

보로노이 다이어그램을 이용한 일상 모자 개발 연구

- 3D 프린팅 활용을 중심으로 -

김혜은

우송대학교 뷰티디자인경영학과 초빙교수

요약

3D 프린팅은 제3의 산업혁명을 예고하며, 제조업의 혁명을 가져올 것이라 예상되고 있다. 그러나 패션에서는 프린터 크기, 속도, 소재의 문제로 패션 소품 개발이 주가 되고 있다. 이에 본 연구는 3D 프린팅의 가능성 확대와 상품화를 위해 3D 프린팅을 활용하여 일상생활에 착용 가능한 모자 디자인을 제안하였다. 디자인의 요소로는 조형미와 더불어 프린팅 시간 절약과 견고성을 지녀 3D 프린팅 영역에서 활용도가 높은 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram)을 이용하였다. 3D 프린팅으로 제작된 모자, 보로노이 디자인 제품을 분석하여, 보로노이 패턴의 조형성, 실용성, 조화, 공극의 활용, 입체 구현, 맞춤형의 특성을 디자인에 이용하였다. 대중적인 프린터 방식인 FDM 프린터를 사용하여 모자의 부분 또는 장식을 프린트 해, 니트 비니 1점, 스냅백 1점, 페도라 1점의 총 3점을 제작한 결과는 다음과 같다. 첫째, 형태적으로 모자의 곡선과 보로노이 패턴의 곡선은 자연스럽게 연결 될 수 있었다. 둘째, 패턴의 공극은 다른 소재와의 연결을 용이하게 하였다. 셋째, 출력물의 가벼운 중량과 견고함은 모자의 부분 또는 장식에 모두 적합하였다. 넷째, 프린트의 단단한 소재와 일반 모자 형태와의 결합은 편안한 착용감과 동시에 모자의 입체감과 형태를 살리기에 적합하였다. 다섯째, 컴퓨터 CAD 파일의 변형만으로 디자인의 변형이 용이하였다. 이를 통해 현재의 3D 프린터 개발 상황에서 3D 프린팅 기법과 보로노이 패턴은 기존의 모자 소재와 함께 형태를 잡아주고, 또한 착용감을 높이고 제작 시간 절감함으로써, 실용화에 적합함을 알 수 있었다. 이론 연구와 모자 제작을 통해 본 연구는 3D 프린팅 기법과 보로노이 패턴을 기존의 모자 형태에 접목하여 착용감, 시간, 형태를 보장하는 유용한 방법을 보여 줌으로써, 3D 프린팅 모자 제품의 상용화, 대중화에 기여 할 수 있을 것이다.

주제어 : 모자, 보로노이 다이어그램, 3D 프린팅, 페도라, 스냅백

I. 서론

보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram)은 인접한 점과 점 사이를 연결하여 만드는 다각형이다. 보로노이 다이어그램은 수학적 개념이지만 평면은 물론 입체로도 그 활용이 가능하고, 실용성과 자연의 형상질서를 닮은 예술적 가치로 건축, 가구 디자인 등에 다양하게 사용되고 있다. 3D 프린팅 분야에서도 조형미와 균형미를 활용하여 다양한 작가, 디자이너가 보로노이 패턴을 활용해 작품을 제작하고 있다. 패턴의 공극으로 면을 다 채우지 않기 때문에 프린팅 제작 시간을 절약하면서도 가장 가까운 점을 연결해서 견고성을 유지할 수 있어 3D 프린팅 분야에서 더욱 선호 되고 있다.

3D 프린팅은 빠른 시제품 제작과 제작의 효율성, 생산성 향상으로 제조업의 혁신을 가져오고, 이로 인해 제조업의 부활을 가져올 것이라 예견되고 있다. 의료, 항공, 자동차, 제품, 건축의 분야에서 활용도가 높아지고 있지만, 패션에서는 현재 일반 의류 생산보다 현저하게 오래 걸리는 프린팅 시간과 의상 크기의 출력을 할 대형 프린터가 없다는 기술적 제약과 인체에 친화적이고 유연성, 운동성을 가미할 수 있는 유연하고 부드러운 소재 개발의 한계로 인해 의상보다는 구두, 모자, 장신구 등 패션 소품에 활용되고 있다.¹⁾

모자는 신체에서 가장 중요한 머리를 외부로부터 보호하기 위한 기능적 목적으로 착용할 뿐 아니라, 신분, 계급, 종교적 권위를 상징하는 상징적 목적에 착용자의 이미지를 위한 미적인 목적으로 착용하며, 현재는 개성 표현의 목적인 미적인 목적으로 모자가 중요한 패션 소품으로 자리매김하고 있다.²⁾

3D 프린팅의 발전 단계에서 이용의 확대를 위해서는 다양한 활용성을 제시하는 연구, 개발이 필요하다. 지금까지의 3D 프린팅을 이용한 패션 제품 개발 연구는 의상, 액세서리, 구두 분야 등이

있다. 이용섭, 김선아(2015)³⁾는 FDM 프린터로 3D 스캐너를 이용하여 디자인에 맞는 힐을 제작해 착용 가능한 여성용 구두를 제작하였다. 그것은 형태상 아름답고 독창적이지만, 일상용보다는 행사나 화려한 파티용으로 적합하다. 이종석 외(2015-a)⁴⁾의 연구는 FDM 프린터를 이용하여 패션 액세서리와 의상을 제작하였는데, 직물 형태를 직조해 원단 형태를 만들었다는데 그 의의가 크다. 이는 의상에서의 활용 가능성을 높이고 있지만, 소재의 제한으로 여전히 의상 전체로의 사용에는 착용감에 무리가 있고, 고리를 연결하기 위해 제작 시간이 많이 소요된다는 문제가 있다. 이종석 외(2015-b)⁵⁾의 연구 또한 위의 연구를 더욱 발전시켜 원피스를 제안하였다. FDM 프린터를 통해 니트와 같은 조직을 프린트해 움직임과 신축성의 문제를 해결하였지만, 일상복으로는 여전히 무리가 있다. 위의 선행연구는 3D 프린팅을 활용할 수 있는 가능성을 제시하는 데 큰 의미가 있으나, 제작 방법, 착용감, 디자인 등에 제한이 있어 일상용보다는 개발의 방향과 가능성 제시에 의의가 더 크다. 또한 모자는 3D 프린터 크기, 시간, 소재의 측면에서 활용의 가능성이 높음에도 이와 관련된 국내 연구는 아직 없다. 이에 본 연구는 실용화 가능성이 큰 모자 영역에서 3D 프린팅을 활용해 디자인 제한을 해서 일상에 착용 가능한 모자 디자인을 제안함으로써 3D 패션의 확대와 대중화에 기여하고자 한다. 미적인 조형성 외에도 프린팅 시간 절약과 공극 대비 견고성으로 3D 프린팅에서 다양하게 활용되고 있는 보로노이 다이어그램을 디자인 모티브로 한다. 특히 프린팅 제작 시간과 편안한 착용감, 기존 모자와의 이질감을 줄이기 위해 일상적인 모자 형태와 소재에 3D 프린팅을 적용하여 2016년 가을/겨울용 모자를 제작하였다.

연구 방법은 문헌연구, 사례연구, 3D 프린팅을 활용한 모자 디자인 개발로 나뉜다. 문헌연구로 디자인 개발을 위한 패턴, 디자인의 기초를 다지

고, 이를 토대로 다양한 샘플 실험을 통해 3D 프린팅 디자인을 개발하였다. 본 연구의 이론적 배경으로 모자 디자인, 3D 프린팅, 보로노이 다이어그램의 정의와 특성을 연구하고, 3D 프린팅을 활용한 모자 디자인과 보로노이 패턴을 활용한 3D 프린팅 제품 사례를 통해 특성을 도출해 패턴 개발과 디자인의 기초로 사용하였다. 사례 연구는 포털 검색 사이트인 구글(www.google.co.uk)과 시각 자료 검색 전문 사이트로 시각을 기초한 전문가의 이용도가 높은 핀터레스트(uk.pinterest.com)에서 보로노이 디자인(voronoi design)과 3D 프린팅(3D printing design), 모자(millinery, hat)을 영문 키워드로 검색하여 이 중 대표적인 사례를 연구하였다. 이를 기초로 디자인 개발, 모자 형태 제작(blocking), 3D 컴퓨터 CAD 모델링, 디자인 실험, 최종 3D 프린팅을 하여 3점의 모자를 개발하고, 개발된 모자를 기초로 결과를 도출하였다. 3D 모델링 프로그램은 본 연구의 대중화의 목적에 부합되기 위해 무료 프로그램으로 접근이 용이한 123D Design

을 사용하였다. 3D 프린터는 가장 일반적으로 사용되고 있는 플라스틱 타입의 FDM(Fused Deposition Modelling) 프린터¹¹⁾를 사용하여, 대중화에 이바지 하고자 하였다. 본 연구에 사용된 프린터 기종은 Anatz사의 Anatz Engine 중형 사이즈이다.

II. 이론적 배경

1. 모자 디자인

모자는 머리를 보호하고, 착용자의 인상을 변화시켜주는 역할을 한다. 모자는 전체 패션산업에서 큰 부분을 차지하고 있지는 않지만, 개성 표현의 중요한 요소로 시장이 점점 확대되고 있다.¹²⁾ 모자는 크라운(crown, 머리산)과 브림(brim, 챙)으로 구성되며, 크라운과 브림의 구성에 따라, 햇, 캡, 브림리스로 나뉜다<표 1>. 햇은 크라운과 브림으로 구성되었으며, 페도라, 보터햇, 카폴린 등이 있다.

<표 1> 대표적인 햇, 캡, 브림리스

종류	햇	캡		브림리스	
	페도라	야구캡	헌팅캡	베레	비니
정의	챙이 넓지 않고 말려져 있고 모자산 부분이 패인 부드러운 펠트 모자 ⁶⁾	야구선수의 모자에서 유래되어 모자 뒷부분의 스트랩을 조절할 수 있는 면으로 만든 모자 ⁷⁾	유럽에서 사냥할 때 쓰던 모자에서 유래된 납작하고 평평한 모양의 모자 ⁸⁾	펠트나 천으로 만들어진 둥글고 평평한 챙이 없는 모자 ⁹⁾	머리에 뒤집어쓰는 끝이 막힌 작은 모자 ¹⁰⁾
이미지	 (출처: http://www.lovehats.com/p/cara-meehan-london-merkur-fedora)	 (출처: http://www.hatsandcaps.co.uk/mitchell-and-ness-snapback-cap-chicago-bulls-arc-h-p360029)	 (출처: http://www.lovehats.com/p/marie-mercie-casquette-daffy-print)	 (출처: http://www.lovehats.com/p/juliette-boterill-millinery-twist-detail-mini)	 (출처: http://www.lovehats.com/p/keely-hunter-millinery-grey-semi-circle-beanie)
이름	Cara Meehan London fur felt fedora with chain	Mitchell & Ness snapback cap Chicago Bulls	Marie mercié cap	Juliette Botterill Millinery felt minibutton beret	Keely Hunter Millinery grey beanie

캡은 크라운과 브림의 일부로 구성되며, 스포츠캡, 헌팅캡, 스포츠캡 등이 있다. 브림리스는 브림이 없이 크라운으로만 구성되며, 베레, 터번, 비니 등이 있다.¹³⁾

천순임(2013)¹⁴⁾의 한국 여성의 모자 디자인 선호도 조사에 따르면, 여성스러운 햇과 베레, 비니의 선호도가 높았다. 연령에 의한 차이에서 20, 30대는 이와 달리 ‘야구캡’에 대한 선호도가 높다고 하였다. 여기에 젊은이들 사이에 페도라, 헌팅캡과 같은 고전적인 모자를 현대적으로 해석해 양복이나 정장에 착용하던 모자를 캐주얼에 코디하는 것이 인기를 얻고 있다는 점을 지적하였다.

2. 3D 프린팅

3D 프린팅은 적층 제조(addictive manufacturing) 방식으로, 컴퓨터 디자인 파일(컴퓨터 지원 설계 데이터, computer-aided design, CAD)을 재료로 사용하여 한 겹 한 겹 순서대로 쌓아올려 사물을 만드는 방식이다. 3D 프린터는 보석류, 완구류, 패션 및 엔터테인먼트 산업과 자동차, 항공/우주, 방위 산업, 의료기 등 산업 분야 제품 개발에 활용되고 있다.¹⁵⁾ 사용 재료는 주로 플라스틱, 폴리머, 파우더, 금속 분말 등을 사용하여 부드럽고 유연한 소

재에는 아직 제한이 있고, 프린터의 크기 상 큰 물체를 프린트하기에 특수한 프린터가 필요해 패션 디자인에는 장신구, 구두, 모자의 소품 개발에 활발히 사용되고 있다. 3D 프린팅은 프린팅 방식에 따라 SLA, FDM, SLS, DLP, MJM, PBP, Polyjet, LOM, AOM 등이 있다. 이 중 SLA, FDM, SLS 방식이 가장 많이 사용되고 있다.

위의 프린터 방식 중 FDM 프린트는 스트라타시스와 3M 시스템즈가 가지고 있는 특허권이 2009년 만료되어 가격대가 현저히 낮아져 현재 가정용으로 제일 활발하게 쓰인다. 필라멘트를 열을 통해 녹인 후 노즐을 통해 나오는 재료를 적층하여 프린트 되는 FDM 프린터 방식의 대표적인 필라멘트는 PLA, ABS이다. PLA는 옥수수 전분에서 추출한 친환경 수지인 폴리락트산(PLA: Polylactic Acid)으로 실내 출력 시에 유해한 요소가 거의 없다. 또한 생체 적합성을 띄고, 미생물에 의해 환경 친화적으로 분해되어 재활용이 가능한 친환경 소재이다.¹⁶⁾ ABS 소재(Acrylonitrile Butadiene Styrene)는 색 선명도가 좋고, 강도가 우수하지만 열에 의한 수축 발생이 PLA보다 커서 정확도가 떨어진 다. PLA 소재는 ABS 대비 약 80%의 강도를 지녔어도, 그 장점으로 인해 사용도가 높다. 모자는 산업용 소재로 많이 사용되는 ABS와 같은 강한 강

<표 2> SLA, FDM, SLS 프린팅 방식의 특징

	SLA 방식 (Stereo Lithography Apparatus)	FDM 방식 (Fused Filament Fabrication)	SLS 방식 (Selective Laser Sintering)
조형방법	광경화 수지조형	융합수지 압출 적층 조형	선택적 레이저 소결 조형
원료	액체 플라스틱	ABS, PLA 수지	금속, 플라스틱의 분말 파우더
장점	최초의 상업용 3D 프린터 정밀도 높음 성형 속도 빠름 매끄러운 표면 다양한 재료	가장 많이 쓰임 저렴한 프린터 장비 비용절감 출력물 내구성 우수 원료 수급 용이	금속 출력 가능 원가 절감 효과 내열성 우수 소재 다양 속도가 가장 빠름
단점	고비용, 유지비 출력물 크기 제한 서포터 제거 불편 충격에 FDM보다 약함	출력물 표면이 거침 원료 선택 제한 서포터 제거 불편 다른 방식보다 프린팅 시간 오래 소요	고가 장비 유지비 전문 지식 요구

(출처: 「3D 프린팅 기술을 활용한 가구디자인 사례 분석 연구」, 2015, pp.177-186)

도가 굳이 필요하지 않아, 모자 소재로 사용하는데 무리가 없어 PLA 필라멘트 사용도 무관하다. 출력물은 적층이 나타나는 것을 제외하고는 일반적인 플라스틱 느낌이다.

3. 보로노이 다이어그램

보로노이 다이어그램은 최단 거리를 연결하는 다각형의 수학적 개념으로 이를 공식적으로 정리한 19세기 중반 러시아의 수학자 조지 보로노이(Georgy F. Voronoi)의 이름을 따 보로노이 도형이라 부른다. 평면 위에 여러 개의 점을 찍고, 가장 인접한 두 개의 점에 수직이등분선을 그리면 평면은 여러 개의 다각형으로 분할되고, 이때 생기는 다각형을 보로노이 다각형이라고 한다. 보로노이 다이어그램은 특정 점을 기준으로 가장 가까운 점들을 모은 집합이 되기 때문에, 최단경로를 찾는 데에 쓰이며, 가장 가깝고 편리한 곳에 있어야 하는 공공기관의 관할구역을 나누는 데 유용하게 쓰인다.¹⁷⁾¹⁸⁾

보로노이 다이어그램은 세포 조직이나, 벌집,

비누 거품과 같은 자연의 유기적인 구조를 닮아 그 자체로 아름답고 균형미를 가지고 있어 예술적 가치가 높다. 따라서 예술, 디자인 분야에서 디자인의 요소로 자주 활용된다. 보로노이 다이어그램이 활용된 디자인의 영역은 가구, 인테리어, 건축, 제품, 운송, 패션 등 그 영역이 다양하다. 기능적 측면도 뛰어난데, <그림 1>과 같이 보로노이 패턴이 없는 부분의 최단 거리를 연결한 뼈대 역할을 해 견고한 지지대 역할을 한다. <그림 2>은 나누어진 공간을 최대한 활용해 책을 수납할 수 있도록 하며, <그림 3>의 난간은 안전을 위한 역할과 동시에, 뼈대만 사용해 전체가 채워진 난간에 비해 하중을 줄일 수 있다. <그림 4>는 보로노이 다이어그램을 이용해 건물과 산책로를 구획해 주변 풍광과 빌딩에 강한 유대감을 주었다. <그림 5>의 요트 디자인에 사용된 패턴은 <그림 3>의 난간과 같은 안전벽의 역할과 요트 상단부의 보로노이 패턴 지붕에는 선풍장을 마련해 바닥이면서 지붕의 역할과 동시에 공극으로 하중을 줄인다. 특히 <그림 6>에서 볼 수 있듯이, 건축, 인테리어, 운송 디자인과 같은 크기가 큰 디자인은 햇빛이나 조명



<그림 1> Voronoi Chair

(출처: http://www.franken-architekten.de/newsletter/1101/fa_newsletter_1101_english.html)



<그림 2> Voronoi Bookshelf

(출처: <http://www.hometone.org/6904/2012/12/21/design-your-own-generative-voronoi-bookshelf-with-a-web-app/>)



<그림 3> Voronoi Stair Railing

(출처: <http://www.ofdesign.net/interior-design/unique-design-of-steel-banisters-cells-of-eestairs-760>)



<그림 4> Alibaba 본사

(출처: <http://www.hassellstudio.com/en/cms-projects/detail/alibaba-headquarters>)



<그림 5> Yacht Design by Hyun-Seok Kim

(출처: <http://www.yankodesign.com/2011/04/15/yacht-for-entertaining>)



<그림 6> Yacht 인테리어

(출처: <http://www.yankodesign.com/2011/04/15/yacht-for-entertaining>)

으로 자연스럽게 보로노이 패턴의 그림자가 만들어져, 부수적인 디자인 효과를 탄생하게 된다. 이와 같이 보로노이 다이어그램은 미적 가치뿐만 아니라 실용성(견고성, 경제성, 공간 활용)과 자연과 어울림 또한 제 2의 디자인 효과를 가지고 있다.

III. 3D 프린팅과 모자 디자인, 보로노이 디자인

1. 3D 프린팅과 모자 디자인

모자는 형태를 잘 유지해야 하고 인체의 움직임에 제한을 덜 받기 때문에 단단한 소재가 추가되고 있는 현재의 3D 프린팅 개발 상황에서 발전 가능성이 크다. 3D 프린팅을 활용하는 대표적인 모자 디자이너는 가브리엘라 리겐자(Gabriela Ligenza), 엘비스 폼필로(Elvis Pompilio), 에미 야스마(Emmy Jaarsma), 마크 블룸필드(Mark Bloomfield), 죠슈아 하커(Joshua Harker) 등이 있다. 기존의 입체적인 모자 제작 방법은 형태를 만들기 위해 뼈대(frame)을 만들어 씌우거나, 와이어를 사용하여 입체적 형태를 만들거나, 금형을 사용하여 틀에 주물을 만드는 형식이다. 그러나 3D 프린팅은 <그림 7>, <그림 8>, <그림 9>, <그림 10>와 같이 3D 프린트

를 통해 입체적인 구조를 한 번에 프린트 해 과정을 단순화할 수 있었다. 특히, 주로 사용되는 플라스틱 프린트는 와이어나 다른 뼈대에 비해 월등히 가볍다. 위의 사례는 모자 영역에서 3D 프린팅의 활용 가능성을 보여주고 예술적으로 높은 가치가 있지만 일상생활에 착용하기에는 부담스럽다. <그림 11>은 한국 3D 프린팅 모자 브랜드인 212 플라잉 쿠투르(212 Flying Couture)의 제품으로 스냅백에 3D 프린팅을 접목한 모자이다. 고객이 고른 디자인을 3D 프린팅 하여 모자에 장식적으로 사용하였다. 배지와 같은 장식을 만들기 위해 기존의 금형을 뜨는 방식을 단순화 시켰고, 디자인에 따라 CAD 파일을 변형해 프린트하기만 해서 고객의 취향을 반영하고, 쉽고 경제적이다. 또한 장식만 프린트하기 때문에 프린트 시간이 오래 걸리지 않아 대중화의 가능성이 크다. 그러나 이는 배지의 사용과 같이 장식적으로만 사용되고 있어, 3D 프린팅이 모자 본체 구성을 담당하고 있지는 않은 실정이다.

위의 사례 연구와 이론 연구를 통해 3D 프린팅 모자의 특징을 살펴보면 첫째, 3D 프린팅은 금형을 제작하여 성형하는 과정을 프린트로 한 번에 해결해 모자 제작 과정을 단순화시킬 수 있다. 둘째, 모자 제품은 현재 3D 프린트로 출력이 활발한 소재인 플라스틱, 금속과 같은 단단한 재질에 적



<그림 7> Mark Bloomfield의 Daisy Hat, 2012
(출처: <https://i.materialise.com/blog/mark-bloomfields-3d-printed-daisy-hat-hits-runways-around-the-globe>)



<그림 8> Gabriela Ligenza의 2014 AW 3D 모자 컬렉션
(출처: <http://www.dezeen.com/2014/06/20/gabriela-ligenza-launches-3d-printed-hats-for-ascot>)



<그림 9> Elvis Pomilio의 H.MGX 페도라 모자
(출처: <https://i.materialise.com/boutiques/elvis-pompilio/spirograph-mgx-white>)



<그림 10> Sunflower Hat
(출처: <https://i.materialise.com/shop/item/sunflower-hat?category=fashion&subcategory=&sortBy=interesting&pageNumber=3&pageSize=18&index=48>)



<그림 11> 212 Flying Couture의 스냅백
(출처: 『3D Print』, 2015, p.31)

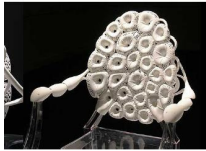


합하다. 셋째, 프린터 크기, 소재의 제약을 덜 받기 때문에 3D 프린터에서 가장 활발히 활용되는 SLA, FDM, SLS 프린팅 방식 모두 가능하다. 넷째, 장신구와 같이 작고 정교하게 프린트 될 필요가 없기 때문에 대중적이고 가정용으로 합리적인 가격의 FDM 프린터 방식에 적합하다. 마지막으로, 모자 시장의 인기와 개성화를 추구하는 고객의 요구와 3D 프린팅의 최신 기술이 결합하여, 개인 주문 제작 된 모자 영역이 성장할 것이다. 그러나 딱딱한 재질 사용은 모자를 장시간 착용하기에 불편할 수 있고, 일반 FDM 프린터는 크기 상 한 번에 프린트하기 어렵다. 본 연구에서 사용한 FDM 프린터는 최대 출력사이즈가 가로 25cm, 세로 25cm, 높이 15cm로 모자 하나를 만들기 위해서는 두 번에 나누어서 프린트해야하기 때문에, 3D 프린팅은 모자 전체를 만드는 것보다 부분 사용에 적합하다. 이는 또한 출력속도가 느린 FDM 프린터의 프린팅 시간도 절약할 수 있다.







2. 3D 프린팅과 보로노이 다이어그램

보로노이 다이어그램은 CAD 소프트웨어 라이노(Rhino) 프로그램의 그래스호퍼(Grasshoper) 기능 또는 3D Max에서 테셀레이션(Tessellation, 모자이크) 기능을 사용해 쉽게 제작이 가능하다. 3D 프린팅에서 보로노이 패턴은 미적인 아름다움과 금액과 시간 절약의 경제성, 가벼운 중량, 상대적인 견고함으로, 특히 프린트 사이즈가 작은 소품에 활용도가 높다. 특히 기존의 대량생산 방식은 절삭 가공 방식으로 입체적인 공극을 가진 사물을 만들기에는 한계가 있지만, 3D 프린팅의 적층 제조 방식은 만들 수 있는 디자인의 제한이 없기 때문에, 공극을 가진 보로노이의 활용이 높다. <표 3>은 보로노이 패턴을 이용한 3D 프린트 제품과 특징을 살펴본 것이다.

위의 사례 연구를 통해 살펴본 보로노이 패턴을 이용한 3D 프린트 제품은 크기가 작은 디자인에

<표 3> 보로노이 패턴을 이용한 3D 프린트 제품과 특징

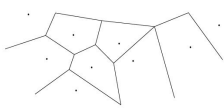
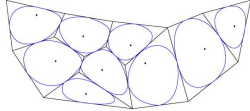
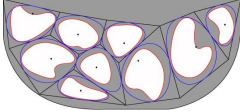

분야	이름	특징	이미지
가구	Holy Ghost Chair, Lionel T.Dean, 2008	필립스탁이 디자인한 Louis Ghost Chair (Kartell, 2002)에 3D 프린팅으로 다시 디자인한 명품과 테크놀로지의 결합 작품. SLS 방식 프린트, 부드러운 곡선이 등받이에 있어 편안함 추구	 (출처: 「디지털 테크놀로지를 이용한 가구디자인 연구: 표현양상의 분석을 중심으로」, 2014, p.179)
의료	3D printing Cast, 2013	깁스에 보로노이 패턴을 결합해 가볍고 외부로부터 뼈와 근육을 보호. 견고하고 딱딱한 뼈대를 통해 움직임으로부터 뼈를 보호. 손, 다리를 대신하는 3D 프린팅 의수, 의족도 있음	 (출처: #1)
제품	Voronoi Lamp, 2015	패턴을 통해 은은한 조명이 보로노이 패턴을 통해 비치고, 안전성도 도모	 (출처: http://www.shapeways.com/product/7W7BEZGJ2/voronoi-lamp?li=shop-results&optionId=55892636)

분야	이름	특징	이미지
	3D Voronoi Yoda by Dizingof, 2015	사이트를 통해 무료로 다운로드해서, 사용자가 직접 프린트할 수 있는 제품. 페턴의 구멍 사이로 펜을 꽂을 수 있도록 함. 공극 자체를 기능적으로 사용	 <p>(출처: http://www.3dizingof.com/3D-Printing/shop/for-home-3d-printers/3d-voronoi-yoda-by-dizingof/)</p>
	iphone 5 Case, 2015	페턴의 공극으로 인해 가볍고 동시에 페턴의 두께로 핸드폰이 외부나 충격으로부터 보호	 <p>(출처: https://i.materialise.com/shop/item/957df8c2-18ce-403e-aed5-ae9a5863df57)</p>
패션	Kinematics Dress, 2015	SLS 프린터로 구성요소를 접어서 프린트해서 퍼기 때문에 한 번에 프린트 되며, 페턴 사이가 움직여 다양한 체형에 맞춤	 <p>(출처: http://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/kinematics-dress-6/)</p>
	Verlan Dress by Francis Bitonti, 2015	3D 프린터 회사인 Makerbot과 협업하여 인체의 근육, 뼈대, 혈관과 같은 디자인 선보임. FDM 프린터 출력물을 이어서 딱딱한 재질로 입체감과 형태를 동시에 줌	 <p>(출처: http://www.thingiverse.com/thing:146293/#files)</p>
	Pentadesk Watch by Designer Arnaud Biju-Duval, 2015	보로노이 페턴이 입체감과 팔찌와 같은 패션감을 선보임. 3D 스캔하면 개개인에 맞는 맞춤 제작 가능	 <p>(출처: http://news.pentadesk.com/post/108077351667/the-voronoi-structure-allows-this-watch-organic)</p>
	Melonia Shoe, 2013	패션디자이너 Naim Josefi와 제품디자이너 Souzan Yusouf가 함께 만든 슈즈로 페턴의 견고성이 구멍이 있어도 인체의 중량을 지지해 줌	 <p>(출처: https://i.materialise.com/blog/check-out-our-3d-printed-fashion-items-at-the-fashion-space-gallery-in-london/)</p>

<표 4> 3D 프린팅 모자와 보로노이 디자인의 특성

3D 프린팅 모자	장점	과정이 단순화 됨 (금형 필요 없음), 입체 표현용이 (형태를 잡아줌), 가벼움, 다양한 방식의 프린터에 적합 (특히 FDM 방식에 적합), 개인화 추세에 맞춤용이 → 3D 프린팅 활용 가능성 보여줌	
	단점	딱딱한 재질은 착용감에 영향을 줄 수 있음 전체로 한 번에 프린트하기에 프린팅 크기 제한됨 → 모자 전체보다는 부분 사용에 적합하여 프린팅 시간 절약	
보로노이 디자인	특징	미적인 아름다움	실용성 (견고성, 경제성, 공간 활용)과 자연과 조화, 그림자에 의한 제 2의 디자인 효과
3D 프린팅 보로노이 디자인			작은 사이즈 제품에 용이, 시간, 소재 절약의 경제성, 가벼움, 보호성, 견고성, 공극의 활용, 프린팅으로 입체가 쉽게 구현, 맞춤화 생산에 용이
3D 프린팅 패션			인체 실루엣에 맞추기 위해 3D 스캐너 사용 형태 구성을 위해 보로노이 사용 (구두 제외), 견고성, 보호는 상대적으로 덜 중요, 프린터 크기 및 소재 제한으로 방향 제시 목적이 큼

<표 5> 보로노이 패턴의 변형

			
보로노이 다이어그램	보로노이 패턴의 곡선화	두께를 주기 위해 보로노이 패턴 변형	패턴을 더욱 과장하여 3D 모델링

적합하고, 시간, 소재 절약의 경제성, 가벼움, 보호성, 견고성, 미적인 아름다움, 공극의 활용, 3D 프린팅으로 입체가 쉽게 구현 되는 특징을 들 수 있겠다. 의상은 다른 물체를 지지할 만큼 견고할 필요가 없고, 보호의 기능보다 미적 용도로의 사용이 크다. 그러나 의상은 착용감 측면에 제한이 있어, 아직은 방향 제시 목적이 강하다. 프린터 크기의 제한으로 크기를 접거나 분할하여 출력해 연결해야 한다. 키네마틱 드레스(Kinematic Dress)는 접기 위해 보로노이 다각형을 사용하고, 베르랑 드레스(Verlan Dress)는 분할 출력된 것을 접착제로 연결하였다. 형태 유지를 위해 보로노이 다이어그램을 사용하였다. 또한 키네마틱 드레스처럼 3D 스캔을 통해 CAD를 활용해 사용자에게 맞춤화 된 제품 생산이 가능하다. 김스나 의수, 의족, 의상, 액세서리와 같이 인체에 맞추어야 하는 경우, 3D

스캐너를 통해 정확도를 높일 수 있다. <표 4>는 보로노이 패턴을 3D 프린팅 모자 디자인에 활용하기 위해 3D 프린팅 모자와 보로노이 디자인의 특성을 정리한 것이다.

위의 특징을 기초로 친환경 플라스틱 소재인 PLA 소재를 사용하여 보로노이 3D 프린팅 샘플 실험을 하였다. 실험을 통해 2차원 보로노이 패턴이 3차원 입체로 프린트 될 때, 프린트 되는 면의 면적이 작으면 프린팅이 쌓이지 못하고 망치는 경우가 다수 발생함을 알 수 있었다. 이에 따라 견고성을 보강해 쌓이는 면적을 넓히기 위해 보로노이 패턴을 과장하는 변형을 주어, <표 5>와 같이 프린트 면적이 더 크도록 모델링 하였다.

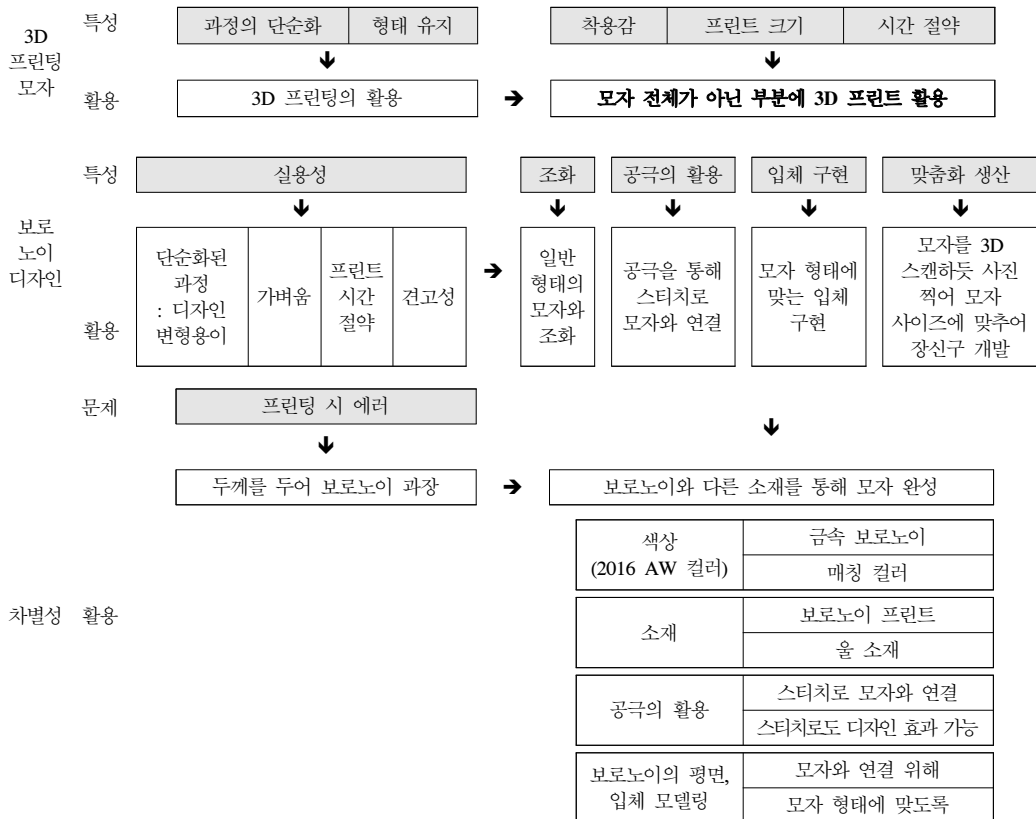
IV. 모자 제작

1. 작품 제작 의도

모자 아이템은 II장의 이론적 배경에서 살펴본 바와 같이 여성에게 인기가 있는 아이템 중 비니와 젊은 층에 인기가 있는 스포츠 캡 중 힙합 문화의 영향으로 인기가 높은 스냅백과 점점 수요가 높아지고 있는 페도라를 기획하였다. 작품은 2016년 가을/겨울을 목표로 소재, 색상을 결정하였다. 겨울용 모자의 소재는 일반적으로 울, 모피, 울 혼방, 가죽 등으로 소재가 다양하지 않다. 이 중 가장 대중적이며 보온의 효과를 가진 울 소재를 기

본 소재로 선택하였다. 보로노이 패턴은 인공물이지만 자연을 닮은 패턴과 본 연구에서 패턴 과장으로 일반 보로노이의 선적인 느낌보다는 노출 부분이 더 많기 때문에 색채의 선정이 더욱 중요하다. 단색의 채색은 채색된 면과 공극의 차이가 더욱 강조되어, 면이 더욱 강조되며 구멍을 더 작아 보이게 한다. 이는 패턴을 더욱 인공적으로 보이도록 해, 다른 소재와 조화를 어렵게 한다. 따라서 인공물과 자연물과의 경계로 단색보다는 인공물이지만 시간에 변화에 따라 자연스럽게 변화되는 금속의 시간 경과에 따른 부식을 표현하여 자연스러운 인공물을 표현하였다. 색상은 2016년 가을/겨울 시즌을 대상으로 하는 만큼 국내 최대 패션 전문

<표 6> 3D 프린팅 모자와 보로노이 디자인의 특성의 디자인 적용



기관인 삼성디자인넷(www.samsungdesign.net)에서 분석한 2016년 AW 트렌드 컬러를 기초로, 금속의 색상은 빛이 바랜 앤틱 골드 색상을 선정하였다. 기본 모자의 색상은 주요 색채 중 자연적 경향(natural tendency)에서 자연에서 발견한 새로운 그린 중 고급스럽고 편안함을 주는 플라타너스(sycamore) 색상과 상류 사회(upper street)의 주제에서 찾을 수 있는 안정감 있는 아스팔트(asphalt) 색과 복고적인 느낌이 가미된 황갈색 포도주(tawny port) 색상을 사용해 도시와 자연, 과거와 현대를 뛰어넘는 부식된 금속 프린트 물과의 조화를 추구하였다.¹⁹⁾ 또한 금속의 효과를 플라스틱의 가벼운 중량으로 구현해, 착용에 부담을 줄인다. 디자인 의도는 <표 4>의 도출한 특징을 기초로 보로노이의 미적인 아름다움 외에도 실용성, 주변과의 조화미를 살려, <표 6>과 같이 본 연구의 디자인 기획을 하였다.

2. 작품 제작 방법

1) 3D 프린팅 모델링

3D 프린팅을 활용한 작품 제작 방법은 리서치, 아이디어 스케치, 기본 모자 제작의 일반적인 모자 제작 과정에 3D 프로그램 모델링, 3D 프린팅 후처리, 3D 프린트와 모자 연결 과정과 이후 모자 마무리 과정을 거친다. <표 7>과 같이 일반적인 모자 제작 과정으로 먼저 나무틀(block)에 맞추어 모자의 형태를 만든다(blocking). 둘째로, 모자 블락의 사이즈를 측정하고, 사진을 찍어 123D Design 프로그램을 사용하여 실제 만들어질 모자 사이

즈와 형태에 맞추어 컴퓨터 모델링을 한다. 셋째로, 모델링한 원본 모자에 디자인 의도에 맞추어 형태를 만들고 보로노이 패턴을 그려 공극을 만들어 준다. 마지막으로, 적층 프린팅을 위해 프린팅 프로그램으로 파일을 변경해 3D 프린터로 프린트 한다.

2) 3D 프린팅 후처리

3D 프린트가 상품으로서 가치를 가지기 위해, 적층한 면을 매끈하게 갈아주고 간격을 메워주는 사포와 퍼티 등의 후처리는 필수이다. 이를 위해 컬러링이 많이 사용되는데, 프린팅은 착색이 용이한 미색의 필라멘트로 출력한 후, 컬러링을 하였다. 후처리 과정은 원하는 결과물에 따라 과정의 차이가 있지만 본 연구에서는 <표 8>과 같은 후가공 과정을 거쳤다.

3. 작품 및 해설

모자 제작, 후가공을 거쳐 비니 1점, 스냅백 1점, 페도라 1점의 총 3점의 모자를 개발하였다. <작품 1>의 니트 비니의 경우 일반 머리에 뒤집어 쓰는 비니 형태에 모자챙의 형태는 가지고 있지만, 장식의 기능으로 디자인 하였다. 보로노이 프린트 물이 얼굴의 측면에 맞도록 머리모양에 맞추어 모델링하였다. 보로노이의 공극과 비니를 같은 니트 실로 지그재그로 연결해 연결성을 높이며 디자인의 효과도 높인다. <작품 2>의 스냅백은 정수리 부분은 울 모자로, 모자 챙 부분은 3D 프린팅으로 하여, 프린팅을 모자 구성의 일부만으로 디자인하였다.

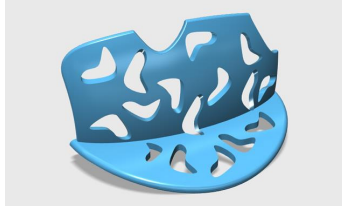

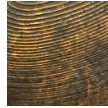
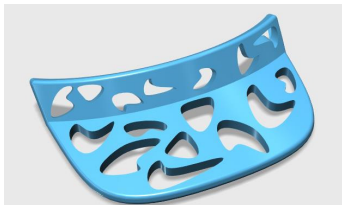





<표 7> 3D 모델링 과정

				
모자 블로킹	3D 프로그램 모델링		3D 프린팅	

<표 8> 3D 프린팅 후처리 과정과 완성 모자 이미지

				
프린팅	사포로 표면을 매끄럽게 한 후 붉은색 퍼티로 틈새를 메움	검정 락카 스프레이로 틈새를 한 번 더 메우는 동시에 컬러링을 함	붓으로 금속 색상의 글라이딩 왁스로 자연스럽게 도색해 금속 표현	니트와 연결한 완성 사진
	후처리 과정			

<표 9> 완성 모자 이미지

작품	아이템 / 3D 모델링 / 조형적 특징	소재 / 색상	
작품 1	<p>핸드 니트 비니</p>  <p>비니 장식으로 챙이 달림</p>	 Pantone colour: 19-0201 TPX Asphalt	 Pebeo사 Gliding Wax Antique Gold
		Wool Hand Knit (wool 100%)	PLA Filament, Ivory
작품 2	<p>스넵백</p>  <p>연결을 위해 챙과 모자 연결부분까지 함께 프린팅</p>	 Pantone colour: 19-1725 TPX Tawny Port	 Pebeo사 Gliding Wax Eموire Gold
		Wool felt (wool 100%)	PLA Filament, Ivory
작품 3	<p>페도라</p>  <p>모자산에만 장식이 있어, 챙이 움직임에 자유로움</p>	 Pantone colour: 19-5917 TPX Sycamore	 Pebeo사 Gliding Wax Eموire Gold
		Wool cashmere (wool 80%, cashmere 20%)	PLA Filament, Ivory

보로노이 패턴으로 챙을 구성하고 모자산과의 연결을 위해 모자산의 일부분까지 함께 모델링 하였다. 챙 부분을 얇힌 상태로 프린팅 해, 적층구조가 더욱 강조되었다. 후처리 과정에도 이를 살려, 결이 없어지지 않도록 하였고, 채색에도 결을 살려 오래된 느낌이 더하도록 하였다. <작품 3>의 율페도라는 기본 페도라 위에 보로노이 패턴 프린팅을 모자 장식의 하나로 디자인하였다. 모자의 형태에 맞추어 보로노이를 장식적으로 사용하기 때문에 견고함이 덜 필요하여 공극을 더 크게 디자인하였다. 모자 형태를 따라 모델링을 해 장식이 착용감에 전혀 영향을 주지 않는다. 장식은 모자 산에만 사용해, 챙은 자유롭게 움직임에 따라 편하게 움직이도록 하였다. 완성된 이미지는 <표 9>와 같다.

V. 결 론

3D 프린팅은 새로운 제조 패러다임을 예견하며 개발이 한창이지만, 현재는 크기, 속도, 소재의 문제로 패션에서는 패션 소품(모자, 가방, 신발, 장신구)이 실용화 가능성 단계에 있는 실정이다. 본 연구는 3D 프린팅을 활용한 모자 제품 제안을 통해 3D 프린팅의 이용 가능성과 대중화 가능성을 보여주고자 하였다. 디자인의 요소로는 수학적 개념에서 시작되었으나 미적인 아름다움, 실용성, 주변 환경과의 조화로 디자인, 예술 영역에서 활발히 활용되고 특히 프린트 시간 절약, 견고성으로 3D 프린팅에서 활용도가 높은 보로노이 다이어그램을 이용하여 모자 3점을 제작하였다.

3D 프린트로 제작된 모자는 첫째, 모자 제작 과정을 단순화 시키고, 둘째, 모자의 입체 구성에 용이하고, 셋째, 플라스틱류의 필라멘트의 사용으로 중량이 가볍고, 넷째, 현재 3D 프린터로 활발히 사용되고 있는 SLS, SLA, FDM 방식 모두에 적합하

고, 특히 크기, 소재, 정밀도의 측면에서 가장 대중적인 방식인 FDM 방식에 적합하여, 3D 프린트가 모자 영역에 상용화될 가능성이 높다. 마지막으로 개인화 추세에 따라 맞춤형제작이 용이하기 때문에 모자 영역에서 3D 프린터의 발전 가능성은 더욱 크다. 그러나 단단한 재질의 사용은 착용감에 영향을 주고, 출력할 수 있는 프린팅 크기의 제한으로 모자 전체를 3D 프린팅으로 제작하기보다는 부분으로 사용하는 것을 제안한다. CAD 프로그램을 활용하여 쉽게 보로노이 패턴을 제작해 3D 프린팅으로 나오는 제품은, 첫째, 현재 프린터 개발 상황 상, 작은 사이즈 제품 프린팅이 용이하고, 둘째, 공극으로 인해 프린팅 시간, 소재를 절약할 수 있고, 셋째, 가볍고, 이에 비해 견고하며, 넷째, 공극을 통해 다른 물체와 연결해 줄 수 있는 가능성이 있고, 다섯째, 프린팅으로 입체가 쉽게 구현되고, 여섯째, CAD 프로그램으로 쉽게 파일을 변형해 맞춤형 생산에 용이한 특징을 가지고 있다. 이를 통해 실용성, 조화, 공극 활용, 입체구현, 맞춤화를 목표로 2016년 가을/겨울용 모자를 제작하였다. 프린팅의 단단한 재질을 일상에 더욱 편안하게 사용하기 위해 겨울용 모자 소재로 활발히 활용되는 울 소재를 함께 적용하여 디자인을 전개하였다. FDM 프린팅의 적층의 실수를 줄이기 위해 두께를 주어 패턴 변형을 하였다.

3D 프린팅을 활용해 보로노이 패턴을 디자인 요소로 모자 디자인을 제작한 결과는 다음과 같다. 첫째, 형태적 측면에서 모자의 곡선 형태와 곡선형 보로노이 다이어그램은 그 형태가 자연스럽게 어울린다. 둘째, 패턴의 다각형 내부구멍을 통과시켜 연결시킬 원단 소재와 바느질을 할 수 있어, 다른 개체와의 연결을 용이하게 해주었다. 여기에 바느질 하는 실의 색이나 두께를 변형해 또 다른 디자인의 요소로 사용이 가능하다. 셋째, 3D 프린팅 된 출력물은 가볍고 그러면서 견고하게 제작할 수 있어, 모자의 부분으로 하거나 장식적으로 덧붙

이기에 모두 적합하다. 넷째, 3D 프린팅의 단단한 소재에 일반 모자 소재를 접목하여, 모자에서의 입체 구성을 가능하게 하였다. 다섯째, 컴퓨터 파일의 변형만으로 디자인 변형이 용이하다. 이를 통해 하나의 디자인으로 다양한 변형 제품이 가능하다. 따라서 3D 프린팅 기법과 보로노이 패턴은 기존의 모자 원단 소재와 접목하여 형태와 가벼움, 견고함은 유지하며, 착용감, 프린팅 크기, 제작 시간의 절감으로 현재의 개발 사항에 적합해, 일상에서 충분히 활용 가능한 모자를 제작 할 수 있었다. 본 연구는 모자 디자인 영역에서 이론 연구와 실제 작품 제작을 통해 일상용 모자의 가능성을 보여주었다는 데에 의의가 있다.

본 연구는 모자의 일부를 3D 프린팅이 대체해 모자에 응용할 수 있는 가능성을 보여주었지만, 후속 연구로 스냅백의 챙만이 아닌 페도라와 파나마모자 등과 같은 다양한 종류의 모자 종류에도 모자의 일부분을 대체하며 형태감을 유지할 수 있도록 디자인 연구를 한다면 모자 분야에 3D 활용 가능성을 더욱 높일 것이다. 또한 모자의 형태를 책임지는 뼈대 부분에 3D 프린팅을 도입하여 와이어를 대체 하는 가능성과 이를 3D 스캐너와 연결하여 개인의 머리에 맞춤화 할 수 있는 모자의 가능성을 생각해 보고, 더 나아가 3D 프린팅이 디지털 파일로 실물이 구현되는 바, 인터넷을 통한 디자인 의뢰, 판매의 인터넷 쇼핑물의 가능성에 대한 후속연구가 계속된다면 3D 프린터의 활용과 대중화에 크게 기여할 것이다.

참고문헌

- 1) 김혜은 (2015). 3D 프린팅 기술의 발달로 인한 패션 산업 변화 연구, 한국패션디자인학회지, 15(4), pp.17-33.
- 2) 김은실, 배수정 (2005). 현대 패션에 나타난 모자 디자인의 경향에 관한 연구, 복식, 55(3), pp.108-121.
- 3) 이용섭, 김선아 (2015). FDM 3D 프린터 출력물을 활용한 하이힐 디자인 개발, 한국디자인포럼, 48(-), pp. 521-530.
- 4) 이종석, 황선정, 김경아 (2015-a). 3D 프린팅을 활용한 패션제품 개발 연구, 브랜드디자인학연구, 13(1), pp. 148-161.
- 5) 이종석, 이재정, 천미자, 임미지 (2015. 5-b). FDM 방식 3D 프린팅을 이용한 패션디자인 개발 연구, 2015 한국패션디자인학회 춘계학술대회 발표논문집, 성남, pp.23-26.
- 6) Oxford Dictionary(검색어: fedora), 자료검색일 2016. 2. 16. <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/fedora>
- 7) Oxford Dictionary(검색어: baseball cap), 자료검색일 2016. 2. 16. <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/baseball-cap?q=baseball+cap>
- 8) 천순임 (2013). 한국여성의 패션모자구매행동과 선호 디자인에 관한 연구, 서울벤처대학원대학교 석사학위논문, p.20.
- 9) Oxford Dictionary(검색어: beret), 자료검색일 2016. 2. 16. <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/beret>
- 10) Oxford Dictionary(검색어: beanie), 자료검색일 2016. 2. 16. <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/beanie>
- 11) 조원진, 이현주, 문명운 (2014). 3D 프린팅 기술의 개요 및 소재 연구 동향, 재료마당, 27(3), pp.4-12.
- 12) 김주희, 김유경 (2012). 모자 전문 쇼핑몰을 위한 브랜드 디자인 개발, 한국패션디자인학회지, 12(4), pp. 17-28.
- 13) 천순임. 앞의 책, pp.14-15.
- 14) 위의 책, p.13, pp.77-78.
- 15) 조원진, 이현주, 문명운. 앞의 책, pp.4-12.
- 16) 위의 책.
- 17) 김재원, 강지훈, 이의영, 강용진 (2007). 보로노이 다이어그램을 적용한 공공서비스의 관할구역 설정에 대한 연구: 서울 강남 지역의 소방서를 사례로 하여, 한국공간정보학회지, 15(3), pp.203-218.
- 18) Geraerts, R. (2010. 5). Planning Short Paths with Clearance using Explicit Corridors, 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Alaska, pp.1997-2004.
- 19) 삼성디자인넷(검색어: Women Color Trend), 자료검색일 2016. 2. 15. http://www.samsungdesign.net/Trend/sfrends/ForWomen/TrendPreview_body.asp?year1=2016&season=fw&an=26&category_seq=2&body_seq=3

A Research into the Development of Millineries for Daily Use Utilising Voronoi Diagrams

- Design based on 3D printing for manufacturing -

Kim, Hye Eun

Visiting Professor, Department of Beauty Design, Woosong University

Abstract

3D printing technology is expected to bring about the Third Industrial Revolution and a revolution in manufacturing. However, due to the size and speed of printing along with current printing materials, fashion accessories are mainly developed in the fashion industry. This research proposes an innovative millinery design in order to widen the possibility of usage, popularisation and commercialisation of 3D printing. The Voronoi diagram, a geometrical pattern based on the shortest distance between set points, is used as design inspiration to achieve practicality, aesthetics, and balance, as well as optimise the position of holes, make a 3D model and customise it. A FDM printer is used to achieve these above. Further, 3D printed millinery products using Voronoi patterns are analysed in order to assist designing. In this way, two fedora hats, one hand-knitted beanie, three snapbacks are made, with the following results: firstly, the curve of the hat and the Voronoi pattern are well connected; secondly, the holes in the pattern make other materials connect easily through stitching; thirdly, the lightweight but firmness of 3D printing are suitable for being used in both the body and the decoration of the hat; fourthly, the combination of hard material and wool is good for making a three-dimensional hat shape. Lastly, changes in the design are made easier by changing the CAD file instead of making a new mould. Voronoi pattern 3D printed hats are light but strong and comfortable, requiring shorter production times. They are suitable for commercialisation at the current development stage of 3D printing. Through theoretical research and the practice of 6 millineries, this study can contribute to the commercialisation and popularisation of 3D printing products.

Keyword : millinery, Voronoi Diagram, 3D printing, fedora, snapback