■ 자연계 2009학년도 수시논술

[문제] 다음 <제시문 1>에서 <제시문 6>까지를 읽고 [문제 1-1]에서 [문제 6]에 답하시오.

〈제시문 1〉

과학은 자연현상의 규칙성을 찾아내어 체계적으로 형성된 지식과 이러한 지식을 얻기 위한 모든 탐구활동을 포함한다. 과학에서 탐구하는 자연의 대상은 에너지, 물질, 생명, 지구 등이며 이들을 탐구하는 분야들은 각각 독자적으로 발전하기도 하고, 서로 밀접한 관계 속에 발전하기도 한다. [(주)천재교육, 과학, p.14]

특히, 물질의 변화와 그 변화 과정에서 나타나는 에너지의 변화에 대한 과학적 이해는 인류의 문명을 크게 발전시켰다. 물질이 한 상태에서 다른 상태로 변화할 때, 에너지를 흡수 또는 방출하기도 하는데, 흡수하는 경우를 흡열반응, 방출하는 경우를 발열반응이라 한다.

우리 주변에서 일어나는 화학 반응들은 석회 동굴의 형성이나 철이 녹스는 것 등과 같이 오랜 시간이 걸리는 느린 반응도 있고, 파티 장에서 폭죽의 끈을 잡아당기면 순식간에 폭발하는 반응이나 연소 반응과 같은 빠른 반응도 있다. 반응속도는 증가하는 생성물의 변화량이나 감소하는 반응물의 변화량으로 정의되는데, 일반적으로 온도가 올라가면 반응속도가 커진다. 화학 반응이 일어나기 위해서는 반응 물질을 이루는 성분입자들이 서로 충돌해야 한다. 반응 물질의 농도가 크면 같은 부피 속에 들어 있는 입자수가 많아져서 충돌 횟수가 많아지고 그 결과 반응 속도가 빨라진다. [(주)천재교육, 과학, p.138-148 중에서 발췌]

충돌횟수(N)는 반응물의 농도뿐만 아니라 분자의 평균속력에도 비례한다고 알려져 있다. 한편 반응이 일어나기 위해서는 반응 물질의 입자들이 충분한 에너지를 가지고 충돌해야 한다. 화학 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지, 즉 극복해야 할 에너지를 활성화에너지(E_a)라고 한다. 온도가 높아지면 입자 운동이 활발해지며, 반응을 일으키는 데 충분한 에너지를 가진 입자들의 수도 많아지므로 반응속도가 빨라진다. 결국 반응속도는 아래와 같은 식으로 표현이 가능하다.

$$\text{반응속도} \propto N(T) \times e^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)}$$

여기서 R은 기체상수이고 T는 온도이다.

〈제시문 2〉

생체 내에서 일어나는 화학 반응에 작용하는 촉매를 효소라고 한다. 효소는 화학 반응에서 활성화 에너지를 낮추어 줌으로써 반응 속도를 비약적으로 증가시켜준다. 효소는 반응을 촉진하는 과정에서 반응물과 일시적으로 결합한다. 효소가 반응물과 결합하는 특정 부분을 활성 부위라고 하며 활성 부위와 결합하는 반응물을 기질이라고 부른다. [(주)금성출판사 생물 II, p.51]

대부분의 효소는 단백질로 이루어져 있다. 단백질은 아미노산들이 탈수반응에 의해서 생성된 펩티드결합으로 연결된 중합체이다. 아미노산의 일반적인 구조는 [그림 1-1]과 같다.

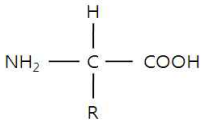


그림 1-1

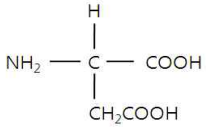


그림 1-2

여기서 R은 아미노산마다 다르며 R의 성질에 따라 20가지 아미노산의 특이한 성질이 결정된다. 예를 들어 아스파르트산 (Aspartic acid, 이하 Asp)는 R이 CH_2COOH 이며 그 구조는 [그림 1-2]와 같다.

펩신은 위장에서 일어나는 화학적 소화에 관여하는 효소이다. 펩신은 활성 부위에 두 개의 Asp를 가지고 있으며 그 구조를 편의상 A-CH_2COOH 라고 부르자 (여기서 A는 [그림 1-2]에서 R을 제외한 Asp의 나머지 부분을 지칭한다). 펩신은 온도가 일정할 때 [그림 2]와 같이 pH에 의해 그 활성이 변화한다.

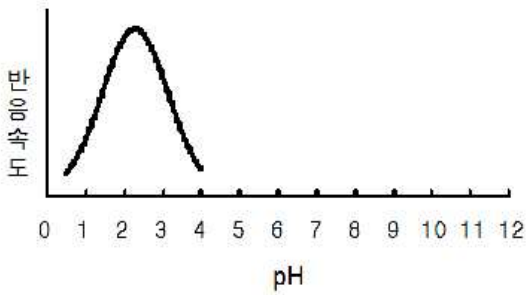


그림 2

이와 같은 펩신 활성의 pH 의존성을 설명할 수 있는 유력한 이론에 따르면, 활성 부위에 위치한 두 종류의 Asp에 있는 카르복실기가 주변 환경 차이 때문에 각각 산과 염기로 작용하여 촉매 반응이 이루어진다. 즉, 첫 번째 Asp는 주로 A-CH_2COO^-의 형태로 존재하여 염기로 작용하고 두 번째 Asp는 주로 A-CH_2COOH의 형태로 존재하여 산으로 작용한다. 만약에 펩신의 활성이 pH가 올라감에 따라 급격하게 증가한다면 이는 A-CH_2COO^- 형태의 염기가 주된 역할을 하는 것으로 생각할 수 있다. 이 경우 pH가 어느 값 이하로 떨어지게 되면 A-CH_2COO^- 형태의 염기가 존재하기 어려우므로 펩신의 활성을 감소시키는 결정적인 요인이 될 것이다. 반대로 펩신의 활성이 pH가 올라감에 따라 급격하게 감소하면 이는 A-CH_2COOH 형태의 산이 펩신의 활성에 중요한 역할을 한 것으로 생각할 수 있다. 이 경우 pH값이 어느 값 이상으로 올라가게 되면 A-CH_2COOH 형태의 산이 존재하기 어려우므로 펩신의 활성을 감소시키는 결정적인 요인이 될 것이다.

〈제시문 3〉

[그림 3]과 같이 휘발성 액체가 들어 있는 비커를 밀폐된 공간에 놓아두면 액체 표면으로부터 증발이 일어나서 기체 상태의 분자 수가 점점 많아지게 되고 생성된 기체 분자 중 일부는 액체 상태로 돌아간다. 그러다가 일정한 시간이 지나면 액체 분자들이 증발하는 속도와 기체 분자들이 응결하는 속도가 같아지는데 이렇게 물질이 두 상태 사이에서 평형을 이루고 있는 상태를 상평형이라 한다. [(주)금성출판사, 화학II, p. 231]

생활 속에서 볼 수 있는 상평형의 예로는 0 ℃에서의 물과 얼음 사이의 평형이 있다. 영상의 기온에서는 얼음이 물로 변하면서 에너지를 흡수하고, 영하의 온도에서는 물이 얼음으로 바뀌면서 에너지를

내어 놓는다. 0 ℃에서는 물이 얼음으로 변하는 속도와 얼음이 물로 변하는 속도가 같아져서 평형상태가 된다.

화학 반응 중에도 이와 같이 평형에 도달할 수 있는 반응이 있다. 예를 들어, 0 ℃에서 무색이었던 사산화이질소(N_2O_4)가 25 ℃에서는 적갈색의 이산화질소(NO_2)로 변한다. 또한 100 ℃에 있던 적갈색의 NO_2는 25 ℃에서는 무색의 N_2O_4로 바뀌는 것을 볼 수 있다. 25 ℃에서는 위 두 반응이 동시에 일어날 수 있으므로 다음과 같이 하나의 반응식으로 나타낸다.

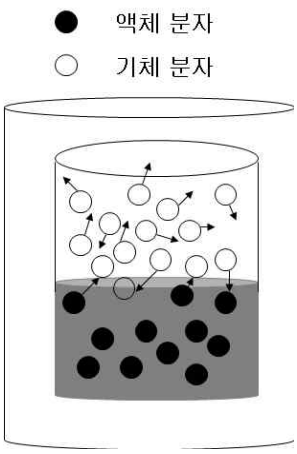


그림 3

$$N_2O_4\ (g)\ (무색) \rightleftarrows 2\ NO_2\ (g)(적갈색)$$

이와 같이 정반응과 역반응이 모두 일어나는 반응을 가역 반응이라고 하며 (평형 반응이라고도 한다), 한쪽으로만 진행되는 반응을 비가역 반응이라고 한다. 평형 반응에서 반응물과 생성물의 농도 변화가 없는 상태(즉, 반응물에서 생성물로 변하는 속도와 생성물에서 반응물로 변하는 속도가 같은 상태)를 평형 상태라고 한다. [(주)금성출판사, 화학II, p. 232]

평형 상태에서의 생성물의 농도와 반응물의 농도비를 평형상수라 부르며, 이 값은 온도의 함수이다. 평형 상태에 있는 물질에 외부 자극을 주면 평형이 깨어지게 되지만, 일정한 시간이 지나면 새로운 평형 상태에 도달하게 된다. 이 때, 새로운 평형에 도달하기 위해서는 정반응 또는 역반응이 우세하게 일어나야 하는데, 그 방향은 르샤틀리에의 원리로 설명할 수 있다. 르샤틀리에의 원리는 '평형 상태에 있는 계에 외부 자극을 주면, 계는 그 외부자극을 상쇄시키는 방향으로 스스로 조절한다'는 것이다.

〈제시문 4〉

물질의 변화는 에너지의 변화를 수반하게 된다. 물질의 변화에 따른 에너지의 변화는 열에너지의 변화 - 열(Q)-과 역학적에너지의 변화 -일(W)-로 구분된다. 열역학 제1법칙은 계의 에너지(E_{sys})와 주위의 에너지(E_{surr})의 합이 항상 일정하다는 것이다. 즉 변화량의 합 $\triangle E_{sys}+\triangle E_{surr}=0$이다. 열이 외부로부터 계로 이동하면 Q는 양의 값이 되고, 계가 외부에 일을 해주면 W는 음의 값이 된다. 일정한 외부 압력(P)에 대항하여 계가 외부에 행한 일의 양은 부피 변화($\triangle V$)와의 곱 $P\triangle V$가 된다. 즉 계의 부피가 늘어나면 계가 주위에 일을 한 것이고, 줄어들면 계가 일을 받은 것이다. 따라서, 계의 내부에너지 변화는 $\triangle E=Q-P\triangle V$로 표현된다. 이때 계와 외부 사이에 열의 이동이 없다면 계의 에너지 변화는 $\triangle E=-P\triangle V$로 표현된다. 압력이 일정한 계에서, 어떤 물질 1 g의 온도를 1 ℃ 올리는데 필요한 내부에너지를 비열(C)이라 한다. 즉, $\triangle E=mC\triangle T$인데 m은 계의 질량이다.

〈제시문 5〉

겨울철 눈이 내리지 않는 주말에도 스키를 즐길 수 있는 스키장이 있다. 그러한 곳에서 스키를 탈 수 있는 눈은 인공적으로 대량 생산이 가능하다. 인공 눈을 만드는 장치에는 약 20 기압의 압력으로 압축된 공기와 물이 혼합되어 있다. 이 장치는 물을 수증기로 변화시켜 공기와 함께 대기 중으로 분사

(spray)한다. 이때 장치 내부와 대기의 압력 차이 때문에 분사되는 공기와 수증기는 매우 빠르게 팽창하면서 인공 눈이 만들어진다. 이 과정은 매우 빠른 시간에 이루어지므로 열의 이동은 없다고 가정할 수 있다.

〈제시문 6〉

오늘날 생명 공학의 핵심적인 내용은 DNA와 유전자를 다루는 기술에 있다. 유전 정보가 담겨 있는 DNA는 모든 생물의 형질을 결정하므로 이를 조작한다는 것은 곧 생명체를 인간의 의지대로 창조하거나 변형시킬 수 있다는 것을 의미한다. 오늘날에는 DNA를 크기에 따라 분리하기, DNA 일부를 잘라 다른 DNA에 붙이기, 작은 DNA 조각을 많은 양으로 증폭시키기 등의 다양한 기술들이 개발되어 생명 공학의 유용한 도구로 이용되고 있다. [(주)금성출판사 생물 I, p.220]

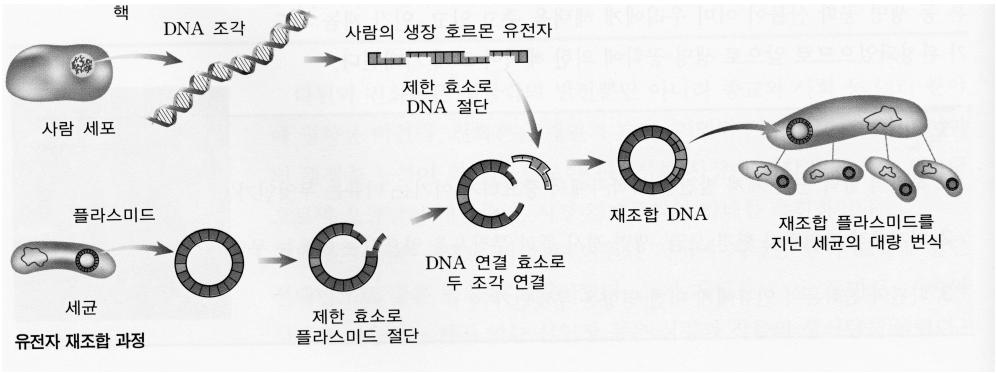


그림 4

[대한교과서(주) 생물 I, p.212]

유전자 재조합 기술은 인슐린과 같은 유용한 단백질의 대량 생산, 유전병과 암 등의 질병 치료, 식량 증산, 공해 문제의 해결 등에 활용되고 있는 생명 공학의 핵심 기술이다. 유전자 재조합 기술에는 DNA를 자르는 제한 효소, 연결하는 리가아제, 그리고 유전자의 운반체로서 플라스미드가 이용된다 ([그림 4] 참조). DNA를 자르는 제한 효소는 세균과 같은 원핵 생물의 세포에 들어 있는데, 자연 상태에서 파지와 같은 생물이 침입할 때 이들의 DNA를 잘라서 세균 자신을 보호하는 역할을 한다. 대부분의 제한 효소는 DNA의 특정한 염기 서열을 인식한 후 이 염기 서열 내의 특정한 부위를 자른다. 예를 들어서 대장균에서 분리된 *EcoR*I이라고 하는 제한 효소는 GAATTC와 CTTAAG가 상보적으로 결합한 곳을 찾아내어 G와 A 사이를 끊는다. 이렇게 잘라진 DNA는 양 끝이 단일 사슬로 된 2중 나선 도막이 되는데, 이 단일 사슬 부분이 다른 DNA와 결합할 때 중요하게 쓰인다. [(주)금성출판사 생물 II, p.265]

성균이가 속한 연구실에서 M, N 두 유전자에 대한 연구를 진행하고자 한다. M 유전자는 1005개의 염기를 가지고 있고 N 유전자는 105개의 염기를 가지고 있다. 성균이는 유전자 재조합 기술을 이용하여 M, N 두 가지의 유전자를 플라스미드에 삽입하려고 한다. 이러한 계획을 수행하기 위해서 *EcoR*I 제한 효소를 이용하기로 하였다. 지도 교수님이 성균이에게 M, N 두 유전자에 모두 내부적으로 *EcoR*I 인식서열이 존재할 가능성을 점검하라고 하셨다. 그 이유는 유전자 내부에 *EcoR*I 인식 서열이 존재하면 유전자 자체가 *EcoR*I에 의해서 잘리기 때문이다.

지도교수님의 말씀을 듣고 성균이는 다음과 같이 생각하여 M 유전자에 대해서는 *EcoR*I 인식서열의 존재 여부를 확인해야 할 필요가 있지만 N 유전자의 경우에는 그러한 필요성이 M 유전자에 비해서는 상대적으로 적다고 예측하였다.

즉, n개의 염기로 이루어진 유전자에서 상보적인 서열은 고려하지 않고 한쪽 가닥의 서열만을 생각할 때 *EcoR*I이 인식하는 6개의 연속적인 특정 염기 서열이 적어도 하나 이상 존재할 확률을 구하는 것 보다는 하나도 존재하지 않을 확률을 구하는 것이 빠르다고 생각하였다. 또한 이 유전자에서 각각의 위치에는 4 종류의 염기(A, T, G, C)들 중에 어떤 것도 들어 갈 수 있는데 그 확률은 모두 같다고 생각하였다. 먼저 n개의 염기로 이루어진 유전자에서 *EcoR*I 인식서열인 GAATTC 가 적어도 하나 이상 존재할 확률을 고려하면, n개의 염기로 이루어진 유전자에서 길이가 6인 연속적인 염기서열을 고르는 경우의 수는 $n-5$ 개이다. 각각의 위치에서 4 종류의 염기들이 들어갈 확률은 동일하다고 가정하였으므로 길이가 6인 염기서열이 GAATTC 로 배열될 확률은 $\frac{1}{4^6}$ 이다.

따라서 길이가 6인 염기서열이 GAATTC로 배열되지 않을 확률은 $1-\frac{1}{4^6}$ 이다. n개의 염기로 이루어진 유전자에서 GAATTC로 배열된 염기 서열이 단 하나도 존재하지 않을 확률은 $\left(1-\frac{1}{4^6}\right)^{n-5}$이므로 GAATTC가 한번 이상 일어날 확률은 $1-\left(1-\frac{1}{4^6}\right)^{n-5}\approx\frac{(n-5)}{4000}$ 이 된다고 예측하였다. 이때, $|x|$이 1 보다 충분히 작으면 $(1-x)^n\approx1-nx$이고 $4^6\approx4,000$이라는 근사식을 이용하였다. M 유전자의 경우 *Eco*RI 인식서열 (GAATTC)가 일어날 확률은 대략 $1/4=25\%$ 이며 N 유전자의 경우는 $1/40=2.5\%$ 이다. 따라서 성균이는 M 유전자의 경우 확인할 필요성이 높지만 N 유전자의 경우는 위험도가 낮다고 예측하였다.

[**문제 1-1]** 암모니아를 생산하는 공장을 설계하려고 한다. 질소와 수소로부터 암모니아가 만들어지는 과정은 발열반응으로 열화학반응식은 다음과 같다.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftarrows 2NH_3(g), \quad \Delta H^0 = -92.6\ kJ$$

암모니아를 대량으로 생산하려면 대체로 300 - 500 기압의 높은 압력과 400 ℃ 정도의 고온에서 공장을 가동해야 한다고 한다. 수소와 질소로부터 암모니아를 제조하기 위해 공장에서 300 - 500 기압의 고압과 400 ℃ 정도의 고온을 유지하는 이유를 설명하시오. 아래 표에 제시된 300 기압에서의 온도에 따른 수득률 값과 <제시문 1>과 <제시문 3>에 주어진 내용을 활용하시오.

온도 (℃)	200	300	400	500	600
수득률 (%)	76	60	47	26	13

[문제 1-2] 충돌횟수가 분자의 평균속력에 비례한다면, 충돌횟수는 온도의 제곱근에도 비례하는 것을 설명하시오. 곧, $N(T)\propto\sqrt{T}$임을 보이시오.

[문제 1-3] 온도가 매우 높아질 경우 일어날 수 있는 현상들에 대해 자유롭게 논하시오. 특히 충돌횟수와 화합물의 안정성에 비추어 토의하시오.

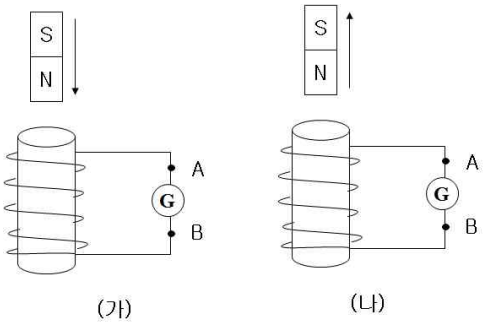
[문제 2] [문제 1]에서 언급한 암모니아의 수득률[$P(T)$]이 온도(T)에 따라 다음과 같은 식으로 표현된다고 한다.

$$P(T) = -2T + 16$$

<제시문 1>에 근거하여, 공장을 일정 기간 가동했을 때 암모니아를 최대로 생산할 수 있는 온도를 수학적으로 추론하시오. 단, 암모니아 생성반응의 활성화 에너지는 $E_a = 830\ \mathrm{J/mol}$이고 $R = 8.3\ \mathrm{J/(K \cdot mol)}$ 이다. 필요한 경우 다음과 같은 미분 공식을 이용할 수 있다. $(e^x)' = e^x$, $(x^a)' = ax^{a-1}$ (a 는 모든 실수), $[g(f(x))]' = g'(f(x))f'(x)$ [참고: 이 문제에서는 가상적으로 임의의 활성화 에너지 값을 가정하였으나 실제 값은 이보다 훨씬 크다.]

[문제 3] 야외에서 흔히 사용되는 부탄가스통 안에는 액체 부탄과 기체 부탄이 혼합되어 있으며 기체는 대기압보다 높은 압력으로 압축되어 평형을 유지하고 있다. 이 부탄가스 연료를 사용하여 조리할 때, 통이 차가워지는 이유를 논리적으로 설명하시오.

[문제 4-1] 전선을 원통 모양으로 감아 만든 코일을 향해 막대자석을 움직이면 패러데이의 전자기 유도 법칙에 의해 코일에는 유도 전류가 흐른다. 이때 유도되는 전류의 방향은 막대자석의 N-S 극성 방향과 움직이는 방향에 의해 결정된다. 오른쪽 그림에서 자석이 코일 쪽으로 다가갈 경우(가)와 멀어질 경우(나)에 각각 A와 B 사이에 흐르는 유도전류의 방향을 <제시문 3>에서 언급한 르샤틀리에의 원리에 입각하여 설명하시오.



[문제 4-2] <제시문 5>에서 서술한 인공 눈 생성과정에서 냉동기를 사용하지 않고도 인공눈을 만들 수 있는 이유를 설명하시오. 1컵(250 mL)의 물이 모두 인공 눈으로 바뀌려면 부피가 얼마나 늘어나야 할지 근사값을 찾아보시오. 외부 온도는 15℃라 가정하고, 인공 눈 생성장치에 들어 있는 압축된 혼합물(공기+물)의 비열을 $C = 4.0\ \mathrm{J/(g \cdot ^\circ C)}$, 그리고 물의 밀도를 1 g/mL로 가정

하시오. (1 기압 $\approx 10^5$ N/m^2)

[문제 5] <제시문 2>에 근거하여 pH의 변화에 따른 펩신의 활성이 [그림 2]와 같은 모양으로 나타나는 이유를 논리적으로 추론하시오.

[문제 6] <제시문 6>에 나타난 성균이의 예측이 타당한지 논하시오. .

<문항별 해설 및 예시 답안>

□ 문제 1-1 해설

공업적으로 활용되고 있는 암모니아 생산 과정을 제시문에 기술된 (고교과정 화학 과목에서 다루는 내용) 과학적 지식에 근거하여 화학평형과 반응속도론적 관점에서 논리적으로 추론하는 능력을 평가한다.

■ 예시 답안

르샤틀리에 원리에 따르면, 압력이 높아지면 분자들이 차지하는 부피가 상대적으로 줄어들게 되므로 상대적으로 차지할 수 있는 부피를 증가시킬 수 있는 방향, 즉 전체 개수가 줄어드는 방향(정반응)이 우세하여 암모니아 생성이 더 많이 될 수 있다. **(2점)**

이 반응은 발열반응이므로 온도가 낮을수록 정반응이 우세하여 암모니아 생성이 더 많이 될 수 있다. **(2점)**

화학평형의 관점에서는 온도가 낮을수록 암모니아 생성이 더 많이 되어야 하지만 온도가 낮으면 반응속도가 느려서 평형에 도달할 때까지 걸리는 시간이 많이 걸린다. 반면에, 온도를 올리면 평형의 관점에서 볼 때는 암모니아 생성이 줄어들지만, 반응속도가 증가하여 평형에 도달하는 시간이 단축된다. **(3점)**

따라서, 일정 기간 공장을 가동하여 얻을 수 있는 암모니아 생산량을 늘리려면, 수득률과 반응속도를 동시에 고려하여야 하므로 (다른 표현도 가능하 : 온도가 낮아지면 수득률은 높으나 반응속도가 느리고 온도가 올라가면 반응속도는 빠르나 수득률이 낮아지므로), 공장에서 온도는 적당히 고온인 400도 정도를 유지한다. **(3점)**