2. 강철 용기 안에서 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ 반응이 화학 평형에 있을 때 N_2 를 추가하면 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 ()므로 평형은 () 쪽으로 이동한다.

예 부피가 1 L인 두 용기 내부의 혼합 기체가 각각 평형을 이루고 있는 상태에서 꼭지를 열었을 때 반응의 진행 방향 예측 (단, 온도는 일정하고 연결관의 부피는 무시한다.)



• 화학 반응식을 이용하여 평형 상수식 쓰기



• 꼭지를 열기 전 (가)와 (나)에서 평형 상수 구하기

$$(가) \quad K = \frac{2^2}{1 \times 1} = 4 \qquad (나) \quad K = \frac{4^2}{4 \times 1} = 4$$

• 꼭지를 열었을 때 반응 지수 구하기 : 혼합 기체의 부피가 2 L이므로 A~C의 농도는 각각 2.5 M, 1 M, 3 M이다. $Q = \frac{3^2}{2.5 \times 1} = \frac{18}{5} = 3.6$

• 반응 지수와 평형 상수의 비교 : $Q < K$ 이므로 꼭지를 열면 정반응이 우세하게 진행되어 평형에 도달한다.

3 화학 평형의 이동

(1) 평형 이동 법칙(르사틀리에 원리)

화학 평형 상태에 있는 화학 반응에서 농도, 온도, 압력 등의 반응 조건을 변화시키면, 그 변화를 상쇄하려는 방향으로 반응이 진행되어 새로운 평형에 도달하게 된다.

(2) 평형 이동에 영향을 미치는 요인

① 농도 변화에 의한 평형 이동 : 평형 상태에 있는 화학 반응에서 반응물이나 생성물의 농도를 변화시키면 농도 변화를 상쇄하려는 방향으로 반응이 진행되어 새로운 평형에 도달한다. 농도 변화에 의한 평형 이동이 일어나도 온도가 변하지 않으면 평형 상수(K)는 변하지 않는다.

조건 변화	평형 이동	속도 비교
반응물의 농도 증가 또는 생성물의 농도 감소	정반응 쪽으로 평형 이동 (반응물의 농도 감소, 생성물의 농도 증가 방향)	정반응 속도 > 역반응 속도
반응물의 농도 감소 또는 생성물의 농도 증가	역반응 쪽으로 평형 이동 (반응물의 농도 증가, 생성물의 농도 감소 방향)	정반응 속도 < 역반응 속도

탐구자료 살펴보기

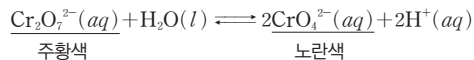
다이크로뮴산 이온($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)과 크로뮴산 이온(CrO_4^{2-}) 사이의 평형 이동

- 실험 과정
1. 다이크로뮴산 칼륨($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 수용액에 수산화 나트륨(NaOH) 수용액을 넣고 색깔 변화를 관찰한다.
 2. 과정 1의 용액에 황산(H_2SO_4) 수용액을 넣고 색깔 변화를 관찰한다.

- 실험 결과
- 다이크로뮴산 칼륨($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 수용액은 주황색을 띤다. 이 용액에 수산화 나트륨(NaOH) 수용액을 넣었더니 노란색으로 변화했다.
 - 과정 1의 용액에 황산(H_2SO_4) 수용액을 넣었더니 다시 주황색으로 변화했다.



분석 point • 다이크로뮴산 칼륨($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)을 물에 녹이면 다음과 같이 평형을 이룬다.



정답

1. 정반응, 역반응
2. 작, 정반응

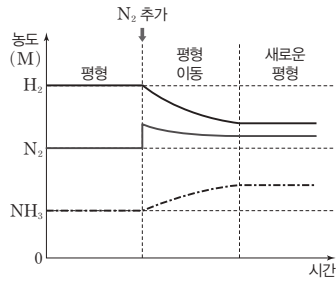
$K_2Cr_2O_7$ 수용액에 NaOH 수용액을 넣으면 수산화 이온(OH^-)이 수소 이온(H^+)과 반응하므로 수용액 속 H^+ 의 농도가 감소한다. H^+ 의 농도가 감소하면 평형은 정반응 쪽으로 이동하여 CrO_4^{2-} 의 농도가 증가하므로 수용액의 색이 노란색으로 변한다.

- 과정 1의 용액에 황산(H_2SO_4) 수용액을 넣으면 H^+ 의 농도가 증가한다. H^+ 의 농도가 증가하면 평형은 역반응 쪽으로 이동하여 $Cr_2O_7^{2-}$ 의 농도가 증가하므로 수용액의 색이 주황색으로 변한다.

과학 돋보기 **농도와 평형 이동**

그림은 강철 용기 안에서 일어나는 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ 반응의 화학 평형 상태에서 N_2 를 추가했을 때 각 물질의 농도를 시간에 따라 나타낸 것이다. (단, 온도는 일정하다.)

- N_2 를 추가한 시점 : N_2 의 농도가 급격하게 증가한다.
- 평형 이동의 원리 : N_2 의 농도를 감소시키는 방향으로 평형이 이동한다.
- N_2 를 추가하면 반응 지수(Q) < 평형 상수(K)이며, Q 가 K 와 같아질 때까지 N_2 와 H_2 의 농도는 작아지고, NH_3 의 농도는 커져야 하므로 정반응이 우세하게 반응이 진행되어 새로운 평형에 도달한다.
- 새로운 평형 : 각 물질의 농도가 일정하게 유지되는 새로운 평형에 도달한다. 이때 온도는 변하지 않았으므로 새로운 평형에서의 평형 상수는 처음 평형에서의 평형 상수와 같다.



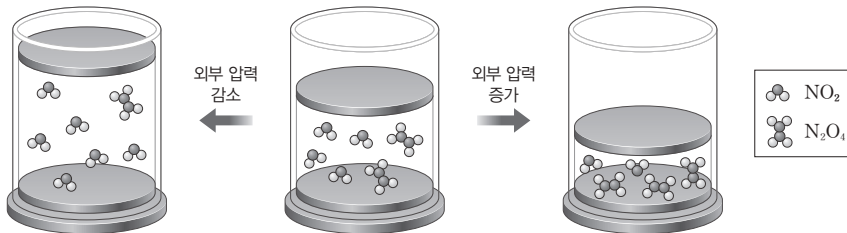
② 압력 변화에 의한 평형 이동 : 화학 평형 상태에 있는 화학 반응에서 압력을 높이면 압력을 낮추는 방향으로 평형이 이동하고, 압력을 낮추면 압력을 높이는 방향으로 평형이 이동한다.

- 고체와 액체의 농도는 압력의 영향을 받지 않고, 기체의 경우에는 압력의 영향을 받는다.

예 $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ 의 반응에서 압력 변화와 평형 이동 : $CaCO_3$ 과 CaO 이 고체이므로 압력 변화에 의한 평형의 이동은 CO_2 의 압력에 의해 좌우된다.

- 압력 변화에 의한 평형 이동이 이루어지더라도 온도가 변하지 않으면 평형 상수(K)는 변화가 없다.

예 $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ 의 반응에서 압력 변화와 평형 이동



(가) 새로운 화학 평형 상태 화학 평형 상태 (나) 새로운 화학 평형 상태
평형 상수 = K 평형 상수 = K 평형 상수 = K

압력을 감소시키면 압력이 증가하는 방향으로 평형이 이동해야 하므로 전체 기체 분자 수가 증가하는 정반응이 우세하게 반응이 진행되어 새로운 평형인 (가)에 도달한다. N_2O_4 가 NO_2 로 변하며 전체 기체 분자 수가 증가한다. 압력을 증가시키면 압력이 감소하는 방향으로 평형이 이동해야 하므로 전체 기체 분자 수가 감소하는 역반응이 우세하게 반응이 진행되어 새로운 평형인 (나)에 도달한다. NO_2 가 N_2O_4 로 변하며 전체 기체 분자 수가 감소한다. 화학 평형 상태에서 (가)와 (나)의 새로운 화학 평형 상태로 이동하더라도 온도가 변하지 않으면 평형 상수는 K 로 일정하다.

개념 체크

→ 화학 평형 상태에서 압력을 높일 때 : 압력을 감소시키는 방향으로 평형이 이동한다.

1. 강철 용기 안에서 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ 반응이 평형 상태에 있을 때 H_2 의 농도를 증가시키면 N_2 의 농도는 () 하고 NH_3 의 농도는 () 하는 방향으로 평형이 이동한다.

2. 화학 평형 상태에 있는 화학 반응에서 압력을 증가시키면 압력을 ()시키는 방향으로 평형이 이동한다. (단, 화학 반응에서 기체 반응물의 계수 합과 기체 생성물의 계수 합은 다르다.)

정답

1. 감소 증가
2. 감소

개념 체크

→ **압력 변화와 평형 이동** : 압력을 변화시켰음에도 평형이 이동하지 않은 경우 화학 반응식에서 기체 반응물의 계수 합과 기체 생성물의 계수 합은 같다.

1. $A(g)+B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 반응이 평형 상태에 있을 때 부피를 증가시키면 기체의 압력이 () 하지만 평형 이동은 일어나지 않는다.

2. $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ 반응이 화학 평형 상태에 있을 때 부피를 감소시켜 압력을 높이면 ()이 우세하게 진행되어 평형에 도달한다.

정답

- 1. 감소
- 2. 역반응

탐구자료 살펴보기

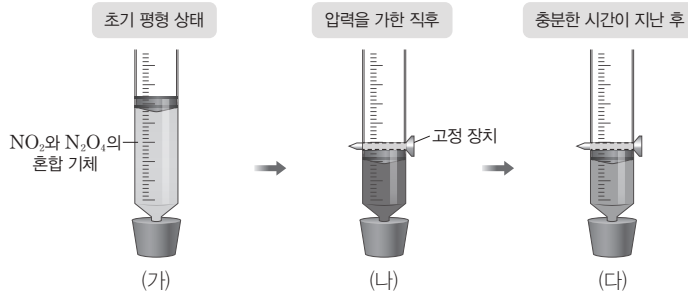
기체의 압력 변화에 따른 평형 이동

실험 과정

1. 주사기에 이산화 질소(NO_2)와 사산화 이질소(N_2O_4)의 혼합 기체를 넣고 밀폐한 후 충분한 시간이 지난 후에 색을 관찰한다.
2. 주사기에 압력을 가하여 부피를 $\frac{1}{2}$ 배로 감소시킨 직후와 피스톤을 고정하고 충분한 시간이 지난 후 혼합 기체의 색을 관찰한다.

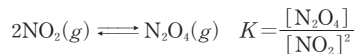
실험 결과

- 과정 1의 결과 혼합 기체는 연한 갈색을 띠었다.
- 부피를 $\frac{1}{2}$ 배로 감소시킨 직후 갈색이 매우 짙어졌다가 충분한 시간이 지난 후 조금 열어졌지만 과정 1의 연한 갈색보다 조금 진한 갈색이 유지되었다.



분석 point

• 다음은 이산화 질소(NO_2)로부터 사산화 이질소(N_2O_4)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 평형 상수이다.



• 과정 1의 평형 상태 (가)에서 적갈색의 이산화 질소(NO_2)와 무색의 사산화 이질소(N_2O_4)가 혼합되어 연한 갈색을 띠었을 때의 평형 상수를 K 라고 할 때, 압력을 가하여 부피를 $\frac{1}{2}$ 배로 감소시킨 직후인 (나)에서 NO_2 와 N_2O_4 의 농도가 (가)에서보다 각각 2배가 되므로 기체의 색이 (가)보다 진하게 변한다. 이 경우 반응 지수 $Q = \frac{2[N_2O_4]}{(2[NO_2])^2} = \frac{K}{2}$ 가 되고, $Q < K$ 이므로 정반응이 우세하게 진행되므로 적갈색의 NO_2 는 감소하고 무색의 N_2O_4 는 증가하여 충분한 시간이 지난 후 (다)에서 기체의 색은 (나)보다 다소 연해진다.

- 부피가 일정한 용기에서 비활성 기체 등 반응에 영향을 주지 않는 기체를 첨가한 경우에는 반응물이나 생성물의 몰 농도(M)가 변하지 않으므로 평형이 이동하지 않는다.

과학 돋보기

압력 변화에 의한 평형 이동과 화학 반응식의 계수 관계

$aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$ 반응의 화학 평형 상태에서

- 압력을 증가시켰을 때 정반응 쪽으로 평형이 이동하였다.
 - 전체 기체 분자 수가 감소하는 방향으로 평형이 이동하므로 반응물의 계수 합이 생성물의 계수 합보다 크다.
 - $a + b > c + d$
- 압력을 감소시켰을 때 정반응 쪽으로 평형이 이동하였다.
 - 전체 기체 분자 수가 증가하는 방향으로 평형이 이동하므로 반응물의 계수 합이 생성물의 계수 합보다 작다.
 - $a + b < c + d$
- 압력을 증가시키거나 감소시켰는데도 평형의 이동이 없다.
 - 반응물의 계수 합과 생성물의 계수 합이 같다.
 - $a + b = c + d$

③ 온도 변화에 의한 평형 이동 : 화학 평형 상태에 있는 화학 반응에서 온도를 높이면 열을 흡수하는 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동하고, 온도를 낮추면 열을 방출하는 발열 반응 쪽으로 평형이 이동한다.

- 평형 상태에서 온도가 일정할 때 농도나 압력이 변해 새로운 평형 상태에 도달해도 평형 상수는 일정하지만, 온도가 변하면 평형 상수가 달라진다. 정반응이 흡열 반응일 때 온도를 높이면 평형 상수는 증가하고, 온도를 낮추면 평형 상수는 감소한다. 정반응이 발열 반응일 때 온도를 높이면 평형 상수는 감소하고, 온도를 낮추면 평형 상수는 증가한다.

예 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ 반응($\Delta H = -92.2 \text{ kJ}$)의 온도에 따른 평형 상수

온도(K)	평형 상수	온도(K)	평형 상수
300	2.6×10^8	500	1.7×10^2
400	3.9×10^4	600	4.2

이 반응은 발열 반응이므로 온도를 높이면 평형 상수가 감소한다.

개념 체크

④ 온도 변화와 평형 이동 : 온도가 증가할 때 평형 상수가 증가하는 반응은 $\Delta H > 0$, 온도가 증가할 때 평형 상수가 감소하는 반응은 $\Delta H < 0$ 이다.

1. 온도가 감소할수록 평형 상수가 감소하는 반응은 ΔH ()이다.
2. 온도 변화에 의한 평형 이동이 일어나면 평형 상수(K)는 (일정하다 / 변한다).
3. 촉매를 사용해도 평형 상수는 변하지 않는다. (O, X)

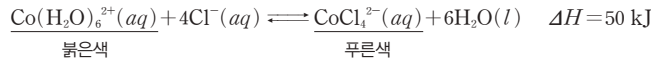
탐구자료 살펴보기 온도에 따른 평형 이동

- 실험 과정**
1. 시험관에 0.2 M 염화 코발트(II) 수용액($CoCl_2(aq)$) 3 mL와 진한 염산($HCl(aq)$) 2 mL를 넣고 색 변화를 관찰한다.
 2. 과정 1의 시험관을 90°C의 물에 넣고 색 변화를 관찰한다.
 3. 과정 2의 시험관을 얼음물에 넣고 색 변화를 관찰한다.

- 실험 결과**
- 붉은색 염화 코발트(II) 수용액 3 mL에 진한 염산 2 mL를 넣었더니 붉은색과 푸른색이 섞여 혼합 용액의 색이 보라색이 되었다.
 - 시험관을 90°C의 물에 넣었더니 푸른색으로 변화였다.
 - 시험관을 얼음물에 넣었더니 붉은색으로 변화였다.



분석 point $Co(H_2O)_6^{2+}$ 이 Cl^- 과 반응하여 $CoCl_4^{2-}$ 으로 되는 반응은 흡열 반응이다.



온도를 높이면 흡열 반응인 정반응이 우세하게 진행되어 푸른색의 $CoCl_4^{2-}$ 의 농도가 증가하고, 온도를 낮추면 발열 반응인 역반응이 우세하게 진행되어 붉은색의 $Co(H_2O)_6^{2+}$ 의 농도가 증가한다.

정답

④ 촉매와 평형 이동 : 촉매는 반응 속도에는 영향을 미치지만 평형을 이동시키지는 않는다. 따라서 촉매는 평형 상수나 생성물의 양에는 영향을 주지 않는다.

1. >
2. 변한다
3. O

개념 체크

➔ **수득률** : 화학 반응에서 이론상 최대로 얻을 수 있는 생성물의 양에 대한 실제로 얻어진 생성물의 양의 비율이다.

1. 화학 반응에서 이론상 최대로 얻을 수 있는 생성물의 양에 대한 실제로 얻어진 생성물의 양을 비율로 나타낸 것을 ()이라고 한다.
2. 정반응이 흡열 반응인 경우 온도를 ()면 생성물의 수득률을 높일 수 있다.
3. 정반응이 기체 분자 수가 감소하는 반응인 경우 압력을 ()면 생성물의 수득률을 높일 수 있다.

정답

1. 수득률
2. 높임
3. 높임

4 평형 이동의 응용

(1) 수득률

화학 반응에서 이론상 최대로 얻을 수 있는 생성물의 양에 대한 실제로 얻어진 생성물의 양의 비율이다.

$$\text{수득률(\%)} = \frac{\text{실제로 얻어진 생성물의 양}}{\text{이론상 최대로 얻을 수 있는 생성물의 양}} \times 100$$

- ① **압력에 의한 영향** : 기체 분자 수가 감소하는 반응의 경우에는 압력을 높이면 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 수득률은 증가하고, 압력을 낮추면 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 수득률은 감소한다.
- ② **온도에 의한 영향** : 정반응이 흡열 반응인 경우에는 온도를 높이면 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 수득률은 증가하고, 온도를 낮추면 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 수득률은 감소한다.

과학 돋보기

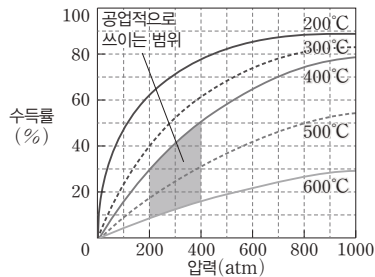
암모니아 합성과 수득률

1. 암모니아 합성 반응의 열화학 반응식



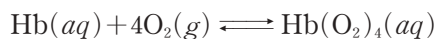
2. 암모니아의 수득률 : 정반응이 발열 반응이므로 온도가 낮을수록 수득률이 증가한다. 정반응이 기체 분자 수가 감소하는 반응이므로 압력이 높을수록 수득률이 증가한다.

3. 하버·보슈법 : 공업적으로 암모니아를 합성할 때 압력이 높을수록 수득률이 증가하지만 압력을 너무 높이면 반응 용기를 제작하기 어렵고, 온도가 낮을수록 수득률이 증가하지만 온도가 너무 낮으면 반응 속도가 느려진다. 따라서 적절한 촉매를 사용하고 400~600°C, 200~400 atm 정도의 조건에서 반응시켜 암모니아를 대량으로 합성한다.



(2) 실생활에서의 화학 평형 이동

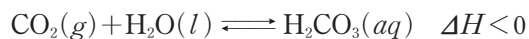
① 고압 산소 치료실은 산소의 압력이 높기 때문에 헤모글로빈(Hb)이 산소와 결합하는 반응이 정반응 쪽으로 평형 이동하게 되어 폐를 통해 혈액 속으로 산소가 많이 녹아 들어가 상처 치료가 빨라진다.



② 설탕이 물에 용해되는 반응은 흡열 반응이므로 온도를 높이면 설탕이 물에 잘 용해된다.



③ 이산화 탄소가 물에 용해되는 반응은 발열 반응이므로 온도를 낮추면 이산화 탄소가 물에 잘 용해된다. 따라서 밀폐되지 않은 탄산음료를 상온에 보관하면 용해되어 있는 이산화 탄소의 양이 감소하므로 툇 쏘는 느낌이 적어진다.



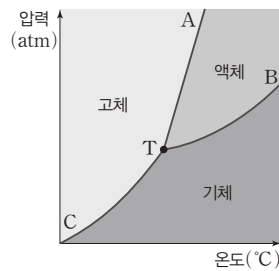
5 상평형

(1) 온도와 압력에 의한 상태 변화

- ① 온도에 의한 상태 변화 : 얼음에 열을 가하여 온도를 높이면 물이 되고, 온도를 더 높이면 수증기가 된다.
- ② 압력에 의한 상태 변화 : 얼음에 압력을 가하면 물이 된다. 고압의 가스통에 들어 있는 액체 뷰테인은 밸브를 열면 기체로 빠져나온다.

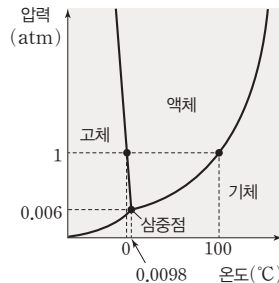
(2) 상평형 그림

온도와 압력에 따른 물질의 상태를 나타낸 그림이다. 승화 곡선, 증기 압력 곡선(기화 곡선), 용해 곡선으로 이루어져 있고, 곡선 상의 모든 점에서 2가지 상태가 공존하여 평형을 이룬다. (단, 삼중점에서는 3가지 상태가 공존하여 평형을 이룬다.)



- ① 용해 곡선(AT) : 고체와 액체가 상평형을 이루는 온도와 압력을 나타낸 곡선이다.
- ② 증기 압력 곡선(기화 곡선, BT) : 액체와 기체가 상평형을 이루는 온도와 압력을 나타낸 곡선이다.
- ③ 승화 곡선(CT) : 고체와 기체가 상평형을 이루는 온도와 압력을 나타낸 곡선이다.
- ④ 삼중점(T) : 고체, 액체, 기체의 3가지 상태가 공존하여 평형을 이루는 온도와 압력이다.
- ⑤ 어는점(녹는점) : 고체와 액체가 상평형을 이루는 온도이다.
- ⑥ 끓는점 : 액체와 기체가 상평형을 이루는 온도이다.

(3) 물의 상평형 그림



- ① 물은 용해 곡선의 기울기가 음(-)의 값을 가지므로 외부 압력이 커지면 어는점이 낮아진다.
- ② 물은 삼중점의 압력이 0.006 atm이므로 1 atm에서는 온도를 높일 때 고체에서 액체를 거쳐 기체로 상태가 변하지만, 0.006 atm보다 낮은 압력에서는 온도를 높일 때 고체 상태에서 액체 상태를 거치지 않고 기체 상태로 승화가 일어난다.

개념 체크

- ➡ 상평형 그림 : 온도와 압력에 따른 물질의 상태를 나타낸 그림이다.
- ➡ 삼중점 : 기체, 액체, 고체의 3가지 상태가 공존하여 평형을 이루는 온도와 압력이다.
- ➡ 물의 상평형 그림의 특징 : 용해 곡선의 기울기가 음(-)의 값을 가진다.

1. ()은 온도와 압력에 따른 물질의 상태를 나타낸 그림이다.
2. 상평형 그림에서 ()은 고체와 액체가 상평형을 이루는 온도와 압력을 나타내고, ()은 액체와 기체가 상평형을 이루는 온도와 압력을 나타내고, ()은 고체와 기체가 상평형을 이루는 온도와 압력을 나타낸다.
3. ()은 고체, 액체, 기체의 3가지 상태가 공존하여 평형을 이루는 온도와 압력이다.
4. 물은 용해 곡선의 기울기가 음(-)의 값이므로 외부 압력이 커지면 어는점이 높아진다. (O, X)

정답

1. 상평형 그림
2. 용해 곡선, 증기 압력 곡선(기화 곡선), 승화 곡선
3. 삼중점
4. X

개념 체크

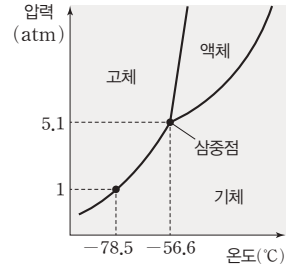
➔ 이산화 탄소의 상평형 그림의 특징 : 삼중점의 압력이 1 atm보다 크다.

1. 이산화 탄소의 상평형 그림에서 삼중점에서의 압력이 1 atm보다 크므로 드라이아이스는 1 atm에서 온도를 높이면 승화한다. (O, X)

2. 액체 이산화 탄소를 만들기 위해서는 ()에서의 압력인 5.1 atm 이상의 압력이 필요하다.

(4) 이산화 탄소의 상평형 그림

- ① 이산화 탄소는 용해 곡선의 기울기가 양(+)의 값을 가지므로 외부 압력이 커지면 어는점이 높아진다.
- ② 이산화 탄소는 삼중점의 압력이 5.1 atm으로 1 atm보다 크므로 1 atm에서 온도를 높이면 고체 이산화 탄소(드라이아이스)는 승화한다.
- ③ 액체 이산화 탄소를 만들기 위해서는 5.1 atm 이상의 압력이 필요하다.



탐구자료 살펴보기

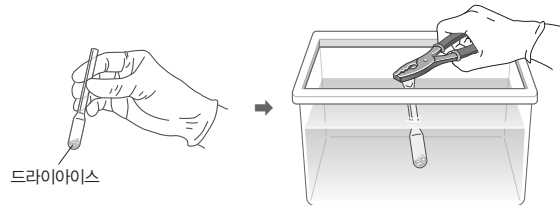
액체 이산화 탄소 만들기

실험 과정

1. 일회용 플라스틱 스포이트의 끝을 잘라 입구를 뚫린 후 막자사발에서 곱게 간 드라이아이스를 넣는다.
2. 과정 1의 스포이트의 입구를 접고 펜치로 기체가 빠져나가지 않게 막은 후 플라스틱 수조의 물속에 넣는다.

실험 결과

- 수조의 물속에 넣은 스포이트 속 드라이아이스가 액체로 변화했다가 스포이트가 터졌다.



분석 point

수조의 물속에 넣은 스포이트 속 드라이아이스가 빨리 승화되어 기체 이산화 탄소가 생성되고 생성된 기체 이산화 탄소가 빠져나가지 못하므로 스포이트 내부의 압력이 커지게 된다. 이산화 탄소의 삼중점의 압력인 5.1 atm 이상이 되었을 때 드라이아이스가 용해된다. 스포이트가 터진 것은 스포이트 내부 압력이 크기 때문이다.

(5) 상평형 그림과 물질의 상태 변화

- ① 물의 상평형 그림에서 증기 압력 곡선을 보면 압력이 커질수록 끓는점이 높아지는 것을 알 수 있다. 압력솥에서 밥을 지을 경우 1 atm보다 큰 압력으로 인해 물의 끓는점이 100°C보다 높아지므로 높은 온도에서 밥이 빨리 된다. 반면 높은 산에서 냄비로 밥을 지을 경우 1 atm보다 작은 압력으로 인해 물의 끓는점이 100°C보다 낮아지므로 낮은 온도에서 밥이 설익는다. 이때 냄비에 돌을 올려놓으면 압력이 커지므로 밥이 설익는 것을 막을 수 있다.
- ② 물의 상평형 그림에서 용해 곡선을 보면 압력이 커질수록 녹는점이 낮아지는 것을 알 수 있다. 양쪽에 무거운 추가 달린 실을 얼음에 올리면 압력 증가에 의해 얼음이 녹아 실이 얼음 속으로 들어간다.
- ③ 동결 건조 식품은 재료의 온도를 급속히 낮추어 얼린 후 삼중점에서의 압력보다 작은 압력에서 얼음을 수증기로 승화시켜 건조한 식품이다. 저온에서 건조하므로 맛과 향, 영양소 파괴가 적다. 이는 우주 식품이나 라면 건더기 스프, 인스턴트 커피 등을 만드는 데 이용한다.

정답

1. O
2. 삼중점

[26028-0109]

01 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.

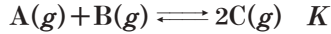
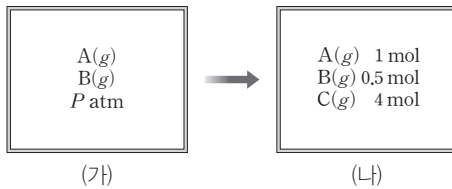


그림 (가)는 온도 T에서 부피가 1 L인 강철 용기에 A(g)와 B(g)를 전체 기체의 압력이 P atm이 되도록 넣은 초기 상태를, (나)는 (가)에서 반응이 진행되어 도달한 평형 상태를 나타낸 것이다.



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

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 A(g)의 양은 3 mol이다.
- ㄴ. $K=8$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 전체 기체의 압력은 P atm이다.

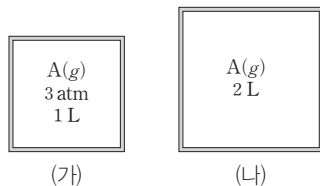
- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0110]

02 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



그림 (가)와 (나)는 각각 부피가 1 L와 2 L인 강철 용기에 A(g)가 들어 있는 초기 상태를 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 각각 반응이 진행되어 평형 상태에 도달했을 때, 용기 속에 들어 있는 전체 기체의 압력은 4 atm으로 같았다.



평형 상태에 도달한 후 (나)에서 B(g)의 몰 분율은? (단, (가)와 (나)에서 온도는 각각 T로 일정하다.)

- ① $\frac{1}{6}$ ② $\frac{1}{4}$ ③ $\frac{1}{3}$ ④ $\frac{1}{2}$ ⑤ $\frac{2}{3}$

[26028-0111]

03 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.

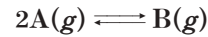
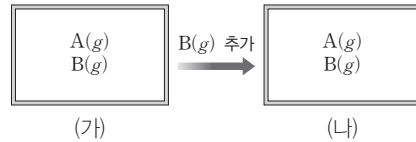


그림 (가)는 강철 용기 속 A(g)와 B(g)가 평형을 이루고 있는 상태를, (나)는 (가)의 용기에 B(g)를 소량 추가한 후 도달한 새로운 평형 상태를 나타낸 것이다.



(나)에서 (가)에서보다 큰 값을 갖는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 온도 T에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)
- ㄴ. B(g)의 몰 농도
- ㄷ. 전체 기체의 압력

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0112]

04 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



표는 온도 T에서 강철 용기에 A(g)와 C(g)를 넣고 반응이 진행될 때, 용기 속 기체의 농도를 반응 시간에 따라 나타낸 것이다. t_1 과 t_2 는 시간 순서가 아니고, 둘 중 하나는 평형에 도달했을 때의 시간이다.

반응 시간	0	t_1	t_2
[A](M)	a	5	3
[B](M)		1	2
[C](M)	c	5	6

$\frac{a}{c} \times K$ 는? (단, 온도는 T로 일정하다.)

- ① $\frac{7}{20}$ ② $\frac{2}{5}$ ③ $\frac{4}{3}$ ④ $\frac{7}{3}$ ⑤ $\frac{20}{3}$

[26028-0113]

05 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응식이다.

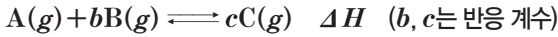
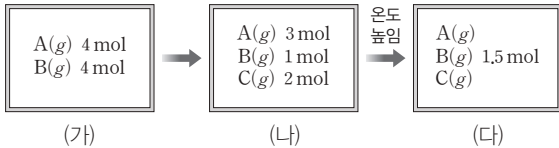


그림 (가)는 부피가 1 L인 강철 용기에 A(g)와 B(g)를 넣은 초기 상태를, (나)는 (가)에서 반응이 진행되어 도달한 평형 상태를, (다)는 (나)에서 온도를 높여 도달한 새로운 평형 상태를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

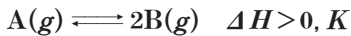
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $b > c$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)는 $\frac{4}{3}$ 이다.
- ㄷ. $\Delta H > 0$ 이다.

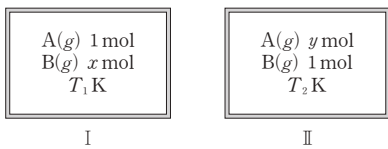
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0114]

06 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응식과 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 부피가 1 L인 2개의 강철 용기에 A(g) 2 mol을 넣고, 서로 다른 온도 T_1 K, T_2 K에서 각각 반응이 진행되어 도달한 평형 상태 I과 II를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, I과 II에서 온도는 각각 T_1 K, T_2 K로 일정하다.)

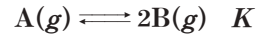
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\frac{y}{x} = \frac{3}{4}$ 이다.
- ㄴ. $\frac{T_2 \text{ K에서의 } K}{T_1 \text{ K에서의 } K} = \frac{1}{6}$ 이다.
- ㄷ. $T_1 > T_2$ 이다.

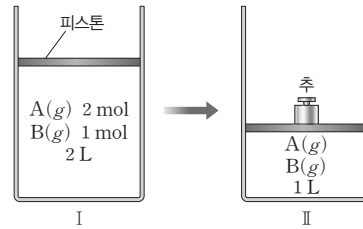
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0115]

07 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T 에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 온도 T 에서 실린더에 A(g) n mol을 넣고 반응이 진행되어 도달한 평형 상태 I과, I에서 피스톤에 추를 올린 후 반응이 진행되어 도달한 새로운 평형 상태 II를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도와 대기압은 각각 T 와 1 atm으로 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

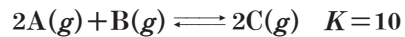
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $K = \frac{1}{4}$ 이다.
- ㄴ. 반응 전 A(g) n mol의 부피는 $\frac{4}{3}$ L이다.
- ㄷ. $\frac{\text{II에서 전체 기체의 압력}}{\text{I에서 전체 기체의 압력}} = 2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0116]

08 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T 에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



표는 온도 T 에서 강철 용기 I~III에 들어 있는 A(g)~C(g)의 초기 농도를 나타낸 것이다.

용기	[A](M)	[B](M)	[C](M)
I	0.1	0.2	0.1
II	0.1	0.4	0.2
III	0.2	0.1	0.4

I~III에서 각각 반응이 진행되어 평형 상태에 도달하였을 때, A(g)의 몰 농도를 비교한 것으로 옳은 것은? (단, I~III에서 온도는 각각 T 로 일정하다.)

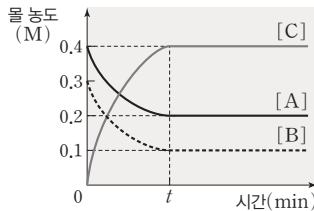
- ① I > II > III ② I > III > II ③ II > I > III
 ④ II > III > I ⑤ III > II > I

[26028-0117]

09 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기에 A(g)와 B(g)를 넣고 반응이 진행될 때 시간에 따른 A(g)~C(g)의 몰 농도를 나타낸 것이다.



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

◀ 보기 ▶

- ㄱ. t min 이후에는 정반응이 일어나지 않는다.
 ㄴ. $c = 2b$ 이다. ㄷ. $K = 8$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0118]

10 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.

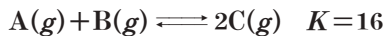
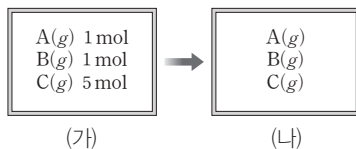


그림 (가)는 온도 T에서 부피가 1 L인 강철 용기에 A(g)~C(g)가 들어 있는 초기 상태를, (나)는 (가)에서 반응이 진행되어 도달한 평형 상태를 나타낸 것이다.



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

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 (나)에 도달하기 전까지 역반응이 우세하게 진행된다.
 ㄴ. (나)에서 C(g)의 몰 분율은 $\frac{2}{3}$ 이다.
 ㄷ. (나)에 A(g) 1 mol, B(g) 1 mol, C(g) 2 mol을 추가하면 평형은 이동하지 않는다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0119]

11 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.

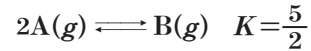
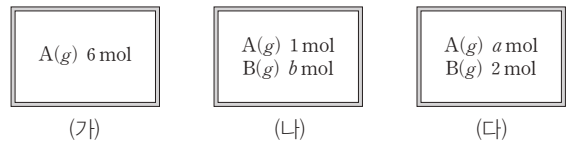


그림 (가)는 온도 T에서 부피가 1 L인 강철 용기에 A(g)를 넣은 초기 상태를, (나)와 (다)는 각각 반응이 진행될 때 용기에 들어 있는 기체의 양(mol)을 반응 시간 순서와 관계없이 나타낸 것이다.



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

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $b > a$ 이다. ㄴ. 반응 시간 순서는 (나) → (다)이다.
 ㄷ. (나)에서는 정반응 속도가 역반응 속도보다 빠르다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0120]

12 다음은 $\text{CoCl}_2(aq)$ 과 $\text{HCl}(aq)$ 의 혼합 용액에서 일어나는 반응의 열화학 반응식이다.

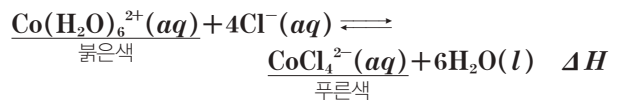
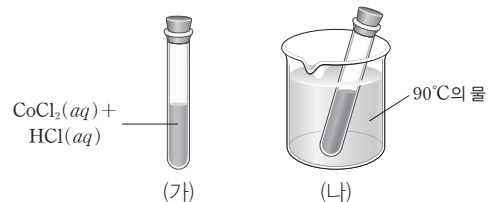


그림 (가)는 $\text{CoCl}_2(aq)$ 과 $\text{HCl}(aq)$ 을 혼합한 25°C의 수용액이 평형에 도달한 것을, (나)는 (가)의 시험관을 90°C의 물에 넣고 새로운 평형에 도달한 것을 나타낸 것이다.



시험관에 들어 있는 혼합 용액의 색이 (가)와 (나)에서 각각 보라색과 푸른색을 나타내었다고 할 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

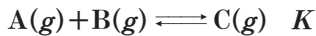
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\Delta H > 0$ 이다.
 ㄴ. 25°C에서 (가)의 혼합 용액에 $\text{HCl}(aq)$ 을 추가하면 용액의 색은 $\text{HCl}(aq)$ 을 추가하기 전보다 붉게 변한다.
 ㄷ. (가)의 혼합 용액을 얼음물에 담그면 $\text{CoCl}_4^{2-}(aq)$ 의 농도는 얼음물에 담그기 전보다 작아진다.

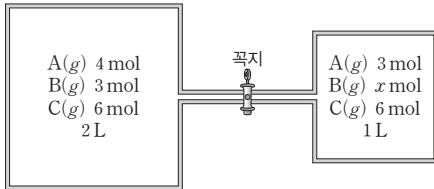
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0121]

13 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 화학 반응식과 온도 T에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 온도 T에서 꼭지로 분리된 2개의 강철 용기에서 A(g)~C(g)의 혼합 기체가 각각 평형에 도달한 상태를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하고, 연결관의 부피는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $K = \frac{1}{2}$ 이다.
- ㄴ. $x = 2$ 이다.
- ㄷ. 꼭지를 열어도 평형은 이동하지 않는다.

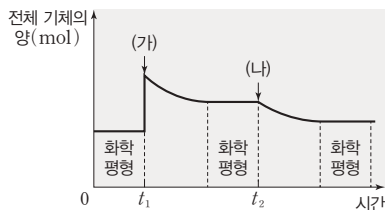
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0122]

14 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응 식이다.



그림은 A(g)와 B(g)가 평형을 이루고 있는 강철 용기에 변화 (가)와 (나)를 주었을 때, 시간에 따른 전체 기체의 양(mol)을 나타낸 것이다.



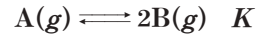
다음 중 (가)와 (나)로 가장 적절한 것은?

(가) (나)

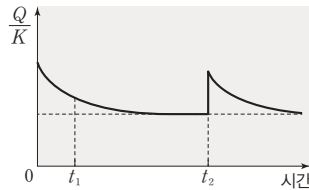
- ① A(g) 추가 온도 높임
- ② A(g) 추가 온도 낮춤
- ③ B(g) 추가 온도 높임
- ④ B(g) 추가 온도 낮춤
- ⑤ 온도 낮춤 B(g) 추가

[26028-0123]

15 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기에 A(g)와 B(g)를 넣고 반응이 진행될 때 시간에 따른 반응 지수(Q)를 나타낸 것이다. 반응 시간이 t₂일 때 A(g)와 B(g) 중 하나를 추가하였다.



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

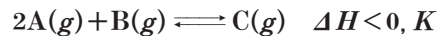
◀ 보기 ▶

- ㄱ. t₁일 때 역반응 속도가 정반응 속도보다 빠르다.
- ㄴ. t₂일 때 용기에 A(g)를 추가하였다.
- ㄷ. K는 t₁일 때가 t₂일 때보다 크다.

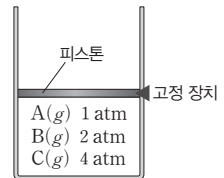
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0124]

16 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응식과 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 T K에서 고정 장치로 고정된 실린더에 A(g)와 B(g)를 넣고 반응이 진행되어 T K에서 평형에 도달한 상태 (가)를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 외부 압력은 1 atm으로 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

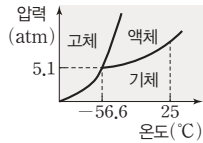
- ㄱ. 반응 전 실린더 속 기체의 양(mol)은 A(g)가 B(g)의 $\frac{3}{2}$ 배이다.
- ㄴ. (가)에서 온도를 2T K로 변화시키면 K는 T K일 때보다 커진다.
- ㄷ. (가)에서 온도를 T K로 유지한 채 고정 장치를 제거하고 새로운 평형에 도달했을 때 C(g)의 양(mol)은 (가)에서보다 감소한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0125]

17 다음은 X의 상변화에 대한 실험이다.

[자료] ○ X의 상평형 그림

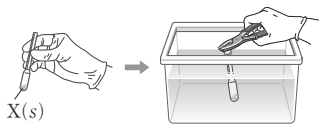


[실험 과정]

(가) 그림과 같이 뾰족한 입구 부분을 잘라 낸 일회용 스포이트에 잘게 부순 X(s)를 조금 넣는다.

(나) (가)의 스포이트 입구를 잡고 펜치로 스포이트 입구를 세게 잡는다.

(다) 25°C의 물이 들어 있는 수조에 (나)의 스포이트를 넣고 내부를 관찰한다.



[실험 결과]

○ (다)에서 스포이트 내부에 X(l)가 생성되었다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

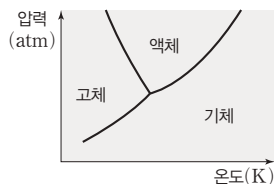
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 25°C, 1 atm에서 X의 안정한 상은 고체이다.
- ㄴ. X(l)가 생성된 주된 이유는 스포이트 내부의 압력이 증가하였기 때문이다.
- ㄷ. (다)에서 25°C의 물 대신 0°C의 물을 사용해도 스포이트 내부에 X(l)가 생성된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0126]

18 그림은 물질 X의 상평형 그림을, 표는 X의 온도와 압력에 따른 안정한 상을 나타낸 것이다. $P_1 > P_3$ 이다.



온도 (K)	압력 (atm)	X의 안정한 상
T_1	P_1	고체, 액체
T_1	P_2	기체
T_2	P_3	액체, 기체

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $T_2 > T_1$ 이다. ㄴ. $P_3 > P_2$ 이다.
- ㄷ. T_1 K, P_3 atm에서 X의 안정한 상은 고체이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0127]

19 다음은 물질 X에 대한 자료이다.

- t_1 °C에서 2가지 상이 평형을 이루는 압력은 P_1 atm, P_2 atm이다.
- 삼중점의 온도는 t_1 °C보다 높다.
- P_2 atm에서 X의 끓는점은 t_2 °C이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X는 고체, 액체, 기체의 3가지 상만 갖는다.)

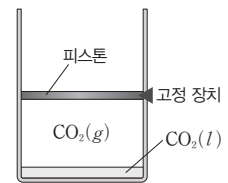
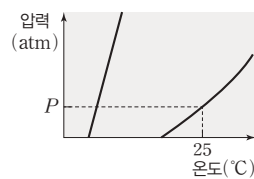
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $P_2 > P_1$ 이다.
- ㄴ. 삼중점의 압력은 P_1 atm보다 낮다.
- ㄷ. t_2 °C, P_1 atm에서 X의 안정한 상은 기체이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0128]

20 그림 (가)는 CO₂의 상평형 그림의 일부를, (나)는 25°C에서 피스톤이 고정된 실린더에서 CO₂(l)와 CO₂(g)가 평형을 이루고 있는 것을 나타낸 것이다. CO₂의 삼중점 압력은 5.1 atm이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 1 atm으로 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (나)에서 CO₂(g)의 압력은 P atm이다.
- ㄴ. 25°C, 5.1 atm에서 CO₂의 안정한 상은 기체이다.
- ㄷ. (나)에서 온도를 25°C로 유지한 채 고정 장치를 제거하고 충분한 시간이 지나면 실린더 속에는 CO₂(l)만 존재한다.

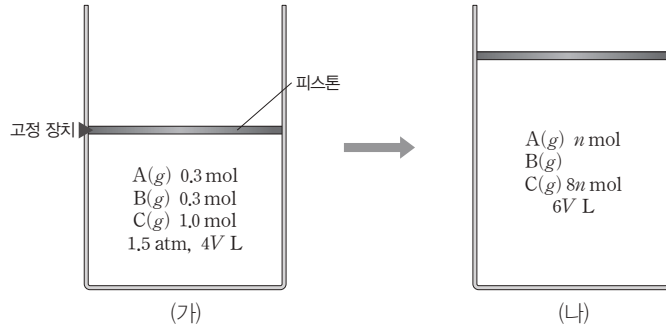
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0131]

03 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림 (가)는 온도 T에서 실린더에 A(g)~C(g)가 들어 있는 초기 상태를, (나)는 (가)의 고정 장치를 제거하고 반응이 진행되어 도달한 평형 상태를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도와 대기압은 각각 T와 1 atm으로 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 (나)에 도달하기 전까지 정반응이 우세하게 진행된다.
 ㄴ. $a \times n > 0.2$ 이다.
 ㄷ. $K = 64$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0132]

04 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응식과 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



표는 강철 용기 (가)~(다)에 각각 A(g) n mol을 넣고 온도 T₁과 T₂에서 반응이 진행되어 도달한 평형 상태에 대한 자료이다. T₂ > T₁이고, z > y > x이다.

용기	부피(L)	온도	A(g)의 몰 분율
(가)	1	T ₁	x
(나)	2	T ₁	y
(다)	2	T ₂	z

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, (가)~(다)에서 온도는 각각 T₁, T₁, T₂로 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $a > b$ 이다.
 ㄴ. K는 T₂에서가 T₁에서보다 크다.
 ㄷ. 평형 상태에서 용기 내 전체 기체의 압력은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

온도가 일정하면 기체의 양 (mol)은 기체의 압력과 부피의 곱에 비례한다.

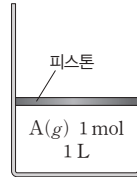
온도를 높이면 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동하고, 부피를 줄이면 압력이 증가하므로 분자 수가 감소하는 방향으로 평형이 이동한다.

$Q < K$ 이면 정반응이, $Q > K$ 이면 역반응이 우세하게 진행되어 평형 상태에 도달하고, $Q = K$ 이면 평형 상태이다.

05 다음은 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 와 $C(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T 에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 온도 T 에서 실린더에 $A(g)$ 가 들어 있는 초기 상태를, 표는 실린더에서 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 실린더 속 $B(g)$ 의 몰 분율(X_B)과 반응 지수(Q)를 반응 시간에 따라 나타낸 것이다. t_1, t_2, t_3 는 시간 순서가 아니다.



반응 시간	t_1	t_2	t_3
X_B	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{6}$	
Q			1

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도와 대기압은 각각 T 와 1 atm으로 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. t_2 일 때 정반응 속도가 역반응 속도보다 빠르다.
- ㄴ. t_3 일 때 실린더 속 전체 기체의 부피는 $\frac{4}{3}$ L이다.
- ㄷ. $K = \frac{4}{3}$ 이다.

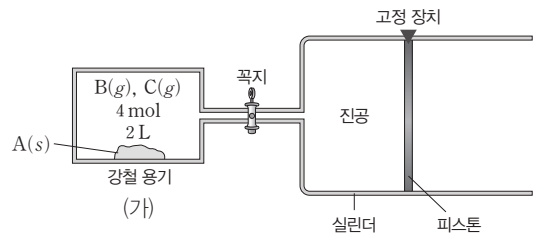
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

꼭지를 열면 전체 기체의 압력이 감소하므로 전체 기체 분자 수가 증가하는 방향으로 평형이 이동한다.

06 다음은 $A(s)$ 로부터 $B(g)$ 와 $C(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T 에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 온도 T 에서 꼭지로 분리된 강철 용기와 실린더에 $A(s)$ n mol을 강철 용기에 넣고 반응이 진행되어 도달한 평형 상태 (가)를 나타낸 것이다. (가)에서 꼭지를 열고 고정 장치를 제거하여 새로운 평형 상태에 도달하였을 때 실린더 속 기체의 부피가 4 L가 되었다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도와 외부 압력은 각각 $T, 1$ atm으로 일정하고, 고체의 부피와 연결관의 부피, 피스톤의 마찰은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $K = 1$ 이다.
- ㄴ. 강철 용기에 들어 있는 $A(s)$ 의 양(mol)은 (가)에서가 새로운 평형 상태에서보다 많다.
- ㄷ. $B(g)$ 의 부분 압력은 새로운 평형에서가 (가)에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0135]

07 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.

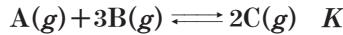
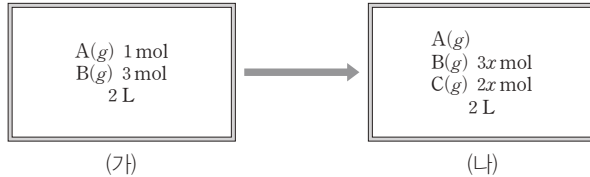


그림 (가)는 온도 T에서 부피가 2 L인 강철 용기에 A(g)와 B(g)가 들어 있는 초기 상태를, (나)는 (가)에서 반응이 진행되어 도달한 평형 상태를 나타낸 것이다.



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

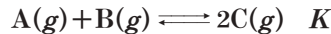
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (나)에서 A(g)의 몰 분율은 $\frac{1}{6}$ 이다.
- ㄴ. $K = \frac{16}{27}$ 이다.
- ㄷ. 전체 기체의 압력은 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{3}{4}$ 배이다.

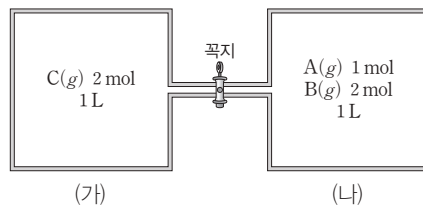
- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0136]

08 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 온도 T에서 꼭지로 분리된 강철 용기 (가)와 (나)에 A(g)~C(g)가 들어 있는 초기 상태를 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 각각 반응이 진행되어 t min일 때 모두 평형 상태에 도달하였고, t min일 때 (가)에서 A(g)의 몰 분율은 $\frac{1}{4}$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하고, 연결관의 부피는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $K = 4$ 이다.
- ㄴ. t min일 때 B(g)의 몰 분율은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.
- ㄷ. t min 이후에 꼭지를 열면 정반응이 우세하게 진행되어 새로운 평형 상태에 도달한다.

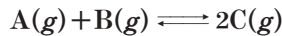
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

평형에 도달할 때까지 증가한 C(g)의 양이 2x mol이면 감소한 A(g)와 B(g)의 양은 각각 x mol, 3x mol이다.

전체 기체 분자 수가 변하지 않는 반응이므로 (가)에서 A(g)의 몰 분율이 $\frac{1}{4}$ 이면 B(g)와 C(g)의 몰 분율은 각각 $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ 이다.

I에서는 초기 $[C]=0$ M이므로 정반응이, II에서는 초기 $[B]=0$ M이므로 역반응이 우세하게 일어나서 평형 상태에 도달한다.

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



표는 온도 T 에서 강철 용기에 $A(g) \sim C(g)$ 의 초기 농도를 달리하여 넣고 반응을 진행시킨 실험 I~III에 대한 자료이다.

실험	초기 농도(M)			평형 농도(M)		
	[A]	[B]	[C]	[A]	[B]	[C]
I	0.3	0.3	0		0.1	
II	x	0		1.0		2.0
III	0.4	0.4	1.0			y

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, I~III에서 온도는 각각 T 로 일정하다.)

◀ 보기 ▶

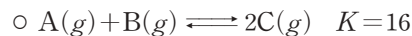
- ㄱ. I의 평형 상태에서 $C(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{2}{3}$ 이다.
- ㄴ. III에서 평형 상태에 도달하기 전까지 역반응이 우세하게 진행된다.
- ㄷ. $x \times y > 1$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(나)에서 꼭지 ㉠과 ㉡을 동시에 닫으면 II에는 I~III에 들어 있는 기체의 $\frac{1}{4}$ 만큼, III에는 $\frac{1}{2}$ 만큼 들어 있게 된다.

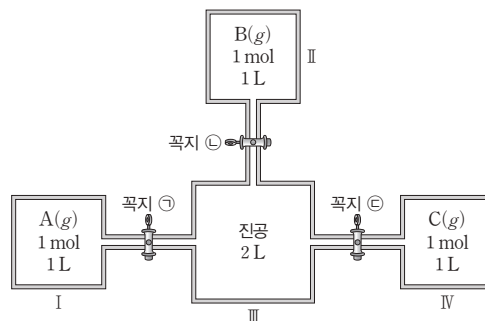
10 다음은 화학 평형의 이동과 관련된 실험이다.

[화학 반응식과 온도 T 에서 농도로 정의되는 평형 상수 (K)]



[실험 과정]

- (가) 온도 T 에서 꼭지로 분리된 강철 용기 I~IV에 $A(g) \sim C(g)$ 를 그림과 같이 넣는다.
- (나) 꼭지 ㉠과 ㉡을 열어 반응을 진행시킨 후 평형에 도달하면 ㉠과 ㉡을 동시에 닫는다.
- (다) 꼭지 ㉢을 열어 반응을 진행시킨 후 충분한 시간 동안 놓아둔다.



[실험 결과]

- (나) 과정 후 II에 들어 있는 $A(g)$ 의 양은 a mol이다.
- (다) 과정 후 IV에 들어 있는 $B(g)$ 의 양은 b mol이다.

$a + b$ 는? (단, 온도는 T 로 일정하고, 연결관의 부피는 무시한다.)

- ① $\frac{1}{12}$ ② $\frac{1}{9}$ ③ $\frac{5}{36}$ ④ $\frac{7}{36}$ ⑤ $\frac{5}{12}$

[26028-0139]

11 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응식과 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.

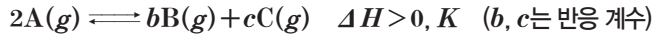
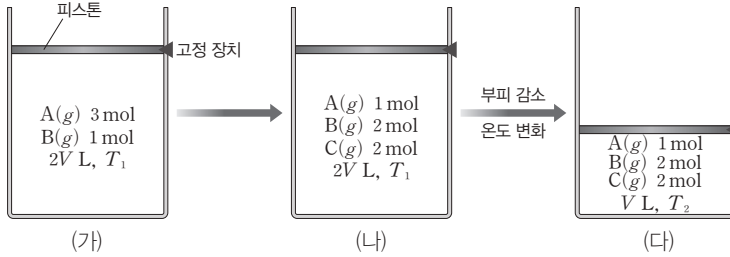


그림 (가)는 온도 T₁에서 실린더에 A(g)와 B(g)가 들어 있는 초기 상태를, (나)는 (가)에서 반응이 진행되어 도달한 평형 상태를, (다)는 (나)에서 실린더의 부피를 줄이고 온도를 T₂로 변화시켜 도달한 새로운 평형 상태를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $b+c=3$ 이다.
- ㄴ. $\frac{T_2 \text{에서의 } K}{T_1 \text{에서의 } K} = 4$ 이다.
- ㄷ. $T_2 > T_1$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0140]

12 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



표는 온도 T에서 강철 용기에 A(g)~C(g)의 초기 농도를 달리하여 넣고 반응을 진행시켜 평형 상태에 도달한 실험 I~Ⅲ에 대한 자료이다.

실험	초기 농도(M)			평형 농도(M)		
	[A]	[B]	[C]	[A]	[B]	[C]
I	x	0.1	0	1.0	0.2	0.1
Ⅱ	2x	0	0.2	2.0	0.2	0.4
Ⅲ	2x	0.9			2y	y

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, I~Ⅲ에서 온도는 각각 T로 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $a > b$ 이다.
- ㄴ. Ⅲ에서 평형에 도달할 때까지 정반응이 우세하게 진행된다.
- ㄷ. $y > 0.4$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정반응이 흡열 반응이므로 온도를 높이면 평형 상수가 커지고, 온도를 낮추면 평형 상수가 작아진다.

농도로 정의되는 평형 상수 $K = \frac{[B]^b[C]}{[A]^a}$ 이고, 온도가 같으면 평형 상수가 같다.

평형 상수식에 고체나 액체의 농도는 포함되지 않는다.

13 다음은 $A(s)$ 와 $B(g)$ 가 반응하여 $C(l)$ 와 $D(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T 에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.

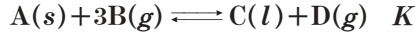
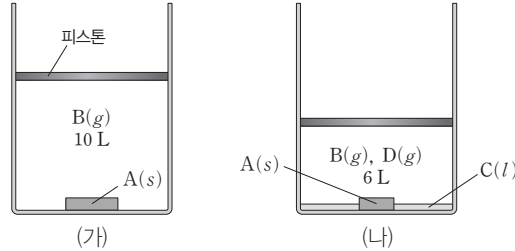


그림 (가)는 온도 T 에서 실린더에 $A(s)$ 와 $B(g)$ 가 들어 있는 초기 상태를, (나)는 (가)에서 반응이 진행되어 도달한 평형 상태를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도와 대기압은 각각 T 와 1 atm 으로 일정하고, 고체와 액체의 부피 및 증발, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

ㄱ. 평형 상수식은 $K = \frac{[D]}{[B]^3}$ 이다.

ㄴ. (나)에서 $D(g)$ 의 부분 압력은 $\frac{1}{3} \text{ atm}$ 이다.

ㄷ. (나)에서 피스톤 위에 추를 올리면 실린더 속 $A(s)$ 의 양(mol)은 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$A(g)$ $w \text{ g}$ 의 양을 $n \text{ mol}$ 이라고 하면 $A(g)$ $0.6w \text{ g}$ 은 $0.6n \text{ mol}$ 이다.

14 다음은 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 와 $C(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T 에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.

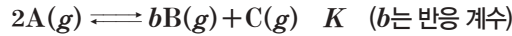
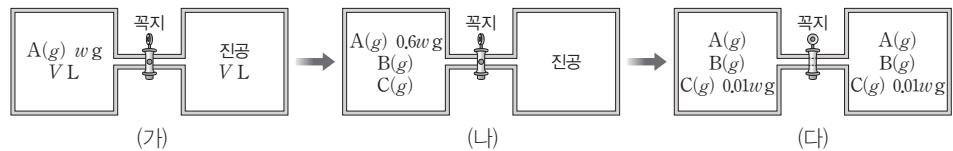


그림 (가)는 온도 T 에서 꼭지로 분리된 강철 용기에 $A(g)$ 가 들어 있는 초기 상태를, (나)는 (가)에서 반응이 진행되어 도달한 평형 상태를, (다)는 꼭지를 연 후 도달한 새로운 평형 상태를 나타낸 것이다.

$$\frac{A \text{의 분자량}}{C \text{의 분자량}} = 10 \text{이다.}$$

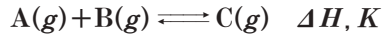


$\frac{B \text{의 분자량}}{C \text{의 분자량}} \times K$ 는? (단, 온도는 T 로 일정하고, 연결관의 부피는 무시한다.)

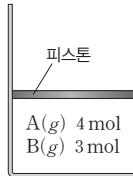
- ① $\frac{6}{19}$ ② $\frac{10}{9}$ ③ $\frac{5}{3}$ ④ $\frac{19}{9}$ ⑤ $\frac{19}{3}$

[26028-0143]

15 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응식과 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 T K에서 실린더에 A(g)와 B(g)가 들어 있는 초기 상태를, 표는 T K에서 반응이 진행되어 도달한 평형 상태 I과, I에서 온도를 2T K로 변화시켜 도달한 평형 상태 II에 대한 자료이다. I에서 A(g)와 C(g)의 부분 압력은 같다.



평형 상태	온도 (K)	전체 기체의 부피(L)	평형 상수
I	T	10	K_1
II	2T	18	K_2

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 외부 압력은 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

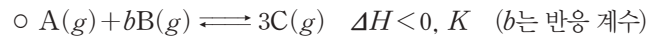
ㄱ. $\Delta H > 0$ 이다. ㄴ. I에서 B(g)의 몰 분율을 II에서 C(g)의 몰 분율 = $\frac{9}{25}$ 이다. ㄷ. $K_2 = 60$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0144]

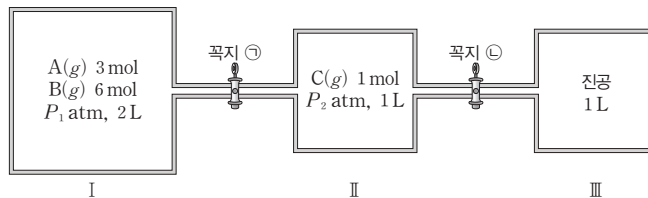
16 다음은 화학 평형의 이동과 관련된 실험이다.

[열화학 반응식과 농도로 정의되는 평형 상수(K)]



[실험 과정]

- (가) 온도 T에서 꼭지로 분리된 강철 용기 I~III에 A(g)~C(g)를 그림과 같이 넣는다.
 (나) 꼭지 ㉠을 열어 반응을 진행시킨 후 평형에 도달할 때까지 놓아둔다.
 (다) 꼭지 ㉡을 열고 온도를 2T로 높여 반응을 진행시킨 후 평형에 도달할 때까지 놓아둔다.



[실험 결과]

- (나) 과정 후 I에 들어 있는 B(g)의 부분 압력과 C(g)의 부분 압력은 각각 $\frac{2}{3}P_2$ atm, $\frac{7}{3}P_2$ atm이다.
 ○ (다) 과정 후 III에 들어 있는 B(g)의 부분 압력은 $\frac{5}{4}P_2$ atm이다.

2T에서 K는? (단, 연결관의 부피는 무시한다.)

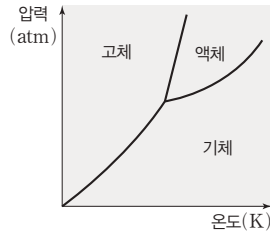
- ① $\frac{5}{4}$ ② $\frac{5}{2}$ ③ $\frac{25}{4}$ ④ $\frac{49}{2}$ ⑤ $\frac{125}{4}$

기체 분자 수와 외부 압력이 일정할 때 온도가 T K에서 2T K로 증가하면 기체의 부피는 2배가 되어야 하지만, 평형 이동이 일어나 기체 분자 수가 변하면 부피는 2배가 되지 않는다.

온도가 일정할 때 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례하고, 부피에 반비례한다.

T_1 K, P_1 atm과 T_2 K, P_2 atm에서는 X의 안정한 상이 각각 2가지이므로 상평형 그림에서 승화 곡선, 융해 곡선, 증기 압력 곡선 위에 있어야 한다.

17 그림은 물질 X의 상평형 그림을, 표는 온도와 압력에 따른 X의 안정한 상을 나타낸 것이다. ㉠~㉣은 고체, 액체, 기체를 순서 없이 나타낸 것이고, $T_2 > T_1$, $P_2 > P_1$ 이다.



온도(K)	압력(atm)	X의 안정한 상
T_1	P_1	㉠, ㉡
T_1	P_2	㉠
T_2	P_2	㉠, ㉣

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

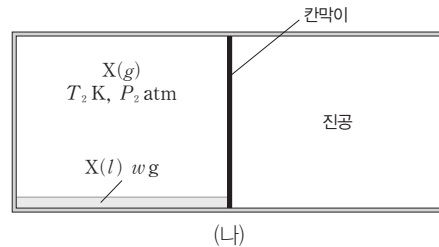
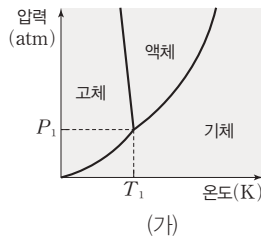
◀ 보기 ▶

- ㄱ. X의 삼중점 온도는 T_1 K보다 높다.
- ㄴ. ㉠은 고체이다.
- ㄷ. T_2 K, P_1 atm에서 X의 안정한 상은 ㉣이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

T_2 K, P_2 atm에서 X는 액체와 기체가 평형을 이루고 있으므로 증기 압력 곡선 위에 위치한다.

18 그림 (가)는 물질 X의 상평형 그림을, (나)는 칸막이로 분리된 강철 용기에서 X(l)와 X(g)가 평형을 이루고 있는 상태를 나타낸 것이다. (나)에서 온도를 T_2 K로 유지한 채 칸막이를 제거하여 평형 상태에 도달했을 때 강철 용기 속 X(g)의 압력은 P_3 atm이었다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 액체의 부피는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $P_2 > P_3$ 이다.
- ㄴ. 칸막이를 제거하여 도달한 평형 상태에서 강철 용기 속 X(l)의 질량은 w g보다 작다.
- ㄷ. $\frac{T_1 + T_2}{2}$ K, P_3 atm에서 X의 안정한 상은 기체이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0147]

19 표는 CO₂의 온도와 압력에 따른 안정한 상의 수를 나타낸 것이다. $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$ 이고, $P_4 > P_3 > P_2 > P_1$ 이다.

온도(K)	압력(atm)	안정한 상의 수
T_1	P_1	2
T_2	P_2	3
T_3	P_4	2
T_4	P_3	2

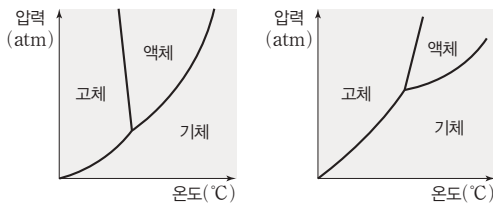
㉠ T_2 K, P_4 atm에서 CO₂의 안정한 상과 ㉡ T_3 K, P_3 atm에서 안정한 CO₂의 상은? (단, CO₂는 고체, 액체, 기체의 3가지 상만 갖는다.)

- | | | | | |
|------|----|--|------|----|
| ㉠ | ㉡ | | ㉠ | ㉡ |
| ① 고체 | 액체 | | ② 고체 | 기체 |
| ③ 액체 | 기체 | | ④ 액체 | 고체 |
| ⑤ 기체 | 고체 | | | |

안정한 상의 수가 3인 지점은 삼중점이다.

[26028-0148]

20 그림은 물질 X와 Y의 상평형 그림을 순서 없이 나타낸 것이고, 표는 X에 대한 자료이다. $t_3 > t_2 > t_1$ 이고, t_1 °C, P_4 atm에서 X의 안정한 상은 액체이다.



압력 (atm)	안정한 상의 수		
	t_1 °C	t_2 °C	t_3 °C
P_1	2		
P_2		3	
P_3	2		2

t_2 °C는 삼중점의 온도이고, $t_2 > t_1$ 이며, t_1 °C에서 P_1 atm과 P_3 atm에서 안정한 상의 수가 각각 2이므로 X의 상평형 그림에서 용해 곡선의 기울기는 음(-)이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X는 고체, 액체, 기체의 3가지 상만 갖는다.)

◀ 보기 ▶

ㄱ. $P_1 > P_2$ 이다.
 ㄴ. t_1 °C, P_2 atm에서 X의 안정한 상은 고체이다.
 ㄷ. X의 (끓는점 - 녹는점)은 P_3 atm에서가 P_4 atm에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

개념 체크

☞ 강산, 강염기, 약산, 약염기 : 강산과 강염기는 물에 녹아 대부분 이온화하는 산과 염기이고, 약산과 약염기는 물에 녹아 일부만 이온화하는 산과 염기이다.

- 같은 온도와 농도의 수용액에서 HCl이 CH₃COOH보다 이온화하는 정도가 ()다.
- 같은 온도와 농도, 같은 부피의 수용액에서 OH⁻ 수는 NaOH(aq) > NH₃(aq)이다. (○, ×)
- 같은 온도와 농도, 같은 부피의 수용액에서 전체 이온 수는 CH₃COOH(aq) > HCl(aq)이다. (○, ×)

1 산과 염기의 세기

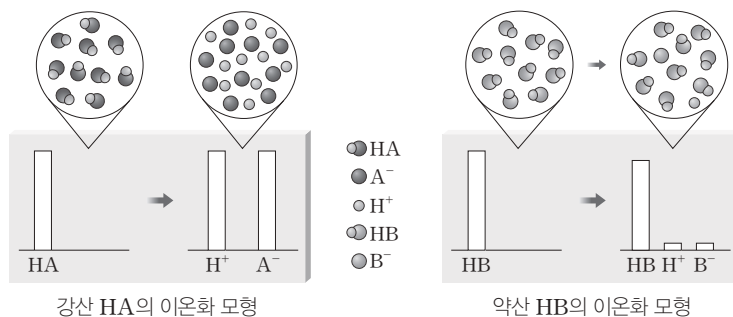
(1) 이온화와 산·염기의 세기

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

예 강산 : 염산(HCl), 황산(H₂SO₄), 질산(HNO₃) 등

약산 : 탄산(H₂CO₃), 인산(H₃PO₄), 아세트산(CH₃COOH) 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.

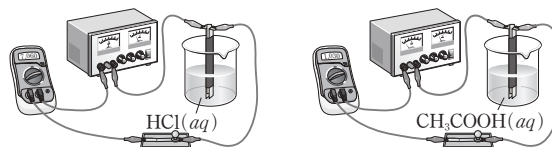
예 강염기 : 수산화 나트륨(NaOH), 수산화 칼륨(KOH), 수산화 칼슘(Ca(OH)₂) 등

약염기 : 암모니아(NH₃), 메틸 아민(CH₃NH₂) 등

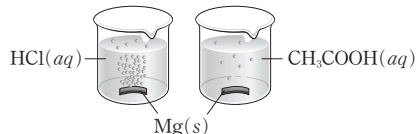
• 같은 온도와 농도의 수용액에서 강염기는 약염기보다 이온화하는 정도가 크다.

탐구자료 살펴보기 산의 세기 비교

실험 과정 1. 농도와 부피가 같은 HCl(aq)과 CH₃COOH(aq)을 2개의 비커에 각각 넣고, 전기 전도도계를 담근 후 전류의 세기를 측정하여 이온화하는 정도를 알아본다.



2. 농도가 같은 HCl(aq)과 CH₃COOH(aq)이 각각 50 mL씩 들어 있는 비커에 동일한 마그네슘 조각을 넣고 반응 초기에 발생하는 H₂(g)의 양을 비교한다.



실험 결과 • 전류의 세기는 HCl(aq)에서가 CH₃COOH(aq)에서보다 크다.
• 반응 초기에 발생하는 H₂(g)의 양은 HCl(aq)에서가 CH₃COOH(aq)에서보다 많다.

분석 point 이온화가 잘 되어 산의 수용액 속 H⁺의 농도가 클수록 전류의 세기가 크고, 반응 초기에 발생하는 H₂(g)의 양이 많다.

➔ 수용액에 존재하는 H⁺ 수 : HCl(aq) > CH₃COOH(aq)
➔ 물에 녹아 이온화하는 정도는 HCl이 CH₃COOH보다 크다.

정답

- 크
-
- ×

과학 돋보기 이온화도

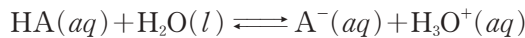
• 이온화 평형을 이루는 전해질 수용액에서 용해된 전해질의 양(mol)에 대한 이온화된 전해질의 양(mol)의 비율을 이온화도(α)라고 한다.

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

- 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.

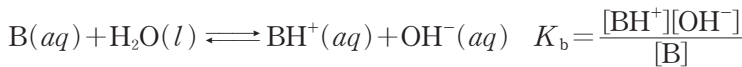
(2) 이온화 상수와 산과 염기의 세기

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



이 반응의 평형 상수 $K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}][\text{H}_2\text{O}]}$ 이다. 수용액에서 용매인 물의 농도는 평형 상수를 구하는 식에 나타내지 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 관계 없이 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	$\text{HCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{Cl}^-(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq)$	매우 큼
CH ₃ COOH	$\text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq)$	1.8×10^{-5}
HCN	$\text{HCN}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{CN}^-(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq)$	6.2×10^{-10}

➔ 산의 세기 : HCl > CH₃COOH > HCN

- 몇 가지 염기의 이온화 상수(K_b)

염기	이온화 반응	K_b (25°C)
CH ₃ NH ₂	$\text{CH}_3\text{NH}_2(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{NH}_3^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$	4.6×10^{-4}
NH ₃	$\text{NH}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$	1.8×10^{-5}

➔ 염기의 세기 : CH₃NH₂ > NH₃

개념 체크

➔ 산 HA의 이온화 상수

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

➔ 염기 B의 이온화 상수

$$K_b = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]}$$

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.

정답

1. 온도
2. 강산, 약산
3. =

개념 체크

⇒ **짝산·짝염기**: 수소 이온(H⁺)의 이동이 일어나는 한 쌍의 산과 염기를 말한다.

1. 일정한 온도에서 산 HA와 HB의 이온화 상수가 HA > HB이면 산의 세기는 HA > HB이다.
(○, ×)

2. HCl과 H₂O의 반응에서 HCl의 짝염기는 ()이고, H₂O의 짝산은 ()이다.

3. 짝산·짝염기는 ()의 이동에 의해 염기와 산으로 정의되는 한 쌍의 물질을 말한다.

4. NH₃와 H₂O의 반응에서 NH₃의 ()은 NH₄⁺이다.

정답

1. ○
2. Cl⁻, H₃O⁺
3. 수소 이온(H⁺)
4. 짝산

탐구자료 살펴보기 산의 세기 비교

자료 • 산 HA와 HB의 이온화 반응과 이온화 상수(K_a)

산	이온화 반응	K _a (25°C)
HA	HA(aq) + H ₂ O(l) ⇌ A ⁻ (aq) + H ₃ O ⁺ (aq)	매우 큼
HB	HB(aq) + H ₂ O(l) ⇌ B ⁻ (aq) + H ₃ O ⁺ (aq)	2 × 10 ⁻⁵

분석 • 이온화 상수가 HA > HB이므로 산의 세기는 HA > HB이다.
• 수용액의 농도가 같을 때, [H₃O⁺]는 HA(aq) > HB(aq)이다.

분석 point K_a가 클수록 산의 세기가 강하다.

과학 돋보기 약산 HA의 이온화 상수 구하기

HA(aq) + H₂O(l) ⇌ A⁻(aq) + H₃O⁺(aq)의 이온화 평형을 이루는 0.1 M HA(aq)에서 H₃O⁺의 농도가 1 × 10⁻³ M일 때 HA의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같이 구한다.

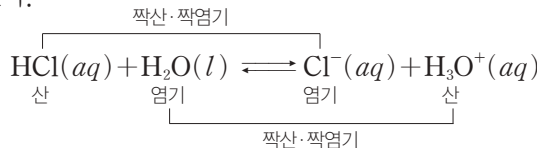
	HA(aq)	+	H ₂ O(l)	⇌	A ⁻ (aq)	+	H ₃ O ⁺ (aq)
처음 농도(M)	0.1				0		0
반응 농도(M)	-1 × 10 ⁻³				+1 × 10 ⁻³		+1 × 10 ⁻³
평형 농도(M)	0.1 - 1 × 10 ⁻³				1 × 10 ⁻³		1 × 10 ⁻³

약산의 경우 산 HA의 농도에 비해 이온화된 H₃O⁺의 농도가 매우 작아 0.1 - 1 × 10⁻³ ≈ 0.1로 계산할 수 있다.

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

(3) 짝산·짝염기와 산의 세기

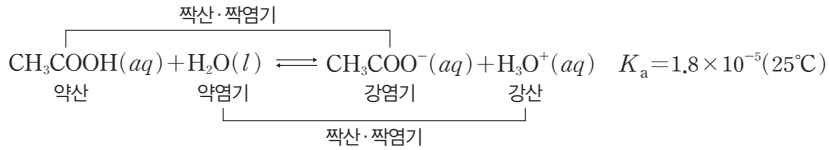
- ① 산과 염기: 브뢴스테드·로리 정의에 의하면 산은 수소 이온(H⁺)을 내놓는 물질, 염기는 수소 이온(H⁺)을 받는 물질이다.
- ② 짝산·짝염기: 수소 이온(H⁺)의 이동에 의해 염기와 산으로 되는 한 쌍의 산과 염기를 짝산·짝염기라고 한다.



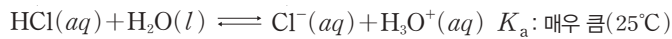
- 산 HCl의 짝염기는 Cl⁻이고, 염기 H₂O의 짝산은 H₃O⁺이다.
- ③ 이온화 상수와 평형: 산이나 염기가 수용액에서 평형을 이룰 때 이온화 상수가 클수록 대부분 생성물로 존재하여 생성물의 농도 곱이 크다.
- ④ 짝산과 짝염기의 상대적 세기: 짝산과 짝염기의 쌍들이 H⁺을 주고받는 정도에 따라 산과 염기의 상대적 세기를 나타낼 수 있다.

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

예) 약산인 CH₃COOH의 이온화 반응은 K_a가 매우 작으므로 역반응이 우세한 평형을 이룬다. H₃O⁺은 CH₃COOH보다 산의 세기가 강하므로 H₃O⁺의 짝염기인 H₂O은 CH₃COOH의 짝염기인 CH₃COO⁻보다 염기의 세기가 약하다.



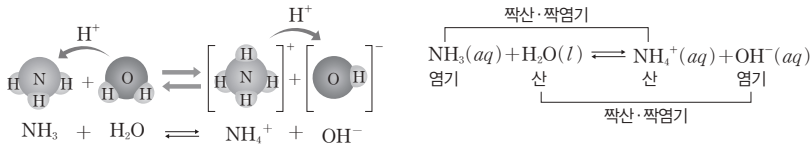
예) 강산인 HCl의 이온화 반응은 K_a가 매우 크므로 정반응이 매우 우세한 평형을 이룬다. 따라서 염기로서 Cl⁻의 작용은 무시할 수 있을 만큼 작다.



과학 돋보기 NH₃와 H₂O의 반응에서 짝산·짝염기

[NH₃와 H₂O이 반응할 때의 반응 모형과 화학 반응식]

- 정반응에서 H₂O이 내놓은 H⁺을 NH₃가 받으므로 H₂O은 산이고, NH₃는 염기이다.
- 역반응에서 NH₄⁺이 내놓은 H⁺을 OH⁻이 받으므로 NH₄⁺은 산이고, OH⁻은 염기이다.
- NH₃의 짝산은 NH₄⁺이고, H₂O의 짝염기는 OH⁻이다.



개념 체크

⑤ 짝산과 짝염기의 상대적 세기 : 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하고, 산의 세기가 약할수록 그 짝염기의 세기는 강하다.

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. HA(aq) + H₂O(l) ⇌ A⁻(aq) + H₃O⁺(aq) K_a = 1.8 × 10⁻⁵ (25°C)의 반응에서 산의 세기는 HA () H₃O⁺이고, 염기의 세기는 A⁻ () H₂O이다.

탐구자료 살펴보기 산과 그 짝염기의 상대적 세기

자료	산의 세기	짝산·짝염기		짝염기의 세기
		산	염기	
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">↑</div> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">강</div> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">↑</div> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">약</div> </div>	H ₃ O ⁺	H ₂ O	↓ 강	
	HF	F ⁻		
	CH ₃ COOH	CH ₃ COO ⁻		
	NH ₄ ⁺	NH ₃		
	H ₂ O	OH ⁻		

- 분석**
- 산의 세기 : H⁺을 잘 내놓을수록 강산이다. → H₃O⁺ > HF > CH₃COOH > NH₄⁺ > H₂O
 - 짝염기의 세기 : H⁺을 잘 받을수록 강염기이다. → H₂O < F⁻ < CH₃COO⁻ < NH₃ < OH⁻

분석 point • 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하다.

정답

1. 정반응
2. 약, 강
3. <, >

개념 체크

⇒ **염의 가수 분해** : 염이 물에 녹을 때 생성된 이온이 물과 반응하여 H_3O^+ 이나 OH^- 을 생성하는 반응이다.

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

2. 모든 염 수용액의 액성은 중성이다. (O, ×)

(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

$$K_b = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} \text{이므로 } K_a \times K_b = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} \times \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} = [H_3O^+][OH^-] = K_w \text{이다.}$$

탐구자료 살펴보기 **짝산·짝염기의 상대적 세기와 이온화 상수**

자료	짝산			짝염기		
	이름	화학식	K_a (25°C)	이름	화학식	K_b (25°C)
	아세트산	CH_3COOH	1.8×10^{-5}	아세트산 이온	CH_3COO^-	㉠
	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

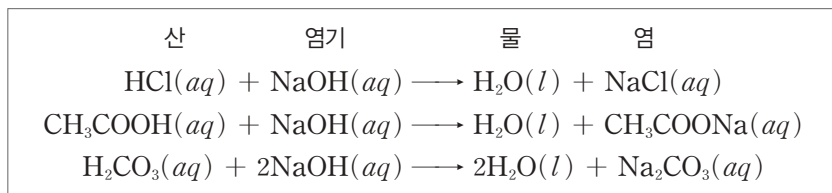
- 25°C에서 산의 이온화 상수(K_a)가 $CH_3COOH > H_2CO_3$ 이므로 산의 세기는 $CH_3COOH > H_2CO_3$ 이며, 짝염기의 세기는 $HCO_3^- > CH_3COO^-$ 이므로 염기의 이온화 상수(K_b)는 $HCO_3^- > CH_3COO^-$ 이다. 따라서 ㉠은 2.2×10^{-8} 보다 작다.
- 25°C에서 짝산·짝염기 관계인 산 H_2CO_3 의 이온화 상수(K_a)와 염기 HCO_3^- 의 이온화 상수(K_b)를 곱하면 $K_a \times K_b = (4.5 \times 10^{-7}) \times (2.2 \times 10^{-8}) \approx 1.0 \times 10^{-14}$ 이고, 짝산·짝염기 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 짝산·짝염기 관계인 산 CH_3COOH 의 이온화 상수(K_a)와 염기 CH_3COO^- 의 이온화 상수(K_b)의 곱은 $K_a \times K_b = (1.8 \times 10^{-5}) \times \text{㉠} = 1.0 \times 10^{-14}$ 에서 $\text{㉠} \approx 5.6 \times 10^{-10}$ 이다.

분석 point

같은 온도에서 짝산·짝염기의 이온화 상수를 곱한 값은 일정하다. ∴ $K_a \times K_b = K_w$

2 염의 가수 분해

(1) **염** : 산의 음이온과 염기의 양이온이 결합하여 생성된 이온 결합 물질을 염이라고 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 분해라고 한다. 가수 분해에 의해 염 수용액의 액성이 결정된다.

정답

1. 일정
2. ×

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.
이온화 : $\text{NaCl}(aq) \longrightarrow \text{Na}^+(aq) + \text{Cl}^-(aq)$

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

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

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

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

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

개념 체크

④ 강산과 약염기가 반응하여 생성된 염은 수용액에서 가수 분해하여 H₃O⁺을 생성하므로 수용액의 액성은 산성이고, 약산과 강염기가 반응하여 생성된 염은 수용액에서 가수 분해하여 OH⁻을 생성하므로 수용액의 액성은 염기성이다.

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**
1. 3개의 비커에 증류수를 각각 50 mL씩 넣는다.
 2. 과정 1의 비커에 NH₄Cl(s), CH₃COONa(s), NaCl(s)을 각각 2 g씩 넣어 녹인다.
 3. 각 수용액을 유리 막대에 묻힌 다음 pH 시험지를 이용하여 수용액의 액성을 알아본다.

- 자료**
- NH₄Cl은 산 HCl과 염기 NH₃가 중화 반응하여 생성된 염이다.
 - CH₃COONa은 산 CH₃COOH과 염기 NaOH이 중화 반응하여 생성된 염이다.
 - NaCl은 산 HCl과 염기 NaOH이 중화 반응하여 생성된 염이다.

실험 결과

염	염에 들어 있는 이온	염 수용액의 액성
NH ₄ Cl	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻	산성
CH ₃ COONa	Na ⁺ , CH ₃ COO ⁻	염기성
NaCl	Na ⁺ , Cl ⁻	중성

- 강산 HCl과 약염기 NH₃가 반응하여 생성된 염인 NH₄Cl은 수용액에서 NH₄⁺이 가수 분해하여 H₃O⁺을 생성하므로 수용액은 산성이다.
- 약산 CH₃COOH과 강염기 NaOH이 반응하여 생성된 염인 CH₃COONa은 수용액에서 CH₃COO⁻이 가수 분해하여 OH⁻을 생성하므로 수용액은 염기성이다.
- 강산 HCl과 강염기 NaOH이 반응하여 생성된 염인 NaCl은 수용액에서 가수 분해하지 않으므로 수용액은 중성이다.

정답

1. 가수 분해
2. CH₃COOH, OH⁻
3. NH₄⁺

개념 체크

⑤ CH_3COOH 과 CH_3COONa 으로 이루어진 완충 용액 : $\text{HCl}(aq)$ 을 가하면 $\text{HCl}(aq)$ 의 H^+ 이 CH_3COO^- 과 반응하고, $\text{NaOH}(aq)$ 을 가하면 $\text{NaOH}(aq)$ 의 OH^- 이 CH_3COOH 과 반응하여 수용액의 pH는 거의 변하지 않는다.

[1~3] NH_3 와 NH_4Cl 으로 이루어진 완충 용액에서

1. 용액에 약염기인 NH_3 와 그 짝산인 ()이 존재한다.
2. $\text{HCl}(aq)$ 을 가하면 $\text{HCl}(aq)$ 의 H^+ 이 ()와 반응한다.
3. NaOH 을 소량 가하면 수용액의 pH가 급격히 증가한다. (○, ×)

3 완충 용액

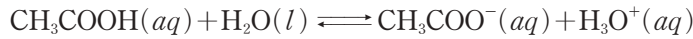
(1) 완충 용액 : 약산과 그 약산의 짝염기가 섞여 있는 수용액이나 약염기와 그 약염기의 짝산이 섞여 있는 수용액은 산이나 염기를 소량 가해도 pH가 거의 변하지 않는다. 이러한 용액을 완충 용액이라고 한다.

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

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

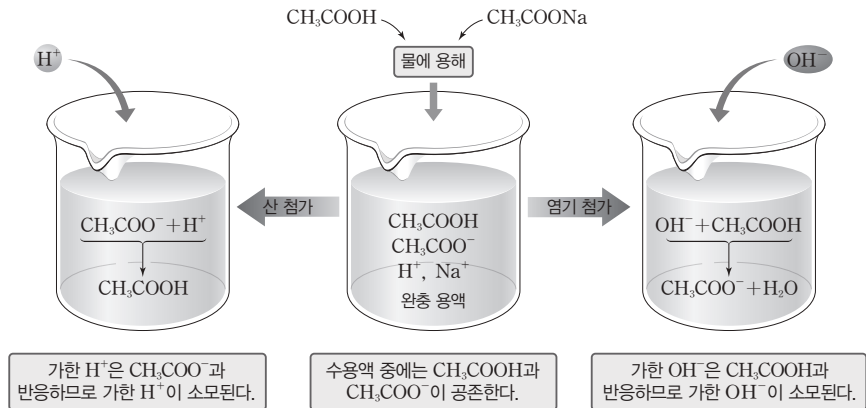
① CH_3COOH 과 CH_3COONa 으로 이루어진 완충 용액

- 이온화 평형



- 용액에 약산인 CH_3COOH 과 그 짝염기인 CH_3COO^- 이 존재한다.

➔ 소량의 산을 가하거나 염기를 가해도 pH가 거의 변하지 않는다.

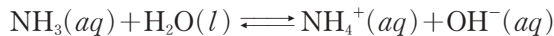


➔ $\text{HCl}(aq)$ 을 소량 가할 때 : $\text{HCl}(aq)$ 의 H^+ 이 CH_3COO^- 과 반응하여 CH_3COOH 이 되므로 가한 H^+ 이 소모되어 수용액의 pH는 거의 변하지 않는다.

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

② NH_3 와 NH_4Cl 으로 이루어진 완충 용액

- 이온화 평형

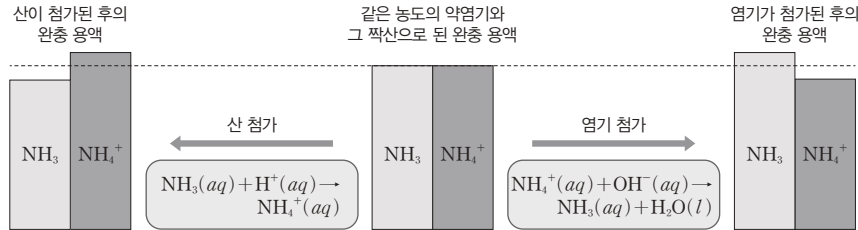


- 용액에 약염기인 NH_3 와 그 짝산인 NH_4^+ 이 존재한다.

정답

1. NH_4^+
2. NH_3
3. ×

- 소량의 산을 가하거나 염기를 가해도 pH가 거의 변하지 않는다.
- $\text{HCl}(aq)$ 을 소량 가할 때 : $\text{HCl}(aq)$ 의 H^+ 이 NH_3 와 반응하여 NH_4^+ 이 되므로 가한 H^+ 이 소모되어 수용액의 pH는 거의 변하지 않는다.
- $\text{NaOH}(aq)$ 을 소량 가할 때 : $\text{NaOH}(aq)$ 의 OH^- 은 NH_4^+ 과 반응하여 NH_3 와 H_2O 이 되므로 가한 OH^- 이 소모되어 수용액의 pH는 거의 변하지 않는다.



개념 체크

완충 용액 : 약산과 그 약산의 짝염기가 섞여 있는 수용액이나 약염기와 그 약염기의 짝산이 섞여 있는 수용액으로 산이나 염기를 소량 가해도 pH가 거의 변하지 않는다.

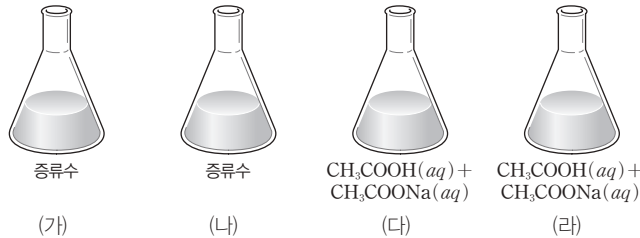
- NH_3 와 NH_4Cl 으로 이루어진 완충 용액에 소량의 $\text{NaOH}(aq)$ 을 첨가하면 OH^- 이 ($\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$)와/과 반응하여 가한 OH^- 이 소모된다.
- 증류수에 염기를 가해도 pH가 거의 변하지 않는다. (O, X)

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.



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

정답

- NH_4^+
- X

개념 체크

→ H_2CO_3 과 HCO_3^- 의 완충 용액이 완충 작용할 때 혈액 속의 OH^- 의 농도가 증가하면 증가한 OH^- 이 H_2CO_3 과 반응하여 소모되므로 혈액의 pH가 일정하게 유지된다.

1. 혈액 속 H_3O^+ 의 농도가 증가하면, 혈액의 pH는 급격하게 감소한다. (○, ×)

2. 혈액 속의 H_2CO_3 은 HCO_3^- 의 짝염기이다. (○, ×)

과학 돋보기

짝염기의 혼합 없이 약산만으로 완충 효과가 나타나지 않는 이유

- 산 HA의 이온화 상수(K_a) = $\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$ 이므로 $[H_3O^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]}$ 이다. 따라서 pH 변화는 $\frac{[HA]}{[A^-]}$ 의 변화가 클수록 크게 나타난다.
- 약산 HA의 수용액에 소량의 HCl(aq)을 첨가할 경우 → 약산 HA는 극히 일부만 이온화하므로 상대적으로 [HA]는 매우 크고, [A⁻]는 매우 작다. 따라서 HA(aq)에 소량의 HCl(aq)을 첨가하여 평형 이동이 일어나면 $\frac{[HA]}{[A^-]}$ 의 변화가 크게 나타나 완충 효과가 나타나지 않는다.
- 약산 HA의 수용액에 그 짝염기 A⁻을 혼합한 완충 용액에 소량의 HCl(aq)을 첨가할 경우 → 약산 HA는 극히 일부만 이온화하지만 그 짝염기 A⁻을 혼합하였으므로 상대적으로 [HA]와 [A⁻]는 모두 매우 크다. 따라서 이 완충 용액에 소량의 HCl(aq)을 첨가하여 평형 이동이 일어나면 $\frac{[HA]}{[A^-]}$ 의 변화가 작게 나타나 완충 효과가 나타난다.

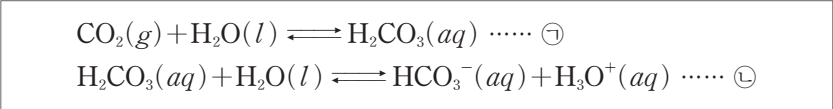
(2) 생체 내 완충 용액

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, 인산이수소 이온($H_2PO_4^-$)과 인산수소 이온(HPO_4^{2-})의 완충 용액 등이 완충 작용을 한다.

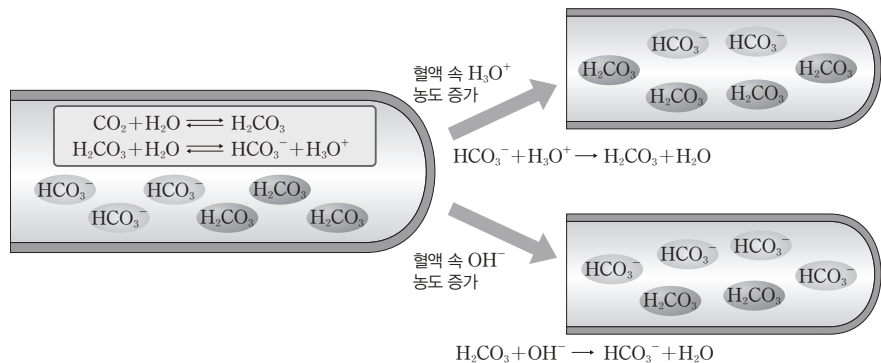
② H_2CO_3 과 HCO_3^- 의 완충 용액

- 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(②의 역반응이 일어남). $H_3O^+(aq) + HCO_3^-(aq) \rightarrow H_2CO_3(aq) + H_2O(l)$
 이때 증가한 H_2CO_3 은 CO_2 와 H_2O 로 분해되며 CO_2 는 호흡으로 몸 밖으로 배출된다(①의 역반응이 일어남). $H_2CO_3(aq) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(l)$

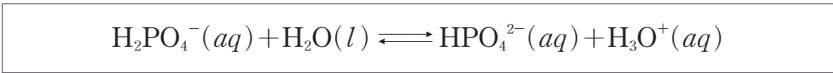
→ 혈액 속 OH^- 의 농도 증가 : 혈액 속의 OH^- 의 농도가 증가하면 증가한 OH^- 이 H_2CO_3 과 반응하여 소모되므로 혈액의 pH가 거의 일정하게 유지된다.
 $H_2CO_3(aq) + OH^-(aq) \rightarrow HCO_3^-(aq) + H_2O(l)$



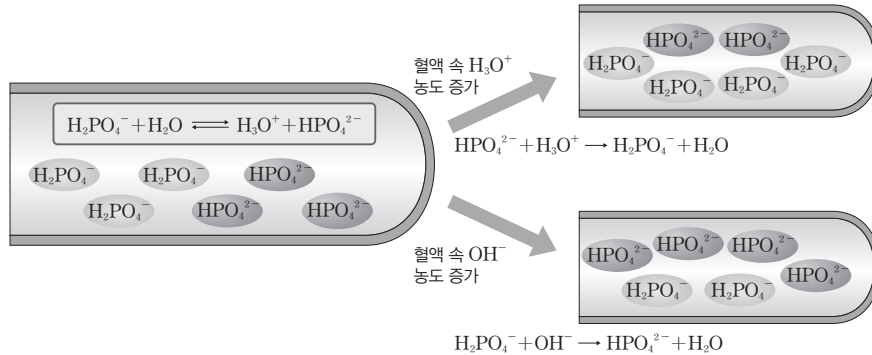
정답

1. ×
2. ×

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.

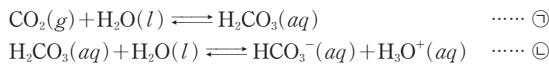


- ➔ 혈액 속 H_3O^+ 의 농도 증가 : 혈액 속 H_3O^+ 의 농도가 증가하면, 증가한 H_3O^+ 이 HPO_4^{2-} 과 반응하여 소모되므로 혈액의 pH가 거의 일정하게 유지된다.
- ➔ 혈액 속 OH^- 의 농도 증가 : 혈액 속의 OH^- 의 농도가 증가하면 증가한 OH^- 이 H_2PO_4^- 과 반응하여 소모되므로 혈액의 pH가 거의 일정하게 유지된다.



과학 돋보기 혈액의 pH와 질병

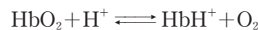
• 혈액에서는 H_2CO_3 과 그 짝염기인 HCO_3^- 이 1 : 20 정도의 비율을 유지하며 다음과 같은 평형을 이룬다.



- ➔ 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 부족해서 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.

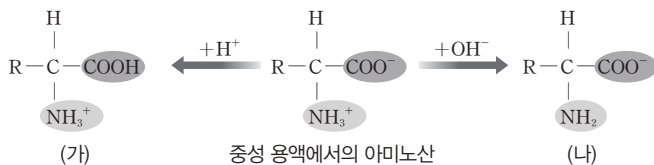
과학 돋보기 인체 속 완충 작용의 예

• 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.

개념 체크

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

[1~2] 혈액 속에서

$\text{H}_2\text{PO}_4^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-}(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq)$ 의 이온화 반응이 평형을 이루고 있을 때

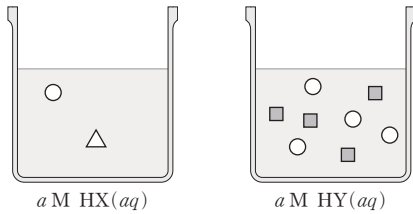
1. 산을 가하면 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. (○, ×)
2. 혈액 속의 ()의 농도가 증가하면 증가한 ()이 H_2PO_4^- 과 반응하여 소모되므로 혈액의 pH가 거의 일정하게 유지된다.

정답

1. ×
2. OH^- , OH^-

[26028-0149]

01 그림은 25°C에서 부피가 같은 a M $HX(aq)$ 과 a M $HY(aq)$ 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 $HX(aq) > HY(aq)$ 이다.
- ㄷ. 25°C에서 이온화 상수(K_a)는 $HX > HY$ 이다.

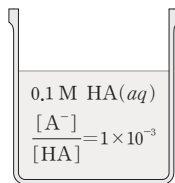
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0150]

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



그림은 25°C에서 0.1 M $HA(aq)$ 을 나타낸 것이다.

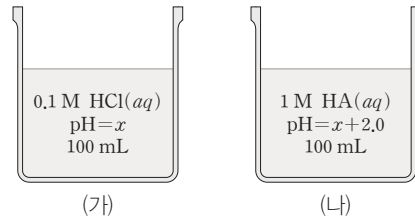


a 는?

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

[26028-0151]

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



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

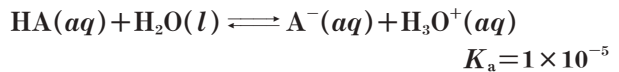
◀ 보기 ▶

- 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.

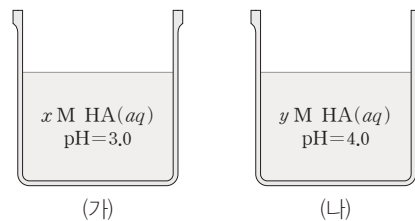
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0152]

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



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



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

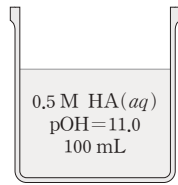
◀ 보기 ▶

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

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0153]

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.)

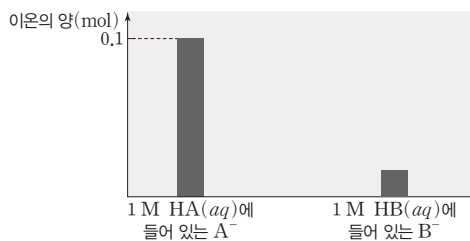
◀ 보기 ▶

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

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0154]

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.)

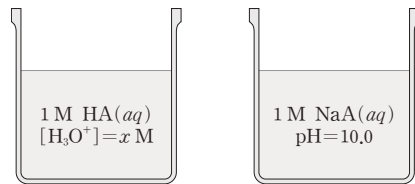
◀ 보기 ▶

- 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

[26028-0155]

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

[26028-0156]

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

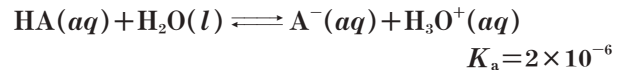
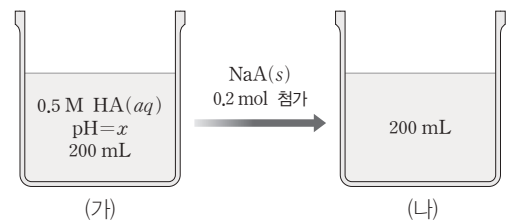


그림 (가)는 25°C에서 0.5 M HA(aq)을, (나)는 (가)에 NaA(s) 0.2 mol을 넣어 녹인 수용액을 나타낸 것이다.



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

[26028-0157]

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

[26028-0158]

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

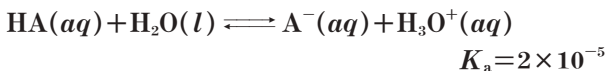
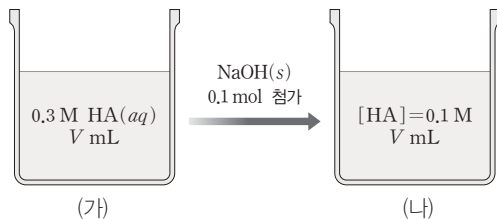


그림 (가)는 25°C에서 HA(aq)을, (나)는 (가)에 0.1 mol의 NaOH(s)을 넣어 녹인 수용액을 나타낸 것이다.

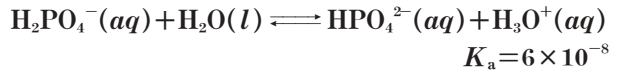


$\frac{V}{(나)의 pH}$ 는? (단, 수용액의 온도는 모두 25°C이고, 고체의 용해에 따른 수용액의 부피 변화는 없다.)

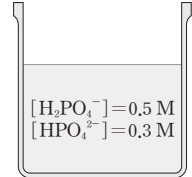
- ① 100 ② 125 ③ $\frac{400}{3}$ ④ $\frac{500}{3}$ ⑤ 200

[26028-0159]

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.)



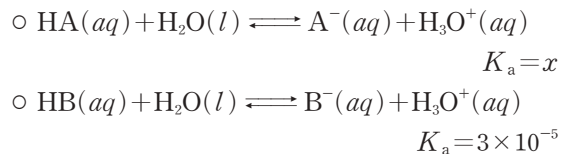
◀ 보기 ▶

- 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

[26028-0160]

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 ▶

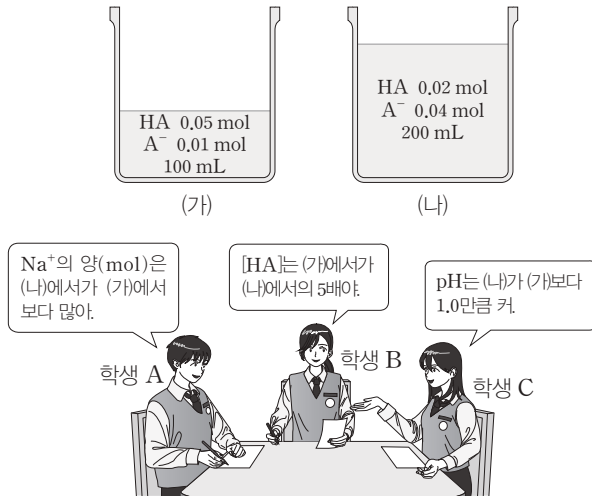
- ㄱ. 0.1 M HA(aq)의 pH=3.0이다.
- ㄴ. $y = 3$ 이다.
- ㄷ. 1 M 수용액의 pH는 NaB(aq) > NaA(aq)이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0161]

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

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



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

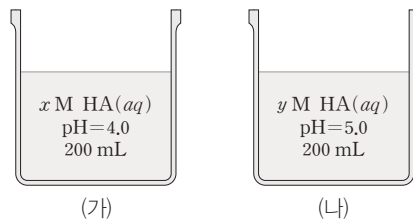
[26028-0162]

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



약산의 이온화 상수를 식으로 나타내고 H₃O⁺의 농도나 양 (mol)을 구한다.

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



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 = 10y이다.

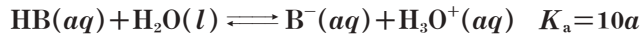
ㄷ. $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 는 (나)가 (가)보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

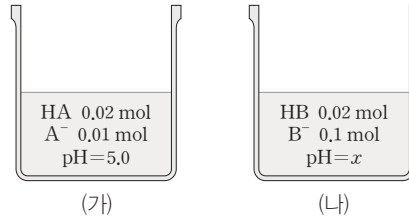
약산과 약산의 짝염기가 함께 있는 용액은 완충 용액이며, 완충 용액에서 약산의 이온화 상수(K_a)는

$$\frac{[\text{짝염기}]}{[\text{약산}]} \times [\text{H}_3\text{O}^+]$$

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

완충 용액에서 약산의 이온화 상수(K_a)는

$$\frac{[\text{짝염기}]}{[\text{약산}]} \times [\text{H}_3\text{O}^+]$$

를 구한다. $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}] + [\text{A}^-]}$ 로부터 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$

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.

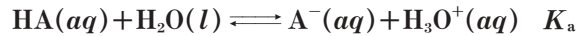
혼합 용액	(가)	(나)	(다)
$[\text{Na}^+]$ (M)	$\frac{1}{6}$	$\frac{3}{11}$	z
$\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}] + [\text{A}^-]}$	y	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$

$x \times y \times z$ 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 $\frac{5}{16}$

[26028-0165]

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.)

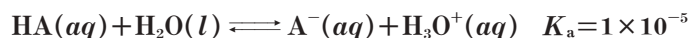
◀ 보기 ▶

- 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

[26028-0166]

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

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

완충 용액에서 약산의 이온화 상수(K_a)는

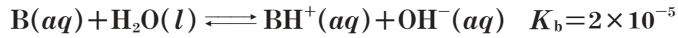
$\frac{[\text{짝염기}]}{[\text{약산}]} \times [\text{H}_3\text{O}^+]$ 이다.

$\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}] + [\text{A}^-]}$ 로부터 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 를 구한다.

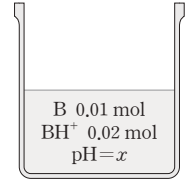
약산과 약산의 짝염기가 함께 있는 용액은 완충 용액이며, 완충 용액에서 약염기의 이온화 상수(K_b)는

$$\frac{[\text{짝염기}]}{[\text{짝산}]} \times [\text{OH}^-] \text{이다.}$$

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 $\frac{[\text{BH}^+]}{[\text{B}]} > 2$ 이다.
- ㄷ. 0.2 M B(aq)의 pH는 11.0보다 작다.

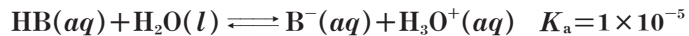
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

완충 용액에서 약산의 이온화 상수(K_a)는

$$\frac{[\text{짝염기}]}{[\text{짝산}]} \times [\text{H}_3\text{O}^+] \text{이다.}$$

$\frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$ 로부터 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 를 구한다.

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
$\frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$ 또는 $\frac{[\text{HB}]}{[\text{B}^-]}$	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.)

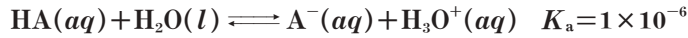
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x > y$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2 \times 10^{-5}$ M이다.
- ㄷ. $a = 6 \times 10^{-5}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

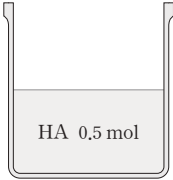
[26028-0169]

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

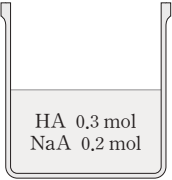


다음은 부피가 500 mL인 수용액 (가)~(다)에 대한 자료이다.

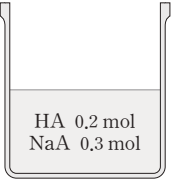
○ (가)~(다)에 녹아 있는 용질의 양(mol)



(가)



(나)



(다)

○ (가)~(다)의 pH 비교 :

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

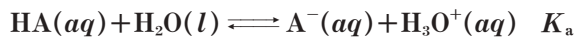
HA가 약산일 때, HA(aq)에 NaOH(s)을 넣으면 HA가 A⁻으로 된다.

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

- | | |
|-------------------|-----------|
| <u>㉠</u> | <u>㉡</u> |
| 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) |

[26028-0170]

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)
$\frac{[HA]}{[Na^+]}$	$\frac{1}{2}$	1	2
pH	a	b	

수용액에서 $[Na^+] = [A^-]$ 이므로 $\frac{[HA]}{[Na^+]}$ 로부터 $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 를 구한다.

(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

수능 3점 테스트

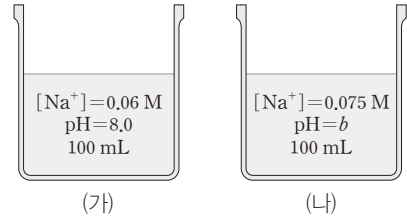
[26028-0171]

수용액에서 $[Na^+] = [A^-]$ 이므로 수용액 속 $[A^-]$ 와 $[HA]$ 를 구한다.

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 ▶

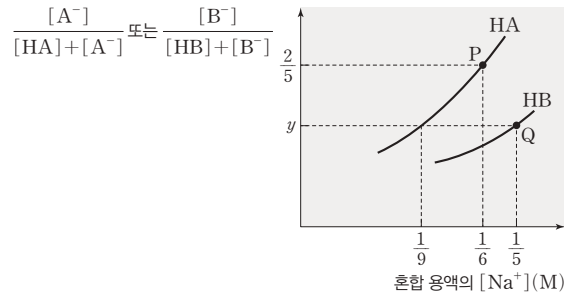
- ㄱ. $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 는 (나)가 (가)의 2배이다.
- ㄴ. $a = 1 \times 10^{-6}$ 이다.
- ㄷ. $b > 8.0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$[Na^+]$ 의 변화로부터 넣어 준 NaOH(aq)의 부피를 구한다.

[26028-0172]

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 $[Na^+]$ 에 따른 $\frac{[A^-]}{[HA] + [A^-]}$ 또는 $\frac{[B^-]}{[HB] + [B^-]}$ 를 나타낸 것이다. P와 Q에서 pH는 같고, 25°C에서 HA와 HB의 이온화 상수(K_a)는 각각 a, b이다.



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 $[HA] = \frac{1}{4}$ M이다.
- ㄴ. $x = 4y$ 이다.
- ㄷ. $a = 4b$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07


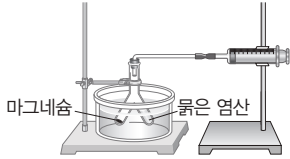

반응 속도

1 화학 반응 속도

(1) **빠른 반응과 느린 반응** : 우리 주위에서 일어나는 다양한 화학 반응은 빠르게 일어나는 반응과 느리게 일어나는 반응으로 구분할 수 있다.

- ① 빠른 반응의 예 : 중화 반응, 연소 반응, 양금 생성 반응 등
 ② 느린 반응의 예 : 석회 동굴의 생성 반응, 철의 부식 반응 등

(2) **화학 반응의 빠르기 측정** : 화학 반응에 따라 여러 가지 방법으로 측정할 수 있다.

반응	기체가 발생하는 경우		고체가 생성되는 경우
측정	반응 시간에 따른 질량 측정	반응 시간에 따른 기체 생성물의 부피 측정	×표가 보이지 않을 때까지 걸리는 시간 측정
실험 장치			
화학 반응식	$\text{CaCO}_3(s) + 2\text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{CaCl}_2(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) + \text{CO}_2(g)$	$\text{Mg}(s) + 2\text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{MgCl}_2(aq) + \text{H}_2(g)$	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(aq) + 2\text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{S}(s) + 2\text{NaCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) + \text{SO}_2(g)$
반응의 빠르기	$\frac{\text{발생한 CO}_2(g) \text{의 질량}(g)}{\text{반응 시간}(s)}$	$\frac{\text{발생한 H}_2(g) \text{의 부피}(mL)}{\text{반응 시간}(s)}$	$\frac{1}{\times \text{표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간}(s)}$

개념 체크

④ 화학 반응의 빠르기는 반응에 따라 여러 가지 방법으로 측정할 수 있다.

1. 기체가 발생하는 반응에서 화학 반응의 빠르기는 반응 시간에 따라 발생한 기체의 ()이나 ()를 측정하여 나타낼 수 있다.
2. 고체가 생성되는 반응에서는 생성된 고체가 ×표를 모두 가릴 때까지 걸린 시간이 ()수록 화학 반응의 빠르기가 크다.

탐구자료 살펴보기

화학 반응의 빠르기 측정하기

실험 과정

1. 충분한 양의 묽은 염산이 들어 있는 삼각 플라스크를 전자저울 위에 올려놓는다.
2. 1의 삼각 플라스크에 탄산 칼슘 5g을 넣은 후, 10s 간격으로 질량을 측정한다.



실험 결과

반응 시간(s)	0	10	20	30	40	50
질량(g)	192.4	191.4	190.9	190.6	190.4	190.3

분석 point

- 위 반응에서 반응의 빠르기는 반응 시간에 따라 발생한 CO_2 의 질량을 측정하여 나타낼 수 있다. 각 구간에서 질량의 차이는 발생한 CO_2 의 질량에 해당하므로 반응의 빠르기는 $\frac{\text{발생한 CO}_2 \text{의 질량}(g)}{\text{반응 시간}(s)}$ 으로 나타낼 수 있고, 단위는 g/s를 사용할 수 있다.
- 각 구간에서 반응의 빠르기

구간	0~10 s	10~20 s	20~30 s	30~40 s	40~50 s
발생한 CO_2 의 질량(g)	1	0.5	0.3	0.2	0.1
반응의 빠르기(g/s)	0.1	0.05	0.03	0.02	0.01

정답

1. 질량, 부피
2. 짧을

개념 체크

- **반응 속도** : 화학 반응에서 반응 시간 동안 변화한 물질의 농도로 나타낼 수 있다.
- **평균 반응 속도** : 시간·농도 그래프에서 두 지점을 지나는 직선의 기울기(절댓값)이다.

1. 반응 속도는 반응 시간 동안 반응물의 ()한 농도나 생성물의 ()한 농도를 측정하여 나타낸다.
2. 시간(s)에 따른 반응물의 몰 농도(mol/L) 변화를 나타낸 반응 속도의 단위는 ()이다.
3. $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$ 의 반응에서 HI의 농도가 증가하는 속도는 H_2 의 농도가 감소하는 속도의()배이다.
4. (평균 / 순간) 반응 속도는 시간·농도 그래프에서 두 지점을 지나는 직선의 기울기(절댓값)에 해당한다.
5. 일반적으로 반응이 진행될수록 반응물의 농도가 감소하므로 반응 속도는 점점 ()진다.

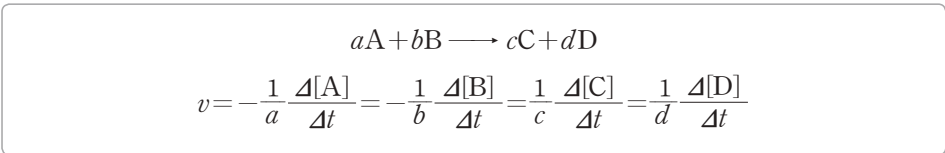
(3) 반응 속도

화학 반응이 일어나는 빠르기이며, 반응 시간 동안의 반응물 또는 생성물의 농도 변화량으로 나타낼 수 있다.

$$\text{반응 속도} = \frac{\text{반응물의 농도 감소량}}{\text{반응 시간}} \quad \text{또는} \quad \frac{\text{생성물의 농도 증가량}}{\text{반응 시간}}$$

(단위 : mol/(L·s), mol/(L·min), M/s, M/min 등)

- ① **반응 속도의 표현** : 화학 반응이 일어날 때 시간 변화(Δt)에 따른 반응물의 농도 변화 또는 생성물의 농도 변화로 반응 속도를 나타낸다. 화학 반응식에서 반응물이나 생성물의 농도 변화를 화학 반응식의 계수로 나누어서 나타낸다. 반응물의 농도는 반응 과정에서 감소하므로 반응 속도를 표현할 때에는 (-)를 붙인다.

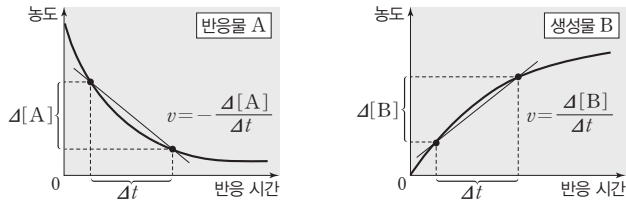


예 $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$ 의 반응 속도 표현

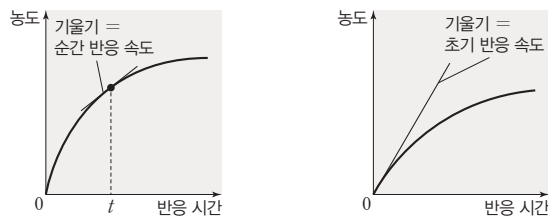
- 반응 계수비가 $H_2 : I_2 : HI = 1 : 1 : 2$ 이므로 H_2 의 농도가 감소하는 속도나 I_2 의 농도가 감소하는 속도는 HI의 농도가 증가하는 속도의 $\frac{1}{2}$ 과 같다.
- 반응물과 생성물의 농도 변화에 따른 반응 속도 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$-\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[I_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[HI]}{\Delta t}$$

- ② **평균 반응 속도** : 반응물이나 생성물의 농도 변화량을 반응이 일어난 시간으로 나누어 나타내는 반응 속도이며, 시간·농도 그래프에서 두 점을 지나는 직선의 기울기(절댓값)에 해당한다.



- ③ **순간 반응 속도** : 특정 시간에서의 반응 속도를 나타내며, 시간·농도 그래프에서 특정 시간(t)에서의 접선의 기울기(절댓값)에 해당한다.
- ④ **초기 반응 속도** : 시간·농도 그래프에서 $t=0$ 일 때의 순간 반응 속도이다.

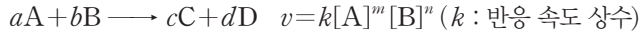


정답

1. 감소, 증가
2. mol/(L·s)
3. 2
4. 평균
5. 느려

2 반응 속도식

(1) **반응 속도식(반응 속도 법칙)** : 반응 속도(v)는 반응물의 농도에 따라 달라지며, 물질 A와 B가 반응하여 물질 C와 D가 생성되는 반응에서 반응 속도식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



① 반응 차수

- m 과 n 은 각 물질에 대한 반응 차수를 나타낸다.
- m, n 은 실험을 통해 구하며, 반응식의 계수인 a, b 와 관계가 없다.
- A에 대한 m 차 반응, B에 대한 n 차 반응이고, 전체 반응 차수는 $(m+n)$ 이다.

예 화학 반응식과 반응 속도식

화학 반응식	반응 속도식	전체 반응 차수
$H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)$	$v = k[H_2][I_2]$	2
$CH_3CHO(g) \longrightarrow CH_4(g) + CO(g)$	$v = k[CH_3CHO]^2$	2

② **반응 속도 상수(k)** : k 는 반응에 따라 다른 값을 가지며, 농도에 따라서는 달라지지 않는 상수로, 온도와 활성화 에너지에 따라서 그 값이 달라진다. k 의 단위는 전체 반응 차수에 따라 다르다.

예 $v = k[A]^2[B]$ 의 반응 속도식에서 전체 반응 차수는 3이고, 반응 속도 상수(k)는 $k = \frac{v}{[A]^2[B]}$ 이므로 반응 시간의 단위가 s일 때, k 의 단위는 $\frac{\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})}{(\text{mol}/\text{L})^2 \times (\text{mol}/\text{L})} = \text{L}^2/(\text{mol}^2\cdot\text{s})$ 이다.

③ 반응 속도식에서 전체 반응 차수와 반응 속도 상수(k)의 단위는 표와 같이 나타낼 수 있다.

반응 속도식	전체 반응 차수	반응 속도 상수(k)의 단위
$v = k$	0	$\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$
$v = k[A]$	1	1/s
$v = k[A][B]$	2	$\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{s})$
$v = k[A]^2[B]$	3	$\text{L}^2/(\text{mol}^2\cdot\text{s})$

개념 체크

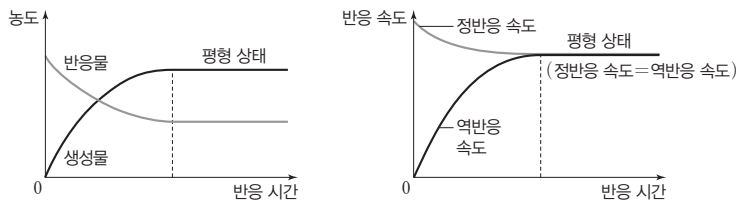
➔ **반응 속도식** : 반응 속도가 반응물의 농도와 어떤 관계가 있는지를 보여주는 식이다.

1. $aA + bB \longrightarrow cC + dD$ 의 반응이 A에 대한 m 차 반응이고, B에 대한 n 차 반응이면, 반응 속도식은 ()으로 나타낸다.
2. 온도가 일정할 때 반응 속도 상수는 반응물의 농도에 따라 달라진다. (○, ×)
3. 반응 속도식이 $v = k[A]$ 의 반응에서 k 는 ()이고, 반응 시간의 단위가 s일 때, k 의 단위는 ()이다.

과학 돋보기

화학 평형과 반응 속도

화학 평형 상태는 정반응 속도와 역반응 속도가 같아져서 더 이상 반응이 일어나지 않는 것처럼 보이는 상태이다. 가역 반응에서 반응 용기에 반응물만 넣어 주면 반응물의 농도는 점점 감소하므로 정반응 속도는 점점 느려지고, 생성물의 농도는 점점 증가하므로 역반응 속도는 점점 빨라진다. 시간이 흘러 정반응 속도와 역반응 속도가 같아지면 화학 평형 상태가 된다.



정답

1. $v = k[A]^m[B]^n$
2. ×
3. 반응 속도 상수, 1/s

개념 체크

☞ 반응 차수 구하기 : 반응 속도식 $v = k[A]^m[B]^n$ 에서 반응 차수 m 과 n 은 한 물질의 초기 농도가 같은 상태에서 다른 물질의 초기 농도를 변화시켜 가면서 초기 반응 속도를 비교하는 실험을 통해 구한다.

1. $v = k[A]^m[B]^n$ 에서 반응 차수 m 과 n 은 ()을 통해 구한다.

2. $v = k[A]^m[B]^n$ 에서 B의 농도가 같은 경우, A의 초기 농도가 2배로 될 때 초기 반응 속도가 2배가 된다면 m 은 ()이다.

(2) 반응 차수와 반응 속도 상수의 결정

$v = k[A]^m[B]^n$ 에서 반응 차수 m 과 n 은 실험을 통해 구한다. 한 반응물의 초기 농도가 같은 상태에서 다른 반응물의 초기 농도를 변화시켜 가면서 초기 반응 속도를 측정한다. 다음, 반응물의 초기 농도비와 초기 반응 속도비를 비교하면 구할 수 있다.

예) $2NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$ 의 반응에서 반응물인 NO와 O_2 의 초기 농도를 달리 하면서 초기 반응 속도를 측정한다.

실험	반응물의 초기 농도(mol/L)		초기 반응 속도 (mol/(L·s))
	NO	O_2	
I	0.02	0.01	0.028
II	0.02	0.02	0.056
III	0.04	0.02	0.224

① 반응 속도식을 쓴다.

$$\rightarrow v = k[NO]^m[O_2]^n$$



② 실험 I과 II를 비교하면 O_2 의 초기 농도가 2배가 될 때 초기 반응 속도가 2배가 됨을 알 수 있다. 이 반응은 O_2 에 대한 1차 반응이다. ($n=1$)

$$\rightarrow v = k[NO]^m[O_2]$$



③ 실험 II와 III을 비교하면 NO의 초기 농도가 2배가 될 때 초기 반응 속도가 4배가 됨을 알 수 있다. 이 반응은 NO에 대한 2차 반응이다. ($m=2$)

$$\rightarrow v = k[NO]^2[O_2]$$



④ 반응 속도식 $v = k[NO]^2[O_2]$ 에 어느 한 실험에서의 반응물의 초기 농도와 초기 반응 속도를 대입하여 반응 속도 상수를 구한다.

$$\rightarrow k = \frac{v}{[NO]^2[O_2]} = \frac{0.028 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{s})}{(0.02 \text{ mol}/\text{L})^2 \times 0.01 \text{ mol}/\text{L}} = 7 \times 10^3 \text{ L}^2/(\text{mol}^2\cdot\text{s})$$

과학 돋보기

반응 차수와 반응 계수

화학 반응식	$2H_2O_2(aq) \longrightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$
반응 속도식	$v = k[H_2O_2]$
화학 반응식	$2NO_2(g) \longrightarrow 2NO(g) + O_2(g)$
반응 속도식	$v = k[NO_2]^2$

- 화학 반응식의 반응 계수와 반응 속도식의 반응 차수는 무관하다.
- 반응 속도식은 실험적으로 반응물의 초기 농도를 바꿔가면서 측정된 결과를 토대로 구할 수 있다.

정답

1. 실험
2. 1

탐구자료 살펴보기

반응 속도식

자료

- 화학 반응식 : $2\text{NO}(g) + \text{Br}_2(g) \longrightarrow 2\text{NOBr}(g)$
- 일산화 질소(NO)와 브로민(Br_2)의 반응에서 NO와 Br_2 의 초기 농도를 달리하면서 초기 반응 속도를 측정한 자료이다.

실험	[NO](M)	[Br ₂](M)	초기 반응 속도(M/s)
I	0.1	0.2	20
II	0.2	0.2	80
III	0.1	0.4	40

분석

- 실험 I과 II를 비교하여 NO의 농도가 2배가 될 때, 초기 반응 속도가 4배가 됨을 알 수 있다.
→ NO에 대한 2차 반응
- 실험 I과 III을 비교하여 Br₂의 농도가 2배가 될 때, 초기 반응 속도가 2배가 됨을 알 수 있다.
→ Br₂에 대한 1차 반응
- 반응 속도식 $v = k[\text{NO}]^2[\text{Br}_2]$
- 실험 I에서 $20 \text{ M/s} = k(0.1 \text{ M})^2 \times 0.2 \text{ M}$ 이므로 $k = 1 \times 10^4 \text{ M}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

분석 point

2가지 이상의 반응물이 있는 경우 다른 반응물의 초기 농도가 일정한 상태에서 한 반응물의 농도 변화에 따른 초기 반응 속도의 변화를 통해 각 반응물에 대한 반응 차수를 구한 뒤, 반응 속도식을 완성하면 된다.

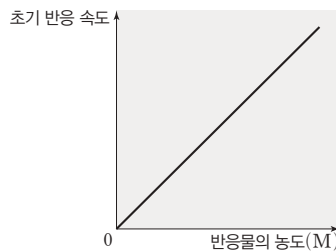
개념 체크

⇒ 1차 반응 : 반응 속도가 반응물의 농도에 비례한다.

1. A → B 반응이 A에 대한 1차 반응이고 반응 속도 상수가 k 라면 반응 속도 식은 ()이다.
2. A → B 반응이 A에 대한 1차 반응일 때, 온도가 일정하면 반응 속도는 A의 농도에 비례한다. (O, ×)

(3) 1차 반응과 반감기

- ① 1차 반응의 특징 : 1차 반응에서 반응 속도는 반응물의 농도에 비례한다. 반응물의 농도에 따른 초기 반응 속도 그래프에서 기울기는 반응 속도 상수(k)에 해당한다.



(기울기 : 반응 속도 상수(k))

예

- 오산화 이질소(N_2O_5)의 분해 반응
 $2\text{N}_2\text{O}_5(g) \longrightarrow 4\text{NO}_2(g) + \text{O}_2(g) \quad v = k[\text{N}_2\text{O}_5]$
- 과산화 수소(H_2O_2)의 분해 반응
 $2\text{H}_2\text{O}_2(aq) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) + \text{O}_2(g) \quad v = k[\text{H}_2\text{O}_2]$

- ② 반감기 : 반응물의 농도가 반으로 줄어들 때까지 걸리는 시간이며, 반감기는 반응 차수에 따라 달라진다.

정답

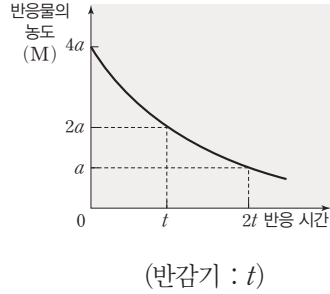
1. $v = k[A]$
2. O

개념 체크

- ➡ 반감기: 반응물의 농도가 반으로 줄어듦 때까지 걸리는 시간이다.
- ➡ 1차 반응: 반응 속도가 반응물의 농도에 비례하며, 반응물의 농도에 따른 반응 속도 그래프에서 기울기는 반응 속도 상수(k)에 해당한다.
- ➡ 1차 반응의 반감기: 1차 반응은 반응물의 농도에 관계없이 반감기가 일정하다.

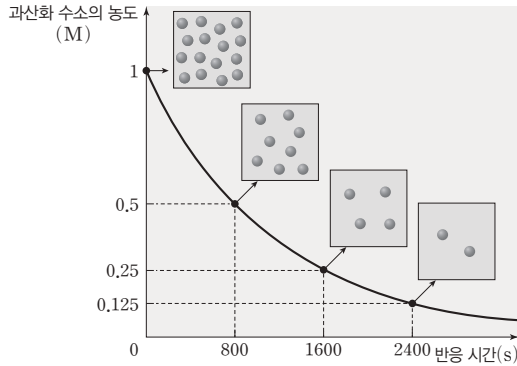
1. 반응물의 농도가 반으로 줄어듦 때까지 걸리는 시간을 ()라고 한다.
2. 1차 반응에서 반응물의 농도에 따른 반응 속도 그래프에서 기울기는 ()에 해당한다.
3. 1차 반응에서 t s 동안 반응물의 농도가 처음 농도의 $\frac{1}{4}$ 배로 감소한다면 반감기는 ()s이다.
4. 1차 반응에서 반감기는 반응물의 농도에 관계없이 일정하다. (○, ×)

• 1차 반응과 반감기: 1차 반응에서 반감기는 반응물의 농도에 관계없이 일정하다.



탐구자료 살펴보기 1차 반응의 반감기

자료 그림은 과산화 수소의 분해 반응에서 시간에 따른 과산화 수소의 농도 변화를 나타낸 것이다.

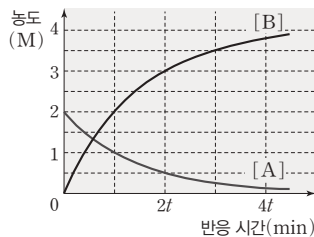


- 분석**
- 화학 반응식: $2\text{H}_2\text{O}_2(aq) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) + \text{O}_2(g)$
 - 반감기는 800 s로 일정하므로 이 반응은 1차 반응이다. 따라서 반응 속도식은 $v = k[\text{H}_2\text{O}_2]$ 이다.

분석 point 반감기가 일정한 반응은 1차 반응이므로 반응 속도가 반응물의 농도에 비례한다.

과학 돋보기 1차 반응과 반응 계수

반응 $a\text{A}(g) \longrightarrow b\text{B}(g)$ (a, b 는 반응 계수)에서 시간에 따른 A와 B의 농도 변화를 통하여 반감기가 t min으로 일정하므로 1차 반응이고, 같은 시간 동안 감소한 A의 양(mol)과 증가한 B의 양(mol)을 통하여 반응 계수비 $a : b = 1 : 2$ 이고, 화학 반응식은 $\text{A}(g) \longrightarrow 2\text{B}(g)$ 임을 알 수 있다.



정답

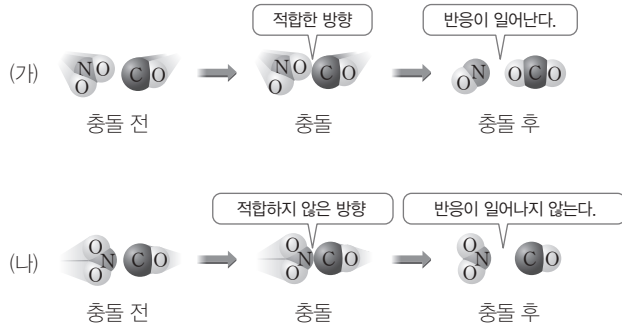
1. 반감기
2. 반응 속도 상수
3. $\frac{t}{2}$
4. ○

3 활성화 에너지

(1) 화학 반응과 충돌 방향

화학 반응이 일어나려면 반응하는 물질의 입자들이 충돌해야 하며, 충돌하는 순간에 입자들의 방향이 화학 반응을 일으키기에 적합해야 한다.

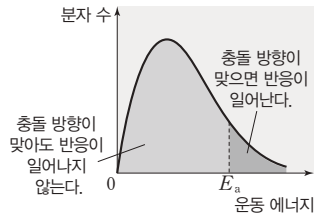
예 $\text{NO}_2(g) + \text{CO}(g) \longrightarrow \text{NO}(g) + \text{CO}_2(g)$ 의 반응에서 입자들의 충돌 방향과 화학 반응



$\text{NO}_2(g)$ 와 $\text{CO}(g)$ 가 반응하여 $\text{NO}(g)$ 와 $\text{CO}_2(g)$ 를 생성하기 위해서는 (가)와 같이 $\text{NO}_2(g)$ 의 O 원자와 $\text{CO}(g)$ 의 C 원자가 충돌해야 한다. (나)와 같이 적합하지 않은 방향으로 충돌하면 반응은 일어나지 않는다.

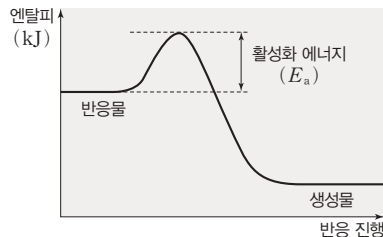
(2) 유효 충돌과 비유효 충돌

- ① 유효 충돌 : 활성화 에너지 이상의 에너지를 가진 입자들이 화학 반응이 일어나기에 적합한 방향으로 충돌하여 화학 반응이 일어나는 충돌이다.
- ② 비유효 충돌 : 충돌 방향이 반응이 일어나는 데 적합하지 않거나 입자의 에너지가 활성화 에너지보다 작아 충돌해도 화학 반응이 일어나지 않는 충돌이다.



(3) 활성화 에너지(E_a)

- ① 활성화 에너지 : 화학 반응을 일으키는 데 필요한 최소한의 에너지이다. 활성화 에너지는 반응물이 생성물로 되기 위해 넘어야 하는 에너지 장벽이라고 할 수 있다.



- ② 활성화 에너지(E_a)와 반응 엔탈피(ΔH) : 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값에 해당하므로 활성화 에너지와는 관계가 없다.

개념 체크

- ① 활성화 에너지 : 화학 반응을 일으키는 데 필요한 최소한의 에너지이다.
- ② 유효 충돌 : 활성화 에너지 이상의 에너지를 가진 입자들이 반응을 일으킬 수 있는 방향으로 충돌할 때 반응이 일어나는 충돌이다.

1. 반응물이 충돌하여 화학 반응을 일으키는 데 필요한 최소한의 에너지를 () 라고 한다.
2. 활성화 에너지는 반응물과 생성물의 엔탈피 차이에 해당한다. (O, ×)
3. 온도와 반응물의 농도가 일정할 때, 활성화 에너지가 ()면 반응 속도가 느리고, 활성화 에너지가 ()면 반응 속도가 빠르다.

정답

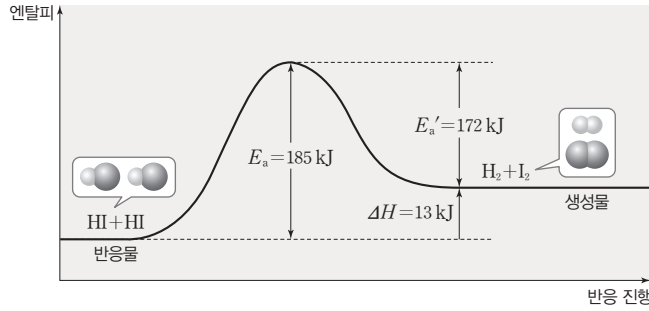
1. 활성화 에너지
2. ×
3. 크, 작음

개념 체크

- ➔ **활성화 에너지와 반응 속도** : 활성화 에너지가 작을수록 반응 속도가 빠르다.
- ➔ **흡열 반응과 활성화 에너지** : 정반응의 활성화 에너지가 역반응의 활성화 에너지보다 크다.

1. 발열 반응은 정반응의 활성화 에너지가 역반응의 활성화 에너지보다 ()고, 흡열 반응은 정반응의 활성화 에너지가 역반응의 활성화 에너지보다 ()다.

2. (유효 / 비유효) 충돌은 활성화 에너지 이상의 에너지를 가진 입자들이 반응을 일으킬 수 있는 방향으로 충돌하는 것을 의미한다.

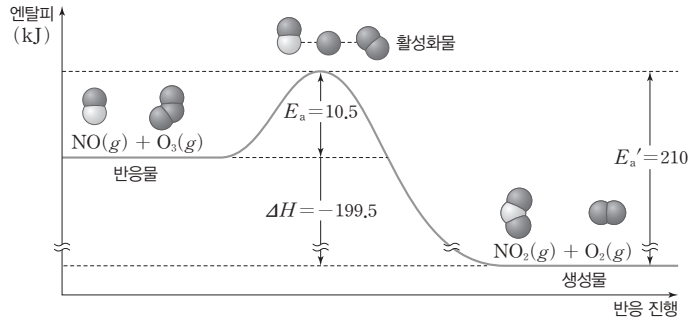
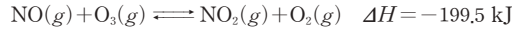


E_a : 정반응의 활성화 에너지
 E_a' : 역반응의 활성화 에너지

③ **활성화 에너지와 반응 속도** : 온도와 반응물의 농도가 일정할 때, 반응의 활성화 에너지가 작을수록 반응 속도가 빠르고, 활성화 에너지가 클수록 반응 속도가 느리다.

과학 돋보기 **활성화물**

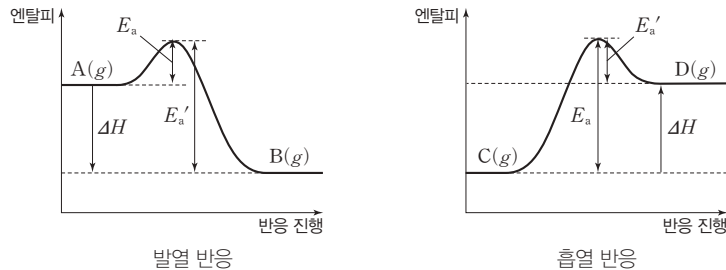
일산화 질소(NO)와 오존(O₃)의 반응의 열화학 반응식과 반응의 진행에 따른 엔탈피 변화는 다음과 같다.



- 활성화 에너지 이상의 에너지를 가진 분자들이 에너지가 가장 높은 불안정한 상태에 도달한 것을 활성화 상태라고 하고, 활성화 상태에 있는 불안정한 화합물을 활성화물이라고 한다.
- 활성화물은 화학 결합이 끊어지거나 생기기 직전의 불안정한 상태이다.
- 활성화물은 다시 반응물이 되거나 생성물로 변한다.

과학 돋보기 **발열 반응과 흡열 반응에서의 활성화 에너지**

- 열화학 반응식 : $A(g) \rightleftharpoons B(g) \quad \Delta H < 0$
 ➔ 정반응의 활성화 에너지(E_a)가 역반응의 활성화 에너지(E_a')보다 작다.
- 열화학 반응식 : $C(g) \rightleftharpoons D(g) \quad \Delta H > 0$
 ➔ 정반응의 활성화 에너지(E_a)가 역반응의 활성화 에너지(E_a')보다 크다.



정답

1. 작, 크
2. 유효

수능 2점 테스트

[26028-0173]

01 다음은 온도 T 에서 강철 용기에 $A(g)$ 를 넣었을 때 일어나는 반응에 대한 자료이다.

- 화학 반응식과 반응 속도식
 $A(g) \rightarrow B(g) + C(g) \quad v = k[A]$ (k 는 반응 속도 상수)
- 반응 시간에 따른 $[A]$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

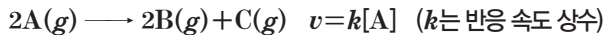
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $A(g)$ 의 반감기는 $2t$ 이다.
- ㄴ. t 일 때 $A(g)$ 의 순간 반응 속도 / $3t$ 일 때 $A(g)$ 의 순간 반응 속도 = 4이다.
- ㄷ. $t \sim 2t$ 동안 $A(g)$ 의 평균 반응 속도 / $0 \sim 2t$ 동안 $A(g)$ 의 평균 반응 속도 = $\frac{1}{3}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0174]

02 다음은 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 와 $C(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 온도 T 에서 강철 용기에 $A(g)$ 를 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 $A(g)$ 의 부분 압력을 나타낸 것이다.

반응 시간	t	$2t$
$A(g)$ 의 부분 압력(상댓값)	2	1

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

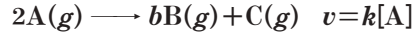
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 혼합 기체의 전체 압력은 t 일 때와 $2t$ 일 때가 같다.
- ㄴ. $A(g)$ 의 반감기는 t 이다.
- ㄷ. t 일 때 $A(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{2}{5}$ 이다.

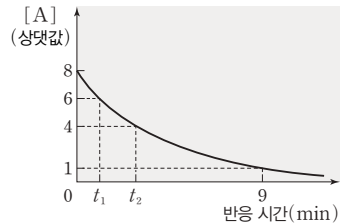
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0175]

03 다음은 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 와 $C(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. b 는 반응 계수이고, k 는 반응 속도 상수이다.



그림은 온도 T 에서 강철 용기에 $A(g)$ 를 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 $[A]$ 를 나타낸 것이다.



t_2 min일 때 $[C] = 10$ 이다.
 t_1 min일 때 $[B]$

이에 대한 설명으로 옳은 것

만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

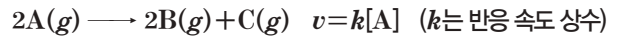
◀ 보기 ▶

- ㄱ. t_2 min일 때 $A(g)$ 의 순간 반응 속도 / t_1 min일 때 $A(g)$ 의 순간 반응 속도 = $\frac{2}{3}$ 이다.
- ㄴ. $t_2 = 3$ 이다.
- ㄷ. 9 min일 때 $B(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{14}{23}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0176]

04 다음은 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 와 $C(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 온도 T 에서 강철 용기에 $A(g)$ 를 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 $\frac{B(g) \text{의 질량}(g) + C(g) \text{의 질량}(g)}{A(g) \text{의 질량}(g)}$ 을 나타낸 것이다.

반응 시간	0	t	$2t$	$3t$
$\frac{B(g) \text{의 질량}(g) + C(g) \text{의 질량}(g)}{A(g) \text{의 질량}(g)}$	0	1	3	x

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

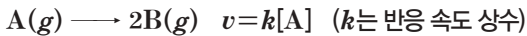
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x = 7$ 이다.
- ㄴ. $t \sim 3t$ 동안 $A(g)$ 의 평균 반응 속도 / $0 \sim t$ 동안 $A(g)$ 의 평균 반응 속도 = $\frac{1}{3}$ 이다.
- ㄷ. 용기 속 기체의 전체 압력 / $[A]$ 은 $2t$ 일 때가 t 일 때의 $\frac{11}{5}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0177]

05 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 온도 T에서 부피가 같은 강철 용기 I과 II에 A(g)를 각각 넣고 반응시킬 때, 반응 전 A(g)의 양(mol)과 반응 시간(t)에 따른 [A]를 나타낸 것이다.

용기	반응 전 A(g)의 양(mol)	[A] (M)		
		t=1 min	t=2 min	t=3 min
I	3n	4a		a
II	n		b	

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

◀ 보기 ▶

ㄱ. A(g)의 반감기는 I에서가 II에서의 3배이다.

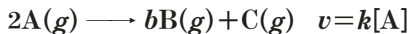
ㄴ. $b = \frac{a}{2}$ 이다.

ㄷ. $\frac{\text{II에서 } 0 \sim 3 \text{ min 동안 A(g)의 평균 반응 속도}}{\text{I에서 } 1 \sim 2 \text{ min 동안 A(g)의 평균 반응 속도}} = \frac{7}{18}$ 이다.

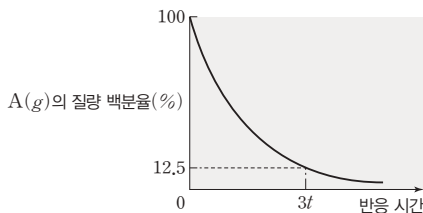
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0178]

06 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. b는 반응 계수이고, k는 반응 속도 상수이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기에 A(g)를 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 A(g)의 질량 백분율을 나타낸 것이다. $\frac{t \text{일 때 } [B]}{3t \text{일 때 } [A]} = 4$ 이다.

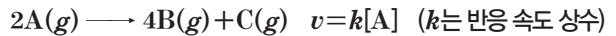


2t일 때 C(g)의 몰 분율은? (단, 온도는 T로 일정하다.)

- ① $\frac{1}{11}$ ② $\frac{3}{17}$ ③ $\frac{3}{11}$ ④ $\frac{3}{8}$ ⑤ $\frac{1}{2}$

[26028-0179]

07 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 온도 T에서 강철 용기에 A(g)를 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 A(g)와 B(g)의 질량을 나타낸 것이다.

반응 시간	0	t	2t
A(g)의 질량(g)	162		40.5
B(g)의 질량(g)		69	

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

◀ 보기 ▶

ㄱ. t일 때 A(g)의 질량 백분율은 50%이다.

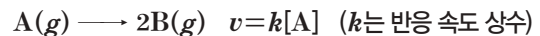
ㄴ. 2t일 때 C(g)의 몰 분율은 $\frac{3}{17}$ 이다.

ㄷ. $\frac{B \text{의 분자량}}{C \text{의 분자량}} > \frac{3}{2}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0180]

08 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 온도 T에서 강철 용기에 A(g)를 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 B(g)의 몰 분율을 나타낸 것이다.

반응 시간	0	t	2t	3t	4t
B(g)의 몰 분율	0	$\frac{2}{3}$	a	$\frac{14}{15}$	

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

◀ 보기 ▶

ㄱ. $\frac{3t \text{일 때 A(g)의 순간 반응 속도}}{t \text{일 때 A(g)의 순간 반응 속도}} = \frac{1}{4}$ 이다.

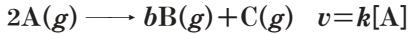
ㄴ. $a < \frac{4}{5}$ 이다.

ㄷ. $\frac{B(g) \text{의 양(mol)}}{A(g) \text{의 양(mol)}}$ 은 4t일 때가 2t일 때의 4배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0181]

09 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. b 는 반응 계수이고, k 는 반응 속도 상수이다.



표는 온도 T 에서 강철 용기에 A(g)를 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 A(g)~C(g)의 양(mol)을 나타낸 것이다.

반응 시간		t	$2t$	$3t$
기체의 양(mol)	A(g)	x		y
	B(g)	2	$\frac{3x}{2}$	
	C(g)	$\frac{x}{2}$		z

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

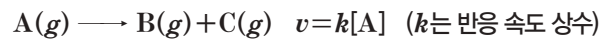
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\frac{b}{x} = \frac{1}{2}$ 이다. ㄴ. $\frac{z}{y} = \frac{7}{2}$ 이다.
 ㄷ. $\frac{0 \sim 2t \text{ 동안 } A(g) \text{의 평균 반응 속도}}{2t \sim 3t \text{ 동안 } A(g) \text{의 평균 반응 속도}} = 3$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

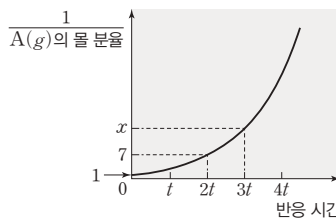
[26028-0182]

10 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



그림은 온도 T 에서 강철 용기에 A(g)를 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른

$\frac{1}{A(g) \text{의 몰 분율}}$ 을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

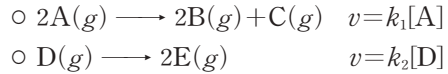
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A(g)의 순간 반응 속도는 t 일 때가 $3t$ 일 때의 4배이다.
 ㄴ. $\frac{t \sim 4t \text{ 동안 } A(g) \text{의 평균 반응 속도}}{0 \sim 2t \text{ 동안 } A(g) \text{의 평균 반응 속도}} = \frac{7}{12}$ 이다.
 ㄷ. $x = 15$ 이다.

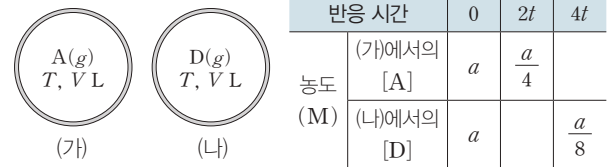
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0183]

11 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가, D(g)로부터 E(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. k_1 과 k_2 는 반응 속도 상수이다.



그림은 온도 T 에서 강철 용기 (가)와 (나)의 초기 상태를, 표는 (가)와 (나)에서 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 반응물의 농도를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

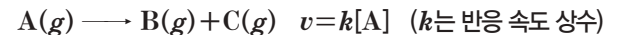
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 $\frac{2t \sim 3t \text{ 동안 생성된 } B(g) \text{의 양(mol)}}{t \sim 2t \text{ 동안 생성된 } C(g) \text{의 양(mol)}} = 1$ 이다.
 ㄴ. (나)에서 D(g)의 반감기는 t 이다.
 ㄷ. $\frac{(나)에서 4t일 때 [E]}{(가)에서 3t일 때 [B]} = 1$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0184]

12 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 온도 T 에서 강철 용기에 A(g)를 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 $\frac{[A]}{[B]}$ 를 나타낸 것이다. $2t$ 일 때 C(g)의 질량 백분율은 35%이다.

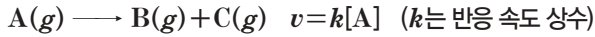
반응 시간	t	$2t$	$3t$
$\frac{[A]}{[B]}$	x		$\frac{1}{7}$

$x \times \frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}}$ 은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

- ① $\frac{5}{4}$ ② $\frac{5}{3}$ ③ $\frac{15}{8}$ ④ $\frac{5}{2}$ ⑤ $\frac{15}{4}$

[26028-0185]

13 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 온도 T에서 강철 용기에 A(g)를 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 용기 속 기체에 대한 자료이다.

반응 시간	t	2t	3t
[B](M)	$\frac{5}{4}$	$\frac{15}{8}$	
$\frac{B(g) \text{의 질량}(g)}{A(g) \text{의 질량}(g)}$			$\frac{28}{11}$

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

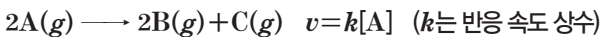
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A(g)의 반감기는 t이다.
- ㄴ. 3t일 때 A(g)의 몰 분율은 $\frac{1}{15}$ 이다.
- ㄷ. $\frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{7}{4}$ 이다.

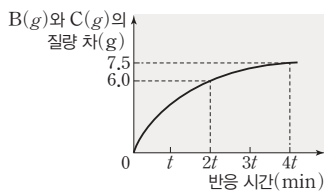
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0186]

14 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기에 A(g) 216 g을 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 B(g)와 C(g)의 질량 차 (|B(g)의 질량 - C(g)의 질량|)를 나타낸 것이다.



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

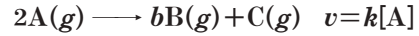
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 2t min일 때 C(g)의 몰 분율은 $\frac{1}{5}$ 이다.
- ㄴ. 3t min일 때, B(g)와 C(g)의 질량의 합은 162 g이다.
- ㄷ. $\frac{0 \sim 2t \text{ min 동안 생성된 } C(g) \text{의 양(mol)}}{2t \sim 4t \text{ min 동안 생성된 } C(g) \text{의 양(mol)}} = 4$ 이다.

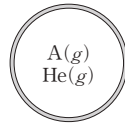
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0187]

15 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. b는 반응 계수이고, k는 반응 속도 상수이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기에 A(g)와 He(g)을 넣은 초기 상태를, 표는 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 $\frac{\text{전체 기체의 압력}}{\text{He}(g) \text{의 부분 압력}}$ 을 나타낸 것이다.



반응 시간	0	t	2t	3t
$\frac{\text{전체 기체의 압력}}{\text{He}(g) \text{의 부분 압력}}$	5	6	x	$\frac{27}{4}$

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

◀ 보기 ▶

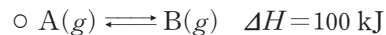
- ㄱ. b = 2이다.
- ㄴ. 3t일 때 B(g)의 몰 분율은 $\frac{14}{27}$ 이다.
- ㄷ. $x = \frac{13}{2}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

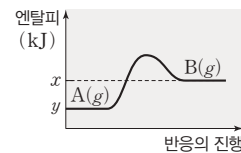
[26028-0188]

16 다음은 25°C, 1 atm에서 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응에 대한 자료이다.

[열화학 반응식]



[반응의 진행에 따른 엔탈피와 활성화 에너지]



- 정반응의 활성화 에너지와 역반응의 활성화 에너지의 합은 280 kJ/mol이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

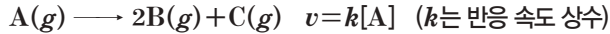
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x - y = 100$ 이다.
- ㄴ. 정반응의 활성화 에너지는 역반응의 활성화 에너지보다 크다.
- ㄷ. 역반응의 활성화 에너지는 90 kJ/mol이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0189]

01 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 온도 T에서 강철 용기 (가)와 (나)에 A(g)를 각각 넣고 반응시킬 때, 각 용기 속 A(g)의 초기 농도와 초기 반응 속도 및 반응이 진행되어 A(g)가 특정 농도가 될 때까지 걸린 시간을 나타낸 것이다.

용기	A(g)의 초기 농도(M)	초기 반응 속도(M·s ⁻¹)	시간(s)	
			[A]= $\frac{a}{10}$ M	[A]= $\frac{a}{20}$ M
(가)		4.5×10^{-4}	t	
(나)	0.4		3t	4t

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

◀ 보기 ▶

- ㄱ. a=1이다.
- ㄴ. (나)에서 2t s일 때 [B]=0.6 M이다.
- ㄷ. T에서 $k=4.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 이다.

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

[26028-0190]

02 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. a와 b는 반응 계수이고, k는 반응 속도 상수이다.

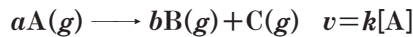
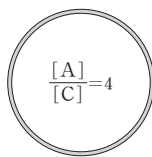
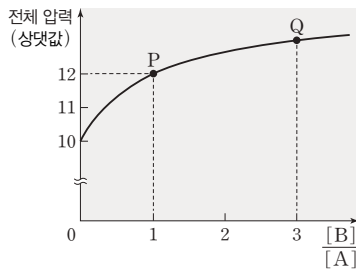


그림 (가)는 온도 T에서 강철 용기에 A(g)와 C(g)를 넣은 초기 상태를, (나)는 반응이 진행될 때 $\frac{[B]}{[A]}$ 에 따른 용기 속 기체의 전체 압력을 나타낸 것이다. [A]+[B]는 반응 시간에 관계없이 항상 일정하다.



(가)



(나)

(나)의 P와 Q에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하고, 역반응은 일어나지 않는다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. P에서 $\frac{[A]}{[C]} = \frac{2}{3}$ 이다.
- ㄴ. [A]는 P에서가 Q에서의 4배이다.
- ㄷ. Q에서 C(g)의 몰 분율은 $\frac{5}{13}$ 이다.

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

(나)에서 4t s일 때 [A]는 3t s일 때 [A]의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

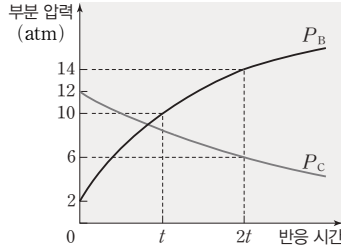
[A]+[B]가 반응 시간에 관계없이 항상 일정하므로 반응 계수 a와 b는 같다.

(가)에서 $t \sim 2t$ 동안 P_B 의 증가량이 $0 \sim t$ 동안 P_B 의 증가량의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

03 다음은 A(g)로부터 B(g)가, C(g)로부터 D(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. k_1 과 k_2 는 반응 속도 상수이다.



그림은 온도 T 에서 강철 용기 (가)에 A(g)와 B(g)를, 강철 용기 (나)에 C(g)를 넣은 후 각 반응이 진행될 때, (가)에서 B(g)의 부분 압력(P_B)과 (나)에서 C(g)의 부분 압력(P_C)을 반응 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하고, 역반응은 일어나지 않는다.)

◀ 보기 ▶

ㄱ. (가)에서 A(g)의 반감기 = $\frac{1}{2}$ 이다.
 ㄴ. (나)에서 C(g)의 반감기 = $\frac{1}{2}$ 이다.

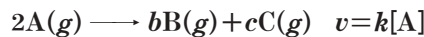
ㄷ. (가)에서 초기 상태 B(g)의 몰 분율은 $\frac{1}{4}$ 이다.

ㄹ. t 일 때, 용기 속 혼합 기체의 전체 압력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

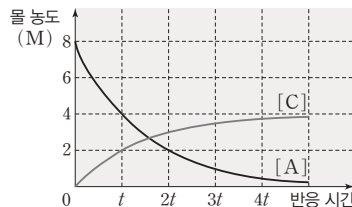
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄹ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[A]는 t 일 때가 초기 상태의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

04 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. b 와 c 는 반응 계수이고, k 는 반응 속도 상수이다.



온도 T 에서 강철 용기에 A(g)를 넣고 반응이 진행될 때, 그림은 반응 시간에 따른 A(g)와 C(g)의 몰 농도를, 표는 반응 시간에 따른 용기 속 기체의 전체 압력을 나타낸 것이다.



반응 시간	0	t	$2t$	$3t$
전체 압력 (상댓값)	16	28		x

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

◀ 보기 ▶

ㄱ. $b=4$ 이다.

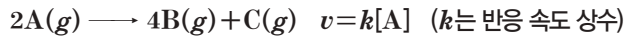
ㄴ. $x=37$ 이다.

ㄷ. $2t$ 일 때 B(g)의 몰 분율은 $\frac{12}{17}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

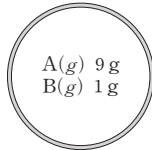
[26028-0193]

05 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기에 A(g)와 B(g)를 넣은 초기 상태를, 표는 반응이 진행될 때 반응 시간에

따른 $\frac{C(g) \text{의 질량(g)}}{A(g) \text{의 질량(g)} + B(g) \text{의 질량(g)}}$ 을 나타낸 것이다.



반응 시간(min)	0	2	4	6
C(g)의 질량(g)	0	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{9}$	x
A(g)의 질량(g) + B(g)의 질량(g)				

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하고, 역반응은 일어나지 않는다.)

◀ 보기 ▶

ㄱ. 2 min일 때 B(g)의 질량은 $\frac{29}{6}$ g이다.

ㄴ. $x = \frac{7}{53}$ 이다.

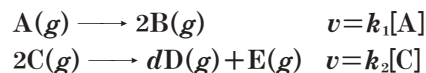
ㄷ. $\frac{A \text{의 분자량}}{C \text{의 분자량}} = \frac{27}{8}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

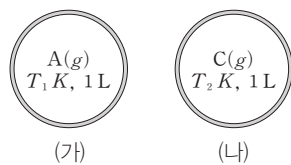
반응이 진행되어도 전체 질량은 10 g으로 일정하다.

[26028-0194]

06 다음은 A(g)로부터 B(g)가, C(g)로부터 D(g)와 E(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식을 나타낸 것이다. d는 반응 계수이고, k₁과 k₂는 반응 속도 상수이다.



그림은 서로 다른 온도 T₁ K와 T₂ K에서 강철 용기 (가)와 (나)의 초기 상태를, 표는 (가)와 (나)에서 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 전체 기체의 양(mol)을 나타낸 것이다. t일 때, $\frac{(나)에서 E(g) \text{의 부분 압력}}{(가)에서 B(g) \text{의 부분 압력}} = \frac{2}{3}$ 이다.



반응 시간		0	t	2t
전체 기체의 양 (mol)	(가)	5n	$\frac{15n}{2}$	
	(나)	8n	11n	$\frac{47n}{4}$

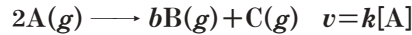
2t일 때, $\frac{(나)에서 D(g) \text{의 부분 압력}}{(가)에서 A(g) \text{의 부분 압력}}$ 은? (단, (가)와 (나)의 온도는 각각 T₁ K와 T₂ K로 일정하다.)

- ① $\frac{10}{3}$ ② $\frac{50}{9}$ ③ $\frac{20}{3}$ ④ $\frac{15}{2}$ ⑤ $\frac{40}{3}$

(가)에서 생성된 B(g)의 양(mol)은 반응한 A(g)의 양(mol)의 2배이므로 반응한 A(g)의 양(mol)만큼 전체 기체의 양(mol)이 증가한다.

t_1 min일 때,
 $\frac{B(g) \text{의 몰 분율}}{A(g) \text{의 몰 분율}}$
 $= \frac{B(g) \text{의 양(mol)}}{A(g) \text{의 양(mol)}} = \frac{[B]}{[A]}$
 $= 6$ 에서 $[A] = \frac{3}{4}$ M이다.

07 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. b 는 반응 계수이고, k 는 반응 속도 상수이다.



표는 온도 T 에서 강철 용기에 A(g)를 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 [A]와 [B]를 나타낸 것이다.

t_1 min일 때, $\frac{B(g) \text{의 몰 분율}}{A(g) \text{의 몰 분율}} = 6$ 이다.

반응 시간(min)	t_1	t_2
[A](M)		$\frac{3}{8}$
[B](M)	$\frac{9}{2}$	$\frac{21}{4}$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

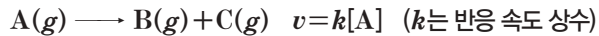
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $b = 2$ 이다.
- ㄴ. t_1 min일 때, $[A] + [C] = \frac{7}{4}$ M이다.
- ㄷ. $t_2 = \frac{3t_1}{2}$ 이다.

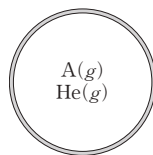
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

초기상태 A(g)의 양을 $16n$ mol, $0 \sim 3t$ 동안 반응한 A(g)의 양을 m mol이라고 하면 $3t$ 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $(16n - m)$ mol, m mol, m mol이다.

08 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



그림은 온도 T 에서 강철 용기에 A(g)와 He(g)을 넣은 초기 상태를 나타낸 것이고, 표는 반응이 진행 될 때 반응 시간에 따른 용기 속 기체에 대한 자료이다.



반응 시간	0	$3t$	$6t$
He(g)의 몰 분율		x	$\frac{4}{35}$
$\frac{B(g) \text{의 양(mol)} + C(g) \text{의 양(mol)}}{A(g) \text{의 양(mol)}}$	0	6	
혼합 기체의 전체 압력(atm)	P		7

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

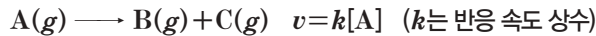
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\frac{t \text{일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}}{4t \text{일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}} = 2$ 이다.
- ㄴ. $x = \frac{1}{6}$ 이다.
- ㄷ. $P = 4$ 이다.

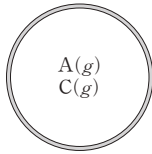
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0197]

09 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기에 A(g)와 C(g)를 넣은 초기 상태를 나타낸 것이고, 표는 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 용기 속 기체에 대한 자료이다.



반응 시간	0	t	2t
A(g)의 몰 분율	$\frac{14}{17}$	x	$\frac{7}{55}$
B(g)의 질량 백분율(%)	0	16	y

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하고, 역반응은 일어나지 않는다.)

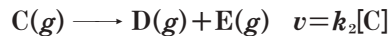
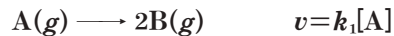
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A(g)의 순간 반응 속도는 t일 때가 2t일 때의 4배이다.
 ㄴ. $x \times y = 7$ 이다.
 ㄷ. $\frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{7}{4}$ 이다.

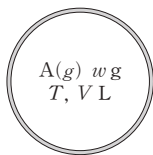
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0198]

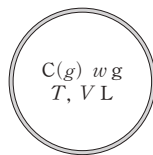
10 다음은 A(g)로부터 B(g)가, C(g)로부터 D(g)와 E(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. k_1 과 k_2 는 반응 속도 상수이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기 (가)와 (나)의 초기 상태를, 표는 (가)와 (나)에서 각 반응이 진행될 때, 반응 시간에 따른 반응물의 농도를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

반응 시간		0	t	2t	3t
농도 (M)	(가)에서의 [A]	a	b	$\frac{a}{8}$	
	(나)에서의 [C]	2	b		$\frac{1}{3}$

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

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 A(g)의 반감기는 $\frac{2t}{3}$ 이다.
 ㄴ. $b > 1$ 이다.
 ㄷ. 분자량은 C가 A보다 크다.

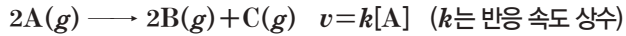
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

초기 상태 A(g)와 C(g)의 양을 각각 14n mol, 3n mol, 0~2t 동안 반응한 A(g)의 양을 m mol이라고 하면 2t일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 (14n-m) mol, m mol, (3n+m) mol이다.

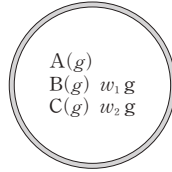
(가)에서 2t일 때 [A]는 초기 상태 [A]의 $\frac{1}{8}$ 배이고, (나)에서 3t일 때 [C]는 초기 상태 [C]의 $\frac{1}{4}$ 배보다는 작고 $\frac{1}{8}$ 배보다는 크다.

4 min 일 때 A(g)의 질량 백분율이 초기 상태 A(g)의 질량 백분율의 $\frac{1}{4}$ 배이므로 A(g)의 반감기는 2 min이다.

11 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기에 A(g)~C(g)를 넣은 초기 상태를, 표는 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 A(g)와 C(g)의 질량 백분율을 나타낸 것이다.



반응 시간(min)		0	2	4
질량 백분율(%)	A(g)	3x		$\frac{3x}{4}$
	C(g)	$\frac{80}{3}$	2x	$\frac{140}{3}$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하고, 역반응은 일어나지 않는다.)

◀ 보기 ▶

ㄱ. $x=20$ 이다.

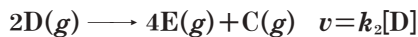
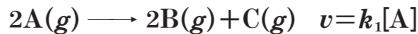
ㄴ. $\frac{w_2}{w_1}=2$ 이다.

ㄷ. $\frac{\text{B의 분자량}}{\text{C의 분자량}} = \frac{2}{3}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(가)에서 $2t \sim 4t$ 의 $2t$ 동안 [C]의 증가량은 $0 \sim 2t$ 의 $2t$ 동안 [C]의 증가량의 $\frac{1}{4}$ 배이다. (나)에서 $2t \sim 4t$ 의 $2t$ 동안 [C]의 증가량은 $0 \sim 2t$ 의 $2t$ 동안 [C]의 증가량의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

12 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가, D(g)로부터 E(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. k_1 과 k_2 는 반응 속도 상수이고, 온도 T에서 $k_1 = 2k_2$ 이다.



실험 (가)는 V L 강철 용기에 A(g) n mol을, 실험 (나)는 V L 강철 용기에 D(g) 2n mol을 넣고 온도 T에서 반응시킨 것이다. 표는 실험 (가)와 (나)에서 반응 시간에 따른 [C]를 나타낸 것이다.

반응 시간		2t	3t	4t
[C](M)	(가)	a	b	$\frac{5a}{4}$
	(나)	$\frac{4a}{3}$		2a

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

◀ 보기 ▶

ㄱ. $\frac{b}{a} = \frac{7}{6}$ 이다.

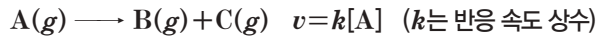
ㄴ. (나)에서 D(g)의 반감기는 t이다.

ㄷ. 2t일 때, $\frac{\text{(가)에서 A(g)의 순간 반응 속도}}{\text{(나)에서 D(g)의 순간 반응 속도}} = 2$ 이다.

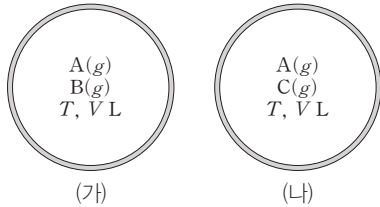
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0201]

13 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기 (가)와 (나)에 A(g)~C(g)를 넣은 초기 상태를, 표는 (가)와 (나)에서 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 C(g)의 질량 백분율을 나타낸 것이다. t min일 때 B(g)의 양(mol)은 (나)에서 (가)에서의 $\frac{7}{5}$ 배이다.



반응 시간(min)		0	t	2t
C(g)의 질량 백분율(%)	(가)	0	16	24
	(나)	20	$\frac{380}{11}$	x

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하고, 역반응은 일어나지 않는다.)

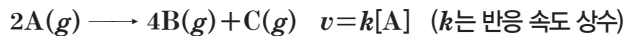
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x < 40$ 이다.
- ㄴ. (가)에서 초기 상태 B(g)의 질량 백분율은 12%이다.
- ㄷ. $\frac{\text{(나) 속 전체 기체의 질량}}{\text{(가) 속 전체 기체의 질량}} = \frac{11}{4}$ 이다.

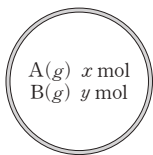
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0202]

14 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기에 A(g)와 B(g)를 넣은 초기 상태를, 표는 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 A(g)의 순간 반응 속도와 C(g)의 몰 분율을 나타낸 것이다.



반응 시간	t	2t	3t
A(g)의 순간 반응 속도(상댓값)	4		1
C(g)의 몰 분율	z	$\frac{1}{7}$	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하고, 역반응은 일어나지 않는다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\frac{x}{y} = \frac{3}{2}$ 이다.
- ㄴ. $z = \frac{1}{10}$ 이다.
- ㄷ. $\frac{3t \text{일 때 } B(g) \text{의 부분 압력}}{2t \text{일 때 혼합 기체의 전체 압력}} = \frac{6}{7}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

각 용기 속 전체 기체의 질량이 일정하게 유지되므로 (가)와 (나) 각각에서 C(g)의 질량 백분율은 C(g)의 질량에 비례한다.

A(g)의 순간 반응 속도는 3t 일 때가 t일 때의 $\frac{1}{4}$ 배이다.

수능 3점 테스트

[26028-0203]

I에서 $t \sim 2t$ 의 t 동안 전체 압력의 증가량은 $0 \sim t$ 의 t 동안 전체 압력의 증가량의 $\frac{1}{4}$ 배이다.

15 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.

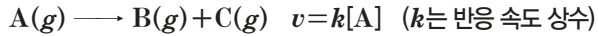
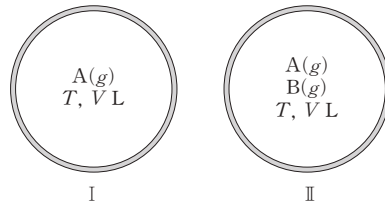
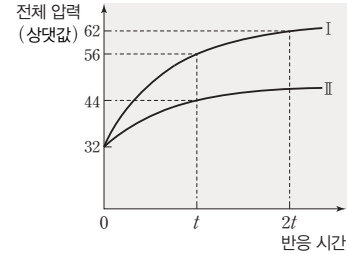


그림 (가)는 온도 T 에서 강철 용기 I과 II의 초기 상태를, (나)는 I과 II에서 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 기체의 전체 압력을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하고, 역반응은 일어나지 않는다.)

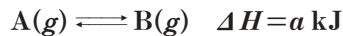
◀ 보기 ▶

- ㄱ. I에서 A(g)의 순간 반응 속도는 t 일 때가 $2t$ 일 때의 2배이다.
- ㄴ. II에서 t 일 때 B(g)의 몰 분율은 $\frac{7}{11}$ 이다.
- ㄷ. $2t$ 일 때 [A]는 I에서가 II에서의 2배이다.

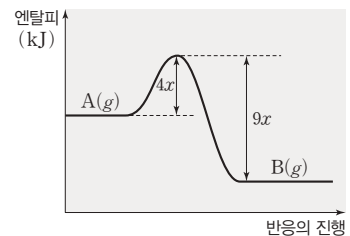
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$\Delta H < 0$ 인 발열 반응에서 역반응의 활성화 에너지는 정반응의 활성화 에너지보다 크다.

16 다음은 25°C , 1 atm에서 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응식이고, 그림은 25°C , 1 atm에서 반응의 진행에 따른 엔탈피를 나타낸 것이다. $|a| = 75$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\Delta H < 0$ 이다.
- ㄴ. 정반응의 활성화 에너지는 역반응의 활성화 에너지보다 크다.
- ㄷ. 역반응의 활성화 에너지는 135 kJ/mol이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

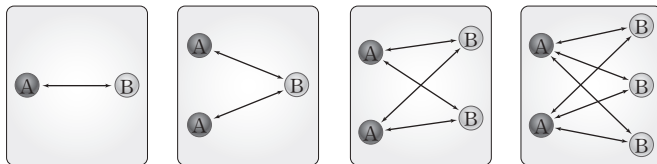
반응 속도에 영향을 미치는 요인

1 충돌 횟수와 반응 속도

(1) 농도와 반응 속도

일반적으로 온도가 일정할 때 반응물의 농도가 증가하면 단위 부피당 입자 수가 증가하여 입자 간의 충돌 횟수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

농도 증가 → 충돌 횟수 증가 → 반응 속도 증가



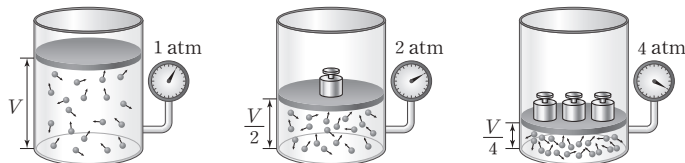
예 농도에 따라 반응 속도가 변하는 경우

- 강철솥은 공기 중에서보다 산소가 든 집기병에서 빠르게 연소된다.
- 탄산 칼슘과 염산의 반응에서 염산의 농도가 증가할수록 반응 속도가 빨라진다.

(2) 기체의 압력과 반응 속도

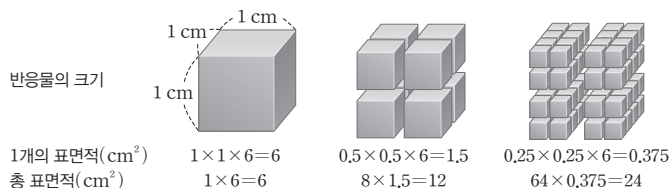
일반적으로 온도가 일정할 때 기체 사이의 반응에서 기체의 부분 압력이 증가하면 단위 부피당 기체 분자 수가 증가하여 충돌 횟수도 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

압력 증가 → 단위 부피당 분자 수 증가 → 충돌 횟수 증가 → 반응 속도 증가



(3) 표면적과 반응 속도

온도가 일정할 때 반응물이 고체인 경우 표면적이 넓어 반응물 사이의 접촉 면적이 커지면 충돌 횟수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.



예 표면적에 따라 반응 속도가 변하는 경우

- 석탄 가루로 인해 탄광에서 폭발 사고가 일어나기 쉽다.
- 알약보다 가루약의 흡수가 더 빠르다.

개념 체크

- **농도와 반응 속도** : 화학 반응이 일어나려면 입자 사이에 충돌이 일어나야 하므로 반응물의 농도가 증가하면 반응 속도가 빨라진다.
- **기체의 압력과 반응 속도** : 온도가 일정할 때 기체의 부분 압력이 증가하면 단위 부피당 기체 분자 수가 증가하여 충돌 횟수도 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

1. 반응물의 농도가 증가하면 입자 간의 충돌 횟수가 ()하여 반응 속도가 ()진다.
2. 기체의 부분 압력이 증가하면 단위 부피당 입자 수가 ()하여 충돌 횟수도 ()하므로 반응 속도가 ()진다.
3. 고체 반응물의 표면적이 ()하면 접촉 면적이 커지고, 충돌 횟수가 ()하므로 반응 속도가 ()진다.

정답

1. 증가, 빨라
2. 증가, 증가, 빨라
3. 증가, 증가, 빨라

개념 체크

⇒ 온도와 반응 속도 : 온도가 높아지면 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 갖는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

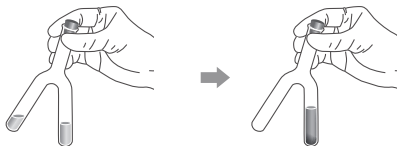
1. 온도가 높아지면 () 에너지 이상의 운동 에너지를 갖는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 () 진다.
2. 온도가 높아지면 활성화 에너지가 감소하므로 반응 속도가 빨라진다. (○, ×)

탐구자료 살펴보기

농도가 반응 속도에 미치는 영향

실험과정

1. Y자 시험관 3개의 한쪽 가지에 각각 0.05 M $\text{NaHSO}_3(aq)$ 6 mL를 넣고 여기에 녹말 용액 2 mL를 첨가한다.
2. 과정 1의 Y자 시험관의 다른 한쪽에 0.1 M $\text{KIO}_3(aq)$ 을 각각 1.4 mL, 2.8 mL, 4.2 mL씩 넣고, 여기에 증류수를 가해 각각의 부피가 6 mL가 되게 한 뒤 시험관을 마개로 막는다.
3. 초시계를 누르면서 3개의 Y자 시험관을 2번씩 뒤집어 두 용액을 잘 섞이게 한다.
4. 한쪽 가지에 혼합 용액을 모은 후 용액의 색이 청람색으로 변하기 시작할 때까지 걸린 시간을 측정한다.



실험결과

시험관	혼합 용액		반응 초기 $\text{KIO}_3(aq)$ 의 농도(M)	색이 변할 때까지 걸린 시간(s)
	0.1 M $\text{KIO}_3(aq)$ 의 부피(mL)	전체 부피(mL)		
I	1.4	14	0.01	36
II	2.8	14	0.02	18
III	4.2	14	0.03	12

분석 point

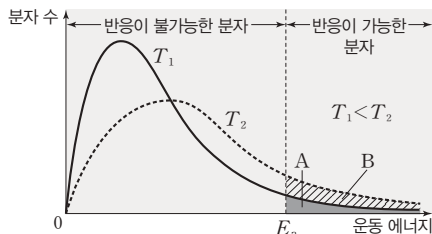
- 용액의 색이 청람색으로 변하기 시작할 때까지의 시간이 짧을수록 반응 속도는 빠르다.
- $\text{NaHSO}_3(aq)$ 과 $\text{KIO}_3(aq)$ 의 반응에서 $\text{NaHSO}_3(aq)$ 의 초기 농도가 일정하면 $\text{KIO}_3(aq)$ 의 초기 농도가 증가할수록 반응 속도가 빨라진다.

2 온도와 반응 속도

(1) 온도와 반응 속도

온도가 높아지면 분자들의 평균 운동 에너지가 증가하고, 활성화 에너지(E_a) 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 증가한다. 따라서 온도가 높아지면 반응이 가능한 분자 수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.

온도 증가 ⇒ 활성화 에너지(E_a) 이상의 에너지를 갖는 분자 수 증가 ⇒ 반응 속도 증가



- A : 온도 T_1 에서 E_a 이상의 에너지를 갖는 분자 수
- B : 온도가 T_1 에서 T_2 로 높아질 때 증가한 E_a 이상의 에너지를 갖는 분자 수

- ① 온도가 T_1 에서 T_2 로 높아져도 전체 분자 수는 변하지 않는다.
- ② 온도가 T_1 에서 T_2 로 높아져도 화학 반응의 활성화 에너지(E_a)는 변하지 않지만, 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수는 온도 T_1 일 때 A에서, 온도 T_2 일 때 (A+B)로 증가하므로 반응 속도는 T_1 에서보다 T_2 에서가 빠르다.

정답

1. 활성화, 빨라
2. ×

(2) 반응 속도 상수와 온도

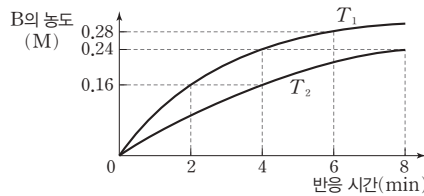
온도가 높아지면 반응 속도식에서 반응 속도 상수(k)의 값이 커지기 때문에 정반응 속도와 역반응 속도가 모두 빨라진다.

예 온도에 따라 반응 속도가 변하는 경우

- 온실에서 식물이 잘 자란다.
- 음식물을 냉장고에 보관하면 실온에서보다 오랫동안 보관할 수 있다.

과학 돋보기 온도와 반응 속도

$2A(g) \longrightarrow B(g)$ 의 반응이 A에 대한 1차 반응일 때 생성물 B의 농도 변화를 통하여 다음과 같은 내용을 알 수 있다.



- 반응물 A의 초기 농도 $[A]_0$: A에 대한 1차 반응이므로 반감기는 일정하다. T_1 에서 2 min일 때 B의 농도가 0.16 M, 4 min일 때 0.24 M, 6 min일 때 0.28 M이다. B의 농도 증가량이 $\frac{1}{2}$ 배씩 감소하는 데 걸린 시간이 2 min으로 일정하므로 T_1 에서 A의 반감기는 2 min이다. 처음 2 min 동안 생성된 B의 농도가 0.16 M이므로 A의 농도 감소량은 0.32 M이다. 따라서 A의 초기 농도 $[A]_0 = 0.32 M \times 2 = 0.64 M$ 이다.
- 반감기와 반응 속도 상수 : 반감기는 T_1 에서 2 min, T_2 에서 4 min이고, 1차 반응에서 반감기가 짧을수록 반응 속도 상수는 크다. T_1, T_2 에서 반응물의 초기 농도가 같으므로 초기 반응 속도는 T_1 일 때가 T_2 일 때보다 빠르다.
- 8 min일 때 각 온도에서의 A의 농도 : T_1 에서 8 min일 때 반감기를 4번 거쳤으므로 A의 농도는 $0.64 \times \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 0.04(M)$ 이고, T_2 에서 8 min일 때 반감기를 2번 거쳤으므로 A의 농도는 $0.64 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 0.16(M)$ 이다.

개념 체크

- ➔ 온도와 반응 속도 상수 : 온도가 높아지면 정반응의 반응 속도 상수와 역반응의 반응 속도 상수가 모두 증가하며, 정반응 속도와 역반응 속도가 모두 빨라진다.
- ➔ 반감기와 반응 속도 상수 : 1차 반응에서 반응 속도 상수가 클수록 반감기가 짧다.

1. 온도가 높아져도 반응 속도 상수는 일정하다. (O, X)
2. 온도가 높아지면 정반응 속도와 역반응 속도가 모두 빨라진다. (O, X)
3. 반응물의 종류와 농도가 같아도 온도가 높을수록 반응 속도 상수가 () 지고, 반응 속도가 빨라지므로 반감기가 () 진다.

탐구자료 살펴보기 온도가 반응 속도에 미치는 영향

- 실험 과정**
1. 시험관 3개에 0.5 M 싸이오황산 나트륨($Na_2S_2O_3$) 수용액을 5 mL씩 넣고, 또 다른 시험관 3개에 1 M 염산을 5 mL씩 넣는다.
 2. 100 mL 비커 3개에 각각 0°C, 25°C, 50°C의 물을 넣은 후 각 비커에 싸이오황산 나트륨 수용액이 담긴 시험관과 염산이 담긴 시험관을 각각 1개씩 넣어 비커에 담긴 물과 온도가 같도록 놓아둔다.
 3. 3개의 삼각 플라스크 바닥에 유성 펜으로 ×표시를 한다.
 4. 온도가 0°C, 25°C, 50°C로 유지되는 장치에 넣은 3개의 삼각 플라스크에 각각 0°C, 25°C, 50°C의 싸이오황산 나트륨 수용액과 염산을 넣어 섞은 후, ×표가 보이지 않을 때까지 걸리는 시간을 측정한다.

실험 결과

온도(°C)	0	25	50
걸린 시간(s)	140	50	42
반응의 빠르기(s^{-1})	0.007	0.02	0.024

분석 point $Na_2S_2O_3(aq)$ 과 염산의 반응에서 온도가 높아질수록 반응 속도가 빨라진다.

정답

1. ×
2. O
3. 커, 짧아

개념 체크

- ➔ **촉매** : 화학 반응에서 자신은 소모되지 않으면서 반응 속도를 변하게 하는 물질이다.
- ➔ **촉매와 활성화 에너지** : 촉매를 사용하면 활성화 에너지의 크기가 달라져서 반응 속도가 변한다.
- ➔ **촉매와 반응 경로** : 촉매를 사용하면 반응 경로가 달라지면서 활성화 에너지가 달라지므로 반응 속도가 변한다.
- ➔ **정촉매** : 활성화 에너지를 감소시켜 반응 속도를 빠르게 한다.
- ➔ **부촉매** : 활성화 에너지를 증가시켜 반응 속도를 느리게 한다.

1. ()를 사용하면 활성화 에너지의 크기를 감소시키므로 반응 속도가 빨라진다.
2. 정촉매를 사용하면 반응 속도 상수가 ()지므로 반응 속도가 빨라진다.
3. 과산화 수소의 분해 반응에서 이산화 망가니즈는 ()로 작용하고, 인산은 ()로 작용한다.

정답

1. 정촉매
2. 커
3. 정촉매, 부촉매

3 촉매와 반응 속도

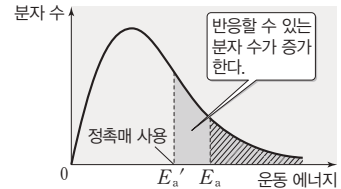
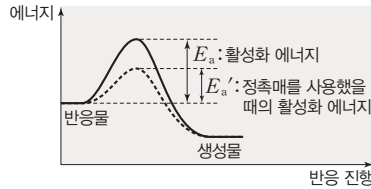
(1) **촉매** : 화학 반응에서 자신은 소모되지 않으면서 반응 속도를 빠르게 또는 느리게 하는 물질이다. 촉매를 사용하면 반응의 활성화 에너지의 크기가 변하여 반응 속도가 달라진다.

촉매 사용 → 활성화 에너지의 크기 변화 → 반응 속도 변화

(2) 촉매의 종류

① **정촉매** : 활성화 에너지의 크기를 감소시켜 반응할 수 있는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

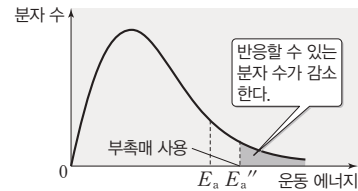
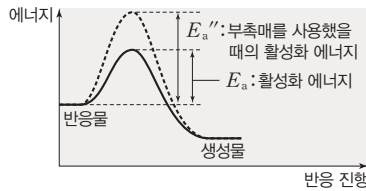
정촉매 사용 → 활성화 에너지 감소 → 반응할 수 있는 분자 수 증가 → 반응 속도 증가



예 과산화 수소수에 이산화 망가니즈를 넣으면 과산화 수소가 물과 산소로 분해되는 속도가 빨라진다.

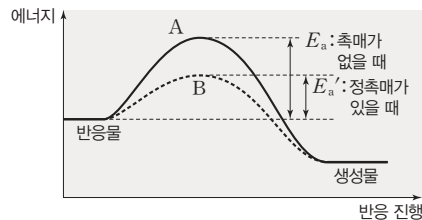
② **부촉매** : 활성화 에너지의 크기를 증가시켜 반응할 수 있는 분자 수가 감소하므로 반응 속도가 느려진다.

부촉매 사용 → 활성화 에너지 증가 → 반응할 수 있는 분자 수 감소 → 반응 속도 감소



예 과산화 수소수에 인산을 넣으면 과산화 수소의 분해 반응 속도가 느려진다.

과학 돋보기 촉매와 반응 경로



촉매를 사용하면 반응 경로가 바뀌면서 활성화 에너지의 크기가 달라지므로 반응 속도가 달라진다. 경로 A는 촉매를 사용하지 않은 것이고, 경로 B는 정촉매를 사용한 것이다.

탐구자료 살펴보기

촉매가 반응 속도에 미치는 영향

실험 과정

1. 눈금실린더 2개에 10% 과산화 수소수($H_2O_2(aq)$)를 10 mL씩 넣고 주방울 세제 2 mL를 각각 넣는다.
2. 한 실린더에는 아무것도 넣지 않고, 다른 실린더에는 소량의 KI(s) 가루를 넣고 변화를 관찰한다.

실험 결과

- 소량의 KI(s)을 넣은 눈금실린더에서 비누 거품이 더 빠르게 생성되었다.

분석 point

KI은 과산화 수소의 분해 반응을 빠르게 일어나게 하는 정촉매이다.

개념 체크

➔ 촉매와 반응 엔탈피(ΔH) : 촉매를 사용해도 화학 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 변하지 않는다.

1. 촉매를 사용하면 화학 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 감소한다. (O, X)

2. 촉매를 사용하면 정반응 속도와 역반응 속도가 모두 달라진다. (O, X)

③ 촉매의 특징

- 촉매는 활성화 에너지의 크기를 변화시키므로 정반응 속도와 역반응 속도를 모두 변화시킨다.
- 촉매를 사용해도 활성화 에너지의 크기만 달라지고, 반응물과 생성물의 에너지는 달라지지 않는다. 따라서 촉매를 사용해도 반응 엔탈피(ΔH)는 변하지 않는다.

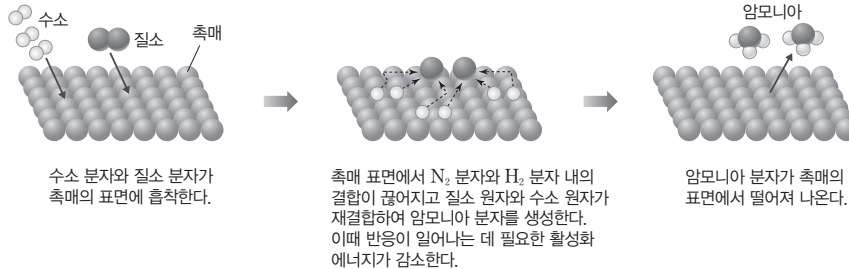
과학 돋보기

암모니아(NH_3) 합성 과정에서 촉매의 역할

암모니아의 합성 반응식은 다음과 같다.



암모니아를 합성할 때 정촉매를 사용하면 활성화 에너지의 크기가 작아지므로 반응 속도가 빨라지며, 정촉매를 사용하기 전보다 낮은 온도에서도 반응이 쉽게 진행된다. 이때 $\Delta H = -92 \text{ kJ}$ 로 변화 없다.

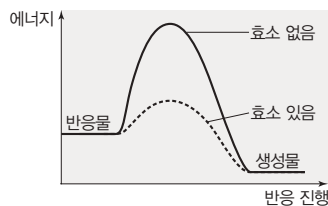


4 생명 현상과 산업 현장에서 촉매의 이용

(1) 효소의 작용

① 효소 : 생물체 내에서 일어나는 여러 가지 화학 반응에서 촉매 역할을 하는 물질이다.

예) $2H_2O_2(aq) \longrightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$ 의 반응에서 효소는 정촉매와 마찬가지로 반응의 활성화 에너지의 크기를 감소시킨다. 효소가 활성화 에너지를 감소시키므로 반응 속도는 효소를 사용할 때가 효소를 사용하지 않을 때보다 빠르다.



정답

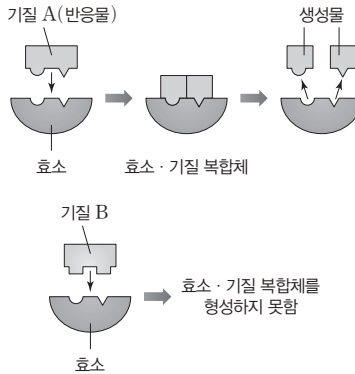
1. X
2. O

개념 체크

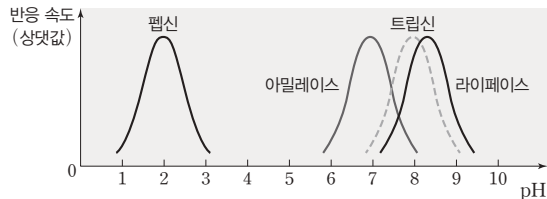
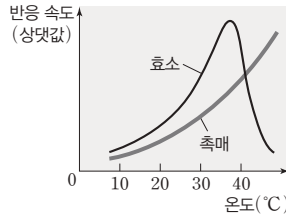
- ➡ 효소 : 생물체 내에서 일어나는 화학 반응에서 촉매 작용을 하는 물질이다.
- ➡ 효소의 기질 특이성 : 효소는 특정 기질과 결합할 수 있는 활성 부위를 가지고 있다.
- ➡ 효소의 작용과 온도 : 효소는 주로 단백질로 이루어져 있으므로 효소가 작용할 수 있는 최적 온도가 있다.
- ➡ 효소의 작용과 pH : 각각의 효소가 작용할 수 있는 최적 pH가 있다.

1. 생물체 내에서 일어나는 화학 반응의 촉매 역할을 하는 물질을 ()라고 한다.
2. 효소는 생물체 내에서 일어나는 화학 반응의 () 에너지를 변화시키는 역할을 한다.
3. 효소는 특정 기질에만 작용하며, 이를 ()이라고 한다.
4. 효소가 작용할 때 온도와 pH의 영향을 받는다. (O, X)
5. 효소는 온도가 너무 높으면 구조가 변화되거나 파괴되어 촉매로 작용하지 않을 수 있다. (O, X)

② 효소의 기질 특이성 : 효소에는 특정 기질과 반응할 수 있는 활성 부위가 존재한다. 따라서 효소는 특정 기질과 반응하며, 다른 기질과는 반응하지 않는 기질 특이성이 있다.



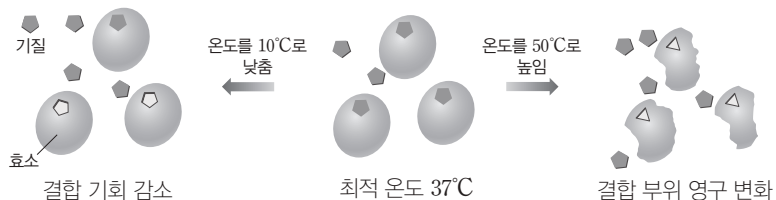
③ 효소의 작용과 온도 및 pH : 효소는 주로 단백질로 이루어져 있기 때문에 온도와 pH의 영향을 받는다. 효소는 백금과 같은 표면 촉매와는 달리 최적 온도와 최적 pH가 있다. 일반적으로 온도가 높아질수록 반응 속도가 증가하지만 효소가 작용하는 반응의 경우 최적 온도 이상으로 온도가 높아지면 효소가 파괴되어 반응 속도가 현저하게 감소한다. 또한 pH에 따라서도 효소의 활성 부위가 파괴될 수 있으므로 효소는 특정 pH에서 반응 속도가 최대가 된다.



④ 효소의 중요성 : 효소는 생체 내에서 일어나는 반응의 촉매 역할을 하므로 시간이 오래 걸리는 반응들의 반응 속도를 빠르게 하여 반응이 쉽게 일어날 수 있게 하는 역할을 한다.

과학 돋보기

효소와 온도



일반적으로 온도가 높아질수록 반응 속도가 증가하지만, 효소가 작용하는 반응의 경우 온도가 너무 낮으면 기질과의 결합 기회가 감소하여 반응 속도가 느려지고 온도가 너무 높으면 효소가 파괴되어 반응 속도가 느려진다. 따라서 효소가 작용하는 최적 온도가 있다.

정답

1. 효소
2. 활성화
3. 기질 특이성
4. O
5. O

- ⑤ 효소의 이용 : 주로 식품에 이용하고 있으며 포도주, 치즈, 된장, 청국장, 식혜, 김치 등이 효소를 이용한 발효 식품의 예이다.

개념 체크

➔ **효소의 열쇠·자물쇠 모형** : 효소는 열쇠, 기질은 자물쇠에 비유하여 효소가 특정 기질과만 반응하는 기질 특이성을 설명한다.

1. 효소의 ()는 특정 기질과 반응하여 기질 특이성을 나타낸다.
2. 효소는 모든 온도에서 반응 속도를 빠르게 해 준다. (O, X)

탐구자료 살펴보기 **효소의 구조와 기능**

목적 효소의 구조와 기능에 대한 열쇠·자물쇠 모형을 알아본다.

자료 그림은 효소의 기질 특이성에 대한 모형을 나타낸 것이다.

분석 point

- 효소는 열쇠, 기질은 자물쇠에 비유할 수 있다. 자물쇠는 특정 열쇠로만 열 수 있고 다른 열쇠로는 열리지 않으므로 효소의 특성을 설명할 수 있는 모형이다.
- 효소는 특정 기질과 반응할 수 있는 활성 부위가 존재하기 때문에 다른 기질과는 반응하지 않는다. 즉, 효소는 특정 기질과만 반응하는 기질 특이성을 갖는다.
- 기질 특이성을 갖는 효소는 다른 촉매에 비하여 활성화 에너지를 더 크게 감소시킬 수 있기 때문에 효율적으로 반응 속도를 빠르게 하는 역할을 한다.

(2) 현대 산업과 촉매

촉매를 사용하면 활성화 에너지가 낮아지므로 낮은 온도에서 반응이 빠르게 일어날 수 있어서 산업에서 제조 비용의 감소, 시간의 단축, 생산량 증가의 측면에서 매우 유용하다.

- ① 효소의 산업적 이용 : 효소를 산업에 적용하여 효율적으로 이용할 수 있다.

분류	효소의 이용	효소(주성분)
식품	녹말을 엿당으로 분해시킨다.	아밀레이스
	유지방을 지방산으로 분해시켜 치즈의 생성 속도를 빠르게 한다.	라이페이스
생활용품	세탁물의 때를 빠르게 분해시킬 수 있다. 콘택트렌즈에 남아 있는 단백질질을 빠르게 분해시킬 수 있다.	프로테이스, 라이페이스 등
의약품	소화 효소를 포함한 소화제를 복용하면 소화가 빨리 된다.	펩신, 아밀레이스, 프로테이스 등

② 표면 촉매

- 백금(Pt), 팔라듐(Pd), 니켈(Ni)과 같은 다양한 금속이 포함된 고체 상태의 촉매로 암모니아의 합성, 탄소 사이의 2중 결합의 수소화 반응 등에 널리 사용되고 있다.
- 표면 촉매의 작용은 기체 또는 액체 상태의 반응물이 고체 상태의 촉매 표면에 흡착되어 일어난다.

정답

1. 활성 부위
2. X

개념 체크

- ➔ **표면 촉매** : 금속이 포함된 고체 상태의 촉매
- ➔ **유기 촉매** : 유기물로 이루어진 촉매
- ➔ **광촉매** : 빛에너지를 받을 때 촉매 작용을 일으키는 물질

1. 암모니아 합성에 촉매로 이용되는 철(Fe)은 () 촉매이다.
2. 빛에너지를 받을 때 촉매 작용을 일으키는 물질을 ()라고 한다.

예 에텐(C₂H₄)의 수소화 반응에서 표면 촉매의 작용



• 표면 촉매는 촉매로서의 활성이 높아서 널리 사용되지만, 불안정하고 부수적인 반응물에 대한 예측이 어려워서 폐기물의 문제가 나타나기도 한다.

③ 유기 촉매

- 반응을 조절하기 어려운 표면 촉매의 단점을 보완하고자 유기물 형태로 유기 촉매를 만들어 사용하고 있다.
- 유기 촉매는 반응의 선택성이 높고, 쉽게 분해될 수 있다.

예 의약품의 합성 과정에서 유기 촉매로 사용할 수 있는 프롤린(C₅H₉NO₂)

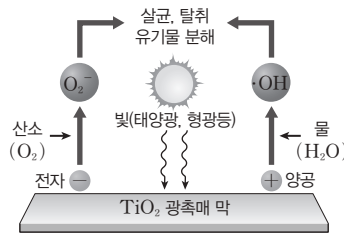
④ 광촉매

- 빛에너지를 받을 때 촉매 작용을 일으키는 물질을 광촉매라고 한다.
- 이산화 타이타늄(TiO₂)이 가장 널리 사용되며, TiO₂은 빛에너지를 받으면 물을 수소와 산소로 분해하거나 유기물을 분해하는 특징을 나타낸다.

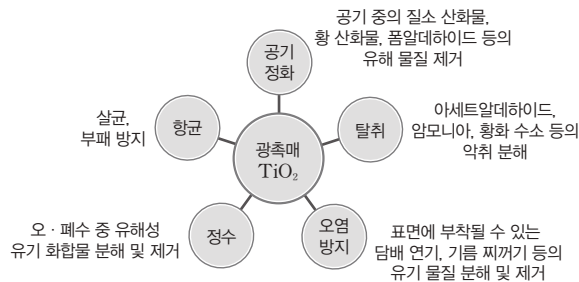
예 TiO₂은 수소 연료 전지에 수소를 공급하는 장치나 공기 청정기, 타일, 벽지 등의 세균 번식을 막는 데 이용된다.

과학 돋보기 광촉매의 작용과 이용

• 광촉매인 TiO₂에 빛에너지를 가하면 공기 중의 산소와 수분으로부터 에너지가 높은 활성화물이 만들어지고 이 물질들이 오염 물질을 분해하게 된다.



• 광촉매는 항균, 공기 정화, 탈취, 정수, 오염 방지 등에 활용할 수 있다.



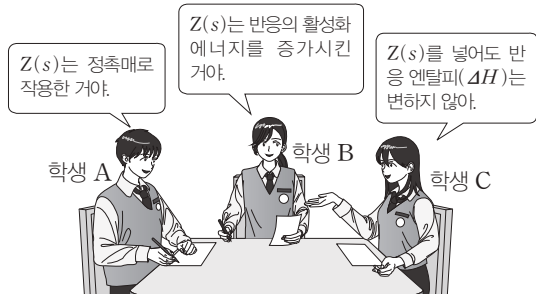
정답

1. 표면
2. 광촉매

수능 2점 테스트

[26028-0205]

01 다음은 온도 T 에서 $X(g)$ 로부터 $Y(g)$ 가 생성되는 반응의 열화학 반응식과 이 반응에서 촉매로 작용하는 $Z(s)$ 를 첨가했을 때 반응 속도가 증가한 것에 대한 학생들의 대화이다.

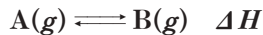


제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하다.)

- ① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

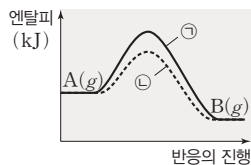
[26028-0206]

02 다음은 온도 T 에서 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 가 생성되는 반응의 열화학 반응식이다.



표는 온도 T 에서 부피가 같은 2개의 강철 용기에 $A(g)$ 1 mol을 각각 넣고 반응시킨 실험 (가)와 (나)에 대한 자료이고, 그림은 반응의 진행에 따른 엔탈피를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 (가)와 (나)를 순서 없이 나타낸 것이다.

실험	첨가한 촉매	초기 반응 속도 ($M \cdot s^{-1}$)
(가)	없음	v
(나)	$X(s)$	$3v$



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 촉매의 첨가를 제외한 반응 조건은 동일하다.)

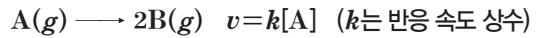
◀ 보기 ▶

ㄱ. $\Delta H < 0$ 이다.
 ㄴ. $X(s)$ 는 부촉매이다.
 ㄷ. ㉠은 (나)이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0207]

03 다음은 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 부피가 같은 강철 용기 (가)와 (나)에 $A(g)$ 를 각각 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 $A(g)$ 의 양(mol)을 나타낸 것이다. (가)와 (나)의 온도는 각각 T_1 K와 T_2 K로 일정하다.

반응 시간		0	$2t$	$4t$
A(g)의 양(mol)	(가)	a	$\frac{a}{2}$	
	(나)		$\frac{a}{2}$	$\frac{a}{8}$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

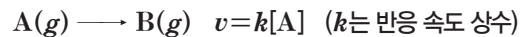
◀ 보기 ▶

ㄱ. $T_2 > T_1$ 이다.
 ㄴ. $2t$ 일 때 $A(g)$ 의 순간 반응 속도는 (가)와 (나)에서 같다.
 ㄷ. $4t$ 일 때 $B(g)$ 의 양(mol)은 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{5}{2}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26028-0208]

04 다음은 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 온도 T 에서 4개의 강철 용기에 $A(g)$ 를 각각 넣고 반응시킨 실험 I~IV에 대한 자료이다. ㉠~㉣은 정촉매, 부촉매, 없음을 순서 없이 나타낸 것이다.

실험	A(g)의 초기 농도(M)	첨가한 촉매	초기 반응 속도 (상댓값)
I	a	㉠	1
II	$2a$	㉡	1
III	a	㉢	x
IV	a	㉣	3

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 초기 농도와 촉매의 첨가를 제외한 반응 조건은 동일하다.)

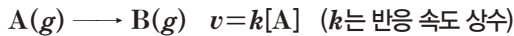
◀ 보기 ▶

ㄱ. ㉠은 정촉매이다. ㄴ. $x > 1$ 이다.
 ㄷ. 반응의 활성화 에너지는 III에서가 IV에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0209]

05 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 부피가 같은 4개의 강철 용기에 A(g) 1 mol을 각각 넣고 반응시킨 실험 (가)~(라)에 대한 자료이다. ㉠과 ㉡은 정촉매와 부촉매를 순서 없이 나타낸 것이다.

실험	온도(K)	첨가한 촉매	초기 반응 속도(상댓값)
(가)	T_1	없음	2
(나)	T_1	㉠	3
(다)	T_2	㉡	2
(라)	T_2	없음	x

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도와 촉매의 첨가를 제외한 반응 조건은 동일하다.)

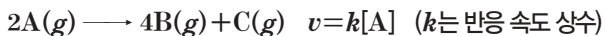
◀ 보기 ▶

- ㄱ. ㉡은 정촉매이다.
- ㄴ. $x < 2$ 이다.
- ㄷ. $T_2 > T_1$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0210]

06 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 부피가 같은 2개의 강철 용기에 물질의 종류와 양을 달리하여 넣고 반응시킨 실험 (가)와 (나)에 대한 자료이다. (가)와 (나)의 온도는 각각 T_1 과 T_2 로 일정하며, A(g)의 반감기는 T_1 에서 T_2 에서의 2배이다.

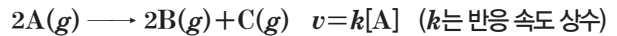
실험	반응 전 용기 속 기체		$\frac{B \text{의 양(mol)}}{A \text{의 양(mol)}}$		
	종류	전체 양(mol)	$t=0$	$t=1 \text{ min}$	$t=2 \text{ min}$
(가)	A(g)	$4n$	0		2
(나)	A(g), B(g)	$3n$	x	$6x$	

$t=2 \text{ min}$ 일 때 $\frac{\text{(가)에서 전체 기체의 양(mol)}}{\text{(나)에서 전체 기체의 양(mol)}} \times x$ 는? (단, 역반응은 일어나지 않는다.)

- ① $\frac{1}{6}$ ② $\frac{1}{3}$ ③ $\frac{1}{2}$ ④ $\frac{2}{3}$ ⑤ $\frac{3}{4}$

[26028-0211]

07 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 부피가 같은 강철 용기 (가)와 (나)에 같은 양(mol)의 A(g)를 각각 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 [A]를 나타낸 것이다. 반응이 진행되는 동안 (가)와 (나)의 온도는 각각 T_1 과 T_2 로 일정하다.

반응 시간		t	$2t$	$3t$
[A](M)	(가)	x	$\frac{1}{2}$	$\frac{x}{8}$
	(나)	2		y

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

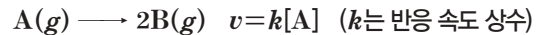
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $y = \frac{1}{2}$ 이다.
- ㄴ. A(g)의 반감기는 T_1 에서 T_2 에서보다 길다.
- ㄷ. $2t$ 일 때, $\frac{\text{(가)에서 B(g)의 양(mol)}}{\text{(나)에서 C(g)의 양(mol)}} = \frac{7}{3}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0212]

08 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 온도 T 에서 강철 용기에 A(g)와 He(g)을 넣고 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 용기 속 [A]+[B]+[He]를 나타낸 것이다. 10 min일 때 [B]는 초기 상태 [A]와 같으며, 20 min과 30 min 사이의 특정 시점에 소량의 정촉매 X(s)를 첨가하였다.

반응 시간(min)	0	10	20	30
[A]+[B]+[He](M)	5	a	$\frac{29}{4}$	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T 로 일정하며, X(s)의 부피는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $a = \frac{13}{2}$ 이다.
- ㄴ. 20 min일 때 He(g)의 몰 분율은 $\frac{8}{29}$ 이다.
- ㄷ. 30 min일 때, $\frac{B(g) \text{의 질량}}{A(g) \text{의 질량}} > 7$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0213]

01 다음은 탄산 칼슘과 묽은 염산의 반응을 화학 반응식으로 나타낸 것이다.



표는 1 g의 $\text{CaCO}_3(s)$ 을 충분한 양의 $\text{HCl}(aq)$ 과 반응시킬 때, 농도, 온도, 고체 반응물의 표면적이 반응 속도에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험 I~V의 조건이다.

실험	I	II	III	IV	V
$\text{HCl}(aq)$ 75 mL의 몰 농도(M)	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
온도(°C)	10	25	25	25	10
$\text{CaCO}_3(s)$ 의 형태	굵은 알갱이	굵은 알갱이	고운 가루	고운 가루	굵은 알갱이

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 농도, 온도, 고체 반응물의 표면적 이외의 조건은 모두 동일하다.)

◀ 보기 ▶

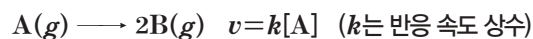
- ㄱ. ㉠은 H_2 이다.
 ㄴ. 초기 반응 속도는 I에서가 II에서보다 빠르다.
 ㄷ. 고체 반응물의 표면적이 반응 속도에 미치는 영향을 알아보기 위한 2가지 실험으로 가장 적절한 것은 II와 III이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$\text{CaCO}_3(s)$ 이 고운 가루일 때가 굵은 알갱이일 때보다 표면적이 넓다.

[26028-0214]

02 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 4개의 강철 용기에 A(g)를 각각 넣고 반응시킨 실험 I~IV에 대한 자료이다. ㉠과 ㉡은 정촉매와 부촉매를 순서 없이 나타낸 것이다.

실험	온도(K)	A(g)의 초기 농도(M)	첨가한 촉매	초기 반응 속도(상댓값)
I	T_1	a	없음	5
II	T_1	a	㉠	8
III	T_1	$2a$	없음	b
IV	T_2	$2a$	㉡	14

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도, 초기 농도, 촉매의 첨가를 제외한 반응 조건은 동일하다.)

◀ 보기 ▶

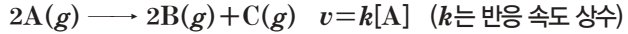
- ㄱ. $b = 10$ 이다. ㄴ. ㉠은 부촉매이다.
 ㄷ. $T_1 > T_2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

온도가 같고, 촉매를 첨가하지 않은 실험 I과 III에서 반응 속도 상수는 같다.

초기 반응 속도는 초기 상태 [A]에 비례한다.

03 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 온도 T에서 부피가 다른 3개의 강철 용기에 물질의 종류와 양을 달리하여 넣고 반응시킨 실험 (가)~(다)에 대한 자료이다. 온도 T에서 A(g)의 반감기는 t이다.

실험	용기의 부피(L)	반응 전 용기 속 기체			초기 반응 속도 (M·s ⁻¹)
		종류	A(g)의 몰 분율	혼합 기체의 전체 양(mol)	
(가)	4	A(g), B(g)	$\frac{4}{5}$	5	12x
(나)	2	A(g), B(g)	$\frac{5}{6}$	n	15x
(다)	V	A(g), C(g)	$\frac{1}{3}$	12	8x

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하고, 역반응은 일어나지 않는다.)

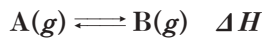
◀ 보기 ▶

- ㄱ. n=4이다.
- ㄴ. V=5이다.
- ㄷ. (가)에서 반응 시간이 t일 때 B(g)의 몰 분율은 $\frac{1}{2}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

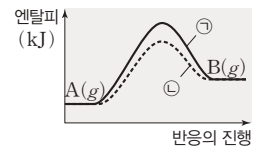
촉매 X(s)를 넣은 (나)에서가 촉매를 넣지 않은 (가)에서보다 활성화 에너지가 크다.

04 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응식이다.



표는 온도 T에서 이 반응이 일어날 때 촉매를 사용하지 않은 경우 (가)와 촉매 X(s)를 첨가한 경우 (나)에서 활성화 에너지에 대한 자료이고, 그림은 반응의 진행에 따른 엔탈피를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 (가)와 (나)를 순서 없이 나타낸 것이다.

구분	첨가한 촉매	정반응의 활성화 에너지(kJ/mol)	역반응의 활성화 에너지 / 정반응의 활성화 에너지
(가)	없음	a	b
(나)	X(s)	1.2a	



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

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\Delta H < 0$ 이다.
- ㄴ. b < 1이다.
- ㄷ. ㉠은 (가)이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0217]

05 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.

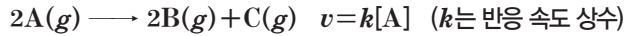
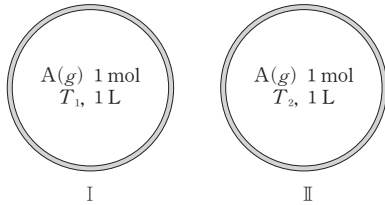
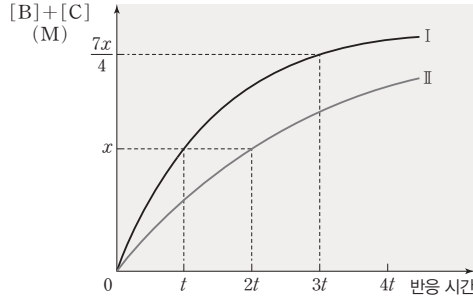


그림 (가)는 서로 다른 온도 T_1 과 T_2 에서 강철 용기 I과 II에 A(g)를 넣은 초기 상태를, (나)는 I과 II에서 반응이 진행될 때, 반응 시간에 따른 [B]+[C]를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, I과 II의 온도는 각각 T_1 과 T_2 로 일정하다.)

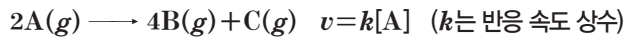
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x = \frac{3}{2}$ 이다.
- ㄴ. $\frac{T_2 \text{에서 } A(g) \text{의 반감기}}{T_1 \text{에서 } A(g) \text{의 반감기}} = 2$ 이다.
- ㄷ. II에서 4t일 때 [A] = $\frac{4}{7}$ 이다.

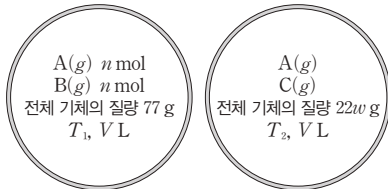
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0218]

06 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



그림은 강철 용기 (가)와 (나)에 A(g)~C(g)를 넣은 초기 상태를, 표는 (가)와 (나)에서 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 B(g)와 C(g)의 질량의 합을 나타낸 것이다. (가)에서 A(g)의 반감기는 t이다.



(가)

(나)

반응 시간		0	t	2t
B(g)와 C(g)의 질량의 합 (g)	(가)		50	$\frac{127}{2}$
	(나)	4w	$\frac{35w}{2}$	

(나)에서 t일 때 C(g)의 몰 분율은? (단, (가)와 (나)의 온도는 각각 T_1 과 T_2 로 일정하고, 역반응은 일어나지 않는다.)

- ① $\frac{1}{3}$ ② $\frac{9}{23}$ ③ $\frac{2}{5}$ ④ $\frac{5}{11}$ ⑤ $\frac{11}{19}$

반응에서 [B]의 증가량은 [A]의 감소량과 같고, [C]의 증가량은 $\frac{[A] \text{의 감소량}}{2}$ 과 같다.

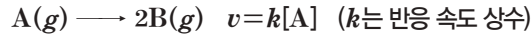
전체 질량이 일정하므로 (B(g)의 질량+C(g)의 질량)의 증가량은 A(g)의 질량의 감소량과 같다.

수능 3점 테스트

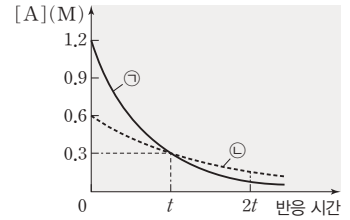
[26028-0219]

t 일 때 반응물의 농도는 ㉠에서 초기 농도의 $\frac{1}{4}$ 배이고, ㉡에서는 초기 농도의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

07 다음은 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



그림은 온도 T_1 에서 V_1 L 강철 용기(가)에 $A(g)$ n mol을, 온도 T_2 에서 V_2 L 강철 용기(나)에 $A(g)$ $\frac{n}{2}$ mol을 넣은 후, (가)와 (나)에서 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 $[A]$ 를 나타낸 것이다. k 는 T_2 에서가 T_1 에서의 2배이며, ㉠과 ㉡은 (가)와 (나)를 순서 없이 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, (가)와 (나)의 온도는 각각 T_1 과 T_2 로 일정하다.)



◀ 보기 ▶

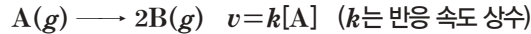
- ㄱ. $A(g)$ 의 반감기는 ㉠과 ㉡에서 같다. ㄴ. $\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{4}$ 이다.
 ㄷ. $2t$ 일 때, $\frac{\text{(나)에서 } [A]}{\text{(가)에서 } [B]} = \frac{1}{12}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

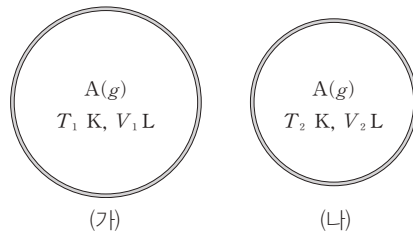
(가)에서 $2t$ 일 때 $A(g)$ 의 양 (mol)은 t 일 때 $A(g)$ 의 양 (mol)의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

[26028-0220]

08 다음은 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



그림은 서로 다른 온도에서 강철 용기 (가)와 (나)에 $A(g)$ 를 넣은 초기 상태를, 표는 (가)와 (나)에서 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 $A(g)$ 의 양(mol)을 나타낸 것이다. $2t$ 일 때 (가)와 (나)에서 $[B]$ 는 같고, $3t$ 일 때 (가)에서 $B(g)$ 의 부분 압력 $\frac{3t}{2t}$ 일 때 (나)에서 $A(g)$ 의 부분 압력 $= \frac{4}{3}$ 이다.



반응 시간		0	t	$2t$	$3t$
$A(g)$ 의 양 (mol)	(가)	a	6	3	$\frac{3}{2}$
	(나)	18		a	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, (가)와 (나)의 온도는 각각 T_1 K와 T_2 K로 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\frac{T_2 \text{ K에서 } A(g) \text{의 반감기}}{T_1 \text{ K에서 } A(g) \text{의 반감기}} < 2$ 이다. ㄴ. $\frac{V_1}{V_2} = \frac{8}{5}$ 이다.
 ㄷ. $\frac{T_1}{T_2} = \frac{8}{7}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 전기 화학과 이용

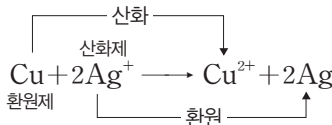
1 화학 전지

(1) 산화 환원 반응

① 산화와 환원 : 산화는 산소를 얻거나 전자를 잃거나 산화수가 증가하는 반응이고, 환원은 산소를 잃거나 전자를 얻거나 산화수가 감소하는 반응이다.

산화 환원 정의 기준	산소	전자	산화수
산화(Oxidation)	얻음	잃음	증가
환원(Reduction)	잃음	얻음	감소

- ② 산화제와 환원제 : 산화제는 자신은 환원되면서 다른 물질을 산화시키는 물질이고, 환원제는 자신은 산화되면서 다른 물질을 환원시키는 물질이다.
- ③ 산화와 환원의 동시성 : 한 물질이 전자를 잃어 산화될 때 다른 물질이 그 전자를 얻어 환원되므로 산화 반응과 환원 반응은 항상 동시에 일어난다.



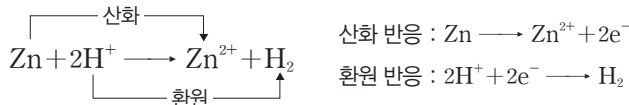
구리(Cu)는 전자를 잃고 구리 이온(Cu²⁺)으로 산화되고, 은 이온(Ag⁺)은 그 전자를 얻어 은(Ag)으로 환원된다. 이처럼 산화 반응과 환원 반응은 항상 동시에 일어난다.

(2) 금속의 반응성

① 금속들은 공기 중의 산소, 물, 산 수용액과 반응하는 정도가 서로 다르다. → 금속이 공기 중의 산소, 물, 산 수용액과 반응하는 정도에 따라 금속의 반응성 순서가 정해진다.

금속	K	Ca	Na	Mg	Al	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb	(H)	Cu	Hg	Ag	Pt	Au
공기 중의 산소와의 반응	상온에서 산화됨											상온에서 산화되지 않음				
물과의 반응	천물과도 반응하여 수소 발생			고온의 수증기와 반응하여 수소 발생				반응하지 않음								
산과의 반응	묽은 산과 반응하여 수소 발생												진한 질산, 진한 황산과 반응		왕수와 반응	

② 금속과 산의 반응 : 산 수용액에 수소(H₂)보다 반응성이 큰 금속(Zn, Fe, Ni 등)을 넣으면 금속은 산화되어 양이온이 되고, H⁺이 환원되어 수소(H₂) 기체가 발생한다. 수소(H₂)보다 반응성이 작은 금속(Au, Pt, Ag, Hg, Cu)은 H⁺과 반응하지 않는다.



③ 이온화 경향 : 금속 원소는 일반적으로 전자를 잃고 양이온이 되려는 성질이 있는데 이를 이온화 경향이라고 한다. 금속의 이온화 경향이 클수록 전자를 잃고 산화되기 쉽다.

K	Ca	Na	Mg	Al	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb	(H)	Cu	Hg	Ag	Pt	Au
칼륨	칼슘	나트륨	마그네슘	알루미늄	아연	철	니켈	주석	납	수소	구리	수은	은	백금	금

← 이온화 경향이 큼 전자를 잃기 쉬움 산화되기 쉬움 이온화 경향이 작음 전자를 잃기 어려움 산화되기 어려움 →

개념 체크

- ① 산화 : 산소를 얻거나 전자를 잃거나 산화수가 증가하는 반응이다.
- ② 환원 : 산소를 잃거나 전자를 얻거나 산화수가 감소하는 반응이다.
- ③ 이온화 경향은 금속의 종류에 따라 다르며, 이온화 경향이 클수록 전자를 잃고 산화되기 쉽다.

1. 자신은 환원되면서 다른 물질을 산화시키는 물질은 ()라고 하고, 자신은 산화되면서 다른 물질을 환원시키는 물질은 ()라고 한다.
2. Cu와 Ag⁺의 반응에서 Cu는 전자를 잃고 (산화 / 환원)되고, Ag⁺은 전자를 얻어 (산화 / 환원)된다.
3. 금속 원소가 전자를 잃고 양이온이 되려는 성질을 () 경향이라고 한다.

정답

1. 산화제, 환원제
2. 산화, 환원
3. 이온화

개념 체크

→ 화학 전지 : 자발적인 산화 환원 반응을 이용하여 화학 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 장치이다.

1. Zn(s)을 $\text{CuSO}_4(aq)$ 에 넣어 주면 Zn은 Zn^{2+} 으로 (산화 / 환원)되고, Cu^{2+} 은 Cu로 (산화 / 환원)된다.
2. 금속 A(s)를 금속 이온(B⁺)이 들어 있는 수용액에 넣어 산화 환원 반응이 일어났다면, 금속의 이온화 경향은 A가 B보다 (크다 / 작다).
3. 이온화 경향이 서로 다른 두 금속을 전극으로 하여 화학 전지를 구성하였을 때 이온화 경향이 큰 금속이 (+ / -)극이 되고, 이온화 경향이 작은 금속이 (+ / -)극이 된다.
4. 화학 전지의 (-)극에서는 (산화 / 환원) 반응이, (+)극에서는 (산화 / 환원) 반응이 일어난다.

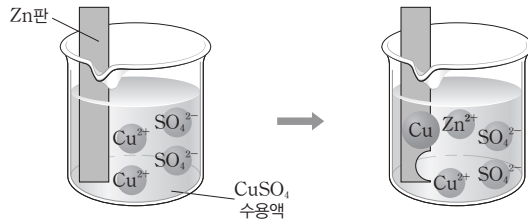
정답

1. 산화, 환원
2. 크다
3. -, +
4. 산화, 환원

탐구자료 살펴보기

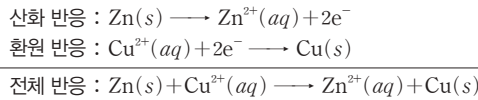
금속과 금속 이온의 반응

실험 과정 그림과 같이 황산 구리(CuSO_4) 수용액에 아연(Zn)판을 담근 후, 일어나는 변화를 관찰한다.



실험 결과 황산 구리(CuSO_4) 수용액의 푸른색이 점차 옅어지고 Zn판 표면에 Cu가 석출된다.

분석 point Zn은 전자를 잃고 Zn^{2+} 으로 산화되고, Zn판 표면에서 Cu^{2+} 은 전자를 얻어 Cu로 환원된다.



과학 돋보기

금속의 반응성과 산화 환원 반응

• 금속의 반응성은 금속이 전자를 잃고 산화되어 양이온이 되기 쉬운 정도를 나타낸다.

$\text{Mg} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Fe} > (\text{H}) > \text{Cu} > \text{Ag}$		
전자를 잃기 쉬움	←————→	전자를 잃기 어려움
산화되기 쉬움	←————→	산화되기 어려움
양이온이 되기 쉬움	←————→	양이온이 되기 어려움
반응성이 큼	←————→	반응성이 작음
이온화 경향이 큼	←————→	이온화 경향이 작음

• 금속의 반응성 비교와 산화 환원 반응 : 금속 이온(A^{n+})이 들어 있는 수용액에 다른 금속(B)을 넣었을 때, 반응성이 $\text{B} > \text{A}$ 이면 전자가 이동하는 산화 환원 반응이 일어난다. 상대적으로 반응성이 큰 금속은 반응성이 작은 금속 이온에게 전자를 주고 양이온이 된다.

예 반응성이 아연(Zn) > 구리(Cu)이므로 황산 구리(CuSO_4) 수용액에 Zn을 넣으면 산화 환원 반응이 일어난다.

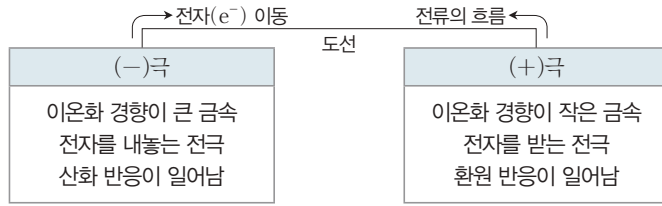
$$\text{Cu}^{2+}(aq) + \text{Zn}(s) \longrightarrow \text{Cu}(s) + \text{Zn}^{2+}(aq)$$
 → 반응성이 큰 금속이 전자를 잃고 산화되어 양이온으로 존재
 황산 아연(ZnSO_4) 수용액에 Cu를 넣으면 반응이 일어나지 않는다.

(3) 화학 전지의 원리

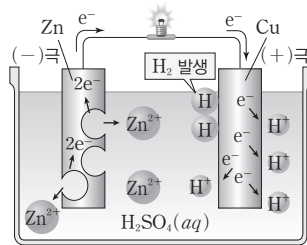
① 화학 전지 : 자발적인 산화 환원 반응을 이용하여 화학 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 장치로 (-)극과 (+)극의 두 전극과 전해질 용액으로 구성된다.

→ 일반적으로 (-)극과 (+)극의 두 전극은 이온화 경향 차이가 큰 금속을 이용한다. (-)극은 이온화 경향이 큰 금속으로 (-)극에서는 산화 반응이 일어나고, (+)극은 이온화 경향이 작은 금속으로 (+)극에서는 환원 반응이 일어난다.

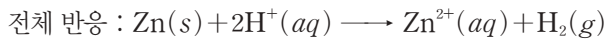
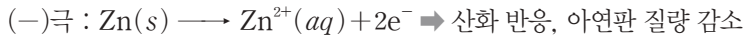
- 전자는 도선을 따라 (-)극에서 (+)극으로 이동하고, 전류는 (+)극에서 (-)극으로 흐른다.



- ② 볼타 전지 : 아연(Zn)판과 구리(Cu)판을 묽은 황산(H₂SO₄(aq))에 담고 도선으로 두 금속판을 연결한 전지이다.



• 전극 반응



- ➔ 아연판에서는 아연(Zn)이 전자를 잃고 아연 이온(Zn²⁺)으로 산화되어 용액 속으로 녹아 들어 가고, 전자는 도선을 따라 구리판 쪽으로 이동한다. 구리판에서는 수소 이온(H⁺)이 전자를 얻어 수소(H₂) 기체로 환원된다. 이때 산화 반응이 일어나는 아연판은 (-)극이 되고, 환원 반응이 일어나는 구리판은 (+)극이 된다.

- 볼타 전지에서는 분극 현상으로 전압이 급격히 떨어진다.

개념 체크

- ➔ 분극 현상 : 볼타 전지의 (+)극에서 발생하는 수소 기체가 전자의 이동을 방해하여 전압이 급격히 떨어지는 현상이다.
- ➔ 감극제 : 분극 현상을 없애는 물질로 강한 산화제이다.

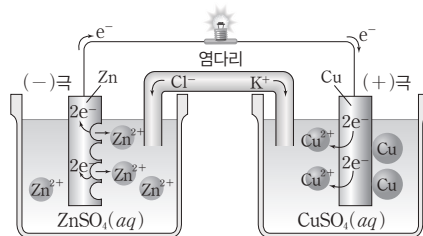
1. 볼타 전지의 Zn판에서는 (산화 / 환원) 반응이 일어나고, Cu판에서는 (산화 / 환원) 반응이 일어난다.
2. 볼타 전지에서 반응이 일어날 때 (-)극인 Zn판의 질량은 (증가 / 감소 / 일정) 하고, (+)극인 Cu판의 질량은 (증가한다 / 감소한다 / 일정하다).
3. 볼타 전지에서는 전류가 잠시 흐르다가 전압이 급격히 떨어지는 () 현상이 일어난다.
4. 분극 현상을 없애기 위해 넣어 주는 물질을 () 라고 한다.

과학 돋보기 **분극 현상**

- 분극 현상의 원인 : 구리판의 표면에서 발생한 수소(H₂) 기체가 구리판을 둘러싸 수소 이온(H⁺)이 구리판에서 전자를 받는 반응을 방해하기 때문에 전압이 급격히 떨어지게 된다.
- 감극제 : 분극 현상을 해소하기 위해 수소 기체를 물로 산화시키는 산화제를 감극제라고 하며, 이산화 망가니즈(MnO₂), 과산화 수소(H₂O₂) 등과 같은 강한 산화제가 이용된다.



- ③ 다니엘 전지 : 아연(Zn)판을 황산 아연(ZnSO₄) 수용액에 담고, 구리(Cu)판을 황산 구리(II)(CuSO₄) 수용액에 담은 다음 두 전해질 수용액을 염다리로 연결하고, 도선으로 두 금속판을 연결한 전지이다.



- 정답
1. 산화, 환원
 2. 감소, 일정하다
 3. 분극
 4. 감극제

개념 체크

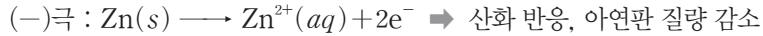
▶ **염다리** : 다니엘 전지에서 두 전해질 용액이 전기적으로 중성을 유지하도록 이온의 이동 통로 역할을 한다.

1. 다니엘 전지의 Zn판의 질량은 (증가/감소/일정) 하고, Cu판의 질량은 (증가한다/감소한다/일정하다).
2. 다니엘 전지에서 ()는 이온의 이동 통로로서 두 전해질 용액이 전기적으로 중성을 유지하도록 해 준다.
3. 다니엘 전지에서 염다리 내의 양이온은 (+ / -)극 쪽으로 이동하고, 음이온은 (+ / -)극 쪽으로 이동한다.

정답

1. 감소, 증가한다
2. 염다리
3. +, -

• 전극 반응



- ▶ 아연판에서는 아연(Zn)이 전자를 잃고 아연 이온(Zn^{2+})으로 산화되어 용액 속으로 녹아들어 가고, 전자는 도선을 따라 구리판 쪽으로 이동한다. 구리판에서는 구리 이온(Cu^{2+})이 전자를 얻어 구리(Cu)로 석출된다. 이때 산화 반응이 일어나는 아연판은 (-)극이 되고, 환원 반응이 일어나는 구리판은 (+)극이 된다.
- ▶ 반응이 진행됨에 따라 (-)극인 Zn 전극 주위에는 Zn^{2+} 이 계속 생성되므로 양이온이 음이온보다 많아지고, (+)극인 Cu 전극 주위에는 Cu^{2+} 이 계속 소모되므로 양이온이 음이온보다 적어져 양전하와 음전하의 불균형이 생긴다. 염다리를 통해 양이온인 K^+ 이 Cu 전극 쪽으로 이동하고, 음이온인 Cl^- 이 Zn 전극 쪽으로 이동하면서 전하의 불균형이 해소되어 두 전해질 용액은 전기적으로 중성을 유지한다.

과학 돋보기

염다리

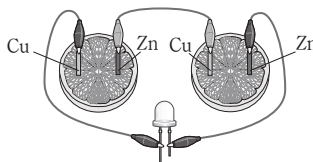
다니엘 전지에서는 두 전해질 용액이 염다리로 연결되어 있다. 염다리는 전극 반응에 영향을 주지 않는 KCl, KNO_3 , Na_2SO_4 등으로 이루어져 있으며, 이온의 이동 통로가 되어 양쪽 전해질 용액이 전기적으로 중성을 유지하도록 한다.

- (-)극에서는 양이온이 음이온보다 많아져 전하의 불균형이 생기므로 염다리 내의 음이온(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})은 (-)극 쪽으로 이동한다.
- (+)극에서는 양이온이 음이온보다 적어져 전하의 불균형이 생기므로 염다리 내의 양이온(K^+ , Na^+)은 (+)극 쪽으로 이동한다.

탐구자료 살펴보기

간단한 화학 전지 만들기

- 실험 과정**
1. 오렌지를 반으로 자른 후, 아연판과 구리판을 오렌지에 2 cm 간격으로 꽂는다.
 2. 그림과 같이 집게 전선을 이용하여 한 오렌지의 아연판은 다른 오렌지의 구리판에 연결한다.
 3. 양 끝의 전선에 발광 다이오드를 연결한다.



실험 결과 • 발광 다이오드의 불이 켜졌다.

분석 point

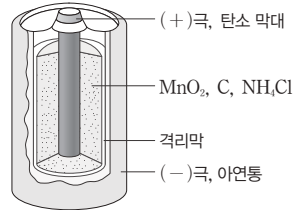
- 오렌지에는 전해질인 시트르산이 녹아 있으므로 오렌지는 화학 전지에서 전해질 용액 역할을 한다. 오렌지 대신 레몬, 자몽, 라임 등을 이용할 수 있고, 묽은 황산 등의 전해질 수용액을 이용할 수 있다.
- 아연판은 오렌지 속의 산 성분과 반응하여 전자를 잃는 산화 반응을 하고, 전자는 도선을 통해 구리판으로 이동하게 되어 전류가 흐른다. 따라서 과일 전지에서 아연판이 (-)극이 되고, 구리판이 (+)극이 된다.

(4) 실용 전지(여러 가지 전지)

볼타 전지와 다니엘 전지와 같은 화학 전지는 사용하기 불편하므로 일상생활에서는 사용하기 편한 실용 전지가 사용된다. 실용 전지에는 충전할 수 없는 1차 전지와 충전하여 다시 사용할 수 있는 2차 전지가 있다.

① 건전지(망가니즈 건전지)

- (-)극은 아연(Zn)통, (+)극은 탄소(C) 막대를 사용하며, 전해질은 염화 암모늄(NH₄Cl) 포화 수용액에 이산화 망가니즈(MnO₂)와 탄소(C) 가루를 섞은 반죽 형태로 수분이 거의 없다.
- 값이 저렴하고 가벼우며 다양한 크기로 만들 수 있지만 산화 환원 반응으로 물이 생겨 부식이 일어날 수 있으며, 다른 전지에 비해 전압이 빨리 떨어지는 단점이 있다.

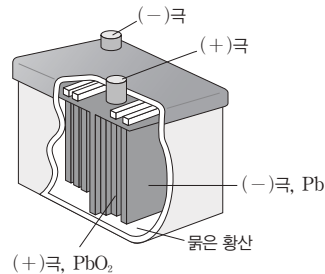


② 알칼리 건전지

- 망가니즈 건전지의 산성 전해질인 염화 암모늄(NH₄Cl) 대신 염기성인 수산화 칼륨(KOH)을 전해질로 사용한 전지이다.
- 산성 전해질의 경우보다 아연(Zn)의 부식이 잘 일어나지 않으므로 망가니즈 건전지에 비해 수명이 길고, 전압이 일정하게 유지된다.

③ 납축전지

- 묽은 황산(H₂SO₄(aq))에 납(Pb)판과 이산화 납(PbO₂)판을 넣어 만든 화학 전지로 Pb판이 (-)극이고, PbO₂판이 (+)극이다.
- 충전이 가능한 2차 전지로, 방전될 때 황산 납(PbSO₄)이 생성되어 양쪽 전극의 질량이 증가하고, 황산 수용액의 농도는 묽어진다.



④ 리튬 이온 전지

- 리튬(Li)은 원자량이 가장 작은 금속으로 가볍고 에너지 저장 능력이 매우 크다. 따라서 리튬 이온 전지는 소형화되는 스마트폰, 태블릿 PC, 노트북 등 휴대용 전자 기기에 널리 쓰이는 2차 전지이다.
- (-)극으로 흑연(C), (+)극으로 리튬 코발트 산화물(LiCoO₂)과 리튬 망가니즈 산화물(LiMn₂O₄) 등이 사용된다.
- 리튬 이온이 (-)극에서 (+)극으로 이동하면서 전류가 흐른다. 충전 시에는 리튬 이온이 (+)극에서 (-)극으로 이동한다.



개념 체크

- ➡ 1차 전지 : 충전할 수 없는 실용 전지로 망가니즈 건전지, 알칼리 건전지 등이 있다.
- ➡ 2차 전지 : 충전하여 다시 사용할 수 있는 실용 전지로 납축 전지, 리튬 이온 전지 등이 있다.

1. 망가니즈 건전지에서 아연통은 (+ / -) 극이고, 탄소 막대는 (+ / -) 극이다.
2. 알칼리 건전지는 (1차 / 2차) 전지, 납축전지는 (1차 / 2차) 전지이다.

정답

1. -, +
2. 1차, 2차

개념 체크

➔ **전기 분해** : 전기 에너지를 이용하여 비자발적인 산화 환원 반응을 일으키는 과정이다.

➔ **전해질 용융액의 전기 분해**

- (+)극 : 음이온의 산화 반응이 일어난다.
- (-)극 : 양이온의 환원 반응이 일어난다.

1. ()는 전기 에너지를 이용하여 비자발적인 산화 환원 반응을 일으키는 과정이다.

2. 전기 분해에서 (+)극에서는 (산화 / 환원) 반응이, (-)극에서는 (산화 / 환원) 반응이 일어난다.

3. 전해질 용융액을 전기 분해하면 (+)극에서는 (양 / 음)이온이 산화되고, (-)극에서는 (양 / 음)이온이 환원된다.

4. 염화 마그네슘(MgCl₂) 용융액을 전기 분해하면 (+ / -)극에서는 마그네슘 금속이 생성되고, (+ / -)극에서는 염소 기체가 발생한다.

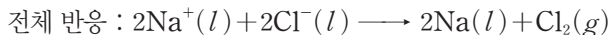
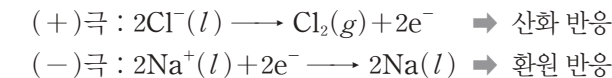
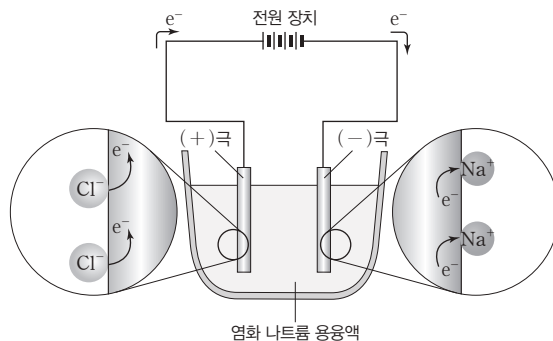
2 전기 분해

(1) 전기 분해

- ① 전기 에너지를 이용하여 비자발적인 산화 환원 반응을 일으키는 과정을 전기 분해라고 한다.
- ② 전해질의 수용액이나 용융액에 직류 전류를 흘려주면 양이온은 (-)극으로 이동하고, 음이온은 (+)극으로 이동한다. 이때 (-)극에서는 전자를 얻기 쉬운 경향이 큰 물질의 환원 반응이 일어나고, (+)극에서는 전자를 잃기 쉬운 경향이 큰 물질의 산화 반응이 일어난다.
- ③ 산화 반응이 일어나는 전극을 산화 전극, 환원 반응이 일어나는 전극을 환원 전극이라고 한다. 전기 분해에서 (-)극은 환원 전극이고, (+)극은 산화 전극이다.

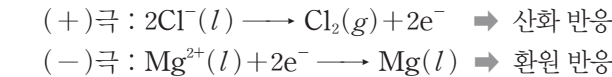
(2) 전해질 용융액의 전기 분해

① 염화 나트륨(NaCl) 용융액의 전기 분해



➔ 염화 나트륨 용융액에 전극을 넣고 직류 전원을 연결하면 (+)극에서는 염화 이온(Cl⁻)이 전자를 내놓고 산화되어 염소(Cl₂) 기체가 발생하고, (-)극에서는 나트륨 이온(Na⁺)이 전자를 얻고 환원되어 나트륨(Na)이 생성된다.

② 염화 마그네슘(MgCl₂) 용융액의 전기 분해



➔ 염화 마그네슘 용융액에 전극을 넣고 직류 전원을 연결하면 (+)극에서는 염화 이온(Cl⁻)이 전자를 내놓고 산화되어 염소(Cl₂) 기체가 발생하고, (-)극에서는 마그네슘 이온(Mg²⁺)이 전자를 얻고 환원되어 마그네슘(Mg)이 생성된다.

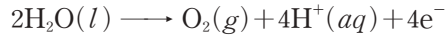
(3) 전해질 수용액의 전기 분해

- ① 전해질 수용액에는 전해질의 양이온, 음이온, H₂O이 존재하므로 전기 분해할 때 각 전극에서 양이온, 음이온, H₂O 분자가 산화 환원 반응 경쟁을 한다.
 - (+)극 : 전해질의 음이온과 H₂O 중에서 산화되기 쉬운(전자를 잃기 쉬운) 물질이 먼저 산화된다.

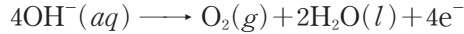
정답

1. 전기 분해
2. 산화, 환원
3. 음, 양
4. -, +

→ F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} 등은 H_2O 보다 산화되기 어려우므로 H_2O 이 먼저 산화되면서 산소(O_2) 기체가 발생하고 수소 이온(H^+)이 생성된다.

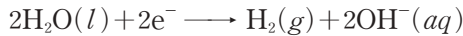


→ Cl^- , Br^- , OH^- 등은 H_2O 보다 산화되기 쉬우므로 먼저 산화된다.

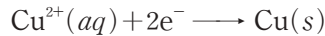


• (-)극 : 전해질의 양이온과 H_2O 중에서 환원되기 쉬운(전자를 얻기 쉬운) 물질이 먼저 환원된다.

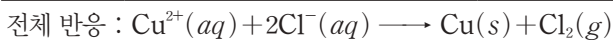
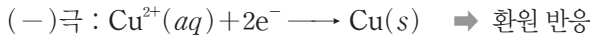
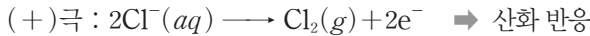
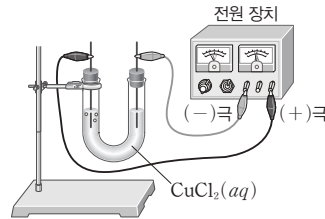
→ Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} 등은 H_2O 보다 환원되기 어려우므로 H_2O 이 먼저 환원되면서 수소(H_2) 기체가 발생하고 수산화 이온(OH^-)이 생성된다.



→ Cu^{2+} , Ag^+ 등은 H_2O 보다 환원되기 쉬우므로 먼저 환원되어 금속으로 석출된다.

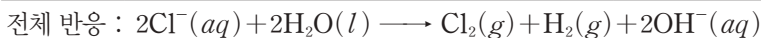
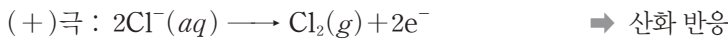


② 염화 구리($CuCl_2$) 수용액의 전기 분해



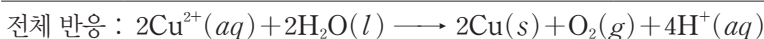
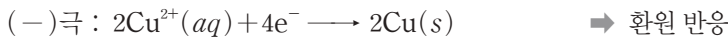
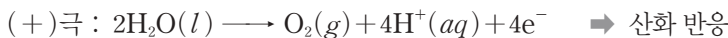
→ (+)극에서는 Cl^- 이 전자를 내놓고 산화되어 $Cl_2(g)$ 가 발생하고, (-)극에서는 Cu^{2+} 이 전자를 얻고 환원되어 Cu 가 석출된다.

③ 염화 나트륨($NaCl$) 수용액의 전기 분해



→ (+)극에서는 Cl^- 이 전자를 내놓고 산화되어 $Cl_2(g)$ 가 발생하고, (-)극에서는 H_2O 이 전자를 얻고 환원되어 $H_2(g)$ 가 발생하고 OH^- 이 생성된다.

④ 황산 구리($CuSO_4$) 수용액의 전기 분해



→ (+)극에서는 H_2O 이 전자를 내놓고 산화되어 $O_2(g)$ 가 발생하고 H^+ 이 생성되며, (-)극에서는 Cu^{2+} 이 전자를 얻고 환원되어 Cu 가 석출된다.

개념 체크

전해질 수용액의 전기 분해

- (+)극 : 전해질의 음이온과 H_2O 중에서 산화되기 쉬운 물질이 먼저 산화된다.
- (-)극 : 전해질의 양이온과 H_2O 중에서 환원되기 쉬운 물질이 먼저 환원된다.

1. 염화 구리(II) 수용액을 전기 분해하면 (+)극에서는 ()가, (-)극에서는 ()가 생성된다.

2. 환원되기 쉬운 경향은 $Na^+(aq) > H_2O(l)$ 이다. (O, X)

3. 황산 구리(II) 수용액의 전기 분해에서 (+)극에서는 ()이 산화되고, (-)극에서는 ()이 환원된다.

정답

1. 염소(Cl_2), 구리(Cu)
2. X
3. H_2O (물), Cu^{2+} (구리 이온)

개념 체크

☞ 전해질 수용액의 전기 분해 : 전해질의 음이온이 NO_3^- , SO_4^{2-} 과 같이 H_2O 보다 산화되기 어려운 이온인 경우 (+)극에서는 H_2O 이 먼저 산화되면서 산소(O_2) 기체가 발생한다.

1. 화학 전지에서는 (자발 / 비자발)적인 산화 환원 반응이 일어나고, 전기 분해 장치에서는 (자발 / 비자발)적인 산화 환원 반응이 일어난다.
2. 질산 은(AgNO_3) 수용액과 황산 구리(CuSO_4) 수용액을 각각 전기 분해할 때 (+)극에서는 모두 () 기체가 발생한다.

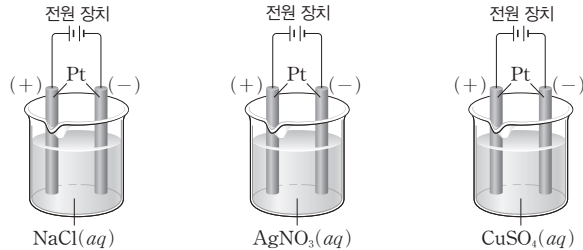
과학 돋보기 화학 전지와 전기 분해 장치

	화학 전지	전기 분해 장치
반응의 자발성	자발적인 산화 환원 반응	비자발적인 산화 환원 반응
에너지 전환	화학 에너지 → 전기 에너지	전기 에너지 → 화학 에너지
전극 반응	<ul style="list-style-type: none"> • (+)극 : 환원 반응 • (-)극 : 산화 반응 	<ul style="list-style-type: none"> • (+)극 : 산화 반응 • (-)극 : 환원 반응

- 화학 전지에서는 전지 반응이 자발적으로 일어나지만 전기 분해 장치에서는 분해 반응이 자발적으로 일어나지 않는다. 따라서 전기 분해 반응이 일어나기 위해서는 외부에서 전기 에너지를 공급해 주어야 한다.
- 화학 전지는 산화 환원 반응을 이용하여 화학 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 장치이고, 전기 분해 장치는 전기 에너지를 화학 에너지로 전환시키는 장치이다.
- 화학 전지의 (-)극에서는 전자를 잃는 산화 반응이 일어나고, (+)극에서는 (-)극으로부터 이동해 온 전자를 얻는 환원 반응이 일어난다. 전기 분해 장치의 (-)극에서는 전원 장치에서 공급된 전자를 얻는 환원 반응이 일어나고, (+)극에서는 전자를 잃는 산화 반응이 일어난다.

탐구자료 살펴보기 전해질 수용액의 전기 분해

자료 그림과 같이 염화 나트륨(NaCl) 수용액, 질산 은(AgNO_3) 수용액, 황산 구리(CuSO_4) 수용액을 각각 전기 분해하였다. 이때 각 전극에서 일어나는 변화는 표와 같다.



수용액	전극에서 일어나는 변화	
	(+)극	(-)극
$\text{NaCl}(aq)$	기체 발생	기체 발생
$\text{AgNO}_3(aq)$	기체 발생	금속 석출
$\text{CuSO}_4(aq)$	기체 발생	금속 석출

- 분석
- $\text{NaCl}(aq)$ 의 경우 (+)극에서는 염소(Cl_2) 기체가, (-)극에서는 수소(H_2) 기체가 발생한다.
 - $\text{AgNO}_3(aq)$ 의 경우 (+)극에서는 산소(O_2) 기체가 발생하며, (-)극에서는 Ag 이 석출된다.
 - $\text{CuSO}_4(aq)$ 의 경우 (+)극에서는 산소(O_2) 기체가 발생하며, (-)극에서는 Cu 가 석출된다.

분석 point

- 전해질의 음이온이 NO_3^- , SO_4^{2-} 인 경우 (+)극에서는 $2\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{O}_2(g) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^-$ 의 산화 반응이 일어나며 O_2 기체가 발생한다.
- 전해질의 양이온이 Na^+ , Mg^{2+} 인 경우 (-)극에서는 $2\text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$ 의 환원 반응이 일어나며 H_2 기체가 발생한다.

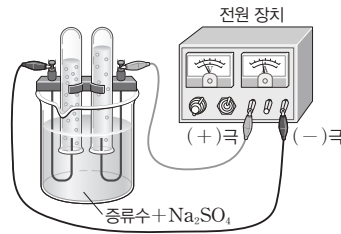
정답

1. 자발, 비자발
2. 산소(O_2)

탐구자료 살펴보기 **물의 전기 분해**

실험 과정

1. 증류수를 비커에 담은 후, Na₂SO₄을 소량 첨가하고 BTB 용액을 2~3방울 떨어뜨린다.
2. 과정 1의 수용액으로 가득 채운 2개의 시험관을 전극이 고정된 비커 속에 거꾸로 세운다.
3. 전원 장치를 이용하여 전류를 흘려주어 발생하는 기체를 모으고, 각 전극 주위에서 용액의 색 변화를 관찰한다.



실험 결과

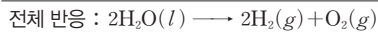
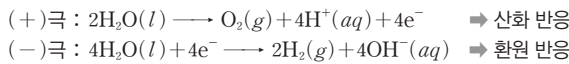
• 전극에서의 변화

전극	생성 기체	용액의 색 변화
(+)극	산소 기체	노란색
(-)극	수소 기체	푸른색

• 생성되는 기체의 부피비 H₂(g) : O₂(g) = 2 : 1

분석 point

- 순수한 물은 거의 이온화되지 않아 전류가 흐르지 않으므로, 물보다 산화와 환원이 되기 어려운 이온들로 구성된 Na₂SO₄, KNO₃ 등의 전해질을 소량 넣어 전기 분해한다.
- Na₂SO₄을 소량 넣고 물(H₂O)을 전기 분해하면 (+)극에서는 산소 기체가 발생하고, (-)극에서는 수소 기체가 발생한다.



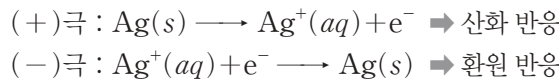
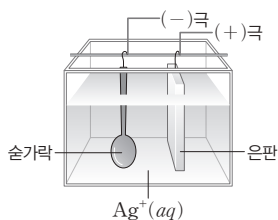
- ➔ (+)극에서는 SO₄²⁻이 H₂O보다 산화되기 어려우므로 H₂O이 산화되면서 산소(O₂) 기체가 발생하고 H⁺이 생성되므로 BTB 용액을 떨어뜨린 용액의 색이 노란색으로 변한다.
- ➔ (-)극에서는 Na⁺이 H₂O보다 환원되기 어려우므로 H₂O이 환원되면서 수소(H₂) 기체가 발생하고, OH⁻이 생성되므로 BTB 용액을 떨어뜨린 용액의 색이 푸른색으로 변한다.

(4) 전기 분해의 이용

① 전기 도금 : 전기 분해의 원리를 이용하여 물체에 다른 금속의 막을 입히는 것을 전기 도금이라고 한다.

- 금속의 이온이 들어 있는 용액에 전극을 넣고 전류를 흘려주면 (+)극에서는 금속의 산화 반응이 일어나 금속이 이온화되고, (-)극에서는 금속 이온의 환원 반응이 일어나 금속이 석출된다. ➔ 도금 재료인 금속은 전원 장치의 (+)극에 연결하고, 도금할 물체는 전원 장치의 (-)극에 연결한다.

② 은 도금 : 숟가락에 은(Ag) 도금을 할 때 (+)극에는 은(Ag)판을, (-)극에는 숟가락을 연결한 후, 은 이온(Ag⁺)이 들어 있는 수용액에 담가 전류를 흘려주면 숟가락에 은 도금이 된다.



개념 체크

- ➔ 물의 전기 분해 : 물에 KNO₃이나 Na₂SO₄ 등의 전해질을 소량 넣고 전기 분해하면 (-)극에서는 수소 기체가, (+)극에서는 산소 기체가 2 : 1의 부피비로 생성된다.
- ➔ 전기 도금 : 전기 분해의 원리를 이용하여 물체에 다른 금속의 막을 입히는 과정이다.

1. 물을 전기 분해하면 (+)극에서는 () 기체가, (-)극에서는 () 기체가 발생한다.
2. 황산 나트륨(Na₂SO₄) 수용액의 전기 분해에서 (+)극에서는 ()이 산화되고, (-)극에서는 ()이 환원된다.
3. 전기 도금은 ()의 원리를 이용하여 물체에 다른 금속의 막을 입히는 과정이다.
4. 전기 도금에서는 도금 재료인 금속은 전원 장치의 (+ / -)극에 연결하고, 도금할 물체는 전원 장치의 (+ / -)극에 연결한다.

정답

1. 산소(O₂), 수소(H₂)
2. 물(H₂O), 물(H₂O)
3. 전기 분해
4. +, -

개념 체크

➔ 수소 연료 전지: 연료인 수소가 공기 중의 산소와 반응할 때 발생하는 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 전지이다.

1. 수소 연료 전지에서 수소 기체는 (산화 / 환원) 되고, 산소 기체는 (산화 / 환원)된다.
2. 수소 연료 전지를 작동시키기 위해서 외부에서 $H_2(g)$ 를 공급해 주어야 한다. (O, X)

과학 돋보기

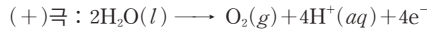
백금(Pt) 전극과 구리(Cu) 전극을 사용한 전기 분해

그림과 같이 백금 전극과 구리 전극을 각각 황산 구리($CuSO_4$) 수용액에 넣은 후 전원 장치에 연결하면 (가)와 (나)의 (+)극에서 서로 다른 물질이 생성된다.

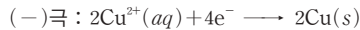
전자를 잃기 쉬운 경향은 $Cu > H_2O$ 이고, 전자를 얻기 쉬운 경향은 $Cu^{2+} > H_2O$ 이다.

• 전기 분해에서 백금 전극은 산화 반응과 환원 반응을 하지 않으며, 비활성 전극이라고 한다.

• (가)에서는 $CuSO_4(aq)$ 이 전기 분해되며 각 전극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.

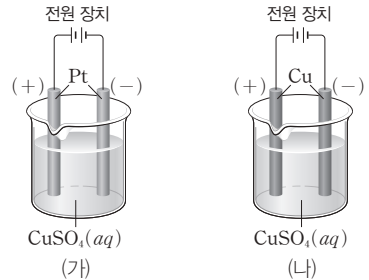
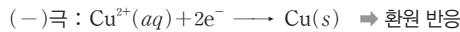
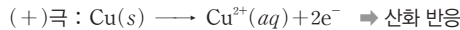


➔ 산화 반응



➔ 환원 반응

• (나)에서는 Cu가 H_2O 보다 산화되기 쉬우므로 (+)극에서는 Cu가 산화되는 반응이 일어나며, Cu^{2+} 은 H_2O 보다 환원되기 쉬우므로 (-)극에서는 Cu^{2+} 이 환원되는 반응이 일어난다. (나)의 각 전극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



3 수소 연료 전지

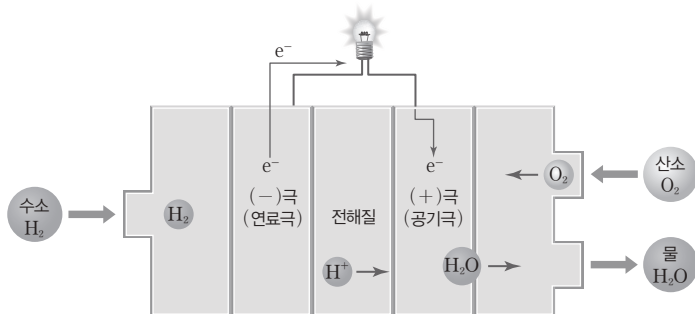
(1) 연료 전지

- ① 공급된 연료를 이용하여 자발적인 산화 환원 반응을 일으키게 하여 화학 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치이다.
- ② 반응물이 소모되면 폐기하거나 재충전해야 하는 화학 전지와는 달리 연료 전지는 반응물이 전지 내부에 저장되어 있지 않고 외부로부터 계속해서 공급됨으로써 지속적으로 작동되는 전지이므로 충전할 필요가 없다.

(2) 수소 연료 전지

- ① 수소 연료 전지: 연료인 수소가 공기 중의 산소와 반응할 때 발생하는 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 전지를 수소 연료 전지라고 한다.
- ② 수소 연료 전지의 구성: 수소 연료 전지는 2개의 전극과 분리막, 전해질로 이루어져 있고, 외부에서 수소(H_2) 기체와 산소(O_2) 기체가 계속 공급된다. ➔ 수소 연료 전지는 작동 온도와 전해질의 종류에 따라 여러 가지 종류가 있다.

③ 수소 연료 전지의 전기 발생 원리

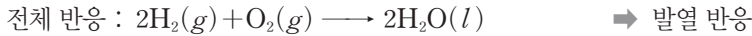
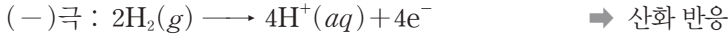


정답

1. 산화, 환원
2. O

- 공급된 수소(H₂) 기체는 (-)극인 연료극에서 산화되어 수소 이온(H⁺)과 전자가 된다.
 - ➔ H⁺은 전해질을 거쳐 (+)극인 공기극으로 이동한다.
 - ➔ 전자는 외부 회로를 따라 이동하며 전류가 발생한다.
 - ➔ 공기극에서 H⁺과 전자, 산소(O₂) 기체가 반응하여 물이 생성된다.

④ 수소 연료 전지의 전극 반응식



➔ 수소 연료 전지의 생성물은 물(H₂O)이므로 환경 오염을 거의 일으키지 않고, 소음도 없다. 또한 에너지 효율도 40~60%로 매우 높으며, 반응 과정에서 방출되는 열을 이용하면 에너지 효율은 80% 정도가 된다. 하지만 수소 연료 전지의 실용성을 높이기 위해서는 수소를 효율적으로 생산하는 기술과 수소 저장 기술 등 해결해야 할 과제가 남아 있다.

⑤ 수소 생산 기술 : 수소를 생산하는 방법으로는 전기 에너지를 이용하여 화석 연료를 리포밍(개질)하는 방법, 미생물을 이용하는 방법, 물을 전기 분해하는 방법, 물의 광분해 반응 등이 있다.

개념 체크

① 수소 연료 전지의 전극 반응

- (-)극 : $2\text{H}_2 \longrightarrow 4\text{H}^+ + 4e^-$
- (+)극 : $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

② 물의 광분해 : 태양 에너지를 이용하여 물을 분해함으로써 수소를 얻는 과정이다.

1. 수소 연료 전지의 최종 생성물은 ()이다.

2. 수소 연료 전지에서 수소 기체가 공급되는 연료극은 (+ / -)극이고, 산소 기체가 공급되는 공기극은 (+ / -)극이다.

3. 물의 광분해는 ()를 이용하여 수소 기체를 얻는 과정이다.

4. 물의 ()를 이용하여 수소를 얻는 과정에서 식물의 엽록소를 대신하여 광촉매나 반도체성 광전극을 사용한다.

과학 돋보기 물로부터 수소를 얻는 방법

물의 전기 분해

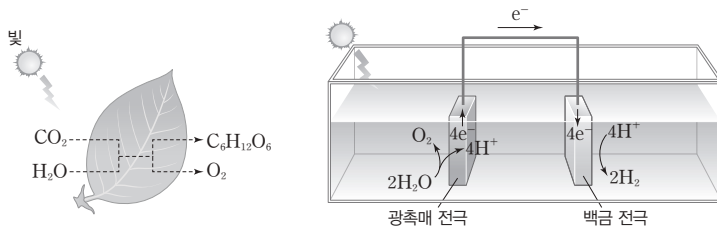
물에 전기 에너지를 공급하면 물이 분해되어 (-)극에서 수소(H₂) 기체가 발생한다.

식물의 광합성

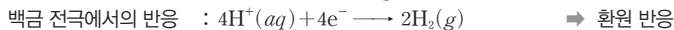
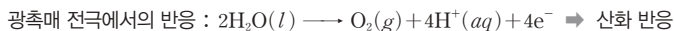
광합성은 명반응과 암반응 두 단계로 일어나는데, 명반응은 엽록소에 의해 흡수된 빛에너지가 화학 에너지로 전환되는 과정으로 엽록소는 태양 에너지를 이용하여 물을 분해한다.

물의 광분해

태양 에너지를 이용하여 물을 분해함으로써 수소를 얻는 방법이다. 식물의 광합성 과정 중 엽록소에 빛이 흡수되면 물이 분해되어 수소 이온(H⁺)과 산소(O₂) 기체가 발생하는데, 엽록소를 대신하여 광촉매나 반도체성 광전극을 이용하여 물을 광분해하면 수소 기체를 얻을 수 있다.



빛을 광촉매 전극에 쬐어 주면 광촉매 전극에서 물이 전자를 내놓고 산소(O₂)로 산화되고, 전자는 외부 도선을 따라 백금(Pt) 전극으로 이동하여 수소 이온(H⁺)을 환원시켜 수소(H₂) 기체를 얻을 수 있다.

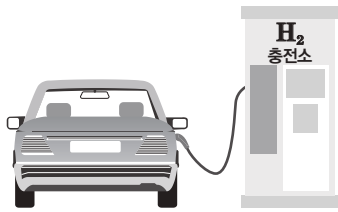


정답

1. H₂O(물)
2. -, +
3. 태양 에너지(빛에너지)
4. 광분해

[26028-0221]

01 그림은 수소 연료 전지 자동차가 수소 충전소에서 수소 (H_2)를 충전하는 모습을 나타낸 것이다.



수소 연료 전지 자동차에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

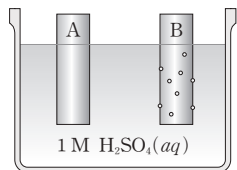
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 자동차가 구동하는 동안 수소가 산화된다.
- ㄴ. 수소가 연소하며 열에너지가 방출된다.
- ㄷ. 최종 생성물이 물(H_2O)뿐이므로 친환경적이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0222]

02 그림은 1 M $H_2SO_4(aq)$ 에 금속 A와 B를 넣은 것을 나타낸 것이다. B(s) 표면에서만 기포가 발생하였다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이고, 온도는 $25^\circ C$ 로 일정하며, 음이온은 반응하지 않는다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 수용액의 pH는 증가한다.
- ㄴ. 금속의 이온화 경향은 $B > A$ 이다.
- ㄷ. $BSO_4(aq)$ 에 A를 넣으면 B가 석출된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0223]

03 다음은 화학 전지에 대한 세 학생의 대화이다.

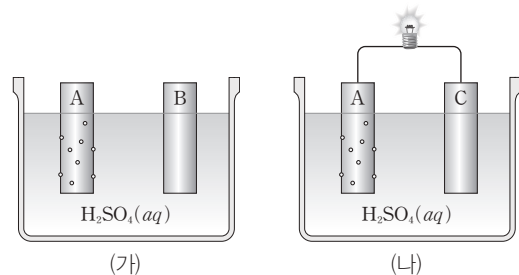


제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② C ③ A, B
- ④ B, C ⑤ A, B, C

[26028-0224]

04 그림 (가)는 $H_2SO_4(aq)$ 에 금속 A와 B를 넣었을 때의 모습을, (나)는 $H_2SO_4(aq)$ 에 금속 A와 C를 넣고 도선으로 연결했을 때의 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 A(s) 표면에서만 기포가 발생하였고, (나)에서 A(s) 표면에서는 기포가 발생하였고 C(s)의 질량이 감소하였다.

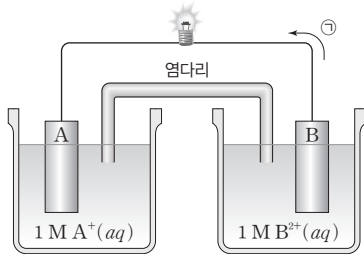


A~C의 이온화 경향을 비교한 것으로 옳은 것은? (단, A~C는 임의의 원소 기호이고, 온도는 $25^\circ C$ 로 일정하며, 음이온은 반응하지 않는다.)

- ① $A > B > C$ ② $B > A > C$ ③ $B > C > A$
- ④ $C > A > B$ ⑤ $C > B > A$

[26028-0225]

05 그림은 금속 A와 B를 전극으로 사용한 화학 전지를 나타낸 것이다. 전자의 이동 방향은 ㉠이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이고, 온도는 25°C로 일정하며, 음이온은 반응하지 않는다.)

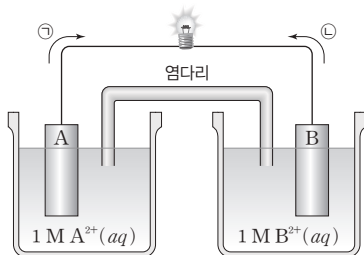
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A는 (+)극이다.
- ㄴ. 전기 반응이 진행되는 동안 A⁺의 양(mol)과 B²⁺의 양(mol)의 합은 감소한다.
- ㄷ. A⁺(aq)에 B(s)를 넣으면 A(s)가 석출된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0226]

06 그림은 금속 A와 B를 전극으로 사용한 화학 전지를 나타낸 것이다. 전자의 이동 방향은 ㉡과 ㉢ 중 하나이고, 금속의 이온화 경향은 A > B이다.



전기 반응이 진행되는 동안에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이고, 온도는 25°C로 일정하며, 음이온은 반응하지 않는다.)

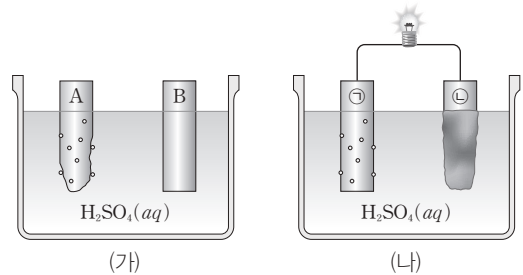
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 전자의 이동 방향은 ㉡이다.
- ㄴ. B 전극의 질량이 증가한다.
- ㄷ. 염다리 속 양이온이 B 전극 쪽으로 이동한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0227]

07 그림 (가)는 금속 A와 B를 H₂SO₄(aq)에 넣었을 때 A(s) 표면에서만 기포가 발생하는 모습을, (나)는 금속 ㉠과 ㉡을 H₂SO₄(aq)에 넣고 도선으로 연결했을 때 ㉠ 표면에서 기포가 발생하고 ㉡의 질량이 감소하는 것을 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 A와 B 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이고, 온도는 25°C로 일정하며, 음이온은 반응하지 않는다.)

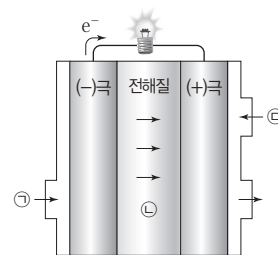
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 수용액의 pH는 증가한다.
- ㄴ. ㉠은 A이다.
- ㄷ. (나)에서 ㉡ 전극은 (-)극이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0228]

08 그림은 수소 연료 전지를 나타낸 것이다.



㉠~㉢에 해당하는 물질로 가장 적절한 것은?

- | | | | |
|---|----------------|-----------------|------------------|
| | ㉠ | ㉡ | ㉢ |
| ① | H ₂ | H ⁺ | O ₂ |
| ② | H ₂ | OH ⁻ | H ₂ O |
| ③ | H ⁺ | H ₂ | O ₂ |
| ④ | O ₂ | H ⁺ | H ₂ |
| ⑤ | O ₂ | OH ⁻ | H ₂ O |

[26028-0229]

09 다음은 물로부터 수소를 얻는 방법 (가)에 대한 설명이다.

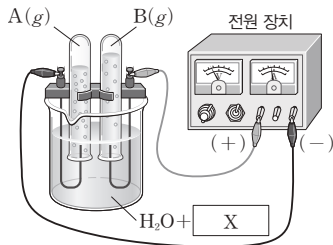
○ 물의 (가) 은/는 빛에너지를 이용하여 물을 분해하여 수소를 얻는 방법이다. 엽록소를 대신하여 광촉매나 반도체성 광전극을 이용하여 물을 (가) 할 수 있다.

(가)로 가장 적절한 것은?

- ① 산화 ② 합성 ③ 광분해
- ④ 열분해 ⑤ 전기 분해

[26028-0230]

10 그림은 물의 전기 분해 장치를 나타낸 것이다. X는 물을 전기 분해하기 위해 넣은 전해질이다.



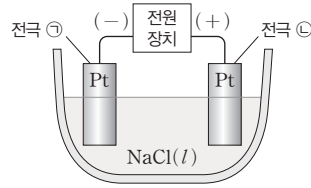
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶
 ㄱ. Na_2SO_4 은 X로 적절하다.
 ㄴ. 생성되는 A(g)와 B(g)의 몰비는 2 : 1이다.
 ㄷ. A와 B가 반응하여 H_2O 이 될 때, A는 산화된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0231]

11 그림은 $\text{NaCl}(l)$ 을 전기 분해하는 장치를 나타낸 것이다.



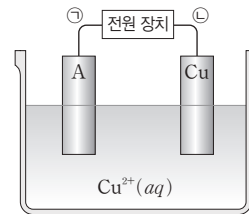
반응이 진행되는 동안에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶
 ㄱ. 전극 ㉠에서 환원 반응이 일어난다.
 ㄴ. 전극 ㉡에서 기체가 발생한다.
 ㄷ. 각 전극에서 생성되는 물질의 몰비는 ㉠ : ㉡ = 1 : 1이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0232]

12 그림은 금속 A의 표면을 구리(Cu)로 도금하는 장치를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 (+)극과 (-)극 중 하나이다.



A의 표면에 Cu가 도금될 때에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A는 임의의 원소 기호이고, 음이온은 반응하지 않는다.)

◀ 보기 ▶
 ㄱ. ㉠은 (+)극이다.
 ㄴ. Cu 전극의 질량이 감소한다.
 ㄷ. 수용액 속 Cu^{2+} 의 양(mol)이 감소한다.

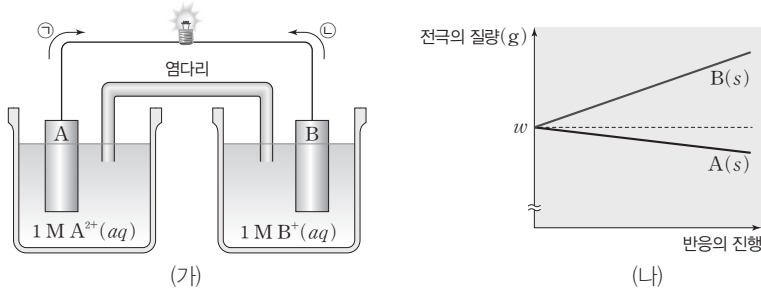
- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

수능 3점 테스트

정답과 해설 48쪽 ▶

[26028-0233]

01 그림 (가)는 금속 A와 B를 전극으로 사용한 화학 전지를, (나)는 (가)에서 전지 반응이 진행될 때 전극의 질량을 나타낸 것이다. (가)에서 전자의 이동 방향은 ㉠과 ㉡ 중 하나이다.



전지 반응이 진행되는 동안 전극의 질량이 감소한 것은 금속이 산화되었기 때문이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이고, 온도는 25°C로 일정하며, 음이온은 반응하지 않는다.)


◀ 보기 ▶

- ㄱ. 전자의 이동 방향은 ㉠이다.
- ㄴ. 환원되기 쉬운 경향은 B⁺ > A²⁺이다.
- ㄷ. 전지 반응이 진행되는 동안 A²⁺의 양(mol)과 B⁺의 양(mol)의 합은 증가한다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ


[26028-0234]

02 다음은 물의 전기 분해에 대한 학생의 질문과 선생님의 답변이다.



학생 A

물에 전해질을 넣어 물을 전기 분해할 때, 어떤 전해질은 부적절한데, 그 까닭은 무엇인가요?



선생님

만약 전해질의 양이온이 H₂O보다 ㉠ 되는 경향이 크다면 이 이온이 ㉡ 되어 ㉢ 극에서 ㉣ 가 발생하지 않게 됩니다. 또한 전해질의 음이온이

수용액을 전기 분해하면 산화되는 물질은 음이온 또는 H₂O(l)이고, 환원되는 물질은 양이온 또는 H₂O(l)이다.

㉠~㉣에 해당하는 내용으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

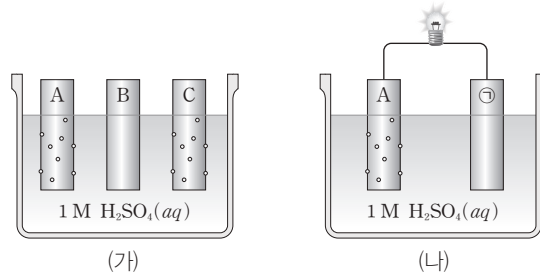
◀ 보기 ▶

- ㄱ. '산화'는 ㉠으로 적절하다.
- ㄴ. '(−)'는 ㉡으로 적절하다.
- ㄷ. 'H₂'는 ㉢으로 적절하다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$H_2SO_4(aq)$ 에 넣은 금속이 산화되면 이때 내놓는 전자를 H^+ 이 받아 H_2 가 된다. 두 금속을 $H_2SO_4(aq)$ 에 넣고 도선으로 연결하면 이온화 경향이 큰 금속이 산화되고 이때 내놓는 전자는 도선을 따라 이동한다.

03 그림 (가)는 금속 A~C를 1 M $H_2SO_4(aq)$ 에 넣었을 때 A와 C의 표면에서만 기포가 발생하는 모습을, (나)는 금속 A와 ㉠을 1 M $H_2SO_4(aq)$ 에 넣고 도선으로 연결했을 때 A 표면에서 기포가 발생하는 모습을 나타낸 것이다. ㉠은 B와 C 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A~C는 임의의 원소 기호이고, 온도는 25°C로 일정하며, 음이온은 반응하지 않는다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 A와 C의 표면에서 발생한 기체는 모두 수소(H_2)이다.
- ㄴ. 금속의 이온화 경향은 $C > B$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 ㉠은 B이다.

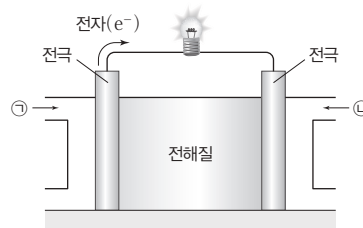
- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

수소가 산화되어 물이 되는 반응은 발열 반응이다. 수소 연료 전지는 화학 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치이다.

04 다음은 25°C, 1 atm에서 $H_2(g)$ 가 $O_2(g)$ 와 반응하여 $H_2O(l)$ 이 생성되는 반응의 열화학 반응식이다.



그림은 수소 연료 전지를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 $H_2(g)$, $O_2(g)$ 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $a < 0$ 이다.
- ㄴ. ㉠은 $H_2(g)$ 이다.
- ㄷ. 수소 연료 전지는 화학 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치이다.

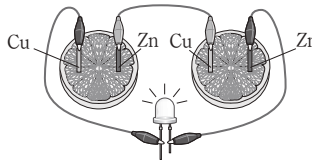
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0237]

05 다음은 학생 A가 수행한 화학 전지에 대한 탐구이다. 금속의 이온화 경향은 아연(Zn)이 구리(Cu)보다 크다.

[탐구 과정 및 결과]

- (가) 오렌지를 반으로 자른 후 아연(Zn)판과 구리(Cu)판을 간격을 두고 꽂는다.
- (나) 그림과 같이 전선을 이용하여 연결하고 발광 다이오드를 연결하였더니 발광 다이오드에 불이 켜졌다.



오렌지와 같은 과일의 과즙에는 이온이 있으므로 오렌지 과즙은 전해질이다. 이온화 경향이 큰 금속이 산화되고 이때 내놓는 전자는 도선을 따라 이동한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 오렌지 과즙에 이온이 있다.
- ㄴ. Zn판의 질량이 감소한다.
- ㄷ. Cu판은 (+)극이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0238]

06 표는 물질 (가)와 (나)를 전기 분해했을 때 각 전극에서 생성된 물질에 대한 자료이다. (가)에서 ㉠의 양(mol)은 ㉡의 양(mol)과 같다. (가)와 (나)는 $\text{NaCl}(l)$ 과 $\text{CuCl}_2(aq)$ 을 순서 없이 나타낸 것이고, 환원되기 쉬운 경향은 $\text{Cu}^{2+}(aq) > \text{H}_2\text{O}(l)$ 이다.

물질	(가)	(나)
(+)극에서 생성된 물질	㉠	㉢
(-)극에서 생성된 물질	㉡	㉣

수용액을 전기 분해하면 산화되는 물질은 음이온 또는 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이고, 환원되는 물질은 양이온 또는 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

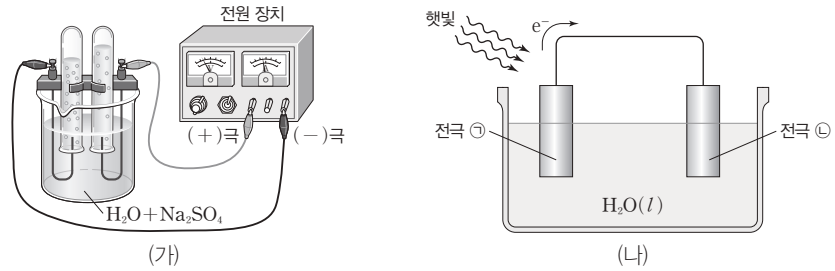
◀ 보기 ▶

- ㄱ. ㉡은 $\text{Cu}(s)$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 ㉠의 양(mol)은 ㉢의 양(mol)의 2배이다.
- ㄷ. $\text{Cl}^-(aq)$ 이 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 보다 산화되기 쉬움을 알 수 있다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(가)는 물의 전기 분해 장치이고 (나)는 물의 광분해 장치이다. (가)에서는 전기 에너지를 이용하여 물을 분해하고, (나)에서는 빛 에너지를 이용하여 물을 분해한다.

07 그림은 물을 분해하는 2가지 장치 (가)와 (나)를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

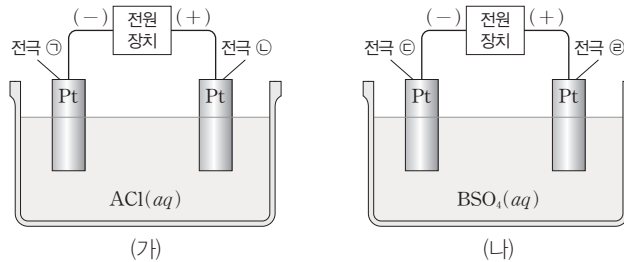
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 물의 분해 반응은 발열 반응이다.
- ㄴ. ‘광촉매 전극’은 전극 ⊕으로 적절하다.
- ㄷ. (가)의 (+)극과 (나)의 전극 ⊖에서 생성된 기체는 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

수용액을 전기 분해하면 (+)극에서는 산화 반응이, (-)극에서는 환원 반응이 일어난다. 산화되는 물질은 음이온 또는 $H_2O(l)$ 이고, 환원되는 물질은 양이온 또는 $H_2O(l)$ 이다.

08 그림 (가)와 (나)는 백금(Pt) 전극을 사용하여 $AlCl(aq)$ 과 $BSO_4(aq)$ 을 각각 전기 분해하는 것을 나타낸 것이다.



다음은 ㉠~㉢에서 일어나는 반응의 화학 반응식을 순서 없이 나타낸 것이다.

- $B^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow B(s)$
- $2Cl^-(aq) \longrightarrow Cl_2(g) + 2e^-$
- $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$
- $2H_2O(l) + 2e^- \longrightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$

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

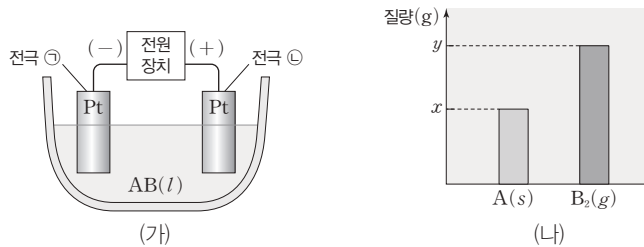
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 Cl_2 와 O_2 가 생성된다.
- ㄴ. 생성되는 금속 또는 기체의 양(mol)은 ㉠에서와 ㉢에서가 같다.
- ㄷ. $A_2SO_4(aq)$ 을 전기 분해하면 H_2 와 O_2 가 생성된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0241]

09 그림 (가)는 $AB(l)$ 를 전기 분해하는 장치를, (나)는 w g의 $AB(l)$ 를 전기 분해하였을 때 얻은 물질 $A(s)$ 와 $B_2(g)$ 의 질량을 나타낸 것이다.



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

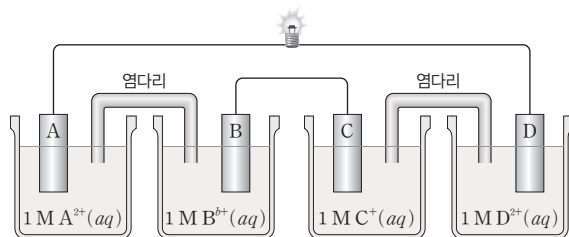
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 전극 (-)에서 $B_2(g)$ 가 생성된다.
- ㄴ. 전극 (+)에서 산화 반응이 일어난다.
- ㄷ. 원자량비는 $A : B = x : y$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26028-0242]

10 그림은 금속 A~D를 전극으로 사용한 화학 전지를 나타낸 것이다. 전지 반응이 진행되는 동안 수용액 속 A^{2+} , B^{2+} , C^+ , D^{2+} 의 전체 양(mol)이 감소하였다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A~D는 임의의 원소 기호이고, 온도는 25°C 로 일정하다. 물의 증발은 무시하고, 음이온은 반응하지 않는다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $b=1$ 이다.
- ㄴ. 환원되기 쉬운 경향은 $C^+(aq) > D^{2+}(aq)$ 이다.
- ㄷ. 전지 반응이 진행되는 동안 $\frac{[D^{2+}]}{[A^{2+}]}$ 가 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$AB(l)$ 를 전기 분해하여 $A(s)$ 와 $B_2(g)$ 를 얻었으므로 AB 는 이온 결합 물질이다. 액체 상태의 이온 결합 물질을 전기 분해하면 (+)극에서는 음이온이 산화되고, (-)극에서는 양이온이 환원된다.

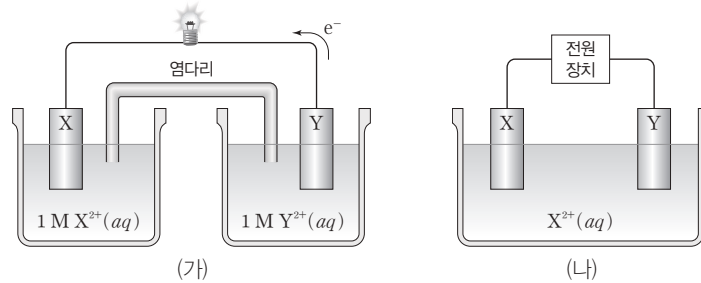
전류가 흐르는 동안 수용액 속 전체 양이온의 수가 감소하였으므로 C^+ 이 환원되었음을 알 수 있다. 이로부터 A~D 전극에서 일어난 반응이 산화인지 환원인지 확인한다.

수능 3점 테스트

[26028-0243]

화학 전지에서 이온화 경향이 큰 금속이 산화되고 이때 내놓는 전자는 도선을 따라 이동하므로 전자의 이동 방향으로 산화가 일어나는 전극을 알 수 있다.

11 그림 (가)는 금속 X와 Y를 전극으로 사용한 화학 전지를, (나)는 금속 Y의 표면을 X로 도금하는 장치를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X와 Y는 임의의 원소 기호이고, 온도는 25°C로 일정하다. 물의 증발은 무시하고, 음이온은 반응하지 않는다.)

◀ 보기 ▶

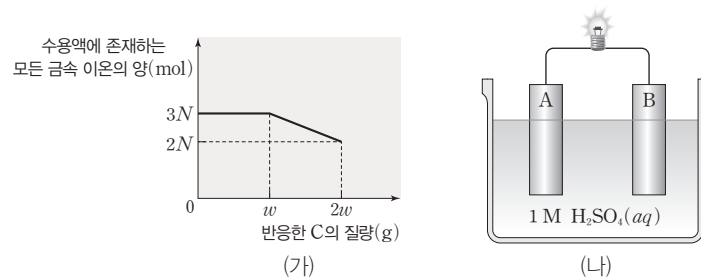
- ㄱ. 환원되기 쉬운 경향은 $X^{2+}(aq) > Y^{2+}(aq)$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 Y 전극은 (+)극이다.
- ㄷ. (나)에서 수용액의 $[X^{2+}]$ 는 감소한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A^+ 과 B^{2+} 이 들어 있는 수용액에 금속 C를 넣었을 때 반응한 C의 질량(g)에 따라 금속 이온의 양(mol)이 일정하다가 감소하므로 C 이온은 C^{2+} 이고, 환원되기 쉬운 경향은 $B^{2+} > A^+$ 이다.

[26028-0244]

12 그림 (가)는 금속 이온 A^+ 과 B^{2+} 이 들어 있는 수용액에 금속 C를 넣었을 때 반응한 C의 질량에 따른 수용액에 존재하는 모든 금속 이온의 양(mol)을, (나)는 금속 A와 B를 1 M $H_2SO_4(aq)$ 에 넣고 도선으로 연결했을 때 불이 켜진 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A~C는 임의의 원소 기호이고, 온도는 25°C로 일정하며, 음이온은 반응하지 않는다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. C 이온은 C^{2+} 이다.
- ㄴ. (나)의 B 전극에서 $H_2(g)$ 가 발생한다.
- ㄷ. (나)에서 수용액 속 모든 양이온의 양(mol)은 일정하다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

수능특강

과학탐구영역
화 학 Ⅱ

**정답과
해설**

01 기체

수능 2점 테스트

본문 11~13쪽

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

01 기체의 성질

- 부분 압력은 $B > A$ 이므로 기체의 양(mol)은 B가 A보다 크다.
 ✕. A와 B의 부피는 같고, 질량도 같으므로 밀도는 같다.
 ㉠. 부분 압력은 $B > A$ 이므로 기체의 양(mol)은 B가 A보다 크다.
 ✕. 기체의 양(mol)은 B가 A보다 크므로 분자량은 $A > B$ 이다.

02 대기압의 측정 실험

수은 기둥이 대기압에 의해 올라간 높이가 유리관의 단면적, 길이와 관계없이 같으므로 적절한 가설은 '1 atm에 해당하는 수은 기둥의 높이는 유리관의 길이와 단면적에 관계없이 일정하다.'이다.

03 보일 법칙

온도가 일정한 상태에서 외부 압력을 2배로 하면 기체의 부피는 $\frac{1}{2}$ 로 줄어든다.

- ㉠. 밀도는 $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이므로 부피가 $\frac{1}{2}$ 로 줄어들면 밀도는 2배로 증가한다. 따라서 밀도는 (나)의 기체가 (가)의 기체의 2배이다.
 ✕. 기체의 종류가 변하지 않으므로 분자량은 변화가 없다.
 ✕. 온도가 일정하므로 평균 운동 속력은 (가)와 (나)에서 같다.

04 기체 분자 운동론

- ㉠. 기체 분자 운동론에 따르면 기체 분자 자체의 부피는 전체 부피에 비하여 매우 작으므로 무시한다.
 ㉡. 샤를 법칙에 따르면 온도가 낮아지면 기체의 부피는 감소하므로 기체의 부피가 0이 되는 온도가 존재하게 된다.
 ㉢. 기체의 부피가 0이 되는 온도는 약 -273.15°C 로 이때의 온도를 절대 영도(0 K)라고 정하여 사용하고 있다.

05 기체의 분자량 측정

이상 기체 방정식으로부터 분자량을 구하는 식을 유도하면 $M = \frac{wRT}{PV}$ 이므로 필요한 자료는 기체 X의 압력, 부피, 기체 상수, 질량, 절대 온도이다.

- ㉠. 기체 상수(R)를 알아야 분자량을 구할 수 있다.
 ㉡. 물의 온도가 300 K이고, 수상 치환으로 X를 포집하였으므로 눈금실린더 안에는 X와 수증기가 혼합되어 있다. 따라서 X만의 압력을 구하기 위해서는 300 K에서 물의 수증기압을 알고 있어야 한다.
 ㉢. 생성된 X의 질량은 시험관 속 물질의 반응 전과 후의 질량 변화로부터 구할 수 있다.

06 기체의 성질

(가)와 (나)에 들어 있는 기체의 양(mol)을 비교하면 X와 Y의 분자량비를 구할 수 있다. 이상 기체 방정식 $PV = nRT$ 에서 (가)에 들어 있는 X의 양은 $n = \frac{PV}{RT} = \frac{V}{300R}$ mol이고, (나)에 들어 있는 X와 Y의 양은 $\frac{3V}{600R} = \frac{V}{200R}$ mol이다. 따라서 기체의 몰비는 (가) : (나) = 2 : 3이고, 첨가해 준 Y의 양(mol)은 (가)의 X의 양(mol)의 $\frac{1}{2}$ 에 해당한다. 따라서 분자량비는 $X : Y = 1 : 2$ 이므로 $\frac{Y \text{의 분자량}}{X \text{의 분자량}} = 2$ 이다.

07 기체의 압력과 분자량

(가)의 장치는 X의 압력에 의해 수은 기둥의 높이 차가 나타나므로 X의 압력은 760 mmHg이다. (나)의 장치는 Y의 압력이 대기압과 수은 기둥의 높이의 합으로 나타나므로, Y의 압력은 $760 + 380 = 1140$ mmHg이다.

- ㉠. (나)에서 Y의 압력은 수은 기둥의 높이 차에 의한 압력과 대기압의 합과 같으므로 $760 + 380 = 1140$ mmHg이고, 1 atm은 760 mmHg이므로 1.5 atm이다.
 ㉡. (가)의 꼭지를 열면 대기압이 X에 작용하게 되므로 X의 압력인 760 mmHg과 대기압이 같게 되어 수은 기둥의 높이 차는 0이 된다.
 ✕. 기체의 압력은 온도와 부피가 같으면 기체의 양(mol)에 비례한다. 기체의 압력비는 $X : Y = 2 : 3$ 이므로 기체의 몰비는 $X : Y = 2 : 3$ 이고, 질량이 같으므로 분자량비는 $X : Y = 3 : 2$ 이다.

08 기체의 성질

샤를 법칙에 따르면 온도가 1°C 증가할 때마다 기체의 부피는 0°C 부피(V_0)의 $\frac{1}{273}$ 씩 증가한다.

$$V_t = V_0 + \frac{V_0}{273}t$$

- ✕. (가)에서 온도는 $t^\circ\text{C}$ 이고, X의 0°C 에서 부피는 2V L이므로 부피는 $(2V + \frac{2V}{273}t)$ L이다.
 ㉠. 0°C 일 때 부피는 X가 Y의 2배이고, 질량은 같으므로 분자량

은 Y가 X의 2배이다. 따라서 $\frac{Y \text{의 분자량}}{X \text{의 분자량}} = 2$ 이다.

㉠ 819 K는 섭씨온도로 546°C 이므로 Y의 부피는 $V + \frac{V}{273} \times 546 = 3V$ L이다.

09 기체의 성질

이상 기체 방정식은 $PV = nRT$ 이다. A(g)~C(g)의 양(mol)

은 각각 $\frac{PV}{RT}$, $\frac{2xPV}{2RT}$, $\frac{6PV}{2RT}$ 이다.

✕ A와 B의 양(mol)은 같으므로 $\frac{PV}{RT} = \frac{2xPV}{2RT}$ 에서 $x=1$ 이다.

㉠ B(g)와 C(g)의 양(mol)은 각각 $\frac{PV}{RT}$, $\frac{3PV}{RT}$ 이므로 몰비는 B : C = 1 : 3이다.

✕ 기체의 질량비는 B : C = 1 : 2이므로 B와 C의 분자량을 각각 M_B , M_C 라고 하면 $\frac{1}{M_B} : \frac{2}{M_C} = 1 : 3$ 에서 $M_B : M_C = 3 : 2$ 이다. 따라서 $\frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{2}{3}$ 이다.

10 기체의 반응

일정한 온도에서 기체의 양(mol)은 압력과 부피의 곱에 비례한다. 따라서 반응 전 강철 용기에 들어 있는 A와 B의 양(mol)은 각각 $(\frac{1}{4} \times 2)n = 0.5n$, $2 \times 2n = 4n$ 이므로 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) + 6B(g) \longrightarrow 4C(g) + 4D(g)$			
반응 전(mol)	0.5n	4n	0	0
반응(mol)	-0.5n	-3n	+2n	+2n
반응 후(mol)	0	n	2n	2n

반응 후 남은 반응물과 생성물의 총 양은 5n mol이고, 실린더에 들어 있는 He의 양은 n mol이므로 실린더 속 기체의 양은 총 6n mol이다. 강철 용기의 총 부피는 4 L이므로 반응 후 총 4n mol의 기체가 들어 있고, 실린더에는 2 L의 기체가 들어 있다. 반응이 완결되었을 때 남은 반응물과 생성물의 총 양은 5n mol이고, He의 양은 n mol이므로 He의 몰 분율은 $\frac{1}{6}$ 이다.

11 기체의 성질

피스톤 I을 고정하였으므로 X(g)의 부피는 5 L로 일정하다. 온도를 400 K에서 200 K로 감소시켰고, 압력을 2 atm으로 2배 증가시켰으므로 Y의 부피는 $\frac{1}{4}$ 배가 되어야 한다.

㉠ Y(g)의 부피가 변하지만 들어 있는 기체의 양(mol)은 변화가 없다. 온도와 압력을 변화시키기 전 기체의 부피는 Y가 X의

2배이므로 기체의 양(mol)은 Y가 X의 2배이다.

✕ 피스톤 I을 고정하였으므로 X의 부피는 5 L이고, Y의 부피는 $10 \times \frac{1}{4} = 2.5$ L이다. 따라서 기체의 부피는 X가 Y의 2배이다.

✕ 피스톤 I이 고정되어 있으므로 부피는 일정하고, 절대 온도가 $\frac{1}{2}$ 배 감소하였으므로 기체 X의 압력은 1 atm에서 0.5 atm으로 감소한다.

12 기체의 성질

꼭지를 열고 충분한 시간이 흘렀을 때, 전체 기체의 압력이 $\frac{7}{3}$ atm이고, 전체 기체의 부피는 3 L이므로 전체 기체의 양은 $\frac{7}{3} \times 3 = 7n$ mol이라고 할 수 있고, 꼭지를 열기 전 A(g)의 양은 $2.5 \times 2 = 5n$ mol이다. 따라서 $x=2$ 이고, 전체 기체의 압력은 $\frac{7}{3}$ atm이며, A(g)의 몰 분율은 $\frac{5}{7}$ 이므로 A(g)의 부분 압력은 $\frac{7}{3} \times \frac{5}{7} = \frac{5}{3}$ atm이다. 따라서 $x \times P = \frac{10}{3}$ 이다.

수능 3점 테스트

본문 14~20쪽

01 ②	02 ③	03 ③	04 ⑤	05 ④	06 ①
07 ⑤	08 ②	09 ②	10 ④	11 ①	12 ⑤
13 ②	14 ①				

01 이상 기체 방정식

$PV = nRT$ 에서 A(g)의 양(mol)은 $\frac{PV}{4RT}$ 이고, B(g)의 양(mol)은 $\frac{5PV}{6RT}$ 이므로 몰비는 $A(g) : B(g) = \frac{1}{4} : \frac{5}{6} = 3 : 10$ 이다. A와 B의 분자량을 각각 $2M$, M 이라 하면, $\frac{w_1}{2M} : \frac{w_2}{M} = 3 : 10$ 이므로 $5w_1 = 3w_2$ 이다. 따라서 $\frac{w_2}{w_1} = \frac{5}{3}$ 이다.

02 혼합 기체의 압력

눈금실린더 속 기체는 (가)와 (나)에서 모두 $O_2(g)$ 와 $H_2O(g)$ 이다. 눈금실린더 속 기체의 압력은 (가)에서 760 mmHg이고, (나)에서 (760 - 물기둥의 압력) mmHg이다.

㉠ $H_2O(g)$ 의 양(mol)은 $n = \frac{PV}{RT}$ 에서 P 와 V 의 곱에 비례한다. 수증기압은 60 mmHg로 같고 $n \propto V$ 이므로 $H_2O(g)$ 의 양

(mol)은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

✕. (가)에서 $O_2(g)$ 의 부분 압력은 $760 - 60 = 700 \text{ mmHg}$ 이고, (나)에서 $O_2(g)$ 의 부분 압력은 $(760 - 60 - \text{물기둥의 압력}) \text{ mmHg}$ 이다. 따라서 $O_2(g)$ 의 부분 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

㉠. (가)에서 $O_2(g)$ 의 부분 압력은 700 mmHg 이므로 $\frac{700}{760} \text{ atm}$ 이고, 부피는 $2V \text{ L}$ 이며, $RT = 26 \text{ atm} \cdot \text{L/mol}$ 이므로 $n = \frac{PV}{RT} = \frac{700}{760} \times \frac{2V}{26} = \frac{70}{76} \times \frac{V}{13}$ 에서 $\frac{V}{13} \text{ mol}$ 보다 작다.

03 이상 기체 방정식

$PV = \frac{w}{M}RT$ 이므로 $M = \frac{wRT}{PV}$ 이다. $A(g) \sim C(g)$ 의 분자량비는 $\frac{wRT}{P \times 2V} : \frac{wR \times 2T}{2P \times V} : \frac{2wR \times 2T}{2P \times V} = 1 : 2 : 4$ 이다.

㉠. 분자량비는 $A : B = 1 : 2$ 이므로 기체의 양(mol)은 A가 B의 2배이다.

✕. 분자량비는 $B : C = 1 : 2$ 이다.

㉡. $T \text{ K}$ 에서 $A(g)$ 는 $4V \text{ L}$ 의 용기에 $w \text{ g}$ 을 넣으면 자료보다 부피가 2배 늘어나기 때문에 압력은 $\frac{P}{2} \text{ atm}$ 이다. 자료의 $B(g)$ 는 온도가 $2T \text{ K}$ 이므로 $w \text{ g}$ 을 $4V \text{ L}$ 의 용기에 넣으면 $T \text{ K}$ 에서 압력은 $\frac{P}{4} \text{ atm}$ 이다. 자료의 $C(g)$ 는 온도가 $2T \text{ K}$, 질량이 $2w \text{ g}$ 이므로 $4V \text{ L}$ 의 용기에 넣으면 $T \text{ K}$ 에서 압력은 $\frac{P}{8} \text{ atm}$ 이다. 따라서 전체 기체의 압력은 $\frac{P}{2} + \frac{P}{4} + \frac{P}{8} = \frac{7}{8}P \text{ atm}$ 이다.

04 기체의 압력과 부피

$He(g)$ 의 압력은 0.5 atm 이고, $N_2(g)$ 의 압력은 꼭지가 닫혀 있으므로 0.5 atm 이다. He 과 N_2 가 연결된 꼭지를 열고 충분한 시간이 흘렀을 때의 압력을 $P \text{ atm}$ 이라고 하면, $(0.5 \times 2) + (0.5 \times 1) = P \times 3$ 이므로 $P = 0.5 \text{ atm}$ 이다. 수은 기둥이 연결된 꼭지를 열면 수은 기둥은 왼쪽이 오른쪽보다 높고 높이 차는 38 cm 가 된다.

✕. 모든 꼭지를 열고 충분한 시간이 흘렀을 때, $He(g)$ 의 부분 압력은 $0.5 \text{ atm} \times \frac{2}{3} = \frac{1}{3} \text{ atm}$ 이다.

㉠. $N_2(g)$ 의 부피는 혼합 전 1 L 에서 혼합 후 3 L 가 되므로 혼합 전의 압력이 혼합 후의 압력의 3배이다.

㉡. 전체 기체의 압력이 0.5 atm 이므로 수은 기둥은 왼쪽이 오른쪽보다 높고 높이 차는 38 cm 이다.

05 기체의 압력과 부피

꼭지를 열었을 때의 전체 기체의 압력을 $P \text{ atm}$ 이라고 하

면 전체 기체의 부피는 4 L 이고, 온도가 일정하므로 $P \times 4 = (1 \times 1) + (1 \times 1) + (2 \times 1) + (2 \times 1)$ 이 성립하므로 $P = 1.5$ 이다. 따라서 전체 기체의 압력은 1.5 atm 이다. 꼭지를 열고 충분한 시간이 흘렀을 때의 $A(g)$ 의 부피를 $V_A \text{ L}$ 라고 하면 $1.5 \times V_A = 1 \times 1$ 이므로 $V_A = \frac{2}{3}$ 이다. $B(g)$ 의 부피를 $V_B \text{ L}$ 라고 하면 $1.5 \times V_B = (1 \times 1) + (2 \times 1)$ 에서 $V_B = 2$ 이다. $C(g)$ 의 부피를 $V_C \text{ L}$ 라고 하면 $1.5 \times V_C = 2 \times 1$ 에서 $V_C = \frac{4}{3}$ 이다. 따라서 $A(g) \sim C(g)$ 의 압력은 1.5 atm 으로 같고, 부피는 각각 $\frac{2}{3} \text{ L}$, 2 L , $\frac{4}{3} \text{ L}$ 이다.

06 기체의 부분 압력과 몰 분율

화학 반응식이 $2A(g) \rightarrow B(g)$ 이므로 분자량비는 $A : B = 1 : 2$ 이다. 따라서 $A(g)$ $w \text{ g}$ 을 $n \text{ mol}$, $B(g)$ $2w \text{ g}$ 을 $n \text{ mol}$ 이라고 하면 (가)에서 $1 \times 3V = 2nRT$ 이다.

(나)에서 기체의 양(mol) = $\frac{5}{6}$ 이므로 (나)에서 기체의 양은 (가)에서 기체의 양(mol) = $\frac{5}{6}$ 이므로 $x \text{ atm} \times 2V = \frac{5}{3}nR \times 2T$ 에서 $x = \frac{5}{2}$ 이다.

$2A(g) \rightarrow B(g)$ 에서 반응한 $A(g)$ 의 양을 $2m \text{ mol}$ 이라고 하면 반응 후 전체 기체의 양은 $(n - 2m) + (n + m) = 2n - m = \frac{5}{3}n$ 이므로 $m = \frac{1}{3}n$ 이다. 따라서 반응 후 $A(g)$ 의 양은 $\frac{1}{3}n \text{ mol}$, $B(g)$ 의 양은 $\frac{4}{3}n \text{ mol}$ 이므로 $A(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{1}{5}$ 이다. 따라서 (나)에서 $A(g)$ 의 부분 압력은 $\frac{5}{2} \text{ atm} \times \frac{1}{5} = \frac{1}{2} \text{ atm}$ 이다.

07 기체의 성질

(나) 과정 후 용기 속 $He(g)$ 과 $Ne(g)$ 이 혼합되어 전체 3 L 의 용기에 들어 있는 것이므로 $P \times 3 = (2 \times 2) + (2 \times 1)$ 에서 $P = 2$ 이다. (다) 과정 후 전체 기체의 압력은 1 atm 이고, 전체 기체의 부피는 $2 + 1 + 5 = 8 \text{ L}$ 이므로 $1 \times 8 = (2 \times 2) + (2 \times 1) + (2 \times x)$ 이다. 따라서 $x = 1$ 이다.

㉠. $P = 2$, $x = 1$ 이므로 $P + x = 3$ 이다.

㉡. (나) 과정 후 용기 속 기체의 몰비는 $He : Ne = (2 \times 2) : (2 \times 1) = 2 : 1$ 이다. 따라서 He 의 몰 분율은 $\frac{2}{3}$ 이다.

㉢. (다) 과정 후 전체 기체의 압력은 1 atm 이고, 기체의 몰비는 $He : Ne = (2 \times 2) + (2 \times 1) : (2 \times 1) = 3 : 1$ 이므로 Ne 의 몰 분율은 $\frac{1}{4}$ 이고, 부분 압력은 $1 \text{ atm} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{4} \text{ atm}$ 이다.

08 기체의 반응

온도가 일정하면 기체의 양(mol)은 압력(P)과 부피(V)의 곱

에 비례한다. X(g)의 양을 $2n$ mol이라고 하면 Y(g)의 양은 Pn mol이라고 할 수 있다. 반응을 완결시켰을 때 X(g)가 남아 있으므로 Y(g)는 모두 반응한 것이다. 따라서 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.

	$X(g)$	$+ 2Y(g)$	\longrightarrow	$2Z(g)$
반응 전(mol)	$2n$	Pn		0
반응(mol)	$-\frac{Pn}{2}$	$-Pn$		$+Pn$
반응 후(mol)	$\left(2 - \frac{P}{2}\right)n$	0		Pn

반응 후 전체 기체의 압력을 P_t atm라고 하면 기체의 부피는 4 L이므로 $4P_t = 2 + \frac{P}{2}$ 이고, Z(g)의 부분 압력은 $P_t \times \frac{P}{\left(2 + \frac{P}{2}\right)} = \frac{1}{2}$ 이므로 $P = 2$ 이다.

09 기체의 부분 압력과 몰 분율

I에서 A(g)의 몰 분율이 $\frac{1}{4}$ 이므로 A(g)와 B(g)의 양을 각각 n mol, $3n$ mol이라고 하면, A(g)가 모두 소모되어 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g)$	$+ 2B(g)$	\longrightarrow	$cC(g)$	$+ 3D(s)$
반응 전(mol)	n	$3n$		0	0
반응(mol)	$-n$	$-2n$		$+cn$	$+3n$
반응 후(mol)	0	n		cn	$3n$

반응 전 $4n$ mol의 기체가 1 atm의 압력을 나타내므로 반응 후 전체 기체의 압력을 P atm이라고 하면 $4n : 1 = (1+c)n : P$ 이다. 따라서 전체 기체의 압력은 $\frac{1+c}{4}$ atm이고, C(g)의 몰 분율은 $\frac{c}{1+c}$ 이므로 C(g)의 부분 압력은 $\frac{1+c}{4} \times \frac{c}{1+c} = \frac{1}{2}$ 이고, $c = 2$ 이다. II에서 전체 기체의 압력이 I과 같으므로 B(g)의 양을 $2m$ mol이라고 하면, A(g)의 양은 $(4n - 2m)$ mol이다. 반응 후 C(g)의 부분 압력이 I과 같으므로 이 반응에서는 B(g)가 모두 반응한 것을 알 수 있고, 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g)$	$+ 2B(g)$	\longrightarrow	$2C(g)$	$+ 3D(s)$
반응 전(mol)	$4n - 2m$	$2m$		0	0
반응(mol)	$-m$	$-2m$		$+2m$	$+3m$
반응 후(mol)	$4n - 3m$	0		$2m$	$3m$

따라서 D(s)의 양(mol)을 제외한 반응 후 전체 기체의 양은 $(4n - m)$ mol이고, 이때의 압력을 P' atm이라고 하면 $1 : 4n = P' : 4n - m$ 에서 $P' = \frac{4n - m}{4n}$ atm이다. C(g)의 몰 분율은 $\frac{2m}{4n - m}$ 이므로 C(g)의 부분 압력은 $\frac{4n - m}{4n} \times \frac{2m}{4n - m} = \frac{1}{2}$

이고 $m = n$ 이다. 따라서 반응 전 A(g)와 B(g)의 양은 각각 $2n$ mol로 같고, $x = \frac{1}{2}$ 이므로 $c \times x = 1$ 이다.

10 기체의 반응

(가)에서 반응이 완결되었을 때, A(g)와 B(g)가 모두 반응하였으므로 $m = 2n$ 이고, 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g)$	$+ 2B(g)$	\longrightarrow	$C(g)$	$+ 4D(g)$
반응 전(mol)	n	$2n$		0.5	0
반응(mol)	$-n$	$-2n$		$+n$	$+4n$
반응 후(mol)	0	0		$0.5 + n$	$4n$

반응 후 $\frac{D(g) \text{의 부분 압력}}{C(g) \text{의 부분 압력}} = \frac{4n}{0.5 + n} = 2$ 이므로 $n = 0.5$ 이다.

따라서 (나)에서 반응 전 A(g)와 B(g)의 양은 각각 1 mol, 0.5 mol이므로 반응이 완결되었을 때, 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g)$	$+ 2B(g)$	\longrightarrow	$C(g)$	$+ 4D(g)$
반응 전(mol)	1	0.5		0.5	0
반응(mol)	-0.25	-0.5		$+0.25$	$+1$
반응 후(mol)	0.75	0		0.75	1

따라서 반응 후 혼합 기체의 압력은 1 atm이고, C(g)의 몰 분율은 $\frac{3}{10}$ 이므로 부분 압력은 0.3 atm이다. 반응 전 전체 기체의 양이 2 mol일 때 부피가 V L이므로 반응 후 전체 기체의 양은 2.5 mol이고 부피는 $\frac{5}{4}V$ L이다. 따라서

$$\frac{C(g) \text{의 부분 압력(atm)}}{\text{실린더 속 기체의 부피(L)}} = \frac{0.3}{\frac{5}{4}V} = \frac{6}{25V} \text{이다.}$$

11 기체의 반응과 부분 압력

반응 전 들어 있는 A(g)의 양을 n mol이라고 하고, ㉠에서 $\frac{P_A}{P_B + P_C} = 1$ 일 때 반응한 A(g)의 양을 p mol이라고 하면, 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g)$	\longrightarrow	$B(g)$	$+ 2C(g)$
반응 전(mol)	n		0	0
반응(mol)	$-p$		$+p$	$+2p$
반응 후(mol)	$n - p$		p	$2p$

$\frac{P_A}{P_B + P_C} = \frac{n - p}{3p} = 1$ 이므로 $p = \frac{n}{4}$ 이다. 반응 후 기체의 양은

$$\frac{3}{4}n + \frac{n}{4} + \frac{n}{2} = \frac{3}{2}n \text{ mol이고 부피는 } 3V \text{ L이다.}$$

㉡. ㉠에서 전체 기체의 양은 $\frac{3}{2}n$ mol일 때 부피가 $3V$ L이다. 따라서 ㉡에서 부피는 $4V$ L이므로 전체 기체의 양은 $2n$ mol

이고, 이때 반응한 A(g)의 양을 q mol이라고 하면, 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 $n+2q=2n$ 이므로 $q=\frac{n}{2}$ 이고, 반응 후 A(g)~C(g)의 양(mol)은 각각 $\frac{n}{2}$, $\frac{n}{2}$, n이므로 $\frac{P_A}{P_B+P_C} = \frac{0.5n}{1.5n} = \frac{1}{3}$ 이다.

㉠. $p = \frac{n}{4}$ 이고, $q = \frac{n}{2}$ 이므로 ㉠에서가 ㉡에서보다 반응한 A(g)의 양(mol)이 적다. 따라서 남은 A(g)의 양(mol)은 ㉠에서가 ㉡에서보다 많다.

㉡. ㉠에서 A(g)의 몰 분율은 $\frac{\frac{3}{4}n}{\frac{3}{2}n} = \frac{1}{2}$ 이므로 $P_A = 2 \text{ atm} \times \frac{1}{2} = 1 \text{ atm}$ 이다.

$\frac{1}{2} = 1 \text{ atm}$ 이다.

12 기체의 반응

온도가 같으면 기체의 양(mol)은 압력과 부피의 곱에 비례하므로 Ⅱ와 강철 용기에 각각 들어 있는 A(g)와 B(g)의 양(mol)은 각각 6n, 4n이다. 따라서 반응이 완결되었을 때 양적 관계는 다음과 같다.

	A(g)	+ B(g)	→	cC(g)
반응 전(mol)	6n	4n		0
반응(mol)	-4n	-4n		+4cn
반응 후(mol)	2n	0		4cn

반응 후 혼합 기체의 양(mol)은 $(2+4c)n$ 이고, He(g)의 양(mol)은 6n이므로 전체 기체의 양은 $(8+4c)n$ mol이다. 고정 장치를 풀면 He(g)와 혼합 기체의 압력이 같아질 것이고, $\frac{V_2}{V_1} = \frac{19}{21}$ 이므로 $V_1 = 5 \times \frac{21}{40} = \frac{21}{8} \text{ L}$ 이고, $V_2 = 5 \times \frac{19}{40} = \frac{19}{8} \text{ L}$ 이다. 반응 후 기체의 압력(atm)을 P라고 하면 He(g)의 양(mol)은 변하지 않으므로 $P \times \frac{21}{8} = 6n$ 에서 $P = \frac{16}{7} \text{ atm}$ 이다.

㉡. (나)에서 Ⅱ와 강철 용기의 부피의 합은 $\frac{19}{8} + 2 = \frac{35}{8} \text{ L}$ 이므로 기체의 양(mol)은 $\frac{16}{7} \times \frac{35}{8} = 10n$ 이다. 따라서 $2+4c=10$ 이므로 $c=2$ 이다.

㉠. (나)의 Ⅱ와 강철 용기에서 남은 반응물은 A(g)이고, $c=2$ 이므로 몰 분율은 $\frac{2n}{2n+8n} = \frac{1}{5}$ 이다.

㉡. (나)에서 기체의 압력은 고정 장치를 풀었으므로 He(g)와 혼합 기체가 같고, 이때 He(g)의 압력(atm)을 P라고 하면 반응 후 He(g)의 부피 $V_1 = \frac{21}{8}$ 이므로 $P \times \frac{21}{8} = 6n$ 에서 $P = \frac{16}{7} \text{ atm}$ 이다.

13 몰 분율

A(g)가 1 g, B(g)가 5 g일 때 A의 몰 분율이 0.5이므로 이 때 몰비는 A : B = 1 : 1이다. 따라서 분자량비는 A : B = 1 : 5 이고, A 1 g의 양(mol)을 n, B 1 g의 양(mol)을 0.2n이라고 하면 (가)에서 $P \times 1 = 1.2n \times R \times T$ 이다. Q에서 A 1 g의 양(mol)은 n, B 3 g의 양(mol)은 0.6n이므로 전체 기체의 양(mol)은 1.6n이고, 이때 전체 기체의 압력을 x atm이라고 하면 $1.2n : P = 1.6n : x$ 이므로 $x = \frac{4}{3}P$ 이다. A의 몰 분율은 $\frac{n}{1.6n}$ 이

므로 $Q_A = \frac{4}{3}P \times \frac{1}{1.6} = \frac{5}{6}P$ 이다. 따라서 $Q_A \times \frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{5}{6}P \times \frac{1}{5} = \frac{1}{6}P$ 이다.

14 기체의 반응

반응 전 강철 용기 Ⅱ와 Ⅰ에 각각 들어 있는 X(g)와 Y(g)의 양(mol)은 각각 2n, n이다. (나)에서 반응이 완결되었을 때 용기 Ⅱ에서 X(g)가 존재하므로 Y(g)가 모두 반응한 것이고 양적 관계는 다음과 같다.

	X(g)	+ Y(g)	→	cZ(g)
반응 전(mol)	2n	n		0
반응(mol)	-n	-n		+cn
반응 후(mol)	n	0		cn

따라서 반응 후 기체의 양(mol)은 X, Z, He이 각각 n, cn, n 이고, 꼭지 a를 달아도 X의 몰 분율은 $\frac{1}{3}$ 로 유지되므로 $c=1$ 이다. (다)에서 반응이 완결되었을 때 용기 Ⅲ에서 Y(g)가 존재하므로 X(g)는 모두 반응한 것이고 양적 관계는 다음과 같다.

	X(g)	+ Y(g)	→	Z(g)
반응 전(mol)	0.5n	xn		0.5n
반응(mol)	-0.5n	-0.5n		+0.5n
반응 후(mol)	0	(x-0.5)n		n

(다) 과정 후 용기 Ⅰ에서 He(g)의 부분 압력은 0.5 atm이므로 용기 Ⅲ에서 Y(g)의 부분 압력은 1.25 atm이다. 따라서 (다) 과정 후 용기 Ⅱ와 Ⅲ에 남아 있는 Y(g)의 양(mol)은 2.5n이므로 $x=3$ 이다.

㉠. $c=1$, $x=3$ 이므로 $c+x=4$ 이다.

㉡. (다) 과정 후 용기 Ⅱ 속 기체의 양(mol)은 Y(g), He(g), Z(g)가 각각 1.25n, 0.25n, 0.5n이 들어 있다. 따라서 용기 Ⅱ에서 Z(g)의 몰 분율은 $\frac{1}{4}$ 이다.

㉡. (다) 과정 후 꼭지를 모두 열고 반응을 완결시켰을 때 양적 관계는 다음과 같다.

	$X(g)$	+	$Y(g)$	\longrightarrow	$Z(g)$
반응 전(mol)	$0.5n$		$2.5n$		$1.5n$
반응(mol)	$-0.5n$		$-0.5n$		$+0.5n$
반응 후(mol)	0		$2n$		$2n$

$He(g)$ 의 양(mol)은 n 이므로 전체 기체의 양(mol)은 $5n$ 이다.
용기 전체의 부피는 3 L이므로 전체 기체의 압력은 $\frac{5}{3}$ atm이다.

02 액체와 고체

수능 2점 테스트

본문 34~36쪽

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

01 분자 사이의 힘

CH_4 , H_2O , PH_3 , HBr 의 분자량은 각각 16, 18, 34, 81이므로 W~Z는 각각 CH_4 , H_2O , PH_3 , HBr 이다.

- ㉠. W는 CH_4 으로 무극성 분자이다. 따라서 분산력만 작용한다.
 ㉡. 기준 끓는점이 X가 W보다 높은 주된 이유는 X인 H_2O 은 수소 결합이 존재하기 때문이다.
 ㉢. Y와 Z는 모두 극성 분자이므로 모두 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 존재한다.

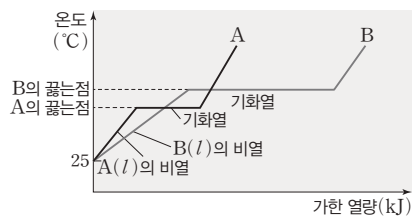
02 물의 성질

(가)는 $H_2O(s)$ 의 모형이므로 결합 A는 수소 결합이고, (나)에서 X는 $H_2O(s)$, Y는 $H_2O(l)$ 이다.

- ㉠. 결합 A는 수소 결합으로 (나)의 Y인 $H_2O(l)$ 에도 있다.
 ㉡. (나)의 X는 고체 상태이므로 (가)는 (나)의 X의 모형에 해당한다.
 ✕. 1 g의 부피는 X가 Y보다 크므로 1 L에 들어 있는 H_2O 의 분자 수는 $Y > X$ 이다.

03 액체의 성질

가열 곡선에서 얻을 수 있는 정보는 다음과 같다.



- ㉠. 끓는점은 액체에서 기체의 상태 변화가 일어나는 일정한 온도이므로 B가 A보다 높다.
 ✕. 비열이 클수록 온도 변화가 천천히 일어나므로 액체 상태의 비열($J/(g \cdot ^\circ C)$)은 B가 A보다 크다.
 ✕. 기화열(kJ/g)은 상태 변화가 일어나는 동안 가한 열량을 비교하면 되므로 B가 A보다 크다.

04 물의 표면 장력과 모세관 현상

표면 장력이 클수록 액체가 표면적을 최소화하려고 하며, 모세관

현상으로 인하여 모세관 내의 액체의 표면이 외부보다 높아지거나 또는 낮아진다.

(가) 머리카락 사이의 물 막이 줄어들면 표면적이 감소하므로, 표면 장력은 머리카락을 서로 끌어당기는 힘으로 작용하게 된다.

(나) 빨대 속 물은 부착력이 응집력보다 크게 작용하여 외부의 수면보다 높이 올라가는 모세관 현상이 나타나게 된다.

(다) 클립은 물보다 밀도가 크지만 물의 표면 장력으로 인하여 가라앉지 않고 떠 있게 된다.

(라) 페이퍼 타월의 주성분인 셀룰로스에 대하여 물의 부착력이 커서 모세관 현상으로 인해 미세한 틈 사이로 물이 스며들어 손의 물을 닦을 수 있다.

05 액체의 증기 압력

$A(l)$ 의 증기 압력 $+h_1 \text{ mmHg} = 760 \text{ mmHg}$ 이고, $B(l)$ 의 증기 압력 $+h_2 \text{ mmHg} = 760 \text{ mmHg}$ 이다. 높이 차는 $h_2 > h_1$ 이므로 증기 압력은 $A(l) > B(l)$ 이다.

✕. 액체의 증기 압력은 온도에 의해 달라지므로 (가)에서 $A(l)$ 10 mL를 추가해도 h_1 은 달라지지 않는다.

○. $t^\circ\text{C}$ 에서 $B(l)$ 의 증기 압력은 외부 압력보다 작으므로 수은 기둥이 왼쪽으로 올라와 있는 것이다. 따라서 $t^\circ\text{C}$ 에서 $B(l)$ 의 증기 압력은 760 mmHg보다 작다.

○. $A(l)$ 의 증기 압력이 $B(l)$ 보다 크므로, 기준 끓는점은 $B(l)$ 가 $A(l)$ 보다 높다.

06 액체의 증기 압력

$A(l)$ 의 증기 압력 $+h_1 = 760 \text{ mmHg}$ 이고, $B(l)$ 의 증기 압력 $+h_2 = A(l)$ 의 증기 압력이다. 따라서 $B(l)$ 의 증기 압력은 $(760 - h_1 - h_2) \text{ mmHg}$ 이다. $A(l)$ 의 증기 압력은 $(760 - h_1) \text{ mmHg}$ 이고, $B(l)$ 의 증기 압력은 $(760 - h_1 - h_2) \text{ mmHg}$ 이므로 증기 압력은 $A(l)$ 가 $B(l)$ 보다 크다. 따라서 기준 끓는점은 증기 압력이 작은 $B(l)$ 가 $A(l)$ 보다 높다.

07 고체 결정 구조

공유 결합인 X는 C(s, 다이아몬드)이고, 체심 입방 구조인 Y는 Li(s)이며, Z는 $\text{I}_2(s)$ 이다.

✕. X는 C(s, 다이아몬드)로 원자가 전자가 모두 공유 결합에 참여하므로 이동할 수 있는 전자가 없어 전기 전도성이 없다.

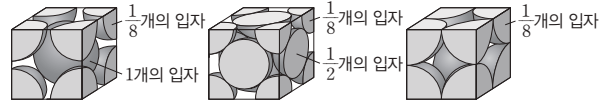
✕. Y는 Li(s)으로 단위 세포에 포함된 원자 수는 2이다.

○. Z는 $\text{I}_2(s)$ 으로 분자 결정이다. 1 atm에서 I_2 은 고체와 기체가 안정한 상으로 공존성이 있다.

08 고체 결정 구조

단순 입방 구조, 체심 입방 구조, 면심 입방 구조의 단위 세포 속 $\frac{1}{8}$ 개의 입자 수는 모두 8로 같고, 단위 세포 속 $\frac{1}{2}$ 개의 입자 수

는 각각 0, 0, 6이고, 1개의 입자 수는 각각 0, 1, 0이다. 따라서 (가)~(다)는 각각 체심 입방 구조, 면심 입방 구조, 단순 입방 구조이다.



(가) 체심 입방 구조 (나) 면심 입방 구조 (다) 단순 입방 구조

○. (가)는 단위 세포 속 1개의 입자 수가 1이므로 체심 입방 구조이다.

✕. $a=b=8, c=\frac{1}{2}$ 이므로 $(a+b) \times c=8$ 이다.

✕. 단위 세포에 포함된 입자 수는 (가)~(다)가 각각 2, 4, 1이므로 (나)가 가장 크다.

09 고체 결정 구조

결정 구조 모형은 입자들의 정육면체의 각 위치에 나타낸 것이고, 단위 세포 모형은 각 결정 구조에서 삼차원적으로 반복되는 가장 작은 단위 구조이다. 따라서 (가)는 결정 구조 모형이고, (나)는 단위 세포 모형이다.

○. (가)의 결정 구조 모형에 각 꼭짓점과 면심에 입자가 배치되므로 Al(s)은 면심 입방 구조이다.

✕. (가)는 결정 구조 모형이고, (나)는 단위 세포 모형이다.

✕. Al(s)은 금속으로 화학 결합은 금속 양이온과 자유 전자 사이의 결합인 금속 결합이다. 따라서 Al(s)은 금속 결정이다.

10 액체의 증기 압력

(가)에서 온도가 같을 때 증기 압력은 $X(l) > Y(l)$ 이다. (나)에서 $Z(l)$ 는 $t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력이 $(760 - h) \text{ mmHg}$ 이다.

○. $t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력은 $X(l) > Y(l)$ 이므로 분자 사이의 인력은 $Y(l) > X(l)$ 이다. 따라서 기준 끓는점은 $Y > X$ 이다.

○. X는 $t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력이 760 mmHg으로 대기압과 같으므로 높이 차가 없어야 한다. $Z(l)$ 의 증기 압력은 대기압보다 작으므로 Z는 Y이다.

✕. $Y(l)$ 의 $t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력은 100 mmHg이므로 (나)에서 높이 차 $h=660 \text{ mm}$ 이다.

11 액체의 증기 압력

(가)와 (나)는 모두 $A(l)$ 와 $A(g)$ 이 평형을 이루고 있는 상태이고, 온도가 같으므로 증기 압력이 같다.

✕. $A(l)$ 와 $A(g)$ 이 평형을 이루고 있을 때 온도가 같으면 증기 압력은 같다.

○. $A(g)$ 이 차지하는 부피는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 $A(g)$ 의 분자 수는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

✕. 동적 평형 상태에 도달한 것이므로 $\frac{A(g) \text{의 응축 속도}}{A(l) \text{의 증발 속도}}$ 는

(가)와 (나)가 모두 1이다.

12 고체 결정 구조

(가)에서 Cu(s)는 면심 입방 구조를 갖고, (나)에서 C(s, 흑연)은 층상 구조를 갖는다.

- ㉠. (가)는 금속 결정이므로 전기 전도성이 있고, (나)는 C 원자의 층상 구조 사이에 전자가 이동할 수 있으므로 전기 전도성이 있다.
 ✕. (가)는 금속 결합, (나)는 공유 결합으로 이루어져 있다.
 ✕. (가)에서 Cu는 면심 입방 구조이고, (나)에서 C는 층상 구조이다.

수능 3점 테스트						본문 37~43쪽
01 ⑤	02 ④	03 ①	04 ③	05 ⑤	06 ①	
07 ②	08 ⑤	09 ⑤	10 ③	11 ⑤	12 ①	
13 ③	14 ④					

01 분자 사이의 힘

(라)인 C_4H_9OH 의 분자량이 가장 작음에도 기준 끓는점이 가장 높은 이유는 수소 결합 때문이다.

- ㉠. 분자량이 (가) > (라)임에도 끓는점이 (라) > (가)인 주된 이유는 (라)가 수소 결합을 하는 분자이기 때문이다.
 ㉡. 기준 끓는점은 1 atm에서의 끓는점이므로 25°C에서 (가)~(다)는 모두 기체 상태가 안정한 상이다.
 ㉢. 분산력은 모든 액체 분자 사이에 작용한다.

02 분자 결정과 이온 결정

(가)는 수소 결합을 하는 H_2O 분자의 분자 결정이고, (나)는 Na^+ 과 Cl^- 의 이온 결정이다.

- ✕. (가)는 수소 결합을 하는 H_2O 분자의 분자 결정이다.
 ㉡. (가)에서 결합 a는 수소 결합이고, (나)에서 결합 b는 이온 결합이다. 녹는점은 (나) > (가)이므로 결합의 세기는 $b > a$ 이다.
 ㉢. (나)에서 Na^+ 은 Cl^- 과 같이 8개의 꼭짓점과 면의 중심에 입자가 배열되는 면심 입방 구조를 이룬다.

03 액체의 증기 압력

액체의 증기 압력은 온도가 높아질수록 증가한다.

- ✕. 액체 상태에서 분자 사이의 힘이 클수록 증기 압력은 낮으므로 분자 사이의 인력은 $B > A$ 이다.

- ㉡. 기준 끓는점은 외부 압력이 1 atm(760 mmHg)일 때의 끓는점이다. 기준 끓는점이 60°C 이하인 것은 A와 B 2가지이다.
 ✕. 높은 산에 올라가면 대기압이 760 mmHg보다 감소하므로 D의 끓는점은 낮아진다.

04 수소 화합물의 끓는점

17족 원소의 수소 화합물 A~D는 각각 HF, HCl, HBr, HI이다. 끓는점은 $A > D > C > B$ 이고, A의 끓는점이 분자량이 가장 작음에도 가장 큰 것으로 보아 수소 결합이 존재하는 분자인 HF이고, 3~5주기 원소의 수소 화합물은 쌍극자 모멘트가 $B > C > D$ 이지만, 끓는점이 $D > C > B$ 이므로 분산력이 끓는점의 주된 요인임을 알 수 있다.

- ㉡. A는 2주기 원소의 수소 화합물이므로 분자량이 가장 작지만 기준 끓는점이 가장 높은 것으로 보아 수소 결합이 작용함을 알 수 있다.
 ✕. B와 C는 모두 극성 분자이고, 쌍극자 모멘트는 $B > C$ 이다. 그러나 분자량이 큰 C가 B보다 끓는점이 높으므로 주된 요인은 분산력이다.
 ㉢. 분산력은 분자량이 클수록 크므로 D가 가장 크다.

05 액체의 증기 압력

$X(l)$ 는 25°C 진공 상태에서 수은 기둥을 500 mm 밀어 올리는 증기 압력을 나타내므로 25°C에서 $X(l)$ 의 증기 압력은 500 mmHg이다. $Y(l)$ 의 증기 압력과 400 mm의 수은 기둥의 압력의 합은 대기압과 같으므로 25°C에서 $Y(l)$ 의 증기 압력은 360 mmHg이다.

- ✕. 25°C에서 증기 압력은 $X(l) > Y(l)$ 이므로 기준 끓는점은 $Y > X$ 이다.
 ㉡. 25°C에서 $X(l)$ 와 $Y(l)$ 의 증기 압력은 각각 500 mmHg, 360 mmHg이므로 증기 압력 차는 140 mmHg이다.
 ㉢. 25°C에서 $Y(l)$ 의 증기 압력은 360 mmHg이므로 기준 끓는점은 25°C보다 높다.

06 가열 곡선

고체 상태에서 A를 가열하였으므로 시작 온도는 녹는점인 $-114^\circ C$ 보다 낮아야 한다. $-114^\circ C$ 가 녹는점, $78^\circ C$ 가 끓는점이므로 두 온도에서 상태 변화가 일어나서 온도가 일정하다. 액체 상태의 비열이 고체 상태의 비열보다 크므로 액체 상태의 온도 변화가 고체 상태의 온도 변화보다 기울기가 작다. 기화열이 용해열의 2배이므로 액체가 기체로 상태 변화하는 구간의 길이가 고체가 액체로 상태 변화하는 구간의 길이의 2배여야 한다. 따라서 가장 적절한 것은 ①이다.

07 액체의 증기 압력

액체의 증기 압력은 온도가 높아질수록 커진다. B(l)의 증기 압력이 500 mmHg일 때의 온도가 84°C이고, B(l)의 증기 압력이 1 atm(760 mmHg)일 때의 온도는 100°C이다.

✕. B(l)의 증기 압력이 500 mmHg일 때의 온도는 84°C, x mmHg일 때의 온도는 99°C이므로 기준 끓는점보다 낮은 온도이다. 따라서 $500 < x < 760$ 이다.

○. 61°C일 때 A(l)는 증기 압력이 500 mmHg이고, C(l)는 증기 압력이 500 mmHg보다 작을 것이므로 분자 사이의 인력은 $C(l) > A(l)$ 이다.

✕. 1 atm일 때 C의 끓는점은 100°C보다 높으므로 100°C에서 안정한 상은 기체가 아니다.

08 온도에 따른 액체 분자 사이의 인력

○. 액체의 표면 장력이 클수록 표면적을 작게 하여 액체의 모양이 구형에 가까워지므로 25°C의 물이 50°C의 물보다 표면 장력이 크다.

○. 물에 가는 유리관을 넣었을 때 부착력이 응집력보다 크므로 외부 수면보다 내부 수면이 높아진다.

○. (가)와 (나)의 결과 물의 온도가 높아지면서 물 분자의 운동 에너지가 증가하여 분자 사이의 인력을 극복하고자 하는 경향이 커지므로 표면 장력이 감소하고, 물 분자 사이의 응집력이 줄어드는 것을 알 수 있다. 따라서 '물의 온도가 높아지면 표면 장력이 감소한다.'는 ○으로 적절하다.

09 고체 결정 구조

단위 세포의 면으로부터 A는 체심 입방 구조, B는 단순 입방 구조, C는 면심 입방 구조임을 알 수 있다.

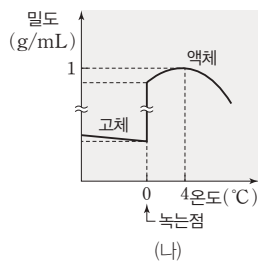
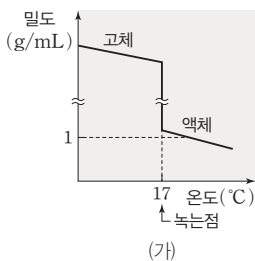
✕. A는 단위 세포의 꼭짓점에 4개의 입자가 있고, 각 꼭짓점의 입자가 서로 닿지 않으므로 체심 입방 구조이다.

○. $x=2, y=1$ 이므로 $x=2y$ 이다.

○. C는 면심 입방 구조이므로 단위 세포에 포함된 $\frac{1}{2}$ 개 입자에 해당하는 입자 수가 6이다.

10 고체와 액체의 밀도

(가)로부터 A는 고체 상태의 밀도가 액체 상태의 밀도보다 크고, (나)로부터 B는 고체 상태의 밀도가 액체 상태의 밀도보다 작다는 것을 알 수 있다.



○. 온도가 일정한 상태에서 밀도가 크게 변할 때의 온도가 녹는 점이므로 A와 B의 녹는점은 각각 17°C, 0°C이다. 따라서 녹는 점은 $A > B$ 이다.

○. A는 고체 상태의 밀도가 1 g/mL보다 크고, B는 고체 상태의 밀도가 1 g/mL보다 작다. 따라서 고체 상태 1g의 부피는 B가 A보다 크다.

✕. 1 atm, 4°C에서 A의 안정한 상은 고체이고, B의 안정한 상은 액체이다.

11 고체 결정 구조

(가)는 금속 결정, (나)와 (다)는 이온 결정이다.

○. (가)는 면심 입방 구조이므로 단위 세포에 포함된 Cu의 원자는 꼭짓점에 $\frac{1}{8} \times 8 = 1$ 개, 면에 $\frac{1}{2} \times 6 = 3$ 개로 총 4개이다.

○. (가)의 Cu(s)는 금속 결정이므로 전기 전도성이 있고, (나)의 CsCl은 이온 결정이므로 고체 상태에서는 전기 전도성이 없다.

○. (다)에서 Ca^{2+} 은 정육면체의 꼭짓점과 면의 중심에 배치되므로 면심 입방 구조를 이룬다.

12 고체 결정 구조

Al(s)은 금속 결정, $CO_2(s)$ 는 분자 결정, NaCl(s)은 이온 결정이다.

○. Al의 원자량은 27이므로 1 mol의 질량은 27 g이다. 따라서 Al(s) 입자 1개의 질량은 $\frac{27 \text{ g}}{6 \times 10^{23} \text{ 개}} = 4.5 \times 10^{-23} \text{ g/개}$ 이고, 면심 입방 구조를 갖는 Al(s)의 단위 세포에 포함된 Al 입자 수는 4이므로 단위 세포의 질량은 $1.8 \times 10^{-22} \text{ g}$ 이다.

✕. Al(s)의 한 면에는 꼭짓점과 면심에 Al 원자가 있으므로 a는 Al의 원자 반지름의 2배보다 크다.

✕. Al, CO_2 , NaCl의 1 atm, -50°C 에서 안정한 상은 각각 고체, 기체, 고체이다.

13 증기 압력

기준 끓는점은 증기 압력이 1 atm일 때의 온도이므로 $C > B > A$ 이다.

○. 기준 끓는점이 높을수록 분자 사이의 인력은 크므로 $B(l) > A(l)$ 이다.

✕. B의 기준 끓는점은 58°C이므로 58°C에서 C(l)의 증기 압력은 0.01 atm보다 작다.

○. B(l)는 58°C에서 증기 압력이 1 atm이므로 100°C, 1 atm에서 B의 안정한 상은 기체이다.

14 고체 결정 구조

(가)는 화학식이 CsCl인 이온 결정, (나)는 화학식이 I_2 인 분자 결정, (다)는 화학식이 AB_2 인 이온 결정이다.

㉠. (나)는 무극성 분자인 I_2 의 분자 결정이므로 구성 분자 사이에 분산력이 작용한다.

㉡. (가)는 Cs^+ 을 둘러싼 가장 가까운 음이온 Cl^- 의 수가 8이고, (다)는 양이온인 A 이온을 둘러싼 B 이온의 수가 8이다. 따라서 양이온 1개를 둘러싼 가장 가까운 음이온의 수는 (가)와 (다)가 같다.

㉢. (다)에서 꼭짓점에 있는 A 이온의 수는 $\frac{1}{8} \times 8 = 1$ 이고, 면심에 있는 A 이온의 수는 $\frac{1}{2} \times 6 = 3$ 이므로 단위 세포의 A 이온 수는 4이다. 또한 B 이온은 총 8개가 들어 있으므로 화학식은 AB_2 이다.

03 용액

수능 2점 테스트

본문 55~58쪽

01 ①	02 ④	03 ③	04 ④	05 ⑤	06 ⑤
07 ②	08 ⑤	09 ③	10 ②	11 ④	12 ⑤
13 ④	14 ②	15 ①	16 ④		

01 ppm 농도와 퍼센트 농도

ppm 농도는 용액 10⁶ g에 녹아 있는 용질의 질량(g)이고, 퍼센트 농도는 용액 100 g에 녹아 있는 용질의 질량(g)이다. 디카페인 커피에서 카페인의 ppm 농도는 $\frac{0.01 \text{ g}}{500 \text{ g}} \times 10^6 \text{ ppm} = 20 \text{ ppm}$ 이고, 퍼센트 농도는 $\frac{0.01 \text{ g}}{500 \text{ g}} \times 100\% = 0.002\%$ 이다.

02 몰랄 농도

몰랄 농도는 용매 1 kg에 녹인 용질의 양(mol)을 나타낸 농도이다. A(aq)에서 용액의 질량은 500 mL \times 1.06 g/mL = 530 g이

다. 용질 A의 질량을 x g이라고 하면 몰랄 농도는 $\frac{x \text{ mol}}{\frac{530-x}{1000} \text{ kg}}$

= 0.5 m이다. 따라서 $x = 30$ 이다.

03 몰랄 농도의 비교

몰랄 농도는 용매 1 kg에 녹인 용질의 양(mol)을 나타낸 농도이다. a m A(aq), 2a m A(aq)을 각각 (가)와 (나)라고 할 때, (가)와 (나)에서 용질 A의 질량이 같으므로 (가)와 (나)에서 A의 양

을 각각 x mol이라고 하면 (가)의 몰랄 농도는 $\frac{x \text{ mol}}{\frac{520-100x}{1000} \text{ kg}}$

= a m이고, (나)의 몰랄 농도는 $\frac{x \text{ mol}}{\frac{270-100x}{1000} \text{ kg}} = 2a$ m이

다. $\frac{520-100x}{270-100x} = 2$ 이므로 $x = 0.2$ 이다. (가)의 몰랄 농도는

$\frac{0.2 \text{ mol}}{\frac{520-20}{1000} \text{ kg}} = 0.4 \text{ m}$ 이므로 $a = 0.4$ 이다.

04 몰랄 농도와 퍼센트 농도

(가)에서 용질의 질량을 x g이라고 하면, (가)의 몰랄 농도

$$\text{는 } \frac{\frac{x}{100} \text{ mol}}{\frac{1100-x}{1000} \text{ kg}} = a \text{ m이므로 } (10+a)x = 1100a \text{ (식 ㉠)}$$

이다. (가)에 물 900 g을 추가한 (나)의 퍼센트 농도는

$$\frac{\frac{x \text{ g}}{(1100+900) \text{ g}} \times 100\% = 5a\% \text{이므로 } x = 100a \text{이다. 이를 식}$$

㉠에 대입하면 $a=1$ 이다.

05 몰랄 농도의 비교

몰랄 농도는 용매 1 kg에 녹인 용질의 양(mol)을 나타낸 농도이다.

$$\text{㉠. (나)의 몰랄 농도는 } \frac{\text{A의 양(mol)}}{\text{물의 질량(kg)}} = \frac{2 \text{ mol}}{1 \text{ kg}} = 2 \text{ m이다.}$$

$$\text{㉡. (다)의 몰랄 농도는 } \frac{2 \text{ mol}}{4 \text{ kg}} = 0.5 \text{ m이고, (라)의 몰랄 농도는}$$

$$\frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ kg}} = 0.5 \text{ m이다.}$$

$$\text{㉢. (나)와 (라)를 모두 혼합한 수용액의 몰랄 농도는 } \frac{(2+1) \text{ mol}}{(1+2) \text{ kg}}$$

$$= 1 \text{ m이고, (가)의 몰랄 농도는 } \frac{3 \text{ mol}}{3 \text{ kg}} = 1 \text{ m이다.}$$

06 몰랄 농도와 몰 농도

몰랄 농도는 용매 1 kg에 녹인 용질의 양(mol)을 나타낸 농도이고, 몰 농도는 용액 1 L에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 나타낸 농도이다.

$$\text{㉠. (가)의 질량은 } 500 \text{ mL} \times 1.06 \text{ g/mL} = 530 \text{ g이다.}$$

$$\text{㉡. (나)에 녹아 있는 A의 양은 } 1 \text{ M} \times 0.5 \text{ L} = 0.5 \text{ mol이다.}$$

$$\text{㉢. (가)에 녹아 있는 A의 질량을 } x \text{ g이라고 하면, 몰랄 농도는}$$

$$\frac{\frac{x}{60} \text{ mol}}{\frac{530-x}{1000} \text{ kg}} = 1 \text{ m이므로 } x = 30 \text{이다. (나)에 녹아 있는 A의}$$

$$\text{질량은 } 0.5 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol} = 30 \text{ g이다.}$$

07 퍼센트 농도와 몰랄 농도

용질의 질량이 $a \text{ g}$ 인 (가)에서 용액의 질량을 $x \text{ g}$ 이라고 하면, 퍼센트 농도는 $\frac{a \text{ g}}{x \text{ g}} \times 100\% = a\%$ 이므로 $x = 100$ 이고, 물의 질량은 $(100-a) \text{ g}$ 이다. (가)에 물 $a \text{ g}$ 을 추가한 (나)에서 물의 질량

$$\text{은 } 100 \text{ g이므로 (나)의 몰랄 농도는 } \frac{\frac{a}{40} \text{ mol}}{\frac{100}{1000} \text{ kg}} = 1 \text{ m이다. 따라}$$

서 $a=4$ 이다.

08 몰랄 농도

용질의 양(mol)은 몰랄 농도(m)와 용매의 질량(kg)의 곱이다.

$$\text{㉠. (가)에 녹아 있는 A의 양은 } 2 \text{ m} \times 1 \text{ kg} = 2 \text{ mol이고, 질량은 } 2 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} = 80 \text{ g이다.}$$

$$\text{㉡. (가)에 물 } 250 \text{ g을 추가한 수용액의 몰랄 농도는}$$

$$\frac{2 \text{ mol}}{\frac{1000+250}{1000} \text{ kg}} = 1.6 \text{ m이므로 } a = 1.6 \text{이다.}$$

$$\text{㉢. (나)에 물 } 250 \text{ g을 추가하면 물의 질량은 처음의 } \frac{4}{3} \text{ 배가 되므}$$

$$\text{로 몰랄 농도는 } \frac{3}{4} \text{ 배가 된다. 따라서 } b \times \frac{3}{4} = 1.6 \text{이므로 } b = \frac{32}{15}$$

이다.

09 증기 압력 내림

수용액의 증기 압력 내림은 물의 증기 압력과 용질의 몰 분율의 곱이다.

$$\text{㉠. } t^\circ\text{C의 (가)에서 } \text{H}_2\text{O}(l) \text{과 } \text{H}_2\text{O}(g) \text{가 평형을 이루고 있을 때 } \text{H}_2\text{O}(g) \text{의 압력이 } 0.1 \text{ atm이므로 } t^\circ\text{C에서 } \text{H}_2\text{O}(l) \text{의 증기 압력은 } 0.1 \text{ atm이다.}$$

$$\text{㉡. 두 기체의 온도가 같을 때 } \frac{PV}{n} \text{가 같으므로 } t^\circ\text{C에서 평형에}$$

$$\text{도달한 후 (가)와 (나)에서 } \frac{0.1 \text{ atm} \times 1 \text{ L}}{2n \text{ mol}} = \frac{x \text{ atm} \times \frac{50}{99} \text{ L}}{n \text{ mol}}$$

다. $x = 0.099$ 이다.

$$\text{㉢. } t^\circ\text{C에서 A(aq)의 증기 압력 내림은 } 0.1 \text{ atm} - 0.099 \text{ atm} = 0.001 \text{ atm이다. 평형에 도달한 후 A(aq)에서 A의 몰 분율을 } X \text{라고 하면, 증기 압력 내림은 } 0.001 \text{ atm} = 0.1 \text{ atm} \times X \text{이므로 } X = \frac{1}{100} \text{이다.}$$

10 증기 압력 내림과 몰랄 농도

0.1 m A(aq) 은 물 1000 g에 A 0.1 mol을 녹인 수용액에 해당한다. 이 용액에서 물의 양은 $\frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = \frac{500}{9} \text{ mol}$ 이므로

$$\text{물의 몰 분율은 } \frac{\frac{500}{9} \text{ mol}}{\frac{500}{9} \text{ mol} + \frac{1}{10} \text{ mol}} = \frac{5000}{5009} \text{이다. } t^\circ\text{C에서 물}$$

$$\text{의 증기 압력을 } P \text{ mmHg라고 하면 A(aq)의 증기 압력은 } P \text{ mmHg} \times \frac{5000}{5009} = 50 \text{ mmHg이므로 } P = 50 \times \frac{5009}{5000} = 50.09 \text{이다.}$$

11 증기 압력 내림과 퍼센트 농도

수용액의 증기 압력은 물의 증기 압력과 물의 몰 분율의 곱이다. 8% 포도당 수용액은 물 92 g에 포도당 8 g을 녹인 용액에 해당한다.

$$\text{이 용액에서 물의 몰 분율은 } \frac{\frac{92 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}}}{\frac{92 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} + \frac{8 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}}} = \frac{115}{116}$$

이므로 수용액의 증기 압력은 $116 \text{ mmHg} \times \frac{115}{116} = 115 \text{ mmHg}$ 이다. 따라서 $x=115$ 이다.

12 어는점 내림과 퍼센트 농도

$$\times. A(aq) \text{의 퍼센트 농도는 } \frac{10 \text{ g}}{(250+10) \text{ g}} \times 100\% = \frac{50}{13}\%$$

므로 $a = \frac{50}{13}$ 이다.

$$\odot. A(aq) \text{의 몰랄 농도는 } \frac{\frac{10 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}}{\frac{250}{1000} \text{ kg}} = \frac{2}{3} m \text{이다.}$$

$$\odot. 1 \text{ atm에서 } A(aq) \text{의 어는점 내림은 } 1.86 \text{ }^\circ\text{C}/m \times \frac{2}{3} m = 1.24 \text{ }^\circ\text{C} \text{이다.}$$

13 끓는점 오름

$$\text{포도당 수용액의 몰랄 농도는 } \frac{\frac{18 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}}}{\frac{500}{1000} \text{ kg}} = 0.2 m \text{이다. 포도}$$

당 수용액의 끓는점 오름은 $a \text{ }^\circ\text{C}/m \times 0.2 m = 0.2a \text{ }^\circ\text{C}$ 이므로 끓는점은 $(100 + 0.2a) \text{ }^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 $x = 100 + 0.2a$ 이다.

14 끓는점 오름

$A(l)$ 의 기준 끓는점을 $t_0 \text{ }^\circ\text{C}$ 라고 하면, (가)의 몰랄 농도는 $\frac{0.01 \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} = 0.1 m$ 이므로 끓는점 오름은 $(t_1 - t_0) \text{ }^\circ\text{C} = x \text{ }^\circ\text{C}/m \times 0.1 m$ (식 ㉠)이다. (나)의 몰랄 농도는 $\frac{0.01 \text{ mol}}{0.5 \text{ kg}} = 0.02 m$ 이므로 끓는점 오름은 $(t_2 - t_0) \text{ }^\circ\text{C} = x \text{ }^\circ\text{C}/m \times 0.02 m$ (식 ㉡)이다. 식 ㉠과 ㉡을 이용하면 $t_1 - t_2 = x \times 0.08$ 이므로 $x = \frac{25(t_1 - t_2)}{2}$ 이다.

15 어는점 내림과 증기 압력 내림

$$\odot. A(aq) \text{의 몰랄 농도는 } \frac{0.31 \text{ }^\circ\text{C}}{1.86 \text{ }^\circ\text{C}/m} = \frac{1}{6} m \text{이다.}$$

\times . 몰랄 농도가 $\frac{1}{6} m$ 인 $A(aq)$ 은 물 1 kg에 $A \frac{1}{6} \text{ mol}$ 을 녹인 용액에 해당한다. 이 용액에서 물의 몰 분율은

$$\frac{\frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}}}{\frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} + \frac{1}{6} \text{ mol}} = \frac{1000}{1003} \text{이므로 } t \text{ }^\circ\text{C에서 } A(aq) \text{의 증기}$$

$$\text{압력(atm)} x = \frac{1000}{1003} P \text{이다.}$$

$$\times. \frac{100}{101}\% = \frac{10 \times 100\%}{1000 + 10} \text{인 } A(aq) \text{은 물 } 1000 \text{ g에 } A \text{ } 10 \text{ g을}$$

녹인 용액에 해당한다. 따라서 $A \text{ } 10 \text{ g}$ 은 $\frac{1}{6} \text{ mol}$ 이므로 $A \text{ } 1 \text{ mol}$ 의 질량은 60 g 이고, A 의 분자량은 60 이다.

16 삼투압

$25 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 $a \text{ M } A(aq)$ 의 삼투압은 $P \text{ atm}$ 이고, $b \text{ M } B(aq)$ 의 삼투압은 $2P \text{ atm}$ 이다. 삼투압은 용질의 종류와 무관하며 온도가 일정할 때 몰 농도에 비례한다. 따라서 $\frac{b}{a} = \frac{2P \text{ atm}}{P \text{ atm}} = 2$ 이다.

수능 3점 테스트

본문 59~66쪽

01 ①	02 ①	03 ④	04 ⑤	05 ②	06 ①
07 ③	08 ④	09 ⑤	10 ②	11 ④	12 ⑤
13 ⑤	14 ②	15 ③	16 ⑤		

01 ppm 농도와 퍼센트 농도

ppm 농도는 용액 10^6 g 에 녹아 있는 용질의 질량(g)이고, 퍼센트 농도는 용액 100 g 에 녹아 있는 용질의 질량(g)이다.

①. Cd의 ppm 농도가 1970년일 때가 2000년일 때보다 크므로, A 강물 1 kg에 들어 있는 Cd의 질량은 1970년일 때가 2000년일 때보다 크다.

$$\times. 1970 \text{년 } A \text{ 강물에서 } Pb \text{의 퍼센트 농도는 } \frac{0.5 \text{ g}}{1000000 \text{ g}} \times 100\% = 0.00005\% \text{이다.}$$

\times . 2000년 A 강물 1 kg에 들어 있는 중금속의 질량은 Pb이 Cd의 5배이다. Cd와 Pb의 원자량은 각각 112.4, 207.2이므로 중금속의 양(mol)은 Pb이 Cd의 $5 \times \frac{112.4}{207.2}$ 배이다.

02 수용액의 희석과 몰랄 농도

수용액을 희석할 때 몰랄 농도는 물의 질량에 반비례한다.

①. (가)에 물을 1000 g 추가하였을 때 몰랄 농도가 $2 m$ 에서 $1 m$ 로 $\frac{1}{2}$ 배 감소하였으므로 물의 질량이 2배 증가한 것이다. 따라서 (가)에서 물의 질량은 1000 g , $a = 1000$ 이다. 마찬가지로 (나)에 물을 500 g 추가하였을 때 몰랄 농도가 $1 m$ 에서 $0.5 m$ 로 $\frac{1}{2}$ 배 감소하였으므로 물의 질량이 2배 증가한 것이다. 따라서 (나)에서 물의 질량은 500 g , $b = 500$ 이므로 $a = 2b$ 이다.

✕. (가)의 몰랄 농도는 $\frac{c}{1 \text{ kg}} \text{ mol} = 2 \text{ m}$ 이므로, $c=80$ 이다.

✕. (나)에 물을 1000 g 추가하면 물의 질량은 3배가 되므로 몰랄 농도는 1 m의 $\frac{1}{3}$ 배인 $\frac{1}{3} \text{ m}$ 가 된다. 따라서 $x=\frac{1}{3} > 0.3$ 이다.

03 끓는점 오름과 증기 압력 내림

$t^\circ\text{C}$ 에서 (가)의 증기 압력이 $\frac{250}{253} P \text{ atm}$ 이므로 (가)에서 물의 물 분율은 $\frac{250}{253}$ 이다. 이는 물 250 mol에 A 3 mol을 녹인 용액에 해당하고 이 용액의 퍼센트 농도는

$$\frac{3 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol}}{250 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} + 3 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol}} \times 100\% = \frac{50}{13}\%$$

$=a\%$ 이고, 몰랄 농도는 $\frac{3 \text{ mol}}{\frac{250 \times 18}{1000} \text{ kg}} = \frac{2}{3} \text{ m}$ 이다.

$\frac{300}{253}\%$ ($=\frac{3 \times 100\%}{250+3}$) A(aq)인 (나)는 물 250 g에 A 3 g을 녹인

용액에 해당하므로 이 용액의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{3 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}}{\frac{250}{1000} \text{ kg}} = \frac{1}{5} \text{ m}$

이다. 끓는점 오름은 몰랄 농도에 비례하므로 $k : xk = \frac{2}{3} : \frac{1}{5}$,

$x = \frac{3}{10}$ 이다. 따라서 $a \times x = \frac{50}{13} \times \frac{3}{10} = \frac{15}{13}$ 이다.

04 몰 농도, 퍼센트 농도, 몰랄 농도

㉠. (가)에 녹아 있는 A의 질량은 $200 \text{ g} \times \frac{1}{10} = 20 \text{ g}$ 이므로 (가)에서 물의 질량은 $200 \text{ g} - 20 \text{ g} = 180 \text{ g}$ 이다.

㉡. (나)에 녹아 있는 A의 양은 $0.1 \text{ M} \times 0.1 \text{ L} = 0.01 \text{ mol}$ 이고, A의 질량은 $0.01 \text{ mol} \times 100 \text{ g/mol} = 1 \text{ g}$ 이다.

$$\frac{\text{(가)에 녹아 있는 A의 양(mol)}}{\text{(나)에 녹아 있는 A의 양(mol)}}$$

$$\frac{\text{(가)에 녹아 있는 A의 질량(g)}}{\text{(나)에 녹아 있는 A의 질량(g)}} = \frac{20 \text{ g}}{1 \text{ g}} = 20 \text{이다.}$$

㉢. (나)의 질량은 $100 \text{ mL} \times 1.01 \text{ g/mL} = 101 \text{ g}$ 이고 (나)에서 A의 질량이 1 g이므로 물의 질량은 100 g이다. (가)와 (나)를 모두 혼합하여 만든 수용액의 몰랄 농도는

$$\frac{\frac{20 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} + 0.01 \text{ mol}}{\frac{180 + 100}{1000} \text{ kg}} = \frac{210}{280} \text{ m} = 0.75 \text{ m} \text{이다.}$$

05 증기 압력 내림

맑은 용액의 증기 압력은 용매의 증기 압력과 용매의 물 분율($X_{\text{용매}}$)의 곱이다.

✕. 증기 압력은 (나) > (가)이므로 (나)는 물이고, (가)는 $a\%$ A(aq)

이다.

㉠. (가)의 증기 압력은 $(81-1) \text{ mmHg} = 81 \text{ mmHg} \times X_{\text{물}}$ 이므로 $X_{\text{물}} = \frac{80}{81}$ 이다.

✕. (가)에서 A의 물 분율은 $\frac{1}{81}$ 이고, 이는 A 1 mol과 물 80 mol을 혼합한 수용액에 해당한다. 이 수용액의 퍼센트 농도는

$$\frac{1 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol}}{80 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} + 1 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol}} \times 100\% = 4\% \text{이므로 } a=4 \text{이다.}$$

06 퍼센트 농도, 몰 농도, 몰랄 농도

(가)에 녹아 있는 A의 질량은 $890 \text{ g} \times \frac{a}{100} = 8.9a \text{ g}$ 이고, 물의 질량은 $(890 - 8.9a) \text{ g}$ 이다. (나)에서 용액의 부피는 $\frac{10a \text{ g}}{1 \text{ g/mL}} =$

$10a \text{ mL}$ 이고, 녹아 있는 A의 질량은 $0.1 \text{ M} \times \frac{10a}{1000} \text{ L} \times 100 \text{ g/mol}$

$= 0.1a \text{ g}$ 이며, 물의 질량은 $10a \text{ g} - 0.1a \text{ g} = 9.9a \text{ g}$ 이다. (가)와 (나)를 모두 혼합하여 만든 수용액을 (다)라고 하면 (다)에 녹아 있는 A의 질량은 $8.9a \text{ g} + 0.1a \text{ g} = 9a \text{ g}$ 이고, 물의 질량은 $(890 - 8.9a) \text{ g} + 9.9a \text{ g} = (890 + a) \text{ g}$ 이다. (다)의 몰랄 농도

$$\text{는 } \frac{\frac{9a}{100} \text{ mol}}{\frac{890+a}{1000} \text{ kg}} = 1 \text{ m} \text{이므로, } a=10 \text{이다.}$$

07 삼투압과 몰 농도

온도가 일정할 때 삼투압은 몰 농도에 비례한다. (가)에 물 0.5 L를 추가하였을 때 삼투압이 (가)의 $\frac{2}{3}$ 배로 감소하였으므로 몰 농도가

(가)의 $\frac{2}{3}$ 배로 감소한 것이다. 이는 용액의 부피가 $\frac{3}{2}$ 배로 증가하였기 때문이므로 $V_1 \text{ L} = 1 \text{ L}$ 이다. (나)에 물 0.5 L를 추가하였을 때 삼투압이 (나)의 $\frac{1}{2}$ 배로 감소하였으므로 몰 농도가 (나)의 $\frac{1}{2}$ 배로 감소한 것이다. 이는 용액의 부피가 2배로 증가하였기 때문이므로 $V_2 \text{ L} = 0.5 \text{ L}$ 이다. 또 삼투압비가 (가) : (나) = 3 : 2이므로 몰 농도비도 (가) : (나) = 3 : 2이다. 부피비는 (가) : (나) = 2 : 1이므로 용질의 몰비는 (가) : (나) = $(3 \times 2) : (2 \times 1) = 3 : 1$ 이다. (가)와 (나)에 녹아 있는 용질의 질량이 같으므로 A와 B의 분자량비는 $M_A : M_B = 1 : 3$ 이다. 따라서 $\frac{M_B \times V_2}{M_A} = \frac{3 \times 0.5}{1} = \frac{3}{2}$ 이다.

08 몰 농도, 몰랄 농도

$a \text{ M A(aq)}$ 은 A $a \text{ mol}$ 이 녹아 있는 1 L 수용액에 해당한다. 이 용액의 질량은 $1000 \text{ mL} \times 1.1 \text{ g/mL} = 1100 \text{ g}$ 이

고 용질의 질량은 $a \text{ mol} \times M_A \text{ g/mol} = aM_A \text{ g}$ 이므로 물의 질량은 $(1100 - aM_A) \text{ g}$ 이다. 이 용액의 몰랄 농도는 $\frac{a \text{ mol}}{\frac{1100 - aM_A}{1000} \text{ kg}} = 1.1a \text{ m}$ 이므로 $a \times M_A = \frac{2100}{11}$ 이다.

09 증기 압력 내림과 퍼센트 농도

증기 압력 내림은 용매의 증기 압력과 용질의 몰 분율의 곱이다. $A(aq)$ 에서 A의 몰 분율은 $\frac{1}{131}$ 이고, 이는 물 $130 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} = 2340 \text{ g}$ 에 A $1 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol} = 60 \text{ g}$ 을 녹인 용액에 해당한다. 이 용액의 퍼센트 농도는 $\frac{60 \text{ g}}{(2340 + 60) \text{ g}} \times 100\% = 2.5\%$ 이므로 $a = 2.5$ 이다. $5\% B(aq)$ 은 물 95 g 에 B 5 g 을 녹인 용액에 해당한다. 이 용액에서 B의 몰 분율은 $\frac{5 \text{ g}}{\frac{180 \text{ g/mol}}{18 \text{ g/mol}} + \frac{5 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}}} = \frac{1}{191} = \frac{1 \text{ mmHg}}{x \text{ mmHg}}$ 이므로 $x = 191$ 이다.

10 몰 농도, 퍼센트 농도, 몰랄 농도

(가)에서 A의 양은 $0.5 \text{ M} \times 0.5 \text{ L} = 0.25 \text{ mol}$ 이고, 질량은 $0.25 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} = 10 \text{ g}$ 이며, 물의 질량은 $(500 \text{ mL} \times 1 \text{ g/mL}) - 10 \text{ g} = 490 \text{ g}$ 이다. (가)에 가한 $10\% A(aq)$ $x \text{ g}$ 에서 A의 질량은 $\frac{x}{10} \text{ g}$, 물의 질량은 $\frac{9x}{10} \text{ g}$ 이다. 따라서 (나)의 몰

랄 농도는 $\frac{10 + \frac{x}{10} \text{ mol}}{\frac{490 + \frac{9x}{10}}{1000} \text{ kg}} = \frac{25}{29} \text{ m}$ 이므로 $x = 100$ 이다.

11 끓는점 오름과 어는점 내림

퍼센트 농도가 $\frac{100}{51}\% = \frac{1 \times 100\%}{50 + 1}$ 인 $A(aq)$ 은 물 50 g 에 A $\frac{1 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = \frac{50}{1000} \text{ kg}$ 1 g 을 녹인 용액에 해당하므로 이 용액의 몰랄 농도는 $\frac{1 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = \frac{50}{1000} \text{ kg}$ $= \frac{1}{3} \text{ m}$ 이다. 끓는점 오름과 어는점 내림은 몰랄 농도에 비례하므로 $B(aq)$ 의 몰랄 농도는 $\frac{1}{3} \text{ m} \times \frac{3k}{5k} = \frac{1}{5} \text{ m}$ 이고, $\frac{a}{b} = \frac{5k}{3k} = \frac{5}{3}$ 이다. $\frac{1}{5} \text{ m}$ $B(aq)$ 은 물 1 kg 에 B $\frac{1}{5} \text{ mol} \times 180 \text{ g/mol} = 36 \text{ g} = x \text{ g}$ 을 녹인 용액이다. 따라서 $\frac{a \times x}{b} = \frac{5}{3} \times 36 = 60$ 이다.

12 몰랄 농도

(가)와 (나)는 용질의 질량이 각각 30 g 이므로 용매의 질량은 각각 $330 \text{ g} - 30 \text{ g} = 300 \text{ g}$, $530 \text{ g} - 30 \text{ g} = 500 \text{ g}$ 이다.

✕. (가)는 용매의 질량이 300 g 이므로 몰랄 농도가 1 m 또는 2 m 가 되기 위해서는 용질의 양이 각각 $0.3 \text{ kg} \times 1 \text{ m} = 0.3 \text{ mol}$, $0.3 \text{ kg} \times 2 \text{ m} = 0.6 \text{ mol}$ 이 되어야 한다. $C(aq)$ 에서 용질의 화학식량이 100 이므로 용질의 질량이 30 g 일 때 용질의 양은 $\frac{30 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} = 0.3 \text{ mol}$ 이 되어 (가)는 $C(aq)$ 이다.

○. (나)는 용매의 질량이 500 g 이므로 몰랄 농도가 1 m 또는 2 m 가 되기 위해서는 용질의 양이 각각 $0.5 \text{ kg} \times 1 \text{ m} = 0.5 \text{ mol}$, $0.5 \text{ kg} \times 2 \text{ m} = 1 \text{ mol}$ 이 되어야 한다. $B(aq)$ 에서 용질의 화학식량이 60 이므로 용질의 질량이 30 g 일 때 용질의 양은 $\frac{30 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0.5 \text{ mol}$ 이 되어 (나)는 $B(aq)$ 이다. $B(aq)$ 의 용질의 양은 0.5 mol 이다.

○. (다)는 $A(aq)$ 이다. (다)의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{x}{40} \text{ mol}}{\frac{360 - x}{1000} \text{ kg}} = 2 \text{ m}$

이므로 $x = \frac{80}{3}$ 이다.

13 어는점 내림과 증기 압력 내림

$t^\circ\text{C}$ 에서 $B(aq)$ 의 증기 압력이 $\frac{1000}{1003} P \text{ atm}$ 이므로 물의 몰 분율은 $\frac{1000}{1003}$ 이다. 이는 물 1000 mol 에 B 3 mol 을 녹인 용액에 해당하고 이 용액의 퍼센트 농도는

$\frac{3 \text{ mol} \times 180 \text{ g/mol}}{1000 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} + 3 \text{ mol} \times 180 \text{ g/mol}} \times 100\% = \frac{300}{103}\% = a\%$ 이다.

○. 퍼센트 농도가 $\frac{300}{103}\% = \frac{3 \times 100\%}{100 + 3}$ 인 $A(aq)$ 은 물 100 g 에 A 3 g 을 녹인 용액에 해당하므로 이 용액에서 물의 몰 분율은

$\frac{100 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = \frac{1000}{1009}$ 이고, $t^\circ\text{C}$ 에서 이 용액의 증

기 압력은 $\frac{1000}{1009} P \text{ atm}$ 이다. 따라서 $\frac{b}{a} = \frac{1000 P}{\frac{1009 P}{300}} = \frac{1030}{3027} P$

이다.

○. $A(aq)$ 의 몰랄 농도는 $\frac{3 \text{ g}}{\frac{60 \text{ g/mol}}{100} \text{ kg}} = 0.5 \text{ m}$ 이다.

○. 1 atm 에서 물의 몰랄 내림 상수를 K_f 라고 하면, $A(aq)$ 의 어는점 내림은 $0.93^\circ\text{C} = K_f \times 0.5 \text{ m}$ 이므로 $K_f = 1.86^\circ\text{C}/\text{m}$ 이다.

B(aq)의 몰랄 농도는 $\frac{3 \text{ mol}}{\frac{1000 \times 18}{1000} \text{ kg}} = \frac{1}{6} \text{ m}$ 이므로 어는점 내

림은 $1.86^\circ\text{C/m} \times \frac{1}{6} \text{ m} = 0.31^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 B(aq)의 기준 어는점은 -0.31°C 이므로 $x = -0.31$ 이다.

14 몰랄 농도와 퍼센트 농도

(가)에서 (나)가 될 때 몰랄 농도가 $\frac{2}{3}$ 배가 되었으므로 물의 질량이 $\frac{3}{2}$ 배로 증가했다. 따라서 추가한 물 50b g은 (가)에 들어 있는 물의 $\frac{1}{2}$ 배이다. (가)에 들어 있는 물의 질량은 100b g이고, 녹아 있는 A의 질량은 (545-100b) g이다. (나)에 들어 있는 물의 질량은 150b g이고, 녹아 있는 A의 질량은 (545-100b) g이다. (다)에 들어 있는 물의 질량은 150b g이고, 녹아 있는 A의 질량은 (545-99b) g이며, A의 질량 (545-99b) g = x g이라고 하면 (다)의 퍼센트 농도는 $\frac{x \text{ g}}{(150b+x) \text{ g}} \times 100\% = 6.25\% = \frac{25}{4}\%$ 이므로 $x = 10b = 545 - 99b$, $b = 5$ 이다.

15 증기 압력 내림과 퍼센트 농도

증기 압력 내림은 용매의 증기 압력과 용질의 몰 분율의 곱이다.
 ㉠. 물의 증기 압력이 같을 때 증기 압력 내림은 (가) > (나)이므로 (가)는 농도가 큰 8% A(aq)이고, (나)는 5% A(aq)이다.
 ㉡. 물의 증기 압력이 177 mmHg일 때 (가)의 증기 압력 내림이 4.5 mmHg이므로 (가)에서 A의 몰 분율은 $\frac{4.5 \text{ mmHg}}{177 \text{ mmHg}} = \frac{3}{118}$ 이다. 이는 물 118 mol - 3 mol = 115 mol에 A 3 mol을 녹인 수용액에 해당하므로 이 수용액의 퍼센트 농도는 $\frac{3 \text{ mol} \times a \text{ g/mol}}{115 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} + 3 \text{ mol} \times a \text{ g/mol}} \times 100\% = 8\%$ 이다.

$$a = \frac{115 \times 18 \times 8}{276} = 60 \text{이다.}$$

㉢. (가)의 증기 압력 내림은 물의 증기 압력에 비례하므로 3 : 4.5 = x : 177이므로 x = 118이다. (나) 5% A(aq)은 물 95 g에 A 5 g을 녹인 수용액에 해당하므로 A의 몰 분율은

$$\frac{\frac{5 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}}{\frac{95 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} + \frac{5 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}} = \frac{3}{193} \text{이다.}$$

물의 증기 압력이 y mmHg일 때 (나)의 증기 압력 내림은 3 mmHg = y mmHg $\times \frac{3}{193}$ 이므로 y = 193이다. y - x = 193 - 118 = 75이다.

16 몰랄 농도, 몰 농도, 퍼센트 농도

물 1000 g에 A 0.1 mol \times 100 g/mol = 10 g을 녹인 A(aq)의 몰랄 농도는 0.1 m이고, 수용액의 질량은 1010 g이다. 이에 비례하여 (가) 0.1 m A(aq) 202 g에 녹아 있는 A는 2 g이다. 1 M A(aq) a mL의 질량은 a mL \times 1.1 g/mL = 1.1a g이고, 녹아 있는 A의 질량은 $1 \text{ M} \times \frac{a}{1000} \text{ L} \times 100 \text{ g/mol} = 0.1a \text{ g}$ 이다. (가)에 1 M A(aq) a mL를 가한 수용액의 퍼센트 농도는 $\frac{(2+0.1a) \text{ g}}{(202+1.1a) \text{ g}} \times 100\% = 5\%$ 이므로 $200 + 10a = 1010 + 5.5a$, $a = 180$ 이다. 1 M A(aq) (a+160) mL = 340 mL의 질량은 340 mL \times 1.1 g/mL = 374 g이고, 녹아 있는 A의 질량은 $1 \text{ M} \times \frac{340}{1000} \text{ L} \times 100 \text{ g/mol} = 34 \text{ g}$ 이다. (가)에 1 M A(aq) 340 mL를 가한 수용액의 퍼센트 농도는 $\frac{(2+34) \text{ g}}{(202+374) \text{ g}} \times 100\% = \frac{25}{4}\% = b\%$ 이므로 $\frac{a}{b} = \frac{180}{25} = \frac{144}{5}$ 이다.

04 반응 엔탈피

수능 2점 테스트

본문 77~79쪽

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

01 발열 반응

✕. 이 반응은 반응물의 엔탈피가 생성물의 엔탈피보다 크므로 반응이 일어날 때 엔탈피 차에 해당하는 열을 방출하는 발열 반응이다.

○. 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값이므로 발열 반응의 $\Delta H < 0$ 이다. 따라서 $a < 0$ 이다.

✕. 반응 엔탈피는 물질의 양(mol)에 비례하므로 열화학 반응식에서 반응 계수가 2배가 되면 반응 엔탈피도 2배가 되고, 반응 엔탈피(ΔH)는 (생성물의 엔탈피 합) - (반응물의 엔탈피 합)이다. 따라서 반응 $2X(g) \rightarrow 2Y(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $(2y - 2x)$ kJ이다.

02 생성 엔탈피

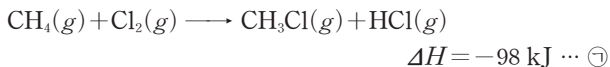
반응 $2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = 2 \times (a - 98.9) \text{ kJ} - 2a \text{ kJ} = -197.8 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = -197.8$ 이다.

03 결합 에너지

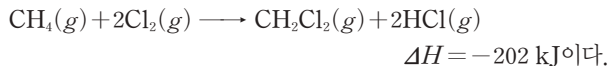
이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 총합) - (생성물의 결합 에너지 총합) = $(2 \times (C-F \text{ 결합 에너지}) + 2 \times (C-Cl \text{ 결합 에너지}) + (F-F \text{ 결합 에너지})) - (4 \times (C-F \text{ 결합 에너지}) + (Cl-Cl \text{ 결합 에너지})) = (2a + 2b + c - 4a - d) \text{ kJ} = (-2a + 2b + c - d) \text{ kJ} = x \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = -2a + 2b + c - d$ 이다.

04 헤스 법칙

화학 반응이 일어나는 동안 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다. 이를 헤스 법칙이라고 한다.

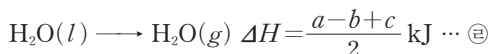
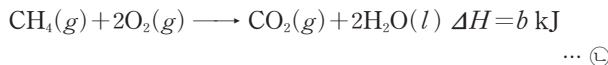
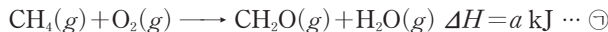


식 ㉠ + ㉡에서



헤스 법칙에 따라 $-98 + x = -202$ 이므로 $x = -104$ 이다.

05 헤스 법칙



식 ㉠ - ㉡ + ㉢ = $2 \times$ ㉣이므로 식 ㉢ = $-㉠ + ㉡ + 2 \times$ ㉣이다. 따라서 (가)는 $CH_2O(g) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$ 이다.

06 생성 엔탈피

반응 $4NH_3(g) + 7O_2(g) \rightarrow 4NO_2(g) + 6H_2O(l)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = 4x \text{ kJ} + 6b \text{ kJ} - 4a \text{ kJ} = -1400 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = \frac{2a - 3b - 700}{2}$ 이다.

07 헤스 법칙과 생성 엔탈피

화학 반응이 일어나는 동안 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다. 이를 헤스 법칙이라고 한다.

✕. $NH_3(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{a}{2}$ kJ/mol이다.

○. 반응 $2H_2(g) + N_2(g) \rightarrow N_2H_4(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = b$ kJ이므로, $N_2H_4(g)$ 의 생성 엔탈피는 b kJ/mol이다.

○. 헤스 법칙에 따라 $a = b + x$ 이므로 $x = a - b$ 이다.

08 결합 에너지

이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 총합) - (생성물의 결합 에너지 총합) = $2 \times (O-F \text{ 결합 에너지}) + (O-O \text{ 결합 에너지}) - (O=O \text{ 결합 에너지}) - (F-F \text{ 결합 에너지}) = (2a + 180 - 498 - 159) \text{ kJ} = (2a - 477) \text{ kJ} = x \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = 2a - 477$ 이다.

09 헤스 법칙과 생성 엔탈피

화학 반응이 일어나는 동안 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다. 이를 헤스 법칙이라고 한다.

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

㉠. 헤스 법칙에 따라 $b=c+d$ 이다.

㉡. 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{CaO}(s)$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $\text{Ca}(s) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CaO}(s)$ $\Delta H=b$ kJ이다. 따라서 $\text{CaO}(s)$ 의 생성 엔탈피는 b kJ/mol이다.

㉢. 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{CaCO}_3(s)$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $\text{C}(s, \text{흑연}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g) + \text{Ca}(s) \longrightarrow \text{CaCO}_3(s)$ $\Delta H=(a+c)$ kJ이다. $b=c+d$ 이므로 $a+c=a+b-d$ 이다. 따라서 $\text{CaCO}_3(s)$ 의 생성 엔탈피는 $(a+b-d)$ kJ/mol이다.

10 생성 엔탈피

$\text{Mn}(s) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{MnO}_2(s)$ $\Delta H=a$ kJ ... ㉠

$4\text{Al}(s) + 3\text{MnO}_2(s) \longrightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3(s) + 3\text{Mn}(s)$

$$\Delta H=b$$
 kJ ... ㉡

식 $3 \times \text{㉠} + \text{㉡}$ 에서 $4\text{Al}(s) + 3\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3(s)$ $\Delta H=(3a+b)$ kJ이다. 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{Al}_2\text{O}_3(s)$

1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $2\text{Al}(s) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g)$

$\longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3(s)$ $\Delta H=\left(\frac{3a+b}{2}\right)$ kJ이다. 따라서 25°C , 1 atm

에서 $\text{Al}_2\text{O}_3(s)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{3a+b}{2}$ kJ/mol이다.

11 헤스 법칙

$\text{CaCO}_3(s) \longrightarrow \text{CaO}(s) + \text{CO}_2(g)$ $\Delta H=a$ kJ ... ㉠

$\text{CaO}(s) + \text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(s)$ $\Delta H=b$ kJ ... ㉡

$\text{Ca}(\text{OH})_2(aq) + \text{CO}_2(g) \longrightarrow \text{CaCO}_3(s) + \text{H}_2\text{O}(l)$

$$\Delta H=c$$
 kJ ... ㉢

식 $-\text{㉠} - \text{㉡} - \text{㉢}$ 에서

$\text{Ca}(\text{OH})_2(s) \longrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(aq)$ $\Delta H=-(a+b+c)$ kJ

이다. $-(a+b+c) < 0$ 이므로 이 반응은 발열 반응이고,

$\text{Ca}(\text{OH})_2(s)$ 1 mol이 용해될 때 방출하는 열은 $(a+b+c)$ kJ이고,

$\frac{37 \text{ g}}{74 \text{ g/mol}} = \frac{1}{2}$ mol이 용해될 때 방출하는 열은 $\frac{a+b+c}{2}$ kJ

이다.

12 결합 에너지

이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 총합) - (생성물의 결합 에너지 총합) = $4 \times (\text{H}-\text{O}$ 결합 에너지) + $2 \times (\text{O}-\text{O}$ 결합 에너지) - $4 \times (\text{H}-\text{O}$ 결합 에너지) - ($\text{O}=\text{O}$ 결합 에너지) = $(4b+2c-4b-x)$ kJ = $(2c-x)$ kJ = a kJ이다. 따라서 $x=-a+2c$ 이다.

01 생성 엔탈피와 헤스 법칙

$2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$ $\Delta H=-571.6$ kJ ... ㉠

$\text{C}_3\text{H}_4(g) + 4\text{O}_2(g) \longrightarrow 3\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$

$$\Delta H=-1937$$
 kJ ... ㉡

$\text{C}_3\text{H}_8(g) + 5\text{O}_2(g) \longrightarrow 3\text{CO}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(l)$

$$\Delta H=-2220$$
 kJ ... ㉢

✕. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{-571.6}{2}$ kJ/mol = -285.8 kJ/mol이다.

㉠. 1 g이 완전 연소하여 $\text{CO}_2(g)$ 와 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 생성될 때 방출하는 열은 $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 이 $\frac{2220}{44}$ kJ이고, $\text{C}_3\text{H}_4(g)$ 이 $\frac{1937}{40}$ kJ이다.

$\frac{2220}{44} > \frac{1937}{40}$ 이므로 1 g이 완전 연소하여 $\text{CO}_2(g)$ 와 $\text{H}_2\text{O}(l)$

이 생성될 때 방출하는 열은 $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 이 $\text{C}_3\text{H}_4(g)$ 보다 크다.

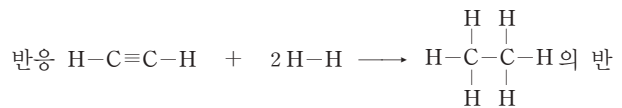
㉢. 식 $\text{㉠} + \text{㉡} - \text{㉢}$ 에서 $\text{C}_3\text{H}_4(g) + 2\text{H}_2(g) \longrightarrow \text{C}_3\text{H}_8(g)$ $\Delta H=(-571.6-1937-(-2220))$ kJ = -288.6 kJ이다.

$\text{C}_3\text{H}_4(g)$ 이 $\text{H}_2(g)$ 와 반응하여 $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ $\frac{22 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} = \frac{1}{2}$ mol

이 생성될 때의 반응 엔탈피(ΔH)는 $\frac{-288.6}{2}$ kJ = -144.3 kJ

이다.

02 결합 에너지



응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 총합) - (생성물의 결합 에너지 총합) = $2 \times (\text{H}-\text{H}$ 결합 에너지) + $2 \times (\text{H}-\text{C}$ 결합 에너지) + ($\text{C}\equiv\text{C}$ 결합 에너지) - $6 \times (\text{H}-\text{C}$ 결합 에너지) - ($\text{C}-\text{C}$ 결합 에너지) = $(2a+2b+e-6b-c)$ kJ = $(2a-4b-c+e)$ kJ = $(x+y)$ kJ이다. 따라서 $x+y=2a-4b-c+e$ 이다.

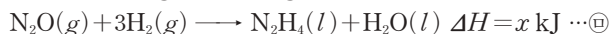
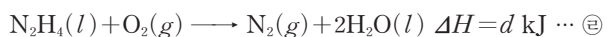
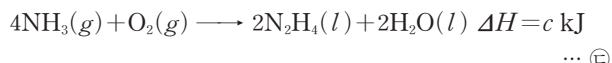
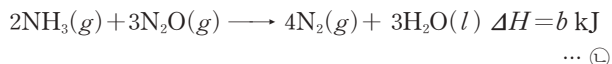
03 생성 엔탈피와 발열 반응, 흡열 반응

㉠. (가)는 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{NO}(g)$ 2 mol이 생성되는 반응이므로 $\Delta H=2 \times 90$ kJ > 0 이다. 따라서 (가)는 흡열 반응이다.

✕. (나)의 반응 엔탈피 $\Delta H=(\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = -2 \times a$ kJ = x kJ이므로 $x=-2a$ 이다.

㉔ (다)의 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = 4 \times 90 \text{ kJ} + 6 \times (a - 196) \text{ kJ} - 4 \times a \text{ kJ} = (2a - 816) \text{ kJ}$ 이다. $a < 0$ 이므로 $\Delta H < 0$ 으로 (다)는 발열 반응이다.

04 헤스 법칙



식 ㉕의 반응물 또는 생성물에는 $\text{N}_2(g)$, $\text{O}_2(g)$, $\text{NH}_3(g)$ 가 없다. 먼저 식 ㉒~㉔을 이용하여 $\text{N}_2(g)$, $\text{NH}_3(g)$ 를 소거시키면 식 ㉑- $2 \times$ ㉒+ $8 \times$ ㉓에서 $6\text{N}_2\text{H}_4(l) + 9\text{O}_2(g) \longrightarrow 6\text{N}_2\text{O}(g) + 12\text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H = (c - 2b + 8d) \text{ kJ}$... ㉖이다. 식 ㉑과 ㉖을 이용하여 $\text{O}_2(g)$ 를 소거시키면 식 $-9 \times$ ㉑-㉖에서 $6\text{N}_2\text{O}(g) + 18\text{H}_2(g) \longrightarrow 6\text{N}_2\text{H}_4(l) + 6\text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H = (-9a + 2b - c - 8d) \text{ kJ} = 6x \text{ kJ}$ 이다. 따라서

$$x = \frac{-9a + 2b - c - 8d}{6} \text{이다.}$$

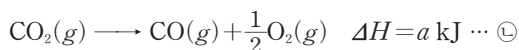
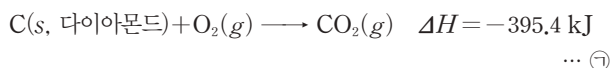
05 생성 엔탈피와 결합 에너지

(가)의 생성 엔탈피-(나)의 생성 엔탈피=(나)의 결합 에너지 총합-(가)의 결합 에너지 총합이다. $t^\circ\text{C}$, 1 atm에서 H-C 결합 에너지, C-C 결합 에너지, C=C 결합 에너지, C≡C 결합 에너지를 각각 w , x , y , z 라고 할 때 $a - b = (6 \times w + 2 \times x + z) - (6 \times w + x + 2 \times y) = x - 2y + z$ 이다. 따라서 결합 에너지로부터 $a - b$ 를 구하기 위해 반드시 이용해야 할 자료는 $t^\circ\text{C}$, 1 atm에서 C-C 결합 에너지, C=C 결합 에너지, C≡C 결합 에너지이다.

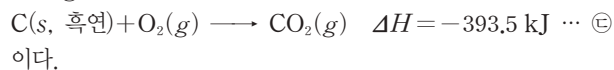
06 생성 엔탈피

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(s)$ 1 mol이 가장 안정한 성분 원소인 $\text{H}_2(g)$, $\text{C}(s, \text{흑연})$, $\text{O}_2(g)$ 로 분해될 때의 반응 엔탈피가 $x \text{ kJ}$ 이므로 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(s)$ 의 생성 엔탈피는 $-x \text{ kJ/mol}$ 이다. 반응 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(s) \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l) + 2\text{CO}_2(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = 2 \times (-278) \text{ kJ} + 2 \times a \text{ kJ} - (-x) \text{ kJ} = -82 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = -2a + 474$ 이다.

07 헤스 법칙과 생성 엔탈피



$\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 -393.5 kJ/mol 이므로



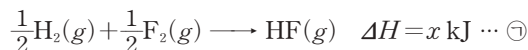
이다. ㉑, ㉓ 식 ㉑-㉓에서 $\text{C}(s, \text{흑연}) \longrightarrow \text{C}(s, \text{다이아몬드}) \quad \Delta H = (-393.5 - (-395.4)) \text{ kJ} = 1.9 \text{ kJ}$ 이므로 $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 의 생성 엔탈피는 1.9 kJ/mol 이다.

㉔, ㉓ 식 ㉑과 ㉓을 비교하면 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 과 $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 를 각각 완전 연소시켜 $\text{CO}_2(g)$ 1 mol을 생성할 때 방출하는 열은 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 이 $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 보다 $395.4 \text{ kJ} - 393.5 \text{ kJ} = 1.9 \text{ kJ}$ 만큼 작다.

㉕, ㉓ 식 $-2 \times$ ㉒-㉓에서 $2\text{CO}(g) \longrightarrow \text{C}(s, \text{흑연}) + \text{CO}_2(g) \quad \Delta H = (-2 \times a - (-393.5)) \text{ kJ} = x \text{ kJ}$ 이므로 $x = -2a + 393.5$ 이다.

08 생성 엔탈피

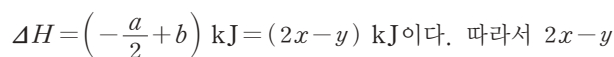
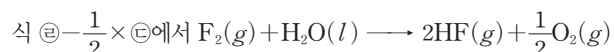
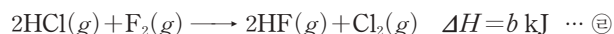
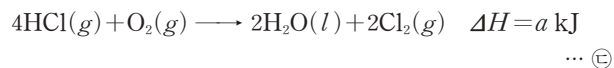
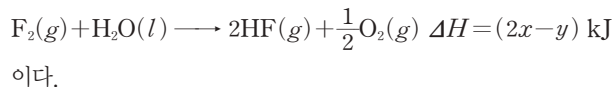
가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{HF}(g)$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은



이고, 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은



이다. 식 $2 \times$ ㉑-㉒에서

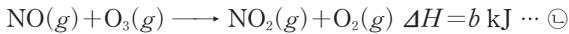


$$= -\frac{a}{2} + b \text{이다.}$$

09 결합 에너지

$\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피가 $b \text{ kJ/mol}$ 이므로 반응 $\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $2b \text{ kJ}$ 이고, $\text{O}=\text{O}$ 결합 에너지는 $2b \text{ kJ/mol}$ 이다. 반응 $\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow 2\text{NOCl}(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 총합) - (생성물의 결합 에너지 총합) = ($\text{N} \equiv \text{N}$ 결합 에너지) + ($\text{O}=\text{O}$ 결합 에너지) + ($\text{Cl}-\text{Cl}$ 결합 에너지) - $2 \times$ ($\text{N}=\text{O}$ 결합 에너지) - $2 \times$ ($\text{N}-\text{Cl}$ 결합 에너지) = $(945 + 2b + 243 - 2c - 2x) \text{ kJ} = a \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = -\frac{a}{2} + b - c + 594$ 이다.

10 생성 엔탈피와 결합 에너지



㉠. 가장 안정한 성분 원소인 $\text{O}_2(g)$ 로부터 $\text{O}_3(g)$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $\frac{3}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{O}_3(g) \quad \Delta H = 143 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 반응 $2\text{O}_3(g) \longrightarrow 3\text{O}_2(g)$ 은 반응 엔탈피가 $\Delta H = -2 \times 143 \text{ kJ} < 0$ 이므로 발열 반응이다.

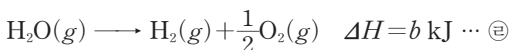
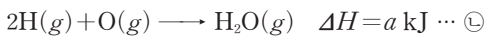
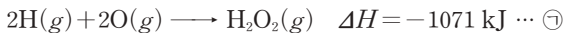
✕. 식 ㉠-㉡에서 $\text{O}_2(g) + \text{O}(g) \longrightarrow \text{O}_3(g) \quad \Delta H = (a-b) \text{ kJ}$ 이다.

✕. $\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피를 $x \text{ kJ/mol}$ 이라고 할 때, 반응 $\text{O}_2(g) + \text{O}(g) \longrightarrow \text{O}_3(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = (143 - 0 - x) \text{ kJ} = (a-b) \text{ kJ}$ 이므로 $x = -a + b + 143$ 이다. 반응 $\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = 2x \text{ kJ} = 2 \times (-a + b + 143) \text{ kJ}$ 이므로 $\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지는 $(-2a + 2b + 286) \text{ kJ/mol}$ 이다.

11 결합 에너지와 생성 엔탈피

반응 엔탈피(ΔH)가 $(x + 2y - z) \text{ kJ}$ 인 반응은 $\text{C}_2\text{H}_2(g) + \frac{5}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g) + 2\text{CO}_2(g)$ 이다. 결합 에너지를 이용하여 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)를 구하면 $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 총합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 총합}) = 2 \times (\text{H}-\text{C 결합 에너지}) + (\text{C}\equiv\text{C 결합 에너지}) + \frac{5}{2} \times (\text{O}=\text{O 결합 에너지}) - 2 \times (\text{H}-\text{O 결합 에너지}) - 4 \times (\text{C}=\text{O 결합 에너지}) = (2a - 2b + c - 4d + \frac{5}{2}e) \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x + 2y - z = 2a - 2b + c - 4d + \frac{5}{2}e$ 이다.

12 결합 에너지와 생성 엔탈피



㉠. 식 ㉡+ $\frac{1}{2}$ ㉢-㉣에서 $\text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}(g) \quad \Delta H = (-a - 249 - b) \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $\text{H}-\text{H}$ 의 결합 에너지는 $(-a - b - 249) \text{ kJ/mol}$ 이다.

㉡. H_2O_2 의 구조식은 $\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$ 이다. 식 ㉠에서 $\text{H}_2\text{O}_2(g)$ 의 $2 \times (\text{H}-\text{O 결합 에너지}) + (\text{O}-\text{O 결합 에너지}) = 1071 \text{ kJ/mol}$ 이다. H_2O 의 구조식은 $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ 이다. 식 ㉡에서 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 $2 \times (\text{H}-\text{O 결합 에너지}) = -a \text{ kJ/mol}$ 이다. 따라서 $\text{O}-\text{O}$ 의 결합 에너지는 $(a + 1071) \text{ kJ/mol}$ 이다.

㉢. 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{H}_2\text{O}_2(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식은 $\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2(g)$ 이다. 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)인 $\text{H}_2\text{O}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 $(\text{반응물의 결합 에너지 총합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 총합}) = (\text{H}-\text{H 결합 에너지}) + (\text{O}=\text{O 결합 에너지}) - 2 \times (\text{H}-\text{O 결합 에너지}) - (\text{O}-\text{O 결합 에너지}) = (-a - b - 249 + 498 - 1071) \text{ kJ/mol} = (-a - b - 822) \text{ kJ/mol}$ 이다.

05 화학 평형과 평형 이동

수능 **2점** 테스트

본문 97~101쪽

01 ④	02 ④	03 ⑤	04 ④	05 ③	06 ⑤
07 ①	08 ⑤	09 ⑤	10 ③	11 ①	12 ③
13 ②	14 ②	15 ①	16 ③	17 ④	18 ⑤
19 ④	20 ③				

01 화학 평형 상태

반응 계수비가 $A(g) : B(g) : C(g) = 1 : 1 : 2$ 이므로 $A(g)$ 와 $B(g)$ 가 각각 1 mol씩 반응하면 $C(g)$ 가 2 mol 생성된다.

㉠. 평형 상태에서 $C(g)$ 의 양이 4 mol이므로 반응한 $A(g)$ 의 양은 2 mol이다. 따라서 (가)에서 넣어 준 $A(g)$ 의 양은 3 mol이다.

㉡. 평형 상태에서 $[A]=1\text{ M}$, $[B]=0.5\text{ M}$, $[C]=4\text{ M}$ 이므로 $K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{4^2}{1 \times 0.5} = 32$ 이다.

㉢. 반응물의 반응 계수 합과 생성물의 반응 계수가 같으므로 반응이 진행되어도 전체 기체의 양(mol)은 변하지 않는다. 온도와 부피가 일정하므로 전체 기체의 압력은 전체 기체의 양(mol)에 비례한다. 따라서 (나)에서 전체 기체의 압력은 반응 전과 같은 $P\text{ atm}$ 이다.

02 화학 평형 상태

온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 기체의 압력×부피에 비례하므로 (가)에서 반응 전 $A(g)$ 의 양을 $3n\text{ mol}$, 평형에 도달할 때까지 감소한 $A(g)$ 의 양을 $x\text{ mol}$ 이라고 하면, 평형 상태에서 $A(g)$ 의 양은 $(3n-x)\text{ mol}$, $B(g)$ 의 양은 $2x\text{ mol}$ 이므로 전체 기체의 양은 $(3n+x)\text{ mol} = 4n\text{ mol}$ 이다. 이를 만족하는 $x=n$ 이므로 평형 상태에서 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 양은 $2n\text{ mol}$ 로 같다. (나)에서 전체 기체의 부피가 2배이고, 평형 상태에서 전체 기체의 압력이 4 atm 으로 (가)에서와 같으므로 평형 상태에서 전체 기체의 양은 $8n\text{ mol}$ 로 (가)에서의 2배이며, 평형 상수가 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 (나)의 평형 상태에서 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 양은 각각 $4n\text{ mol}$ 이다. 따라서 평형 상태에 도달한 후 (나)에서 $B(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{1}{2}$ 이다.

03 화학 평형 이동

(가)에 $B(g)$ 를 추가하면 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

㉡. 온도가 일정하므로 평형 상수(K)는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

㉢. 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 $A(g)$ 의 몰 농도는 (나)에서 (가)에서보다 크다. 평형 상수가 일정하므로 $B(g)$ 의 몰 농도도 (나)에서 (가)에서보다 크다.

㉣. 증가한 $A(g)$ 의 양(mol)은 감소한 $B(g)$ 의 양(mol)의 2배이므로 전체 기체의 양(mol)이 (나)에서 (가)에서보다 많다. 따라서 전체 기체의 압력은 (나)에서 (가)에서보다 크다.

04 반응의 진행 방향과 평형 상수

강철 용기에 $A(g)$ 와 $C(g)$ 를 넣었으므로 정반응이 진행되어 평형 상태에 도달하게 된다. 평형 상태에 도달할 때까지 $[A]$ 는 감소하므로 t_2 일 때가 평형 상태에 도달한 시점이다. $K = \frac{[B][C]}{[A]^2} =$

$\frac{2 \times 6}{3^2} = \frac{4}{3}$ 이고, 평형 상태에 도달할 때까지 감소한 $[A]$ 를 $2x\text{ M}$ 라고 하면 평형 상태에서 $[A] = (a-2x)\text{ M} = 3\text{ M}$, $[B] = x\text{ M} = 2\text{ M}$, $[C] = (c+x)\text{ M} = 6\text{ M}$ 이므로 $x=2$, $a=7$, $c=4$ 이다. 따라서 $\frac{a}{c} \times K = \frac{7}{4} \times \frac{4}{3} = \frac{7}{3}$ 이다.

05 온도 변화와 화학 평형 이동

(가) → (나)에서 감소한 $A(g)$ 의 양이 1 mol, 감소한 $B(g)$ 의 양이 3 mol이고, 증가한 $C(g)$ 의 양이 2 mol이므로 반응 몰비는 $1 : b : c = 1 : 3 : 2$ 이다.

㉠. $b=3$, $c=2$ 이므로 $b > c$ 이다.

㉢. (나)에서 $K = \frac{[C]^2}{[A][B]^3} = \frac{2^2}{3 \times 1^3} = \frac{4}{3}$ 이다.

㉡. (나)에서 온도를 높였을 때 $B(g)$ 의 양(mol)이 증가한 것으로 보아 역반응 쪽으로 평형이 이동하였음을 알 수 있다. 따라서 정반응은 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이다.

06 온도 변화와 평형 상수

㉠. I에서 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 양(mol)은 각각 1, 2이고, II에서 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 양(mol)은 각각 1.5, 1이므로

$\frac{y}{x} = \frac{1.5}{2} = \frac{3}{4}$ 이다.

㉢. $\frac{T_2\text{ K에서의 } K}{T_1\text{ K에서의 } K} = \frac{\left(\frac{1^2}{1.5}\right)}{\left(\frac{2^2}{1}\right)} = \frac{1}{6}$ 이다.

㉣. 정반응이 흡열 반응이고, 평형 상수는 $T_1\text{ K}$ 에서 $T_2\text{ K}$ 에서보다 크므로 $T_1 > T_2$ 이다.

07 압력에 따른 평형 이동

㉠. $K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^2}{\left(\frac{2}{2}\right)} = \frac{1}{4}$ 이다.

✕. 반응이 진행되어 평형 상태 I에 도달할 때까지 생성된 B(g)의 양이 1 mol이므로 감소한 A(g)의 양은 0.5 mol이다. 따라서 반응 전 A(g)의 양(n)은 2.5 mol이고, 온도와 압력이 일정하므로 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례하며, A(g) 2.5 mol의 부피를 V L라고 하면 2.5 mol : V L = 3 mol : 2 L를 만족하는 $V = \frac{5}{3}$ 이다.

✕. II에서 부피는 I에서의 $\frac{1}{2}$ 배가 되었고 압력이 증가하여 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 전체 기체의 양(mol)이 감소하므로 전체 기체의 압력은 II에서가 I에서의 2배보다 작다. 따라서 $\frac{\text{II에서 전체 기체의 압력}}{\text{I에서 전체 기체의 압력}} < 2$ 이다.

08 반응 지수와 반응의 진행 방향

반응 지수(Q) < 평형 상수(K)이면 정반응이 우세하게, 반응 지수(Q) > 평형 상수(K)이면 역반응이 우세하게 진행되며, 반응 지수(Q) = 평형 상수(K)이면 평형 상태이다. I에서 반응 지수 $Q = \frac{[C]^2}{[A]^2[B]} = \frac{0.1^2}{0.1^2 \times 0.2} = 5 < K$ 이므로 I에서는 정반응이 우세하게 진행되고, II에서 $Q = \frac{0.2^2}{0.1^2 \times 0.4} = 10 = K$ 이므로 II는 평형 상태, III에서 $Q = \frac{0.4^2}{0.2^2 \times 0.1} = 40 > K$ 이므로 III에서는 역반응이 우세하게 진행된다. 따라서 평형 상태에서 A(g)의 몰 농도는 III > II > I이다.

09 화학 평형 상태

평형 상태에 도달할 때까지 감소한 $[A] = [B] = 0.2$ M, 증가한 $[C] = 0.4$ M이므로 반응 몰비가 A(g) : B(g) : C(g) = 1 : b : c = 1 : 1 : 2이다.

✕. t min일 때 화학 평형 상태에 도달하였고, 화학 평형 상태는 정반응과 역반응이 같은 속도로 일어나 반응물과 생성물의 농도 변화가 없는 상태이다. 하지만 정반응과 역반응은 계속해서 일어나고 있는 동적 평형 상태이다.

㉠. $b = 1, c = 2$ 이므로 $c = 2b$ 이다.

㉡. $K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{0.4^2}{0.2 \times 0.1} = 8$ 이다.

10 반응 지수와 반응의 진행 방향

㉠. (가)의 반응 지수 $Q = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{5^2}{1 \times 1} > K$ 이므로 (가)에서는 역반응이 우세하게 진행되어 평형 상태에 도달하게 된다.

㉡. 평형에 도달할 때까지 감소한 C(g)의 양을 2x mol이라고 하면 평형 상태에서 $[A] = [B] = (1+x)$ M, $[C] = (5-2x)$ M이다. 평형 상수 $K = \frac{(5-2x)^2}{(1+x) \times (1+x)} = \left(\frac{5-2x}{1+x}\right)^2 = 16$ 을 만

족하는 $x = \frac{1}{6}$ 이다. 반응이 진행되어도 전체 기체의 양(mol)은 변하지 않으므로 (나)에서 C(g)의 몰 분율은 $\frac{5-2 \times \frac{1}{6}}{7} = \frac{2}{3}$ 이다.

✕. (나)에 A(g) 1 mol, B(g) 1 mol, C(g) 2 mol을 추가했을 때 반응 지수 $Q = \frac{\left(\frac{14}{3} + 2\right)^2}{\left(\frac{7}{6} + 1\right)^2} = \left(\frac{40}{13}\right)^2 < K$ 이므로 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

11 반응 지수와 반응의 진행 방향

반응 계수비가 A(g) : B(g) = 2 : 1이므로 A(g) 2 mol이 반응하면 B(g) 1 mol이 생성된다.

㉠. 부피가 1 L이므로 (나)에서 $[A] = 1$ M이므로 $[B] = 5 \text{ M} \times \frac{1}{2} = 2.5$ M이고, (다)에서 $[B] = 2$ M이므로 $[A] = (6 - 2 \times 2) \text{ M} = 2$ M이다. $a = 2, b = 2.5$ 이므로 $b > a$ 이다.

✕. 평형에 도달할 때까지 A(g)의 양(mol)은 계속 감소하므로 반응 시간 순서는 (다) → (나)이다.

✕. (나)에서 $[A] = 1$ M, $[B] = 2.5$ M이므로 반응 지수 $Q = \frac{2.5}{1^2} = K$ 이다. 따라서 (나)는 평형 상태이고, 정반응 속도와 역반응 속도가 같다.

12 화학 평형 이동

(가)의 혼합 용액을 90°C의 물에 넣었을 때(온도를 높였을 때) 용액의 색이 푸른색이 된 것으로 보아 온도를 높였을 때 정반응 쪽으로 평형이 이동했음을 알 수 있다.

㉠. 온도를 높였을 때 정반응 쪽으로 평형이 이동하였으므로 정반응은 흡열 반응이다. 따라서 $\Delta H > 0$ 이다.

✕. (가)의 혼합 용액에 HCl(aq)을 추가하면 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 용액의 색은 HCl(aq)을 추가하기 전보다 푸르게 변한다.

㉡. (가)의 혼합 용액을 얼음물에 담그면 발열 반응 쪽(역반응 쪽)으로 평형이 이동하므로 $\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})$ 의 농도는 얼음물에 담그기 전보다 작아진다.

13 평형 상수와 반응 지수

✕. $K = \frac{[C]}{[A][B]} = \frac{\frac{6}{2}}{\frac{4}{2} \times \frac{3}{2}} = 1$ 이다.

㉠. 온도가 일정하면 평형 상수(K)는 같으므로 $\frac{6}{3 \times x} = 1$ 이며, $x = 2$ 이다.

✕. 꼭지를 열면 반응 지수 $Q = \frac{\frac{12}{3}}{\frac{7}{3} \times \frac{5}{3}} = \frac{36}{35} > K$ 이므로 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

14 화학 평형 이동

(가)에서 전체 기체의 양(mol)이 갑자기 증가하였으므로 기체가 추가되었음을 알 수 있고, 시간이 지나면서 전체 기체의 양(mol)이 감소하는 방향(정반응)으로 평형이 이동하였으므로 (가)에서 추가된 물질은 A(g)임을 알 수 있다. (나)에서도 전체 기체의 양(mol)이 감소하는 방향(정반응)으로 평형이 이동하였는데, 전체 기체의 양(mol)이 (가)에서와 같이 갑자기 증가하지 않고 서서히 감소하였으므로 온도를 변화시켰음을 알 수 있으며, 정반응이 발열 반응이므로 (나)에서는 온도를 낮추었음을 알 수 있다.

15 반응 지수와 반응의 진행 방향

반응 지수 $Q = \frac{[B]^2}{[A]}$ 이고, 온도가 일정할 때 평형 상수(K)는 일정하며, 변화를 주기 전까지 $\frac{Q}{K}$ 가 계속 감소하므로 역반응이 우세하게 진행된다.
 ㉠. t_1 일 때 $Q > K$ 이므로 역반응 속도가 정반응 속도보다 빠르다.
 ✕. t_2 일 때 Q가 갑자기 증가하였으므로 생성물인 B(g)가 추가되었다.
 ✕. 온도가 일정하므로 K는 t_1 일 때와 t_2 일 때가 같다.

16 압력 변화와 평형 이동

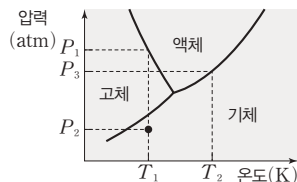
평형에 도달할 때까지 온도와 부피가 일정하므로 기체의 양(mol)은 기체의 부분 압력에 비례한다.
 ㉠. (가)에서 C(g)의 양을 4n mol이라고 하면 A(g)와 B(g)의 양은 각각 n mol, 2n mol이며, (가)에 도달할 때까지 증가한 C(g)의 양이 4n mol이므로 감소한 A(g)와 B(g)의 양은 각각 8n mol과 4n mol이다. 따라서 반응 전 A(g)와 B(g)의 양은 각각 9n mol과 6n mol이므로 A(g)가 B(g)의 $\frac{3}{2}$ 배이다.
 ✕. 정반응이 발열 반응이므로 (가)에서 온도를 2T K로 증가시키면 흡열 반응(역반응) 쪽으로 평형이 이동하게 되어 평형 상수(K)는 T K일 때보다 작아진다.
 ㉡. 고정 장치를 제거하면 실린더 내 전체 기체의 압력은 1 atm이 되어 전체 기체의 부피는 증가하게 된다. 따라서 역반응 쪽으로 평형이 이동하게 되므로 C(g)의 양(mol)은 (가)에서보다 감소한다.

17 CO₂의 상평형 그림

✕. 25°C, 1 atm에서 X의 안정한 상은 기체이다.
 ㉠. 온도가 일정하고, 스포이트 내부의 압력이 높아져 증기 압력 곡선에 도달하게 되면 X는 기체에서 액체로 상변화가 일어나게 된다.
 ㉡. 0°C의 물을 사용해도 X(s) → X(g)로의 변화가 일어나 스포이트 내부의 압력이 증가하게 되고 증기 압력 곡선에 도달하게 되면 X(g) → X(l)로의 변화가 일어나 X(l)가 생성된다.

18 용해 곡선의 기울기가 음인 물질의 상평형 그림

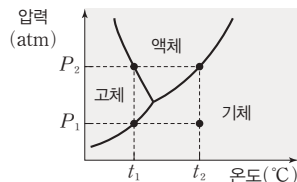
T_1 K, P_1 atm은 용해 곡선 위의 지점, T_2 K, P_3 atm은 증기 압력 곡선 위의 지점이고, $P_1 > P_3$ 이며, T_1 K, P_2 atm에서 X의 안정한 상이 기체이므로 이를 X의 상평형 그림에 나타내면 다음과 같다.



㉠. T_1 K는 삼중점보다 온도가 낮고, T_2 K는 삼중점보다 온도가 높으므로 $T_2 > T_1$ 이다.
 ㉡. P_2 atm은 삼중점보다 압력이 낮고, P_3 atm은 삼중점보다 압력이 높으므로 $P_3 > P_2$ 이다.
 ㉢. T_1 K, P_3 atm은 삼중점보다 온도가 낮고, 압력은 삼중점보다는 높고, P_1 atm보다는 낮은 지점이므로 X의 안정한 상은 고체이다.

19 용해 곡선의 기울기가 음인 물질의 상평형 그림

용해 곡선의 기울기가 음(-)이면 t_1 °C에서 2가지 상이 평형을 이루는 지점이 두 군데가 되기 위해서는 각각의 지점은 승화 곡선 위의 지점과 용해 곡선 위의 지점이어야 한다. 이 경우 삼중점의 온도는 t_1 °C보다 높다. 용해 곡선의 기울기가 양(+)이면 특정 온도(t_1 °C)에서 2가지 상이 평형을 이루는 지점이 두 군데가 되기 위해서는 각각의 지점은 증기 압력 곡선 위의 지점과 용해 곡선 위의 지점이어야 한다. 이 경우에는 삼중점의 온도가 t_1 °C보다 낮다. X의 삼중점 온도는 t_1 °C보다 높으므로 X의 용해 곡선의 기울기는 음(-)이고 X의 상평형 그림은 다음과 같다.



㉠. t_1 °C, P_1 atm은 승화 곡선 위의 지점이고, t_1 °C, P_2 atm은

용해 곡선 위의 지점이다. 따라서 $P_2 > P_1$ 이다.

✕. X의 삼중점 압력은 P_1 atm보다 높고, P_2 atm보다 낮다.

⊙. $t_2^\circ\text{C}$ 는 삼중점 온도보다 높고, P_1 atm은 삼중점 압력보다 낮으므로 $t_2^\circ\text{C}$, P_1 atm에서 X의 안정한 상은 기체이다.

20 CO₂의 상평형 그림

⊙. (나)에서 CO₂(l)와 CO₂(g)가 평형을 이루고 있으므로 25°C에서 CO₂(g)의 압력은 P atm이다.

⊙. $P > 5.1$ 이므로 25°C, 5.1 atm에서 CO₂의 안정한 상은 기체이다.

✕. (나)에서 고정 장치를 제거하면 CO₂(g)의 압력이 1 atm이 되므로 25°C, 1 atm에서 CO₂의 안정한 상은 기체이다. 따라서 온도가 25°C로 일정할 때 충분한 시간이 지나면 실린더에는 CO₂(g)만 존재하게 된다.

수능 3점 테스트

본문 102~111쪽

01 ④	02 ②	03 ③	04 ①	05 ③	06 ③
07 ④	08 ⑤	09 ①	10 ④	11 ④	12 ①
13 ③	14 ④	15 ⑤	16 ⑤	17 ③	18 ②
19 ①	20 ②				

01 평형 상수

온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 압력과 부피의 곱에 비례하므로 반응 전 A(g)와 C(g)의 양(mol)을 각각 $8n$, $2n$, 꼭지를 열어 평형 상태에 도달할 때까지 증가한 C(g)의 양(mol)을 x 라고 하면, 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

	$2A(g) \rightleftharpoons 2B(g) + C(g)$		
반응 전(mol)	$8n$	0	$2n$
반응(mol)	$-2x$	$+2x$	$+x$
평형(mol)	$8n-2x$	$2x$	$2n+x$

평형 상태에서 (가)에 들어 있는 C(g)의 몰 분율은 $\frac{\frac{1}{2}(2n+x)}{\frac{1}{2}(10n+x)} =$

$\frac{1}{3}$ 이므로 $x=2n$ 이다. 평형 상수 $K = \frac{[B]^2[C]}{[A]^2} = \frac{\left(\frac{4n}{10}\right)^2 \times \left(\frac{4n}{10}\right)}{\left(\frac{4n}{10}\right)^2} = \frac{2}{5}n = \frac{4}{5}$ 이므로 $n=2$ 이다. 따라서 평형 상태에서 (가)에 들어 있는

A(g)의 양(mol)은 $\frac{1}{2}(8n-2x) = \frac{1}{2}(8n-4n) = 2n = 4$ 이다.

02 화학 평형 이동

(나) → (다)에서 온도를 낮추었을 때 역반응 쪽으로 평형이 이동하였고, 증가한 A(g)와 B(g)의 양이 각각 1 mol, 감소한 C(g)의 양이 2 mol이므로 반응 몰비는 A(g) : B(g) : C(g) = 1 : b : c = 1 : 1 : 2이다.

✕. $b=1$, $c=2$ 이다.

⊙. 온도를 낮추었을 때 역반응 쪽으로 평형이 이동하였으므로 정반응은 흡열 반응이다. 따라서 $\Delta H > 0$ 이다.

✕. (가)에 추가한 C(g)의 양이 x mol이고, (가) → (나)에서 역반응 쪽으로 평형이 이동하며, 증가한 A(g)와 B(g)의 양이 각각 1 mol, 감소한 C(g)의 양이 2 mol이다. (나)에서 C(g)의 양(mol)이 $4+x-2=6$ 이므로 $x=4$ 이다.

03 반응의 진행 방향과 평형 상수

전체 기체의 압력은 (가)에서 1.5 atm, (나)에서 1 atm이며, 기체의 부피가 각각 4V L, 6V L이므로 (가)와 (나)에서 전체 기체의 양(mol) 변화는 없다(온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 압력과 부피의 곱에 비례한다). 따라서 이 반응은 반응물의 계수 합과 생성물의 계수가 같은 반응이고, $a=1$ 이다.

⊙. $\frac{C(g) \text{의 양(mol)}}{A(g) \text{의 양(mol)}}$ 이 (가)에서는 $\frac{10}{3}$, (다)에서는 8이므로

(가)에서 (나)에 도달하기 전까지 정반응이 우세하게 진행된다.

✕. (가)에서 전체 기체의 양이 1.6 mol이므로 (나)에서도 전체 기체의 양은 1.6 mol이고, (나)에서 A(g)와 B(g)의 양은 같으므로 $1.6=10n$ 을 만족하는 $n=0.16$ 이다. 따라서 $a \times n = 0.16$ 이다.

⊙. $K = \frac{\left(\frac{8n}{6}\right)^2}{\left(\frac{n}{6}\right) \times \left(\frac{n}{6}\right)} = 64$ 이다.

04 온도와 압력 변화에 따른 평형 이동

(나) → (다)로의 변화 관점에서 보면 온도를 T_1 에서 T_2 로 높였을 때 A(g)의 몰 분율이 증가($z > y$)하였으므로 역반응 쪽으로 평형이 이동했음을 알 수 있다. 따라서 정반응이 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이다.

⊙. (나) → (가)로의 변화 관점으로 보면 부피가 $\frac{1}{2}$ 배로 감소하여 압력이 일시적으로 2배 증가하였는데, 반응물(A)의 몰 분율이 감소($y > x$)하였으므로 정반응은 전체 기체의 양(mol)이 감소하는 반응이다. 따라서 $a > b$ 이다.

✕. 정반응이 발열 반응이므로 온도가 높아지면 평형 상수는 작아진다. 따라서 K 는 T_1 에서 T_2 에서보다 크다.

✕. (나) → (가)로의 변화 관점에서 보면 부피가 $\frac{1}{2}$ 배 감소하여 압력이 일시적으로 2배가 되지만 기체의 양(mol)이 감소하는 방향으로 평형이 이동하므로 용기 내 전체 기체의 압력은 (가)에서 (나)에서의 2배보다 작다.

05 반응 지수와 평형 상수

t_1 일 때 B(g)의 양을 x mol이라고 하면, A(g)의 양은 $(1-2x)$ mol, C(g)의 양은 $2x$ mol이므로 전체 기체의 양은 $(1+x)$ mol이다. $X_B = \frac{x}{1+x} = \frac{1}{4}$ 이므로 $x = \frac{1}{3}$ 이다. 온도와 압력이 일정하므로 실린더 속 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례하며, 전체 기체의 양이 $(1 + \frac{1}{3}) = \frac{4}{3}$ mol이므로 기체의 부피는 $\frac{4}{3}$ L가 된다. t_2 일 때 B(g)의 양을 y mol이라고 하면, A(g)의 양은 $(1-2y)$ mol, C(g)의 양은 $2y$ mol이므로 전체 기체의 양은 $(1+y)$ mol이다. $X_B = \frac{y}{1+y} = \frac{1}{6}$ 이므로 $y = \frac{1}{5}$ 이다. 전체 기체의 양이 $(1 + \frac{1}{5}) = \frac{6}{5}$ mol이므로 실린더 속 전체 기체의 부피는 $\frac{6}{5}$ L가 된다. 실린더 속 A(g)~C(g)의 양(mol)

을 각각 $n_A \sim n_C$, 전체 기체의 부피를 V L라고 하면, $Q = \frac{[B][C]^2}{[A]^2} = \frac{1}{V} \times \frac{n_B \times n_C^2}{n_A^2}$ 이다. t_1 일 때 $n_A = \frac{1}{3}$ mol, $n_B = \frac{1}{3}$ mol,

$n_C = \frac{2}{3}$ mol이며, $V = \frac{4}{3}$ L이므로 $Q = \frac{1}{\frac{4}{3}} \times \frac{(\frac{1}{3}) \times (\frac{2}{3})^2}{(\frac{1}{3})^2} = 1$

이고, t_2 일 때 $n_A = \frac{3}{5}$ mol, $n_B = \frac{1}{5}$ mol, $n_C = \frac{2}{5}$ mol이며,

$V = \frac{6}{5}$ L이므로 $Q = \frac{1}{\frac{6}{5}} \times \frac{(\frac{1}{5}) \times (\frac{2}{5})^2}{(\frac{3}{5})^2} = \frac{2}{27}$ 이다.

㉠ t_1 일 때와 t_3 일 때의 반응 지수(Q)가 같은 값을 가지므로 t_1 과 t_3 은 평형 상태이고, t_2 일 때는 Q가 t_1 (또는 t_3)일 때보다 작으므로 평형 상태에 도달하기 전이다. 따라서 t_2 일 때 정반응 속도가 역반응 속도보다 빠르다.

㉡ t_3 일 때는 평형 상태이므로 전체 기체의 부피가 $\frac{4}{3}$ L이다.

✕. 평형 상태일 때는 $Q = K$ 이므로 $K = 1$ 이다.

06 압력 변화와 평형 이동

(가)에서 꼭지를 열고 고정 장치를 제거하면 전체 기체의 압력이 감소하므로 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

㉠ A(s)가 1 mol 분해되어 B(g)와 C(g)가 각각 1 mol씩 생

성되는 반응이므로 평형 상태 (가)에서 B(g)와 C(g)의 양은 각각 2 mol이다. 부피가 2 L이므로 $[B] = [C] = 1$ M이고, $K = \frac{[B][C]}{[A]} = 1$ 이다.

㉡ (가)에서 꼭지를 열고 고정 장치를 제거하면 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 강철 용기에 들어 있는 A(s)의 양(mol)은 (가)에서 새로운 평형 상태에서보다 많다.

✕. (가)에서 새로운 평형 상태까지 생성된 B(g)의 양(mol)을 x 라 하면, 부피가 6 L이므로 $K = \left(\frac{2+x}{6}\right) \times \left(\frac{2+x}{6}\right) = 1$ 을 만족하는 $x = 4$ 이다. 온도가 일정하므로 기체의 부분 압력은 기체의 양(mol)에 비례하고, 부피에 반비례하는데, 새로운 평형 상태에서 B(g)의 양(mol)과 부피는 각각 3배가 되므로 B(g)의 부분 압력은 새로운 평형에서와 (가)에서가 같다.

07 화학 평형과 평형 상수

(가)에서 반응이 진행되어 평형에 도달할 때까지 생성된 C(g)의 양이 $2x$ mol이므로 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) + 3B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$		
반응 전(mol)	1	3	0
반응(mol)	$-x$	$-3x$	$+2x$
평형(mol)	$1-x$	$3-3x$	$2x$

$3-3x = 3x$ 이므로 $x = \frac{1}{2}$ 이다. 따라서 평형 상태에서 각 기체의 양은 A(g)가 $\frac{1}{2}$ mol, B(g)는 $\frac{3}{2}$ mol, C(g)는 1 mol이다.

㉠ (나)에서 A(g)의 몰 분율은 $\frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{2} + \frac{3}{2} + 1} = \frac{1}{6}$ 이다.

✕. 기체의 부피가 2 L이므로 평형 상수 $K = \frac{[C]^2}{[A][B]^3} = \frac{(\frac{1}{2})^2}{(\frac{1}{4}) \times (\frac{3}{4})^3} = \frac{64}{27}$ 이다.

㉡ 온도와 부피가 일정하므로 전체 기체의 압력은 전체 기체의 양(mol)에 비례한다. 전체 기체의 양은 (가)에서 4 mol, (나)에서 3 mol이므로 전체 기체의 압력은 (나)에서 (가)에서의 $\frac{3}{4}$ 배이다.

08 반응 지수와 반응의 진행 방향

전체 기체 분자 수가 일정한 반응이고, t min일 때 (가)에 들어 있는 A(g)의 몰 분율이 $\frac{1}{4}$ 이므로 A(g)는 $\frac{1}{2}$ mol, B(g)는 $\frac{1}{2}$ mol, C(g)는 1 mol이 들어 있다.

㉠. 평형 상수 $K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{1^2}{\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}} = 4$ 이다.

㉡. (나)에서 평형 상태에 도달하기까지 반응한 $A(g)$ 의 양(mol)을 x 라고 하면 평형 상태에서 $A(g)$ 의 양(mol)은 $1-x$, $B(g)$ 의 양(mol)은 $2-x$, $C(g)$ 의 양(mol)은 $2x$ 이며, 온도가 일정하므로 평형 상수는 같다.

$K = \frac{(2x)^2}{(1-x)(2-x)} = 4$ 이므로 $x = \frac{2}{3}$ 이고, (나)에 들어 있는 $A(g)$ 의 양은 $\frac{1}{3}$ mol, $B(g)$ 의 양은 $\frac{4}{3}$ mol, $C(g)$ 의 양은 $\frac{4}{3}$ mol이다. 따라서 t min일 때 $B(g)$ 의 몰 분율은 (가)에서 $\frac{1}{4}$, (나)에서 $\frac{4}{9}$ 이므로 (나) > (가)이다.

㉢. t min 이후에 꼭지를 열게 되면 부피가 2 L가 되므로 $[A] = \frac{5}{12}$ M, $[B] = \frac{11}{12}$ M, $[C] = \frac{7}{6}$ M가 된다.

반응 지수 $Q = \frac{\left(\frac{7}{6}\right)^2}{\frac{5}{12} \times \frac{11}{12}} < K (=4)$ 이므로 정반응이 우세하게 진행되어 평형 상태에 도달한다.

09 화학 평형 상태

I에서 평형에 도달할 때까지 감소한 $[A] = [B] = 0.2$ M이므로 평형 상태에서 $[C] = 0.4$ M이고, 평형 상수 $K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{0.4^2}{0.1 \times 0.1} = 16$ 이다.

㉠. I의 평형 상태에서 $C(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{0.4}{0.1+0.1+0.4} = \frac{2}{3}$ 이다.

㉡. III에서 반응 초기의 반응 지수 $Q = \frac{1.0^2}{0.4 \times 0.4} = \frac{25}{4} < K$ 이므로 정반응이 우세하게 진행되어 평형 상태에 도달한다.

㉢. II의 평형 상태에서 $[B] = z$ M라고 하면, $K = \frac{2.0^2}{1.0 \times z} = 16$ 을 만족하는 $z = \frac{1}{4} = 0.25$ 이다. II는 역반응이 우세하게 진행되어 평형 상태에 도달하고, 증가한 $[A] = [B] = 0.25$ M이므로 $x = 0.75$ 이다. III에서 평형에 도달할 때까지 감소한 $[A] = [B] = n$ M라고 하면, 증가한 $[C] = 2n$ M이므로 $K = \frac{(1+2n)^2}{(0.4-n)^2} = 16$ 이다. 이를 만족하는 $n = 0.1$ 이고, $y = 1+2n = 1.2$ 이다. 따라서 $x \times y = 0.75 \times 1.2 = 0.9 < 1$ 이다.

10 화학 평형과 화학 평형 이동

(나)에서 꼭지 ㉠과 ㉡을 열어 반응을 진행시킨 후 평형 상태에 도달할 때까지 반응한 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 양을 x mol이라 하면, 반

응의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$		
반응 전(mol)	1	1	0
반응(mol)	$-x$	$-x$	$+2x$
평형(mol)	$1-x$	$1-x$	$2x$

평형 상수 $K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{\left(\frac{2x}{4}\right)^2}{\left(\frac{1-x}{4}\right)^2} = 16$ 을 만족하는 $x = \frac{2}{3}$ 이

므로 평형 상태에서 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 양은 각각 $\frac{1}{3}$ mol, $C(g)$ 의 양은 $\frac{4}{3}$ mol이다. 꼭지 ㉠과 ㉡을 동시에 닫으면 II에는 I~III에 들어 있던 기체의 $\frac{1}{4}$ 만큼, III에는 $\frac{1}{2}$ 만큼 들어 있게 되므로 (나) 과정 후 II에 들어 있는 $A(g)$ 의 양은 $\frac{1}{12}$ mol이다. 따라서 $a = \frac{1}{12}$ 이다. III에는 $A(g)$ 와 $B(g)$ 가 각각 $\frac{1}{6}$ mol, $C(g)$ 가 $\frac{2}{3}$ mol 들어 있고, (다)에서 꼭지 ㉢을 열면 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 반응한 $C(g)$ 의 양을 $2y$ mol이라 하면, 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$		
반응 전(mol)	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{5}{3}$
반응(mol)	$+y$	$+y$	$-2y$
평형(mol)	$\frac{1}{6}+y$	$\frac{1}{6}+y$	$\frac{5}{3}-2y$

평형 상수 $K = \frac{\left(\frac{5}{3}-2y\right)^2}{\left(\frac{1}{6}+y\right)^2} = 16$ 을 만족하는 $y = \frac{1}{6}$ 이다. IV에는

III과 IV에 들어 있는 전체 기체의 $\frac{1}{3}$ 만큼 들어 있게 되므로 (다) 과정 후 IV에 들어 있는 $B(g)$ 의 양은 $\left(\frac{1}{6} + \frac{1}{6}\right) \times \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$ mol이다. 따라서 $b = \frac{1}{9}$ 이므로 $a + b = \frac{1}{12} + \frac{1}{9} = \frac{7}{36}$ 이다.

11 온도 변화와 화학 평형 이동

(가)에서 (나)로 변화할 때 감소한 $A(g)$ 의 양은 2 mol, 증가한 $B(g)$ 와 $C(g)$ 의 양은 각각 1 mol, 2 mol이므로 반응 계수비는 $A(g) : B(g) : C(g) = 2 : 1 : 2 = 2 : b : c$ 이다.

㉠. $b = 1$, $c = 2$ 이므로 $b + c = 3$ 이다.

㉡. T_1 에서 평형 상수 $K = \frac{[B][C]^2}{[A]^2} = \frac{\left(\frac{2}{2V}\right) \times \left(\frac{2}{2V}\right)^2}{\left(\frac{1}{2V}\right)^2} = \frac{4}{V}$

이고, T_2 에서 평형 상수 $K = \frac{\left(\frac{2}{V}\right) \times \left(\frac{2}{V}\right)^2}{\left(\frac{1}{V}\right)^2} = \frac{8}{V}$ 이므로

$\frac{T_2\text{에서의 } K}{T_1\text{에서의 } K} = 2$ 이다.

㉔ 정반응이 흡열 반응이므로 온도를 높이면 평형 상수가 커지고, 온도를 낮추면 평형 상수가 작아진다. 평형 상수가 T_2 에서가 T_1 에서보다 크므로 $T_2 > T_1$ 이다.

12 평형 상수

실험 I에서 평형에 도달할 때까지 증가한 $[B] = [C] = 0.1$ M이므로 $b = 1$ 이다. 온도가 일정하므로 실험 I과 II에서 평형 상수 (K)가 같다. $K = \frac{[B][C]}{[A]^a} = \frac{0.2 \times 0.1}{1.0^a} = \frac{0.2 \times 0.4}{2.0^a}$ 를 만족하는 $a = 2$ 이다.

실험 II에서 평형에 도달할 때까지 $[C]$ 가 0.2 M 증가하므로 $[A]$ 는 0.4 M 감소하여 $2x - 0.4 = 2.0$ 을 만족하는 $x = 1.2$ 이다.

㉕ $a = 2, b = 1$ 이므로 $a > b$ 이다.

✕ 실험 I에서 평형 상수 $K = \frac{0.2 \times 0.1}{1.0^2} = 0.02$ 이고, 온도가 일정하므로 실험 III에서의 평형 상수도 실험 I과 같으며, B와 C의 평형 농도가 각각 $2y$ M, y M이므로 $K = \frac{2y \times y}{[A]^2} = 0.02$

를 만족하는 A의 평형 농도는 $10y$ M이다. 실험 III에서 A와 B의 초기 농도가 각각 2.4 M, 0.9 M이므로 정반응이 우세하게 진행되어 평형에 도달하게 된다면, 평형에 도달할 때까지 증가한 $[B] = z$ M라고 할 때 평형에서 $[A] : [B] = (2.4 - 2z) : (0.9 + z)$ 이므로 $[A] : [B] = 5 : 1$ 이 될 수 없다. 따라서 실험 III에서는 역반응이 우세하게 진행되어 평형에 도달하게 된다.

✕ III에서 평형에 도달할 때까지 감소한 $[B] = z$ M라고 하면, 평형에서 $[A] = (2.4 + 2z)$ M, $[B] = (0.9 - z)$ M이므로 $(2.4 + 2z) : (0.9 - z) = 5 : 1$ 을 만족하는 $z = 0.3$ 이고, 평형에서 $[B] = (0.9 - z)$ M = 0.6 M = $2y$ M이므로 $y = 0.3$ 이다.

13 고체나 액체 상태 물질이 포함된 반응의 평형 상수

㉖ 평형 상수식에 고체나 액체의 농도는 포함되지 않으므로 $K = \frac{[D]}{[B]^3}$ 이다.

㉗ 온도와 압력이 일정하므로 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례한다. 반응 전 B(g)의 양을 $10n$ mol, 평형에 도달할 때까지 감소한 B(g)의 양을 $3x$ mol이라고 하면, 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(s) + 3B(g) \rightleftharpoons C(l) + D(g)$		
반응 전(mol)	10n		0
반응(mol)	-3x		+x
평형(mol)	10n-3x		x

전체 기체의 양은 $(10n - 2x)$ mol = $6n$ mol을 만족하는 $x = 2n$ 이다. 따라서 (나)에서 B(g)의 양은 $4n$ mol, D(g)의 양은 $2n$ mol이고, 전체 기체의 압력이 1 atm이므로 D(g)의 부분 압력은 $\frac{1}{3}$ atm이다.

✕ (나)에서 피스톤에 추를 올리면 전체 기체의 압력이 증가하므로 전체 기체의 양(mol)이 감소하는 방향(정반응)으로 평형이 이동한다. 따라서 A(s)의 양(mol)은 (나)에서보다 감소한다.

14 압력 변화와 평형 이동

(가)에서 A(g) w g을 n mol이라고 하면, (나)에서 A(g) 0.6w g은 0.6n mol이다. (가)에서 (나)로의 반응에 대한 양적 관계는 다음과 같다.

	$2A(g) \rightleftharpoons bB(g) + C(g)$		
반응 전(mol)	n	0	0
반응(mol)	-0.4n	+0.2bn	+0.2n
평형(mol)	0.6n	0.2bn	0.2n

(다)에서 용기에 들어 있는 C(g)의 전체 질량은 0.02w g이며, C의 분자량이 A의 $\frac{1}{10}$ 이므로 C(g) 0.02w g은 0.2n mol이다.

(나)에서 꼭지를 열어 기체의 부피가 2배가 되어도 C(g)의 양(mol)이 변하지 않았으므로 부피 변화에 따른 평형 이동은 일어나지 않았으며, 반응물의 계수와 생성물의 계수 합이 같다. 따라

서 $b = 1$ 이고, (나)에서 평형 상수 $K = \frac{[B][C]}{[A]^2} = \frac{0.2n \times \frac{0.2n}{V}}{\left(\frac{0.6n}{V}\right)^2} = \frac{1}{9}$ 이다.

반응 전과 후의 질량은 보존되므로 (가) → (다)에서 감소한 A(g)의 질량이 0.4w g일 때, 증가한 B(g)와 C(g)의 질량이 각각 0.38w g, 0.02w g이며, 반응 몰비가 B : C = 1 : 1이므로 분자량비는 B : C = 19 : 1이다. 따라서 $\frac{B\text{의 분자량}}{C\text{의 분자량}} \times K = \frac{19}{1} \times \frac{1}{9} = \frac{19}{9}$ 이다.

15 온도 변화와 평형 이동

T K에서 평형 상태 I에 도달할 때까지 반응한 A(g)의 양을 x mol이라고 하면 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

[평형 I]	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$		
반응 전(mol)	4	3	0
반응(mol)	$-x$	$-x$	$+x$
평형(mol)	$4-x$	$3-x$	x

I에서 A(g)와 C(g)의 부분 압력이 같으므로 $4-x=x$ 를 만족하는 $x=2$ 이다. I에서 실린더에 들어 있는 기체는 A(g) 2 mol, B(g) 1 mol, C(g) 2 mol이다.

㉠. I에서 온도를 2T K로 변화시키면 압력이 일정하므로 기체의 부피는 20 L가 되어야 하지만 평형 상태 II에서 기체의 부피가 18 L이므로 정반응 쪽으로 평형이 이동하였음을 알 수 있다. 온도를 높였을 때 정반응 쪽으로 평형이 이동하였으므로 정반응은 흡열 반응($\Delta H > 0$)이다.

㉡. I에서 반응이 진행되어 II에 도달할 때까지 변화된 C(g)의 양을 y mol이라고 하면, 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

[평형 II]	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$		
반응 전(mol)	2	1	2
반응(mol)	$-y$	$-y$	$+y$
평형(mol)	$2-y$	$1-y$	$2+y$

압력이 일정하므로 기체의 부피는 기체의 양(mol)과 온도의 곱에 비례한다. $10 L : 18 L = 5 \text{ mol} \times T \text{ K} : (5-y) \text{ mol} \times 2T \text{ K}$ 를 만족하는 $y = \frac{1}{2}$ 이며, II에서 실린더에 들어 있는 기체는 A(g) $\frac{3}{2}$ mol, B(g) $\frac{1}{2}$ mol, C(g) $\frac{5}{2}$ mol이다. 따라서

$$\frac{\text{I에서 B(g)의 몰 분율}}{\text{II에서 C(g)의 몰 분율}} = \frac{\frac{1}{5}}{\frac{9}{5}} = \frac{9}{25} \text{이다.}$$

$$\text{㉢. } K_2 = \frac{\frac{5}{2}}{\frac{3}{18} \times \frac{1}{18}} = 60 \text{이다.}$$

16 온도 변화와 평형 이동

온도가 일정할 때 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례하고, 부피에 반비례한다. (가)에서 기체의 몰비는 I : II = 9 : 1이고, 부피비는 I : II = 2 : 1이므로 전체 기체의 압력비는 I : II = 9 : 2이다. 따라서 $P_2 = \frac{2}{9}P_1$ 이다. ㉠을 열어 평형에 도달하였을 때 I에 들어 있는 C(g)의 부분 압력이 $\frac{7}{3}P_2$ atm인데, C(g)의 부피는 3배가 되고, 압력은 $\frac{7}{3}$ 배가 되므로 C(g)의 양(mol)은

반응 전의 7배가 된다. 따라서 ㉡을 열어 평형에 도달할 때까지 증가한 C(g)의 양은 6 mol이며, 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) + bB(g) \rightleftharpoons 3C(g)$		
반응 전(mol)	3	6	1
반응(mol)	-2	$-2b$	$+6$
평형(mol)	1	$6-2b$	7

부분 압력비가 B(g) : C(g) = $(6-2b) : 7 = 2 : 7$ 이므로 $b=2$ 이다.

(나) 과정 후 I과 II에 들어 있는 기체의 양은 A(g)가 1 mol, B(g)가 2 mol, C(g)가 7 mol이고, B(g)와 C(g)의 부분 압력이 각각 $\frac{2}{3}P_2$ atm, $\frac{7}{3}P_2$ atm이므로 A(g)의 부분 압력은 $\frac{1}{3}P_2$ atm이며, I과 II에 들어 있는 전체 기체의 압력은 $\frac{10}{3}P_2$ atm이다.

꼭지 ㉢을 열면 부피가 $\frac{4}{3}$ 배 증가하고, 온도를 2T로 높이면 반응물의 계수 합과 생성물의 계수가 같으므로 전체 기체의 양(mol)은 변하지 않아 (다) 과정 후 전체 기체의 압력은 (나) 과정 후의 $\frac{3}{2}$ 배가 된다. (나) 과정 후 전체 기체의 압력은 $\frac{10}{3}P_2$ atm이므로 (다) 과정 후 전체 기체의 압력은 $\frac{10}{3}P_2 \times \frac{3}{2} = 5P_2$ atm이고, (다) 과정 후 III에 들어 있는 B(g)의 부분 압력이 $\frac{5}{4}P_2$ atm

이므로 B(g)의 몰 분율은 $\frac{\frac{5}{4}P_2}{5P_2} = \frac{1}{4}$ 이다. 정반응이 발열 반응이므로 온도를 높이면 역반응 쪽으로 평형이 이동하게 되며, 반응한 C(g)의 양을 3x mol이라고 하면 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 3C(g)$		
반응 전(mol)	1	2	7
반응(mol)	$+x$	$+2x$	$-3x$
평형(mol)	$1+x$	$2+2x$	$7-3x$

(다) 과정 후 III에 들어 있는 B(g)의 몰 분율 $\frac{2+2x}{10} = \frac{1}{4}$ 을 만족하는 $x = \frac{1}{4}$ 이므로 I ~ III에 들어 있는 기체의 양은 A(g)가 $\frac{5}{4}$ mol, B(g)가 $\frac{5}{2}$ mol, C(g)가 $\frac{25}{4}$ mol이다. 전체 기체의 부피가 4 L이므로 2T에서 평형 상수 $K = \frac{[C]^3}{[A][B]^2} = \frac{\left(\frac{25}{4} \times \frac{1}{4}\right)^3}{\left(\frac{5}{4} \times \frac{1}{4}\right) \times \left(\frac{5}{2} \times \frac{1}{4}\right)^2} = \frac{125}{4}$ 이다.

17 상평형 그림

T_1 K, P_1 atm과 T_2 K, P_2 atm에서는 X의 안정한 상이 각각 2가지이므로 상평형 그림에서 승화 곡선, 용해 곡선, 증기 압력 곡선 위에 있어야 한다. $T_2 > T_1$ 이므로 T_1 이 삼중점의 온도보다 낮다면 T_1 K, P_1 atm이 승화 곡선 위에 있어야 하며(X의 안정한 상은 고체와 기체), T_2 K, P_2 atm은 용해 곡선 또는 증기 압력 곡선 위에 있어야 한다. T_2 K, P_2 atm이 용해 곡선 위에 있다면 X의 안정한 상은 고체와 액체이므로 ㉠은 고체, ㉡은 기체, ㉢은 액체이며, T_1 K, P_2 atm에서 X의 안정한 상이 ㉣(고체)이므로 주어진 조건을 만족하게 된다. T_2 K, P_2 atm이 증기 압력 곡선 위에 있다면 X의 안정한 상은 액체와 기체이므로 ㉤은 기체, ㉥은 고체, ㉦은 액체이며, T_1 K, P_2 atm에서 X의 안정한 상이 ㉣(고체)이 되므로 조건에 모순이 된다.

T_1 K가 삼중점의 온도보다 높다면 T_1 K, P_1 atm이 용해 곡선과 증기 압력 곡선 위에 있어야 하고, T_2 K, P_2 atm은 증기 압력 곡선 또는 용해 곡선 위에 있어야 한다. T_1 K, P_1 atm이 용해 곡선(X의 안정한 상은 고체와 액체), T_2 K, P_2 atm이 증기 압력 곡선(X의 안정한 상은 액체와 기체) 위에 있다면 ㉧은 액체, ㉨은 고체, ㉩은 기체이며, T_1 K, P_2 atm에서 X의 안정한 상이 ㉣(고체)이 되므로 조건에 모순이 된다. T_1 K, P_1 atm이 증기 압력 곡선(X의 안정한 상은 액체와 기체), T_2 K, P_2 atm이 용해 곡선(X의 안정한 상은 고체와 액체) 위에 있다면 ㉧은 액체, ㉨은 기체, ㉩은 고체이며, T_1 K, P_2 atm에서 X의 안정한 상이 ㉣(고체)이 되므로 조건에 모순이 된다. 따라서 T_1 K, P_1 atm과 T_2 K, P_2 atm은 각각 승화 곡선과 용해 곡선 위의 지점이며, ㉠은 고체, ㉡은 기체, ㉢은 액체이다.

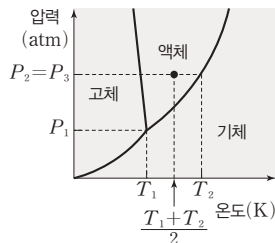
- ㉠ T_1 K, P_1 atm은 승화 곡선 위에 있으므로 X의 삼중점 온도는 T_1 K보다 높다.
- ㉡ ㉠은 T_1 K, P_2 atm에서 X의 안정한 상이므로 고체이다.
- ㉢ T_2 K, P_1 atm에서 X의 안정한 상은 기체이므로 ㉡이다.

18 압력 변화와 상평형

✕. T_2 K, P_2 atm에서 X는 증기 압력 곡선 위에 위치한다. (나)에서 온도를 T_2 K로 유지한 채 칸막이를 제거하면 압력은 순간적으로 P_2 atm보다 작아져 X는 기체가 안정한 상이 되고 $X(l) \rightarrow X(g)$ 로의 변화가 $X(g) \rightarrow X(l)$ 로의 변화보다 우세하게 일어나게 된다. 따라서 T_2 K에서 평형에 도달하게 되면 $X(g)$ 의 압력은 다시 P_2 atm이 되므로 $P_2 = P_3$ 이다.

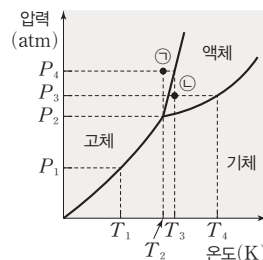
㉣. $X(l) \rightarrow X(g)$ 로의 변화가 $X(g) \rightarrow X(l)$ 로의 변화보다 우세하게 일어나게 되어 칸막이를 제거하여 평형 상태에 도달했을 때 강철 용기 속 $X(l)$ 의 질량은 w g보다 작다.

✕. $\frac{T_1 + T_2}{2}$ K, P_3 atm에서 X의 안정한 상은 액체이다.



19 상평형 그림과 안정한 상의 수

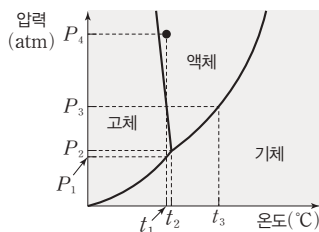
T_2 K, P_2 atm은 CO_2 의 안정한 상의 수가 3이므로 삼중점이고, T_1 K, P_1 atm은 안정한 상의 수가 2이고, $T_2 > T_1$ 이므로 승화 곡선 위의 지점이다. T_3 K, P_4 atm과 T_4 K, P_3 atm은 각각 안정한 상의 수가 2이므로 용해 곡선과 증기 압력 곡선 위의 지점인데, $T_3 > T_2$ 이므로 CO_2 의 용해 곡선의 기울기는 양(+)이다. $T_4 > T_3$ 이고, $P_4 > P_3$ 이므로 T_3 K, P_4 atm은 용해 곡선 위의 지점, T_4 K, P_3 atm은 증기 압력 곡선 위의 지점이다. CO_2 의 상평형 그림은 다음과 같다.



따라서 T_2 K, P_4 atm에서 CO_2 의 안정한 상(㉠)은 고체, T_3 K, P_3 atm에서 안정한 CO_2 의 상(㉡)은 액체이다.

20 상평형 그림과 안정한 상의 수

$t_2^\circ C$, P_2 atm에서 X의 안정한 상의 수가 3이므로 $t_2^\circ C$, P_2 atm은 삼중점이다. P_3 atm에서 안정한 상의 수가 $t_1^\circ C$ 와 $t_3^\circ C$ 에서 각각 2이므로 X의 용해 곡선의 기울기가 양(+)이면 $t_2 < t_1$ 이 되므로 조건에 모순이 된다. 따라서 X의 용해 곡선의 기울기는 음(-)이고, $t_1^\circ C$, P_3 atm은 용해 곡선 위의 지점이고, $t_3^\circ C$, P_3 atm은 증기 압력 곡선 위의 지점이다. $t_1^\circ C$, P_1 atm은 X의 안정한 상의 수가 2이므로 승화 곡선 위의 지점이므로 X의 상평형 그림은 다음과 같다.



✕. $P_2 > P_1$ 이다.

㉠. $t_1^\circ\text{C}$, $P_2 \text{ atm}$ 에서 X의 안정한 상은 고체이다.
 ✕. $t_1^\circ\text{C}$, $P_4 \text{ atm}$ 에서 X의 안정한 상이 액체이므로 $P_4 > P_3$ 이다. X는 압력이 높아지면 끓는점은 높아지고, 녹는점은 낮아지므로 X의 (끓는점 - 녹는점)은 $P_4 \text{ atm}$ 에서가 $P_3 \text{ atm}$ 에서보다 크다.

06 산 염기 평형

수능 2점 테스트

본문 122~124쪽

01 ㉢	02 ㉠	03 ㉠	04 ㉤	05 ㉠	06 ㉤
07 ㉢	08 ㉠	09 ㉠	10 ㉠	11 ㉠	12 ㉢

01 산의 세기

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

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

HA의 이온화 반응식은 다음과 같다.



HA는 약산이고, $0.1 \text{ M HA}(aq)$ 에서 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 1 \times 10^{-3}$ 이므로

$[\text{A}^-] = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$ 이다. 따라서 25°C 에서 HA의 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

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

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

✕. $1 \text{ M HA}(aq)$ 에서 pH=3.0이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이고, HA는 약산이다. 따라서 25°C 에서 HA의 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

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

㉠ pH가 (가) < (나)이므로 $[H_3O^+]$ 는 (가) > (나)이다. 따라서 $HA(aq)$ 의 농도는 (가) > (나) ($x > y$)이다.

㉡ HA의 이온화 상수 $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = 1 \times 10^{-5}$ 이다. (가)와 (나)의 pH는 각각 3.0, 4.0이므로, (가)와 (나)의 $[H_3O^+]$ 는 각각 $1 \times 10^{-3} M$, $1 \times 10^{-4} M$ 이다. 따라서 $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 는 (가)와 (나)에서 각각 0.01, 0.1이므로, (나)에서가 (가)에서보다 크다.

05 산의 이온화 상수

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

㉡ 0.5 M $HA(aq)$ 에서 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-3} M$ 이므로 HA는 약산이다. HA의 이온화 상수는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{0.5} = 2 \times 10^{-6}$$

따라서 $\frac{[A^-]}{[HA]} = 2 \times 10^{-3}$ 이다.

㉢ 수용액에 물을 넣으면 $HA(aq)$ 의 농도가 작아지므로 $[H_3O^+]$ 가 감소한다.

06 산의 세기

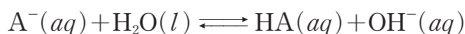
㉠ 1 M $HA(aq)$ 1 L에 들어 있는 A^- 의 양(mol)이 1 M $HB(aq)$ 1 L에 들어 있는 B^- 의 양(mol)보다 많으므로 산의 세기는 $HA > HB$ 이다.

㉡ 산의 세기는 $HA > HB$ 이므로 $[H_3O^+]$ 는 1 M $HA(aq) > 1 M HB(aq)$ 이다. 따라서 pH는 1 M $HB(aq) > 1 M HA(aq)$ 이다.

㉢ $NaB(aq)$ 에서 B^- 은 약산인 HB의 짝염기이다. 따라서 B^- 은 수용액에서 염기로 작용하므로 $NaB(aq)$ 은 염기성이다.

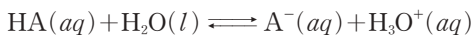
07 짝산·짝염기의 이온화 상수 관계

1 M $NaA(aq)$ 의 pH=10.0이므로 A^- 은 약염기이다. A^- 의 이온화 반응식과 25°C에서 A^- 의 이온화 상수(K_b)는 다음과 같다.



$$K_b = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} = \frac{(1 \times 10^{-4})^2}{1} = 1 \times 10^{-8}$$

A^- 의 짝산은 HA이다. 따라서 25°C에서 HA의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같다.



$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{K_w}{A^-\text{의 } K_b} = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-8}} = 1 \times 10^{-6}$$

1 M $HA(aq)$ 에서 $[H_3O^+] = x M$ 이므로 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{x^2}{1} = 1 \times 10^{-6}, x = 1 \times 10^{-3}$$

$$\text{따라서 } x \times \frac{25^\circ\text{C에서 HA의 이온화 상수}(K_a)}{25^\circ\text{C에서 } A^- \text{의 이온화 상수}(K_b)} = 1 \times 10^{-3} \times \frac{1 \times 10^{-6}}{1 \times 10^{-8}} = \frac{1}{10}$$

이다.

08 완충 용액

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

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

$[A^-] = [H_3O^+] = 1 \times 10^{-3} M$ 이므로 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.

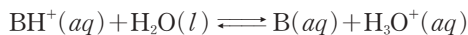
㉢ (가)에서 $\frac{[HA]}{[A^-]} = \frac{0.5}{1 \times 10^{-3}} = 500$ 이다. (나)에서 $\frac{[HA]}{[A^-]} = 0.5$ 이다. 따라서 $\frac{[HA]}{[A^-]}$ 는 (가)에서가 (나)에서의 1000배이다.

09 짝산·짝염기의 이온화 상수 관계

㉠ 0.1 M $B(aq)$ 의 pH=11.0이므로 B는 약염기이다. pH=11.0이므로 $[OH^-] = 1 \times 10^{-3} M$ 이며, 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.



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

0.1 M $BH^+(aq)$ 에서 다음과 같은 관계가 성립한다.

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

$[B] = [H_3O^+] = 1 \times 10^{-5} M$ 이므로 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 $[HA] = 0.1 M$ 가 되었다. 따라서 (나)에서 $[A^-] = 0.2 M$ 이며, 이는 (가)에서 0.1 mol의 HA가 0.1 mol

의 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 $\frac{V}{(\text{나})\text{의 pH}} =$

$$\frac{500}{5.0} = 100 \text{이다.}$$

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.

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 $[HA] = \frac{0.05 \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = 0.5$ M이고, (나)에서 $[HA] =$

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

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.

02 산의 이온화 상수

✕. (가)의 $[H_3O^+]=1 \times 10^{-4}$ M이고 수용액의 부피가 200 mL이므로 (가)에 있는 H_3O^+ 의 양은 2×10^{-5} mol이다.

✕. 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.

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.

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

수능 3점 테스트

본문 125~130쪽

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

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

✕. (가)에 강염기인 $NaOH(s)$ 을 소량 넣으면 HA 가 짝염기인 A^- 으로 되는 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 $\frac{[HA]}{[A^-]} < 2$ 이다.

04 산의 이온화 상수

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

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

가한 1 M $NaOH(aq)$ 의 부피는 $HA(aq)$ 의 부피의 $\frac{3}{8}$ 에

당하는 75 mL이고, $NaOH$ 의 양은 75 mmol이다. (나)에서

$\frac{[A^-]}{[HA]+[A^-]} = \frac{1}{2} (= \frac{1}{1+1})$ 이므로 $x M HA(aq)$ 200 mL

에 녹은 HA 의 양(200x mmol) 중 $\frac{1}{2}$ 에 해당하는 100x mmol

이 $NaOH$ 의 양(75 mmol)과 같고, $x = \frac{3}{4}$ 이다.

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

1 M $NaOH(aq)$ 의 부피는 $HA(aq)$ 의 부피의 $\frac{1}{5}$ 에 해당하는

40 mL이고, $NaOH$ 의 양은 40 mmol이다. 따라서 (가)에서

$y = \frac{[A^-]}{[HA]+[A^-]} = \frac{40}{150} = \frac{4}{15}$ 이다.

(다)에서 $\frac{[A^-]}{[HA]+[A^-]} = \frac{2}{3} (= \frac{2}{1+2}) = \frac{100}{150}$ 이므로 가한

$NaOH$ 의 양은 100 mmol이고, 가한 1 M $NaOH(aq)$ 의 부피

는 100 mL이다. 따라서 (다)에서 $[Na^+] = \frac{1}{3} M$ 이므로 $z = \frac{1}{3}$ 이

고, $x \times y \times z = \frac{3}{4} \times \frac{4}{15} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{15}$ 이다.

05 산의 이온화 상수

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

✕. (가)와 (나)에서 $[A^-]$ 는 같지만 $[HA]$ 는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. HA 의 이온화 상수 $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$ 는 (가)와 (나)

에서 같으므로 $[H_3O^+]$ 는 (나)가 (가)보다 크고, pH는 (가)가 (나)보다 크다. 따라서 ㉠ < 5.0이다.

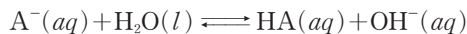
㉡. HA 의 이온화 상수는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{0.2}{0.1} \times 10^{-5} = 2 \times 10^{-5} \text{이다.}$$

HA 의 짝염기인 A^- 의 이온화 상수는 다음과 같다.

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

0.2 M $NaA(aq)$ 의 pH는 다음과 같이 구한다.



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

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

06 산의 세기

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

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

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

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

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

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

07 짝산·짝염기의 이온화 상수 관계

㉠. B의 이온화 상수(K_b)는 다음과 같다.

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

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

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

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

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

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

08 완충 용액

✕. (가)에서 다음 관계가 성립한다.

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

(나)에서 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = 3 \times [H_3O^+]_{(나)} = a$$

따라서 $[H_3O^+]$ 는 (가)가 (나)보다 크고, pH는 (나)가 (가)보다 크다 ($y > x$).

㉠ (나)와 (다)에서 pH가 같으므로 $[H_3O^+]$ 도 같다. (다)에서 다음 관계가 성립한다.

$$K_a = \frac{[B^-][H_3O^+]}{[HB]} = \frac{1}{2} \times [H_3O^+]_{(다)} = 1 \times 10^{-5}$$

따라서 (나)에서 $[H_3O^+] = 2 \times 10^{-5} \text{ M}$ 이다.

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

$$K_a = a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = 3 \times 2 \times 10^{-5} = 6 \times 10^{-5}$$

09 완충 용액

㉠ HA의 이온화 상수 $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$ 이다.

(가)는 1 M HA(aq)이며 다음 관계가 성립한다.

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

$[A^-] = [H_3O^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$, pH = 3.0

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

$$K_a = \frac{2}{3} \times [H_3O^+]_{(나)} = \frac{3}{2} \times [H_3O^+]_{(다)} = 1 \times 10^{-6}$$

(나)의 $[H_3O^+] = \frac{3}{2} \times 10^{-6} \text{ M}$ 이고, (다)의 $[H_3O^+] = \frac{2}{3} \times 10^{-6} \text{ M}$

이다. 따라서 $[H_3O^+]$ 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 $\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{0.1}{0.4} = \frac{1}{4}$ 이 된다. 따라서 $[H_3O^+]$ 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 $\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{0.3}{0.2} = \frac{3}{2}$ 으로 변하므로 $[H_3O^+]$ 가 $\frac{3}{2} \times 10^{-6} \text{ M}$ 에서 $\frac{2}{3} \times 10^{-6} \text{ M}$ 가 된다. 즉, $[H_3O^+]$ 가 $\frac{4}{9}$ 배로 작아지므로 pH가 1.0보다 작게 증가한다. 따라서 NaOH(s) 0.1 mol을 가할 때 pH 변화량은 (가) > (나)이다.

10 완충 용액

HA의 이온화 상수 $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$ 이다.

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

(가)와 (나)에서 $[H_3O^+]$ 는 (나)가 (가)보다 2배 크고, (나)와 (다)에서 $[H_3O^+]$ 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 $[H_3O^+]$ 는 (나)가 (가)의 2배이므로 pH는 (가)가 (나)보다 log2만큼 크다. 또한 (나)와 (다)에서 $[H_3O^+]$ 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.

11 완충 용액

HA의 이온화 상수 $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$ 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 $[HA] + [A^-] = 0.1 \text{ M}$ 이다.

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

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

㉡ HA의 이온화 상수는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{6}{4} \times 10^{-8} = \frac{3}{2} \times 10^{-8}$$

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

㉢ (나)는 (가)에 비해 $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 가 크므로 $[H_3O^+]$ 는 작고, pH는 크다. 따라서 $b > 8.0$ 이다.

12 완충 용액

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

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

㉡ $[Na^+]$ 가 1 M에서 $\frac{1}{9} \text{ M}$ 로 희석될 때 HA(aq) 400 mL에 가한 1 M NaOH(aq)의 부피는 50 mL이고 NaOH 50 mmol

에 해당한다. 이때 혼합 용액에는 HA의 형태로 150 mmol, A^- 의 형태로 50 mmol이 있으므로 $y = \frac{50}{150+50} = \frac{1}{4}$ 이다.

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

$$a = \frac{[A^-]}{[HA]} \times [H_3O^+], \quad b = \frac{[B^-]}{[HB]} \times [H_3O^+]$$

P에서 $\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{2}{3}$ 이고, Q에서 $\frac{[B^-]}{[HB]} = \frac{1}{3}$ 이다. 또한 P와 Q에서의 pH가 같으므로 P와 Q에서 $[H_3O^+]$ 이 같으므로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$[H_3O^+] = \frac{3}{2}a = 3b$$

따라서 $a=2b$ 이다.

07 반응 속도

수능 2점 테스트

본문 139~142쪽

01 ②	02 ④	03 ⑤	04 ③	05 ②	06 ③
07 ③	08 ①	09 ④	10 ③	11 ①	12 ③
13 ⑤	14 ②	15 ⑤	16 ⑤		

01 1차 반응의 특징

✕. t 일 때 $[A]$ 는 초기 상태 $[A]$ 의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 이 반응의 반감기는 t 이다.

㉠. 순간 반응 속도는 $[A]$ 에 비례하므로

$$\frac{t \text{일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}}{3t \text{일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}} = \frac{0.4}{0.1} = 4 \text{이다.}$$

✕. $0 \sim 2t$ 동안 $[A]$ 의 감소량은 0.6 M이고, $t \sim 2t$ 동안 $[A]$ 의 감소량은 0.2 M이므로

$$\frac{t \sim 2t \text{ 동안 } A(g) \text{의 평균 반응 속도}}{0 \sim 2t \text{ 동안 } A(g) \text{의 평균 반응 속도}} = \frac{\frac{0.2 M}{t}}{\frac{0.6 M}{2t}} = \frac{2}{3} \text{이다.}$$

02 1차 반응의 반감기

온도와 부피가 일정하므로 강철 용기 속 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례한다.

✕. $2A(g) \longrightarrow 2B(g) + C(g)$ 에서 반응물의 계수보다 생성물의 계수 합이 크므로 반응이 진행됨에 따라 전체 기체의 양(mol)은 증가한다. 따라서 혼합 기체의 전체 압력은 $2t$ 일 때가 t 일 때보다 크다.

㉠. $2t$ 일 때 $A(g)$ 의 부분 압력이 t 일 때 $A(g)$ 의 부분 압력의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 $A(g)$ 의 반감기는 t 이다.

㉡. 초기 상태 $A(g)$ 의 양을 $4n$ mol이라고 하면 t 일 때 $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 $2n$ mol, $2n$ mol, n mol이다. 따라서 t 일 때 $A(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{2n}{2n+2n+n} = \frac{2}{5}$ 이다.

03 1차 반응에서 반응물의 몰 농도

초기 상태 $A(g)$ 의 양을 $8n$ mol이라고 하면 반응한 $A(g)$ 의 양은 $0 \sim t_1$ min 동안 $2n$ mol, $0 \sim t_2$ min 동안 $4n$ mol이며, t_1 min일 때 $B(g)$ 의 양은 bn mol이고, t_2 min일 때 $C(g)$ 의 양은 $2n$ mol이다. $\frac{t_2 \text{ min일 때 } [C]}{t_1 \text{ min일 때 } [B]} = \frac{2}{b} = 1$ 에서 $b=2$ 이며, 화학 반응식은 $2A(g) \longrightarrow 2B(g) + C(g)$ 이다.

㉠. A(g)의 순간 반응 속도는 [A]에 비례하므로

$$\frac{t_2 \text{ min일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}}{t_1 \text{ min일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3} \text{이다.}$$

㉡. t_2 min일 때 [A]는 초기 상태 [A]의 $\frac{1}{2}$ 배이고, 9 min일 때 [A]는 초기 상태 [A]의 $\frac{1}{8}$ 배이므로 t_2 min일 때와 9 min일 때는 각각 반감기가 1번, 3번 지난 시점이다. 1차 반응의 반감기는 일정하므로 $t_2 = \frac{9}{3} = 3$ 이다.

㉢. 반감기가 3번 지난 9 min일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $n \text{ mol}$, $7n \text{ mol}$, $\frac{7n}{2} \text{ mol}$ 이며, B(g)의 몰 분율은 $\frac{7}{1+7+\frac{7}{2}} = \frac{14}{23}$ 이다.

04 1차 반응에서 질량비

화학 반응이 일어나도 전체 질량은 일정하므로 반응에서 생성된 B(g)의 질량+C(g)의 질량은 반응한 A(g)의 질량과 같다. $\frac{B(g) \text{의 질량(g)} + C(g) \text{의 질량(g)}}{A(g) \text{의 질량(g)}} = 1$ 인 t 일 때 반응한

A(g)의 질량과 남아 있는 A(g)의 질량이 같으므로 이 반응의 반감기는 t 이다. 초기 상태 A(g)의 양을 $8n \text{ mol}$ 이라고 하면 반응 시간에 따른 A(g)~C(g)의 양(mol)은 다음과 같다.

반응 시간	0	t	$2t$	$3t$
A(g)의 양(mol)	$8n$	$4n$	$2n$	n
B(g)의 양(mol)	0	$4n$	$6n$	$7n$
C(g)의 양(mol)	0	$2n$	$3n$	$\frac{7n}{2}$

㉠. 반감기가 3번 지난 $3t$ 일 때 A(g)의 질량은 전체 질량의 $\frac{1}{8}$ 배이고, (B(g)의 질량+C(g)의 질량)은 전체 질량의 $\frac{7}{8}$ 배이다. 따라서 $x=7$ 이다.

㉡. $0 \sim t$ 동안 감소한 A(g)의 양은 $4n \text{ mol}$ 이고, $t \sim 3t$ 동안 감소한 A(g)의 양은 $3n \text{ mol}$ 이므로

$$\frac{t \sim 3t \text{ 동안 } A(g) \text{의 평균 반응 속도}}{0 \sim t \text{ 동안 } A(g) \text{의 평균 반응 속도}} = \frac{\frac{3n}{2t}}{\frac{4n}{t}} = \frac{3}{8} \text{이다.}$$

㉢. 용기 속 전체 기체의 양은 t 일 때와 $2t$ 일 때 각각 $10n \text{ mol}$, $11n \text{ mol}$ 이다. 기체의 전체 압력은 전체 기체의 양(mol)에 비례하므로 $2t$ 일 때가 t 일 때의 $\frac{11}{10}$ 배이며, [A]는 $2t$ 일 때가 t 일 때의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 $\frac{\text{용기 속 기체의 전체 압력}}{[A]}$ 은 $2t$ 일 때가 t 일 때의 $\frac{11}{5}$ 배이다.

05 1차 반응에서 반응물의 몰 농도

같은 온도에서 동일한 1차 반응이 일어날 때, 반감기는 초기 농도에 관계없이 일정하다.

㉠. A(g)의 반감기는 I과 II에서 같다.

㉡. I에서 [A]는 3 min일 때가 1 min일 때의 $\frac{1}{4}$ 배로, 1~3 min 동안 반감기가 2번 지난 것이므로 이 반응의 반감기는 1 min이다. 초기 상태 [A]는 I에서가 II에서의 3배이므로 반응 시간(t)에 따른 [A]는 표와 같으며, $b = \frac{2a}{3}$ 이다.

용기	[A] (M)			
	$t=0$	$t=1 \text{ min}$	$t=2 \text{ min}$	$t=3 \text{ min}$
I	$8a$	$4a$	$2a$	a
II	$\frac{8a}{3}$	$\frac{4a}{3}$	$\frac{2a}{3} (=b)$	$\frac{a}{3}$

㉢. $\frac{\text{II에서 } 0 \sim 3 \text{ min 동안 } A(g) \text{의 평균 반응 속도}}{\text{I에서 } 1 \sim 2 \text{ min 동안 } A(g) \text{의 평균 반응 속도}} =$

$$\frac{\left(\frac{8a}{3} - \frac{a}{3}\right) M}{3 \text{ min}} = \frac{7}{18} \text{이다.}$$

$$\frac{\left(\frac{4a-2a}{3}\right) M}{1 \text{ min}}$$

06 1차 반응에서 반응물의 질량 백분율

A(g)의 질량 백분율은 $3t$ 일 때가 초기 상태의 $\frac{1}{8}$ 배로, $3t$ 일 때는 반감기가 3번 지난 시점이므로 이 반응의 반감기는 t 이다. 초기 상태 A(g)의 몰 농도(상댓값)를 8이라고 하면 반응 시간에 따른 A(g)~C(g)의 몰 농도(상댓값)는 다음과 같다.

반응 시간	0	t	$2t$	$3t$	
몰 농도 (상댓값)	[A]	8	4	2	1
	[B]	0	$2b$	$3b$	$\frac{7b}{2}$
	[C]	0	2	3	$\frac{7}{2}$

$\frac{t \text{일 때 } [B]}{3t \text{일 때 } [A]} = \frac{2b}{1} = 4$ 에서 $b=2$ 이며, $2t$ 일 때 C(g)의 몰 분율은 $\frac{3}{2+6+3} = \frac{3}{11}$ 이다.

07 1차 반응에서 질량 관계

$2t$ 일 때 A(g)의 질량은 초기 상태 A(g)의 질량의 $\frac{1}{4}$ 배로, $2t$ 일 때는 반감기가 2번 지난 시점이므로 이 반응의 반감기는 t 이다.

㉠. 반감기가 1번 지난 t 일 때 A(g)의 질량 백분율은 50%이다.

㉠ 초기 상태 A(g)의 양을 $8n$ mol이라고 하면 반감기가 2번 지난 $2t$ 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $2n$ mol, $12n$ mol, $3n$ mol이며, C(g)의 몰 분율은 $\frac{3}{2+12+3} = \frac{3}{17}$ 이다.

㉡ 반감기가 1번 지난 t 일 때 (B(g)의 질량+C(g)의 질량)은 81 g이고, B(g)의 질량이 69 g이므로 C(g)의 질량은 12 g이

며, B(g)와 C(g)의 몰비가 $4 : 1$ 이므로 $\frac{B\text{의 분자량}}{C\text{의 분자량}} = \frac{\frac{69}{4}}{\frac{12}{1}} = \frac{23}{16} < \frac{24}{16} = \frac{3}{2}$ 이다.

08 1차 반응에서 생성물의 몰 분율

초기 상태 A(g)의 양을 $16n$ mol, $0 \sim t$ 동안 반응한 A(g)의 양을 x mol이라고 하면 t 일 때 A(g)와 B(g)의 양은 각각 $(16n-x)$ mol, $2x$ mol이고, B(g)의 몰 분율은 $\frac{2}{3}$ 이므로 $\frac{2x}{(16n-x)+2x} = \frac{2}{3}$ 에서 $x=8n$ 이다. t 일 때 A(g)의 양(mol)은 초기 상태 A(g)의 양(mol)의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 이 반응의 반감기는 t 이다.

㉠ A(g)의 순간 반응 속도는 [A]에 비례하며, [A]는 $3t$ 일 때가 t 일 때의 $\frac{1}{4}$ 배이므로 $\frac{3t\text{일 때 A(g)의 순간 반응 속도}}{t\text{일 때 A(g)의 순간 반응 속도}} = \frac{1}{4}$ 이다.

㉡ 반감기가 2번 지난 $2t$ 일 때 A(g)와 B(g)의 양은 각각 $4n$ mol, $24n$ mol이고, B(g)의 몰 분율 $a = \frac{24}{4+24} = \frac{6}{7}$ 이다. 따라서 $a > \frac{4}{5}$ 이다.

㉢ 반감기가 4번 지난 $4t$ 일 때 A(g)와 B(g)의 양은 각각 n mol, $30n$ mol이다. $\frac{B(g)\text{의 양(mol)}}{A(g)\text{의 양(mol)}}$ 은 $2t$ 일 때와 $4t$ 일 때 각각 6 , 30 이므로 $4t$ 일 때가 $2t$ 일 때의 5 배이다.

09 1차 반응에서 반응물과 생성물의 양(mol)

A(g)와 C(g)의 반응 계수비가 $2 : 1$ 이므로 $0 \sim t$ 동안 반응한 A(g)의 양(mol)은 t 일 때 C(g)의 양(mol)의 2 배이다. 따라서 초기 상태 A(g)의 양은 $2x$ mol이며, t 일 때 A(g)의 양(mol)이 초기 상태 A(g)의 양(mol)의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 이 반응의 반감기는 t 이다.

㉠ $t \sim 2t$ 동안 생성된 B(g)의 양(mol)은 $0 \sim t$ 동안 생성된 B(g)의 양(mol)의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 $\frac{3x}{2} - 2 = 1$ 에서 $x=2$ 이다. t 일 때 B(g)와 C(g)의 양은 각각 2 mol, 1 mol로 B(g)와 C(g)의 반응 계수비는 $2 : 1$ 이므로 $b = \frac{2}{2} = 1$ 이다.

㉡ 반감기가 3번 지난 $3t$ 일 때 A(g)와 C(g)의 양은 각각

$\frac{1}{2}$ mol, $\frac{7}{4}$ mol이므로 $\frac{z}{y} = \frac{7}{2}$ 이다.

㉢ $\frac{0 \sim 2t\text{ 동안 A(g)의 평균 반응 속도}}{2t \sim 3t\text{ 동안 A(g)의 평균 반응 속도}} = \frac{\frac{4-1}{2t}}{\frac{1-\frac{1}{2}}{t}} = 3$ 이다.

10 1차 반응에서 $\frac{1}{\text{반응물의 몰 분율}}$

초기 상태 A(g)의 양을 $16n$ mol, $0 \sim 2t$ 동안 반응한 A(g)의 양을 m mol이라고 하면 $2t$ 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $(16n-m)$ mol, m mol, m mol이며 $\frac{1}{A(g)\text{의 몰 분율}} = \frac{(16n-m)+m+m}{16n-m} = 7$ 에서 $m=12n$ 이다. $2t$ 일 때 A(g)

의 양(mol)은 초기 상태 A(g)의 양(mol)의 $\frac{1}{4}$ 배이며 1차 반응의 반감기는 일정하므로 이 반응의 반감기는 t 이다.

㉠ 반감기가 t 이므로, t 일 때 [A]는 $3t$ 일 때 [A]의 4 배이다. A(g)의 순간 반응 속도는 [A]에 비례하므로 t 일 때가 $3t$ 일 때의 4 배이다.

㉡ $\frac{t \sim 4t\text{ 동안 A(g)의 평균 반응 속도}}{0 \sim 2t\text{ 동안 A(g)의 평균 반응 속도}} = \frac{\frac{8n-n}{3t}}{\frac{16n-4n}{2t}} = \frac{7}{18}$

이다.

㉢ 반감기가 3번 지난 $3t$ 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $2n$ mol, $14n$ mol, $14n$ mol이며 $x = \frac{1}{A(g)\text{의 몰 분율}} = \frac{2+14+14}{2} = 15$ 이다.

11 1차 반응에서 반응물의 몰 농도

1차 반응에서 반감기는 반응물의 농도에 관계없이 일정하다.

㉠ (가)에서 반응물의 농도가 $\frac{1}{4}$ 배가 되는 데 걸리는 시간이 $2t$

이므로, 반응물의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배가 되는 데 걸리는 시간은 t 로 A(g)

의 반감기는 t 이다. (가)에서 초기 상태 A(g)의 양을 $16n$ mol이라고 하면 반감기가 1번 지난 t 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $8n$ mol, $8n$ mol, $4n$ mol이고, 반감기가 2번 지난 $2t$ 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $4n$ mol, $12n$ mol, $6n$ mol이고, 반감기가 3번 지난 $3t$ 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $2n$ mol, $14n$ mol, $7n$ mol이다. (가)에서

$\frac{2t \sim 3t\text{ 동안 생성된 B(g)의 양(mol)}}{t \sim 2t\text{ 동안 생성된 C(g)의 양(mol)}} = \frac{(14n-12n)\text{ mol}}{(6n-4n)\text{ mol}} = 1$

이다.

㉡ (나)에서 $4t$ 일 때 반응물의 농도는 초기 상태 반응물의 농도의

$\frac{1}{8}$ 배로, $4t$ 일 때는 반감기가 3번 지난 시점이다. 1차 반응의 반감기는 일정하므로 반응물의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배가 되는 데 걸리는 시간은 $\frac{4t}{3}$ 로 D(g)의 반감기는 $\frac{4t}{3}$ 이다.

✕. (가)에서 반감기가 3번 지난 $3t$ 일 때 $[A]=\frac{a}{8}$ M, $[B]=\frac{7a}{8}$ M이며, (나)에서 $4t$ 일 때 $[D]=\frac{a}{8}$ M, $[E]=2\left(a-\frac{a}{8}\right)$ M $=\frac{14a}{8}$ M이므로 (나)에서 $4t$ 일 때 $\frac{[E]}{[A]}$ 는 2이다.

12 1차 반응에서 반응물과 생성물의 농도비

$3t$ 일 때 A(g)의 양을 n mol이라고 하면 B(g)의 양은 $7n$ mol이며, $A(g) \longrightarrow B(g)+C(g)$ 에서 반응한 A(g)의 양(mol)과 생성된 B(g)의 양(mol)이 같으므로 초기 상태 A(g)의 양은 $8n$ mol이다. $3t$ 일 때 A(g)의 양(mol)은 초기 상태 A(g)의 양(mol)의 $\frac{1}{8}$ 배로 $3t$ 일 때는 반감기가 3번 지난 시점이며, 1차 반응의 반감기는 일정하므로 이 반응의 반감기는 t 이다. 반감기가 1번 지난 t 일 때 A(g)와 B(g)의 양(mol)은 같으므로 $x=1$ 이다. 반감기가 2번 지난 $2t$ 일 때 A(g)와 B(g)의 양은 각각 $2n$ mol, $6n$ mol이고, A(g)의 질량 백분율은 25%, B(g)의 질량 백분율은 $(100-25-35)\%=40\%$ 이므로 $\frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{25}{40} = \frac{5}{8}$ 이다. 따라서 $x \times \frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = 1 \times \frac{5}{8} = \frac{5}{8}$ 이다.

13 1차 반응에서 생성물의 농도와 질량 관계

1차 반응의 반감기는 일정하고, 첫 번째 반감기, 두 번째 반감기와 같이 반감기가 진행될 때마다 [B]의 증가량은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

㉠. $t \sim 2t$ 동안 [B]의 증가량 $\left(\frac{15}{8} \text{ M} - \frac{5}{4} \text{ M} = \frac{5}{8} \text{ M}\right)$ 이 $0 \sim t$ 동안 [B]의 증가량 $\left(\frac{5}{4} \text{ M}\right)$ 의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 A(g)의 반감기는 t 이다.

㉡. 초기 상태 A(g)의 양을 $8n$ mol이라고 하면 반감기가 3번 지난 $3t$ 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 n mol, $7n$ mol, $7n$ mol이며, A(g)의 몰 분율은 $\frac{n}{n+7n+7n} = \frac{1}{15}$ 이다.

㉢. $3t$ 일 때 A(g)와 B(g)의 질량비는 11 : 28이고, A(g)와 B(g)의 몰비는 1 : 7이므로 $\frac{B \text{의 분자량}}{A \text{의 분자량}} = \frac{28}{11} = \frac{4}{11}$ 이다.

$A(g) \longrightarrow B(g) + C(g)$ 에서 (A의 분자량=B의 분자량+C의 분자량)이므로 $\frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{7}{4}$ 이다.

14 1차 반응에서 질량 관계

1차 반응의 반감기는 일정하고, 첫 번째 반감기, 두 번째 반감기와 같이 반감기가 진행될 때마다 B(g)와 C(g)의 질량 차의 증가량은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. $2t \sim 4t$ min 동안 B(g)와 C(g)의 질량 차의 증가량($7.5 \text{ g} - 6.0 \text{ g} = 1.5 \text{ g}$)이 $0 \sim 2t$ min 동안 B(g)와 C(g)의 질량 차의 증가량(6 g)의 $\frac{1}{4}$ 배이므로 $2t$ min은 반감기가 2번 지나는 시간이며 이 반응의 반감기는 t min이다.

✕. 초기 상태 A(g)의 양을 $16n$ mol이라고 하면 반감기가 2번 지난 $2t$ min일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $4n$ mol, $12n$ mol, $6n$ mol이며, C(g)의 몰 분율은 $\frac{6}{4+12+6} = \frac{3}{11}$ 이다.

✕. 반감기가 3번 지난 $3t$ min일 때, A(g)의 질량은 전체 질량의 $\frac{1}{8}$ 배이고, B(g)와 C(g)의 질량의 합은 감소한 A(g)의 질량과 같으므로 전체 질량의 $\frac{7}{8}$ 배인 $216 \text{ g} \times \frac{7}{8} = 189 \text{ g}$ 이다.

㉠. $0 \sim 2t$ min 동안 생성된 C(g)의 양은 $6n$ mol($=4n$ mol + $2n$ mol)이고, $2t \sim 4t$ min 동안 생성된 C(g)의 양은 $\frac{3n}{2}$ mol ($=n$ mol + $\frac{n}{2}$ mol)이다. 따라서

$$\frac{0 \sim 2t \text{ min 동안 생성된 C(g)의 양(mol)}}{2t \sim 4t \text{ min 동안 생성된 C(g)의 양(mol)}} = \frac{6n}{\frac{3n}{2}} = 4 \text{이다.}$$

[다른 풀이] 반감기가 t min이므로 $2t$ min은 반응물의 농도가 $\frac{1}{4}$ 배가 되는 데 걸리는 시간이다. 따라서

$$\frac{0 \sim 2t \text{ min 동안 생성된 C(g)의 양(mol)}}{2t \sim 4t \text{ min 동안 생성된 C(g)의 양(mol)}} = 4 \text{이다.}$$

15 1차 반응에서 전체 압력과 부분 압력

반응이 진행될 때 He(g)의 부분 압력은 일정하고, 전체 압력의 변화량은 반응한 A(g)의 양(mol)에 비례하므로 $\frac{\text{전체 기체의 압력}}{\text{He(g)의 부분 압력}}$ 의 변화량은 반응한 A(g)의 양(mol)에 비

례한다. $\frac{\text{전체 기체의 압력}}{\text{He(g)의 부분 압력}}$ 의 변화량은 $0 \sim t$ 동안 $1(=6-5)$ 이고, $0 \sim 3t$ 동안 $\frac{7}{4}\left(=\frac{27}{4}-5\right)$ 이며, $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{7}{4}$ 이 성립하므로 이 반응의 반감기는 t 라는 것을 알 수 있다.

㉠. 초기 상태에서 $\frac{\text{전체 기체의 압력}}{\text{He(g)의 부분 압력}}$ 은 5이므로 초기 상태 He(g)와 A(g)의 양을 각각 n mol, $4n$ mol이라고 하면 반감기가 1번 지난 t 일 때 He(g)와 A(g)~C(g)의 양은 각각 n mol, $2n$ mol, bn mol, n mol이다. 전체 기체의 양(mol)과 전체 압력은 비례하므로 t 일 때 전체 기체의 양은 $6n$ mol이며, $b+4=6$ 에서 $b=2$ 이다.

㉠. 반감기가 3번 지난 $3t$ 일 때 $\text{He}(g)$ 과 $\text{A}(g) \sim \text{C}(g)$ 의 양은 각각 $n \text{ mol}$, $\frac{n}{2} \text{ mol}$, $\frac{7n}{2} \text{ mol}$, $\frac{7n}{4} \text{ mol}$ 이며 $\text{B}(g)$ 의 몰 분율은

$$\frac{\frac{7}{2}}{1 + \frac{1}{2} + \frac{7}{2} + \frac{7}{4}} = \frac{14}{27} \text{이다.}$$

㉡. 반감기가 t 이므로 전체 기체의 압력 $\text{He}(g)$ 의 부분 압력 변화량은 $t \sim 2t$ 동안이 $0 \sim t$ 동안의 $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 $x = 5 + 1 + \frac{1}{2} = \frac{13}{2}$ 이다.

16 활성화 에너지

$\Delta H > 0$ 인 흡열 반응에서 정반응의 활성화 에너지는 역반응의 활성화 에너지보다 크다.

㉠. 반응 엔탈피(ΔH)는 $(x - y) \text{ kJ}$ 이므로 $x - y = 100$ 이다.

㉡. 정반응의 활성화 에너지는 역반응의 활성화 에너지보다 100 kJ/mol 만큼 크다.

㉢. 정반응의 활성화 에너지와 역반응의 활성화 에너지를 각각 E_a , E_a' 이라고 하면 $E_a - E_a' = 100 \text{ kJ/mol}$, $E_a + E_a' = 280 \text{ kJ/mol}$ 에서 $E_a = 190 \text{ kJ/mol}$, $E_a' = 90 \text{ kJ/mol}$ 이다.

수능 3점 테스트

본문 143~150쪽

01 ④	02 ②	03 ①	04 ⑤	05 ⑤	06 ③
07 ②	08 ②	09 ④	10 ⑤	11 ③	12 ①
13 ②	14 ②	15 ④	16 ③		

01 반응 속도식과 반응 속도 상수

1차 반응에서 반감기는 반응물의 농도에 관계없이 일정하다.

✕. (나)에서 $4t \text{ s}$ 일 때 $[\text{A}]$ 는 $3t \text{ s}$ 일 때 $[\text{A}]$ 의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 이 반응의 반감기는 $t \text{ s}$ 이다. $0 \sim 3t \text{ s}$ 동안 반감기가 3번 지난 것이므로 초기 상태 $[\text{A}]$ 는 $3t \text{ s}$ 일 때 $[\text{A}]$ 의 8배이며, $\frac{a}{10} \times 8 = 0.4$ 에서 $a = \frac{1}{2}$ 이다.

㉠. (나)에서 $2t \text{ s}$ 일 때 $[\text{A}] = 0.1 \text{ M}$ 이고 $0 \sim 2t \text{ s}$ 동안 $[\text{A}]$ 의 감소량이 0.3 M 이므로 $2t \text{ s}$ 일 때 $[\text{B}] = 0.3 \text{ M} \times 2 = 0.6 \text{ M}$ 이다.

㉡. (가)와 (나)에서 동일한 반응이 같은 온도에서 일어나므로 반감기는 $t \text{ s}$ 로 같다. (가)에서 초기 상태 $[\text{A}]$ 는 $t \text{ s}$ 일 때 $[\text{A}]$ 의 2배로 $\frac{1}{20} \text{ M} \times 2 = 0.1 \text{ M}$ 이며, 초기 반응 속도가 $4.5 \times 10^{-4} \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$ 이므로 $4.5 \times 10^{-4} \text{ M} \cdot \text{s}^{-1} = k \times 0.1 \text{ M}$ 에서 $k = 4.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 이다.

02 1차 반응에서 기체의 전체 압력, 몰 분율

$[\text{A}] + [\text{B}]$ 가 반응 시간에 관계없이 항상 일정하므로 반응 계수 a 와 b 는 같으며, 반감기가 1번 지났을 때 $\frac{[\text{B}]}{[\text{A}]} = 1$ 이다. 초기 상태 전체 기체의 양을 $10n \text{ mol}$ 이라고 하면 $\frac{[\text{A}]}{[\text{C}]} = 4$ 에서 초기 상태 $\text{A}(g)$ 와 $\text{C}(g)$ 의 양은 각각 $8n \text{ mol}$, $2n \text{ mol}$ 이다. $\frac{[\text{B}]}{[\text{A}]} = 1$ 일 때 전체 기체의 양은 $12n \text{ mol}$, $\text{A}(g)$ 와 $\text{B}(g)$ 의 양은 각각 $4n \text{ mol}$ 이며, 전체 기체의 양(mol)에서 $(\text{A}(g)$ 의 양 + $\text{B}(g)$ 의 양)(mol)을 빼면 $\text{C}(g)$ 의 양은 $4n \text{ mol}$ 로, 초기 상태보다 $\text{C}(g)$ 가 $2n \text{ mol}$ 증가한 것이므로 $\text{A}(g)$ 와 $\text{C}(g)$ 의 반응 계수비 $a : 1 = (8n - 4n) : 2n$ 에서 $a = 2$ 이다.

✕. P에서 $\text{A}(g)$ 와 $\text{C}(g)$ 의 양은 각각 $4n \text{ mol}$ 이므로 $\frac{[\text{A}]}{[\text{C}]} = 1$ 이다.

✕. $(\text{A}(g)$ 의 양 + $\text{B}(g)$ 의 양)은 $8n \text{ mol}$ 로 일정하므로 $\frac{[\text{B}]}{[\text{A}]} = 3$ 인 Q에서 $\text{A}(g)$ 와 $\text{B}(g)$ 의 양은 각각 $2n \text{ mol}$, $6n \text{ mol}$ 이다. P에서 $\text{A}(g)$ 의 양은 $4n \text{ mol}$ 이므로 $[\text{A}]$ 는 P에서 Q에서의 2배이다(P는 반감기가 1번 지난 시점이고, Q는 반감기가 2번 지난 시점이다).

㉠. Q에서 $\text{A}(g) \sim \text{C}(g)$ 의 양은 각각 $2n \text{ mol}$, $6n \text{ mol}$, $5n \text{ mol}$ ($= 2n \text{ mol} + 3n \text{ mol}$)이며 $\text{C}(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{5n}{2n + 6n + 5n} = \frac{5}{13}$ 이다.

03 1차 반응에서 반응물과 생성물의 부분 압력

(가)에서 $t \sim 2t$ 의 t 동안 P_B 의 증가량($14 \text{ atm} - 10 \text{ atm} = 4 \text{ atm}$)이 $0 \sim t$ 의 t 동안 P_B 의 증가량($10 \text{ atm} - 2 \text{ atm} = 8 \text{ atm}$)의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 $\text{A}(g) \longrightarrow 2\text{B}(g)$ 반응에서 $\text{A}(g)$ 의 반감기는 t 이다. (나)에서 $2t$ 일 때 P_C 6 atm 은 초기 상태 P_C 12 atm 의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 $\text{C}(g) \longrightarrow \text{D}(g)$ 반응에서 $\text{C}(g)$ 의 반감기는 $2t$ 이다.

㉠. (가)에서 $\text{A}(g)$ 의 반감기 $= \frac{t}{2} = \frac{1}{2}$ 이다.
(나)에서 $\text{C}(g)$ 의 반감기 $= \frac{t}{2} = \frac{1}{2}$ 이다.

✕. (가)에서 초기 상태 $\text{A}(g)$ 와 $\text{B}(g)$ 의 양을 각각 $m \text{ mol}$, $n \text{ mol}$ 이라고 하면 반감기가 1번 지난 t 일 때 $\text{A}(g)$ 와 $\text{B}(g)$ 의 양은 각각 $\frac{m}{2} \text{ mol}$, $(n + m) \text{ mol}$ 이고, $\frac{t \text{일 때 } P_B}{\text{초기 상태 } P_B} = \frac{n + m}{n} = \frac{10}{2}$ 에서 $m = 4n$ 이다. 따라서 (가)에서 초기 상태 $\text{B}(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{n}{4n + n} = \frac{1}{5}$ 이다.

✕. (가)에서 초기 상태 $\text{A}(g)$ 와 $\text{B}(g)$ 의 부분 압력은 각각 8 atm , 2 atm 이고, (나)에서 초기 상태 $\text{C}(g)$ 의 부분 압력은

12 atm이다. (가)에서 반감기가 1번 지난 t 일 때 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 부분 압력은 각각 4 atm과 10 atm으로 전체 압력은 14 atm이고, $C(g) \rightarrow D(g)$ 반응이 일어나도 전체 기체의 양(mol)이 변하지 않으므로 (나)에서 t 일 때 전체 압력은 12 atm이다. 따라서 t 일 때, 용기 속 혼합 기체의 전체 압력은 (가)에서 (나)에서보다 크다.

04 1차 반응에서 몰 농도와 전체 압력

[A]는 t 일 때가 초기 상태의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 이 반응의 반감기는 t 이다. $\frac{[A]의 감소량}{[C]의 증가량} = 2$ 이므로 $A(g)$ 와 $C(g)$ 의 반응 계수비 $2 : c = 2 : 1$ 에서 $c=1$ 이다.

㉠ 초기 상태 $A(g)$ 의 양을 $4n$ mol이라고 하면 반감기가 1번 지난 t 일 때 $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 $2n$ mol, bn mol, n mol이고, 전체 기체의 양은 $(3n+bn)$ mol이다. 전체 압력은 전체 기체의 양(mol)에 비례하므로 $\frac{t일 때 전체 압력}{초기 상태 전체 압력} = \frac{3n+bn}{4n} = \frac{28}{16} = \frac{7}{4}$ 에서 $b=4$ 이다.

㉡ 첫 번째 반감기, 두 번째 반감기와 같이 반감기가 진행될 때마다 전체 압력의 증가량은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 첫 번째 반감기를 지나서 동안 전체 압력(상댓값)의 증가량이 12이므로 반감기가 3번 지난 $3t$ 일 때 전체 압력(상댓값) $x=16+12+6+3=37$ 이다.

㉢ 반감기가 2번 지난 $2t$ 일 때 $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 n mol, $6n$ mol, $\frac{3n}{2}$ mol이며, $B(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{6n}{n+6n+\frac{3n}{2}} = \frac{12}{17}$ 이다.

05 1차 반응에서 질량 관계

전체 질량은 10 g으로 일정하므로 반응 시간에 따른 질량 관계는 다음과 같다.

반응 시간(min)	0	2	4
$\frac{C(g)의 질량(g)}{A(g)의 질량(g)+B(g)의 질량(g)}$	0	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{C(g)의 질량(g)}{전체 질량(g)}$	0	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{10}$
$C(g)의 질량(g)$	0	$\frac{2}{3}$	1

2~4 min의 2 min 동안 $C(g)$ 의 질량 증가량 $(1g - \frac{2}{3}g = \frac{1}{3}g)$ 이 0~2 min의 2 min 동안 $C(g)$ 의 질량 증가량 $(\frac{2}{3}g)$ 의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 이 반응의 반감기는 2 min이다.

㉣ 2 min일 때 $A(g)$ 와 $C(g)$ 의 질량은 각각 $\frac{9}{2}g$, $\frac{2}{3}g$ 이며, $B(g)$ 의 질량은 $(10 - \frac{9}{2} - \frac{2}{3})g = \frac{29}{6}g$ 이다.

㉤ 첫 번째 반감기, 두 번째 반감기와 같이 반감기가 진행될 때마다 $C(g)$ 의 질량 증가량은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 4~6 min의 2 min 동안 $C(g)$ 의 질량 증가량은 2~4 min의 2 min 동안 $C(g)$ 의 질량 증가량 $(\frac{1}{3}g)$ 의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 6 min일 때 $C(g)$ 의 질량은 $1g + \frac{1}{6}g = \frac{7}{6}g$ 이다. 전체 질량이 10 g이므로 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 질량 합은 $\frac{53}{6}g (=10g - \frac{7}{6}g)$ 이며, $x = \frac{7}{53}$ 이다.

㉥ 반응 몰비는 $A : C = 2 : 1$ 이고, $A(g)$ $\frac{9}{2}g$ 이 반응하는 동안 $C(g)$ $\frac{2}{3}g$ 이 생성되므로 $\frac{A의 분자량}{C의 분자량} = \frac{\frac{9}{2}}{\frac{2}{3}} = \frac{27}{8}$ 이다.

06 1차 반응의 특징

(가)에서 생성된 $B(g)$ 의 양(mol)은 반응한 $A(g)$ 의 양(mol)의 2배이므로 반응한 $A(g)$ 의 양(mol)만큼 전체 기체의 양(mol)이 증가하며, 0~ t 동안 반응한 $A(g)$ 의 양 $(\frac{15n}{2}mol -$

$5n mol = \frac{5n}{2} mol)$ 이 초기 상태 $A(g)$ 의 양($5n mol$)의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 $A(g)$ 의 반감기는 t 이다. (나)에서 $t \sim 2t$ 의 t 동안 증가한 전체 기체의 양 $(\frac{47n}{4}mol - 11n mol = \frac{3n}{4}mol)$ 이 0~ t 의 t 동안 증가한 전체 기체의 양($11n mol - 8n mol = 3n mol$)의

$\frac{1}{4}$ 배이므로 $C(g)$ 의 양(mol)이 $\frac{1}{4}$ 배가 되는 데 걸리는 시간은 t 이며, $C(g)$ 의 반감기는 $\frac{t}{2}$ 이다. 초기 상태 $C(g)$ 가 $8n mol$ 이므로

반감기가 2번 지난 t 일 때 $C(g) \sim E(g)$ 의 양은 각각 $2n mol$, $3dn mol$, $3n mol$ 이며, $2n + 3dn + 3n = 11n$ 에서 $d=2$ 이다. t 일 때 (가)에서 $B(g)$ 의 양은 $5n mol$, (나)에서 $E(g)$ 의 양은 $3n mol$ 이며, $PV = nRT$ 이므로 (나)에서 $E(g)$ 의 부분 압력 (가)에서 $B(g)$ 의 부분 압력

$= \frac{3 \times T_2}{5 \times T_1} = \frac{2}{3}$ 에서 $\frac{T_2}{T_1} = \frac{10}{9}$ 이다. $2t$ 일 때 (가)에서 $A(g)$ 의 양

은 $\frac{5n}{4} mol$, (나)에서 $D(g)$ 의 양은 $\frac{15n}{2} mol$ 이므로

(나)에서 $D(g)$ 의 부분 압력 $= \frac{15}{2} \times \frac{T_2}{T_1} = 6 \times \frac{10}{9} = \frac{20}{3}$ 이다. (가)에서 $A(g)$ 의 부분 압력 $= \frac{5}{4}$

07 1차 반응에서 반응물과 생성물의 몰 농도

1차 반응에서 반감기는 반응물의 농도에 관계없이 일정하다.

$$\begin{aligned} \times. t_1 \text{ min일 때 } \frac{B(g) \text{의 몰 분율}}{A(g) \text{의 몰 분율}} &= \frac{B(g) \text{의 양(mol)}}{A(g) \text{의 양(mol)}} = \frac{[B]}{[A]} \\ &= 6 \text{에서 } [A] = \frac{3}{4} \text{ M이다. } t_1 \sim t_2 \text{ min 동안 } [B] \text{의 증가량} \left(\frac{3}{4} \text{ M} \right) \\ &\text{이 } [A] \text{의 감소량} \left(\frac{3}{8} \text{ M} \right) \text{의 2배이므로 } A(g) \text{와 } B(g) \text{의 계수비} \\ &2 : b = 1 : 2 \text{에서 } b = 4 \text{이다.} \\ \times. t_1 \text{ min일 때, } [A] &= \frac{3}{4} \text{ M, } [C] = \frac{[B]}{4} = \frac{9}{8} \text{ M이므로 } [A] + \\ [C] &= \frac{15}{8} \text{ M이다.} \end{aligned}$$

⊙. $0 \sim t_1 \text{ min}$ 동안 $[B]$ 의 증가량이 $\frac{9}{2} \text{ M}$ 이므로 $[A]$ 의 감소량은 $\frac{9}{4} \text{ M}$ 이며, 초기 상태 $[A]$ 는 3 M 이다. 반응 시간에 따른 $[A]$ 는 다음과 같다.

반응 시간(min)	0	t_1	t_2
$[A](\text{M})$	3	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

$t_1 \text{ min}$ 일 때 $[A]$ 는 초기 상태 $[A]$ 의 $\frac{1}{4}$ -배이고, $t_2 \text{ min}$ 일 때 $[A]$ 는 초기 상태 $[A]$ 의 $\frac{1}{8}$ -배이므로 $t_1 \text{ min}$ 일 때와 $t_2 \text{ min}$ 일 때는 각각 반감기가 2번, 3번 지난 시점이며, $t_1 : t_2 = 2 : 3$ 에서 $t_2 = \frac{3t_1}{2}$ 이다.

08 1차 반응에서 몰 분율과 전체 압력

초기 상태 $A(g)$ 의 양을 $16n \text{ mol}$, $0 \sim 3t$ 동안 반응한 $A(g)$ 의 양을 $m \text{ mol}$ 이라고 하면 $3t$ 일 때 $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 $(16n - m) \text{ mol}$, $m \text{ mol}$, $m \text{ mol}$ 이며

$$\frac{B(g) \text{의 양(mol)} + C(g) \text{의 양(mol)}}{A(g) \text{의 양(mol)}} = \frac{2m}{16n - m} = 6 \text{에서}$$

$m = 12n$ 이다. $3t$ 일 때 $A(g)$ 의 양($4n \text{ mol}$)은 초기 상태 $A(g)$ 의 양($16n \text{ mol}$)의 $\frac{1}{4}$ -배로, $3t$ 일 때는 반감기가 2번 지난 시점이므로 이 반응의 반감기는 $\frac{3t}{2}$ 이다.

\times . 반감기가 $\frac{3t}{2}$ 이므로 $4t$ 일 때는 t 일 때로부터 반감기가 2번 지난 시점으로, $[A]$ 는 $4t$ 일 때가 t 일 때의 $\frac{1}{4}$ -배이다. 따라서

$$\frac{t \text{일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}}{4t \text{일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}} = 4 \text{이다.}$$

\times . $\text{He}(g)$ 의 양을 $y \text{ mol}$ 이라고 하면 반감기가 4번 지난 $6t$ 일 때 $\text{He}(g)$ 과 $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 $y \text{ mol}$, $n \text{ mol}$, $15n \text{ mol}$,

$15n \text{ mol}$ 이며, $\text{He}(g)$ 의 몰 분율 $\frac{y}{y + 31n} = \frac{4}{35}$ 에서 $y = 4n$ 이다. 반감기가 2번 지난 $3t$ 일 때 $\text{He}(g)$ 과 $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 $4n \text{ mol}$, $4n \text{ mol}$, $12n \text{ mol}$, $12n \text{ mol}$ 이며, $\text{He}(g)$ 의 몰 분율 $x = \frac{4n}{4n + 4n + 12n + 12n} = \frac{1}{8}$ 이다.

⊙. 초기 상태 $A(g)$ 와 $\text{He}(g)$ 의 양은 각각 $16n \text{ mol}$, $4n \text{ mol}$ 이고, 전체 기체의 양은 $20n \text{ mol}$ 이며, $6t$ 일 때 $\text{He}(g)$ 과 $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 $4n \text{ mol}$, $n \text{ mol}$, $15n \text{ mol}$, $15n \text{ mol}$ 이고, 전체 기체의 양은 $35n \text{ mol}$ 이다. 전체 압력은 전체 기체의 양(mol)에 비례하므로 $P : 7 = 20 : 35$ 에서 $P = 4$ 이다.

09 1차 반응에서 생성물의 질량 백분율

초기 상태 $A(g)$ 와 $C(g)$ 의 양을 각각 $14n \text{ mol}$, $3n \text{ mol}$, $0 \sim 2t$ 동안 반응한 $A(g)$ 의 양을 $m \text{ mol}$ 이라고 하면 $2t$ 일 때 $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 $(14n - m) \text{ mol}$, $m \text{ mol}$, $(3n + m) \text{ mol}$ 이고, $A(g)$ 의 몰 분율 $= \frac{14n - m}{17n + m} = \frac{7}{55}$ 에서 $m = \frac{21n}{2}$ 이다. $2t$ 일 때 $A(g)$ 의 양($\frac{7n}{2} \text{ mol}$)은 초기 상태

$A(g)$ 의 양($14n \text{ mol}$)의 $\frac{1}{4}$ -배로, $2t$ 일 때는 반감기가 2번 지난 시점이므로 이 반응의 반감기는 t 이다.

\times . $[A]$ 는 t 일 때가 $2t$ 일 때의 2배이다. $A(g)$ 의 순간 반응 속도는 $[A]$ 에 비례하므로 t 일 때가 $2t$ 일 때의 2배이다.

⊙. 반감기가 1번 지난 t 일 때 $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 $7n \text{ mol}$, $7n \text{ mol}$, $10n \text{ mol}$ 이며, $A(g)$ 의 몰 분율 $x = \frac{7n}{7n + 7n + 10n} = \frac{7}{24}$ 이다. 전체 질량이 일정하므로 $B(g)$ 의 질량 백분율은 $B(g)$ 의 질량에 비례한다. $t \sim 2t$ 동안 $B(g)$ 의 질량 백분율 증가량은 $0 \sim t$ 동안 $B(g)$ 의 질량 백분율 증가량의 $\frac{1}{2}$ -배이므로 $2t$ 일 때 $B(g)$ 의 질량 백분율(%) $y = 16 + 8 = 24$ 이다. 따라서 $x \times y = \frac{7}{24} \times 24 = 7$ 이다.

⊙. $A(g) \longrightarrow B(g) + C(g)$ 반응에서 (A 의 분자량 = B 의 분자량 + C 의 분자량)이며, t 일 때 $B(g)$ 의 질량 백분율이 16%이므로 $\frac{7 \times B \text{의 분자량}}{7 \times A \text{의 분자량} + 7 \times B \text{의 분자량} + 10 \times C \text{의 분자량}} = \frac{16}{100}$ 이다. $\frac{7 \times B \text{의 분자량}}{14 \times B \text{의 분자량} + 17 \times C \text{의 분자량}} = \frac{4}{25}$ 이고, 역수를 취하면 $2 + \frac{17}{7} \times \frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{25}{4}$ 에서 $\frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{7}{4}$ 이다.

10 1차 반응에서 반응물의 몰 농도

(가)에서 $2t$ 일 때 $[A]$ 는 초기 상태 $[A]$ 의 $\frac{1}{8}$ -배이고, (나)에서 $3t$

일 때 [C]는 초기 상태 [C]의 $\frac{1}{4}$ 배보다는 작고 $\frac{1}{8}$ 배보다는 크다.

㉠. (가)에서 $2t$ 일 때는 반감기가 3번 지난 시점이며, 1차 반응의 반감기는 일정하므로 A(g)의 반감기는 $\frac{2t}{3}$ 이다.

㉡. (나)에서, $3t < \text{반감기} \times 3$ 이므로 C(g)의 반감기는 t 보다 길다. 따라서 t 일 때 [C]는 초기 상태 [C]의 $\frac{1}{2}$ 배보다 크므로 $b > 1$ 이다.

㉢. (가)에서 A(g)의 반감기는 t 보다 짧으므로 t 일 때 [A]는 초기 상태 [A]의 $\frac{1}{2}$ 배보다 작아서 $b < \frac{a}{2}$ 이며, $b > 1$ 이므로 $a > 2$ 이다. 같은 부피의 용기에 같은 질량의 A(g)와 C(g)를 넣었을 때 $[A] > [C]$ 이므로 분자량은 C가 A보다 크다.

11 1차 반응에서 생성물의 질량 백분율

전체 질량이 일정하므로 A(g)의 질량 백분율은 A(g)의 질량에 비례한다. 4 min일 때 A(g)의 질량 백분율이 초기 상태 A(g)의 질량 백분율의 $\frac{1}{4}$ 배이므로 4 min일 때는 반감기가 2번 지난 시점이며 A(g)의 반감기는 2 min이다.

㉠. 2~4 min 동안 C(g)의 질량 백분율의 증가량은 0~2 min 동안 C(g)의 질량 백분율의 증가량의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 $(2x - \frac{80}{3}) : (\frac{140}{3} - 2x) = 2 : 1$ 에서 $x = 20$ 이다.

㉡. 초기 상태에서 A(g)의 질량 백분율은 60%, B(g)의 질량 백분율은 $\frac{40}{3}\%$ ($= 100\% - 60\% - \frac{80}{3}\%$), C(g)의 질량 백분율은 $\frac{80}{3}\%$ 이다. 질량비와 질량 백분율비는 같으므로 $\frac{w_2}{w_1} = \frac{\frac{80}{3}}{\frac{40}{3}} = 2$ 이다.

㉢. 0~2 min 동안, A(g)의 질량 백분율의 감소량은 30%이고 C(g)의 질량 백분율의 증가량은 $\frac{40}{3}\%$ 이므로 B(g)의 질량 백분율의 증가량은 $\frac{50}{3}\%$ 이다. 생성된 B(g)와 C(g)의 질량비와

몰비가 각각 5 : 4와 2 : 1이므로 $\frac{\text{B의 분자량}}{\text{C의 분자량}} = \frac{\frac{5}{2}}{\frac{4}{1}} = \frac{5}{8}$ 이다.

12 1차 반응의 반감기

(가)에서 $2t \sim 4t$ 의 $2t$ 동안 [C]의 증가량 $(\frac{5a}{4} M - a M = \frac{a}{4} M)$ 은 0~ $2t$ 의 $2t$ 동안 [C]의 증가량($a M$)의 $\frac{1}{4}$ 배이므로 [A]가 $\frac{1}{4}$ 배가 되는 데 걸리는 시간은 $2t$ 이며, $2A(g) \longrightarrow 2B(g)$

+ C(g) 반응에서 A(g)의 반감기는 t 이다. (나)에서 $2t \sim 4t$ 의 $2t$ 동안 [C]의 증가량 $(2a M - \frac{4a}{3} M = \frac{2a}{3} M)$ 은 0~ $2t$ 의 $2t$ 동안 [C]의 증가량 $(\frac{4a}{3} M)$ 의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 $2D(g) \longrightarrow 4E(g) + C(g)$ 반응에서 D(g)의 반감기는 $2t$ 이다.

㉠. (가)에서 반감기는 t 이므로 $3t \sim 4t$ 동안 [C]의 증가량은 $2t \sim 3t$ 동안 [C]의 증가량의 $\frac{1}{2}$ 배이다. $b - a = 2(\frac{5a}{4} - b)$ 에서 $\frac{b}{a} = \frac{7}{6}$ 이다.

㉢. (나)에서 D(g)의 반감기는 $2t$ 이다.

㉣. 초기 상태 [A]와 [D]를 각각 $c, 2c$ 라고 하면 $2t$ 일 때, (가)에서는 반감기가 2번 지난 시점이므로 $[A] = \frac{c}{4}$ 이고, (나)에서는 반감기가 1번 지난 시점이므로 $[D] = c$ 이다. $2t$ 일 때,

(가)에서 A(g)의 순간 반응 속도 $= \frac{k_1 \times \frac{c}{4}}{c} = \frac{2k_2 \times \frac{c}{4}}{c} = \frac{1}{2}$
 (나)에서 D(g)의 순간 반응 속도 $= \frac{k_2 \times c}{c} = \frac{k_2 \times c}{c} = 2$ 이다.

13 1차 반응에서 생성물의 질량 백분율

각 용기 속 전체 기체의 질량이 일정하게 유지되므로 (가)와 (나) 각각에서 C(g)의 질량 백분율은 C(g)의 질량에 비례한다. (가)에서 $t \sim 2t$ min 동안 C(g)의 질량 백분율 증가량($24\% - 16\% = 8\%$)은 0~ t min 동안 C(g)의 질량 백분율 증가량(16%)의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 이 반응의 반감기는 t min이다.

㉢. 같은 온도에서 동일한 반응이 일어나므로 (가)와 (나)에서 반감기는 t min으로 같다. (나)에서 $t \sim 2t$ min 동안 C(g)의 질량 백분율 증가량은 0~ t min 동안 C(g)의 질량 백분율 증가량의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 $(\frac{380}{11} - 20) : (x - \frac{380}{11}) = 2 : 1$ 에서 $x = \frac{460}{11}$ 이다. 따라서 $x > 40$ 이다.

㉣. (나)에서 초기 상태 A(g)의 질량 백분율은 80%이므로 반감기가 1번 지난 t min일 때 A(g)의 질량 백분율은 40%이고, B(g)의 질량 백분율은 $\frac{280}{11}\%$ ($= 100\% - 40\% - \frac{380}{11}\%$)이다. A(g)~C(g)의 분자량을 각각 $M_A \sim M_C$ 라고 하면 (나)에서 t min일 때 A(g)와 B(g)의 양(mol)이 같아서 질량비(질량 백분율비)와 분자량비가 같으므로 $M_A : M_B = 40 : \frac{280}{11} = 11 : 7$ 이고, A(g) \longrightarrow B(g) + C(g) 반응에서 $M_A = M_B + M_C$ 이므로 $M_A : M_B : M_C = 11 : 7 : 4$ 이다. (가)에서 반감기가 1번 지난 t min일 때 A(g)와 C(g)의 양(mol)이 같으므로

$\frac{\text{C(g)의 질량 백분율}}{\text{A(g)의 질량 백분율}} = \frac{\text{C의 분자량}}{\text{A의 분자량}} = \frac{4}{11}$ 이며, A(g)의 질량 백분율은 $16\% \times \frac{11}{4} = 44\%$ 이다. (가)에서 초기 상태 A(g)의

질량 백분율이 88%이므로 B(g)의 질량 백분율은 12%이다.
 ✕. t min일 때, B(g)의 질량 백분율은 (가)에서 40%(=100%
 -44%-16%), (나)에서 $\frac{280}{11}\%$ 이며, B(g)의 양(mol)은 (나)
 에서가 (가)에서의 $\frac{7}{5}$ 배이다. (가) 속 전체 기체의 질량을 $w_{(가)}$,
 (나) 속 전체 기체의 질량을 $w_{(나)}$ 라고 하면 $40 \times w_{(가)} : \frac{280}{11} \times w_{(나)}$
 = 5 : 7이 성립하여 $\frac{w_{(나)}}{w_{(가)}} = \frac{11}{5}$ 이다.

14 1차 반응에서 생성물의 몰 분율

$3t$ 일 때 A(g)의 순간 반응 속도는 t 일 때 A(g)의 순간 반응
 속도의 $\frac{1}{4}$ 배로, 반응물의 농도가 $\frac{1}{4}$ 배가 되는 데 걸리는 시간
 이 $2t$ 이므로 반응물의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배가 되는 데 걸리는 시간인 반
 감기는 t 이다. 초기 상태 A(g)와 B(g)의 양이 각각 x mol,
 y mol이므로 반감기가 2번 지난 $2t$ 일 때 A(g)~C(g)의 양은
 각각 $\frac{x}{4}$ mol, $(y + \frac{3x}{2})$ mol, $\frac{3x}{8}$ mol이며, C(g)의 몰 분율

$$\frac{\frac{3x}{8}}{\frac{17x}{8} + y} = \frac{1}{7}$$
에서 $x = 2y$ 이다.

✕. $\frac{x}{y} = 2$ 이다.

✕. 반감기가 1번 지난 t 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $\frac{x}{2}$
 mol, $(y + x)$ mol, $\frac{x}{4}$ mol이며, $x = 2y$ 이므로 C(g)의 몰 분
 율 $z = \frac{\frac{x}{4}}{\frac{x}{2} + (y + x) + \frac{x}{4}} = \frac{1}{9}$ 이다.

⊙. $2t$ 일 때 전체 기체의 양은 $\frac{x}{4}$ mol + $(y + \frac{3x}{2})$ mol + $\frac{3x}{8}$
 mol = $\frac{21x}{8}$ mol이고, 반감기가 3번 지난 $3t$ 일 때 B(g)의 양
 은 $(y + \frac{7x}{4})$ mol = $\frac{9x}{4}$ mol이다. 기체의 압력은 기체의 양

(mol)에 비례하므로 $\frac{3t$ 일 때 B(g)의 부분 압력}{ $2t$ 일 때 혼합 기체의 전체 압력} = $\frac{\frac{9x}{4}}{\frac{21x}{8}}$
 = $\frac{6}{7}$ 이다.

15 1차 반응에서 기체의 전체 압력

I에서 $t \sim 2t$ 의 t 동안 전체 압력(상댓값)의 증가량($62 - 56 = 6$)은
 $0 \sim t$ 의 t 동안 전체 압력(상댓값)의 증가량($56 - 32 = 24$)의 $\frac{1}{4}$ 배
 이므로 A(g)의 양(mol)이 $\frac{1}{4}$ 배가 되는 데 걸리는 시간은 t 로

일정하며, t 는 반감기가 2번 지나는 시간이므로 이 반응의 반감기
 는 $\frac{t}{2}$ 이다.

✕. [A]는 t 일 때가 $2t$ 일 때의 4배이다. A(g)의 순간 반응 속도는
 [A]에 비례하므로 t 일 때가 $2t$ 일 때의 4배이다.

⊙. I과 II에서 동일한 반응이 같은 온도에서 일어나므로 II
 에서의 반감기도 $\frac{t}{2}$ 이다. II에서 초기 상태 전체 기체의 양을
 $32n$ mol이라고 하면 t 일 때 전체 기체의 양은 $44n$ mol이며,
 $A(g) \longrightarrow B(g) + C(g)$ 반응에서 반응한 A(g)의 양(mol)
 만큼 전체 기체의 양(mol)이 증가하므로 $0 \sim t$ 동안 반응한
 A(g)의 양은 $(44n - 32n)$ mol = $12n$ mol이며, 첫 번째 반감
 기를 거치는 $0 \sim \frac{t}{2}$ 동안 A(g) $8n$ mol이 반응하고, 두 번째 반
 감기를 거치는 $\frac{t}{2} \sim t$ 동안 A(g) $4n$ mol이 반응한 것이다. 따
 라서 II에서 초기 상태 A(g)와 B(g)의 양은 각각 $16n$ mol,
 $16n$ mol이며, t 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $4n$ mol,
 $28n$ mol (= $16n$ mol + $12n$ mol), $12n$ mol이고 B(g)의 몰
 분율은 $\frac{28n}{4n + 28n + 12n} = \frac{7}{11}$ 이다.

⊙. 초기 상태에서 I에는 A(g)만 $32n$ mol, II에는 A(g)와
 B(g)가 각각 $16n$ mol씩 들어 있으므로 초기 상태 [A]는 I에서
 가 II에서의 2배이다. 반감기가 4번 지난 $2t$ 일 때도 [A]는 I에서
 가 II에서의 2배이다.

16 활성화 에너지

$\Delta H < 0$ 인 발열 반응에서 역반응의 활성화 에너지는 정반응의 활
 성화 에너지보다 크다.

⊙. 생성물의 엔탈피가 반응물의 엔탈피보다 작으므로 $\Delta H < 0$ 인
 발열 반응이다.

✕. 정반응의 활성화 에너지 $4x$ kJ/mol은 역반응의 활성화 에너
 지 $9x$ kJ/mol보다 작다.

⊙. $\Delta H < 0$ 인 발열 반응의 경우 역반응의 활성화 에너지는 정반
 응의 활성화 에너지와 반응 엔탈피의 절댓값($|\Delta H|$)을 합한 값
 과 같다. $9x = 4x + 75$ 에서 $x = 15$ 이며, 역반응의 활성화 에너지
 는 135 kJ/mol이다.

08 반응 속도에 영향을 미치는 요인

수능 2점 테스트

본문 159~160쪽

- 01 ③ 02 ① 03 ④ 04 ② 05 ② 06 ④
07 ③ 08 ⑤

01 정촉매의 작용

정촉매는 활성화 에너지를 감소시켜 반응 속도를 증가시키는 물질이다.

- Ⓐ. Z(s)는 반응 속도를 증가시키므로 정촉매로 작용한 것이다.
- ⓧ. 정촉매로 작용한 Z(s)는 $X(g) \rightarrow Y(g)$ 반응의 활성화 에너지를 감소시킨다.
- Ⓒ. 촉매를 사용해도 반응물과 생성물의 엔탈피는 달라지지 않으므로 반응 엔탈피(ΔH)는 변하지 않는다.

02 촉매와 반응 속도

정촉매는 반응 속도를 증가시키고, 부촉매는 반응 속도를 감소시킨다.

- Ⓓ. 반응물의 엔탈피보다 생성물의 엔탈피가 작으므로 $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이다.
- ⓧ. 촉매를 넣지 않은 (가)에 비해 촉매를 넣은 (나)에서 반응 속도가 증가하였으므로 X(s)는 정촉매이다.
- ⓧ. X(s)는 정촉매로, X(s)를 넣었을 때가 넣지 않았을 때보다 활성화 에너지가 작으므로 활성화 에너지가 큰 ①이 (가)이고, 활성화 에너지가 작은 ②이 (나)이다.

03 온도와 반응 속도

A에 대한 1차 반응이므로 온도가 일정하면 반감기는 일정하다.

- Ⓓ. (가)에서 2t일 때 A(g)의 양(mol)은 초기 상태 A(g)의 양(mol)의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 A(g)의 반감기는 2t이다. (나)에서 4t일 때 A(g)의 양(mol)은 2t일 때 A(g)의 양(mol)의 $\frac{1}{4}$ 배로, 2t~4t의 2t 동안 반감기가 2번 지난 것이므로 A(g)의 반감기는 t이다. 반감기는 T_2 K에서가 T_1 K에서보다 짧으므로 $T_2 > T_1$ 이다.
- ⓧ. 2t일 때 (가)와 (나)에서 [A]는 같지만, 온도가 달라서 반응 속도 상수가 다르므로 A(g)의 순간 반응 속도는 (가)와 (나)에서 같지 않다. A(g)의 반감기는 T_2 K에서가 T_1 K에서보다 짧으므로 반응 속도 상수는 T_2 K에서가 T_1 K에서보다 크다. 따라서 2t일 때 순간 반응 속도는 (나)에서가 (가)에서보다 빠르다.
- Ⓒ. (가)에서 4t일 때는 초기 상태부터 반감기가 2번 지난 시점으

로, 반응한 A(g)의 양이 $\frac{3a}{4}$ mol이므로 생성된 B(g)의 양은 $\frac{3a}{2}$ mol이다. (나)에서 초기 상태 A(g)의 양은 2t일 때 A(g)의 양의 4배로 2a mol이며, 4t일 때 반응한 A(g)의 양은 $\frac{15a}{8}$ mol이므로 생성된 B(g)의 양은 $\frac{15a}{4}$ mol이다. 따라서 4t일 때 B(g)의 양(mol)은 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{\frac{15a}{4}}{\frac{3a}{2}} = \frac{5}{2}$ 배이다.

04 반응 속도에 영향을 미치는 요인

A(g)의 초기 농도는 II > I이고 초기 반응 속도는 II = I이므로 ①은 ②보다 반응 속도를 느리게 만드는 요인이다. A(g)의 초기 농도는 IV = I이고 초기 반응 속도는 IV > I이므로 ③은 ①보다 반응 속도를 빠르게 만드는 요인이다. 따라서 ①은 없음, ②은 부촉매, ③은 정촉매이다.

- ⓧ. ①은 없음이다.
- ⓧ. A(g)의 초기 농도가 같은 I과 III 중 부촉매를 넣은 III이 촉매를 넣지 않은 I보다 초기 반응 속도가 느리므로 $x < 1$ 이다.
- Ⓒ. 반응의 활성화 에너지는 부촉매를 넣은 III에서가 정촉매를 넣은 IV에서보다 크다.

05 반응 속도에 영향을 미치는 요인

정촉매를 넣으면 넣지 않았을 때보다 반응 속도가 빠르고, 부촉매를 넣으면 넣지 않았을 때보다 반응 속도가 느리다.

- ⓧ. (가)와 (나)는 온도가 같으며, 초기 반응 속도는 ①을 넣은 (나)가 넣지 않은 (가)보다 빠르므로 ①은 정촉매이다. 따라서 ②은 부촉매이다.
- ⓧ. 온도가 같은 (다)와 (라) 중 촉매를 넣지 않은 (라)가 부촉매(㉠)를 넣은 (다)보다 초기 반응 속도가 빠르므로 $x > 2$ 이다.
- Ⓒ. 촉매를 넣지 않은 (가)와 (라) 중 초기 반응 속도가 빠른 (라)가 (가)보다 온도가 높으므로 $T_2 > T_1$ 이다.

06 온도와 반응 속도

(가)에서 0~2 min 동안 반응한 A(g)의 양을 m mol이라고 하면 t=2 min일 때 A(g)와 B(g)의 양은 각각 (4n-m) mol, 2m mol이고 $\frac{B \text{의 양(mol)}}{A \text{의 양(mol)}} = \frac{2m}{4n-m} = 2$ 에서 $m = 2n$ 이며, t=2 min일 때 A(g)의 양(2n mol)은 초기 상태 A(g)의 양(4n mol)의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 T_1 에서 A(g)의 반감기는 2 min이다. (나)에서 초기 상태 A(g)와 B(g)의 양을 각각 an mol, xan mol이라고 하면 $a + xa = 3$ 이며, T_2 에서 반감기가 1 min

이므로 $t=1$ min일 때 $A(g)$ 의 양은 $\frac{an}{2}$ mol, $B(g)$ 의 양은 $(xan+an)$ mol = $3n$ mol이고, $\frac{B\text{의 양(mol)}}{A\text{의 양(mol)}} = \frac{3n}{\frac{an}{2}} = \frac{6}{a} = 6x$ 에서 $xa=1$ 이며, $a+xa=3$ 에서 $a=2$, $x=\frac{1}{2}$ 이다.
 $t=2$ min일 때 (가)에서는 반감기가 1번 지난 시점으로 $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 $2n$ mol, $4n$ mol, n mol이고, 전체 기체의 양은 $7n$ mol이며, (나)에서는 반감기가 2번 지난 시점으로 $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 $\frac{n}{2}$ mol, $(n+3n)$ mol = $4n$ mol, $\frac{3n}{4}$ mol이고, 전체 기체의 양은 $\frac{21n}{4}$ mol이다. 따라서 $t=2$ min일 때 $\frac{(가)에서\ 전체\ 기체\ 의\ 양(mol)}{(나)에서\ 전체\ 기체\ 의\ 양(mol)} \times x = \frac{7n}{\frac{21n}{4}} \times \frac{1}{2} = \frac{2}{3}$ 이다.

07 온도와 반응 속도

(가)에서 $t \sim 3t$ 의 $2t$ 동안 $[A]$ 가 xM 에서 $\frac{x}{8}M$ 로 $\frac{1}{8}$ 배가 되므로 (가)에서 $A(g)$ 의 반감기는 $\frac{2t}{3}$ 이며, 초기 상태 $[A]$ 는 $2t$ 일 때 $[A]$ 의 8배인 $4M$ 이다. (나)에서 초기 상태 $[A]$ 는 (가)에서와 같은 $4M$ 이며, t 일 때 $[A]$ 는 $2M$ 로 초기 상태 $[A]$ 의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 (나)에서 $A(g)$ 의 반감기는 t 이다.

㉠ (나)에서 반감기는 t 이므로 $y = \frac{1}{2}$ 이다.

㉡ $A(g)$ 의 반감기는 T_1 에서 $\frac{2t}{3}$, T_2 에서 t 로 T_1 에서 T_2 에서보다 짧다.

㉢ 초기 상태 $[A]$ 는 (가)와 (나)에서 $4M$ 로 같고, $2t$ 일 때 $[A]$ 는 (가)와 (나)에서 각각 $\frac{1}{2}M$, $1M$ 이다. $2t$ 일 때, (가)에서 $[B] = \frac{7}{2}M$, (나)에서 $[C] = \frac{3}{2}M$ 이며, (가)와 (나)의 부피가 같으므로 $\frac{(가)에서\ B(g)\ 의\ 양(mol)}{(나)에서\ C(g)\ 의\ 양(mol)} = \frac{(가)에서\ [B]}{(나)에서\ [C]} = \frac{7}{3}$ 이다.

08 촉매와 반응 속도

반응이 일어나도 $[He]$ 는 일정하며, 반응이 일어남에 따라 $[A]$ 의 감소량의 2배에 해당하는 $[B]$ 의 증가량이 있으므로 전체 농도 $([A]+[B]+[He])$ 는 $[A]$ 의 감소량만큼 증가한다.

㉠ 10 min일 때 $[B]$ 가 초기 상태 $[A]$ 와 같으므로 0~10 min 동안 반응한 $A(g)$ 의 양(mol)은 초기 상태 $A(g)$ 의 양(mol)의 $\frac{1}{2}$ 배로, 이 반응의 반감기는 10 min이다. 0~20 min 동안 $([A]+[B]+[He])$ 의 증가량은 $\frac{29}{4}M - 5M = \frac{9}{4}M$ 로, 첫 번째 반감기인 0~10 min 동안 $\frac{6}{4}M$ 증가하고, 두 번째 반감기인

10~20 min 동안 $\frac{3}{4}M$ 증가한 것이므로 $a = 5 + \frac{6}{4} = \frac{13}{2}$ 이다.

㉢ 0~10 min 동안 $[A]$ 의 감소량(전체 농도의 증가량)은 $\frac{3}{2}M$ 이므로 초기 상태에서 $[A]=3M$, $[He]=2M$ 이다. 반감기가 2번 지난 20 min일 때 $[He]$, $[A]$, $[B]$ 는 각각 $2M$, $\frac{3}{4}M$, $\frac{9}{2}M$ 이므로 $He(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{2}{2+\frac{3}{4}+\frac{9}{2}} = \frac{8}{29}$ 이다.

㉣ 정촉매 $X(s)$ 를 넣지 않았다면 반감기가 3번 지난 30 min일 때 $A(g)$ 의 질량은 $\frac{\text{초기 상태 } A(g)\text{의 질량}}{8}$, $B(g)$ 의 질량은 $\frac{7 \times \text{초기 상태 } A(g)\text{의 질량}}{8}$ 이며, $\frac{B(g)\text{의 질량}}{A(g)\text{의 질량}} = 7$ 이다. 정촉매를 넣어 반응이 빨라지면 남아 있는 $A(g)$ 의 질량은 더 작고, 생성된 $B(g)$ 의 질량은 더 크므로 $\frac{B(g)\text{의 질량}}{A(g)\text{의 질량}} > 7$ 이다.

수능 3점 테스트

본문 161~164쪽

01 ② 02 ① 03 ② 04 ② 05 ④ 06 ②
 07 ⑤ 08 ②

01 반응 속도에 영향을 미치는 요인

$CaCO_3(s)$ 이 고운 가루일 때가 굵은 알갱이일 때보다 표면적이 넓다.

㉡ ㉠은 CO_2 이다.

㉢ 온도가 높아지면 반응 속도가 빨라지므로 초기 반응 속도는 II에서가 I에서보다 빠르다.

㉣ $HCl(aq)$ 의 농도와 온도는 같고, $CaCO_3(s)$ 의 표면적만 달리하여 반응시킨 실험 II와 III을 비교하면 고체 반응물의 표면적이 반응 속도에 미치는 영향을 파악할 수 있다.

02 반응 속도에 영향을 미치는 요인

온도와 반응물의 초기 농도가 같은 경우 정촉매를 넣으면 촉매를 넣지 않을 때보다 초기 반응 속도가 빠르다.

㉠ 반응 속도 상수 k 는 I과 III에서 같고, $A(g)$ 의 초기 농도는 III에서가 I에서의 2배이므로 초기 반응 속도는 III에서가 I에서의 2배이다. 따라서 $b=10$ 이다.

㉡ 온도와 $A(g)$ 의 초기 농도가 같은 I과 II 중 촉매를 넣지 않은 I보다 ㉠을 넣은 II에서 초기 반응 속도가 빠르므로 ㉠은 정촉매이다.

㉢ $A(g)$ 의 초기 농도가 같은 III과 IV 중 부촉매(㉡)를 넣은 IV가 촉매를 넣지 않은 III보다 초기 반응 속도가 빠르므로 IV의 온도는 III의 온도보다 높다. 따라서 $T_2 > T_1$ 이다.

03 농도와 반응 속도

초기 반응 속도는 초기 상태 [A]에 비례하므로 초기 상태 [A]

$$\text{의 비는 (가) : (나) : (다)} = \frac{5 \times \frac{4}{5}}{4} : \frac{n \times \frac{5}{6}}{2} : \frac{12 \times \frac{1}{3}}{V}$$

$$= 1 : \frac{5n}{12} : \frac{4}{V} = 12 : 15 : 8 \text{에서 } n=3, V=6 \text{이다.}$$

✗. $n=3$ 이다.

✗. $V=6$ 이다.

㉠. (가)에서 초기 상태 A(g)와 B(g)의 양은 각각 4 mol, 1 mol이므로 반감기가 1번 지난 t 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 2 mol, 3 mol(=1 mol+2 mol), 1 mol이며, B(g)의 몰 분율은 $\frac{3}{2+3+1} = \frac{1}{2}$ 이다.

04 촉매와 활성화 에너지

촉매 X(s)를 넣은 (나)에서가 촉매를 넣지 않은 (가)에서보다 활성화 에너지가 크므로 X(s)는 부촉매이다.

✗. 생성물의 엔탈피가 반응물의 엔탈피보다 크므로 $\Delta H > 0$ 이다.

㉠. 흡열 반응에서 정반응의 활성화 에너지가 역반응의 활성화 에너지보다 크므로 $b < 1$ 이다.

✗. ㉠에서가 ㉡에서보다 활성화 에너지가 크므로 ㉠은 부촉매 X(s)를 넣은 (나)이다.

05 온도와 반응 속도

I과 II에서 초기 상태 [A]는 1 M로 같다. 반응에서 [B]의 증가량은 [A]의 감소량과 같고, [C]의 증가량은 $\frac{[A] \text{의 감소량}}{2}$

과 같으므로 ([B]+[C])의 증가량은 $\frac{3 \times [A] \text{의 감소량}}{2}$ 으로,

([B]+[C])의 증가량과 [A]의 감소량은 서로 비례한다.

✗. I에서 $t \sim 3t$ 동안 ([B]+[C])의 증가량 $\left(\frac{7x}{4} \text{ M} - x \text{ M} = \frac{3x}{4} \text{ M}\right)$ 은 $0 \sim t$ 동안 ([B]+[C])의 증가량($x \text{ M}$)의 $\frac{3}{4} \left(= \frac{1}{2} + \frac{1}{4}\right)$ 배로, $t \sim 2t$ 동안 ([B]+[C])의 증가량은 $\frac{x}{2} \text{ M}$ 이고, $2t \sim 3t$ 동안

([B]+[C])의 증가량은 $\frac{x}{4} \text{ M}$ 이다. 따라서 [A]가 $\frac{1}{2}$ 배가 되는 데 걸리는 시간은 t 로 일정하며, T_1 에서 A(g)의 반감기는 t 이다.

I에서 t 일 때 [A]~[C]는 각각 $\frac{1}{2} \text{ M}$, $\frac{1}{2} \text{ M}$, $\frac{1}{4} \text{ M}$ 이고, $x =$

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{3}{4} \text{이다.}$$

㉠. I에서 t 일 때와 II에서 $2t$ 일 때 ([B]+[C])가 같으므로 II에서 $2t$ 일 때 [A]는 $\frac{1}{2} \text{ M}$ 이다. 따라서 T_2 에서 A(g)의 반감기는 $2t$

이며, T_2 에서 A(g)의 반감기 $= \frac{2t}{t} = 2$ 이다.

㉡. I에서 반감기가 3번 지난 $3t$ 일 때 [A]는 $\frac{1}{8} \text{ M}$, [C]는 $\frac{1}{2} \times \left(1 - \frac{1}{8}\right) \text{ M} = \frac{7}{16} \text{ M}$ 이며, II에서 반감기가 2번 지난 $4t$ 일 때

[A]는 $\frac{1}{4} \text{ M}$ 이다. 따라서 $\frac{\text{II에서 } 4t \text{일 때 [A]}}{\text{I에서 } 3t \text{일 때 [C]}} = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{7}{16}} = \frac{4}{7}$ 이다.

06 온도와 반응 속도

전체 질량이 일정하므로 (B(g)의 질량+C(g)의 질량)의 증가량은 A(g)의 질량의 감소량과 같다. A(g)의 반감기가 t 인 (가)에서 $t \sim 2t$ 동안 (B(g)의 질량+C(g)의 질량)의 증가량 $\left(\frac{127}{2} \text{ g} - 50 \text{ g} = \frac{27}{2} \text{ g}\right)$ 은 $0 \sim t$ 동안 (B(g)의 질량+C(g)의

질량)의 증가량의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 (가)에서 $0 \sim t$ 동안 (B(g)의 질량+C(g)의 질량)의 증가량은 27 g 이고, 초기 상태 (B(g)의 질량+C(g)의 질량)은 $23 \text{ g}(=50 \text{ g} - 27 \text{ g})$ 이다.

(가)에서 초기 상태 A(g)와 B(g)의 질량은 각각 $54 \text{ g}(=77 \text{ g} - 23 \text{ g})$, 23 g 이고, A(g)와 B(g)의 양(mol)이 같으므로 A와 B의 분자량비는 질량비와 같은 $54 : 23$ 이며, $2A(g) \rightarrow 4B(g) + C(g)$ 에서 ($2 \times A$ 의 분자량= $4 \times B$ 의 분자량+C의 분자량)이므로 A~C의 분자량비는 $A : B : C = 54 : 23 : 16$ 이다.

(나)에서 초기 상태 A(g)의 질량은 $18w \text{ g}(=22w \text{ g} - 4w \text{ g})$ 이고, t 일 때 A(g)의 질량은 $\frac{9w}{2} \text{ g}(=22w \text{ g} - \frac{35w}{2} \text{ g})$ 이

다. A(g)의 질량은 t 일 때가 초기 상태의 $\frac{1}{4}$ 배이므로 t 는 반감기가 2번 지나는 시간이며, (나)에서 A(g)의 반감기는 $\frac{t}{2}$ 이다.

(나)에서 초기 상태 A(g)와 C(g)의 질량이 각각 $18w \text{ g}$, $4w \text{ g}$ 이므로 A(g)와 C(g)의 몰비는 $\frac{18w}{54} : \frac{4w}{16} = 4 : 3$ 이며, 초기

상태 A(g)와 C(g)의 양을 각각 $4m \text{ mol}$, $3m \text{ mol}$ 이라고 하면 반감기가 2번 지난 t 일 때 A(g)~C(g)의 양은 각각 $m \text{ mol}$, $6m \text{ mol}$, $\left(3m + \frac{3m}{2}\right) \text{ mol} = \frac{9m}{2} \text{ mol}$ 이고, C(g)의 몰 분율

$$= \frac{\frac{9m}{2}}{m + 6m + \frac{9m}{2}} = \frac{9}{23} \text{이다.}$$

07 온도와 반응 속도

순간 반응 속도는 시간·농도 그래프에서 특정 시간에서의 접선의 기울기(절댓값)에 해당한다.

✗. t 일 때 반응물의 농도가 ㉠에서는 초기 농도의 $\frac{1}{4}$ 배이고, ㉡

에서는 초기 농도의 $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 A(g)의 반감기는 ㉠과 ㉡
에서 각각 $\frac{t}{2}$, t이다.

㉢. t일 때 ㉠과 ㉡에서 [A]가 같고, 순간 반응 속도가 ㉠>㉡이
므로 반응 속도 상수는 ㉠>㉡이다. 따라서 ㉠은 온도 T_2 의 (나)
이고, ㉡은 온도 T_1 의 (가)이며, (가)(㉡)와 (나)(㉠)의 초기 농도가

각각 0.6 M, 1.2 M이므로 $\frac{n}{V_1} : \frac{n}{V_2} = 1 : 2$ 에서 $\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{4}$ 이다.

㉣. 2t일 때, (가)(㉡)에서 [B]는 0.9 M, (나)(㉠)에서 [A]는 $\frac{0.3}{4}$
M이므로 $\frac{(나)에서 [A]}{(가)에서 [B]} = \frac{1}{12}$ 이다.

08 온도와 반응 속도

(가)에서 2t일 때 A(g)의 양(3 mol)은 t일 때 A(g)의 양
(6 mol)의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 T_1 K에서 A(g)의 반감기는 t이며, 초기
상태 A(g)의 양은 12 mol이다. (나)에서 초기 상태 A(g)의 양
은 18 mol이고, 2t일 때 A(g)의 양은 12 mol이므로 T_2 K일
때 A(g)의 반감기는 2t보다 길다.

✕. $\frac{T_2 \text{ K에서 A(g)의 반감기}}{T_1 \text{ K에서 A(g)의 반감기}} > 2$ 이다.

✕. 2t일 때 B(g)의 양은 (가)에서 $2 \times (12 - 3) \text{ mol} = 18 \text{ mol}$,
(나)에서 $2 \times (18 - 12) \text{ mol} = 12 \text{ mol}$ 이며, (가)와 (나)에서 [B]
가 같으므로 $\frac{18}{V_1} = \frac{12}{V_2}$ 에서 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{2}$ 이다.

㉣. 2t일 때 (나)에서 A(g)의 양은 12 mol이고, 3t일 때 (가)에
서 B(g)의 양은 $2 \times \left(12 - \frac{3}{2}\right) \text{ mol} = 21 \text{ mol}$ 이며, $PV = nRT$

이므로 $\frac{3t \text{일 때 (가)에서 B(g)의 부분 압력}}{2t \text{일 때 (나)에서 A(g)의 부분 압력}} = \frac{\frac{21T_1}{V_1}}{\frac{12T_2}{V_2}} = \frac{7T_1}{6T_2}$

$= \frac{4}{3}$ 에서 $\frac{T_1}{T_2} = \frac{8}{7}$ 이다.

09 전기 화학과 이용

수능 2점 테스트

본문 176~178쪽

01 ㉢	02 ㉢	03 ㉢	04 ㉣	05 ㉤	06 ㉤
07 ㉢	08 ㉠	09 ㉢	10 ㉤	11 ㉢	12 ㉠

01 수소 연료 전지와 자동차

수소 연료 전지 자동차에는 수소 연료 전지가 장착되어 있다.

㉠. 수소 연료 전지는 수소(H_2)가 산화될 때 발생하는 에너지를
전기 에너지로 전환하는 장치이다.

✕. 수소 연료 전지에서 수소는 연소하지 않는다.

㉢. 수소가 산화되면 최종 생성물은 물(H_2O)이므로 수소 연료
전지를 이용하는 자동차는 친환경적이다.

02 금속의 이온화 경향

㉠. B의 표면에서 산화 환원 반응이 일어난다. 즉 B는 전자를 잃
고 양이온이 되고, H^+ 이 전자를 얻어 H_2 가 된다. 따라서 수용액
의 H^+ 의 양(mol)이 감소하고 수용액의 pH는 증가한다.

㉢. 1 M $\text{H}_2\text{SO}_4(aq)$ 에 금속 A와 B를 넣었을 때 B의 표면에서
만 기체(H_2)가 발생하였으므로, 이온화 경향은 $\text{B} > \text{H}_2 > \text{A}$ 이
고, 금속의 이온화 경향은 $\text{B} > \text{A}$ 이다.

✕. 금속의 이온화 경향은 $\text{B} > \text{A}$ 이므로 $\text{BSO}_4(aq)$ 에 A를 넣어
도 산화 환원 반응이 일어나지 않는다.

03 화학 전지

㉠. 화학 전지는 산화 환원 반응이 일어날 때 이동하는 전자가 도
선을 따라 흐르게 하는 장치이다.

㉢. 수소 연료 전지는 수소가 산화될 때 이동하는 전자의 이동
을 이용하는 장치이므로 화학 전지이다.

✕. 화학 전지는 화학 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치이다.

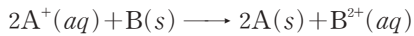
04 화학 전지

$\text{H}_2\text{SO}_4(aq)$ 에 금속 A와 B를 넣었을 때 A의 표면에서만 기체
(H_2)가 발생하였으므로, 이온화 경향은 $\text{A} > \text{H}_2 > \text{B}$ 이고, 금
속의 이온화 경향은 $\text{A} > \text{B}$ 이다. $\text{H}_2\text{SO}_4(aq)$ 에 금속 A와 C를
넣고 도선으로 연결했을 때 A(s) 표면에서는 기포가 발생하고
C(s)의 질량이 감소하므로 금속의 이온화 경향은 $\text{C} > \text{A}$ 이다. 따
라서 금속 A~C의 이온화 경향은 $\text{C} > \text{A} > \text{B}$ 이다.

05 화학 전지

㉠. 전자의 이동 방향은 ㉠이므로 B는 (-)극이고 A는 (+)극이다.

㉠. B는 산화되어 B^{2+} 으로, A^+ 은 환원되어 A로 된다. 이를 화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



따라서 전지 반응이 진행되는 동안 A^+ 의 양(mol)과 B^{2+} 의 양(mol)의 합은 감소한다.

㉡. 금속의 이온화 경향은 $B > A$ 이므로 $A^+(aq)$ 에 $B(s)$ 를 넣으면 $A(s)$ 가 석출된다.

06 화학 전지

- ㉠. 금속의 이온화 경향은 $A > B$ 이므로 전자의 이동 방향은 ㉠이다.
 ㉡. B 전극에서 환원 반응이 일어난다. 즉, B^{2+} 이 전자를 얻어 B로 석출되므로 B 전극의 질량이 증가한다.
 ㉢. 전지 반응이 진행되는 동안 전하의 불균형을 해소하기 위해 염다리 속 양이온은 환원 반응이 일어나는 B 전극 쪽으로 이동하고 음이온은 산화 반응이 일어나는 A 전극 쪽으로 이동한다.

07 화학 전지

$H_2SO_4(aq)$ 에 금속 A와 B를 넣었을 때 A의 표면에서만 기체(H_2)가 발생하였으므로, 금속의 이온화 경향은 $A > B$ 이다.

- ㉠. A의 표면에서 산화 환원 반응이 일어난다. 즉, A는 전자를 잃고 양이온이 되고, H^+ 이 전자를 얻어 H_2 가 된다. 따라서 수용액의 H^+ 의 양(mol)이 감소하고 수용액의 pH는 증가한다.
 ✕. $H_2SO_4(aq)$ 에 금속 ㉠과 ㉡을 넣고 도선으로 연결했을 때 ㉠ 표면에서 기포가 발생하고 ㉡의 질량이 감소하므로 금속의 이온화 경향은 ㉡ $>$ ㉠이다. 따라서 ㉠은 B, ㉡은 A이다.
 ㉢. (나)에서 ㉡(A) 전극에서 산화 반응이 일어나므로 ㉡ 전극은 (-)극이다.

08 수소 연료 전지

수소 연료 전지는 2개의 전극과 분리막, 전해질로 이루어져 있다. H_2 가 공급되는 (-)극(연료극)에서 H_2 가 전자를 잃고 산화하며, 전자는 도선을 따라 이동하고 H^+ 은 전해질을 따라 (+)극(공기극)으로 이동한다. O_2 가 공급되는 (+)극(공기극)에서 H^+ 과 전자와 O_2 가 반응하여 물(H_2O)이 생성된다. 따라서 ㉠~㉢은 각각 H_2 , H^+ , O_2 이다.

09 물의 광분해

빛에너지를 이용하여 물을 분해하여 수소를 얻는 방법을 물의 광분해라고 한다.

10 물의 전기 분해

- ㉠. 순수한 물은 전류가 흐르지 않으므로 물을 전기 분해할 때 전해질로 Na_2SO_4 , KNO_3 과 같은 전해질을 넣어 준다.
 ㉡. 물을 전기 분해할 때 (+)극에서는 $O_2(g)$ 가, (-)극에서는

$H_2(g)$ 가 발생한다. 따라서 A(g)는 $H_2(g)$ 이고 B(g)는 $O_2(g)$ 이며, 발생하는 A(g)와 B(g)의 몰비는 2 : 1이다.

㉢. A는 H_2 이고 B는 O_2 이다. H_2 가 H_2O 이 될 때, H_2 는 산화된다.

11 NaCl(l)의 전기 분해

$NaCl(l)$ 에서 Na^+ 과 Cl^- 은 이동할 수 있다.

- ㉠. 전극 ㉠은 (-)극으로, Na^+ 이 전극 ㉠ 쪽으로 이동하여 전자를 얻어 $Na(l)$ 이 된다. 즉 전극 ㉠에서 환원 반응이 일어난다.
 ㉡. 전극 ㉡은 (+)극이다. Cl^- 이 전극 ㉡ 쪽으로 이동하여 전자를 잃고 $Cl_2(g)$ 가 된다.
 ✕. $NaCl(l)$ 의 전기 분해를 전체 반응식으로 나타내면 다음과 같다.
 $2NaCl(l) \longrightarrow 2Na(l) + Cl_2(g)$
 따라서 각 전극에서 생성되는 물질의 몰비는 ㉠ : ㉡ = 2 : 1이다.

12 금속의 도금

장치에서 Cu는 산화되어 Cu^{2+} 이 되고 A의 표면에서 Cu^{2+} 이 환원되어 Cu로 되면서 A의 표면이 Cu로 도금된다.

- ✕. ㉠에서 Cu^{2+} 이 Cu로 환원되는 반응이 일어나므로 ㉠은 (-)극이다.
 ㉡. Cu는 Cu^{2+} 으로 산화되므로 Cu 전극의 질량이 감소한다.
 ✕. Cu는 Cu^{2+} 으로 산화되는 만큼 수용액 속 Cu^{2+} 이 A의 표면에서 Cu로 환원되므로 수용액 속 Cu^{2+} 의 양(mol)은 일정하다.

수능 3점 테스트

분문 179~184쪽

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

01 화학 전지

- ㉠. 반응이 진행되는 동안 A(s)의 질량이 감소하였으므로 A(s)가 산화한 것이다. 따라서 전자의 이동 방향은 ㉠이다.
 ㉡. 금속의 이온화 경향은 $A > B$ 이고, 환원되기 쉬운 경향은 $B^+ > A^{2+}$ 이다.
 ✕. 화학 전지에서 일어나는 전체 반응은 다음과 같으므로 반응이 진행되는 동안 A^{2+} 의 양(mol)과 B^+ 의 양(mol)의 합은 감소한다.
 $A(s) + 2B^+(aq) \longrightarrow A^{2+}(aq) + 2B(s)$

02 물의 전기 분해

물을 전기 분해하려면 전해질의 양이온이 $H_2O(l)$ 보다 환원되기 어려워 $H_2O(l)$ 이 환원되어야 하고, 전해질의 음이온이 $H_2O(l)$ 보다 산화되기 어려워 $H_2O(l)$ 이 산화되어야 한다.

✕. 수용액에서 양이온과 $H_2O(l)$ 중 환원되기 쉬운 물질이 환원되므로 ㉠으로 '환원'이 적절하다.

㉠. 수용액에서 양이온이 $H_2O(l)$ 보다 환원되는 경향이 크다면, 환원이 일어나는 극인 (-)극에서 양이온이 환원된다.

㉡. 수용액에서 양이온이 $H_2O(l)$ 보다 환원되는 경향이 크다면, 환원이 일어나는 극인 (-)극에서 양이온이 전자를 얻을(환원될) 것이므로, $H_2O(l)$ 을 전기 분해할 경우 (-)극에서 얻게 될 H_2 가 발생하지 않게 된다.

03 금속의 이온화 경향

㉠. $H_2SO_4(aq)$ 에 넣은 금속이 산화되면서 내놓는 전자를 H^+ 이 받아 H_2 가 된다.

㉡. $H_2SO_4(aq)$ 에 넣은 금속 C의 표면에서는 H_2 가 발생하고 금속 B의 표면에서는 H_2 가 발생하지 않으므로 금속의 이온화 경향은 $C > B$ 이다.

✕. (나)에서 금속 A의 표면에서 기포가 발생한 것은 수용액의 H^+ 이 도선을 따라 이동한 전자를 받아 환원되어 H_2 가 되었기 때문이다. ㉠에서는 산화 반응이 일어나므로 ㉠은 이온화 경향이 A보다 크다. 그런데 B는 A보다 이온화 경향이 작으므로 ㉠은 B가 아닌 C이다.

04 수소 연료 전지

㉠. 수소 연료 전지는 화학 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치이다. 수소 연료 전지에서 일어나는 전체 화학 반응식은 $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ 이다. 이 반응은 발열 반응이므로 반응 엔탈피는 0보다 작다($a < 0$).

㉡. 수소 연료 전지에서 H_2 가 공급되는 (-)극(연료극)에서 H_2 가 전자를 잃고 산화하고, 전자는 도선을 따라 이동한다. ㉠이 들어가는 전극에서 전자가 나오므로 ㉠은 H_2 이다.

㉢. 수소 연료 전지에서 일어나는 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 작다. 수소 연료 전지는 화학 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치이다.

05 화학 전지

㉠. 오렌지에 금속과 도선을 이용하여 화학 전지를 만들 수 있으므로 오렌지 과즙이 전해질임을 알 수 있다. 따라서 오렌지 과즙에 이온이 있다.

㉡. 이온화 경향이 $Zn > Cu$ 이므로 Zn은 산화하여 Zn^{2+} 이 된다. 따라서 Zn판의 질량이 감소한다.

㉢. 이온화 경향이 $Zn > Cu$ 이므로 Zn과 Cu를 전극으로 사용한

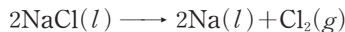
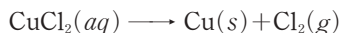
화학 전지에서 Zn판은 산화가 일어나는 (-)극이고 Cu판은 환원이 일어나는 (+)극이다.

06 화학 전지

$NaCl(l)$ 과 $CuCl_2(aq)$ 을 전기 분해했을 때 각 전극에서 생성된 물질은 다음과 같다.

물질	$NaCl(l)$	$CuCl_2(aq)$
(+)극에서 생성된 물질	Cl_2	Cl_2
(-)극에서 생성된 물질	Na	Cu

㉠. $CuCl_2(aq)$ 과 $NaCl(l)$ 을 전기 분해할 때의 전체 화학 반응식은 각각 다음과 같다.



(가)에서 ㉠의 양(mol)은 ㉡의 양(mol)과 같으므로 (가)는 $CuCl_2(aq)$ 이고, ㉡은 $Cu(s)$ 이다.

✕. (나)는 $NaCl(l)$ 이다. ㉠($Cl_2(g)$)의 양(mol)은 ㉡($Na(l)$)의 양(mol)의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

㉢. $CuCl_2(aq)$ 을 전기 분해했을 때 (+)극에서 생성된 물질이 Cl_2 이므로 $Cl^-(aq)$ 이 $H_2O(l)$ 보다 산화되기 쉬움을 알 수 있다.

07 물의 전기 분해와 광분해

물의 전기 분해는 물에 전류를 흘려 물을 분해하는 것이고, 물의 광분해는 빛에너지를 이용하여 물을 분해하는 것이다.

✕. 물의 분해 반응은 흡열 반응이므로 외부에서 에너지를 공급해 주어야 일어난다.

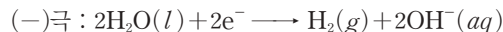
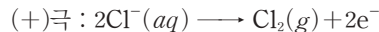
㉠. 광촉매 전극은 빛에너지를 흡수하여 물을 분해하며 물의 광분해에 사용된다.

✕. (가)의 (+)극에서는 산소(O_2)가 생성되고, (나)의 전극 ㉠에서는 수소(H_2)가 생성된다.

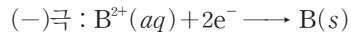
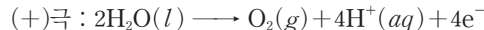
08 전기 분해

전기 분해할 때 (-)극에서 환원 반응이, (+)극에서 산화 반응이 일어난다. ㉠~㉢의 반응을 산화 반응과 환원 반응으로 구분하면 (가)와 (나)의 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

• (가)의 전기 분해에서 일어나는 반응



• (나)의 전기 분해에서 일어나는 반응



✕. (가)에서 $Cl_2(g)$ 와 $H_2(g)$ 가 생성된다.

✕. ㉠과 ㉢에서 $B(s)$ 와 $O_2(g)$ 가 각각 생성된다. 전기 분해될

때 이동한 전자의 양(mol)이 같으므로, 생성되는 금속 또는 기체의 양(mol)은 $\ominus(B(s))$ 에서 $\ominus(O_2(g))$ 에서의 2배이다.

㉠. (가)에서 $A^+(aq)$ 이 환원되지 않고, (나)에서 $SO_4^{2-}(aq)$ 이 산화되지 않으므로, 물을 전기 분해할 때 전해질로 A_2SO_4 를 사용할 수 있다. 즉, $A_2SO_4(aq)$ 을 전기 분해하면 (-)극에서는 $H_2(g)$ 가, (+)극에서는 $O_2(g)$ 가 생성된다.

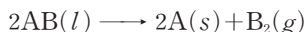
09 이온 결합 물질의 전기 분해

$AB(l)$ 를 전기 분해하여 $A(s)$ 와 $B_2(g)$ 를 얻었으므로 AB 는 이온 결합 물질이다. 액체 상태의 이온 결합 물질을 전기 분해하면 (+)극에서는 음이온이 산화되고, (-)극에서는 양이온이 환원된다.

✕. 전극 ㉠은 (-)극이므로 환원 반응이 일어난다. 즉 양이온이 환원되어 $A(s)$ 가 생성된다.

㉡. 전극 ㉡은 (+)극이므로 산화 반응이 일어난다.

㉢. $AB(l)$ 의 전기 분해를 화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



생성된 물질의 질량비가 $A(s) : B_2(g) = x : y$ 이고, 생성된 물질의 몰비가 $A(s) : B_2(g) = 2 : 1$ 이므로, 원자량비는 $A : B = x : y$ 이다.

10 화학 전지

전지 반응이 진행되는 동안 수용액 속 A^{2+} , B^{b+} , C^+ , D^{2+} 의 전체 양(mol)이 감소하였으므로 이온의 전하가 작은 C^+ 이 환원되었음을 알 수 있다. 따라서 C 전극에서는 환원 반응이, D 전극에서는 산화 반응이 일어나며, D 전극과 연결된 A 전극에서는 환원 반응이, B 전극에서는 산화 반응이 일어난다.

✕. 전지 반응이 진행되는 동안 수용액 속 전체 양이온의 수가 감소하였으므로 이온의 전하가 작은 C^+ 이 환원된 것이다. 이때 $B(s)$ 가 B^{b+} 으로 산화하는데, 만약 $b=1$ 이면 수용액 속 전체 양이온의 수가 일정하게 유지되므로 $b \neq 1$ 이다.

㉠. C 전극에서는 환원 반응이, D 전극에서는 산화 반응이 일어나므로 환원되기 쉬운 경향은 $C^+(aq) > D^{2+}(aq)$ 이다.

㉡. A 전극에서는 환원 반응이, D 전극에서는 산화 반응이 일어나므로 전지 반응이 진행되는 동안 $\frac{[D^{2+}]}{[A^{2+}]}$ 가 증가한다.

11 화학 전지와 전기 도금

㉠. 화학 전지에서 이온화 경향이 큰 금속이 산화하고 이때 내놓는 전자는 도선을 따라 이동하므로 이온화 경향은 $Y > X$ 이다. 따라서 환원되기 쉬운 경향은 $X^{2+}(aq) > Y^{2+}(aq)$ 이다.

✕. (나)에서 Y의 표면에서 X^{2+} 이 환원되어 X가 되므로 Y 전극은 환원 반응이 일어나는 (-)극이다.

✕. (나)에서 (+)극인 X 전극에서는 X가 산화되어 X^{2+} 으로 되

고, (-)극인 Y 전극에서 X^{2+} 이 환원되어 X로 되므로, 수용액의 $[X^{2+}]$ 는 일정하다.

12 금속의 반응성과 화학 전지

㉠. A^+ 과 B^{2+} 이 들어 있는 수용액에 금속 C를 넣었을 때 반응한 C의 질량(g)이 w 일 때까지는 금속 이온의 양(mol)이 일정하고, 반응한 C의 질량(g)이 w 에서 $2w$ 인 구간에서 금속 이온의 양(mol)이 $3N$ 에서 $2N$ 으로 감소하므로 C 이온은 C^{2+} 이다.

㉡. A^+ 과 B^{2+} 이 들어 있는 수용액에 금속 C를 넣었을 때 C가 B^{2+} 과 먼저 반응하고 이후에 A^+ 과 반응하므로, 환원되기 쉬운 경향은 $B^{2+} > A^+ > C^{2+}$ 이다. 따라서 금속의 이온화 경향은 $A > B$ 이고, (나)의 B 전극에서 H^+ 이 환원되어 H_2 가 발생한다.

㉢. (나)의 A 전극에서 A가 산화되어 A^+ 으로 되고, B 전극에서 H^+ 이 환원되어 H_2 가 발생하며 이를 화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



따라서 수용액 속 모든 양이온의 양(mol)은 일정하다.

01 기체

수능 2점 테스트 본문 11~13쪽

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

수능 3점 테스트 본문 14~20쪽

01 ②	02 ③	03 ③	04 ⑤	05 ④	06 ①
07 ⑤	08 ②	09 ②	10 ④	11 ①	12 ⑤
13 ②	14 ①				

02 액체와 고체

수능 2점 테스트 본문 34~36쪽

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

수능 3점 테스트 본문 37~43쪽

01 ⑤	02 ④	03 ①	04 ③	05 ⑤	06 ①
07 ②	08 ⑤	09 ⑤	10 ③	11 ⑤	12 ①
13 ③	14 ④				

03 용액

수능 2점 테스트 본문 55~58쪽

01 ①	02 ④	03 ③	04 ④	05 ⑤	06 ⑤
07 ②	08 ⑤	09 ③	10 ②	11 ④	12 ⑤
13 ④	14 ②	15 ①	16 ④		

수능 3점 테스트 본문 59~66쪽

01 ①	02 ①	03 ④	04 ⑤	05 ②	06 ①
07 ③	08 ④	09 ⑤	10 ②	11 ④	12 ⑤
13 ⑤	14 ②	15 ③	16 ⑤		

04 반응 엔탈피

수능 2점 테스트 본문 77~79쪽

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

수능 3점 테스트 본문 80~85쪽

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

05 화학 평형과 평형 이동

수능 2점 테스트 본문 97~101쪽

01 ④	02 ④	03 ⑤	04 ④	05 ③	06 ⑤
07 ①	08 ⑤	09 ⑤	10 ③	11 ①	12 ③
13 ②	14 ②	15 ①	16 ③	17 ④	18 ⑤
19 ④	20 ③				

수능 3점 테스트 본문 102~111쪽

01 ④	02 ②	03 ③	04 ①	05 ③	06 ③
07 ④	08 ⑤	09 ①	10 ④	11 ④	12 ①
13 ③	14 ④	15 ⑤	16 ⑤	17 ③	18 ②
19 ①	20 ②				

06 산 염기 평형

수능 2점 테스트 본문 122~124쪽

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

수능 3점 테스트 본문 125~130쪽

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

08 반응 속도에 영향을 미치는 요인

수능 2점 테스트 본문 159~160쪽

01 ③	02 ①	03 ④	04 ②	05 ②	06 ④
07 ③	08 ⑤				

수능 3점 테스트 본문 161~164쪽

01 ②	02 ①	03 ②	04 ②	05 ④	06 ②
07 ⑤	08 ②				

07 반응 속도

수능 2점 테스트 본문 139~142쪽

01 ②	02 ④	03 ⑤	04 ③	05 ②	06 ③
07 ③	08 ①	09 ④	10 ③	11 ①	12 ③
13 ⑤	14 ②	15 ⑤	16 ⑤		

수능 3점 테스트 본문 143~150쪽

01 ④	02 ②	03 ①	04 ⑤	05 ⑤	06 ③
07 ②	08 ②	09 ④	10 ⑤	11 ③	12 ①
13 ②	14 ②	15 ④	16 ③		

09 전기 화학과 이용

수능 2점 테스트 본문 176~178쪽

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

수능 3점 테스트 본문 179~184쪽

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

memo



내신 중점 ★ 고1~2 권장

구분	고교 입문 >		기초 >	기본 + 연습 >	특화		
국어	고등 예비 과정	내 등급은?	윤해정의 개념의 나비효과 입문 편 + 워크북		국어의 원리		
			어휘가 독해대! 수능 국어 어휘				
영어			정승익의 수능 개념 잡는 대박구문	기본서 올림포스		올림포스 전국연합 학력평가 기출문제집	Grammar POWER Reading POWER Listening POWER Voca POWER
			주혜연의 해석공식 논리 구조편	유형서 올림포스 유형편			고급 올림포스 고급영어독해
수학			기초 50일 수학 + 기출 워크북				고급 올림포스 고난도
			매쓰 디렉터의 고1 수학 개념 끝장내기				수학의 왕도
한국사 사회	★		기본서 개념안성	개념완성 전국연합 학력평가 기출문제집	고등학생을 위한 다담은 한국사 연표		
과학	50일 통합과학		개념안성 문항편		인공지능 수학과 함께하는 고교 AI 입문 수학과 함께하는 AI 기초		

과목	시리즈명	특징	난이도	권장 학년
전 과목	고등예비과정	예비 고등학생을 위한 과목별 단기 완성	<input type="checkbox"/>	예비 고1
국/영/수	내 등급은?	고1 첫 학력평가 + 반 배치고사 대비 모의고사	<input type="checkbox"/>	예비 고1
	올림포스	내신과 수능 대비 EBS 대표 국어·수학·영어 기본서	<input type="checkbox"/>	고1~2
	올림포스 전국연합학력평가 기출문제집	전국연합학력평가 문제 + 개념 기본서	<input type="checkbox"/>	고1~2
한/사/과	개념안성&개념완성 문항편	개념 한 권 + 문항 한 권으로 끝내는 한국사·탐구 기본서	<input type="checkbox"/>	고1~2
	개념완성 전국연합학력평가 기출문제집	전국연합학력평가 문제 + 개념 기본서	<input type="checkbox"/>	고1~2
국어	윤해정의 개념의 나비효과 입문 편 + 워크북	윤해정 선생님과 함께 시작하는 국어 공부의 첫걸음	<input type="checkbox"/>	예비 고1~고2
	어휘가 독해대! 수능 국어 어휘	학평·모평·수능 출제 필수 어휘 학습	<input type="checkbox"/>	예비 고1~고2
	국어의 원리	원리로 이해하는 내신과 수능 대비 국어 특화서	<input type="checkbox"/>	고1~2
영어	정승익의 수능 개념 잡는 대박구문	정승익 선생님과 CODE로 이해하는 영어 구문	<input type="checkbox"/>	예비 고1~고2
	주혜연의 해석공식 논리 구조편	주혜연 선생님과 함께하는 유형별 지문 독해	<input type="checkbox"/>	예비 고1~고2
	Grammar POWER	구문 분석 트리로 이해하는 영어 문법 특화서	<input type="checkbox"/>	고1~2
	Reading POWER	수준과 학습 목적에 따라 선택하는 영어 독해 특화서	<input type="checkbox"/>	고1~2
	Listening POWER	유형 연습과 모의고사·수행평가 대비 올인원 듣기 특화서	<input type="checkbox"/>	고1~2
	Voca POWER	영어 교육과정 필수 어휘와 어원별 어휘 학습	<input type="checkbox"/>	고1~2
수학	올림포스 고급영어독해	영어 독해력을 높이는 영미 문학/비문학 읽기	<input type="checkbox"/>	고2~3
	50일 수학 + 기출 워크북	50일 만에 완성하는 초·중·고 수학의 맥	<input type="checkbox"/>	예비 고1~고2
	매쓰 디렉터의 고1 수학 개념 끝장내기	스타강사 강의, 손글씨 풀이와 함께 고1 수학 개념 정복	<input type="checkbox"/>	예비 고1~고1
	올림포스 유형편	유형별 반복 학습을 통해 실력 잡는 수학 유형서	<input type="checkbox"/>	고1~2
	올림포스 고난도	1등급을 위한 고난도 유형 집중 연습	<input type="checkbox"/>	고1~2
	수학의 왕도	직관적 개념 설명과 세분화된 문항 수록 수학 특화서	<input type="checkbox"/>	고1~2
한국사	고등학생을 위한 다담은 한국사 연표	연표로 흐름을 잡는 한국사 학습	<input type="checkbox"/>	예비 고1~고2
과학	50일 통합과학	50일 만에 통합과학의 핵심 개념 완벽 이해	<input type="checkbox"/>	예비 고1~고1
기타	수학과 함께하는 고교 AI 입문/AI 기초	파이선 프로그래밍, AI 알고리즘에 필요한 수학 개념 학습	<input type="checkbox"/>	예비 고1~고2



수능 집중 ★고2~N수 권장

구분	수능 입문 >		기출/연습 >	연계 보완 >		고난도 >	모의고사
국어	윤혜정의 개념의 나비효과 수능 편 + 워크북		윤혜정의 기출의 나비효과	수능특강 문학 연계 기출	수능특강 사용설명서	하루 3개 1등급 국어독서	FINAL 실전모의고사
영어	윤혜정의 패턴의 나비효과	강의노트 수능개념	수능 기출의 미래	수능연계교재의 VOCA 1800	수능완성 사용설명서	하루 6개 1등급 영어독해	만점마무리 봉투모의고사 시즌1
수학	수능 빌드업	기본서 수능 특강Q	수능특강Q 미니모의고사	수능연계 기출 Vaccine VOCA 2200		수능연계완성 3주 특강	만점마무리 봉투모의고사 시즌2 고난도
한국사 사회	수능특강 Light	eBook 전용	eBook 전용	수능 연계교재 수능특강 수능완성		수능연계완성 3주 특강	고난도 논스톱 봉투모의고사
과학	수능 스타트	수능완성R 모의고사	수능완성R 모의고사			수능 등급을 올리는 변별 문항 공략	eBook 전용

구분	시리즈명	특징	난이도	영역
수능 입문	윤혜정의 개념의 나비효과 수능 편 + 워크북	개념부터 제대로 꼼꼼히 공부하는 수능 국어 개념	<input type="checkbox"/>	국어
	윤혜정의 패턴의 나비효과	수능 국어의 패턴 연습으로 부족한 약점 보완	<input type="checkbox"/>	국어
	수능 빌드업	개념부터 문항까지 한 권으로 시작하는 수능 특화 기본서	<input type="checkbox"/>	국/수/영
	수능특강 Light	수능 연계교재 학습 전 가볍게 시작하는 수능 도전	<input type="checkbox"/>	영어
	수능 스타트	2028학년도 수능 예시 문항 분석과 문항 연습	<input type="checkbox"/>	국/수/영/사/과
기출/연습	수능개념	EBS 대표 강사들과 함께하는 수능 개념 다지기	<input type="checkbox"/>	전 영역
	윤혜정의 기출의 나비효과	윤혜정 선생님과 함께하는 까다로운 국어 기출 완전 정복	<input type="checkbox"/>	국어
	수능 기출의 미래	올해 수능에 딱 필요한 문제만 선별한 기출문제집	<input type="checkbox"/>	전 영역
연계 + 연계 보완	수능특강Q 미니모의고사	매일 15분 연계교재 우수문항 풀이 미니모의고사	<input type="checkbox"/>	국/수/영/사/과
	수능완성R 모의고사	과년도 수능 연계교재 수능완성 실전편 수록	<input type="checkbox"/>	수학
	수능특강	최신 수능 경향과 기출 유형을 반영한 종합 개념 학습	<input type="checkbox"/>	전 영역
	수능특강 사용설명서	수능 연계교재 수능특강의 국어·영어 지문 분석	<input type="checkbox"/>	국/영
	수능특강 문학 연계 기출	수능특강 수록 작품과 연관된 기출문제 학습	<input type="checkbox"/>	국어
	수능완성	유형·테마 학습 후 실전 모의고사로 문항 연습	<input type="checkbox"/>	전 영역
	수능완성 사용설명서	수능 연계교재 수능완성의 국어 지문 분석	<input type="checkbox"/>	국어
고난도	수능연계교재의 VOCA 1800	수능특강과 수능완성의 필수 중요 어휘 1800개 수록	<input type="checkbox"/>	영어
	수능연계 기출 Vaccine VOCA 2200	수능 - EBS 연계와 평가원 최다 빈출 어휘 선별 수록	<input type="checkbox"/>	영어
	하루 N개 1등급 국어독서/영어독해	매일 꾸준한 기출문제 학습으로 완성하는 1등급 실력	<input type="checkbox"/>	국/영
	수능연계완성 3주 특강	단기간에 끝내는 수능 1등급 변별 문항 대비	<input type="checkbox"/>	국/수/영
모의고사	박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴	박봄 선생님과 사회·문화 표 분석 문항의 패턴 연습	<input type="checkbox"/>	사회탐구
	수능 등급을 올리는 변별 문항 공략	EBS 선생님이 직접 선별한 고변별 문항 연습	<input type="checkbox"/>	수/영
	FINAL 실전모의고사	EBS 모의고사 중 최다 분량 최다 과목 모의고사	<input type="checkbox"/>	전 영역
	만점마무리 봉투모의고사 시즌1	실제 시험지 형태와 OMR 카드로 실전 연습 모의고사	<input type="checkbox"/>	전 영역
	만점마무리 봉투모의고사 시즌2 고난도	변별력 높은 수능까지 대비하는 실전 연습 모의고사	<input type="checkbox"/>	국/수/영
	고난도 논스톱 봉투모의고사	어려운 시험에 익숙해지는 논스톱 훈련 모의고사	<input type="checkbox"/>	국·수·영
수능 직전보강 클리어 봉투모의고사	수능 직전 성적을 끌어올리는 마지막 모의고사	<input type="checkbox"/>	국/수/영	
버티컬 모의고사 시즌1~4	고난도 문항 다수 수록 eBook 전용 모의고사	<input type="checkbox"/>	국/수/영	

memo