

# 알지오매스(AlgeoMath)에 담긴 미래 수학교육의 방향 탐색

## Exploring the future direction of Math Education in AlgeoMath

이 환 철

**ABSTRACT.** The Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity(KOFAC) developed AlgeoMath, a dynamic geometry software, with support from the Ministry of Education and 17 municipal and provincial education offices. Starting Nov. 7, 2018, AlgeoMath can be used for free by anyone. This study summarizes various discussions on the future direction of math education. The four aspects of the curriculum, textbook, teaching and learning, and assessment were explored on how AlgeoMath could contribute in realizing the future direction of math education. We confirmed that AlgeoMath can faithfully fulfill its role as a tool for changing math education, and we looked at what should be emphasized more and what should be complemented.

## I. 서론

### 1. 필요성 및 목적

제4차 산업혁명이라는 용어로 대표되는 미래 사회는, 교육에 있어서 많은 변화를 요청하고 있다. 이에 세계 여러 나라들은 미래 사회에 대한 고민과 함께 교육의 근본적인 방향을 전환하기 위한 노력을 기울이고 있다. 일례로, 계산기, 컴퓨터, 교육용 소프트웨어 등의 공학적 도구를 적극 도입하고 있다. 우리나라 중·고등학교 수학교육 인적조사 결과, 응답자의 85.8%가 교구 및 공학적 도구를 수

---

Received June 24, 2019; Revised July 5, 2019; Accepted August 13, 2019.

2010 Mathematics Subject Classification: 97U70

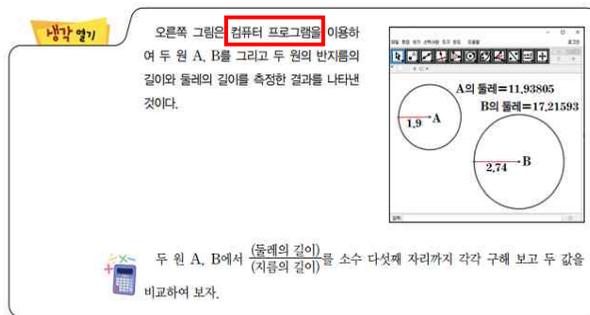
Key Words : AlgeoMath, Math Education of future, Math Software

1) 2015 개정 수학과 교육과정에서 계산기, 컴퓨터, 교육용 소프트웨어 등을 공학적 도구로 언급한 바와 같이 본 연구에서 '공학적 도구'란 계산기, 컴퓨터 등의 하드웨어 뿐 아니라 통그라미, 알지오매스, 엑셀 등의 소프트웨어를 포괄하는 용어로 정의한다.

학수업에 도입하는 것이 유용하다고 답하였다(한국과학창의재단, 2017). 공학적 도구는 미국, 싱가포르 등 대부분 국가에서 수학과 교육과정을 통해 공식적으로 활용을 권장하고 있으며, 우리나라도 성급하게 형식화, 기호화하는 수학교육의 문제를 보완할 수 있다는 점에서 제6차 수학과 교육과정부터 강조하고 있다(박경미 외, 2015).

2015 개정 수학과 교육과정 개정 방향의 하나로 ‘공학적 도구의 활용 강조’를 제시하였고 교육과정 성취기준에 ‘공학적 도구’라는 용어를 최초로 포함하였으며 교수·학습 방법 및 유의사항에도 ‘공학적 도구 사용’을 보다 적극적으로 표현하였다(교육부, 2015a). 또한 제2차 수학교육 종합계획(2015~2019)을 통해서도 ‘공학적 도구 활용 지원’을 강조하였다(교육부, 2015b).

교육과정에서 공학적 도구를 강조해 온 것과는 달리 교과서, 교수·학습, 평가까지 일관성 있게 반영되지는 못했다. 일례로, 교과서의 경우 특정 상품을 홍보, 옹호해서는 안된다는 교과서 검정기준 심사항목<sup>2)</sup>으로 인해, [그림1]과 같이 민간에서 개발한 ‘공학적 도구’는 명칭을 명시하지 못하고 ‘컴퓨터 프로그램’, ‘도형을 그릴 수 있는 소프트웨어’ 등과 같은 표현을 사용해 왔으며, 교과서 본문을 통해 적극적으로 표현하기보다는 특정 코너를 통해 일부 언급하는 정도로 집필되어 왔다.

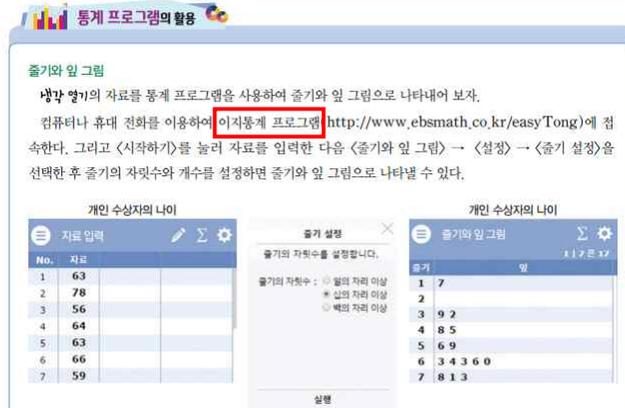


[그림1] 2009 개정 교과서 사례(고호경 외, 2013)

국가 교육과정을 유지하고 있는 우리나라 현실에서 공학적 도구를 적극 활용할 수 있는 방안은 민간 시장의 역할을 침해하지 않는 범위 내에서 누구나 무료로 사용할 수 있는 공학적 도구를 개발하여 보급하는 것이다. 이에 2016년에 통계청은 ‘통그라미’를, 한국교육방송공사는 ‘이지통계’를 개발하여 통계 교수·학습

2) 2015 개정 수학과 교육과정에 따른 수학 교과서는 ‘특정 지역, 문화, 계층, 인물, 성, 상품, 기관, 종교, 집단, 직업 등을 비방·왜곡 또는 옹호하지 않았으며, 집필자 개인의 편견 없이 공정하게 기술하였는가?’와 같은 검정기준의 적용을 받는다.

에 무료로 활용하게 하였다. 국가 예산에 의해 개발되었기 때문에 [그림2]와 같이 교과서에 ‘이지통계’라는 명칭을 구체적으로 명시할 수 있게 되었다.



[그림2] 2015 개정 교과서 사례(고호경 외, 2018)

한편, 한국과학창의재단은 교육부, 17개 시·도교육청의 지원을 받아, 도형 학습용<sup>3)</sup> 소프트웨어인 ‘알지오매스(AlgeoMath)<sup>4)</sup>’를 개발하고, 2018년 11월 7일부터 누구나 무료로 사용할 수 있도록 정식 운영을 시작하였다(교육부, 2018). 정부는 국가 예산에 의해 개발된 공학적 도구로 인해 수학 교과서에 알지오매스라는 명칭을 명시하는 것 뿐 아니라 교수·학습, 평가 등에서 적극 활용됨으로써 수학교육의 긍정적인 변화를 선도할 것이라고 기대하고 있다.

본 연구는 알지오매스가 미래 수학교육의 방향을 어떻게 담고 있으며 어떤 방향으로 발전해야 하는지에 대해 살펴보고자 한다. 알지오매스가 국가·사회의 미래 방향을 받아들여 수학교과 교육과정, 교과서, 교수·학습, 평가를 어떻게 선도할 것이며 어떤 부분을 보완해야 할지에 대해 살펴보고자 한다.

## 2. 연구 방법

우리나라 뿐 아니라 OECD, 미국, 호주, 영국, 프랑스 등에서 수학, 수학교육의

3) ‘수학교육용’, ‘수학 교수·학습용’, ‘기하 학습용’, ‘동적 기하’ 등의 용어가 논의되었으나 정부 예산 수립 과정에서 소프트웨어의 특성을 반영하면서도 보다 쉬운 용어를 사용하자는 취지로 인해 ‘도형 학습용’이라는 용어를 사용하게 되었다.  
 4) AlgeoMath(알지오매스)는 대수를 뜻하는 Algebra, 기하를 뜻하는 Geometry, 수학을 뜻하는 Mathematics의 합성어로, 대수에서 기하까지 모든 수학을 담겠다는 의미를 지니고 있다.

변화를 위한 다양한 노력들이 진행되어 왔으며 관련하여 국가 차원의 중장기 계획도 발표하였다. 본 연구에서는 우선 미래 교육 및 수학교육에 대한 국내·외 선행 연구 및 관련 자료를 분석하여 미래 수학교육의 방향을 제시하였다.

다음으로 알지오매스의 개발 방향과 특징을 살펴보았다. 전 세계적으로 다양한 수학교육용 소프트웨어가 사용되고 있음에도 불구하고 우리나라 소프트웨어가 개발된 이유와 개발 방향을 중심으로 살펴보았다. 2018년 11월에 개발되었기 때문에 공식적으로 배포된 매뉴얼, 공식 문서 등을 분석하여 정리하였다.

마지막으로 알지오매스 개발에 참여한 연구자 2명, 개발자 2명과 협의회를 통해 알지오매스로 인해 교육과정, 교과서, 교수·학습, 평가의 변화 방향에 대한 논의를 통해 알지오매스가 미래 수학교육의 어떤 부분을 담고 있으며 미래 수학교육을 위해 어떤 부분을 보완해야 할 것인지를 정리하였다.

## II. 미래 수학교육에 대한 논의

Bernie Triling & Charles Fadel(2009; 한국교육개발원 역, 2012)은 21세기 교육을 통해 형성하고자 하는 미래 인재는 ‘창의적 인성, 지식, 핵심 역량을 겸비하여 새롭고 가치 있는 아이디어나 산출물을 만들어내는 능력을 가진 자’라고 하였다. 김도훈 외(2016)는 미래사회 인재상을 자발적 학습자, 통합적 문제해결자, 개방적 소통자, 공감적 중재자, 가치지향적 개인, 과학 성찰적 시민이라고 하였고, 미래 인재에서 요구되는 역량으로 유연성, 문제해결력, 소통 능력, 조정·중재 능력, 비판적 사고력, 반성적 사고력을 제시하였다.

역량에 관한 논의는 OECD(2005)가 핵심역량(core competency)을 제안한 이후로 논의가 활발하게 일어났다. OECD(2005)가 DeSeCo 프로젝트에서 제안한 핵심역량은 유연한 도구 사용, 다른 그룹과 상호 작용, 자율적인 행동이다. 또한 European Commission(2007)은 The European Framework for Key Competences for Lifelong Learning을 통해 모국어를 통한 의사소통, 외국어를 통한 의사소통, 수학적 역량과 기초 과학·공학 역량, 디지털 역량, 학습 역량, 사회적·시민적 역량, 주도성과 기업가 정신, 문화적 인식과 표현 역량의 8가지 핵심역량을 제시하고 있으며, 많은 유럽 국가들이 이를 기반으로 국가 교육정책을 추진하고 있다. 뉴질랜드, 호주, 캐나다 등은 핵심역량을 국가교육과정에 반영하였으며 우리나라도 2015 개정 교육과정 총론에서 자기관리, 지식정보처리, 창의적 사고, 심미적 감성, 의사소통, 공동체의 6가지 역량을, 수학교과 차원에서는 문제해결, 추론, 의사소통, 창의·융합, 정보처리, 태도 및 실천의 6가지 역량을 선정하여 반영하였다.

제4차 산업혁명 시대로 지칭하고 있는 미래 사회는 자동화와 연결성을 근간으

로 모든 것이 연결되고 보다 지능적인 사회로 빠른 진화를 지향하는 것이 특징이다. 알고리즘은 더욱 고도화되어 숙련분야까지 확장되고 있으며 로봇, 인공지능, 사물인터넷 등 다양한 컴퓨팅 시스템의 발달을 통한 초지능적인 연결사회에 들어서면서 교육을 포함한 사회·문화 전반에 걸쳐 새로운 패러다임으로의 변화를 요구받고 있다. 이영희 외(2018)는 국책연구기관에서 수행한 미래교육 관련 연구를 분석한 결과, 개인 맞춤형 교육, 학습자 중심 교육, 협력 학습, 테크놀로지 기반 교육 등이 중요한 미래 교육 키워드라고 하였다. 인구 구조의 변화, 초연결·초지능 사회로의 변화 등으로 인해 많은 변화가 요구되지만 교육의 본질과 기본 이념에 충실해야 하며 미래 변화에 따라 ICT, 테크놀로지 등 컴퓨팅 시스템의 등장으로 인한 변화를 고려해야 한다고 하였다.

한편, 수학은 인류 문명사와 함께 해왔으며 향후 미래 산업 발전을 위해서도 매우 중요한 요소이다. 세계 여러 나라는 미래 사회 국가경쟁력 강화를 위해 수학의 중요성을 강조하고 이를 강화시키고 있다. 미국 NRC(2013)는 미래 사회에서 수학은 연구 역량의 중요한 진전을 이루는 역할 뿐 아니라 수학과 연계된 응용분야까지 거의 모든 영역에서 중추적인 역할을 할 것이라고 하였다. Australia(2016)는 2025년을 위한 호주 수리과학의 비전을 발표하면서 수리과학자는 10%의 직업으로 16%의 부가가치를 창출하고 있으며 앞으로 최고의 유망직업군이라고 하였고 수학은 과학의 언어를 넘어서서 기본적인 연구나 발견에서도 필수적인 요소라고 하였다. Villani, C. et al(2018)은 프랑스 교육부 지원을 받아 수행한 연구에서 프랑스의 국가적 우선순위에 수학교육을 포함시킬 것을 제안하였다. 일본 기타하라 카즈오 외(2010)는 과학기술의 지혜 프로젝트를 발표하면서 국가 사회가 발달함에 따라 모든 현상에서 정보의 양과 복잡성이 증대되기 때문에 이를 해결하기 위해서는 계산(Computation)과 빅데이터(Big Data)의 기초도구인 수학이 필수적이라고 하였다. 우리나라도 수학을 활용해 부를 창출한 기업이 등장하고 수학 자체가 비즈니스가 되는 시대가 열리고 있기 때문에<sup>5)</sup> 산업수학을 육성해야 한다고 하면서, 2016년 ‘산업수학<sup>6)</sup> 육성방안’을 발표하였다. 특히 대학 수학과에서 순수수학 중심<sup>7)</sup>의 교육으로 인해 타 분야와 교류가 소극적이고 보고 수학을 세상의 문제와 연결시킬 수 있는 기회를 만들어야 한다고 하였다.

미래 사회를 위한 수학의 역할 변화는 수학교육의 변화에 대한 요청으로 이어

5) Diloitte(2012)는 수학 연구의 경제 효과를 정량화한 보고서를 발간하면서 영국 GVA(Gross-value Added, 총부가가치)의 16%인 부가가치와 영국 일자리의 10%를 창출할 수 있다고 하였다.

6) 산업수학이란 수학적 이론과 분석방법을 활용하여 세상의 문제를 해결하거나 산업의 부가가치를 창출하는 활동이다(미래창조과학부, 2016).

7) 우리나라 대학 수학과 교수의 88%가 순수수학자로 분류된다(박기범 외, 2015).

지고 있다. 김영옥 외(2016)는 미래 수학 내용 영역을 계산, 시각화, 도구, 언어로 재분류할 것을 제안하였고 나귀수 외(2018)는 미래 수학교육의 핵심 내용으로 수론, 대수, 함수, 기하, 확률과 통계, 미적분학 등으로 배워야할 기본적인 수학 지식은 포함하되 수론, 통계 등을 이전보다 강조해야 한다고 하면서 공간, 빅데이터, 프로그래밍을 미래 수학 주제로 제시하였다. 김화경 외(2018)는 미래 수학교육에서 다루어야 할 핵심 이슈로 인공지능, 컴퓨터, 데이터, 컴퓨팅사고력, 수학적 모델링, 가상/증강현실의 6가지를 제시하였다. 변하지 않는 기본적인 수학 지식은 존재하지만 컴퓨팅 시스템의 발달로 인해 좀 더 강화해야 하는 수학 지식과 새롭게 학습해야 하는 수학 주제가 등장하게 된 것이다. 교수·학습 방법적인 측면에서도 변화가 예상된다. 김영옥 외(2017)는 대한수학회 회원을 대상으로 설문을 수행하였고, 연구 및 교육에서 중요하게 사용하는 현재 방법으로는 ‘손 계산’이 가장 많은 응답을 얻었으나 미래 방법으로는 ‘컴퓨터를 사용한 시각화’가 가장 많은 응답을 얻었다고 하였다. 또한 수학적 사고 훈련을 위해 필요한 교육 방식으로 ‘토론’, ‘헤아리고 따지기’, ‘도형과 도구 조작’, ‘확인과 설득’의 순으로 응답자 많았다고 하였다.

미래 수학교육은 학생들이 의미 있는 문제를 탐구하며 새로운 지식을 발견하는 데 초점을 두어야 한다. 문제를 해결하고 탐구하는 과정에서 공학적 도구를 적절히 활용하는 것이 중요하다(NCTM, 2000; 우정호, 2011). 공학적 도구가 학교수학에 활용됨으로써 수학 실험이 도입되고 시각화가 강조되고 학생 중심 수업이 가능해졌다(손홍찬, 2011). 미래 교육, 미래 수학교육에 있어 공학적 도구의 활용은 필수적인 요소이며 적절한 공학적 도구를 통해 교육의 효과를 극대화하려는 노력이 필요하게 되었다.

### III. 알지오매스의 특징

한국과학창의재단(2017)은 알지오매스 개발 사업추진 배경으로 제2차 수학교육 종합계획과 2015 개정 수학과 교육과정에서 공학적 도구 활용을 강조하였으나 수학교과서는 미비한 편이고, 국내·외적으로 수학 학습용 소프트웨어가 많이 개발되어 있으나 국내 교육과정에 적합하고 활용도가 높은 소프트웨어가 미비함을 제시하였다. 또한 실험·탐구가 가능하기 때문에 학생들이 능동적인 활동을 함으로써, 생각하는 힘을 키우고 흥미있는 수학교육을 실현할 수 있다고 하였다.

기초연구 차원으로 수행된 김화경 외(2017)의 연구는 기하 학습이 가능한 국내·외 소프트웨어를 좌표 기반, 작도 기반, 행동 기반으로 분류하여 분석하였다. Geogebra와 같이 좌표 기반, 작도 기반의 특징을 모두 가진 소프트웨어도 있지만 세 가지 모두의 특징을 가진 소프트웨어는 없으므로 이를 포괄할 수 있는 통

합적 기하 소프트웨어 개발이 필요하다고 하였다. 특히 컴퓨팅 사고력을 강조되고 있는 소프트웨어 교육과 연계할 수 있다는 점에서 행동 기반 소프트웨어의 특징을 포함해야 한다고 하였다.

기초연구를 바탕으로 한국과학창의재단(2017)은 알지오메스<sup>8)</sup>의 개발 방향을 다음과 같이 5가지로 제시하였다.

- ① 초·중·고 학생 누구나 쉽게 사용
- ② 우리나라 수학과 교육과정에 최적화
- ③ 소통과 사고력 기반 수학적 실험·탐구 지원
- ④ 개발소스를 오픈하여 지속적인 확장 기반 마련
- ⑤ 클라우드 서버를 활용한 온라인 공유 플랫폼

교사, 교수, 연구자 등이 사용하는 것도 중요하지만 초·중·고 학생 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 기능, 인터페이스 등을 학생 중심으로 개발하고자 한 것이며 우리나라 수학과 교육과정에 최적화하기 위해 교육과정 학습 내용 중 공학적 도구가 활용될 수 있는 부분을 찾아 필요한 기능을 제안하였다(김화경 외, 2017).

또한 문제풀이 중심의 수학교육에서 벗어나 수학교과 역량을 강조하는 방향으로 수학교육을 선도해야 한다는 측면에서 소통과 사고력 기반 수학적 실험·탐구가 가능하도록 하였다. 예를 들어, 도구 아이콘의 일부만 사용하여 활동하도록 콘텐츠 개발자가 제한할 수 있으며, 댓글 달기에 사용자가 활동한 콘텐츠를 탑재하게 할 수 있으며 자동채점 기능도 일부 포함하였다. 특히 교수·학습 콘텐츠의 우수 사례를 보여주기 위해 현장의 우수한 교사들과 함께 양질의 수학 교수·학습 콘텐츠 125종을 개발하여 탑재하였다.

개발소스는 연구자 뿐 아니라 민간 개발자도 무료로 소스를 활용할 수 있도록 오픈소스로 개발하였으며, 정부 정책에 맞춰 공공 클라우드 서버를 사용하였으며 클라우드 서버가 가지는 공유 플랫폼의 특징을 살리는 방향으로 개발하였다.

한국과학창의재단(2017)은 주요 개발내용으로 대수와 기하의 연동 뿐 아니라 블록코딩으로 기하를 탐구할 수 있는 도형 학습용 소프트웨어 개발, 초·중·고 교수·학습 자료로 활용 가능한 콘텐츠 개발, 그리고 활용 가능성을 높일 수 있도록 지원 환경 개발의 세 가지 측면을 제안하였다. 이 세 가지는 각각 알지오도형, 알지오문서, 알지오모둠으로 명명되었다. 각각에 대해 살펴보면 다음과 같다.

알지오도형은 [그림3], [그림4]와 같이 도형을 창의적으로 학습할 수 있는 공학 도구로 도형 작도, 대수 표현, 블록 코딩이 가능한 학습용 프로그램이고, 알지오문서는 [그림5]와 같이 알지오도형으로 만든 결과물이 포함된 교수·학습 콘텐츠

8) 알지오메스는 <https://www.algeomath.kr>로 접속 가능하며 크롬(Chrome) 환경에 최적화되어 있다. PC 뿐 아니라 모바일로도 접속 가능하다.

로 수학적 실험 탐구가 가능한 활동지를 만들 수 있는 문서 작성 도구이다. 알지오모듬은 [그림6]과 같이 학생, 교사 누구나 개설할 수 있는 학습 커뮤니티로 알지오도형이나 알지오문서로 생성한 자료는 물론 관련된 학습 자료도 공유할 수 있다(교육부·한국과학창의재단, 2018).

<p>[그림3] 알지오도형 사례</p>	

계 및 성취기준의 변화를 유도할 수 있다.

2015 개정 수학과 교육과정 기준으로 초등학교 1학년부터 고등학교 1학년<sup>10)</sup>까지 학습하는 ‘수학’ 과목에 대한 교육과정 성취기준 개수를 비교하면 2015 개정은 230개로 2009 개정의 282개에 비해 52개가 감소하였고 교수·학습 방법 및 유의사항 개수를 비교하면 2015 개정은 183개로 2009 개정의 144개에 비해 39개가 증가하였다. 이 중 공학적 도구라는 용어를 사용한 경우를 비교하면 성취기준에서는 2015 개정이 1개, 2009 개정이 0개였고 교수·학습 방법 및 유의사항은 2015 개정이 6개로 2009 개정의 5개보다 1개가 증가하였다. [표1]로부터 알 수 있듯이 개수에 관계없이 공학적 도구 활용을 더욱 강조하기 위한 문장임을 알 수 있다.

	2009 개정	2015 개정
성취기준		[9수05-03] 공학적 도구를 이용하여 실생활과 관련된 자료를 수집하고 표나 그래프로 정리하고 해석할 수 있다.
교수·학습 방법 및 유의사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공학적 도구를 활용하여, 함수의 그래프를 그리고 다양한 상황을 해석할 수 있게 한다.</li> <li>• 공학적 도구를 활용하여, 표와 그래프를 그리고 대푯값과 산포도를 구할 수 있게 한다.</li> <li>• 공학적 도구나 다양한 교구를 활용하여 도형의 성질을 추론할 수 있게 한다.</li> <li>• 함수의 그래프는 공학적 도구를 활용하여 이해하게 할 수 있다.</li> <li>• 지수나 로그에 관련된 문제를 다룰 때 공학적 도구를 활용할 수 있게 한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 함수의 그래프를 그리고 여러 가지 성질을 탐구할 때 공학적 도구를 이용할 수 있다.</li> <li>• 공학적 도구나 다양한 교구를 이용하여 합동과 닮음의 의미를 이해하게 한다.</li> <li>• 공학적 도구나 다양한 교구를 이용하여 도형을 그리거나 만들어보는 활동을 통해 도형의 성질을 추론하고 토론할 수 있게 한다.</li> <li>• 대푯값과 산포도를 구할 때 공학적 도구를 이용할 수 있다.</li> <li>• 직선의 방정식, 원의 방정식, 도형의 이동을 다룰 때 공학적 도구를 이용할 수 있다.</li> <li>• 함수의 그래프를 다룰 때 공학적 도구를 이용할 수 있다.</li> </ul>

[표1] 2009 개정과 2015 개정에서 ‘공학적 도구’ 용어 사례 비교

10) 2015 개정 수학과 교육과정에서 공통 교육과정은 초등학교 1학년부터 중학교 3학년까지이고 고등학교는 모두 선택 중심 교육과정이지만 ‘수학’ 과목은 공통 과목으로 분류하였기 때문에 본 연구에서는 고등학교 1학년까지를 비교 대상으로 하였다.

2015 개정 교육과정 고시 이후에 알지오매스, 통그라미 등이 국가 차원에서 개발되었기 때문에 교육과정에는 반영되지 못했지만 차기 교육과정이 개발된다면 성취기준, 교수·학습 방법 및 유의사항에 ‘공학적 도구’ 활용을 더욱 강조할 수 있으며, 더 나아가 싱가포르가 [그림7]과 같이 AlgeTools, AlgeBar 등의 공학적 도구를 교육과정에 구체적으로 명시하는 것처럼 우리나라도 명시하는 것이 가능할 것이다. 예를 들어 ‘알지오매스를 이용하여 함수의 그래프를 그리고 여러 가지 성질을 탐구할 수 있다’라고 하거나 ‘통그라미를 이용하여 실생활과 관련된 자료를 수집하고 표나 그래프로 정리하고 해석할 수 있다’라고 표현할 수 있다.

Content	Learning Experiences
<b>Secondary One</b>	
<b>NUMBER AND ALGEBRA</b>	<b>Students should have opportunities to:</b>
<b>N7. Equations and inequalities</b>	
7.1. concepts of equation 7.2. solving linear equations with integral coefficients in one variable 7.3. formulating a linear equation in one variable to solve problems	(a) Use the virtual balance in AlgeTools™ to explore the concepts of equation, and to construct, simplify and solve linear equations with integral coefficients. (b) Use the AlgeBar™ application (for whole numbers) in AlgeTools™ to formulate linear equations to solve problems (Students can draw models to help them formulate the equations.)

[그림7] 싱가포르 수학과 교육과정(Ministry of Education Singapore, 2013)

다음으로 알지오매스는 수학과 교육과정의 교수·학습 및 평가의 방향을 변화시킬 수 있다. 2015 개정 교육과정 문서에는 수학 교과역량을 교수·학습 및 평가에서 어떻게 반영할 것이지를 언급하였다. 예를 들어 공학적 도구의 사용은 정보처리 역량을 함양하기 위한 교수·학습 방법으로 아래와 같이 설명하고 있다(교육부, 2015).

(바) 정보 처리 능력을 함양하기 위한 교수·학습에서는 다음 사항을 강조한다.

③ 계산 능력 배양을 목표로 하지 않는 교수·학습 상황에서의 복잡한 계산 수행, 수학의 개념, 원리, 법칙의 이해, 문제 해결력 향상 등을 위하여 계산기, 컴퓨터, 교육용 소프트웨어 등의 공학적 도구를 이용할 수 있게 한다.

미래 시대에는 많은 수학적 계산과 복잡한 수학적 절차를 공학적 도구가 대신 수행할 것이기 때문에 목적에 맞게 도구를 적절히 활용할 수 있는 역량이 필수적이다. OECD(2005)는 ‘유연한 도구 사용’을 핵심역량으로 제안하였고 CCSSI(2010)도 CCSSM의 수학 실천 기준으로 ‘적절한 도구를 전략적으로 사용한다’를 포함하였으며 미국 국가 기관인 P21(2015)은 21세기 역량으로 ‘ICT 활용 능력’을 선정하였다. 알지오매스, 통그라미 등의 공학적 도구 개발로 인해 도구 활용과 관련한 역량을 신설하고 이를 교수·학습 및 평가의 방향에 반영할 수 있을 것이다.

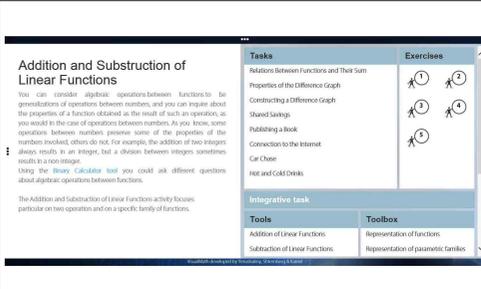
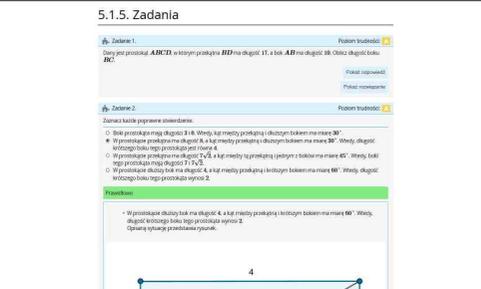
2. 교과서

2009 개정, 2015 개정 중학교 1학년 수학교과서를 비교 분석한 결과, [표2]와 같이 공학적 도구를 사용한 빈도가 증가하였고, 공학적 도구 명칭을 구체적으로 명시한 경우도 나타났다(윤상아, 2019). 2015 개정 수학과 교육과정에서 공학적 도구 활용을 강조하였고 ‘성취기준’과 ‘교수·학습 방법 및 유의사항’을 통해 공학적 도구를 언급했기 때문이다. 특히 명칭을 명시한 55건은 대부분이 통계 단원으로 통그래피, 이지통계를 명시할 수 있기 때문에 나타난 현상이다. 알지오매스의 보급으로 차기 교육과정에 따라 개발될 교과서에는 공학적 도구 사용과 명칭 명시 빈도가 더 증대될 것이다.

	2009 개정	2015 개정
공학적 도구 사용	175건	209건
공학적 도구 명칭 명시	0건	55건

[표2] 공학적 도구 관련 비교

수학 교과에 적합한 디지털교과서가 기획된다면 알지오매스로 인해 더 좋은 디지털교과서가 만들어질 것이다. 수학 교과의 경우 2008년에 초등학교 5~6학년의 수학 디지털교과서가 개발되어 효과성 연구, 수업 모형 연구를 수행하였으나 사회, 과학, 영어 교과를 우선 개발하고 수학 교과는 제외하였다. 학생이 도형을 직접 조작하고 관찰함으로써 성질을 유추하고 정당화하는 과정이 포함되어야 하며 수학적 상황을 표, 그래프, 식, 언어 등 다양하게 표현할 수 있으며 표현된 수학적 언어를 바탕으로 학생 간의 의사소통이 원활하게 이루어지는 것이 중요하다(허남구 외, 2015). 알지오매스 보급으로 인해 [그림8], [그림9]와 같이 실험·탐구가 가능한 수학 디지털교과서 개발도 가능할 것이다.

	
<p>[그림8] 이스라엘 디지털교과서(허남구 외, 2015)</p>	<p>[그림9] 폴란드 디지털교과서(허남구 외, 2015)</p>

교육부는 현 정부 국정과제 76-1-3(자유발행제 도입)과 관련하여 2019년에 교과서 발행체제 다양화 및 자유발행제 추진 계획을 발표하였다. 더 많은 교과서가 개발되면서 수학 교과 뿐 아니라 다른 교과에서도 알지오매스를 기반으로 한 교과서 개발도 가능할 것이다.

### 3. 교수·학습

2015 개정 교육과정 총론은 다양한 학생 참여형 수업을 강조하였고, 2015 개정 수학과 교육과정은 설명식 교수, 탐구 학습, 프로젝트 학습, 토의·토론 학습, 협력 학습, 매체 및 도구 활용 학습 등을 적절히 선택하여 적용할 것을 강조하였다(교육부, 2015). 대한수학회회는 수학적 사고 훈련을 위해 가장 필요한 교육방식으로 토론을 꼽았다(김영욱 외, 2017). PISA 국제본부는 사회적 필요와 요구를 반영하여 PISA 2015의 혁신적 영역으로 협력적 문제해결력<sup>11)</sup>을 선정하였다(이소민, 2018). 교사와 학생, 학생과 학생 간 협력과 소통을 전제로 의사소통이 가능하도록 교수·학습을 설계하는 것은 매우 중요한 방향이다.

알지오매스의 알지오문서 댓글 달기에 [그림10]과 같이 사용자가 활동한 결과를 탑재할 수도 있다. 알지오도형, 알지오문서 자료는 공개, 비공개로 저장할 수 있으며, 공개 자료는 누구나 자신의 자료로 저장<sup>12)</sup>할 수 있다. 이 기능을 이용하면 교사는 알지오문서로 학생 활동지를 만들고 학생은 이 활동지를 불러들여 활동 결과를 기록하여 저장한 후 댓글 달기 기능을 이용하여 탑재할 수도 있다. 교사나 학생 누구나 댓글로 달린 자료를 확인하며 소통할 수 있다.



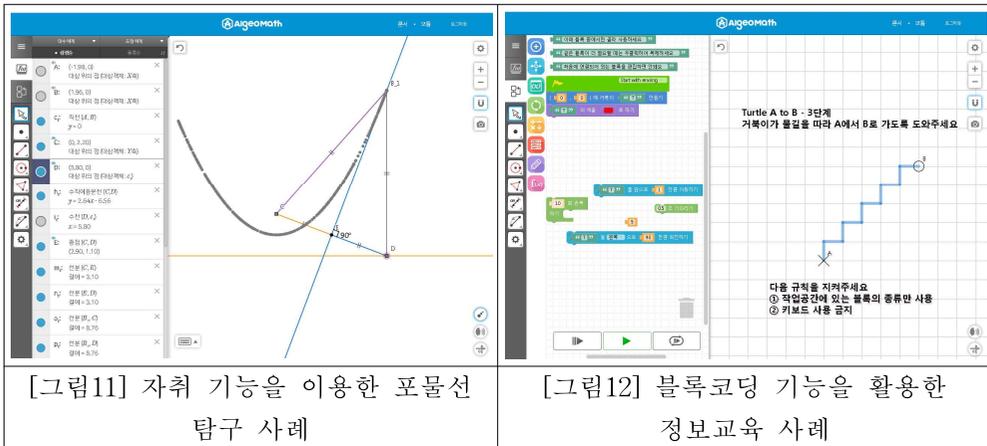
[그림10] 알지오문서의 댓글 달기 기능

11) 협력적 문제해결력(Collaborative Problem-Solving)은 둘 이상의 주체가 해결책을 찾는데 필요한 이해와 노력을 공유하고, 해결책에 도달하기 위한 지식, 기능, 노력을 모아 문제를 해결하려 시도하는 과정에 효과적으로 참여할 수 있는 개인의 역량이다(OECD, 2017, 이소민 재인용).

12) 이 때 원 자료의 이름이 자동적으로 출처로 표기된다.

공학적 도구는 융합, 창의, 협동 활동을 지원하고 촉진하는 인지적 도구가 될 것이며, 학습을 지원하고 관리하는 플랫폼의 역할을 하는 교육의 도구이다(임철일, 2017). 공학적 도구는 학생에게는 이전과는 다른 학습을, 교사에게는 이전과는 다른 수업을 하게 하는 도구이다. 수학 관련 연구 및 교육에서 중요하게 사용하는 현재 방법은 ‘손 계산’이지만 미래 방법은 ‘컴퓨터를 사용한 시각화’이다(김영욱 외, 2017). [그림11]과 같이 자취 기능을 이용하면 포물선의 정의를 암기하는 것과는 다른 의미를 찾을 수 있다.

[그림12]와 같이 알지오매스의 블록코딩 기능을 활용하면 타 교과와 융합교육이 가능하며 특히 정보 과목과 연계한 교수·학습이 가능하다. 또한 다양한 사물 인터넷을 이용하여 실생활 데이터를 입력받고 이를 로봇, 드론 등을 연결하여 출력이 가능하다는 점에서 수학 기반의 융합교육이 충실히 이루어질 수 있다.



[그림11] 자취 기능을 이용한 포물선 탐구 사례

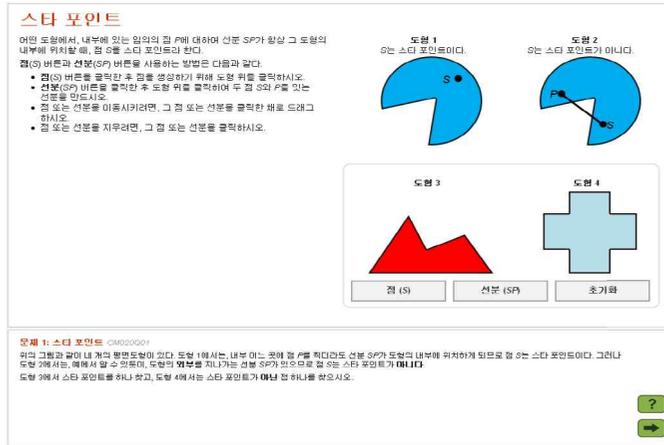
[그림12] 블록코딩 기능을 활용한 정보교육 사례

#### 4. 평가

2015 개정 교육과정 총론은 학습의 과정을 중시하는 평가를 강화해야 하며 교과의 교육 목표, 교육 내용, 교수·학습 및 평가의 일관성을 강화해야 함을 강조하였다(교육부, 2015a). 2015 개정 수학과 교육과정도 수학과 평가는 교육과정에 제시된 목표, 내용, 교수·학습과 평가가 일관성을 가져야 하며 학습 결과 평가뿐만 아니라 과정 중심 평가도 실시하여야 함을 강조하였다. 즉 수학을 학습하는 과정이 중요하며 학습한 내용이 평가 받아야 한다.

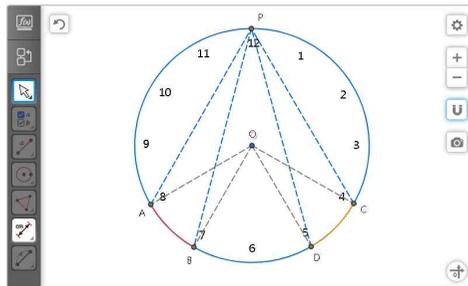
이를 위해 가장 중요한 것은 누구나 수학적으로 접근 가능한 개방형 협력 과제 즉 ‘좋은 수학과제’<sup>13)</sup>를 제공하는 것이다(이동환 외, 2017). OECD(2014)도 혁신사회를 위한 수학교육의 역할을 강조하면서 학생들이 복잡하고(Complex) 익숙

하지 않고(Unfamiliar) 틀에 박히지 않은(Non-routine)한 과제를 경험해야 한다고 하였다. 특히 컴퓨터 기반으로 문항이 설계되면 동적 기하 및 그래프, 스프레드시트 등의 활용을 포함한 상황에 대한 수학 소양을 평가한다는 점에서 의미를 갖는다(임해미 외, 2017). [그림13]은 PISA 2012의 컴퓨터 기반 수학 평가문항으로 도형에 점과 선분을 자유롭게 나타내고 지울 수 있는 도구가 제시되어 학생들의 사고 실험을 도와준다(송미영 외, 2014).



[그림13] PISA 2012 컴퓨터 기반 수학 평가 문항 사례

알지오메스의 알지오문서는 수학적 실험·탐구가 가능한 학습지를 만들 수 있는 문서 작성 도구로, 알지오도형을 삽입할 수 있으며 [그림14]와 같이 알지오도형의 메뉴 중 일부만 노출 가능하며 학생들이 실험·탐구할 수 있는 기능을 추가하였다.

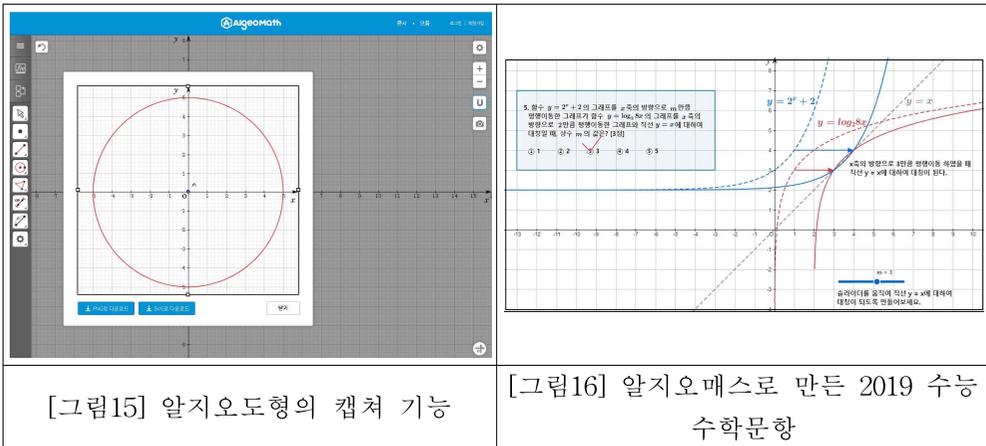


[그림14] 알지오도형 메뉴 제한 기능

13) 한국과학창의재단의 위탁으로 수행된 과제로, 좋은 수학과제를 누구나 수학적으로 접근 가능한 개방형 협력 과제라고 정의하였다.

최근 PISA 2012의 지필평가 문항을 스캔하여 컴퓨터 기반으로 실시한 PISA 2015에서 우리나라는 7위로 순위가 하락했는데, 이 평가가 컴퓨터 기반 수학 평가 본연의 특징을 갖지 않고 있다하더라도 우리나라의 수학교육이 컴퓨터 기반 환경에서의 문제를 해결할 수 있는 역량을 길러주지 못하고 있다(임해미 외, 2017). 알지오매스는 컴퓨터 기반 수학 평가문항을 제작하는 기반이 될 수 있으므로 이와 같은 문제점을 해결하는 데 기여할 것이다.

알지오매스로 인해 평가가 지향하는 바를 구현할 수 있는 기반이 만들어졌으나 현실적으로는 지필평가 문항을 출제할 때 시험지에 넣을 그림을 쉽게 그릴 수 있는 방안에 대한 요구, 객관식 문항이지만 대학수학능력평가시험 수학 문제를 풀 때도 도움이 된다는 것을 보여 달라는 요구들도 있다. 알지오매스는 이러한 현실적인 면을 고려하여 [그림15]와 같이 오른쪽 카메라 모양 버튼을 이용하여 캡처 기능을 개발하였고 [그림16]과 같이 현장 교사 전문가를 통해 양질의 콘텐츠를 개발하여 제공하고 있다.



2015 개정 교육과정에서 강조하고 있는 과정중심평가는 학생들에게 어떤 피드백을 제공하는지가 가장 중요하다. 한국과학창의재단(2019)은 알지오매스 사용 관련 빅데이터 분석을 통해 사용 패턴, 학습 패턴 등을 파악하여 사용자 중심 서비스 고도화의 기반을 마련하겠다고 하였다. 또한 중장기적으로는 자동채점 서비스를 도입할 것으로 고려하고 있다.

## V. 결론 및 제언

본 연구는 알지오매스가 미래 수학교육의 방향을 어떻게 담고 있는지에 대해 살펴보고 알지오매스로 인해 교육과정, 교과서 교수·학습, 평가가 어떻게 변화할 수 있는지에 대해 살펴보았다. 현재 알지오매스는 중학교 수학과 교육과정 성취 기준을 중심으로 개발된 상태이며 향후 모든 학교급에서 사용가능할 수 있게 더욱 고도화될 것으로 생각된다. 지속적인 개발 과정에서 알지오매스가 우리나라 수학교육 방향을 담는 것뿐 아니라 선도할 수 있도록 충분한 연구가 필요하다.

우리나라 교육과정은 국가 교육과정으로 학교 교육에서 절대적인 비중을 차지한다. 향후 교육과정 문서체제에 대한 다양한 논의가 있어 그 비중이 현재보다 작아질 수도 있으나 미래 교육 방향에서 공학적 도구가 매우 중요하기 때문에 공학적 도구는 반드시 언급될 것이다. 앞서 언급한 바와 같이 수학 교과 역량의 하나로 도구 활용 역량을 포함할 수도 있고 싱가포르 사례와 같이 공학적 도구의 구체적인 명칭을 포함할 수도 있다. 그런 점에서 어떤 방식으로 교육과정에 반영 가능한지에 대한 연구가 필요하며, 특히 공학적 도구를 사용한다는 전제로 현재 교육과정 성취기준, 교수·학습 방법 및 유의사항, 평가 방법 및 유의사항 등의 표현에 대한 연구가 필요하다.

우리나라에서 교육과정과 교과서의 밀착성은 매우 강한 편으로 교과서 대부분이 국정도서, 검정도서였으나 점차 교과서 자율화, 다양화 정책이 추진됨에 따라 수학교과서도 좀 더 자율성이 보장된 형태로 변화될 것이다. 서책형 교과서 뿐 아니라 온라인으로 연결된 디지털 교과서까지 가능할 수 있다는 점에서 알지오매스 기반의 실험·탐구 활동이 가능한 수학 디지털 교과서에 대한 연구가 필요하다. 또한 현재 수학교과서와 연계한 알지오매스 기반 교수·학습 및 평가 콘텐츠를 개발하여 보급하는 것도 필요하다.

초연결, 초지능으로 대표되는 미래 사회에서, 수학교육은 컴퓨터를 사용한 시각화 활동, 토론과 협력 중심 활동이 매우 중요한 방법론으로 등장하였다. 미래 시대에는 대수적 절차나 그래프 그리기 등은 기계에게 맡기고 인간은 기계가 제공하는 것을 이용하여 새로운 지식이나 의미있는 문제를 발견하고 탐구하는 것이 더 바람직하다(나귀수 외, 2018). 알지오매스는 시각화 중심의 실험·탐구 활동이 가능하며 학생 간의 소통이 가능하며 타 교과와 융합교육도 가능하다. 특히 문제풀이 중심의 평가 방식을 바꿀 수 있는 좋은 평가도구로 자리매김할 수 있다. 알지오매스를 활용한 교수·학습 및 평가 우수 사례를 발굴하고 보급하는 것이 필요하다. 한편 PISA 2012의 학생 설문 결과, OECD 회원국 만 15세 학생 중 72%가 학교에서 데스크톱, 랩탑, 태블릿 PC를 활용한 수업을 하고 있다고 응답하였으나 우리나라는 단 42%만이 학교에서 컴퓨터를 사용하는 것으로 나타났다

(임해미 외, 2017). 이에 학교 교육에서 알지오메스를 비롯한 공학적 도구의 활용도를 높일 수 있는 교육환경<sup>14)</sup>이 조성될 수 있도록 지원해야 한다.

2015 개정 수학과 교육과정과 제2차 수학교육 종합계획을 통해 공학적 도구 활용을 강조하면서 국가 차원에서 많은 노력을 기울이고 있다. 알지오메스를 개발한 것으로 수학교육이 미래 지향적으로 변화하는 것이 아니다. 개발에 그치는 것이 아니라 우리나라 수학교육의 방향을 지속적으로 선도할 수 있도록 안정화, 고도화하는 것이 필요하다. 한국과학창의재단(2019)은 CAS(Computer Algebra System) 기능을 개발하여 대수적 절차를 수행하게 할 예정이며 중학교 수학과 교육과정 중심으로 개발되어 있는 현재 버전에서 고등학교 수학과 교육과정 기반 기능을 추가하기로 하였다. 또한 음성 인식 기술과 연계하여 도형을 그릴 수 있게 하였고, 3D(Three Dimension) 공간 기능을 개발하여 드론, 3D 프린팅까지 연계하는 기능과 다양한 센서부터 입력받은 빅데이터를 조작하고 분석하고 표현하는 기능을 기획하고 있으며, 기존 블록코딩 기능을 더욱 고도화하는 방안을 기획하고 있다. 이러한 노력이 국가 예산의 안정적 지원과 교육과정, 교과서, 교수·학습, 평가 방안과 연계될 때 시너지 효과는 매우 클 것이다. 더 많은 현장 교사들과 연구자들에 의해 알지오메스의 개선점과 활용방안이 논의되면서 더욱 발전하길 기대해 본다.

## 참 고 문 헌

- [1] 고희경, 김응환, 양순열, 권세화, 권순학, 정낙영, 장인선, 임유원, 최수영, 이성재, 노솔, 백형운, 홍창섭(2013), *중학교 수학 1*. 서울:(주)교학사.
- [2] 고희경, 김응환, 김인수, 이봉주, 한준철, 최수영, 김정현, 김화영, 정시훈, 조준모, 최화식, 최화정(2018), *중학교 수학 1*. 서울:(주)교학사.
- [3] 교육부 (2015a). 초·중등학교 교육과정 총론(교육부 고시 제 2015-74호 [별책 1]).
- [4] 교육부 (2015b). 수학과 교육과정(교육부 고시 제 2015-74호 [별책8]).
- [5] 교육부 (2018). 교육부 보도자료 2018. 11. 7.: 직접 만져보고 관찰하면서 배우
- [6] 교육부·한국과학창의재단 (2018). 알지오메스 안내서
- [7] 김도훈, 장덕호, 한경희 (2016). 2030 미래사회 인재상과 핵심과학역량 마일스

---

14) 휴대폰, 태블릿 등 모바일에서 원활히 사용가능할 수 있도록 고도화할 예정이며 온라인으로 연결되지 않은 상태에서도 사용가능할 수 있도록 컴퓨터에 설치하는 버전도 개발 중에 있다.

- 톤 연구. 한국과학창의재단
- [8] 김영옥, 김영록, 신동관, 이상옥, 장정옥, 조도상 (2016). 수학학습 내용요소 추출연구. 한국과학창의재단
- [9] 김영옥, 고성은, 김영록, 박혜숙, 이상옥, 장정옥, 조도상 (2017). 미래인재상에 적합한 수학학습 내용 연구. 한국과학창의재단
- [10] 김화경, 임완철, 이지윤, 최인용, 권영기, 홍창섭, 정혜원 (2017). 도형 학습용 소프트웨어 개발 기초 연구. 한국과학창의재단
- [11] 김화경, 계보경, 이지윤, 임완철, 최인용 (2018). 지능정보기술을 활용한 수학교육 변화 방안 연구. 한국과학창의재단
- [12] 나귀수, 박미미, 김동원, 김연, 이수진 (2018). 미래 시대의 수학교육 방향에 대한 연구. 대한수학교육학회지 수학교육학연구 제28권 제4호 pp.437-478
- [13] 미래창조과학부 (2016). 산업수학 육성방안
- [14] 윤상아 (2019). 중학교 1학년 수학교과서에서 공학적 도구 활용 분석. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문
- [15] 박경미, 이환철, 박선화, 강은주, 김선희, 임해미, 김성여, 장혜원, 강태석, 권점례, 김민정, 방정숙, 이화영, 임미인, 이만근, 김화경, 윤상혁, 이광상, 이경은, 조혜정, 권영기, 권오남, 신동관, 강현영, 김재영, 도종훈, 박정숙, 서보억, 안현정, 오택근, 이경진, 이광연, 이문호, 이승훈, 이은정, 이지윤, 전인태, 최지선, 한준철, 황선미, 박문환, 김완일, 강성권 (2015). 2015 개정 수학과 교육과정 시안 개발 연구Ⅱ. 한국과학창의재단
- [16] 박기범, 임하나, 김창환, 우영호, 송창용 (2015). 산업수학 활성화를 위한 국내 산업수학 생태계 분석. 과학기술정책연구원
- [17] 손홍찬 (2011). 우리나라 수학교육에서 공학 활용의 역사와 현황. 대한수학교육학회 학교수학 제13권 제3호 pp. 525-542
- [18] 송미영, 김성숙, 구자옥, 임해미, 박혜영, 한정아 (2014). OECD 국제 학업성취도 평가 연구: PISA 2012 컴퓨터 기반 평가 결과 분석. 한국교육과정평가원 연구보고 RRE 2014-4-2
- [19] 우정호 (2011). 수학 학습 지도 원리와 방법. 서울대학교출판문화원
- [20] 이동환, 이경화, 고은성, 권석일, 김동원, 김연, 박진형, 구나영 (2017). 좋은 수학과제 분석 발굴 연구. 한국과학창의재단 BD18020001
- [21] 이소민 (2018). PISA 2015 협력적 문제해결력 영역의 특징과 사회과교육에의 함의. 한국사회과교육학회 시민교육연구 제50권 제3호 pp. 203-220
- [22] 이영희, 윤지현, 홍섭근, 임재일, 백병부 (2018). 미래교육 관련 연구 메타분석을 통한 미래교육의 방향. 교육문화연구 제24권 5호 pp. 127-153
- [23] 임철일 (2017). 제4차 산업혁명과 차기 정부의 교육정책 과제. 국회교육희망

- 포럼·국회4차산업혁명포럼·한국교육공학회·Microsoft 공동주최 EduNext 1. 미래를 준비하는 교육 포럼 자료집
- [24] 임해미, 정혜경 (2017). 우리나라와 싱가포르의 컴퓨터 기반 수학 평가 결과에 대한 영향 요인 비교 분석. 대한수학교육학회 수학교육학연구 제27권 제2호 pp. 157-170
- [25] 키타하라 카즈오, 카케히 카츠히코, 와타나베 오사무, 아시다 마사야, 카와이 사토루, 타케우치 이쿠오, 타즈미 타케오, 니시자키 신야, 하기야 마사미, 하라다 에츠코, 후지타 켄지, 마츠이 히로유키, 마시코 노리후미, 요시미 순야 저 (2008), 한국과학창의재단 역 (2010). 과학기술의 지혜 프로젝트 정보학 전문부회 보고서.
- [26] 한국과학창의재단 (2017). 도형 학습용 소프트웨어 개발 제안요청서
- [27] 한국과학창의재단 (2019). 도형 학습용 소프트웨어(AlgeoMath) 개발 사업(3차년도) 제안요청서
- [28] 허남구, 류희찬 (2015). 활동 중심 수학과 디지털교과서의 개발 및 적용. 대한수학교육학회 수학교육학연구 제25권 제2호 pp. 241-261
- [29] Australia (2016). The Mathematical Sciences in Australia, A vision for 2025
- [30] Bernie Triling & Charles Fadel(2009). 한국교육개발원 역(2012). 21세기 핵심역량 -이 시대가 요구하는 핵심스킬-. 학지사
- [31] CCSSI (2010). Common core state standards for mathematics. Common Core State Standards Initiative. Retrieved from <http://www.corestandards.org>
- [32] Deloitte (2012). Measuring the Economic Benefits of Mathematical Science Reserch in the UK.
- [33] European Commission (2007). Key Competences for Lifelong Learning: European reference framework. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- [34] Ministry of Education Singapore(2013). O- & N(A)-Level Mathematics Teaching and Learning Syllabus. Singapore.
- [35] NCTM(2000). Principles and standards for school mathematics. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics, Inc..
- [36] NRC(National Research Council of the National Academics) (2013), The Mathematical Sciences in 2025. Washington, DC: The National Academies Press
- [37] OECD (2005). The definition and selection of key competencies:

- Executive summary. OECD. Retrieved from <https://www.oecd.org/pisa/5070367.pdf>
- [38] OECD(2014). Critical Maths for Innovative Societies.
- [39] P21 (2015). Framework for 21st century learning. Partnership for 21st Century Skills. Retrieved from <http://www.p21.org/index.php>
- [40] Villani, C., Torossian, C., et Dias, T. (2018). 21 mesures pour l'enseignement des mathématiques. Paris, France: Ministère de l'Education Nationale (France). <http://hdl.handle.net/20.500.12162/1695>

Lee, Hwan Chul

Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity

Seoul, South Korea

E-mail : [singgri@kofac.re.kr](mailto:singgri@kofac.re.kr)