한국의류산업학회지
제25권 제2호, 2023
<연구논문>

pISSN 1229-2060
eISSN 2287-5743
Fashion & Text. Res. J.
Vol. 25, No. 2, pp.139-152(2023)
https://doi.org/10.5805/SFTI.2023.25.2.139

3DP 폴리머-패브릭(3D Print Polymer-Fabric Structure)을 적용한 패션디자인 연구

임소영 · 전재훈[1)†]
국민대학교 의상디자인학과
[1)]서울대학교 의류학과/서울대학교 생활과학연구소

A Study of Fashion Design Applying a 3D Print Polymer-Fabric Structure

Soyung Im and Jaehoon Chun[1)†]
Dept. of Fashion Design, Kookmin University; Seoul, Korea
[1)]Dept. of Fashion and Textiles, Seoul National University; Seoul, Korea/ Research Institute of Human Ecology, Seoul National University; Seoul, Korea

Abstract: Despite efforts to apply 3D print (3DP) technology in the field of fashion and endless discussions about the possibility of future development, in reality, it is difficult to utilize 3DP technology in fashion for reasons related to material, technology, and cost constraints. The purpose of this study was to supplement the limitations of 3DP technology in order to promote its utilization in fashion and simultaneously find a solution to achieve aesthetic satisfaction in the design method. Specifically, through the development of fashion products with a 3DP polymer-fabric structure to which the parametric design methodology has been applied, this study explored the possibility of practical application and proposes a new 3DP fashion design method. The 3DP polymer-fabric developed as a result of the research was stably adhered to the fabric. Additionally, the study confirmed the possibility of making 3DP clothes that are amenable to the wearer's activities, as it was verified that cutting and sewing tailored to the human body's curvature and structure can be performed. The design process using the 3DP polymer-fabric presented in this study is meaningful in that it suggests a solution to complement the limitations of modern technology in connection with designers' creativity. Moreover, the design process presented in this study is expected to contribute to the commercialization and generalization of 3DP by providing practical help to allow fashion experts to utilize 3DP technology.

Key Word: polymer-fabric (폴리머-패브릭), parametric design (패러메트릭 디자인), engineered pattern (형입구도 패턴), 3D print (3D 프린트), fashion design study (패션디자인 연구)

1. 서 론

3D 프린팅(printing, 3DP) 기술은 자동차, 의료, 항공 우주, 스포츠, 섬유, 의류 및 패션 산업 등 모든 유형의 제조 산업에서 테스트 제품과 시제품을 만드는데 제조 시간과 비용을 크게 줄이는 데 유익한 것으로 입증되었다. 패션에서도 디자인, 섬유, 제조 및 소매 등 다양한 분야에서 3DP 기술을 채택하기 위해 노력하고 있으며 앞으로의 발전 가능성에 대해서도 끊임없이 논의되고 있다. 하지만 인체에 착용해야 한다는 패션 제품의 특수성 때문에 패션에서 현재의 3DP 기술의 활용은 다른 산업에 비하여 상대적으로 느리게 진행되거나(Kim et al., 2019) 신발, 악세사리 등 의상의 일부로만 사용되고 있다. 의상에서 3DP 활용성이 낮은 요인으로는 크게 소재, 기술, 비용의 제약 등이 있다(Kim, 2015; Kim et al., 2019; Lee, 2019; Lee & Hong, 2016).

현재까지 3DP 기술로 일상적인 의류를 제조하는 데 가장 큰 원인은 소재의 문제로 재료 사용에 한계가 있다(Chakraborty et al., 2020; Kim, 2015; Kim et al., 2019; Mpofu et al, 2019). 의류 산업에서 사용되는 원단은 움직임과 드레이프성을 수반해야 한다(Bingham et al., 2007). 하지만 3DP 기술에 사용되는 필라멘트는 옷을 뻣뻣하고 단단하게 만들기 때문에 소비자에게 불편한 경험을 주어 3DP가 적용된 일상 의류로 생산되는 것을 방해한다(Chakraborty, 2020; Grain & Unver, 2016; Lee & Hong, 2016; Perry, 2018). 또한 대중적으로 사용되는 프린트 방식인 FDM (Fused Deposition Modeling) 출력방식 프린터는 직물 조직의 구조와 공극을 구현하기에는 품질이 떨어지고 소요 시간이 오래 걸린다. 그리고 보급형으로 사용하는 프린터는 한 번에 출력되는 가능한 개체의 크기가

†Corresponding author: Jaehoon Chun
Tel. +82-2-880-8604
E-mail: kingkem2@snu.ac.kr
©2023 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.

100 mm에서 200 mm로 인체 사이즈의 의상을 출력할 수 없어 여러 조각의 출력물을 이어 의상을 완성해야 한다. 반면에 대형 출력이 가능한 산업용 3D 프린터는 비용이 높아 대중적으로 사용하기에는 어려움이 있다.

현재까지 패션 분야에서의 3DP에 관한 선행연구를 살펴보면 패션에 적용된 3DP의 현황과 기술 비교에 관한 연구(Choi & Park, 2020; Han et al., 2014; Kim, 2015; Kim & Knang, 2015; Vanderploeg et al., 2017; Whi, 2014), 3DP 기술을 적용한 의상디자인 개발 연구(Chun, 2017; Kim et al., 2019; Lee, 2015; Lee & Kim, 2015; Lee & Lee, 2016), 패션 제품 개발 연구(Ho, 2017; Kim, 2016; Lee, 2021; Lee & Kim, 2015; Oh et al., 2016;Pasricha et al., 2018), 패션 패브릭 개발 연구(Lee & Hu, ,2017; Lee et al., 2015; Lee et al., 2016), 3DP 패션 제품에 관한 조형적 특성에 관한 연구(Lee, 2016; Lee & Kim, 2016; Kim et al., 2017; Song & Guem, 2016), 3DP 패션 제품에 관한 소비자 선호에 관한 연구(Jewon et al., 2018; Kim & Shin, 2018; Lee et al., 2022; Popov & Koo, 2020; Song & Lee, 2019)등이 진행되었다. 몇몇 선행연구에서는 3DP를 의류에 적용할 때 갖는 한계점을 보완하는 방안을 제시하였다. Bingham(2007)과 Pei et al.(2015)는 3D 프린트 의류 직물에서 유연함과 드레이프성을 향상하기 위하여 적층 방식(AM, Additive Manufacturing) 원단을 제안하였다. 그리고 비용과 관련된 출력 사이즈에 대한 한계를 극복하기 위하여 최소 단위의 형태 출력과 이들의 결합하는 방법(Lee, 2019), 작은 크기의 프린터로 의상을 구기거나 접는 형태 프린트 기술 개발(Kim, 2015) 등이 논의되었다. 이같이 보급형 3D 프린트가 갖는 한계점을 극복하기 위해 가능성 있는 해결책이 제시되고 있지만, 패션산업에서는 의복의 유연성, 착용성과 같은 물리적 성질과 함께 동시에 민감한 소비자의 눈높이에 만족할 만한 심미적 완성도가 요구되기 때문에, 여전히 패션에서의 3D 프린팅의 도입은 특별히 다른 분야보다 더 어려운 실정이다(Kang, 2020).

따라서 본 연구는 3DP의 물리적 한계를 보완하고 동시에 심미적 만족감을 충족하기 위해 3DP 폴리머-패브릭이 적용된 프로토타입을 개발하고 그 과정을 통해 3DP가 패션에 적용될 수 있는 방법을 제안하는 데 목적이 있다. 이를 위해 선행연구를 통한 3DP 패브릭과 폴리머-패브릭에 관한 문헌연구를 기반으로 폴리머-패브릭의 개발사례와 생산공정에 대해 고찰한다. 그리고 이를 적용한 프로토타입 개발과 제작을 통하여 앞서 제시한 디자인 방법을 점검하여 3DP 폴리머-패브릭을 적용한 패션 디자인의 가능성을 확인하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. FDM 방식과 적용 소재

3DP 기술이란 디지털 데이터를 기반으로 하여 적층 방식으로 3차원의 물체를 만들어내는 기술이다(Chun, 2017; Warnier et al., 2014). 3DP 기술은 재료의 종류와 적층 방법에 따라 분류하는데 그 작동 원리에 따라 FDM, SLA(Stereo Lithography-Apparatus), Polyjet, LOM (Laminated Object Manufacturing), SLS(Selective Laser Sintering) 등의 방법으로 구분된다(Lee & Hong, 2016). 이들 중 높은 정확성과 효율성을 가진 소결의 SLS 또는 압출의 FDM 방식이 주로 의류에 적용된다(Lee & Hong, 2016). FDM은 고체 기반의 방법으로 열에 녹은 고체 플라스틱 등의 물질을 타래로 추출하여 조금씩 녹여 쌓아 올리는 방식이며, 주로 플라스틱과 같은 수지(resins)나 금속재료를 사용한다. 액체 기반 방법인 SLA는 빛에 반응하는 액체 포토 폴리머 플라스틱(photo polymer plastic)이 있는 물탱크에 빔을 쏘고 바닥을 단단하게 만든다. SLA 유형은 고체로 경화되는 액상 수지에 레이저를 사용하여 비용이 많이 든다는 단점이 있어 FDM 방식이 보급형 시장에서 주목받고 있다(Mpofu et al., 2019). FDM 방식은 가열된 노즐(nozzle) 또는 오리피스(orifice)를 통해 필라멘트가 압출되고 녹은 필라멘트가 굳어 3D 개체가 형성될 때까지 여러 층을 만들어 입체물을 만든다.

FDM 방식에 주로 사용되는 폴리머는 나일론, ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), PLA(Poly-Lactic Acid), TPU(Thermoplastic Poly Urethane) 및 폴리카보네이트(poly-carbonate)와 같이 다양한 유형의 재료로 만들어진다 (Kim et al., 2019). ABS는 주로 플라스틱 제품 제조에 사용되는 수지인데, 단단하지만 수축성이 있어 물체의 크기나 형태에 따라 휘어짐이 발생할 수 있다(Chun, 2017). 나일론은 3D 프린팅으로 생산되는 의류의 촉감이 기존 의류와 유사하다. 하지만 열 변형 온도가 100~150°C인 기능성 고분자이므로 열 수축에 의한 형태 변형을 초래할 수 있다. PLA는 옥수수와 같은 재생 가능한 원료를 사용하여 만들어지기 때문에 PLA는 유연하고 친환경적인 제품을 만들 수 있다는 장점이 있다. 연질 PLA로 의류 제조 시, 일반 3D 프린팅 소재로 제조하는 것보다 이산화탄소 배출량이 50% 감소 된다. 하지만 PLA는 프린터기에서 녹아 압출될 때 끈적거림으로 작업이 어렵고, 자연적으로 분해되는 친환경 소재이지만 재활용이 어려운 단점이 있다. 연질 PLA로 만든 옷은 일반 천연 섬유로 만든 옷보다 표면 거칠기가 더 크기(Lee & Homg, 2016) 때문에 피부에 닿는 의류에 사용하는 경우 표면을 부드럽게 할 수 있는 가공 처리가 필요하다. TPU는 일반적으로 유연성이 있고 내구성이 강한 열가소성 폴리우레탄 계열의 수지로 산업용 고무로 사용된다. TPU는 유연감과 촉감이 우수하며 다른 물질과의 혼합 정도에 따라 매우 유연한 물질이 될 수 있다. 그리고 대기 중에서 온도 80°C까지 안정된 물성을 가진다. 그리고 내부 접착력이 좋으며 자연스러운 유연성으로 출력 후 휘어지는 현상이 없어 TPU는 3DP 소재로 사용하기에 적합하다.

2.2. FDM 방식을 적용한 3DP 패브릭

FMD 공정을 적용한 3DP 의류와 패브릭에 관한 선행연구에

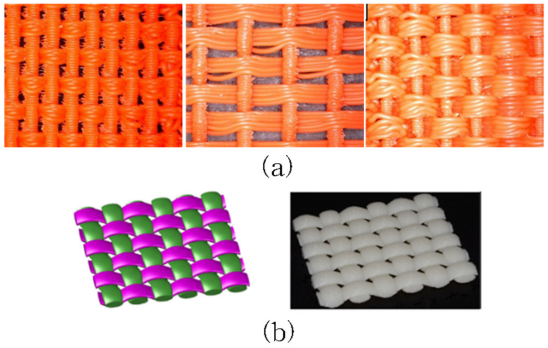


Fig. 1. 3DP fabric with weave structure; (a) 3DP fabric with three different weave structures. *Partsch et al.(2015). p.3.* (b) 3DP woven composites using multicolored, multifunctional materials. *Quan et al.(2015). p.507.*

서는 다양한 패브릭의 제조법을 적용하여 3DP 패브릭 샘플을 출력한 후 의류용 패브릭으로 사용 가능함을 확인하였다. 의류용 패브릭은 실과 섬유의 구성 방법과 구조에 따라 직물(Woven), 편물(Knitted), 펠트(Felt) 계열로 나눌 수 있다(Kim, 2015).

경사와 위사가 직각으로 교차하여 구성되는 직물의 구조(Lee et al., 2016b)에 관한 3DP 패브릭 연구에서 Partsch et al.(2015)는 직물의 구조에 집중하여 세 가지 다른 구조의 3DP 패브릭을 설계하고 디자인에 따른 출력물의 유연성을 측정하였다(Fig. 1(a)). 그리고 전통적인 직조방식이 아닌 미세구조 매개변수를 조정한 기하학적 구조의 실현 가능성을 탐구하기 위해 다기능 물질의 3DP 패브릭 샘플이 제작되었다(Fig. 1(b)). Fig. 1(b)는 평직 샘플로 각 레이어의 두께는 0.254 (mm)이다. 샘플은 ABS를 주재료로 하였고 수용성 필라멘트를 서포트 재료로 사용하여 인쇄물을 수용액에 담가 서포트를 제거하였다.

Melnikova et al.(2014)는 ABS와 PLA로 니트와 레이스를 출력하고 ABS나 일반 PLA에 비해 연질 PLA가 섬유 기반 구조를 재현하기에 더 우수함을 입증하였다(Fig. 2(a)). Han and Kim(2018)은 편성물 형태를 모델링하고 이를 PLA와 TPU로 출력하고 두 폴리머의 형태 차이에 따른 변형과 회복 특성을 파악하기 위한 역학적 특성을 측정하였다(Fig. 2(b)). Lee et al.(2016b)은 TPU로 니트 패브릭을 프린트하고 각 패널을 가장 큰 사이즈인 6.5 mm/10.5 us 코바늘을 사용하여 각

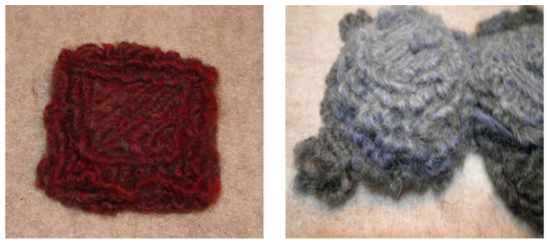


Fig. 3. 3DP felt fabric and teddy bear samples. *Hudson (2014). p.465.*

패널의 패브릭을 연결하여 의복에 적용하였다(Fig. 2(c)).

Hudson(2014)은 인쇄된 나일론 메쉬에 양모와 양모 아크릴 혼방사를 사용하여 결합한 임베딩(embedding) 기술을 적용하고, 펠트용 바늘이 부착된 인쇄 헤드를 개발하여 3DP 폴리머-패브릭의 경계를 넓혔다(Fig. 3).

2.3. 3DP 폴리머-패브릭

2.3.1. 3DP 폴리머-패브릭

적층방식의 3DP를 적용하여 직물을 만드는 경우 자유로운 움직임과 드레이프 특성이 있는 물성을 부여하는 것이 중요하다(Bingham et al., 2007). 하지만 직물 구조로 설계된 3DP 패브릭은 3DP의 기계적, 재료적 특성상 특히 낮은 인장강도를 가지므로 직조 또는 편직과 같은 일반적인 텍스타일 제조 기술을 대체할 수 없다. 이에 일반적인 의류 소재의 자유로운 움직임을 허용하면서도 단단하고 입체적인 표면을 만드는 수단으로 패브릭에 직접 폴리머를 인쇄하는 방안이 고안되었다. Fig. 4와

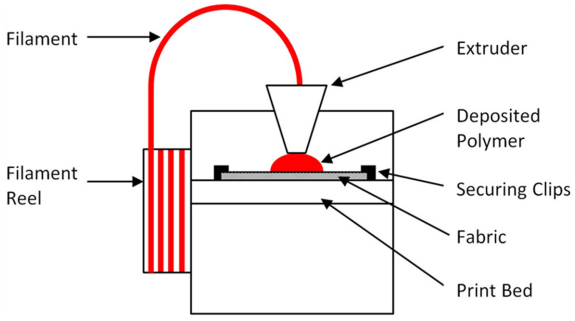


Fig. 4. Direct deposition of polymers onto fabrics. *Pei et al. (2015), p.557.*

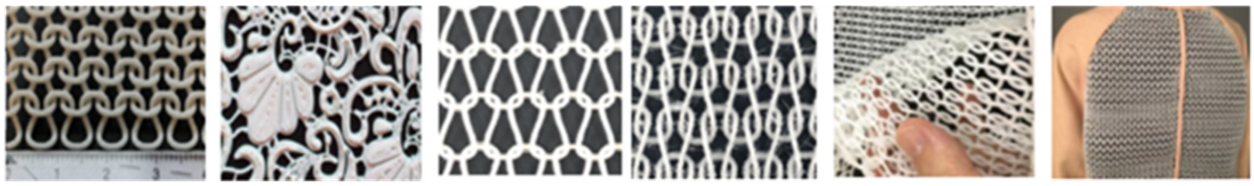


Fig. 2. 3DP fabric with lace structure; (a) soft PLA knit and lace samples. *Melnikovaet (2014), p.4.* (b) PLA and TPU knit samples. *Han and Kim (2018). p.98.* (c) Knitted fabric and garment samples with TPU. *Lee et al. (2016b). p.243.*

같이 FDM 방식으로 폴리머를 직물에 직접 증착하여 생성하는 텍스타일을 폴리머-패브릭이라 한다(Mpofu et al., 2019). 폴리머-패브릭은 기존의 직물구조를 모방하는 3DP 패브릭과 설계 구조, 프린트 절차, 원단의 완성도 등에서 차이를 가지는데 특히 원단의 유연성인 드레이프성이 우수하다. 섬유 직물과 결합하는 3DP 패브릭은 인장강도 및 유연성을 기반으로 삼차원 의류 디자인에 적용할 수 있다(Kim & Kim, 2018; Sabantina et al., 2015). 폴리머-패브릭을 생성하기 위해서는 세 가지 사항을 고려해야 한다(Melnikova et al., 2014; Mpofu et al., 2019). 첫째, 사용하고자 하는 고분자 재료인 폴리머가 직물에 증착되어 결합 또는 접착하는 현상과 특성을 이해한다. 폴리머의 접착력은 폴리머의 유형과 직물의 특성, 접촉 면적 등에 따라 달라진다. 둘째, 인쇄된 부품은 텍스타일의 유연성을 방해하지 않아 자유로운 움직임을 허용해야 한다. 또한 폴리머-패브릭을 적용한 제품을 디자인하는 경우, 원단의 유연성을 방해하지 않도록 접히는 부분이나 봉제의 위치를 신중하게 선택한다. 셋째, 폴리머와 직물은 비틀림이나 늘어나는 등 일상적인 마모로 발생하는 힘을 받을 때 구조와 모양을 유지하거나 변형된 후에 회복하여야 한다.

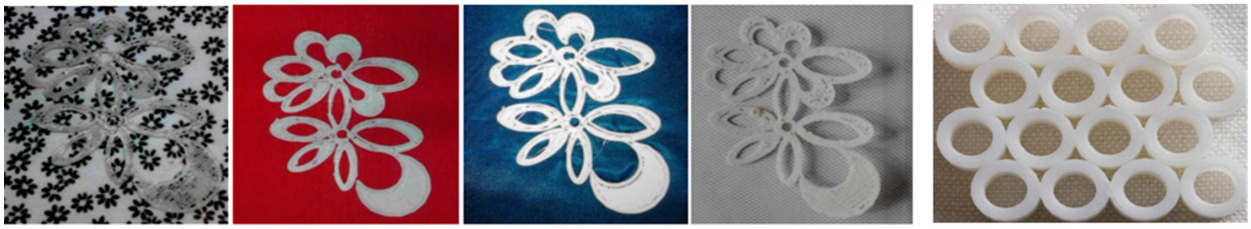
적층방식의 3DP를 적용한 폴리머-패브릭에 관한 선행연구에서 Campbell(2008)과 Sabantina et al.(2015)는 3DP 폴리머-패브릭이 의복과 산업용 텍스타일에 사용하기에 적합함을 확인하였다. Campbell(2008)은 원단 위에 나일론 필라멘트를 사용하여 원통형의 튜브를 출력하고 원단 표면에 직업 인쇄가 가능한지 실험하였다(Fig. 5(a)). 그리고 Sabantina(2015)는 다양한 원단에 폴리머를 출력하는 실험을 하였으며, 면, 양모, 비스코스, 폴리에스터 망사 패브릭에서 폴리머가 고정되었다(Fig. 5(b)).

폴리머-패브릭 구조를 생성할 때 관건은 패브릭과 폴리머의 접착력에 있다. 이에 폴리머와 패브릭의 접착력을 조사하는 연구가 활발히 진행되었다. 선행연구에 의하면 패브릭의 밀도, 두께, 표면 거칠기와 같은 다양한 직물 특성이 폴리머와의 접착력에 영향을 미치며 면, 울, 폴리에스트르 원단에서 우수한 접착력을 보인다(Pei et al., 2015). PLA의 경우 아크릴 기반 직물은 가장 낮은 접착력을 나타내며 폴리에스테르 기반 직물은 가장 높은 접착력을 나타낸다(Mpofu et al., 2019). 폴리에스테르 면직물의 경우 표면 거칠기 때문에 패브릭에 폴리머를 직접 출력하는 것이 어렵다면, 코팅된 층을 추가하면 접착력을 높일 수 있다(Whittow et al., 2014). Gorlachova and Mahltig(2021)는 폴리머와 면에 집중하여 폴리머와 면 직물의 접착력을 연구하였다. 그는 구조, 무게 및 두께가 다른 6개의 면에 PLA 폴리머를 출력하였고, 세탁 및 발호(拔糊)를 통해 패브릭 표면의 풀기와 같은 불순물을 제거한 직물에서 3DP의 접착력이 향상됨을 확인하였다. Malengier(2017)는 폴리머-패브릭의 표준화된 접착력을 측정하는 방법으로 수직 인장 테스트, 전단 테스트, 박리 테스트를 제안하여 3DP 폴리머-패브릭 연구의 표준화에 기여하였다.

2.3.2. 3DP 폴리머-패브릭의 디자인 적용 사례

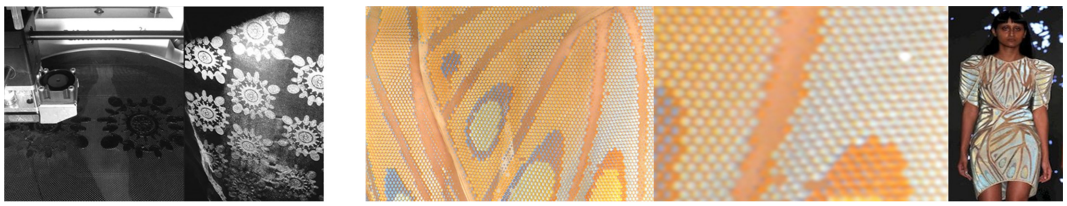
3DP 폴리머-패브릭을 의상에 적용하는 경우 봉제가 용이하고 입체적인 표면 디자인을 할 수 있다(Tim, 2019). 또한 3DP 공정인 모델링, 프린팅, 후처리의 3단계에서 모델링 단계와 프린팅 공정에서의 새로운 시도는 패브릭의 유연성을 유지하고, 자체 성형구조를 만들고, 폴리머와의 접착력을 높이는 결과를 가져왔다. Murphy(2018)는 텍스타일 디자인에 3DP 적용 가능성을 살펴보기 위해 FDM 방식의 프린트와 PLA 소재를 사용하여 레이스와 자수 패턴과 같은 문양을 3DP를 사용하여 패브릭에 출력하였다(Fig. 6(a)). 디자이너 브랜드 threeASFOURRD (2019)는 액체기반의 Polyjet 방식을 사용하여 원단에 직접 출력하였다. 그는 아크릴로 알려진 PMMA(polymethyl methacrylate)를 소재로 사용하였고, 모델링 단계에서 폴리머가 점의 형태를 이루도록 하여 점 형태의 폴리머가 모여 문양을 만드는 방법을 사용하였다(Stevenson, 2019). 다색의 폴리머 점으로 나비의 문양을 표현한 폴리머-패브릭 의상은 뉴욕패션위크(New York Fashion Week) 컬랙션에서 소개되었다(Fig. 6(b)).

Fields(2018)는 FMD 방식의 프린트에 ABS 소재를 사용하여 늘어나는 천에 폴리머를 프린트하는 방법으로 패브릭 자체 성형구조를 만드는 탐색 프로젝트를 진행하였다(Fig. 7). 원단이 늘어나 있는 동안 다양한 패턴의 폴리머를 인쇄하면 패브릭이 특정한 형태의 3D 형상으로 변형되고 그 형태를 유지하게 된다. 모델링 과정에서 점의 모양과 간격이 원단의 수축범위와 변형된 형태의 곡률에 영향을 준다.



(a) (b)

Fig. 5. 3DP polymer-fabric; (a) Flower 3DP pattern on cotton, wool, viscose fabric and polyester net(from left to right). *Campbell (2008), p.2.* (b) 3D FDM-printed modular tubes. *Sabantina et al.(2015), p.5.*



(a) (b)

Fig. 6. (a) 3DP polymer lace fabric. *https://www.rca.ac.uk (b)* 3DP polymer-fabric samples and costumes. *https://www.fabbaloo.com*

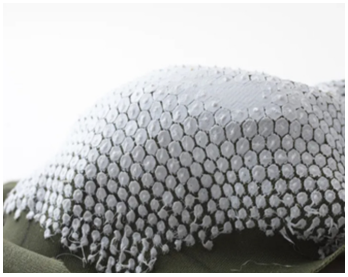


Fig. 7. 3DP polymer-fabric sample with stretch fabric applied. *Fields, 2018 https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=8011*

폴리머와 직물의 접착력을 높이기 위한 3DP 프린팅 공정으로는 패브릭을 프린트 중에 삽입하여 폴리머-패브릭-폴리머의 층을 이루는 샌드위치 방식의 3DP 프린트 공정이 있다. 이 프로세스에서는 패브릭이 첫 번째로 프린팅된 폴리머에 잘 접착되는 것이 중요한데, 폴리머와 패브릭 접착력에는 패브릭의 온도 저항성, 다공성이 영향을 주며 뻣뻣하고 얇은 패브릭이 샌드위치 방식의 3DP 폴리머-패브릭을 생성하는데 적합하다(Tim, 2019). 공정 과정은 먼저 폴리머 출력을 실행한 다음 폴리머가 쌓이면 프린터기를 정지한 후에 원단을 1차로 출력된 폴리머 위에 놓고 고정한다. 그리고 2차 프린트를 실행하면 원단 위로 폴리머가 직접 인쇄되어 원단은 1차, 2차로 프린트된 폴리머 사이에 위치하게 된다.

3DP 폴리머-패브릭에 관한 선행연구는 의류용 원단으로의 가능성을 확인하는 것과 폴리머와 텍스타일의 접착력 테스트에 집중하고 있다. 그리고 3DP 폴리머-패브릭이 적용된 디자인 경우는 소재 개발 및 디자인 과정에 대한 설명과 착용성에 대한 평가가 부족하다. 3DP 폴리머-패브릭 공정에서의 새로운 시도를 한 연구들은 3DP 폴리머- 패브릭의 확장성에 대해 시사하고 있지만 패션디자인에 적용한 완성된 제품을 제시하지 못하는 실정이다. 이에 본 연구에서는 3DP 폴리머-패브릭이 적용된 프로토타입의 의상 제작 과정의 제시와 함께 3DP 폴리머-패브릭 의상이 일상복으로 활용 가능한지 확인하고자 한다.

3. 연구방법

관련 선행연구를 통해 FMD 출력방식과 3DP 폴리머-패브릭의 개발사례와 생산공정을 고찰하였다. 그리고 인터넷 검색 자료를 바탕으로 사례를 보완하였다. 실증연구에서는 3DP 폴리머-패브릭을 적용하여 인체에 착용하였을 때 움직임이 자유로운 프로토타입 의상을 개발하였고 제작 과정에서 발생하는 문제점 및 한계점을 분석하였다. 그리고 이러한 분석을 바탕으로 3DP 폴리머-패브릭이 적용된 패션디자인 프로세스를 제시하였다.

3DP 폴리머-패브릭 개발에서는 프린팅 방식을 결정하고 패브릭의 특성에 따른 폴리머의 접착력에 대한 테스트를 진행하였다. 본 연구에서는 3DP 폴리머-패브릭 개발을 위하여 폴리머를 출력하는 중간에 원단을 삽입하여 폴리머-패브릭-폴리머의 층 구조를 만드는 샌드위치 방식을 적용하였다. 폴리머 사이에 삽입할 원단은 선행연구(Mpofu et al., 2019; Pei et al., 2015)에서 밝힌 바와 같이 가장 우수한 접착력을 갖는 폴리에스테르 직물로 선정하였다. 그리고 다른 조직의 폴리에스테르인 조젯(georgette), 시어서커 쉬폰(seersuker chiffon), 라셀(raschel) 원단에 폴리머를 출력하여 원단 조직이 접착력에 영향을 미치는지를 조사하였다. 그 결과 디자인에 부합하는 원단으로 폴리에스테르 조젯을 선택하였다. 접착력 테스트 결과를 반영하여 최종 폴리머의 두께를 1.3 mm로 모델링하고, 전체 프린트 진행이 20%로 진행되었을 때 원단을 삽입하였다.

모델링을 위한 디자인 단계에서는 형입구도 프린트 방법을 적용하였다. 형입구도 프린트 방법은 2D 텍스타일 프린트에서 사용되는 배치 방법으로 프린트 문양이 의복구성(pattern cutting)의 각 조각의 형태를 따라 디자인되는 것이다. 본 연구에서 사용한 보급형 프린트기는 최대 출력 사이즈가 240 × 190 × 1200 mm (W × 1D × 1H)로 출력 사이즈의 한계를 가지기 때문에 일반적인 의류용 원단과 같은 재단 및 봉제를 적용할 수 없다. 이에 최대 출력 크기 내에서 재단이 가능 하도록 의복구성 패턴을 고려하여 모델링 디자인을 하였다.

3DP 모델링에는 패러메트릭 디자인 방법을 적용하였다. 패러메트릭 디자인 방법은 오브젝트에 영향을 주는 내적, 외적인 힘을 매개변수화 하여 시뮬레이션 되면서 형태를 발달, 변형, 수정하여 형태를 잡아가는 방법이다(Lee, 2009). 이는 주로 동일한 형태의 반복이 아닌 각 피스마다 새로운 패턴의 증대 알고리즘을 통해 변화를 가지는 디자인에 사용되기 때문에 소량의 맞춤 생산체계에 적합한 3D 프린팅 기술의 발전에 재조명되고 있다(Kim et al., 2016). 특히, 패션에 패러메트릭 디자인과 3D 프린팅 기술을 접목하는 방법은 의상디자인 기획, 제작, 생산의 획기적인 전환을 도모할 수 있는 새로운 방법론이 될

수 있다(Seomoon et al., 2020). 본 연구에서는 모델링 디자인 단계에서 의복구성 패턴 각 패널마다 새로운 패턴의 알고리즘으로 디자인을 생성하도록 패러메트릭 기법을 적용하는 것이 적합하다고 판단한다.

패러메트릭 모델링을 위한 프로그램으로 라이노(Rhinoceros 6.0)와 함께 그래스호퍼(Grasshopper)를 사용하였다. 라이노는 NURBS(Non-Uniform Rational B-Splines)를 기반으로 한 프로그램으로 곡선 표현이 자연스러워서 패션, 산업 디자인 분야에서 많이 사용된다(Kim et al., 2019). 라이노는 다양한 확장형 프로그램을 개발해서 그 사용성을 높이고 있는데, 그래스호퍼는 파라매트릭 기법에 해당되는 라이노 플러그인이다. 그래스호퍼는 변수를 입력하는 방법으로 원하는 점(Point)과 선분(Segment), 면(Face)들을 수학적 알고리즘과 변수의 연동으로 디자인을 제작한다. 이에 그래스호퍼를 사용하면 반복과 크기 비율의 변화를 변수로 처리해서 손쉽게 모델링 할 수 있다(Kim et al., 2016a).

출력에서는 모델링 된 디자인을 출력할 수 있도록 변환하는 프로그램인 큐비크리에이터(Cubicreator 2.5 R3)를 사용하였다. 그리고 프린터기는 3DP 대중화를 위해 가격 진입장벽이 낮은 보급형 FDM 3D 프린터 큐비콘 스타일(CUBICON Style, 3DP-210F)로 선정하였다. 폴리머는 고무 재질의 TPU를 사용하였는데 TPU는 유연성이 우수하고 표면이 매끄러우며 내구성이 좋아 의류용으로 사용하는데 적합한 재료라고 판단한다. 다음으로 출력된 인쇄물의 원단 부분의 시접에 맞추어 재단 후 공업용 재봉틀을 사용하여 봉제하였다. 마지막으로 신체 움직임에 따른 활동 가능성을 확인하기 위해 신체 움직임을 크게 사용하는 무용인에게 착용하여 신체활동 테스트를 진행하였다.

4. 3DP 폴리머-패브릭 패션디자인 개발

3DP 패션디자인 개발은 디자인, 3DP 폴리머-패브릭 소재개발, 디자인 수정 및 완성, 출력, 재단 및 연결의 과정으로 이루어졌다.

4.1. 디자인

본 연구의 패션디자인은 나무의 줄기와 뿌리가 휘어져 만드는 곡선에서 영감을 받았다. 먼저 개발할 소재에 프린트하기 위해 주제에 맞는 이미지를 수집하고(Fig. 8(a)) 3D 모델링에 대한 스케치를 하면서 형태와 구조를 디자인하였다(Fig. 8(b)). 3D 폴리머의 형태 디자인 후에는 3D 폴리머의 크기, 위치를 결정하고 3D 폴리머를 인체에 적용하여 디자인 스케치를 진행하였다(Fig. 8(d)) 마지막으로 스케치를 통해 얻은 3D 폴리머 디자인의 한 유닛을 소재 개발을 위한 샘플에 적용하기 위해 모델링하였다(Fig. 8(c)).

4.2. 3DP 폴리머-패브릭 개발

먼저 폴리머가 원단에 안정적으로 접착되기 위해서 폴리머를 출력하는 중간에 원단을 삽입하고 다시 폴리머를 출력하는 샌드위치 프린트 방식을 적용하였다. 샌드위치 프린트의 순서는 Fig. 9(a)와 같이 먼저 1차로 폴리머를 출력한다. 그리고 원단을 삽입하는 시기에 작동 중인 프린터기를 일시 중지하고 원단을 1차로 출력된 폴리머 위에 올려놓는다(Fig. 9(b)). 이때 원단을 구김이나 주름이 발생하지 않도록 프린터 출력 판에 평평하게 잘 펼쳐 접착테이프나 집게 등을 사용하여 고정한다. 그리고 마지막으로 출력을 다시 시작해 원단 위에 2차로 폴리머가 출력될 수 있도록 한다(Fig. 9(c)(d)). TPU는 내부 접착력이 좋으며 자연스러운 유연성을 가진다. 또한 출력이 끝난 후에도 휘어지는 현상이 없다. 이에 TPU를 3DP 소재로 선정하였고 출력 온도는 230°C로 하였다.

다음으로 원단을 결정하기 위해 조젯, 시어서커 쉬폰, 라셀에 출력하여 접착력 테스트를 하였다. 세 가지 원단은 폴리에스테르를 원료로 하는 공통점이 있으나 원단을 구성하는 실의 꼬임, 조직, 제작 방식이 달라 각 원단의 두께와 표면 질감에서 확연한 차이를 가진다. 조젯은 평직 또는 능직 직물로 경사와 위사에 꼬임이 있는 강연사를 교대로 배열하여 표면에 오돌오돌한 촉감이 있으며 표면은 광택이 없다. 시어서커는 평직 직물로, 장력이 다른 두 종류의 경사를 배열하고 가공하여 평편한 줄무늬와 주름 줄무늬가 교차된다(Song et al., 2017). 본 연구에서 사용한 시어서커 원단은 쉬폰으로 가볍고 비쳐 보이며 표면은 무광택으로 경사 방향으로 주름진 입체적인 줄무늬가 있다. 라셀은 편성물로 작은 육각형으로 된 그물 조직으로 세 가지 원단 중에서 가장 얇고 신축성이 우수하다.

각 원단에는 Fig. 10과 같이 두 가지 모델을 출력하였는데 하나는 2 mm 두께의 일정한 3D 모델링이고 다른 하나는

(a) (b) (c) (d)

Fig. 8. design process; (a) Image for 3D polimer, (b) Sketch for 3D polimer, (c) Design Sketch, (d) STL files for modelling output.

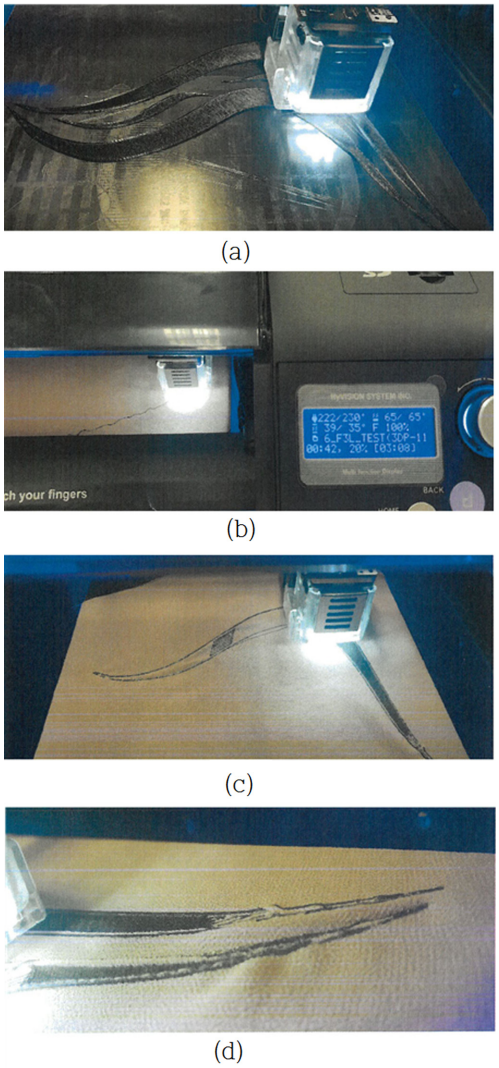


Fig. 9. Sandwich type 3DP polymer-fabric printing process.

0.3 mm에서 15 mm까지 높이에 변화가 있는 모델이다. 출력 결과 2 mm에서 높이가 일정한 모델링은 세 가지 원단 모두 우수한 접착력을 보였지만 다른 샘플에 비해 단조로움이 있었다.

반면, 높이 변화를 준 모델링의 샘플은 변화와 입체감이 뛰어나 심미적 만족감이 높았지만, 3D 폴리머의 모서리 부분이 원단에서 분리되어 접착력이 안정적이지 않았다(Fig. 11).

본 연구에서 사용한 모델링의 디자인은 곡선의 중간이 가장 높고 양 끝으로 가면서 점차 얇아지는 구조인데, 가장자리 얇은 부분에서 접착력이 현저히 낮았다. 이는 원단의 양쪽에 층을 만들 만큼 충분한 두께를 형성하지 못하기 때문이다. 또는 첫 번째 폴리머층에 원단이 안정적으로 접착되어야 하는데 첫 번째 층이 너무 얇아 원단이 폴리머와 접착되지 않았다. 샌드위치 프린트 방식은 적층 중인 폴리머 중간에 원단을 넣는 원리이므로 원단을 삽입하는 시기도 또한 접착력에 영향을 준다. 본 연구에서 사용한 디자인의 경우 세 가지 원단 모두 폴리머-패브릭의 높이 1 mm에서 안정적인 접착력을 보였다. 하지만 적층 중인 폴리머의 높이 측정에 어려움이 있어 전체 출력 시간으로 삽입 시기를 평가한 결과, 전체 출력의 20%가 진행되었을 때 폴리머와 원단의 접착력이 가장 우수하였다. 이러한 결과를 바탕으로 (Fig. 12(a))와 같이 가장 낮은 폴리머의 높이를 1 mm에 맞추어 3D 모델링을 수정하고 2차 샘플 테스트를 하였다. 그 결과 1차 샘플 테스트보다 안정적인 접착력을 보였지만 (Fig. 12(b))와 같이 얇고 긴 모서리 형태의 3D 모델링의 양 끝부분은 원단과 분리가 되었다. 이에 최종적으로 가장 낮은 높이를 1.3 mm로 수정하였다. 이러한 접착력 테스트는 폴리머의 두께, 원단 삽입 시기, 폴리머와 원단이 닿는 면적이 접착력에 영향을 미친다는 것을 시사한다.

세 가지 원단 샘플은 접착력 테스트에서 모두 같은 결과를 보여 본 연구에서 사용한 폴리에스테르의 경우 실의 꼬임과 조직, 제작 방식이 접착력에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 단, 시어서커 쉬폰의 경우 너무 얇아 출력하는 중에 원단에 구김이 생겨 출력 퀄리티가 좋지 않고 불량이 나오는 확률이 높아, 최종적으로 본 연구의 의상 개발을 위해 사용할 원단은 출력의 안정성과 디자인을 고려하여 폴리에스테르 조젯으로 선정하였다.

4.3. 의상제작

4.3.1. 디자인 수정 및 의복구성 패턴 개발

다음은 디자인 과정으로, 본 연구에서는 드레스 상의 부분에 3DP 폴리머-패브릭을 사용하였다. 그리고 보급형 FDM 프린터

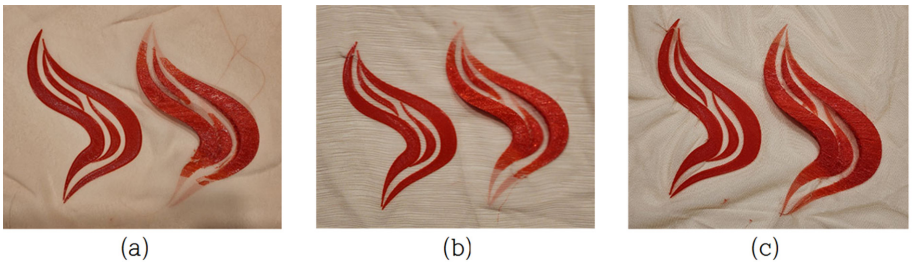
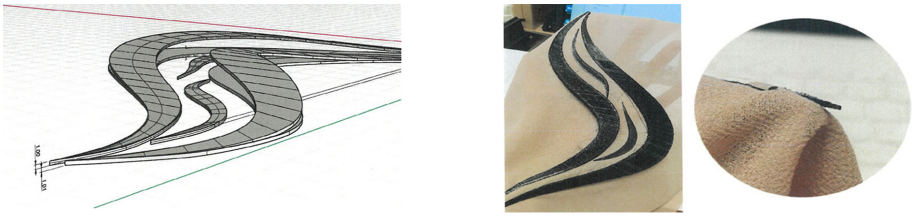


Fig. 10. Modeling output with flat models and varying heights; (a) 3DP polymer-fabric using georgette, (b) 3DP Polymer-Fabric with seersuker chiffon, (c) 3DP polymer-fabric printed on raschel.

Fig. 11. 3D polymer isolated from fabric.



(a) (b)

Fig. 12. Secondary adhesion test; (a) Modified modeling, (b) Output of correction modeling.

Fig. 13. Modeling sketch and design in 1:1 ratio applying engineer print method.

기가 가지는 최대 출력 사이즈를 고려하여 3DP 폴리머-패브릭이 적용되는 패널의 의복 구성 패턴(cutting pattern)이 출력 가능한 사이즈 240 × 190 × 200 mm (W × D × H) 내에서 제단이 이루어지도록 디자인하였다. 이를 위해서 형입구도 프린트 방식을 적용하였다. 형입구도 프린트 방식은 의복구성 패턴 패널에 맞추어 패널마다 다른 문양의 디자인을 삽입하는 것이다. 본 연구에서는 형입구도 프린트 방식으로 3DP 폴리머가 프린트되는 위치와 그 정확한 형태를 찾고자 가봉 원단을 착용한 마네킹에 출력되는 실제 사이즈로 스케치하여 디자인을 완성하였다(Fig. 13). 다음으로 완성된 디자인의 의복구성 패턴과 3DP 모델링의 패턴을 함께 종이에 옮겼다. 그 결과 앞판 10개, 뒤판 10개, 양소매 8개 패널의 의복구성 패턴과 각 패널에 들어가는 3DP 모델의 평면 디자인이 완성되었다(Fig. 14).

4.3.2. 모델링 완성 및 출력

모델링 작업을 위해서 각 패널을 스캔하였다. 각 패널에는 3D 모델링의 평면 디자인을 그려 넣어, 3D 모델링 프로그램인 라이노에서 1 : 1 비율로 3D 모델링을 하기 위한 밑그림으로 사용하였다.

각 패널의 3DP 모델은 곡선을 기반으로 하는 형태로 사이즈와 모양이 패널마다 다르게 설계되었다. 그러므로 그래스호퍼를 활용한 패러메트릭 디자인 기법을 적용하여 3D 모델링을

(a) (b) (c)

Fig. 14. Completed pattern cutting; (a) top pattern front, (b) top pattern back, (c) sleeve pattern.

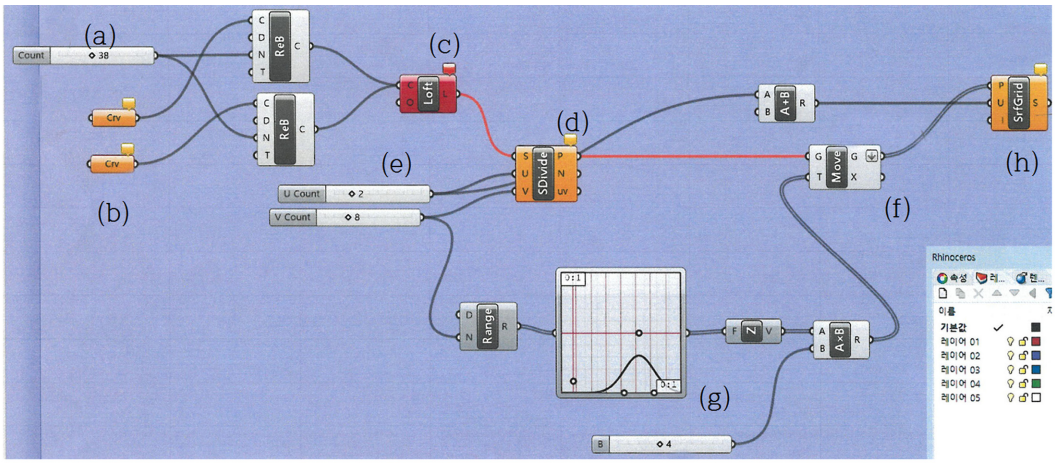


Fig. 15. Map of Grasshopper algorithm.

완성하였다. 그래스호퍼 알고리즘의 맵은 Fig. 15와 같다.

허브 (a)는 라이노에서 그린 평면의 모양을 정리해준다. 허브 (b)에서는 그래스호퍼 알고리즘을 적용할 커브를 선택한다. (c)는 선택한 커브가 외곽선이 되도록 면을 생성하고 (d)는 외곽선에 점을 생성하여, (e)에서 점의 수를 지정한다. 그리고 (f)에서 점을 y축으로 이동하고 (g)에서 높이를 조정한다. 마지막으로 (h)에서 변화된 형태를 면으로 확인하고 마음에 드는 형태가 나왔다면 베이크(bake)를 한다.

완성된 3D 모델링 모두 28개 모두 샌드위치 방식으로 출력하였다. 각 패널의 모델링 사이즈와 형태가 다르기에 출력 시간이 상이하였다. 최소로 소요된 패널의 시간은 13분, 최대로 소용된 패널의 시간 3시간 53분이며 28개 패널을 출력하는데 소요된 총시간은 55시간 10분으로 총사용량은 1.254 m/3.631 g 이다.

4.4. 재단 및 봉제

출력된 3DP 폴리머-패브릭은 의복구성 패턴에 맞추어 재단하고 산업용 재봉틀로 봉제하였다. 재봉틀에서 노루발은 금속소재로 두 갈래로 나누어져 있고, 갈래 사이의 공간으로 바늘이 위, 아래로 지나면서 바느질감을 눌러주는 역할을 하기 때문에 노루발이 지나가면서 움직일 수 있는 두께일 때 재봉이 가능하다. 이때, 최저 높이 1.3 mm로 폴리머가 낮은 부분은 재봉틀 사용 시 노루발이 지나가면서 봉제하는데 무리가 없었다. 하지만 최대 높이가 15 mm로 노루발이 지나갈 수 없는 봉제선은 지퍼를 봉제할 때 주로 사용하는 외 노루발을 장착하여 봉제를 진행하였다.

4.5. 착용 및 평가

4.5.1. 모델 피팅(Model fitting)

실용성과 상용화가 가능한 의상을 제작하기 위해 모델 피팅을 실시하였다. 피팅은 1, 2차로 진행되었고 같은 모델이 착용하였다. 1차 피팅에서는 실제 패턴과 달리 절개가 없이 광목으로 의상을 제작하여 전체적인 실루엣과 맞음새를 점검하였다(Fig. 16(a)). 2차 피팅에서 착용한 프로토타입은 3DP 폴리머-패브릭을 사용하였고 1차 피팅과 같은 실루엣과 사이즈의 의상이 나오도록 하였다. 하지만 2차 프로타입 의상을 착용하였을 때 지퍼가 여며지지 않았다(Fig. 16(b)).

두 의상의 사이즈를 비교한 결과 1차 피팅에서 착용한 가봉의상과 2차 피팅에서 착용한 프로토타입의 의상 사이즈는 같아 원단의 출력과 봉제 과정에서 수축이 발생하지 않았음을 확

Fig. 16. Model fitting. (a) First fitting. (2) Second fitting.

Fig. 17. Prototype garments with 3DP Polymer-Fabric.

인할 수 있었다. 의류용 원단은 직물로 위사와 경사로 구성된 조직에 공간이 있어 인체에 적용되기 위해서는 착용과 일상적인 움직임을 위한 최소한의 신축성을 가져야 한다. 본 연구의 의상은 여유분이 거의 없어 신체에 밀착되는 디자인이다. 그런데 3DP 폴리머-패브릭은 원단에 폴리머가 적층되면서 직물의 경사와 위사 사이의 공간을 채우기 때문에 직물이 움직일 공간이 없어진다. 이에 3DP 폴리머가 원단의 신축성을 저하시켜 착용에 불편을 준 것으로 판단된다. 부족한 뒤품의 부족한 분량을 보완, 수정하고 완성된 의상은 Fig. 17과 같다.

4.5.2. 신체활동 가능성 테스트

신체 움직임에 따른 활동 가능성을 확인하기 위해 신체 움직임을 크게 사용하는 무용전공자에게 착용하여 역동적인 신체활동 테스트를 진행하였다(Fig. 18). 본 연구의 프로토타입 의상은 상의를 중심으로 3D 폴리머-패브릭이 사용되었다. 이에 무용수는 상체를 중심으로 팔 벌리기-닫기, 어깨 회전 및 열기-닫기, 허리와 등 굽히기-펴기 등의 동작을 수행하였고, 점프, 구르기, 다리 회전하기 등의 역동적인 동작을 통해 동적 환경에서 3D 폴리머와 패브릭의 접착성 테스트를 하였다. 3D 폴리머-패브릭이 적용된 상의를 중심으로 한 움직임 테스트 결과, 의상에서 팔과 허리의 가동범위가 충분하였고 의상의 무게 또한 움직임에 방해가 되지 않았다. 그리고 의상에 부착된 폴리머는 역동적인 움직임에도 접착력을 유지하여 3D 폴리머-패브릭을 의상에 적용하는 것이 적합함을 확인할 수 있었다.

4.6. 제언

위의 과정을 통해 정리한 3DP 폴리머-패브릭이 적용된 패션 디자인의 프로세스는 다음과 같다(Table 1). 디자인은 스케치 단계로 주제와 컨셉에 맞추어 의상의 실루엣과 함께 3DP 폴리머-패브릭이 적용될 위치를 정하고, 폴리머 형태를 스케치한다. 이때 적용될 3DP 폴리머의 형태와 사이즈도 함께 고려한다. 의상에 적용할 폴리머에 대한 구상과 스케치를 바탕으로 1차 3D 모델링을 한다.

다음은 3DP 폴리머-패브릭 개발 단계로 소재 개발 시 원단

Fig. 18. 3DP polymer-fabric garments testing for activity with dance performance.

Table. 1. 3DP polymer-fabric fashion design development process

Step	Perform		Performance contents
1	Design	Sketch	· Sketch the silhouette of the entire costume · Sketch the location and shape of the 3DP polymer-fabric
		Modelling	· 3D modeling for material development
2	3DP polymer-fabric material development		· Adhesion test of 3DP polymer considering ptinting area and shape · 3DP polymer-fabric shrinkage test · Determination of fabric type and insertion timing · Determine the output method considering the thickness · Sewing test
3	Modifying and finalizing the design	Design correction	· Modification and completion of design based on developed materials
		Modelling	· Modification and completion of modeling based on revised design and material test
			· Simultaneous design of clothing design and 3DP polymer design
4	Print		· 3DP polymer-fabric output
5	Cutting and Connection		· 3DP polymer-fabric cutting · 3DP polymer-fabric sewing

과 폴리머의 접착력과 3DP 폴리머-패브릭의 신축성을 고려한다. 폴리머의 안정적인 접착력을 위해서는 원단과 폴리머의 접착 특성을 이해하는 것이 중요하다. 출력되는 폴리머의 면적과 형태가 접착에 영향을 주기 때문에 디자인 특성에 따른 접착력을 확인한다. 그리고 원단의 삽입 시기가 접착력에 영향을 미치므로 원단 삽입 시기도 측정한다. 3DP 폴리머-패브릭은 원단의 신축성을 저하하므로 디자인과 소재에 따른 신축성에 관한 이해가 필요하다. 또한, 소재 개발 단계에서는 원단의 접착력과 함께 원단의 두께를 고려하여 출력방식을 결정한다. 출력방식은 원단에 바로 폴리머를 출력하는 방식과 원단을 폴리머 프린트 중간에 삽입하는 샌드위치 방식이 있다. 마지막으로 3DP 폴리머-패브릭 샘플에 대한 봉제 테스트를 함께 수행한다.

그리고 2차 디자인 단계에서는 최종 디자인과 모델링을 완성한다. 소재 개발 과정을 바탕으로 3DP 폴리머 디자인과 의상의 디자인을 수정한다. 이 단계에서는 폴리머의 출력 가능 사이즈와 형태, 의상의 실루엣과 절개선 등을 염두에 두면서 의상디자인과 3DP 폴리머 디자인을 동시에 디자인한다. 출력 사이즈에 한계가 있거나 각 의복구성 패턴마다 다른 형태의 3DP 폴리머 디자인을 적용하는 경우 본 연구에서 시행한 형입구도 프린트 방법을 고려할 수 있다. 또한 실제 사이즈의 마네킹 또는 가봉 의상에 3DP 폴리머의 크기와 위치 형태 등을 1:1 비율로 스케치하는 경우 더욱 정확한 디자인을 할 수 있다. 디자인이 완성되면 앞서 실행한 접착력, 수축률 등의 소재 테스트의 결과를 고려하여 3D 모델링을 수정하여 완성한다. 패러메트릭 기법은 패턴의 증대 알고리즘을 통해 변화를 생성하기 때문에 3D 모델링에서 여러 패널에 적용할 수 있는 효율적인 디자인 방법론이다.

원단과 폴리머의 종류, 3D 모델링 파일이 준비되고 출력방식이 결정되었다면 출력을 시행하여 3DP 폴리머-패브릭을 생산한다. 그리고 마지막으로 원하는 패턴이나 형태로 재단하고 패널을 연결하여 의상을 완성한다.

3DP 폴리머-패브릭을 적용한 패션디자인에서 의상디자인, 3D 모델링 디자인, 소재 개발의 각 단계는 유기적으로 이루어져야 한다. 3DP 폴리머-패브릭 의상 제작 과정에서 3DP 모델링은 디자인 과정에 포함되어 3DP 모델링 디자인과 의상의 디자인을 함께 진행한다. 그리고 스케치와 모델링을 한 후에 소재를 개발하고 개발된 소재에 맞추어 디자인과 모델링을 수정하여 완성한다. 이는 3DP 폴리머의 형태적 특성이 폴리머와 원단의 접착력과 신축성에 영향을 미치고 3DP 폴리머 패브릭에 대한 이해를 바탕으로 의상디자인이 이루어지기 때문이다.

5. 결 론

본 연구에서는 3DP의 물리적 한계를 보완하고 동시에 심미적 만족감을 충족하기 위한 해결책을 제시하는 연구목적에 따라 3DP 폴리머-패브릭 의상 개발이 이루어졌다. 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 뻣뻣하고 단단하여 소비자에게 불편한 경험을 주는 기존의 3DP 의상의 한계를 보완하는 대안으로서 3DP 폴리머-패브릭의 가능성을 확인하였다. 3DP 폴리머-패브릭은 원단에 폴리머를 직접 출력하는 방식으로 일반적인 의류 소재와 3DP 폴리머 두 재료가 융합한 소재이다. 이는 소재의 자유로운 움직임을 허용하면서도 단단하고 입체적인 표면적 특성을 가진다. 그리고 의상에 부착된 폴리머는 역동적인 신체 움직임에도 접착력을 유지하여 3D 폴리머-패브릭 의상 제작 가능성을 확인하였다.

둘째, 3DP 폴리머-패브릭 개발에서 원단과 폴리머의 접착력 테스트 결과 폴리머의 두께, 원단 삽입 시기, 폴리머와 원단의 접촉 면적이 접착력에 영향을 미쳤다. 폴리머-원단-폴리머의 층을 이루는 샌드위치 프린트 방식에서는 원단의 위, 아래를 포함하는 폴리머의 총 두께와 원단 아래에 위치하는 폴리머의 두께 모두 접착력에 영향을 준다. 원단 아래의 첫 번째 폴리머층과 원단이 안정적으로 접착되기 위해서는 원단을 삽입하는 시기를 파악하는 것이 중요하다.

셋째, 3DP 폴리머-패브릭 개발 단계에서 완성된 3DP 폴리머-패브릭의 신축성을 고려해야 한다. 3DP 폴리머-패브릭에서 원단에 폴리머가 증착되어 직물의 공간을 채워 직물의 위사와 경사가 움직이는 범위가 축소된다. 이는 완성하고자 하는 의상의 디자인에 따라 착용에 어려움을 주고 신체 움직임을 저하할 수 있다.

넷째, 3DP 폴리머-패브릭이 적용된 패션디자인 프로세스를 1차 디자인, 3DP 폴리머-패브릭 소재개발, 2차 디자인, 출력, 재단 및 연결의 과정으로 제시하였다. 1차 디자인 단계에서는 전체 의상의 실루엣과 3DP 폴리머-패브릭이 적용될 위치와 형태를 스케치하고 샘플로 출력할 3D 모델링을 한다. 다음은 소재 개발의 단계인데 샘플 출력을 통해 3DP 폴리머의 접착력, 수축률 테스트를 수행하고 원단의 종류와 삽입 시기, 출력방식, 연결 방법 등을 결정한다. 다음 2차 디자인 단계이다. 여기서는 개발된 소재를 중심으로 디자인과 3D 모델링을 수정하고 완성한다. 마지막으로 3DP 폴리머-패브릭을 출력하고 재단, 연결하여 의상을 완성한다.

다섯째, 본 연구에서 적용한 형입구도 프린트 방식과 패러메터릭 디자인 방법은 보급형 FDM 출력 사이즈의 한계를 보완한 패션디자인에 활용하기에 적합하다. 형입구도로 프린트 방식을 적용하는 경우 출력 사이즈와 절개선 및 봉제선을 고려하여 3DP 폴리머 디자인의 형태와 배치를 결정한다. 그리고 패러메트릭 디자인 방법론은 각 패널마다 새로운 패턴의 증대 알고리즘을 통해 변화를 생성하기 때문에 여러 패널을 연결하는 3DP 패션디자인에 적용하기에 유연하고 효율적이다.

여섯째, 3DP 폴리머-패브릭을 적용한 패션디자인은 의상디자인, 3D 모델링 디자인, 소재 개발의 각 단계는 유기적으로 이루어진다. 소재 개발하는 과정에서 3DP 폴리머 디자인이 완성되고, 개발된 3DP 폴리머-패브릭은 의상 디자인과 제작 방식에 영향을 준다.

본 연구는 3D 폴리머-패브릭의 소재를 활용해 프로토타입의 의상을 제작하는 과정을 통해 의류에 적용되는 3DP가 가지는 한계점의 보완 가능성을 확인하고자 하였다. 앞으로 3DP 기술은 더욱 발달하여 의류에 적용하기 위한 새로운 재료의 폴리머, 새로운 공정으로 개발된 소재들이 제시될 것이다. 본 연구에서 의상디자인, 3D 모델링 디자인, 소재 개발이 유기적인 관계에 있음을 확인한 바와 같이 3DP를 패션에 적용하기 위해서는 소재의 특성과 디자인의 관계를 이해하는 것이 중요하다.

본 연구는 현재 3DP가 가지는 한계점을 보완하기 위하여 디자이너의 창의성과 연계하여 해결책을 제안한다는 의의가 있다. 또한 3DP 폴리머-패브릭의 개발과 형입구도 프린트와 패러메트릭 디자인 방법이 적용된 디자인 프로세스를 통해 현대 기술의 한계점을 보완하기 위한 해결책을 제시하였다는 의의를 가진다. 본 연구에서 제시하는 디자인 방법과 패션디자인 프로세스가 패션 분야의 3D프린팅 기술의 상용화에 기여하기를 기대한다.

하지만 본 연구에서 개발한 3DP 폴리머-패브릭은 세 개의 원단과 한 개의 폴리머를 재료로 샘플 테스트를 하였다는 한계를 가진다. 이에 다양한 원단과 폴리머를 적용한 3DP 폴리머-패브릭에 관한 연구에 대한 필요성이 제기된다. 또한 3DP 폴리머-패브릭의 신축성 테스트를 하지 않은 결과 3DP 폴리머-패브릭 의상은 착용에 불편을 주었다. 이에 3DP 폴리머-패브릭의 신축성에 관한 후속 연구를 진행한다면 3DP 방식 패션산업의 도입은 가속화될 것으로 예상한다.

References

Bingham, G. A., Hague, R. J., Tuck, C. J., Long, A. C., Crookston, J. J., & Sherburn, M. N. (2007). Rapid manufactured textiles. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 20*(1), 96-105. doi:10.1080/09511920600690434

Campbell, J. R. (2008). Inkjet4Tex - Creative implications of 3D inkjet printing technologies for textiles. Undisciplined. *DRS International Conference* (pp. 16-19). Sheffield, United Kingdom. University, Sheffield.

Chakraborty, S., & Biswas, M. C. (2020). 3D printing technology of polymer-fiber composites in textile and fashion industry - a potential roadmap of concept to consumer. *Composite Structures*, 248. doi:10.1016/j.compstruct.2020.112562

Choi, J. W., & Park, S. H. (2020). The domestic trend of studies on 3D printing technology applied to the fashion industry. *Journal of fashion business, 24*(6), 80-88. doi:10.12940/jfb.2020.24.6.80

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

Fields, G. (2018). Self forming structures - an exploration into 3D printing on pre-stretched fabric. *Nervous System Blog.* Retrieved January 07, 2023, from https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=8011

Grain, E., & Unver, E. (2016). 3D Printed Fashion: a dual approach. In: *Interdisciplinary Conference.* Oxford University. (Unpublished)

Gorlachova, M., & Mahltig, B. (2021). 3D-printing on textiles–an investigation on adhesion properties of the produced composite materials. *Journal of Polymer Research*, 28(6), 1-10. doi:10.1007/s10965-021-02567-1

Han, J., Chae, H., & Ko, E. (2014). The potential of 3D printing technology in the fashion industry. *Global Marketing Conference*. (pp. 2019-2020). Singapore.

Han, Y. J., & Kim, J. J. (2018). A study on the mechanical properties of knit fabric using 3D printing - Focused on PLA, TPU filament. *Journal of Fashion Business*, *22*(4), 93-105. doi:10.12940/jfb.2018.22.4.93

Hudson, S. E. (2014). Printing teddy bears - A technique for 3D printing of soft interactive objects. *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 459-468). Toronto Ontario Canada. doi:10.1145/2556288.2557338

Jewon, L., Kim, H., & Amrut, S. (2018). Understanding millennial consumer's adoption of 3D printed fashion products by exploring personal values and innovativeness. *Fashion and Textiles, 5*(1), 1-24. doi:10.1186/s40691-017-0119-8

Kang. J. H. (2020). *Development of a 3D printing method for garment panels using the hybrid textile structure*. Unpublished master's thesis, Seoul National University. Seoul.

Kim, K. B., Jung, D. S., & Jang, J. S. (2016a). A study on the parametric design product of the 3D printing. *Design Convergence Study, 17*(3), 71-89.

Kim, H. E. (2015). The research into the changes of fashion industry according to the development of 3D printing technology. *Journal of The Korean Society of Fashion Design*, *15*(4), 17-33. doi:10.18652/2015.15.4.2

Kim, H. E. (2016). A research into the development of millineries for daily use utilising Voronoi diagrams – design based on 3D printing for manufacturing. *Journal of The Korean Society of Fashion Design*, *16*(1), 33-47. doi:10.18652/2016.16.1.3

Kim, H. S., & Kang, I. A. (2015). Study on status of utilizing 3D printing in fashion field. *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association*, *17*(2), 125-143.

Kim, J. S., & Shin, S. M. (2018). A study on consumer attitudes and purchase intentions for 3D printed products in the fashion industry. *The Research Journal of the Costume Culture*, *26*(6), 919-933. doi:10.29049/rjcc.2018.26.6.919

Kim, S. H., & Kim, H. L. (2018). The recent tendency of fashion textiles by 3D printing. *Fashion & Textile Research Journal, 20*(2), 117-127. doi:10.5805/SFTI.2018.20.2.117

Kim, K. B., Jung, D. S., & Jang, J. S. (2016b). A study on the effect of product design's functional structure on user - focusing on parametric design techniques of the 3D Printing Product. *Industrial design Journal, 10*(1), 9-18.

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

Kim, Y. S., Lee, J. A., Kim, J. H., & Jun, Y. S. (2015). Formative characteristics of 3D printing fashion from the perspective of mechanic aesthetic. *The Research Journal of the Costume Culture*, *23*(2), 294-309. doi:10.29049/rjcc.2015.23.2.294

Lee, C. H., & Hong, S. Y. (2016). A characteristic analysis on 3D printing materials for textiles. *The Korean Society of Science & Art, 24*, 343-350. doi:10.17548/ksaf.2016.06.24.343

Lee, G. H., Kim J. E. Yang, E. K., Min, S. Y. Son, J. W., & Lee, E. H. (2016a). Atypical forms of 3D printing fashion accessories according to the digital design methods. *Journal of The Korean Society of Fashion Design*, *16*(1), 1-16. doi:0.18652/2016.16.1.1

Lee, G. W. (2021). *Development of neck decoration design using 3D printing*. Unpublished master's thesis, Kyungbook University, Daegu.

Lee, H. J., Kim, J. S., & Hu, S. Y. (2022). Consumer preferences for personal 3D printing technology - the case in South Korea. *Journal of Korea Technology Innovation Society*, *17*(1), 207-231.

Lee, H. S. (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, I. Y., & Kim, S. K. (2015a). The fashion designs concept of 3 dimensional shapes and the designs formativeness - Focusing on 『View』, 『View2』 after the year 2010 - *Journal of The Korean Society of Fashion Design. 15*(3), 21-33. doi:10.18652/2015.15.3.2

Lee, J. S. & Hu, J. S. (2017). Study of textile structure using 3D printing - focused on the comparison of FDM and DLP. *The Korean Society of Science & Art*, *31*, 329-340. doi:10.17548/ksaf.2017.12.30.329

Lee, J. S., Kim, I.., & Hwang, S. J. (2016b). A study on fashion design using 3D-printed fabric. *A Journal of Brand Design Association of Korea*, *14*(3), 247-256. doi:10.18852/bdak.2016.14.3.247

Lee, J. S., & Lee, J. J. (2016). A study on the development of fashion design based on FDM 3D printing. *Journal of the Korean Society of Fashion Design*, 16(1), 101-115. doi:110.18652/2016.16.1.7

Lee. J. S., Whang, S. J., & Kim, K. A. (2015). A study on the development of fashion products based on 3D printing, *A Journal of Brand Design Association of Korea*, *13*(1), 148-161. doi:10.18852/bdak.2015.13.1.147

Lee, S. Y. (2015). *A study on naturalistic pattern costume design utilizing 3D printing.* Unpublished Master's thesis, Hongik University, Seoul.

Lee, W. S. & Kim, S. A. (2015b). Development of high-heel design applied by FDM Three-dimensional printer output. *Journal Korea Society of Visual Design Forum*, *48*, 521-530. doi:10. 21326/ksdt.2015..48.047

Lee, Y. (2009). Digital morphogenesis of parametric design system. *Journal of Korea Design Knowledge*, *9*, 54-62.

Malengier, B., Hertleer, C., Van Langenhove, L., & Cardon, L. (2017). 3D printing on textiles - testing of adhesion. *In International Conference on Intelligent Textiles and Mass Customisation(pp. 1-6).* Gent, Belgium.

Melnikova, R., Ehrmann, A., & Finsterbusch, K. (2014). 3D printing of textile-based structures by fused deposition modelling (FDM) with different polymer materials. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (pp. 1-6). Ninbo, China. doi:10.1088/1757-899X/62/1/012018

Mpofu, N. S., Mwasiagi, J. I., Nkiwane, L. C., & Njuguna, D. (2019). Use of regression to study the effect of fabric parameters on the adhesion of 3D printed PLA polymer onto woven fabrics. *Fashion and Textiles*, *6*, 1-12. doi:10.1186/s40691-019-0180-6

Murphy, F. (2018). Liquid lace / 3D printed textiles. RCA. Retrieved December 7, 2020, from https://www.rca.ac.uk/showcase/show-rca/frances-murphy/

Oh, S. Y., Suh, D. A., & Kim, H. G. (2016). Last design for men's shoes using 3D foot scanner and 3D printer. *The Journal of the Korea Contents Association*, *16*(2), 186-199. doi:10.5392/JKCA.2016.16.02.18

Pasricha, A., & Greeninger, Rache. (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

Partsch, L., Vassiliadis, S., & Papageorgas, P. (2015). 3D printed textile fabrics structures. *In The International Istanbul Textile Congress,* (pp.1-7). Istanbul, Turkey.

Perry, A. (2018). 3D-printed apparel and 3D-printer - exploring advantages, concerns, and purchases. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, *11*(1), 95-103. doi:10.1080/17543266.2017.1306118

Pei, E., Shen, J., & Watling, J. (2015). Direct 3D printing of polymers onto textiles - Experimental studies and applications. *Rapid Prototyping Journal*, *21*(5), 556-571. doi:10.1108/RPJ-09-2014-0126

Popov, D., & Koo, S. M. (2020). Use of 3D printing technology to create personal fashion - UTAUT and need for uniqueness. *Journal of Fashion Business*, *24*(6), 1-17. doi:10.12940/jfb.2020.24.6.1

Quan, Z., Wu, A., Keefe, M., Qin, X., Yu, J., Suhr, J., & Chou, T. W. (2015). Additive manufacturing of multi-directional preforms for composites - Opportunities and challenges. *Materials Today*, *18*(9), 503-512. doi:10.1016/j.mattod.2015.05.001

Sabantina, L., Kinzel, F., Ehrmann, A., & Finsterbusch, K. (2015). Combining 3D printed forms with textile structures-mechanical and geometrical properties of multi-material systems. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *87*(1), 012005. IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/87/1/012005

Seomoon, Y. J., Ju, H. Y., & Kim, Y. I. (2020). The development of fashion detail prototype using 3D modeling SW based on parametric design. *Journal of the Korean Society of Costume*, *70*(1), 29-45. doi:10.7233/jksc.2020.70.1.029

Song, A. R., & Geum, K. S. (2016). A study on the formative characteristics of fashion design using 3D printing technology - Focused on iris van herpen. *Bulletin of Korean Society of Basic Design & Art*, *17*(2), 220-231.

Song, H. Y., & Lee, J. M. (2019). Study on the tendency of interest of fashion product development based on 3D printing according to college students' fashion life style. *Journal of Fashion Business*, *23*(6), 101-115. doi:10.12940/jfb.2019.23.6.101

Song, W. S., Kim, I. Y., & Kim, H. L. (2017). *Textiles*(4th ed). Seoul: Komunsa.

Stevenson, K. (2019). Stratasys shows fashion fabric 3D printing system. *Fabbaloo.* Retrieved January 07, 2023, from https://www.fabbaloo.com/2019/09/stratasys-shows-fashion-fabric-3d-printing-system

Tim. (2021). 3D printing onto fabrics. *Core-Electronic.* Retrieved November 13, 2022, from https://core-electronics.com.au/guides/3d-printing/3d-print-onto-fabrics/#Process

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 Ducation*, *10*(2), 170−179. doi:10.1080/17543266.2016.1223355

Warnier, C., Verbruggen, D., Ehmann, S., & Klanten, R. (2014). *Printing things - Visions and essentials for 3D printing.* Berlin: Gestalten.

Whittow, W. G., Chauraya, A., Vardaxoglou, J. C., Li, Y., Torah, R., Yang, K., & Tudor, J. (2014). Inkjet-printed microstrip patch antennas realized on textile for wearable applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter*s, *13*, 71-74. doi:10.1109/LAWP.2013.2295942

Whi, K. H. (2014). A study on the development of co-brand strategies in the Korean jewelry industry. *The Korea Society of Craft*, *17*(1), 137-161.

(Received February 18, 2023; 1st Revised April 2, 2023; 2nd Revised April 10, 2023; Accepted April 12, 2023)