

우리나라 학생들의 과학 영역 성취 특성 탐색

김현정

공주대학교

(접수 2020. 9. 7; 게재확정 2020. 11. 6)

Exploration of Features of Korean Students' Performance in Science

Hyun Jung Kim

Kongju National University, Chungcheongnam-do 32588, Korea. E-mail: chem95@kongju.ac.kr

(Received September 7, 2020; Accepted November 6, 2020)

요 약. 본 연구의 목적은 PISA 2018에서 나타난 우리나라 학생들의 과학 영역 성취의 특징을 분석하는 것이다. 이를 위하여 PISA 2009 ~ PISA 2018 과학 영역에서 우리나라 학생들의 성취 수준별 비율과 성취 수준별 남녀 비율을 살펴보고, 평가를 하위 요소별 정답률을 PISA 2015와 비교하여 살펴보았다. 연구 결과 우리나라는 PISA 주요 성취 상위국에 비하여 하위 성취 수준 학생들의 비율이 높았던 반면, 상위 성취 수준 학생들의 비율은 낮았다. 평균에서 남학생과 여학생의 성취 차이는 거의 없어졌으나, 상위 성취 수준에서 남학생의 비율은 여학생의 비율보다 높은 것이 유지되고 있었다. 또한, 평가틀에서 '맥락'의 '개인적', '역량'의 '과학 탐구의 설계 및 평가', '지식'의 '인식론적' 지식, '인지적 요구'의 '상'에 해당하는 문항의 정답률이 상승하여 PISA 2015에 비해 성취가 향상되었다. 연구 결과를 토대로, 우리나라 학생들의 과학 역량 함양을 위한 교수·학습과 평가의 개선 방안을 제안하였다.

주제어: PISA 2018, 과학 성취, 과학 평가틀

ABSTRACT. This study aimed to analyze achievement characteristics of Korean students in the results of PISA 2018 science domain. To this end, the characteristics of PISA 2009 to PISA 2018 science were analyzed in terms of the percentage of each performance level and the ratio of male and female by achievement level; in addition, the percentage of correct answers by framework subscale was compared with PISA 2015. The results showed that Korea has a higher percentage of students at the lower level of achievement as compared to the high-ranking countries of PISA, and the ratio of students at the higher level of achievement was lower. On average, the difference in achievement between boys and girls was negligible; however, but at the higher achievement level, the ratio of boys continued to be higher than that of girls. In addition, in the PISA science framework, the percentage of correct answers of the questions corresponding to 'personal' of 'contexts', 'evaluate and design scientific enquiry' of 'competencies', 'epistemic' of 'knowledge', and 'high' of 'cognitive demand' increased; similarly, and achievement improved as compared to PISA 2015. Based on these results of the study, we propose a method for improving teaching and evaluation to foster Korean students' scientific competence.

Key words: PISA 2018, Science achievement, Science assessment framework

서 론

우리나라는 경제협력개발기구(Organization for Economic Co-operation and Development, 이하 OECD)가 주관하는 국제학업성취도 평가 PISA(Programme for International Student Assessment; 이하 PISA)에 2000년부터 참여하였으며, 참여 초기 과학 영역에서 최상위권 성취를 보여주며 많은 국가들이 우리나라의 교육 방식에 큰 관심을 나타냈다.¹ PISA는 3년마다 만 15세 학생을 대상으로 참여국 학생들의 읽기, 수학, 과학 영역의 성취를 측정하고, 이와 함께 인지적 성취에 영향을 줄 것으로 예상되는 다양한 교육맥

락변인들의 영향을 설문 조사를 통해 수집하여 분석한다. 2019년 12월에 결과가 발표된 PISA 2018의 경우 7번째 주기 시험으로, 우리나라 학생들의 과학 영역 성취는 참여국 중 6~10위로 나타났다.² 우리나라는 여전히 과학 영역에서 상위권을 유지하고 있으나, PISA 2015에서 72개국 중 9~14위를 차지하며 처음으로 10위권 밖으로 성취가 하락하였으며, 기초학력 미달 비율이 이전 주기에 비해 2배 이상 증가하여 과학 교육계에서 큰 이슈가 되었다.

PISA는 참여국의 교육을 단일 기준으로 평가하여 그 결과를 국제적으로 비교하는 표준화된 교육 지표로 많은 국가들이 자발적으로 PISA에 참여함으로써 전지구적으로

교육을 수렴시키는 역할을 하고 있다.³ PISA 결과는 국가 교육의 책무성을 판단하고 이를 바탕으로 국가별로 효과적인 정책을 권고하고 있으며, 우리나라에서도 교육과정의 개정, 과학교육 종합계획의 수립 등 다양한 교육 정책의 수립 과정에서 PISA의 인지적, 정의적 성취 결과를 참고한다.⁴⁻⁶ 또한, PISA는 대표적인 역량 기반 평가로 교육과정 기반의 지식 이해도를 평가하는 것이 아니라 문항의 맥락 속에서 역량을 활용하는 능력을 평가한다. 우리나라 학생들은 교육과정 기반의 국제학업성취도평가(Trends in International Mathematics and Science Study, 이하 TIMSS)에서는 꾸준히 수학, 과학 영역 모두에서 최상위권을 유지하고 있으며, TIMSS 2015에서도 초등학교 4학년은 과학에서 참여국 중 2위, 중학교 2학년은 과학에서 참여국 중 4위의 성적을 나타냈다.⁷ 이에 비해 역량 기반 평가인 PISA에서의 성취는 TIMSS보다 상대적으로 낮은 성취를 보이고 있어, 우리나라의 학교 교육은 교육과정 성취기준에 해당하는 지식 전달에서 강점을 갖는 것으로 볼 수 있다. 그러나 우리나라 교육과정도 국제적 교육 동향에 맞추어 역량 기반 교육과정을 추구함에 따라 현장에서 이루어지는 수업과 평가 역시 학생들의 역량을 함양하고 측정하는 방향으로의 패러다임 전환이 이루어지고 있다. 과학 교육의 방향이 지식 전달에서 더 나아가 학생들의 과학 교과 역량 함양을 목적으로 변화하였으며, 학교 교육을 통해 구체적으로 과학 교과 역량을 함양하고 이를 평가하고자 하고 있다.⁸ 이에 대표적인 역량 기반 평가인 PISA에서 나타나는 우리나라 학생들의 성취 특성 및 결과 등에 대한 관심이 커지고 있다.

PISA는 표준화된 교육 지표로 참여국들의 데이터는 각국의 교육 성취, 교육 환경, 교육 정책 등을 비교 가능하게 하였다. 그동안 PISA와 관련하여 이루어진 연구들도 PISA 데이터를 활용하여 참여국의 성취를 분석하여 각국의 교육 정책 수립을 위한 함의를 도출하고자 하는 연구가 주로 시행되었다. 우리나라를 포함하여 PISA 참여국 과학 영역의 성취를 분석하거나 설문 조사에서 얻은 다양한 교육 맥락변인들과 인지적 성취 사이의 연관 등을 분석한 연구가 시행되었으며,⁹⁻¹² PISA에 참여한 여러 국가들의 데이터를 비교하여 우리나라의 성취 특성을 분석한 연구들도 이루어졌다.¹³⁻¹⁵ 과거 과학 영역이 남학생과 여학생의 성취 차이가 커, PISA에서 나타나는 남학생과 여학생의 성취 차이, 이공계열로의 진학 또는 직업 선택 등의 차이, 남학생과 여학생의 서술형 응답에서 나타나는 특징 등을 분석한 연구들도 이루어졌다.¹⁶⁻¹⁸ 그 외에도 PISA와 같은 대규모 평가에서 국가별로 보이는 특징을 분석하여 동·서양 국가들의 상대적 강점과 약점을 파악한 연구,¹⁹ PISA가 한국의 교육 정책 형성 및 집행에 미친 영향을 글로벌 거버넌스

개념을 도입하여 분석하고 국가 교육에 미친 영향을 분석하는 연구도 진행되었다.^{3,20} 주기별로 시행되는 PISA의 결과는 각국의 교육 정책 방향을 결정하는 데 큰 영향을 미치며, 우리나라도 교육과정의 개정, 과학교육 종합계획의 수립 등의 주요 교육 정책을 결정하는 데 PISA 결과를 기초 자료로 사용하고 있다.^{4,6} 따라서 최근 시행된 PISA 2018의 결과는 현재 우리 과학 교육의 방향을 점검하는데 중요한 기초 자료가 될 수 있다. 그러나 그간 이루어진 여러 선행 연구들은 대부분 PISA 2015 이전의 데이터를 바탕으로 이루어진 연구이며, 최근에 PISA 2018 데이터를 바탕으로 한 연구들은 이제 진행 중이다. 과학은 미래의 지능 정보 사회를 선도를 위한 핵심 교과이며, 과학 소양은 제 4차 산업혁명 시대의 기초 소양이므로,⁶ 최근 시행된 PISA 2018에서 우리나라 학생들의 과학 영역의 성취를 이전 주기와 비교하여 살펴보는 것은 향후 과학 과목의 교수·학습과 평가의 방향에 시사점을 줄 수 있다.

PISA는 주기별로 읽기, 수학, 과학 영역에 대한 평가를 시행하나, 주기별로 주영역이 한 영역 존재한다. PISA 2018은 읽기가 주영역으로 읽기에 대한 교수학습변인의 조사와 평가가 중점적으로 이루어졌다. PISA 2018은 과학 영역이 보조 영역으로 시행되어, 과학 관련 교수학습변인에 관련된 조사는 이루어지지 않고 평가 문항을 통한 인지적 성취가 주로 측정되었다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 학생들의 PISA 2018 과학 영역의 인지적 성취를 이전 주기와 비교하여 분석하고, 이를 통해 우리나라 학생들의 과학 역량 함양과 역량 평가 방안을 위한 시사점을 제시하고자 한다. 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, PISA 2018 우리나라 학생들의 과학 영역 성취에 나타나는 특징을 분석하기 위하여, PISA 2009~PISA 2018에서 나타나는 성취 수준별 비율, 성취 수준 집단별 비율, 성취 수준별 성별 차이에서 나타나는 특징을 살펴보았다.

둘째, PISA 2018 우리나라 학생들의 과학 영역 성취를 구체적으로 분석하기 위하여, PISA 과학 영역 평가들 하위 요소별로 정답률을 분석하였으며, 이를 PISA 2015와 비교하였다.

연구 방법 및 내용

분석 대상 및 분석 자료

분석 자료는 PISA 2018 참여국의 과학 영역 문항 채점 결과 원자료를 사용하였다.²¹ PISA 2018의 경우 전 세계 79개국(OECD 회원국 37개국, 비회원국 42개국)에서 약 60만 명이 참여하였으며, 우리나라는 2018년 5월 8일부터 6월 8일까지 188개교 총 6,876명이 참여하였다. PISA의 검사 대상은 의무 교육을 종료한 만 15세의 학생으로, 우리

나라는 2002년 3월 1일부터 2003년 2월 28일 사이에 출생한 고등학교 1학년 학생들이 85%로 대부분을 차지한다. 우리나라 자료는 시행 결과 자료 통합 관리 프로그램인 DME(Data Management Expert)에 입력되며, 채점자 신뢰도 분석 등의 작업을 거쳐 최종적으로 국제본부에 송부된다. 국제본부에서는 참여국의 데이터를 분석하여 특이점이 나타난 문항들의 오류 사항을 점검하고 수정하는 타당성 검토 과정을 Westat와 공동으로 수행하여 최종 결과를 확정하게 된다.²²

분석 방법 및 평가틀

본 연구에서는 PISA 2018 결과에서 나타난 우리나라 학생들의 과학 성취 특징을 분석하기 위하여, PISA 2018 과학 영역 원데이터를 분석하고 이를 이전 주기들과 비교하였다. 우선 우리나라 학생들의 PISA 2018에서 나타난 인지적 성취의 변화 추이를 알아보기 위하여, PISA 2009부터 PISA 2018까지 성취 수준별 백분위 분석을 통해 성취 수준별 비율에서 나타나는 특징을 살펴보았으며, 상위 성취 수준과 하위 성취 수준 비율을 PISA 주요 성취 상위국(싱가포르, 일본, 캐나다, 에스토니아, 핀란드)과 비교하여 우리나라 학생들의 과학 영역 성취에서 나타난 특징을 분석하였다. 또한, 성취 수준별로 남학생과 여학생의 비율의 차이를 OECD 평균과 비교하고 주기별 추이에서 나타나는 특징을 살펴보았다. PISA의 성취는 6수준으로 나타내며, 5수준 이상을 상위 성취 수준, 2수준 이상 4수준까지를 중위 성취 수준, 2수준 미만 학생들을 하위 성취 수준 집단이자 기초학력 미달 수준으로 구분한다.

또한, PISA 2018의 과학 영역에서 나타난 우리나라 학생들의 과학 역량을 구체적으로 살펴보기 위하여 PISA 과학 영역 평가를 하위 요소별로 정답률을 분석하고, 이를 PISA 2015 결과와 차이 검증 등을 통해 비교 분석하였다. PISA 과학 영역에서 측정하는 과학 역량은 PISA가 문항을 제작하는 과정에서 준거로 삼는 평가틀을 통해 알 수 있다. PISA 과학 영역의 평가틀은 맥락, 역량, 지식, 인지적 요구로 구성되는데,²³ ‘맥락’은 문제의 상황에 관련한 것으로 ‘개인적 상황, 지역적/국가적 상황, 전 세계적 상황’으로 구성되며, ‘역량’은 ‘현상에 대한 과학적 설명, 과학 탐구의 평가 및 설계, 자료 및 증거의 과학적 해석’으로 구성된다. ‘지식’은 물상계, 생물계, 지구우주계로 구성되는 ‘내용’ 지식과 과학 지식이 어떻게 만들어지는지에 대한 이해를

문는 ‘절차적’ 지식, ‘인식론적’ 지식으로 나누어진다. ‘인지적 요구’는 문항을 해결하는 과정에서 요구하는 사고 과정과 관련된 것으로, 문항에서 요구하는 지식의 깊이에 따라 ‘상, 중, 하’로 구분된다.^{9,23}

평가를 하위 요소별 정답률은 PISA 2015 결과와 차이 검증 등을 통해 비교 분석하였다. PISA는 PISA 2015부터 컴퓨터 기반 평가로 전환되면서 컴퓨터 시뮬레이션을 기반으로 하는 새로운 문항이 대거 개발되었다. 지필평가로만 구성된 이전 주기들과는 문항 구성에서 차이가 있으므로, 평가 문항의 구성 상황이 유사한 PISA 2015와 PISA 2018의 정답률을 비교하여 PISA 2018 과학 영역 성취 특징을 분석하고자 하였다. 또한 평가를 별 정답률에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 경우 면밀한 분석을 위하여 문항별 정답률을 산출하여 PISA 2015와 비교하였다.

연구 결과 및 논의

PISA 2018에서 나타난 우리나라 학생들의 과학 영역 성취

PISA 2018에서 우리나라 학생들의 과학 영역 성취는 참여국 중 6~10위로 나타났다. Table 1은 PISA 2009부터 PISA 2018까지 우리나라 학생들의 과학 영역의 평균 점수와 순위를 함께 나타낸 것이다.

우리나라 학생들의 과학 성취는 PISA 2015에 비해 평균과 순위에서 소폭의 향상이 나타났으나 PISA 2009와 PISA 2012에 비해서는 낮게 나타났다. PISA 2018에서 나타난 과학 영역 성취를 구체적으로 살펴보고자 PISA 주기별 성취 수준별 비율을 비교하였다. Fig. 1은 PISA 2009부터 PISA 2018까지 각 주기에서 우리나라 학생들의 과학 영역 성취 수준별 비율을 나타낸 것이다.

6수준은 PISA의 최상위 비율로 PISA 2006부터 PISA 2012까지 1.1%를 유지하다가 PISA 2015 이후 조금씩 상승하였으며, 상위 성취 수준에 해당하는 5수준 이상의 학생 비율은 10.3%~11.8%를 유지하고 있다. 5수준 이상의 상위 수준의 비율이 거의 유사하게 유지되고 있으며 6수준에 해당하는 최상위 학생들의 비율이 PISA 2018에서 증가한 것은 의미 있는 결과라고 할 수 있다 하위 성취 수준에 해당하는 2수준 미만의 학생 비율은 PISA 2012에서 6.6%였으나, PISA 2015에서 14.4%로 상승한 이후 PISA 2018에서도 14.2%로 거의 유사한 수치를 유지하고 있다.

Table 1. Trends in performance in science

Grade	PISA 2009	PISA 2012	PISA 2015	PISA 2018
Mean	538	538	516	519
Ranking (Number of participating countries)	4 ~ 7(75)	5 ~ 8(65)	9 ~ 14(72)	6 ~ 10(79)

*Source²

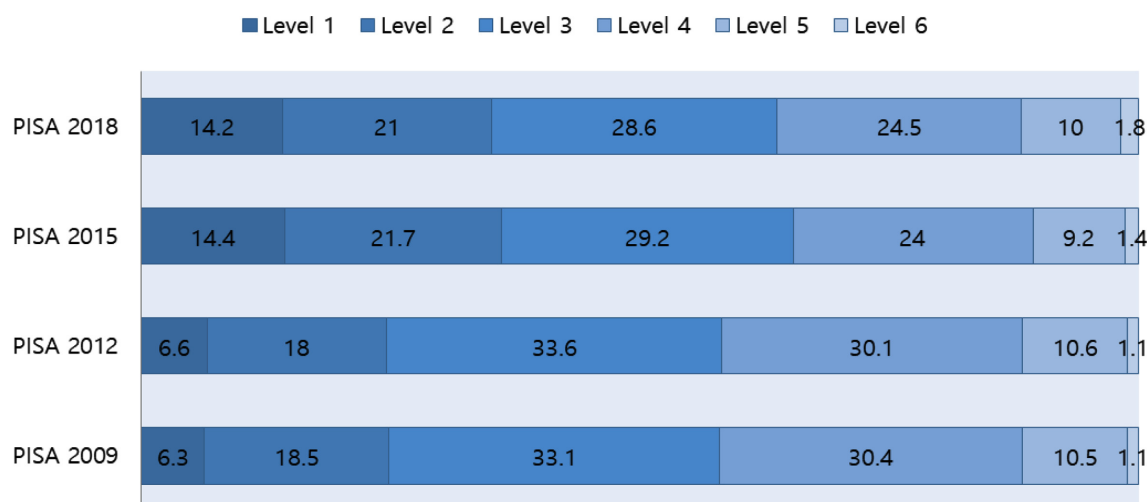


Figure 1. Percentage of students at each grade level in science.

PISA에서는 2수준을 기초학력 도달 여부를 판단하는 중요한 기준으로 판단하므로, 2수준 미만이 14% 이상을 유지하고 있는 것은 향후 우리나라 교육 정책 실행에 중요한 근거가 된다.

과학 영역 성취 수준 집단에서 보이는 특징을 파악하기 위하여 PISA 주요 성취 상위국들의 과학 영역 상위 성취 수준 비율과 하위 성취 수준의 비율을 비교한 결과는 Table 2와 같다.

우리나라는 PISA 주요 성취 상위국들과 비교할 때 상위 성취 수준의 비율은 낮고, 하위 성취 수준의 비율은 높은 편이다. PISA에서 우리나라의 상위 성취 수준의 비율은 10% 초반을 유지하고 있고, 최상위 성취 수준인 6수준의 비율은 PISA 2015와 PISA 2018에서 소폭 상승하였다. 그러나 이를 주요 성취 상위국들과 비교해보면, 상위 성취 수준의 비율은 높지 않은 편이며, 특히 싱가포르와 일본의 상위 성취 수준 비율과는 큰 차이가 있다. 또한, 하위 성취 수준인 기초학력 미달 수준 학생들의 증가에 대한 우려는 기초 교육 강화와 학습 부진을 예방하고자 하는

‘기초학력 보장법’의 제정으로 이어졌으며,²⁴ 과학 기초학력 미달 학생들을 위한 기초학력 진단 및 맞춤형 학습 보장 프로그램이 추진되고 있다.^{6,24}

PISA 2012 이후 2수준 미만 학생들의 비율이 2배 이상 상승한 후 유지되고 있는 것은 PISA 2015나 PISA 2018에 참여한 학생들에게 적용된 기초학력 보장 정책이 그 이전과 어떻게 달라졌는지 검토할 필요가 있음을 시사한다. 또한 상위 성취 수준 학생들의 비율이 PISA 성취 상위국들에 비해 적은 것은 상위 성취 수준 학생들을 위한 프로그램도 함께 점검하고 보완할 필요가 있음을 의미한다. 그동안 우리나라의 기초학력 보장 정책은 초등학교에서 이루어진 기초학력 진단평가와 초·중·고에서 이루어진 국가수준 학업성취도 평가 결과를 바탕으로 추진되어 왔다. 과거 국가수준 학업성취도 평가가 전수 조사로 실시되고, 그 평가 결과를 공시하던 시기에는 시도간, 학교간 서열화가 조장되고 경쟁이 심화되는 부작용이 있었으나,²⁵ 이 시기에 초·중·고를 경험한 학생들의 경우 2수준 미만에 해당하는 비율이 PISA 2018에 참여한 학생들 보다 훨씬 적

Table 2. Percentage of low achievers and top performers in science in PISA high-ranking countries

Country	PISA 2009		PISA 2012		PISA 2015		PISA 2018	
	Level 5 or above	Below Level 2	Level 5 or above	Below Level 2	Level 5 or above	Below Level 2	Level 5 or above	Below Level 2
Korea	11.6	6.3	11.7	6.6	10.6	14.4	11.8	14.2
Singapore	19.9	11.5	22.7	9.6	24.2	9.6	20.7	9.0
Japan	16.9	10.7	18.2	8.5	15.3	9.6	13.1	10.8
Canada	12.1	9.6	11.3	10.4	12.4	11.1	11.3	13.4
Estonia	10.4	8.3	12.8	5.0	13.5	8.8	12.2	8.8
Finland	18.7	6.0	17.1	7.7	14.3	11.5	12.3	12.9

*Source²¹

었던 것이 사실이다. 또한 이 시기에는 2009년~2011년까지 기초학력 미달 학생이 많은 학교를 학력 향상 중점학교로 지정하고 학교당 5000~8000만원의 예산을 배부하여 학교별 특색에 맞는 다양한 학력 증진 프로그램이 수행되도록 지원하였다. 그러나 학교 현장에서 일제고사가 사라지고, 학교에서 이루어지는 기초학력 보장 프로그램들도 축소되어 현재 과학 과목에서 기초학력 부진 학생들을 위한 프로그램은 찾기 힘들다. 기초학력 프로그램을 운영하는 경우에도 학생과 학부모의 동의 하에 희망자에 한해서 이루어지는 등 과거에 비해 기초학력 미달 학생들을 위한 구체적인 지원 프로그램이 내실 있게 이루어지기 어려운 실정이다. 향후 기초학력 보장 방안에 따라 구체적인 프로그램이 계획되고 실행될 예정이므로, 과학 과목은 과목 특성을 반영한 기초학력 지원 프로그램을 고려할 필요가 있다. 과학 학습에서 학습 부진을 겪는 학생들은 과학 용어가 생소하고 과학 탐구 활동을 수행하기 어려운 경우가 많으므로, 이를 해결하기 위해 기초 탐구 수행을 위한 실험도구 사용법, 제시된 자료를 해석하는 능력 등의 탐구 능력을 향상시키기 위한 프로그램이 필요하다. 교과 수업을 통한 지식 전달 뿐 아니라 학생들의 과학 기초 역량을 기르기 위하여 표, 그래프, 기호, 모형 등의 이해를 위한 수업과 사용 목적에 맞는 적절한 도구를 사용하는 역량을 기르기 위한 활동을 교육과정 성취기준에 명시하고, 과학 수업을 통해 이를 함양하도록 노력하는 국가들의 사례도 참고할 필요가 있다. 캐나다 과학 교육과정에서는 ‘데이터의 규칙성이나 관계를 나타내기 위해 적절한 표, 그래프, 기호, 모형, 디지털 기술을 포함한 다양한 방법을 구성하고 사용한다.’와 같은 성취기준이 있으며, 싱가포르에서는 ‘적절한 도구(미터 규칙, 측정 테이프, 버니어 캘리퍼스, 측정 실린더, 변위 캔, 전자저울)를 사용하여 물질의 길이, 부피 및 질량(액체 및 고체의 부피 및 질량 포함)을 정확하게 측정하고 어렵하기’ 등의 성취기준을 찾을 수 있다. 에스토니아에서는 ‘안전 규정에 따라 적절한 측정 도구를 올바르게 사용한다. 그래픽 및 비 그래픽으로 제시된 데이터 수집에서 연관성을 이끌어 낼 수 있다.’ 등의 성취기준을 통해 학생들의 과학 기초 역량을 향상시키는 수업이 이루어지고 있다.

[Canada 7~8 grade] Observe, measure, and record data (qualitative and quantitative), using equipment, including digital technologies, with accuracy and precision.²⁶

[Singapore 7~10 grade] Make estimations and measure accurately length, volume and mass (including volume and mass of liquids and solids but not of gases) of matter using appropriate instruments (metre rule, measuring tape, vernier calipers, measuring cylinder, displacement can, electronic balance) and methods.²⁷

[Estonia 4~6 grade] Use appropriate measuring tools correctly, following safety regulations.

[Estonia 7~10 grade] Are able to bring out associations in data collections presented both graphically and nongraphically.²⁸

또한, 우리나라는 영재교육진흥법을 시행하고 영재학교, 영재학급, 영재교육원 등을 설치하여 과학 분야 우수 학생들을 위한 특화된 교육을 진행하고 있다.²⁹ 그러나 지속적으로 이루어지고 있는 영재교육에도 불구하고 우리나라 상위 성취 수준 학생들의 비율이 높지 않은 것은 학교 과학 교육을 통해 일반적으로 접하는 수업과 평가 방식이 PISA에서 주로 평가하는 역량 기반 평가와 거리가 있기 때문일 수도 있다.^{9,13} PISA 평가 문항의 경우 실생활 맥락 기반으로 문항을 해결하는 과정에서 과학 지식과 역량을 활용하여야 하는데, 우리는 과학 수업은 과학 지식의 전달에 중점을 두고 있었으며, 다양한 과학 교과 역량의 하위 요소들을 함양할 수 있는 수업과 평가 방안에는 최근 관심을 갖기 시작했기 때문이다.

더불어 과학은 과거 남학생과 여학생의 성취 차이가 이슈가 되었으나 최근 PISA 과학 영역에서는 남학생과 여학생의 성취 차이는 크게 줄어 거의 나타나지 않는 것으로 보고 되고 있다. 그러나 성취 수준별 분포의 양극단에서는 남학생과 여학생들의 성취가 의미 있는 차이를 보이는 경우가 있으므로,^{16,30} 우리나라 학생들의 과학 영역 성취 수준별로 남학생과 여학생의 비율 차이를 살펴보았다(참조 Table 3).

우리나라는 지속적으로 5수준과 6수준에서는 남학생의 비율이 여학생의 비율보다 크게 나타났으며, 기초학력 미달 수준인 1수준에서도 남학생의 비율이 여학생의 비율보다 크게 나타나고 있다. PISA 2015에서는 1수준 학생들

Table 3. Differences in the percentage of male and female students by each grade level in science (male-female)

	Level 1		Level 2		Level 3		Level 4		Level 5		Level 6	
	Korea	OECD	Korea	OECD	Korea	OECD	Korea	OECD	Korea	OECD	Korea	OECD
PISA 2009	0.8	1	1.1	-1.1	-3.7	-2.2	-2.5	-0.1	1.6	1.2	0.9	0.5
PISA 2012	0.3	1.1	-0.9	-1.9	-4.6	-2.3	0.2	0.5	2.2	1.4	1	0.5
PISA 2015	6.1	1.1	-0.3	-1.8	-4.5	-2.3	-3.2	0.6	1.5	1.7	0.5	0.5
PISA 2018	0.8	2.4	-0.6	-0.9	-2.9	-2.4	0.1	-0.3	1.7	0.9	0.9	0.3

중 남학생의 비율이 크게 증가하여 성별 차이가 크게 나타났으나 PISA 2018에서는 남학생과 여학생의 비율 차이가 줄어들었다. PISA 2018에서 5수준과 6수준 모두 OECD 평균에서는 남학생과 여학생의 비율 차이가 PISA 2015에 비해 감소하였으나, 우리나라는 남학생의 비율과 여학생의 비율의 차이가 소폭 증가했다. 학업 성취가 높은 집단에서 남학생의 비율이 여학생보다 높은 것은 고등 교육에서 과학 분야에 진출하는 여학생의 수와 밀접한 관련이 있으므로,^{15,16} 지속적으로 상위 성취 집단에서 남학생의 비율과 여학생의 비율이 유사하게 유지될 수 있도록 하는 정책적 노력이 필요하다.

평가를 하위 요소별 과학 성취

우리나라 학생들이 PISA 2018 과학 영역에서 보이는 성취의 특징을 분석하고자 과학 영역 평가를 하위 요소별로 정답률을 분석해보면 Table 4와 같다.

우리나라 학생들은 ‘맥락’에서는 ‘개인적’ 문제 상황과 관련된 문항의 정답률게 높고, ‘전 세계적’ 이슈와 관련된 문항에 대한 정답률은 상대적으로 낮게 나타났다. PISA 2018에서 우리나라의 성취가 PISA 2015에 비해 상승하였는데, ‘맥락’ 중에서는 ‘개인적’ 문제 상황과 관련한 문항의 정답률이 상승하였다. ‘역량’에서는 ‘자료 및 증거의 과학적 해석’과 관련된 문항에 대한 정답률이 높은 반면, ‘과학 탐구의 평가 및 설계’와 관련된 정답률은 상대적으로 낮았다. ‘과학 탐구의 평가 및 설계’ 역량을 묻는 문항의 정답률은 PISA 2015, 2018 모두 역량 중 낮은 정답률이 나타났으나 PISA 2015에 비해서는 정답률이 상승하였다. ‘지식’에서는 ‘인식론적’ 지식을 묻는 문항의 정답률이 ‘내용’ 지식과 ‘절차적’ 지식을 묻는 문항들에 비해 정답률이

상대적으로 낮게 나타났으나, PISA 2015에 비해서 정답률이 상승했다. ‘인지적 요구’에서는 고차원적 사고력을 요하는 ‘상’에 해당하는 문항의 정답률이 상대적으로 낮게 나타났으나, PISA 2015에 비하여 정답률이 상승하였다. 그러나 문항에는 여러 평가들의 평가 요소가 함께 반영되므로 평가를 하위 요소들을 종합적으로 살펴볼 필요가 있다. ‘맥락’은 문제의 소재와 상황을 의미하여 문항의 정답률은 문제 해결 과정에서 ‘역량’과 ‘지식’의 영향을 크게 받으므로, 구체적인 문항 분석은 ‘역량’, ‘지식’, ‘인지적 요구’를 중심으로 진행하였다.

과학 영역의 주요 평가틀인 ‘역량’ 중 우리나라 학생들의 성취가 낮은 ‘과학 탐구의 설계 및 평가’에 해당하는 모든 문항은 ‘지식’에서는 ‘내용’ 지식이 아닌 ‘절차적’ 지식 또는 ‘인식론적’ 지식을 묻는 문항이다. 우리나라는 ‘역량’ 중에서 ‘과학 탐구의 설계 및 평가’에 해당하는 문항의 정답률이, ‘지식’ 중에서는 ‘인식론적’ 지식을 묻는 문항의 정답률이 낮게 나타나는 특징이 있다. PISA 2018에서 PISA 2015에 비해 과학 성취가 향상하였으며, 평가를 하위 요소별 정답률을 살펴보았을 때, ‘과학 탐구의 설계 및 평가’와 ‘인식론적’ 지식에 해당하는 문항의 정답률 향상이 두드러지므로, 우선 평가를 중 ‘과학 탐구의 설계 및 평가’에 해당하는 문항을 살펴보았다.

Table 5는 ‘역량’ 중에서 ‘과학 탐구의 평가 및 설계’를 묻는 문항으로 분류된 총 29개 문항 중 정답률이 50% 미만인 문항들의 정보를 나타낸 것이다. 29개 문항 중 9개를 제외하고는 PISA 2018에서 PISA 2015에 비해 정답률이 상승하였으며, 정답률이 약 10%p이상 상승한 문항들은 모두 Table 5에 있는 정답률 50% 미만인 문항에서 나타났다.

Table 4. Percentage of correct answers by PISA science framework subscale

	Subscale	PISA 2018(%)	PISA 2015(%)	Difference
Contexts	Global	49.76	49.85	-0.09
	Local/national	59.28	57.97	1.31**
	Personal	72.53	63.69	8.83**
Competencies	Explain phenomena scientifically	55.33	54.77	0.56**
	Evaluate and design scientific enquiry	52.55	48.52	4.03**
	Interpret data and evidence scientifically	61.94	62.61	-0.67**
Knowledge	Physical	60.21	57.68	2.53**
	Living	55.38	56.42	-1.04**
	Earth and space	55.64	55.52	0.12
	Procedural	59.99	59.76	0.23**
	Epistemic	43.99	40.25	3.74**
Cognitive demand	High	50.94	45.84	5.10**
	Medium	52.57	51.60	0.97**
	Low	68.45	67.60	0.85**

*p<.05, **p<.01

Table 5. Information on questions with fewer than 50% correct answers in the ‘Evaluate and design scientific enquiry’

	Unit	Question Number	PISA 2018(%)	PISA 2015(%)	Contexts	Competencies	Knowledge	Cognitive demand
1	Vaccination and Spreading of Disease	Q05	15.50	14.98	Global	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
2	Comparing Light Bulbs	Q05	18.54	16.69	Personal	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
3	Nanoparticles	Q05	27.82	15.58	Global	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
4	Water from Fog	Q04	29.22	30.43	Global	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
5	Green Parks	Q03	31.11	21.52	Local/national	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
6	Penguin Island	Q04	31.82	19.15	Global	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
7	Comparing Light Bulbs	Q04	36.10	37.60	Personal	Evaluate and design scientific enquiry	Procedural	Medium
8	Experimental Digestion	Q03	37.66	35.29	Local/national	Evaluate and design scientific enquiry	Procedural	High
9	Oil Spills	Q04	45.10	31.68	Global	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
10	Experimental Digestion	Q02	45.87	40.23	Local/national	Evaluate and design scientific enquiry	Procedural	Medium
11	Save the Fish	Q03	46.89	48.18	Local/national	Evaluate and design scientific enquiry	Procedural	Medium
12	Sounds in Marine Habitats	Q02	48.74	51.78	Local/national	Evaluate and design scientific enquiry	Procedural	Medium

Table 5에서 나노 입자, 녹색 공원, 펭귄 섬, 기름 유출에 해당하는 문항은 PISA 2018에서 PISA 2015에 비해 정답률이 약 10%p 이상 상승 하였는데, 이 문항들은 모두 ‘지식’ 중 ‘인식론적’ 지식을 묻는 문항들 이었다. 이 문항들은 과학자가 검증하고자 하는 내용이 주어진 실험 설계를 수행할 경우 검증에 도움이 되는지, 실험을 구상하는 구체적 상황을 제시하고 여러 변인의 효과를 알아보기 위하여 실험을 여러 번 설계하는 것에 대한 이해, 제시된 결론을 보고 주어진 자료가 결론을 내리는데 충분한지에 대한 이유 설명, 주어진 문제 상황에서 제시된 자료와 관련된 여러가지 상황이 과학적 실험에 의해 검증이 가능한 지를 각각 판단하는 문항이었다. 이는 PISA가 과학 지식 중 중요하게 생각하는 ‘과학의 가치, 과학에서 자료와 추론에 의해 과학적 주장이 지지되는 방법, 측정 오차가 과학적 지식의 신뢰도에 미치는 영향, 과학적 주장에 대한 신뢰를 확보하는 방법’ 등에 대한 문항으로,⁹ PISA 2015에서 주요 성취 상위국과의 비교해서 낮은 정답률을 보였던 것을 고려해 보면 매우 고무적인 결과이다.¹⁴ 특정 역량 또는 지식의 정답률이 낮은 원인은 우리나라 과학 수업에서 이와 관련한 수업 활동과 평가가 적은 것에서 기인하므로 PISA 2018에서 ‘과학적 탐구 설계 및 평가’ 역량에 해당하며, ‘인식론적’ 지식을 묻는 평가 문항들의 정답률 상승은 관련 수업 활동의 증가로 해석될 수 있다. 그러나, ‘과학 탐구의 설계 및 평가’ 역량을 묻는 문항 중 정답률이 20% 미만인 문항들을 살펴보면, PISA 2015에서부터 정답률이 20% 미만인 문항으로 여전히 우리나라 학생들에게 생소하고 관련 역량이 부족한 것을 확인할 수 있다. 정답률이 20% 미만인 문항 2개를 살펴보면, 시뮬레이션을 사용하는 것의 장점이 될 수 있는 것을 한 개 또는 그 이상 선택하는 문항, 실험 장치의 정확성을 테스트하려 할 때 적절

한 방법을 고르고 그 이유를 설명하는 문항이었다. ‘백신 접종과 질병의 확산’의 5번 문항의 경우 PISA 2015에서 싱가포르의 24.48%, 캐나다는 21.97%의 정답률을 나타냈으며, ‘전구 비교’의 5번 문항은 캐나다는 24.43%, 에스토니아는 38.17%, 핀란드는 30.43%의 정답률을 나타냈던 선행 연구를 살펴볼 때,¹⁴ 이와 같은 분석은 우리나라 학생들에게 지속적으로 부족하다고 나타나는 역량의 정보를 파악할 수 있는 중요한 정보이다.

‘지식’ 중 ‘인식론적’ 지식을 묻는 문항들은 총 18개 문항으로, Table 6은 ‘지식’ 중 ‘인식론적’ 지식에 해당하는 문항 중 정답률이 50% 미만에 해당하는 문항을 제시한 것이다. PISA 2018에서 19개 문항 중 4개 문항을 제외하고 14개 문항에서 정답률의 상승이 나타났으며, PISA 2018에서 PISA 2015에 비해 정답률이 12%p 이상 상승한 3개 문항이 모두 Table 6에 있는 정답률 50% 미만인 문항에서 나타났다.

‘인식론적’ 지식을 묻는 문항들은 ‘역량’의 세가지 하위 역량을 모두 묻는 문항으로 구성되어 있었으며, PISA 2018에서 PISA 2015에 비해 정답률이 12%p 이상 상승한 3개 문항은 모두 Table 5에서 살펴본 ‘과학 탐구의 평가 및 설계’에 해당하는 문항 중 정답률이 약 10% 이상 상승한 문항 4개 문항 중 3개에 해당한다. 따라서 ‘인식론적’ 지식에서 나타나는 정답률 상승은 ‘과학 탐구의 평가 및 설계’의 정답률 상승과 관련이 크다. ‘인식론적’ 지식을 묻는 문항 중 정답률이 20% 미만인 문항들을 살펴보면, 이 중 2개 문항은 ‘과학 탐구의 평가 및 설계’ 역량에서 다루었던 시뮬레이션을 사용하는 것의 장점이 될 수 있는 것을 한 개 또는 그 이상 선택하는 문항, 과학자가 실험 장치의 정확성을 테스트하려 할 때 적절한 방법을 고르고 그 이유를 설명하는 문항이었고, 나머지 1개 문항은 우리나라

Table 6. Information on questions with fewer than 50% correct answers in the ‘Knowledge-Epistemic’

	Unit	Question Number	PISA 2018(%)	PISA 2015(%)	Contexts	Competencies	Knowledge	Cognitive demand
1	Extinction of the Dinosaurs	Q01	11.43	9.98	Global	Interpret data and evidence scientifically	Epistemic	Medium
2	Vaccination and Spreading of Disease	Q05	15.50	14.98	Global	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
3	Comparing Light Bulbs	Q05	18.54	16.69	Personal	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
4	Understanding Tsunamis	Q05	24.28	27.37	Global	Explain phenomena scientifically	Epistemic	Medium
5	Nanoparticles	Q05	27.82	15.58	Global	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
6	Water from Fog	Q04	29.22	30.43	Global	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
7	Green Parks	Q03	31.11	21.52	Local/national	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
8	Green Parks	Q03	31.11	21.52	Local/national	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
9	Oil Spills	Q04	45.10	31.68	Global	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium
10	Elephants and Acacia Trees	Q02	51.64	47.31	Local/national	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	Medium

라 학생들의 정답률이 가장 낮았던 문항으로, 제시된 자료에 해당하는 내용이 가설을 입증하는 지 여부를 판단하는 문항이었다.

우리나라에서도 과학적 탐구 능력에서 중요한 평가 요소로 ‘정의된 문제의 평가 준거나 제한점 파악하기, 연구 가설에 포함된 독립 변인과 종속 변인 사이의 관계를 고려한 실험 설계하기, 신뢰로운 측정값을 얻기 위해 필요한 자료의 종류, 양, 정확성과 정밀성을 고려하기, 자료 분석의 한계(예, 측정 오차, 표본 표집)를 파악하기, 반성적 사고를 통해 탐구 과정 및 결론의 타당성 및 신뢰도 판단하기, 과학적 증거에 근거한 주장과 근거에 바탕하지 않은 의견을 구별하기, 자료와 증거에 기초하여 논증이나 반론을 구성하기’ 등을 평가 요소로 제시하고 있으나,³¹ 과학 교과 역량의 다양한 하위 평가 요소들을 함양하는 수업 활동과 평가를 찾기는 어려운 실정이다. 그러나 2015 개정 과학과 교육과정에서 강조하는 교과 역량 함양, 과정중심평가의 강조, 새롭게 도입된 고등학교 1학년 과학 탐구실험 과목 등의 영향으로 과학적 탐구 능력의 다양한

하위 요소들을 다루는 활동이 PISA 2015에 비해 많이 이루어져 자연스럽게 PISA 2018에서 정답률 향상으로 이어진 것으로 보이며, 아직까지도 현장에서는 몇몇 평가 요소들과 관련된 수업이 적게 이루어지는 것으로 판단된다.

‘인지적 요구’에서 ‘상’에 해당하는 문항도 정답률이 상승하였으나, ‘인지적 요구’는 정답률에 따른 난이도를 의미하는 것이 아니라 문항 해결과정에서 쓰이는 지식의 깊이를 의미한다. 실제 우리나라 학생들의 정답률도 16.64% ~ 78.69%로 범위가 넓게 나타났으며, 개별 문항의 정답률도 상승과 하락이 섞여있다. Table 7은 ‘인지적 요구’ 중 ‘상’에 해당하는 문항 10개를 모두 나타낸 것으로, 10개 문항 중 7개 문항의 정답률은 상승하고, 3개 문항의 정답률은 하락했으며, PISA 2018에서 PISA 2015에 비해 정답률이 10%p 이상 차이가 나는 문항은 없었다.

‘인지적 요구’ 중 ‘상’에 해당하는 문항 중 정답률이 20% 미만인 문항은 시뮬레이션 문항으로 2가지 변인 중 한 가지의 조건을 지정할 경우 가상 실험을 통해 얻을 수 있는 나머지 변인의 최대치를 묻는 문항으로, 시뮬레이션

Table 7. Information on questions in the ‘Cognitive demand-High’

	Unit	Question Number	PISA 2018(%)	PISA 2015(%)	Contexts	Competencies	Knowledge	Cognitive demand
1	Save the Fish	Q05	16.64	13.72	Local/national	Explain phenomena scientifically	Content	High
2	Wild Oat Grass	Q03	30.10	37.24	Local/national	Explain phenomena scientifically	Procedural	High
3	Experimental Digestion	Q03	37.66	35.29	Local/national	Evaluate and design scientific enquiry	Content	High
4	Birds and Caterpillars	Q03	37.96	35.10	Local/national	Explain phenomena scientifically	Procedural	High
5	Nanoparticles	Q04	44.25	39.10	Global	Explain phenomena scientifically	Procedural	High
6	Save the Fish	Q04	53.74	47.41	Local/national	Evaluate and design scientific enquiry	Procedural	High
7	Wild Oat Grass	Q05	56.94	59.67	Local/national	Evaluate and design scientific enquiry	Epistemic	High
8	Penguin Island	Q02	62.94	66.07	Local/national	Interpret data and evidence scientifically	Procedural	High
9	Vaccination and Spreading of Disease	Q04	64.32	63.58	Global	Evaluate and design scientific enquiry	Procedural	High
10	Plastic Age	Q05	78.69	73.62	Local/national	Interpret data and evidence scientifically	Content	High

상황에서 단계적으로 지정된 조건을 만족하도록 시뮬레이션 진행하면서 문제를 해결해야 한다. 또한 시뮬레이션 결과 중 선택한 답을 뒷받침하는 자료를 시뮬레이션 결과 중 선택해야 하고, 자료가 선택한 답을 어떻게 뒷받침하는지 설명하는 문제이다. ‘현상에 대한 과학적 설명’ 역량을 평가하는 ‘인지적 요구’의 ‘상’에 해당하는 대표적인 문제로, 자료와 증거에 기초하여 논증하는 능력을 묻는 문항이다. PISA 2015에서도 우리나라 정답률이 낮은 문항으로 주요 상위국들과 약 10%의 정답률 차이가 발생했던 문항이다.¹⁴ 우리나라는 2015 개정 과학과 교육과정에서 교과 역량을 증진시킬 수 있는 구체적인 방안으로 ‘증거에 기초한 토론과 논증’을 비롯한 8가지 기능을 교육과정 성취기준에 구체화하도록 했다.⁸ 과학과 교육과정에서 강조하고 있는 ‘증거에 기초한 토론과 논증’ 능력을 볼 수 있는 대표적인 문항이 Table 7의 물고기 보존 문항이며, PISA 문항에서는 문항을 해결한 후 주장 또는 결론을 증거로 뒷받침하게 하는 문항이 많이 구성된다. 이와 관련한 문항들의 정답률이 지속적으로 낮은 것에서 예상할 수 있듯이 향후 우리나라 학생들의 역량 강화가 필요한 부분이다.

이상에서 살펴본 바와 같이, PISA에서 측정하는 과학적 소양과 2015 개정 과학과 교육과정에서 함양하고자 하는 교과 역량 함양을 위해서는 과학 내용 지식의 전달에서 더 나아가 다양한 과학과 교과 역량을 함양할 수 있는 수업 활동에 관심을 가질 필요가 있다. 그러나 우리나라 학

교 수업에서는 국가 교육과정에서 제시한 많은 성취기준을 모두 균등한 차시로 다루고자 교과서 중심의 수업과 활동이 많이 이루어지고 있어 특정 학습 주제에 대한 심층 활동을 진행하기가 어려운 경우가 있다. 그러나 미래 인재에게 요구하는 역량은 학교에서 이루어지는 강의식 수업에 따른 단편적인 지식 및 주어진 문제의 정답을 찾는 능력보다는 스스로 문제를 해결하기 위한 답을 찾기 위해 새로운 시도를 하고 이를 과학적으로 해석하는 능력이다. 우리나라 학생들이 PISA 결과에서 지속적으로 낮은 성취를 보이는 역량을 분석해보면, 우리나라 학생들이 과학 수업과 평가 과정에서 낮은 성취를 보이는 역량과 관련한 수업 활동과 평가를 경험하기 어렵기 때문이기도 하다. 특히, PISA에서 주요하게 평가하는 ‘반복 측정 및 평균 측정과 같은 불확실성을 평가하고 최소화하는 방법, 자료의 반복 가능성(동일한 양에 대한 반복된 측정 사이의 일치도)과 정확도(측정값과 참값 사이의 일치도)를 확보할 수 있는 방법, 과학에서 자료와 추론에 의해 과학적 주장이 지지되는 방법, 측정 오차가 과학적 지식의 신뢰도에 미치는 영향, 협력 및 비평의 역할과 과학적 주장에 대한 신뢰를 확보하는 것에 대한 동료 평가의 도움 정도, 사회적, 기술적 쟁점을 확인하고 언급하는 데 있어서의 다른 형태의 지식과 더불어 과학적 지식의 역할’ 등에 대한 내용은 지식 전달 위주의 학교 과학 수업이나 평가 문항에서는 거의 접하기 어려운 상황이다. 그러나, PISA 주요 성취 상위국들의 과학과 교육과정을 살펴보면 Table 8과

Table 8. Examples of science curriculum achievement standards in PISA high-ranking countries

Country	Science curriculum achievement standards
Canada ²⁶	[5~6 grade] <ul style="list-style-type: none"> • Identify questions to answer or problems to solve through scientific inquiry • Demonstrate an openness to new ideas and consideration of alternatives • Evaluate whether their investigations were fair tests • Identify possible sources of error • Suggest improvements to their investigation methods • Identify some of the assumptions in secondary sources
	[7~8 grade] <ul style="list-style-type: none"> • Demonstrate an understanding and appreciation of evidence • Reflect on their investigation methods, including the adequacy of controls on variables (dependent and independent) and the quality of the data collected • Identify possible sources of error and suggest improvements to their investigation methods • Demonstrate an awareness of assumptions and bias in their own work and secondary sources • Demonstrate an understanding and appreciation of evidence (qualitative and quantitative) • Exercise a healthy, informed skepticism and use scientific knowledge and findings from their own investigations to evaluate claims in secondary sources
Estonia ²⁸	[4~6 grade] <ul style="list-style-type: none"> • Formulate research questions/problems and verify hypotheses • Find science-related information from different sources and discuss the reliability of these sources of information
	[7~9 grade] <ul style="list-style-type: none"> • Know how to compare scientific and non-scientific explanations • Analyse the trustworthiness of data, understands the need for repeat tests and verification tests and the need to check auxiliary variables • Make conclusions on the basis of collected data, explain and predict results and evaluate the validity of hypotheses

같이 과학적 탐구 능력의 다양한 하위 요소들을 과학과 교육과정 성취기준에 명시하여 중요하게 다루고 있다.

캐나다의 과학 교육과정에서는 ‘탐구 조사가 공정한 테스트이었는지 평가한다. 오류의 가능한 원천을 확인하고 탐구조사 방법의 개선점을 제안한다. 자신의 작업과 2차 자료에서 가정과 편향에 대해 인식한다. 오류나 불확실성의 원인, 혼란스러운 변인, 가능한 대체 설명 및 결론을 확인하는 것을 포함하여 자신의 방법과 실험 조건을 평가한다.’ 등의 성취기준을 찾을 수 있으며, 에스토니아의 과학 교육과정에서는 ‘다른 출처에서 과학 관련 정보를 찾고 이러한 정보 출처의 신뢰성을 토론허기, 과학적과 비과학적 설명을 비교하는 법을 알기, 데이터의 신뢰성을 분석하고, 반복 테스트 및 검증 테스트의 필요성을 이해하고 보조 변수를 점검할 필요성을 이해한다. 수집된 자료에 근거하여 결론을 내리고, 결과를 설명하고 예측하며 가설의 타당성을 평가한다.’ 등의 성취기준을 찾을 수 있다. 이와 같은 성취기준들은 학년별, 학교급별로 수준을 달리하여 지속적으로 다루어져 자연스럽게 학생들이 과학 탐구에서 이들의 중요성을 인식할 수 있게 된다. 우리나라도 2015 개정 과학과 교육과정의 실행과 함께 교과역량을 구체적으로 함양하는 수업 활동을 강조하고 이를 평가하도록 하고 있으므로, 다양한 과학 교과 역량의 하위 요소들을 다루는 수업 활동이 이루어지고 이를 평가와 연계하여 교육과정의 취지가 현장에 성공적으로 정착할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

결론 및 제언

이 연구는 PISA 2018에서 나타난 우리나라 학생들의 과학 영역 성취의 특징을 분석하였다. 이를 위하여 주기별 성취 수준별 비율, 성취 수준별 남녀 비율을 분석하였으며, 평가를 하위 요소별 정답률 분석, 문항별 정답률을 분석하였다. 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 우리나라 학생들은 기초학력 미달에 해당하는 2수준 이하 학생들의 비율이 PISA 2015에서 급증한 이후 PISA 2018에서도 그 수치가 유사하게 유지되고 있으며, 주요 성취 상위국들에 비해 기초학력 미달 수준 학생들의 비율이 높은 편으로 나타났다. PISA 2012까지 2수준 미만 학생들의 비율이 6%대의 낮은 비율을 유지하였으나 PISA 2015와 PISA 2018에서 14%를 비율이 유지되고 있어 기초학력 미달 학생들을 위한 정책이 시급한 실정이다. 5수준 이상의 상위 성취 수준 학생들의 비율은 꾸준히 10%~12%사이를 유지하고 있고, PISA 2018에서 PISA 2015에 비해 소폭 상승하였으나 주요 상위국들에 비해서는 비율이 낮은 편으로 나타났다. 남녀 학생의 성취 수준별 비율을 살펴보면, 상위

성취 수준인 5수준과 6수준 모두에서 남학생의 비율이 지속적으로 높게 나타나고 있었다. PISA 과학 영역에서 평균으로 비교하였을 때는 남녀의 성차가 거의 없어지고 있으나, 상위 성취 수준에서는 여전히 남학생의 비율이 많은 것으로 나타났다.

둘째, PISA 과학 영역의 성취를 문항별 정답률을 사용하여 평가를 하위 요소별로 살펴보았을 때, ‘맥락’에서는 ‘개인적’ 소재와 상황에 대한 정답률이 향상되었으며, ‘역량’에서는 성취가 낮았던 ‘과학 탐구의 평가 및 설계’를 묻는 문항에서 정답률이 향상되었다. ‘지식’에서는 성취가 낮았던 ‘인식론적’ 지식을 묻는 문항에 대한 정답률이 향상되었으며, ‘인지적 요구’에서는 지식의 깊이가 ‘상’에 해당하는 문항에서 정답률이 향상되었다. 정답률이 약 10%p 이상 크게 상승한 문항들은 ‘과학 탐구의 평가 및 설계’와 ‘인식론적’ 지식으로 설계된 문항들로 나타나, PISA 2015에 비해 다양한 과학적 탐구 능력의 하위 요소들을 다루려는 시도가 학교 과학 수업에서 증가한 것으로 판단된다. 평가를 하위 요소별로 정답률이 20% 미만으로 나타나 우리나라 학생들이 문항 해결에 어려움을 갖는 문항들을 살펴보면, PISA 2015에서부터 지속적으로 낮은 정답률을 보이고 있어 우리나라 학생들이 관련 역량이 부족한 것으로 판단된다. 구체적으로 수행하는 가상 실험의 장점이 될 수 있는 것을 하나 또는 그 이상 선택하거나 실험 장치의 정확성을 테스트하기 위한 적절한 방법을 고르고 설명하기, 제시된 자료에 해당하는 내용이 가설을 입증하는지 판단하기, 가상 실험을 통해 주어진 미션을 해결하여 답을 찾고 그 답을 뒷받침하는 증거를 제시하기 등의 문항에서 정답률이 낮게 나타났다. PISA 2015에서 정답률이 낮았던 ‘과학 탐구의 평가 및 설계’와 ‘인식론적’ 지식을 묻는 문항 중 여러 문항의 정답률 상승이 나타난 것은 고무적이나 여전히 우리나라 학생들이 지속적으로 해결하기 어려워하는 문항들이 상당수 있으므로, 이를 분석하여 우리나라 학생들의 부족한 역량을 점검하고 함양할 수 있는 구체적인 방안을 모색하는 것이 필요하다.

연구 결과를 바탕으로 우리나라 학생들의 과학 역량 함양을 위한 시사점을 제안하면 다음과 같다. 첫째, 향후 기초학력진단을 바탕으로 기초학력보장을 위한 프로그램이 전면 시행될 것에 발맞추어, PISA 과학 영역에서 2수준 미만 학생 비율을 줄이고 2수준 미만 학생들이 과학 학습에 흥미를 가질 수 있도록 이들을 위한 맞춤형 프로그램을 개발하고 실행하는 방안이 필요하다. 과학 학습에서 학습 부진을 겪는 학생들은 과학 용어 및 과학적 의미에 대한 이해와 탐구 능력이 부족한 경우가 많으므로, 이를 해결하기 위해 과학 관련 글을 읽고 정리하거나 표현하기를 통해 과학 독해 능력을 향상시키고, 관찰·분류·자료

변환·자료 해석 등의 탐구 능력을 향상시키기 위하여 ‘그림, 표, 그래프, 기호 등을 포함한 정보를 이해하고 여러 도구의 의미와 사용하는 방법’ 등을 학습할 필요가 있다. 이와 관련하여 과학 기초학력 미달 학생들을 위한 프로그램의 구성은 과학 독해 능력 향상을 위해 재미있는 과학사, 과학 기사 등을 읽고 내용을 요약 정리하여 기술하는 활동을 포함하고, 과학 탐구 능력 향상을 위하여 관찰과 분류를 기반으로 한 자료 읽기, 자료 변환, 자료 분석 등의 활동을 포함하는 것을 고려할 만하다. 교과 수업을 통한 지식 전달뿐 아니라 학생들의 기초 역량을 기르기 위하여 표, 그래프, 기호, 모형 등의 이해를 위한 수업과 사용 목적에 맞는 적절한 도구를 사용하는 역량을 기르기 위한 활동을 함께 수행하는 것도 필요하다. 프로그램의 실행은 오프라인 프로그램에 참여를 꺼리는 학생들을 위하여 집이나 다른 공간에서 온라인 프로그램에 접속하여 참여하도록 독려하며, 담당 전문 교사가 학습 상황을 점검하고 피드백할 수 있는 온라인 프로그램을 기반으로 오프라인 프로그램을 병행하여 운영하는 것이 효과적일 것으로 생각된다.

둘째, 상위 성취 수준의 비율을 높이고, 2015 개정 과학과 교육과정에서 함양하고자 하는 교과 역량 함양을 위해서는 과학과 교과 역량 함양에 적합한 과학 수업에 관심을 가질 필요가 있다. 미래 인재에게 요구하는 역량은 학교에서 이루어지는 강의식 수업에 따른 단편적인 지식 및 주어진 문제의 정답을 찾는 능력보다는 스스로 문제를 해결하기 위한 답을 찾기 위해 새로운 시도를 하고 이를 과학적으로 해석하는 능력이다. PISA 과학 영역에서 측정하고자 하는 과학적 소양 역시 과학 지식과 과학 탐구 능력을 갖추는 것에서 더 나아가 과학적 사고를 가지고 과학 관련 논쟁 또는 쟁점에 참여하여 문제를 해결할 수 있는 능력을 요구한다.^{9,23} 우리나라 학생들의 상위 성취 수준의 비율이 낮고 하위 성취 수준의 비율이 높은 이유 중 하나는 현재 우리나라 학생들이 경험하는 과학 수업과 평가 문항에서 PISA 과학 영역에서 중요시하는 역량을 접할 기회가 적기 때문이기도 하다. 특히, 과학 평가를 중 ‘과학 탐구의 설계 및 평가’와 ‘인식론적’ 지식 관련한 수업 활동을 자주 접하기 어려우며 이를 평가에서 경험하기는 더 어려운 상황이다. 이에 우리나라 과학 수업에서 PISA 평가에서 주요하게 다루어지는 ‘반복 측정 및 평균 측정과 같은 불확실성을 평가하고 최소화하는 방법, 자료의 반복 가능성(동일한 양에 대한 반복된 측정 사이의 일치도)과 정확도(측정값과 참값 사이의 일치도)를 확보할 수 있는 방법, 과학에서 자료와 추론에 의해 과학적 주장이 지지되는 방법, 측정 오차가 과학적 지식의 신뢰도에 미치는 영향, 협력 및 비평의 역할과 과학적 주장에 대한 신뢰를 확보하는 것에 대한 동료 평가의 도움 정도, 사회적, 기술적 쟁점을

확인하고 언급하는 데 있어서의 다른 형태의 지식과 더불어 과학적 지식의 역할’ 등과 관련한 수업 활동과 평가가 보완될 필요가 있다.

또한, 우리나라 학교 수업에서는 국가 교육과정에서 제시한 많은 성취기준을 모두 균등한 차시로 다루고자 교과서 중심의 수업과 활동이 많이 이루어지고 있으며, 특정 학습 주제에 대한 심층 활동을 진행하기가 어려운 경우가 있다. 우리나라 과학 수업에서 이와 같은 수업 활동을 접하기 어려운 이유 중 하나는 그동안 이루어진 과학 수업이 45분 또는 50분 안에 마무리되어야 하며 길게 수행되어도 블록타임 정도로 수행되므로, 대부분은 탐구를 수행하고 보고서를 작성한 상태에서 마무리되는 경우가 많았기 때문이다. 이에 대한 해결 방안으로 2015 개정 교육과정에서 새롭게 도입된 고등학교 과학탐구실험 과목의 운영을 살펴볼 필요가 있다. 과학탐구실험의 경우 탐구의 수행과 보고서 작성에서 더 나아가 실험 설계, 실험 수행, 실험 결과 분석, 결론 도출, 결론 도출을 위한 의사소통, 오차 분석, 실험의 개선 등이 수행되어 다양한 과학 역량을 키우는 시도가 이루어지고 있다. 하나의 실험에 대해서도 문제 인식, 가설 설정, 탐구 설계, 결과 해석을 위한 의사소통, 발표, 오차 분석, 결과에 대한 이유 설명하기, 실험 방법 개선, 실험 방법의 공정성 평가 등을 논의할 수 있도록 수업이 프로젝트형으로 진행된다면 PISA 과학 영역 평가를 중 우리나라 과학 수업과 평가에서 접하기 어려웠던 평가 요소들도 자연스럽게 다루는 것이 가능해지며, ‘인식론적’ 지식에서 우리나라 학생들이 보이는 낮은 정답률도 향상이 가능할 것이다. 고등학교에서는 2015 개정 교육과정에서 처음 도입된 과학탐구실험이 이 역할의 일부를 수행하고 있으므로, 향후 과학탐구실험의 수업 방식을 확장하여 연구 주제의 설정부터 탐구 방법의 개선까지 이르는 다양한 과학 지식을 다루는 것이 가능하도록 하는 프로젝트형 과학 수업을 진행할 필요가 있으며, 중학교에서는 자유학년제 시기가 이와 같은 수업이 이루어지기에 적절하다. 이를 위해서는 과학 수업 시간에 탐구를 수행하고 보고서를 작성하는 것에서 나아가, 학교 현장에서 학생들의 성취 수준을 고려하여 다양한 과학 지식 평가 요소들을 반영한 프로그램을 구성할 수 있도록 탐구 활동 프로그램을 주제별로 다양하게 개발하여 학교 현장에 배포할 필요가 있을 것이다.

Acknowledgments. 이 논문은 한국교육과정평가원 2019년 연구보고서 ‘OECD 국제 학업성취도 평가 연구: PISA 2018 결과 보고서’의 일부 내용을 발췌하고 수정 보완한 것임. Publication cost of this paper was supported by the Korean Chemical Society.

REFERENCES

1. OECD. *Lessons from PISA for Korea, Strong Performers and Successful Reformers in Education*; OECD Publishing, 2014.
2. Ministry of Education. *OECD Programme for International Student Assessment (PISA 2018) Results Announced*; Sejong, Korea, 2019.
3. Son, J. *Korean Journal of Sociology of Education* **2014**, 24, 131.
4. Ministry of Education. *The 2015 Revised National Curriculum*; Sejong, Korea, 2015.
5. Ministry of Science and ICT. *4th Basic Plan for Science and Technology (2018~2022)*; Sejong, Korea, 2018.
6. Ministry of Education. *Science Education Master Plan [2020~2024]*; Sejong, Korea, 2020.
7. <http://timssandpirls.bc.edu/timss2015/international-results/timss-2015/science/student-achievement/>
8. Ministry of Education. *Science Curriculum*; Sejong, Korea, 2015.
9. Kim, H. *School Science Journal* **2018**, 12, 389.
10. Kim, H.; Koo, N. *The Journal of Curriculum and Evaluation* **2019**, 22, 85.
11. Chi, S.; Liu, X.; Wang, Z.; Won Han, S. *International Journal of Science Education* **2018**, 40, 1284.
12. Mikk, J.; Krips, H.; Säälik, Ü.; Kalk, K. *International journal of science and mathematics education* **2016**, 14, 1437.
13. Aloisi, C.; Tymms, P. *Educational Research and Evaluation* **2017**, 23, 180.
14. Kim, H.; Koo, N. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction* **2019**, 19, 849.
15. Lau, K. C.; Lam, T. Y. P. *International Journal of Science Education* **2017**, 39, 2128.
16. Baye, A.; Monseur, C. *Large-scale Assessments in Education* **2016**, 4, 1.
17. Eliasson, N.; Karlsson, K. G.; Lenner, L.; Lundgren, M. *Nordic Studies in Science Education* **2017**, 13, 149.
18. Kjærnsli, M.; Lie, S. *International Journal of Science Education* **2011**, 33, 121.
19. Wu, M. *Journal of Research in Education Sciences* **2011**, 56, 67.
20. Shin, H.; Joo, Y. *Korean Journal of Educational Research* **2013**, 51, 133.
21. <https://www.oecd.org/pisa/data/2018database/>.
22. Jo, S.; Kim, H.; Lee S.; Koo, N.; Lee I. *OECD Programme for International Student Assessment: PISA 2018 Main Survey Implementation Report*; Korea Institute of Curriculum and Evaluation: Jincheon, Korea, 2018.
23. OECD. *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. OECD Publishing, **2019**.
24. Ministry of Education. *Basic Academic Skill Support Improvement Plan*; Sejong, Korea, 2019.
25. Ministry of Education. *Take Responsibility for Academic Skill Without Missing a Child*; Sejong, Korea, 2019.
26. Ministry of Education, British Columbia. *BC's Redesigned Curriculum: An Orientation Guide*, **2016**.
27. Ministry of Education, Singapore. *Science Syllabus Primary*, **2014**.
28. Ministry of Education and Research in Republic of Estonia. *National curricula*, **2014**.
29. <http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=199748&efYd=20171219#0000>
30. Meinck, S.; Brese, F. *Large-scale Assessments in Education* **2019**, 7, 1.
31. Dong, H. K.; Kim, J. J.; Kang, M.; Sung, K.; Kim, S.; Yang, S. H.; Lee, J.; Ku, J.; Park, S. B.; Kim, S.; Choi, W.; Kim, Y.; Lee, K. *A Study on the Development of National Assessment of Educational Achievement according to the 2015 Revised National Curriculum*; Korea Institute of Curriculum and Evaluation: Jincheon, Korea, 2018.