Journal of the Korean Association for Science Education
Journal homepage: www.koreascience.org

교육과정 변화에 따른 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 TIMSS 과학 내용영역별 성취 특성 분석

곽영순*
한국교육과정평가원

Analysis of Features of Korean Fourth Grade Students' TIMSS Science Achievement in Content Domains with Curriculum Change

Youngsun Kwak*
Korea Institute for Curriculum and Evaluation

ARTICLEINFO

Article history:
Received 3 July 2017
Received in revised form
25 July 2017
3 August 2017
Accepted 3 August 2017

Keywords:
TIMSS, Life science, Physical science, or Earth science, content domain, Trend, reasoning

ABSTRACT

The goal of this research is to analyze the trend of Korean fourth grade students' achievement in TIMSS 2011 and TIMSS 2015 science content domains and to suggest implications for science curriculum and teaching & learning improvement. With four elementary science teachers and three science educators, we analyzed Korean fourth grade students' percentage of correct responses in TIMSS 2015 science content and cognitive domains, and conducted item-curriculum matching analysis for test items. According to the results, Korean students performed relatively better in test topics covered in the science curriculum for 3-4 grades regardless of the science content domain (i.e., Life science, Physical science, or Earth science). Korean students showed low percentage of correct answers for items related to such topics as heat conduction, the action of electricity, the motion of the earth and the moon, etc., which were covered in the 5th-6th grades in the 2009 revised curriculum. For science cognitive domains, Korean students' achievement dropped significantly in reasoning between TIMSS 2011 and TIMSS 2015. Discussed in the conclusion are implications to reconstruct elementary school science curriculum, and ways to improve science teaching and learning.

I. 서론

수학·과학 성취도 국제비교 연구(Trends in International Mathematics and Science Study: 이하 TIMSS)는 국제 교육성취도 평가 협회(International Association for the Evaluation of Educational Achievement: 이하 IEA)에서 추진하는 대표적인 연구이다. TIMSS는 참여국들의 교육과정을 기반으로 한 성취도 평가로, 초등학교 4학년과 중학교 2학년 학생들의 수학·과학 성취도를 평가하여 참여국의 교육과정 및 학교 교육의 효과성에 대한 직접적인 정보를 제공해준다(Park, 2004; Mullis & Martin, 2013). 우리나라는 TIMSS 평가가 시작된 TIMSS 1995년부터 연구에 참여했는데, 초등학교 4학년의 경우에는 TIMSS 1995에 참여한 이후 중단했다가 TIMSS 2011부터 다시 참여하고 있다. 우리나라 중학교 2학년의 경우에는 TIMSS가 처음 시작된 TIMSS 1995부터 꾸준히 연구에 참여해왔다. 우리나라는 초등학교 4학년과 중학교 2학년 모두 TIMSS 1995 이후 꾸준히 국제평균(500점)을 크게 상회하는 높은 성취도로 참여국 중에서 최상위권을 유지하고 있다.

TIMSS는 평가틀 및 문항개발, 예비검사, 본검사, 결과 분석의 순서로 4년 주기로 반복되는 연구로, 6주기 연구인 TIMSS 2015는 2013년부터 2016년까지 평가틀 및 평가도구 개발, 예비검사 실시, 본검사 실시, 결과 분석 및 발표 등의 순서로 연구를 추진하였다. TIMSS평가를 주관하는 IEA 국제본부에서는 TIMSS 2015 결과를 2016년 11월 말에 발표하였다. TIMSS 결과발표에는 참여국 학생들의 수학·과학 성취 특성뿐만 아니라 각종 설문조사를 통해 수집한 교육 맥락 변인들과 학생들의 수학·과학 성취도 사이의 관련성도 발표한다(Sang *et al*., 2016). 국제본부에서 발표한 결과를 토대로 국내 연구진은 우리나라 학생들의 수학·과학 성취도를 국제 수준에서 비교·분석하고, 우리나라 초, 중학교 과학과 교육과정, 교수·학습 방법, 학교교육 환경, 교육정책 등과의 관련성을 다각도에서 분석한다(Shin, Kwon, & Kim, 2006; Sang *et al*., 2016). 이러한 분석결과를 우리나라 과학교육 개선에 활용하기도 한다. 예컨대 과학과 교육과정 개선에 TIMSS의 평가틀과 공개 문항을 분석한 결과를 활용하거나(KOFAC, 2011), '과학교육 종합계획(MOE, 2016)' 수립에서 TIMSS의 결과를 현안 진단을 위한 자료로 활용하기도 하였다(Sang *et al*., 2016).

우리나라는 2014년 12월에 TIMSS 2015 본검사를 실시하였다. TIMSS 2015의 초등학교 본검사 대상은 검사 시행 당시에 초등학교 4학년이던 학생들이다. 우리나라는 초등학교 4학년의 경우 표집 학생들 중 97%에 해당하는 4,669명이 최종적으로 TIMSS 2015 평가에 참여하였다(Kim *et al*., 2015). TIMSS 2015에 나타난 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 과학 성취도 및 주요 결과를 살펴보면 다음과

* 교신저자 : 곽영순 (kwak@kice.re.kr)
http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2017.37.4.599

같다(Sang *et al*., 2016).

TIMSS 2015에서 우리나라 초등학교 4학년 학생들은 평균점수 589점으로 2위를 차지했으며, 1위인 싱가포르와는 평균점수 1점 차이이고 3위인 일본과는 평균점수에서 20점 차이가 난다. 우리나라는 성취도에서 1위를 차지한 싱가포르와는 유의미한 차이가 없었고, 3위를 차지한 일본보다는 통계적으로 유의미하게 성취도가 높은 것으로 나타났다. 성취수준별로는 TIMSS 2015에서 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 과학 성취수준별 분포를 살펴보면, 수월수준에 해당하는 학생들이 29%, 우수수준 이상이 75%, 보통수준 이상이 96%, 기초수준 이상이 100%로 나타났다. 즉, 기초수준 미달인 학생이 0%이며, TIMSS 2015 초등학교 4학년 과학 성취도 상위 15개국 중 우리나라만 유일하게 기초수준 미달 학생이 없다. 한편, 1위인 싱가포르는 수월수준에 해당하는 학생 비율이 37%로 나타나, 우리나라보다 8%p 더 높게 나타났으며, 싱가포르는 수월수준 학생 비율이 우리나라보다 더 많아서 전체적인 성취도가 우리나라보다 다소 높게 나타난 것으로 보인다.

우리나라 초등학교 4학년 학생들은 TIMSS 1995, TIMSS 2011에 이어서 TIMSS 2015에 참여하였다. 평가주기별로 과학성취도 추이변화를 살펴보면, TIMSS 1995(576점)나 TIMSS 2011(587점)에 비해 TIMSS 2015(589점)에서 성취도가 소폭 상승하였다. TIMSS 2015에서 초4 과학 성취도 상위 15개국 중, TIMSS 2011과 TIMSS 2015 평가주기에 모두 참여한 국가는 총 13개국이며, 이중 핀란드를 제외하고 나머지 12개국은 모두 TIMSS 2011보다 TIMSS 2015에서 평균점수가 더 높아졌다.

이에 본 연구에서는 TIMSS 2015 결과 중 초등학교 4학년 과학 내용영역별로 우리나라 학생들의 성취 특성을 분석함으로써 향후 우리나라 과학과 교육과정 개정에 주는 시사점을 도출하고자 한다. 본 연구의 목적은 TIMSS 2015 초등학교 4학년 과학 성취도 결과 중 과학 내용영역별 성취 특성을 분석하고, 우리나라 초등학교 교육과정에 비추어 그러한 성취 특성이 나타난 이유를 탐색하고자 한다. 특히 교육과정 변화 및 공개문항에 비추어 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 우리나라 학생들의 성취 특성 추이변화를 분석하고자 한다.

TIMSS 평가의 경우 내용영역별 평가에 초점을 두며, 각 내용영역별 문항은 다시 알기, 적용하기, 추론하기 등과 같은 인지영역별 특성에 따라 재분류된다. 예컨대 생명과학 내용영역에 속한 문항들의 경우 다시 학생의 관련 지식 알기 능력을 평가하는지 또는 적용이나 추론 능력을 평가하는지에 따라 인지영역별로 재분류된다. 따라서 본 연구에서는 TIMSS 평가에서 우리나라 초4 학생들의 성취 특성을 내용영역별로 분석하되, 적용하기 또는 추론하기 등과 같은 인지영역별 성취 특성을 함께 분석하고자 한다. 이를 토대로 우리나라 초등학교 과학과 교육과정 및 교수・학습 개선에 주는 시사점을 도출하고자 한다. 특히 성취도 상위국들과의 국제비교를 통해 교육과정, 교수・학습, 교육정책 등 다양한 수준에서 과학교육의 개선 방안을 탐색할 수 있을 것이다.

II. 연구 내용 및 방법

1. TIMSS 초등학교 과학 평가틀

TIMSS의 경우 4년 주기로 평가를 실시하는데, 성취도 추이를 파악하기 위해 매 평가주기마다 평가틀을 수정・보완한다. 이는 평가틀에 대한 TIMSS 참여국들이 검토 의견을 반영함과 동시에 과학교육의 국제 변화 동향에 부응하려는 것이다(Kim *et al*., 2012; Mullis *et al*., 2009). TIMSS 2015의 평가틀은 TIMSS 2011에서 사용한 평가틀을 부분적으로 수정・보완하였으며, 2013년에 개발을 완료하였다. TIMSS의 성취도 평가틀은 크게 내용영역과 인지영역으로 구성되며, TIMSS가 교육과정을 기반으로 하는 평가이므로 성취도 평가틀은 참여국에서 가르치는 과학과 교육과정 내용을 중심으로 구성된다.

내용영역은 참여국의 교육과정에 기반하여 학년 및 교과에 따라 다르게 구성된다. TIMSS 2015 초등학교 4학년 과학과 내용영역은 생명과학, 물상과학, 지구과학의 3개 영역으로 구성되며, 과학 내용영역별 평가주제를 살펴보면 Table 1과 같다(Kim *et al*., 2015: 16; Mullis & Martin, 2013: 12, 30).

TIMSS 2015 과학과 인지영역 평가틀 역시 이전 평가주기와 마찬가지로 알기, 적용하기 및 추론하기의 3개 영역으로 구성된다(Kim *et al*., 2015: 18). 인지영역 중 '알기' 영역은 과학 지식을 회상・인식하거나 예를 제시하는 능력과 관련된 영역이고, '적용하기'는 기존 지식을 적용하여 주어진 상황을 해석하고 설명하거나 관련짓고, 비교・대조・분류하는 능력과 관련된 영역이고, '추론하기'는 주어진 상황을 분석하고 종합하기, 질문과 가설을 설정하고 예상하기, 탐구를 설계하고 평가하기, 결론을 도출하거나 일반화하기 등과 같은 과학 탐구 능력과 관련된 영역이다. 따라서 내용영역별 학생 성취 특성

Table 1. TIMSS 2015 fourth grade science assessment topics

내용영역	생명과학	물상과학	지구과학
주제	1) 생물체의 특성과 생물체의 주요 집단들 2) 인간, 다른 동물들 및 식물들의 주요 생체 구조와 기능 3) 식물과 동물의 한살이 4) 일부 특징은 유전되며 다른 특징은 환경의 결과라는 것에 대한 이해 5) 신체적 특징과 행동이 생물체가 환경에서 생존하는 데 도움이 되는 방법 6) 군집과 생태계에서 상호작용 7) 인간의 건강	1) 물질의 상태와 물질의 상태들의 특성 및 가열이나 냉각에 의한 물질 상태의 변화 2) 물리적 특성에 따라 물질 분류하기 3) 혼합물과 혼합물을 구성성분들로 분리하는 방법 4) 일상생활의 화학적 변화 5) 에너지의 출처와 근원 6) 일상생활에서 빛과 소리 7) 전기와 단순회로 8) 자석의 성질 9) 힘과 물체 운동의 원인	1) 지표의 특징과 인간 활용과의 관계 2) 지구에서 물이 발견되는 곳과 물이 대기 중으로 드나드는 방법 3) 하루하루, 계절별 그리고 지리적 위치별 날씨의 변화 가능성에 대한 이해 4) 화석이 무엇이며, 화석이 지구의 과거 조건에 대해 무엇을 알려주는지에 대한 이해 5) 태양계 천체와 운동 6) 지구 자전으로 인해 낮과 밤이 생기고, 하루 동안 그림자의 변화가 생긴다는 것에 대한 이해 7) 계절과 지구 공전의 관련성 이해

※ 자료출처 (Martin *et al*., 2016)

Table 2. TIMSS 2015 assessment framework for science cognitive domain

교과	알기	적용하기	추론하기
과학	◦회상하기・인식하기 ◦기술하기 ◦예 제시하기	◦비교하기・대조하기・분류하기 ◦모형 사용하기 ◦관련짓기 ◦정보 해석하기 ◦설명하기	◦분석하기 ◦종합하기 ◦질문과 가설 설정하기・예상하기 ◦탐구 설계하기 ◦평가하기 ◦결론 도출하기 ◦일반화하기 ◦정당화하기

※ 자료출처 (Kim *et al*., 2015: 18)

Table 3. Distribution of TIMSS 2011 & 2015 fourth grade science items

초4 내용영역	TIMSS 2011 문항수(비율)	TIMSS 2015 문항수(비율)	초4 인지영역	TIMSS 2011 문항수(비율)	TIMSS 2015 문항수(비율)
생명과학	75(45%)	79(46%)	알기	68(40%)	72(41%)
물상과학	64(35%)	64(35%)	적용하기	68(40%)	67(38%)
지구과학	34(20%)	33(19%)	추론하기	34(20%)	37(21%)
계	172(100%)	176(100%)	계	172(100%)	176(100%)

※ 자료출처 (Martin *et al*., 2016)

을 분석하면서 관련된 인지영역별 특성과 과학 탐구 관련 특성도 함께 분석하였다.

TIMSS 2015의 초등학교 4학년 과학 내용영역 및 인지영역별 문항수와 비율은 TIMSS 2011과 거의 유사하며, 3가지 내용영역 중 생명과학이 46%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 물상과학은 35%, 지구과학은 19%를 차지하고, 인지영역별로는 알기 영역이 41%로 가장 비중이 높고, 적용하기 38%, 추론하기 21%로 구성된다(Martin *et al*., 2016).

2. 분석 대상과 방법

TIMSS 2015 시험은 초등학교 4학년 교육과정을 이수한 학생들을 대상으로 실시하므로, 우리나라의 경우 2014년 12월에 본검사를 실시하였다. TIMSS 2015에서 초등학교 4학년으로 평가에 참가한 학생들이 학습한 과학과 교육과정을 개관하면 Table 4와 같다.

Table 4에서 볼 수 있듯이, TIMSS 2015에서 초등학교 4학년으로 평가에 참여한 학생들은 초등학교 3학년에서는 2007개정 교육과정(MEHRD, 2007)으로, 초등학교 4학년에서는 2009개정 교육과정(MEST, 2011)으로 학습하였다(Sang *et al*., 2016). 이에 본 연구에서는 TIMSS 2015 과학과 내용영역별로 우리나라 초4 학생들의 성취 특성을 분석하고, 문항별 특성에 비추어 관련된 인지영역별 성취 특성을 분석하였다. 즉, TIMSS 2015 초4 과학 성취도 개관에서는 우리나라 학생들의 성취 특성을 상위 15개국의 성취 특성과 비교하고, TIMSS 2011과 TIMSS 2015의 우리나라 학생들의 성취 특성 추이변화를 분석하였다.

초등학교 현장교사 네 명과 과학교육을 전공한 연구자 세 명이 참여하여 과학 내용영역별 문항들에 대해 우리나라 학생들의 정답률과 응답경향을 분석하고, 우리나라 과학과 교육과정에서 TIMSS 2015에서 출제된 과학과 평가주제를 어떻게 다루는지를 분석하였다. 즉, TIMSS 2015에서 출제된 초등학교 평가주제별로 우리나라 교육과정과의 일치도를 분석하고, 이를 학생들의 문항별 정답률과 관련지어 우리나라 학생들의 과학 내용영역별 응답특성을 초래한 원인을 분석하였다. 특히 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 우리나라 초등학교 4학년의 과학 내용영역별 성취도 추이변화를 분석하고, 그 원인을 2007 개정과 2009개정 교육과정에서 해당 영역의 내용을 어떻게 다루는지를 중심으로 분석하였다. 국제본부에서는 매 평가주기가 끝날 때마다 일부 문항을 공개하고 있는데 TIMSS 2015를 완료한 후 초등학교 4학년 과학의 경우 전체 176문항 중 75문항을 공개하였다(IEA, 2017). 이에 공개문항들 중 추이문항을 활용하여 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 우리나라 초4 학생들의 과학 성취도 추이를 교육과정 변화에 근거하여 분석하였다.

TIMSS 2015 초4 과학과 성취 특성을 내용영역별로 분석함에 있어서 과학교육을 전공한 연구진은 TIMSS 2015 결과에 대한 기술통계적인 분석 결과, TIMSS 평가틀의 특성, 과학 내용영역별로 우리나라 학생들의 응답경향 분석 결과 등을 제공하였다. 초등학교 현장교사들은 각 문항별로 제시된 기술통계치를 토대로 2007개정 교육과정과

Table 4. Science curriculum completed by the fourth grade students participated in TIMSS

주기	2007	2008	2009	2010년	2011	2012	2013	2014년
학년 (TIMSS 본검사 주기)	초1	초2	초3	초4 (TIMSS 2011)				
적용 교육과정		7차		2007				
학년 (TIMSS 본검사 주기)					초1	초2	초3	초4 (TIMSS 2015)
적용 교육과정						2007		2009

2009개정 교육과정 자료를 비교하면서 해당 평가주제를 어떻게 다루었으며, 실제 과학 수업에서 해당 평가주제를 어떻게 교수·학습하였는지를 분석하였다. 예컨대 생명과학 영역의 문항 중 식물이 자라는데 필요한 것을 알아보기 위한 실험을 설계하라는 문항에 대해 2007개정과 2009개정 교육과정에서 해당 내용을 어느 학년 어느 단원에서 다루는지를 분석하고 실제 수업에서 해당 TIMSS 평가주제를 어느 수준으로 다루는지를 점검하였다. 이 문항은 인지영역으로는 탐구를 설계하는 추론 능력을 평가하는 문항이다. 따라서 현장교사 네 명은 실제 과학 수업에서 이 내용을 탐구나 실험을 통해 교수학습 하는지, 실제 수업에서 '탐구 설계하기'라는 부분을 명시적으로 다루는지 등을 집중적으로 분석하였다. 전체 연구진이 전문가 협의회에 참여하였으며, 필요한 경우 개별 교사들을 대상으로 실제 과학수업을 어떻게 진행해왔는지를 면담하였다. 분석 결과를 토대로 우리나라 초등학교 과학과 교육과정 개정에 주는 시사점을 도출하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. TIMSS 2015 초4 과학 성취도 추이변화 개관

TIMSS 2015에서 성취도 상위 15개국을 중심으로 초등학교 4학년 과학 내용영역별 성취도를 살펴보면 Table 5와 같다(Martin *et al*., 2016).

TIMSS 2015 초등학교 4학년 과학에서 상위 15개국의 성적을 비교해보면, 생명과학 영역에서는 싱가포르(607점), 대한민국(581점), 러시아연방(569점)의 순으로, 물상과학 영역에서는 싱가포르(603점), 대한민국(597점), 일본(587점), 대만(568점)의 순으로, 지구과학 영역에서는 대한민국(591점), 홍콩(574점), 일본(563점)의 순으로 나타났다. 과학 내용영역별로 1위를 차지한 국가와 비교해보면, 우리나라 초등학교 4학년 학생들은 생명과학 영역에서는 1위인 싱가포르보다 평균점수 26점이 낮고, 물상과학에서는 1위인 싱가포르보다 6점이 낮고, 지구과학에서는 2위인 홍콩보다 17점이 더 높은 것으로 나타났다. TIMSS 2015 초4 과학에서 전체 1위인 싱가포르의 경우 다른 영역에 비해 지구과학 영역의 성취도가 546점으로 우리나라보다 45점이 더 낮다. 이에 대해 싱가포르 TIMSS 평가 담당자들은 싱가포르 초등학교 교육과정에서 4학년까지 TIMSS의 지구과학 평가주제를 다루지 않기 때문에 상대적으로 싱가포르 학생들의 지구과학 영역 성취도가 낮게 나타난 것이라고 설명하였다(Martin *et al*., 2016). 이는 교육과정에서 다룬 문항일수록 학생들의 성취도가 높게 나타난다는 TIMSS 평가의 특성을 예시하는 것이기도 하다.

내용영역별 평균 정답률로부터 우리나라 학생들이 어려움을 겪은 영역을 확인할 수 있다. 상위 15개국을 살펴보면, 생명과학 영역에서는 56~71%(15%p 차이), 물상과학에서는 50~68(18%p 차이), 지구과학에서는 57~66%(9%p)의 정답률을 나타내었다. 즉, 물상과학 영역에서의 정답률 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다. 우리나라 학생들의 정답률을 살펴보면, 생명과학 영역에서는 66%, 물상과학에서는 67%, 지구과학에서는 66%의 정답률을 나타내었으며, 3개 영역에서 고른 정답률을 나타내어 특별히 어려워하는 영역은 없는 것으로 나타났다.

앞서 제시한 것처럼, TIMSS 평가에서 내용영역별 문항은 다시 인지영역별 특성에 따라 알기, 적용하기, 추론하기 영역으로 재분류된다. 인지영역별로 TIMSS 2015에서 우리나라 초4 학생들의 성취 특성을 살펴보면, 우리나라 초4 학생들은 전체 성취도 점수인 589점에 비해, 알기 영역(582점)은 통계적으로 유의하게 낮고, 적용하기(594점)와 추론하기(594점)는 통계적으로 유의하게 높은 성취도를 나타내었다. 이러한 경향은 상위 1~3위를 차지한 싱가포르, 한국, 일본에서

Table 5. TIMSS 2015 achievement in science content domains (fourth grade)

	국가	전체		생명과학(74문항)		물상과학(61문항)		지구과학(33문항)	
		평균(점)	정답률(%)	평균(점)	정답률(%)	평균(점)	정답률(%)	평균(점)	정답률(%)
2	싱가포르	590	67	607 ▲	71	603 ▲	68	546 ▽	57
	대한민국	589	66	581 ▽	66	597 ▲	67	591	66
	일본	569	62	556 ▽	60	587 ▲	65	563 ▽	60
	러시아 연방	567	62	569	63	567	60	562	60
†	홍콩	557	60	550 ▽	59	555	58	574 ▲	63
	대만	555	59	545 ▽	58	568 ▲	61	555	58
	핀란드	554	58	556	59	547 ▽	56	560 ▲	60
	카자흐스탄	550	58	545 ▽	58	559 ▲	58	542 ▽	56
	폴란드	547	57	557 ▲	61	540 ▽	54	540 ▽	56
2 †	미국	546	57	555 ▲	61	537 ▽	54	539 ▽	56
	슬로베니아	543	56	545	58	546	56	531 ▽	53
	헝가리	542	56	550 ▲	59	534 ▽	53	535 ▽	55
2	스웨덴	540	56	540	56	534 ▽	53	552 ▲	59
	노르웨이(5학년)	538	55	546 ▲	58	522 ▽	50	549 ▲	58
	영국	536	55	536	56	540 ▲	54	527 ▽	53

※ 자료출처 (Martin *et al*., 2016)
* 성취도 점수는 평균 500이고 표준편차는 100인 척도점수임
▲ : 영역별 점수가 전체 점수보다 유의하게 높음
▽ : 영역별 점수가 전체 점수보다 유의하게 낮음

Table 6. Trends in achievement for science content domains (fourth grade)

국가	생명과학		물상과학		지구과학	
	평균점수	T15-T11	평균점수	T15-T11	평균점수	T15-T11
싱가포르	607	9	603	5	546	5
대한민국	581	11 ▲	597	1	591	-12 ▽
일본	556	16 ▲	587	-2	563	12 ▲
러시아연방	569	13 ▲	567	19 ▲	562	10
홍콩	550	26 ▲	555	16 ▲	574	26 ▲
대만	545	7 ▲	568	0	555	3
핀란드	556	-18 ▽	547	-21 ▽	560	-5
카자흐스탄	545	45 ▲	559	73 ▲	542	51 ▲
미국	555	8 ▲	537	-6	539	0
슬로베니아	545	21 ▲	546	23 ▲	531	25 ▲
헝가리	550	-1	534	13 ▲	535	11
스웨덴	540	6	534	6	552	13 ▲
영국	536	6	540	5	527	5

※ 자료출처 (Martin *et al*., 2016)
▲ : TIMSS 2015가 유의하게 높음
▽ : TIMSS 2015가 유의하게 낮음

동일하게 발견된다.

또한, TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 초등학교 4학년 내용영역별 성취도 추이변화를 살펴보면 Table 6과 같다(Martin *et al*., 2016).

우리나라 초등학교 4학년은 TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 생명과학 영역에서는 11점이 통계적으로 유의하게 상승하였고, 물상과학에서는 1점이 상승하였으며, 지구과학에서는 12점이 통계적으로 유의하게 하락하였다. 상위 15개국을 살펴보면, TIMSS 2011과 비교하여 생명과학에서는 8개국이, 물상과학에서는 5개국이, 지구과학에서는 5개국이 성취도가 통계적으로 유의하게 상승하였다.

내용영역과 더불어 각 문항은 인지영역별로도 분류되는데, TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 인지영역별 성취도 추이변화를 살펴보면, TIMSS 2015에서 알기 영역은 12점이 통계적으로 유의하게 상승하였고, 추론하기 영역에서는 11점이 통계적으로 유의하게 하락하였으며, 적용하기 영역은 동일한 점수를 유지하였다. 인지영역별 추이변화를 살펴보면 TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 추론하기 영역의 점수가 많이 하락한 것으로 나타났다. 따라서 초등학교 과학 수업을 통해 답변에 대한 이유를 추론하고 이를 서술하는 능력을 보강하는 과학과 교수학습 방법을 보강할 필요가 있음을 알 수 있다.

TIMSS 2015에 초4로 참여한 학생들은 초등학교 3학년에서는 2007개정 교육과정으로, 초등학교 4학년에서는 2009개정 교육과정으로 학습한 학생들이다. 따라서 TIMSS 2015에서 이전 평가주기와 비교하여 초등학교 과학 내용영역별 평균점수 추이변화를 TIMSS 2015 초등학교 4학년 과학 평가문항과 우리나라 교육과정과의 일치도 측면에서 분석하고자 한다. 초등학교 과학과 내용영역별로 성취도 추이변화의 원인을 살펴보면 다음과 같다.

2. 과학 내용영역별 성취도 추이변화: 생명과학

먼저, TIMSS 2015에서 우리나라 초등학교 4학년 학생들은 생명과학 영역에서 TIMS 2011에 비해 평균점수 11점이 상승하였다. TIMSS 2015 과학 성취도 상위 15개국 중 핀란드와 헝가리를 제외하고 나머지 국가들은 TIMS 2011에 비해 생명과학 영역의 평균점수가 6~45점 범위로 상승하였다. 먼저 공개문항을 중심으로 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 10%p 이상의 정답률 차이를 나타낸 문항주제와 관련 주제를 우리나라 교육과정에서 어떻게 다루는지를 살펴보면 Table 7과 같다. 교육과정 변화 동향 파악을 위해, 2007개정, 2009개정 그리고 2015개정 교육과정(MOE, 2015)의 해당 단원을 비교하여 제시하였다.

TIMSS 2015 생명과학 영역 문항들의 경우 대체로 초등학교 3-4학년군 교육과정에서 출제되어서 우리나라 학생들의 정답률이 높게 나타났다. 생명과학 평가주제별로 우리나라 학생들의 응답경향과 정답률 추이변화의 원인을 살펴보면 다음과 같다.

생명과학 영역 평가주제들 중 '생물체의 특성과 생물체의 주요 집

Table 7. Item-curriculum matching analysis for sample bio-science topics

문항주제 및 정답률	2007개정 교육과정	2009개정 교육과정	2015 개정 교육과정
스스로 양분을 만드는 생물 찾아내기 TIMSS 2011 정답률: 36.2% TIMSS 2015 정답률: 47.0%	초5-1. 3단원(식물의 구조와 기능) 초6-1. 4단원(생태계와 환경)	초5-1. 3단원(식물의 구조와 기능) 초6-1, 2단원(생물과 환경)	초6-1. 5단원(식물의 구조와 기능) 초5-2. 2단원(생물과 환경)
나무와 사자의 공통점 2가지 쓰기 TIMSS 2011 정답률: 55.4% TIMSS 2015 정답률: 65.8%	초6-1. 4단원(생태계와 환경) 초3-1. 3단원(동물의 한살이) 초4-1. 3단원(식물의 한살이)	초6-1. 2단원(생물과 환경) 초3-1. 3단원(동물의 한살이) 초4-1. 2단원(식물의 한살이)	초5-2. 2단원(생물과 환경) 초3-1. 3단원(동물의 한살이) 초4-1. 3단원(식물의 한살이)

단들'의 경우 2007개정 교육과정 3-4학년군의 동물의 세계(2009개정에서는 동물의 생활) 및 동물의 한살이 단원에서 학습한 내용이 출제되어 우리나라 학생들의 정답률이 높게 나타났다. 생물과 무생물의 차이점, 포유류가 추위에 적응하는 방법, 동물 종류별 서식지 유형 등과 관련된 내용은 5-6학년군의 생태계와 환경(2009개정에서는 생물과 환경)에서 다룬다. 따라서 우리나라 초4 학생들은 과학과 교육과정을 통해 이 내용을 학습한 것은 아니지만, 일상생활의 경험과 평소 지식으로 미루어 답안을 작성하였을 것이라고 현장교사들은 분석하였다.

평가주제 '인간, 다른 동물들 및 식물들의 주요 생체 구조와 기능'와 '식물과 동물의 한살이'의 경우 3-4학년군의 식물의 한살이, 동물의 한살이 및 동물의 세계(2009개정에서는 동물의 생활) 단원에서 학습한 내용이 대부분이어서 우리나라 학생들의 정답률이 높게 나타났다. 특히 식물의 구조와 역할을 묻는 선다형 문항의 경우 우리나라 학생들의 정답률은 60-89%를 나타내었다. 한편, 공개문항인 스스로 양분을 만드는 생물을 찾아내는 문항의 경우 TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 정답률이 10%p 이상 상승하였는데, 우리나라 교육과정에서는 관련 내용을 초등학교 5-6학년군에서 다룬다. 우리나라 초등 과학과 교육과정에서는 초등학교 5-6학년의 식물의 구조와 기능에서 광합성에 햇빛이 필요함을 이해하고, 생태계 단원에서 식물이 생산자임을 학습할 수 있다. 따라서 우리나라 초4 학생들은 과학과 교육과정을 통해 이 내용을 학습한 것은 아니지만, 일상생활의 경험과 상식을 토대로 답안을 작성하였을 것이라고 현장교사들은 분석하였다. 또 다른 공개문항인 나무와 사자의 공통점 2가지를 쓰는 문항에서도 TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 정답률이 10%p 이상 상승하였는데, 이는 초등학교 3-4학년군에서 학습한 동물과 식물의 한살이 내용을 종합하여 답변한 것으로 보인다.

평가주제 '일부 특징은 유전되며 다른 특징은 환경의 결과라는 것에 대한 이해'의 경우 유전과 관련된 직접적인 내용은 중학교에서 다루는 내용임에도 불구하고 우리나라 초4 학생들은 부모로부터 물려받은 특징, 번식 방법 등을 묻는 문항에 대해 80% 이상의 높은 정답률을 나타내었다. 따라서 우리나라 초4 학생들은 과학과 교육과정을 통해 이 내용을 학습한 것은 아니지만, 일상생활의 경험과 평소 지식으로 미루어 답안을 작성한 것으로 보인다. 평가주제 '신체적 특징과 행동이 생물체가 환경에서 생존하는 데 도움이 되는 방법'의 경우 초등학교 3-4학년군의 동물의 한살이, 동물의 세계(2009개정에서는 동물의 생활), 식물의 세계(2009개정에서는 식물의 생활)에서 학습한 내용에서 출제되었으며, 동식물이 환경에 적응하는 방법과 특성을 묻는 선다형 문항의 경우 우리나라 학생들은 60-90%의 정답률을 나타내었다.

평가주제 '군집과 생태계에서 상호작용'의 경우 주로 5-6학년군의 식물의 구조와 기능, 생태계와 환경(2009개정에서는 생물과 환경) 단원에서 다루는 내용이지만, 우리나라 초4 학생들은 평균 60-80%의 높은 정답률을 나타내었다. 특히 먹이사슬과 관련된 선다형 문항들에서는 60-90%의 정답률을 나타내었는데, 이는 유치원 과정에서 관련 내용을 다루기 때문이라고 현장교사들은 분석하였다. 초등학교 5-6학년군에서 출제된 문항임에도 불구하고 우리나라 학생들의 정답률이 높게 나타난 까닭은 학생들이 "과목 속성상 과학 독서나 일상경험의 상식 등을 활용하였기" 때문이라고 현장교사들은 분석하였다.

평가주제 '인간의 건강'의 경우 주로 5-6학년군의 우리 몸(2009개정에서는 우리 몸의 구조와 기능) 단원에서 다루는 내용이지만, 건강한 몸을 유지하는 방법, 운동할 때 우리 몸의 변화, 독감 전파 방법 등과 같은 일상생활의 상식 차원의 문항들이 출제되어서 우리나라 학생들은 선다형 문항의 경우 70% 이상의 높은 정답률을 나타내었다.

한편, TIMSS 초4 생명과학 영역에서 동물이 체온을 조절하는 방법, 물을 마시는 이유, 우리 몸의 조직과 기관의 역할 등과 같이 일상의 생명현상의 이유나 근거를 두 가지 적도록 요구한 서술형 문항들의 경우 우리나라 학생들의 정답률은 10-15%를 나타내었다. 일상생활의 상식 차원의 문항들임에도 불구하고 해당 현상이 일어나는 이유를 적도록 요청할 경우 우리나라 학생들은 대부분 한 가지 이유만을 적거나 무응답인 경우가 많았다. 끝으로, 우리나라 초등학교 과학 교과서에서는 포유류, 등뼈, 포식자, 피식자 등의 용어를 직접적으로 다루지 않기 때문에 학생들이 문항 이해에 어려움을 겪었을 것이라고 현장교사들은 분석하였다.

TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 생명과학 영역 성취도 추이변화를 정리하면, 예상했던 것처럼 초등학교 3-4학년군 교육과정에서 다룬 내용일수록 정답률이 높게 나타났으며(Hong *et al*., 2001; Jeong *et al*., 2006), 유전 등과 같이 상위 학년에서 다루거나 미처 학습하지 않은 내용의 경우 상대적으로 정답률이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

3. 과학 내용영역별 성취도 추이변화: 물상과학

초등학교 4학년 물상과학은 우리나라 교육과정의 물리학과 화학으로 구성되는데, TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서는 평균점수 1점이 상승하였다. TIMSS 2015 과학 성취도 상위 15개국 중 핀란드, 일본 및 미국을 제외하고 나머지 국가들은 TIMSS 2011에 비해 물상과학 영역에서 평균점수가 상승하였다. 먼저 공개문항을 중심으로 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 10%p 이상의 정답률 차이를 나타낸 문항주제와, 관련 주제를 우리나라 교육과정에서 어떻게 다루는지를 살펴보면 Table 8과 같다.

물상과학 평가주제별로 우리나라 학생들의 응답경향과 정답률 추이변화의 원인을 살펴보면 다음과 같다.

평가주제 '물질의 상태와 물질의 상태들의 특성 및 가열이나 냉각에 의한 물질 상태의 변화'의 경우 3-4학년군의 액체와 기체, 우리생활과 물질, 모습을 바꾸는 물(2009개정에서는 물의 상태 변화), 혼합물의 분리 등의 단원에서 학습한 내용에서 출제되어, 우리나라 학생들은 평균 70-90%의 높은 정답률을 나타내었다. 다만, 5-6학년군의 용해와 용액 단원에서 다루는 일부 내용이 출제되었지만, 사탕을 빨리 녹이는 방법 등은 일상생활의 경험으로 미루어 답안을 작성한 것으로 보이며 60-90%의 정답률을 나타내었다. 특히 공개문항인 용액의 농도를 낮추는 방법의 경우 TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 정답률이 10%p 이상 상승하였는데, 이는 물의 양을 조절함으로써 용액의 농도를 조절할 수 있다는 것을 인지하고 있는 초4 학생들이 증가하였음을 보여준다.

열전달과 우리생활(2009개정에서는 온도와 열) 단원의 경우 2007개정에서는 3-4학년군에 있다가, 2009개정에서는 5-6학년군으로 이동하였기 때문에, 초등학교 4학년 학생들은 관련 내용을 아직 학습하지 않아서 나무와 금속의 열전달 차이, 보온하는 방법, 물의 어는점

Table 8. Item-curriculum matching analysis for sample physical science topics

문항주제 및 정답률	2007개정 교육과정	2009개정 교육과정	2015 개정 교육과정
전기를 통하는 물체 TIMSS 2011 정답률: 69.4% TIMSS 2015 정답률: 55.4%	초5-1. 2단원(전기회로)	초6-2. 2단원(전기의 작용)	초6-2. 1단원(전기의 이용)
경사면에서 구슬이 굴러 내려오게 하는 힘 TIMSS 2011 정답률: 26.9% TIMSS 2015 정답률: 36.8%	초4-1. 1단원(무게 재기)	초4-1. 1단원(무게 재기)	(중력은 중학교에서 학습함.)
열을 가장 잘 전달하는 물질 찾아내기 TIMSS 2011 정답률: 95.1% TIMSS 2015 정답률: 70.0%	초4-2. 3단원(열전달과 우리 생활)	초5-1. 1단원(온도와 열)	초5-1-2. (온도와 열)
차가운 물병을 옷으로 싸면 차갑게 유지되는 이유 쓰기 TIMSS 2011 정답률: 65.9% TIMSS 2015 정답률: 35.5%	초4-2. 3단원(열전달과 우리 생활)	초5-1. 1단원(온도와 열)	초5-1-2. (온도와 열)
전등 빛에서 물체의 그림자가 생기는 이유 고르기 TIMSS 2011 정답률: 65.6% TIMSS 2015 정답률: 78.2%	초3-2. 4단원(빛과 그림자)	초4-2. 3단원(거울과 그림자)	초4-2. 3단원(그림자와 거울)
용액 농도를 낮추는 방법 TIMSS 2011 정답률: 63.4% TIMSS 2015 정답률: 73.9%	초5-2. 2단원(용해와 용액)	초5-1. 4단원(용해와 용액)	초5-1. 4단원(용해와 용액)

등의 문항에 대해 일상생활의 경험과 평소 지식으로 미루어 답안을 작성한 것으로 보인다. 특히 공개문항을 중심으로 한 정답률 추이변화에서 볼 수 있듯이 열전달을 잘하는 물질과 옷으로 감싸면 보온이 되는 이유를 찾는 문항에서는 TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 20%p 이상 정답률이 급락하였다. 이는 열전달 관련 내용을 2007개정 교육과정에서는 3-4학년군에서 다루다가 2009개정에서는 5-6학년군으로 이동한 까닭에 학생들이 열전달 관련 내용을 학습하지 않아서 정답률이 급락한 것으로 보인다.

평가주제 '물리적 특성에 따라 물질 분류하기'의 경우 3-4학년군의 우리생활과 물질 단원에서 다룬 내용이 출제되어 우리나라 학생들은 60% 이상의 정답률을 나타내었다. 물체의 부피와 질량을 비교하는 문항도 3-4학년군의 무게 재기 단원에서 관련 내용을 다루기 때문에 우리나라 학생들은 약 80%의 높은 정답률을 나타내었다. 평가주제 '혼합물과 혼합물을 구성성분들로 분리하는 방법'의 경우 3-4학년군의 혼합물의 분리 단원에서 학습한 내용으로 우리나라 학생들은 평균 80% 이상의 정답률을 나타내었다.

평가주제 '일상생활의 화학적 변화'의 경우 5-6학년군의 연소와 소화, 여러 가지 기체 단원에서 관련 내용을 다루지만, 양초가 타는 연소 반응과 일상생활의 산화의 예인 녹스는 현상 등에 대한 문항에서 우리나라 학생들은 50-60%의 정답률을 나타내었다. 평가주제 '에너지의 출처와 근원'의 경우 3-4학년군의 지층과 화석에서 관련 내용을 다루며, 우리나라 학생들은 전기를 생산하는 에너지원과 자연에서 에너지원을 찾는 문항에서 40-60%의 정답률을 나타내었다.

평가주제 '일상생활에서 빛과 소리'의 경우 초등학교 3-4학년군의 소리의 성질, 빛과 그림자(2009개정에서는 거울과 그림자) 단원에서 관련 내용을 다루며, 우리나라 학생들은 기타에서 소리를 내는 방법, 그림자를 만들고 그림자의 크기를 바꾸는 방법 등에서 50-80%의 정답률을 나타내었다. 다만, 우리나라 교육과정에서는 기타는 소리의 높낮이를 알아보는 소재로만 활용하고, 소리굽쇠를 활용하여 소리는 진동이라는 것만 다룬다. 한편, 공개문항인 전등 빛에서 물체의 그림자가 생기는 이유 고르기 문항의 경우 TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 정답률이 10%p 이상 상승하였다. 이는 TIMSS 2015의 경우 4학년에서 그림자와 거울을 학습하고 바로 시험에 참여한 까닭에 학생들이 유의미한 서술형 답안을 작성한 것으로 보인다.

평가주제 '전기와 단순회로'의 경우 5-6학년군의 전기회로(2009개정에서는 전기의 작용) 단원에서 관련 내용을 다루며, 우리나라 초등학교 4학년은 전기회로 완성하기, 전구에 불이 켜지는 이유 설명하기 등의 문항에서 약 30%의 정답률을 나타내었다. 공개문항인 전기를 통하는 물체를 찾아내는 조합형 문항의 경우 TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 정답률이 14%p 하락하였는데, 이는 우리나라 학생들의 도체와 부도체에 대한 지식 부족 및 우리나라 교육과정에서 전기 회로 관련 내용을 다루는 시기가 늦어서 초래된 결과로 보인다. 평가주제 '자석의 성질'의 경우 3-4학년군의 자석의 성질(2009개정에서는 자석의 이용) 단원에서 다루며, 자석의 같은 극끼리 또는 다른 극끼리의 반응, 자석을 이용한 혼합물의 분리 등에서 우리나라 학생들은 평균 75% 이상의 정답률을 나타내었다.

평가주제 '힘과 물체 운동의 원인'의 경우 3-4학년군의 무게 재기 단원에서 관련 내용을 다루며, 우리나라 학생들은 중력의 방향, 중력 작용의 효과, 물체를 움직이거나 방향을 바꾸기 위해 필요한 것 등을 묻는 문항에서 평균 70% 이상의 정답률을 나타내었다. 초등학교 교육과정에서 중력을 명시적으로 다루지는 않지만, 무게를 다루면서 중력의 방향을 다룬다고 현장교사들은 설명하였다. 힘과 운동도 중학교에서 다루어 아직 학습하지 않은 내용이지만, 우리나라 초4 학생들은 일상생활의 경험과 평소 지식으로 미루어 답안을 작성한 것이라고 현장교사들은 분석하였다. 한편, 공개문항인 경사면에서 구슬이 굴러 내려오게 하는 힘을 묻는 문항의 경우 TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 약 10%p 정도 정답률이 하락하였다. 이는 초등학교 교육과정에서 중력을 명시적으로 다루지 않는데다가, 우리나라 학생들은 '경사면이기 때문에' 등과 같이 문제의 제시문을 반복하는 현상 위주의 서술형 답안을 제시한 까닭에 정답률이 낮아진 것으로 보인다.

TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 물상과학 영역 성취도 추이변화를 정리하면, 초등학교 3-4학년군

교육과정에서 다룬 내용일수록 정답률이 높게 나타났다. 반면에, 열전달, 용해와 용액, 전기회로, 도체와 부도체, 전기의 작용 등과 같은 평가주제는 2009개정 교육과정에서 5-6학년군에서 다루고, 어는점이나 녹는점 등은 중학교 교육과정에서 다루기 때문에 우리나라 초4 학생들의 정답률이 상대적으로 낮게 나타났다.

4. 과학 내용영역별 성취도 추이변화: 지구과학

초등학교 4학년 지구과학 영역의 경우, TIMSS 2011과 비교하여 TIMSS 2015의 지구과학 영역에서는 평균점수 12점이 하락하였다. 여기서 주목할 점은 TIMSS 2011에 비해 평균점수 12점이 하락하였음에도 불구하고 우리나라 초4 학생들의 지구과학 평균점수는 591점으로 참여국들 중 가장 높으며, 이는 지구과학 영역에서 2위를 차지한 홍콩의 574점보다도 17점이 더 높은 점수이다. TIMSS 2011에서 지구과학 영역의 평균점수는 603점으로 그 당시 전체 2위를 차지한 싱가포르보다도 62점이나 높았고, 생명과학이나 물상과학과 같은 다른 내용영역별 우리나라의 평균보다도 각각 32점, 6점씩 더 높았다. 따라서 TIMSS 2015에서 지구과학 영역은 참여국들 중 1위의 점수를 기록하고도 TIMSS 2011에 비해서는 유의하게 평균점수가 하락한 것으로 나타났다. TIMSS 2015 과학 성취도 상위 15개국 중 한국과 핀란드를 제외하고 나머지 국가들은 TIMSS 2011에 비해 지구과학 영역에서 평균점수가 상승하였다.

먼저 공개문항을 중심으로 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 10%p 이상의 정답률 차이를 나타낸 문항주제와 관련 주제를 우리나라 교육과정에서 어떻게 다루는지를 살펴보면 Table 9와 같다.

TIMSS 2015 지구과학 영역 문항은 거의 상식 수준에서 해결할 수 있는 문항이어서 우리나라 학생들의 답하기가 수월했을 것이라고 현장교사들은 설명하였다. 지구과학 평가주제별로 우리나라 학생들의 응답경향과 정답률 추이변화의 원인을 살펴보면 다음과 같다.

평가주제 '지표의 특징과 인간 활용과의 관계'의 경우 초등학교 3-4학년군의 지표의 변화, 모습을 바꾸는 물(2009개정에서는 물의 상태변화), 지구와 달 단원에서 관련 내용을 다루며, 우리나라 학생들은 바위의 풍화, 지각을 구성하는 것, 육지와 바다의 면적 등의 문항에서 평균 70% 이상의 높은 정답률을 나타내었다. 평가주제 '지구에서 물이 발견되는 곳과 물이 대기 중으로 드나드는 방법'의 경우 초등학교 3-4학년군의 지표의 변화, 모습을 바꾸는 물(2009개정에서는 물의 상태변화) 단원에서 관련 내용을 다루며, 우리나라 학생들은 평균 70% 이상의 정답률을 나타내었다.

평가주제 '하루하루, 계절별 그리고 지리적 위치별 날씨의 변화 가능성에 대한 이해'의 경우 초등학교 5-6학년군의 날씨의 변화(2009개정에서는 날씨와 우리생활) 단원에서 관련 내용을 다루지만, 우리나라 학생들은 생활 속에서 일기예보나 사회 교과에서 '세계 여러 지역의 기후' 등에서 학습한 내용을 토대로 답안을 작성한 것으로 보인다. 기온과 구름의 양으로 미루어 비가 내릴 가능성이 큰 지역을 찾거나 기온 그래프를 해석하는 등의 문항에서 우리나라 학생들은 평균 60% 이상의 정답률을 나타내었다.

평가주제 '화석이 무엇이며, 화석이 지구의 과거 조건에 대해 무엇을 알려주는지에 대한 이해'의 경우 3-4학년군의 지층과 화석 단원에서 관련 내용을 다루며, 우리나라 학생들은 화석의 의미나 화석이 만들어지는 과정을 묻는 문항에서 평균 70% 이상의 높은 정답률을 나타내었다. 한편, 공개문항인 과거에 많은 동물이 살았다는 증거와 땅위 암석에서 발견된 조개 화석의 의미를 고르도록 한 문항의 경우, TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 정답률이 10%p 이상 하락하였다. 이는 2009개정 교육과정의 초등학교 3학년에서 화석의 의미와 생성과정을 다루지만, 학생들이 화석으로부터 과거의 생물이나 환경을 유추하는 데 어려움을 겪었을 것이라고 교사들은 설명하였다.

평가주제 '태양계 천체와 운동'의 경우 5-6학년군의 태양계와 별 단원에서 관련 내용을 다루지만, 태양계 구성원을 묻는 문항에서 우리나라 학생들은 평균 70% 이상의 정답률을 나타내었다. 평가주제 '지구 자전으로 인해 낮과 밤이 생기고, 하루 동안 그림자의 변화가 생긴다는 것에 대한 이해' 및 '계절과 지구 공전의 관련성 이해'의 경우 5-6학년군의 지구와 달(2009개정에서는 지구와 달의 운동), 태양계와 별, 계절의 변화 단원에서 관련 내용을 다룬다. 즉, 2009개정 교육과정에서 지구와 달, 낮과 밤, 달의 위상 변화 등의 주제를 초등학교 6학년에서 다루므로, 관련 문항들에서 우리나라 학생들의 정답률이 낮게 나타났다. 예컨대 달의 위상 변화와 그 이유를 묻는 문항에서 우리나라 초등학교 4학년 학생들은 평균 40-60%의 정답률을 나타내었다. 우리나라 교육과정에서는 초등학교 5-6학년군에서 지구와 달을 다루더라도 지구와 달의 모양이나 달의 공전 모형만 다룰 뿐, 달의 공전이나 달의 위상 변화 등을 다루지는 않는다. 달의 위상변화의 경우 초등학생들의 오개념이 많아서 중학교에서 다룬다. 한편, 공개문항인 하루 동안 그림자의 길이가 달라진 이유를 설명하는 문항의 경우에는 TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 정답률이 10%p 이상 상승하였는데, 이는 학생들이 아침이나 저녁보다는 낮12시에 그림자의 길이가 가장

Table 9. Item-curriculum matching analysis for sample Earth science topics

문항주제 및 정답률	2007개정 교육과정	2009개정 교육과정	2015 개정 교육과정
과거에 많은 동물이 살았다는 증거 TIMSS 2011 정답률: 84.1% TIMSS 2015 정답률: 66.5%	초4-2. 2단원(지층과 화석)	초3-2. 2단원(지층과 화석)	초4-1. 2단원(지층과 화석)
땅위 암석에서 발견된 조개 화석의 의미 TIMSS 2011 정답률: 86.0% TIMSS 2015 정답률: 73.5%	초4-2. 2단원(지층과 화석)	초3-2. 2단원(지층과 화석)	초4-1. 2단원(지층과 화석)
하루 동안 그림자의 길이가 달라진 이유 설명하기 TIMSS 2011 정답률: 53.1% TIMSS 2015 정답률: 67.3%	초6-1. 3단원(계절의 변화)	초6-2. 3단원(계절의 변화)	초6-2. 2단원(계절의 변화)

짧다는 것을 일상생활의 경험에 비추어 설명한 것으로 보인다.

현장교사들은 TIMSS 2015에서 지구과학 영역 평균점수가 하락한 이유 중 하나로 "TIMSS 초4 지구과학 영역 문항들의 경우 우리나라 2009개정 교육과정과 교과서에서 다루는 수준보다 다소 어렵게 출제되었기 때문"이라고 지적하였다. 예컨대 달의 위상 변화가 나타나는 이유, 전기 생산에 사용하는 에너지원, 기온 그래프 해석 등과 같이 문항 자체가 "현재 교과서 수준보다 어려운 개념들"이 출제되었다고 현장교사들은 분석하였다.

Ⅳ. 결론 및 제언

본 연구에서는 TIMSS 2011과 TIMSS 2015 결과 중 초등학교 4학년 과학 내용영역과 인지영역별로 우리나라 학생들의 성취 특성을 분석하였다. 연구결과에 따르면, 우리나라 학생들은 과학 내용영역별로 물상과학 영역에서는 우리나라 과학 전체 성취도 점수에 비해 통계적으로 유의하게 높은 점수를 나타내었고, 생명과학 영역에서는 전체 점수보다는 통계적으로 유의하게 낮은 점수를 나타내었다. TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 생명과학 영역에서는 11점이 통계적으로 유의하게 상승하였고, 물상과학에서는 1점이 상승하였으며, 지구과학에서는 12점이 통계적으로 유의하게 하락하였다. 과학 내용영역별로 TIMSS 2011과 비교하여 TIMSS 2015에서 평균점수가 하락하거나 상승한 까닭을 교육과정 일치도 측면에서 분석하였다. 예컨대 생명과학이나 물상과학 영역의 경우 일부 평가주제를 우리나라 2009개정 교육과정에서 5-6학년군에서 다루는 까닭에 우리나라 초4 학생들이 아직 학습하지 않아서 관련 문항들에서 정답률이 낮게 나타났다. 과학 인지영역별로는 TIMSS 2015에서 우리나라 초등학교 4학년 학생들은 TIMSS 2011에 비해 추론하기 영역의 점수가 많이 하락한 것으로 나타났다. TIMSS의 경우, 참여국들의 교육과정에 기반을 둔 평가이므로 TIMSS 결과를 토대로 우리나라 교육과정에서 관련 내용을 접근하는 방식이나 교수학습 방식을 점검해볼 수 있다(Hong *et al*., 2006; Sang *et al*., 2016). TIMSS 2015 초4 과학과 내용영역 및 인지영역에서 나타난 우리나라 학생들의 성취 특성에 비추어 우리나라 초등학교 과학과 교육과정 및 교수학습 측면의 개선 방안을 제안하면 다음과 같다.

첫째, 우리나라 학생들의 성취도가 지속적으로 낮게 나타나는 내용영역의 경우 주요 개념의 도입 시기와 순서 등에 대한 심층연구가 요청된다. 물론 TIMSS의 출제경향에 맞추어 우리나라 과학과 교육과정을 바꾸거나 TIMSS 문제를 해결할 수 있도록 학생들을 반드시 준비시켜야 하는 것은 아니지만(Park, 2004; Hong *et al*., 2006), 초등학교에서 주요 개념을 다루는 순서와 시기 등에 대한 검토가 요청된다. TIMSS에서는 평가주기마다 교육과정을 포함한 과학 교육의 국제 변화 동향을 반영하여 평가틀을 수정・보완하고 있다. 따라서 수차례의 평가틀 개정에도 불구하고 여전히 유지되는 평가주제의 경우 대부분의 TIMSS 참여국들이 해당 평가주제를 초4까지의 교육과정에서 다루는 것이 타당하다고 판단하고 TIMSS 평가주제를 다루는 순서와 수준에 동의하였기 때문이다. 이러한 맥락에서 TIMSS 평가에 대비하여 우리나라 초등학교 교육과정을 맞출 필요는 없겠지만, TIMSS 평가틀에 반영된 국제 동향을 고려하여 우리나라 초등학교 과학과 교육과정의 내용 전개 순서와 수준을 보완할 필요가 있다. 특히 TIMSS 2011에서 TIMSS 2015로 넘어가면서 지구과학 영역의 경우에는 평균점수가 많이 하락하였는데, 이는 우리나라 교육과정을 2007개정에서 2009개정으로 개정하면서 기존에 초등학교 3-4학년군에서 다루던 달의 위상 변화, 화산폭발 등의 개념을 학생의 오개념이 많고 어렵다는 이유로 상급 학년으로 이동하거나 다루는 수준을 조정하였기 때문이라고 현장교사들은 분석하였다. TIMSS에서 우리나라 초등학교 4학년 학생들이 높은 성취도를 유지하는 이유 중 하나는 우리나라 초등학교 학생들이 과학 과목을 가장 좋아하고, 초등의 경우 학교 과학수업에서 실험을 많이 하며 현상위주로 일상생활 속의 과학을 가르치기 때문이다(Sang *et al*., 2016). 우리나라 초등학교 학생들이 제일 재미있어 하는 것이 화산폭발, 물에 의한 침식 실험, 태양계 모형 만들기 등과 같은 지구과학 실험이라고 한다(Sang *et al*., 2016). TIMSS 평가틀에 맞추어 초등학교 3-4학년군에서 달의 위상변화 등을 성급하게 다룰 필요는 없겠지만, 한 달 동안 달의 모양이 달라진다는 일상생활의 경험과 현상 위주로 관련 내용을 다루는 등, 초등학교 과학과 교육과정에서 주요 내용을 소개하는 시기와 방법에 대한 검토가 요청된다(Kim, Kim & Dong, 2015).

둘째, 중력, 포유류 등과 같은 용어의 도입 시기에 대한 논의가 필요하다. TIMSS 평가결과에서 우리나라 초등학교 학생들에게 발견되는 특징 중 하나는 특정 용어나 표현을 몰라서 문항의 의도를 파악하는 데 어려움을 겪는다는 점이다. 예컨대 포유류, 등뼈, 포식자, 피식자 등의 용어를 교육과정이나 교과서에서 명시적으로 다루지 않기 때문에 학생들이 문항 이해에 어려움을 겪은 것으로 보인다. 특히 포유류, 피식자 등으로 표현된 문두에서부터 우리나라 학생들은 문항 이해에 어려움을 겪는다. 또한 중력 개념의 경우 초등학교 과학과 교육과정에서 무게를 비교하거나 지구 중심 방향으로 물체를 끌어당기는 힘이 있다는 것은 다루지만 중력이라는 표현을 명시적으로 사용하지는 않는다. 그 결과 TIMSS 문항에서 '중력'이라는 개념과 표현을 명시하도록 요구하는 문항에 대해 우리나라 학생들의 정답률이 떨어지는 경향이 발견된다. 이러한 맥락에서, 한자 표현이나 어려운 용어의 경우 초등학교에서부터 도입하여 학생들의 학습 부담을 초래할 필요는 없겠지만, 이미 초등학생의 일상생활에 널리 보급되고 활용되는 과학 용어의 경우 교육과정에 도입하는 시기를 점검해볼 필요가 있다.

셋째, 과학 내용영역이나 단원들을 가로질러 학습한 내용들을 연계할 필요가 있다. 현장교사들은 TIMSS의 문항 형식이 우리나라 학생들에게 다소 생소한 측면이 있다고 지적하였다. 즉, TIMSS 문항의 경우 난이도가 높지는 않지만, 여러 과학영역들은 물론 타(他)교과와 연계된 융합형 문항이 많고, 문항 형식도 실생활과 관련된 적용과 응용 문항이 많다고 분석하였다. 현재 우리나라의 학교평가나 시험 문항은 주로 사실이나 개념 이해 중심으로 출제하는 데 반해서, TIMSS 문항의 경우 실생활에 적용하고 과학영역들을 연계하도록 하는 문항을 강조한다(Lee, 2016). 예컨대 공개문항 중에는 나무와 사자의 공통점을 찾거나, 식물과 동물이 살아가는 데 공통으로 필요로 하는 것을 찾는 등의 문제가 발견된다. 따라서 초등학교 과학 학습에서 단원간 그리고 과학영역간 학습한 내용을 연계할 필요가 있다. 예컨대 초등학교 3-4학년군 거울과 그림자에서 학습하는 그림자 생성 원리와 초등학교 5-6학년군에서 학습하는 하루 동안 태양고도에 따른 그림자 길이 변화를 연계하거나, 초등학교 3-4학년군 식물의 생활에

서 학습한 나무 잎의 모양을 식물이 사는 지역의 날씨와 관련짓는 등과 같이 단원이나 과학 내용영역들 간을 연계할 필요가 있다. 이러한 맥락에서 2015 개정 교육과정 초등 3-4학년에서 식물과 동물 관련 학습 내용을 동일 학년에서 함께 배우도록 조정하고, 5-6학년군에서는 구조와 기능을 중심으로 '식물의 구조와 기능'과 '우리 몸의 구조와 기능'을 함께 학습하도록(KOFAC, 2015) 구성한 점은 바람직한 변화로 보인다. 이렇듯 교육과정에서 식물과 동물을 연계하고, 구조와 기능의 관점에서 식물과 우리 몸을 연계하여 통합적으로 이해하도록 구성함으로써 영역이나 소재를 가로질러 핵심개념(big ideas) 중심의 내용 연계와 적용이 가능할 것으로 기대된다.

넷째, 이론적 지식 위주로 초등학교 과학을 가르치기보다는 일상의 실제 상황과 현상에서 출발하여 관련된 과학개념을 학습하고 이를 다시 실생활에 적용하고 문제를 해결할 수 있도록 과학을 가르치고 학습할 필요가 있다. TIMSS의 인지영역별 출제 비율에서도 알 수 있듯이 실제 상황에 적용하고 근거를 추론하는 문항이 약 80%를 차지한다(Song *et al*., 2016). 또한 이러한 문항들은 대부분 답이 열린 서술형 문항으로 출제된다. 예컨대 TIMSS에서는 제시된 입장들 중 하나를 고르고, 그 이유를 설명하도록 요구하는 서술형 문항들이 출제되는데, 이러한 문항에서 우리나라 학생들의 정답률은 10-20% 정도로 매우 낮다. 이는 우리나라 초등학교 학생들이 TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 추론하기 영역에서 평균점수가 11점 하락한 것과도 무관하지 않다. 하지만 우리나라 과학 학습은 이상적 상황을 전제로 한 이론적 지식 위주의 과학 학습이어서 학생들이 실제 상황에 대한 적용이나 추론이 어려운 실정이라고 한다(KICE, 2013; Lee *et al*., 2012). 예컨대 우리나라 학생들은 여러 물체나 물질의 열전달율이라는 개념은 알고 있지만, 정작에 물체들 사이의 열전달율이 달라서 그 결과 어떤 현상이 나타나는지를 설명하고 추론하는 문항에서는 10-20%의 낮은 정답률을 나타내었다. 마찬가지로 우리 몸에서 왜 근육이 필요한지, 왜 매일 물을 마셔야 하는지, 지구 자전이 왜 낮과 밤을 생기게 하는지 등을 설명하는 문항에서 낮은 정답률을 나타내었다. 또한 우리나라 학생들은 알고 있는 지식이나 진술문을 도표나 그림으로 전환하는 데서 어려움을 겪는다(Sang *et al*., 2016). 예컨대 물이 어는 온도를 알고 있음에도 불구하고 이를 온도계 그림에 직접 나타내는 문항에서 우리나라 학생들은 약 15%의 정답률을 나타내었다. 따라서 왜 특정 현상이 나타나는지를 설명하고 문제 상황에 적용하고, 자기 나름의 입장을 정당화하며, 학습한 내용을 실생활에 적용하고, 도표 등 다른 표현방식으로 소통하는 등과 같은 과학과 교수학습 경험을 강화할 필요가 있다(Kwak, 2017).

끝으로, 초등 과학에서 변인 통제 등을 포함하여 과학과 탐구 역량을 직접적으로 지도할 필요가 있다. TIMSS 2011 이래로 과학과 평가문항은 가설 설정, 변인 통제 등과 같은 과학적 탐구를 설계하는 것과 관련된 문항이나 자신의 주장에 대한 설명이나 근거를 제시하도록 요구하는 문항의 출제 빈도가 높아지는 경향을 보인다(Lee, 2016). 예컨대 공개문항 중, 비료가 식물의 성장에 주는 영향을 알아보기 위한 실험 설계에서 변인통제하기, 식물이 자라는 데 필요한 것을 알아보기 위한 실험 설계하기, 여러 변인들 중 음료수의 농도를 낮추는 변인 찾아내기 등과 같은 문항에서 우리나라 초4 학생들은 30-40% 수준의 정답률을 나타내었다. 이에 대해 현장교사들은 3-4학년군 과학과 교과서 도입부에 기초탐구 활동 익히기가 제시되지만, 단원별 내용과 연계하여 직접적으로 변인통제나 실험 설계 등을 가르치기보다는 소극적으로 다루고 넘어가는 경우가 많다고 지적하였다. 2015 개정 과학과 교육과정에서도 추론하기, 과학적 사고, 과학탐구 등과 같은 핵심역량을 과학수업을 통해 길러주어야 한다고 강조하고 있다(KOFAC, 2015). 따라서 초등학교에서부터 변인통제, 실험 설계 등과 같은 과학탐구를 실제로 체험할 기회를 제공할 뿐만 아니라 과학탐구 관련 역량을 체계적이고 명시적으로 길러줄 필요가 있다.

국문요약

본 연구의 목적은 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 성취 특성 추이변화를 분석하고 우리나라 초등과학과 교육과정 및 교수학습 개선에 주는 시사점을 도출하려는 것이다. 이를 위해 초등학교 현장교사 네 명과 과학교육을 전공한 연구자 세 명이 참여하여 TIMSS 2015의 초등학교 과학과 내용영역별 평가주제와 문항에 대해 교육과정 일치도를 분석하고, 우리나라 학생들의 성취 특성을 분석하였다. 연구결과에 따르면, 생명과학, 물상과학 그리고 지구과학의 영역을 막론하고 초등학교 3-4학년군 교육과정에서 다룬 내용일수록 정답률이 높게 나타났다. 또한 2009개정 교육과정에서 초등학교 5-6학년군에서 다루는 열전달, 전기의 작용, 지구와 달의 운동 등과 관련된 문항에서는 정답률이 상대적으로 낮게 나타났다. 과학 인지영역별로는 TIMSS 2015에서 우리나라 초4 학생들은 TIMSS 2011에 비해 추론하기 영역의 점수가 많이 하락한 것으로 나타났다. 연구결과를 토대로 우리나라 초등 과학과 교육과정 구성을 위한 시사점과 교수학습 방법 개선 방안을 제안하였다.

주제어 : TIMSS, 생명과학, 물상과학, 지구과학, 내용영역, 추이변화, 추론하기

References

Hong, M. Y., Jeong, E. Y., Lee, M. K., & Kwak, Y. (2006). Analysis of Korean Middle School Student Science Achievement at International Benchmarks in TIMSS 2003. Journal of the Korean Association for Science Education, 26(2), 246-257.

IEA (2017). TIMSS 2015 User Guide for the International Database. Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center.

Jeong, E. Y., Park, C., Kim, K. H. (2006). An Analysis of Korean Middle School Student Science Achievement in Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS 2003). Journal of the Korean Association for Science Education, 26(1), 99-113.

KICE (2013). Exploration of the direction of national-level curriculum for the future society – Science. (Research Report CRC 2013-23). Seoul: KICE.

Kim, J., Kim, S., & Dong, H. (2015). International Comparison of Cognitive Attributes using Analysis on Science Results at TIMSS 2011 Based on the Cognitive Diagnostic Theory. Journal of the Korean Association for Science Education, 35(2), 267-275.

Kim, S., Lee, J., Park, J. H., & Lee, M. (2015). Trends in International Mathematics and Science Study: TIMSS 2015 Main Survey. (Research Report RRE 2015-11-2). Seoul: KICE.

Kim, S., Park, J. H., Kim, H., Jin, E., Lee, M., Kim, J. Y., Ahn, Y., K., & Seo, J. H. (2012). Findings from TIMSS for Korea: TIMSS 2011 international results. (Research Report RRE 2012-4-3). Seoul: KICE.

KOFAC (2011). Research on mathematics curriculum for 2009 revised curriculum. Seoul: KOFAC.

KOFAC (2015). Development Research of Draft of 2015 revised subject curriculum Ⅱ - Science Curriculum. (Research Report BD15110002). Seoul: KOFAC.

Kwak (2017). Exploration of Features of Korean Eighth Grade Students' Achievement and Curriculum Matching in TIMSS 2015 Earth Science.

Journal of the Korean Association for Science Education, 37(1), 9～16.
Lee, J. (2016). Analysis of Changes in the Learning Environments of Middle School Science Classes. Journal of the Korean Association for Science Education, 36(5), 717-727.
Lee, K., Kwak, Y., Lee, S., & Choi, J. (2012). Design of the competencies-based national curriculum for the future society. (Research Report RRC 2012-4). Seoul: KICE.
Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Foy, P., & Hooper, M. (2016). TIMSS 2015 International Results in Science. Retrieved from Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center website: http://timssandpirls.bc.edu/timss2015/international-results/.
MEHRD (2007). Science Curriculum. MEHRD Notification No. 2007-79 [supplement 9].
MEST (2011). Science Curriculum. MEST Notification No. 2011-361 [supplement 9].
MOE (2015). Science Curriculum. MOE Notification No. 2015-74 [supplement 9].
MOE (2016). General Plans for Science Education(2016.2.).
Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Foy, P., & Hooper, M. (2016). TIMSS 2015 International Results in Mathematics. Retrieved from Boston College, TIMSS & PIRLS International Student Center website: http://timssandpirls .bc.edu/timss2015/international-results/
Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Ruddock, G. J., O'Sullivan, C. Y., & Preuschoff, C. (2009). TIMSS 2011 Assessment Framework. MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Lynch School of Education, Boston College.
Mullis, I.V.S. & Martin, M.O. (Eds.). (2013). TIMSS 2015 Assessment Frameworks. Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.
Park, K. M. (2004). prospects and tasks of international comparative study on mathematics achievement: Outcomes and tasks of international comparative study of student achievement. (Research Report RRC 2015-4). Seoul: KICE.
Sang, K., Kwak, Y., Park, J. H., & Park, S. (2016). The Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS): Findings from TIMSS 2015 for Korea. (Research Report RRE 2016-15-1). Seoul: KICE.
Shin, D. H., Kwon, O. N., & Kim, H. B. (2006). Gender Differences in Content Analysis of TIMSS 2003 Released Items. 26(6), 732-742.
Song, E., Je, M., Cha, K., & Yoo, J. (2016). Analysis of the Verbs in the 2009 Revised National Science Curriculum-from the Viewpoint of Cognitive Domain of TIMSS Assessment Framework. Journal of the Korean Association for Science Education, 36(4), 607-616.