V. 출제 의도와 문제 해설(자연계)

1. 2012학년도 자연계 논술고사 출제의 기본방향

고려대학교 논술본부는 2012학년도 자연계 논술 출제에 대해 다음과 같은 기본방향을 설정하고 모의논술고사를 실시했다. 모의논술고사의 출제의도와 평가기준을 밝힘으로써 수시 논술에 대한 정확한 정보를 제공하고 수험생 및 학부모들에게 도움을 주고자 한다.

(1) 고교 과학교육 및 공교육의 정상화
(2) 수리 및 과학 분야의 개별 및 부분통합 교과형 논술
(3) 각 과학과목 I을 중심으로 한 사고력 측정

지난해까지 고려대학교 자연계논술에서는 수리 및 과학교과들을 통합한 개별 및 부분통합교과형 유형을 채택하였으며 이는 2012학년도에도 유지될 예정이다. 2012학년도에는 수리 문항인 논제 1, 2는 필수로 하되 과학 문항인 논제 3,4,5,6은 넷 중에서 둘을 수험생이 택하여 풀도록 하고 있다. 이는 시험시간 부족에 따른 심층 사고의 어려움과 고교 과학 II 교과목 선택에 따른 불균형을 가급적 줄이고자 함이다. 논제 3,4,5,6의 경우 과학의 네 개 교과목(물리, 화학, 생물, 지구과학)에서 출제된다. 과학문항에서는 지나친 통합이 가져오는 혼선과 과학과목 선택에 따른 어려움을 최소화하고자 통합의 정도와 난이도를 적절하게 조절했다.

자연계 논술은 본고사 논란을 피하고 학교 교육의 내실을 기하고자 대부분의 제시문을 고등학교 교과서의 내용을 근간으로 해 제시했다. 제시문과 논제에 사용된 소재와 개념은 이미 고등학교 교과서를 통해 익숙하게 다루어지는 것들이며, 논제들은 학교교육을 충실히 받은 학생이라면 쉽게 해결할 수 있는 것들로 선택했다. 과학교과내용의 출제범위는 과학 선택과목에 따른 문제점을 감안해 과학 I을 위주로 해 출제하되 과학 II의 내용이 포함되는 경우는 제시문에서 충분히 설명하여 비록 해당 과학 II 과목을 배우지 않았더라도 풀 수 있도록 배려하였다.

2. 평가의 기본방향

자연계 논술 답안은 최종 결과뿐만 아니라 결론에 이르는 단계까지의 논리적 근거를 간략하면서도 명확하게 단계적으로 서술하는 것이 핵심이다. 반드시 필요한 논리적 추론 과정과 핵심 수식의 계산 과정을 제시하지 않고 답만 쓴 경우에는 좋은 평가를 받을 수 없다. 문제의 핵심과 상관이 없는 내용을 불필요하게 서술한 경우에도 좋은 평가를 받을 수 없다.

3. 출제 의도와 논제 해설, 예시 답안 및 평가

논제 1

가) 출제 의도

다항함수의 성질을 이해하는 것은 현 고등학교의 교과과정에서 매우 중요한 부분을 차지한다. 이 논제에서는 이차함수의 그래프를 보고 최고차항의 계수의 부호를 판단하여 실제의 문제에 응용할 수 있는지, 이차함수의 그래프 위의 두 점을 지나는 직선과 평행한 접선의 위치를 간단한 미분의 성질을 활용하여 유추할 수 있는지, 평행사변형의 면적을 주어진 정보를 활용하여 구할 수 있는지, 그리고 두 곡선에 의해서 둘러싸인 영역의 면적을 적분을 이용하여 구할 수 있는지를 측정하는 질문들을 하나의 논제에 통합시켰다. 또한 다항식의 미정계수 결정에 관한 문제를 정적분 문제와 결합하여 두 개념을 정확하게 이해하고 능숙하게 이용할 수 있는지를 측정하고자 했다. 즉 수학적 지식을 논리적으로 적용시켜 답을 구할 수 있는지를 평가하고자 했다. 출제 범위에 있어서는 다항식의 미분과 적분에 초점을 맞추어 모든 수험생들에게 익숙한 내용 이내에서 출제하려고 노력했다.

나) 논제 해설 및 평가

(a)

① 논제 해설

다항함수 중 간단한 이차함수의 성질에 관련된 논제이다. 이 논제를 해결하기 위해서는 직선의 방정식, 접선의 방정식, 평행사변형의 면적 산출 방식, 정적분을 이용한 곡선으로 둘러싸인 영역의 면적 산출 방식 등을 이해해야 하며, 기본적인 지식들을 문제를 풀어가는 과정에서 자연스럽게 적용할 수 있어야 한다. 그리고 이차식을 인수분해하여 간단한 형태로 나타낼 수 있어야 한다.

② 예시 답안

우선 그림으로부터 $a>0$의 조건을 얻는다. 직선 AB의 방정식 $y=\ell(x)$는 다음과 같다.

$$y=\ell(x)=\frac{f(x_2)-f(x_1)}{x_2-x_1}(x-x_1)+f(x_1)$$

직선 DC와 포물선이 접하는 점의 좌표는 $\left(\frac{x_1+x_2}{2}, f\left(\frac{x_1+x_2}{2}\right)\right)$이다. 따라서 선분 BC의 길이 L은 다음과 같다.

$$L=\ell\left(\frac{x_1+x_2}{2}\right)-f\left(\frac{x_1+x_2}{2}\right)=\frac{f(x_1)+f(x_2)}{2}-f\left(\frac{x_1+x_2}{2}\right)=\frac{a(x_2-x_1)^2}{4}$$

그러므로 평행사변형 $ACDB$의 면적은 $a(x_2-x_1)^3/4$ 이다.

직선 AB와 곡선 $y=f(x)$로 둘러싸인 영역의 면적은 정적분을 이용하여 구하면 $a(x_2-x_1)^3/6$ 이다. 그러므로 면적의 비는 $2:3$이 된다.

③ 평가

그림으로부터 주어진 조건을 잘 구한 수험생들은 대부분 올바른 결론에 도달하였지만 마지막 부분에서 인수분해를 잘못한 경우가 있었다.

(b)

① 논제 해설

주어진 조건을 이용하여 식을 세우고 일반적인 다항식의 형태를 이용하여 다항식의 계수비교에 의한 결론을 이끌어 낼 수 있는가를 묻고 있는데, 실제로는 위와 같은 해결 방법 이외에도 세워진 식의 양변을 미분하여 1계 미분방정식을 세우고 그것을 풀어도 같은 결론에 도달하게 된다. 주어진 그래프가 증가한다는 사실을 이용하여 마지막에 $a_2 > 0$의 조건을 찾아내는 것도 숨겨진 문제이다.

② 예시 답안

$g(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \cdots + a_0$ $(a_n \neq 0)$라 하면

$$A_1 = \int_0^r \pi (g(x))^2 \, dx = \pi \frac{a_n^2}{2n+1} r^{2n+1} + \cdots + \pi a_0^2 r$$

이고

$$A_2 = \pi (g(r))^2 r = \pi a_n^2 r^{2n+1} + \cdots + \pi a_0^2 r$$

이다. $A_1 = \frac{1}{5} A_2$에서 최고차항의 계수를 비교하면

$$\pi \frac{a_n^2}{2n+1} = \pi \frac{a_n^2}{5}$$

을 얻는다. 따라서 $n = 2$가 된다. 마지막 항의 계수를 비교하면 $\pi a_0^2 = \frac{1}{5} \pi a_0^2$을 얻기 때문에 $a_0 = 0$이 된다. 그러므로 $g(x) = a_2 x^2 + a_1 x$의 형태가 된다. 이것을 위의 식에 다시 대입하여 마지막 항의 계수를 다시 비교하면 $a_1 = 0$이 되어 $g(x) = a_2 x^2$ $(a_2 > 0)$의 형태를 얻게 된다.

③ 평가

해결의 도입 부분에서 임의로 다항함수를 2차함수로 가정하고 출발한 경우가 많이 있었는데 이 경우는 상당한 감점을 받는다. 처음에 올바른 출발을 하였는데도 마지막에 $a_0 = a_1 = 0$이라는 사실에 도달하지 못하고 그냥 2차함수라는 결론만을 도출한 경우도 감점이 된다.

논제 2

가) 출제 의도

합집합과 교집합은 집합들에 대한 기본적인 연산들로써 고등학교 1학년 수학 교과과정에서 중요하게 다루는 개념이다. 제시문에서는 무한개의 집합들의 합집합과 교집합에 대한 정의를 기술하고 있다. 무한개의 집합들의 합집합과 교집합에 대한 정의는 유한개의 집합들의 합집합과 교집합의 정의의 자연스러운 확장이다.

본 논제에서는 고등학교 교과과정에서 다루는 집합의 기본적인 개념과 집합의 연산을 이용하여 수학적 논리에 대한 이해도를 평가하고자 하였다. 본 논제의 해결을 위해서는 집합들의 교집합에 대한 정확한 이해와 수학적 논리력이 필요하다. 그러므로 정확한 이해력을 가지고 결과를 유추한 후 논리적으로 기술하는 것이 요구된다.

나) 논제 해설 및 평가

(a)

① 논제 해설

집합의 포함 관계를 정확하게 이해하고 있는지, 집합의 포함 관계를 논리적으로 주장할 수 있는지 평가하고자 하였다.

② 예시 답안

Y의 원소 C_1과 C_2가 $C_1 \subset C_2$를 만족한다고 하자. $x \in F(C_1)$이면 $x = f(y)$를 만족하는 $y \in C_1$이 존재한다. $y \in C_1$이므로 $y \in C_2$이고 $x = f(y) \in F(C_2)$이다. 따라서 $F(C_1) \subset F(C_2)$이다.

(b)

① 논제 해설

제시문에서 설명하고 있는 무한개의 집합의 교집합 개념을 이해할 수 있는지, 수학적 귀납법을 이용한 논리적인 설명을 할 수 있는지 평가하고자 하였다.

② 예시 답안

Y의 원소 D가 $F(D) = D$를 만족한다고 하자. (a)를 이용하면 수학적 귀납법에 의해

$$B_n \supset B_{n+1}, \quad n = 1,2,...$$

를 보일 수 있다. 다시 수학적 귀납법에 의해

$$D \subset B_n, \quad n = 1,2,...$$

를 보일 수 있다. 따라서 $D \subset B$이다.

(c)

① 논제 해설

함수 $f(x)$가 구체적으로 주어졌을 때 (a)와 (b)의 일반적인 성질로부터 구체적인 결과를 찾아낼 수 있는지 평가하고자 했다.

② 예시 답안

$X=R$이고 $f(x)=-\sin\frac{x}{2}$일 때, 수학적 귀납법을 이용하여

$$B_n \subset [-(1/2)^{n-2},(1/2)^{n-2}], \quad n=2,3,...$$

을 보일 수 있다. 즉 $B_1=R$이고 $B_2=[-1,1]$이므로 $n=2$일 때, $B_n \subset [-(1/2)^{n-2},(1/2)^{n-2}]$ 이다. 그리고 2 이상의 어떤 자연수 n에 대하여 $B_n \subset [-(1/2)^{n-2},(1/2)^{n-2}]$ 이면

$$B_{n+1} \subset F([-(1/2)^{n-2},(1/2)^{n-2}])$$

이다. $x \in F([-(1/2)^{n-2},(1/2)^{n-2}])$이면 $x=f(y)=-\sin y$를 만족하는 $y \in [-(1/2)^{n-2},(1/2)^{n-2}]$가 존재한다. 따라서

$$|x|=\sin\frac{|y|}{2} \le \frac{1}{2}|y| \le (\frac{1}{2})^{n-1}$$

이며

$$B_{n+1} \subset F([-(1/2)^{n-2},(1/2)^{n-2}]) \subset [-(1/2)^{n-1},(1/2)^{n-1}]$$

이 성립한다. 그러므로 수학적 귀납법에 의해, 2 이상의 모든 자연수 n에 대해 $B_n \subset [-(1/2)^{n-2},(1/2)^{n-2}]$ 가 성립한다.

그러므로

$$B=\bigcap_{n=1}^{\infty} B_n \subset \bigcap_{n=1}^{\infty} [-(1/2)^{n-2},(1/2)^{n-2}]=\{0\}$$

이다. (b)에 의해 $F(A)=A$를 만족하는 A는 $A \subset B$를 만족하므로 $A=\phi$ 또는 $A=\{0\}$이다. $A=\phi$와 $A=\{0\}$ 두 경우 모두 $F(A)=A$를 만족함을 확인할 수 있다.

논제 3

가) 출제 의도

논제 3은 물리 I의 물체의 운동, 광전효과 및 줄에 생기는 정상파 파동의 기본 진동에 대한 이해를 묻고 있다. 논제 3의 문항 (a)에서는 등가속도 운동을 하는 물체가 경사면을 내려올 때 중간지점에서 경사 각도가 바뀐 조건을 적용하여 전체 경사면을 내려올 때 걸린 총 시간을 물었다. 그리고 문항 (b)에서는 광전효과의 정확한 이해를 물었으며, 문항 (c)에서는 줄에 생기는 정상파 파동의 기본 진동수의 이해를 물었다. 문항 (a)는 물리의 가장 기본 개념인 등가속도 운동의 정확한 이해와 운동이 진행되는

동안 바뀐 상황에 어떻게 물리법칙이 적용되는지에 대한 이해의 정도를 평가하려고 하였다. 그리고 문항 (b)에서는 빛의 입자성을 증명한 아인슈타인의 광전효과를 이해하고 있는지 평가하려고 하였으며, 문항 (c)에서는 파동의 고유진동수를 이해하고 여러 음악 악기들의 아름다운 하모닉 신호의 원리를 이해하고 있는지 평가하고자 하였다.

나) 논제 해설 및 평가

(a)

① 논제 해설

등가속도 운동법칙을 적용하여 중간지점에서의 속도를 구하고 이를 나머지 경사면을 내려갈 때 초기 조건으로 사용하여 걸린 총 시간을 등가속도 운동법칙을 이용하여 구하는 문제이다.

② 예시 답안

1 장난감 자동차가 미끄러져 내려가는 쪽의 판과 수평 방향의 변위를 $x(t)$라고 하자. 그러면 $x(0)=0$일 것이다. 중력의 수평 방향 성분에 대한 뉴턴의 제2법칙을 사용하면$ma(t)=mg\sin\theta_1$ 이 성립하고 여기서 $\sin\theta_1=\frac{1}{\sqrt{2}}$이 된다. 위의 수식을 한번 적분하면 $v(t)=\frac{g}{\sqrt{2}}t$ 가 된다. 여기서 초기 속력이 0이므로 적분상수도 0이다. 적분을 한 번 더 하면 $x(t)=\frac{g}{2\sqrt{2}}t^2$ 이다. 판의 중심에서의 시간을 t_m이라고 한다면

$$x(t_m)=\frac{l}{2}=\frac{g}{2\sqrt{2}}t_m^2$$

이고 이를 t_m에 대하여 풀면

$$t_m=2^{1/4}\sqrt{\frac{l}{g}}=\sqrt{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{l}{g}}$$

이 얻어진다.

2 회전 직후 자동차의 속력은 $v(t_m)=\frac{g}{\sqrt{2}}t_m=\frac{g}{\sqrt{2}}\sqrt{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{l}{g}}=\frac{\sqrt{gl}}{\sqrt{\sqrt{2}}}$ 이고 이 값을 초기 속력으로 가정하고 등가속도 문제를 풀면 된다. 이때 뉴턴 방정식을 다시 쓰면 $ma(t)=mg\sin\theta_2$ 이 성립한다. 단 여기서 $\sin\theta_2=\frac{1}{2}$이다. 따라서 받게 되는 가속도는 $\frac{g}{2}$
이다. t_f를 자동차가 중앙에서 끝까지 미끄러지는데 걸린 시간이라고 하면
$\frac{l}{2}=\frac{\sqrt{gl}}{\sqrt{\sqrt{2}}}t_f+\frac{1}{2}\frac{g}{2}t_f^2$ 이 성립한다. 이는 시간에 대한 2차 방정식이고 이를 풀면 다음과 같다.

$$t_f=-\sqrt{\frac{2\sqrt{2}\,l}{g}}\pm\sqrt{\frac{2\sqrt{2}\,l}{g}+\frac{2l}{g}}$$

여기서 시간은 양수여야 하는 조건으로부터 양의해만 택한다. 따라서 총 시간은

$t_m + t_f = \sqrt{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{l}{g}} - \sqrt{\frac{2\sqrt{2}\,l}{g}} + \sqrt{\frac{2\sqrt{2}\,l}{g} + \frac{2l}{g}} = \sqrt{\frac{l}{g}}\left(\sqrt{\sqrt{2}} - \sqrt{2\sqrt{2}} + \sqrt{2}\sqrt{\sqrt{2}+1}\right)$으로 정리된다.

③ 평가

- 비탈진 면에서 질량을 가진 물체가 중력장 내에서 마찰력이 없이 미끄러질 때 특정 거리를 이동하는 데 걸리는 시간을 계산하는 기초적인 역학 지식을 사용한 경우 높은 점수를 주었다.
- 단순히 공식을 암기해 중간 기울기가 변화하는 순간의 조건들을 잘못 적용한 경우 낮은 점수를 주었다.

(b)

① 논제 해설

우선 광전효과를 일어나게 할 수 있는 빛에너지의 임계값을 구하여, 입사하는 빛 에너지로부터 임계에너지를 빼서 광전자의 운동에너지를 구할 수 있다. 그리고 야구공의 운동에너지와의 크기 비교를 통해 거시 물체와 미시 물체들 사이의 큰 운동에너지 비를, 모든 물리계에서 같은 물리 법칙이 적용된다는 점을 이용하여 구한다.

② 예시 답안

광전효과에서 입사한 빔의 에너지는 다음과 같은 에너지 보존 법칙을 만족한다.

$E = hf = W + K = hf_0 + \frac{1}{2}mv^2,$ (1)

여기에서 $W = hf_0$ 는 사용한 금속의 일함수이고 f_0는 광전효과 문턱주파수이다.

따라서 임계파장 λ_0로부터 사용한 금속의 일함수를 구하면

$W = hf_0 = h\frac{c}{\lambda_0}$ 의 관계식에서, c는 빛의 속도:

$W = (6.6\times10^{-34}\,\mathrm{J\cdot s})(3.0\times10^{8}\,\mathrm{m/s})\left(\frac{1}{2\times10^{-7}\,\mathrm{m}} - \frac{1}{5\times10^{-7}\,\mathrm{m}}\right) = 4.0\times10^{-19}\,\mathrm{J}$ 이다.

식 (1)에서 파장 λ_1에서 광전자의 운동에너지 K는

$K = hc\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_0}\right) = 5.9\times10^{-19}\,\mathrm{J}$ 이다.

따라서 광전자의 속도는

$v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2\times5.9\times10^{-19}\,\mathrm{J}}{9.1\times10^{-31}\,\mathrm{kg}}} = 1.1\times10^{6}\,\mathrm{m/s}$ 이다.

야구공의 운동에너지는 공기의 저항을 무시할 때

$K_b = \frac{1}{2} m_b v_b^2 = \frac{1}{2}(0.1\,\mathrm{kg})(55\,\mathrm{m/s})^2 = 125\,\mathrm{J}$ 이다.

따라서 파장 λ_1에서의 광자의 개수 N_p는

$N_p = \frac{K_b}{K} = \frac{125\,\mathrm{J}}{5.9\times10^{-19}\mathrm{J}} = 2.1\times10^{20}$ 개가 된다.

③ 평가

- 광전효과의 문턱에너지 개념을 적용하여, 광전자의 운동에너지를 구하고 그 크기와 단위를 명확히 이해한 경우 높은 점수를 주었다.
- 광전자의 운동에너지와 야구공의 운동에너지가 같은 물리량이므로, 광전자의 개수와 그 크기를 직접 비교하여 명확하게 답을 유추한 경우 높은 점수를 주었다.
- 물리량의 크기와 단위가 주어졌으므로 계산 시 물리량의 크기와 단위가 어떻게 바뀌는지 고려한 경우 높은 점수를 주었다.
- 광전효과의 문턱에너지 개념을 적용하지 못해 광전자의 운동에너지를 정확히 계산하지 못하거나 광전자의 운동에너지와 야구공의 운동에너지 크기를 비교할 수 있다는 생각에 미치지 못한 경우 낮은 점수를 주었다.

(c)

① 논제 해설

줄에 생기는 기본 진동수가 줄에 생기는 파동의 속도와 줄의 길이만으로 주어진다는 사실을 알고 있어야 한다. 그리고 줄에 생기는 정상파의 기본 진동수와 문항 (a)에서의 전자기 파동 간의 주파수 비를 구하면 쉽게 주파수 크기를 비교할 수 있다.

② 예시 답안

우선 기본 진동수 f_r을 파장이 가장 긴 정상파 $\lambda_r = 2L$(공기 굴절율은 1)이므로, $f_r = \frac{c}{\lambda_r} = \frac{c}{2L}$이 된다. (2)

항목 (b)에서 파장 λ_1과 λ_0 사이의 주파수 차이는

$\Delta f = c(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_0}) = (3\times10^8\,\mathrm{m/s})(\frac{1}{200\,\mathrm{nm}} - \frac{1}{500\,\mathrm{nm}}) = 9.0\times10^{14}\,\mathrm{Hz}$ 이다.

또한 길이 $L = 1\,\mathrm{m}$ 인 광학 공진기의 기본 진동수는

$f_r = \frac{c}{2L} = \frac{3.0\times10^8\,\mathrm{m/s}}{2\times(1.0\,\mathrm{m})} = 1.5\times10^8\,\mathrm{Hz}$ 이므로

$\frac{\Delta f}{f_r} = \frac{9.0\times10^{14}\,\mathrm{Hz}}{1.5\times10^8\,\mathrm{Hz}} = 6.0\times10^6$ 배이다.

③ 평가

- 기본 진동수가 줄에서의 속도와 줄의 길이로만 표현됨을 명확히 이해하고, 빛의 주파수와 같은 물리량이므로 빛의 주파수 차이를 구하여 기본 주파수의 비를 직접 비교한 경우 높은 점수를 주었다.
- 물리량의 크기와 단위가 주어졌으므로 계산 시 물리량의 크기와 단위가 어떻게 바뀌는지 고려한 경우 높은 점수를 주었다.
- 기본 진동수가 줄에서의 속도와 줄의 길이로만 표현되며 빛의 주파수와 같은 물리량이므로 직접 크기를 비교할 수 있다는 생각에 미치지 못한 경우 낮은 점수를 주었다.

논제 4

가) 출제 의도

논제 4는 분자의 구조와 성질에 관한 문제로, '화학I' 교과과정에서 다루고 있는 분자의 물리적, 화학적 성질에 대한 통합적 이해력과 논리적 분석력을 측정하고자 하였다. 구체적으로 '과학' 교과과정에서 다루고 있는 분자내 결합과 액체와 고체의 성질, 액체와 고체가 되게 하는 힘에 대해 정확하게 이해하고 있는지 평가하고자 하였으며, 제시문에 주어진 예로부터 화합물의 구조와 분자 간 상호작용의 관계를 추론하고 이를 논제 해결에 응용할 수 있는 논리적 사고력을 평가하고자 하였다.

제시문 (바)에서는 극성에 따른 분자 사이에 작용하는 힘에 대하여 설명했으며, 제시문 (사)에서는 분자의 극성이 전기음성도에 의해 결정된다는 사실을 제시했다. 그리고 분자의 구조가 극성에 관련이 있다는 것을 예를 들어 설명하였다. 제시문 (아)에서는 화학결합의 종류와 결합력에 대하여 설명했다.

나) 논제 해설 및 평가

(a)

① 논제 해설

분자구조의 대칭성과 분자 극성에 관한 상관관계를 이해하고 극성분자와 비극성분자 사이의 끓는점 차이를 비교해 이를 화합물의 끓는점의 상대적인 차이를 예측하는 데 적용할 수 있는지를 물었다. 또한 무극성 분자는 분자가 커짐에 따라 분산력이 커지고, 이에 따라 끓는점이 증가한다는 사실을 이해하고 있는지를 물었다.

17족 원소의 수소화합물은 극성분자이고, 분자 사이에 쌍극자-쌍극자 힘이 존재한다. 같은 주기에 있는 14족 원소의 수소화합물은 무극성 분자이고 분자 사이에 유발쌍극자-유발쌍극자 힘이 존재한다. 제시문에 의하면 분자량이 비슷할 경우에 쌍극자-쌍극자 힘이 유발쌍극자-유발쌍극자 힘보다 강하게 작용하기 때문에, 17족 원소의 수소화합물이 같은 주기에 있는 14족 원소의 수소화합물보다 끓는점이 높다.

14족 원소의 수소화합물에서는 14족 원소와 수소사이에 극성공유결합을 하고 있으나, 분자구조가 정사면체 구조를 하고 있다. 14족 원소의 수소화합물은 4개의 극성결합이 정사면체 구조를 하고 있기 때문에 분자 내에서 극성이 상쇄되어 14족 원소의 수소화합물은 무극성분자이다. 제시문에 의하면 무극성 분자 사이에는 분산력이 존재하며 분자량이 클수록 분산력이 커지고, 따라서 분자의 끓는점이 증가한다. 따라서 CH_4, SiH_4, GeH_4, SnH_4로 갈수록 분산력이 증가하고, 이에 따라 끓는점이 증가한다.

② 예시 답안

14족 원소 수소화합물은 수소와 14족 원소 사이에 극성결합을 하고 있다. 하지만, 14족 원소 수소화합물은 정사면체 구조를 갖고, 4개의 극성결합이 분자 내에서 상쇄되어 전체적으로 무극성분자가 된다.

17족 원소 수소화합물은 수소와 17족 원소사이에 극성결합을 하고 있고, 비대칭 선형구조를 가지므로 전체적으로 극성분자이다. 제시문에서 극성분자사이에는 쌍극자-쌍극자 힘이 존재하고, 무극성 분자사이에는 유도쌍극자-유도쌍극자 힘인 분산력이 존재하며, 쌍극자-쌍극자 힘이 분산력보다 크므로, 17족 원소 수소 화합물의 끓는점이 14족 원소 수소 화합물보다 크다.

14족 수소화합물의 분자 간의 힘은 분산력이다. 제시문에 따르면 분산력은 분자량이 증가할수록 전자를 많이 갖게 되고 편극이 잘 일어나 커진다. 14족 수소화합물은 CH_4, SiH_4, GeH_4, SnH_4로 갈수록 분자량이 커지고 또한 분산력이 커진다. 따라서 CH_4, SiH_4, GeH_4, SnH_4로 갈수록 끓는점이 증가한다.

③ 평가

부족 답안의 사례

14족 원소 수소화합물은 무극성분자이고, 17족 원소 수소화합물은 극성분자이다. 따라서 17족 원소 수소화합물의 끓는점이 높다.

이 답안은 다음과 같은 이유로 낮은 점수를 받았다.

- 14족 원소 수소화합물이 왜 무극성분자인지 설명하지 않았다.
- 17족 원소 수소화합물이 왜 극성분자인지 설명하지 않았다.
- 극성분자가 무극성분자보다 끓는점이 왜 높은지 설명하지 않았다.
- CH_4, SiH_4, GeH_4, SnH_4로 갈수록 분산력이 왜 커지는지 근거를 제시하지 않았다.

(b)

① 논제 해설

17족 수소화합물은 극성공유 결합을 하고 있는 극성분자이다. HF가 다른 17족 원소의 수소화합물에 비해서 끓는점이 높은 것은 F의 전기음성도가 상당히 높아서 강한 수소결합을 하고 있기 때문이다. 이 논제는 HF분자가 수소결합을 한다는 사실을 이해하고 있는지를 물었다. HF를 제외한 17족 수소화합물의 끓는점이 주기가 증가함에 따라 증가하는 이유는 분산력이 커지기 때문이다. 이 논제는 극성분자에서도 분산력이 존재하고, 분산력은 분자가 커짐에 따라 증가한다는 개념을 이해하고 있는지를 물었다.

17족 원소 수소화합물은 수소와 17족 원소 사이에 극성공유결합을 하고 있다. 따라서 17족 원소의 수소화합물은 극성분자이다. 제시문에 의하면 극성분자 사이에는 쌍극자-쌍극자 힘이 존재한다. HF가 다른 17족 원소의 수소화합물에 비해서 끓는점이 높은 것은 F의 전기음성도가 상당히 높아서 강한 수소결합을 하고 있기 때문이다. HCl, HBr, HI로 갈수록 끓는점이 높아지는 이유는 분자의 크기가 커지므로 분산력이 커지기 때문이다.

② 예시 답안

17족 원소 수소화합물은 수소와 17족 원소 사이에 극성결합을 하며, 비대칭 선형구조를 가지므로 전체적으로 극성분자이다. 따라서 극성분자사이에 쌍극자-쌍극자 힘이 존재한다. HF는 F의 전기음성도가 크기 때문에, HF 분자사이에는 수소결합이 존재한다. 수소결합은 분자사이의 강한 극성결합이다. 따라서, HF의 끓는점은 수소결합을 갖지 않은 다른 17족 원소 수소화합물보다 높다.

17족 원소 수소화합물은 극성분자 사이의 쌍극자-쌍극자 힘뿐만 아니라, 분자 사이에 분산력이 존재한다. 3주기 이상의 17족 원소 수소화합물은 Cl, Br, I로 갈수록 전자수가 많아져서 분산력이 크게 증가하기 때문에 끓는점이 증가한다.

③ 평가

부족 답안의 사례

HF가 극성이 크기 때문에 끓는점이 가장 높다.
HCl, HBr, HI로 갈수록 쌍극자-쌍극자 힘이 커지기 때문에 끓는점이 증가한다.

이 답안은 다음과 같은 관련 사실을 잘못 이해하고 있으므로 낮은 점수를 주었다.

- HF가 극성이 가장 크다. 하지만 끓는점이 경향성보다 훨씬 높은 이유가 수소결합 때문이다.
- HCl, HBr, HI로 갈수록 쌍극자-쌍극자 힘이 작아진다.

(c)

① 논제 해설

대표적으로 수소결합을 하는 화합물인 NH_3, H_2O, HF 중에서 H_2O의 끓는점은 예외적으로 높다. 용액상에서 하나의 물분자는 정사면체 구조를 통해서 최대 4개의 수소결합이 가능하며, 전체적으로 3차원적인 수소결합 네트워크를 만든다. 이는 물의 가장 중요한 구조적인 특성 중의 하나이다. 물분자들이 3차원적인 수소결합 네트워크를 형성하면서 서로 단단히 연결되어 있다. 따라서 끓는점이 높다. 이 논제는 물분자들이 용액상에서 3차원적 수소결합 네트워크를 만든다는 사실을 알고 있는지 묻는다.

액체상에서 H_2O, NH_3, HF는 극성분자이며 또한 수소결합을 한다. 따라서 분자량이 비슷한 다른 분자에 비해서 끓는점이 높다. 두 분자사이의 수소결합의 세기는 전기음성도 차가 커지는 순서인 NH_3, H_2O, HF 순서로 증가한다. 액체상에서 하나의 H_2O분자는 주변의 H_2O분자와 정사면체를 이루어 최대 4개의 수소결합이 가능하다. 따라서 물분자는 액체상에서 거대한 3차원적인 수소결합 네트워크를 만든다. 반면에 액체상에서 NH_3는 최대 4개의 수소결합을 만들며, HF는 최대 2개의 수소결합을 만든다. 하지만 NH_3와 HF는 H_2O분자와 같이 거대한 수소결합 네트워크 구조를 만들지는 않는다. 따라서 H_2O분자는 액체상에서 수소결합 네트워크이므로 평균적으로 분자 간 결합이 강하기 때문에 H_2O의 끓는점이 NH_3와 HF보다 높다.

② 예시 답안

H_2O분자는 액체상에서 주변의 H_2O분자와 수소결합을 하고, H_2O분자 하나당 정사면체 구조로 4개의 수소결합이 가능하기 때문에 3차원적인 수소결합 네트워크를 만든다. 반면에, 액체상에서 NH_3와 HF는 H_2O분자와 같이 거대한 수소결합 네트워크구조를 만들지는 않는다. 따라서 H_2O분자는 액체상에서 3차원적 수소결합 네트워크이므로 평균적으로 분자 간 결합이 강하기 때문에 H_2O의 끓는점이 NH_3와 HF보다 높다.

③ 평가

부족 답안의 사례

H_2O가 분자당 최대 수소결합 개수가 가장 많기 때문에 끓는점이 가장 높다. H_2O의 분자간 수소결합의 세기가 가장 크기 때문에 끓는점이 높다.

이 답안은 다음과 같은 관련 사실을 잘못 이해하고 있으므로 낮은 점수를 주었다.

- H_2O는 분자당 최대 수소결합 개수는 4개이고, NH_3는 분자당 최대 수소결합 개수가 4개이다.
- HF가 분자간 수소결합의 세기가 가장 크다.

논제 5

가) 출제 의도

논제 5의 제시문은 고등학교 교과서 생물 2에 있는 '유전자와 형질발현' 중 'RNA와 전사'에 나오는 내용으로 유전자가 발현될 때 중요한 작용 기전인 전사의 원리에 대한 문제이다. 전사과정은 효소와 전사인자, 보조인자 등 많은 단백질들이 관여하며, 이들 단백질과 DNA와의 결합, 또는 단백질 간의 결합 여부에 따라 유전자의 발현이 조절된다. 제시문에 설명되어 있는 전사과정의 기전을 올바로 이해하고 전사를 조절하는 단백질들의 기능을 파악해 논리적으로 표현할 수 있는지 평가하고자 했다. 또한 전사에 관한 생물학적 실험 결과를 제시문에 근거해 해석할 수 있는지 평가하고자 했다. 생물 1에는 없는 내용이지만 지문을 통해 충분히 용어 및 개념들이 설명되어 있으므로, 생물 2를 배우지 않은 학생들도 제시문을 올바로 이해한다면 풀 수 있는 문제이다.

나) 논제 해설 및 평가

(a)

① 논제 해설

어떤 유전정보를 가지고 있는 특정한 유전자가 발현하기 위해서는 RNA 중합효소가 전사인자와 보조인자들의 도움으로 정확하게 목표 유전자의 프로모터 부위에 결합해 전사를 유도하는 것이 중요하다. 이러한 전사과정에서 전사인자와 전사보조인자들이 어떤 기능을 하는지를 묻는 문제로, 제시문에 설명

되어 있는 전사의 원리를 이해하고 실험결과를 통해 전사에 관여하는 단백질들의 기능을 논리적으로 추론할 수 있어야 한다.

② 예시 답안

제시문 (자)에서 전사인자는 발현하고자 하는 유전자의 프로모터에 결합하여 RNA 중합효소가 정확하게 전사를 하도록 도와주는 역할을 한다고 했으므로, 대장균 RNA 중합효소, 대장균 DNA, 뉴클레오티드만 들어 있을 경우, 전사인자가 없기 때문에 RNA 중합효소가 정확한 프로모터를 찾지 못하고 무작위로 RNA를 합성한다. 따라서 대장균의 세포에서 발견되는 RNA와 다른 RNA가 합성되었다. 단백질 X를 추가로 넣어 주었을 경우, 정상적인 RNA가 합성되었으므로 단백질 X는 전사인자임을 알 수 있다. 단백질 X가 목표로 하는 유전자의 프로모터 부위에 결합하여 RNA 중합효소가 유전자를 정확하게 전사하도록 한다. 단백질 X와 Y를 추가로 넣어 주었을 경우, 전사가 일어나지 않았으므로, 단백질 Y는 제시문 (차)에 설명되어 있는 바와 같이 전사인자 X와 결합하여 전사를 억제하는 보조억제인자임을 알 수 있다. 단백질 X에 의해 RNA 중합효소가 목표 유전자의 정확한 프로모터를 찾았지만 보조억제인자 Y에 의해 전사가 억제되었다.

③ 평가

부족 답안의 사례

X를 넣으면 전사가 일어났으므로 X는 보조활성인자이고, Y를 넣으면 전사가 일어나지 않았으므로 Y는 보조억제인자이다.

제시문의 내용을 정확히 파악하지 못하고, 논리적인 근거도 제시하지 않았으며, 전사가 일어나면 활성, 일어나지 않으면 억제라는 단순한 사고로 답하여 낮은 점수를 부여했다. 논제를 충분히 이해하지 못하고 X, Y 단백질이 무엇인지 답을 구하는 것에만 관심을 가지고 있는 경우도 낮은 점수를 부여했다.

(b)

① 논제 해설

세포내의 생물학적 활성은 단백질 간의 결합과 단백질-DNA와의 결합에 의해 영향을 받는데, 이들 간의 결합이 전사활성에 어떻게 영향을 미치는지 묻는 문제로 제시문에 소개되어 있는 내용을 통해 논리를 제시할 수 있어야 한다.

② 예시 답안

제시문 (타)에서 전사인자 B의 활성부위와 DNA 결합부위가 결합되어 있어야만 전사가 일어난다고 했으므로, 단백질 1이 있는 세포에서만 전사가 일어났다는 것은 단백질 1이 단백질 C와 결합하여 전사인자 B의 DNA 활성부위와 결합부위를 연결시켜주는 연결자 역할을 함을 알 수 있다. 따라서 단백질 1은 단백질 C와 결합을 하는 단백질이고 단백질 2와 3은 단백질 C와 결합을 하지 않는 단백질이다. 결과적으로, 전사인자 B는 유전자 A의 전사를 유도하는 전사인자이고, 단백질 C와 단백질이 1이 결합하여 전사인자 B의 전사활성을 촉진시켜 유전자 A의 전사를 유도하였다.

③ 평가

부족 답안의 사례

단백질 1에서만 전사가 일어났으므로 단백질 1은 보조활성인자, 단백질 2와 3은 보조억제인자이다.

제시문에 설명되어 있는 내용을 무시하고 전사가 일어나면 활성인자, 일어나지 않으면 억제인자라는 단순한 사고를 하였으므로 낮은 점수를 부여했다. 또한 유전자와 단백질의 관계를 요약하라는 질문에 대해서 단백질 1, 2, 3이 무엇인지만 답하고 이들의 관계를 설명하지 않은 경우도 좋은 점수를 부여하지 않았다.

(c)

① 논제 해설

고등생물의 발생과정에 관련된 유전자의 발현 조절이 전사인자와 다른 단백질들의 상호작용에 의하여 유전자 과발현 후, 점차적으로 발현이 억제되는 현상을 설명할 수 있는지 알아보고자 하였다.

② 예시 답안

i) 유전자 O가 발현하는 단백질은 태아 발생과정 시에 많이 발현되는 단백질이며, 출생 직후까지 발현은 되지만 적은 양이 발현되고, 출생 후 시간이 지나면 발현이 중지되는 단백질이다. ii) 태아 발생과정 시에는 전사인자 P의 단백질결합부위가 보조활성인자 Q와 결합하고 있으나, 출생 직후에는 전사인자 P의 단백질결합부위의 변형으로 인하여 보조활성인자 Q와 결합하지 못하며, 출생 후 시간이 지나면 전사인자 P의 단백질결합부위의 다른 변형으로 인하여 보조억제인자 R과 결합한다.

③ 평가

부족 답안의 사례

P와 R이 결합한 경우, 전사가 일어나지 않는다. P와 Q가 결합한 경우, 전사가 일어난다. P만 작용한 경우, 약간의 전사가 일어난다.

문제에 이미 전사인자와 보조활성인자, 보조억제인자가 각각 결합하는 조건을 제시했으므로 이 현상에 대한 설명을 하면 되는데, 학생 스스로 조건을 만들어 답안을 작성한 경우 문제를 제대로 파악하지 못하였으므로 좋은 점수를 부여하지 않았다.

논제 6

가) 출제 의도

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

특히 지구촌 현안 문제인 지구온난화 및 엘리뇨를 주제로 하여, 지구과학자가 활용하고 있는 연구방법들의 기저가 되는 원리와 사유 방식 등을 문제로 구성하였다. 즉 범지구적 현상의 이해를 위해서는 지질-천문-해양-기상 분야의 통합적인 시스템과학적 사고가 중요함을 인식시키고자 통합적 문제를 제시하였다.

나) 논제 해설

과학적 연구 성과에 대한 기술을 정확히 이해한 후 이를 바탕으로 통합과학적이고 시스템과학적인 사고를 통하여 문제를 해결하는 수험생들의 능력을 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.

제시문 (파)는 지구온난화와 엘리뇨, 즉 지구의 온도 변화로 표현되는 범지구적 현상을 이해하기 위하여, 지구과학자 특히 지질/지구화학자가 성공적으로 적용하여 온 안정동위원소 연구기법을 간단히 정리하였다. 이를 바탕으로, 그동안의 연구 성과에 관하여 제시된 그림 자료를 해석하고 추론하는 문제로 구성하였다. 제시문 (하)는 지구를 천문학적 관점에서 태양계를 구성하는 하나의 행성시스템으로 생각하고 근처의 행성들과 지구시스템 특성을 서로 비교하여 지구 환경의 특성을 보여주었다. 가장 먼저 태양계 행성들의 에너지 공급원인 태양에너지의 유입량을 고려하였으며 지구온난화에 대한 이해 기반을 마련한 과학자들의 업적을 바탕으로 대기의 조성에 의한 온실효과를 설명하였다.

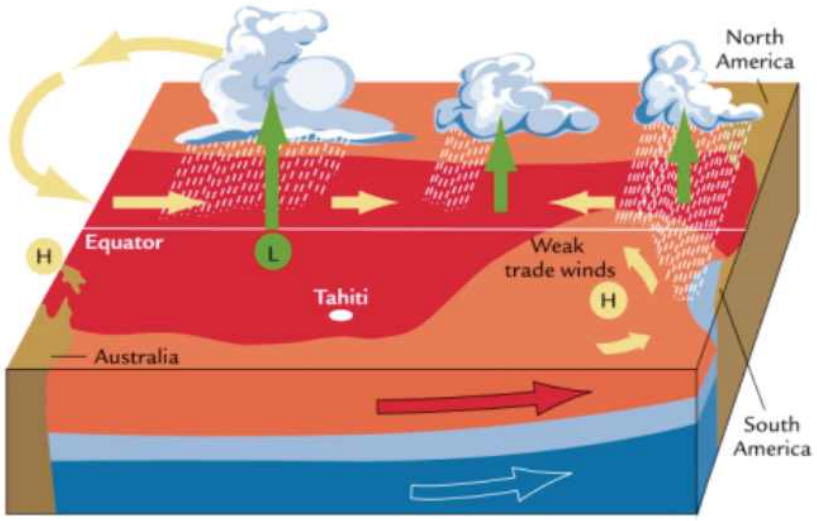
다) 예시 답안과 평가

(a)

i)

① 예시 답안

엘니뇨는 적도 무역풍(동풍)의 다소 주기적인 약화로 인해 발생한다. 이 때 페루 연안에서는 차가운 용승류의 형성이 약화되고 해수온도가 증가하며, 따라서 서태평양에 위치하던 따뜻한 표층 해수는 중앙태평양 쪽으로 이동한다. 서태평양 쪽에서는 정상기에는 따뜻한 고온저압대 및 다우대가 위치하지만, 엘니뇨 시기에는 찬 기류의 하강에 의한 고압대(가뭄) 및 찬 냉수대의 상승이 발생하며 해수 온도는 감소하게 된다.



B El Niño year

② 평가

- 해수 온도가 감소한다는 간단한 답만 기재한 경우: 1점
- 엘리뇨 형성의 메커니즘을 체계적으로 추가 기술한 경우: 3점

ii)

① 예시 답안

제시문에 주어진 바와 같이, 해수 온도와 산호(CaCO3)의 산소동위원소 값 사이에는 T (℃) = 16.9 − 4.2 ($\delta^{18}O_{CaCO3}$ − $\delta^{18}O_{water}$)의 관계식이 성립한다. 따라서 해수의 동위원소 조성이 일정(0‰)한 조건 하에서 엘리뇨 때 서태평양 해수의 온도가 감소하면 $\delta^{18}O_{CaCO3}$는 증가하게 된다.

② 평가

- 해수 온도 감소에 의해 산호의 동위원소 값이 증가한다고 쓴 경우: 3점
- 해수 온도가 증가하기에 동위원소 값이 감소한다고 쓴 경우: 1점

iii)

① 예시 답안

제시된 그림의 산소동위원소 값은 해수(동위원소 값 일정)의 온도를 추정하기 위해 사용된 CaCO3 각을 갖는 유공충 등 바다생물들의 산소동위원소 값을 나타낸다. 주어진 그림에서 보면 제3기 동안 동위원소 값이 꾸준히 증가하는 경향이 나타나며, 이는 위에서 살펴본 바와 같이 해수의 온도가 점차 감소하였음을 지시한다. 한편, 주어진 온도−동위원소 관계식을 보면 해수 온도 1도 하강은 약 0.23‰의 동위원소 값 상승과 일치한다.

따라서 가와 나 시기에 대하여 각각 초기와 후기의 동위원소 증가량을 이용하여 온도 변화를 추정하여 보면, 가 시기의 경우에는 대략적인 증가량은 약 1.4% 정도로서 이는 대략 6℃ 정도의 온도

감소에 해당한다. 나 시기의 경우에는 약 1.7% 정도로 증가하여 대략 7℃ 정도의 온도 감소에 해당한다.

② 평가
- 경향 분석을 통하여 온도가 점차 감소하였다고 기술한 경우: 1점
- 수온 변화와 동위원소 변화 간의 관계를 기술한 경우: 추가 1점
- 가와 나 시기의 대략적인 수온 변화량을 기술한 경우: 추가 각 1점
  (추정 값의 오차가 큰 경우는 각 0.5점)

iv)

① 예시 답안

바다 생물의 산소동위원소 값은 기본적으로 해수 온도 변화를 따른다. 본 문제에서는 물의 수온 변화를 빙하의 성장 및 용해와 관련하여 살펴보았다. 중기 마이오세의 경우 해수의 동위원소 값은 뚜렷하게 증가하고 있다. 이를 해수로부터의 얼음 성장과 관련하여 살펴보면, 빙하가 점차 성장하여 잔류 해수의 산소 동위원소 값이 증가하였음을 알 수 있다.

② 평가
- 해수의 동위원소 값의 변화 경향(뚜렷한 증가)을 기술하여 빙하 성장을 유도한 경우: 2점
- 그렇게 하지 않은 경우: 0점

(b)

i)

① 예시 답안

각 행성 표면 (단위면적)으로 유입되는 태양에너지는 태양에서부터 행성까지의 거리의 제곱에 비례하여 작아지게 된다. 지구 표면 단위면적당 유입되는 태양에너지를 1 단위로 했으므로 금성과 화성 표면에 유입되는 에너지는 각각 $\frac{1}{0.7^2}$과 $\frac{1}{1.5^2}$ 단위가 된다. 이를 계산하면 금성은 2 단위 화성은 0.44 단위가 된다.

② 평가
- 금성 2 단위, 화성 0.44 단위로 답한 경우: 3점
- 계산을 하지 않고 금성 $\frac{1}{0.7^2}$ 화성 $\frac{1}{1.5^2}$로 답한 경우: 2점
- 하나만 맞은 경우: 1점

ii)

① 예시 답안

우주로 방출되는 열의 일부를 대기에서 흡수하게 되므로 흡수되는 열의 양은 행성에 존재하는 대기의 양에 비례하며 이는 대기압에 비례한다. 따라서 세 행성의 대기압은 금성 지구 화성이 각각 100, 1, 0.01 기압이므로 대기의 양에 의한 온도 영향은 금성이 가장 크고 화성이 가장 작게 된다. 이 행성들의 태양에서부터의 거리와 알베도만을 고려한 온도와 실제 온도 사이의 차를 비교하면 금성 473 K 지구 33 K, 화성 3 K로 대기압이 가장 큰 순서인 금성 지구 화성의 순서와 같다. 즉 퓨리에의 추측이 맞는 것을 알 수 있다.

② 평가

- 대기압을 이용하여 세 행성의 대기 양을 비교한 경우: 1.5점
  (금성 지구 화성의 대기의 양 = 100 : 1 : 0.01)
- 거리와 알베도만을 고려한 온도와 실제 온도의 차이를 계산한 경우: 1.5점
- 금성 지구 화성: 473 K, 33 K, 3 K. 따라서 퓨리에의 예측이 들어맞은 경우: 1점

iii)

① 예시 답안

각 행성에서 이산화탄소와 수증기의 양을 구하여 비교

	이산화탄소 (기압)	수증기 (기압)
금성	0.96 x 100 = 96	0.003 x 100 = 0.3
지구	0.0004 x 1 = 0.0004	0.01 x 1 = 0.01
화성	0.95 x 0.01 = 0.0095	0.0003 x 0.01 = 0.000003

금성은 이산화탄소의 온실효과가 가장 우세함
지구는 수증기의 온실효과가 상대적으로 우세함
화성은 온실효과 미약

② 평가

- 각 행성의 대기압과 온실기체의 상대적인 농도비로부터 온실기체의 양을 정량적으로 추정한 경우 (위의 표): 2점
- 행성별로 온실기체별에 의한 온실효과를 비교한 경우: 2점

iv)

① 예시 답안

그림을 새로 그리지 않아서 알고 있는 사실과 정확하게 일치하지는 않으나 지구의 복사 스펙트럼에서 (그림 6-3) 큰 값을 나타내는 영역 중 아래 두 온실기체의 흡수도가 낮은 영역에서 흡수하는 기체가 가장 강력한 온실효과를 나타낼 수 있다. 주어진 그림에 의거하면 약 10~20 mm 영역이 된다.

② 평가

- 파장 영역 10~20 mm 또는 10~15 mm : 2점
- 파장 영역 10 mm, 15 mm, 20 mm : 1점