출제의도와 문제해설 (자연계)

1. 2013학년도 자연계 논술의 목표와 기본방향

2013학년도 고려대학교 수시모집 일반전형은 고려대학교 전체 전형 가운데 가장 많은 인원을 선발하며 논술의 비중이 매우 크다. 따라서 수시 일반전형을 대비하기 위해서는 논술 유형과 기본방향을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 고려대학교 논술본부는 2013학년도 자연계 논술 출제에 대한 아래와 같은 기본방향을 설정하고 모의논술고사를 실시하였다.

- 고교 과학교육 및 공교육의 정상화
- 수리 논술 및 과학 논술 문항들의 유형별 분리
- 각 과학과목의 심층 사고력 측정

2013년 논술자료집은 평가에 참가한 학생들의 답안을 토대로 모의논술고사의 출제의도와 평가기준을 밝힘으로써 수시 논술에 대한 정보를 제공하여 수험생들에게 도움을 주고자 마련되었다.

지난해 고려대학교 자연계 논술에선 수리 문항을 필수로 하고 과학 문항 중 두 문항을 선택하는 유형이었으나 2013학년도에는 모집 단위별로 정해진 과학 문항 중 하나만 선택하도록 바뀌었다. 따라서 예년과 달리 2013학년도 논술에선 풀어야 할 문항 수가 수학을 포함하여 두 개로 줄어든 점에 유의해야 한다. 이는 시험시간 부족에 따른 심층 사고의 어려움과 고교 과학 II 교과목 선택에서 발생되는 불균형을 가급적 줄이고자 시도되었다.

자연계 논술은 학교 교육의 내실을 기하고자 대부분의 제시문을 고등학교 교과서에서 직접 발췌하거나 적절하게 변형하는 방식을 사용하였다. 제시문과 논제에 사용된 소재와 개념은 이미 고등학교 교과서를 통해 익숙하게 다루어지는 것들이며 충실한 학교교육을 받은 학생이라면 쉽게 해결할 수 있는 것들로 선택하였다. 과학교과내용의 출제범위는 과학 선택과목에 따른 문제점으로 인해 가급적 과학 I을 위주로 출제하되 과학 II의 내용이 포함되는 경우도 제시문에서 충분히 설명하여 비록 해당 과학 II 과목을 선택하지 않았더라도 해결할 수 있도록 하였다.

2. 출제 의도와 논제 해설, 예시 답안 및 평가

가) 논제 1

1) 출제 의도

본 논제에서는 함수의 극한, 미분, 적분, 공간도형 등 고등학교 교과과정에서 중요하게 여기는 주제들을 다루고 있다. 하나의 논제를 통해 교과과정의 모든 주제들을 다룰 수는 없지만 중요한 주제들을 가능한 한 많이 포함하도록 하였다. 그리고 세 논제들 사이에 어느 정도의 독립성을 부여하여 앞의 논제를 해결하지 못한 학생들도 다음 논제를 해결할 수 있는 기회를 가질 수 있도록 하였다. 또한 복잡한 계산을 지양하고 문제 해결을 위한 아이디어를 찾아낼 수 있는 직관과 아이디어를 수학적으로 설명할 수 있는 능력을 평가할 수 있도록 노력하였다. 수학적 논리를 통해서 논제를 해결할 수 있도록 하고 단순한 계산 실수로 인하여 감점이 되는 요인을 최소화하도록 하였다.

2) 논제 해설 및 평가

(가) 논제 1 (a)

(1) 논제 해설

입체를 한 방향으로 k배 늘이면 부피가 k배 늘어날 것이라는 것은 직관적으로 명백하다. 이와 같이 직관적으로 명백한 특성을 고등학교 교과과정에서 학습한 미적분 이론을 이용하여 수학적으로 확인할 수 있도록 하였다. 좌표공간에 있는 입체를 하나의 축을 따라 늘이는 것은 간단한 선형 변환의 하나로 이해할 수 있다. 하나의 축을 따라 늘여서 얻어진 입체의 단면의 면적을 원래 입체의 단면의 면적으로 표현한 후 치환적분을 이용하면 입체를 한 방향으로 k배 늘였을 때 입체의 부피가 k배 늘어남을 수학적으로 확인할 수 있다.

(2) 예시 답안

입체 B를 평면 $z=t$로 자른 단면의 넓이를 $\tilde{S}(t)$라 하면

$$\tilde{S}(t) = S(\frac{t}{k})$$

이다. 따라서 입체 B의 부피 V_B는

$$V_B = \int_{ka}^{kb} \tilde{S}(t)dt = \int_{ka}^{kb} S(\frac{t}{k})dt$$

이다. $t=kz$로 치환하면

$$V_B = k\int_a^b S(z)dz = k\,V_A$$

이다.

(3) 평가

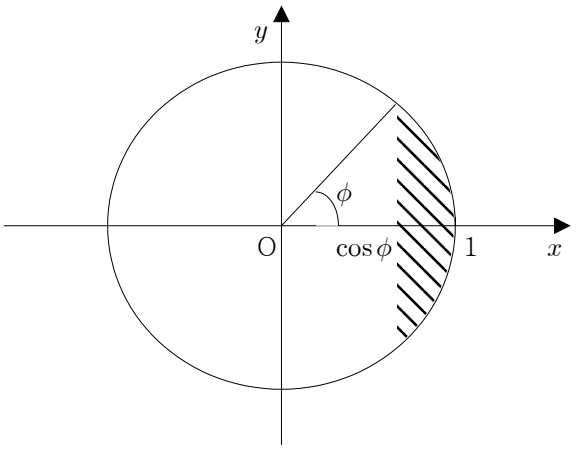
늘여서 얻어진 입체의 단면과 원래 입체의 단면의 관계를 잘 표현한 수험생들은 대부분 올바른 결론에 도달하였다. 잘못된 표현을 얻은 수험생들은 직관과 다른 잘못된 결론을 얻었다. 많은 수험생들이 단면의 넓이에 대한 잘못된 표현식을 얻은 후 직관적으로 옳다고 생각하는 결론을 유도하기 위해 다시 잘못된 계산 전개를 하기도 했다.

(나) 논제 1 (b)

(1) 논제 해설

본 논제에서는 공간도형에 대한 이해와 적분을 이용하여 입체의 부피를 계산할 수 있는지 평가하고자 하였다. 공간도형의 좌표축을 적절히 선택하면 입체의 부피를 쉽게 계산할 수 있는 경우가 많다. 적분을 용이하게 할 수 있도록 좌표축을 적절히 선택할 수 있는지, 부피 계산을 위해 적분을 올바르게 이용할 수 있는지 평가하고자 하였다.

(2) 예시 답안



$U(\phi)$는 위 그림에서 빗금 친 영역을 x축 둘레로 회전하여 얻어진 입체의 부피이다. 따라서,

$$\begin{aligned} U(\phi) &= \pi\int_{\cos\phi}^{1} (\sqrt{1-x^2})^{2dx} \\ &= \pi\int_{\cos\phi}^{1} (1-x^2)dx \\ &= \pi[x-\frac{1}{3}x^3]_{\cos\phi}^{1} \\ &= \pi\left(\frac{2}{3}-\cos\phi+\frac{1}{3}\cos^3\phi\right). \end{aligned}$$

이다.

(3) 평가

좌표축을 적절히 선택하지 못해서 입체의 부피 계산을 제대로 하지 못한 수험생들도 상당수 있었지만, 대부분의 수험생들은 좌표축을 적절히 선택하고 입체의 부피 계산을 위해 적분을 올바르게 적용하였다. 대부분의 수험생들이 적분을 이용하여 입체의 부피 계산을 하는 방법을 잘 알고 적절히 적용할 수 있다고 평가한다.

(다) 논제 1 (c)

(1) 논제 해설

본 논제에서는 어떤 함수가 만족하는 성질을 찾아내고 이 성질을 이용하여 그 함수와 관련된 극한값을 구하는 과정을 논리적으로 잘 설명할 수 있는지를 평가하고자 했다. $W(\theta)$라는 함수는 논제에서 주어진 조건만으로는 함수값을 알 수 없지만 θ가 0으로 갈 때 함수의 극한값은 항상 입체 C의 부피의 반으로 수렴한다는 사실을 알 수 있다. 이러한 관찰이 본 논제를 해결하는 출발점이 된다.

(2) 예시 답안

입체 C는 반지름이 1인 구를 한 방향으로 2배 늘여서 얻어진다. 따라서, (a)의 결과에 의해 C의 부피는 $2\times\frac{4}{3}\pi=\frac{8}{3}\pi$이다. 또한 θ가 0으로 갈 때, 평면 γ에 의해 나누어지는 C의 영역 중 작은 영역의 부피 $W(\theta)$는 C의 부피의 절반으로 수렴하므로

$$\lim_{\theta\to 0+} W(\theta)=\frac{1}{2}\times\frac{8}{3}\pi=\frac{4}{3}\pi$$

이다. 따라서 $\lim_{\theta\to 0+}\theta^a W(\theta)$가 수렴하기 위한 필요충분조건은 $a\geq 0$이다. $a=0$인 경우와 $a>0$인 경우로 나누어서 $\lim_{\theta\to 0+}\theta^a W(\theta)$의 극한값을 구하면 다음과 같다.

(i) $a=0$일 때, $\lim_{\theta\to 0+}\theta^a W(\theta)=\frac{4}{3}\pi$.

(ii) $a>0$일 때, $\lim_{\theta\to 0+}\theta^a W(\theta)=0$.

(3) 평가

평면 γ가 zx평면과 만나는 각의 조건은 θ로 정해져 있지만 어떻게 만나는지는 주어져 있지 않으므로 함수값 $W(\theta)$는 학생들에게 구체적으로 주어지지 않은 상태이다. 따라서 함수 $W(\theta)$의 특성 중 논제에서 주어진 가정들로부터 유추할 수 있는 성질만을 이용하여 결과를 얻어야 한다. 논제에서 주어진 가정만으로는 $W(\theta)$의 값을

구체적으로 구할 수 없으므로, $W(\theta)$의 값을 구체적으로 구하려고 한 경우에는 좋은 답안을 얻을 수 없다. 논제에서 구체적으로 주어지지 않은 특정한 상황을 가정하여 결과를 얻은 경우에는 감점의 요인이 되었다.

나) 논제 2

1) 출제의도

논제 2는 물리 I의 물체의 운동, 에너지 보존, 에너지 변환에 관한 이해를 시험하고 있다. 논제 2의 a)에서는 물체의 운동 에너지가 중력에 의해 위치에너지로 변환되는 과정을 이용하여 물체가 원형 틀의 최고높이에 다다르기 위한 초기속력을 묻고 있다. 즉 물체의 운동에너지가 물체의 중력에 의한 위치에너지로 완전히 변환될 때 물체는 최고점에 다다르게 된다. 이때 원형 틀을 따라 움직이는 물체는 굴림 없이 미끄럼 운동만으로 원형튜브 내를 따라 움직이는 것으로 해석하여야 한다.

논제 2의 b)에서는 원형 틀을 한 바퀴 돈 질량이 M인 (물체 1) 물체가 스프링에 매달려 있는 질량이 m인 물체(물체 2)와 완전 탄성 충돌을 할 경우 마찰력에 의한 에너지 손실로 인해 물체 1이 가지는 운동에너지가 줄어들게 된다는 점을 묻고 있으며 논제 2의 a)와는 다른 형태의 에너지 변환과정을 다루고 있다. 마찰력은 표면 수직항력에 마찰계수를 곱해서 얻을 수 있으며 마찰력에 의한 일, 즉 에너지 손실은 마찰력에 변위를 곱해서 얻을 수 있다. 이때 논제 2의 a) 결과를 이용하면 물체 1의 초기속력을 구할 수 있다.

논제 2의 c)는 물체 1의 초기속도가 a)와 b)에서 구한 물체 1의 초기속도의 최솟값과 최댓값 사이를 가질 때 원형 틀과 물체 2사이에서 왕복 운동을 하게 되는데, 왕복운동 시 스프링에 의한 마찰력 때문에 물체 1의 운동에너지는 계속 감소하여 멈추게 된다. 이때 n번째 왕복운동에서 물체 1이 원형 틀로 올라간 높이를 구할 수 있는지 묻고 있다.

논제 2의 d)는 c)에서 구한 n번째 왕복운동의 횟수를 주어진 조건들을 사용하여 구할 것을 요구한다. 물체 1은 주어진 조건에서 n = 20번 진동한 후 n = 21번째는 왕복운동을 할 수 없고 멈추게 된다는 물리적 사실을 정확히 이해해야 한다. 따라서 논제 2에서는 역학적 운동을 하는 계에서 물체의 에너지 변환과 이를 이용한 여러 조건들을 복합적으로 사용하여 물체의 운동을 해석적으로 분석할 수 있는 능력을 평가하고자 하였다.

2) 우수답안 사례

a) 물체의 초기 운동 에너지는 $K=\frac{1}{2}Mv^2$이다. 물체가 원형 틀(튜브) 내에서 초기속력 v를 가지고 원동을 할 때 최고점에서 중력에 의해 떨어지지 않고 원운동을 계속하기 위해서는 K가 최고점에서의 위치에너지 $U_1=Mg\cdot 2R$ 보다 커야 한다. 여기서 g는 중력가속도이다. 따라서 $v_{\min}=2\sqrt{gR}$ 이 되어야 한다.

b) 물체가 회전 틀을 한 바퀴 돌면 원형 틀의 최저점에서는 위치에너지가 운동에너지 K으로 변환된다. 따라서 물체가 벽면과 완전 탄성 충돌 후 $x=0$에 도달하였을 때의 속력을 v_1이라하면 에너지 보존법칙에 의해서 $\frac{1}{2}Mv^2=\frac{1}{2}Mv_1^2+2\mu_k Mgd$ 을 만족한다. 따라서 $v_1=\sqrt{v^2-4\mu_k gd}$이 된다. 이제 a)의 결과를 이용하면 $v_{\max}=2\sqrt{gR+\mu_k gd}$가 된다.

c) b)의 결과로부터 스프링에서 한번 진동 후 물체의 운동에너지는 $K_1=\frac{1}{2}M(v^2-4\mu_k gd)$이고 n번 진동한 후에는 $K_n=\frac{1}{2}M(v^2-4n\mu_k gd)$이 된다. 이제 에너지 보존 법칙 $K_n=Mgh_n$에 대입하여 구하면 $h_n=\frac{1}{2g}\left(v^2-4n\mu_k gd\right)$를 얻을 수 있다.

d) 문제 3에서 $h_n>0$인 조건은 물체가 n번 왕복운동한 후 멈춘 조건이 된다. 따라서 $v_{\max}^2-4n\mu_k gd>0$이 된다. 이 식을 정리하면, $n<1+\frac{R}{\mu_k d}$ 이 되고 문제에서 주어진 값을 대입하면 $n<21$이 되어 최대 20번 왕복 운동하게 된다.

3) 부족답안 사례 및 평가

a) 에너지 보존 법칙을 사용하지 않고 힘의 평형만으로 문제에 접근하여 즉, 물체가 최고점에서 수직항력을 받는 상황이라 잘못 판단하여 구심가속도로부터 구한 $v_{\min}=\sqrt{5gR}$ 은 틀린 답안으로 좋은 점수를 받지 못하였다. 상당수의 학생들이 이러한 방법으로 문제를 풀이하려고 하였지만 출제 의도는 까다로울 수 있는 힘의 평형으로 접근하는 것이 아니라 에너지 보존 법칙으로 쉽게 풀이할 수 있어 에너지 보존 법칙의 중요성을 인식하게 하는 것이었다.

b) 물체 I이 평면과의 마찰력에 의한 에너지 손실을 계산하여 물체 I의 운동에너지 감소로 나타나고, a)의 결과와 결합하여 물체 I의 최고점의 높이로부터 물체 I의 초기 속력을 구하면 높은 점수를 받을 수 있다. 일부 학생들이 마찰이 있는 경우 수식은 잘 기술하였으나 전체적인 물리적 상황에 맞게 설정하는 능력이 부족하였다. 이는 단순 공식 암기만으로

해결 할 수 없고 물리적 상황을 올바로 이해하고 그에 맞게 공식을 적용하는 물리학적 능력을 요구한다.

c) 물체 I이 원형 틀과 스프링 사이에서 n번 왕복 운동할 때 한번 왕복운동에서 잃게 되는 에너지를 물체 I의 운동에너지에서 n번 곱하여 에너지 감소로 표현하면 높은 점수를 받을 수 있다. 그리고 n번 왕복운동에 의한 에너지 손실을 정확히 기술하지 못하면 높은 점수를 받을 수 없다.

d) 본 항목에서 좋은 점수를 받기 위해서는 물리적인 상황을 파악하고 에너지 보존법칙을 활용하여 얻어진 결과와 물리 변수가 측정값 또는 상수로 주어질 때 올바른 결과를 유추할 수 있는 물리량의 정량적 해석 능력이 필요하다. 주어진 조건들을 잘못 대입하거나, 부등식의 의미를 잘못 해석하여 $n = 20$이 아닌 $n = 22, 21, 19$ 등 반복횟수가 틀린 경우 높은 점수를 받을 수 없다.

다) 논제 3

1) 출제 의도

제시문 (가)는 촉매 나노입자의 표면적과 나노촉매의 반응성이 비례 관계가 있다는 것을 말한다. 제시문 (나)는 결정의 표면 구조의 원자 배열을 도시하고 있으며 표면에 있는 원자에 인접해 있는 원자가 몇 개가 있는지를 파악할 수 있는지를 묻고 있다. 제시문 (다)는 인접한 물 분자의 개수가 더 많은 내부 물 분자가 표면 물 분자보다 에너지 관점에서 더 불안정하다는 것을 이야기하고 있다. 제시문 (라)에서는 전기화학 반응이 물질의 표면에서 최초로 일어난다는 것을 설명하고 있다.

2) 논제 해설 및 평가

(가) 논제 3 (a)

(1) 논제 해설

주어진 부피의 입자를 잘게 쪼개어 얻어지는 나노입자 표면적을 정량적으로 구할 수 있는지를 묻고 있다. 제시문 (가) 로부터 나노입자의 표면적과 촉매반응의 반응성 간에 비례관계가 있다는 것을 이해하고 나노입자의 크기가 1/2 로 줄 때마다 표면적은 2 배로 늘어난다는 것을 그래프로 표시할 것을 요구하고 있다.

(2) 예시 답안

나노촉매의 반응성은 화학반응의 생성물의 양에 비례하고 나노입자 표면에 노출된 표면 원자들이 이 화학반응에 직접적으로 관여하므로 나노촉매의 반응성은 나노입자의 표면적과 비례관계가 있음을 알 수 있다.

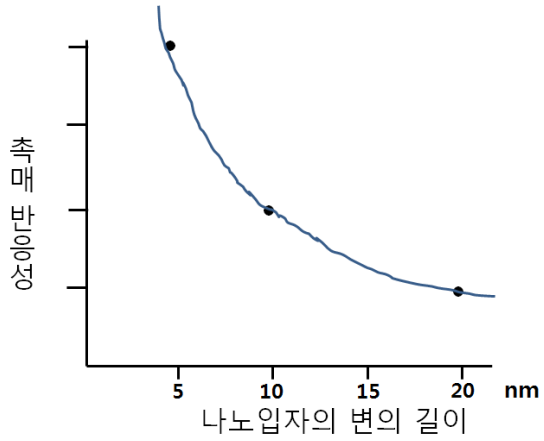
한 변이 20 nm 인 정육면체 입자를 쪼개어 10 nm 의 변을 가지는 정육면체를 만드는 경우를 고려해 보자.

20 nm 나노입자의 표면적: $6 \times 20 \times 20\ nm^2$

10 nm 나노입자의 표면적: $6 \times 8 \times 1/2 \times 1/2 \times 20 \times 20nm2 = 2 \times 6 \times 20 \times 20nm^2$

즉 입자크기가 1/2 로 줄어들수록 표면적은 2배가 되고 반응성은 2배가 된다.

이를 그래프로 표현을 하면 다음과 같다.



(3) 평가

대부분의 수험생들이 위의 입자크기와 촉매반응성 간의 역의 관계를 정확히 도출하였다. 그러나 다음의 경우는 채점 시 감점되었다.

- 그래프에 정량적인 관계를 정확히 도시할 수 있음에도 대충 그린 경우
- 나노입자가 크기가 작아지면 작아질수록 표면적이 늘어나는 구체적인 관계를 예시하지 않거나 도출 하지 못한 경우

(나) 논제 3 (b)

(1) 논제 해설

그림 B의 표면 원자는 6개의 인접 표면 원자가 있고 그림 C의 표면 원자는 9개의 인접 원자가 있어 그림 B가 가장 불안정하고 그림 C가 가장 안정하다는 것을 파악할 수 있어야 한다.

(2) 예시 답안

> 물방울의 표면에 있는 물 분자는 인접한 물 분자의 개수가 적을수록 가능한 수소결합의 수가 작아서 불안정해진다. 마찬가지로 나노입자의 표면에 있는 원자의 주변 원자의 개수가 가장 작은 표면이 가장 불안정하다. A 의 경우 표면에 있는 원자는 4개의 표면 원자와 4개의 내부원자가 둘러싸고 있다. B의 경우 4개의 내부원자와 2개의 표면 원자가 둘러싸고 있으며 C의 경우는 3개의 내부원자와 6개의 표면 원자가 둘러싸고 있다. 즉 6개의 인접원자가 있는 B 표면의 가장 불안정하며 9개의 인접원자가 있는 C 표면이 가장 안정하다.

(3) 평가

화학 교과서에 격자와 원자간의 관계가 기술 되어 있음에도 다수의 학생들이 주어진 A, B, C 그림이 방향만 다를 뿐 동일한 하나의 격자를 바라보는 것임을 파악하지 못하였다. 즉 어떠한 면이 노출되게 자르더라도 나노입자의 표면적에는 거의 차이가 없다. 나노입자의 표면적에 차이가 미미한 경우 나노입자의 표면에 있는 원자의 에너지 상태가 나노입자의 촉매 반응성을 결정짓게 된다. 이러한 관계를 혼동한 경우 감점 요인이 된다.

(4) 부족 답안의 사례

- C의 경우 노출된 원자의 개수가 가장 많으므로 표면적이 가장 커서 가장 반응성이 우수하다.

(다) 논제 3 (c)

(1) 논제 해설

나노입자의 표면적을 증가시키거나 나노입자의 표면 에너지를 증가시키는 두 가지의 전략을 파악할 수 있는지를 묻고 있다. 특히 전자의 경우 나노선이나 나노판의 구조를 만들면 나노입자의 표면적이 증가한다는 것을 정량적으로 설명할 수 있는지를 묻고 있다.

(2) 예시 답안

> 나노입자의 촉매 반응성을 향상시키기 위해서 주어진 물질의 양에서 나노입자의 표면적을 증가시키거나 높은 에너지를 지니는 즉 불안정한 표면 구조를 지니도록 하면 된다.
> 첫째, 나노입자의 표면적을 증가시키기 위해서 구형의 형태에서 탈피하여 평면 구조 또는 선형 구조를 지니는 나노구조를 형성하면 표면적을 증가시킬 수 있다. 예를 들어 10 nm 의 변의 길이를 지니는 정육면체 나노입자를 이용하여 5 nm × 10 nm × 20 nm 의 나노판 형태를 만들 수 있는데 이 경우 6 × 10 × 10 nm^2 의 나노구조 표면적에서 2 × 5 × 10 + 2 × 5 × 20 + 2 × 10 × 20 = 7 × 10 × 10 nm^2 의 표면적으로 나노입자의 표면적이 증가하게 된다. 또한 5 nm × 5 nm × 40 nm 의 나노선 형태를 만드는 경우 2 × 5 × 5 + 4 × 5 × 40 = 85 × 10 × 10 nm^2 으로 표면적이 더욱 늘어나게 된다.
> 둘째, 노출된 나노입자의 표면에 있는 원자가 인접원자의 개수가 적도록, 또한 인접 원자와의 거리를 더욱 멀리 배치된 표면 구조를 가지도록 하여 표면 원자의 에너지가 불안정하도록 나노입자를 합성하면 된다.

(3) 부족 답안의 사례

> 나노입자의 촉매 반응성을 향상시키기 위해서 나노입자의 표면적을 증가시키거나 불안정한 표면 구조를 지니도록 하면 된다.

이 경우 문제의 핵심을 정확히 파악하고 있으나 구체적인 서술이 없어서 낮은 점수를 받았다.

(라) 논제 3 (d)

(1) 논제 해설

산화 반쪽 반응과 환원 반쪽 반응을 이용하여 다음 반응식을 쓸 수 있는지를 묻고 있다.

$Au^{3+} + 3Ag \rightarrow Au + 3Ag^{+}$ 표준 전지 전위 V = 0.62

또한 3개의 Ag 원자가 하나의 Au 원자와 반응한다는 것과 Ag 나노입자의 표면 원자가 먼저 반응한다는 것을 명확히 알고 있는지를 묻는 질문이다.

(2) 예시 답안

$Au^{3+} + 3Ag \rightarrow Au + 3Ag^{+}$ 표준 전지 전위 V = 0.62

첫째 은 나노입자의 표면에 있는 은 원자가 반응에 먼저 참여할 것이다. 또한 세 개의 은 원자가 한 개의 금 이온과 반응을 하므로 얻어지는 최종 나노입자는 그 부피가 은 나노입자보다 작을 것이다.
그러므로 표면의 은 원자가 먼저 반응을 하여 부피가 조금 줄어든, 내부는 은으로 구성되고 외부는 금으로 구성된 나노입자가 형성될 것이다.

(3) 평가

다수의 학생들이 알짜 반응식은 정확히 파악하였으나 표준전위 계산에서 실수하는 경우가 종종 있었다.

(4) 부족 답안의 사례

$Au^{3+} + 3Ag \rightarrow Au + 3Ag^{+}$ 표준 전지 전위: -0.98 V

금으로 이루어진 나노입자에 은 이온이 갇혀 있는 구조가 형성된다.

이 답안은 다음과 같은 이유로 낮은 점수를 받았다.

- 위의 전위는 1.42 − 0.8 × 3 에서 나온 값으로 잘못된 전위 계산이다.
- 현실적으로 불가능한 구조를 이야기하고 있다.

라) 논제 4

1) 출제 의도

논제 4의 제시문은 생물학의 기본인 분류, 생명체의 기본 단위인 세포에서부터 진화 및 최근의 생명과학 기법에 이르기까지 다양한 부분을 다룬 문제이다. 논제에서는 면역 반응에 대한 내용까지도 묻고 있다. 즉 생물 1과 2의 과정에서 주요한 부분의 내용을 이해하고 있는지, 통합 연계적 사고가 가능한지 묻는 문제를 냈다. 생물학의 기본적인 내용에서부터 심화 내용까지를 다루었다. 특정 분야에 편중되지 않고 다양한 분야의 지식을 물어서 고교 생물과목 전 과정을 성실히 수행했는지를 묻고자 하였다.

제시문에는 교과서에서 다루지 않았더라도 문제를 풀 수 있는 충분한 기본 정보가 제공되고 있으며, 제시문과 연결된 그림은 모두 생물교과서에서 발췌하여 사용하였다. 특정 용어의 핵심 개념을 수험생이 미리 알고 있다면 수월히 풀 수 있는 문

제가 출제되었다.

2) 논제 해설 및 평가

(가) 논제 4 (a)

(1) 논제 해설

종 분화란 한 집단이 두 집단으로 나뉘고 궁극적으로는 생식적으로 격리된 집단으로 분리되는 것을 말한다. 개체 수준에서 일어나는 진화는 종 분화로 설명할 수 있다. 이 종 분화를 설명하는 모델 가운데 가장 보편적인 모델은 '지리적 격리'에 의한 분화 모델이다. 이 '지리적 격리'에 의해 일어나는 분화를 다른 말로는 '이소적 종 분화 (allopatric speciation)'라고 한다. 즉, 다른 장소에서 일어나는 종 분화라는 뜻이다. 한편, 세포 수준에서의 진화과정을 보면 원핵세포에서 진핵세포로 진화하는 과정에서 특정한 기능을 담당하는 지역을 세포 내 소기관으로 구획화하여 다른 지역과 구분을 시켰다. 즉, 세포 내 소기관의 구획화를 이용해 각 기능을 서로 구분시킴으로써 좀 더 복잡한 세포 기능이 가능하게 된 것이다. 따라서 이 문제를 풀기 위해서는 제시문 (가)에 나오는 '이소적 종 분화'라는 핵심 용어의 뜻을 이해하고 있어야 하며 제시문 (나)의 세포 내 소기관의 구획화와 논리적으로 연결할 수 있는 능력을 갖추고 있어야 한다.

(2) 예시 답안

> 제시문 (가)에서는 '생식적 격리'를 통해 종이 분화됨을 설명하고 있다. 제시문 (나)에서는 세포 내에서 생체막으로 구획을 나누어 각각의 기능을 나누는 것에 대해서 설명하고 있다. 제시문 (가)와 (나)는 모두 '분리'로 인해 생기는 다양성에 대해서 설명하고 있다…. (중략)…. 따라서 개체수준과 세포 수준에서 진화의 원동력은 '지리적 격리' '분리'이며, 이들 때문에 종이 다양해지고, 세포 소기관들이 다양해져서 진화하게 된다…. (하략)

(3) 평가

집단내의 '지리적 격리'와 세포 내의 '구획화'의 공통점을 잘 추론했으며 진화의 원동력이 되는 이유를 논리적으로 잘 설명하였기 때문에 좋은 점수를 받았다.

(4) 부족 답안의 사례

> 개체 수준과 세포 수준에서 진화의 원동력은 자연선택이라는 유사성이 있다. 개체는 돌연변이의 축적 때문에 종 분화가 일어나서 다양성이 증가한다. 다양한 종 가운데 효율적으로 생존할 수 있는 종들이 자연 선택되어서 살아남는다. 세포의 경우 세포 소기관이 구획화되어 효율적인 세포를 가진 생명체가 자연 선택된다…. (하략)

논제에서 물어보는 핵심 질문을 이해하지 못하고 제시문을 풀어쓰는데 그쳤기 때문에 좋은 점수를 받지 못했다.

(나) 논제 4 (b)

(1) 논제 해설

종 분류를 최초로 체계화시켰던 린네는 형태적 차이에 근거하여 종 분류를 하였다. 이런 분류 체계는 초기에 잘 적용되었지만, 생물학적 지식이 축적되면서 이 형태적 분류가 잘 적용되지 않는 사례가 다수 발견되었다. 그중의 한 예가 제시문 (다)에 나오는 딕티오스텔리움이다. 딕티오스텔리움은 자신이 처한 환경에 따라 자신의 형태를 독립된 세포, 이동체, 자실체로 변화시킨다. 이들은 형태적으로 전혀 다르지만 실제로는 하나의 세포에서 기인한 것들이다. 이 문제는 형태적 차이에 의한 종 분류 체계를 더는 사용하지 않게 된 계기가 되었다. 따라서 린네의 종 분류 체계가 어떤 차이를 이용해서 종 분류를 하는지 수험생이 이해하고 있다면 딕티오스텔리움과 린네의 종 분류 체계와의 부적합성은 쉽게 추론할 수 있다.

(2) 예시 답안

> 딕티오스텔리움은 먹이가 부족하면 이동체를 만든다. 이 이동체는 겉모양이 독립형 세포인 아메바형과 다르다. 따라서 이들은 린네의 분류 체계에 의하면 다른 종으로 분류된다…. (중략)…. 린네의 분류체계는 형태적으로 유사하면 같은 종으로 보기 때문이다. 각각의 생활사 역시 먹이 섭취, 생식 등의 여러 면에서 큰 차이를 보인다. 린네의 분류기준에 따르면 서로 다른 종으로 분류되기 때문에 오류가 발생할 것이다.

(3) 평가

린네의 분류 체계의 정의를 잘 이해하고 있으며, 딕티오스텔리움의 각 생활사형 간의 형태적 차이가 고전 종 분류와 현대 종 분류 체계에서 어떻게 적용되고 있는지를 잘 추론했기 때문에 좋은 점수를 받았다.

(4) 부족 답안의 사례

> 딕티오스텔리움이 재조직화하여 이동체가 되면 다핵성 거대 세포질인 점균류와 모양이 비슷하다. 따라서 린네의 분류체계에 의하면 같은 종으로 분류될 수 있다…. (중략)…. 하지만 이동체는 각 세포가 자신의 원형질막을 가지고 서로 다른 세포 덩어리로 생식하기 때문에 현대 분류 체계로는 다른 종으로 분류해야 한다.

딕티오스텔리움의 각 형태는 린네의 분류 체계에 의하면 다른 종으로 분류될 수 있으나, 같은 종으로 분류될 수 있다고 거꾸로 답안을 작성하였기 때문에 좋은 점수를 받지 못했다.

(다) 논제 4 (c)

(1) 논제 해설

딕티오스텔리움은 자신이 처한 환경에 따라 형태를 변화시킨다. 특히 독립형 세포로 사는 생활사 시기가 있고, 세포 간의 전략적 제휴를 통해 이동체나 자실체의 형태로 사는 생활사 시기가 있다. 이런 형태적 변화는 진화 과정에서 '개체는 어떻게 정의할 수 있는가?'에 대한 질문을 던진다. 딕테오스텔리움이 보이는 '원시 농업'의 형태와 유사한 대표적 사례로는 '개미와 곰팡이'의 관계가 있다. 원시 농업이 진화과정에서 갖는 이익에 대해서 설명할 수 있으려면, 먼저 진화과정의 기본 전제인 '경쟁을 통한 자연 선택'을 알고 있어야 한다. 이에 비해 원시 농업적 행동은 사회적 협동을 통해서 생존에 이익을 주는 형태라는 것을 제시문을 이용해 추론할 수 있어야 한다. 즉, 이 문제를 해결하기 위해서는 제시문 (나)와 (다)에서부터 '경쟁'과 '사회적 협동'을 끌어내고 대비시켜 논할 수 있어야 한다.

(2) 예시 답안

> 진화생물학에서는 진화의 원동력으로 '자연선택이라는 개념을 설명하고 있다. 이는 주어진 환경에서 '생존 경쟁'을 통해 선택된 개체만이 살아남아 우점종으로 퍼져 나갈 수 있다는 것이다. 그러나 제시문 (다)의 딕티오스텔리움은 '조직화함으로써 전략적 제휴'를 맺는다. 서로 경쟁해야 할 개체들이 '경쟁하지 않고 서로 사회적으로 협력하는 것은 진화생물학에서 자연선택으로 설명할 수 없는 현상'이다…. (중략)…. 원시 농업적 행동은 '개미와 곰팡이'에서 볼 수 있다. 개미는 신선한 잎을 잘라서 자신의 굴로 가져가고 자신이 키우는 곰팡이에게 줄 먹이로 제공한다. 곰팡이를 재배한 개미는 곰팡이가 만들어내는 균사를 먹으면서 성장한다…. (하략)….

(3) 평가

경쟁을 통한 자연 선택'과 '사회적 협력을 통한 생존에서의 이익'을 잘 추론하였다. 원시 농업의 사례도 잘 들고 논제에서 요구하는 방향으로 잘 설명하였다.

(4) 부족 답안의 사례

> 높은 수준으로 진화되지 않은 하등한 생명체에서 고등한 생명체에서는 관찰되지 않는 특성이 나타난다. 따라서 생명체의 진화 정도가 특성의 진화 정도와 반드시 비례하지 않는다……. (중략)…. 이 원시 농업적 행동이 유전자 손실을 방지하여 자신의 유전자 다양성을 높여준다. 따라서 다양한 유전자형의 개체가 살아남을 수 있도록 해서 특별한 의미를 갖는다.

상호 관련성이 떨어지는 원시 농업과 유전자 다양성과의 관계를 제시하면서 설명하였다. 유전자 다양성을 연결하려고 한 시도는 좋았으나, 부연 설명의 합리성과 논리성이 떨어졌기 때문에 좋은 점수를 받지 못했다.

(라) 논제 4 (d)

(1) 논제 해설

진화의 개념을 잘 알고 이를 방향적 진화에 응용할 수 있는지를 확인해 보고자 하였다. 제시문 (라)의 유전자 조작 기법에 대한 소개는 생물교과서에서 내용을 발췌하였고, 제시문 (마)의 파지디스플레이는 그 기법을 자세히 소개하였다. 이 두 제시문을 통하여 진화의 중요 개념인 다양성과 선택에 관한 내용을 추론해 낼 수 있어야 한다. 즉, 실험에 대한 자세한 방법론을 설명하기 보다는 핵심 개념을 이해하는지를 묻고자 하였다.

(2)예시 답안

> 제시문 (바)의 파지디스플레이처럼 이미 구축된 DNA 라이브러리를 사용하거나 아니면 정확도가 낮은 DNA중합효소를 사용하여 일단의 다양한 유전자 풀을 만들어야 한다……. (중략: 제시문 (마)의 재조합 DNA 만드는 과정)…. 이를 통하여 다양한 유전자의 산물인 많은 돌연변이 단백질이 만들어질 것이고, 인간이 원하는 성질을 가진 돌연변이체를 선별해 내는 과정이 중요하다…. (중략)…. 이러한 방향적 진화방법은 생물학적 진화에 비해서 매우 짧은 시간에 일어나기 때문에 원하는 유전자 산물을 빨리 확보할 수 있다. 또한 생물학적 진화는 매우 느리게 일어나고 외부 환경 등의 변화에 빠르게 대처하지 못하기 때문에 때로는 원하지 않는 방향으로 진행이 되는 것처럼 보일 수 있다…. (중략)……. 방향적 진화는 항상 인간이 의도한 방향으로 진화의 방향을 설정하기 때문에 궁극적으로 인간이 필요로 하는 지구상에 존재하지 않는 새로운 단백질 등을 생산해 내는데 유용하다.

(3) 평가

생물계에서 나타나는 돌연변이를 시험관에서 인위적으로 만들어내서 일단 다양한 유전자 풀을 확보해야 한다는 것을 잘 기술하였다. 선택과정의 경우도 생물계에서 나타나는 오랜 기간이 아닌 인간이 원하는 방향으로 매우 빠른 시간에 할 수 있다는 것을 잘 추론하였다. 진화 속도와 환경 변화에 대한 것도 언급하였다.

(4) 부족 답안의 사례

> 미량의 DNA를 PCR 방법으로 증폭하여 벡터에 삽입한다. 이 때 제한효소를 이용하여 자르고 DNA 연결효소를 이용하여 연결한다. 이를 박테리오파지에 삽입한다…. (중략)…. 생물학적인 진화는 좋은 방향의 진화와 나쁜 방향의 진화가 존재하는 방향적 진화는 항상 좋은 방향으로만 진화를 하고, 시간이 매우 빠르다는 장점이 있다.

실험방법을 디자인하라는 논제에 대하여 많은 학생들은 제시문 (마)와 (바)의 재조합 DNA를 만드는 과정이나 파지디스플레이 실험과정을 거의 다시 옮겨 적는 수준으로 작성한 학생들이 많았다. 장점으로 진화의 속도가 매우 빠르다는 것은 부분 점수를 받았으나, 나쁜 방향의 진화란 개념은 잘못된 것이다. 진화의 속도가 환경의 변화보다 느려서 적응을 못하는 것일 뿐이다.

(마) 논제 4 (e)

(1) 논제 해설

생명체의 많은 반응들은 다양한 생체 물질들 중에서 선택된 분자만이 특이성을 가지고 결합하여 나타나는 경우가 많다. 그 대표적인 예가 우리 몸을 보호하는 면역계의 항원-항체 반응이다. 제시문 (바)의 파지디스플레이 기법은 고교과정에 나오지 않는 내용이지만 자세한 제시문을 통하여 기본 개념과 방법론에 대한 정보를 충분히 제공하였다. 이를 바탕으로 생물 1 교과에서 다뤄지고 있는 면역계의 항원-항체 반응에 대해서 얼마나 이해하고 있는지를 테스트하고자 하였다.

(2) 예시 답안

> 파지디스플레이 기법에서 사용되는 표적단백질은 항원-항체 반응의 항원이라 볼 수 있다. 우리의 면역계에서도 외부 단백질이 우리 몸에 들어오면 항원으로 인식한다…. (중략)…. 파지디스플레이의 파지 표면에 발현되는 수많은 표면단백질을 마치 항체처럼 표적단백질에 선택성을 가지고 결합하게 된다. 실제로 항체의 특정부위에 발현되는 다양한 아미노산 서열만을 이용하여 항원을 인식한다…. (중략)…. 항원-항체 반응은 매우 결합력이 강하고 선택적이다. 파지디스플레이방법도 결국 여러 번의 선별과정을 거치게 되면 표적단백질에 매우 강한 결합력을 가지고 선별적으로 결합하는 표면단백질을 얻을 수 있고, 그 표면단백질의 DNA 서열 또한 추후 분석할 수 있다…. (하략)….

(3) 평가

파지디스플레이와 항원-항체 반응이 단백질-단백질 결합이라는 사실을 잘 인지하고 있다. 뿐만 아니라 한 가지 항원에 대해서 수많은 항체 중 특정의 항체가 선택적으로 결합한다는 사실을 파지디스플레이 방법의 선택성과 결부하여 잘 이해하고 있다. 항체의 특정부위만 유전자의 변이가 있어서 다양한 항체가 만들어 진다는 사실도 어느 정도 파악하고 있는 것으로 보인다.

(4) 부족 답안의 사례

> 세균이나 바이러스 같은 항원이 침입했을 때 림프구를 이용하여 항체를 만든다…. (중략)…. 이를 통하여 면역반응이 일어나게 되는데 이를 몸속의 기억세포가 기억하여 항체를 계속 생산하게 된다. 이런 항원-항체 반응은 구조적으로 유사한 단백질들 간의 1:1 반응이다…. (하략)….

대부분의 학생들이 항원-항체 반응의 개념은 알고 있기 때문에 항원이 침입했을 때 림프구를 이용하여 항체를 만드는 과정을 적은 학생들이 많았다. 즉 실제로 논제에서 묻고 있는 파지디스플레이 방법과 비교해서 설명하지 못했다.

마) 논제 5 (지구과학)

1) 출제 의도

금번 모의논술 자연계 지구과학 분야에서는 정상적인 고등학교 지구과학 교육을 받은 학생이면 쉽게 풀 수 있는 평이한 수준에서 지구과학 세부 분야들의 기본 지식에 기반한 통합적 사고방식을 평가하는 문제를 출제하였다.

특히 지구역사상 여러 번에 걸쳐 일어난 생물종의 대멸종 사건, 그 중에서도 고생대 말에서 중생대 초기에 걸쳐 일어났던 최대 규모의 멸종 사건(Great Dying)인 “End-Permian Extinction(EPME)"에 대하여 그동안의 연구 성과를 제시한 후에, 해당 지층의 지질기록에서 유추할 수 있는 지구환경의 급격한 변화를 논리적으로 추론할 수 있는 능력이 있는지를 평가하고자 하였다. 나아가 이러한 지질학적 기록이 암시하고 있는 지구환경 변화를 현재 범지구적으로 직면하고 있는 지구온난화 문제와 대비함으로써, 지구과학의 기본 사고체계, 즉 과거로부터 현재를 이해하고 또한 나아가 미래 환경을 예측하는 과정에 대한 방법론에 대하여 문제를 구성하였다.

2) 논제 해설

수험생들이 과학적 연구 성과에 대한 기술을 정확히 이해한 후에 이를 바탕으로 통합과학적이고 시스템과학적인 사고를 통하여 문제를 해결할 수 있는 능력을 가지고 있는가를 평가하는 것을 목표로 한다. 따라서 수험생들은 다소 복잡한 제시문(지구과학적 발견에 대한 기술)을 정확하게 이해하고 그 중요한 논지를 추출함으로써 논제가 요구하는 바를 적절하게 해결해야 한다.

주어진 제시문 (가)에서는 지질시대별 생물종의 멸종도를 상대 %로 제시하고 있다. 생물종의 멸종도는 세계적으로 널리 분포하는 지질시대별 지층 중에 남아있는 화석기록을 연구함으로써 얻어진다. 이 자료를 보면, 주요 지질시대의 경계에서 주요한 대멸종의 사건들이 일어났음을 보여준다. 이는 고체지구의 거대한 변화, 즉 판구조운동의 변화에 따라 지구적 규모의 대규모 환경변화가 초래되며, 이는 지구시스템을 구성하는 각 권역의 급격한 변화를 야

기함을 지시한다.

제시문 (나)는 지구역사상 최대 규모의 EPME 사건에 관한 간단한 요약 설명이다. 지구에 존재하던 대부분의 육상 및 해양생물의 대규모 멸종이 있어났으며, 이때 살아남은 극히 일부의 생물종은 다음 지질시대의 대표 생물이 되었음을 알려준다.

제시문 (다)에서는 EPME에 관한 여러 연구 중 최근에 발표된 연구 자료를 요약하여 제시하고 있다. 주어진 예시(그림 2)는 고생대 말~중생대 초의 지층이 잘 발달하여 있는 중국 남부 메이샨 지역의 통합 연구 성과이다. 주어진 그림을 보면, 페름기 말에서 트라이아스기 초에 걸쳐 화산활동이 빈번하게 일어났으며 지층 중에 포함된 화산분출물의 양도 많음을 알 수 있다. 이러한 급격한 화산활동은 흔적화석(trace fossils)의 기록으로 반영되었는데, 특히 미고결 퇴적층 중에 굴을 파고 사는 굴혈성 생물들의 흔적이 화산활동의 극대점을 기준으로 급격히 감소함을 보여준다. 이는 굴혈성 생물의 대규모 멸종을 나타낸다. 생물에 의한 미고결 퇴적층의 조직 교란, 즉 생교란의 흔적도 뚜렷이 감소하는데, 이 역시 생물종의 멸종에 기인한다. 또한, 해양생태계에서는 탄산칼슘($CaCO_3$)으로 구성된 산호와 더불어 대형조류의 멸종이 뚜렷하며, 이는 탄산칼슘의 생합성(biosynthesis), 즉 석회질 피각을 갖는 생물들의 서식이 해당 기간 동안 불가능했음을 지시한다. 산성화된 해수에서는 탄산칼슘의 생합성이 불가능해지기 때문이다. 역시 탄산칼슘 피각을 갖는 유공충(foraminifera)과 완족류(brachiopods) 또한 감소하였다. 육상생태계에서는 특히 대규모 육상식물의 종 감소가 뚜렷한데, 특히 늪지대, 소택지에서 서식하는 대규모 식물의 생태계 피해로 말미암아 석탄층이 형성되지 못하였다.

3) 예시 답안과 평가

(가) 논제 5 (a)

(1) 예시 답안

> 판게아(2억5천2백만년전의 잇따른 대륙 충돌로 만들어진 초대륙)에서의 화산활동, 특히 맨틀 기원의 화산활동은 막대한 양의 화산가스(이산화탄소 등)와 화산분출물을 방출하였다. 더욱이 시베리아 화산활동은 석탄층의 대규모 연소를 야기하여 온실가스인 메탄의 농도 증가를 야기하였다.
>
> 물론, 화산활동 초기에 분출된 막대한 양의 화산먼지는 태양광의 유입을 차단하여 일시적으로 대규모의 지표 냉각을 야기하였을 것이지만, 곧이어 온실가스의 농도 증가에 따른 오랜 기간의 농도 상승이 지속되었을 것이다.
>
> 한편, 온실가스의 농도 증가(실제, 이 시기의 대기 이산화탄소 농도 추정치는 약 2000 ppm에 도달한 것으로 해석)는 해수에 녹는 이산화탄소의 농도 증가를 야기하고, 이는 결국 해양 산성화를 초래했을 것이다.

(2) 평가

- 온실가스 농도 증가 및 이와 관련된 해양 산성화에 대한 논리적 추론 여부

(나) 논제 5 (b)

(1) 예시 답안

> 해양산성화로 대표되는 대규모 해양환경 변화는 특히 해저 퇴적층에 굴을 파고 서식하는 굴혈성 생물들의 대규모 멸종을 야기하였다. 또한, 바닷물 속의 칼슘으로부터 탄산칼슘을 생합성하여 피각을 만들어 살아가는 석회질 조류, 산호, 유공층 등에 막대한 피해를 주었는데, 이는 산성화된 해양환경에서는 탄산칼슘의 용해도가 감소하기 때문이다.

(2) 평가

- 해양 산성화와 탄산칼슘 용해도 변화의 인과성을 논리적으로 설명해야 함.

(다) 논제 5 (c)

(1) 예시 답안

> 트라이스아스기가 시작된 후에 형성된 석탄층은 존재하지 않으며, 이후에도 아주 얇거나 품위가 낮다. 이는 석탄층을 형성하는 식물들의 멸종이 주된 원인으로 생각된다. 탄층을 생성하는 대규모 식물 군락은 소택지 환경에서 발견되는데, 따라서 이러한 육상생태계가 토양 및 대기의 산성화에 의해 소멸된 것으로 추정할 수 있다. 산성화된 대기 및 강우는 광합성을 저해하는 것으로 알려져 있다.
> 그 밖에, 화산활동에 의해 대기로부터 낙하한 화산쇄설물의 양이 증가하여 식물의 광합성을 저해하여 식물종의 성장을 저해했을 가능성도 있다.

(2) 평가

- 석탄층 생성 식물의 성장 환경과 대기 산성화 또는 광합성 간의 상관성을 논리적으로 설명해야 함.

(라) 논제 5 (d)

(1) 예시 답안

> 해양 무척추동물 중에서는 일부만이 산성화된 해양환경에서 완전히 멸종하지 않고 일부가 살아남을 수 있었다. 이들은 산성화에 대한 면역성 내지 저항성이 큰 일부 동물들이었다. 이산화탄소가 풍부한 해양 환경에서 살아남은 이들 동물은 특별한 가스 교환 기작을 갖거나 탄산칼슘 피각의 모양이 특별하여 용해 영향이 상대적으로 적은 것들이었는데, 대표적인 예는 암모나이트이다. 그밖에, 갯나리류(*crinoids*)도 완전 멸종을 면할 수 있었다.

(2) 평가

- 중생대 대표적인 시준화석인 암모나이트를 답하면 됨

(마) 논제 5 (e)

(1) 예시 답안

EPME 사건은 자연적인 지질과정에 의해 촉발된 이산화탄소 농도 증가, 즉 자연적인 온실효과에 의해 대규모 지구 생물종의 멸종이 야기될 수 있음을 보여준다. 이에 반해, 최근의 지구온난화는 자연적인 과정이 아니라 인간에 의한 과정(특히 화석연료의 사용)이 그 원인이다.

한편, 두 과정 모두 이산화탄소의 농도 증가에서 기인하는 연속적인 지구시스템 변화의 결과라는 점에서는 동일하다. 즉, 양자 모두 암권-기권-수권-생물권으로 연결된 지구시스템에서의 탄소순환에 관련된 문제이다.

(2) 평가

- 지구시스템의 탄소순환과 관련한 차이점과 유사성을 논리적으로 설명해야 함