

10. 화학 평형

1. 평형 이동(1) : ④

$\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$, $\Delta H^\circ = 92.5 \text{ kJ/mol}$ 반응에서 온도를 올리면 정반응쪽(오른쪽), 염소를 첨가하면 역반응쪽(왼쪽), 압력을 증가시키면 왼쪽으로, 촉매 첨가는 반응에 영향이 없다.

2. 평형 상수 식 : ①

$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Fe}(\text{l}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$ 반응에서 평형 상수 식은 $K_c = \frac{[\text{CO}_2]^3}{[\text{CO}]^3}$ 이다. 순수한 고체나 순수한 액체는 농도가 일정하므로 평형 상수 자체에 포함한 것으로 생각하고 평형 상수 식에는 포함하지 않는다.

3. 평형 상태와 정류 상태 : ③

정류 상태는 중간체의 생성 속도와 소비 속도가 같아 중간체 농도가 거의 변하지 않는 것이다.

4. 평형 농도 계산 : ④

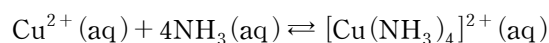
$\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$ 반응에서 반응 농도가 x 라면
 $K_C = 1.60 \times 10^{-3} = \frac{(2x)^2}{(1.4-x)(1.4-x)}$ 이므로 $\frac{2x}{1.4-x} = \frac{4}{100}$ 이다. $[\text{NO}] = 2x$ 이므로 $2x = 0.0550$ 이다.

5. 평형 상수와 온도 : ④

평형 상수는 온도가 변할 때만 변하며, 가열할 때 정반응이 흡열 반응이면 평형 상수가 증가하고, 정반응이 발열 반응이면 평형 상수가 감소한다. 냉각은 반대로 생각하면 된다.

6. 착이온의 평형 농도 : ④

$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{NH}_3(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}(\text{aq})$ 에서 $K_f = 2.0 \times 10^{13}$ 이므로 평형 상태에서 거의 완전히 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 착이온 생성 반응이 일어난다.



처음	0.10	1.0	0
완전 반응(가정)	0	0.60	0.10
변화	$+x$	$+4x$	$-x$
최종(평형 상태)	x	$0.60 + 4x$	$0.10 - x$

착이온 생성(평형) $K_f = 2.0 \times 10^{13} = \frac{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]}{[\text{Cu}^{2+}][\text{NH}_3]^4}$ 에서 $x \ll 0.10$ 이라 가정하여(5 % rule)

계산하며, $[\text{NH}_3] = 1.0 \text{ M}$ 에서 0.40 M 를 빼면 0.60 M 이다.

7. 반응 지수 : ①

반응 지수는 반응 진행 방향을 예측할 수 있는데, $Q > K$ 이면 평형에 이르기 위해 Q 가 감소해야 하며 역반응 속도가 정반응 속도보다 빠르다. $Q < K$ 이면 정반응 속도가 역반응 속도보다 빠르고, $Q = K$ 이면, 우연히 평형 상태이며, 일반적으로 $K < 1/1000$ 인 반응은 반응물이 생성물보다 우세함을 나타낸다.

8. 평형 이동(3) : ③

반응 용기 부피를 증가시키면 압력이 낮아지고 기체 분자 수가 증가하는 방향으로 평형이 이동한다. (a)는 왼쪽, (b)는 오른쪽, (c)는 압력 변화에 영향을 받지 않고 (d)는 오른쪽으로 평형이 이동한다.

9. 반응 속도 : ②

반응 속도 비율이 4:3:2:6임을 이용하면 질소(N_2)의 생성 속도의 H_2O 의 생성 속도는 3배이다. NH_3 가 감소하는 반응은 질소 생성 속도의 절반이다.

10. 평형 상수와 수득률 변화 : ②

압력이 증가할수록 수득률이 증가하므로 $a + b > c + d$ 이고, 온도가 높을수록 대체로 수득률이 증가하므로 정반응이 흡열($Q < 0$) 반응이다. 고온, 고압 조건에서 수득률이 감소(700 K)하는 것은 생성물이 불안정해 분해한다는 것을 의미한다.

11. 반응 지수와 평형 상수 비교 : ②

$$Q = \frac{(1.2 \times 10^{-3})^2}{(4.8 \times 10^{-3})(2.4 \times 10^{-3})} < 160$$
이므로 정반응이 더 빠르게 진행되며, 발열이나, 흡열 반응 여부는 알 수 없다. 정반응이 더 빠르므로 평형에 이를 때까지 생성물의 양은 증가한다.

12. 평형 상수와 열역학적 관계 : ④

평형 상태일 때 $\Delta G = 0$ 이고, $Q = K$ 이다. ΔG_f° 값을 생성물에서 반응물을 빼야 한다. 반응의 ΔG° 에서 ΔH° 와 ΔS° 는 어느 온도 범위에서 일정하다.

13. $\ln K_p$ 와 $\frac{1}{T}$ 관계 : ④

$$\ln K_p = -\frac{\Delta G^\circ}{RT} = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T} \right) + \frac{\Delta S^\circ}{R}$$
에서 $\ln K_p$ 와 $\frac{1}{T}$ 를 도시했을 때 직선 기울기는 $-\frac{\Delta H^\circ}{R}$

이고, y 절편은 $\frac{\Delta S^\circ}{R}$ 이다. 흡열 반응은 온도가 높을수록 평형이 정반응쪽으로 이동하고, 발열 반응은 직선 기울기가 양, 흡열 반응은 직선 기울기가 음이다. 기울기로부터 알 수 있는 정보는 엔탈피 변화이다.

14. 평형 이동(4) : ③

반응식에서 오른쪽으로 평형 이동이 일어나는 것은 정반응(생성물 생성)쪽으로 평형이 이동하는 것을 뜻한다. ㄱ에서 pH가 증가하는 것은 H_3O^+ (산)을 제거하는 것이며 오른쪽으로, 용기 부피 감소는 압력을 가하는 것이므로 기체 분자 수가 감소하는 오른쪽으로 평형이 이동하고, P_{CO} 증가는 평형을 왼쪽으로 이동시킨다.

15. 평형에 이르는 반응 : ②

A는 0.4M에서 0.1M로, B는 0.3M에서 0.2M로 감소하므로 A, B는 반응물이고, C는 0M에서 0.2M으로 증가하므로 반응식은 $3\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$ 이다. 평형 상수가 $K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}]^3[\text{B}]}$ 이

고 평형 농도가 $[\text{A}] = 0.1 \text{ M}$, $[\text{B}] = 0.2 \text{ M}$, $[\text{C}] = 0.2 \text{ M}$ 로 $K = 2 \times 10^2$ 이다. 기체 분자 수가 감소하는 반응이므로 전체 압력은 감소하며, 20분 이후에는 평형에 도달하므로 정반응 속도와

역반응 속도가 같다. $Q = \frac{0.1^2}{0.1^3 \times 0.1} = 100 < K = 200$ 이므로 정반응이 역반응보다 우세하게 일어난다.

16. 평형 상수와 ΔG : ①

반응에 대하여 깁스 자유 에너지 변화는 $\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$ 에서 평형에 이르면 $\Delta G = 0$ 이고 $Q = K$ 이므로 평형 상수를 구할 수 있다. 점 A에서 $\Delta G < 0$ 이고 점 B는 평형에 이르는 점이므로 $\Delta G = 0$ 이고, 점 C는 역반응이 우세하므로 반응물 생성이 유리하다.

17. 비가역 반응 : ④

가역 반응은 정반응과 역반응이 일어나고 비가역 반응은 정반응만 일방적으로 일어난다. 대부분 가역 반응이지만, 정반응이 압도적인 경우 비가역 반응으로 간주한다. 강산과 강염기가 중화하는 경우, 열린계에서 기체가 발생하는 경우, 앙금이 생기는 경우 등을 비가역 반응으로 간주한다.

18. 정류 상태 : ⑤

평형은 정반응 속도와 역반응 속도가 같으며 0이 아닌 것을 의미하고, 정류 상태는 중간체의 생성 속도와 소멸 속도가 같은 경우이다. 반응 계수 비가 평형 상태에서 존재하는 비율은 아니다.

19. 평형 상수 표현 : ③

$2\text{NOCl} \rightleftharpoons 2\text{NO} + \text{Cl}_2$ 반응의 평형 상수는 $K = \frac{[\text{NO}]^2[\text{Cl}_2]}{[\text{NOCl}]^2}$ 이다.

20. K_C 와 K_P : ②

$\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CS}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g})$ 반응에서 농도 평형 상수(K_C)는 $\frac{[\text{CS}_2][\text{H}_2]^4}{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{S}]^2}$ 이고,

K_P 는 $\frac{P_{\text{CS}_2} P_{\text{H}_2}^4}{P_{\text{CH}_4} P_{\text{H}_2\text{S}}^2}$ 이다. $PV = nRT$ 이므로 $K_P = K_C(RT)^2$ 이며, 촉매는 수득률과 무관하다.

21. 평형 상수 표현 : ①

순수한 고체나 액체는 농도가 상수로 평형 상수에 포함시키고, 용매가 평형에 관여하는 경우 용매 농도는 상수로 간주하는데, ⑤에서 H_2O 는 반응물이며 용매가 아니다.

22. 반응 지수(Q)와 반응 방향 : ⑤

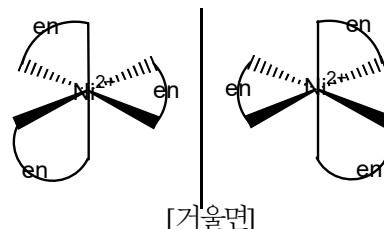
모든 반응은 평형을 향한다. $Q > K$ 이면 Q 가 감소해야 하므로 역반응이 정반응보다 우세하고, $Q = K$ 이면 평형 상태이므로 정반응과 역반응 속도가 같은 상태이고, $Q < K$ 이면 Q 가 증가해야 하므로 생성물이 생기는 정반응이 역반응보다 우세하다.

23. 평형에 대한 촉매 영향 : ③

촉매는 시간을 단축시키거나 증가시킬 수는 있지만, 평형 자체에 영향을 주지는 못한다.

24. 이성질체 : ④

$\text{Ni}(\text{en})_3^{2+}$ 착이온은 팔면체로서 거울상이 서로 다르며, 그림과 같이 광학 이성질체를 형성한다.



25. 촉매와 수득률 : ③

정촉매를 넣으면 촉매가 없을 때에 비해 시간이 단축되지만, 수득률은 같아야 한다.

26. 자유 에너지 변화(ΔG)와 평형 : ②

반응에서 $\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$ 이고 평형에 이르면 $\Delta G = 0$ 이고 $Q = K$ 이다. $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$

이므로 $\ln K = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T} \right) + \frac{\Delta S^\circ}{R}$ 이다. ΔG° 는 (생성물의 ΔG_f°)-(반응물의 ΔG_f°)로 계산한다.

27. 자발적 반응의 한계 온도 : ①

자발적 반응은 $\Delta G^\circ < 0$ 이므로 $\Delta G^\circ > 0$ 에서 $\Delta G^\circ < 0$ 으로 진행하려면 반드시 $\Delta G^\circ = 0$ 을 지나야 하는데, $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ = 0$ 이므로 $T = \frac{\Delta H^\circ}{\Delta S^\circ}$ 이고, 반응이 자발적이지 아니라고 해서 그것이 전혀 일어나지 않는다는 의미는 아니다. 반응의 자발성을 결정하는 요소는 시스템에서 발생하는 엔탈피 변화(ΔH°)와 엔트로피 변화(ΔS°)라는 점을 기억할 필요가 있다.

28. 평형 이동(5) : ④

ㄱ 반응에 압력을 가하면 역반응쪽으로 평형이 이동하고, ㄴ 반응을 가열하면 역반응쪽으로 평형이 이동한다. ㄷ 반응은 압력에 무관하고, ㄹ 반응에서 용기 부피를 늘리면 압력을 떨어뜨리는 것이므로 기체 분자 생성이 증가하는 정반응쪽으로 평형이 이동한다.

29. 평형 상수 : ④

평형 상수(K)와 반응의 자유 에너지 변화(ΔG) 관계는 $\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$ 에서 $\Delta G = 0$ 이고, 반응 지수 Q 는 평형 상수 K 로 대체된다. $\Delta G^\circ + RT \ln K = 0$ 이므로 $\ln K = -\frac{\Delta G^\circ}{RT}$ 이다. $\ln K$ 와 $\frac{1}{T}$ 을 도식하면 선형이고, 발열 반응($\Delta H^\circ < 0$)의 경우는 $\ln K$ 와 $\frac{1}{T}$ 을 도식했을 때, 직선의 기울기는 양이므로 고온일수록 $\ln K$ 는 감소하며, 직선의 기울기에 $-R$ 을 곱하면 엔탈피 변화(ΔH°)를 얻을 수 있다. 일정 온도 범위에서 ΔH° 와 ΔS° 는 온도 영향이 없고, $K = 1$ 이면 $\ln K = 0$ 이므로 $\Delta S^\circ < 0$ 이다.

30. 평형 상수 계산 : ⑤

K_p 는 계산 방법이 몰 농도를 이용한 K_c 와 같고, 기체 상태의 각 성분의 부분 압력을 이용한

다는 차이만 있다. $K_p = \frac{P_{\text{CS}_2} P_{\text{H}_2}}{P_{\text{CH}_4} P_{\text{H}_2\text{S}}^2} = \frac{0.50 \times 0.10^4}{0.20 \times 0.25^2} = 4.0 \times 10^{-3}$ 이다.