



## 보 도 자 료

일 시: 2011. 1. 11(화)

발 신: 서울대학교 입학본부 (880-9017)

### 2011학년도 정시모집 논술고사

- 서울대학교는 2011학년도 정시모집 논술고사를 1월 11일에 실시하였다. 응시 대상인 원은 총 2,381명(인문계열 1,004명, 자연계열 1,284명, 사범대학 체육교육과 93명)이며, 인문계열 학생에게는 5시간 동안 3문항(사범대 체육교육과는 2시간 동안 1문항), 자연계열 학생에게는 5시간 동안 4문항이 주어졌다.
- 문항 출제에서 중요하게 고려하였던 점은 1) 고등학교 교과서 지문과 주제를 활용함으로써, 2) 사교육을 통해 급조되거나 암기된 지식이 아니라 공교육을 통해 길러지는 종합적 사고력과 창의적 문제해결 능력, 논리적 글쓰기 능력을 기르며, 3) 교육과정의 정상적인 운영을 통한 공교육의 질적인 향상에 기여한다는 것이었다.
- 논술에서 교과서의 내용을 최대한 활용한 것은 학생들이 사교육에 의존하지 않고도 스스로 충분히 준비할 수 있도록 하고, 동시에 학생들이 논술을 준비하는 과정이 단순 반복학습과 지식 암기에서 벗어나 자기주도적 학습능력을 기르고 독서와 토론을 통해 종합적 사고능력과 창의력을 배양할 수 있는 바람직한 교육의 한 과정으로 정착되는데 기여하고자 함이다.
- 인문계열에서는 다양한 교과 영역에 대한 폭 넓은 이해 위에서 합리적으로 사고하고 비판적으로 분석하는 능력과, 자유롭고 창의적인 글쓰기 능력을 배양할 수 있도록 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

- 우리들은 살아가면서 다양한 문제를 만나게 된다. 개인적인 상황에서 문제가 발생할 수도 있고, 사람과의 관계에서 발생할 수도 있으며, 공부를 하고 연구를 수행하는 과정에서도 늘 만나게 된다. 이 문항은 학생들이 앞으로 만날 문제에 대한 해결 방안을 모색할 때 참고할 수 있는 하나의 방법으로 과학적 탐구의 과정과 사례를 설명하고 있다. 이를 통해 학생들은 학문적 사유 형태에 대하여 생각해 볼 수 있을 것이다.
- 다양한 매체를 통해 소개되는 새로운 정보를 이해하고 자신의 의견을 표현하는 능력은 대학에서 지식을 습득하는데 매우 중요하다. 특히 인문사회와 이공계 학문의 경계가 점점 희미해져 가는 현실에서 인문계 학생들도 기본적인 과학적 소양을 갖추고 있어야 한다. 교과서에 수록된 매우 자명한 과학적 사실을 설명하고 있는 제시문의 내용을 분석하고 재구성하는 이 문항은 과학적 추론 과정에 대한 이해력, 지문을 분석하는 능력, 필요한 정보를 찾아서 논리적으로 연결하는 논증력, 그리고 정보를 재구성하여 기술하는 과정의 창의력을 측정하고자 한다.

#### □ 문항 설명

- 우리의 우주관이 형성되는 과정을 케플러의 사례를 통해서 종합적으로 생각해 보도록 함으로써 과학적 사고와 과학적 탐구 과정의 내용을 자신의 언어로 재구성하도록 하는 문항이다.
- 【제시문 1】의 (가)는 고등학교 「과학」 교과서에 소개된 과학적 탐구과정(연구 대상 설정 - 가설 - 실험 및 관찰 - 자료 해석 - 결론)을 설명한다. 과학적 추론 과정을 적용할 때 특정 단계가 생략되거나 반복될 수 있다는 점도 명기하였다. 【제시문 1】의 (나)는 과학적 사고의 다섯 요소를 「최무영교수의 물리학 강의」에서 발췌해 매우 간략하게 소개하고 있다.
- 【제시문 2】는 행성 운동의 법칙이 규명되는 과정을 케플러의 사례를 통해서 기술하고 있다. 케플러의 행성 운동에 대한 세 법칙이 발견되기까지의 과정은 널리 알려져 있다. 고등학교 「과학」 교과서를 바탕으로 「행성 운동과 케플러」(제임스 R.

별케 지음), 「객관성의 칼날」(찰스 그리피스) 등에서 인문계열 학생들이 이해 할 수 있도록 내용을 추가하여 재구성하였다.

- 논제 1에서는 원에서 타원으로 인식이 전환되는 과정을 고등학교 「과학」교과서에서 배운 과학 탐구의 단계에 따라 재구성하라고 요구하고 있다. 이 논제는 교과서에 수록된 과학적 사례를 학생이 얼마나 정확하고 포괄적으로 이해하고 있는지 묻고 있다.
- 논제 2는 케플러의 탐구에서 과학적 사고의 요소를 찾아내는 문제로서 학생의 추론 능력을 평가한다.

## 【문항 2】

### □ 출제 의도

- 우리 사회는 당면한 저출산에 대해 여러 각도에서 원인과 대책을 논의하고 있고 다양한 정책도 실시되고 있다. 학생들은 대개 저출산의 원인과 대책에 대한 일반적인 지식을 갖고 있을 것이다. 고등학교 「사회」와 「기술·가정」 교과서를 통해 전통적 성역할의 변화, 가족 개념의 변화, 여성의 교육 수준 제고 및 사회 참여 확대 등 이와 관련한 여러 내용을 배우고 있다. 그러므로 저출산 문제의 대책이 왜 필요한 것인지를 한국사회를 포괄하는 세계 사회의 변동 속에서 객관적이고 정확하게 이해하는 것은 우리 사회의 현재를 이해하고 미래를 예측하는데 매우 중요한 주제이다. 이 문제는 저출산 대책의 하나인 “일과 가정의 양립” 정책이 왜 필요한지 유럽 사회의 경험과의 비교를 통해 통찰하고 우리 사회에 적용 가능한 방안은 무엇인지 논리적으로 제시하도록 하였다.
- 현실의 객관적인 이해를 위해 유럽 국가의 지난 25년간의 여성노동, 출산력 변동에 관한 통계자료, 한국의 현실에 관한 통계자료를 제시문에 나타난 유럽 국가의 육아 정책과 연결시켜 사회과학적 분석을 할 수 있도록 하였다.

### □ 문항 설명

- 제시문은 유럽연합에 속한 유럽 국가들이 실시하고 있는 “일과 가정의 양립 정책” 구체적으로는 육아휴가 등의 정책이 사회문화적 전통과 조건 속에서 어떻게 유형화되는지를 각 그룹에 속한 국가의 특성 및 정책의 특성과 함께 제시하고 있다.
- <표 1>은 1980년부터 2005년까지 유럽 국가의 여성 노동시장 참가율, 합계출산율에

관한 통계자료를 제시하여 먼저 1980년부터 2005년까지 여성의 노동시장 참여율과 출산력이 어떻게 변화해 왔는지를 분석하도록 하였다. 또 1980년과 2005년 두 시기에 각각 여성의 노동시장 참여율과 합계출산율 사이에는 어떤 관계가 있는지, 그 관계에 어떤 변화가 있는지를 유추하도록 하였다. 이를 통해 여성의 노동시장 참여가 반드시 출산력을 낮추는 것이 아니라, 오히려 현대 사회에서는 여성의 노동시장 참여율이 높을수록 출산력 수준이 높은 것으로 보아 이 둘을 양립할 수 있는 정책이 실시되는 나라에서 저출산 문제를 해결할 수 있는 가능성을 찾도록 하였다.

- <표 2>는 한국의 여성 노동시장 참여율과 합계출산율의 추이에 관한 자료로 유럽의 경험과 비교하는 자료로 기능하고 있다.
- <표 3>은 한국의 1999년부터 2009년까지 유급노동시간별 무급가사노동시간에 관한 통계자료로 한국사회에서 무급가사노동은 밖에서 일을 하느냐에 관계없이 여전히 여성의 몫이며 부부간 평등한 성 분업이 제대로 이루어지고 있지 않은 현실을 파악하도록 하고 있다.
- <그림>은 한국을 포함하여 유럽 국가의 성평등지수와 합계출산율에 관한 통계자료로 한국은 어느 유럽 국가에 비교해보아도 성불평등이 심하고 이는 저출산과 깊은 관계가 있음을 파악하도록 하고 있다.

### 【문항 3】

#### □ 출제 의도

- 이 문항은 ‘좋은 음악이란 무엇인가’ 하는 간단한 질문이다. 하지만 대상에 대한 근본적인 물음이다. 존재론적이며 동시에 인식론적인 미학적 질문이기도 하다. 생활 속에서 늘 접하고 즐기는 대상인 음악에 대해 근본적인 사유를 하도록 한 것이다. 이 문제로써 학생들의 분석적이면서도 동시에 종합적인 사고를 보고자 했다. 또한 제시문에서 음악에 대한 대립적 견해를 보여줌으로써 또 이것을 이용하여 서술하게 함으로써 비판적 사고까지 보고자 했다. 즉 분석적, 종합적, 비판적 사고를 키우고 그것을 논리적인 글로 표현할 수 있는지를 보고자 했다.
- 이 문제는 어떤 음악이 좋은 음악인가 하는 문제이기도 하지만 어떤 음악을 좋은 음악으로 인식하는가 하는 문제이기도 하다. 학생들은 자신이 좋은 음악이라고 생각하는 것이 무엇인지에서 시작하여, 왜 그것을 좋은 음악이라고 생각하였는지 물을 것이다. 이 물음은 ‘음악성 또는 음악에 있어서 예술성이란 무엇인가’ 하는 질문

으로 이어질 것이고, 그리고 그것은 예술성을 구성하는 요소가 무엇인지, 또 예술 이외의 요소로써 예술적 가치 판단을 좌우하는 일이 없는지 묻게 될 것이다. 말하자면 미적인 것뿐만 아니라 미적이지 않은 것, 곧 인식적, 윤리적, 정치적, 사회적인 요소와의 관계까지 묻게 될 것이다. 제시문은 그런 사유를 펴는 데 하나의 출발점이 될 수 있다. 그리고 논리를 펴는 데 논거로 이용될 수도 있을 것이다.

## □ 문항 설명

- 논제는 극히 평범하고 간단하다. 하지만 여기에는 많은 철학적 미학적 논쟁이 잠재해 있다. 어떤 것이 좋은 음악인지 하는 문제는 그것이 왜 좋은 음악으로 받아들여졌는지에 대한 문제이기도 하다. 나아가 어떤 음악이 어떤 사람, 어떤 집단에 의해 좋은 음악으로 받아들여지는지 서술할 수도 있다. 간단한 문제이지만 예술성의 본질에 대한 문제이므로 미적 경험이나 미적 가치 판단의 근본적 물음을 피해갈 수 없다. 이는 곧 예술과 도덕, 예술과 사회의 관계에 대한 모색으로까지 이어질 것이다.
- 【제시문1】은 예술 외적인 요소에 의해 음악의 가치가 판단되는 상황이며, 【제시문2】는 음악 그 자체가 음악의 가치를 판단하는 중요한 준거로 작용함을 보여준다. 또한 【제시문1】은 향유자로서 음악에 대한 태도와 인식을 보여준 것이라면, 【제시문2】는 주로 직업 음악가로서의 그것을 보여준다. 두 제시문을 좀 더 구체적으로 살펴보자.
- 【제시문 1】은 유명한 고전소설 「구운몽」에서 따왔다. 「구운몽」은 고등학교 「국어」 교과서에 수록된 작품이다. 【제시문 1】이 「국어」 교과서에 수록된 부분은 아니지만, 「구운몽」의 줄거리는 학생들이 학교에서 학습한 것이다.

해당 부분은 「구운몽」의 주인공인 양소유가 과거시험을 보러 서울로 가서 나중에 부인이 될 정경패의 얼굴을 보기 위해 여자로 변장하여 정경패 집에 들어간 장면이다. 양소유는 정경패가 음악을 좋아하는 것을 알고 자기도 연주를 잘 한다고 하며 만남의 기회를 잡았다. 양소유가 음악을 연주하자 정경패가 하나하나 그 연주와 음악을 평가하는데 정경패의 음악 평가 기준은 도덕이다. 나라를 망하게 하거나 난세로 몰아간 사람들이 짓고 즐긴 음악, 절개를 잃은 부인이 지은 음악 등 비도덕적인 인물의 음악은 음악의 내용과 상관 없이 부정됨을 보여준다. 예술을 극단적인 도덕주의적 관점에서 파악한 것이라고 할 수 있다. 이런 관점의 연장 선상에서 공자나 순임금 등 유교적 기준에서 최고의 성인이 만든 음악은 그 음악적 수준도 최고로 친다. 이는 음악을 음악성 자체보다는 도덕적 기준에 의거하여 좋

은 음악과 나쁜 음악으로 나누는 유교의 예악관(禮樂觀)이 반영된 것이다.

한편 양소유는 정경패 정도로는 이 예악관을 철저히 실천하지는 않았다. 현대식으로 말하면 정경패가 극단적인 도덕주의적 예술관을 지닌 데 비해 양소유는 온건한 도덕주의적 예술관을 지녔다고 할 수 있다. 이런 작품 내의 정보를 통해 학생들이 좋은 음악을 평가하는 데 도덕이나 정치, 시장 등 음악 외적인 요소가 어떻게 작용하는지 끌어낼 수 있기를 기대한다. 예컨대 음악가가 일제강점기에 친일을 했다고 해서 그 음악가의 음악 작품까지 부정적으로 보는 것이 옳은지, 사회 풍기를 문란하게 했다는 이유로 어떤 음악을 나쁘게 몰아가 검열하고 통제하는 것이 옳은지, 금지곡, 정치 선전 음악 등 음악과 사회의 관계까지 살필 수 있기를 기대한다.

- 【제시문2】는 조선 후기의 실학자인 유득공의 「유우춘전」에서 따왔다. 이 작품은 EBS 강의 자료에서 작품으로 소개되어 있다. 【제시문2】는 예술에 대한 인식과 태도에 있어서 좀 더 복잡한 문제를 제기한다. 먼저 인용 맨 앞에 등장하는 서상수는 상층 귀족으로 음악의 순수성 혹은 예술적 가치를 대단히 중히 여긴다. 서상수는 길거리의 저급한 음악과 고도로 숙련된 음악가의 고급 음악을 철저히 나누려는 입장이다. 현대적으로 말하자면 고급음악과 저급음악, 고급음악과 대중음악을 철저히 나누고, 후자를 낮추어보는 입장인 것이다. 반면 정작 직업 음악가인 유우춘은 서상수와는 의견이 다르다. 길거리의 저급한 음악이라고 결코 그 가치를 부정할 수 없다고 했다. 그는 길거리 음악을 삶의 가장 절실한 문제인 생존에 기초한 것이어서 다른 어떤 예술보다 진정성이 있다고 보았다. 물론 그 역시 고도의 형식미를 갖춘 음악 그 자체의 예술성을 부정한 것은 아니다. 하지만 그 예술성은 대중성과 철저히 괴리되어 있다는 생각이다. 【제시문2】를 통해 학생들은 좋은 음악이 꼭 고급음악이어야 하는지, 대중음악도 좋은 음악이 될 수 있는지, 될 수 있다면 어떤 이유와 조건 때문에 가능한지 모색해야 할 것이다.

## 자연계열 논술고사 출제의도 및 문항설명

### □ 출제 의도

- 자연과학을 탐구하는 데 있어서는 정보를 이해하고 분석하는 능력과 더불어 이를 과학적으로 추론하여 자신의 견해를 논리적으로 표현하는 능력도 필요하다. 따라서 과학적 추론 능력의 중요성을 환기하기 위해 중등교육과정을 이수하며 습득한 수학과 과학적 지식을 GPS나 생명체 탐사와 같이 실용적인 소재나 과학사의 주요한 발견 등 구체적인 모형에 적용하여 과학적이고 통합적인 추론을 하도록 요구하였다.
- 주어진 제시문에서 논제와 관련된 수리적, 과학적 개념과 원리를 인지하고, 자료와 변인을 고려한 설명 모형을 설계하여 과학적 근거와 개념에 기초한 서술을 유도하는데 중점을 두고 출제하였다.

\* 인용한 제시문은 논제에 맞춰 정보를 가감하는 등 원전을 재구성하였다.

### 【문항 1】

### □ 출제 의도

- 스마트 폰이나 네비게이션 등으로 우리 생활에 친숙한 GPS 위성항법시스템을 소재로 고등학교 교육과정을 이수하며 습득한 수학 및 과학의 지식을 구체적인 현상에 적용하여 해석할 수 있는지 평가하고자 하였다.
- 제시문에서는 GPS의 항법시스템에 대한 일반적인 이해를 돕고, 논제의 내용을 추론하고 해결하는 데 필요한 정보를 제공하였다. 이를 통해 GPS에 대한 단편적 지식을 묻기보다는 고등학교 과정에서 배운 물리, 지구과학, 여러 가지 수학적 원리를 활용하여 문제를 해결하고 추론하는 능력을 평가하고자 하였다.

## □ 문항 설명

### ◦ 제시문

- GPS에 대한 단편적 지식만으로 논제를 해결하지 않도록, GPS 구성 원리, 오차 요인, 정밀도에 대한 정보 등 GPS를 이해하는 데 필요한 자료를 다양하게 제시하였다.
- 【제시문 1】에서는 GPS의 기본적인 개념, 구성요소 및 전리층 전파굴절에 대한 과정을 소개하였다. (『교양으로 읽는 과학의 모든 것 II』, 한국과학창의재단)
- 【제시문 2】에서는 GPS 위성배열에 따른 위치 정밀도를 나타내는 원리 및 DOP 값을 계산하는 과정을 제시하였다.

### ◦ 논제 구성

- 논제 1: 고등학교 교과과정에서 배운 전기와 자기의 기본적인 원리를 이용하여, GPS 신호가 전리층을 통과하면서 발생하는 속도 감소현상을 개념적으로 설명하도록 하였다. 전리층을 통과하면서 전파의 속도가 느려진다는 사실을 제시문에 제공함으로써 단편적 지식을 묻기보다는 개념을 이해하여 논리적으로 설명하는 능력을 묻고자 하였다.
- 논제 2: 제시문에서 식으로 주어진 전리층 지연현상을 GPS로부터 얻어지는 두 개의 주파수 정보와 거리 정보를 이용하여 보정할 수 있는지를 생각해 보도록 하였다. 그리고 간단한 수학적 유도를 통해 도출하고자 하는 요소를 논리적으로 이끌어 낼 수 있는지 평가하고자 하였다.
- 논제 3: 제시문에 주어진 GPS 위성의 기하학적 배열에 따른 위치 정밀도의 변화를 고등학교 수학 교과과정에서 배운 간단한 행렬 및 삼각함수를 사용하여 식으로 유도하게 함으로써 2차원 상에서의 최적의 배열에 대한 기하학적 개념을 묻고자 하였다. 그리고 이 결과를 실제 GPS에서 사용되는 3차원으로 확장하여 추론하게 함으로써, 고등학교 교과과정과 실생활에 활용되는 과학기술의 연계성을 확인할 수 있도록 하였다.



## 【문항 2】

### □ 출제 의도

- 다양한 매체를 통해 소개되는 과학기술 정보를 분석하여 가치를 판단하고, 말과 글로 자신의 의견을 표현하는 능력은 과학자에게 중요하다. 학문 사이의 경계가 없어지고 인문사회와 이공계 학문의 융합이 필요한 시대에 과학자의 인문적 소양의 필요성도 대두되고 있다. 이러한 점에서 문항 2에서는 과학의 탐구와 관련된 구체적인 제시문을 분석하고, 재구성하게 함으로써 과학적 추론, 문장 이해력, 표현력 등을 종합적으로 평가하고자 하였다.

### □ 문항 설명

- 제시문
  - 【제시문 1】에서는 과학적 탐구의 일반적인 과정으로 고등학교 교과서에 소개되어 있는 문제 인식, 가설 설정, 실험 설계, 결과 비교를 인용하였다. 그리고 이를 다시 문제 인식과 연구 대상의 설정, 모델의 제안, 모델에 근거한 예상, 실험 수행과 실험 자료, 부정적 증거, 긍정적 증거, 일반화의 과정으로 세분화한 후, 각 과정에 대한 설명을 함께 제시하였다. 또한 과학적 추론을 적용할 때는 사례에 따라 특정 과정을 생략하거나 순서를 바꾸어 유연하게 적용해야 함을 강조하였다. (고등학교 과학 교과서, 『과학적 추론의 이해』)
  - 【제시문 2】는 케플러가 행성의 운동에 관한 세 가지 법칙을 발견하는 과정을 과학사적 시각에서 기술한 내용을 소개하였다. 이 제시문에서 저자는 케플러의 타원 궤도 발견이 과학적 사실을 넘어 인간이 세계를 바라보는 패러다임을 바꾸었다는 점을 강조한다. 케플러는 우주의 조화로운 기하학적 모형을 믿었으나, 한편으로 매우 자유롭고 객관적인 태도를 가졌다. 케플러는 행성의 궤도를 알아내기 위해 티코 브라헤의 정밀한 관측 자료를 분석했으며, 결국 행성이 완벽한 도형이라고 믿었던 원이 아니라 타원 궤도를 따라 움직인다는 사실을 발견하였다. 원 궤도에서 타원 궤도로의 이행은 중세적 세계관에서 실증적 세계관으로 패러다임이 옮겨졌음을 의미한다. (『객관성의 칼날』, 찰스 그리피스)

◦ 논제 구성

- 논제 1: 고등학교 교과서에 소개된 과학적 발견 중에서 잘 알려져 있는 세 개의 사례 중에서 하나를 선택하여 【제시문 1】에 소개한 과학적 추론 과정에 맞추어 재구성하도록 하였다. 이 논제를 통해 학생의 과학적 추론 능력을 평가함과 동시에 교과서에 소개된 유명한 과학적 사례를 학생이 얼마나 정확하고 포괄적으로 이해하는지도 확인하고자 하였다.
- 논제 2: 케플러가 행성의 궤도를 원에서 타원으로 수정하는 탐구 과정을 과학적 추론 과정을 적용하여 재구성하도록 요구하였다. 학생들은 【제시문 1】에 소개된 추론 과정을 참고하되, 개조식이나 단답형이 아닌 완성된 자신의 글로 표현하도록 하였다. 일반적으로 고등학교 과학 교과서에는 케플러가 수행한 탐구 과정이나 의미는 생략하고, 탐구의 결과인 법칙에 관한 설명만 기술되어있다. 그러나 이 문제에서 학생은 케플러의 법칙 자체보다는 행성의 궤도가 완벽한 도형인 원이 아니라 타원이라는 결론에 도달하기까지 케플러가 겪은 어려웠던 탐구 과정을 중심으로 서술하도록 하였다. 따라서 학생들이 제시문을 읽지 않거나 이해하지 못하고 사전 지식에 의존하여 케플러의 법칙 자체에 대해서만 기술하면 좋은 평가를 받기 어렵다.

**【문항 3】**

**□ 출제 의도**

- 지구의 환경에 익숙한 우리들이 전혀 가보지 못한 행성이나 위성의 현상을 우주탐사선이 조사한 자료들을 토대로 예상해 볼 수 있는지를 평가하고자 하였다. 고등학교 교과서에서 배운 물리, 지구과학, 화학, 생물의 종합적인 지식과 논리적 추론을 바탕으로, 타이탄 위성에서의 물리 법칙, 환경, 생명체, 특히 외계 생명체의 존재 가능성 등을 논의하도록 하였다. 반드시 제시문에 제공된 과학적 정보와 자료에 근거하여 논의를 전개하도록 요구하였다.

**□ 문항 설명**

◦ 제시문

- 【제시문 1】에서는 카시니-호이겐스 우주탐사선이 토성의 위성인 타이탄을 탐사

하는 과정과 이로부터 관측된 대기, 표면 환경 및 화학 조성 등을 소개하였다.  
(NASA 및 ESA 발표 자료)

- 【제시문 2】에서는 타이탄의 대기에 존재하는 혹은 존재할 것으로 생각되는 몇 가지 물질의 상평형 그림을 제시하고, 어느점 내림 현상에 대해 설명하였다. (고등학교 화학 교과서)
- 【제시문 3】에서는 생명 탄생의 조건에 관한 중요한 몇 가지 과학적 실험과 가설을 제시하였다. (고등학교 지구과학 I 및 생물 II 교과서, 『세상을 바꾼 위대한 과학에세이』, 마틴 가드너)

◦ 논제 구성

- 논제 1: 주어진 평균 기온과 중력을 바탕으로, 이상기체 방정식과 대기압 간의 관계를 설정하고 타이탄 대기의 분포를 추정하여 지구와 비교해 보도록 하였다.
- 논제 2: 지구에서 일어나는 과학적 현상의 원인과 결과를 이해하고, 이를 바탕으로 카시니-호이겐스가 관찰한 자료들로부터 타이탄의 환경과 그곳에서 일어나는 현상들을 종합적으로 유추해 보도록 하였다.
- 논제 3: 고등학교 생물 교과서에 소개된 생명의 탄생에 관한 내용과 최근 과학계에서 이슈가 되고 있는 외계 생명체에 대한 몇 가지 연구 결과 및 가설을 제시하였다. 그리고 이를 통해 학생이 갖고 있는 단편적 지식보다는 주어진 자료를 통해 자신의 주장에 대한 논거를 과학적으로 추론할 수 있는 능력을 평가하고자 하였다.

**【문항 4】**

**□ 출제 의도**

- 우리 주변에서 발생하고 있는 여러 가지 현상들 중에는 시간 지연에 의한 효과가 중요하게 다뤄지는 경우가 많다. 일례로 약물 투여 시 평형 상태로 약물의 농도가 수렴해 가는 과정을 추론해 보는 것은 약물의 생체 적용에서 중요한 문제이다. 이 문항에서는 투여된 약물 농도의 변화 과정을 고등학교 수학 교과과정에서 배운 기본적인 개념들, 즉 연속함수의 성질, 함수의 극한과 극한값의 계산, 수학적 귀류법 (모순에 의한 증명법)과 귀납법 등을 이용하여 간단한 수학적 모델을 바탕으로 한 추론 능력을 평가하고자 하였다.

## □ 문항 설명

### ◦ 제시문

- 학생들이 공통적으로 이수하고 있는 교과과정을 고려하여 논제 해결에 필요한 설명이 충분히 제공되도록 작성하였다.
- 【제시문 (가)】는 도입부로, 학생들이 논제에서 이야기하고 있는 수학적 모델의 의미와 질문 내용을 충분히 이해할 수 있도록 관련 배경을 설명하였다.
- 【제시문 (나)】에서는 논제 해결에 필요한 연속함수의 중간값 정리에 대해 설명하였다.

### ◦ 논제 구성

- 논제 1: 수학적 증명 방법의 중요한 도구인 귀류법, 연속함수의 개념과 성질을 얼마나 잘 이해하고 있는지를 확인하고자 하였다.
- 논제 2: 수학 10-가, 수학 I에서 배운 수학적 귀납법과 함께 귀납법을 함수의 예측에 어떻게 적용할 수 있는지에 대한 이해를 평가하고자 하였다.
- 논제 3: 약물 투여 실험 시 시간 지연 효과가 약물 농도의 평형상태와 평형상태로의 수렴성에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 이해를 평가하고자 하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 수학적 귀납법, 연속함수의 성질에 관한 전반적인 이해가 요구된다.

# 인문계열 논술고사 문항

**【제시문 1】**

**(가)**

우리가 어떤 문제에 부딪혔을 때, 정확하고 신뢰할 만한 해결책을 찾으려면 과학적 사고를 통한 탐구가 필요하다. 과학 탐구 과정의 구성 요소는 1) 문제를 인식하여 연구 대상을 정하고, 2) 가설을 세운 후, 3) 가설을 확인하기 위해 실험과 관찰을 수행하고, 4) 실험과 관찰을 통해 얻은 자료를 해석하여, 5) 결론을 도출하는 것이다. 문제를 인식한다는 것은 모든 탐구 활동의 출발점으로서, '왜 그럴까'라는 질문을 던지는 것이다. 문제 인식은 논리적이거나 분석적인 사고 과정을 거치기도 하지만, 현상에 대한 직관적인 인식을 통해 이루어지기도 한다. 가설이란 예상되는 잠정적 결론으로서 검증 가능해야 한다. 실험과 관찰은 문제 및 가설에 부합해야 한다. 실험과 관찰을 통해 얻은 자료에서 어떤 규칙성이나 경향을 찾아내어 명제화하는 것이 자료 해석이다. 결론을 도출한다는 것은 실험 및 관찰 자료를 비교하거나 관련성을 조사하고, 반례 여부를 검증하여 일반화하는 것을 말한다. 모든 탐구 과정이 이 구성 요소들을 모두 갖추고 있지는 않다. 어떤 요소는 생략되거나 중복되기도 하고, 또한 시간에 따라 진행 순서가 달라지기도 한다. 이 과학 탐구 과정은 자연 현상뿐만 아니라, 문제의 성격에 따라서 인간과 사회를 탐구하는 데에도 적용될 수 있다.

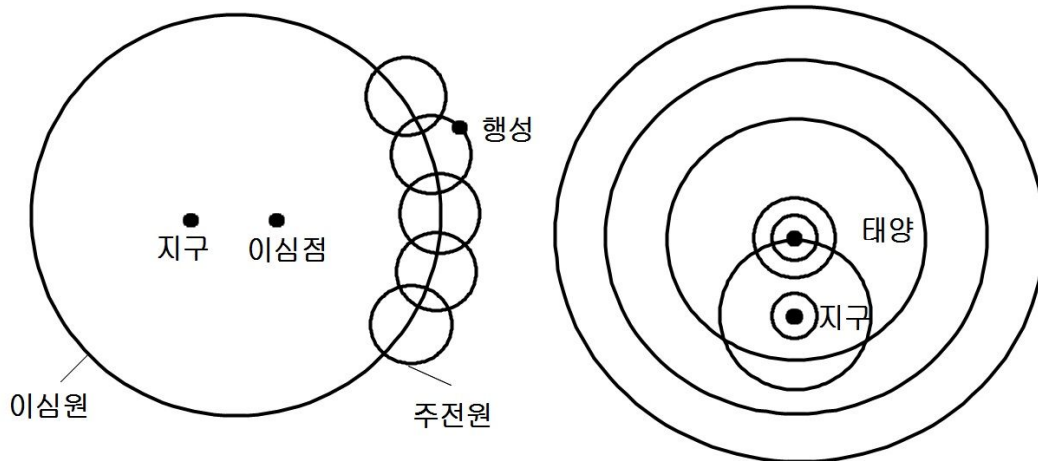
**(나)**

과학적 주제를 탐구하려면 과학적 사고가 바탕이 되어야 하는데, 과학적 사고의 첫째 요소는 기존 지식에 대한 반성이다. 무거운 물체가 가벼운 물체보다 더 빨리 떨어진다는 기존 지식에 대한 반성적 사고가 있었기 때문에 갈릴레오는 무거운 물체와 가벼운 물체가 같은 속도로 떨어진다는 생각을 하게 되었다. 과학적 사고의 둘째 요소는 지식의 정량화이다. 무거운 물체가 가벼운 물체보다 빨리 떨어진다면 막연히 '더 빨리'가 아니라 구체적으로 몇 배 더 빠르는지 정량화해 보아야 한다. 예를 들어 가벼운 물체와 무거운 물체를 같이 붙여서 떨어뜨리면 전체 무게는 더 무거워지므로 무거운 물체보다 더 빨리 떨어질 수도 있고, 무거운 물체의 속도보다 가벼운 물체의 속도가 느리기 때문에 더 늦게 떨어진다고 볼 수도 있다. 이렇게 정량화해 보면 무거운 물체가 더 빨리 떨어진다는 생각의 문제점을 알게 된다. 지식을 정량화하기 위해서는 객관적인 측정이 필요하다. 과학적 사고의 셋째 요소는 지식에 대한 실증적 검토이다. 지식은 검증되어야 하며, 실험은 그 검증 과정이다. 무게가 다른 두 물체를 실제로 떨어뜨려 보는 것이 바로 그것이다. 검증이란 예측이 가능한 상황에서만 가능하다. 실제 상황에서는 다양한 변인(變因)이 존재한다. 실험은 이 변인을 인위적으로 통제할 수 있는 상황에서만 가능하다. 이런 의미에서 실험은 관찰과 차이가 있다. 과학적 사고의 넷째 요소는 지식(가설)의 반증 가능성이다. 과학적 명제는 반증이 가능하도록 명료하게 제시되어야 한다. 과학적 사고의 다섯째 요소는 개별지식을 모아 합리적 체계로 설명하는 것이다.

**【제시문 2】**

코페르니쿠스가 천문학에 관심을 가졌을 때에는 그리스의 천문학자 프톨레마이오스의 지구 중심 우주론(천동설)이 일반적으로 받아들여지고 있었다. 프톨레마이오스에 의하면, 우주의 중심에 지구가 놓여있고, 가장 바깥에는 우주의 끝인 천구(天球)가 있다. 천구의 안쪽에는 토성, 목성, 화성, 태양, 금성, 수성, 달이 차례로 위치하며, 이것들은 행성의 천구를 따라 완벽한 원운동을 한다. 반면 프톨레마이오스의 천동설이 지배하던 16세기 초 코페르니쿠스는 관측 자료를 수집하여 하늘에 많은 주전원(周轉圓)이 그려져야 하는 복잡한 우주 구조가 신의 섭리와 맞지 않을 것이라고 생각했다. 그는 주전원, 이심원(離心圓)과 같은 장치를 사용하지 않고도 행성들이 완벽한 등속 운동을 하는 우주 구조가 무엇인지 스스로 묻고 나서, “모든 행성은 태양을 중심으로 회전하며, 따라서 태양이 우주의 중심이다”라는 결론을 얻었다. 그러나 코페르니쿠스의 우주 체계는 여전히 행성들의 원운동을 강력히 고수하면서 주전원과 이심원의 개념을 사용하였으며, 우주가 천체들이 동심원처럼 겹겹이 둘러싸고 있는 구조라고 믿었다. 그런데 왜 그의 우주론은 이후 과학혁명기의 다른 과학자들에게 적극적으로 수용되었을까. 그것은 자연에서 단순성과 조화를 중시하는 신플라톤주의적 믿음 때문이었을 것이다.

과학혁명기의 천문학자 티코 브라헤는 프톨레마이오스의 체계가 잘못되었다는 것을 확신하고 있었지만, 그렇다고 코페르니쿠스의 체계를 믿으려 하지는 않았다. 지구의 회전이 물리적으로 불합리할 뿐만 아니라 성서적 믿음과도 맞지 않는다고 생각했기 때문이다. 티코의 우주 구조는 태양을 중심으로 행성들이 회전하고 태양은 지구를 중심으로 회전하는, 지구 중심이면서 동시에 태양 중심인 과도기적 우주론이었다. 그럼에도 불구하고 그는 훌륭한 천문대를 세우고 20년에 걸쳐 매일 밤 행성을 관측하여 그 결과를 축적했다. 그의 사명은 가능한 한 정확하게 자연에 대해 관측하고 실험하는 것이었다. 그러나 그에게는 이론적 통찰력이 결여되어 있었다.



<프톨레마이오스의 우주 구조>

<티코 브라헤의 우주 구조>

- \* 주전원(epicycle): 천구상에서 각 행성이 돌고 있는 일정한 크기의 원(圓) 궤도
- \* 이심원(eccentric cycle): 주전원의 중심이 돌고 있는 원 궤도
- \* 이심점: 이심원의 중심으로 태양계의 기하학적 중심에서 약간 벗어난 곳에 위치한 점

이처럼 케플러 이전까지 원은 우주 질서의 기초였으며, 사물은 원주 위를 영원히 회전하고 있었다. 그런데 케플러는 어떻게 그 틀에서 벗어날 수 있었을까. 상상력과 정확한 관찰 자료, 질서와 조화에 대한 깊은 신념을 바탕으로 태양계를 수학적 기초 위에 올려놓은 그의 탐구과정은 어떻게 이루어졌을까.

케플러의 초기 탐구는 코페르니쿠스의 태양 중심적인 우주 체계를 재검토하는 것에서 출발했다. 그에게 코페르니쿠스의 체계는 물리학적이지보다는 종교적으로 중요한 의미를 지니고 있었다. 우주는 바로 그 창조자인 신의 형상을 반영한 것이며, 따라서 가장 빛나는 존재인 태양은 우주의 중심에 위치하고 행성들에게 빛과 열을 흩뿌려서 행성들로 하여금 운동하게 한다고 믿었다. 행성의 공전 주기와 그 거리 역시 코페르니쿠스의 설명을 따라야 이치에 맞다. 태양 중심 체계의 가장 큰 특징은 행성들의 궤도가 모두 조화롭고 수학적으로 균형 있게 잘 만들어져 있다는 것이었다. 다시 말해 지구와 각 행성들 사이의 거리뿐만 아니라, 태양과 각 행성들 사이의 거리가 상대적인 비례 관계를 유지하고 있었던 것이다. 수성은 지구와 태양 사이 거리의 3분의 1, 금성은 3분의 2, 화성은 1.5배, 목성은 5배, 토성은 10배 지점에 위치한다. 그러나 태양 중심 체계를 더욱 자세히 연구하면서 케플러는 코페르니쿠스의 우주론에 불분명한 점들이 있음을 발견했다. 행성들이 무엇 때문에 것처럼 특정한 거리에 위치하는지에 대해 코페르니쿠스는 아무런 근거도 제시하지 않았다. 케플러는 궁금했다. 왜 행성들은 그렇게 특정 거리로 떨어져 있는가? 왜 행성은 반드시 6개인가? 그리고 왜 신은 태양계를 하필 그런 식으로 설계했을까?

1595년 케플러는 이 문제를 해결할 실마리를 발견했다. 일 년 전부터 그라츠 대학에서 수학과 천문학을 가르친 그는 수업 시간에 원에 내접하는 정삼각형을 작도하고 있었다. 그리고 다시 그 정삼각형에 내접하는 원을 그리던 순간 깨달았다. 큰 원과 작은 원의 크기 비례가 토성 궤도와 목성 궤도의 크기 비례와 일치한 것이다. 다시 작은 원에 내접하는 정사각형을 작도한 다음 그 정사각형에 내접하는 원을 그리다면, 그 원들 사이의 비례는 토성과 목성 궤도에 대한 화성 궤도의 상대적인 비례와 일치할 것이다. 그는 어렵듯이 깨닫는다. 그와 같은 기하학적 원리가 모든 행성 궤도 사이의 크기에 대해서도 성립하지는 않을까? 신은 기하학을 원형으로 삼아 우주를 창조하지는 않았을까? 평면 기하학으로는 불충분했다. 입체 기하학을 동원해야 했다. 무엇보다 우주는 3차원이었다. 3차원이라는 사실에 착안해 그는 원 대신 구를, 다각형 대신 정다면체를 가지고 연구에 매진했다. 예로부터 수학자들에게 알려진 정다면체는 정사면체, 정육면체, 정팔면체, 정십이면체, 정이십면체 5개뿐이었다. 이전부터 줄곧 케플러는 행성이 태양에 가까울수록 더 빨리 공전하는 이유가 행성과 태양 사이의 근접성 때문이라고 생각했다. 그 방식은 알 수 없었지만 어쨌든 태양은 행성들을 공전하게 하는 힘의 근원이었을 것이라고 추정했다. 그는 행성의 공전 주기가 태양과 행성의 거리와 관련이 있을 것이라는 물리학적 직관에 근거해 수학 공식화를 시도했다. 그는 여기서 두 가지 사실을 고려해야 했다. 하나는 바로 기하학과 관련된 사항이었다. 태양에서 거리가 멀면 멀수록 공전 궤도는 커지고 공전 주기는 길어진다. 그리고 태양에서 멀어질수록 행성의 공전 속도가 느려진다. 케플러는 이러한 사실들을 고려하여 태양에서 먼 순서대로 행성의 공전 주기는 태양에서 행성까지 거리의 곱절만큼 길어진다는 원리를 이끌어 냈다. 태양까지의 거리 차이에 따른 행성의 속도 변화는 행성 운동에 대한 프톨레마이오스의 모형이나 코페르니쿠스의 모형에서도 다루고 있었던 내용이다. 그러나 어느 쪽도 행성의 속도 변화를 물리학적으로 해석하지는 못하였



다. 이처럼 그의 초기 생각은 태양을 중심으로 하는 5개의 다면체가 태양계의 수학적 골격을 형성한다는 것이었다. 수성의 궤도는 정팔면체에 내접해 있고, 그것에 금성의 궤도가 외접해 있는데, 그 궤도는 또 정십이면체에 내접해 있다. 그리고 그것에 지구 궤도가 외접하며 나머지 궤도들도 정십이면체, 정사면체, 정육면체에 내접 또는 외접해 있다. 이런 내용이 담긴 케플러의 『우주의 신비』(1596)는 코페르니쿠스적 우주의 짜임새에 관한 견해이며, 나아가서 기독교와 피타고라스적 종교성의 융합이었다. 케플러는 자신의 상상과 추론이 기존에 알려진 관측 자료와 다르고 이론적으로도 적용되기 어렵다는 것을 바로 알았다. 하지만 놀랍게도 공식을 통해 얻은 행성 사이의 거리는 그가 다면체 가설에서 설정한 거리와 비슷했다. 즉 우주의 구조에 대한 결론은 타당하지 않았지만 그는 실패를 통해 나중에 행성 운동의 법칙으로 귀결될 과학적 단서를 얻었다.

실패에도 불구하고 그는 행성의 움직임에서 조화롭고 기하학적인 비율을 찾는 것이 신을 아는 것이라는 점을 의심하지 않았다. 그러나 그에게는 자신이 설계한 모형을 사실과 부합시키고 입증할 만한 관측 자료가 없었다. 그 자료는 티코 브라헤가 보유하고 있었으며, 케플러는 1600년에 드디어 티코와 만났다. 케플러는 행성이 정말로 태양에서 유래하는 힘에 의해 운동하는 것이라면 그 같은 사실은 행성 운동에 대한 기하학 이론을 통해 증명할 수 있을 것이라 생각하며 티코의 연구에 참가했다. 티코는 케플러에게 고도의 이론화 능력이 있음을 발견하고, 그의 귀중한 관측 결과를 사용하여 티코 학설을 수립하도록 했다. 그러나 1601년에 티코는 사망했고, 케플러는 법정 상속인으로부터 티코의 관측 자료를 인수받았다.

티코가 죽기 전부터 케플러는 화성의 움직임을 이론적으로 연구하고 있었는데, 이 별은 다른 별보다도 원에서 이지러지는 정도가 컸으므로 가장 다루기 힘들었다. 다행스럽게도 이에 관한 티코의 관측 자료는 매우 충실했다. 화성이 지구 바깥의 별 중에서 지구와 가장 가깝고, 아침과 저녁에만 나타나는 금성이나 수성과 달리 태양 빛으로 인해 보이지 않는 일이 없었기 때문이다. 그는 화성에 대한 관측 결과를 통해 지구 궤도 이론에 중대한 변화가 필요하다는 사실을 감지했다. 그는 편지에서 “부족하지만, 나는 화성을 이론적으로 연구하면서 태양을 마치 거울을 들여다보듯 예의 주시하고 있습니다. 화성과 태양 사이의 관계를 나머지 모든 행성에 어떻게 적용해야 할지 알고 있기 때문입니다. 나는 화성을 표본 삼아 나머지 행성 전부를 다루고자 합니다”라고 썼다. 케플러는 두 가지 조건을 가정했으며, 이 가정 덕분에 그는 코페르니쿠스적 사고를 뛰어넘어 뉴턴적 사고에 접근했다.

케플러의 첫 번째 가정은 기하학적인 조건으로서, 지구 공전 궤도면과 화성 공전 궤도면이 태양의 중심에서 교차한다는 것이다. 두 번째는 물리학적인 조건으로서 태양에 행성 운동의 원인이 되는 힘을 부여하는 것이다. 케플러는 태양의 힘과 평형을 이루는 다른 힘을 각 행성에 주고, 태양과 행성이 동등한 상태에서 무한히 투쟁하여 행성의 궤도가 결정되게 했다. 이를 통해 태양의 힘은 거리가 멀어짐에 따라 감소하며, 행성의 속도와 힘의 근원으로부터의 거리 사이에는 반비례 관계가 성립한다고 가정했다. 즉, 행성이 태양으로부터 힘을 얻어 운동하는 것이라면 지구의 공전 운동 역시 다른 행성과 다르지 않을 것이고, 그렇다면 지구 역시 태양과 가까워질수록 빨리 움직이고 멀어질수록 느려질 것이다. 행성 궤도를 유추하려는 물리학적 시도는 드디어 상상을 넘어 확신으로 발전했고, 그의 가설은 적중했다.

『우주의 신비』에서 이미 케플러는 행성의 운동 가설을 밝힌 바 있지만 그는 자신이 세운 공식에 결함이 있음을 깨닫고 있었다. 따라서 그는 행성의 운동 속도는 태양과 행성 사이의 거

리에 반비례한다는 간단한 원리를 이용했다. 그러나 태양에 가까워질수록 행성의 공전 속도가 빨라진다는 것을 어떻게 수학적으로 표현할 수 있을까? 이것은 다른 문제였다. 행성은 이심에 중심을 두고 태양 주위를 공전한다. 따라서 태양으로부터 행성까지의 거리는 미세하게 변한다. 케플러는 티코의 수치에 구체적인 물체를 부여했다. 케플러는 몇 년 동안 이 수치들과 씨름하면서 화성의 비밀을 붙잡으려고 노력했다. 케플러는 궤도의 기하학적 서술과 물리학적 서술을 일치시켜야 한다고 믿었다. 맨 처음 케플러가 사용한 방법은 엄청난 노력을 필요로 했다. 그는 이심원 궤도 둘레를 1도 단위로 쪼개 매 각도마다 화성과 태양 사이의 거리를 계산한 다음, 그 거리의 총합을 이용해 두 지점 간 이동 시간을 측정했다. 태양 반대편의 화성 위치를 나타내는 숫자가 케플러의 출발점이 되었다. 그는 이 수치들을 사용해서 장축의 연장선상에 위치해 있는 항성의 움직임, 장축 위에 있는 태양의 이심적 위치, 반지름 등을 산출했다. 면적의 근사값을 구하는 방법에서도, 산술적인 계산에서도 시행착오가 반복되었다. 그러나 만족할만한 해답은 얻을 수 없었다. 케플러는 말한다. “만약 당신들이 이 지루한 계산법에 진저리가 났다면, 그 계산에 엄청난 시간을 허비하면서 적어도 일흔 번 이상 해야만 했던 나를 생각해 주기 바란다. 내가 화성과 마주치고 나서 순식간에 5년이 흘러버렸다.” 수없이 이어진 계산의 결과 화성이 자신의 공전 궤도면을 쏘고 지나간 면적은 거리의 총합과 그 값이 거의 맞아떨어졌다. 비록 평균적인 근사값이지만, 케플러는 같은 단위시간 동안 행성 궤도가 그리는 면적은 동일하다는 원리를 발견했다. 바로 훗날 케플러의 제 2법칙(면적 속도 일정의 법칙 또는 같은 시간에 같은 면적의 법칙)으로 알려진 원리였다. 발견 순서를 따지면 제 2법칙이 다른 법칙들보다 먼저였다. 이 법칙으로 그는 궤도를 통해 행성이 움직이는 속도가 다르다는 것을 증명했다.

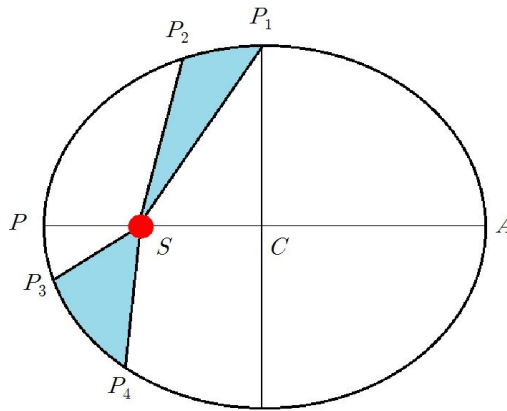
그런데 관측된 위치와 이론적으로 예상된 위치 사이에 8분(1도=60분) 정도의 각도가 어긋난다는 것이 발견되었다. 그것은 아주 작은 차이였다. 티코 이전이라면 그것은 발견되지 않았을 것이다. 8분의 각도를 가지고 6년을 힘들게 연구했다는 사실은 케플러가 얼마나 과학적 사고에 투철했는지를 말해 준다. 그런데 바로 이 8분의 오차를 규명하기 위해 케플러는 화성의 궤도가 원이 아니라 다른 형태일 것이라고 생각하기 시작했다.

케플러는 자신이 새로 발견한 법칙을 행성 궤도에 적용했다. 행성 궤도의 중심은 태양계의 중심에서 약간 벗어나 있었다. 즉 태양 역시 행성 공전 궤도의 회전축에서 벗어난 곳에 위치했다. 따라서 새 운동 법칙을 이용해 화성과 태양 사이의 최단거리 지점과 최장거리 지점을 확인하고자 했으며, 그 과정에서 그는 새로운 사실을 발견했다. 그 두 지점을 통과하는 데 화성이 너무 많은 시간을 소비한다는 것이다. 즉 이심원 궤도의 양 끝 지점을 통과하는 화성의 운동 속도가 예상보다 느렸던 것이다. 그렇다면 행성 궤도를 찌그러뜨려 양 옆으로 더 튀어나오게 해야 했다. 그래야 전체적으로 면적과 시간은 동일하게 유지하면서, 양 끝 지점에서 달라진 속도와 시간 값을 설명할 수 있기 때문이다. 케플러는 물리학적 직관을 발휘했다. 행성 궤도는 완벽한 원이 아니라 달걀 모양이어야 했다. 이제 케플러에게 남은 목표는 분명해졌다. 티코가 정확하고 정밀하게 관측한 행성 위치 자료와 일치하는 수학적인 궤도를 찾아내는 일이었다. 그러나 정확히 어떤 모양의 달걀형 궤도가 적당할 것인가? 그런 달걀형 궤도는 어떻게 찾아낼 것인가? 그것은 매우 복잡한 과정이었다. 그 문제를 해결하는 데 케플러는 1604년 한 해를 모두 바쳐야 했다.

이 문제에 대한 해답이 공인되기까지의 과정은 오류의 연속이었다. 스무 가지에 이르는 많

은 가설은 입증되지 않았고, 잘못된 계산 방법과 결과도 무수히 반복되었다. 그러던 중 또 하나의 발견에 도달했다. 달갈형과 원 사이에 생긴 초승달 모양의 최대 폭은 반지름의 0.00429 배였다. 그는 또 이 측정과는 완전히 독립적으로, 화성에서 태양과 궤도 중심에 그은 선분이 이루는 최대각이 5도 18분이라는 것을 측정했다. 이 각의 시컨트(코사인의 역수) 값이 1.00429 라는 것이 그를 놀라게 했다.

이 값은 우연일 리가 없었다. 그러나 안타깝게도 그는 이 관계가 타원을 정의하는 조건의 하나라는 사실을 몰랐기 때문에 계산을 반복했으며, 그 과정에서 타원의 두 초점 중 하나가 태양의 위치와 정확히 일치한다는 사실을 발견했다. 사실 그 타원 궤도는 화성이 자신의 원형 공전 궤도에서 4분의 1 되는 지점에 도달하는 순간 태양에서 떨어진 거리가 얼마인지를 계산하는 과정에서 비롯됐다. 순간적으로 그는 그 거리를 계산할 정밀한 삼각측량법(삼각형의 한 변의 길이와 두 개의 끼인 각을 알면 그 삼각형의 나머지 두 변의 길이를 알 수 있다는 원리를 이용한 측량법)이 존재한다는 사실을 떠올렸다. 거리를 계산해 본 결과, 화성 궤도는 정말로 타원을 그리고 있었다. 더 나아가 그는 화성이 타원 궤도를 도는 동안 태양과 거리가 어떻게 변하는지도 정확히 알아냈다. 그 타원 궤도는 케플러의 오래된 고민, 즉 면적 속도 일정의 법칙에서 근사값의 정밀도를 높이는 문제를 말끔히 해결해 주었다. 순간 생각의 물줄기가 솟구쳤다. 그는 그 순간을 “마치 꿈에서 깨어나 새로운 빛을 보는 것 같았다”라고 썼다. 행성 운동의 제 1법칙이 탄생했던 것이다. 행성의 운동은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도였던 것이다.



제 1법칙(타원 궤도의 법칙)

행성은 타원의 한 초점에 놓여 있는 태양 주위를 타원 궤도를 그리며 돈다.

제 2법칙(면적 속도 일정의 법칙)

태양과 행성을 연결하는 선은 같은 시간에 같은 면적을 쓸고 지나간다.

앞의 그림처럼 행성은 타원 궤도를 그리며, 타원의 한 초점에 태양(S)이 있다. 타원의 크기는 통상 장축(긴 반지름)의 길이에 따라 결정된다. 다시 말해 장축  $\overline{PA}$ 의 절반 길이, 즉  $\overline{PC}$ 의 길이에 따라 결정된다. 그리고 이심률( $e$ )은 중심에서 태양까지의 거리와 중심에서 장축 끝점까지 거리의 비율( $\overline{SC}/\overline{PO}$ )로 정의된다. 이심률은 장축과 초점 사이 길이의 비로서, 그 값이 0 이면 원, 1 이면 포물선, 1 보다 작으면 타원, 1 보다 크면 쌍곡선이 된다. 그림에서는 실제 행성 궤도보다 이심률을 상당히 과장하여 표시했다. 실제 행성의 궤도는 거의 완벽한 원에

가까운 타원 궤도를 그린다.

케플러의 제 2법칙에 따르면, 단위 시간당 행성이 자신의 공전 궤도면을 쓸고 지나가는 면적은 동일하다. 같은 시간 동안  $P_1$ 에서  $P_2$ 로 이동하며 그리는 면적은  $P_3$ 에서  $P_4$ 로 이동하며 그리는 면적과 동일하다는 것이다. 행성과 태양 사이 거리가 짧아지면 속도가 빨라지므로 궤도를 따라 더 먼 거리를 이동한다. 결론적으로 행성의 공전속도는 근일점(近日點,  $P$ )에서는 최고 속도에 도달하지만 원일점(遠日點,  $A$ )에서는 최저 속도로 떨어진다. 즉, 케플러 식으로 설명한다면 행성은 운동력의 근원인 태양에 가까울수록 속도가 빨라지고 멀어질수록 속도가 느려지는 것이다.

케플러에게 이 두 법칙은 교향악의 멜로디 조각들이었으며, 우주의 기하학적 구조는 아직도 완전히 드러나지 않았다. 그에게 타원이란 결국 원의 대응품이었다. 평면 기하학은 2차원의 물질적 세계를 다룬다. 구의 3차원적 완전성은 삼위일체를 나타낸다. 구의 평면적 단면도는 인간의 이원적 양상(육체와 정신)을 의미한다. 그러므로 우주론에서 케플러는 타원보다 더 깊이 내재한 사물의 근거를 찾으려고 했다. 하나님이 창조한 세계의 조화는 어디에 있을까?

케플러는 행성 사이의 공간을 염두에 두고 두 법칙으로 나타나는 현상의 원인을 규명하고자 했다. 그 한 가지가 행성의 이심률 크기, 즉 '행성 궤도의 중심에서 태양까지의 거리가 얼마만큼 떨어져 있는가'였다. 이심률은 행성이 태양과 가장 가깝게 접근해 있는 근일점, 그리고 가장 멀리 떨어져 있는 원일점으로 결정된다. 다른 한 가지는 행성의 이심률이 각기 다르다는 것이다. 화성은 이심률이 꽤 큰 반면, 금성은 거의 없다. 그는 『우주의 신비』를 썼던 20여 년 전부터 무엇 때문에 행성의 이심률이 다른지 설명하는 데 애를 먹었다. 케플러는 두 번째 현상의 원인을 규명하는 일에 이처럼 많은 시간을 보내야 했다. 그는 태양과 행성 간의 평균 거리와 그 궤도 주기(궤도를 따라 행성이 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간) 사이에 놓인 수학적 관계를 알고 싶어 했다.

케플러는 이 질문들에 대한 답이 모두 조화와 깊은 관계가 있을 것이라고 생각했다. 그러나 근일점과 중간 지점, 그리고 원일점을 정확하게 비교해 보아도 조화로운 관계가 드러나지 않았다. 여기서 케플러는 태양에서 바라보는 각 행성의 속도 사이에 조화로운 관계가 있는지 조사해 보았다. 이는 원일점에서 최저 속도, 그리고 근일점에서 최고 속도를 갖는 행성 궤도 운동에서 어떤 관계가 존재한다면 행성이 이심률을 갖는 이유에 대해 설명할 수 있을 것이기 때문이었다. 그리고 이 관계는 두 행성 사이에, 다시 말해 한 행성의 원일점 속도와 다른 행성의 근일점 속도 사이에 있으며, 서로 간에 영향을 받는 행성 간 공간에서 비롯될 것이었다. 이것은 까다로운 문제였다.

케플러는 눈을 가리고 조각 그림 맞추기 놀이를 하는 것처럼 수많은 방식을 시도해 보았다. 행성 주기에서는 조화급수에 따른 규칙성이 발견되지 않았다. 태양으로부터 여러 행성까지의 거리에 어떤 비율이 숨어 있지는 않을까? 그러나 거기에도 답은 없었다. 최대 속력과 최소 속력 사이에, 혹은 평균 속도 사이에 무언가 규칙이 있는 것은 아닐까? 이제 그는 비밀에 조금 접근한 것처럼 느꼈다. 그는 상상력을 발휘했다. 태양을 도는 각 행성의 주기와 거리를 비교했다. 그러자 비로소 그가 평생을 두고 입증하려고 했던 가설이 진실의 모습으로 나타났다. 케플러는 마침내 화성(和聲) 모두를 구체화시키는 배열을 발견했고, 이를 토대로 관찰된 행성의 거리와 이심률의 관계를 밝히는 데 성공했다. 각 행성별로 주기와 거리 사이에 존재하는 상관관계를 20여 년 만에 찾아낸 것이다. 이것이 케플러가 그의 제 3법칙(조화의 법칙)에 도

달한 과정이다. 이 법칙은 마침내 그가 찾고 있던 행성의 운동과 거리의 관계, 태양계의 물리적 운동과 기하학적 구조의 관계를 보여주었다. 태양으로부터 행성까지 평균 거리의 세제곱이 행성 공전 주기의 제곱에 비례한다는 것은 의외의 상관관계였다. 되풀이해서 시도하지 않았다면 그것은 결코 발견되지 않았을 것이다.

코페르니쿠스가 행성 궤도의 중심 가까이에 태양을 놓는 것에 그쳤다면, 케플러는 행성의 운동을 설명하기 위해 온갖 종류의 모형을 만들고, 길고 복잡한 계산 과정을 거쳐 비로소 태양이야말로 행성 운동의 동력원이라는 것을 밝혀냈다. 그에게 신이 창조한 우주는 조화였다.

**문제 1.** 【제시문 2】는 행성의 운행 법칙이 밝혀지는 과정을 보여준다. 행성의 운행 궤도가 원이 아니라 타원이라는 사실이 입증되는 과정을 【제시문 1】(가)에서 기술된 ‘과학 탐구 과정’에 따라 재구성해 보시오.

**문제 2.** 【제시문 1】(나)에서 기술된 ‘과학적 사고의 다섯 요소’를 【제시문 2】에서 찾아 설명하시오.

<문항 2>

**【제시문】**

하스(Linda Haas)는 유럽연합에 속한 국가에서 1990년대 중반 이후 실시된 자녀돌봄 정책을 다음과 같이 유형화 한다.

첫 번째 유형은 '사적 돌봄(사회의 불간섭) 모형'으로 남유럽의 그리스, 이탈리아, 스페인, 포르투갈이 이에 속한다. 이들 국가에서 육아는 일차적으로 어머니 확대가족 구성원이 담당해야 한다는 전통적 성 역할 의식이 강하고, '육아의 사회화'라는 관념이 적으며 정부 또한 육아정책에 소극적이다.

두 번째 유형은 '가족중심 모형'으로 오스트리아, 벨기에, 프랑스, 독일, 룩셈부르크가 여기에 속한다. 남유럽 국가에 비해 여성의 취업을 적극 지원하지만 북유럽 국가에는 미치지 못하는 중간형이다. 그러나 어떤 학자는 프랑스의 경우 유럽 내에서 가장 강력한 출산 장려 정책을 펼치고 있어, 이 유형에 속하는 것으로 볼 수 없다고 한다.

세 번째 유형은 '시장지향 돌봄 모형'이다. 아일랜드, 네덜란드, 영국이 여기에 속한다. 이들 국가는 유럽연합 차원의 권고가 있기 전에는 육아휴가 제도가 없었다는 공통점이 있다. 이 유형의 국가들은 자녀 양육에 정부가 직접 개입하는 대신, 기업이 가족친화적 정책을 펼칠 수 있도록 지원한다.

네 번째 유형은 '돌봄 가치 인정 모형'이다. 여기에는 덴마크, 핀란드, 스웨덴이 속하고, 유럽연합에 속하지 않는 노르웨이도 이 범주에 속한다. 돌봄 자체가 사적·공적 영역의 공동 의무라고 생각하고, 여성의 노동시장 참여를 위해 육아에 대해 적극적 지원 정책을 실시하고 있다.

**\* 제시문과 아래 자료를 읽고 논제에 답하시오. 단, 다음의 조건을 충족하시오.**

1. 유럽 사회의 1980년과 2005년의 경험을 비교·분석할 것.
2. “일과 가정의 양립” 정책에 대한 구체적인 내용은 기술하지 말 것.

논제 1. 유럽 여러 국가는 저출산 대책의 하나로 “일과 가정의 양립” 정책을 실시하고 있다. 저출산이 문제가 되고 있는 우리 사회에도 “일과 가정의 양립” 정책이 필요하다고 할 때, 그 이유가 무엇인지 반드시 주어진 자료를 이용하여 서술하시오.

논제 2. 제시문의 네 가지 자녀 돌봄 정책 유형 가운데 우리 사회는 어떤 유형의 정책을 취하는 것이 바람직하다고 생각하는가?

**【표 1】 유럽 국가의 여성 노동시장 참여율과 합계출산율 (1980, 2005)**

	1980		2005	
	노동시장참여율 <sup>1)</sup>	합계출산율 <sup>2)</sup>	노동시장참여율	합계출산율
그리스	40.1	2.21	54.6	1.34
네덜란드	48.2	1.60	70.0	1.71
노르웨이	61.8	1.72	74.5	1.84
덴마크	71.7	1.55	75.8	1.80
독일	52.0	1.56	68.0	1.34
룩셈부르크	39.8	1.50	57.1	1.62
벨기에	43.4	1.68	59.5	1.76
스웨덴	75.0	1.68	76.4	1.77
스위스	64.9	1.55	74.3	1.42
스페인	33.1	2.22	58.2	1.35
아일랜드	34.5	3.23	60.8	1.88
영국	56.3	1.90	68.7	1.79
오스트리아	49.9	1.65	65.5	1.41
이탈리아	39.7	1.68	50.4	1.32
포르투갈	52.5	2.18	67.8	1.41
프랑스	55.2	1.95	64.8	1.92
핀란드	68.9	1.63	72.7	1.80

주 1) 15~64세 여성 중 노동시장에 참여하는 여성의 비율.

2) 여성이 일생 동안 낳는 평균 자녀의 수.

**【표 2】 한국의 여성 노동시장 참여율과 합계출산율 (1980~2005)**

	1980	1985	1990	1995	2000	2005
노동시장참여율	45.6	44.7	49.7	51.5	52.2	54.4
합계출산율	2.83	1.67	1.59	1.65	1.47	1.08

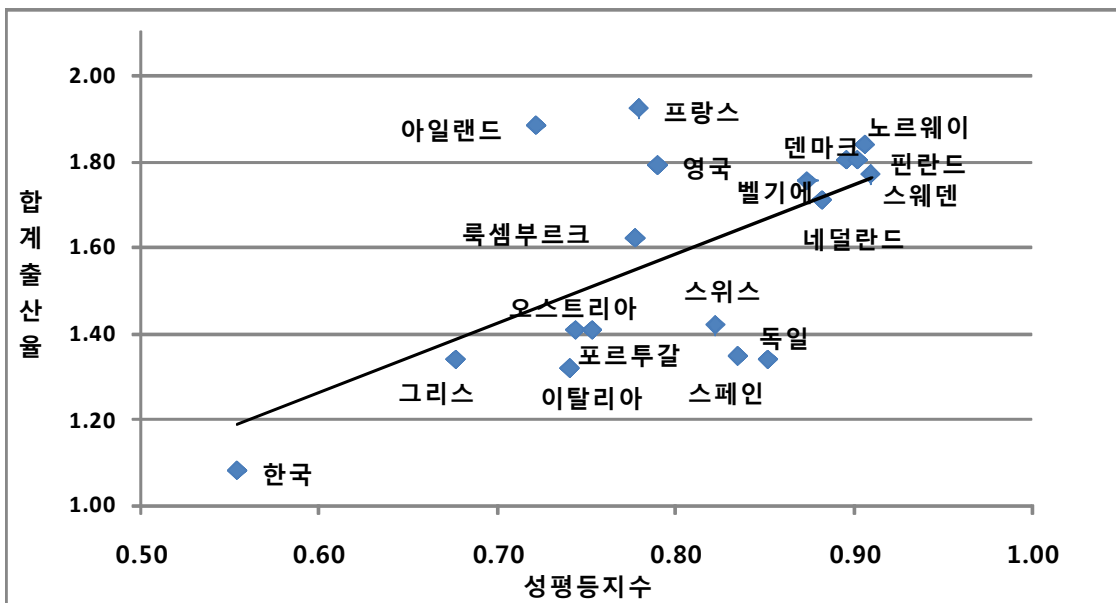
**【표 3】 한국 남성과 여성의 유급노동시간별 무급가사노동 시간<sup>주)</sup> (1999~2009)**

(단위: 분)

연도 \ 성별	1999		2004		2009	
	남성	여성	남성	여성	남성	여성
전혀 일하지 않음	81.4	400.7	79.3	382.9	100.2	381.4
1시간 미만	97.9	393.1	105.5	366.7	88.9	308.9
1시간 이상 4시간 미만	87.6	339.9	91.7	297.2	99.5	295.2
4시간 이상 8시간 미만	51.7	229.7	46.7	196.6	50.5	193.7
8시간 이상	17.6	111.4	19.3	99.5	21.7	99.4

주) 평일 하루 기준, 20~64세 학생이 아닌 일반 성인을 대상으로 하며, 무급가사노동에는 가사 및 양육 등이 포함됨.

**【그림】 한국 및 유럽 국가의 성평등지수<sup>주)</sup>와 합계출산율 (2005)**



주) 성평등지수(Gender Empowerment Index)는 의회 내 여성 의원 및 공적·사적 부문 여성 고위직 비율, 여성 전문직 및 고급 기술직 비율, 남성 대비 여성의 소득 등으로 구성됨.



【제시문 1】

양소유가 여자 도사(道士)로 변장하고는 마침내 정경패 앞에 앉았다.  
정경패의 시녀가 양소유 앞에 상을 갖다놓았고 금향로에 향을 피웠다. 양소유가 자세를 고쳐  
앉아 거문고를 안고 <예상우의곡>\*을 연주했다.

정경패가 말했다.

“참 아름답군요. 이 곡은 우리 당나라 현종 시절의 태평한 기상을 잘 나타내고 있어요. 누구  
나 이 곡을 연주하지만 이처럼 훌륭한 솜씨는 보지 못했어요. 그러나 이 곡이 끝내 안녹산의  
난을 불렀으니 더 듣고 싶지 않아요. 다른 곡을 들려주세요.”

양소유가 또 한 곡을 타니, 정경패가 말했다.

“이 곡은 즐거움과 슬픔이 지나치게 심하니 수나라에 나라를 빼앗긴 진후주(陳後主)의 <옥수  
후정화>\*이군요. 이는 나라를 망하게 한 소리니 높혀 보기 어려워요. 다른 곡을 연주해주세요.”

양소유가 다시 한 곡을 타니 정경패가 말했다.

“이 곡은 슬퍼하는 듯도 하고, 기뻐하는 듯도 하고, 감격하는 듯도 하고, 사념에 잠긴 것 같  
기도 해요. 옛날 채문희가 난을 만나 적에게 붙잡혀 오랑캐 땅에서 아들 둘을 낳았는데, 조조  
가 몸값을 치러주어 고향으로 돌아간 일이 있지요. 문희가 고향으로 돌아갈 때 아들들과 이별  
하면서 슬픈 심정을 <호가십팔박>\*이라는 곡에 담았지요. 이 곡이 바로 그 곡이지요. 소리는  
들을 만하지만 채문희는 두 번 결혼한 절개를 잃은 부인이예요. 이 곡은 실절한 사람의 소리  
이니 어찌 제 입에 올릴 수 있겠어요. 청컨대 이 곡을 고쳐주세요.”

(중략)

양소유가 또 한 곡을 연주하니, 정경패가 갑자기 옷깃을 여미며 무릎을 꿇고 말했다.

“지극하고 지극하도다. 성인이 난세를 당하여 천하를 떠돌며 백성들을 구하려 하신 뜻이 나  
타났도다. 공자님이 아니면 누가 이 곡을 지으리오. 이 분명 <의란조>\*로다.”

양소유가 무릎을 꿇고 향로에 향을 더 넣고 다시 한 곡을 탔다. 정경패가 말했다.

“높고도 아름답구나! <의란조>에는 성인이 세상을 구원하고자 하는 뜻이 담겨 있으나 또한  
좋은 때를 얻지 못했다는 탄식이 서려 있다. 그런데 이 곡은 천지만물과 더불어 환히 봄기운  
을 얻게 하면서도, 다른 한편으로는 우뚝하고 드넓은 느낌을 준다. 이는 반드시 순임금의 <남  
훈곡>\*일 것이다. 이보다 좋고 아름다운 곡은 없으니, 설사 다른 곡이 있어도 듣고 싶지 않  
다.”

양소유가 공손히 말했다.

“제가 듣자하니 음악이 아홉 번 변하면 하늘신이 내려온다고 합니다. 지금 제가 연주한 곡이  
단지 여덟 곡이요, 아직 한 곡이 남았으니 청컨대 마무리를 짓게 해주십시오.”

거문고의 기러기발을 바로잡고 줄을 골라 빠르게 거문고를 타니, 그 소리가 그윽하면서도 밝  
고 즐거워 사람의 마음을 호탕하게 했다. 또 뜰 앞의 온갖 꽃은 일시에 피어나고 어린 제비는  
쌍으로 날며 피꼬리가 서로 사랑을 노래했다. 정경패가 눈을 깔고 조용히 앉아 음악을 듣다가,

\* <예상우의곡(霓裳羽衣曲)> <옥수후정화(玉樹後庭花)> <호가십팔박(胡笳十八拍)> <의란조(猗蘭操)>  
<남훈곡(南薰曲)> <봉구황(鳳求凰)>은 모두 고대 중국 음악의 곡명.

곡이 봉황새가 구애(求愛)하는 부분에 이르자 눈을 뜨고 양소유를 슬며시 보았다. 순간 정경패의 두 뺨이 붉어지며 눈가에 흘연 기쁜 기운이 사라졌다. 정경패는 따뜻한 봄날에 술을 마셔 취한 듯, 몸을 제대로 가누지 못하고 안으로 들어가 버렸다.

양소유가 놀라 거문고를 밀어내고 일어서서 정경패의 뒷모습만 멍하니 바라보았다. 마치 정신 나간 진흙 인형 같았다. 정경패의 어머니가 양소유를 앉히고는 물었다.

“도사가 아까 연주한 곡이 무엇이었어요?”

양소유가 거짓으로 대답했다.

“제가 사부께 곡은 배웠으나 듣지 못해서 오늘 아씨께 곡명을 듣고자 했습니다.”

(중략)

정경패의 시녀인 가춘운이 와서 정경패에게 물었다.

“거문고를 타는 도사의 용모가 하늘의 신선 같고 그 소리는 아씨께서도 크게 칭찬했다고 하여, 제가 아픈 것도 잊고 지금 막 그 도사를 보러 가려는데 어찌 이리 빨리 돌아오셨어요?”

정경패가 얼굴이 빨개져서 말했다.

“내가 내 몸 아끼기를 옥처럼 소중히 하여 발걸음이 내당을 벗어나지 않았고, 심지어 친척과도 말을 나누지 않았음은 너도 아는 바라. 그런데 하루아침에 남에게 속아 씻기 어려운 모욕을 입었으니, 이제 어찌 낯을 들어 다른 사람들을 대하겠느냐.”

가춘운이 놀라 말했다.

“이 무슨 말씀이예요?”

“아까 왔던 도사는 용모가 빼어나고 거문고 소리도 신묘했지. 다만……”

정경패는 머뭇거리며 말을 마치지 못했다.

가춘운이 말했다.

“그 사람이 다만 어떠했나요?”

정경패가 말했다.

“그 도사가 처음 <예상우의곡>을 연주하고 차차 모든 곡을 연주하였는데, 그 끝이 순임금의 <남훈곡>이었지. 내가 하나하나 논평하다가 <남훈곡>에서 그치기를 청하니, 그 도사가 오히려 한 곡이 남았다고 하며 다시 새 곡을 연주했지. 그것은 풍류남아 사마상여가 탁문군을 유혹할 때 연주했던 <봉구황>\*이었어. 내 비로소 의심하여 그를 바라보았는데, 그 용모와 행동 거지가 여자와는 사뭇 달랐지. 그는 반드시 변장한 남자라. 내 얼굴을 한번 보고자 한 것이야. 네가 만일 아프지 않았다면 함께 가서 쉽게 그의 속임수를 알아차렸을 것인데, 내 규중의 처녀라서 남자인 줄도 알지 못하고 반나절이나 마주 앉아 남자 앞에 얼굴을 드러내고 즐겁게 놀았으니, 천하에 이런 일이 어찌 또 있으리오. 차마 어머니께라도 이 말은 할 수 없으니, 너 아니면 누구에게 이 억울함을 말하겠느냐.”

가춘운이 웃으며 말했다.

“여자라고 <봉구황>을 연주하지 못하나요? 아씨께서 잘못 보신 것 아니예요?”

“그렇지 않아. 이 사람이 연주한 곡의 순서에는 다 까닭이 있어. 만일 사심 없이 연주했다면 어찌 마지막에 <봉구황>을 연주했겠니. 또 여자 중에도 용모가 말끔한 이도 있고 장대한 이도 있지만, 이 사람처럼 기상이 호탕하고 시원한 사람은 보지 못했어. 내 생각에는 과거시험이 가까워지자 온 나라의 선비가 서울로 모였는데, 그 중에 내 이름을 그릇 들은 자가 감히 나를 엿볼 꾀를 낸 것 같아.”

김만중, 「구운몽」

## 【제시문 2】

서상수 공(公)께서는 음악을 잘 알고 손님을 좋아했다. 손님이 오면 술을 내어오라고 하고 거문고와 피리를 연주하며 술자리를 도왔다. 나도 공을 따라 놀았는데, 하루는 공께 가서 해금을 연주하며 벌레와 새의 소리를 흉내 내었다. 그런데 공께서 놀라며 말했다.

“좁쌀이나 한 그릇 주어라. 이젠 비렁뱅이의 깡깡이니라.”

내가 영문을 몰라 물었다.

“무슨 말씀이신지요?”

“딱하군. 자네는 통 음악을 몰라. 우리 나라에는 두 갈래의 음악이 있어. 하나는 아악(雅樂)이고 하나는 속악(俗樂)이지. 아악이란 오랜 옛날의 음악이고 속악이란 그 다음 시대에 만들어진 음악이지. 사직이나 문묘에서 제사 올릴 때는 아악을 쓰고, 종묘에 참배할 때는 속악을 가려서 쓰지. 이것들이 장악원에서 정식으로 가르치는 음악일세.

군대에서 쓰는 것은 세악(細樂)이라고 하는데, 용맹을 돋우는 격정적인 소리나 개선할 때 쓰는 웅장한 소리도 있고, 느릿한 소리와 온갖 미묘한 소리도 다 갖추어져 있으니, 보통 연회에도 잘 쓴다네. 세악에는 거문고에 김철석이 유명하고 그 밖에 장구나 피리 등에도 각각 명인이 있지. 해금에는 유우춘과 호궁기가 명인이야. 자네는 어찌 그들을 찾아가서 배우지 않고 이 따위 거지의 깡깡이를 배웠나. 대개 거지들은 깡깡이를 들고 남의 집 문전에서 영감과 할멈, 어린아이, 짐승, 닭이나 오리, 온갖 벌레의 소리를 흉내 내면서 곡식 몇 줌 받으면 물러가지. 자네의 해금은 바로 그런 것이야.”

나는 공의 말을 듣고 크게 부끄러웠다. 그래서 해금을 싸서 치워버리고 여러 달 풀어 보지도 않았다.

(중략)

나는 유우춘을 만나러 갈 때 오랫동안 자루 속에 넣어 두었던 해금을 가지고 갔다. 그것을 꺼내 그에게 보이며 말했다.

“이 해금은 어떤가? 옛날에 나도 자네의 장기인 해금이나 배울까 해서 멋대로 벌레나 새 소리를 흉내 낸 적이 있네. 그 때 어떤 사람이 ‘비렁뱅이 해금’이라고 해서 내 잘못을 알게 되었지. 어떻게 하면 ‘비렁뱅이 해금’을 면할 수 있겠나?”

우춘은 손뼉을 치고 크게 웃으며 말했다.

“허허, 참 모르는 소리도 하십니다. 모기가 앵앵거리는 소리나 파리가 웅웅대는 소리, 온갖 장인들의 푹푹거리는 소리, 선비들이 개구리처럼 시끄럽게 글 읽는 소리, 세상 모든 소리는 그 뜻이 먹는 것을 구하는 데 있습니다. 내 해금이나 비렁뱅이 해금이 다를 게 무엇이겠습니까.

내가 해금을 배운 것은 노모가 계신 때문이었지요. 잘 연주하지 못하면 어떻게 어머님을 섬기겠습니까. 그래도 내 해금은 비렁뱅이 해금의 서툰 듯하면서도 절묘한 소리보다 못하지요. 또 내 해금이나 비렁뱅이 해금이나 모두 재료도 같고 말총으로 활을 만들고 송진을 칠 하는데, 그 소리는 현악기라고 할 수도 없고 관악기라고도 할 수 없으니 뜯는 것 같기도 하고 부는 것 같기도 하지요.

내가 해금을 배우고서 삼 년 만에 기초가 잡혔는데, 다섯 손가락에 다 못이 박혔지요. 기예는 나아졌는데 수입은 전혀 늘지 않았어요. 더구나 사람들이 더 몰라주더군요. 그런데 비렁뱅이는 허름한 해금 하나를 얻어 몇 달 연습을 하면 듣는 사람이 겹겹이 둘러서고 연주를 끝내고 돌아갈 때는 따르는 자가 수십 명이고, 하루별이가 곡식 한 말에 동전도 한 움큼은 되니, 이는

알아주는 사람이 많기 때문이지요. 그런데 이 유우춘의 해금은 온 나라가 알고 있지만, 그것은 내 이름을 듣고 아는 것일 뿐이지요. 정말로 내 연주를 듣고 알아주는 사람이야 몇 명이나 되겠습니까.

귀족들이 밤에 악공을 부르면 우리 악공들은 악기를 가지고 무릎을 질질 끌면서 그 앞으로 가지요. 그곳은 촛불이 휘황한데, 모시는 자들이 '잘 하면 상을 내리실 걸세'라고 말하며 거들먹거리지요. 그러면 악공들은 굽실거리면서 '예이' 하지요. 현악이나 관악이 서로 상의도 하지 않고 연주를 시작하는데, 그럭저럭 길고 짧고 빠르고 느린 소리들이 대강 맞아 돌아가지요. 문밖으로는 작은 소리 하나 새어 나오지 않아요. 주인은 곁눈으로 연주하는 것을 훑듯 보고는 자리에 몸을 기대고 조는 듯하다가, 얼마 후 늘어지게 기지개를 한 번 켜고는 '그만두어'라고 하지요. 그러면 악공들은 '예이' 하고 물러나지요. 그런데 집에 돌아와 생각해보면 자기가 연주한 것을 자기가 듣다가 왔을 뿐이지요.”

(중략)

“내 친구 중에 호궁기라는 이가 있는데, 서로 한가한 날이면 만나서 해금을 꺼내놓고, 눈은 푸른 하늘을 향하고 뜻은 손가락 끝에 두어 연주를 시작하지요. 연주를 하다가 조금이라도 실수를 하면 꺾꺾 웃으며 상대에게 돈 한 푼을 주는데, 두 사람이 모두 서로에게 많은 돈을 준 일은 없지요. 그래서 내 말하기를 '내 해금을 알아주는 사람은 호궁기뿐이다'라고 합니다. 하지만 그가 날 아는 것은 내가 나를 아는 것만큼 정묘(精妙)하지는 못하지요.

지금 당신은 힘을 적게 들이고도 금방 세상이 알아주는 길을 버리고, 힘들게 연습해도 세상이 알아주지 않는 것을 배우려 하오. 참 딱합니다.”

우춘은 어머니가 돌아가시자 해금 연주를 중단하였다. 그리고 나를 찾는 일도 없었다. 우춘은 악공 중에서 효자라고 할 수 있으며 또 숨어 사는 은자라고도 할 수 있다. 그가 말한 “기예가 나아져도 사람들은 더 알아주지 않는다”는 말이 어찌 해금에만 해당되었는가?

유득공, 「유우춘전」

## 【논 제】

좋은 음악이란 무엇인가? (1600±100자)

※ 단, 제시문에 등장하는 인물들의 음악에 대한 인식과 태도를 포함시킬 것.

# 자연계열 논술고사 문항

## 【문항 1】

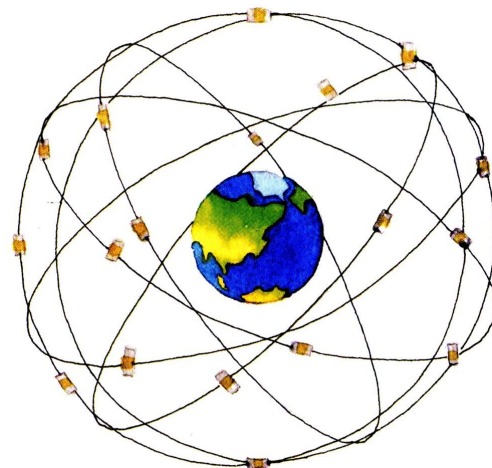
\* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

### 【제시문 1】

GPS(Global Positioning System)는 인공위성을 이용하여 범세계적으로 위치를 파악하는 시스템이다. 좀 더 구체적으로 말하면, 정확한 위치를 알고 있는 위성에서 발사한 전파를 수신하여 위치를 알고자 하는 지점까지의 소요 시간을 측정함으로써 그 지점의 위치를 알아내는 시스템이다. GPS는 크게 나누어 우주 부문, 제어 부문, 사용자 부문으로 구성되어 있다.

우주 부문은 최소 24개의 GPS 위성으로 구성되며, 이 위성들은 여섯 개의 궤도에 나뉘어 움직인다([그림 1]). 궤도는 위성이 지구 주위를 돌 때 움직이는 길을 말한다. 2011년 1월 현재 32개의 GPS 위성이 동작하고 있다. GPS 위성은 위치 측정을 위한 전파를 항상 송출하고 있다. 전파는 위성궤도, 시각신호 등 위치 측정에 필요한 정보를 담고 있으며, 세계 어느 곳에서나 수신할 수 있다. 위성에서 송출된 신호는 GPS 수신기를 통해 수신한다.

현재 서비스 중인 GPS 위성은 위성 자체의 고정밀 제어시스템을 내장하고 있다. 그러나 사용자들이 요구하는 다양한 사항을 만족시켜 주기 위해서는 지상에서도 감시와 조정을 해야 한다. 이러한 활동을 GPS 위성제어라고 하는데, 여기에는 한 개의 주 제어국과 다섯 개의 추적국 및 세 개의 지상 안테나로 이루어져 있다.



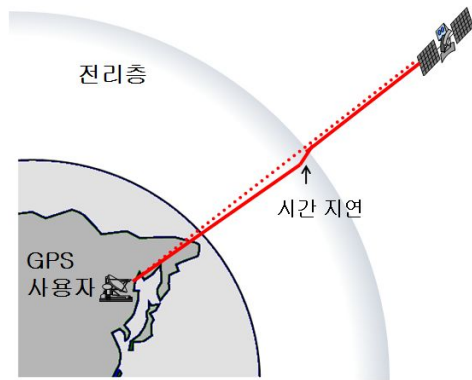
궤도 : 대략 원 궤도  
궤도수 : 6개  
위성수 : 24개  
궤도 경사각 : 55°  
높이 : 약 2만 km  
사용 좌표계 : WGS-84

[그림 1] GPS 위성궤도

사용자는 GPS 위성이  $L_1$ ,  $L_2$  두 개의 극초단파에 실어 송출하는 C/A코드, P코드 및 항법 메시지 등의 위치 측정용 신호를 수신한다. 1,575MHz의  $L_1$ 파는 C/A코드와 P코드 변조 방식으로 구성되어 있고, 1,227MHz의  $L_2$ 파는 P코드 변조 방식으로 되어 있다. 특히 송출된 두 개의 주파수 신호는 위성궤도와 지표면 사이에 있는 전리층의 영향을 보정하는 데 사용할 수 있다.

이 신호를 이용하여 수신자의 3차원 위치좌표를 구하기 위해서는 수신기의 시계오차도 구해야 하므로, 최소한 4개의 GPS 위성 신호를 수신해야 한다.

(『교양으로 읽는 과학의 모든 것 2』, 한국과학창의재단 엮음)



[그림 2]

GPS에서 송출된 신호는 지구 표면까지 도달하기 위해 전리층을 통과하게 된다([그림 2]). 전자기파가 전리층을 통과하는 동안 전리층에 존재하는 자유 전자에 의해 굴절이 발생하게 되며, 그 굴절률은 전자기파의 주파수에 따라 다음식과 같이 근사된다.

$$n \approx 1 + \frac{40.3}{f^2} N_e$$

( $N_e$ 는 전자 밀도,  $f$ 는 전자기파의 주파수)

이러한 굴절로 인해 전리층을 통과하면서 전자기파의 속도가 느려져 시간 지연이 발생하게 되며, 발생할 수 있는 총 시간 지연은 아래 식과 같이 주어진다.

$$\Delta T_{ion} = \frac{40.3}{c f^2} TEC$$

( $c$ 는 진공 속에서 전자기파의 이동속도,  $TEC$ 는 전리층을 통과하는 경로상의 총 전하량, 즉  $N_e$ 를 경로 적분한 값)

## 【제시문 2】

주위가 막히지 않은 지점에서 측정 가능한 GPS 위성의 개수는 일반적으로 8~10개 정도가 된다. 이처럼 4개 이상의 GPS 위성을 이용하여 위치를 구하는 경우에, 사용되는 위성 배열에 따라 위치 오차가 달라진다. 이는 육상에서 독도법으로 위치를 구할 때와 마찬가지로 적당한 간격의 물표(지형지물의 표시)를 선택하여 독도법을 실시하면 오차 삼각형이 작아져서 위치가 정밀해지고, 몰려있는 물표를 이용하는 경우 오차 삼각형이 커져서 위치 정밀도가 떨어지는 것과 같은 원리이다.

위성의 배열에 따라 결정되는 DOP(Dilution of Precision)는 GPS를 이용한 좌표 계산의 정밀도와 관련된 중요한 값이며, 위성과 수신점과의 관계를 이용하여 계산된다. DOP 값이 작을수록 위치 정밀도가 높다는 것을 의미한다. 따라서 대부분의 수신기는 DOP 값이 작은 위성의 조합을 선택하여 위치 계산을 하도록 설계되어 있다. DOP 값을 계산하는 과정은 다음과 같다.

1)  $4 \times 4$  행렬  $A$  계산

$$A = \begin{pmatrix} \frac{(x_1 - x)}{r_1} & \frac{(y_1 - y)}{r_1} & \frac{(z_1 - z)}{r_1} & c \\ \frac{(x_2 - x)}{r_2} & \frac{(y_2 - y)}{r_2} & \frac{(z_2 - z)}{r_2} & c \\ \frac{(x_3 - x)}{r_3} & \frac{(y_3 - y)}{r_3} & \frac{(z_3 - z)}{r_3} & c \\ \frac{(x_4 - x)}{r_4} & \frac{(y_4 - y)}{r_4} & \frac{(z_4 - z)}{r_4} & c \end{pmatrix}$$

여기서  $(x, y, z)$ 는 GPS 수신기의 위치좌표,  $(x_i, y_i, z_i) (i=1, 2, 3, 4)$ 는  $i$ 번째 GPS 위성의 위치좌표이며,  $c$ 는 전자기파의 속도,  $r_i$ 는  $i$ 번째 위성에서 수신기까지의 거리를 나타낸다.

2) 행렬  $P$  계산

$$P = (A^T A)^{-1} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{pmatrix}$$

여기서 행렬  $A^T$ 는  $A$ 의 전치행렬이라고 하며, 행렬  $A$ 의  $(i, j)$  성분을  $a_{ij}$ 라 할 때,  $A^T$ 의  $(i, j)$  성분은  $a_{ji}$ 가 된다. 즉 행렬  $A$ 의 제  $i$ 행은 행렬  $A^T$ 의 제  $i$ 열이 된다.

3) DOP 계산

$$DOP = \sqrt{P_{11}^2 + P_{22}^2 + P_{33}^2 + P_{44}^2}$$



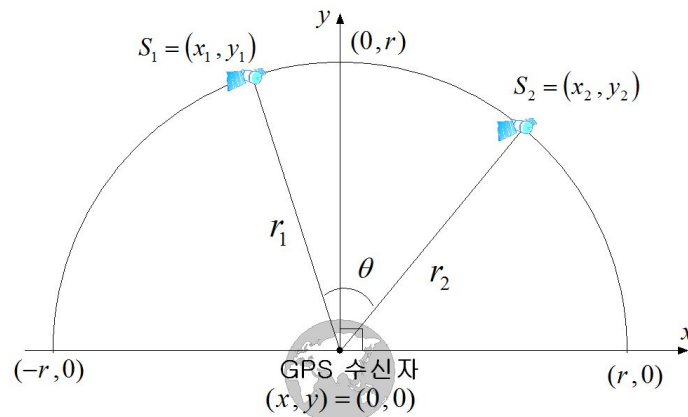
문제 1. [제시문 1]의 주파수와 굴절률 관계식을 보면, 전리층과 같이 전자들이 자유롭게 움직일 수 있는 공간에서는 전자기파의 진행속도가 감소하는 현상이 나타난다. 또한 극초단파 대역에서 주파수가 낮아짐에 따라 속도 감소 효과가 커지는 현상도 나타난다. 이 두 현상이 발생하는 물리적 이유를 설명하시오.

문제 2. GPS 수신기는  $L_1$  주파수( $f_1$ )와  $L_2$  주파수( $f_2$ ) 신호를 동시에 받아 전리층에 의한 시간 지연을 보정한다. 각 주파수로부터 측정된 거리가 각각  $R_1$ ,  $R_2$  일 때, GPS 위성에서 수신기까지의 실제 거리( $R_0$ )를 식으로 나타내시오. (단, 전리층에 의한 시간 지연을 제외한 다른 오차들은 무시한다.)

문제 3. [그림 3]과 같이 2차원 평면에서 주어진 2개의 위성에 대하여 정밀도가 높은 GPS 위성 배열을 찾고자 한다. [제시문 2]에 주어진 DOP식은 2차원의 경우에 다음과 같다.

$$A = \begin{pmatrix} \frac{(x_1-x)}{r_1} & \frac{(y_1-y)}{r_1} \\ \frac{(x_2-x)}{r_2} & \frac{(y_2-y)}{r_2} \end{pmatrix}$$

$$P = (A^T A)^{-1} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{pmatrix}, \quad DOP = \sqrt{P_{11}^2 + P_{22}^2}$$



[그림 3] 2차원 GPS 위성배열

3-1. 위성과 수신자와의 거리가 동일한 ( $r_1=r_2=r$ ) 위성  $S_1$ 와  $S_2$ 에 대한 DOP 값을 수신자가 본 두 위성 간의 사잇각  $\theta$ 에 대하여 나타내고, 가장 높은 정밀도를 가지는 위성의 배열에 대해서 논하시오. (모든 좌표는 지구중심을 원점으로 하여 표현해야 하지만, [그림 3]과 같이 수신자를 원점으로 하는 좌표계로 가정한다.)

$$\ast \quad \sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta, \quad \cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$$

3-2. 3-1에서 얻어진 결과에 근거하여, 3차원 상에서 수신 가능한 GPS 위성이 4개 이상 있다고 할 때, 어떤 GPS 위성의 배열이 위치 정밀도를 높일 수 있는지 기하학적 관점에서 추론하시오.

## 【문항 2】

\* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

### 【제시문 1】

과학적 연구 결과들은 우리에게 실용적 가치를 주기도 하고, 우리가 세계를 바라보는 시각을 바꾸기도 한다. 과학적 발견이 언론 매체에 보도되었다고 해서 그것의 진정성이 보장되지는 않는다. 그러므로 과학자뿐만 아니라 일반인에게도 과학적 정보를 합리적으로 분석하고 평가하는 능력이 중요하다.

과학자들이 과학적 발견의 진위를 판단하는 데 동원하는 추론 과정은 다양한 단계로 이루어진다. 일반적으로 과학의 탐구는 문제를 인식하고, 가설을 설정하고, 실험을 설계하여 수행하고, 가설과 실험 결과를 비교하는 순서로 진행된다. 이 추론 과정을 세분화하면 다음과 같이 나눌 수도 있다.

#### 1) 연구 대상 설정

연구는 문제 인식에서 시작된다. 연구 대상은 과학자들이 이해하고 설명하기를 원하는, 자연에 실제로 존재하거나 존재한다고 믿어지는 특정 사물이나 현상이다.

#### 2) 모델 제안

과학자들은 사물이나 현상을 설명하기 위해 모델을 제안한다. 모델은 코페르니쿠스가 제안한 우주의 구조처럼 실제 사물을 확대하거나 축소할 수도 있고, 뉴턴이 제안한 만유인력처럼 추상적 가설일 수도 있다.

#### 3) 제안된 모델에 근거한 예상

제안된 모델을 통해 도출될 결과를 예상하여 가설을 설정한다.

#### 4) 실험 수행과 실험 자료

모델에서 예상된 결과와 비교하기 위해 어떤 자료가 필요한지 결정하고, 모델이 설명하려는 성질을 찾아내는 데 필요한 실험을 설계하여 자료를 얻는다.

모델의 진위는 모델을 근거로 예상된 결과와 실험 자료의 비교를 통해 판단된다. 비교는 다음 두 단계로 진행된다.

#### 5) 부정적 증거

모델을 근거로 예상된 결과와 실험 자료가 일치하지 않으면 부정적 증거로 여겨진다. 이 경우 모델 제안 단계로 돌아간다.

6) 긍정적 증거

모델을 근거로 예상된 결과와 실험 자료가 일치하면 긍정적 증거로 여겨진다.

7) 일반화

긍정적 증거가 확인되었다고 하더라도, 실험 자료와 일치하는 결과가 다른 모델에서도 도출되는지를 확인할 필요가 있다. 과학적 발견이 이론 또는 법칙으로 인정받기까지는 동일한 문제의식을 가진 많은 과학자들로부터 제시되는 부정적 증거 또는 긍정적 증거에 의한 검증 과정을 거치게 된다. 또한 다수의 과학자가 인정하여 이론이 확립된 후에도 그것으로 설명할 수 없는 반증 사례가 나타나면, 기존 이론은 수정되거나 새로운 이론으로 대체될 수 있다.

과학적 발견이 그것의 진정성을 인정받기 위해서는 앞서 소개한 과정을 모두 거쳐야 하는 것은 아니다. 때때로 과학의 탐구 과정 중 일부 과정이 생략되거나 중복 또는 반복적으로 진행될 수도 있다. 따라서 소개한 과정을 모두 적용하여 과학적 추론을 수행하기에 곤란한 과학적 발견도 많다.

문제 1. 다음 (가)~(다)는 잘 알려진 과학의 탐구 사례들이다. 이 중에서 하나를 선택하여, [제시문 1]에 소개한 과학적 추론 과정을 적용하여 간략히 기술하시오(각 과정을 나누어 번호와 제목을 붙이고, 그 과정에 해당한다고 판단한 이유를 포함).

(가) 헤르츠의 광전 효과 실험과 아인슈타인의 설명

(나) 러더퍼드의 알파 입자 실험

(다) 멘델의 완두콩 실험

문제 2. 다음의 [제시문 2]는 케플러가 행성의 운동을 탐구할 때 일어났던 일화다. 이 글을 읽고 케플러가 행성의 궤도를 원에서 타원으로 바꾸게 되기까지 탐구 과정을 논리적으로 기술하시오. 단, 지문의 내용을 그대로 옮기지 말고, 자신의 글로 재구성하시오.

## 【제시문 2】

코페르니쿠스의 우주 모형에서 가장 큰 영향을 받은 학자는 요하네스 케플러와 갈릴레오였다. 케플러는 “나는 코페르니쿠스의 견해가 진리라고 믿으며, 그의 우주 모형을 보면 황홀해진다”고 말했다. 케플러에게 과학은 음악적 조화와 같았으며, ‘케플러의 법칙’은 그의 생애를 사로잡았던 자연에 관한 수학적 랩소디 중에서 세 개의 가장 아름다운 화음이었다. 케플러의 제1법칙은 “행성이 태양을 하나의 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전한다”이고, 제2법칙은 “태양과 행성을 연결하는 동경 벡터는 같은 시간 동안 같은 면적을 움직인다”이다. 케플러는 이 법칙들을 1609년 『새로운 천문학』에 발표하였다. 그리고 “행성의 공전 주기의 제곱은 태양과 행성 간 평균 거리의 세제곱에 비례한다”는 케플러의 제3법칙은 1619년에 출간된 그의 마지막 저서 『우주의 조화』에 발표되었다.

케플러 이전까지 원은 우주 질서의 기초였으며, 사물은 원주 위를 영원히 회전하고 있었다. 그런데 케플러의 상상력과 사실에 대한 몰입, 좀 더 깊은 질서에 대한 신념이 도대체 어떻게 조합되어 있었기에 천문학의 탄생 이래, 관습을 깨고 태양계를 원의 완전성보다 더욱 추상적인 수학적 기초 위에 놓게 되었을까? 유연함과 참신함으로 가득한 위대한 인간 정신의 공적이라는 점에서 케플러의 법칙과 비견될 수 있는 것은 ‘상대성 이론’뿐이다. 케플러 만큼 독자를 자기의 신념 속으로 완전히 끌어들이는 과학자는 없었다. 자신에 대해 철저히 객관적이었던 사람이 있다면, 바로 케플러가 그런 사람이다. 그는 별을 관측하기에는 근시가 너무 심해 계산만 할 수 있었다. 그는 원의 마력을 일거에 없애 버렸지만, 대신 그를 연구하는 사람 모두에게 자신의 마법을 걸었다. “2절판 크기의 책 스무 권에 달하는 케플러의 저작은 어느 페이지나 생동감으로 넘치고 있다”고 아서 케슬러는 말한다.

케플러는 자유로운 상상력을 가졌지만, 사실에 세심하게 몰두하는 정서도 가지고 있었다. 코페르니쿠스와 달리 그는 대단히 정확한 관측 자료를 갖고 있었다. 정확히 말하면, 첫 저작이 실패한 뒤에 자료를 획득했다. 케플러는 루터파의 튀빙겐 대학에서 신학을 공부하면서 우주론에 흥미를 가졌다. 그는 칼빈주의자였다. 아마 예측 가능한 양적 존재로서의 신에 이끌렸을 것이다. 케플러는 23세가 된 1594년부터 스티리아에 있는 가톨릭계의 그라츠 대학에 주(州) 수학자 및 교사 자리를 얻어 학생들을 가르치기 시작했다. 그리고 2년 후 그 때까지 교단에 서면서 마음속에 떠오른 우주의 구조에 관한 생각을 정리하여 출간했다. 그것은 태양을 중심으로 하는 5개의 정다면체가 태양계의 수학적 골격을 형성한다는 생각이었다. 수성의 궤도는 정8면체에 내접해 있고 정8면체에 금성의 궤도가 외접해 있으며, 금성의 궤도는 또

정20면체에 내접해 있다. 그리고 정20면체에 지구 궤도가 외접하며 나머지 화성, 목성, 토성 궤도들도 이런 식으로 정12면체, 정4면체, 정6면체에 내접하거나 외접해 있다. 케플러의 『우주의 신비』(1596)는 깊은 의미에서 코페르니쿠스적 우주의 짜임새에 관한 견해이며, 나아가 기독교와 피타고라스적 종교성의 융합이었다. 물론 이것은 틀린 상상이었다. 그것은 잘 알려진 관측 자료와 맞지 않았다. 그렇지만 이렇게 우주 속의 조화롭고 기하학적인 비율을 찾는 작업이 신에게 다가가는 길이라는 점을 의심하지 않았다. 그는 “우주를 고찰함으로써 내 손으로 신을 붙잡을 수 있다”고 말했다. 1600년 케플러는 그의 모형을 검증해 줄 수 있는 자료를 갖고 있는 듯한 인물과 만났다. 바로 합스부르크의 수도 프라하에서 반미치광이 황제 루돌프 2세의 궁정 수학자로 지내고 있던 티코 브라헤였다.

티코는 이 분야에서 찬양 받을 만한, 없어서는 안 될 연구자 중의 한 사람이었으며, 그의 사명은 최고로 정확하게 자연을 관측하는 일이었다. 그런데 그에게는 이론적 통찰이라는 자질이 결여되어 있었다. 티코는 코페르니쿠스 체계를 믿으려 하지 않았고, 달, 태양, 항성의 천구가 지구 주위를 돌며 다섯 행성은 태양 주위를 돈다는 타협안을 인정할 뿐이었다. 이러한 타협안은 ‘지구의 부동성’과 함께 코페르니쿠스설의 가장 중요한 천문학적 증거인 ‘태양으로부터의 거리에 대한 주기와 대원 사이의 반지름 관계’도 설명할 수 있었다. 왕은 그에게 흐벤 섬을 하사했다. 그는 흐벤 섬에 ‘천상의 성’이라는 훌륭한 천문대를 세우고 마음껏 일하였다. 그는 성벽을 따라 반지름이 14피트나 되는 여러 개의 커다란 상한의(주: 18세기 말까지 자오선 관측에 사용되던 기계)를 세웠다. 그것들은 망원경의 도움 없이도 인간의 눈으로 천체를 관측할 수 있는 최고의 정밀도를 갖고 있었다. 티코의 관측 자료 중에서 가장 정밀한 것은 1분 단위의 각도까지 신뢰할 수 있었는데, 이것은 이전 자료에 비해 열 배나 개량된 값이었다. 게다가 보통의 천문 관측 기술은 티코를 만족시킬 수 없었기 때문에, 티코와 그의 조수들은 20년에 걸쳐 매일 밤 행성을 추적하여 관측하고 그 결과를 늦쇠로 덮힌 거대한 천구의에 기입하면서 기록을 쌓아나갔다.

티코는 덴마크 왕과 다투고 나서 그 기록을 가지고 떠나 프라하의 황제를 섬기게 되었다. 이때 스티리아에서 은둔하고 있던 케플러가 티코의 연구에 참가했다. 티코와 케플러는 군주와 신하, 또한 상속인과 피상속인의 관계로도 얽혀 있었다. 티코는 케플러에게 고도의 이론적 능력이 있음을 발견하고, 그의 귀중한 관측 기록을 케플러에게 분석하도록 하여 자신의 학설을 지지하게 만들고자 하는 의도를 갖고 있었다. 그러나 1601년 티코가 사망하고 나서야 케플러는 충분한 관측 자료를 받았고, 궁정 수학자로서 티코의 뒤를 잇게 되었다.

티코가 죽기 전부터 케플러는 이미 화성에 대한 이론을 연구하고 있었다. 화성은 다른 별보다 원에서 이지러지는 정도가 컸으므로 가장 다루기 힘들었지만, 다행히 화성에 관한 기록도 많았다. 화성은 지구 바깥의 행성 중에서 지구와 가장 가깝고, 아침과 저녁에만 나타나는 금성이나 수성과 달리 태양 빛 때문에 보이지 않는 일이 없었기 때문이다. 케플러는 두 가지 조건을 가정했는데, 덕분에 코페르니쿠스적 사고를 넘어 뉴턴적 사고로 접근할 수 있었다. 첫 번째 조건은 기하학적인 것으로, 지구의 공전 궤도면과 화성의 공전 궤도면이 태양의 중심에서 교차한다는 것이었다.

두 번째 조건은 공전 궤도와 관련된 물리적 가설이었으며, 한층 더 의의가 깊었다. 이 가설이 없었더라면 케플러의 상상도 원에서 벗어나기 어려웠을 것이다. 케플러의 『새로운 천문학』이 마침내 세상에 나왔을 때, 부제는 ‘천체 물리학’이었다. 케플러의 기계적 세상에 대한 감각은 그가 행성 운동의 원인이 되는 힘이 태양에서 나온다고 상상하게 만들었다. 그의 연구 대상은 단순한 운동론이 아니라 천체 역학이었으며, 그가 알아내려는 비밀은 단순한 운동의 법칙이 아니라 힘의 법칙이었다. 케플러는 태양의 힘과 평형을 이루는 힘이 각 행성에 있다고 가정하고, 두 힘이 동등한 상태에서 무한히 투쟁하여 행성의 궤도가 결정되도록 했다. 태양의 힘은 거리가 멀어짐에 따라 감소하며, 힘의 근원인 태양에서 행성까지의 거리와 행성의 속도는 반비례한다고 가정했다.

케플러의 생애는 우리의 호기심을 끄는 일화들로 가득 차있다. 예를 들어, 그의 물리적 발견 중에는 ‘빛의 세기가 광원으로부터의 거리의 제곱에 반비례한다’는 광학 법칙이 있다(이것은 빛의 성질보다 입체 기하학에서 유도된 결론으로, 세계가 기하학적으로 구성되어 있다는 케플러의 믿음이 얼마나 중요했는지를 보여주는 예다). 케플러는 태양이 빛뿐 아니라 힘도 방출한다고 생각했는데, 이 때문에 어쩌면 뉴턴보다 먼저 만유인력에 기초한 우주론을 발견했을 수도 있었다. 그러나 아쉽게도 케플러의 ‘운동령(靈)’이라는 개념은 뉴턴과 달리 태양과 행성 사이의 거리에 반비례했다. 또한 그 힘은 반지름 방향이 아니라 접선 방향으로 작용하는 저항력이었다. 케플러는 윌리엄 길버트가 1600년에 출판한 『자기에 관하여』를 읽고 깊은 감명을 받았다. 길버트는 자석과 나침반에 대해 논했으며, 지구는 작은 자석들이 서로 간에 작용하는 인력에 의해 일렬로 늘어서 있는 거대한 자석이라고 주장했다. 케플러는 우주도 이와 같을 것이라고 생각했다. 케플러가 생각한 우주에서는 물체들 사이에 당기는 힘이 작용했다. 이 힘은 물체의 고유한 성질이며, 태양에서 방출되어 행성이 정해진 궤도를 따라 움직이게 하는 이 힘이 케플러의 운동령이었다. 따라서 관성이라는 개념이 없었던 당시에, 운동령은 중력이라기보다 운동을 일으키는 요인을 전제하는 아리스토텔레스적 표현인 것처럼 보인다.

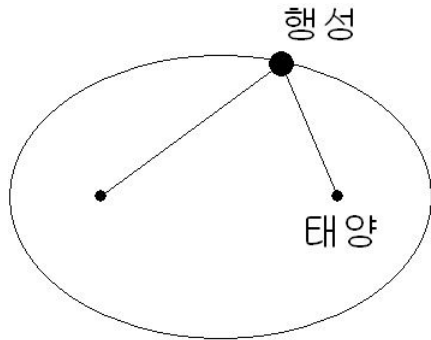
그러나 이것도 물리학이었다. 그리고 이것은 티코의 숫자에 구체적인 의미를 부여했다. 케플러는 몇 년 동안 이 숫자들과 씨름하면서, 화성의 비밀을 알아내려고 노력했다. 케플러는 이미 궤도의 기하학적 기술과 물리학적 기술을 일치시켜야 한다고 결심하고 있었다. 태양의 반대편에 있는 화성의 위치를 나타내는 숫자가 케플러의 연구의 출발점이 되었다. 그는 이 숫자들을 사용해서 장축의 연장선에 위치한 항성의 방향, 장축의 이심과 태양 위치 사이의 관계 ([그림 3]), 궤도의 반지름 등을 구해야 했다. 엄밀한 답을 얻을 수 없는 상태에서 근사 방법과 시행착오를 동원한 작업은 기하학자에게 악몽이었다. 케플러는 희망도 실망도 모두 빼놓지 않고 말했다. “만약 당신들이 이 지루한 계산법에 진저리가 났다면, 그 계산에 엄청난 시간을 허비하면서 적어도 칠십 번 이상 해야만 했던 나를 생각해 주기 바란다. 그러면 내가 화성에 대해 연구하고 계산하는 데 5년의 시간을 보냈다고 하더라도 놀라지 않을 것이다.” 그리고 마침내 올바른 값을 얻었다는 생각이 들었을 때, 그는 그 궤도를 이론적으로 구하였다. 그런데 관측된 위치와 이론에 의해 예상된 위치 사이에 8분 정도의 각도 차이가 발견되었다.

그것은 아주 작은 차이였다. 티코 이전이라면 그 정도의 차이는 발견되지도 않았을 것이다. 8분에 불과한 이 차이 때문에 6년을 희생했다는 사실만큼 케플러의 양심을 증명해 주는 사례는 없다. 그러나 이 하찮은 실패 때문에 자연 탐구를 지루하고 성가신 작업으로 여겨서는 안된다. 연구를 끝내기 위해 이 정도의 숫자는 조작해도 좋다는 뜻도 아니다. 실패의 원인을 밝히고 새로운 것을 발견할 기회로 삼아야 한다는 뜻이다. 케플러는 “신이 우리에게 티코 같은 관측자를 보내 준 이유는 우리가 그를 이용할 수 있게 하기 위해서다” 라고 썼다.

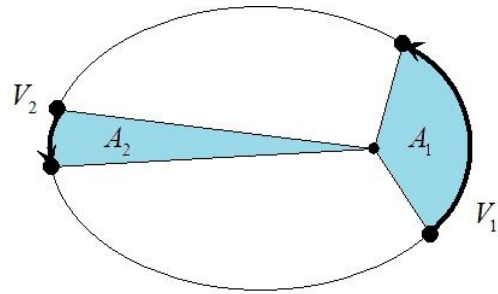
결국 이 8분의 차이는 행성 궤도가 원이라는 잘못된 믿음 때문이었음이 드러났다. 케플러의 고된 작업이 우리에게 주는 교훈은, ‘과학적 이해를 높이는 계기는 커다란 문제가 아니라 사소한 모순에 대한 인식에서 시작된다’는 것이다. 그것은 아리스토텔레스적 자연철학의 논리적 구조가 아니라 화살을 날아가게 만드는 원인에 대한 깊고도 작은 고찰이며, 아인슈타인이 지적한 뉴턴 물리학의 허점이 아니라 에테르의 존재에 대한 작은 의심이다. 바로 이 작은 모순이 케플러가 화성의 궤도는 원이 아닌 다른 형태일 것이라는 가능성을 검토하게 만든 계기였다.

화성의 궤도가 원이 아닐 가능성을 떠올린 케플러는, 제1법칙으로 발표된 ‘타원 궤도의 법칙’([그림 1])보다 제2법칙으로 발표된 ‘면적 속도 일정의 법칙’([그림 2])을 먼저 발견했다. 그런데 케플러는 이 제2법칙을 주요한 과학적 법칙으로 발표할 때까지 궤도 분석을 위한 계산에 사용했다.



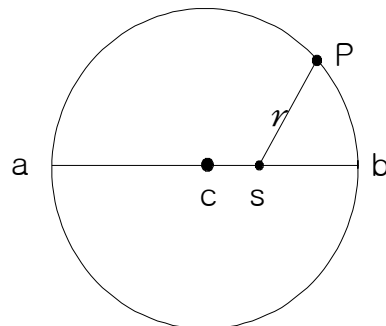


[그림 1] 케플러의 제1법칙  
(타원 궤도의 법칙)



[그림 2] 케플러의 제2법칙  
(면적 속도 일정의 법칙)

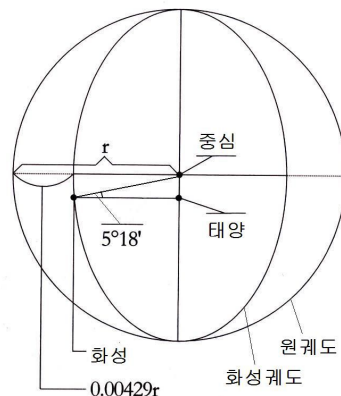
이것은 아직 확정되지 않은 사실을 이용한 편법이었으므로, 제1법칙의 발견은 진리에 이르기 위한 케플러의 험난한 노정에 보답한 해피엔딩으로 볼 수 있다. 사실 그는 이런 계산 때문에 어려운 점이 생기지 않을까 잠시 망설였다. 왜냐하면 이심에 위치한 태양으로부터의 거리에 반비례하여 행성의 속도가 변한다는 가정은 태양과 행성을 잇는 벡터와 궤도의 접선이 수직을 이루는 장축([그림 3]의 ab)의 양 끝에서만 사실이었기 때문이다.



[그림 3]

게다가 케플러는 면적 속도가 같다는 가정에 운명을 걸기로 결심하고 증명하는 과정에서 더 큰 오류를 범했다. 케플러에 의하면, 무한히 짧은 현을 행성이 지나가는 데 걸리는 시간은 태양으로부터의 거리에 비례한다. 따라서 어떤 시간 동안 이동한 거리는 궤도면을 쓸고 간 면적에 비례하고, 행성이 궤도의 어떤 구간을 통과하는 데 걸린 시간을 알면 태양과 행성을 잇는 벡터가 궤도면을 쓸고 간 면적을 계산할 수 있다. 그리고 이 과정을 따라가면 결국 같은 시간 동안 같은 면적을 지나간다는 결론에 도달하게 된다. 물론 이 추론은 (태양이 이심(S)에 있는 원 궤도에서는) 완전히 오류다. 케플러는 틀림없이 이 오류에 대해 알고 있었을 것이다.

여기서 케플러는 화성을 잠시 제쳐두고 지구의 운동을 더욱 깊이 연구하기로 했다. 케플러가 ‘면적 속도 일정의 법칙’을 거론한 것은 화성 궤도상의 고정된 점에서 바라본 지구를 관련지어 생각했기 때문이다. 그는 이와 관련된 자료에 고무되어 원 궤도라는 천문학의 전통적 사고를 내던져 버렸다. 자료가 두 면을 따라 원의 안쪽을 향해 대칭적으로 들어가는 달걀 형태의 궤도를 암시했기 때문이다. 곡선의 진짜 모양이 무엇일까? 처음에 그는 뾰족한 부분 가까이에 태양이 위치한 달걀 형태라고 생각했다. 그는 또 두 개의 기하학적 초점이 있는 궤도와 하나의 운동 중심이 있는 궤도를 비교했다. 자신이 옳은 답을 얻었다는 것을 알기 전에 미리 그 답을 이용하는 우여곡절을 겪으면서 한 걸음씩 나아갔던 케플러의 발자취를 빠짐없이 추적하기는 어렵다. 달걀 형태의 기하학적 성질을 연구하기란 고통스러웠다. 케플러는 [그림 4]처럼 화성의 궤도와 원을 겹쳤을 때, 둘 사이에 만들어지는 초승달 모양의 최대 폭이 원의 반지름의 0.00429배임을 알아냈다. 또한 그는 이 발견과는 완전히 독립적으로 화성에서 태양과 궤도 중심으로 그은 두 선분이 이루는 최대 각도가 5도 18분임을 발견했으며, 이 각의 시컨트(코사인의 역수) 값이 1.00429라는 것에 놀랐다.



[그림 4]

이것은 우연일 리가 없었다. 그러나 안타깝게도 케플러는 이것이 타원을 정의하는 조건의 하나라는 사실을 몰랐기 때문에, 청동 이론(주: 진자의 진동에 대한 이론)을 도입하여 궤도의 모양을 찾아내려고 했다. 그러나 이 이론에 따르면, 공전면의 회전과 지름을 축으로 한 진동의 합성으로 궤도가 결정되었기 때문에 문제를 해결하는 것이 더욱 요원해 보였다. 결국 그는 달걀 형태로 돌아갔고, 다음에는 자포자기하여 타원 - 기하학적으로 하나의 초점에 태양이 위치한 - 으로 복귀했다. 그리고 나서 이것이 자신이 몇 달 전에 삼각법으로 도달했던 도형과 같다는 사실을 발견했다. 우리는 이 모든 일이 해석 기하학도, 로그표도 없이 수행되었다는 사실을 기억해야 한다.

케플러의 저작들을 읽다 보면, 결과가 무엇이든 진리에 도달하려는 그의 노력만으로도 감동을 받는다. ‘아무도 이렇게 고생하려고 하지 않았을텐데’라고 생각하게 되는 것이다. 당시의 여건은 우리가 지금 상상하는 것보다 훨씬 나빴다. 케플러에게 그의 법칙들은 역학이라는 하나의 통일된 체계로 환원할 수 있는 현재의 과학처럼은 될 수 없었다. 해석 기하학이 아직 없었으므로 그의 법칙들은 차례대로 유도될 수 없었다. 케플러의 법칙들은 그가 청년 시절에 다섯 개의 정다면체로 충분히 구상할 수 있었다고 믿었던 우주 구조를 거의 뒷받침하지 않았다. 케플러 우주의 기하학적 구조는 아직도 미숙하였다. 그에게 타원이란 결국 원에 대한 보잘 것 없는 대용품에 불과했다. 그는 그것을 ‘거름 마차’라고 불렀는데, 이는 타원의 불합리함에 화가 치밀었기 때문이다.

그러는 동안 갈릴레오의 망원경과 목성의 위성에 관한 소식이 들려왔다. 케플러가 별점을 쳐 주었던 황제 루돌프는 폐위되었고, 그는 오스트리아에서 가장 따분한 도시인 린츠에서 수학 교사 자리를 얻었다. 거기서 그는 『우주의 조화』를 쓰기 시작했다. 이것은 그의 마지막 대저술인데, 집필은 마녀로 고발당한 그의 괴상한 노모를 변호하기 위해 중단되기도 하였다. 케플러가 다루었던 조화는 이상적인 기하학적 비율이다. 평면 기하학은 2차원의 물질적 세계를 상징하고, 구의 3차원적 완전성은 삼위일체를 나타낸다.

케플러는 우주론에서 타원보다 더 깊이 내재한 사물의 근거를 찾으려고 했다. 세계의 조화는 어디에 있을까? 케플러는 눈을 감고 조각 그림을 맞추듯 여러 방법을 시도했다. 행성의 주기는 조화급수에 따르는 시간이라는 제3의 차원에 의미를 부여할까? 그러나 그는 그 급수에서 규칙성을 발견할 수 없었다. 태양에서 여러 행성까지의 거리에 어떠한 비율이 숨어 있지는 않을까? 그러나 거기에도 없었다. 최대 속력과 최소 속력 사이에 조화로운 관계가 있지는 않을까? 혹은 평균 속도 사이에? 이제 그는 좀 더 사실에 접근했다고 느꼈다. 그는 상상력을 발휘하여 태양에서 바라 본 각 행성들의 각속도의 최댓값과 최솟값을 비교했다. 그러자 비로소 그의 신념이 확립되었다.

이것이 케플러가 그의 제3법칙에 도달한 순서였다. 이 법칙은 마침내 그가 찾고 있던 행성의 운동과 거리의 관계, 태양계의 운동과 구조의 관계를 정립 시켰다. “행성 주기의 제곱의 비는 궤도의 평균 반지름의 세제곱의 비와 같다”는 것은 완전히 의외인 상관관계였다. 되풀이하여 시도하지 않았다면 그것은 결코 발견되지 않았을 것이다.

(『객관성의 칼날』, 찰스 그리피스 지음)

### 【문항 3】

\* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

#### 【제시문 1】

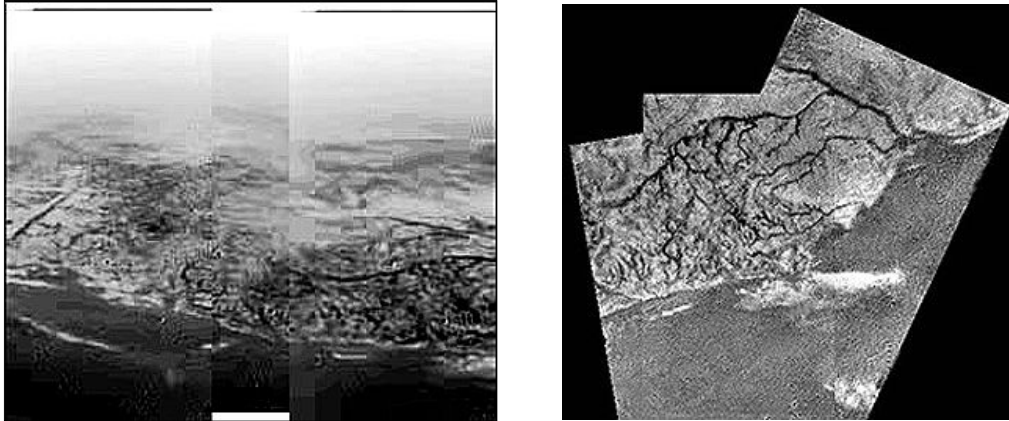
미 우주항공국(NASA)이 유럽우주국(ESA)·이탈리아우주국(ASI)과 공동으로 추진한 카시니-호이겐스(Cassini-Huygens) 계획은 보이저 우주 탐사선 계획 이후 처음으로 실시된 토성 탐사 계획이었다. 카시니-호이겐스는 지금까지 토성을 방문한 네 번째 탐사선이며, 토성 주위를 도는 첫 탐사선이다. 17세기 토성의 고리에서 간극을 발견한 이탈리아 출신의 프랑스 천문학자 카시니(Giovanni Domenico Cassini)와 17세기에 타이탄(Titan) 위성을 발견한 네덜란드 천문학자 호이겐스(Christiaan Huygens)의 이름을 딴 이 계획은, 우주 탐사선을 직접 토성 궤도에 진입시켜 비밀에 싸여있는 토성의 고리와 토성 위성들의 탐사를 목표로 하고 있다.

1997년 10월 15일 미국 케이프 커내버럴 공군기지에서 발사된 탐사선 카시니-호이겐스는 약 7년 동안 35억km에 이르는 우주여행을 한 뒤 2004년 7월 1일에 토성 궤도에 진입했다. 이후 카시니-호이겐스는 2004년 12월 25일에 부속선 호이겐스를 분리시켜, 2005년 1월 14일에 토성의 가장 큰 위성인 타이탄으로 내려 보냈다.

호이겐스가 대기권을 통과하는 동안 다양한 정보들이 획득되었다. 호이겐스가 아래로 내려감에 따라 기온이 급격히 감소하다가 타이탄 표면으로부터 약 40km 높이부터는 기온이 다시 상승하기 시작하여 표면에 도달하였을 때는 온도는 영하 179℃, 기압은 1.5기압이었다. 또한 대기권을 통과하는 동안 강한 바람이 관측되었고, 대기는 평균적으로 98.4%의 질소(N<sub>2</sub>), 1.4%의 메탄(CH<sub>4</sub>), 0.2%의 수소(H<sub>2</sub>)로 구성되어 있었다.

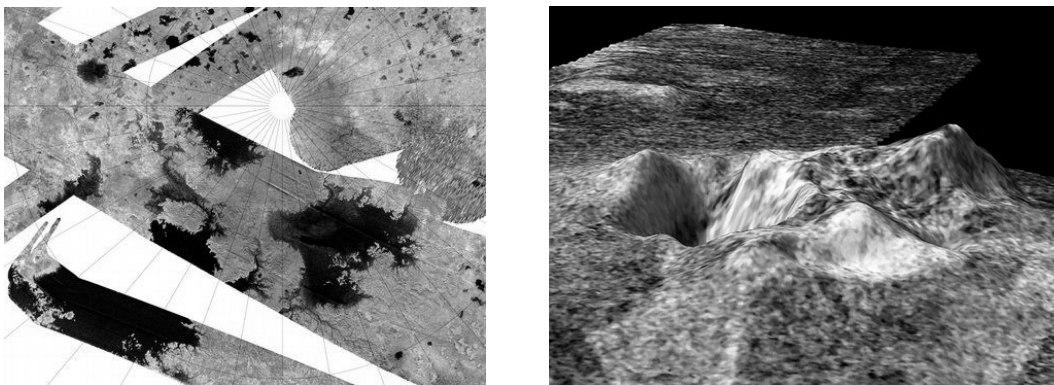
특히 타이탄 표면으로부터 고도 8km까지는 메탄의 비율이 4.9% 정도로 대기 평균값보다 높다는 것을 알 수 있었다. 그 외에도 탄화수소 물질 [에탄(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), 아세틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), 디아세틸렌(C<sub>4</sub>H<sub>2</sub>), 메틸아세틸렌(C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>), 프로판(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) 등], 질소화합물 [시아노아세틸렌(HC<sub>2</sub>CN), 시안화수소(HCN), 시아노겐(C<sub>2</sub>N<sub>2</sub>) 등], 탄소 산화물 [일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 등], 비활성 기체 [아르곤(Ar), 헬륨(He)] 등도 미량 존재한다는 것을 확인하였다.

호이겐스는 많은 사진 자료를 카시니를 통해 지구로 전송했다. 하지만 전송에 필요한 2개의 채널 중 1개가 고장 나 350장의 사진 자료가 사라졌다. 아래 [그림 1]은 호이겐스에 탑재되어 있는 가시광-적외선 카메라를 통해 수집된 영상들이다.



[그림 1] 호이겐스가 타이탄 표면에 접근하면서 촬영한 영상들

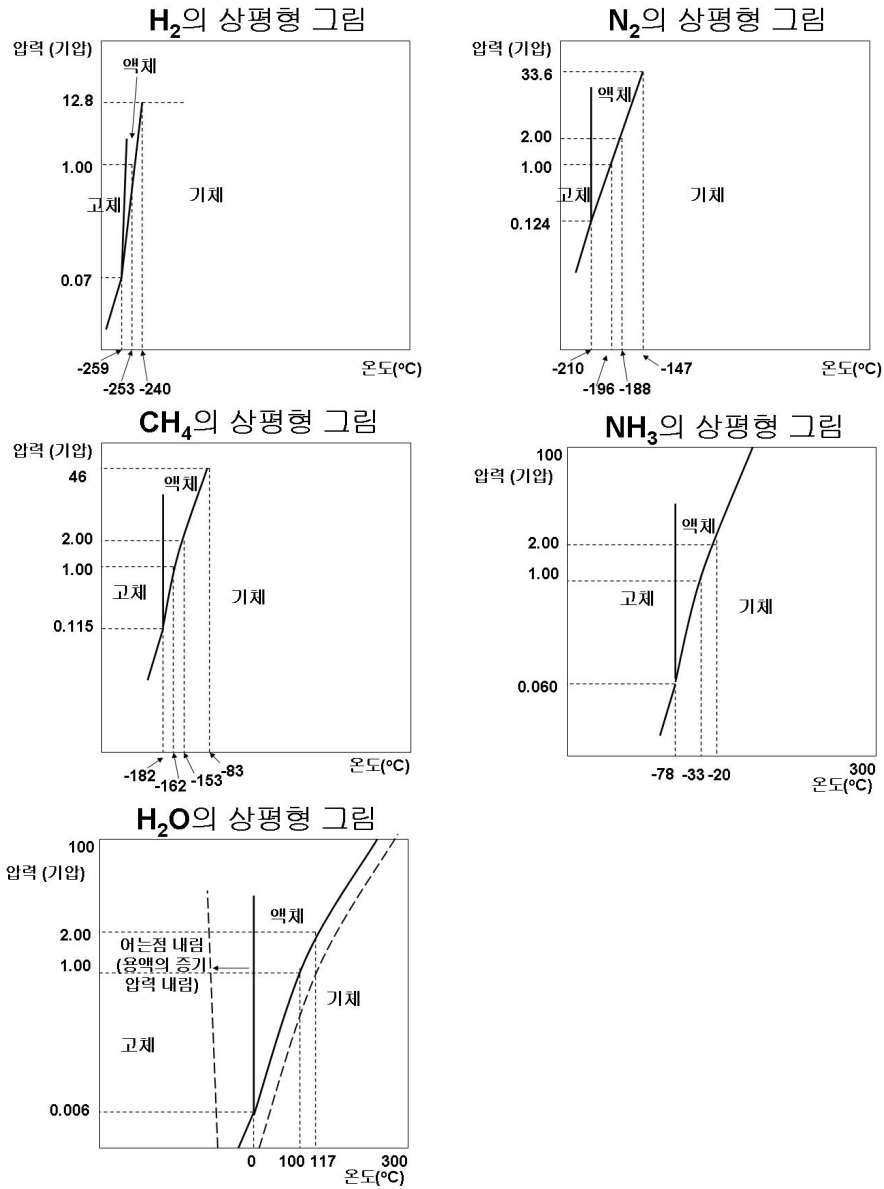
카시니 우주 탐사선에는 영상 레이다, CCD영상 시스템, 가시광-적외선 분광기, 우주먼지 분석기, 플라즈마 분광기, 자외선 영상 분광기, 자기장 측정기 등 다양한 장비들이 탑재되어 있으며, 이러한 장비들이 관측한 자료들을 계속 지구로 보내주고 있다. 그 중 레이다 장비를 통해 관측한 타이탄 영상에서는 호수처럼 보이는 어두운 지역이 발견되기도 하였고, 높이를 계산하여 3차원으로 복원하였을 때에는 화산지형과 유사한 곳도 관찰되었다([그림 2]). 최근 연구에 의하면 물과 암모니아의 혼합물이 분출되는 화산이 존재한다는 주장도 제기되고 있다.



[그림 2] 카시니의 레이다 장비로 촬영한 타이탄 표면의 모습

**【제시문 2】**

(가) 물질의 상태는 온도와 압력에 의해 결정되는데, 이들 사이의 관계를 나타낸 그림을 ‘상평형 그림’이라고 한다. 상평형 그림은 온도와 압력에 따른 물질의 상태에 관한 정보뿐 아니라 우리 생활에서 일어나는 여러 가지 현상들도 설명해 준다. 아래는 몇 가지 물질들의 상평형 그림을 나타낸 것이다.



(나) 비휘발성 용질이 용해된 용액의 어는점은 순수한 용매의 어는점보다 낮다. 이러한 현상을 ‘어는점 내림’이라고 한다. 겨울철에 자동차의 냉각수가 어는 것을 방지하기 위해 에틸렌글리콜(HOCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH)을 넣은 부동액을 사용하는 것은 어는점 내림 현상을 이용한 예이다. 에틸렌글리콜과 물을 섞었을 경우, 최대 -60°C까지도 얼지 않는 부동액을 얻을 수 있다. 위의 물(H<sub>2</sub>O)의 상평형 그림에는 비휘발성 용질의 용해에 따른 물의 어는점 내림(혹은 용액의 증기 압력 내림) 현상이 표시되어 있다.

### 【제시문 3】

(가) 지구의 원시 대기 조성은 이산화탄소 95%, 질소 3%였으며, 지구 최초의 비는 강한 산성비로 이는 지각에 있는 알루미늄, 철, 칼슘, 나트륨, 칼륨, 마그네슘 등의 금속 원소들과 반응하여 태초의 바닷물을 염기성으로 만들었을 것이다. 이러한 염기성의 바다에 대기의 이산화탄소가 대부분 녹아들어가 이산화탄소에 의한 온실효과가 줄어들었을 뿐만 아니라 태양 광선의 투과율이 높아져 생명 현상이 일어날 수 있는 조건이 갖춰지게 되었다고 추측된다.

1950년대 밀러와 유레이는 당시 원시 대기에 포함된 것으로 추정되었던 메탄, 암모니아, 수증기, 수소 등의 혼합 기체에 전기 방전을 시키면 퓨린, 피리미딘과 아미노산이 생성됨을 알았다. 그 이후 폭스는 20여종의 아미노산을 혼합하여 170℃로 몇 시간 동안 가열한 실험 결과 폴리펩티드가 생성된다는 것을 관찰하였다. 약 40억 년 전 원시 지구에서는 활발한 화산 폭발로 이산화탄소, 질소, 황화수소, 이산화황 등 다양한 물질과 에너지가 분출되었으며 이 과정에서 간단한 구성 물질로부터 좀 더 복잡한 유기 물질들이 만들어졌을 것이라 추측된다. 일부 과학자들은 지구에서 생명이 출현한 것은 기적도 아니고 유일무이한 사건도 아니라고 강조한다. 그들은 충분한 시간과 똑같은 상황이 주어진다면 생명의 재출현도 가능하며, 심지어 전혀 다른 상황에서도 생명이 등장할 수 있다고 주장한다.

(나) 이들 중 보수적인 학자들은 모든 생명체는 인간을 비롯한 다른 생명들 처럼 탄소화합물일 것이라고 주장한다. 생명 활동에 필요한 복잡한 화학 결합과 구조를 형성할 수 있는 것은 탄소밖에 없다는 것이다. 또한 그들은 생명체의 존재를 위해서는 물의 존재가 필수적이라고 생각한다. 매우 넓은 온도-압력 범위에서 액체로 존재하는 물은 생명 환경에 유동성을 부여하고, 다양한 물질을 용해하여 생명 활동에 필수적인 화학 반응이 높은 확률로 일어날 수 있도록 한다.

반면에 진보적 성향의 학자들은 완전히 다른 형태의 생명이 출현할 가능성을 열어 놓는다. 이들도 탄소의 화학적 성질의 중요성을 인정하지만, 어쩌면 이와 전혀 다른 조건에 적응한 생명체가 등장할 수도 있다는 것이다. 또한 물이 아닌 다른 매체에서 생명이 출현할 가능성 역시 과학적으로 부정하기 어렵다고 한다. 액체 암모니아 같은 저온의 용매에 용해되어 화학 반응을 일으키는 탄소화합물이 있을 수 있고, 고온에 견디는 다른 종류의 탄소화합물도 존재할 수 있다고 한다.

액체 대신 기체를 매체로 생명이 출현할 가능성도 있다고 한다. 하버 박사(미국 UCLA)는 금성을 둘러싼 신비한 구름은 빛과 온도 유지를 위한 최적의 높이에서 거주하는 작은 유기물 무리라고 주장하고, 이것을 ‘생물 연무’라고 불렀다. 그는 이 연무가 지구 바다에 서식하는 생명체인 플랑크톤과 비슷하며 물고기가 플랑크톤을 먹고 살 듯이 금성의 하늘에도 이를 먹이로 하는 보다 큰 생명체가 존재할 수 있다고 주장했다.

(『세상을 바꾼 위대한 과학 에세이』, 마틴 가드너)

(다) 고온 고압의 심해 열수구, 극저온의 남극 빙산, 염분이 거의 포화 상태에 이르는 염전, 독성 물질이 가득한 호수 등 지구 내 극한 환경에서도 생명체를 발견할 수 있다. 이러한 곳에서 생존하는 생명체는 주로 세균과 같은 미생물이며, 이들의 존재를 통해 지구 밖의 다른 행성에서도 생명체가 존재할 수 있다는 기대를 가지고 있는 과학자들도 있다.

이러한 생명체를 연구하는 과학자 중 한 명인 울프-사이먼 박사(NASA 우주 생물학 연구소)는 2010년 12월, 지구 생명체의 6대 원소 중 인(P)을 비소(As)로 대체한 새로운 미생물 비소 박테리아 GFAJ-1을 발견하였다고 발표했다. 인은 DNA의 기본 성분이며 지질과 결합하여 세포막을 이루는 것 뿐 아니라, 생명체의 에너지원인 ATP의 주요성분이다. 그러나 많은 과학자들은 울프-사이먼 박사의 실험에서 실제로 이 박테리아가 ‘인’을 ‘비소’로 대체하였는지 의문점을 제기하고 있다. 비산염( $\text{AsO}_4^{3-}$ )이 인산염과 비슷한 작용을 할 수 있지만, DNA에 인 대신 비소가 들어가면 결합력이 약해져 구조가 금방 파괴될 가능성이 높다.



문제 1. 행성의 대기압과 대기밀도는 높이에 따라 지수함수 형태로 감소하는 분포를 갖는다. 이를 수식으로 나타내면 각각  $P(h) = P_0 e^{-h/h_0}$  와  $\rho(h) = \rho_0 e^{-h/h_0}$  이다. 이러한 분포는 이상기체방정식  $PV = Nk_B T$ 와 높이 변화( $\Delta h$ )에 따른 압력 변화( $\Delta P$ )의 관계식  $\Delta P = -\rho g \Delta h$ 로부터 구할 수 있다. 대기압과 대기밀도가  $1/e$  만큼 감소하는 높이  $h_0$ 를 구하고, 그 값을 이용하여 타이탄의 대기 분포와 지구의 대기 분포 간 차이점을 설명하시오. (여기서 볼츠만 상수  $k_B$ 는  $1.38 \times 10^{-23} J/K$ , 타이탄 대기에서 평균 온도  $T$ 는  $94K$ , 타이탄 대기층에서 평균 중력  $g$ 는  $1.5 m/sec^2$  이다.)

문제 2. 카시니-호이겐스가 관찰한 자료들을 근거로 타이탄의 대기 및 표면 환경과 그곳에서 일어나는 현상을 유추하시오.

문제 3. 타이탄 위성에서 생명체가 발견될 수 있는지 혹은 없는지를 주어진 제시문에 근거하여 본인의 입장을 정하고 화학·생물학적 관점에서 구체적으로 논하시오.

## 【문항 4】

\* 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오.

### 【제시문】

(가) 우리 주변에서 발생하고 있는 여러 가지 현상들 중에는 과거에 일어났던 일에 영향을 받는 경우가 많이 있다. 이러한 현상을 수학적으로 표현해 보면 시간에 따른 적분에 의존하고 있음을 알 수 있다. 예컨대, 환자에게 약물을 투여하면 약물의 효과는 일정한 시간이 지난 후에야 나타나게 된다. 시간이 충분히 지난 후 약물 농도가 평형상태로 수렴하는지, 만일 수렴한다면 평형상태가 주어진 초기 조건과 시간 지연에 의해 어떻게 달라지는지를 예측하는 것은 약물의 생체 적용에 있어 중요한 문제 중 하나이다.

시간 지연에 따른 약물 농도의 변화는 수학적 모델링 과정을 통해 예측해 볼 수 있다. 투여한 약이 작용 부위에 도달하는 시간을 지연 시간  $\mathcal{T}$ 라고 하자. 측정을 통해 구간  $[-\mathcal{T}, 0]$ 에서 시간에 따른 작용 부위의 약물 농도를 얻었을 때, 구간  $[0, \infty)$ 에서 약물 농도  $f(t)$ 를 구하는 것은 매우 어려운 일일 수도 있지만, 우리가 관심을 갖고 있는 평형상태의 존재성과 평형상태로의 수렴성은 수학적으로 접근해볼 수 있다.

(나) 닫힌구간  $[a, b]$ 에서 정의된 연속함수  $f(t)$ 가  $f(a) < f(b)$ 를 만족할 때, 임의의 실수  $c \in (f(a), f(b))$ 를 택하면  $f(a) = c$ 인 점  $\alpha \in (a, b)$ 가 존재한다는 사실을 연속함수의 ‘중간값의 정리’라고 한다. 이러한  $\alpha$ 는 여러 개 존재할 수도 있는데 그 중 가장 작은 값을  $\alpha_1$ 이라 하면,  $\alpha_1$ 은 아래의 성질을 만족한다.

$t < \alpha_1$ 일 때는  $f(t) < c$ 이고,  $t = \alpha_1$ 일 때는  $f(\alpha_1) = c$ 이다.

문제 1.  $T_1$ 을  $0 < T_1 < 1$ 인 실수라고 하자. 함수  $g(t)$  ( $-T_1 \leq t \leq 0$ )와 함수  $f(t)$  ( $t \geq -T_1$ )는 다음 관계식 (1), (2)를 만족하는 연속함수들이다.

$$f(t) = g(t) \quad (-T_1 \leq t \leq 0) \quad (1)$$

$$f(t) = - \int_{t-T_1}^t f(s) ds \quad (t \geq 0) \quad (2)$$

구간  $[-T_1, 0]$ 에서 함수  $|g(t)|$ 의 최댓값을  $M_1$ 으로 정의할 때, 연속함수  $f(t)$ 가 다음 부등식을 만족함을 보여라.

$$|f(t)| \leq M_1 \quad (t > 0)$$

※ 구간  $[a, b]$ 에서 연속함수  $h(t)$ 에 대해서 부등식  $\left| \int_a^b h(t) dt \right| \leq \int_a^b |h(t)| dt$  이 성립한다.

문제 2. 문제 1과 같은 상황에서 수학적 귀납법을 이용하여 0 이상의 모든 정수  $n$ 에 대하여

$$t \geq nT_1 \text{ 일 때, } |f(t)| \leq T_1^{n+1} M_1$$

임을 보여라.

문제 3. 약물의 효과를 알아보기 위해, 쥐에 특정한 약물을 투여하는 실험을 진행하였다.  $f(t)$ 를 시간  $t$ 에서 쥐의 특정 부위의 약물 농도라고 하자.  $0 < T_2 < 1$ 일 때 구간  $[-T_2, 0]$ 에서 연속인 농도함수  $g(t)$ 를 측정하고, 또한  $t > 0$ 일 때  $f(t)$ 의 변화에 관한 아래의 관계식을 세웠다.

$$f(t) = g(t) \quad (-T_2 \leq t \leq 0) \quad (3)$$

$$f(t) = - \int_{t-T_2}^t f(s) ds + g(0) + \int_{-T_2}^0 g(s) ds \quad (t \geq 0) \quad (4)$$

이 관계식들로부터 연속함수  $f(t)$ 가 시간이 지남에 따라 상수인 평형상태  $E_\infty$ 로 수렴한다고 가정하고  $E_\infty$ 를 추측해보자. 시간  $t$ 가 충분히 크면, 구간  $(t-T_2, t)$ 에서  $f(t)$ 가  $E_\infty$ 에 근접하므로 식 (4)로부터 아래 관계식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} E_\infty &\approx - \int_{t-T_2}^t E_\infty ds + g(0) + \int_{-T_2}^0 g(s) ds \\ &= -T_2 E_\infty + g(0) + \int_{-T_2}^0 g(s) ds \end{aligned}$$

이로부터  $E_\infty$ 을 아래와 같이 두고 실제로  $f(t)$ 가 이 값으로 수렴함을 보이고자 한다.

$$E_\infty = \frac{1}{1+T_2} \left\{ g(0) + \int_{-T_2}^0 g(s) ds \right\}$$

3-1. 구간  $[-T_2, 0]$ 에서 함수  $|g(t) - E_\infty|$ 의 최댓값을  $M_2$ 라고 하자.

$$t \geq nT_2 \text{일 때, } |f(t) - E_\infty| \leq T_2^{n+1} M_2$$

임을 보여라.

3-2.  $t$ 가 무한대로 감에 따라  $f(t)$ 가  $E_\infty$ 로 수렴함을 보여라.