



## 우리나라 중학생들의 TIMSS 2015 화학 영역 성취 특성 분석

곽영순\*  
한국교원대학교

### Analysis of Features of Korean Eighth Grades' TIMSS 2015 Achievement in Chemistry

Youngsun Kwak\*  
Korea National University of Education

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 6 July 2018

Received in revised form

26 July 2018

24 August 2018

Accepted 3 September 2018

##### Keywords:

TIMSS, Chemistry domain, The periodic table, Cognitive domain, Science competencies

#### ABSTRACT

The goal of this study is to investigate the features of Korean eighth graders' achievement and its trend in Chemistry in TIMSS 2011 and TIMSS 2015, and to explore its implications for Korean science curriculum and in teaching science. With three science educators and six science teachers, we analyzed the characteristics of Korean eighth graders' achievement in Chemistry by test-curriculum matching analysis. According to the trend analysis of science topics with released items for Chemistry in TIMSS 2015, Korean students' percentage for correct answers has dropped in topics such as regularities in chemical reactions, oxidation-reduction, etc. since these topics are covered after the ninth grade in the 2009 revised curriculum. For science cognitive domains, Korean students showed weaknesses in 'applying' domain in TIMSS 2015. Based on the results, we suggested implications for improvement in middle school chemistry curriculum and how to improve science teaching and learning for students' better science competencies and real-world application of science knowledge.

## I. 서론

TIMSS(수학·과학 성취도 국제비교 연구)는 국제교육성취도 평가협회(International Association for the Evaluation of Educational Achievement: 이하 IEA)에서 수행하는 연구로, 참가국들의 4학년(이하 초등학교 4학년)과 8학년(이하 중학교 2학년) 학생들을 대상으로 수학 및 과학 성취도를 평가하고 있다. TIMSS는 초등학교 및 중학교 학생들의 수학·과학 성취도와 함께 성취도에 영향을 주는 관련 배경변인을 파악하여 참가국의 수학·과학 교육의 질 개선에 필요한 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다(Sang *et al.*, 2016). 우리나라를 포함하여 TIMSS 참가국들은 TIMSS 결과를 참조하여 각국의 수학·과학 교육과정, 교수·학습 방법, 교육정책 등을 점검하고 개선하는 기초 자료로 활용한다(Kim *et al.*, 2012).

1995년에 시작된 TIMSS 연구에는 세계 여러 나라들이 참여하고 있으며, 우리나라도 TIMSS 1995 이래로 현재까지 지속적으로 참여해오고 있다. TIMSS는 연구 참가국들의 공통 교육과정에 기초하여 초등학교 4학년과 중학교 2학년 학생들의 수학·과학 성취도를 평가한 결과를 토대로, 참가국의 학교 교육과정의 효과성에 대한 정보를 제공해준다(Sang *et al.*, 2016). 우리나라는 TIMSS 연구에 참가한 이래로 국제평균(500점)보다 훨씬 높은 평균점수로 최상위권의 성취도를 유지하고 있다.

TIMSS는 4년 주기로 시행되는 연구로, 평가틀과 평가도구 개발, 예비검사, 본검사, 결과 분석 및 보고를 순차적으로 수행한다. TIMSS 2015의 경우, 2013년에 연구를 시작하여 2016년 11월에 국제본부와

참가국들이 공동으로 평가 결과를 발표하였다. 그리고 국제본부에서는 2016년 말의 공식적인 평가 결과 발표와 함께 TIMSS 2015 국제 데이터베이스를 공개하였고, 이를 활용하여 TIMSS 참가국들은 독자적인 심층 연구를 수행할 수 있게 되었다. 우리나라에서도 2016년 말에 TIMSS 2015 기본 분석 결과를 중심으로 우리나라 평가 결과를 다른 국가들과 비교·분석한 국가보고서를 발간하였으며, 공개된 TIMSS 2015 국제 데이터베이스를 다각도로 재분석하여 우리나라 과학 교육을 이해하고 개선하려는 다양한 연구를 추진하고 있다(Sang *et al.*, 2017).

TIMSS 2015의 경우, TIMSS 1995 이래로 약 20년간의 장기적인 수학·과학 성취도 변화추이에 대한 정보를 제공한다는 점에서 중요한 의미를 가진다. TIMSS 2015에 나타난 우리나라 중2 학생들의 과학 성취도 및 주요 결과를 살펴보면, 우리나라 “중2 학생들은 평균 점수 556점으로 싱가포르(평균점수 597점), 일본(평균점수 571점), 대만(평균점수 569점)에 이어 전체 4위를 차지”하였다(Kwak, 2017: 10). 우리나라 평균점수는 다른 상위국들에 비해 상당히 큰 점수 차이로 4위를 차지한 것을 알 수 있다. 우리나라 중학교 2학년 학생들은 TIMSS 1995 이래로 지속적으로 TIMSS 평가에 참여해왔으며, 평가 주기별로 과학성취도 변화추이를 살펴보면 “TIMSS 2011보다는 5점이 하락하였고, TIMSS 2007보다는 2점이 상승”하였다(Kwak, 2017: 10).

국제본부에서 공개한 TIMSS 2015 평가결과와는 별도로, 국제본부에서 공개한 TIMSS 데이터와 이전 주기의 TIMSS 데이터를 종합하여 세계 각국에서는 자국의 수학·과학 교육을 이해하고 개선하기

\* 교신저자 : 곽영순 (kwak@knue.ac.kr)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2018.38.5.625>

위한 심층연구를 실시한다. 우리나라에서도 TIMSS 데이터를 활용하여 국내 연구진이 다수의 심층분석 연구들을 수행하였다. 예컨대, 우리나라의 TIMSS 결과를 성취도 상위국과 비교·분석하거나(Kim *et al.*, 2013), 아시아 5개국(대한민국, 싱가포르, 대만, 홍콩, 일본)의 수학·과학 성취도에 교육맥락변인이 미치는 영향력을 분석하거나(Kim *et al.*, 2013), 성취수준 집단별로 교수학습 활동이 성취도에 미치는 영향을 분석하거나, TIMSS 평가주기별로 우리나라의 교육환경 변화를 분석하는(Lee, 2016) 등과 같이 다양한 심층연구들을 수행하였다. 이러한 심층분석 연구들은 연구내용 측면에서 우리나라와 TIMSS 성취도 상위국들에서 학생의 학업성취에 영향을 미치는 교육맥락변인들을 탐색하고 이로부터 수학·과학 교육 개선을 위한 시사점을 얻고자 했다는 공통점을 갖는다. 또한 학생들의 성취도뿐만 아니라 교육환경의 변화에도 관심을 기울여, 평가주기에 따른 수학·과학 교육환경의 변화를 분석하였다.

한편, 국제본부에서는 각각의 평가주기가 마무리되면 일부 문항을 공개하는데, TIMSS 2015를 완료한 후에는 중학교 2학년 전체 과학 문항 269개 중에서 115개를 공개하였다. 이중 화학은 27개 문항, 생물은 39개, 물리는 26개, 지구과학은 23개 문항이다(IEA, 2017). 국제본부에서는 “공개문항을 포함하여 TIMSS 2015와 관련된 기초 데이터를 제공하지만 이것만으로는 우리나라 과학교육의 성과와 질 개선을 위한 시사점을 파악하기 어렵다(Kwak, 2017: 10). 따라서 학생들의 성취도와 정답률을 관련 배경변인 측면에서 세부적으로 분석하여 과학교육 질개선을 위한 시사점을 도출할 필요가 있다. 특히 참여국의 교육과정과 TIMSS 문항의 일치도를 분석하는 ‘교육과정 일치성 분석’을 통해 해당 국가의 교육과정 개선 방안을 제안하는 연구도 필요하다(Lee, 2014). TIMSS의 경우 참여국들의 공통된 교육과정에 근거한 평가이므로, 우리나라 교육과정의 변천 시기별로 학생들의 과학 내용영역별 정답률 추이를 분석함으로써 주요 주제와 개념의 도입시기에 대한 시사점을 도출할 수 있을 것이다. 이러한 맥락에서, 본 연구에서는 TIMSS 2015 결과 중 중학교 2학년 화학 영역의 성취 특성을 공개문항을 중심으로 분석하고자 한다.

본 연구의 목적은 TIMSS 2015 중학교 2학년 과학 성취도 결과 중, 화학 영역에 대해 우리나라 교육과정에 비추어 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 학생들의 성취 특성과 그 원인을 탐색하려는 것이다. 이때 화학 영역의 TIMSS 평가주제별로 해당 문항의 특성과 우리나라 학생들의 정답률을 분석하고, 화학 교육과정 변화에 비추어 성취도 추이변화의 원인을 분석하고자 한다. 특히 “공개 문항을 중심으로 구체적인 문항 내용과 정답률 추이 변화”를 살펴보고자 한다(Kwak & Shin, 2017: 351). 우리나라 과학과 “교육과정의 경우 주요 내용영역별로 교육과정에서 다루는 시기와 개념들 간의 연계가 필요”하다(Koh & Kim, 2016; Kwak & Shin, 2017: 351)는 선행연구를 반영하여 TIMSS 화학 영역 평가주제들을 우리나라 과학과 교육과정에서 어떻게 다루고 있는지를 분석하고자 한다. 또한, 화학 내용영역 성취 특성 분석과 함께, 인지영역별 성취 특성을 분석하여 우리나라

중학교 과학과의 의도된 교육과정과 실행된 교육과정에 주는 시사점을 논의하고자 한다.

## II. 연구 내용 및 방법

### 1. TIMSS 2015 중학교 과학 평가들

4년 주기로 실시하는 TIMSS 평가에서는 성취도 추이 변화를 파악하기 위해 매 주기마다 평가들을 보완한다. 이는 TIMSS 참가국들의 교육과정 변화, 수학·과학교육의 국제 변화 동향 등을 반영하려는 것이다(Mullis *et al.*, 2013; Sang *et al.*, 2016). TIMSS 2015 평가들도 기존 TIMSS 평가주기에 사용된 평가들을 수정·보완한 것으로 2013년에 발표하였다. TIMSS의 성취도 평가들은 크게 내용영역과 인지영역으로 구성되며, “TIMSS가 교육과정을 기반으로 하는 평가이므로 성취도 평가들은 참가국에서 가르치는 과학과 교육과정 내용을 중심으로 구성”된다(Kwak & Shin, 2017: 351).

TIMSS 2015의 중학교 2학년 과학과 평가들의 내용영역은 “생물, 화학, 물리, 지구과학의 4개 영역으로 구성되며, 이전 주기에 해당하는 TIMSS 2011과 영역명은 동일하지만 영역별 하위 평가요소에는 차이”가 있다(Kim *et al.*, 2015b: 16; Mullis & Martin, 2013). TIMSS 2015 과학 평가들 중에서, 중학교 화학 내용영역의 평가주제를 제시하면 Table 1과 같다.

Table 1. TIMSS 2015 chemistry assessment topics(Kim *et al.*, 2015b, p.16; Mullis & Martin, 2013, p.12, p.30)

내용 영역	평가주제와 요소		
화학	1) 물질의 구성 ①원소, 화합물과 혼합물 ②원자와 분자의 구조	2) 물질의 성질 ①물질의 물리적 및 화학적 성질 ②물질 분류의 기초로서 물리적, 화학적 성질 ③혼합물과 용액	3) 화학 변화 ①화학변화의 특징 ②화학변화에서 물질과 에너지 ③화학결합

TIMSS 2015의 중학교 2학년 과학 내용영역 및 인지영역의 문항 구성을 살펴보면, 생물 영역의 문항이 34.1%로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 이어서 물리 영역(25.5%), 지구과학 영역(20.5%), 그리고 화학 영역(20.0%)의 순으로 문항 비중이 높다(Table 2 참조). TIMSS 2015 과학과 인지영역의 경우 기존 평가주기와 마찬가지로 알기, 적용하기, 추론하기의 3개 영역으로 구성된다(Kim *et al.*, 2015b: 5). 인지영역별 문항 구성을 살펴보면, 적용하기 문항의 비중이 약41%로 가장 높으며, 이어서 알기(35.0%), 추론하기(23.6%)의 순으로 문항의 비중이 높다. TIMSS 2015 과학 평가문항은 선다형과 구성형으로 구분되며, 전반적으로 선다형 문항의 비중이 더 높다(Sang *et al.*, 2016).

Table 2. Distribution of TIMSS 2011 & 2015 eighth grade science items (Martin *et al.*, 2016)

구분	TIMSS 2011 문항수(%)	TIMSS 2015 문항수(%)
내용영역	생물	81(36.5)
	화학	45(20.3)
	물리	55(24.8)
	지구과학	41(18.5)
인지영역	알기	77(34.7)
	적용하기	93(41.9)
	추론하기	52(23.4)
문항 유형	선다형	115(51.8)
	구성형	107(48.2)

※ 문항 수는 하위문항을 포함한 숫자임

## 2. 분석 대상과 방법

TIMSS 2015는 “중학교 2학년 교육과정을 이수한 학생들을 대상으로 실시하므로, 우리나라의 경우 2014년 12월에 실시”하였다(Kwak, 2017: 11). 우리나라 학생들의 TIMSS 2011 및 TIMSS 2015 본검사 참여율을 제시하면 Table 3과 같다. TIMSS 2011에는 전체 표집학생 5,747명 중 4,669명이 참여하여 97.2%의 참여율을 나타내었고, TIMSS 2015에서는 표집학생 5,436명 중 5,309명이 참여하여 97.7%의 참여율을 나타내었다(Kim *et al.*, 2012; Sang *et al.*, 2016).

Table 3. Korean eighth graders' participation rates in TIMSS 2011 and TIMSS 2015

	학교			학생		
	표집(개)	참여(개)	참여율(%)	표집(명)	참여(명)	참여율(%)
TIMSS 2011	150	150	100	5,747	4,669	97.2%
TIMSS 2015	150	150	100	5,436	5,309	97.7%

중학교 2학년으로 TIMSS 2011과 TIMSS 2015 평가에 참가한 학생들에게 적용된 과학과 교육과정을 제시하면 Table 4와 같다.

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

TIMSS 평가 주기	년도	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014년
TIMSS 2011	학년	초5	초6	중1	중2				
	적용 교육과정	7차							
TIMSS 2015	학년		초3	초4	초5	초6	중1	중2	
	적용 교육과정		7차	2007개정			2009개정		

Table 4에서 볼 수 있듯이, TIMSS 2011의 중학교 2학년 학생들은 모두 제7차 교육과정(MOE, 1997)으로 학습한 학생들이며, TIMSS

2015의 중학교 2학년 학생들은 중학교 1, 2학년에서 2009개정 교육과정(MEST, 2011)으로 학습한 학생들이다. 이에 본 연구에서는 TIMSS 2015 화학 영역 문항들에 대해 우리나라 학생들의 응답경향과 정답률을 분석하고, 우리나라 과학과 교육과정에서 TIMSS 2015에서 출제된 화학 영역의 평가주제를 어떻게 다루는지를 분석하였다. 특히 공개문항들 중 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에 공통으로 사용된 추이문항들을 활용하여 우리나라 중학교 2학년 학생들의 화학 영역 성취도 추이변화를 교육과정 변화에 비추어 분석하였다. 즉, 현장교사들을 중심으로 TIMSS 2011에 적용된 제7차 교육과정과 TIMSS 2015에 적용된 2009개정 교육과정에서 TIMSS 화학 영역 평가주제를 어떻게 다루는지를 분석하였다.

본 연구의 문항 분석에는 “과학교육을 전공한 연구자 3명과 중학교 현장교사 6명이 참여하여 TIMSS 2015에서 출제된 화학 영역의 평가 문항과 우리나라 교육과정의 일치도 및 학생들의 정답률을 분석하고, 우리나라 중학생들의 응답 특성을 초래한 원인을 분석”하였다(Kwak & Shin, 2017: 352). 과학교육을 전공한 3명은 과학교육을 전공한 연구자 2명과 대학교수 1명으로 구성되었다. 이들 전문가들은 국내 학업성취도평가 출제·분석 혹은 국제 학업성취도 결과 해석 등에 수년 동안 연구협력진으로 참여해왔다. 전체 연구진이 전문가 협의회를 통해 TIMSS 문항과 교육과정 일치도 분석을 실시하였으며, 필요한 경우 연구자는 개별 교사들을 대상으로 실제 과학수업에서 문항과 관련된 내용을 어떻게 다루는지를 면담하였다(Kwak & Shin, 2017: 353).

## III. 연구 결과 및 논의

### 1. TIMSS 2015 화학 영역의 성취도 및 추이 변화

TIMSS 2015에서 성취도 상위국을 중심으로 중학교 2학년 과학과 화학 영역의 성취도와 변화 경향을 살펴보면 Table 5와 같다.

우리나라 중학교 2학년은 화학 영역에서는 550점으로 싱가포르(593점), 일본(570점), 대만(579), 슬로베니아(552)에 이어서 전체 참가국 중 5위를 차지하였다. 전체 평균점수에서 1~3위를 차지한 국가들과 비교해보면, 우리나라 전체 학생들은 화학 영역에서 싱가포르보다는 평균점수 43점, 대만보다는 29점, 일본보다는 20점이 더 낮다. TIMSS의 경우 각 국가별로 전체 평균점수에 비추어 내용영역별 평균 점수를 분석하는데, 우리나라는 화학 영역에서는 통계적으로 유의하게 낮은 점수를 나타내었다. 이는 우리나라 중2 학생들이 상대적으로 화학 내용영역에서 전체 성적에 비해 더 낮은 성취도를 나타낸다는 것을 의미한다. 역으로 대만 학생들은 전체 성취도와 비교할 때 화학 내용영역에서 탁월한 성취도를 나타내어, 전체 성취도 향상에 기여한 것으로 보인다. TIMSS 2015 내용영역별 정답률을 살펴보면, 화학 영역의 정답률은 52%로 과학 내용영역 중 가장 낮다. 내용영역별 평균 정답률을 비교함으로써 학생들이 가장 어려움을 겪은 영역을 확인할 수 있는데, “우리나라 중2 학생들의 경우 화학 문항을 가장 어려워했음”을 알 수 있다(Kwak, 2017: 10).

화학 영역의 성취도 추이변화를 살펴보면, TIMSS 2011과 비교할 때 TIMSS 2015에서 우리나라는 화학 영역에서는 평균점수 1점이 하락하였다. TIMSS 2011과 비교하여, “우리나라 중학교 2학년 학생

Table 5. TIMSS 2015 8th-grade achievement in chemistry domain (Martin *et al.*, 2016)

국가	전체			화학		
	평균(점)	정답률(%)	T15-T11	평균(점)	정답률(%)	T15-T11
싱가포르	597	64	7	593 ▾	63	3
일본	571	59	13 △	570	56	10 △
대만	569	59	6	579 ▲	60	-7
대한민국	556	56	-5	550 ▾	52	-1
슬로베니아	551	55	8 △	552	54	-5
홍콩	546	53	11 △	536 ▾	49	10
러시아연방	544	54	2	558 ▲	55	4
영국	537	51	4	529 ▾	48	0
카자흐스탄	533	51	43 △	554 ▲	55	45 △
미국	530	50	5	519 ▾	46	-1
헝가리	527	50	5	534 ▲	50	0
스웨덴	522	49	13 △	512 ▾	45	10 △
리투아니아	519	48	8 △	517	45	2

\* 성취도 점수는 평균 500이고 표준편차는 100인 척도점수임.

▲: 영역별 점수가 전체 점수보다 유의하게 높음. ▾: 영역별 점수가 전체 점수보다 유의하게 낮음.

△: TIMSS 2015가 유의하게 높음. ▽: TIMSS 2015가 유의하게 낮음.

들의 평균점수는 5점만 하락하였지만, 우리나라 이외의 상위국들의 평균점수 상승폭이 커서 우리나라의 전체 순위가 TIMSS 2011의 3위에서 TIMSS 2015의 4위로 떨어진 것”으로 보인다(Kwak & Shin, 2017: 354; Sang *et al.*, 2016).

TIMSS 2015 화학 영역의 성취도 추이변화를 살펴보면, 상위 12개국 모두가 TIMSS 2011에 비해 1~54점 범위로 평균점수가 상승한 반면에 우리나라는 화학 영역을 포함하여 평균점수가 하락하여 전체 평균점수가 하락한 것으로 보인다. 우리나라 학생들은 TIMSS 2007과 TIMSS 2011 결과에서도 과학 내용영역 중 화학 영역의 정답률이 가장 낮았다(Dong *et al.*, 2013). TIMSS 2011에서는 중학교 2학년 과학 문항과 우리나라의 교육과정과의 일치도 측면에서, 화학 영역이 가장 낮은 데서 정답률이 낮은 원인을 찾고 있다(Kim *et al.*, 2012, p.155). 따라서 “TIMSS 2011에 비해 TIMSS 2015에서 화학 영역 평균점수가 하락한 이유를 우리나라 교육과정과 TIMSS 평가문항 일치도 분석(TCMA)에서 찾아볼 필요”가 있다(Kwak & Shin, 2017: 354). 화학 영역을 포함하여 TIMSS 2011에 참여한 우리나라 중2 학생들은 제7차 교육과정을, 그리고 TIMSS 2015에 참여한 중2 학생들은 중학교 1~2학년에서 2009개정 교육과정을 이수하였다. 이에 본 연구에서는 TIMSS 공개문항들 중 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에 공통으로 사용된 추이문항을 활용하여 우리나라 중학교 2학년 학생들의 화학 영역 정답률 변화를 교육과정과의 일치도 측면에서 분석하고자 한다.

## 2. 화학 영역 교육과정 일치도 및 정답률 분석

화학 영역의 경우, TIMSS 2011과 비교하여 TIMSS 2015의 화학 영역에서는 평균점수 1점이 하락하였다. 하지만 우리나라 학생들은 TIMSS 2007과 TIMSS 2011 결과에서도 과학 내용영역 중 화학 영역의 정답률이 가장 낮았다. TIMSS 2011에서는 중학교 2학년 과학 문항과 우리나라의 교육과정과의 일치도 측면에서, 화학 영역이 가장

낮은 데서 정답률이 낮은 원인을 찾고 있다(Kim *et al.*, 2012, p.155).

TIMSS의 경우 각 국가별로 전체 평균점수에 비추어 화학 혹은 생물 등 내용영역별로 평균점수를 분석하는데, 우리나라 중2 학생들은 전체 과학 평균점수에 비해 상대적으로 화학 내용영역에서 유의하게 낮은 성취를 나타내며, 성취도 상위국들과 비교해도 화학영역의 점수가 매우 낮다. 이에 화학 영역 성취도가 교육과정이 7차, 2007, 2009로 변경되었음에도 불구하고 일관되게 낮은 까닭을 살펴보고자 한다. 여기서 평가주제를 구성하는 하위 평가요소별 평균 정답률의 경우, 공개문항과 비공개문항 모두에 대해 정답률을 산출한 것이다. 비공개문항의 경우 다음 평가주제에도 사용해야 하므로, 자세한 문항 내용에 대해서는 다루지 못하였다. 화학 평가주제별로 교육과정 일치도와 우리나라 학생들의 응답 경향을 분석하면 다음과 같다.

### 가. 물질의 구성

평가주제 물질의 구성은 세부적으로 ‘①원소, 화합물과 혼합물’ 및 ‘②원자와 분자의 구조’라는 2가지 평가요소로 구성된다. 먼저 추이 문항들 중 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 10%p 이상의 정답률 차이를 나타낸 문항의 주제와, 관련 주제를 우리나라 교육과정에서 어떻게 다루는지를 살펴보면 Table 6과 같다.

평가요소 ‘①원소, 화합물과 혼합물’에서 출제된 문항들 중, 원소와 화합물 및 혼합물 구분, 원자수가 같은 화합물을 고르기, 특정 분자 모형 고르기 등과 같은 선다형 문항에서 우리나라 학생들은 60-70%의 정답률을 나타내었다. 원소, 화합물과 혼합물 등은 2009개정에서 중2 물질의 구성(7차에서는 중3 물질의 구성)과 물질의 특성(중2 혼합물의 분리) 단원에서 다루며, 따라서 우리나라 학생들은 학습한 내용을 토대로 답안을 작성하였을 것이라고 교사들은 분석하였다.

추이문항 중에서 ‘①원소, 화합물과 혼합물’에 소속된 문항으로 원소와 화합물을 구별하는 문항에서, 국제평균 정답률은 약 58%인데, 우리나라 중2 학생들의 정답률은 국제평균보다 높지만 TIMSS 2011

Table 6. Item-Curriculum Matching Analysis for sample chemistry topics: Composition of Matter

평가주제	문항 주제 (문항 유형)	인지영역	정답률(%) 우리나라(국제평균)		교육과정 변화			
			T11	T15	제7차 교육과정	2007개정 교육과정	2009개정 교육과정	2015개정 교육과정
물질의 구성	원소와 화합물 고르기(구성형)	적용하기	57.9(52.0)	68.5(57.5)	중3. 물질의 구성	중2. 물질의 구성	중2. 물질의 구성	중2. 물질의 구성

에서는 57.9%였다가 TIMSS 2015에서는 68.5%로 정답률이 약 10%p 상승하였다. 이는 7차에서 중3에서 배우던 물질의 구성을 2009개정에서는 중2에서 다루어서 정답률이 높아졌을 것이라고 전문가 협의회에 참석한 현장 교사들은 분석하였다. 다만, 우리나라 학생들은 복잡한 분자식으로 나타낸 황산 등은 화합물이라고 쉽게 고른 반면에 원소기호로 나타낸 마그네슘(Mg) 등을 화합물이라고 응답한 학생들이 10% 이상인 것으로 나타났다.

평가요소 '②원자와 분자의 구조'에서 출제된 문항들 중, 중성 원자와 같은 원자의 구조, 압축하거나 두드릴 때의 원자나 분자의 변화 등과 같은 문항에서 우리나라 학생들은 평균 50-60%의 정답률을 나타내었다. 원자와 분자의 구조와 관련된 내용은 2009개정의 중1 분자운동과 상태 변화(7차에서는 중1의 물질의 세 가지 상태), 그리고 중2 물질의 구성(7차에서는 중3의 물질의 구성) 단원에서 다룬다.

#### 나. 물질의 성질

평가주제 물질의 성질은 세부적으로 ①물질의 물리적 및 화학적 성질, ②물질 분류의 기초로서 물리적, 화학적 성질, ③혼합물과 용액, ④산과 염기의 성질과 같은 4가지 평가요소로 구성된다. 공개문항을 중심으로 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 10%p 이상의 정답률 차이를 나타낸 문항 주제와, 관련 주제를 우리나라 교육과정에서 어떻게 다루는지를 살펴보면 Table 7과 같다.

평가요소 '①물질의 물리적 및 화학적 성질'에서 출제된 문항들

중, 물질의 물리적 성질과 화학적 성질을 구별하고 물리 변화나 화학 변화의 예를 찾고 설명하는 등의 문항에서 우리나라 학생들은 약 40%의 정답률을 나타내었다. 한편, 철이 녹스는 등과 같은 변화를 방지하는 방법과 관련 이유를 제시하는 서술형 문항에서는 약 20-25%의 정답률을 나타내었다. '①물질의 물리적 및 화학적 성질'과 관련된 내용은 2009개정에서 중3 화학반응에서의 규칙성(7차에서는 물질 변화에서의 규칙성) 단원에서 다루며, 따라서 우리나라 학생들은 초등학교에서 학습한 내용이나 일상생활의 경험을 토대로 답안을 작성하였을 것이라고 교사들은 분석하였다. 우리나라 교육과정에서는 물리적 성질과 화학적 성질을 명시적으로 다루지 않는다고 문항분석에 참여한 현장교사들은 지적하였다.

평가요소 '②물질 분류의 기초로서 물리적, 화학적 성질'에서 출제된 문항들 중, 금속과 비금속의 성질, 순물질과 혼합물의 차이, 끓는점이나 밀도 등과 같은 물질의 특성 등을 묻는 문항에서 우리나라 학생들은 선다형의 경우 60-70%의 정답률을, 서술형 문항에서는 40-50%의 정답률을 나타내었다. '②물질 분류의 기초로서 물리적, 화학적 성질'은 2009개정의 중2 물질의 특성, 중1의 분자운동과 상태변화 등에서 다루며, 끓는점 그래프를 읽어 내거나 액체들의 밀도 차이를 비교하는 등의 문항을 우리나라 학생들은 쉽게 해결한 것으로 보인다. 추이문항 중, 금속과 비금속을 구분하고 금속이 가지는 성질을 쓰는 문항에서 국제평균 정답률은 약 31%인데, 우리나라 중2 학생들의 정답률은 TIMSS 2011에서는 37.0%였다가 TIMSS 2015에서는 27.6%로 정답률이 약 10%p 하락하였을 뿐만 아니라, 국제평균보다

Table 7. Item-Curriculum Matching Analysis for sample chemistry topics: Properties of Matter

평가주제	문항 주제 (문항 유형)	인지영역	정답률(%) 우리나라(국제평균)		교육과정 변화			
			T11	T15	제7차 교육과정	2007개정 교육과정	2009개정 교육과정	2015개정 교육과정
물질의 성질	금속과 비금속을 구분하고, 금속이 가지는 성질 1가지 더 쓰기(구성형)	추론하기	37.0(32.9)	27.6(31.0)	화학 I. 주변의 물질	중2. 물질의 구성	화학 I. 개성있는 원소	통합과학. 물질의 규칙성과 결합
	물과 비교하여 증류수가 아무런 맛이 없는 이유 고르기(선다형)	적용하기	71.3(42.2)	60.7(43.0)	중2. 혼합물의 분리	중2. 우리 주위의 화합물	중2. 물질의 특성	중2. 물질의 특성
	용액이 더 붉은 이유 설명하기(구성형)	적용하기	58.6(49.6)	48.4(48.5)	중2. 물질의 특성	중3. 물질의 특성	중2. 물질의 특성	중2. 물질의 특성
	혼합물의 예 고르기(선다형)	알기	61.0(37.7)	45.4(39.5)	중2. 혼합물의 분리	중3. 물질의 특성	중2. 물질의 특성	중2. 물질의 특성
	철과 구리 조각 혼합물의 분리 방법 설명하기(구성형)	적용하기	56.9(47.5)	68.7(47.7)	중2. 혼합물의 분리	중3. 물질의 특성	중2. 물질의 특성	중2. 물질의 특성
	산과 염기의 성질 고르기(선다형)	알기	63.2(43.1)	53.4(43.9)	초5. 용액의 성질 알아보기	초6. 산과 염기	초5. 산과 염기	초5. 산과 염기



더 낮은 정답률을 나타내었다. 이는 우리나라 중학교교육과정에서는 2007개정 교육과정에서 ‘물질의 구성’ 단원에서 여러 가지 원소를 원소기호로 나타낼 수 있으며, 주기율표에 나타나 있는 원소를 금속과 비금속 등으로 구분하는 것을 다루었지만(MEHRD, 2007), 2007개정 교육과정을 제외하고는 주기율표를 중학교교육과정에서 다룬 적이 없기 때문이라고 현장교사들은 분석하였다. 2009개정 교육과정을 포함하여 그 밖의 과학과 교육과정에서는 금속과 비금속의 성질과 관련된 내용을 고등학교 화학 I에서 다루기 때문에 금속과 비금속의 특성을 구분하는 문항에서 우리나라 중2 학생들의 정답률이 국제평균보다 낮아진 것으로 보인다.

‘②물질 분류의 기초로서 물리적, 화학적 성질’에 소속된 공개문항 중 물과 비교하여 증류수가 아무런 맛이 없는 이유를 고르는 선다형 문항에서, 국제평균 정답률은 약 43%인데, 우리나라 중2 학생들의 정답률은 국제평균보다는 높지만 TIMSS 2011의 71.3%에서 TIMSS 2015의 60.7%로 정답률이 약 10%p 하락하였다. 물과 증류수의 차이를 교육과정에서 직접 다루지는 않지만, 순물질과 혼합물을 설명할 때 물에는 물과 달리 증류수는 무기염류가 포함되어 있지 않아서 아무런 맛이 없다는 예를 다룰 수도 있다고 전문가들은 분석하였다. 우리나라 중학교 과학에서는 중2의 물질의 구성에서 이온을 다룰 때 지하수마다 들어있는 이온의 종류가 달라서 맛이 다르다는 것을 소개하고, 영양소를 다룰 때 비타민과 무기염류 등을 다루지만, 학생들이 물속의 무기염류와 연결하는 데 어려움을 겪은 것 같다고 전문가들은 분석하였다.

평가요소 ‘③혼합물과 용액’에서 출제된 문항들 중, 물질을 빨리 녹이는 방법, 용액의 농도가 열어지는 이유, 온도에 따른 확산 속도 차이 등을 설명하는 문항에서도 우리나라 학생들은 50-70%의 정답률을 나타내었다. 공개문항 중 더 묽은 용액을 고르고 그 이유를 제공하는 서술형 문항에서, 국제평균 정답률은 약 49%인데, 우리나라 중2 학생들의 정답률은 TIMSS 2011에서는 58.6%였다가 TIMSS 2015에서는 48.4%로 정답률이 약 10%p 하락하면서 국제평균과 비슷한 정답률을 나타내었다. 이는 우리나라 학생들이 ‘묽은’ 용액이라는 표현에 익숙하지 않아서 정답률이 낮아졌을 것이라고 전문가들은 분석하였다. 실제로 ‘묽다’는 표현대신에 ‘열은’ 이유를 설명하는 또 다른 농도문항에서 우리나라 학생들은 75-80%의 정답률을 나타내었다.

혼합물의 예를 고르거나 여러 가지 혼합물을 분리하는 방법 등을 묻는 문항에서 우리나라 학생들은 45-50%의 정답률을 나타내었다. 혼합물과 용액 등과 관련된 내용은 2009개정의 중2 물질의 특성(7차에서는 중2 혼합물의 분리)과 물질의 특성 단원에서 다룬다. 공개문항 중 혼합물의 예를 고르는 문항에서, 국제평균 정답률은 약 39%인데, 우리나라 중2 학생들의 정답률은 TIMSS 2011에서는 61.0%였다가 TIMSS 2015에서는 45.4%로 정답률이 약 16%p 하락하였다. TIMSS 2015에서는 20% 이상의 학생들이 물이 혼합물이라고 오답을 골랐다. 이에 대해 현장교사들은 물의 전기분해에서 물이 수소와 산소로 분해될 수 있다고 학습하기 때문에 학생들이 혼합물로 혼동할 수 있다고 지적하였다. 우리나라 학생들은 혼합물과 순물질 그리고 혼합물과 화합물을 많이 혼동하는 경향이 있다고 현장교사들은 분석하였다.

‘③혼합물과 용액’에 소속된 공개문항 중, 철 조각과 구리 조각이 섞여 있는 혼합물을 분리하는 방법을 고르고 그 이유를 설명하는 문항에서, 국제평균 정답률은 약 48%인데, 우리나라 중2 학생들의 정답

률은 TIMSS 2011에서는 56.9%였다가 TIMSS 2015에서는 68.7%로 정답률이 약 12%p 상승하였다. 이 문항의 경우 자석으로 분리하는 방법과 물이 든 비커에 넣은 후 거르는 두 가지 방법 중 한 가지를 선택하게 한 후, 선택한 방법이 적절한 이유와 선택하지 않은 방법이 적절하지 않은 이유를 적도록 요구하였다. 초등학교에서 자석에 붙는 것과 붙지 않는 것을 학습한 우리나라 학생들은 자석을 이용하여 철과 구리의 혼합물을 분리하는 방법을 선택하고, 타당한 설명을 제공한 것으로 보인다. 다른 서술형 문항과는 달리 이 공개문항의 경우 TIMSS 2015에서 오히려 정답률이 상승한 점을 주목할 필요가 있다.

평가요소 ‘④산과 염기의 성질’에서 출제된 문항들 중, 우리나라 중2 학생들은 천연지시약을 활용한 산과 염기 판별에서는 45-50%의 정답률을, 산과 염기의 성질을 묻는 문항에서 50-60%의 정답률을 나타내었다. 산과 염기의 성질과 활용에 관련된 내용은 2009개정의 중3 여러 가지 화학반응(7차에서는 10학년 산과 염기의 반응)과 초등학교 5-6학년군의 산과 염기에서 주로 다룬다. 공개문항 중 산과 염기의 성질을 묻는 선다형 문항에서, 국제평균 정답률은 약 44%인데, 우리나라 중2 학생들의 정답률은 TIMSS 2011에서는 63.2%였다가 TIMSS 2015에서는 53.4%로 정답률이 약 10%p 하락하였다. 우리나라 교육과정에서 산과 염기의 성질은 제7차와 2009개정 모두 초등학교나 중3의 여러 가지 화학반응(중화반응)에서 다루며, 따라서 중2 학생들이 일부 내용을 혼동하여 정답률이 하락하였을 것이라고 현장교사들은 분석하였다. 다만, 제7차 교육과정에서는 중2에서 물질의 성질에서 알루미늄 포일을 묶은 염산에 넣어서 수소를 발생시키거나 철과 산을 반응시키는 등과 같은 실험을 많이 해서 학생들이 산의 성질에 친숙했을 것이라고 교사들은 분석하였다.

#### 다. 화학 변화

평가주제 화학 변화는 세부적으로 ①화학변화의 특징, ②화학변화에서 물질과 에너지, ③화학결합과 같은 3가지 평가요소로 구성된다. 공개문항들 중에서 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에서 10%p 이상의 정답률 차이를 나타낸 문항 주제와, 관련 주제를 우리나라 교육과정에서 어떻게 다루는지를 살펴보면 Table 8과 같다.

평가요소 ‘①화학변화의 특징’에서 출제된 문항들 중, 우리나라 학생들은 화학반응의 의미와 예를 찾는 문항들에서는 45-50%의 정답률을, 산화 반응의 예를 찾거나 이유를 설명하는 문항에서는 50-75%의 정답률을 나타내었다. 화학반응과 관련된 내용은 2009개정의 중3 화학반응에서의 규칙성(7차에서는 물질 변화에서의 규칙성)과 여러 가지 화학반응에서 다룬다. 따라서 우리나라 중2 학생들은 초등학교에서 학습한 내용이나 일상생활의 경험에 비추어 문제를 해결하였을 것이라고 현장교사들은 분석하였다.

평가요소 ‘②화학변화에서 물질과 에너지’에서 출제된 문항들 중, 화학반응의 예를 찾거나 화학변화 전후의 변화나 결과물을 찾는 문항에서 우리나라 학생들은 50-70%의 정답률을 나타내었다. ‘②화학변화에서 물질과 에너지’에 속한 공개문항 중, 에너지가 방출되는 화학반응의 예를 고르는 선다형 문항에서 국제평균 정답률은 약 50%인데, 우리나라 중2 학생들의 정답률은 TIMSS 2011에서는 57.6%였다가 TIMSS 2015에서는 67.7%로 정답률이 약 10%p 상승하였다. 제7차 및 2009개정에서 이 문항과 관련된 내용을 직접적으로 다루지는 않지

Table 8. Item-Curriculum Matching Analysis for sample chemistry topics: Chemical Change

평가주제	문항 주제 (문항 유형)	인지영역	정답률(%) 우리나라(국제평균)		교육과정 변화			
			T11	T15	제7차 교육과정	2007개정 교육과정	2009개정 교육과정	2015개정 교육과정
화학 변화	에너지가 방출되는 화학반응의 예 고르기(등잔불이 빛나는 것)(선다형)	알기	57.6(47.1)	67.7(50.3)	중3. 물질 변화에서의 규칙성	고1. 화학반응에서의 규칙성	중3. 화학반응에서의 규칙성	중3. 화학반응의 규칙과 에너지 변화
	염산과 수산화나트륨을 섞은 후의 질량 변화 설명하기(구성형)	추론하기	57.3(22.8)	42.3(24.4)	중3. 물질 변화에서의 규칙성	고1. 화학반응에서의 규칙성	중3. 화학반응에서의 규칙성	중3. 화학반응의 규칙과 에너지 변화

만, 우리나라 학생들은 일상생활의 경험에 비추어 ‘등잔불이 빛나는 것’을 답으로 선택하였을 것이라고 현장교사들은 분석하였다. 공개문항 중 염산과 수산화나트륨을 섞은 후 질량이 어떻게 달라지는지를 판단하고 설명하도록 한 문항에서, 국제평균 정답률은 약 24%인데, 우리나라 중2 학생들의 정답률은 TIMSS 2011에서는 57.3%였다가 TIMSS 2015에서는 42.3%로 정답률이 약 15%p 하락하였다. 이에 대해 현장교사들은 ‘화학반응의 규칙성’ 단원은 항상 중3에서 다루는데, 7차에서는 중2에서 화학변화를 다루면서 분자모형을 만들어 이온 결합과 공유결합 전후에 입자의 종류나 수가 동일함을 배운 반면에, 2009개정 교육과정에서는 중2에서 이온반응에서 이온을 확인하는 실험이 대부분이고 반응전후를 따지지는 않기 때문이라고 분석하였다. TIMSS 2015로 오면서 학생들이 중3에서 배우는 화학반응에서 질량 보존 법칙과 중화반응 전후의 질량보존을 연결하여 추론하는 데서 어려움을 겪었을 것이라고 현장교사들은 설명하였다.

한편, 평가요소 ‘③화학결합’에서 출제된 문항들 중, 화학반응의 결과 생성되는 이산화탄소나 물 등과 같은 결과물을 분자모형으로 나타내는 문항에서 우리나라 학생들의 정답률이 떨어진다. 즉, 학생들이 글로 설명하는 것보다는 모형이나 그래프 등으로 표상하는 데 어려움을 겪은 것으로 보인다.

### 3. 과학 인지영역별 성취도

TIMSS 2015 과학과 인지영역 평가틀은 기존과 마찬가지로 “알기, 적용하기, 추론하기의 3개 영역으로 구성”된다(Kim *et al.*, 2015b: 5). TIMSS 2015에서 성취도 상위 13개국을 중심으로 중학교 2학년 과학 인지영역별 성취도와 정답률을 살펴보면, “알기 영역은 56.8%, 적용하기는 54.0%, 추론하기는 47.1%의 정답률을 기록하여, 전반적으로 중학교 2학년 학생들은 추론하는 능력을 요하는 문항으로 갈수록 정답률이 낮아지는 것”을 알 수 있다(Sang *et al.*, 2016: 121). 우리나라 학생들도 국제경향과 비슷하게 추론하기의 정답률이 다른 두 영역들보다 낮은 것으로 나타났다.

과학 인지영역별로 성취도를 “국가별로 살펴보면, 우리나라는 전체 성취도 점수인 556점에 비해, 알기 영역은 평균점수 555점으로 유의미한 차이가 없고, 적용하기(552점)는 통계적으로 유의하게 낮고, 추론하기(560점)는 통계적으로 유의하게 높은 것”으로 나타났다(Kwak & Shin, 2017: 359). 즉, 우리나라보다 성취도 상위국인 싱가포르나 일본과 비교하면, 우리나라 학생들은 적용하기 영역에서 싱가포르

보다 48점, 일본보다 23점 더 낮은 평균점수를 나타내었다. 즉, 우리나라 학생들은 싱가포르나 일본에 비해 적용하기 영역에서 통계적으로 유의하게 낮은 점수를 나타내어, 기존 지식을 적용하여 문제를 해결하는 인지영역에서 상대적으로 취약한 것을 알 수 있다(Martin *et al.*, 2016; Sang *et al.*, 2016).

## IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 TIMSS 2011과 TIMSS 2015 평가결과 중에서 중학교 화학 영역에 대한 우리나라 중2 학생들의 성취 특성을 분석하였다. TIMSS 2015 화학 영역의 성취도 추이변화를 살펴보면, 우리나라 학생들은 TIMSS 2011에 비해 화학 영역에서는 평균점수 1점이 하락하였다. 공개문항과 추이문항을 중심으로 화학 영역의 평가주제별로 우리나라 학생들의 응답경향과 성취 특성을 분석한 결과 화학변화, 산화와 환원 등과 같은 평가주제를 우리나라 해당 교육과정에서 중학교 2학년이 아니라 상급 학년에서 다루는 까닭에 우리나라 중2 학생들의 정답률이 낮게 나타났다. 과학 인지영역별로는 “우리나라 학생들은 다른 성취도 상위국에 비해 적용하기 영역의 성취도가 통계적으로 유의하게 낮은 경향”을 나타내었다(Sang *et al.*, 2016: 302). TIMSS는 참가국들의 교육과정에 근거하여 평가문항을 출제하므로, “TIMSS 평가결과를 토대로 우리나라 교육과정에서 관련 내용을 접근하는 방식이나 교수학습 방식을 점검할” 수 있다(Kwak & Shin, 2017: 359; Sang *et al.*, 2016). 연구결과를 토대로, 우리나라 중학교 화학 영역의 의도된 교육과정 및 실행된 교육과정 그리고 교수학습 개선 방안을 제안하면 다음과 같다.

첫째, 추이변화에서 우리나라 학생들의 성취도가 급락한 화학 영역 평가주제의 경우 우리나라 교육과정에서 해당 개념을 다루는 시기와 수준 등에 대한 심층연구가 요청된다. 특히 기존 TIMSS 평가주제에 비해 정답률이 급락한 평가주제나 주요 개념의 경우 중학교 교육과정에서 다루는 범위와 시기에 대한 검토가 요청된다. 우리나라 학생들은 TIMSS 2007과 TIMSS 2011 결과에서도 과학 내용영역 중 화학 영역에서 가장 낮은 정답률을 나타내었다(Kim *et al.*, 2012; Sang *et al.*, 2016). 연구진은 중2 TIMSS 과학문항과 우리나라의 교육과정과의 일치도를 분석한 결과, 화학 영역의 일치도가 가장 낮은 데서 그 원인을 찾고 있다(Sang *et al.*, 2016). TIMSS 평가의 경우 해당 학년의 내용에 대해 각 국가의 교육과정 전문가들이 합의한 내용을 출제한다는 점을 고려할 때, 국제적으로 합의된 부분과 우리나라 중학교 과학

과 교육과정 중 화학 영역의 일치도가 떨어진다는 점을 시사한다. 본 연구의 결과에서도 화학 영역의 일부 평가주제의 경우 우리나라 교육과정에서 중2까지는 다루지 않았기 때문에 우리나라 중2 학생들은 아직 학습하지 않은 상태여서 정답률이 낮게 나타난 것으로 보인다. 예컨대 화학반응에서의 규칙성, 금속과 비금속의 구분 등은 우리나라 중3 이후의 교육과정에서 다루기 때문에 정답률이 상대적으로 낮게 나타났다. 물론 우리나라 교육과정을 TIMSS의 평가들과 맞추어야 하는 것은 아니지만(Kwak & Shin, 2017; Park, 2004). 우리나라 학생들의 정답률이 지속적으로 낮게 나타나는 화학 영역의 평가주제나 개념의 경우, “TIMSS 출제경향은 물론 국제적인 과학과 교육과정 개정 동향에 비추어 관련 내용을 다루는 시기와 범위를 점검할” 필요가 있다(Hong *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2015a; Kwak & Shin, 2017: 360).

둘째, 우리나라 교육과정에서 주기율표를 언제 어느 수준으로 다룰 것인지에 대한 심층연구가 필요하다. 우리나라 학생들은 TIMSS 2007에서 TIMSS 2015까지 과학 내용영역들 중에서 지속적으로 화학 영역의 정답률이 가장 낮게 나타났다(Sang *et al.*, 2016). TIMSS 2011에서는 “화학 영역에서 TIMSS 문항과 우리나라의 교육과정과의 일치도가 가장 낮은 데서 정답률이 낮은 원인”을 찾고 있다(Kim *et al.*, 2012: 155). TIMSS 2007과 TIMSS 2011에 참가한 우리나라 중2 학생들은 제7차 교육과정으로 학습하였으며, TIMSS 2015의 중2 학생들은 2009개정 교육과정으로 학습하였다. 우리나라의 경우 제7차는 물론 2009개정 교육과정에서도 중2에서 주기율표를 다루지 않았다.

TIMSS 중2 화학 영역에서 주목할 점은 TIMSS 2015까지는 화학 영역의 ‘물질의 조성’이라는 평가주제에서 원소와 화합물을 구분하거나, 화학식을 보고 구성하는 원자 개수를 판단하는 문항 등을 출제해왔다. 하지만 TIMSS 국제본부에서는 다음 평가주기인 TIMSS 2019부터는 중2 과학과 평가들의 ‘물질의 조성’에 ‘원소들의 주기율표(The periodic table of elements)’라는 항목을 명시적으로 추가하였다(IEA, 2017). TIMSS 국제평가본부인 IEA에서는 “원소들의 주기율표의 의미와 특성, 주기율표상의 위치(주기와 족)로부터 같은 그룹의 원소들이 갖는 공통 성질 유추 등을 평가”한다고 TIMSS 2019 과학과 평가들을 개정하여 발표하였다(IEA, 2017). 이는 기존 TIMSS에서 묵시적으로 다루던 주기율표를 TIMSS 2019 평가들에서 명시화하여 포함한 것이다. 우리나라 중학교 과학과 교육과정에서는 2009개정은 물론 2015개정 교육과정에서도 중2에서 주기율표를 다루지 않으므로, 향후 TIMSS 2019 평가에서 우리나라 학생들의 화학 영역 성취도도 더 하락할 것으로 예상된다. TIMSS 평가들이 국제적으로 합의된 공통기준의 역할을 하므로, 이를 참조하여 우리나라 교육과정에서 주요 내용을 다룰 시기를 결정할 필요가 있다. 특히 화학 영역의 주기율표를 다루는 시기와 수준에 대한 심층연구가 필요하다.

셋째, 과학탐구를 통한 적용하기와 추론하기 역량을 길러줄 필요가 있다(Kwak, 2017). 우리나라 중2 학생들은 TIMSS 평가들의 인지영역 중에서 적용하기 영역에서 통계적으로 유의하게 낮은 성취도를 나타내었다(Sang *et al.*, 2016: 302). 이에 대해 “현장교사들은 우리나라 학생들은 학교평가에서 추론이나 적용을 명시적으로 다루지 않아서 연습이 되어 있지 않기 때문”이라고 분석하였다(Kwak & Shin, 2017: 361). 우리나라 학생들의 적용하기 능력을 향상시키려면 끝이 열린 탐구활동을 통해 확산적 사고를 체험하고 문제를 해결하는 기회

를 제공할 필요가 있다(Kim *et al.*, 2015b). TIMSS에서는 실험목적, 준비물 등을 제공하고, 변인 통제를 포함하여 실험을 설계하라는 형태로 문항들이 출제되는데, 우리나라 학생들은 실험설계, 변인통제 등과 같은 과학탐구 과정이나 실천에 대한 이해가 떨어진다고 교사들은 분석하였다. 이는 과학 실험을, 특히 화학 관련 실험을 과학실 예산 부족, 안전사고 우려 등으로 인해 제대로 할 수가 없어서 실험을 최소화하거나 교사의 시범실험으로 대체하기 때문이라고 한다(Kwak & Shin, 2017). 따라서 실험실 안전이나 교구 확보 등의 여건을 갖추어 중학교 학생들이 화학 관련 실험을 실제로 수행해보고, 탐구와 실험 활동을 통해 결론을 도출하고, 기존 학습내용을 적용하여 주어진 문제상황을 해결해보는 등과 같은 인지적 역량을 기를 수 있도록 중학교 과학수업을 바꾸어나갈 필요가 있다.

특히 2015개정 교육과정에서 과학적 사고력, 문제해결, 의사소통 등과 같은 핵심역량이 과학과 성취기준에 도입됨으로써, 과학탐구실험 등을 통해 과학하는 방법을 체험하고, 과학내용을 실제 상황에 적용하며, “창의적으로 자신만의 문제해결 아이디어를 제안하고 그 근거를 설득력 있게 제시할 수 있는 핵심역량을 길러줄 필요”가 있다(KOFAC, 2015; Kwak & Shin, 2017: 361). 이러한 과학수업의 변화를 통해 우리나라 학생들의 과학적 사고를 통한 적용과 추론 역량을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

끝으로, 핵심개념을 중심으로 과학 내용영역들 간의 연계성을 높이고 실생활과 연계하는 교수학습을 통해 학생들의 과학소양을 길러줄 필요가 있다. TIMSS 평가에서는 학습한 과학지식과 내용을 실생활에 적용하거나, 과학 내용영역들 간의 학습내용을 연계하고 통합하는 문항들이 출제되며, 이러한 문항들은 대부분 답이 열린 구성형 문항으로 출제된다(Sang *et al.*, 2016). 예컨대 자동차 배기량을 줄이는 방법, 가뭄을 줄이는 방법, 발전소 건설에 적절한 장소 등을 적도록 요구하는 구성형 문항들이 출제된다. 이는 우리나라 학생들이 인지영역의 적용하기나 추론하기의 정답률이 낮은 것과는 무관하지 않다. 또한, “TIMSS 문항에서는 두 가지 입장 중 하나를 고르고 그렇게 답한 이유를 설명하도록 요구하는 구성형 문항들이 출제되는데, 이러한 문항에서 우리나라 학생들의 정답률은 10-20% 정도로” 선다형 문항에 비해 매우 낮다(Kwak & Shin, 2017: 361). 이는 우리나라 중학생들이 자신만의 문제해결 방식을 설득력 있게 설명하고 문장으로 제시할 수 있는 능력이 상대적으로 부족함을 시사한다. 따라서 우리나라 중학교 과학수업을 통해 학생들에게 알고 있는 과학지식을 실생활 문제해결에 적용, 다른 과학영역과 연계하고, 자신의 입장을 서술할 수 있는 능력을 길러줄 필요가 있다(KOFAC, 2015). 이러한 맥락에서, 2015개정 교육과정에서 물·화·생·지를 관통하는 핵심 개념(big ideas)을 중심으로 과학과 교육과정을 구성하고, 문제해결력과 의사소통 능력 등과 같은 핵심역량을 강조한 것은 바람직한 변화로 볼 수 있다.

## 국문요약

본 연구에서는 TIMSS 공개문항들 중 TIMSS 2011과 TIMSS 2015에 공통으로 사용된 추이문항을 활용하여 우리나라 중학교 2학년 학생들의 화학 영역 성취도 추이를 교육과정 변화에 근거하여 분석하였다. 과학교육을 전공한 연구자 3명과 중학교 현장교사 6명이 참여하



여 TIMSS 문항과 교육과정 일치도 분석을 실시하였으며, TIMSS 2015 과학에서 화학 내용영역과 인지영역에 대해 우리나라 학생들의 성취 특성을 분석하였다. 공개된 추이문항을 중심으로 화학 영역 평가주제별로 우리나라 학생들의 정답률과 응답경향을 분석한 결과에 따르면, 화학반응에서의 규칙성, 산화와 환원 등과 같은 일부 평가주제를 우리나라 2009개정 교육과정에서 중학교 3학년 이후에 다루는 까닭에 우리나라 중2 학생들의 정답률이 낮게 나타났다. 과학 인지영역별로는 우리나라 중2 학생들은 성취도 상위국인 싱가포르나 일본 학생들에 비해서 적용하기 영역이 상대적으로 취약한 것으로 나타났다. 연구결과를 토대로 주기율표를 포함하여 우리나라 중학교 화학영역 교육과정 및 교수학습 개선 방안을 제안하였다.

**주제어** : TIMSS, 화학 내용영역, 주기율표, 인지영역, 과학역량

## References

- Dong, H. K., Lee, I. H., & Shin, J. M. (2013). Characteristics of science achievement of Korean students in TIMSS 2011 and NAEA 2011. *Journal of Educational Evaluation*, 26(5), 1091-1114.
- 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). *DRAFT-TIMSS 2019 Science Assessment Framework*. 2nd NRC Meeting April 23-28, 2017 Hamburg, Germany.
- 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.
- Kim, J., Kim, S., & Dong, H., (2015a). 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. (2015b). *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 (2015). *Development Research of Draft of 2015 revised subject curriculum II - Science Curriculum*. (Research Report BD15110002). Seoul: KOFAC.
- Koh, Y. & Kim, H. (2016). Content analysis of life science area in science textbooks according to Korean elementary curriculum change. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(2), 203-219.
- 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.
- Kwak, Y. & Shin, Y. (2017). Analysis of Features of Korean Eighth Grade Students' TIMSS 2015 Achievement in Life Science. *Biology Education*, 45(3), 350~363.
- 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.
- 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 (1997). *Science Curriculum*. MOE Notification No. 1997-15 [supplement 9].
- Mullis et al. (2009). *PIRLS 2011 assessment framework*. Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.
- Mullis, I. V. S., & Martin, M. O. (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., Choi, J., Park, S., & Jeon, S. (2017). *The Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS): In-depth analysis of TIMSS 2015*. (Research Report RRE 2017-5-1). 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.

## 저자 정보

곽영순(한국교원대학교 교수)