

※다음 제시문을 읽고 아래 질문에 답하시오.

[가] 산화-환원 반응은 우리의 주변에서 쉽게 관찰할 수 있는 화학 반응 중의 하나다. 이산화탄소와 물을 포도당으로 변화시키는 식물의 광합성 반응과 포도당으로부터 에너지를 얻는 호흡 과정은 매우 중요한 산화-환원 반응의 예다. 휴대전화 등에서 사용하는 배터리는 화학 전지로 자발적인 산화-환원 반응을 통해 전기 에너지를 얻는 장치다. 반면에 전기 분해는 전기 에너지를 이용하여 비자발적인 산화-환원 반응을 일으킨다.

[나] 표준 전극 전위는 이온 농도가 1 M, 기체는 1 기압, 25 °C에서 측정된 반쪽 전지의 전위를 나타낸다. 표준 전극 전위는 환원 반쪽 반응을 기준으로 통일하여 나타내며 이를 표준 환원 전위 (E°)라고 한다. 아래 표는 몇 가지 반쪽 반응의 표준 환원 전위를 나타낸 것이다.

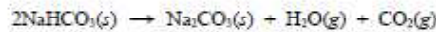
환원 반쪽 반응	표준 환원 전위 (E° , V)	환원 반쪽 반응	표준 환원 전위(E° , V)
$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(aq)$	+2.87	$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	+0.34
$Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-(aq)$	+1.36	$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$	0
$Br_2(l) + 2e^- \rightarrow 2Br^-(aq)$	+1.07	$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$	-0.83
$I_2(s) + 2e^- \rightarrow 2I^-(aq)$	+0.54	$Na^+(aq) + e^- \rightarrow Na(s)$	-2.72

[다] 자유 에너지는 물리 화학적 과정의 자발성에 대한 일반적인 기준이다. 자유 에너지의 변화(ΔG) 값이 음수이면 그 과정은 자발적이며, ΔG 값이 양수이면 그 과정은 비자발적이다. ΔG 값이 0이면 그 과정은 평형 상태다. 이러한 자발성의 기준은 산화-환원 반응에도 적용된다. 산화-환원 반응에 기초한 화학 전지에서는 반응물과 생성물의 자유 에너지 차이에 해당하는 전위차가 발생한다. 표준 상태에서 표준 자유 에너지 변화(ΔG°)와 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)의 관계는 다음과 같다.

$$\Delta G^\circ = -nFE^\circ_{\text{전지}} \quad (n: \text{전자의 몰수}, F: \text{패러데이 상수}, 96,500 \text{ C/몰})$$

[라] 17족 할로젠 원소 (F , Cl , Br , I)들은 이원자 분자의 할로젠 물질로 존재할 수 있으며 다양한 색을 나타낸다. 할로젠 분자들은 산화력이 강하며, 이 중 아이오딘 분자 (I_2)는 상온에서 결정성 고체로 존재하고 소량으로도 많은 양의 물을 소독할 수 있어서 휴대용 응급수 소독제로 사용되기도 한다. I_2 결정의 녹는점은 100 °C 이상이며 상온에서 공기 중에 노출될 때 기체 상태로 승화한다.

[마] 제빵가루의 원료인 탄산수소나트륨 ($NaHCO_3$)은 아래의 반응에 의해 분해되어 밀가루 반죽을 부풀게 할 수 있다.



탄산수소나트륨은 위산과다로 인한 속쓰림을 완화해 주는 제산제의 원료로도 사용될 수 있다. 위장 속의 염산 (HCl)과 탄산수소나트륨이 중화 반응을 일으켜 염을 생성하고 이산화탄소 (CO_2)를 발생시킨다.

[바] 일산화탄소와 수증기로부터 수소 기체를 생산하는 반응은 오래전부터 알려졌으며, 천연가스로부터 수소 기체를 생산하는 과정에서 중요한 반응으로 관심을 받고 있다. 공업적인 생산 과정에서는 현재까지 개발된 촉매를 사용할 경우 200 °C 이상에서 반응을 진행해야 하는 것으로 알려져 있다.



[사] 25 °C, 1 기압에서 몇 가지 화합물들의 생성열(ΔH , kJ/몰)은 다음과 같다.

$$NaHCO_3(s) = -951, Na_2CO_3(s) = -1131, H_2O(g) = -242, CO_2(g) = -394, CO(g) = -111$$

- 제시문 [가], [나], [다]에 기초하여 제시문 [라]의 할로젠 분자들 (F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2)이 가지고 있는 산화력의 상대적 세기를 예측하고, 그 이유를 원소의 주기적 성질 측면에서 설명하시오. 또한 I_2 분자가 결정성 고체를 형성하는 이유를 분자 사이에 작용하는 힘과 관련지어 설명하시오. [8점]
- 제시문 [라]의 염소 기체 (Cl_2)는 탄소 전극을 활용하여 염화나트륨 ($NaCl$) 수용액을 전기 분해하면 얻을 수 있다. 이때 산화 전극(+극)과 환원 전극(-극)에서 일어나는 각각의 반응을 제시문 [가], [나], [다]에 기초하여 예측하고 이유를 설명하시오. 또한 염화나트륨과 염화구리 ($CuCl_2$)가 함께 녹아 있는 혼합물 수용액에서 동일한 조건으로 전기 분해를 수행할 때 각 전극에서 일어나는 반응을 예측하고 이유를 설명하시오. [8점]
- 제시문 [마]의 탄산수소나트륨 분해 반응의 온도에 따른 자발성을 엔탈피 변화 (ΔH), 엔트로피 변화 (ΔS) 및 자유 에너지 변화 (ΔG)와 연관지어 설명하시오. (단, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 이며, ΔH 와 ΔS 는 온도 변화에 관계없이 일정하다고 가정하라.) [8점]
- 제시문 [마]와 같이 탄산수소나트륨과 묽은 염산 용액의 반응으로 기체를 발생시키는 실험을 하려 한다. 이때 안전한 실험을 위해 주의해야 할 여러 가지 사항들을 제시하시오. [8점]
- 제시문 [바]의 반응에서 반응물과 생성물이 평형을 이루고 있을 때 압력과 온도의 변화에 따른 수소 기체의 몰수 변화를 예측하시오. 또한 공업적인 생산 과정에서 200 °C 이상의 고온에서 반응을 진행해야 하는 이유를 원리적으로 설명하시오. [8점]

