

수학과 예술을 3D 프린팅으로 연결하는 융합인재교육

이 상 구 (성균관대학교)

이 재 윤 (성균관대학교)

박 경 은 (성균관대학교)

이 재 화 (한림대학교)

안 승 철 (우석대학교)

3D 프린팅 기술은 21세기를 이끌 혁신적인 발명품으로 창의적 융합인재를 양성하는 융합인재교육(STEAM)에 필수적인 도구 중 하나이다. 본 연구에서는 대학에서의 수학적 모델링 강좌와 한국과학창의재단 R&E에서 수행한 STEAM 교육의 내용을 중심으로, 아름다운 자연속의 기하학적 도형을 3D 프린터로 직접 프린팅하는 전체 과정과 STEAM 관점에서 수행한 수학강좌의 결과물과 성과를 소개한다. 이렇게 예술을 수학으로 이해한 후 3D 프린팅이라는 공학 및 기술로 구현하는 과정은 STEAM 교육의 목표에 부합하는 하나의 예가 된다. 그리고 수학과 예술을 3D 프린팅으로 연결하는 접근을 통하여 21세기가 필요로 하는 융합인재를 양성할 수 있다는 가능성을 제시한다.

I. 서론

『21세기 핵심역량』(KEDI, 2012)에서는 21세기가 필요로 하는 인재를 양성하기 위해 “STEAM 교육을 통하여, 현재에 없는 일을 하고, 현재에 존재하지 않는 직업에 종사하며, 현재에 존재하지 않는 물건들로 이루어진 사회를 살아가야 할 학생들을 양성해야 한다”고 소개한다. 여기서 STEAM이란 과학(Science), 기술(Technology), 공학(Engineering), 예술(Arts), 수학(Math)의 머리글자를 모은 것으로, 이러한 소양을 길러 주는 교육방식을 ‘융합인재교육’이라 부른다.

STEAM(융합인재교육)은 기존의 과학기술 교육인 STEM(Science, Technology, Engineering, Mathematics) 교육과정에 Arts(예술)가 통합된 형태의 교육과정이다. 초기 STEM 교육은 미국 청소년들이 수학·과학 분야에서 낮은 흥미와 성취도를 갖는다는 것이 판단되면서 이를 해결하기 위한 교육 방안으로 시작이 되었다. 하지만 존(John, 2010)은 STEM 교육이 매우 중요한 부분을 놓치고 있다고 지적하면서 창의력과 관련이 있는 부분으로 STEM과 마찬가지로 경쟁력 있는 혁신에 도달하기 위해서는 예술(Art) 교육이 동시에 필요하다고 언급하였다. 그리고 『테드 강연(Ted Talks)』 시리즈 강연에서 제미슨(Jemison, 2002)은 STEAM 교육에 대한 개념이 없을 당시 이미 ‘과학과 예술의 통합과 화해’를 주장하며 예술은 비논리적이고, 과학은 창의적이지 못하다는 이분법적인 사고가 우리의 미래를 망친다고 하였고, 예술과 과학을 통합하여 가르쳐야 한다고 주장하였다. 더불어 디자인과 창의력이 강조되는 21세기에 예술 교육은 창의성 함양을 위해서 반드시 필요하며, 이를 위하여 수학과 과학, 기술, 공학과 함께 예술이 통합적으로 교육되어야 한다고 강조하였다. 2006년 야크만(Yakman, 2010)이 기존의 STEM에 예술을 추가시켜 창의성과 융합교육에 더욱 초점이 맞추어진 진보된 STEM으로서의 STEAM을

* 접수일(2014년 11월 27일), 심사(수정)일(2014년 12월 28일), 게재 확정일(2014년 12월 29일)

* ZDM 분류 : M85, G45, M15

* MSC2000 분류 : 97C80, 97U70

* 주제어 : 융합인재교육(STEAM), 수학, 예술, 3D 프린팅, Sage

정의한 이후, 예술과 과학, 예술과 기술, 예술과 공학 등 다양한 간학문적 연구³⁾가 지속되고 있다. 즉, 21세기 사회가 필요로 하는 창의력을 향상시키기 위하여 STEM 교육을 STEAM 교육으로 발전시킨 것이다.

우리나라에서도 2009년 교육과정에서 창의·인성 교육과정을 표방한 이래 소위 ‘STEM 교육’, ‘STEAM 교육’, ‘융합교육’ 등에 대한 연구가 활발히 이루어져왔다(이혜숙 외, 2010; 박혜숙, 2012; 윤미숙 외, 2012; 전재복, 2012; 박종률, 2013; 이혜숙 외, 2013; 황선옥, 2013). 특히, 교육과학기술부는 2010년 12월 17일 청와대에서의 ‘2011년 업무계획’ 보고에서 창의적인 융합인재 양성을 위한 초·중등 STEAM 교육을 강화하고 이에 따른 교육과정의 개발, 교사·학생 현장 연수 체험 프로그램의 제공 및 미래형 과학기술교실과 수업모델 개발을 추진한다고 발표하였다(교육과학기술부, 2010). STEAM에서 예술에 대한 연구는 공간적, 시각적 그리고 공학적으로 변해가고 있으며, 예술과 수학을 컴퓨터를 이용하여 시각화하고 인터넷을 통하여 공개하는 과정은 STEAM과 직결된다. 한 예로 수학식으로 표현되는 아름답고 예술적인 모형을 실시간으로 시각화 가능하게 해주는 SURFER⁴⁾(Anna & Andreas, 2013)라는 프로그램을 들 수 있다. 즉, 컴퓨터를 이용하여 시각화한 아름다운 수학적 모형을 3D 프린터를 활용하여 하나의 예술 작품으로 탄생하게 할 수 있다는 것이다⁵⁾.

본 연구에서는 STEAM 교육에 대한 국내 및 국제 연구의 환경 변화를 소개하고, 클라우드 컴퓨팅 환경을 통하여 예술(Art)과 수학(Math)을 3D 프린팅으로 연결하면서 STEAM 교육이 추구하는 융합인재를 양성하는 교육 모델을 제시한다.

II. 본 론

1. 수학 및 과학교육과 예술이 결합된 창의적인 융합인재교육

창의적인 수학 및 과학기술인재를 육성하고자 추진된 융합인재교육(STEAM)은 과학, 기술, 공학, 예술, 수학 교과 간의 통합적인 교육 방식을 의미한다. 다시 말해서 STEAM은 “수학 및 과학기술에 대한 학생들의 흥미와 이해를 높이고 과학기술 기반의 융합적 소양과 실생활의 문제 해결력을 배양하는 교육”이다. 21세기 현재 융합인재교육에 대한 필요성은 전 세계가 동일하게 실감하고 있으며, 2008년부터 우리나라도 융합인재교육을 강조하기 시작하였다.

2007년 10월에 미국 국회에서 STEM 교육에 대한 행동 계획⁶⁾을 제시한 이후 STEM 교육에 대한 관심이 세계적으로 크게 높아졌으며, 2008년 7월 멕시코 몬테레이(Monterrey)에서 열린 국제수학교육대회(ICME 11)⁷⁾에서 STEM 교육에 대한 전문가 발표⁸⁾들이 이어졌다. 우리나라는 2008년 가을에 한국과학창의재단의 2008년 연구 ‘수학·과학 교육 경쟁력 강화를 위한 수학·과학 교육 내실화 방안 연구’의 보고서(연구책임자 조향숙)를 통하여 수학계에 STEM이 소개되었으며 2009년 1월에는 후속연구로 ‘<과학교육진흥법> 개정을 위한 사전기획연구’(연구책임자 신현석)의 최종결과보고서가 제출되었다. 이러한 연구과정에서 확인된 결과와 자료를 통하여 혁신을 이끄는 인간의 창의적인 능력이 우뇌(the right side of the brain)의 역할에 크게 기인하며 예술 활동이 우뇌 활동을 활발하게 한다는 특징이 확인되면서 기존의 STEM에 예술 교육을 융합하는 STEAM 교육으로 발전하게 되었다⁹⁾. 즉, 예술과 같이 우뇌를 사용하는 활동을 STEM 교육에 포함시킬 경우 창의성을 촉진시키는데 긍정적

3) <http://www.hastac.org/blogs/cathy-davidson/stem-or-steam-putting-creativity-stem>

4) <http://imaginary.org/sites/default/files/surfer-1.1.0.i386.exe>

5) <http://plus.maths.org/content/3d-printing>

6) http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2011/02/25/2011022501360.html?Dep0=twitter

7) <http://matrix.skku.ac.kr/2008-Album/2008-ICME11.html>

8) <http://matrix.skku.ac.kr/2008-Album/2008-ICME11SPF/Page701.html>

인 기여를 할 것이라고 예측한 것으로 창의적인 수학 및 과학교육을 위해서는 수학에 과학, 기술, 공학 및 예술이 융합된 모델의 교육이 바람직하다는 개념이 안착하게 되었다.



[그림 II-1] STEAM 교육

<http://www.steamedu.com/>

STEM + Arts = STEAM
Science, Technology, Engineering, Arts & Mathematics

이런 과정을 거쳐서 2010년 12월 17일 교육과학기술부의 『2011년 청와대 업무계획』에서 ‘창의적인 융합인재 양성을 위한 초·중등 STEAM 교육 강화’ 안이 보고되었다. 주요 내용은 기존의 세분화된 학문 분야라는 틀에서 탈피하여 예술과 인문사회 학문영역이 수학·과학·기술·공학의 관점에서 종합적으로 고려되고 접목되어야 한다는 것이다. 즉, 우리 정부도 STEM 교육에 예술 교육을 결합한 STEAM 교육이 21세기 대한민국에 필수적인 창조적 혁신 리더십을 회복하기 위한 최선의 기회이며 동시에 학생들의 학습동기와 흥미를 높일 수 있다고 판단하고 융합인재교육인 STEAM을 교육과정에 도입한 것이다. 이 후 한국과학창의재단을 중심으로 융합인재교육을 위한 여건을 마련하기 위하여 다양한 시도가 이루어졌다¹⁰⁾.

STEAM 교육에서 예술과 관련한 연구는 국제적 또 지속적으로 진행되어 왔다. 전미과학교사회의 NSTA Reports(Debra, 2010)에서 윌콕스(D. R. Wilcox)는 학생들은 다중 감각적이고 수작업의 활동이나 실험을 포함한 과학 학습 상황을 기억한다고 언급하면서 예술이 과학 수업을 이끌 수 있다는 장점을 부각하였다. 이에 덧붙여 예술은 사고와 표현을 통하여 과학 내용이나 개념들 사이의 연결과 변환을 만드는데 도움을 준다고 하였다. 친환경 디자인과 기술의 통합, 나무의 생애 주기 등과 같이 STEM 교육에 예술을 통합할 수 있는 여러 가지 예시들도 제시되었는데(Debra, 2010), 이는 교육의 모습도 과학적, 수학적, 기술적, 공학적, 예술적 요소가 하나의 주제로 통합되는 주제 중심의 통합 교육임을 보여준다. 우리나라에서도 안재홍 외(2014)는 최근 현대예술의 한 분야로 다양하게 소개되고 있는 착시예술 분야가 학교 현장에서 과학과 예술을 융합하는 전략이 될 수 있다고 소개하였다. 이부연(2014)은 2차원과 3차원의 표현이 동시에 가능하고 가장 창의적 표현이 극대화될 수 있는 점토 미술이라는 자유로운 매체를 통해 과학과 미술의 통합교육으로서 ‘미술을 통한 STEAM 교육 프로그램’을 연구하여 제시하였다. 한 예로, 점토를 이용해 ‘나만의 태양광 자동차 디자인’을 개발하거나 ‘황금비례의 동물캐릭터와 동물농장 디자인’ 프로그램을 적용하여 학생들의 좌뇌와 우뇌를 고루 발달하게 하여 융합적 사고가 가능한 인재로 육성할 수 있음을 소개하였다. 이은적(2012)은 예술에 과학기술을 방법론적 도구로 활용한 키네틱 아트와 미디어 아트¹¹⁾를 대표적인 미술 경향으로 언급하였다.

⁹⁾ <http://steam-notstem.com/about/mission-statement>

¹⁰⁾ <http://steam.kofac.re.kr>

¹¹⁾ 1960년대의 키네틱 아트는 전자석이나 전기모터를 다양한 기계들의 특성을 이용하여 왕복, 상하, 회전 운동이 작품 속에 내재된 작품들을 보여주었다. 그 후 작품에서 움직임 표현하고자 하는 경향은 첨단 테크놀로지와 결합하여 비디오 아트,

수학과 예술(Art) 사이의 관계는 고대 그리스인과 이집트인들이 이미 알고 사용했던 아름다움을 대표하는 황금비부터 시작하여 현대미술가 에쉬(M. C. Escher) 그리고 프랙털 예술까지 그 역사가 길다¹²⁾. 국립현대미술관 서울관에서 2014년 8월 개관한 《매트릭스 : 수학, 순수예의 동경과 심연》¹³⁾ 전시회는 수학과 예술의 의미 있는 교류를 만드는 계기를 제공했다. 이는 수학화된 현대 사회를 살아가는 동시대 예술가들의 수학적 태도에 관한 전시로 볼 수 있으며, 유리된 듯 여겨졌던 수학과 예술이 긴밀한 관계를 맺으며 함께 발전해 왔음을 보여주었다. 그러나 현재까지 수학과 예술을 연결한 시도의 대부분이 예술에서 수학을 도구로 활용하여 예술의 완성품으로 소개되고 있을 뿐, 수학에서 예술을 긍정적으로 활용하고 적용한 사례는 많지 않다. 즉, STEAM에서 수학과 예술의 위치가 어느 한쪽의 강조가 아닌 수평적이고 상호보완적이라면, 수학적 관점에서 예술적 측면을 이해하고 표현하며 연구하는 것도 필요하다.

2. 3D 프린팅을 통한 수학과 예술의 연결

STEAM 교육에서 3D 프린터의 역할은 기존 수학교수법에 시각화를 더하고 이로부터 이끌어낸 수학적 대상을 예술적인 완성체로 형상화한 후 21세기 선진 기술을 추가함으로써 융합교육이 가능하게 하는 과정에서 찾을 수 있다. 3D 프린팅은 1980년대 3D 시스템스¹⁴⁾가 세계 최초로 플라스틱 액체(실리콘)를 얇은 층으로 겹겹이 인쇄하면서 3차원 물건을 만드는 프린터를 개발한 이후 빠르게 상용화되고 있다. 3D 프린팅은 물체 정보를 3D 그래픽 설계 프로그램을 통해 만들어낸 후 [그림 II-2]와 같이 3D 프린터를 통해 가루, 액체, 실 형태의 원료를 사출하여 물체의 형상대로 얇은 층을 무수히 반복해서 쌓아 완성하는 기술¹⁵⁾로서 제조업, 의료, IT분야 등 다양한 면에서 기술 패러다임을 바꾸며 산업 혁신을 이끌고 있다(The Engineer, 2010).



[그림 II-2] 3D 프린터가 인쇄하는 모습

2014년 4월 26~27일 미국 워싱턴 D.C.에 위치한 워싱턴 컨벤션센터에서 STEAM과 3D 프린팅이 어떻게 함께 연결되는지 보이는 ‘미국 과학-기술 페스티벌(The USA Science and Engineering Festival)’이 있었다¹⁶⁾. 이

레이저 아트, 홀로그래피 아트의 양상으로 발전하였다. 이러한 경향의 작품에서는 시각예술에서 배제되었던 소리와 빛이 중요한 자리를 차지하게 되어 예술의 분야별 특수성은 와해되고 다중 감각적인 작품이 된다. 움직임에 대한 관심은 기계를 미학적인 요소로 수용하면서 첨단 기술과의 결합을 통해 예술가와 공학자가 협력하는 공동의 작업이 되었다. 20세기 중반부터 전자매체의 소통방식을 조형예술에 접목시키며 새로운 가능성을 제시하게 되는데, 이를 테크놀로지 아트(Technology Art), 전자 아트(Electronic Art), 혹은 미디어 아트라 부르며, 그 중 비디오 아트, 컴퓨터 아트가 대표적이다.

¹²⁾ http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematics_and_art

¹³⁾ <http://www.mmca.go.kr/exhibitions/exhibitionsDetail.do?exhId=201408040000097&menuId=1010000000>

¹⁴⁾ <http://www.3dsystems.com>

¹⁵⁾ 첨삭가공(Additive Manufacturing) 기술이라고도 말함

¹⁶⁾ <http://www.usasciencefestival.org>

때, 3D 시스템사는 ‘유치원부터 12학년까지의 STEAM 교육’과 ‘방과 후 프로그램에서 3D 프린팅의 공헌’을 소개하면서 21세기의 도구들이 디지털 활용 능력을 어떻게 지원하고 돕는지에 대해 설명하였다¹⁷⁾. 같은 해 8월에 우리나라는 수학의 해를 맞아, 수학과 음악, 미술, 건축, 연극 등의 여러 분야의 연관성에 대해 논의하고 작품을 전시하는 브리지스 컨퍼런스(Bridges Conference)¹⁸⁾와 세계 수학자 대회(ICM 2014)¹⁹⁾가 서울에서 열렸고, 이 대회에서 국내 최초로 3D 프린터를 활용한 수학 작품들을 대대적으로 전시하였다²⁰⁾. 또한 세계 수학자대회의 ‘NIMS- IMAGINARY 전시²¹⁾’에서는 수학 모형에 대하여 실시간으로 시각화가 가능한 외국 프로그램 SURFER를 개발자의 도움을 받아 한글 설명을 추가하여 서울 COEX 전시장에서 전시하였다.



[그림 II-3] Mini Bridges 2013, 과천과학관



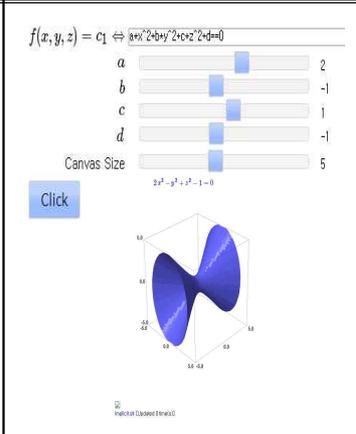
[그림 II-4] SURFER 프로그램

17) <http://3dprintingindustry.com/2014/04/24/steam-3d-printing>
 18) <http://bridgesmathart.org/bridges-2014>
 19) Bridges Seoul 2014 : <http://matrix.skku.ac.kr/2013-Album/Bridges-Seoul-2014-v2.html>
<http://matrix.skku.ac.kr/2014-Album/2014-ICM-Culture>
 20) 3D 프린팅을 활용하여 현재까지 소개된 수학 모형들은 대개 매쓰메티카(Mathematica) 또는 메이플(Maple)과 같은 고가의 상업용 소프트웨어를 이용한 것들이다.
 21) <http://imaginary.org/event/imaginary-at-the-icm-2014>

융합인재교육의 목표 중 하나인 “일상생활에서 첨단 과학기술 이슈와 활용으로 대중의 과학화를 이룬다”에 부합하기 위해서는 수학적 대상을 구체적인 결과물로 직접 얻을 수 있어야 한다. 한 예로 『3D 프린팅을 강의실로』²²⁾라는 원고에서는 “3D 프린팅 기술을 이용하여 수학과 과학을 예술과 연결하여 구체적인 생산물을 만드는 과정을 통한 교육이 STEAM 교육의 목표에 도달하는 하나의 방법이다”라고 강조하였다. 또한 이재윤 외(2014) 논문에서도 “3D 프린팅이 상용화되고 있는 현재의 교육환경은 수학과 3D 프린팅을 연계하면서 수학, 과학, 기술, 공학, 예술을 연결한 창의적인 융합교육에 효과적으로 활용될 수 있다”고 하면서, 창의적 융합인재를 양성하는 STEAM 교육의 중요한 모델로서 프로그램을 따로 설치할 필요 없이 인터넷만 연결되면 클라우드 서버를 이용하여 시간과 장소에 구애받지 않고 무료로 이용하여 누구나 자신의 수학적 아이디어를 시각적으로 표현할 수 있으며 웹페이지에서 서버로 사용자에게 수식 입력창과 변수를 조작할 수 있는 스크롤바 등을 제공하여 상호작용하면서 시각적으로 확인한 3D 도형을 만들 수 있는 .STL 파일을 얻도록 하는 한국형 3D 프린팅 무료 도구를 제작하여 소개하였다.

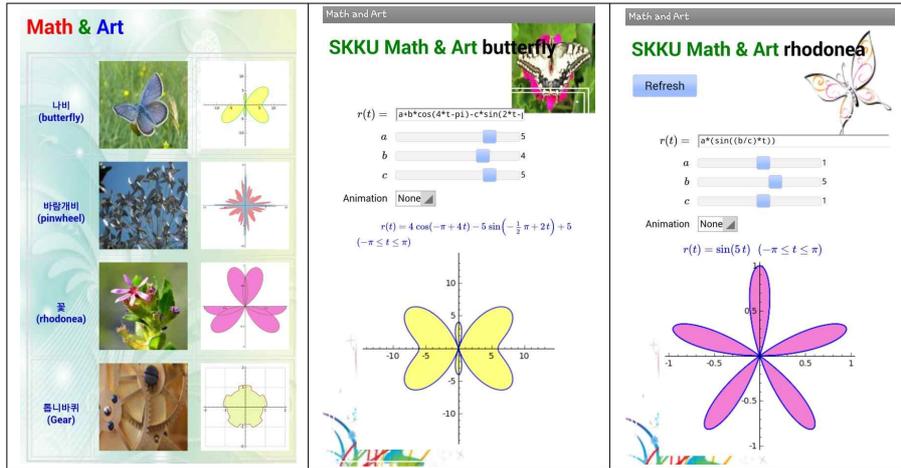
이재윤 외(2014) 논문은 피비우스²³⁾, 원뿔면체²⁴⁾, 스프링²⁵⁾, 심장 모형²⁶⁾의 예술적 대상을 수식 $(\cos u(3+v\cos u), \sin u(3+v\cos u), v\sin u), x^2+y^2-z^2=0, ((\sin v+2)\cos u, (\sin v+2)\sin u, u+\cos v), (4\sqrt{-v^2+1}\sin|u|^{|u|}\cos u, 4\sqrt{-v^2+1}\sin|u|^{|u|}\sin u, v)$ 으로 표현하고 (아래 주석의 주소에서) 각 개형의 조건을 바꾸어 가면서 다양한 예술적 대상을 시각화를 할 수 있도록 하였을 뿐 아니라 더 나아가 웹 주소에서 만든 이미지들을 .STL 파일로 만들고 3D 프린팅 기술을 이용하여 직접 3차원 결과물을 프린트 하였으며, 이를 통해 수학적 측면에서 예술에 대한 접근 가능성을 보여주었다. 그 일부를 소개하면 <표 II-1>과 같다.

<표 II-1> 클라우드 컴퓨팅을 이용한 3D 프린팅 과정과 결과물 예시

웹 도구를 이용한 3D 프린팅 과정	STL 파일 생성 웹 도구	클라인 병 (Klein's bottle)
 <p>클라우드 서버</p> <p><웹 도구></p> <p>사용자</p> <p>3D프린터</p>	 <p>$f(x, y, z) = c_1 \Leftrightarrow \frac{ax^2+by^2+cz^2+d}{e}$</p> <p>a: 2 b: -1 c: 1 d: -1 Canvas Size: 5</p> <p>Click</p> <p>3D visualization of a Klein bottle</p>	 <p>클라인 병 - Klein's bottle</p>

22) <http://www.inside3dp.com/3-educational-initiatives-bringing-3d-printing-classroom>
 23) http://matrix.skku.ac.kr/3d-print/htmls/Mobius_strip.html
 24) <http://matrix.skku.ac.kr/3d-print/htmls/Conic.html>
 25) <http://matrix.skku.ac.kr/3d-print/htmls/Spring.html>
 26) <http://matrix.skku.ac.kr/3d-print/htmls/Heart.html>

본 연구진은 대학의 수학적 모델링 강좌와 한국과학창의재단 R&E에서 수행한 STEAM 교육의 내용을 중심으로 수학과 예술을 접목하기 위해 수학으로 표현된 다양한 예술적 결과물을 《수학과 예술(Math & Art)²⁷⁾》에 전시하였다(그림 II-5 참조). 이후 가능한 한 많은 모델을 한 곳에 모아 누구나 쉽게 수학적 모델을 확인하고 접할 수 있도록 [그림 II-6]과 같이 《수학과 예술 전자도서관(e-Library)²⁸⁾》을 제작하였다.



[그림 II-5] Math & Art



[그림 II-6] 수학과 예술 전자도서관 (Math and Art e-Library)

27) <http://matrix.skku.ac.kr/mathart/>

28) <http://matrix.skku.ac.kr/mathLib>

《수학과 예술 전자도서관(e-Library)》은 그래프의 유형에 따라 2D와 3D로 구분하고, 3D는 다시 함수의 종류에 따라 음함수와 매개변수 함수로 구분하며, 3D 프린터로 출력한 모형이 있는 그래프의 경우에는 3D 모형의 사진을 함께 나타냄으로써 3D 프린팅으로 수학 교구를 만들어 사용할 수 있음을 보여준다. 그리고 3D 프린팅을 위한 .STL 파일 생성을 지원하지는 않지만, 이미 구축되어 있는 3D 프린팅 사이트와 개발자의 홈페이지를 참고 사이트로 연결하여 3D 프린팅을 직접 해보고 싶거나 수학에 대해 더 알고 싶은 사람이 쉽게 해당 사이트에 접근할 수 있게 하였다. 첫 화면에서는 배경 그림이 어떤 수학적 모델과 관련이 있는지 링크하여 클릭하면 바로 해당 모델의 수식과 그래프를 확인할 수 있다. 그리고 2D의 경우에는 바(bar)를 이용한 계수 변화와 애니메이션이 가능한 기존 웹페이지를 연결하였으며, 3D의 경우에는 Sage 코드를 직접 수정하면서 3차원 객체(Object)의 변화를 관찰할 수 있게 하였다. 이어서 이렇게 시각적으로 확인한 도형을 3D 프린터로 인쇄하는 과정을 연계하여 STEAM 교육을 디자인하였다.

이처럼 수식으로 표현할 수 있는 다양한 모델을 직접 그려보고 현실적으로 제작하기도 하고, 이론적으로는 물론 교육적으로 도움이 될 수 있는 도구를 개발하여 수학과 예술을 수학적 측면에서 연결하고 수학의 심미적 측면을 현대의 컴퓨팅 시대에서 현실화함으로써 STEAM이 원하는 인재의 양성에 적용할 수 있다.

이제 다음 절에서 이러한 도구의 개발과 그에 대한 적용을 통하여 현실화한 STEAM의 사례를 보고한다.

3. 3D 프린팅과 STEAM 교육 : 2014년 진행된 한국과학창의재단 R&E 연구 사례를 중심으로

본 연구진은 수년간 수학적 모델링 강좌²⁹⁾를 개설하여 수학을 실생활과 산업에 응용하고자하는 인재 양성에 주력하였다. 특히 지난 8월에 개최된 국제 수학융합 컨퍼런스인 'Bridges 2014' 개최를 위한 기획 연구³⁰⁾를 수행하면서 디지털 기술을 활용하여 수학과 예술의 융합에 적용시키고자 관련 웹 도구³¹⁾를 개발하였고, 한국형 3D 프린팅 무료 도구를 제작하여 이재윤 외(2014)의 논문에서 소개하였다.

2014년 3월부터 12월까지 진행된 한국과학창의재단 과학고 학생 R&E 연구에서는 앞서 개발한 3D 프린팅 도구를 STEAM 교육의 일환으로 현장에 적용하기 위해 지도교수 1명, 석사과정 대학원생 1명, 경기과학영재고등학교 학생 2명 및 담당교사 1명과 함께 “수학적 모델링 (모바일 수학을 이용한 3D 프린팅)”이라는 제목으로 연구를 수행하였다. 매주 1회 미팅을 통하여 관련된 수학 개념을 지도하고 참여 학생들이 직접 실습하면서 질문하고 개발하는 방식으로 연구가 진행되었다. ‘대수방정식과 매개변수로 표현되는 곡면의 3D 프린팅’을 세부 주제로 정하여 실습 및 연구를 진행하면서 [그림 II-7]과 같이 곡면의 3D 프린팅 웹 도구인 “ArtSurf”를 개발하였다.

29) 수학적 모델링 강의계획서 <http://matrix.skku.ac.kr/2013-Album/2013-MM-Syllabus.htm>

수학적 모델링 강좌 <http://matrix.skku.ac.kr/SOCW-Math-Modelling.htm>

30) 2012. 4월-2012. 11월. 국립과천과학관 정책연구과제, 국제 수학융합 컨퍼런스 Bridges 2014 기획 연구.

31) <http://matrix.skku.ac.kr/mathLib/index.html> <http://matrix.skku.ac.kr/Artsurf/index.htm>
<http://matrix.skku.ac.kr/3d-print/index.htm> <http://matrix.skku.ac.kr/3d-print-e/index.htm>
http://matrix.skku.ac.kr/2014-MM/3D_Orbit-v1.html <http://matrix.skku.ac.kr/3d-print/sage-stl.htm>
<http://matrix.skku.ac.kr/2013-STL/3d.html>

ArtSurf : 대수방정식과 매개변수로 표현되는 곡면의 3D프린팅

3D-Printing Tools for Algebraic & Parametric Surfaces

Sage를 이용한 3D파일 출력 (원격)	다양한 대수곡면 (Algebraic surfaces) 3D 모형 제작기	다양한 매개변수곡면 (Parametric surfaces) 3D 모형 제작기	다양한 매개변수곡면 (Parametric surfaces) 매개변수곡면들	행렬변환 (Matrix Transformation) 3D 모형 제작기	3D-Stamp 도장 생성기	다양한 용량 곡면들
---------------------------	--	---	---	--	--------------------	---------------

사용방법

- 식과 변수들을 수정하여 다른 함수들을 표현할 수 있습니다.
- 마우스 오른쪽버튼을 통해 '다음이름으로 저장'하여 STL 파일을 지정해 주세요.
- 무료 프로그램인 MeshLab 등을 이용하여 생성된 STL 파일을 확인 또는 수정 가능합니다.

MeshLab
(*MeshLab* 다운로드)

주의사항

- JAVA (해물링 구멍이 필요한 '구멍 리름' 또는 '시타린'로 접속해 주세요.)
- STL파일을 제작하시기 전에, 미리 JAVA를 설치해 주시기 바랍니다.
- JAVA (*JAVA* 설치)
- 비밀번호의 보안설정이 높을 경우, 실행시 보안경고가 나타날 수 있습니다.

더 많은 내용들은 아래의 주소를 참고하세요

<http://matrix.skku.ac.kr/cal-lab/Math-CAS.htm>
(*Math and Art* 링크)

Copyright © 2014 SKKU Matrix Lab. Made by Prof. Sang-Gu Lee with Jae-Yoon Lee & Gyeonggi Science High School for Gifted, Byung-woo Lee, Jung-bum Lee, Chang-Suk Lee

[그림 II-7] 예술적 곡면의 3D 프린팅 (<http://matrix.skku.ac.kr/ArtSurf>)

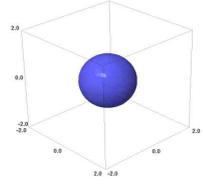
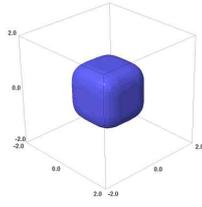
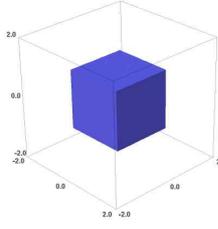
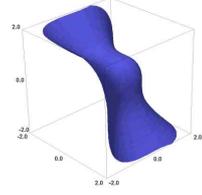
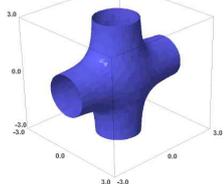
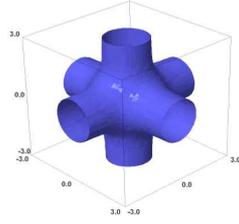
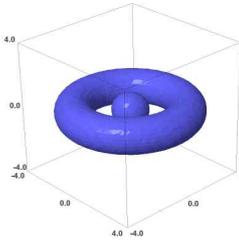
위의 웹 도구를 포함한 실습 및 연구 결과들을 바탕으로 ‘대수방정식으로 표현되는 곡면의 3D 프린팅 연구’와 ‘매개변수 함수로 표현되는 곡면의 3D 프린팅 연구’라는 제목으로 R&E 연구 보고서를 작성 중이며, 이 결과물들의 일부는 2014년 국내의 주요학회에서 발표되었고³²⁾, 국내·외 학술지에 출판되었다(Lang, V. 외, 2014; 이재운 외, 2014). 더불어 2014 융합인재교육(STEAM) 성과발표회에서 포스터 발표가 있었다. 그리고 올림피아드 문제 유형만이 수학이라고 생각하던 경기과학영재고 학생들은 대수방정식과 매개변수함수를 새로운 방법으로 경험하여 더 높은 수준의 지식을 양적으로, 질적으로 습득하였다. 특히 예술과 수학을 연결해야하는 새로운 도전에 초기에는 당황했지만 나비와 꽃잎들이 수식을 통하여 눈앞에서 그려지고, 계수를 바꾸면서 모양이 변해가고, 그 변하는 모양이 애니메이션으로 나타나며, 나비와 꽃잎들이 3D 프린팅을 통하여 손안에 쥐어지는 유의미한 경험을 통해 수학과 예술이 하나로 통합될 수 있다는 긍정적인 반응을 보였다³³⁾. 또한 자연스럽게 학습한 수학의 지식과 시각화 기술 및 3D 프린팅 능력을 이용하여 주위의 예술품이나 건축물을 더욱 아름다운 모습으로 새롭게 탄생 시키는 능력을 산업과 생산에 적절하게 이용함으로써 새로운 부가가치를 창출 할 수 있다는 자신감을 보였다. 학생들의 수학적 개념 이해 향상 과정의 일부를 <표 II-2>로 소개한다.

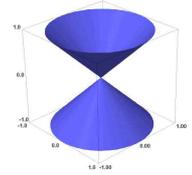
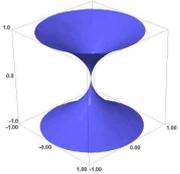
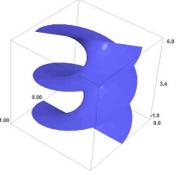
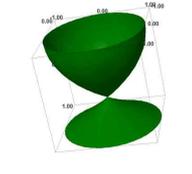
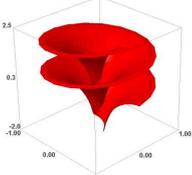
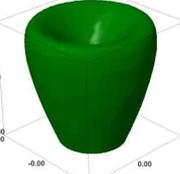
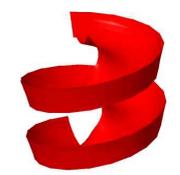
결국 이 사례들은 예술을 수학으로 이해한 후 3D 프린팅이라는 공학 및 기술로 구현하는 STEAM 교육의 사례이며, 이와 같은 교육을 통하여 21세기가 원하는 융합인재교육이 가능함을 보여준다.

32) Sang-Gu Lee, Byung-woo Lee, Jung-bum Lee, Chang-Suk Lee, Jae-Yoon Lee, "Research of 3D-Printing with Algebraic & Parametric Surfaces", 2014 KMS Fall meeting, October 24-25, 2014. Yonsei University, Seoul, Korea.

33) .STL 파일만 있으면 언제 어디서나 3D 프린팅이 가능하므로, 학생들은 자기주도적 학습에서 경험한 수학적 결과물들의 .STL 파일을 만들어 저장하는 과정까지 집중적으로 수행하였다.

<표 II-2> R&E 과정 학생들의 수학적 개념이해 향상과정

단계	학습 내용		그림과 수식	학생들의 실습 결과
1	수학적 개념	<p>대수곡면의 구성 원리</p>  $f = x^2 + y^2 + z^2 - 1$	 $f = x^4 + y^4 + z^4 - 1$	<p>1. 구의 수식에 있는 지수만을 변화시켜 예상했던 또는 예상할 수 없었던 다양한 도형들을 관찰하고, 최종적으로 정육면체를 만들었다.</p>  $f = x^{100} + y^{100} + z^{100} - 1$
	실습 목표	<p>구의 수식에 있는 지수를 변화시켜 다양한 모양을 만들고 관찰한다.</p>	 $f = x^3 + y^3 + z^3 - 1$	
2	수학적 개념	<p>대칭성 및 대수곡면의 결합 원리</p>  $f = (x^2 + y^2 - 1) \times (x^2 + z^2 - 1) - 1$	 $f = (x^2 + y^2 - 1) \times (x^2 + z^2 - 1) \times (y^2 + z^2 - 1) - 1$	<p>1. 십자가를 이루는 수식이 두 원통의 결합임을 이해하고, x, y, z 축에 대해 모두 대칭성을 가지도록 함수 f 를 조작하여 새로운 대수곡면을 만들 수 있었다.</p> <p>2. 서로 다른 대수곡면을 결합시켜 새로운 대수곡면을 만들어 낼 수 있을 것이라는 생각에 근거하여 기존에 알고 있던 원환면(Torus)과 구의 수식을 결합해보고 새롭게 원환면 안에 구가 포함된 대수곡면을 발견하였다. 신기하게도 새로운 결과가 수식과 수식의 결합에 의해 쉽게 창조된다는 점에 감탄했다.</p>
	실습 목표	<p>두 원통이 결합된 Cross 수식을 이해하고 모든 축에서 대칭성을 갖도록 조작해본 후, 대수곡면의 결합 원리를 이해한다.</p>	 $f = ((\sqrt{x^2 + y^2} - 3)^2 + z^2 - 1) \times (x^2 + y^2 + z^2 - 1)$	

단계	학습 내용		그림과 수식	학생들의 실습 결과
1	수학적 개념	<p>매개변수 함수의 구성 원리</p>  $[u \cos(v), u \sin(v), u]$	 $[u^2 \cos(v), u^2 \sin(v), u]$	<p>1. x, y 수식의 매개변수 u에 따라 일차함수 모양이었던 곡면을 u^2으로 바꾸어 이차함수 모양이 반영된 곡면으로 만들었다.</p> <p>2. z 수식의 매개변수 u 대신에 v를 대입하여 나선면 모양을 만들 수 있었으며, 그 이유를 직접 찾아본 결과 매개변수 v가 사이클을 이루면서 변화하기 때문이라는 것을 알았다.</p>
	실습 목표	<p>매개변수함수로 표현되는 기초 곡면인 Cone의 매개변수를 변화시켜 다양한 모양을 만들고 그 이유에 대해 알아본다.</p>	 $[u \cos(v), u \sin(v), v]$	
2	수학적 개념	<p>지식의 재탐색 원리</p>  $[\cos(u) \cos(2v), \sin(u) \cos(2v), \sin(v)]$  $\left[\begin{array}{l} \cos(u) \sin(v) \\ \sin(u) \sin(v) \\ \cos(v) + \log\left(\tan\left(\frac{v}{2}\right)\right) + \frac{u}{5} \end{array} \right]$	 $[\cos(u) \cos(v+1), \sin(u) \cos(v+1), \sin(v)]$  $\left[\begin{array}{l} \cos(u) \sin(v) \\ \sin(u) \sin(v) \\ \cos(v) + \tan\left(\frac{v}{2}\right) + \frac{u}{20} \end{array} \right]$	<p>1. 코사인 함수와 사인 함수로 이루어진 3차 매개변수곡면에서 코사인 함수의 성분 $2v$를 $v+1$로 변화시켜 보고 변화된 코사인 함수에 따른 3차원 형태의 매개변수곡선을 이해할 수 있었다. 더불어 2차원 곡선으로만 보던 사인 함수와 코사인 함수에 대해서, 3차원 입체에서도 그 모양이 표현된다는 점을 알 수 있었다.</p> <p>2. Dini의 나선형의 z축으로의 변화 추이가 로그 함수를 닮아 있기 때문에 z의 매개변수 수식에서 로그 함수를 제거하면 나선면을 만들 수 있다고 생각하여 시도한 결과, 약간의 두께를 가진 나선면을 만들 수 있었으며, 매개변수 u의 계수를 $\frac{1}{20}$로 작게 변화시켜 새로운 형태의 미끄럼틀 모양을 만들 수 있었다. 그리고 실생활에서 찾을 수 있는 많은 물체들이 수학과 깊이 연결되어 있음을 인정하였다.</p>
	실습 목표	<p>Goblet과 Dini의 나선형 수식의 생성원리를 이용하여 다양한 모양을 만들어보고 Sin함수와 Cos함수 및 log 함수의 역할을 관찰한다.</p>		

본 STEAM 교육 연구를 통하여 개발된 수학과 예술 교육을 3D 프린팅으로 연결한 자료는 《수학과 예술 전자도서관(<http://matrix.skku.ac.kr/mathLib>)》에서 누구나 자유롭게 활용할 수 있다. 더불어 누구라도 이 사이트에서 매개변수를 바꾸면서 다양한 도형으로 변형하여 예술적인 작품을 만들고 그 도형의 .STL 파일을 무료로 다운 받아 자신이 사용가능한 3D 프린터를 이용하여 바로 프린팅을 할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 STEAM 교육의 국제적인 연구 동향에 대하여 살펴보고, 한국과학창의재단 R&E 연구를 수행하면서 3D 프린팅을 활용하여 수학과 예술을 연결한 STEAM 교육의 사례를 소개하였다.

수학에서 예술을 적용하여 아름다운 자연 속의 기하학적 도형을 시각화한 후 직접 프린트하는 과정은 수학적 지식의 다양한 경험과 인식뿐 아니라 수학의 창의적 아름다움을 느끼고 표현하며 동시에 산업에 적용하는 능력을 크게 향상시킬 수 있는 가능성을 제시한다. 즉, 이 과정을 통해 학생의 수학 및 과학의 학습적 측면이 발달할 뿐 아니라 동시에 예술적 측면이 발달하고 또 개발된 예술적 능력을 활용하면서 실제 사회가 필요로 하는 창의적 인재로 성장하는 긍정적 영향을 준다는 것은 STEM에 예술(Arts)을 추가한 STEAM 교육의 목표³⁴⁾이다.

따라서 3D 프린팅 활동은 수학을 시각화하고 체험하면서 수학의 심미성을 경험하고 수학과 예술과의 관계를 공학을 통하여 느끼며 실제 사회가 필요로 하는 창의적 융합인재를 양성하는 STEAM 교육의 중요한 모델이며, 새로운 교육환경에서 우리 학생들이 교과를 통하여 배우는 수학과 과학 지식을 공학적 도구를 이용하여 예술과 산업에 적용하면서 21세기 창의경제를 주도할 융합인재로 성장하도록 돕는데 그 의의가 있다. 더불어 연구를 수행하는 과정에서 개발한 《수학과 예술 전자도서관》과 <http://matrix.skku.ac.kr/Artsurf/> 의 웹 자료에 포함된 도구들은 누구나 아무런 제약 없이 자유롭게 접근할 수 있고, 더 나아가 매개변수를 바꾸면서 다양한 새로운 3D 도형을 만든 후 그 도형의 .STL 파일을 다운 받아 바로 3D 프린팅을 할 수 있으므로 향후 수학교육을 통한 STEAM 교육의 모델로 교육현장에서 적용할 때, 손쉽게 추가 비용 없이, 더 높은 수준의 STEAM 교육의 모델을 만드는데 활용 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- 교육과학기술부 (2010). 2011년 주요 업무계획: 창의인재와 선진과학기술로 여는 미래 대한민국, Retrieved from <http://if-blog.tistory.com/939>
- Ministry of Education, Science, and Technology (2010). *Major business plan of MEST for 2011*. Retrieved from <http://if-blog.tistory.com/939>
- 박종률 (2013). 예술(음/미)과 수학 통합 교수·학습자료 개발, 한국과학창의재단 2013-5.
- Park, J. L. (2013). *Development of teaching and learning materials integrating art and mathematics*, Kofac 2013-5.
- 박혜숙 (2012). 사회(역사 포함)와 수학 통합 교수·학습자료 개발, 한국과학창의재단 2012-25.
- Park, H. S. (2012). *Developing integrated teaching materials of social studies(including history) and mathematics*, Kofac 2012-25.

³⁴⁾ <http://www.edutopia.org/blog/stem-to-steam-strengthens-economy-john-maeda>

- 안재홍·권난주 (2014). 원근 착시 현상의 예술적 표현을 통한 과학예술 융합 프로그램 개발 및 활용 전략, 한국초등과학교육학회 학술대회, **66**, 60-61.
- Ahn, J. H. & Kwan, N. J. (2014). Science and art fusion program development and utilization strategy through artistic representation of perspective illusion, *Journal of Korean Elementary Science Education Conference*, **66**, 60-61.
- 윤미숙, 박지현, 박미희, 주신혜 (2012). 융합인재교육 교수학습 자료 개발 및 적용, 2011 연구과제 보고서, 서울교육 2012-11.
- Yoon, M. S., Park, J. H., Park, M. H. & Ju, S. H. (2012). *Developing and implementing STEAM teaching materials*, Seoul Education 2012-11.
- 이부연 (2014). 미술을 중심으로 한 STEAM 교육 프로그램 연구 - 초·중학교 교수·학습안 개발을 중심으로. 한국과학예술포럼, 311-321.
- Lee, B. Y. (2014). A Study on STEAM Education Program through Art - Focused Curriculum Development for Elementary and Junior high school level. *KOREA SCIENCE & ART FORUM*, 311-321.
- 이은적 (2012). STEAM(융합인재교육)에서의 미술교과 내용의 가능성과 한계, 미술교육연구논총, **33**, 287-314
- Lee, E. J. (2012). Possibilities and Limitations of Art Education Contents applied in STEAM, *Journal of Art Education*, **33**, 287-314.
- 이재윤·임영준·박경은·이상구 (2014). Sage를 활용한 수학 3D 프린팅 웹 도구 개발—대학 수학교육을 중심으로, 한국수학교육학회지 시리즈 E <수학교육논문집>, **28(3)**, 353-366.
- Lee, J. Y., Lim, Y. J., Park, K. E. & Lee S. G. (2014). Development of Mathematics 3D-Printing Tols with Sage— For College Education, *Communications of Mathematical Education*, **28(3)**, 353-366.
- 이혜숙·임해미·문종은 (2010). 수학과학통합교육의 설계 및 실행에 대한 연구, 한국수학교육학회지 시리즈 A <수학교육>, **49(2)**, 175-198.
- Lee, H. S., Rim, H. M. & Moon, J. E. (2010). A study on the design and implementation of mathematics and science integrated instruction, *The Mathematical Education*, **49(2)**, 175-198.
- 이혜숙·민주영·한혜숙 (2013). STEM 기반 수학 교수-학습 프로그램의 효과에 관한 연구, 한국수학교육학회지 시리즈 E <수학교육논문집>, **16(2)**, 337-362.
- Lee, H. S., Min, J. Y. & Han, H. S. (2013). A study on the effects of STEM based approach for teaching and learning mathematics, *Journal of the Korean School Mathematics Society*, **16(2)**, 337-362.
- 전재복 (2012). 체육과 수학 통합 교수·학습자료 개발, 한국과학창의재단 2012-30.
- Jeon, J. B. (2012). *Developing integrated teaching materials of physical education and mathematics*, Kofac 2012-30.
- 한국과학창의재단 (2008). 수학·과학 교육 경쟁력 강화를 위한 수학·과학 교육 내실화 방안 연구 최종보고서, Retrieved from <http://www.kofac.re.kr/www/inform/k1-3-8/userBbs/bbsView.do>.
- Kofac (2008). *Study for the strengthening the competitiveness of on Mathematics and Science education - Final Report*, Retrieved from <http://www.kofac.re.kr/www/inform/k1-3-8/userBbs/bbsView.do>.
- 한국과학창의재단 (2009). <과학교육진흥법> 개정을 위한 사전기획연구 최종보고서, Retrieved from <http://www.kofac.re.kr/www/inform/k1-3-8/userBbs/bbsView.do>.
- Kofac (2009). *Preliminary study for the revision of <Science Education Promotion Law> - Final Report*, Retrieved from <http://www.kofac.re.kr/www/inform/k1-3-8/userBbs/bbsView.do>.
- 황선옥 (2013). 국어와 수학 통합 교수·학습자료 개발, 한국과학창의재단 2013-3.

- Hwang, S. Y. (2013). *Development of teaching and learning resources combining Mathematics and Korean literature*, Kofac 2013-3.
- Anna, H. & Andreas, D. M. (2013). *SURFER in Math Art, Education and Science Communication*. Bridges 2013 : Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture, 271-278.
- Debra, S. (2010). *NSTA-National Science Teachers Association*. NSTA WebNews Digest.
- Jemison, M. (2002). *TED Talks - Teach arts and sciences together*. Retrieved from http://www.ted.com/index.php/talks/mae_jemison_on_teaching_arts_and_sciences_together.html.
- John, T. (2010). *STEM to STEAM - Recognizing the Value of Creative Skills in the Competitive Debate*. Retrieved from http://www.huffingtonpost.com/john-tarnoff/stem-to-steam-recognizing_b_756519.html.
- KEDI (2012). *21st Century Skills - Learning for life in our times* (translation of the book by Bernie Trilling and Charles Fadel, JOSSEY-BASS PUBLISHING, 2009), Hak-Ji Sa.
- Lang, V., Lee, S. G. & Lee, J. Y. (2014). A Mobile, Open-Source 2D and 3D Printing Graphic Creation CAS Tool of Mathematics Courses. *Journal of US-China Education Review A*, **4(8)**, 569-580.
- The Engineer (2010. 5. 24). *The rise of additive manufacturing*. Retrieved from <http://www.theengineer.co.uk/in-depth/the-big-story/the-rise-of-additive-manufacturing/1002560.article>.
- Yakman, G. (2010). *What is the Point of STEAM - A Brief Overview of STEAM Education*. Retrieved from http://www.academia.edu/8113832/What_is_the_Point_of_STEAM_A_Brief_Overview_of_STEAM_Education.

Mathematics, Art and 3D-Printing in STEAM Education

Sang-Gu Lee

Department of Mathematics, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea
E-mail : sglee@skku.edu

Jae-Yoon Lee

Department of Mathematics, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea
E-mail : crares@skku.edu

Kyung-Eun Park

Department of Mathematics Education, Sungkyunkwan University, Sungkyunkwan-ro 25-2, Jongno-gu, Seoul, Korea
E-mail : postmedu@skku.edu

Jae Hwa Lee

Department of Mathematics, Hallym University, Chuncheon 200-702, Korea E-mail : jhlee2chn@hallym.ac.kr

Seung-Chul Ahn

Department of Mathematics Education, Woosuk University, Jeonbuk 565-701, Korea
E-mail : scahn@woosuk.ac.kr

3D-Printing is one of the most innovative technologies that will be widely used in the 21st century. 3D-Printing also serves as an indispensable tool in STEAM education. In this article, we introduce what we have done in our mathematical modeling class in Uni. and recent R&E project under the support of Korean Foundation for the Advancement of Science and Creativity. We planned a model of STEAM education originating from our wish to make tangible models that use mathematical formulas to express the natural beauty of an object. We used a free, open-source software, Sage, to simulate these models online. Then, we created a program that generates a .STL file from these 3D images. This model can help students understand the natural beauty inherent in mathematics and use formulas and technology tools to simulate models in 3D. Finally, we were able to help students to create their own .STL files through a website we developed by adding Sage code into a Sage notebook. Then students can make and hold a 3D object of their very own. This process shows the possibility that mathematics, art and 3D-Printing can be effectively used to achieve the goals of STEAM education.

* ZDM Classification : M85, G45, M15

* 2000 Mathematics Subject Classification : 97C80, 97U70

* Key Words : STEAM, Mathematics, Arts, 3D-Printing, Sage