

## 친환경 필라멘트를 활용한 3D 프린팅 패션 아이웨어 개발

이 상 희·이 종 석\*

경북대학교 섬유패션디자인학과 석사과정  
경북대학교 섬유패션디자인학과 조교수\*

### 요 약

산업화와 자동화의 발달은 편리성과 경제발전 등의 많은 이점을 가져다주었지만, 무분별한 생산과 소비로 인한 환경파괴의 문제점을 초래하였다. 이에 대응하여 환경보호에 대한 관심이 높아지고 있으며, 친환경 디자인 제품의 선호도와 수요 또한 증가하고 있다. 3D 프린팅 기술은 기존 제작 방식과 비교해 시간과 비용의 부담을 줄여주고 제품 제작에 필요한 양만큼 재료가 사용되어 불필요한 낭비를 줄여주는 장점이 있다. 그러나 3D 프린팅의 주재료인 필라멘트는 플라스틱 기반으로 제작되며 이로 인해 생기는 폐기물은 여전히 환경과 인체에 해로운 영향을 미친다. 따라서 본 연구는 FDM 방식의 3D 프린팅에 사용 가능한 친환경 필라멘트의 사례를 탐구하고 이를 활용하여 패션 아이웨어를 개발하고자 한다. 연구의 방법은 다음과 같다. 첫째, 친환경 제품의 개념을 고찰하고 이를 통해 친환경 필라멘트의 기준을 분류하고 사례를 분석하였다. 둘째, 분석 결과를 바탕으로 친환경 필라멘트 4종을 선정하였다. 선정한 친환경 필라멘트 4종, 플라스틱 안경테 소재 2종, 기본 PLA, ABS 필라멘트의 시험편을 제작하여 인장강도 시험을 진행하였고 시험 결과를 바탕으로 커피 필라멘트를 선정하였다. 셋째, 아이웨어 제작을 위한 디자인 모티프를 벌집 구조로 선정하였고 벌집 구조에서 내구성, 효율성, 심미성을 도출하여 디자인에 적용했다. 넷째, 아이웨어를 제작하기 위해 정육각형 패턴의 최솟값의 샘플을 출력하였다. 다섯째, 샘플을 바탕으로 아이웨어의 구조를 제작하고 내구성, 효율성, 심미성을 적용한 5가지 아이웨어를 디자인하였다. 3D 모델링한 5가지 디자인을 3D 프린팅하여 작품을 완성하였다. 본 연구는 기존 3D 프린팅에 사용되는 플라스틱 기반의 소재를 대체할 수 있는 친환경 필라멘트의 사례를 탐구하고 이를 이용하여 3D 프린팅 제품을 개발하였다. 이를 통해 패션 제품 시장에서 3D 프린팅을 활용한 친환경 소재의 제품 개발이 활성화되기를 기대한다.

주제어 : 3D 프린팅, 친환경, 친환경 필라멘트, 패션 아이웨어, 벌집 구조

이 논문은 2018학년도 신입교수정착연구비에 의하여 연구되었음.

\*교신저자: 이종석, [color@knu.ac.kr](mailto:color@knu.ac.kr)

접수일: 2021년 1월 20일, 수정논문접수일: 2021년 2월 22일, 게재확정일: 2021년 4월 14일

## I. 서론

3D 프린팅 기술은 4차 산업혁명의 핵심 기술로서 자동차, 건축, 의료 등 다양한 산업 분야에 걸쳐 활용되고 있으며 패션 분야에서도 3D 프린팅을 활용한 연구 및 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 또한, 3D 프린팅에 사용할 수 있는 소재의 범위가 PLA(poly lactic acid), ABS(acrylonitrile butadiene styrene), 나일론(nylon), PC(polycarbonate), PET(polyethylene terephthalate) 등으로 다양해져 제작하고자 하는 제품의 용도에 따른 소재의 선택지가 광범위해졌다. 그러나 3D 프린팅에 사용하는 재료는 주로 플라스틱에 의존되고 있으며 이로 인해 출력 중 발생하는 유해물질은 인체에 악영향을 주고 3D 프린팅 후 생기는 폐기물은 환경에 해로운 영향을 미친다. 따라서 친환경 3D 프린팅 재료를 탐구하여 인체와 환경에 유해성을 가진 소재들을 대체할 방안이 모색되어야 할 것이다. 친환경, 지속 가능한 소재를 이용하여 3D 프린팅 제품 개발을 다룬 선행연구로는 지속 가능한 소재를 이용한 3D 프린팅 패션 제품 개발 연구, 한국적 이미지와 3D 프린팅을 이용한 지속 가능한 패션 제품 연구가 있다(Kam, 2019; Kam & Yoo, 2019). 선행연구를 통해 3D 프린팅의 친환경적 측면을 향상하기 위한 연구가 지속하고 있음을 알 수 있으나 플라스틱 소재를 대체할 수 있는 친환경 필라멘트를 사용한 제품 개발에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 FDM(fused deposition modeling) 방식 3D 프린터의 소재 중 친환경 필라멘트를 이용하여 패션 아이웨어(fashion eyewear)를 제작하고자 한다. 이를 통해 3D 프린팅에 사용되는 플라스틱 기반의 필라멘트를 친환경 소재의 필라멘트로 대체할 수 있으며 3D 프린팅이 친환경적으로 발전될 수 있음을 기대한다.

본 연구의 방법은 다음과 같다. 첫째, 친환경 제품의 개념에 대해 고찰하고 3D 프린팅에 친환경

소재를 적용함으로써 3D 프린팅 기술도 친환경적 개발이 이루어져야 함을 제안하였다. 둘째, 시중에 유통되고 있는 FDM 방식에 사용 가능한 친환경 필라멘트의 사례와 특징을 탐구하였다. 셋째, 친환경 필라멘트의 사례에서 선정한 필라멘트 4종, 플라스틱 안경테 소재 2종, 기본 PLA, ABS 필라멘트의 시험편을 제작하여 인장강도 시험을 진행하였다. 시험 결과를 바탕으로 커피 필라멘트를 선정하였다. 넷째, 패션 아이웨어 제작을 위한 디자인 모티프를 벌집 구조로 선정하여 패턴화할 적용 각형의 최솟값을 테스트할 샘플을 출력하였다. 다섯째, 샘플을 바탕으로 벌집 구조의 특성을 적용한 디자인 5가지를 3D 모델링한 후 3D 프린팅하여 작품을 완성하였다.

## II. 친환경과 3D 프린팅

### 1. 친환경 제품의 개념

인류의 진화와 산업화는 대량생산, 경제발전, 편리성 등의 많은 이점을 가져다주었다. 그러나 무분별한 생산과 소비는 환경오염, 지구온난화와 같은 환경파괴의 원인이 되었고 이를 의식함으로써 환경보호에 대한 관심 및 책임으로 개선하려는 의지가 점차 확산하고 있다. 친환경의 사전적 의미는 ‘자연환경을 오염하지 않고 자연 그대로의 환경과 잘 어울리는 일’로 명시하고 있다(Standard Korean Language Dictionary, n.d.). 즉, 자연환경과 어울릴 수 있으며 인체와 환경에 해가 되지 않는 것을 의미한다. 친환경 제품은 환경에 해를 끼치지 않고 화석 에너지 자원 고갈을 초래하지 않으며, 자연생태 균형과 순환을 악화시키지 않고 환경과 조화를 이루는 제품이다(What is eco-friendly, n.d.). 또한, 친환경 제품의 특성은 원료채취, 원료가공 및 제조 과정이 포함된 생산 과정과 유통 과정, 상품

을 사용하는 소비 과정, 사용 후 폐기 및 처분 과정까지의 전 단계를 걸쳐 기존의 상품 또는 경쟁 상품보다 적은 자원과 에너지를 사용하며 인체와 자연에 영향이 적거나 없어야 한다(Oh, 2005). 즉, 친환경 제품의 자격은 인간, 환경 모두에게 안정성이 있고 소재의 선정부터 제작, 사용 및 폐기까지 환경에 무리를 주지 않아야 한다. 디자인 분야에서도 환경 문제를 인식하며 그린 디자인, 에코 디자인, 환경을 위한 디자인 등의 명칭으로 환경과 인간을 생각한 친환경 디자인을 실천하고 있다. 친환경 디자인의 궁극적 목적은 환경윤리에 따라 환경친화적 제품을 디자인하고 사용함으로써 인간과 자연환경의 공존을 도모하고 도시와 산업사회의 재균형을 이루는 데 있다(Kim, 2008). 즉, 디자인을 통해 환경과 생태학적 요소를 고려하여 인류의 환경과 미래세대의 온전한 지구를 물려줄 수 있도록 제품을 구성하는 부품의 재활용, 재사용을 유도하고 자연적 과정을 통한 분해, 지구환경 보존을 위한 제반 디자인 활동이나 디자인 경향이라 할 수 있다(Jeon, 2004). 따라서 친환경 디자인을 적용한 제품은 재활용과 재사용을 통해 제작된 제품, 자연적으로 분해될 수 있는 소재를 사용해 제작된 제품 두 가지로 분류된다.

## 2. 3D 프린팅과 친환경 소재

3D 프린팅은 3D로 제작한 도면을 이용하여 3차원 물체를 인쇄하는 방법이다. 기존 2D 프린터에서 잉크나 레이저를 이용하여 인쇄하는 것과 같이 3D 프린터는 분말, 액체, 플라스틱 수지 등의 재료로 적층하여 3차원 물체를 인쇄한다. 3D 프린팅은 ‘제조업의 혁명’, ‘제3의 산업혁명’을 가져올 차세대 생산기술로 글로벌 제조업 재편을 이끌 핵심으로 주목받고 있다(Im, 2014). 현재 3D 프린팅은 생산품의 시제품 제작에 용이하게 사용되고 있다. 제조업의 기존 시제품 제작 방식은 재료를 자르거

나 깎는 절삭가공으로 시제품 제작과 수정의 반복 과정에서 많은 양의 폐기물이 생성되며 많은 시간과 비용이 발생한다. 그러나 3D 프린팅은 시제품의 3차원 디지털 도면만 있으면 제품을 적층 방식으로 출력할 수 있고 3차원 디지털 도면을 수정하는 방식으로 시제품을 제작할 수 있기 때문에 기존 제조 방식과 비교해 시간과 비용이 절감되며 폐기물의 생성량도 줄일 수 있다. 적층 제조기술은 제조 공정 과정에서 폐기물이 거의 생성되지 않아 환경 보존 효과가 있고, 완제품에 드는 재료의 양만 필요하므로 자원이 절약된다(Kam & Yoo, 2019). 이러한 장점 때문에 다품종 소량 생산이 주를 이루어, 시제품 개발에 상대적으로 큰 비용이 소모되는 안경 산업에 적극적으로 활용되고 있다. 3D 프린팅의 장점에 더불어 현재 환경문제가 대두되면서 기존 3D 프린팅에 사용되는 재료의 단점을 대체할 만한 다양한 소재가 개발되고 있다. 현재 FDM 방식에 주로 사용되는 재료는 필라멘트 형태의 합성수지인 플라스틱이다(Kim, 2015). 그중 ABS, PLA 필라멘트가 가장 보편적으로 사용되는 데 ABS 필라멘트 내의 스타이렌(Styrene)은 발암 물질로 알려져 있으며 출력 작업 중 고온에서 가열되면 각각의 물질이 분해되면서 인체에 유해성을 가진다(Woo, 2016). PLA 필라멘트는 미국 네이처웍스(Natureworks)사에서 개발한 옥수수 전분 소재인 인지오 바이오폴리머(Ingeo biopolymer)가 함유되어 있어 생분해성, 무독성의 특징을 가지고 있다. 그러나 PLA 필라멘트에서도 소량의 초미세먼지가 발생하여 인체에 유해성이 없다고 판단하기 힘들다. 3D 프린팅용 소재를 연구하고 있는 성유철 대림화학 3D 프린팅 사업 총괄부장은 “친환경 인증을 받은 PLA 수지가 있지만, 3D 프린팅용 필라멘트로 모양을 바꾸는 과정에서 몸에 유해한 가소제와 안료가 들어간다”며 “특히 중국산 재생 PLA 필라멘트에는 어떤 물질이 들어있는지 알 방법이 없다”고 말했다(Woo, 2016). 현재 필라멘트 시

장에서는 기존 사용하던 ABS, PLA를 대체할 수 있는 필라멘트들이 개발되고 있다. 환경문제로 인해 최근 가장 중요시되고 있는 환경운동 중 하나는 플라스틱에 대한 의존도를 줄이는 것이다. 그러나 3D 프린팅에도 플라스틱이 사용되고 이로 인해 생긴 폐기물들은 환경에 해로운 영향을 준다. 따라서 생성되는 폐기물의 문제점을 보완하기 위해서는 플라스틱 함량이 낮은 필라멘트를 사용하거나 새로운 플라스틱 필라멘트를 개발하는 방향보다 폐플라스틱을 재활용한 필라멘트를 개발하는 방법을 시도해야 한다. 또한, 제작자는 3D 프린팅이 가진 긍정적 측면을 극대화하기 위해 재료 선정 시 친환경 소재나 재활용 소재를 이용해 작품을 제작하여 환경과 인체에 무리를 주지 않는 방식이 시도되어야 한다.

### 3. 친환경 필라멘트의 사례

3D 프린팅의 소재가 환경과 인체에 미치는 부정적 영향을 인식하면서 최근 친환경적 3D 프린팅을 개발하려는 노력이 활발하게 이루어지고 있다(Lee, 2020). 특히 FDM 방식의 필라멘트는 자연에서 발생한 원료나 공정부산물 등의 다양한 재료를 원료로 하여 개발되고 있다. 본 연구에서는 FDM 방식에 사용되는 필라멘트 중 플라스틱 함량이 낮고 친환경 재료를 원료로 한 필라멘트의 사례를 조사하였다. 현재 친환경 필라멘트는 재활용, 공정부산물과 PLA의 결합, 자연에서 추출한 원료와 PLA의 결합, 인지오 바이오폴리머 함량이 높은 PLA

의 방식으로 개발되고 있다. 이에 필라멘트 시장에 생산 및 판매가 이루어지고 있는 친환경 필라멘트를 탐구하고 종류별 필라멘트의 특징을 분석하여 <Table 1>에 정리하였다.

친환경 필라멘트의 사례 및 특징을 분석한 결과 재활용 필라멘트와 생분해성 필라멘트 두 가지로 분류할 수 있다. 재활용 필라멘트는 <Figure 1>과 같이 새로운 플라스틱의 생산을 줄이고 폐플라스틱의 재활용률을 높일 수 있는 측면에서 친환경적 특성을 보인다. 8가지 사례 중 재활용 필라멘트 한 가지를 제외한 나머지는 공정부산물, 자연추출 원료, 인지오 바이오폴리머를 재료로 하여 제작되는데 모두 자연에서 분해가 가능하다는 공통적 특성을 가진다. 공정부산물을 재료로 한 필라멘트는 목재, 커피, 맥주 등의 공정 과정에서 생긴 부산물을 활용하여 제작되는데 이로 인해 대량의 공정부산물 처리 부담을 줄일 수 있다(Figure 2-5). 또한 목재나 식품 제작의 부산물을 사용한 필라멘트로 출력 시에 유해 물질의 배출이 적고 폐기 시 자연에서 분해가 가능하다. 자연 추출 원료를 재료로 한 필라멘트는 해조류와 대마로 지역에서 생산 및 수확한 환경친화적 재료로 제작되어 유해성이 적고 폐기 시 생분해 가능하다(Figure 6, 7). 옥수수 전분 소재인 인지오 바이오폴리머의 함량을 높인 필라멘트 또한 친환경 소재로 자연에서 분해가 가능하다(Figure 8). 따라서 친환경 필라멘트의 특성은 재활용을 통해 제작된 필라멘트, 자연에서 분해가 가능한 소재를 통해 제작된 필라멘트 두 가지로 분류된다.

Table 1. 친환경 필라멘트 사례 및 특징.

제조 방식	유통 사례	특징
재활용	 <p>Figure 1. 플라스틱 재활용 필라멘트. From "Re-pet3D". (n.d.). <a href="https://re-pet3d.com">https://re-pet3d.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· RE PET 3D의 재활용 PET-G 필라멘트</li> <li>· 폐플라스틱을 분쇄하여 만든 재활용 필라멘트</li> <li>· 1kg의 필라멘트를 만드는데 33~35개의 폐플라스틱이 사용됨으로써 플라스틱 재활용률을 높일 수 있음(RE PET 3D, n.d.)</li> </ul>

공정부산물 + PLA	 <p>Figure 2. 폐목분 필라멘트. From Wood filament_natural. (n.d.). <a href="http://www.esun3d.net">http://www.esun3d.net</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이션(eSUN)의 목분 필라멘트</li> <li>· PLA에 폐목분을 혼합한 필라멘트</li> <li>· 유해물질(RoHS) 검증된 필라멘트</li> <li>· 생분해성이 높아 폐기물 오염 완화에 도움(“eSUN green filament”, 2017)</li> </ul>
	 <p>Figure 3. 대나무 필라멘트. From eSUN ebamboo 3D filament. (n.d.). <a href="http://www.esun3d.net">http://www.esun3d.net</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이션의 대나무 필라멘트</li> <li>· PLA와 대나무 분말을 혼합한 필라멘트</li> <li>· 유럽 신화학 관리제도(REACH) 검증된 재료로 생산</li> <li>· 생분해성이 높아 폐기물 오염 완화에 도움(“eSUN green filament”, 2017)</li> </ul>
	 <p>Figure 4. 커피 필라멘트. From Filaments for 3D printers. (n.d.). <a href="http://www.venturesquare.net">www.venturesquare.net</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 에스엠베스트(SMBEST)의 커피 필라멘트: 제품명 MOG</li> <li>· PLA에 커피 찌꺼기를 혼합하여 만든 필라멘트</li> <li>· 정품 인지도 바이오폴리머와 커피 부산물을 결합하여 만든 생분해성 필라멘트(Kang, 2016)</li> <li>· 유해물질(RoHS2)에 검증된 제품</li> </ul>
	 <p>Figure 5. 맥주 필라멘트. From “Buzzed”. (n.d.). <a href="http://www.3dfuel.com">http://www.3dfuel.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3D 퓨엘(3D FUEL)의 맥주 필라멘트: 제품명 Buzzed</li> <li>· 90%의 PLA와 맥주 공정부산물이 혼합된 필라멘트</li> <li>· 생분해성이 높음</li> </ul>
	 <p>Figure 6. 해조류 필라멘트. From Scott. (2015). <a href="http://www.3dprint.com">http://www.3dprint.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3D 퓨엘과 ALGIX의 해조류 필라멘트</li> <li>· 지역에서 수확한 해조류와 PLA를 혼합한 필라멘트</li> <li>· 표준 PLA보다 낮은 온도에서 출력 가능하여 에너지 효율성이 좋음(Scott, 2015)</li> <li>· 생분해성이 높음</li> </ul>
자연 추출 원료 + PLA	 <p>Figure 7. 대마 필라멘트. From Entwined v2. (n.d.). <a href="http://www.3dfuel.com">http://www.3dfuel.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3D 퓨엘의 대마 필라멘트: 제품명 Entwined v2</li> <li>· 90%의 PLA와 미국에서 채배 및 가공된 대마를 혼합한 필라멘트</li> <li>· 생분해성이 높음</li> </ul>
인지오 바이오폴리머 함량 높은 PLA	 <p>Figure 8. 모멘트 PLA 필라멘트. From PLA Filament White. (n.d.). <a href="https://moment3d.kr">https://moment3d.kr</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 모멘트(Moment)의 PLA 필라멘트</li> <li>· 인지도 바이오폴리머 함량 98% 이상</li> <li>· 시장에 유통되는 PLA 필라멘트 중 가장 높은 함량을 가지고 있음(“Moment”, 2017)</li> </ul>

### Ⅲ. 친환경 필라멘트를 활용한 3D 프린팅 패션 아이웨어 제안

앞서 친환경 필라멘트의 사례를 탐구한 결과 3D 프린팅에 사용 가능한 친환경 소재의 필라멘트가 활발하게 개발되고 있는 것을 알 수 있다. 또한 해외뿐만 아니라 국내에서도 친환경 소재의 필라멘트 개발이 이루어지고 있는 것으로 나타난다. 이에 본 연구에서는 FDM 방식의 3D 프린터와 친환경 필라멘트를 이용하여 패션 아이웨어를 제작하고자 한다. 아이웨어는 소비 특성상 다품종 소량 생산 방식이 선호되며 샘플 생산에 큰 비용이 투자되는 산업 중 하나이다. 이는 3D 프린팅의 다품종 소량생산 기술 특성과 일치하며 본 연구의 아이템을 아이웨어로 선택한 이유이기도 하다. 본 연구는 필요한 양만큼의 재료가 사용되는 3D 프린팅의 장점과 더불어 생분해 가능한 소재를 사용하여 패션 아이웨어를 개발함으로써 플라스틱 재료를 대체한 친환경 3D 프린팅 제품을 개발하는 데에 의의를 두고자 한다. 패션 아이웨어를 제작하기 위하여 탐구한 친환경 필라멘트 중 국내로 유통되고 있는 제품을 중심으로 모멘트의 PLA 필라멘트, 이선의 목분 필라멘트, 이선의 대나무 필라멘트, 에스엠베스트의 커피 필라멘트 4종을 선정하였다. 제작 과정은 다음과 같다. 첫 번째, 선택한 4종의 친환경 필라멘트와 PLA, ABS 필라멘트, 그리고 안경테 시장에서 많이 사용되는 플라스틱 소재인 아세테이트, 폴리카보네이트 총 8종의 시험편을 제작하여 인장강도 시험을 진행한다. 인장강도 시험 결과로 아세테이트, 폴리카보네이트와 가장 강도가 유사한 필라멘트를 탐구하여 작품 제작에 사용할 소재를 선정한다. 둘째, 패션 아이웨어를 제작하기 위한 디자인 모티프를 선정한 후 모티프를 바탕으로 작품의 도안을 제작하여 3D 모델링한다. 셋째, 3D 모델링한 디자인을 FDM 출력방식을 이용하여 선택한 필라멘트 소재를 활용

해 3D 프린팅한다. 넷째, 출력한 아이웨어의 라프트(raft)를 제거한 후 조립하여 아이웨어를 완성한다.

#### 1. 인장강도 시험

본 연구에서는 3D 프린팅을 활용한 플라스틱 안경테의 제작 사례 및 선행연구를 찾지 못하였다. 또한, 친환경 필라멘트가 플라스틱을 대체할 수 있는 강도인지에 대한 연구 결과가 미비하다. 따라서 안경테로 사용 가능한 가장 안정적인 소재를 선택하기 위하여 인장강도 시험을 진행하였다. 인장강도 시험을 통해 4종의 필라멘트 소재를 비교 분석 하여 안경테의 착용감, 내구성, 연성이 가장 적합한 소재를 선정하고 제품을 제작하려 한다. 인장강도 시험을 진행한 소재는 모멘트의 PLA 필라멘트, 이선의 목분 필라멘트, 이선의 대나무 필라멘트, 에스엠베스트의 커피 필라멘트, 큐비콘(Cubicon) PLA 필라멘트, 큐비콘 ABS 필라멘트, 아세테이트, 폴리카보네이트 8종이다. 이중 필라멘트 소재는 앞서 언급한 친환경 필라멘트 4종과 기본 PLA, ABS 필라멘트이다. 아세테이트, 폴리카보네이트는 현재 안경테 시장에서 일반적으로 사용되고 있는 소재이다. 인장강도 시험을 진행하기 위해 소재별로 가로 150mm, 세로 10mm, 두께 4mm의 시험편을 각각 2개씩 3D 프린터로 출력하였으며 아세테이트, 폴리카보네이트도 동일한 크기로 절단하였다. 인장강도 시험은 경북대학교 상주 캠퍼스 9호관 313호에서 2020년 11월 2일 11:00~12:00에 진행되었고 태원 테크(Taewon Tech)사의 'Universal Test Machine TW-D101' 시험기를 사용하여 정속 인장식(1분간 파지 간격의 50%의 인장 속도)으로 실험을 진행하였다. <Figure 9>와 <Figure 10>은 인장강도 시험의 결과 사진이다. 인장강도 시험 결과를 <Table 2>에 정리하였고 기본 PLA, ABS를 제외한 소재별 인장강도 시험 전, 시

Table 2. 인장강도 시험 결과.

시료 번호	소재	최대하중 (kgf)	인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	항복하중 (kgf)	항복강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	최대변위 (mm)
1	폴리카보네이트	102.40	136.53	0.00	0.00	0.00
2	아세테이트	102.85	137.13	101.68	135.58	4.79
3		105.71	140.94	105.71	140.94	3.60
4	커피	89.41	119.22	65.19	86.92	5.44
5	목분	25.16	33.55	25.12	33.50	9.60
6	대나무	30.44	40.59	30.44	40.59	8.86
7	모멘트 PLA	98.81	131.74	90.54	120.72	5.40
8	일반 PLA	43.02	57.36	41.07	54.76	5.95
9	일반 ABS	38.31	51.08	37.90	50.54	8.80

Table 3. 소재별 인장강도 시험 전후 사진 및 시험 진행 중 특징.

시료 번호	1	2, 3	4	5	6	7
소재	폴리카보네이트	아세테이트	커피	목분	대나무	모멘트 PLA
시험 전						
시험 후						
특징	시험편이 당겨지면서 늘어나지 않고 뿔기면서 부러지는 경향을 보임	시험편이 부러지지 않고 늘어나는 경향을 보임	시험편이 부러지지 않고 늘어나는 경향을 보임	빠르게 부러짐	빠르게 부러짐	시험편이 부러지지 않음

Photographed by the author. (November 2, 2020).

Tensile Test Report								Tested by	Reviewed by	Certified by

Figure 9. 인장시험 결과.

Captured by the author.  
(November 2, 2020).

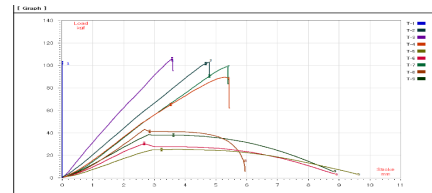


Figure 10. 인장시험 그래프.

Captured by the author.  
(November 2, 2020).

험 후의 사진과 시험 진행 중 특징에 대해 <Table 3>에 정리하였다. 기본 PLA와 ABS는 친환경 필라멘트와 강도 비교를 위해 선정되었으므로 소재 선정을 위한 시험 중 특성 비교분석인 <Table 3>에서 제외하였다.

인장강도 시험 결과 시료 1번 폴리카보네이트의 인장강도는 136.53kgf/cm<sup>2</sup>, 시료 2, 3번 아세테이트의 인장강도는 137.13kgf/cm<sup>2</sup>, 140.94kgf/cm<sup>2</sup>이다. 친환경 필라멘트 중 시료 7번 Moment PLA의 인장강도가 131.74kgf/cm<sup>2</sup>로 폴리카보네이트, 아세테이트

의 인장강도와 가장 비슷하다. 시료 4번 커피의 인장강도는  $119.22\text{kgf/cm}^2$ 로 두 번째로 인장강도가 비슷하다. 또한 시료 8번 기본 PLA와 시료 9번 기본 ABS의 인장강도는  $57.36\text{kgf/cm}^2$ ,  $51.08\text{kgf/cm}^2$ 로, 기본 PLA, ABS 소재보다 커피와 모멘트 PLA의 강도가 더 높은 것으로 나타났다. 시험 진행 중 특징으로 볼 때, 폴리카보네이트는 시험편이 늘어나지 않고 파편이 뿜기면서 부러지는 경향을 보였고 아세테이트는 시험편이 부러지지 않고 계속 늘어나는 경향을 보였다. 커피는 시험 중 당겨지면서 부러지지 않고 계속 늘어나는 경향이 나타나는 것으로 보아 아세테이트와 비슷한 특성을 보이는 것으로 분석되었다. 또한 모멘트 PLA는 폴리카보네이트와 시험 중 특성이 비슷한 것으로 분석된다. 그러나 폴리카보네이트 소재는 연성이 떨어져 착용감에 단점이 있다. 실제로 폴리카보네이트는 내열성과 내구성이 뛰어나 실험용 고글, 스포츠용이나 어린이용 안전 안경으로 많이 제작되고 있다. 하지만 안경의 착용감과 물성에 영향을 주는 연성 값으로 볼 때 아세테이트가 본 연구의 제작목적에 부합하는 소재로 보인다. 아세테이트는 연성과 내구성이 있어 안경테 시장에서 패션 아이웨어로 많이 사용되는 소재이다. 커피의 인장강도 시험 중 파단되기 전까지 시험편이 늘어나는 특징으로 볼 때, 커피가 아세테이트와 가장 비슷한 특성으로 나타난다. 커피와 모멘트 PLA의 최대변위 값에서 커피는  $5.44\text{mm}$ , 모멘트 PLA 소재는  $5.00\text{mm}$ 로 커피의 연성이 더 높은 것으로 분석되었다. 따라서 안경테의 착용감과 내구성, 연성을 고려하여 시료 4번 커피를 제품 제작에 사용하는 것으로 선정하였다.

## 2. 모티프 선정 및 디자인 전개

### 1) 디자인 모티프 선정 - 벌집 구조의 특성에 따른 모티프

패션 아이웨어를 제작하기 위해 디자인 모티프

를 벌집 구조로 선정하였다. 벌집 구조는 육각기둥을 적절히 나열하여 만들어진 구조로 허니콤 구조(honeycomb structure)라고 불린다. 본래 벌집은 원으로 구성되었으나 벌집 내부의 공간을 효율적이고 튼튼한 구조를 이루기 위해 자연적으로 정육각형의 형태로 변하여 만들어진다. 벌집 구조를 디자인 모티프로 선정한 이유는 다음과 같다.

첫째, 벌집 구조는 내구성이 강하다. 공간을 정육각형으로 배열하면 각각의 변이 맞닿아 빈틈이 적어진다. 정육각형으로 배열된 평면이 외부로부터 충격을 받으면 정육각형의 공간과 적은 틈으로 인해 힘이 쉽게 분산되어 충격에 강하다는 장점이 있다. 특히 벌집 구조는 비행기 날개의 내부, 고속 열차의 충격 흡수 모듈, 서프 보드(surf board)의 내부, 노트북의 내부구조 등 다양한 산업에서 내구성 확보가 필요한 제품에 폭넓게 사용되고 있다. 이처럼 안경테에 벌집 구조를 적용하였을 때 내구성을 가짐으로써 충격으로 인한 파손을 최소화할 수 있다. 둘째, 벌집 구조는 효율성을 가지고 있다. 평면을 빈틈없이 구성할 수 있는 도형은 정삼각형, 정사각형, 정육각형이다. 그중 정육각형은 넓이가 가장 넓기 때문에 평면을 정육각형으로 배열하면 최대한의 공간을 최소한의 재료로 배치할 수 있다. 즉, 공간의 낭비를 줄여주고 사용되는 재료의 양을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 안경테의 평면을 벌집 구조를 활용하여 제작했을 때 정육각형 패턴의 안경테 모양을 갖추면서 필라멘트의 사용량을 최소화할 수 있고 또한 안경테의 무게도 줄여줄 수 있다. 셋째, 벌집 구조를 통해 디자인의 심미성을 더할 수 있다. 정육각형의 벌집 구조가 주는 기하학적인 패턴의 조형성을 적용한 오메 아키텍토스의 런던 타워 팜(Tower Farm by Xome Architectos, London), 뉴욕 프램랩 홈드(Homed by Framlab, New York) 등의 건축물이 그 예시이다(Figure 20, 21). 또한 안경테를 정육각형의 패턴화 및 비정형적 배치 등의 방법으로 디자인에 적용하



여 아이웨어의 심미성을 보여줄 수 있다.

본 연구에서는 벌집 구조의 효율성, 내구성, 심미성 각각의 특성을 적용해 디자인하고자 한다. 디자인은 총 다섯 가지로 벌집 구조의 내구성을 표현한 디자인 두 가지, 효율성을 표현한 디자인 한 가지를 통해 벌집 구조의 패턴을 안경테의 다양한 디자인에 적용할 수 있음을 보여주고 벌집 구조 패턴과 정육각형을 응용하여 심미성을 담은 디자인 두 가지를 보여주고자 한다. 이는 아이웨어 디자인에 대한 벌집 구조 표현의 다양화에 의한 것으로, 같은 방법으로 아이웨어 이외의 다른 제품 디자인에도 차별화된 표현을 가능하게 할 것으로 기대한다.

## 2) 벌집 구조 패턴 샘플링

벌집 구조를 적용하여 아이웨어를 만들기 위하여 패턴화할 정육각형의 크기, 정육각형 간의 거리, 안경테 테두리의 두께를 고려한 샘플을 제작하여 <Table 4>에 정리하였다. 1차 샘플링은 <Figure 11>과 같이 캣아이(cateye) 디자인의 안경테를 2mm의 정육각형을 1mm 간격으로 패턴화하고 안경테 테두리는 0.5mm, 안경테 두께는 4mm로





제작하여 출력하였다. 인필(infill) 40%, 라프트 0.2mm로 설정하여 출력하였다. 그 결과 <Figure 12>와 같이 벌집 모양의 구조는 선명하게 출력되었으나 안경테의 테두리는 끊어져서 출력되었다. 2차 샘플링은 <Figure 13>과 같이 1mm의 정육각형을 1mm 간격으로 패턴화하고 안경테 테두리는 1mm로 제작하여 출력하였다. 인필 40%, 라프트 0.2mm로 설정하여 출력하였다. 그 결과 <Figure 14>와 같이 벌집 모양의 구조가 선명하게 출력되었고 안경테 테두리가 끊어지지 않고 선명하게 출력되었다. 따라서 벌집 구조를 선명하게 출력하기 위해 정육각형의 크기와 간격을 1mm 이상으로 설정하고, 안경테의 테두리를 끊어지지 않게 안정적으로 출력하기 위해 1mm의 간격으로 출력하는 결론을 도출하였다.

## 3) 벌집 구조를 적용한 패션 아이웨어 디자인 전개

### (1) 패션 아이웨어의 구조적 디자인 전개

전체적인 아이웨어 디자인에 앞서 아이웨어의 구조를 디자인하였다. 기존 안경테는 알이 들어가는 플라스틱 프레임(frame)에 단차를 주어 프레임

Table 4. 아이웨어 샘플 3D 모델링 및 출력 사진.

	3D 모델링	출력 사진
1차 출력	 <p>Figure 11. 아이웨어 샘플 3D 모델링 1차. Captured by the author. (January 8, 2021).</p>	 <p>Figure 12. 아이웨어 샘플 출력 1차. Photographed by the author. (June 3, 2021).</p>
2차 출력	 <p>Figure 13. 아이웨어 샘플 3D 모델링 2차. Captured by the author. (January 8, 2021).</p>	 <p>Figure 14. 아이웨어 샘플 출력 2차. Photographed by the author. (June 3, 2021).</p>

모양에 알을 맞추어 자른 후 끼우는 방식으로 만들어진다. 제작하고자 하는 패션 아이웨어는 기존의 방식이 아닌 내부 프레임과 외부 프레임 두 가지를 출력하여 사이에 공간이 생기게 부착한 후 생긴 공간에 렌즈를 끼울 수 있도록 하는 방식으로 제작하였다. 시력이 낮은 안경을 착용하는 사람은 선글라스를 끼는 데 불편함이 있다는 단점을 적용하여 기존에 사용하던 안경알 위에 선글라스 렌즈를 하나 더 부착하여 끼울 수 있게 제작하였다. 모델링 프로그램은 덩커캐드(Tinker CAD)를 사용하였다.


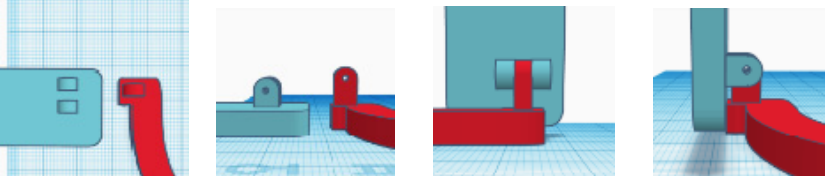
<Table 5>에 아이웨어의 3D 모델링 구조적 특징을 정리하였다. 먼저 내부 프레임과 외부 프레임 사이에 안경알을 넣을 수 있는 공간을 만들었다. 내부 프레임에 반원 형태의 틀을 3mm 깎아내어 단차를 주고 외부 프레임에 6mm 두께의 반원 틀을 부착하여 모델링하였다. 프린팅 후 외부 프레임과 내부 프레임을 열풍기를 이용하여 부착하였다. 프레임 부착 전, 부착 후의 모습은 <Figure 15>와 같은 모양이 된다. 안경다리는 안경테와 안경다리를 연결해 줄 힌지(hinge)를 부착하여 출력

하였다. 힌지는 가로 5mm, 세로 3mm, 높이 7mm 이고 구멍은 지름 1.5mm로 제작하였다. 출력한 후 길이 8mm의 안경 나사를 이용하여 안경테와 안경다리를 연결해 주었다. 안경다리과 안경테의 힌지 연결 전, 연결 후의 모습은 <Figure 16>과 같은 모양이 된다. 아이웨어의 코 받침은 얼굴에서부터 11mm 이상 떨어지게 제작하는 것이 가장 이상적인 디자인이므로 코에 닿았을 때 편안하게 닿기 위하여 지름 13mm의 구를 약 1cm 간격으로 내부 프레임에 부착하여 제작하였다.

## (2) 별집 구조의 특성에 따른 디자인 전개




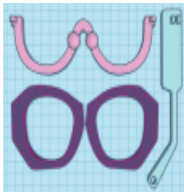
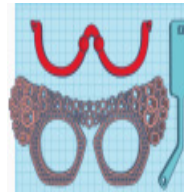
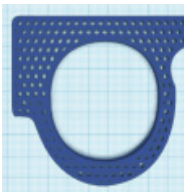
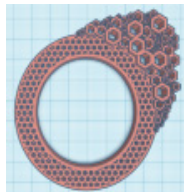
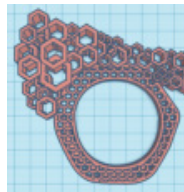


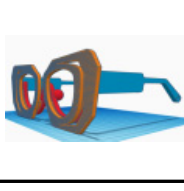

앞장과 같이 디자인 모티프 선정의 이유를 별집 구조의 특성인 효율성, 내구성, 심미성 3가지로 나누었으며, <Figure 17-21>은 각 특성의 예시 사진이다. 이 3가지 특성으로 나누어 디자인을 전개하여 <Table 6>에 정리하였다. 아이웨어의 내부 프레임은 외부 프레임과 부착 시 디자인에 방해가 되지 않게 하기 위해 반원 형태로 제작하였다. 내부 프레임과 안경다리는 디자인마다 동일하다. 내부 프레임의 두께는 5mm로 제작하였으며 13mm의

Table 5. 아이웨어 3D 모델링 구조적 특징.

3D 모델링	아이웨어 프레임	 <p>Figure 15. 프레임 부착 전 및 부착 후 모습.</p>			
	안경다리 힌지	 <p>Figure 16. 힌지 연결 전 및 연결 후 모습.</p>			

Captured by the author. (January 9, 2021).

Table 6. 내구성, 효율성, 심미성에 따른 디자인 3D 모델링.

3D 모델링				
내구성	효율성	심미성		
				
Figure 17. 내구성 예시 1. From "Honeycomb Antenna". (2015). <a href="https://m.hankookilbo.com">https://m.hankookilbo.com</a>	Figure 18. 내구성 예시 2. From An. (2017). <a href="https://m.ytn.co.kr">https://m.ytn.co.kr</a>	Figure 19. 효율성 예시 1. From Choi. (2019). <a href="https://news.join.com">https://news.join.com</a>	Figure 20. 심미성 예시 1. From Howarth. (2018). <a href="https://www.dezeen.com">https://www.dezeen.com</a>	Figure 21. 심미성 예시 2. From Roblin. (2011). <a href="https://www.trendhunter.com">https://www.trendhunter.com</a>
디자인 1	디자인 2	디자인 3	디자인 4	디자인 5
				
				
				

Captured by the author. (January 14, 2021).

코 받침을 부착하였다. 각각의 외부 프레임 디자인은 벌집 구조의 특성을 담아 디자인하였으며 프레임의 형태는 안경테 시장에서 많이 사용되는 사각형 모양, 원형 모양, 캣아이 모양과 실험용 고글, 정육각형 형태를 응용하여 제작하였다.

첫째, 디자인 1과 디자인 2는 벌집 구조의 내구성을 적용한 디자인이다. 외부 프레임의 평면을

정육각형으로 패턴화하여 벌집 구조를 만듦으로써 프레임 자체의 내구성을 더해주었다. 디자인 1은 실험용 고글을 응용한 디자인이다. 두 개의 원형이 안경 프레임 상부에 직사각형 형태로 이어지는 일체형 프레임으로 디자인하였다. 3mm의 정육각형을 1mm 간격으로 배치하여 패턴화하였고 4mm 두께로 제작하였다. 디자인 2는 육각형의 변의 길

이와 각도를 비정형적으로 배치하여 디자인하였다. 1.2mm의 정육각형을 1mm 간격으로 배치하여 패턴화하였고 4mm의 두께로 제작하였다.

둘째, 디자인 3은 벌집 구조의 효율성을 적용한 디자인이다. 디자인 3은 디자인 2를 응용한 프레임으로 사각형과 비정형적 형태의 육각형을 이어 제작한 디자인이다. 두 가지 모양이 합쳐진 형태로 디자인 1, 디자인 2보다 더 넓은 면적을 가지고 있다. 두 가지 다각형이 하나의 프레임으로 이어지도록 하여 자연스러운 형태를 만들기 위해 출력 가능한 가장 작은 크기인 1mm의 정육각형을 1mm 간격으로 패턴화하였다. 두 가지 다각형이 결합함으로써 넓어진 면적을 최소한의 재료로 패턴화하기 위해 벌집 구조의 효율성을 적용하였다.
















셋째, 디자인 4와 디자인 5는 벌집 구조의 패턴과 정육각형을 응용해 심미성을 더한 디자인이다. 각각의 디자인은 벌집 구조 패턴 프레임에 다양한 높낮이와 크기의 육각기둥을 이어 제작하였다. 육각기둥을 주상절리의 자연적 현상과 같이 다양한 높낮이와 크기를 적용하여 프레임에 입체감이 느껴지게 제작하였다. 디자인 4는 캣아이 모양을 응용한 디자인이다. 2mm의 정육각형이 1mm 간격으로 패턴화한 원형 모양의 프레임에 4mm, 5mm, 6mm 높이의 육각기둥을 무작위로 배치하여 전체적으로 캣아이 모양이 되게 디자인하였다. 원형 모양의 두께는 5mm로 제작하였다. 디자인 5는 비정형적인 형태의 육각형 프레임과 육각기둥을 이용해 주상절리의 절벽과 같은 형태로 디자인하였다. 5mm 두께의 육각형 프레임에 4mm의 정육각형을 1mm 간격으로 패턴화한 후 다양한 크기의 육각기둥을 무작위로 배치하였다. 프레임 상부에 배치한 육각기둥을 5mm~14mm로 높낮이에 변화를 주어 주상절리의 절벽과 같은 느낌을 표현하였으며 전체적으로 입체감을 부여해준다. 벌집 구조 패턴이 주는 단조로움과 주상절리를 본뜬 육각기둥의 입체감을 부여하여 독특한 형태의 심미성을

볼 수 있다.

### 3. 벌집 구조를 적용한 패션 아이웨어 3D 프린팅

앞 장의 아이웨어 디자인 전개와 3D 모델링을 통해 3D 프린팅을 진행하였다. 3D 프린팅에 사용할 필라멘트는 인장강도 시험을 바탕으로 에스엠베스트의 커피 필라멘트 ‘모그(MOG)’를 이용하였다. 슬라이싱(slicing) 프로그램은 큐비크리에이터 4(Cubicreator 4) V4.3.0을 사용하였고 3D 프린팅 기기는 큐비콘 싱글플러스(Cubicon Singleplus) 3DP-310FB를 사용하였다. 슬라이싱 단계에서 아이웨어 디자인 5가지 출력을 위한 라프트, 프린팅 속도, 인필, 필라멘트 온도를 설정하였다. 라프트 설정 없이 출력할 경우 커피 필라멘트가 3D 프린터 베드(bed)에 안착하지 않고 떨어지기 때문에 라프트의 레이어 두께를 0.2mm로 설정하였다. 프린팅 속도는 출력 시 거미줄 현상을 최소화하기 위해 40mm/s로 설정하였고, 인필은 안경의 강도를 고려하여 40%로 설정하였다. 필라멘트 종류는 PLA로 설정하였고, 익스트루더(extruder) 온도 210℃, 베드 온도 65℃, 내부 온도 35℃로 설정하여 슬라이싱 하였다. 슬라이싱 후 3D 프린터가 읽을 수 있는 언어인 G코드(G-code)로 변환하여 저장하였다. 5가지 아이웨어 디자인을 슬라이싱 및 G코드로 변환한 후 3D 프린팅하였다. 큐비콘 3D 프린팅 기기의 1회당 출력 가능한 넓이는 240mm×190mm이기 때문에 디자인 당 안경다리를 제외한 외부 프레임, 내부 프레임 1개씩 출력하였다. 그 후 안경다리는 왼쪽 5개, 오른쪽 5개씩 출력하였다. 각각의 디자인의 출력 시간 및 필라멘트 소요량과 출력 후 완성된 작품의 사진을 <Table 7>에 정리하였다.

Table 7. 디자인별 출력 시간, 필라멘트 소요량 및 작품 사진.

	출력 시간	필라멘트 소요량	출력물 사진	완성 작품 착용 사진 (앞)	완성 작품 착용 사진 (옆)
디자인 1	15시간	18.21m/ 54.31g			
디자인 2	15시간	15.04m/ 44.87g			
디자인 3	22시간	19.48m/ 58.09g			
디자인 4	20시간	20.20m/ 60.25g			
디자인 5	29시간	30.34m/ 90.48g			
안경다리 원, 오	10시간	18.53m/ 55.26g		-	

Photographed by the author. (January 16, 2021).

## IV. 결 론

3D 프린팅은 기존의 일반적인 제작 방식과 비교해 시간과 비용의 부담을 감소시키고 제품 제작에 필요한 양만큼 재료가 사용되어 불필요한 낭비를 줄여주는 장점이 있다. 그러나 3D 프린팅에도 여전히 플라스틱 기반의 재료가 사용되며 이로 인한 폐기물은 환경과 인체에 해로운 영향을 미친다. 3D 프린팅의 소재가 환경과 인체에 미치는 부정적 영향을 인식하면서 최근 3D 프린팅 업계에서는 친환경 재료를 사용한 소재의 개발이 확장되고 있다. 이에 본 연구는 친환경 제품의 개념에 대해 고찰하였고 3D 프린팅 시장에 유통되고 있는 친환경 필라멘트의 사례를 탐구하였다. 친환경 필라멘트는 재활용, 공정부산물과 PLA의 결합, 자연 추출 원료와 PLA의 결합, 인지도 바이오폴리머의 함량이 높은 PLA로 분류하여 각 사례의 특징을 정리하였다. 각 사례와 특징을 분석한 결과, 친환경 필라멘트의 특성은 재활용을 통해 제작된 필라멘트, 자연에서 분해가 가능한 소재를 통해 제작된 필라멘트 두 가지로 분류된다. 친환경 필라멘트의 사례 탐구를 바탕으로 국내에서 유통되는 친환경 필라멘트 4종을 선정하여 플라스틱 안경테 소재인 아세테이트, 폴리카보네이트와 기본 PLA, ABS 필라멘트의 시험편을 제작하여 인장강도 시험을 진행하였다. 인장강도 시험 결과를 바탕으로 커피 필라멘트를 3D 프린팅 작품 제작에 사용하는 것으로 선정하였다. 특히 아세테이트 소재에서 나타나는 연성과 실험 중 특징이 커피 필라멘트 시험편에서도 비슷한 특성을 보여 아이웨어 제작을 위한 소재로 선정하였다. 패션 아이웨어 제작을 위해 디자인 모티프를 벌집 구조로 선정하였다. 벌집 구조의 특성을 내구성, 효율성, 심미성으로 분류하였고 각 특성을 부여하여 아이웨어를 디자인하였다. 벌집 구조를 아이웨어에 적용하기 위해 패턴을 샘플링하여 패턴화할 정육각형의 최솟값을

도출하였다. 도출한 최솟값을 바탕으로 아이웨어의 구조적 디자인과 내구성, 효율성, 심미성을 부여한 5가지 디자인을 제작하였다. 제작한 디자인을 커피 필라멘트 소재를 이용해 3D 프린팅 기기로 출력하여 작품을 완성하였다.

본 연구에서는 3D 프린팅에 사용되는 플라스틱 기반의 소재를 대체할 수 있는 친환경 필라멘트의 사례를 탐구하고 이를 활용하여 3D 프린팅 제품을 개발하였다. 이를 통해 패션 제품 시장에서 3D 프린팅을 활용한 친환경 소재의 제품 개발이 더욱 활성화되기를 기대한다. 다만 패션디자인전공 재학생 중 남성 3명, 여성 3명에게 5가지 아이웨어를 착용시킨 결과 무게는 가볍지만 프레임의 너비가 넓고 코 받침의 구의 크기가 커 착용감에 불편함이 있다는 점을 지적하였다. 따라서 향후 연구에서 아이웨어 디자인의 구조 설계에 반영하고자 한다.

## References

- An, V. (2017, May 16). [안정원의 디자인 칼럼] 벌집의 육각형 패턴을 아파트 외관에 차용한 이색적인 공간 엿보기 [[Design column of Vivian An] A glimpse of an exotic space with hexagonal patterns of hives on the exterior of an apartment]. YTN. Retrieved February 20, 2021, from [https://m.ytn.co.kr/news\\_view.amp.php?param=0128\\_201705161015123625](https://m.ytn.co.kr/news_view.amp.php?param=0128_201705161015123625)
- Buzzed - Beer Filament. (n.d.). 3D-Fuel. Retrieved February 20, 2021, from <https://www.3dfuel.com/products/buzzed-beer-filament>
- Choi, S. S. (2019, March 17). 28조원 들여 만든 뉴욕 인공산...벌집같은 2500개 계단 ‘아찔’ [Artificial New York at a cost of 28 trillion won...2500 honeycomb stairs ‘dizzy’]. JoongAng Ilbo. Retrieved February 20, 2021, from <https://news.joins.com/article/23412800>
- Entwined v2 - Hemp Filament 1.75mm. (n.d.). 3D-Fuel. Retrieved June 2, 2021, from <https://www.3dfuel.com/products/entwined-hemp-filament-1-75mm>
- eSUN ebamboo 3D filament. (n.d.). eSUN. Retrieved January 13, 2021, from <http://www.esun3d.net/products/208.html>
- eSUN green filament - eBamboo!. (2017, September 6). eSUN. Retrieved February 20, 2021, from <http://www.esun3d.net/News/975.html>



- Filaments for 3D printers. (n.d.). *SMBEST*. Retrieved February 20, 2021, from <http://www.smbest.kr/filament.php?status=products>
- Howarth, D. (2018, July 26). Six buildings that create a buzz with honeycomb-patterned facades. *dezeen*. Retrieved February 20, 2021, from <https://www.dezeen.com/2018/07/26/six-buildings-hexagon-pattern-honeycomb-facades/>
- Im, N. S. (2014, March). ‘제조업의 혁명’ 3D 프린팅에 주목하라! [‘Revolution of manufacturing’ pay attention to 3D printing!]. *Printing Korea*. Retrieved February 20, 2021, from [http://www.printingkorea.or.kr/bbs/board.php?bo\\_table=B12&wr\\_id=68](http://www.printingkorea.or.kr/bbs/board.php?bo_table=B12&wr_id=68)
- Jeon, J. C. (2004). A study on the eco-design trend in product design. *Korean Society of Basic Design & Art*, 5(1), 261-271.
- Kam, S. H. (2019). A study on sustainable fashion product using Korean image and 3D printing. *A Journal of Brand Design Association of Korea*, 17(2), 53-68.
- Kam, S. H., & Yoo, Y. S. (2019). Development of 3D printing fashion product using sustainable material. *Journal of Fashion Design*, 19(3), 1-18. doi:10.18652/2019.19.3.1
- Kang, T. U. (2016, December 29). [Age of Startup] “커피 찌꺼기로 3D 프린팅” 친환경 스타트업 ‘에스엠베스트’ [[Age of Startup] “3Dprinting with coffee grounds” Eco-friendly start-up ‘SMBEST’]. *VentureSquare*. Retrieved January 13, 2021, from [https://www.venturesquare.net/741272?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+vs-rss+%28VentureSquare%29](https://www.venturesquare.net/741272?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+vs-rss+%28VentureSquare%29)
- Kim, E. J. (2008). *A study on the environment-friendly fashion design using textile waste*. Unpublished master’s thesis, Ewha Womans University, Seoul.
- Kim, H. C. (2015). A study on the socio-economic impact of 3D Printing. *Journal of Digital Convergence*, 13(7), 23-31.
- Lee, K. S. (2020, February 12). 3D 프린팅이 환경에 미치는 영향 [Impact of 3D printing on the environment]. *KOSEN*. Retrieved June 3, 2021, from [https://www.kosen21.org/info/kosenReport/reportView.do?articleSeq=REPOR\\_T\\_0000000001463](https://www.kosen21.org/info/kosenReport/reportView.do?articleSeq=REPOR_T_0000000001463)
- Oh, J. H. (2005, August 19). 친환경 상품 유통 및 녹색구매 [Distribution of eco-friendly products and purchasing green products]. *Konectic Report*. Retrieved June 3, 2021, from [https://www.konetic.or.kr/insight/koneticreport\\_view.asp?unique\\_num=525&tblNm=](https://www.konetic.or.kr/insight/koneticreport_view.asp?unique_num=525&tblNm=)
- PLA Filament White. (n.d.). *Moment*. Retrieved January 13, 2021, from <https://moment3d.kr/product/%EB%AA%A8%EB%A9%98%ED%8A%B8-%ED%95%84%EB%9D%BC%EB%A9%98%ED%8A%B8%EB%AA%A8%EB%A9%98%ED%8A%B8-pla%ED%95%84%EB%9D%BC%EB%A9%98%ED%8A%B8-%ED%99%94%EC%9D%B4%ED%8A%B8pla-filament-white/143/category/63/display/1/>
- RE PET 3D. (n.d.). *RE PET 3D*. Retrieved February 20, 2021, from <https://re-pet3d.com/faq/>
- Re-pet3D recycled PET-G 1.75 mm 750 gr - Petrol Blue. (n.d.). *RE PET 3D*. Retrieved January 13, 2021, from <https://re-pet3d.com/product/recycled-pet-g-filament-petrol-blue/>
- Roblin, A. (2011, September 6). The London Tower Farm Aims to Feed its Inhabitants. *Trend Hunter*. Retrieved February 20, 2021, from <https://www.trendhunter.com/trends/london-tower-farm>
- Scott, C. (2015, November 18). 3D Fuel and Algix Announce the Release of Algae-Fuel, the 3D Printer Filament Made from Algae. *3DPrint.com*. Retrieved January 13, 2021, from <https://3dprint.com/106381/algae-fuel-filament/>
- Standard Korean Language Dictionary. (n.d.). 친-환경 [Eco-friendly]. *Standard Korean Language Dictionary*. Retrieved February 20, 2021, from <https://stdict.korean.go.kr/search/searchView.do?pageSize=10&searchKeyword=%EC%B9%9C%ED%99%98%EA%B2%BD>
- Woo, A. Y. (2016, January 3). [3D프린터 발암물질 논란] 교육용 기기에서 초미세먼지 나와 [[Controversy of 3D printer carcinogen] Superfine dust comes out of the educational equipment]. *Donga Science*. Retrieved January 13, 2021, from [http://www.dongascience.com/news.php?id\\_x=9460](http://www.dongascience.com/news.php?id_x=9460)
- Wood filament\_Natural. (n.d.). *eSUN*. Retrieved January 13, 2021, from <http://www.esun3d.net/products/267.html>
- ‘모멘트’, Ingeo Biopolymer 함량 98% 이상 PLA 필라멘트 공급 [‘Moment’, supplies PLA filaments with 98% or more Ingeo Biopolymer content]. (2017, March 23). *SBS Biz*. Retrieved January 14, 2021, from <https://biz.sbs.co.kr/article/10000852283?division=NAVER>
- 벌집 구조 안테나로 내구성 향상 [Honeycomb antenna improves durability]. (2015, June 5). *Hankookilbo*. Retrieved February 20, 2021, from <https://m.hankookilbo.com/News/Read/201506051565395893>
- 친환경이란? [What is eco-friendly?]. (n.d.). *eco mark*. Retrieved February 20, 2021, from <https://www.ekoloji.com/ko/ekoloji/cevre-dostu-nedir/>

# Development of 3D Printing Fashion Eyewear Using Eco-Friendly Filaments

Lee, Sang Hee · Lee, Jong Seok<sup>+</sup>

Master's course, Dept. of Textile & Fashion Design, Kyungpook National University  
Assistant Professor, Dept. of Textile & Fashion Design, Kyungpook National University<sup>+</sup>

## Abstract

The development of industrialization and automation brought benefits such as convenience and economic development. However, reckless production and consumption have caused problems of environmental destruction. In response, interest in environmental protection is increasing, and the preference and demand for eco-friendly design products are also increasing. Compared to the existing manufacturing methods, 3D printing technology reduces time and cost burdens and unnecessary waste in production. However, because filament, the main material of 3D printing, is made of plastic, the resulting waste harms the environment and a human body. Therefore, this study examined the case of eco-friendly filaments available for FDM-style 3D printing and utilized them to develop fashion eyewear. The methods of the study are as follows. First, we considered the concept of eco-friendly products. Through this, we classified the criteria for eco-friendly filaments and analyzed the cases. Second, we selected four types of eco-friendly filaments based on the analysis results. The tensile strength test was conducted by manufacturing the four selected filaments, two types of plastic spectacle frames, basic PLA, ABS filaments. Coffee filaments were selected by the test results. Third, the honeycomb structure was selected as a design motif for eyewear production. Durability, efficiency, and aesthetics were derived from the honeycomb structure and applied to the design. Fourth, we printed the sample of the minimum hexagonal pattern. Fifth, we manufactured a structural frame of eyewear based on samples and designed five pairs of eyewear with durability, efficiency, and aesthetics. Five 3D modeling designs were 3D printed to complete the work. This study delved into examples of eco-friendly filaments that can replace plastic-based materials used in 3D printing, and developed products using this. It is expected that product development of eco-friendly materials using 3D printing will be activated in the fashion product market.

Key words : 3D Printing, eco-friendly, eco-friendly filament, fashion eyewear, honeycomb structure