

TIMSS 2019 문제해결 및 탐구 과제에 대한 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 학업성취 특성 분석

권점례*

한국교육과정평가원

A Study on the Characteristics of Academic Achievement in Problem Solving and Inquiry Tasks of Korean Fourth Graders in TIMSS 2019

Jeom-Rae Kwon*

Korea Institute for Curriculum and Evaluation

Abstract : This study analyzes the academic achievement characteristics of Korean fourth graders on the problem solving and inquiry tasks (PSIs) introduced in TIMSS 2019. TIMSS 2019 conducted a computer-based assessment in addition to the traditional paper-based assessment. The PSIs were included only in the computer-based assessment, so 30 countries participated in the PSIs of the computer-based assessment. PSIs consist of integrating multiple content and cognitive domains, including 10 or fewer items. Most of the items are constructed in an open-ended format rather than multiple-choice. The analysis results showed that there were differences in student achievement across countries depending on the inclusion of PSIs. Korea's average achievement score decreased by 1 point. The analysis of individual items showed that students' achievement was somewhat low, and the correct answer rate for male students was generally higher than that for female students in many items. Furthermore, item-by-item analysis revealed that there were items where countries such as England and Finland had higher correct answer rates than traditional high-achieving countries, i.e. Singapore, Taiwan, and Korea. Considering the recent emphasis on integrated education, it seems necessary to review the use of PSIs in assessments in Korea as well.

keywords : TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study), Problem Solving and Inquiry Tasks (PSIs), academic achievement, integrated education

I. 서론

기술 공학의 발달은 학교 교육의 방법에도 큰 변화를 불러왔다. 지난 코로나 시기 온라인 원격 수업이 학교에서 이루어지는 대면 수업을 대신하였고, 현재에도 고등학교 온라인 공동 교육과정과 같이 학교 교육에서 다양하게 활용되고 있으며, 수학 교과외의 경우 알지오매스나 이지통계 등과 같은 AI·디지털 도구가 개발·보급되어 학교 현장의 교수·학습 및 평가에서 활용되고 있다. 아울러 최근 고시된 2022 개정 교육과정에서는 학생들이 길러야 할 기초 소양의 하나로 디지털 소양을 강조하고 있으며(MOE, 2022b), 2022 개

정 수학과 교육과정에서도 수학 교과 역량의 하나로 정보처리 역량을 포함하고, 교수·학습 및 평가에서 온라인 환경 및 여러 가지 공학도구를 활용할 것을 권고하고 있다(MOE, 2022a).

본 연구의 초점인 문제해결 및 탐구 과제(Problem Solving and Inquiry Tasks: 이하 PSIs)는 TIMSS 2019에서 도입된 새로운 유형의 문항군이다. 문항군이라는 용어에서 알 수 있듯, 하나의 상황을 중심으로 여러 개의 문항이 문항군을 이루는데, 이때 개별 문항은 내용 영역과 인지 영역이 다양하다. 아울러 이 문항군은 TIMSS 2019에서 처음 실시한 컴퓨터 기반 평가에 포함되어 있고, 일부 문항의 경우 컴퓨터의 조작

* 교신저자: 권점례 (kwonjr@kice.re.kr)

** 이 논문은 Seo *et al.* (2022)에서 일부를 발췌하여 재구성하였음.

*** 2024년 3월 8일 접수, 2024년 4월 22일 수정원고 접수, 2024년 4월 22일 채택

<http://dx.doi.org/10.21796/jse.2024.48.1.31>

기능을 활용하기도 하였다. 이러한 측면에서 볼 때, TIMSS는 TIMSS 2003에서 평가틀이 정립된 이후 최근까지 큰 변화가 없어 최근 교육 동향을 반영하지 못하는 면이 있었으나, TIMSS 2019에서는 컴퓨터 기반 평가의 도입과 더불어 새로운 문항 유형인 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 도입함으로써 최근 교육 동향을 반영하는 동시에 TIMSS 자체의 변화를 꾀한 것으로 보인다.

TIMSS 2019에서는 기존의 지필 평가와 새로 도입된 컴퓨터 기반 평가를 병행하여 실시하면서 참여국의 선택에 따라 컴퓨터 기반 평가에 참여하였는데, 초등학교 4학년의 경우 30개국 이 컴퓨터 기반 평가에 참여하여 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 평가하였다. 본 연구에서는 TIMSS 2019 수학 평가 초등학교 4학년 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)의 공개 문항에 대해 우리나라 학생들의 학업성취 특성을 분석하였다. 전체 분석에서는 전체 참여국을 대상으로 문제해결 및 탐구 과제 포함 여부에 따라 학업성취도 평균의 변화를 분석하였다. 그리고 문항별 분석은 전체, 성별, 성취수준별 정답률을 비교하고, 본 연구에서 추출한 몇 개의 대표 문항에 대해 학생들의 문제해결 특성을 분석하였다. 이러한 분석을 통해 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 문제해결 및 탐구 능력을 파악하고, 이를 개선하기 위한 시사점을 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

II. 이론적 배경

1. TIMSS 2019 초등학교 4학년 수학 평가 개관

TIMSS는 참여국의 초등학교 4학년과 중학교 2학년 학생들을 대상으로 수학 및 과학 교과 학업성취도 변화 추이를 평가하고, 이에 영향을 미치는 교육 맥락 변인을 조사하는 국제 학업성취도 평가이다. 1995년 TIMSS 1995를 시작으로 4년 주기로 실시하고 있으며, 본 연구의 분석 대상인 TIMSS 2019 (7주기 평가)는

2019년에 실시되었고*, TIMSS 2023(8주기 평가)은 2023년에 실시되어 현재 자료 분석 중이다.

TIMSS는 참여국의 교육과정을 근간으로 공통인 평가 요소를 추출하여 문항을 구성하는 교육과정 기반 평가다. 초기(TIMSS 1995, 1999) 평가틀은 내용 영역, 행동 영역, 정의적 영역으로 구성되었으나 TIMSS 2003에서 내용 영역과 인지 영역으로 재정립된 이후 지금까지 유지되고 있다(Seo *et al.*, 2022, p. 48). 다음에서는 평가틀인 내용 영역과 인지 영역, 평가 문항의 구성 측면에서 TIMSS 2019 초등학교 4학년 수학 평가의 특징을 살펴보았다.

Table 1은 TIMSS 2019 초등학교 4학년 수학 평가의 내용 영역과 하위 주제 영역을 나타낸 것이다. 내용 영역은 ‘수’, ‘측정과 도형’, ‘자료’로 구성되는데, ‘수’ 영역의 주제 영역은 범자연수(0과 자연수), 분수와 소수, 식·방정식·관계로 구성되고, ‘측정과 기하’ 영역의 주제 영역은 측정, 기하로 구성되며, ‘자료’ 영역의 주제 영역은 읽기·해석하기·표현하기, 자료 이용하여 문제 풀기로 구성된다. 최근 고시된 우리나라 2022 개정 수학과 교육과정에서는 초등학교와 중학교의 영역을 통합하여 ‘수와 연산’, ‘변화와 관계’, ‘도형과 측정’, ‘자료와 가능성’으로 구분하고 있는데, 이를 TIMSS 2019 초등학교 4학년 수학 평가의 내용 영역과 비교하면 ‘수와 연산’과 ‘변화와 관계’ 영역은 TIMSS 2019 ‘수’ 영역과 연계되고, ‘도형과 측정’ 영역은 TIMSS 2019 ‘측정과 기하’ 영역에 연계되며, ‘자료와 가능성’ 영역은 TIMSS 2019 ‘자료’ 영역과 연계되는 반면에, TIMSS 2019 초등학교 4학년 수학 평가에서는 ‘가능성’과 관련된 평가 요소가 포함되어 있지 않다.

TIMSS 2019 수학 평가는 초등학교 4학년과 중학교 2학년의 인지 영역을 동일하게 구성하고, 내용 영역과 마찬가지로 인지 영역에 대해서도 하위 주제 영역과 평가 주제를 제시하여 평가 대상으로 구체화하였다는 특징이 있다(Seo *et al.*, 2022, p. 64). Table 2는 TIMSS 2019 수학 평가에서 인지 영역별 하위 주제 영역을 제시한 것이다. 인지 영역은 ‘알기’, ‘적용하기’, ‘추론하기’로 구분되는데, ‘알기’ 영역의 하위

Table 1. Content Domains and Topic Areas for Grade 4 of TIMSS 2019 Mathematics Assessment (Park *et al.*, 2019, p. 16)

내용 영역	수	측정과 기하	자료
주제 영역	<ul style="list-style-type: none"> ○ 범자연수(0과 자연수) ○ 분수와 소수 ○ 식·방정식·관계 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 측정 ○ 기하 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 읽기·해석하기·표현하기 ○ 자료 이용하여 문제 풀기

* 우리나라는 2018년에 실시함.

Table 2. Cognitive Domains and Topic Areas for Grade 4 of TIMSS 2019 Mathematics Assessment (Park *et al.*, 2019, p. 17)

인지 영역	알기	적용하기	추론하기
주제 영역	<ul style="list-style-type: none"> ○ 회상하기 ○ 인식하기 ○ 분류·정렬하기 ○ 계산하기 ○ 인출하기 ○ 측정하기 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 결정하기 ○ 표현·모델링하기 ○ 실행하기 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분석하기 ○ 통합·종합하기 ○ 평가하기 ○ 결론짓기 ○ 일반화하기 ○ 정당화하기

주제 영역은 회상하기, 인식하기, 분류·정렬하기, 계산하기, 인출하기, 측정하기로 구성되고, ‘적용하기’ 영역의 하위 주제 영역은 결정하기, 표현·모델링하기, 실행하기로 구성되며, ‘추론하기’ 영역의 하위 주제 영역은 분석하기, 통합·종합하기, 평가하기, 결론짓기, 일반화하기, 정당화하기로 구성된다.

최근 교육과정 개정이 이루어진 국가에서는 총론의 역량이나 수학 교과 역량을 다양하게 구성하고 있으며, 수학과 교육과정에도 이러한 총론의 역량이나 수학 교과 역량을 다양한 방식으로 반영하고 있다 (Kwon, 2020). 우리나라의 경우도 2015 개정 수학과 교육과정에서 수학 교과의 특성을 반영한 수학 교과 역량을 도입하였고, 최근 고시된 2022 개정 수학과 교육과정에서도 일부 조정은 있었으나 여전히 수학 교과 역량을 강조하고 있다. 국내외 수학과 교육과정의 역량 반영 방식과 비교했을 때 TIMSS의 인지 영역인 알기, 적용하기, 추론하기는 수학 및 과학 교과 초등학교 4학년과 중학교 2학년에 공통으로 적용되기 때문에 수학 교과의 특성을 적극적으로 반영하지 못한다는 한계가 있다. TIMSS에서 인지 영역을 알기, 적용하기, 추론하기로 재정립한 것은 TIMSS 2007로, 이 시기는 국가별로 차이는 있으나 학교 교육에서 역량이 강조되기 이전이다. 그 결과 TIMSS의 인지 영역은 현재 국내외 교육과정에서 강조하는 역량과는 차이가 있으며, 이러한 한계는 차후 TIMSS 평가를 정비 시 고려되어야 할 것으로 보인다.

Table 3은 TIMSS 2019 초등학교 4학년 수학 평가의 평가 문항 구성을 나타낸 것이다. TIMSS 2019 초

등학교 4학년 수학 평가는 이전 주기(14종)와 비교해서 검사 문항군 종수가 16종으로 증가하였고, 전체 문항 수도 증가하였는데, 이는 TIMSS 2019에서 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 도입하였기 때문이다. 내용 영역별 문항 수를 보면, ‘수’ 영역이 51.0%, ‘측정과 기하’ 영역이 27.9%, ‘자료’ 영역이 21.1%를 차지하였다. 이러한 비율을 우리나라 초등학교 수학과 교육과정에서 각 영역이 차지하는 비중과 비교했을 때 ‘수’ 영역은 유사하나 ‘측정과 기하’ 영역은 다소 축소되고, ‘자료’ 영역은 다소 확대된 경향성을 보인다. 또 인지 영역별 문항 수를 보면, ‘알기’ 영역 33.8%, ‘적용하기’ 영역 43.1%, ‘추론하기’ 영역 23.0%를 차지한다. 아울러 문항 유형도 선다형보다는 단답형, 서술형 등을 포함하는 구성형의 비율이 높게 나타났다. 이것으로 볼 때, TIMSS 2019 수학 평가에서는 기본적인 개념이나 원리의 이해, 자연수·분수·소수의 사칙계산 등과 같은 기본적인 사고 기능보다는 개념이나 원리, 사칙계산 등을 적용하거나 추론하는 고차적인 사고 기능을 강조하고 있다.

2. 수학과 교육과정과 문제해결 및 탐구 과제 (PSIs)

평가 주기가 반복되면서 TIMSS에서는 평가를 및 문항 구성 등에서 크고 작은 변화가 나타났다. TIMSS 2019에서는 컴퓨터 기반 평가를 도입하고 희망하는 국가에 한하여 실시하도록 하였는데, 우리나라의 경우 지필 평가와 컴퓨터 기반 평가를 병행하여

Table 3. Components of assessment items in the Grade 4 of TIMSS 2019 Mathematics Assessment (Park *et al.*, 2019)

문항군 종수	전체	내용 영역			인지 영역			문항 유형	
		수	측정과 기하	자료	알기	적용하기	추론하기	선다형	구성형
16종 (신규 6종, 추이 8종, PSIs 2종)	204 문항	104문항 (51.0%)	57문항 (27.9%)	43문항 (21.1%)	69문항 (33.8%)	88문항 (43.1%)	47문항 (23.0%)	74문항 (36.3%)	130문항 (63.7%)

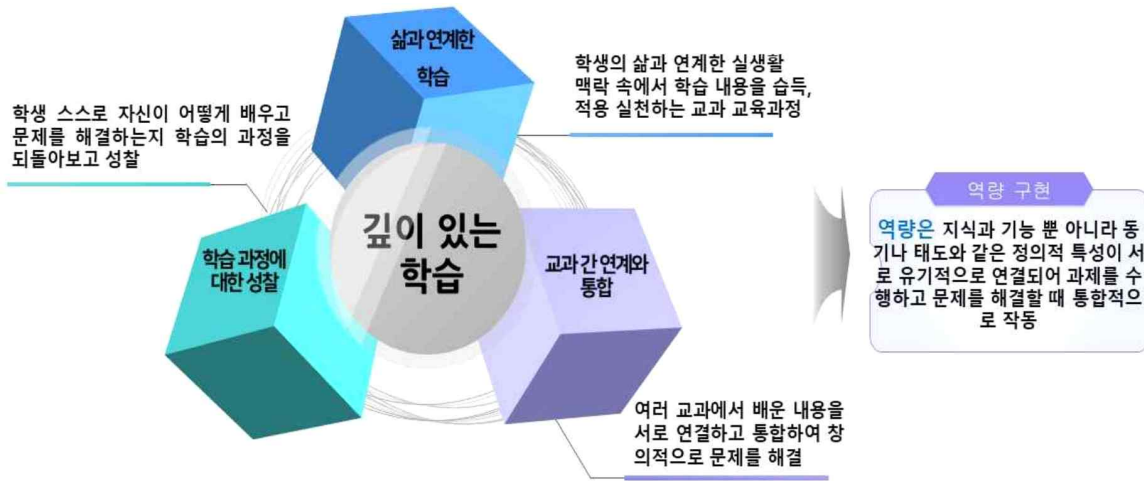


Figure 1. Key Areas of Subject Education for Competency Development (MOE, 2021, p. 33)

실시하였다. 아울러 앞서 언급한 바와 같이 TIMSS 2019에서는 컴퓨터 기반 평가에 한하여 학생들의 문제해결 및 탐구 능력을 평가할 수 있는 새로운 문항 유형인 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 도입하였다.

TIMSS에서 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)의 도입은 최근 학교 교육에서 강조하고 있는 역량 교육과 융합 교육을 반영한 시도로 볼 수 있다. 역량 교육과 융합 교육의 강조는 우리나라 수학과 교육과정에서도 나타나고 있다. 우리나라에서는 2015 개정 수학과 교육과정에서 수학 교과목의 특성을 반영하여 문제해결, 추론, 창의·융합, 의사소통, 정보처리, 태도 및 실천의 6가지 수학 교과 역량을 도입하였고(MOE, 2015, p.4), 2022 개정 수학과 교육과정에서는 수학 교과 역량을 문제해결, 추론, 의사소통, 연결, 정보처리로 조정하고, 이를 아우르는 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도를 수학과 교육과정 전반에 걸쳐 강조하고 있다(MOE, 2022a, p.5). 아울러 최근 고시된 2022 개정 교육과정에서는 Figure 1과 같이 깊이 있는 학습을 위해 교과 간 연계와 통합, 삶과 연계한 학습, 학습 과정에 대한 성찰을 강조하고 있다(MOE, 2022b, p.7). 이를 위해 핵심 아이디어를 중심으로 학습 내용을 적정화하고, 교과 내 영역 간 내용 연계성을 강화하며, 학생의 삶과 연계한 실생활 맥락 속에서 깊이 있는 학습을 지원하고자 하였다. 또한 다양한 문제해결 상황에서 학생 스스로 문제를 인식하고 해결 방법을 탐구하여 자신만의 방식으로 과정을 실천하는 학습자 주도성을 강조하고, 학습 내용뿐만 아니라 준비와 태도, 학생 간의 상호작용, 사고 및 학생의 변화 등을 지속해서 평가하는 등 학습 과정을 중시하는 평가와 개별 맞춤형 피드백 등을 강화하고자 하였다(MOE, 2022b, p. 7).

TIMSS 2019에서 도입한 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)는 평가에서 역량 교육과 융합 교육을 반영한

사례로 볼 수 있다. TIMSS 2019 초등학교 4학년 수학 평가에서는 새롭게 도입된 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)와 관련해서 두 개의 문항군을 평가하였는데, 이 중 한 개의 문항군을 공개하고 있다. Figure 2는 TIMSS 2019 초등학교 4학년 수학 평가 문제해결 및 탐구 과제(PSIs) 공개 문항군의 장면별 문항을 나타낸 것이다. 이 문항군은 9개의 장면으로 구성되어 있는데, 이 중 장면 1은 ‘학교 축제’라는 주제를 소개하는 장면, 마지막인 장면 9는 이 문항군을 마무리하는 장면이다. 장면별로 하위 문항(A, B)이 있는 문항도 있는데, 분석은 하위 문항 단위로 실시하였다.

Table 4는 TIMSS 2019 초등학교 4학년 수학 평가에서 공개한 PSIs 문항군에 대한 정보를 나타낸 것이다. 이 문항군은 ‘학교 축제’라는 주제와 연계하여 학교 축제 입장권 가격, 입장권 판매, 장식품, 피자 가격, 과일, 음료수, 입장권 가격 조정의 상황으로 개별 평가 문항을 구성하고 있다. 이 문항군은 ‘수’ 영역과 ‘자료’ 영역을 통합해서 문항군을 구성하였는데, ‘수’ 영역에서는 ‘범자연수’, ‘식·방정식·관계’, ‘분수와 소수’, ‘범자연수’의 하위 주제 영역으로 문항을 구성하였고, ‘자료’ 영역에서는 ‘읽기·해석하기·표현하기’, ‘자료 이용하여 문제 해결하기’의 하위 주제 영역으로 문항을 구성하였다. 인지 영역에서는 ‘알기’, ‘적용하기’, ‘추론하기’가 모두 통합되었는데, ‘알기’ 영역 문항은 두 문항인 반면에, ‘적용하기’ 영역과 ‘추론하기’ 영역이 대부분의 문항을 차지하고 있다. 또 문항 유형은 모두 구성형으로 구성되어 있다. 이것으로 볼 때 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)는 여러 개의 내용 영역과 인지 영역을 통합해서 문항을 구성하고 있으며, 개별 문항도 단순한 수학 개념이나 원리 등을 암기하고 회상하는 문항보다는 수학 개념이나 원리 등을 적용하거나 추론하는 문항으로 구성되어 있다.





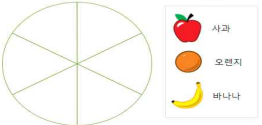
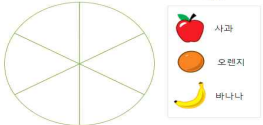
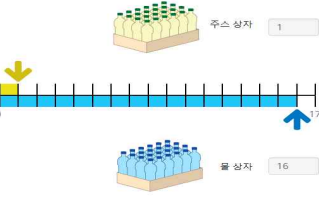
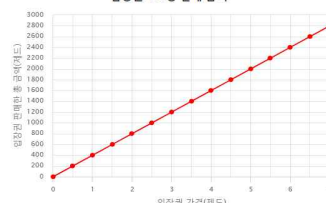
<p>장면 2</p> <p>입장권 가격</p>  <p>A. 작년엔 우리 반은 1장 가격이 6 제도의 입장권을 400장 팔았습니다. 작년엔 우리 반이 입장권을 판매해서 번 돈은 얼마입니까? 답: <input type="text"/> 제도</p> <p>B. 올해 우리 반은 입장권 1장 가격을 6.5 제도로 올리려고 합니다. 올해 입장권 400장을 판다면, 입장권을 판매해서 번 수 있는 돈은 작년보다 얼마나 더 많습니까? 이 값을 계산하는 방법 2가지를 고르시오.</p> <p><input type="text"/> $400 \times (6.5 + 6)$</p> <p><input type="text"/> $400 \times (6.5 - 6)$</p> <p><input type="text"/> $(400 \times 6.5) - (400 \times 6)$</p> <p><input type="text"/> $400 \times (6.5 - 6)$</p> <p><input type="text"/> $400 \times (6.5 - 6)$</p>	<p>장면 3</p> <p>입장권 판매</p> <p>우리 반 친구 한 명이 12장의 입장권을 판매하였는데, 그 중 $\frac{1}{3}$을 4학년 학생들에게 판매하였습니다.</p> <p>다음 입장권의 $\frac{1}{3}$을 클릭하십시오.</p> 	<p>장면 4</p> <p>장식품</p> <p>50 제도로 여러 가지 장식품을 사려고 합니다. 50 제도를 최대한 많이 사용하십시오. 어느 장식품을 살 것인지 선택하십시오. (한 가지 종류 이상의 장식품을 선택할 수 있습니다.)</p> 	<p>장면 5</p> <p>피자 가격</p> <p>여러분은 어떤 크기의 피자를 구입할지 결정해야 합니다.</p> <p>A. 라지 피자 또는 엑스트라 라지 피자를 선택하는 경우, 400명이 먹을 수 있는 피자의 수를 반 칸에 부르시오. 전체 가격은 자동으로 계산됩니다.</p> <table border="1" data-bbox="1165 324 1492 481"> <thead> <tr> <th>피자 크기</th> <th>400명이 먹을 수 있는 피자의 수</th> <th>전체 가격 (제도)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>스몰 7인용</td> <td>400</td> <td>500.00</td> </tr> <tr> <td>미디엄 4인용</td> <td>100</td> <td>520.00</td> </tr> <tr> <td>라지 2인용</td> <td><input type="text"/></td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>엑스트라 라지 2인용</td> <td><input type="text"/></td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table> <p>B. 피자를 많이 옮겨서 가격이 낮은 것부터 높은 것의 순서대로 놓으시오.</p> 	피자 크기	400명이 먹을 수 있는 피자의 수	전체 가격 (제도)	스몰 7인용	400	500.00	미디엄 4인용	100	520.00	라지 2인용	<input type="text"/>	0.00	엑스트라 라지 2인용	<input type="text"/>	0.00	
피자 크기	400명이 먹을 수 있는 피자의 수	전체 가격 (제도)																	
스몰 7인용	400	500.00																	
미디엄 4인용	100	520.00																	
라지 2인용	<input type="text"/>	0.00																	
엑스트라 라지 2인용	<input type="text"/>	0.00																	
<p>장면 6</p> <p>과일</p> <p>학교 축제에 필요한 과일을 사려고 합니다. 우리 반 학생은 모두 30명입니다. 선생님께서는 학생들에게 무슨 과일을 가장 좋아하는지 물어보았습니다. 그 결과는 다음과 같습니다.</p> <table border="1" data-bbox="159 806 391 884"> <thead> <tr> <th>과일</th> <th>학생 수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>사과</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>오렌지</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>바나나</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table> <p>A. 위 결과를 원 그래프로 나타내시오. 과일 그림을 해당하는 영역에 붙여다 옮기시오.</p>  <p>B. 여러분은 과일 400개를 사려고 합니다. 위 결과를 바탕으로, 사과는 몇 개를 사야합니까? 답: <input type="text"/> 개</p>	과일	학생 수	사과	15	오렌지	10	바나나	5	<p>장면 6</p> <p>과일</p> <p>학교 축제에 필요한 과일을 사려고 합니다. 우리 반 학생은 모두 30명입니다. 선생님께서는 학생들에게 무슨 과일을 가장 좋아하는지 물어보았습니다. 그 결과는 다음과 같습니다.</p> <table border="1" data-bbox="494 806 726 884"> <thead> <tr> <th>과일</th> <th>학생 수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>사과</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>오렌지</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>바나나</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table> <p>A. 위 결과를 원 그래프로 나타내시오. 과일 그림을 해당하는 영역에 붙여다 옮기시오.</p>  <p>B. 여러분은 과일 400개를 사려고 합니다. 위 결과를 바탕으로, 사과를 몇 개를 사야합니까? 답: <input type="text"/> 개</p>	과일	학생 수	사과	15	오렌지	10	바나나	5	<p>장면 7</p> <p>음료수</p> <p>물과 주스는 1상자에 24병씩 들어있습니다. 400명이 마시려면 17상자가 필요합니다.</p> <p>A. 주스를 마시고 싶은 학생은 100명입니다. 주스 상자를 될 수 있는 한 가장 적게 구입하여, 주스를 마시고 싶어하는 학생 모두에게 주스를 주려고 합니다. 최신표 \downarrow 을 끌어 옮겨 구입해야 하는 주스 상자의 수를 나타내시오.</p>  <p>B. 주스 1상자의 가격은 20 제도이고, 물 1상자의 가격은 10 제도입니다. 구입해야 하는 17상자의 가격은 모두 얼마입니까? 답: <input type="text"/> 제도</p>	<p>장면 8</p> <p>입장권 가격 조정</p> <p>우리 반은 입장권 400장을 판매하려고 합니다. 그래프를 이용하여 다음 질문에 답하십시오.</p> <p>A. 입장권 1장 가격이 6.5 제도이면, 우리 반이 번 수 있는 돈은 얼마입니까? 답: <input type="text"/> 제도</p> <p>B. 학교 축제를 진행하는데 2200 제도가 필요합니다. 학교 축제를 진행하는데 필요한 비용을 충당할 수 있는 최소한의 입장권 가격은 얼마입니까? 답: <input type="text"/> 제도</p> 
과일	학생 수																		
사과	15																		
오렌지	10																		
바나나	5																		
과일	학생 수																		
사과	15																		
오렌지	10																		
바나나	5																		

Figure 2. Scene-based items of the PSIs Public Item Pool in the Grade 4 of TIMSS 2019 Mathematics Assessment

Table 4. Information about the PSIs Public Item Pool for Grade 4 of TIMSS 2019 Mathematics Assessment (Seo *et al.*, 2021)

주제	장면	문항 번호	상황	내용 영역	하위 주제	인지 영역	문항 유형
학교 축제	1		학교 축제		과제 상황 소개		
	2	2-A	입장권 가격	수	범자연수	적용하기	구성형
		2-B	입장권 가격	수	식·방정식·관계	적용하기	구성형
	3	3	입장권 판매	수	분수와 소수	적용하기	구성형
	4	4	장식품	수	범자연수	적용하기	구성형
		5	5-A	피자 가격	수	범자연수	적용하기
	5-B	피자 가격	수	범자연수	알기	구성형	
	6	6-A	과일	자료	읽기·해석하기·표현하기	적용하기	구성형
		6-B	과일	자료	자료 이용하여 문제 해결하기	추론하기	구성형
7	7-A	음료수	수	범자연수	추론하기	구성형	
	7-B	음료수	수	범자연수	추론하기	구성형	
8	8-A	입장권 가격 조정	자료	읽기·해석하기·표현하기	알기	구성형	
	8-B	입장권 가격 조정	자료	자료 이용하여 문제 해결하기	추론하기	구성형	
9		학교 축제			과제 마무리		

Ⅲ. 연구 방법

1. 조사 대상

앞서 언급한 바와 같이 TIMSS 2019에서는 기존의 지필 평가와 더불어 컴퓨터 기반 평가를 병행 실시하여 참여국에서 평가 방식을 선택하도록 하였다. 우리나라의 경우 지필 평가와 컴퓨터 기반 평가를 모두 실시하였는데, 본 연구에서 분석하는 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)는 컴퓨터 기반 평가에만 포함되어 있어 국가별로 TIMSS 2019 초등학교 4학년 학생 수가 차이가 있다. Table 5는 TIMSS 2019 수학 평가에서 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 참여한 국가별 초등학교 4학년 학생 수를 나타낸 것이다. 표를 보면, 우리나라를 포함한 30개국에서 국가별로 400~2000명의 초등학교 4학년 학생들이 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 참여하였다.

Table 6은 TIMSS 2019 수학 평가에서 PSIs에 참여한 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 배경 변인을 나타낸 것이다. TIMSS는 평가 주관 기관인 IEA에서 제공하는 표집 방법 및 절차에 따라 평가 대상 학생을 표집하는 데, 표집된 우리나라 학생의 성별, 지역 규모별 분포는 아래 표와 같다. 성별에서는 여학생의 수가 남학생에 비해 많지만 그 차이가 크지 않은 반

면에, 지역 규모에 따라서는 학생 수 차이가 크고 특히 읍면지역 학생 수가 매우 적어 결과 해석 시 주의가 필요하다. 그래서 본 연구에서는 전체와 성별을 중심으로 분석 결과를 제시하였다.

2. 분석 방법

TIMSS 2019 수학 평가 초등학교 4학년 학생들의 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대한 결과는 크게 전체 분석과 문항별 분석으로 구분할 수 있다. 전체 분석에서는 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 참여한 국가들을 대상으로 PSIs를 포함한 학업성취도 평균과 PSIs를 제외한 학업성취도 평균을 비교하여 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대한 학생들의 학업성취 특성을 살펴보았다. TIMSS에서 학생들의 학업성취도는 평균 500, 표준편차 100인 척도 점수로 변환하는데, 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 포함한 평균과 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 제외한 평균은 이러한 척도 점수의 평균을 나타낸다.

문항별 분석에서는 12개의 하위 문항 중 일부 대표 문항을 선정하여 채점 기준과 응답 비율, 국가별 정답률, 성취수준별 정답률을 제시하였다. 채점 기준과 응답 비율은 IEA에서 발행한 TIMSS 2019 PSIs 결과 보고서(Mullis *et al.*, 2021)를 참조하여 채점 기준을

Table 5. 4th Grade Students Who Participated in PSIs of the TIMSS 2019 by Country

참여국	학생 수(명)	참여국	학생 수(명)	참여국	학생 수(명)
네덜란드	476	스웨덴	570	칠레	601
노르웨이	576	스페인	1,391	카타르	713
대만	530	슬로바키아	615	캐나다	1,929
대한민국	553	싱가포르	853	크로아티아	666
덴마크	466	아랍에미리트	3,681	터키	571
독일	496	영국	476	포르투갈	615
러시아 연방	574	오스트리아	633	프랑스	606
리투아니아	524	이탈리아	528	핀란드	667
몰타	524	조지아	529	헝가리	656
미국	1,253	체코	666	홍콩	418

Table 6. Background of 4th Grade Students in Korean Elementary Schools Who Participated in the TIMSS 2019 Mathematics Assessment PSIs

구분	전체	성별		지역 규모*		
		남	여	대도시	중소도시	읍면지역
학생 수(명)	553	265	288	313	216	24
비율(%)	100.0	47.9	52.1	56.6	39.1	4.3

* 대도시: 인구 50만 명 초과, 중소도시: 인구 5만 명 초과 50만 명 이하, 읍면지역: 인구 5만 명 이하

정리하고, 코드별 학생 응답 비율을 정리하였다. 또 국가별 정답률은 TIMSS나 PISA와 같은 국제 학업성취도 평가에서 학생들의 학업성취도가 상위권인 국가(싱가포르, 대만, 핀란드)와 비록 학생들의 학업성취도가 높지는 않으나 우리나라 수학교육에 시사점을 제공할 수 있는 국가(미국, 영국)를 선정하여 우리나라 학생들의 학업성취도와 비교하였다. 이들 국가의 결과는 Mullis *et al.* (2021)에서 발췌하여 재구성하였다. 마지막으로 성취수준별 정답률은 우리나라 학생들의 학업성취 특성을 분석하는 데 중점을 두고, 학생들의 학업성취도를 수월 수준, 우수 수준, 보통 수준, 기초 수준 이하로 구분하여 전체뿐만 아니라 성별 결과를 제시하였다. TIMSS에서 학생들의 학업성취도는 수월, 우수, 보통, 기초, 기초 미만으로 구분하고 있는데, 이는 학생들의 학업성취도 척도 점수를 근거로 수월 수준 625점 이상, 우수 수준 550점 이상 624점 미만, 보통 수준 475점 이상 549점 미만, 기초 수준 400점 이상 474점 미만, 기초 미만 400점 이하로 규정하고 있다(Seo *et al.*, 2022, p. 179). 그런데 우리나라의 경우 기초 미만에 해당하는 학생들이 매우 적어 본 연구에서는 기초 수준과 기초 미만을 기초 수준 이하로 통합하여 제시하였다.

IV. 결과 분석

1. 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대한 학업성취도 국제 비교

앞서 언급한 바와 같이 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)는 컴퓨터 기반 평가를 실시한 국가에서 일부 학생들이 참여하였기 때문에 TIMSS 2019에서는 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 제외한 학업성취도 점수를 산출하여 국제 비교 결과를 발표하고, 이후 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 참여한 국가를 대상으로 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 포함한 학업성취도 점수를 다시 산출하여 국제 비교 결과를 발표하였다(Seo *et al.*, 2022, p. 178).

Table 7은 문제해결 및 탐구 과제(PSIs) 포함 여부에 따른 참여국의 초등학교 4학년 학업성취도 평균을 비교한 것이다. 표를 보면, 국제 평균은 문제해결 및 탐구 과제(PSIs) 포함 여부와 관계 없이 동일하게 나타났다. 문제해결 및 탐구 과제(PSIs) 참여국 30개 중 13개 국가는 학업성취도 평균에 변화가 없었고, 10개 국은 학업성취도 평균이 상승하였으며, 7개국은 학업성취도 평균이 하락하였다. 국제 평균 이하인 국가에서는 학업성취도 평균에 변화가 없거나 상승한 국가

Table 7. Comparison of Average Achievement Scores of 4th Graders in Participating Countries by PSIs Inclusion (Mullis *et al.*, 2021, p. 8)

국 가	PSIs 제외 평균	PSIs 포함 평균	차 이	국 가	PSIs 제외 평균	PSIs 포함 평균	차 이
싱가포르	625 (3.9)	623 (3.8)	-3 (0.3)	헝가리	523 (2.6)	524 (2.6)	1 (0.4)
홍 콩	602 (3.3)	601 (3.3)	-1 (0.5)	터 키	523 (4.4)	521 (4.5)	-1 (0.4)
대한민국	600 (2.2)	599 (2.2)	-1 (0.5)	스웨덴	521 (2.8)	522 (2.8)	1 (0.5)
대 만	599 (1.9)	598 (1.8)	-1 (0.4)	독 일	521 (2.3)	521 (2.2)	0 (0.5)
러시아 연방	567 (3.3)	567 (3.2)	0 (0.4)	이탈리아	515 (2.4)	514 (2.3)	0 (0.4)
영 국	556 (3.0)	557 (2.8)	1 (0.6)	캐나다	512 (1.9)	512 (1.8)	0 (0.2)
노르웨이	543 (2.2)	544 (2.2)	1 (0.5)	슬로바키아	510 (3.5)	511 (3.3)	2 (0.4)
리투아니아	542 (2.8)	542 (2.8)	0 (0.4)	크로아티아	509 (2.2)	510 (2.1)	1 (0.4)
오스트리아	539 (2.0)	539 (2.0)	0 (0.3)	말 타	509 (1.4)	509 (1.4)	0 (0.6)
네덜란드	538 (2.2)	539 (2.1)	1 (0.4)	스페인	502 (2.1)	503 (2.1)	1 (0.6)
미 국	535 (2.5)	534 (2.5)	-1 (0.3)	프랑스	485 (3.0)	485 (3.0)	0 (0.5)
체 코	533 (2.5)	533 (2.4)	0 (0.5)	조지아	482 (3.7)	482 (3.6)	0 (0.6)
핀란드	532 (2.3)	532 (2.2)	0 (0.5)	아랍에미리트	482 (3.7)	482 (3.6)	0 (0.6)
국제 평균	528 (0.5)	528 (0.5)	0 (0.1)	카타르	449 (3.4)	449 (3.4)	0 (0.5)
포르투갈	525 (2.6)	524 (2.6)	-1 (0.4)	칠 레	441 (2.7)	442 (2.7)	1 (0.4)
덴마크	525 (1.9)	526 (1.9)	2 (0.4)				

※ 성취도 점수는 평균 500, 표준편차 100인 척도 점수임. 모든 수는 반올림하여 정수 범위에서 나타내었음.

가 많은 반면에, 국제 평균 이상인 국가에서는 학업성취도 평균이 하락한 국가가 다수 나타났고, 가장 많이 하락한 국가는 싱가포르로 3점 하락하였다. 우리나라는 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 포함하였을 때 학업성취도 평균이 1점 하락하였으나 문제해결 및 탐구 과제(PSIs) 포함 여부와 관계 없이 학업성취도 평균이 참여국 중 3위를 차지하여 학업성취도가 매우 높은 것을 볼 수 있다.

Table 8은 우리나라 초등학교 4학년 문제해결 및 탐구 과제(PSIs) 하위 문항별 정답률을 나타낸 것이다. 먼저 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대한 우리나라 학생들의 전체 정답률이 높지 않음을 볼 수 있다. 표를 보면, 정답률을 제시한 11개의 하위 문항 중 정답률이 50% 이상인 문항(음영으로 표시)은 5개에 불과하고, 정답률이 60~80%로 높지 않게 나타났다. 정답률이 50% 미만인 나머지 문항은 정답률이 10~40%로 매우 낮게 나타났다. 다음으로 성별 정답률을 보면, 11개의 하위 문항 중 한 문항을 제외한 모든 문항에서 남학생의 정답률이 높게 나타났고, 그중 9개의 하위 문항은 정답률 차이가 크게(5% 이상) 나타난 반면에, 여학생의 정답률이 높은 문항에 대해서는 그 차이가 크지 않았다. 마지막으로 성취수준별 정답률은 차이가 매우 크게 나타났다. 이러한 경향성은 전체 정답률이 높은 문항보다는 전체 정답률이 낮은 문항에서 더욱 분명하게 나타났다.

2. 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대한 학업성취도 국제 비교

다음에서는 ‘학교 축제’에 대한 일부 하위 문항에 대해서 우리나라 학생들의 학업성취 특성을 분석하였다. 지면상의 제한으로 인해 본 연구에서는 7개의 장면 중 3개의 장면을 선택하여 하위 문항별로 학생들이 학업성취 특성을 분석하였다.

1) 장면 2: 입장권 가격

장면 2는 학교 축제의 입장권 가격에 대한 문항으로, 두 개의 하위 문항으로 구성되어 있다. 먼저 2A는 작년 학교 축제에서 판매한 입장권 판매 금액을 구하는 문항으로, 내용 영역은 ‘수’ 영역 ‘범자연수’, 인지 영역은 ‘적용하기’인 구성형 문항이다. 작년 입장권 가격이 6제드이므로 400장을 팔았을 때 이익은 자연수의 곱셈인 $6 \times 400 = 2400$ (제드)이다.

우리나라 전체 정답률은 73%, 남학생 76%, 여학생 71%로, 남학생의 정답률이 높게 나타났다. 우리나라 정답률은 국제 평균보다 약 30% 높게 나타났고, TIMSS 2019 수학 평가에서 우리나라와 학업성취가 유사한 대만이나 싱가포르에 비해서도 정답률이 15% 이상 높게 나타났다. 성취수준별 정답률을 보면, 수월 수준은 94.3%로 매우 높게 나타난 반면에, 우수 수준 77.4%, 보통 수준 42.0%, 기초수준 이하 15.2%로 나

Table 8. Item-level Correct Response Rates of PSIs for 4th Graders in Korean Elementary Schools

주 제	장 면	문항 번호	상 황	전체 정답률	성별 정답률		성취수준별 정답률			
					남학생	여학생	수월 수준	우수 수준	보통 수준	기초 수준 이하
학 교 축 제	2	2-A	입장권 가격	75.9	76.0	70.8	94.3	77.4	42.0	15.2
		2-B	입장권 가격	30.6	34.0	26.8	52.9	25.0	12.4	5.6
	3	3	입장권 판매	71.5	74.4	68.3	93.2	73.2	39.7	31.7
	4	4	장식품	64.4	65.4	63.3	77.6	67.9	42.7	24.4
	5	5-A	피자 가격	37.1	40.0	33.9	72.7	28.6	6.5	0.0
		5-B	피자 가격*							
	6	6-A	과일	80.6	80.1	81.1	93.2	83.6	62.9	30.9
		6-B	과일	27.8	32.3	22.9	51.3	21.7	8.9	2.6
	7	7-A	음료수	24.4	25.8	22.9	47.3	19.6	3.1	0.0
		7-B	음료수	37.1	41.7	31.9	70.7	28.7	9.1	0.0
	8	8-A	입장권 가격 조정	21.4	25.0	17.4	50.4	11.6	1.5	0.0
8-B		입장권 가격 조정	13.1	16.4	9.4	33.9	4.9	1.0	0.0	

* 이 문항에 대해서는 TIMSS 2019 PSIs 결과 보고서인 Mullis *et al.* (2021)에서 평가 결과를 제시하고 있지 않음.

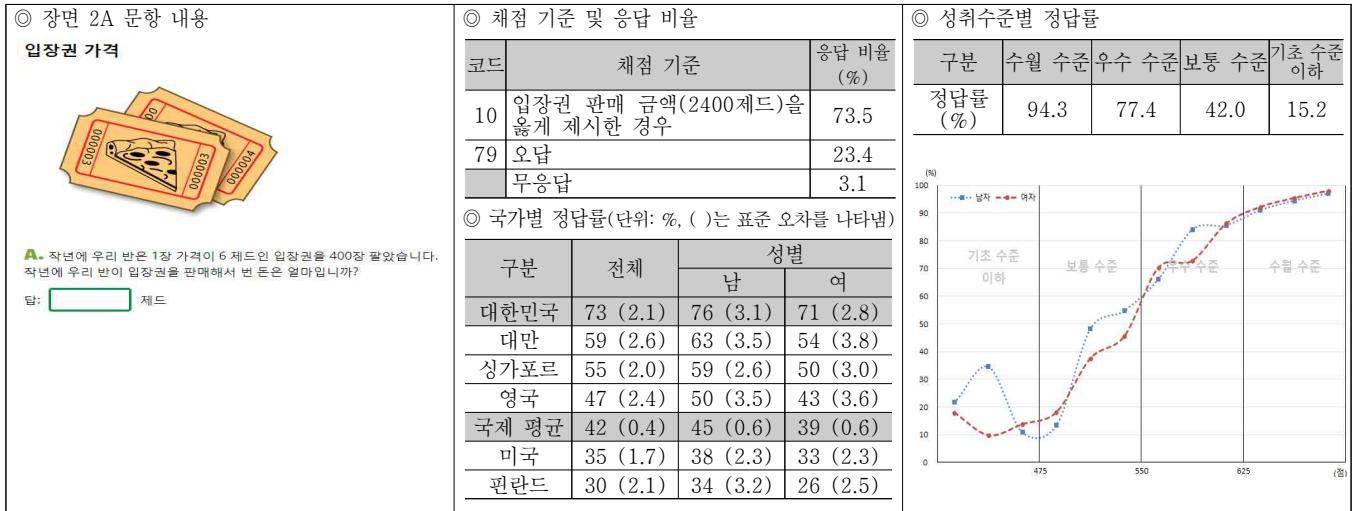


Figure 3. Analysis of Scene 2A Item

타났다. 이 문제는 간단한 자연수 곱셈을 적용하여 해결함에도 불구하고 기초 수준 이하의 정답률은 매우 낮게 나타났는데, 이것은 학생들이 문제 상황을 이해하지 못하였거나 적절한 연산을 선택하지 못하였기 때문으로 보인다. 남학생과 여학생의 성취수준별 정답률을 보면, 우수 수준, 보통 수준, 기초 수준 이하에서는 남학생의 정답률 변화가 크게 나타난 반면, 수월 수준에서는 남학생과 여학생의 정답률 차이가 거의 나타나지 않았다.

2B는 2A와 연계해서 입장권 가격이 올랐을 때 작년에 비해 늘어난 이익을 구하는 식을 찾는 문항으로, 내용 영역은 ‘수’ 영역 ‘식·방정식·관계’, 인지 영역은 ‘적용하기’인 구성형 문항이다. 작년에 비해 늘어난 입장권 판매 이익은 올해 입장권 판매 이익에서 작년의 입장권 판매 이익을 빼서 구할 수도 있고

((400×6.5)−(400×6)), 올해와 작년의 입장권 한 장의 가격 차를 먼저 구한 후 판매한 입장권의 수를 곱해서 구할 수도 있다(400×(6.5−6)).

우리나라 전체 정답률은 26%, 남학생 정답률은 29%, 여학생 정답률은 22%로, 이전 문항과 비교했을 때 정답률이 매우 낮게 나타났고, 이전 문항과 마찬가지로 남학생의 정답률이 여학생에 비해 높게 나타났다. 국제 평균은 14%로, 다른 국가들도 우리나라와 마찬가지로 정답률이 낮게 나타났으나 우리나라를 제외한 다른 국가에서는 남학생과 여학생의 정답률 차이가 크지 않은 것을 볼 수 있다. 한편 싱가포르는 우리나라에 비해 정답률이 약 9% 높게 나타났고, 남학생과 여학생의 정답률 차이가 나타나지 않았다.

우리나라 학생들의 정답률이 낮은 것은 문항 유형이 학생들에게 익숙하지 않은 점 이외에도 문제 상황

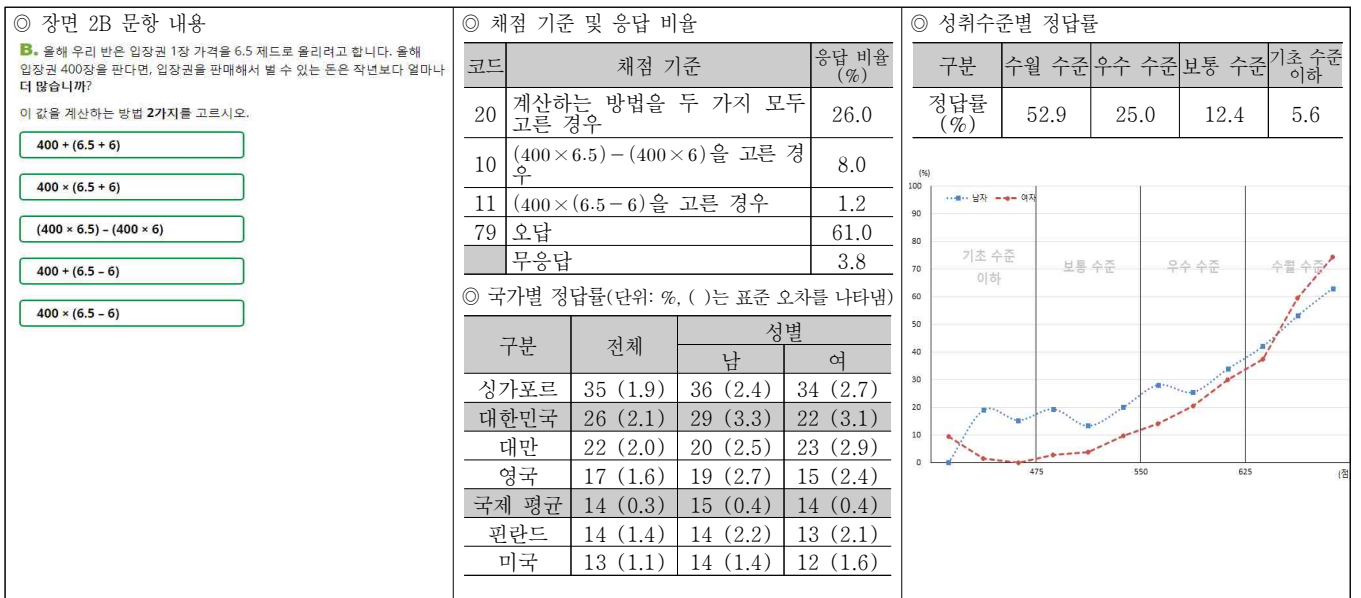


Figure 4. Analysis of Scene 2B Item

을 식으로 나타내는 것을 어려워한다는 점을 들 수 있다. 두 가지 식을 모두 선택하기 위해서는 앞서 제시한, 문제를 해결하는 두 가지 접근을 모두 파악하고 이를 식으로 나타내거나 두 가지 식 중 어느 한 가지 식을 구한 후 결합법칙이나 분배법칙과 같은 연산의 성질을 이용하여 동치인 식을 찾아야 한다. 그런데 우리나라에서는 초등학교에서 결합법칙이나 분배법칙과 같은 연산의 성질을 지도하지 않기 때문에 학생들은 문제를 해결하는 두 가지 식을 선택하는 데 어려움이 있었을 것으로 보인다.

한편 성취수준별 정답률을 보면, 성취수준별로 정답률 차이가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 수월 수준 52.9%, 우수 수준 25.0%, 보통 수준 12.4%, 기초 수준 이하 5.6%로, 각 성취수준의 정답률은 상위 수준 정답률의 1/2에 불과한 것을 볼 수 있다. 우수 수준, 보통 수준, 기초 수준 이하에서는 남학생의 정답률이 높게 나타났고, 특히 보통 수준과 기초 수준 이하에서는 남학생과 여학생의 정답률 차이가 크게 나타났으나 우수 수준에서는 이러한 차이가 점차 줄어들었고, 수월 수준에서는 여학생의 정답률이 크게 상승하여 남학생보다 높아지는 것을 볼 수 있다.

2) 장면 4: 장식품

장면 4는 주어진 금액(50제드) 중 전체 또는 일부를 사용하여 가장 많은 장식품(풍선, 현수막, 조명, 꽃)을 가장 많이 구매하는 방법을 선택하는 문항으로, 내용 영역은 '수' 영역 '범자연수', 인지 영역은 '추론하기'인 구성형 문항이다. 장식품을 구매하는 여러 가지 방법 중 장식품의 가격을 합해서 50제드 이하인 경우는

'풍선', '현수막', '조명'을 선택한 경우(49제드), '풍선', '꽃'을 선택한 경우(48제드), '현수막', '조명', '꽃'을 선택한 경우(47제드) 등이며, 이중 구매 금액이 가장 큰 경우는 '풍선', '현수막', '조명'을 선택한 경우이다.

우리나라 전체 정답률은 56%, 남학생 57%, 여학생 55%로, 우리나라 전체, 남학생, 여학생 모두 국제 평균(60%)보다 정답률이 2~3% 낮게 나타난 것을 볼 수 있다. 그리고 다른 문항에서 정답률이 높게 나타났던 우리나라와 대만의 경우 국제 평균(60%)보다 정답률이 낮게 나타났고, 다른 문항에서 정답률이 낮게 나타났던 영국, 핀란드, 미국의 경우 국제 평균(60%)보다 정답률이 높게 나타났다. 이 문항에서 우리나라 정답률이 낮은 것은 문항 유형이 학생들에게 익숙하지 않다는 점을 들 수 있다. 이 문항은 두 자리 수 범위 덧셈을 적용하여 해결하는 데, 우리나라 수학과 교육과정에서는 이를 초등학교 2학년에서 지도하기 때문에 계산이 복잡해서 정답률이 낮게 나타난 것으로 보이는 않는다. 오히려 장식품을 구매하는 여러 가지 경우를 생각하고, 각 경우에 필요한 비용을 각각 계산하여 가장 큰 경우를 찾아야 하는데, 이 과정에서 학생들이 어려움을 겪은 것으로 보인다.

성취수준별 정답률을 보면, 수월 수준 77.6%, 우수 수준 67.9%, 보통 수준 42.7%, 기초 수준 이하 24.4%로, 다른 문항과 비교해서 수월 수준과 우수 수준의 정답률 차이가 크지 않고, 기초 수준 이하의 정답률도 다소 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 또 기초 수준 이하에서는 여학생의 정답률이 남학생에 비해 상당히 높지만 이후 남학생의 정답률이 크게 상승하여 이후 수준에서는 남학생과 여학생의 정답률 차이가 크지 않음을 볼 수 있다.

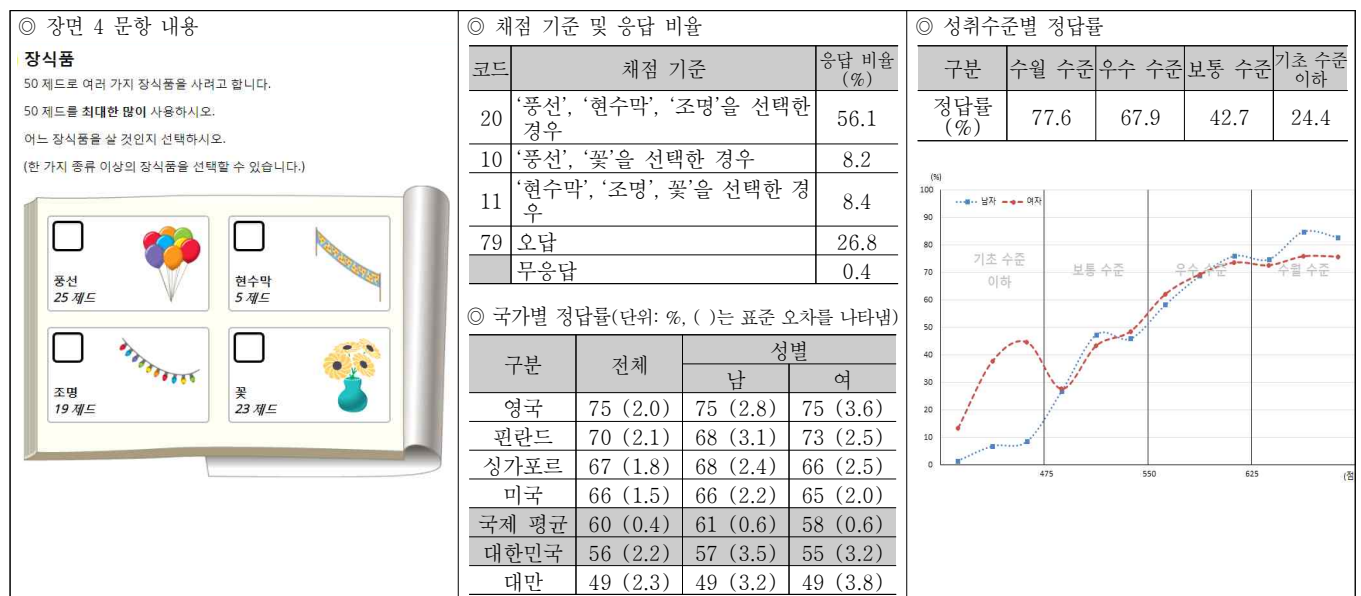


Figure 5. Analysis of Scene 4 Item

3) 장면 6: 과일

장면 6은 학생들이 좋아하는 과일을 조사하고, 그 결과를 토대로 학교 축제에 필요한 과일을 준비할 때 구매해야 하는 과일의 수를 구하는 문항으로, 두 개의 하위 문항으로 구성되어 있다. 먼저 6A는 학생 30명을 대상으로 좋아하는 과일을 조사한 결과를 원그래프로 나타내는 문항으로, 내용 영역은 '자료' 영역 '읽기·해석하기·표현하기', 인지 영역은 '적용하기'인 구성형 문항이다. 학생 30명이 좋아하는 과일을 6등분 된 원그래프에 나타내야 하므로 먼저 전체에 대한 각 과일(부분)의 비율을 구한다. 사과를 $\frac{15}{30} = \frac{1}{2}$, 오렌지는 $\frac{10}{30} = \frac{1}{3}$, 바나나는 $\frac{5}{30} = \frac{1}{6}$ 이고, 이를 6등분 된 원그래프에 나타내면 사과는 3칸, 오렌지는 2칸 바나나는 1칸을 차지한다. 한편 이 문제는 원그래프에 대한 문항이지만 이산량의 분수 개념(부분-전체)을 적용하여 전

체에 대한 각 과일(부분)을 분수로 나타낼 수도 있다.

우리나라 전체 정답률은 81%이고, 남학생과 여학생의 정답률도 동일하게 나타났다. 국제 평균은 65%로, 우리나라는 국제 평균보다 약 15% 높게 나타났다. 우리나라 수학과 교육과정에서 원그래프를 포함하는 비율그래프는 초등학교 5~6학년군(6학년)에서 지도하지만 3, 4학년에서 학습하는 전체에 대한 부분으로서의 분수 개념을 적용해서도 문제를 해결할 수 있기 때문에 정답률이 높게 나타난 것으로 보인다.

성취수준별 정답률을 보면, 수월 수준 93.2%로 매우 높게 나타났고, 우수 수준도 83.6%로 대체로 높으며, 보통 수준과 기초 수준 이하의 정답률도 다른 문항에 비해 높게 나타났다. 남학생과 여학생의 성취수준별 정답률을 보면, 보통 수준과 기초 수준 이하에서는 여학생의 정답률이 남학생에 비해 매우 높게 나타났으나, 수월 수준과 우수 수준에서는 큰 차이가 없게 나타났다.

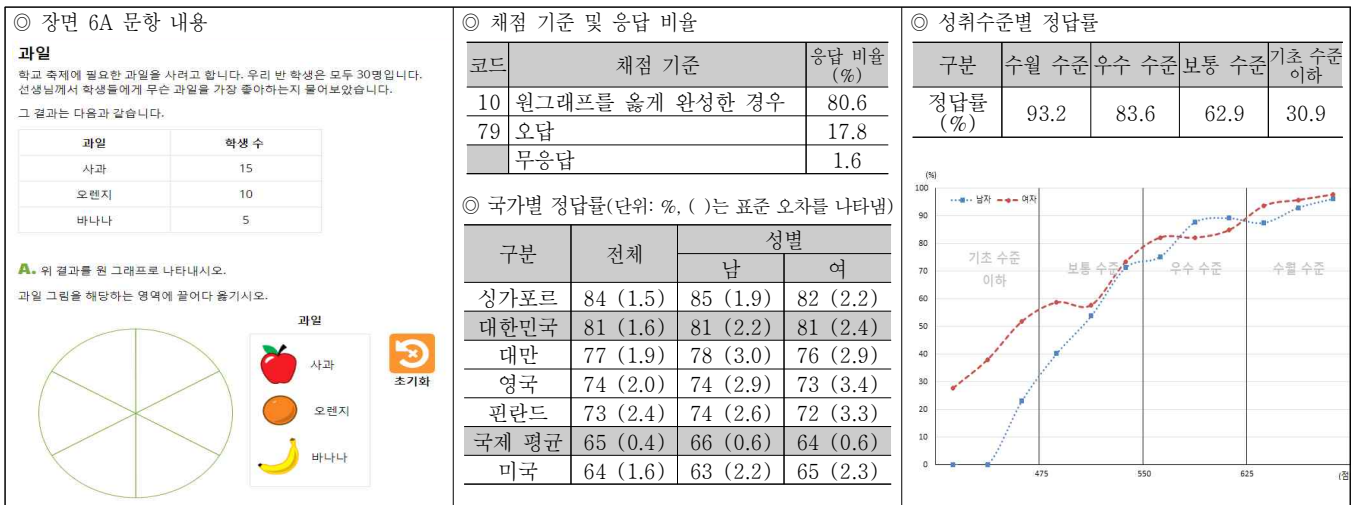


Figure 6. Analysis of Scene 6A Item

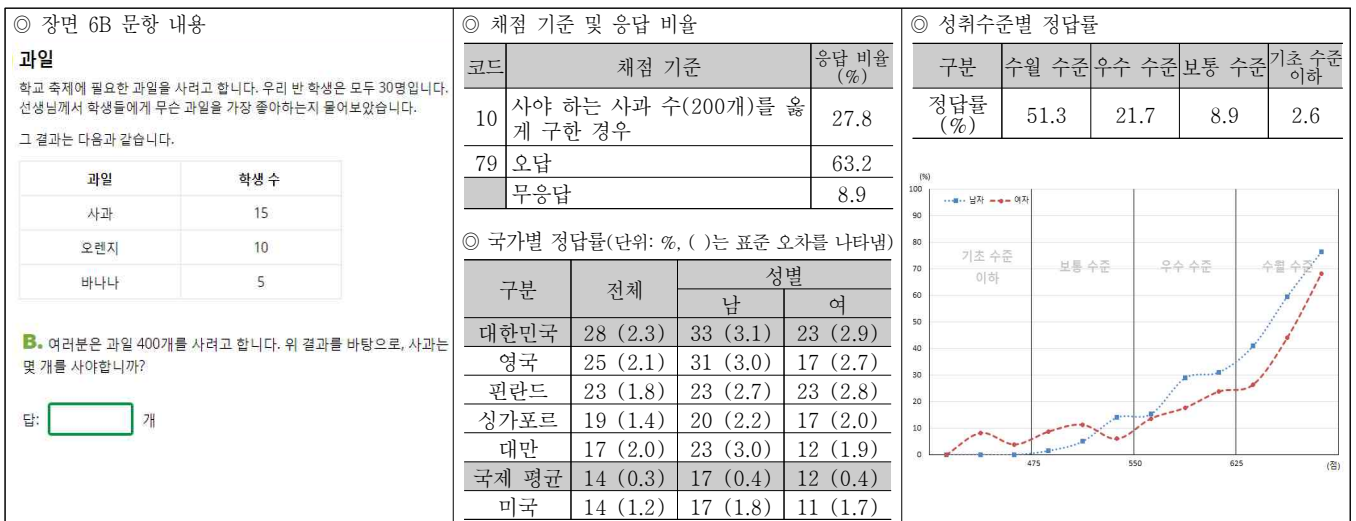


Figure 7. Analysis of Scene 6B Item

6B는 6A에서 구한 전체 과일에 대한 사과 비율(또는 분수)을 이용해서 전체 과일이 400개일 때 사과의 수를 구하는 문항으로, 이전 문항과 동일하게 내용 영역은 ‘자료’ 영역 ‘읽기·해석하기·표현하기’, 인지 영역은 ‘추론하기’인 구성형 문항이다. 전체 과일에 대한 사과의 비율(또는 분수)가 50%(또는 $\frac{1}{2}$)이므로 $400 \times 50\%$ 또는 $400 \times \frac{1}{2}$ 를 계산하면 된다. 또 전체에 대한 사과의 비율 50%(또는 $\frac{1}{2}$)에서 ‘반’을 추론한다면, 사과의 수는 400의 반인 200으로 쉽게 구할 수 있다.

그럼에도 불구하고 정답률은 매우 낮게 나타났다. 우리나라 전체 정답률은 28%이고, 남학생 정답률은 33%, 여학생 정답률은 23%로 남학생과 여학생의 정답률 차이가 매우 크게 나타났다. 이러한 경향은 국제 평균에서도 유사하게 나타났는데, 국제 평균은 우리나라보다 낮은 14%이고, 남학생 정답률이 여학생에 비해 높게 나타났다. 이 문항의 경우 다른 문항과 달리 영국과 핀란드의 정답률이 다른 국가들에 비해 높게 나타났다. 이것으로 볼 때 우리나라뿐만 아니라 다른 국가에서도 초등학교 4학년까지 비율그래프에 대한 지도가 이루어지지 않아 정답률이 낮게 낮음을 추론할 수 있다. 한편으로 다른 국가에 비해 영국과 핀란드의 정답률이 높게 나타난 원인을 탐색하는 것도 필요해 보인다.

성취수준별 정답률을 보면, 수월 수준 51.3%, 우수 수준 21.7%, 보통 수준 8.9%, 기초 수준 이하 2.6%로, 모든 수준에서 정답률이 낮게 나타났다. 또 남학생과 여학생의 성취수준별 정답률을 보면, 우수 수준, 보통 수준, 기초 수준 이하에서는 정답률이 서서히 상승하다가 수월 수준에서 급격하게 상승하는 것을 볼 수 있다. 이것은 수월 수준 학생 중 일부가 50%(또는

$\frac{1}{2}$)가 ‘반’임을 추론하였거나 선행학습을 통해 비율그래프를 학습하였기 때문일 수도 있다.

4) 장면 8: 입장권 가격 조정

장면 8은 학교 축제에서 판매하는 입장권 가격에 따라 전체 입장권 판매 금액이 변하는 그래프를 보고 특정한 입장권 가격이나 입장권 판매 금액을 구하는 문항으로, 두 개의 하위 문항으로 구성되어 있다. 먼저 8A는 입장권 가격이 6.5제드 일 때 전체 입장권 판매 금액을 구하는 문항으로, 내용 영역은 ‘자료’ 영역 ‘읽기·해석하기·표현하기’, 인지 영역은 ‘알기’인 구성형 문항이다.

문항에서 주어진 그래프는 x 좌표가 입장권 가격, y 좌표가 입장권 400장을 팔았을 때 판매 금액을 나타내는데, 그래프에 마우스를 올려놓으면 그래프의 좌표가 표시된다(그림 2) 참조). 그래프에서 마우스를 이동하면서 x 좌표가 6.5인 점을 찾으면 이때의 y 좌표가 입장권을 400장 팔았을 때의 판매 금액이다. 그런데 우리나라 2015 개정 수학과 교육과정에서는 이 문제를 해결하는 데 필요한 개념인 ‘좌표평면’, ‘그래프’, ‘정비례’ 등을 중학교 1~3학년군(1학년) [9수03-02] 다양한 상황을 그래프로 나타내고, 주어진 그래프를 해석할 수 있다., [9수03-03] 정비례, 반비례 관계를 이해하고, 그 관계를 표, 식, 그래프로 나타낼 수 있다.’를 통해 지도하여(MOE, 2015, p.32) 초등학교 4학년 학생들은 그래프를 이용하여 이 문제를 해결하는 데 큰 어려움이 있을 것으로 보인다. 한편 이 문항은 그래프나 좌표를 이용하지 않고도 해결할 수 있다. 즉 입장권 가격이 6.5제드이고, 입장권 400장을 판매하였을 때의 판매 금액은 소수의 곱셈인

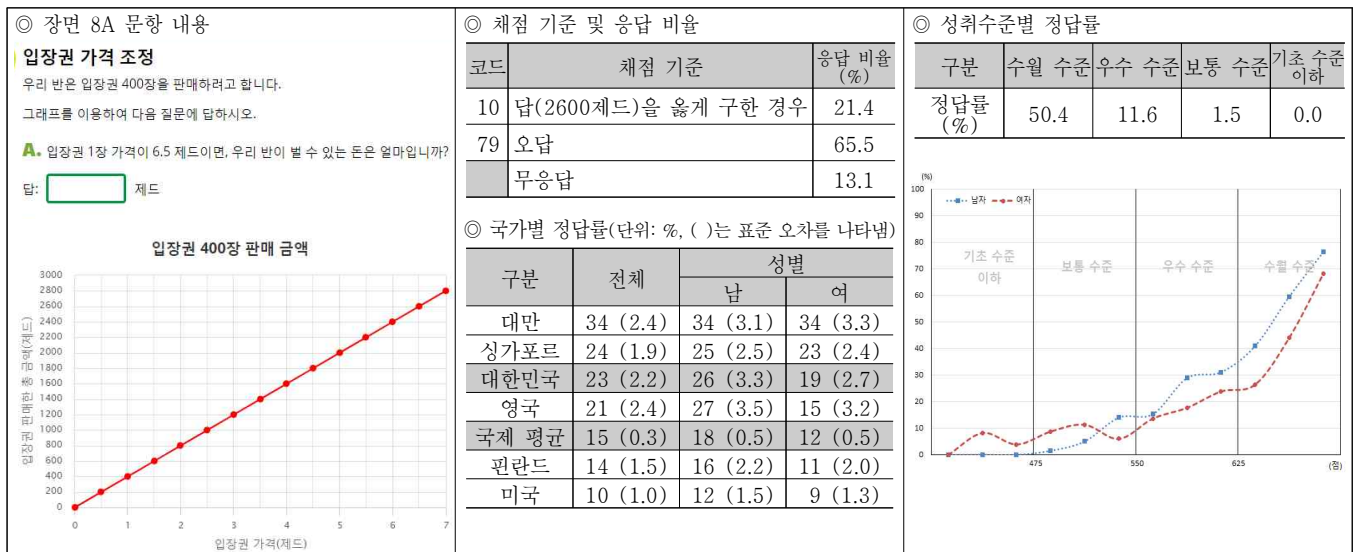


Figure 8. Analysis of Scene 8A Item

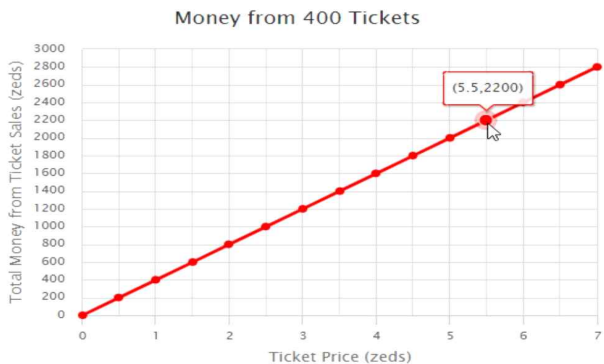


Figure 9. Graph of Admission Price and Total Sales Amount (Mullis et al., 2021, p. 43)

$6.5 \times 400 = 2600$ (제드)를 이용해서도 구할 수 있는데, 우리나라 2015 개정 수학과 교육과정에서는 소수의 곱셈 역시 초등학교 5~6학년군(5학년)에서 지도하여 초등학교 4학년 학생들에게는 어려움이 있을 수 있다.

우리나라 전체 정답률은 23%, 남학생 26%, 여학생 19%로, 전체 정답률이 낮고, 남학생의 정답률이 여학생에 비해 높게 나타났다. 국제 평균은 15%이고, 대만과 싱가포르의 우리나라보다 정답률이 높게 나타났는데, 특히 영국도 우리나라에 비해 정답률이 10% 이상 높게 나타났다. 성취수준별 정답률을 보면, 수월 수준 50.4%, 우수 수준 11.6%, 보통 수준 1.5%, 기초 수준 이하 0.0%로, 수월 수준을 제외한 나머지 수준에서는 정답률이 매우 낮게 나타났다. 이 문항의 경우 초등학교 5~6학년군 ‘소수의 곱셈’이나 중학교 1~3학년군 ‘좌표평면’과 ‘그래프’ 중 어느 하나를 알아야 하고, 이에 대한 이해가 부족할 경우 문제를 해결할 수 없기 때문에 정답률이 낮게 나타난 것으로 보인다. 그 결과 이 문제를 해결한 학생의 경우 이후

학년이나 학교급에서 지도하는 수학 내용을 선행학습한 것으로 보인다. 남학생과 여학생의 성취수준별 정답률을 보면, 수월 수준에서 크게 상승하는데 남학생의 정답률이 여학생에 비해 높게 나타났다.

8B는 이전 문항인 8A와 연계해서 학교 축제에서 필요한 비용을 마련하기 위해 입장권을 얼마에 팔아야 하는지를 구하는 문항으로, 내용 영역은 ‘자료’ 영역 ‘자료 이용하여 문제 해결하기’, 인지 영역은 ‘추론하기’인 구성형 문항이다. 8A와 반대로 그래프에서 마우스를 이동하여 y 축에서 학교 축제에 필요한 비용인 2200을 찾으면 이때의 x 좌표가 입장권 가격인 5.5(제드)이다. 그런데 이 문항 역시 그래프를 이용하지 않고 구할 수 있다. 필요한 전체 판매 금액이 2200제드이고, 판매하려는 입장권이 400장이므로 소수의 나눗셈인 $2200 \div 400 = 5.5$ (제드)를 이용해서도 구할 수 있으나 소수의 나눗셈 역시 우리나라 2015 개정 수학과 교육과정에서는 초등학교 5~6학년군(6학년)에서 지도한다.

◎ 장면 8B 문항 내용

입장권 가격 조정
우리 반은 입장권 400장을 판매하려고 합니다. 그래프를 이용하여 다음 질문에 답하십시오.

B. 학교 축제를 진행하는데 총 2200 제드가 필요합니다.
학교 축제를 진행하는데 필요한 비용을 충당할 수 있는 최소한의 입장권 가격은 얼마입니까?
답: 제드

◎ 채점 기준 및 응답 비율

코드	채점 기준	응답 비율 (%)
10	답(5.5제드)을 옳게 구한 경우	13.1
79	오답	68.0
	무응답	18.9

◎ 국가별 정답률(단위: %, ()는 표준 오차를 나타냄)

구분	전체	성별	
		남	여
영국	21 (2.7)	26 (3.8)	15 (3.2)
싱가포르	19 (1.6)	23 (2.3)	14 (1.8)
핀란드	16 (2.1)	19 (2.8)	14 (2.3)
대한민국	14 (1.9)	18 (2.8)	11 (2.1)
대만	13 (1.8)	14 (2.6)	13 (2.1)
국제 평균	11 (0.3)	13 (0.5)	9 (0.4)
미국	7 (0.8)	8 (1.1)	7 (1.2)

◎ 성취수준별 정답률

구분	수월 수준	우수 수준	보통 수준	기초 수준 이하
정답률 (%)	33.9	4.9	1.0	0.0

Figure 10. Analysis of Scene 8B Item

우리나라 전체 정답률은 14%로 이전 문항보다 정답률이 더 낮아졌고, 이 문항 역시 남학생의 정답률이 여학생에 비해 7% 높게 나타났다. 국제 평균은 11%로, 우리나라보다 정답률이 높은 국가로, 영국, 싱가포르, 핀란드가 있는데 특히 영국은 우리나라에 비해 정답률이 7% 높게 나타났다.

또 성취수준별 정답률을 보면, 수월 수준 33.9%, 우수 수준 4.9%, 보통 수준 1.0%, 기초 수준 이하 0.0%로, 전반적으로 모든 수준의 정답률이 매우 낮게 나타났다. 이 문항 역시 초등학교 5~6학년군 '소수의 나눗셈'이나 중학교 1~3학년군 '좌표평면'과 '그래프' 중 어느 하나를 알아야 하고, 이에 대한 이해가 부족할 경우 문제를 해결할 수 없기 때문에 정답률이 낮게 나타난 것으로 보인다. 그 결과 이 문제를 해결한 학생의 경우 이후 학년이나 학교급에서 지도하는 수학 내용을 미리 학습한 것으로 보이기도 한다. 남학생과 여학생의 성취수준별 정답률을 보면, 이전 문항과 마찬가지로 수월 수준에서 크게 상승하는데 남학생의 정답률이 여학생에 비해 다소 높게 나타났지만 이전 문항에 비해 큰 차이는 아니었다.

V. 결론

본 연구는 TIMSS 2019에 새로 도입된 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대한 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 학업성취 특성을 분석하여 우리나라 학교에서의 수학교육 개선을 위한 시사점을 도출하는 데 목적이 있다. 이를 위해 먼저 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대해 전체 분석과 문항별 분석을 실시하였다. 전체 분석에서는 우리나라를 포함한 문제해결 및 탐구 과제(PSIs) 참여국에 대해 문제해결 및 탐구 과제(PSIs) 포함 여부에 따라 학업성취도 평균을 비교함으로써 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대한 우리나라 학생들의 학업성취도를 분석하였다. 문항별 분석은 정답률을 중심으로 분석하였는데, 개별 문항에 대해 전체뿐만 아니라 성별 정답률과 성취수준별 정답률을 비교하였다. 특히 문항별 분석에서는 TIMSS 수학 평가 학업성취도 상위국과 우리나라 수학교육에 시사점을 제공할 수 있는 국가(싱가포르, 대만, 핀란드, 미국, 영국)를 선정하여 우리나라와 학생들의 학업성취도를 비교하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 포함하였을 때 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 학업성취도 평균은 다소 하락하였다. 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대한 전체 분석에서는 문제해결 및 탐구 과제

(PSIs) 참여국 30개국에 대해 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 포함하였을 때와 포함하지 않을 때 학업성취도 평균을 비교하였는데, 학업성취도 평균에 변화가 없는 국가가 13개국, 상승한 국가 10개국, 하락한 국가 7개국으로 나타났다. 우리나라의 경우 다른 6개국과 함께 학업성취도 평균이 1점 하락하였다. 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)가 하나의 상황(예: 학교 축제)과 관련된 여러 개의 하위 문항으로 구성되는데, 이러한 문항들은 내용 영역과 인지 영역이 다양하게 구성되어 있다. 아울러 이러한 문항들이 문제해결이나 탐구를 요구하는 구성형 문항으로, 수학 개념이나 원리에 대한 이해나 사칙계산 수행보다는 이를 문제해결이나 탐구에 적용하거나 이를 활용하여 추론하기를 요구한다. 즉 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)는 평가에서 역량 교육이나 융합 교육을 반영한 예로, 우리나라 초등학교 4학년 학생들은 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 포함하였을 때 학업성취도 평균이 하락하였다. 우리나라에서 역량 교육은 2015 개정 교육과정에서 시작되었다 하여도 과언이 아닌데, TIMSS 2019가 시행된 2018년에는 학교 현장에서 역량 교육이 내실 있게 운영되지 못한 면이 있다. 아울러 STEAM 중심의 융합 교육도 학교 현장의 교수·학습 및 평가에 적용되는 데는 한계가 있었다. 이것으로 볼 때 지금까지 학교 교육에서 이루어진 역량 교육이나 융합 교육의 실태를 파악하고, 이를 강화하는 방안을 탐색할 필요가 있어 보인다.

둘째, 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대한 남학생의 학업성취도가 여학생에 비해 높게 나타났다. 즉 분석 대상인 초등학교 4학년에서 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 포함하였을 때의 학업성취도 평균이 남학생에서 여학생보다 높게 나타났다. 또 '학교 축제' 문항군에서 포함된 11개 하위 문항 중 남학생의 정답률이 높은 문항은 10개이고, 이 중 7개 문항은 정답률이 5% 이상 높게 나타났다. 앞서 언급한 바와 같이 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)는 하나의 상황(예: 학교 축제)에 포함된 여러 개의 하위 문항을 해결하는 과정에서 학생들의 문제해결 및 탐구 능력을 평가한다. 이러한 점을 종합해 볼 때, 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에서 여학생의 학업성취도가 남학생에 비해 낮은 것은 여학생의 문제해결 및 탐구 능력이 남학생에 비해 떨어진다는 것을 의미하기도 한다. 우리나라에서 매년 실시하는 국가수준 학업성취도 평가에서는 수월 수준에서 여학생의 학업성취도가 남학생에 비해 낮게 나타났는데(Kwon, 2023), 본 연구에서는 문제해결 및 탐구 능력과 같은 고등 사고 능력을 요구하는 문항에서도 여학생의 학업성취도가 남학생에 비해 낮게 나타났다. 그런데 이러한 현상이 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 참여한 모든 국가에 공통으로 나타나는

특징은 아니었다. 오히려 싱가포르, 핀란드 등은 전체 뿐만 아니라 다수의 하위 문항에서 여학생의 학업성취도가 남학생에 비해 높게 나타났다. 이러한 현상은 단지 학교 교육뿐만 아니라 가정이나 사회 분위기가 복합적으로 얽혀 있을 것으로 보인다. 따라서 이러한 현상이 나타난 원인을 심층적으로 분석하고, 이를 개선하기 위한 다양한 방안이 강구되어야 할 것으로 보인다.

셋째, 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)는 TIMSS 2019의 컴퓨터 기반 평가에만 포함되었는데, 컴퓨터의 다양한 기능을 활용한 새로운 문항 유형에서 우리나라 학생들의 정답률이 다소 낮게 나타났다. 초등학교 4학년의 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)는 모든 문항이 구성형 문항이고, 컴퓨터의 기능을 활용한 문항을 포함하고 있다. 예를 들어, 장면 5의 문항은 피자 크기에 따라 400명이 먹을 수 있는 피자의 수를 입력하면 전체 구입 금액은 자동으로 계산된다. 또 장면 7의 문항에서는 음료수 17상자를 살 때, 주스 상자를 클릭하면 물 상자가 자동으로 표시된다. 그런데 이러한 문항에서 우리나라 학생들의 정답률이 다소 낮게 나타났는데, 전체 정답률은 5A 문항 37.1%, 7A 문항 24.4%이고, 성취수준별로도 정답률 차이가 크게 나타났다. 이러한 결과는 학생들이 컴퓨터 기반 평가에 익숙하지 않고, 특히 컴퓨터의 기능을 활용하는 문항 유형에 익숙하지 않기 때문으로 보인다. 우리나라에서는 2022년부터 국가수준 학업성취도 평가가 컴퓨터 기반 평가로 실시되고 있으나 TIMSS 2019에 실시되었던 2018년에는 초등학교 4학년 학생들이 컴퓨터 기반 평가에 참여할 기회가 없었던 것으로 보인다. 최근 실시된 TIMSS 2023과 연계해서 컴퓨터의 기능을 활용하는 문항에 대한 우리나라 학생들의 학업성취가 향상되었는지를 점검하고, 평가에서 컴퓨터를 포함한 AI·디지털을 활용하는 방안을 탐색하며, 이를 학교 현장에도 홍보·보급할 필요가 있어 보인다.

지금까지 TIMSS 2019에서 컴퓨터 기반 평가 실시와 함께 도입된 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대한 우리나라 학생들의 학업성취 특성을 살펴보았다. 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)는 최근 학교 교육에서 강조하고 있는 역량 교육, 융합 교육, 컴퓨터 활용 등을 대규모 평가에 반영한 예로, 우리나라에서는 활용되지 않던 새로운 유형의 평가 문항이다. 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)는 학생들의 문제해결 및 탐구 능력을 평가한다는 점 이외에도 역량 교육, 융합 교육, 컴퓨터 활용 등을 반영할 수 있어 많은 장점을 가지고 있음에도 불구하고, 학교 현장에서는 이러한 문항군을 개발하는 데 어려움이 있을 것으로 보인다. 학교 현장의 평가 상황에서 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)가 활용될 수 있도록 학교급 또는 학년별로 다양한 평가 문항을

개발·보급하는 연구가 수행될 필요가 있어 보인다. 이외에도 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)를 활용하여 학생들의 문제해결 및 탐구 능력을 평가하여 심층 분석하는 연구뿐만 아니라 역량 교육, 융합 교육, 컴퓨터 활용 등의 효과를 탐색하는 연구도 필요해 보인다.

국 문 요 약

이 연구는 TIMSS 2019에서 도입된 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)에 대한 우리나라 초등학교 4학년 학생들의 학업성취 특성을 분석하였다. TIMSS 2019에서는 기존의 지필 평가와 더불어 컴퓨터 기반 평가를 실시하였는데, 문제해결 및 탐구 과제는 컴퓨터 기반 평가에만 포함되어 있어 컴퓨터 기반 평가에 참여한 30개국의 평가 결과를 분석 대상으로 하였다. 문제해결 및 탐구 과제(PSIs)는 여러 개의 문항으로 구성된 문항군으로, 내용 영역과 인지 영역을 통합하여 문항을 구성하고, 선다형보다는 구성형 문항이 다수를 이루고 있다. 분석 결과, 문제해결 및 탐구 과제(PSIs) 포함 여부에 따라 국가별로 학생들의 학업성취도에 차이가 있었는데, 우리나라는 학업성취도 평균이 1점 하락하였다. 아울러 개별 문항에 대한 분석 결과를 보면, 학생들의 학업성취도가 다소 낮게 나타났고, 다수 문항에 대해 여학생의 정답률이 남학생에 비해 낮게 나타났다. 아울러 문항별 분석 결과를 보면, 영국이나 핀란드 등의 정답률이 기존의 학업성취도 상위국(싱가포르, 대만, 우리나라)보다 높게 나타나는 문항이 있었다. 융합교육이 강조되는 최근 실정을 감안할 때 우리나라에서도 평가에 문제해결 및 탐구 과제를 활용하는 방안을 검토할 필요가 있어 보인다.

주제어: TIMSS, 문제해결 및 탐구 과제(PSIs), 학업성취도, 융합 교육

References

- Kwon, J. (2020). International Comparison of Ways in which Competencies is Reflected in Mathematics Curriculum: Focused on France, Australia and British Columbia in Canada. *Communications of mathematical education*, 34(2), 135-160.
- Kwon, J. (2023). Analysis of Trends in Mathematics Achievement of Korean Middle School Students in the Recent 5 Cycles of

- TIMSS. *The Journal of Curriculum and Evaluation*, 26(4), 139-168.
- Ministry of Education [MOE] (2022b). 2022 Revised Elementary, Middle, and High School Curricula for Regular and Special Education Confirmed and Announced. Ministry of Education Press Release, December 22, 2022
- Ministry of Education [MOE]. (2015). *2015 개정 수학과 교육과정* [2015 Revised Mathematics Curriculum]. Retrieved from <https://ncic.go.kr>
- Ministry of Education [MOE]. (2021). *Announcement of Key Points of the 2022 Revised Curriculum General Principles*. Ministry of Education Press Release, November 24, 2021
- Ministry of Education [MOE]. (2022a). *2022 개정 수학과 교육과정* [2022 Revised Mathematics Curriculum]. Retrieved from <https://ncic.go.kr>
- Mullis, I. V., Martin, M. O., Fishbein, B., Foy, P., & Moncaleano, S. (2021). *Findings from the TIMSS 2019 Problem Solving and Inquiry Tasks*. International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA).
- Park, S., Kim, H., Sang, K., Jeon, S., & Choi, I. (2019). *Trends in International Mathematics and Science Study: TIMSS 2019 Main Survey* (Research Report RRE 2019-9). Jincheon: Korea Institute for Curriculum and Evaluation.
- Seo, M., Kim, K., Jeon, S., Lee, J., Kim, S., Min, Y., Lee, B., & Cho, Y. (2021). *TIMSS 2019 Problem Solving and Inquiry Tasks (PSIs) Assessment Results*. Korea Institute for Curriculum and Evaluation Research Report ORM 2021-106.
- Seo, M., Kwon, J., Kim, C., Lee, D., Jeon, S., & Kim, J. (2022). *In-Depth Analysis of Student's Achievement in Math, Science, and Computer-Information Based on TIMSS/ICILS* (Research Report RRE 2022-5). Jincheon: Korea Institute for Curriculum and Evaluation.

권 점 례 (한국교육과정평가원 연구위원)