2. 자연계 출제의도와 문제해설, 채점기준

가. 2008학년도 자연계 논술의 목표와 기본 방향

2007학년도 대학입시를 위한 고려대학교 자연계 논술시험은 모의시험과 수시1, 수시2의 3차례 시험이 치러졌으며 인문계와 거의 유사한 논제로 구성된 통합논술의 방식을 택했다. 새롭게 시도되었던 이 통합논술의 배경과 나타난 문제점들은 인문계 출제의도와 문제해설에 상세히 기술하였으므로 생략하기로 하고, 단지 언어적 능력이 상대적으로 취약한 자연계의 경우 통합논술의 문제점이 더욱 크게 부각되었던 점을 덧붙이고자 한다.

고려대학교 논술본부는 이에 따른 개선방안을 신중하게 검토하여 2008학년도 대학 입학전형계획을 통해 올해부터 정시모집의 자연계도 논술을 실시한다고 발표하였다. 이는 지난해 인문계 및 자연계 모두가 같은 유형의 통합논술을 치른 것과는 달라졌음을 의미한다. 지난해 통합논술은 논제의 점수 배점과 답안작성 그리고 논제내용에 있어 계열별로 차이는 있었지만 '언어와 수리의 통합'이라는 기본 전제는 인문계와 자연계에 공통으로 적용되었다.

그러나 올해부터 실시되는 자연계 논술은 계열의 특성을 살려 언어의 비중을 대폭 줄이는 반면 과학교과와 수리를 통합한 통합교과형의 요소를 가미하였다. 이는 각 대학마다 논술의 유형이 다른 데서 오는 혼란을 가급적 줄이고 고등학교 과학교육의 정상화를 돕고자하는 취지에서 비롯되었다. 무엇보다도 이전에 실시했던 수리논술이나 통합형논술이 수리적 능력에 치중하거나 언어적 표현력과 논리적 능력을 위주로 한 것이어서 자연계에 필수적인 과학적 사고와 분석적 능력을 평가하기엔 미흡하였던 점이 자연계논술을 실시하게 된 이유이다.

자연계 논술은 본고사 논란을 피하고 학교 교육의 내실을 기하고자 대부분의 제시문을 고등학교 교과서에서 직접 발췌하여 사용하였다. 제시문과 논제에 사용된 소재와 개념은 이미 고등학교 교과서를 통해 익숙하게 다루어지는 것들이며 논제들은 충실한 학교교육을 받은 학생이라면 쉽게 해결할 수 있는 것들로 선택하였다. 더불어 자연계논술에서는 수리적, 과학적 이해와 능력을 바탕으로 일반 사회 문제에 대한 이해를 요구하는 통합적 논술 능력도 측정하고자 하였다.

과학교과 내용의 출제범위는 모의고사 실시 후 과학 선택과목으로 인한 문제점이 지적됨에 따라 앞으로 자연계 논술은 과학 I의 범위로 한정하기로 하였다.

나. 주제, 제시문 및 논제 해설

이번 자연계 논술은 큰 공통 주제 하에 언어 및 기타 영역의 제시문을 유기적으로 결합하는 이전 통합논술 방식에서 탈피하여 과학적 내용의 주제와 이에 관련된 제시문들을 중심으로 하였다.

모의고사에서는 '완충', '관성력', '부피측정'의 세 가지 주제를 중심으로 제시문과 논제들을 구성하였다.

(1) '완충'과 논제 I~III

제시문 (가), (나), (다)는 '완충'이라는 주제를 두고 화학, 생물, 사회 분야의 제시문을 선택한 것이다.

제시문 (가)는 화학의 '완충용액'과 '완충계'의 개념을 소개하면서 아세트산과 아세트산나트륨을 포함하는 완충용액의 예를 들어 완충작용의 원리를 설명하고 있다. 이 제시문은 고등학교 화학교과서에서 발췌하여 출제의도에 맞게 다듬은 것이다.

제시문 (나)는 생명체 내에서 일어나는 완충작용의 예를 혈액을 들어 설명하면서 생명체가 생명유지를 위해 어떻게 혈액의 완충작용을 필요로 하는지 그 이유에 대해 신진대사와 효소, 그리고 혈액간의 상관관계를 사용하여 간접적으로 밝히고 있다.

제시문 (다)는 완충이라는 용어가 FTA 협상과 같은 시사적 문제에도 등장함을 보여주면서 FTA 협상타결로 인한 농업분야 타격에 대해 정부가 마련한 완충장치들을 소개하고 있다.

[논제 I]

이공계 실험을 위하여 완충용액의 개념을 이해하고 제조하는 법을 아는 것은 필수적이다. 제시문 (가)는 완충용액의 정의와 pH에 대하여 자세히 설명하고 있다. 약산과 그 짝염기의 농도와 약산의 산 이온화상수를 알면 완충용액이 제조되었을 때의 pH 값을 알 수 있다. 논제에서 요구되는 pH 값 유도 과정은 고등학교 수학에서 배우는 상용로그 계산도 포함되어 있으므로 화학과 수학의 통합형 문제라 할 수 있다. 또한 제조된 용액의 pH 값을 아는 상태에서 빗물의 pH를 유추하기 위해 논리적인 실험 디자인을 하는 것을 논제에 포함하여 수험생들의 과학적 사고를 측정하고자 하였다.

[논제 II]

생체에서 일어나는 모든 반응들은 미시적으로 볼 때 화학 반응이다. 물론 시험관에서 일어나는 화학 반응보다 생물체 내의 반응은 훨씬 더 복잡하지만 혈액의 경우도 여러 화학 물질이 관여하는 완충 용액이며 생체의 항상성을 위하여 반드시 일정한 pH를 유지해야 한다. 제시문 (나)는 혈액이 pH를 유지시키는 한 예를 들고, 생체 내의 모든 반응에 관여하는 효소나 단백질이 pH에 따라서 활성이 달라진다는 것을 설명하고 있다. 논제에서 언급한 것처럼 인체가 피로를 느끼는 것은 여러 다른 메커니즘이 복합적으로 나타나는 현상이지만, 논제에선 그 중 하나인 pH 변화에 대하여 논술하게 하여 화학적인 개념을 생물학적 현상에 도입하는 통합적 논리를 소유하고 있는지 테스트하고자 하였다.

[논제 III]

최근에 타결된 한-미 FTA로 국익에 도움이 되는 부분도 있고, 피해를 감수해야 하는 부분도 분명히 존재한다. 여러 가지 대책들 중 특히 농업 부문에 피해를 최소화하기 위한 방안들이 제시되고

있으며, 이런 방안들을 흔히 완충장치라 일컫는다. 논제에서는 완충장치가 화학 반응에서나 생물학적인 완충의 의미와는 분명히 다르다는 점을 파악하여 비교 논술하게 하였다. 이를 통하여 이공계를 전공할 학생들이 제시문 (가)와 (나)에서 언급한 완충에 대한 정의를 분명히 알고 있는지 확인할 뿐만 아니라, 최근에 중요한 국가적 이슈에 대하여 얼마나 정확히 이해하고 있는지 알아보고자 하였다. 비록 차이점에 대한 논술이지만, 더 나아가 자연 과학적 현상이나 개념을 사회 현상에 적용해 사고할 수도 있다는 점을 제시하고자 하였다.

(2) '관성력'과 논제 Ⅳ, Ⅴ

제시문 (라), (마), (바)는 '관성력'이라는 주제를 두고 물리, 지구과학분야의 제시문을 선택한 것으로 고등학교 교과서와 백과사전에서 발췌 편집한 것이다

제시문 (라)는 뉴턴이 운동을 위치벡터, 속도벡터, 가속도벡터를 이용하여 기술한 것을 소개하면서 각 벡터량을 수식적으로 정의하고 있다.

제시문 (마)는 상대운동과 관성력의 관계를 코리올리 힘을 예로 들어 설명하고 이 힘은 단지 겉보기 운동임을 언급하고 있다.

제시문 (바)는 지구과학 교과서에 나오는 화성의 겉보기 운동의 예를 소개하고 있다.

[논제 Ⅳ]

논제 Ⅳ와 Ⅴ는 관성기준좌표계 및 관성력의 기본개념을 묻기 위한 문제이다. 관성력이 발생하는 원인이나 관성력이 실제 힘과는 분명히 다르다는 것은 서로 다른 기준좌표계 사이의 기본적인 관계로부터 쉽게 이해할 수 있다. 그럼에도 불구하고 많은 학생들이 급출발하거나 급정지하는 버스의 예만 떠 올릴 뿐 관성력이 발생하는 원인을 깊게 생각하지 않는 듯하다.

논제 Ⅳ는 사과의 자유낙하 운동이 서로 다른 기준계에서 관찰할 경우 어떻게 달라지는지 분석하는 문제이다. 사과의 운동은 자동차의 운동방향(x방향)과 지면에 수직인 방향(y방향)을 포함하는 평면상에서 이루어지므로 xy-평면 위의 2차원 운동으로 기술된다. 뉴턴과 갈릴레이의 관측 결과를 비교하기 위해선 각자의 기준좌표계를 따로 잡아야 한다. 각자가 측정한 사과의 위치, 속도, 가속도를 각자의 기준좌표계에서의 2차원 벡터로 표시하고 지문 (라)와 주어진 정보(예를 들어 주어진 자동차의 가속도)를 사용해 시간에 따른 변화와 운동의 모습은 밝힐 수 있어야 한다. 논제에선 자동차가 나무 밑을 통과하는 순간의 속도는 주어져 있지 않다. 따라서 수험자는 초기속도가 필요함을 지적하고 나름대로 적당한 값을 가정한 경우 더 좋은 평가를 받을 수 있다.

[논제 Ⅴ]

논제 Ⅴ는 뉴턴과 갈릴레이의 관측결과를 관성력과 겉보기 운동을 활용하여 설명할 것을 요구하고 있다. 지문 (마)와 지문 (바)에 각각 기술된 대기의 운동과 화성의 천구상의 움직임은 지구의 공전운동에 의한 겉보기 운동에 불과한 것으로, 논제 Ⅳ에서 갈릴레이가 관찰한 사과의 운동과 근본적으로 같다. 따라서 이 동질성을 파악하고 겉보기 운동과 관성력의 관계를 이용하여 갈릴레이의

관찰결과를 설명할 수 있어야 한다. 사과에 작용하는 실제 힘은 중력 밖에 없다. 따라서 뉴턴의 운동 제 2법칙에 의하면 사과는 수평방향으로는 정지해있거나 등속도 운동을 해야 한다. 그러나 논제 Ⅳ에서 보듯이 갈릴레이가 관찰할 때는 사과는 수평방향으로도 가속도 운동을 한다. 이는 갈릴레이의 기준좌표계가 관성좌표계가 아니기 때문이다. 갈릴레이의 기준좌표계에서도 “마치 뉴턴의 운동법칙이 성립하는 것처럼”하기 위해서는 중력 외의 또 다른 가상적인 힘, 즉 관성력이 작용하는 것을 생각해 볼 수 있다. 논제는 관성력이 중력과 달리 기준좌표계의 운동 상태에 따라 변하는 것을 파악하고 갈릴레이의 경우 구체적으로 관성력이 어떻게 주어지는지 밝힐 것을 요구하고 있다.

(3) ‘부피측정’과 논제 Ⅵ

제시문 (사)는 X-선 컴퓨터 단층촬영을 통해 형태를 모르는 물체의 부피를 추정하는 과정을 설명하고 있다. 단층촬영을 통해 여러 지점에서 물체의 단면적에 대한 데이터를 표로 제시하고 측정의 정확도를 높이기 위해 서로 다른 두 개의 측정 데이터를 소개하고 있다.

[논제 Ⅵ]

논제 Ⅵ은 학생이 고등학교 수학과정에서 가장 중요한 분야 중 하나인 적분의 개념을 정확히 알고 있는지 실생활과 관련된 문제를 통해 파악하고자 하였다. 이 논제에서는 실리콘 안에 있는 불순물 덩어리의 단면적을 컴퓨터 단층촬영(CT)를 통해 몇 지점에서 알아냈다고 가정할 때, 이 불순물의 크기, 즉 부피를 예상하는 문제이다.

우선 정보를 많이 사용할수록 더욱 정확한 결론을 얻을 수 있기 때문에, 두 자료에서 나온 자료를 통합한 다음 각 구간에서의 부피를 계산하고 그 값들을 합하는 것을 통해 전체 부피를 계산할 수 있는지 여부를 파악하고자 하였다. 예를 들어, 고등학교 교과과정에서 적분을 정의하는 방법 중 하나인 구분구적법을 각 구간에 적용하여 각 구간 별 물체의 부피를 계산하고 이를 합하여 물체의 부피를 예상할 수 있을 것이다. 또한 논제에서 주어진 조건과 교과서에서 정의하는 적분과의 차이점을 지적하여 계산 방법의 타당성을 논술하게 함으로써 논제를 정확히 이해하고 또한 적분의 정의를 정확히 이해하고 있는지 파악하고자 하였다.

예를 들어 각 구간의 간격이 일정하지 않아 구간간격이 일정한 교과서의 구분구적법과는 차이가 있다. 이 차이를 파악하고 각 구간의 부피의 최대 최소값까지 판별하여 부피의 기대치를 기술할 수 있다면 훌륭한 답안이 될 것이다.

다. 논제별 평가기준

[논제 Ⅰ]

1. 화학 반응식으로부터 완충 용액의 pH를 알아내는 과정을 이해하였는가?
2. 상용로그 계산을 통하여 완충 용액의 pH를 정확히 구할 수 있는가?
3. 논제에서 주어진 지시약 정보를 이용하여 빗물의 pH를 유추하는 방법을 논리적으로 제시할 수 있는가?

[논제 Ⅱ]

1. 생성된 젖산이 간으로 이동되는 과정에서 혈액의 pH를 낮춘다는 사실을 이해하였는가?
2. 산성화된 pH에서 물질 대사에 관여하는 효소나 단백질의 기능이 저하된다는 내용을 포함하였는가?
3. 혈액이 완충 용액이며, pH를 회복하는 과정 등에 대한 이해하였는가?

[논제 Ⅲ]

1. 제시문 (가)와 (나)에 설명된 화학 평형과 완충 용액의 개념에 대한 정확한 이해하였는가?
2. 한-미 FTA협정에서 제시된 완충장치들을 이해하였는가?
3. 한-미 FTA에서 나타난 완충 장치들과 화학적, 생물학적 완충과의 차이점 파악하였는가?
4. 자연 과학적 개념이나 현상을 사회 현상에 적절하게 적용 서술하였는가?

[논제 Ⅳ]

1. 뉴턴과 갈릴레이의 기준좌표계를 기준으로 측정한 사과의 위치벡터를 각각 명확히 구분하여 정의하였는가?
2. 제시문 (라)의 속도, 가속도 개념과 미분 개념만을 이용하여 뉴턴과 갈릴레이가 느끼는 사과의 가속도 사이의 관계식을 유도하였는가?
3. 사과의 위치를 시간의 함수로 표시할 수 있는가?

[논제 Ⅴ]

1. 실제 힘(예. 중력)과 관성력의 차이를 명확히 지적했는가?
2. 관성력이 발생하는 또는 필요한 이유를 지적했는가?
3. 갈릴레이가 관찰하는 사과의 운동과 제시문 (마)와 (바)에서 예로 든 겉보기 운동들이 근본적으로 같음을 이해하고 비교 서술하였는가?

[논제 Ⅵ]

1. 부피계산을 위한 구분구적법의 의미를 정확히 알고 잇는가?
2. 주어진 자료를 적절히 이용하였는가?
   - 예를 들어 두 자료를 통합하여 부피를 계산하는 방식을 생각해볼 수 있다.
3. 계산방법의 타당성을 밝혔는가?
4. 추정한 부피의 정확도가 뛰어난가?

2. 자연계 논제별 예시답안과 평가

가. 논제 Ⅰ 답안 사례와 평가

[우수답안의 사례]

우선 제조한 완충용액의 PH를 구하면

$CH_3COONa \rightarrow Na^+ + CH_3COO^-$ (모두 이온화된다고 가정)

$CH_3COOH + H_2O \rightarrow H_3O^+ + CH_3COO^- \; Ka = 1.74 \times 10^{-5}$

$$Ka = \frac{[H_3O^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = 1.74 \times 10^{-5}$$

위의 식에서 아세트산나트륨의 농도가 아세트산의 농도의 1.74라고 하면 모두 이온화된 CH_3COO^-는 거의 이온화되지 않은 CH_3COOH 농도의 약 1.74배가 된다.

그래서 $[CH_3COO^-] = 1.74 \times [CH_3COOH]$를 이온화상수에 대입하면

$[H_3O^+] = 10^{-5}$이라는 결론이 나온다.

$-\log[H_3O^+] = pH$에서 이 완충용액은 pH 5의 용액이란 사실을 알 수 있다.

현재 내리는 비의 $[H_3O]$를 x라 하면 완충용액에 내리는 비를 받으면 (VL만큼)

CH_3COO^-는 H_3O^+와 결합해서 CH_3COOH를 만들어 내게 된다.

그래도 이온화 상수는 일정하므로

$$Ka = \frac{[H_3O^+] \times [1.74 - xV]}{1 + xV} = 1.74 \times 10^{-5}$$

$$[H_3O^+] = \frac{(1.74 \times 10^{-5})(xV + 1)}{(1.74 - xV)}$$

$$\therefore -\log[H_3O^+] = 4.76 + \log\left(\frac{1.74 - xV}{1 + xV}\right) \rightarrow \text{완충용액의 pH}$$

위의 완충용액에 지시약 A를 넣고 계속 빗물을 떨어뜨려서

$4.76 + \log\left(\frac{1.74 - xV}{1 + xV}\right) = 5.1$이 되는 순간지시약 A의 색이 주황색으로 변할 것이다.

그때의 xV를 구하고 떨어뜨린 빗물의 부피 V로 나누면 x를 구할 수 있게 되고

$[H_3O^+] = x$이므로 $-\log x = PH$의 식으로 빗물의 산성도를 구할 수 있다.

[평가]

이 답안의 경우, 문제에서 화학 반응식으로부터 아세트산의 이온화상수가

$K_a = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$ 라는 것을 정확히 표현하였고, 주어진 아세트산나트륨과 아세트산 농도

를 대입하여 수소이온의 농도가 10^{-5} 이며, 따라서 제조된 완충용액의 pH가 5.0가 될 것이라는 것을 정확히 유도하였다. 중간에 농도를 대입하기 보다는 값 유도 과정을 아래와 같이 풀어쓰면 더 좋았을 것이라고 사료된다.

$K_a = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$ 에 양쪽에 상용로그를 취하면,

$\log K_a = \log[H^+] + \log\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$ 이고, 주어진 Ka값 1.74×10^{-5} 를 대입하면,

$\log(1.74\times10^{-5}) = -pH + \log(\frac{1.74[CH_3COOH]}{[CH_3COOH]})$

$\log 1.74^{-5} = -pH + \log 1.74$이므로, 제조된 완충 용액의 pH는 5.0이 얻어진다.

또한 완충용액과 빗물에 각각 지시약을 떨어뜨려 빗물의 색변화를 완충용액과 비교하여 빗물의 산성도를 측정한다는 논리 또한 정확히 제시하였다. 즉 빗물에 지시약을 떨어뜨렸을 때 주황색이거나, 완충용액이 지시약과 반응한 것과 같은 색이면 산성비라는 것을 잘 명시하였다.

[부족답안의 사례]

아세트산과 아세트산나트륨 용액의 완충용액에는 아세트산의 일부가 이온화된 수소이온들이 포함되어 있다. 이때 이 수소이온의 농도를 통해 PH값을 알 수 있다면, 이 완충용액에 A 지시약을 떨어뜨렸을 때 일어나는 색깔변화를 통해 어떤 색깔이 산성, 염기성인지 파악할 수 있다. 이때 아세트산의 이온화 상수는 1.74×10-5이므로 아세트산 용액속의 수소이온 농도[H+]=1.74×10-5가 되고 이때의 PH는 -log[H+]=4.76이 된다. 즉, 이 완충용액의 PH가 약 4.76이므로 이때 A 지시약을 첨가했을때 나타나는 색깔 변화를 통해 어느 색깔이 더 산성을 띄는지 파악할 수 있다. 그 후 비의 산성도를 측정하기 위해 A 지시약을 떨어뜨렸을 때 나타나는 색깔이 주황색 또는 완충용액에서의 A 지시약의 색깔과 같다면 PH5.6 미만의 비가 되므로 정상빗물보다 PH가 낮아 산성비라고 부를 수 있다. 만약 그 이의의 색이 나온다면 이 비는 PH5.6 이상의 비임을 알 수 있다.

[평가]

이와 비슷한 답안을 작성한 학생이 매우 많았다. 아세트산의 이온화상수 1.74×10^{-5}로부터 이것의 상용로그를 취해 완충용액의 pH를 4.76이라고 답하였다.

답을 틀렸지만, 완충용액과 빗물에 각각 지시약을 떨어뜨려 빗물의 색변화를 완충용액과 비교하여 빗물의 산성도를 측정한다는 논리는 정확히 제시하였다. 이런 경우 채점을 담당한 교수님들과 선생님들은 부분 점수를 인정하여 주었다.

나. 논제 Ⅱ 답안 사례와 평가

[평가요소]

생체에서 일어나는 모든 반응들의 미시적으로 볼 때는 화학 반응이다. 물론 시험관에서 일어나는 화학 반응 보다 생물체 내의 반응은 훨씬 더 복잡하다. 혈액의 경우도 여러 화학 물질이 관여하는 완충 용액으로 생체의 항상성을 유지하기 위하여 반드시 일정한 pH를 유지한다. 제시문 (나)에서 혈액이 pH를 유지하기 위한 한 예를 설명하였고, 생체 내의 모든 반응에 관여하는 효소나 단백질이 pH에 따라서 활성이 달라진다는 것을 설명하였다. 논제에서 언급한 것처럼 인체가 피로를 느끼는 것은 여러 가지 다른 메커니즘의 복합적인 현상이지만, 다음과 같은 pH변화에 대한 핵심 내용이 논술되어 있는지를 확인함으로써 화학적인 개념을 생물학적 현상에 도입하는 통합형 논리 능력을 테스트 하고자 하였다.

(1) 생성된 젖산이 간으로 이동되는 과정에서 혈액의 pH를 낮춤.

- 과로를 하거나 심한 운동을 하면 혈중 이산화탄소의 농도가 높아져서 pH가 일시적으로 낮아질 수 있음. 이는 과격한 운동으로 근육에 만들어진 젖산이 분해되기 위해 간으로 이동할 때, 혈액을 산성화시키기 때문임.

(2) 산성화된 pH에서는 물질 대사에 관여하는 효소나 단백질의 기능이 저하됨.

- 과로를 하면 혈액이 산성화되어 피로감을 느끼게 되는데, 혈액 내에서 물질 대사에 관여하는 효소나 단백질의 기능이 낮아진 pH에서는 저하되기 때문임. 효소나 단백질은 각각 최적의 온도와 pH를 가지고 있고, pH가 변화되면 구조 변화 등으로 기능이 많이 저하됨. 계속 pH가 낮아지면 생명이 위태로워질 수 있음.

(3) 혈액은 pH를 회복시킬 수 있는 완충 용액임.

- 혈액은 산성 물질이 들어와도 급격하게 pH가 변하지 않도록 조절하는 완충 용액이다. 제시문 (나)에서 언급한 것처럼 헤모글로빈(Hb)이라는 단백질이 혈액의 완충 작용에 큰 역할을 한다. Hb가 H^+과 결합하여 H^+ 농도를 낮추어서 pH을 다시 올리기도 하고, 헤모글로빈은 CO_2와 결합하는 기능을 가지고 있기 때문에 혈액 내의 탄산수소 이온 농도를 제어해 결국 H^+ 농도를 일정하게 유지한다. 혈액은 이러한 완충 작용을 통하여 얼마 지나지 않아서 원래 pH로 되돌아오는 항상성이 있다.

[우수답안의 사례]

과로나 과격한 운동을 하면 근육에서 만들어진 젖산이 분해되어 간으로 보내진다. 젖산이 분해될 경우, 이산화탄소(CO_2)가 발생하게 되는데 이러한 이산화탄소는 혈액

을 통해서 이동하게 된다. 전체 CO2 중 약 7-8%는 혈장에 용해되어 탄산형태로 운반되는데, 즉, H2O + CO2 → H2CO3 → H+ + HCO3-

탄산이 이온화되면서, 수소이온(H+)와 탄산이온(HCO3-)를 내놓게 된다. 결국, 혈액내의 H+의 농도가 증가하게 된다. 하지만 이 때 생성된 수소 이온은 헤모글로빈과 결합하여 혈장으로 나오지 않기 때문에 혈액의 pH가 급격히 변하지는 않는다. 그러나 이러한 형태의 대사산물이 축적되게 되면 (헤모글로빈과 결합하여 체액으로 나가는 것을 막는 데에도 한계가 있기 때문에) 체액의 pH가 약간 변하게 된다. 우리의 몸은 생명활동에 필요한 에너지를 얻거나, 여러 물질대사를 하는 데에 있어서 효소가 모두 관여하는데, 이 효소가 단백질로 이루어져 있어 약간의 pH의 변화에도 민감하게 영향을 받는다.

따라서 효소의 작용이 둔해지게 되고, 이로 인해 신체의 각종 물질대사가 원활히 이루어지지 못하여 인체는 에너지가 고갈되어 극심한 피로를 느끼게 된다.

그러나, 휴식을 취하게 되면 H+(수소이온)와 같은 대사산물의 양도 적어질 뿐만이 아니라 우리 몸의 혈액과 같은 체액의 완충작용에 의하여 곧 정상적인 pH로 되돌아가게 된다. 따라서 효소의 작용이 원활하게 이루어지므로 다시 항상성을 회복할 수 있게 되는 것이다.

[평가]

이 답안의 경우 과로나 과격한 운동을 통하여 젖산이 분해되어 간으로 이동하는 과정 중에 혈중 이산화탄소의 농도가 높아지고 이로 인하여 혈액이 산성화 되는 것을 잘 제시하였다. 또한 혈액인 급격히 pH가 변하지 않도록 되어있는 완충용액이라는 개념을 정확히 가지고 있는 것으로 판단된다. 하지만, 어느 정도의 한계를 넘게 되면, 혈액의 미세한 pH 변화가 생긴다. 그로 인해 생체 여러 물질대사에 관여 하는 효소의 활성이 영향을 받고 따라서 인체가 피로는 느끼는 과정에 대해서도 정확히 언급하였다. 또한 혈액은 휴식을 통하여 정상적인 pH로 돌아가는 항상성이 있다는 것도 잘 파악하고 있는 것으로 판단되어 비교적 좋은 점수를 받았다.

[부족답안의 사례]

인체가 피로를 느끼게 되는 원인은 에너지의 원료인 산소의 공급이 원활하지 못하기 때문이다. 운동을 열심히 하면 CO2가 많이 생성된다. 많이 생성된 CO2는 혈장에 녹아서 HCO3- 형태로 운반되게 된다. 그리고, H+도 HCO3-를 만드는 과정에서 같이 생성된다. H+가 혈액속으로 녹아들어가면 혈액의 pH가 낮아져서 위험한 상태에 도달한다. 그래서 H+를 헤모글로빈이 운반한다. 원래 헤모글로빈은 산소를 공급하는데 그 자리를 수소가 차지하기 때문에 산소의 공급이 원활하게 이루어지지 못한다. 사람이 에너지를 만드는 데는 산소가 필요하다. 그런데 산소의 공급이 원활하지

못하기 때문에 에너지를 만들지 못하고 사람은 피로해지는 것이다.

항상성이 회복되는 현상은 자연스럽게 일어난다. 여러 가지 형태로 혈액을 통해 운반되던 이산화탄소는 폐에 도착한 후 공기 중으로 빠져나가게 된다. 그러면 헤모글로빈은 수소대신에 산소를 옮길 수 있는 능력을 가진다. 산소가 혈액속을 흐르면서 조직세포에게 원활한 산소를 공급해주기 때문에 에너지 생성도 원활하게 되는 것이다.

[평가]

이 답안의 경우 피로를 느끼는 과정은 산소공급에 국한하였다. 따라서 헤모글로빈의 역할에 대하여 많은 언급을 하였고, 일정부분은 올바른 내용이기도 하다. 하지만, 혈액의 완충용액 효과에 대한 언급이 부족하고 물질 대사에 관여하는 효소의 역할에 대한 언급이 없다고 판단된다. 피로의 회복 과정 또한 정상 pH의 회복 보다는 산소 공급에만 주안점을 두고 논술을 하여 여러 부분에서 감점 요인이 있었다.

다. 논제 Ⅲ 답안 사례와 평가

[우수답안의 사례]

제시문 (가)에서 아세트산과 아세트산나트륨 수용액의 완충작용은 아세트산이 이온화되거나, 다시 아세트산으로 됨으로써 이루어진다. (나)에서 제시한 지문을 보면 이는 물질대사를 돕는 효소의 작용이 pH의 변화에 민감하게 영향받기 때문에 체내에서 pH를 유지시키기 위해 일어난다. 화학반응에서의 완충작용은 이온화에 따라 수소이온 농도를 유지하여 평형을 이루는 것이다.

반면, 실생활에서는 (다)에서 볼 수 있듯이 pH가 올라가면 아세트산이 이온화하고 pH가 내려가면 아세트산으로 됨으로써 평형을 이루는 즉각적이고 언제나 동일한 화학반응에서의 완충과는 다르다. 실생활에서의 완충작용은 화학반응에서 보다 많은 방법이 사용된다.

먼저 변화의 기간을 길게 함으로써 당사자들이 적응할 수 있는 시간을 준다. 이는 화학반응에서는 있을 수 없는 일이다. 화학반응은 적응이라는 개념자체가 있을 수 없다. 서로 결합하고 분리하여 평형을 이룰 뿐이다. 만약 화학반응에서 속도를 늦춘다면 pH 변화의 민감한 단백질로 된 효소의 변성이 일어나 생명체는 살 수 없다.

또, 실생활에서의 다른 완충방법에는 외부의 도움이 있다. (다)에서는 정부가 농가에게 보상하는 방법으로 조치를 하는 예로 알 수 있다.

화학반응에서는 (나)처럼 탄산무수화 효소 등의 외부의 작용이 있을 수 있지만, 화학반응은 실생활에서처럼 근본적이지 않고 임시방편책에 불과하지 않다.

실생활에서 (다)의 정부의 보상은 당장의 조치만 취하여 슬그머니 넘어가려는 것으로 보일 뿐이다. 농가 소득의 감소를 감소분만큼 채워주는 등의 당장의 조치는 농민들을 장기적으로 쇠락의 길로 인도하는 것 밖에는 되지 않는다. 반면 화학반응은 당장의 위험한 변화는 외부의 효소로 완충하면서 (나)에서의 반응처럼 수소이온을 세모글로빈과 결합하게 하여 나중의 위험도 완충하는 장기적으로 완충작용을 하는 방법이다.

실생활의 완충작용은 완전하지 못한 부분이 많아 계속 새로운 해결책을 내야하고, 당사자들의 불만을 사는 반면 화학작용은 즉각적이며 근본적이고 장기적이라고 볼 수 있다. 생명과 관련돼있기 때문이다. 우리도 실생활의 완충작용이 필요한 상황에서 근본적이고 장기적인 대책을 내놓아 모두가 만족할 수 있는 완충방안을 제시해야 하겠다.

[평가]

화학 평형과 완충 용액의 개념을 정확히 이해하고 있으며 한-미 FTA협정에서 제시된 완충장치들에 대해서도 그 특징을 잘 파악하고 있다. 특히 FTA의 완충 장치들이 변화의 기간을 길게 하는 방식이거나 외부의 도움(정부의 보상)을 요구하는 방식들임을 명시하고 이들은 화학의 평형을 이용한 자발적인 완충작용과는 다른 사실을 설득력 있게 지적하였다. 더불어 과학적 사실과의 비교로부터 실생활의 완충작용에 대한 바람직한 방향까지 끌어내고 있어 출제진의 의도를 훌륭히 충족시켰다 하겠다.

[부족답안의 사례]

화학에서나 실생활에서나 완충 작용이 외부의 자극의 변화를 최소화한다는 점에서 그 역할은 같다. 그러나 화학에서의 완충 작용은 어떤 완충용액에 산 또는 염기가 첨가되었을 경우 완충용액 자체의 힘으로 이를 중화시킨다는 것이다. 여기서 첨가되는 산 또는 염기를 수입되는 외국 농산물이라고 생각한다면 이 농산물이 영향을 미치는 대상은 국내 농업 분야이므로 산 또는 염기가 첨가된 용액에 해당하는 것은 국내 농업이다. 그런데 실제 세계에서는 국내 농업 분야가 자체적인 힘으로 외국 농산물의 수입에 의한 영향에 대응하는 것이 아니다. 실제로는 국가가 나서서 저율할당관세 제도, 계절관세 제도, 세이프가드 제도를 통해 외국 농산물이 우리나라에 들어오는 것을 막음으로서 국내 농업의 피해를 완충시킨다. 이것은 화학 반응에서 생각하면 산 또는 염기가 용액으로 들어오는 것을 애초부터 막는 것과 같은 개념이다. 즉, 화학 반응에서의 완충과 실생활에서의 완충은 그 방법 자체부터가 다르다.

화학에서의 완충 작용에 비해 실생활에서의 완충 작용은 그 종류가 매우 다양하고 완충 작용의 강도나 한계도 임의로 정할 수 있다. 예를 들어, 한미 FTA 농업 분

야에서 우리나라는 미국과의 합의 끝에 TRQ, 계절관세, 세이프가드 폐업보상, 복지 강화 등의 다양한 완충 제도를 만들었다. 이처럼 실생활에서는 화학에서의 완충 작용보다 더 다양한 완충 제도를 정할 수 있다. 또, 세이프가드 제도와 같은 완충 제도는 상황에 따라 완충 작용의 강도를 변화시킬 수 있는 제도로, 화학에서는 나타날 수 없는 완충 작용이다.

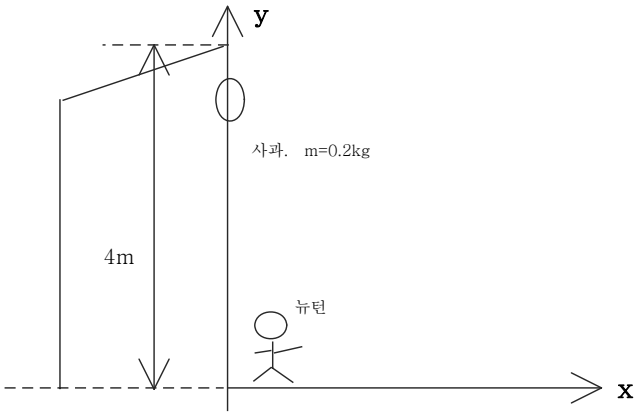
[평가]

화학의 완충작용은 평형의 이동을 통해 일어나는 것으로 화학의 중화작용과는 다르다. 답안은 완충을 외부의 자극을 줄이는 중화작용으로 표현하여 완충작용에 대한 이해가 부족한 듯 보인다. FTA의 완충장치의 경우 제시문의 제도들을 외국 농산물이 들어오는 것을 막는 것으로 표현하고 있어 이것 역시 FTA 완충장치에 대한 명확한 이해로 보기 어렵다. 반면에 화학과 FTA 경우 완충에 대한 차이점 비교는 설득력 있게 서술되었다고 여겨진다.

라. 논제 Ⅳ 답안 사례와 평가

[우수답안의 사례]

(1)뉴턴의 입장



뉴턴은 나무 밑에 앉아있었는데, 그 순간 사과가 떨어졌다. 이 때, 사과가 떨어지는 운동을 xy 평면에서 이루어지는 운동으로 볼 수 있다. 뉴턴이 앉아있는 지표면을 x축, 나무를 따라 지면에 수직한 방향을 y축이라고 한다. (중력가속도 = g)

이 때, 시각 t에서의 위치를 $\vec{r}(t)=(x(t),y(t))$로 표시할 때, $\vec{r}(t)=(0,4-\frac{1}{2}gt^2)$ 이다.

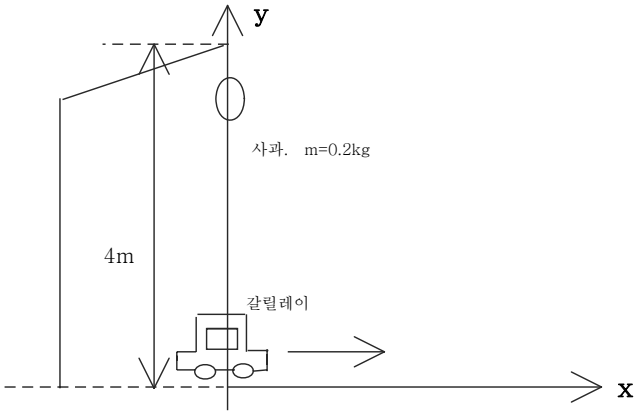
$$\left(S=\cancel{v_0}^{0}t+\frac{1}{2}\cancel{a}^{-g}t^2\right)$$

이 때, 순간속도 $\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}}{dt} = (0, -gt)$ 이다.

또한 순간 가속도 $\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt} = (0, -g)$이다.

결국, 뉴턴이 떨어지는 사과를 볼 경우에는 아래(수직)방향으로 중력가속도(g)만한 크기의 가속도를 가지고, t일 때의 순간속도는 -gt(m/s)이며, 순간(시각t에서의)위치는 $4 - \frac{1}{2}gt^2$인 운동을 하는 것처럼 보인다.

⑵ 갈릴레이의 입장



갈릴레이는 $3m/s^2$의 등가속도로 달리는 자동차를 타고 나무 밑을 통과하는데, 그 순간 사과가 떨어졌다. 이 때, 사과가 떨어지는 운동을 xy 평면에서 이루어지는 운동으로 볼 수 있다. 뉴턴이 앉아있는 지표면을 x축, 나무를 따라 지면에 수직한 방향을 y축이라고 한다. (중력가속도 = g). 이와 같이 x, y축을 설정한 뒤에, 갈릴레이의 위치를 $\overrightarrow{r_{갈}}(t)$라 하고, 사과의 위치를 $\overrightarrow{r_{사}}(t)$라 하면,

(v_0: 갈릴레이의 처음속도 $\overrightarrow{r_{갈}}(t) = v_{0t} + \frac{1}{2} \times 3t^2, 0$) 이고, $\overrightarrow{r_{사}}(t)$= (0, 4) 이다.

이 때, 갈릴레이에 대한 사과의 상대(적) 위치는 $\overrightarrow{r_{상}}(t) = -v_0 t - \frac{3}{2}t^2, 4 - \frac{1}{2}gt^2$) 이다.

갈릴레이의 순간속도를 $\overrightarrow{v_{갈}}(t)$, 사과의 순간속도를 $\overrightarrow{v_{사}}(t)$라 하면

$\overrightarrow{v_{갈}}(t) = (v_0 + 3t, 0)$, $\overrightarrow{v_{사}}(t) = (0, -gt)$이다.

갈릴레이에 대한 사과의 상대속도는 $\overrightarrow{v_{상}}(t) = (-v_0 - 3t, -gt)$이다.

갈릴레이의 순간가속도를 $\overrightarrow{a_{갈}}(t)$, 사과의 순간가속도를 $\overrightarrow{a_{사}}(t)$라 하면

$\overrightarrow{a_{갈}}(t) = (3, 0)$, $\overrightarrow{a_{사}}(t) = (0, -g)$로 구해진다.

갈릴레이에 대한 사과의 상대가속도는 $\overrightarrow{a_{상}}(t) = (-3, -g)$ 이다.

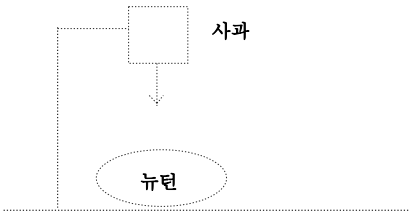
결국, 갈릴레이가 떨어지는 사과를 본 경우에는 사과는 x방향으로 가속도가 $3m/s^2$이고 -y방향으로 가속도가 g인 포물선운동을 하며 떨어지는 것으로 보인다.

[평가]

정지해 있는 뉴턴이 관찰한 사과의 운동이 잘 기술되어 있다. 그리고 갈릴레이가 관찰한 사과의 운동을 기술하기 위해, 먼저 뉴턴이 관찰한 갈릴레이의 위치를 구하고 이를 이용하여 갈릴레이가 관찰한 사과의 (상대)위치를 구하였다. 이로부터 갈릴레이가 관찰한 사과의 (상대)속도, (상대)가속도를 비롯한 사과의 운동을 기술하였다. 이 답안은 논제에서 요구하는 뉴턴과 갈릴레이 입장에서 보는 사과의 운동을 비교적 잘 기술하고 있다.

[부족답안의 사례]

먼저 뉴턴의 입장에서 살펴보자.



이 상황은 2차원의 직교좌표계로 옮겨 생각해 볼 수 있다.



뉴턴의 입장에서의 좌표계는 고려할 필요가 없는데 이는 뉴턴이 정지해 있기 때문이다.

사과의 운동을 기술해보면 $\vec{r}(0) = (0, 4)$
$\vec{v}(0) = (0, 0)$
$\vec{a}(t) = (0, -g)$

라고 할 수 있다.

사과에는 지구의 중력만 작용함으로 결국 뉴턴이 본 사과의 운동은

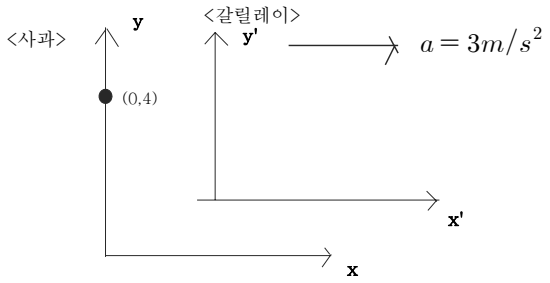
$\vec{r}(t) = (0, 4 - \frac{1}{2}gt^2)$
$\vec{v}(t) = (0, -gt)$

$\vec{a}(t) = (0, -g)$

(땅에 떨어지기까지 만을 고려하면 $0 \le t \le \sqrt{\frac{8}{g}}$)

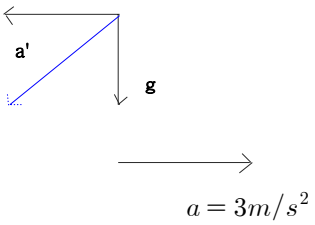
즉, 뉴턴에게는 사과가 연직이래 방향의 자유낙하운동을 하는 것으로 보인다.

갈릴레이의 입장에서 생각해보자.



사과에 있어서 초기조건은

$\vec{r}(0) = (0,4)$
$\vec{v}(0) = (0,0)$



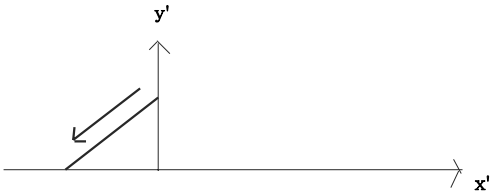
갈릴레이 입장에서

$\vec{a}(t) = (ax', ay')$
$= (-3, -g)$
$\vec{v}(t) = (-3t, -gt)$
$\vec{r}(t) = (-\frac{3}{2}t^2, 4 - \frac{1}{2}gt^2)$

$\therefore \; x(t) = -\frac{3}{2}t^2 \;\; . \;\;\; y(t) = 4 - \frac{1}{2}gt^2$

이 두 t에 대한 매개변수 식을 하나로 합치면

$y = 4 - \frac{1}{2}g \cdot (-\frac{2}{3}x) = 4 + \frac{1}{3}gx$



따라서 갈릴레이 입장에서는 사과가 왼쪽 그래프와 같은 형태로 낙하하는 것으로 보이게 된다.

(시간은 마찬가지로 $0 \le t \le \sqrt{\frac{8}{g}}$)

[평가]

이 답안에서도 정지해 있는 뉴턴이 관찰한 사과의 운동이 잘 기술되어 있다. 갈릴레이가 관찰한 사과의 운동을 기술함에 있어서, 이 답안에서는 갈릴레이가 관찰한 사과의 (상대)가속도를 먼저 구하였다. 이것은 뉴턴이 관찰한 사과의 가속도에서 뉴턴이 관찰한 갈릴레이의 가속도를 뺀 값으로 구해졌다. 그리고 갈릴레이가 관찰한 사과의 가속도로부터 갈릴레이가 관찰한 사과의 (상대)속도 및 (상대)위치를 구하였다. (이 답안에서는 t=0일 때 뉴턴이 관찰한 갈릴레이의 속도를 0으로 가정하였다.) 이러한 방법으로도 갈릴레이가 관찰한 사과의 운동이 정확히 기술됨을 알 수 있다. 그러나 첫 번째 답안은 갈릴레이가 관찰한 사과의 위치로부터 제시문 (라)를 이용하여 속도 및 가속도를 구함으로써

갈릴레이가 관찰한 사과의 속도 = 뉴턴이 관찰한 사과의 속도 - 뉴턴이 관찰한 갈릴레이의 속도

갈릴레이가 관찰한 사과의 가속도 = 뉴턴이 관찰한 사과의 가속도 - 뉴턴이 관찰한 갈릴레이의 가속도

가 성립하는 보다 근본적인 이유까지 설명할 수 있으므로, 첫 번째 답안이 두 번째 답안보다 다소 좋은 답안이라 할 수 있다.

마. 논제 Ⅴ 답안 사례와 평가

[평가요소]

사과에 작용하는 실제 힘은 중력 $F_g = (0, -mg)$밖에 없다. 따라서 뉴턴의 운동 제 2법칙에 의하면 사과는 수평방향으로는 정지해 있거나 등속도 운동을 해야한다. 그러나 논제 Ⅳ에서 보았듯이 갈릴레이가 관찰할 때는 사과는 수평방향으로도 가속도 운동을 하고 있다. 그러므로 갈릴레이의 기준좌표계에서는 뉴턴의 운동법칙이 성립하지 않는다.

갈릴레이의 기준좌표계에서도 "마치 뉴턴의 운동법칙이 성립하는 것처럼" 하기 위해서는 중력 외에 또 다른 가상의 힘 $F' = -mA = (-mc, 0)$(여기서 $c = 3m/s^2$는 갈릴레이가 탄 자동차의 가속도의 크기이다)이 작용하고 있다고 가정하면 된다. 그러나, 이 힘은 중력과는 달리 기준좌표계의

운동상태에 따라 변하는 것으로, 어느 좌표계에서나 변함없는 (가령, 중력과 같은) 실제 힘과는 다르다. 실제 힘과 구별하기 위하여 이러한 힘을 흔히 "관성력"이라 부른다.

지문 (마)에서 기술한 대기의 운동이나 지문 (바)에 기술한 화성의 천구상의 움직임은 실제 힘이 복잡하게 작용한 결과가 아니라 지구의 공전운동에 따른 겉보기 운동에 불과하다. 그러므로 논제 Ⅳ에서 갈릴레이가 관찰한 사과의 운동과 근본적으로 같다. 이러한 겉보기 운동은 뉴턴의 운동법칙을 따라야 할 이유가 없지만, "편의상" 뉴턴의 운동법칙을 적용하고 싶으면 실제 존재하지 않는 가상의 힘, 즉 "관성력"을 적절히 가정해야 한다.

[우수답안의 사례]

(마)에서는 기준 좌표계가 회전(⇒운동)할 경우 기준좌표계에서 관찰된 물체의 운동에 영향을 미쳐(⇒관성력) 실제 좌표계 밖과는 다르게 관찰된다고 하였다.

(바)에서도 마찬가지로 관찰을 하는 지구가 빠르게 공전(=운동)하여 화성의 운동이 실제와는 다르게 보인다고 하였다.

(Ⅳ)에서 갈릴레이가 관찰한 결과를 보자.

$\overrightarrow{V(t)'} = (-3t, -at)$

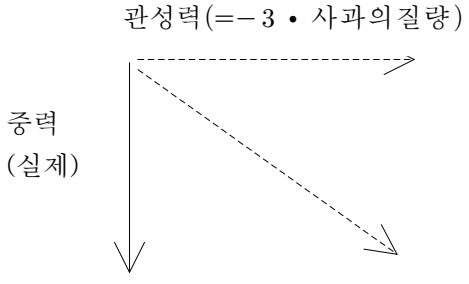
$\overrightarrow{a(t)} = (-3, -a)$

그러나 (지구내의) 정지한 관찰자(=뉴턴)가 보기엔

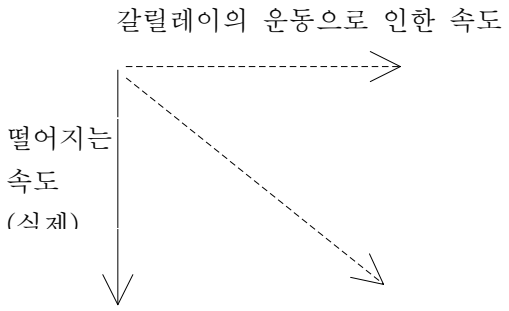
$\overrightarrow{V(t)'} = (0, -at)$

$\overrightarrow{a(t)} = (0, -a)$**이다.**

이런 차이는 관찰자인 갈릴레이가 운동(=등가속도 운동)을 해서 생기는 것이며 이는 (마)와 (바)의 관점에 부합한다. 즉, 갈릴레이가 가속도운동을 하기 때문에 그의 관점에서는 사과가 $\vec{x}$ 방향으로 힘을 받는 것처럼 보인다. 이 힘은 관성력이며 $(-3 \cdot \text{사과의질량}, 0)$으로 표현된다. 또한 화성이 공전하는 것과 같이 갈릴레이가 운동을 하기 때문에 실제로 사과는 $\overrightarrow{V(t)} = (0, -at)$로 떨어지지만 갈릴레이의 입장에서는 $\vec{x}$방향으로 $-3t$ 만큼의 운동이 추가되어 y축 방향으로는 초당 at만큼 x축 방향으로는 초당 $3t$만큼 가까워지는 것처럼 보인다. 이는 겉보기 운동이라 할 수 있다. Ⓕ



Ⓥ



[평가]

지문 (마)와 (바)를 읽거나 논제 Ⅳ번의 물음을 잘 분석한다면, 갈릴레이가 관찰한 사과의 운동이 겉보기 운동과 관련이 있음은 쉽게 짐작할 수 있을 것이다. 이 논제에서는 막연한 비유보다는, 운동은 기준좌표계를 기준으로 기술된다는 점, 이렇게 관찰되는 운동상태는 기준좌표계 자체의 운동상태에 따라 달라진다는 점, 관성력과 실제 힘의 차이점 등을 논리적으로 서술할 수 있는가를 묻고자 하였다. 이러한 관점에서 볼 때, 답안 A는 논제 Ⅴ의 요구사항을 비교적 잘 만족하고 있음을 알 수 있다. 아울러, 지문 (마) 및 (바)에서 기술한 겉보기 운동과 갈릴레이가 관찰한 사과의 운동을 각각 잘 비교하고 있다.

[부족답안의 사례]

관성력은 실제 물체의 운동에 대한 개념이 아니라 추상적으로 정의되는 힘이다. 또한 제시문(마)의 화성의 겉보기 운동에서는 지구와 화성의 속도차이로 인한 역행현상이 나타나고 있다. 이 역행현상은 실제 존재하는 현상이 아니라 지구를 기준으로 해서 상대적 운동에 의해 관찰되는 현상이다. 갈릴레이는 3㎧ 등가속도로 자동차를 타고 나무밑을 통과하면서 중력가속도 9.8㎧으로 낙하하는 사과의 운동을 관찰한다. 따라서 갈릴레이는 사과의 실제 운동현상이 아닌 자신의 기준에서 상대적 운동을 관찰한다.

[평가]

기준좌표계의 역할이나 상대운동에 대한 설명이 모호할 뿐만 아니라, 관성력에 대한 서술도 매우 피상적이다. 예를 들어, 서로 다른 기준좌표계가 상대적인 운동을 한다고 해서 반드시 관성력이 나타나는 것이 아니라, 상대적인 가속도 운동을 해야만 관성력의 도입이 필요하다. 지문 (마)나 (바)에 예로 든 복잡한 겉보기 운동은 단순히 상대적인 운동(가령, 등속도 상대운동)만으로는 나타나지 않을 것이다. 답안 B의 모호한 논리로는 이러한 차이를 알아낼 수 없다. 운동의 기술방법 및 운동법칙에 대한 기본적인 이해에 바탕을 둔 논리적이 서술이 부족한 점이 아쉽다.

바. 논제 Ⅵ 답안 사례와 평가

[우수답안의 사례]

X축을 10mm로 자를 때와 7mm로 자를 때의 도표를 종합해보면 다음과 같다.

Xmm	0	7	10	14	20	21	28	30	35	40	42	49	50
단면적	0	2	2	8	6	6	6	3	4	2	2	0	0

이 때 불순물의 부피를 가급적 정확하게 측정하려면 각 구간의 평균단면적을 계산하는 것이 좋다. 예를 들어, X축이 0mm에서 7mm 사이에는 불순물의 단면적이 그만큼 변하므로 $\frac{0+2}{2}$를 0~7mm 사이의 평균단면적으로 보는 게 옳다. 이와 같이 계산하여 각 구간별 평균단면적을 표로 나타내면 다음과 같다.

구간mm	0~7	7~10	10~14	14~20	20~21	21~28	28~30	30~35	35~40	40~42	42~49	49~50
평균단면적	1	2	5	7	6	6	4.5	3.5	3	2	1	0

불순물의 부피는 (단면적 × 구간의 길이) 이므로 부피를 V라 할 때 계산은 다음과 같다.

V = (7×1)+(3×2)+(4×5)+(6×7)+(1×6)+(7×6)+(2×4.5)+(5×3.5)+(5×3)+(2×2)+(7×1)+(0×0)

= 7+6+20+42+6+42+9+17.5+15+4+7

= 175.5mm²

따라서 불순물의 부피는 175.5mm² 으로 추정할 수 있다.

하지만 이 방법으로 부피를 추론하는 것은 각 간격의 길이의 차가 있기 때문에 다소 부정확할 수 있다. 예를 들어 구간 20~21 사이에 구간차가 1이지만 0~7 구간 사이에는 구간차가 7이나 되기 때문에 이 구간의 단면적은 20~21의 평균단면적 계산 값보다 정확하지 못하다. 아무래도 0~7 사이의 단면적이 급변할 확률이 20~21인 곳보다 크기 때문이다. 따라서 구간 간격이 좁은 곳은 아무래도 간격이 긴 곳보다 부피추정이 정확할 수 있다.

[평가]

이 답안은 주어진 자료를 적절히 사용함으로써 가능한한 작은 오차범위 내에서 불순물의 부피를 예측하였고, 이 예측의 문제점을 올바르게 지적하였다.

우선 부피를 예측하는데 있어서 두 표에 있는 자료를 모두 이용하여 하나의 표를 이용할 때보다 더 많은 정보를 사용함으로써 오차를 줄이고자 하였다. 그런 다음 불순물 전체의 부피는 각 구간에서의 부피의 합으로 계산하였는데, 각 구간에서 단면적의 변화가 심하지 않다는 가정하에 구간 양 끝점에서의 단면적의 평균을 이용하여 부피를 예측하였다.

이 답안에서 지적한 바와 같이, 어떤 구간에서 단면적이 많이 변해 평균값이 대표값으로서의 의미를 갖지 못하는 경우에는 위에서 구한 부피와 실제 부피 사이에는 많은 오차가 있을 수 있다.

[부족답안의 사례 1]

부피를 정확하게 얻는 방법은 x축 단면 위치를 무한히 잘라서 그것을 적분하는 것이다. 이 방법으로 부피를 추정해 보면 그 식은 $\int_0^{50} s(x)dx$가 된다.

여기서 $s(x)$는 임의의 한정에서의 불순물의 단면적을 말한다. 이 방법으로 추정해 보면 x축 단면 위치를 무한히 잘랐으므로 그 형태가 연속적으로 이어지게 된다. 이것은 물체의 형태와 똑같으므로 그 추정방법이 타당하다고 할 수 있다.

[평가]

이 답안에서는 적분이 부피를 측정할 수 있는 한 방법이라는 것은 지적이 되었지만, 적분의 의미만을 모호하게 언급함으로써 논제에서 묻는 것을 정확히 답하지 못하였다. 또한 주어진 자료를 적절히 연결시키지 못하였고, 제한된 자료가 주어졌을 때 적분을 근사하는 경우 생길 수 있는 문제점도 적절히 지적하지 못했다.

[부족답안의 사례 2]

먼저, 부피를 구하는 방법을 생각해 보면, x축 단면 위치 0mm 혹은 가장 끝지점을 기준으로 잡아 불순물을 촬영했을 때의 단면적과 촬영 간격을 곱해 나온 여러 입체의 부피들을 모두 더해 값을 구한 뒤, 서로 다른 기준점을 잡아 구한 두 값의 평균을 구하면 불순물의 부피에 가까운 값을 구할 수 있다. 여기서, 불순물을 촬영하는 간격을 아주 작게 해 0mm에 한없이 가깝게 한다면, 위 방법을 통해 불순물의 부피를 구할 수 있다.

7mm 간격으로 단층 촬영한 결과를 가지고 부피를 추정해 보면,

i) 0mm를 기준점으로 잡을 경우

(0x7)+(2x7)+(8x7)+(6x7)+(4x7)+(2x7)=196

ii) 49mm를 기준점으로 잡을 경우

(2x7)+(8x7)+(6x7)+(6x7)+(4x7)+(2x7)+(0x7)=196

∴196+196/2=196

즉, 추정된 부피는 196mm3이다.

이와 같은 방법으로 부피를 추정하면 연속적인 변화를 단층적인 것으로 조각내어 부피를 계산하였기 때문에 오차가 생기게 된다. 하지만 촬영 간격을 0mm에 무한히 가깝게 한다면 그 오차 또한 0에 무한히 가까워지므로 이 방법을 통해 불순물의 부피를 구하는 것은 타당하다.

[평가]

이 답안은 주어진 두개의 표 중에서 더 작은 간격으로 측정한 두 번째 표만을 이용하였는데, 첫 번째 표만 이용하는 것보다는 좋겠지만, 두 표를 모두 이용하면 하나의 표를 이용하는 것보다 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 두개의 기준점을 생각하여 부피를 계산한 다음 그 평균을 취했는데, 두개의 기준점을 고려해야 하는 이유가 충분히 설명되지 못하였고, 사실 그럴 필요는 없다. 또한 주어진 자료를 가지고 부피를 예측하였을 때 그 방법이 타당하다고 하였는데 그 타당성의 근거를 제시하지 못하였고, 논제에서 묻고 있는 오차에 대해서도 적절히 답하지 못하였다.