

**2008학년도 정시모집 논술고사
문항설명 및 채점 총평**



2008. 5. 20

서울대학교 입학관리본부

I. 시행 개요

1. 개념 및 성격

- 개별 교과와 칸막이를 넘어서 각 교과 지식이 통합되고 교과 영역 간에 전이되는 과정에서 발현되는 비판적-창의적 사고력을 측정하는 시험
- 암기된 지식을 묻고 그 답의 옳고 그름을 평가하는 결과중심형 시험이 아니라, 고등학교 교과과정에 제시된 내용을 토대로 주어진 문제 상황을 다각적이고 심층적인 사고로 재구성하여 창의적으로 문제를 해결하고 논리적으로 서술하는 능력을 측정하는 과정중심형 시험
- 교과 지식의 단순한 주입식 암기가 아니라, 개별 교과가 제안하는 여러 학습활동을 자기주도적으로 충실히 수행하고 다양한 분야에 대한 독서와 토론을 함으로써 학교 내에서 준비 가능한 시험

2. 시행

- 대상 : 인문·자연계열 모집단위와 사범대학 체육교육과 1단계 합격자, 미술대학지원자
- 인문계열 모집단위
 - 문항 수 : 3문항
 - 고사시간 : 300분(1번 문항 120분; 2, 3번 문항 180분)
 - 답안분량
 - <문항 1>
 - 논제 1 : 800자 이내
 - 논제 2 : 400자 이내
 - 논제 3 : 600자 이내
 - <문항 2>
 - 논제 1 : 800자 이내
 - 논제 2 : 600자 이내
 - <문항 3>
 - 논제 1 : 400자 이내
 - 논제 2 : 400자 이내
 - 논제 3 : 600자 이내

- 자연계열 모집단위
 - 문항 수 : 4문항
 - 고사시간 : 300분(1, 2번 문항 150분; 3, 4번 문항 150분)
 - 답안분량 : 제한 없음(연필 사용 허용)

- 사범대학 체육교육과, 미술대학
 - 문항 수 : 1문항(인문계열 문항 1과 동일)
 - 고사시간 : 120분

3. 출제 방향 및 취지

출제 과정에서 가장 중요하게 고려하였던 점은 이미 2005년에 예고했던 대로 1) 고등학교 교과서 지문과 주제 활용, 2) 사교육을 통해 급조되거나 암기된 지식이 아니라 공교육을 통해 길러지는 비판적 사고력과 창의적 문제해결능력 측정, 3) 교육과정의 정상적인 운영을 통한 공교육의 질적인 향상에 기여한다는 것이었다. 지식기반 사회에서 가치를 만들어내는 중심은 암기하고 있는 지식의 양보다 습득한 정보와 지식을 통합하여 주어진 문제 상황을 합리적으로 해결하는 능력, 즉 비판적-창의적 사고력에 있다. 이러한 시대의 변화에 부응하여 논술고사는 교과 지식의 단순 반복 학습과 암기 위주의 교육에서 벗어나 학생 스스로 탐구하는 자기주도적 학습능력과 독서·토론을 통한 사고능력의 배양을 지향한다.

학생의 자기주도적 학습과 학교 교육의 정상화를 위해 교과서의 내용을 제시문이나 논제로 최대한 활용하여 학생 스스로 충분히 준비할 수 있도록 하였다. 인문계열에서는 다양한 교과 영역을 아우를 수 있는 문제를 출제하였으며, 자연계열에서는 수리적, 과학적 사고력을 묻는 문항을 출제하되, 문항에 따라 필요한 경우 관련 자료를 제시하였다.

특히 자연계열에서는 이미 모의 논술고사 문항 발표시 공지한 바와 같이 제시문의 내용, 수식, 도표에 대한 정확한 이해와 분석에 기초하여, 논제와 관련된 수리적, 과학적 개념과 원리를 재구성하고, 이를 적용하여 과학적인 근거를 토대로 논리적, 통합적으로 추론할 수 있는지를 평가하고자 하였다. 또한 고등학교 교과서를 적극 활용하여 교육과정과의 연관성을 보다 구체화하였으며, 수학과 과학의 서로 다른 영역에 속한 개념들을 연결하여 확장·응용하도록 하였다.

4. 평가기준

◦ 인문계열

구분	평가내용 및 기준
지시사항 불이행	<ul style="list-style-type: none"> ·필기구 종류 및 색깔 위반(두 종류 이상의 필기구 사용) ·응시자의 신원노출
이해·분석력	<ul style="list-style-type: none"> ·제시문에 대한 이해·분석 능력 ·논제에 대한 이해·분석 능력 ·답안이 논제에 충실한 정도 ·제시문을 적절히 활용한 정도
논증력	<ul style="list-style-type: none"> ·근거 설정 능력 <ul style="list-style-type: none"> - 주장에 대한 적절하고 분명한 논거 제시 - 주장과 논거의 논리적 타당성 - 논제에 대한 분명한 자기 의견 표현 - 자기 의견과 제시문의 연관성 ·구성 조직 능력 <ul style="list-style-type: none"> - 전체 논의 전개에의 정합성 및 일관성 유지 - 전체 논의 전개에 있어 논리적 비약 여부 - 글의 전체적인 흐름이 체계적이고 조직적으로 전개
창의력	<ul style="list-style-type: none"> ·심층적인 논의 전개 <ul style="list-style-type: none"> - 주장이나 논거에 대해 스스로 가능한 반론 제기 - 논의에서 더 나아간 함축이나 귀결들에 대해 고려 - 논의 전개에 맥락이나 배경 상황에 대한 적절한 고려 - 묵시적인 가정이나 생략된 전제에 대한 고찰 ·다각적인 논의 전개 <ul style="list-style-type: none"> - 발상이나 관점의 전환을 시도 - 가능한 대안들에 대한 고려 - 여러 이질적 개념들의 종합 - 암묵적으로 가정된 전제에 대한 비판적 고찰 ·독창적인 논의 전개 <ul style="list-style-type: none"> - 주장이나 논거에 새로움 - 문제를 통찰함에 있어 특이함 - 관점이나 논의 지평에 참신함
표현력	<ul style="list-style-type: none"> ·표현의 적절성 <ul style="list-style-type: none"> - 표현의 자연스러움과 적절한 비유 - 단락구성 및 어휘의 적절성 - 맞춤법과 원고지 사용법 준수

◦ 자연계열

구 분	평 가 내 용 및 기 준
지시사항 불이행 (과락)	<ul style="list-style-type: none"> · 필기구 종류 위반(두 종류 이상의 필기구 사용) · 응시자의 신원노출
개념과 원리의 이해·분석·구성능력 (이해·분석력)	<ul style="list-style-type: none"> · 제시문의 내용, 수식, 도표에 대한 해석 및 변환 능력 · 논제와 관련된 수리적, 과학적 개념과 원리에 대한 식별 및 인지 능력 · 개념의 정의와 원리에 대한 정확한 이해력 · 수리적, 과학적 상황에서 변인과 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 개념들의 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

II. 인문계열 문항설명 및 학생답안

【문항 1】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

<제시문>

(가) 우리나라는 가부장 중심의 대가족을 당연시하고 부계 혈통을 중시해 왔다. 요즘 부모의 성(姓)을 모두 쓰는 사람도 간혹 있지만, 대부분은 아버지의 성을 따른다. 전통적으로 부계 조상을 집안의 뿌리로 삼아 부자간에 혈통을 계승하고 이를 통해 집안이 지속되도록 제도화되어 있다. 조선 후기 이후 외손 봉사(外孫奉祀)를 꺼리게 됨에 따라, 아들이 없는 집안에서는 딸이 있어도 가까운 동성(同姓)의 남자를 양자로 삼았을 정도로 부계 혈통주의가 오늘날에도 확고히 확립되어 있다.

남성 위주의 사회 구조는 사회 활동에서의 남녀 차별, 육아에 대한 부부간의 불평등한 분담, 더 나아가서는 능력보다 외모에 의한 여성 평가, 남아 선호, 장자 우대 등 여성들에 대한 차별을 낳고 있다. 조상과 후손의 연결 고리로서 조상 섬김의 대표적인 행사인 제사도 부계 혈통과 남성 위주의 행사로 치러진다.

(나) 동성동본금혼 규정은 자유와 평등을 근본 이념으로 하고 남녀 평등의 관념이 정착된 현대의 자유민주주의 사회에서 사회적 타당성 내지 합리성을 상실하고 있다. 이것은 인간의 존엄성과 행복 추구권을 규정한 헌법 이념, 그리고 개인의 존엄과 양성의 평등에 기초한 혼인과 가족 생활의 성립·유지라는 헌법 정신에 정면으로 배치된다. 또한 혼인을 제한하는 범위를 동성동본인 혈족, 즉 남계(男系) 혈족에만 한정하여 적용하는 이 금혼 규정은 성별에 따라 차별하는 결과가 되어 헌법의 평등 원칙에도 위반된다.

(다) 동양의 남녀관에 따르면, 남녀는 각기 고유한 특성을 가지고 있으므로 어느 한 쪽이 우월한 존재가 아니라, 평등한 입장에서 서로를 보완해 주는 관계이다. 서양의 민주주의 사상도 인간의 존엄성 이념을 바탕으로 하여 모든 사람이 평등하다는 것을 전제하고 있다. 따라서 청소년들은 전통적인 가부장적 가족 질서를 친애와 화합의 가족 질서로, 그리고 신분이나 성에 따라 차별화된 사회 질서를 평등과 조화의 사회 질서로 재창조함으로써 새로운 윤리 체계의 구현을 위하여 노력하여야 할 것이다.

<도표 1>

장본인의 16조도(十六祖圖)															
밀양 박씨	김승지	남원 양씨	이거용	한양 조씨	신세영	영천 최씨	정운경	개성 박씨	이회원	과평 윤씨	이세운	연안 이씨	남대식	남원 양씨	장고조 (4대)
광주 김씨		이사부		거창 신씨		정기근		경주 이씨		이대율		의령 남씨		장증조 (3대)	
전주 이씨				정동진				전주 이씨				장조부 (2대)			
동래 정씨								장부 (1대)							
장본인															

1. 17세기 중엽에 간행된 어느 가문의 족보에 나오는 16조도(十六祖圖)를 기초로 가상의 인물인 ‘장본인’의 16조도를 다시 구성하였다. 장본인의 고조대(4대) 조상이 모두 16명이라는 것을 도표로 그린 것이다.

2. 맨 위 칸의 오른쪽 장고조와 남원 양씨는 부부이고 그 둘의 아들이 장증조이다. 장증조와 의령 남씨는 부부이고 그 둘의 아들이 장조부이다. 김승지와 밀양 박씨 부부의 후손 등도 위와 같은 방식으로 이해하면 된다.

<도표 2>에 대한 보충 설명

1. <도표 1>의 16조도 뒤에는 16조도 각각의 인물을 알 수 있도록 여러 성씨의 '세계(世系)'를 싣고 있다. 그 중 장씨 세계에는 1세(世) 시조부터 18세 장본인까지 기술되어 있다. 여기서는 장씨 세계 중에서 14세부터 18세까지의 세계를 조선 후기의 족보 형태로 재구성해 보았다. 일반 족보에서는 성(姓)을 적지 않지만 여기서는 편의를 위해 추가로 적어 넣었다. 위의 장씨 세계에 의하면 14세 장고조가 3남3녀, 15세 장증조가 3남, 16세 장조부가 3남, 17세 장부가 4남, 18세 장본인이 2남4녀를 두고 있는데 둘째 아들 이하의 후손은 모두 생략하였다. 장차남 아래의 '出系'는 아들이 없는 친척에게 양자로 들어감을 뜻한다.
2. 조선 후기의 전형적인 족보
 - 1) 가문에 따라 다르기는 하지만 30년마다 간행하는 것이 원칙이었다.
 - 2) 한 면을 6칸으로 나누어 한 칸에 한 세대 또는 같은 항렬을 기재한 족보가 많다.
 - 3) 위 칸과 아래 칸은 부자(父子) 관계를 나타낸다.
 - 4) 남자 구성원의 이름을 큰 글씨로 적고 이름의 왼쪽 옆에 부기란(附記欄)을 만들어 작은 글씨로 다음과 같은 내용을 기록한다.
 - ① 당사자: 과거 급제, 관직경력, 생몰년월일, 나이, 묘의 위치 등.
 - ② 부인: 본관과 성, 생몰년월일, 나이, 묘의 위치, 부·조·증조·고조 등.
 - 5) 아들 다음에 딸을 기록하는 족보의 경우 일반적으로 딸의 난에 출생순서를 一, 二, 三, 四 등으로 표시한다(<도표 2>에서는 아라비아 숫자). 그 아래의 성명은 남편을 가리킨다.

문제 1. 제시문 (가), <도표 1>, <도표 2>를 참조하여 물음에 답하시오. (800자 이내)

- ① 구성원 수를 살펴보면 <도표 1>은 31명이고 <도표 2>는 14세(世)부터 18세까지 5명으로, 26명의 차이가 난다. 이러한 차이가 의미하는 바를 서술하시오.
- ② 두 족보의 작성 목적에는 뚜렷한 차이가 있다. 이러한 차이에서 드러나는 두 족보의 특징을 구체적으로 서술하시오.

문제 2. 제시문 (나)에 따르면 동성동본금혼 규정은 헌법에 합치하지 않는다. 제시문 (나)에 나오는 논거 이외에 혈통 계승의 측면에서도 동성동본금혼 규정이 불합리한 것임을 두 도표를 활용하여 밝히시오. (400자 이내)

문제 3. 문제 1과 2의 내용을 바탕으로 제시문 (다)를 읽고 바람직한 성(姓) 표시 방법에 대하여 서술하시오. (600자 이내)

□ 출제의도와 문항설명

전통윤리의 계승, 양성평등, 가족제도의 민주화 등의 문제는 일상생활에서 늘 부딪치는 실질적인 주제이며, 특히 전통윤리, 사회문화, 윤리와 사상 등의 교과서는 족보, 혈통 등을 다루면서 전통윤리의 계승과 새로운 윤리체계의 확립에 대하여 생각해 볼 것을 요구하고 있다. 이 같은 교과서의 집필 의도에 맞추어 【문항 1】은 과거의 역사적 경험으로부터 양성평등사회 실현을 위한 지혜를 묻고 있다.

제시문 가)는 부계혈통주의 전통과 문제점을, 제시문 나)는 동성동본금혼 규정이 사회적 타당성(합리성)을 상실하였을 뿐만 아니라, 헌법의 이념과 정신에 배치된다는 점을, 제시문 다)는 평등과 조화를 기초로 새로운 윤리체계의 확립을 기술하면서 학생들의 논제에 대한 이해를 돕고 있다. 또한 실제로 존재하는 두 가지 형태의 가상 족보를 제시하여 혈통과 조상의 범위를 파악할 수 있도록 하였다. 족보를 통해 파악한 혈통과 조상에 대한 개념을 염두에 두고 동성동본금혼 규정을 보면 혈통적으로 가까이 있는 이성근친혼은 금지하지 않으면서 이보다 혈통적으로 멀리 있는 동성동본은 혼인을 금하고 있다는 사실을 알 수 있다. 학생들은 혈통, 조상의 범위, 동성동본 혼인금지의 불합리성이라는 자료를 기초로 교과서가 밝히고 있는 새로운 윤리체계에 대하여 생각하여야 하며, 이를 성 표기 방식에 적용했을 때 어떤 방법이 있을 수 있으며, 그것의 의미와 한계는 무엇인지 기술하여야 한다.

이 문항은 매우 일상적이면서도 친숙한 주제를 다루고 있지만, 교과서의 내용을 단순히 암기하여 옮겨 쓰는 것을 요구하지는 않는다. 비판적이고 창의적인 생각은 당연한 것으로 받아들이는 가치에 대해 ‘왜 그러한지’ 그리고 ‘어떻게 하면 가능한지’에 대해 의문을 갖는 데서 시작한다.

□ 출전 및 참고 교과서

- 제시문 가) : 전통윤리 교과서 147쪽 및 사회문화(천재교육) 114쪽
- 제시문 나) : 동성동본금혼 규정의 위헌 여부에 대한 헌법재판소의 헌법 불합치 결정 결정요지
- 제시문 다) : 전통윤리 교과서 111쪽 및 윤리와 사상 교과서 102쪽

□ 총평

위에서 언급했듯이 이 문항에서는 익숙한 주제에 대해 정답을 찾아 옳고 그름을 가리는 것이 아니라, 논제에 대한 접근 과정에서 나타나는 비판적이고 창의적인 생각을 주로 평가하였다.

두 도표는 의미를 전달하는 일종의 도구라 할 수 있다. 도표 1에서는 장본인의 혈통을 이어주는 모든 조상의 범위를 확인할 수 있지만, 도표 2는 모계 조상을 기재하지 않았고, 후손을 모두 기재하는 것처럼 보이지만 실제로는 아들 중심으로 기재된 것을 알 수 있다.

예를 들어 부계를 위로 추적하면, 여자 형제를 기재하지 않거나 세대수를 제한하는 것을 알 수 있다. 도표를 읽되, 그 도표가 특정 형식을 통해 담고 있는 의미를 읽을 수 있어야 도표를 제대로 이해한 것이라 할 수 있다. 많은 답안들이 각 도표의 특징을 기술하는데 무난했지만, 도표간의 차이가 무엇을 뜻하는지 그 의미를 찾는 답안은 비교적 소수였다. 이는 답안마다 사고의 깊이가 차이를 보여준다. 논제 2의 경우, 도표 1에서 보면 장고조와 남원양씨 부부의 후손은 동성동본이라는 이유로 금혼 대상이지만, 나머지 7쌍의 부부의 후손은 성이 다르다는 이유로 결혼이 허용된다. 따라서 이 도표를 근거로 하여 성이 다르지만 근친임에도 불구하고 결혼할 수 있음을 구체적으로 기술해야 한다. 많은 답안이 동성동본금혼의 불합리성을 지적하였으나, 도표의 내용을 직접 언급하지 않고 상식적인 수준에서 동성동본의 불합리성을 주장하였다.

논제에서 요구하는 바를 따르지 않는 점은 논제 3에서도 발견되었다. 논제 3은 논제 1과 2를 바탕으로 바람직한 성(姓) 표시 방법에 대해 서술할 것을 요구하였다. 그럼에도 불구하고 이전 논제와 무관하게 단순히 양성평등에 대한 일반적인 내용으로 서술한 경우가 적지 않았고, 이로 인해 낮은 점수를 받을 수밖에 없었다. 논제 3의 경우 논제 1과 2를 바탕으로 하라는 것은 n세의 본인을 중심으로 할 때 혈통이 이어지고 있는 조상이 2^{n-1} 명이라는 사실을 이해하고 있는지, n세의 본인에게 주어진 성(姓)이 2^{n-1} 명 중 $1/2^{n-1}$ 명의 혈통만 이어받고 있다는 사실을 정확히 알고, 따라서 성(姓)에 혈통을 모두 표시하기 위해서는 글자수가 최소한 2^{n-1} 개가 있어야 함을 이해할 때 성씨 표기 방법을 제안할 수 있다고 보았기 때문이다.

가능한 성 표기 방법으로는 부모의 성 중 택일하는 방법, 부모의 성 병기, 부의 성도 아니고 모의 성도 아닌 다른 성을 선택하는 방법, 성이 필요하지 않다는 주장까지 포함하여 다양한 제안이 가능하다. 그러나 논제 1과 논제 2에서 다루었던 내용을 바탕으로 하여 제안이 이루어져야 한다. 그런데 이전 논제와는 무관하게 남녀평등만을 주장하고 이 주장에 근거하여 특정 방법을 제시하는 경우가 적지 않았다. 또한 성씨 제도를 반드시 혈통의 측면에서만 볼 수는 없기 때문에 성씨 제도가 남성(가부장) 중심의 사회를 유지시켜 주는 사회적 장치라는 점에 주목하여 논의를 전개하는 것도 가능하고, 현행 성 표기 방식을 긍정하는 논의도 가능하며, 성표기와 새로운 윤리체계는 무관하다는 주장도 가능하다. 중요한 점은 제공된 정보를 충분히 활용하여 논리의 근거를 제시하고 있는지 여부이다.

□ 학생답안

• 답안 1

논제 1

도표1의 족보는 장본인인 ‘나’를 기준으로 모계, 부계를 따지지 않고 나의 모든 조상을 기록한 족보이다. 따라서 나로부터 4대를 거슬러 올라갔을 뿐임에도 족보에는 31명이 등장한다. 반면 도표2의 족보는 장본인의 직계 부계 혈통만 기록하였다.

이 족보는 장본인을 있게 한 모계의 가계는 제외하고, 장본인의 조상으로 부계만 인정하여 겨우 5명만 수록하게 된다. 두 족보가 같은 세대를 기록했는데 26명의 인원 차이가 나는 것도 이처럼 ‘나’의 조상 범위를 어디까지로 잡을 것인가 하는 문제와 관련되어 있다. 도표1이 어머니쪽 집안까지 조상의 범위에 포함하여 더 개방적 가족관을 가지고, 도표2는 조상의 범위를 엄격하게 제한하여 폐쇄적 가족관, 조상관을 보인다.

또한 족보 제작에 있어서도 도표1은 나를 중심으로 위로 거슬러 올라간 반면, 도표2는 공동의 조상부터 내려오되, 적장자 이외의 사람들은 부수적으로 처리되었음을 알 수 있다. 역피라미드식으로 제작된 도표1의 족보는 ‘어떤 사람들을 거쳐 지금의 내가 존재하는가’를 알기 위해 제작되었다. 물론 도표2의 족보도 ‘어떤 사람들’의 범위를 직계 부계로 제한시켜 ‘자신의 뿌리를 찾는다’는 데서 도표1과 비슷한 면도 있다. 그러나 도표2는 제시문 (가)의 가부장적 가족제도를 효과적으로 유지하는 하나의 수단으로 쓰였을 것이다. 부계와 장남을 강조하는 이 족보는 제사 모시기, 재산 상속 등에 있어서의 지침으로 사용되고 가부장의 권위확보에 사용될 목적으로 만들어진 것이다. 그래서 도표2는 조상의 아내를 부수적 인물로, 아내의 아버지쪽만 기록하는 특징을 보인다. 반면 도표1은 모계의 모계까지도 부계와 동등한 비중을 두고 서술된 족보이다.

논제 2

동성동본금혼을 주장하는 사람들 중 일부는 이 규정을 통해 같은 혈통 내의 사람들이 혼인관계를 맺는 것을 방지할 수 있다고 한다. 그러나 도표1에는 장본인의 친조모와 외조모 둘 다 전주 이씨인 사실이 나와 있다. 또 4대조 때는 조상 가운데 남원 양씨가 두 명이나 있다. 이는 모계 쪽에 해당하지 않는 동성동본금혼은 결국 혈통 계승의 측면에서도 본래 목적을 달성하지 못함을 보여준다. 도표2에서도 장조부는 전주 이씨와 결혼 했는데, 장본인의 1녀 남편의 성이 ‘이’이므로 전주 이씨일 가능성을 고려해야 한다. 여기에서도 같은 혈통간 혼인이 발생하게 된다. 또한 도표1은 나로부터 n대를 거스르면 $2^{n+1}-1$ 명의 조상의 피가 섞이는 것을 보여주는데, 이런 과정을 통해 수많은 가계가 섞이므로 현실적으로 혈통계승 측면에서도 동성동본금혼은 불가능하게 된다.

논제 3

제시문 (다)는 평등하고 보완적인 동양의 남녀관과 만인 평등을 강조하는 민주주의 사상을 근거로 우리 사회의 질서 또한 재창조해야함을 주장한다. 특히나 가부장적 가족제도의 흔적이 사회 곳곳에 남아있는 우리나라는 가부장적 가족 질서, 성차별적 사회질서를 바로잡는 일이 중요한 과제이다. 도표2의 족보처럼 우리는 성을 표시할 때도 부계만 고려하지만, 실제로 우리의 조상은 도표1처럼 모계 쪽도 절반을 차지하고 있다. 따라서 양성평등의 사회질서 실현을 위해 우리는 모계 쪽 성씨를 함께 표기하는 방법을 생각해야 한다. 마음 같아서는 나를 있게 한 모계, 부계의 모든 조상의 성을 표기하는 것이 좋겠지만 이는 현실적으로 불가능하다.

한 대가 내려갈수록 성씨의 길이가 2배로 증가해 7대만 지나도 성이 100글자를 넘기기 때문이다. 따라서 우리는 모두가 2자의 성을 갖되, 1자는 부계의 부계성을 다른 1자는 모계의 모계성을 따르는 방법을 생각할 수 있다. 이 경우 시간이 지나도 성씨 길이가 변하는 일도 없고 부계와 모계 둘 다 존중하는 표기 방안이므로 남녀평등적이고 민주적인 성 표기 방식이다. 특히 1자를 모계의 모계에 할당한 것은 모계 성씨 또한 부계 성처럼 시간에 따라 변하지 않고 그 공동의 조상을 기리기 위해서이다.

◦ 채점평

전체적으로 볼 때 이 답안은 각 논제에서 주어진 조건과 맥락을 충실히 따라가면서 작성한 답안이다. 각 도표의 특징과 작성 목적의 차이점과 공통점을 정확히 비교하고 있고, 도표에 나타난 동성동본금혼의 예외적인 사실도 적절하게 지적하고 있다. 그러나 논제 3의 주장이 단선적이며 주장의 타당성에 대한 설명도 부족하여 아쉬움이 남는다. 이 답안은 띄어쓰기에 흠결이 있었으며, ‘마음 같아서는’이라는 구어적 표현도 거슬린다.

◦ 답안 2

논제 1

도표 1의 16조도는 장본인씨와 혈연적으로 관계있는 조상들이 남, 녀 가리지 않고 위에 4대까지 기재되어있다. 그렇기 때문에 16조도는 남녀가 비교적 동등한 비중을 차지한다. 물론 여자는 성과 본관으로만 기재되고 남자는 이름까지 기재되긴 하지만 도표 2의 족보에 비해서는 비교적 남녀가 비슷한 비중을 차지한다. 그래서 16조도는 장본인씨와 혈연관계가 있는 조상들이 4대 30명 모두 기록되어있다. 반면에 도표 2의 족보는 조선 후기 가부장적이고 남녀차별적인 풍습을 잘 보여준다. 장남이 대를 이어야 된다는 생각에 각 대에 장남 1명만이 굵은 글씨로 기재되어 5명뿐이다. 그의 부인이나 차남과 여식은 부수적인 것에 불과하다. 따라서 16조도가 장본인과 관련된 모든 혈통을 중요시 한다면, 도표 2는 부계혈통만을 중시한다고 볼 수 있다.

16조도는 혈연적으로 관계있는 모든 조상을 4대까지 성별과 관계없이 기재하였다. 이는 어떤 사람이 어떠한 피를 물려받았는지를 파악하는데 유리하다. 그렇기 때문에 도표 2의 족보로는 파악할 수 없는 모계쪽 혈연관계를 파악하기에 유리하다. 이를 통해 다른 성씨간의 결혼임에도 가까운 혈연끼리 결혼하는 것을 막을 수 있다. 그렇기에 여자는 성과 본관을 기재했을 것이다. 반면에 도표 2의 족보는 단순히 혈연관계만을 파악하기 보다는 장남, 즉 가부장을 위주로 한 그의 경력, 가문의 위세정도를 파악하는데 유리하다. 혈연관계 외에 그 사람의 벼슬과 일생, 묘의 위치 등을 기재했기 때문에 전체적인 장씨 가문을 파악하는데 유리하다. 아마 그 시대 사람들은 도표 1과 2를 통해 혈연과 가문을 파악하여 혼인관계를 맺었을 것이다.

논제 2

동성동본금혼 규정은 가까운 피가 섞여서 일어나는 기형아 출산 등의 폐해를 막기 위한 것이다. 하지만 도표1,2를 보면 동성동본인 사이보다 서로 성씨가 다른 경우에 혈연적으로 가까운 만남이 이루어질 수 있다. 예를 들어 장부씨는 장고조씨와 같은 항렬인 장팔씨의 증손녀와 결혼하지 못한다. 물론 장팔씨의 증손녀는 장부씨와 혈연적으로 매우 멀다. 반면에 장부씨와 그의 부인 동래정씨는 모두 전주이씨의 피를 물려받았음에도 결혼하였다. 만약 정동진씨의 부인과 장조부씨의 부인이 혈연상 가깝다면 장부씨와 동래정씨의 만남은 장부씨와 장팔씨의 증손녀의 만남보다 혈연상 가까울 수밖에 없다. 그러므로 혈통 계승의 측면에서도 동성동본금혼 규정은 불합리하다. 그보다는 부계, 모계 모두를 고려한 촌수를 기준으로 금혼규정을 정하는 것이 합리적이다.

논제 3

우리는 너무나도 당연스럽게 아버지의 성과 본관을 물려받는다. 부계와 모계 모두 동등한 비율로 피를 물려 받지만 오직 아버지의 성과 본관만을 따르는 것이다. 이는 남녀가 평등하고 서로 보완해 주는 관계임에 미루어 볼 때 남녀차별이다. 그러므로 바람직한 성 표시 방법은 부계와 모계의 성씨를 모두 나타내는 방법일 것이다. 하지만 그렇게 되면 4대, 5대 후손의 성씨는 너무나도 복잡해진다. 아마 성씨가 김이박최김신이명과 같이 8자가 되버릴 지도 모른다. 또 그렇다고 편이를 위해 계속 부계의 성을 따르는 것은 문제가 있다.

그러므로 각 개인의 자유의사에 따라 부친과 모친의 성씨중 원하는 성씨를 취득하게 해야한다. 그러면 남녀평등의 원칙에도 어긋나지 않고 효율성에 문제가 생기지도 않는다. 물론 그렇게 되면 성이 다름에도 혈연적으로 가깝기 때문에 근친혼이 일어날지 모른다는 반론이 있을지 모른다. 그러나 이 문제는 도표 1의 16조도와 같은 것을 작성해서 혈연관계를 파악하면 된다. 그래서 촌수관계를 기준으로 금혼규정을 설정한다면 문제될 점이 없다. 따라서 자유의사에 따른 성씨의 선택이 가장 최선의 방법이다.

◦ 채점평

이 답안 역시 세 논제에 대하여 조리 있게 답하고 있다. 논제 1의 경우 두 도표의 특징을 잘 요약하여 설명하고 있을 뿐만 아니라, 각 도표의 의미를 찾는 시도를 하고 있다. 논제 2에서도 도표에서 동성동본금혼이 불합리한 규정임을 보여주는 예들을 적절하게 제시하고 있다. 이러한 사례는 이 답안의 작성자가 도표를 보면서 도표의 전체적인 의미를 추상화시킬 수 있음을 보여준다.

논제 3의 경우, 단순히 부계와 모계의 성씨를 모두 나타내는 방법이 바람직하다는 상식적인 수준의 주장에서 벗어나, 부계와 모계의 성씨를 모두 나타내는 것이 한 가지 대안이기는 하지만, 후손의 성씨가 지나치게 복잡해짐을 예로 들면서 이 대안이 갖는 현실적인 문제점을 구체적으로 제시하고 있다. 이러한 문제점을 토대로 자유의사에 따른 성씨의 선택이라는 또 다른 대안을 제시하면서 도표 1의 16조도와 같은 것을 작성하며 혈연관계를 파악하자는 주장을 한다. 이러한 주장이 좀 더 심화되기 위해서는 ‘형제 사이에 성이 달라질 수도 있지 않을까’, 혹은 ‘가족애라는 전통적인 가치는 개인의 자유를 위해 침해되어도 좋은가’와 같은 문제들도 고려되었으면 좋았을 것이다. 이 주장의 옳고 그름, 혹은 바람직함의 여부를 떠나서 이 답안은 주어진 제시문을 적절히 활용하면서 자신의 주장을 펴고 있다.

【문항 2】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

<제시문>

(가)

(ㄱ) 서로 다른 의견이 대립할 때 합의를 끌어내어 하나의 정책을 수립하기 위해서는 토론하고 설득하며 때로는 비판하고 타협할 필요가 있다. 그러나 대화를 통하여 합의에 이르지 못하는 경우에는 차선책으로 다수결 원리에 따르게 된다. 다수결 원리는 다수의 의사를 전체의 의사로 간주하기로 합의하고 이에 따르는 것이다. 그렇지만 다수의 의사가 언제나 옳은 것은 아니다. 예를 들어, 잘못된 의견이 다수에 의하여 지지를 받고, 올바른 의견이 소수의 의견이라는 이유로 배척받는 경우가 생길 수 있다. 다수의 의사는 단순히 수적으로 우세하다고 해서 존중되는 것이 아니라, 공동체 전체의 정의에 부합하고 보편성을 갖추었을 때 비로소 존중될 수 있다.

(ㄴ) 백제에는 호암사(虎岩寺)에 정사암(政事巖)이라는 바위가 있었다. 국가에서 재상을 뽑을 때 후보자 3, 4명의 이름을 써서 상자에 넣은 다음 봉하여 바위 위에 두었다. 얼마 뒤에 가져 와서 열어 보고 이름 위에 표시가 되어 있는 사람을 재상으로 삼았다. 한편, 신라에서는 국가의 중요한 일을 시행하고자 할 때에는 협의체 역할을 하는 화백에서 만장일치로 시행 여부를 결정하였다.

(ㄷ) 조선 시대에는 나라에 재난이나 중대한 사안이 발생하였을 때 해결 방안을 마련하기 위하여 왕이 널리 의견을 구하는 명령을 내리기도 하였는데, 이를 구언교(求言敎)라 하였다. 왕이 구언교를 내리면 전국 각지에서 관원과 백성들이 상소를 올렸는데, 이를 응지상소(應之上訴)라 하였다. 왕은 응지상소를 가볍게 여길 수 없었다.

(나)

(1) 甲, 乙, 丙, 丁은 저녁 식사를 하러 식당에 갔다. 주문할 음식의 종류에 대하여 甲, 乙, 丙, 丁의 의견이 서로 달랐다. 甲이 음식의 종류를 통일하자고 제안하였고, 乙과 丙은 이에 동의하였으나 丁은 동의하지 않았다. 丁은 냉면을 주문하고 싶었으나, 甲, 乙, 丙의 요구에 따라 모두 비빔밥을 주문하였다.

(2) 그리스 연합군은 트로이 원정을 앞두고 큰 풍량이 일어 출항할 수 없게 되었다. 그리하여 신의 뜻을 묻기로 한 결과, ‘그리스 최고의 보물’을 해신(海神)에게 바쳐야 한다는 신탁이 내려졌다. 아킬레우스는 ‘그리스 최고의 보물’을 아가멤논 왕의 딸 이피게니아로 해석하였고, 대다수 왕들은 아킬레우스의 해석에 동조하였다. 이에 따라 왕들은 이피게니아를 제물로 바치기로 결정하였다.

(3) 甲 마을의 쥐 100마리와 乙 마을의 쥐 30마리가 회의를 열어 마을에 새로 나타난 고양이(야옹이)의 공격에 대처하기 위한 방안을 논의하였다. 쥐들은 만장일치로 야옹이 목에 방울을 달기로 결정하였다. 그런데 누가 야옹이 목에 방울을 달 것인지에 대하여는 의견이 나뉘었다. 甲 마을의 쥐들은 다수결로 결정하자고 하였으나 乙 마을의 쥐들은 이에 반대하였다. 이에 甲 마을의 쥐들이 乙 마을의 쥐들에게 회의 시간과 장소를 통보한 다음 회의를 열어 찬성 100, 반대 0으로 乙 마을의 쥐 짹짹에게 야옹이 목에 방울을 다는 임무를 맡기기로 결정하였다.

(4) 국회에서 다수 정당이 법안을 제출하였다. 소수 정당은 그 법률안에 반대하였고, 그 정당의 일부 국회의원들이 물리적인 힘으로 본회의 개의를 저지하였다. 이에 다수 정당은 소수 정당 국회의원들에게 본회의 개의 일시를 통지하지 않은 채 다수 정당 국회의원들만으로 본회의를 개의하고, 다수결로 그 법안을 의결하여 통과시켰다.

(다)

정부는 도시 환경 정화를 위해 A시에 폐가전제품 종합처리시설을 설치하여 5년간 운영하기로 계획하고, A시에 수용 여부를 결정해 달라고 요청하였다. A시 의회는 이 계획을 수용할 것인지 여부에 대하여 다수결 원리에 따라 표결한 결과, 찬성 의견이 60%, 반대 의견이 40%로 집계되어 이 계획을 수용하기로 결정하였다. 찬성자들은 국가 정책에 적극 호응하면 다양한 재정적 지원을 받을 수 있어 이 처리시설 설치가 지역 경제에 많은 도움이 될 것이라고 주장하였다. 한편, 반대자들은 환경 문제 등을 이유로 삶의 질이 저하될 것이라고 주장하였다.

문제 1. 제시문 (가)를 참조하여 제시문 (나)의 사례 (1), (2), (3), (4)를 현대 민주 사회의 다수결 원리에 적용하였을 때 나타나는 문제점 및 그 해결 방안을 각 사례별로 나누어 설명하시오. (800자 이내)

문제 2. 문제 1에서 제기된 다수결 원리의 문제점 및 그 해결 방안을 고려하여, 제시문 (다)의 사례에서 A시 의회의 결정이 공동체 전체의 정의에 부합하고 보편타당한 것인지에 대하여 자신의 판단을 서술하시오. 그리고 의회의 결정에 반대한 사람들의 의견을 존중할 수 있는 구체적 방안을 제시하시오. (600자 이내)

□ 출제의도와 문항설명

이 문항 역시 교과서의 내용에 대한 암기가 아니라 이를 적용하여 주어진 상황을 해결하는 능력을 평가한다. 교과서는 현대 시민사회의 민주적인 의사결정 방식인 다수결 원리에 대하여 사회정의에 부합하고 보편성을 갖춘 다수의 의견을 따르되 소수자 의견도 보호되어야 한다고 기술하고 있다. 그러나 다수결 원리는 일정한 조건을 갖춘 경우에만 정당성을 가진다.

제시문 (가)는 역사적으로 협의체 형식으로 실시되었던 백제 정사암 제도와 신라 화백제도, 조선시대 구언교와 응지상소를 소개하며 다수결 원리의 개요를 기술하고 있다. 그리고 제시문 (나)는 일상생활, 그리스 신화, 우화, 그리고 현실정치에서 다수결 원리가 적용된 사례를 보여준다. 여기서 다수결 원리는 ① 그 대상이 정의 관념에 부합하고, 보편타당성을 가져야 하며, ② 참석자 전원이 다수결 방식에 합의하고, ③ 참석자들의 지위와 권한이 평등하여야 하며, ④ 다수결 표결에 앞서 충분한 대화와 설득, 숙고와 타협을 위한 진지한 노력이 있어야 하고, ⑤ 표결에 이르기까지의 전 과정과 절차가 합리적이어야 한다는 것을 알 수 있다. 제시문 (다)는 현실 사회에서 다수결 원리에 의하여 정책이 결정되는 사례를 그 내용의 타당성 여부와 구체적인 절차는 생략한 채 소개하고 있다.

따라서 학생들은 제시된 다양한 사례를 통해 논제 해결을 위해 필요한 조건들(다수결의 원리)을 도출하고, 제시문 (다)의 사례에 대하여 그 의사결정의 내용과 절차를 정의와 보편타당성의 관점에서 판단하고, 소수의 의견을 보호하기 위한 구체적 방안을 제시하여야 한다.

□ 출전 및 참고 교과서

- 제시문 (가) : 정치교과서 222쪽(지학사) 및 232쪽(법문사), 국사교과서 201쪽
- 제시문 (나) : 정치교과서(천재교육) 253쪽
- 제시문 (다) : 사회교과서 115쪽(두산), 136-137쪽(법문사), 132-133쪽(지학사), 138-140쪽(중앙교육진흥연구소)

□ 총평

【문항 2】에서는 일정한 조건을 갖춘 경우에만 정당성을 가지는 다수결의 원리에 대해 두 개의 논제를 통해 학생들의 판단을 물어보았다. 논제 1에서는 다수결 원리의 요건을 고려하면서 해결방안을 제시할 수 있는지 여부를, 논제 2에서는 찬반 자체 보다는 자신의 주장에 대한 논리적 근거의 타당성을 주요 평가 요소로 삼았다. 따라서 학생들은 찬성 또는 반대를 결정한 후, 그 결정을 지지하는 근거를 창의적으로 제시하고, 논리적으로 표현하여야 한다. 소수자 보호를 위해서 농지오염에 대비한 시설의 준비, 지속적인 관리감독 체계의 수립, 민원처리 기구의 설치, 5년 경과 후 처리시설의 유지 여부 등에 대한 재논의 등을 포함하여 다양한 방안을 제시할 수도 있다.

그런데 소수의 답안만이 다수결원리의 요건을 모두 고려하였고, 그보다 많은 답안은 다수결원리의 요건 가운데 일부만을 고려하였다. 그러나 더욱 중요한 문제는 제시문과 동떨어져서 상식적인 수준에서 답하거나 교과서의 내용을 그대로 기술하는 답안이 적지 않았다는 것이다. 이러한 문제는 제시문의 내용이 학생들에게 익숙한 주제를 담고 있다는 점과 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다. 교과서라는 익숙한 출전에서 제시문을 선택하더라도 논술이 지식의 암기를 평가하는 것은 아니다.

설득력 있는 논술은 적절한 논거에 의해 뒷받침되어야 한다. 그러나 많은 답안은 낮은 점수를 받을 수밖에 없었다. 예를 들어 논제 1에서 다수결의 원리는 일정한 조건을 갖춘 경우에만 정당성을 가진다는 내용이 제시문에 주어졌음에도 불구하고, 제시문의 내용과는 상관없이 무조건적인 약자 혹은 소수자 보호라는 당위적 주장만으로 칸을 메우는 답안이나, 논제 2의 경우 반대한 사람들의 의견을 존중할 수 있는 구체적인 방안을 제시하도록 요구했음에도 불구하고, 막연히 소수의 반대자를 보호해야 한다고 주장하며 구체적인 방안을 제시하지 못하는 답안은 좋은 평가를 받을 수 없었다. 여러 차례 강조하고 있듯이, 이 문항에서도 교과서의 내용을 얼마나 암기하고 있는지가 아니라, 교과서의 내용에 대해 평소에 얼마나 다각적이고 깊이 있는 생각을 하고 있었는지가 중요하다.

□ 학생답안

◦ 답안 1

논제 1

제시문 (나)의 사례 (1)은 소수의 의견이기 때문에 무시당하는 다수결의 문제를 보여준다. 이 사례에서는 저녁 식사 주문에 대한 의견 대립이 나타난다. 그러나 이 같은 문제는 개인의 가치관과 기호에 따른 선택 사항이므로 다수결의 논리가 적용되는 것은 옳지 않다. 따라서 이러한 경우에는 제시문 (가)의 (ㄱ)이 언급했듯이 대화와 타협으로 문제를 해결해야 한다. 사례 (2) 역시 다수결의 문제점을 보여주고 있다. 다수결을 통해 사람을 제물로 바치는 일이 허용되고 있는 것이다. 이것은 비록 다수의 의견이지만 제시문 (가)의 (ㄱ)이 지적하듯이 보편성을 갖추지 못했기 때문에 존중될 수 없다. 결국 다수의 논리가 적용되기 위해서는 생명 존중 등과 같은 인류 보편의 가치에 위배되지 않아야 하며 공동체 정의에도 부합하여야 한다. 그러나 사례 (3)의 경우에는 고양이의 목에 방울을 다는 일이 쥐가 이루는 공동체의 정의에 부합하는데도 문제가 발생하고 있다. 두 마을의 쥐의 수가 절대적인 차이를 안고 있기 때문에 다수결로 결정할 수가 없는 것이다. 또한 동의하는 쪽만 모여 만장일치를 적용한 것은 이 제도의 허점이라 할 수 있다.

이것은 제시문 (가)의 (ㄴ)에서도 나타나는 문제로서 특정집단의 이 같은 문제를 해결하기 위해서는 두 집단에서 공통된 숫자로 대표를 뽑아 결정하는 방법이 필요하다. 그런데 사례 (4)에서는 이러한 대표들 또한 다수결의 논리로 배제된다는 사실을 알 수 있다. 이러한 경우에는 제시문 (가)의 (ㄷ)을 참고하여 대표는 곧 국민의 의견을 반영하는 사람이라는 사실을 되새겨볼 필요가 있다.

논제 2

A시 의회 결정의 타당성을 판단하기 위해서는 공동체 전체의 정의에 대한 명확한 의미 규정이 필요하다. A시는 다수결에 따라 지역 경제 발전을 정의라고 보았다. 그러나 공동체의 의미를 미래세대까지 포함하는 것으로 확대한다면 환경을 보호해서 삶의 질을 유지하는 것이 정의에 부합한다. 따라서 A시는 대화를 통해 다양한 의견을 수렴함으로써 이러한 해석 상의 오류 가능성을 없애야 했다. 또한 경제 발전은 공동체 전체보다는 소수에게 그 부를 분배할 확률이 높다. 그렇기 때문에 A시 의회의 결정은 보편타당성에도 어긋나는 것이다. 그러나 (다)의 사례에서는 이미 결정이 이루어졌다. 때문에 반대자의 의견을 최대한 존중하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 시설 설치 이전에 환경영향평가와 같은 사전 조사가 이루어져야 한다. 이러한 조사의 실효성은 지역 주민과 시민단체의 참여와 감시에 따라 충분히 높아질 수 있다. 나아가, 설치 이후에는 시설을 친환경적으로 운영해야 한다. 재활용 가능성이 큰 경우에는 재활용을 통해 새로운 제품을 생산하는 것이 한 가지 방안이 될 수 있다. 또한, 다시 사용할 수 있는 경우에는 지역의 빈곤층을 돕는 데 활용할 수 있다.

◦ 채점평

이 답안은 각 사례의 핵심을 간략히 요약한 후 자신의 의견을 피력하고 있다. 특히 각 사례의 문제점 및 해결 방안을 설명하는 과정에서, 비록 완전한 설명은 아니지만 논제에서 요구한 바와 같이 제시문을 이용하여 다수결 원리의 기준을 제시하고 있다. 또한 공동체 전체의 정의와 이익이라는 원칙을 서두에 제시한 후, 소수 의견을 존중하며 답하는 서술 방식도 적절하고, 원칙에 대한 합의가 중요하다는 점도 이 답안과 더불어 소수의 답안만이 언급하고 있는 요소이다. 불필요한 미사여구 없이 자신의 생각을 깊이 있게 기술하고 있지만, 다만 사회적 합의를 이루어내는 과정에 대한 설명이 부족하고 소수자를 보호하기 위한 구체적인 방안이 정형화되어 있다는 점에서 아쉬움이 남는다.

◦ 답안 2

논제 1

제시문 (가)의 (ㄱ)에 따르면 다수의 의사는 집단 전체의 정의와 부합하고 보편 타당하다는 사람들의 지지를 얻었을 때에야 비로소 힘을 갖는 것이다. 하지만 제시문 (나)의 사례들은 네 개 모두 수적으로 우세하다는 점만 강조하여 다수의 의사를 관철시키려는 ‘다수의 횡포’를 보여주고 있다. 제시문 (나)의 사례 (1)에서는 신속한 주문을 위해 개인의 기호를 무시해버리는 모습을 보여준다. 이것은 가치판단에 관련된 사안이 아니므로 종류 통일에 동의한 사람들만 음식 종류를 통일하고 동의하지 않는 사람은 각자 자신의 기호와 취향에 맞게 주문하면 되겠다. 사례 (2)에서는 해석이 잘못되었을 가능성이 있는데도 그 해석을 다수가 지지했다는 이유만으로 결정해버린다. 이 때는 신탁이 매우 추상적이므로 아킬레우스의 것과 다른 해석을 몇 개 더 모집한 다음, 만장일치로 결정해야 한다. 사례 (3)은 의사 결정 방식을 다수결로 하자는 데 모두 동의하지 않았음에도 다수결로 결정하여 소수의 의견을 묵살하는 모습을 보인다. 이는 쥐의 목숨이 달린 문제이므로 누구를 보낼 것인지는 만장일치로 결정해야 한다. 사례 (4)는 다수 정당의 국회의원들이 소수 정당의 국회의원들이 없는 자리에서 의결하기 위해서 고의적으로 소수 정당 국회의원들에게 본회의 개의 일시를 통지하지 않는 모습을 보여준다. 이는 아무리 형식을 갖추었다 할지라도 정당하다 할 수 없다. 따라서 국회에서는 제시문 (가)의 구언교와 유사하게 국민들의 의견을 수렴하고 소수 정당 의원들의 의견도 수렴하여 법안을 수정한 다음 다시 본회를 열어야 한다.

논제 2

요즘 우리 사회에는 다수의 횡포로 분류되는 사건들이 많이 일어난다. 다수의 의견이 항상 공동체 전체의 이익을 도모하고 보편타당한 것은 아닌데도 수적 우세가 모든 것을 정당화하는 것이다. 그런데 제시문 (다)의 경우는 이와 다르다. A시 의회의 결정은 올바른 판단이었다는 것이다. 이 결정으로 인해 작게는 A시, 크게는 국가에 이르는 국가공동체 전체가 이익을 보기 때문이다. 폐가전제품 종합처리 시설을 수용함으로써 A시는 정부로부터 많은 재정적 지원을 받게 된다. 그러면 A시는 그 자금으로 A시의 지역경제를 발전시키고 시민들의 생활 수준을 향상시킬 수 있는 시설들을 설치할 것이다. 한편 정부의 입장에서는 폐가전제품 종합처리 시설을 수용해 줄 수 있는 다른 장소를 물색하지 않아도 된다. 장소 물색에서 시간을 아낀 만큼 처리시설은 빨리 설치될 것이고 그러면 그만큼 빨리 도시 환경 정화를 위한 시스템이 가동될 것이다. 하지만 소수의 의견도 있어서는 안된다. 시설 수용을 반대했던 주민들은 삶의 질 하락을 우려했다. 이 문제는 정부에게서 받을 재정적 지원으로 주민들의 삶의 질 향상을 위한 설비를 최우선적으로 건립함으로써 해결될 것이다.

◦ 채점평

이 답안은 제시문 (가)에 주어진 다수결 원리의 요건들을 요약하고, 이 요건에 근거하여 다수결 원리를 제시문 (나)의 각 사례들에 적용했을 때의 문제점과 해결방안을 설명하고 있다. 또한 다수의 의견이 항상 공동체 전체의 이익을 도모하고 보편타당한 것은 아님에도 불구하고 수적 우세가 모든 것을 정당화하는 현실에 대해 문제를 제기한 후, 이것을 A시 의회의 결정에 적용하고 있다. 많은 답안들은 이 부분에서 소수의견의 보호를 맹목적으로 주장하고 있는데 반해, 이 답안은 A시 의회의 결정이 수적 우세가 아닌 공동체 전체의 이익을 도모한다는 점에서 보편타당한 올바른 선택이었음을 주장하고 있다.

다만 논제 2의 논지 전개 과정은 그리 매끄럽지 못하다. 또한 소수자의 배려를 의사결정 이후의 과정에 있어서 주로 물질적인 보상에 초점을 맞추었다는 점도 아쉬움이 남는다. 의사결정 과정에서 소수의사가 다수의사를 교정할 수 있는 기회와 여지가 있는지, 혹은 소수 의견의 반영가능성 등에 대한 논의가 수반되었다면 더 좋은 답안이 되었을 것이다. ‘되겠다’라는 문구는 논술문에 맞지 않아 보인다.

【문항 3】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

<제시문>

(가)

오늘날 많은 학자들은 물질적 풍요가 삶의 질을 판단하는 유일한 기준이 될 수 없다고 주장한다. 오히려 개인이 직접 체험하고 느끼는 만족감을 더욱 중요한 기준으로 삼아야 한다는 데 의견을 모으고 있다. 그 이유는 고도의 경제 성장과 사회의 변동이 사람들의 가치관과 삶의 목표를 바꾸어 놓고 있기 때문이다. 과거처럼 많은 사람들이 기본적 생계 수단을 제대로 가지지 못했던 사회에서는 오로지 물질적 풍요만이 관심의 대상이었다. 그러나 기본적 생계 수단이 확보되고 경제적 여유가 생김에 따라 사랑, 존경, 소속감 등에 대한 욕구가 커지고 정신적, 심미적 만족을 더욱더 추구하게 되었다.

최근 54개국 국민이 느끼는 행복도를 조사한 연구 보고서에 따르면, 방글라데시가 1위를 차지한 반면 미국은 46위, 일본은 44위로 대부분의 선진국은 하위권에 있는 것으로 나타났다. 이러한 현상에 대하여 이 보고서는 부유한 나라의 경우 물질적 만족감이 일정 수준을 넘으면 소득 증가가 개인의 행복에 크게 영향을 끼치지 않지만, 가난한 나라에서는 소폭의 소득 증가도 삶의 질 향상에 큰 영향을 끼치기 때문이라고 설명하였다.

(나)

베르누이는 금전적 가치에 대응하는 심리적 가치, 즉 효용은 개인이 보유하고 있는 재화의 크기에 영향을 받는다고 가정하였다. 그는 ‘부에서 어떤 작은 증가로 생기는 효용은 이미 소유하고 있는 재화의 양에 반비례한다’고 기술하였다. 예를 들어, 소득이 100만원인 사람이 추가로 10만원을 더 벌었을 때 증가하는 만큼의 만족도를 얻고자 한다면, 소득이 1,000만원인 사람은 100만원을 더 벌어야 한다. 금전적 가치와 효용 사이의 이와 같은 관계를 잘 반영하는 함수 중의 하나가 로그함수이다.

(다)

1인당국민소득은 국민 개개인의 소득을 산술평균한 것이다. 가상의 국가인 Z국에서는 1인당국민소득이 국민의 삶의 질을 반영하는 데 한계가 있다는 문제점을 인식하고 해결 방안을 모색하였다. 그 결과 소득에 대한 만족도가 소득의 크기가 아니라 소득으로부터 얻는 심리적 가치인 효용에 의하여 결정된다는 점에 착안하여 국민들의 ‘평균만족도’를 반영하는 지수를 새로이 개발하고, 이를 ‘국민만족도지수’라고 명명하였다. 국민만족도지수는 개인의 소득에 대한 효용의 평균인 평균만족도를 구하고, 이를 다시 화폐 단위로 변환하여 산출한다. 이를 수식으로 표현하면

다음과 같다.

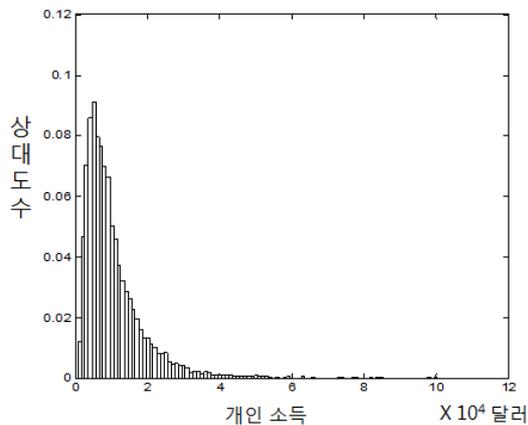
$$\text{효용} = \log_{10}(\text{소득})$$

$$\text{평균만족도} = \frac{\log_{10}(\text{소득}_1) + \log_{10}(\text{소득}_2) + \dots + \log_{10}(\text{소득}_{n-1}) + \log_{10}(\text{소득}_n)}{n}$$

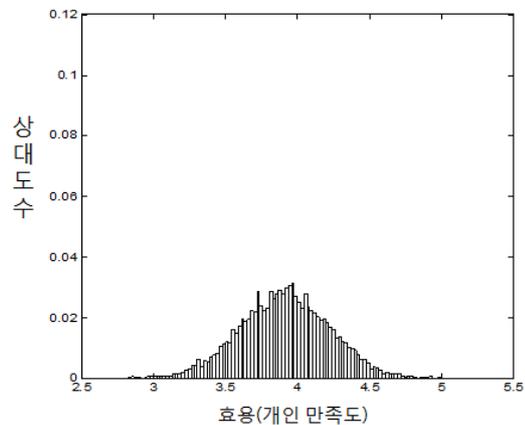
$$\text{국민만족도지수(달러)} = 10^{\text{평균만족도}}$$

아래의 그래프들은 Z국의 개인 소득과 효용(개인 만족도)의 도수분포를 나타낸다. 소득의 평균은 10,451달러이고, 평균만족도는 3.9121이며, 국민만족도지수는 8,168달러이다.

개인 소득 분포

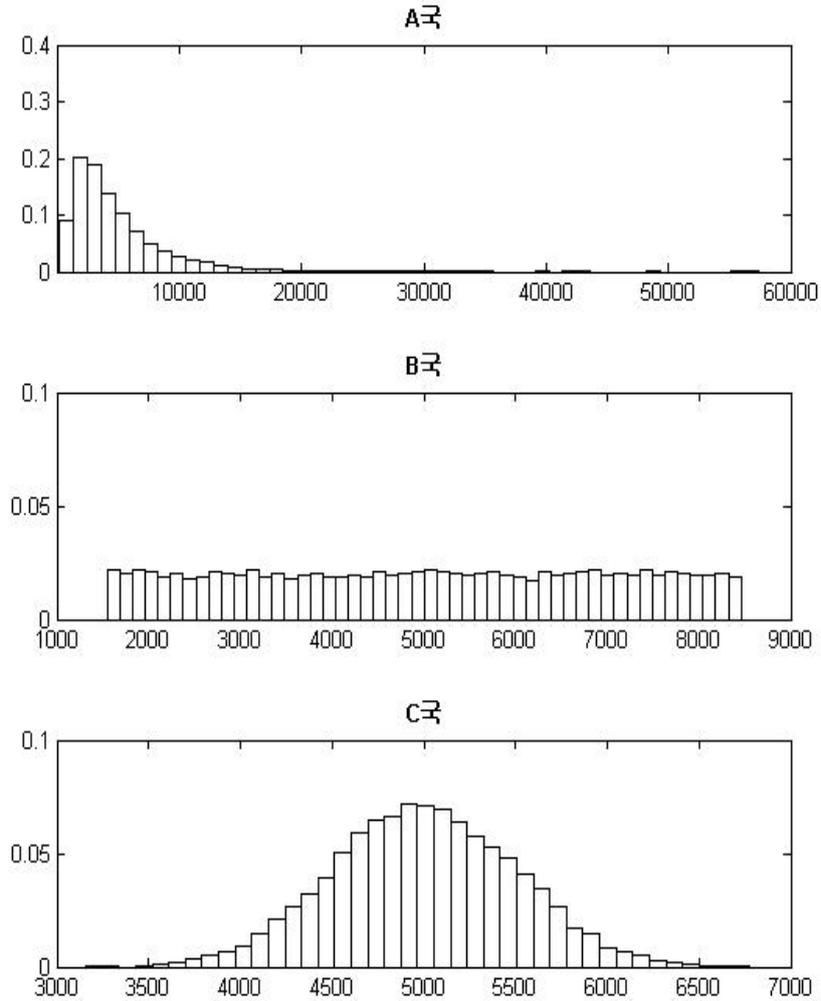


개인 만족도 분포



문제 1. 제시문 (가)를 보면 행복도가 소득의 크기에 반드시 정비례하지는 않는다. 이를 제시문 (나)와 (다)에 나오는 개념을 이용하여 설명하시오. 그리고 제시문 (다)의 Z국 국민만족도지수 8,168달러가 의미하는 바가 무엇인지를 밝히시오. (400자 이내)

문제 2. 1인당국민소득이 동일하나 서로 다른 소득 분포를 보이는 A, B, C 세 나라가 있다고 할 때, 제시문 (다)를 이용하여 이들 국가의 1인당국민소득과 국민만족도지수 간의 차이를 설명하시오. 그리고 이러한 차이가 발생하는 이유를 서술하시오. (400자 이내)



※ 위의 그래프에서 X축은 개인 소득, Y축은 상대도수를 나타낸다.

문제 3. 문제 2의 결과를 토대로 하여, ‘모든 국민의 행복 추구’라는 목표를 달성하기 위하여 A, B, C 각 국가가 수립할 수 있는 정책을 제시하시오. (600자 이내)

□ 출제의도와 문항설명

사회적 현상을 고등학교 공통수학과 수학 I에 나오는 평균, 산포도, 로그함수의 개념을 사용하여 이해하고, 새로운 개념을 추론하여 이를 사회 현상과 국가 정책에 적용하였을 때 발견되는 창의적인 사고력을 평가하고자 하였다.

제시문 (가)는 경제적 풍요로움보다는 개인이 체험하고 느끼는 만족감이 삶의 질, 더 나아가서는 행복의 주요 요소임을 강조하며 빈곤국에서는 소득의 증가가 곧 삶의 질에 영향을 미치지만 부유국에서는 반드시 그렇지 않는다고 기술한다. 제시문 (나)에서는 베르누이의 효용 개념을 다루고 있다. 즉 소득의 증가에 따라서 그 만족도가 정비례하는 것이 아니라 \log 함수의 특성을 지니고 있다는 것이다. 부의 크기가 커지면 소득은 삶의 질에 크게 영향을 미치지 않을 것이라는 점도 나타나 있다. 제시문 (다)는 새롭게 만들어진 국민만족도지수의 산출방법을 설명하고 있다. 이 지수는 심리적 만족도, 즉 효용의 평균이 1인당 국민소득보다는 국가의 삶의 질을 결정하는 데 중요한 요소인 점을 강조하고 있다. 그리고 그래프를 통하여 국민만족도지수에서는 고소득자가 평균에 기여하는 바가 적음을 알 수 있다.

논제에서는 소득과 만족도의 차이를 토대로 소득 분포가 다른 세 나라의 사례를 제시하고 각 나라가 성장과 분배를 어떻게 조화시켜야 하는지 질문하였다.

□ 출전 및 참고 교과서

- 사회문화 교과서 245쪽(대한교과서), 236쪽(법문사), 223쪽(지학사)
- 독서 교과서 182-183쪽(케이스)

□ 총평

논제 1에서는 제시문 (다)에서 제시된 만족도가 소득의 \log 함수이기 때문에, 부유국에서는 현재 가지고 있는 부가 크므로 추가적인 만족(효용)을 얻기 위해서는 빈곤국보다 훨씬 많은 소득이 필요하게 된다. 행복도가 만족도와 직접적으로 연관되어 있다고 가정하면 부유국 국민의 행복도가 빈곤국의 행복도보다 높지 않을 수 있다. 따라서 국민만족도 지수가 의미하는 바를 설명하지 않거나, 만족도(효용)의 함수가 \log 함수라는 핵심을 언급하지 않고 일반적인 자신의 생각을 서술하는 답안은 좋은 평가를 얻지 못하였다.

논제 2의 경우 만족도 함수의 특성상, 고소득의 비중이 상대적으로 약해진다. 따라서 고소득자의 비율이 높거나 극단적인 고소득자의 존재는 1인당국민소득에 크게 영향을 미치지 않지만 국민만족도지수에는 크게 영향을 미치지 않는다. 이러한 점을 고려하면 두 지수의 차이에서 A국이 가장 크고, 그 다음이 B국과 C국이다. 산술평균, 1인당국민소득이 기하평균, 국민만족도지수보다 크거나 같다는 수학적정리를 이용하여 설명하는 것도 지식의 영역간 전이 능력을 보여줄 수 있다는 점에서 좋은 평가를 받을 수 있었다. 그러나 만족도나 효용에 대한 설명 없이 단순히 A국에서 소득이 불평등하게 분포되어 있다고 설명하거나 B국을 평등한 소득분포로 해석하면 낮은 평가를 받았다.

논제 3의 경우, A국의 경우 1인당 국민소득이 충분히 국민만족도지수에 반영되지 않는다. 이 국가의 경우 소득의 분배구조를 수정하면 국민만족도지수를 높일 수 있고, 따라서 수립할 수 있는 정책은 부의 분배가 강조되는 것이어야 한다. B국도 A국과 같은 정책이 구성되어야 한다. 다만 부유층의 비율이 상대적으로 크기 때문에 부의 분배에서 이 집단에 대한 고려가 필요한 점이 A국과의 차이라고 할 수 있다. 상대적으로 중산층의 비율이 낮기 때문에 이를 높이기 위한 정책을 제시하는 것이 바람직하다. C국의 경우 소득의 분배가 균등하게 잘 이루어진 것으로 볼 수 있다. 따라서 부의 분배보다는 전체 부를 크게 하는 성장의 정책을 구체적으로 제시할 수 있다면 좋은 점수를 얻을 수 있었다. 개별 국가의 상황과 이에 따른 정책을 제시하지 않고 분배를 강조하는 복지정책을 언급하는 것은 바람직하지 못하다.

논제 1과 2에서 대부분의 답안이 출제자의 의도에 따라 세 국가의 국민만족도 지수와 1인당국민소득의 차이에 대해 적절히 답하였다. 그러나 일부 답안은 제시문 (나)와 (다)를 이용하도록 논제에서 요구하고 있음에도 불구하고 사회구조의 문제 등을 비롯하여 자신의 사전 지식을 이용하여 답하는 오류를 범하였다. 국민만족도 지수가 로그함수적 특성을 지닌다는 제시문의 내용이 명료하게 표현되지 못한 답안들 가운데는 제시문의 내용과는 무관하게 자신의 지식에만 의존하는 경우가 많았다.

논제 3에서는 논제 2를 바탕으로 답할 경우 필연적으로 논리적 일관성을 갖출 수 있다. 그럼에도 불구하고 적지 않은 답안들이 각국에 필요한 정책을 논할 때, 논제 2의 만족도함수와 1인당국민소득의 관계를 제대로 이용하지 못하고 있었다. 논제 1에서 만족도함수와 1인당국민소득의 관계에 관해 제대로 답한 것으로 보이는 답안에서조차도 이러한 문제를 발견할 수 있었다는 점은 학생들이 어떤 개념을 이해했다고 하더라도 이 지식을 다른 분야에 항상 적용할 수 있는 것이 아님을 시사한다.

□ 학생답안

◦ 답안 1

논제 1

행복도라는 것은 만족감, 즉 효용에 해당하는 개념이다. 소득의 크기를 나타내는 1인당 국민소득이 클수록, 정신적 만족에 대한 욕구는 커지는데 비해, 같은 크기의 소득 증가에서 얻을 수 있는 금전적 효용의 크기는 줄어든다. 따라서 소득의 크기와 행복도는 반드시 정비례하지는 않는다. (다)의 Z국 국민들의 효용을 모두 더하면 $\log_{10}(\text{소득}_1) + \log_{10}(\text{소득}_2) + \log_{10}(\text{소득}_n) = \log_{10}X_n$ 으로 나타낼 수 있다. 이때 X는 국민 개개인의 소득을 기하평균한 것이다. 그런데 $\log 8168 = 3.9121$ 이고, $\log X = 3.9121$ 이므로 기하평균X는 8168달러가 된다. 즉 Z국의 국민만족도지수 8168달러가 의미하는 것은 Z국 국민들의 소득을 기하평균한 것으로, 산술평균값인

1인당 국민소득보다 작게 나온 것임을 알 수 있다. Z국의 국민만족도지수는 각 국민의 소득이 모두 같을 때 최고값을 갖게 된다.

문제 2

A나라의 소득 분포는 매우 불평등한 편이다. A국민의 소득은 대부분 5000이하와 20000이상으로 양극화되어 있기 때문이다. 이런 경우 국민들의 소득 간 차이가 크기 때문에 국민만족도지수는 매우 작게 나올 것이다. B나라의 소득 분포는 비교적 불평등한 편이다. B국민의 소득은 특정 액수에 집중적으로 분포하지는 않았지만 소득편차가 비교적 크기 때문에 만족도지수는 비교적 작게 나올 것이다. C나라의 소득 분포는 비교적 평등하다. 1인당 국민소득인 5000에 많은 국민 소득이 분포하고 편차도 비교적 작기 때문이다. 따라서 만족도지수도 비교적 크게 나올 것이다. 이러한 차이는 실제 각 국민의 소득과 1인당 국민소득간의 편차가 클수록 크게 벌어지게 된다.

문제 3

모든 국민의 행복을 추구하려면 국민들의 효용을 나타내주는 지수인 국민만족도지수를 최대화시켜야 한다. 그런데 국민만족도지수는 산술평균이 아닌 기하평균에 따라 결정되는 값이므로, 각 국민들의 소득이 모두 균등할 때 산술평균, 즉 1인당 국민소득과 같아져 최대가 될 수 있다. 그러나 모든 국민이 균등한 소득을 갖는 것은 현실적으로 불가능하므로, 각 국민들의 소득과 평균소득의 차인 소득 편차가 점차 완화될 수 있는 방향으로 정책을 수립해야 한다. A국은 소득 분포의 불평등도가 매우 높다. 따라서 양극화를 완화시킬 수 있는 소득 재분배 정책을 적극적으로 실시하고, 최하계층에 대한 물질적 지원 정책을 실시해야 한다. B국의 경우 소득 편차를 완화시키기 위해 소득 재분배정책을 실시하면서, 최하계층의 소득을 증진시키기 위한 직업교육과 같은 생산적 복지 정책을 실시해야 한다. C국의 경우 소득 분배가 고른 편이기 때문에 적극적인 소득 재분배 정책이 별로 의미가 없을 수 있다. 물질적인 지원보다는 더 나은 취업기회나 정신적 효용을 높일 수 있는 정책을 통해 하위계층의 생산성과 만족도를 높일 수 있을 것이다.

◦ 채점평

좋은 논술 답안이란 주어진 논제에 대해 정확히 이해하고, 자신의 주장에 대해서 적절하고 분명한 논거를 제시하며, 다각적이고 심층적인 논의 전개를 이끌어내는 것이라고 할 수 있다. 예시답안 1은 논제에 대한 정확한 이해, 자신의 주장에 대한 적절한 논거의 제시라는 측면에서 좋은 평가를 받은 예라고 할 수 있다.

문제 1의 경우 주어진 논제에 따라 제시문 (나)와 (다)의 효용의 개념을 기하평균과 산술평균의 특성을 이용하여 적절히 답했는데, 이는 학생이 제시문 (다)를 정확히 이해하고 있음을 보여주는 것이라 할 수 있다. 물론 많은 학생들이 효용의 개념을 정확히 이해하고 있었을 수 있지만, 이해한 바를 제대로 표현하지 못한다면 평가자나 혹은 상

대방에게 자신의 주장을 전달하는데 실패하게 된다. 따라서 자신의 생각의 효과적인 전달은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다. 논제 3의 경우, 주장을 서두에 분명히 밝힌 후 각국의 해결책을 구체적으로 제시하고 있다. 이와 같은 전개 방식은 이 답안의 장점이다.

◦ 답안 2

논제 1

제시문 (가)에서 말하는 행복도는 (나), (다)의 효용으로 설명될 수 있다. (가)에서 한 국가의 행복도는 그 국가의 부가 클수록 낮은 경향이 있다고 했다. 이는 (나)에서 효용이 이미 소유한 재화의 양에 반비례한다는 말과 같다. 행복도는 효용의 증가분 정도로 정의될 수 있는데, (나)와 (다)의 로그 개념을 이용하면 이미 가진 소득이 많을 경우에는 새로운 소득이 주는 효용이 점점 감소하고 행복도도 점차 감소함을 알 수 있다. 제시문 (다)의 Z국 국민만족도지수는 소득의 평균보다 작다. 이는 소득이 불평등하게 분배되었음을 의미한다. 만약 어떤 사람이 소득 평균보다 더 많은 소득을 얻으면 더 얻은 액수와 같은 액수의 금액이 다른 사람들에게서 차감된다. 그 금액은 가난한 사람에게 올 때보다 효용을 덜 발생시키기 때문에 국민만족도지수는 감소하게 된다.

논제 2

제시된 세 나라 모두 1인당국민소득과 국민만족도지수 간 차이는 있지만 그 정도는 A국이 가장 크고 B국, C국 순이다. 세 국가 모두 소득이 똑같이 분배되지는 않았지만 C국, B국, A국의 순으로 공평히 분배되었다. (다)에서 사용한 로그는 소득이 일정히 증가해도 효용의 증가분은 점점 감소하게 한다. 소득이 불평등하다면 모든 소득이 똑같을 때보다 어느 한 쪽이 소득을 많이 가짐으로써 효용의 증가를 감소시키게 된다. 그래서 A국, B국, C국 순으로 1인당국민소득과 국민만족도지수의 차이가 큰 것이다. 이러한 차이는 똑같은 액수라도 이미 소득이 적은 사람에게 더 효용이 크다는 베르누이의 가정 때문이다. 불평등한 소득 분배는 평등한 소득분배일 때보다 사회 전체적 효용의 효율적인 증가를 저해하기에 차이가 발생한다는 것이다.

문제 3

모든 국민의 행복 추구를 위해 A국은 사람들이 능력과 노력에 따라서 자유롭게 경쟁할 수 있는 여건을 조성해야 한다. A국은 현재 소득이 불평등하게 분배된 정도가 크기 때문에 기존에 소득이 적은 사람은 소득을 늘릴 수 있는 기회가 적게 주어질 수 있다. 소득이 많은 사람들이 자신들의 소득을 이용해 소득 증가의 기회를 독점할 수 있기 때문이다. A국은 이러한 현상 방지를 위해 공교육 강화, 창업준비금보조, 불우한 어린이들에 대한 장학금 제도 등을 시행해야 한다. B국은 소득 하위 계층에 대한 공정한 경쟁의 여건 마련과 동시에 국가 전체의 부도 증대시키는 정책을 수립해야 한다. 여전히 하위 계층이 꽤 존재하지만 A국에 비해서 상대적으로 소득 분배는 고르다. 때문에 소득의 전체 총량을 증대시키는 정책도 수행할 여건이 되므로 국부를 증대시켜 장기적으로, 모든 국민의 행복추구에 기여할 수 있다. C국은 국부 증대에 보다 집중적인 정책을 시행하는 한편 그 부가 능력과 노력에 따라 공정히 분배되도록 하는 체계를 갖추어야 한다. 소득이 어느 정도 평등하게 분배된 상태이기 때문에 소득 총량을 증대시키는 한편 그것을 공평하게 분배할 수 있다면 행복 추구를 보장할 수 있다.

• 채점평

이 답안은 문제 1에서 제시문 (가)의 행복도 개념이 제시문 (나)와 (다)의 효용으로 설명될 수 있음을 간략하게 설명하고 있다. 문제 2에서도 다수의 답안이 1인당국민소득과 국민만족도지수 간의 차이와 발생 이유를 국가별로 서술한 것과 달리, 세 국가를 차이의 크기, 공평하게 배분된 정도 등의 기준에서 동시에 비교하는 방식으로 답안을 작성하였다. 이러한 방식의 비교는 각 국가별로 문제를 바라보는 것보다 좀 더 넓은 시야에서 종합적으로 문제를 바라볼 수 있다는 장점이 있다고 할 수 있다. 다만 문제 3에서는 이러한 구조를 유지하지 못하고 국가별로 정책을 설명하였다는 점은 비록 이 답안이 모든 국민의 행복추구라는 관점에 충실하였음에도 불구하고 문제간의 구조적 완결성에서 아쉬움이 남는다.

Ⅲ. 자연계열 문항설명 및 학생답안

□ 총평

과학적인 문제를 해결하기 위해서는 기본 개념과 원리에 근거한 추론이 필요하다. 따라서 인문계열처럼 자연계열 논술에서도 단편적인 결론 찾기에 그치지 말고 다양한 영역을 아우르는 통합적인 추론 과정이 요구된다. 그러나 학생들의 일반적인 답안은 논제 해결 과정에 필요한 논리적이고 과학적인 근거 없이 단편적인 결론만 기술하고 있다. 또한 제시문과 각 논제별로 주어진 자료는 논제를 정확히 이해하고 문제를 해결하는 데 필요한 정보임에도 불구하고, 이를 적절히 활용하지 못하고 있다. 논제를 정확히 이해하지 못했기 때문에 필요한 정보가 주어져도 활용하지 못하고 있는 것으로 생각된다.

하나의 정량적인 값을 주고 다른 원리를 적용하여 직접 수치를 다시 계산하도록 요구한 경우에도 그 값이 정확한 지 여부가 평가의 핵심이 아니다. 따라서 아무런 설명 없이 수식 또는 그림만으로 답안을 작성하면 논리 전개 과정을 명확히 알 수 없기 때문에 평가에서 불이익을 받을 수 있다. 수식, 도표, 그림 등을 적절히 활용할 수 있다는 것 역시 중요한 부분이다. 출제 시 고려한 것 보다 훨씬 더 다양한 방식으로 논제를 해결한 경우도 있었지만, 다양한 논리 전개가 가능할 것으로 기대했던 논제인데 대부분이 유사한 방식으로 문제를 해결한 경우도 있었다.

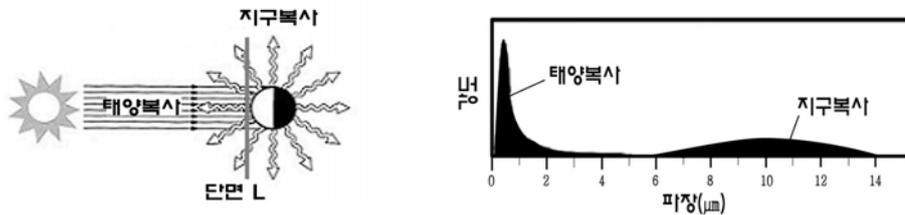
【문항 1】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

(가) 열에너지 평형: 대기가 없는 지구

지구는 46억년 전 태양계가 탄생할 때 태양계의 한 가족으로 태어났다. 그러나 태양의 복사에너지를 받고 있는 태양계의 여러 행성들 중에 생명체가 존재할 수 있는 온도를 유지하고 있는 행성은 지구뿐이다. 태양에서 오는 복사에너지로 따뜻해진 지구는 자신의 복사에너지를 방출한다. 지구가 방출하는 단위표면적당 적외선 영역의 지구 복사에너지는 슈테판-볼츠만(Stefan-Boltzmann)법칙을 이용하여 추정할 수 있다. 즉, 지구의 평균온도가 T_E 라면 지표면이 단위면적당 평균적으로 방출하는 복사에너지는 σT_E^4 으로 나타낼 수 있다(슈테판-볼츠만 상수, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$).

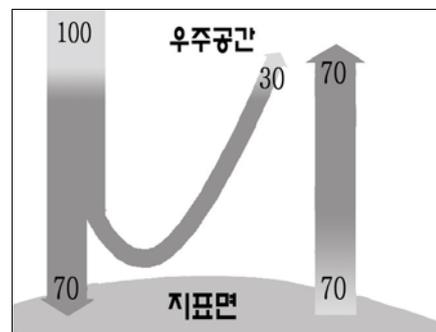
태양에서 오는 복사에너지와 지구가 방출하는 복사에너지는 파장별로 보면 큰 차이가 있지만, 태양으로부터 지구로 유입되는 총 복사에너지와 지구가 방출하는 총 복사에너지 사이에서 열에너지 평형이 이루어지기 때문에 지구의 평균 온도는 일정하게 유지되고 있다([그림 1]).



[그림 1]

지구에 도달하는 태양 복사에너지 모두가 지구를 덥히는데 사용되는 것은 아니다. 태양 복사에너지의 일부는 그대로 다시 우주공간으로 반사된다. 이렇게 반사된 복사에너지 대 지구에 복사된 태양 에너지의 비를 반사도(albedo, A)라고 한다([그림 2]).

따라서 단위시간 동안 단면 L([그림 1])에 단위면적당 입사되는 태양 복사에너지를 S 라고 할 때, 입사된 태양 복사에너지와 지구가 방출한 복사에너지 사이의 열에너지에 관한 평형식은 다음과 같이 나타낼 수 있다(식 1).



[그림 2]

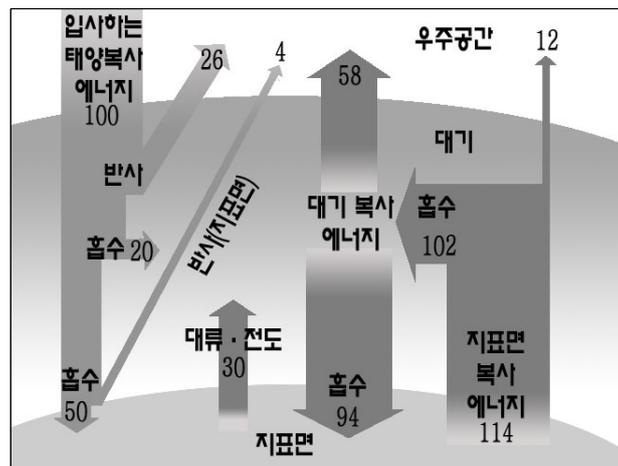
(식 1): $\frac{S}{4}(1-A) = \sigma T_E^4$

그러므로 지구의 온도 T_E 는 $\sqrt[4]{S(1-A)/4\sigma}$ 와 같다. $A \approx 0.30$ 인 경우에 지구의 온도 T_E 를 구하면 255K(-18℃)밖에 되지 않는다.

(나) 대기가 만들어 낸 온실효과

지구를 둘러싸고 있는 대기는 태양으로부터 오는 태양 복사에너지를 잘 통과시키지만, 지표에서 방출되는 지구 복사에너지(적외선)는 흡수하여 그 일부를 다시 지구 표면으로 돌려보낸다. 즉, 대기는 지표로부터 방출된 복사에너지가 대기권 밖으로 빠져나가지 못하게 하여 지구를 보온하는 역할을 하는데, 이러한 대기의 보온 효과를 온실효과라고 한다.

대기층이 있으므로 지표면의 복사에너지는 대기가 없을 때에 비하여 커지게 되고, 이 때문에 지표면의 온도가 높아지게 된다([그림 3]). 이런 온실효과 때문에 지구의 온도는 (가)에서 계산한 255K(-18℃)보다 상당히 높은 288K(15℃)가 되었다.



[그림 3]

※ 그림에서 숫자는 $S/4$ 에 대한 백분율을 나타냄. 대류·전도에 의해 반사되는 30은 지표면 복사에너지에는 포함되지 않음

대기의 주성분인 질소(N_2)와 산소(O_2)는 적외선을 흡수할 수 없기 때문에 온실효과를 나타내지 않지만, 대기 중에 소량으로 섞여 있는 이산화탄소(CO_2), 수증기(H_2O), 메탄(CH_4), 일산화이질소(N_2O) 등은 적외선을 흡수하여 지구의 온실효과를 일으키는데, 이러한 기체를 ‘온실키택체’라고 한다.

(다) 지구 온난화: 사람이 만들어 낸 온실효과

온실효과를 일으키는 기체 중의 하나인 이산화탄소는 산업 발달에 따른 화석연료 소비의 증가와 산림 채벌 등 다양한 인간 활동에 의해 계속 증가해 왔다. 다른 온실기체 또한 이산화탄소와 함께 증가하는 추세를 보이고 있다. 온실기체의 증가에 따라 지구의 기온이 상승하게 되는데, 이를 ‘지구 온난화’라고 한다.

지구의 기온 상승 현상에 대처하기 위하여 유엔(UN)은 ‘기후 변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)’라는 과학자 모임을 만들었으며, 이 기구는 인간 활동 때문에 지구 온난화 현상이 나타나고 있다고 보고서를 작성하였다.

지구의 평균 기온은 지난 100년 동안 약 0.6°C 높아졌고, 2100년에는 1990년 보다 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 더 높아질 전망이다. 최근의 온도 증가 속도는 지난 1만년 동안 자연적으로 있었던 속도 변화와 비교할 때 10배 이상이 되는 큰 기후 변화이다.

현재 과학자들의 연구 결과에 의하면 산업혁명이 시작된 이후 지난 200여 년 동안 사람들의 활동이 추가적으로 만들어 낸 온실기체 때문에 대기에서 지구 표면으로 복사되는 단위면적당 에너지는 약 $3\text{W}/\text{m}^2$ 를 넘는 것으로 추정되고 있다. 이 중에서 약 1/3은 최근 10여 년 간 배출된 온실기체에서 기인했고, 그 중 약 1/2은 인간이 사용하는 화석연료에 의한 것으로 밝혀지고 있다. 지난 10여 년 동안 인간이 사용하는 화석연료에 의해 생산된 에너지는 인구 1인당 평균 3kW 에 이르는 것으로 추정된다. 이는 인간의 생체활동에 필요한 에너지(약 100W)의 약 30배에 달하는 수치이다.

문제 1. 제시문 (가)를 참고하여 아래 질문에 답하시오.

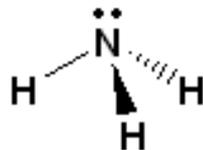
1-1. 에너지 평형식(식 1)에서 지구 복사에너지와 평형을 이루는 태양 복사에너지로 S 대신 $S/4$ 가 사용된 이유를 설명하시오.

1-2. 제시문 (가)의 반사도 $A \approx 0.30$ 을 활용하여 $S/4$ 에 해당하는 태양 복사 에너지를 구하고, 이와 열에너지 평형을 이루는 지구 복사 에너지를 W/m^2 단위로 추정하시오(유효숫자 2자리).

문제 2. 온실효과로 따뜻해진 지구가 내는 복사에너지와 대기가 만들어낸 온실효과를 문제 1-1에서 구한 $S/4$ 의 백분율로 구하시오. 그리고 이들 값을 W/m^2 단위로 환산하시오(유효숫자 2자리).

문제 3. 어떤 분자가 온실효과를 나타내는지 여부는 구성 원자의 종류와 쌍극자모멘트와 관계가 있다. 쌍극자모멘트는 하나의 결합이나 분자 내에서 음전하를 띠는 부분과 양전하를 띠는 부분이 분리된 경우에 나타난다. 분자에서 결합의 길이나 결합각은 고정되어 있지 않고 분자의 진동(vibration)에 따라 변할 수 있다. 진동에는 결합각이 변하는 굽힘(bending)과 결합의 길이가 변하는 늘어남(stretching)이 있다.

3-1. 대표적인 온실기체인 메탄(CH_4), 수증기(H_2O), 이산화탄소(CO_2)의 3차원 구조를 그리고 비공유전자쌍을 나타내시오([그림 4] 암모니아의 예 참조). 그리고 이 구조를 고려하여 각각의 분자가 진동을 하지 않을 경우 쌍극자모멘트를 가지는지 여부를 설명하시오.



[그림 4]

3-2. 분자의 진동과 쌍극자모멘트를 고려하여 메탄, 수증기, 이산화탄소는 온실효과를 나타내는데 질소와 산소는 온실효과를 나타내지 않는 이유를 추론하시오.

문제 4. 사람들의 활동이 만들어내는 온실기체로 인해 대기에 추가된 $3\text{W}/\text{m}^2$ 로 인하여 지표면의 온도가 $288\text{K}(15^\circ\text{C})$ 보다 상승하게 된다. 이렇게 지표면과 대기가 새롭게 열에너지 평형상태를 이룰 때, 지표면의 온도가 얼마나 상승하게 될 지 추정하시오(유효숫자 1자리).

[참고: 근사식 $(1+x)^{1/4} \approx 1 + \frac{1}{4}x$ ($|x|$ 가 1보다 아주 작을 때)를 이용할 수 있음]

문제 5. 지구의 인구는 60억 명이고, 지구의 반경은 $6,000\text{km}$ 라고 할 때, 인간이 1인당 3kW 에 달하는 에너지를 얻기 위해 지난 10년간 배출한 온실기체로 인해 대기가 지구 표면에 추가적으로 복사하는 에너지를 인구 1인당으로 구해보시오(유효숫자 1자리). 그리고 이 값에 비추어 지구 온난화 속도를 줄일 수 있는 방법에 대해 논하시오.

□ 출제의도 및 문항설명

이 문항은 고등학교 1학년 과학 교과서에서 다루고 있는 온실효과와 지구 온난화 문제를 소재로 하고 있다. 고등학교 교과과정에 나오는 수학, 물리, 화학, 생물의 원리와 제공된 제시문을 적절히 이용하여 지구 온난화라는 문제를 다각도로 이해하고 분석하여 논의를 전개할 수 있는지를 평가하고자 하였다.

□ 출전 및 참고 교과서

제시문은 다음과 같이 세 단계로 구성되어 있다.

- 제시문 (가)에서는 태양과 지구 사이의 복사에너지 평형에 관한 기본 원리를 보여주었다.(「과학」 교학사, p.342)
- 제시문 (나)에서는 지구에 대기가 있음으로 해서 온실효과가 만들어지는 과정을 소개하였다.(「과학」 중앙교육진흥연구소, p.363, p.368)
- 제시문 (다)에서는 지구 온난화에 대한 설명과 함께 (나)에서 설명한 온실효과의 원리를 지구 온난화에도 적용할 수 있다는 것을 이해할 수 있도록 하였다. 아울러 지구 온난화가 기본적으로 사람들이 생활하는데 필요한 에너지를 만들어내기 위해서 발생된 부수적인 것임을 정량적으로 분석하는 데 필요한 기본 자료도 제공하였다.(「과학」 교학사, p.346)

□ 학생답안

◦ 논제 1

에너지 평형의 기본 개념을 이해하고 있는 지 평가한다.

· 논제 1-1

논제 1-1은 지구가 구라는 사실로부터 태양에너지를 받는 입사면적과 지구가 복사에너지를 방출하는 면적의 차이가 있다는 점과 지구에 유입되는 총 태양복사에너지와 지구에서 방출하는 총 지구복사에너지간의 에너지 평형이 일어나야 한다는 점을 설명하는 것이 중요하다. 아래 답안처럼 많은 학생들이 이를 정확히 이해하고 설명을 하였다. 그러나 단순히 “태양에너지를 받는 입사면적과 지구가 복사에너지를 방출하는 면적에 차이가 있기 때문이다”라고만 쓴 경우도 있었다. 면적에 차이가 있다는 것만으로는 논제에 대한 충분한 설명이 되지 않는다.

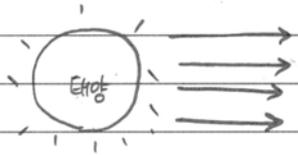
<답안 1>

문제고.

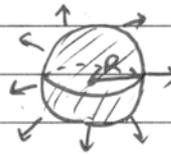
1-도

에너지 평형식 (4)에서 지구복사에너지와 균형을 이루는 태양복사에너지로 S 대신 $\frac{S}{4}$ 가 사용되는 이유는 지구에 태양복사에너지가 유입되는 부분의 단면적과 지구가 복사에너지를 방출하는 부분의 단면적이 서로 다르기 때문이다.

지구가 받지 못하는 A인 우주복 구멍이라고 가정한다면 태양으로부터 지구가 유입되는 부분의 단면적은 아래의 (2)와 (1)의 차이가 A인 원의 넓이와 같고 지구가 복사에너지를 방출하는 부분의 단면적은 (2)와 (1)의 차이가 A인 원의 넓이와 같다.



[그림-1]



[그림-2]

그러면 태양으로부터 지구에 유입되는 총 복사에너지와 지구가 방출하는 총 복사에너지가 서로 평형을 이루므로

$$S \cdot (1-A) \cdot \pi R^2 = \sigma T_e^4 \cdot 4\pi R^2$$

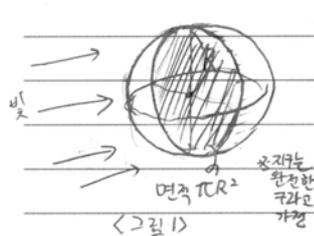
$$\frac{S}{4} (1-A) = \sigma T_e^4 \quad \text{이 성립한다. (A는 지구의 알베도 또는 태양 반사율, } T_e \text{는 지구의 온도)}$$

따라서 평형식에서 태양복사에너지는 S 대신 $\frac{S}{4}$ 로 사용하게 된다.

<답안 2>

[문항 1]

(문제 1) ① 단순히 단위 면적만 생각하면 S와 σT_e^4 과의 관계는 '단위면적당 입사된 E - 단위면적당 방출된 E = 단위면적당 지구가 방출하는 E'가 되어 $S(1-A) = \sigma T_e^4$ 일 것 같지만, 지구는 구형이고 지구에 들어오는 에너지는 평면적으로 들어와는데 반해 지구에서 방출되는 에너지는 구형의 지구표면에서 입체적으로 방출된다는 점에서 이들 에너지 사이의 관계에는 입사 면적과 방출 면적이 함께 고려되어야 함을 알 수 있다. 따라서 이면점이 주어져야 S와 σT_e^4 와의 관계식을 생각해 보면,



<그림 1>

먼저 (그림 1)과 같이 지구에 들어오는 빛의 총 표면적은 지구의 반구로 작았을 때의 단면적 πR^2 과 같으므로 지구로 입사되는 총 태양 복사에너지는,

$$\text{단위면적당 입사되는 } E \times \text{입사되는 총면적} = S \times \pi R^2 \quad \text{--- ①}$$

이 된다.

그 다음으로, 지구에서 방출되는 총 복사에너지를 구하여야 한다.

지구는 그 표면적 전체에서 에너지를 방출하므로 위와 같은 방법으로 총 복사에너지를 구해 보면,

$$\text{단위면적당 방출되는 } E \times \text{방출되는 총면적} = \sigma T_e^4 \times 4\pi R^2 \quad \text{--- ②}$$

열에너지 평형에 의해 ①(1-A)=②가 성립하므로,

$$S \pi R^2 (1-A) = \sigma T_e^4 \cdot 4\pi R^2 \quad \text{이 되고, 이 식을 정리하면}$$

$$\frac{S}{4} (1-A) = \sigma T_e^4 \quad \text{이 성립함을 알 수 있다.}$$

결론적으로, 위의 식에서 S 대신 $\frac{S}{4}$ 가 사용된 이유는 입사면적과 방출면적이 다르기 때문이라 할 수 있다.

· 문제 1-2

필요한 식을 이해하고 이 식에 적절한 값을 대입해 최종 값을 추론할 수 있는가를 평가한다. 정확한 값(유효숫자 2자리)을 요구하지 않았다는 것을 이해한 학생들은 대략적인 계산을 하였으며, 유효숫자 2자리까지 대략적인 계산을 하지 않더라도 적절한 값을 대입하여 공식만을 제시한 경우에도 좋은 평가를 받았다. 그러나 일부 학생들은 주어진 조건을 파악하지 못하고 정확한 계산을 위해 많은 시간을 사용하였던 것으로 보인다.

<답안 1>

1-2.

$\frac{S}{4}(1-A) = \sigma T_E^4$ 에서 반사율 A가 약 0.3 이고 제서문에서 분수 값
 지구의 온도 $T_E = 255 \text{ K}$ 이므로 $\frac{S}{4} = \frac{1}{0.7} \times \sigma \times 255^4 \text{ (W/m}^2\text{)}$ 값을 알 수 있다.

슈테판-볼츠만 상수 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ 를 위식에 대입하여 계산하면
 $\frac{S}{4} = \frac{1}{0.7} \times 5.67 \times 10^{-8} \times 4.23 \times 10^9 \approx 3.43 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 이다.

$\frac{S}{4}$ 와 열에너지 평형을 이루는 지구 복사 에너지는 $\frac{S}{4}(1-A)$ 이므로 약 $2.40 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 이다.

<답안 2>

1-2. 제서문 (A)의 (식1) : $\frac{S}{4}(1-A) = \sigma T_E^4$ 을 이용하면
 $\frac{S}{4} = \sigma T_E^4 / (1-A)$ 가 된다. 여기서 $A \approx 0.30$ 을 대입하고, 주어진
 6값과, 문제풀이를 고려하여 온도는 지구평균온도 (255 K) 대입하면
 $\frac{S}{4}$ 의 값은 $342.22 \text{ (W/m}^2\text{)}$ 이 된다.

여기서 지구복사 에너지는 σT_E^4 이므로 $\sigma T_E^4 = \frac{S}{4} \cdot (1-A)$ 에서
 $\sigma T_E^4 = 239.54 \text{ (W/m}^2\text{)}$ 이 된다.

<답안 3>

1-2. $\frac{S}{4}(1-A) = \sigma T_E^4$ 에서 $A \approx 0.30$, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$, $T_E = 255$ 를 대입하여서 계산하면
 $\frac{S}{4} = \frac{5.67 \times 10^{-8} \times (255)^4}{0.7} \approx 364.63 \text{ W/m}^2$ 라는 값이 나오게 된다. $\frac{S}{4}$ 는 단위면적당 태양복사 에너지를 나타내므로, 1m²당 태양의 복사 에너지는 364.63 W이다. 이때 지구의 반사율이 0.30이므로 70%의 태양 에너지를 지구로 흡수했다 지구복사 에너지로 방출한다. 이 지구복사 에너지를 S_E 라 할 때 다음과 같다.
 $S_E = \frac{S}{4} \cdot 0.7 = 364.63 \times 0.7 \approx 255.41 \text{ W/m}^2$ 이다.

· 문제 2

온실 기체가 에너지 평형에 어떤 변화를 주어 온실 효과를 내고 지구의 온도를 높일 수 있었는지를 추론하도록 하였다. 제서문 (나)의 [그림 3]에 주어진 정보로부터 지구복사 에너지가 114%이고 이 중 우주로 내보내는 부분이 70%라는 것, 그리고 온실 효과는 이 두 값의 차이인 44%에 해당한다는 것을 설명하고 이를 W/m² 단위로 환산하여 보여

주어야 한다. 많은 학생들이 제시문의 그림을 토대로 설명하거나 직접 값을 구하여 논리적으로 설명하였다.

<답안 1>

문제 2) 그림 3에서 입사하는 태양 복사에너지가 100일때, 무수광선의 반출되는 에너지의 총량은 100이므로 이때에 3 열에너지 교환이 이루어진다.

이때 지표면 복사에너지로 방출되는 에너지량은 지표의 온도가 높아져 114가 되고, 이를 대기가 없을 때 방출되었던 70보다 44가 많을 것이다. 따라서 대기가 만들어낸 온실효과는 즉의 44%만큼 지구가 더 따뜻하게 만들었다고 할 수 있다.

이때 문제 1에서 $\frac{S}{4} = 2.4 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 이 값을 구하였으므로 지표면 복사에너지는 $\frac{S}{4}$ 의 114%인 $3.9 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 이 되고, 대기에 의한 온실효과는 즉의 44%인 $1.4 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 이 된다.

<답안 2>

문제 2) 제시문 (4)의 그림 3에서 즉의 반출은 즉에 대해 100이다. 이때 온실효과로 따뜻해진 지는 114만큼의 복사에너지를 적외선의 형태로 방출한다. 이때 대기가 내는 온실효과는 대기가 없을 때의 평행에너지와 대기가 있을 때의 평행에너지의 차이만큼이다. 이것은 (대기가 있을 때의 적외선에너지) - (대기가 없을 때의 적외선에너지) 가 되고 $114 - 70 = 44$ 이므로 44가 된다.

문제 1에서 구한 즉의 에너지 값에 반대로 계산하면 열지구 복사에너지는 $\frac{S}{4} \times \frac{114}{100}$ 가 되고 약 $3.9 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 이고, 대기에 온실효과는 $\frac{S}{4} \times \frac{44}{100}$ 이며 그 값은 약 $1.4 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 이다.

• 문제 3

과학 교과서에서 소개하고 있는 온실 기체들이 구체적으로 어떤 화학적 원리를 통해서 지구의 온실 효과에 기여하고 있는지를 분석하도록 하였다.

• 문제 3-1

분자의 적절한 입체구조를 설명하고 이로부터 쌍극자모멘트가 있는지를 추론하도록 하였다. 분자의 입체구조를 그림 등을 활용하여 구체적으로 설명하고 이러한 구조적 특성과 관련하여 쌍극자모멘트의 유무를 추론한 답안은 좋은 평가를 받았다. 그러나 분자의 입체구조를 그림으로는 잘 표현하고 이에 대한 설명이 부족하거나 단순히 “분자구조의 특성상 쌍극자모멘트가 있다” 또는 “없다”라고만 답한 경우도 있었다.

<답안 1>

분자 구조와 쌍극자모멘트에 대해 정확히 이해하고 설명하였으나, 표현이 부정확한 점이 아쉽다. 물의 경우 “비공유전자쌍의 반발이 공유전자쌍의 반발보다 심하므로 H₂O는 굽은형 구조이다”라고 서술하였는데, 비공유전자쌍의 반발이 공유전자쌍의 반발과 같다

고 해도 H-O-H 각도는 메탄에서와 같이 109.5도가 되어 물은 굽은 구조를 가질 것이다. 따라서 “물은 결합각이 109.5도보다 약간 작은 굽은 구조”라고 해야 정확한 표현이 되었을 것이다. 답안은 “비공유전자쌍의 반발이 공유전자쌍의 반발보다 심하지 않다면 H₂O는 굽은형 구조가 아니다”라는 의미로 해석될 수 있다. “H₂O는 메탄보다 더 굽은형 구조이다”라고 했어도 좋았을 것이다.

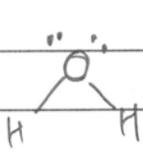
3. 메탄의 구조



C는 전자가 4개 있는데 H 4개와 모두 공유했으므로 비공유전자쌍이 없다. 따라서 정사면체 구조를 갖는다.

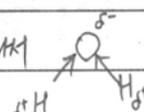
메탄은 C가 H보다 전기음성도가 크지만 H 4개와 결합했으므로 결합각이 109.5°로 모두 동일하여 쌍극자 모멘트의 합 = 0 이된다.

수증기의 구조



수증기에서 O는 6개의 전자가 있는데 2개밖에 공유하지 못하므로 2개의 비공유전자쌍을 갖는다. 비공유전자쌍간의 반발이 공유전자쌍의 반발보다 심하므로 H₂O는 굽은형 구조이다

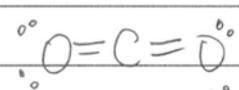
O는 H보다 전기음성도가 크다. 따라서 O쪽으로 쌍극자 모멘트가 생기는데



↑ 쌍극자 모멘트의 합

이 두 쌍극자 모멘트가 합쳐지면  이라 같은 쌍극자 모멘트를 갖는다.

이산화탄소의 구조



이산화탄소는 C를 중심으로 O가 이중결합을 하여 양쪽에 분포한다.

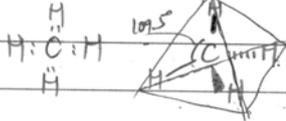
이때, O가 C보다 전기음성도가 커서 쌍극자 모멘트가 발생하지만 두 O가 C를 세미대칭 대칭이므로 쌍극자 모멘트의 합 = 0 이된다.

<답안 2>

메탄의 경우 수소와 탄소의 전기음성도의 크기 순서를 잘못 알고 있지만, 대칭 구조에서 벡터 합이 0이 되어 쌍극자모멘트가 0이 된다는 점에서 이 문제에서는 감점 요인이 되지 않는다. 그러나 다음 문제에 나오는 진동 운동을 언급한 것은 논리 전개에 있어서 부적절하다.

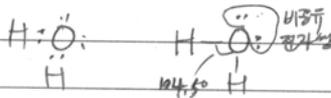
문제 3.

3-1. 메탄의 구조는 다음과 같다.



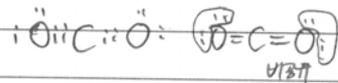
정사면체의 중심에 C가 위치하고 각 꼭지점에 H가 위치한 정사면체형 구조다. 비공유 전자쌍은 존재하지 않는다. 결합각은 109.5°이다.

수증기의 구조는 다음과 같다.



산소 O를 중심으로 H 두개가 공유결합을 이루고 있으며 O 주변에 두쌍의 비공유 전자쌍이 존재한다. 비공유 전자쌍 사이 반발력이 공유 전자쌍 사이 반발력 보다 크므로, 결합각은 104.5°가 되고 굽은형이다. (표명권)

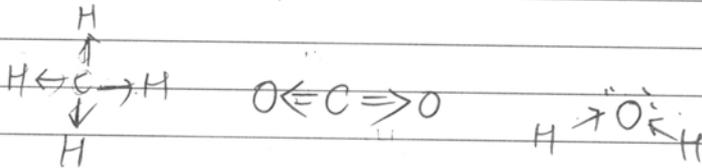
이산화탄소의 구조는 다음과 같다.



C를 중심으로 산소 두개가 이중결합된 상태다. 양 옆의 산소와 각각 두쌍의 비공유 전자쌍이 존재한다. 중심자에는 공유 전자쌍만 존재하며 두 원자와 결합은 하므로 직선형이다. (표명권)

이 때 각 원자들마다 공유 전자쌍을 끌어당기는데 원자마다 그 힘이 크기가 다르다. 이 힘은 전기음성도라 하는데 전기음성도가 큰 원자 쪽은 전자를 끌어당겨 부분적인 (-)을 띠고, 전기음성도가 상대적으로 작은 원자는 부분적인 (+)을 띤다. 또 전자쌍의 차이에 비례하는 힘을 벡터로 표시할 수 있는데 이러한 벡터들의 합이 쌍극자 모멘트가 된다.

전기음성도 : $C < H < O$



이 때 분자들이 진동운동은 하지 않는다고 가정하자.

CH₄와 CO₂는 벡터의 합이 0이 되며, H₂O 역시 벡터의 합이 0이 아니다.

따라서 CH₄, CO₂는 쌍극자 모멘트가 0이고 H₂O는 쌍극자 모멘트가 0이 아니다.

하지만 실제로 진동운동이 존재할 경우 결합각이 조금씩 달라지므로 CO₂, CH₄의 쌍극자 모멘트가 존재한다.

<답안 3>

3-1. • 메탄

$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$$

• 수증기

$$\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$$

• 이산화탄소

$$\text{O}=\text{C}=\text{O}$$

쌍극자모멘트. 비공유전자쌍과 공유전자쌍의 공간적 인력의 차이로 인해 나타난다.

즉, 비공유전자쌍 > 비공유전자쌍 > 공유전자쌍 > 공유전자쌍의 순으로 차이가 작아지게 되고, 차이가 더 작아질수록 쌍극자모멘트가 작아진다.

메탄의 경우, 비공유 전자쌍을 존재하지 않고, 모두 공유전자쌍이므로, 서로 밀어내는 힘 역시 동일하므로 극도 대칭적이다. 따라서 쌍극자 모멘트의 값이 0이 되므로 쌍극자 모멘트를 나타내지 않는다.

또한 수증기의 분자 구조를 살펴보면, 비공유 전자쌍에 의해 공유 전자쌍 사이와 이 밀어내는 것을 감소시킨다. 따라서 분자 구조가 굽은 구조를 이루므로 쌍극자 모멘트를 나타내며, 이때 비공유 전자쌍을 가진 원자가 부분음전하. 비공유 전자쌍이 많은 수소가 부분 양전하를 띠게 된다.

이산화탄소의 경우를 보면, 비공유 전자쌍을 가진 원자가 C(탄소) 원자를 중심으로 좌우 대칭의 구조를 이루고 있음을 알 수 있다. 이때, $\text{O}=\text{C}$ 의 결합에서, 비공유 전자쌍을 가진 O(산소) 원자가 부분음전하, C(탄소) 원자가 부분양전하를 띠며, 왼쪽이 (-), 오른쪽이 (+)의 역할을 하게 되지만, 반대쪽 $\text{C}=\text{O}$ 의 결합에서도 같은 이유로 왼쪽이 (+), 오른쪽이 (-)를 띠므로, 결국 쌍극자모멘트의 값이 0이 된다.

따라서, 이산화탄소는 쌍극자모멘트를 나타내지 않는다.

즉, 메탄과 이산화탄소는 쌍극자모멘트를 나타내지 않는 무극성 분자이며, 수증기는 쌍극자모멘트를 나타내는 극성 분자이다.

• 문제 3-2

분자의 운동(굽힘진동, 늘어남진동)으로 인한 쌍극자모멘트의 변화가 있는지 여부가 논점의 핵심이다. 그러나 분자의 운동과 관련하여 설명하지 않고 문제 3-1에서 설명된 분자 구조와 연결하여 설명하는 등 논제를 정확히 이해하지 못한 답안도 있었다. 아래 답안들은 분자의 운동으로 인한 쌍극자모멘트의 변화를 잘 설명하고 있으나, 메탄, 이산화탄소의 경우 굽힘진동과 아울러 늘어남진동을 통해서도 쌍극자모멘트가 생길 수 있다는 점은 이해하지 못한 것으로 보인다. 이 논제의 관련 내용은 고등학교 교과서에서는 다루지 않는다. 그러나 문제 3-1의 결론과 문항으로부터 주어진 기체들이 온실효과를 나타내는 이유를 이끌어낼 수 있다. 이 문제에서는 이러한 추론 능력에 중점을 두어 평가하고자 하였다.

<답안 1>

3-2. 문제 3의 제시된 내용을 보면, 온실효과의 역부는 황극자오먼트와 관련이 있을 수 있다. 이때, H₂O가 곱힘 진동을 하면 늘어남 진동은 하면 쌍극자 오먼트는 갖는다는 것은 생각해 본데, 쌍극자 오먼트는 기체면, 온실효과로써 역할을 할 수 있음을 증폭해 볼 수 있다. 즉, 질소와 산소와 같은 이원자 분자들은 결합각은 곱힘은 곱힘 진동을 환수 없고, 늘어남 진동은 하게 되는데, 이 경우에는 마찬가지로 오먼트 합이 0 이므로 쌍극자 오먼트는 갖지 않는다. 그에 비해 CH₄와 CO₂의 경우 곱힘 진동을 하여 결합각이 뒤튼게 되면, 평형은 이루고 있던 오먼트의 합이 깨어지면서, 쌍극자 오먼트는 갖게 되므로 온실효과로써 역할을 할 수 있는 것이다.

<답안 2>

3-2. (제시문 나)에서 적외선을 흡수하는 기체가 온실효과를 하였다. 보통 적외선을 분자에 가하면, 분자는 추가된 에너지를 곱힘발라 진동하게 된다. 이때 진동하는 과정에서 쌍극자 오먼트의 변화가 있는 분자들이 적외선을 흡수하기 쉬운 것이다.

분자의 진동은 bending 와 stretching 두가지 형태로 나타내는데, CH₄, H₂O, CO₂는 구리상 이를 통해 쌍극자 오먼트의 변화가 가능하다.

그러나 N₂와 O₂는 bending 이나 stretching 을 하더라도 변화가 없이 적외선을 흡수하지 못하고, 온실효과가 아닌 것이다.

• 문제 4

문제 1~3을 통해 이해한 원리를 적용하여 지구온난화를 정량적으로 분석하고, 이를 실제 관측 자료와 비교하도록 하였다.

지구온난화에 의해서 유발된 지표의 복사에너지 증가분이 얼마나 지표면의 온도 증가를 유발시킬 수 있는지를 식으로 보이고, 주어진 식을 이용해 푸는 방법을 설명하여야 한다. 이렇게 산출한 온도 증가분이 현재의 관측기록인 약 0.6℃ 증가분에 근접한 값을 보여주고 있으므로, 사람들이 대기 중에 만들어낸 복사에너지의 증가분이 지구온난화에 반영되고 있다는 점을 이해할 수 있다. 그러나 아래 답안과 같이 온도 증가분을 산출하는 방법에 대한 설명만 있고, 실제 관측 기록과 비교한 답안은 거의 없었다.

<답안 1>

문제 4.

완벽체로 인해 지구의 복사에너지가 늘어나 새롭게 열에너지 평형을 이룰때
 상승하여 평형을 이룬 상태의 지구의 온도를 T_E' 이라고 하자.

이때 주어진 $3W/m^2$ 을 본제 2에서 구한 복사에너지에 더하면 새롭게 평형을
 이룰 복사에너지는 $(T_E')^4 = 3.9 \times 10^2 W/m^2 + 3W/m^2$ 이 되고, 이는 약
 $3.9 \times 10^2 \times (1+0.008) W/m^2$ 과 같다고 할 수 있다.

이때 T_E' 을 계산해보면, $T_E' = \sqrt[4]{\frac{3.9 \times 10^2}{5} \cdot (40.008)} K$ 로 나타낼 수 있고,
 앞에서 구한 $T_E = 299K$ 에 대해 $T_E = \sqrt[4]{\frac{3.9 \times 10^2}{5}}$ 이므로 이때 $T_E' = T_E \times (1+0.008)^{\frac{1}{4}}$ 로
 나타낼 수 있다. 사(보다 아주 작을 때에 대해 라면 $(1+x)^{\frac{1}{4}} \approx 1 + \frac{1}{4}x$ 를 이용할
 수 있으므로 $T_E' = T_E \times (1 + \frac{1}{4} \times 0.008)$ 이 되고, 이때 상승하는 온도는
 $T_E \times 0.002$ 가 되므로 이를 계산해보면 $0.676K$, 즉 약 $0.6K$ 가 됨을 알 수 있다.
 따라서, 상승하는 지표면의 온도는 약 $0.6K$ 이다.

<답안 2>

문제 4.

문제 2에서 지구의 복사에너지가 $390 (W/m^2)$ 이라고 하였다.
 이제 $3 (W/m^2)$ 이 더해졌을 때의 온도를 생각해 보자,
 현재 지구 온도 = T_E , 상승 후 지구 온도 = T_E' 이라고 놓으면
 $T_E = (\frac{390}{5})^{\frac{1}{4}}$, $T_E' = (\frac{390+3}{5})^{\frac{1}{4}}$ 이 성립한다.
 $T_E' = (\frac{393}{5})^{\frac{1}{4}} = (\frac{390}{5})^{\frac{1}{4}} \times (\frac{390+3}{390})^{\frac{1}{4}} = T_E \times (1 + \frac{1}{130})^{\frac{1}{4}}$ 에서
 $\frac{1}{130} \ll 1$ 이므로 $T_E' = T_E \times (1 + \frac{1}{4} \times \frac{1}{130})$, $T_E' - T_E = \frac{1}{520} \times T_E$
 따라서 상승 온도 = $T_E' - T_E = \frac{1}{520} \times T_E \approx 0.6 K$ 이며
 섭씨 온도와 절대온도는 간격이 같으므로 $0.6^\circ C$ 상승한 것과 같다.

• 문제 5

사람에게 필요한 에너지를 생산하는 과정에서 발생하는 온실효과를 1인당 에너지로 환산하여 실제 사람들이 사용하는 에너지의 양과 비교한 후, 총체적인 에너지 효율을 정량적으로 추정해 볼 수 있도록 하였다. 그리고 이 수치들에 대한 이해를 토대로 지구 온난화 문제를 해결하기 위한 방안에 대하여 과학적인 논의 전개를 할 수 있는지 평가하였다. 여러 가지 해결방안을 제안할 수 있으나, 아래 답안처럼 제시문 (다)의 내용에서 지구 온난화 문제의 핵심이 1인당 3KW에너지를 얻기 위해서 40KW를 만들어내기 때문에 발생한다는 것을 이해하고, 40KW를 줄이는 방법을 찾는 것도 하나의 해결책이 될 수 있다.

<답안 1>

문제 5. 지난 10년간 인간이 1인당 3kW에 달하는 에너지를 얻기 위해 배출한 온실 기체로 인한 복사에너지 증가의 총량은 $3 \times 4\pi (6 \times 10^6)^2 \times 1/6 W$ 이다. 이 값을 60억 인구로 나누면 1인당 추가 복사에너지 기여값이 나온다. 이 값은 40 kW/1명 으로 구할 수 있다. 이 수치로 미루어 볼 때 1인당 사용하는 에너지 값을 조금씩만 줄여도 그 양이 엄청난 양을 알 수 있다. 따라서 지구온난화 속도를 줄이는데는 나무심기 등으로 온실기체를 줄이는 것도 중요하지만 1인당 사용하는 화석에너지 사용량을 줄이는 것이 더욱 중요하다. 이런 것은 전기를 아껴쓰고 대중교통이나 자전거를 이용하는 수소한 일로 가능하며, 이러한 일들이 지구온난화 속도를 낮출 수 있다.

<답안 2>

문제 5.

추가 온실기체에 의한 에너지량: $3 (W/m^2)$

1중 10년 이내, 화석연료에 의한 에너지량 = $3 \times 4\pi \times 10^9 = 0.5 (W/m^2)$

지구 전체의 에너지량 = $0.5 (W/m^2) \times 4\pi (6 \times 10^6)^2 (m^2)$

$$= 2.3 \times 10^{19} (W) = 2.3 \times 10^{11} (kW)$$

1인당 에너지량 = $2.3 \times 10^{11} / 6 \times 10^9 = 40 (kW/명)$

즉, 사람이 3kW의 에너지를 얻기 위해 훨씬 많은 40kW라는 에너지를 연소시킨 것이다.

여기서 우리는 사람이 지금까지 사용해 온 에너지효율이 상당히 떨어진 것을 알 수 있으며, 이를 극복하기 위해서는

효율이 높은 열기관 및 순환을 이용하여 열효율을 높이는

것, 그리고 화석연료의 연소보다는 온실가스의 배출이 비교적 적은

대체 에너지원을 이용하는 것 등의 대책이 필요한 것이다.

【문항 2】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

(가)

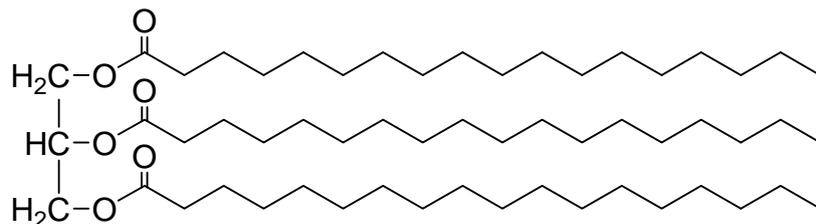
우리 몸은 수분, 단백질, 지방, 탄수화물 및 무기염류 등의 물질로 구성되어 있다. 요즘은 체지방이 주로 부정적인 의미로 언급되지만 사실 생명의 진화과정에서 지방(脂肪, lipid)은 흥미롭고 중요한 역할을 해왔다.

약 40억 년 전 바다에서 생명체가 처음 나타났을 때부터 지금까지 세포의 내부를 외부 환경으로부터 구분해 주는 소수성(疏水性, hydrophobic) 지방막(膜, membrane)은 세포의 주요 부분이었다.

약 4억 년 전 바다에서 척추동물의 조상인 어류가 등장하였다. 어류를 포함한 대부분 바다동물은 체밀도가 물의 밀도와 비슷해야 약간의 힘으로도 자유롭게 헤엄쳐 다닐 수 있다. 그래서 칼슘이나 인과 같이 원자량이 큰 원소가 많이 들어있는 뼈가 생기면 물보다 밀도가 낮은 지방 성분의 함량이 중요해진다. 지방은 체온 유지, 에너지 저장 이외에 체밀도 조절 역할도 하는 것이다.

(나)

지방은 글리세롤에 세 개의 지방산이 에스테르 결합을 이룬 분자량이 800~1000 정도인 화합물이다. 동물성 지방에 많이 들어있는 팔미트산은 탄소가 16개이고 스테아르산은 탄소가 18개인 포화지방산이다. 올리브 기름의 주성분인 올레산은 탄소가 18개이며 탄소-탄소 이중결합이 한 개 있는 불포화지방산이다. 지방이 물에 녹지 않는 이유, 밀도가 낮은 이유, 열량이 높은 이유는 모두 지방의 대부분을 차지하는 긴 탄소 사슬과 관계 있다. 아래 그림에는 세 개의 지방산이 스테아르산인 경우를 나타냈다.

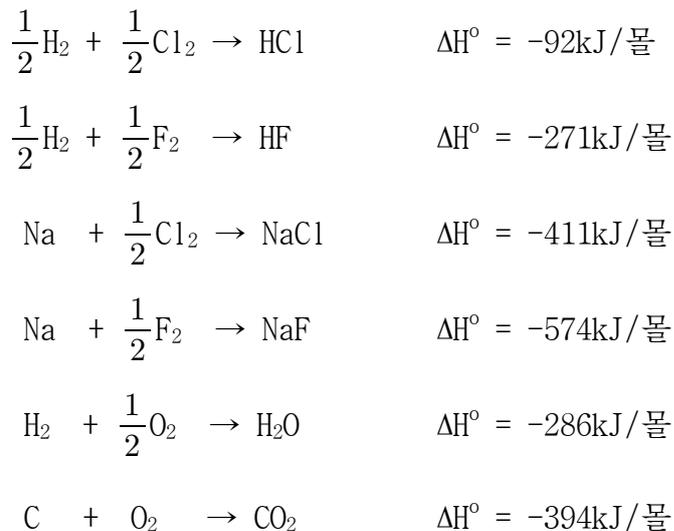


【그림 1】

(다)

식물은 태양에너지와 물을 사용하여 탄소가 산화되어 있는 상태의 이산화탄소를 탄수화물(炭水化物, carbohydrate)로 환원시킨다. 탄수화물은 문자 그대로 탄소가 원자, 분자 단위로 나누어져서 물과 화합하고 있는 친수성 고에너지 물질이다. 우리 몸은 이러한 탄수화물이나 지방을 이산화탄소로 산화시키는 복잡한 일련의 반응을 통해 에너지를 생산하고 열을 내어 체온을 유지한다.

그런데 열이 나오는 이유는 생성물이 반응물보다 안정하기 때문이다. 일반적으로 전기음성도(어떤 원자가 다른 원자로부터 전자를 끌어당겨 전기적으로 음성이 되려고 하는 경향) 차이가 큰 원소들이 결합하면 안정화 효과가 크기 때문에 많은 열이 나온다. 전기음성도가 다른 몇 가지 원소들 사이의 반응열(25°C)은 다음과 같다. 음수의 반응열은 에너지가 낮아져 열이 나오는 것을 의미한다.



(라)

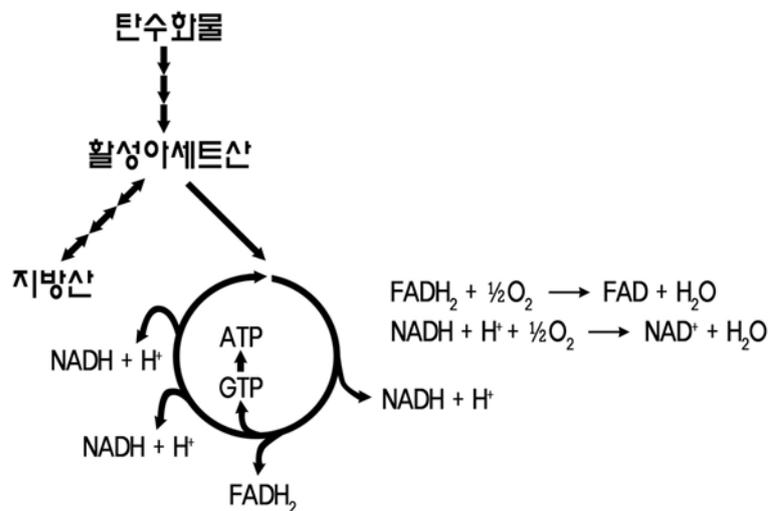
생명의 진화 방향에는 원소의 특성과 더불어 양도 중요했을 것이다. 우주에 있는 원소들의 개수 분포를 보면 수소를 10⁹으로 했을 때 탄소 5만, 산소 8만, 플루오르 80, 염소 420 정도이다.

(마)

보통 사람의 경우 체지방의 무게 비율은 12~20%인데, 여성의 경우 30% 이상, 남성의 경우 25% 이상이면 비만이라고 한다. 체밀도를 측정하면 체지방의 양을 측정할 수 있다. 체성분을 체지방과 나머지 조직으로 구분하면 체지방은 밀도가 0.9g/cm³이고 뼈, 혈액 및 근육을 포함한 나머지 조직의 평균 밀도는 1.1g/cm³이다. 따라서 체지방률이 높을수록 체밀도가 낮아지며, 체지방률이 낮고 근육형 체격일수록 체밀도가 높아진다는 점을 이용하여 체밀도를 측정할 수 있다.

또한 몸에 낮은 교류전류를 통과시키면서 생체전기저항을 측정하여 체지방을 측정할 수도 있는데, 이는 세포의 지방 함량에 따라 전기전도성이 크게 다르기 때문이다. 몸 안의 세포 중 지방이 적고 수분이 많은 세포는 이온을 많이 포함하고 있어서 전기적 전도성이 높은 반면, 지방을 많이 포함하고 있는 세포는 전기적 전도성이 아주 낮다.

문제 1. 우리가 섭취한 탄수화물이 분해되어 만들어지는 활성아세트산의 대부분은 TCA회로를 거쳐 이산화탄소로 산화되면서 ATP를 생산하거나, 지방산 합성을 통해 에너지를 저장하는데 사용된다. [그림 2]를 고려하여 어떤 경우에 활성아세트산이 지방산을 합성하는 경로로 사용될 지 추론하고, 유산소 운동이 체지방을 감소시키는 데 좋은 이유를 설명하시오.



[그림 2]

문제 2. 제시문 (다)를 참고하여 아래 질문에 답하시오.

2-1. H, Cl, F, O, Na, C의 전기음성도의 순서를 발열량으로부터 추론하시오.

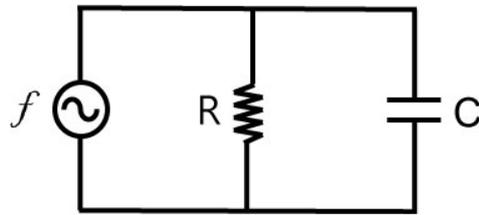
2-2. 지구상의 생명체가 여러 원소 중에서 산소를 사용하여 에너지를 얻는 방향으로 진화된 이유를 설명하시오.

2-3. 에너지를 탄수화물보다 지방으로 저장하는 것이 유리한 이유를 설명하시오.

문제 3. 몸무게가 66kg인 A와 B 두 사람이 허파를 비롯한 몸속의 공기를 2 l 만 남기고 물속에서 체중을 측정하였더니 A는 0kg이었고, B는 2kg이었다. 두 사람의 체지방률을 각각 구하시오(단, 물의 비중은 1.0이라고 가정한다).

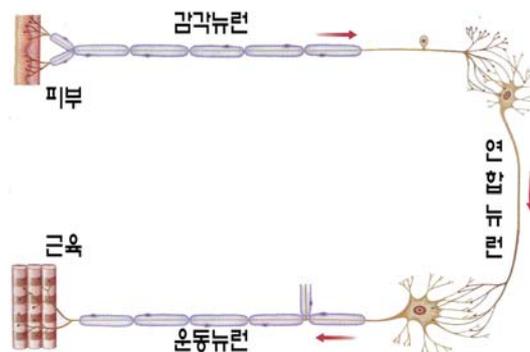
문제 4. 물의 O-H와 지방의 C-H, C-C 부분의 차이가 물과 지방의 밀도 차이를 가져오는 분자의 내부적 요인이라면, 분자 간 상호작용의 차이는 외부적 요인이다. 지방이 물보다 밀도가 낮은 이유를 원자량, 원자반경, 분자구조와 분자 간 상호작용을 고려하여 추론하시오.

문제 5. 생체전기저항을 구하기 위해서는 일정한 교류전류를 몸에 흘리고 교류전압을 측정한다. 몸에 교류전류가 흐르는 것은 지방을 적게 포함하고 있는 세포를 통해서 흐르는 전류와 지방을 많이 포함하고 있는 세포를 통해서 흐르는 전류 두 가지로 나눈 병렬 회로로 생각할 수 있다고 하자. 이러한 모델을 [그림 3]과 같이 나타낸다면 지방이 적은 세포는 전기적으로 저항기(resistor) 같은 역할을 하고, 지방을 많이 포함하고 있는 세포는 축전기(capacitor) 같은 역할을 한다. 이때 체지방 측정기는 왜 직류 대신 교류를 사용하는지 설명하고, 지방세포(축전기)쪽으로 전류를 많이 보내고 싶으면 주파수를 어떻게 바꾸어야 하는지 설명하시오. 만약 주파수가 아주 커지면 측정되는 교류전압에 어떤 현상이 일어나는지 추론하시오.



[그림 3]

문제 6. 세포의 지방함량에 따른 생체전기저항의 차이가 우리 몸에서는 뉴런의 신경 전달 속도를 조절하는 데 이용되고 있다([그림 4]). 뉴런의 구조를 설명하고, 수초가 갖는 의미를 전기전도성과 관련하여 설명하시오.



[그림 4]

□ 출제의도 및 문항설명

이 문항은 과학교과서 ‘호흡’ 단원에 있는 생물의 에너지 발생에 대하여 질문하고 있다. 요즘 등산이나 운동을 통해 체지방을 줄이는 데 관심이 많은데, 여기서는 체지방을 예로 들어 일상적인 일에도 우주의 원소 분포부터 주기율, 신경 신호전달, 교류전압 등 다양한 물리, 화학, 생물학적 요소들이 서로 연관되어 있음을 보여주고 이들을 종합적으로 파악하여 문제를 해결하도록 하였다.

주어진 자료를 분석하여 중요한 결론을 도출해내는 능력(발열량으로부터 원소들 사이의 전기음성도 차이를 도출하고, 체지방에 많은 에너지를 저장할 수 있는 이유를 유추하도록 함), 역사적으로 유명한 아르키메데스의 원리를 체지방 측정에 적용하는 응용력, 인체라는 복잡한 시스템을 회로로 단순화하여 다른 시스템과 비교하여 설명할 수 있는 영역전이적인 논의 전개 능력을 평가한다.

□ 출전 및 참고 교과서

제시문은 교과서의 내용을 기초로 하여 재구성하였다.

- 제시문 (가)는 지방의 필요성을 진화의 과정을 통해 설명하였다.
- 제시문 (나)에서는 탄소와 수소에 초점을 맞추어 지방의 구조를 설명하였다.
- 제시문 (다)는 발열량의 차이로부터 전기음성도 차이를 유추할 수 있는 정보를 소개하였다.
- 제시문 (라)에서는 생명 현상에서 수소, 탄소, 산소의 중요성을 연관 짓도록 우주의 원소 분포에 대한 자료를 제공하였다.
- 제시문 (마)는 체밀도 및 생체전기저항 측정의 물리적 원리를 설명하고 있다.

수소, 탄소, 산소의 특성 때문에 지방은 물보다 밀도가 낮아서 체밀도 측정을 통하여 체지방의 양을 측정할 수 있다. 또한 이들 원소의 특성은 물과 지방의 전기전도도의 차이를 가져오기 때문에 또다른 물리적 방법으로 체지방을 측정할 수 있다. 지방의 낮은 전기전도도는 신경세포에서 신호전달 속도 조절에 핵심적인 역할을 한다. 이처럼 수소, 탄소, 산소가 생명체의 진화에 있어서 중요한 역할을 하게 된 데에는 우주의 원소 분포와도 관련이 있다.

□ 학생답안

• 문제 1

에너지 사용과 저장의 유기적 관계를 주어진 정보로부터 추론할 수 있는 지와 생화학 반응의 평형에 대한 이해도를 다루고 있다. 문제는 [그림 2]를 고려하여 어느 경우에 활성아세트산이 지방산을 합성하는 경로로 사용되는지 추론하도록 요구하고 있다. 따라서 탄수화물이 활성아세트산으로 만들어 진후 TCA회로를 거쳐 ATP를 생산하지 않고, 대신 지방산을 합성하는 과정을 구체적으로 설명하여야 한다. 그런데 “탄수화물이 분해되어 활성아세트산이 만들어지고 이 활성아세트산은 TCA회로를 거쳐 ATP를 생산하는데” ATP가 필요이상 존재하면 지방산이 합성될 것이라는 단순한 답변을 한 경우가 많았다. 아래 두 답안은 설명 방식은 달랐으나 주어진 그림에 대한 정확한 이해를 토대로 지방산의 합성과정과 유산소운동의 관련성을 설명하였다.

<답안 1>

(문제 1)
(점 2) 을 보면 탄수화물이 활성아세트산으로 된후 두 가지 방법으로 변한다는 것을 알 수 있다.
첫번째는 TCA 회로를 거치면서 CO ₂ 가 산화되며 생필에 필요한 에너지인 ATP를 생성하는 것이고,
두번째는 지방산으로 합성되는 것이다.
이 때, 두번째 경로로 가기 위해서는, 첫번째 경로로 가지 않아야 하므로,
활성 아세트산이 지방산을 합성하는 경로로 사용된다면 아개의 2권을 만족하면 된다.
① 탄수화물을 많이 섭취했을 때
→ 탄수화물 섭취가 많으면 TCA 회로를 돌면서 많은 양의 ATP를 생성하게 된다.
이 ATP는 몸속에서 생필에너지로 사용이 되는데, ATP 양이 충분할 경우는 우리 몸에
에너지가 풍부해지고 있음을 의미하므로, 탄수화물을 활성아세트산으로 변한 후 두번째 경로에
사용됨에 된다.
몸속에서 탄수화물이 지방으로 전환되어 저장되는 것과 같은 원리이다.
② 산소가 충분히 공급되지 않았을 때
→ TCA회로가 작동하게 위해서는 산소의 공급이 필수적이다.
FADH ₂ 와 NADH+H ⁺ 가 산화되는 과정이 TCA 회로에서 일어나므로 O ₂ 의 공급이
반드시 있어야 하기 때문이다.
그러므로 산소가 충분히 공급되지 못하면 TCA회로가 작동하지 못하고, 활성아세트산은 지방산으로
합성하는 경로로 이용된다.
유산소 운동이긴 산소의 공급이 충분히 이루어진 상태에서 행해지는 운동이다.
②를 통해 O ₂ 의 공급이 충분하면 탄수화물이 TCA 회로를 가서 이산화탄소로 산아되면서
ATP를 생성하므로, 지방합성을 통해 에너지원 저장하는데 이용되지 않게 되어
체지방을 감소시키는데 좋은 역할을 하는 것이다. 또한 지방산은 활성아세트산으로 전환이
가능하므로 유산소 운동을 하게 되면 지방산이 활성아세트산으로 된 후 TCA회로를 돌수 있어서,
탄수화물이 분해된 후에는 지방이 몸속에서 분해될 수 있다. 그래서 체지방 강도가 가능한 것이다

<답안 2>

본계) [그림2]를 살펴보면 할센아세트산이 지방산 합성과 ATP 생산에 쓰임은 알 수 있다. 만약 체내에 써야 할 할센아세트산의 양이 일정하다면, 두가지 일중 지금 더 필요한 일게 할센아세트산이 다양으로 사용될 것이다. 따라서 지방산을 합성하는데 할센아세트산이 쓰일려면 ATP 생성과정이 전다게 진행되어야 한다. 일단 우리몸에 충분한 양의 ATP 에너지가 저장되어있다면 ATP 반응이 덜 진행된다. 그리고 우리몸에 산소가 부족하다면 [그림2]에 써있는 두가지 화학반응식모두 역반응을 한다. 역반응을 하면 FADH₂나, NADH가 생성되는데 이들은 TCA회로의 생성물이다. 생성물이 많으면 TCA회로가 잘 진행되지 않으므로 지방산 합성이 더 잘 이루어진다.

위의 내용을 통해 유산소 운동이 체지방을 감소시킬 수 있다는걸 추론해낼 수 있다. 유산소 운동은 체내의 산소공급을 원활하게 해준다. 산소가 계속 신속히 순환하면 [그림2]의 두 화학반응식이 정반응을 하게 된다. 이때 NADH나 FADH₂가 많이 사용되고 운동을 하기 때문에 ATP에너지도 많이 필요하다. 그러면 할센아세트산이 ATP 에너지를 만드는데 많은 양이 이용되며 지방산 합성에 적은 양이 이용되게 된다. 이는 지방으로 에너지를 저장하는 일을 감소시켜서 결과적으로 체내지방량을 줄이게 된다. 체지방이 보통 태우는 만큼 저장위: 되지 못하기 때문이다.

• 논제 2

제시문에 주어진 자료를 분석하고, 이를 다른 논제 즉 논제 1의 유산소 운동과 논제 5의 전기 전도도와 연결하여 이해하도록 하였다. 주어진 발열량 차이로부터 여러 원소들 사이의 전기음성도 차이를 유추하고, 여기서 일어나는 반응이 공통적으로 산화반응이며, 이 가운데 수소와 산소의 반응이 에너지를 얻는데 가장 유리하다는 점을 파악하는 것이 핵심이다.

• 논제 2-1

제시문 (다)의 모든 반응은 상대적으로 전기음성도가 낮은 수소, 나트륨, 탄소가 상대적으로 전기음성도가 높은 염소, 플루오린, 산소에게 전자를 내주는 산화반응이다. 전기음성도 차이가 클수록 발열량이 높다는 제시문의 내용을 활용하여 전기음성도의 순서를 설명할 수 있다. 논제에서는 전기음성도 순서(Na, H, C, Cl, O, F)를 발열량으로부터 추론하라고 하였으나, 전기음성도 순서만 나열하고 추론과정이 없는 경우가 많았다. 순서를 정확히 나열했다 하더라도 추론과정이 빠진 경우에는 좋은 평가를 받지 못했다. 주어진 발열량 값들로부터 전기음성도 순서를 유추할 수 있다. 좀 더 엄밀히 말하자면 발열량에는 전기음성도 차이뿐만 아니라 수소 분자, 염소 분자 등에서의 결합에너지도 관련되어 있다. 그러나 여기서는 전기음성도의 효과가 커서 발열량으로부터 전기음성도 순서를 유추할 수 있다는 점을 이해하는 것이 중요하다.

<답안 1>

Cl⁻로, H⁺로 반응한다는 표현은 다소 어색하다. 반응하여 HCl을 만들고 나서 전자가 극단적으로 수소에서 염소로 이동했다고 하면 Cl⁻, H⁺는 이온이 되는 것으로 볼 수 있다. 물과 이산화탄소가 생기는 반응 계수에 각각 1/2, 1/4을 곱하여 모든 반응에 대하여 같은 몰 수의 전자가 관여하도록 하고, 발열량을 비교하여 염소와 탄소의 전기음성도 순서에 대해 기술했으면 좋았을 것이다.

[문제 2-1]
 $\frac{1}{2}H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow HCl$ 에서, O_2 는 Cl^- 로 반응하고, H_2 는 H^+ 로 반응한다. 그 결과 이 과정의 열을 $200kJ$ 의 열을 낸다.
 $\frac{1}{2}H_2 + \frac{1}{2}F_2 \rightarrow HF$ 에서, F_2 는 F^- 로 반응하고, H_2 는 H^+ 로 반응한다. 그 결과, 이 과정의 열을 $280kJ$ 의 열을 낸다.
 이 두 가지 경우를 비교하면, Cl 이 Cl^- 가 될 때 보다 F_2 가 F^- 가 될 경우 더 큰 열을 내므로 더 많이 안정화됨을 알 수 있다. 원소 하나만 보면, O_2 가 F_2 보다 전기음성도가 크다. 이때 $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ 라는 $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ 라는 식은 전자를 동일하게 하기 위하여 $\frac{1}{2}H_2$ 로 맞춰 주어야 한다. 즉, $\frac{1}{2}H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow \frac{1}{2}H_2O$ 에서 열이 $143kJ$ 만큼 발생한다. 이제 발생하는 열을 기준으로, 이원소들의 전기음성도의 순서를 추론하면 $F > O > Cl$ 임을 알 수 있다.
 이때 $Na + \frac{1}{2}F_2 \rightarrow NaF$ 와, $\frac{1}{2}H_2 + \frac{1}{2}F_2 \rightarrow HF$ 를 비교하면, Na 가 열을 더 많이 내놓으므로 더 많이 안정화된다. Na 는 Na^+ 로 양이온이므로 Na^+ 가 H^+ 보다 더 안정함을 알 수 있다. 즉, Na 가 H 보다 전기음성도가 작다. 이때 $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ 식과 $C + O_2 \rightarrow CO_2$ 라는 식을 비교하면, $C + O_2 \rightarrow CO_2$ 에 $\frac{1}{4}$ 을 곱하면, 열이 더 조금 발생하므로 H^+ 가 더 안정함을 알 수 있다. 즉, C 의 전기음성도가 H 보다 작다. 이들 사실을 종합하면 전기음성도의 순서는 다음과 같다.
 "F > O > Cl > C > H > Na"

<답안 2>

문제 2-1 원소 H_2, Na 는 Cl_2, F_2 와 결합할 때 양이온이 되는 경향을 보인다. 즉, 전자를 잃어 안정해진 것이다. 이를 통해 볼 때 H_2, Na 의 전기음성도는 Cl_2, F_2 에 비해 작다. 그리고 수원자 하나가 염소원자 하나와 결합할 때 $92kJ$ 의 에너지를 방출하는 데 비해 나트륨원자 하나가 염소원자 하나와 결합할 때 $401kJ$ 의 에너지를 방출한다. 즉 나트륨과 염소 사이의 전기음성도 차가 수소와 염소 사이의 전기음성도 차가 큰 것이다. 여기서 나트륨의 전기음성도가 수소의 전기음성도보다 작음을 알 수 있다.
 그리고 HCl 생성과 HF 생성 시 방출되는 열이 많은 것을 볼 때 F의 전기음성도가 Cl의 전기음성도보다 크다는 것을 추론할 수 있다.
 또한 산소원자 하나가 두 개의 수소원자와 결합할 때 방출하는 열의 양이 $242kJ$ 이던 정에서 산소원자 하나가 한 개의 수소원자와 결합할 때에 $143kJ$ 의 열을 방출할 것임을 추론할 수 있다. 이는 HCl 생성 시 방출되는 $92kJ$ 보다 많은 HF 생성 시 방출되는 $280kJ$ 보다 적은 양이므로 $Cl < O < F$ 순으로 전기음성도가 커짐을 알 수 있다.
 마지막으로 C원자 하나가 H원자 하나와 결합할 때 HCl, HF, NaCl, NaF, H₂O의 단위 몰당 열량과 달리 이 열량을 하게 된다. C원자가 H원자와 단일결합을 할 경우에 방출되는 에너지의 양은 $\frac{394}{4} \approx 99kJ$ 로, H원자 하나와 O원자 하나가 결합할 때 방출되는 에너지의 양보다 작다. 이는 탄소의 전기음성도가 산소보다 작지만 수소보다는 큰을 의미한다.
 결국, 전기음성도의 순서는 다음과 같다.
 $Na < H < C < Cl < O < F$

· 논제 2-2

산소는 우주뿐만 아니라 지구상에도 풍부하고 산화력이 높기 때문에, 생명체는 산소와 비교적 전기음성도가 낮은 원소 사이의 산화반응을 통해 에너지를 얻을 수 있다. 반면 플루오린은 산화력이 제일 강하지만 양이 적고, 전기음성도가 너무 높아서 한번 받은 전자를 내놓지 않기 때문에 가역반응이 필요한 생체반응에 사용하기에 적절하지 않고 오히려 유해하다.

<답안 1>

F는 아주 높은 반응성 때문에 순수하게 존재하지 않는다는 점을 지적하여 매우 돋보였다. 그러나 이것이 생명체에 유독하리라는 점과, 산소는 풍부할 뿐 아니라 적절히 높은 반응성 때문에 결합과 분해가 가역적(광합성, 호흡 등)이라는 점까지 설명했다면 훨씬 더 좋았을 것이다. 염소의 무게에 대한 언급은 부적절해 보인다.

2-2, 지구상의 생명체가 유기물을 분해하여 에너지를 얻기 위해서는 유기물을 산화시키고, 그 과정에서 발생하는 열을 효율적으로 흡수해야 한다.

유기물이 산화되는 과정에서 그 구성원자, 대표적으로 C와 H는 산화되며, 유기물을 산화시키는 산화제는 환원된다. 이 과정에서 에너지가 방출되므로, 유기물과 산화제의 전기음성도 차이가 클수록 방출량이 큰 것을 생각할 때, 제시움 (다)의 F, Cl, O 등이 유력한 후보가 될 것이다.

세 원소 모두 전기음성도가 크므로 유기물 산화시 높은 에너지를 낼 것이다. 그러나 제시움 (라)를 참고하면, 우주에서 F와 Cl의 비율은 O에 비해 극히 작다. 이 상황은 지구에서도 크게 달라지지 않았을 것이며, 양에 있어 산소가 훨씬 유리함을 알 수 있다.

거기에 F는 반응성이 지나치게 커서 순수한 상태로 얻기가 힘들고, 석사 세포 수준에 이용된다 해도 그 반응성으로 산소보다 큰 손상을 대사기구에 입힐 것이다. Cl은 너무 무거운 신속한 대사에 장애가 된다. 이같은 이유에서 생명체들은 산소를 사용하여 에너지를 얻게 될 것이다.

<답안 2>

2-2>

TCA 과정 ($FADH_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow FAD + H_2O$) 4 같은 환원화 반응
 ($NADH + H^+ + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NAD^+ + H_2O$)

이때면서 ATP가 형성되며 이과정에서 O₂가 사용되는 것은
 양은 O와 H의 전기음성도 차에 크게 영향을 받는다. H에 비해 O의 전기음성도 상향하
 게 때문에 원자 흡수력 반대의 성격에 비해서 있고 그와 같은 양의
 에너지를 방출하기 때문에 다른 원소에 비해 효율적이다. 물론 F의 전기음성도가
 O보다 크지만 산화 양은 양의 차이로 인해 플루오린의 양은 각각 양에
 불균형하다. 즉 F₂ 분자는 O₂를 더 쉽게 환원시킬 수 있으며 F는
 플루오린이지만 O₂는 훨씬 쉽게 생체조직 (H₂O 포함)에 부패하기 때문에 다른
 원소가 아닌 산소로 호흡과정에서 이렇게 될 것이다

· 문제 2-3

에너지를 몸에 저장할 경우 단위 무게당 에너지가 중요하다는 점에 근거하여 수소 함량이 높은 화합물이 에너지 저장에 유리하다는 점과 수소와 탄소의 에너지 밀도 차이를 설명할 수 있어야 한다. 특히 수소와 물의 차이점을 이해하는 것이 매우 중요하다.

<답안 1>

앞의 문제로부터 탄소보다 수소가 물 당 발열량이 높다는 점이 도출되었으므로 원자량도 탄소보다 수소의 함량이 높은 쪽이 유리하다는 점을 좀 더 명확하게 언급했다면 더 좋은 답안이 되었을 것이다.

(2) 탄화수소의 경우 C와 H의 결합이므로 분자 내에 C-O 결합이 많다. 그러나 지방의 경우 C-C, C-H 결합이 주를 이룬다. 에너지 생성과정에서 에너지량 차이가 클수록 방열량이 많으며 저장량도 차이가 큰 결합일수록 안정한 결합이므로 저장량도 차이가 큰 C-O 결합을 갖는 탄화수소보다 C-C, C-H 결합을 갖는 지방이 에너지 생성과정에서 발열량이 많고, 따라서 에너지 저장 측면에서 저장량이 높으므로 지방이 유리한 것이다.

이러한 동위원소 경우 지방의 발열량이 낮기 때문에 이동시에 에너지 소모가 덜 되고, 분열시 방출한 두 입자의 질량비도 탄화수소보다 지방이 유리하다.

<답안 2>

2-3. 에너지를 산화시키는 과정에서 에너지가 나온다. 그런데 탄수화물의 경우, 포도당의 결합체 이므로 분자식을 $(CH_2O)_n$ 로 나타낼 수 있으며 이때 C의 산화수는 0이다. 반면 지방의 경우 케톤 (나)의 그림 1을 참고하면 C의 산화수가 -3 또는 -2임을 알 수 있다. 즉, 지방의 탄소를 산화시킬 여지가 더 많으므로 같은 질량일 때 지방이 더 많은 에너지를 낸다. (탄수화물은 $4kcal/g$, 지방은 $9kcal/g$ 을 낸다.)

그런데 탄수화물의 경우, 결합이 많고 산소 함유가 많아 빠른 속도로 에너지생성이 가능한 반면 지방은 사슬모양이어서 분해가 느리고 산소 원자가 적어 산소가 부족할 때 에너지 생산이 불리하다는 단점이 있다.

그러나 에너지 저장 측면에서만 생각한다면 같은 질량 대비 에너지를 더 많이 저장할 수 있는 지방이 효율적이다.

· 문제 3

서로 다른 밀도를 가진 두 물질의 복합체에 대하여 밀도의 원리를 정량화하여 설명하도록 하였다. 비교적 많은 학생이 다양한 방법으로 정확히 설명하였고, 정량화하여 구한 수치의 정확성보다는 밀도의 원리에 대한 설명과정에 중점을 두어 평가하였다. 따라서 정확한 값을 제시했다 하더라도 단순히 수식만 나열하거나 기본적인 글쓰기 능력이 부족하여 의미가 전달되지 않는 경우는 좋은 평가를 받지 못했다.

<답안 1>

<문제 3>

체지방률이란 체지방의 무게 비율을 뜻한다. A의 지방무게를 x 라고 하자.

$$\text{비율} = \left(\left(\frac{1000x}{0.9} + \frac{(66-x)1000}{1.1} \right) \frac{1}{1000} + 2 \right) \%$$

$$= \frac{10}{9}x - \frac{10}{11}x + 60 + 2 = \left(\frac{20x}{99} + 62 \right) \%$$

질량 = 66kg

A는 물속에서 체중이 0kg이므로 물의 비중과 같아야 한다.

$$\frac{20x}{99} + 62 = 66 \quad \frac{20}{99}x = 4 \quad x = \frac{99}{20} \times 4 = 19.8$$

$$\frac{19.8}{66} = 0.3$$

그러므로 A의 체지방률은 30%이다.

B는 물속에서 2kg이므로 A에 비해 2kg이 남아야 한다.

그러면 위와 같이

$$\frac{20x}{99} + 62 = 64 \quad \frac{20}{99}x = 2 \quad x = \frac{99}{20} \times 2 = 9.9$$

$$\frac{9.9}{66} = 0.15$$

그러므로 B의 체지방률은 15%이다.

<답안 2>

제시문 (마)에서 주어진 정보를 정확히 이해하고 적절히 활용하여 체지방률에 따른 정상과 비만을 언급했다는 점에서 다른 답안과 차이가 있었다.

3. A의 경우, 부피가 몸무게와 같으므로 공기를 제외한 몸의 중부피는 64L이다. (공기부피는 무시하고 몸이 밀도가 1.0kg/L라고 계산) 마찬가지로 B는 부피가 62L이다.

체지방의 부피를 V_1 , 나머지의 부피를 V_2 , 전체 부피를 V 라 하면 제시문에 의해

$$\begin{cases} 0.9\text{kg/L} \times V_1 + 1.1\text{kg/L} \times V_2 = m \quad (m \text{은 체질량}) \\ V_1 + V_2 = V \end{cases}$$

이므로 A, B에 대해 각각 풀이하면

A: $V_1 = 22\text{L}$, B: $V_1 = 11\text{L}$.

체지방을 묻기 위해 질량으로 환산하고 체질량으로 나누면

A: $22\text{L} \times 0.9\text{kg/L} / 66\text{kg} = 0.3$

B: $11\text{L} \times 0.9\text{kg/L} / 66\text{kg} = 0.15$

즉 A, B의 체지방률은 각각 30%, 15%이다. (A는 비만, B는 정상이라고 분수이다.)

• 문제 4

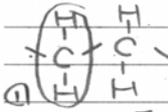
주기율표에서 배우는 수소, 탄소, 산소의 원자량 순서, 원자반경 차이, 분자구조가 복합적으로 작용하여 물과 지방의 밀도 차이를 가져오는 이유를 추론하도록 하였다. 이는 문제 3에 나온 것처럼 밀도 차이에 의한 체지방 측정과 직접적으로 연관되어 있다.

<답안 1>

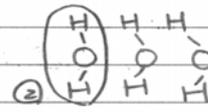
같은 수의 H-C-H, H-O-H 단위를 가지고 논의를 전개한 부분은 아주 창의적이다. H-C-H, H-O-H 단위를 비교하면 H-O-H가 밀도가 높다는 점을 주기율에 입각해서 정확히 지적하였다. 다만, 지방의 분자에서는 여러 개의 H-C-H 단위들이 공유결합으로 가

까운 거리에 위치하지만, 물의 경우 H-O-H 단위에 해당하는 물 분자들이 어느 정도 거리가 떨어져 있어서 10여 개의 H-C-H와 H-O-H 단위의 집단에서는 오히려 지방 분자의 밀도가 높아진다는 점을 지적했으면 더 좋았을 것이다. 그 다음 단계에서는 지방 분자들 사이의 상호작용이 약하고 거리가 멀어서 상대적인 밀도는 다시 역전된다는 부분까지 논리를 전개할 수 있다. 그러나 이 부분까지 논리를 전개한 답안은 거의 없었다.

문제 4.
 물의 O-H와 C-H에서 O는 C보다 분자량이 크지만 원자반지름이 작다.
 즉 단위당 밀도는 O가 C보다 크다.
 지방의 구조와 비슷하게 H₂O를 배열하면



① [지방]



② [물]

① 부분의 경우가 ② 경우보다 분자량은 작지만 그 크기가 커서 밀도가 작다.
 또한 물분자는 서로 간의 수소결합으로 인해 서로를 끌어당기는 힘이 커서
 서로 가까이 있으려하지만 지방은 물보다 극성이 작고 수소결합도 조금 작용하기
 때문에 분자간의 거리가 상대적으로 멀다.
 처럼 같은 결과로 지방의 밀도가 물의 밀도보다 낮다.

<답안 2>

문제 4. 물(H₂O)은 H보다 O로 이루어진 반면 지방은 긴 탄소사슬로 이루어져 C, H가 주성분 원소이다. 밀도는 단위 부피당 질량을 나타내는 것으로, 같은 음수에 질량이 큰 것이 있을수록 밀도가 크다고 할 수 있다. 이것은 고려하여 C, H, O의 원자량과 원자반경을 비교해보면, [원자량: O > C > H] 나 같다.
 [원자반경: C > O > H]

두 물질이 중등으로 가진 수소원자는 원자량도 작은 크기(반경)도 작으므로 제리시한다면, 물은 O, 지방은 C로 논의할 수 있다.

물을 이루는 산소원자(O)는 원자량도 크고 크기가 작아 밀도가 크지만, 탄소원자(C)는 산소원자보다 크지만 질량이 작아 상대적으로 작은 밀도를 가지는데 이것은 물의 밀도가 지방보다 더 큰 사실의 근거가 될 수 있다.

또한, 물 분자는 2차원의 굽은형의 구조를 가지는 반면 지방은 3차원의 긴 탄소사슬을 지니고 있다.

물 분자는 상대적으로 크기가 작은 2차원 구조를 지니고 있는데 원자들이 조밀하게 배열할 수 있지만 3차원의 거대한 구조를 가진 지방은 조밀하게 배열할 수 없는 것이다.

게다가 물은 극성을 띠고있고 특별히 수소결합을 이루고 있다. 크기가 작은 상대적으로 (+)전하를 띠는 수소원자(H)는 다른 물분자의 산소원자(O)에 매우 가까이 접근해 강한 수소결합을 이룰 수 있다. 하지만 지방은 부분적으로 극성을 띠지만, 긴 탄소사슬로 인해 전체적으로 극성을 띠지 않는다. 수소결합에 비해 편극에 의한 일시적인 작용하는 지방 분자들은 상대적으로 인력이 작아 물에 비해 가까이 붙을 수 없다. 그 결과 물의 밀도가 지방보다 큰 것이다.

• 문제 5

생체전기저항을 축전지의 원리와 연결하여 저항기와 축전기에서 교류전류와 교류전압의 관계를 다루고 있다. 직류와 교류의 차이에 대한 이해를 바탕으로 주파수가 증가함에 따라 전류가 저항기와 축전기 사이에서 어느 쪽으로 많이 흐르는지를 추론할 수 있다. 아래 답안처럼 설명한 경우가 가장 많았으나, 수식을 사용하여 전체 저항(임피던스)은

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R} + i\omega C}$$

$$= \frac{R}{1 + i\omega R C} = \frac{R(1 - i\omega R C)}{1 + (\omega R C)^2} = \frac{R}{1 + (\omega R C)^2} - \frac{i\omega R^2 C}{1 + (\omega R C)^2}$$

이므로 ω 가 증가해야 커지지만 너무 커지면 0으로 간다고 설명한 경우도 좋은 평가를 받았다.

<답안 1>

문제 5) 체지방을 측정하려면 <그림 3>에서 지방을 많이 포함하고 있는 세포에 해당하는 축전기에 전류가 흘러야 한다. 그런데 직류 전압을 걸어주게 되면 축전기 쪽에는 전하가 잠시 충전되고 전류가 흐르지 않는다. 그러나 교류 전압을 걸어주게 되면 전류의 방향이 계속해서 바뀌기 때문에 충전과 방전을 되풀이 하면서 축전기에도 전류가 흐르게 된다. 따라서 교류전압을 사용한다.

지방세포(축전기)쪽으로 전류를 많이 보내고 싶다면, 축전기의 저항에 해당하는 용량 리액턴스 X_c 값이 작으면 된다. 그런데 $X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ 이다. 즉 X_c 를 작게 해주기 위해서는 주파수를 높여야 한다.

간단한 주파수값이 아주 커지면 축전기의 용량 리액턴스 값이 0에 가까워지고 전류가 축전기쪽만 흐르게 된다. 따라서 저항 R에 걸리는 전압값이 0이 되게 된다.

<답안 2>

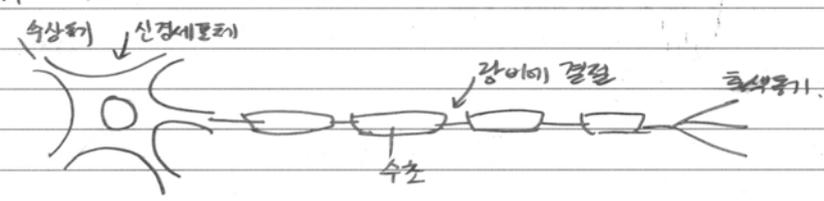
문제 5) 직류를 사용하지 않고 축전지 역할을 하는 세포의 전지저항에 관계없이 도달하여 더이상 그 방향으로 전류가 흐르지 않아 체지방 측정이 불가능할 것으로 보인다. 때문에 교류를 써서 전기를 쌓아 두다가 곧 다시 뱉음으로써 전류를 흐르게 하는 것이다. 이를 응용하면 축전기에 전류를 더 많이 흐르게 하려면 쌓아 두다가 뱉는 전력을 줄여야 한다고 추론할 수 있다. 따라서 주파수를 높여야 한다. 만일 주파수를 매우 크게 하면 이 간격은 매우 좁아질 것이며 축전지의 저항은 줄어든 효과가 생긴다. 이는 회로 전체 저항을 줄여서 얻을 전류가 일정하다면 $V = iR$ (옴의 법칙)에서 V 를 더 작게하는 결과를 낳을 것으로 판단된다.

• 문제 6

1학년 과학 교과서에서 배운 뉴런의 구조에 대한 이해를 토대로 수초가 뉴런의 신경전달 속도에 미치는 영향을 설명하도록 하였다. 뉴런에는 다른 뉴런 또는 작용기로 자극을 전달하는 축삭돌기가 있고, 축삭돌기를 싸고 있는 여러 겹의 수초는 미엘린이라는 지방질 물질로서 절연체 역할을 한다. 따라서 수초로 싸여 있는 부분은 이온의 이동이 없기 때문에 수초로 싸이지 않은 랑비에 결절과 다음 랑비에 결절 사이를 징검다리 건너는 듯 활동 전위(도약전도) 전도가 일어나기 때문에 같은 조건이라면 유수신경은 수초가 없는 무수신경보다 신경 전달 속도가 훨씬 빠르다. 구체적인 근거를 들어 잘 설명한 답안이 많았지만, 수초가 왜 절연체 역할을 하는지에 대한 언급이 없었다.

<답안 1>

문제 6) 뉴런은 신경세포체, 수상돌기, 축삭돌기 등으로 이루어져 있고, 신경세포체에는 핵이 있다.



시냅스전 뉴런으로 부터 수상돌기로 전기신호를 받고 축삭돌기로 전달 된다.
그런데 수초는 지방질로 되어있어 전기전도성이 아주 낮다. 그래서 신호가 전달될 때 수초가 없는 부분인 랑비에 결절부분만 이온의 이동이 일어나서 도약전도 한다. 그래서 수초가 있을 때보다 신호 전달이 더 빨라지게 된다.

<답안 2>

기본 개념에 대한 설명은 잘 되어 있으나, 답안을 작성하기에 앞서 논리를 어떻게 전개할 것인가를 한 번 더 생각하고 내용을 구성하였다면 훨씬 더 좋은 답안이 되었을 것이다.

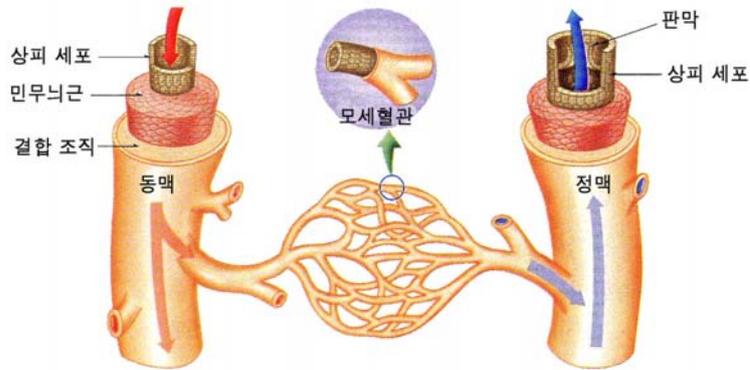
문제 6. 뉴런의 구조는 간단하게 신경세포체, 수상돌기, 축삭돌기로 나눌 수 있다. 신경세포체는 세포핵이 있어 물질대사와 물질의 생합성이 일어난다. 수상돌기는 다른 뉴런이나 조직으로부터 자극을 받아들이는 곳이고 축삭돌기는 다른 뉴런이나 조직으로 자극을 전달하는 곳이다. 뉴런은 감각뉴런, 연합뉴런, 운동뉴런이 있는데 감각뉴런은 신경세포체가 축삭돌기 공간에 달려있는 특징이 있고 연합뉴런은 다른 뉴런에 비해 길이가 짧다. 뉴런에는 미엘린으로 된 수초가 축삭돌기에 있는데 이것은 그 부분의 이온의 이동을 차단하므로 수초에 생어있지 않은 랑비에 결절에서만 자극의 전도가 이루어져 속도는 도약전도를 가능하게 해 자극 전도의 속도를 높인다. 뉴런의 자극전도 속도는 뉴런의 축삭돌기의 굵기에도 영향은 받는다. 또, 세가지 큰 구조 이외에도 생장세포, 등의 신경교세포도 뉴런과 함께 작용하기도 한다.

【문항 3】

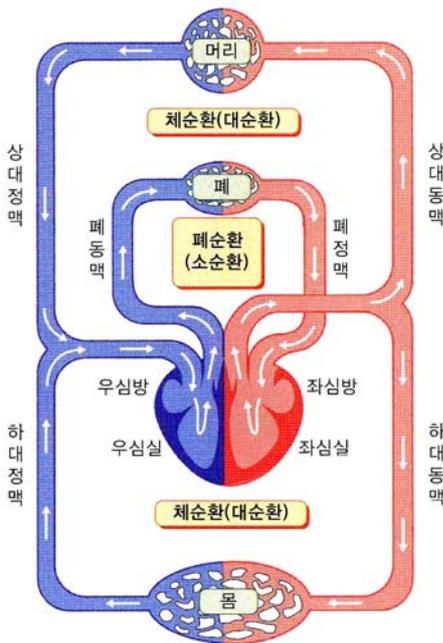
* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

(가)

사람의 혈관은 총 길이가 약 16만km로 지구를 약 네 바퀴 도는 정도이며 인체를 구성하는 약 60조 개의 세포들에게 필요한 물질을 운반할 수 있도록 심장과 연결되어 있다. 이러한 심장과 혈관, 혈액을 통틀어 혈관계라고 한다. 혈관은 심장에서 나가는 혈액이 흐르는 동맥, 심장으로 들어오는 혈액이 흐르는 정맥, 그리고 동맥과 정맥을 이어주는 모세혈관으로 구분된다. [그림 1]은 동맥, 모세혈관, 정맥의 구조와 연관성을 나타낸 것이다.



【그림 1】 혈관의 구조



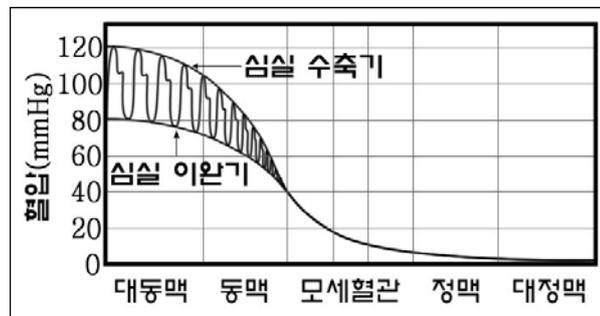
【그림 2】 혈액의 순환

모세혈관은 지름 $10\mu\text{m}$ 정도의 가느다란 혈관이며 온몸에 그물처럼 퍼져 있다. 모세혈관 벽은 한 층의 세포로 이루어져 있으며, 혈액이 이곳을 흐르는 동안 혈관 벽을 통하여 영양분과 노폐물 및 기체의 교환이 이루어진다.

대동맥에서 온몸으로 나간 혈액은 모세혈관을 거쳐 정맥으로 모인 다음 대정맥에 합류하는 체순환을 한다. 폐순환은 폐를 돌아 심장으로 돌아오는 순환으로, 이 때 이산화탄소를 버리고 산소를 받아들이는 기체 교환이 이루어진다.

(나)

액체에도 기체와 마찬가지로 압력과 관련된 현상이 있다. 혈액은 혈관계에 압력을 가하는 데 이것을 혈압이라고 한다. 심장은 펌프와 같이 작동하면서 혈액을 내보내는 압력을 만들도록 수축과 이완 작용을 반복한다. 심장이 수축하는 동안의 혈압을 수축기 압력이라 하고, 심장이 이완하는 동안의 혈압을 이완기 압력이라 하며 mmHg(torr)단위로 나타낸다. 보통 혈압이 80~120mmHg일 때 정상이라고 한다. 이 수치에서 80mmHg는 심실 이완기 때의 혈압이고, 120mmHg는 심실 수축기 때의 혈압이다. 동맥은 심실의 강한 수축에 의해 밀려나오는 혈액의 압력을 견딜 수 있도록 굵고, 탄력성이 강한 두꺼운 근육층으로 이루어져 있다.



[그림 3] 혈관의 압력

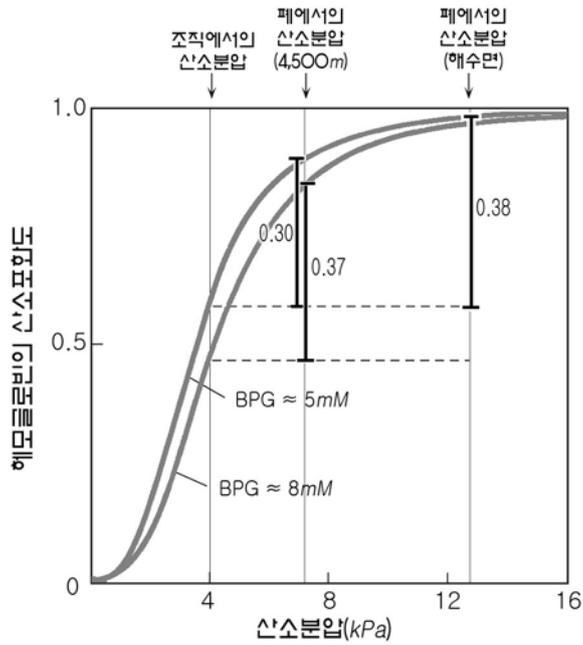
(다)

혈액의 기본 작용은 물질의 운반이다. 모세혈관의 벽을 통하여 혈액 성분이 출입하기 때문에 어떤 조직에서 생긴 물질은 혈액을 통하여 다른 조직으로 이동할 수 있다. 소화기에서 흡수된 영양소는 혈장을 통하여 각 조직이나 장기로 운반되고, 폐를 통하여 들어온 산소도 적혈구를 통하여 몸의 각 조직 세포로 운반된다. 세포의 생명활동으로 발생한 이산화탄소나 요소 등의 노폐물은 적혈구와 혈장에 의해 폐와 신장과 같은 배출기관으로 운반되어 배출된다.

우리 몸에서 혈액의 양은 체중의 약 8%를 차지하고 있으며, 밀도가 1.06g/cm³이므로 체중 60kg인 사람의 혈액은 약 4.5 l가 된다. 혈액의 약 45%는 고형 성분인 혈구이고 나머지 55%는 액체 성분인 혈장이다. 혈액의 pH는 약 7.4로서 약한 염기성이다. 혈액의 pH 변화는 세포내에 심각한 영향을 미치기 때문에 우리 몸은 다양한 방법으로 급격한 pH 변화를 줄이는 방향으로 진화되었다.

- 문제 1.** 심장이 체순환을 위해 한 번 박동할 때 약 90ml의 혈액을 펌프하고 1분에 60회 박동한다고 가정할 때, 심장의 펌프로서의 일률을 구해보시오. 또 우리 몸의 하루 평균 섭취 에너지를 2000kcal라고 하고 이 중 10%를 심장이 사용한다고 했을 때, 심장의 열기관으로서의 효율에 대하여 설명하시오. [참고: 1atm = 760mmHg = 10^5 Pascal(N/m²)]
- 문제 2.** 심장에서 발생시키는 혈압의 평균값을 100mmHg라고 할 때, 이 혈압이 동맥을 통하여 혈액을 보낼 수 있는 높이를 구해보시오. 비행기가 급강하하다가 갑자기 수평으로 방향을 바꾸게 되면 뇌에 공급되는 혈액이 부족해져서 조종사가 정신을 잃을 수 있다. 뇌에 혈액 공급이 부족해질 수 있는 이유를 설명하시오.
- 문제 3.** 우리 몸에 있는 대동맥의 총 단면적은 3cm²정도이고 대동맥에서의 혈류 속도는 30cm/s 정도이다. 모세혈관들의 총 단면적 합이 900cm²일 때 모세혈관 안에서의 혈류 속도를 구하고, 대동맥과 모세혈관 각각에서 보존되는 양은 무엇인지 설명하시오. 모세혈관에서 이 정도의 혈류 속도가 가지는 의미를 생물학적 관점에서 기술하시오.
- 문제 4.** 이산화탄소와 산소는 물에 대한 용해도가 낮기 때문에 단순히 혈장에 용해되어 운반되는 것으로는 원활한 배출과 공급이 어렵게 된다. 우리 몸은 적혈구 내에 존재하는 단백질들을 이용하여 이 문제를 효과적으로 극복하고 있다. 이러한 원리와 적혈구 내 pH 변화가 조직세포로의 산소 공급에 미치는 영향을 설명하시오.

문제 5. [그림 4]는 BPG(2,3-bisphosphoglycerate)가 헤모글로빈의 산소해리에 주는 영향을 나타낸 것이다. 산소 분압이 낮은 고지대에서는 혈액 내의 BPG 농도가 약 8mM로 증가하게 되어, 우리 몸이 산소 분압이 낮은 환경에서도 적응할 수 있도록 해준다. [그림 4]를 이용하여 BPG가 헤모글로빈과 산소 공급에 미치는 영향을 분석하여 설명하시오.



[그림 4]

□ 출제의도 및 문항설명

일상적으로 혈압을 측정해 보면서도 그 수치가 가지는 과학적인 의미에 대해서는 무심히 지나치는 경우가 많다. 이 문항은 우리 인간의 몸속에서 정교하게 유지되고 있는 혈압과 순환계의 물리학적, 생화학적 의미를 논리적으로 추론하도록 하였다.

□ 출전 및 참고 교과서

- 제시문 (가)는 혈관의 구조와 혈액의 순환을 설명하였다. (「생물 I」 대한교과서, 66~69쪽)
- 제시문 (나)는 혈압의 의미와 동맥의 특성을 간단히 설명하였다. (「화학 II」 형설, 12쪽; 「생물 I」 대한교과서, 66~69쪽)
- 제시문 (다)는 혈액의 기본적인 작용에 대한 생화학적 의미를 설명하였다. (「화학 II」 중앙교육진흥연구소, 249쪽; 「생물 I」 대림서림, 70쪽)

□ 학생답안

◦ 문제 1

인간의 수명이 다할 때까지 쉬지 않고 박동하는 심장의 일률을 물리적으로 설명하여야 한다. 심장이 한 일의 양을 심장이 사용한 열의 양으로 나눈 값이 심장의 효율이라는 개념을 이해하고, 열의 양이 칼로리로 주어졌을 때 단위를 맞출 수 있는 지에 중점을 두고 평가하였다. 일의 양을 계산하는 것은 여러 가지 방법이 있을 수 있고, 정해진 하나의 수치를 요구한 것은 아니다. 다음의 답안은 각기 다른 방식으로 문제에 접근하고 있다.

<답안 1>

[문제 1]

일률 $P = \frac{W}{t}$ (W는 일, t는 시간) 이고 $W = F \cdot S$ (F는 힘, S는 거리), $P = \frac{F}{A}$ (P는 압력, A는 면적) 이므로

$W = F \cdot S = P \cdot A \cdot S = P \cdot V$ 이다.

자식(나)에서 수축기 혈압이 120 mmHg 라고 하였으므로 $P_{\text{수축}} = 120 \text{ mmHg} = \frac{120}{760} \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 이다.

$1L = 0.001 \text{ m}^3$ 이므로 $1 \text{ mL} = 10^{-6} \text{ m}^3$ 이므로 $V = 90 \text{ mL} = 9 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ 이다. 이를 대입하면

한번 박동할 때 하는 일은 $W = \frac{120}{760} \times 10^5 \times 9 \times 10^{-5} = \frac{27}{19} \text{ Nm}$ 이다.

1분이 60회 박동한다고 하였으므로 1초에 1회 박동한다고 할 수 있다. 그러면 일률 $P = \frac{W}{t}$ 에 의해

$P = \frac{27}{19} \text{ J/s} \approx 1.4 \text{ J/s}$ 이다.

심장이 하루동안 하는 일은 $1.4 \times 3600 \times 24 = 120960 \text{ J}$ 이다.

심장이 하루동안 소비하는 열은 $2000 \text{ kcal} \times 0.1 = 200 \text{ kcal} = 4.2 \times 200 \times 1000 \text{ J} = 840000 \text{ J}$ 이다.

효율율은 $\frac{W}{Q_1}$ (Q1: 가열량, W: 일) 이므로

$\eta = \frac{120960}{840000} \approx \frac{121}{840} \approx 0.144$ 즉 14.4%의 효율을 가진다.

<답안 2>

1. 일률은 단위 시간당 한 일 (W/t) 이고, 일은 힘과 거리의 곱 (Fs) 로 나타낼 수 있으므로, 일률은 $W/t = F \cdot v$ 이다. 따라서 일률의 단위는 $N \cdot m/s$ 로 나타낼 수 있다.

심장이 1분 동안 60회 박동하고, 1회 박동마다 90ml의 혈액을 펌프한다 가정하면 1분간 심장이 펌프한 혈액량은 $60 \text{ 회/분} \times 90 \text{ ml} = 5400 \text{ ml/분} = 5.4 \text{ L/분}$ 이다. ... ①

또한 심장의 혈압을 $80 \sim 120 \text{ mmHg}$ 로 가정하고, 평인상 심장이 평균 100 mmHg 의 압력을 가하고 있다고 하면, 심장의 압력은 $100 \text{ mmHg} = 1.32 \times 10^4 \text{ Pascal (N/m}^2\text{)}$ 이다. ... ②

이때 $10^3 \text{ L} = 1 \text{ m}^3$ 이므로, ①을 $5.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$ 으로 바꾸고 ②와 곱하면

① \times ② = $5.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min} \times 1.32 \times 10^4 \text{ N/m}^2 = 7.13 \times 10 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{min}$ 이다. 단위가 $N \cdot m/s$ 형태이므로, 이 값은 심장이 1분 동안 하는 일의 일률이라고 할 수 있다. ... ③

심장이 우리 몸의 하루 평균 섭취 에너지 2000 kcal 중 10%, 200 kcal 를 쓴다고 하자. 열의 일당량 $1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J}$ 을 통해 심장은 하루에 $8.4 \times 10^5 \text{ J}$ 의 일을 할 수 있는 에너지를 공급받을 수 있다.

단위 $[J] = [N \cdot m]$ 이므로, ③에서 구한 $7.13 \times 10 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{min}$ 에 $60 \text{ min} \times 24 \text{ h}$ 를 곱한 값이 하루 동안 심장이 한 일이고, 이는 $1.03 \times 10^5 \text{ J}$ 이다.

따라서, 심장의 효율은 $\frac{\text{하루 동안 한 일}}{\text{하루 동안 공급받은 에너지}} = \frac{1.03 \times 10^5}{8.4 \times 10^5} = 0.12$ 이다.

이를 백분위로 쓰면, 심장의 열기관으로서의 효율은 약 12% 정도이다.

<답안 3>

문제 1. 심장이 한번 수축 할 때 압력-부피를 그래프로 나타냈을 때 P-V

오른쪽 그래프와 같다고 생각하자. 그래프를 직선으로 근사

한다면 심장이 한번 수축할 때 하는 일은 그래프와 x축

의 빗금친 부분의 넓이와 같다.

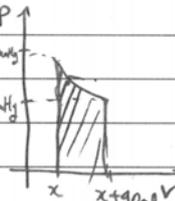
따라서 $(120+80) \text{ mmHg} \times 90 \text{ ml} \times \frac{1}{2}$, 표준 단위로 나타내면

$\frac{10^3}{7.6} \times 0.09 \times 10^{-3} \approx 1.2$, 1초에 1번 수축하므로 1.2 J/s ,

심장의 일률은 1.2 W 이다. 심장이 1일 동안 하는 일은 $24 \times 60 \times 60 \times 1.2 = 103680 \text{ J}$

하루에 심장이 $200 \text{ kcal} = 840000 \text{ J}$ 을 공급받으므로

열기관으로서의 심장의 열효율은 약 0.13 이다.



• 문제 2

혈압의 물리적 특성을 이해하고, 인간의 혈압이 80~120mmHg로 진화해 온 이유를 물리적 계산을 통해 설명하도록 하였으며, 압력의 의미를 이해하고 실제 사용하는 길이로 대략적인 계산을 해보도록 비행기의 예를 들었다. 비행기가 급강하하다가 수평을 잡게 되면 위쪽으로 가속하는 운동계가 되는데, 이 경우 밑으로 힘을 받게 되어 중력가속도가 증가하게 된다. 이 문제는 여러 방법으로 해결할 수 있고, 학생들의 답안도 다양했다. 비행기의 운동은 원심력(관성력의 일종으로 생각할 수 있음) 때문에 다리 쪽으로 힘을 받게 되어 혈액이 머리로 못 올라간다거나 혈액은 계속 내려가는 관성력을 받기 때문에 심장이 혈액을 뇌까지 보낼 수 없다고만 설명한 답안이 가장 많았는데, 관성력 때문에 중력가속도 g 가 증가하여 심장은 같은 압력으로 동일한 높이를 유지할 수 없다는 점을 지적하

였다면 보다 더 정확한 설명이 되었을 것이다. ($P = \rho gh$ 이므로 g 가 증가하면 같은 압력 P 에서 h 가 감소하여 머리까지 피가 올라갈 수 없다.)

<답안 1>

문제 2. 심장은 1초에 90 ml 의 혈액을 이송시킨다. 따라서 심장이 한 일 $90 \text{ N}\cdot\text{m}$ 은 모두 혈액의 운동에너지 증가에 쓰인다. 또한 이 운동에너지를 통해 혈액을 높이 이송시킬 수 있으며 그 값은 다음과 같은 계산을 통해 구할 수 있다.

$$W = mgh$$

$$= \rho \cdot V \cdot g \cdot h$$

$$\therefore h = \frac{W}{\rho V g} \approx 12.5 \text{ cm}$$

비행기가 급강하를 하다가 갑자기 수평으로 바뀌게 되면, 관성력에 의해 몸전체는 아래쪽으로 힘을 받는다. 이 힘 혈액에도 미치게 된다. 몸전체가 아래쪽으로 힘을 받으면, 중력가속도가 증가한 것과 같은 효과가 나타나는 셈이다. 경위의식 $h = \frac{W}{\rho V g}$ 에서 g 가 커지면 h 의 값이 감소함을 알 수 있다. 때문에 12.5 cm 보다 더 작은 값으로 바뀌는 심장에서 뇌까지 보내지는 12.5 cm 정도이지, 이보다 적게는 안기 때문에 피가 공급이 잘 되지 않을 수 있다.

<답안 2>

2. 심장이 한 번에 90 ml 의 혈액을 펌프친다고 하면 이 90 ml 의 혈액이 심장으로부터 받는 에너지는

$$\frac{100}{760} \times 10^5 \text{ N/m}^2 \cdot 9 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

이 된다. 이 에너지가 체로 올라가면서 위치 에너지를 전환되므로 혈액의 밀도는 1.06 g/cm^3 이라고 하고 중력 가속도를 10 m/s^2 이라 하면

$$\frac{100}{760} \times 10^5 \text{ N/m}^2 \cdot 9 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = h \cdot 1.06 \text{ g/cm}^3 \times 90 \text{ ml} \times 10 \times 10^{-3} \text{ N/g}$$

에서 $h \approx 1.3 \text{ m}$ 가 된다. 따라서 심장으로 부터 대략 1.3 m 정도 높이까지 혈액을 보낼 수 있다.

비행기가 급강하하다가 갑자기 수평으로 방향을 바꿀 때 위쪽으로 큰 가속도를 가지게 되는 때, 이때 조종사는 아래쪽으로 관성력을 받게 된다. 가속도가 90 m/s^2 이라고 하면 조종사에게는 한때 작용하던 중력가속도 10 m/s^2 이 90 m/s^2 이 더해져서 작용하게 된다. 따라서 심장의 펌프 압력으로는 1.3 m 의 높이 13 cm 밖에 혈액을 올려보낼 수 없고 뇌에 혈액이 공급되지 않아 정신을 잃게 된다.

이를 방지하기 위해서는 조종사의 두뇌 크기를 줄여줄 수 있도록 해서 심장과 뇌의 연직 거리가 짧아지게 만드는 방법 등을 생각해 볼 수 있다.

<답안 3>

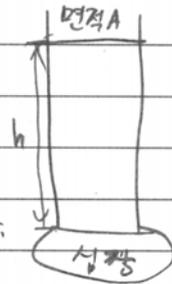
문제 2. 심장의 면적 위로 동맥이 관처럼 되어 있다고 가정하자.

혈압을 통해 지탱할 수 있는 혈액 기둥의 높이를 구해야 한다.

$$100 \text{ mmHg} \times A = A \cdot h \cdot g \cdot \rho \quad (\rho \text{는 혈액의 밀도})$$

혈액의 밀도를 1 g/cm^3 으로 보고, 표준 단위로 치면

$$\frac{10^5}{9.8} = h \cdot 10 \cdot 10^3 \quad h \approx 1.3 \text{ m} \quad \text{약 } 1.3 \text{ m} \text{ 까지 혈액을 보낼 수 있다.}$$



비행기가 급강하하다가 갑자기 수평으로 방향을 바꾼다는 것은 앞방향으로 가속 운동한 것이므로 신체 내 혈액은 중력 방향의 관성력을 받게 된다.

예를 들어 4g로 가속 운동했다면 중력 가속도가 5배가 된 것과 같으므로

심장이 혈액을 약 25cm 높이로 밖에 들릴 수 없다. 뇌는 심장으로부터 일정 거리

떨어져 있으므로 심장만으로는 뇌에 혈액을 공급할 수 없어서 조종사가 정신을

잃을 수 있다.

• 논제 3

거의 모든 생물교과서에는 각 혈관에서의 혈류 속도가 수치로 주어져 있다. 이 논제에서는 혈류 속도를 물리적으로 구해보고, 그 속도가 갖는 생물학적 의미를 추론하도록 하였다. 혈관에서의 혈류 속도를 구해보면 모세혈관의 혈류 속도가 아주 느리다는 것을 확인할 수 있는데, 이를 모세혈관의 생물학적인 역할과 연관지어 설명할 수 있다. 많은 학생들이 출제 의도대로 논리를 잘 전개하였으나, 일부는 논제에서 대동맥과 모세혈관 각각에서 보존되는 양이 무엇인지 설명하라고 요구하고 있음에도 불구하고 이에 대한 언급이 전혀 없었다. 또한 대부분의 답안이 생물체 내에서 물질 교환은 대부분 물질의 확산에 의해 이루어진다는 점이나 모세혈관에서의 물질교환에 있어 혈류속도가 가지는 의미를 간과하고 있으며, 모세혈관의 총 단면적이 왜 커야하는지에 대한 설명도 부족했다.

<답안 1>

<논제 3>

왼쪽과 같은 그림을 생각하자.
관 안에는 유체가 담겨져 있다.
처음에 p 위치에 있던 유체가 시간이 흘러 q의 위치로 이동했다고 하자.

그러면 같은 유체이므로 같은 시간동안 이동한 두 색칠한 부분의 유체 부피는 같아야 한다.

즉 넓은 쪽의 넓이를 A, 유체 속력을 V
좁은 쪽의 넓이를 A', 유체 속력을 V' 라 하면

$$AV\Delta t = A'V'\Delta t \text{ 이고}$$

$$AV = A'V' \text{ 이다.}$$

결국 연속하는 관에서 AV 값은 항상 일정하다.

이제 이가을 혈관이 적용시켜보자. 혈관은 연속하는 관이다.

즉 대동맥에서의 AV 값과 모세혈관에서의 AV 값은 일정하다.

$$\therefore 30\text{cm}^2 \times 30\text{cm/s} = 9000\text{cm}^2 \times V \Rightarrow V = 0.1\text{cm/s}$$

모세혈관에서의 혈류속도는 0.1cm/s 이다.

여기서 대동맥과 모세혈관에서 보존되는 양은 혈액량이다.

또한 모세혈관에서의 혈류속도는 매우 느릴 수 있다. 모세혈관은 물질교환이 일어나는 곳이다. 모세혈관을 통해 기체와 영양분 및 노폐물의 교환이 일어난다. 만약 모세혈관에서의 혈류속도가 빨랐다면 물질교환이 효율적으로 이루어지지 못했을 것이다.

즉 모세혈관은 단면적을 넓혀 혈류속도를 느리게 함으로써 효율적인 물질교환이 가능하도록 한 것이다.

<답안 2>

제시문에서 주어진 정보를 적절히 활용하여 모세혈관에서 혈류속도가 가지는 생물학적 의미를 비교적 잘 설명하였다.

3. 대동맥의 총 단면적은 30cm^2 정도이고, 혈류속도는 30cm/s 정도이므로, 두 값의 곱 $30\text{cm}^2 \times 30\text{cm/s} = 900\text{cm}^3/\text{s}$ 는 대동맥에서 초당 흐르는 혈액량(혈액의 체적)을 나타낸다.

한편 대동맥이 흘러 모세혈관으로 가며, 공간에 혈액의 총량은 없으므로 대동맥에서 흘러간만큼 모세혈관의 혈액이 밀려난다고 볼 수 있다. 따라서 단위 시간당 모세혈관에 흐르는 혈액량은 대동맥에서와 같다.

따라서, 모세혈관에서의 혈류속도를 x 라고 하면, $900\text{cm}^2 \times x = 900\text{cm}^3/\text{s}$ 이므로, $x = 0.1$ 이다.

즉, 모세혈관에서의 혈류속도는 0.1cm/s 로, 이는 대동맥에 비해 매우 느린 속도이다.

모세혈관에서 이렇게 느린 속도로 혈액이 흐르는 것은 우리에게 매우 유리한 것이다. 제시문 (가)의 [그림 1]에서 볼 수 있듯이, 동맥과 정맥은 상피세포와 근육, 결합조직이 두터워 외부와의 물질교환이 어렵다. 이에 반해

모세혈관은 한 층의 세포로 혈관벽이 이루어져 있어서, 외부와의 물질교환이 일어난다 (제시문 (나)참고). 이때 교환되는

물질은 O_2 와 CO_2 , 영양분과 노폐물 등으로 지속적으로 운반되어야 한다. 그런데 만약 모세혈관에서의 혈류속도가

빠르면, 미처 물질교환을 하지 못하는 경우가 생길 수 있으므로 위험하다. 따라서, 모세혈관의 혈류속도가 느림으로써 체내의

물질교환이 원활하게 진행될 수 있음을 추측할 수 있다.

• 문제 4

혈관계를 통하여 기체교환이 어떻게 일어나는지, 그리고 이러한 각각의 기체교환 기작이 서로 어떻게 연관되어 있는지를 종합적으로 이해하고 설명해야 한다. 우리 몸에서 산소의 공급과 이산화탄소의 배출은 적혈구내의 헤모글로빈과 탄산무수화 효소(carbonic anhydrase)에 의해 효과적이고 유기적으로 이루어진다. 헤모글로빈은 산소분압이 높은 폐에서는 산소와 결합하고, 산소분압이 낮은 조직세포에서는 산소를 해리시켜 조직세포에 산소를 공급해 준다. 이를 헤모글로빈과 탄산무수화 효소와 연관시켜 설명하면 된다. 탄산무수화 효소에 의해 효과적으로 이산화탄소가 용해되어 배출되며, 이 두 기작이 pH 변화에 의해 유기적으로 연관되어 있다는 점을 이해하는 것이 중요하다.

<답안 1>

문제에 맞게 논리를 매우 잘 전개하였다. 다만, 탄산무수화 효소의 작용으로 이산화탄소가 물에 녹아 탄산이 되고 해리하여 pH가 낮아져서 결과적으로 산소가 헤모글로빈으로부터 해리하는데, 이 과정은 이산화탄소가 많고 산소가 필요한 조직에서 이루어지고, 반대로 이산화탄소가 배출되고 산소가 헤모글로빈에 결합하는 과정은 폐에서 일어난다 (두 과정이 생리적 필요에 따라 협동적으로 일어난다)는 점까지 논리를 전개했다면 더 좋았을 것이다.

문제 4. 산소와 이산화탄소는 물에 잘 녹지 않는 기체이기 때문에, 혈액에 직접 녹아서 가는 경우는 드물다. 그러므로,

다른 수단이 필요한데, 두 기체 모두 혈액내의 적혈구의 도움을 받게 된다.

먼저, 산소의 경우를 살펴보면, 어부왕의 산소는 적혈구 내의 헤모글로빈에 붙어서 이동하게 된다.

헤모글로빈 형태라는 단백질과 철이온으로 이루어져있는데 단백질이 4개의 사슬로 이루어져 있어, 이 4개의

사슬에 O_2 분자 하나씩이 붙어서 이동하게 된다. 즉, 산소의 경우 $Hb(O_2)_4$ 의 형태로 이동하게 되는

것이다. 그리고, 폐포 근처의 모세혈관에서는 O_2 가 결합하여 $Hb(O_2)_4$ 가 되고, 조직세포 근처의 모세혈관

에서는 $Hb(O_2)_4$ 에서 O_2 가 해리 된다. 왜냐하면, O_2 분압이 높고, CO_2 분압이 낮고, pH가 높고, 온도가

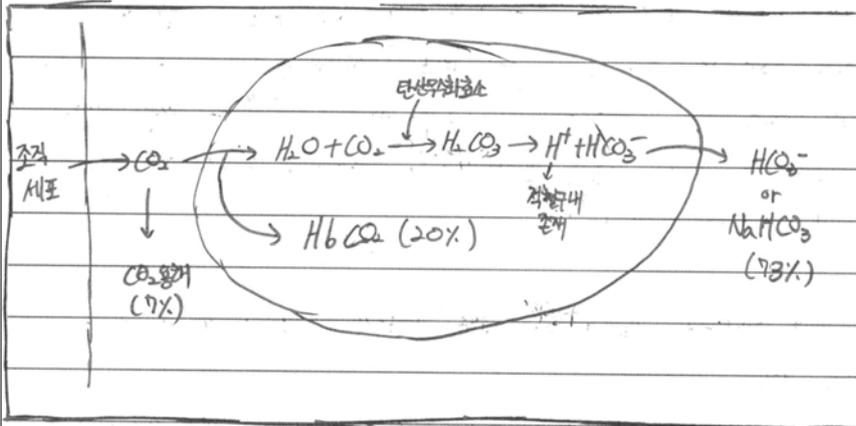
낮은 폐포 근처의 조직에서는 O_2 의 포화도가 증가하지만, 반대 환경인 모세혈관 근처에서는 O_2 의 해리가

증가하기 때문이다.

이제, 이산화탄소의 경우를 살펴보면, 약 7%는 혈액에 직접 녹아 운반되고, 약 20%는 헤모글로빈과

결합해 카바헤모글로빈 ($HbCO_2$)의 형태로 운반되고, 나머지 약 73%는 $NaHCO_3$ 나 HCO_3^- 형태로

변화가 일어나 운반된다. 이를 그림으로 나타내보면 (그림1)과 같다.



<그림1>

한편, <그림1>의 경우는 조직세포 근처에서 일어나는 현상인데, $H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3$ 반응은 단백질인

탄산수화효소에 의해 일어나고, $H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$ 에서 생성된 H^+ 는 적혈구 내에 존재하게

된다. 왜냐하면, 혈액의 pH 7.4가 H^+ 에 의해 급격히 낮춰지는 것을 방지해야 하기 때문이다.

그러, 폐포 근처에서는 <그림1>의 역반응들이 일어나 CO_2 가 배출되게 된다. 여기서, $H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2$

의 반응은 탄산수화효소가 여기서도 도와준다.

산소가 해리되는 조건중에서, pH가 낮아지는 조건이 있었는데, 이는 적혈구의 pH 변화와도 관계가

있다. 조직세포 근처의 CO_2 의 이동에서, 이동이 일어나기 전에는 적혈구 헤모글로빈의 형태는 $Hb(O_2)_4$

였을 것이다. 그런데, CO_2 의 이동이 일어나면서 H^+ 가 생성되는데, H^+ 는 혈액의 pH가 낮아지는 것은

약기 위해 적혈구 내에 존재하게 된다. 결국, 적혈구 내의 pH가 낮아지게 되는데, 그 결과 O_2 가

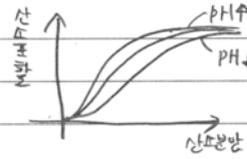
해리되는 환경이 조성되는 것이다. 반대로, CO_2 가 배출될 때에는 적혈구 내의 pH가 높아져 O_2

결합할 수 있는 환경이 조성되게 된다.

<답안 2>

<문제 4>

이산화탄소는 물에 대한 용해도가 작기 때문에 혈장이 녹아 운반되는 양은 극소수이다. 대신 이산화탄소는 H_2CO_3 의 형태로 대부분이 운반된다. 이 반응은 적혈구에서 진행된다. 즉 적혈구에서 $CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$ 의 반응이 진행되는 것이다. 이 반응은 탄산무수화효소라는 효소 하에 진행된다. 적혈구 내에 이 효소가 존재하여 CO_2 의 운반을 돕는다. 또한 적혈구에는 헤모글로빈이란 단백질이 있다. 이것은 4개의 폴리펩티드 사슬이 만드는 것인데 이 사슬들은 산소친화력이 있어 산소와 결합한다. 즉 적혈구 내의 헤모글로빈이 산소와 결합함으로써 산소의 운반이 이루어진다.



왼쪽의 그래프는 pH가 오른 헤모글로빈의 산소포화도 그래프이다. 즉 pH가 낮을 때는 산소포화도가 작고 높을 때는 산소포화도가 크다. 헤모글로빈에서 조직으로 산소가 이동하는 것이므로 pH가 낮을 때는 산소가 잘 해리되어 조직에 산소공급이 잘 된다. 반면 pH가 높을 때에는 산소가 잘 해리되지 않아 조직에 산소공급이 잘 안된다.

• 문제 5

주어진 자료(그래프)를 분석하여 산소분압이 낮은 고지대에서도 인간이 적응할 수 있는 이유를 과학적으로 설명하도록 하였다. BPG는 학생들에게 다소 생소한 물질이지만 이미 교과과정에서 산소해리곡선에 대해 배웠기 때문에 이를 바탕으로 주어진 자료를 분석하여 논제를 추론해 볼 수 있다. 이 논제를 해결하기 위해서는 주어진 자료([그림 4])를 분석하는 것이 중요하다. 그래프의 의미를 이해하지 못하거나 그래프의 내용은 잘 분석했지만 논제에서 요구한 BPG가 헤모글로빈과 산소 공급에 미치는 영향은 설명하지 않은 답안은 좋은 평가를 받지 못했다. 또한 폐에서 BPG의 농도 변화로 인한 헤모글로빈의 산소 포화도 변화는 조직에서의 산소 포화도 변화에 비해 상대적으로 미미하다는 점까지 논리를 전개할 수 있으나 여기까지 설명한 경우는 거의 없었다.

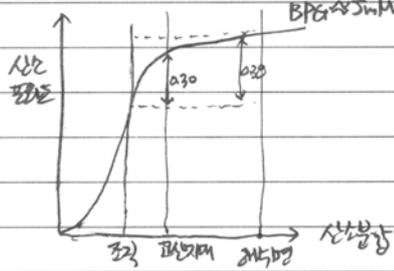
<답안 1>

문제 5

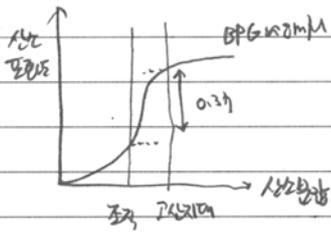
사람이 해수면 높이에 있을 때 폐의 산소분압은 13 kPa 정도이고 조직에서는 4 kPa 정도이다. 그래프를 보면 두 산소 분압에서 헤모글로빈의 산소포화도 차이는 0.38임을 알 수 있다. 이제 사람이 고지대로 간 경우를 생각해보자. 폐에서의 산소 분압은 7 kPa 정도로 크게 낮아지고, 그로 인해 조직과 폐에서 헤모글로빈의 산소포화도 차이가 0.3으로 줄어든다. (BPG ≈ 5 mm) 헤모글로빈의 산소포화도가 조직으로 갈수록 낮아진다는 것은 감소비율 만큼 산소가 해리되었다는 것을 의미하므로, 고지대에서는 조직으로 산소공급량이 상당히 감소한다는 것을 알 수 있다. 고지에 BPG 농도가 8 mm로 증가하면 산소 해리 곡선이 아래로 내려와서 폐와 조직에서 헤모글로빈의 산소포화도 차이가 0.37이 되어 해수면 높이에 비해 0.38과 거의 같아진다. 이를 통해 BPG는 산소가 헤모글로빈에 결합하는 것을 방해하여 헤모글로빈의 산소해리도를 적절히 낮추는 데 기여함을 알 수 있다. BPG의 작용으로 고도가 달라져도 조직으로 산소공급량을 일정하게 유지할 수 있는 것이다.

<답안 2>

[문제 5] BPG는 헤모글로빈의 산소포화도가 전체적으로 내려가게 한다. 더 자세한 산포도 보면, 조직에서의 산소분압시 산소포화도를 폐포에서의 산소분압시 산소포화도보다 더 큰 폭으로 낮춘다.



원래 그래프는 BPG가 약 5mmHg 때이다. 해수면에서는 조직에서 약 38%의 산소가 이동하는 반면, 고산지대에서는 약 30%의 산소가 조직으로 운반됨을 알 수 있다.



이때 정자 BPG가 약 8mmHg를 증가하면 폐에서 이동한 산소중 약 31%가 조직으로 운반되며 해수면에서의 산소 운반량과 비슷해진다.

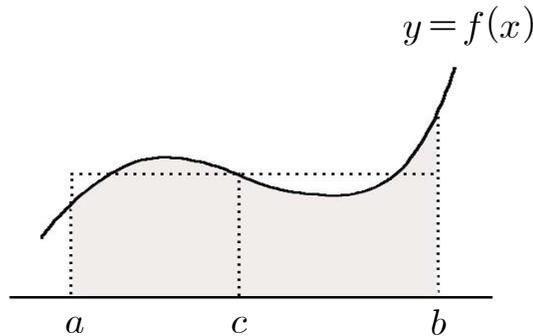
BPG의 농도 상승은 정맥구의 산소 진화율을 떨어뜨린다. 그러면 폐포에서 정맥구의 거대한 산소의 수는 줄지만, 조직에서는 정상보다 더 많은 산소를 떨어뜨릴 수 있다. 결국 BPG는 폐에서 낮은 산소압에도 불구하고 정맥구의 산소 운반량을 높여준다고 할 수 있다.

【문항 4】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

(가)

폐구간 $[a, b]$ 에서 연속인 함수 f 에 대하여 $\frac{1}{b-a} \int_a^b f(x)dx = f(c)$ 를 만족하는 c 가 a 와 b 사이에 적어도 하나 존재한다는 사실이 잘 알려져 있다. 이를 ‘적분에 관한 평균값의 정리’라고 한다. 이것은 폐구간 $[a, b]$ 에서 $f(x) \geq 0$ 일 때, 곡선 $y=f(x)$ 와 x 축 및 두 직선 $x=a$, $x=b$ 로 둘러싸인 도형의 넓이가 밑변의 길이가 $b-a$ 이고 높이가 $f(c)$ 인 직사각형의 넓이와 같다는 것을 의미한다.



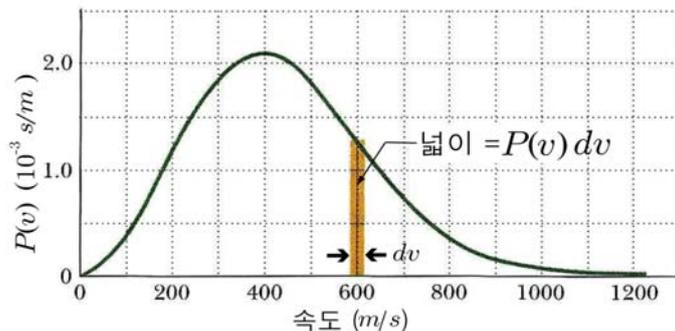
【그림 1】

(나)

1852년 물리학자 맥스웰은 기체분자의 속도분포 문제를 해결하였다. 맥스웰-볼츠만의 속도분포는 기체분자의 속도 v 의 확률분포함수

$$P(v) = 4\pi \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{Mv^2}{2RT}}$$

로 주어진다. 여기서 M 은 몰 질량, R 은 기체상수, T 는 온도이다. 예를 들어 300K에서 산소분자의 속도분포는 다음과 같다.



이 경우 산소분자의 속도가 $v_1 = 590 \text{ m/s}$ 와 $v_2 = 610 \text{ m/s}$ 사이의 값을 가질 확률을 구하기 위해서는 $\int_{v_1}^{v_2} P(v)dv$ 를 계산해야 하는데, 적분에 관한 평균값

의 정리에 의해 이 적분값은 근사적으로 $(v_2 - v_1)P\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)$ 와 같다.

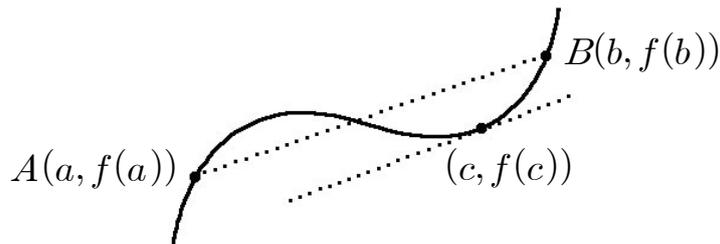
과학의 여러 분야에서 나타나는 함수를 작은 구간에서 적분해야 할 필요가 있을 때, 이와 같이 구간 안에서 함수의 적당한 값과 구간의 길이를 곱하여 적분값의 근사값으로 사용한다.

(다)

적분에 관한 평균값의 정리로부터 도함수 f' 이 폐구간 $[a, b]$ 에서 연속이면

$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = f'(c)$ 를 만족하는 c 가 a 와 b 사이에 적어도 하나 존재한다는 ‘미분에 관한 평균값의 정리’를 유도할 수 있다.

곡선 $y = f(x)$ 위의 두 점 $A(a, f(a))$ 와 $B(b, f(b))$ 를 지나는 직선 AB 의 기울기는 $\frac{f(b) - f(a)}{b - a}$ 이고, $f'(c)$ 는 점 $(c, f(c))$ 에서 곡선 $y = f(x)$ 에 접하는 직선의 기울기이다. 따라서 미분에 관한 평균값의 정리는 곡선 $y = f(x)$ 의 접선 중에 직선 AB 와 평행한 것이 적어도 하나 존재한다는 것을 의미한다.



[그림 2]

미분에 관한 평균값의 정리는 여러 가지 부등식을 증명하거나 다양한 함수의 근사값을 구하는 데 이용된다.

(라)

함수 f 가 폐구간 $[a, b]$ 를 포함하는 개구간에서 미분가능하고 f' 이 폐구간 $[a, b]$ 에서 연속일 때, 곡선 $y = f(x)$ 위의 점 $(a, f(a))$ 에서 점 $(b, f(b))$ 까지의 곡선의 길이는 $\int_a^b \sqrt{1 + \{f'(x)\}^2} dx$ 이다.

문제 1. 적분에 관한 평균값의 정리를 이용하여 도함수 f' 이 폐구간 $[a, b]$ 에서 연속이면

$$\frac{f(b)-f(a)}{b-a}=f'(c)$$

를 만족하는 c 가 a 와 b 사이에 적어도 하나 존재한다는 것을 설명하시오.

문제 2. 함수 $f(x)=x^3$ 에 대하여 폐구간 $[1, 2]$ 에서 문제 1의 등식을 만족하는 c 의 값을 구하시오.

문제 3. 도함수가 0인 함수에 대하여 알아보자.

3-1. 개구간 (a, b) 에 속하는 모든 x 에 대하여 $f'(x)=0$ 이면, f 는 개구간 (a, b) 에서 상수함수가 됨을 설명하시오.

3-2. 상수함수가 아닌 함수 $g(x)=\begin{cases} 1, & x > 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$ 에 대하여 $g'(x)$ 를 구하고, 이 결과를 문제 3-1의 내용과 연관시켜 설명하시오.

문제 4. $(1+x)^{1/4}$ 의 근사식을 찾아보려고 한다.

4-1. $|x| \leq \frac{1}{2}$ 일 때 부등식 $|(1+x)^{1/4}-1| \leq \frac{|x|}{2}$ 가 성립함을 설명하시오.

4-2. $|x| \leq \frac{1}{2}$ 일 때 부등식 $\left| (1+x)^{1/4} - \left(1 + \frac{1}{4}x\right) \right| \leq \frac{3}{4}x^2$ 이 성립함을 설명하시오.

문제 5. 임의의 실수 t 에 대하여 곡선 $y=x^3$ 위의 점 (t, t^3) 에서 점 $(m(t), \{m(t)\}^3)$ 까지 곡선의 길이가 1이 되도록 $m(t)$ 를 정의하자(단, $0 < t < m(t)$). 이렇게 정의한 $m(t)$ 가 t 의 함수로서 미분가능하다고 할 때, $\lim_{t \rightarrow \infty} t^3[1 - \{m'(t)\}^2]$ 의 값을 구하고 그 과정을 설명하시오.

□ 출제의도 및 문항설명

수학은 아름다움과 엄밀함이 조화를 이룬 학문이며, 자연과학에는 수학적 논리가 반드시 필요하다. 이 문항에서는 기본적인 내용으로부터 보다 심화된 결과를 도출할 수 있는 논리적 사고와 상상력, 그리고 다양한 지식을 융합할 수 있는 능력을 측정하는데 초점을 맞추어 평가하였다. 직관적으로 예측한 내용을 논리적으로 설명하여 결론을 유추하는 것은 수학을 포함한 모든 자연과학의 기본이며 본질이다.

□ 출전 및 참고 교과서

이 문항의 주제는 교과서에서 다루고 있는 미적분학의 ‘평균값의 정리’이다. 평균값의 정리는 여러 가지 부등식을 증명하거나 다양한 함수의 근사식을 구하는 데 응용된다. 또한 ‘기체 분자의 속도 분포 문제’를 해결할 때와 같이 자연과학과 공학의 수많은 분야에서 매우 유용하게 쓰이며, 실제로 이번 논술고사 문항 1을 해결하는 데에도 활용되었다.

주어진 제시문은 교과서의 내용을 기초로 자체 제작하였다.

□ 학생답안

예시된 답안 이외에도 학생들은 매우 다양한 해결 과정을 보여주었다.

• 논제 1

논제 1과 논제 2에서는 ‘적분에 관한 평균값의 정리’로부터 ‘미분에 관한 평균값의 정리’를 유도하는 과정을 살펴보고, 평균값의 정리가 적용되는 간단한 예를 알아보았다. 아래 답안은 적분과 미분의 관계를 적절히 이용하여 논리를 전개하여 좋은 평가를 받았다.

<답안 1>

논제 1. 적분에 관한 평균값의 정리에 따르면 구간 $[a, b]$ 에서 연속인 $f(x)$ 에 대해

$$\frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx = f(c) \text{인 } c \text{가 } a < c < b \text{ 에 존재한다.}$$

그런데 정적분의 기본정리에 의해

$$\frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx = \frac{f(b) - f(a)}{b-a} \text{ 이므로}$$
$$\frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx = \frac{f(b) - f(a)}{b-a} = f(c) \text{인 } c \text{가 } a < c < b \text{ 에 존재함을 증명할 수 있다.}$$

<답안 2>

[문항 4]

문제 1] 먼저 정적분의 기본정리를 사용하여 $f(b) - f(a) = \int_a^b f'(x) dx$ 로 바꾼다.

$\frac{1}{b-a} \int_a^b f'(x) dx = f'(c)$ 가 가운데 제시된 (가)에서 구간 $[a, b]$ 에서 $f(x)$ 가 연속이면 $\frac{1}{b-a} \int_a^b f'(x) dx = f'(c)$ 인 점 c 가 a 와 b 사이에 있다고 하였다.

$f'(x)$ 도 $[a, b]$ 에서 연속이므로 $\frac{1}{b-a} \int_a^b f'(x) dx = f'(c)$ 인 점 c 가 a 와 b 사이에 존재한다.

따라서 $\frac{f(b)-f(a)}{b-a} = f'(c)$ 인 점 c 가 a 와 b 사이에 존재한다.

• 문제 2

<답안 1>

문제 1을 사용하여 c 의 값을 구하는 방법을 잘 기술하였다.

[문제 2]

$f(x) = x^3$ 일 때, $f(2) = 8$, $f(1) = 1$ 이다.

평균값 정리에 의하여

$$\frac{f(2)-f(1)}{2-1} = f'(c) \text{ 인 } c \text{가 존재하고 } f'(x) = 3x^2 \text{ 이므로}$$

$7 = 3c^2$ 이다. c 는 $(1, 2)$ 에 존재하여야 하므로

$$c = \sqrt{\frac{7}{3}} \text{ 이다}$$

<답안 2>

문제 2] $\frac{f(b)-f(a)}{b-a} = f'(c)$ 이므로

$$\frac{2^3 - 1^3}{2-1} = 3c^2$$

$$\text{따라서 } c^2 = \frac{7}{3}$$

$$c = \pm \sqrt{\frac{7}{3}} \text{ 이다}$$

그러나 점 c 는 $[a, b]$ 사이에 존재해야 하므로 $c = \frac{\sqrt{7}}{\sqrt{3}}$ 만 가능하다.

• 논제 3

교과서에서 설명하고 있는 상수 함수의 성질을 알아보려고 하였다.

• 논제 3-1

<답안 1>

평균값의 정리를 정확하게 사용하는 방법을 잘 기술하였다. 즉 구간 (a, b) 내의 두 점 c, d ($c < d$) 에 대하여 $f(c) = f(d)$ 임을 잘 설명하였다.

3-1. (a, b) 구간 내의 임의의 $a < c < d < b$ 인 c, d 를 잡는다.
 평균값 정리에 의해 $\frac{f(d)-f(c)}{d-c} = f'(e)$, $c < e < d$ 인 e 가 반드시 존재해야 하며, $f'(e)$ 는 항등적으로 0 이므로 $f(d)-f(c)=0$ 이다.
 즉, (a, b) 내의 어떠한 두 점을 잡아도 항상 함수값이 같다는 뜻이고, 이것이 곧 $f(x)$ 가 (a, b) 에서 상수함수라는 것을 의미한다.

<답안 2>

논제 3-1. 개구구간 (a, b) 에 속하는 모든 x 에 대하여 $f'(x)=0$ 이므로 개구구간 (a, b) 는 미분가능한 구간이고 그에 따라 연속이다. 그러므로 이 구간에서는 평균값 정리가 성립한다. 그러므로 개구구간 (a, b) 에서 $a < \alpha < \beta < b$ 인 임의의 α, β 에 대하여 $\frac{f(\beta)-f(\alpha)}{\beta-\alpha} = f'(c)$ ($\alpha < c < \beta$) 가 성립한다. 그런데 주어진 조건에 의하여 $f'(c)=0$ 이고 $\beta-\alpha \neq 0$ 이므로 $f(\beta)-f(\alpha)=0$ 이 되므로 개구구간 (a, b) 에서 $f(x)=K$ (K 는 상수) 꼴의 상수함수임을 알 수 있다.

• 논제 3-2

논리를 전개하는 과정에서 주어진 함수가 불연속이라는 점을 명시해야 한다.

<답안 1>

도함수를 계산할 때나 연속임을 보일 때 정확한 정의를 사용하여 계산한 점이 돋보인다.

논제 3-2.
 $x > 0$ 일 때 $g'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1-1}{h} = 0$.
 $x < 0$ 일 때 $g'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{(-1) - (-1)}{h} = 0$ 이므로
 함수 $g(x)$ 의 도함수 $g'(x)$ 는
 $g'(x) = \begin{cases} 0, & (x > 0) \\ 0, & (x < 0) \end{cases}$ 즉, $g'(x) = 0$ ($x \neq 0$).
 이 결과에서 보듯이 상수함수가 아닌 함수 $g(x)$ 의 도함수가 $x \neq 0$ 일 때 $g'(x) = 0$ 이 되었다. 이와 같은 결과가 나온 이유는 함수 $g(x)$ 가 연속함수가 아니라는 데 있다. 3-1 에서 함수 $f(x)$ 는 주어진 구간 내에서 항상 미분가능하여 연속이었지만 3-2 의 함수 $g(x)$ 는 $x=0$ 에서 미분가능이 강제되지 않아 $g(x)$ 가 $x=0$ 에서 연속이라는 보장이 없어졌고 실제로도 $\lim_{x \rightarrow 0^+} g(x) = 1 \neq \lim_{x \rightarrow 0^-} g(x) = -1$, $g(0)$ 은 정의되지 않음, 즉 $x=0$ 에서 불연속이다. 따라서 구간 내에서 항상 도함수값이 0 이라는 조건이 반드시 충족되어야 그 함수가 상수함수라고 할 수 있다.

<답안 2>

주어진 함수 $g(x)$ 가 불연속이므로 미분할 수 없음을 잘 기술하여 문제 3-1과의 연관을 설명하였다.

문제 3-1의 $g(x) = \begin{cases} 1 & (x > 0) \\ -1 & (x < 0) \end{cases}$ 의 그래프를 그려 보면

$g(x)$ 가 $x > 0$ 인 부분에서 상수함수 이므로 $g'(x) = 0$ 이다.
 $g(x)$ 가 $x < 0$ 인 부분에서 상수함수 이므로 $g'(x) = 0$ 이다.
 그런데 $g(x)$ 의 그래프 $x = 0$ 에서 불연속이므로 미분할 수 없고, $g'(0)$ 의 값이 존재하지 않는다.
 문제 3-1에서는 모든 x 에 대해서 $f'(x) = 0$ 이라고 했으므로 $f(x)$ 가 모든 점에서 미분가능하므로
 $f'(x) = 0$ 일 때 $f(x)$ 는 상수함수가 되는 것이었지만 $g(x)$ 는 모든 점에서 미분가능하지 않으므로
 $x > 0$ 일 때와 $x < 0$ 일 때의 $g'(x) = 0$ 이라고 해서 $g(x)$ 가 상수함수가 되는 것이 아니다. $g(x)$ 가 $x = 0$ 일 때 어떤
 불연속될 수 있기 때문이다.

• 문제 4

‘평균값의 정리’를 이용하여 함수의 근사식을 구하는데 유용하게 쓰이는 부등식을 유도하였다. 특히 이 문제가 다루고 있는 함수와 근사식은 온실 효과에 관한 【문항 1】의 문제 4에서도 이용되었다.

• 문제 4-1

문제 4-1에서는 함수 $(1+x)^{1/4} - 1$ 과 $\frac{x}{2}$ 의 증가, 감소, 오목, 볼록을 꼼꼼히 비교하여 원하는 부등식을 설명한 경우도 좋은 평가를 받았다. 아래 <답안 1>은 함수를 $f(x) = x^{1/4}$ 라 두고 미분에 대한 평균값 정리를 적용하였으며, <답안 2>에서는 함수를 $f(x) = (1+x)^{1/4}$ 라 두고 평균값 정리를 적용하였다. 두 경우 모두에서 $f'(c)$ 의 크기를 측정하여 원하는 부등식을 유도할 수 있었다.

<답안 1>

4-1
 $f(x) = x^{1/4}$ 이라 하면 $f(1+x) - 1 = \{1+x\}^{1/4} - 1$ 이고 $f'(c) = \frac{1}{4}c^{-3/4}$ 이고 c 가 존재한다. c
 따라서 $|f(1+x) - f(1)| = \left| \frac{1}{4}c^{-3/4} \right| \cdot x$ 이고 $|x| \leq \frac{1}{2}$ 일 때 $\frac{1}{4} \leq c \leq \frac{3}{2}$ 에 존재하고
 $\frac{1}{4} \leq c \leq \frac{3}{2}$ 이므로 $\left| \frac{1}{4}c^{-3/4} \right| \leq \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{1}{4}\right)^{-3/4} = \frac{1}{4} \cdot \frac{4^3}{4} = 4$ 이므로 $\left| \frac{1}{4}c^{-3/4} \right| \cdot x \leq 4 \cdot \frac{1}{2} = 2$ 이므로 $\left| \frac{1}{4}c^{-3/4} \right| \cdot x \leq \frac{x}{2}$ (등호는 $x=0$ 일 때 성립)

<답안 2>

4-1. $f(x) = (1+x)^{\frac{1}{4}}$ 로 놓고 평균값정리를 활용하자.

- $x=0$ 일 때: $0 \leq 0$ 에서 성립
- $x > 0$ 일 때: $[0, x]$ 에 대해 $\frac{(1+x)^{\frac{1}{4}} - 1}{x} = \frac{1}{4}(1+c)^{-\frac{3}{4}}$ 인 $0 < c < x$ 존재
 여기서 $0 < x < \frac{1}{2}$ 이므로 $0 < c < \frac{1}{2}$ 이 성립한다.
 따라서 $\frac{1}{4}(1+\frac{1}{2})^{-\frac{3}{4}} < \frac{1}{4}(1+c)^{-\frac{3}{4}} < \frac{1}{4}(1+0)^{-\frac{3}{4}}$ 에서 $\frac{1}{4}(1+c)^{-\frac{3}{4}} < \frac{1}{4}$
 결국 $\frac{(1+x)^{\frac{1}{4}} - 1}{x} < \frac{1}{4} < \frac{1}{2}$ 이므로 $(1+x)^{\frac{1}{4}} - 1 < \frac{x}{2}$ 가 성립
 양쪽 모두 양수이므로 $|(1+x)^{\frac{1}{4}} - 1| < \frac{|x|}{2}$ 도 성립
- $x < 0$ 일 때: $[x, 0]$ 에 대해 $\frac{(1+x)^{\frac{1}{4}} - 1}{x} = \frac{1}{4}(1+c)^{-\frac{3}{4}}$ 인 $x < c < 0$ 존재
 $-\frac{1}{2} < x < 0$ 이므로 $-\frac{1}{2} < c < 0$ 성립
 $\frac{1}{4}(1+0)^{-\frac{3}{4}} = \frac{1}{4} < \frac{1}{4}(1+c)^{-\frac{3}{4}} < \frac{1}{4}(1-\frac{1}{2})^{-\frac{3}{4}} = \frac{1}{4} \cdot 2^{\frac{3}{4}} < \frac{1}{2}$ 에서 $\frac{1}{4}(1+c)^{-\frac{3}{4}} < \frac{1}{2}$
 따라서 $\frac{(1+x)^{\frac{1}{4}} - 1}{x} < \frac{1}{2}$ 이므로 $(1+x)^{\frac{1}{4}} - 1 > \frac{x}{2}$
 양쪽 모두 음수이므로 절대값은 뒤등호가 바뀌어 $|(1+x)^{\frac{1}{4}} - 1| < \frac{|x|}{2}$

따라서 $|x| \leq \frac{1}{2}$ 인 모든 x 에 대하여 성립한다.

· 문제 4-2

함수 $g(x) = (1+x)^{1/4} - (1 + \frac{1}{4}x)$ 에 대하여 평균값 정리를 적용시킨 경우도 좋은 평가를 받았다.

<답안 1>

함수 $(1 + \frac{1}{4}x) - (1+x)^{1/4}$ 이 0 보다 크다는 것을 밝히고, 이 함수와 함수 $\frac{3}{4}x^2$ 의 증감을 조사하여 원하는 부등식을 유도하였다. 원하는 부등식을 얻어가는 방법이 다른 답안에서는 찾아볼 수 없었던 독특한 부분이다.

4-2

$g(x) = (1+x)^{\frac{1}{4}} - (1 + \frac{1}{4}x)$ 라 하자. 이때 $g'(x) = \frac{1}{4}(1+x)^{-\frac{3}{4}} - \frac{1}{4}$ 이 된다. $x \geq 0$ 일 때 $(1+x)^{-\frac{3}{4}} \leq 1$ 이므로, $x < 0$ 일 때 $(1+x)^{-\frac{3}{4}} > 1$ 이므로, $g'(x)$ 는 $x \geq 0$ 일 때 $g'(x) \leq 0$, $x < 0$ 일 때 $g'(x) > 0$ 이 된다. $g'(0) = 0$ 이므로, $g(x) \leq 0$ 이 성립하게 된다. 따라서 $|(1+x)^{\frac{1}{4}} - (1 + \frac{1}{4}x)| = (1 + \frac{1}{4}x) - (1+x)^{\frac{1}{4}}$ 이 되고 문제의 부등식은 다음과 같게 된다.

$$(1 + \frac{1}{4}x) - (1+x)^{\frac{1}{4}} \leq \frac{3}{4}x^2$$

$f(x) = \frac{3}{4}x^2 - \frac{1}{4}x - (1+x)^{\frac{1}{4}}$ 이라 하자. $f'(x) = \frac{3}{2}x - \frac{1}{4} + \frac{1}{4}(1+x)^{-\frac{3}{4}}$ 이고, $f''(x) = \frac{3}{2} - \frac{3}{16}(1+x)^{-\frac{7}{4}}$ 이다. $(1+x)^{-\frac{7}{4}}$ 이 감소함수이므로, $f''(x)$ 는 증가함수이다. $f''(-\frac{1}{2})$ 은 다음과 같이 계산된다

$$f''(-\frac{1}{2}) = \frac{3}{2} - \frac{3}{16} \cdot (\frac{1}{2})^{-\frac{7}{4}}$$

$$= \frac{3}{16}(8 - 2^{\frac{7}{4}})$$

$2^{\frac{7}{4}} < 8$ 이므로 $f''(-\frac{1}{2}) > 0$ 이다. 따라서 $-\frac{1}{2} \leq x \leq \frac{1}{2}$ 에서 $f'(x)$ 는 증가 함수이다. $f'(-\frac{1}{2}) \leq 0$ 이므로, $x > 0$ 에서 $f'(x) > 0$, $x < 0$ 에서 $f'(x) < 0$ 이고 이는 $f(x)$ 가 $x=0$ 에서 극소점을 가진다는 것을 의미한다. $f(0) = 0$ 이므로, $f(x) \geq 0$ 이다. 따라서 $-\frac{1}{2} \leq x \leq \frac{1}{2}$ 에서 다음이 성립한다.

$$(1 + \frac{1}{4}x) - (1+x)^{\frac{1}{4}} \leq \frac{3}{4}x^2$$

이른 앞에서 다음과 같은 결론을 밝힌 바 있다.

$$|x| \leq \frac{1}{2} \text{ 에서 } |(1+x)^{\frac{1}{4}} - (1 + \frac{1}{4}x)| \leq \frac{3}{4}x^2$$

<답안 2>

함수 $(1 + \frac{1}{4}x) - (1+x)^{1/4}$ 에 미분의 평균값을 적용하여 원하는 부등식을 얻어 내었다. 각각의 경우를 치밀하게 분석하고 있다.

4-2 부등식에서 양변은 $|x|$ 로 나누면

$$\left| \frac{(1+x)^{1/4} - (1+\frac{1}{4}x)}{x} \right| = \left| \frac{(1+x)^{1/4} - 1}{x} - \frac{(1+\frac{1}{4}x) - 1}{x} \right| \leq \frac{3}{4}|x| \text{가 된다.}$$

$f(x) = (1+x)^{1/4}$, $g(x) = 1 + \frac{1}{4}x$ 라 하면 $f(0) = g(0) = 1$, $f'(x) = \frac{1}{4}(1+x)^{-3/4}$, $g'(x) = \frac{1}{4}$ 이다.

$|x| \leq \frac{1}{2}$ 일때 $f(x)$, $g(x)$ 모두 연속이므로 평균값정리를 사용하면 위의 식은

$$\left| f'(c) - \frac{1}{4} \right| \leq \frac{3}{4}|x| \text{가 된다. (c는 0과 x 사이의 수)}$$

앞에서 $f(x)$ 는 $|x| \leq \frac{1}{2}$ 일때 감소함수임을 보였고, $f'(0) = \frac{1}{4}$ 이므로

$\frac{1}{2} \leq x \leq 0$ 일때 $|f'(c) - \frac{1}{4}| = \frac{1}{4} - f'(c) \leq \frac{1}{4} - f'(x) = \frac{1}{4} - \frac{1}{4}(1+x)^{-3/4}$ 이다.

여기서 $h(x) = \frac{3}{4}x + \frac{1}{4}(1+x)^{-3/4} - \frac{1}{4}$ 이라 하면 $h'(x) = \frac{3}{4} - \frac{3}{16}(1+x)^{-7/4} \geq \frac{3}{4} - \frac{3}{16} > 0$ 이므로 ($0 \leq x \leq \frac{1}{2}$)

$h(0) = 0$ 이므로 $h(x) \geq 0$ 이다. 따라서 $\frac{1}{2} \leq x \leq 0$ 일때 부등식이 성립한다.

$-\frac{1}{2} \leq x \leq 0$ 일때 $|f'(c) - \frac{1}{4}| = f'(c) - \frac{1}{4} \leq f'(x) - \frac{1}{4} = \frac{1}{4}(1+x)^{-3/4} - \frac{1}{4}$ 이다.

여기서 $h(x) = \frac{3}{4}x + \frac{1}{4}(1+x)^{-3/4} - \frac{1}{4}$ 이라 하면 $h'(x) = \frac{3}{4} - \frac{3}{16}(1+x)^{-7/4} > \frac{3}{4} - \frac{3}{16} \cdot (\frac{1}{2})^{-7/4}$

$> \frac{3}{4} - \frac{3}{16} \cdot 2^2 = 0$ 이므로 $h(x) \leq 0$ 이다. 따라서 $-\frac{1}{2} \leq x \leq 0$ 일때 부등식이 성립한다.

$|x| \leq \frac{1}{2}$ 일때 $|f'(c) - \frac{1}{4}| \leq \frac{3}{4}|x|$ 이므로 결과적으로

$$\left| (1+x)^{1/4} - (1+\frac{1}{4}x) \right| \leq \frac{3}{4}x^2 \text{이다.}$$

• 문제 5

곡선의 길이를 일정하게 주었을 때 곡선 위를 움직이는 점의 이동을 예측하고 확인하는 것이 중요하다. 특히 적분에 관한 평균값의 정리로부터 핵심적인 부등식을 유도하고, 주어진 문제를 해결 가능한 작은 단계로 나누어 원하는 결론을 도출할 수 있는지를 알아보는 데 주안점을 두었다. 제시문에서 설명한 것처럼 중간값을 이용하여 근사값을 구한 답안도 있었는데, 이러한 답안도 좋은 평가를 받았다.

<답안 1>

제시문에서 설명한 내용을 충실하게 이용하여 기술하였다. 다만 $t \rightarrow \infty$ 일 때 $\frac{m(t)}{t}$ 의 극한이 1임을 정확히 설명하였다면 보다 더 좋은 답안이 되었을 것이다.

문제 5) $y = x^3$ 은 $x \rightarrow \infty$ 이면 $\frac{y}{x} = 3x^2$ 은 $x \rightarrow \infty$ 이면 ∞ 이므로

[a, b]에서 곡선의 길이를 구하면
$$l = \int_a^b \sqrt{1 + 9x^4} dx$$
 였다.

(t, t^3) 에서 $(m(t), \{m(t)\}^3)$ 까지의 길이가 1이므로

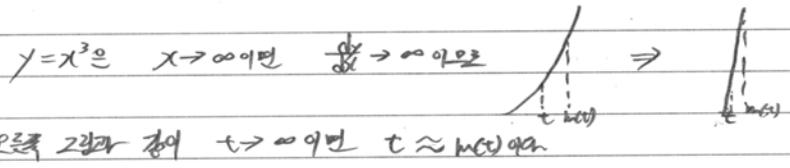
$$\int_t^{m(t)} \sqrt{1 + 9x^4} dx = 1 \text{ 였고}$$

양변을 t에 대해 미분하면 $m'(t) \sqrt{1 + 9\{m(t)\}^4} - \sqrt{1 + 9t^4} = 0$

$$\{m'(t)\}^2 = \frac{1 + 9t^4}{1 + 9\{m(t)\}^4}$$

$$t^3 [1 - \{m'(t)\}^2] = \frac{9t^3 [\{m(t)\}^4 - t^4]}{1 + 9\{m(t)\}^4}$$

$$= \frac{9 [\{m(t)\}^2 + t^2] [m(t) + t] t}{1 + 9\{m(t)\}^4} \times [m(t) - t] \times t^2$$



그리고 $\sqrt{1 + 9x^4}$ 은 $x \rightarrow \infty$ 이면 $t < c < m(t)$ 가 존재하여

$$\frac{1}{m(t) - t} \int_t^{m(t)} \sqrt{1 + 9x^4} dx = \sqrt{1 + 9c^4}$$
 였다.

따라서, $m(t) - t = \frac{1}{\sqrt{1 + 9c^4}}$ 이고 ($\because \int_t^{m(t)} \sqrt{1 + 9x^4} dx = 1$)

$t \rightarrow \infty$ 일 때 $t \approx m(t)$ 이므로 $t \approx c \approx m(t)$ 였다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} t^3 [1 - \{m'(t)\}^2] = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{9 [\{m(t)\}^2 + t^2] [m(t) + t] t}{1 + 9\{m(t)\}^4} \times \frac{t^2}{\sqrt{1 + 9c^4}}$$

$m(t) \approx c \approx t$ 로 가정하면

$$= \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{9 \times 2 \times 2 \times t^2 \times t \times t}{1 + 9t^4} \times \frac{t^2}{\sqrt{1 + 9t^4}}$$

$$= \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{36}{9 + \frac{1}{t^4}} \times \frac{1}{\sqrt{9 + \frac{1}{t^4}}} = \frac{36}{9} \times \frac{1}{3} = \frac{4}{3}$$