한국학교수학회논문집 제 20 권, 제 3 호
Journal of the Korean School Mathematics Society
Volume 20, Number 3, 325-344, September 2017

컴퓨터기반수학평가(CBAM)의 문항 제작 가능성 탐색: 동적 기하소프트웨어 환경에서 PISA2012 또는 2015 울타리 문항을 중심으로

이서빈[1] · 김선호[2] · 고상숙[3]

PISA2006부터 부분적으로 도입된 컴퓨터기반 평가가 PISA2015부터 전면 도입됨에 주목하고, 앞으로 4차 산업혁명시대로 나아가는 시점에서 컴퓨터기반 수학 문항 제작을 위한 가능성을 조사하여 교사교육의 현주소를 파악하는 것이 요구된다. 이를 위해 PISA의 문항을 포함하여 컴퓨터기반 평가에 관한 문헌들을 분석하였다. 본 연구에서는 수학 컴퓨터기반 문항 중 PISA의 울타리 문항을 GSP로 구현한 후 지필평가에서의 환경과 가장 다른 점인 Dragging 활동을 중점으로 그 특성인 종속성, 불변성, 경로에 대해 조사하였다. 특히 평가에서도 컴퓨터 환경의 장점인 개방형문제로의 확장이 가능함을 시사하였다.

주요용어 : PISA2012, PISA2015, 컴퓨터기반수학평가, 컴퓨터기반수학문항, 드래깅, (예비)교사교육, 동적기하소프트웨어, PISA울타리문항, 컴퓨터기반문항제작

Ⅰ. 서론

교육부(2015)에서 고시한 2015개정 수학과 교육과정에서 제시하고 있는 핵심역량 중 '정보처리 능력'에서는 복잡한 계산 수행, 수학의 개념, 원리, 법칙의 이해, 문제 해결력 향상 등을 위하여 계산기, 컴퓨터, 교육용 소프트웨어 등의 공학적 도구를 활용할 것을 강조하고 있다. 또한 평가원칙에서는 평가 목적과 내용에 따라 다양한 평가 방법을 활용할 것을 권장하고 있으며, 평가방법에서는 학생이 계산기, 컴퓨터, 교육용 소프트웨어 등의 공학적 도구를 이용할 수 있도록 해야 한다고 안내되어 있다. OECD(2012)는 컴퓨터기반 평가를 통해 지필평가로는 측정하기 어려웠던 협력적 문제해결력, 과학적 탐구 등의 중요한 능력을 측정할 수 있으며, 학생들의 문제 접근 방식, 이해, 의사소통 등에 대한 세밀한 정보 수집과 측정이 가능하다는 장점이 있다고 하였다(임해미, 2013 재인용). 이러한 컴퓨터기반 평가의 장점을 바탕으로 국제학업성취도평가(Program for International Student Assessment, 이하 PISA) PISA2015에서는 이전의 지필평가 방식이 모두 사라지고 전 영역에 걸쳐 컴퓨터 기반의 평가방식을 적용하였다. PISA에는 각국의 성취를 상대적으로 비교할 수 있는 다양한 지표들

1) 단국대대학원 (lsb5080@naver.com,)
2) 단국대대학원 (zsunhoz@naver.com)
3) 단국대학교 (sangch@dankook.ac.kr), 교신저자

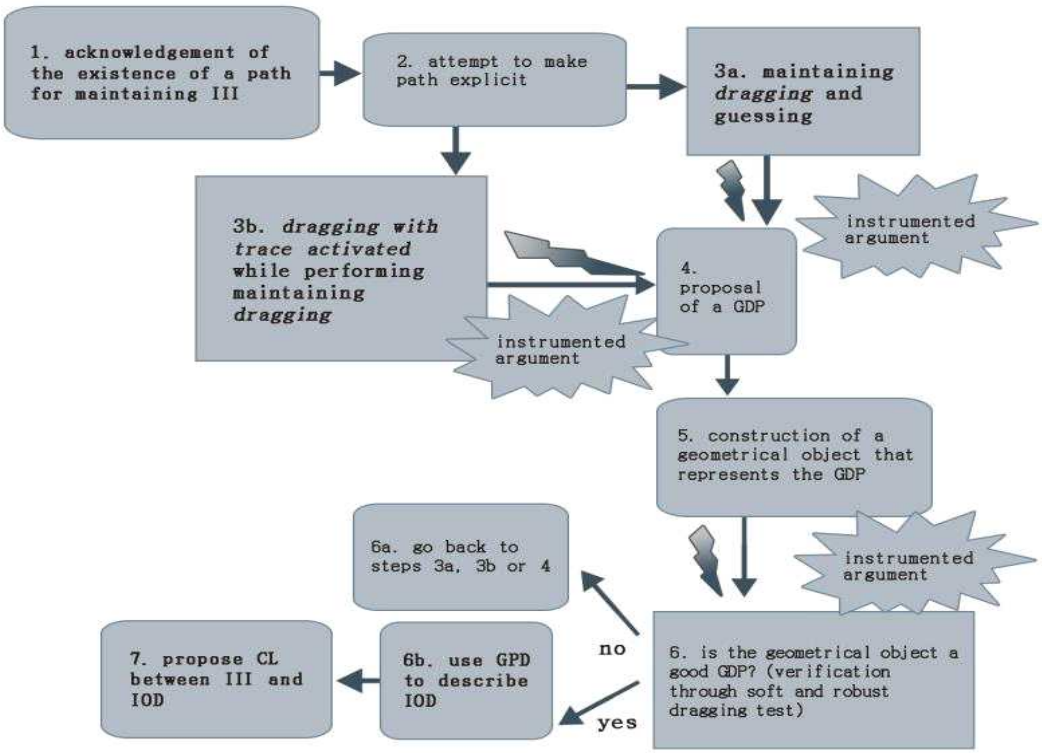
이 포함되어 있기 때문에, 참여국은 PISA의 결과를 통해 해당 국가의 교육시스템에 따른 교육적 성취를 국제 기준에서 판단할 수 있으며 이를 기초로 자국의 교육을 개선할 수 있다(구자옥 외, 2015). 이처럼 국제적으로 큰 의의를 가지고 있는 PISA에서 컴퓨터기반의 평가 방식을 전면 도입한 것은 주목할 만한 내용이다.

컴퓨터기반 평가에 대한 국내 연구를 살펴보면 박지현, 권오남(2012)은 컴퓨터기반 수학 도구는 21세기에 들어 기본적인 도구가 되었고 시간이 흐름에 따라 그 사용 빈도와 중요성이 더욱 증가하고 있으며, 따라서 수학 학습의 큰 영역인 논리적 추론과 관련된 문제에는 컴퓨터기반수학평가(Computer Based Assessment in Mathematics, 이하 CBAM)와 같은 새로운 검사방법의 도입이 필연적이라 할 수 있다고 하였다. 최인선(2013)은 수학에서 컴퓨터기반의 학업성취도 평가 도입의 방안을 탐색하여 그 필요성과 평가요소들을 설정하였는데, 이때 PISA2012 예비시행에서 사용되었던 수학과 공개문항 중 일부를 예시로 국가 학업 성취도 평가를 컴퓨터기반 평가로 전환할 때의 장점들을 언급하였다.

> 수학에서 컴퓨터를 기반으로 한 학업성취도 평가와 같은 새로운 검사 방법의 도입이 바람직하며, 이러한 평가 방법의 도입으로 통계 소프트웨어, 기하 작도, 시각화 도구, 가상 측정 도구 등을 구현함으로써 전통적인 지필검사에서 평가하기 어려웠던 수학 소양을 평가할 수 있을 것이다(최인선, 2013, p. 209).

이영현, 고형주, 김명렬(2001)은 초등학교 학생들을 대상으로 최적의 웹 평가 인터페이스 구축을 연구하였는데 이를 통해 기존의 지필평가 방식에서 벗어난 학습자들이 최적의 환경을 제공받고 안정된 심리상태에서 평가에 임할 수 있다고 하였다. 이처럼 평가를 위한 국내 연구들이 CBAM의 도입의 필요성을 언급하고 있어 국내에서도 컴퓨터 환경으로의 변화에 관심을 두고 있음을 알 수 있다. 하지만 컴퓨터기반 수학 문항 제작을 위한 (예비)교사교육에 대한 연구는 거의 찾아보기 어렵다. 따라서 이미 국제적으로 공개된 문항을 중심으로 컴퓨터기반 문항의 특성을 파악해보는 것은 앞으로 이루어져야하는 문항제작에 유의미한 방향성을 제공할 것이다.

Baccaglini-Frank 외(2010)는 컴퓨터기반 평가환경에서 드래깅을 통한 학생들의 기하문제를 푸는 과정에 대한 연구를 통해 [그림 Ⅰ-1]과 같은 과정을 제시하였다. 이에 본 연구에서는 교사교육에서 컴퓨터기반 평가문항 개발 가능성에 초점을 두고, 공개된 PISA2012와 PISA2015의 수학 컴퓨터기반 문항 중 기하영역의 울타리 문항 Ⅰ & Ⅱ를 구현하여 개발자인 (예비)교사가 고려해야하는 요소들이 무엇인지 파악해보고자 하였다. 문항을 구현할 시에는 기하영역에서 꾸준한 연구가 이루어져왔으며 인터넷 구매사이트에서 제공하는 평가모드 버전 설치를 통해 현장에서 사용할 수 있는 동적 기하소프트웨어인 Geometric Sketch Pad(이하, GSP)를 활용하였으며, 이를 컴퓨터기반 기하 문항이 가지고 있는 특성에 따라 분석하였다. 컴퓨터기반 수학 문항 및 [그림 Ⅰ-1]과 같은 과정을 고려하는 역량을 (예비)교사들에게 함양시키기 위해서는 기본적으로 교원양성기관에서의 수학교육 테크놀로지와 평가론 강좌를 설치 및 운영할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 전국의 모든 수학교육과를 대상으로 '공학도구를 활용하거나 배우는 강좌'와 '수학교과의 평가에 대한 강좌'의 개설 여부 등을 조사하고, 이에 관련된 선행연구를 살펴봄으로써 수학교육에서의 컴퓨터기반 평가를 위한 예비교사교육의 방향성 또한 파악하고자 하였다.



[그림 Ⅰ-1] 경로와 전개, 그리고 도구에 의한 논의들과 관계
(Baccaglini-Frank 외, 2010, p. 249)

1. 용어의 정의

1) PISA2012와 PISA2015의 수학 컴퓨터기반 문항: 이 두 년도에서는 수학이 주된 평가영역이 아니라서 반복적 문항을 사용하였기에 동일한 문항이다. 두 년도가 같이 쓰여도 되고 개별적으로 써도 무방하다.
2) 드래깅(dragging) : 컴퓨터 모니터 상에서 관찰대상(예: 도형)의 변화를 관찰하고자 마우스의 왼쪽 버튼을 사용하여 점이나 선분을 길게 끌어당기는 행위이다.
3) 컴퓨터기반 수학평가 : 수학평가를 컴퓨터 모니터 상에서 수행하는 것을 Computer Based Assessment in Mathematics(이하, CBAM)으로 명명하였다.
4) 컴퓨터기반 수학문항 : 컴퓨터기반 수학평가를 위해 본 연구에서 구현한 수학 문항을 Computer Based Questions in Mathematics(이하, CBQM)으로 명명하였다.
5) 컴퓨터기반평가의 사용자 인터페이스 : 사용자에게 컴퓨터를 편리하게 사용할 수 있는 환경을 제공하는 설계 내용으로서 컴퓨터 시스템 또는 프로그램에서 데이터 입력이나 동작을 제어하기 위하여 사용하는 명령어 또는 기법을 뜻한다[4]. 본 연구는 PISA의 울타리문항에서 요구하는 사용자 인터페이스가 GSP 동적 환경에서 충분히 구현이 가능하다는 점에 착안하여 시도되었다. 즉 핸들을 움직여서 Dragging 활동을 할 수 있을 뿐만

4) http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1181081&cid=40942&categoryId=32843

아니라 핸들에 의해 움직이는 도형의 길이와 넓이 등의 측정치가 표로 즉각적으로 제시되는 주요 인터페이스의 구현이 충분히 가능한 것인데 이는 GSP가 지닌 도구의 가능성(Trouche, 2004; 임현정 외, 2016) 중 하나의 응용(application)으로 볼 수 있다.

Ⅱ. 본론

1. 컴퓨터기반 평가

기술의 발달은 교육의 다양한 분야에 영향을 주었으며 그 중 하나가 컴퓨터기반 평가 시스템의 도입이다. 임형준(2017)은 컴퓨터기반 평가와 동일하게 사용되는 용어인 컴퓨터 기반 검사에 대하여 컴퓨터를 기반으로 하며 모니터, 마우스, 키보드 등을 통해 수행되는 평가라 정의하였다. PISA2015부터는 전 영역에 걸쳐 컴퓨터 기반 평가 방식을 적용하였으며, 학부모 설문을 제외한 나머지 설문조사의 경우 USB에 입력하거나 온라인 입력 방식으로 전환되었다(구자옥 외, 2015).

		PISA 2000	PISA 2003	PISA 2006	PISA 2009	PISA 2012	PISA 2015
인지 영역	읽기	○	○	○	○ (+)DRA	○ (+)DRA	◎
	수학	○	○	○	○	○ (+)CBAM	◎
	과학	○	○	○ (+)CBAS	○	○	◎
	문제해결력	–	○	–	–	◎ (CBAPS)	◎ (CPS)
설문조사 대상		학생 학교장 (+)학부모	학생 학교장 (+)학부모	학생 학교장 (+)학부모	학생 학교장 (+)학부모	학생 학교장 (+)학부모	학생 학교장 (+)학부모 교사

※ ○: 지필평가(PBA), /◎: 컴퓨터 기반 평가(CBA)
–: 시행되지 않음, (+): 선택사항으로 시행됨.
• 음영된 부분은 주영역을 나타냄.
• CBAS: Computer Based Assessment in Science (컴퓨터 기반 과학 평가)
• DRA: Digital Reading Assessment (디지털 읽기 평가)
• CBAM: Computer Based Assessment of Mathematics (컴퓨터 기반 수학 평가)
• CBAPS: Computer Based Assessment of Problem Solving (컴퓨터 기반 문제해결력 평가)
• CPS: Collaborative Problem Solving Competency (협력적 문제해결력 평가)
※ 학생 대상의 설문에는 기본 설문과 함께 선택 사항인 교육경험(EC), 정보기술(ICT) 설문이 포함되어 있음.

[그림 Ⅰ-2] PISA 주기별 평가 영역과 평가 방식 (구자옥 외, 2015, p. 6)

박지현, 권오남(2013)은 컴퓨터기반 환경에서 수학적 과정을 평가하기 위한 9가지의 문항 설계 원리(접근, 도구사용, 기록, 탐구, 구성, 상호작용, 중개, 표상, 외적연결)를 제안하였다. 또한 임형준(2017)은 컴퓨터기반 평가가 학교 현장에 적용되기 어려운 주된 이유 중의 하나인 문제은행 구축의 어려움 측면을 해결하기 위하여 인수분해 단원을 중심으로 문항자동생성에 대한 연구를 하였으며, 컴퓨터기반 평가의 장점 4가지를 제안하였다.

첫째, 검사 수행에서 발생하는 다양한 오류를 줄일 수 있다.
둘째, 검사에서 발생하는 부정행위에 대한 좀 더 효과적인 대응이 가능하다.
셋째, 다양한 방식의 시험이 가능해진다.
넷째, 검사 직후에 빠른 피드백을 줄 수 있고, 피험자의 성취 수준과 인지적인 진단 정보를 검사가 끝난 후 빠른 시간 내에 알려줄 수 있다.

박은아 외(2011)는 컴퓨터기반 문제해결력 평가문항 개발에 대한 지침 5가지를 제시하였으며, 본 연구에서는 국제평가인 PISA에서 제작한 문항들이므로 5가지 지침사항에 대해 이미 성취되었다고 가정한다.

지침1. 컴퓨터 구현에 효과적인 문제 상황을 제시한다.
지침2. 컴퓨터와 상호작용을 통한 문제해결 문항을 개발한다.
지침3. 문제해결 과정 정보를 제공하는 문항을 개발한다.
지침4. 흥미와 동기를 유발하는 기제를 제공한다.
지침5. ICT 능력과 선수지식의 영향을 최소화할 수 있도록 한다.

또한 백순근 외(2010)는 컴퓨터기반 평가의 주요 역량으로 정보통신기술 소양(Information and Communication Technologies Literacy, 이하 ICT 리터러시)의 개발을 위한 연구를 진행하였고, 이원규 외(2007)는 초등학생들을 대상으로 ICT 리터러시 능력을 검사하는 연구를 진행하였다. 이와 같이 21세기 제 4차 산업혁명시대의 흐름을 반영한 컴퓨터기반 평가에 대한 연구들이 지속적으로 진행되는 것은 수학교육현실에 매우 긍정적이 측면으로 볼 수 있으며, 좀 더 구체적이고 실질적인 CBAM의 적용 방안에 대한 연구가 요구되는 시점이라 할 수 있다.

2. PISA2012(또는 2015) 울타리문항 분석

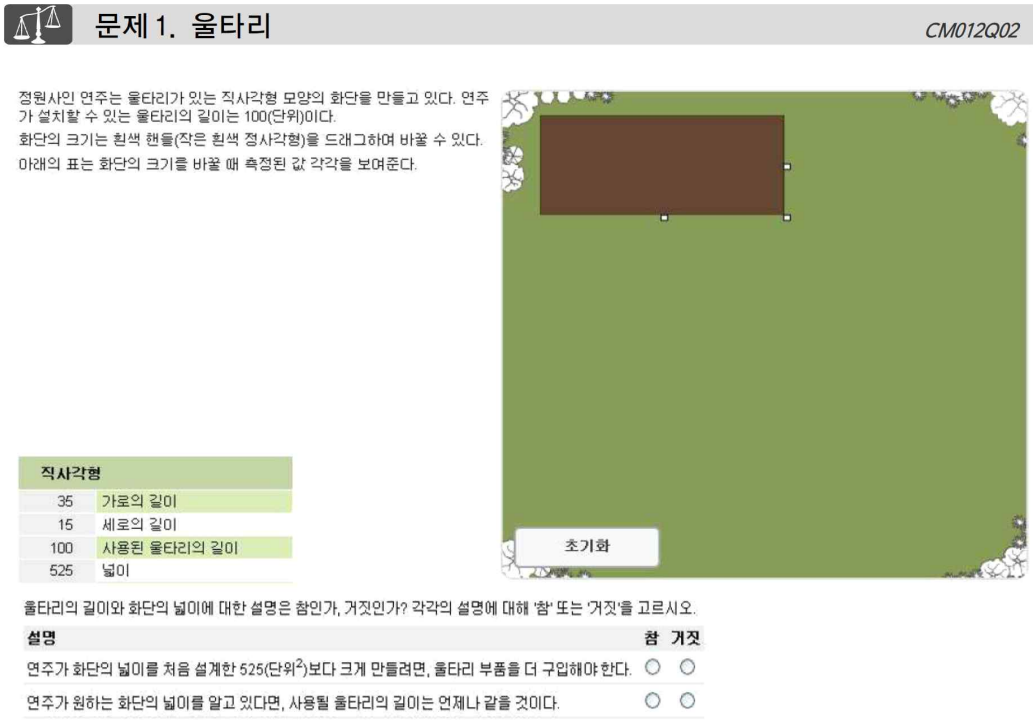
Baccaglini-Frank 외(2010)는 드래깅을 통해 학생들이 기하문제를 푸는 과정 및 학생들의 사고과정에 대한 연구를 통하여 [그림 Ⅰ-1]을 제시하였다. 단순하게 보면 드래깅은 CBQM을 해결하기 위하여 학생들이 조작하는 행위이고 PISA에서 제시한 컴퓨터기반 문항들 또한 드래깅을 통하여 해결해야한다. Baccaglini-Frank 외(2010)는 동적 기하소프트웨어(Dynamic Geometry Software, 이하 DGS)상의 평가와 기존의 다른 평가 방식들의 가장 큰 차이점이 드래깅이라고 하면서 드래깅의 역할을 강조하였다.

Arzarello 외(2002)는 Cabri를 통하여 학생들이 개방형 기하문제를 푸는 과정에서 목적에 따라 다른 형태의 여러가지 드래깅을 활용한다고 하였다. 이에 양은경, 신재홍(2014)은 선행연구들을 참고하여 중요도에 따라 드래깅을 임의적 드래깅(wandering dragging)[5], 안내된 드래깅(guided dragging)[6], 숨겨진 자취 드래깅(dummy locus dragging)[7], 드래깅 검증

5) 임의적 드래깅(wandering dragging) : 학생은 도형의 흥미로운 형태나 규칙성을 발견하기 위해서 '드래깅 가능한 점'(이하 기본 점)들을 계획 없이 무작위로(randomly) 드래깅한다.
6) 안내된 드래깅(guided dragging) : 학생은 특별한 도형의 형태를 유지하기 위해서 기본 점을 드래깅 한다.
7) 숨겨진 자취 드래깅(dummy locus dragging) : 학생은 도형에서 발견된 성질이나 유지하기 위한 형태를 보존하기 위해서 기본 점을 드래깅 하면서 흔적이나 자취를 그린다. 이때, 학생은 자신이 그린 흔적이나 자취를 점의 경로로 확실하게 인식하지 못한다.

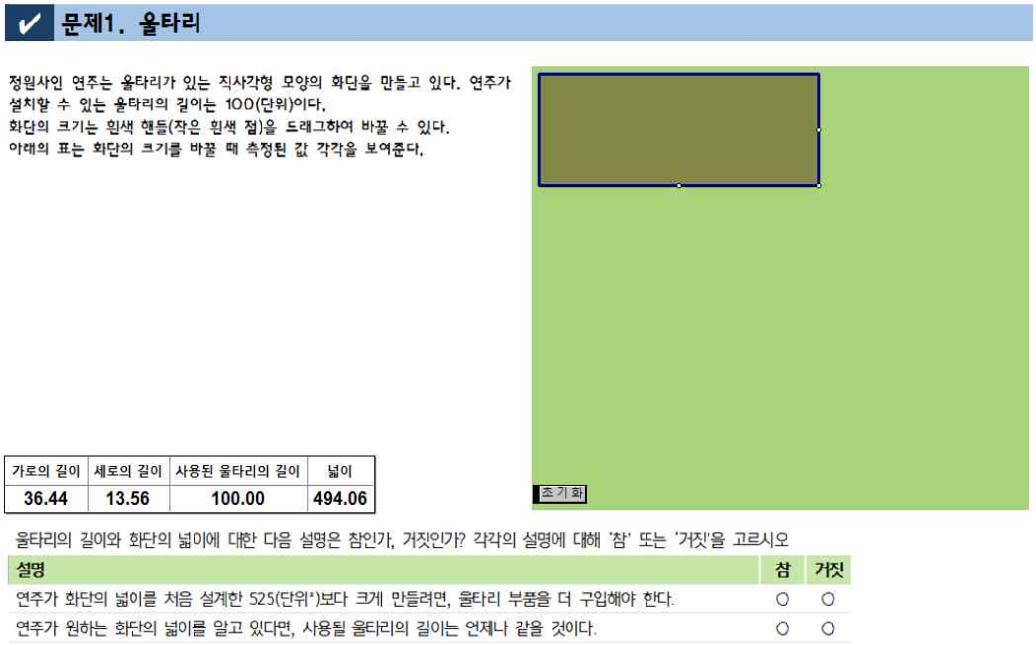
(dragging test)[8]의 4가지로 정리하였다. 따라서 드래깅 활동은 CBAM의 큰 특징이라 할 수 있다.

본 연구에서는 위와 같이 선행연구에서 중요성이 입증된 드래깅을 통하여 문항을 분석하고자 하였다. 다만 학생들에게 탐구적인 학습 환경이 아니라 주어진 시간 내에 해결해야하는 평가환경으로 제공되었기에 이에 따른 제한점이 있을 수 있다.



[그림 Ⅱ-1] PISA2012 울타리문항 I

8) 드래깅 검증(dragging test) : 학생은 구성된 도형이 요구한 성질을 보존하는지 알아보기 위해서 경로를 따라 점을 드래깅한다. 즉, 학생은 안내된 드래깅이나 숨겨진 자취 드래깅에서 형성된 자신의 추측을 검증하기 위해 경로를 새롭게 작도하거나, 점을 경로에 병합한 뒤, 경로를 따라 그 점을 드래깅한다.

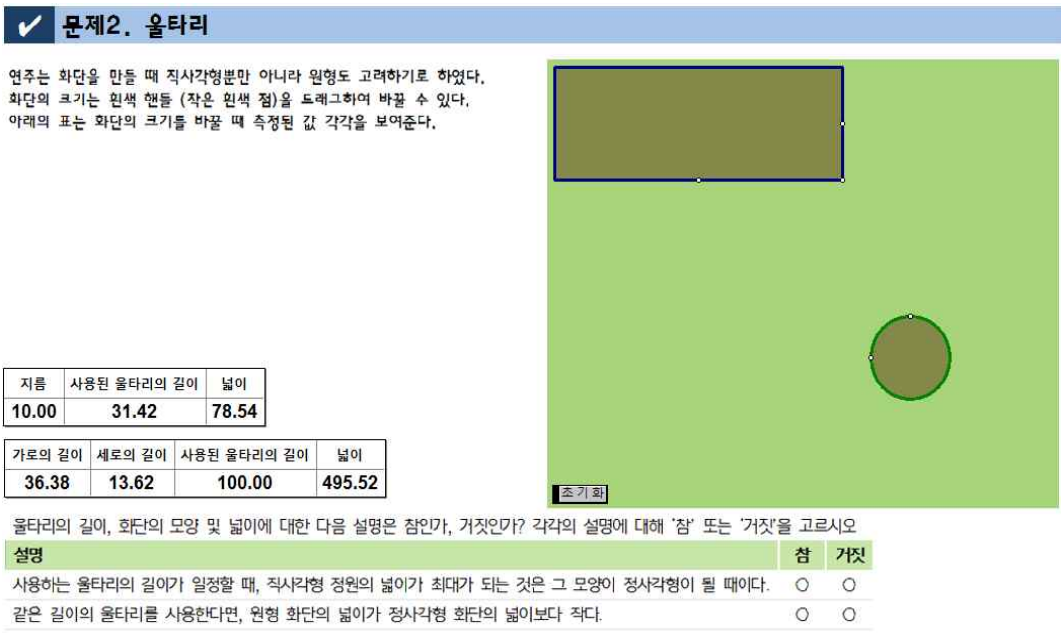


[그림 Ⅱ-2] GSP프로그램을 통해 구현한 PISA2012 울타리문항Ⅰ

본 연구에서는 PISA2012의 문제 중 기하영역 울타리문제를 선정하여 GSP프로그램으로 구현하였다. [그림 Ⅱ-1]의 PISA2012의 울타리문항Ⅰ을 GSP프로그램을 통하여 구현한 것은 [그림 Ⅱ-2]와 같다. [그림 Ⅱ-1]에 제시되어 있는 PISA2012의 울타리문항Ⅰ의 문제들을 해결하기 위해서는 앞서 언급한 안내된 드래깅(guided dragging)을 통하여 해결해야 하며, 드래깅활동 과정은 [그림 Ⅰ-1]에서의 3a 또는 3b단계와 같다고 할 수 있다.

[그림 Ⅱ-3]의 PISA2012의 울타리문항Ⅱ를 GSP프로그램을 통하여 구현한 것은 [그림 Ⅱ-4]와 같다. 이 문항은 울타리 모양을 단순히 직사각형 모양에 국한하는 것이 아니라 원 모양의 울타리를 제시하여 울타리문항Ⅰ에서의 사고를 확장하고, 주어진 조건에서 다른 모양과의 비교를 할 수 있도록 구성되어있다. [그림 Ⅱ-3]에 제시되어 있는 PISA2012의 울타리문항Ⅱ도 울타리문항Ⅰ과 마찬가지로 사용된 울타리의 길이가 100으로 유지되는 조건에서 안내된 드래깅을 통하여 제시된 문제를 해결해야한다. 또한 울타리의 모양을 바꾸어 동일한 둘레에서의 직사각형과 원의 넓이를 비교할 수 있는 수준에 이르게 한다.

[그림 Ⅱ-3] PISA2012 울타리문항Ⅱ

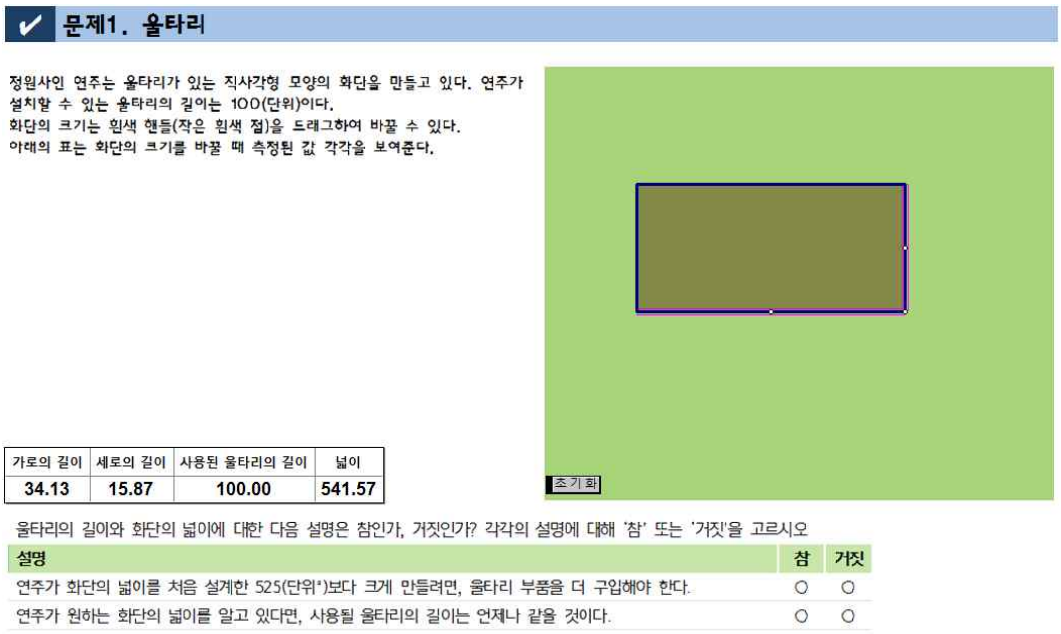


[그림 Ⅱ-4] GSP프로그램을 통해 구현한 PISA2012 울타리문항Ⅰ

DGS환경의 CBAM에서 학생들은 드래깅활동을 통하여 제시된 문제를 해결해야 한다. 양은경 외(2014)은 DGS환경에서 드래깅과 관련된 중요한 기하학적 개념으로 종속성(dependency), 불변량(invariants), 경로(path)를 설명하였다. 이에 따라 [그림 Ⅱ-2]와 [그림 Ⅱ-4]의 GSP프로그램으로 구현된 컴퓨터기반 문항을 통하여 이 세 요소에 대해 살펴보았다.

1) 종속성(dependency)

Wikipedia[9]에 따르면, 종속성이란 '원조(primary source)에 의존하여 변화하는 것'으로서 DGS환경에서는 이러한 종속성이 지필환경과의 큰 차이점이 된다. 양은경 외(2014)는 직선과 그 직선 위의 점을 통해 종속성에 대하여 설명하였다. 이러한 종속성은 [그림 Ⅱ-2]와 [그림 Ⅱ-4]에서 핸들(흰색 점)을 드래깅함에 따라 확인할 수 있다. 우선 기하적 관점에서는 핸들을 움직임에 따라 직사각형의 밑변(이하 선분 L)과 높이(밑변과 수직인 우측 선분, 이하 선분 H)의 위치 및 길이가 변하게 된다. 핸들의 움직임에 따라 선분 L은 상하로, 선분 H는 좌우로 움직인다. 하지만 선분 L 또는 선분 H를 움직였을 때는 [그림 Ⅱ-5]와 같이 해당 사각형 전체가 움직이게 된다. 즉, 선분 L과 선분 H는 모두 핸들에 종속되어 있다. 또한 기하 외적 관점에서는 핸들을 움직임에 따라 표에서의 '가로의 길이', '세로의 길이', '사용된 울타리의 길이', '넓이' 등이 변하게 되며, 이 대상들 모두 핸들에 종속되어있음을 확인할 수 있다. 다른 말로 핸들은 이 문제 상황에서 독립성을 지니는 것이며 이는 다음에서 언급하는 기하성질의 불변량에 의해 유지되도록 작도되었음을 의미한다.



[그림 Ⅱ-5] 선분 L 또는 선분 H를 움직인 경우

9) https://en.wikipedia.org/wiki/Dependency

2) 불변량(invariants)

Wikipedia[10]에 따르면 불변량이란 '변환(transformation)에 의해서도 변화하지 않는 것'으로서 Baccaglini-Frank 외(2010)는 이를 한 점을 드래깅하는 동안에 변하지 않는 도형의 속성이라 하였다. 이러한 불변량은 [그림 Ⅱ-2]와 [그림 Ⅱ-4]에서도 찾아볼 수 있는데, 핸들을 드래깅하여도 울타리의 직사각형 모양은 변하지 않기 때문에 이를 불변량으로 볼 수 있다. 이는 학생이 활용해야하는 수학적 개념의 근간을 이룬다. 울타리문항Ⅰ에서는 울타리 모양이 직사각형이므로 직사각형의 성질에 따라 핸들의 주도적인 움직임에 주목하고 문제를 해결해야하며 울타리문항 Ⅱ에서는 이와 더불어 원의 성질과 관련하여 일정한 원주의 길이 하에서 넓이의 크기를 비교하여야 한다.

3) 경로(path)

Wikipedia[11]에 따르면 경로란 '점들의 연속적 궤적'으로서 Baccaglini-Frank 외(2010)은 이를 학생들은 점의 움직임에서 어떠한 규칙성에 주목하여 명백한 개체로 개념화하는데 이 개체를 경로라고 하였다. 경로는 종속성과 마찬가지로 [그림 Ⅱ-2]와 [그림 Ⅱ-4]에서 핸들을 드래깅함에 따라 나타나는데, 학생들은 울타리의 길이를 100으로 유지시키는 상황에서 핸들을 움직일 때 나타나는 자취의 모양을 보고 핸들이 어떠한 선 위에서 움직여야 한다는 것에 주목하게 되며 이를 직선으로 개념화 할 수 있게 된다. 즉, 핸들이 속해있는 직선을 경로로 볼 수 있다.

위와 같은 특성을 가지는 PISA2012의 울타리문항Ⅰ의 정답률은 국내 15.04%, 국제 11.77% 이고 울타리문항 Ⅱ의 정답률은 국내 35.84%, 국제 29.84%이다(조지민 외, 2012). 전체 평균과 우리나라의 평균을 비교하였을 때, 우리나라가 다른 나라들보다 높은 정답률을 나타내었다. 이는 컴퓨터기반 문항임에도 CBAM의 도입이 최초로 이뤄진 것이어서 그런지 교과서에서 흔히 볼 수 있는 폐쇄형의 문항으로써 단순한 수준에 머물러있어 우리나라 학생들에게 큰 어려움이 없었을 것으로 사료된다. 하지만 앞으로 이루어질 CBAM에서는 컴퓨터 인터페이스 상의 자유로운 이동능력에 의해 확산적 사고로의 접근이 용이하기 때문에 미래 이루어질 평가문항들은 이보다 더 개방적으로 변화될 여지가 강해 보인다. 본 연구는 이런 미래 시대에 컴퓨터기반 평가준비에 더 의의가 있다 하겠다.

본 연구자들은 폐쇄형의 문항에 만족하지 않고, 컴퓨터기반 환경의 장점을 활용하는 측면에서 학생 및 (예비)교사의 교육을 위하여 미래 활용 가능한 좀 더 확장된 방향을 생각해보기로 하였다.

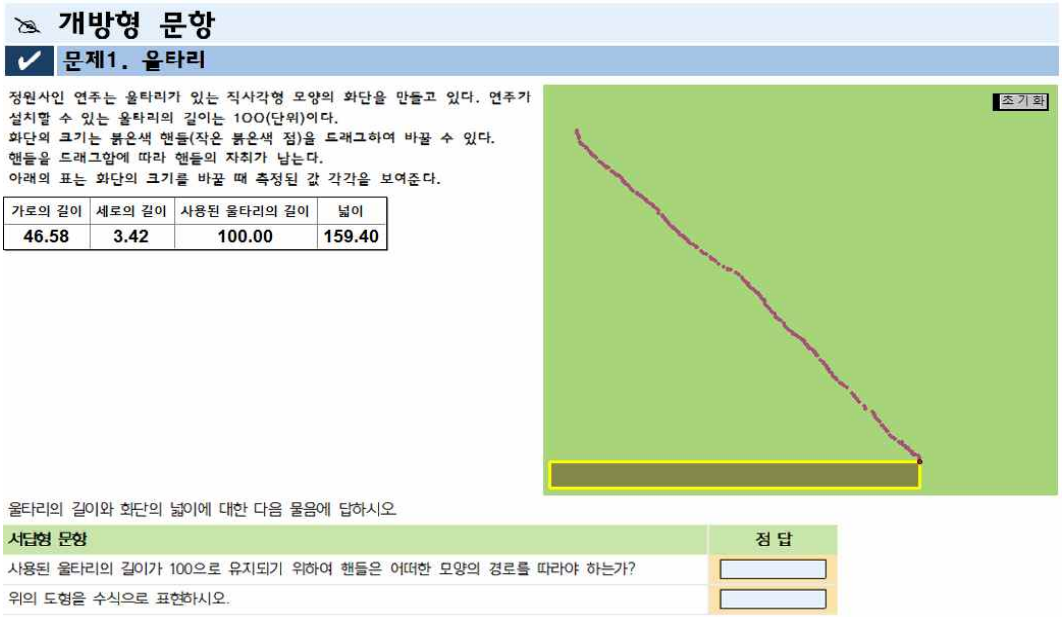
4) 개방형 문제로 확장

Pehkonen(1997)은 문제의 출발 상황(주어진 자료, 조건 등)과 목표 상황(구하려는 것)이 모두 닫힌 문제를 폐쇄형 문제, 출발 상황 또는 목표 상황이 열린 문제를 개방형 문제라고 정의하였는데, 이에 따르면 제시된 울타리문항은 모두 폐쇄형 문제라고 볼 수 있다. 하지만 류희찬, 신동선(1999)과 고상숙(2005)에서 언급하였듯이 컴퓨터기반 환경은 개방형 문제로의

10) https://en.wikipedia.org/wiki/Invariant
11) https://en.wikipedia.org/wiki/Path

확장이 자유롭다.

개방형 문제는 폐쇄형 문제와 달리 학생들에게 자신의 수준에서 창의적인 산출물을 생산할 수 있는 풍부한 탐구활동을 경험하도록 해 준다는 장점이 있다(Pehkonen, 1997). 고상숙, 노지연(2007)은 개방형 문제가 학생들의 생각과 논리에 따라서 여러 가지 결과가 도출될 수 있으므로 풀이 과정이 가장 중요하고, 풀이 과정에 나타난 학생들의 표현 방법을 통해 학생들의 문제 해결 능력을 판단할 수 있다고 하였다. 또한 폐쇄형 중심의 문항들의 부족한 점을 보완하여 개방형 문제화를 시도하면 학생들의 다양한 수학적 사고를 촉진시킬 수 있다(고상숙, 노지연, 2007). 이에 울타리문항을 [그림 Ⅱ-6]과 같이 개방형 문제로 변형해보고, [그림 Ⅱ-7]과 같이 변형된 문항에 적용할 수 있는 과정을 구성해보았다.

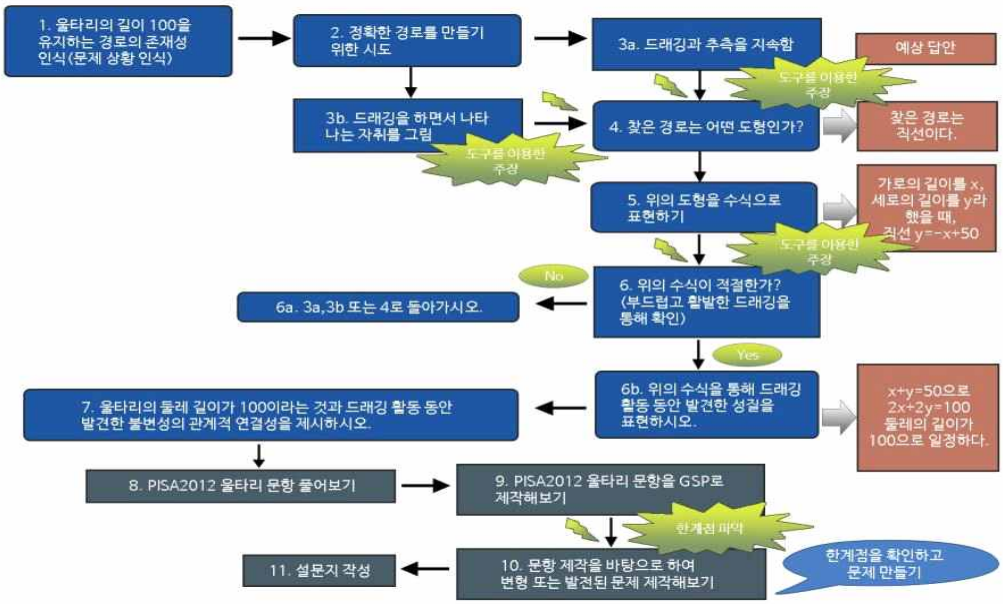


[그림 Ⅱ-6] 개방형 문제로 구현한 PISA2012 울타리문항

[그림 Ⅱ-6]은 학생들이 참/거짓으로만 답변하는 기존의 폐쇄형 문제를 학생들의 다양한 답변을 확인할 수 있는 개방형 문제로 변형한 것으로 GSP프로그램의 기능인 '점의 흔적 남기기' 기능을 활용하여 점의 자취를 확인할 수 있도록 고안하였다. 또한, 기존의 문항에서 핸들이 총 3개가 제시되었지만, 개방형 문항으로 변형된 문제의 의도에 맞게 핸들을 1개로 줄이고 GSP의 점의 흔적 남기기 특성[12]에 따라 핸들을 붉은색으로 변경하였다. 마지막으로 핸들의 위치를 수정하였다. 이 때 핸들에 의한 드래깅은 앞선 문항들과는 다르게 숨겨진 자취 드래깅과 드래깅 검증이 피평가자에 의해 활성화되는 특징을 지닌다. 기존에 문항에서 가로의 길이를 x, 세로의 길이를 y라 하였을 때, 대수적인 측면으로 세운 방정식과 기하적인 측면에서 실제로 나타난 자취의 방정식이 다르기 때문이다. 예를 들어, [그림 Ⅱ-2]에서 원점을 좌측 상단의 점으로 설정하였을 때, 직선의 방정식은 $x+y-50=0$ 또는 $y=-x+50$라

12) GSP의 '점의 흔적 남기기' 기능은 점의 색깔과 같은 색의 흔적(자취)이 나타나는데, 기존의 흰색으로 하는 경우에는 흔적(자취)이 보이지 않아, 붉은색으로 변경하였다.

는 결론에 이르게 된다. 이는 대수적으로는 올바른 표현이 되지만, 실제로 나타나는 점의 자취의 방정식은 $y=x-50$이므로 학생들이 혼란을 느낄 수 있다. 이를 해소하기 위하여 핸들의 위치를 기존의 좌측 하단에서 좌측 상단으로 변경하였다. 이와 같은 측면은 원점 또는 좌표축을 어떻게 설정하느냐에 따라 개방형 문항의 특징으로 다양한 답변이 있을 수 있지만, 대수적인 측면과 기하적인 측면이 서로 일치하게 하여 주어진 시간 내에 해결해야하는 학생들의 문제의 접근성을 단순하게 하고자 시도된 것이다. 학생들은 [그림 Ⅱ-6]을 해결하기 위하여 사용된 울타리의 길이가 100으로 유지되는 조건에서 울타리의 크기를 변형시키는 주로 안내된 드래깅을 하게 되는데, 이는 [그림 Ⅰ-1]에서의 1~3단계에 해당한다고 할 수 있다. 이후 학생들은 그 점이 마치 직선과 비슷한 모양을 따라 움직임을 알게 된다. 이는 [그림 Ⅰ-1]에서의 4단계 또는 5단계라고 할 수 있다.



[그림 Ⅱ-7] (예비)교사의 CBQM 제작 과정에서 고려되는 진행경로

[그림 Ⅱ-7]은 [그림 Ⅰ-1]을 기반으로 변형한 것인데, 우선 7단계까지는 기존과 동일하고 이후의 단계를 본 연구의 목적을 달성하기 위하여 (예비)교사를 교육하는 방향으로 설정하였다. [그림 Ⅱ-6]와 같은 개방형 문제를 [그림 Ⅱ-7]의 과정에 적용한다면, 2단계에서 학생 또는 교사들은 주어진 점의 자취가 직선임을 확인할 수 있다. 이후 좌표평면을 적용하여 주어진 점의 자취의 직선의 방정식을 세울 수 있다. 가로의 길이를 x, 세로의 길이를 y라 하였을 때, 직선의 방정식은 $x+y-50=0$ 또는 $y=-x+50$ 임을 알 수 있다. 또한 6b단계에서는 앞에서 발견한 직선의 방정식이 참임을 확인하는 등의 활동이 가능하다. 이처럼 1단계에서 7단계에 이르기까지 학생 수준의 다양한 답변을 확인할 수 있는 개방형 문제로 확장이 어렵지 않음을 알 수 있다. 이후 단계는 (예비)교사 교육을 위한 단계로, 9단계에서는 주어진 문

항을 GSP프로그램 등 소프트웨어프로그램으로 제작해 보는 활동을, 10단계에서는 문항을 제작하는 과정에서 파생된 의문점이나 보완점 등 창의적인 아이디어를 활용하여 또 다른 문제를 제작해보는 활동으로 나아갈 수 있다. 이러한 드래깅활동을 통하여 해결해야 하는 PISA2012의 울타리문항은 최인선(2013)에서 언급한 기존의 지필검사 방법에서 평가하기 어려운 수학 소양을 평가할 수 있는 새로운 검사방법의 구체적인 예시가 될 수 있다. 이렇듯 앞으로의 새로운 평가 방법인 CBAM에 대한 개발과 분석은 꾸준히 이루어져야 한다. CBQM을 제작할 수 있는 역량도 중요할 뿐만 아니라 학생들의 사고의 흐름 파악하고 이를 적절하게 평가하고 각 사고에 맞는 적절한 피드백을 줄 수 있는 교사의 역량 또한 필요할 것으로 보인다.

3. CBAM을 위한 (예비)교사 교육

CBAM을 도입하기 위해서는 테크놀로지에 대한 교사의 기본적인 지식이 동반되어야 한다. 장미라(2017)는 테크놀로지 교수학적 내용에 대한 지식(Knowledge of Technological Pedagogical Content, 이하 KTPC)과 테크놀로지 내용 지식(Technological Content Knowledge, 이하 TCK)을 정의하였는데, KTPC는 교수학습 상황에서 테크놀로지를 활용할 때 필요한 내용 지식, 교수학적 지식, 테크놀로지 지식을 포함하는 총체적인 지식을 의미하며, TCK는 테크놀로지를 활용할 때 다양하고 효과적으로 학생들을 교수할 수 있는가에 대한 지식을 의미한다. 이러한 KTPC와 TCK는 대학 재학 중 테크놀로지 관련 수강경험의 유무에 영향을 받지만, 교직 기간 중 테크놀로지 관련 수강경험의 유무에는 영향을 받지 않는다(장미라, 2017). 따라서 KTPC와 TCK를 함양하여 수학교육에서의 컴퓨터기반 평가에 도움을 주기 위해서는 현직교사보다는 예비교사를 교육하는 것이 그 의미가 크다고 할 수 있다.

이에 따라 테크놀로지 및 평가와 관련된 예비교사 교육의 실태를 파악하기 위하여 전국 42개 대학의 수학교육과 교육과정을 학과 홈페이지와 학과 사무실 전화연결을 통해 조사하였다. 조사 결과 전국 42개의 사범대학 수학교육과 교육과정에서 공학도구를 활용한 강좌는 크게 두 가지로 분류되었다. 하나는 수학전공 학습을 위한 공학도구 활용 강좌이며, 나머지 하나는 수학교육에서 활용하기 위한 공학도구 활용 강좌이다. 본 연구에서는 두 가지 강좌 모두 KTPC와 TCK 함양에 도움을 준다고 판단하였으며, 전국 수학교육과의 테크놀로지 관련 강좌 개설현황은 <표 Ⅱ-1>과 같다.

<표 Ⅱ-1> 전국 수학교육과 테크놀로지관련 강좌 개설현황

구분		학년별	전체
개설대학	1학년	6 (14.3%)	33(78.6%)
	2학년	10 (23.8%)	
	3학년	11 (26.2%)	
	4학년	6 (14.3%)	
미개설대학		9 (21.4%)	
전체		42 (100%)	

조사결과 전국 42개의 사범대학 수학교육과 중 약 78.6%가 정규교육과정으로 테크놀로지

관련 강좌를 편성하고 있었다. 하지만 이 중 약 24.2%는 학생들의 수요가 없어 최근 몇 년간 개설이 되지 못하고 있었다. 대부분의 대학에서 정규교육과정을 편성할 때 2~3학년을 대상으로 하고 있었으며, 일반적으로 테크놀로지 관련 강좌는 한 개의 강좌로 개설되었다. 하지만 몇몇 대학은 동일 학년을 대상으로 학기를 달리하여 2~3개의 강좌를 개설하는 경우도 있었다. 학생들의 수요가 없어 강좌를 개설하지 못하는 경우도 있었지만, <표 Ⅱ-1>에서 알 수 있듯이 현재 우리나라 대부분의 수학교육과에서는 테크놀로지 관련 강좌를 정규교육과정으로 편성하고 있다. 이는 예비교사들의 KTPC와 TCK를 강화하기 위해 각 대학에서 노력하고 있다고 볼 수 있으며, CBQM을 제작할 수 있는 역량을 갖춘 교사들이 지금보다 더 많아 질 것으로 전망해볼 수 있다.

수학평가와 관련된 강좌를 수강한 중등학교 예비교사들은 그렇지 않은 집단에 비하여 수학 평가문항 개발에 대한 인식이 매우 긍정적이다(박미영, 2015). 이보다 앞서 조사된 김선희(2006) 연구에서는 수학교육평가 강좌는 교과교육학의 필수과목으로써 현대 수학교육이론에 입각하여 수학교사들이 학교현장에서 실제 업무를 수행할 수 있게끔 개설의 중요성을 언급하였다. 따라서 수학교육에서의 컴퓨터기반 평가를 도입하기에 앞서, 테크놀로지 강좌뿐만 아니라 기본적으로 수학교육에서의 평가와 관련된 강좌가 편성 및 운영되어야한다. 전국 42개 사범대학 수학교육과의 수학교육평가 강좌 개설현황은 <표 Ⅱ-2>와 같다.

<표 Ⅱ-2> 전국 수학교육과 평가관련 강좌 개설현황

구분		학년별	전체
개설대학	1학년	1 (2.4%)	20 (47.6%)
	2학년	4 (9.5%)	
	3학년	8 (19%)	
	4학년	7 (16.7%)	
미개설대학		22 (52.4%)	
전체		42 (100%)	

조사결과 전국 사범대학 수학교육과 중 약 47.6%가 정규교육과정으로 수학교육평가 관련 강좌를 편성하고 있었으며, 이 중에 약 15%는 학생들의 수요가 없어 최근 몇 년간 개설되지 못하고 있었다. 대부분의 대학에서 정규교육과정을 편성할 때 3~4학년을 대상으로 하고 있었으며, 수학교육평가 강좌는 모두 한 개의 강좌로 개설되었다. 수학교과에서의 평가를 위해서는 기본적인 수학교육 지식이 있어야 하므로 저학년 보다는 고학년 대상으로 강좌를 편성 및 운영한 것으로 판단된다. 수학교육평가 강좌의 경우 테크놀로지 강좌와 다르게 미개설 대학이 많았으며, 전국적으로 수학교육평가 강좌를 개설하여 평가에 대한 예비교사들의 역량을 강화해야하는 시점이다.

<표 Ⅱ-3> 전국 국립 및 사립대학의 수학교육과 테크놀로지 및 수학교육평가 강좌 개설현황

구 분	국립	사립
테크놀러지 강좌만 개설	8 (50%)	8 (30.8%)
수학교육평가 강좌만 개설	0 (0%)	3 (11.5%)
둘 다 개설	5 (31.3%)	12 (46.2%)
둘 다 미개설	3 (18.8%)	3 (11.5%)
전체	16 (100%)	26 (100%)

국립과 사립대학 수학교육과의 테크놀로지 강좌와 수학교육평가 강좌의 개설현황 비교는 <표 Ⅱ-3>과 같다. 국립대학에서는 테크놀로지 강좌만 개설한 경우가 50%로 가장 높게 나타났으며, 테크놀로지와 수학교육평가 강좌를 모두 미개설한 경우는 약 18.8%로 나타났다. 개설여부로만 봤을 때 테크놀로지 강좌개설은 약 81.3%, 수학교육평가 강좌개설은 약 31.3%이다. 사립대학에서는 테크놀로지와 수학교육평가 강좌를 모두 개설한 경우가 약 46.2%로 가장 높게 나타났으며, 테크놀로지와 수학교육평가 강좌를 모두 미개설한 경우는 약 11.5%로 나타났다. 개설여부로만 봤을 때 테크놀로지 강좌개설은 약 77%, 수학교육평가 강좌개설은 약 57.7%이다. 국립과 사립대학을 비교하였을 때 국립대학은 테크놀로지 강좌를 사립대학보다 높은 비율로 개설하고 있었으며, 반대로 사립대학은 수학교육평가 강좌를 국립대학보다 높은 비율로 개설하고 있었다.

전국 42개 대학의 수학교육과 교육과정을 살펴본 결과 테크놀로지 강좌는 최근 미개설된 대학을 제외한 25개 대학에서 운영되고 있는 것으로 나타났으며, 수학교육평가 강좌는 최근 미개설된 대학을 제외한 17개 대학에서 운영되고 있는 것으로 나타났다. 수학교육평가 강좌의 경우 개설된 대학의 비율이 낮은 편이며 미개설된 대학에서 교육과정을 편성 및 운영할 필요가 있다. 테크놀로지 강좌의 경우 수학교육평가 강좌보다는 높은 비율로 운영되고 있으나, CBAM의 도입으로 인한 CBQM 제작의 역량이 중요시되고 있는 시점에서 더 많은 강좌가 개설되어야 한다.

Ⅲ. 논의 및 결론

1. 교수·학습과 CBAM

교육과정에 제시되는 핵심역량은 오늘날 교육의 방향성을 대변하는 지표라고 할 수 있다. 2015개정 수학과 교육과정에서 제시하고 있는 핵심역량 중 '정보 처리 능력'에서는 컴퓨터 및 교육용 소프트웨어 등의 공학적 도구를 사용할 것을 강조하고 있으며 평가의 방법 또한 학생이 컴퓨터 및 교육용 소프트웨어 등의 공학적 도구를 이용할 수 있도록 해야 한다고 안내되어 있다.

지금껏 수학교육에서 이루어진 공학도구활용에 대한 연구는 주로 교수학습 면에서 각 도

구 활용의 효과에 집중되어 왔다. 기하영역에서 임현정 외(2016), 이창연 외(2010), 손홍찬(2011), 김남희(2006), 이중권 외(2001); 해석기하영역에서 손홍찬 외(2015), 윤인준 외(2012); 함수영역에서 고상숙 외(2010), 류희찬 외(2005), 고호경 외(2002) 등 다수에 이른다. 반면 NCTM(1989) 이후 평가의 일관성 원리에 의해 교수·학습에서와 직결된 평가에서도 도구활용이 이루어져야 함을 언급하였다. 이런 방향에 따라 평가에서 도구활용에 대한 연구는 최근 한국과학창의재단의 지원으로 이루어진 과정중심 평가에서 고상숙 외(2013) 외에는 거의 찾아보기 어렵다. 여기에는 우리 평가는 여전히 중앙관리식의 평가에 의존성이 높아서 그런지 교실 내에서 각 교사가 담당해야하는 주요 영역임에도 교사의 책무성에서 제외되는 경향이 있다. 하지만 최근의 평가의 방향은 성취평가제를 중심으로 각 학생의 성취의 수준에 피드백을 제공해야하는 교사의 역할이 강화되고 있다. 선진국에서 활성화되어있는 절대적 평가로 전환하지 않고, 일렬로 세우는 것에 치중된 우리의 평가체제 안에서는 상대에 대한 배려나 존중은 교육의 우선순위에서 밀려날 수밖에 없다. 이제 성취평가제를 중심으로 창의, 융합, 인성(배려, 감성) 등을 평가요소에 포함해야하는 2015 개정교육과정의 변화를 도모함에 있어 CBAM의 활성화는 모둠활동의 협력적 학습에서 의사소통을 자연스럽게 강화하게 하므로 자기평가나 동료평가의 수행을 용이하게 돕는다.

2. 교사교육과 CBAM

국제적으로 큰 의의를 가지고 있는 PISA는 PISA2006부터 부분적으로 시행하던 컴퓨터기반 평가를 PISA2015부터 전면적으로 도입하고 있으며, 이는 시대의 흐름을 반영한 교육의 변화라고 볼 수 있다. 이처럼 4차 산업혁명시대에서 컴퓨터기반의 수학적 도구는 기본적인 도구로 활용이 될 것이며 컴퓨터기반 수학 평가(CBAM)를 위한 교사들의 역량개발이 중요한 시점이다. 이에 따라 컴퓨터기반 수학 문항(CBQM)을 제작할 수 있는 현직 및 예비교사에 대한 연구가 보다 활발히 이루어져야 한다. 학교 현장에서의 CBAM 도입에 대한 방법 및 방안에 대한 논의도 보다 현실적인 차원에서 이루어져야 한다.

CBAM 도입을 위해 테크놀로지에 대한 교사의 기본적인 지식이 동반되어야 하는데, 테크놀로지 교수학적 내용에 대한 지식(KTPC)과 테크놀로지 내용 지식(TCK)의 함양은 현직교사보다 예비교사를 교육할 때 그 의미가 더 크다. 따라서 전국 수학교육과에서 이에 대한 교육이 이루어지고 있는가의 여부를 파악하여 안내하는 것은 매우 도움이 된다. 또한 CBQM을 제작하기 위해서는 기본적으로 수학교육에서의 평가와 관련된 교육이 중요하다고 할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 전국 42개 대학의 수학교육과의 교육과정을 조사하였다. 테크놀로지 강좌는 최근 미개설된 대학을 제외한 25개 대학에서 운영되고 있는 것으로 나타났고, 수학교육평가 강좌는 최근 미개설된 대학을 제외한 17개 대학에서 운영되고 있는 것으로 나타났다. 이는 예비교사의 교수학습방법을 지원하는 테크놀로지 강좌와 수학교육평가 강좌가 대학에서 더 많이 편성 및 운영되어야 할뿐만 아니라 교수학습과 평가가 도구활용 면에서도 일관성을 유지해야 함을 뜻한다.

3. 본 연구의 시사점

후속연구에 대해, 본 연구에서의 제한점을 포함하여 시사점을 언급하며 마무리하고자 한

다. 첫째, 시대의 흐름에 따라 다양한 테크놀로지를 활용하는 방향으로 교육이 변화하고 있으므로 이에 대비하는 국가차원에서 CBQM 제작 역량을 위한 수학교육 테크놀로지 강좌와 CBAM을 위한 수학교육 평가 강좌의 교육과정 편성 및 운영이 필수강좌로서 전국적으로 활발히 실천되어야 한다. 여기에는 학교수학의 교수학습을 위한 테크놀로지 활용이 평가와도 접목되어 다루어져야 함을 의미한다.

둘째, 본 연구에서는 공개된 PISA의 평가문항을 재구현하고 문항제작에 초점을 두었고, 문항에 대한 평가기준과 채점기준표는 이미 공개되었으므로 포함하지 않았다. 새로 구성되는 문항이라면 평가의 수행에 필요한 이러한 평가요소들도 함께 다루어져야 한다.

셋째, 본 연구에서는 기하문항의 제작과정에서 살펴봐야하는 요소들을 중심으로 분석하였다. 기하문항에서는 드래깅활동에 의한 종속성, 불변성과 경로에 대해 분석이 이루어졌듯이 함수영역에서는 스크롤바의 움직임으로 각 변수의 변화를 탐구할 수 있어 이에 대한 구성요소를 파악하는 연구가 필요하다. 이처럼 수학영역에 따라 CBQM의 구성요소들이 달라질 수 있다. 따라서 앞으로 다양한 수학영역별로 문항제작에서 구성요소들에 대한 연구가 이루어져야 한다.

넷째, 교사의 TCK와 KTPC과 같은 교사지식체제에 대한 연구가 활성화되어야 하며, 나아가서는 교사의 평가지식(Knowledge of Assessment 이하 KA)과도 관련하여 연구가 이루어져야 한다. 특히 CBAM을 위한 현직 및 예비교사들의 KA에서 테크놀로지 활용지식을 수학영역별로 제시하여야 한다. 구체적인 방안으로는 각종 공학적 도구들을 통해 기존에 제시되어있는 CBQM들을 직접 구현해보고, 응용해보는 활동을 통해 교사의 지식체계를 규명하는 연구가 필요하다.

다섯째, CBQM 제작 등의 평가전문가 양성을 위해 교사연구회 또는 연수프로그램이 단순히 공학도구의 활용수준을 넘어 평가의 전문성을 키울 수 있는 것에 초점을 둔 자료집의 개발과 그에 따른 운영이 이루어져야 한다.

여섯째, 국가적인 차원에서의 현직 및 예비교사에 대한 교육뿐만 아니라 교육을 받은 교사들이 학교 현장에서도 CBQM 제작을 통해 학생들의 사고과정을 파악하는 등 CBAM을 원활히 수행할 수 있는 공학적 환경을 갖춘 수학교실이 제공되어야 한다.

참고 문헌

고상숙(2005). **수학을 하려면 엑셀을 밟아라.** 서울: 경문사.

고상숙, 노지연(2007). 중학교 기하단원의 개방형문제에서 학생의 문제해결과정의 사고 특성에 관한 연구. **한국학교수학회논문집, 10**(3), 303-322.

고상숙, 문혜령(2010). GSP를 활용한 삼각함수에서 학습부진아의 수학화 과정에 관한 사례연구. **수학교육, 49**(3), 353-373.

고상숙, 박만구, 한혜숙, 홍예윤, 유기종, 이순용 외(2013). 교구 및 공학도구를 활용한 수학적 과정중심 평가 기반 조성, 서울: 한국과학창의재단.

고호경, 고상숙(2002). 컴퓨터 환경에서 개념 형성과정을 통한 언어적 상호작용에 관한 연구. **수학교육논문집, 13**(1), 381-408.

교육부(2015). 초·중등학교 교육과정 총론. 교육부 고시 제2015-74호 별책 8.

구자옥, 김성숙, 임해미, 박혜영, 한정아(2015). OECD 국제 학업성취도 평가 연구: PISA 2015 본검사 시행보고서. 한국교육과정평가원 연구보고 RRE, 2015-6-2.

김남희(2006). 문제해결력 신장을 위한 Cabri3D의 교육적 활용. **수학교육학연구, 16**(4), 345-366.

김선희(2006). 학생평가 전문성을 갖춘 수학교사 양성을 위한 수학학습평가 강좌의 교육 내용과 방법에 대한 제안. **학교수학, 8**(3), 301-326.

류희찬, 신동선(1999). **수학교육과 컴퓨터.** 서울: 경문사.

류희찬, 손홍찬(2005), 함수 지도와 수학적 모델링 활동에서 스프레드시트의 활용. **수학교육학연구, 15**(4), 505-522.

박미영(2015). 중등 예비교사와 현직교사의 수학과 평가문항 개발에 대한 자기인식 연구. **학교수학, 17**(2), 331-353.

박은아, 이문복, 이상하, 최혁준, 서민희, 권영빈(2012). **컴퓨터 기반 문제해결 능력 평가 도구 개발 및 시범 적용.** 한국교육과정평가원 연구보고 RRE 2012-5-1.

박지현, 권오남(2012). PISA의 평가틀에서 컴퓨터기반 수학평가에 대한 소고. **한국수학교육학회 학술발표논문집**, 213-218.

박지현, 권오남(2013). 국내 분과 발표: 컴퓨터 기반 수학 평가 문항 설계 원리 설계, 개발 연구. **한국수학교육학회 학술발표논문집**, 49-50.

백순근, 임철일, 김혜숙, 유예림, 김미림, 이소라(2010). 웹기반 수행형 ICT 리터러시 검사도구 개발 연구. **아시아교육연구, 11**(2), 223-246.

손홍찬(2011). GSP를 활용한 역동적 기하 환경에서 기하적 성질의 추측. **학교수학, 13**(1), 107-125.

손홍찬, 도정철(2015). GSP를 활용한 기하수업에서 수준별 학생의 논증기하와 해석기하의 연결에 관한 연구. **한국학교수학회논문집, 18**(4), 411-429.

양은경, 신재홍(2014). 개방형 기하 문제에서 학생의 드래깅활동을 통해 나타난 수학적 추론 분석. **수학교육학연구, 24**(1), 1-27.

윤인준, 고상숙(2012). 탐구형 소프트웨어를 활용한 해석기하에서 학습부진학생들의 개념형성에 관한 연구: 관계적.도구적 이해를 중심으로. **한국학교수학회논문집, 15**(.4), 643-671.

이영현, 고형주, 김명렬(2001). 웹 기반 평가를 위한 사용자 가독성에 관한 연구. **컴퓨터교육학회논문집, 4**(2), 125-133.

이원규, 김영기, 김현철, 서순식, 전우천, 한선관, 김영애, 김혜숙, 장시준(2007). **ICT 리터러시 검사도구 개발 연구: 초등학생용.** 서울 : 한국교육학술정보원.

이중권, 장경윤, 황우형(2001). 탐구형 기하 소프트웨어(Geometer's Sketchpad)의 활동 자료 개발과 그 효과에 관한 연구. **수학교육학연구, 11**(1), 193-206.

이창연, 황우형(2010). 반힐레 이론과 GSP를 활용한 중학교 기하영역에 관한 연구: 사각형의 성질을 중심으로. **수학교육, 49**(1), 85-109.

임해미(2013). OECD PISA 의 변화에 따른 우리나라 수학교육의 대응 방안. **한국수학교육학회 학술발표논문집,** 129-139.

임현정, 고상숙(2016). GeoGebra 를 활용한 반힐레 기하교수법에서 도구화에 관한 연구. **수학교육논문집, 30**(4), 435-452.

임형준(2017). **자동생성문항의 설계 및 문항반응모형 연구.** 서울대학교 대학원 석사학위 논문.

장미라(2017). **중학교 수학교사의 테크놀로지 교수학적 내용 지식에 관한 연구.** 전남대학교 대학원 박사학위논문.

조지민, 동효관, 옥현진, 임해미, 정혜경, 손수경, 배제성(2012). OECD 국제 학업성취도평가 연구: PISA 2012 본검사 시행 보고서. 연구보고 RRE, 3-1.

최인선(2013). 수학에서 컴퓨터 기반 학업성취도 평가 도입 방안 탐색. **한국수학교육학회 학술발표논문집,** 209-219.

Arzarello, F., Olivero, F., Paola, D., & Robutti, O. (2002). A cognitive analysis of dragging practises in Cabri environments. *Zentralblatt fur Didaktik der Mathematik, 34*, 66-72.

Baccaglini-Frank, A. & Mariotti, M. A. (2010). Generating conjectures in dynamic geometry: The maintaining dragging model. *International Journal of Computers for Mathematical Learning, 15*(3), 225-253.

National Council of Teachers of Mathematics. (1989). *Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics. 구광조·오병승·류희찬(역) (1992). 수학교육과정과 평가의 새로운 방향. 서울: 경문사.

OECD (2012). *PISA 2015 Survey Design*. The 34th meeting of the PISA Governing Board.

Pehkonen, E. (1997). Use of Open-Ended Problems in Mathematics Classroom. Research Report 176. University of Helsinki, Dept. of Teacher Education, PO Box 38 (Ratakatu 6A), Helsinki 00014, Finland.

Trouche, L. (2004). Managing the complexity of human/machine interaction in a computerized learning environments : Guiding students' command process through instrumental orchestrations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning,* **9,** 281-307.

http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1181081&cid=40942&categoryId=32843

https://en.wikipedia.org/wiki/Dependency

https://en.wikipedia.org/wiki/Invariant

https://en.wikipedia.org/wiki/Path

Exploring of the Possibility to Construct the Items for Computer-based Assessment in Mathematics : Focused on Fence Items in PISA2012 or 2015 within an Environment of Dynamic Geometric Software

Lee Seo Bin[13] · Kim Sun Ho[14] · Choi-Koh Sang Sook[15]

Abstract

Since PISA2006, the computer based assessment in mathematics(CBAM) was introduced for the first times and at last PISA2015 used all items in CBAM for problem solving. In this study, we focused on which important properties were considered in constructing geometric 'fence items' used in PISA 2015 to find the future direction over our teacher education, especially for constructing 'computer based assessment items.' For the purpose of the study, we analyzed the fence items on three components such as dependency, invariant, and path found in dragging activities, within a computer environment using the dynamic Geometry Software, GSP. Also, for the future, we provided an open-ended problem related to the fence items, which we could use as the merit of computer-based environment.

Key Words : PISA2012, PISA2015, Computer-Based Assessment in Mathematics (CBAM), Computer-Based Question in Mathematics(CBQM), Dragging, (Pre-service) Teacher Education, Dynamic Geometry Software(DGS), Fence Item, Constructing an item for CBAM

Received September 11, 2017
Revised September 25, 2017
Accepted September 26, 2017

13) Graduate School of Dankook University (lsb5080@naver.com)
14) Graduate School of Dankook University (zsunhoz@naver.com)
15) Dankook University (sangch@dankook.ac.kr), Corresponding Author