

〈해설〉

학업 성취도 국제 비교 연구에서의 과학 평가를 비교

신동희
(한국교육과정평가원)

A comparison of Science Framework in International Comparative Studies

Donghee Shin
(Korea Institute of Curriculum & Evaluation)

초·중등 학교 학생들을 대상으로 지금까지 전 세계적인 차원에서 여러 차례의 과학 학업 성취도 평가 연구가 이루어져 오고 있다. 이러한 국제 비교 평가 연구는 주로 국제 교육 성취도 평가 협회(International Association for the Evaluation of Educational Achievement: IEA) 및 미국의 교육 평가원(Educational Testing Service: ETS)이 중심이 되어 주로 과학과 수학 영역에서 실시되어 왔는데, 우리 나라의 초·중등 학교 학생들이 이들 국제 비교 평가 연구에서 두각을 나타내어 온 것은 이미 잘 알려져 있다. IEA나 ETS에서 주관해 온 국제 비교 연구 이외에도 경제 협력 개발 기구(Organization for Economic Cooperation and Development: OECD)에서 주관하는 학생 성취도 국제 비교 연구(Programme for International Student Assessment: PISA)도 새롭게 진행되고 있다¹⁾.

여기서는 지금까지 우리 나라가 참여해 온 국제 비교 연구들에서의 과학 평가를 살펴본 후, 야심 찬 목표를 가지고 진행 중인 OECD/PISA의 과학 평가들과 기존 국제 비교 연구에서의 과학 평가들의 차이점에 대해 간단히 비교해 보고자 한다.

I. IEA 주관 국제 비교 연구

IEA는 발족된 이래로 수학과 과학을 비롯한 교과 교육에 대한 국제 비교 연구를 여러 차례 수행해 왔다(Table 1).

1960년대와 1970년대 초반에 수행된 제1차 성취도 국제 비교 연구와 1980년대에 수행된 제2차 성취도 국제 비교 연구는 수학과 과학 교과에 대하여 각각 독립적으로 시행되었으나, 제3차 국제 비교 연구에서는 수학과 과학이 통합되어 검사가 실시되었다. 수학의 경우, 우리 나라는 제1차 수학 성취도 국제 비교 연구(First International Mathematics Study: FIMS)와 제2차 수학 성취도 국제 비교 연구(Second International Mathematics Study: SIMS)에는 참여하지 않았다. 한편, 과학의 경우 제1차 과학 성취도 국제 비교 연구(First International Science Study: FISS)에는 참여하지 않았으나, 제2차 과학 성취도 국제 비교 연구(Second International Science Study: SISS)에는 참여하였다. 또한, 수학과 과학의 평가를 통합하여 실시한 제3차 수학·과학 성취도 국제 비교 연구(Third International Mathematics and Science Study: TIMSS) 및 제3차 수학·과학 성취도 국제 비교 반복 연구(Third International Mathematics and Science Study-Repeat: TIMSS-R)에 참여하고 있다. 이 중

¹⁾1999년 2월 25일 받음.

1) 우리 나라의 경우 1998년부터 OECD/PISA에 참여하여 1999년 6월 현재 예비 검사를 마친 상태이다.

Table 1. IEA international comparative study

Supervised organization	International comparative study	Number of participating countries	Participation of Korea	Period of study
IEA	First International Mathematics Study (FIMS)	12	×	1964-1967
	First International Science Study (FISS)	21	×	1968-1973
	Second International Mathematics Study (SIMS)	20	×	1981-1986
	Second International Science Study (SISS)	28	○	1981-1985
	Third International Mathematics and Science Study (TIMSS)	46	○	1991-1995
	Third International Mathematics and Science Study-Repeat (TIMSS-R)	40	○	1998-2000

에서 우리 나라가 참여한 SISS와 TIMSS에서의 과학 평가들을 살펴보면 다음과 같다²⁾.

1. 제2차 과학 성취도 국제 비교 연구(SISS)의 평가틀

FISS의 과학 평가틀을 기초로 만들어진 SISS 과학 평가틀은 행동 영역과 내용 영역으로 구분하여 제시하였다(Table 2). 내용 영역은 지구 과학, 생물,

Table 2. Science framework of SISS

Content area	Behavioral area
Physics	Knowledge
Chemistry	Comprehension
Biology	Application
Earth science	

물리, 화학 등 4개의 과학 영역들로 나누어지며, 이들은 다시 다수의 하위 세부 내용 영역들로 나뉘어진다. 한편, 행동 영역은 Bloom의 교육 목표 분석 방식에 근거해 '지식,' '이해,' '적용'의 세 차원으로 구분되었는데 '적용' 차원은 실제에 있어서는 '종합,' '분석' 등의 상위 행동 영역을 포함하고 있다.

2. 제3차 수학·과학 성취도 국제 비교 연구(TIMSS)의 평가틀

TIMSS 과학 평가틀은 '내용(content),' '성취 기대(performance expectation),' '전망(perspectives)' 등 3개 영역으로 나누어진다. '내용' 영역은 학교 과학의 주제별 내용을 나타내고, '성취 기대' 영역은 학교 과학에서 학생들로부터 기대되는 여러 가지 행동 또는 수행을 말한다. '전망' 영역은 과학에서 학생들의 태도, 관심, 동기의 발달에 초점을 맞춘다. 이들 3개 영역에 포함되는 주요 범주를 살펴보면, Table 3과 같다. 과학 내용 측면에서 무엇보다도 새로운 것은 환경과 기술 공학이 새로 첨가된 점이다. 이는 1980년대 이래로 미국을 중심으로 전세계적인 과학 교육의 흐름이 되고 있는 과학-기술-사회(Science-Technology-Society: STS) 관점에서의 교육 내용이 그대로 반영된 것이라 할 수 있다. 특히, 환경 교육이 하나의 독립된 범주로 제시되었다는 것도 의미 있는 변화라고 할 수 있다.

II. ETS 주관 국제 비교 연구

ETS는 미국 국내의 전국 단위 학력 평가뿐만 아

2) TIMSS-R의 과학 평가틀은 TIMSS의 과학 평가틀과 동일하다.

Table 3. Science framework of TIMSS

Content	Performance expectation	Perspectives
Earth science	Understanding of simple information	Attitude
Biological science	Understanding of complex information	Profession
Physical science	Theorization, analysis, and problem solving	Participation
Science, technological engineering and mathematics	Tools, procedure, and use of science process	Development of interest
History of science and technological engineering	Investigation of nature	Habits
Environmental problems	Communication	
Nature of science		
Science and other subjects		

Table 4. ETS international comparative study

Supervised organization	International comparative study	Participating countries	Subjects	Period of study
ETS	International Assessment of Educational Progress I (IAEP I)	6	Mathematics, science	1987-1988
	International Assessment of Educational Progress II (IAEP II)	20	Mathematics, science, geography	1989-1991

나라 국제 비교 연구의 필요성을 인식하여, 두 차례에 걸친 국제 비교 연구로 제1차 국제 교육 발전 평가(International Assessment of Educational Progress I: IAEP I)와 제2차 국제 교육 발전 평가(International Assessment of Educational Progress II)를 수행하였다(Table 4).

1. IAEP I의 평가를

IAEP I의 문항은 대부분 미국 교육 발전 평가(National Assessment of Educational Progress: NAEP)의 문항 은행에 저장된 문항을 인출하여 구성되었다. IAEP I의 과학 평가들(Table 5)도 '내용' 과 '행동' 의 이원 분류에 의해 제시되었다.

'내용' 영역은 '생명 과학,' '물리학,' '화학,' '지구 및 우주 과학' 등 전통적인 4개의 과학 세부 영역

이외에 '과학의 성질' 이 첨가되었다. 과학의 구체적인 내용 영역들에 첨가된 간내용적 영역인 '과학의 본성' 은 1) 관찰, 분류 및 추론, 2) 자료 해석, 3) 가설 설정, 4) 실험 설계, 5) 탐구의 수행 등이 강조된다. '과학의 본성' 에 대한 평가는 '과학적 탐구의 특성에 대한 학생들의 이해' 및 '과학적 사고 과정을 문제 해결에 적용하는 학생들의 능력' 등을 측정하도록 설계되어 있다. 한편, '행동' 영역은 '지식,' '적용,' '종합' 등으로 구분되어 있는데, 역시 Bloom의

Table 5. Science framework of IAEP I

Content area	Behavioral area
Biological science	Knowledge
Physics	Application
Chemistry	Synthesis
Earth and space science	
Nature of science	

교육 목표 분류에 근거한 것이다.

2. IAEP II의 평가틀

IAEP II의 과학 평가틀(Table 6)은 1986년도의 NAEP 과학 평가로부터 '지적 기능' 영역(지식, 적용, 종합)을, 1990년도 NAEP 평가로부터 '내용' 영역(생명 과학, 물상 과학, 지구 및 우주 과학, 과학의 본성)을 채택하였다. '기능' 영역을 지식, 적용, 종합으로 구분한 것은 Bloom의 행동 목표 분류를 근거로 한 것이며, '내용' 영역에서 전통적 과학 영역인 물리와 화학을 합쳐서 물상 과학으로 한 것이 특징이다.

III. OECD 주관 국제 비교 연구

OECD가 주관한 국제 비교 연구인 OECD/PISA의 과학 평가 목적은 21세기를 살아가는 데 있어 시민으로서 구성적 역할을 잘 이행하기 위한 '과학적 소양'의 측정에 있다. 따라서 과학 평가틀도 '과학적 소양'의 측정을 위한 과학적 과정(scientific process), 개념 및 내용(concept and content) 및

상황(situation)으로 구분하여 제시하고 있다(Table 7). 과학적 과정은 다시, '과학적으로 탐구 가능한 문제 인식하기,' '과학적 탐구에 필요한 증거 확인하기,' '결론 도출 및 평가하기,' '유효한 결론을 가지고 의사 소통하기,' '과학 지식 표현하기' 등의 5가지로 구분하며, 개념 및 내용은 '생명/건강 과학(science in life and health),' '지구 환경 과학(science in earth and environment)' 및 '과학 기술(science in technology)'로 구분하여 제시하고 있다. OECD/PISA 이전의 국제 비교 연구에서 물리, 화학, 생물, 지구 과학 등의 전통적인 과학 영역 분류 방식을 고수하던 것에서 벗어나 건강, 환경, 과학 기술 등 과학적 소양을 갖추는 데 중요하다고 여겨지는 내용들이 강조된 것이 주목할 만하다. 한편, 과학적 과정과 개념 및 내용은 단편적으로 평가되는 것이 아니라, 개인, 지역, 국가, 나아가 세계적 수준에서 경험할 수 있는 실제 상황에서 평가하도록 한 것이 OECD/PISA의 주요 특징이다.

IV. OECD/PISA 과학 평가틀과 TIMSS 과학 평가틀의 비교

Table 6. Science framework of IAEP II

Content area	Knowledge skill area
Biological science	Knowledge of facts, concepts, and principles
Physical science	Application of knowledge in solving simple problems
Earth and space science	Synthesis of knowledge in solving complex problems
Nature of science	

Table 7. Science framework of OECD/PISA

Scientific processes	Concept and content	Situation
Recognizing scientifically investigatable questions	Science in life and health	School situation Individual situation
Identifying evidence needed in a scientific investigation	Science in earth and environment	Local-level situation National-level situation
Drawing or evaluating conclusions	Science in technology	International-level situation
Communicating valid conclusions		
Demonstrating understanding of scientific concepts		

이상에서 살펴본 국제 비교 연구들 중 현재 연구가 진행 중인 TIMSS와 OECD/PISA의 과학 평가들을 보다 자세히 비교하면 다음의 Table 8과 같다. 평가의 배경 측면에서 보면 TIMSS가 학교 교육 과정에 근거한 지식을 강조한 반면, OECD/PISA는 학교 교육을 벗어나 사회를 구성하는 시민으로서 갖추어야 할 과학적 소양의 평가를 강조한다. 평가의 축을 비교하면 TIMSS는 내용, 성취 기대, 전망의 3개 축으로 구성된 반면, OECD/PISA는 탐구 과정, 개념/지식, 상황의 3개 축으로 구성된다. 문항의 내용 영역 구분도 서로 다르게 제시되었는데, OECD/PISA에서는 건강 과학이 추가되어 생명/건강 과학으로, 물리와 화학이 기술 측면에서 응용되어 과학 기술로, 지구 과학과 환경 과학이 합쳐져 지구/환경 과학으로 각각 확대 되었다. 한편, TIMSS에서의 과학의 본성 영역은 OECD/PISA에서 독립된 영역으로 구분되지는 않았지만, 생명/건강 과학, 지구/환경 과학, 과학 기술의 3개 영역에 흡수되었다. 행동 영역 측면에서 보면 TIMSS는 단순 정보 및 복잡 정보를 구분하여 제시한 반면, OECD/PISA는 과학 지식의 표현으로 이들을 합쳐서 제시하였다. 특히, TIMSS에서의 단순 정보 이해에 관한 문항은 OECD/PISA에서는 완

전히 배제하고 있다. 또한 OECD/PISA에 의사 소통 기능이 첨가된 것이 특징인데, 이는 시민으로서의 구성적 역할을 담당하기 위한 행동 기능이기 때문에 새로 추가되었다.

V. OECD/PISA와 기존의 국제 학력 평가와의 차이

지난 40여 년간 IEA나 ETS에서 실시해 온 여러 국제 학력 평가들은 지금까지 발전을 거듭하여 왔으나, 이들 평가에서는 제한된 과목(주로 수학과 과학)에서 학생들이 알고 있는 단편적이고 부분적인 지식만을 평가하는 데 초점이 맞추어졌다. 특히, 이들 평가는 철저하게 각 참여국별로 공통적으로 포함되어 있는 학교 교육 과정의 내용에 준하여 이루어졌기 때문에, 어떤 국가에서 아무리 중요하게 다루는 내용이 라도 문항에서 제외되는 경우가 많았다. 이와 같이 각국 학교 교육 과정을 고려한 평가에서의 한계를 인식하고, '과학 지식을 얼마나 알고 있는지' 평가하기 보다는 '과학적으로 얼마나 소양을 갖추고 있는지' 평가하기 위한 시도로 시작한 OECD/PISA가 국제 학력 평가 연구들과 분명하게 다른 점은 다음과 같이

Table 8. A comparison of science framework in TIMSS and OECD/PISA

		TIMSS	OECD/PISA
Purposes of assessment		Assessment of science concepts based on the curriculum analysis of the participating countries	Assessment of scientific literacy for 15-years-old students, rather than science concepts learned in schools
Domain of organization		Content, Performance expectation, Perspectives	Scientific processes, Concepts and content, Situation
Content area		Biological science, Physics, Earth science, Chemistry, Environmental problems, Nature of science	Science in life and health, Science in earth and environment, Science in technology
Item construction	Content area	Understanding of simple information, Understanding of complex information, Theorization/analysis/problem solving.	Recognizing questions, Identifying evidence, Drawing and evaluating conclusions,
	Behavioral area	Tools/procedure/use of science process, Investigation of nature	Communicating, Demonstrating scientific concepts
Other		Concentrate on the subject matter knowledge	Given as a task type item Exclude item of simple science concepts

요약될 수 있다.

1. 기원 : 정부 차원에서 연구를 제의하고 적극적으로 협력하고 있다.

2. 정기성 : 3년마다 각 평가 영역을 수정하여 각 참여국별 주요 학습 목표를 정기적이고 예상 가능한 차원에서 검토할 수 있다.

3. 참여 연령 : 중등 교육 과정이 거의 끝날 무렵의 학생들(만 15세)을 평가하는 것은 각 나라의 교육 체계를 알 수 있는 유용한 지표이다.

4. 지식 및 기능 : 학교 교육 과정보다는 미래에 유용하게 활용될 기능을 측정하는 것이 주된 관점이다. 바로 이 점이 OECD/PISA의 기본적이면서도 야심 있는 의도인 셈이다. 사실 학교 교육의 목적이 젊은이들로 하여금 인생을 준비하는 과정이기 때문

에, “학교”에서의 기능과 “실생활”에서의 기능을 구체적으로 구분하는 것 자체가 임의적일 수도 있으나, 구분할 필요는 있다. 학교 교육 과정이라는 것은 일반적으로 ‘달성해야 할 지식과 기능의 집합체’라고 할 수 있다. 그러나, 교육 과정은 성인이 되어 활용하게 될 지식에 관해서는 소홀히 하는 경향이 있으며, 대개의 경우 통합 교과적 능력에는 거의 관심이 없을 뿐만 아니라 실생활에 적용하여 문제를 해결하는 측면은 거의 포함하지 않고 있다. 따라서, OECD/PISA는 학교 교육 과정에 근거한 과학 지식을 측정하는 것은 배제하고, 실생활에서 접하게 되는 광범위한 과학 지식과 적용된 형태의 과학 지식을 주로 측정하고자 한다.