

<소 개>

OECD 주관 '학생 성취도 국제 비교 연구'

- '과학' 영역을 중심으로 -

신 동 회

(한국교육과정평가원)

OECD(Organization for Economic Cooperation and Development)에서 주관하는 '학생 성취도 국제 비교 연구'는 1998년부터 2006년까지 3년을 주기로 3차례 실시되며, 만 15세 학생(우리 나라의 경우, 고등학교 1학년)을 대상으로 읽기, 수학, 과학 등 세 영역에 걸쳐 이루어진다. 이 연구는 참여국 학생들의 읽기, 수학, 과학 영역의 '교과적 능력(curriculum competencies)' 뿐만 아니라, '범교과적 능력(cross-curricular competencies: CCC)'을 측정하기 위한 목적을 가진다. 범교과적 능력의 평가란 학생들이 읽기, 수학, 과학 영역의 내용 그 자체를 평가하기 보다는 각 교과 영역에서 습득한 능력을 이용하여 사회 생활을 하는데 필요한 시민 의식(civics), 문제 해결력(problem-solving), 자기 인식(self-perception), 의사소통 능력(communication) 등을 국제 비교하는 연구로서 통합 교과를 사용하여 교육의 결과를 평가하는 매우 의미있는 연구이다.

우리 나라에서 몇 차례에 걸쳐 실시해 오고 있는 '수학·과학 학력평가 국제비교 연구(Third International Mathematics and Science Study: TIMSS)'가 교과 자체의 내용에 집중되어 있는 것과는 달리 교과 영역에 내재된 기능(skill)과 지식에 관한 포괄적인 능력을 평가하여 우리 나라에 범교과적 능력 평가라는 새로운 평가 척도를 소개할 것이다. 뿐만 아니라, 주로 OECD 가입국이 위주가 되어 참가하게 되는 이번 연구를 통하여, 우리 나라의 교육 수준을 세계 주요 선진국과 비교하여 가늠해 보고 그 결과를 바탕으로 교육의 질 개선과, 선진국 진입의 발판을 마련할 교육 정책 수립에도 도움을 줄 것이다. 이 연구의 실시 계획은 다음과 같다.

- ① 1차 연구 (1998~2000): 읽기가 주영역(240분), 수학 및 과학이 부영역(각각 60분)
- ② 2차 연구 (2001~2003): 수학이 주영역, 읽기 및 과학이 부영역

- ③ 3차 연구 (2004~2005): 과학이 주영역, 읽기 및 수학이 부영역

현재는 1차 연구의 체제까지 논의 중이고, 1차 연구의 결과가 나온 후에 2차, 3차 연구의 방향이 다시 논의될 것이다. 1차 연구의 계획은 다음과 같다.

- ① 1998년: 1999년에 실시될 예비 검사 준비, 체제 개발 및 검사 도구 개발
- ② 1999년: 4월 예비 검사 실시 (전국에 걸쳐 25개 학교에서 표집될 만 15세 남녀 학생 750명)
- ③ 2000년: 본검사 실시 (전국에 걸쳐 150개 학교에서 표집될 만 15세 남녀 학생 4,500명)

우리 나라는 현재 과학과 수학 영역에서 각각 '교과 전문가 그룹'에 적극 참여하여 연구 체제를 개발해 나가고 있다. 이러한 체제 개발 작업은 1998년 말까지 계속될 것이며, 여기에 이 연구를 소개함으로써 관심이 있는 교육학자, 교사, 교육 정책 관련자 등의 의견을 듣고자 하며, 여러 의견들은 빠짐 없이 1차 연구의 체제에 대한 보완 및 수정에 반영될 것이다. 다음은 현재까지 논의된 '과학' 영역 평가 체제의 내용을 정리한 것이다.

I. 평가 체제의 배경

OECD에서 주관하는 '학생 성취도 국제 비교 연구'는 만 15세 학생들이 학교에서 배운 것에 대한 자세하고 구체적인 결과를 알려고 하기 보다는, 시민으로서 구성적 역할(constructive role)을 하기 위해 어느 정도 준비가 되어 있는지 알아보려는 것이 초점이다. TIMSS 연구를 포함한 기존의 국가 수준의 학력 평가에서는 이미 여러 차례 교육 과정에 근거하여 평가해 왔기 때문에 이와 같은 새로운 평가 철학을 가지고 하는 연구는 다음과 같은 점에서 의미를 찾을 수 있다.

첫째, 이번 연구는 미래에 과학자가 될 학생이 아니라

* 1998년 7월 9일 받음.

전체 학생을 그 대상으로 하므로 궁극적으로 알아야 할 것은 각 나라에서 이루어지는 교육이 그 나라 국민으로서 생활하기 위하여 필요한 것을 잘 준비시키고 있는지 알아 보려는 것이다. 21세기의 삶에 있어서 반드시 갖춰져야 할 것은 적응성(adaptability), 융통성(flexibility), 생각을 전달하고 적용하는 능력 등이다. 특히 우선시 되어야 할 것은 문제 해결 능력, 개인적 효율성(personal effectiveness), 정보 기술(information technology)을 사용하고 이로써 의사 소통할 수 있는 능력, 과학적 소양(scientific literacy) 등이다. 교육은 교육과정을 넘어서서 이러한 기능에 기여해야 한다.

둘째, 미래의 과학자가 될 학생을 비롯한 모든 학생들은 증거나 정보로부터 올바른 결론을 도출해 낼 수 있는 능력 및 증거 제시와 함께 기존의 주장을 비판할 수 있는 능력을 지녀야 한다. 자연에서 보이는 증거를 이용해 생각이나 이론을 합리적으로 검증한다는 점에서 과학은 중요한 부분을 담당하게 된다.

셋째, 미래의 국민이라면 구체적인 개념(예를 들면, 동식물 이름) 뿐만 아니라, 미래 사회에 필요한 중요한 지식(예를 들면, 에너지 소비, 생물의 종다양성, 건강 등)도 알아야 한다. 이러한 지식은 구체적인 개념을 공부하는 것에서 출발하여 사실에 대한 개념을 뛰어 넘은 폭넓은 사고를 필요로 한다. 그러므로, 교육이 과연 새로운 경험을 이해하는데 도움을 주는 '폭 넓은' 사고를 높이고 있는지 알아보는 것이 중요하다. 폭 넓게 적용 가능한 사고를 향상시켜 온 사람이라면 여행을 할 때나, 휴가를 보낼 때나, 단순히 주위 환경을 감상할 때나, 자신의 새로운 경험을 진정으로 이해하고 즐기게 될 것이다.

이상과 같은 점을 근거로 이 연구의 배경이 되는 주요 관점은 '과학적 소양'이다. 과학적 소양에 관해서는 기존에 다양한 연구가 진행되어 왔지만, 이번 연구에서는 다음과 같이 정의하기로 한다.

과학적 소양이란 우리 주위의 자연과 인간의 활동에 의한 자연의 변화에 대해 이해하고 결정을 내리는데 도움을 주기 위하여, 과학 지식 뿐 아니라 증거를 바탕으로 결론을 도출해 낼 수 있음을 의미한다. (Scientific literacy entails combining science knowledge and being able to draw evidence-based conclusions in order to understand and help make decisions about the natural world and the changes made to it through

human activity.)

II. '과학적 소양' 평가를 위해 고려할 사항

1. 탐구 과정

탐구란 자연에서 나타나는 과학적 현상을 이해하거나 이에 관한 지식을 얻기 위해 증거나 자료를 이해하고, 해석하고, 이용하는 데 사용되는 정신적(혹은 신체적)인 활동을 말한다. 내용이 없는 탐구는 아무 의미가 없다. 그러므로, 탐구는 광범위하게 교과 내용과 관련되어 진다.

과학에 있어서의 탐구는 증거를 수집하여 해석하고 이로부터 결론을 도출해 내는데 필요한 기능과 이해 과정을 모두 포함한다. 증거를 수집하는 것과 관련된 기능에는 실험 상황의 설계 및 측정, 기구를 사용해 관찰하는 등의 활동이 포함된다. '과학적 소양'은 증거를 수집하는 능력 자체보다는 증거를 바탕으로 결론을 도출해 내는 능력에 더 큰 의미를 두고 있다. 과학적 탐구 측면에서 다시 살펴보면, 모든 사람들은 과학 지식을 이용하여 과학으로 해결할 수 있는 질문과 그렇지 않은 질문을 구분할 수 있어야 한다. 또한, 모든 사람들은 증거의 수집 방법과 결론과의 관련성 여부를 판단할 수 있어야 한다. 그러나, 무엇보다도 중요한 것은 개인적, 사회적, 세계적 차원에서 우리 생활에 영향을 주는 어떤 행동을 할 때, 그 행동의 근거가 되는 증거를 올바르게 판단할 수 있어야 있다. Table 1은 탐구 과정의 구체적인 예를 든 것이다.

2. 개념/ 내용

개념이란 우리가 이미 알고 있는 것과 연결시켜 새로운 경험을 이해할 수 있는 '큰(big)' 생각을 말한다. 우리는 과학 개념을 통해 자연과 인간이 만든 세계를 이해한다. 과학 개념은 다양한 차원으로 표현할 수 있다. 다시 말해, 생명 과학, 물리학, 지구 과학 같은 매우 넓은 구분으로부터 기준(standards)이나 교육 과정의 형태에 이르기까지 다양하다.

우리는 여러 가지 개념을 이용하여 과학적 현상을 이해한다. 개념이란 포유 동물, 가속도, 용해 등 사물이나 현상에 대한 정의 또는 물리학이나 화학에서의 법칙과 이론과 같은 특정 현상에 대해 일반화하는 것으로 표현되어진다. 이번 연구에서 평가해야 할 4가지 개념 선정

Table 1 List of selected science process skills

1. Recognizing questions that can be answered by scientific investigation.
2. Selecting and interpreting the scientific evidence /data needed to test an explanation or explore an issue.
3. Understanding what is involved in collecting valid evidence /data.
4. Critically evaluating conclusions in relation to available scientific evidence /data.
5. Communicating valid conclusions to others.

기준은 다음과 같다.

첫째, 실생활과의 관련성(relevance)이다. 예를 들어, 상대성 이론을 설명할 때, 길이, 질량, 시간, 속도 사이의 관계에 대해서 자세히 묘사할 수 있지만, 일상 생활에서 흔히 접하게 되는 힘이나 운동에 연결시켰을 때, 더 유용한 지식이 된다. 둘째, 출제 문항의 내용이나 개

념은 21세기에 전개될 생활과 연결되어야 한다. 셋째, 제시될 상황과의 관련성이다. 상황에 관해서는 뒤에 다시 설명하겠다. 넷째, 문항에서 의도한 탐구 과정과 개념이 조화를 이루어야 한다는 점이다.

Table 2는 이상의 개념 선정 기준을 구체적인 과학 개념 또는 내용에 적용시킨 것이다.

Table 2 List of concepts /content for the assessment of scientific literacy (alphabetically)

Major fields of science	Major science themes (with examples of related concepts)	Areas of application of science
Biological Sciences	Atmospheric change (radiation; transmission; pressure)	Biotechnology
	Biodiversity (species; gene pool; evolution)	Health, disease, and nutrition in humans
	Chemical /physical changes (states of matter; rates of reaction; decomposition)	Interdependence of physical /biological systems
Physics and Chemistry	Ecosystems (food chains; sustainability)	Maintenance and sustainable use of species
	Energy transformation (energy conservation; energy degradation; photosynthesis)	Production and loss of soils
	Geological changes (continental drift; weathering)	Pollution
Earth and space science	Genetic control (dominance; inheritance)	Use of energy
	Form and Function (cell; skeleton; adaptation)	Use of materials and waste disposal
	Physiological change (hormones; electrolysis; neurons)	
	Structure and properties of matter (magnetism; thermal and electrical conductivity)	

3. 태스크의 상황

과학 지식이나 탐구 이외에도 “태스크(task)” 개념이 이번 연구에 도입된다. 태스크는 어떤 상황이 제시되는 본문과 이 본문에 주어진 여러 개의 문항을 통틀어서 말한다. ‘과학적 소양’의 뜻을 살리기 위해서, 각 태스크에 제시된 문항은 지식 또는 탐구와 지식을 동시에 묻게 된다. 과학적 소양과 관계된 문항 뿐만 아니라 ‘읽기’나 ‘수학’ 영역에 관련된 문항도 하나의 태스크에서 함께 물을 수 있다. 제시될 상황을 선정할 때에는 평가 의도에 맞는지 살펴보아야 하고 예비 검사를 통해서 태스크에 대한 타당성을 모든 참여국 차원에서 검증해야 한다.

상황을 선정할 때 우선 고려해야 할 것은 이 연구의 목적이 학교에서 배운 기능과 지식을 생활에 적용하는 능력을 측정한다는 것이다. 다시 말해, 태스크는 학교에서의 상황이 아닌 일상 생활에서 접하는 상황이어야 한다. 지금까지는 학교에서 배운 과학 지식과 탐구는 대개 실험실이나 교실 상황에 제한되어 있었다. 그러나, 각 나라마다 지식과 탐구를 학교 밖의 상황에 적용시키려는 노력을 하고 있다. 따라서, 이 연구에서는 과학적 소양을 측정한다는 뜻을 살려 ‘학교에서의 상황’은 배제하기로 한다.

실제로 일어나는 일상 생활의 상황에는 우리에게 개인적으로 영향을 주는 문제(예를 들어, 음식물과 영양분), 지역 공동체의 일원으로서 겪는 문제(예를 들어,

Table 3 The structure of tasks for assessing scientific literacy

Area of application	Given	Required by individual items
Biotechnology		Reading information
Health, disease, and nutrition in humans		Aspects of mathematics
Interdependence of physical /biological systems		Recognizing questions that can be answered by scientific investigation
Maintenance and sustainable use of species		Selecting /interpreting the scientific evidence /data needed to test an explanation /explore an issue
Production and loss of soils	Stimulus material in written and /or graphical, tabular, pictorial or diagram-matic form	Understanding what is involved in collecting valid evidence /data
Pollution		Critically evaluating conclusions in relation to available scientific evidence /data
Use of energy		Communicating valid conclusions to others
Use of materials and waste disposal		Showing understanding of science concepts by application in the situation presented, which may involve, for example: <ul style="list-style-type: none"> · explaining relationships and possible causes of given changes · making predictions as to the effect of given changes · identifying the factors which need to be taken into account in testing a claim or exploring an issue

수자원 공급과 처리 문제, 발전소 설립 문제), 나아가 세계 시민으로서의 문제(예를 들어, 지구 온난화, 멸종되는 생물)를 들 수 있다. 이상의 것들은 모두 중요하기 때문에 태스크의 상황이 될 수 있다. 또 다른 상황은 역사적 측면으로 설명되는데, 이를 통해 학생들이 과학 지식의 발전 과정을 얼마나 이해하고 있는지 평가할 수 있다.

국제 비교 연구에서 특히 '모든' 나라 학생들의 관심과 생활에 관계된 상황이 제시되어야 하며, 그 상황이 지식과 탐구의 측정에도 적합해야 한다. 다시 말해, 상황을 선정할 때에는 지식과 탐구의 조화, 모든 참여국의 사회, 문화적 적합성 등을 고려해야 한다. 상황을 선정할 때는 자기 자신과 가족(personal)에 적용되는 문제에서부터 공동체(public)에 적용되는 문제, 전 세계(global)에 걸친 문제, 나아가 과학 지식이 어떻게 발전되어 왔고 과학과 연결된 사회적 결정에 어떻게 영향을 주었는지가 모두 고려된다.

Ⅲ. 태스크의 구성과 균형

앞에서도 언급했듯이, 태스크에는 먼저 본문을 제시하고 이에 5-6개의 문항을 ane게 된다. 실제 상황에서 나타날 수 있는 다양성을 반영하기 위해서는 하나의 문항이 여러 가지 과정이나 적용 능력을 물을 수 있어야 한다. 태스크가 많고 각 태스크에 적은 문항을 제시하는 것 보다, 적은 수의 태스크를 제시하고 각 태스크마다 여러 개의 문항이 있는 것이 더 효율적인 시험 시간 배분의 효과를 보일 것이다. 단, 하나의 태스크에 있는 각각의 문항들은 서로 독립적이어야 한다.

하나의 태스크에는 지식이나 개념을 묻는 문항, 과학 탐구 과정에 관한 문항 등을 모두 물을 수 있으며, 그 점수 비율이 50 : 50이 되도록 한다. 태스크의 성격에 따라, 어떤 태스크는 지식을 묻는 문항이 많이 들어갈 수도 있고, 과학 탐구 과정에 관한 문항이 많은 태스크도 있을 것이다.

이번 연구가 지금까지 학교에서 해 온 평가와 차이 가 나는 점은 교실이나 실험실 환경을 벗어나 실생활에 나타나는 상황 속에서 과학 지식을 적용시켜 보는 것이다. 대부분의 수업 시간에서 실생활과 학습 내용을 연결시켜 다루어 오지 않았으므로, 이번 연구에서 제시될 문항의 형태가 낯설게 느껴질 지도 모른다. 모든 참여국으로부터 각 나라의 학생들에게 친숙한 상황이나 문항 형태에 관한 의견을 들어 예비 검사에 반영하고 이를 통해서

타당도를 검증받은 후에 수정, 보완하게 된다.

실생활의 상황을 도입하는 것 이외에도 '읽기'나 '수학' 등의 다른 영역이 하나의 태스크에서 함께 물을 수 있는 '범교과간' 평가를 시도한다. 즉, 태스크에 정보가 길게 서술된 형태라면, 이 태스크는 '읽기' 영역에 대한 것도 물을 수 있고, 표, 그림, 그래프 등을 읽어야 하는 형태이거나 수식을 이용한 계산이 필요하다면, '수학' 영역에 대한 것도 물을 수 있게 된다. 어떤 경우에도 지식의 단순 반복이나 개개 사실에 대한 암기 등을 요하는 문항은 출제에서 '절대' 배제하기로 한다.

다음의 Table 3은 태스크에 도입될 수 있는 과학의 응용 영역, 태스크의 제시 형태, 각각의 문항에서 물어 야 할 것 등을 정리한 것이다.

Ⅳ. 문항 형태

이상의 평가 체계가 성공하려면 문항 개발이 다양한 형태로 이루어져야 한다. 예를 들면, 인지하거나 선택하는데 관련된 과정을 묻고자 할 때는 '사지선다' 형 문항이 도입될 수 있다. 그러나, 측정이나 의사 소통에 관련된 문항의 경우에는 '열린 정답(open-ended)'형의 문제가 더 적합하다. 자료 해석과 같은 과정에 관련된 내용은 묻는 내용에 따라 문항 형태가 달라질 수 있다. 전체적으로 사지선다형 문항이 50%를 넘지 않는 것을 원칙으로 한다.

1. 과학 지식과 탐구 과정을 통합한 문항의 예

11세기 초, 중국의 의사들은 면역 체계를 손으로 조작하고 있었다. 천연두 환자의 딱지를 가루로 만들어 환자 부모의 콧구멍에 넣어 넣음으로써, 훨씬 더 심각한 재앙을 막고 이를 완화시킬 수 있었다. 1700 년도에 사람들은 피부의 말라붙은 딱지를 긁어 스스로를 질병으로부터 예방했다. 이런 원시적 방법은 미국과 영국으로도 소개되었다. 1771년과 1772년 천연두가 전염되던 시기에, 자브리엘 보일스톤이라고 하는 보스톤 의사는 자신이 아들을 비롯한 285명의 환자들의 천연두 딱지 고름을 상처날 때까지 긁어내었다. 그 결과, 6명을 제외하고는 모두 살아났다.

1. 자브리엘 보일스톤은 어떠한 가설을 검증하였는가?

→ 과학적 조사를 통해 대답이 가능한 문항이면서

- 인체 생물과 건강에 대한 지식도 필요한 문항
2. 보일스톤의 접근 방법이 얼마나 성공적이었는가를 결정하는데 필요한 다른 2가지 정보를 제시하라.
→ 근거를 제시하여 문제를 설명할 수 있는 탐구 능력과 인체 생물과 건강에 대한 지식을 동시에 묻는 문항

2. 과학 개념의 응용을 평가하는 문항의 예

튀위다는 소여물로써의 옥수수는 사실 연료가 될 수도 있다는 점을 지적한다. 그러나, 튀위다는 농민에게는 옥수수를 소여물로 파는 것보다는 연료로 파는 것이 더 이익일 것이라고 했다. 연료로써의 옥수수는 매우 큰 이익을 준다. '그것은 천연 가스보다도 더 깨끗하다. 또한 옥수수 25kg의 가격은 2만원과 3만원 사이인데 이는 가스나 석탄보다 훨씬 싼 가격이다.' 그러한 이유로 옥수수를 연료로 사용할 계획이 세워졌다. 90%의 열 효율을 갖는 점화 장치도 가능해졌다. 벽난로에서의 열의 효율성은 기껏해야 16%이고, 일반적인 난로의 열 효율이 80%라는 것과 비교해 보아라.

1. 튀위다는 소여물로써의 옥수수는 사실 연료가 될 수도 있다는 점을 지적한다. 옥수수가 탈 때 발생하는 화학 반응의 특징은 다음과 같다.

- 산소가 필요하다.
- 이산화탄소가 생긴다.
- 열이 발생한다.

옥수수가 동물의 몸에서 연료로써 작용할 때, 발생하는 화학 반응의 특징은 다음 중 어느 것인가?

산소가 필요하다.	예	아니오
이산화탄소가 생긴다.	예	아니오
열이 발생한다.	예	아니오

2. 옥수수가 동물의 몸에서 연료로 사용될 때 발생하는 화학 반응과 난로에서 탈 때 발생하는 화학 반응의 유사점과 차이점을 쓰시오.
3. 튀위다의 집을 벽난로를 이용해 상온 20℃로 유지하려면, 하루에 28kg의 옥수수가 필요하다고 한다. 만약, 난로를 이용한다면 옥수수를 덜 태워도 될 것이다. 난로를 이용하여 튀위다의 집을 상온 20℃로 유지하려면 하루에 몇 kg의 옥수수가 필요하는지 계산하라. 위에 제시된 본문의 내용을 참고하고 계산 과정을 적어라.
→ 이상의 문항에 답을 하기 위해서는 학교에서 배운 과학 지식(이 경우, 화학 반응에서의 열 출입과 열 효율에 대한 지식)을 일상의 평범한 상황에 적용시키는 능력이 필요하다.

1) 전체 문항에 대한 사지선다형 문항의 비율은 논의 중이고, 현재의 50%보다 낮아질 전망이다.