

# 논술 (자연 A)

※주의사항 : 문제 1은 필수로 풀고 문제 2, 3, 4 중 한 문제를 선택해서 답안을 작성하시오.

## 문제 1: 수학 (필수)

(가)

그림 1에서와 같이 부등식  $y \leq |x|$ 의 영역에서 원  $x^2 + y^2 = 1$ 과 내접하고  $y = |x|$ 와 한 점에서 만나는 원의 중심을  $D$ 라 하자.

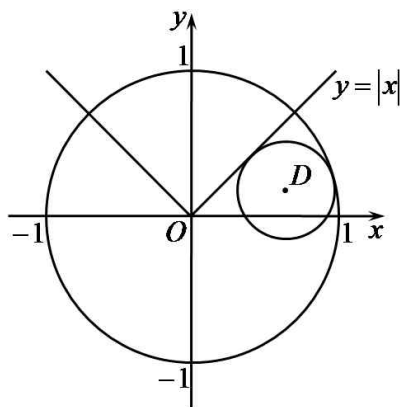


그림 1.

(나)

그림 2에서와 같이 점  $A(t, t^2)$ 가 곡선  $y = x^2$  위를 움직일 때 점  $A$ 에서 이 곡선과 접하고  $x$ 축과 점  $B$ 에서 접하는 원의 중심을  $C(x, y)$ 라 하고 중심  $C$ 의 자취를 매개변수로 나타내면  $x = f(t)$ ,  $y = g(t)$ 가 된다고 하자.

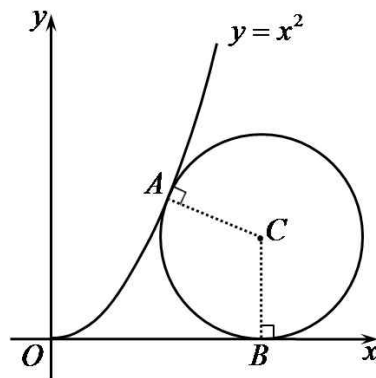


그림 2.

(다)

좌표평면 위의 원점  $O$ 와 세 점  $A_1(1, 0)$ ,  $A_2, A_3$ 이 다음 조건을 만족한다.

- (㉠) 점  $A_2$ 는 2사분면에 있고 점  $A_3$ 은 3사분면에 있다.
- (㉡)  $\angle A_1OA_2 = \alpha$ ,  $\angle A_2OA_3 = \beta$ ,  $\angle A_3OA_1 = \alpha$ 이다.
- (㉢)  $|\overrightarrow{OA_2}| = |\overrightarrow{OA_3}| = \frac{1}{\sqrt{3}}$

좌표평면에서 부등식  $y \geq 0$ 의 영역을 원점을 중심으로  $\theta$ 만큼 회전이동시켜서 얻어진 영역을  $H_\theta$ 라 하고 위치벡터  $\overrightarrow{OA_1}$ ,  $\overrightarrow{OA_2}$ ,  $\overrightarrow{OA_3}$  중에서  $H_\theta$ 에 포함되는 벡터들의 합의 크기를  $L(\theta)$ 라 하자.

- 
- (a) 제시문 (가)에서 점  $D$ 의 좌표를  $(x, y)$ 라 할 때  $(x, y)$ 가 만족시키는 방정식을 구하시오.
- (b) 제시문 (나)의 매개변수에 의해서 나타내어지는 함수  $x=f(t)$ ,  $y=g(t)$ 를 구하시오. (단,  $t > 0$ )
- (c) 문제 (b)에서의 두 함수  $x=f(t)$ ,  $y=g(t)$ 가  $t=0$ 에서 연속이기 위한 함수값  $f(0)$ 과  $g(0)$ 을 각각 구하고 이때 적분값  $\int_0^1 f(t) dt$ 을 구하시오.
- (d) 제시문 (다)의 함수  $L(\theta)$ 를 구하시오. (단,  $0 < \theta \leq 2\pi$ )
- (e) 제시문 (다)의 함수  $L(\theta)$ 의 최댓값을 가장 작게 만드는 모든  $\alpha, \beta$ 에 대하여 점  $(\cos \alpha, \cos \beta)$ 를 좌표평면 위에 나타내시오.

**문제 2: 물리 (선택)**

(가)

물체가 충돌할 경우 일반적으로 비탄성충돌로 인해 에너지를 잃어버린다. 그림 1에서 질량이  $m$ 인 물체  $A$ 가 수평방향으로 초기 속도  $v_0$ 로 오른쪽으로 움직이다가 정지하고 있는 질량이  $2m$ 인 물체  $B$ 와 탄성충돌을 한다. 물체  $B$ 는 탄성충돌을 한 후 중력에 의해 아래쪽으로 힘을 받아 두 벽을 번갈아 부딪치며 아래쪽으로 움직이고 벽과 차례로  $P_1, P_2, P_3, \dots$  지점들에서 충돌을 한다. 벽과 충돌할 때마다 물체  $B$ 의 수평방향의 속력은  $\alpha$ 배가 되고( $0 < \alpha \leq 1$ ) 충돌로 인한 수직방향의 속도 변화는 없다고 하자. 중력가속도는  $g$ , 두 벽간의 거리는  $\ell$ 이고, 물체의 크기와 공기저항 및 마찰은 무시한다.

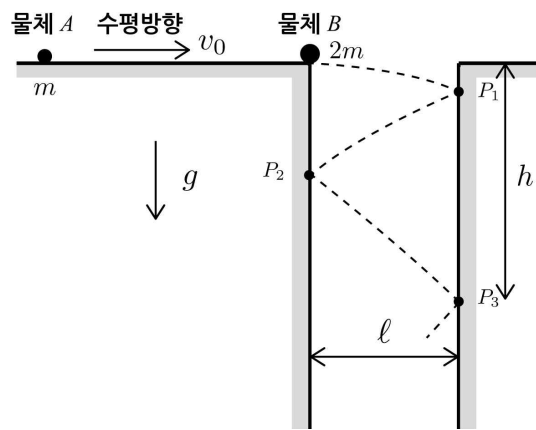


그림 1.

(나)

도체 내부의 자유전자는 열에너지에 의해 매우 빠르게 움직이지만 원자와 반복적으로 충돌하면서 운동 에너지의 일부를 잃게 되고 무질서한 충돌로 인해 전체적인 전류는 0이 된다. 외부에서 전압을 걸어주면 자유전자는 힘을 받아 한쪽 방향으로 가속되지만 무질서한 충돌이 병행되면서 자유전자의 평균 속도의 크기는 매우 작아져 1 mm를 이동하는데 수 초나 걸린다.

◎ 제시문 (가), (나)를 읽고 아래 물음에 답하시오.

- (a) 물체 A와 충돌 직후 물체 B의 속력  $v_1$ 을 구하시오. 물체 B가 충돌 후 지점  $P_1$ 에 부딪힐 때까지 걸린 시간  $t_1$ 을 구하시오.
- (b) 물체 B와 오른쪽 벽의 두 번째 충돌은 깊이  $h$ 인 지점  $P_3$ 에서 일어났다. 오른쪽 벽에 처음 두 번의 충돌로 전달되는 총 운동량은 어떻게 되는가? 또한 초기 속력  $v_0$ 을  $h$  및  $\ell$ 로 나타내시오.
- (c) 충돌 횟수가 증가함에 따라 물체 B의 속력은 어떻게 변하는지 정량적으로 논술하시오.
- (d) 제시문 (나)에서 전류가 흐르는 도체 내부의 자유전자 이동과 제시문 (가)에 기술된 물체 B의 운동에는 유사점과 차이점이 있다. 이에 대하여 논술하시오.
- (e) 자유전자의 평균 속도의 크기가 매우 작음에도 불구하고 스위치를 올리면 전등이 즉시 켜지는 이유는 무엇인가?

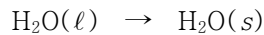
### 문제 3: 화학 (선택)

(가)

화학자들은  $A + B \rightarrow C + D$  와 같은 화학 반응식으로 묘사할 수 있는 화합물의 변환 및 이들 간의 평형에 관심을 가진다. 어떤 화학반응이 자발적인지 아닌지는 자유에너지의 변화  $\Delta G$ 에 의해 결정되므로, 화학자가 새로운 반응을 고안할 때  $\Delta G$ 의 크기와 부호를 미리 아는 것이 중요하다. 예를 들어, 니켈(Ni) 금속은  $50^\circ\text{C}$ 에서는 일산화탄소(CO)와 반응하여 자발적으로  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ 를 형성하는데,  $126.8^\circ\text{C}$ (절대 온도 400 K)에서 반응의  $\Delta G$ 가 0이 되므로 이  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ 의 형성 반응은  $126.8^\circ\text{C}$  미만에서만 진행시켜야 한다.

(나)

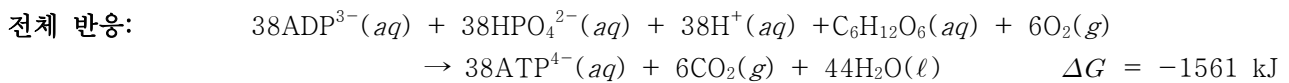
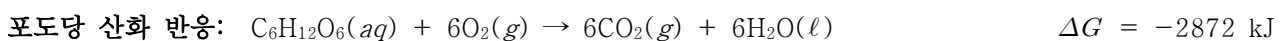
물질의 상태 변화는 자유에너지의 변화  $\Delta G$ , 엔탈피의 변화  $\Delta H$ , 엔트로피의 변화  $\Delta S$ , 평형상수  $K$  값들의 크기와 부호를 고려하면 쉽게 이해되는 경우가 많다. 예를 들어, 1기압에서 액체 상태인 물은  $0^\circ\text{C}$  이하로 온도를 낮추면 아래 반응식에 따라 고체 상태인 얼음이 된다.



이 반응의  $\Delta H$ 와  $\Delta S$ 는 모두 음수이고, 온도가 낮아짐에 따라 음의  $\Delta G$ 는 그 절대값이 점점 더 커지게 된다.

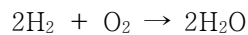
(다)

자유에너지의 변화  $\Delta G$ 가 양인 반응의 경우에도 음의  $\Delta G$ 를 지니는 다른 반응과 짝을 지음으로써 원하는 반응이 일어나게 유도할 수 있다. 예를 들면, 생체의 에너지 저장 분자인 ATP가 ADP로부터 생성되는 반응의  $\Delta G$ 의 부호는 양이므로 자발적으로 일어나지 않는다. 그러나 이 반응을 자발적인 생체 내 포도당의 산화 반응과 짝을 지으면 포도당 한 분자의 산화를 이용하여 38개의 ATP 분자를 생성할 수 있다.



(라)

상온에서 수소분자는 산소분자와 자발적으로 반응하여 물 분자를 만든다.



이 반응의 역반응인 물 분해 반응은 당연히 상온에서 비자발적이다. 현재 수많은 화학자들이 태양광에너지를 이용하여 물을 분해하고 수소를 얻는 새로운 기술을 개발하고 있다. 이 새로운 기술은 식물이 태양광에너지를 이용하여 이산화탄소와 물로부터 포도당을 합성하는 광합성을 모방한 것이다.

◎ 제시문 (가), (나)를 읽고 논술하시오.

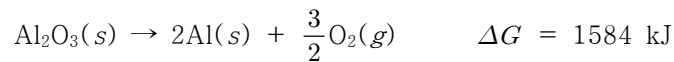
(a) 제시문 (나)에서 언급된 반응의  $\Delta H$ 와  $\Delta S$ 가 모두 음수인 이유를 설명하시오.

(b) 제시문 (나)에서 언급된 반응의 경우 온도가 낮아짐에 따라  $\Delta G$ 의 절대값이 더 커지는 이유를  $\Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  간의 관계를 이용하여 논술하시오. 이 반응의  $\Delta H$ 와  $\Delta S$ 는 온도의 변화에 영향을 받지 않는다고 가정하시오.

(c) 제시문 (가)에서 언급된 반응  $\text{Ni}(s) + 4\text{CO}(g) \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{CO})_4(g)$  에서  $\Delta H$ 의 절대값이 160 kJ로 측정되었다. 이 반응의  $\Delta H$ 와  $\Delta S$ 는 온도의 변화에 영향을 받지 않는다고 가정하고, 226.8°C(절대 온도 500 K)에서의  $\Delta G$ 의 값을 구하시오( $\Delta H$ 의 부호에 유의하시오).

◎ 제시문 (가), (다), (라)를 읽고 논술하시오.

(d) 알루미늄(Al)은 상온에서 산소와 반응하여 순식간에 산화알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )을 형성한다. 그 역반응은 양의  $\Delta G$  값을 가지므로 자발적이지 않다.



제시문 (다)의 예와 같이 위의 알루미늄(Al) 산화 반응과 아래의 반응을 짝을 지어, 산화알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )과 탄소(C)를 반응시켜 금속 알루미늄(Al)을 생성하는 것이 가능한지 논술하시오.



(e) 제시문 (라)에서 태양광에너지는 물 분해 반응이 상온에서 자발적으로 일어나게 하는데 중요한 역할을 한다. 태양광에너지의 유무가 물 분해 반응에 끼치는 영향을 열역학적 관점에서( $\Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  간의 관계를 이용하여) 간단히 논술하시오.

**문제 4: 생명과학 (선택)**

(가)

K군과 U양은 생태계 조사를 위해 각각 숲과 바다로 떠났다. K군은 조사지에서 식물 군집이 지표면으로부터 몇 개의 수직적인 층으로 구성되어 있는 것을 발견했다(그림 1). 맨 위의 교목층에는 100%에 가까운 태양 빛이 도달했으나 가장 아래의 초본층에는 거의 빛이 도달하지 않았다. 따라서 K군은 가장 아래 층에는 음지식물이 우점종일 것이라고 판단했다. 한편 U양이 해양 생태계를 조사해보니 해조류가 수심에 따라서 수직적인 분포를 하고 있는 것을 발견했다. 해수면에 가장 가까운 곳에서부터 깊은 곳의 순서대로 녹조류, 갈조류, 홍조류가 주로 분포하고 있었다(그림 2).

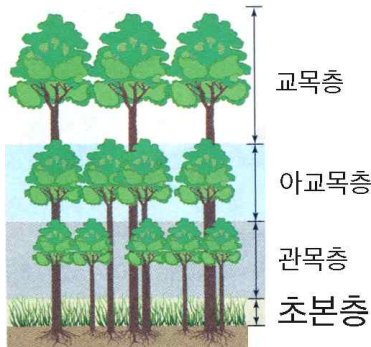


그림 1. 식물 군집의 층상구조 (EBS 교재에서 인용)

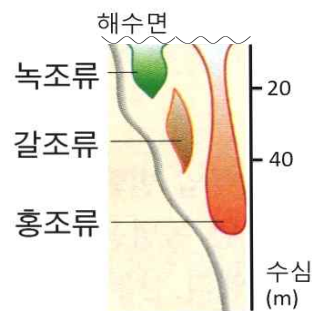


그림 2. 수심에 따른 해조류의 분포 (EBS 교재에서 인용)

(나)

생태계를 구성하는 환경 요인은 생물적 요인과 비생물적 요인으로 나눌 수 있다. 생물적 요인이란 생태계 내에 존재하는 동물, 식물, 미생물 등의 생물이며, 이들의 영양 단계에 따라서 생산자부터 3차 소비자까지 나눌 수 있다. 각 단계에 속하는 생물의 개체 수, 생체량, 에너지량을 하위 영양단계에서부터 상위 영양단계의 순서대로 쌓아 올린 것을 생태 피라미드라고 한다. 이 생태 피라미드의 모양은 환경에 따라 다양하게 나타난다.

(다)

식물 세포의 세포 소기관인 엽록체는 태양의 빛 에너지를 화학 에너지로 전환하는 과정(광합성)을 담당한다. 광합성은 빛이 있을 때 일어나는 과정(명반응)과 빛이 없을 때 일어나는 과정(암반응)으로 나눌 수 있다. 명반응에서는 물이 광분해되어 산소가 발생되고, 빛을 받은 색소로부터 고에너지 전자가 방출된다. 암반응에서는 명반응에서 만들어진 산물을 이용하여 탄소를 고정한다. 엽록체는 생태계에 공급되는 빛 에너지를 유기물로 바꾸어 생태계를 유지하는 역할을 한다.

(라)

사람을 둘러싼 환경 요인은 지속적으로 변한다. 그래서 사람은 몸의 외부 혹은 내부의 변화에 대해 내부 환경을 일정하게 유지하려는 성질(항상성)을 갖는다. 항상성의 조절은 신경계와 호르몬의 작용에 의해 일어난다. 신경계는 일정한 방향으로 자극을 전달하는 특성을 갖고 있다. 호르몬은 특정한 조절 중추에서 만들어지고 표적 기관에 작용한다. 신경계는 비교적 신속하게 근육과 내분비샘에 신호를 전달하지만, 호르몬은 이보다 느리게 표적기관에 신호를 전달한다.

**(마)**

수정란으로부터 개체가 발생하는 과정에서 구조와 기능이 특수화된 세포들이 만들어지는 과정을 분화라고 한다. 사람의 경우 난자와 정자가 만나서 형성된 수정란은 세포 분열을 거듭하면서 단순히 세포 개수만 늘어나는 것이 아니라 특수한 기능을 수행하는 다양한 세포와 기관이 형성된다.

- (a) 제시문 (가)의 K군이 발견한 식물 군집에서 음지 식물은 양지식물에 비해 약한 빛에서도 효율적인 광합성을 한다. 이를 위해 어떤 차별화된 전략을 사용할 것인지 설명하시오(단, 양엽, 음엽의 구조적 차이는 제외하시오). 또한 U양이 발견한 생태계에서 수심에 따라 해조류 우점종이 달라지는 이유가 무엇인지 설명하시오.
- (b) 제시문 (가)와 (나)를 참조하여 U양이 연구한 해양 생태계의 생태 피라미드 모양은 삼림 생태계의 생태 피라미드 모양과 비교했을 때 생체량( $g/m^2$ )에서 어떤 차이점이 있는지 설명하시오.
- (c) 제시문 (다)에 설명되어 있는 광합성의 두 반응은 서로 밀접하게 연결되어 있다. 암반응이 이용하는 산물은 명반응내의 '비순환적 전자 흐름'과 '순환적 전자 흐름'을 거치면서 만들어진다. '비순환적 전자 흐름'에서 만들어지는 산물 중 암반응이 이용하는 산물에 대해서 설명하시오. 또한 '순환적 전자 흐름'에서 방출된 전자는 어떤 경로를 거쳐서 순환되는지 그림을 그려 간단히 설명하시오.
- (d) 사람의 체온이 일정하게 유지되는 현상은 제시문 (라)에서 언급한 항상성 유지의 사례이다. 추울 때 체온을 올리기 위한 우리 몸의 호르몬 조절기작 가운데 갑상샘이 관여하는 경로에 대해서 설명하시오.
- (e) 제시문 (마)에서 언급한 분화의 과정에서 분화가 정상적으로 이뤄지기 위해서는 유전자 발현이 선택적으로 일어나야 하며 정교하게 조절되어야 한다. 유전자의 선택적 발현에 의해서 분화가 조절되는 기작을 근육 세포의 분화 또는 초파리 눈의 기관형성을 예로 들어 설명하시오.
- (f) 유전자의 정교한 발현을 위해서 전사인자가 그 유전자의 프로모터에서부터 수천 염기쌍 정도 멀리 떨어진 서열에 결합하는 경우도 있다. 이 서열은 무엇인지 쓰고, 이 서열이 어떻게 유전자 발현에 영향을 미치는지 조절 기작을 설명하시오.

# 논술 (자연 A)

※주의사항 : 문제 1은 필수로 풀고 문제 2, 3, 4 중 한 문제를 선택해서 답안을 작성하시오.

## 문제 1: 수학 (필수)

(가)

그림 1에서와 같이 부등식  $y \leq |x|$ 의 영역에서 원  $x^2 + y^2 = 1$ 과 내접하고  $y = |x|$ 와 한 점에서 만나는 원의 중심을  $D$ 라 하자.

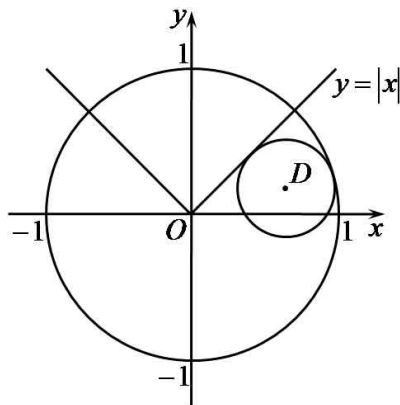


그림 1.

(나)

그림 2에서와 같이 점  $A(t, t^2)$ 가 곡선  $y = x^2$  위를 움직일 때 점  $A$ 에서 이 곡선과 접하고  $x$ 축과 점  $B$ 에서 접하는 원의 중심을  $C(x, y)$ 라 하고 중심  $C$ 의 자취를 매개변수로 나타내면  $x = f(t)$ ,  $y = g(t)$ 가 된다고 하자.

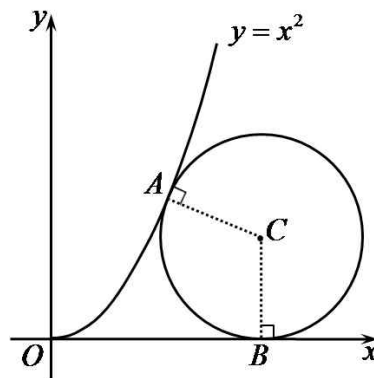


그림 2.

(다)

좌표평면 위의 원점  $O$ 와 세 점  $A_1(1, 0)$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ 이 다음 조건을 만족한다.

- (ㄱ) 점  $A_2$ 는 2사분면에 있고 점  $A_3$ 은 3사분면에 있다.
- (ㄴ)  $\angle A_1OA_2 = \alpha$ ,  $\angle A_2OA_3 = \beta$ ,  $\angle A_3OA_1 = \alpha$ 이다.
- (ㄷ)  $|\overrightarrow{OA_2}| = |\overrightarrow{OA_3}| = \frac{1}{\sqrt{3}}$

좌표평면에서 부등식  $y \geq 0$ 의 영역을 원점을 중심으로  $\theta$ 만큼 회전이동시켜서 얻어진 영역을  $H_\theta$ 라 하고 위치벡터  $\overrightarrow{OA_1}$ ,  $\overrightarrow{OA_2}$ ,  $\overrightarrow{OA_3}$  중에서  $H_\theta$ 에 포함되는 벡터들의 합의 크기를  $L(\theta)$ 라 하자.

- 
- (a) 제시문 (가)에서 점  $D$ 의 좌표를  $(x, y)$ 라 할 때  $(x, y)$ 가 만족시키는 방정식을 구하시오.
- (b) 제시문 (나)의 매개변수에 의해서 나타내어지는 함수  $x=f(t)$ ,  $y=g(t)$ 를 구하시오. (단,  $t > 0$ )
- (c) 문제 (b)에서의 두 함수  $x=f(t)$ ,  $y=g(t)$ 가  $t=0$ 에서 연속이기 위한 함수값  $f(0)$ 과  $g(0)$ 을 각각 구하고 이때 적분값  $\int_0^1 f(t) dt$ 을 구하시오.
- (d) 제시문 (다)의 함수  $L(\theta)$ 를 구하시오. (단,  $0 < \theta \leq 2\pi$ )
- (e) 제시문 (다)의 함수  $L(\theta)$ 의 최댓값을 가장 작게 만드는 모든  $\alpha, \beta$ 에 대하여 점  $(\cos \alpha, \cos \beta)$ 를 좌표평면 위에 나타내시오.

**문제 2: 물리 (선택)**

(가)

물체가 충돌할 경우 일반적으로 비탄성충돌로 인해 에너지를 잃어버린다. 그림 1에서 질량이  $m$ 인 물체  $A$ 가 수평방향으로 초기 속도  $v_0$ 로 오른쪽으로 움직이다가 정지하고 있는 질량이  $2m$ 인 물체  $B$ 와 탄성충돌을 한다. 물체  $B$ 는 탄성충돌을 한 후 중력에 의해 아래쪽으로 힘을 받아 두 벽을 번갈아 부딪치며 아래쪽으로 움직이고 벽과 차례로  $P_1, P_2, P_3, \dots$  지점들에서 충돌을 한다. 벽과 충돌할 때마다 물체  $B$ 의 수평방향의 속력은  $\alpha$ 배가 되고( $0 < \alpha \leq 1$ ) 충돌로 인한 수직방향의 속도 변화는 없다고 하자. 중력가속도는  $g$ , 두 벽간의 거리는  $l$ 이고, 물체의 크기와 공기저항 및 마찰은 무시한다.

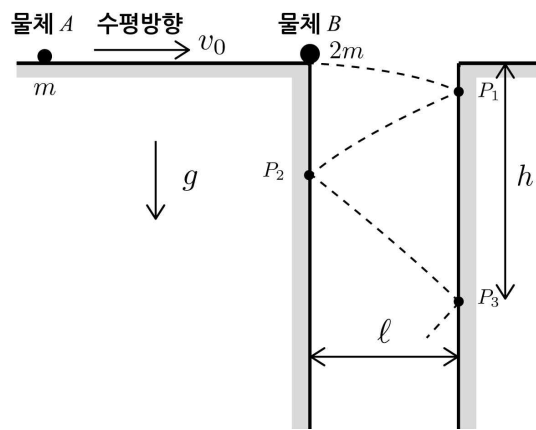


그림 1.

(나)

도체 내부의 자유전자는 열에너지에 의해 매우 빠르게 움직이지만 원자와 반복적으로 충돌하면서 운동 에너지의 일부를 잃게 되고 무질서한 충돌로 인해 전체적인 전류는 0이 된다. 외부에서 전압을 걸어주면 자유전자는 힘을 받아 한쪽 방향으로 가속되지만 무질서한 충돌이 병행되면서 자유전자의 평균 속도의 크기는 매우 작아져 1 mm를 이동하는데 수 초나 걸린다.

◎ 제시문 (가), (나)를 읽고 아래 물음에 답하시오.

- (a) 물체 A와 충돌 직후 물체 B의 속력  $v_1$ 을 구하시오. 물체 B가 충돌 후 지점  $P_1$ 에 부딪힐 때까지 걸린 시간  $t_1$ 을 구하시오.
- (b) 물체 B와 오른쪽 벽의 두 번째 충돌은 깊이  $h$ 인 지점  $P_3$ 에서 일어났다. 오른쪽 벽에 처음 두 번의 충돌로 전달되는 총 운동량은 어떻게 되는가? 또한 초기 속력  $v_0$ 을  $h$  및  $\ell$ 로 나타내시오.
- (c) 충돌 횟수가 증가함에 따라 물체 B의 속력은 어떻게 변하는지 정량적으로 논술하시오.
- (d) 제시문 (나)에서 전류가 흐르는 도체 내부의 자유전자 이동과 제시문 (가)에 기술된 물체 B의 운동에는 유사점과 차이점이 있다. 이에 대하여 논술하시오.
- (e) 자유전자의 평균 속도의 크기가 매우 작음에도 불구하고 스위치를 올리면 전등이 즉시 켜지는 이유는 무엇인가?

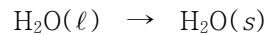
### 문제 3: 화학 (선택)

(가)

화학자들은  $A + B \rightarrow C + D$  와 같은 화학 반응식으로 묘사할 수 있는 화합물의 변환 및 이들 간의 평형에 관심을 가진다. 어떤 화학반응이 자발적인지 아닌지는 자유에너지의 변화  $\Delta G$ 에 의해 결정되므로, 화학자가 새로운 반응을 고안할 때  $\Delta G$ 의 크기와 부호를 미리 아는 것이 중요하다. 예를 들어, 니켈(Ni) 금속은  $50^\circ\text{C}$ 에서는 일산화탄소(CO)와 반응하여 자발적으로  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ 를 형성하는데,  $126.8^\circ\text{C}$ (절대 온도  $400\text{ K}$ )에서 반응의  $\Delta G$ 가 0이 되므로 이  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ 의 형성 반응은  $126.8^\circ\text{C}$  미만에서만 진행시켜야 한다.

(나)

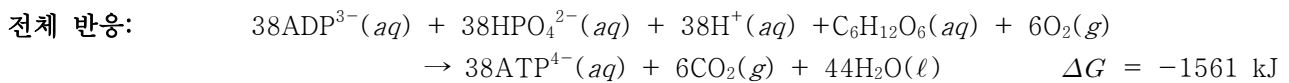
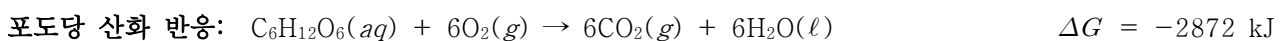
물질의 상태 변화는 자유에너지의 변화  $\Delta G$ , 엔탈피의 변화  $\Delta H$ , 엔트로피의 변화  $\Delta S$ , 평형상수  $K$  값들의 크기와 부호를 고려하면 쉽게 이해되는 경우가 많다. 예를 들어, 1기압에서 액체 상태인 물은  $0^\circ\text{C}$  이하로 온도를 낮추면 아래 반응식에 따라 고체 상태인 얼음이 된다.



이 반응의  $\Delta H$ 와  $\Delta S$ 는 모두 음수이고, 온도가 낮아짐에 따라 음의  $\Delta G$ 는 그 절대값이 점점 더 커지게 된다.

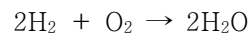
(다)

자유에너지의 변화  $\Delta G$ 가 양인 반응의 경우에도 음의  $\Delta G$ 를 지니는 다른 반응과 짝을 지음으로써 원하는 반응이 일어나게 유도할 수 있다. 예를 들면, 생체의 에너지 저장 분자인 ATP가 ADP로부터 생성되는 반응의  $\Delta G$ 의 부호는 양이므로 자발적으로 일어나지 않는다. 그러나 이 반응을 자발적인 생체 내 포도당의 산화 반응과 짝을 지으면 포도당 한 분자의 산화를 이용하여 38개의 ATP 분자를 생성할 수 있다.



(라)

상온에서 수소분자는 산소분자와 자발적으로 반응하여 물 분자를 만든다.



이 반응의 역반응인 물 분해 반응은 당연히 상온에서 비자발적이다. 현재 수많은 화학자들이 태양광에너지를 이용하여 물을 분해하고 수소를 얻는 새로운 기술을 개발하고 있다. 이 새로운 기술은 식물이 태양광에너지를 이용하여 이산화탄소와 물로부터 포도당을 합성하는 광합성을 모방한 것이다.

◎ 제시문 (가), (나)를 읽고 논술하시오.

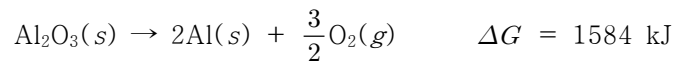
(a) 제시문 (나)에서 언급된 반응의  $\Delta H$ 와  $\Delta S$ 가 모두 음수인 이유를 설명하시오.

(b) 제시문 (나)에서 언급된 반응의 경우 온도가 낮아짐에 따라  $\Delta G$ 의 절대값이 더 커지는 이유를  $\Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  간의 관계를 이용하여 논술하시오. 이 반응의  $\Delta H$ 와  $\Delta S$ 는 온도의 변화에 영향을 받지 않는다고 가정하시오.

(c) 제시문 (가)에서 언급된 반응  $\text{Ni}(s) + 4\text{CO}(g) \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{CO})_4(g)$  에서  $\Delta H$ 의 절대값이 160 kJ로 측정되었다. 이 반응의  $\Delta H$ 와  $\Delta S$ 는 온도의 변화에 영향을 받지 않는다고 가정하고, 226.8°C(절대 온도 500 K)에서의  $\Delta G$ 의 값을 구하시오( $\Delta H$ 의 부호에 유의하시오).

◎ 제시문 (가), (다), (라)를 읽고 논술하시오.

(d) 알루미늄(Al)은 상온에서 산소와 반응하여 순식간에 산화알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )을 형성한다. 그 역반응은 양의  $\Delta G$  값을 가지므로 자발적이지 않다.



제시문 (다)의 예와 같이 위의 알루미늄(Al) 산화 반응과 아래의 반응을 짝을 지어, 산화알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )과 탄소(C)를 반응시켜 금속 알루미늄(Al)을 생성하는 것이 가능한지 논술하시오.



(e) 제시문 (라)에서 태양광에너지는 물 분해 반응이 상온에서 자발적으로 일어나게 하는데 중요한 역할을 한다. 태양광에너지의 유무가 물 분해 반응에 끼치는 영향을 열역학적 관점에서( $\Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  간의 관계를 이용하여) 간단히 논술하시오.

**문제 4: 지구과학 (선택)**

(가)

‘마그마’는 지구 내부에서 암석이 부분적으로 용융되어 형성된다. 암석의 용융점은 지구 내부의 온도, 압력, 물의 존재 등에 의해 변한다. 판의 발산 경계에서는 해령에서 마그마가 상승하여 새로운 해양지각이 형성된다. 반면에 해양판과 대륙판의 수렴 경계에서는 주로 섭입되는 판의 암석과 퇴적물에서 방출된 물의 영향에 의해 마그마가 형성된다.

지구 내부에서 생성된 마그마가 상승하여 지표로 분출되는 현상을 ‘화산활동’이라 하고, 지표로 분출된 마그마를 ‘용암’이라 부른다. 지구 역사를 통하여 화산활동은 기후에 큰 영향을 주었다. 또한 폭발성 화산 분출은 인류에게 큰 피해를 초래하였다. 대표적으로 1815년에 일어난 인도네시아 탐보라 화산 폭발은 수만 명의 인명피해를 유발한 자연재해로 기록되었다. 화산분출물로는 용암, 화산쇄설물과 수증기, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl 등의 기체성분이 있다.

1991년 6월 필리핀의 수도 마닐라의 북서쪽에 위치한 피나투보 화산이 폭발하여 화산분출물이 약 34 km 고도까지 상승하였으며, 이후 약 2년 동안 지구의 평균기온이 하강하였다(그림 1). 2010년 4월 아이슬란드의 에이야프얄라요쿨 화산이 폭발하여 화산분출물이 약 9 km 고도까지 도달하였으며, 그 영향으로 유럽 지역의 항공기 운항이 대거 취소되는 등 피해가 발생하였다. 그림 2는 피나투보 화산과 에이야프얄라요쿨 화산의 위치를 보여준다.

(나)

영화 ‘설국열차’에서는 지구온난화를 해결하기 위하여 ‘특수 화학물질’을 대기 중에 살포하였으나, 오히려 예상치 못한 지구 온도의 급속한 하강으로 빙하가 닥치는 큰 재앙이 초래되었다. 이 영화는 제시문 (가)와 같은 지구과학적 원리에 근거하여 지구온난화 문제를 해결하려 했던 인류의 시도가 오히려 큰 재해를 초래한다는 상상을 기반으로 하였다.

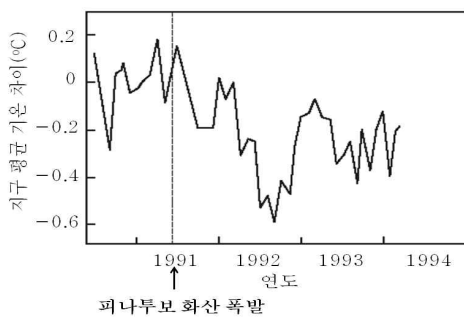


그림 1. 1991~1993년 지구 평균기온 변화

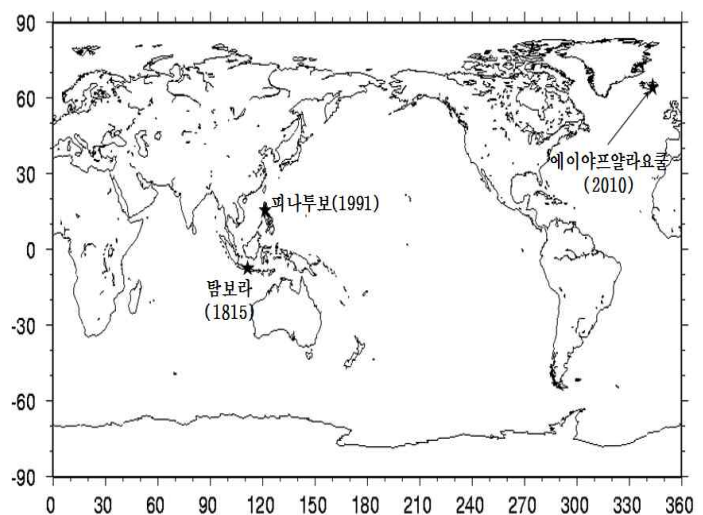


그림 2. 주요 화산들의 위치와 폭발 연도

◎ 제시문 (가)와 (나)에 근거하여 다음 질문에 답하시오.

(a) 피나투보 화산과 에이야프얄라요쿨 화산의 마그마가 각각 지구 내부 어느 부분에서 형성되었으며, 어떤 암석에서 유래하였고, 어떤 과정을 통하여 형성되었는지 제시문 (가)에 근거하여 설명하시오.

(b) 위의 두 화산을 형성하는 마그마의 점성도 차이를 비교하고, 마그마로부터 형성되는 규산염 사면체로 이루어진 광물의 결정구조(골격형태)와 연관지어 그 이유를 설명하시오.

(c) 위의 두 화산이 폭발했을 때 어떤 화산이 전 지구적 기온 하강에 더 큰 영향을 주는지 판단하고, 마그마의 성질과 관련하여 그 근거를 제시하시오.

(d) 제시문 (가)는 지구의 역사에서 화산활동이 기후에 큰 영향을 주었다고 설명하고 있다. 화산활동이 어떻게 지구의 기후에 영향을 주었는지 설명하시오.

(e) 영화 ‘설국열차’에서 사용된 가상의 ‘특수 화학물질’은 화산분출물 중 어떤 물질과 화학적 특성이 가장 유사할지 추정하고 그 이유를 설명하시오.

(f) UN 기후변화협약에서 지구의 과잉 온난화를 방지하기 위해 어느 한 지역을 선택해 ‘특수 화학물질’을 대기 중에 살포하기로 결정했다고 가정하자. ‘특수 화학물질’의 작용이 지구 전체에 가장 빠르게 나타나 그 효과가 최대가 되도록 하려면 어느 지역에 살포하는 것이 가장 적절한가? 지역(예: 북극, 남극, 고위도, 중위도, 저위도, 적도)을 선택하고, 그 선택에 대한 과학적 이유를 설명하시오.

# 논술 (자연 B)

※주의사항 : 문제 1은 필수로 풀고 문제 2, 3, 4 중 한 문제를 선택해서 답안을 작성하시오.

## 문제 1: 수학 (필수)

(가)

그림 1과 같이 둘레의 길이가 1인 정삼각형  $ABC$ 를 직선  $l$  위에서 한 바퀴 굴린다. 이때 꼭짓점  $A$ 는 꼭짓점  $C$ 를 중심으로 하는 원의 호를 따라  $A'$ 의 위치로 이동한 후 다시 점  $B'$ 를 중심으로 하는 원의 호를 따라  $A''$ 의 위치로 이동한다.

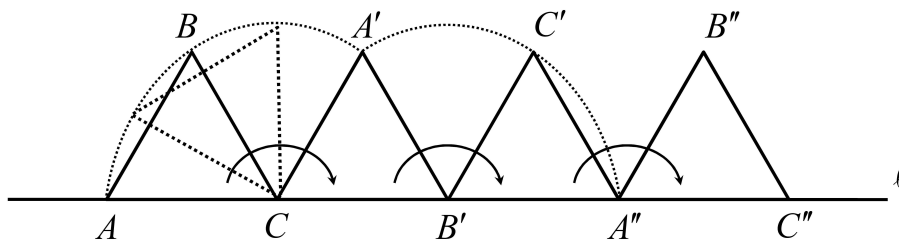


그림 1.

(나)

그림 2와 같이 둘레의 길이가 1인 정사각형  $ABCD$ 가 직선  $l$  위에서 한 바퀴 굴러 정사각형  $A''B''C''D''$ 의 위치에 도달한다.

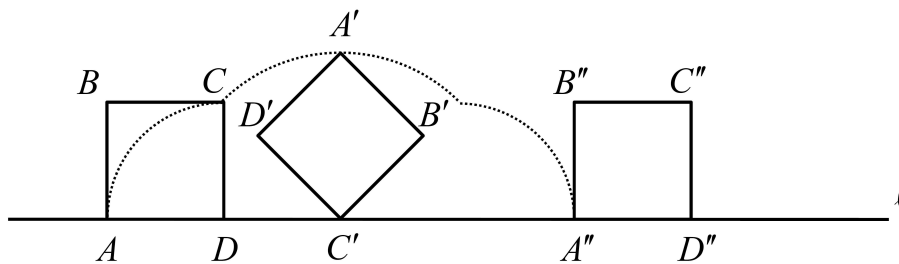


그림 2.

(다)

그림 3에서 원점  $O$ 를 지나는 직선  $\ell$ 이 세 점  $O, A(2,4,4), B(3,0,3)$ 를 포함하는 평면  $\alpha$ 와 수직으로 만난다. 세 점  $O, A, B$ 를 지나는 원이 직선  $\ell$ 의 둘레로 각  $\theta$ 만큼 회전할 때 호  $\widehat{AB}$ 가 지나가는 영역을  $S$ 라 한다.  $S$  위의 임의의 점  $(a,b,c)$ 를 점  $(a,b,2c)$ 로 대응시켜 얻은 영역을  $S'$ 라 한다.

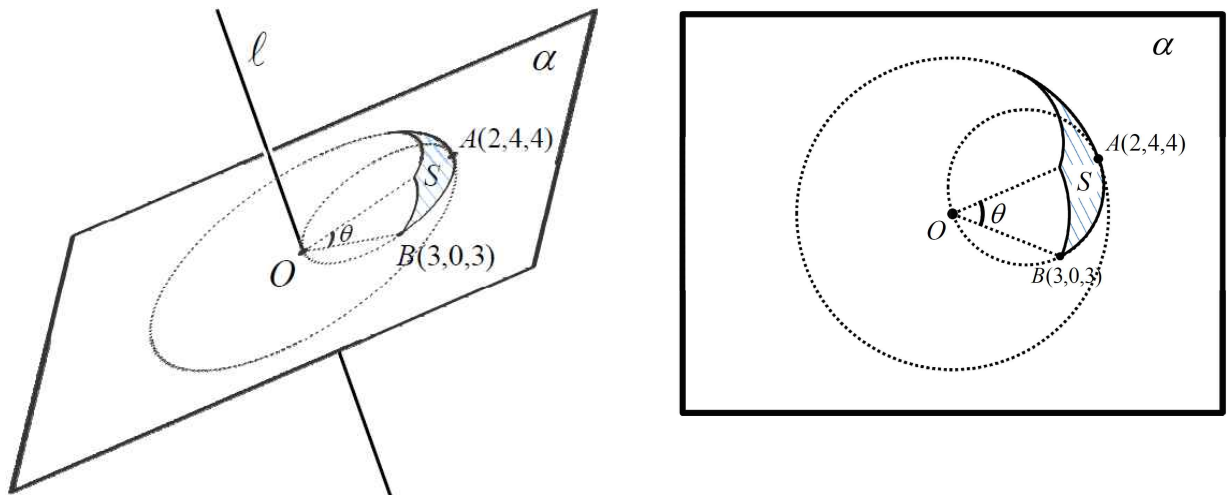


그림 3.

- (a) 제시문 (가)에서 꼭짓점  $A$ 가 움직인 거리를 구하시오.
- (b) 제시문 (나)에서 꼭짓점  $A$ 가 움직인 거리를 구하시오.
- (c) 둘레의 길이가 1인 정  $n$ 각형  $A_1A_2 \dots A_n$ 에서 선분  $\overline{A_kA_n}$ 의 길이를 구하시오. (단,  $1 \leq k \leq n-1$ )
- (d) 둘레의 길이가 1인 정  $n$ 각형을 직선 위에서 한 바퀴 굴릴 때 한 꼭짓점이 움직인 거리  $d_n$ 과 극한값  $\lim_{n \rightarrow \infty} d_n$ 을 구하시오.
- (e) 제시문 (다)에서 내적  $\overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{AB}$ 를 구하고  $\theta$ 가  $2\pi$ 일 때  $S$ 의 넓이를 구하시오.
- (f) 제시문 (다)에서  $S$ 의 넓이  $f(\theta)$ 와  $S'$ 의 넓이  $g(\theta)$ 를 구하시오. (단  $0 \leq \theta \leq 2\pi$ )

**문제 2: 물리 (선택)**

(가)

그림 1과 같이 물체 1(질량  $m_1$ , 속도  $v_1$ )과 물체 2(질량  $m_2$ , 속도  $v_2$ )가 원형테 내에서 반경이  $r$ 인 원형 궤도를 따라 각각 반시계방향으로 등속 원운동을 하고 있다. 두 물체의 질량비  $\alpha = m_2/m_1$ 는 정수이며,  $t=0$ 일 때 물체 1은  $+x$ 축 위의 점에서, 물체 2는  $-x$ 축 위의 점에서 출발한다. 물체 1과 물체 2는 출발 후 원형궤도를 한 바퀴 회전하기 전에 점  $P$ 에서 탄성충돌한다.  $\beta$ 는  $y$ 축과 선분  $\overline{OP}$ 가 이루는 각이다.

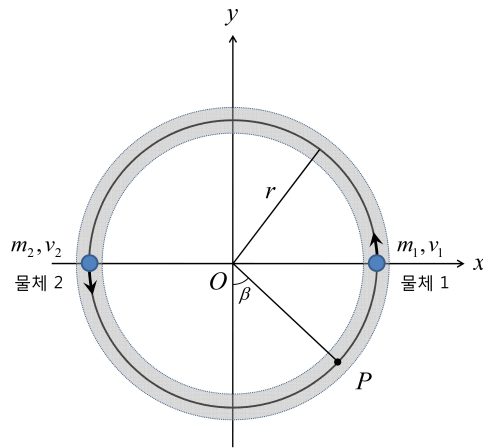


그림 1.

(나)

그림 2에서는 그림 1과 달리 원형테 내 원형궤도를 따라 동일한 질량  $m$ 과 속도  $v$ 를 갖는 두 물체가  $t=0$ 일 때  $+x$ 축 위의 점에서 동시에 출발하여 시계방향과 반시계 방향으로 각각 회전한다. 이와 동시에 원형테도 원점 둘레로 일정한 각속도  $\omega$ 로 회전을 시작한다. 두 물체는  $t=t_1$ 에 처음 충돌하고, 그동안  $t=0$ 일 때  $-x$ 축 위에 있던 점  $Q$ 가 이동한 거리를  $S$ 라 한다. 단, 두 물체는 원형테가 한 바퀴 회전하기 전에 충돌한다.

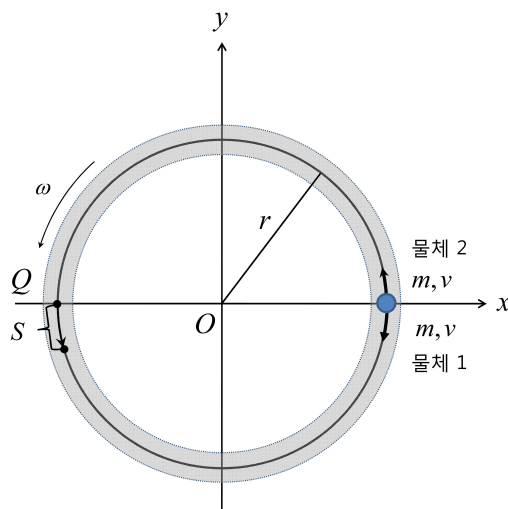


그림 2.

◎ 제시문 (가)를 읽고 아래 물음에 답하시오.

- (a) 두 물체가  $P$ 점에서 처음 만날 때 속력비  $v_2/v_1$ 를  $\beta$ 의 함수로 구하시오.
- (b) 두 물체가  $\beta=0$ 인  $P$ 점에서 처음 충돌한 후 물체 1의 운동 방향이 시계방향으로 바뀌기 위한 최소 정수 질량비  $\alpha_{\min}$ 을 구하시오.
- (c) 질량비가  $\alpha=5$ 인 두 물체가  $\beta=0$ 인  $P$ 점에서 처음 충돌한 직후 두 물체의 속력  $v_1'$ 와  $v_2'$ 를  $v_2$ 의 함수로 구하시오.
- (d) 질량비가  $\alpha=7$ 인 두 물체가  $\beta=0$ 인  $P$ 점에서 처음 충돌한 후부터 두 번째 충돌할 때까지 두 물체가 진행한 거리를 각각 구하시오.

◎ 제시문 (나)를 읽고 아래 물음에 답하시오.

- (e) 그림 2에서 거리  $S$ 를 측정하면 각속도  $\omega$ 를 알 수 있다. 원형궤도의 반경이 1m인 장치로 거리  $S$ 를 측정하여 각속도를 구하고자 한다. 거리  $S$ 를 1mm 단위로 측정할 수 있다면,  $1^\circ/s$  차이가 나는 두 각속도가 구별되기 위해서는 물체의 속력은 어떤 조건을 만족해야 하는가?

**논제 3: 화학 (선택)**

(가)

1884년에 프랑스의 화학자인 르샤틀리에는 화학 평형의 이동 현상에 대하여 “어떤 가역반응이 평형상태에 있을 때 농도, 압력 및 온도를 변화시켜 화학 평형이 깨지면 그 변화를 감소시키려는 방향으로 평형이 이동하여 새로운 평형 상태에 도달한다.”라고 발표하였다. 예를 들어, 그림 1과 같이 질소 기체와 용액과의 평형상태에서 압력을 가하여 질소 기체의 부피를 줄이면 단위 부피 속의 질소 분자 수가 증가한다. 질소 기체 분자가 용액 속으로 녹아들어 가면서 증가된 압력을 감소시키는 방향으로 평행이 이동하고, 용액 속의 분자 수가 증가하며 새로운 평형에 도달한다.

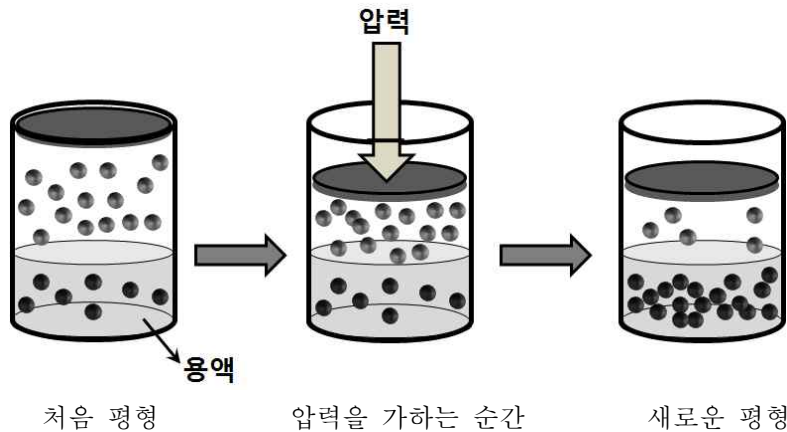


그림 1. 기체에 압력을 가했을 때 평형의 변화

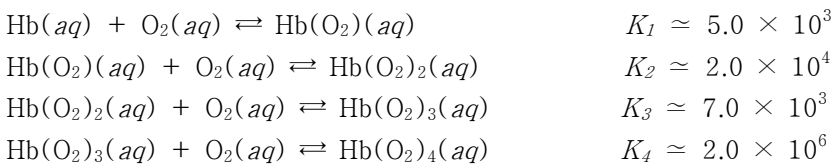
(나)

항상성은 사람의 생명 현상을 유지하는 데 필수적인 것 중 하나이다. 외부의 환경이 변화하더라도 우리 몸은 조절 장치를 통해 최적 생존 조건을 맞추면서 안정한 상태, 즉 항상성을 유지하려 한다. 그러나 외부 환경이 급격히 변할 때는 그 변화에 적응하는 데 오랜 시간이 걸리므로 우리 몸에서는 여러 가지 부작용이 일어난다. 예를 들면 해수면(1 기압)과 같은 지역에 사는 사람이 고지대(에베레스트 정상, 0.4 기압)로 가게 되면 두통, 멀미, 극단적인 피로 등의 증상이 나타나며 심한 경우에는 의식불명에 이를 수 있다. 이를 ‘고산병’이라 부르며, 이 증상은 세포에 산소 공급이 원활하게 이루어지지 못하여 산소결핍이 발생하기 때문이다. 한편 심해 잠수부들은 너무 빠르게 수면으로 나오게 되면 ‘잠수병’이라고 부르는 병이 발생하여 생명이 위험한 상태가 될 수 있다. 이는 잠수부가 수면으로 빠르게 올라오면서 압력이 빠르게 감소하여 혈액 속에 기포가 발생하고, 이 기포가 모세혈관 등을 막아 혈액의 흐름을 방해하기 때문이다. ‘고산병’과 ‘잠수병’의 발생 원인은 서로 다르지만 모두 화학 평형과 관련이 있다.

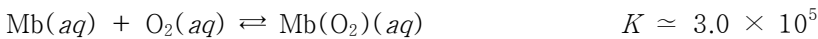
(다)

우리가 주어진 환경에서 생활할 수 있는 이유는 몸속에서 필요한 산소(O<sub>2</sub>)의 농도가 일정하게 유지되기 때문이다. 적혈구에 있는 헤모글로빈(Hb)이라는 단백질은 산소와 화학 결합을 하여 산화 헤모글로빈(Hb(O<sub>2</sub>)<sub>4</sub>)을 생성하여 산소를 운반한다. 산화 헤모글로빈이 모세혈관에 도달하면 산소가 해리되며, 해리된 산소는 거의 모든 세포에서 발견되는 미오글로빈(Mb)이라는 또 다른 산소 운반 단백질과 결합한다. 이렇게 생성된 산화 미오글로빈(Mb(O<sub>2</sub>))은 산소를 세포내로 운반하고, 산소는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)로 치환된다. 헤모글로빈은 허파에서 산소와 강하게 결합하지만, 모세혈관에서는 해리되어 자발적으로 미오글로빈에게 산소를 내어준다. 1개의 헤모글로빈은 4개의 산소와 결합하고, 1개의 미오글로빈은 1개의 산소와 결합한다. 이러한 현상은 산소의 농도와 관계가 있는데, 산소의 농도가 헤모글로빈과 미오글로빈의 평형에 영향을 주기 때문이다.

헤모글로빈의 산화 반응



미오글로빈의 산화 반응



(a) 강산과는 달리 약산은 농도에 따라 해리도가 변화한다. 예를 들면, 약산인 아세트산( $K_a = 1.76 \times 10^{-5}$ )은 1 M 용액에서 1% 이하로 해리되지만,  $10^{-4}$  M 용액에서는 34%나 해리된다. 그렇다면 1 M의 어떤 약산 HA( $K_a = 1.0 \times 10^{-6}$ )가 1 L에서 0.1%가 해리된다고 할 때, 이 용액에 99 L의 물을 첨가하였다면 몇 %의 HA가 해리되는가? 그리고 이와 같이 농도에 따라 해리도가 달라지는 현상을 르샤틀리에 원리를 근거로 논술하시오.

(b) 헤모글로빈(Hb)과 산소(O<sub>2</sub>)가 반응하여 산화 헤모글로빈(Hb(O<sub>2</sub>)<sub>4</sub>)이 되는 전체 화학 반응식 및 전체 평형 상수식을 쓰고, ‘고산병’이 발생하는 이유를 르샤틀리에 원리를 근거로 간단히 논술하시오.

(c) 제시문 (다)의 미오글로빈(Mb) 산화 반응식으로부터 이 반응의 평형 상수식을 구하시오. 그리고 허파(산소의 농도  $\approx 2.0 \times 10^{-4}$  M)와 모세혈관(산소의 농도  $\approx 3.0 \times 10^{-5}$  M) 내의 산화 헤모글로빈과 헤모글로빈의 농도비 및 산화 미오글로빈과 미오글로빈의 농도비를 각각 구하시오.

(d) 문제 (c)의 결과를 이용하여 헤모글로빈이 허파에서는 산소와 강하게 결합하지만, 모세혈관에서는 해리되어 자발적으로 미오글로빈에게 산소를 내어주는 이유를 간단히 논술하시오. 단, 헤모글로빈의 농도와 미오글로빈의 농도는 같다고 가정한다.

(e) 제시문 (나)에서 언급한 ‘잠수병’의 발생을 줄이기 위해 최근에는 잠수부의 공기탱크에 질소와 산소의 혼합기체를 넣는 대신 헬륨과 산소의 혼합기체를 사용한다. 제시문 (가)를 참조하여 헬륨을 사용하는 이유를 추론하시오.

## 문제 4: 생명과학 (선택)

(가)

우리 장내에 살고 있는 대장균을 포함하여 세균들의 세포벽에는 매우 다양한 형태의 탄수화물 분자사슬들이 존재한다. 이 분자들은 세균의 구조와 기능에 필수적인 반면, 백혈구의 일종으로 항체생산을 담당하는 B림프구가 인식하는 주요한 항원으로 작용하기도 한다.

(나)

병원체에 대한 방어는 비특이적 면역과 특이적 면역으로 구분된다. 특이적 면역은 다시 1차 면역반응과 2차 면역반응으로 구분되는데, 1차 면역반응은 이전에 감염된 적이 없는 항원에 노출되었을 때의 반응으로 며칠의 잠복기를 거쳐 소량의 항체가 생산된다. 이 기간 동안 항체를 만드는 B림프구는 분화/증식하여 일부는 항체를 생산하는 형질세포가 되고 일부는 기억세포가 된다. 2차 면역반응은 재차 침입한 항원을 인식했을 때의 반응으로 기억세포가 빠르게 형질세포로 분화/증식하여 대량의 항체를 생산한다(그림 1).

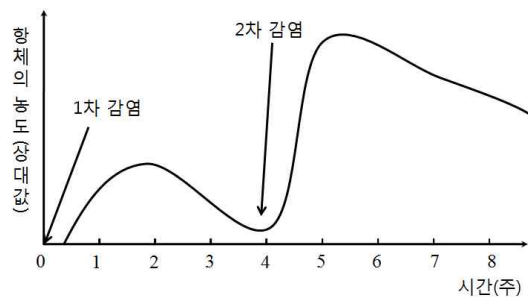


그림 1.

(다)

항원-항체 반응의 좋은 예가 ABO 혈액형 사이의 적혈구 응집반응이다. 적혈구 표면의 항원을 응집원, 이를 인식하는 항체를 응집소라고 부른다. 혈액형 분류 방법 중 수혈 시 중요한 것은 ABO 혈액형과 Rh 혈액형이다. ABO 혈액형과 Rh 혈액형은 모두 단일인자 유전이며 서로에 대해서는 독립적이다.

(라)

ABO 혈액형은 적혈구 세포막에 존재하는 탄수화물 분자사슬인 응집원의 모양에 따라 결정된다. ABO 응집원을 결정하는 유전자는 A, B, O 세 가지 대립 형질을 가지는 복대립 유전자이며 A와 B는 상호 간에 공우성이고 O에 대해서는 우성이다.

A형은 적혈구 표면에 응집원 A를 가지며 혈액 중에 항B 항체를 가진다. B형은 응집원 B를 가지며 항A 항체를 가진다. O형은 응집원 A, B 모두가 없으며 항A와 항B 항체를 가진다. AB형은 응집원 A, B 모두를 가지지만 항A, 항B 항체는 없다.

**(마)**

Rh- 혈액형도 적혈구 세포막에 존재하는 응집원 D의 유무에 의해 결정된다. 응집원 D를 가지는 Rh+형은 응집원 D가 없는 Rh-형에 대해 우성이다. Rh- 혈액형은 지역과 인종에 따라 큰 차이를 보이는데 유럽인은 Rh- 표현형이 인구의 15% 정도인 반면 아시아인의 경우 1% 미만이다.

Rh-형인 사람은 처음에는 항D 항체가 없지만 Rh+ 혈액을 수혈 받으면 항D 항체가 형성되어 그 뒤로는 Rh+ 혈액을 수혈 받을 수 없다. Rh-형인 여성이 Rh+형인 아이를 임신하는 경우 첫 번째 출산은 정상적이다. 그러나 임신 후반기에 소량의 태아 적혈구가 어머니 혈액으로 넘어올 뿐만 아니라, 출산 과정에서 어머니 혈액이 태아 적혈구에 노출되기 때문에 두 번째 임신부터 어머니의 항D 항체가 태반을 통과하여 Rh+형인 태아의 적혈구를 파괴하는 적아세포증이 생긴다. 이를 예방하기 위해 Rh-형 여성의 첫 임신 28주, 34주, 그리고 출산 직전에 적당량의 항D 항체를 정맥 주사해 준다.

(a) O형 어머니와 AB형 아버지 사이에서 태어난 아이가 가지는 ABO 응집원의 표현형이 아버지와 같을 확률과, Rh-형인 어머니와 Rh+형 아버지 사이에서 태어난 아이가 가지는 응집원 D의 표현형이 아버지와 같을 확률을 각각 백분율(%)로 나타내시오.

(b) 특이적 면역반응의 일종인 항체반응이 나타나기 위해서는 항원에 먼저 노출되어야 한다. 그러나 수혈, 장기이식, 임신 등의 경험이 한 번도 없는 사람이라도 자신과는 다른 ABO 혈액형의 응집원에 반응하는 항체를 갖는다. 그 이유를 제시문 (가)와 (라)에 근거하여 설명하시오.

(c) 문제 (b)에서 자신의 응집원에 반응하는 항체는 만들어지지 않는다. 그 이유는 무엇인가?

(d) A형인 사람에게 항B 항체를 수혈 직전 먼저 정맥주사하고 B형 혈액을 수혈하기로 결정하였다. 이 방법이 수혈을 가능하게 하는데 도움이 될 수 있는가?

(e) 문제 (d)의 답에서 그렇게 판단한 이유를 설명하시오.

(f) Rh-형 여성의 두 번째 임신에서 Rh+형 태아에게 적아세포증이 나타나는 것을 예방하기 위해 첫 아이 임신 후반기에 주사된 항D 항체는 어머니 혈액으로 넘어온 태아 적혈구에 결합하여 태아 적혈구의 파괴를 촉진한다. 항체가 결합된 태아 적혈구를 파괴하는 백혈구는 어떤 세포이며 파괴하는 방법은 무엇인가?

(g) 문제 (f)에서 태아 항원에 대한 어머니의 면역반응이 어떻게 적아세포증 예방에 도움이 되는지를 제시문 (나)에 근거하여 설명하시오.

(h) 첫 출산 때 항D 항체 치료를 받지 않은 Rh-형 여성이 두 번째 Rh+형 아이를 임신한 경우에도 항D 항체 치료가 적아세포증을 방지하는데 도움이 될 수 있는가?

(i) 문제 (h)의 답에서 그렇게 판단한 이유를 설명하시오.

# 논술 (자연 B)

※주의사항 : 문제 1은 필수로 풀고 문제 2, 3 중 한 문제를 선택해서 답안을 작성하시오.

## 문제 1: 수학 (필수)

(가)

그림 1과 같이 둘레의 길이가 1인 정삼각형  $ABC$ 를 직선  $l$  위에서 한 바퀴 굴린다. 이때 꼭짓점  $A$ 는 꼭짓점  $C$ 를 중심으로 하는 원의 호를 따라  $A'$ 의 위치로 이동한 후 다시 점  $B'$ 를 중심으로 하는 원의 호를 따라  $A''$ 의 위치로 이동한다.

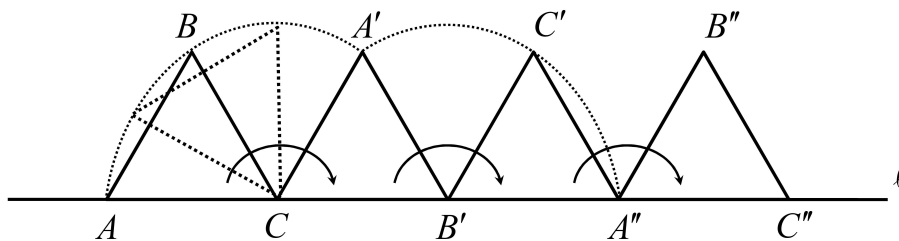


그림 1.

(나)

그림 2와 같이 둘레의 길이가 1인 정사각형  $ABCD$ 가 직선  $l$  위에서 한 바퀴 굴러 정사각형  $A''B''C''D''$ 의 위치에 도달한다.

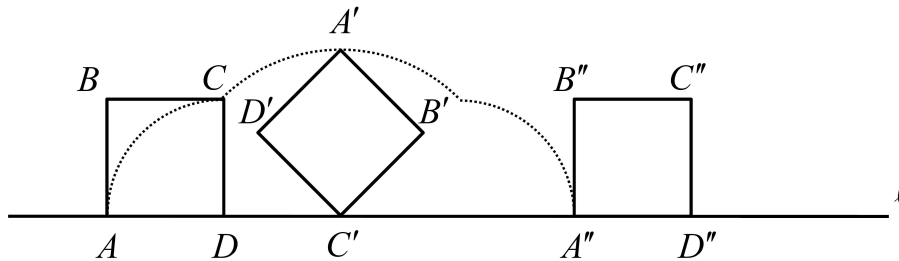


그림 2.

(다)

그림 3에서 원점  $O$ 를 지나는 직선  $\ell$ 이 세 점  $O, A(2,4,4), B(3,0,3)$ 를 포함하는 평면  $\alpha$ 와 수직으로 만난다. 세 점  $O, A, B$ 를 지나는 원이 직선  $\ell$ 의 둘레로 각  $\theta$ 만큼 회전할 때 호  $\widehat{AB}$ 가 지나가는 영역을  $S$ 라 한다.  $S$  위의 임의의 점  $(a,b,c)$ 를 점  $(a,b,2c)$ 로 대응시켜 얻은 영역을  $S'$ 라 한다.

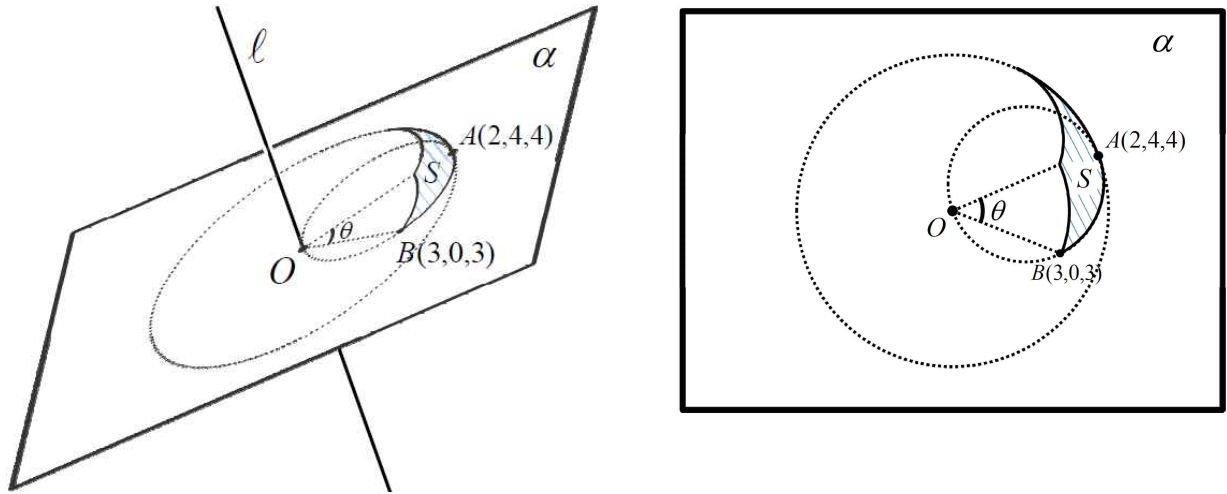


그림 3.

- (a) 제시문 (가)에서 꼭짓점  $A$ 가 움직인 거리를 구하시오.
- (b) 제시문 (나)에서 꼭짓점  $A$ 가 움직인 거리를 구하시오.
- (c) 둘레의 길이가 1인 정  $n$ 각형  $A_1A_2 \cdots A_n$ 에서 선분  $\overline{A_kA_n}$ 의 길이를 구하시오. (단,  $1 \leq k \leq n-1$ )
- (d) 둘레의 길이가 1인 정  $n$ 각형을 직선 위에서 한 바퀴 굴릴 때 한 꼭짓점이 움직인 거리  $d_n$ 과 극한값  $\lim_{n \rightarrow \infty} d_n$ 을 구하시오.
- (e) 제시문 (다)에서 내적  $\overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{AB}$ 를 구하고  $\theta$ 가  $2\pi$ 일 때  $S$ 의 넓이를 구하시오.
- (f) 제시문 (다)에서  $S$ 의 넓이  $f(\theta)$ 와  $S'$ 의 넓이  $g(\theta)$ 를 구하시오. (단  $0 \leq \theta \leq 2\pi$ )

**문제 2: 물리 (선택)**

(가)

그림 1과 같이 물체 1(질량  $m_1$ , 속도  $v_1$ )과 물체 2(질량  $m_2$ , 속도  $v_2$ )가 원형테 내에서 반경이  $r$ 인 원형 궤도를 따라 각각 반시계방향으로 등속 원운동을 하고 있다. 두 물체의 질량비  $\alpha = m_2/m_1$ 는 정수이며,  $t=0$ 일 때 물체 1은  $+x$ 축 위의 점에서, 물체 2는  $-x$ 축 위의 점에서 출발한다. 물체 1과 물체 2는 출발 후 원형궤도를 한 바퀴 회전하기 전에 점  $P$ 에서 탄성충돌한다.  $\beta$ 는  $y$ 축과 선분  $\overline{OP}$ 가 이루는 각이다.

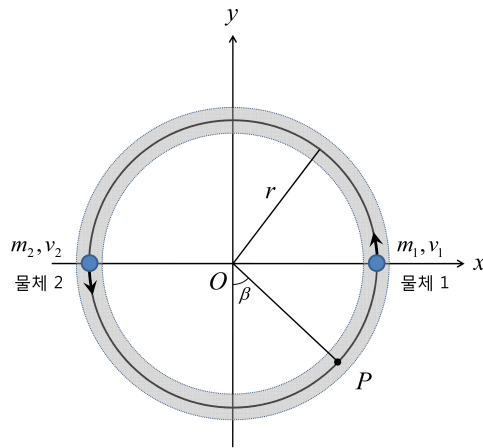


그림 1.

(나)

그림 2에서는 그림 1과 달리 원형테 내 원형궤도를 따라 동일한 질량  $m$ 과 속도  $v$ 를 갖는 두 물체가  $t=0$ 일 때  $+x$ 축 위의 점에서 동시에 출발하여 시계방향과 반시계 방향으로 각각 회전한다. 이와 동시에 원형테도 원점 둘레로 일정한 각속도  $\omega$ 로 회전을 시작한다. 두 물체는  $t=t_1$ 에 처음 충돌하고, 그동안  $t=0$ 일 때  $-x$ 축 위에 있던 점  $Q$ 가 이동한 거리를  $S$ 라 한다. 단, 두 물체는 원형테가 한 바퀴 회전하기 전에 충돌한다.

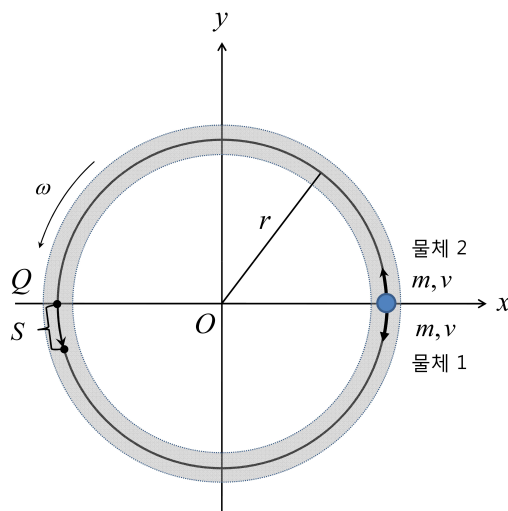


그림 2.

◎ 제시문 (가)를 읽고 아래 물음에 답하시오.

(a) 두 물체가  $P$ 점에서 처음 만날 때 속력비  $v_2/v_1$ 를  $\beta$ 의 함수로 구하시오.

(b) 두 물체가  $\beta=0$ 인  $P$ 점에서 처음 충돌한 후 물체 1의 운동 방향이 시계방향으로 바뀌기 위한 최소 정수 질량비  $\alpha_{\min}$ 을 구하시오.

(c) 질량비가  $\alpha=5$ 인 두 물체가  $\beta=0$ 인  $P$ 점에서 처음 충돌한 직후 두 물체의 속력  $v_1'$ 와  $v_2'$ 를  $v_2$ 의 함수로 구하시오.

(d) 질량비가  $\alpha=7$ 인 두 물체가  $\beta=0$ 인  $P$ 점에서 처음 충돌한 후부터 두 번째 충돌할 때까지 두 물체가 진행한 거리를 각각 구하시오.

◎ 제시문 (나)를 읽고 아래 물음에 답하시오.

(e) 그림 2에서 거리  $S$ 를 측정하면 각속도  $\omega$ 를 알 수 있다. 원형궤도의 반경이 1m인 장치로 거리  $S$ 를 측정하여 각속도를 구하고자 한다. 거리  $S$ 를 1mm 단위로 측정할 수 있다면,  $1^\circ/s$  차이가 나는 두 각속도가 구별되기 위해서는 물체의 속력은 어떤 조건을 만족해야 하는가?

**논제 3: 화학 (선택)**

(가)

1884년에 프랑스의 화학자인 르샤틀리에는 화학 평형의 이동 현상에 대하여 “어떤 가역반응이 평형상태에 있을 때 농도, 압력 및 온도를 변화시켜 화학 평형이 깨지면 그 변화를 감소시키려는 방향으로 평형이 이동하여 새로운 평형 상태에 도달한다.”라고 발표하였다. 예를 들어, 그림 1과 같이 질소 기체와 용액과의 평형상태에서 압력을 가하여 질소 기체의 부피를 줄이면 단위 부피 속의 질소 분자 수가 증가한다. 질소 기체 분자가 용액 속으로 녹아들어 가면서 증가된 압력을 감소시키는 방향으로 평행이 이동하고, 용액 속의 분자 수가 증가하며 새로운 평형에 도달한다.

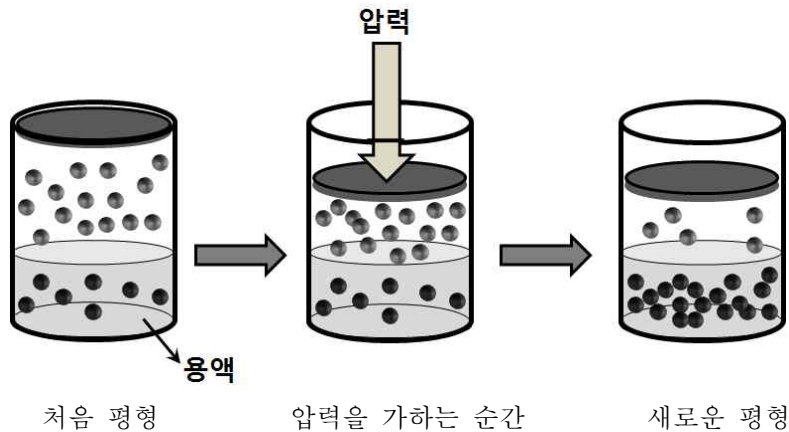


그림 1. 기체에 압력을 가했을 때 평형의 변화

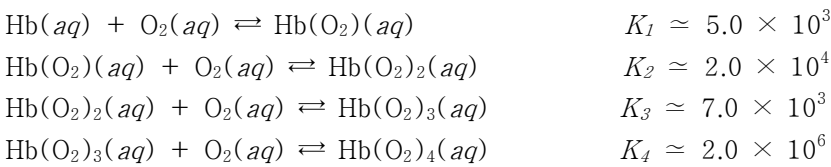
(나)

항상성은 사람의 생명 현상을 유지하는 데 필수적인 것 중 하나이다. 외부의 환경이 변화하더라도 우리 몸은 조절 장치를 통해 최적 생존 조건을 맞추면서 안정한 상태, 즉 항상성을 유지하려 한다. 그러나 외부 환경이 급격히 변할 때는 그 변화에 적응하는 데 오랜 시간이 걸리므로 우리 몸에서는 여러 가지 부작용이 일어난다. 예를 들면 해수면(1 기압)과 같은 지역에 사는 사람이 고지대(에베레스트 정상, 0.4 기압)로 가게 되면 두통, 멀미, 극단적인 피로 등의 증상이 나타나며 심한 경우에는 의식불명에 이를 수 있다. 이를 ‘고산병’이라 부르며, 이 증상은 세포에 산소 공급이 원활하게 이루어지지 못하여 산소결핍이 발생하기 때문이다. 한편 심해 잠수부들은 너무 빠르게 수면으로 나오게 되면 ‘잠수병’이라고 부르는 병이 발생하여 생명이 위험한 상태가 될 수 있다. 이는 잠수부가 수면으로 빠르게 올라오면서 압력이 빠르게 감소하여 혈액 속에 기포가 발생하고, 이 기포가 모세혈관 등을 막아 혈액의 흐름을 방해하기 때문이다. ‘고산병’과 ‘잠수병’의 발생 원인은 서로 다르지만 모두 화학 평형과 관련이 있다.

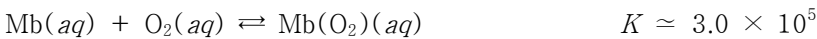
(다)

우리가 주어진 환경에서 생활할 수 있는 이유는 몸속에서 필요한 산소(O<sub>2</sub>)의 농도가 일정하게 유지되기 때문이다. 적혈구에 있는 헤모글로빈(Hb)이라는 단백질은 산소와 화학 결합을 하여 산화 헤모글로빈(Hb(O<sub>2</sub>)<sub>4</sub>)을 생성하여 산소를 운반한다. 산화 헤모글로빈이 모세혈관에 도달하면 산소가 해리되며, 해리된 산소는 거의 모든 세포에서 발견되는 미오글로빈(Mb)이라는 또 다른 산소 운반 단백질과 결합한다. 이렇게 생성된 산화 미오글로빈(Mb(O<sub>2</sub>))은 산소를 세포내로 운반하고, 산소는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)로 치환된다. 헤모글로빈은 허파에서 산소와 강하게 결합하지만, 모세혈관에서는 해리되어 자발적으로 미오글로빈에게 산소를 내어준다. 1개의 헤모글로빈은 4개의 산소와 결합하고, 1개의 미오글로빈은 1개의 산소와 결합한다. 이러한 현상은 산소의 농도와 관계가 있는데, 산소의 농도가 헤모글로빈과 미오글로빈의 평형에 영향을 주기 때문이다.

헤모글로빈의 산화 반응



미오글로빈의 산화 반응



(a) 강산과는 달리 약산은 농도에 따라 해리도가 변화한다. 예를 들면, 약산인 아세트산( $K_a = 1.76 \times 10^{-5}$ )은 1 M 용액에서 1% 이하로 해리되지만,  $10^{-4}$  M 용액에서는 34%나 해리된다. 그렇다면 1 M의 어떤 약산 HA( $K_a = 1.0 \times 10^{-6}$ )가 1 L에서 0.1%가 해리된다고 할 때, 이 용액에 99 L의 물을 첨가하였다면 몇 %의 HA가 해리되는가? 그리고 이와 같이 농도에 따라 해리도가 달라지는 현상을 르샤틀리에 원리를 근거로 논술하시오.

(b) 헤모글로빈(Hb)과 산소(O<sub>2</sub>)가 반응하여 산화 헤모글로빈(Hb(O<sub>2</sub>)<sub>4</sub>)이 되는 전체 화학 반응식 및 전체 평형 상수식을 쓰고, ‘고산병’이 발생하는 이유를 르샤틀리에 원리를 근거로 간단히 논술하시오.

(c) 제시문 (다)의 미오글로빈(Mb) 산화 반응식으로부터 이 반응의 평형 상수식을 구하시오. 그리고 허파(산소의 농도  $\approx 2.0 \times 10^{-4}$  M)와 모세혈관(산소의 농도  $\approx 3.0 \times 10^{-5}$  M) 내의 산화 헤모글로빈과 헤모글로빈의 농도비 및 산화 미오글로빈과 미오글로빈의 농도비를 각각 구하시오.

(d) 문제 (c)의 결과를 이용하여 헤모글로빈이 허파에서는 산소와 강하게 결합하지만, 모세혈관에서는 해리되어 자발적으로 미오글로빈에게 산소를 내어주는 이유를 간단히 논술하시오. 단, 헤모글로빈의 농도와 미오글로빈의 농도는 같다고 가정한다.

(e) 제시문 (나)에서 언급한 ‘잠수병’의 발생을 줄이기 위해 최근에는 잠수부의 공기탱크에 질소와 산소의 혼합기체를 넣는 대신 헬륨과 산소의 혼합기체를 사용한다. 제시문 (가)를 참조하여 헬륨을 사용하는 이유를 추론하시오.