

가상현실 기반 3D 프린팅 트러블슈팅 가이드라인 개발

권슬희¹ · 황동욱^{2*}

¹광운대학교 미디어커뮤니케이션학부 학사과정

²광운대학교 미디어커뮤니케이션학부 조교수

Development of 3D Printing Troubleshooting Guidelines in Virtual Reality

Seul-Hee Kwon¹ · Dongwook Hwang^{2*}

¹Bachelor's Course, School of Media and Communication, Kwangwoon University, Seoul 01890, Korea

²Assistant Professor, School of Media and Communication, Kwangwoon University, Seoul 01890, Korea

[요약]

4차 산업혁명 시대의 도래로 새로운 기술 산업이 주목받고 있지만, 3D 프린팅은 여전히 대중이 손쉽게 사용하기 어려운 기술로 분류된다. 이는 3D 프린터를 직접 활용할 수 있는 메이커스페이스 장소의 부재, 3D 프린팅 제조 방식 다양성, 이에 따른 표준화되지 않은 3D 프린터 학습 내용 등 3D 프린팅 확산에는 여러 가지 어려움이 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하고 3D 프린팅 확산에 기여하고자 교육 매체로서의 효과성 측면에서 주목받고 있는 가상현실 기술을 활용한 3D 프린터 교육 콘텐츠를 개발하고자 한다. 이를 위해 3D 프린팅의 전반적인 과정을 조사하고, 3D 모델링 다운로드, 슬라이싱 작업, 프린터 출력 인터페이스 등 전반적인 프린팅 과정에서 발생할 수 있는 문제 상황 등을 가상 환경에서 간접적으로 경험할 수 있는 교육 콘텐츠를 제안한다. 또한, 해당 교육 콘텐츠에 대한 효과성을 분석하고자 사용자성 평가를 진행했다. 연구 결과, 가상현실 콘텐츠의 사용자성 측면에서 준수한 수준을 보였으며 가상 환경에서의 문제 상황에 대한 간접 경험과 이에 대한 교육적 효과도 제시하였다. 본 연구 결과를 통해 추후 3D 프린팅 기술 보급 및 활용, 메이커 교육 방식에 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.

[Abstract]

While the advent of the Fourth Industrial Revolution has sparked a wave of new technology, 3D printing continues to be considered a difficult technology to access. This can be attributed to various challenges, such as the lack of makerspace where 3D printers can be utilized, the diversity of 3D printing methods, and the lack of standardized educational content for 3D printing. To overcome these issues, this study aims to develop educational content for 3D printing using virtual reality technology, which is known as an effective educational medium. The educational content allows users to experience all printing processes, such as 3D modeling, slicing operations, and output interfaces, in a virtual reality environment. A pilot study was conducted to analyze the effectiveness of the VR content, and the results revealed that it positively impacted usability and effectiveness measures. The study findings are expected to contribute to the dissemination and utilization of 3D printing technology and maker education methods in the future.

색인어 : 3D 프린팅, 가상현실, 교육 콘텐츠, 사용자성, 현존감

Keyword : 3D Printing, Virtual Reality, Educational Content, Usability, Presence

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.7.1977>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 30 June 2024; **Revised** 19 July 2024

Accepted 25 July 2024

***Corresponding Author; Dongwook Hwang**

Tel: +82-2-940-8453

E-mail: dongwookkr@kw.ac.kr

I. 서론

최근 10년간 제조 산업은 3D 프린팅 기술의 급속한 발전과 함께 근본적인 변화를 경험하고 있다. 3D 프린팅 기술은 나노 또는 마이크로 크기의 물질을 적층하여 입체 형상을 가공하는 혁신적인 방법으로 제품 설계, 개발, 및 생산 방식에 있어서 중대한 변혁을 가져왔다[1]. 1984년에 Chuck Hull에 의해 최초로 상용화된 이 기술은 단순한 제조 과정의 혁신을 넘어서, 자동차, 항공우주, 의료, 건축, 패션, 교육 등 다양한 산업 분야에서 복잡한 형상의 제품을 신속하고 경제적으로 생산할 수 있는 능력 덕분에 현대 산업의 핵심 요소로 자리매김하였다[2],[3]. 예컨대, 자동차 산업에서는 프로토타입 제작, 최종 부품 제작, 도구 제작에 이르기까지 3D 프린팅을 활용하여 제품 개발 시간과 비용을 절감하고 있으며[4], 항공우주 분야에서는 고성능, 경량 부품 제조에 있어 이상적인 해결책으로 여겨지고 있다[5]. 의료 분야에서는 인공 심장[6], 인공 각막[7] 등 생체 조직부터 맞춤형 의료 기기에 이르기까지 3D 프린팅의 가능성이 탐색되고 있다.

3D 프린팅 기술의 중요성이 증가함에 따라 산업 분야뿐만 아니라 일상생활에서도 널리 활용되고 있다. 이는 미래에는 개인이 필요로 하는 제품의 상당수를 직접 제작할 수 있을 것이라는 전망을 가능하게 한다[8]. 또한, 모델링 기반의 3D 프린터를 활용한 융합 교육은 초등학생들의 컴퓨팅 사고력을 향상시키고 문제 해결 능력과 창의적 사고력을 동시에 개발할 수 있는 기회를 제공한다[9]. 이러한 연구 결과는 3D 프린터 교육의 필요성을 더욱 부각시킨다.

그러나, 가정과 학교에서의 3D 프린터 사용이 증가함에도 불구하고 고가의 장비 비용과 교육 환경 구축의 어려움 등 여러 문제가 동반되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 장비를 대여하거나 관련 내용을 교육하기 위해 국내에 신설된 공간인 메이커스페이스(Makerspace)와 같은 공간이 신설되어 있지만 관련 기술에 쉽게 접근하기는 여전히 어렵다[10]. 또한, 2023년부터 ‘메이커스페이스’ 신규 사업은 진행하지 않는다는 소식에 따라 앞으로 더욱 접근하기 어려워질 것으로 예상된다[11]. 더불어, 3D 프린팅 기술의 효과적 활용을 위해 장비의 작동 원리, 주의사항, 제조 과정에 대한 사전 지식은 필수적이다. 부족한 지식은 설계 오류를 유발하고, 이는 출력 시간의 낭비와 함께 필라멘트와 같은 소모품에 대한 경제적 손실을 초래한다. 오류가 발생하면 출력물을 처음부터 다시 제작해야 하며, 이 과정에서 발생하는 추가 비용은 특히 소규모 프로젝트나 개인 사용자에게 큰 부담이 된다. 따라서, 3D 프린팅을 시작하기 전 충분한 사전 교육과 준비를 통해 가능한 오류를 최소화하고 경제적 손실을 방지하는 것이 중요하다.

이러한 상황에서, 가상현실(Virtual Reality, 이하 VR) 기술을 활용한 교육 콘텐츠는 경제적이며 접근성을 향상시킬 수 있는 유망한 대안으로 제시된다. VR 기술을 통한 경험은 사용자가 실제 환경을 간접적으로 체험할 수 있을 뿐만 아니

라, 가상 세계에서 실제 세계와 유사한 상호작용을 가능하게 하여 훈련이나 재화에 있어 인지 능력, 기억력, 집중력의 향상을 이끌어낼 수 있다[12]. 또한, VR 환경에 기반한 교육자료는 기존 체험과 달리 별도의 공간 요구 없이 헤드 마운트 디스플레이 (Head-Mounted Display, 이하 HMD)만을 이용해 언제든지 교육을 진행할 수 있는 경제적 이점을 제공한다[13]. 이는 실제 기계 사용으로 인한 필라멘트나 시간의 손실을 방지하고, 사용자가 가상 환경에서 실제와 유사한 경험을 할 수 있게 함으로써, 3D 프린터의 기초적인 지식과 실질적인 사용법을 습득할 수 있도록 한다.

본 연구의 목표는 VR 환경에서 3D 프린팅 과정을 시뮬레이션하는 콘텐츠를 제작하여 전반적인 사용법을 학습하도록 하고, 프린팅 과정에서 빈번하게 발생하는 문제 상황을 트러블슈팅(Troubleshooting)으로 지정하고 이를 가상현실에서 직접 경험할 수 있도록 함으로써 발생할 수 있는 결과물의 차이와 이를 해결하기 위한 적절한 가이드라인을 제공하는 것이다. 이를 통해 3D 프린팅 기술의 보다 효과적인 교육 및 활용 방안을 모색하고자 한다.

II. 선행연구

2-1 3D 프린팅

3D 프린팅 기술은 현대 제조업의 패러다임을 변화시키고 있는 적층 제조 과정의 일환으로, 디지털 모델을 물리적 형태로 전환하는 데 사용된다. 이 기술의 기본 원리는 컴퓨터에서 생성된 3D 디자인을 실제 물체로 변환하는 것이다[14]. 이 방법은 다양한 재료를 사용하여 복잡한 형태와 구조를 가진 물체를 비교적 빠른 시간 내에 제작할 수 있게 한다. 이는 특히 프로토타입 제작, 맞춤형 제품 제작, 복잡한 부품 제작 등에 있어 전통적인 제조 방식에 비해 상당한 이점을 제공한다[3].

3D 프린팅 과정은 먼저 3D 모델을 컴퓨터 지원 설계 (Computer Aided Design, 이하 CAD) 소프트웨어를 사용하여 생성하거나 3D 스캐닝을 통해 실제 객체에서 얻은 데이터를 기반으로 시작한다[15]. 이러한 디지털 모델은 그 다음 슬라이싱 과정을 거쳐, 프린터가 이해할 수 있는 지시어로 변환되며, 이는 프린터에게 각 층을 어떻게 구축할 것인지에 대한 세부 지침을 제공한다[16]. 슬라이싱 과정은 3D 모델을 실제로 출력할 수 있는 지시어로 변환하는 과정이다. 슬라이싱 단계를 마친 후, 3D 프린터는 지정된 재료를 사용하여 모델의 각 층을 순차적으로 쌓아 올리는 방식으로 실제 객체를 생성한다. 이때 사용되는 재료는 플라스틱, 금속, 세라믹, 그래핀 기반 재료 등 다양한 종류의 재료를 사용할 수 있으며[17], 프린팅 기술에는 스테레오리소그래피(Stereolithography, 이하 SLA), 선택적 레이저 소결(Selective Laser Sintering, 이하 SLS), 전자빔 용융(Electron Beam Melting, 이하 EBM),

그리고 용융 적층 제조(Fused Deposition Modeling, 이하 FDM) 등이 있으며[18], 각각의 기술은 특정 재료와 용도에 최적화되어 있다.

3D 프린팅 기술의 핵심은 3D 모델링, 슬라이싱, 그리고 출력이라는 세 가지 기본 과정에 집중된다. 이 과정들은 프린팅의 성공에 있어 가장 기본적이면서도 필수적인 요소로 간주되며, 각 단계의 과정이 최종 제품의 품질에 직접적인 영향을 미친다[19]. 비전문가가 3D 프린팅을 사용할 때 발생하는 오류는 주로 이 기본 과정에서의 트러블슈팅 문제로 인해 발생한다. 특히, 외부에서 다운로드한 모델을 활용하는 경우, 슬라이싱 단계와 프린터 출력 과정에서의 잘못된 설정이 가장 빈번한 오류 원인이다[11]. 가장 치명적인 오류 중 하나는 출력물의 품질 저하나 손상이며, 이는 프린팅 과정의 정밀성이 결여되었을 때 발생한다. 이러한 오류 중 하나로, 초보자의 미숙한 슬라이싱 설정으로 인해 불필요한 지지대 구조 생성이다. 지지대 생성은 비록 치명적인 문제는 아닐 수 있으나, 자원의 낭비와 후처리 작업을 필요로 하여 전체적인 제조 시간과 비용을 증가시키는 주요 요인으로 작용한다.

따라서, 본 콘텐츠는 사용자가 슬라이싱 소프트웨어와 3D 프린터의 사용법을 미리 익히는 것의 중요성을 강조하고 불필요한 지지대 생성을 최소화하는 방법을 학습한다. 이는 3D 프린팅 과정의 최적화를 도모하고, 프로젝트의 효율성과 경제성에 긍정적인 영향을 미치며, 고품질의 출력물을 보장하는데 필수적인 절차이다. 특히 초보자가 이 과정에서 발생할 수 있는 오류를 인식하고 이를 방지하기 위한 사전 지식을 습득하는 것은 중요하다. 이를 통해 3D 프린팅 기술의 복잡성과 중요성을 인식하고, 보다 효율적이고 효과적인 제조 프로세스를 설계하고 구현할 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

2-2 VR

VR은 ‘다른 환경에 몰입할 수 있는 경험을 제공하기 위해 하드웨어와 소프트웨어가 통합된 기술’로 정의할 수 있다[20]. 이는 사용자가 몰입감을 느낄 수 있도록 3D 그래픽, 음향, 센서 기술 등을 종합적으로 활용하여 구현되며, 주요 구성 요소로는 HMD, 모션 컨트롤러, 추적 시스템 등이 있다. 이러한 구성 요소들은 사용자가 가상의 세계에서 물리적 상호작용을 경험하게 한다[21]. 또한, VR은 그 몰입도에 따라 비몰입형 VR, 반몰입형 VR, 완전 몰입형 VR로 나눌 수 있다. 비몰입형 VR은 데스크탑 VR과 같이 화면을 통해 가상 환경을 경험하는 형태로, 몰입도가 낮다. 반몰입형 VR은 케이브(CAVE) 시스템처럼 사용자가 특정 공간에서 가상 환경을 경험하는 형태로, 중간 정도의 몰입도를 제공한다. 완전 몰입형 VR은 HMD를 이용한 VR로, 사용자가 완전히 가상 환경에 몰입할 수 있는 형태이다[22].

또한, Walsh와 Pawlowski에 따르면 VR 기술은 현존감(Presence), 몰입(Immersion), 상호작용성(Interactivity)

이라는 세 가지 핵심 요소를 바탕으로 다양한 분야에서 활용되고 있다[23]. 현존감은 사용자가 기술로부터 받는 경험에 몰입하여 해당 기술의 매개 역할을 인지하지 못하는 사용자의 심리적 현상이며[24], 이는 사용자의 인지 과정과 학습 효율에 긍정적인 영향을 미친다[25]. 몰입은 사용자가 3D 그래픽 환경에 완전히 빠져들어 기존의 현실 세계에서 벗어나 3D 환경에 실제로 존재하는 것처럼 느끼는 것이며[26], 이것은 사용자에게 동기부여와 흥미를 유발하고 특히 교육환경에서 중요하다고 여긴다[27]. 상호작용성은 주어진 환경 내에서 자유롭게 행동하고 그 환경이나 존재에게 행하는 모든 행위를 가리킨다[28]. 즉각적인 상호작용과 강화된 학습 몰입은 학습자의 학습성취도를 개선하는데 중요한 역할을 한다[29].

VR은 엔터테인먼트, 교육 및 훈련, 의료, 산업 및 제조, 사회적 응용 등 다양한 분야에서 활용될 수 있다[30]. 엔터테인먼트 분야에서는 게임, 영화, 테마파크 등에서 몰입감 있는 경험을 제공하며, 교육 및 훈련에서는 시뮬레이션, 원격 교육, 의료 훈련 등에 사용된다. 의료 분야에서는 치료, 재활, 정신 건강 관리에 활용되며, 산업 및 제조 분야에서는 제품 디자인, 프로토타입 테스트, 원격 조작 등에 사용된다. 또한, 사회적 응용 분야에서는 소셜 VR, 가상 회의, 원격 근무 등에서 새로운 형태의 상호작용을 가능하게 한다.

2-3 VR 기반 학습 콘텐츠

VR 기반 학습 콘텐츠는 학습자에게 몰입감과 상호작용성을 제공하여 기존의 교육 방식과는 차별화된 학습 경험을 제공한다. 이러한 콘텐츠는 다양한 분야에서 활용되며 특히 복잡한 개념이나 실험적인 절차를 이해하고 체험하는데 유용하다. 기존의 VR 기반 학습 콘텐츠는 다양한 분야에서 개발되고 있고, 이에 대한 효과성을 제시하고 있다. 예를 들어, VR을 이용한 안전교육은 실제 상황을 모방하여 학습자의 이해도와 반응 속도를 향상시키는 것으로 나타났다[31]. 해당 연구를 통해 VR 기반 교육이 안전 의식의 증진 및 실제적인 안전 행동의 변화를 이끌어내는데 중요한 역할을 한다는 것이 입증되었다. 또한, VR을 활용한 미래사회 진로교육 프로그램 연구에서는 VR이 학습자의 진로인식 변화에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 확인했다[32]. 특히, 자기 이해와 진로 태도에 있어서 유의미한 변화를 가져왔으며, 학습자들은 높은 흥미도와 만족도를 보였다. 언어 학습 분야에서도 VR 환경에서의 언어 학습이 학습자의 언어 불안감을 감소시키고 회화 능력 향상에 긍정적인 영향을 미친다는 결과를 밝혔다. 이외에도 VR을 이용한 치과 수술 시뮬레이션이 학생들의 실습 능력 향상에 기여한다는 연구 결과나 초등학생을 대상으로 한 VR 콘텐츠 학습이 학생들의 과학적 태도 및 공간감각에 긍정적인 영향을 미친다는 연구결과를 확인할 수 있다[33],[34]. 이러한 연구 결과들로 VR 기술이 교육의 질에 긍정적인 기여를 한다는 결과를 확인할 수 있다.

추가적으로, 3D 프린팅의 기반이 되는 적층제조(Additive Manufacturing, 이하 AM) 기술 교육을 위한 콘텐츠에 대한 연구도 주목할 만하다[35]. 해당 연구는 적층제조 및 적층제조를 위한 디자인(Design for Additive Manufacturing, 이하 DfAM) 교육을 위한 VR의 몰입형 경험을 설계하는 프레임워크를 제안함으로써, AM 공정을 안전한 환경에서 상호작용할 수 있도록 한 연구이다. 이러한 콘텐츠는 AM의 설계 기법과 제조 과정을 이해하는 데 유용한 연구이지만, 전문 지식을 요구하는 내용에 중점을 두기 때문에 주로 전문가를 대상으로 하며 일반 사용자나 초보자가 전반적인 과정이나 사용법을 이해하기는 상대적으로 어려움이 있다. 이는 VR을 통한 3D 프린팅 학습 콘텐츠 개발에 있어, 초보자나 일반 사용자도 쉽게 이해하고 접근할 수 있는 콘텐츠 개발의 필요성을 시사한다.

따라서 본 연구는 초보자도 쉽게 접근할 수 있는 3D 프린팅 VR 학습 콘텐츠 개발에 초점을 맞추었다. 개발된 콘텐츠는 모델링 다운부터 슬라이싱, 프린터 출력에 이르기까지 3D 프린팅의 전 과정을 사용자가 상호작용하며 학습할 수 있도록 설계했다. 이 과정을 통해 사용자는 3D 프린팅의 기본 원리와 조작 방법을 빠르고 안전하게 익히며, 전문 교육 없이도 3D 프린터를 효과적으로 사용할 수 있는 능력을 개발할 수 있다. 이러한 접근은 광범위한 사용자가 3D 프린팅 기술을 학습하고 활용할 수 있는 효과적인 교육 수단으로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

2-4 현존감

현존감은 사용자가 가상 환경에서 실제로도 그 환경에 있는 것처럼 느끼는 주관적 경험을 의미한다. 이는 몰입감과 유사하지만 심리적, 감정적 요소를 포함하고 있으며, 사용자가 환경과의 상호작용에서 느끼는 현실감을 강조한다[36]. 또한 현존감은 사용자가 가상 환경 내에서 자신의 물리적 위치를 잊고 그 환경에 몰입하여 마치 실제로 존재하는 것처럼 느끼는 상태를 의미하며, 물리적 현존감, 사회적 현존감, 자기 현존감으로 나누어지기도 한다[37]. 현존감을 경험하면 학습자의 인지 과정에 강하게 작용하여 학습 내용을 더욱 잘 이해하게 된다는 Mayer의 이론을 기반으로, 가상환경에서 3D 프린터를 체험하는 학생들의 학습 경험을 분석해보면, 이러한 가상환경이 실제 현장 경험과 유사한 감각적 및 인지적 경험을 제공할 수 있음을 알 수 있다[25]. 실제 환경에서의 체험 학습은 비용, 시간, 장소 등의 제한으로 인해 항상 이루어지기 어렵다. 예를 들어, 메이커스페이스를 직접 방문하거나 3D 프린터를 구입하는 것은 경제적, 시간적 부담이 크다. 반면, VR 기술은 이러한 제약을 해소할 수 있다. 가상 환경에서는 실제 기계를 사용하지 않아도 되므로 필라멘트가 소모되거나 출력에 필요한 시간을 기다릴 필요가 없다. 이런 체험을 통해 학생들은 단순히 정보를 받아들이는 것을 넘어서 직접 경험

하게 되므로, 학습의 내용이 더욱 깊게 인식되고 장기 기억에 저장될 가능성이 커진다. 따라서, VR을 통해 3D 프린터 사용법을 사전에 체험하고 연습하는 것은 실제 출력물이 필요하지 않을 때 효율적이며 효과적인 학습 도구로 작용한다.

2-5 몰입감과 플로우

몰입감(Immersion)은 사용자가 특정 활동에 완전히 집중하고, 외부 환경에 대한 인식이 사라지는 상태를 의미한다[38]. 또한, 몰입감은 사용자가 특정 활동에 집중하고 자아의식이 사라지는 경험을 나타내며, 이는 즐거움과 만족을 제공한다[39]. 반면에 Csikszentmihalyi에 따르면, 플로우(Flow)는 즉각적인 몰입(Immersion)과는 다른 지속적인 몰입의 형태로, 개인이 능력과 도전의 균형이 잘 맞는 활동에 몰두하여 자아실현과 흥미를 경험하는 상태를 의미한다[40]. 또한, 그는 플로우 상태에서는 개인이 활동에 완전히 몰입하여 시간의 흐름을 잊고 최상의 성과를 발휘한다고 설명한다. 이는 몰입감과 유사하지만, 더 깊은 자아실현과 동작에 대한 자유로움을 포함한다. 플로는 목표의 명확성, 즉각적인 피드백, 그리고 능력과 도전의 균형이 잘 맞아야 발생할 수 있다[40]. 따라서 플로는 개인의 성장과 성취에 중요한 역할을 하며, 다양한 활동과 환경에서 경험될 수 있다. 가상 환경은 학습자의 몰입감을 극대화할 수 있는 이상적인 환경이며, 이를 통해 플로우 경험을 유도하고 학습 효과를 높일 수 있다. 특히, 3D 프린터 학습에서 가상 환경은 몰입감을 높여 플로우 경험을 촉진함으로써 사용법 습득에 중요한 역할을 한다. 따라서, 가상 환경에서의 몰입감과 플로우가 3D 프린터 사용법 학습에 미치는 영향을 체계적으로 연구할 필요가 있다.

2-6 System Usability Scale

시스템 사용성 척도(System Usability Scale, 이하 SUS)는 1986년 John Brooke에 의해 개발된 간단하면서도 신뢰성 있는 사용성 평가 도구로, 다양한 시스템과 제품의 사용성을 평가하는 데 사용된다[41]. SUS는 10개의 문항으로 구성된 설문지 형태로, 사용자가 시스템을 얼마나 쉽게 사용할 수 있는지를 평가한다. 각 문항은 5점 척도로 평가되며, SUS 점수는 홀수 문항과 짝수 문항을 다르게 계산한다. 홀수 문항의 경우, 각 문항의 점수에서 1점을 뺀 값을 사용하고, 짝수 문항의 경우, 각 문항의 점수를 5에서 뺀 절대값을 사용한다. 이렇게 계산된 점수들을 합산한 후 2.5를 곱하여 최종 SUS 점수를 산출한다. 이 방식으로 얻어진 점수는 0에서 100 사이의 값이 되며, 일반적으로 68점 이상이면 사용성에 큰 문제가 없다고 판단된다. 이렇게 계산되는 SUS는 다양한 분야에서 사용성을 빠르고 효과적으로 측정할 수 있는 도구로 널리 활용된다.

SUS의 이론적 배경에는 사용성 평가 이론, 신뢰성과 타당

성, 그리고 사용자 경험이 포함된다. 사용성 평가 이론은 시스템이나 제품이 사용자의 요구를 얼마나 잘 충족시키는지 평가하는 방법을 제공하며[42], 시스템의 유용성, 효율성, 사용자 만족도를 측정하는 데 초점을 맞춘다. 또한, SUS는 신뢰성과 타당성이 입증된 도구로, 다양한 연구에서 높은 신뢰도와 일관성을 보여주었다[43]. 이로 인해 다양한 시스템과 사용자 그룹에 적용할 수 있으며, 평가 결과는 비교적 일관되게 나타난다.

사용자 경험(User eXperience, 이하 UX)는 사용자가 시스템이나 제품과 상호작용할 때 느끼는 전반적인 경험을 의미하며[44], SUS는 이러한 UX 평가에서 중요한 역할을 한다. 높은 SUS 점수는 사용자가 시스템을 쉽게 사용하고 만족하는 것을 의미하며, 이는 긍정적인 UX로 이어진다. 따라서 SUS는 시스템의 사용성을 개선하고, 사용자 만족도를 높이는 데 중요한 인사이트를 제공한다. 이를 통해 다양한 분야에서 사용자 경험을 극대화할 수 있다.

III. 연구방법

3-1 개발 환경 및 절차

본 연구는 Unity 게임 엔진과 Oculus Quest 2를 활용하여 디지털 환경 내에서 실제 메이커스페이스 공간의 경험을 재현하고, 사용성 평가를 통해 콘텐츠가 적절하게 구성되었는지 평가하는 것을 목적으로 하였다. Unity 게임 엔진은 SteamVR, Meta Quest 및 PlayStation VR을 포함한 다양한 플랫폼을 지원하며, 몰입형 VR 경험 생성을 지원하는 URP(Universal Render Pipeline) 및 XR Interaction Toolkit이 사용 가능하여 가상의 3D 공간 구축에 용이하다. 또한, Oculus Quest 2는 1832x1920 픽셀의 해상도, 90Hz의 재생률, 104°의 수평 시야각 및 98°의 수직 시야각을 제공함으로써, 사용자에게 고해상도의 선명한 이미지와 깊은 몰입감을 제공한다.

또한, VR을 이용한 3D 프린터 학습 콘텐츠 개발 절차는 3D 프린터 사용 방법 학습을 위해 실제 메이커스페이스 공간에서 진행되는 모델링, 슬라이싱, 3D 프린팅의 다양한 제작 활동 과정을 직접 관찰하고 체험하는 현장 경험을 통해 가상 환경 구축에 필요한 실제 공간의 구성 요소와 제작 과정의 세부 사항을 파악하였다. 이를 토대로 공간의 구성, 모델링 다운로드 사이트, 슬라이싱 프로그램, 3D 프린터 종류 등을 포함한 학습 과정을 설계했다.

학습 콘텐츠 개발단계에서는 Unity 에셋스토어를 활용하여 다양한 3D 모델과 텍스처를 활용하여 콘텐츠 공간을 제작하였다. Unity 환경에서의 작업은 공간 구성, 장비 배치, 조명 설정 등을 포함하여 사용자가 실제 메이커스페이스 공간에서 느낄 수 있는 작업 경험을 가상 공간 내에서도 유사하게 체험

할 수 있도록 하는 데 중점을 두었다.

특히, 슬라이싱 과정은 3D 프린팅의 핵심 단계 중 하나로, 사용자가 직접 프로그램을 설치하고 설정을 조정하여 G-code로 변환하는 복잡한 과정을 거치게 된다. 본 콘텐츠에서는 사용자가 쉽게 이해하고 따라 할 수 있도록 하기 위해, 슬라이싱 과정 전체를 직접 녹화하여 비디오 콘텐츠로 제작하여 삽입하였다. 녹화된 비디오는 후반 작업을 거쳐 편집되었으며, 명확한 이해를 돕기 위해 각 제작 단계별로 자막을 추가하여 시청자가 손쉽게 절차를 따라갈 수 있도록 구성하였다. 이러한 과정을 통해 생성된 비디오 콘텐츠는 가상 공간에서의 학습 자료로 활용되었다. 마지막으로, 사용자가 VR을 이용하거나 새로운 기술을 학습하는 데 있어서 중요한 변인인 현존감, 몰입감과 플로우에 대하여 측정하고 SUS를 활용하여 콘텐츠의 사용성을 평가했다.

3-2 학습 콘텐츠 시나리오 설계

본 연구에서 개발된 VR 기반 3D 프린터 학습 콘텐츠는 사용자가 3D 프린팅 과정을 VR 환경에서 직접 체험할 수 있도록 하며, 특히 프린터 초보 사용자들이 쉽게 접근할 수 있도록 설계되었다. 메이커스페이스 공간에서 진행되는 일반적인 3D 출력 과정은 크게 3D 모델의 제작 혹은 획득, 슬라이싱 과정, 그리고 실제 3D 프린팅으로 나누어진다. 실제 3D 프린팅 과정은 그림 1을 통해 확인할 수 있다.

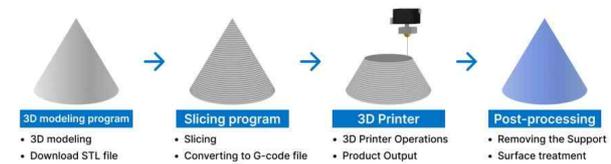


그림 1. 3D 프린터 사용 과정
Fig. 1. Process of using a 3D printer

초기 단계에서는 사용자가 자신의 프로젝트에 필요한 3D 모델을 제작하거나, 이미 존재하는 모델을 인터넷 상의 다양한 플랫폼에서 다운로드 받는 방식으로 획득한다. 3D 모델링 소프트웨어는 Autodesk Fusion 360, Tinkercad, Blender 등이 널리 사용되며, 이러한 소프트웨어를 통해 사용자는 자신의 요구 사항에 맞는 모델을 직접 디자인할 수 있다. 반면에, Thingiverse나 MyMiniFactory 같은 사이트에서는 다양한 카테고리과 용도로 분류된 수많은 무료 및 유료 3D 모델을 제공하고 있어[45],[46], 사용자가 직접 모델을 제작하지 않고도 필요한 파일을 쉽게 찾을 수 있다. 본 연구에서는 Thingiverse 사이트를 활용하여 3D 모델링 기술이 없는 대다수의 사용자들이 복잡한 모델링 과정 없이도 3D 모델을 간편하게 얻을 수 있도록 했다. "3D Printing Industry" 보고서에 따르면, 이러한 온라인 플랫폼을 통한 모델 공유는 3D 프린팅 커뮤니티 내에서 협력과 지식 공유를 촉진하고, 3D 프

린팅 기술의 대중화를 가속화하는 데 중요한 역할을 한다고 한다[18]. 이는 본 연구가 채택한 접근 방식이 3D 프린팅 학습의 접근성을 크게 높이는 효과적인 전략임을 시사한다.

모델이 준비된 후에는 슬라이싱 과정을 거쳐야 한다. 이 과정에서는 3D 모델 파일을 3D 프린터가 이해할 수 있는 지시어로 변환하는 작업이 이루어진다. 메이커스페이스에서 소개한 슬라이싱 소프트웨어로는 Cubicreator, Z-Suite이지만 이외에도 Ultimaker Cura, Simplify3D 등 다양한 슬라이싱 프로그램이 존재한다[47]. 해당 프로그램은 3D 모델을 레이어별로 분할하고 각 레이어의 프린팅 경로를 계산하여 프린터에 전송할 G-code를 생성한다. 사용자는 이 과정에서 필러 유형, 레이어 높이, 프린트 속도 등의 다양한 프린팅 매개변수를 조절할 수 있다. 본 연구에서 사용한 슬라이싱 프로그램은 Cubicreator로, 메이커스페이스에서 추천한 프로그램들 중 사용의 용이성을 고려하여 결정하였다. 이 과정을 통해, 사용자들이 실제 메이커스페이스 공간에서 사용하는 도구와 유사하고 초보자들도 원활하게 사용할 수 있는 소프트웨어 환경에서 체험할 수 있도록 했다.

마지막으로, 슬라이싱된 파일은 3D 프린터로 전송되어 실제 출력이 시작된다. 3D 프린터의 브랜드와 종류는 매우 다양하지만, 가장 일반적으로 사용되는 기술은 FDM과 SLA이다. FDM 프린터는 MakerBot, Ultimaker, Prusa Research 등의 브랜드에서 제공하며, 열가소성 필라멘트를 녹여 층층이 쌓아 올리는 방식으로 객체를 생성한다. 사용되는 필라멘트의 종류에는 폴리락틱산(PolyLactic Acid, 이하 PLA), 아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌(Acrylonitrile Butadiene Styrene, 이하 ABS), 폴리에틸렌 테레프탈레이트 글리콜(Poly Ethylene Terephthalate Glycol, 이하 PETG) 등이 있으며, 각각의 필라멘트는 내구성, 유연성, 열 저항성 등 다양한 물리적 특성을 가지고 있어 프로젝트의 요구 사항에 따라 적절히 선택될 수 있다. SLA 프린터는 Formlabs, Anycubic 등에서 제공하며, 액체 수지를 광경화시키는 방식으로 더 높은 해상도의 출력물을 생성한다. 출력 과정에서는 모델의 크기, 복잡성, 사용된 재료에 따라 프린팅 시간이 달라질 수 있으며, 출력 후에는 필요에 따라 후처리 작업이 이루어질 수 있다. 본 연구에서는 슬라이싱 프로그램 사용 미숙으로 인한 불필요한 후처리 작업을 트러블슈팅으로 가정하고 트러블슈팅이 있는 상황과 없는 상황 모두를 경험할 수 있도록 설계했다.

IV. 연구결과

4-1 VR 기반 3D 프린팅 학습 콘텐츠 개요

본 연구에서 개발된 VR 기반 3D 프린팅 학습 콘텐츠는 사용자가 가상 환경에서 3D 프린팅 과정의 전반적인 흐름을 체험하고, 실제 3D 프린팅 과정에서 발생할 수 있는 다양한 트러블슈팅을 사전에 경험해볼 수 있도록 설계되었다. 문정규 & 박대우에 따르면 3D 프린터를 사용하는 데 있어서 경험할

수 있는 트러블슈팅 상황은 하드웨어(Hardware) 문제와 소프트웨어(Software) 문제로 나눌 수 있다[11]. 먼저, 하드웨어 문제로는 필라멘트가 처음으로 닿는 베드의 평탄도나 필라멘트의 소재에 따른 온도나 습도 등으로 인해 발생한다. 그러나 이러한 트러블슈팅 문제들은 사용하는 물리적인 환경과 다양한 변수에 의해 작동하기 때문에 문제 해결을 위한 유지, 보수하는 것이 어렵다는 단점이 있다. 소프트웨어 문제로는 모델링 프로그램 사용 부족과 슬라이싱 설정을 꼽았다. 해당 논문에서는 이를 위한 해결 방안으로 ChatGPT를 활용하는 방안을 제안했지만 기본적으로 사용자의 원활한 사용을 위해서는 사용자를 위한 교육이 중점이 되어야 한다[11].

앞서 살펴본 트러블슈팅 문제 중에서 본 연구는 소프트웨어 문제를 체험하는 것에 중점을 두었으며, 초보자를 대상으로 제작되었다. 따라서 모델링 프로그램 사용의 부족은 Thingiverse에서 정해진 모델을 다운로드 받는 형식으로 대체하였고, 슬라이싱 설정은 과정이 복잡한 만큼 동영상 시청을 통해 쉽고 빠르게 반복 학습하여 극복할 수 있도록 설계했다. 또한, 슬라이싱 설정에서 초보자를 위한 중요한 과정으로, 모델의 구조 조정과 지지대 구조물 생성을 꼽을 수 있다. 해당 과정은 슬라이싱 프로그램에 익숙하지 않을 경우 초기에 여러 문제가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해, 사용자가 모델의 구조를 조정하고 적절한 지지대를 설정하는 방법을 중점으로 제작되었으며, 모델의 구조와 이에 따른 지지대 설정의 차이를 명확하게 하기 위해 두 가지 상황을 모두 경험할 수 있도록 제작하였다.

해당 콘텐츠에서는 모델의 구조를 조정하여 지지대 없이 안정적인 모형을 출력하는 방법과 모델의 구조를 변경하지 않고 생성하여 발생하는 지지대를 함께 출력하는 두 가지 슬라이싱 과정을 경험할 수 있다. 첫번째는 기존의 다운로드 한 모델을 그대로 활용하는 방법으로, 모델의 구조를 변경하지 않아 생성되는 지지대 구조물과 적층 구조에 적합하지 않은 모형으로 인해 발생하는 품질 저하를 예로 들 수 있다. 두번째는 지지대가 생성되지 않고 적층구조에 적합한 형태로 모델의 구조를 변경하여 저장하는 방법으로 트러블슈팅의 상황을 추가적으로 경험할 수 있도록 한다.

4-2 3D 프린팅 학습 환경 제작

1) 시작 및 모델링 환경 제작

3D 프린팅 학습 콘텐츠는 첫 번째로 사용자에게 초기 가이드 및 인터랙션을 소개하는 화면으로 시작한다. 여기서 사용자는 VR 공간 내에서의 기본적인 조작법을 익히고, 3D 프린팅 과정에 대한 개요를 확인할 수 있다. 그림 2는 첫 번째 시작화면이다.

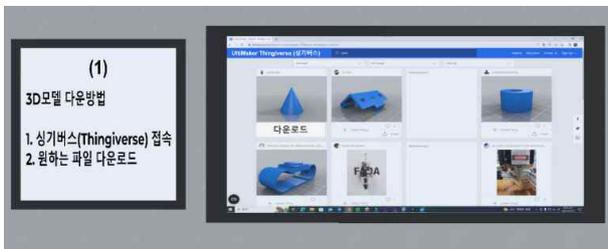
3D 모델 다운로드 단계에서 사용자는 정해진 3D 모델을 다운받고 USB 오브젝트를 습득하는 과정을 직접 체험한다. 이는 초보자가 3D 모델을 얻기 위한 가장 쉬운 방법으로, 웹사이트를 통해 기존에 제작 되어있는 모델 중 원하는 모델을



*The text of the content is written in Korean to convey enough information.

그림 2. 시작화면
Fig. 2. Start scene

다운받아 사용하는 방식을 활용한다. 다운로드 버튼을 클릭하는 것을 포함한 가상 환경 내에서 발생하는 인터랙션은 주로 레이캐스트(Raycast)를 활용한 조작으로 진행되며, 다운로드 후 생성된 USB 오브젝트는 조이스틱을 잡는(Grab) 동작을 통해 잡고 이동할 수 있다. 모델을 다운로드하는 화면은 그림 3을 통해 경험할 수 있다.



*The text of the content is written in Korean to convey enough information.

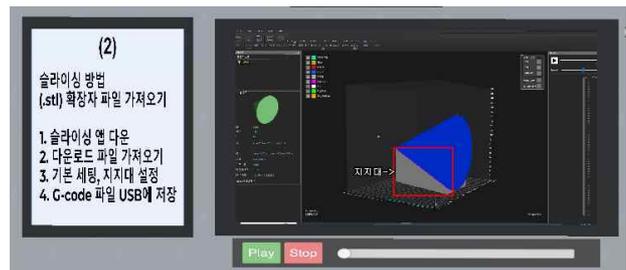
그림 3. 모델 다운로드 화면
Fig. 3. Model download scene

2) 슬라이싱 과정

슬라이싱 단계는 3D 모델을 실제로 프린트 할 수 있도록 가로로 층을 내는 과정으로, 소프트웨어의 다양한 설정과 복잡한 조작으로 인해 초보자가 트러블슈팅을 경험하기 쉬운 환경을 조성한다. 따라서 해당 과정은 상세한 설명과 지지대 생성 등 트러블슈팅에 중점을 두고 설계되었다. 이 단계에서는 다양한 필라멘트의 유형들 중에서 현재 가장 보편적으로 사용하는 PLA와 ABS의 차이에 대해 학습할 수 있고, 해당 콘텐츠는 자문을 구한 메이커스페이스에서 활용한 PLA를 기준으로 제작되었다. 필라멘트 선택과 함께, 모델의 각도에 따라 필요한 지지대의 유무와 그 구조를 결정하는 방법을 학습하게 된다.

실제 3D 프린터를 사용할 경우 모델의 복잡성과 오버행(공중에 떠 있는 부분)의 정도에 따라, 적절한 지지대가 없다면 출력 중 모델이 무너질 위험이 있기 때문에 슬라이싱에서 이러한 차이를 학습하는 과정은 필수적이며, 출력물의 오류 방

지 뿐만 아니라 더 나은 품질을 위해서도 중요한 사항이다. 모델의 구조가 결정되면 실제 출력을 위한 설정 작업에 들어가게 된다. 이때, 모델의 품질과 인쇄 속도 사이의 균형을 맞추기 위한 설정을 진행하면서, 앞서 결정된 모델의 구조에 맞춰 지지대 생성과 각도 설정을 해야한다. 이처럼 슬라이싱 과정에서는 많은 요인들을 고려하고 설정해야하며, 요건이 만족되지 않을 경우 출력물의 품질 저하나 손상으로 이어질 수 있다. 그러나 Miller의 이론에 따르면, 사람의 단기 기억 용량은 대략 7개 정도의 정보를 처리할 수 있는 범위에 한정된다고 한다[48]. 이를 고려하여, 초보자들이 복잡한 조작과 다양한 설정을 한 번에 학습하는 것은 정보 처리 능력을 초과할 수 있으므로, 본 연구에서는 모든 과정을 동영상으로 제공하되 중요한 부분에는 큰 자막을 추가함으로써 학습 자료의 가독성을 높이고 정보의 과부하를 최소화하였다. 슬라이싱 단계에서 사용자가 보는 화면은 그림 4와 같다. 3D 모델링이 담긴 USB 오브젝트를 넣으면 빈 화면에서 슬라이싱 과정이 담긴 영상을 시청하고 정지할 수 있다. 이와 같이, 슬라이싱 과정에서의 교육은 사용자가 3D 프린팅 기술의 기본적인 원리와 더불어, 다양한 출력 재료의 선택, 모델의 구조적 안정성 확보 등을 종합적으로 이해하고 적용할 수 있도록 한다. 이는 사용자가 학습 콘텐츠를 통해 전반적인 과정을 학습하고 출력 오류를 줄이기 위한 지식과 기술을 제공한다.

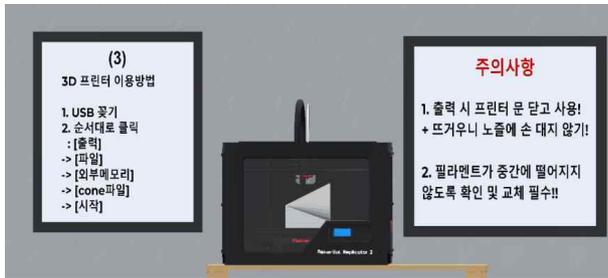


*The text of the content is written in Korean to convey enough information.

그림 4. 슬라이싱 화면
Fig. 4. Slicing scene

3) 3D 프린터 출력과정

3D 프린터로 출력하는 마지막 단계에서 사용자가 USB 오브젝트를 버튼 모양의 상자에 넣어, USB를 꽂는 것과 유사한 효과를 경험하도록 했다. 해당 과정을 거치면 그림 5의 3D 프린터 우측에 사용자 인터페이스 (User Interface, 이하 UI) 화면이 표기되도록 했다. 이러한 동작을 통해 슬라이싱된 G-code 데이터를 프린터로 전송하고, 실제 출력 과정을 모니터링 할 수 있다. 슬라이싱 과정을 통해 모델에 필요한 지지대를 생성하는 경험 이후 출력 과정에서 실제로 이 지지대를 어떻게 분리할지 경험하게 된다. 출력된 모형에 따라 추가된 지지대는 인터랙션(Interaction)을 통해 분리하는 경험을 할 수 있으며, 이는 실제 3D 프린팅 작업에서 매우 중요한 후처리 과정 중 하나이다.



*The text of the content is written in Korean to convey enough information.

그림 5. 3D 프린터 출력화면
Fig. 5. 3D printer output scene

또한, 본 연구에서는 실제 메이커스페이스에서 사용한 프린터와 동일한 모델의 UI를 가상공간에 그대로 적용했다. 이로 인해 사용자는 가상 환경에서의 학습과 실습을 통해 실제 장비 사용 시에도 빠르게 적응할 수 있을 것으로 예상된다. 그림 6은 VR 콘텐츠에 사용된 프린터의 UI 화면 중 일부를 가져온 것이다.



*The text of the content is written in Korean to convey enough information.

그림 6. 콘텐츠 내 3D 프린터 UI
Fig. 6. 3D printer UI in content

4-2 사용성 평가

본 연구에서는 4년제 대학의 학부생 6명을 대상으로 사용성 평가를 진행했다. 피실험자는 일주일간 학내 게시판에 실험 참여 공고를 게시해 모집했고, 모두 이전에 3D 프린터를 사용해 본 경험이 없는 학생들이었다. 참여자의 평균 연령은 24세(SD = 2.44)였다. 해당 평가는 외부로부터의 빛과 소음이 완전히 차단된 실험실에서 진행되었다. 연구자는 실험 절차를 설명한 후, 참여자들은 연구 참여 동의서와 사전 설문지를 작성했다. 사용성 평가 실험에서는 지지대 없이 출력된 상황과 트러블슈팅으로 지지대가 생성된 상황으로 두 가지 콘텐츠를 각각 한 번씩 총 두 번 경험하도록 하였다. 실험참여자는 콘텐츠별로 무작위 할당하였으며, 이때 실험 순서가 학습효과에 미치는 영향을 상쇄하기 위해 역 균형화(counterbalancing) 방식을 적용하여 진행하였다. 실험참여자는 모든 과정을 마친 후 사용성 평가 설문지를 작성했으며,

전체 실험 시간은 약 20분이었다.

사용성 평가를 위해 VR 연구에서 필수적인 현존감과 학습에 중요한 변인인 몰입감 및 플로우, 콘텐츠 학습의 만족도, SUS에서 주로 활용되는 콘텐츠의 사용 용이성과 완성도 등을 평가 지표로 채택하였다. 이때, 현존감은 ‘사용자가 디바이스를 통한 경험에서 완전히 몰입한 상태’로, 이를 측정하기 위해 Lee와 Chung의 연구를 참조해 총 10문항을 재구성하여 측정했다[49]. 몰입감과 플로우는 ‘사용자가 학습 콘텐츠에 완전히 집중하는 상태’와 ‘학습 콘텐츠를 사용하는 동안 완전히 몰입하고 흥미와 호기심을 느끼며 목표 지향적인 경험을 하는 상태’로 해석될 수 있다. 이를 측정하기 위해 신민철, 정동훈의 연구를 참조해 문항을 재구성했으며, 총 9문항을 통해 측정했다[50]. SUS를 측정하기 위해 Brooke의 연구를 참조해 문항을 구성했으며, 총 10문항을 통해 측정했다[41]. 실험에 사용된 모든 설문지는 1점(전혀 동의하지 않음)에서 5점(매우 동의함)까지의 5점 리커트(Likert) 척도로 구성되었다.

사용성 평가 결과(표 1), 현존감, 몰입감과 플로우는 리커

표 1. 현존감, 몰입감, 플로우 설문 결과

Table 1. Presence, immersion, flow survey results

Survey questionnaire		Mean
Presence	I felt as if I were in a VR environment.	4.50
	I felt as if I were in a 3D printer educational space.	4.67
	I felt as if the 3D printer were actually in front of me.	4.42
	I lost track of time while using the 3D printer in the VR environment.	4.58
	I was deeply immersed while using the 3D printer in the VR environment.	4.33
	Time seemed to pass quickly while using the 3D printer in the VR environment.	4.42
	I didn't think about anything else but the VR environment.	4.50
	I felt as if I were actually moving in the VR environment.	4.58
	I felt as if I were performing actions in reality while using the VR content.	4.58
Immersion	I felt as if I were using a real 3D printer in the VR environment.	4.42
	I felt as if I experienced an entire virtual world.	4.67
	I think using the 3D printer in the VR environment is a worthwhile experience.	4.83
Flow	During the 3D printer training, I was immersed into the VR.	4.67
	Simulation in the VR environment was interesting.	4.67
	Simulation in the VR environment was fun.	4.67
	I felt curious about using the 3D printer in the VR environment.	4.67
	I was immersed during the training session.	4.50
	The VR content captured my attention.	4.42
	I wasn't distracted by anything else but the VR environment.	4.58

트 5점 척도에서 4점 이상인 경우 높은 타당도를 지니는 것으로 판단했다. 현존감은 평균 4.50점으로 사용자가 충분히 콘텐츠에 몰입했음을 확인할 수 있다(M = 4.50, SD = .62). 몰입감과 플로우는 평균 4.62점으로 사용자가 콘텐츠에 집중하고 흥미를 느끼는 상태를 경험했다고 할 수 있다(M = 4.62, SD = .55). 본 연구에서는 6명의 실험 참여자가 두 가지 콘텐츠를 각각 체험한 후 SUS 평가를 진행하여 총 12개의 결과 값을 얻었다. 이 결과 SUS 점수는 평균 82.08점으로 나타났으며, 최근 Bangor 등의 SUS 점수 척도(그림 7)에 따르면, 해당 콘텐츠의 사용성이 수용 가능한 수준임을 확인할 수 있다[51].

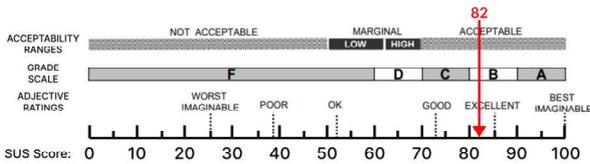


그림 7. SUS 점수 척도
Fig. 7. SUS score scale

V. 결 론

본 연구에서는 VR 기술을 활용한 3D 프린팅 교육 콘텐츠를 개발하고, 해당 교육 콘텐츠에 대한 효과성을 분석하고자 사용성 평가를 진행하였다. 먼저, 문헌연구를 통해 3D 프린팅 과정에서 가장 흔히 발생하는 문제 상황인 트러블슈팅 이슈들을 조사하고, 이에 대한 3D 프린팅의 전반적인 과정을 경험하고 이를 해결할 수 있는 방안 등을 제공하였다. 또한, 사용성 평가를 통해 가상 환경에서의 문제 상황에 대한 간접 경험과 이에 대한 교육적 효과를 제시하고자 하였다. 종합적으로, 본 VR 기반 3D 프린터 학습 콘텐츠는 사용자가 3D 프린팅의 기본적인 프로세스를 이해하고, 실제 3D 프린팅 작업에서 마주칠 수 있는 다양한 상황과 문제들을 가상 환경에서 체험함으로써, 3D 프린팅 기술에 대한 깊이 있는 지식과 실습 경험을 쌓을 수 있도록 활용됨을 알 수 있었다.

본 연구는 VR 기술을 활용하여 3D 프린팅 학습 프로세스를 혁신적으로 제공함으로써, 3D 프린팅 기술의 접근성과 이해도 향상에 기여하고자 한다. 특히, 기존의 이론적 교육이나 단순한 실습 위주의 학습 방식을 넘어서 사용자가 직접적으로 경험하며 학습할 수 있는 환경을 제공함으로써, 기술적 오류를 줄이고 출력물의 품질을 향상시킬 수 있는 실질적인 방법을 제공한다. 또한, 이러한 VR 기반 교육 방식은 학습자가 안전한 환경에서의 다양한 시도를 도와, 3D 프린터의 부적절한 사용으로 인한 위험을 최소화하고 재료와 시간의 낭비를 줄일 수 있는 효과적인 학습 도구로 활용 가능하다. 본 연구의 결과는 향후 3D 프린팅 기술 교육과 관련된 커리큘럼 개발에 있어 귀중한 자료로 활용될 수 있으며, 3D 프린팅 기술

의 보급 및 활용을 가속화하고 가상 학습 플랫폼의 발전과 함께, 현대의 메이커 교육 방식에 기여를 할 것으로 기대된다.

향후 연구 방향으로는, 3D 프린터의 필라멘트를 교체하고 슬라이싱 프로그램의 설정을 직접 조작하는 등 추가적인 학습 콘텐츠 개발을 통해 다양한 3D 프린팅 기술과 응용 분야에 대한 교육을 제공하여, 3D 프린팅 교육의 범위를 확대할 필요가 있다. 또한, 콘텐츠 이용 후 사용자가 독립적으로 3D 프린터의 소프트웨어 설정과 조작을 얼마나 효과적으로 수행할 수 있는지에 대한 평가도 중요한 연구 주제로 설정될 필요가 있다. 이러한 후속 연구는 VR 기반 학습 콘텐츠의 실제적인 교육 효과를 검증하고, 향후 교육 프로그램의 설계 및 개선에 중요한 통찰을 제공할 것이다.

본 연구의 한계점으로는 해당 VR 교육 콘텐츠가 실제 메이크스페이스 공간에서의 학습 경험과 얼마나 유사한 경험을 제공하는지에 대한 논의가 부족하여, 추가적인 실험 연구를 통해 VR 교육 콘텐츠가 실제 환경과 유사한 또는 그 이상의 학습 효과를 보이는지에 대한 추가적인 논의는 필요해보인다.

감사의 글

본 논문은 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 신진연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2022S1A5A8050473).

참고문헌

- [1] K. Son, PLA/PP Material Usability Enhancement through the Analyses of Research Paper, Patent, Market, and Investment of 3D Printing Technology, Ph.D. Dissertation, Dong-A University, Busan, August 2023.
- [2] C. W. Hull, Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography, United States Patent and Trademark Office, Washington, DC, United States Patent No. 4,575,330, March 1986.
- [3] D. G. Schniederjans, "Adoption of 3D-Printing Technologies in Manufacturing: A Survey Analysis," *International Journal of Production Economics*, Vol. 183, Part A, pp. 287-298, January 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.11.008>
- [4] R. Manghnani, "An Exploratory Study: The Impact of Additive Manufacturing on the Automobile Industry," *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 3, pp. 3407-3410, October 2015.
- [5] S. C. Joshi and A. A. Sheikh, "3D Printing in Aerospace and Its Long-Term Sustainability," *Virtual and Physical*

- Prototyping*, Vol. 10, No. 4, pp. 175-185, 2015. <https://doi.org/10.1080/17452759.2015.1111519>
- [6] M. E. Kupfer, W.-H. Lin, V. Ravikumar, K. Qiu, L. Wang, L. Gao, ... and B. M. Ogle, "In Situ Expansion, Differentiation, and Electromechanical Coupling of Human Cardiac Muscle in a 3D Bioprinted, Chambered Organoid," *Circulation Research*, Vol. 127, No. 2, pp. 207-224, July 2020. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.119.316155>
- [7] A. Isaacson, S. Swioklo, and C. J. Connon, "3D Bioprinting of a Corneal Stroma Equivalent," *Experimental Eye Research*, Vol. 173, pp. 188-193, August 2018. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2018.05.010>
- [8] The Hankyoreh. What is More Important than 'What to Make' Is 'Why You Make It' [Internet]. Available: <https://www.hani.co.kr/arti/society/schooling/848658.html>.
- [9] D. Lim and T. Kim, "The Effect of the Integrative Education Using a 3D Printer on the Computational Thinking Ability of Elementary School Students," *Journal of the Korean Association of Information Education*, Vol. 23, No. 5, pp. 469-480, October 2019. <https://doi.org/10.14352/jkaie.2019.23.5.469>
- [10] M.-K. Byun and M.-H. Cho, "Analysis of Makerspace Users' Experiences and Suggestions for Science Education," *Journal of the Korean Association for Science Education*, Vol. 36, No. 2, pp. 337-346, April 2016. <https://doi.org/10.14697/jkase.2016.36.2.0337>
- [11] J. Moon and D. Park, "Analysis of Problems in the 3D Printer Industry and Study of Countermeasures," in *Proceedings of 2023 Spring Conference of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Cheongju, pp. 259-262, May 2023.
- [12] L. B. Dehn, M. Piefke, M. Toepper, A. Kohsik, A. Rogalewski, E. Dyck, ... and W.-R. Schäbitz, "Cognitive Training in an Everyday-Like Virtual Reality Enhances Visual-Spatial Memory Capacities in Stroke Survivors with Visual Field Defects," *Topics in Stroke Rehabilitation*, Vol. 27, No. 6, pp. 442-452, 2020. <https://doi.org/10.1080/10749357.2020.1716531>
- [13] S.-H. Chang, H.-J. Chang, J.-Y. Jung, and M.-S. Park, "Exploratory Study on Effectiveness-Factors of VR Safety Education Contents: Literature Review and FGI," *Journal of the Moving Image Technology Association of Korea*, No. 37, pp. 153-180, December 2021. <https://doi.org/10.34269/mitak.2021.1.37.009>
- [14] K. V. Wong and A. Hernandez, "A Review of Additive Manufacturing," *International Scholarly Research Notices*, Vol. 2012, No. 1, 208760, August 2012.
- [15] A. Goyanes, U. Det-Amornrat, J. Wang, A. W. Basit, and S. Gaisford, "3D Scanning and 3D Printing as Innovative Technologies for Fabricating Personalized Topical Drug Delivery Systems," *Journal of Controlled Release*, Vol. 234, pp. 41-48, July 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.05.034>
- [16] T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Q. Nguyen, and D. Hui, "Additive Manufacturing (3D Printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges," *Composites Part B: Engineering*, Vol. 143, pp. 172-196, June 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compositescb.2018.02.012>
- [17] Z.-X. Low, Y. T. Chua, B. M. Ray, D. Mattia, I. S. Metcalfe, and D. A. Patterson, "Perspective on 3D Printing of Separation Membranes and Comparison to Related Unconventional Fabrication Techniques," *Journal of Membrane Science*, Vol. 523, pp. 596-613, February 2017. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.10.006>
- [18] N. Shahrubudin, T. C. Lee, and R. Ramlan, "An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications," *Procedia Manufacturing*, Vol. 35, pp. 1286-1296, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>
- [19] W. Piedra-Cascón, V. R. Krishnamurthy, W. Att, and M. Revilla-León, "3D Printing Parameters, Supporting Structures, Slicing, and Post-Processing Procedures of Vat-Polymerization Additive Manufacturing Technologies: A Narrative Review," *Journal of Dentistry*, Vol. 109, 103630, June 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.10.3630>
- [20] F. Biocca and B. Delaney, *Immersive Virtual Reality Technology*, in *Communication in the Age of Virtual Reality*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, ch. 4, pp. 57-124, 1995.
- [21] H. A. Al-Jundi and E. Y. Tanbour, "A Framework for Fidelity Evaluation of Immersive Virtual Reality Systems," *Virtual Reality*, Vol. 26, pp. 1103-1122, September 2022. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00618-y>
- [22] F. Zanatta, A. Giardini, A. Pierobon, M. D'Addario, and P. Steca, "A Systematic Review on the Usability of Robotic and Virtual Reality Devices in Neuromotor Rehabilitation: Patients' and Healthcare Professionals' Perspective," *BMC Health Services Research*, Vol. 22, No. 1, 523. <https://doi.org/10.1186/s12913-022-07821-w>
- [23] K. R. Walsh and S. D. Pawlowski, "Virtual Reality: A Technology in Need of IS Research," *Communications of the Association for Information Systems*, Vol. 8, pp. 297-313, 2002. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.00820>

- [24] ISPR (International Society for Telepresence Research). The Concept of Presence: Explication Statement [Internet]. Available: <https://ispr.info/>.
- [25] R. E. Mayer, *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, New York, NY: Cambridge University Press, 2005. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819>
- [26] Y. F. Wang, S. Petrina, and F. Feng, "VILLAGE - Virtual Immersive Language Learning and Gaming Environment: Immersion and Presence," *British Journal of Educational Technology*, Vol. 48, No. 2, pp. 431-450, March 2017. <https://doi.org/10.1111/bjet.12388>
- [27] Y.-L. Chen, "The Effects of Virtual Reality Learning Environment on Student Cognitive and Linguistic Development," *The Asia-Pacific Education Researcher*, Vol. 25, No. 4, pp. 637-646, August 2016. <https://doi.org/10.1007/s40299-016-0293-2>
- [28] M. Lombard and J. Snyder-Duch, "Interactive Advertising and Presence: A Framework," *Journal of Interactive Advertising*, Vol. 1, No. 2, pp. 56-65, 2001. <https://doi.org/10.1080/15252019.2001.10722051>
- [29] Y. So, "Relationship with Educational Effects and Medium Characteristics in Virtual Reality Learning Based on Immersion Gear VR," *Journal of Communication Design*, Vol. 54, pp. 225-237, January 2016.
- [30] M. A. M. Abdelmaged, Implementation of Virtual Reality in Healthcare, Entertainment, Tourism, Education, and Retail Sectors, Munich Personal RePEc Archive, Munich, Germany, MPRA Paper No. 110491, November 2021.
- [31] S. I. Moon, A Study on the Effect of Safety Experience Education Using Virtual Reality(VR) on the Safety Accident Prevention and Safety Education Satisfaction, Ph.D. Dissertation, University of Ulsan, Ulsan, February 2022.
- [32] D. Kim and D. Lee, "An Analysis of the Effect of Career Education Programs for the Future Society Using Virtual Reality(VR)," *Journal of the Korean Association of Information Education*, Vol. 25, No. 5, pp. 835-845, October 2021. <https://doi.org/10.14352/jkaie.2021.25.5.835>
- [33] J.-T. Park, J. H. Kim, M. Y. Kim, and J. H. Lee, "Effects of Educational Content for Dental Extraction Using Virtual Reality Technology on Dental Extraction Knowledge, Skill and Class Satisfaction," *Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 19, No. 2, pp. 650-660, February 2019. <https://doi.org/10.5392/jkca.2019.19.02.650>
- [34] J. B. Lee and N. J. Kwon, "Effects of Science Classes Using Virtual Reality (VR) Contents on Elementary School Students' Spatial Ability and Scientific Attitude," *Journal of Science Education*, Vol. 46, No. 1, pp. 66-79, April 2022. <http://doi.org/10.21796/jse.2022.46.1.66>
- [35] J. Mathur, S. R. Miller, T. W. Simpson, and N. A. Meisel, "Designing Immersive Experiences in Virtual Reality for Design for Additive Manufacturing Training," *Additive Manufacturing*, Vol. 78, 103875, September 2023. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2023.103875>
- [36] M. Lombard and T. Ditton, "At the Heart of It All: The Concept of Presence," *Journal of Computer-Mediated Communication*, Vol. 3, No. 2, JCMC321, September 1997. <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>
- [37] M. Slater and S. Wilbur, "A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 6, No. 6, pp. 603-616, December 1997. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>
- [38] C. Jennett, A. L. Cox, P. Cairns, S. Dhoparee, A. Epps, T. Tijs, and A. Walton, "Measuring and Defining the Experience of Immersion in Games," *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 66, No. 9, pp. 641-661, September 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.04.004>
- [39] O. Schaffer and X. Fang, "Digital Game Enjoyment: A Literature Review," in *Proceedings of the 1st International Conference on HCI in Games (HCI-Games 2019)*, Orlando: FL, pp. 191-214, July 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22602-2_16
- [40] M. Csikszentmihalyi, *Flow: The Psychology of Optimal Experience*, New York, NY: Harper & Row, 1990.
- [41] J. Brooke, SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale, in *Usability Evaluation in Industry*, London, UK: Taylor & Francis, ch. 21, pp. 189-194, 1996.
- [42] J. Nielsen, *Usability Engineering*, San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1993. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-21512-1>
- [43] J. R. Lewis and J. Sauro, "The Factor Structure of the System Usability Scale," in *Proceedings of the 1st International Conference on Human Centered Design (HCD 2009)*, San Diego: CA, pp. 94-103, July 2009. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02806-9_12
- [44] M. Hassenzahl, "User Experience (UX): Towards an Experiential Perspective on Product Quality," in *Proceedings of the 20th Conference on l'Interaction Homme-Machine (IHM '08)*, Metz, France, pp. 11-15, September 2008. <https://doi.org/10.1145/1512714.1512717>
- [45] Thingiverse. 3D Models Download Site [Internet]. Available: <https://www.thingiverse.com/>.
- [46] MyMiniFactory. 3D Models Download Site [Internet]. Available: <https://www.myminifactory.com/>.

- [47] T. Kerr, From 3D Object to Physical 3D Print: Slicing Software, in *3D Printing: Introduction to Accessible, Affordable Desktop 3D Printing*, Cham, Switzerland: Springer, ch. 7, pp. 63-77, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19350-7_7
- [48] G. A. Miller, "The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information," *Psychological Review*, Vol. 63, No. 2, pp. 81-97, 1956. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- [49] H. Lee and D. Chung, "Influence of Virtual Reality Image Depth on User's Perceived Characteristics, Presence, and Fatigue," *Korean Journal of Broadcasting and Telecommunication Studies*, Vol. 33, No. 2, pp. 184-216, March 2019. <http://doi.org/10.22876/kab.2019.33.2.006>
- [50] M. Shin and D. Chung, "An Exploratory Study Examining Users' Psychological Responses to Screen Speed in Virtual Reality Exergame," *Journal of Korea Game Society*, Vol. 20, No. 5, pp. 41-51, October 2020. <https://doi.org/10.7583/JKGS.2020.20.5.41>
- [51] A. Bangor, P. Kortum, and J. Miller, "Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale," *Journal of Usability Studies*, Vol. 4, No. 3, pp. 114-123, May 2009.

권슬희 (Seul-Hee Kwon)



2020년 ~ 현 재: 광운대학교 미디어커뮤니케이션학부
※ 관심분야 : HCI, UX/UI, VR/AR, AI

황동욱 (Dongwook Hwang)



2019년 : 서울대학교 산업공학과 (박사)

2021년 ~ 현 재: 광운대학교 미디어커뮤니케이션학부 조교수
※ 관심분야 : 인간공학, HCI, VR/AR, 3D프린팅, UI/UX