

TIMSS 2003 성취 수준에 따른 우리나라 중학생들의 과학 성취도 분석

홍미영* · 정은영 · 이미경 · 곽영순

한국교육과정평가원

Analysis of Korean Middle School Student Science Achievement at International Benchmarks in TIMSS 2003

Hong, Mi Young* · Jeong, Eun Young · Lee, Mee Kyeong · Kwak, Young Sun

Korea Institute of Curriculum and Evaluation

Abstract: TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study) aims to produce reliable and internationally comparable indicators of student achievement. The TIMSS science achievement scale summarizes student performance on test items designed to measure a wide range of student knowledge and proficiency. This study analyzed Korean middle school students' science achievement at the advanced and high international benchmarks of the four benchmark levels of the benchmarks classified in TIMSS 2003 in light of science content areas (physics, chemistry, biology, earth science, and environmental science) and item characteristics. The average percent correct on items at the advanced benchmark by Korean students was highest in physics followed by earth science, biology, chemistry, and environmental science, whereas internationally the order was earth science, chemistry, biology, physics and lastly environmental science. Korean students performed relatively better in physics yet somewhat worse in chemistry than other top-performing countries. According to item analysis, Korean students reaching the advanced international benchmark understood some fundamentals of scientific investigation, but demonstrated weakness in written explanations of scientific principles, abstract science concept comprehension, and application of scientific concepts to solve quantitative problems. In addition, Korean students reaching the high international benchmark demonstrated relative weak conceptual understanding of ecology compared with other countries.

Key words: TIMSS, science achievement, advanced benchmark, high benchmark, item analysis

I. 서 론

국제교육성취도평가협회(IEA)가 주관하는 수학·과학 성취도 추이변화 국제비교 연구(Trends in International Mathematics and Science Study: TIMSS 2003)의 목적은 46개 참여국의 수학·과학 성취도와 그 변화 정도를 파악하여 참여국들의 교육체제를 점검하고 발전시킬 수 있는 정보를 제공하는 것이다.

2004년 12월에 발표된 TIMSS 2003 결과에 따르면, 우리나라 중학생의 과학 성취도는 평균 558점으로, 싱가포르, 대만에 이어 3위를 차지하였고, TIMSS

1995와 1999에 비해 성취도 평균 점수가 높아졌으며 전체 국가 순위도 높아졌다(박정 등, 2004a).

TIMSS 2003에서는 교수·학습에 도움이 되는 구체적인 정보를 제공하기 위하여 전체 성취점수를 수월 수준(Advanced International Benchmark, 기준점: 625), 우수 수준(High International Benchmark, 기준점: 550), 보통 수준(Intermediate International Benchmark, 기준점: 475), 기초 수준(Low International Benchmark, 기준점: 400)의 4 개의 수준¹⁾으로 구분하여 각 성취 수준에 해당하는 학생이 무엇을 알고, 무엇을 할 수 있는지를 제시하고 있다. 성취수준 설정의 근거로는 내

1) TIMSS 1999에서는 상위 10%, 상위 25%, 상위 50%, 하위 25% 수준으로 구분하였는데, TIMSS 2003부터 이전의 구분 방식과 점수를 고려하되 75점의 동급간의 고정된 네 개의 점수인 625, 550, 475, 400을 사용하여 능력수준을 구분하고 있다. 이후의 추이변화 결과에서 이 점수를 기준으로 학생 비율을 표기하는 것으로 결정하였다.

*교신저자: 홍미영(myhong@kice.re.kr)

**2005.9.16(접수) 2006.1.18(1심통과) 2006.1.25(2심통과) 2006.1.26(최종통과)

용 지식의 폭과 깊이, 문제 상황, 과학 탐구 기능의 수준, 표와 그래프의 복잡성, 응답 내용의 수준 등을 들 수 있다(Martin *et al.*, 2004).

우리나라 학생의 성취수준별 과학 성취도 결과를 살펴보면, 수월 수준에 속하는 비율이 17%, 우수 수준에 도달한 학생의 비율이 57%, 보통 수준에 도달한 학생의 비율이 88%, 기초 수준에 도달한 학생의 비율이 98%로 나타났다. 이러한 결과를 볼 때 우리나라 중학생의 과반수가 국제 기준의 우수 수준에 속하는 것으로 나타나 전반적인 성적은 우수한 편이라고 할 수 있다. 하지만 수월 수준에 속하는 우리나라 학생의 비율(17%)은 싱가포르(33%)나 대만(26%)에 비교하여 상대적으로 낮고, 우리나라보다 과학 성취도가 낮은 홍콩(13%), 일본(15%), 헝가리(14%) 등의 경우와 비슷하다. 또한 우수 수준 이상에 도달한 우리나라 학생들의 비율은 57%로 싱가포르(66%)나 대만(63%)보다 상대적으로 낮다. 이로부터 우리나라 중학생의 과학 성취도가 싱가포르와 대만보다 낮은 것은 우수 수준 이상에 도달한 학생의 비율이 낮은 데서 비롯된 것임을 알 수 있다. 성취수준별 학생 비율 추이 변화를 살펴보면, 수월 수준에 속하는 우리나라 학생의 비율이 TIMSS 1999에서는 19%였으나 TIMSS 2003에서는 17%로 통계적으로 유의미하지는 않지만 다소 줄어 들었다. 국제성취기준에 따른 국가별 과학 성취도를 해석할 때 정량적인 수치에만 치중하는 것은 바람직하지 않은 측면도 있지만, 장차 국가의 과학 기술을 주도할 인력이 수월 수준에 속한 학생들이라고 본다면, 수월 수준에 속하는 우리나라 학생의 비율이 TIMSS 1999에 비하여 줄었고 다른 우수 국가에 비하여 상대적으로 낮게 나타난 결과에 대해서는 경각심을 가질 필요가 있다.

TIMSS 2003 결과 보고서(박정 등, 2004a)에는 과학 평가도구의 내용 영역별 성취도 결과가 제시되어 있으나, 각 성취수준에 속하는 내용 영역별 문항에 대한 분석을 상세하게 제공하지 않고 있다. 따라서 이 연구에서는 수월 수준과 우수 수준을 중심으로 내용 영역별 성취도와 각 성취수준에 해당되는 문항²⁾을 분석함으로써 우리나라 과학과 교육과정 및 교수·학습에 주는 시사점을 얻고자 하였다.

이 연구의 구체적인 내용은 다음과 같다.

첫째, 수월 수준에서 우리나라 학생들의 전반적인 성취도 경향과 내용 영역별(물리, 화학, 생물, 지구과학, 환경) 문항들의 정답률 분포와 특성을 분석한다.

둘째, 우수 수준에서 우리나라 학생들의 전반적인

성취도 경향과 내용 영역별 문항들의 정답률 분포와 특성을 분석한다.

셋째, 수월 수준과 우수 수준에 해당되는 문항들 중 정답률이 높거나(수월: 70% 이상, 우수: 80% 이상) 낮은 문항(수월: 20% 이하, 우수: 40% 이하)의 특성을 분석하여 우리나라 학생들의 성취 경향을 파악한다.

II. 연구 방법

TIMSS 2003의 본검사 시행 과정, 자료 분석 과정, 평가틀 및 평가 도구 등 일반적인 연구 방법은 다른 연구(박정 등, 2003)에 이미 상세하게 기술되어 있으므로, 본 연구에서는 연구 대상과 시행 시기, 그리고 분석 대상 문항에 관해서만 간략하게 소개하였다.

1. 연구 대상 및 시행 시기

TIMSS 2003은 만 13세 학생을 대상으로 하였으며, 전 세계 46개국이 참가하였다. 우리나라에서는 2003년 4월 중학교 3학년을 대상으로 본검사를 실시하였으며, 최종적으로 자료가 정상 처리된 학생은 유충군집 표집 방법에 의해 표집된 전국 149개 중학교의 5,478명이었다.

2. 분석 대상 문항 및 분석 방법

TIMSS 2003의 과학 평가도구는 5개 내용 영역(화학, 물리, 생물, 지구과학, 환경)의 총 189문항으로 구성되어 있다. 성취수준별로 보면 수월 수준 95문항, 우수 수준 61문항, 보통 수준 23문항, 기초 수준 10문항이다. 수월 수준은 물리 19문항, 화학 21문항, 생물 27문항, 지구과학 14문항, 환경 14문항으로 되어 있으며, 우수 수준은 물리 17문항, 화학 8문항, 생물 19문항, 지구과학 9문항, 환경 8문항으로 되어 있다.

분석 방법은 문항들을 성취수준별로 분류하고 국제 평균 정답률과 국내 평균 정답률을 근거로 하여 각 성취수준별 경향과 정답률 분포, 내용 영역별 특징 등을 살펴보았다.

III. 연구 결과

TIMSS 2003 과학의 수월 수준과 우수 수준에서 우리나라 학생들의 성취도 경향을 내용 영역별로 분석하고, 정답률 분포와 문항의 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

2) TIMSS 2003의 과학 평가 문항 중 대부분이 수월 수준과 우수 수준에 해당되고, 보통 수준과 기초 수준에 해당되는 문항 분석 결과 특이한 양상이 나타나지 않았으므로, 이 연구에서는 수월 수준과 우수 수준에 해당되는 문항을 중심으로 분석하였다.

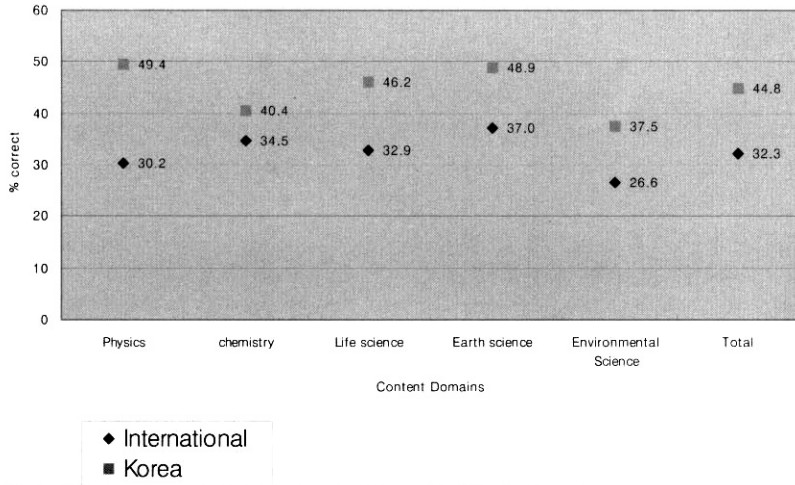


Fig. 1 Percent correct by content domains at advanced international benchmark

1. 수월 수준에서의 성취도

수월 수준에 속한 학생들은 복합적이고 추상적인 과학 개념과 기본적인 과학 탐구를 이해하고, 기본적인 과학 원리를 적용하여 정량적인 문제를 해결할 수 있으며, 과학 지식을 글로 설명할 수 있다(Martin et al., 2004).

수월 수준에 해당하는 문항에서 우리나라 학생들의 평균 정답률은 44.8%이고, 국제 평균 정답률은 32.3%로 우리나라 학생들의 정답률이 국제 평균 정답률보다 높았다. 수월 수준 문항에서 내용 영역별 우리나라 학생들의 평균 정답률을 보면, 물리(49.4%), 지구과학(48.9%), 생물(46.2%), 화학(40.4%), 환경(37.5%) 순으로 나타났다. 반면 수월 수준에서의 내용 영역별 국제 평균 정답률은 지구과학(37.0%), 화학(34.5%), 생물(32.9%), 물리(30.2%), 환경(26.6%) 순으로 그 양상이 우리나라 결과와는 다소 차이가 있다(Fig 1).

내용 영역별로 우리나라 평균 정답률과 국제 평균 정답률의 차를 보면, 물리(19.2%), 지구과학(14.9%),

생물(13.7%), 환경(10.9%), 화학(5.9%) 순으로 나타나, 국제 평균과 비교했을 때 수월 수준에서 우리나라 학생들은 특히 물리 영역에서 상대적으로 강세를 나타내었다. TIMSS 2003에서 우리나라 과학 성취도가 국제 3위로 매우 우수하였음을 고려할 때, 수월 수준에서 화학 영역의 성취도가 다른 영역에 비하여 우려할 수준으로 낮게 나타났다.

수월 수준에서 우리나라 학생들의 정답률에 따른 문항수 분포를 각 내용 영역별로 살펴보면 Table 1과 같다.

수월 수준에 해당하는 95개 문항 중 우리나라 학생들의 평균 정답률이 70% 이상인 문항은 8문항, 20% 미만이 8문항이었다. 과반수에 해당하는 52문항이 평균 정답률 20% 이상 50% 미만에 해당하였다. 평균 정답률이 전반적으로 낮은 것은 수월 수준에 해당하는 문항들이 복합적이고 심화된 과학적 개념을 묻고 있다는 것, 그리고 국제 성취도 비교 연구라는 특성 상 평가틀에서 우리나라의 교육과정에서 다루고 있지 않은 내용들을 포함한다는 것, 그리고 지필 평가로 이루어

Table 1

Distribution of items in content domains by average percent correct of Korean students at advanced international benchmark

Content Domains	Total number of items	Number of items by average percent correct			
		At or above 70%	50-69%	20-49%	Below 20%
Physics	19	5	4	9	1
Chemistry	21	1	3	14	3
Life Science	27	2	10	13	2
Earth Science	14	0	7	6	1
Environmental Science	14	0	3	10	1
Total	95	8	27	52	8

어지는 TIMSS의 특성으로 인하여 학생들의 능력을 제대로 측정하지 못할 가능성이 있다는 것(Harlow, 2003) 등에 원인을 둘 수 있다.

수월 수준에서 내용 영역별로 정답률에 따른 문항 수 분포를 살펴보았을 때, 물리나 지구과학 영역의 경우에는 우리나라 학생들에게 상대적으로 쉬운 문항이 많았으며, 생물 영역의 경우에는 쉽고 어려운 문항들이 비교적 폭넓게 분포되어 있는 것으로 나타났다. 화학과 환경 영역의 경우에는 대부분의 문항들이 우리나라 학생들에게는 어려웠음을 알 수 있다.

물리 영역에서 우리나라 학생들의 평균 정답률 분포를 보면, 총 19문항 중에서 70% 이상이 5문항, 50% 이상 70% 미만인 4문항, 20% 이상 50% 미만인 9문항, 20% 미만이 1문항으로 나타났으며, 우리나라에서 TIMSS에 참여한 학생들이 미처 배우지 않은 내용인 에너지 전환과 관련된 한 문항을 제외하고는 모든 문항에서 우리나라 학생의 정답률이 국제 평균 정답률보다 높았다.

화학 영역의 경우, 총 21문항 중에서 50% 이상이 4문항, 20% 이상 50% 미만이 14문항, 20% 미만이 3문항으로 나타나 다른 영역에 비하여 정답률이 낮은 편이었으며, 이 중에서 국제 평균 정답률보다 낮은 경우가 8문항이었다. TIMSS 2003 수월 수준의 화학 영역에서 물질의 구성 입자 개념과 화학 반응에서의 에너지 출입을 다루고 있는 반면, 우리나라 현행 7차 교육과정의 화학에서는 입자 개념의 도입이 9학년으로 늦추어짐에 따라 중학교 3학년 학생들이 물질의 구조, 화학식, 화학 반응, 그리고 화학 반응에서의 에너지 출입 등에 대하여 이해하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 수월 수준에서 우리나라 학생들의 성취도, 특히 화학 영역에서의 성취도를 하락시킨 주요 원인이 되었다.

생물 영역의 경우, 총 27문항 중에서 정답률이 70% 이상인 문항이 2개, 50% 이상 70% 미만인 문항이 10개, 20% 이상 50% 미만인 문항이 13개, 20% 미만인 문항이 2개로 나타났다. 생물 영역의 수월 수준에서 우리나라 학생들은 중학교 1학년과 2학년 과정에서 학습한 내용인 생물체의 구성, 광합성, 호흡, 눈의 적응 등에 대해서는 비교적 잘 이해하고 있는 반면, 생태계와 관련된 문항에서 국제 평균과의 차이가 상대적으로 작게 나타나서 생태계에 대한 이해가 상대적으로 부족하다고 할 수 있다(Table 3). 제7차 과학과 교육과정에는 6학년에서 생태계에 대한 내용을 다루고 있는데 기본적인 개념의 학습에 그치고 있어서 TIMSS 2003 생물 영역의 생태계 관련 문항에 답하는

데 우리나라 학생들이 어려움을 겪은 것으로 생각된다.

지구과학 영역의 경우, 총 14문항 중에서 정답률이 50% 이상 70% 미만인 문항이 7개, 20% 이상 50% 미만인 문항이 6개, 20% 미만인 문항이 1개로 나타났다. 정답률이 50% 이상으로 높게 나타난 7개 문항들을 살펴보면 지하 동굴의 생성 이유, 금성이 수성보다 표면온도가 더 높은 이유, 위도별 기온 분포, 달의 위상변화가 생기는 이유 등 모두 중학교 1학년과 2학년에서 학습한 내용과 관련된 것이었다. 한편, 정답률이 20% 미만으로 낮게 나타난 1개 문항은 '지형도 상에 강물이 흘러갈 방향을 표시하거나 풍화작용별 사례와 풍화 방법을 서술하도록 요구한 자유응답형 문항이어서(Table 3) 학생들이 답을 서술하는 데 어려움을 겪었을 것으로 추정된다. 이는 우리나라 중학교 교육과정에서 관련 내용을 다루고는 있지만 지식이나 원리의 이해나 회상을 요구하는 수준이어서 학생들이 도출해낸 해결책이나 이해 수준을 그림 상에 직접 표기하거나 서술형으로 적어내는 데 취약점을 드러낸 것으로 보인다.

환경 영역의 경우, 총 14문항 중에서 정답률이 50% 이상인 문항이 3개, 20% 이상 50% 미만인 문항이 10개였다. 환경 영역은 환경 변화, 인구변화, 천연 자원의 이용과 보존에 관한 내용이다. 국제 평균 정답률과 우리나라 평균 정답률이 모두 가장 낮은 내용 영역인 것으로 볼 때 우리나라를 비롯한 세계 각국의 만 13세의 학생들이 환경이나 인구 변화와 관련된 복합적인 상호작용에 대하여 이해하는 데 어려움을 겪고 있음을 알 수 있다.

2. 우수 수준에서의 성취도

우수 수준에 속하는 학생들은 과학에서 다루는 몇 가지 원리, 계(system), 순환(cycle) 개념에 대하여 이해하고, 약간의 과학적 탐구 기능을 갖추고 있으며, 그래프, 표에 나와 있는 정보를 해석하여 문제를 해결하는 등 정보를 조합하여 결론을 도출할 수 있다(Martin et al., 2004).

우수 수준에 해당하는 문항에서 우리나라 학생들의 평균 정답률은 65.9%, 국제 평균 정답률은 48.6%로, 우리나라 학생들의 정답률이 국제 정답률보다 높았다. 우수 수준 문항에서 내용 영역별 우리나라 학생들의 평균 정답률을 보면, 환경(69.3%), 물리(68.7%), 생물(66.1%), 지구과학(65.2%), 화학(57.5%)의 순으로, 화학 영역이 다른 영역에 비하여 정답률이 낮은 것으로 나타났다. 반면 우수 수준에서의 내용 영역별 국제 평균 정답률은 지구과학(50.2%), 생물(49.9%), 환경(49.8%),

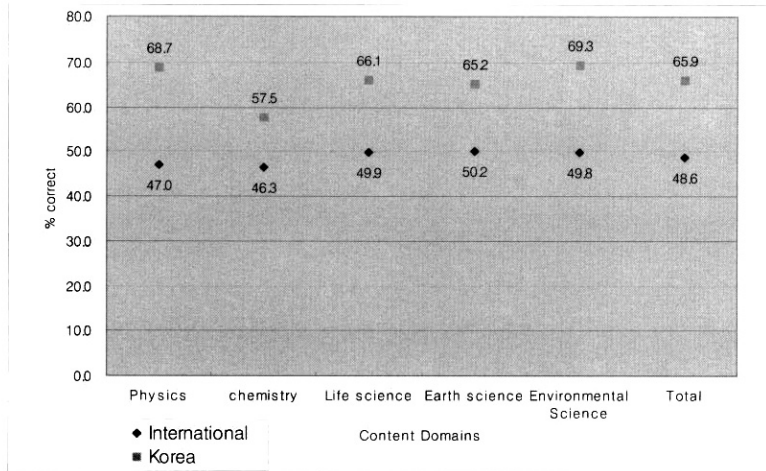


Fig. 2 Percent correct by content domains at high international benchmark

물리(47.0%), 화학(46.3%) 순으로, 우리나라 결과와는 그 양상이 다르게 나타났다.

내용 영역별로 우리나라 평균 정답률과 국제 평균 정답률의 차를 보면, 물리(21.7%), 환경(19.5%), 생물(16.2%), 지구과학(15.0%), 화학(11.2%)의 순으로 나타나, 우수 수준에서도 수월 수준에서와 마찬가지로 우리나라 학생들이 특히 물리 영역에서 강세를 나타내었고 화학 영역에서는 상대적으로 약세였음을 알 수 있다.

우수 수준의 각 내용 영역별 정답률에 따른 문항수 분포를 살펴보면 Table 2와 같다. 영역별로 70% 이상의 정답률을 보인 문항수를 살펴보면, 물리 영역에서 9문항으로 가장 많았으며, 생물 영역 7문항, 환경 영역 4문항, 지구과학 영역 2문항, 화학 영역 1문항인 것으로 나타났다. 또한 20% 이하의 정답률을 보인 문항은 모든 영역에서 한 문항도 없는 것으로 나타났다.

우수 수준에서 내용 영역별로 정답률에 따른 문항수 분포를 살펴보았을 때, 물리, 생물, 지구과학, 환경 영역의 경우 우리나라 학생에게 쉬운 문항이 비교적

많았으며, 화학 영역의 경우에는 중간 정도 수준의 문항이 많았던 것으로 나타났다.

물리 영역에서 우리나라 학생들의 평균 정답률 분포를 보면, 총 17문항 중에서 70% 이상이 9문항, 50% 이상 70% 미만이 6문항, 50% 미만이 2문항이었으며, 모든 문항에서 우리나라 학생의 정답률이 국제 평균 정답률보다 높았다. 우수 수준에서 물리 영역 문항의 정답률을 분석한 결과, 밀도, 기체를 가열했을 때 기체 분자의 운동, 빛의 반사각, 자석 주변에 놓인 나침반 바늘의 방향 등에 대하여 잘 알고 있는 것으로 나타났다. 또한 우수 수준에 속한 대부분의 물리 영역 문항에 대하여 우리나라 학생들은 별 어려움을 느끼지 않은 것으로 나타났다.

화학 영역의 경우, 총 8문항 중에서 70% 이상이 1문항, 50% 이상 70% 미만이 5문항, 50% 미만이 2문항인데, 2문항 제외하면 모두 국제 평균 정답률보다 높게 나와 수월 수준에 비하여 성취도 하락 정도가 완화되었다. 국제 평균 정답률보다 낮게 나온 2문항은 TIMSS 2003의 인지 영역 평가들에 의하면 ‘사실적

Table 2

Distribution of items in content domains by average percent correct of Korean students at high international benchmark

Content Domains	Total number of items	Number of items by average percent correct			
		At or above 70%	50 - 69%	20 - 49%	Below 20%
Physics	17	9	6	2	0
Chemistry	8	1	5	2	0
Life science	19	7	9	3	0
Earth Science	9	2	7	0	0
Environmental Science	8	4	3	1	0
Total	61	23	30	8	0

Table 3

Items with above 70% or below 20% average percent correct at advanced international benchmark

Category	Content area	Item number	Item	Item type**	Percent correct(%)		
					Korea	Int'l	Korea-Int'l
above 70% average percent correct	Physics	0403*	Controlled experiment with cart	MC	74.9	43.2	31.7
		0707	Property conserved during thermal expansion	MC	82.9	46.7	36.2
		1403	Particles of a liquid compared to a gas	MC	72.4	41.1	31.3
		1305*	Sunlight through a glass prism	CR	73.8	22.5	51.3
		0807	Light bulbs in series/parallel circuit	MC	71.2	45.4	25.8
	Chemistry	0604	Sugar dissolving in water	MC	92.2	44.7	47.5
	Life science	0510	Levels of organization in living things	MC	71.1	47.8	23.3
below 20% average percent correct	Physics	0703	Two factors needed for photosynthesis	CR	72.0	55.7	16.3
		1009B*	Metal Crown_determination of average/median value	CR	14.6	14.1	0.5
	Chemistry	1010A*	Metal Crown_what metal block was made of	CR	18.0	15.6	2.4
		1010B*	Metal Crown_what metal block was made of	CR	19.2	8.1	11.1
		0806	Energy released during a chemical reaction	CR	15.1	16.1	-1.0
	Life science	0512	Heart rate increasing with exercise	CR	11.0	10.1	0.9
		1408B	Life in Oceans_effect on sharks when tuna becomes scarce	CR	2.7	11.6	-8.9
	Earth Science	0810B	Topographic map of Tiger Island/river path	CR	19.8	20.5	-0.7
	Environ-mental Science	0614B	Uses of science and technology/global warming	CR	5.1	10.8	-5.7

* released item

** MC: Multiple-choice item, CR: Constructed-response item

지식' 문항에 해당하는데, 이는 개념의 이해, 추론이나 분석을 요구하지 않고 주로 개념의 뜻 등 지식의 회상을 요구하는 것을 의미한다.

생물 영역의 경우, 총 19문항 중에서 70% 이상 7문항, 50% 이상 70% 미만 9문항, 50% 미만 3문항이었다. 정답률이 50% 이상으로 높게 나타난 문항들을 살펴보면, 쓸개즙의 기능, 적혈구의 기능, 엽록소의 기능, 먹이그물 완성하기, 자궁의 기능, 변인통제 등에 대한 내용이었다. 한편 '생태계'에 해당되는 2문항의 경우 정답률이 50% 미만으로 나타났다(Table 4). 수월 수준에서와 마찬가지로 학생들은 우수 수준에 해당되는 생태계 관련 문항에서도 어려움을 겪었음을 알 수 있다.

지구과학 영역의 경우, 총 9개 문항 모두가 정답률이 50% 이상이었으며, 이 중에서 2개 문항은 정답률이 70% 이상인 것으로 나타났다. 정답률이 85.2%인 것으로 나타난 문항은 퇴적암의 정의를 묻는 선택형 문항이었으며(Table 4), 정답률이 77.3%로 나타난 문항은 태양계 내의 행성과 위성의 차이를 묻는 선택형 문항이었다. 따라서 우리나라 학생들은 초등학교 때부터 다루어온 이러한 사실적 지식을 대부분 기억하고 있음을 알 수 있다. 이들 9개 문항의 정답률은 모두 국제 평균 정답률보다 높았다. 나머지 문항들의 내용

을 살펴보면, 화석연료의 유래, 계곡과 평원에서의 강의 흐름 비교, 환태평양 변동대의 생성 이유, 지구의 1년의 정의, 달과 지구의 거리, 등고선이 표시된 지형도 해석, 행성과 위성의 차이, 산사면의 기상 상태 등을 질문하고 있다. 지구과학 영역의 우수 수준에 해당하는 9개 문항 중 가장 정답률이 낮은 문항(53.6%)은 산의 양쪽 사면의 기상 정보를 토대로 장기적으로 초래될 결과를 추론하게 한 선택형 문항으로서 우리나라 학생들은 상대적으로 장기적 파급 효과 추론에서 어려움을 겪은 것으로 보인다.

환경 영역의 경우, 총 8문항 중에서 70% 이상이 4문항, 50% 이상 70% 미만 3문항, 50% 미만이 1문항이며, 모두 국제 평균 정답률보다 높게 나타났다. 식수가 부족한 이유를 묻는 문항과 자연적인 원인에 의한 토양의 변화, 재생 가능한 에너지 자원의 분류에 대한 문항들의 경우에 정답률이 70% 이상이었다. 한편, 야생 동물에 미치는 뱀의 영향에 대하여 묻는 문항의 경우에만 정답률(42.7%)이 50% 이하였는데, 이는 우리나라 학생들이 환경 개발이 가져다주는 긍정적인 측면과 부정적인 측면을 종합적으로 분석하는데 다소 어려움을 겪었음을 시사한다.

3. 문항 분석

1) 수월 수준

여기에서는 우리나라 학생들의 평균 정답률이 70% 이상인 문항과 20% 미만인 문항에 대한 특징을 살펴봄으로써 TIMSS 2003의 수월 수준에서 볼 때 우리나라 학생들이 전반적으로 높은 정답률을 나타낸 내용과 취약한 내용을 알아보았다.

수월 수준에서 우리나라 학생들의 평균 정답률이 70% 이상인 문항과 20% 미만인 문항은 각각 8문항씩이다. 영역별로 70% 이상의 정답률을 보인 문항수를 살펴보면, 물리 영역의 경우에 5문항으로 가장 많았고, 생물 영역에서 2문항, 화학 영역에서 1문항씩이었으며, 지구과학과 환경 영역에서는 70% 이상의 정답률을 나타낸 문항이 없는 것으로 나타났다. 20% 이하의 정답률을 보인 문항의 수는 화학 영역의 경우에 3문항으로 가장 많았으며, 생물 영역이 2문항이었고, 다른 영역은 각 1문항씩인 것으로 나타났다. Table 3에는 정답률이 70% 이상인 문항과 20% 이하인 문항에 대한 정보가 제시되어 있다. Table 3에 제시된 16개의 문항 중 IEA 본부에서 공개하기로 결정한 문항은 문항 0403, 1305, 1009B, 1010A, 1010A 총 5문항이다(박정 등, 2004b). 비공개 문항의 경우에는 문항에 대한 상세한 기술을 할 수 없으므로 본 연구에서는 공개 문항 중심으로 문항 특성을 분석하였다.

TIMSS 2003 수월 수준에서 우리나라 학생들이 전반적으로 높은 정답률을 나타낸 문항을 통하여 우리나라 학생들이 비교적 잘 알고 있거나 할 수 있는 능력을 살펴보면 다음과 같다. 열팽창, 상태 변화, 용해 등의 물리적 현상을 이해하고 이를 입자 개념을 바탕으로 설명할 수 있으며(문항 0604, 0707, 1403), 전기 회로에서 직렬과 병렬로 연결된 전구에 흐르는 전류의 세기를 비교할 수 있다(문항 0807). 또한 프리즘을 통한 빛이 스크린에 나타나는 모습(문항 1305), 광합성을 하는 데 필요한 요인(문항 0703), 생물체의 구성 단계(문항 0510) 등의 기본 지식을 알고 있다. 탐구 기능으로는 '기울기가 급할수록 수레가 더 빠르게 내려갈 것'이라는 가설을 검증하기 위한 실험(문항 0403)에서 수레바퀴의 종류, 수레 위에 올린 나무도막의 수, 기울기 등 3가지의 변인을 동시에 고려하여 실험 결과를 비교할 수 있는 변인 통제 능력을 갖추고 있다고 볼 수 있다.

반면 TIMSS 2003 수월 수준에서 우리나라 학생들이 평균 정답률 20% 이하를 기록하여 취약점을 드러낸 내용을 살펴보면 다음과 같다.

문항 1009B, 1010A, 1010B는 각각 물리와 화학 영

역에 속하여 있지만 모두 아르키메데스 이야기와 관련하여 금속의 밀도를 계산하고 그 의미를 묻는 문항이다. TIMSS 2003의 특징 중의 하나는 내용 영역을 통합하여 복합적인 사고력과 탐구 기능을 평가할 수 있도록 주제 중심의 수행평가를 도입한 점인데, 문항 1009B, 1010A, 1010B는 밀도와 관련된 '금속 왕관'이라는 수행 평가 문항 세트에 해당한다. 1009B 문항은 여러 번 측정된 데이터가 주어졌을 때 평균과 중앙치를 구할 수 있는지를 묻는 문항으로, 계산 과정까지 써야만 옳은 것으로 인정되는 문항이다. 이 문항의 지문은 '과학자들은 왕관의 밀도가 12.0g/cm^3 이라고 왕에게 보고했다. 위의 표로부터 과학자들이 어떻게 이 값을 얻었는지 설명하십시오'로 되어 있다. 학생들의 응답 결과를 분석한 결과, 우리나라 학생들의 정답률이 낮은 것은 단순히 '평균을 구한다'라고만 서술하고 그 계산 과정을 쓰지 않은 학생이 많았기 때문인 것으로 나타났다(34.7%). 즉, 학생들이 평균과 중앙치를 구하는 방법을 몰라서가 아니라 문항이 의도한 바가 학생들에게 정확하게 전달되지 않은 까닭에 정답률이 낮게 나타난 것으로 볼 수 있다. 반면 이와 같이 계산 과정을 쓰지 않아서 오답을 한 학생들의 국제 평균 비율은 8.0%에 불과하였다. 이 문항은 국제 비교 연구에서 번역 과정에서 생길 수 있는 의미 차이가 문제가 될 수 있음을 보여 준 사례라고 할 수 있다.

문항 1010A는 밀도를 계산한 다음 그 값을 표에 제시된 여러 금속의 밀도와 비교하여 미지의 금속이 무엇인지를 찾아내는 문항이며, 문항 1010B는 문항 1010A의 답을 이용하여 왕관이 어떤 금속의 합금으로 되어 있는지 유추하는 문항이다. 같은 수행평가 문항 세트 중 질량과 부피를 이용하여 미지의 금속의 밀도를 계산하는 문항(문항 1007)에서는 우리나라 학생들 중 33%가 밀도를 정확하게 구하였으나, 구한 밀도의 의미를 적용하는 문항 1010A와 1010B에서는 정답률이 각각 18.0%와 19.2%로 낮아졌다. 즉 밀도 계산을 하고서도 밀도가 비슷한 금속을 찾지 못하는 학생들이 많았으며, 이는 공식에 의하여 밀도를 계산 하더라도 그 값의 의미가 무엇인지를 모르는 학생들이 많다는 것을 의미한다(박정 등, 2004b). 싱가포르의 경우에는 문항 1010A의 평균 정답률이 36%로서, 밀도의 개념을 이해하고 있는 학생들이 우리나라보다 훨씬 많은 것으로 나타났다. 밀도는 전통적으로 학생들이 어려워하는 개념으로 알려져 있기는 하지만, 정성적인 의미를 이해하지 못한 채 기계적인 계산만을 하는 학생들이 많다는 것은 밀도 개념을 가르칠 때, 공식을 이용한 계산보다 밀도의 의미와 유용성을 강

Table 4

Items with above 80% or below 40% average percent correct at high international benchmark

Category	Content area	Item number	Item	Item type**	Percent correct(%)		
					Korea	Int'l	Korea-Int'l
above 80% average percent correct	Physics	0910*	Why helium balloon moves upward	MC	88.9	58.1	30.8
		1214	Molecules of gas when heated	MC	86.2	57.5	28.7
		0116	Angle of reflected light ray	MC	81.0	62.9	18.1
		0412A*	Compass placed next to a magnet /draw	CR	86.9	40.3	46.6
		0412B*	Compass placed next to a magnet /explain	CR	81.2	29.2	52.0
	Life science	0313*	Bodily process to prevent overheating	CR	84.8	43.5	41.3
		0610	Whether two people are related	MC	85.6	45.1	40.5
		0904*	Fertilization in animals	MC	83.1	60.1	23.0
		0613	Gall bladder stores bile	MC	85.1	59.5	25.6
		Earth Science	0305*	Rock at bottom of lake/ocean	MC	85.2	53.7
below 40% average percent correct	Life science	0214*	Community of mice, snakes and wheat plants	CR	37.6	33.5	4.1
		1102	Antelope population graph	MC	36.7	52.2	-15.5

* released item

** MC: Multiple-choice item, CR: Constructed-response item

조해야 함을 의미한다.

그 밖에 수월 수준에서 우리나라 학생들의 정답률이 20% 이하인 문항들의 내용을 살펴보면 화학 반응시의 에너지 출입(문항 0806), 운동과 심장 박동의 관계(문항 0512), 지형도(문항 0810B), 먹이 사슬(문항 1408B), 과학과 기술의 이용(문항 0614B)에 관한 내용이다. 이 중에서 화학 반응시의 에너지 출입이나 지형도 문항은 심화된 과학적 지식을 묻고 있으며, 그 밖의 문항들은 어떠한 행동이나 사건이 다른 환경이나 사물에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 복합적인 인과 관계를 묻는 자유응답형 문항이다.

우리나라 학생들의 과학 성취도가 국제 수준으로 볼 때 매우 우수함에도 불구하고, 수월 수준에서 정답률이 20% 이하인 문항들의 정답률은 국제 평균 정답률과 비슷하거나 오히려 낮은 경향을 나타내었다. 따라서 이상의 결과들로 미루어 볼 때 TIMSS 2003의 수월 수준에서 보면 우리나라 학생들은 기본적인 과학 탐구에 대한 이해도는 높으나, 과학 지식을 글로 설명하거나 복합적이고 추상적인 과학 개념을 이해하는 것, 그리고 과학 원리를 적용하여 정량적으로 문제를 해결하는 것에서는 취약함을 알 수 있다.

2) 우수 수준

우수 수준 문항의 경우, 우리나라 학생들의 평균 정답률은 수월 수준에 비하여 상대적으로 높았다. 총 61개의 우수 수준 문항 중 70% 이상에 해당하는 문항이 23개 문항이었으며, 정답률이 20% 미만인 문항

은 없는 것으로 나타났다. 이 점을 고려하여 우리나라 학생들이 80% 이상의 정답률을 나타낸 문항과 40% 미만의 정답률을 나타낸 문항에 대한 특징을 살펴봄으로써, TIMSS 2003의 우수 수준에서 볼 때 우리나라 학생들이 전반적으로 높은 정답률을 나타낸 내용과 취약한 내용을 알아보았다.

우수 수준에서 우리나라 학생들의 평균 정답률이 80% 이상인 문항과 40% 미만인 문항은 각각 10문항과 2문항이었다. 영역별로 80% 이상의 정답률을 보인 문항수를 살펴보면, 물리 영역의 경우에 5문항으로 가장 많았고, 생물 영역에서 4문항, 지구과학 영역에서 1문항이었으며, 화학과 환경 영역에서는 80% 이상의 정답률을 보인 문항이 없는 것으로 나타났다. 40% 이하의 정답률을 보인 문항의 수는 생물 영역의 경우에만 2문항이 있었으며, 나머지 영역에서는 모두 40% 이상의 정답률을 나타내었다. Table 4에는 정답률이 80% 이상인 문항과 40% 이하인 문항에 대한 정보가 제시되어 있다. Table 4에 제시된 16개의 문항 중 IEA 본부에서 공개한 문항은 문항 0910, 0116, 0412A, 0412B, 0313, 0904, 0305, 0214의 총 8문항이다.

TIMSS 2003 우수 수준에서의 성취도를 고려할 때, 우리나라 학생들의 대부분은 헬륨 풍선이 위로 올라가는 이유(0910), 온도가 증가할 때 기체 분자의 운동(1214), 빛이 반사되는 방향(0116), 자석 주위의 자기장의 방향(0412A, 0412B)에 대하여 알고 있으며, 인체의 체온 상승을 방지하는 과정(0313), 혈연관계가

있는지를 알아보는 방법(0610), 동물의 수정 과정(0914), 쓸개의 기능(0613) 등에 대하여 알고 있는 것으로 나타났다. 또한 퇴적암(0305)에 대해서도 많은 학생들이 알고 있는 것으로 나타났다.

0910, 0412A, 0412B, 0313, 0610 등 다섯 문항은 우리나라 학생의 정답률이 국제 정답률보다 30% 이상 높았다. 0910 문항은 헬륨 풍선이 위로 올라가는 이유가 밀도 차이 때문임을 알고 있는지를 묻고 있다. 이와 관련된 내용은 중학교 2학년 '물질의 특성' 단원에서 다루어지고 있는 내용인데, 대부분의 교과서에서 밀도에 대한 학습 내용을 제시하면서 이 문항의 내용을 다루고 있으므로, 이 문항이 우리나라 학생들에게는 쉬웠던 것으로 판단된다(박정 등, 2004b). 수월 수준에서 문항 1010A와 1010B에서는 정답률이 모두 20% 미만이었던 점으로 미루어 볼 때, 우리나라 중학교 3학년 학생들은 밀도가 작은 물질이 상대적으로 가벼운 물질이라는 것은 잘 알고 있으나, 밀도를 계산하거나 밀도를 이용하여 물질을 확인하는 개념 적용 수준에 도달한 학생은 적은 것으로 볼 수 있다.

문항 1010A는 밀도를 계산한 다음 그 값을 표에 제시된 여러 금속의 밀도와 비교하여 미지의 금속이 무엇인지를 찾아내는 문항이며, 문항 1010B는 문항 1010A의 답을 이용하여 왕관이 어떤 금속의 합금으로 되어 있는지 유추하는 문항이다. 같은 수행평가 문항 세트 중 질량과 부피를 이용하여 미지의 금속의 밀도를 계산하는 문항(문항 1007)에서는 우리나라 학생들 중 33%가 밀도를 정확하게 구하였으나, 구한 밀도의 의미를 적용하는 문항 1010A와 1010B에서는 정답률이 각각 18.0%와 19.2%로 낮아졌다. 즉 밀도 계산을 하고서도 밀도가 비슷한 금속을 찾지 못하는 학생들이 많았으며, 이는 공식에 의하여 밀도를 계산하더라도 그 값의 의미가 무엇인지를 모르는 학생들이 많다는 것을 의미한다(박정 등, 2004b). 싱가포르의 경우에는 문항 1010A의 평균 정답률이 36%로서, 밀도의 개념을 이해하고 있는 학생들이 우리나라보다 훨씬 많은 것으로 나타났다. 밀도는 전통적으로 학생들이 어려워하는 개념으로 알려져 있기는 하지만, 정성적인 의미를 이해하지 못한 채 기계적인 계산만을 하는 학생들이 많다는 것은 밀도 개념을 가르칠 때, 공식을 이용한 계산보다 밀도의 의미와 유용성을 강조해야 함을 의미한다.

0412A 문항은 자석 주위에 놓인 나침반에 바늘을 그리고, 바늘에 북극과 남극을 표시하도록 요구하고 있으며, 0412B 문항에서는 0412A에서와 같이 답한 이유를 적도록 하고 있다. 이 내용은 6학년 전자석 단원에서 다루어지는 부분으로 우리나라 교육과정에서

서 매우 강조되는 내용이다. 따라서 학생들의 정답률이 높았던 것으로 판단된다. 특히 0412A 문항은 그림을 그려서 답을 해야 하는 것임에도 불구하고 우리나라 학생들의 정답률이 매우 높았다. 반면에 국제 정답률은 0412A 문항은 40.3%, 0412B 문항은 29.2%로 우리나라 학생들과 비교하여 매우 낮았다.

0313 문항은 체온 조절을 위해 땀을 흘린다는 것을 설명할 수 있는지를 알아보고 있는데, 중학교 1학년 과정의 배설 단원에서 오줌의 생성 과정과 함께 땀의 생성으로 인한 체온 조절에 대해서 학습하였으므로 정답률이 높게 나타난 것으로 생각된다.

0610 문항은 두 사람의 혈연관계를 알아보기 위한 방법에 관한 것인데, 학생들이 유전에 대하여 아직 학습하지 않았지만 문항에서 깊이 있는 개념을 요구하지 않았고 일상생활에서 많이 접할 수 있는 내용이며, 정답을 쉽게 찾을 수 있었던 것으로 보인다.

한편, TIMSS 2003 우수 수준 문항 중에서 우리나라 학생들의 정답률이 40% 미만으로 비교적 낮게 나타난 2문항은 생태계에 관한 내용을 다루고 있다. 0214 문항에서는 특정한 생태계에서 최종 소비자가 감소할 경우 다른 생물에 미치는 영향을 서술하도록 하였다. 그리고 1102 문항에서는 특정한 생물의 개체수에 급격한 변화를 가져오게 한 요인을 찾으려 하는데, 환경 문제와 생태계를 관련지어서 이해하는 능력을 요구하고 있다. 우리나라 중학교 과학과 교육과정에서 생태계에 관련된 내용이 포함되어 있지 않고 초등학교 6학년 과정에서 먹이 피라미드의 개념과 환경 문제에 대한 내용이 제시되기는 하지만 깊이 있게 다루지 않으므로 우리나라 학생의 정답률이 낮게 나타난 것으로 생각된다. 특히 1102 문항의 경우 우리나라 학생들의 평균 정답률은 국제 평균 정답률보다 15.5% 낮게 나타났다.

우수 수준에서 우리나라 학생들의 과학 성취도를 문항별로 살펴본 결과, TIMSS에서 평가하고 있는 대부분의 내용 영역에서 우수한 것으로 나타났으나 생물 영역 중 생태계에 대한 이해 정도는 국제 수준에 비해 상대적으로 취약한 것으로 나타났다. 또한 화학의 경우에는 80% 이상의 정답률을 보인 문항이 하나도 없고 지구과학의 경우에는 한 문항에 불과한 것으로 나타나 이들 영역에서의 성취도가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

IV. 결론 및 논의

이 연구에서는 TIMSS 2003에서 제시한 성취 수준 중에서 수월 수준과 우수 수준을 중심으로 우리나라

중학생들의 과학 내용 영역별 성취도를 분석하고, 수월 수준과 우수 수준에 해당되는 문항들 중에서 정답률이 특별히 높거나 낮은 문항의 특성을 분석하여 우리나라 학생들의 성취 경향을 파악하였다.

수월 수준의 문항들의 정답률을 내용 영역별로 살펴보면, 우리나라의 평균 정답률은 물리, 지구과학, 생물, 화학, 환경의 순으로 높았다. 반면에 국제 평균 정답률은 지구과학, 화학, 생물, 물리, 환경의 순으로 높았다. 국제 평균과 비교했을 때 수월 수준에서 우리나라 학생들은 물리 영역에서 상대적으로 강세를 나타내었고, 화학 영역은 다른 영역에 비하여 낮게 나타났다. 수월 수준에 해당하는 95개 문항 중 우리나라 학생들의 평균 정답률이 70% 이상이 8개, 20% 미만이 8개이며, 52개 문항이 평균 정답률 20% 이상 50% 미만에 해당하여 평균 정답률이 전반적으로 낮다고 볼 수 있다. TIMSS 2003의 수월 수준에서 보면 우리나라 학생들은 변인 통제, 그래프 해석 등 과학 탐구 측면에서는 높은 성취도를 나타내었으나, 과학 지식을 글로 설명하는 자유응답형 문항, 변인들 간의 관계를 파악하거나 과학 원리를 적용하여 정량적으로 값을 도출하고 그 의미를 해석하는 등의 복합적인 과제에서는 취약함을 나타내었다.

우수 수준의 문항들의 정답률을 내용 영역별로 살펴보면, 우리나라의 평균 정답률은 환경 영역에서 가장 높게 나타났고, 화학 영역이 다른 영역에 비하여 정답률이 낮은 것으로 나타났다. 우수 수준에 해당하는 61개 문항의 정답률 분포를 보면, 70% 이상이 23 문항, 50% 이상 70% 미만에 해당하는 문항이 30개, 20% 이상 50% 미만에 해당하는 문항이 8개로 대부분의 경우에 정답률이 50% 이상인 것으로 나타났다. 또한, 전체적으로 수월 수준에서보다는 정답률의 분산이 작은 것으로 나타났다. 우수 수준에서 우리나라 학생들의 과학 성취도를 종합적으로 판단해 볼 때, TIMSS에서 평가하고 있는 대부분의 내용 영역에서 우수한 것으로 나타났으나 화학 영역과 지구과학 영역의 경우 상대적으로 낮았으며 생물 영역 중에서 생태계에 대한 이해 정도는 국제 수준과 비교하여 비교적 취약한 것으로 나타났다.

TIMSS 2003 국제성취기준에 따른 우리나라 중학생들의 과학 성취도 결과를 바탕으로 교육과정과 교수·학습 개선을 위한 몇 가지 시사점을 얻을 수 있다.

첫째, TIMSS 2003 결과를 보면, 한 국가의 전체적인 성취도는 최상위권인 수월 수준에 해당하는 학생 분포 비율에 따라 크게 좌우됨을 알 수 있다(Martin *et al.*, 2000, 2004). 장차 국가의 과학 기술을 주도할

인력들도 이 수준에 해당하는 학생들이라고 볼 수 있다. 우리나라는 수월 수준에 해당하는 학생 분포 비율이 세계 3위로 높은 것은 좋은 결과이지만, 이 결과로 우리나라의 과학기술의 미래가 밝다고 낙관하기는 어렵다. 중등 교육이 과학기술 전문 인력의 양성을 위한 기초를 마련하는 역할을 하지만 실제 전문 인력의 양성은 대학교육을 통해서 이루어지며(김찬중, 2004), 이공계 기피 현상은 이미 교육 분야뿐만 아니라 국가적으로 해결에 나서야 할 만큼 심각해졌기 때문이다. 미래에 우리나라가 과학 기술 분야에서 국가 경쟁력을 잃지 않기 위해서는 비단 교육과정이나 교수·학습에서의 개선뿐만 아니라 우수한 학생들이 과학 기술 분야로 진출하도록 유도할 수 있는 여건 마련 등 정책적인 지원이 선행되어야 할 것이다.

둘째, 국제비교연구 결과와 관련하여 교육과정 개정에 있어서 어떤 내용을 언제 도입할 것인지를 고려해 보아야 한다. 예를 들어, TIMSS 2003에서 우리나라 중학생들의 화학 영역의 성취도가 낮게 나타난 원인 중 하나로 TIMSS 2003 화학 영역에 우리나라 학생들이 학습하지 않은 ‘물질의 입자 구조’와 ‘화학 변화’ 등의 내용이 다수 포함되어 있었던 점을 들 수 있다. 또한 우리나라 중학생들은 생물 영역에서 생태계에 대한 이해가 상대적으로 부족한 것으로 나타났는데, 그 원인을 중학교 과학과 교육과정에서 다루지 않고 있다는 것에서 찾아볼 수 있다. 따라서 차기 교육과정 개정에서는 이러한 개념들을 언제 어떻게 다룰 것인가를 고려해 보아야 한다. 화학 영역의 경우, 제7차 교육과정에서는 이전에 비하여 학습량을 줄인다는 교육과정 개정의 전반적인 취지하에 국민공통기본교육과정에 해당하는 고등학교 1학년까지 다루는 개념수가 줄었으며, 나선형 교육과정의 취지를 따라 초등학교에서 배웠던 일부 내용을 중학교에서, 그리고 중학교에서 배우던 일부 내용을 다음 학년이나 고등학교에서 다루도록 되어 있다. 예를 들면, 제6차 교육과정의 중학교 3학년에서 다루어지는 이온 개념이 제7차 교육과정에서는 고등학교 1학년에서 다루도록 되어 있으며, 제6차 교육과정의 6학년에서 다루어지던 ‘분자’ 개념도 중학교 1학년에서 다루도록 되어 있다. 그 결과, 원자의 구조, 화학 반응, 반응에서의 에너지 출입 등 화학에서 기본이 되는 주요 개념의 도입 시기가 다른 나라에 비하여 늦어졌으며, TIMSS 2003에서 각국의 교육과정을 조사한 결과에서도 이러한 결과를 확인할 수 있었다(Martin *et al.*, 2004). 이는 TIMSS 2003에서 우리나라 학생들의 화학 영역 성취도 하락으로 나타났다고 볼 수 있다. 제6차 교육과정

의 적용을 받았던 TIMSS 1999에서도 우리나라 학생들이 다른 나라에 비하여 상대적으로 화학 영역에서 다양한 주제를 학습하지 못하는 것으로 나타났었는데(전경문, 2003), 제7차 교육과정에서는 이러한 경향이 더욱 심화되었다고 볼 수 있다(이양락 등, 2004).

그러나 이러한 결과를 토대로 현행 제7차 교육과정에서 중학교 3학년에서 다루도록 되어 있는 입자 개념을 보다 일찍 도입해야 한다고 단정적으로 결론내리기는 어렵다. 실제로 물질의 입자 구조 개념 도입 시기에 대해서는 상반된 주장이 제기되어 왔다. 물질 개념에 있어서 ‘물질의 입자 구조’는 다른 개념이나 현상의 이해에 매우 중요한 역할을 하는(overarching) 개념으로 볼 수 있지만, 개념이 매우 복잡하고 학생들의 능력을 고려하면 이를 7, 8학년에 도입하는 것은 너무 이르다는 지적이 있다(Liu & Lesniak, 2005). 또한 입자 개념을 8학년 이전에 도입할 경우 오히려 학생들의 화학에 대한 흥미와 동기를 저하시킨다는 연구 결과(Harrison & Treagust, 2002)가 있다. 미국의 국가과학교육기준(NRC, 1996)에서는 8학년까지 입자(particle)나 분자, 원자 등의 용어나 개념을 전혀 도입하지 않도록 권장하고 있으며, 영국의 국가교육과정(DEE & QCA, 1999)에서도 key stage 4(10-11학년)에서 다루도록 되어 있다. 반면 Benchmarks for Science Literacy(AAAS, 1993)나 Atlas of Science Literacy(AAAS, 2001)에서는 8학년까지에서 입자 모델과 분자운동론을 다루며, 12학년까지에서 원자 구조와 화학 결합을 다루도록 되어 있다. 그러나 전세계적인 표준 교육과정을 정하고 이를 일률적으로 따라야 할 필요는 없으며, 교육과정은 해당 국가가 고유하게 결정해야 한다(박경미, 2004). 따라서 우리나라 학생들이 취약한 내용에 대하여 교육과정과 교수·학습 방법 측면에서 원인을 파악하고, 우리나라의 교육 여건과 교사들의 요구, 학생들의 수준 등에 관한 연구 결과를 기초로 개념 도입 여부와 시기를 결정해야 할 것이다.

셋째, 학생들에게 과학 지식을 의사소통할 수 있는 능력을 향상시키기 위한 노력이 이루어져야 한다. 수월 수준에서 보면 우리나라 학생들은 과학 지식을 글로 설명하는 자유응답형 문항에서 취약한 것으로 나타났다. 즉 과학 지식의 의미를 설명하거나 자신이 그렇게 생각하는 이유를 과학 지식에 근거하여 논리적으로 설명하는 데 어려움을 겪는 것으로 나타났다. 수행평가가 도입된 이후로 우리나라 학생들은 자신의 생각을 쓰거나 과학 지식을 설명하도록 요구하는 자유응답형의 문항에 비교적 익숙해진 편이긴 하지만, TIMSS 2003 결과는 아직도 좀 더 훈련이 필요함을 시사한다고 볼 수 있다.

넷째, 다양한 탐구 능력을 향상시키기 위한 노력이 필요하다. 우리나라 학생들은 변인 통제, 그래프 해석 등 과학 탐구 측면에서는 높은 성취도를 나타내었으나, 변인들 간의 관계를 파악하거나 과학 원리를 적용하여 정량적으로 값을 도출하고 그 의미를 해석하는 등의 복합적인 과제에서는 취약함을 나타내었다. 중학교 교과서를 분석해 볼 때, 변인 통제나 그래프 해석 관련 문제는 중학교 수준에서 많이 이루어지고 있는 탐구 활동이나, 변인간의 관계 파악이나 의미 해석 등과 관련한 탐구 활동은 상대적으로 적게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 학생들에게 과학 활동을 이해하고 수행할 수 있는 능력을 길러주기 위해서는 여러 가지 다양한 탐구 능력을 고르게 신장시키는 것이 필요하다. 또한 우리나라 학생들에게 고차원적인 탐구 능력을 신장시키기 위해서는 과학적 지식을 논리적으로 표현하는 경험을 갖도록 하고, 사실적 지식을 갖출 뿐만 아니라 여러 개념들을 통합하여 사고할 수 있도록 지도할 필요도 있다.

국문 요약

TIMSS 2003에서는 교육과정과 교수·학습 개선에 도움이 되는 구체적인 정보를 제공하기 위하여 전체 과학 성취점수를 수월, 우수, 보통, 기초 4개의 수준으로 구분하여 각 성취수준에 해당하는 학생이 무엇을 알고, 무엇을 할 수 있는지를 제시하고 있다. 이 연구에서는 수월 수준과 우수 수준을 중심으로 우리나라 중학생들의 과학 내용 영역별 성취도 경향 및 문항별 정답률 분포와 특성을 분석하였다. 수월 수준 문항들의 정답률을 내용 영역별로 살펴보면, 우리나라의 평균 정답률은 물리, 지구과학, 생물, 화학, 환경의 순으로 높았다. 반면에 국제 평균 정답률은 지구과학, 화학, 생물, 물리, 환경의 순으로 높았다. 우수 수준에서 우리나라의 경우에는 환경, 물리, 생물, 지구과학, 화학의 순으로 평균 정답률이 높게 나타난 반면에 국제 평균 정답률은 지구과학, 생물, 환경, 물리, 화학의 순으로 높았다. 수월 수준과 우수 수준에 해당되는 문항들의 정답률을 내용 영역별로 살펴본 결과, 우리나라 학생들은 물리 영역에서 강세를 나타내었고 화학 영역은 상대적으로 약세를 나타내었다. 각 수준에 해당하는 문항들 중 정답률이 높거나 낮은 문항들의 특성을 분석한 결과, 수월 수준에서 우리나라 학생들은 기본적인 과학 탐구에 대한 이해도는 높으나, 과학 지식을 글로 설명하거나 복합적이고 추상적인 과학 개념을 이해하는 것, 그리고 과학 원리를 적용하여 정량적으로 문제를 해결하는 것에서는 취약한 것으로 나

타났고, 우수 수준에서는 생태계에 대한 이해 정도가 국제 수준에 비해 상대적으로 취약한 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 우리나라 과학과 교육과정 및 교수·학습에 주는 시사점을 도출하였다.

참고 문헌

- 김찬중 (2004). 국제 과학 성취도 연구의 전망과 과제. 학업성취도 국제비교연구 성과와 과제. 한국교육과정평가원 연구자료 ORM 2004-26.
- 박경미 (2004). 수학 성취도 국제비교 연구의 전망과 과제. 학업성취도 국제비교연구 성과와 과제. 한국교육과정평가원 연구자료 ORM 2004-26.
- 박정, 정은영, 김경희, 한경혜 (2004a). 수학과학 성취도 추이변화 국제 비교 연구. 한국교육과정평가원 연구보고서. 연구보고 RRE 2004-3-2.
- 박정, 정은영, 김경희, 한경혜 (2004b). TIMSS 2003 공개문항 분석 자료집. 한국교육과정평가원 연구보고서. 연구자료 ORM 2004-27.
- 박정, 홍미영, 이봉주, 전현정 (2003). 수학과학 성취도 추이변화 국제비교 연구(TIMSS 2003). 한국교육과정평가원 연구보고서. 연구보고 RRE 2003-3.
- 이양락, 박재근, 이봉우, 박순경, 정영근 (2004). 과학과 교육내용 적절성 분석 및 평가. 한국교육과정평가원. 연구보고 RRC 2004-1-6.
- 전경문 (2003). 제3차 수학과학 성취도 국제 비교 반복 연구(TIMSS-R) 중 화학 영역 성취도 분석. 한국과학교육학회지, 23(3), 299-307.
- American Association for Advanced Science (1993). *Benchmarks for Science Literacy*. New York: Oxford University Press.
- American Association for Advanced Science (2001). *Atlas of Science Literacy*. Washington, DC: Author.
- DEE & QCA (1999). *Science: The National Curriculum for England*. www.nc.uk.net.
- Harlow, A. (2003). Why students answer TIMSS science test items the way they do? Paper presented at the Annual Meeting of the Australia Science Education Research Association, Melbourne, Australia.
- Liu, X., & Lesniak, K. M. (2005). Students' progression of understanding the matter concept from elementary to high school. *Science Education*, 89(3), 433-450.
- Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Gonzales, E. J., Gregory, K. D., Smith, T. A., Chrostowski, S. J., Garden, R. A., & O'Connor, K. M. (2000). *TIMSS 1999 International Science Report; Findings from IEA's Repeat of the Third International Mathematics and Science Study at the Eighth Grade*. International Study Center Boston College Chestnut Hill, MA, USA.
- Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Gonzalez, E. J., & Chrostowski, S. J. (2004). *TIMSS 2003 International Science Report; Findings from IEA's Trends in International Mathematics and Science Study at the Fourth and Eighth Grade*. International Study Center Boston College Chestnut Hill, MA, USA.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representation in chemical explanation. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.