

PISA 2003 수학 문항 정답률 분석

나 귀 수*

이 글에서는 PISA 2003(Programme for International Student Assessment 2003)에서 우리나라 학생들이 낮은 정답률을 나타낸 문항을 집중적으로 분석하기로 한다. 우리나라 학생들의 국내 정답률이 국제 평균 정답률보다 통계적으로 유의미하게 낮은 문항들과 국내 정답률이 상대적으로 낮게 나타난 문항들을 상세하게 살펴보기로 한다. 이를 토대로 우리나라 수학교육의 개선 방향에 대한 시사점을 도출하고자 한다.¹⁾

I. 들어가며

PISA(Programme for International Student Assessment)는 경제협력개발기구(OECD)에서 주관하는 학업성취도 국제 비교 연구이다. 이 연구의 목적은 참여국의 만 15세 학생들의 읽기, 수학, 과학 소양을 측정하여, 참여국의 교육 체계의 효과를 평가하고 참여국의 교육 정책 입안에 도움이 되는 정보를 산출하는 것이다.

PISA는 3년을 주기로 하여 실시되며, 주 영역과 보조 영역을 설정하여 각 주기마다 서로 다른 영역의 평가에 집중하고 있다. 제1주기인 PISA 2000에서는 읽기 영역이, 제2주기인 PISA 2003에서는 수학 영역이, 제3주기인 PISA 2006에서는 과학 영역이 주 영역이며, 각 주기에 나머지 영역은 보조 영역이 된다.

본 논문에서는 수학이 주 영역으로서 집중적으로 조사된 PISA 2003에서 우리나라 학생들의 정답률이 낮게 나타난 문항을 심층적으로 분석하고, 이를 토대로 우리나라 수학교육의 개선 방향에 대한 시사점을 도출하고자 한다. 이와 같은 시도는, 우리나라의 수학교육에 대한 상대적 약점을 파악하기 위한 것이며, 우리나라 학생들의 정답률이 높은 문항의 분석을 통한 우리나라 수학교육의 상대적 강점 파악을 위한 연구는 추후에 시도하기로 한다.

II. 문항 정답률 분석 및 논의

PISA에서는, 학교 교육에서 학습한 지식을 얼마나 잘 획득하고 있는가보다는 실생활에 필요한 능력, 즉 지식을 상황과 목적에 맞게 활용할 수 있는 '수학적 소양'을 강조한다. 수학

* 청주교육대학교(gсна21@cje.ac.kr)

1) 본 연구는 한국교육과정평가원의 2003년 기본 과제인 'OECD/PISA 학업성취도 국제비교 연구'의 일환으로 수행되었다.

적 소양은 PISA 수학 평가의 핵심이라고 할 수 있으며, 수학이 세계에서 담당하는 역할을 인식하고 이해하는 능력, 수학적으로 근거가 충분한 판단을 하는 능력, 건설적이고 사려 깊고 반성적인 시민으로서의 개인의 생활의 필요성을 만족시키는 방식으로 수학을 관련짓고 이용하는 능력 등을 말한다.

PISA 2003에서는 이러한 수학적 소양을 평가하기 위하여, 수학적 내용, 수학적 과정, 상황과 맥락의 세 가지 요소로 구성된 평가틀을 설정하고 있다. 수학적 내용은 ‘영역통합적 개념’으로서, 양, 공간과 모양, 변화와 관계, 불확실성의 네 가지 하위 범주로 구분되며, 수학적 과정은 재생균, 연결균, 반성균으로 구분되며, 상황과 맥락은 개인적 상황, 교육적 상황, 직업적 상황, 공적 상황, 학문적 상황의 다섯 가지로 구분된다. 한편 PISA 2003의 문항 유형은 선택형, 복합 선택형, 단답형, 폐쇄형 서술형, 개방형 서술형으로 구분된다.

PISA 2003에서 분석된 문항은 총 83개 문항이며,²⁾ 우리나라 학생들의 국내 정답률이 국제 정답률보다 높은 문항은 78개 문항이다. 이 중 76개 문항에서 국내 정답률이 국제 정답률보다 통계적으로 유의미하게 높은 것으로 나타났으므로, 거의 모든 문항에서 국내 정답률이 국제 정답률보다 통계적으로 유의미하게 높다고 할 수 있다.³⁾

1. 국내 정답률이 국제 정답률보다 낮은 문항

PISA 2003에서 분석된 83개의 문항 중에서 국내 정답률이 국제 정답률보다 낮은 문항은 5개이며, 이 문항들의 정답률 차이는 신뢰도 95% 수준에서 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다.⁴⁾

국내 정답률이 유의미하게 낮은 5개의 문항을 수학적 내용에 따라 살펴보면, 4개의 문항이 불확실성 영역에, 1개의 문항이 양 영역에 속해 있다. 국내 정답률이 국제 정답률보다 통계적으로 유의미하게 낮은 5개의 문항 중에서 4개의 문항이 불확실성 영역에 속해 있는 것은, 수학 내용 영역별 성취도 결과에 많은 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 실제로, PISA 2003의 수학적 내용 영역인 공간과 모양, 변화와 관계, 양, 불확실성 중에서, 우리나라 학생들은 불확실성 영역에서 상대적으로 낮은 수학적 소양을 나타냈다(나귀수, 2005; 이미경 외, 2004a). 공간과 모양, 변화와 관계, 양 영역에서는 PISA 2003 참가국들 중에서 가장 상위권의 수준을 나타냈지만, 불확실성 영역에서는 다른 상위권 국가들에 비해 통계적으로 유의미하게 낮은 수학적 소양을 나타냈다. 또한 우리나라 자체 내에서 비교한 결과, 공간과 모양, 변화와 관계, 양 사이에는 통계적으로 유의미한 차이

2) 수학 영역에서 평가된 문항은 원래는 총 85개로서, PISA 2000에서 출제되었던 20개의 가교 문항과 2002년에 실시된 예비검사 문항 65개로 구성되어 있다. 그러나 객실번호, 인구피라미드(1)의 두 문항이 PISA 2003 결과 분석에서 제외되어 총 83개의 문항이 분석되었다.

3) PISA 2003에서, 우리나라 학생들은 40개 참가국 중에서 최상위권의 수학적 소양 수준을 나타냈다. 우리나라는 홍콩, 핀란드에 이어 세 번째로 높은 점수를 나타냈으며, 우리나라, 홍콩, 핀란드의 평균 점수는 신뢰도 95% 수준에서 통계적으로 유의미한 수준은 아닌 것으로 나타났다. 우리나라에 이어 네덜란드, 리히텐슈타인, 일본, 캐나다, 벨기에, 마카오-중국, 스위스, 오스트레일리아, 뉴질랜드 순으로 평균 점수가 높게 나타났으며, 이 중에서 홍콩, 핀란드, 우리나라, 네덜란드, 리히텐슈타인, 일본의 평균 점수 차이는 통계적으로 유의미하지 않는 것으로 나타났다(나귀수, 2005; 이미경 외, 2004a).

4) 이하에서 제시되는 상당수의 문항은 비공개문항이다. 비공개문항은 PISA 2006에서 활용할 것을 대비하여 공개하지 않는 것을 원칙으로 하므로, 비공개문항에 대해서는 문항의 정확한 내용을 제시하는 대신에 대략적인 설명만을 제시하기로 한다.

가 없지만, 불확실성은 공간과 모양, 변화와 관계에 비해 통계적으로 유의미하게 낮은 수준인 것으로 나타났다.

5개의 문항을 수학적 과정에 따라 살펴보면, 재생군에 속하는 문항이 1개, 연결군에 속하는 문항이 2개, 반성군에 속하는 문항이 2개로서, 4개의 문항이 재생군에 비해 보다 높은 수준의 수학적 활동을 필요로 하는 연결군과 반성군에 속해 있음을 알 수 있다.

상황과 맥락에 따라 살펴보면, 개인적 상황에 속하는 문항이 1개, 공적 상황에 속하는 문항이 2개, 교육적 상황에 속하는 문항이 1개, 학문적 상황에 속하는 문항이 1개로서, 상황과 맥락에서는 독특한 특징을 찾을 수 없다.

5개의 문항을 문항 유형별로 살펴보면, 3개의 문항이 복합 선택형 문항이며, 개방형 서술형 문항이 1개, 폐쇄형 서술형 문항이 1개이다. 특히 3개의 복합 선택형 문항은 모두 불확실성 영역에 속해 있으며, 이러한 결과로부터 우리나라의 학생들은 불확실성 영역의 복합 선택형 문항에서 특히 취약한 성취도를 나타냈음을 알 수 있다.⁵⁾ 각각 개방형 서술형 문항과 폐쇄형 서술형 문항에 속하는 2개의 문항은, 수를 세 자리 단위로 끊어 제시하는 서양의 방식에 의해 큰 수를 백만 단위로 제시하고 있다는 공통점을 갖는다. 이러한 수 표현은, 수를 네 자리 단위로 끊어 읽는 방식에 익숙한 우리나라 학생들에게는 다소간은 생소한 것이며, 따라서 이 두 문항은 문화적 편파성을 어느 정도 내포하고 있다고 할 수 있다. 이 두 문항에서 우리나라 학생들은 생소한 숫자 표현으로 인해 혼란을 겪었을 가능성이 크다.

이하에서는 이들 5개 문항들에 대해 구체적으로 살펴보기로 한다.

가. 교통수단 (M420Q01)⁶⁾

교통수단 문항은 불확실성, 개인적 상황, 반성군, 복합 선택형 문항이며, 우리나라 학생의 정답률은 27.1%, 국제 정답률은 47.4%로서, 우리나라 학생들의 정답률이 국제 정답률보다 20.3% 낮은 것으로 나타났다. 이 문항은 교통수단이 자전거일 때와 버스일 때 민수가 학교까지 가는 데 걸리는 시간을 자료로 제시하고 평균을 제시한 다음, 이 자료와 관련된 4개의 명제의 참/거짓을 표시하는 문항이다.

4개의 명제는, 대표값으로서의 평균과 최빈값의 의미와 자료의 범위에 관련된 문항이다. 4개의 명제의 참/거짓에 대한 우리나라 학생들의 정답률은 각각 83.8%, 76.4%, 50.6%, 87.1%이지만, 네 명제의 참/거짓을 모두 옳게 답한 학생들은 27.1%에 불과하다. 이는 제시된 자료의 범위 및 대표값 개념에 대해 완전하게 이해한 학생들이 적음을 의미한다. 또한, 50.6%의 특히 낮은 정답률을 나타낸 세 번째 명제는 최빈값의 의미와 관련된 명제로서, 우리나라 학생들은 학습한 적이 없는 최빈값 개념에 대해 낮은 정답률을 나타낸 것으로 판단된다.

우리나라의 제7차 교육과정에서 다루고 있는 대표값 관련 개념을 살펴보면, 5-나 단계의 “주어진 자료의 평균을 구할 수 있다”와 7-나 단계의 “간단한 통계 자료를 조사, 정리하여 표나 그래프로 나타내고 평균을 구할 수 있다”로서, 대표값으로서 평균, 즉 산술평균만을 다루고 있다.⁷⁾ PISA 2003에 참여한 만15세 학생들이

5) 불확실성 영역에 속하는 복합 선택형 문항의 예를 <부록>에 제시하였다. <부록>에 제시된 문항은 예시문항이며, PISA 2003에서 실제로 시행된 문항은 아니다.

6) 문항 제목과 함께 제시되는 코드, 예를 들면 ‘M420Q01’은 PISA 2003에서의 문항의 고유한 번호를 의미한다.

7) 평균에는 산술평균 뿐만 아니라 조화평균, 기하평균 등이 있지만, 본 논문에서 언급하는 평균은 산술평균이다.

중학교 3학년까지 이수한 제6차 교육과정에서도 제7차 교육과정과 마찬가지로 대표값으로서 평균만을 다루었다.⁸⁾

그러나 대표값에는 평균 뿐만 아니라 최빈값, 중앙값 등도 존재한다. 이와 같은 여러 대표값 중에서 어떤 대표값이 가장 적절한가의 문제는, 사용 맥락, 집단 분포의 특성, 자료의 특성에 따라 달라진다. 평균은 동간형 자료(예: 온도, 연도 등) 및 비율적 자료(예: 학습의 학생 수, 길이, 무게 등)에 적절한 대표값이며, 최빈값은 명목형 자료(예: 출신지, 성별, 도시별, 지역별 등)에 적절하며, 중앙값은 서열적 자료(예: 석차, 사회·경제적 지위, 찬성하는 정도)에 적절한 대표값이다(백순근, 2004). 따라서 평균은 명목형 자료 및 서열적 자료에 대해서는 자료의 중심 경향을 나타내는 대표값으로서 부적절하며, 특히 극단적인 자료값에 민감하다는 단점을 가지고 있다(박영희, 2001).

NCTM(2000)에서는, 자료의 대표값으로서 평균, 중앙값, 최빈값을 구하여 자료의 특성을 기술하고 해석할 수 있어야 하며, 특정한 상황에서 어떤 대표값이 가장 적절한가를 알 수 있어야 함을 “자료의 분석과 확률” 영역의 규준으로 제시하고 있다. 또한 학생들은 각각의 대표값이 자료의 어떤 특성을 대표할 수 있으며 어떤 특성을 대표할 수 없는가를 이해해야 함을 강조하고 있다. 예를 들어, 중앙값은 자료의 극단적인 값에 저항할 수 있는 대표값이지만, 평균은 자료의 극단적인 값에 저항할 수 없는 값을 이해해야 한다는 것이다.

그러므로, 제6·7차 교육과정에서 대표값으로서 평균만을 다루는 것은, 자료의 특성과 맥

락에 따라 통계적 분석 방법 선택과 의미 해석을 달리 할 수 있어야 한다는 통계 교육의 중요한 목적을 간과하고 있다고 할 수 있다(박영희, 2001). 이와 같은 현재의 “확률과 통계” 교육과정의 미흡한 측면은 개선될 필요가 있다. 대표값으로서 평균만을 지도하는 현재의 방식에서 탈피하여, 다양한 상황을 통해 최빈값, 중앙값, 평균 등의 의미를 지도함으로써, 학생들이 맥락과 목적 및 제시된 자료의 특성에 따라 가장 적절한 대표값을 선택하여 주어진 자료의 특성을 기술하고 해석할 수 있도록 해야 할 것이다. 구체적인 방안으로, “자료의 범위, 최빈값을 구하고, 이를 이용하여 자료를 표현하기 ⇒ 범위, 중앙값, 최빈값을 구하고, 자료의 규칙성, 특이점 구하기 ⇒ 대표값과 범위, 분포와 평균값을 토대로 추론하기” 등을 점진적으로 지도하는 방식을 고려할 수 있다.

나. 복권 추첨 (M408Q01)

복권 추첨 문항은 불확실성, 공적 상황, 연결군, 복합 선택형 문항이며, 우리나라 학생들의 정답률은 29.5%, 국제 정답률은 37.2%로서 우리나라 학생들의 정답률이 7.7% 낮은 것으로 나타났다. 이 문항은 10부터 60까지의 숫자가 적힌 똑같은 모양의 공 50개 중에서 9개의 공을 임의로 뽑을 때, 9개 공의 숫자를 모두 맞힌 사람이 상금을 받게 되는 복권 추첨을 제시하고 있다. 이러한 복권 추첨에 대해 한 신문에서 지난주의 당첨 번호와 몇 주 째 뽑히지 않은 번호의 목록을 발표했을 때, 복권 추첨과 관련된 명제의 형태로 주어진 네 하위문항의 참/거짓을 구분하는 문항이다.

8) 우리나라의 만15세 학생들의 98%는 고등학교 1학년이며, 나머지 2% 정도의 학생들은 중학교 3학년 및 고등학교 2학년이다. 따라서, 2003년 6월에 실시된 PISA 2003에 참여한 우리나라의 만15세 학생들의 98%는 고등학교 1학년 학생들이며, 2003년도에 고등학교 1학년인 학생들은 중학교 3학년까지는 제6차 교육과정을 이수했으며, 고등학교 1학년부터는 제7차 교육과정을 이수하였다.

네 하위문항의 참/거짓에 대한 정답률은 각각 69.5%, 85.8%, 45.4%, 60.3%이지만, 네 하위문항의 참/거짓을 모두 옳게 답한 학생들의 정답률은 28.4%로 낮아진다. 정답률이 높게 나타난 두 번째 하위문항은, 예를 들어 ‘주사위를 두 번 던질 때, 처음에 나온 눈이 두 번째에 다시 나올 가능성이 높다’와 유사한 내용으로서, 우리나라 학생들의 85.8%는 이러한 내용이 거짓임을 잘 이해하고 있음을 알 수 있다. 정답률이 45.4%로 나타난 세 번째 하위문항에 대해서는 오답률이 50.5%로 정답률보다 더 높게 나타났다. 이 하위문항에 대해 오답을 한 50.5%의 학생들은, 예를 들어 ‘주사위를 두 번 던질 때 처음에 나온 눈은 두 번째에 다시 나올 가능성이 낮다’와 유사한 오개념을 갖고 있다고 할 수 있다. 한편, 네 번째 하위문항에 대해 오답을 한 49.7%의 학생들은, 예를 들어 ‘주사위를 두 번 던질 때, 처음에 나오지 않은 눈이 두 번째에 나올 가능성이 높다’와 유사한 오개념을 갖고 있는 학생들이다.

위에서 살펴보았듯이, 이 문항은 연속된 두 사건에서 앞에서 발생한 사건과 뒤에 발생할 사건 사이의 관련성을 주된 내용으로 하고 있다. 주어진 문제 상황에서는 연속된 두 사건 사이의 관련성이나 개연성이 전혀 없음에도 불구하고, 우리나라의 많은 학생들은 앞에 발생한 사건이 뒤에 발생할 사건에 영향을 주는 것으로 오해하고 있는 것으로 나타났다. 이는 “독립사건”, “중속사건”과 관련된 개념으로서, 우리나라의 제6·7차 교육과정에서는 고등학교 2학년에서 독립사건, 중속사건의 개념을 다루고 있다. 따라서 우리나라 학생들은 독립사건, 중속사건의 개념을 아직 학습하지 않음으로 인해 국제 정답률보다 낮은 정답률을 나타낸 것으로 판단된다.

다. 키 재기(2) (M421Q02)

키 재기(2) 문항은 불확실성, 교육적 상황, 반성군, 복합 선택형 문항이며, 국내 정답률은 14.2%, 국제 정답률은 16.6%로서 우리나라 학생들의 정답률이 2.4% 낮은 것으로 나타났다.

키 재기(2) 문항에서는 현서네 반 35명의 여학생들의 평균 키가 140cm라는 상황을 제시하고 이와 관련된 네 명제의 참/거짓을 구분하도록 요구하고 있다. 네 명제 각각의 참/거짓에 대한 정답률은 37.2%, 49.5%, 77%, 58.3%이며, 네 명제의 참/거짓을 모두 옳게 답한 학생들은 14.2%에 불과하다.

특히, 정답률이 낮게 나타난 첫 번째 명제에 대해서는 오답률이 59.0%로 정답률보다 훨씬 더 높게 나타났으며, 두 번째 명제에 대해서는 오답률이 46.6%로 정답률과 비슷하게 나타났다. 첫 번째 명제에 대해 오답을 한 학생들은, ‘현서네 반에 150cm인 학생이 있으면 반드시 130cm인 학생이 있어야 한다’와 유사한 오개념을 갖고 있는 학생들이다. 즉, 이 학생들은 평균을 중심으로 해서 대칭되는 두 개의 값이 반드시 존재한다는 오개념을 갖고 있다고 할 수 있다. 두 번째 명제에 대해 오답을 한 학생들은, 평균값에서 멀리 벗어난 극단적인 값이 존재할 수 있다는 사실을 제대로 이해하지 못한 학생들이다. 네 번째 명제는 중앙값의 의미를 설명하는 내용인데, 오답을 한 41.7%의 학생들은 중앙값을 평균과 동일시하는 오개념을 갖고 있다고 할 수 있다.

한편, 키 재기(2) 문항은 키 재기 과제에 속해 있으며, 키 재기 과제에는 모두 세 문항이 속해 있다. 키 재기(1) 문항의 국내 정답률은 75.8%, 국제 정답률은 59.0%이며, 키 재기(3) 문항의 국내 정답률은 68.4%, 국제 정답률은 35.7%로서, 두 문항 모두에서 국내 정답률이 국제 정답률보다 높게 나타났다. 키 재기(1) 문

항은 평균 키를 구하는 과정에 대한 설명을 요구하는 문제이며, 키 재기(3) 문항은 잘못 계산된 평균값을 다시 계산해야 하는 문제이다. 키 재기(2) 문항의 국내 정답률은, 키 재기(1) 문항과 키 재기(3) 문항의 정답률과는 매우 대조되는 결과라고 할 수 있다.

이로부터, 우리나라 학생들은 평균을 구하는 과정 및 평균 계산에는 익숙하지만, 평균과 관련된 개념적 사고에는 익숙하지 못함을 알 수 있다. 따라서, 단순히 평균을 계산하는 계산 위주의 교육에서 벗어나 평균 개념의 의미를 심층적으로 이해할 수 있도록 지도할 필요가 있다.

라. 이산화탄소(3) (M828Q03)

이산화탄소(3) 문항은 양, 학문적 상황, 연결군, 개방형 서술형 문항이며, 국내 정답률은 13.9%, 국제 정답률은 30.7%로서, 국내 정답률이 국제 정답률보다 16.8% 낮게 나타났다. 이산화탄소(3) 문항은 양 영역에서 가장 낮은 정답률을 나타낸 문항이며, 수학 전체에서는 두 번째로 낮은 정답률을 나타냈다. 한편, 이산화탄소(3) 문항과 동일한 과제에 속해 있는 이산화탄소(1) 문항의 국내 정답률은 55.2%, 국제 정답률은 36.7%이며, 이산화탄소(2) 문항의 국내 정답률은 53.8%, 국제 정답률은 52.0%로서, 국내 정답률이 국제 정답률보다 높게 나타났다.

이산화탄소(3) 문항은, 예를 들어 1980년의 A국가의 인구 1인당 이산화탄소 배출량을 톤 단위로 계산하여 제시해야 하는 문항이다. 이 문항의 조건으로는 1980년에 A국가의 인구가 약 1억 5천만 명으로 제시되어 있으며, 이산화탄소 배출량을 구할 수 있는 그래프가 제시되어 있다. 이 문항을 해결하기 위해서는, y축의 눈금이 이백만 톤 단위로 제시되어 있는 이산화탄소의 배출량을 나타내는 그래프에서 이산화탄소 배출량의 어렵값을 구한 다음, '어렵값

+1억 5천만'을 계산하여 인구 1인당 이산화탄소 배출량을 구해야 한다.

따라서, 이 문항을 해결하지 못한 학생들은 이산화탄소의 배출량의 어렵값을 구하지 못했거나, '어렵값+1억 5천만'을 계산하지 못한 학생들이다. 한편, 어렵값을 구해서 뺄셈을 해야 하는 이산화탄소(2) 문항의 정답률은 53.8%로 나타났다. 이러한 사실로부터 이산화탄소(3) 문항을 해결하지 못한 86% 정도의 학생들 중에서 50% 정도의 학생들은 어렵값을 구하지 못한 데서, 그리고 나머지 36% 정도의 학생들은 어렵값을 구했지만 나눗셈을 계산하는 데서 실수를 했을 가능성이 크다. '어렵값+150000000'을 계산하거나 또는 단위를 생각하여 '어렵값(백만단위)+150백만'을 계산해야 하는데, 우리나라 학생들은 큰 수에 있는 0을 잘못 처리했거나, 또는 큰 숫자를 1350,000,000와 같이 나타내는 표기법에 익숙하지 않음으로 인해 나눗셈에서 실수를 했을 가능성이 크다. 우리나라에서는 만 단위로, 즉 네 자리를 단위로 숫자를 끊어 읽는데 익숙해 있지만, 이 문항에서는 세 자리 단위로 숫자를 끊어 읽는 서양의 방식을 따라 이산화탄소의 배출량을 백만 단위로 제시함으로 인해, 우리나라 학생들이 큰 수에 있는 0을 잘못 처리한 것으로 판단된다.

마. 수출(1) (M438Q01)

수출(1) 문항은 수출 과제에 속하는 두 문항 중의 하나이다. 수출(1) 문항은 불확실성, 공격 상황, 재생군, 폐쇄형 서술형 문항이며, 이 문항의 국내 정답률은 64.1%, 국제 정답률은 77.9%로서, 국내 정답률이 13.8% 정도 낮게 나타났다. 한편, 수출(2) 문항의 국내 정답률은 53.8%, 국제 정답률은 45.8%이며, 국내 정답률이 국제 정답률보다 높게 나타났다.

수출(1) 문항은 제드(zed: 화폐 단위)를 화폐

로 사용하는 제드랜드(Zedland: 국가명)의 수출 현황을 나타낸 그래프를 보고 1998년 제드랜드의 총 수출액(단위: 백만 제드)을 쓰는 문항이다. 그래프는 두 개가 제시되어 있으며, 하나는 막대그래프로서 1996, 1997, 1998, 1999, 2000년의 제드랜드 연간 수출액(단위: 백만 제드)이 제시되어 있으며, 하나는 원 모양의 비율그래프로서 2000년 제드랜드 수출 품목 비율이 제시되어 있다.

막대그래프와 원그래프는 우리나라의 초등학교 교과서에서 전형적으로 다루는 내용이다. 또한, 막대그래프에 1998년 제드랜드의 총 수출액이 27.1(백만 제드)로 제시되어 있으며, 학생들이 이 문제를 해결하기 위해서는 막대그래프에서 27.1를 읽어서 27.1(백만 제드) 또는 27.1을 쓰는 것으로 충분하다. 따라서 수출(1) 문항에서 우리나라의 정답률이 국제 정답률에 비해 14.0%나 낮게 나온 것은 매우 의외의 결과이다.

국내 정답률이 상대적으로 낮은 것은, 우리나라 학생들이 '27.1 백만 제드' 라는 표현에 익숙하지 않음으로 인해 나타난 결과일 수 있다. 백만이라는 단위는, 세 자리 단위로 숫자를 끊어 읽는 서양에서는 매우 익숙한 단위이지만, 숫자를 주로 만 단위로 끊어 읽는 것을 학습한 우리나라 학생들에게는 다소간은 생소한 단위이다. 또한, 우리나라 학생들은 순수한 소수로서의 27.1에는 익숙하지만 '27.1 백만 제드' 와 같이 소수와 큰 단위가 결합된 표현 방식은 학교에서 거의 다루지 않음으로 인해 어려움을 겪었을 가능성이 크다.

2. 정답률이 상대적으로 낮은 문항

우리나라 학생들이 30% 미만의 정답률을 나타낸 문항은 모두 14개 문항이며, 이 중에서 4개 문항은 국내 정답률이 국제 정답률보다 낮

은 문항들로서 위에서 살펴보았다. 이하에서는 나머지 10개 문항 중에서 대표적인 몇 개의 문항들을 중점적으로 살펴보기로 한다.

가. 육상트랙 (M406Q01, Q02, Q03)

육상트랙 과제에는 세 문항이 속해 있다. 육상트랙(1) 문항은, 공간과 모양, 공적 상황, 연결군, 개방형 서술형에 속하는 문항이다. 이 문항은 그림으로 제시된 육상 트랙을 보고, 맨 안쪽 레인에서 트랙을 한 바퀴 달렸을 때의 달린 거리를 구하고 풀이 과정을 제시해야 하는 문항이다. 이 문항에 대한 국내 정답률은 38.3%, 국제 정답률은 25.9%이며, 정답률 차이는 12.4%이다.

이 문항을 해결하기 위해서는 육상 트랙의 맨 안쪽 레인이 직사각형의 양 쪽에 반원을 붙여 놓은 모양의 도형이며, 달리는 거리가 이 도형의 둘레인 '직사각형의 가로의 길이×2+반원의 둘레의 길이×2'라는 것을 이해해야 한다. 여기에서 직사각형의 가로의 길이는 예를 들어 60으로 결정되어 있으며, 원의 둘레의 길이를 알기 위해서는 반원의 지름(또는 반지름)의 길이를 알아야 한다. 그러나 반원의 지름 d 는 정확한 하나의 값이 아닌 $40 \leq d \leq 42$ 의 범위에 있기 때문에, 학생들은 이 범위에 속하는 값을 스스로 선택해야 한다.

PISA 2003에서는 검사지 표지 뒷면에 원의 둘레를 구하는 공식을 제시하고 있으며, 이 공식을 문제해결 과정에서 충분히 활용할 것을 시험감독관이 안내하고 있다. 이러한 점을 고려할 때, 학생들이 원의 둘레를 구하는 공식을 몰라서 원의 둘레의 길이를 구하지 못했을 가능성은 매우 적다. 결국, 학생들은 원의 지름이 $40 \leq d \leq 42$ 의 범위에 있으며, 이 범위에서 값을 하나 선택하여 원의 둘레의 길이를 구하는 데서 많은 어려움을 겪었을 것으로 판단된다.

육상트랙(1) 문항의 이러한 특징은, 우리나라 학생들이 초등학교 6학년과 중학교 1학년에서 다루는 전형적인 도형의 둘레 구하기 문제와 구분되는 본질적인 차이라고 할 수 있다. 만약 육상트랙(1)과 똑같은 모양의 도형을 그림으로 제시하고 육상트랙의 구성 요소들의 길이를 정확한 값으로 제시했다면, 우리나라 학생들의 정답률은 훨씬 더 높아질 것으로 판단된다. 우리나라 학생들은 상황으로 제시된 문항의 조건에서 문제해결에 필요한 값을 스스로 찾는 데 익숙하지 못하며, 또한 그 구성 요소의 길이가 정확한 값으로 제시되지 않는 도형의 둘레를 구하는 문제에 익숙하지 못하다고 할 수 있다.

다음으로, 육상트랙(2) 문항의 국내 정답률은 25.6%, 국제 정답률은 17.4%이며, 차이는 8.2%이다. 우리나라 학생들의 정답률은 육상트랙(1) 문항보다 12.7% 정도 낮다. 육상트랙(2) 문항은, 맨 안쪽 레인인 1번 레인과 그 다음 레인인 2번 레인에서 달린 선수들의 거리가 같게 하기 위해서는 2번 레인의 출발 지점이 1번 레인의 출발 지점보다 얼마나 앞에 있어야 하는가를 구하고 풀이 과정을 제시해야 하는 문항이다.

육상트랙(2) 문항은 두 가지 방법으로 해결할 수 있다. 첫 번째는 1번 레인으로 달릴 때의 거리와 2번 레인으로 달릴 때의 거리를 직접 계산하여 그 값의 차이를 구하는 방법이다. 두 번째는 1번 레인으로 달릴 때와 2번 레인으로 달릴 때의 거리의 차이는, 직사각형의 양쪽에 붙어 있는 반원을 합한 원의 둘레의 차이라는 것을 알고 그것을 계산하는 방법이다. 첫 번째 방법에서는 육상트랙(1) 문항에서와 같이 1번 레인과 2번 레인에서 달린 거리를 각각 계산한 다음 그 두 값의 차이를 구해야 하며, 두 번째 방법에서는 1번 레인과 2번 레인의 원 둘레의 차이를 구하면 된다. 두 가지 방법 중에서 두 번째 방법이 더 우아하고 세련된 방법이라

고 할 수 있지만, 이 방법으로 문제를 해결하기 위해서는 트랙의 모양으로부터 1번 레인과 2번 레인으로 달렸을 때의 차이가 직사각형의 양쪽에 붙어 있는 반원을 합한 원의 둘레에 의해 결정된다는 것을 통찰할 수 있어야 한다. 육상트랙(2) 문항은 육상트랙(1) 문항에 비해 더 어려운 문항이라고 할 수 있으며, 육상트랙(1)에서와 같이 유연한 사고를 필요로 한다.

육상트랙(3)은 서로 이웃하는 두 레인의 출발 지점 사이의 간격은 모든 레인에서 같은가에 대한 답을 쓰고, 답에 대한 근거를 제시해야 하는 문항이다. 육상트랙(3)의 국내 정답률은 26.9%, 국제 정답률은 17.4%, 차이는 9.5%이며, 우리나라 학생들의 정답률은 육상트랙(2)에서와 유사하다. 이 문항을 해결하기 위해서는 서로 이웃하는 두 레인을 달렸을 때의 거리의 차는 직사각형의 양쪽에 붙어 있는 반원을 합한 원의 둘레의 차이라는 것을 알아야 하며, 이 원의 둘레의 차이는 모든 레인에서 동일하게 3m라는 것을 반성적 사고를 통해 파악할 수 있어야 한다.

나. 인터넷채팅(2) (M402Q02)

인터넷채팅(2) 문항은 개인적 상황, 반성, 개방형 서술형에 속하는 문항으로서, 국내 정답률은 28.8%, 국제 정답률은 26.1%이며, 차이는 2.7%이다. 이 문항에서는 먼저 시드니에 사는 마크와 베를린에 사는 한스가 인터넷채팅을 통해 자주 대화를 나눈다는 상황을 설정하고, 그리니치가 24시일 때 베를린은 새벽 1시, 시드니는 오전 10시임을 시계 그림으로 제시하고 있다. 다음으로, 마크와 한스는 모두 현지 시각으로 오전 9시부터 오후 4시30분까지는 학교에 가야 하고 오후 11시부터 오전 7시까지의 잠을 자야 하기 때문에 채팅을 할 수 없다는 정보를 제시하면서, 마크와 한스가 채팅을 할 수 있는 시

간을 표의 빈 칸에 제시하도록 요구하고 있다.

이 문항은 우리나라 학생들에게 다소 생소하다고 할 수 있는 답이-열려있는(open-ended) 문항이다. ‘시드니: 오후 4시30분~오후6시, 베를린: 오전 7시30분~오전 9시’ 또는 ‘시드니: 오전 7시~오전 8시, 베를린: 오후 10시~오후 11시’의 범위에 있는 응답이 모두 정답이 되며, 우리나라 학생들은 28.8%만이 정답을 하였다.

한편, 동일한 과제에 속해 있는 인터넷채팅(1) 문항의 정답률은 61.2%이며, 인터넷채팅(2) 문항에 비해 32.4% 높은 정답률을 나타냈다. 인터넷채팅(1) 문항은 시드니가 오후 7시일 때, 베를린은 몇 시인가를 질문하는 답이 결정되어 있는 문항이다. 이와 같은 문항의 특성으로 인해 높은 정답률 차이가 발생했으며, 이를 통해 우리나라 학생들은 답이 결정되어 있는 문항에 비해 답이 열려있는 문항에서 더 많은 어려움을 겪는다고 할 수 있다.

다. 보폭 (M124Q01, Q03)

보폭 과제에는 두 개의 문항이 속해 있다. 보폭(1) 문항은 개인적 상황, 재생, 개방형 서술형에 속하는 문항으로서, 국내 정답률은 42.8%이다. 이 문항은 1분당 걸음의 수(n)와 보폭(P , 단위: 미터 m) 사이의 관계가 $n/P=140$ 의 공식으로 주어질 때, 1분에 70걸음을 걷는 사람의 보폭을 구하고 풀이 과정을 제시해야 하는 문항이다. 이 문항을 해결하기 위해서는 공식 $n/P=140$ 의 n 에 70을 대입하여 $P=0.5$ (미터)를 구해야 한다. 이 문항에 대한 국내 정답률은 42.8%, 국제 정답률은 35.4%이며, 정답률 차이는 7.4%이다.

보폭(1) 문항에서 우리나라 학생들의 42.8%는 정답에 해당하는 0.5m, 50cm, 1/2이라고 응답하였으며, 21.2%의 학생들의 응답은 식에 대입은 올바르게 하였으나 답이 틀렸거나 또는 답이 없는 경우(부분정답)이다.

보폭(3) 문항은 개인적 상황, 재생, 개방형 서술형 문항이며, 국내 정답률은 20.2%이다. 이 문항은 특히 재생군에 속하는 문항 중에서 정답률이 유일하게 30% 미만에 속하는 문항이다. 이 문항에 대한 국내 정답률은 20.2%, 국제 정답률은 19.6%이며, 정답률 차이는 0.6%이다.

이 문항에서는 보폭이 0.80m인 사람의 걸음 속도를 분속(m /분)과 시속(km /시)으로 계산하고 그 풀이 과정을 제시해야 한다. 이 문항을 해결하기 위해서는 $n/P=140$ 의 P 에 0.80을 대입하여 1분당 걸음수 $n=112$ 를 구한 다음, 이것을 분당 걷는 거리 $112 \times 0.80 = 89.6$ 를 구하고 다시 시속 $5.4(km/시)$ 를 구해야 한다. 보폭(3) 문항은 이와 같이 3단계를 거쳐서 해결할 수 있는 문제인 반면에, 보폭(1) 문항은 공식에 특정한 값을 대입하여 계산하면 해결할 수 있는 1단계 문제이다. 보폭(3) 문항과 보폭(1) 문항의 이러한 차이점으로 인해 각각 20.2%, 42.8%라는 다소 차이가 큰 정답률이 나타난 것으로 판단된다.

보폭(3) 문항의 채점 코드와 우리나라 학생들의 반응 분포는 다음의 <표 II-1>과 같다. 우리나라 학생들의 9.2%만이 분속과 시속을 정확하게 구했으며, 22.0%의 학생들은 부분정답에 응답했음을 알 수 있다. 부분정답 중에서는 간단한 식만을 제시하거나 풀이과정이 틀린 학생들이 13.9%이며, 분당 걸음 수를 1분당 걷는 거리로 바꾸는 과정이 생략된 응답을 한 학생들은 4.1%, 분속은 맞게 계산하였으나 시속으로 고치지 않은 학생들은 3.6%로 나타났다.

한편, 보폭(1) 문항과 보폭(2) 문항은 PISA 2000에서도 다룬 문항이며, PISA 2000에서의 정답률은 각각 38.4%, 11.0%로 나타났다. PISA 2003의 정답률은 PISA 2000에 비해 보폭(1) 문항에서는 4.4%, 보폭(3) 문항에서는 9.2% 높게 나타났다. 보폭(3) 문항에서의 정답률 상승은 정답을 한 학생들이 7%, 부분정답을 한 학생들

이 2% 정도 증가한 데서 비롯된 것으로 나타났다으며, 또한 PISA 2000에서는 52.2%에 달했던 무응답률이 PISA 2003에서는 38.3%로 줄어든 것으로 나타났다(채선휘 외, 2003).

라. 강도사건 (M179Q01)

강도사건 문항은 공적 상황, 연결군, 개방형 서술형에 속하는 문항으로, PISA 2003의 국내 정답률은 27.6%, 국제 정답률은 26.7%로서, 국내 정답률이 0.9% 높게 나타났다. 한편, 이 문

항의 PISA 2000 정답률은 26.9%이며, PISA 2003의 정답률이 0.7% 높게 나타났다.

이 문항은, 1998년과 1999년의 연간 강도사건 건수에 대해 그래프와 “1998년과 1999년 사이에 연간 강도사건 건수가 급격하게 증가하였습니다.”라는 한 기자의 해석을 제시하고 있다. 학생들은 그래프에 대한 기자의 해석이 적절하고 생각하는지 쓰고, 제시한 답에 대한 이유를 설명해야 한다.

다음의 <표 II-2>는 강도사건 문항의 채점

<표 II-1> 보폭(3) 문항의 코드별 반응 분포

채점 코드	코드 설명	반응 빈도(%)
오답	00 기타	519 (30.1%)
부분 정답	11 간단한 식만을 제시하거나 풀이과정이 틀림	241 (13.9%)
	21 분당 걸음 수를 1분당 걷는 거리로 바꾸는 과정이 생략됨	70 (4.1%)
	22 분속은 맞게 계산하였으나 시속으로 고치지 않음	63 (3.6%)
	23 풀이과정은 맞았으나 답이 틀렸거나 코드21, 22와 다른 계산적 오류를 범함	5 (0.3%)
	24 단지 시속인 5.4 km/시간만 있고 분속인 89.6 m/분을 빠트린 경우	2 (0.1%)
정답	31 분속과 시속을 모두 정확하게 구함(풀이과정 제시와 무관)	159 (9.2%)
무응답	99 공란	667 (38.6%)
계		1726 (100%)

<표 II-2> 강도 사건 문항의 코드별 반응 분포

채점 코드	코드 설명	반응 빈도(%)
오답	01 '아니오'라고 답했으나 타당성있는 설명이 수반되지 않음	273 (15.7%)
	02 그래프의 외형에 초점을 맞춰 '예'라고 답함	124 (7.1%)
	03 설명이 없거나 코드 02와 다르게 설명함	122 (7.0%)
	04 기타 오답	312 (18.0%)
부분 정답	11 '아니오'라고 답했으나 상세한 설명이 부족	375 (21.6%)
	12 '아니오'라고 답했으나 비나 퍼센트의 계산 과정이 잘못됨	1 (0.1%)
정답	21 그래프의 일부만 보여주고 있다는 점에 초점을 맞추어 '아니오'라고 답함	147 (8.5%)
	22 증가의 비나 퍼센트를 사용하여 '아니오'라고 답함	56 (3.2%)
	23 판단을 위해서는 추세 변동 자료가 필요하다는 설명과 함께 '아니오'라고 답함	87 (5.0%)
무응답	99 공란	238 (13.7%)
계		1735 (100%)

코드와 반응 분포를 나타낸 것이다. 정답 유형 별로 살펴보면, 그래프의 일부만 보여주고 있다는 점에 초점을 맞추어 '아니오'라고 답한 학생들이 8.5%, 판단을 위해서는 추세 변동 자료가 필요하다는 설명과 함께 '아니오'라고 답한 학생들이 5.0%, 증가의 비나 퍼센트를 사용하여 '아니오'라고 답한 학생들이 3.2%이다.

부분정답을 유형별로 살펴보면, '아니오'라고 답했으나 상세한 설명이 부족한 응답이 21.6%, '아니오'라고 답했으나 비나 퍼센트의 계산 과정이 잘못된 응답이 0.1%로 나타났다. 오답 유형을 살펴보면, '아니오'라고 답했으나 타당성 있는 설명이 수반되지 않은 경우가 15.7%이며, 그래프의 외형에 초점을 맞춰 '예'라고 답한 경우가 7.1%, 설명이 없거나 여타의 방식으로 설명한 경우가 7.0%, 기타 오답이 18.0%로 나타났다.

이러한 응답 유형을 살펴보면, '아니오'라고 답했으나 불충분하거나 타당성 있는 설명을 제시하지 못한 학생들이 37.3%임을 알 수 있다. 이 학생들은 기자의 해석이 잘못되었다고 추론했지만, 그 근거를 수학적으로 제시하는 데는 실패했음을 알 수 있다. 다시 말해서, 이 학생들은 자신의 추론 과정을 수학적으로 의사소통하는 능력이 부족하다고 할 수 있다.

마. 나머지 한 변 (M462Q01)

나머지 한 변 문항은 공간과 모양, 학문적 상황, 반성군, 개방형 서술형에 속하는 문항이다. 이 문항의 국내 정답률은 32.6%, 국제 정답률은 12.4%이며, 국내 정답률이 20.2% 높게 나타났다. 나머지 한 변 문항은, 삼각형의 두 변의 길이를 제시하고 나머지 한 변의 길이의 범

위를 구하도록 요구하는 문항으로서, 우리나라의 중학교 1학년 교과서에서 전형적으로 다루는 문제이다. 따라서 우리나라의 모든 학생들은 이 문제를 학교에서 학습한 적이 있으며, 이러한 이유로 인해 우리나라의 정답률이 국제 정답률에 비해 상대적으로 높게 나온 것으로 판단된다.

그러나, 우리나라의 중학교 1학년에서 전형적으로 다루는 문제임을 고려하면, 우리나라의 정답률 32.6%는 의외로 낮은 정답률이라고 할 수 있다. 실제로 이 문항의 국내 정답률은 국제 정답률에 비해서 상대적으로 높은 편이지만, 공간과 모양 영역에 속하는 여러 문항 중에서 국내 정답률이 매우 낮은 문항이다. 많은 학생들이 중학교 1학년과 고등학교 1학년 사이의 3년이라는 다소 긴 기간으로 인해 삼각형의 세 변 사이의 길이의 관계를 제대로 기억하지 못했을 가능성이 큰 것으로 판단된다.

이로부터 우리나라의 70% 정도의 학생들은 삼각형의 세 변의 길이의 관계를 이해함에 있어서 '관계적 이해'보다는 '도구적 이해' 상태에 머물러 있음을 알 수 있다.⁹⁾ '관계적 이해'를 하고 있는 학생들은, 삼각형의 세 변의 길이 사이의 관계를 기억해 내지 못하더라도 원리를 생각하여 삼각형의 세 변의 길이 사이의 관계를 재발견할 수 있고 관련된 문제를 해결할 수 있다. 그러나 '도구적 이해'를 하고 있는 학생들은 삼각형의 세 변의 길이 사이에 왜 그러한 관계가 성립하는가에 대한 심층적 원리는 이해하지 못한 채, 그것을 단지 암기함으로써 그 관계를 기억하지 못하는 경우에는 관련된 문제를 해결하지 못한다.

9) Skemp(1987)는 이해를 '관계적 이해'와 '도구적 이해'의 두 가지로 구분하면서, 진정한 이해는 관계적 이해임을 강조하고 있다. 여기에서, 관계적 이해는 무엇을 해야 할지 그리고 왜 그런지를 모두 알고 있으면서 일반적인 수학적인 관계로부터 특수한 규칙이나 절차를 연역할 수 있는 상태를 의미하며, 도구적 이해는 이유는 모르는 채 암기한 규칙을 문제해결에 적용하는 것을 의미한다.

III. 제 언

이상에서는 PISA 2003에서 우리나라 학생들이 낮은 정답률을 나타낸 문항들을 중점적으로 살펴보았다. 이하에서는 이상의 논의 결과를 토대로, 우리나라 수학교육 개선을 위한 시사점에 대해 논의하기로 한다.

먼저, PISA 2003에서 분석된 83개의 문항 중에서 국내 정답률이 국제 평균 정답률보다 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의미하게 낮은 문항은 5개 문항이었다. 이 문항들 중에서 4개의 문항이 불확실성 영역에 속해 있으며, 이 4개의 문항 중에서 3개 문항이 복합 선택형 유형인 것으로 나타났다. 다시 말해서, 우리나라 학생들은 불확실성 영역의 복합 선택형 문항에서 국제 정답률보다 유의미하게 낮은 정답률을 나타냈다. 이는 우리나라의 학생들이 불확실성과 관련된 상황이나 개념에 대한 일관적이고 논리적인 추론을 하는 데에 다소간은 미흡한 수학적 소양을 가지고 있음을 의미한다. 이러한 결과는 불확실성과 관련된 ‘확률과 통계’ 영역의 교육과정 개선을 시사한다고 할 수 있다.

이들 문항에서 다루고 있는 수학 주제를 살펴보면, 우리나라 학생들은 평균을 구하는 절차적 기능은 잘 수행할 수 있지만, 평균과 관련된 개념적 사고에는 매우 미흡한 것을 알 수 있다. 또한 대표값으로서의 최빈값, 중앙값 등이 가지고 있는 개념적 성질을 평균의 성질로 파악하는 오개념을 나타냈다. 그러므로, 대표값으로서 평균만을 지도하는 현재의 방식에서 탈피하여, 다양한 상황을 통해 최빈값, 중앙값, 평균 등의 개념적 의미를 지도함으로써, 학생들이 맥락과 목적 및 제시된 자료의 특성에 따라 가장 적절한 대표값을 선택하여 주어진 자료의 특성을 기술하고 해석할 수 있도록 지도할 필요가 있다.

한편, 복합 선택형 문항은 불확실성과 관련된 개념에 대한 학생들의 전반적 사고를 드러내기 위해 매우 적절한 문항 유형임을 알 수 있다. 우리나라 학생들의 상당수는 불확실성과 관련된 각각의 명제의 참/거짓을 판별하는 능력은 어느 정도 갖추고 있지만, 모든 명제의 참/거짓을 옳게 판별하는 능력은 매우 미흡한 것으로 나타났다. 이는 PISA 2003에서의 복합 선택형 문항들이, 불확실성, 즉 확률, 통계와 관련된 개념에 대한 학생들의 일관적이고 논리적인 사고를 잘 드러내고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 맥락에서, 우리나라의 국내 평가에서도 불확실성과 관련된 개념을 평가하는 데에 복합 선택형 문항을 보다 적극적으로 활용할 필요가 있다.

다음으로, 우리나라 학생들은 문제를 해결하기 위해 필요한 조건이나 수치를 제시된 문제 상황(문장, 그래프, 그림 등으로 제시된 문제 상황)에서 스스로 찾아서 결정해야 하는 문제나, 문제의 답이 열려있는(open-ended) 문제에서 취약한 수학적 소양 수준을 드러냈다. 이와 같은 형태의 문항들은 현재 우리나라의 학교수학에서는 거의 다루고 있지 않은 문항들이다. 이러한 형태의 문제를 해결하기 위해서는 학생들의 자기주도적 활동이 중요하며, 자기주도적 학습은 21세기 정보화 사회에서 강조되는 학습의 매우 중요한 측면이다. 그러므로, 이러한 문항들을 학교수학에서 보다 적극적으로 다룰 필요가 있다. 학교에서의 적극적 활용을 위해서는 이와 같은 형태의 문항을 개발하는 것이 중요하며, 이러한 형태의 문항을 개발함에 있어서는 PISA 2003의 공개문항들을 활용할 수 있다(이미경 외, 2004b 참고).

마지막으로, 우리나라 학생들은 개방형 서술형 문항 중에서도 답을 쓰고 그 근거나 풀이 과정을 제시하는 문항에서 특히 취약한 결과를

나타내었다. 답과 함께 답에 대한 근거나 해결 과정을 제시해야 하는 문항은 전형적인 개방형 서술형 문항으로서, 우리나라 학생들의 상당수는 답은 옳게 제시하였지만 불충분한 설명, 타당하지 않은 설명을 제시하거나 풀이과정을 제시하지 않음으로써 부분정답으로 채점되는 응답을 한 경우가 많았다. 이와 같은 학생들은 자신의 수학적 사고를 충분히, 그리고 의미있게 표현하는 데에 익숙하지 않은 학생들이다. 이는, 우리나라 학생들이 자신의 수학적 사고 과정이나 수학적 답을 글이나 수식으로 표현하는 데에 상대적으로 미숙함을 의미한다.

수학적 사고를 글이나 수식으로 표현하는 것은 수학적 의사소통 능력과 관련되는바, PISA 2003 수학 평가 결과는 우리나라 학생들의 수학적 의사소통 능력을 향상시키기 위해 다양한 방법을 강구할 필요가 있음을 시사한다. 다시 말해서, 학생들이 자신의 사고 과정을 글이나 말이나 수식으로 표현할 것을 요구하는 문항들을 많이 경험하도록 할 필요가 있다는 것이다. 가능한 한 가지 방법으로, 교과서에서 수학적 의사소통이 충분히 발생할 수 있는 문제들을 많이 수록하고, 수업 시간에도 수학적 의사소통이 활발하게 일어날 수 있는 분위기를 조성할 필요가 있다. 다른 방법으로는 일선 학교에서 실시하는 평가에서 답과 함께 근거나 해결 과정을 제시해야 하는 문항을 많이 출제하는 것을 생각할 수도 있다.

참고문헌

- 나귀수(2005). PISA 2003에 나타난 우리나라 학생들의 수학적 소양의 특징. *수학교육학연구*, 15(2), 147-176.
- 나귀수 · 황혜정 · 임재훈(2003). 수학과 교육과정에서의 내용 비교 연구 -우리나라, 미국의 캘리포니아주, 영국, 일본을 중심으로-. *수학교육학연구*, 13(3), 403-428.
- 노국향 · 최미숙 · 최승현 · 박경미 · 신동희(2001). PISA 2000 평가 결과 분석 연구 (총론) -국내 학생의 읽기, 수학, 과학적 소양 성취도 및 배경 변인의 영향 분석-. 한국교육과정평가원.
- 박영희(2000). 통계 교육 과정 개선을 위한 탐색적 자료 분석 도입. *대한수학교육학회 2000년도 춘계 수학교육학연구발표대회논문집*, 325-336.
- 박영희(2001). 통계 영역에서 대표값의 의미와 지도에 관한 고찰. *대한수학교육학회 2001년도 춘계 수학교육학연구발표대회논문집*, 157-169.
- 박정 · 홍미영 · 나귀수 · 김성숙(2001). TIMSS-R 국제성취수준에 따른 우리나라 학생들의 수학 · 과학 성취도. 한국교육과정평가원.
- 백순근(2004). *교육연구 및 통계분석*. 서울: 교육과학사.
- 우정호(1998). *학교수학의 교육적 기초*. 서울: 대학교출판부.
- 이미경 · 광영순 · 민경석 · 채선희 · 최성연 · 최미숙 · 나귀수(2004a). PISA 2003 결과 분석 연구 -수학적 소양, 읽기 소양, 과학적 소양 수준 및 배경변인 분석-. 한국교육과정평가원.
- 이미경 · 광영순 · 민경석 · 채선희 · 최성연 · 최미숙 · 나귀수(2004b). PISA 2003 공개문항 분석 자료집. 한국교육과정평가원.
- 채선희 · 나귀수 · 광영순 · 김재철 · 윤준채 · 최성연(2003). 2003년도 OECD 학업성취도 국제비교 연구 -PISA 2003 본검사 시행-. 한국교육과정평가원.
- 최승현 · 노국향 · 박경미(2001). PISA 2000 수학

- 평가 결과 분석 연구. 한국교육과정평가원.
- Freudenthal, H. (1983). *Didactical Phenomenology of Mathematical Structures*. Dordrecht, Netherlands: D. Reidel Publishing Company.
- Ma, L. (1999). *Knowing and teaching elementary mathematics -teacher's understanding of fundamental mathematics in china and the united states*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- NCTM (2000). *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA: The National Council of Teachers of Mathematics.
- OECD/PISA (2004). *Learning for tomorrow's world -first results from PISA 2003*. OECD/PISA.
- Skemp, R. R. (2000). 수학학습 심리학. (황우형, 역). 서울: 사이언스북스. (영어원작은 1987년 출판).

Analysis of the Korean Students' Responses on Mathematics Items in PISA 2003

Na, GwiSoo (Cheongju National University of Education)

This study intends to examine the Korean students' responses on mathematics items in PISA 2003(Programme for International Student Assessment 2003). In particular, we study the mathematics items with low percentage of correct answers, and discuss the reasons of low percentage of correct answers of Korean students. In addition to we investigate the students' misconceptions in mathematics. Finally, we suggest the implications for improving the teaching and learning of the relevant mathematics contents.

* key words : PISA 2003(피사 2003), mathematics items(수학 문항), students' responses(학생 응답), misconceptions(오개념)

논문접수 : 2005. 8. 1

심사완료 : 2005. 9. 6

<부 록> PISA 2003 예시문항

<p>과제: 학생들의 키</p> <p>어느 날, 수학 수업 시간에 모든 학생들의 키를 측정하였다. 측정 결과 남학생들의 평균 키는 160cm이고 여학생들의 평균 키는 150cm였다. 키가 180cm인 현수가 반에서 가장 크고, 키가 130cm인 동석이가 반에서 가장 작았다.</p> <p>학생들의 키를 측정하던 날, 반에서 두 명의 학생이 결석을 하였다. 이 두 학생은 그 다음 날 출석하여 키를 측정하였다. 그리고 이 두 학생의 키를 포함해서 평균 키를 다시 계산하였다. 그런데 여학생이나 남학생 양쪽 모두 평균 키에는 변함이 없었다.</p>	
<p>문항 1. 위의 내용을 바탕으로 다음의 결론을 이끌어낼 수 있는지 답하십시오. 각 결론의 내용이 맞으면 '예', 틀리면 '아니오'에 ○로 표시하십시오.</p>	
결론	결론의 내용이 맞는가?
결석을 했던 학생은 두 명 모두 여자이다.	예 / 아니오
결석을 했던 학생들 둘 중 한 명은 남학생이고 다른 한 명은 여학생이다.	예 / 아니오
결석을 했던 두 학생의 키는 같다.	예 / 아니오
반 전체의 평균 키는 변하지 않았다.	예 / 아니오
반에서 키가 가장 작은 학생은 여전히 동석이다.	예 / 아니오
<p>채점기준</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 만점(코드 1): 모두 '아니오'라고 응답한 경우 ▶ 영점(코드 0): 기타 응답 	
<p>문항정보</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 수학적 내용: 불확실성 ▶ 상황과 맥락: 교육적 상황 ▶ 수학적 과정: 반성 ▶ 문항 유형: 복합 선택형 	