

2024학년도 서울대학교 수시모집 일반전형

면접 및 구술고사 — 화학

문항·제시문 + 예시답안 재조판

※ 아래는 서울대학교가 공개한 2024학년도 수시모집 면접·구술고사 화학 문항과 제시문을 재조판한 것이며, 각 문항의 예시 답안은 학습용으로 작성한 모범 풀이입니다. 원문 그림은 원본 PDF에서 정밀하게 재크롭하였고, 답안 그래프는 별도로 작성한 예시 작도입니다.

문제 1. 주기율표·이온 결합·순차 이온화 에너지와 헤스 법칙, 분자 간 상호작용

원소를 배열하였을 때 비슷한 성질의 원소들이 주기적으로 나타나는 것을 주기율이라 하며, 주기율에 따라 원소들을 배열한 표를 주기율표라 한다. 아래 제시된 주기율표를 참고하여 다음 문제들에 답하시오.

H							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca						

제시된 주기율표 (H~Ca, 2·3주기와 1·2족 일부)

1-1. 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 바륨(Ba, 원자 번호 56)은 모두 2족 원소들이다. 각각의 산화물은 MgO, CaO, BaO이다.

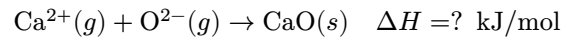
(1)

MgO, CaO, BaO의 녹는점을 각각 높은 순서대로 나열하고, 그 이유를 설명하시오.

(2)

알루미늄 양이온(Al^{3+}), 알루미늄(Al), 마그네슘을 이온화 에너지가 큰 순서대로 나열하고, 그 이유를 설명하시오.

1-2. 아래에 주어진 칼슘(Ca)의 순차 이온화 에너지와 반응 엔탈피 값을 이용하여 기체 상태의 칼슘 양이온 (Ca^{2+})과 산소 음이온(O^{2-})으로부터 고체 상태의 산화칼슘(CaO)을 형성하는 과정의 반응 엔탈피를 구하시오.



- Ca의 일차 이온화 에너지 = 590 kJ/mol
- Ca의 이차 이온화 에너지 = 1145 kJ/mol
- $\text{Ca}(g) + \text{O}(g) \rightarrow \text{CaO}(s) \quad \Delta H = -610 \text{ kJ/mol}$
- $\text{O}(g) + e^- \rightarrow \text{O}^-(g) \quad \Delta H = 141 \text{ kJ/mol}$
- $\text{O}^-(g) + e^- \rightarrow \text{O}^{2-}(g) \quad \Delta H = -844 \text{ kJ/mol}$

1-3. HF를 구성하는 두 원자가 서로 멀리 떨어져 있다가 점점 가까워질 때, 두 원자 사이의 결합 에너지 변화를 아래 주어진 정보를 활용하여 설명하시오. 단, 두 원자 사이의 거리가 (1) 매우 멀 때, (2) 결합 길이와 같을 때, (3) 0에 가까울 때를 기준으로 서술하시오.

- H₂의 결합 길이는 0.76 Å이다.
- H₂의 결합 에너지는 436 kJ/mol이다.
- HF의 표준 생성 엔탈피는 -272 kJ/mol이다.
- F₂의 결합 길이는 1.42 Å이다.
- F₂의 결합 에너지는 160 kJ/mol이다.

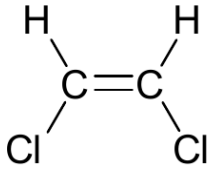
1-4. 분자 간 상호 작용은 여러 요인에 의해 결정된다. 다음 물음에 답하시오.

(1)

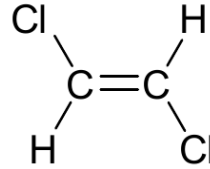
염소(Cl_2), 브로민(Br_2 , 원자 번호 35), 아이오딘(I_2 , 원자 번호 53)을 끓는점이 높은 순서대로 나열하고, 그 이유를 설명하시오.

(2)

다음 두 화합물은 모두 동일한 $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$ 의 분자식을 가지며, 두 염소 원자의 배열 상태에 따라 화합물 A와 화합물 B로 구분된다. 이때, 두 화합물의 끓는점을 비교하고, 그 이유를 설명하시오.



화합물 A



화합물 B

화합물 A(시스형, 두 Cl이 같은 쪽) · 화합물 B(트랜스형, 두 Cl이 반대 쪽)

1-5. 스핀 자기 양자수는 전자의 운동 방향에 따라 결정되는 양자수로, 두 가지 상태($+1/2$ 혹은 $-1/2$)를 가진다. 전자의 스핀 자기 양자수가 네 가지인 가상 세계가 존재한다고 가정할 때 다음 물음에 답하시오. 단, 원소의 원자 번호, 오비탈, 질량(원자량 등)의 전하량과 질량 등 다른 모든 조건들은 현실 세계와 동일하다. 또한, 이 가상 세계에서도 쌍음 원리, 파울리 배타 원리, 훈트 규칙이 잘 적용된다.

(1)

가상 세계에서 플루오린(F)의 전자 배치를 기술하시오.

(2)

가상 세계에서 주기율표가 어떻게 구성될지 현실 세계에서 주기율표와 비교하여 각 원소가 배치되는 족과 주기의 관점에서 설명하시오. 단, 원자 번호 20번까지만 고려한다.

(3)

가상 세계에서 수소(H)부터 네온(Ne)까지의 원소에 대하여 일차 이온화 에너지 경향성이 어떻게 변화될지 현실 세계와 비교하여 설명하시오.

문제 1 · 예시답안

1-1 예시답안

(1) $\text{MgO} > \text{CaO} > \text{BaO}$

세 화합물은 모두 M^{2+} 과 O^{2-} 가 결합한 이온 결정으로, 녹는점은 이온 결합의 세기(격자 에너지)에 비례한다. 격자 에너지는 이온 전하가 같을 때 두 이온 사이의 거리(양이온 반지름)에 반비례한다. 2족에서 아래로 갈수록 원자(이온) 반지름이 커지므로 $\text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Ba}^{2+}$ 순으로 양이온이 커지고, 이온 간 거리가 멀어져 정전기적 인력이 약해진다. 따라서 격자 에너지와 녹는점은 $\text{MgO} > \text{CaO} > \text{BaO}$ 순이다.

(2) $\text{Al}^{3+} > \text{Al} > \text{Mg}$

- Al^{3+} 은 전자를 이미 3개 잃어 Ne과 같은 안정한 닫힌 껍질 배치($1s^2 2s^2 2p^6$)를 가진다. 안쪽 껍질에서 전자를 떼어내야 하므로 이온화 에너지가 압도적으로 크다.
- Al과 Mg는 모두 3주기 중성 원자이다. Mg는 $3s^2$ 의 안정한 채워진 부껍질에서 전자를 떼어내는 반면, Al은 상대적으로 에너지가 높고 가려막기가 잘 되는 $3p^1$ 전자를 떼어낸다. 그 결과 Al의 일차 이온화 에너지가 Mg보다 오히려 작다.
- 따라서 이온화 에너지는 $\text{Al}^{3+} > \text{Al} > \text{Mg}$ 순이다.

1-2 예시답안 — 헤스 법칙(본-하버 순환)

구하려는 반응은 목표식 $\text{Ca}^{2+}(g) + \text{O}^{2-}(g) \rightarrow \text{CaO}(s)$ 이며, 이는 CaO의 격자 형성 엔탈피에 해당한다. 주어진 다섯 개의 열화학 반응식을 목표식이 되도록 조합(더하거나 역방향으로 뒤집어)한다.

목표식 = $(\text{Ca}(g) + \text{O}(g) \rightarrow \text{CaO}(s)) - (1\text{차 IE}) - (2\text{차 IE}) - (\text{전자친화 1단계}) - (\text{전자친화 2단계})$

즉, 중간 화학종(Ca(g), Ca⁺(g), O(g), O⁻(g), e⁻)이 모두 소거되도록 각 단계를 역방향으로 취하면:

$$\begin{aligned} \Delta H = & \underbrace{(-610)}_{\text{Ca}(g)+\text{O}(g)\rightarrow\text{CaO}(s)} + \underbrace{(-590)}_{\text{Ca}^{2+}(g)+2e^{-}\rightarrow\text{Ca}(g)\text{의 일부}} + (-1145) \\ & + \underbrace{(-141)}_{\text{O}^{-}(g)\rightarrow\text{O}(g)+e^{-}} + \underbrace{(+844)}_{\text{O}^{2-}(g)\rightarrow\text{O}^{-}(g)+e^{-}} \end{aligned}$$

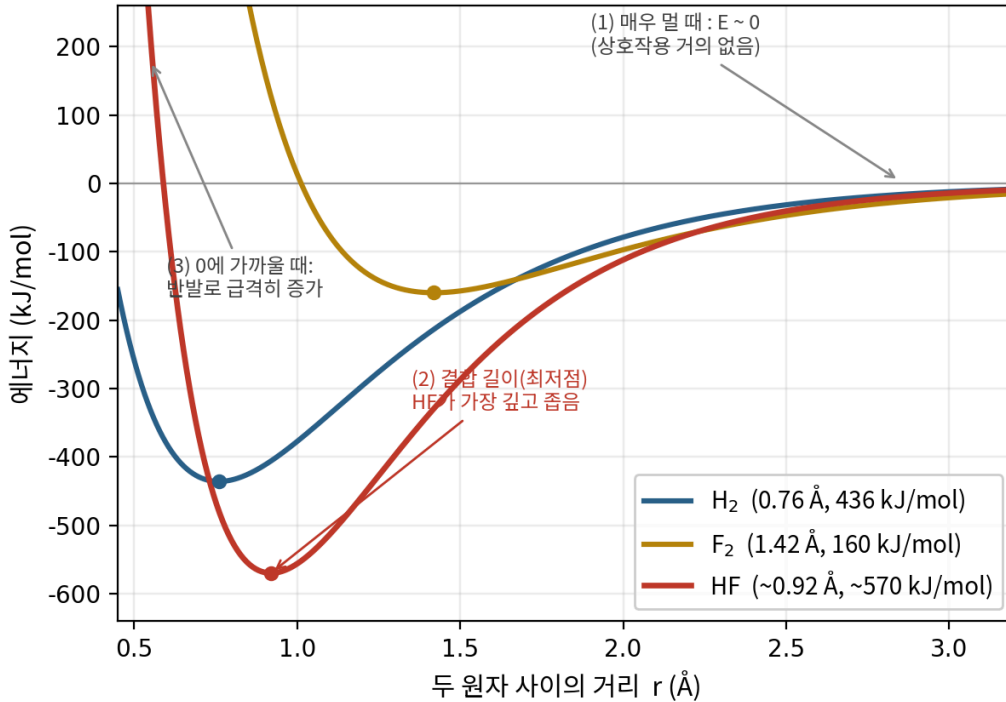
$$\Delta H = -610 - 590 - 1145 - 141 + 844 = -1642 \text{ kJ/mol}$$

격자 형성 엔탈피가 크게 음(발열)인 것은 반대 부호 이온이 결합하여 안정한 이온 결정을 이룰 때 매우 많은 에너지가 방출됨을 뜻한다. (검산: Python으로 화학종 상쇄 후 합산 결과 -1642 kJ/mol 확인.)

1-3 예시답안 — 두 원자 간 위치 에너지 곡선

두 원자가 접근할 때의 에너지 변화는 아래 위치 에너지 곡선으로 나타난다.

- (1) **매우 멀 때**: 두 원자 사이 상호 작용이 거의 없어 에너지가 0에 가깝다(기준선).
- (2) **결합 길이와 같을 때**: 인력과 반발이 균형을 이루어 에너지가 **최저**가 된다. 이 최저점의 깊이가 결합 에너지이다. HF의 결합 에너지는 표준 생성 엔탈피로부터 $D(\text{H-F}) = \frac{1}{2}D(\text{H}_2) + \frac{1}{2}D(\text{F}_2) - \Delta H_f = \frac{1}{2}(436) + \frac{1}{2}(160) - (-272) = 570 \text{ kJ/mol}$ 로, $\text{H}_2(436)$ 와 $\text{F}_2(160)$ 보다 훨씬 크다. 따라서 곡선은 가장 깊고, 최저점 위치(결합 길이)도 두 원자 반지름의 평균보다 짧은 $\sim 0.92 \text{ \AA}$ 부근이다.
- (3) **0에 가까울 때**: 두 원자핵·내부 전자 간 반발이 급격히 커져 에너지가 급상승한다.



예시 작도 — Morse형 위치 에너지 곡선 모형. 최저점 깊이를 각 결합 에너지에, 최저점 위치를 결합 길이에 맞춰 도시. HF의 우물이 가장 깊고 좁음. ($D_{\text{HF}} = 570 \text{ kJ/mol}$ 은 $\Delta H_f = -272$ 로부터 계산)

1-4 예시답안

(1) $I_2 > Br_2 > Cl_2$

세 물질은 모두 무극성 이원자 분자로, 분자 간에는 분산력(London 힘)만 작용한다. 분산력은 분자의 전자 수가 많고 크기가 클수록(분극성이 클수록) 커진다. 원자 번호가 $Cl(17) < Br(35) < I(53)$ 순으로 커지므로 분산력과 끓는점도 $I_2 > Br_2 > Cl_2$ 순이다.

(2) A(시스형) > B(트랜스형)

두 화합물은 1,2-다이클로로에텐의 기하 이성질체이다. 화합물 A(시스형)는 두 C-Cl 결합 쌍극자가 같은 쪽을 향해 서로 상쇄되지 않으므로 분자 전체가 극성을 띤다. 화합물 B(트랜스형)는 두 쌍극자가 반대 방향으로 상쇄되어 분자 전체가 무극성이다. 두 분자의 분자량·분산력은 비슷하지만, A는 추가로 쌍극자-쌍극자 인력이 작용하므로 분자 간 인력이 더 크다. 따라서 끓는점은 $A > B$ 이다.

1-5 예시답안 — 스핀 상태가 4가지인 가상 세계

현실 세계에서는 한 오비탈에 스핀 2가지로 전자가 최대 2개 들어가지만, 가상 세계에서는 스핀이 **4가지**이므로 파울리 배타 원리에 의해 **한 오비탈에 전자가 최대 4개** 들어간다. 이에 따라 각 부껍질의 최대 수용 전자 수도 두 배가 된다: s 4개, p 12개, d 20개 ...

(1) 가상 세계 F(원자 번호 9)의 전자 배치

s 에 4개, p 에 최대 12개까지 들어가므로 9개 전자는

$$\begin{aligned} &1s^4 \\ &2s^4 \\ &2p^1 \end{aligned}$$

로 배치된다. (현실: $1s^2 2s^2 2p^5$)

(2) 가상 세계의 주기율표 구조 (원자 번호 20까지)

한 주기가 채울 수 있는 전자 수가 커진다. 1주기는 $1s$ 만으로 **4개**(원자 번호 1~4), 2주기는 $2s(4) + 2p(12) = 16$ 개(원자 번호 5~20)를 담는다. 따라서 20번까지 단 2개 주기 안에 모두 들어가며, 한 주기(2주기)가 매우 길어진다. 족(세로 열)의 수도 늘어나, 같은 족(같은 최외각 배치)에 놓이는 원소가 현실과 달라진다. 예를 들어 현실의 He(2번)는 $1s$ 가 꽉 찬 18족이지만, 가상 세계에서 $1s$ 가 꽉 차는 것은 4번 원소이므로 2번 원소는 아직 닫힌 껍질이 아니어서 비활성 기체가 아니다.

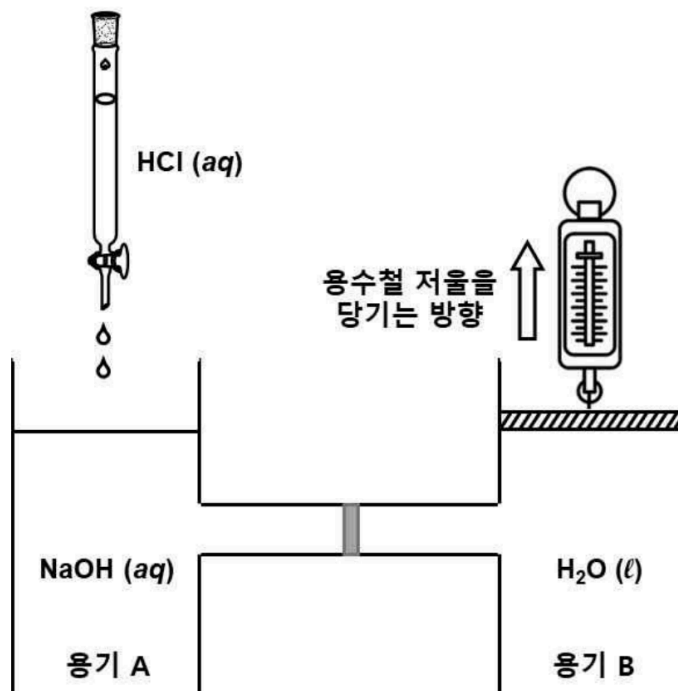
(3) H~Ne 일차 이온화 에너지 경향

현실 세계처럼 같은 주기 내에서 유효 핵전하가 커지며 전반적으로 이온화 에너지가 증가하는 큰 경향은 유지된다. 그러나 부껍질이 꽉 차거나 반만 찬 지점에서 나타나는 **국소적 요철(예외)의 위치가 달라진다**. 가상 세계에서는 $2p$ 가 6개가 아니라 12개까지 들어가므로, 현실에서 B($2p^1$)나 O($2p^4$)에서 보이던 이온화 에너지의 작은 감소 지점이 사라지거나 다른 전자 수에서 나타난다. H~Ne 구간(전자 1~10개)은 가상 세계에서 아직 $2p$ 부껍질을 채워가는 도중이므로, 반만 찬 배치($2p^6$)나 안정 배치를 지나는 위치에서 이온화 에너지 곡선의 굴곡이 현실과 다르게 나타난다.

문제 2. 반투막 삼투압, 중화 반응과 온도, 약산(아세트산) 비교

반투막을 사이에 두고 농도가 서로 다른 두 용액이 존재하면, 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 용매 입자가 이동하는 삼투 현상이 발생한다. 이때, 두 용액의 수면 높이를 동일하게 만들기 위해 농도가 높은 쪽에 가해야 하는 압력을 삼투압이라 한다.

아래 그림과 같이 수산화나트륨 수용액(NaOH(aq))이 담겨 있는 용기 A와 물(H_2O)로 채워진 용기 B가 반투막을 통해 연결된 장치를 생각하자. 이 반투막은 전체 과정에서 물 이외의 물질은 통과시키지 않는다. 용수철 저울을 사용해 용기 A와 용기 B의 수면 높이를 동일하게 만드는 데 필요한 압력, 즉 용기 A의 삼투압(P)을 측정할 수 있다. 용기 A와 B는 모두 온도가 일정하게 유지되는 큰 수조(항온 수조) 안에 설치되어 있다. 용기 A에 담긴 NaOH(aq) 에 염산 수용액(HCl(aq))을 조금씩 넣어준 뒤, 넣어준 HCl(aq) 의 부피를 V 라고 하고, NaOH 의 몰수와 넣어준 HCl 의 몰수가 같아지는 지점까지 넣어준다. HCl(aq) 을 첨가하기 전 용기 A의 삼투압을 P_0 , $V = V_1$ 에서 용기 A의 삼투압을 P_1 이라고 한다. 모든 과정에서 첨가한 HCl(aq) 과 중화 반응으로 생성된 물로 인한 부피 증가는 무시하며, HCl(aq) 과 NaOH(aq) 의 농도는 충분히 묽다.



반투막으로 연결된 용기 A(NaOH(aq))와 용기 B(H_2O). 위쪽 HCl(aq) 뷰렛으로 산을 첨가하고, 용수철 저울을 당겨 양쪽 수면 높이를 맞추어 삼투압 P 를 측정한다.

2-1. $0 < V < V_1$ 구간에서, 넣어준 HCl(aq)의 부피(V)가 증가함에 따라 용기 A의 삼투압(P)이 어떻게 변화할지 설명하시오.

2-2. $V > V_1$ 구간에서 V가 증가함에 따라 용기 A의 삼투압이 어떻게 변화할지 설명하시오.

2-3. 제시된 장치에서 항온 수조를 제거한 후 같은 실험을 수행하였다. 이때, $0 < V < V_1$ 구간에서 V 가 증가함에 따라 용기 A의 삼투압이 어떻게 변화할지 설명하시오.

2-4·2-5. 항온 수조를 제거한 채, 앞에서 사용한 $\text{HCl}(\text{aq})$ 과 같은 농도의 아세트산 수용액($\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$)을 사용하여 수행하였다.

넣어준 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 의 부피를 V 라 하고, NaOH 의 몰수와 넣어준 CH_3COOH 의 몰수가 같아지는 지점까지 넣어준 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 의 부피를 V_2 라 한다. $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 를 첨가하기 전 용기 A의 삼투압을 P_0 , $V = V_2$ 에서 용기 A의 삼투압을 P_2 라고 한다.

2-4.

P_0 와 P_2 의 크기를 비교하시오.

2-5.

$V > V_2$ 구간에서, 넣어준 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 의 부피(V)가 증가함에 따라 용기 A의 삼투압이 어떻게 변화할지 **문제 2-2**에서의 결과와 비교하여 설명하시오.

문제 2 · 예시답안

핵심 원리. 삼투압은 반트호프 식

$$\pi = iMRT$$

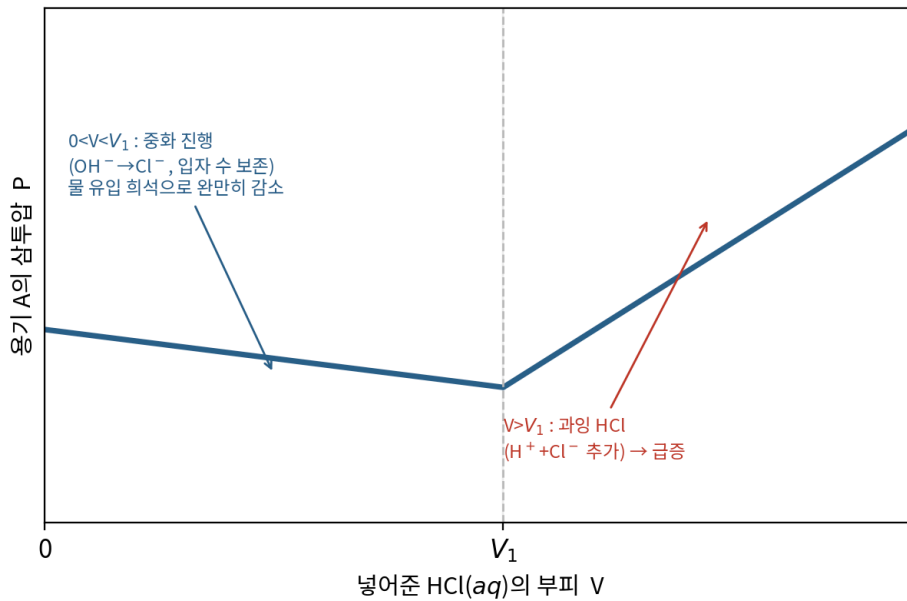
로 주어지며, 용질 입자(이온·분자)의 몰 농도 iM 과 절대 온도 T 에 비례한다. 반투막은 물만 통과시키므로 용기 A의 용질 입자 수·온도가 삼투압을 결정한다. 중화 반응은 $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ 이다.

2-1 예시답안 — 중화 완결 전 ($0 < V < V_1$), 항온 수조 0

이 구간에서는 첨가한 H^+ 가 OH^- 와 반응하여 물이 되고, 그 대신 Cl^- 가 용액에 남는다. 즉 OH^- 이온이 Cl^- 이온으로 1:1 치환될 뿐이고, Na^+ 수는 그대로이므로 용액 속 이온의 총 입자 수는 변하지 않는다. 온도는 항온 수조로 일정하게 유지되므로 iMT 가 모두 일정하다. 따라서 용기 A의 삼투압 P 는 거의 변하지 않고 일정하게 유지된다 ($P_1 \approx P_0$).

2-2 예시답안 — 중화 완결 후 ($V > V_1$)

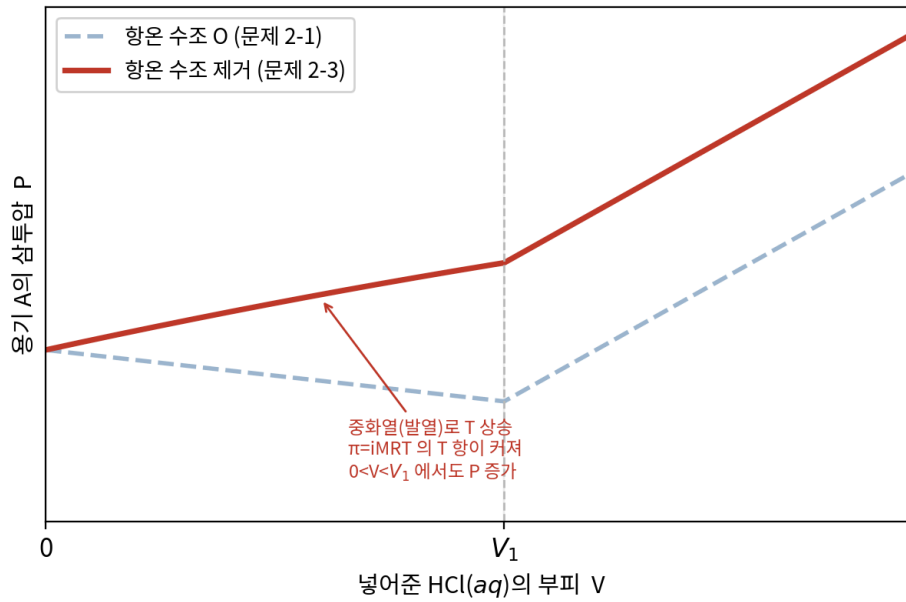
$V = V_1$ 에서 NaOH 가 모두 중화된 뒤에도 계속 HCl 을 넣으면, 반응할 OH^- 가 없으므로 첨가한 H^+ 와 Cl^- 가 그대로 용액에 추가된다. 강산 HCl 은 완전히 이온화하므로 넣어준 부피에 비례하여 용질 이온의 총 입자 수가 늘어난다. 따라서 삼투압 P 는 V 가 증가함에 따라 증가한다.



예시 작도 — 항온 수조 0. $0 < V < V_1$ 에서는 $\text{OH}^- \rightarrow \text{Cl}^-$ 치환으로 입자 수가 보존되어 P 가 거의 일정하고, $V > V_1$ 에서 과잉 H^+ , Cl^- 가 추가되어 P 가 증가. ($\pi = iMRT$, T 일정)

2-3 예시답안 — 항온 수조 제거, $0 < V < V_1$

항온 수조가 없으면 중화 반응에서 발생하는 **중화열(발열)**이 빠져나가지 못하고 용액의 **온도 T가 상승**한다. 입자 수 자체는 2-1과 마찬가지로 보존되지만, $\pi = iMRT$ 에서 온도 항 T 가 커지므로 삼투압 P 는 V 가 증가함에 따라(중화가 진행될수록) **증가**한다. 즉 항온 수조가 있을 때는 일정하던 삼투압이, 항온 수조를 제거하면 발열에 의한 온도 상승 때문에 증가하는 것이 차이점이다.



예시 작도 — 항온 수조 제거(빨강) vs 유지(파랑 점선) 비교. 입자 수 보존 구간에서도 중화열로 T 가 올라 $\pi = iMRT$ 의 T 항이 커져 P 가 증가.

2-4 예시답안 — 아세트산으로 완전 중화한 뒤 (P_0 vs P_2)

아세트산은 **약산**이므로 초기 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 에는 이온화하지 않은 분자가 대부분이다. 완전 중화점($V = V_2$)에서는 NaOH 가 모두 소모되고 용액에는 **아세트산 나트륨(CH_3COONa)**이 생성된다. 이때

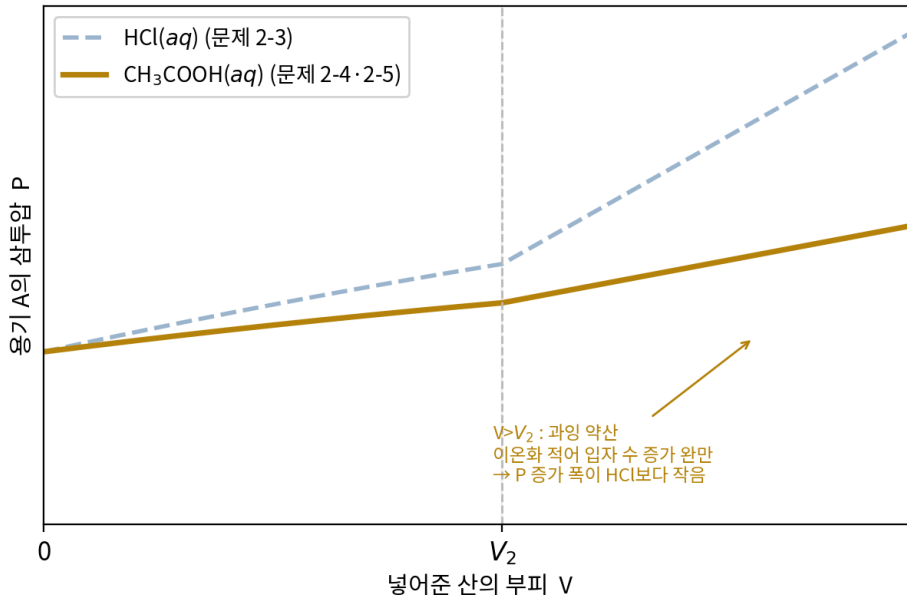
- 강염기 NaOH 에서 유래한 Na^+ 와 중화로 생긴 CH_3COO^- 가 존재하고,
- CH_3COO^- 의 일부가 **가수분해**($\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$)하여 약염기성을 띠지만, 총 용질 입자 수 관점에서 보면 처음 NaOH 만 있을 때($\text{Na}^+ + \text{OH}^-$)와 중화 후($\text{Na}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$)의 이온 수는 대체로 비슷하다.
- 다만 항온 수조가 없어 중화열로 온도가 올라간 상태이므로, $\pi = iMRT$ 에서 T 가 커진 만큼 삼투압이 커진다.

따라서 $P_2 > P_0$ 이다. (온도 상승 효과가 지배적이며, 입자 수 변화는 크지 않다.)

2-5 예시답안 — 과잉 아세트산 구간 ($V > V_2$), 문제 2-2와 비교

중화가 끝난 뒤 계속 넣어주는 것이 **강산 HCl**(문제 2-2)이 아니라 **약산 CH_3COOH** 라는 점이 핵심이다. 강산 HCl은 넣는 족족 완전히 이온화하여 $\text{H}^+ + \text{Cl}^-$ 두 입자를 온전히 더하므로 삼투압이 크게(가파르게) 증가한다. 반면 약산 아세트산은 대부분 분자 상태로 남고 극히 일부만 $\text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$ 로 이온화한다. 분자 1개도 용질 입자로서 삼투압에 기여하지만, 이온화하면 같은 몰의 산이 2입자에 가깝게 늘어나는 강산에 비해 아세트산은 입자 수 증가가 훨씬 작다.

따라서 $V > V_2$ 에서 V 가 증가할 때 용기 A의 삼투압은 **증가하기는 하되, 문제 2-2(강산 HCl)의 경우보다 증가 폭(기울기)이 더 완만하다.**



예시 작도 — 과잉 산 구간 비교. 강산 HCl(파랑 점선)은 완전 이온화로 P 가 가파르게 증가, 약산 CH_3COOH (금색)은 이온화가 적어 입자 수 증가가 완만해 P 증가 기울기가 작음.

재조판 문서 · 원문 출처: 서울대학교 2024학년도 수시모집 일반전형 면접 및 구술고사 문항(화학). 예시답안·답안 그래프는 학습용으로 작성되었으며 서울대학교의 공식 채점 기준이 아닙니다.