



용액

차례

Part 1 · 개념 정리	1
용액의 농도	1
용액의 증기 압력 내림	8
용액의 끓는점 오름과 어는점 내림	11
삼투 현상과 삼투압	15
묽은 용액의 총괄성	17
Part 2 · 기본문제	18
Part 3 · 심화문제	22
Part 4 · 정답과 해설	28
개념 체크 정답	28
기본문제 해설	29
심화문제 해설	31

Part 1 · 개념 정리

1 용액의 농도

(1) 농도

용매와 용질이 섞여 있는 비율을 **용액의 농도**라고 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.

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

- 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 1**을 나타내는 단위이다.

- ① 주로 공기나 물속에 극소량 들어 있는 물질의 농도를 나타낼 때 사용한다.
- ② 용액의 농도로 쓰일 때에는 용액 10^6 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸다.

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

핵심 정리 퍼센트 농도는 용액 100 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸 농도이다.

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

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 10^6 g 중에 산소가 10 g 녹아 있을 때, 이 지하수에 녹아 있는 산소의 ppm 농도는 _____ ppm이다.

(4) 몰 농도

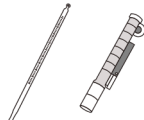
용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 나타낸 농도로, 단위는 mol/L 또는 M를 사용한다.

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

- 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.

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

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 헹구거나 부피 플라스크의 표시선까지 용매를 넣을 때 사용한다.	액체의 부피를 정확히 측정하여 옮길 때 사용한다.

핵심 정리 몰 농도는 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. 용액 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)은 온도에 따라 변하지 않지만 용액의 부피는 온도에 따라 변하므로 온도가 변하면 몰 농도도 변한다.

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

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 측정된 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 흔들어 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

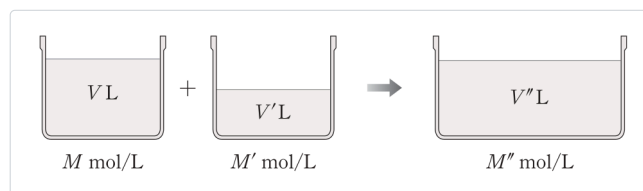
0.1 M 용액 1 L를 만들기 위해서는 용질 0.1 mol에 해당하는 질량을 정확히 측정하여 용매에 녹인 후 용액의 전체 부피를 1 L로 맞추어야 한다.

탐구자료 살펴보기 — 0.1 M 수산화 나트륨 수용액 1 L 만들기

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.



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

핵심 정리 어떤 용액에 용매를 가해 희석할 때 용액의 부피와 몰 농도는 달라지지만 용질의 양(mol)은 달라지지 않는다. 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.

(5) 몰랄 농도

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

핵심 정리 몰랄 농도는 용매 1 kg에 녹인 용질의 양(mol)을 나타낸 농도이다. 몰 분율은 균일한 혼합물에서 각 성분의 양(mol)을 혼합물의 전체 양(mol)으로 나눈 값이다.

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

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 $MV = \underline{\hspace{2cm}}$ 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.

과학 돋보기

에탄올 수용액에서의 물 분율

물(H_2O) 54 g과 에탄올($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 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 물 분율은 $\frac{3 \text{ mol}}{3 \text{ mol} + 2 \text{ mol}} = 0.6$ 이고, 에탄올의 물 분율은 $\frac{2 \text{ mol}}{3 \text{ mol} + 2 \text{ mol}} = 0.4$ 이므로 물 분율은 물질의 양(mol)이 큰 물이 에탄올보다 크다.

과학 돋보기 — 에탄올 수용액에서의 물 분율

(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) = $\frac{10ad}{x}(\text{mol/L})$

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

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

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

과학 돋보기

98%의 진한 황산으로 0.1 M 황산 수용액 만들기

[밀도가 1.84 g/mL인 98%의 황산(H_2SO_4 분자량 98)으로 0.1 M 황산 수용액 1 L를 만드는 과정]

(가) 0.1 M 황산 수용액 1 L를 만드는 데 필요한 H_2SO_4 의 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 H_2SO_4 이 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.

과학 돋보기 — 98%의 진한 황산으로 0.1 M 황산 수용액 만들기

② 퍼센트 농도(%)를 몰랄 농도(m)로 변환: 용액의 질량을 100 g이라고 가정하고, 용액의 퍼센트 농도와 용질의 화학식량을 이용하여 몰랄 농도를 구한다.

[화학식량이 x 인 용질이 녹아 있는 $a\%$ 용액의 몰랄 농도]

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

• 용액 100 g 속에 들어 있는 용매의 질량을 구한다.

$$\Rightarrow (100 - a)(\text{g})$$

• 용매 1 kg에 들어 있는 용질의 양(mol , y)을 구한다.

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

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

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 x 인 용질이 녹아 있는 b M 용액의 밀도가 $d(\text{g/mL})$ 일 때 용액의 몰랄 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 양(mol)과 질량을 구한다.
 $\Rightarrow b(\text{mol}), bx(\text{g})$
- 용액 1 L 속에 들어 있는 용매의 질량을 구한다.
 $\Rightarrow (1000d - bx)(\text{g})$
- 용매 1 kg에 들어 있는 용질의 양(mol, y)을 구한다.
 $\Rightarrow (1000d - bx) : b = 1000 : y$

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

핵심 정리 농도를 나타내는 방법

[일정량의 용액에 녹아 있는 용질] 퍼센트 농도(%): 용액 100 g에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸 농도 / ppm 농도: 용액 10^6 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

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

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.

2 용액의 증기 압력 내림

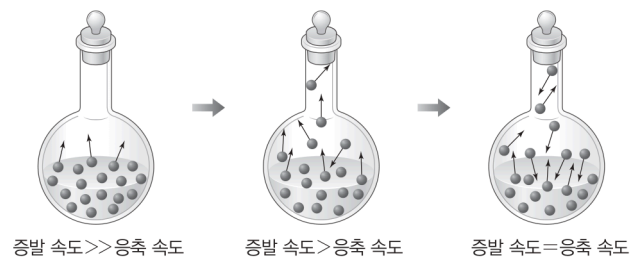
(1) 증기 압력

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 압력**이라고 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.

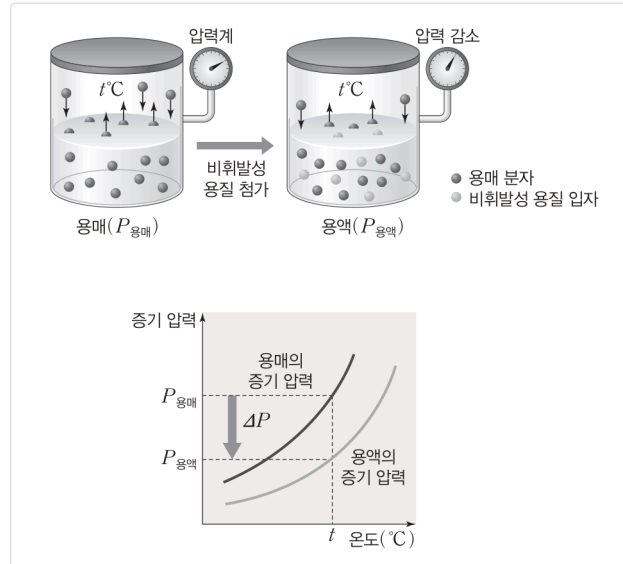


과학 돋보기 — 증기 압력

(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 내림**이라고 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.

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

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

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.

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.

탐구자료 살펴보기 — 용액의 증기 압력 내림

(3) 묽은 용액의 증기 압력 내림

① **라울 법칙:** 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 증기 압력($P_{\text{용액}}$)은 용매의 물 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 물 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 물 분율이 커지므로 증기 압력 내림도 커진다.

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

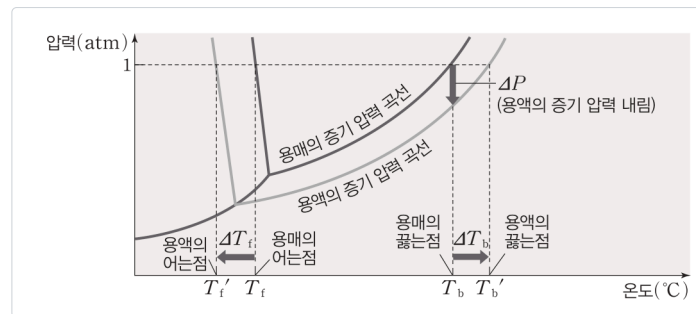
개념 체크 G 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

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 물 분율이 0.01인 용액의 증기 압력은 _____ mmHg이다.

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.



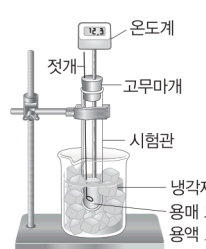
(2) 끓는점 오름(ΔT_b)과 어는점 내림(ΔT_f)에 영향을 미치는 요인

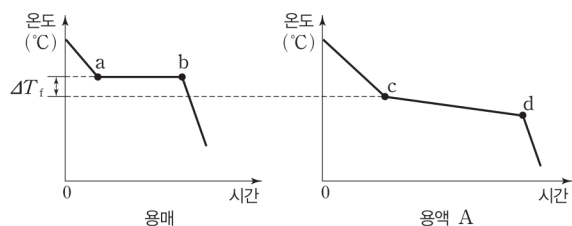
물은 용액의 끓는점 오름(ΔT_b)과 어는점 내림(ΔT_f)은 용매의 종류와 용액 속에 녹아 있는 용질의 입자 수(몰랄 농도)에만 영향을 받는다.

핵심 정리 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액은 순수한 용매보다 더 높은 온도에서 끓고, 더 낮은 온도에서 언다.

탐구자료 살펴보기 **어는점 내림 측정**

실험과정 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 진해지므로 때문이다.

탐구자료 살펴보기 — 어는점 내림 측정

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

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.

(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
- ③ 몰랄 오름 상수(K_b)와 몰랄 내림 상수(K_f)는 용질의 종류와는 관계없이 **용매의 종류**에 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

핵심 정리 용매의 몰랄 오름 상수와 몰랄 내림 상수는 비휘발성, 비전해질 용질을 녹인 용액의 농도가 1 m일 때의 끓는점 오름과 어는점 내림이다.

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.

핵심 정리 용액의 끓는점 오름과 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. 용액의 끓는점 오름과 어는점 내림을 이용하면 용질의 분자량을 구할 수 있다.

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

1. 용액의 농도가 1 m 로 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.

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.

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

과학 돋보기 — 어는점 내림을 이용하여 포도당의 분자량 구하기

(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°C 보다 높은 온도에서 끓는다.

② 어는점 내림

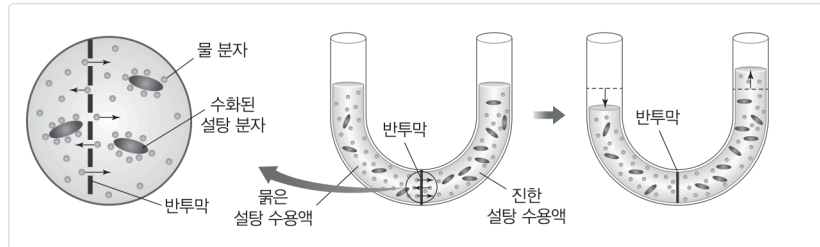
- 바닷물은 강물보다 더 낮은 온도에서 언다.
- 염화 칼슘을 뿌려 도로에 눈이 녹으면 다시 얼기 어렵다.

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.

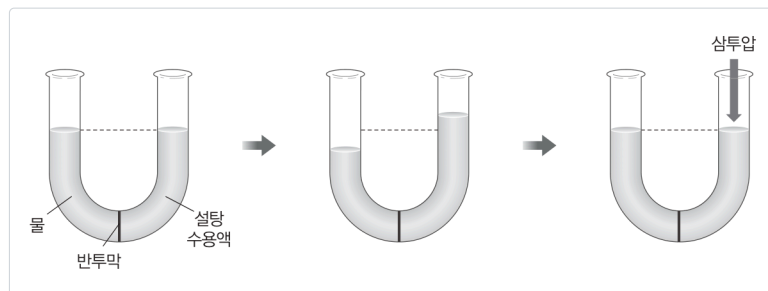


② **반투막**: 물과 같이 크기가 작은 용매 입자는 통과시키지만, 용매화되어 크기가 큰 용질 입자는 통과시키지 못하는 막을 반투막이라고 한다.

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.

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

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

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

(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.

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

핵심 정리 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.

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.

과학 돋보기 — 삼투 현상을 이용한 혈액 투석

5 묶은 용액의 총괄성

비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묶은 용액에서 증기 압력 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압은 용질의 종류와 관계없이 용질의 입자 수에만 비례하는데, 이러한 성질을 **묶은 용액의 총괄성**이라고 한다. 묶은 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

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

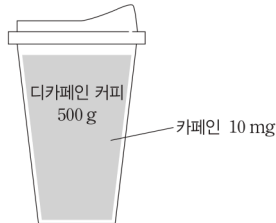
개념 체크 K 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 반트호프 법칙에 따르면 묶은 용액의 삼투압은 용액의 _____ 와 _____ 에 비례한다.
2. 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묶은 용액에서 용질의 종류에는 관계없이 용질의 입자 수에 관계되는 성질을 묶은 용액의 _____ 이라고 한다.

Part 2 · 기본문제

16문항 · 정답과 해설은 Part 4.

01 그림은 디카페인 커피를 나타낸 것이다.



이 커피에서 카페인의 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

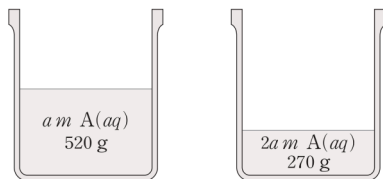
02 표는 A(aq)에 대한 자료이다. A의 화학식량은 120이다.

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

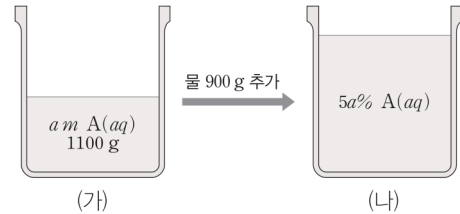
03 그림은 녹아 있는 A의 질량이 같은 2가지 A(aq)을 나타낸 것이다. A의 화학식량은 100이다.



a는?

- ① 0,2 ② 0,3 ③ 0,4 ④ 0,5 ⑤ 0,6

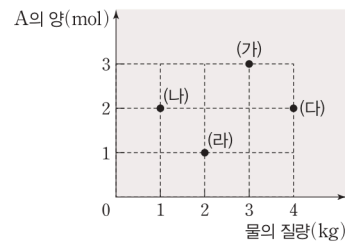
04 그림은 A(aq) (가)에 물 900 g을 추가하여 A(aq) (나)를 만드는 과정을 나타낸 것이다. A의 화학식량은 100이다.



a는?

- ① 0,1 ② 0,2 ③ 0,5 ④ 1 ⑤ 2

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



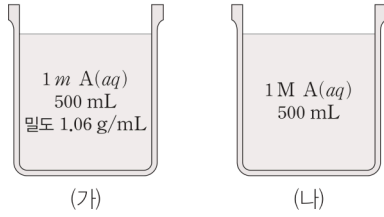
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 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

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



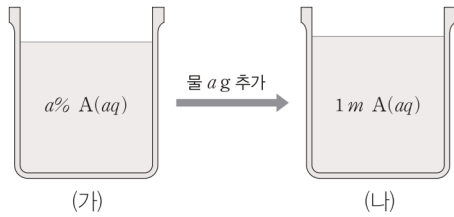
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 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

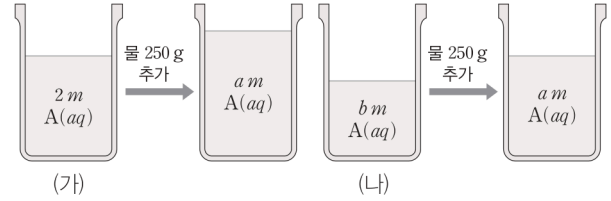
07 그림은 A(s) a g이 녹아 있는 a% A(aq) (가)에 물 a g을 추가하여 A(aq) (나)를 만드는 과정을 나타낸 것이다. A의 화학식량은 40이다.



a는?

- ① 2 ② 4 ③ 6 ④ 8 ⑤ 10

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.



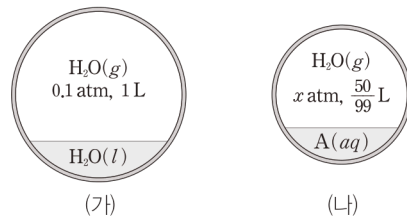
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 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

09 그림은 크기가 다른 진공 강철 용기 (가)와 (나)에 H₂O(l)과 A(aq)를 각각 넣은 후 t°C에서 평형에 도달한 것을 나타낸 것이다. 평형에 도달한 후 용기 내 H₂O(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°C에서 H₂O(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

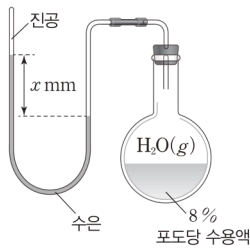
10 다음은 A(aq)에 대한 자료이다.

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

$t^{\circ}\text{C}$ 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

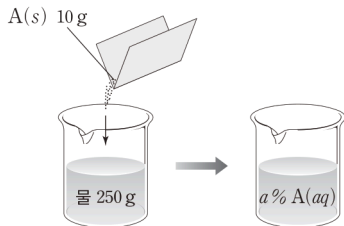
11 그림은 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 8% 포도당 수용액이 평형에 도달한 것을 나타낸 것이다. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 $116\ \text{mmHg}$ 이고, 물과 포도당의 분자량은 각각 18, 180이다.



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

- ① 1 ② 2 ③ 58 ④ 115 ⑤ 116

12 그림은 물 250 g에 A(s) 10 g을 모두 녹여 $a\%$ A(aq)을 만드는 과정을 나타낸 것이다. A의 분자량은 600이고, 1 atm에서 물의 몰랄 내림 상수(K_f)는 $1.86^{\circ}\text{C}/m$ 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°C 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

13 다음은 1 atm에서 물과 포도당 수용액에 대한 실험이다. 포도당의 분자량은 180이고, 1 atm에서 물의 몰랄 오름 상수(K_b)는 $a^{\circ}\text{C}/m$ 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 $100+a$

14 표는 용액 (가)와 (나)에 대한 자료이다. 1 atm에서 A(l)의 몰랄 오름 상수(K_b)는 $x^{\circ}\text{C}/m$ 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 $50(t_2-t_1)$

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

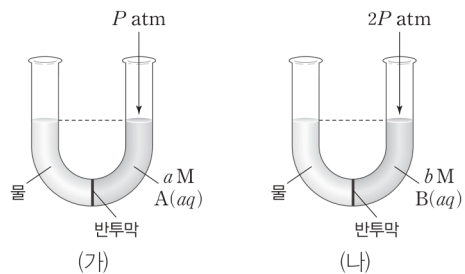
물 또는 수용액	퍼센트 농도 (%)	기준 어는점 ($^{\circ}\text{C}$)	$t^{\circ}\text{C}$ 에서 증기 압력 (atm)
물		0	P
A(aq)	$\frac{100}{101}$	-0.31	x

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

16 그림 (가)와 (나)는 25°C , 1 atm 에서 반투막으로 분리된 2개의 U자관에 높이가 같도록 각각 같은 부피의 물과 $a\text{ M A(aq)}$, 물과 $b\text{ M B(aq)}$ 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 atm 으로 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

Part 3 · 심화문제

16문항 · 정답과 해설은 Part 4. 각 문항의 접근 Point는 해설에 수록.

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

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, Cd와 Pb의 원자량은 각각 112.4, 207.2이다.)

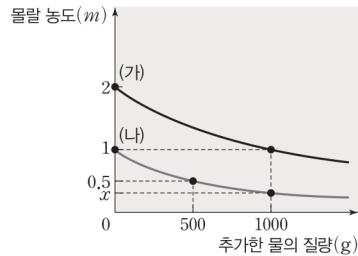
◀ 보기 ▶

- 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

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.

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

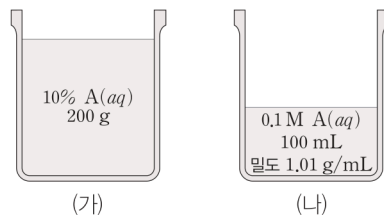
03 표는 A(aq) (가)와 (나)에 대한 자료이다. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 $P \text{ atm}$ 이고, 물과 A의 분자량은 각각 18, 60이다.

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 $\frac{50}{39}$

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



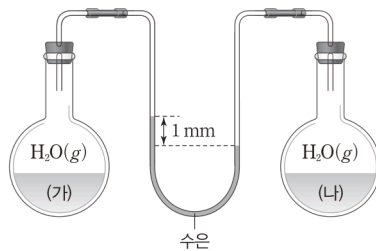
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 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 m 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림은 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물과 $a\% \text{ A(aq)}$ 이 각각 평형에 도달한 것을 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 물과 $a\% \text{ A(aq)}$ 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. $a\% \text{ A(aq)}$ 에서 물의 몰 분율은 $\frac{80}{81}$ 이다.
 ㄷ. $a=3$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

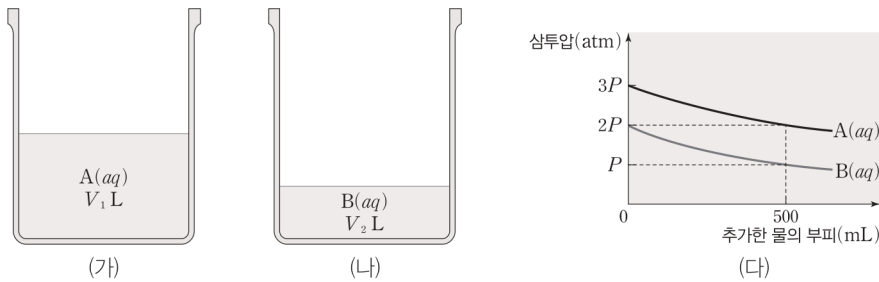
06 표는 A(aq) (가)와 (나)에 대한 자료이다. A의 화학식량은 100이다.

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 m일 때, a 는?

- ① 10 ② 11 ③ 15 ④ 20 ⑤ 21

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

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

- 몰 농도 : a M
- 몰랄 농도 : $1.1a$ 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

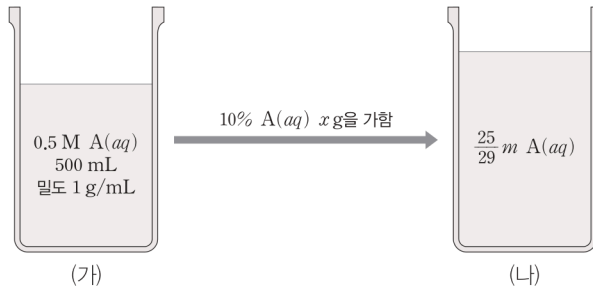
09 표는 A(aq)과 B(aq)에 대한 자료이다. $t_1^\circ\text{C}$, $t_2^\circ\text{C}$ 에서 물의 증기 압력(mmHg)은 각각 131, x 이고, 물, A, B의 분자량은 각각 18, 60, 180이다.

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

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.



x 는?

- ① 80 ② 100 ③ 120 ④ 150 ⑤ 160

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

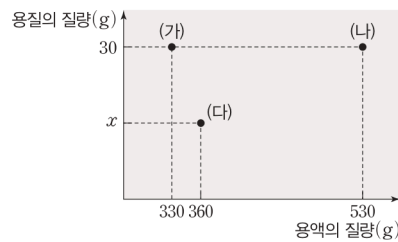
수용액	물의 질량 (kg)	용질의 질량 (g)	퍼센트 농도 (%)	1 atm에서 끓는점 오름(°C)	1 atm에서 어는점 내림(°C)
A(aq)			$\frac{100}{51}$	$5k$	a
B(aq)	1	x		$3k$	b

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

- ① 30 ② 45 ③ 50 ④ 60 ⑤ 80

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

13 표는 A(aq)과 B(aq)에 대한 자료이다. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 $P\text{ atm}$ 이고, 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 ▶

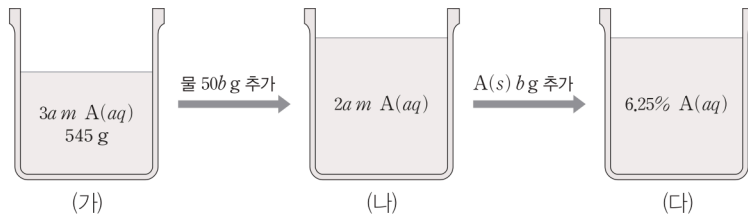
ㄱ. $\frac{b}{a} = \frac{1030}{3027}P$ 이다.

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

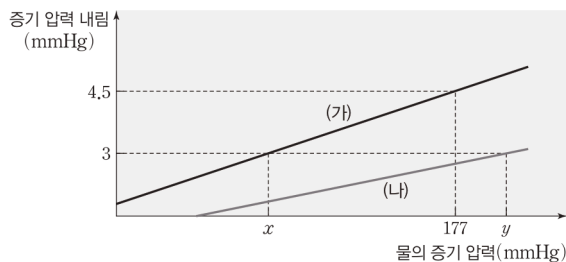
14 그림 (가)는 $3a\text{ m A(aq)}$ 545 g을, (나)는 (가)에 물 50b g을 추가한 수용액을, (다)는 (나)에 A(s) b g을 추가하여 모두 녹인 수용액을 나타낸 것이다.



b 는?

- ① 4 ② 5 ③ 6 ④ 7 ⑤ 8

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



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

◀ 보기 ▶

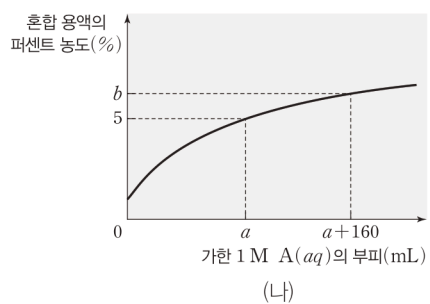
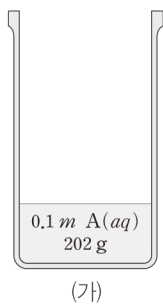
ㄱ. (가)는 8% A(aq)이다.

ㄴ. $a = 60$ 이다.

ㄷ. $y - x = 80$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

16 그림 (가)는 0.1 m A(aq) 을, (나)는 (가)에 밀도가 1.1 g/mL 인 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 $\frac{144}{5}$

Part 4 · 정답과 해설

1 개념 체크 정답

A	1. × 5. 10	2. ○	3. ×	4. 10
B	1. 물 농도	2. 0.01	3. 부피	
C	1. 용질 5. 0.2	2. $M'V'$	3. 몰랄 농도	4. 0.05
D	1. 0.05	2. 2	3. 1	4. 밀도
E	1. 화학식량	2. 화학식량, 밀도		
F	1. 작	2. 증기 압력 내림	3. 입자 수(물 분율)	
G	1. 물 분율	2. 커	3. 297	
H	1. 높, 낮	2. 용질의 입자 수(몰랄 농도)	3. 낮아	
I	1. 크	2. 몰랄 농도	3. 분자량	
J	1. 반투막	2. 묽은, 진한	3. 삼투압	
K	1. 물 농도, 절대 온도	2. 총괄성		

2 기본문제 해설

정답

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 카페인 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 g이다.

다. 용질 A의 질량을 x g이라고 하면 몰랄 농도는 $\frac{\frac{x}{120} \text{ mol}}{\frac{530-x}{1000} \text{ kg}} = 0.5 \text{ m}$ 이다. 따라서 $x=30$ 이다.

03 몰랄 농도의 비교

몰랄 농도는 용매 1 kg에 녹인 용질의 양(mol)을 나타낸 농도이다. $a \text{ m A(aq)}$, $2a \text{ m A(aq)}$ 을 각각 (가)와 (나)라고 할 때, (가)와 (나)에서 용질 A의 질량이 같으므로 (가)와 (나)에서 A의 양을 각각 $x \text{ mol}$ 이라고 하면 (가)의 몰랄 농도는 $\frac{x \text{ mol}}{\frac{520-100x}{1000} \text{ kg}} = a \text{ m}$ 이고, (나)의 몰랄 농도는 $\frac{x \text{ mol}}{\frac{270-100x}{1000} \text{ kg}} = 2a \text{ m}$ 이다.

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

는 $\frac{\frac{x}{100} \text{ mol}}{\frac{1100-x}{1000} \text{ kg}} = a \text{ m}$ 이므로 $(10+a)x=1100a$ (식 ㉑)

이다. (가)에 물 900 g을 추가한 (나)의 퍼센트 농도는

$\frac{x \text{ g}}{(1100+900) \text{ g}} \times 100\% = 5a\%$ 이므로 $x=100a$ 이다. 이를 식 ㉑에 대입하면 $a=1$ 이다.

05 몰랄 농도의 비교

몰랄 농도는 용매 1 kg에 녹인 용질의 양(mol)을 나타낸 농도이다.

㉠. (나)의 몰랄 농도는 $\frac{A \text{의 양(mol)}}{\text{몰의 질량(kg)}} = \frac{2 \text{ mol}}{1 \text{ kg}} = 2 \text{ m}$ 이다.

㉡. (다)의 몰랄 농도는 $\frac{2 \text{ mol}}{4 \text{ kg}} = 0.5 \text{ m}$ 이고, (라)의 몰랄 농도는 $\frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ kg}} = 0.5 \text{ m}$ 이다.

㉢. (나)와 (라)를 모두 혼합한 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{(2+1) \text{ mol}}{(1+2) \text{ kg}} = 1 \text{ m}$ 이고, (가)의 몰랄 농도는 $\frac{3 \text{ mol}}{3 \text{ kg}} = 1 \text{ m}$ 이다.

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.

㉠. (가)의 질량은 500 mL $\times$ 1.06 g/mL = 530 g이다.

㉡. (나)에 녹아 있는 A의 양은 1 M $\times$ 0.5 L = 0.5 mol이다.

㉢. (가)에 녹아 있는 A의 질량을 x g이라고 하면, 몰랄 농도는 $\frac{\frac{x}{60} \text{ mol}}{\frac{530-x}{1000} \text{ kg}} = 1 \text{ m}$ 이므로 $x=30$ 이다. (나)에 녹아 있는 A의 질량은 0.5 mol $\times$ 60 g/mol = 30 g이다.

07 퍼센트 농도와 몰랄 농도

용질의 질량이 a g인 (가)에서 용액의 질량을 x g이라고 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

은 100 g이므로 (나)의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{a}{40} \text{ mol}}{\frac{100}{1000} \text{ kg}} = 1 \text{ m}$ 이다. 따라

서 $a=4$ 이다.

08 몰랄 농도

용질의 양(mol)은 몰랄 농도(m)와 용매의 질량(kg)의 곱이다.
 ㉠. (가)에 녹아 있는 A의 양은 $2\text{ mol} \times 1\text{ kg} = 2\text{ mol}$ 이고, 질량은 $2\text{ mol} \times 40\text{ g/mol} = 80\text{ g}$ 이다.

㉡. (가)에 물 250 g을 추가한 수용액의 몰랄 농도는

$$\frac{2\text{ mol}}{\frac{1000+250}{1000}\text{ kg}} = 1.6\text{ }m\text{ 이므로 } a = 1.6\text{ 이다.}$$

㉢. (나)에 물 250 g을 추가하면 물의 질량은 처음의 $\frac{4}{3}$ 배가 되므로 몰랄 농도는 $\frac{3}{4}$ 배가 된다. 따라서 $b \times \frac{3}{4} = 1.6$ 이므로 $b = \frac{32}{15}$

이다.

09 증기 압력 내림

수용액의 증기 압력 내림은 물의 증기 압력과 용질의 몰 분율의 곱이다.

㉠. $t^\circ\text{C}$ 의 (가)에서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 과 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 가 평형을 이루고 있을 때 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 압력이 0.1 atm이므로 $t^\circ\text{C}$ 에서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 증기 압력은 0.1 atm이다.

㉡. 두 기체의 온도가 같을 때 $\frac{PV}{n}$ 가 같으므로 $t^\circ\text{C}$ 에서 평형에

$$\text{도달한 후 (가)와 (나)에서 } \frac{0.1\text{ atm} \times 1\text{ L}}{2n\text{ mol}} = \frac{x\text{ atm} \times \frac{50}{99}\text{ L}}{n\text{ mol}}\text{ 이}$$

다. $x = 0.099$ 이다.

㉢. $t^\circ\text{C}$ 에서 A(aq)의 증기 압력 내림은 $0.1\text{ atm} - 0.099\text{ atm} = 0.001\text{ atm}$ 이다. 평형에 도달한 후 A(aq)에서 A의 몰 분율을 X 라고 하면, 증기 압력 내림은 $0.001\text{ atm} = 0.1\text{ atm} \times X$ 이므로 $X = \frac{1}{100}$ 이다.

10 증기 압력 내림과 몰랄 농도

$0.1\text{ }m$ 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

$$\text{물의 몰 분율은 } \frac{\frac{500}{9}\text{ mol}}{\frac{500}{9}\text{ mol} + \frac{1}{10}\text{ mol}} = \frac{5000}{5009}\text{ 이다. } t^\circ\text{C에서 물}$$

의 증기 압력을 $P\text{ mmHg}$ 라고 하면 A(aq)의 증기 압력은 $P\text{ mmHg} \times \frac{5000}{5009} = 50\text{ mmHg}$ 이므로 $P = 50 \times \frac{5009}{5000} = 50.09$ 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

$$\text{㉠. A(aq)의 퍼센트 농도는 } \frac{10\text{ g}}{(250+10)\text{ g}} \times 100\% = \frac{50}{13}\%$$

므로 $a = \frac{50}{13}$ 이다.

$$\text{㉡. A(aq)의 몰랄 농도는 } \frac{\frac{10\text{ g}}{60\text{ g/mol}}}{\frac{250}{1000}\text{ kg}} = \frac{2}{3}\text{ }m\text{ 이다.}$$

$$\text{㉢. } 1\text{ atm에서 A(aq)의 어는점 내림은 } 1.86^\circ\text{C}/m \times \frac{2}{3}\text{ }m = 1.24^\circ\text{C}\text{ 이다.}$$

13 끓는점 오름

$$\text{포도당 수용액의 몰랄 농도는 } \frac{\frac{18\text{ g}}{180\text{ g/mol}}}{\frac{500}{1000}\text{ kg}} = 0.2\text{ }m\text{ 이다. 포도}$$

당 수용액의 끓는점 오름은 $a^\circ\text{C}/m \times 0.2\text{ }m = 0.2a^\circ\text{C}$ 이므로 끓는점은 $(100 + 0.2a)^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 $x = 100 + 0.2a$ 이다.

14 끓는점 오름

A(l)의 기준 끓는점을 $t_0^\circ\text{C}$ 라고 하면, (가)의 몰랄 농도는 $\frac{0.01\text{ mol}}{0.1\text{ kg}} = 0.1\text{ }m$ 이므로 끓는점 오름은 $(t_1 - t_0)^\circ\text{C} = x^\circ\text{C}/m \times 0.1\text{ }m$ (식 ㉠)이다. (나)의 몰랄 농도는 $\frac{0.01\text{ mol}}{0.5\text{ kg}} = 0.02\text{ }m$ 이므로

끓는점 오름은 $(t_2 - t_0)^\circ\text{C} = x^\circ\text{C}/m \times 0.02\text{ }m$ (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

$$\text{㉠. A(aq)의 몰랄 농도는 } \frac{0.31^\circ\text{C}}{1.86^\circ\text{C}/m} = \frac{1}{6}\text{ }m\text{ 이다.}$$

㉢. 몰랄 농도가 $\frac{1}{6}\text{ }m$ 인 A(aq)은 물 1 kg에 A $\frac{1}{6}\text{ mol}$ 을 녹인 용액에 해당한다. 이 용액에서 물의 몰 분율은

$$\frac{\frac{1000\text{ g}}{18\text{ g/mol}}}{\frac{1000\text{ g}}{18\text{ g/mol}} + \frac{1}{6}\text{ mol}} = \frac{1000}{1003}\text{ 이므로 } t^\circ\text{C에서 A(aq)의 증기}$$

$$\text{압력(atm)}\ x = \frac{1000}{1003}\text{ }P\text{ 이다.}$$

$$\text{㉠. } \frac{100}{101}\% = \frac{10 \times 100\%}{1000 + 10}\text{ 인 A(aq)은 물 1000 g에 A } 10\text{ g을}$$

녹인 용액에 해당한다. 따라서 A 10 g은 $\frac{1}{6}\text{ mol}$ 이므로 A 1 mol의 질량은 60 g이고, A의 분자량은 60이다.

16 삼투압

25°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.

3 심화문제 해설

정답

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

심화 01번

접근 Point ppm 농도는 용액 10⁶ g에 녹아 있는 용질의 질량(g)이다.

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.

㉠. Cd의 ppm 농도가 1970년일 때가 2000년일 때보다 크므로, A 강물 1 kg에 들어 있는 Cd의 질량은 1970년일 때가 2000년일 때보다 크다.

✕. 1970년 A 강물에서 Pb의 퍼센트 농도는 $\frac{0.5 \text{ g}}{1000000 \text{ g}} \times 100\% = 0.00005\%$ 이다.

✕. 2000년 A 강물 1 kg에 들어 있는 중금속의 질량은 Pb이 Cd의 5배이다. Cd과 Pb의 원자량은 각각 112.4, 207.2이므로 중금속의 양(mol)은 Pb이 Cd의 $5 \times \frac{112.4}{207.2}$ 배이다.

심화 02번

접근 Point 수용액을 희석할 때 몰랄 농도는 물의 질량에 반 비례한다.

02 수용액의 희석과 몰랄 농도

수용액을 희석할 때 몰랄 농도는 물의 질량에 반비례한다.

㉠. (가)에 물을 1000 g 추가하였을 때 몰랄 농도가 2 m에서 1 m로 $\frac{1}{2}$ 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 m에서 0.5 m로 $\frac{1}{2}$ 배 감소하였으므로 물의 질량이 2배 증가한 것이다. 따라서 (나)에서 물의 질량은 500 g, $b=500$ 이므로 $a=2b$ 이다.

✕. (가)의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{c}{40} \text{ mol}}{1 \text{ kg}} = 2 \text{ m}$ 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.

심화 03번

접근 Point t°C에서 (가)의 증기 압력이 $\frac{250}{253} P \text{ atm}$ 이므로 (가)에서 물의 물 분율은 $\frac{250}{253}$ 이다.

03 끓는점 오름과 증기 압력 내림

t°C에서 (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.

$$\frac{300}{253}\% \left(= \frac{3 \times 100\%}{250 + 3} \right) A(aq) \text{인 (나)는 물 250 g에 A 3 g을 녹인 용액에 해당하므로 이 용액의 몰랄 농도는 } \frac{\frac{3 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}}{\frac{250}{1000} \text{ kg}} = \frac{1}{5} \text{ m}$$

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.

심화 04번

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

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

$$\frac{\frac{20 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} + 0.01 \text{ mol}}{\frac{180 + 100}{1000} \text{ kg}} = \frac{210}{280} \text{ m} = 0.75 \text{ m이다.}$$

심화 05번

접근 Point 묽은 용액의 증기 압력은 용매의 증기 압력과 용매의 몰 분율($X_{\text{용매}}$)의 곱이다.

05 증기 압력 내림

묽은 용액의 증기 압력은 용매의 증기 압력과 용매의 몰 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 몰 분율은 $\frac{1}{81}$ 이고, 이는 A 1 mol과 물 80 mol을 혼합한 수용액에 해당한다. 이 수용액의 퍼센트 농도는 $\frac{1 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol}}{80 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} + 1 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol}} \times 100\% = 4\%$ 이므로 $a=4$ 이다.

심화 06번

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

$\frac{9a}{890+a} \text{ mol/kg} = 1 \text{ m}$ 이므로, $a=10$ 이다.

심화 07번

접근 Point 온도가 일정할 때 삼투압은 몰 농도에 비례한다.

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.

심화 08번

접근 Point A $a \text{ mol}$ 이 녹아 있는 수용액 1 L의 몰 농도는 $\frac{a \text{ mol}}{1 \text{ L}} = a \text{ M}$ 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 $1000 \text{ mL} \times 1.1 \text{ g/mL} = 1100 \text{ g}$ 이고 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.

심화 09번

접근 Point A(aq)에서 A의 몰 분율은 $\frac{1}{131}$ 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 g에 B 5 g을 녹인 용액에 해당한다. 이 용액에서 B의 몰 분율은 $\frac{5 \text{ g}}{\frac{95 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} + \frac{5 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}}} = \frac{1}{191} = \frac{1 \text{ mmHg}}{x \text{ mmHg}}$ 이므로 $x=191$ 이다.

심화 10번

접근 Point (가)에서 A의 양은 0.25 mol이고, 질량은 10 g이다.

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

$$\text{랄 농도는 } \frac{10 + \frac{x}{10} \text{ mol}}{490 + \frac{9x}{10} \text{ kg}} = \frac{25}{29} \text{ m}$$

이므로 $x = 100$ 이다.

심화 11번

접근 Point 끓는점 오름과 어는점 내림은 몰랄 농도에 비례한다.

11 끓는점 오름과 어는점 내림

퍼센트 농도가 $\frac{100}{51} \% = \frac{1 \times 100 \%}{50 + 1}$ 인 A(aq)은 물 50 g에 A

$$1 \text{ g을 녹인 용액에 해당하므로 이 용액의 몰랄 농도는 } \frac{\frac{1 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}}{\frac{50}{1000} \text{ kg}}$$

$= \frac{1}{3} \text{ m}$ 이다. 끓는점 오름과 어는점 내림은 몰랄 농도에 비례하

므로 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 kg에 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.

심화 12번

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

12 몰랄 농도

(가)와 (나)는 용질의 질량이 각각 30 g이므로 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 g이므로 몰랄 농도가 1 m 또는 2 m가 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 100이므로 용질의 질량이 30 g일 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 g이므로 몰랄 농도가 1 m 또는 2 m가 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 60이므로 용질의 질량이 30 g일 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 mol이다.

$$\text{㉡. (다)는 A(aq)이다. (다)의 몰랄 농도는 } \frac{\frac{x}{40} \text{ mol}}{\frac{360 - x}{1000} \text{ kg}} = 2 \text{ m}$$

이므로 $x = \frac{80}{3}$ 이다.

심화 13번

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

13 어느점 내림과 증기 압력 내림

$t^{\circ}\text{C}$ 에서 B(aq)의 증기 압력이 $\frac{1000}{1003}P$ atm이므로 물의 물 분율은 $\frac{1000}{1003}$ 이다. 이는 물 1000 mol에 B 3 mol을 녹인 용액에 해당하고 이 용액의 퍼센트 농도는

$$\frac{3 \text{ mol} \times 180 \text{ g/mol}}{1000 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} + 3 \text{ mol} \times 180 \text{ g/mol}} \times 100\% = \frac{300}{103}\% = a\% \text{이다.}$$

㉠ 퍼센트 농도가 $\frac{300}{103}\% = \frac{3 \times 100\%}{100+3}$ 인 A(aq)은 물 100 g에 A 3 g을 녹인 용액에 해당하므로 이 용액에서 물의 물 분율은 $\frac{100 \text{ g}}{100 \text{ g} + \frac{3 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}} = \frac{1000}{1009}$ 이고, $t^{\circ}\text{C}$ 에서 이 용액의 증

기 압력은 $\frac{1000}{1009}P$ atm이다. 따라서 $\frac{b}{a} = \frac{\frac{1000}{1009}P}{\frac{300}{103}} = \frac{1030}{3027}P$ 이다.

㉡ A(aq)의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{3 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}}{\frac{100}{1000} \text{ kg}} = 0.5 \text{ m}$ 이다.

㉢ 1 atm에서 물의 몰랄 내림 상수를 K_f 라고 하면, A(aq)의 어느점 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 어느점 내

림은 $1.86^{\circ}\text{C}/\text{m} \times \frac{1}{6} \text{ m} = 0.31^{\circ}\text{C}$ 이다. 따라서 B(aq)의 기준 어느점은 -0.31°C 이므로 $x = -0.31$ 이다.

심화 14번

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

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.

심화 15번

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

15 증기 압력 내림과 퍼센트 농도

증기 압력 내림은 용매의 증기 압력과 용질의 물 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 물 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

$$\frac{3 \text{ mol} \times a \text{ g/mol}}{115 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} + 3 \text{ mol} \times a \text{ g/mol}} \times 100\% = 8\% \text{이다.}$$

$$a = \frac{115 \times 18 \times 8}{276} = 60 \text{이다.}$$

㉢ (가)의 증기 압력 내림은 물의 증기 압력에 비례하므로 $3 : 4.5 = x : 177$ 이므로 $x = 118$ 이다. (나) 5% A(aq)은 물 95 g에 A 5 g을 녹인 수용액에 해당하므로 A의 물 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.

심화 16번

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

16 몰랄 농도, 몰 농도, 퍼센트 농도

물 1000 g에 A 0.1 mol $\times 100 \text{ g/mol} = 10 \text{ g}$ 을 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 $\times 1.1 \text{ g/mL} = 1.1a \text{ g}$ 이고,

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

$$\frac{(2+0.1a) \text{ g}}{(202+1.1a) \text{ g}} \times 100\% = 5\% \text{이므로 } 200 + 10a = 1010 + 5.5a, a = 180 \text{이다.}$$

1 M A(aq) (a+160) mL = 340 mL의 질량은 340 mL $\times 1.1 \text{ g/mL} = 374 \text{ g}$ 이고, 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 $\frac{(2+34) \text{ g}}{(202+374) \text{ g}}$

$$\times 100\% = \frac{25}{4}\% = b\% \text{이므로 } \frac{a}{b} = \frac{180}{\frac{25}{4}} = \frac{144}{5} \text{이다.}$$