

3D 프린팅 활용 교육 프레임워크 제안 및 적용의 탐색적 연구

소효정* · 이지향* · 계보경**

이화여자대학교 교육공학과* · 한국교육학술정보원**

요 약

본 연구는 학교에서 도입가능성이 높다고 판단된 신기술인 3D 프린팅 활용 교육을 연구대상으로 선정하였다. 연구는 크게 3D 프린팅 활용을 위한 학습활동 프레임워크 제안과 3D 프린팅 활용 교육의 현장적용 가능성을 모색하는 두 단계로 실시하였다. 본 연구에서 제안하는 '3D 프린팅 활용 학습활동 프레임워크'는 '문제 해결과정의 복잡성'과 '협동적 상호작용'을 두 축으로 하여, 1단계는 재현을 통한 제작, 2단계는 상상 표현의 수단, 3단계는 근접한 문제 해결, 4단계는 확장된 문제 해결의 네 단계로 활동을 구분하였다. 두 번째 연구목적인 학교현장에서의 사례 연구를 위해 초등학교 6학년 23명의 학습자를 대상으로 수학교과에 3D 프린팅 활동을 접목한 수업을 실시하였다. 학생들은 '1단계 재현을 통한 제작'에 3D 프린팅을 활용하여 다양한 도형의 형태와 부피를 학습하였다. 연구결과 참여 학습자들이 전반적으로 3D 프린팅 기술을 활용한 수업의 효과성에 대해 긍정적인 학습경험을 보였으며 학습경험의 질 및 만족감 또한 높은 것으로 나타났다. 반면, 3D 프린터 및 CAD 프로그램의 사용성에는 개선이 필요한 것으로 나타났다. 본 연구는 향후 3D 프린팅 활동 설계를 가이드할 수 있는 거시적 프레임워크를 제안하고, 단순 흥미를 넘어서 교과연계성을 가지는 3D 프린팅 활동의 가능성을 탐색했다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다.

키워드 : 메이커스페이스, 3D 프린팅, 연계주의, STEAM 교육, 신기술

An Exploratory Study about the Activity Framework for 3D Printing in Education and Implementation

Hyo-Jeong So* · Ji-hyang Lee* · Bokyung Kye**

Dept. of Educational Technology, Ewha Womans University* ·

Korea Education and Research Information Service(KERIS)**

ABSTRACT

This study selected 3D printing that is highly likely to be adopted in schools. This research was conducted in two stages: 1) proposing the learning activity framework for utilizing 3D printing in education, and 2) exploring the potential of integrating 3D printing in the school field. The '3D printing learning activity framework' proposed in this study includes four phases that are categorized according to the complexity of problem-solving processes and collaborative interaction: Step 1 as production through replication, Phase 2 as means of imaginary expression, Phase 3 as near problem-solving, and Phase 4 as expanded problem-solving. Next, we conducted the field study

본 연구는 한국교육학술정보원(KERIS)에서 수행한 "IT융합신기술의 교육적 활용 방안(연구보고 RR 2016-7)" 연구의 일환으로 수행됨.

교신저자 : 소효정(이화여자대학교 교육공학과)

논문투고 : 2017-07-20

논문심사 : 2017-08-21

심사완료 : 2017-08-25

with 23 students in the 6th grade math class where they learned the various solid shapes and volumes through 3D printing-integrated activities. The lesson was considered as Phase 1, which is the production through replication. Overall, the results showed that the participants had positive perceptions about the efficacy of 3D printing activities, the quality of learning experience, and satisfaction. On the other hand, it was found that the usability of 3D printers and CAD program needs further improvement. The contribution of this study can be found in the learning activity framework that can guide 3D printing activity design in school, and in the exploration of enhancing the connection between 3D printing activities and curricular relevance beyond simple interest toward a novel technology.

Keywords : Makerspace, 3D Printing, Connectivism, STEAM Education, Emerging Technology

1. 서론

기술의 발달은 새로운 학습 환경 및 도구의 개발에 영향을 미친다. 최근 초연결과 초지능을 핵심으로 하는 4차 산업혁명 시대의 도래와 더불어 인공지능, 빅데이터, 3D 프린팅 등 신기술을 활용한 교수-학습 방법의 변화에 대한 관심이 증가하고 있다. 신기술의 교육적 활용과 관련하여 미국의 New Media Consortium(NMC)은 디지털 미디어의 역할과 현장 도입 시기를 예측하는 Horizon Report를 매해 발간하고 있다. 최근 2016년과 2017년 발간된 K-12 분야 보고서에서는 메이커스페이스(makerspace)환경을 1년 이내 학교 현장에 도입될 가능성이 높은 기술로 선정하였다[1],[13].

메이커스페이스는 지역사회나 교육기관 내에 위치하며, 사람들이 창작과 텅킹(thinking) 활동에 몰두할 수 있는 비형식적 워크샵 환경을 의미한다[1]. 제조산업의 혁신을 가져온 3D 프린팅은 메이커스페이스의 확산에 큰 기여를 한 신기술이다. 3D 프린팅은 3차원(3 dimensions, 3D) 공간에 플라스틱 재료를 출력함으로써 3차원 형태의 물체를 인쇄하는 기술이다. 3D 프린팅 기술의 가파른 발전으로 그 활용이 대중화되기 시작하였으며 더불어 교육 분야에도 폭넓게 적용될 것으로 전망되고 있다. 특히 과학, 공학, 수학 등의 STEM 관련 교과에서는 복잡한 개념이나 과학적 모델의 이해를 위해 3D 프린팅 기술을 활용할 수 있다. 그밖에 다양한 교과에서도 학습자들이 3D 프린팅 기술을 활용하여 아이디어를 구체화하고 시제품(prototype)을 구현하는 등 디자인적 사고(design thinking)를 함양할 수 있다.

그 예로써 영국에서는 2013년 21개 학교를 대상으로

STEM과 디자인 교과를 융합한 3D 프린팅 활용 수업을 진행하여 그 효과성을 검증하였다[8]. 연구 결과, 대부분의 학교에서 교사의 의지와 역량이 학습자의 동기 부여에 가장 중요한 요인으로 나타났다. 즉, 3D 프린팅이 효과적으로 활용되었던 경우, 교사가 3D 프린팅 기술을 교과 학습에 적용시키기 위해 다양한 교수-학습 방법을 모색한 점을 확인할 수 있었다.

영국의 사례가 시사하는 바와 같이 국내 교육 현장에서도 3D 프린팅 기술을 활용한 메이커스페이스 교육을 확산하기 위해서는, 신기술과 교육과정의 내용을 밀접하게 접목시킬 수 있는 구체적 실천 방안이 필요하다. 하지만, 이러한 요구에도 불구하고 현재 학교 현장의 3D 프린팅을 활용한 교육은 단편적인 사물의 복제나 재현 수준에 머물러 있으며, 교과과정과의 연계성이 미흡한 흥미 위주의 학습 도구로 활용되는 경향이 발견된다. 즉, 3D 프린팅의 기술적 진보에도 불구하고, 이를 교수-학습적으로 활용하기 위한 방법론 및 현장에 필요한 가이드라인이 충분히 정립되지 않은 실정이다.

이러한 한계점을 인식하여 본 연구는 두 가지 목적성을 가지고 진행되었다. 첫 번째 목표는 3D 프린팅의 교육적 활용 수준에 대한 개념과 가능성을 새롭게 정의하고, 이를 바탕으로 3D 프린팅 활용 교육의 단계적 프레임워크를 제시하는 것이다. 두 번째 목표는 3D 프린팅 활동이 교육과정과의 밀접한 연관성을 기반으로 활용될 수 있는 가능성 및 예상되는 이슈들을 학교현장연구를 통해 탐색하는 것이다. 종합적으로 본 연구는 학습활동 프레임워크 제시 및 학교현장 연구를 통해 3D 프린팅을 통한 메이커스페이스 교육이 학교현장에 적용 및 확산되기 위한 실질적 시사점을 도출하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 메이커스페이스(Makerspace)와 연계주의적 학습 관점

일반적으로 메이커스페이스란 오픈소스의 소프트웨어나 3D 프린터 등의 제작기술이 비전문가의 영역으로 확대되어, 이러한 목적에 맞게 어떠한 형태로든 존재할 수 있는 환경을 의미한다[1]. 또한 메이커스페이스는 사람들이 창작을 위한 자원과 지식을 공유하고 프로젝트와 네트워크를 구축하기 위해 모이는 물리적 장소를 의미한다[9]. 자기주도적 학습 공간으로 메이커스페이스는 학생들로 하여금 자신이 구상하고 설계하는 프로젝트에 대해 주인의식을 가지게 하며, 공동 프로젝트를 위한 협력을 활성화하는 문화와 자원을 제공해 줄 수 있다[7].

메이커스페이스를 디지털 시대의 새로운 학습형태로 이해하기 위해서 학습의 ‘연계주의적(connectivism)’ 관점에서 그 의미를 재고해볼 수 있다. 연계주의는 원격교육에서 논의가 시작된 관점으로, 학습자가 지식 구성의 주제로 자신의 외부 환경뿐만 아니라 개인 자신의 역사적 배경을 포함하는 맥락에서 지식을 연결하고 구성한다고 보는 관점이다[2]. 연계주의적 관점에서 학습의 과정은 순환적이어야 하고[14], 학습자들은 나를 포함한 세계와의 연결을 통해 새로운 정보를 찾고 공유하며, 새로운 학습 문화를 형성한다. 메이커스페이스의 가장 중요한 개념 중 하나인 ‘공유 문화’는 학습맥락에서 나와 나를 둘러싼 세계와의 연결속에서 그 결과물을 공유하는 개념을 전제로 한다. 따라서 연계주의적 관점에서 볼 때 메이커스페이스의 중요한 교육적 의의는 생산의 주체인 학습자가 외부세계와의 연계성 안에서 스스로 지식과 정보를 생산하고 경험을 공유하는 순환적 과정에서 찾을 수 있다.

본 연구에서는 메이커스페이스를 연계주의적 관점에서 논의하기 위해 학습자 개인을 둘러싼 모든 내적 요인과 외적 환경을 기본 학습 환경으로 설정한다. 즉, 학습과정에서 교수자-학습자, 학습자-학습자는 상호 연결되어있으며 물리적으로 교실뿐만 아니라 외부 세계와 연결되어 있음을 전제한다[14]. 메이커스페이스 환경은 학습자의 자기주도적인 내적 경험뿐만 아니라, 동료와의 협력이나 외부 세계와의 직·간접적인 교류를 포함하는

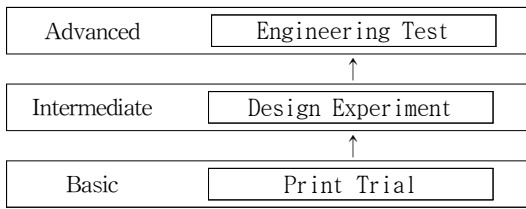
생산적인 환경을 의미한다. 내적 요인으로, 학습자는 창작적 활동의 중심이 되는 구성원의 역할을 수행하며, 자신과 세계와의 연결을 통해 지식을 확장하고 공유하는 태도를 지녀야 한다. 외부적인 환경은 이러한 학습자의 변화된 학습 양상을 지원하고, 기존의 교실 내의 교사-학생, 학생-학생의 상호작용을 통해서만 이루어지던 전통적 상호작용의 틀에서 벗어나 보다 확장되고, 연결된 학습맥락에서 학습자의 역할과 학습활동을 고려하여 구성되어야 한다.

2.2 3D 프린팅 기반 메이커스페이스 활동

본 연구에서는 메이커스페이스의 다양한 학습 활용 도구 중 비전문가의 접근성이 용이한 3D 프린팅을 연구의 주제로 선정했다. 3D 프린터란 입체적으로 모델링된 설계도를 기반으로 3차원 입체 모형을 만들어 낼 수 있는 물리적 기기를 말한다. 3D 프린터가 1984년에 미국에서 처음 개발되었을 당시, 프린터와 소재가 지나치게 고가인 탓에 극히 제한된 용도에만 사용되었으나, 오늘날에는 비전문가도 손쉽게 접근이 가능한 형태의 저비용 보급형 제품이 나오고 있다. 3D 프린팅은 3D 프린터를 활용하여 모델링, 프린팅, 후처리의 3단계 공정과정을 거치는 것을 의미한다[7]. 본 연구에서는 ‘3D 프린팅’을 3D 프린터라는 물리적 기기를 포함하여 제작 활동을 강조하는 용어로 사용한다.

이러한 하드웨어 제조의 핵심적 기술이 대중화 되면서, 3D 프린팅의 학교 현장 적용가능성이 탐색되기 시작하였다. 그 예로서, Brown[3]은 3D 프린팅을 교육적으로 활용하기 위해서는 (Fig. 1)에 제시된 바와 같이 기초적인 단계부터 고급 단계까지 활동의 위계성이 있어야 함을 제시했다. 기초 단계에서의 3D 프린팅은 ‘시험 출력’부터 시작하며, 중간 단계에서는 ‘설계 실험’이 이루어진다. 이 두 단계의 차이는 사용자가 CAD 프로그램을 이용하여 설계안을 직접 제작하는지의 여부에 달려있다. 따라서 타인이 설계한 CAD 파일을 사용할 경우는 기초 단계로, 사용자가 직접 CAD 파일을 설계할 경우는 중간 단계인 설계 실험으로 볼 수 있다. 이 활동 프레임워크의 정점은 ‘공학적 테스트’로서 이는 앞선 단계를 모두 포함하면서, 실질적 문제를 해결하기 위한 사물에 공학적 기능을 추가하여 3D 프린터로 제작/생산까지 이르는 단계

를 의미한다. 여기서 설계 실험과 공학적 테스트의 차이는 실질적 문제해결을 요구하는가의 여부로서, 공학적 테스트 단계에서는 스케일 조절이나 디자인의 독창성, 실제 환경에서의 사용 가능성 등을 점검하기 위한 테스트가 반복적으로 일어나게 된다. 기초적인 단계에서 고급 단계로 진행될수록 문제의 복잡성이 높아지므로 3D 프린팅이 문제기반 학습(PBL)에도 활용될 수 있다.



(Fig. 1) Hierarchy of 3D printing activity[3]

2.3 3D 프린팅의 교육적 활용 현황

3D 프린팅 활용에 대한 연구는 의료와 디자인 분야를 중심으로 활발하게 이루어지고 있으나 교육적 활용에 대한 연구는 그리 많지 않은 실정이다. 3D 프린팅 활용에 대한 국내외 연구를 살펴보면 교육보다는 3D 프린팅 자체의 기술과 활성화에 대한 연구가 주를 이루고 있음을 알 수 있다[19]. 변문경, 조준호, 조문흠[5]은 이제 3D 프린팅에 대한 교육적 필요성을 인지할 필요가 있으며, 학생들의 학습 능력과 창의적 문제 해결력을 기를 수 있는 교육 현장에의 구체적인 적용방법이 제공되어야 할 시점이라고 주장했다.

먼저 국외에서 수행된 3D 프린터의 교육적 활용에 대한 연구를 살펴보면, Eisenberg[10]는 3D 프린팅 기술을 교육현장에 효과적으로 적용하기 위한 고려점으로 1) 3D 프린터에 활용가능한 물리적 매체 및 소재 범위의 확장, 2) “pick-and-place” 매커니즘(예: 소재를 선택-배치하여 레이어별로 쌓는 방법)에 근거한 활동 설계, 3) 휴대가능하고 유비쿼터스 기능이 탑재된 프린터로의 물리적 진보, 4) 3D 프린팅 후 수정 보완 등 ‘프린팅 후 처리(post - printing)’ 활동들을 지원하는 방법 및 도구 개발, 5) 보다 정교한 3D 디지털 제작을 위해 누구나 쉽게 사용할 수 있는 모델링 소프트웨어의 개발의 다섯 가지 사항을 제시하였다.

Buehler & Grimes[4]는 3D 프린팅을 접목한 STEM 교육 프로그램에서 교육과정 및 활동설계 측면에서 개선해야 할 점은 무엇인지, 교수자와 참여 학생들을 대상으로 인터뷰를 실시하였다. 그 결과, 동료학습과 학습자 중심의 활동 확대, 3D 프린팅의 시간적 제약, 프로젝트의 간명화 및 절차화(안내부족), 사용방법 시연 및 샘플 제작물 제공 확대, 창의적 제작의 허용 등의 개선사항을 발견하였다. 또한, Smith, Iversen & Hjorth[20]는 3D 프린팅 기술을 포함한 두 가지 디지털 제작 프로그램의 관찰연구를 실시하였다. 연구결과, 학생들이 디지털 제작 과정의 복잡성에 대한 이해가 부족하므로 충분한 기본지식을 습득할 수 있는 기회(예: 강의, 자기학습 등)가 선행되어야 하며, 디자인 사고 과정을 접목한 학습활동 설계가 참여자들의 디지털 제작물의 질이나 과정에 대한 이해를 개선시킨다는 점을 발견하였다.

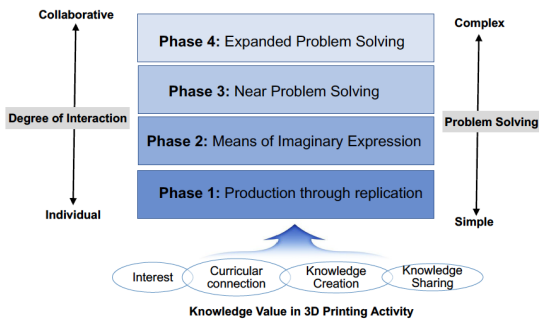
국내에서 수행된 3D 프린팅의 교육적 활용에 대한 연구를 살펴보면, 먼저 이영찬, 김희필[16]의 연구에서는 3D 프린터를 활용한 발명 교육 프로그램이 초등학생의 창의성에 미치는 효과를 살펴보았다. 변문경 외[5]는 초등학생과 성인 집단을 나누어 3D 프린팅을 활용한 과학 수업의 교육적 효과를 비교하였다. 두 연구 모두 초등학생을 대상으로 실시한 3D 프린팅 활용 교육이 학습자의 흥미와 만족도를 증가시키고 창의성 향상에 긍정적인 영향을 미쳤다고 보고하였다. 또한, 엄증태, 권용주[11]는 고등학생을 대상으로 3D 프린팅을 활용한 생체모방 중심 융합수업 프로그램의 효과성을 검증하였다. 연구결과 3D 프린팅을 적용한 실험집단의 융합인재소양 및 교과에 대한 흥미, 그리고 프로그램에 대한 만족도 평균이 통제집단에 비해 유의하게 높은 것으로 발견되어, 3D 프린팅의 융합수업 활용 가능성을 확인할 수 있었다.

3. 3D 프린팅의 교육적 활용 프레임워크 제안

선행 연구 과정을 통해 학교현장에서 이루어지는 3D 프린팅 활용 수업이 아직까지도 재현을 통한 단순한 제작 활동이나 프린팅 기술을 익히는 수준에 그치는 경우가 많음을 확인할 수 있었다. 또한 학생의 흥미 유발을 넘어선 형태의 상상 표현의 수단 및 고차원적 문제해결을 위한 3D 프린팅 활용 학습에 관한 연구는 미비했다. 이는 기술의 진보에 비해 교육현장에서의 적용 가능성은

검증이 더 필요하며, 교사가 현장에서 활용할 수 있는 수준의 활동 프레임워크가 필요한 시점임을 시사한다.

따라서 본 연구의 첫 번째 단계에서는 선행 연구와 다양한 분야에서의 3D 프린팅 활용 현황을 종합하여, (Fig. 2)와 같이 ‘3D 프린팅 활용 학습활동 프레임워크’를 개발하였다. 본 프레임워크에서 제시하는 3D 프린팅 활용은 일차적으로 ‘문제 해결과정의 복잡성’과 ‘협동적 상호작용’을 두 축으로 하여, 1단계: 재현을 통한 제작, 2단계: 상상 표현의 수단, 3단계: 근접한 문제 해결, 4단계: 확장된 문제 해결의 네 단계로 활동을 구분하였다. 이차적으로는, 각 단계에서 학습의 가치를 1) 흥미, 2) 교과연계성, 3) 지식 창출의 가능성, 4) 지식 공유의 가능성의 네 가지 요인으로 설정하였다. 해당 프레임워크의 단계는 학습자들이 낮은 단계에서 높은 단계로 상향할수록 고차원적인 문제 해결과정을 경험하게 되지만, 반드시 높은 단계의 학습활동만을 지향하는 것은 아님에 주목할 필요가 있다.



(Fig. 2) Learning framework of 3D printing activity

3.1 문제 유형 및 협동적 상호작용의 정도

프레임워크의 첫 번째 축인 ‘문제해결 과정의 복잡성’은 개인 학습자가 문제에 대해 느끼는 거리감(distance)에 따라 비교적 ‘단순한 문제’(1단계 & 2단계), ‘근접한 문제’(3단계)와 ‘확장된 문제’(4단계)로 나누어진다. 여기서 근접한 문제란 개인 학습자가 일상생활에서 쉽게 접할 수 있으며 개인에게 적합성 및 중요성이 높은 문제를 의미한다. 반면, 확장된 문제는 학습자 개인을 넘어서 지역사회 및 세계문화 공동체와 연결되는 성격의 문제를 의미한다.

두 번째 축인 ‘협동적 상호작용’의 경우 3D 프린팅 활용 활동이 학습자 개인 또는 학습자 간의 상호작용으로 이루어지는 정도를 의미한다. 따라서 1단계 ‘재현을 통한 제작’은 개인 학습자가 3D 프린팅을 통해 할 수 있는 가장 단순한 활동이며, 단계가 상승할수록 협동적 상호작용 및 외부세계와의 연계성의 중요도가 높아진다. 따라서 4단계인 ‘확장된 문제 해결’은 고차원적인 문제 해결을 위해 학습자들의 협동을 요구하며 지식의 공유와 외부세계와의 연계성을 경험할 수 있는 활동으로 볼 수 있다.

3.2 학습활동의 지식적 가치 판단 요소

본 연구에서 제시하는 3D 프린팅 활용 학습활동 프레임워크는 기존의 흥미위주의 활동에서 벗어나, 교과과정과의 연관성 및 지식적 가치를 강조하는 활동의 유의미성을 강조한다. 따라서 유의미한 학습이 되기 위한 요소를 1)흥미, 2)교과연계성, 3)지식 창출 가능성, 4)지식 공유 가능성의 네 가지로 설정하였다.

첫째, ‘흥미’는 학습자의 행동을 결정하는 기준으로 중요한 역할을 한다. 학습과정에서 특정 과제나 영역에 흥미를 느끼는 학습자는 해당 내용에 대해 몰입하는 학습시간이 늘어나고, 학습활동에 반복해서 참여하며, 더 깊은 사고를 할 수 있기 때문에 높은 성취를 보인다 [18]. 이러한 이유로 흥미는 학습을 구성하는 환경을 비롯하여 도구를 선정하는데 중요한 요소로 작용하고 있기 때문에, 흥미는 학습자에게 비교적 생소한 3D 프린팅을 활용하는 수업의 초기단계에서 필수적으로 고려되어야 하는 요소로 볼 수 있다.

둘째, ‘교과연계성’은 3D 프린팅 활용 학습활동이 교과과정의 주제와 내용을 담고 있는지에 대한 것으로 교과와의 연계성을 가진 교수설계를 의미한다. 초기 3D 프린팅이 소개되는 시점에는 신기술에 대한 흥미로 단순 체험 위주의 활동이 이루어졌다면, 최근에는 3D 프린팅을 전통 교실 학습으로 수용하려는 움직임으로 교과 내용과 연계된 3D 프린팅 활용 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그 예로서 기계공학 교과과정에서의 활용에 대한 연구[15], 자유학기제에서 수학교과와의 연계를 모색한 연구[6], 창의적 디자인 모델을 기반으로 미술교과와의 연계성을 통해 그 활용 방안을 제시한 연구[7] 등이 있다. 그러나 이들 선행 연구는 공통적으로 적용 교과 내용의

한계로 인해 지식의 확장과 공유가 이루어지지 않음을 3D 프린팅 활용 활동의 제한점으로 지적하였다.

셋째, ‘지식창출 가능성’이란 디지털 시대의 학습 환경에서 지식은 더 이상 교실 내부에 머물지 않고 외부와의 연계성 속에서 학습자에 의해 새롭게 창출될 수 있음을 의미한다. 지식정보사회에서의 지식은 절대적인 것이 아니며, 학습자의 상황과 필요에 따라 결합되고 응용되는 형태로 변모하고 있다[12]. 3D 프린팅 활용 교육에서도 물리적인 생산 과정을 통해 학습자가 확장된 지식 결과물을 창출할 수 있으며, 이는 교수자와 학습자의 이분법적 경계를 넘어서서 학습자가 주체성을 가지고 학습과정에 임할 때에 가능하다.

넷째, ‘지식 공유 가능성’은 학습자가 3D 프린팅을 통해 지식구성의 과정과 결과물을 외부와 공유하는 형태의 학습 가능성을 강조한다. 다수의 영역에서 지역 사회의 문제를 반영하고 이를 해결하기 위한 전략으로 3D 프린팅이 활용되고 있다. 그 예로서 고가의 의료기기와 보조 도구를 3D 프린팅의 활용으로 저가에 보급하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며[17], 3D 프린팅을 활용한 학습활동을 설계하는 과정에서 학습자들이 자신이 제작한 사물의 가치를 지역사회와 공유하고 기업가정신 교육을 함양할 수 있는 가능성도 제시되고 있다.

3.3 각 단계별 활동 설명

3.3.1 1단계: 재현을 통한 제작

학교현장에서 3D 프린팅 기술이 가장 용이하게 활용되는 활동은 ‘재현(replication)’으로 볼 수 있다. 재현은 사물을 그대로 복제하는 것에서부터 기성품을 변형하는 것까지 그 범주가 다양하나, 제작의 범위가 현재 존재하는 형태와 기능을 크게 벗어나지 않는다는 점에서 재현이라고 칭한다. 1단계 재현을 통한 제작 활동은 학습자가 자신의 주변에 있는 사물들을 면밀하게 관찰하고 제작 후 직접 사용하는 것에 의의가 있다. 휴대폰 케이스, 열쇠고리, 필통, 거울 등의 제작은 학습자가 일상생활에서 사용하기 쉽고 3D 프린터로 제작이 용이한 활동이다. 이러한 소형의 사물을 재현하는 것이 가장 보편화된 형태의 3D 프린팅 활용 방법이다.

3.3.2 2단계: 상상 표현의 수단

재현보다 한 단계 높은 제작 방식으로, 이는 개별 학습자가 실생활에 직접적으로 활용될 가능성은 낮지만 학습자의 예술적, 창의적 상상적 표현의 수단으로서 3D 프린팅을 활용하는 것이다. 그 예로서, 미래도시를 상상하거나 새로운 디자인을 제안하고 상상에 기반한 캐릭터를 표현해내는 활동들이 포함된다. 혹은 과거의 유물을 상상력을 활용하여 개선하는 작업도 2단계 활동에 속하며, 이는 박물관 수업 과정에서 활용되고 있다. 구체적인 예로, 수원광교박물관에서는 오래되어 손상되거나 외부적 요인에 의해 파괴된 형태의 유물에 대해 학습한 후, 유실된 부분을 학생들이 상상력과 창의성에 기반하여 3D 프린팅을 통해 표현하는 학습활동을 실시하였다.

3.3.3 3단계: 근접한 문제 해결

3단계는 ‘근접한 문제’, 즉 학습자 자신이 생활하는 공간과 그 주변에서 발생하는 문제들에 대한 해결책을 제시하기 위해 협동적으로 3D 프린팅을 활용하는 것이다. 그 예로써, 학습자는 생활하면서 불편을 느꼈던 물건이나 상황 등을 개선하는 해결책을 3D 프린팅을 활용하여 직접 설계해봄으로써 실제적인 문제해결 활동에 참여할 수 있으며 이를 통해 문제해결 사고의 발현이 가능하다.

3.3.4 4단계: 확장된 문제 해결

학습활동 프레임워크에서 가장 고차원적인 4단계는 개인 학습자가 자신 주변의 문제 해결을 넘어서 지역사회 및 세계 공동체와 관련된 보다 거시적 문제를 해결하기 위해 3D 프린팅을 활용하는 것이다. 예를 들면, 최근 미세먼지의 수치가 심각한 수준으로 치솟아 건강에 위협을 주는 상황에서 문제의 근본적인 원인을 학습하고, 이 문제를 예방하거나 방지하기 위한 기능성 제품을 제작하는 활동에 3D 프린팅을 활용함으로써 학생들이 지역사회와 글로벌 사회와 연관된 문제해결 활동에 참여하도록 유도할 수 있다. 이러한 활동은 최근 유엔에서 강조하고 있는 ‘세계시민의식’ 함양에 도움을 줄 수 있으며, 고차원적인 복잡한 문제를 해결하기 위해서는 학습자들의 협동적 상호작용 및 융합적 지식이 필수적이다.

4. 학교현장의 3D 프린팅 활용 교육 탐색

4.1 연구 대상

본 연구의 두 번째 단계는 앞서 제시된 프레임워크를 바탕으로 학교 현장에서 3D 프린팅 활용 교육을 탐색하는 연구를 실시하였다. 수업설계안은 프레임워크의 단계 중 학교현장에서 가장 용이하게 적용 가능한 1단계, 즉 ‘재현을 통한 제작’에 초점을 두면서 학습자의 흥미, 교과와의 연계성, 지식창출 및 공유와 같은 지식적 가치 추구의 측면도 중요하게 고려하여 설계하였다. 본 연구를 위해 3D 프린터가 구비된 대구에 위치한 스마트교육 선도학교를 선정하였고, 6학년 한 개 반의 23명을 대상으로 사례 연구를 실시하였다. 학습자의 성별 비율은 여학생 13명, 남학생 10명으로 거의 동등하였다.

4.2 연구 방법

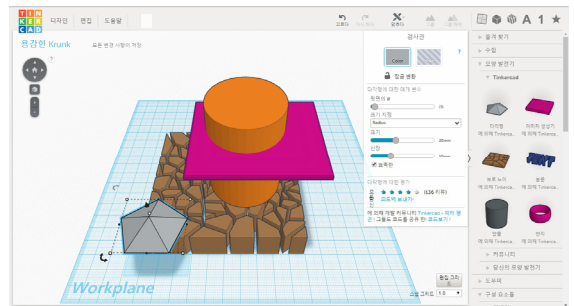
4.2.1 수업설계

본 연구의 3D 프린팅 활용 수업은 초등학교 6학년 수학과 ‘입체도형’ 영역의 원뿔, 원기둥, 구와 관련하여 형태의 이해와 이를 바탕으로 부피를 구하는 주제를 선정하였다. 앞서 제시된 프레임워크와 관련하여 본 수업설계를 설명하면 다음과 같다. 먼저 ‘문제해결 유형’ 측면에서 학생들이 비교적 단순한 입체도형 사물을 재현하는 제작활동에 참여하므로, 학습활동 프레임워크 중 1 단계에 해당한다고 볼 수 있다. ‘협동적 상호작용’ 측면에서 1단계 학습활동은 학습자가 개별적으로 제작에 참여하고, 동료학습자와의 협동과정이 크게 요구되지는 않으나, 본 수업의 경우 활용 가능한 3D 프린터가 두 대로 제한되어 있어 모듈로 수업을 설계할 수밖에 없었다. 수업에서 개별 학생의 경험의 누락이 발생하지 않도록 각 모듈이 10분 간격으로 3D 프린터를 조작하도록 구성하였다. 교사는 학생들이 스스로 3D 프린터를 조작할 수 있도록 사전 훈련을 제공하였다.

학습의 지식적 가치 측면에서 본 수업은 다음과 같은 이유로 3D 프린팅 활동과 ‘교과와의 연계성’을 주요하게 설계에 반영하고자 하였다. 첫째, 교사와의 사전 면담을 통해 학습자들이 교과서의 평면 그림으로 입체 도형의

부피 개념을 이해하는 것에 큰 어려움을 느끼고 있음을 발견하였다. 둘째, 기존에 평면인 종이를 접어서 입체도형을 제작하는 학습 활동이 학생들의 부피 이해 개념에 크게 도움이 되고 있지 못함을 발견하였다. 셋째, 현재 시판되는 입체도형 교구는 부피를 측정할 수 없이 시각적인 정보만을 제공하기 때문에 직접 제작하는 과정을 통해 도형 내부를 관찰할 수 있고, 제작의 과정이 부피의 개념적 이해와 공간에 대한 인지를 향상시킬 수 있을 것으로 판단하였다.

3D 프린팅 제작을 위한 도안 모델링 작업 도구는 온라인 환경에서 쉽고 단순한 조작으로 사용이 가능한 Tinkercad를 사용하였다. Tinkercad는 직관적인 인터페이스(Fig. 3)로 구성되어 있어 초등학생들이 짧은 사전 학습만으로도 도면 설계가 가능하였다. 본 연구에 사용된 3D 프린팅 활용 수업 설계의 개요는 <Table 1>에 요약적으로 제시하였다.



(Fig. 3) Tinkercad interface

<Table 1> 3D printing integrated lesson design

(Elementary Mathematics)	
Topic	Solid shapes: Understanding cones, cylinders, and spheres and finding their volume
Lesson Objectives	Students will learn how to manipulate the 3D printer and create various solid shapes using the 3D printer to find volumes.
Tool	Tinkercad, 3D printer
Activity	<ul style="list-style-type: none"> • Form groups of 2-3 members • Pre-instruction: step-by-step instruction by the teacher on how to manipulate the 3D printer and Tinkercad • Modeling various solid shapes with Tinkercad • Printing the output & Perform post-printing activities

4.2.2 데이터 수집 및 분석

본 연구는 3D 프린터를 사용한 학습자의 전반적 학습경험을 측정하기 위한 설문과 수업 담당 교사의 인터뷰를 실시하여 교수자와 학습자 양 집단의 관점을 파악하고자 하였다.

먼저, 학습자 경험 평가를 위한 설문지는 총 16문항으로 크게 1) 전반적 학습 경험(Overall learning experience): 개념학습이 이루어졌는가, 2) 공간감(Sense of space): 대상의 깊이감, 넓이 등을 입체적으로 파악할 수 있는가, 3) 사용성(Usability): 기기 조작의 자율성과 용이성은 어떠한가, 4) 학습경험의 질(Quality of learning): 3D 프린팅 사용 경험이 학습 능력의 증진으로 연결되는가, 5) 만족감(Overall satisfaction): 학습경험의 전반적인 만족감이 이루어졌는가의 다섯 가지 요소를 측정하도록 구성하였다. 모든 문항은 Likert 5점 척도(1점: 전혀 아니다, 5점: 매우 그렇다)로 구성하였다. 기술통계를 통해 평균과 표준편차로 각 요인 및 문항별 반응을 분석하였다. 또한 남-녀 학생 간 독립표본 t-test를 실시하여, 3D 프린팅과 같이 기술적 조작과 설계가 핵심이 되는 학습활동에서 성별간의 차이가 있는지도 탐색적으로 비교하고자 하였다.

교사 인터뷰 문항은 반구조화된 형식으로 3D 프린팅을 활용한 수업을 실시한 후에 느낀 장점과 단점, 앞으로 이를 도입했을 때 발생할 수 있는 이슈 등에 대한 질문을 위주로 구성하였다. 구체적으로 1) 기존 수업과 3D 프린팅 수업의 차이점, 2) 학습 용이성, 3) 3D 프린팅을 학교 현장에 도입하기 위한 근거, 4) 3D 프린팅을 현장에 도입했을 때 발생할 수 있는 이슈, 5) 지속가능성을 파악하기 위한 질문 등으로 구성하였다. 인터뷰는 수업 후 1시간 동안 진행되었으며, 전사 기록에서 유사 단어를 중심으로 오픈 코딩 작업을 실시하였다. 이후 질적연구에서 일반적으로 사용하는 축소에 의한 ‘주제 분류(theme categorization)’ 방법을 적용하여 내용 분석을 실시하였다.

4.3 연구 결과

4.3.1 학습자 경험 평가 결과

참여 학습자들의 3D 프린팅 활용 수업의 학습 경험을

파악하기 위해 기술통계를 실시하였다. <Table 2>에 제시된 바와 같이, 전반적 학습경험의 평균은 4.09(SD=.82)이고, 공간감 요인의 평균은 4.17(SD=.83), 사용성 요인의 평균은 3.72(SD=.59)으로 나타났다. 학습경험의 질 항목의 평균은 4.02(SD=.75)이고 만족감의 평균은 4.15(SD=.80)로 나타났다. 이를 통해 학생들이 전반적으로 3D 프린팅 활용과 관련된 대부분의 요인에서 긍정적인 경험을 한 것을 확인할 수 있으나, ‘사용성’ 요인은 상대적으로 낮은 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 사용성 관련 문항을 구체적으로 살펴본 결과, “나는 내가 원하는 방향으로 이 3D 프린팅을 사용할 수 있었다”(M=3.73, SD=.86)와 “나는 Thinker CAD에서 내가 원하는 도형을 쉽게 만들 수 있었다”(M=3.82, SD=.83)의 평균이 상대적으로 낮게 나타난 점을 발견할 수 있었다.

<Table 2> Descriptive statistics(N=23)

Factor	Mean	SD
Overall learning experience	4.09	.82
Sense of space	4.17	.83
Usability	3.72	.59
Quality of learning	4.02	.75
Overall satisfaction	4.15	.80

추가적으로 3D 프린팅 활용에서 성별에 따른 차이가 있는가를 살펴보기 위하여 독립표본 t-test 실시하였다. 분석결과 <Table 3>에 제시된 바와 같이, 전반적으로 남학생의 평균이 여학생보다 높게 나왔으며, 학습경험의 질을 제외한 모든 항목에서(전반적 학습경험, 공간감, 사용성, 만족감) 성별에 따라 통계적으로 유의한 수준의 차이가 있는 것으로 나타났다.

<Table 3> Independent samples t-test results by gender

Factor	Male (N=10)		Female (N=13)		t	p
	M	SD	M	SD		
Overall learning experience	4.50	.75	3.78	.76	2.24*	.04
Sense of space	4.60	.70	3.84	.80	2.36*	.03
Usability	4.22	.56	3.34	.22	5.21*	.00
Quality of learning	4.30	.64	3.82	.79	1.57	.13
Overall satisfaction	4.55	.48	3.84	.88	2.27*	.03

(*p<.05)

4.3.2 교사 인터뷰 결과

학생 설문조사와 더불어 교사의 관점에서 3D 프린팅 기술이 교실 수업에서 활용될 때, 교육적 활용의 가능성과 제한점을 분석하기 위해 교사 인터뷰를 진행하였다. 인터뷰 분석 결과 다음의 네 가지 주제를 주요하게 파악할 수 있었다.

첫째, 3D 프린팅을 학교현장에 효과적으로 적용하기 위해서는 개별 교사가 3D 프린팅 활동과 교과과정 및 수업 내용과의 연계성을 살리는 것이 중요하다. 특히, 교과과정과 수업일정을 맞추기 위해 실제적으로 교사가 의지를 가지고 학교와 조율하는 등 적극성이 중요함을 강조하였다.

둘째, 기존 수업과의 차별성에 대해서는 기본적으로 교사가 수업에 임하는 과정과 태도가 차별성을 가진다고 했다. 해당 수업을 위해 교과 지도안에서 나아가 2차원 그림 자료나 전개도를 접는 활동을 추가적으로 찾아보고, 시판교구 현황을 답사하는 등의 사전 준비를 통해 교사가 스스로 주제를 심화학습하며 이해하는 과정을 거쳤다고 말했다. 또한 학생들이 3D 프린팅 기술을 통해 실제 도형을 직접 제작할 수 있게 됨에 따라 부피 등의 고차원적인 수학 개념을 이해하는데 있어서 보다 수월했다는 의견을 주었다. 특히 기존의 교구와는 달리 3D 프린팅을 활용하여 학습자 요구에 맞는 교구를 맞춤형으로 제작할 수 있다는 장점도 강조하였다.

셋째, 교육적 효과성에 대해서는 수학 과목의 성취도가 향상해 학습 효과가 있었음을 확인하였다. 교사는 학기말 성취도 검사에서 본 실험에 참여한 학급의 수학 성취도가 다른 반에 비해서 높았던 점을 본 수업의 효과성과 연계하여 설명하였다. 창의체험 및 방과후 활동과 같이 교과학습과 직접 연계되지 않더라도 다양한 학습활동에 3D 프린팅이 활용될 수 있는 가능성도 제시해 주었다. 더불어 3D 프린팅을 활용한 입체도형 제작 과정 자체가 삼차원적 공간감각 및 부피의 개념을 체험할 수 있는 학습의 과정이 된다는 효과성을 강조하였다.

넷째, 현장도입 이슈와 관련하여 새로운 기술을 도입하기 위해서는 교사가 스스로 배우고 실행하려는 의지가 가장 중요하다고 언급했다. 물리적인 이슈는 기기와 설치 공간의 부족을 언급하며, 수업에서 기기가 즉각적으로 반응하지 않는 경우가 빈번하게 발생하기 때문에

이를 해결하기 위한 환경 개선이 우선임을 강조하였다.

마지막으로 지속가능성과 관련하여 활용사례의 부족을 큰 장애물로 언급했다. 3D 프린팅을 활용한 수업이 아직 일반화되지 않았기 때문에 교수학습 내용 및 방법이 부족하다는 점을 한계로 들 수 있다. 따라서 현장에서 3D 프린팅 교육이 확산되기 위해서는 교사 개인의 시도뿐만 아니라 다양한 관점에서의 연구 자료 및 실용적 가이드라인의 보급이 필요하다는 의견을 주었다.

5. 결론 및 시사점

최근 4차 산업혁명의 도래와 더불어 신기술의 교육적 활용에 대한 관심이 높아지고 있다. 다양한 신기술 활용의 가능성이 제기되고는 있으나, 아직 대부분의 신기술들은 도입단계에 머물러 있으며 현장에 확산적으로 활용되지 못하고 있는 실정이다. 이와 같은 맥락에서 본 연구는 신기술 중 학교에서 도입가능성이 높다고 판단된 메이커스페이스 중 3D 프린팅 활용 교육을 연구대상으로 선정하여, 크게 1) 3D 프린팅 활용을 위한 학습활동 프레임워크 제안과 2) 3D 프린팅 활용 교육의 현장 적용 가능성을 모색하는 두 단계의 연구를 실시하였다.

첫 번째 연구목적의 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다. 선행 연구와 다양한 분야에서의 3D 프린팅 활용 현황을 종합하여, 3D 프린팅을 활용한 학습활동 프레임워크를 제안하였다. 각 단계는 학습활동의 복잡도 및 협동적 상호작용의 수준에 따라 네 단계로 구분된다. 해당 프레임워크의 단계는 학습자들이 낮은 단계에서 높은 단계로 상향할수록 고차원적인 문제 해결과정을 경험하도록 설계되었지만, 반드시 높은 단계의 학습활동만을 지향하지 않도록 구성했다. 외부 세계와의 연계성과 문제 해결과정의 복잡성, 협동적 상호작용 정도가 분류에서 고려되었다. 또한 신기술에 대한 단순한 흥미를 넘어서, 학습의 지식적 가치를 3D 프린팅 활동 설계의 전제로 설정하였다. 학습의 지식적 가치는 흥미, 교과연계성, 지식 창출의 가능성, 지식 공유의 가능성으로 설정하고, 적용 요소에 따라 활동의 가치를 판단하는 기준으로 제안하였다.

두 번째 연구목적인 학교현장에서의 사례 연구의 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다. 참여 학습자들은 전반적으로 3D 프린팅 기술을 활용한 수업에 대해 긍정

적인 학습경험을 보였으며 학습경험의 질 및 만족감 또한 높은 것으로 나타났다. 특히 학습경험의 재미요소, 학습의 용이성 및 효과성에 대해 학생들이 상당히 긍정적으로 느끼는 것으로 나타난 점을 통해 3D 프린팅을 활용한 수업의 효과성에 대해 흥미와 인지적 학습 모두에서 긍정적 태도 및 인식을 유추할 수 있다. 반면, 학습자가 3D 프린팅의 사용성을 직관적이고 용이하게 느끼지 못했던 측면이 있었음을 발견할 수 있었다. 모든 영역에서 남학생이 여학생보다 높은 긍정적 학습 경험을 한 것으로 보아, 새로운 기술을 사용한 학습 상황에서 남학생이 여학생보다 상대적으로 빨리 적응한 것으로 유추할 수 있으며, 이는 수업관찰 및 담당교사와의 면담을 통해 확인할 수 있었다.

3D 프린팅 활동은 학습자들의 아이디어 창출 및 창작적 경험이 주는 만족감에 큰 가능성을 부여하였으며, 교사의 경우도 창작적 활동 자체가 가지는 교육적 가치 및 학습의 효과성에 주목하였다. 반면, 제한점으로는 학급 전체가 동시적으로 활용가능한 수준의 3D 프린터가 절대적으로 부족하다는 점과 창작활동을 위한 공간 부족 등 실질적 어려움에 대한 의견을 주었다. 특히 교사의 경우 3D 프린팅 기술 자체의 학습적용 가능성 및 효과성에 대해 긍정적 인식을 가지고 있음에도 불구하고, 수업 설계 시 참고할만한 실천적 사례가 부족하다는 점을 중요한 제한점으로 지적하였다.

본 연구결과를 종합하여 3D 프린팅의 교육적 활용을 위한 시사점을 다음과 같이 제시하고자 한다. 첫째, 학교 현장에서 교사는 프레임워크를 활용하여 교육할 주체가 되기 때문에 교사변인이 중요하다. 영국교육부는 21개 학교를 대상으로 한 STEM 기반의 3D 프린터 프로젝트 운영 결과, 교과과정과 3D 프린팅 기술을 통합하는데 있어 자신감이 넘치고, 혁신과 실험을 두려워하지 않는 교사들의 경우에 가장 성공적이었음을 보고하였다[8]. 더불어 교사들이 학교 또는 교과과정에 새로운 기술을 적용할 충분한 시간과 훈련이 필요함을 지적하고 있는데, 이는 새로운 기술을 도입하기 위해서는 교사가 스스로 배우고자 실행하려는 의지가 가장 중요하며, 교사가 수업에 임하는 과정과 태도의 변화를 가져왔다는 본 연구의 결과와 일맥상통하는 결과이다.

둘째, 3D 프린팅 활용 활동이 교과와의 연계성을 가지고 설계 및 실행될 경우 학습 흥미 및 인지적 이해도

증진에 효과를 가져올 수 있다. 학습 효과 측면에서 영국교육부의 연구는 집중력이 좋지 않은 학생들이 3D 프린터를 활용한 학습에서 결과를 더 빠르고 직관적으로 얻게 됨에 따라 수업에 대한 흥미를 유지하는데 효과적이었으며, 기존 수업에서는 경험할 수 없었던 모양과 요소들을 직접 만들 수 있게 됨으로서 이해도를 높였음을 보고하고 있다. 이는 3D 프린팅 기술을 통해 실제 도형을 직접 제작할 수 있게 됨에 따라 부피 등의 고차원적인 수학 개념을 이해하는데 있어서 보다 수월했다는 본 연구의 결과와 일치된다. 물론 학습의 효과성은 3D 프린터 조작 활동에만 기인한다기 보다는, CAD를 통한 도면 모델링 과정, 협동적 문제 해결과정, 제작과정을 통한 호기심 및 관찰 능력 향상 등이 3D 프린팅 활용을 둘러싼 활동의 총체적 영향으로 간주해야 할 것이다.

셋째, 메이커스페이스 및 학습의 연계주의적 관점에서 3D 프린팅 활동을 확장된 문제 해결과 지식창출 및 공유의 문화를 확산하기 위해 적용할 필요가 있다. 비록 본 연구에서는 1단계 재현을 통한 제작에만 초점을 두었으나, 향후 학습활동 프레임워크가 제시하는 바와 같이 창의적 상상 표현 및 확장된 문제 해결 과정 등 다양한 활동에서 3D 프린팅이 활용될 수 있다. 특히, 3D 프린팅 활동이 STEAM 교육 및 융합지식 함양에 적용 가능성이 큰 만큼, 향후 다양한 교수-학습 활동 적용 사례가 발굴 및 공유될 필요가 있다.

본 연구의 제한점은 프레임워크를 바탕으로 제시한 수업설계안이 1단계 재현을 통한 제작에만 적용되었기 때문에, 3D 프린팅을 고차원적 단계에 적용하기 위한 다양한 가능성을 논하기에 제한점이 있다. 또한 프레임워크의 전체 단계에 대한 교수설계안이 개발되지 않았기 때문에, 후속 연구로 각 단계에 대한 교수설계안을 개발하여 이에 대한 효과성을 검증하기 위한 연구가 진행되어야 할 것이다. 마지막으로 사례 연구가 한 학급만을 대상으로 실시되었으므로 학습경험 및 남녀 학생 간 차이에 관한 통계적 결과를 일반화기에 제한점을 가진다. 이러한 점에도 불구하고, 본 연구는 향후 3D 프린팅 활동 설계를 가이드 할 수 있는 거시적 프레임워크를 제안하고, 단순 흥미를 넘어서 교과연계성을 가지는 3D 프린팅 활동의 가능성을 탐색했다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다.

참고문헌

- [1] Adams Becker, S., Cummins, M., Davis, A., Freeman, A., Hall Giesinger, C., & Anathanarayanan, V. (2017). *NMC horizon report: K-12 education edition*. Austin, Texas: The New Media Consortium.
- [2] Anderson, T., & Dron, J. (2011). Three generations of distance education pedagogy. *The International Review of Research in Open and Distance Learning*, 12(3), 80-97.
- [3] Brown, A. (2015). 3D Printing in instructional settings: Identifying a curricular hierarchy of activities. *TechTrends*, 59(5), 16-24.
- [4] Buehler, E., Grimes, S., & Grimes, S. (2015). Investigating 3D printing education with youth designers and adult educators. *FabLearn 2015*.
- [5] Byun, M. K., & Jo, J. H., & Cho, M. H. (2015). The analysis of learner's motivation and satisfaction with 3D printing in science classroom. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(5), 877-884.
- [6] Cho, H. H., & So, H. S., & Jung, J. H., & Lee, J. Y. (2014). 3D printing and free semester math. *Proceedings of the KSME 2014 Spring Conference on Math. Edu.* 2014(1), 209-215.
- [7] Choi, H. S., & Yu, M. R. (2015). A study on educational utilization of 3D printing: Creative design model-based class. *Journal of The Korean Association of Information Education*, 19(2), 167-174.
- [8] Department of Education, UK. (2013). 3D printers in schools: uses in the curriculum. *School and college qualification and curriculum (October, 2013)*.
<https://www.gov.uk/government/publications/3d-printers-in-schools-uses-in-the-curriculum>
- [9] EDUCAUSE Learning Initiative. (2013). 7 things you should know about makerspaces. *EDUCAUSE(April 9, 2013)*,
<http://www.educause.edu/library/resources/7-things-you-should-know-about-makerspaces>
- [10] Eisenberg, M. (2013). 3D printing for children: What to build next?. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 1(1), 7-13.
- [11] Eom, J. T., & Kwon, Y. J., (2016). Development of the biomimicry - Focused convergence teaching program using 3D modeling & printing in life science. *Biology Education*, 44(4), 658-673.
- [12] Ji, S. H., & Nam, Y. S. (2007). An inquiry into the orientation of education for sustainable development in the 21st century knowledge-based society. *The Environmental Education*, 20(1), 62-72.
- [13] Johnson, L., Brown, M., Adams Becker, S., Cummins, M., & Diaz, V. (2016). *Horizon report 2016 higher education edition*. New Media Consortium.
- [14] Kop, R., & Hill, A. (2008). Connectivism: Learning theory of the future or vestige of the past? *International Review of Research in Open and Distance Learning*, 9(3), 1-13.
- [15] Lee, I. H., & Shin, J. M., & Cho, H. Y. (2015). Design and operation of 3D printing education curriculum in mechanical engineering. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 14(3), 21-26.
- [16] Lee, Y. C., & Kim, H. P. (2015). The effects of an invention education program using 3D design and 3D printers on elementary school students' creativity. *The Journal of Practical Arts Education Research*, 21(3), 39-54.
- [17] Leigh, S. J., Bradley, R. J., Purssell, C. P., Billson, D. R., & Hutchins, D. A. (2012). A simple, low-cost conductive composite material for 3D printing of electronic sensors. *PLoS one*, 7(11), e49365.
- [18] Linnenbrink, E. A., & Pintrich, P. R. (2004). Role of affect in cognitive processing in academic contexts. *Motivation, emotion, and cognition:*

Integrative perspectives on Intellectual functioning and development, 57-87.

- [19] Park, K. (2014). Applications of 3D CAD and 3D printing in engineering design education. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering* 31(12), 1085-1091.
- [20] Smith, R. C., Iversen, O. S., & Hjorth, M. (2015). Design thinking for digital fabrication in education. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 5, 20-28.

저자소개



소 효 정

2000 이화여자대학교(특수교육학 학사)
 2002 (미)Indiana University(교수 체제공학과 석사)
 2005 (미)Indiana University(교수 체제공학과 박사)
 2005-2013 싱가포르 난양공대, NIE 교수
 2013-2015 포항공과대학교 창의 IT융합공학과 교수
 2016-현재 이화여자대학교 교육 공학과 교수
 관심분야: 모바일 학습, CSCL, HCI
 e-mail : hyojeongso@ewha.ac.kr



이 지 향

2015 이화여자대학교(섬유예술학 학사)
 2015-2016 일드프랑스 어린이 미술관 에듀케이터
 2016-현재 이화여자대학교 교육 공학과 석박사통합과정 재학
 관심분야: 모바일 학습, CSCL, HCI, 교수설계
 e-mail : ljhyang@ewha.ac.kr



계 보 경

2001년 : 이화여자대학교 교육공학과(뉴미디어기반교육 석사)
 2007년 : 이화여자대학교 교육공학과(뉴미디어기반교육 박사)
 1999년 : 한국교육공사 부설 멀티 미디어 교육지원센터 연구원
 2008-2009: Univ. of Michigan, HICE 연구소 객원연구원
 1999년~ 현재 : 한국교육학술정보원 미래교육연구본부 책임연구원
 관심분야: 미래교육, 뉴미디어 기반 학습환경 설계, 데이터 시각화, 정서적 컴퓨팅
 e-mail : kye@keris.or.kr