



보 도 자 료

일 시 : 2010. 1. 11(월)

발 신 : 서울대학교 입학관리본부 (880-9017)

2010학년도 정시모집 논술고사

- ☐ 서울대학교는 2010년 1월 11일 2010학년도 정시모집 논술고사를 실시하였다. 응시 대상인원은 총 2,502명(인문계열 1,050, 자연계열 1,356명, 사범대학 체육교육과 96명)이며, 인문계열 학생에게는 5시간 동안 3문항(사범대 체육교육과는 2시간 동안 1문항), 자연계열 학생에게는 5시간 동안 4문항이 주어졌다.
- ☐ 출제 과정에서 가장 중요하게 고려하였던 점은 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.
- ☐ 논술에서 교과서의 내용을 최대한 활용하는 것은 학생들이 사교육에 의존하지 않고도 스스로 충분히 준비할 수 있도록 하고, 동시에 학생들이 논술을 준비하는 과정이 입시 위주의 단순 반복학습과 지식 암기에서 벗어나 자기주도적 학습능력과 독서와 토론을 통한 사고능력을 배양할 수 있는 바람직한 교육의 한 과정으로 정착되는데 기여하고자 함이다.
- ☐ 인문계열에서는 다양한 교과 영역을 아울러 깊이 있는 사고와 통찰력을 유도할 수 있는 문제를 출제하였으며, 자연계열에서는 수리적, 과학적 사고력을 통합적으로 묻는 문항을 출제하면서 문항에 따라 관련된 자료를 제시하였다.

인문계열 논술고사 출제의도 및 문항설명

【문항 1】

□ 출제 의도

- 지식기반사회가 요구하는 창의적 사고는 학생들의 대학 생활에서 매우 중요한 가치로 대두되고 있다. 이에 따라 창의적 사고의 중요성을 환기하기 위해 플레밍의 페니실린 발견 사례와 하틀리의 오존층 존재 가설에서 창의적인 사고의 실례를 찾아보고, 이를 개념화하도록 하였다.
- 또한 통합적 사고를 유도하기 위해 인문과학과 자연과학의 호환성, 그리고 지식과 상상의 통합에서 기인하는 창의적 사고의 개념을 학생들이 이해할 수 있도록 출제하였다.

□ 문항 설명

- 제시문 (가)는 예술 분야의 창조성에 관한 칸트의 생각을 매우 간략하게 보여줌으로써, 학생들이 창의성을 개념화하는데 참고하도록 하였다.
- 제시문 (나)는 10학년 과학 교과서에 제시된 지문으로서 플레밍의 페니실린 발견을 제시하였으며, 제시문 (다)에서는 성층권을 직접 관찰할 수 없는 시대에 살았던 하틀리가 오존층의 존재를 가정하게 된 까닭을 설명하고 있다. 오존층에 대한 설명 역시 10학년 과학 교과서에 간략하게 제시되어 있다. 두 제시문은 학생들이 과학 지식의 산출 과정을 이해할 수 있도록 구성하였으며, 추론을 통해 탐구과정에서 나타난 창의적 사고를 찾는 기본 자료로 활용하게 하였다.
- 논제 1은 과학 탐구 과정에 나타난 창의적 생각을 인문학적 상상력과 추론을 통해 찾도록 하고 있다.
- 논제 2는 창조성을 개념화하고, 이를 확장해서 구체적인 사례에 적용하도록 요구하고 있다.

【문항 2】

□ 출제 의도

- 경제력뿐만 아니라 문화적 요인까지 포괄하여 우리나라의 구체적 발전 방안을 제시하도록 하여, 학생들의 종합적인 이해분석력, 판단력, 논리력, 창의력을 평가하고자 하였다.

□ 문항 설명

- 제시문 (가)는 한 국가의 실질GDP와 자본, 노동, 총투입생산성 간의 이론적 관계를 그림으로 제시하고 있다. 이와 함께 1960년대 중반부터 1990년경까지 동아시아 국가와 미국에 나타난 실질GDP의 연평균 성장률, 그리고 자본, 노동, 총투입생산성이 이러한 실질GDP의 연평균 성장률에 상대적으로 기여한 정도를 표로 보여주고 있다.
- 제시문 (나)는 고등학교 국어 교과서에 수록된 김구의 『나의 소원』에서 발췌한 글로서, “우리 민족이 세계무대의 주연 배우로 등장”하기 위해서는 경제력뿐만 아니라 인의(仁義), 자비, 사랑을 배양하는 문화의 힘이 필요하다고 주장한다.
- 논제 1은 제시된 표에 있는 각 나라들의 경제 성장 특성을 파악하고, 이러한 경제성장이 장기적으로도 지속 가능한지를 논의하도록 요구하고 있다.
- 논제 2는 제시문 (나)에서 추출한 명제에 대하여 학생이 판단해 보고, 우리나라의 미래상에 대해 숙고하도록 하였다.

【문항 3】

□ 출제 의도

- 고등학교 국사 교과서에 제시된 실학에 관한 내용을 토대로 노비제에 대한 당대 실학자들의 주장을 자세하게 소개함으로써, 교과서가 기술하고 있는 당대 사회와 실학사상에 대한 이해를 요구하고 있다.
- 사회적 이슈에 대해 자신의 입장을 결정하고 주장을 세우기 위한 근거를 여러 가지 측면에서 고찰한 후, 이를 논리적으로 서술하는 능력을 측정하고자 하였다.

□ 문항 설명

- 제시문 (가)에서는 고등학교 국사 교과서에 실린 실학에 대한 지문이다. 제시문 (나)와 (다)는 유형원의 『반계수록』과 정약용의 『목민심서』 중 노비제와 관련된 주장을 다루고 있다. 그리고 제시문의 출전과 집필 시기를 제시문에 포함함으로써 시대적 차이에서 비롯된 노비제에 대한 실학자들의 관점의 차이를 정확히 이해하고 있는지 묻고 있다.
- 논제에서는 동일한 사안에 대해서도 시대적 배경 및 사회·경제적 상황에 따라 실학자들의 개혁안이 다를 수 있다는 사실과 그들의 학문적 배경을 이해하고, 이를 바탕으로 자신의 생각을 논리적으로 서술하도록 하고 있다.

<문항 1>

【제시문】

(가)

칸트에 따르면 예술미는 지성과 상상력이 조화를 이룰 때, 특히 상상력이 자유롭게 유희할 때 성립한다. 자유로운 상상력에 기반한 창조성은 최고도의 생산적 정신 능력이다. 예술은 단순한 여흥이나 장식이 아니고 보편가치로서의 미를 추구하기 때문에 예술가에게 창조성은 필수 조건이다. 비단 예술가뿐만 아니라 모든 분야에서 선도적 역할을 맡는 인물들에게도 이 조건이 요구된다.

(나)

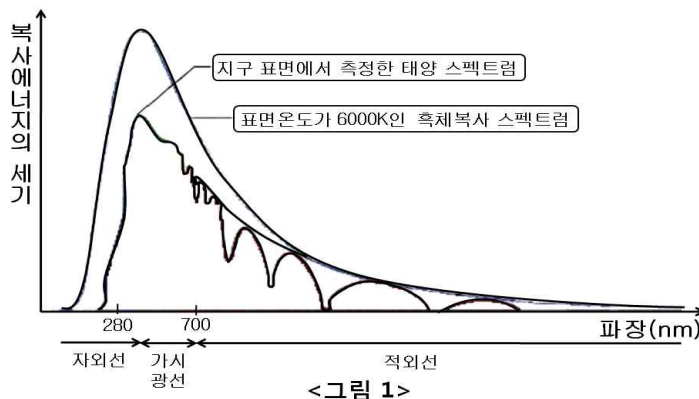
세균학자 플레밍(A. Fleming, 1881~1955)은 제 1차 세계대전에서 부상당한 많은 사람들이 세균 감염 때문에 죽어가는 것을 보고, 세균 성장을 억제하는 물질을 찾기 위한 연구를 하고 있었다. 1928년에 그는 상처의 고름에서 포도상 구균을 분리하여 배양하던 중 우연히 곰팡이에 의해 오염된 배양 접시를 보게 되었다. 그런데 곰팡이가 자란 주변에는 포도상 구균이 없는 맑은 띠가 형성되어 있었고, 곰팡이로부터 멀어질수록 포도상 구균의 균체를 선명하게 볼 수 있었다. 이를 매우 흥미롭게 생각한 플레밍은 그 곰팡이를 채취하여 배양하였다. 그리고 배양 접시에서 곰팡이를 제거한 다음, 배양액을 800배까지 희석하여도 이 배양액이 포도상 구균의 성장을 억제한다는 사실을 발견하였다. 이 발견은 곰팡이 자체가 아니라 곰팡이가 생산한 어떤 물질이 강력한 항균 작용을 한다는 것을 의미한다. 플레밍은 이 곰팡이가 속한 페니실룸속(屬)의 명칭에 맞추어 이 물질을 페니실린으로 명명하였다. 이후 그는 연구를 계속하여 페니실룸속에 속하는 여러 종류의 곰팡이 가운데 페니실룸 노트툼만이 페니실린을 생산하며, 페니실린이 여러 종류의 세균에 대하여 항균 작용을 하고 생쥐와 토끼 실험에서도 같은 항균 효과가 나타난다는 것을 밝혀냈다.

(고등학교 과학 교과서)

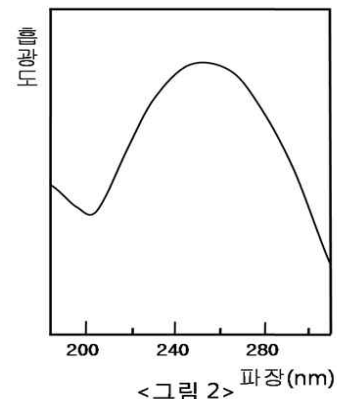
(다)

지구의 성층권에 있는 오존층은 햇빛의 자외선을 흡수하여 지상에 있는 동·식물의 보호막으로 작용한다. 지상으로부터 약 15km~40km 떨어진 대기권에 오존이 밀집된 층이 존재한다는 사실은 어떻게 발견되었을까. 지구상의 모든 생명 활동을 지속시키고 기후를 결정하는 에너지의 대부분은 태양으로부터 공급된다. 태양광선에는 가시광선 이외에도 자외선 등의 파장이 짧은 전자기파와 적외선 등의 파장이 긴 전자기파가 있다. 그런데 표면온도가 약 6000K인 흑체복사*에서 예측한 스펙트럼과 지구 표면에서 측정된 태양광선의 스펙트럼을 비교해 보니 <그림 1>과 같았다. 두 스펙트럼의 전반적인 모양은 비슷하나 300nm*보다 짧은 파장을 가진 자외선은 지상의 스펙트럼에서는 관측되지 않았다. 19세기의 과학자들은 왜 그렇게 관측되는지 설명할 수

없었다. 그런데 1840년에 오존이 발견된 이후 여러 연구자들이 이 기체의 물리·화학적 특성을 밝혀냈다. 이들 가운데 아일랜드의 화학자 하틀리(W. N. Hartley, 1845~1913)는 <그림 2>와 같이 오존이 파장 240nm에서 300nm 사이의 자외선을 강하게 흡수한다는 사실을 발견하였다. 그리고 지상에서 관측되는 태양빛에 300nm보다 짧은 파장의 자외선이 관측되지 않는 점에 주목하여, 없어진 영역의 자외선이 대기 상공에 있을 것으로 추정되는 오존층에 흡수되어 지상에 도달되지 않는다고 예측하였다.



<그림 1>



<그림 2>

하틀리는 오존층이 존재한다는 가설을 1881년에 제안하였으며, 이 가설은 20세기 중반 과학자들이 로켓을 이용하여 실측치를 구하게 되면서 확인되었다. 우리 시대에 오존층의 파괴는 지구상에 살고 있는 생명체의 존립을 위태롭게 하는 매우 중요한 문제로 대두되고 있다.

* 흑체란 외부에서 주어진 빛을 완전히 흡수했다가 재방출하는 물체를 뜻하며, 흑체가 방출하는 복사를 흑체복사라고 한다. 태양은 흑체에 가까우므로 흑체복사 스펙트럼을 태양이 방출하는 복사스펙트럼으로 간주할 수 있다. 1nm는 10^{-9} m이다.

【논제 1】

플레밍과 하틀리의 과학적 발견 과정에 들어 있는 창의적인 생각을 찾아 내어 근거와 함께 설명하고, 그들의 발견이 과학의 발전과 인류의 삶에 기여한 바를 기술하시오. (800 ± 100자)

【논제 2】

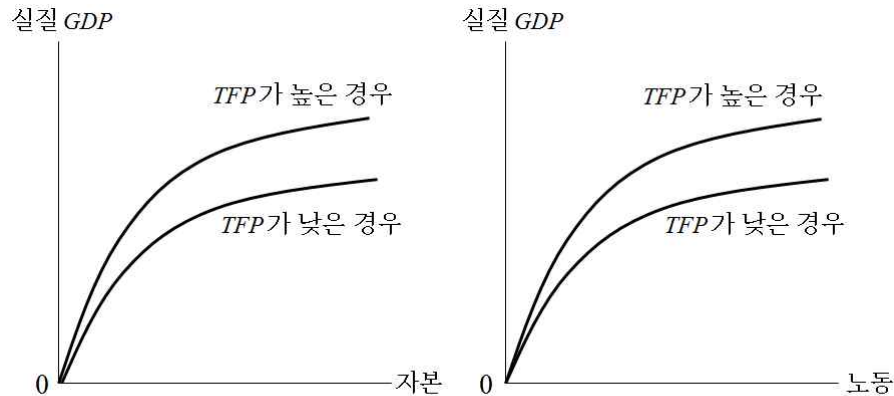
제시문 (가)와 【논제 1】을 활용하여 ‘창의적 사고’의 개념을 정의하고, 자연 과학 이외의 영역에서 그러한 창의적 사고가 적용된 사례를 찾아 논하시오. (800 ± 100자)

<문항 2>

【제시문】

(가)

한 국가의 실질GDP는 자본, 노동, 총투입생산성(total factor productivity: TFP)에 의해 결정되며, 그 관계는 다음 그림과 같다고 가정하자.



<그림 1> 노동이 일정한 경우

<그림 2> 자본이 일정한 경우

여기에서 총투입생산성은 좁게 보면 각 국가의 기술수준에 의해, 넓게 보면 기술수준 뿐만 아니라 실질GDP에 영향을 미치는 제반 요인(제도, 정책, 규제, 사회간접자본 등)에 의해 결정된다.

아래 표는 1960년대 중반부터 1990년경까지 동아시아 몇 국가와 미국의 실질GDP의 연평균 성장률과 자본, 노동, 총투입생산성이 이러한 실질GDP의 연평균 성장률에 상대적으로 기여한 정도를 보여 주고 있다. 1960년대 중반 동아시아 국가들의 실질GDP와 총투입생산성은 미국의 실질GDP와 총투입생산성보다 낮은 수준이었다.

<표 1> 실질GDP의 연평균 성장률과 자본, 노동, 총투입생산성의 상대적 성장 기여도

	실질GDP의 연평균 성장률	상대적 성장 기여도		
		자 본	노 동	총투입생산성
한국(1966-1990)	10.27%	39.6%	43.8%	16.6%
싱가포르(1966-1990)	8.75%	64.6%	33.1%	2.3%
홍콩(1966-1991)	7.29%	40.9%	27.6%	31.5%
대만(1966-1990)	9.40%	33.6%	38.7%	27.7%
미국(1966-1990)	3.03%	37.9%	42.3%	19.8%

(나)

나는 우리나라가 세계에서 가장 아름다운 나라가 되기를 원한다. 가장 부강한 나라가 되기를 원하는 것은 아니다. 내가 남의 침략에 가슴이 아팠으니 내 나라가 남을 침략하는 것을 원치 아니한다. 우리 부력(富力)은 우리의 생활을 풍족히 할 만

하고 우리의 강력(強力)은 남의 침략을 막을 만하면 족하다. 오직 한없이 가지고 싶은 것은 높은 문화의 힘이다. 문화의 힘은 우리 자신을 행복하게 하고 나아가서 남에게 행복을 주겠기 때문이다. 지금 인류에게 부족한 것은 무력도 아니요, 경제력도 아니다. 자연 과학의 힘은 아무리 많아도 좋으나 인류 전체로 보면 현재의 자연 과학만 가지고도 편안히 살아가기에 넉넉하다. 인류가 현재에 불행한 근본 이유는 인의(仁義)가 부족하고 자비가 부족하고 사랑이 부족한 때문이다. 이 마음만 발달이 되면 현재의 물질력으로 20억이 다 편안히 살아갈 수 있을 것이다. 인류의 이 정신을 배양하는 것은 오직 문화이다.

나는 우리나라가 남의 것을 모방하는 나라가 되지 말고 이러한 높고 새로운 문화의 근원이 되고 목표가 되고 모범이 되기를 원한다. 그래서 진정한 세계의 평화가 우리나라에서, 우리나라로 말미암아서 세계에 실현되기를 원한다. 홍익인간(弘益人間)이라는 우리 국조(國祖) 단군(檀君)의 이상이 이것이라고 믿는다. 또 우리 민족의 재주와 정신과 과거의 단련이 이 사명을 달성하기에 넉넉하고 우리 국토의 위치와 기타 지리적 조건이 그러하며, 또 1차, 2차의 세계대전을 치른 인류의 요구가 그러하며, 이러한 시대에 새로 나라를 고쳐 세우는 우리가 서 있는 시기가 그러하다고 믿는다. 우리 민족이 주연 배우로 세계무대에 등장할 날이 눈앞에 보이지 아니하는가.

(고등학교 국어 교과서)

【논제 1】

제시문 (가)의 그림을 이용하여 표에 있는 국가들의 경제성장 특성을 설명하고, 이 특성이 향후 그대로 유지되는 경우 장기적으로도 지속적 경제성장이 가능한지에 대하여 논하시오. 단, 모든 국가들에서 실질GDP와 자본, 노동, 총투입생산성 간의 관계는 동일하다고 가정할 것.

(600 ± 100자)

【논제 2】

두 제시문을 기초로 하여 현재 시점에서 우리나라가 세계 무대의 주연 배우로 등장하기 위한 구체적이고 현실적인 방안을 제시하되, 다음 사항에 대한 판단을 포함하시오.

(1,000 ± 100자)

- ① 현재 우리의 부력(富力)은 우리의 생활을 풍족히 할 만하고, 우리의 강력(強力)은 남의 침략을 막을 만하기에 족한가?
- ② 제시문 (나)에서 가장 부강한 나라가 아닌 가장 아름다운 나라를 소원하는 글쓴이의 생각이 현재 시점에서 타당한가?

<문항 3>

【제시문】

(가)

조선 후기의 학문과 사상에서 나타난 새로운 경향 중에 대표적인 것은 실학의 발달이었다. 실학은 17, 18세기 사회·경제적 변동에 따른 사회 모순의 해결책을 구상하는 과정에서 대두한 학문과 사회 개혁론이다. 실학은 18세기에 가장 활발하였으며, 대부분의 실학자는 민생 안정과 부국강병을 목표로 하여 비판적이면서 실증적인 논리로 사회 개혁론을 제시하였다. (고등학교 국사 교과서)

(나)

무릇 노비가 어머니의 신분을 따르게 하는 법을 한결같이 균등하게 적용해야 한다. 지금의 법에는 공사(公私)의 노비는 어머니의 신분을 따르도록 되어 있으나 노(奴)가 양녀(良女)에게 장가들어 낳은 아이는 아버지의 신분을 따르게 하니, 이 법은 한결 같지 않고 오직 천한 신분을 따르게 하는 것이다. 마땅히 한 쪽을 따르도록 그 법을 분명히 정하여, 노(奴)가 양녀(良女)에게 장가들어 낳은 아이는 어머니의 신분을 따르도록 하여야 한다. 살펴보건대, 우리나라 풍속에 공사노비(公私奴婢)가 어머니를 따르게 하는 법은 고려 정종(靖宗) 때 시작되었다. 어머니만 알고 아버지를 알지 못하는 것은 금수(禽獸)의 도리(道理)이다. 인류인데도 금수처럼 처신(處身)하게 하니 어찌 법이라 할 수 있겠는가? 그러나 법이 아닌 유래를 구명해보면, 우리나라 풍속에서 노비를 부릴 때 학대하고 관용을 베풀지 않으며 마치 우마(牛馬)나 계견(鷄犬)처럼 다루는데, 부리기를 이같이 하고 아버지를 따르라고 하면 간사하고 문란한 소송이 이루 헤아릴 수가 없게 될 것이기 때문에 부득이 그렇게 한 것이다. 그러므로 어머니를 따르게 하는 법이 그른 것이 아니라 노비를 세전(世傳)시키는 법이 그른 것이다. 후세에 이르러서는 어머니의 신분을 따르는 법을 그대로 계승하면서도 어머니가 양녀(良女)이면 자식들로 하여금 아버지의 신분을 따르게 하여 노비로 삼는다. 이런 법은 법이 아니고 다만 사람을 몰아서 노비가 되게 하는 것이니 불법 중에 불법인 것이다. [중략] 살펴보건대, 노비라는 명칭은 본디 죄지은 사람을 다스리는 데서 생겨난 것이며, 죄인이 아닌데도 노비로 만드는 법은 옛적에는 없었다. 무릇 죄인으로 노비가 된 사람이라 하더라도 그 벌은 후손에게까지 미치지 않았는데, 하물며 죄가 없는 사람이야 말할 나위가 있겠는가. [중략] 조선의 노비법은 죄가 있고 없고를 따지지 않고 오직 그 가계만을 살펴서 영원히 노비로 삼는다. [중략] 조선시대에 들어와 법을 제정할 때 사람을 몰아 노비가 되게 하고 노비 신분에서 빠져 나오는 사람은 없도록 하였다. 이 때문에 노비가 점점 많아져 10명에 8, 9명을 차지하고, 양인(良人)은 점점 적어져 10명에 1, 2명을 차지하게 되었다. [중략] 나라에 공민(公民)이 없어지고 모두 사유(私有)로 되고 있을 뿐만 아니라 노비 한 사람의 소유권을 둘러싼 소송도 10년을 다투고도 판결이 나지 않는다. [중략] 도망간 노비 한 사람을 잡아

오기 위해 그 구족(九族)을 침해하고 소요를 일으키기도 한다. [중략] 이러한 폐단과 형세가 극단에 이르러 변통(變通)하지 않을 수 없다. 지금 당장 변통할 수 있는 방법은 어머니의 신분을 따르게 하는 법을 그대로 적용하여 한결같이 고루 적용하는 것이다. 양녀(良女) 소생이면 양인이 되게 함을 이른다. [중략] 왕도(王道)가 행해져서 여러 가지 제도가 바로 서고 편루(偏陋)한 풍속이 제거되면 노비법이 반드시 혁파될 것은 명백하다. [중략] 우리나라에서는 노비법이 오래되고 그것이 풍속을 이루어 사대부들이 모두 노비에 의지하여 집을 유지하는 까닭에 갑자기 개혁하기 어렵다. 반드시 풍속이 점점 변하고 상하 모두 살림이 넉넉해지고 고공(雇工: 머슴)이 점차 늘어난 후에야 노비제를 폐지할 수 있을 것이다. 노비제를 폐지한다는 것은 갑자기 현재의 노비를 모두 폐지한다는 것이 아니다. 노비 신분을 당대에 그치게 하고 대대로 노비가 되게 하는 법을 폐지하자는 것이다.

(유형원 『반계수록(磻溪隨錄)』, 1670년)

(다)

『예기(禮記)』에 이르기를, 군신(君臣)과 상하(上下)는 예가 아니면 그 질서가 정해지지 않는다고 하였다. 옛날에는 성인(聖人)이 개물성무(開物成務: 만물의 뜻을 밝혀서 인간의 질서를 마련함)의 문채(文彩)를 만들어 귀천(貴賤)을 표시하였으니, 소위 황제(黃帝)·요(堯)·순(舜)이 의상(衣裳)을 드리우자 천하가 다스려졌다고 하는 것이 이를 두고 말하는 것이다. 공복(公服)의 문채에 등급이 있고 갓발의 술에도 등급이 있으며 수레에도 등급이 있으며 지붕의 골에도 등급이 있으며 제사에도 등급이 있어서 그 질서가 정연하여 상하의 등급이 명백하였으니, 이것이 성인이 세상을 통솔하고 백성을 안정시킨 대권(大權)이다. 우리나라 습속에도 변동이 자못 엄하여 상하가 오로지 각각 그 분수를 지켰다. 근세 이후로 작록(爵祿)이 한쪽으로 치우쳐 귀족이 쇠잔하자, 호리호맹(豪吏豪賍: 경제적으로 부유해진 아전과 백성)이 틈을 타서 기세를 부려서 이들의 집과 말 치장의 호사스러움과 의복과 음식의 사치스러움이 모두 법도를 넘어, 아래가 위를 능멸하고 위는 시들게 되어 다시 등급이 없어졌다. 장차 어찌 사회를 유지 결합하여 그 원기를 북돋아 그 혈맥을 통하게 하겠는가. 귀천을 밝히고 지위의 서열을 구별하는 것은 오늘날의 급무(急務)이다. [중략] 옹정(雍正) 신해년(영조 7년, 1731년) 이후로 무릇 사노(私奴)의 양인(良人) 신분 처(妻) 소생은 모두 양인 신분을 따르게 되었다. 그 이후로 상층은 약해지고 하층은 강해져서, 기강이 무너지고 백성들의 뜻이 흩어져서 통솔하고 이끌 수 없게 되었다. [중략] 신해년 이후 귀족은 날로 시들어 가고 천민은 날로 횡포해져서 상하의 질서가 문란하여 교령(敎令)이 행해지지 않으니, 한번 변란이 일어나면 흠더미가 무너지고 기왓장이 부스러지는 형세를 능히 막지 못할 것이다. 군왕은 이미 멀리 떨어져 있고 수령은 나그네와 같아서, 마을 이웃 간에 어리석은 무리를 통솔하고 이끌 방도가 없으면 어찌 어지럽지 않겠으며 또 무엇으로 무너지는 것을 막을 수 있겠는가. 그러므로 내가 노비법을 복구하지 않으면 어지러움으로 망하는 것

을 구할 수 없다고 하는 것이다.

(정약용 『목민심서(牧民心書)』, 1818년)

【논제】

자신이 19세기 초반의 실학자라고 가상하고, 노비제에 대한 자신의 주장을 논설문으로 작성하되, 다음 사항을 포함하시오. (1,600 ± 100자)

- ① 노비제에 대한 (나)와 (다) 주장의 비교·설명
- ② 두 주장의 타당성에 대한 판단

* 단락 구분은 한 칸 들여쓰기로 하고, 논설문 전체의 제목이나 소제목은 쓰지 마시오.

자연계열 논술고사 출제의도 및 문항설명

□ 출제 의도

- 2010학년도 자연계열 논술고사에서는 고등학교 교과과정에서 다루고 있는 기본적인 개념과 원리, 관련된 다양한 정보를 제공하고 이를 종합하여 문제를 해결하도록 함으로써 다양한 영역에서 깊이 있는 사고와 통합적 추론능력을 평가하고자 하였다.
- 중등교육과정을 이수하며 습득한 수학과 과학적 지식을 쓰나미, 호흡, 나선, 별 등 구체적인 자연 현상에 적용하여 과학적인 모형을 구상하고 통합적인 추론을 유도할 수 있는 문제를 출제하였다.
- 기존의 논술고사 유형과 마찬가지로 학생들에게 친숙한 교과서 내용을 적극적으로 활용하여 각 문항의 소재와 제시문 내용은 고등학교 교육과정과의 연관성이 높도록 선정하였다.

【문항 1】

- 고등학교 과학과 물리 I에 나오는 파동에 대한 기본 개념을 토대로, 주어진 제시문의 내용을 종합적으로 이해·분석하고 실제 자연에서 일어나는 다양한 현상에 적용하도록 하여 학생의 통합적 추론능력을 평가하고자 하였다. 자연 재해 중 하나인 쓰나미(지진 해일)를 소재로 하였다.

▶ 제시문

- 쓰나미의 기본적인 전파 양상을 이해하는 데 필요한 쓰나미 및 파동 관련 정보를 교과서 내용을 중심으로 제시하였다.
 - 제시문 (가) : 쓰나미의 기본적인 개념, 원리 및 실제 사례 (고등학교 과학 교과서)
 - 제시문 (나) : 쓰나미의 전파 속도 (『교양으로 읽는 과학의 모든 것 II』)
 - 제시문 (다)~(마) : 해양에서 쓰나미의 속도 변화를 추론할 수 있는 해저 지형, 파동, 음파의 전파에 대한 설명으로 내용의 일부는 고등학교 과학교과

에서 발췌하였고 일부는 고등학교 과학교과 내용을 토대로 작성 (지구과학 I 교과서)

▶ 논제 구성

- 논제 1 : 자연세계를 해석하는 데 중요한 개념인 에너지보존 법칙을 적용하여 파동을 만들어낸 에너지는 보존 되어야 한다는 전제를 세우고, 수심이 급격하게 알아지는 해안가로 파동이 전파되어 올 경우 속도 변화에 의해 파동의 진폭이 어떻게 변할지 제시문에 주어진 여러 요인들을 고려하여 논리적으로 설명하도록 하였다.
- 논제 2 : 주어진 해저의 지형에 대한 정보와 파동 개념에 대한 기본 이해를 토대로 2차원적인 쓰나미의 속도 변화를 유추하고, 이에 따라 전파 양상이 어떻게 바뀔 수 있는지 설명하도록 하였다.
- 논제 3 : 해양의 깊이에 따른 온도, 압력, 음속 그래프를 해석하고, 논제 2의 결론으로부터 약 1,000m 깊이에서 음파가 먼 거리까지 전파될 수 있는 원리를 유추하도록 하였다. 또한 이 원리가 해양 연구에 어떻게 활용할 수 있는지를 통합적으로 추론하도록 하였다.

【문항 2】

- 물과 공기는 모든 생명 활동을 비롯한 자연 현상의 가장 중요한 일차 환경이다. 오늘날 지구 환경은 지구 온난화와 더불어 급격한 변화를 보이고 있으며 이는 생태계의 변화를 초래할 수 있다. 동물의 호흡을 통해 지구 환경 변화가 미칠 영향을 중등교육과정에서 배운 기본적인 과학적 개념을 토대로 통합적으로 이해하고 논리적으로 추론할 수 있는지 평가하고자 하였다. 이를 위해서 단순한 지식의 나열이 아니라 주어진 자료를 이용, 분석하여 과학적인 근거를 토대로 결론을 도출하도록 제시문과 논제를 구성하였다.

▶ 제시문

- 제시문 (가)에서는 사람의 호흡기 구조를 설명하고 들숨과 날숨이 일어나는 기본 원리를 설명하였다(생물 I 교과서). 또한 호흡 운동에 영향을 끼치는

물과 공기의 물리·화학적 특성에 대한 몇 가지 자료를 제시하였다.

- 제시문 (나)에서는 사람이 호흡하는 동안 폐의 부피가 어떻게 변화하는지를 설명 하였으며, 호흡 현상을 역학적 모형으로 단순화하여 접근할 수 있음을 제시하였다.

▶ 논제 구성

- 논제 1 : 공기로부터 산소를 얻는 것이 물에서 산소를 얻는 것보다 여러 측면에서 효과적일 수 있는 이유를 물과 공기의 물리·화학적 특성에 대한 이해를 토대로, 확산 현상과 호흡을 위한 생물의 에너지 소모량 관점에서 설명할 수 있는지 평가하고자 하였다.
- 논제 2 : 지구 환경의 변화가 육상생물과 수중생물의 호흡에 어떤 영향을 미칠 수 있는지를 물과 공기의 기체 조성, 화학적 특성에 대한 이해를 토대로 논술하도록 하였다. 제시문에 주어진 물과 공기에 대한 자료를 분석하여 논리적으로 추론할 수 있는지 평가하고자 하였다.
- 논제 3 : 생물 교과서에 소개된 대기와 폐 사이의 기압 차이가 1mmHg라는 사실과 한 번의 호흡동안 들이마시는 공기가 0.5L라는 사실을 물리의 기본 지식과 역학적 모형을 응용하여 논리적으로 설명하도록 하였다.
- 논제 4 : 사람의 호흡에 필요한 폐포의 수축-팽창 과정에서 관여하는 물질의 화학구조, 화학결합 및 분자 상호작용을 구체적인 질병과 치료법에 적용시켜 설명하도록 함으로써, 기본적인 화학적 원리를 얼마나 잘 이해하고 있는지 평가하고자 하였다.

【문항 3】

- ‘나선’은 역사적으로나 과학적으로 많은 관심과 연구의 대상이었다. 기원전 250년경 아르키메데스가 나선 연구를 처음 시작하였는데, 이 연구를 통하여 당시의 다양한 수학적 난제들을 해결하고 이를 실생활에 활용하였다. 나선은 자연현상에서 빈번히 목격되는 현상으로서 소라껍질이나, 해바라기, 산양의 뿔, 먹잇감을 향해 날아가는 독수리의 비행 등에서 자연스럽게 나타난다. 입자들을 연구하는 안개상자 속의 입자의 궤적 또한 나선 모양이며, 다음과 같은 의미에서 고등학교 교과과정에서 중요한 주제이기도 하다.

- 나선은 곡선으로서 공간 이해력을 요구한다.
- 형태가 다양하여 그 움직임을 이해하기 위해 논리적 사고력을 요구한다.
- 그 길이가 유한일 수도 무한일 수도 있어서 수열과 무한급수에 대한 이해가 동반되어야 한다.
- 나선과 연관하여 그릴 수 있는 도형들의 자취는 다양하고 흥미로운 현상을 보여주는데 이는 지적 호기심을 자극하며 상상력을 유발시킬 수 있다.
- 자연 과학, 사회 과학 등에서 나타나는 현상을 이해하는데 활용된다. 이것이 끊임없이 나선을 주목하는 이유이다.

▶ 제시문

- 학생들이 공통적으로 이수하는 교과과정을 고려하여 논제 해결에 필요한 설명이 충분히 제시되도록 제시문을 작성하였다.
- 제시문 (가)는 도입부로서 물리 연구에서 나오는 안개상자와 수학사에서 등장하는 아르키메데스의 나선, 자연 현상에서 나타나는 로그 나선을 이야기 형식으로 소개하였다. 그리고 나선이 왜 흥미롭고 중요한가를 설명하고 로그 나선의 성질로 등각현상을 소개하여 논제 해결에 도움을 주었다.
- 제시문 (나)는 다각 나선을 수학적으로 설명함으로써 학생들에게 상상력을 발휘해 보도록 하였다.
- 제시문 (다)는 무한급수의 기본 개념을 설명하여 논제 해결에 필요한 정보를 제공하였다.

▶ 논제 구성

- 논제 1 : 각에 따라 변하는 나선의 움직임을 관찰하여, 복잡한 나선의 움직임을 이해하는 데 필요한 기본적인 개념과 원리를 확인하도록 하였다. 수학 I에서 배운 수열에 관한 기본 개념의 이해를 요구하고 있다.
- 논제 2 : 수학 10-나에서 배운 사인법칙을 활용하여 나선의 최종적인 움직임을 관찰하도록 하였다. 수학 I에서 배운 무한등비급수의 수렴에 관한 기본 지식의 이해를 요구하고 있다.
- 논제 3 : 길이에 따라 변하는 나선의 움직임을 관찰하도록 하여, 수학 10-나에서 배운 코사인법칙을 적절히 활용할 수 있는 지 확인하고 하였다. 주어진 현상을 분석하고 종합할 수 있는 사고력이 필요하다.
- 논제 4 : 제시문에서 필요한 수학적 내용을 확인하고 로그 나선과 관련된 기

하학적 성질을 추론하도록 하였다. 특히 이 논제는 수학 10-가, 10-나의 교육과정 내용에 대한 기본적인 이해만으로 충분히 문제를 해결할 수 있으나, 오히려 어렵게 접근하여 적분과 벡터를 이용하면 많은 계산에 시간을 소모할 수 있다. 따라서 이 논제를 해결하는 데 있어서는 수학적 논리력, 추리력, 상상력 등이 중요하다.

○ 각 논제 별로 교과서에서의 관련 단원은 다음과 같다.

- 논제 1 : 수학 I의 수열과 무한급수
- 논제 2 : 수학 10-나의 사인법칙과 수학 I의 무한등비급수
- 논제 3 : 수학 10-나의 코사인법칙
- 논제 4 : 수학 10-나의 도형

【문항 4】

- 우주 현상의 기반이 매우 작은 소립자부터 원자, 분자 세계에 있다는 발견은 현대 과학의 중요한 업적 가운데 하나이다. 우주의 시작 및 진화 과정을 실험실에서 재현하고 그 결과를 실제 관측 결과와 비교하여 이해하는 과정에는 여러 학문 분야가 융합되어 있다.
- 이 문항에서는 별의 다양한 성질을 물리·화학적으로 측정하는 과정과 별 내부에서 일어나는 현상을 다루고 있다. 물리, 화학, 지구과학 교과서에서 배운 기본적인 개념과 제시문의 내용을 토대로 별과 관련된 현상을 분석하고, 과학적 사고를 통하여 논리적인 결론을 이끌어 내는 능력을 평가하고자 하였다. 또한 관련 내용이 과학적 호기심 뿐 아니라 인류의 미래 에너지 문제에 중요한 해법을 제시할 수 있다는 것도 생각해 보도록 하였다.

▶ 제시문

- 과학 교과서 내용과 과학 교양서적 내용을 참고하여 논제해결에 필요한 정보를 제공하였다.
- 제시문 (가) : 원자핵의 구성 물질과 결합 에너지 (물리 II 교과서, 『사람이 알아야 할 모든 것 과학』)
- 제시문 (나) : 에너지 상태 변화에 따른 원자와 분자의 특성 (화학 II 교과

- 서, 화학 II 교과서, 물리 II 교과서, 『교양으로 읽는 과학의 모든 것 I』)
- 제시문 (다) : 별의 탄생과 소멸에 대한 설명 (지구과학 I 교과서, 지구과학 II 교과서, 『교양으로 읽는 과학의 모든 것 I』, 『최무영 교수의 물리학 강의』)

▶ 논제 구성

- 논제 1 : 우주를 이루는 다양한 물질과 현상들이 기본적인 물리·화학적 법칙에 의해 지배된다는 사실을 논리적으로 유추할 수 있도록 유도하였다. 특히 성간 물질과 별의 대기에 중점을 두어, 이들을 구성하는 원자 및 분자들을 알아내는 방법과 천체 환경의 자연 현상을 설명하도록 하였다.
- 논제 2 : 별 내부의 환경에서 일어나는 핵융합 반응이 고전물리학 지식만으로는 설명될 수 없다는 것을 논증하도록 하였다. 그리고 고온 고압 상태에서 플라스마 상태를 이해하고 이상기체 모형으로 근사하여 물리학의 기본 법칙 중 하나인 에너지 보존법칙으로 설명하도록 하였다.
- 논제 3 : 별 내부에서의 핵반응은 철 원자핵까지만 진행된다는 것을 원자핵의 성질로부터 정성적으로 추론하도록 하였다. 또한 인류가 원자핵 에너지를 이용할 수 있는 두 가지 원리(핵분열, 핵융합)를 통해 미래의 에너지 문제를 생각해 볼 수 있는 기회를 제공하였다.

【문항 1】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

(가) 해일, 너 왜 그랬어

해저 지각이 융기·침강하거나 해안가에 산사태가 나거나, 운석이 바다에 떨어지는 것과 같이 급격하게 해수면 높이가 변하면 해일이 생긴다. 이를 쓰나미(Tsunami)라고 부르는데, 우리 나라에서는 지진해일이라고도 한다.

2004년 12월 인도네시아 근처 심해에서 규모 9.0 가량의 해저 지진이 일어났다. 이 해저 지진이 원인이 되어 인도네시아를 비롯한 주변 인도양 해안가에 거대한 해일이 일어났다. 인도네시아에서 수천 km 이상 떨어진 아프리카 해안가에도 해일이 일어나 많은 피해가 발생했는데, 과학자들은 이 해일의 원인도 인도네시아 지진 때문이었다고 발표하였다.

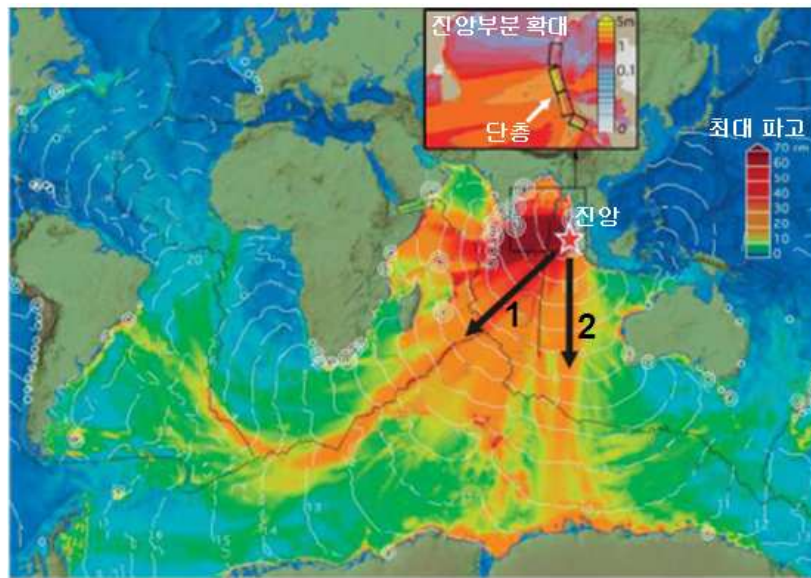
물질의 한 부분에 변화가 생기고, 그 변화가 물질을 따라 차례로 퍼져 나가는 것을 파동이라고 하며, 바다에서 일어나는 쓰나미와 호숫가에서 볼 수 있는 동심원 물결은 장소나 범위는 다르지만 모두 파동에 해당한다.(고등학교 과학, 한국과학창의재단)

(나) 대양의 폭군, 쓰나미의 정체

먼 바다에서는 쓰나미의 파장이 100km 이상이지만, 파고는 1m 정도에 불과해 쓰나미를 관측하기 어렵다. 인도네시아 해저 지진 때도 먼 바다 위에 있던 사람들은 피해를 상대적으로 덜 보았다. 쓰나미의 이동 속도는 약 시속 900km로 매우 빠르다. 그런데 해안에 가까이 올수록 수심이 얕아짐에 따라 파의 속도가 느려지고 파고는 높아져, 엄청난 파괴력으로 해안을 강타한다. (『교양으로 읽는 과학의 모든 것 II』, 한국과학창의재단)

(다) 해저지형

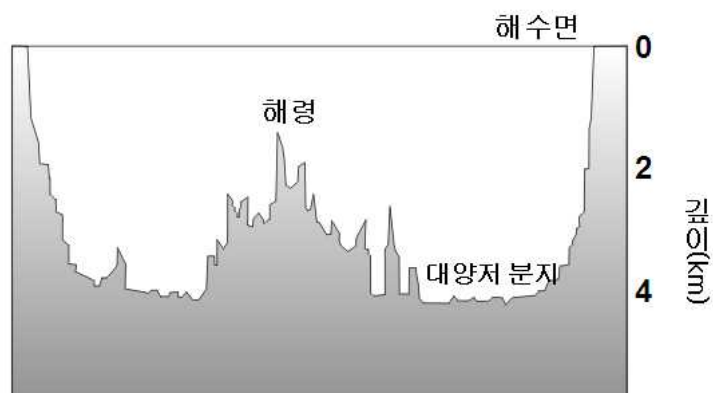
대양의 중앙부에는 수심이 약 4km 정도의 심해저 평원이 있다. 심해저 평원에는 [그림 3]처럼 평탄한 대양저 분지와 해령이 있다. 해령은 전체 길이가 약 65,000km에 달하는 거대한 산맥으로 경사가 급하고 불규칙하며 폭은 약 1,000km, 수심은 약 2km이다. 미국의 서부 해안에서 시작된 해령은 동태평양, 남태평양, 인도양을 지나 아프리카 남쪽 대양을 거쳐 대서양 중심부를 관통하여 북극해로 이어진다.(지구과학 I 교과서)



[그림 1] 컴퓨터로 모사한 2004년 인도네시아 지진에 의한 쓰나미의 전파 양상



[그림 2] 해저 지형도



[그림 3] 해저 지형의 수직 단면도

(라) 수면파의 전파

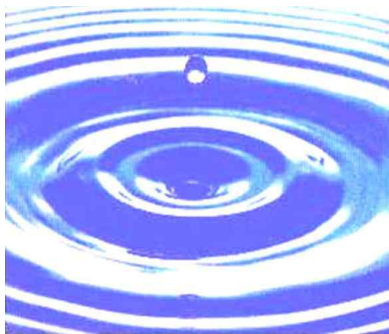
수면파는 [그림 4]와 같이 중력이 복원력으로 작용하여 수면 부근의 물이 진동하면서 에너지를 전달하는 파동 현상이다. 지진으로 인한 쓰나미도 수면파의 일종으로 파장이 수심에 비해 길기 때문에 쓰나미의 속력은 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = \sqrt{gH} \quad (H : \text{수심}, g(\text{중력가속도}) \simeq 10\text{m/s}^2)$$

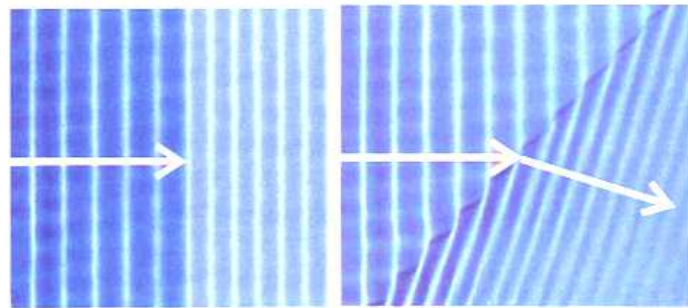
쓰나미의 세기는 진행 방향에 수직인 단위 면적을 통하여 단위 시간에 전파하는 파동 에너지로 정의 되며, 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$I = 2\pi^2 \rho v A^2 f^2 \quad (\rho : \text{해수의 밀도}, v : \text{파동의 속도}, A : \text{진폭}, f : \text{진동수})$$

파동이 전파될 때 속력이 변하면 [그림 5]와 같이 굴절 및 반사가 일어난다.



[그림 4] 수면파의 전파

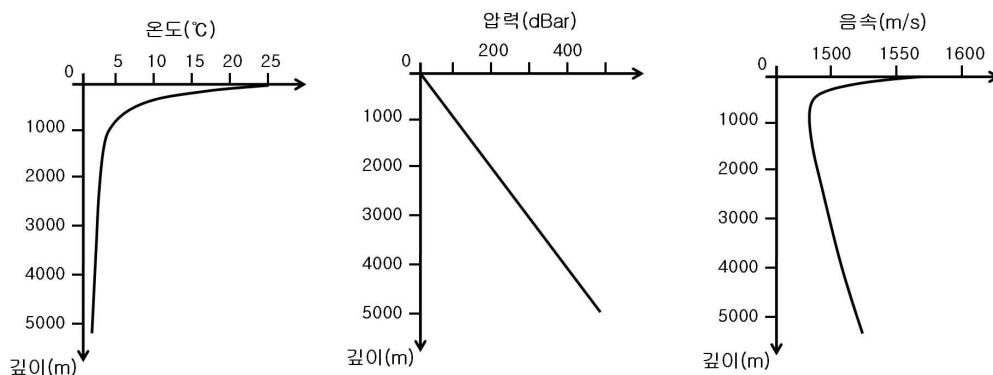


수심이 깊은 곳에서 얇은 곳으로 진행할 때 경계면에 비스듬한 각으로 입사할 때

[그림 5] 수면파의 굴절 및 반사

(마) 해양 내부에서 음파의 전파

쓰나미는 해양의 표면을 따라 전파되나 고래가 내는 소리 등 바다에서 발생하는 다양한 음파는 해양 내부를 통해 전파된다. 해양에서 평균 음속은 약 1,500m/s이지만 해양의 온도, 압력 등에 따라 변한다. [그림 6]은 일반적인 중위도 지역 해양에서 온도, 압력 및 음속의 연직분포를 나타낸 것이다.



[그림 6] 깊이에 따른 온도, 압력 및 음속

논제 1. 쓰나미가 먼 바다에서 해안에 가까이 올수록 수심이 얕아짐에 따라 속도가 느려지고 파고는 높아지는 이유를 제시문에 근거하여 논하시오.

논제 2. [그림 1]에서 인도네시아 지진으로 발생한 쓰나미는 복잡한 전파 양상을 보인다. 대표적으로 화살표 1의 방향으로 진행하는 파동은 아프리카를 우회하는 경로를 따라 띠 모양으로 전파하였고, 화살표 2의 방향으로 진행하는 파동은 거의 직진하여 남극에 도달하였다. 방향 1과 방향 2에서 서로 다른 전파 양상을 보이는 이유를 제시문에 주어진 정보를 활용하여 논하시오.

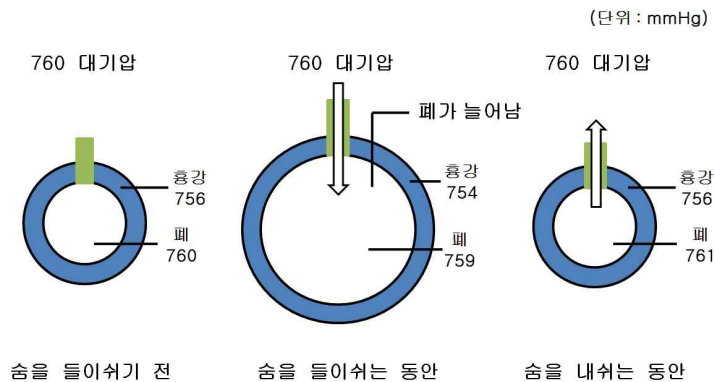
논제 3. 해양에서 고래들은 수백 km 떨어진 거리에서도 의사소통을 할 수 있다. 그 원리를 [그림 6]에 근거하여 설명하고, 해양 연구에 어떻게 활용할 수 있는지 논하시오.

【문항 2】

* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

(가)

공기 중에서 폐를 통해 호흡을 하는 동물도 있고 물에서 아가미를 통해 호흡하는 동물도 있다. 호흡의 목적은 산소를 받아들이고 이산화탄소를 내보내는 것이다. 인간의 호흡은 늑간근과 횡격막의 상하 운동에 의해 일어난다. 즉, 늑간근이 수축하여 늑골을 끌어올리고, 횡격막이 아래로 내려가면 흉강의 부피가 커진다. 이에 따라 흉강 내의 압력이 낮아지므로 외부의 공기가 폐 속으로 들어온다. 반대로, 늑간근과 횡격막이 이완하면 흉강의 부피가 감소되어 흉강 내의 압력이 높아지므로 폐 속의 공기가 외부로 밀려 나간다. 기도를 통해 들어온 공기는 폐포에 이르게 되는데 폐포의 표면은 모세혈관이 감싸고 있어 기체 교환이 일어난다. 폐포의 수는 약 3억 개 정도가 있는데, 하나의 폐포는 지름이 0.1mm에 지나지 않지만 전체 표면적은 약 70m²에 달한다. 보통 성인은 일상적인 활동을 위해 1분당 8L의 공기를 흡입한다. (생물 I 교과서)



[그림 1] 호흡 운동시 흉강과 폐의 기압 변화

기체	대기의 성분비 (부피(%))	사람의 들숨 성분비 (부피(%))	사람의 날숨 성분비 (부피(%))	물 용존 기체의 성분비 (부피(%))	물 1kg당 용존 기체의 질량(mg)
질소	78.08	78.62	74.50	64.7	14.0
산소	20.95	20.84	15.70	33.3	6.5
이산화탄소	0.03	0.04	3.60	1.5	85.0

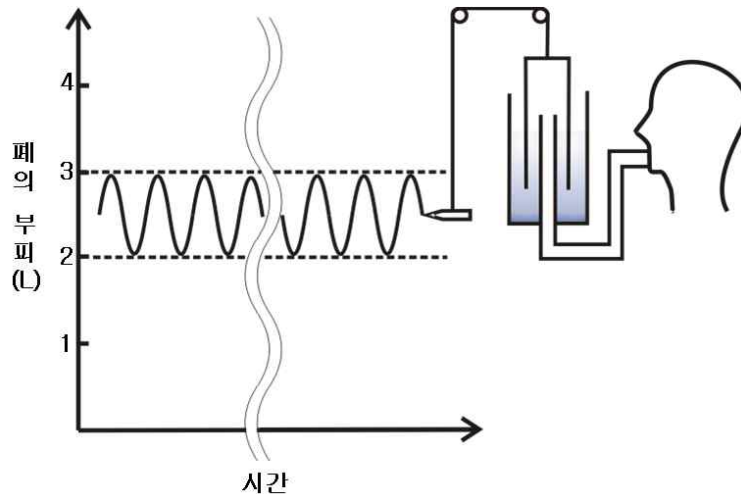
<표 1> 20℃, 1기압에서 대기, 물, 사람의 들숨, 날숨 내 주요 기체의 성분비

* 20℃ 에서 물의 밀도는 1g/cm³, 공기의 밀도는 1.18g/L 이다.

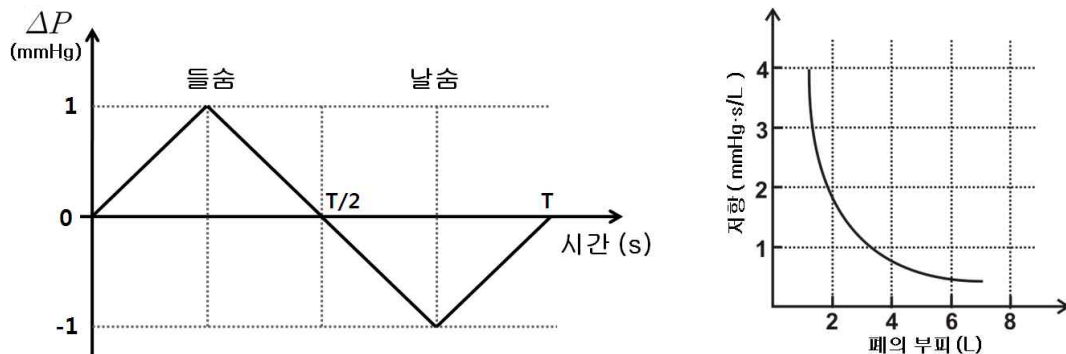
* 20℃ 에서 기체의 물에 대한 용해도(g/L·기압)는 질소 0.019, 산소 0.043, 이산화탄소 1.69 이다.

(나)

[그림 2]는 사람이 호흡하는 동안 폐의 부피변화를 나타낸다. 사람이 Δt 동안 들이마신 공기의 양을 ΔV 라고 하면, 단위시간당 폐로 들어오는 공기의 유입량 Q 는 $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ 로 표현할 수 있다. 사람이 1회 호흡하는 동안 시간에 따라 변하는 대기와 폐사이의 기압차 ΔP 는 [그림 3]과 같이 단순화시켜 생각할 수 있다. 공기가 폐로 흡입되는 동안 호흡기관의 기하학적 구조 및 공기의 점성도에 의해 공기의 흐름이 방해를 받는데, 이때의 저항 R 은 $\frac{\Delta P}{Q}$ 로 표현되며, 폐의 부피에 따라 [그림 4]와 같이 변한다.



[그림 2] 사람이 호흡 하는 동안 폐의 부피 변화



[그림 3] 시간에 따른 대기와 폐 사이의 기압차이 [그림 4] 폐 부피에 따른 저항
(T : 1회 호흡에 걸리는 시간)

논제 1. 공기가 물보다 더 효과적인 호흡 환경일 수 있다. 그 이유를 물과 공기의 기체조성, 기체의 확산, 호흡을 위한 근육 운동에 필요한 에너지량의 관점에서 논하시오.

논제 2. 대기 중 이산화탄소 농도 증가는 온실효과로 인해 지구 온난화를 유발한다. 이산화탄소와 온도의 증가가 육상에서 폐호흡을 하는 정온동물과 수중에서 아가미호흡을 하는 변온동물의 호흡 가스 교환 작용에 어떤 영향을 미칠 수 있는지 추론하시오.(단, 이산화탄소와 온도의 영향을 각각 분리해서 설명하고, 제시문에 주어진 정보를 활용하시오.)

논제 3. [그림 3]에서 대기와 폐의 최대 기압 차이는 1mmHg에 불과하다. 사람이 1분에 16회 호흡할 때, 1mmHg의 기압 차이가 일상적 활동에 필요한 분당 8L의 공기를 유입하는 데 충분함을 보이시오.

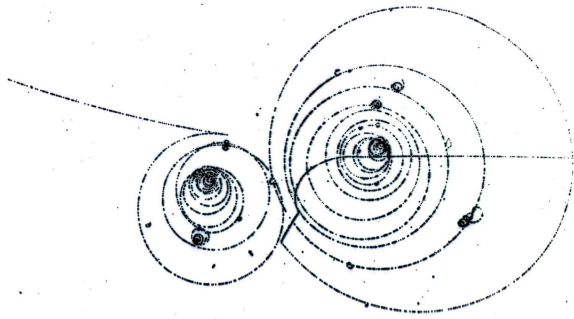
논제 4. 폐포 내부의 표면에는 얇은 수막이 형성되어 있다. 정상아보다 일찍 태어난 미숙아의 경우 폐포 내의 세포가 계면활성제를 제대로 만들지 못해 폐포를 부풀려 호흡하는 데 어려움을 겪을 수 있으며 이로 인해 사망할 수도 있다. 이를 유아호흡장애증후군이라고 하며, 다른 동물로부터 얻거나 인공적으로 합성된 계면활성제를 직접 폐포 내에 뿌려주는 방법으로 치료하기도 한다. 유아호흡장애증후군이 생기는 원인과 계면활성제를 이용한 치료법이 유용한 이유를 물과 계면활성제의 분자 구조와 상호작용의 관점에서 추론하시오.

【문항 3】

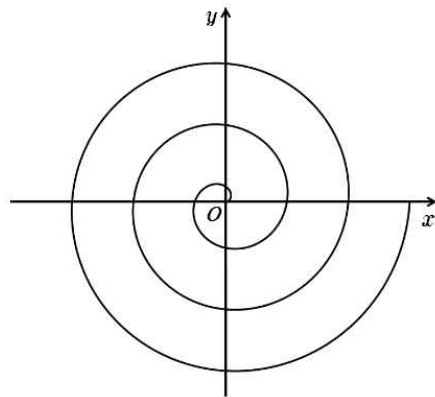
※ 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

(가)

20세기 초기에 새로운 입자들의 발견에는 안개상자 실험이 중요한 역할을 하였다. 전하를 띤 입자가 안개 속을 지나갈 때 작은 물방울이 형성되면서 [그림 1]과 같은 자취를 볼 수 있다. 안개상자에 자기장을 함께 걸어 주면 전하를 띤 입자는 자기력에 의하여 원 운동을 하며, 그 반지름은 입자의 운동량에 비례한다. 한편 움직이는 입자는 안개 입자 또는 공기와 부딪혀 연속적으로 조금씩 에너지를 잃어 원 운동의 반지름은 점차 줄어든다. 입자는 나선(와선) 모양을 따라 움직이다가 결국 모든 에너지를 잃고 정지한다.



[그림 1]



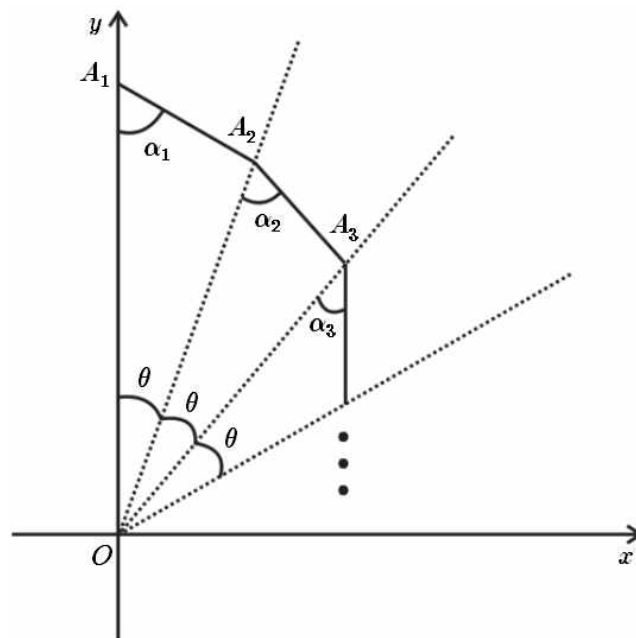
[그림 2]

기원전 250년경 아르키메데스는 한 나선을 연구하였는데, 그것은 좌표평면 위를 움직이는 점의 좌표 (x, y) 가 $x = \theta \cos \theta$, $y = \theta \sin \theta$ (단, θ 는 매개변수)로 정의되는 곡선으로서, $\theta \geq 0$ 인 경우 [그림 2]와 같은 자취를 갖는다. 아르키메데스는 자와 컴퍼스만으로는 작도가 불가능한 기하학의 문제들, 예컨대 각의 3등분 문제, 원의 넓이와 같은 정사각형을 찾는 문제 등을 이러한 나선을 사용하여 쉽게 해결할 수 있음을 보였다.

먹잇감을 향해 날아가는 독수리를 하늘 위에서 내려다보면, 독수리는 먹이를 가장 잘 관찰할 수 있는 각도를 유지하면서 날아간다. 독수리가 먹이를 가장 잘 관찰할 수 있는 방향은 날아가고 있는 방향이 아니라, 날아가는 방향에서 일정한 각도를 이루고 있다. 1638년 데카르트가 발견한 로그 나선 또한 이러한 성질을 가지고 있다. 즉, 로그 나선의 각 점에서의 접선과 그 점에서 나선의 중심을 잇는 선분이 이루는 각도는 항상 일정하다. 예를 들어, 좌표평면 위를 움직이는 점의 좌표 (x, y) 가 $x = e^\theta \cos \theta$, $y = e^\theta \sin \theta$ (단, θ 는 매개변수)로 주어지는 로그 나선은 각 점에서의 접선과 그 점에서 원점까지의 선분이 이루는 각도가 항상 $\frac{\pi}{4}$ 이다.

(나)

나선의 형태와 길이와의 관계를 알아보기 위하여 선분으로 이루어진 다각 나선을 생각해보자. [그림 3]과 같이 평면 위의 점 $A_1(0,1)$ 에서 시작하여 시계 방향으로 각 θ 만큼 회전하되 y 축과 각 α_1 을 이루도록 하여 선분을 점 A_2 까지 긋는다. 같은 방법으로 차례로 각 $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \dots$ 를 이루면서 선분들이 $\overline{OA_n} \geq \overline{OA_{n+1}}$ ($n = 1, 2, \dots$)을 만족하며 서로 겹치지 않고 점차 안 쪽 방향으로 전진해 가면서 다각 나선을 만든다. 이와 같은 다각 나선은 주어진 각의 수열 $\{\alpha_n\}$ 에 따라 다양한 형태로 나타난다.



[그림 3]

(다)

무한급수 $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ 이 수렴하면 $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$ 이다. 그러나 일반적으로 그 역은 성립하지 않는다. 예를 들어, $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n}$ 은 발산하고 $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}$ 은 수렴한다는 사실이 알려져 있다. 또한 모든 $n = 1, 2, \dots$ 에 대하여 $0 < a_n \leq b_n$ 일 때, $\sum_{n=1}^{\infty} b_n$ 이 수렴하면 $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ 이 수렴한다는 것도 알려져 있다. 이 사실을 이용하면 $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!}$ 이 수렴함을 알 수 있는데, 그 이유는 $\frac{1}{n!} \leq \frac{1}{2^{n-1}}$ ($n = 1, 2, \dots$)이기 때문이다.

문제 1. 제시문 (나)에 주어진 임의의 수열 $\{\alpha_n\}$ 에 관하여 각 $\theta = \frac{\pi}{2010}$ 일 때, 다

각 나선이 원점으로 한없이 가까워지지 않을 수도 있음(즉, n 이 한없이 커질 때, $\overline{OA_n}$ 이 0으로 수렴하지 않을 수도 있음)을 예를 들어 설명하시오. 또, 원점으로 한없이 가까워지는 경우에, 다각 나선을 이루고 있는 선분들의 길이의 무한급수

$$\overline{A_1A_2} + \overline{A_2A_3} + \overline{A_3A_4} + \dots$$

가 항상 수렴하는지 논하시오.

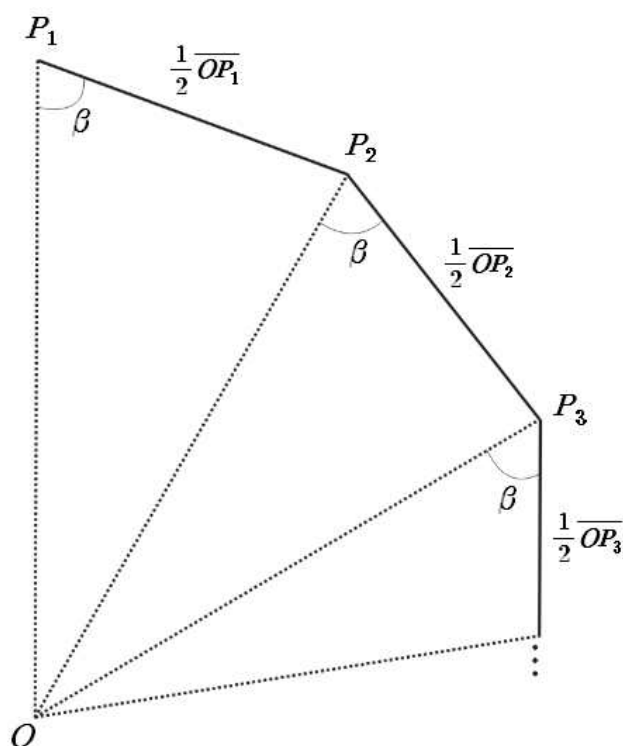
문제 2. 제시문 (나)에 주어진 임의의 수열 $\{\alpha_n\}$ 에 관하여 $0 < \alpha_1 < \theta < \frac{\pi}{3}$ 이고

$0 < \alpha_{n+1} \leq \alpha_n$ ($n = 1, 2, \dots$)일 때, 다각 나선이 원점으로 한없이 가까워짐을 설명하시오. 또, 다각 나선을 이루고 있는 선분들의 길이의 무한급수

$$\overline{A_1A_2} + \overline{A_2A_3} + \overline{A_3A_4} + \dots$$

가 항상 수렴함을 설명하시오.(단, θ 는 고정되어 있다.)

문제 3. 이번에는 다음과 같이 일정한 길이마다 정해진 각도로 방향을 바꾸는 형태의 다각 나선을 생각해 보자. 원점이 O 인 좌표평면 위에 한 점 P_1 이 주어졌다고 하자. 아래 그림과 같이 점 P_1 에서 선분 OP_1 에 대하여 각 β 방향으로 길이 $\frac{1}{2} \overline{OP_1}$ 만큼 이동한 점을 P_2 라 하자. 이러한 과정을 계속 반복하여, 점 P_n 에서 선분 OP_n 에 대하여 각 β 방향으로 길이 $\frac{1}{2} \overline{OP_n}$ 만큼 이동한 점을 P_{n+1} 이라 하자. n 이 한없이 커짐에 따라 점 P_n 이 좌표평면에서 어떻게 움직이는지 $\cos \beta$ 에 관하여 구체적으로 기술하시오.



문제 4. 제시문 (가)의 로그 나선 $x = e^\theta \cos \theta$, $y = e^\theta \sin \theta$ 위의 한 점 P 에서 나선의 접선을 긋고, 원점 O 에서 선분 OP 에 수직인 직선을 그어 접선과 만나는 점을 Q 라고 하자. θ 가 $\frac{\pi}{2}$ 에서 π 까지 변할 때, 선분 PQ 가 지나간 영역을 구체적인 그림으로 나타내고 그 넓이를 구하시오.

【문항 4】

＊ 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

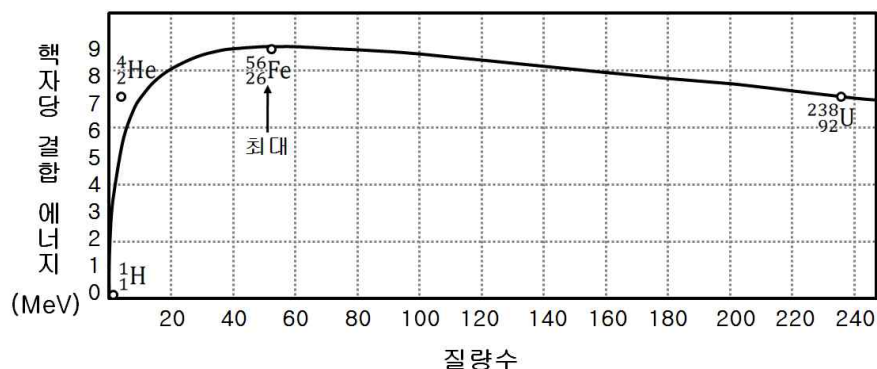
(가) 원자핵

원자핵은 핵자로 불리는 양성자와 중성자로 구성되어 있다. 전하를 띤 양성자들은 원자핵 속에서 서로 매우 가까운 거리에 있으므로 강한 전기적 반발력이 작용한다. 그럼에도 불구하고 양성자들이 원자핵 속에 계속 결합되어 있을 수 있는 것은 핵자들 사이에 작용하는 핵력 때문이다. 핵력은 매우 강한 인력이지만 $1 \times 10^{-15}\text{m}$ 정도의 아주 짧은 거리 안에서만 작용한다. 원자핵을 개개의 핵자들로 모두 분리하는 데 필요한 에너지를 결합 에너지라고 하며 그 값은 원자핵의 종류에 따라 다르다. 원자핵의 질량은 원자핵을 구성하는 핵자들 질량의 단순 합보다 적는데 그 질량 차이는 원자핵의 결합 에너지에 비례한다. 질량수가 A인 원자핵은 총 A개의 핵자로 구성되는데 이 원자핵의 결합 에너지를 질량수로 나눈 핵자당 평균 결합 에너지는 다음과 같이 주어진다.

$$(\text{핵자당 평균 결합 에너지}) = \frac{[A \times M(1) - M(A)] \times c^2}{A}$$

M(A)는 원자핵의 질량, M(1)은 핵자 1개의 질량으로 $1.67 \times 10^{-27}\text{kg}$ 이며 빛의 속도의 제곱 c^2 은 아인슈타인의 특수 상대성이론에서 질량-에너지 등가 관계식 $E=mc^2$ 의 비례상수이다.

[그림 1]은 핵자당 평균 결합 에너지가 원자핵의 질량수(A)에 따라 변하는 경향을 나타낸 그래프이다.



[그림 1] 핵자당 결합 에너지

핵 반응에서는 반응 전후 원자핵들의 결합 에너지의 차이에 해당하는 에너지가 방출되거나 흡수된다.

(나) 원자 및 분자

원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있다. 원자 안에서 전자는 다음의 특성을 갖는다.

- ① 전자의 에너지 상태는 불연속적인 특정한 값을 갖는다. 이 값들은 각 원소마다 독특하다.
- ② 낮은 에너지 상태에 있는 전자가 높은 에너지 상태로 변화할 때는 두 에너지 상태의 차이 값만큼의 에너지를 흡수하여야 한다. 반대로, 높은 에너지 상태에 있는 전자가 낮은 에너지 상태로 내려올 때는 해당 크기의 에너지를 방출한다.

예) 백열등처럼 연속 스펙트럼을 가진 빛을 네온 기체에 통과시키면 네온 원자의 전자 에너지 상태에 따라 특정 위치에서 검은 선들이 나타나는 흡수 스펙트럼이 얻어진다.



[그림 2] 네온 기체의 흡수 선 스펙트럼 ($1\text{nm} = 1 \times 10^{-9}\text{m}$)

분자는 원자들이 결합하여 만들어진 것이다. 분자내의 원자들이 움직이는 진동 운동은 다음과 같은 특성을 갖는다.

- ① 분자의 진동 에너지는 불연속적인 특정한 값을 갖는다. 이 값들은 각 분자마다 독특하다.
- ② 분자의 진동 운동이 낮은 에너지 상태에서 높은 에너지 상태로 변화할 때는 두 에너지 상태의 차이만큼 에너지를 흡수한다. 반대로 높은 에너지 상태에 있는 진동 운동은 에너지를 방출하며 낮은 에너지 상태로 내려간다.

분자의 진동 에너지는 100kJ/mol 이하의 값이며 적외선 영역(파장 $1\mu\text{m}$ 이상)에 해당한다. 원자 내의 전자 에너지는 이 보다 큰 값을 가지며 가시광선($400\text{nm} \sim 700\text{nm}$) 또는 자외선 영역에 해당하고, 원자핵 내의 핵자들의 결합 에너지는 이 보다 백만 배 이상 크다.

물질의 열에너지는 입자의 운동, 분자의 내부 진동, 원자의 전자 에너지 등 다양한 에너지의 합으로 나타낼 수 있다. 절대온도 T 에서 열에너지는 대략 kT 만큼의 값을 갖는다. (k 는 볼츠만 상수로 $1.4 \times 10^{-23}\text{J/K}$ 이다.)

(다) 별

별이 탄생하는 곳은 우주 공간에서 기체와 먼지입자가 풍부하게 모여 있는 성간 구름 영역이다. 성간 구름의 온도는 매우 낮아서 절대온도 10K까지 이르기도 한다. 이 기체 구름 내에서 입자들 간에 서로 작용하는 중력에 의해 구름이 수축하면, 중력에너지가 열에너지로 바뀌게 되고, 기체 구름의 밀도와 온도를 상승시킨다. 이 과정이 계속 진행되면서 핵융합이 일어나기에 충분한 고온·고압 조건이 기체 구름의 중심부에 만들어지면, 별이 탄생하며 주위 기체는 별의 대기를 형성한다. 별의 내부에서는 양성자 4개가 헬륨 핵으로 융합되는 반응에서 헬륨 핵의 결합 에너지에 해당하는 약 26MeV의 에너지가 방출되며 별이 빛난다. 질량이 충분히 큰 별들의 경우는 내부의 압력과 온도가 더 높아지면서 헬륨 핵들이 탄소, 산소 등으로 융합하는 반응들이 에너지를 발생시켜 별은 계속 빛나게 된다. 이 후, 별의 내부 온도는 더 높아져 탄소, 산소 등이 실리콘, 마그네슘 등으로 융합하며 에너지를 발생한다. 이러한 과정을 거치면서 중심부가 점차 무거운 원소들로 변하고 마지막으로 철 핵이 형성된다.

핵융합에 필요한 연료를 모두 소모한 별은 중력으로 수축하기 시작하여 결국 초신성 폭발에 이르게 된다. 초신성 폭발은 은하에서 종종 관측되는데, 1602년 우리 은하계에서 폭발한 초신성에 대한 기록이 조선왕조실록에 남아 있으며 동시대의 케플러도 이를 관측하였다.

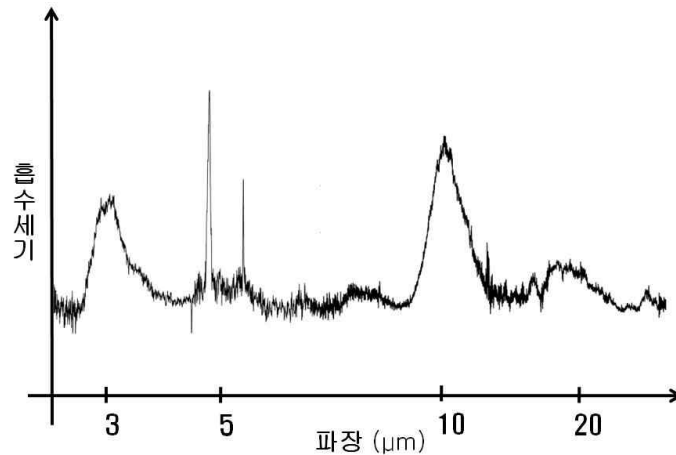
논제 1. 천체 망원경 기술의 발전에 힘입어 별 빛의 스펙트럼을 분석하는 분광 분석적 천체관측이 가능하게 되었다. 관측 스펙트럼 영역도 가시광선뿐 아니라 자외선 및 적외선 영역까지 확장되었으며, 지구 대기의 영향을 없애기 위해 인공위성에 탑재시킨 천체 망원경을 사용한다.

1-1. 지구에 도달하는 별 빛이 별과 지구사이에 존재하는 성간 구름 영역을 통과하는 경우, [그림 3]과 같이 적외선 스펙트럼에서 다양한 흡수 봉우리들이 관찰된다. 이 자료에 의거하여 성간 구름에 물분자가 존재할 가능성에 대해 논하시오.

[참고자료: O-H 작용기의 진동 운동에너지에 해당하는 빛의 파장은 다음과 같이 계산된다.

$$\lambda = 7.6 \times 10^7 \text{ m} \times \sqrt{M_H / 1\text{kg}}$$

여기서 λ 는 빛의 파장, M_H 는 수소원자의 질량($1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$)이다.]



[그림 3]

1-2. 별 빛의 스펙트럼에는 적외선을 포함하는 연속 스펙트럼 위에 가시광선과 자외선 영역에 검은 흡수선들이 나타난다. 별 빛이 성간 구름 영역을 거치지 않고 직접 지구로 도달하는 경우에는 [그림 3]과 같은 적외선 영역의 흡수 봉우리들은 관찰되지 않는다. 이로부터 별의 대기와 성간 구름에 존재하는 물질들이 어떻게 다른지를 유추하고, 차이가 나타나는 이유를 두 환경의 온도 효과로 설명하시오.

문제 2. 태양의 내부에서는 양성자 4개가 모여 한 개의 헬륨 원자핵을 만드는 핵융합 반응이 일어나고 있다. 태양 내부의 온도는 약 $1.6 \times 10^7 \text{K}$ 정도이며 여기서 수소는 양성자(H^+)의 형태로 존재한다. 양성자들이 핵융합을 일으키려면 이들 사이의 거리가 핵력의 작용범위 이내에 있을 때만 가능하다. 고정되어 있는 양성자를 향해 다른 한 개의 양성자가 $2 \times 10^{-11} \text{m}$ 의 거리에서 다가가는 경우를 생각하여 보자. 양성자는 전하를 지니고 있어 둘 사이의 거리가 r 일 때, 전기력 $F = \frac{9 \times (1.6)^2 \times 10^{-29} \text{Nm}^2}{r^2}$ 의 밀어내는 힘이 존재한다.

다가가는 양성자가 상호 반발력에 의하여 되돌아가기 시작하는 거리를 유효숫자 한자리 근사로 구하고, 고전물리적인 방법으로는 핵융합이 일어날 수 없음을 보여라.(양성자를 고전적인 기체분자로 생각하면,

양성자의 평균운동 속도는 $v = \sqrt{\frac{3kT}{M_H}}$ 로 주어진다. 여기서 k 는 볼츠만 상수로 $1.4 \times 10^{-23} \text{J/K}$ 의 값을 가지며 M_H 은 양성자의 질량으로

$M_H = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg}$ 이다.)

논제 3. [그림 1]을 근거로 별에서의 핵융합 반응은 철 원자핵의 생성까지만 진행되는 이유를 논하고, 이와 관련하여 인류가 핵에너지를 이용할 수 있는 두 가지 원리를 설명하시오.