

2019학년도 일반논술전형 의예과(화학)

【문제 2】 아래의 제시문을 읽고 다음 질문에 답하십시오.(20점)

(가) 대부분의 주요한 원소들은 네온이나 아르곤처럼 바깥 전자껍질에 8개의 전자를 가지면서 안정해지려고 한다. 이렇게 원소들이 전자를 잃거나 얻어서 비활성 기체와 같이 가장 바깥 전자껍질에 8개의 전자를 가짐으로써 안정해지려는 화학 결합의 원리를 옥텟 규칙이라 한다.

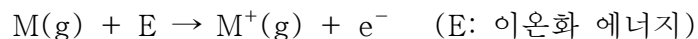
(나) 공유 결합을 형성하는 원자들은 중심 원자와 180°, 120°, 109.5° 등 일정한 각을 이룬다. 이러한 결합각은 전자쌍 사이의 반발로 쉽게 설명할 수 있다. 이 원리는 1940년에 영국 화학자 시지윅(Sidgwick, N. V.)에 의해서 제안된 것으로, 한 분자 내에서 중심 원자를 둘러싸고 있는 전자쌍끼리는 서로의 정전기적 반발력이 작용하여 가능하면 멀리 떨어져 있으려고 한다는 이론이다. 이 이론을 전자쌍 반발 원리라고 한다.

(다) 결합이나 분자의 극성을 나타낼 때에는 쌍극자 모멘트라는 양을 사용한다. 공유 결합 분자 내에서 전기 음성도가 큰 원자는 부분적인 (-)전하(δ^-)를 띠고, 상대적으로 전기 음성도가 작은 원자는 부분적인 (+)전하(δ^+)를 띠는데, 이처럼 일정한 거리에 떨어져 부분적인 전하를 띠는 것을 쌍극자라고 한다. 일반적으로 극성 분자에서 극성의 크기는 쌍극자 모멘트(μ)로 나타내며, 이는 두 원자가 가진 전하량(q)과 두 전하 사이의 거리(r)를 곱한 벡터량을 의미한다. 극성 분자들이 서로 끄는 힘을 쌍극자-쌍극자 힘이라고 한다.

(라) 무거운 원자핵과 가벼운 전자가 움직이는 속도가 서로 다르기 때문에 순간적으로 전자가 분자의 한쪽으로 치우침이 일어나서 일시적인 쌍극자가 만들어질 수 있다. 쌍극자가 만들어지는 현상을 편극이라 하는데 일시적인 편극에 의해 만들어진 쌍극자는 가까이에 있는 다른 분자에 영향을 주어 약한 유도 쌍극자를 만들어 낼 수 있다. 이러한 경우에 분자 사이에 작용하는 힘을 분산력이라고 한다.

(마) N, O, F처럼 원자의 크기가 작지만 전기 음성도가 큰 원소들이 수소와 공유 결합하면서 분자 내에 (-)부분 전하(δ^-)와 (+)부분 전하(δ^+)가 생겨 이들 분자 사이에 생기는 강한 분자 간 인력을 수소결합이라 한다.

(바) 원자 내의 전자들은 핵에 의해 끌어 당겨지고 있으므로, 중성 원자에서 전자를 떼어 내려면 외부에서 에너지를 가해 주어야 한다. 기체 상태의 원자 1몰로부터 전자 1몰을 떼어 내는데 필요한 에너지를 이온화 에너지라고 하며, 기체 상태의 중성 원자(M)에 대한 이온화 에너지는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



다음 표는 어떤 원소 M의 순차적인 이온화 에너지를 나타낸 것이다. (여기서 M은 임의의 원소 기호이다.)

	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
순차적 이온화 에너지 (kJ/mol)	580	1815	2740	11600

[문제 2] 아래 제시문을 읽고 문제에 답하시오.(20점)

(가) 반응 물질과 생성 물질의 농도가 변하지 않고 일정하게 유지되는 상태를 화학 평형 상태라고 한다. 화학 평형에서는 반응 물질이 생성 물질로 변화하는 정반응의 속도와 생성 물질이 반응 물질로 변화하는 역반응의 속도가 같은데 이러한 상태를 동적 평형이라 한다. 1884년 프랑스의 르샤트리에(Le Chatelier, H. L.)가 발표한 르샤트리에 원리에 따르면, 외부 변화에 의해서 계의 평형이 깨지면 그 변화를 감소시키는 방향으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다.

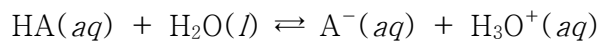
(나) 산과 염기를 반응시키면 산의 음이온과 염기의 양이온이 만나 염을 생성하고, H^+ 과 OH^- 이 만나 물을 만드는데 이 반응을 중화 반응이라고 한다. 중화 반응을 완결시키려면 산과 염기의 농도가 같아야 하는 것이 아니라 H^+ 과 OH^- 의 몰수가 같아야 한다. 산 한 분자가 내놓는 H^+ 의 개수를 n , 염기 한 분자가 내놓는 OH^- 의 개수를 n' 이라고 하면, 몰 농도가 M 인 산 V mL와 완전히 중화 반응을 하는 농도 M' 인 염기 V' mL 사이에는 다음과 같은 관계식이 항상 성립된다.

$$nMV = n' M' V'$$

이 관계식을 이용하여 실제 실험으로 농도를 모르는 산이나 염기의 농도를 결정하는 방법을 중화 적정이라 한다. 중화 적정에 사용된 산이나 염기의 부피에 따라 용액의 pH 변화를 나타낸 것을 중화적정 곡선이라 한다.

(다) 수용액 중에 산이나 염기를 가해도 pH가 크게 변하지 않는 성질을 보이는 용액을 완충 용액이라 한다.

(라) H^+ 를 주고받아 산과 염기로 되는 한 쌍의 물질을 짝산-짝염기라고 한다. 약산은 수용액에서 일부만 이온화되고 짝염기와 평형을 이룬다. 이 때 K_a 를 HA의 이온화 상수라고 한다.



$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$$

(마) 물에 녹였을 때 이온이 되는 물질을 전해질이라 하고, 그렇지 않은 물질을 비전해질이라 한다. 전해질을 물에 녹였을 때, 이온화되는 전해질의 몰수의 비율을 이온화도라고 한다. 이온화도가 큰 물질을 강전해질, 이온화도가 작은 물질을 약전해질이라고 부른다.

$$\text{이온화도}(a) = \frac{\text{이온화된 전해질의 몰수}}{\text{용해된 전해질의 전체 몰수}}$$

(바) 약산이나 약염기 수용액에 공통이온이 존재하게 되면 그 산이나 염기의 이온화도는 감소하게 되는데, 이를 공통 이온 효과라고 한다.

(사) 몰농도는 용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 몰수로, 단위는 M 또는 mol/L를 사용한다.

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

(문제 2-1) 0.1 M HCl 수용액 10 mL를 0.1 M NH₃ ($K_b = 1.8 \times 10^{-5}$) 수용액으로 적정할 때의 중화 적정 곡선을 중화점 및 완충 용액으로 작용할 수 있는 영역을 포함하여 제시하고, 완충 용액으로 작용할 수 있는 영역에서 산 및 염기에 대한 완충 효과를 나타내는 이유를 설명하시오.

(문제 2-2) 60 mg의 약한 산 HA가 녹아 있는 수용액 100 mL와 0.05 M HCl 수용액을 사용하여 제시문 (바)를 증명하시오. (여기서 HA의 화학식량은 60, $K_a = 4.0 \times 10^{-6}$ 이고 HCl의 이온화도는 1로 가정한다.)

[문항해설]

(문제 2-1) 산-염기 중화 반응에서의 양적 관계 및 공통 이온 효과에 의해 만들어진 용액의 특성에 대한 이해도를 평가한다.

(문제 2-2) 공통 이온 효과에 의해 만들어진 용액의 이온화도에 대한 이해도를 평가한다.

[예시답안]

(문제 2-1)

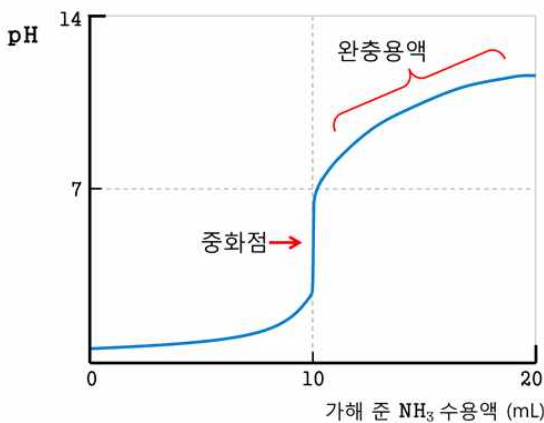
중화 적정 곡선 제시:

x축: 가해진 NH₃수용액 (mL)

y축: pH 혹은 [OH⁻]

중화점과 완충 용액 영역 표시

중화 적정 곡선 예시:



NH₃와 NH₄Cl이 같이 녹아 있는 용액에서는 약염기인 NH₃와 그 짝산인 NH₄⁺이 평형을 이루며 존재한다. 이 용액에 산(H⁺)을 가하면 NH₃와 반응해서 NH₄⁺을, 염기(OH⁻)를 가하면 NH₄⁺와 반응하여 NH₃를 만든다. 어느 경우에도 르샤틀리에 원리에 따라 가해진 산이나 염기의 작용이 억제되어 용액의 pH는 유지된다.

(문제 2-2)

HA만 존재할 때의 이온화도:

	HA	↔	H ⁺	+	A ⁻
초기 상태	0.01		0		0
변화량	-x		+x		+x
평형상태	0.01-x		x		x

$$K_a = \frac{x^2}{0.01-x} = \frac{x^2}{0.01} = 4.0 \times 10^{-6}, \quad x = 2 \times 10^{-4}$$

$$\text{이온화도}(\alpha) = \frac{2 \times 10^{-4}}{0.01} = 2 \times 10^{-2}$$

0.05 M HCl 수용액 100 mL를 사용한 경우:

(0.05 M HCl 수용액의 부피는 임의로 취할 수 있으며, 각 경우에 있어서 HA와 HCl의 농도 변화를 고려하여 평형농도를 계산할 수 있음)

용액의 부피는 2배로 증가하며, HA와 0.05 M HCl 수용액의 농도는 2배로 묶어짐.

	HA	↔	H ⁺	+	A ⁻
초기 상태	0.005		0.025		0
변화량	-x		+x		+x
평형상태	0.005-x		0.025+x		x

$$K_a = \frac{(0.025+x)x}{0.005-x} = \frac{0.025x}{0.005} = 4.0 \times 10^{-6}, \quad x = 8 \times 10^{-7}$$

$$\text{이온화도}(\alpha) = \frac{8 \times 10^{-7}}{0.005} = 1.6 \times 10^{-4}$$