

## 지속가능한 소재를 이용한 3D 프린팅 패션 제품 개발연구

감 선 주 · 유 영 선\*

경희대학교 의상학과 겸임교수  
경희대학교 의상학과 교수\*

### 요 약

미래 차세대 기술로 부각되고 있는 3D 프린팅 기술은 지속가능성의 환경적, 경제적, 사회적 요인들을 포함하고 있으나 3D 프린팅에 사용되는 프린팅 소재는 지속가능성의 맥락에서 한계가 있다. 이에 본 연구는 3D 프린팅의 지속가능한 소재를 탐구하여 지속가능한 3D 프린팅 패션 제품을 개발하고자 하였다. 문헌 연구를 통하여 현재 3D 프린팅 기술의 지속가능성을 파악하고 지속가능한 프린팅 소재의 사례를 고찰하였다. 현재 3D 프린팅 패션 제품 선행연구와 사례를 토대로 외형, 조직구조, 텍스처로 나누어 분석하고 패션 전문가들의 심층 면접을 통하여 지속가능한 3D 프린팅 패션 제품의 개발 방향을 찾고자 하였다. 연구 결과는 다음과 같다. 3D 프린팅의 지속가능한 소재는 재료의 구성에 따라 하이브리드형 필라멘트와 재활용 필라멘트로 나눌 수 있다. 3D 프린팅 패션 제품의 외형은 구체적 액세서리형, 추상적 비정형, 구체적 표현 의복형으로 분류하였고 조직구조는 단일형, 완전형, 유닛 연결형, 부분적 차용을 통한 혼성적 형태로 분류하였다. 또한 텍스처는 짜임, 타공, 음각, 적층으로 구분하였다. 패션 전문가 심층 면접에서는 3D 프린팅 패션 제품의 구체적 액세서리형이 선호도가 높았고 조직구조와 텍스처에 따른 선호도는 뚜렷이 구분되지 않았다. 제시된 3D 프린팅 필라멘트의 사례 중에서는 폐목본 필라멘트가 선호도가 가장 높았다. 이러한 이론적 연구와 질적 연구를 토대로 지속가능 소재를 이용하여 3D 프린팅 패션 제품을 개발하였다. 본 연구는 3D 프린팅 기술의 지속가능성 발전 방향에 저해가 되는 플라스틱 중심의 소재 사용에서 벗어나 지속가능한 3D 프린팅 재료를 탐구하고 이를 패션 제품 개발에 적용하였다는 점에서 의의가 있다. 본 연구를 통하여 지속가능한 3D 프린팅 패션 제품의 발전 방향에 도움이 될 것으로 기대한다.

주제어 : 지속가능성, 3D 프린팅, 패션 제품, 지속가능한 소재

본 논문은 박사학위 논문의 일부임.

\*교신저자: 유영선, [ysyoo@khu.ac.kr](mailto:ysyoo@khu.ac.kr)

수일: 2019년 4월 25일, 수정논문접수일: 2019년 5월 22일, 게재확정일: 2019년 7월 15일

## I. 서론

4차 산업혁명의 신기술들은 일상생활에 디지털 혁신 기술을 도입하면서 인간의 삶을 더 나은 방향으로 발전시키고 있다. 그 중 3D 프린팅 기술은 폐기물 없이 제품을 생산함으로써 환경오염 감소와 제조 공정을 단축시켜 에너지 사용량, 자원 요구량 및 CO<sub>2</sub> 배출량을 낮추고 노동 구조의 변화를 유발하여 기존의 제조 프로세스를 바꿔 놓을 혁신적인 기술로 평가받고 있으며 지속가능한 방향으로 발전하고 있다(Gebler et al., 2014). 하지만 3D 프린팅의 고체 열가소성 재료들은 열에 의해 용융되어 출력되면서 유해 가스와 입자들이 방출되어 인체에 유해한 영향을 미친다는 점에서(Azimi et al., 2016) 이를 개선할 수 있는 환경친화적 재료의 개발과 연구가 다각도로 모색되어야 할 것이다.

3D 프린팅 패션은 2010년에 아이리스 반 헤르펜(Iris Van Herpen)이 3D 프린팅으로 제작된 의상을 선보이면서 패션에 도입되기 시작하였다. 패션 분야에서 3D 프린팅에 관한 국내 선행연구로는 3D 프린팅 패션 디자인 연구(Kim, 2016; Lee et al., 2015; Lee & Jin, 2017; Lee & Lee, 2016), 3D 프린팅 소재 연구(Lee & Huh, 2017; Kim & Kim, 2018a; Kim & Kim, 2018b), 3D 프린팅 패션 조형 특성 연구(Choi, 2017; Kim et al, 2015; Kim & Na 2016; Lee et al., 2016; Song & Kum 2016), 패션산업에서의 3D 프린팅 기술을 이용한 사례 연구(Kim, 2015; Kim & Choi, 2016; Park & Yoo, 2016) 등 활발하게 이루어지고 있지만 타 산업 분야에 비하여 국내의 패션 산업에서 3D 프린팅의 활용은 미비한 편이다(Lee & Huh, 2017). 3D 프린팅의 지속가능성에 관한 연구로는 3D 프린팅의 지속가능성을 평가한 연구(Gebler et al., 2014), 지속가능 3D 프린팅의 바이오 소재 개발(Kim, 2017) 등이 있지만 적극적으로 3D 프린팅의 지속가능한 측면을 고찰하고 패션 제품에 적용시킨 연구가 필요하다.

이에 본 연구의 목적은 3D 프린팅의 지속가능한 소재를 탐구하고 이용하여 지속가능한 3D 프린팅 패션 제품을 개발하고 제안하는 것에 있다. 본 연구의 연구 방법은 문헌 연구, 사례 연구, 질적 연구, 작품개발로 이루어졌다. 먼저, 지속가능한 디자인, 지속가능한 3D 프린팅 기술에 대하여 이론적 고찰을 진행하였다. 지속가능한 디자인에 있어서는 개념과 시대에 따른 변화에 관하여 살펴 보았다. 지속가능한 3D 프린팅 기술에서는 3D 프린팅 기술의 지속가능성과 지속가능한 소재에 대하여 고찰하였다. 이론 연구와 사례 연구를 바탕으로 3D 프린팅 패션 제품의 특징을 분석하여 심층 면접과 디자인 개발의 틀을 마련하였다. 또한, 10년 이상 경력의 패션전문가 15명을 대상으로 심층 면접을 병행하여 디자인 방향을 모색하고 패션 제품을 개발하였다.

## II. 지속가능성과 3D 프린팅

### 1. 지속가능한 디자인

지속가능한 디자인이란 지속가능성에 근거하여 일어나는 다각적인 디자인 흐름이다. 지속가능성은 1987년 세계 환경 개발 위원회(World Commission on Environment and Development [WCED])에 제출된 우리의 공동 미래(Our Common Future)의 보고서에서 지속가능한 발전을 “미래세대가 그들의 필요를 충족시킬 능력을 저해하지 않으면서 현세대의 필요를 충족시키는 것”이라고 정의함으로써 이 용어가 공식적으로 명명되었다(Lee et al, 2013). 지속가능한 디자인은 산업 발달에 따른 에너지 소비 및 원자재의 고갈, 환경오염, 생태계 파괴에 따른 환경 문제의 인식에서 비롯되었고 시대에 따라 미래지향적 목표를 가지고 재정의되면서 발전적 모습을 갖추어 가고 있다.

지속가능한 디자인은 시대적 변화에 따라 그린 디자인(Green Design), 환경을 위한 디자인(Design for Environment [DFE]), 에코디자인(Eco Design) 등으로 불리고 있다. 그린디자인은 에코디자인이라는 용어를 사용하기 전에 1980년대 환경운동에서 비롯된 자연 친화적 디자인을 의미하는 용어로써 사용되었다. 그린디자인의 목적은 자연환경에 영향을 적게 주고 자연의 순환 원리를 디자인에 적용하여 인간에게 쾌적한 환경을 제공하는 것에 있다. 에코디자인은 1992년 브라질 리우데자네이루(Rio de Janeiro)에서 개최된 유엔환경개발회의(UN Conference on Environment and Development [UNCED])에서 공식적으로 처음 거론되었다. 에코디자인은 제품의 라이프 사이클 전반에 걸쳐 환경적 부담을 최소화하면서 기능과 품질에 있어서의 경쟁력을 높이는 것이 특징이다. 생태적 맥락 속에서 그 시대의 물리적 환경문제의 해결만이 아닌, 인간을 비롯한 생태계의 발전적 진화를 가능하게 하는 디자인 관련 활동을 의미한다(Kim, 2002).

지속가능한 디자인은 에코디자인에 사회성을 더 고려한 것으로 현재를 바탕으로 미래를 예측하여 인간과 자연의 공존을 추구하는 디자인이다. Sherin(2008/2009)은 그린, 친환경적 디자인(Eco-friendly design)과 같은 단어들이 주로 환경을 고려하는 반면 지속가능한 디자인은 소재와 디자인, 생산 프

로세스의 사회적, 경제적 영향에 대해서도 고려한다는 점을 이해하는 것이 중요하다고 하였다.

지속가능한 디자인이란 우리가 누리고 있는 현재의 환경을 현세대와 다음 세대가 함께 향유할 수 있도록 보존하고 물려줄 수 있는가에 대한 해결책을 제시하는 디자인이다. 지속가능한 디자인의 시대적 발전과 특성을 정리해보면 <Figure 1>과 같다.

## 2. 3D 프린팅의 지속가능성

National IT Industry Promotion Agency(2018)에 따르면, 3D 프린팅 기술이 디지털 제조의 보편화, 소비자 가치 생산의 활성화, 창조적 가상재화의 창출로 경제적, 사회적 의의가 있다고 하였다. 3D 프린팅 기술은 크게 3D 디지털 기술과 3D 프린터 기술로 구분해 볼 수 있다. 3D 디지털 기술은 수정 및 변형이 쉬워 맞춤형 생산이 가능하고 대량 생산 중심이었던 산업구조를 다품종 소량, 맞춤형 생산으로 재편할 수 있다. 3D 디지털 데이터가 사용자의 참여 기회를 나눌 수 있는 계기가 되어 디자인에 대한 관심과 참여를 높이고 상품의 무형 가치의 중요성을 강조하게 함으로써 디자인의 윤리성, 지속가능성 등의 사회를 위한 디자인 개념으로 확장되고 있다(Kim & Hwang, 2014). 3D 프

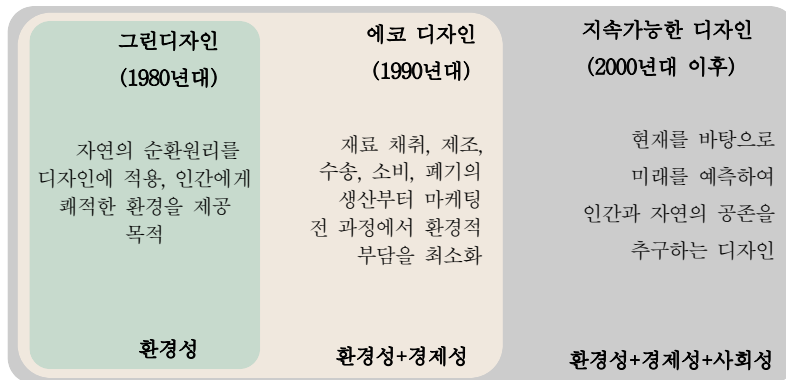


Figure 1. 지속가능한 디자인의 시대적 발전과 특성.

린터 기술의 적층 제조기술은 제조 공정 과정에서 폐기물이 거의 생성되지 않아 환경 보존 효과와 있고, 완성제품에 소요되는 재료의 양만 필요함으로 자원이 절약된다. 또한 형태를 만들기 위해 사용되는 몰드(mold)가 필요하지 않아 공정 과정이 축소됨으로 생산 비용 절감이 가능하다.

이와 같이 3D 프린팅 기술의 방향이 지속가능한 발달의 방향과 그 맥을 함께 하고 있지만 3D 프린팅의 재료는 플라스틱에 대부분 의존하고 있고 이는 지속가능성의 저해요소가 될 수 있다. 3D 프린팅 소재에 대한 핵심 이슈 중 하나는 소재가 보유하고 있는 유독성이다. 분말 적층 용융방식 중 선택적 레이저 소결방식(Selective Laser Sintering [SLS])의 3D 프린터는 주 소재인 포토폴리머(photopolymer)의 독성 때문에 현재 학교 및 가정에서 자주 활용하지 않는다(National IT Industry Promotion Agency, 2018). 재료압출 방식 중 필라멘트 융합제조방식(Fused Filament Fabrication [FFF])이 가장 보급률이 높는데 FFF형 3D 프린팅에 사용되는 출력 재료 중 보편적으로 많이 사용되는 두 가지 플라스틱은 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)와 PLA(Poly Lactic Acid)이며 둘 다 열에 의해 쉽게 녹여 성형할 수 있다. ABS는 아크릴로나이트릴(A), 부타디엔(B), 스타이렌(S) 등 세 가지 성분이 결합된 고분자 물질로 고온에 분해되면 고분자 물질이 분리되어 배출될 수 있는데 이때 분해된 고분자 물질 각각은 인체에 해롭다(Woo, 2016). 바이오 필라멘트로 알려진 PLA 필라멘트는 생분해 과정에서는 ABS보다 분해성이 높으나 열에 의한 재료 압출 과정에서는 PLA 또한 유독 화학물질의 발생이 입증되었다(Azimi et al., 2016). 따라서 3D 프린팅의 지속가능한 디자인 접근을 위해 3D 프린팅 출력 소재의 지속가능성까지 필수적으로 고려되어야 한다.

### 3. 지속가능한 3D 프린팅 소재


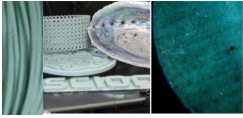



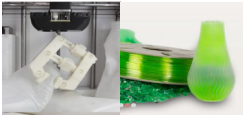
지속가능한 디자인에서 소재는 가장 중요한 요

소 중 하나이다. 소재 또한 환경적, 경제적, 사회적 인 요건을 모두 고려해야 지속가능한 소재로 포함될 수 있다. 본 연구에서는 현재 보급률이 가장 높은 FFF형 3D 프린팅에 사용되는 소재를 중심으로 사례를 고찰하였다. 지속가능한 3D 프린팅 소재의 대안이 될 수 있는 사례들은 크게 하이브리드(hybrid) 필라멘트와 재활용 필라멘트로 나뉜다. 하이브리드 필라멘트는 천연재료나 공정 과정 중의 부산물을 플라스틱과 섞어 출력 시 유해 화학물질이 배출되는 것을 줄여주거나 생분해성을 높인다. 천연재료 혼합물의 필라멘트로는 해조류 필라멘트(algae filament), 전복 껍데기를 이용한 필라멘트(paua shell filament)가 있다. 해조류 필라멘트는 에릭 클라렌벡(Eric Klarenbeck)과 마제 드로스(Maartje Dros)가 개발하여 2017년 로테르담(Rotterdam)에서 『열린 시스템 변화(Change the System)』 전시회에서 선보였다. 해조류 필라멘트의 궁극적 목적은 해조류의 환경 친화적 특성을 이용하면서 지역적 네트워크를 구축하고 경제 분산을 가능하게 하는 것이다(Morris, 2017). 전복껍데기를 이용한 필라멘트는 재료 과학자 마리언 상란드(Marion Sanglard)와 마리 주 르 겐(Marie Joo Le Guen)이 전복 농업 회사 오션즈 블루(OceanZ Blue)와 협력하여 개발하였다. 개발자들은 전복껍데기의 폐기물을 활용하고 지역 경제 활성화에 기여하고자 하였다(Sanglard, n.d.). 공정 과정 중의 부산물을 이용한 필라멘트로는 폐목분을 이용한 필라멘트, 커피 찌꺼기, 맥주 찌꺼기 필라멘트가 있다. 폐목분을 이용한 필라멘트 개발은 다양한 곳에서 이루어지고 있는데 그 이유는 목재 공정 과정에서 배출되는 목분은 이미 분쇄되어 3D 프린팅 필라멘트로 개발을 위한 공정 과정이 줄어들기 때문이다. 그 외 커피 찌꺼기, 맥주 찌꺼기 등을 플라스틱과 섞어 만든 필라멘트가 있다. 재활용 필라멘트는 각종 플라스틱 폐기물의 재활용을 이용한 것으로 재료로는 자동차의 대시보드(dashboard), 페트병, 우유팩 등이 이용된

다. 이와 같이 지속가능한 3D 프린팅의 소재는 환경친화적 요인 외에도 재활용, 폐기물을 활용한 경제적 요인, 지역에서 수급할 수 있는 소재로 공

평한 지역개발 등의 사회적 요인을 포함하고 있다. 지속가능한 3D 프린팅 소재의 내용은 <Table 1>에 정리하였다.

Table 1. 지속가능한 3D 프린팅 소재.

구분	사례	내용
하이브리드형	 <p><b>Figure 2. 해조류 필라멘트와 출력물.</b> Edited by author from Morris. (2017). <a href="https://www.dezeen.com">https://www.dezeen.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 조류와 해조류가 유성 고분자의 환경친화적 대체 물질로 작용할 수 있는 방법 제시</li> <li>· 조류의 특성인 광합성으로 이산화탄소를 흡수하여 청정 공기를 생산하는 기능</li> <li>· 지역에서 생산되는 재료를 이용</li> <li>· 필라멘트의 색상은 해조류의 성분에 따라 다양한 녹색 계열의 색을 띠</li> </ul>
	 <p><b>Figure 3. 전복 껍데기 필라멘트와 출력물.</b> Captured by author from Scion Research. (2016). <a href="https://www.youtube.com">https://www.youtube.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전복, 홍합 및 굴 등의 껍데기의 생체 고분자가 결합된 탄산칼슘 플레이트(Calcium Carbonate Plate)에 의해 출력물이 단단함</li> <li>· 복족류의 은은한 옥색과 반짝임 효과가 있어 심미성이 좋음</li> <li>· 지역의 폐기물을 이용</li> </ul>
	 <p><b>Figure 4. 폐목분 필라멘트와 출력물.</b> Edited by author from Holzbauaustria (2014). <a href="https://www.holzbauaustria.at">https://www.holzbauaustria.at</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 생분해성이 높아 친환경적이며 목재 필라멘트로 인쇄된 모든 제품은 퇴비 또는 매립식 쓰레기로 분해 가능(Flynt, 2018)</li> <li>· 출력물의 수축률이 낮아 내구성이 강함</li> <li>· 인쇄 과정에서 쾌적한 나무 향이 남</li> <li>· 출력 면의 표면에서 나무 재질감이 느껴짐</li> </ul>
	 <p><b>Figure 5. 커피 찌꺼기 필라멘트와 출력물.</b> Edited by author from 3D-Fuel. (n.d.b). <a href="https://www.3dfuel.com">https://www.3dfuel.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 커피를 추출하고 남은 부산물과 PLA 필라멘트 결합</li> <li>· 3D 프린팅 출력 시 커피 향이 남</li> <li>· 강도가 높은 편이며 EU 유해 물질 규제(RoHS2)인증 획득(3D printer filament, n.d.)</li> </ul>
재활용	 <p><b>Figure 6. 맥주 찌꺼기 필라멘트와 출력물.</b> Edited by author from 3D-Fuel. (n.d.a). <a href="https://www.3dfuel.com">https://www.3dfuel.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 맥주를 추출하고 남은 부산물과 PLA 필라멘트 결합</li> <li>· 생분해성이 높음</li> <li>· 맥주 컬러에 따라 은은한 컬러 생김</li> </ul>
	 <p><b>Figure 7. 플라스틱 병과 우유병을 재활용한 필라멘트.</b> Edited by author from Refil. (n.d.). <a href="https://www.re-filament.com">https://www.re-filament.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 플라스틱의 재활용률을 높여 줄 것으로 기대</li> <li>· 자동차의 대시 보드뿐만 아니라 전자제품 속의 각종 플라스틱 폐기물, 페트병, 우유 팩 등 원자재 수급이 용이함</li> <li>· 재활용 전의 플라스틱의 컬러에 따라 다양한 컬러로 사용 가능</li> </ul>


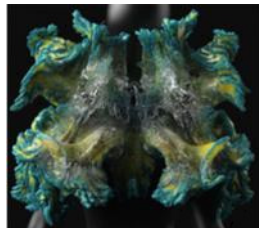
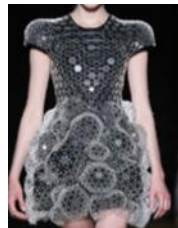








#### 4. 3D 프린팅 패션 제품 디자인

본 연구에서는 심층 면접과 지속가능한 소재를 이용한 3D 프린팅 패션 제품 개발을 위해 3D 프린팅 패션 제품의 선행연구와 사례를 수집, 분석하고 3D 프린팅 패션 제품의 조형 특성과 구성 요소를 도출하여 틀로 활용하였다. 3D 프린팅 패션 제품의 표현 특징은 크게 외형, 조직구조, 텍스처로 분류하여 분석하였다.

외형은 겉으로 드러난 형세를 의미한다. 현대 패션을 크게 정형과 비정형으로 구분한 Kim(2017)

의 연구와 3D 프린팅 패션 제품의 사례들을 토대로, 외형 특성은 구체적 액세서리형, 추상적 비정형, 구체적 표현 의복형으로 분류하였다. <Figure 8>의 구체적 액세서리형은 일상생활에서 착용 가능한 실용적 목적으로 제작되는 3D 프린팅 액세서리를 칭한다. 액세서리에는 목걸이, 반지, 귀걸이, 머리장식, 신발, 가방, 의류 장식 등이 포함되고 장식 역할을 하는 의류 부자재도 구체적 액세서리의 범주에 포함하였다. <Figure 9>는 추상적 비정형으로 패션 디자인에 있어 디자이너의 창의성을 반영하여 무한정 기법을 통해 새로운 형태미

Table 2. 3D 프린팅 패션 제품의 조형 특성과 구성 요소.

구분	분류			
외형				
	Figure 8. 구체적 액세서리형. From Jones. (2016). <a href="https://nypost.com">https://nypost.com</a>	Figure 9. 추상적 비정형. From Sher. (2014). <a href="https://3dprintingindustry.com">https://3dprintingindustry.com</a>	Figure 10. 구체적 표현 의복형. From Morby. (2016). <a href="https://www.dezeen.com">https://www.dezeen.com</a>	
조직구조				
	Figure 11. 단일형. From Flora cuff. (n.d.). <a href="https://n-e-r-v-o-u-s.com">https://n-e-r-v-o-u-s.com</a>	Figure 12. 완전형. From Graves. (2014). <a href="http://portfolios.scad.edu">http://portfolios.scad.edu</a>	Figure 13. 유닛 연결형. From Tetra kinematics 120n. (n.d.). <a href="https://n-e-r-v-o-u-s.com">https://n-e-r-v-o-u-s.com</a>	Figure 14. 부분적 차용을 통한 혼성적 형태. From Elisabeth. (2015). <a href="https://i.materialise.com">https://i.materialise.com</a>
텍스처				
	Figure 15. 짜임. From Alec.(2014). <a href="https://www.3ders.org">https://www.3ders.org</a>	Figure 16. 타공. From Ahuja. (2018). <a href="http://www.edutechpost.com">http://www.edutechpost.com</a>	Figure 17. 음각. From Noe. (2018). <a href="https://www.core77.com">https://www.core77.com</a>	Figure 18. 적층. From Pop. (2013). <a href="https://news.softpedia.com">https://news.softpedia.com</a>

에 대한 시도로 나타나는 패션 제품을 칭한다. 형태의 다양성, 비 예측성, 비대칭, 왜곡성 등으로 나타나며 신조형 형태의 특징으로 언급되었던 피비우스 스트립(Mobius strip) 형태, 유기적 곡선을 활용한 역동적 형태 등이 모두 비정형에 속할 수 있다(Cho & Park, 2016). <Figure 10>의 구체적 표현의복형은 외형이 의복의 형태를 나타내는 동시에 인체의 형태에 순응한 형태이다.

3D 프린팅 패션 제품의 조직구조는 3D 프린팅 제품의 조직구조에 대한 선행연구(Choi 2015; Kang, 2015; Kim et al 2016)와 사례를 토대로 단일형, 완전형, 유닛(unit) 연결형, 부분적 차용을 통한 혼성적인 형태로 분류된다. <Figure 11>과 같이 단일형은 어떠한 형태의 디자인을 디지털 데이터화시킬 때 조립과정을 거치지 않고 몸체가 하나인 것을 말한다. <Figure 12>는 완전형으로 3D 프린팅 패션 제품에서 조립이나 완성을 위한 기능적인 부품을 3D 프린팅의 출력물이 아닌 다른 소재로 대체하여 완성도를 높은 조직구조를 말한다. <Figure 13>은 유닛 연결형이다. 유닛 연결형은 유닛들의 연결을 통해 전체의 구조를 형성하는 유형이다. 3D 프린터 출력을 할 때는 조립된 상태로 출력이 가능하기 때문에 별도의 조립과정이 없다. <Figure 14>는 부분적 차용을 통한 혼성적인 형태로 3D 프린팅으로 제작된 제품의 심미성을 높이기 위해 다른 재료를 이용한 구조이다. 이는 획일화된 사고에서 벗어나 다양한 융복합을 통해 창의적 디자인을 하고자 하는 것에 목적이 있다.

텍스처는 3D 프린팅 텍스처의 선행연구(Cho & Ha, 2016; Park, 2017)를 토대로 짜임, 타공, 음각, 적층으로 분류하였다. <Figure 15>의 짜임은 그물, 뜨개질과 같이 엮인 실의 모습처럼 표현된다. 나일론이나 플라스틱 성분의 딱딱한 3D 프린팅의 소재를, 표현 방법을 통하여 유동성과 유연함을 구현하였다. <Figure 16>의 타공은 표면에 구멍을 뚫는 방법이다. 심미적으로 아름답게 표현하기 위

해 디자이너가 의도적으로 디자인하기도 하지만 출력물의 토폴로지(topology) 최적화를 이루기 위해 디지털 소프트웨어 프로그램이 실행될 때 자동으로 생성되기도 한다. <Figure 17>과 같이 음각은 조각을 한 것 같은 느낌을 주는 재질감이다. <Figure 18>은 적층으로 아무런 표면 효과를 주지 않고 3D 프린터로 출력했을 때 나타나는 고유의 결을 의미하는 것으로 3D 프린트 출력 시 한 층씩 쌓이는 정교한 표면감을 나타낸다. 위의 내용을 정리한 것은 <Table 2>와 같다.

### III. 3D 프린팅 패션 제품 개발을 위한 질적 연구

#### 1. 연구 방법

##### 1) 심층 면접 방법과 참여자 선정 기준 및 세부정보

지속가능 3D 프린팅 제품 개발을 위해 패션 전문가의 심층 면접을 진행하였다. 먼저, 이론 연구와 사례들을 토대로 도출한 3D 프린팅 패션 제품 조형 표현의 선호도를 분석하였다. 그리고 현시대에 맞는 3D 프린팅 패션 상품 개발의 디자인 방향에 대한 의견과 3D 프린팅의 지속가능한 소재의 선호도를 수렴하고자 하였다.

심층 면접조사 기간은 2018년 9월 25일부터 10월 6일까지 이루어졌다. 방법은 일대일 심층 면접으로 직접 대면하여 진행하였다. 1인 심층 면접에 소요된 시간은 1시간에서 1시간 30분이었으며 서술적인 질문에 따른 심층 면접 대상자의 답변에 대하여 좀 더 구체적인 분석을 위하여 선택 이유에 대해 재질문을 하였다. 질문에 대한 이해를 높이기 위해 시각적 자극물을 제공하였다. 심층 면접 내용은 녹음기로 녹취되었으며, 분석을 위해 문서로 자료화하였다.

Table 3. 면접 대상자 정보.

대상자 구분	성별/연령대	실무 경력	학력	현재직업
A	여자/30대	15년	학사	아웃도어 패션 기획 MD
B	여자/40대	15년	석사	여성복 맞춤 디자이너
C	여자/30대	12년	석사	디자이너 브랜드 여성복 디자이너
D	여자/30대	10년	석사	내셔널 브랜드 여성복 디자이너
E	여자/30대	10년	석사	디자이너 브랜드 남성복 디자이너
F	여자/50대	27년	석사	프로모션 디자이너
G	여자/40대	16년	석사	디자이너 브랜드 여성복 디자이너
H	여자/40대	23년	석사	스타일리스트
I	여자/30대	13년	학사	가방디자이너
J	여자/40대	15년	석사	내셔널 브랜드 여성복 디자이너
K	여자/30대	15년	학사	내셔널 브랜드 여성복 디자이너
L	여자/40대	12년	학사	디자이너 브랜드 여성복 디자이너
M	여자/50대	25년	석사	스포츠 패션 기획 MD
N	남자/30대	12년	학사	디자이너 브랜드 캐주얼 디자이너
O	여자/50대	30년	학사	패션전문기자

심층 면접 대상자는 현재 중인 실무 경력이 10년 이상 되는 패션 전문가로 총 15명으로 정하였다. 면접 대상자에 대한 정보는 <Table 3>과 같다.

## 2) 면접 문항

심층 면접 대상자들에게 자극물 제시 이전에 본인들이 생각하고 있는 지속가능한 패션 제품에 대한 인식 정도와 견해를 먼저 질문하였다. 구체적인 질문내용은 <Table 4>와 같이 면접 대상자에 대한 정보, 지속가능한 디자인, 3D 프린팅 패션 제품과 지속가능한 소재의 선호도로 구성되었으며 이해를 위해 시각 자극물을 사용하였다.

심층 면접을 위한 시각 자극물은 질문문항의

구성에 따라 3D 프린팅 패션 제품 9장, 3D 프린팅의 지속가능 소재의 출력물 사진으로 7장, 총 16장의 시각 자극물이 사용되었다. 질문문항에 들어가는 3D 프린팅 패션 제품 자극물은 3D 프린팅 패션이 등장한 2010년부터 2018년 전반까지 웹사이트에서 수집된 사례를 중심으로 주요 포털 사이트 구글([www.google.com](http://www.google.com))과 네이버([www.naver.com](http://www.naver.com)), 이미지 검색기반인 핀터레스트([www.pinterest.com](http://www.pinterest.com)) 그리고 3D 프린팅 전문 사이트인 셰이프웨이즈([www.shapeways.com](http://www.shapeways.com)), 너버스(<http://n-e-r-v-o-u-s.com>), 싱기버스([www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com))에서 3D 프린팅의 상과 3D 프린팅 패션 제품 사진을 총 109장을 수집하여 그중 3D 프린팅 패션 제품 디자인 구성요

Table 4. 면접 문항과 내용.

질문목록		질문 내용
면접 대상자에 대한 정보		· 이름, 성별, 연령대 · 학력, 실무 경력, 현재 직업
지속가능한 디자인		· 현재의 지속가능한 디자인의 견해
지속가능한 소재를 활용한 3D 프린팅 패션 제품 디자인 방향	3D 프린팅 패션 제품	· 3D 프린팅 패션 제품 유형 선호도
	지속가능한 소재	· 필라멘트 선호도



소의 외형, 조직 구조, 텍스처를 고려하여 9장을 추출하였다. 수집된 자료의 선정과 분류에는 의상 디자인 전공 교수 1인과 박사과정 연구원 2인, 석사과정 연구원 2인으로 이루어진 전문가 집단의 자문으로 연구 방법의 객관성을 높였다.

## 2. 심층 면접의 종합적 결과

### 1) 현재 지속가능한 디자인의 견해

패션 전문가들의 현재 지속가능 패션 제품 디자인에 대한 평가는 긍정적이지 못했지만 지속가능성의 중요도에 대하여는 깊게 인식하고 있었다. 지속가능이 마케팅 도구로 전략한 것에 대한 아쉬움도 있었고 지속가능한 제품에 대한 개념이 아직 시작 단계라 발전적일 것이라는 희망적 기대감도 있었다. 현재 행해지고 있는 지속가능 디자인은 소극적 개념으로 다뤄지는 것을 알 수 있었고, 디자인의 외형도 중요하지만 디자인에 내재된 개념의 중요성도 인지하고 있었다. 또한 디자인의 표면적, 외형적 부분뿐만 아니라 디자인의 전 과정에 지속가능성이 적용되어야 하는 점도 지적하였다.

“지속가능성이란 디자인 전반에서 다뤄져야 할 개념이지만 적용을 현실적으로 잘하고 있다고 보기 어렵습니다. 또한 실제로 개념을 중요시하다가 패션 아이템의 기본적인 요소마저 지키지 못해 소비자들에게 외면당하는 디자인도 많죠 패션에 접목해 디자인으로 푸는 것이 쉽지 않아요.” (면접 대상자 J)

“현재 지속가능 디자인은 사실상 아주 작은 부분에서만 이루어지고 있어요 대부분의 지속가능성을 표방한 디자인들은 상품성, 미적 측면이 부족해요 그러나 점차 이런 부분들이 개선되고 있는 상황이지요” (면접 대상자 M)

### 2) 3D 프린팅 패션 제품 디자인 선호도

3D 프린팅 패션 제품 유형으로 제시된 이미지

는 3D 프린팅 패션 제품의 특성의 선호도를 알기 위해 활용되었다. 이해를 돕기 위한 자극물은 II장에서 도출한 3D 프린팅 패션 제품 디자인 구성 요소의 외형, 조직 구조, 텍스처에 따라 분배하여 제시하였다. 제시된 시각 자극물은 <Table 5>와 같다.

패션전문가의 3D 프린팅 패션 제품 디자인 방향의 선호도는 <Figure 19>와 <Figure 22>가 8표로 가장 높았고, 그 다음으로 <Figure 25>가 7표이었다. <Figure 19>, <Figure 22>, <Figure 25>의 외형은 구체적 액세서리형이며, 조직구조는 <Figure 19>가 완전형, <Figure 22>가 유닛 연결형, <Figure 25>가 단일형이다. 텍스처로 <Figure 19>, <Figure 22>는 적층이고 <Figure 25>는 타공이다. <Figure 21>, <Figure 24>, <Figure 27>은 구체적 표현 의복형이며 <Figure 21>, <Figure 24>는 3표, <Figure 27>은 2표를 얻었다. 추상적 비정형으로 분류가 된 <Figure 20>은 1표를 얻었으며, <Figure 23>, <Figure 26>을 선택한 패션 전문가는 없었다.

“<Figure 19>가 가장 좋은 것 같아요 너무 3D 프린팅만으로 모든 걸 완성하려고 하지 말아야 할 것 같아요 3D 프린팅의 기술이 완벽하지 않은데, 다른 부속들과 함께 제작된다면 완성도를 더욱 높일 수 있잖아요.” (면접 대상자 A)

“<Figure 25>는 당장 하고 나갈 수 있을 것 같아요 그다음은 <Figure 19>번, <Figure 22>번순으로 선택했어요...사람들에게 실용적으로 다가가는 것이 맞는 것 같아요.” (면접 대상자 B)










“패션 액세서리로 개발하는 것이 실제 활용 가능한 제품으로의 가능성이 보이네요.” (면접 대상자 D)

패션 전문가들의 전체 의견을 정리해보면 추상적 비정형으로 제작된 3D 프린팅 제품보다 정확한 형태가 있는 제품을 선호했으며 의류제품보다는 액세서리 제품을 선호하였다. 이를 통해서 3D

프린팅 패션 제품 개발에 있어 복잡하고 난해한 형태의 개발보다는 실용적이면서 구체적 형태의 개발이 효과적인 것으로 판단할 수 있었다. 선호도가 높은 3D 프린팅 패션 제품은 구체적 액세서리 형이었는데 선호도가 높은 이유는 제품 개발 시 소비자에게 확산이 용이하기 때문이었다.

“<Figure 19>, <Figure 22>, <Figure 25> 번이 대중화 가능성이 가장 높아 보여요. 3D 프린팅 기술이 대중화되어야 기술이 발전될 수 있다고 생각해요. 그만큼 사람들의 관심이 많아져야 발전이 거듭되거든요”(면접 대상자 E)

Table 5. 심층 면접을 위한 시각 자극물: 3D 프린팅 패션 제품 사례.

시각 자극물		
 <p>Figure 19. 키네매틱 꽃잎 펜던트. From Kinematic petals pendant., (n.d.). <a href="https://n-e-r-v-o-u-s.com">https://n-e-r-v-o-u-s.com</a></p>	 <p>Figure 20. 수성의 외계인. From "3D printed wearable capillaries" (2016). <a href="http://www.urukia.com">http://www.urukia.com</a></p>	 <p>Figure 21. 아이리스 반 헤르펜 2010 S/S 컬렉션. From Lytra, (2016). <a href="https://into-the-fashion.com">https://into-the-fashion.com</a></p>
 <p>Figure 22. 키네매틱 꽃잎 카라. From Kinematic petals collar, (n.d.). <a href="https://n-e-r-v-o-u-s.com">https://n-e-r-v-o-u-s.com</a></p>	 <p>Figure 23. 아이리스 반 헤르펜 2017 꾸뛰르. From Foiret, (2017). <a href="https://trendland.com">https://trendland.com</a></p>	 <p>Figure 24. 마이클 슈미트 드레스. From "10 Industries" (2018). <a href="https://amfg.ai">https://amfg.ai</a></p>
 <p>Figure 25. 3D 프린팅 목걸이. From OBERON-3d printed necklace, (n.d.). <a href="https://xover0.com">https://xover0.com</a></p>	 <p>Figure 26. 멜린다 루이 컬렉션. From Elisabeth, (2015). <a href="https://i.materialise.com">https://i.materialise.com</a></p>	 <p>Figure 27. 아이리스 반 헤르펜 2011 꾸뛰르. From Joris, (2011). <a href="https://i.materialise.com">https://i.materialise.com</a></p>

현재 3D 프린팅의 소재의 한계로 인하여 3D 프린팅 의류가 대중화되기 어려움 점이 언급되기도 하였다.

*“3D 프린팅 제품의 표면의 결이 짝어내는 상품과는 차이가 좀 있는 것 같고 기술 발달이 더 되어야 한다고 생각해요”(면접 대상자 I)*

패션 전문가들도 제시된 추상적 패션 제품들의 작품성과 기술력에는 호감과 긍정적 반응을 보였지만 패션 제품으로 개발되었을 때 상업성이 낮아지는 것에 공통된 의견을 보였다.

*“<Figure 20>, <Figure 23>, <Figure 26>은 제품이라기보다 예술작품 같은 느낌이 들어요 멋지지만 실생활에 착용하기는 어려울 것 같아요”(면접 대상자 C)*

*“3D 프린팅을 이용한 제품이라 하더라도 예술적, 실험적 시도에서 그치는 것이 아닌 실생활에서도 활용 가능한 제품이 3D 프린팅의 지속가능한 발전에 도움을 줄 것 같아요”(면접대상자 L)*

또한 3D 프린팅 패션 제품의 개발이 대중적이고 실용적인 것보다 추상적 비정형 패션작품에 연구와 자본이 편중되어 있는 것에 우려를 표하기도 하였다. 지속적인 3D 프린팅 패션 제품의 발전을 위해서는 대중적 호감과 확산을 일으켜 끊임없는 관심과 투자 유치가 되어야 함을 논하였다. 3D 프린팅 패션 제품이 난해하지 않고 창의적이면서 대중적인 패션 제품으로 개발된다면 3D 프린팅 패션 제품이 좀 더 빠르게 확산될 것이다.

### 3) 3D 프린팅 지속가능한 소재의 선호도

지속가능 필라멘트로는 해조류 필라멘트, 전복 껍데기 필라멘트, 폐목분을 활용한 필라멘트, 커피 찌꺼기 필라멘트, 맥주 부산물을 활용한 필라멘트, 재활용 우유팩을 활용한 필라멘트, 페트(PET)병을 재활용한 필라멘트 총 7가지가 제시되었다. 출력물의 이해를 돕기 위해 각 필라멘트의 출력 사진이 <Table 6>과 같이 제시되었다.

가장 선호도가 좋은 것은 8표를 얻은 <Figure 30>의 폐목분 필라멘트였다. 그다음은 <Figure 29>

Table 6. 심층 면접을 위한 시각 자극물: 지속가능 3D 프린팅 필라멘트 사례.

시각 자극물			
			
Figure 28. 해조류 필라멘트 제조과정과 출력물. Edited by author from Ali Morris. (2017). <a href="https://www.dezeen.com">https://www.dezeen.com</a>	Figure 29. 전복껍데기 필라멘트 출력물. Captured by author from Scion Research. (2016). <a href="https://www.youtube.com">https://www.youtube.com</a>	Figure 30. 폐목분 필라멘트. Edited by author from Milkert. (2014). <a href="https://3dprint.com">https://3dprint.com</a>	Figure 31. 커피 찌꺼기 필라멘트. Edited by author from 3D-Fuel. (n.d.a). <a href="https://www.3dfuel.com">https://www.3dfuel.com</a>
			
Figure 32. 맥주 찌꺼기 필라멘트와 출력물. Edited by author from 3D-Fuel. (n.d.b). <a href="https://www.3dfuel.com">https://www.3dfuel.com</a>	Figure 33. 우유팩으로 재활용된 필라멘트. Edited by author from Refil. (n.d.). <a href="https://www.re-filament.com">https://www.re-filament.com</a>	Figure 34. 페트병으로 재활용된 필라멘트. Edited by author from Refil. (n.d.). <a href="https://www.re-filament.com">https://www.re-filament.com</a>	

의 전복겹데기 필라멘트가 7표, <Figure 34>의 페트병을 재활용한 필라멘트가 5표로 그 다음을 따랐다. 폐목분 필라멘트의 나무 재질감이 선호도를 높이는 이유 중 하나였다.

“재질감이 좋아 보여요.” (면접 대상자 A)

“<Figure 30>은 플라스틱 느낌이 덜 나서 좋네요.” (면접 대상자 C)

“목공 작업에 대신 써도 좋을 만큼 표면감이 좋네요.” (면접 대상자 D)

“3D 프린팅으로 만들었다는 생각이 들지 않네요.” (면접 대상자 I)

소결해보면, 현재 지속가능 디자인 평가가 긍정적이지 않지만 점점 더 개선되고 있음을 인지하고 있었고 패션 제품 디자인의 지속가능성 중요성을 인식하고 있었다. 또한 디자인의 외형적 부분뿐만 아니라 디자인의 전 과정에서 지속가능 디자인이 적용되어야 하는 점도 논하였다. 심층 면접에 참여한 패션 전문가들은 3D 프린팅 패션 제품으로 비정형인 패션 제품보다는 구체적이고 정형을 갖춘 패션 제품을 선호하였고 소재감이나 옷의 기능성 때문에 의류 제품보다는 액세서리 제품을 선호함을 알 수 있었다. 또한 패션 제품의 대중화 확산과 상업화는 패션 제품 디자인을 위한 3D 프린팅 기술 발달에 원동력이 될 수 있다고 하였다.

## IV. 패션 제품 개발

### 1. 디자인 의도 및 과정

패션 제품 개발은 소재 선택에서부터 디자인 콘셉트 설정, 제작 과정까지 디자인의 전 과정에 지속가능성을 적용하여 패션 제품을 개발하고자 하였다.

지속가능 필라멘트를 활용한 3D 프린팅 패션

제품 개발을 위한 3D 모델링 프로그램은 Fusion 360을 사용하였다. 그 이유는 3D 프린팅 패션 제품의 조직 구조 중 유닛 연결형은 3D 프린팅 전 3D 모델링 프로그램 상에서 조합이 완성되어야 하는데, Fusion 360의 경우 유닛을 조립한 상태를 하나의 데이터에 적용할 수 있다. 또한 디자인 히스토리 조작을 하면 작업의 한 부분만 변화를 시켜도 연동되는 뒷부분들이 자동으로 생성됨으로 단순 반복에 의한 시간과 노동을 절약할 수 있다.

3D 프린터는 보급률이 높은 FFF형 프린터를 선정하였고 폐목분 필라멘트를 사용하기 위해 오픈 소스(open source)에서 다운받은 3D 프린터 데이터를 이용하여 모듈형으로 제작하였다. 폐목분 필라멘트를 완제품 3D 프린터로 출력할 경우, 필라멘트 용융과정에서 폐목분의 나무 성분과 PLA 플라스틱 성분이 뭉쳐 3D 프린터의 노즐을 막아 정상적인 출력이 되지 않았다. 보통 완제품으로 판매되는 3D 프린터는 출력 노즐의 굵기가 0.4mm로 제작되는데, 자사의 3D 프린터 필라멘트가 아니면 쉽게 손상될 수 있고 품질이 보장되지 않았다. 따라서 3D 프린팅의 막힘 문제가 되었던 출력 노즐을 0.6mm로 변경하여 출력을 안정화하였고 제작된 프린터의 데이터에 맞게 출력 데이터를 설정하였다.




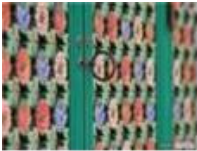


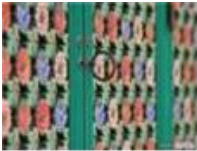

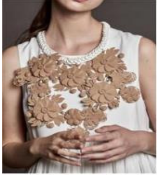






### 2. 제품 개발

디자인 콘셉트 설정에 있어 지속가능성의 개념을 반영하고자 한국적 이미지를 모티브로 설정하였다. 한국적 미의식은 ‘인간이 곧 자연이요 자연이 곧 인간’이라는 통합적 관점의 전통사상과 조형미학이 내재되어 있다. 특히 한국 전통 사상에 영향을 준 도가사상의 무위자연(無爲自然), 불가사상의 무아지경(無我地境), 유가사상의 천지인합일(天地人合一) 등은 여러 부분들을 전체적인 하나로 조합하고 통일시켜 큰 하나로 보면서 자연환경

과의 공생과 조화를 중요시한다(Lee, 2004). 한국의 전통 조형들은 자연과 인간의 조화를 중시하는 디자인으로 현재 지속가능한 디자인의 창의적 요

소의 문제를 해결하는데 기여할 수 있을 것이라 생각되어 디자인 모티브로 활용하였다. 패션 전문가가 심층 면접에서 선호도가 높았던 구체적 액세서

Table 7. 지속가능한 소재를 이용한 3D 프린팅 패션 제품 개발 연구 결과.

구분	표현요소	조직구조	텍스처	3D 모델링 데이터	제품
I	 Figure 37. 제품 I, II 모티브. From The Korean Museum Association. (n.d) <a href="http://www.museumnews.kr">http://www.museumnews.kr</a>	유닛 연결형	적층, 음각	 Figure 11. 제품 I 모델링 데이터.	 Figure 39. 제품 I.
II	 Figure 11. 제품 III 모티브. From 광고산 법륜사. (2014). <a href="http://blog.daum.net">http://blog.daum.net</a>	완전형	적층, 음각	 Figure 11. 제품 II 모델링 데이터.	 Figure 41. 제품 II.
III	 Figure 11. 제품 III 모티브. From 광고산 법륜사. (2014). <a href="http://blog.daum.net">http://blog.daum.net</a>	부분적 차용을 통한 혼성적 형태	적층	 Figure 11. 제품 III 모델링 데이터.	 Figure 44. 제품 III.
IV	 Figure 45. 제품 IV, V 모티브. From 한국의 문화유산. (2009). <a href="http://blog.daum.net">http://blog.daum.net</a>	완전형	적층, 타공	 Figure 11. 제품 IV 모델링 데이터.	 Figure 47. 제품 IV.
V	 Figure 45. 제품 IV, V 모티브. From 한국의 문화유산. (2009). <a href="http://blog.daum.net">http://blog.daum.net</a>	단일형	적층, 타공	 Figure 48. 제품 IV 모델링 데이터.	 Figure 49. 제품 V.

리 외형으로 이론 연구와 선행 연구에서 분석된 3D 프린팅 패션 제품의 조직구조와 텍스처를 다양하게 사용하여 디자인하였다.

작품 I 과 작품 II는 <Figure 35>의 떡살 이미지를 모티브로 하여 디자인하였다. 떡살에 새겨진 문양은 대부분 자연에서 따온 패턴화된 문양이다 (Park, 2015). 제품 I 은 유닛 연결형으로 3D 모델링 상에서 사용자의 의견을 수렴하여 여러 조합을 통해 다양한 연출이 가능하고 3D 모델링 데이터 상에서 조립한 다음 3D 프린팅으로 제품이 완성된다(Figure 36). 표면 디자인은 음각을 주어 심미적 효과 이외에 유닛들 간의 연결 시 이용할 수 있는 기능적 효과도 주었다(Figure 37). 제품 II는 조직 구조는 완전형으로 펜던트에 해당하는 부분만 <Figure 38>과 같이 3D 모델링하고 목걸이의 기능적 완성을 위하여 체인(chain)과 걸쇠를 이용하여 완성하였다(Figure 39).

제품 III은 <Figure 40>의 꽃살문 패턴을 모티브로 하였다. 꽃살문은 궁궐이나 사찰의 문에 이용되는데 불성의 깨우침을 꽃봉오리가 만개한 것으로 나타낸 것으로 정신적 수양을 자연의 생태에 빗대어 나타냈다. 패션 제품의 조직구조는 부분적 차용을 통한 혼성적인 형태이다. <Figure 41>의 데이터처럼 다양한 유닛들을 만들어 장식적 효과를 주는 목걸이에 심미성을 높이기 위하여 3D프린팅이 부가적으로 사용되었다(Figure 42).

제품 IV와 제품 V는 <Figure 43>의 기와를 모티브로 디자인하였는데 한국 건축에 있어 기와의 부드러운 곡선의 형태는 한국의 완만한 곡선들과 잘 어울려진다. 제품 IV의 조직구조는 완전형으로 체인에 해당하는 가죽끈과 여밈의 기능을 주는 걸쇠로 이루어졌다(Figure 45). <Figure 44>의 모델링 데이터처럼 표면 기법은 적층과 타공을 이용하였다.

제품 V의 조직 구조는 단일형으로 <Figure 46>의 3D 모델링으로만 3D 프린팅으로만 완성된 패션 제품이다(Figure 47).

## V. 결 론

본 연구는 지속가능성의 맥락에서 3D 프린팅 기술을 고찰해보고 3D 프린팅 패션 제품을 개발하고자 하였다.

지속가능한 발전의 측면에서 3D 프린팅은 디자인 산업에서 버려지는 폐기물 없이 제품을 생산하여 환경오염 감소와 자원을 절약할 수 있고 3D 프린팅의 디지털 데이터는 디자인 사용자와 참여 기회를 나눌 수 있는 계기가 되었다. 이러한 기술 방향은 지속가능한 발전의 환경적, 경제적, 사회적 요인들을 포함하고 있었으나 3D 프린팅의 재료는 지속가능한 맥락에서 한계가 있었다. 이에 3D 프린팅의 지속가능 소재를 고찰하였고, 3D 프린팅 소재를 가공하는 재료에 따라 PLA 플라스틱 성분에 천연 재료를 혼합하거나 공정 과정의 부산물을 혼합한 하이브리드형 필라멘트와 페플라스틱을 재 활용하여 생산한 재활용 필라멘트로 분류하였다.

선행연구와 사례를 토대로 3D 프린팅 패션 제품의 특성을 외형, 조직구조, 텍스처로 구분하였다. 외형에는 구체적 액세서리형, 추상적 비정형, 구체적 표현 의복형으로 나뉘었고 조직구조에 있어서는 단일형, 완전형, 유닛 연결형, 부분적 차용을 통한 혼성적 형태로 분류되었다. 텍스처는 짜임, 타공, 음각, 적층으로 분류하여 심층 면접의 선호도와 디자인 개발의 틀을 마련하였다.

패션 전문가들의 심층 면접을 통하여 지속가능한 3D 프린팅 패션 제품의 개발 방향을 찾고자 하였다. 먼저 현재 지속가능한 디자인의 견해를 고찰하고 3D 프린팅 패션 제품의 선호도와 제시된 지속가능한 소재의 선호도를 조사하였다. 지속가능한 디자인의 견해에 있어 지속가능한 패션 제품의 디자인에 대한 만족도는 낮았지만 디자인의 개선이 이뤄지고 있고 디자인에 있어 지속가능성의 개념의 중요성은 인지하고 있었다. 3D 프린팅 패션 제품의 선호도는 구체적 액세서리형이 선호도

가 높았고 조직구조와 텍스처에 따른 선호도의 차이는 미비한 편이었다. 제시된 3D 프린팅의 지속가능한 소재의 선호도는 폐목본 필라멘트가 가장 높았으며 폐목본 필라멘트를 이용하여 출력할 때 나타나는 재질감이 선호도 선택에 영향을 줄 수 있었다. 이러한 이론적 연구와 질적 연구를 토대로 지속가능한 소재를 이용하여 3D 프린팅 패션 제품을 개발하였다.

본 연구는 지속가능성의 소극적 개념에서 벗어나 3D 프린팅의 지속가능한 발전에 걸림돌이었던 소재를 탐구하여 이를 패션 제품개발에 적용하고 디자인을 제시했다는 점에서 의의가 있다. 특히 지속가능한 디자인 개발에 있어 지속가능한 3D 프린팅 패션 제품 디자인의 소재부터 제작에 이르기까지 전 과정을 제시하여 지속가능 패션 제품 디자인의 구체적인 도움이 될 것으로 기대한다.

## References

- 10 Industries You Won't Believe Are Being Disrupted by 3D Printing. (2018, July 19). *AMFG*. Retrieved August 25, 2018, from <https://amfg.ai/2018/07/19/10-industries-being-disrupted-by-3d-printing/>
- 3D-Fuel. (n.d.a). Wound Up - Coffee Filament. *3D-fuel*. Retrieved July 3, 2018, from <https://www.3dfuel.com/collections/c2renew-composites/products/wound-coffee-filled-filament>
- 3D-Fuel. (n.d.b). Buzzed - Beer Filament. *3D-Fuel*. Retrieved July 3, 2018, from <https://www.3dfuel.com/collections/buzzed/products/buzzed-beer-filament>
- 3D 프린터용 필라멘트 [3D printer filament]. (n.d.). *Smbest*. Retrieved July 3, 2018, from <http://www.smbest.kr/korean/filament.php?status=products>
- Ahuja. S. (2018, May 6). 150 Cool 3D Printing Ideas - Useful Things to 3D Print. *The EduTech Post*. Retrieved August 27, 2018, from <http://www.edutechpost.com/cool-3d-printing-ideas-150-useful-things-to-3d-print/>
- Alec. (2014, October 27). German scientists turn to 3D printing technology to create artificial textiles. *3ders*. Retrieved August 27, 2018, from <https://www.3ders.org/articles/20141027-german-scientists-turn-to-3d-printing-technology-to-create-artificial-textiles.html>
- Azimi, P., Zhao, D., Pouzet, C., Crain, N. E., & Stephens, B. (2016). Emissions of ultrafine particles and volatile organic compounds from commercially available desktop three-dimensional printers with multiple filaments. *Environmental science & technology*, 50(3), 1260-1268. doi:10.1021/acs.est.5b04983
- Cho, J. K. & Ha, E. A. (2016). The type and characteristic of 3D printing expression. *Journal of Basic Design & Art*, 16(2), 583-593.
- Cho, Y. S. & Park, S. H. (2016). A study on informality in modern fashion design. *Journal of Fashion Design*, 16(2), 113-135. doi:10.18652/2016.16.2.8
- Choi, J. H. (2015). A study on the expressive types and aesthetic characteristics of plastic fashion accessory designs. *Journal of Basic Design & Art*, 16(5), 699-713.
- Choi, K. H. (2017). A study on the characteristics of 3D printing jewelry design utilizing with fractal geometry. *Journal of fashion business*. 21(5), 136-150.
- Elisabeth. (2015, April 21) 3D Printed Fashion Collection: Melinda Looi and Samuel Canning Make Waves. *i.materialise*. Retrieved August 25, 2018, from <https://i.materialise.com/blog/en/melinda-looi-makes-waves-with-new-3d-printed-fashion-collection/>
- Flora cuff. (n.d.). *Nervous system*. Retrieved August 25, 2018, from <https://n-e-r-v-o-u-s.com/shop/product.php?code=264&search=3>
- Flynt, J. (2018, June 02). Wood Filament: Properties, How to Use Them, and Best Brands. *3d insider*. Retrieved August 25, 2018, from <https://3dinsider.com/wood-filament/>
- Foiret, C. (2017, February 23). Iris Van Herpen, Between the Lines. *Trend land*. Retrieved August. 25. 2018. from <https://trendland.com/iris-van-herpen-between-the-lines/>
- Gebler, M., Uiterkamp, A. J. S., & Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74(-), 158-167.
- Graves, J. (2014, August 28). The Sprouted Spirals Collection (3D Printed Jewelry). *SCAD*. Retrieved August 25, 2018, from [http://portfolios.scad.edu/gallery/19359105/The-Sprouted-Spirals-Collection-\(3D-Printed-Jewelry\)](http://portfolios.scad.edu/gallery/19359105/The-Sprouted-Spirals-Collection-(3D-Printed-Jewelry))
- Holzbauaustria (2014, December 23). 3D-Druck: Erstes marktreifes Holzprodukt vorgestellt. *holzbau austria*. Retrieved August 25, 2018, from [https://www.holzbauaustria.at/index.php?id=357&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=5719&cHash=63f450d2f576edfb112ca3268ea85ad7](https://www.holzbauaustria.at/index.php?id=357&tx_ttnews%5Btt_news%5D=5719&cHash=63f450d2f576edfb112ca3268ea85ad7)
- Jones, C. (2016, December 13). This woman 3-D prints her jewelry. *New York Post*. Retrieved August 25, 2018, from <https://nypost.com/2016/12/13/this-woman-3-d-prints-her-jewelry/>
- Joris. (2011, February 1). Iris van Herpen's new 3D printed Escapism couture collection for MGX. *i.materialise*. Retrieved August 25, 2018, from <https://i.materialise.com/blog/en/iris-van-herpens-new-3d-printed-escapism-couture-collection-for-mgx/>

- Kang, H. D. (2015). Analysis of furniture design cases using 3D printing technique. *The Journal of the Korea Contents Association*, 15(2), 177-186. doi:10.5392/JKCA.2015.15.02.177
- Kim, H. J. (2017). The potential of product design made from coffee waste: biomaterial for sustainable 3D printing. *Journal of Integrated Design Research*, 16(3), 61-70. doi: 10.21195/jidr.2017.16.3.005
- Kim, H. E. (2015). The research into the changes of fashion industry according to the development of 3D printing technology. *Journal of Fashion Design*, 15(4), 17-33. doi:10.18652/2015.15.4.2
- Kim, H. E. (2016). A research for the development of milleries using 3D printing: Designs based on the transformation of ribbon. *Journal of Fashion Design*, 16(3), 29-45. doi:10.18652/2016.16.3.3
- Kim, H. J. (2002). *A study on definition and process format ion of Eco-design*. Unpublished master's thesis, Seoul National University, Seoul.
- Kim, H. J. & Kim, S. D. (2018a). Analysis of the type of 3D printing development linked with the textile structure principle. *Journal of fashion business*, 22(2), 1-13.
- Kim, H. J. & Na, H. S. (2016). A study on the design characteristics of 3D printing: focused on the analysis of product cases in fashion related areas. *The Journal of the Korea Society of Art & Design*, 19(2), 133-152.
- Kim, K. A. & Hwang, S. G. (2014). Age of manufacturing 2.0, a study on sustainable design method on Industrial design process. *Journal of Digital Design*, 14(4), 769-779
- Kim, S. H. & Choi, Y. I. (2016). 3D printing technology in fashion industry. *Fashion Information & Technology*, 13 (-), 60-65.
- Kim, Y. S. (2017). A study on the design characteristics and its internal meaning of formless design in contemporary fashion. *Journal of Basic Design & Art*, 18(5), 83-99.
- Kim, Y. S., Jun, Y. S., Park, K. J., & Kim, J. H. (2016). Formative characteristics of women's shoes design utilizing 3D printing technology. *Journal of the Korean Society of Costume*, 66(8), 14-32. doi:10.7233/jksc.2016.66.8.014
- Kim, Y. S. & Kim, J. H. (2018b). A study on 3D printing fashion materials applying the modeling principle of fractal geometry: focused on basic texture application of fashion materials. *Journal of Fashion Design*, 18(3), 111-134. doi: 10.18652/2018.18.3.7
- 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:10.7741/rjcc.2015.23.2.294
- Kinematic petals collar. (n.d.). *Nervous system*. Retrieved August 25, 2018, from <https://n-e-r-v-o-u-s.com/shop/product.php?code=296>
- Kinematic petals pendant. (n.d.). *Nervous system*. Retrieved August 25, 2018, from <https://n-e-r-v-o-u-s.com/shop/product.php?code=294>
- Lee, H. J., Choi, E. H., & Lee, B. J. (2013). Concepts of socio-culture for sustainable development. *Journal of Sustainability Research*, 4(1), 21-49.
- Lee, J. H., Kim, J. E., Yang, E. K., Min, S. Y., Sun, Z. Y., & Lee, E. H. (2016). Atypical forms of 3D printing fashion accessories according to the digital design methods. *Journal of Fashion Design*, 16(1), 1-16. doi:10.18652/2016.16.1.1
- Lee, J. S. & Huh, J. S. (2017). Study of textile structure using 3D printing: focused on the comparison of FDM and DLP. *Korea Science & Art Forum*, 31(-), 329-340. doi: 10.17548/ksaf.2017.12.30.329
- Lee, J. S., Hwang, 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), 147-162. doi:10.18852/bdak.2015.13.1.147
- Lee, J. S. & Jin, S. M. (2017). Study on fashion design using DLP 3D printing. *Journal of Basic Design & Art*, 18(5), 449-460.
- Lee, J. S. & Lee, J. J. (2016). A study on the development of fashion design based on FDM 3D printing. *Journal of Fashion Design*, 16(1), 101-115. doi:10.18652/2016.16.1.7
- Lee, S. J. (2004). A monistic design thought and method. *Archives of Design Research*, 17(2), 479-486.
- Lim, H. W., & Cassidy, T. D. (2014, October). 3D printing technology revolution in future sustainable fashion. *Paper presented at the International Textiles & Costume Culture Congress, Jeonju*.
- Lytra, V. A (2016, January 4). When Fashion Meet. *Into the Fashion*. Retrieved August 23, 2018, from <http://into-the-fashion.com/40564/when-fashion-meets-art/>
- Milkert, H. (2014, December 14). Jelwek's 3D Printed, Wood Composite Watches Launch on Indiegogo. *3D PRINT.COM*. Retrieved August 25, 2018, from <https://3dprint.com/30947/jelwek-wood-3d-printed-watch/>
- Morby, A. (2016, March 10). Iris van Herpen creates "bubble-like exoskeleton" dresses for Autumn Winter 2016 collection. *dezeen*. Retrieved August 25, 2018, from <https://www.dezeen.com/2016/03/10/lucid-iris-van-herpen-autumn-winter-2016-collection-fashion-paris/>
- Morris, A. (2017, December 04). Dutch designers convert algae into bioplastic for 3D printing. *dezeen*. Retrieved August 25, 2018, from <https://www.dezeen.com/2017/12/04/dutch-designers-eric-klarenbeek-maartje-dros-convert-algae-biopolymer-3d-printing-good-design-bad-world/>
- National IT Industry Promotion Agency. (2018). *2017 3D 프린팅산업 실태 및 동향조사* [2017 3D Printer Industry Survey]. Chungcheongbuk-do: National IT Industry Promotion Agency
- Noe, R. (2018, January 7). Flotspotting: Marta Cherednik's 3D Printed Bag. *Core77*. Retrieved August 25, 2018, from



- <https://www.core77.com/posts/82154/Flotspotting-Marta-Cheredniks-3D-Printed-Bag>
- OBERON - 3d Printed Necklace. (n.d.) *Xover0*. Retrieved August 25, 2018, from <https://xover0.com/collections/steel/products/oberon-3d-printed-necklace-steel?variant=469346403>
- Park, H. M. (2015). *A study on formativeness of design utilizing rice-cake pattern*. Unpublished doctoral thesis, Chonnam University, Gwangju.
- Park, S. Y. (2017). *A study of the components and process of knowledge: based modeling of biomorphic clothing sculptures applied with parametric methodologies*. Unpublished doctoral thesis, Kyung Hee University, Seoul.
- Park, S. Y., & Yoo, Y. S. (2016). A case study on collaborations in 3D printing fashion. *Journal of the Korean Society of Costume*, 66(7), 124 - 138. doi:10.7233/jksc.2016.66.7.124
- Pop, S. (2013, December 16). London Architect Dabbles in 3D Printed Wearable Sculptures. *Softpedia News*. Retrieved August 25, 2018, from [https://news.softpedia.com/news/London-Architect-Dabbles-in-3D-Printed-Wearable-Sculptures-409571.shtml#sgal\\_0](https://news.softpedia.com/news/London-Architect-Dabbles-in-3D-Printed-Wearable-Sculptures-409571.shtml#sgal_0)
- Refil. (n.d). *refil*. Retrieved July 3, 2018, from <https://www.re-filament.com/shop.html>
- Sanglard., M. (n.d.). Capturing the beauty of paua. *Scion*. Retrieved August 25, 2018, from <http://www.scionresearch.com/about-us/about-scion/corporate-publications/scion-connections/past-issues-list/issue-19,-march-2016/capturing-the-beauty-of-paua>
- Scion Research. (2016, March 09). Scion Paua Power. *YouTube*. Retrieved August 25, 2018, from <https://www.youtube.com/watch?v=lvxshNCNfp4&t=3s>
- Sherin, A. (2009). *SustainAble* (Woo, J. J., Trans.). Seoul: Rockport. (Original work published 2008)
- 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. *Journal of Basic Design & Art*, 17(2), 219-230.
- Tetra kinematics 120n. (n.d.). *Nervous system*. Retrieved August 25, 2018, from <https://n-e-r-v-o-u-s.com/shop/product.php?code=212&search=3%20%20>
- The Korean Museum Association. (n.d.) 미리벌민속박물관에서 만나는 “목가구, 삶을 담다” [Meeting “Wood Furniture Contain Life” in Miribeol Folk Museum]. *Museum News*. Retrieved August 25, 2018. from <http://www.museumnews.kr/134exmiri/>
- Woo, A. Y. (2016, January 3). [3D프린터 발암물질 논란] 교육용 기기에서 초미세먼지 나와 [[3D printer carcinogens controversy] Ultrafine dust comes out from educational device]. *Dongascience*. Retrieved August 25, 2018, from <http://dongascience.donga.com/news/view/9460>
- 광교산 법륜사 [Gwanggyosan Beomnyunsa]. (2014, August 3). *Daum*. Retrieved August 25, 2018. from <http://blog.daum.net/tsarea/1192>
- 한국의 문화유산 [Korean cultural heritage]. (2009, December 30). *Daum*. Retrieved August 25, 2018. from [http://blog.daum.net/\\_blog/BlogTypeView.do?blogid=0GUVQ&articleno=7214475&categoryId=0&regdt=20091230115507](http://blog.daum.net/_blog/BlogTypeView.do?blogid=0GUVQ&articleno=7214475&categoryId=0&regdt=20091230115507)

## Development of 3D Printing Fashion Product Using Sustainable Material

Kam, Seon Ju • Yoo, Young Sun<sup>+</sup>

Concurrent Professor, Dept. of Clothing and Textiles, Kyung Hee University

Professor, Dept. of Clothing and Textiles, Kyung Hee University<sup>+</sup>

### Abstract

3D printing technology is developing in a sustainable direction but the printing material used for 3D printing has a limit in the context of sustainability. Therefore, this study explored sustainable materials of 3D printing to develop sustainable 3D printing fashion products. Through the literature review, the sustainability of current 3D printing technology is grasped and examples of sustainable printing materials are examined. In addition, the characteristics of representation of 3D printing fashion products are divided into appearance, construction, and texture based on previous research and case studies. Through in-depth interviews with fashion experts, this study sought to develop a sustainable 3D printing fashion product. The results of the study are as follows. Sustainable materials for 3D printing can be divided into hybrid type filament and recycled filament depending on the material composition. The appearance characteristics of 3D printing fashion products are classified into a concrete accessory type, abstract irregular type, and a concrete expression cloth type. Construction is classified into a single type, complete type, unit connection type, and a hybrid type through partial borrowing. Also, the texture is divided into weaving, perforation, engraving, and layer. The in-depth interviews with fashion professionals revealed the concrete accessory type of 3D printing fashion products was favorable as a preference. Among the examples of 3D printing filaments presented, the wood filaments showed the highest preference. Based on these theoretical studies and qualitative research, this study developed 3D printing fashion products using sustainable materials. This study is meaningful in that it explored sustainable 3D printing materials and applied it to the development of fashion products. This study would be contribute to the developmental direction of sustainable 3D printing fashion products.

Key words : sustainability, 3D printing, fashion product, sustainable material