

Ⅲ. 자연계열 평가결과

1. 평가기준 및 결과

◦ 평가항목 및 평가기준

구 분	평 가 내 용 및 기 준
지시사항 불이행 (과락)	<ul style="list-style-type: none"> · 필기구 종류 및 색깔 위반(두 종류 이상의 필기구 사용) · 응시자의 신원노출
개념과 원리의 이해·분석·구성능력 (이해·분석력)	<ul style="list-style-type: none"> · 논제와 관련된 수리적, 과학적 개념과 원리에 대한 식별 및 인지 능력 · 개념의 정의와 원리에 대한 정확한 이해력 · 제시문의 내용, 수식, 도표에 대한 해석 및 변환 능력 · 수리적, 과학적 상황에서 변인이나 대상 사이의 관계 설정 능력
통합적 추론 능력 (논증력)	<ul style="list-style-type: none"> · 수리적, 과학적 개념과 원리의 통합력 <ul style="list-style-type: none"> - 과학적 결과를 도출하기 위한 수리적 과정의 적용 - 수학과 과학의 서로 다른 영역에 속한 개념들을 연결 · 구성 조직 및 모형화 능력 <ul style="list-style-type: none"> - 주어진 자료와 변인을 고려한 설명 모형 설계 - 실험 설계에 나타나는 귀납적, 연역적 사고 과정 - 모형으로 현상을 설명하고 결과를 예측 · 근거 설정 및 일반화 능력 <ul style="list-style-type: none"> - 증거와 과학적 개념에 기초한 추론 - 원인과 결과의 논리적 타당성
창의력	<ul style="list-style-type: none"> · 심층적인 논의 전개 <ul style="list-style-type: none"> - 가설, 문제해결 과정, 탐구한 결론에 대한 비판적 평가 - 명시적으로 주어진 조건을 뛰어 넘는 새로운 결론 유추 · 다각적인 논의 전개 <ul style="list-style-type: none"> - 발상이나 관점의 전환 - 대안적 문제해결 방법에 대한 모색 · 영역전이적인 논의 전개 <ul style="list-style-type: none"> - 결론으로 도출된 원리를 새로운 상황에 적용 - 일상 속에서 개념과 원리가 적용되는 사례 발견 및 활용
의사소통 능력 (표현력)	<ul style="list-style-type: none"> · 시각화 <ul style="list-style-type: none"> - 문제해결 과정을 도표, 모형, 그림 등을 통해 표현 · 수식화 <ul style="list-style-type: none"> - 문제해결 과정이나 결론을 수식으로 표현 · 표현의 적절성 <ul style="list-style-type: none"> - 문장표현의 간결성 및 맞춤법

◦ 평가결과

구분	인원	평균	표준편차	최저점	최고점
총점	96	41.33	10.96	16.38	78.38
문항 1	96	39.21	20.03	4.50	92.50
문항 2	96	35.44	17.26	0.00	84.00
문항 3	96	42.29	19.04	4.00	93.50
문항 4	96	48.38	15.60	0.00	80.00

* 100점 만점 기준

문제에서 주어진 행렬 중 (1, 4)성분과 (4, 1)성분을 제외한 나머지 성분들로 S_1, S_2, S_3, S_4 의 배열을 생각해 보면 다음과 같다.

$$\begin{array}{cccc} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ \hline & & & \\ \hline & & & \\ \hline & & & \end{array}$$

그런데 (1, 4)성분과 (4, 1)성분을 고려하게 되면, S_1 과 S_4 의 끝부분이 일치하게 되므로 이들은 폐곡선을 이루게 된다.

인간의 DNA는 한 개의 선형 DNA로 이루어졌기 때문에 양 끝의 염기서열이 일치해서는 안 된다. 만약 문제에서 주어진 행렬처럼 결과가 나온다면 그것은 박테리아의 원형 DNA를 분석한 것이라 할 수 있다.

논제 2는 3×3 거울행렬의 모든 경우를 찾아낼 수 있는지를 통해 수리적 사고능력(경우 나누기)을 측정하고, 각각의 거울행렬 정보를 가지고 DNA 조각들을 배열할 수 있는지를 질문하여 개념이해력, 개념 적용능력, 논리적 추론능력, 의사소통 능력 등을 측정하고자 하였다.

대부분의 학생들이 모든 경우를 다 찾기는 하였으나, 그것을 서술하는데 있어서는 많은

차이를 보였다. 8가지 경우를 열거한 답안이 대부분이었지만, 거울행렬을 $\begin{pmatrix} 1 & a & b \\ a & 1 & c \\ b & c & 1 \end{pmatrix}$ 로

나타내고 $a+b+c$ 가 0, 1, 2, 3인 경우를 생각하여 모든 경우를 4가지로 줄여서 좀 더 효율적인 경우 나누기를 생각해 낸 학생들도 있었다. 몇몇 학생들은 <사례 2>와 같이

$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ 로부터 원형배열을 그리고 3×3 거울행렬이 DNA 조각 정보로 얻어질 수 없다고

주장하였는데, 이는 $\frac{1}{\frac{2}{3}}$ 도 가능하므로 논리적인 오류를 범한 경우에 해당한다.

<사례 2>

3×3 거울행렬은 인간의 염기서열을 나타낼 수 없는 행렬은 없다고 했다. 그러면 3×3 거울행렬 모두가 인간의 염기서열을 나타낼 수 있다는 말인데

$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ 행렬은 그림으로 나타내 보면  이런 원형 DNA가 나오는데 원

형 DNA는 인간의 염색체에서 나올 수 없다. 3×3 거울행렬에서도 인간의 염기서열의 정보로부터 만들어 질 수 없는 행렬이 존재한다.

또 다른 논리적인 오류는 <사례 3>과 같이, DNA의 조각들이 겹치는 유형이 모두 여덟 가지이고 가능한 거울행렬의 개수도 여덟 개이므로, 어떠한 3×3 거울행렬도 DNA의 겹침 정보로부터 얻을 수 있다고 주장한 사례를 들 수 있다. 이 경우는 DNA의 조각들이

겹치는 유형들의 집합과 3×3 거울행렬의 집합 사이에 일대일 함수가 존재해야만 그와 같은 결론을 내릴 수 있는데, 단순히 두 집합의 원소의 개수가 같다는 것만 언급하고 있다.

<사례 3>

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & 1 & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{pmatrix}$$

즉, 3×3 의 거울행렬은 $a_{12} = a_{21}$, $a_{13} = a_{31}$, $a_{32} = a_{23}$ 이므로 3개의 인자에 의해서 결정되고 각 자리에는 0 or 1이므로 $2^3 = 8$ 가지가 존재한다.

3개의 DNA 조각으로 만들 수 있는 조합은

- i) 모두 불일치 $\text{---} \text{---} \text{---} \rightarrow {}_3C_0 \rightarrow 1$
- ii) 1개 일치, 2개 불일치 $\text{---} \text{---} \text{---} \rightarrow {}_3C_1 \rightarrow 3$
- iii) 2개 일치, 1개 불일치 $\text{---} \text{---} \text{---} \rightarrow {}_3C_2 \rightarrow 3$
- iv) 3개 일치 $\text{---} \text{---} \text{---} \rightarrow {}_3C_3 \rightarrow 1$

즉, DNA 3 조각으로 만들 수 있는 조합 수와 3×3 거울행렬의 수는 8개로 같다. 그러므로 3×3 거울행렬은 모두 DNA 조합이 가능하다.

반면, <사례 4>는 문제를 이해하고 주장하는 방향도 맞았지만, 수학적 표현의 오류를 범하고 있으며, 논술이 요구하는 설명 과정을 제시하지 못하여 좋은 평가를 받지 못하였다.

<사례 4>

<논제 1>에서 보면 짝수의 DNA, 예를 들어 S_2 , S_4 같은 경우 소속 부분을 설정할 때 양쪽성을 가지고 있다. 따라서 마지막 짝수의 DNA는 성립해야 하는 경우가 양 끝부분이다. 하지만 홀수의 DNA는 앞의 짝수 DNA가 선택하는 부분에 따라 따라가면 되기 때문에 3×3 거울행렬 중에는 만들어질 수 없는 행렬은 존재하지 않는다.

문제 3에서는 문제 1에서 주어진 행렬을 일반화할 수도 있고, 새로운 행렬의 일반적인 형태를 보여줄 수도 있다. 실제로 학생들은 다양한 접근 방식을 보여주었다. 문제 3의 출제 의도는 문제 1과 2를 바탕으로, $n \geq 4$ 인 정수에 대해서 $n \times n$ 거울행렬 형태로 일반화시키고 수학적 귀납법을 사용하여 정당화시킬 수 있는지 평가함으로써, 학생들의 분석력, 수학적 추론 능력, 기호를 사용한 표현능력, 창의력을 측정하는 것이었다.

출제 의도대로 접근했던 답안도 많았지만, 다른 타당한 방향으로 접근한 답안도 있었다. 한 예로, 문제 1에서의 행렬을 부분행렬로 포함하면 DNA 조각들의 겹침 정보로부터 $n \times n$ 거울행렬이 만들어 질 수 없음을 관찰한 답안을 들 수 있다. 그러나 적지 않은 학생들이 문제 1에서 제시된 행렬을 5×5 행렬로 확장하는 데 그쳤으며, 논리적이지 못하여 설명을 이해하기 어려웠다.

문제 4에서는 문제 3에서와 다른 DNA 조각들의 겹침 정보로부터 얻어질 수 없는 7×7 거울행렬을 찾으려 하여, 창의력과 함께 구체적 상황에 대한 적용능력을 측정하고자 하였다. 문제 1에서의 행렬을 부분행렬로 포함하면 $n \times n$ 거울행렬이 DNA 조각들의 겹침 정보로부터 만들어 질 수 없음을 관찰한 학생들은, 문제 3에서 얻은 7×7 거울행렬에서 문제 1의 행렬에 해당하는 부분행렬에 속하지 않은 성분을 택하여 그것의 값을(0이었으면 1로, 1이었으면 0으로) 다르게 줌으로써 문제 3과는 다른 행렬을 쉽게 찾아내었다. 학생들의 대표적인 오류로는 문제 3의 행렬에서 행과 열을 바꾸면 얻을 수 있는 행렬을 제시하여 문제에 주어진 조건에 부합하지 않은 행렬을 찾아낸 경우를 들 수 있다. 문제 3에서 찾은 행렬 외에는 찾을 수 없다는 주장을 한 경우도 있었다.

【문항 2】

일상생활에서 자주 접하는 소화제라는 소재에 과학적인 개념과 수리적인 개념을 접목하였다. 생물체의 소화 과정과 화학적인 개념인 반응속도 및 활성화 에너지 사이의 상관관계를 기초로, 소화제를 평가해 보기 위한 객관적이고 과학적인 실험설계능력을 평가하고자 하였다. 또한 과학 교과에서 다루는 개념을 상호 접목시킬 수 있는 능력이 요구되는 문항으로서, 활성화 에너지와 반응속도의 개념을 수리적으로 설명할 수 있어야 한다.

문제 1에서는 소화 과정에서 활성화 에너지의 의미 및 그 영향에 관하여 제시문의 내용과 개념을 어느 정도 이해했는지를 평가하였다. 대부분의 학생들이 문제와 제시문의 내용을 정확하게 이해하였으나 20~30%의 학생들은 제시문에서 주어진 정보를 제대로 파악하지 못하였다. 또한 통합적 추론을 통해 다양한 조건 및 여러 영양분에 대해 정의할 수 있는 지를 묻는 질문에 대해 제대로 답하지 못한 학생들도 다수 있었다.

문제 1의 b는 좋은 소화제를 평가하기 위한 적절한 실험을 설계하도록 하여, 어떠한 방식과 요소들을 고려하여 실험을 설계하는 것이 객관적이고 과학적으로 의미가 있는 지를 알아보려고 하였다. 또한 대조군에 대한 개념도 평가의 중요한 요소였다.

논제 2는 논제 1의 활성화 에너지와 소화과정의 상관관계를 좀 더 확장하였다. 이 논제는 활성화 에너지와 반응속도의 상관관계를 나타내는 수식을 에너지와 속도의 관계로 이해하고, 주어진 수식을 논리적으로 전개하도록 하였다. 여기서 정확한 수치(값)를 도출하는 것보다는 수식에 대한 논리적 유추에 더 중점을 두어서 평가하였다.

논제 3은 활성화 에너지의 차이가 생물의 진화에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지에 대해 매우 다양한 접근이 가능한 질문이다.

논제 4는 가능한 경우에 대한 논리적 추론이나 불가능한 경우에 대한 근거 제시를 통해 논리적이고 통합적인 추론능력, 문제파악 및 재구성 능력, 창의적이고 독창적인 사고 능력을 평가하고자 하였다.

【문항 3】

과학 탐구의 과정에 대한 주제를 활용하여 과학의 여러 개념에 대한 심층적인 논의 전개가 가능하도록 출제하였다. 제시문은 만유인력의 법칙이 발견되는 과정으로서, 교과서가 다루고 있는 과학 탐구의 일반적인 예이다. 이를 기초로 논제 1에서는 과학 탐구 과정을 재구성하고, 논제 2에서는 만유인력의 법칙을 이용하여 태양계의 특성(질량 분포)을 유추하고, 논제 3에서는 만유인력의 법칙은 적용되지만 케플러의 법칙이 적용되지 않는 경우에 대하여 생각해 보도록 논제를 구성하였다.

논제 1은 과학 탐구에서 사용되는 일반 과정을 전체적으로 재구성한 후 각 단계를 설명하고, 제시문에서 그에 해당되는 적절한 예를 찾도록 하였다.

논제 2와 논제 3은 제시문과 논제에서 주어진 정보를 토대로 논의를 전개하도록 하였다. 이를 통해 주어진 과학 정보(만유인력의 법칙, 케플러의 법칙)로부터 새로운 생각과 결론을 이끌어내고, 이를 논리적으로 전개하는 창의적이고 통합적인 추론 능력을 측정하고자 하였다.

논제 1에서는 대부분의 학생들이 과학 탐구의 과정은 대략적으로 파악했으나, 이를 재구성하는 능력은 미흡한 경우가 많았다. 또한 자신의 생각을 전달하기 위한 기본적인 글쓰기 능력이 부족한 학생도 적지 않았다.

논제 2, 3의 경우 이 논제들이 논제 1과 관련되어 있다는 점을 많은 학생들이 깨닫지 못해 각 천체에 미치는 구심력의 크기가 만유인력의 크기와 같다는 점을 이용하지 않고, 오직 구심력의 정의만을 이용하려고 하였다. 논제 2와 3은 주어진 정보를 적절히 이용하여 결론을 구하는 것과 함께 추론하는 과정에 대한 논리적인 전개, 추론한 결과에 대한 논의를 필요로 한다.

【문항 4】

일상생활에서 널리 알려진 사실을 주제로 과학의 서로 다른 관점에서 종합적으로 분석해보고, 명시적으로 주어진 조건을 뛰어 넘는 새로운 결론을 유추하도록 하고, 이러한 개념과 원리가 적용되는 사례를 발견하고 활용하도록 구성하였다.

매운 맛을 내는 두 가지 서로 다른 분자의 화학구조식을 제시하고, 이로부터 화합물의 화학적 성질을 분석하여 비슷한 생물학적 특성을 나타내는 이유를 통합적으로 추론하도록 유도하고 있다. 이러한 추론 과정에 학생들은 교과서에서 배운 기본적인 화학지식(원소의 조성, 화학결합의 원리, 물질의 화학적 성질 등)들 뿐만 아니라 일상생활속의 경험들까지도 문제해결에 활용할 필요가 있다. 이 문항 4개의 논제를 해결하는 과정은 과학자들이 자연계에서 나타나는 의문을 풀기 위해 취하게 되는 일반적인 관찰, 분석, 추론을 통한 가설제기 과정과 흡사하다. 이 과정에 기본적인 지식 및 상식적인 판단에서 오류가 없는 추론이 필요하며, 단편적인 분석에 그치지 않고 폭넓은 사고를 통한 통합적인 추론이 이루어져야 한다.

논제 1은 매운 맛을 내는 구조적 특성을 이해하는 것이 가장 중요한 요소이며, 이를 위해서는 두 화학구조식을 깊이 있게 분석하여 공통점을 찾아내는 것이 필수적이다. 예컨대 피페린과 캡사이신의 공통점을 이야기 할 때 네 가지 공통 원소를 나열하는 데 그치지 말고, 각 원소의 내부 구조가 동일하다는 지적과 같은 물리적 특성을 포괄하려는 시도를 해 볼 수 있다. 그러나 전체적인 구조를 보고 공통점과 차이점을 분석하여 유추한 경우보다는 대부분의 학생들이 단편적인 구조에 집착해 있었던 점은 매우 아쉬운 일이다.

논제 2에서 피페린과 캡사이신 두 가지의 매운 맛을 내는 물질의 구조를 주고 더 매운 맛을 내는 화합물을 고안해보라고 한다면, 주어진 물질의 구조에서 단서를 찾으려고 하는 것은 당연한 일이다. 그러나 좀 유연한 사고를 하는 학생이라면 제 3의 매운 맛을 내는 물질을 찾아서 3자 간의 공통점을 발견하고자 할 것이다. 3자 간의 공통점은 2자 간의 공통점보다 훨씬 큰 의미를 가질 수 있으나, 제 3의 매운 맛을 내는 물질을 언급한 답안이 거의 없었다. 많은 학생들이 더 매운 맛을 내게 하기 위해 매운 맛을 내는 구조가 많이 들어가 있는 화합물을 만들면 된다는 단순한 제안을 하였다.

논제 3과 4도 앞서 언급한 바와 같이 논제에 대한 폭넓은 이해와 논리적인 설명을 요구했으나, 종합적인 사고를 바탕으로 통합적인 추론을 보여준 학생 보다는 결론을 유추하는 과정에서 과연 그럴지 여부에 대한 논리적인 설명이 없는 경우가 많았다. 예를 들어 제 3에서 대부분의 학생들이 매운 맛 분자가 소수성이 강함을 이해하고 있었으나, 우유에 의해 쉽게 씻겨나가는 이유를 설명하는 과정에서 우유가 소수성이라 쉽게 단정하였다. 진화적인 관점을 논하는 논제에서는 눈에 띄는 색을 가진 열매가 새에게 잘 먹히고 결과적으로 씨를 잘 퍼뜨려 번식에 유리하다는 사전 지식을 다른 상황에 단순히 적용하였다.

또한 답안을 작성함에 있어, 본인이 알고 있다고 해서 논제가 요구하는 이상으로 자세
히 서술하는 것은 불필요한 일이며, 답안에 작성하지 않은 본인의 생각을 평가자가 읽
어주기를 기대하는 식의 서술도 개선되어야 한다.

3. 학생답안

※ 이번에 공개된 학생답안은 문항에 대한 이해를 돕기 위해 비교적 좋은 평가를 받은 복수의 답안을 선택한 것이며, 답안 내용은 학생들이 작성한 원문을 그대로 옮김

【문항 1】

■ 논제 1

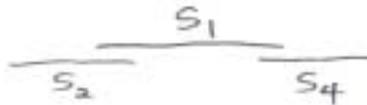
다음 두 학생의 답안이 좋은 평가를 받았다. <답안 2>의 경우 도입부에서 표현이 잘못되었지만, 그것을 제외하면 두 답안 모두 주어진 행렬이 DNA 조각의 염기서열 일치 여부에 대한 정보로부터 얻어질 수 없음을 논리정연하게 설명하고 있다.

<답안 1>

행렬 $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ 이 염기서열 일치 여부에 관한 정보로부터 만들어질 수 있는

가에 대해 알아보기 위해 그림을 그려 보면,

- ① 먼저 제 1행의 정보에 따라 S_1 이 S_2 , S_4 와 일치하는 부분이 있음을 알 수 있고, 제 2행, 4행의 정보에 따라 S_2 와 S_4 는 일치하는 부분이 없음을 알 수 있으므로, 이를 토대로 그림을 그려보면,



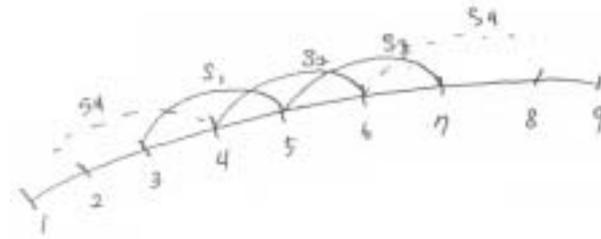
- ② 제 3행의 정보에 따르면 S_3 는 S_1 과 일치하는 부분을 가지고 있지 않으면서 S_2 , S_4 와 일치하는 부분을 가져야 하나 ①의 그림에서 그것은 불가능하다. 서로 일치하는 부분이 하나도 없는 S_2 , S_4 와 모두 만나면서 S_1 과는 일치하는 부분이 하나도 없을 수는 없다. 이것이 가능하려면 인간 염색체는 선형이 아니라 박테리아의 염색체처럼 원형이어야 한다.

따라서, S_1 , S_2 , S_3 , S_4 의 염기서열 일치 여부에 관한 정보로부터 행렬

$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ 이 만들어질 수 없다.

<답안 2>

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$
 을 먼저 배열해 보기로 한다.



DNA 조각 S_1 은 3~5까지로 임의로 정한다. 위 행렬의 (1, 2)에서 보게 되면 S_1 , S_2 의 염기서열 끝부분이 서로 일치함을 알 수 있다. 따라서 S_2 의 위치는 4로부터 시작하여 오른쪽, 왼쪽 모두가 가능하다. 그래서 S_2 를 4~6으로 정한다. S_2 , S_3 는 행렬 (2, 3)에서 일치함을 알 수 있다. 그런데 행렬 (3, 1)에서 S_1 , S_3 는 일치하지 않으므로 S_3 는 5로부터 시작하여 오른쪽 방향으로 가능하다. 따라서 S_3 는 5~7이라고 말할 수 있다. S_4 는 행렬의 4행에서 보면 S_1 , S_3 와는 일치, S_2 는 불일치를 확인할 수 있다. 여기서 S_2 와 불일치하는 사실을 이용해 4~6에서는 존재할 수 없다는 걸 알 수 있다. 그래서 S_4 는 4부터 왼쪽으로 위치하던가 6부터 오른쪽으로 위치해야 한다. 하지만 위 행렬에서 보면 S_1 과 S_3 와 일치한다 했으니 S_4 는 3~4, 6~7을 반드시 포함해야 한다. 그런데 이를 성립하기 위해서는 4~6을 포함해야 하므로 성립하지 않는다. 따라서 위 같은 행렬은 만들어 질 수 없다.

■ **문제 2**

문제 2에 대해 높은 평가를 받은 예로서, <답안 1>은 경우를 네 가지로 나누고 각각의 경우에 해당하는 DNA 조각들의 선형배열을 제시하였으며 설명도 체계적이었다.

<답안 2>는 거울행렬을 $\begin{pmatrix} 1 & a & b \\ a & 1 & c \\ b & c & 1 \end{pmatrix}$ 로 나타내고 $a+b+c$ 가 0, 1, 2, 3인 경우를 생각함

으로써 4가지 경우로 줄여서 좀 더 효율적인 경우 나누기를 한 후 각각의 경우에 해당하는 DNA 조각들의 선형배열을 제시하였다.

<답안 1>

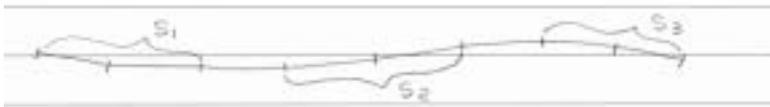
염기서열 일치 여부와 관련한 3×3 거울행렬의 개형은 다음과 같다.

$\begin{pmatrix} 1 & \circ & \square \\ \circ & 1 & \triangle \\ \square & \triangle & 1 \end{pmatrix}$ $\circ, \square, \triangle$ 각각에는 0, 1 두 가지 정보가 들어갈 수 있으므로 이

론적으로 만들어질 수 있는 행렬의 가지수는 총 8가지가 된다. ($2^3 = 8$)

i) 모두 0이 들어가는 경우

DNA 조각 S_1, S_2, S_3 가 서로 독립되어 있다면 가능하다.



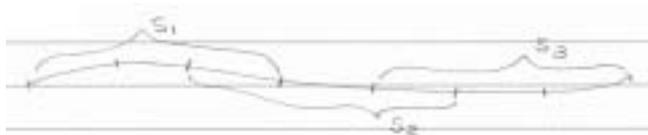
ii) 한 가지만 1이 들어가는 경우

세 개의 조각 중, 단 2개만이 서로 일치하는 부분이 있고 나머지 하나는 독립되어 있을 때 가능하다.



iii) 두 개가 1인 경우

가운데 연결매개가 되는 조각이 있고, 그 조각의 가장자리 끝에 각각의 조각이 걸쳐 있을 때 가능하다.



iv) 모두 1인 경우

세 개의 조각이 모두 공유하는 부분이 있을 때 가능하다.



위와 같은 모든 경우에 대하여 행렬이 만들어질 수 있으므로, 3×3 거울행렬에서는 논리적으로 불가능한 행렬은 없다.

<답안 2>

일반적으로, 3×3 거울행렬은 $\begin{pmatrix} 1 & a & b \\ a & 1 & c \\ b & c & 1 \end{pmatrix}$ (단, a, b, c 는 0 또는 1)의 꼴로 표현할 수 있다.

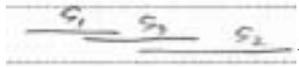
i) $a=b=c=0$ 인 경우

S_1, S_2, S_3 가 서로 겹치는 부분이 없는 배열이고, 당연히 존재한다.

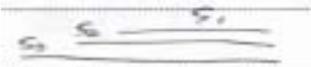
ii) $a+b+c=1$ 인 경우

예를 들어, $a=1$ 이라 하면 의 형태로 배열되어 있으면 된다. 마찬가지로, $b=1$ 이면 S_1 과 S_3 가 겹칠 것이고, $c=1$ 이면 S_2 와 S_3 가 겹칠 것이다.

iii) $a+b+c=2$ 인 경우

a, b, c 중 0이 되는 행과 열에 해당하는 S_i 와 S_j 가 양끝으로 가고 나머지는 모두 이어져 있다. 예를 들어, $a=0$ 이면 의 형태가 된다.

iv) $a+b+c=3$ 인 경우

S_1, S_2, S_3 모두 겹치는 부분이 있는 배열이 되겠다. 예를 들어,  등이다. 이로써 모든 3×3 거울행렬은 그것을 만족하는 DNA조각의 배열을 가진다.

■ **문제 3**

<답안 1>은 문제 1의 행렬을 일반화시켰는데, 행렬의 (i, j) 성분을 정확하게 표현하였으며, 제시한 행렬이 DNA 조각의 염기서열 일치 여부에 대한 정보로부터 얻어질 수 없음을 수학적 귀납법을 적용하지는 못했지만 나름대로 설득력 있게 설명하였다. <답안 2>는 다른 방향에서 문제에 접근한 예로, $n \times n$ 거울행렬이 문제 1에서의 행렬을 부분행렬로 포함하면 DNA 조각들의 겹침 정보로부터 얻어질 수 없음을 관찰하고 그와 같은 $n \times n$ 거울행렬을 제시하였다. 이 답안은 창의력 부분에서 높은 평가를 받았으나 수학적 표현력, 글쓰기 능력은 많이 부족하다.

<답안 1>

n 개의 DNA 조각을 이용해 만들 수 있는 행렬은 $n \times n$ 거울행렬이다. ($n \geq 4$)
 $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n$ 일 때

- i) $i = j$ 인 (i, j) 성분은 1
- ii) $i = j + 1$ 과 $j = i + 1$ 을 만족하는 성분은 1
- iii) $(n, 1)$ 과 $(1, n)$ 성분이 1
- iv) 나머지 성분은 0인 행렬을 생각해 보자.

위의 문제에서 논했던 것과 마찬가지로 생각해 보면 n 행과 n 열의 성분을 무시했을 때 DNA 조각의 배열은 그림과 같다.



여기서 n 행과 n 열을 고려하면 문제1에서 논했던 것과 마찬가지로 S_n 은 S_1 과는 끝부분이 일치, S_{n-1} 과는 일치, S_k ($k = 2, 3, \dots, n-2$)와는 불일치해야 한다. 그런데 인간 염색체는 한 개의 선형 DNA로 구성되어 있고 각각의 DNA 조각들은 같은 염색체에서 얻어진 것이므로 S_1 과 S_{n-1} 와 겹치는 부분이 있다면 그 DNA 조각은 반드시 S_k ($k = 2, 3, \dots, n-2$)를 포함한다. 따라서 이 행렬은 만들어질 수 없다.

<답안 2>

$(1, 2)$ 의 성분, $(2, 1)$ 의 성분, $(3, 4)$ 의 성분, $(4, 3)$ 의 성분이 0이고 $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n$ 인 i, j 에 대하여 $(1, 2), (2, 1), (3, 4), (4, 3)$ 을 제외한 모든 (i, j) 성분이 1인 행렬은 염기서열의 일치 여부에 관한 정보로부터 만들어질 수 없다.

$(1, 2) = (2, 1) = (3, 4) = (4, 3) = 0$ 이므로 S_1 과 S_2, S_3 와 S_4 는 각각 서로 일치하는 염기서열이 없음을 알 수 있다. 그런데 S_1 과 S_2 는 모두 S_3 와 S_4 서열과 공통되는 염기서열을 가지고 있다. 이 경우는 문제1의 경우와 같으므로 이 서열 또한 염기서열 일치 여부에 관한 정보로부터 만들어질 수 없는 행렬이다.

■ **문제 4**

문제 4에서는 논리적인 엄밀성과 창의성을 모두 갖춘 답안은 없었다. 따라서 주로 창의력이 우수한 학생들이 좋은 평가를 받았다. <답안 1>은 문제 3에서 문제 1의 행렬을 일반화시킨 행렬을 제시하였고, $n=6$ 인 경우의 행렬을 부분행렬로 포함하고 있는 행렬은 DNA 조각들의 겹침 정보로부터 얻어질 수 없음을 주장한 후 그 부분행렬을 포함하는 7×7 거울행렬을 제시함으로써, 문제 3의 $n=7$ 인 경우와 다른 행렬을 제시하였다. <답안 2>는 $n \times n$ 거울행렬이 문제 1에서의 행렬을 부분행렬로 포함하면 DNA 조각들의 겹침 정보로부터 얻어질 수 없음을 관찰한 후 문제 3에서 얻은 7×7 거울행렬에서 문제 1의 행렬에 해당하는 부분행렬에 속하지 않은 성분을 택하여 그것의 값을(0이었으면 1로, 1이었으면 0으로) 다르게 줌으로써 문제 3에서와 다른 행렬을 쉽게 찾아내었다. 이 두 답안은 모두 창의력 부분에서 높은 평가를 받았으나 수학적 표현력, 글쓰기 능력은 많이 부족하다.

<답안 1>

문제3에서 얻은 행렬 ($n=7$ 일 때)

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$


이외에도 $S_1 \sim S_2$ 는 S_n 만 다른 경우도 DNA 염기서열을 만족하지 못하는 거울행렬이 된다.



(7은 3, 4와 연결)

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

이와 같은 경우가 존재하므로 존재할 수 있다.

<답안 2>

(1, 2) = (2, 1) = (3, 4) = (4, 3) = (5, 6) = (6, 5) = 0인 경우 이 경우 또한 문제1의 경우와 같으므로 염기서열 일치 여부에 관한 정보로부터 만들어질 수 없는 행렬이다. 또 이 행렬은 문제3의 행렬과 다른 행렬이므로 주어진 조건을 만족하는 행렬이 존재한다.

【문항 2】

■ 논제 1

아래 두 답안의 경우 좋은 소화제에 대한 정의를 다양한 요소들을 고려하여 통합적으로 추론하였다. 제시문에 주어진 활성화 에너지를 낮추는 것이 반응 속도(소화 속도)를 높인다는 정보와 개념을 정확하게 파악하고 재구성함으로써 실험설계시 창의적이면서 과학적으로 유의미한 실험 조건들을 구성하고, 과학 실험에서 중요한 요소 중의 하나인 대조군에 대한 개념도 언급하였다.

<답안 1>

a.

① 작용대상이 다른, 서로 다른 종류의 소화효소를 가지고 있어, 음식물에 포함된 여러 영양소들을 분해할 수 있어야 한다.

② 효소는 크게 온도, pH의 영향을 많이 받는데 각 소화효소의 최적온도는 사람의 체온에서 크게 벗어나지 않으므로 pH만 고려해 주어도 좋다. 소화효소는 주변 pH에 따라 변성되기도 하고, 활성화되기도 하므로, 좋은 소화제는 주위의 PH에 따라, 활성화되는 효소는 방출하고 변성되는 효소는 보호할 수 있어야 한다.

③ 좋은 소화제는 위 두 가지 조건을 모두 만족하면서, 활성화 E를 많이 낮추어 소화 작용을 촉진시켜야 한다.

b. 소화제는 우리 몸 내부에서 작용하므로, 실험 시 온도는 체온의 범위에서 벗어나서는 안된다. 또 소화제는 입을 통해 식도→ 위→ 십이지장→ 소장→ 대장의 순서로 우리 몸을 통과하므로 실험 시 각 장기에서의 pH를 유의해야 한다.

<실험설계>

하나의 소화제가 여러 pH에서 어떻게 작용되는지 관찰해야하므로 각 시험관마다 아래와 같은 설계를 해야 한다.

1) 임의의 소화제 X를 실험 시 반응을 잘 할 수 있도록 가루 내어 준비한 시험관 A~L에 넣는다.

2) 시험관 A~C에는 으갠 밥을 D~G에는 육즙을 H~J에는 비계를 넣는다.

3) 준비된 시험관에 아래와 같이 용액을 처리한다.

A,D,G: 증류수 B,E,H: PH2의 산성 용액 C,F,I: PH8의 염기성 용액

비교하려는 소화제를 각각에 대해 위와 같은 실험준비를 하고 정해진 시간동안 실험을 하여 소화정도를 비교한다. 단 1)의 과정을 빼고 2), 3)과정만 거친다. 대조군을 마련하여 실험결과를 비교한다. 이를 통해 a의 조건 ①, ②, ③을 가장 잘 따르는 소화제를 찾는다.

<답안 2>

- a. 소화제는 소화가 잘 되지 않는 물질의 소화 속도를 빠르게 하여 소화가 잘 되도록 하는 것이 목표이다. 따라서 소화속도를 빠르게 하기 위해서 가장 중요한 것이 소화하는 활성화 에너지를 얼마나 낮추느냐이다. 그리고 몸 안의 어느 곳에서나 제 기능을 하기 위해서는 체온에서 가장 활성을 나타내야 하고 pH 2, 7, 8 등 여러 pH 조건에서도 활성을 나타내야 한다. 또한 소화제 내에는 여러 소화효소가 들어있어 우리 몸에 들어오는 여러 가지 영양소와 모두 반응할 수 있어야 한다.
- b. 이러한 좋은 소화제를 선별하기 위해서는 여러 조건에 대한 실험을 개별적으로 진행하여야 한다. 각각의 소화제에 대해 다음과 같은 실험을 한다.
1. 동일한 온도와 pH에서 각 비커에 단백질, 탄수화물, 지방이 포함된 음식물을 동일한 양을 넣고 소화제를 넣은 후 10초 마다 베네딕트 용액, 수단 III, 뷰렛반응에 필요한 용액을 넣으면서 색이 변하는지의 여부, 얼마나 빨리 색이 변하는지의 여부를 알아본다.
 2. 각각의 비커에 음식물을 넣고 pH 2,7,8 을 만든 후 소화제를 넣어서 모든 비커에서 변화가 일어나는지의 여부를 알아본다.
 3. 각각의 비커에 음식물을 넣고 온도를 10℃ 20℃ 30℃ 40℃ 50℃로 만든 후 소화제를 넣고 어느 온도에서 소화가 가장 빨리 일어나는지 알아본다.
- * 단 2와 3의 실험은 1과 마찬가지로 베네딕트 용액, 수단 III, 뷰렛반응에 필요한 용액을 넣어서 소화여부를 알아본다.

이 실험을 통해 모든 pH에서 반응하고 40℃에서 가장 활발히 반응하며 모든 영양소와 반응하고 가장 빨리 반응하는 소화제가 좋은 소화제이다.

■ 문제 2

문제 1의 활성화 에너지와 소화과정의 상관관계에 대해서는 대부분 이해하였으나, 활성화 에너지와 반응속도의 상관관계를 나타내는 수식의 적절한 활용을 통해서 에너지와 속도와의 관계를 이해하고, 수식의 논리적인 전개를 통해서 결론을 도출해 내는 통합적인 능력이 부족한 학생들이 많았다. 이는 수학적 사고와 과학탐구를 접목하는데 익숙하지 않기 때문으로 파악된다. 평가과정에서는 정확한 수치를 도출하는 것을 요구하기 보다는 수식의 유도 과정 및 적절한 수치의 도입을 통해서 결론을 유추해 내는 과정에 중점을 두고 평가하였으며, 아래 예시된 2개의 답안이 그 좋은 예라 할 수 있다.

<답안 1>

a, 소화제 안의 효소 수는 한정되어 있다. 효소는 촉매이기 때문에 일정량의 촉매가 음식물들을 지속적으로 분해해야 한다. 그러므로 활성화 에너지가 20% 낮아지면 효소 1개가 음식물을 영양소로 분해하는 시간이 짧아지고 그 단축된 시간에 이 효소는 또 다른 음식물을 분해 할 수 있다. 그러므로 전체적인 반응 속도는 빨라진다.

b, 20% 감소되기 전
 $K \propto e^{-20/1.987 \cdot 310}$ (T=310으로 설정 (:: 체온 37°C+273=310))
 20% 감소후
 $K \propto e^{-16/1.987 \cdot 310}$
 $K \propto e^{-EU/RT}$ 를 $K=C e^{-EU/RT}$ (C는 임의의 상수)
 $K_{\text{before}}=C e^{-2000/1.987 \cdot 310}$
 $K_{\text{after}}=C e^{-1600/1.987 \cdot 310}$
 나누면 $K_b/K_a=e^{-4000/1.987 \cdot 310}=e^{-4000/616}=e^{-1000/154}$
 $K_a=K_b \cdot e^{1000/154}$ 즉 20%낮아지면 $e^{1000/154}$ ($\approx e^{6.5}=(2.7)^{6.6} \approx 400$) 빨라진다.
 즉 소화속도가 400배 빨라진다.

<답안 2>

a. 이 소화제를 먹으면 기존 소화제보다 소화에 필요한 활성화 에너지를 더 감소시키므로 기존의 소화속도가 훨씬 빨라질 것이다. 또한 우리 몸의 체온 범위보다 더 낮은 곳에서도 소화 작용이 일어날 수 있을 것이다. 결과적으로 우리 몸의 에너지를 절약하게 되는 결과를 가지고 올 것이다.

b. 기존의 속도 상수 K를 $C \cdot e^{-20/RT}$ 라 하면 Ea가 20%줄어들었을 때의 속도상수 K'는 $C \cdot e^{-16/RT}$ 라 할 수 있다 K'/K는 $e^{4/RT}$ 로 R을 약 2cal/mal·K로 하고 단위를 고려해 계산하면 K'는 $e^{2000/T}$ 배라고 할 수 있다. 반응물의 농도를 같다고 가정하면 Ea가 20% 줄었을 때 반응 속도는 온도T에 따라 $e^{2000/T}$ 배 빨라진다.

■ **문제 3**

출제의도대로 많은 학생들이 활성화 에너지의 차이가 생물의 진화에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지에 관한 다양한 설명을 하였다. 다음 두 개의 예시답안은 나름대로 적절한 논리를 세워 창의적이면서도 독창적인 추론을 이끌어 낸 점에서 높은 평가를 받았다.

<답안 1>

활성화 에너지가 20% 감소하였으므로 소화속도는 80배나 증가하게 된 것이다. 따라서 소화기관은 형태적으로 기존의 동물에 비해 상대적으로 짧을 것이다. 또한, 쉽게 공복감, 배고픔을 느끼지 않도록 소화기관 이전에 섭취한 음식물을 담아두는 음식물 주머니 같은 것이 있을 것이다. 그리고 기능적으로, 이 생물체는 소장의 내벽에서 짧은 시간 내에 지나치게 많은 포도당이 혈관내로 유입되기 때문에 이로 인한 부작용을 막기 위해 간이 굉장히 발달하여 ‘포도당→글리코겐’ 작용을 강력하게 할 것이다.

<답안 2>

활성화 에너지가 20% 감소된 효소를 지닌 생물은 소화가 빨리 일어난다. 비슷한 습성을 지닌 같은 크기의 다른 생물과 비교했을 때 비교적 작은 위, 짧은 소장을 지녔을 것이다. 소장에서 소화가 빨리 일어나므로 음식물이 오래 머물러 있지 않아도 될 것이며, 위도 음식물을 많이 저장시켜 둘 필요가 없기 때문이다. 이 생물의 위는 주머니 형태가 아닌 소장 형태를 나타낼 수 있다. 또한, 지방을 분해하기가 더 쉬우므로, 지방을 유화시키는 활성화 에너지를 낮추는 쓸개즙의 기능이 필요 없다. 따라서 쓸개가 퇴화되고 간에서 쓸개즙을 만드는 기능이 정지되었을 것이다.

■ **문제 4**

문제 4는 가능하다는 불가능하다는 두 가지 가능성에 대해서 어떠한 방식으로 추론을 하였는지, 그 추론이 과학적인 근거에서 유추되었는지의 여부가 평가의 중심이었다. 또한 독창적이면서 창의적인 추론에 대해서 높게 평가하였다. 아래의 예시답안 처럼 같은 두 가지 가능성 중 어떤 것이라도 논리적이고 과학적인 근거를 가지고 추론을 한 경우에는 모두 좋은 평가를 받았다. 그러나 가능하다는 불가능하다는 대한 논리적 근거가 약한 경우에는 낮게 평가하였다.

<답안 1>

소화효소들은 여러 개의 아미노산의 결합으로 이루어져 있는데 끝부분의 작용기에 따라 최적으로 작용하는 pH가 결정된다. 그런데 단 한 개의 폴리펩티드로 된 소화제는 여러 개의 작용기를 가질 수 없으므로 pH가 7보다 낮은 위와 pH가 7보다 높은 소장에서 똑같이 최적으로 작용할 수 없다. 그런데 한 종류의 폴리펩티드를 길게 연결하면 끝과 끝 사이의 거리가 멀어질 것이다. 이것을 이용하며 폴리펩티드를 길게 연결하여 한 쪽에 산에서 활성을 가지게 하는 작용기를 가지게 하고 다른 쪽은 염기에서 활성을 가지게 하는 작용기를 가지게 한 다음 효소로 작용할 때 서로 분리되게 한다면 각각 위에서는 산에서 최적으로 활성을 가지게 하는 작용기가 있는 쪽이 반응을 하여 떨어져 나가고 소장에서는 염기에서 최적으로 활성을 가지게 하는 작용기가 있는 쪽이 반응을 하여 떨어져 나간다면 위와 소장에서 똑같이 최적으로 작용하는 소화제를 만들 수 있다.

<답안 2>

결국 한 가지의 소화 효소가 다른 pH조건에서 모두 최적으로 활성화 될 수 있는가의 문제다. 그러나 이것은 상당히 힘든 일이라 본다. 효소는 단백질로서 기능을 발휘한다. 단백질은 1차~4차까지의 구조를 갖는다. 1차 구조는 아미노산의 배열 순서로서 단백질의 종류를 결정한다. 그 후 2, 3차 구조는 그 폴리펩티드의 꼬임과 뒤틀림 등 입체적인 구조를 나타내는데, 단백질은 단순히 1차 구조만 결정된다고 해서 그 기능을 수행 하는 게 아니다. 2, 3차 입체 구조를 가지고 난 뒤에서 비로소 그 본래의 기능을 수행할 수 있게 된다(4차 구조는 헤모글로빈 등 여러 폴리펩티드가 모인 것을 나타낸다). 그런데 pH는 단백질의 입체 구조에 지대한 영향을 미친다. 즉 pH에 따라 폴리펩티드의 입체 구조가 바뀌고 입체 구조에 따라 촉매 기능을 수행할 수 있고 없고가 결정된다. 영양소가 효소(단백질)의 입체 구조에 기여 들어가서 다른 생성물로 분해되는 것이기 때문에 단백질(효소)의 입체 구조가 바뀌면 소화하고자 하는 영양소가 효소에 결합할 수 없고, 효소로서 기능을 못하게 된다. 그러므로 단백질로 이루어진 효소로는 각기 다른 pH에서 활성화 되게 하기 힘들다. 그러나 완전히 불가능하지 않은데, 단백질(효소)가 pH에 따라 구조가 달라지는 것을 이용하는 것이다. 위에서는(pH 2) 단백질을 소화시키는 형태로 활성화 소장(pH 8)에서는 기타 이당류를 소화시키는 형태로 활성화 되게 합성 단백질을 만들 수만 있다면 다른 pH에서 활성화 되는 효소가 개발 가능하다. 결론적으로 다른 pH에서 동일한 영양소를 소화시키는 효소를 만드는 것은 불가능하다.

【문항 3】

■ 논제 1

아래 2개의 답안 모두 과학 탐구 과정을 전체적으로 잘 파악했으며, 이를 각 단계 별로 간단히 설명하고 제시문에서 해당되는 예를 적절히 들어 기술했다.

<답안 1>

과학 탐구는 일반적으로 어떠한 현상에 대한 호기심으로부터 출발한다. 이 글에서도 티코 브라헤가 코페르니쿠스의 주장에 대한 호기심으로부터 이 연구는 시작되었다.

두 번째로는 자신이 생각하는 가설을 세우는 것이다. 티코 브라헤가 ‘지구가 특정 궤도를 갖고 태양 주위를 돌고 있을 것이다’라고 생각한 것이 바로 가설을 세운 것이라고 볼 수 있다.

다음으로는 이 가설을 증명하기 위한 실험을 계획하고 설계하는 단계가 필요하다. 티코 브라헤는 천체 관측을 준비하기 위해 천문학에 대한 자료를 모으고, 어떤 기구로 천체를 관측할 것인가를 설계하여 직접 기구를 만들기도 했다.

준비를 마치게 되면 이제 본격적으로 실험을 하게 된다. 티코 브라헤는 1567년부터 1597년까지 별들의 움직임을 측정하였다.

실험을 한 후에는 실험을 통해 얻은 결과를 해석하고 그것을 통해 결론을 도출하는 과정이 필요하다. 티코 브라헤의 관측 자료를 물려받은 요한 케플러는 관측 자료를 토대로 지구가 태양 주위를 타원 궤도를 그리며 돈다는 것, 태양과 멀어질 수록 지구의 공전 속도가 느려진다는 것, 행성이 공전 주기의 제곱이 궤도 장반경의 세제곱에 비례한다는 것을 알아내게 되는데, 이것이 바로 케플러의 법칙이다.

마지막으로 실험에 기초를 한 결론을 이론적으로 설명하는 과정이 필요하다. 아이작 뉴턴은 이 과정을 통해 만유인력의 법칙을 알아내게 되었다.

<답안 2>

- ① 어떤 현상이나 가설, 법칙 등에 대해 문제 의식을 갖는다(티코 브라헤가 코페르니쿠스의 주장에 대해 의문점을 가짐).
- ② 주어진 현상이나 가설 법칙 등에 대한 실험, 관측 자료를 얻는다(티코 브라헤가 30년간 천체를 관측함).
- ③ 실험/관측 자료를 분석한다(케플러가 티코 브라헤의 관측 자료를 해석함).
- ④ 기존 법칙, 가설 등을 수정한 분석 결과 발표(케플러의 법칙 발표)
- ⑤ 분석 결과를 일반화시키거나 논리적으로 공식화시키는 이론적 접근을 한다. 이런 과정에서 새로운 법칙이 유도되어 나오기도 한다(뉴턴이 케플러의 법칙을 수식적으로 설명하는 과정에서 만유인력의 법칙 발견).
- ⑥ 이후 새로운 실험, 관측 자료가 기존 이론에 반하는 경우, 같은 과정을 반복한다. 과학적 이론은 수정·보완된다.

■ **문제 2**

행성이 공전하고 있다는 사실로부터 각 행성에 미치는 구심력의 크기가 만유인력의 크기와 같다는 점을, 공전속도와 거리의 관계를 이용하여 각 행성의 만유인력에 미치는 질량의 크기가 일정하며 그 값이 태양과 같다는 것을 유추할 수 있다. 이러한 사실로부터 태양계의 질량은 태양에 집중되어 있으며, 이는 태양이 태양계에서 압도적으로 밝다는 점과 일치한다는 것을 추론할 수 있다.

<답안 1>은 구심력에 대한 이해가 부족하여 잘못된 식을 사용하였으나, 주어진 정보를 토대로 논리적으로 추론하여 결론에 도달하는 과정을 조리 있게 기술하였다.

<답안 2>는 논제의 핵심적인 내용을 파악하고 바른 식을 이용하여 논리적으로 결론을 얻었으며 기술도 무난하다.

<답안 3>은 논제의 핵심적인 내용을 파악하고 식을 이용하여 간결하고 올바르게 결론을 추론하였다. 그러나 글쓰기는 미흡하다.

<답안 1>

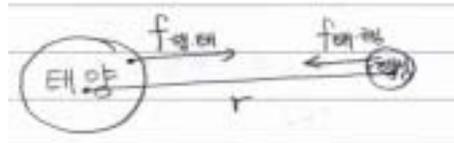
행성의 공전속도 $v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$ (r 은 태양으로부터 거리)

구심력 $\propto \frac{mv^2}{r} \Rightarrow$ 구심력 $f = k \frac{mv^2}{r}$ (k 는 상수)

고등학교 물리에서 배운 식을 이용하기 위해 태양 주위를 공전하는 행성의 궤도를 실제로는 타원이지만 원으로 가정하자.

\Rightarrow 두 물체 간의 만유인력이 원운동의 구심력이 된다.

태양의 질량을 M , 행성의 질량 m , 공전속도 v_{sun} , v_{planet} , 거리를 r 이라 하자.



태양과 행성이 서로 당기는 힘 f 는 $G \frac{Mm}{r^2}$ 으로 서로 같다.

태양 입장에서 보면 만유인력 $G \frac{Mm}{r^2} =$ 구심력 $k \frac{Mv_{sun}^2}{r}$

$$\Rightarrow v_{sun} = \sqrt{\frac{Gm}{rk}} \propto \sqrt{m}$$

행성 입장에서도 똑같이 생각해보면 $v_{planet} \propto \sqrt{M}$ 이다.

그런데 관측 결과를 토대로 보면 행성이 태양 주위를 빠른 속도로 공전하는 동안 태양의 움직임은 그에 비해 매우 미미했다.

여기서 알 수 있는 것은 $v_{planet} \gg v_{sun} \Rightarrow \sqrt{M} \gg \sqrt{m}$ 이다.

즉, 행성의 질량보다 태양의 질량이 훨씬 크고, 모든 행성이 태양 주위를 돈다는 관측 결과를 더하여 판단하건대, 태양계의 질량 분포는 거의 태양에 집중되어 있다고 볼 수 있다.

<답안 2>

$F \propto \frac{mv^2}{r}$, $v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$ 에서 $F \propto \frac{m}{r^2}$ 이 성립한다.

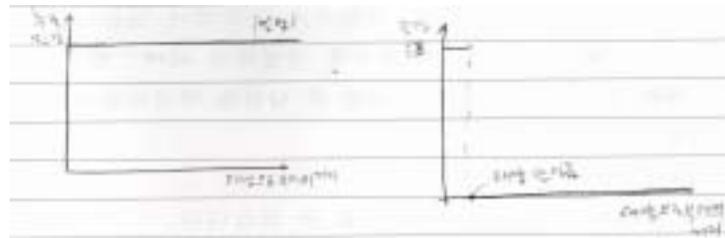
구심력 F 는 $\frac{GMm}{r^2}$ (G =만유인력 상수, m =천체질량, M =천체를 중력으로 당기는 부분의 질량) $\frac{GMm}{r^2} \propto \frac{m}{r^2}$ 에서 GM =상수 이다. G 는 원래 상수이므로 M 도 상수임을 알 수 있다. M 은 태양계중심(태양중심)으로부터 천체 m 까지의 거리 r 을 반지름으로 하는 원 내부의 질량 합이다. 그런데 이 M 이 일정하다는 것은 태양계 질량 대부분이 태양에 집중되어 있고 그 외 행성들이나 소행성 등은 거의 질량에 기여하지 않는다는 것이다. 즉, 태양계는 질량 대부분이 태양에 집중되어 있다.

<답안 3>

일단, 구심력을 작용하게 만드는 태양과 관측자보다 태양에 가까이 있는 행성의 질량 중심은 태양에 있다고 가정하고, 행성의 궤도를 원궤도로 근사한다. 구심력은 만유인력이므로 $F = \frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$ (M 은 태양과 관측자보다 태양에 가까이 있는 행성의 질량의 합)

$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이 된다. 그런데 제시문에서 $v = k\frac{1}{\sqrt{r}}$ (k 는 비례상수)이므로

$\sqrt{\frac{GM}{r}} = \frac{k}{\sqrt{r}} \quad \therefore M = \frac{k^2}{G}$ (일정). 따라서, 거리가 멀어져 관측자보다 태양에 가까운 행성이 많아지더라도, 태양 질량에 비해서는 없는 것이나 마찬가지이다. 따라서, 태양계의 질량 분포는 태양에만 질량이 집중되어 있고 나머지 행성에는 질량이 거의 없는 형태가 되겠다. 그래프로 그리면



이런 형태가 될 것이다.

■ **문제 3**

별이 공전하고 있다는 사실로부터 각 별에 미치는 구심력의 크기가 만유인력의 크기와 같다는 점을, 공전속도와 거리의 관계에 대한 정보로부터 각 별의 만유인력에 미치는 질량이 거리에 따라 선형적으로 증가한다는 것을 알 수가 있다. 이는 압도적으로 밝은 태양에 질량이 집중되어 있는 태양계의 경우와 대조적인 것이다. 이로부터 은하의 경우에는 빛을 별로 내지 않는 물질이 은하의 바깥 지역에도 많이 분포하고 있다고 추정할 수 있다.

<답안 1>은 물리량 사이의 정량적인 관계를 구하진 못했으나, 주어진 정보를 토대로 논리적인 추론으로 결론을 얻었으며 그 과정을 잘 설명하여 좋은 평가를 받았다.

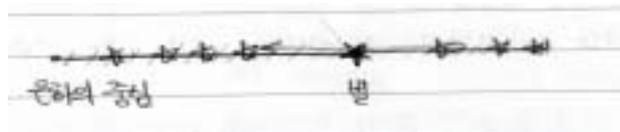
<답안 2>는 논제의 핵심적인 내용을 파악하고 바른 식을 이용하여 논리적으로 결론을 추론하였으나, 결과에 대한 논의는 부족하다.

<답안 3>은 논제의 핵심적인 내용을 파악하고 식을 이용하여 간결하고 올바른 결론을 얻었으나, 글쓰기가 미흡하고 논의가 부족하다.

<답안 1>

거리에 상관없이 일정한 속도로 공전한다. 원운동에는 구심력이 존재해야만 한다.

구심력 $f = \frac{mv^2}{r}$ 으로 나타낼 수 있는데, 그 힘의 근원은 만유인력이다.



은하중심-별을 일직선 상에서 보면 별을 당기는 힘은 은하 중심부와 은하 바깥부분의 힘으로 나누어 볼 수 있다(양쪽에서 질량이 있는 모든 물체가 서로 당긴다).

모든 별이 같은 속도로 공전한다는 것은 주위에서 만유인력으로 끌어당기는 물체와 당김을 당하는 물체의 질량이 같다는 것을 의미한다.

그런데 모든 별이 하나의 중심을 가지고 회전하는 것으로 보아 가운데 중심부에 질량 분포가 높은 대신, 모든 공간에 연속적으로 질량이 분포하고 있다고 추정된다.

중심부에서 거리가 멀수록 질량에 의한 만유인력이 태양계에서는 줄어들지만 은하에서는 그 사이에 비슷한 질량 분포를 가진 물질들이 차 있어, 원래 줄어들게 되는 공전 속도를 일정하게 유지시켜주는 것이다.

(이와 비슷한 사례(정확히 같지는 않지만)로 원판 위에 놓인 물건들을 생각해 볼 수 있다. 원판이 회전할 때 그 위의 물체들은 모두 같은 각속도로 회전한다. 그래서 오히려 멀리 있는 물체의 속도가 가까워서 짧은 반경으로 도는 물체보다 더 빠르게 된다. 이를 통해 유추해 보건대 중심에서 멀리 떨어진 물체가 원래는 느린 속도를 회복하여 다른 물체와 비슷한 속력을 가질 수 있을 것이다.)

<답안 2>

$F \propto \frac{mv^2}{r}$, $v = \text{상수} \quad \therefore F \propto \frac{m}{r} \quad F = \frac{GMm}{r^2}$ (문제2 참조)에서 M 이 r 에 비례하게 된다. M 은 은하 중심에서 천체 m 까지의 거리 r 을 반지름으로 하는 구 내부의 질량이다. 이 질량이 은하 중심부터의 거리와 비례하므로 은하의 질량 분포는 태양계과 달리 전 영역에 산포되어 있음을 알 수 있다. 단, 은하 외부로 갈수록 밀도가 희박해 지기는 하지만 태양계의 질량 분포와는 매우 다름을 알 수 있다.

<답안 3>

구심력을 작용하게 만드는 은하 중심과 관측자보다 은하 중심에 가까운 별의 질량의 합을 M 이라 하고, 그 총 질량 중심은 은하 중심과 일치한다고 하자. 또한, 은하의 원반 가장자리를 도는 별은 원 궤도를 그린다고 가정하자.

$$F = \frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

그런데, 문제에서 원반 가장자리의 경우 거리에 관계없이 공전속도가 일정하다고 했으므로, $v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = l$ (l 은 비례상수)로 놓을 수 있다.

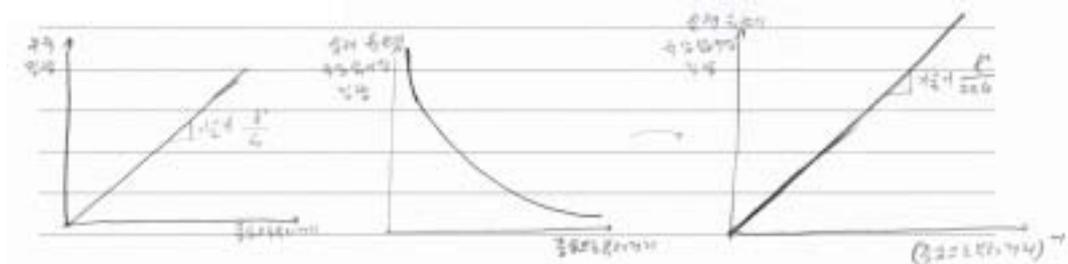
$$\Rightarrow M = \frac{rl^2}{G} \quad \therefore \text{누적 질량은 거리에 비례한다.}$$

또, 나선은하는 대략 원반 모양으로 분포하고 있으므로, $S = \pi r^2$ 이 된다.

$$dM = \frac{l^2}{G} dr \text{이고 } dS = 2\pi r dr \text{이므로, } dM = \frac{l^2}{2\pi Gr} dS \quad \therefore \frac{dM}{dS} = \frac{l^2}{2\pi Gr}$$

은하의 중심에서 r 만큼 떨어졌을 때 적당히 작은 원반의 넓이당 질량은 $\frac{l^2}{2\pi Gr}$ 으로 r 에 반비례한다.

이를 그래프로 나타내면



이런 형태가 될 것이다.

【문항 4】

과학적 탐구는 어떤 의미에서 퍼즐을 푸는 일이다. 즉 자연의 미스터리와 관한 퍼즐을 관찰 사실을 토대로 풀어가는 지적 행위인 것이다. 주어진 피페린과 캡사이신의 구조를 자세히 살펴보면 둘 다 C, H, O, N의 네 가지 원소로 이루어졌으며, 탄소는 네 개, 질소는 세 개, 산소는 두 개, 수소는 한 개의 공유결합을 이룬다는 사실을 쉽게 알 수 있다. 이런 규칙에 따라 피페린과 캡사이신이라는 물질이 만들어지는데, 이 둘 사이에는 공통점과 차이점이 존재한다. 굳이 화학 2에 나오는 옥텟규칙이나 루이스 구조를 언급하지 않아도 위의 사실을 기초로 공통점과 차이점을 추론한다면 좋은 점수를 받을 수 있다. 다른 원자와 이루는 결합의 수를 물었을 때 논제와 상관 없는 다양한 결합의 종류만을 서술한다면 오히려 의사소통에 장애가 될 수 있다.

매운 맛을 내는 부분에 대해서는 정답이 있는 것이 아니다. 단지 공통적인 원소와 공통적인 화학결합의 원리를 통해 생성된 피페린과 캡사이신이 화학 구조가 다름에도 불구하고 어떤 공통점 때문에 매운 맛을 내는지 추론해보자는 것이다. 따라서 단순히 각 화합물에 들어 있는 구조적 특성을 열거하는 것으로는 부족하다. 피페린과 캡사이신에 공통적으로 들어 있는 벤젠 고리와 결합한 산소 부위, 질소와 결합한 탄소가 산소와 이중결합을 이룬 부위, 그리고 수소와 결합한 탄소가 여러 개 연결된 소수성 부위들이 각각으로는 맛을 나타내지 않지만 복합적으로 수용체와 상호작용하여 매운 맛을 내는데 관여할 수 있을 것으로 생각해 볼 수 있다. 둘 다 벤젠 고리와 긴 탄소 사슬을 가진 것으로 보아 기름이나 무극성 용매에 더 잘 녹으리라는 것은 화학 1의 탄소 화합물 부분을 공부한 학생은 충분히 추론할 수 있을 것이다. 캡사이신은 물과 수소결합을 할 수 있는 부위가 있어서 피페린보다는 물에 잘 녹으리라 예상되는데 이는 김치 국물이 맵다는 일상의 경험과 맞는다.

■ 논제 1

<답안 1>은 논제에서 요구한 원소의 조성, 결합 원리, 결합수를 명확하게 설명하였다. 또한 공통 구조 중에서 다른 물질에서 흔히 발견되면서 매운 맛을 내지 않는 부분은 매운 맛에 관계되지 않을 것이라는 나름대로 합리적인 추론을 제시하여 좋은 평가를 받았다. 펩타이드 결합이나 소수성 부분처럼 각각으로는 매운 맛을 내지 않지만 복합적으로는 매운 맛에 관계될 수도 있다는 생각까지 할 수 있었다면 더욱 좋았을 것이다. <답안 2>는 분석 및 종합적인 추론 능력이 우수하여 좋은 평가를 받았다.

<답안 1>

가. 원소의 조성

피페린은 C, H, O, N의 원소들로 조성

캡사이신도 C, H, O, N의 원소들로 조성되어 있다. 또 둘 다 벤젠기를 가지고 있다.

차이점은 원소 조성으로서는 거의 없다.

나. 화학결합의 원리, 다른 원자와 이루는 결합의 수

둘 다 혼성공명구조를 가진 벤젠을 가지고 있다. 또 대부분의 결합이 공유 결합이다(탄소화합물). C는 4개, N은 3개, O는 2개, H는 1개의 결합수를 가지고 있다.

차이점으로는 캡사이신에는 피페린에는 없는 구조가 많다. 먼저 벤젠에 히

드록시기가 달린 페놀류이다. 또 캡사이신에는 $\begin{bmatrix} -N-C- \\ | \quad || \\ H \quad O \end{bmatrix}$ 인 펩티드 결합이 존재한다.

다. 매운 맛을 내는데 관련되어 있으리라 추측되는 구조적 특성

아마도 공통적으로 가지고 있는 $\begin{bmatrix} O \\ | \\ C \end{bmatrix}$ 구조인 것 같다. 두 화학물질의 공통적인 구조이기 때문이고 또 다른 이유로는 나머지 구조들은 다른 물질들에서도 쉽게 발견되는데(ex: 펩티드 결합, C와 H의 사슬구조) 이 결합을 가진 물질들이 꼭 매운 맛을 내지는 않기 때문이다.

라. 물과 기름 중 어디에 더 잘 녹을지

기름에 더 잘 녹을 것 같다. 물에 녹으려면 극성을 가지거나 분자량이 작아야 한다. 하지만 두 물질 모두 탄소화합물로 분자량이 크고 벤젠기라는 유기성기가 있다. 또 두 물질 모두 특별한 극성기를 가지고 있지 않다.

<답안 2>

후추의 매운맛을 내는 성분인 피페린과 고추의 매운맛을 내는 성분인 캡사이신은 매운맛을 낸다는 공통점뿐만 아니라 각각의 성분을 이루는 구조에 있어서도 유사점이 많다. 먼저 원소의 구성에 있어서 두 물질 다 C, H, O, N이라는 생명체의 기본요소 4가지로만 이루어져 있음을 발견할 수 있다. 흥미로운 점은 한 분자를 구성하는 원소별 원자의 개수도 비슷하다는 점이다. 실제로 탄소의 원자수비가 19:18, 질소와 산소는 1:1이라는 동률을 보여주고 있다. 하지만 수소의 경우에는 17:27로 캡사이신이 훨씬 더 많은 수소 원자로 구성되어 있다. 다음으로 화학결합의 종류를 파악해 보면 피페린에는 질소가 포함된 고리구조인 알칼로이드가 결합되어 있다. 그리고 산소가 기본구조에 포함되어 있는 옥각고리와 탄소로 된 육각고리가 포함되어 있다는 점이 두드러진다. 캡사이신의 경우에는 더 많은 화학결합이 발견된다. 먼저 분자의 가운데 부분에 펩티드 결합이 있는 것이 보인다. 이를 통해 아미드기(-NH₂)와 카르복시기(-COOH)가 탈수반응으로 결합한 것임을 추론해 볼 수 있다. 또한 육각고리의 윗부분에 -O-CH₃ 구조가 존재함을 통해 히드록시기(-OH)와 메탄올(-CH₃OH)이 반응한 것이라는 점도 알 수 있다. 중요한 점으로 매운맛을 내는데 관련된 구조적 특성을 알아보아야 하는데, 매운맛은 두 물질의 공통적 특성이므로 구조식에 있어서 유사한 구조를 찾아보기로 한다. 두 분자의 공통적 특징으로는 이중결합으로 이루어진 육각고리의 곁가지에 2개의 산소 원자가 결합되어 있다는 점과 길게 연장되어 있는 탄소 사슬, 그리고 단백질과 관련된 펩티드 결합 또는 알칼로이드 고리가 있다는 점이다. 마지막으로, 두 분자 모두 탄소원자의 수는 많은데 비해, -OH와 같은 친수성기는 적은 것으로 보아 무극성으로 기름에 더 잘 녹을 것으로 추론해볼 수 있다. 하지만, 캡사이신에 -OH기가 2개 정도 있는 것으로 생각할 수 있으므로 피페린보다는 상대적으로 물에 잘 녹을 것으로 예상된다.

■ 문제 2

화학 1 교과서에는 단백질이 아미노산의 축합으로 이루어진 생물에 들어 있는 고분자라는 설명이 나온다. 단백질이 생체 내에서 효소 작용 등 특정한 기능을 나타내는 것을 보아 단백질 수용체와 비교적 분자량이 작은 피페린이나 캡사이신과의 상호작용은 단백질 표면에서 무작위로 일어나는 것이 아니라 자물쇠와 열쇠의 관계와 같이 특정한 인식 부위를 중심으로 일어나리라 추론할 수 있다. 더 매운 맛을 내는 화합물을 만들기 위해 주어진 피페린, 캡사이신에만 집중하는 대신 제 3의 매운 맛을 내는 물질을 구해서 셋 사이의 구조적 공통점을 알아본다면 이는 유연한 사고가 발현된 하나의 예가 될 것이다. 또한 매운 맛을 낼 것으로 기대되는 공통 부위에 여러 가지 변화를 도입하면서 수용체와의 결합, 인식 정도에 따른 매운 맛의 차이를 체계적으로 조사하는 것도 바람직한 접근 방법이다. 매운 맛을 내는 데 관계되리라 예상되는 부분을 하나의 화합물에 여러 개 추가적으로 넣는다는 것은 너무 단순한 발상이다. 분자가 너무 커지면 오히려 단백질 수용체에 잘 맞지 않아 매운 맛이 약해질 가능성이 생긴다. 매운 맛을 내는 부분만을 모아서 새로운 화합물을 만들어도 수용체와의 결합이 잘 이루어지지 않을 것이다.

많은 학생들이 매운 맛을 내리라고 생각되는 부위가 여러 개 들어있는 화합물을 만든다고 단순하게 답한 반면, <답안 1>은 피페린과 캡사이신에서 찾은 매운 맛을 내는 요인을 결합하여 수용체가 강하게 인식하도록 해야 한다는 생각을 하였다. 또한 수용체가 작용하는 과정을 자세히 연구해야 더 매운 맛을 내는 물질을 고안할 수 있다는 합리적인 방안을 제시한 점에서 좋은 평가를 받았다. 이것은 요즘 신약개발의 추세인 합리적 신약 설계(rational drug design)의 패러다임과도 맞는 적절한 지적이다. <답안 2> 역시 수용체와 자극물질간의 관계를 생각한 점에서 비교적 좋은 평가를 받았다.

<답안 1>

피페린과 캡사이신보다 더 매운 화합물을 만드려면 우선 피페린과 캡사이신에서 매운 맛을 내는 요인을 찾아야 한다. 그 요인을 적절하게 결합해서 혀의 단백질 수용체에 보다 강하게 인식될 수 있도록 해야 한다. 단백질 수용체가 매운 맛을 인식하는 과정을 알아낼 수 있다면 그 과정을 통해서 매운 맛이 더 강하게 전달될 수 있도록 화합물을 만들 수 있을 것이다. 캡사이신과 피페린이 같은 단백질 수용체에 결합한다는 것은 캡사이신과 피페린의 공통적인 어떤 것과 그것을 수용하는 수용체 사이에 어떤 특징적인 연관이 있기 때문이다.

<답안 2>

피페린이나 캡사이신이 결합하는 수용체는 아마 혀에서 매운맛을 감지하는 통각일 것이다. 따라서 두 물질보다 매운 화합물을 만들기 위해 일단 두 물질의 공통부분을 포함시켜 두 물질과 같은 수용체와 반응하게 한 후 나머지 부분을 변화시켜가며 더 매운 물질을 찾아야 한다.

■ 논제 3

피페린, 캡사이신은 대체로 극성이 낮아 물에 잘 녹지 않는다. 우유는 대부분이 극성이 높은 물이지만 극성이 낮은 지방 성분을 가지고 있다. 사실 지방은 마이셀 형태로 우유에 분산되어 있어서 매운 맛을 줄이는데 직접 관여하기는 힘들다. 우유에는 지방 부위를 가진 단백질(lipoprotein)이 들어 있는데 이 지방 부위가 수용체에 결합하고 있는 피페린, 캡사이신을 유유상종의 원리에 따라 씻어낸다. 이것은 비누가 기름때를 없애는 것과 비슷하다. 우유에 들어 있는 무극성 지방 성분이 극성이 낮은 피페린, 캡사이신과 잘 어울려 수용체로부터 떼어내기 때문에 매운 맛이 줄어 든다라고 하면 충분한 설명이 된다.

그러나 무극성인 우유라고 하는 것은 부정확하다. ‘무극성인 요오드는 무극성 용매인 사염화 탄소에 잘 녹는데, 매운 맛을 없애기 위해 우유를 마시는 것도 동일한 현상이다’ 는 식의 표현도 불충분하다. 구체적으로 우유의 무극성 성분이 무극성인 피페린, 캡사이신을 수용체로부터 떼어낸다고 확실하게 요점을 짚어주는 것이 좋다.

우유 단백질이 수용체 단백질과 결합해서 피페린, 캡사이신을 몰아낸다는 것도 충분히 제시할 수 있는 가설이지만 큰 단백질 분자끼리 만났을 때 우유 단백질이 수용체 단백질에서 피페린, 캡사이신을 인식하는 부위와 결합할 수 있을지에 대한 타당한 근거를 제시할 수 있어야 한다. 또 그런 결합이 이루어진다면 매운 맛이 남아 있을 지도 모른다는 점도 생각해 보아야 한다.

<답안 1>은 비누가 때를 녹여내는 과정과 우유에 들어 있는 지방/단백질 성분이 수용체와 결합하고 있는 피페린이나 캡사이신을 떼어 내는 과정을 비교하여 본인의 생각이 잘 전달되도록 논술하였다. 많은 학생이 무극성인 우유라는 표현을 한 반면에, 이 학생은 우유의 대부분은 극성이 높은 물이지만 우유에는 극성이 낮은 성분이 들어 있어서 매운 맛을 줄여 준다는 점을 명확히 설명하여 높은 평가를 받았다.

대부분 학생들이 매운 맛 분자가 소수성에 강하기 때문에 우유에 의해 쉽게 씻겨 나가는 이유를 설명하는 과정에서 단순히 우유가 소수성이라고 단정하는데 머물렀지만, <답안 2>는 극성과 무극성에 대한 상세한 설명과 다양한 예를 적절히 제시하여, 구체적이고 적절한 논리적 근거로 설득력 있게 논의를 전개하였다.

<답안 1>

비누를 예로 들면, 비누의 친수성기와 소수성기로 나뉘어져 때를 제거하는데 효과적인 역할을 한다. 때는 지방 성분으로 이루어져 있어 비누의 소수성기와 결합하고, 비누의 물 부분은 친수성기와 결합하여 미셀 구조를 이루게 되고, 비누의 친수성기와 물리적 충격에 의해 때가 잘게 쪼개진 후, 옷감에서 떨어져 나오게 된다.

이처럼 혀에 있는 단백질 수용체와 결합하여 매운 맛을 자극하던 피페린과 캡사이신은, 우유를 마시게 되면 우유 속 지방/단백질 성분과 결합하기 위해 단백질 수용체를 떨어져 나오게 된다.

<답안 2>

이것은 극성/무극성 용질과 용매에 의한 현상이다.

주위의 예를 보면, 소금은 물에 아주 잘 녹지만 참기름 등 유기용매(벤젠 등)에는 거의 녹지 않는다. 나프탈렌(좁약)은 물에는 전혀 녹지 않지만 벤젠 등에는 쉽게 녹는다. 요오드는 물에는 녹지 않지만 사염화탄소에는 잘 녹는다.

용질이 용매에 녹는다는 것은 용질끼리 또는 용매끼리의 인력보다는 용매와 용질 분자간 인력이 더 크다는 것을 의미한다.

-OH나 =NH 기 등이 많이 존재할수록 분자는 전기음성도 차이에 의한 편극이 크게 일어나고 이에 의해 생긴 +극, -극끼리 전기적 인력이 작용하고 분자간 인력이 강하게 된다. 이를 극성 분자라 한다. 반면에 -OH, =NH 구조가 없고 탄소 사슬만 존재하는 분자는 편극이 일어나지 않아서 분자간 인력이 크지 않게 된다. 이를 무극성 분자라고 한다. 무극성 용매/용질은 서로 힘이 거의 작용하지 않아서 자연스럽게 섞이어 녹게 되고 극성 용매/용질은 용질-용매간 인력이 큰 경우 녹게 된다. 그러나 무극성 용매/용질과 극성 용질 용매를 함께 두면 극성 분자간 인력이 너무 커서 무극성 분자가 끼어 들어갈 틈도 없어서 결과적으로 녹지 않게 된다.

즉 캡사이신은 무극성에 가까운 분자다. 따라서 극성 용매인 물에는(-OH가 전부인 물은 극성분자) 잘 녹지 않고 우유에 포함된 무극성 지용성 성분들에는 잘 녹아서 매운맛이 우유를 먹으면 잘 제거되는 것이다.

위에서 든 예들도 모두 이러한 관계가 성립한다. (소금 극성 - 물 극성) (나프탈렌 무극성 - 벤젠 무극성) (요오드 무극성 - 사염화탄소 무극성)

■ 문제 4

피페린, 캡사이신과 유사하지만 매운 맛이 없거나 약한 화합물을 가진 식물이 있었다고 하자. 돌연변이에 의하여 이 식물 DNA에서 물질 대사에 관련된 유전자의 유전 정보가 변화하고, 결과적으로 세포 내 대사에 관련된 많은 효소 단백질 중 하나에 변화가 생겨 피페린이나 캡사이신 같은 물질이 만들어진다. 초식 동물은 매운 맛을 내는 물질을 가진 이런 식물을 피하게 되었을 것이다. 그 결과 이런 식물은 많이 살아남게 된다. 그러나 식물이 살아남기 위해 매운 맛을 내는 물질을 가진다는 것은 정확한 표현이 아니다. 또한 동물이 좋아하는 맛을 내어 씨를 퍼뜨리기에 유리하였을 것이라는 가설도 설득력이 약하다. 초식 동물은 인간처럼 후추나 고추를 향신료로 사용하는 것이 아니고 생명을 유지하기 위해 식물을 먹기 때문에 후추나 고추는 기피 식물이 되었으리라 추론하는 것이 타당하다. 식물 진화의 기간이 인간 진화의 기간보다 훨씬 긴 것을 생각해 볼 때 인간이 좋아하는 매운 성분을 가진 식물이 살아남는데 유리했다는 것도 무리한 추론이다. 물론 대항해를 통해 후추와 고추가 널리 퍼지고 많이 경작되었지만 그것은 어떤 식물이 매운 맛을 내는 물질을 가지게 된 진화의 과정과는 다른 문제이다. 이처럼 논점을 혼동하지 않도록 주의해야 한다.

<답안 1>은 진화의 핵심인 돌연변이와 적자생존 원리에 기초하여 한 식물이 피페린과 캡사이신을 가지게 되는 과정을 설득력 있게 논술하였다. <답안 2>는 진화의 자연선택에 대하여 논리적으로 잘 설명하였다. 그러나 자연선택과 인공선택이 시차를 가지고 함께 진행되었다는 점을 생각했다면 더욱 좋은 평가를 받았을 것이다.

<답안 1>

옛날에 식물들은 피페린과 캡사이신 같은 화합물을 가지고 있지 않았다. 그러다가 어떤 특정 지역에서 피페린과 캡사이신을 가진 군집이 발생하였다. 매운 맛을 좋아하지 않는 대부분의 동물들은 이 피페린과 캡사이신을 가진 군집의 개체를 섭취하지 않았고 그 결과 피페린과 캡사이신을 가진 군집은 점차 개체수가 늘어났고 그렇지 않은 군집들은 개체수가 줄어들었다. 결국 피페린과 캡사이신을 가지지 않은 군집들은 적어지고, 피페린과 캡사이신 같은 화합물을 가진 개체들만이 생존하게 되어 형질이 유지되어 왔다.

이것은 현대 진화설에 의한 설명이다. 돌연변이로 인해 전대에 없었던 형질이 나타나고 그것이 살아가는데 유리하게 작용하면 그것들이 살아남아서 그것들까지 대대로 형질을 전하는 적자생존이 일어나고 시간이 흘러서 그 형질이 완전히 한 지역에 정착되는 식으로 진화가 일어나게 된다. 피페린과 캡사이신도 마찬가지이다. 이것들이 그 개체의 생존에 도움이 되었기에 그 화합물들을 가지게 된 것이다.

<답안 2>

후추나 고추와 같은 식물이 원래는 피페린, 캡사이신과 같은 성분을 가지고 있지 않다가 가지게 된 것이라면, 진화의 관점에서 다음과 같이 설명할 수 있다. 매운맛 성분을 가지고 있지 않던 식물 중 아주 일부의 개체에서 돌연변이가 일어나서 매운맛을 내는 성분이 우연히 그 식물의 개체 내에 합성된다. 이 때 그 식물과 생활권을 공유하는 벌레, 새, 인간 등의 포식자가 그 식물을 먹이로 삼기 시작한다. 매운맛을 가지고 있지 않은 식물 개체들은 포식자에게 좋은 먹이가 되어 개체 수가 줄어들게 된다. 한편 포식자가 아주 우연히 식물을 먹었을 때, 그 식물이 매운맛 성분을 가지고 있었다면, 포식자는 매운맛에 몹시 괴로워했을 것이다. 이런 식으로 시간이 흘러, 매운맛 성분을 가지지 않은 본래의 개체들의 수는 줄어들고, 매운맛 성분을 가지고 있어 포식자에게 기피되는 돌연변이 개체의 수는 늘어나거나 유지된다. 돌연변이는 개체변이와는 달리 자손에게 유전되므로 돌연변이 개체끼리의 교배를 통해 생긴 자손은 매운맛 성분을 가지게 된다. 이렇게 극소수였던 매운맛 성분을 함유한 돌연변이 식물들이 ‘포식자’라는 환경의 변화에 따라 유전자 풀(pool)의 주류로 올라오면서(자연선택) 그 이후 이 식물은 계속해서 매운맛 성분을 가지게 되는 것이다.

4. 모의 논술고사 자연계열 문항

【문항 1】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

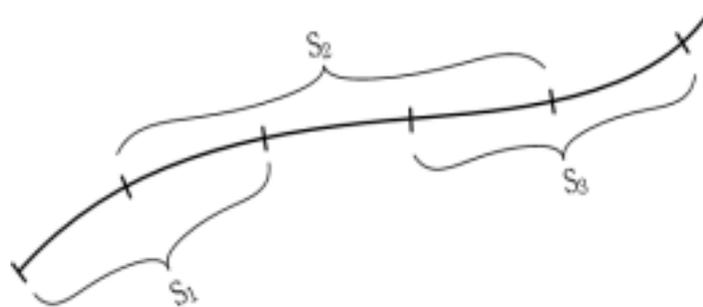
어떤 생명체의 유전정보의 총체를 유전체(genome)라고 부른다. 인간의 유전체는 23개의 염색체로 이루어져 있으며 그 안의 유전정보는 DNA의 염기서열(base sequence)로 기록된다. 인간의 염색체는 한 개의 선형 DNA로 구성되어있는 반면 박테리아의 염색체는 한 개의 원형 DNA로 구성되어있다.

유전체 DNA의 염기서열을 알아내는 것은 생명 현상의 이해를 위해서 매우 중요한 일이다. 유전체 DNA의 염기 서열을 알아내기 위하여 인간 유전체사업(Human Genome Project)에서 사용한 방법은 다음과 같다.

먼저 동일한 염색체 DNA 여러 개를 각각 적절한 길이로 무작위로 잘라낸 다음, 염기서열분석기(DNA Sequencer)를 이용하여 잘라낸 DNA 조각의 양 끝의 염기 서열을 읽어낸다. 이렇게 읽어낸 DNA 조각들의 염기서열을 비교하여 서로 염기서열이 일치하는 부분을 찾고, 이를 바탕으로 DNA 조각들을 배열하여 유전체의 염기서열을 재구성한다. 예를 들어, 잘려진 DNA 조각 S_1, S_2, S_3 에 대하여, S_i 와 S_j 의 염기서열 끝부분이 서로 일치한다면 행렬의 (i, j) 성분을 1, 일치하지 않는다면 0으로 표시하여 만들어진 행렬이 다음과 같다고 하자.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

위의 내용으로부터, S_1, S_2, S_3 이 다음과 같이 배열되어 있음을 알 수 있다.



이 배열은 $\begin{array}{ccc} \underline{\quad S_1 \quad} & & \\ & \underline{\quad S_2 \quad} & \\ & & \underline{\quad S_3 \quad} \end{array}$ 의 형태로도 표현 할 수 있다.

문제 1. 인간의 같은 염색체에서 얻어진 DNA 조각을 S_1, S_2, S_3, S_4 이라고 하자. S_1, S_2, S_3, S_4 의 염기서열 일치 여부에 관한 정보로부터 다음 행렬이 만들어질 수 없음을 설명하시오.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

문제 2. $n \times n$ 행렬 중 0과 1만을 성분으로 갖고 $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n$ 인 i, j 에 대하여 (i, i) 성분이 1이며 (i, j) 성분과 (j, i) 성분이 같은 행렬을 ‘거울행렬’이라고 하자. 문제 1에서와 같이 4×4 거울행렬 중에는 인간의 같은 염색체에서 얻어진 DNA 조각의 염기서열의 일치 여부에 관한 정보로부터 만들어질 수 없는 행렬이 존재한다. 하지만 3×3 거울행렬 중에는 그러한 행렬이 존재할 수 없음을 설명하시오.

문제 3. 인간의 같은 염색체에서 얻어진 n 개의 DNA 조각을 S_1, S_2, \dots, S_n ($n \geq 4$)이라고 하자. S_1, S_2, \dots, S_n 의 염기서열의 일치 여부에 관한 정보로부터 만들어질 수 없는 거울행렬을 하나 택하여 그것을 (i, j) 성분을 사용하여 표현하시오. (예를 들어, $\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ 은 $1 \leq i \leq 2, 1 \leq j \leq 2$ 인 i, j 에 대하여 (i, j) 성분이 1인 행렬로 표현할 수 있다.) 또한, 그 행렬이 염기서열의 일치 여부에 관한 정보로부터 만들어질 수 없는 이유를 설명하시오.

문제 4. 인간의 같은 염색체에서 얻어진 DNA 조각을 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ 이라고 하자. 문제 3에서 찾은 행렬($n=7$)과 다르면서 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ 의 염기서열 일치 여부에 관한 정보로부터 만들어질 수 없는 거울행렬이 존재할 수 있는지에 대하여 논술하시오. (단, 문제 3에서 찾은 행렬의 i 번째 행과 j 번째 행, i 번째 열과 j 번째 열을 바꾸어 얻어지는 행렬은 같은 행렬로 간주한다.)

【문항 2】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

(가)

1. 화학 반응이 일어나기 위해서는 반응 물질을 이루는 입자들이 서로 충돌하여야 한다. 이때 반응 물질의 농도가 진해지면 입자들의 충돌 횟수는 어떻게 될까?

사람들이 횡단 보도를 건너는 모습을 한가한 이른 아침과 복잡한 출근 시간으로 나누어 비교해 보자. 사람이 거의 없는 이른 아침보다는 여러 사람이 한꺼번에 횡단 보도를 건널 때 더 자주 부딪치게 된다. 이와 마찬가지로 화학반응도 단위 부피 속의 입자 수가 증가하면 입자들의 충돌횟수가 많아진다. 입자의 충돌횟수가 증가할수록 반응을 일으킬 수 있는 입자 수가 많아져서 반응속도가 빨라진다.

화학 반응이 얼마나 빠르게 일어나는가의 정도를 반응 속도라고 한다. 반응 속도는 단위 시간동안 반응 물질이나 생성물질의 변화량으로 나타낼 수 있다.

$$\text{반응 속도} = \frac{\text{반응물질의 감소량}}{\text{반응 시간}} \left(\text{또는} \frac{\text{생성 물질의 증가량}}{\text{반응 시간}} \right)$$

2. 대부분의 화학 반응은 온도가 높아지면 반응 속도가 빨라지는데, 이것은 온도가 높아지면 분자의 운동이 활발해지며, 반응이 일어나기에 충분한 만큼의 운동 에너지를 가진 분자들이 많아지기 때문이다. 온도를 낮추어 생선이 상하는 반응을 느리게 하는 것이나 물이 끓는 온도를 높여서 음식이 빨리 되게 하는 것은 온도를 낮추거나 높여서 반응 속도를 조절하는 예이다.

3. 화학 반응에서 자신은 반응 전후에 아무 변화를 일으키지 않으면서, 반응 속도를 변화시키는 물질을 촉매라고 한다. 이 때 반응 속도를 빠르게 하는 물질을 정촉매, 반응 속도를 느리게 하는 물질을 부촉매라고 한다.

정촉매를 사용할 때 반응 속도가 빨라지는 것은 자전거를 타고 낮은 언덕을 넘어가는 것에 비유할 수 있다. 낮은 언덕을 따라 넘어가는 것이 높은 언덕을 따라 넘어가는 것보다 빠르게 목적지에 도달할 수 있는 것과 같이 정촉매는 화학 반응에서 언덕을 낮추는 역할을 한다.

(나)

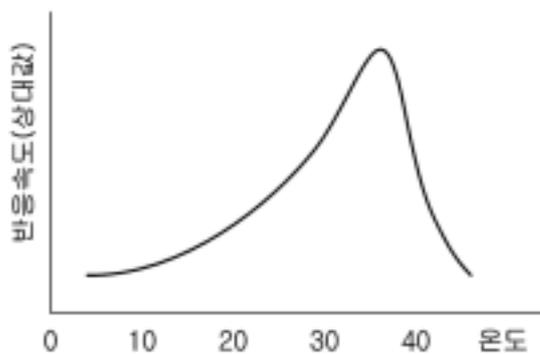
1. 생물체 내에서 일어나는 여러 가지 화학 반응에서 촉매 역할을 하는 것을 효소라고 한다. 보통의 촉매들처럼 효소도 반응 속도를 변화시킨다. 효소는 어느 물질에나 작용하는 것이 아니라, 열쇠와 자물쇠의 관계처럼 특정한 반응에서만 촉매로서 작용한다. 또한 효소가 활발하게 작용하기 위해서는 적절한 온도와 pH가 유지되어야 한다.

2. 우리가 섭취한 음식물 중 우리 몸에 필요한 영양소는 소장에서 흡수된다. 음식물은 분자의 크기가 커서 그대로는 우리 몸에서 흡수될 수 없기 때문에 작게 분해되어야 하는데, 이러한 과정을 소화라고 한다.

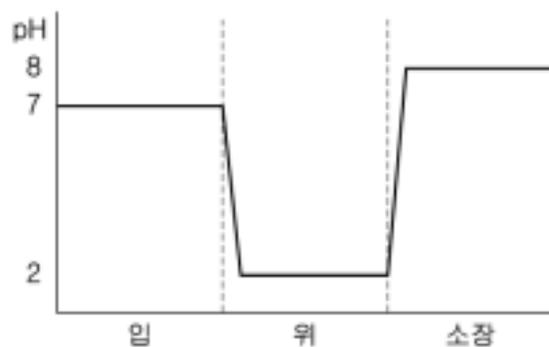
기계적 소화란 소화 효소가 음식물에 최대한으로 작용할 수 있도록 도와주는 과정으로 저작 운동, 연동 운동, 혼합 운동 등이 있다. 화학적 소화과정은 우리 몸의 소화샘에서 분비되는 소화 효소에 의해 일어난다.

3. 화학적 소화에 관여하는 소화 효소는 주성분이 단백질이므로 온도와 pH에 따라 활성이 변한다. 소화 효소가 가장 활발하게 작용할 때의 온도를 최적 온도라고 한다. 일반적으로 체내에서 작용하는 소화효소의 최적 온도는 체온범위이다. 40℃ 이상의 고온에서는 효소의 단백질 구조가 변성되어 그 기능을 상실한다.

소화 효소가 가장 활발하게 작용할 때의 pH를 최적 pH라고 하는데, 소화 효소의 최적 pH는 소화효소의 종류에 따라 달라진다. 아밀라아제의 최적 pH는 약 7~8이고, 펩신의 최적 pH는 약 2~3이다. 그림처럼 소화 기관에 따라 pH가 달라지므로, 입에서 작용하는 아밀리아제는 위에서는 작용하기 어렵다.



온도와 소화 효소의 반응 속도



각 소화기관의 pH

- 문제 1. 여러 회사에서 생산된 소화제의 효능을 비교하기 위해 실험을 하기로 하였다.
- 어떠한 소화제를 좋은 소화제라고 할 수 있는지 과학적인 기준을 설명하시오.
 - 좋은 소화제를 선발하기 위한 실험을 설계하시오.

문제 2. 생물학자가 소화효소의 활성화 에너지(제시문 (가)-3에서 언덕의 높이)를 생체 내 소화효소에 비해 20% 감소시킨 소화제를 개발하였다.

- 이 소화제를 먹으면 어떠한 현상이 일어날지 소화과정을 중심으로 설명하시오.
- 활성화 에너지와 반응속도 사이 관계는 다음과 같다. 아래 식을 이용하여 활성화 에너지가 20% 줄어들면 반응속도가 어떻게 변할지 계산 가능한 범위 내에서 구한 값을 사용하여 설명하시오.

반응속도는 속도상수 k 와 각 물질의 농도에 비례한다.

$$k \propto e^{-E_a/RT}$$

(K =속도상수, T =절대온도, $R=1.987\text{cal/mol}\cdot\text{K}$, E_a =활성화 에너지
여기서 활성화 에너지는 20kcal/mol 로 가정한다.)

문제 3. 만약에 문제 2에서와 같은 효소(활성화 에너지가 20% 감소된)를 가진 새로운 생물이 발견되었다면, 이 생물의 소화기관은 형태적, 기능적으로 어떠한 특징을 가지고 있을지 설명하시오.

문제 4. 제시문 (나)-3의 설명에서와 같이 소화효소들은 최적 pH가 각각 다르다. 단 한 개의 폴리펩티드(polypeptide)로 된 새로운 소화제(위와 소장에서 똑같이 최적으로 작용하는)를 만들고자 한다. 이것이 가능한지 여부와 그 방법에 대하여 설명하시오.

【문항 3】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

(가)

덴마크 사람인 티코 브라헤(1546-1601)는 지구가 태양 주위를 돌고 있다는 코페르니쿠스의 주장에 대하여 ‘정말 그럴까’라는 호기심을 확인하고 싶은 생각을 가졌다. 코펜하겐의 대학교에서 라틴어와 고전 문학을 전공하던 티코 브라헤는 1560년 우연히 일식을 보게 되면서 천문학에 더 큰 관심을 갖게 되었다. 가족들의 성화로 법률을 공부하려고 라이프치히 대학교에 입학했지만 천체 관측에 대한 그의 열정은 꺾이지 않았다. 그는 지구가 특정 궤도를 갖고 태양 주위를 돌고 있을 것이라고 생각하였다. 티코 브라헤는 1565년 라이프치히 대학교를 졸업하고 다시 코펜하겐으로 돌아왔지만 자기가 좋아하는 학문에 열중할 수 없었기 때문에 방황하는 생활을 계속하였다. 그는 코펜하겐을 떠나 아우스부르크로 옮겨, 여러 가지 천문학에 대한 자료들을 모으고, 어떤 기구로 천체를 관찰할 것인가를 설계하여 천문학에 몰두하기 시작하였다. 티코 브라헤는 별을 관찰할 때에 자신이 직접 만든 관측기구들을 많이 사용하였다. 그 중에는 별들이 보이는 각도를 측정하는 기구인 사분의자가 있었는데, 그 크기가 6미터가 넘는 대단히 큰 것이었다. 그는 왕의 도움으로 섬에 관측소를 설치할 수 있었고, 새로운 별을 발견하기도 하였다. 그는 아주 좋은 연구 환경에서 1567년부터 1597년까지 별들의 움직임을 그 당시로서는 아주 정확하게 측정하였다. 1597년에 재정을 지원해주던 왕이 죽자 실험과 관측에 필요한 돈을 마련하는 데 많은 어려움을 겪게 되었다. 더구나 그는 건강까지 나빠져서 케플러를 자신의 조수로 초청하였다. 1601년에 티코 브라헤가 죽자 모든 자료는 케플러에게 넘겨졌다.

요한 케플러(1571-1630)는 티코 브라헤가 30여 년에 걸쳐 얻은 관측 자료를 해석하기 시작하였다. 코페르니쿠스는 지구가 원을 그리며 태양 주위를 돈다고 주장하였다. 그러나 케플러는 자료의 해석을 통하여 이러한 코페르니쿠스의 주장이 잘못되었다는 것을 알게 되었다. 태양과 지구 사이의 거리가 일정하지 않다는 점으로부터 지구는 태양 주위를 타원을 그리면서 돈다는 것을 알게 되었다. 또 태양과의 거리가 변하면서 그 거리가 멀수록 지구의 속력이 점점 느려진다는 것도 알게 되었다. 그리고 행성의 공전 주기와 궤도 장반경의 관계를 조사하여 공전 주기의 제곱이 궤도 장반경의 세제곱에 비례한다는 것도 알아냈다. 이 세 가지 결과를 오늘날 케플러의 법칙이라고 한다.

(나)

아이작 뉴턴(1642-1727)은 경험적 사실에 바탕을 둔 케플러의 법칙을 이론적으로 설명하는 과정에서 만유인력의 법칙을 발견하고 이를 1687년에 발표하였다. 그 후 과학자들은 뉴턴의 운동 법칙과 만유인력의 법칙을 이용하여 우리 주위에서 접하는 여러 가지 운동과 현상, 나아가서는 우주에 있는 거대한 은하들의 구조와 운동까지도 이해할 수 있게 되었다.

문제 1. 위의 글은 백여 년에 걸쳐 세 명의 유명한 과학자들이 천체의 운동에 대한 관측으로부터 시작하여 만유인력의 법칙을 발견하기까지의 과정을 설명하고 있다. 이는 과학자들이 많이 쓰는 탐구 과정의 한 예를 잘 보여주고 있다. 위의 글을 참고하여 일반적인 과학 탐구 과정을 단계별로 나누어 기술하되, 위의 글에서 각 단계에 해당하는 적절한 예를 포함시키시오.

문제 2. 태양계에서는 태양이 압도적으로 밝고, 행성의 공전속도는 태양으로부터 거리의 제곱근에 반비례한다. 한편 구심력은 회전속도의 제곱과 질량에 비례하고 거리에 반비례한다. 이러한 사실에 근거하여 태양계의 질량 분포에 관하여 추론하시오.

문제 3. 태양계의 행성과 마찬가지로 나선 은하의 원반에 있는 별들도 은하 주위를 돈다. 그런데 우리 은하를 포함하여 대부분의 경우 나선 은하의 원반 가장자리에 있는 별들은 멀어져도 공전속도가 일정한 값을 갖는다(아래 그림 참조). 이는 케플러의 법칙으로 설명할 수 없다. 이러한 사실과 구심력의 개념을 이용하면 은하의 질량 분포가 태양계와 매우 다를 수 있다. 이 내용을 바탕으로 은하의 질량분포를 추론하시오.

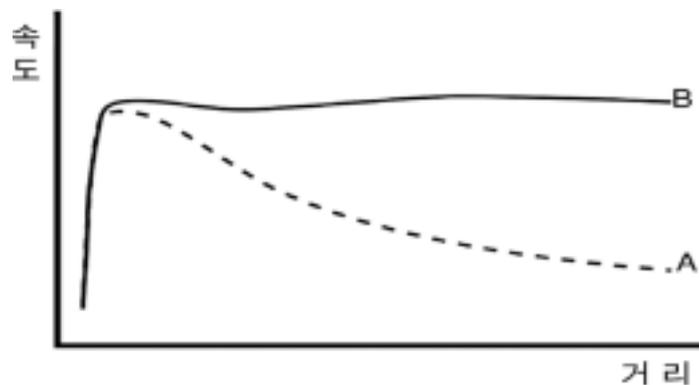


그림 : 은하의 회전 속도 측정 결과. 가로축은 은하중심으로부터의 거리, 그리고 세로축은 회전 속도를 나타낸다. A는 케플러 법칙에 따른 이론적 예측을, B는 관측 결과를 보여준다.

【문항 4】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

(가)

요즘 어디를 가나 매운 맛을 내세운 음식점들을 쉽게 볼 수 있으며, 그 매운 정도가 심하다고 입소문이 날수록 더 호황을 누리는 듯하다. 입에서 불이 날 정도로 매운 불닭이나 겨울철 길거리 음식의 대명사인 떡볶이, 어묵 등도 눈물이 쏙 빠질 정도의 매운 맛으로 사람들의 발길을 멈추게 한다. 몇 십 년 동안 꾸준히 사랑받고 있는 과자들도 경쟁적으로 ‘매운 맛 버전’을 내놓았고, 유명 외국계 외식업체들도 고추장이나 김치를 첨가한 매운 맛 메뉴를 개발하고 홍보하고 있다. 또한 여러 언론매체의 건강관련 코너에서도 매운 음식에 대해 자주 소개하는 등 매운 맛을 내는 성분과 그 기능에 대해서 깊은 관심을 보이고 있다.

철수도 평소에 매운 음식을 아주 즐겨먹는다. 매운 음식을 먹으면 스트레스가 해소되는 듯하고, 다이어트에도 도움이 된다고 알고 있기 때문이다. 어느 날 철수의 아버지는 퇴근길에 ‘전국에서 가장 매운 떡볶이’를 파는 곳이라 쓰인 광고를 보고 철수 생각이 났다며 빗깍부터 예사롭지 않은 떡볶이를 사오셨다. 철수는 호기심에 떡볶이를 보자마자 얼른 먹어보았다. 그런데 정말 입안이 얼얼해지며 눈물을 뺏히기 시작했다. 평소 매운 음식을 아주 잘 먹던 철수도 견디기 힘들어 물 한 컵을 단숨에 마셨는데 별다른 효과가 없는 듯했다. 곁에서 지켜보시던 어머니께서 매운 맛을 없애는 데는 이게 더 나올 거라며 우유를 한 컵 주셨는데, 신기하게도 마시자마자 입안의 얼얼한 느낌이 사라지는 것을 느꼈다.

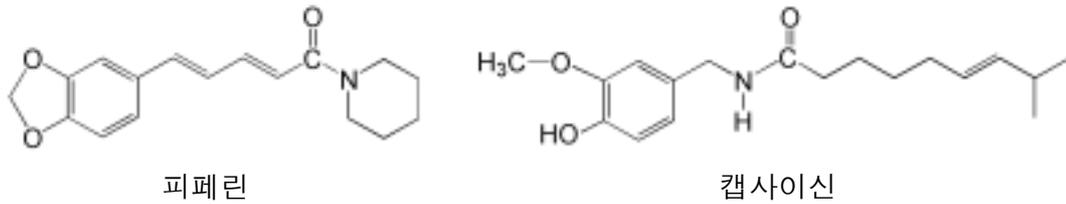
(나)

1세기 무렵 아시아 및 아프리카 동부 해안에서 지중해로 수입되는 물품의 반 이상은 향신료였고 그 대부분은 인도에서 들여온 후추였다. 향신료는 두 가지 이유로 요리에 사용되었다. 첫째는 음식의 부패를 막는 것이고 둘째는 향미(香味)를 더 좋게 하는 것이었다. 그런데 15세기 경에는 베네치아 상인들이 향신료 무역을 독점하여 엄청난 이윤을 얻었다. 이에 다른 나라들도 후추를 구하기 위해 인도로 갈 수 있는 새로운 길을 진지하게 검토하기 시작했으며, 그 결과 대항해 시대가 시작되었다.

포르투갈 항해가 바르톨로뮤 디아스(Bartolomeu Dias)는 1487년에 희망봉을 돌았고, 그 뒤 바스코 다 가마(Vasco da Gama)는 디아스에 의해 개척된 항로를 따라 1498년 인도에 도착했다. 스페인도 향료 무역, 특히 후추에 관심을 두고 있었다. 또한 제노바 사람 크리스토퍼 콜럼버스(Christopher Columbus)는 서쪽으로 항해하면 인도의 동쪽 가장자리에 도달하는 더 짧은 항로를 찾을 수 있을 거라 확신하고, 1492년 스페인 국왕 페르난도(Fernando)와 여왕 이사벨(Isabel)을 설득해서 탐사 여행을 떠났다. 콜럼버스의 확신은 어느 정도는 맞았지만 전적으로 옳지는 않았다. 후추는 베네치아를 거대한 도시로 만들었고 대항해 시대를 주도했으며 콜럼버스가 신세계를 찾아 나서도록 했다. 후추에는 도대체 무슨 성분이 들어 있을까? 후추의 활성 성분은 피페린(piperine)이다.

콜럼버스는 두 번째 항해 때 서인도 제도의 아이티에서 매운 맛이 나는 새로운 향신료인 고추를 발견했다. 고추는 자신이 알고 있는 후추와는 전혀 다른 향신료였지만 콜럼버스는 개의치 않았다. 그 뒤 고추는 포르투갈 사람들에 의해 동쪽으로 전파되어 아프리카를 빙 둘러 인도 너머까지 건너갔다. 그리고 50년 만에 전 세계로 퍼져 아프리카, 동아시아, 남아시아 요리와 빠르게 결합했다. 고추는 콜럼버스의 항해가 가져다 준 가장 중요하고 지속적인 혜택 가운데 하나임이 분명하다(고추의 매운 맛을 사랑하는 수많은 사람들에게 말이다). 고추가 공통적으로 갖고 있는 매운맛은 캡사이신(capsaicin) 때문이다. 캡사이신의 구조식은 피페린과 유사하다.

문제 1. 피페린과 캡사이신의 화학 구조는 아래와 같다. 골격의 탄소와 수소는 생략되어 있다. 예컨대 캡사이신 오른쪽 끝의 -는 $-CH_3$ 를 나타낸다.



피페린과 캡사이신 같은 화합물은 생물에서만 찾아 볼 수 있다. 이러한 화합물은 언뜻 보면 상당히 복잡해 보이지만 수소(H_2), 메탄(CH_4), 암모니아(NH_3), 물(H_2O), 이산화탄소(CO_2), 에틸렌(C_2H_4) 같은 간단한 분자에서 드러나는 원자들 사이의 결합 방식을 그대로 따른다.

피페린과 캡사이신의 공통점과 차이점을 다음 관점에서 논하시오.

- 가. 원소의 조성
- 나. 화학 결합의 원리, 다른 원자와 이루는 결합의 수
- 다. 매운 맛을 내는 데 관련되어 있으리라 추측되는 구조적 특성
- 라. 물과 기름 중 어디에 더 잘 녹을지

문제 2. 후추나 고추가 들어 있는 음식을 먹으면 피페린이나 캡사이신이 혀에 들어있는 단백질 수용체(receptor)에 의해 인식되어 그 신호가 두뇌로 전달되는 일련의 과정이 시작된다. 흥미롭게도 피페린과 캡사이신은 같은 수용체와 결합한다. 이 두 가지보다 더 매운 맛을 내는 화합물을 만들려고 한다면 어떻게 해야 할지 가능한 접근 방법을 제시하시오.

문제 3. 유유상종(類類相從), "Birds of a feather flock together."에서 볼 수 있듯이 비슷한 것끼리 모이는 것은 자연에서나 인간사에서나 마찬가지인 듯하다. 입 속의 매운 맛을 없애려면 물보다 우유를 마시는 것이 더 효과적이다. 그 이유를 우리 주위에서 찾아 볼 수 있는 다른 현상과 연결 지어 설명하시오.

문제 4. 특정 식물이 피페린과 캡사이신 같은 화합물을 가지게 된 과정을 진화의 관점에서 설명하시오.