

보로노이 다이어그램을 이용한 3D 프린팅 패션디자인 연구

이 중 석·이 재 정*

경인여자대학교 패션·문화디자인학과 조교수
국민대학교 의상디자인학과 교수*

요 약

3D 프린팅은 4차 산업혁명의 핵심기술로서 다양한 산업분야에서 주목받은 신기술이며 관련 연구가 활발히 이루어지고 있다. 제조업 분야에서는 시제품 제작을 통하여 제품 개발시간의 단축에 따른 획기적인 예산 절감이 이루어지고 있으며 치의학 분야에서는 치기공사의 숙련도에 따라 품질의 편차가 생기는 보철, 틀니 등의 제작에 활발히 응용되고 있다. 예술, 디자인 분야에서는 새로운 형태의 창의적인 활용이 시도되고 있다. 패션분야에서는 3D 프린팅과 디지털 기술의 활용으로 체촌, 패턴, 마름질, 재봉으로 이루어진 모든 의류제작 프로세스가 디지털화 되어 새로운 시장 가능성을 개척할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 3D 프린팅의 개념과 이론적 배경을 기반으로 의류제작 프로세스를 고찰하여 향후 변화될 디지털 기반 의류제작 프로세스의 가능성을 제안하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 3D 스캐닝과 3D 프린팅을 적용한 두 점의 의류작품을 직접 제작하여 기술 적용 사례와 제작 특성을 분석하여 관련기술 활용에 대한 가능성을 모색하고자 한다. 이에 본 연구에서는 첫째, 피 실험자의 전신 3D 스캐닝을 통하여 디지털 3D 모델을 구현한다. 둘째, 디지털 3D 모델을 바탕으로 3D 패턴, 보로노이 다이어그램이 적용된 3D 텍스타일 디자인을 개발한다. 셋째, 레이저 커팅을 활용한 마름질 및 원단가공을 통하여 디지털화된 의류 제작 프로세스를 구현하고자 한다. 마지막으로 보로노이 다이어그램을 적용한 3D 프린팅 텍스타일 오브젝트를 의상에 적용하여 작품을 완성한다. 본 연구는 디지털 기반 의류제작 프로세스의 새로운 가능성을 제안하였지만 기술적인 한계로 인하여 봉제 부분은 기존의 방식을 답습하고 있다. 따라서 후속연구를 통하여 재봉이 필요 없는 맞춤형 의류를 출력할 수 있는 신소재 연구가 필요하며 이를 통하여 의류 제작의 모든 과정을 디지털화 하여 새로운 시장 가능성을 개척할 수 있을 것으로 기대한다.

주제어 : 보로노이 다이어그램, 3D 프린팅, 3D 프린팅 패션디자인, 3D 프린팅 텍스타일 디자인, 디지털 패션디자인

본 논문은 2017년도 국민대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행된 연구임.

*교신저자: 이재정, ijl@kookmin.ac.kr

접수일: 2017년 7월 21일, 수정논문접수일: 2017년 8월 16일, 게재확정일: 2017년 9월 19일

I. 서론

1. 연구배경

3D 프린팅은 4차 산업혁명의 핵심기술로서 산업 분야를 막론하고 가장 주목받는 신기술로 인정받고 있으며 자동차, 항공, 제품 등 제조업을 비롯하여 의료, 예술, 디자인 등의 영역에서도 그 활용도를 넓혀나가고 있다. 뿐만 아니라 사물인터넷 기술과 결합한 다양한 활용 가능성이 개척됨에 따라 시장의 패러다임을 바꿀 혁신적인 기술로서의 가능성을 인정받고 있다. 제조업 분야에서는 사출성형, 절삭가공 방식으로 제작되던 시제품 제작 프로세스를 3D 프린팅 방식으로 바꾸어 시간과 비용을 획기적으로 절약하고 있다. 특히 2017년 현재 모든 상용차 회사에서 사용하고 있을 정도로 보편적인 대체기술이 된 지 오래이다. 의료, 특히 치의학 분야에서는 치기공사의 숙련도가 제품의 품질에 영향을 미치는 틀니, 보철물 제작을 3D 스캔과 3D 프린팅으로 대체하여 새로운 시장을 개척하고 있다. 항공 우주 분야에서는 재고부품 비축에 따른 중량 증대 문제를 해결하기 위하여 우주선에서 3D 프린터로 필요부품을 출력하고 있다. 패션산업에서도 3D 프린팅을 활용한 다양한 시도들이 이루어지고 있으며 주로 스트라타시스(Stratasys), 3D시스템즈(3D Systems) 등 글로벌 3D 프린팅 업체와 디자이너의 협업으로 실험적인 작품들이 제시되고 있다. 하지만 현재 제시되는 의류산업의 3D 프린팅 기술은 기업의 기술력을 홍보하기 위한 실험적인 작품 위주로 제작되고 있으며, 3D 프린팅 의류의 대중화를 위한 연구는 다소 부족한 현실이다. 의류 제작에 활용되는 3D 프린팅 기술은 최종적으로 체온, 패턴, 마름질, 재봉으로 이루어진 기존 의류제작의 모든 과정을 디지털화한 다품종 소량생산의 새로운 시장 가능성 개척에 의미를 두고 있다. 최종적으로는 개별 소비자의 기호와 사이즈를 반영한 완벽한 맞춤형 의류를 합리적

인 가격에 제공할 수 있는데 그 목표를 두고 있다. 따라서 본 연구에서는 3D 스캔, 3D 프린팅 기술을 활용하여 의류제작의 디지털 프로세스를 최대한 구현하여 향후 전개될 4차 산업혁명에 의해 변화할 패션산업의 미래에 대한 가능성을 고찰하고자 한다.

2. 연구목적 및 방법

패션산업에 적용되는 3D 프린팅 기술은 단순한 의류 제작이 아닌 전 의류 제작 과정의 디지털화를 의미하며 3D 스캔과 3D 프린팅 기술을 융합한 완벽한 맞춤형 의류 제작에 방향성을 두어야 한다. 하지만 이와 관련된 연구는 대부분 3D 프린팅으로 만들어 질 수 있는 제품의 조형적 특성을 분석하고 이를 이용한 패션디자인, 패션 액세서리 연구가 주로 이루어지고 있다. 또한 3D 스캐닝과 3D 프린팅을 이용한 연구는 의류분야가 아닌 신발제작을 위한 발 스캔과 3D 프린팅 족형 제작 위주로 연구가 진행되고 있다. 따라서 바디를 스캔하고 이를 활용한 패턴 및 디자인 제작에 활용하는 디지털 프로세스에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 이에 본 연구의 목적은 3D 스캔과 3D 프린팅 기술을 융합한 완벽한 맞춤형 의류 제작을 위한 디자인 프로세스 연구를 개발하는데 있다. 이를 위하여 3D 프린팅의 개념과 이론적 배경을 기반으로 3D 스캐닝과 3D 프린팅 기법을 적용한 두 점의 의류작품을 직접 제작하여 기술 적용 사례와 제작 특징에 따른 특성을 분석하여 관련기술 활용에 대한 가능성을 모색하고자 한다. 이를 위한 구체적인 방법으로는 첫째, 피 실험자의 전신 3D 스캐닝을 통하여 디지털 3D 모델을 구현한다. 둘째, 디지털 3D 모델을 바탕으로 3D 패턴, 보로노이 다이어그램이 적용된 3D 텍스타일 디자인을 개발한다. 셋째, 레이저 커팅을 활용한 마름질 및 원단가공을 통하여 디지털화된 의류 제작 프로세스를 구현하고자 하였다. 마지막으로 보로노이 다이어그램

램을 적용한 3D 프린팅 텍스타일 오브젝트를 의상에 적용하여 작품을 완성한다.

II. 연구 배경

1. 3D 프린팅의 개요 및 기술 특징

3D 프린팅 기술은 1983년 일본 나고야시 공업연구소의 히데오 코다마(Hideo Kodama)의 ‘포토 폴리머 RP 시스템에 관한 기술보고서’로 시작되었다. 이를 바탕으로 1984년 미국의 척 헐(Chuck Hull)이 세계 최초로 특허를 획득하고 1988년 SLA(Stereo Lithography Apparatus)방식, 1989년 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식 프린터를 출시하게 된다(Lee, 2014). 이후 SLA 방식은 2006년, FDM 방식은 2009년 특허가 만료됨에 따라 본격적인 3D 프린터의 대중화가 이루어지게 되었다. 현재 상기한 특허만료, 디지털 기술의 발전, 관련 하드웨어의 가격 하락, 다품종 소량 생산에 대한 시장 니즈 등 복합적인 요인 증가에 따라서 3D 프린팅 시장은 폭발적인 성장세를 보이고 있다(Lee & Lee, 2016). ‘Wohlers Report 2016’에 따르면 3D 프린팅 시장 규모는 2013년 26억 달러에서 2019년 65억 달러까지 확대될 것으로 전망하고 있다(Wohlers, 2016). 3D 프린팅은 항공, 우주, 자동차, 건축, 조명, 패션, 공예, 의학 등 거의 모든 산업분야에서 활용되고 있으며 20개 이상의 국가에서 정부차원의 3D 프린팅 기술 확보 및 확산을 위한 정책이

추진되고 있다. 국내에서도 ‘3D 프린팅 산업발전 전략’ 정책을 수립하여 2020년까지 다양한 관련 사업지원을 진행하고 있다. 한편 3D 프린팅의 출력 방식은 FDM, SLS(Selective Laser Sintering), DLP(Digital Light Processing)의 세 가지 방식이 차지하는 비중이 압도적으로 많으며 현재 가장 대표적인 출력방식은 FDM과 SLS방식이다. 5점 척도를 기준으로 한 각 기술별 장단점을 살펴보면 FDM 방식은 장비 가격 대비 만족도가, SLS 방식은 재료의 강도가, DLP 방식은 제작 속도 및 표면 조도가 우수한 특징을 나타내고 있다(Table 1). Lee(2017)에 따르면 FDM 방식은 전체 시장의 73.4%를 차지하고 있다. FDM 방식은 다른 기술에 비하여 가공 정밀도, 표면 조도가 부족하지만 현재 보급형 3D 프린터의 대부분이 이 방식을 채택하고 있기 때문에 3D 프린터 시장의 주류를 이루고 있다.

2. 보로노이 다이어그램

보로노이 다이어그램은 1868년 우크라이나에서 태어난 러시아의 수학자 게오르기 보로노이(Georgy Voronoi)의 이름을 따서 그 이름을 지었다. 보로노이 다이어그램을 그리는 방법은 다음과 같다. 먼저 평면 위에 여러 개의 점을 찍은 후 가장 인접한 두 개의 점을 선택해 수직이등분선을 그리면 평면은 수직이등분선에 의해 여러 개의 다각형으로 분할된다. 이렇게 그려진 그림을 보로노이 다이어그램이라고 하고, 이때 생기는 다각형을 보로노이 다각형이라고 한다(Figure 1). 따라서 보로노이 다각형은

Table 1. 3D 프린터 분류 방식에 따른 기술별 주요 특징.

적층방식	기술명	특징	표면 조도	제작 속도	재료 강도	장비 가격
압출	FDM	필라멘트 형태의 열가소성 물질을 노즐로 녹여서 적층	2	2	3	5
분말	SLS	분말에 선택적으로 레이저를 조사·소결 후 적층	3	3	4	2
광경화	DLP	프로젝터를 사용하여 해당 이미지를 경화 후 적층	4	5	2	4

Adapted from Choi, (2011), p. 52.

특정 점을 기준으로 가장 가까운 점들을 모은 집합이 된다. 이것이 보로노이 다이어그램이 갖는 가장 중요한 성질이며 이를 이용하여 공공기관의 접근성을 고려한 관할구역설정, 도로망 설계, 건축, GPS에서부터 예술분야에 이르기까지 다양하게 적용되고 있다(Kim, 2016).

1) 자연에서의 보로노이 다이어그램

보로노이 다이어그램은 참자리 날개, 기린의 얼룩무늬, 비누거품, 나뭇잎의 잎맥, 거북이의 등껍질 패턴, 벌집구조 등 쉽게 관찰할 수 있는 자연 현상이다. Gwon(2015)에 따르면 보로노이 다이어그램은 지정된 점으로부터 원을 만들고 그 원과 원이 만날 때 만난지점을 기준으로 경계선이 만들어지는 구조로 일정 세포핵을 기준으로 팽창해나가는 생물의 성장 특성과 연관이 있다(Figure 2).

2) 건축에서의 보로노이 다이어그램

보로노이 다이어그램이 적용된 대표적인 건물로

는 2008년 베이징 올림픽 수영 경기가 이뤄진 베이징국가수영센터를 들 수 있다(Figure 3). PTW 아키텍츠(PTW Architects)사, CSCEC 인터내셔널 디자인(CSCEC International Design)사가 설계하였으며 거대한 직사각형 외관이 3차원 보로노이 다이어그램 모양으로 이뤄져 있다. 파플러 사이언스 2006년 토목 분야 신규 작품상을 수상하였다(Park et al., 2008).

3) 패션에서의 보로노이 다이어그램

패션 분야 역시 보로노이 다이어그램을 패턴에 응용하여 기하학적인 형태미를 강조하는 작품들이 만들어지고 있지만 섬유 소재의 한계와 착용성의 문제로 실험적인 디자인 시도에 그치고 있다. 최근에는 3D 프린팅을 활용한 액세서리에 디자인에 활용되고 있다. 쉐입웨이즈(Shapeways)와 엣시(Etsy)는 3D 프린팅 패션 액세서리를 판매하는 대표적인 사이트로 각 사이트의 제품 종류는 4,000종이 넘는다. 이는 주문 후 소량 생산 할 수 있는 3D 프린팅의

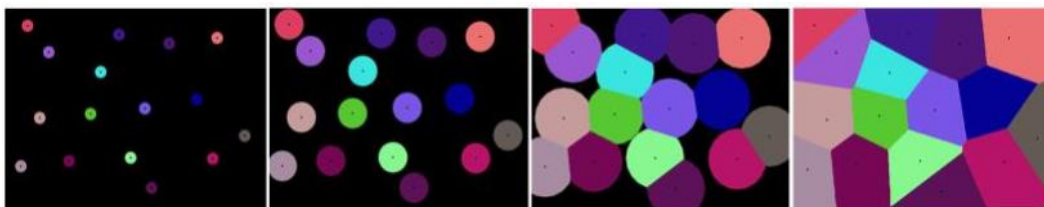


Figure 1. 보로노이 다이어그램 생성 과정.
From Interactive Voronoi Diagram Generator with WebGL. (n.d.).
<http://alexbeutel.com>



Figure 2. 자연에서 발견되는 보로노이 다이어그램.
From Voronoi diagrams in nature. (n.d.).
<https://www.pinterest.co.kr>



Figure 3. 베이징 국가수영센터.
From introduction. (n.d.).
<http://www.water-cube.com>



Figure 4. 보로노이 패턴을 활용한 3D 프린팅 패션 제품.
From Voronoi bag #1. (n.d.).
<https://www.shapeways.com>

강점을 잘 살린 상품 구조이다. 하지만 상품의 마감이나 내구성에 비하여 가격대가 높다는 평가를 받고 있으며 <Figure 4>의 클리치백은 347달러, 팔찌는 71달러의 가격에 온라인 판매되고 있다.

III. 평면 보로노이 다이어그램의 입체 적용을 위한 사전연구

평면 보로노이 다이어그램을 입체에 적용하기 위한 사전 연구는 첫째, 텍스타일 패턴 디자인, 둘째 원단 마름질, 셋째, 텍스타일 패턴 제작, 넷째, 텍스타일 패턴 부착, 다섯째, 착용성 및 내구성 테스트의 총 다섯 단계를 거쳐 진행되었다.

1. 텍스타일 패턴 디자인

평면상에 보로노이 다이어그램을 디자인하여 원통형 입체에 적용하였다. 하프드롭 도트 패턴을 제

작하여 각 도트를 기준으로 반지름 값을 넓혀나가는 방식으로 보로노이 다이어그램 패턴을 제작하였다. 반지름 20mm인 경우 외각선이 중첩되지 않아 원형 패턴이 만들어지지만 반지름 30mm부터 중첩현상이 일어나며 40mm에 이르러서는 외곽선이 모두 만나서 정육면체의 패턴이 만들어짐을 알 수 있다(Table 2). 이후 평면상의 보로노이 다이어그램을 원통형 입체에 적용하였으며 연구결과 반복패턴 한 개의 지름은 평면에서 40mm, 입체에서 40.2mm로 변형되었음을 확인할 수 있었다(Table 2). 원통의 입체 구조상 보로노이 다이어그램은 좌우로 단순 변형되었지만 인체모델 적용 시 모든 방향에서 크기 변형 및 왜곡을 예상할 수 있었다. 보로노이 다이어그램 제작을 위하여 반복패턴을 알고리즘에 의해 그려내는데 주로 사용되는 그래스호퍼(Grasshopper) 소프트웨어를 활용하였으며 평면 보로노이 다이어그램을 입체에 적용하기 위하여 라이노(Rhino) 소프트웨어를 활용하였다.

Table 2. 라이노와 그래스호퍼를 활용한 보로노이 다이어그램.

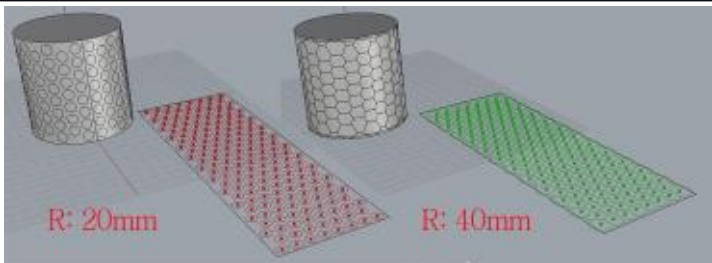



라이노를 활용한 디자인	그래스호퍼 알고리즘
	

Table 3. 레이저 커팅을 이용한 원단 가공.

네오프렌 원단 레이저 커팅	노방 원단 레이저 커팅
	

2. 원단 마름질

입체에 적용되어 변형된 형태의 텍스타일 디자인 패턴을 다시 평면으로 펼친 후 레이저 커팅 기기를 활용하여 원단 마름질 및 도트패턴 천공 가공을 진행하였다. 원단은 두께감과 신축성이 있는 네오프렌 원단과 투명도가 있어서 심미성을 강조할 수 있는 투명 노방 2종을 테스트 하였다. 레이저 커팅을 위한 하드웨어는 코리아트사의 마이크로 레이저조각기 C40을 활용하였다(Table 3).

3. 텍스타일 패턴 제작

입체 적용되어 변형된 형태의 텍스타일 디자인 패턴을 기반으로 3D 모델링, 슬라이싱, 3D 프린팅 단계를 거쳐 제작하였다. 육각형 형태의 오브젝트

는 2mm, 10mm, 20mm, 30mm, 40mm, 50mm의 6가지 다른 높이로 총 230개 출력되었다. 오브젝트 벽면의 투명도 확보를 위하여 단면 두께를 0.4mm로 디자인 하였으며 안정적으로 출력가능 한 최대 높이인 50mm로 출력되었다. 3D 모델링을 위하여 라이노 소프트웨어, 슬라이싱을 위하여 메이커웨어(Makerware), 3D 프린팅을 위하여 메이커봇 리플리케이터 R2(Makerbot Replicator R2), 필라멘트는 메이커봇 PLA 필라멘트(Makerbot PLA Filament)내추럴 컬러가 활용되었다(Table 4).

4. 텍스타일 샘플 제작

3D 프린팅 된 입체 텍스타일 패턴을 원단에 부착하여 텍스타일 샘플을 제작하였다. 타공 가공된 네오프렌과 노방원단에 입체 텍스타일 패턴 부

Table 4. 텍스타일 패턴 제작 과정.

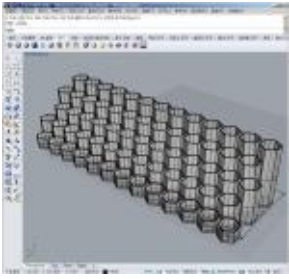
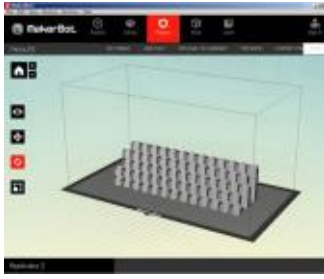


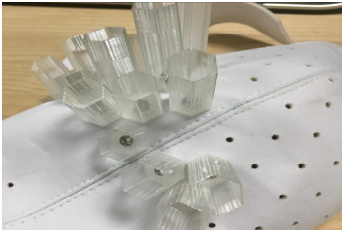

단계	3D 모델링	슬라이싱	3D 프린팅
장비	라이노	메이커웨어	메이커봇 리플리케이터R2
사진			

Table 5. 3D 프린팅 텍스타일 패턴 작업 결과물.

노방 텍스타일 샘플	네오프렌 텍스타일 샘플	리벳과 P와셔
		

착을 부착하였으며 이를 위하여 지름 4mm 금도금 리벳과 지름 6mm 플라스틱 와셔(P washer)가 사용되었다(Table 5). 해당 리벳은 최대 50mm 높이의 오브젝트 안쪽에 부착하였으며 헤드 부분을 누르 기위한 별도의 도구를 제작하여 사용하였다.

5. 착용성 및 내구성 테스트

출력된 2종의 원단을 어깨, 허리, 등에 부착하여 다양한 움직임에 적용한 내구성 및 착용성 테스트를 진행하였다. 셔츠위에 패브릭 샘플을 재봉하여 고정된 후 30분 가량 자유로운 움직임을 진행 후 육안으로 전 후 비교하는 방식으로 진행하였다. 테스트 결과 높이 70mm 이상인 텍스타일 구조물은 소재 및 FDM 출력방식의 내구성 문제로 상단 부분 균열 발생을 확인하였다. 또한 허리부분 등 바디

안쪽으로 호가 생기는 곡면에서 30mm 이상의 구조물은 상단이 서로 접촉하여 마모되는 현상이 발생하였다. 또한 노방 원단에서는 구조물과의 마찰로 인한 울트임 현상과 유격 현상이 관찰되었다. 네오프렌 원단은 신축성과 원단 자체의 두께로 특이한 이상이 발견되지 않았다(Table 6). 따라서 최종 작품에 적용될 원단은 네오프렌 소재로 선정되었다.

IV. 3D 프린팅을 활용한 작품 제작

1. 작품 1, 2 제작 과정

작품은 다음과 같은 네 단계 과정을 거쳐 진행되었다.

Table 6. 착용성 테스트 과정.

부착 부위			
테스트 진행	어깨	등	허리
테스트 결과	네오프렌	노망	
상태	정상	올트임현상	유격현상

첫째, 피 실험자의 전신을 3D 스캔하여 디지털 3D 모델을 구축하고 이를 바탕으로 의류제작을 위한 치수데이터를 도출하였으며 작품 1, 2에 같은 치수 데이터가 사용되었다. 치수 데이터는 다음과 같다. 어깨 15.5inch, 소매 24.3inch, 등 길이 14.5inch, 기장 43inch, 앞폭 13.5inch, 유장 10inch, 전장 16.1inch, 상동 33inch, 유상동 34inch, 허리 26.5inch, 엉덩이 27.5inch 로 조사되었다.

둘째, 디지털 3D 모델을 활용하여 패턴 디자인을 진행하였으며 부착물의 하중 지지를 위하여 최소한의 가로 절개를 가진 형태의 패턴이 필요하였으며 이를 가장 잘 반영할 수 있는 프린세스 라인 패턴이 선택되었다. 디지털 3D 모델을 활용하여 원형 및 팔각형 형태의 평면 보로노이 패턴을 디지털 3D 모델에 적용하였다.

셋째, 프린세스 라인 패턴과 입체 적용된 보로노이 다이어그램 패턴을 레이저 커팅을 사용하여 원단의 마름질과 3D 프린팅 출력물 부착을 위한 원단 타공 가공을 진행하였다. 작품 1, 2에 동일한 프린세스라인 패턴, 보로노이 다이어그램이 적용된 타공 패턴이 활용되었다.

넷째, 작품 1은 사전연구에서 개발된 원형 텍스타일 패턴이 2mm, 10mm, 20mm, 30mm, 40mm, 50mm의 6가지 다른 높이로 총 1435개 3D 프린팅 되었다. 작품 2에는 사전연구에서 개발된 팔각형 텍스타일 패턴이 2mm, 10mm, 20mm, 30mm, 40mm, 50mm의 60mm 7가지 다른 높이로 총 1784개 3D 프린팅, 보석 리벳을 사용하여 의상에 부착되었다(Table 7).

작품 1은 1454개, 작품 2는 1784개의 높이가 다른 입체 텍스타일 패턴이 부착되었다. 평면 텍스

Table 7. 작품1, 작품2 제작 과정.



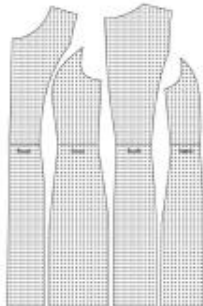

단계	3D 스캐닝	3D 모델링	패턴 제작	의상 제작
장비	Sense 3D scanner	라이노	마이크로 레이저조각기 C40	메이커봇 리플리케이터 R2
사진				

Table 8. 연구 내용 단계별 요약.

연구 명칭	단계	연구 내용	비고
사전 연구	1	텍스타일 패턴 디자인	평면 및 입체 보로노이 패턴 디자인
	2	원단 마름질	레이저 커팅을 이용한 원단 마름질
	3	텍스타일 패턴 제작	3D 프린팅 텍스타일 출력
	4	텍스타일 샘플 2종 제작	3D 프린팅 텍스타일샘플 2종 제작(네오프렌, 노방)
	5	착용성 및 내구성 테스트	허리, 어깨, 등 부분의 착용성 및 내구성 테스트
작품 제작	1	3D 스캔	피 실험자 전신 3D 스캔, 디지털 3D 모델 제작
	2	3D 패턴 도출	디지털 3D 모델을 활용한 3D 패턴 제작
	3	원단 마름질 및 재봉	레이저 커팅을 이용한 원단 마름질 및 타공 및 재봉
	4	텍스타일 패턴 부착	3D 프린팅 텍스타일 부착

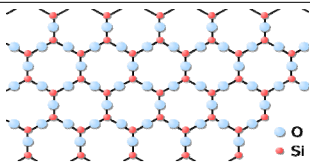
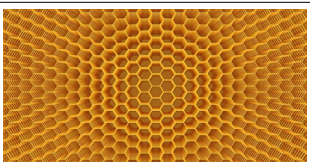

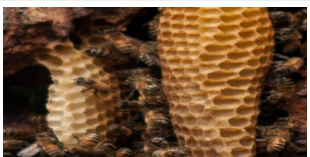
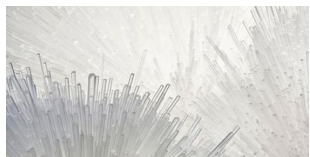
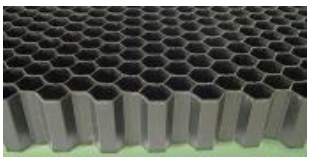


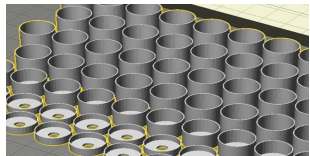
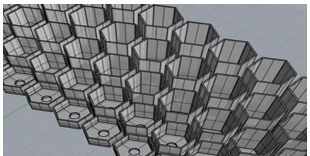
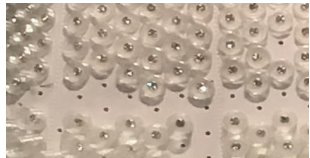
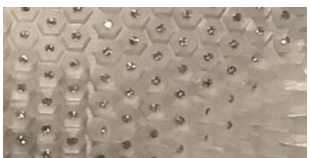
타일 패턴을 디지털 3D 모델의 굴곡에 따라 디지털화, 입체화하였기 때문에 정확하게 같은 사이즈의 오브젝트는 단 한 개도 존재하지 않는 조형 특징을 가진다(Figure 7), (Figure 8). 연구의 목적인 3D 프린팅을 이용한 디지털 의류제작 프로세스를 구현하기 위하여 다소 많은 단계의 작품 제작 과정이 필요하였으며 이를 표로 정리하면 다음과 같다(Table 8).

2. 디자인 전개 및 완성 작품 착장

또한 작품의 디자인 콘셉트는 다음과 같다. 두 작품은 석영구조, 벌집 구조 이미지에서 영감을

받아 제작되었다. 석영 구조는 정사면체 모양으로 결정된 이산화규소(SiO_2)로 이루어져 있기 때문에 일반적으로 완벽한 원형 하프드롭 패턴을 이루는 기본 구조가 팽창하면서 맞닿은 팔각형 형태의 구조를 가지고 있다. 벌집 구조는 일정한 간격으로 제작된 원기둥형 밀납 패턴이 경화, 팽창 하면서 육각형 행태를 만들어내며 석영구조와는 다른 방법으로 생성되지만 동일한 조형적 아름다움을 가지고 있다. 두 가지 콘셉트 모두 자연계에 존재하는 보로노이 다이어그램의 특징적 구조를 잘 나타내면서 조형적, 공학적으로도 매우 안정적인 구조인 이유로 선정 되었다(Table 9). 콘셉트 리서치를 바탕으로 다수의 디자인 스케치와 이미지 맵핑을

Table 9. 디자인 콘셉트 전개 과정.

전개 과정	작품 1	작품 2
디자인 콘셉트	석영 구조	벌집 구조
기본 구조		
콘셉트 사진	 Figure 5. 석영. From 석영 [Quartz]. (n.d.). https://ko.wikipedia.org	 Figure 6. 벌집. From 벌집 [Honeycomb]. (n.d.). https://ko.wikipedia.org
콘셉트 응용		
디자인 기본 스케치		
디자인 모델링		
텍스타일 샘플 제작		

거쳐 초기 디자인이 선정되었다. 초기 디자인은 사진 연구의 착용성 및 내구성 테스트 결과를 반영하여 부착물의 최소, 최대 높이를 수정하는 과정을 거쳐 최종 디자인으로 선정되었다. 작품 1은 석영 구조에서 영감을 받은 원형과 팔각형의 중간 형태의 오브젝트가 네오프렌 소재로 만들어진 원

피스에 리벳을 사용하여 결합되어 최종 완성되었다(Figure 5). 작품 2는 벌집 구조에서 영감을 받은 팔각형 구조의 오브젝트가 네오프렌 소재로 만들어진 원피스에 리벳을 사용하여 결합되어 최종 완성되었다(Figure 6).



Figure 7. 작품 1 완성 및 착장.



Figure 8. 작품 2 완성 및 착장.

V. 결 론

3D 프린팅은 단순히 디자인 결과물을 출력하는 기기가 아니라 다른 기술과 연계되어 생산 프로세스 전체의 패러다임을 바꿀 수 있다는 데 그 의미가 있다. 패션디자인에서 3D 프린팅 기술은 반지, 팔찌 등의 소품을 출력하는 데 그치지 않고 체온, 마름질, 재봉으로 이루어지는 의류 제작 프로세스의 디지털화를 구축하는 중심 기술로서 연구가 이

루어져야 함에도 불구하고 이와 관련된 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구의 목적은 3D 프린팅의 개념과 이론적 배경을 기반으로 3D 스캐닝과 3D 프린팅 기법을 적용한 두 점의 의류작품을 직접 제작하여 기술 적용 사례와 제작 특징에 따른 특성을 분석하여 관련기술 활용에 대한 가능성을 모색하고자 하는데 있다. 이를 통하여 최종적으로 3D 프린팅과 디지털 기술에 기반한 새로운 디지털 의류 제작 프로세스 연구에 기여하고자한다.

이를 위하여 3D 스캐닝과 3D 프린팅을 적용한 두 점의 의류작품을 직접 제작하였으며 각 작품은 네 단계의 연구과정을 거쳐 제작되었다. 첫째, 피 실험자의 전신 3D 스캐닝을 통하여 디지털 3D 모델을 구현하였다. 둘째, 디지털 3D 모델을 바탕으로 3D 패턴, 보로노이 다이어그램이 적용된 3D 텍스타일 디자인을 개발하였다. 셋째, 레이저 커팅을 활용한 마름질 및 원단가공을 통하여 디지털화된 의류 제작 프로세스를 구현하였다. 넷째, 보로노이 다이어그램을 적용한 3D 프린팅 텍스타일 오브젝트를 의상에 적용하여 작품을 완성하였다.

3D 프린팅의 가장 큰 장점은 기존의 제조업에서는 불가능한 다품종 소량 생산이 가능하다는 점이다. 이러한 장점을 의류제작 프로세스에 적용한 결과가 맞춤형 의상이며 본 연구는 이러한 다품종 소량생산이 가능한 3D 프린팅의 장점을 디자인적 요소로 활용하여 기존의 제조업 프로세스로는 만들 수 없는 새로운 텍스타일 디자인을 접목시켜 작품을 만들었다는데 그 의미가 크다. 본 연구에서는 피 실험자의 인체를 3D 스캔하여 이를 바탕으로 패턴, 텍스타일 디자인을 적용한 디지털 의류제작 프로세스의 새로운 가능성을 제안하였다. 하지만 기술적인 한계로 인하여 봉제 부분은 기존의 방식을 답습하고 있다. 따라서 후속연구를 통하여 재봉이 필요 없는 맞춤형 의류를 출력할 수 있는 프린터 및 신소재 개발 연구가 필요한 상황이다. 이러한 후속연구를 통하여 의류 제작의 모든 과정을 디지털화 하여 새로운 시장 가능성을 개척할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- Choi, S. K. (2011). *신속조형기술 RP 활용가이드* [Designers for rapid prototyping user guide]. Seoul: Hyejiwon.
- Gwon, K. B. (2015). *꿈돌이의 라이노 5: Rhino 3D 곡면 모델링의 원리와 기법* [Rhino 5 of dreamer: Principles and techniques of Rhino 3D surface modeling]. Paju: Chungdambooks.
- Interactive Voronoi Diagram Generator with WebGL. (n.d.). Alex Beutel. Retrieved July 2, 2017, from <http://alexbeutel.com/webgl/voronoi.html>
- introduction. (n.d.). WATER CUBE. Retrieved July 2, 2017, from <http://www.water-cube.com/en/venues/introduction>
- 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
- Lee, H. N. (2017). *Study of the production of textiles using 3D printing technology*. Unpublished master's thesis, Hanyang University, Seoul.
- 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:10.18652/2016.16.1.7
- Lee, S. Y. (2014). *A study on naturalistic pattern costume design utilizing 3D printing*. Unpublished master's thesis, Hongik University, Seoul.
- Park, J. J., Ji, S. Y., & Jun, H. J. (2008, October). A study on the application of Voronoi Diagram into architectural design generation. *Proceeding The Architectural Institute of Korea Fall Conference, Gwangju*, 25-28.
- Voronoi bag #1. (n.d.). shapeways. Retrieved July 2, 2017, from <https://www.shapeways.com/product/A5HQEAP8H/voronoi-bag-1?li=shortUrl>
- Voronoi diagrams in nature. (n.d.). Pinterest. Retrieved July 2, 2017, from <https://www.pinterest.co.kr/juliannessmallwd/voronoi-diagrams-in-nature/?lp=true>
- Wohlrs, T. (2016). *Wohlrs report 2016*. Colorado: Wohlrs Association.
- 석영 [Quartz]. (n.d.). WIKIPEDIA. Retrieved July 2, 2017, from <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%84%9D%EC%98%81>
- 벌집 [Honeycomb]. (n.d.). WIKIPEDIA. Retrieved July 2, 2017, from <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B2%8C%EC%A7%91>

Study on 3D Printing Fashion Design Using Voronoi Diagram

Lee, Jong Seok • Lee, Jae Jung⁺

Assistant Professor, Dept. of Fashion & Culture Design, Kyungin Women's University

Professor, Dept. of Fashion Design, Kookmin University⁺

Abstract

3D printing is a key technology of the 4th industrial revolution and is a new technology that has attracted attention in various industrial fields. In the manufacturing sector, 3D printing is used for prototype production, resulting in dramatic budget cuts. In the field of dentistry, 3D printing is used in the production of prosthesis and dentures, where the quality of the prosthesis varies according to proficiency. In the field of fashion, 3D printing and digital technology will be utilized to digitize all clothing production processes and to open up new market possibilities. Through this study, we examine the process of garment production based on the concept and theoretical background of 3D printing, and research the possibility of the garment production process using 3D printing. For this study, two pieces of clothing work using 3D scanning and 3D printing technology were directly produced. First, the digital 3D model is implemented through the whole body 3D scanning of the subject. Secondly, we develop a 3D textile design based on Voronoi Diagram based on digital 3D model. Third, laser cutting was used to cut and fabricate. Finally, 3D printing textile object applying Voronoi Diagram is applied to clothes to complete the work. Through this study, we propose new possibilities of garment manufacturing process using 3D printing and digital technology. However, due to technical limitations, the sewing part follows the existing method. Therefore, in the following research, it is necessary to study about sewing using 3D printing. We hope that we will be able to develop new market possibilities by carrying out research that can digitalize all processes of clothing production in the future.

Key words : Voronoi Diagram, 3D printing, 3D printing fashion design, 3D printing textile design, digital fashion design

