

## 초등과학영재프로그램의 개발 방향

정 병 훈 (청주교육대학교 과학교육과)

### 1. 서론 : 과학 프로그램에 있어서 관찰과 이론의 문제

여러 가지 과학영재의 특성 중에서 교육적 효과에 의한 영향을 가장 많이 받을 수 있다고 판단되는 것은 '문제해결능력'이라고 할 수 있다. 학생들이 새로운 문제에 직면하였을 때, 그 문제를 해결하는데 직접적이건 간접적이건 가장 큰 도움을 줄 수 있는 것은 '과거의 경험'이다. 만일 그 경험이 계획적인 학습에 의해 실제 현실에서의 과학적 문제를 해결하도록 훈련된 것이라면, 시행착오에 의한 반복이나 우연한 사건에 의해 얻어진 것보다 훨씬 더 효과적일 것이다.

학생들이 마주치는 생활 속에서 과학적 문제의 모든 것들은 이미 역사적으로 반복되었던 것들이다. 이것은 적어도 그들의 인식 수준을 놓고 이야기하는 한 옳다고 할 수 있으며, 단지 그들은 그 반복의 역사를 의식하고 있지 못할 뿐이다. 심지어 전문적인 과학자들조차 역사적으로 경험하지 못하였던 새로운 영역에서 문제와 직면하였을 때, 그들은 문제 해결의 아이디어를 종종 과거에 선구자들이 이룩하였던 역사적 경험에서 찾기도 한다.

따라서 학생의 개념적 변화 과정은 종종 과학의 역사 속에서 이루어졌던 과학적 개념의 발전 과정을 되풀이하는 경향이 있다. 예컨대 학생들의 오개념 연구에 의해 알려진 바에 따르면 학생들의 운동에 관한 개념은 아리스토텔레스의 운동 이론으로부터 임피투스 이론에 이르기까지의 경로를 반복하는 경향이 있다는 점이다. 비록 그 경로가 완전히 일치하지 않고 또 학생들의 개념 체계가 완전한 과학적 논리구조를 지니고 있지 못하지만, 개념의 발전사에 대한 이해는 확실히 학생들 사고 체계의 변화에 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

따라서 만일 우리가 위대한 과학적 발견의 역사가들이 "관찰과 이론의 불일치"로부터 시

작하였고, 관찰의 결과를 그럴싸하게 설명할 수 있었던 원시적 수준의 초기 이론으로부터 끊임없는 수정의 과정을 거치면서 - 그것이 혁명적 전복에 의한 패러다임의 변화이든 이론의 누적적 발전에 의한 결과이든 - 이론이 현상을 정합성 있게 설명할 수 있는 내적 논리 구조를 지니도록 발전해 왔다는 사실을 알고 있다면, 우리가 교육을 통해 학생들에게 의도적으로 지도해야 할 것은 그들이 현상으로부터 이를 합리적으로 설명할 수 있는 이론적 구조를 완성하게 하는 것이다.

그러나 학습에 있어서 관찰이 먼저인가, 아니면 이론이 먼저인가를 결정하는 것은 다분히 교수전략적인 문제라고 할 수 있다. 왜냐하면 이미 알려진 바와 같이 이론에 의존하지 않는 관찰은 존재하지 않고 관찰 결과와 부합하지 않는 이론이란 존재할 수 없기 때문에, 근본적으로 관찰과 이론은 독립적으로 존재할 수는 없다. 그러나 종종 학교 수업에서, 심지어 영재교육이라고 부르는 프로그램에서도 탐구학습이라는 이름으로 관찰과 이론을 완전히 분리하여 학습하는 놀라운 일들이 벌어진다. 과학학습에서는 어떤 경우에도 학습자가 관찰한 것을 통하여 그들이 생각하는 것을 끌어내야 하며, 이론을 관찰 사실과 일치시켜야 한다. 다만 우리는 학생들의 인지적 발달 단계와 학습 목표에 따라, 관찰이나 이론의 어느 하나에 중점을 두어 수업을 구성하거나 이들 양자를 결합하여 학습 내용을 조직하여야 할 수 있다.

실제로 초등학생들이 구체적 조작기에 있다는 점을 감안한다면, 과학수업은 관찰이나 실험 활동을 중심으로 이루어지는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 또한 지식의 성격으로 본다면, 초등학교 학습에서는 이론적 지식보다는 사실에 관한 지식으로부터 시작해야 할 것이다. 그러나 비록 초등학생들이라고 하더라도 우리가 영재라는 대상을 두고 교육 프로그램을 구성한다면, 형식적 조작기로 이행할 수 있는, 혹은 형식적 조작 단계에 있는 프로그램을 수업에서 적용할 필요가 있다. 형식적 조작을 위한 가장 바람직한 프로그램은 문제해결에 있어서 조작적인 것이 아니라 사고력을 중심으로 이루어져야 한다는 것이다.

예컨대 관찰과 실험을 중심으로 한다고 하더라도, 관찰과 실험 결과를 종합하여 이론을 구성하는 능력과 학생들이 나름대로 세운 이론들에 대한 타당성을 검증하는 능력으로 이끌 수 있다. 만일 탐구 능력의 향상이라는 이유로 관찰 사실이나 실험 결과들을 단순히 서술하여 나열하거나 분류나 측정과 같은 몇 가지 탐구 요소만을 취급하는

것에 그치고 만다면, 그것은 수업의 효과를 충분히 거두지 못하게 될 것이다. 관찰과 실험의 목적은 현상을 설명하는데 있다. 관찰 사실과 실험의 결과로부터 현상에 작용하는 주요 변인들을 구분해 내고, 이들 사이의 인과적 관계를 논리적으로 구성하고 예측을 통해 이의 타당성을 검토하여야 한다. 따라서 관찰과 실험은 이러한 맥락 속에서 이루어져야 한다.

그러나 우리가 같은 지식을 취급한다고 하더라도 좀 더 자극적인 수업 구성을 통해 학생들에게 지적 충격을 주고, 학생들의 인지적 능력을 활성화할 수 있다. 일반적으로 다양한 매체를 이용하거나 활동 중심의 과학학습은 학생들에게 심리적 부담을 주지 않고 많은 흥미를 유발할 수 있다. 이것이 다분히 학생들로 하여금 학습에 대한 긴장을 완화하면서 무의식적으로 과학적 활동에 참여하도록 유도하는 것이라면, 위대한 발견의 역사적 사례를 재경험하게 하거나 극적인 시범실험을 이용한 수업은 정신적 긴장과 인지적 충격을 통해 효과를 극대화하는 것이다.

따라서 초등과학영재를 위한 프로그램은 인지 능력을 가속하기 위한 사고력을 중심으로 구성하되 구체적인 문제의 상황 속에서 과제를 주고, 초등학생이라는 점을 감안하여 흥미와 호기심, 지적 긴장을 유발하는 형태로 조직하는 것이 바람직 할 것이다.

## 2. 초등과학영재 프로그램의 유형과 개발

초등과학영재들에게 필요한 것은 가장 중요한 '창의력'과 '문제해결 능력'이겠지만, 그러나 이것을 위한 기반, 즉 지식과 기능에 대한 배경이 충분히 갖추어져 있어야 한다. 그리고 궁극적으로는 창의력과 문제해결 능력이 결합하여 현실의 문제를 해결하는 종합적 연구 능력으로 발전될 수 있어야 한다. 이를 위해 청주교대 영재교육센터에서 그동안 시범적으로 수행하여왔던 몇 가지 프로그램들을 사례로 프로그램의 유형을 다음과 같이 몇 가지 범주로 설정할 수 있다.

### 1) 기능적 훈련을 위한 프로그램

과제를 탐구적으로 수행하기 위해 기초적으로 갖추어야 할 기능적 요소는 초등학생들

에게 대단히 중요하다고 할 수 있다. 기능적 요소에는 실험과 관찰을 위한 기구의 조작, 실험을 위한 기구의 선택과 제작, 측정 기술 등이 있지만, 수리적, 논리적 판단을 효과적으로 수행하기 위한 어림(guesstimation), 데이터의 가공과 처리, 단위(units)나 표기 방식(notation)의 선택 등이 있다. 기능적 요소는 학생들에게 문제 해결을 위해 다분히 기술적인 방법을 제공해 주지만, 이것을 어떻게 선택하느냐에 따라 문제 해결의 방향과 노력이 크게 달라지며, 심지어 결론을 얻는데 결정적인 역할을 하기도 한다. 또한 기능적 요소는 문제의 결과를 직관적으로 판단하는데 큰 도움이 된다. 그러나 우리나라 학교 수업에서는 결과의 양적 크기를 판단할 수 있는 어림이나 데이터를 가공하는 능력, 효과적인 표기 방식의 선택 등에 관한 훈련을 전혀 하지 않는다.

① 실험의 조작적 기능 : 특별한 전문적 기구가 아닌 이상 기구의 조작이나 간단한 원리 등은 실험 상황에서 같이 다루어질 수 있다. 중요한 것은 측정 기술과 측정 데이터의 처리에 관한 능력이라고 하겠다. 측정 기술의 핵심은 정확하고도 오차를 줄일 수 있는 방법을 찾는 것이다. 예컨대 다음과 같은 사례를 들 수 있다.

〈사례 1〉

여러분 앞에는 추와 초시계, 실, 각도기가 놓여 있다. 이제 실에 추를 매달아 진자를 만들고 이것이 한번 왕복하는데 걸리는 시간을 측정하려고 한다. 이때 추가 한번 왕복하는데 걸리는 시간을 '주기'라고 한다.

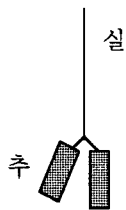
1. 추의 주기를 측정하는데는 다음과 같은 여러 가지 방법이 있다. 어떤 방법이 더 정확한지 다음과 같이 해본 후, 그 결과가 왜 서로 다른지 설명하고 어떤 방법에 의한 측정값을 가장 신뢰할 수 있는지 결정하여 그 이유를 써라.

- 1) 한번 왕복하는 시간을 잰다.
- 2) 시간을 정하고 주어진 시간에 왕복 횟수를 측정하여 주기를 구한다.
  - ① 10초간 왕복하는 횟수를 재어 주기를 구한다.
  - ② 1분간 왕복하는 횟수를 재어 주기를 구한다.
  - ③ 5분간 왕복하는 횟수를 재어 주기를 구한다.
- 3) 왕복 횟수를 정하고 시간을 측정하여 주기를 구한다.
  - ① 5번 왕복하는 시간을 재서 주기를 구한다.

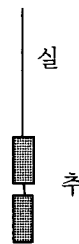
- ② 10번 왕복하는 시간을 재서 10회로 나눈다.
- ③ 50번 왕복하는 시간을 재서 50회로 나눈다.

2. 추의 무게는 똑같은데 추를 매는 방법에 따라 주기가 달라진다면, 여러분은 무엇이 잘못되었다고 생각하는가? 제시된 두 방법에 따른 주기를 비교해보고 무엇이 잘못된 방법이고 무엇이 옳은지 여러분의 의견을 써라.

방법 1



방법 2



② 데이터의 가공, 처리 : 같은 자료라고 하더라도 어떻게 가공하느냐에 따라 결과 해석에 결정적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 학생들은 데이터를 가공할 줄 아는 능력 뿐만 아니라, 어떤 방법으로 표현할 것인지에 대한 직관적 감각을 지니고 있어야 한다. 다음에 보는 예는 측정 결과를 꺾은선으로 표시하느냐, 막대 그래프로 표시하느냐에 따라 측정 결과를 판단하는데 큰 영향을 미치게 되는 것을 보인 것이다.

<사례 2>

석환이는 물의 양에 따라 물 로켓이 날아가는 거리가 얼마나 되는지 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 물 로켓 실험에 사용된 페트병의 총 부피는 1.5 리터(1500ml)이고 물 로켓이 발사될 때 공기펌프가 가해 준 페트병 안의 압력은 항상 5기압이었다. 또한 발사각도는 항상 45도를 유지하였고, 날아간 거리는 같은 물의 양에 대해 10번 측정하여 평균값을 내었다.

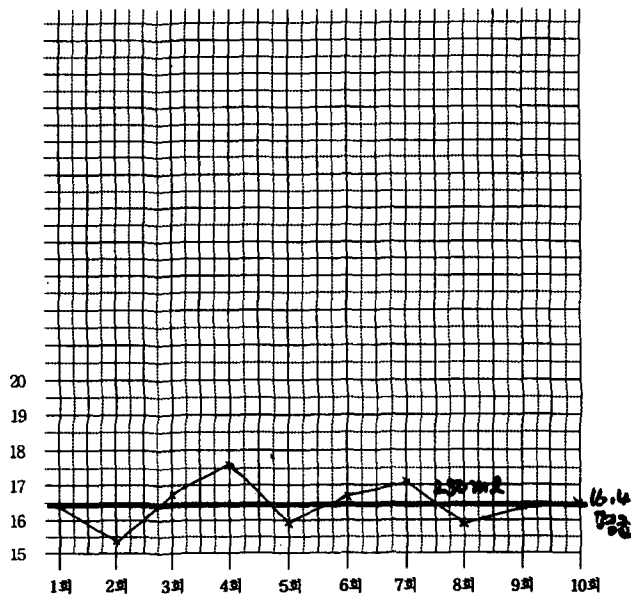
그런데 실험 결과에 따르면 물의 양에 따라 로켓이 날아간 거리가 서로 달랐다. 그러나 같은 물의 양이라고 하더라도 발사할 때마다 거리가 매번 조금씩 달랐기 때문에 한번 쏘아 얻은 거리만으로는 값을 정확하게 정하기 어려웠다. 따라서 석환이는 일정한 물의 양에 대해 날아갈 수 있는 거리로서 10번 반복 측정하여 얻은 값의 평균치를 대표값으로 사용하기로 하였다.

1) 석환이가 같은 물의 양에 대해 10번 측정한 거리의 평균값을 구하라. (측정한 높이의 단위는 m)

① 여기서 평균값은 소수 몇 자리까지 계산해야 올바른 계산이 되는가? 또 그 이유가 무엇인지 설명해 보자.

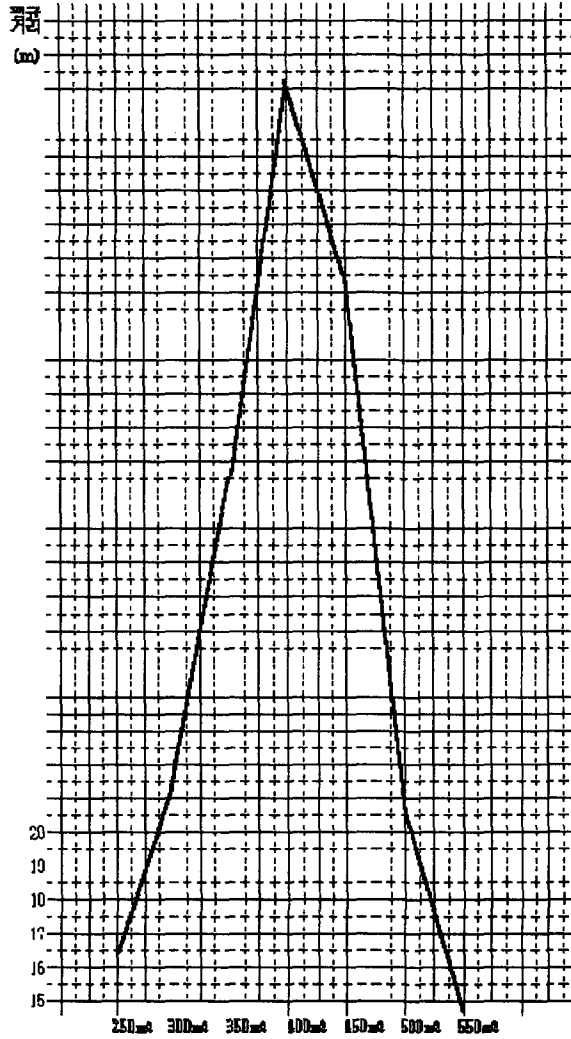
물 양	횟수										평균 거리
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	
250ml	16.4	15.3	16.7	17.6	15.9	16.7	17.1	15.8	16.3	16.5	16.4
300ml	20.3	22.0	21.5	20.2	20.8	22.7	21.5	22.0	21.0	20.6	21.3
350ml	30.7	31.5	32.8	29.4	29.0	30.4	32.0	28.8	29.8	30.6	30.5
400ml	41.4	40.6	42.2	41.7	41.8	43.7	42.5	41.6	43.3	42.9	42.2
450ml	35.7	37.1	36.5	36.4	35.9	37.3	36.6	36.8	36.1	36.5	36.5
500ml	19.8	19.7	20.6	20.4	21.2	20.5	20.2	20.5	20.8	21.3	20.5
550ml	15.5	15.2	14.5	13.7	13.8	14.2	14.8	13.5	13.6	13.3	14.2

② 모눈종이 위에다 가로축에는 발사 횟수, 세로축에는 거리를 선택하여 아래 그래프처럼 일정한 물의 양에 대해 횟수별로 거리를 표시하자.



- 물의 양이 얼마일 때 평균값에 대해 거리의 변화가 가장 컸는지 찾아보자. 또 매번 똑같이 나오지 않고 일정한 값을 중심으로 계속 다르게 나오는 이유가 무엇인지 생각해 보자.
- 위에서 한 바와 같이 측정값이 평균값 주위로 어떻게 퍼져있는가를 따지는 것을 무엇이라고 하는지 알아보자. 또 왜 그것을 아는 것이 필요한지 설명해 보자.

② 물의 양에 따라 날아간 평균 거리를 다음 페이지에 있는 모눈종이 위에 그래프로 그려라.



2) 여러분이 그린 그래프로부터 대략 물의 양이 얼마일 때 가장 멀리 날아갈 것이라고 추측할 수 있는가? 물 로켓을 가장 멀리 날려보낼 수 있는 대략적인 물의 양을 구하고, 그렇게 추측한 이유를 적어도 두 가지 써라.

③ 어림의 감각 : 어림은 문제의 결과를 직관적으로 판단하는데 중요한 길잡이가 된다. 예를 들어 어떤 복잡한 계산을 하였을 때, 정확한 숫자값을 구해내는 것보다 그 값의 크기(order of magnitude)를 먼저 정하는 것이 더 중요하다. 따라서 어떤 연

구자는 '어림'을 '추측(guess)'이라는 단어와 '계산(estimation)'이라는 단어를 합성하여 '짐작하여 계산한다'는 뜻으로 'guesstimation'이라는 용어를 쓰기도 한다. 학생들은 종종 계산을 할 때 무엇이든지 정확하게 수치를 얻어내려고 한다. 그러나 과학에서 중요한 것은 숫자값이 아니라, 그 값의 크기인 것이다. 예를 들어 아보가드로수가  $6 \times 10^{23}$ 이지만, 여기서 중요한 것은 6이라는 값보다는  $10^{23}$ 이라는 크기이다.

어림을 하는데 있어서 주어진 과제를 계산할 수 있는 수학적 관계식이 분명히 존재하는 경우도 있지만, 때로는 어림을 위해 수학적 모형을 스스로 고안해야 할 필요도 있다. 후자의 경우는 '현상의 수학적 모형화'라는 과정과 결합하여 문제를 제시할 수도 있다.

#### 〈사례 3〉

1. 30cm×30cm인 구리판을 가열했더니 구리판이 늘어났다. 구리판을 가열하면 온도가 1℃ 올라갈 때마다 구리판의 가로와 세로는 원래 길이에 대해  $17 \times 10^{-6}$ 의 비율로 각각 늘어난다. 구리판의 온도가 100℃ 더 높아지면 구리판의 면적은 얼마나 더 늘어나겠는가?

2. 다음 문제들을 해결해 보시오.

1) 사람의 머리털은 몇 개나 될 것인가? 여러분은 이를 계산하기 위한 방법을 제시하고 그 결과를 다른 학생들과 서로 비교해보시오

2) 혹은 사람 몸의 표면적을 구할 수 있는 간단한 방법을 제시하고, 이에 따라 여러분 몸의 표면적을 구해 보시오.

3) 크기가 10m×6m×3m인 실험실의 기온이 20℃, 상대습도는 70%, 기압은 1atm이다. 이 실험실 내에 들어있는 물의 양은 얼마나 되는가?

4) 사람이 평생 들여 마시는 공기의 입자수는 얼마나 될까?

5) 우주에 지구와 같은 지적 생명체가 존재할 수 있는 행성이 몇 개나 될 수 있을지 계산해 보시오.

## 2) 사고력 훈련을 위한 프로그램

여기서 사고력이란 문제 해결의 절차와 관련된 지적 능력을 의미한다. 따라서 사고력 훈련은 구체적인 개별 문제 상황 속에서 이루어져야 하는데, 모든 경우의 문제 상황을 모두 경험할 수 없기 때문에 대표적인 사례를 중심으로 이루어지는 것이 바람직하다. 여기서 문제 사례로서 역사적 발견의 재경험은 학생들이 개념이나 이론을 이해하



는데 매우 중요한 역할을 하며, 실질적인 문제 해결에도 큰 도움이 될 수 있다.

또한 사고력 훈련은 항상 '관찰과 이론'의 결합이라는 형태로 이루어져야 하는데, 이것은 사고실험(Gedankenexperimet)에서 보듯이 순수하게 논리적 사고에 의해 이론을 구성하거나 제안된 이론을 검증하는데 있어서도 마찬가지이다. 사고력 훈련을 위한 프로그램으로 여기서 제시할 수 있는 것은 두 가지가 있다. 하나는 관찰과 실험으로부터 그 현상을 설명할 수 있는 이론을 학생들 수준에서 제안하고, 그 이론의 타당성을 검증하거나 검증할 수 있는 관찰과 실험을 다시 제안하는 방식으로 진행하여 '관찰과 이론'의 상호작용을 이용하는 방식이 있다. 다른 하나는 현상의 가상적 상황을 설정하고 이 현상계에서 작용하는 변수들을 몇 가지로 단순화한 다음, 순수한 논리적인 절차를 통해 이론을 구성, 혹은 기존 이론의 타당성을 검증하는 방식이 있다. 전자로는 오래 전부터 청주교대에서 적용하여 왔던 '관찰과 실험을 통한 이론적 모형의 고안 훈련 프로그램'이 있으며, 후자로는 최근 청주교대 센터에서 개발 적용하고 있는 '사고실험' 프로그램이 있다.

① 관찰을 통한 이론적 모형의 고안 프로그램

이 프로그램은 그동안 몇 차례에 걸쳐 소개한 바 있다. 항상 강조되는 것은 이 프로그램을 통하여 학생들이 현상을 관찰하거나 간단한 실험으로부터 과학자 수준의 이론이나 지식을 제시하는 것을 기대하는 것이 아니라, 학생들 수준의 이론을 세우고 그것을 검증하도록 하는 것이다. 따라서 그 현상을 설명하기 위해 복잡하고도 초등학생의 수준을 넘는 이론을 도입할 필요가 없다. 그들이 비록 영재라고 하더라도 사고에 있어서 개념적 틀이 완성되어 있지 않는 한, 어차피 학생들에게는 그 이론이 피상적일 수밖에 없다.

〈사례 4〉 플라스틱 호스에서 나는 소리

1. 관찰 사항

- 1) 여러 가지 호스를 돌릴 때 나는 소리를 잘 듣는다.
- 2) 어떤 호스에서 어떤 특이한 소리가 나는지 관찰한다.
- 3) 소리가 다음 중 어떤 요인과 관계 있는지 관찰한다.

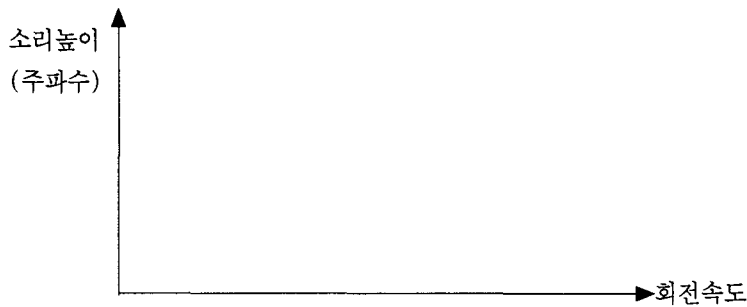
- ① 호스의 모양, ② 호스의 굵기, ③ 호스의 길이, ④ 호스의 회전 속도, ⑤ 호스의 색깔
- 4) 소리에는 어떤 특성과 규칙성이 있는지 관찰한다.

2. 실험 및 결과

1) 여러 가지 호스를 돌려보고 어떤 종류의 호스에서 어떤 소리가 나는지, 어떤 소리의 특성이 있는지 자세히 기록한다

- ① 세탁기용 호스:
- ② 주름잡힌 수도물 호스:
- ③ 주름 없는 수도물 호스:

2) 호스의 회전속도에 따라 소리가 어떻게 달라지는가? 호스를 돌리는 속도를 천천히 변화시킬 때 소리는 어떻게 달라지는가? 소리의 변화(높이)와 회전수의 관계를 그래프로 대략 그려보아라.



3) 호스의 길이에 따라 소리가 어떻게 달라지는가?

3. 가설과 추론

1) 호스에서 특이한 소리가 나는 원인이 무엇 때문이라고 생각하는가? 여러분의 생각을 입증하기 위한 실험은 무엇인가?

2) 소리의 높이가 길이에 따라서 달라지는가? 그 이유가 무엇인가? 자기 생각을 쓰고, 그 근거를 설명하라. 이것을 검증하기 위해 어떤 절차가 필요한가?

3) 소리의 높이가 회전수에 따라서 달라지는 이유가 무엇이라고 생각하는가? 자기 생각을 쓰고, 그 근거를 설명하라.

<사례 5> 편광판의 실험

【 실험 1 】

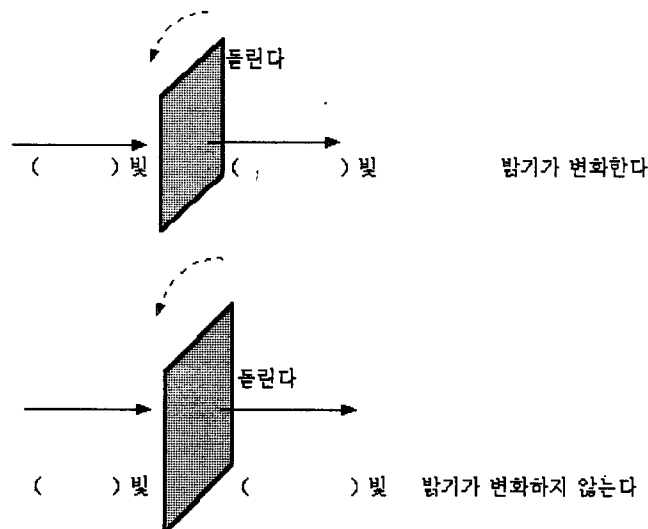
1. 조별로 받은 특별한 유리판을 2-3장을 가지고 밖으로 나가 실험해 본다. 이 특별한 유리판을 '요술판'이라고 부르자. 요술판을 돌리면서 요술 유리판을 통해 여러 물체에서 방출되는 빛(태양이나 전등)이나 반사되는 빛(구름, 유리판, 금속판 등)을 본다.

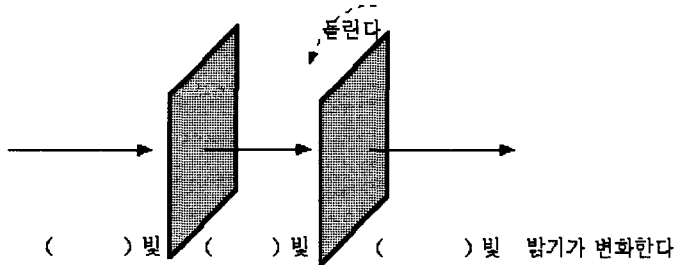
① 요술판을 돌리면서 볼 때 빛의 밝기가 변화하는 것이 있는가? 어떤 것이 변화하고 어떤 것을 변화하지 않는가?

- ② 어떤 경우에 변화하고 어떤 경우에 변화하지 않는가?
- ③ 밝기가 변화는 것과 변화하지 않는 물체나 빛의 공통점은 각각 무엇인가?
- ④ 방출되는 빛이나 반사되는 빛을 요술판을 돌리면서 요술판을 통해 볼 때 발견한 신기한 일에는 어떤 것들이 있는가?
- ⑤ 그냥 눈으로 보면 모두 같은 빛인데 요술판을 통해서 보면 밝기가 변화하는 다른 빛이 있다는 것을 알 수 있다. 빛의 어떤 성질 때문에, 그리고 요술판이 어떤 역할을 하기 때문에 이러한 현상이 생기는지 설명할 수 있는 그럴듯한 이론을 조별로 토론하여 만들어 보아라.

【 실험 2 】

1. 요술판 두 장을 겹친 후 한 장을 돌리면 빛의 밝기가 어떻게 달라지는지 관찰한다. 한바퀴 돌릴 때 몇 번 밝아지고 어두워지는가?
2. 겹친 요술판을 돌릴 때 빛이 밝아졌다 어두워지는 이유는 무엇 때문이라고 생각하는가? 여러분이 제안한 이론으로 설명해 보아라. 만일 설명이 잘 되지 않으면 여러분이 제안한 이론을 수정해 보아라.
3. 요술판 한 장으로 돌리면서 볼 때 어떤 빛은 빛의 밝기가 달라지지만, 요술판 두 장을 겹친 후 한 장을 돌리면 한 장으로 밝기가 달라지지 않았던 빛도 밝기가 달라진다는 것을 알 수 있다. 그러면 한 장만으로 돌리면서 볼 때 밝기가 달라지지 않았던 빛도 요술판을 통과하면 같은 성질을 지닌 빛이 된다고 할 수 있는가? 요술판으로도 밝기를 변하게 하지 않았던 빛을 '보통 빛'이라고 하고, 밝기를 변하게 하는 빛을 '요상한 빛', 밝기가 변한 빛을 '변덕스러운 빛'이라고 이름을 붙이자. 이런 방식으로 다음 그림에서 각 빛에 이름을 붙여보고 그 이유를 설명하라.





- ① 물리학에서는 '보통 빛'을 '편광(偏光)되지 않은 빛', '요상한 빛'을 '편광(偏光)된 빛'이라 부르고 있다. 그러면 어떤 빛이 요술판을 통과하였을 때 변덕스러운 빛'으로 되는가?
- ② 요술판을 물리학에서는 '편광판'이라고 말한다. 왜 편광판이라고 이름을 붙였겠는가? 여러분이 관찰한 것을 토대로 설명해 보아라.
- ③ '보통 빛'을 N, '요상한 빛'을 P, '변덕스러운 빛'을 C라고 하자. 여기에 요술판 f를 작용시키면 다음과 같은 결과가 나타난다. 이 결과로부터 N에 f가 작용하면 무엇이 되는지 추론하라.

알게 된 사실 :  $P \xrightarrow{f} C, \quad N \xrightarrow{f} \xrightarrow{f} C$

알고 싶은 내용 :  $N \xrightarrow{f} ?$

【 실험 3 】 시범실험

1. 컴퓨터 보안경에 스킨 테이프를 여러 방향으로 붙인 후 그 위에 다시 한 장을 올려놓고 돌려보면서 나타나는 현상을 관찰한다. 여기에는 어떤 규칙성이 있는가?

- ① 스킨 테이프를 보안경 아래에 붙여도 같은 현상이 생기는가?
- ② 보안경 사이에서 스킨 테이프가 어떤 역할을 했기 때문이라고 생각하는가?
- ③ 다음 각 단계 사이에 앞서 이름 붙인 빛을 써 보아라

· 보통 빛 → 스킨테이프 → 보안경(편광판) → 보안경(편광판) → ( ) 빛  
( ) 빛 ( ) 빛

· 보통 빛 → 보안경(편광판) → 스킨테이프 → 보안경(편광판) → ( ) 빛  
( ) 빛 ( ) 빛

2. 스킨 테이프는 '요상한 빛'을 어떻게 변화시키는가? 스킨 테이프가 변화시킨 '요상한 빛'도 여전히 '요상한 빛'인가? 스킨 테이프가 변화시킨 '요상한 빛'은 변화시키기 전의 '요상한 빛'과 어떻게 다른가?

3. 스카치 테이프는 '보통 빛'을 어떻게 변화시키는가? 스카치 테이프가 변화시킨 '보통 빛'은 여전히 '보통 빛'인가? 아니면 '요상한 빛'인가? 스카치 테이프가 변화시킨 빛은 변화시키기 전의 '보통 빛'과 어떻게 다르며, 만일 다르다면 이것을 어떻게 알아낼 수 있고, 같다면 어떻게 알아낼 수 있는가?
4. 여러 가지 투명한 물체를 편광판 사이에 넣고 위의 편광판을 돌려보면서 나타나는 현상을 관찰한다. 여러분이 관찰한 것을 기록하라.
  - ① 투명한 플라스틱 자.
  - ② 힘을 받은 아크릴 판
  - ③ 소금이나 설탕
  - ④ 잡아 늘린 비닐 장갑

【 실험 4 】 스카치 테이프 그래픽 만들기

1. 여러분이 관찰한 스카치 테이프의 성질을 잘 이용하여 아름다운 그림을 만들어 보자. 스카치 테이프를 여러 방향으로 오려 편광판 위에 붙여 그림을 만들고 그 위에 다시 편광판을 걸쳐 그 그림을 보면서 위의 편광판을 돌린다.
2. 누가 만든 그림이 가장 멋진가?

♠ 질문 ♠

1. 편광 현상이 왜 일어난다고 생각하는가? 특히 반사된 빛이 편광되어 있다는 것은 무엇 때문인가?
2. 구름은 편광되어 있는가? 그렇다면 왜 편광되는가? 모든 구름이 다 그렇지 않다면 어떤 경우에 편광되는가?
3. 편광 현상을 이용하면 편광판으로 반사된 빛을 제거할 수 있는가? 여기서 선글래스의 역할이 무엇이라고 생각하는가?
4. 편광현상을 이용하여 일상생활에서 활용할 수 있는 도구를 만들 수 있도록 여러 가지 좋은 생각을 제안해 보아라.

② 사고실험

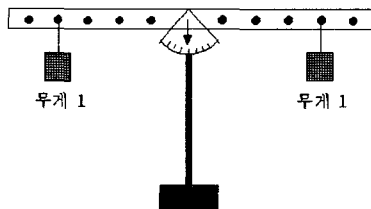
이미 마하 E. Mach가 언급하였듯이 “물리적인 실험 이외에도, 고도의 지적 단계까지 연장되어 이루어지는 또 다른 실험, 즉 사고실험(Gedankenexperiment)이 있다.” 과학자들은 어떤 상태를 가상하고, 이 상상을 어떤 특별한 결과를 기대하거나 추측하는 것과 연관짓는다. 이들은 일종의 상상의 경험을 하는 것이다. 그들의 상상이 사실을 훌륭하게 모사(模寫)하였기 때문에 복제된 사고가 실제에 아주 가깝게 접근해 있을 뿐만 아니라 물리적인 실제의 사실보다 상상을 더 쉽고도 간편하게 획득할 수 있

다. 사고실험이 여러 면에서 실험에 선행하기 때문에 실제 실험의 필요조건이 된다. 따라서 사고실험(思考實驗)이란 어떤 대상에 도구를 사용하여 조작하거나 관찰하여 이루어지는 실제의 실험이 아니라, 어떤 상황을 가상적으로 설정하고 순수하게 머리 속에서만 이루어지는 실험을 말한다. 이것은 어떤 이론이 옳은지 논리적으로 검토할 때 매우 유용하게 사용되는 방법으로서, 갈릴레이나 뉴턴, 아인슈타인과 같이 유명한 과학자들은 사고실험을 매우 자주 하였다.

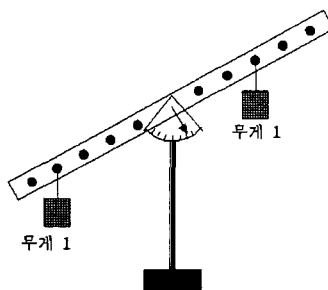
〈사례 6〉 아르키메데스의 저울

아르키메데스는 “어떻게 작은 힘이 큰 힘을 이길 수 있는가?”에 대해 관심을 가지고 있었다고 한다. 그는 「무게의 평형에 관하여」라는 자신의 책에서 양팔저울과 무게 중심에 대해 설명하였는데, 여기서 작은 힘이 큰 힘을 이길 수 있는 조건, 혹은 작은 힘이 큰 힘과 맞설 수 있는 조건에 대해 연구하였다. 그는 이를 증명하기 위해 다음과 같은 두 가지 가정에서 시작하였다.

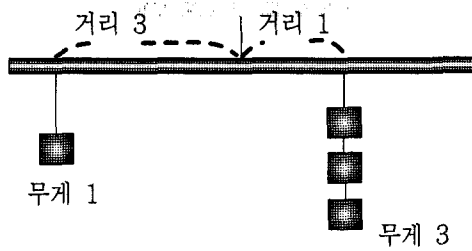
- ① 똑같은 무게의 물체가 받침점으로부터 똑같은 거리에 떨어져 있으면 물체는 서로 평형을 이룬다.



- ② 똑같은 무게의 물체가 받침점으로부터 같지 않은 거리에 있으면 평형을 이루지 못하며, 더 먼 거리에 있는 것이 아래로 내려간다.



그는 이 가정들로부터 다음과 같은 결론을 얻어냈다: "물체의 무게들이 중심으로부터의 거리에 반비례하면 비교되는 무게들은 서로 평형을 이룬다."



이 과정을 보면 아르키메데스는 무게가 같은 물체의 평형 조건으로부터 무게가 같지 않은 물체들의 평형 조건을 구한 것이라고 할 수 있다. 그가 얻은 결과는 저울의 양쪽에서 '무게 × 거리'의 값이 같아지는 지점이 평형을 이루는 지점이 된다. 즉 위의 그림 7에서 다음과 같은 식이 성립한다.

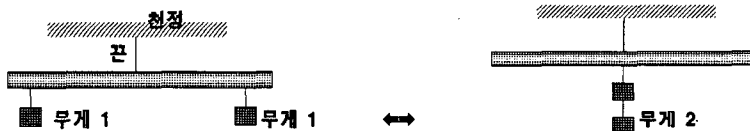
$$\text{'무게 1'} \times \text{'거리 3'} = \text{'무게 3'} \times \text{'거리 1'}$$

따라서 만일 '무게 3'이 '무게 1'의 세 배라면 '거리 3'은 '거리 1'의 세 배가 되어야 한다. 예를 들어 추가 각각 10kg과 30kg에 해당하는 무게를 지니고 있고, 10kg짜리 추가 중심에서 15cm인 지점에 있었다면 30cm짜리 추는 중심에서 5cm인 지점에 있어야 두 개의 추를 매달은 양팔저울은 수평을 유지하게 된다.

아르키메데스의 방법에 의한 증명

여러분은 학교에서 이 공식을 배워 문제를 풀 때 적용하고 있다. 그러나 이 공식이 어떻게 나왔는지는 아무도 가르쳐주지 않고 있다. 그러면 아르키메데스는 이것을 어떻게 증명하였을까? 그의 방법을 따라 증명해 보자.

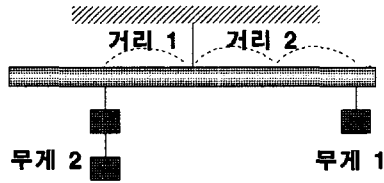
같은 무게로 된 추를 매달은 양팔저울이 수평을 이루고 있다고 하자. 양팔저울의 중심에는 받침대가 있기 때문에, 양팔저울 양끝에 달린 추의 무게를 받치고 있는 저울의 중심에는 두 배의 무게를 매달아 놓은 것과 같다.



따라서 저울의 중심에서 볼 때, 같은 거리에 있는 같은 무게의 추는 중심에 두 배 무게의 추가 매달려 있는 것과 같으며, 이 반대도 성립한다.  
 여기서 우리는 막대의 무게를 무시하며, 따라서 실제 양팔저울이 없이도 실험을 머리 속으로 해 볼 수 있기 때문에 순수하게 논리적으로 이루어지는 사고실험이라고 할 수 있다.

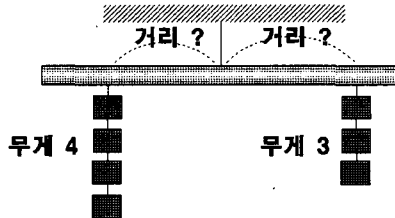
문제 1

무게 2인 추와 무게 1인 추가 양팔저울에서 서로 수평을 이루고 있다. (무게 2는 무게 1의 두 배가 되는 무게를 지니고 있다) 위의 방법을 이용하여 두 개의 추가 수평을 이루기 위해서는 거리의 비가 '거리 1' : '거리 2' = 1 : 2임을 증명하라.



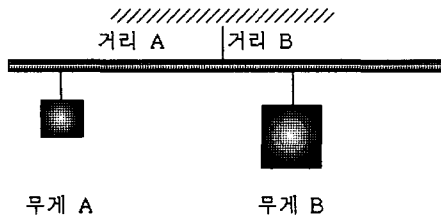
문제 2

같은 방식을 써서 무게 3과 무게 4가 수평을 이루는 거리의 관계를 구하여라.



문제 3.

만일 임의의 무게 A와 무게 B가 있다고 할 때, 이들이 수평을 이룰 조건을 같은 방법으로 구해 보아라.





문제 4.

무게 A와 무게 B가 거리 B와 거리 A인 곳에서 수평을 유지한다고 하자. 이제까지 결과를 볼 때, 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\text{무게 A} \times \text{거리 B} = \text{무게 B} \times \text{거리 A}$$

그러나 이것은 무게와 거리의 곱이 아니라 더하기를 하여도 양쪽이 서로 같은 값을 지닐 수 있는 것처럼 보인다. 즉 A가 2, B가 5라고 하자. 무게의 비가 2 : 5일 때 거리의 비는 5 : 2가 되므로 이들을 곱하거나 더해도 같은 값을 지닌다. 따라서 수평을 이루기 위해서는 다음과 같은 식도 성립한다고 주장할 수 있다.

$$\text{무게 A} + \text{거리 B} = \text{무게 B} + \text{거리 A}$$

이 식이 수평의 조건이 될 수 없다는 것을 설명해 보아라.

<사례 7> 낙하 운동에 관한 몇 가지 사고실험

#### 1. 낙하하는 물체의 운동에 대한 갈릴레이의 사고실험

갈릴레이는 낙하하는 물체에 대해 연구한 결과, “낙하하는 물체는 무게에 관계없이 똑같은 속력으로 떨어진다”는 결론을 얻었다. 이로부터 갈릴레이는 아리스토텔레스와 그의 지지자들이 주장하였던 “무거운 물체가 가벼운 물체보다 빨리 떨어진다”는 이론이 틀렸다는 것을 증명하였는데, 이것이 바로 그 유명한 ‘피사의 사탑’에서 물체의 낙하에 관한 이야기이다. 아리스토텔레스나 그의 지지자들은 떨어지는 물체의 낙하 속력이 물체의 무게에 비례한다고 주장하였다. 말하자면 무거운 물체일수록 더 빨리 떨어진다는 것으로서, 이들에 따르면 무게가 두 배이면 낙하 속도도 두 배가 되어야 한다는 것이다. 그런데 이 주장에 의심을 품고 있었던 사람들이 있었다. 갈릴레이 이전부터 일부 사람들은 일정한 높이에서 두 물체를 떨어뜨릴 때 두 물체가 떨어지는데 걸리는 시간의 비율은 두 물체의 무게의 비율과 무관하고 그 시간의 차이도 아주 작다는 것을 알고 있었다. 예를 들어 네덜란드의 스테빈이라는 사람은 무거운 물체가 가벼운 물체보다 더 빨리 떨어진다는 아리스토텔레스의 이론에 의심을 품고, 1586년 무게가 서로 10배 차이 나는 2개의 덩어리를 약 9m 높이에서 동시에 떨어뜨린 실험 보고서를 발표했다. 이 보고서는 거의 주목받지 못했지만, 중력에 관한 갈릴레오의 첫 논문보다 3년이나 앞섰고 낙하물체에 관한 갈릴레오의 이론 연구보다 18년이나 앞섰다.

실제로 높은 건물 위에서 무거운 벽돌과 가벼운 탁구공을 떨어뜨리면 벽돌이 먼저 떨어지지만 벽돌과 탁구공의 무게 비율만큼 벽돌이 더 빨리 떨어지지 않다는 것을 알 수 있다. 만일 벽돌 한 장과 벽돌 반장을 떨어뜨렸다면 그 차이는 작아질 수 있지만, 위치가 높을수록 떨어질 때 시간 차이가 더 있다. 그러나 어쨌든 실제로 낙하하면 무거운 것이 가벼운 것보다

비록 그 차이가 작더라도 먼저 떨어지게 된다.

갈릴레이도 이 사실을 잘 알고 있었다. “나는 다음과 같은 사실을 확인하였다. 200 엘레의 높이에서 동시에 떨어뜨렸을 때, 100 파운드나 200 파운드, 혹은 그보다 더 무거운 대포알이라고 하더라도 0.5 파운드의 총알과 비교하여 조금도 더 빨리 떨어지지 않았으며, 오차를 감안한다고 하더라도 땅에 떨어질 때 무거운 것이 가벼운 것보다 손가락 두 마디 이상 앞서지 못하였다”

따라서 갈릴레이는 열 배나 무거운 것이 가벼운 것보다 열 배 더 빨리 떨어지는 것은 아니지만, 실제로 실험을 하면 무거운 것이 가벼운 것보다 조금 더 빨리 떨어진다는 것을 이미 알고 있었다. 그래서 실험을 한다면 조금이라도 속력의 차이를 나기 때문에 무게에 관계없이 똑같이 떨어진다는 자신의 주장을 정확하게 입증시키기 어려웠을 것이다. 따라서 갈릴레이는 56m나 되는 피사의 탑 위에서 낙하 실험을 했다면 아리스토텔레스의 주장처럼 무게에 비례하여 낙하 속력을 지니는 것이 아니라는 점을 보일 수 있었겠지만, 정확하게 똑같이 떨어진다는 자신의 주장을 증명하지 못하였을 것이다. 따라서 낙하 속력이 무게와 무관하다는 것을 보이기 위해 갈릴레이가 피사의 탑에 정말 올라갔었느냐는 중요한 것이 아닐 수도 있다.

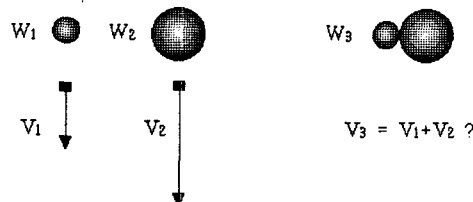
갈릴레이는 자신의 이론을 실제로는 사고실험을 통해 증명하였다. 여기서 우리의 관심은 그가 어떻게 증명을 했는가에 대한 것이다. 그러면 갈릴레이는 어떻게 증명을 하였을까?

문제 1.

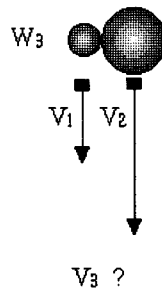
갈릴레이는 ‘만일 아리스토텔레스의 이론이 옳다면, 잘못된 어떤 결과가 나오게 되는가’를 찾아내려고 하였다. 말하자면 상대방의 주장에서 상대방이 잘못되었다는 것을 입증해내는 방식이라고 할 수 있다. 그가 한 논리의 전개를 살펴보자.

만일 아리스토텔레스의 주장이 옳다고 하자. 그에 의하면 무거운 것이 가벼운 것보다 더 빨리 떨어지게 된다. 가벼운 물체의 무게를  $W_1$ , 무거운 물체의 무게를  $W_2$ 라고 하고, 각각의 낙하 속력을  $V_1$ ,  $V_2$ 라고 하자. 이때  $W_1 < W_2$ 가 되고, 아리스토텔레스 이론에 따르면  $V_1 < V_2$ 가 된다.

① 무거운 것과 가벼운 것을 끈으로 꿰뚫어 묶어 보자. 그러면 묶은 것의 무게는  $W_3 = W_1 + W_2$ 가 된다. 이때 묶은 물체의 속력  $V_3$ 는 얼마나 되겠는가? 부등호를 이용하여  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ 의 크기와  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ 의 크기를 순서대로 나타내 보아라.



② 그러나 묶은 것이 낙하할 때, 무거운 부분과 가벼운 부분의 운동을 각각 나누어 생각해 보자. 가벼운  $W_1$ 은  $V_1$ 의 속력으로 천천히 떨어지려고 할 것이고, 무거운  $W_2$ 는  $V_2$ 의 속력으로 빨리 떨어지려고 할 것이다. 그렇다면 이것을 합친  $W_3$ 의 운동은 어떻게 되겠는가? 이것을 부등호를 이용하여 무게와 속력을 크기 순서대로 나타내 보아라.



- ③ 이상의 두 결과로부터 아리스토텔레스의 이론이 옳다면 어떤 결과가 발생하는지 설명하여라.
- ④ 여기서 발생한 모순을 해결하려면, 낙하 속력과 물체의 무게는 어떤 관계를 지녀야 하는지 설명하고, 이것을 증명하라.

## 2. 뉴턴의 낙하하는 달

낙하하는 돌의 속력은 무게와 무관하게 결정된다고 하였다. 따라서 큰 돌이건 작은 돌이건 낙하하는 속력은 모두 같다. 이제 돌이 점점 커지게 되어 달만한 크기가 되었다고 하자. 그리고 그것을 달이라고 하자. 실제로 달도 여러 돌 조각들을 합친 것이기 때문에 우리의 가정에는 아무런 문제가 없다.

그러면 달도 지구를 향해 낙하하는가? 또 지구로부터 달까지 거리와 같은 거리에 작은 돌이 있다고 할 때, 그 돌이 지구로 낙하하는 것과 같은 속력으로 달도 지구를 향해 낙하하게 되는가? 만일 달이 지구를 향해 낙하하여 지구와 충돌하지 않는다면, 그 이유는 무엇일까? 실제로 뉴턴은 밤하늘의 달을 보고 이것을 매일같이 낙하하는 달이라고 말하였다. 달이 지구를 향해 낙하하고 있음에도 달이 지구와 충돌하지 않는 이유를 설명해 보자.

## 3. 지구만한 돌의 낙하

이제 돌이 점점 더 커져서 지구만한 크기가 되었다고 하자. 그러면 이 큰 돌도 지구를 향해 낙하하게 되는가? 지구와 똑같은 질량을 지녔다면 지구도 지구만큼 큰 돌을 향해 낙하하지 않을까? 이 경우 무엇이 무엇을 끌어당긴다고 할 수 있는가? 지구가 지구만큼 큰 돌을 끌어당기는가? 아니면 지구만큼 큰 돌이 지구를 끌어당기는 것일까? 혹은 서로 끌어당기는 것일까? 어떤 것이 논리적으로 합당해 보이는가?

만일 지구와 지구만큼 큰 돌이 서로 끌어당기는 것이라면, 왜 작은 돌이 낙하할 때는 지구가 작은 돌을 향해 낙하하지 않는 것처럼 보일까?

〈사례 8〉 자석을 이용한 사고실험

문제 1.

아무런 극 표시가 없는 막대자석과 똑같이 생긴 쇠막대가 각각 하나씩 있다. 겉모양만으로는 어느 것이 자석이고 어느 것이 쇠막대인지 구별할 수 없다. 막대자석을 쇠막대에 가까이 해 보자. 무엇이 무엇을 끌어당기는지 실험을 해보자. 이것은 실제로 쇠막대와 막대자석을 이용하여 실험을 하여도 좋고, 순수하게 우리의 경험과 직관에 따라 사고실험을 해도 좋다.

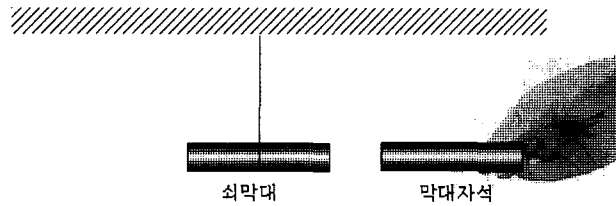


막대자석

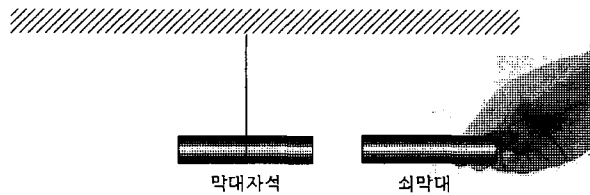


쇠막대

① 쇠막대를 실에 매달아 놓은 다음, 막대자석을 손에 쥐고 쇠막대에 가까이 해보자. 무엇이 무엇을 끌어당기는가?



② 이번에는 막대자석을 실에 매달아 놓은 다음, 쇠막대를 손에 쥐고 막대자석에 가까이 해 보자. 무엇이 무엇을 끌어당기는가?



③ 이 결과로부터 결론을 내려보자. 자석이 쇠막대를 일방적으로 끌어당기는가, 아니면 자석과 쇠막대가 서로 끌어당긴다고 할 수 있는가?

문제 2.

같은 크기와 모양의 쇠막대와 막대자석이 있을 때, 어느 것이 자석이고, 어느 것이 쇠막대인지 어떻게 알 수 있을까? 오직 쇠막대와 막대자석만을 이용하여 이것을 구분하고, 그렇게 구분될 있는 이유를 설명하라.

문제 3.

이제 극 표시가 없는 똑같은 모양과 크기의 막대자석이 두 개 있다. 항상 서로 끌어당기는 쇠막대와는 달리 막대자석 두 개를 서로 가까이 하면 막대자석끼리는 끌어당기거나 밀어낸다. 그러나 자석에는 극 표시가 없기 때문에 같은 극끼리 밀어내는지, 서로 잡아당기는지 알 수 없다. 여러분은 막대자석을 두 개나 혹은 그 이상, 또는 다른 방법을 이용하여 같은 극끼리 서로 밀어낸다는 것을 어떻게 증명할 수 있는지 논리적으로 설명해 보아라. 그리고 이것을 증명할 수 있는 가능한 방법들에는 어떤 것들이 있는지 제시해 보아라.

문제 4.

자석과 자석 사이에는 밀거나 끌어당기는 힘이 작용하지만, 쇠막대와 자석 사이에는 항상 끌어당기는 힘만 존재한다. 그러나 쇠막대 사이에는 아무런 힘이 작용하지 않는다.

자석 - 자석	: 밀거나 끌어당긴다
자석 - 쇠막대	: 항상 끌어당긴다
쇠막대 - 쇠막대	: 아무런 힘이 작용하지 않는다

여러분은 위의 관찰 결과만을 이용하여 자석과 쇠막대 사이에 어째서 항상 끌어당기는 힘만 작용하게 되는지 추론할 수 있겠는가? 또 여러분의 추론이 옳다는 것을 입증할 수 있는 실제 실험을 제안해 보아라.

### 3) 종합적 연구 활동을 통한 문제해결력 훈련

이러한 프로그램의 대표적인 사례로서 이미 여러 차례에 걸쳐 소개한 바 있고 금년부터 과학재단과 한국영재학회 주최로 국내 대회가 열리기 시작한 IYPT(국제청소년물리학자토너먼트 International Young Physicists' Tournament: 국내 명칭은 청소년물리공동탐구토론대회)가 있으며, 좀 더 역사적인 과제를 중심으로 이루어지는 서울대 박승재 교수의 '과학문화탐방 프로그램'이 있다. 이들 프로그램 모두는 과학적 연구활동 자체라고 할 수 있으며, 대부분 장기간에 걸친 공동의 탐구 활동에 의해 해결될 수 있다.

① 청소년물리공동탐구토론대회(IYPT)

출전 자격은 고등학생들이며, 문제는 개방적이고 수준이 매우 높다. 따라서 이러한

문제를 해결하기 위해 학생들에게 요구되는 능력은 연구 활동을 위해 필요한 모든 것이 된다.

- ① 과학이나 인접분야에 대한 깊은 이론적 배경
- ② 풍부한 상상력과 직관
- ③ 상상력을 전개하고 논증할 수 있는 수리적이고도 논리적인 사고력
- ④ 가설설정과 변수의 결정, 정보의 취사선택과 근사화 과정, 계산된 해에 대한 의미 판단 등에 대한 종합적 판단결정능력
- ⑤ 해의 타당성을 검증하기 위하여 실제로 제작하거나 실험해 보이는 능력
- ⑥ 자신의 주장을 논리적으로 전개하고 상대방의 논지를 반박할 수 있는 커뮤니케이션 능력 및 토론을 영어로 진행할 수 있는 언어적 능력

<사례 9> IYPT에서 출제되었던 문제들의 예

1. 모기가 날아 갈 수 있는 최대고도는 얼마인가?
2. 150여년전 파라데이는 영구자석과 유사하게 정전기로 구성된 전기석을 고안하였다. 전기석을 만들고 그 성질을 논하라.
3. 하늘에 동시에 세개 이상 무지개가 존재할 수 있을까? 그렇게 되기 위한 조건은 어떤 것인가?
4. 잔디밭에 물을 뿌리는 기계는 물이 분출되는 반대방향으로 날개가 회전한다. 만일 이 기계가 반대로 물속에서 물을 빨아들인다면 어느 방향으로 회전하겠는가?
5. 공기 중에서 음파의 파동적 성질과 음파의 진행을 보일 수 있는 도구를 고안하라
6. 어떤 높이에서 동전의 앞면을 위로 하여 떨어뜨렸을 때, 동전의 앞면 또는 뒷면으로 떨어질 확률이 같을까?
7. A4 용지(80g/m<sup>2</sup>)로 비행기를 만들어라. 가능한 한 멀리 또는 오래 날게 만들어라. 이 비행기가 왜 그 이상 더 멀리, 더 오래 날 수 없는지 그 이유를 설명하라.
8. 암모니아 질산염과 물을 .5대 1의 비율로 혼합하라. 혼합물을 약 100℃까지 가열하면 그것은 용해된다. 그것을 냉각시키면 결정이 되는데, 당신은 표면 아래에서 이상한 운동을 관찰할 수 있을 것이다. 그 현상을 조사하여 설명하라. (안전규칙: 물이 없는 암모니아 질산염을 가열하지 말고 가급적이면 물을 적셔 사용하라! 실험하는 동안 보안경을 사용하라.)
9. 바늘이 가는 철사에 매달려 있다. 자석을 가까이 했을 때 바늘은 끌릴 것이다. 만일 바늘을 가열한다면 바늘은 원래 자리로 되돌아갈 것이다. 잠시 후에 바늘은 다시 끌릴 것이

- 다. 이 현상을 조사하고, 그 특성을 서술하며 관련된 변수를 결정하라.
10. 밀밭에 부는 바람은 파도를 만든다. 파도가 생기는 메카니즘을 서술하고 파장을 결정하는 변수가 무엇인지 논의하라.
  11. 물의 표면 장력 계수를 측정하려고 한다. 물과 접촉하지 않고 측정할 수 있는 방법을 제시하고, 방법의 정밀도를 평가하라.
  12. 한 학생이 돌을 던져서 가능한 멀리 도달하게 하고 싶다. 이 학생이 사용해야 할 가장 최적의 무게를 찾아라.

이러한 문제들은 실제로 초등학생들에게는 매우 어려운 과제라고 할 수 있다. 현재 청주교대에서는 이러한 개방적 프로그램을 초등학교 수준에서 수행할 수 있도록 개발 중에 있다.

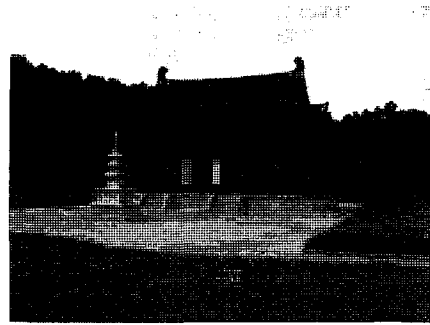
## ② 과학문화탐방

이 프로그램은 역사적이고도 문화적인 상황 속에서 과학적 탐구 활동의 주제를 찾아내고, 이를 통해 전통과학과 문화 유산의 우수성을 이해함과 동시에 과학적 문제해결 능력을 배양하는데 있다. 주제와 다루는 내용들은 과학에만 한정되는 것이 아니기 때문에 대단히 넓은 통합적 사고력과 지식이 요구되며, 문화 전반에 관련된 과제들을 조직하여 학생들로 하여금 과학적 탐구 능력을 보편적으로 적용할 수 있는 기회를 제공한다. 반면 문화적 주제로부터 과학적 세부 주제들을 발굴하는 것이 쉽지 않으며, 개발에 상당히 많은 시간이 소요된다는 사실과 개발자 자신이 대단히 폭넓은 지식을 소유해야 한다는 문제점을 지니고 있다. 그러나 일단 개발이 되면, 학생들이 실험실이나 강의실이라는 영역을 벗어나 생활 주변에서 탐구활동을 할 수 있는 소재를 찾을 수 있다는 점에서 센터의 보조적 프로그램으로 큰 역할을 할 수 있다. 이미 개발된 프로그램으로는 '수원 화성 탐방', '영릉 탐방', '청주 고인쇄 박물관 탐방' 등이 있다.

<사례 11> 고인쇄박물관과 탐방 워크시트

1. '홍덕사지'에서

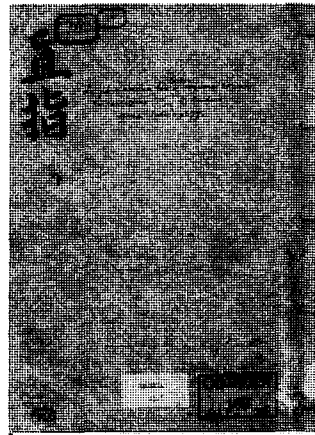
- ① 절이 어떤 이유로 사라졌는지 어떻게 알 수 있을까? 만일 화재로 소실되었거나 토사에 매몰되었다고 하자. 그것을 어떻게 입증할 수 있을까?
- ② 유적이거나 유물들이 발굴되기도 전에 대부분 공사에 의해 훼손된다. 경제적 발전이 우선인가, 아니면 유적 보존이 먼저인가?
- ④ 서양의 교회와 달리 동양의 사찰에서는 서적을 인쇄, 보급하는 기능까지 담당하였다. 여러분은



종교적 교화를 목적으로 하는 교회와 사찰에서 정보 전달의 기능이 왜 이렇게 달랐는지에 대한 이유를 설명할 수 있겠는가? 그것은 종교적 관점의 차이 때문인가, 아니면 사회문화적 조건의 차이 때문인가?

2. '직지와 홍덕사실'에서

- ① 「직지」가 금속활자본인지 어떻게 알 수 있나? 금속활자로 인쇄했다는 기록 이외에 금속활자 인쇄라는 것을 구별할 수 있는 방법이 있을까?
- ② 현재 「직지」는 금속활자본과 목판본, 필사본 등 세 가지 종류가 존재한다. 특히 목판본과 필사본은 금속활자본보다 나중에 만들어진 것으로서, 연대로 본다면 금속활자본(1377년)→목판본(1378년)→필사본(17세기 이후)의 순서가 된다. 이것은 기술의 발전 단계로 볼 때 인쇄술의 퇴보를 의미하는 것처럼 보인다. 여러분은 이 이유를 어떻게 설명할 수 있으며, 이 주장을 어떻게 반증할 수 있는지 제안해 보라.

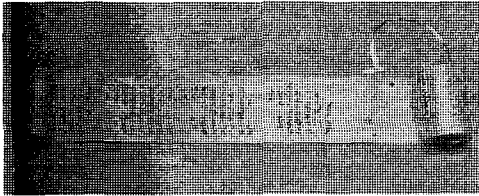


3. '직지 금속활자 공방'에서

「직지」를 면밀하게 조사한 결과 다음과 같은 사실을 알게 되었다. 각각의 사실에 대해, 필사, 목판인쇄, 나무활자, 금속활자의 가능성을 ○, ×로 표시하라. 또 금속활자로 판단되는 경우라도 동일 모양의 같은 활자를 주조하였는지(주물사 주조법), 아니면 같은 활자의 모양이 서로 다르게 주조되었는지(밀랍 주조법)에 대한 가능성도 표시하라. 여러분의 결론은 무엇인가?



판단의 범주 알게 된 사실	필사	목판인쇄	활자인쇄		
			나무활자	금속활자	
				밀랍주조	주물사 주조
① 한 쪽에서 같은 글자가 여러 번 사용되었으나, 글자의 모양은 서로 달랐다.					
② 같은 모양의 같은 글자가 다른 쪽에서 다시 사용되었는데 많은 경우 15번까지 사용되었다.					
③ 거꾸로 사용된 글자 있었다.					
④ 글자에 기포나 반점이 나타났다.					
⑤ 글자의 잘린 방향이 여러 방향이었다.					
⑥ 찌그러진 글자가 있었다.					
⑦ 글자마다 농도의 차이가 심하다.					



4. '삼국시대' 및 '고려시대'에서 : 무구정광다라니경 논쟁  
 불국사의 석가탑에서 발견된 무구정광대다라니경이 중국에서 인쇄되어 한국으로 들어왔을 것이라는 주장과 한국에서 인쇄되었을 것이라는 주장을 들어보고, 그 타당성을 판단해 보자.

1) 중국 측 주장

- ① 당시 당나라 측천무후의 재위 시기에만 사용하던 한자(무주제자)가 있다.
- ② 여러 기록에 따르면 중국에는 적어도 8세기 초에 목판인쇄물이 있었다.
- ③ 다라니경을 제외한 한국의 목판인쇄물은 300년 후에 다시 나타난다.
- ④ 당시 신라에는 당나라의 승려와 장인들이 많이 활동하고 있었고, 이들이 불국사 건립에 참여하였다.

2) 한국 측 주장

- ① 무주제자는 중국뿐만 한국에서도 여러 번 사용했다는 증거들이 있다.
- ② 측천무후 시기에만 사용했던 역법을 신라에서도 사용한 바 있었다.

- ③ 종이의 성분이 중국과 달리 일본과 한국에서만 사용하던 것이다.
- ④ 706년 세운 신라 석탑 사리함의 글자와 다라니경의 글자를 중첩시켜 본 결과 필체가 일치하기 때문에 신라에서 같은 사람이 쓴 글씨라고 할 수 있다.

5. '조선시대'에서

사진의 두 글자는 서로 다른 활자로 인쇄된 것이다. 어느 것이 나무활자이고 어떤 것이 금속활자인가? 그렇게 판단한 이유를 표에서 찾아 제시하라.



	금속활자본	나무활자본
글자모양	같은 글자는 모양이 같다	같은 글자라도 모양이 다르다
글자획	획의 굵기가 고르다	굵기의 차이가 심하다
마모	글자획이 떨어지지 않는다	나무결이 나타난다.
먹의 색과 특징	기름먹이므로 흐리다	진하다
	반점이 나타난다	빈점이 나타난다
기타	글자 끝이 둥글다	칼자국이 예리하다

6. 정보 작업량의 비교

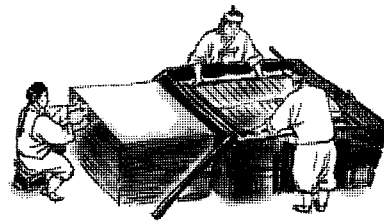
만일 R가지 종류의 책을 각각 N권씩 만든다고 하자. 필사와 목판 인쇄, 활자 인쇄 사이의 정보 작업량을 비교해 보자. 기본 글자수는  $n_0$  이고, 종류마다 책 한 권에 담긴 총 글자수는  $n$ 으로 모두 같고, 글자 사이의 빈칸은 없다고 가정한다.

- ① 필사의 경우 정보엔트로피의 크기가  $I_h = NR - \frac{n}{n_0} \log_2 n_0$  임을 증명하라. 이때 필사하는 정보의 양은 책 내용의 동일성에 관계하는가?
- ② 목판 인쇄의 경우 정보량이  $I_x = R - \frac{n}{n_0} \log_2 n_0 = \frac{I_h}{N}$  임을 증명하라.
- ③ 활자 인쇄는 글자의 중복률과 관계 있다. 만일 글자의 평균 중복률이  $\alpha$ 로 모든 글자에 대해서 같다고 가정한다면,  $I_t = R - \frac{n}{n_0} (1 - \alpha) \log_2 n_0 = I_x(1 - \alpha)$  임을 증명하라.
- ④ 정보화의 상대적 작업량을 각각 비교하면  $I_h : I_x : I_t = N : 1 : (1 - \alpha)$ 가 된다.
  - 종류마다 만일 한 권씩만 작업한다면, 즉  $N = 1$ 이라면 어떻게 되겠는가?
  - 한 두 문장으로 된 간단한 정보를 한 번 복제하려고 할 때, 한자의 경우 문자 중복률  $\alpha$ 는 0에 가깝다. 이때 이들 사이의 차이점이 존재하는가?

- 목판 인쇄와 활자 인쇄 사이에서 유리한 선택의 경계를 정한다면 대략 총 글자의 수  $n$ 이 얼마나 되어야 한다고 생각하는가? 이것을  $\alpha$ 와  $n_0$ 로 표시해 보자. 대소영문자는 모두 52자, 한글 완성형 코드는 2350자, 한자는 3만자 이상이라고 할 때 경제값을 구해 보자.
- $N$ 과  $R$ 이 매우 크다고 하자. 이 경우  $\alpha$ 값은 문자의 종류마다 일정한 값으로 수렴한다. 영문과 한글, 한자  $\alpha$ 값의 상대적 크기는 어떻게 되는가? 이때 어떤 방법이 유리한가?

7. 그밖에

닥나무 원목 5kg으로 한지 200g을 만들 수 있다고 한다.



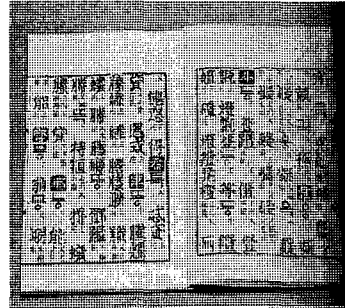
- ① 원료로부터 원하는 물질을 최종적으로 얻었을 때 원료의 양과 얻은 물질의 양 사이의 비율을 수율(收率 yield)라고 한다. 한지의 수율은 얼마나 되는가?
- ② 일반적으로 사용하는 A4 크기의 복사지는 면적당 무게(평량 density)가 70-80g/m<sup>2</sup>이다. 닥나무 5kg으로부터 평량이 70g/m<sup>2</sup>인 A4 크기의 한지를 몇 장이나 만들 수 있는가?
- ③ 여러분이 일년에 사용하는 종이는 A4 크기로 몇 장이나 되는가? 한국에서 한 사람이 일년간 사용하는 종이는 114kg이나 된다. 이것을 평량 70g/m<sup>2</sup>인 A4 종으로 환산하면 몇 장이나 되는가?
- ④ 지적소유권? : '직지'에 의하면 백운화상이 중국 석옥선사로부터 '불조직지심체요절' 1권을 받아, 이를 다시 2권으로 '초록', '증보', '집략'하여 같은 이름으로 '불조직지심체요절'을 집필하였다고 한다. 그러나 오늘날 전하는 '직지'와 이에 관한 기록은 백운화상의 것만 존재한다. 여러분은 '직지'의 실제 저자를 누구라고 하는 것이 바람직한가? 이 경우 현대적 의미에서 지적소유권과 저작권은 누구에게 있다고 생각하며, 그 이유는 무엇인가?
- ⑤ 기록물의 수명 : 유네스코가 정하는 세계기록유산이란 무엇을 말하는 것인가? 어떤 형태로든 기록된 모든 정보는 영원히 보존될 수 있는가? 정보를 정확히 기록하고 오랫동안 보존하기 위한 방법에는 어떤 것들이 있으며, 이들이 견딜 수 있는 수명은 최대 얼마나 되는지 조사해 보자. 기록매체로서 바위나 돌, 종이, 양피지, 자기적 기록물(HDD나 FDD, 비디오 테이프와 녹음테이프), 광학적 기록물(CDROM), 사진과 같은 영상자료 등을 생각해 보자. 또 정보를 기록하여 영원히 보존할 수 있는 방법은 무엇인가?

8. 정리하기

- ① 왜 한국에서 금속활자가 먼저 발명되었는가?  
한자는 알파벳보다 금속활자 인쇄술에 적합하지 않다. 그럼에도 불구하고 왜 동양에서, 그것도 한국에서 금속활자가 서양보다 더 먼저 발명되었을까? 그것은 사회문화적 필요성 때문일까, 아니면 기술적 능력이 더 우수했기 때문일까?

② 이슬람 문화권에서는 왜 고인쇄술이 발전하지 않았을까?

동서양을 연결하는 이슬람 문화권은 과학기술의 역사에서 매우 중요한 역할을 해왔고, 실제로 상당히 많은 서양의 과학기술은 이슬람 문화로부터 전해진 것이다. 그러나 인쇄술에 대해서는 이슬람 문화가 기여한 바를 거의 찾을 수 없다. 이슬람 문화에서는 왜 인쇄술이 발전하지 못했을까? 그것은 문화적, 언어적 문제일까, 아니면 종교적 문제일까?



### 3. 프로그램 개발의 전망

이상과 같이 언급한 프로그램의 유형들 중에서 현재 청주교대에서는 '사고실험'과 '과학동탐구', '고인쇄 박물관 탐방' 프로그램의 초등학생용과 중학생용 버전을 개발하고 있다. 과학영재센터에서 어떤 특성을 지니는 하나의 프로그램을 개발하는데는 실제로 많은 시간과 노력, 재정이 소요된다. 경우에 따라 수년간 점진적으로 연구 → 개발 → 적용 → 수정 → 적용... 의 단계를 거치기도 하는데, 교육을 중심으로 운영하는 센터에서 이러한 연구 개발을 장기적으로 지원할 수 있는 여건은 그다지 좋은 편이 아니다.

개발될 수 있는 과학 프로그램들은 형식에 따라 모듈식과 교과서식으로 나눌 수 있다. 청주교대센터에서 현재 개발된, 그리고 개발되고 있는 프로그램들은 초기에 단편적인 주제들을 중심으로 만들어졌기 때문에, 프로그램 자체가 일종의 모듈화 되어 있었다. 모듈식 프로그램은 강한 흥미를 이끌 수 있는 주제를 중심으로 만드는 경우가 많기 때문에 학생들의 관심을 쉽게 집중시킬 수 있고, 단기간에 단위 프로그램의 완성도를 높일 수 있기 때문에 짧은 개발 기간동안 학생 교육에 적절히 이용될 수 있었다. 그러나 프로그램들 사이에 독립성이 강해서 장기간에 걸쳐 일관성 있는 개념의 발전이 어렵고, 같은 주제라고 하더라도 초중등에 따라 수준별로 별도의 프로그램을 만들어야 하는 문제점이 있다.

한편 기존의 과학 교과서들, 예컨대 물리학 교과서를 보면 역학, 전자기 등과 같은 물리학의 기본 영역들을 초중고 및 대학의 수준에 따라 내용을 간추리고 이에 상응하는 예제들로 구성하여 같은 영역의 주제들이 상급학교로 올라가면서 반복하는 구조로

되어 있다. 여기에는 나선형 교육과정의 원리가 적용되지만, 학생들의 사고력 수준에 따라 일관된 개념과 이론 체계의 습득이 어렵게 되어 있다. 그렇기 때문에 대부분의 경우 영재아나 과학 우수아들에게 속진이라는 이름으로 상위의 교육과정을 제공하는 것이 일반적이다. 실제로 과학적 탐구능력과 사고력은 지식의 수준에 크게 관계하기 때문에, 아무리 뛰어난 영재라고 하더라도 지식과 개념이 존재하지 않으면, 현상을 피상적으로 이해할 수밖에 없기 때문에 영재 학생들을 위해 적절한 고급의 지식을 강의해야 할 필요도 있다.

그러나 청주교대 센터에서는 다른 방식의 프로그램을 개발하고 있다. 즉 하나의 과학에서 한 세부 영역을 초등학교 수준에서 대학생 수준에 이르기까지, 기초적 개념으로부터 고급의 이론과 개념에 이르기까지 학생들이 스스로 사고를 전개해 나가면서 자기발견적으로(heuristic) 문제를 해결해 나가는 방식이다. 모든 이론과 개념들은 이미 자명하게 알고 있는 지식과 경험으로부터 시작하여 스스로 찾아 나아갈 수 있도록 구성하였다. 여기에는 간단한 실험과 관찰이 사고실험과 병행하면서 ‘관찰 및 실험’ → ‘현상을 설명하는 이론의 구성’ → ‘사고실험’ → ‘개념의 발전’ 등의 단계를 거치도록 하였다. 그동안 센터에서 시범적으로 개발된 것에는 교육개발원에서 발간된 「초등과학영재교육자료 : 아는 것이 힘이다」가 있다. 이것은 물리학의 역학 분야 중에서도 정역학(statics)와 운동학(kinetics)에 해당하는 분야를 초등학교에서 고등학교 수준에 이르기까지 개념을 자유롭게 발전시킬 수 있도록 구성한 것이다. 항상 시작은 이미 알고 있는 지식과 경험으로부터 시작하여 논증과 실험을 통해 상위의 개념이나 이론으로 발전할 수 있도록 하였다 :

“여러 분야 중에서 왜 하필이면 이 분야를 선택했는가에 대한 의문은 단순히 우선 순위의 문제로 환원된다. 즉 역학은 일상 생활과 가장 밀접하게 연결되어 있으면서도, 바로 이 경험적 현실 때문에 그 경험을 넘어서는 이론의 구성이 대단히 어려웠던 분야였기 때문이다. 역학이야말로 인류의 지적 진보에 있어서 대단히 중요했던 계기를 제공해 주었던 것으로서, 인류가 역학적 현상을 제대로 이해하기까지 철학자, 과학자들은 약 2000년의 시간을 이론적 논쟁과 토론, 반박과 옹호를 위해 보냈던 것이다. 따라서 역학은 학생들이 물리학을 지적으로 이해하기 위한 가장 좋은 경험의 소재를 제공하고 있고, 인류의 지성사에 있어서 발전의 과정을 체험하는데 매우 훌륭한 내용들을 담고 있다. 물론 역학적 현상을 이해하는 과정들은 어린 학생들에게 종종 따분하고 재미가 없다. 그래서 초등학생들이라는 점을 감안하

여 프로그램에서는 컴퓨터 게임이나 놀이 등을 도입하기도 하였다. 그러나 이 자료는 영재 학생들을 흥미만을 가지고 물리학으로 유인할 의도를 지니고 있지 않다. 오히려 학생들에게 과거의 아리스토텔레스나 아르키메데스, 갈릴레이, 뉴턴과 같은 사람들이 고민했던 과정을 경험해 보기를 요구한다.”

프로그램의 구성

심화활동	활동 주제	차시별 단원 구성	시간	활동 내용
제1부	연모의 원리와 힘의 이용	1. 컴퓨터 게임 : '놀라운 기계'	150분	<ul style="list-style-type: none"> <li>여러 가지 연모의 소개</li> <li>컴퓨터 게임을 이용한 여러 가지 연모의 쓰임새</li> </ul>
		2. 힘과 운동	150분	<ul style="list-style-type: none"> <li>운동의 여러 가지 형태</li> <li>낙하하는 운동: 수돗물, 낙하하는 줄</li> </ul>
제2부	시소와 용수철	3. 시소와 수평저울	150분	<ul style="list-style-type: none"> <li>무게가 같은 물체들의 평형 : 실험</li> <li>무게가 다른 것들의 평형 : 실험</li> </ul>
		4. 무게가 다른 것들의 평형 : 모빌의 원리	200분	<ul style="list-style-type: none"> <li>무게가 다른 물체들의 평형 : 논증</li> <li>무게 중심 구하기</li> <li>모빌 만들기</li> </ul>
		5. 용수철 저울	150분	<ul style="list-style-type: none"> <li>용수철의 특징</li> <li>용수철과 추의 무게</li> <li>용수철 저울 만들기</li> </ul>
		6. 힘든 일, 쉬운 일	250분	<ul style="list-style-type: none"> <li>지레의 원리</li> <li>도르래의 원리</li> <li>축바퀴와 기어의 원리</li> <li>일의 원리</li> </ul>
	너도 가고, 나도 가고	7. 누가 더 빠른가?	250분	<ul style="list-style-type: none"> <li>속력의 측정</li> <li>관성의 원리(갈릴레오의 관성)</li> <li>상대운동과 상대속력</li> </ul>
		8. 추락하는 것에는 날개가 있다	200분	<ul style="list-style-type: none"> <li>속도의 의미: 빠르기와 방향</li> <li>가속하는 운동</li> <li>낙하하는 물체의 운동</li> </ul>
제3부	추락하는 것에는 날개가 없다.	9. 역사 속으로 : 아리스토텔레스의 운동 이론	250분	<ul style="list-style-type: none"> <li>아리스토텔레스의 낙하 운동</li> <li>아리스토텔레스 이론의 문제점</li> </ul>
		10. 갈릴레오의 사고실험	250분	<ul style="list-style-type: none"> <li>갈릴레오의 운동 이론</li> <li>사고실험과 논증</li> </ul>
	물 로켓을 쏘아보자	11. 하늘과 땅이 하나로 : 뉴턴	250분	<ul style="list-style-type: none"> <li>뉴턴의 운동 이론</li> <li>중력의 법칙</li> <li>상호 작용하는 힘</li> </ul>
		12. 우주로 향한 첫걸음 : 물로켓을 쏘자!	300분	<ul style="list-style-type: none"> <li>물의 양과 로켓의 도달 거리</li> <li>변인 통제</li> <li>더 멀리 날기 위하여</li> </ul>

#### 4. 맺는말

프로그램을 구성할 때 기본 원리와 교육적 이론은 이제까지 알고 있는 것만으로도 충분하지만 과학영재들에게 창의력을 길러주기 위해서는 프로그램 자체가 창의적이어야 한다. 이 창의성은 쉽게는 과거의 아이디어로부터 올 수 있으며, 이를 충분히 활용할 수 있다면 첨단 지식도 활용할 수도 있다. 또한 학생들에게 깊은 사고력을 요구하기 위해서는 프로그램 개발에 그 수십 배 이상의 사고력을 투입해야 한다. 이것은 개발자로 하여금 끊임없는 노력과 자료의 수집, 광범위한 지적 능력을 요구하며, 지속적인 지원을 가능하게 할 여건이 조성되어야 한다는 점을 말하고 있다. 이제 영재센터가 설립된 지 수년이 경과하였기 때문에 그동안의 경험을 바탕으로 의미 있는 프로그램을 만들기 위한 노력과 지원이 있어야 할 것이다.