

## 롤(roll) 형태의 출력방식을 활용하는 3D 프린팅 가방 개발

이지원 · 전재훈<sup>1)†</sup>

서울대학교 의류학과

<sup>1)</sup>서울대학교 의류학과/서울대학교 생활과학연구소

### Development of 3D Printed Bags Using Roll-Type Printing Method

Jiwon Lee and Jaehoon Chun<sup>1)†</sup>

*Dept. of Textile, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University; Seoul, Korea*

<sup>1)</sup>*Dept. of Textile, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University; Seoul, Korea*

*/Research Institute of Human Ecology, Seoul National University; Seoul, Korea*

**Abstract:** 3D printing technology, also known as additive manufacturing(AM), has not been actively used in the clothing industry despite its potential for economic, environmental, and labor efficiency. Therefore, this study aims to propose a new 3D printing method for the clothing industry, which will be more readily accessible. This roll-type printing method can print wide-sized patterns at once using a 3D modeling program and a FDM 3D printer and help overcome the limitations imposed by the size of the printer. Then, to demonstrate the practical application cases of this printing method, bags of three designs were developed. Prior to product development, a thickness test was performed for stable printing using TPU(Thermoplastic Poly Urethane) filament, and a thickness of 0.45 mm was found to be most suitable for it. Next, the time efficiency test showed that the roll-type printing method takes less time compared to the general printing method in printing wide-sized patterns. Based on these tests, three bags, <Design 1>, <Design 2> and <Design 3>, were developed to confirm the suitability of the roll-type printing method for product development. The advantages of 3D roll-type printing can lie in overcoming of the spatial limitation, and the environmental sustainability as it can reduce waste from the production process. This study is significant in that it presents a new 3D printing method to improve the space limitations and time inefficiency of 3D printers.

**Key words:** 3D printing (3D 프린팅), additive manufacturing (적층 가공), roll-type (롤 형태), bag design (가방 디자인), clothing industry (의류산업)

## 1. 서 론

오늘날 3D 프린팅 기술은 4차 산업혁명을 대표하는 혁신적 기술로 평가받고 있는데, 효율성 그리고 비용 및 시간의 절약이라는 이점으로 인해 건축, 의류, 항공, 예술 등의 다양한 산업군에서 적극적으로 활용되고 있다. 환경문제가 주요한 화두인 요즘의 의류산업계도 3D 프린팅 기술의 친환경적 가능성에 주목하면서, 이를 의류산업에 적용하기 위해 관련 연구 및 제품개발에 힘쓰고 있다. 제품의 생산에 3D 프린팅을 활용할 경우, 디지털 파일과 원자재만이 요구되므로, 전통적 제조과정

과 비교해 볼 때 디자인 과정, 생산 과정, 재고 처리, 제품 보관, 운송 등과 같은 비용과 시간의 절감에서 오는 많은 이점을 지닌다(Vanderploeg et al., 2017). 또한, 3D 프린팅 기술은 적층 가공(additive manufacturing) 기술을 활용하기 때문에 기존의 방식으로는 구현이 어려웠던 복잡한 디자인의 구현이 가능한다(Srivastava & Rathee, 2021), 디지털 파일의 모델링 데이터 제작, 그리고 이의 플랫폼을 통한 공유가 가능하게 됨에 따라 패션 산업 전반에서 패러다임의 변화를 일으킬 수 있다(Kim, 2022). 아울러, 3D 프린팅 기술의 활용은 이산화탄소 배출 감소, 친환경 소재 사용, 기존의 의류 제조 공정의 단축이라는 친환경적 가능성도 내포하고 있다.

이와 같은 제조과정에서의 효율성 증진 그리고 친환경적 가능성을 지님에도 불구하고 의류산업에서의 3D 프린팅 기술의 활용은 타 산업 분야에서보다 활발하지 못한 상황인데, 이는 피복 재료로 인해 넓은 면적이 요구되는 의류 제조 산업의 제작 프로세스상의 문제, 그리고 3D 프린터가 지닌 소재적 한계 때문이다(Kim et al., 2019). 한편, 가장 일반적으로 많이 사용되고 있는 출력방식인 FDM(Fused Deposition Modeling)의 경

†Corresponding author: Jaehoon Chun

Tel. +82-880-8604

E-mail: kingkem2@snu.ac.kr

©2022 Fashion and Textile Research Journal (FTRJ). This is an open access journal. Articles are distributed under the terms of the Creative 52 Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

우, 출력할 수 있는 면적이 베드(bed) 크기 내로 한정되는 데다 출력 시간이 오래 걸린다는 점이 의류산업에서의 활용에 있어 한계점으로 언급되고 있다. Kim(2022)의 국내 3D 프린팅 패션 동향 연구에 의하면 3D 프린팅 패션 연구가 시작된 2013년 이래 3D 프린팅 패션 관련 연구는 꾸준히 증가하고 있는데, 해당 연구들은 출력 크기의 제한과 연결 작업 문제 그리고 제작 시간의 문제 등과 같은 기술적 한계점을 언급하고 있다고 밝힌 바 있다. 이에 본 연구는 FDM 방식의 3D 프린팅 기술을 활용하여 의류제품을 개발하되, 롤(roll) 형태의 출력방식을 활용함으로써 선행연구들이 언급하였던 한계점을 개선해 보고자 하였다.

본 연구의 목적은 의류제품의 제작에 있어서 FDM 방식의 3D 프린팅 기술을 활용하되, 롤 형태의 출력방식을 통해 원단의 로스 없이 디자인에 필요한 패턴을 한 번에 출력함으로써 제조 공정의 단축 방안을 연구하며, 이러한 출력방식을 세 가지 디자인의 가방 제작에 활용하여 의류제품의 개발의 실질적인 적용 사례를 보여주는 것이다. 롤 형태의 출력방식은 의류제품의 제작 시 필요한 패턴만을 출력할 수 있기에 기존의 의류 제조과정에서 발생하는 원단 폐기물의 감소, 노동력의 절감을 통한 제조 공정의 단축이라는 3D 프린팅의 이점을 실현할 수 있을 것이다. 본 연구는 롤 형태의 출력방식을 세 가지 디자인의 가방 제작에 활용함으로써 의류제품의 개발과 관련된 사례의 제시를 통해 노동집약적인 의류산업에서 3D 프린팅 기술이 가지는 효율적인 활용 방안을 제안해보고자 하였으며, 이는 추후의 의류산업에서의 3D 프린팅 기술의 활용 관련 연구에 도움이 될 것이다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 3D 프린팅 의류 연구 동향

본 절은 연구에 앞서 의류산업에서의 3D 프린팅 기술 활용과 관련된 선행연구에 대해 살펴보았다. 그 가운데 많은 연구들이 3D 프린팅 기술이 기존의 전통적인 제조방식에서 문제로 대두되는 환경적 이슈에 대응할 수 있는 잠재 가능성을 지닌다고 언급하고 있다. 3D 프린팅은 4차 산업혁명의 핵심적 기술로, 재료 사용, 제조 공정 그리고 시설의 최적화를 통해 자원을 효율적으로 사용하고, 제조과정에서 발생하는 폐기물, 에너지 소비 그리고 이산화탄소의 배출을 감소시키면서 환경에의 영향을 줄이고 있다(Dalenogare et al., 2018; Kamble et al., 2019; Machado et al., 2020; Wang et al., 2016). 3D 프린팅 의류 또한 디지털 파일의 데이터를 통해 옷을 출력하기 때문에, 의류 제조과정에서 발생하는 원단의 폐기물을 감소시킨다는 환경적 이점, 효율적인 제조 공정에서 오는 경제적인 이점 그리고 의류 제조과정에서의 지속가능성이라는 여러 측면에서 최적화의 가능성을 지닌다(Sun & Zhao, 2017). Lim and Cassidy (2014)의 연구는 기존 제조 공정과 3D 프린팅 기술이 접목된 제조 공정의 비교를 통해, 3D 프린팅 패션의 특징을 적은 원

자재 소비, 제조 공정 시간 단축, 경제적 이점, 폐기물 발생 감소 및 에너지 절약 등으로 범주화하면서 3D 프린팅 패션의 지속가능성을 강조하였다. 또한, 3D 프린팅 기술은 생산성과 개인 맞춤 기능의 향상을 통해 수작업을 최소화하고, 생산 프로세스가 단순화, 간소화되며 생산 비용을 절감할 수 있다(Jin & Shin, 2021; Kim, 2015). 하지만 재료의 한계, 프린트 가능한 크기가 제한되어 있다는 점, 출력 이후 지지대 제거 등의 후처리 문제, 대량생산 시의 비효율성, 저작권 관련 문제 등과 같은 한계점도 제시된다(Chun, 2017; Xiao & Kan, 2022). 지속가능성과 관련하여 3D 프린팅은 환경적, 경제적 이점 외에도 기존 제조 프로세스의 변화를 통해 노동 구조의 변화를 유발하는데, 디지털화를 통한 사회적 영역의 지속가능한 변화 가능성도 내포되어 있으며(Gebler et al., 2014), 따라서 노동집약적인 의류 산업에서 이와 관련된 연구도 필요하다고 하겠다.

3D 프린팅이 지닌 이러한 이점들로 인해 2012년과 2013년 이후에는 3D 프린팅과 관련된 패션 연구도 꾸준히 수행되고 있는데, 그 사례는 증가하는 추세로(Kim, 2022; Sitotaw et al., 2020), 이는 3D 프린터의 활용 증가에 따라 더 많은 연구자가 이 분야의 연구를 하고 있기 때문으로 생각할 수 있다(Sitotaw et al., 2020). 의류산업 내에서의 3D 프린팅에 관한 연구들은 FDM 기술과 SLS(Selective Laser Sintering) 기술이 가장 많이 연구되고 있는데(Kim et al., 2019; Vanderploeg et al., 2017), 그중 비교적 저렴한 비용이 드는 FDM 방식의 3D 프린팅 기술이 SLS 방식보다 더 보편적으로 많이 사용되고 있다(Kim et al., 2019). 3D 프린팅 의류와 관련된 최근의 연구들을 살펴보면, 패션 디자인과 관련된 연구, 텍스타일 소재나 기술적 내용과 관련된 연구 그리고 지속가능성과 관련된 연구의 세 가지 범주로 분류되는데, 그 내용을 정리한 바는 Table 1과 같다.

첫 번째 범주인 3D 프린팅 기술의 패션 디자인에의 적용 연구가 그중 가장 많이 수행되는 연구로, 의복의 부분 또는 전체를 3D 프린팅으로 구현하기 위한 시도가 다양한 방식으로 이루어지고 있다. Kim(2020)과 Lee and Lee(2022)의 연구는 전통적으로 수공예적 성격이 강한 레이스 패턴을 FDM 3D 프린팅으로 구현함으로써 새로운 기술과의 접목을 통한 디자인의 확장을 모색하였다. 3D 프린팅을 패션 디자인에 적용하는 연구는 최근까지도 활발하게 이루어지고 있으며(Jeong et al., 2021; Kim et al., 2019; Lee, 2020; Lee & Koo, 2022), Chan et al.(2021)의 연구는 다양한 색상과 표면 질감을 가진 3D 프린팅 패션 프로토타입을 제작하기도 하였다. 최근에는 3D 프린팅 기술을 패션 디자인에 적용하는 것뿐만 아니라 착용감과 내구성에 대한 연구도 이루어지고 있다. Spahiu et al.(2020)의 연구는 FDM 프린팅 방식을 활용하는 의복개발 연구로, 3D 프린팅 기술을 활용하여 의류 디자인을 개발하며, 추후 제작된 의류의 내구성 실험을 통해 실제 착용 시의 착용감까지 평가하였다. Lee(2019)의 연구에서는 실제 패션쇼에서 착용되는 패션 디자인에 FDM 방식과 SLA 방식을 활용하였으며 그 내구성을

Table 1. Research on 3D printed clothing

Category	Researcher	Research title
Fashion design	Kim et al. (2019)	A study of the development and improvement of fashion products using a FDM type 3D printer
	Lee (2019)	A study on the development of 3D printed garments for fashion shows
	Lee (2020)	A study on types of 3D printing applications and their characteristics in fashion design
	Kim (2020)	A study on the modular race textile design using 3D printing
	Spahiu et al. (2020)	3D printing for clothing production
	Chan et al. (2021)	Creation of 3D printed fashion prototypes with multi-coloured texture: A practice-based approach
	Jeong et al. (2021)	Developing parametric design fashion products using 3D printing technology
	Lee and Lee (2022)	A study on 3D printing fashion design that converges lace technique
Textile & technology	Lee and Koo (2022)	Development of three-dimensional printed cultural fashion products using symbols of longevity
	Tenhunen et al. (2018)	Surface tailoring and design-driven prototyping of fabrics with 3D printing: An all-cellulose approach
	Takahashi and Kim (2019)	3D printed fabric: techniques for design and 3D weaving programmable textiles
	Uysal and Stubbs (2019)	A new method of printing multi-material textiles by fused deposition modelling (FDM).
	Kang (2020)	Development of a 3D printing method for garment panels using the hybrid textile structure
	Everitt et al. (2021)	Enabling multi-material 3D printing for designing and rapid prototyping of deformable and interactive wearables
Sustainability	Goncu-Berk et al. (2022)	Embedding 3D printed filaments with knitted textiles: Investigation of bonding parameters
	Pasricha and Greeninger (2018)	Exploration of 3D printing to create zero-waste sustainable fashion notions and jewelry
	Kam and Yoo (2019)	Presentation methods for transformable fashion design
	Kam(2019)	A study on sustainable fashion products using Korean image and 3D printing
	Lee and Lee (2021)	Development of 3D printing fashion eyewear using eco-friendly filaments

평가 및 비교하였다. 이처럼 디자인과 관련된 연구는 의류산업계가 3D 프린팅 기술의 활용을 통해 자유로운 표현의 구현이 가능하도록 그 영역을 확장해 나가고자 하며, 최근의 연구들은 자유로운 디자인적 표현뿐만 아니라 실제의 착용이 가능하도록 해당 의류의 착용감이나 내구성까지도 고려하고 있다.

두 번째 범주인 3D 프린팅과 관련된 텍스타일 소재나 기술적 내용과 관련된 연구들로는, 전통적 직물의 편안함과 착용감을 실현하는 3D 프린팅 소재와 구조에 대한 연구(Goncu-Berk et al., 2022; Kang, 2020), TPU 필라멘트가 서로 교차하여 쌓이는 직조 방식을 FDM 3D 프린팅 기술에 접목한 연구(Takahashi & Kim, 2019), 직물에 재료를 직접 프린팅함으로써 소재의 특성 차이로 유발되는 기능성과 장식성을 제안하는 연구(Tenhunen et al., 2018), 3D 프린팅 슬라이싱 프로그램에서의 출력방식의 변화를 통해 서로 다른 재료를 섬유와 비슷한 유연한 소재로 구현하는 연구(Uysal & Stubbs, 2019) 등이 있었다. 그 밖에도 의료용, 스포츠 웨어러블과 같은 최근의 디지털 기술을 3D 프린팅 의류에 적용함으로써 의복의 기능성을 향상시키고자 하는 연구(Everitt et al., 2021)가 있었다. 소재나 기술적 내용과 관련된 이러한 연구들은 3D 프린팅 기술을 효율적으로 의류로 구현하는 방식에 대해 제안하고 있으며, 새로

운 소재나 기술의 적용을 통하여 3D 프린팅 의류의 한계점을 개선하고자 노력하고 있었다.

세 번째 범주인 지속가능성과 관련된 선행연구로는, 친환경적 소재를 이용하는 3D 프린팅 패션 제품 개발연구(Kam & Yoo, 2019), 자연 친화적인 한국적 이미지의 특성과 친환경적 소재를 활용하는 지속가능한 제품 연구(Kam, 2019), 친환경적 소재를 활용하는 3D 프린팅 패션 아이웨어 개발연구(Lee & Lee, 2021), 친환경적 소재인 PLA를 활용하는 단추, 목걸이 등의 주얼리 제작 연구(Pasricha & Greeninger, 2018) 등이 있었다. 이처럼 지속가능성과 관련된 연구들은 친환경적 재료의 사용이라는 방식을 통하여 3D 프린팅 기술의 지속가능성에 주목하고 있다.

FDM 3D 프린팅 기술을 의류에 활용했던 많은 선행연구들은 공통적으로 3D 프린팅 기술의 이점과 가능성을 강조하면서도, 이것이 프린터의 베드 위에서만 출력이 가능하기 때문에 의류와 같은 넓은 면적의 출력에는 공간적 제약이 있음을 그 한계점으로 지적한다. 또한, Fig. 1에서의 예시에서 볼 수 있듯이 출력된 다수의 모듈을 부착하거나 결합하는 방식을 사용할 경우, 여기서 오는 노동집약적 성격은 3D 프린팅 기술이 지닌 효율적 제조과정의 이점을 상쇄한다고 선행연구들은 지적하고

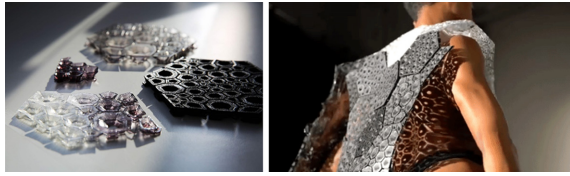


Fig. 1. 3D printing hexagon modules by Mingjing Lin.  
<https://3dprintingindustry.com>.

있다. 이에 의류산업에서의 FDM 3D 프린팅의 효율적 활용을 위해서는 출력물의 크기와 관련된 개선 방안 그리고 제조 공정의 단축을 통해 노동력을 절감할 수 있는 효율적 제조 프로세스에 관한 연구가 요구되는 실정이다.

## 2.2. 3D 프린팅 의류의 유형

앞에서 살펴본 바와 같이, 3D 프린팅 기술을 의류 디자인에 활용하는 연구들이 다양하게 수행되고 있었는데, 이를 좀 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. Kim et al.(2019)의 연구는 3D 프린팅 의류의 유형에 대해서, 전체 의복의 출력, 의복의 부분적 출력 그리고 액세서리나 다른 아이템의 출력이라는 세 가지의 타입으로 분류하였고, 전체 의복을 출력하는 방식이 증가하고 있음에도 불구하고 여전히 거의 모든 연구가 부분적인 출력을 하고 있다고 지적하였다. 전체 의복을 출력하는 경우, SLS 방식의 출력이 대다수였는데, 이는 비용, 소재 그리고 후처리 문제와 관련되어 있다고 그 이유를 생각할 수 있다. Kam(2019)의 연구는 지속가능성이라는 측면에 주목하면서, 3D 프린팅 의류의 유형을 디지털 자연주의형, 자원 절감 레이저형, 효율적 유닛 연결형, 다기능 모듈형, 상생적 기술융합형으로 분류하였다. Sitotaw et al.(2020)의 연구는 최근 3D 프린팅 의류의 사례와 선행연구를 바탕으로 프린팅 방식과 섬유와의 관계를 분류하기를, 디자인의 유형을 텍스타일 위에 프린팅하는 유형, 유연한 구조를 프린팅하는 유형, 유연한 재료를 프린팅하는 유형의 세 가지로 나누었다.

본 연구는 3D 프린팅 기술을 활용하는 의류 디자인의 유형을 제조과정에서 3D 프린팅이 활용되는 방식과 출력물이 옷으로 구현되는 구성 방식에 의해 분류하되, 유닛 연결형, 부분 출력형, 원단 위에 출력형 그리고 전체 출력형의 네 가지 유형으로 나누었으며, 이 네 가지 유형의 특징을 파악하여 3D 프린팅 기술의 의류산업에의 활용 방안은 물론 그 한계점도 살펴보고자 하였다.

우선, 유닛 연결형은 하나의 모티브나 모듈 패턴의 기본 단위를 배열, 조립 그리고 중첩함으로써 크기와 모양을 달리하여 결합하는 방식으로, 기본 단위의 반복을 통해 전체를 구성하는 방식이다(Kim, 2020). 3D 프린터의 출력 크기의 한계에 대응하여 다니트 펠레그(Danit Peleg), 프란시스 비톤티(Francis Bitonti) 등의 디자이너들은 유닛들의 결합을 활용하는 디자인을 활발하게 선보였다. 유닛 연결형은 유닛들을 연결하는 모양과 방식에 따라 다양한 아이템을 만들 수 있는 활용이 가능한

데, 이와 같은 제작 아이템의 확장 가능성 이외에도 사용자 개인의 의견을 수용할 수 있는 차별화된 디자인적 표현이 가능하다는 장점이 있다(Kam, 2019). 또한, 3D 모델링 프로그램을 사용하여 유닛의 구조와 크기의 변형이 가능하기에 이러한 조정을 통해 직물과 같은 유연성을 만들어낼 수 있다(Gürçüm et al., 2018). Kim et al.(2019)의 연구는 3D 모델링 프로그램을 통해 디자인된 유닛들을 다양한 방식으로 연결한 프로토타입들을 제안하면서 유닛들의 연결 방식과 소재 개발의 필요성에 대해 언급하였다. 이처럼 유닛 연결형은 각각의 유닛을 필요한 면적만큼 출력해서 사용해야 하는데, 제품의 제작 시 이것들을 서로 연결해야 하는 문제가 노동집약적인 비효율성을 지닌다는 한계점이 있다.

두 번째로, 부분 출력형은 3D 프린팅 출력물을 의복의 패턴에서 필요한 부분을 출력한 후 이를 결합하는 방식으로, FDM 프린터를 사용하여 텍스타일 패턴, 체인메일(chainmail), 니팅(knitting) 그리고 직조(weaving)와 같은 직물의 구조를 재현하여 출력하는(Melnikova et al., 2014; Takahashi & Kim, 2019) 방식이 여기에 포함된다. Lee and Lee(2022)는 개인에게 맞춤형 원피스 패턴을 설계한 후 레이스 기법을 적용해 필요한 부분을 패턴으로 출력하였고, 이에 맞게 고안된 여밈과 열접착 방식으로 부분들을 결합해 의상을 제작하였다. 부분 출력방식 또한 프린터의 출력 가능 면적의 한계, 결합이라는 노동의 문제, 접착의 비효율성 등이 한계점으로 언급되었다(Lee & Lee, 2022; Takahashi & Kim, 2019).

세 번째는 기존의 원단 위에 구조물을 3D 프린팅으로 출력하는 방식으로, 이 방식은 원단과 프린팅되는 소재의 물성의 차이로 인해 생겨나는 기능성과 장식성을 활용할 수 있다(Grimmelsmann et al., 2016; Sabantina et al., 2015; Tenhunen et al., 2018). 이 방식의 경우, 전통적으로 사용되는 부드러운 직물 위에 3D 프린팅으로 출력된 단단한 형태가 결합되면서 복합적인 구조의 설계가 가능해진다(Sitotaw et al., 2020). 하지만 원단과 프린팅 재료가 상호 이질적이기에 안정적인 결합이 중요한 요소가 되며, 의류제품으로 사용되기에 적절한 내구성을 지니는 소재로 제한된다는 점이 한계점으로 지적되었다.

마지막은 제품 전체를 출력하는 방식으로, SLS 방식을 사용하는 너버스 시스템(Nervous System)사의 키네틱스 드레스(Kinematics Dress)를 예로 들 수 있는데, 제조된 의복은 접힌 형태로 출력된다. SLS 방식은 FDM 방식보다 세밀하고 정교한 구조의 출력이 가능하기 때문에(Song, 2020) 의복 전체를 출력하는 데는 유리하지만, 비용적인 부담과 후처리가 까다롭다는 단점이 있기에 FDM 방식에 비해 보편적으로 사용이 되지는 않는다. FDM 방식을 활용하여 전체를 출력하는 제품은 프린터의 출력 공간의 한계로 인해 의복보다는 액세서리, 구두, 단추 등의 사례가 대부분이다(Pasricha & Greeninger, 2018).

이처럼 대부분의 연구들은 출력 크기의 제한, 출력물의 연결 작업, 제작 시간 그리고 기술과 관련된 문제들을 3D 프린팅 제품 제작의 한계점으로 꼽고 있다. 이러한 상황을 고려하여,

본 연구는 FDM 3D 프린팅 기술을 제품의 제작에 활용하되, 롤 형태의 출력방식을 활용함으로써 선행연구들이 언급하였던 한계점을 개선해보고자 하였다.

### 3. 연구 방법

앞서 언급되었던 FDM 3D 프린팅의 한계점을 개선함으로써 의류산업에서의 효율적인 3D 프린팅의 활용이 가능할 수 있도록 제품 제작에 롤 형태의 모델링의 사용을 제안하였다. 본 연구는 SLS 3D 프린팅으로 의복이 접힌 형태로 출력되는 너버스 시스템사의 키네매틱스 드레스에서 착안하여(Fig. 2), 가장 일반적으로 사용되고 있는 FDM 방식의 3D 프린터를 활용하되, 출력물이 압축된 형태로, 넓은 면적이 안으로 말려진 상태로 출력이 되지만, 출력 이후에 넓은 면적으로 확장이 될 수 있는 롤 형태를 고안하였다(Fig. 3).

#### 3.1. 롤 형태의 모델링

본 연구에서 제안하는 롤 형태의 모델링은 3D 모델링 프로그램인 라이노 7.0(Rhino 7.0)을 활용하였다. Fig. 4는 롤 형태의 모델링 과정을 보여주는 것으로, 라이노 7.0 3D 모델링 프로그램의 'Flat Spiral' 기능을 활용하고, 프린터의 베드 사이

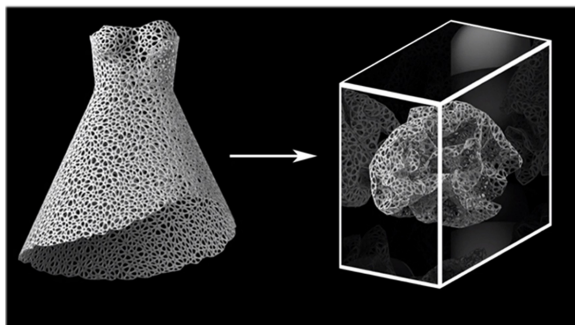


Fig. 2. Kinematics dress.  
<https://www.youtube.com>.

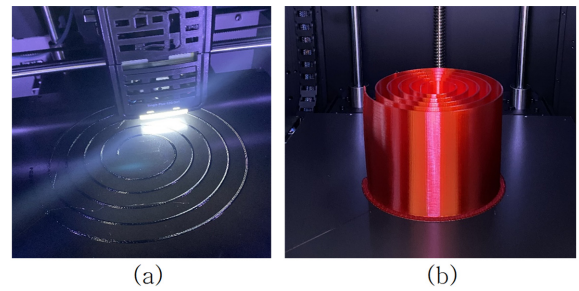


Fig. 5. Roll-type 3D printing process; (a) bottom layer (b) output.

즈 안에서 나선 형태의 커브를 바닥 평면상에 배치한 후, 'Extrude' 명령어 기능을 사용하여 높이 길이만큼 확장하는 것이 그 기본 원리이다. 넓은 면적을 바닥 면으로 출력하는 일반적인 방식이 아니라 Fig. 5의 (a)와 같이 원단 두께인 0.45 mm를 바닥 면으로 하여 높이 방향으로 세워 출력하는 방식으로, 안으로 말려진 형태로 출력되기 때문에 FDM 3D 프린터 베드의 제한된 면적 안에서 출력되는 면적을 길이 방향으로 늘릴 수 있다는 장점을 지닌다(Fig. 5).

#### 3.2. 가방 제작

본 연구는 롤 형태의 출력방식을 사용하여 제품 디자인에 필

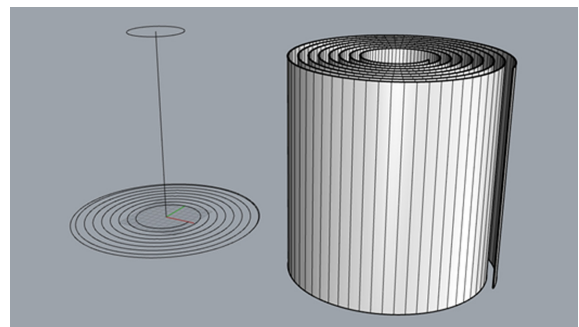


Fig. 3. Roll-type 3D modeling process.

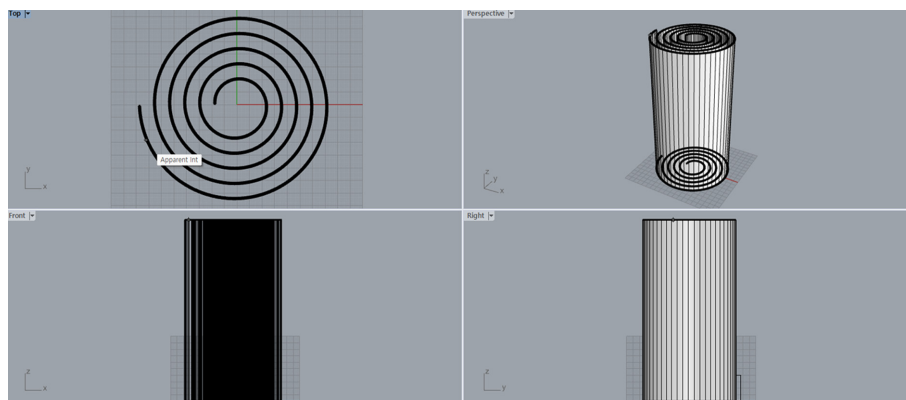


Fig. 4. Roll-type 3D modeling process.

요한 패턴을 한 번에 출력하는 방안을 연구함으로써 3D 프린팅 기술의 효율적이며 실질적인 활용 방안을 제안하고자 하였다. 본 연구의 개발 제품으로는 에코백을 선정하였는데, 그러한 선정의 이유는 에코백이 넓은 의미에서는 디자인, 소재, 생산 방식 등에서의 친환경적 특성에 중점을 두며, 디자인 및 생산 과정에 있어서는 버려지는 원단이 적고, 제작 과정이 단순하여 노동력이 절약된다는 이점이 있기 때문이다(Kim, 2017). 에코백은 지속가능성과 친환경적 목적성을 공유하는 다양한 유형으로 전개될 수 있다(Kwan, 2012). 본 연구도 3D 프린팅의 친환경적 장점과 생산 과정의 효율성을 염두에 두면서, 가방 제작 시 3D 프린팅을 활용하되 롤 형태로 출력하고, 가방 제작에 필요한 만큼의 원단만을 출력함으로써 일반적인 가방 제조 공정에서 발생하는 원단의 폐기물을 줄이며, 제조 공정에서 노동력이 필요한 부분을 3D 모델링을 통해 구현함으로써 제조과정의 단축이 가능하도록 하였다.

본 연구는 제품의 제작에 앞서, 사전 연구를 통해 롤 형태의 모델링 과정에 적합한 두께 그리고 효율적인 제작 시간에 대한 테스트를 시행하였고, 이를 바탕으로 세 가지 디자인의 가방을 제작함으로써 3D 프린팅 기술을 효율적으로 제품 제작에 적용할 수 있는 방안을 연구하였다.

본 연구의 모델링에는 사용된 프로그램으로는 라이노 7.0이 활용되었으며, 이후 큐빅크리에이터4(Cubicreator4) 슬라이싱 프로그램을 통해 3D 프린팅이 가능한 G-code의 파일 형식으로 변환하였다. 출력의 소재로는 유연성을 지녔으며, 어느 정도 변형이 가능한데다 원단으로의 활용에 적합한 물성을 지닌 TPU가 사용되었고, 큐비콘사의 FDM 프린터인 Cubicon-Neo 031로 프린팅 작업을 하였다.

## 4. 연구 결과

### 4.1. 롤 형태에 대한 테스트

본 연구는 선행연구들을 바탕으로, 기존 3D 프린팅의 의류 제품 제작의 주요 한계점으로 지적되었던 출력 면적의 한계를 모델링 방식의 변화를 통해 개선하고자 하였다. 이를 위해 3D 모델링 프로그램인 라이노 7.0을 사용하여, 얇은 두께의 출력물이 프린터 베드 위에서 말려진 형태로 층층이 쌓여 높이 길이로 출력되도록 하는 롤 형태의 출력방식을 고안하였다. 우선, 제품의 제작에 앞선 사전 연구를 통해 롤 형태의 모델링 과정에 적합한 두께 그리고 효율적 소요 시간을 알아보고자 다음과 같이 테스트를 시행하였다.

#### 4.1.1. 프린팅의 두께 테스트

프린팅되는 출력물의 안정성의 정도를 알아내기 위해, 두 차례에 걸친 두께 테스트가 진행되었는데, 이와 관련해 정리된 내용은 Table 2와 같다. 우선 1차 테스트에서는 안정적인 출력을 위해 0.1 mm의 두께 차이를 두면서 1 mm부터 0.4 mm에 이르기까지 테스트를 진행했다(Fig. 6). 그런데, 0.8 mm 이상의 두께의 경우, 프린터 베드에 닿는 출력물의 면적, 즉, 롤 형태의 두께 부분이 두껍게 형성되었다. 그 결과, Fig. 7에서 볼 수 있듯이 슬라이싱 프로그램에서 프로그래밍이 된 출력 경로를 따라, 롤 형태의 바깥쪽 부분과 안쪽 부분이 상하 면적의 차이로 인해 출력물이 갈라지는 오류가 발생하였다. 반대로 0.4 mm 이하의 두께에서는 프린터의 베드에 닿는 출력물의 면적, 즉, 롤 형태의 두께 부분이 너무 얇게 형성되면서, 프린터의 익스트루더(extruder)에서 출력되는 용융된 TPU 필라멘트가 안정적으로

Table 2. Thickness test

Test	The contents of tests
1st	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Test from 1.00 mm to 0.40 mm with a thickness difference of 0.10 mm for stable output</li> <li>· Split due to the difference between the inside and outside of the output at the thicknesses above 0.80 mm</li> <li>· Instability of TPU filament accumulation when less than 0.40 mm</li> </ul>
2nd	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Test with the thickness difference of 0.05 mm based on the first test</li> <li>· Stable output with the thickness of 0.45 mm</li> </ul>

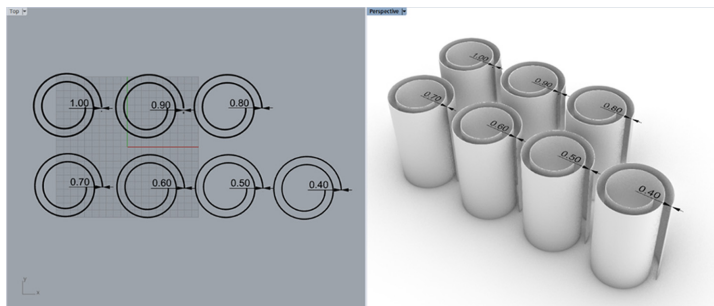


Fig. 6. Thickness test.



Fig. 7. Thickness test.

높이 쌓이지 않아 의도된 디자인 패턴을 구현하는 데에 한계가 있었다.

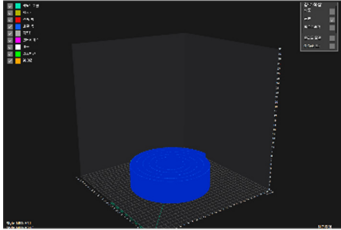
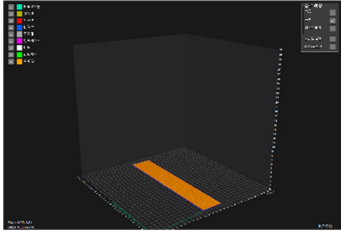
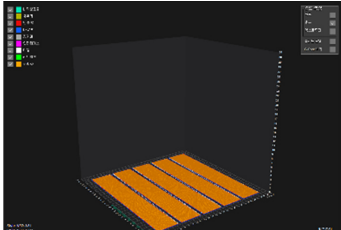
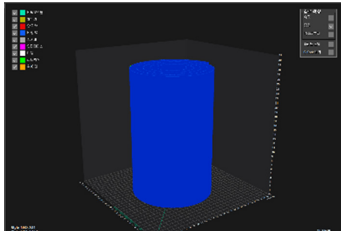
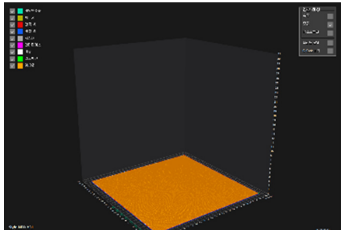
1차 테스트를 바탕으로 진행된 2차 테스트에서는, 0.05 mm의 두께 차이를 두면서 안정적 출력이 가능한 최소의 두께에 대한 테스트를 시행하였다. 이러한 과정을 통해 프린터 베드 높이 길이만큼의 안정적인 출력이 가능한 두께로는 0.45 mm가 가장 적절함을 확인하였으며, 이 두께로 출력할 경우 실용성을 지닌 가방의 원단으로 활용할 만큼의 내구성을 지니며 출력 경로상 롤 형태 모델링이 얇은 두께의 외벽으로만 출력됨으로써 롤 형태의 바깥쪽 면과 안쪽 면의 차이로 인한 출력물의 갈라짐 현

상이 발생하지 않아 본 연구의 가방 개발에 가장 적합한 두께라고 판단되었다.

4.1.2. 시간 효율성 테스트

3D 프린팅 기술을 의류산업에 활용하는 데 있어서의 어려움은 출력 면적의 한계 이외에도 출력에 시간이 많이 소요된다는 점이 주요하게 지적된다. 특히 의류제품은 신체를 덮을 만큼의 넓은 면적이 필요하므로, 3D 프린팅의 출력 시간도 더 많이 소요된다. 따라서 본 연구는 상기 고안된 롤 형태의 출력방식이 시간상으로도 효율적인지를 알아보고자 하였다. 이를 위해

Table 3. Time efficiency test

Test	Model	Single output area(cm <sup>2</sup> )	Single printing time(min.)	Calculated time(min.)
1a(Roll-type)		1400	860	860
1b(Flat printing)		140	110	1100
1c(Flat printing)		700	523	1046
2a(Roll-type)		7840	4451	4451
2b(Flat printing)		784	546	5460

큐비크리에이터4 슬라이싱 프로그램을 통해 모델링을 G-code로 변화시킨 후, 그에 따라 프로그램 내에서 계산되는 ‘출력 예상시간’을 통해 롤 형태 방식과 일반적 방식 간의 출력 시간을 비교하였다. 비교의 시행 방식은 출력하고자 하는 총면적을 정하고, 이를 같은 두께로 출력하되, 롤 형태의 방식으로 출력했을 경우와 일반적인 방식으로 베드의 최대 크기로 여러 번에 나누어 출력했을 경우, 이 양자의 출력 소요 시간을 비교하였다. Table 3에는 5×280(cm)의 총 1,400 cm<sup>2</sup>의 면적을 갖는 롤 형태 모델링(1a), 5×28(cm)의 총 140 cm<sup>2</sup>의 면적의 평면 모델링이 단일 형태로 출력되는 경우(1b), 프린터의 최대 사이즈에 맞게 다섯 개의 피스가 동시에 출력되는 경우(1c)와, 프린터의 최대 높이를 가정하여 28×280(cm)의 7,840 cm<sup>2</sup>의 면적을 갖는 롤 형태 모델링(2a) 그리고 프린터 베드의 출력 최대 사이즈인 28×28(cm)에서의 784 cm<sup>2</sup>의 면적을 갖는 모델링(2b), 이 5가지 경우의 출력 시간이 정리되어 있다. 이를 계산적으로 비교해보면, 롤 형태로 출력할 때(1a, 2a), 해당 면적만큼 반복해서 출력하는 경우보다(1b, 1c, 2b) 출력 시간이 감소한 것으로 나타났다. 롤 형태의 모델링은 넓은 면적의 형태를 출력할 때, 동일한 면적을 여러 분할된 피스로 출력할 때보다 더 적은 시간이 소요되고 있어 출력 시간의 감축이라는 효율성을 얻고 있었다.

4.2. 가방 제작

앞선 두께 테스트와 시간 효율성 테스트를 바탕으로 하여, 세 가지 디자인의 가방을 제작하고자 하였는데, 이는 롤 형태의 출력방식을 제품 제작에 실질적으로 활용해보으로써 효율적인 제품 제작 방식을 연구해보며, 3D 모델링 프로그램을 통해 가능한 한 최소로 필요한 패턴만을 출력함으로써 제조 공정의 단축이라는 효율성을 얻고자 함이었다. Fig. 8은 본 연구를 통해 제작된 세 가지 디자인의 가방으로, 그 구체적인 제작 과정은 다음과 같다. 우선, 가방의 원단은 앞선 테스트를 바탕으로 봉제를 활용하기 용이하며, 실제 물건을 담을 수 있는 가방의 내구성과 출력의 안정성을 위해 0.45 mm의 두께로 출력하였으며, 가방의 손잡이와 같이 힘을 상대적으로 많이 받는 부분은 0.7 mm의 두께로 출력하였다. 세 가지의 가방은 디자인에 따라 (a)와 (c)의 경우는 봉제를 통한 결합 방식, (b)의 경우 스티드



Fig. 8. Bag designs; (a) <Design 1>, (b) <Design 2>, (c) <Design 3>.

를 활용한 결합 방식을 활용하였다. 봉제를 통해 결합하는 경우 제작 과정에서 패턴이 맞물리는 부분에 라이노 3D 모델링 프로그램을 통해 완성선이 포함된 패턴에 1 cm의 시점 분량을 추가하여 모델링하였다. Fig. 9는 시점 분량이 추가된 패턴을 롤 형태로 모델링하는 과정을 나타낸 것으로, 프로그램 화면의 빨간색 선은 완성선을 나타내며, 시점 분량이 추가된 흰색의 패턴을 롤 형태로 변형하여 최종 출력하는 방식으로 제작하였다. 스티드를 활용한 결합 방식의 경우에는 Fig. 10과 같이 3D 모델링을 통해 패턴이 결합 될 위치에 펀칭이 배열된 상태로 출력하였으며, 출력 이후 스티드로 출력물을 연결하는 방식으로 제작하였다.

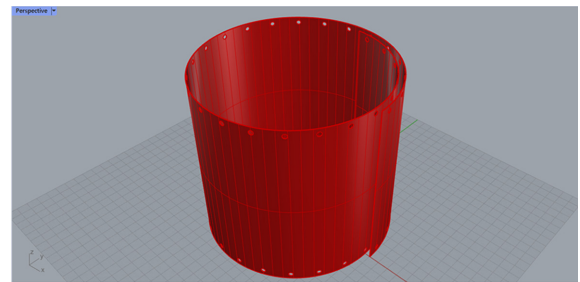


Fig. 10. Pattern modeling with side punching.

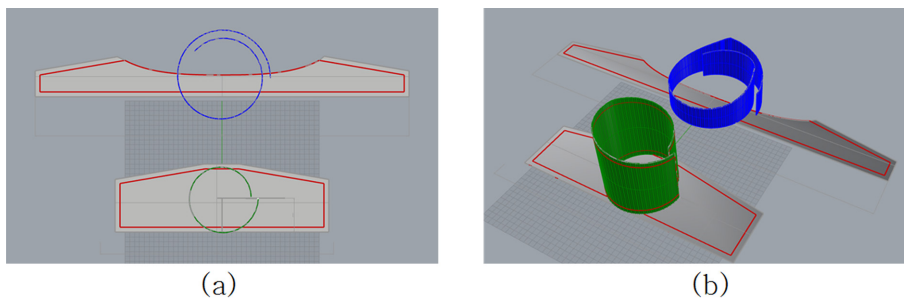


Fig. 9. Pattern modeling with seam allowance; (a) top view, (b) perspective view.



4.2.1. <디자인 1> 제작

<디자인 1>은 기본적인 롤 형태의 출력방식으로, 출력물을 펼쳤을 때 직사각형의 패턴이 되는데, 이는 롤 형태의 프린팅을 활용하여 최대한의 넓은 면적을 한 번에 출력하는 방안을 찾기 위함이었다. 이 디자인은 필라멘트를 롤 형태로 적층하여, 출력물을 펼쳤을 때 직사각형이 될 수 있는 패턴을 활용하는 제품이다. 가방 제작에는 몸통 부분과 손잡이 부분이 필요하기에 두 가지 형태의 모델링을 진행하였으며, 디지털 파일의 형식이어서 형태의 복제가 자유롭고 크기와 변형이 쉬운 3D 프린팅의 이점을 활용하였다(Kim, 2017). 우선, 두 종류의 디지털 파일을 바탕으로, 필요한 면적만큼의 패턴을 슬라이싱 프로그램을 통해 높이 및 패턴 크기를 조절하면서 반복 출력하였다. 최종 출력물은 가방 디자인에 맞도록 몸통(3pcs.)과 손잡이(1pc.)의 총 네 개의 직사각형 패턴으로 구성되었고, 해당 패턴의 세부 사이즈는 Table 4에 제시된 바와 같다. 디자인은 안으로 말려진 롤 형태의 출력방식을 통해 3D 프린터인 Cubicon Neo-031 모델의 프린터 베드 사이즈인 가로 31 cm, 세로 31 cm의 크기를 초과하는 큰 면적을 출력할 수가 있었다. 특히 손잡이 패턴은 160 cm의 길이를 가진 패턴을 롤 형태로 출력하였으며, 디자인에서 의도한 대로 가방 몸판 부분 전체를 감싸면서 손잡이의 기능을 할 수 있는 길이 방향의 긴 패턴의 활용이 가능해졌다. <디자인 1>의 가방 몸통 부분은 모델링 과정

에서 완성 패턴에서 1 cm의 시접 분량을 추가하여 최종 출력하였으며, 시접 부분을 겹쳐 봉제하고 손잡이 부분은 가방 몸통의 길 부분에 봉제하여 내구성을 높이고자 하였다. <디자인 1>의 제작 과정은 Fig. 11과 같다.

4.2.2. <디자인 2> 제작

<디자인 2>의 제작 과정은 Fig. 12과 같다. Fig. 12의 (c)와 같이 가죽 제품을 제작할 때 사용되는 결합 장식이 가방 제작에 활용되었는데, 롤 형태의 패턴을 출력하여 가방의 몸통 부분은 가죽용 스티드 장식으로 결합하고, 손잡이는 봉제로 결합하는 방식으로 제작하였다. 3D 모델링의 과정에서 라이노 3D 프로그램을 활용하여 스티드를 결합할 위치에 필요한 펀칭 형태를 추가하였다(Fig. 10). 필요한 만큼의 원단을 재단하고 결합 공정의 일부를 컴퓨터 3D 모델링을 통해 구현함으로써, 제조 과정에서 발생하는 원단 폐기물의 감소는 물론, 제조 공정의 단축에서 오는 노동력의 감소를 통한 생산의 효율성을 높일 수 있는 가능성을 시사한다. <디자인 2>의 기본적인 패턴은 <디자인 1>과 같은 직사각형의 패턴으로, 모델링 과정에서 출력 이후의 결합 방식을 고려하여 스티드의 고정 위치가 필요한 위치에 0.4 mm 직경의 구멍 형태를 2 cm의 간격으로 배치하였다. 그 다음, 결합 위치를 중심으로 좌우대칭이 되도록 배치하였으며, <디자인 1>에서와 마찬가지로 두 가지의 패턴을 반복 출력하

Table 4. Printed patterns

Design	Shape	Part	Size / Area	Pieces
Design 1	Rectangular patterns	Body	12 × 34(cm) = 408(cm <sup>2</sup> )	1 pc.
			18 × 34(cm) = 612(cm <sup>2</sup> )	2 pcs.
		Handle	3 × 160(cm) = 480(cm <sup>2</sup> )	1 pc.
Design 2	Adjusted rectangular patterns	Body	16 × 68(cm) = 1,088(cm <sup>2</sup> )	2 pcs.
		Handle	4 × 60(cm) = 240(cm <sup>2</sup> )	2 pcs.
Design 3	Free-shape pattern with straight and curved lines	Body	558(cm <sup>2</sup> )	2 pcs.
		Handle	463(cm <sup>2</sup> )	2 pcs.

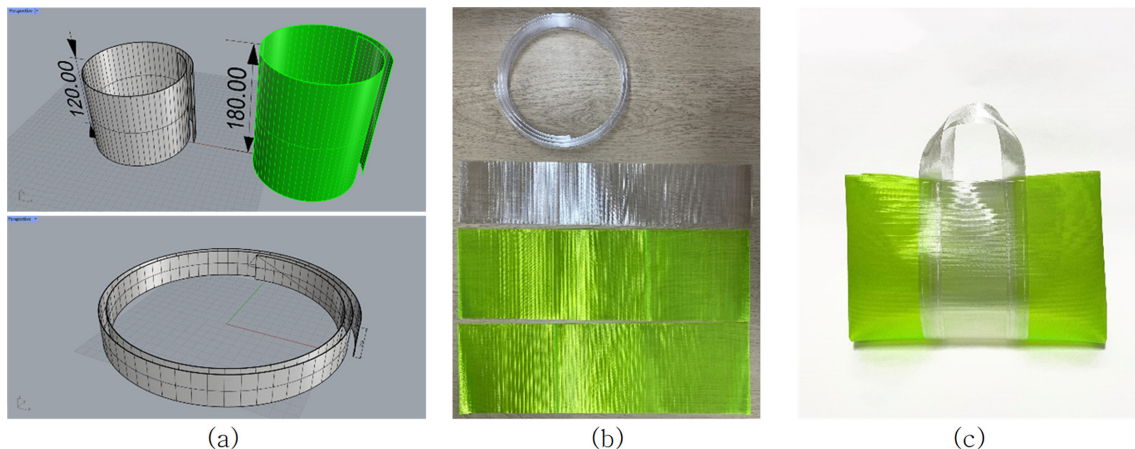


Fig. 11. The production process of <Design 1>; (a) 3D modeling, (b) printed patterns, (c) the finished prototype.

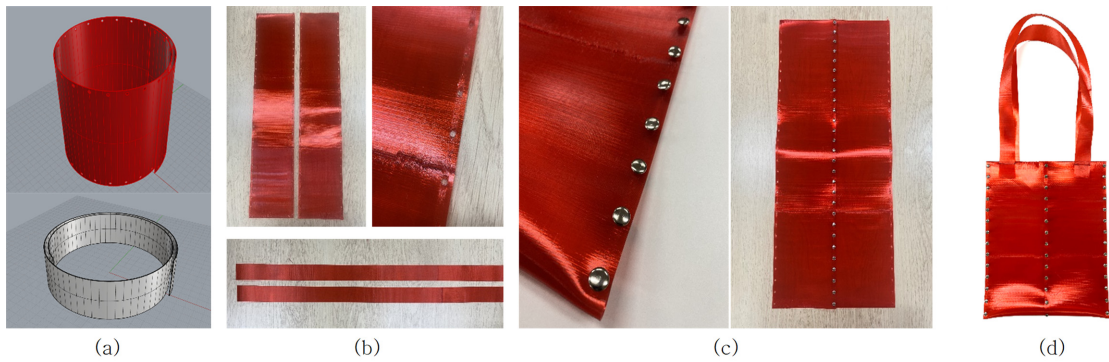


Fig. 12. The production process of <Design 2>; (a) 3D modeling, (b) printed patterns, (c) making process, (d) the finished prototype.

였다. 설계된 디자인에 따라 가방의 몸통(2pcs.)과 손잡이(2pcs.)를 위한 총 네 개의 패턴을 출력하였으며, 몸통 패턴 2pcs.는 양옆 구멍의 위치에 맞춰 가죽용 스티드를 결합하고, 손잡이 부분은 봉제하는 방식으로 제작하였다. 기존 공정에서 필요한 타공 과정을 3D 모델링을 통해 구현함으로써 3D 프린팅의 효율적 활용과 더불어 노동 구조의 변화를 야기하는 3D 프린팅의 가능성까지도 모색해 보고자 하였다(Gebler et al., 2014). 다만, 스티드를 활용하여 출력물을 결합할 경우, 좌우대칭에 맞게 구멍을 배치하기 때문에, 봉제 방식과 비교하여 모델링 과정이 복잡하며, 스티드의 위치와 간격, 배열에 따라 내구성이 다소 감소할 수 있다는 단점이 있었다.

#### 4.2.3. <디자인 3> 제작

<디자인 3>은 사선과 곡선이 둘 다 포함된 패턴의 가방으로,

비교적 자유로운 형태의 패턴을 롤 형태로 구현함으로써 다양한 디자인으로의 활용 방안을 모색해 보았다. 아울러, <디자인 3>에서도 롤 형태의 3D 프린팅을 활용하여 필요한 패턴만을 출력해 사용함으로써 제조 공정에서 발생하는 원단의 폐기물을 최소화하여 줄여 의류 제품 제조과정에서의 지속가능성을 향상시키고자 하였으며, 롤 형태를 활용해 필요한 패턴을 한 번에 출력함으로써 3D 프린팅 기술의 활용에서 오는 효율적 제품개발이 되도록 하였다.

<디자인 3>의 구체적인 제작 과정은 다음과 같다. 우선, 중이로 모델링하여 고안된 가방의 패턴을 라이노 3D 모델링 프로그램의 평면으로 옮긴 이후, 이를 롤 형태로 변환하는 방식으로 출력하였다. 평면 패턴을 롤 형태로 변환하는 과정에서 라이노 3D 프로그램의 ‘Squish’ 명령어를 통해 평면상의 직선과 곡선의 커브를 롤 형태로 구현하였다. ‘Squish’ 명령어를 사용

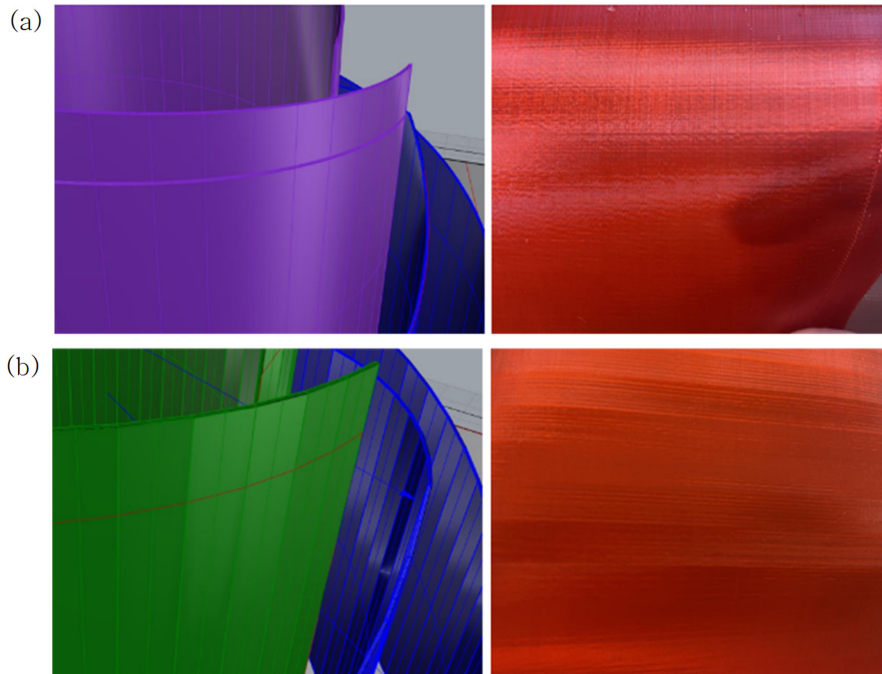


Fig. 13. The surface of roll-type printing; (a) roll modeling with ‘flat spiral’, (b) roll modeling with ‘squish’ command.

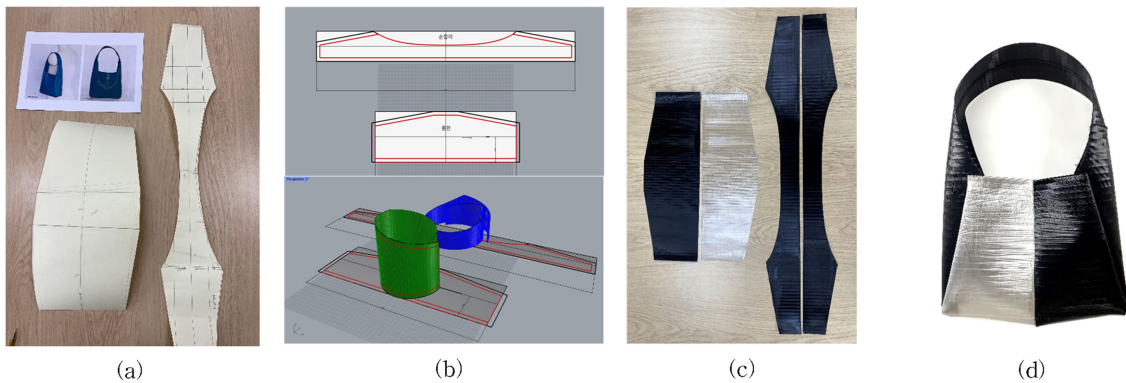


Fig. 13. The production process of <Design 3>; (a) pattern design, (b) 3D modeling, (c) printed patterns, (d) the finished prototype

할 경우, 평면의 커브가 입체의 형태로 옮겨지는 과정에서 롤 형태가 여러 면으로 쪼개져 분할되어 옮겨지는 과정을 거치는데, 이를 통해 입체형의 롤 형태에 커브의 왜곡을 최소화하면서 패턴을 옮길 수 있었다. Fig. 13은 <디자인 1>과 <디자인 2>에서 사용된 ‘Flat Spiral’과 ‘Extrude’ 명령어를 활용하여 기본적인 방식으로 롤 형태로 모델링 했을 때의 표면과, <디자인 3>에서 ‘Squish’ 명령어를 사용해 특정 형태를 롤 형태로 옮겼을 때의 표면을 서로 비교한 내용으로, 이 양자의 출력된 표면은 미세한 텍스처 차이가 나타나고 있어 개발 제품에 따라 그 시각적 효과가 달라질 것이다.

<디자인 3>의 방식을 통해 비교적 자유로운 패턴의 표현이 가능하며, 모델링 과정에서 밑면부터 적층되는 FDM 3D 프린터의 출력 특성으로 인해 출력 이후 한쪽 면이 직선으로 이루어진 패턴이 좌우대칭이 되도록 디자인을 의도하였다. 아울러, 출력 후에 다양한 형태의 패턴을 봉제로 결합해야 함을 고려하여 기존의 디자인 패턴에서 가방의 윗부분을 제외한 결합 부분에 1 cm의 시접 부분을 추가하여 롤 형태로 변환하였다(Fig. 9). 이를 위해 <디자인 3>은 몸통과 손잡이의 패턴에 해당하는 두 가지 형태의 모델링을 진행하였으며, 최종 출력물은 몸통(2pcs.)과 손잡이(2pcs.)의 총 4개로 구성하였다. 위에서 기술된 <디자인 3>의 제작 과정은 Fig. 13과 같다.

#### 4.3. 연구 결과 및 논의

본 연구는 FDM 방식의 3D 프린터 및 모델링을 활용하고, 유연한 TPU 소재를 사용하여 가방을 디자인 및 제작해 보았다. 세 가지의 각기 다른 디자인의 가방을 제작해 봄으로써 롤 형태의 프린팅 방식을 제품개발에 적용할 수 있는 실질적인 방안을 여러 가지 방식으로 구체화해 보고자 하였다. 먼저, 가방의 개발에 앞서 롤 형태의 출력에 적합한 두께를 테스트하였으며, 이를 통해 안정적인 출력이 가능하며 출력 이후에 갈라짐 등의 오류 없이 의류제품으로 활용이 가능한 두께로 0.45 mm가 적절함을 확인하였다. 또한, 0.45 mm의 두께로 출력하였을 때, 출력물이 물건을 담는 가방으로 활용할 만큼의 내구성을 지니고 있었다. 이어서, 시간 효율성 테스트를 통해, 넓은 형태를

롤 형태로 출력하는 경우, 출력 시간의 효율성을 높일 수 있음을 확인하였다. 다음으로, 두께 및 시간 효율성 관련 사전 테스트를 바탕으로, 세 가지 디자인의 가방을 제작하였다. 세 가지 디자인의 가방은 제작 이후 자가 평가를 통해 제품의 실용성과 내구성을 확인하였는데, 가방의 용도와 크기를 고려하여 평균적으로 700-800 g의 무게를 가진 책을 가방의 최대 용적량 만큼 수납하고, 하루 평균 두 시간씩 30일간 사용하는 방식으로 진행하였다. 세 가지 디자인의 가방 제작하고 실제 사용하여, 평가를 통해 FDM 3D 프린팅의 효율적 활용 가능성을 실질적으로 확인해 보았으며, 각 디자인에 대한 구체적인 제안점은 다음과 같다.

<디자인 1>은 기본적인 롤 형태의 출력방식으로 출력물을 펼쳤을 때 직사각형이 되는 패턴을 이용하는데, 롤 형태의 활용을 통하여 넓은 면적을 한 번에 출력하는 방식이다. 출력된 기본 형태를 봉제로 결합하는 방식으로, 기본적인 롤 형태의 직사각형 패턴만이 사용되기 때문에 본 연구에서 제시한 디자인 중에서 3D 모델링의 과정이 가장 단순하다. 가방의 몸통 부분에 사용된 0.45 mm의 패턴과 손잡이 부분에 사용된 0.7 mm의 두께의 출력물은 모두 봉제를 통해 결합되었다. 더불어 본 연구의 <디자인 1>을 제작하면서, 3D 프린터인 Cubicon Neo-031 모델의 출력 가능 면적(31 cm×31 cm)을 훨씬 넘어서는 넓은 면적의 패턴을 한 번에 출력하였는데, 3D 프린팅의 출력 면적과 관련된 한계점의 극복 가능성을 제시하였다는 점에 그 의의가 있다고 하겠다. <디자인 1>은 가방의 몸통을 손잡이가 감싸는 디자인으로 제작되어 손잡이 부분이 가방을 받쳐주는 디자인으로 고안되었으며, 자가 평가 결과 <디자인 1>의 경우 700-800 g의 책 5-6권에 해당하는 약 4 kg 이상의 무게를 수납하여 하루 평균 두 시간 이상 30일간 사용하여도 제품의 내구성에 무리가 없었으며, 이를 통해 가방으로의 기능과 실용성을 지니고 있음을 확인하였다.

<디자인 2>는 가죽 제품의 결합에 사용되는 스티드 장식을 활용하는 디자인으로, 기존 가죽 제품 공정의 타공 과정을 3D 모델링을 통해 구현함으로써 노동력의 절감과 제조 공정의 단축 방안을 제시하고자 하였다. <디자인 2>에서 활용한 스티드

장식의 결합을 활용할 경우 스테드의 위치와 배열, 결합 면적에 따라 가방의 내구성에 차이가 있었다. <디자인 2>의 자가 사용평가에서 가방의 최대 용적량에 따라 책 4권을 수납하여 <디자인 1>과 동일한 방식으로 하루 평균 두 시간, 30일 이상 사용하여 내구성을 평가하였는데, 그 결과 수납되는 가방의 몸통 부분과 같이 결합 면적이 넓어 스테드의 간격이 조밀하게 다량으로 배열되는 경우에는 <디자인 1>과 비슷한 정도의 무게를 장시간 운반할 수 있는 정도의 내구성을 가지지만, 손잡이와 같이 결합 면적이 작아 스테드 장식이 적게 사용되는 경우에는 내구성이 약해 <디자인 2>와 같이 가방의 몸판 부분을 스테드로 결합하고 힘을 많이 받는 손잡이 부분을 봉제로 결합하는 방식으로의 제작이 고려되어야 한다. <디자인 2>의 제작 과정에서 스테드의 위치를 좌우대칭으로 배치하기 때문에 모델링 과정이 다소 복잡하며, 스테드 장식의 결합 과정에서 기술의 숙련도에 따라 <디자인 1>에서 사용된 봉제 결합 방식이 더 효율적일 수도 있다는 우려도 있을 수 있지만, 원단 재단과 결합을 위한 타공 과정이 생략되기에 제작 과정에서 발생하는 원단의 폐기물 그리고 제품 제작에 필요한 노동력을 줄일 수 있어 제조공정 단축의 가능성을 지닌다. 또한, 3D 출력물의 제품 제작에서 가죽 제품의 제작 공정을 적용하면서 제품의 시각적 효과의 다양성과 활용 가능성을 시사하였다고 할 수 있다.

<디자인 3>은 평면상으로 디자인된 패턴을 3D 모델링을 통해 롤 형태로 옮긴 후 이를 3D 프린터로 출력하는 방식이 사용되었다. 봉제로 결합하는 방식으로 시접 분량이 포함된 패턴을 출력하여 제작하였다. <디자인 3>의 최대 용적량에 따라 책 2권을 수납하여 30일간 자가 사용평가를 진행하였는데, 봉제로 결합한 방식으로 실용적으로 활용될 수 있을 정도의 내구성을 지니고 있었다. <디자인 3>의 경우 곡선과 사선이 포함된 자유로운 패턴을 활용한 디자인으로, <디자인 1>과 <디자인 2>에서의 직사각형 패턴을 벗어나 자유로운 패턴의 구현이 가능하기에, 이러한 방식을 통해 다양한 디자인의 제품 제작이 가능할 것으로 기대된다. 하지만, 말려진 상태로 적층되는 출력 상의 특성으로 인해 출력되는 패턴의 한쪽 면은 반드시 직선으로 출력되어야 하는 점, 그리고 의도한 형태의 가방 제작을 위해서는 반드시 두 개의 패턴이 좌우대칭으로 사용되어야 한다는 점이 <디자인 3>의 한계점이라 할 수 있다. 아울러, 3D 모델링 과정에서 평면 패턴을 FDM 3D 프린팅에 활용될 수 있도록 변환하는 과정이 추가되기 때문에 추가적 모델링 시간과 노동력이 필요함을 고려해야 한다. 하지만 <디자인 3>과 같은 방식은 여기서 제작된 가방 이외에도 곡선이 많은 의류의 패턴을 출력하는 방식의 적용도 가능하며, 필요한 패턴만을 출력한다면 의류 제조과정에서의 폐기물도 발생하지 않게 될 것이다. 이는 자유로운 표현을 가능하게 하면서 동시에 FDM 3D 프린팅의 효율성을 활용하는 것이기에 가방 이외의 다른 의류제품의 제작에도 이 방식을 적용하는 후속 연구들이 있기를 기대하는 바이다.

## 5. 결 론

3D 프린팅 기술은 경제적, 환경적 그리고 사회적 효율성과 관련하여 많은 가능성이 있음에도 불구하고, 의류산업에서는 기술상의 문제 그리고 소재적인 한계에서 오는 문제로 인해 활발한 활용이 이루어지지 못하는 상황이었다. 이에 본 연구는 FDM 3D 프린터 및 3D 모델링 프로그램을 활용하여 넓은 면적을 한 번에 출력할 수 있는 롤 형태의 출력방식을 고안하였고, 이를 활용하여 세 가지 디자인의 가방을 개발함으로써 해당 방식의 실질적인 활용 사례를 제시해 보고자 하였다.

3D 프린팅은 롤 형태의 출력방식을 사용할 경우, 의류제품 제작에 필요한 패턴만을 출력함으로써 기존의 의류 제조과정에서 발생하는 원단 폐기물을 감소시키는 것은 물론, 노동력을 절감하고, 제조 공정도 단축시킨다는 이점을 지닌다. 이러한 사항은 본 연구의 세 가지 디자인의 가방 제작을 통해 확인해 볼 수 있었다. 제품의 제작은, 우선 제품의 개발에 앞서 안정적인 출력이 가능한 두께와 시간적 효율성을 확인하였고, 이 테스트를 바탕으로 해서 <디자인 1>, <디자인 2> 그리고 <디자인 3>의 가방을 FDM 3D 프린터 및 3D 모델링 프로그램을 활용하여 제작하였다.

본 연구의 의의는 패턴의 출력에 있어서 롤 형태의 압축된 형태를 출력한 후, 말려진 상태인 이 패턴을 펼쳐 확장하는 방식을 사용함으로써 기존의 일반적인 3D 프린팅 출력방식과는 달리 프린터 출력 면적의 한계를 극복할 수 있었다는 점이 있다. 아울러, 제품의 제작에 있어서 의도된 디자인에 필요한 패턴 전체를 한 번에 출력함으로써 의류의 제조과정에서 발생하는 원단 폐기물을 줄이는 방안에 대해 제안하여 3D 프린팅 기술과 관련하여 의류 제품의 지속가능성의 제고 방안을 제시하였다.

다만, 본 연구에서 제시된 롤 형태의 출력방식은 3D 프린터의 사양에 따라 다른 초기 설정값이 필요하며, 적절한 설정이 되어있지 않을 경우 도리어 효율성이 떨어질 수 있다는 문제가 있다. 또한, 롤 형태의 출력방식으로 두꺼운 원단을 출력하는 경우 출력물의 바깥쪽 면과 안쪽 면에서의 면적 차이가 발생하므로, 출력물을 펼쳤을 때 출력물이 갈라지는 경우도 생겨나기에 출력물의 두께와 관련된 한계점을 개선할 수 있는 연구가 요구된다. 아울러, 본 연구에서 제시된 롤 형태의 출력방식은 3D 프린터의 사양과 초기 설정 내용 그리고 슬라이싱 프로그램에 따라 본 연구 속에서 제시된 수치와 다를 수 있다. 본 연구는 FDM 프린터를 사용하면서 소재로는 유연성을 지닌 TPU만으로 출력하였으나, SLA나 SLS 방식의 의류 제작 연구에서 사용되고 있는 다른 프린팅 기술이나 다른 소재를 연구에 적용해 보는 것도 좋은 주제가 될 수 있을 것이다. 3D 프린팅 기술은 아직 자체적 한계점이 남아있기 때문에, 향후 출력 소재, 프린팅 기술, 제품을 전체로 출력하는 방안 등의 많은 후속 연구가 필요하다고 사료 된다.

## References

- Chan, I., Au, J., Ho, C., & Lam, J. (2020). Creation of 3D printed fashion prototype with multi-coloured texture - A practice-based approach. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 14(1), 78-90. doi:10.1080/17543266.2020.1861342
- Chun, J. H. (2017). Development of wearable fashion prototypes using entry-level 3D printers. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 41(3), 468-486. doi:10.5850/JKSCT.2017.41.3.468
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394. doi:10.1016/j.ijpe.2018.08.019
- Everitt, A., Eady, A. K., & Girouard, A. (2021). Enabling multi-material 3D printing for designing and rapid prototyping of deformable and interactive wearables. *Proceedings of the 20th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, Belgium*, pp. 1-11. doi:10.1145/3490632.3490635
- Gebler, M., Schoot Uiterkamp, A. J., & Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74, 158-167. doi:10.1016/j.enpol.2014.08.033
- Goncu-Berk, G., Karacan, B., & Balkis, I. (2022). Embedding 3D printed filaments with knitted textiles: investigation of bonding parameters. *Clothing and Textiles Research Journal*, 40(3), 171-186. doi:10.1177/0887302x20982927
- Grimmelsmann, N., Meissner, H., & Ehrmann, A. (2016). 3d printed auxetic forms on knitted fabrics for adjustable permeability and mechanical properties. *IOP Conference Series - Materials Science and Engineering*, 137, 012011. doi:10.1088/1757-899x/137/1/012011
- Gürçüm, B. H., Borklu, H. R., Sezer, K., & Eren, O. (2018). Implementing 3D printed structures as the newest textile form. *Journal of Fashion Technology & Textile Engineering*, 54, 019. doi:10.4172/2329-9568.s4-019
- Ignacio, T. (2016, November 11). Studio visit with 3D printer fashion design - Mingjing Lin. *3d Printing Industry*. Retrieved August 4, 2021, from <https://3dprintingindustry.com/news/studio-visit-3d-printer-fashion-designer-mingjing-lin-98323/>
- Jeong, J., Park, H., Lee, Y., Kang, J., & Chun, J. (2021). Developing parametric design fashion products using 3D printing technology. *Fashion and Textiles*, 8(1), 1-25. doi:10.1186/s40691-021-00247-8
- Jin, B. E., & Shin, D. C. (2021). The power of 4th industrial revolution in the fashion industry - What, why, and how has the industry changed?. *Fashion and Textiles*, 8(1), 1-25. doi:10.1186/s40691-021-00259-4
- Kam, S. J. (2019). The Study on 3D printing fashion design case for sustainable design. *Journal of The Korea Association of Art & Design*, 22(2), 151-168.
- Kam, S. J., & Yoo, Y. S. (2019). Presentation methods for transformable fashion design. *Korean Society of Fashion Design*, 19(3), 1-18. doi:10.18652/2019.19.3.1
- Kamble, S., Gunasekaran, A., & Dhone, N. C. (2019). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1319-1337. doi:10.1080/00207543.2019.1630772
- Kang, J. H.. (2020). *Development of a 3D printing method for garment panels using the hybrid textile structure*. Unpublished doctoral dissertation, Seoul National University, Seoul.
- Kim, H. E. (2015). The research into the changes of fashion industry according to the development of 3D printing technology. *Korean Society of Fashion Design*, 15(4), 17-33. doi:10.18652/2015.15.4.2
- Kim, H. E. (2017). A study into the consumer consciousness about the environmental friendliness of canvas eco-bags - A qualitative research about eco-bag users in 20s women. *Korean Society of Fashion Design*, 17(3), 141-154. doi:10.18652/2017.17.3.9
- Kim, M. H. (2020). A study on the modular race textile design using 3D printing. *The Treatise on The Plastic Media*, 23(2), 55-63. doi:10.35280/kotpm.2020.23.2.7
- Kim, S. Y. (2022). Domestic research trends in 3D printing fashion. *Journal Korea Society of Visual Design Forum*, 75, 103-114. doi:10.21326/ksdt.2022.27.2.009
- Kim, S., Seong, H., Her, Y., & Chun, J. (2019). A study of the development and improvement of fashion products using a FDM type 3D printer. *Fashion and Textiles*, 6(1), 1-24. doi:10.1186/s40691-018-0162-0
- Kwan, J. S. (2012). A study on sustainability design expressed as a eco-bag. *Journal of the Korea Entertainment Industry Association*, 6(4), 196-203. doi:10.21184/jkeia.2012.12.6.4.196
- Lee, H. (2019). A study on the development of 3d printed garments for fashion show. *Fashion & Textile Research Journal*, 21(3), 267-276. doi:10.5805/SFTI.2019.21.3.267
- Lee, J. S. (2020). A study on types of 3D printing applications and their characteristics in fashion design. *Journal of Fashion Business*, 24(4), 130-143. doi:10.12940/jfb.2020.24.4.130
- Lee, J. S., & Lee, K. W. (2022). A study on 3D printing fashion design that converges lace technique. *The Korean Society of Science & Art*, 40(1), 291-304. doi:10.17548/ksaf.2022.01.30.291
- Lee, S. K., & Koo, S. M. (2022). Development of three-dimensional printed cultural fashion products using symbols of longevity. *Textile Research Journal*, 92(21-22), 4484-4500. doi:10.1177/00405175221105237
- Lee, S. H., & Lee, J. S. (2021). Development of 3D printing fashion eyewear using eco-friendly filaments. *Korean Society of Fashion Design*, 21(2), 1-16. doi:10.18652/2021.21.2.1
- Lim, H. W., & Cassidy, T. D. (2014). 3D printing technology revolution in future sustainable fashion. *Proceedings of the Sustainability in Textiles and Fashion, International Textiles & Costume Culture Congress (ITCCC), South Korea.*, pp. 1-5.
- Machado, C., Winroth, M., & Ribeiro da Silva, E. (2020). Sustainable manufacturing in industry 4.0 - An emerging research agenda. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1462-1484. doi:10.1080/00207543.2019.1652777
- Melnikova, R., Ehrmann, A., & Finsterbusch, K. (2014). 3D printing of textile-based structures by fused deposition modelling (FDM) with different polymer materials. *IOP Conference Series - Materials Science and Engineering*, 62(1), 012018. doi:10.1088/1757-899x/62/1/012018
- 'Nervous System - Kinematics Dress Design and 3D-Printing Process'. (2017, May 19). *YouTube*. Retrieved March 28, 2022, from <https://www.youtube.com/watch?v=6EK9MBJiFXU>
- Pasricha, A., & Greeninger, R. (2018). Exploration of 3D printing to create zero-waste sustainable fashion notions and jewelry. *Fashion and Textiles*, 5(1), 1-18. doi:10.1186/s40691-018-0152-2

- Sabantina, L., Kinzel, F., Ehrmann, A., & Finsterbusch, K. (2015). Combining 3d printed forms with textile structures - Mechanical and geometrical properties of multi-material systems. *IOP Conference Series - Materials Science and Engineering*, 87(1), 012005. doi:10.1088/1757-899x/87/1/012005
- Sertoglu, K. (2022, June 15). Studio visit with 3D printer fashion designer - Mingsjin Lin. *3D Printing Industry*. Retrieved July 3, 2022, from <https://3dprintingindustry.com/news/studio-visit-3d-printer-fashion-designer-mingjing-lin-98323/>
- Sitotaw, D. B., Ahrendt, D., Kyosev, Y., & Kabish, A. K. (2020). Additive manufacturing and textiles - State-of-the-art. *Applied Sciences*, 10(15), 5033. doi:10.3390/app10155033
- Song, H. Y. (2020). Textile structural design with fabric flexibility using SLS 3D printing technology. *Journal of Fashion Business*, 24(3), 85-100. doi:10.12940/jfb.2020.24.3.85
- Spahiu, T., Canaj, E., & Shehi, E. (2020). 3D printing for clothing production. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15, 155892502094821. doi:10.1177/1558925020948216
- Srivastava, M., & Rathee, S. (2021). Additive manufacturing - recent trends, applications and future outlooks. *Progress in Additive Manufacturing*, 7(2), 261-287. doi:10.1007/s40964-021-00229-8
- Sun, L., & Zhao, L. (2017). Envisioning the era of 3D printing - A conceptual model for the fashion industry. *Fashion and Textiles*, 4(1), 1-16. doi:10.1186/s40691-017-0110-4
- Takahashi, H., & Kim, J. (2019). 3D printed fabric - Techniques for design and 3D weaving programmable textiles. *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, United States*, pp. 43-51. doi:10.1145/3332165.3347896
- Tenhunen, T., Moslemian, O., Kammiovirta, K., Harlin, A., Kääriäinen, P., Österberg, M., Orelma, H. (2018). Surface tailoring and design-driven prototyping of fabrics with 3D-printing - An all-cellulose approach. *Materials & Design*, 140, 409-419. doi:10.1016/j.matdes.2017.12.012
- Uysal, R., & Stubbs, J. B. (2019). A new method of printing multi-material textiles by fused deposition modelling (FDM). *Tekstilec*, 62(4), 248-257. doi:10.14502/tekstilec2019.62.248-257
- Vanderploeg, A., Lee, S. E., & Mamp, M. (2017). The application of 3D printing technology in the fashion industry. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 10(2), 170-179. doi:10.1080/17543266.2016.1223355
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0 - A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158-168. doi:10.1016/j.comnet.2015.12.017
- Xiao, Y. Q., & Kan, C. W. (2022). Review on development and application of 3D-printing technology in textile and fashion design. *Coatings*, 12(2), 267. doi:10.3390/coatings1202026

(Received August 19, 2022; 1st Revised September 5, 2022; 2nd Revised September 20, 2022; Accepted September 22, 2022)