

동아시아 상위 성취국의 PISA 2012 수학 결과 비교 분석¹⁾

임해미²⁾

본 연구에서는 대표적인 역량 평가인 PISA 2012의 결과를 토대로 동아시아 상위 성취국인 우리나라, 싱가포르, 일본의 인지적 성취 특성을 살펴보았다. 수학 평가들의 하위요소와 문항 유형별로 정답률과 효과 크기를 분석한 결과, 우리나라는 싱가포르보다 13개 하위요소 모두에서 낮은 성취를 보였으며, 일본과는 ‘개인적’ 맥락을 제외한 12개 하위요소에 대해 높은 성취를 보였다. 그러나 5수준 이상의 상위 수준 학생을 대상으로 한 결과에서는 하위요소별로 특징적인 결과를 확인할 수 있었다. 5수준 이상의 비율은 싱가포르, 우리나라, 일본 순의 비율을 보였으나, 평가들의 하위요소별 결과에서는 우리나라는 싱가포르보다 ‘양’, ‘이용하기’의 성취가 높았으며, 일본과 비교하여 ‘과학적’ 맥락, ‘공간과 모양’과 ‘양’ 영역, ‘형식화하기’와 ‘해석하기’, ‘선다형’ 문항에 대해서는 상대적으로 약점을 보였다. 이상의 결과를 토대로 한 제언은 다음과 같다. 우선 우리나라 학생들의 수학적 지식에 대한 통합적 이해를 높일 수 있도록 수학 소양에 대한 기초 연구를 수행하고 이를 토대로 교육과정 및 교과서를 개발해야 할 것이다. 또한 상위 수준 학생들의 수학적 모델링 역량 신장을 위한 교수 학습 방안을 마련할 필요가 있다.

주요용어 : 국제 학업성취도 평가, PISA 2012, 싱가포르, 일본

I. 서론

지식 정보화 사회에는 수많은 정보와 지식이 네트워크를 통해 공유 및 확산되고 있으며, 이러한 사회의 변화는 학생들에게 요구되는 지식과 역량의 성격에도 영향을 주고 있다. OECD에서는 시대의 요구에 적합한 핵심 역량을 규명하기 위해 1997년부터 DeSeCo 프로젝트를 진행했으며, 학생들이 어느 수준의 핵심 역량을 가지고 있는지 평가하기 위해 2000년부터 국제 학업성취도 평가 PISA(Programme for International Student Assessment)를 시행하고 있다(OECD, 2005). PISA는 읽기, 수학, 과학 영역을 중심으로 교육과정을 직접적으로 평가하기보다 실세계 문제에 지식을 적용하고 사회에 참여할 수 있는 역량을 평가한다.

* MSC2010분류 : 97D60

- 1) 본 연구는 한국교육과정평가원에서 수행한 “PISA 2012 상위국 성취 특성 및 교육맥락변인 영향력 비교 분석” (구자욱 외, 2015) 연구의 수학 관련 내용 중 일부를 토대로 재분석한 연구임.
- 2) 한국교육과정평가원 부연구위원 (rimhm@kice.re.kr)

우리나라는 첫 주기부터 PISA에 참여하고 있으며, 학교 수업이 지식 중심으로 이루어지고 있다는 우려와는 달리, 지난 PISA 2012 수학 영역에서 우리나라는 OECD 회원국 중에는 1위라는 높은 성취를 기록하였다. 그러나 전체 65개 참여국을 대상으로 살펴보면 우리나라는 전체 참여국 중 5위에 머물렀다. 우리나라보다 순위가 높은 국가로는 상하이-중국, 싱가포르, 홍콩, 대만이 있으며, 우리나라에 이어 마카오, 일본, 리히텐슈타인, 스위스, 네덜란드가 높은 순위를 기록하였다(OECD, 2014b). 상위 10위권에 포함된 국가의 면면을 통해 알 수 있듯이 PISA에서 동아시아 국가의 약진이 두드러지고 있다. 우리나라는 높은 순위를 기록하고 있지만 동아시아 교육 강국과의 결과를 보다 세밀히 비교 분석함으로써 향후 수학 교육에 시사점을 제시할 수 있을 것으로 보인다.

이에 본 연구에서는 PISA 2012 수학 결과에 나타난 우리나라 학생들의 인지적 성취를 동아시아의 PISA 상위 성취국 가운데 싱가포르, 일본과 비교 분석하여 우리나라 수학 성취 특성을 면밀히 분석하고자 한다. PISA 2012의 평균 점수를 기준으로 볼 때 상하이-중국이 1위를 기록했지만 PISA 2015부터 중국 전체로 참여하게 되어 분석 대상국에서 제외했으며, 전체 2위인 싱가포르와 OECD 회원국 중 2위를 기록했으며 추이 분석 결과 지속적으로 PISA 상승세에 있는 일본을 분석 대상국으로 선정하였다. 싱가포르는 역량 교육으로의 변화에 가장 민감하게 수용하고 있으며, 일본은 교육 체제 및 교육과정이 유사하기 때문에 두 국가와 PISA 결과를 비교 분석하는 것은 우리나라 학생들의 수학 영역의 강점과 약점을 파악하고 개선 방안을 모색하기에 의미가 있을 것으로 보인다.

싱가포르는 PISA 2009부터 PISA에 참여하여 높은 성적을 거두고 있는데, 글로벌 지식 경제에 적합한 교육 체제를 만들기 위해 혁신, 창의성에 중점을 둔 교육을 강조하고 있고, 컴퓨터 활용 교육, 창의력 교육 등에서도 두각을 보이고 있다(OECD, 2014a). 특히 싱가포르의 수학과 교육과정에서는 ‘수학적 문제해결’을 중심에 두고 실세계 문제를 해결하는 과정에서 수학적 방법과 도구를 사용하는 수학적 모델링을 강조하고 있다(Singapore Ministry of Education, 2006, pp.2~4). 또한 ‘Teaching and Learning Syllabus’를 통해 교육과정의 강조점이 수업에 반영되도록 하고 있다(Singapore Ministry of Education, 2012).

일본은 여유교육을 강조하면서 PISA 2003 이후 순위가 다소 하락했지만, 국가수준 학업 성취도 평가인 전국학력학습상황조사를 확대 실시하고 학습 능력 강화를 위한 교육과정 개정을 거듭하면서 PISA 순위가 상승하고 있다. 일본은 제 8차 수학과 학습요령에서 핵심역량으로 수학적 사고력, 표현력, 판단력, 처리력과 더불어 수학을 적용하여 실세계 현상이나 문제를 해결하는 활용력을 강조했으며(조운동, 윤용식, 2014), 전국학력학습상황조사에서 지식과 기술을 실생활 맥락에서 활용할 수 있는지를 묻는 PISA 스타일의 평가를 시행하여 역량의 평가를 강조하고 있다.

특히 본 연구에서는 상위 성취수준을 중심으로 세 국가의 결과를 심층 분석하고자 한다. 고도의 지식 정보화 사회를 주도하기 위해서는 창의적인 인재 발굴과 육성이 필요하며, 아시아 국가들도 우수 인재를 확보하기 위한 경쟁이 심화되고 있다. 싱가포르는 일반 학교 안에서 상설 영재 학급제도를 운영하면서 국가 미래를 위한 투자 대상으로 우수 인재 양성에 정책적 역량을 집중하고 있으며, 일본은 세계 수준의 연구 거점을 형성하기 위해 ‘21세기 COE(Center of Excellence) 프로그램’을 추진하고 있다(이정규, 박춘성, 2009). 싱가포르, 일본의 상위 수준 학생들의 성취를 비교 분석한 결과는 영재 교육 및 수월성 교육에서 강조할 부분을 파악하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

II. 선행 연구

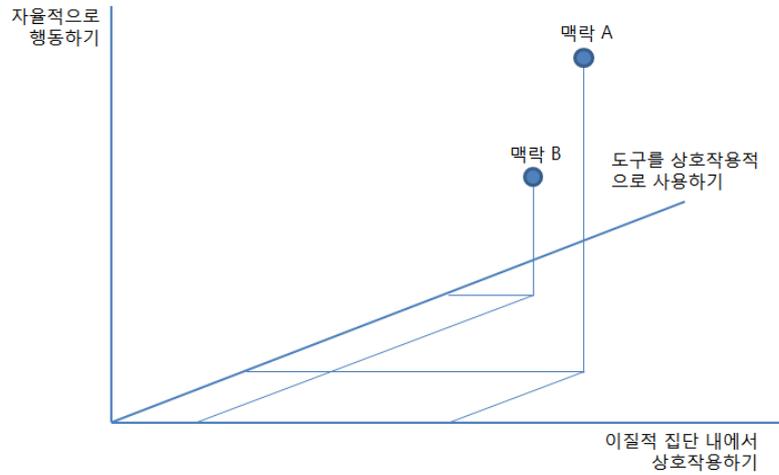
1. PISA 수학 소양 평가의 특징

PISA가 주목을 받는 이유는 지식을 넘어서는 역량을 평가하고 있다는 점이며, PISA 결과 또한 해당 국가의 역량 수준을 나타낸다는 점에서 의미를 갖는다. 역량 연구의 시초라 볼 수 있는 OECD의 DeSeCo 프로젝트에서는 역량을 단순한 지식이나 기술 이상의 것으로 보고, 현대 사회를 살아가는데 필요한 ‘핵심 역량(key competencies)’을 <표 II-1>과 같이 세 가지 범주로 구분하였다(OECD, 2005).

<표 II-1> DeSeCo 프로젝트의 핵심 역량

핵심 역량의 범주	세부 핵심 역량
1. 도구를 상호작용적으로 사용하기	1-A. 언어, 기호, 텍스트를 상호작용적으로 사용하기 1-B. 지식과 정보를 상호작용적으로 사용하기 1-C. 테크놀로지를 상호작용적으로 사용하기
2. 이질적 집단 내에서 상호작용하기	2-A. 다른 사람들과 좋은 관계를 맺는 능력 2-B. 협업하여 일하는 능력 2-C. 갈등을 관리하고 해결하는 능력
3. 자율적으로 행동하기	3-A. 큰 그림 안에서 행동하기 (넓은 관점을 가지고 전체 안에서 자신에 한 행동과 결정을 내릴 수 있는 능력) 3-B. 인생 계획과 개인 프로젝트를 수립, 실행하는 능력 3-C. 권리, 관심사, 한계, 요구 등을 주장하는 능력

DeSeCo 프로젝트에서는 [그림 II-1]과 같이 다양한 맥락의 문제 해결을 위해 세 차원의 핵심역량이 다양한 형태로 결합되어 나타난다고 보았다. 한 개인이 이러한 역량의 틀의 기저를 이루는 지식과 학습에 성찰적으로 접근하는 수준을 파악하기 위한 평가가 바로 PISA이다. DeSeCo 프로젝트에서는 ‘도구’를 언어, 기호, 텍스트로 보고, 이를 상호작용적으로 사용하는 것을 핵심 역량 중 하나로 보았는데, PISA의 읽기 소양과 수학 소양이 여기에 해당된다. DeSeCo 프로젝트에서는 PISA 수학 소양(mathematical literacy)을 “세계에서 수학이 작용하는 역할을 알고 이해하며, 충분한 근거를 토대로 결정을 내리고, 건설적이고 사려 깊은 시민으로서의 삶을 살아가기 위해 요구되는 수학을 사용할 수 있는 능력(OECD, 2005)”로 정의하였다. 이후 PISA 2012에는 수학 소양을 “다양한 맥락에서 수학을 형식화하고, 이용하고, 해석하는 개인적인 능력, 현상을 기술하고 설명하며 예측하기 위해 수학적 추론과 수학적 개념, 절차, 사실, 도구를 사용하는 능력, 개인이 실세계에서 수학의 역할을 인식하고, 건설적이고 참여적이며 반성적인 시민에게 요구되는 근거 있는 판단과 결정을 할 수 있도록 도와주는 능력(OECD, 2013, p.25)”으로 정의하고 있다.



[그림 II-1] 다양한 맥락에서의 핵심 역량의 결합 (OECD, 2005, p.9)

PISA 2012에는 수학 소양을 평가하기 위해 <표 II-2>와 같이 맥락, 수학적 내용, 수학적 과정의 세 가지 차원으로 평가틀을 구성하였다(OECD, 2013). 맥락은 문제가 제시되는 배경이 되는 상황으로 [그림 II-1]의 상황의 특징을 개인적, 과학적, 사회적, 직업적 맥락으로 구분하여 반영하였다. 수학적 내용은 공간과 모양, 변화와 관계, 불확실성과 자료, 양으로 구분되는데, 문제와 관련된 수학적 내용 지식으로 실생활의 문제를 해결하려면 통합적인 관점에서의 수학이 요구되기 때문에 순수 수학에서의 구분과는 다소 차이가 있다. 수학적 과정은 문제 해결에 요구되는 수학적 절차와 기술로, 실세계 맥락의 상황을 수학 문제화하고, 수학 문제를 해결하고, 해결한 결과를 맥락에서 해석할 수 있는지와 관련되며, 수학적 모델링 과정을 반영하여 형식화하기, 이용하기, 해석하기로 구분된다.

<표 II-2> PISA 2012 수학 평가틀

차원	하위요소	세부 내용
맥락	개인적	학생 자신, 자신의 가족, 동료 집단에서의 활동과 관련됨
	과학적	수학을 자연계 또는 과학 및 공학과 관련된 문제 또는 주제에 응용하는 것과 관련
	사회적	지역사회, 국가, 세계에서 일어나는 사회적 맥락의 활동과 관련됨
	직업적	직업 세계에서 일어나는 활동과 관련됨
수학적 내용	공간과 모양	우리 주변의 시각적 세계, 예를 들어 패턴, 대상의 속성, 위치와 방향, 대상의 표현, 시각 정보의 암호와 해독, 위치 정보 등에서 마주하게 되는 광범위한 현상들과 관련됨
	변화와 관계	기체의 성장, 음악, 계절의 변화, 직원 수, 경제 상황과 같은 다양한 상황에서 나타나며, 대수식, 방정식과 부등식, 표와 그래프 표현을 포함하는 함수 및 대수와 관련된 현상을 기술하고, 모델링하며, 해석하는 데 중심적인 역할을 함

	불확실성과 자료	변동 가능한 부분에 대한 인식, 변동의 양화에 대한 감각, 측정의 불확실성과 오류 가능성에 대한 자각, 확률을 아는 것 등을 포함함
	양	대상, 관계, 상황의 속성에 대한 양화, 이러한 양화의 다양한 표현에 대한 이해, 양에 기초한 해석과 논증을 판단하는 것, 측정, 세기, 축적, 단위, 지표, 상대적 크기 등에 대한 이해, 수 감각, 수와 관련된 다양한 표현들, 연산, 암산, 어림 등의 활동이 포함
수학적 과정	형식화하기	문제 상황에서 수학을 사용하는 능력을 인식하고 구체화할 수 있는지, 그리고 맥락화된 문제에서 수학적 형식을 형식화하기 위해 요구되는 수학적 구조를 찾을 수 있는지와 관련됨
	이해하기	연산과 조작을 잘 수행하는지, 수학적으로 형식화된 문제로부터 수학적 해를 구하기 위해 그들의 개념과 지식을 얼마나 잘 적용할 수 있는지와 관련됨
	해석하기	수학적 해와 결과를 어느 정도 파악하고 있으며, 이를 실제계의 문제 맥락에서 해석할 수 있는지, 그 결과나 결론이 합리적인지 아닌지를 판단할 수 있는지와 관련됨

* 출처 : OECD(2013), 송미영 외(2013, pp. 29-30)를 재구성함.

2. 분석 대상국의 PISA 주요 결과

PISA는 매주기마다 읽기, 수학, 과학 영역을 평가하지만, 3년을 주기로 주영역을 정하여 보다 면밀히 평가하고 있다. 수학은 PISA 2003과 PISA 2012가 주영역이었으며, 수학의 추이 변화의 기준점도 수학 평가들이 정립된 PISA 2003으로 삼고 있다. PISA 평가 결과는 평균 500점, 표준편차 100점인 척도 점수로 환산되는데, 우리나라는 <표 II-3>과 같이 PISA 2003에 평균 점수가 542점이었으며 PISA 2012에는 PISA 2003 대비 12점 상승한 554점을 기록했다. PISA 2009부터 PISA에 참여한 싱가포르는 PISA 2012에 직전 주기 대비 11점 상승한 573점을 기록했다. 일본은 PISA 2003에 평균 점수가 534점이었으나 점차 점수가 하락하다가 PISA 2012에는 PISA 2003 대비 2점 상승한 536점을 기록했다(OECD, 2014b).

<표 II-3> 분석 대상국의 수학 점수 및 순위 추이

참여국	PISA 2003		PISA 2006		PISA 2009		PISA 2012		PISA 2012 - PISA 2003	PISA 2012 - PISA 2009
	평균	순위	평균	순위	평균	순위	평균	순위	평균 점수 차	평균 점수 차
대한민국	542	3	547	1~4	546	3~6	554	3~5	12	8
싱가포르	-	-	-	-	562	2	573	2	-	11
일본	534	6	523	6~13	529	8~12	536	6~9	2	7

한편, PISA에서는 학생들의 수학 소양에 대한 성취수준을 최하 1수준부터 최상 6수준으로 구분하여 성취수준별 특성을 분석하고 있다. 이때 6수준은 669점 초과, 5수준은 607점~669점 이하에 해당하는데, PISA에서는 5수준 이상을 상위 성취수준으로 정의하고 있다(OECD, 2014b). OECD(2014b)에 따르면, 6수준 학생들은 복잡한 문제 상황에 대한 조사와 모델링에 근거한 정보를 사용하고, 개념화, 일반화할 수 있다. 또한 고차원적인 수학적 사고

와 추론을 할 수 있으며, 기호적, 형식적인 수학적 연산에 능숙하고, 반성, 의사소통, 형식화, 해석과 논증 등에 능숙하다. 5수준 학생들은 복잡한 문제 상황을 모델을 개발하여 다룰 수 있으며, 적절한 문제 해결 전략을 선택, 비교, 평가할 수 있다. 또한 문제해결 행동을 되돌아 보고, 해석과 추론을 형식화하고 의사소통할 수 있다고 하였다.

<표 II-4>와 같이 PISA 2012에 우리나라는 6수준이 12.1%였으며, 싱가포르 19.0%, 일본은 7.6%로 나타났다. 5수준 이상은 우리나라는 30.9%, 싱가포르 40%, 일본 23.6%였다. 5수준 이상 비율은 싱가포르, 우리나라, 일본 순으로 나타났지만 평가틀 하위요소별로 나타나는 성취 특성에는 차이가 있을 수 있으므로 이를 세밀하게 살펴볼 필요가 있을 것이다.

<표 II-4> 분석 대상국의 PISA 2012 성취수준별 비율

참여국	6수준	5수준	4수준	3수준	2수준	1수준	1수준 미만
대한민국	12.1	18.8	23.9	21.4	14.7	6.4	2.7
싱가포르	19.0	21.0	22.0	17.5	12.2	6.1	2.2
일본	7.6	16.0	23.7	24.7	16.9	7.9	3.2

III. 연구 방법

1. 분석 자료

PISA는 만 15세 학생으로 평가를 시행하며, 모집단의 대표성을 확보하기 위해 2단계 층화 표집을 실시한다. 우선 모집단과 표집틀에 기반하여 학교 표본을 선정한 뒤, 표집된 학교 별 모집단 학생 중 일정 수의 조사 대상 학생을 임의 표집한다(조지민 외, 2012, p.103). PISA 2012에 우리나라는 156개 학교(중학교 16개교, 고등학교 140개교)에서 5,201명(중학생 319명, 고등학생 4,882명)이 표집되었다(송미영 외, 2013, p.17). 최종적인 분석 대상 학생 수는 우리나라 5,033명, 싱가포르 5,546명, 일본 6,351명이며, 결과에 가중치를 부여하여 최종적으로 추정된 모집단의 수는 우리나라 603,632명, 싱가포르 51,088명, 일본 1,128,179명이다(OECD, 2014b, p.267).

본 연구에서는 OECD PISA 웹사이트에 공개된 자료를 이용하여 PISA 2012 결과를 분석하였다³⁾. PISA 2012 검사지는 수학·읽기·과학 문항군이 4번씩 중복되어 포함되도록 행렬 표집(matrix sampling) 방식으로 설계되어 있으며 평가도구 설계에 따라 검사지에는 1개에서 3개의 수학 문항군이 포함되어 있어서 학생에 따라 풀어야 하는 수학 문항 수에 차이가 있다. 총 13종의 검사지에는 7개의 수학 문항군(단위문항 46개, 하위문항 84개)가 포함되어 있다.

PISA 2012 수학 평가틀에서는 각 내용 영역이 구성적이고, 참여적이며, 반성적인 시민에게 요구되는 중요한 영역이므로 가능한 모든 하위요소가 고르게 출제되는 것이 바람직하다고 보았으며, 실제 PISA 본검사 문항으로 채택된 문항들도 <표 III-1>과 같이 하위요소별로 고르게 채택되어 각 영역에 대한 균형 있는 평가가 가능하게 되었다(조지민 외, 2012,

3) <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisa2012database-downloadabledata.htm>

p.55). 한편, PISA 2012 문항 유형은 문항의 속성과 채점 방식에 따라 크게 선다형과 구성형으로 구분되며, PISA 2012에는 선다형 문항이 33문항(약 39%), 구성형 문항이 51문항(약 61%)이 출제되었다(송미영 외, 2013, p.37).

<표 III-1> PISA 2012 평가를 하위요소별 평가 문항 출제 비율

차원	하위요소	국제본부 기준(%)	출제 문항 수	출제 문항 비율(%)
맥락	개인적	25.0	13	15.5
	과학적	25.0	27	32.1
	사회적	25.0	29	34.5
	직업적	25.0	15	17.9
수학적 내용	공간과 모양	25.0	21	25.0
	변화와 관계	25.0	21	25.0
	불확실성과 자료	25.0	21	25.0
	양	25.0	21	25.0
수학적 과정	형식화하기	25.0	27	32.1
	이용하기	50.0	36	42.9
	해석하기	25.0	21	25.0

* 출처 : 송미영 외(2013, pp. 36-37)을 재구성함.

2. 분석 방법

본 연구에서는 동아시아 상위국의 PISA 2012 수학 평가 결과를 분석하기 위해 OECD PISA 웹사이트에 공개된 원자료를 분석하여 우리나라, 싱가포르, 일본의 평가를 하위요소별 평균 정답률과 문항 유형별 정답률을 산출하였다. 또한 상위성취수준인 5수준 이상에 대해서도 정답률 차이를 산출하고, 세 국가 간에 하위요소별 평균 정답률에 차이가 있는지 검증하기 위해 SPSS를 이용하여 t검증을 실시하였다.

한편, 본 연구에서 실시한 t검증의 경우, 사례 수가 크기 때문에 집단 간 정답률이 작은 차이를 보이는 경우에도 t검증한 변인들이 모두 유의미한 차이를 보였다. 따라서 단순히 어떤 변인들이 차이를 보이는지 언급하는 것보다 차이의 정도를 비교하기 위해 효과 크기(effect size)를 산출하여 비교하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 효과 크기란 ‘어떤 현상이 특정 전집에 존재하는 정도’ 또는 ‘영가설이 거짓인 정도’를 나타내며, 절댓값이 클수록 연구 중인 현상이 나타나는 정도, 즉 독립변인의 효과가 크다고 볼 수 있다(최혁준, 2015, p.385). 이때, 효과 크기를 구하기 위해 Cohen's *d*를 사용하였다.

임해미

$$d = \frac{\overline{x_1} - \overline{x_2}}{s_{pooled}}$$

여기서 $\overline{x_1}$, $\overline{x_2}$ 는 두 집단의 평균이고, s_{pooled} 는 두 집단에 대한 통합표준편차이다. s_{pooled} 를 구하는 식은 다음과 같다.

$$s_{pooled} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

여기서 n_1 , n_2 은 두 집단의 사례 수, s_1 , s_2 는 두 집단의 표준편차이다.

IV. 연구 결과

1. 전체 학생의 평가틀 하위요소별 정답률 및 효과 크기 비교

맥락은 개인적, 과학적, 사회적, 직업적 맥락의 네 가지 하위요소로 구분된다. <표 IV-1>에서와 같이, 우리나라는 ‘사회적’ 맥락의 정답률은 63.82%, ‘개인적’ 맥락은 61.29%, ‘직업적’ 맥락은 56.76%, ‘과학적’ 맥락은 52.37%의 순으로 나타났다. 싱가포르를 우리나라와 마찬가지로 ‘사회적’ 맥락의 정답률이 가장 높고 다른 하위요소에 대해서도 동일한 경향을 보였지만, 일본은 ‘개인적’ 맥락의 정답률이 가장 높은 것으로 나타났다.

각 하위요소별 정답률 차이에 대한 효과 크기를 구한 결과, ‘한국-싱가포르’의 효과 크기에서 모든 영역에서 싱가포르보다 낮은 성취 특성을 보였으며, 특히 ‘과학적’ 맥락에서 약점을 보였다. ‘한국-일본’의 효과 크기를 비교한 결과, 우리나라는 ‘과학적’, ‘사회적’, ‘직업적’ 맥락에 대해서는 강점을 보였지만, ‘개인적’ 맥락은 상대적으로 낮게 나타났다.

<표 IV-1> ‘맥락’의 하위요소별 국가 간 평균 정답률 차이 (전체)

내용	국가별 평균 정답률(%)			국가 간 평균 정답률 차이(%p)		효과 크기 (d)	
	한국	싱가포르	일본	한국-싱가포르	한국-일본	한국-싱가포르	한국-일본
개인적	61.29	66.29	62.05	-5.00***	-.77***	-0.16	-0.02
과학적	52.37	59.13	47.27	-6.76***	5.10***	-0.23	0.18
사회적	63.82	67.22	61.57	-3.40***	2.25***	-0.14	0.09
직업적	56.76	58.33	56.31	-1.56***	.46***	-0.05	0.01

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$

동아시아 상위 성취국의 PISA 2012 수학 결과 비교 분석

수학적 내용은 공간과 모양, 변화와 관계, 불확실성, 양의 네 가지 하위요소로 구분된다. <표 IV-2>에서와 같이, 우리나라는 ‘양’에 해당하는 문항의 정답률은 66.73%, ‘불확실성과 자료’는 60.03%, ‘변화와 관계’는 53.44%, ‘공간과 모양’은 50.07%의 순으로 나타났다. 싱가포르와 일본은 우리나라와 동일한 경향을 보였다.

각 하위요소별 정답률 차이에 대한 효과 크기를 구한 결과, ‘한국-싱가포르’의 효과 크기에서 모든 영역에서 싱가포르보다 낮은 성취 특성을 보였으며, 특히 ‘양’에서 약점을 보였다. ‘한국-일본’의 효과 크기를 비교한 결과, 우리나라는 모든 하위요소에서 높은 성취 특성을 보였으며, 특히 ‘양’ 영역에 대해 상대적인 강점을 보였다.

<표 IV-2> ‘수학적 내용’의 하위요소별 국가 간 평균 정답률 차이 (전체)

내용	국가별 평균 정답률(%)			국가 간 평균 정답률 차이(%p)		효과 크기 (d)	
	한국	싱가포르	일본	한국-싱가포르	한국-일본	한국-싱가포르	한국-일본
공간과 모양	50.07	52.19	48.22	-2.12***	.185***	-0.07	0.06
변화와 관계	53.44	57.94	50.74	-4.49***	.270***	-0.15	0.09
불확실성과 자료	60.03	64.36	58.31	-4.33***	.172***	-0.15	0.06
양	66.73	72.60	63.18	-5.87***	.355***	-0.22	0.13

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$

수학적 과정은 형식화하기, 이용하기, 해석하기의 세 가지 하위요소로 구분된다. <표 IV-3>에서와 같이, 우리나라는 ‘해석하기’에 해당하는 문항의 정답률이 69.23%로 가장 높았고, 그 다음은 ‘이용하기’ 61.19%, ‘형식화하기’ 46.93%의 순으로 나타났다. 싱가포르와 일본도 우리나라와 동일한 경향을 보였다.

각 하위요소별 정답률 차이에 대한 효과 크기를 구한 결과, ‘한국-싱가포르’의 효과 크기에서 모든 영역에서 싱가포르보다 낮은 성취 특성을 보였으며, 특히 ‘이용하기’에 대해 약점을 보였고, 그 다음은 ‘형식화하기’, ‘해석하기’의 순으로 약점을 나타냈다. ‘한국-일본’의 효과 크기를 비교한 결과, 우리나라는 모든 영역에서 강점을 보였으며, ‘이용하기’, ‘해석하기’, ‘형식화하기’ 순으로 강점을 보였다.

<표 IV-3> ‘수학적 과정’의 하위요소별 국가 간 평균 정답률 차이 (전체)

내용	국가별 평균 정답률(%)			국가 간 평균 정답률 차이(%p)		효과 크기 (d)	
	한국	싱가포르	일본	한국-싱가포르	한국-일본	한국-싱가포르	한국-일본
형식화하기	46.93	51.30	46.07	-4.37***	.86***	-0.16	0.03
이용하기	61.19	65.82	57.25	-4.63***	3.94***	-0.19	0.16
해석하기	69.23	71.72	67.92	-2.49***	1.32***	-0.09	0.05

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$

임해미

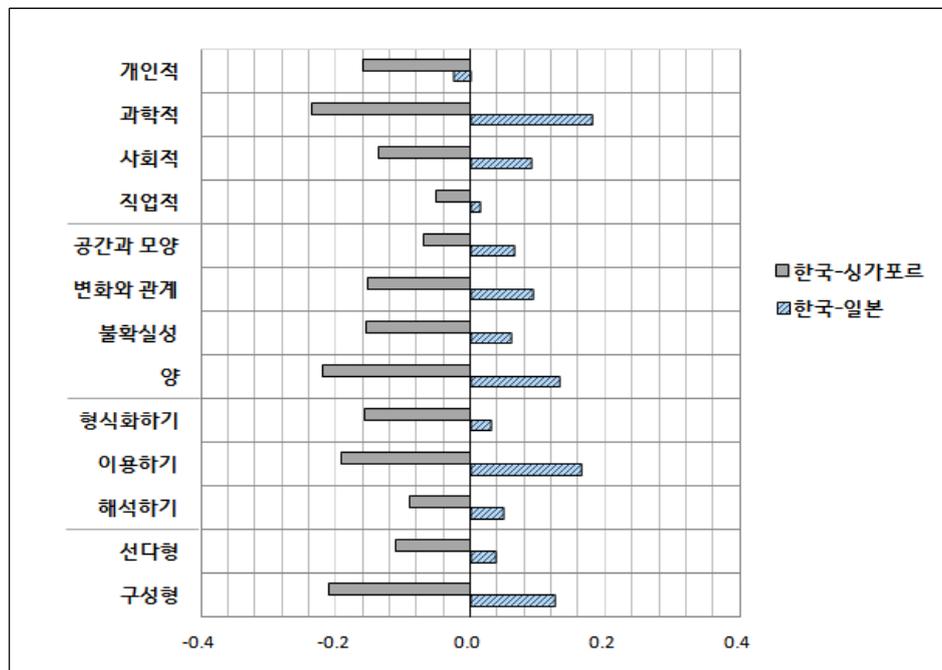
문항 유형과 관련하여 우리나라는 <표 IV-4>와 같이 선다형 문항에 대한 정답률이 67.19%, 구성형 문항에 대한 정답률이 52.76%로 나타났으며, 싱가포르와 일본도 동일한 경향을 보였다. 문항 유형에 대한 효과 크기를 구한 결과, ‘한국-싱가포르’의 효과 크기를 비교했을 때 우리나라는 선다형 문항과 구성형 문항에 대해 낮은 성취 특성을 보였으며, 특히 ‘구성형’ 문항에 대해 약점을 보였다. ‘한국-일본’의 효과 크기를 비교한 결과, 우리나라는 모든 영역에서 강점을 보였으며, ‘구성형’ 문항에 대해 더 강점을 갖는 것으로 나타났다.

<표 IV-4> ‘문항 유형’의 하위요소별 국가 간 평균 정답률 차이(전체)

내용	국가별 평균 정답률(%)			국가 간 평균 정답률 차이(%p)		효과 크기 (d)	
	한국	싱가포르	일본	한국-싱가포르	한국-일본	한국-싱가포르	한국-일본
선다형	67.19	69.94	66.31	-2.75***	.88***	-0.11	0.04
구성형	52.76	58.03	49.68	-5.27***	3.08***	-0.21	0.12

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$

[그림 IV-1]은 우리나라, 싱가포르, 일본의 평가틀의 13개 하위요소별 효과 크기를 도식화하여 비교한 것이다. ‘한국-싱가포르’의 효과 크기에서 우리나라는 모든 영역에서 상대적으로 낮은 특성을 보였으며, 특히 ‘과학적’ 맥락, ‘양’ 영역, ‘이용하기’, ‘구성형’ 문항에서 약점을 보였으며, ‘한국-일본’의 효과 크기에 대해서는 ‘개인적’ 맥락을 제외한 12개 하위요소에서도 강점을 보였다.



[그림 IV-1] 전체 집단의 평가틀 하위요소별 정답률의 효과크기

2. 상위 수준의 평가틀 하위요소별 정답률 및 효과 크기 비교

다음은 5수준 이상의 상위 수준의 성취를 보인 학생들의 하위요소별 정답률과 각국의 효과 크기를 비교한 결과이다. 상위 수준의 정답률은 전체 학생에 대한 정답률에서 보인 경향과 다소 차이를 보였다.

<표 IV-5>와 같이, 우리나라는 ‘사회적’ 맥락의 정답률이 85.56%로 가장 높았고, 그 다음은 ‘직업적’, ‘과학적’, ‘개인적’ 맥락의 순으로 나타났다. 우리나라 전체에서는 과학적 맥락의 정답률이 가장 낮았지만, 5수준 이상에서는 ‘개인적’ 맥락의 정답률이 가장 낮았다. 싱가포르의 5수준 이상에서 전체 결과와 동일하게 ‘사회적’ 맥락의 정답률이 가장 높았지만, 그 다음으로는 직업적, 개인적, 과학적 맥락의 순으로 정답률이 높아 전체 정답률과 다른 양상을 보였다. 일본은 ‘직업적’ 맥락의 정답률이 가장 높고, 그 다음은 ‘사회적’, ‘개인적’, ‘과학적’ 맥락의 순으로 나타났다.

각 하위요소별 정답률 차이에 대한 효과 크기를 구한 결과, ‘한국-싱가포르’의 효과 크기에서 우리나라는 ‘직업적’ 맥락에서 싱가포르보다 강점을 보였으며, 다른 영역에 대해서는 낮은 특성을 보였고, 특히 ‘과학적’ 맥락에서 약점이 나타났다. ‘한국-일본’의 효과 크기를 비교한 결과, 우리나라는 ‘과학적’, ‘사회적’ 맥락에서 강점을 보였지만 ‘개인적’, ‘직업적’ 맥락은 상대적으로 낮게 나타났다.

<표 IV-5> ‘맥락’의 하위요소별 국가 간 평균 정답률 차이 (5수준 이상)

내용	국가별 평균 정답률(%)			국가 간 평균 정답률 차이(%p)		효과 크기 (d)	
	한국	싱가포르	일본	한국-싱가포르	한국-일본	한국-싱가포르	한국-일본
개인적	78.75	81.98	80.44	-3.22***	-1.69***	-0.13	-0.07
과학적	79.25	81.79	77.02	-2.54***	2.23***	-0.16	0.14
사회적	85.56	87.23	85.32	-1.66***	.25***	-0.13	0.02
직업적	83.93	82.24	85.52	1.69***	-1.60***	0.09	-0.09

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$

<표 IV-6>과 같이, 수학적 내용에서 우리나라의 상위수준 학생들은 ‘양’에 해당하는 문항의 정답률은 87.57%, ‘불확실성과 자료’는 82.24%, ‘변화와 관계’는 80.69%, ‘공간과 모양’은 76.11%의 순으로 나타났다. 이 순서는 전체 학생에 대한 결과와 동일한 것이었다. 싱가포르와 일본은 우리나라와 동일한 경향을 보였다.

각 하위요소별 정답률 차이에 대한 효과 크기를 구한 결과, ‘한국-싱가포르’의 효과 크기에서 우리나라는 ‘공간과 모양’ 영역에서 싱가포르와 비교하여 강점을 보였으며, 다른 영역에 대해서는 낮은 특성을 보였고, 특히 ‘불확실성과 자료’ 맥락에서 약점이 나타났다. ‘한국-일본’의 효과 크기를 비교한 결과, 우리나라는 ‘공간과 모양’, ‘불확실성과 자료’, ‘양’ 영역에서 강점을 보였지만 ‘변화와 관계’는 상대적으로 낮게 나타났다.

임해미

<표 IV-6> ‘수학적 내용’의 하위요소별 국가 간 평균 정답률 차이(5수준 이상)

내용	국가별 평균 정답률(%)			국가 간 평균 정답률 차이(%p)		효과 크기 (d)	
	한국	싱가포르	일본	한국-싱가포르	한국-일본	한국-싱가포르	한국-일본
공간과 모양	76.11	73.60	74.73	.251***	.1.38***	0.11	0.06
변화와 관계	80.69	81.35	80.98	-.66***	-.30***	-0.04	-0.02
불확실성과 자료	82.24	85.35	81.74	-3.10***	.50***	-0.18	0.03
양	87.57	90.58	87.49	-3.00***	.09*	-0.22	0.01

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$

<표 IV-7>과 같이, 수학적 과정에서 우리나라의 상위수준 학생들은 ‘해석하기’에 해당하는 문항의 정답률이 88.28%로 가장 높았고, 그 다음은 ‘이용하기’ 84.43%, ‘형식화하기’ 74.59%의 순으로 나타났다. 싱가포르와 일본도 우리나라와 동일한 경향을 보였다.

각 하위요소별 정답률 차이에 대한 효과 크기를 구한 결과, ‘한국-싱가포르’의 효과 크기에서 우리나라는 모든 하위요소에 대해 약점을 보였다. ‘한국-일본’의 효과 크기를 비교한 결과, 우리나라는 ‘이용하기’ 영역에서 일본보다 강점을 보였지만, 나머지 두 하위요소에 대해서는 약점을 보였다.

<표 IV-7> ‘수학적 과정’의 하위요소별 국가 간 평균 정답률 차이 (5수준 이상)

내용	국가별 평균 정답률(%)			국가 간 평균 정답률 차이(%p)		효과 크기 (d)	
	한국	싱가포르	일본	한국-싱가포르	한국-일본	한국-싱가포르	한국-일본
형식화하기	74.59	75.86	76.05	-1.28***	-1.46***	-0.07	-0.09
이용하기	84.43	85.62	82.67	-1.20***	1.76***	-0.10	0.14
해석하기	88.28	89.56	88.64	-1.28***	-.36***	-0.08	-0.02

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$

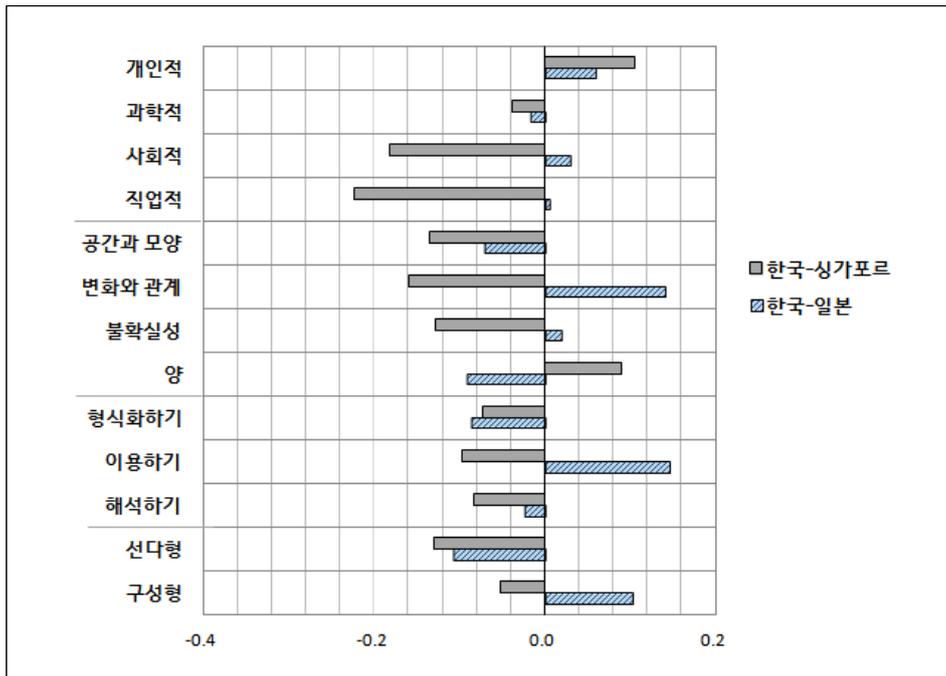
문항 유형과 관련하여 우리나라는 <표 IV-8>과 같이, 선다형 문항에 대한 정답률이 87.53%, 구성형 문항에 대한 정답률이 79.28%로 나타났으며, 싱가포르와 일본도 동일한 경향을 보였다. 문항 유형에 대한 효과 크기를 구한 결과, ‘한국-싱가포르’의 효과 크기를 비교했을 때 우리나라는 ‘선다형’ 문항과 ‘구성형’ 문항에 대해 낮은 성취 특성을 보였으며, 특히 ‘선다형’ 문항에 대해 약점을 보였다. ‘한국-일본’의 효과 크기를 비교한 결과, 우리나라는 ‘구성형’ 문항에서는 강점을 보였지만 ‘선다형’ 문항에 대해서는 약점을 보였다.

<표 IV-8> '문항 유형'의 하위요소별 국가 간 평균 정답률 차이 (5수준 이상)

내용	국가별 평균 정답률(%)			국가 간 평균 정답률 차이(%p)		효과 크기 (d)	
	한국	싱가포르	일본	한국-싱가포르	한국-일본	한국-싱가포르	한국-일본
선다형	87.53	89.18	88.84	-1.66***	-1.31***	-0.13	-0.11
구성형	79.28	79.92	78.03	-.64***	1.25***	-0.05	0.10

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$

[그림 IV-2]는 우리나라, 싱가포르, 일본의 상위 수준의 결과에 대해 평가들의 13개 하위 요소별 효과 크기를 도식화하여 비교한 것이다. 앞서 [그림 IV-1]에서 전체 학생을 대상으로 효과 크기를 비교한 결과, 평균 점수 차이에 의해 싱가포르, 한국, 일본 순으로 강점이 나타났지만, 상위 수준에 대해서는 다소 차이가 있는 양상이 나타났다. '한국-싱가포르'의 효과 크기를 비교한 결과, 우리나라는 11개 하위요소, 특히 '직업적' 맥락, '변화와 관계' 영역, '이용하기', '선다형' 문항에 대해 상대적인 약점을 보였으나, '개인적' 맥락과 수학적 내용 중 '양' 영역에 대해서는 강점을 보였다. '한국-일본'의 효과 크기를 비교한 결과, 우리나라는 7개 하위요소에 대해 강점을 보였으나, 6개 하위요소 즉, '과학적' 맥락, 수학적 내용 중 '공간과 모양'과 '양' 영역, 수학적 과정 중 '형식화하기'와 '해석하기', 문항 유형 중 '선다형' 문항에 대해서는 상대적으로 약점을 보였다.



[그림 IV-2] 5수준 이상의 평가들 하위요소별 정답률의 효과크기

V. 결론 및 제언

지금까지 동아시아 상위 성취국인 우리나라, 싱가포르, 일본의 PISA 2012 수학 결과를 비교하고 인지적 성취 특성을 살펴보았다. 평가들의 하위요소와 문항 유형별로 정답률과 효과 크기를 분석한 결과, 우리나라는 싱가포르보다 13개 하위요소 모두에서 낮은 성취를 보였으며, 일본과는 ‘개인적’ 맥락을 제외한 12개 하위요소에 대해 높은 성취를 보였다. 그러나 5수준 이상의 상위 성취수준 학생을 대상으로 한 결과에서는 하위요소별로 특징적인 결과를 확인할 수 있었다. 5수준 이상의 비율은 싱가포르, 우리나라, 일본 순의 비율을 보였으나, 평가들의 하위요소별 결과에서는 우리나라의 상대적인 강점과 약점을 확인할 수 있었다. <표 V-1>과 같이 5수준 이상에서 우리나라는 싱가포르와 비교하여 ‘개인적’ 맥락과 ‘양’ 영역에 대해 상대적으로 강점을 보였으며, 일본과 비교했을 때에는 전체 결과와 비교했을 때 약점을 보인 하위요소가 다수 나타났다.

<표 V-1> 5수준 이상의 효과 크기 비교 결과 종합

구분	한국-싱가포르		한국-일본	
	강점	약점	강점	약점
맥락	개인적	과학적, 사회적, 직업적	개인적, 사회적, 직업적	과학적
수학적 내용	양	공간과 모양, 변화와 관계, 불확실성과 자료	변화와 관계, 불확실성과 자료	양, 공간과 모양
수학적 과정	-	형식화하기, 이용하기, 해석하기	이용하기	형식화하기, 해석하기
문항 유형	-	구성형, 선다형	구성형	선다형

본 연구의 결과를 토대로 한 제언은 다음과 같다. 첫째, 우리나라 학생들이 수학적 지식에 대해 통합적인 이해를 할 수 있도록 수학 내용 지식에 대한 심도 있는 기초 연구를 수행하고, 이를 토대로 교육과정과 교과서를 구성하고 수업을 설계해야 한다. PISA의 수학적 내용은 앞서 언급한 바와 같이 전통적인 수학과는 다른 분류 체계를 갖는다. 이는 실제적으로 수학적 활용될 때에는 수학 영역 간, 수학과 타 교과간의 경계를 허물고 통합적인 이해가 요구되기 때문이다. 우리나라는 OECD 국가 중 PISA 강국으로 인식되고 있지만 세부적으로 살펴보면 전체 참여국 중 5위를 기록하였다. 특히 우리나라보다 낮은 순위를 보인 일본과 비교했을 때에도 평균 점수는 높았지만, 상위 수준을 대상으로 정답률과 효과 크기 분석 결과 ‘양’ 영역과 ‘공간과 모양’에 대해 약점을 보였다. 일본은 약 150명의 과학자, 교육자, 기술자, 언론 관계자 등이 참여한 ‘과학 기술의 지혜 프로젝트’를 통해 21세기를 풍요롭게 살아가기 위한 지혜로써 관련성이 깊은 과학 기술을 7개 분야로 나누어 과학기술 소양을 구축하였다. 특히 수학을 수량, 도형, 변화와 관계, 자료와 확실성의 범주로 구분하고 수학적 개인, 자연과학, 사회과학과 어떤 관계가 있는지를 구조화하여 제시하는 등 수학 소양에 대한 체계적인 연구를 수행한 바 있다(키타하라 카즈오 외, 2008). 우리나라도 교육과정의 내용 요소의 가감과 같은 단편적인 논의에 넘어서서 학교 수학에서 다루는 수학 내용 지식에 대

한 심도 있는 기초 연구를 수행할 필요가 있다.

둘째, 상위 수준 학생들의 수학적 모델링 역량 신장을 위한 교수 학습 방안이 마련되어야 한다. 상위 수준 학생들의 수학적 역량은 대체로 우리나라의 수학과 과학 발전의 토대가 되기 때문에, 역량 교육을 위해 우리나라 상위 수준 학생들이 수학 성취에서 보이는 강약점을 충분히 파악하고 정책 수립에 반영할 필요가 있다. 도시 국가인 싱가포르의 교육 정책을 빠르게 확산할 수 있으며, 그만큼 교육의 트렌드에 따라 민감하게 변화·성장하고 있다. 특히 상위 수준의 비율이 높은 싱가포르에서 고차원적 사고를 개발하기 위한 수학 수업을 어떻게 설계하고 있는지, 문제 해결 교육을 위해 어떤 소재와 테크놀로지를 활용하고 있는지 등에 대한 수업 연구를 실시하여 우리나라 교육에 반영할 필요가 있다. 또한 일본은 PISA에서 요구하는 역량의 중요성을 인지하고 전국학력학습상황조사의 평가틀에도 PISA의 수학적 과정 특히 수학적 모델링 과정을 반영하여 평가를 실시하고 있다(임해미, 김부미, 2014). 본 연구 결과, 일본의 상위 수준 학생들이 우리나라와 비교하여 ‘형식화하기’와 ‘해석하기’에 강점을 보였고, 구자옥 외(2015)의 연구에서 우리나라는 통제 전략의 영향력이 컸지만 일본은 정교화 전략과 학교에서의 응용수학 학습경험이 수학 성취에 영향을 주고 있었는데, 이러한 연구 결과는 최근 일본의 수학교육 변화 방향을 반영한 것이라 볼 수 있다. 따라서 우리나라에서도 수학적 모델링을 반영한 수학 수업이 충실히 이루어질 수 있도록 다양한 교수 학습과 평가에 대한 연구를 확대하고, 특히 상위 수준 학생들이 흥미 있게 탐구할 수 있는 심도 있는 모델링 과제를 개발하는 등 수학적 역량을 갖춘 인재 양성에 대한 관심을 확대해야 할 것이다.

참고문헌

- 구자욱, 김성숙, 임해미, 박혜영, 한정아(2015). OECD 국제 학업성취도 평가 연구: PISA 2012 상위국 성취 특성 및 교육맥락변인 영향력 비교 분석. 한국교육과정평가원 연구보고 RRE 2015-6-1.
- 송미영, 임해미, 최혁준, 박혜영, 손수경(2013). OECD 국제 학업성취도 평가 연구: PISA 2012 결과 보고서. 한국교육과정평가원 연구보고 RRE 2013-6-1.
- 이정규, 박춘성(2009). 국가별 영재교육정책과 영재성에 대한 비교 연구: 일본 영재교육의 발전 방향. *한국일본교육학연구*, 13(2), 1-18.
- 임해미, 김부미(2014). 일본과 우리나라의 수학과 교육과정과 국가수준 학업성취도 평가 비교. *학교수학*, 16(2), 259-283.
- 조윤동, 윤용식(2014). 핵심 역량 육성의 관점에서 비교한 한국과 일본의 수학과 교육과정. *수학교육학연구*, 24(1), 45-65.
- 조지민, 동효관, 옥현진, 임해미, 정혜경, 손수경, 배제성(2012). OECD 국제 학업성취도 비교 연구: PISA 2012 본검사 시행보고서. 한국교육과정평가원 연구보고 RRE 2012-3-1.
- 최혁준(2015). 한국, 일본, 핀란드의 PISA 2012 과학 결과 비교. *교원교육*, 31(3), 370-399.
- 키타하라 카즈오 외(2008). 과학 기술의 지혜 프로젝트 수리과학 전문부회 보고서. 한국과학창의재단.
- OECD (2005). *The definition and selection of key competencies: executive summary*. Retrieved from: <http://www.oecd.org/pisa/35070367.pdf>
- OECD (2013). *PISA 2012 assessment and analytical framework: mathematics, reading, science, problem solving and financial literacy*. Paris: OECD.
- OECD (2014a). *Lessons from PISA for Korea, Strong Performers and Successful Reformers in Education*. OECD Publishing.
- OECD (2014b). *PISA 2012 Results: What students know and can do-Student Performance in Mathematics, Reading and Science (Vol. I, Revised Edition)*. OECD Publishing
- Singapore Ministry of Education (2006). *Secondary Mathematics Syllabuses*.
- Singapore Ministry of Education (2012). *Primary Mathematics Teaching and Learning Syllabus*.

International Comparative Analysis on East Asian Top Level Countries' Mathematics Achievements in PISA 2012 Results

Rim, Haemee⁴⁾

Abstract

The purpose of this study is to analyze Korean students' mathematics achievement characteristics and draw implications for better math education in schools through comparing the results of three east Asian top level countries, Korea, Singapore, and Japan in PISA 2012 results.

As a results, the rate of correct answers of Korea students was relatively low compared with those of Singapore, but relatively higher than Japan. From the results of effect size, similar results from t-test was discovered. As shown in analysis according to sub-elements in math assessment framework, the Korean students had low effect size in every sub-elements than Singapore. and they had high effect size at most of sub-elements than Japan, except "personal" context. In top performing level(above level 5), the Korean students had high effect size at "quantities" in mathematical contents, and "employ" in mathematical processes compared with Singapore. And they had row effect size at 6 sub-elements compared with Japan.

Key Words : International comparative study, PISA 2012, Singapore, Japan

Received November 18, 2016

Revised December 13, 2016

Accepted December 20, 2016

* 2010 Mathematics Subject Classification : 97D60

4) Korea Institute of Curriculum and Evaluation (rimhm@kice.re.kr)