

TIMSS 2019 수학 평가들에 기반한 우리나라 수학과 교육과정 내용 비교 분석¹⁾

최인선²⁾

TIMSS는 수학·과학 성취도 추이 변화를 분석하는 대표적인 국제비교 연구로, 수학·과학 성취도 조사와 추이 점검 뿐 아니라, 참여국가의 교육 체제, 교육과정, 교수·학습 맥락 등에 대한 정보 수집을 통해 각국의 수학·과학 교육에 시사점을 제공한다. TIMSS에서 수학 평가와 관련된 선행연구들은 주로 성취도 결과에 초점을 두어 왔으며, 수학 평가들의 내용과 특징에 대해 상세하게 살펴본 연구는 많지 않다. 이에 본 연구에서는 TIMSS 2019 수학 평가들의 특징을 분석하고, 이를 우리나라 수학과 교육과정에 비추어 학생들의 학습시기를 살펴봄으로써 수학과 교육과정과 수학 학습에 주는 시사점을 도출하고자 하였다. 본 연구의 결과를 토대로 도출된 시사점을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 국제 수준에서 수학과 교육과정에서 내용 요소 간 연계성 강화를 위한 점검이 필요하다. 둘째, 국제 수준에서 수학과 교육과정에서 내용 요소의 학습시기의 적절성, 연속성 등에 대한 점검이 필요하다. 마지막으로, 우리나라 수학과 교육과정에서 내용 영역의 위계 및 내용 체계 구조가 국제적인 수학교육의 방향과 부합하고 있는지에 대한 확인이 필요하다. 본 연구는 이상의 시사점을 위한 기초자료로서, 수학과 교육과정 개정 및 대규모 평가들 개발 방향 설정을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

주요용어 : TIMSS 2019, 수학 평가들, 수학과 교육과정

I. 서론

국제비교연구를 통한 국가 수준에서의 학업성취와 이에 영향을 미치는 교육 환경, 교육 정책, 교육 제도 등의 비교는 국가의 교육의 질 개선과 발전을 위한 중요한 자료이다. 국제 교육성취도 평가 협회(International Association for the Evaluation of Educational Achievement; 이하 IEA)에서 주관하는 수학·과학 성취도 추이변화 국제비교 연구(Trends in International Mathematics and Science Study; 이하 TIMSS)는 수학·과학 성취도 추이 변화를 분석하는 대표적인 국제비교연구로, TIMSS는 학생들의 수학·과학 성취도 조사와 추이 점검 뿐 아니라, 참여국가의 교육 체제, 교육과정, 교수·학습 맥락 등에 대한 정보 수집을 통해 각국의 수학·과학 교육에 시사점을 제공한다.

TIMSS 2019에서 수학 성취도 검사를 위한 수학 평가들은 참여국들의 수학과 교육과정을 토대로 수학 교수·학습 시기와 적절한 평가를 위한 관련 정책과 교육과정 질 관리를 포함한다. TIMSS 수학

* MSC2010분류 : 97C70, 97D60

- 1) 이 논문은 한국교육과정평가원의 『수학·과학 성취도 추이변화 국제비교 연구: TIMSS 2019 본검사 시행』(박상욱 외, 2019) 연구 중 일부를 수정, 보완, 재구성한 것임.
- 2) 한국교육과정평가원 연구위원 (is1027@kice.re.kr)

평가들과 평가 문항은 참여국가의 수학 교육 전문가들의 논의를 통해 각국의 수학 교육 내용을 바탕으로 확정된다. 참여국가의 교육과정 분석을 통해 공통적으로 다루며 필수적으로 학습해야 하는 내용을 포함하여, 평가 대상인 4학년과 8학년 학생들이 필수적으로 학습해야 할 내용 영역과 습득해야 할 인지 영역을 중심으로 평가들이 만들어진다. 즉, TIMSS 수학 평가들은 국제 수준에서 학생들이 그 시기에 학습해야 할 필수적인 평가 내용을 담고 있다.

최근 교육부는 제3차 수학교육 종합계획(교육부, 2020)을 통해, 지능정보사회의 소양을 갖추고 세계를 선도하는 인재 양성을 비전으로 제시하면서 수학교육 발전을 위한 다양한 추진전략과 과제들을 제시하였다. 이를 위해 출발점 단계의 수학교육 지원 강화의 필요성을 제시하면서, 평가 시스템 개선을 추진과제 중 하나로 포함시킨 것은 주목할 만하다. 평가는 교수학습이 수행되는 전 과정에서 이루어져야 하고, 다양한 방법으로 이루어질 필요가 있다. 이러한 다양한 교수학습의 전개와 수학적 활동을 위해서는 학생들의 학습 수준을 정확하게 판단할 수 있는 평가의 기준이 필요하다. 즉, 학생의 성취 수준과 수학적 활동을 전개하기에 앞서, 학생들의 수학적 수준을 판단할 수 있는 평가들이 먼저 수립되어야 한다. 또한 TIMSS 2019부터 도입한 컴퓨터 기반 평가 방식에서의 전환을 위해 TIMSS 평가들의 변화를 모색하고 있다(Mullis & Martine, 2017).

국내의 많은 연구들이 TIMSS 평가 결과에서 학업성취도 결과의 비교를 통해 수학교육에서의 함의점을 제공해 오기는 했지만(김선희, 2008; 박지현, 김수진, 2015; 이광상, 박인용, 2015; 최지선, 2019; 최지선, 2017), TIMSS 수학 평가들의 내용과 특징에 대해 상세히 살펴본 연구는 많지 않다. TIMSS 수학 평가들의 특징과 방향을 살펴봄으로써 국제 수준에서 수학 평가의 초점이 어떻게 이동되고 있는지를 먼저 세심하게 살펴볼 필요가 있다. 2015 개정 수학과 교육과정에서는 수학과 교육과정 개정 때마다 이어진 내용 감축에도 불구하고 학습자가 경험하는 학습 부담이 지속되는 실질적인 이유를 평가로 보고, 성취기준에 적합한 평가 방법의 제시 또는 다루어지는 내용의 범위나 수준에 대한 제약 등을 제시함으로써 성취기준을 적절히 반영하는 '평가 방법 및 유의 사항'을 제시하였다(박경미 외, 2015). 이러한 맥락에서, TIMSS 2019 수학 평가들의 분석은 수학과 교육과정 개정이나 정책 수립시 변화의 중심을 어디에 두어야 할지를 판단할 수 있는 교육적으로 정확하고 타당한 기준 수립을 위한 시사점을 제공할 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 TIMSS 2019 수학 평가들의 특징을 분석하고, TIMSS 2019 평가 대상이었던 우리나라의 초등학교 4학년, 중학교 2학년 학생들의 내용 요소별 학습 시기를 살펴봄으로써 우리나라 수학과 교육과정과 수학 학습에 주는 시사점을 도출하고자 하였다.

II. TIMSS 2019 수학 평가들의 특징

TIMSS의 수학 평가들은 평가해야 할 내용을 구체적으로 결정하는 내용 영역과 평가해야 할 수학적 사고과정을 구체적으로 명시한 인지 영역 두 개의 차원으로 구분된다. TIMSS 2019 수학 평가들은 TIMSS 1995부터 시작하여 4년마다 시행된 7주기의 24년 간의 평가 결과들을 바탕으로 구축되었다. 또한 TIMSS 2019는 컴퓨터 기반 평가인 eTIMSS로의 전환에 초점을 두고 지필 평가와 컴퓨터 기반 평가에 모두 적합한 평가틀로의 수정 방향을 모색하면서, 컴퓨터 기반 평가의 장점을 활용한 통합적인 평가를 시도하였다. 특히 TIMSS 2019에서는 인지 영역 중 적용하기와 추론하기 영역에서 eTIMSS 도입과 관련하여 더 나은 평가방법을 모색하는데 초점을 두었다(Mullis & Martin, 2017). 본 절에서는 Mullis & Martin(2017)에 제시된 내용을 중심으로 TIMSS 2019 수학 평가들의 특징을 살펴본다.

1. 내용 영역의 특징

수학 평가들에서 내용 영역을 살펴보면, TIMSS 2019에서는 전반적으로 이전 주기와 유사하나 참여국의 교육과정, 내용 영역, 평가 등을 더 잘 반영하기 위해 특정 주제에 대해서는 약간의 수정이 필요하다는 TIMSS 2015 백과사전³⁾(Mullis, Martin, Goh & Cotter, 2016)의 보고에 따라, TIMSS 2019 수학 평가들에서는 약간의 변화가 있었다. TIMSS 2019 수학 평가들에서 내용 영역의 변화를 TIMSS 2015와 비교하여 정리하면 <표 II-1>과 같다.

TIMSS 2019 수학 평가들의 내용 영역을 TIMSS 2015와 비교하여 변화 내용을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 4학년의 경우 수 영역을 제외한 영역명이 모두 변경되었다. TIMSS 2015에서 ‘도형과 측정’과 ‘자료 표현’은 TIMSS 2019에서 각각 ‘측정과 기하’, ‘자료’로 영역명이 변경되었다. 이에 따라 하위 요소들도 변경되었는데, 먼저 TIMSS 2015의 ‘도형과 측정’의 경우 하위 요소들이 ‘점·직선·각’, ‘평면도형과 입체도형’과 같이 내용 영역에서 평가되어야 할 내용들을 구체적이고 직접적으로 명시한 반면, TIMSS 2019의 ‘측정과 기하’에서는 ‘측정’, ‘기하’와 같이 문제 해결시 요구되는 수학적 활동으로 하위 요소가 변경되었다. TIMSS 2019의 ‘자료’에서도 TIMSS 2015의 ‘자료 표현’에서의 하위 요소인 ‘읽기·해석하기·표현하기’ 외에, ‘자료 이용하여 문제풀기’를 추가하여 자료를 활용한 수학적 활동을 하위 요소로 포함시켰다. 둘째, 4학년에서 ‘자료’의 문항 구성 비율이 증가하였다. TIMSS 2015의 ‘자료 표현’의 문항 구성 비율은 15%이었으나 TIMSS 2019의 ‘자료’는 문항 구성 비율이 20%로 증가하였다. 이를 통해 수학에서 자료를 이용하여 문제를 해결할 수 있는 능력이 이전보다 더 중요하게 다루어지

<표 II-1> TIMSS 2015 및 TIMSS 2019 수학 평가들에서 내용 영역 세부 요소

학년	TIMSS 2015			TIMSS 2019		
	내용 영역	하위 요소	평가구성 비율(%)	내용 영역	하위 요소	평가구성 비율(%)
4학년 (도형과 측정)	수 (Number)	범자연수, 분수와 소수, 식·방정식·관계	50	수 (Number)	범자연수, 분수와 소수, 식·방정식·관계	50
	도형과 측정 (Geometric Shapes and Measurement)	점·직선·각, 평면도형과 입체도형	35	측정과 기하 (Measurement and Geometry)	측정, 기하	30
	자료 표현 (Data Display)	읽기·해석하기·표현하기	15	자료 (Data)	읽기·해석하기·표현하기, 자료 이용하여 문제 풀기	20
8학년 (대수와 기하)	수 (Number)	범자연수, 분수·소수·정수, 비·비례·백분율	30	수 (Number)	정수, 분수와 소수, 비·비례·백분율	30
	대수 (Algebra)	식과 연산, 방정식과 부등식, 관계와 함수	30	대수 (Algebra)	식·연산·방정식, 관계와 함수	30
	기하 (Geometry)	도형, 측정, 위치와 이동	20	기하 (Geometry)	기하 도형과 측정	20
	자료와 가능성 (Data and Chance)	자료의 특징, 자료 해석, 가능성	20	자료와 확률 (Data and Probability)	자료, 확률	20

출처: Mullis & Martin(2013:12-24), Mullis & Martin(2017: 14-22)의 내용을 표로 재구성하여 제시함

3) TIMSS는 매 주기마다 결과 발표와 함께, 학습성취도 결과와 교육 맥락변인 결과들을 종합하여 정리한 백과사전을 출판한다.

고 있음을 알 수 있다. 셋째, 8학년의 경우 하위 요소들이 포괄적으로 변경되었다. TIMSS 2015 ‘수’에서의 하위 요소인 ‘범자연수, 분수·소수·정수’는 TIMSS 2019에서 ‘정수, 분수와 소수’로, ‘대수’에서의 하위 요소인 ‘식과 연산, 방정식과 부등식’은 TIMSS 2019에서 ‘식·연산·방정식’으로, ‘기하’에서의 하위 요소인 ‘도형, 측정, 위치와 이동’은 TIMSS 2019에서 ‘기하 도형과 측정’으로, ‘자료와 가능성’에서의 하위요소인 ‘자료의 특징, 자료 해석, 가능성’은 TIMSS 2019에서 ‘자료와 확률’에서의 하위 요소인 ‘자료, 확률’로 변경되었다. 즉, TIMSS 2019 수학 평가들에서 내용 영역의 하위 요소들은 각 내용 영역에서 학생들이 수행하기를 기대하는 수학적 활동을 중심으로 이전 주기보다는 포괄적 범위의 요소들로 변경된 것을 알 수 있다.

TIMSS 2019 수학 평가들에서 4학년과 8학년의 내용 영역을 비교하면 다음과 같다. 첫째, 4학년에서는 8학년에서보다 ‘수’ 영역이 더 강조된다. 4학년 ‘수’ 영역의 문항 구성 비율은 50%로 8학년의 문항 구성 비율인 30%보다 높다. 둘째, 8학년의 내용 영역은 4개 영역으로 세분화되고, ‘대수’, ‘기하’ 영역이 분리되어 있다. 일반적으로 초등학교 수학 학습에서는 기초 개념들이 포함되기 때문에 내용 영역을 세분화하여 가르치지 않기 때문에 4학년 내용 영역은 크게 세 영역으로 제시되었다. 반면 8학년에서는 ‘대수’, ‘기하’ 영역으로 내용 영역이 분리되었으며, 이는 4학년에서는 포함되지 않았던 영역이기 때문에 4학년 평가에서 다루어졌던 개념들을 8학년에도 일부 포함시켜 평가 문항을 구성한다. 셋째, 4학년 ‘자료’ 영역에서는 자료를 수집하고 읽고 표현하는데 평가의 초점을 두고 있는 반면, 8학년 ‘자료와 확률’ 영역에서는 자료의 해석, 통계의 기초, 확률의 기초에 더 평가의 초점을 두고 있다.

2. 인지 영역의 특징

학생들의 수학적 능력은 개개인의 행동에 대한 관찰 등을 통하여 질적으로 분석될 수 있으나, 대규모 성취도 비교 연구에서는 많은 문항으로 각 문항이 갖고 있는 특성을 인지영역을 선정함으로써 수학적 능력을 양적으로 평가할 수 있다는 장점이 있다(김선희, 2008). TIMSS 수학 평가에서 학생들의 내용 영역을 얼마나 알고 있는지를 평가하는 것도 중요하지만, 수학적 인지 영역을 평가하는 것 역시 중요하다. 즉, TIMSS 2019 수학 평가에서 내용 영역의 학습에서 적절한 인지 영역을 평가하는 요소를 함께 포함하는 것은 필수적이다. 인지 영역은 알기, 적용하기, 추론하기 세 영역으로 구성된다. 인지 영역은 4학년과 8학년에 동일하게 적용되나, 학년에 따라 영역별 평가 비율에서는 차이가 있다. TIMSS 2019 수학 평가들에서 인지 영역의 세부 요소는 TIMSS 2015와 동일하며, 이를 정리하면 <표 II-2>와 같다.

<표 II-2> TIMSS 2015 및 TIMSS 2019 수학 평가들에서 인지 영역 세부 요소

인지 영역	하위 요소	평가 구성 비율(%)	
		4학년	8학년
알기 (Knowing)	회상하기, 인식하기, 분류·정렬하기, 계산하기, 인출하기, 측정하기	40	35
적용하기 (Applying)	결정하기, 표현·모델링하기, 실행하기	40	40
추론하기 (Reasoning)	분석하기, 통합·종합하기, 평가하기, 결론짓기, 일반화하기, 정당화하기	20	25

출처: Mullis & Martin(2013: 25-26), Mullis & Martin(2017: 23)의 내용을 재구성하여 제시함

세 영역의 주요 특징들을 살펴보면, 알기 영역은 학생들이 알아야 할 사실, 개념, 절차에 평가의 초점을 두며, 적용하기 영역은 학생들의 지식 적용 능력과 개념 이해, 문제를 해결에, 추론하기 영역은 일상적 맥락에서 문제 해결을 넘어 낯선 상황, 복잡한 맥락, 다단계를 거쳐야 하는 문제의 해결에 평가의 초점을 둔다. 이와 같이 TIMSS 수학 평가들에서 인지 영역은 문제 해결 역량을 포함하며, 문제 해결 전략이나 해결 방법을 뒷받침하는 수학적 주장을 제공하고, 주어진 상황을 수학적 기호나 그래프를 사용하여 수학적으로 표현하고, 문제 상황에 대한 수학적 모델을 만들고, 문제 해결을 위해 자나 계산기와 같은 도구의 사용을 포함한다. 인지 영역은 각각의 내용 영역 평가별로 세분화하여 반영된다. 각각의 인지 영역에서 하위 요소에 따른 평가의 초점과 특징을 정리하면 다음과 같다.

1) 알기(Knowing)

TIMSS 2019 수학 평가들의 알기 영역에서 수학의 활용, 내용 영역의 기초에 대한 인지, 수학적 절차의 수행들에 대한 내용이 반영된 하위 요소들에 대한 평가 내용을 정리하면 <표 II-3>과 같다.

<표 II-3> 알기 영역의 하위 요소에 대한 설명

하위 요소	평가 내용
회상하기 (Recall)	- 정의, 용어, 수의 성질, 측정 단위, 기하적 성질, 기호(예: $a \times b = ab$, $a + a + a = 3a$) 등을 회상하기
인식하기 (Recognize)	- 수, 방정식, 수향, 도형의 모양을 인식하기 - 수학적으로 동치인 실제 인식하기(예: 동치인 분수, 소수, 백분율; 다른 방향에서 바라본 기본 도형)
분류·정렬하기 (Classify/Order)	- 공통 성질에 따라 수, 방정식, 양, 도형 분류하기
계산하기 (Compute)	- 범자연수, 분수, 소수, 정수에 대한 +, -, ×, ÷ 의 계산이나 혼합 계산 수행하기 - 정형적인 대수적 절차 수행하기
인출하기 (Retrieve)	- 그래프, 표, 텍스트, 기타 자료들에서 정보 인출하기
측정하기 (Measure)	- 측정 도구 사용하기 - 적절한 측정 단위 선택하기

출처: Mullis & Martin(2017: 23)

실생활에서의 수학의 응용이나 수학 상황에 대한 추론은 수학 개념에 대한 친근함과 수학적 기능(skill)의 유창함에 달려 있다. 학생들이 보다 목적에 적합한 수학적 지식을 떠올릴 수 있고, 이해가능한 개념의 범위가 넓을수록 광범위한 문제해결 상황에서 접근할 수 있는 가능성은 커진다. 수학적 언어와 기본적인 개념 및 수의 활용, 상징적 표현, 공간적 관계를 쉽게 떠올릴 수 있는 수학적 지식 기반에 접근할 수 있어야, 수학 학습의 목적에 부합하는 수학적 사고가 가능하다. 수학적 사실에는 수학의 기본 언어를 제공하는 지식뿐만 아니라 수학적 사고의 기초를 이루는 필수적인 수학 개념과 속성이 포함된다. 또한 수학적 절차는 보다 기초적인 지식과 문제해결을 위한 수학의 사용, 특히 일상생활에서 많은 사람들이 일상적으로 마주치게 되는 상황과 수학 사이의 가교 역할을 한다. 본질적으로 수학적 절차를 유창하게 세우고 사용하는 것은 문제 상황에서 일련의 수학적 행동들을 학생들에게 상기시키고, 이를 수행하는 방법들을 요구한다. 학생들은 다양한 계산 절차와 도구를 사용하는 데 효율

적이고 정확해야 한다. 특정한 수학적 절차들이 개별적인 문제들을 해결하기 위해서만이 아니라 전체적으로 포괄적 범위에서 수학적 문제 상황들을 해결하는 데 사용될 수 있다는 것을 고려해야 한다.

2) 적용하기(Applying)

TIMSS 2019 수학 평가들의 적용하기 영역에서 수학을 다양한 맥락에서 적용하고, 표현하며, 실행하는 내용이 반영된 하위 요소들에 대한 평가 내용을 정리하면 <표 II-4>와 같다.

<표 II-4> 적용하기 영역의 하위 요소에 대한 설명

하위 요소	평가 내용
결정하기 (Determine)	- 일반적으로 사용되는 문제 해결 방법이 있는 문제를 해결하기 위해 필요한 효율적이고 적절한 조작, 전략, 도구를 결정하기
표현·모델링하기 (Represent/Model)	- 표, 그래프에 자료 표현하기 - 방정식, 부등식, 도형, 그림 등으로 문제 상황을 모델링하여 나타내기 - 주어진 수학적 실재나 관계를 나타내는 동치인 표현 만들기
실행하기 (Implement)	- 익숙한 수학적 개념과 절차를 포함한 문제를 해결하기 위한 전략이나 조작 실행하기

출처: Mullis & Martin(2017: 24)

적용하기 영역은 다양한 맥락에서 수학의 적용을 포함한다. 이 영역에서는 문제뿐만 아니라 사실, 개념 및 절차도 학생들에게 친숙해야 함을 제시한다. 적용하기 영역과 정렬된 평가 내용에서 학생들은 수학적 사실, 조작, 절차 또는 수학적 개념 이해를 토대로 수학적 지식을 적용하여 수학적 표현을 만들 수 있어야 한다. 수학적 아이디어를 표현하는 것은 수학적인 사고와 의사소통의 핵심이라 할 수 있다. 또한 수학적으로 동치인 표현을 찾고 만들 수 있는 능력은 성공적인 수학 학습을 위한 토대이다. 덧붙여 문제 해결은 보다 친숙하고 일상적인 맥락에 중점을 둔 적용하기 영역의 핵심으로, 평가 문항들은 실제 상황에서 제시될 수 있다. 예를 들어 수 또는 대수적 표현, 함수, 방정식, 기하학적 수치 또는 통계적 데이터 집합과 관련된 순수 수학 개념들을 포함한 실생활 맥락의 문제가 평가를 위한 문항으로 제시될 수 있을 것이다.

3) 추론하기(Reasoning)

TIMSS 2019 수학 평가들의 추론하기 영역에서 논리적이고 체계적 사고, 귀납적 추론, 수학적 사실에 대한 관찰과 추측에 대한 내용이 반영된 하위 요소들에 대한 평가 내용을 정리하면 <표 II-5>와 같다. 수학적으로 추론하기는 논리적이고 체계적인 사고를 포함하며, 참신하거나 낯선 상황에서 제시된 문제에 대한 해결에 도달할 수 있는 패턴과 규칙성에 바탕한 직관적이고 귀납적인 추론을 포함한다. 이러한 문제들은 순수하게 수학적 것일 수도 있고, 실생활 맥락에서의 설정이 포함되어 있을 수도 있다. 수학적 상황이던 실생활 맥락이던 두 가지 유형 모두 수학적 지식과 개념을 새로운 상황으로 이동하는 과정이 필요하다. 또한 수학적 추론이 요구되는 상황들 간의 상호작용은 일반적으로 수학적 지식과 개념을 반영하고, 이동하고, 표현하는 절차를 포함한다.

<표 II-5> 추론하기 영역의 하위 요소에 대한 설명

하위 요소	평가 내용
분석하기 (Analyze)	- 수, 방정식, 양, 도형들 간의 관계를 결정하고, 설명하고, 이용하기
통합·종합하기 (Integrate/ Synthesize)	- 다양한 지식, 관련된 표현, 문제 해결 절차 등을 연결하기
평가하기 (Evaluate)	- 대안적인 문제 해결 전략과 해결 방법을 평가하기
결론짓기 (Draw Conclusion)	- 정보와 증거를 토대로 타당한 추론하기
일반화하기 (Generalize)	- 보다 일반적이고 넓게 적용할 수 있는 용어로 관계를 나타내는 진술하기
정당화하기 (Justify)	- 전략이나 도출된 결과를 뒷받침할 수 있는 수학적 논증 제시하기

출처: Mullis & Martin(2017: 24)

추론하기 영역에 제시된 인지 능력들 자칫하면 복잡한 실생활 맥락이나 수학적 문제를 생각하고 풀 때의 상황으로 생각될 수 있지만, 사실 간단한 문제 상황에서 수학적 추론을 한다는 것 자체가 수학적 학습에서 의미 있는 교육적 결과라 할 수 있다. 추론하기는 학습자의 사고에 보다 일반적으로 영향을 미칠 수 있는 잠재력을 가지고 있기 때문이다. 예를 들어, 추론하기 영역에서는 수학적 사실이나 상황을 관찰하고 추측할 수 있는 능력이 포함되어 있으며, 구체적인 가정과 규칙에 근거한 논리적 추론을 하고 결과를 정당화하는 활동도 포함된다.

III. 연구 대상 및 분석 방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 TIMSS 2019 수학 평가들(Mullis & Martin, 2017)과 TIMSS 2019에서 4학년, 8학년 평가 응시 대상 학생들에게 적용된 2007 개정 수학과 교육과정, 2009 개정 수학과 교육과정, 2015 개정 수학과 교육과정의 내용 체계 및 성취기준을 분석 대상으로 하였다. 교육과정에서 내용 체계는 영역, 핵심개념, 일반화된 지식, 내용요소, 기능으로 구성되며, 성취기준은 학생들이 교과를 통해 배워야 할 내용과 이를 통해 수업 후 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 능력을 결합하여 나타낸 수업 활동의 기준을 의미한다(교육부, 2015). 본 연구에서는 먼저 TIMSS 2019 수학 평가들의 특징을 살펴보고, 이를 토대로 TIMSS 2019 평가 시행 시기인 2018년 12월 당시 평가 대상이었던 우리나라의 초등학교 4학년, 중학교 2학년 학생들에게 적용된 수학과 교육과정 문서에 제시된 성취기준, 학습 요소, 교수·학습 방법 및 유의사항들을 분석 대상으로 하여 우리나라 수학과 교육과정과 수학 학습에의 함의점을 도출하고자 하였다.

2. 분석 방법

TIMSS 2019 수학 평가들의 특징을 살펴보기 위해서 TIMSS 2019 수학 평가들(Mullis & Martin, 2017)과 함께 이전 주기인 TIMSS 2015 수학 평가들(Mullis & Martin, 2013)을 함께 살펴보았다. TIMSS 2019 수학 평가들의 영역과 하위 요소, 평가 내용이 이전 주기에서 변화된 내용, 학년별 차이

등을 TIMSS 2015 수학 평가들과 비교 분석한 내용을 토대로 TIMSS 2019 수학 평가들의 특징을 분석하였다. 이와 함께 TIMSS 2019 수학 평가를 내에서 4학년과 8학년의 평가들을 비교함으로써 각 학년별 평가들의 특징을 함께 살펴보았다.

다음으로, TIMSS 2019 수학 평가들이 반영된 교육과정 설문에서 제시된 수학 교육 내용을 기본틀로 하여, TIMSS 2019 평가 대상이었던 우리나라 학생들의 내용 영역별 학습 시기를 분석하였다. TIMSS 2019 수학 평가들의 내용 영역별 하위 요소이 우리나라 수학과 교육과정의 어느 시기에서 다루어지고 있는가를 살펴보았다. 이를 위해 TIMSS 2019 수학 평가들이 반영된 TIMSS 2019 국가 교육맥락 조사의 교육과정 설문에서 제시된 교육과정 내용 조사 항목을 기준으로 TIMSS 2019 평가 대상이었던 우리나라 학생들의 내용 요소별 학습시기를 분석하였다. TIMSS 2019 평가 대상 학생들에게 적용된 교육과정을 정리하면 <표 III-1>과 같다.

<표 III-1> TIMSS 2019 평가 대상 학생들에게 적용된 교육과정

평가 대상	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
4학년 (초등학교 4학년)					초1	초2	초3	초4
					2009 개정 수학과 교육과정			2015 개정 수학과 교육과정
8학년 (중학교 2학년)	초1	초2	초3	초4	초5	초6	중1	중2
	2007 개정 수학과 교육과정				2009 개정 수학과 교육과정			

초등학교 4학년 학생들의 평가 시기 학습 내용의 경우 초등학교 1~3학년은 2009 개정 수학과 교육과정, 초등학교 4학년 이후 내용은 2015 개정 수학과 교육과정을 대상으로 하였다. 중학교 학습 내용의 경우 초등학교 1~3학년은 2007 개정 교육과정, 초등학교 4학년~중학교 3학년은 2009 개정 교육과정, 고등학교 1~3학년은 2015 개정 교육과정을 대상으로 하였다. 2009 개정 수학과 교육과정과 2015 개정 수학과 교육과정에서 초등학교는 모두 학년군으로 구분되어 있으나, 국정교과서를 통해 학생들이 학년별로 학습하는 내용이 명확하기 때문에 교과서에 제시된 내용들을 기준으로 학습시기를 분석하였다. 중학교의 경우도 2009 개정 수학과 교육과정과 2015 개정 수학과 교육과정에서 모두 하나의 학년군으로 통합되어 제시되어 있으나, 중학교 교과서에 제시된 학년별 학습 내용과 시기가 명확하여 이를 반영하여 학습시기를 분석하였다.

IV. TIMSS 2019 수학 평가들에 따른 우리나라 학생들의 수학 내용 학습 시기 분석

TIMSS 2019 수학 평가들의 하위 요소를 바탕으로 구분된 내용 요소에는 여러 수학적 개념이 포함되어 있기 때문에, 교육과정의 내용과 학습 시기를 하나의 학년으로 확정하여 판정하기 어려운 내용 요소들이 존재한다. 예를 들어, 수 영역에서 분수, 소수, 약수와 배수, 덧셈과 뺄셈 등은 다른 내용 요소들과 연계되어 학습된다. 본 장에서는 이러한 사항들을 고려하여 각 내용 영역별 해당 내용 요소의 일부가 포함된 내용을 배우는 학년도 학습 시기로 포함하여 TIMSS 2019 수학 평가들에 따른 우리나라 학생들의 학습 시기를 정리하였다.

1. 초등학교 4학년

TIMSS 2019 수학 평가에서 4학년 내용 영역은 수, 측정과 기하, 자료 3개 영역으로 구분된다. 본 절에서는 TIMSS 수학 평가들의 내용 영역별로 TIMSS 2019 평가 시행 당시 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 학습 시기를 분석하였다. TIMSS 2019 평가대상 초등학교 4학년 학생들에게 적용된 교육과정은 2009 개정 수학과 교육과정(초등학교 1~3학년)과 2015 개정 수학과 교육과정(초등학교 4학년~)으로 나누어진다. 초등학교 교육과정과 국정교과서에 제시된 학습 순서를 바탕으로 학습 시기를 분석하였다.

1) 수 영역

수 영역은 법자연수, 분수와 소수, 식·방정식·관계 하위 요소를 바탕으로 TIMSS 2019 교육맥락 조사에서 7개로 내용 요소로 구분하였다. TIMSS 2019 평가 시행 시기인 2018년을 기준으로, 우리나라 학생들이 4학년 수학 수 영역의 내용 요소들을 학습하는 시기와 평가 대상인 초등학교 4학년 학생들의 TIMSS 2019 평가 시기 이전 학습 여부를 정리하면 <표 IV-1>과 같다.

<표 IV-1> TIMSS 2019 4학년 수학 수 영역의 내용 요소별 학습 시기

내용 요소	학습연도	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	적용교육과정	2009 개정 교육과정			2015 개정 교육과정		
	TIMSS 평가 시기 이전 학습 여부	초등학교					
		학년	1	2	3	4	5
자릿값과 순서를 포함한 0 또는 자연수의 개념	○	√	√	√	√		
0 또는 자연수의 덧셈, 뺄셈, 곱셈, 나눗셈	○	√	√	√	√	√	
약수와 배수, 짝수와 홀수	×					√	
수식(빠진 수 찾기, 간단한 상황을 수식으로 표현하기)	○	√	√	√	√	√	√
수 패턴(수 패턴 확장과 빠진 항 찾기)	○	√	√	√	√	√	√
분수 개념(간단한 분수 나타내기, 대소 비교하기, 덧셈과 뺄셈 등)	○			√	√	√	
소수 개념(자릿값, 대소 비교하기, 덧셈과 뺄셈 등)	○			√	√		

수 영역에서 우리나라 학생들은 TIMSS 평가 시기 이전에 ‘약수와 배수, 짝수와 홀수’에 대한 내용은 학습하지 않는 것으로 나타났다. 초등학교 5학년 1학기에 ‘약수와 배수 용어가 처음 등장한다. ‘덧배’의 개념은 초등학교 2학년에서부터 학습하나, 배수의 개념으로까지 확장하여 연계되지는 않는다. 짝수와 홀수에 대한 개념은 초등학교 1학년에서 다루어지지만, 5학년 1학기 때 ‘약수와 배수’를 학습할 때까지 구체적으로 다루어지지는 않는다.

반면에, ‘수식(빠진 수 찾기, 간단한 상황을 수식으로 표현하기)’과 ‘수 패턴(수 패턴 확장과 빠진 항 찾기)’의 경우 초등학교 전 학년에서 걸쳐 학습한다. ‘수식(빠진 수 찾기, 간단한 상황을 수식으로 표현하기)’의 경우, 2009 개정 수학과 교육과정과 2015 개정 수학과 교육과정 모두에서 이야기와 문제

상황에 알맞은 식 세우기는 전 단원에 걸쳐 학생들이 지속적으로 다루어지는 내용 요소이다. 초등학교 1학년에서 □안에 연산기호(+, -) 넣는 활동, 부등호에 대해 학습하고, 초등학교 2학년에서 빠진 수의 값을 □로 표현하고, □의 값을 어떻게 구할 수 있을지 탐구하며, □를 사용하여 덧셈과 뺄셈식 나타내는 활동을 한다. 초등학교 3학년에서 곱셈식과 나눗셈의 관계에 대해 살펴보기 시작하고, 초등학교 4학년에서 주어진 계산식에서 규칙을 찾고, □+△=○ 형태 등을 이용하여 더해서 일정한 수가 되는 경우를 찾는 활동을 하게 된다.

‘수 패턴(수 패턴 확장과 빠진 항 찾기)’의 경우, 우리나라 교육과정에서는 패턴보다는 규칙성과 대응의 관점에서 다루고 있다. 수 패턴을 만들고 패턴에 따라 빈칸 채우는 것을 1학년 2학기에 학습한 후, 관련 내용을 초등학교에서 전반적으로 다루고 있다고 판단된다. 2009 개정 수학과 교육과정과 2015 개정 수학과 교육과정에서 모두 ‘규칙성’ 영역이 존재하여, 1~2학년군에서 규칙을 찾고(수의 규칙 만들기, 찾기), 또한 ‘물체나 무늬의 배열에서 다음에 올 것이나 중간에 빠진 것을 추측하여’ 빠진 수 찾거나, 빠진 항 찾기를 1~2학년군에서 학습한다(교육부, 2015). 초등학교 3~4학년군에서 “규칙성 영역의 문제 상황에 적합한 문제 해결 전략을 지도하여 문제 해결 능력을 기르게 한다.”(교육부, 2015) 라는 교육목표를 고려할 때 학생들은 다양한 규칙을 수나 식으로 나타내고 설명하는 활동이 포함되어 있기 때문에, 수식이나 수 패턴은 초등학교 과정 전반에서 다루어진다.

2) 측정과 기하 영역

측정과 기하 영역은 측정, 기하 하위 요소를 바탕으로 TIMSS 2019 교육맥락 조사에서 7개의 내용 요소로 구분하였다. TIMSS 2019 평가 시행 시기인 2018년을 기준으로, 우리나라 학생들이 4학년 수학 측정과 기하 영역에 제시된 내용 요소들을 학습하는 시기와 평가 대상인 초등학교 4학년 학생들의 TIMSS 2019 평가 시기 이전 학습 여부를 정리하면 <표 IV-2>과 같다.

<표 IV-2> TIMSS 2019 4학년 수학 측정과 기하 영역의 내용 요소별 학습 시기

내용 요소	학습연도	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	적용교육과정	2009 개정 교육과정		2015 개정 교육과정			
	TIMSS 평가 시기 이전 학습 여부	초등학교					
	학 년	1	2	3	4	5	6
길이와 관련된 문제 풀기 (측정하기, 어렵하기 등)	○		√	√	√	√	√
무게, 부피, 시간과 관련된 문제 풀기	○	√	√	√	√	√	√
둘레와 길이, 넓이, 부피 구하고 어렵하기	×					√	√
평행과 수직	○				√		
각을 비교하기 및 그리기	○			√	√		
도형의 기본적인 성질	○	√	√	√	√		
평면도형과 입체도형 사이의 관계	○		√			√	√

측정과 기하 영역에서 우리나라 학생들은 TIMSS 평가 시기 이전에 ‘둘레와 길이, 넓이, 부피 구하고 어렵하기’에 대한 내용은 학습하지 않는 것으로 나타났다. 둘레와 넓이, 부피는 초등학교 5학년에서

서부터 학습한다. 초등학교 5학년에서 정다각형 둘레, 사각형(직사각형, 평행사변형, 마름모)의 둘레 측정을 학습한다. 또한 1cm^2 , 1m^2 , 1km^2 넓이 단위를 학습하고, 직사각형, 정사각형, 평행사변형, 삼각형, 마름모, 사다리꼴 등 다각형의 넓이 구하는 방법을 학습한다. 초등학교 6학년에서는 직육면체의 겉넓이와 부피 구하는 방법을 학습한다. 특히 어렵하기의 경우, 2009 개정 수학과 교육과정에서는 초등학교 3~4학년군에서 학습하지만, 2015 개정 수학과 교육과정에서는 초등학교 5~6학년군으로 학습시기가 미루어진다. 반면에, ‘길이와 관련된 문제 풀기(측정하기, 어렵하기 등)’와 ‘무게, 부피, 시간과 관련된 문제 풀기’는 거의 전 학년에 걸쳐 학습한다. ‘길이와 관련된 문제 풀기(측정하기, 어렵하기 등)’의 경우, 초등학교 2학년에서 1cm , 1m 단위를 배우고 자를 이용하여 길이를 어렵하고 재는 활동, 길이의 합과 차를 구하는 활동을 학습하며, 초등학교 3학년에서 1mm , 1km 단위를 배우고 길이와 거리를 어렵하고 재는 활동, 길이의 합과 차를 구하는 활동을 학습하고 이후 학년에서도 관련 내용 요소들을 지속적으로 학습한다. ‘무게, 부피, 시간과 관련된 문제 풀기’의 경우, 시간은 초등학교 2학년, 부피와 양은 초등학교 3학년에서 학습한다. 초등학교 1학년에서 30분 단위의 시각을 읽는 방법을 익히고, 초등학교 2학년에서 1분 단위의 시각을 읽는 방법과 5분 전과 같은 여러 가지 방법으로 시각을 읽는 방법을 배우며, ‘1시간=60분’, ‘1일=24시간’, ‘1주일=7일’, ‘1년=12개월’와 같은 시간의 단위 관계를 학습한다. 초등학교 3학년에서는 들이의 단위인 1L , 1mL 와 들이를 어렵하고 재어보며 들이의 덧셈과 뺄셈, 무게의 단위인 1kg , 1g , 1t 을 배우고 무게를 어렵하고 재어보며 무게의 덧셈과 뺄셈을 학습한다. 초등학교 6학년에서 부피의 단위인 1cm^3 , 1m^3 를 배우고 부피 구하는 방법과 부피 단위의 관계에 대해 학습한다.

‘도형의 기본적인 성질’의 경우, 포함된 내용 요소가 포괄적이므로 우리나라 교육과정에서 다루어지는 학습 내용들을 상세히 정리하여 살펴볼 필요가 있다. 초등학교 3~4학년군에서 여러 가지 삼각형과 여러 가지 사각형을 설명하고, 도형의 구성요소에 따라 도형의 성질을 설명한다. 하지만 2009 개정 수학과 교육과정부터는 여러 가지 사각형 사이의 관계는 초등학교에서 다루어지지 않으며, 여러 가지 도형의 성질을 기술하고 설명하는 단계로 제시되어 있다. 도형의 관계성은 van Hiele의 기하학습 수준에 따라 3수준(관계적/추상적 수준)으로 초등학교 수준에서는 시각적 인식 수준, 기술적/분석적 수준으로 다루어진다. 구체적인 학습 시기를 정리하면, 초등학교 1학년에서 여러 가지 모양을 탐구하고, 초등학교 2학년에서는 원, 삼각형, 사각형, 오각형, 육각형의 변, 꼭짓점의 개수를 탐구하는 활동을 학습한다. 초등학교 3학년에서는 평면 도형을 구성하는 선의 종류(곧은 선, 굽은 선, 선분, 반직선, 직선), 선분 읽는 방법, 각, 직각삼각형, 직사각형, 정사각형, 원을 학습한다. 또한 일반도형을 기본적인 평면도형(정사각형, 직사각형, 직각삼각형, 원)인 것으로 판단하면 관련 내용을 초등학교 3학년에서 학습한다. 초등학교 4학년에서 삼각형의 분류(이등변 삼각형, 정삼각형, 예각삼각형, 둔각삼각형, 직각삼각형), 변, 각의 기준으로 삼각형 분류하기, 사각형(사다리꼴, 평행사변형, 마름모), 다각형(육각형, 칠각형, 팔각형, 정다각형)의 성질을 탐구하고 도형의 구성요소인 대각선의 관점에서 도형의 성질을 분석하는 방법을 학습한다.

3) 자료 영역

자료 영역은 읽기·해석하기·표현하기, 자료 이용하여 문제 풀기 하위 요소를 바탕으로 TIMSS 2019 교육 맥락 조사에서 3개로 내용 요소로 구분하였다. TIMSS 2019 평가 시행 시기인 2018년을 기준으로, 우리나라 학생들이 4학년 수학 자료 영역에 제시된 내용 요소들을 학습하는 시기와 평가 대상인 초등학교 4학년 학생들의 TIMSS 2019 평가 시기 이전 학습 여부를 정리하면 <표 IV-3>과 같다.

<표 IV-3> TIMSS 2019 4학년 수학 자료 영역의 내용 요소별 학습 시기

내용 요소	학습연도	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	적용교육과정	2009 개정 교육과정			2015 개정 교육과정		
	TIMSS 평가 시기 이전 학습 여부	초등학교					
		학년	1	2	3	4	5
표, 그림그래프, 막대그래프, 선그래프, 원그래프의 자료를 읽고 해석하기	×						√
문제에 답하기 위하여, 자료를 정리하고 표현하기	○		√	√	√		√
제시된 자료로부터 결론 도출하기	○	√	√	√	√	√	√

자료 영역에서 우리나라 학생들은 TIMSS 평가 시기 이전에 ‘표, 그림그래프, 막대그래프, 선그래프, 원그래프의 자료를 읽고 해석하기’에 대한 내용은 학습하지 않는 것으로 나타났다. 초등학교 2학년에서 표로 자료를 정리하고, 그림카드, ○, × 등의 기호를 이용하여 수량을 나타낸 그래프로 나타내고, 그래프나 표로 나타내었을 때 편리한 점에 대해 살펴보는 활동을 한다. 초등학교 3학년에서는 그림그래프를 학습하고, 초등학교 4학년에서 막대그래프, 꺾은선 그래프를 해석하는 활동을, 초등학교 5학년에서 주어진 표를 보고, 평균 등을 구하는 활동을, 초등학교 6학년에서 비율그래프(원그래프, 띠그래프)를 해석하는 활동을 학습한다. 이때 원그래프에 대한 학습 시기가 6학년이므로 해당 내용 요소들을 모두 학습하는 것은 초등학교 6학년으로 판단하였다.

반면에 나머지 두 내용 요소는 거의 초등학교 전 학년에 걸쳐 학습한다. 자료 영역과 관련하여 2015 개정 수학과 교육과정에서 초등학교 ‘자료와 가능성’ 영역(2009 개정 수학과 교육과정에서는 ‘확률과 통계’ 영역에 해당)의 내용 영역의 위계를 살펴보면 다음과 같다. 초등학교 1~2학년군(구체적인 학습 시기는 2학년)에서 표, 그래프 만들기를 학습하고, 초등학교 3~4학년군에서 그림그래프, 막대그래프, 꺾은선 그래프 나타내기를 학습한다. 2015 개정 수학과 교육과정의 초등학교 3~4학년군 성취기준에서 관련 성취기준을 찾아보면, “여러 가지 자료를 수집, 분류, 정리하여 자료의 특성에 맞는 그래프로 나타내고, 그래프를 해석할 수 있다.([4수05-03])”라고 제시되어 있다. 초등학교 5~6학년군에서 그래프 나타내기를 학습한다. 2015 개정 수학과 교육과정에서 초등학교 5~6학년군 성취기준에서 관련 성취기준을 살펴보면, “자료를 수집, 분류, 정리하여 목적에 맞는 그래프로 나타내고, 그래프를 해석할 수 있다.([6수05-04])”라고 제시되어 있다. 즉, 초등학교 1~2학년에서는 자료 분류하기, 초등학교 3~4학년군과, 5~6학년 군에서는 자료 정리하기, 표현하기, 해석하기 등의 활동을 한다.

2. 중학교 2학년

TIMSS 2019 수학 평가에서 8학년 내용 영역은 수, 대수, 기하, 자료와 확률 4개 영역으로 구분된다. 본 절에서는 TIMSS 수학 평가들의 내용 영역별로 TIMSS 2019 평가 시행 당시 우리나라 중학교 2학년 학생들의 학습 시기를 분석하였다. TIMSS 2019 평가대상 중학교 2학년 학생들에게 적용된 교육과정은 2007 개정 수학과 교육과정(초등학교 1~3학년), 2009 개정 수학과 교육과정(초등학교 4학년~중학교 3학년), 2015 개정 수학과 교육과정(중학교 3학년~고등학교 1학년)으로 분리되어 있다. 이에 본 절에서는 대상 학년 학생들이 학습한 교육과정을 기준으로 학생들의 학습 시기를 분석하였다.

1) 수 영역

수 영역은 정수, 분수와 소수, 비·비례·백분율 하위 요소를 바탕으로 TIMSS 2019 교육맥락 조사에서 3개의 내용 요소로 구분하였다. TIMSS 2019 평가 시행 시기인 2018년을 기준으로, 우리나라 학생들이 8학년 수학 수 영역에 제시된 내용 요소들을 학습하는 시기와 평가 대상인 중학교 1학년 학생들의 TIMSS 2019 평가 시기 이전 학습 여부를 정리하면 <표 IV-4>와 같다.

<표 IV-4> TIMSS 2019 8학년 수학 수 영역의 내용 요소별 학습 시기

내용 요소	학습연도		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	적용교육과정		2007 개정 교육과정			2009 개정 교육과정						2015 개정
	TIMSS 평가 시기 이전 학습 여부	학년	초등학교						중학교			고등학교
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	1
음수의 계산	○								√			
분수와 소수의 개념	○					√	√	√	√			
비례와 백분율을 포함한 문제 풀기	○					√	√					

수 영역에서 우리나라 학생들은 TIMSS 평가 시기 이전에 모든 내용 요소들을 학습한 것으로 나타났다. ‘음수의 계산’의 경우, 수 체계 관점에서 정수와 유리수를 중학교 1학년에서 학습하고, 음의 정수, 음의 유리수의 덧셈, 뺄셈, 곱셈, 나눗셈 역시 중학교 1학년에서 학습한다. 이때 음수의 사칙계산을 다룰 때 직관적인 수학적 모델이 사용되며, 음수의 곱셈은 ‘귀납적 외삽법’을 통해 지도된다. 중학교 1학년에서 정수와 유리수의 혼합계산도 다루며, 중학교 2학년에서는 수 체계 관점에서 유리수를 보다 구체적으로 학습한다. ‘분수와 소수의 개념’의 경우, 초등학교 3~4학년군에서 분수와 소수의 도입 및 덧셈과 뺄셈을, 초등학교 5~6학년군에서 분수 및 소수의 곱셈, 나눗셈을 학습하며, 분수는 분모가 다른 경우 덧셈과 뺄셈도 다룬다. 또한 초등학교 5~6학년군에서는 내용 요소인 ‘분수와 소수’를 학습하고, “분수와 소수의 관계를 이해하고 크기를 비교할 수 있다.([6수01-12])”라는 성취기준에 따라 분수와 소수의 관계성을 파악할 수 있도록 하고 있다. 중학교 1학년에서는 정수와 유리수를 학습하고 분수와 소수표현으로 나타낸 수를 크기 비교하거나 수직선에 표현하고, 정수인지 유리수인지 판단하기 등으로 분수와 소수 개념을 나타내고 있다. 중학교 2학년에서 순환소수로 표현된 수를 분수 표현으로 변환하고 순환소수가 유리수임을 인지할 수 있도록 학습하고 한다. ‘비례와 백분율을 포함한 문제 해결’의 경우, 2009 개정 수학과 교육과정에서는 초등학교 5~6학년군에서 학습한다. 구체적인 학습 시기를 살펴보면, 초등학교 5학년에서 비례와 백분율을 학습하고, 초등학교 6학년에서는 비례식, 정비례, 반비례를 학습한다. 2015 개정 수학과 교육과정에서는 정비례와 반비례의 학습시기가 중학교 1학년으로 늦춰졌다.

2) 대수 영역

대수 영역은 식·연산·방정식, 관계와 함수 하위 요소를 바탕으로 TIMSS 2019 교육맥락 조사에서 7개의 내용 요소로 구분하였다. TIMSS 2019 평가 시행 시기인 2018년을 기준으로, 우리나라 학생들이 8학년 수학 대수 영역에 제시된 내용 요소들을 학습하는 시기와 평가 대상인 중학교 1학년 학생들의 TIMSS 2019 평가 시기 이전 학습 여부를 정리하면 <표 IV-5>와 같다.

최인선

<표 IV-5> TIMSS 2019 8학년 수학 대수 영역의 내용 요소별 학습 시기

내용 요소	학습연도	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
	적용교육과정	2007 개정 교육과정			2009 개정 교육과정						2015 개정	
	TIMSS 평가 시기 이전 학습 여부	학년	초등학교						중학교			고등학교
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	1
식을 간단히 하기 또는 평가하기	○								√	√	√	
일차 방정식	○								√			
일차 부등식	○									√		
미지수가 2개인 연립 방정식	○									√		
표, 그래프, 문자, 식 등과 같은 일차함수와 이차함수의 표현	×										√	
함수의 성질(기울기, 절편 등)	○									√	√	
수, 대수, 도형의 패턴 또는 배열 (확장, 빠진 항 채우기, 패턴의 일반화)	○								√	√		

대수 영역에서 우리나라 학생들은 TIMSS 평가 시기 이전에 ‘표, 그래프, 문자, 식 등과 같은 일차함수와 이차함수의 표현’에 대한 내용은 학습하지 않는 것으로 나타났다. 2009와 2015 개정 수학과 교육과정에서 모두 이차함수까지 모두 학습하게 되는 시기는 중학교 3학년이다. 2009 개정 수학과 교육과정에서는 함수의 개념, 함수의 그래프를 중학교 1학년에서, 일차함수의 개념, 기울기, 절편 등을 중학교 2학년에서, 이차함수의 개념, 축, 꼭짓점을 중학교 3학년에서 다루었다. 이에 본 연구에서는 2019 TIMSS 평가대상 학생들이 해당 항목의 내용 요소를 모두 학습하는 시기를 중학교 3학년으로 판단하여, 해당 내용 요소가 TIMSS 평가 시기 이전에 학습하지 않는다고 보았다. 덧붙여, 2015 개정 수학과 교육과정에서는 함수의 개념이 중학교 2학년에서 처음 다루어지기 때문에, 함수의 개념에 대해 학습을 시작하는 시기는 2009 개정 수학과 교육과정에 비해 더 늦어졌다.

그 외 대수 영역의 다른 내용 요소들은 모두 TIMSS 평가 시기 이전에 학습하는 것으로 나타났다. ‘수, 대수, 도형의 패턴 또는 배열’의 경우, 규칙을 찾는 것이 중학교 교육과정의 내용요소나 교과서의 단원으로 제시되어 있지 않지만 함수의 개념을 학습하는 중학교 1학년과 규칙을 찾아 식을 세우도록 하는 일차함수를 다루는 중학교 2학년을 학습시기에 포함시켰다. 우리나라의 수학과 교육과정에서는 함수 개념을 대응 관계가 아닌 변화성에 주목하여 다양한 상황에서 변화를 파악하고 이를 함수표현(함수식, 그래프)으로 나타내고 있어, 함수의 개념을 패턴의 일반화를 통해 설명하고 있다고 판단하였기 때문이다.

3) 기하 영역

기하 영역은 기하 도형과 측정 하위 요소를 바탕으로 TIMSS 2019 교육맥락 조사에서 6개의 내용 요소로 구분하였다. TIMSS 2019 평가 시행 시기인 2018년을 기준으로, 우리나라 학생들이 8학년 수학 기하 영역에 제시된 내용 요소들을 학습하는 시기와 평가 대상인 중학교 1학년 학생들의 TIMSS 2019 평가 시기 이전 학습 여부를 정리하면 <표 IV-6>과 같다.

<표 IV-6> TIMSS 2019 8학년 수학 기하 영역의 내용 요소별 학습 시기

내용 요소	학습연도		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	적용교육과정		2007 개정 교육과정			2009 개정 교육과정						2015 개정
	TIMSS 평가 시기 이전 학습 여부	학년	초등학교						중학교			고등학교
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	1
각, 직선, 도형(삼각형, 사각형, 다각형)의 기하학적 성질	○								√	√		
둘레의 길이, 넓이와 관련된 문제 풀기	○							√	√	√	√	
피타고라스 정리와 관련된 문제 풀기	×										√	
평행이동, 대칭이동, 회전이동	○				√					√		√
합동인 도형과 닮은 삼각형	○									√		
입체도형과 관련된 문제 풀기	○							√	√			

기하 영역에서 우리나라 학생들은 TIMSS 평가 시기 이전에 ‘피타고라스 정리와 관련된 문제 풀기’에 대한 내용은 학습하지 않는 것으로 나타났다. 2009 개정 수학과 교육과정에서는 피타고라스 정리를 중학교 3학년에서 다루고 있으며, 피타고라스 정리의 역(피타고라스 수) 및 피타고라스 정리를 활용한 다양한 문제 해결(피타고라스 정리의 활용)을 포함하고 있다. 2015 개정 수학과 교육과정에서는 피타고라스 정리의 학습시기가 중학교 2학년으로 앞당겨지긴 했으나, 피타고라스 정리의 설명과 피타고라스 정리의 역만을 학습한다. 또한 2015 개정 수학과 교육과정에서 피타고라스 정리와 관련된 문제 해결을 위해 필요한 개념 중 하나인 제곱근과 무리수, 그리고 피타고라스 정리의 활용은 중학교 3학년에서 학습한다.

그 외 다른 요소들은 모두 TIMSS 평가 시기 이전에 학습하는 것으로 나타났다. 이 중 ‘평행이동, 대칭이동, 회전이동’의 경우, 2009 개정 수학과 교육과정에서 ‘도형의 이동’에 관한 개념(돌리기, 밀기, 끌기, 뒤집기, 90도만큼 오른쪽/왼쪽)은 초등학교 4학년에서 학습하고, 2015 개정 수학과 교육과정에 따른 10학년 수학(2009 개정 교육과정 ‘수학 I’)에서 해석기하학적으로 평행이동, 대칭이동이 다루어진다. ‘입체도형과 관련된 문제 풀기’의 경우, 입체도형을 학습할 때 초등학교 5~6학년군과 중학교 1학년에서 다루어지는 범위(중학교가 더 일반화하여 다룸)가 다르지만, 학생들이 차이점을 느끼지 못하는 경우 반복으로 받아들이는 경우가 있으며, 입체도형의 겹넓이와 부피를 구하는 방법이 일반화된 방법임을 인식하지 못하는 경우가 있어, 이 부분은 교수·학습 시 유의할 필요가 있다. 즉, 기하 영역은 동일한 수학적 개념과 내용이 학년이 올라가면서 다루어지는 내용이 일반화되고 심화되는 것을 고려할 필요가 있다.

4) 자료와 확률 영역

자료와 확률 영역은 자료, 확률 하위 요소를 바탕으로 TIMSS 2019 교육맥락 조사에서 6개의 내용 요소로 구분하였다. TIMSS 2019 평가 시행 시기인 2018년을 기준으로, 우리나라 학생들이 8학년 수학 자료와 확률 영역에 제시된 내용 요소들을 학습하는 시기와 평가 대상인 중학교 1학년 학생들의 TIMSS 2019 평가 시기 이전 학습 여부를 정리하면 <표 IV-7>과 같다.

최인선

<표 IV-7> TIMSS 2019 8학년 수학 자료와 확률 영역의 내용 요소별 학습 시기

내용 요소	학습연도		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	적용교육과정		2007 개정 교육과정			2009 개정 교육과정						2015 개정
	TIMSS 평가 시기 이전 학습 여부	학년	초등학교						중학교			고등학교
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	1
자료 해석하기(주어진 자료에서 값들 사이 또는 외부의 값 추정하기, 결론 도출하기)	○								√			
자료 수집을 위한 적절한 절차를 구별하기	○								√			
자료를 정리하고 표현하기	○								√		√	
통계치(평균, 중앙값, 최빈값, 분포 형태 등)를 계산하거나 해석하기	×										√	
간단한 사건의 경험적 확률과 수학적 확률	○									√		
복잡한 사건의 경험적 확률과 수학적 확률	○									√		

자료와 확률 영역에서 우리나라 학생들은 TIMSS 평가 시기 이전에 ‘통계치(평균, 중앙값, 최빈값, 분포 형태 등)를 계산하거나 해석하기’에 대한 내용은 학습하지 않는 것으로 나타났다. 통계치의 계산이나 해석에서 평균은 초등학교 6학년에서 다루어지지만, 중앙값, 최빈값은 중학교 3학년에서 다루어지고, 이를 통해 자료의 특성을 살펴보고 대푯값을 찾을 수 있도록 하고 있다. 중학교 1학년에서 줄기와 잎 그림, 도수분포표, 히스토그램, 도수분포다각형, 상대도수를 이해하고 해석하며 도수분포표에서의 평균을 계산한다. 자료의 분포 해석은 중학교 1학년에서 다루지만, ‘대푯값(최빈값, 중앙값)’은 중학교 3학년에서 학습한다. 즉, 모든 내용을 학습하는 시기는 중학교 3학년으로 판단하였다. 참고로, 2009 개정 수학과 교육과정에서는 다루지 않았던 ‘분포(상관관계)’의 개념을 2015 개정 수학과 교육과정에서는 중학교 3학년에서 학습한다.

그 외 다른 요소들은 모두 TIMSS 평가 시기 이전에 학습하는 것으로 나타났다. 이 중 ‘자료 해석하기(주어진 자료에서 값들 사이 또는 외부의 값 추정하기, 결론 도출하기)’의 경우, 2009 개정 수학과 교육과정에 따르면, 자료 해석하기는 중학교 1학년에서 ‘줄기와 잎 그림, 도수분포표, 히스토그램, 도수분포다각형을 이해하고 해석할 수 있다.’로 다루고 있어 중학교 1학년으로 학습 시기를 판단하였다. 중학교 1학년 교과서에서 도수분포표에서 한 계급값의 도수를 빈칸을 두고 채우거나, 히스토그램 중 하나를 비워두고 채우기와 같은 문제해결 상황이 제시되기도 한다. 참고로, 2015 개정 수학과 교육과정이 적용된 교과서에서는 일반적으로 중학교 3학년에서 통계 단원을 통해 대푯값, 산포도, 상관관계에 대한 내용을 학습하도록 구성되어 있다. ‘자료 수집을 위한 적절한 절차를 구별하기’의 경우에는 2009 개정 수학과 교육과정의 ‘교수 학습상의 유의점’에서 “다양한 상황에서 자료를 수집하게 하고, 수집한 자료가 적절한지 판단하는 활동을 하게 한다.”고 제시되어 있어, 중학교 1학년에서 자료 수집에 적절한 절차를 구별할 수 있고 다양한 자료 수집을 위한 학습 활동을 한다고 판단하여 학습 시기를 중학교 1학년으로 판단하였다. 참고로, 2015 개정 수학과 교육과정에서는 학생들이 자료 수집을 위한 적절한 절차를 수립할 수 있도록 “공학적 도구를 이용하여 실생활과 관련된 자료를 수집하고 표나 그래프로 정리하고 해석할 수 있다.([9수05-03])”라는 성취기준을 ‘자료의 정리와 해석’에서 제시하고 있다.

V. 결론

본 연구에서는 TIMSS 2019 수학 평가들의 특징을 살펴보고, TIMSS 2019 평가 대상 학생들의 수학 내용 학습 시기를 교육과정에서 내용 체계와 성취 기준을 토대로 살펴보았다. 분석 결과를 토대로 도출된 시사점을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 국제 수준에서 수학과 교육과정에서 내용 요소 간 연계성 강화를 위한 점검이 필요하다. 본 연구의 분석 결과, 통계 교육과 관련하여 중학교에서 ‘통계치(평균, 중앙값, 최빈값)를 계산하거나 해석하기’를 살펴보면, 2015 개정 수학과 교육과정에서 초등학교 6학년 ‘자료와 가능성’ 영역에서 평균을 학습한 이후, 중학교 3학년 ‘확률과 통계’ 영역에서 중앙값, 최빈값, 대푯값을 다룬다. 이와 같이 현재 2015 개정 수학과 교육과정에서는 시기적으로 통계 영역을 배우는 시기가 떨어져 있어, 교육과정에서 이들의 학습시기가 연결될 수 있도록 교육과정의 변화를 시도할 필요성이 요구된다. 일례로 일본은 국제시험평가의 결과를 반영하여 통계 영역에서 교육과정에서 통계와 관련한 수학적 활동에 변화를 주었으며, 초등학교 6학년에서 평균, 중앙값, 최빈값을 학습한다(김부미, 김윤민, 2019). 수학과 교육과정에서 통계 관련 내용 학습 시기와 관련하여, 내용의 계통성에 따라 이를 반복, 심화시킬 수 있는 기회를 제공하여 학생들이 학습내용을 보다 심화시켜 더 깊은 이해를 할 수 있도록 하는 교육과정 내용 요소 구성에 대한 고려가 필요하다.

둘째, 국제 수준에서 수학과 교육과정에서 내용 요소의 학습시기의 적절성, 연속성 등에 대한 점검이 필요하다. 본 연구에서 제시한 TIMSS 2019 수학 평가들에 따른 우리나라 학생들의 수학 내용 학습 시기에 대한 분석 결과와 최근 국제비교 연구에서 제시되고 있는 수학교육의 경향성을 고려하여, 수학과 교육과정의 내용 영역과 학습 시기의 적절성에 대한 점검이 필요하다. 본 연구의 결과에 따르면, 우리나라 학생들은 초등학교 4학년의 경우 혼합계산, 약수와 배수, 부피, 비율그래프에 대한 내용과 중학교 2학년의 경우 이차함수, 피타고라스 정리, 최빈값, 중앙값 등을 TIMSS 평가 이전에 학습하지 못하는 것으로 조사되었다. 2009 개정 수학과 교육과정에서 중학교 3학년에서 학습되던 피타고라스 정리가 2015 개정 수학과 교육과정에서는 중학교 2학년으로 이동되었으나, 피타고라스 정리와 관련된 문제를 해결하기 위해 요구되는 연산을 위한 개념(무리수)은 중학교 3학년에서 학습한다. 또한 실생활을 수학적 상황으로 표현하기 위해 필요한 개념들(연립부등식, 최댓값, 최솟값) 역시 중학교 2학년 이후에 학습하도록 되어 있다. 중앙값, 최빈값 등의 대푯값도 중학교 3학년에서야 다루어진다. TIMSS 2019 교육과정 설문문의 내용 영역 분류/문항 내용 등을 검토한 결과, TIMSS 수학 평가들에서는 통계와 자료 해석과 관련된 내용 영역, 역량 등을 강조하고 있었다. 그러나 현재 우리나라 교육과정에서는 해당 내용들이 오히려 약화되고 있어 이후 수학과 교육과정 개정 및 관련 정책 수립 시 이에 대한 고려가 있어야 할 것이다.

셋째, 우리나라 수학과 교육과정에서 내용 영역의 위계 및 내용 체계 구조가 국제적인 수학교육의 방향과 부합하고 있는지에 대한 확인이 필요하다. 예를 들면, TIMSS 2019 수학 평가들의 내용 영역에서 4학년 ‘자료’, 8학년 ‘자료와 활용’은 자료 정리, 표현, 해석에 중점을 두고 있다. 우리나라 역시 국제 수학교육의 영향으로 2015 개정 수학과 교육과정에서 통계 영역에서 변화를 시도하고 있고(박경미 외, 2015), 자료 영역을 이전 교육과정보다 더 강조하여 통계적 소양을 기를 수 있도록 지도하고 있다. 이는 TIMSS 2019 수학 평가들의 변화 방향에도 부합한다. 중학교 1학년의 경우, 2009 개정 수학과 교육과정의 ‘도수분포표와 그래프’를 2015 개정 수학과 교육과정에서는 ‘자료의 정리와 해석’으로 수정하였다. 즉, 2015 개정 수학과 교육과정에서는 자료의 수집, 정리, 해석을 강조하고 공학적 도구 활용도 성취기준에 내세워 학생들이 공학적 도구를 충분히 활용할 수 있도록 하고 있다. 이렇듯 국제

수학교육의 영향으로 교육과정을 변화하였고, 이러한 변화가 추후 TIMSS 평가의 추이문항을 통해서 자료와 가능성 영역에서 성취도에서 어떠한 변화가 있는지를 추적할 수 있을 것이다. 이와 함께 TIMSS 2019 수학 평가들을 우리나라 수학과 교육과정에서 내용 영역의 위계 및 내용 체계 구조를 어떻게 개선할 것인가에 대한 방향 모색을 위한 기초자료로서 활용할 수 있다.

교육활동은 인간의 성장을 위한 활동이고 성장이란 서로 분리되지 않은 여러 활동 사이의 연속성을 통해서, 즉 하나의 활동이 다른 활동에게 어떤 결과를 남기고 뒤이은 활동은 그것을 이어받아서 더 확장시키고 세련시킬 때 달성될 수 있다(강홍규, 2012). 이에 학습시기에 따른 각각의 교육 목표에 맞추어 수학 평가들이 정련되어야 하며, 그 평가들에 따라 실제로 평가가 이루어질 수 있는지를 염두에 두어야 한다. 평가는 증거를 수집하여 그 증거로부터 여러 가지의 결론을 도출하는 과정이며, 학생들의 수학 학습 과정과 관련된 판단들을 토대로 교사는 학생들을 어떻게 가르쳐야 할 것인가를 끊임없이 결정하게 된다(김수동 외, 2005). 평가 문항은 평가 내용과 요구되는 수학적 능력이 무엇인지에 따라 내용 타당도가 결정되고, 어떤 인지 행동을 평가하는가에 대한 고려는 평가 문항의 적절성이나 교육과정의 연계 등에서 중요한 고려사항이 될 것이다(김선희, 2008). 이러한 맥락에서 TIMSS 수학 평가들은 60여개국 이상의 참여 국가에서 수학교육 전문가들이 교육과정, 평가 등에 대한 논의를 바탕으로 도출된 것으로, 각 국에서 공통적으로 중요하게 여겨지는 수학 내용들이 포함되어 있다.

이에 TIMSS 2019 수학 평가들은 현재 논의되고 있는 교육과정 개정과 맞물려 중요한 의미를 지닌다. 본 연구는 수학과 교육과정 개정 및 대규모 평가들 개발 방향 설정을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다. 또한 차기 교육과정 개발 시 국제비교연구 평가에서의 수학 내용 영역의 위계와 학습 시기를 참고하여 학습 내용의 위계와 비중을 적절히 조율하여 학생들이 필요한 시기에 필요한 내용을 배울 수 있도록 교육과정을 구성하는데 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- 강홍규. (2012). 수학 교과에서 초등과 중등의 연계성에 관한 고찰. **교육논총**, 49(2), 13-23.
- 교육부. (2015). **수학과 교육과정**. 교육부 고시 제2015-74호 [별책 8].
- 교육부. (2020). **수학교육 종합계획(안)**[2020년~2024년].
- 김부미, 김윤민. (2019). 한국과 일본의 수학과 교육과정 비교 - 통계영역을 중심으로-. **학습자중심교과교육연구**, 19(3), 495-523.
- 김선희. (2008). TIMSS 인지영역 평가들의 변화와 우리나라 학생들의 국제적 수학 성취도. **한국수학사학회지**, 21(3), 157-182.
- 김수동, 이의갑, 김경희, 김선희, 박은아, 신명선, 김수진, 전영석, 박가나, 서수현. (2005). **수학 수업에서 학생평가를 잘 하려면**. 한국교육과정평가원 연구보고 ORM 2005-51-4.
- 박경미 외 42명(2015). **2015 개정 수학과 교육과정 시안 개발 연구 II**. 연구보고서 BD15110002, 한국과학창의재단.
- 박상욱, 김현경, 상경아, 전성균, 최인선. (2019) **수학·과학 성취도 추이변화 국제비교 연구: TIMSS 2019 본검사 시행**. 한국교육과정평가원 연구보고 RRE 2019-10.
- 박지현, 김수진. (2015). 수학 인지적 속성에 따른 TIMSS 2011 8학년 성취도 상위국 특성 비교. **수학교육학연구**, 25(3), 303-321.
- 이광상, 박인용. (2015). TIMSS 수학성취도 평가에 나타난 한국 학생들의 성차 특성. **교육과정평가연구**, 18(1), 155-183.
- 최지선. (2017). 수학 ‘확률과 통계’ 영역에서의 중학교 2학년 학생의 성취 특성. **학습자중심교과교육연구**, 17(21), 145-167.
- 최지선. (2019). TIMSS 2015 ‘수’ 영역 정답률 분석을 통한 수학과 교육과정 고찰. **학습자중심교과교육연구**, 19(11), 1211-1233.
- Mullis, I. V. S., & Martin, M. O. (Eds.). (2013). *TIMSS 2015 Assessment Frameworks*. Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center. (<https://timssandpirls.bc.edu/timss2015/frameworks.html>)
- Mullis, I. V. S., & Martin, M. O. (Eds.). (2017). *TIMSS 2019 Assessment Frameworks*. Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center. (https://timssandpirls.bc.edu/timss2019/downloads/T15_Frameworks_Full_Book.pdf)
- Mullis, I.V.S., Martin, M.O., Goh, S., & Cotter, K. (Eds.). (2016). *TIMSS 2015 encyclopedia: Education policy and curriculum in mathematics and science*. Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center. (<http://timssandpirls.bc.edu/timss2015/encyclopedia/>)

Comparative analysis of the Korean mathematics curriculum contents based on the TIMSS 2019 mathematics assessment framework

Choi, In Seon²⁾

Abstract

TIMSS is a representative international comparative study that analyzes changes in mathematics and science achievement, and it collects information on the educational system, curriculum, teaching and learning situation of participating countries as well as research and check, and provides implications for each country's mathematics and science education. Although domestic TIMSS studies focused on the results of achievement related to the evaluation of mathematics, not many have taken a closer look at the content and characteristics of the assessment framework. Therefore, the purpose of this study was to analyze the characteristics of the TIMSS 2019 mathematics assessment framework, and to derive implications for the mathematics curriculum and mathematics learning by examining the students' study time in light of the Korean mathematics curriculum. The implications derived from the results of this study are summarized as follows: First, it is necessary to check the connection between content elements in the mathematics and education process. Second, it is necessary to check the appropriateness and connectivity of the learning timing of the content elements in the mathematics and education courses. Finally, it is necessary to verify that the hierarchy of content areas and the structure of content systems in mathematics and education courses are consistent with the direction of mathematics education at the international level. This study can be used as a basis for mathematics and curriculum revisions, and can be used to set directions for the development of large-scale evaluation frameworks.

Key Words : TIMSS 2019, Mathematics assessment framework, Mathematics curriculum

Received November 16, 2020

Revised December 22, 2020

Accepted December 23, 2020

* 2010 Mathematics Subject Classification : 97C70, 97D60

2) Korea Institute of Curriculum and Evaluation (is1027@kice.re.kr)