2012학년도 수시모집 논술시험(자연2) 문제 예시답안

▣ 자연계 2교시 ▣

□ 문제 1

함수와 그 극한은 수학적 문제를 해결할 뿐만 아니라 실생활에도 적용할 수 있는 유용한 개념이다. 유리함수(분수함수)의 구조와 극한의 개념을 잘 이해하고 있는지, 수학적인 도구를 사용하여 문제를 해결 할 수 있는 논리적 사고 능력 가지고 있는지를 평가하고자 하였다.

[문제 1-i] 두 다항함수 $p(x), q(x)$의 근들 사이의 관계를 알아내고, 문제의 조건을 이용하여 α와 β의 값을 구할 수 있다.
[문제 1-ii] $p(x)$와 $q(x)$의 공통인수를 약분하고 연속의 정의를 사용하면 쉽게 구할 수 있다.

[문제 1] 다음 <제시문 1-1>부터 <제시문 1-4>를 읽고 [문제 1-i]과 [문제 1-ii]를 문항별로 풀이와 함께 답하시오.

<제시문 1-1> 함수 $y=f(x)$에서 $f(x)$가 x에 대한 다항식일 때, 이 함수를 다항함수라 하고, $f(x)$가 x에 대한 분수식일 때, 이 함수를 분수함수라 한다.

<제시문 1-2> 분수함수는 두 다항함수의 몫으로 나타나므로 분모를 0으로 하지 않는 모든실수에서 연속이다.

<제시문 1-3> 다항함수 $p(x)=\sum_{n=0}^{5} a_n x^n = (x-\frac{1}{2})(x-3)(x-4)(x-\alpha)(x-\beta)$ 라고 하자. 여기서 α와 β는 0이 아닌 실수이다.

<제시문 1-4> 다항함수 $q(x)=\sum_{n=0}^{5} a_{5-n} x^n$ 이라고 하자.

[문제 1-i] 2가 아닌 모든 실수 c에 대하여 $\lim_{x\to c}\frac{p(x)}{q(x)}$가 존재하도록 <제시문 1-3>의 α와 β 값을 구하시오.

[문제 1-ii] 위에서 구한 α와 β를 대입한 후, $\lim_{x\to 3}\frac{p(x)}{q(x)}$의 값을 구하시오.

【예시답안】

[문제 1-i]

$\alpha\beta \neq 0$ 이므로 $p(0) \neq 0$ 이다.

우선 $p(x)$와 $q(x)$의 근들 사이의 관계를 알아보자:

$$p(c)=0 \Rightarrow a_0+a_1c+a_2c^2+a_3c^3+a_4c^4+a_5c^5=0,\ c\neq 0.$$

$$\Rightarrow c^5\left(a_5+a_4\frac{1}{c}+a_3\frac{1}{c^2}+a_2\frac{1}{c^3}+a_1\frac{1}{c^4}+a_0\frac{1}{c^5}\right)=0$$

$$\Rightarrow q\left(\frac{1}{c}\right)=0.$$

따라서 $q(x)$의 근들은 $2,\ \frac{1}{3},\ \frac{1}{4},\ \frac{1}{\alpha},\ \frac{1}{\beta}$이다.

$c\neq 2$인 모든 실수에 대하여 극한값이 존재하므로

$\{\frac{1}{3},\ \frac{1}{4},\ \frac{1}{\alpha},\ \frac{1}{\beta}\}=\{\alpha,\beta,3,4\}$이며, 따라서 $\{\frac{1}{3},\ \frac{1}{4}\}=\{\alpha,\beta\}$.

[문제 1-ii]

$q(x)$의 5차항의 계수=$p(x)$의 상수항의 계수=$-\frac{1}{2}$ 이므로

$$\frac{p(x)}{q(x)}=\frac{(x-\frac{1}{2})(x-3)(x-4)(x-\frac{1}{3})(x-\frac{1}{4})}{-\frac{1}{2}(x-2)(x-3)(x-4)(x-\frac{1}{3})(x-\frac{1}{4})}=\frac{(x-\frac{1}{2})}{-\frac{1}{2}(x-2)}$$ 이다.

따라서

$$\lim_{x\to 3}\frac{p(x)}{q(x)}=\lim_{x\to 3}\frac{(x-\frac{1}{2})}{-\frac{1}{2}(x-2)}=\frac{3-\frac{1}{2}}{-\frac{1}{2}(3-2)}=-5.$$

□ **문제 2**

행렬은 수학의 전분야에 걸쳐 매우 중요한 개념이며 공학, 물리학 등의 자연과학 또는 경제학, 통계학 등의 사회과학 분야에서 폭넓게 쓰이는 수학적 도구이다. 수학을 풀이 위주의 문제로만 다루고 개념적인 이해가 부족하다면, 간단한 수식이더라도 이를 적용해서 실제 문제를 해결해 가는 과정이 매우 어렵게 느껴질 수 있다. 이 문제는 학생들에게 행렬의 연산과 공간도형의 개념을 통합적으로 이해하고 적용할 수 있는지를 평가하고자 하였다.

[문제 2-i] 간단한 행렬 곱의 계산으로 구할 수 있다.
[문제 2-ii] 3차 행렬은 공간상의 함수로 생각할 수 있다. $T(D)$를 평면 $x=x_0$ 로 자른 단면 $S(x_0)$의 그래프를 그리면 체적을 구할 수 있다.

[문제 2] 다음 <제시문 2-1>을 읽고 [문제 2-i]과 [문제 2-ii]를 문항별로 풀이와 함께 답하시오.

<제시문 2-1> $e_1=\begin{pmatrix}1\\0\\0\end{pmatrix},\ e_2=\begin{pmatrix}0\\1\\0\end{pmatrix},\ e_3=\begin{pmatrix}0\\0\\1\end{pmatrix}$ 이고 $T=\begin{pmatrix}a&b&c\\d&e&f\\g&h&i\end{pmatrix}$ 라고 하자.

[문제 2-i] $Te_1=e_1+e_2,\ Te_2=e_2+e_3,\ Te_3=e_3$ 일 때, 행렬 T를 구하시오.

[문제 2-ii] $D=\left\{\begin{pmatrix}x_1\\x_2\\x_3\end{pmatrix}\ \middle|\ 0\le x_i\le 1,\ i=1,2,3\right\}$ 일 때, [문제 2-i]에서 구한 행렬 T에 대하여 $T(D)=\{Ty \mid y\in D\}$ 의 부피를 구하시오.

【예시답안】

[문제 2-i]

$$Te_1=\begin{pmatrix}a&b&c\\d&e&f\\g&h&i\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\0\\0\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}a\\d\\g\end{pmatrix}=e_1+e_2=\begin{pmatrix}1\\1\\0\end{pmatrix}\Rightarrow a=1,\ d=1,\ g=0$$

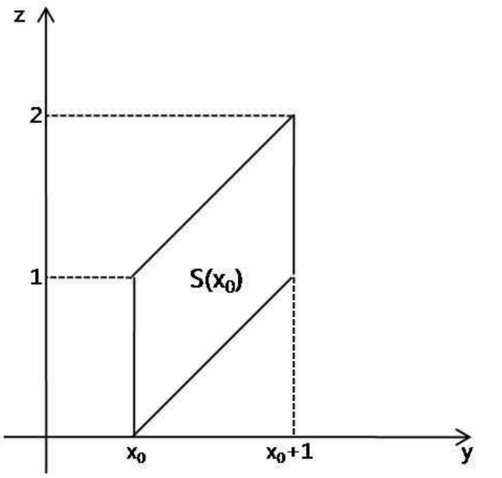
이와 유사한 방법으로

$T=\begin{pmatrix}1&0&0\\1&1&0\\0&1&1\end{pmatrix}$ 를 얻을 수 있다.

[문제 2-i]

$\begin{pmatrix}x\\y\\z\end{pmatrix}:=\begin{pmatrix}1&0&0\\1&1&0\\0&1&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}x_1\\x_2\\x_3\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}x_1\\x_1+x_2\\x_2+x_3\end{pmatrix}$ 라고 하면

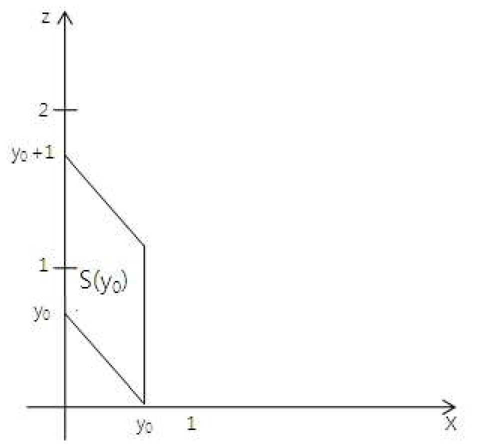
$0\le x\le 1$이고 고정된 $x_0\in[0,1]$에 대하여$x_0\le y\le x_0+1$이다.
따라서 $T(D)$를 평면 $x=x_0$로 자른 단면 $S(x_0)$는 다음과 같다.



$S(x_0)$의 면적은 1로 일정하므로, $T(D)$의 부피는 1이다.

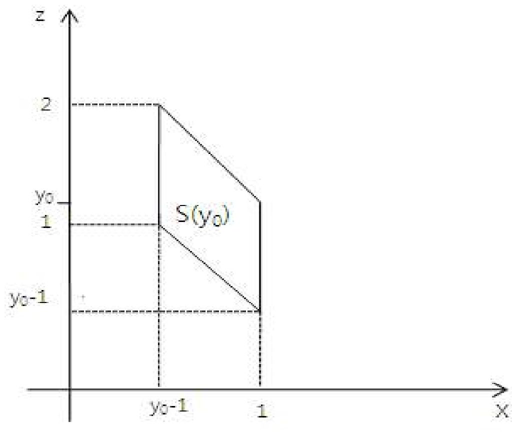
$0 \leq y \leq 2$이고 고정된 $y_0 \in [0,2]$에 대하여 $T(D)$를 평면 $y = y_0$로 자른 단면 $S(y_0)$는 다음과 같다.

$0 \leq y_0 \leq 1$ 인 경우:



따라서 $S(y_0) = y_0$

$1 \leq y_0 \leq 2$ 인 경우:



따라서 $S(y_0) = 2 - y_0$ 이고

따라서 $T(D) = \int_0^1 y dy + \int_1^2 (2-y) dy = 1$ 이다.

□ **문제 3**

물리학 분야 논술평가에서는 고등학교 물리I 교과과정의 내용 중 일상생활에서 흔히 접할 수 있는 상황 등을 물리학의 기본 개념을 이용하여 설명할 수 있는지를 측정하고자 하였다. 파동으로서의 소리, 운동에너지와 등속운동, 전열기의 전기저항과 전력에 관한 문제들을 쉽게 출제하여 물리학의 기본적인 지식을 갖추었는지를 판단하고자 하였다. 수식이나 단위가 포함된 수치로 답을 얻고, 얻어진 답의 물리적인 의미를 논리적으로 설명할 수 있는지를 묻는 다양한 유형의 문제를 출제하였다.

[문제 3-i]은 공기기둥의 진동에 의해 만들어지는 정상파의 기본진동에 대한 문제이다. 물기둥이 높아지면서 수면위 부분의 공기기둥의 높이가 시간에 따라 변하게 되며 따라서 진동수가 커지게 된다. 진동수가 커지는 것의 의미가 들리는 소리가 높아진다고 해석할 수 있는지도 평가하고자 하였다.

[문제 3-ii]는 고속도로 안내판에 적힌 안전거리의 의미를 제시문에서 설명하고 이를 이해하여 자동차의 속력이 커지면 안전거리가 어떻게 변하는지 묻는 질문이다.

[문제 3-iii]은 도선의 저항값이 도선의 길이와 면적에 따라 어떻게 변하는지, 그리고 저항값과 소비전력이 어떻게 관계하는지를 묻는 질문이다. 단면적이 다른 도선이 연결되어 있는 경우 전체의 저항을 구할수 있는지 평가하고자 하였다.

[문제 3] 다음 <제시문 3-1>에서 <제시문 3-3>까지 읽고, [문제 3-i]부터 [문제 3-iii]을 문항별로 풀이와 함께 답하시오.

<제시문 3-1> 파이프 오르간이나 색소폰 등과 같은 악기는 관 속의 공기 기둥을 진동시켜서 소리를 낸다.

<제시문 3-2> 자동차를 운전할 때 전방의 위험 상황을 발견한 시점부터 자동차 브레이크의 제동력이 작동하기 전까지 자동차가 움직인 거리를 공주거리라 하고, 브레이크가 실제로 작동해서 차가 감속하여 멈출 때까지의 거리를 제동거리라 한다. 일반적으로 고속도로 안내판에 표시된 안전거리 100 m는 공주거리와 제동거리의 합보다 약간 크게 설정되어 있는 값이다.

<제시문 3-3> 도체의 전기 저항 R은 도체의 길이 l에 비례하고 단면적 A에 반비례한다. 즉, $R=\rho\frac{l}{A}$의 관계가 있다. 여기서 비저항 ρ는 물질의 고유한 전기적 특성을 나타내는 상수이다.

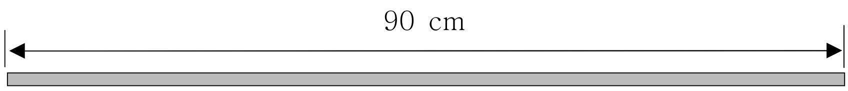
[문제 3-i] 한쪽 끝이 막혀 있는 길고 곧은 원통형 유리관의 내부 단면적은 A이고 높이는 h이다. 이 유리관의 열린 부분을 위로 하여 수직으로 세워놓고 단위시간 당 일정한 부피의 물을 천천히 따른다고 하자. (즉, 시간에 대한 물의 부피 증가율 k는 일정하고 수면의 높이는 변하지만 항상 수평을 유지한다.)

(a) 수면 위에 있는 공기 기둥의 진동에 의해 만들어지는 소리의 기본 진동수 f를 시간 t의 함수로 구하시오. (공기 중 소리의 속력은 v로 표시하시오.)
(b) 수면이 높아지면서 공기 기둥의 진동에 의해 만들어지는 소리의 높이가 어떻게 변하는지 논하시오.

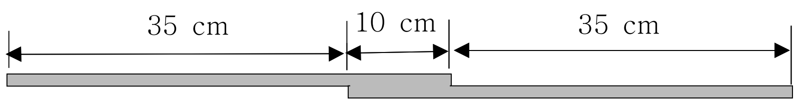
[문제 3-ii] 운전 중 전방의 위험 상황을 발견한 후 브레이크를 밟아 제동력이 작동하기 전까지 1초의 시간이 걸린다고 가정하자. 108 km/h의 속력으로 달리는 자동차의 안전거리가 100 m라 하면, 같은 상황에서 속력이 두 배인 경우 안전거리는 얼마인지 구하시오. (계산의 편의상 안전거리는 공주거리와 제동거리의 합과 같고, 제동력은 일정하다고 가정하시오.)

[문제 3-iii] 길이 90 cm, 단면적 3×10^{-3} cm^2, 저항 5 Ω인 니크롬선으로 이루어진 전열기를 100 V의 직류전원에 연결하였다. 이 전열기를 사용하던 중 니크롬선의 중간 부분이 끊어져 작동하지 않게 되었다. 끊어진 니크롬선을 아래 그림처럼 10 cm가 겹쳐지도록 한 후 한 몸이 되도록 수리하였다. 수리 이후의 니크롬선의 전체 저항 값을 구하고, 고장 이전과 수리 이후의 니크롬선에서 소비되는 전력을 각각 구하시오. (저항은 단면적과 길이에 의해서만 결정된다고 가정하시오.)

고장 이전:



수리 이후:



【예시답안】

[문제 3-i] (a) 한쪽 끝은 막혀있고 다른 쪽 끝은 열려 있는 높이가 l인 공기 기둥에서 만들어지는 소리의 기본 진동의 파장은 $\lambda = 4l$ 이다. 공기 기둥의 높이는 시간 t의 함수로 $(h-l)A = kt$ 를 만족하므로 $l = h - \dfrac{kt}{A}$ 로 주어지고, 소리의 속도는 $v = f\lambda$이므로 $\underline{f = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{v}{4(h-kt/A)}}$. (b) 따라서, 시간이 지나면서 공기기둥의 높이는 점점 줄어들고 소리의 높이는 점점 높아진다.

[문제 3-ii] 속력 v로 달리는 자동차의 공주거리 l은 $l = vt = v \cdot (1\text{s})$ 이므로 v에 비례한다. 한편 브레이크가 실제로 작동해서 차가 멈출 때까지 움직인 거리인 제동거리를 d, 그동안 차에 작용하는 힘인 제동력을 F라 하면 $Fd = \dfrac{1}{2}mv^2$이므로 제동거리d는 속도의 제곱에 비례하게 된다. 108km/h로 달리는 자동차의 공주거리를 l_1, 제동거리를 d_1이라 하자 ($l_1 + d_1 = 100\text{m}$).

$l_1 = 108\dfrac{\text{km}}{\text{h}} \times 1\text{s} = 108 \times \dfrac{1000}{3600}\text{m} = 30\text{m}$이므로 제동거리는 $d_1 = 70\text{m}$이다. 따라서 속력이 216km/h인 자동차의 제동거리d_2 는 108km/h인 자동차의 4배가 되어 280m이며, 이때 공주거리 l_2는 두 배가 되어 60m이다. 따라서 216km/h로 움직이는 차의 안전거리는 공주거리 + 제동거리 = $l_2 + d_2$ =340m이다.

[문제 3-iii] 고장 나기 전의 소비전력은 $\underline{P_1 = \dfrac{V^2}{R} = 2000\text{W}}$. 수리후의 니크롬선은 세부분으로 이루어져 있고 각 부분의 저항이 직렬로 연결된 것으로 볼 수 있다. 먼저 가운데 부분의 저항은 $\rho \cdot (10\text{cm})/(6\times10^{-3}\text{cm}^2)$이고 이를 제외한 양쪽 부분 저항의 합은 $\rho \cdot (70\text{cm})/(3\times10^{-3}\text{cm}^2)$이어서 전체의 저항은 $\rho \cdot ((5/2)\times10^4/\text{cm})$이다. 한편 고장 나기 전을 생각하면 $5\Omega = \rho(90\text{cm})/(3\times10^{-3}\text{cm}^2)$이어서 $\rho = (5/3)\times10^{-4}\Omega\text{cm}$이므로, 수리후 전체 저항 값은 $\underline{(5/3)\times10^{-4}\times(5/2)\times10^4\Omega = (25/6)\Omega}$가 된다. 따라서, 수리 후 소비 전력은 $\underline{P_2 = 10000/(25/6)\text{W} = 2400\text{W}}$이다.

□ **문제 4**

분자 간 인력이 화합물의 녹는점, 끓는점, 밀도, 물질의 기계적 성질에 영향이 크다는 것을 이해하고 있는지 평가하고자 출제한 문제이다. 분자 간 인력은 주어진 제시문에 나타나 있듯이 분자의 상대적인 질량이 커질수록, 분자 간의 접촉 가능한 표면적이 증가할수록 커진다. 알칸은 탄소 수에 따라 다양한 구조이성질체를 가질 수 있다. 각각의 구조이성질체를 그릴 수 있고, 분자의 구조식에 따라 분자 간 인력의 크고 작음을 판단하여, 이에 따라 물리적 성질인 끓는점의 높낮이를 예측할 수 있는지 평가하고자 하였다. 또한 폴리에틸렌의 기계적 성질이 분자 간 인력에 따라 결정되고, 궁극적으로 우리 생활 속에 활용되는 예가 서로 다름을 논리적으로 설명할 수 있는지 평가하고자 하였다. 분자 간 인력이 무시 될 때 평균 확산 속도는 각각의 밀도와 분자량에 반비례한다는 점을 간단한 수식을 이용하여 설명할 수 있는지도 평가하고자 하였다. 출제된 문제는 고등학교 화학 1과정을 성실하게 이수한 학생이 쉽게 풀 수 있도록 출제되었다. 화학 1 각 단원의 연결고리항을 이해하고 통합적으로 사고 할 수 있는 능력이 있는지를 평가하고자 하였다.

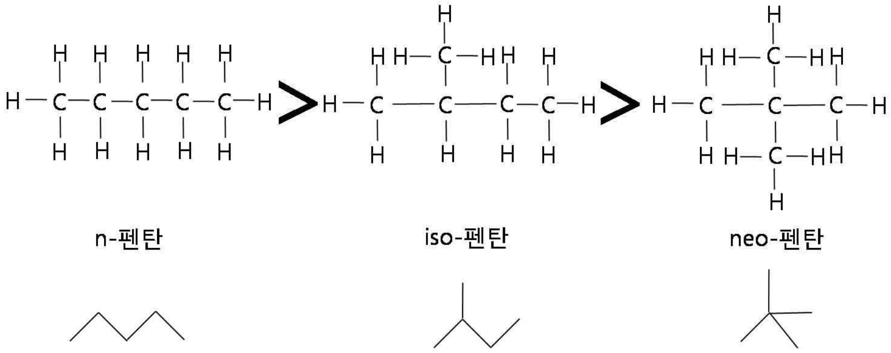
[문제 4-i] 펜탄(C_5H_{12})의 모든 구조 이성질체를 그리고, 각 구조 이성질체의 끓는점이 높은 것에서 낮은 것의 순서대로 나열하고, 그 근거를 제시하시오.

[문제 4-ii] 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)은 부드럽고 투명하며, 외부의 힘에 의해 쉽게 늘어나거나 찢어진다. 반면에 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)은 불투명하고, 밀도가 높고 단단하며, 녹는점이 높다. 이렇게 물리적 성질이 다른 이유를 폴리에틸렌 사슬 모형분자 모델을 이용하여 설명하시오.

[문제 4-iii] 온도 100℃에서 메탄(CH_4) 가스와 펜탄(C_5H_{12}) 가스의 확산 속도를 비교하고자 한다. 메탄 가스의 확산 속도($v_{메탄}$)와 펜탄 가스의 확산 속도($v_{펜탄}$)의 비율, $\dfrac{v_{메탄}}{v_{펜탄}}$을 예측하시오. (단, 펜탄의 분자량은 메탄에 비해 5배 크고, 분자 간 인력은 없다고 가정한다.)

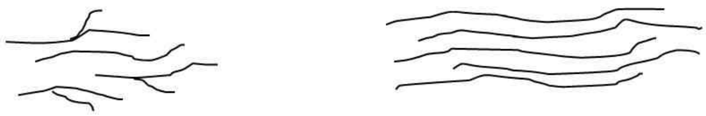
【예시답안】

[문제 4-i] 펜탄(C_5H_{12})는 다음과 같이 3개의 구조이성질체를 가진다.



n-펜탄은 분자 간 접촉 가능한 표면적이 가장 크기 때문에 분자 간 인력이 가장 크다. 따라서 끓는점이 가장 높다. 이와 반대로 neo-펜탄은 분자 간 접촉 가능한 표면적이 가장 작기 때문에 분자 간 인력이 가장 작다. 따라서 끓는점이 가장 낮다.

[문제 4-ii] 폴리에틸렌 사슬모형분자 모델을 이용하여 다음과 같이 분자 구조를 나타낼 수 있다.



저밀도 폴리에틸렌 선의 길이 짧다. 가지가 있다.	고밀도 폴리에틸렌 선의 길이 길다. 가지가 없다.

저밀도 폴리에틸렌은 분자 간 접촉 가능한 표면적이 작기 때문에 분자 간 인력이 약하다. 따라서 부드럽고 쉽게 늘어나며 투명하지만 외부의 힘에 의해 쉽게 늘어나거나 찢어진다. 고밀도 폴리에틸렌은 분자 간 접촉 가능한 표면적이 크기 때문에 분자 간 인력이 크다. 따라서 불투명하고, 밀도가 크고 단단하며, 강도가 크고 녹는점이 높다.

[문제 4-iii] <제시문 4-4>에 주어진 내용을 이용하면 다음과 같은 수식을 이용할 수 있다.

$E_k(\text{메탄}) = E_k(\text{펜탄})$

$$\frac{1}{2}m_{\text{메탄}}V_{\text{메탄}}^2 = \frac{1}{2}m_{\text{펜탄}}V_{\text{펜탄}}^2$$

$$\frac{V_{\text{메탄}}}{V_{\text{펜탄}}} = \sqrt{\frac{m_{\text{펜탄}}}{m_{\text{메탄}}}}$$

$m_{\text{펜탄}} = 5m_{\text{메탄}}$

$$\therefore \frac{V_{\text{메탄}}}{V_{\text{펜탄}}} = \sqrt{\frac{5m_{\text{메탄}}}{m_{\text{메탄}}}}$$

$$\therefore \frac{V_{\text{메탄}}}{V_{\text{펜탄}}} = \sqrt{5}$$

□ 문제 5

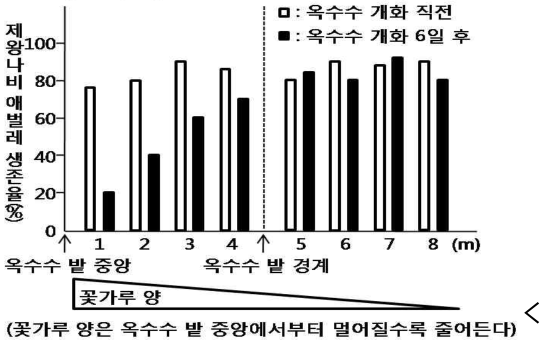
생물학이 발달하면서 밝혀진 여러 가지 발견들은 인류의 생활을 여러 가지 면에서 향상시켰으며 또한 사상을 변화시켜 사회 발전에도 영향을 주었다. 최근의 생명공학분야의 발달은 의약산업 및 농작물의 품종 개량과 증산 등 여러 분야에 걸쳐 인류의 복지에 기여하고 있다. 하지만 여러 가지 문제점도 제기되고 있어 면밀한 과학적 연구와 사회적 인식 등 이 요구되고 있다. Bt 옥수수는 유전자 재조합 기술을 이용해 살충성 단백질을 옥수수가 생산함으로서 옥수수 생산량 증가와 살충제 절감 등 경제적 긍정적인 면도 있지만, 안정성과 생태계 평형의 파괴에 대한 우려도 낳고 있다. GMO 생물체가 다른 생물체 또는 생태계에 미칠 수 있는 영향을 예측하기 위한 한 예로 제시문 들을 통한 실험으로 문제이해, 과학적 분석 및 고찰, 결과의 응용 등 을 판단하기 위해 이 문제를 출제하였다.

[문제 5] 다음 **<제시문 5-1>**부터 **<제시문 5-3>**을 읽고 **[문제 5-i]**부터 **[문제 5-iii]**을 문항별로 풀이와 함께 답하시오.

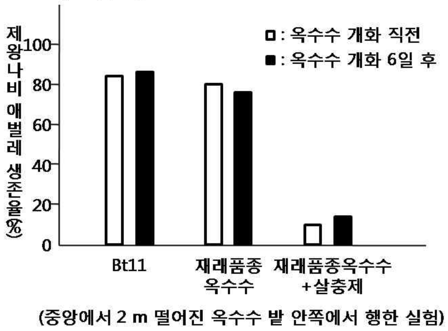
<제시문 5-1> 유전자 재조합 생물체(GMO)는 유전자 재조합 기술을 이용해 어떤 생물의 유용한 유전자를 다른 생물체의 유전자와 결합시켜 특정한 목적에 맞도록 유전자 일부를 변형시켜 만든 생물체이다. Bt 옥수수는 '바실러스 튜린겐시스(Bt)'라는 살충성 단백질 생산 유전자를 일반옥수수의 유전체에 삽입함으로써 만들어진다. 이 유전자가 발현되면 살충 단백질이 분비되어 옥수수의 해충인 조명충 나방의 유충을 죽이는 효과가 있어 살충제 사용량을 대폭 줄일 수 있다. 이러한 Bt 유전자는 옥수수 외에 목화, 토마토, 감자, 콩, 쌀 등 주요 작물에도 폭넓게 쓰이고 있다.

<제시문 5-2> GMO 생물체가 다른 생물체 또는 생태계에 미치는 영향은 현재 많은 과학자들에 의해 논란이 되고 있다. 한 예로 옥수수의 생장과는 관계없는 제왕나비의 생존율에 Bt 옥수수 꽃가루가 미치는 영향에 대해 현장 실험을 하여 [그림 1]과 [그림 2]의 결과를 얻었다. 제왕나비 애벌레는 옥수수가 많이 재배되는 곳에 서식하는 '박주가리'라는 식물의 잎을 먹으면서 성장한다. 일반적으로 옥수수 꽃가루는 근처에 분포하는 박주가리 식물 잎 표면에 붙을 수 있다. [그림 1]은 Bt 형질전환 식물 중 하나인 Bt176 옥수수 밭에 박주가리 식물을 중앙에서부터 바깥쪽에 심어 이곳에서 자라는 제왕나비 애벌레의 생존율을 측정한 결과이다. [그림 2]는 다른 Bt 형질전환 식물 중 하나인 Bt11 옥수수, 재래품종 옥수수, 재배 시 살충제를 살포한 재래품종 옥수수에 관한 실험 결과이다. Bt176은 꽃가루 1 g당 20 μg의 Bt 단백질을 만들고 Bt11은 꽃가루 1 g당 1 μg의 Bt 단백질을 만들지만, 옥수수의 해충인 조명충 나방을 줄이는 효과는 유사하다.

[그림 1]

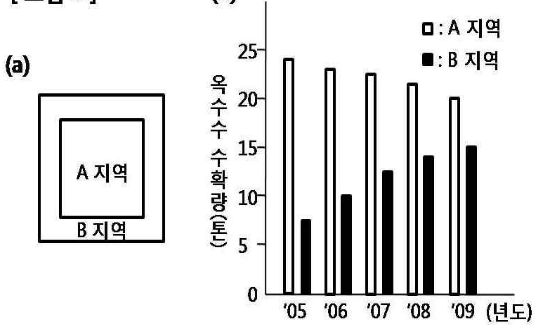


[그림 2]



<제시문 5-3> 한 농부가 2005년부터 [그림 3(a)]와 같이 A 지역에는 Bt 옥수수를, 같은 면적인 B 지역에는 재래품종 옥수수를 재배하였다. A 지역에서 수확한 옥수수는 다음 해에 A 지역에, B 지역에서 수확한 옥수수는 다음 해에 B 지역에 해마다 같은 양을 파종하였다. 2005년부터 2009년 사이에 옥수수 수확량을 비교해보니 [그림 3(b)]와 같았다.

[그림 3]



[문제 5-i] Bt 옥수수 재배지역에서 성장하는 제왕나비 애벌레의 생존율에 영향을 미치는 요인들을 <제시문 5-2>의 두 실험을 통해 알 수 있다. <제시문 5-2>, [그림 1], [그림 2]의 결과를 토대로 얻을 수 있는 결론 3 가지를 기술하시오.

[문제 5-ii] 위의 [문제 5-i]에서 얻은 결론을 바탕으로 수립할 수 있는 가장 적절한 농업적, 환경적 정책을 논하시오.

[문제 5-iii] <제시문 5-3>에서 [그림 3]의 결과를 크게 2 가지 생물학적 요인으로 설명하시오.

【예시답안】

[문제 5-i] (1) Bt176 옥수수는 꽃가루 양이 많아지는 옥수수 밭 중앙으로 갈수록 제왕나비 애벌레 생존율이 현저히 낮아 졌지만, 옥수수 밭 경계를 지나 바깥쪽으로 갈수록 생존율에는 큰 영향을 주지 않았다. 이는 옥수수 밭 중앙으로 갈수록 Bt 단백질의 꽃가루 양이 증가하고 이와 같은 공간 내에서 Bt 살충 단백질이 상대적으로 증가하여 제왕나비의 애벌레 생존율을 감소시키는 것을 보여준다. 따라서 Bt176 옥수수는 같은 공간 내에 분포하는 다른 생물체의 생존 또는 연결된 생태

계에 부정적인 영향을 줄 수 있다는 것을 제시한다.

(2) 비슷한 양의 화분이 존재할 수 있는 지역에서 (옥수수 개화 6일 후, 중앙에서 2m 떨어진 지점) Bt11과 재래품종 옥수수가 제왕나비 애벌레 생존율에 미치는 영향은 거의 비슷하다. 그러나 같은 위치의 Bt176 옥수수 개화 6일 후의 애벌레 생존율과는 현저한 차이(Bt11 옥수수 80%, Bt176 옥수수 40%)를 보인다. 이는 Bt 단백질 발현이 현저히 적은 Bt11 옥수수는 Bt176과는 달리 제왕나비 애벌레 생존율에 직접적인 악 영향은 없다는 것을 보여주고 있다.

(3) 일반적으로 사용되는 살충제의 살포가 제왕나비 애벌레의 생존율에 미치는 영향은 약 20% 정도로 Bt11 옥수수의 꽃가루 (생존율 80%) 또는 Bt176 옥수수의 꽃가루 (생존율 40%) 보다 더 큰 악 영향을 미치는 것을 보여준다.

[문제 5-ii] **농업적 정책:** Bt11 형질 전환 옥수수는 Bt 단백질 발현 양이 상대적으로 낮음에도 불구하고 효과적으로 조명충 나방의 애벌레를 죽임으로써 옥수수의 생산성을 증대시킬 수 있으며, 제왕나비 애벌레에 아무런 영향을 주지 않는다. 반면 Bt176 형질 전환 옥수수는 조명충 나방 뿐 아니라 제왕나비 애벌레의 성장도 감소시킨다. 따라서 농업의 생산성을 높일 수 있으며, 살충제 살포를 줄일 수 있는 Bt11은 사용할 수 있지만, Bt176과 같이 Bt 발현양이 많아 꽃가루의 이동을 통해 다른 생물체에 큰 영향을 미칠 수 있는 Bt 옥수수의 사용은 규제하도록 한다.
환경적 정책: 형질전환 식물의 꽃가루는 다른 식물들로 전달될 수 있다. 이 과정에서 형질전환에 사용되었던 유전자가 다른 식물체로 옮겨가는 유전자 전이가 일어날 수 있고 생태계의 균형을 파괴 시킬 수 있기 때문에 형질전환 식물의 도입이 생태계에 미치는 영향을 오랜 기간 동안 다양한 각도에서 분석해야 하며, 환경위해성 평가를 의무화하는 정책수립이 필요하다고 본다.

[문제 5-iii] (1) A 지역의 Bt 옥수수와 B 지역의 재래품종 옥수수 간의 상호 수분 기작(pollination)을 통한 유전자 전이에 의해 Bt 단백질 유전자가 재래품종 옥수수에 삽입되어 결과적으로 조명충 나방 해충 감소로 인해 수확량이 증가하는 것으로 설명될 수 있다. 반대로 Bt 옥수수는 재래품종 옥수수의 유전자 전이로 인해 해가 지날수록 소폭의 수확량 감소가 발생할 수 있다. 이는 Bt 옥수수가 해충의 감소에 긍정적 영향도 있지만, 또한 유전자 전이의 위험성도 같이 제시해 주고 있다
(2) A 지역에서 자라는 Bt 옥수수의 존재로 조명충 나방의 빈도가 적어진다. 상대적으로 B 지역에서 자라는 재래품종 옥수수에도 조명충 나방에 의한 피해가 줄어들어 전체적으로 재래품종 옥수수의 수확량이 증가한 것으로 설명할 수 있다.