

프랙탈 기하학의 조형원리를 적용한 3D 프린팅 패션소재 연구

- 패션소재의 기본조직 응용을 중심으로 -

김 양 수 · 김 정 혜*

이화여자대학교 일반대학원 패션디자인전공 박사
이화여자대학교 패션디자인전공 교수*

요 약

3D 프린팅의 제작방식은 패션 산업이 요구하는 개인 맞춤형 소량생산과 디지털 데이터에 의한 다양한 3차원적 변형이 쉬우며, 3D 프린팅 패션소재는 의류 분야에서 소재에 대한 다양성과 창의성을 열어주고 있다. 이에 본 연구는 패션소재로서의 미적 창의성과 기능성을 동시에 만족시키기 위해 자연의 형태원리인 프랙탈 기하학의 생성원리와 직물조직에 대한 구조 원리를 결합하여 새로운 3D 프린팅 패션소재 디자인 방법을 구축하고자 하였다. 3D 프린팅과 프랙탈 기하학은 위상 기하학에서 적용이 용이하다는 공통점을 지니며 자연과 과학, 그리고 예술이 융합된 새로운 조형원리라 할 수 있다. 나아가 3D 프린팅 패션소재의 저변 확대를 위한 다양한 활용성을 제시하고, 개인 제조의 영역뿐만 아니라 생산 기술적 측면에서 새로운 디자인 방법을 창출하는데 본 연구의 목적이 있다. 프랙탈 생성원리는 조형의 시발점인 선, 기하학적 도형 등 최소화된 형태로 시작되며, 프랙탈 조형방법은 디자인의 시작점부터 적용되어 디자인 과정뿐만 아니라 생성자의 단위 형태 변환에도 적용될 수 있다. 디자인에서 프랙탈 기하학의 형태는 단위형태를 조직화하는 패턴화된 질서로 표현되는데 이를 3D 모델링을 통한 3차원 좌표설정으로 원사의 표면질감을 조형화시켰으며, 단위형태의 위상변화에도 적용하여 니팅, 링킹, 체인메일과 같은 기본조직을 활용한 3D 프린팅 패션소재를 제안할 수 있었다. 그리고 설정된 프랙탈 이미지 변환에 맞는 프로그램 연구를 통해 프랙탈 기하학의 조형원리를 3D 모델링 방법에 적용하는 디자인 방법을 구축하였고 이를 작품으로 제안하여 원사와 직물의 최종 형태를 한 번에 출력할 수 있는 3D 프린팅의 효율성을 확인하였다. 본 연구를 통하여 이러한 유연한 직물구조를 기본으로 한 3D 프린팅 제작방법이 빠르게 발전하는 3D 프린터 시장에서 더욱 조형적인 직물을 실용화 할 수 있는 핵심적인 디자인 방법으로 발전되기를 기대한다.

주제어 : 3D 프린팅, 프랙탈 기하학, 프랙탈 디자인, 패션소재, 직물조직

본 논문은 박사학위 논문의 일부임.

*교신저자: 김정혜, junghackim@ewha.ac.kr

접수일: 2018년 8월 9일, 수정논문접수일: 2018년 9월 3일, 게재확정일: 2018년 9월 7일

I. 서론

디지털 사회가 요구하는 미래사회의 제 4차 산업혁명 핵심기술인 3D 프린팅은 머지않아 제조, 생산 체계의 주역으로 자리 잡는 것은 물론, 이미 경쟁력을 확보해 가고 있는 개인 맞춤형 소량생산의 확산을 이끌어 우리 삶에 획기적인 영향을 줄 것으로 예상된다.

3D 프린팅에 의한 표면조직의 다양한 구현과 3차원의 조형 형태에 대한 새로운 프로그램의 연구가 최근 들어 더욱 활발히 이어지면서 패션소재에 대한 다양성과 창의성을 열어주고 있다. 현재 3D 프린팅은 대중화, 보급 단계에 있기 때문에 개인이 창작할 수 있는 유용성과 창의성을 동시에 지닌 소재 개발 연구가 필요한 시점이다. 이에 본 연구는 자연 속에 내재되어 있는 프랙탈 형태의 기하학적 규칙 속에서 프랙탈의 기하학적 특성과 조형원리를 분석하여 더욱 창의적인 디자인 방법을 설계하고, 나아가 기존 소재조직의 표면구조를 분석하여 심미적이면서 기능성을 가질 수 있는 패션 소재를 제시하는 데 그 목적이 있다.

디자인에 있어서 자연은 아름다움의 원천으로 조형의 요소와 원리가 모두 조합된 표현 대상으로 볼 수 있다. 자연 속에서 찾아낸 프랙탈 기하학의 구조적 질서는 디자인에 있어서 미적 근거를 탐색하는데 중요한 원리가 되며, 자연의 형태구조에서 찾아낸 패턴과 형태원리를 기본으로 한 소재 디자인은 자연이 만드는 합리적 구조에 대한 과학적 유용성과 방법적 합리성을 동시에 가질 수 있다는 데 연구의 의의가 있다.

프랙탈 조형원리를 응용하여 작품을 제작한 선행연구로는 주얼리 디자인(Kim, 2011), 가구 디자인(Kim, 2009), 디지털 프린팅을 사용한 텍스타일 디자인(Kim, 2003; Moon, 2014), 의상디자인(Lee, 2008) 등이 있으며, 프랙탈 프로그램(Kim, 1998)을 활용하기도 한다. 본 연구에서는 프랙탈 조형원리

에 의한 디자인 방법을 구축하고 이를 3D 프린팅에 적용한 패션소재의 창의적 디자인 개발과 제안에 중점을 두고 있다. 우선 선행연구를 통해 프랙탈 기하학의 생성원리와 디자인에 적용된 프랙탈 기하학의 조형특성을 분석하고, 3D 프린팅 제작방법과 디자인 현황을 살펴보았다. 이러한 이론적 배경을 바탕으로 3D 프린팅 패션소재의 조직을 분석하여 프랙탈 기하학의 조형원리를 적용한 3D 프린팅 패션소재 디자인 방법을 구축하였고, 프랙탈 형태를 가진 다육식물의 일종인 선인장을 모티프로 조형방법을 적용하고 실제 작품에 전개함으로써 패션소재의 기본조직 구조를 지닌 3D 프린팅 패션소재의 창의적 디자인을 제작, 제시하였다.

II. 프랙탈 기하학의 조형원리와 디자인

1. 프랙탈 기하학의 조형개념과 특성

프랑스 수학자 베노이트 만델브로트(Benoit Mandelbrot)가 1975년 프랙탈 이론의 창시와 함께 만들어진 ‘프랙탈(fractal)’은 불규칙한 파편을 만들기 위해 ‘쪼개다’, ‘부서지다’라는 뜻을 가진 라틴어 동사 ‘프랑게리(frangere)’에서 파생했으며(Yun, 2012), 영국의 해안선 구조를 확대해 감에 따라 유사한 구조가 무한히 세분되며 무한한 길이를 가진다는 것을 밝혀냈다(Mandelbrot, 1967). 이렇게 자연에 존재하는 프랙탈로 부분과 전체의 모양이 대략적으로 비슷한 형태를 지니는 것을 비결정형 프랙탈이라고 하며, 다른 말로 통계적으로 유사한 형상을 갖는 통계학적 프랙탈, 비선형성 카오스 프랙탈이라고도 부른다.

자연 속에서 나타나는 복잡한 모양과 유형들을 통해 프랙탈 기하학의 생성 과정을 살펴보면 가장 큰 특징은 전체와 부분이 닮은 형상을 하고 있다는 점이다. 이러한 자기유사성은 <Figure 1>의 콜리플라워처럼 규모가 점점 작아지거나 커지는 쪽



Figure 1. 콜리플라워.
From Macro Photograph of Broccoli. (2012).
<https://imgur.com>

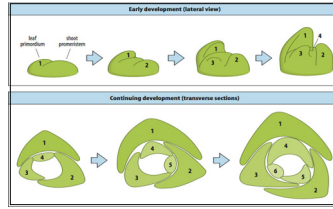


Figure 2. 잎의 성장.
From Brian. (n.d.).
<http://www.mun.ca>



Figure 3. 얼룩말의 무늬.
From Jeon. (2017).
<http://www.dailytw.kr>

으로 상세한 모양이 반복되는 재귀성(recursion)을 말한다. 이러한 자기유사성은 앞에서 설명한 프랙탈 유형 이론들의 원리적 특성을 이루며, 조형적으로도 가장 큰 특징으로 표현되고 있다. 자연의 발생구조는 잎의 성장과 같이 생성의 출발점에서부터 확산되어 다양한 형태가 반복, 축소, 왜곡, 변형된 구조를 이루게 된다(Figure 2). 공간을 보다 역동적으로 만드는 특성 중 하나인 비선형성은 <Figure 3>의 얼룩말의 무늬처럼 주로 초기 조건의 민감성에 의해 결과가 원인에 비례하지 않고 전혀 새로운 상태로 발전되는 특성이다.

또한 자연은 똑같은 규칙성을 가지고 성장하지 않는다. 예를 들면 뒤틀린 나무와 뿌리의 형상은 다양한 형태가 반복되면서 불규칙하게 배열되어 있다. 이는 무생물에서도 마찬가지로인데 반개처럼 날씨, 기압의 영향을 받으며 외부 조건들에 의해 불규칙적으로 형태가 틀어지면서 반복된다. 이러한 현상이 바로 프랙탈의 불규칙성이며 무작위성을 가지게 되는데 인위적인 요소가 갖는 규칙성이 없이 일반적으로 주사위의 눈처럼 각 항목이 나타나는 확률이 같은 상태를 의미한다. 이러한 무작위성은 초기 생성 값의 변화 외에 반복 과정에서 인간이 만들 수 있는 자연의 무작위적인 생성원리이다. 무작위적인 프랙탈은 갖가지 재질, 고분자 합성 화합물질과 고체 표면 같은 것에 깊이 관계되어 있는데 현재 이것들의 물리적인 형태뿐 아니라 성장하는 과정까지도 기술해 낼 수 있다(Briggs & Peat, 1989/1990).

2. 프랙탈 기하학의 조형원리

1) 초기도형의 형성



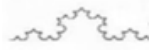






자연 이미지에서 창시자를 가져온다는 것은 최종 조형성에 영향을 미치는 모든 데이터를 프랙탈 형태로 만들어 가기 위해 기하학적으로 단순화하는 것이라고 할 수 있다. 또한 창시자의 형태를 어떻게 유출해내고 프랙탈 조형원리를 어떻게 응용하느냐에 따라 형태가 변형될 수 있다.

Kim and Kim(1998)의 연구에서는 최초의 기하학적 선, 면, 입체인 창시자(initiator)에 프랙탈 도형을 만드는 규칙이 주어졌을 때 생기는 도형을 생성자(generator)로 보았고, Kim(2003)의 연구는 프랙탈 도형을 만드는 방법적 요소들을 생성자로 보았다. 본 연구에서는 전자와 같이 반복규칙이 적용된 도형을 생성자로 정하고, 창시자를 생성자로 대치해 가는 재귀적인 반복 시행에 따라 여러 가지 프랙탈 도형을 얻을 수 있었다. 이를 <Table 1>과 같이 정리하였다.

2) 프랙탈의 조형원리와 형태생성

본 연구는 자연의 모티브에서 프랙탈의 기하학적 특성과 조형원리를 분석하여 디자인의 요소와 원리로 응용하였다. 프랙탈 패턴은 자연의 성장과 복제의 원리로 자기유사성에 의한 반복 규칙에 의해 이루어지며, 가장 단순화된 기하학적 형태인 창시자가 프랙탈 도형을 만드는 규칙을 주었을 때 생기는 생성자로 바뀌면서 전체형상에 일관성을 부여

Table 1. 프랙탈 기하학의 유형별 생성형태.

창시자 유형	이론 유형	창시자	생성자	생성형태
선	코흐(Koch)곡선			
면	시어핀스키 개스킷 (Sierpinski Gasket)			
입체	맹거(Menger)스폰지			

Adapted from Kim, (2012), p. 51.

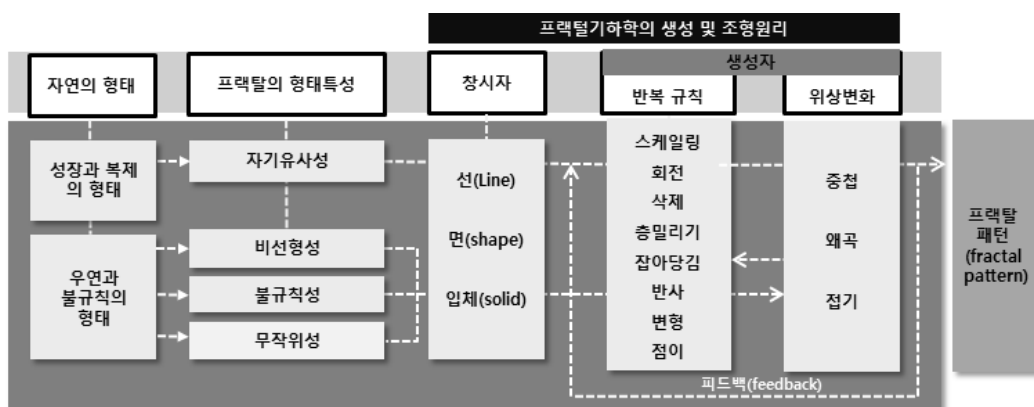


Figure 4. 프랙탈 형태 특성과 생성 및 조형원리.

하게 된다. 그리고 자연의 불규칙 특성인 비선형성, 비규칙성, 무작위성을 가진 형태를 디자인하려면 중첩(overlapping), 왜곡(distortion), 접기(folding) 등의 위상변화를 주어 최종형태를 얻을 수 있으며, 자연에서 볼 수 있는 복합적인 리듬을 조형적으로 만들 수 있다.

생성자 도형은 스케일링(scaling), 회전(rotation), 삭제(delete), 충밀리기(shear), 잡아당김(strain), 반사(reflection), 변형(translation), 점이(gradation)에 의해 생성된다. ‘위상변화’는 반복 규칙에 의해 창시자가 반복되는 과정에서 그 형상의 위상이 변화되는 성질이며, 이러한 반복과 위상변화의 과정을 거쳐 생성된 프랙탈 기하학의 형태는 피드백 과정을 통해 그 형태를 스스로 조절한다.

<Figure 4>는 프랙탈의 형태 특성에 따라 적용되는 프랙탈 조형원리를 보여준다. 최초 창시자의 형태는 선, 면, 입체일 수 있으며, 반복 규칙이 적용된 도형이 생성자 도형이다.

자연의 형태에서는 많은 반복성이 발견되는데, 디자인에서 반복이란 동일한 요소나 대상을 하나의 단위로 하여 둘 이상 배열하는 것을 말한다. 다시 말해 <Figure 5>, <Figure 6>과 같이 형태와 형태 사이, 공간과 공간 사이에 크기만 다르고 동일한 패턴을 연속시키거나, 율동적인 회전<Figure 7>, <Figure 8>, 또는 반사<Figure 15>, <Figure 16>를 뜻한다. 여기에 <Figure 9>, <Figure 10>과 같이 기존의 형태를 삭제하기도 하며, 다른 방향의 힘을 작용시킨다(Figure 11), (Figure 12). <Figure 13>, <Figure 14>와 같이 형태를

Table 2. 프랙탈의 조형원리와 형태생성.


	생성원리	구성 방법	형태생성 예시	생성원리	구성 방법	형태생성 예시
반복의 규칙	 Figure 5. 스케일링.	형태의 비례를 유지하면서 크기가 변화하는 과정	 Figure 6. 나뭇잎 1. From 녹색 잎-스톡 이미지 [Green leaf-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com	 Figure 13. 잡아당김.	형태를 잡아 늘려 그 모양을 변화시킴	 Figure 14. 연자방. From a10687500-스톡 이미지 [a10687500-stock image]. (n.d.). https://www.gettyimagesbank.com
	 Figure 7. 회전.	회전하여 위치를 변화시킴	 Figure 8. 버섯. From 굴 버섯 근접 촬영-스톡 이미지 [Oyster mushroom closeup-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com	 Figure 15. 반사.	대칭의 형태로 반사시킴	 Figure 16. 박하잎. From 근접 촬영에 신선한 민트-스톡 이미지 [Fresh mint in closeup-stock image]. https://ko.depositphotos.com
	 Figure 9. 삭제.	반복 형태를 삭제해 나감	 Figure 10. 나뭇잎 2. From 나뭇잎 곤충에 의해 천공-스톡 이미지 [Perforated by leaf insect-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com	 Figure 17. 변형.	단위 형태의 변형	 Figure 18. 잠자리. From 잠자리 날개-스톡 이미지 [Dragonfly wing-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com
	 Figure 11. 층밀리기.	두 방향의 다른 힘이 작용해 층이 밀림	 Figure 12. 지층. From 자연탐구4 [Nature inquiry 4]. (n.d.). https://sciencelevelup.kofac.re.kr	 Figure 19. 점.	크기나 색상의 점진적인 변화	 Figure 20. 야자잎. From 야자수의 잎-스톡 이미지 [Leaves of palm trees-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com
	 Figure 21. 중첩.	여러 층이 겹쳐져 있는 상태	 Figure 22. 꽃잎. From 금잔화 꽃-스톡 이미지 [Marigold-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com	 Figure 25. 왜곡.	불연속불규칙분기적속성들을 가짐	 Figure 26. 꽃잎. From 화이트 오키드-스톡 이미지 [White orchid-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com
위상 변화	 Figure 23. 접기.	접기, 휘기, 구부리기 등을 통한 매스의 변형	 Figure 24. 애벌레. From 잎 먹는 애벌레-스톡 이미지 [Leaf-eating larvae-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com			

Figure 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25 photographed by the author. (July 5, 2018).

잡아당기거나, <Figure 17> <Figure 18>과 같이 단위형태를 변형한다. 또한 <Figure 19>, <Figure 20>과 같이 형태나 색채가 화면에서 점진적으로 접이되었을 때, 통일감과 안정감을 주지만 단순한 반복이 지나칠 경우에는 단조롭고 지루한 느낌을 준다. 자연 질서 속에서 보이는 반복은 근본적이고 공통되는 형으로 운동감과 역동적(dynamic)인 리듬을 생성한다. 여기에 서로 겹쳐 생성되는 ‘중첩<Figure 21>, <Figure 22>’, 접어서 구부리는 ‘접기<Figure 23>, <Figure 24>’, 형상이 일그러져 변화하는 ‘왜곡<Figure 25>, <Figure 26>’ 등으로 위상변화를 주게 된다(Kim, 2012). 이에 대한 상세한 내용은 <Table 2>로 정리하였다.

3. 자연의 패턴과 프랙탈 기하학

무질서해 보이는 자연의 프랙탈 패턴을 자세히 관찰해보면 식별 가능한 규칙적인 질서를 보게 되며(Mandelbrot, 1982), 이를 유형별로 분류하면 가지형(Philip, 2009/2014), 코흐형, 시어핀스키형, 결정형, 피보나치형, 총상형 등으로 구분할 수 있다. 자연에서 보이는 대표적인 프랙탈 형태인 가지형(branching pattern)은 자연의 생물과 무생물에 보이는 성장과 복제의 확산 패턴으로 공간을 점유하면서 성장한다. <Figure 27>과 같이 구불구불한 모양의 강과 번개는 프랙탈이다. 작은 강줄기가 합쳐져 큰 물줄기를 형성하며 가지와 같이 뻗어 나간다. 작은 지류와 큰 줄기의 형태를 비교하면 완전히 똑같지는 않지만 닮음의 관계를 볼 수 있다. 흙속에서 자라는 뿌리의 모양도 나뭇가지와 유사하게 가지치기를 하며 뻗어 간다(Figure 28). 나뭇가지가 일정한 길이의 비가 될 때마다 두 개의 가지로 갈라진다고 하는 간단한 프랙탈의 규칙만으로도 <Figure 29>와 같이 모든 방향으로 뻗은 나뭇가지의 구조를 만들어 낼 수 있다. 이는 <Figure 30>과 같은 인체의 심장혈관뿐만 아니라, <Figure 31>의 고사리, <Figure 32>의 브로콜리에서도 나타난다.


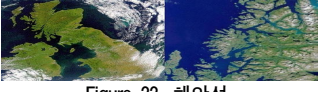

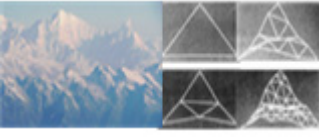

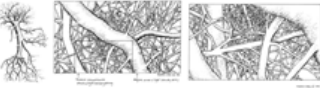
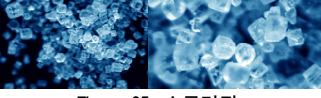




앞에서 언급한 만델브로트의 해안선의 길이 연구에서 알 수 있듯이 해안선은 코흐 곡선과 같은 특정 패턴이 무한 반복된다(Figure 33). 뭉게뭉게 피어오르는 뭉게구름도 마찬가지로 프랙탈의 형상으로 볼 수 있으며, 실제로 그 차원은 대략 1.35 정도가 되며 2차원을 메울 수 있다. 이렇게 복잡성이 증대되는 것은 코흐 곡선을 통해 쉽게 설명될 수 있다.

산의 모양을 기하학적으로 단순화하면 삼각형의 형태이다. 삼각형의 형태는 산마다 다른 경사도와 습곡의 빈도에 따라 그 모양을 달리 보이게 한다. 이러한 산의 지형을 계속 확대하면 또 다른 굴곡이 계속 나타난다. <Figure 34>는 컴퓨터 그래픽 상에서 산의 지형도를 만들어 가는 과정으로 삼각형의 매쉬를 사용하는 시어핀스키 삼각형의 구조와 유사하다.

눈송이가 육각형의 구조를 갖는 것은 물 분자들이 서로 육각 결합을 하므로 이 구조가 결정구조를 규정하기 때문이다(Philip, 2009/2014). 이러한 규칙적인 형태는 무생물인 벌집, <Figure 35>와 같은 소금의 결정이나 광석 구조뿐만 아니라 생물인 나비와 잠자리 등 곤충의 눈에서도 찾을 수 있다. 다른 예로 꽃잎의 수나 두 방향으로 배치된 식물의 외피 구성에서 피보나치(Fibonacci)수열이 나타난다. 이는 해바라기씨의 배열이나 육각형의 변형된 비늘 모양의 단위형태로 구성되어있는 솔방울의 길 비늘의 배열에서 볼 수 있다(Figure 36).

<Figure 37>의 총상형은 무리로 묶여 군집, 무리를 이루는 형태로 생강, 선인장, 화성암의 거품 등 유사하지만 다양한 형태가 불규칙하게 배열되어 있는 구조에서 볼 수 있다(Yun, 2012). 이러한 자연의 패턴은 변형된 불규칙한 형태로 공간을 점유하게 된다. 이렇게 프랙탈 기하학은 자연 속의 모양과 패턴들을 인간이 만들 수 있는 과학적 방법으로 설명하고 구현하는 조형원리로 볼 수 있다. 이를 <Table 3>으로 정리하였다.

Table 3. 자연의 프랙탈 패턴.

유형	종류	프랙탈의 패턴	유형	종류	프랙탈의 패턴
가지형	강줄기 변개	 <p>Figure 27. 강줄기. From Earth's Brain from Hector Garrido. (2013). http://robotinspacebrain.com</p>	코흐형	해안선 구름	 <p>Figure 33. 해안선. From 국경선 길이의 수학 [Mathematics of borderline length]. (2016). http://www.afractal.com</p>
	뿌리	 <p>Figure 28. 뿌리. From 나무뿌리-스톡 이미지 [Root-stock image]. (n.d.). https://www.shutterstock.com</p>	시어핀 스키형	산	 <p>Figure 34. 산. From Kim and Kim. (1998). p. 118.</p>
	나뭇 가지	 <p>Figure 29. 나뭇가지. From Chapter 2-Fractals Basic-Taking a closer. (n.d.). http://www.wahl.org</p>			
	허파	 <p>Figure 30. 심장혈관. From Chapter 1-Fractals In Our World. (n.d.). http://www.wahl.org</p>	결정형	눈, 소금결정 잠자리의 눈, 벌집	 <p>Figure 35. 소금결정. From 작은 소금결정-스톡 이미지 [Small salt crystals-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com</p>
	고사리	 <p>Figure 31. 고사리. From 녹색 고비잎 - 스톡 이미지 [Green fern leaf-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com</p>	피보나 치형	해바라기씨, 선인장, 솔방울	 <p>Figure 36. 솔방울. From 솔방울-스톡 이미지 [Pine cone-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com</p>
	브로 콜리	 <p>Figure 32. 브로콜리. From 브로콜리 - 스톡 이미지 [Broccoli-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com</p>	총상형	생강, 선인장	 <p>Figure 37. 선인장. From 선인장 구체-스톡 이미지 [Cactus sphere-stock image]. (n.d.). https://ko.depositphotos.com</p>

4. 프랙탈 기하학이 적용된 패션디자인

1) 단위형태의 반복

프랙탈 기하학의 조형원리에서 반복에 적용되는 규칙들로 단위형태의 자기유사성을 가지게 된다. 먼저 <Figure 38>은 단위형태에 스케일링을 주는 방식

이다. 이는 이리스 반 헤르펜(Iris Van Herpen)이 2015년 F/W에 발표한 'Magnetic Motion' 컬렉션으로 레이저 커팅 된 육각형의 단위형태에 스케일링을 주면서 유연하고 반짝이는 투명성을 지닌 3차원 직물 구조를 상호 연결하여 결합했다. 스커트 부분에 거품과 같은 입체감을 만들기 위해 가장 부풀어진 부분의

단위형태가 점진적으로 커지는 형태변화를 보이고 있다. 이러한 단위형태의 골절과 같은 움직임으로 피부의 곡면을 구조적으로 유연하게 연출할 수 있다. <Figure 39>의 왼쪽 사례는 레이저커팅으로 원단을 삭제하여 만든 그물조직이 몸의 굴곡을 따라 잡아당겨지고 있으며, 오른쪽의 사례는 단위형태의 변형으로 표면 효과를 주고 있다. <Figure 40>의 왼쪽은 반사를 이용한 좌우대칭의 형태를 보이며, 오른쪽 사례는 다른 방향으로 층이 밀리면서 회전하는 효과를 주고 있다.

2) 단위형태의 중첩

중첩을 통해 입체감과 공간감을 주면서 소재를 만드는 방법이다. 중첩은 사물이 겹치면서 공간감을 표현하는 중요한 요소로, 중첩되는 대상의 크

기 변화에 따라 형성되는 공간의 크기도 변화시킬 수 있다. <Figure 41>은 쓰리에즈포(ThreeASFOUR)의 3D 프린팅 작품으로 복제된 유닛을 연결해 길이와 크기를 자유롭게 조절하여 만들어진 원피스이다. 이때 스케일링과 중첩의 방향에 따라 디자인의 변화와 흐름을 줄 수 있다.

3) 단위형태의 왜곡과 재구성

인체의 곡면을 따라 단위형태를 왜곡시키거나 재구성하는 유형이다. 패션디자인은 인체 위에 연출되기 때문에 의도하지 않더라도 인체의 굴곡에 따라 패턴의 모양이 변하게 되며, 인체에 연출되는 부위에 따라 패턴의 형태는 왜곡되며 변형된다. <Figure 42>에서 쓰리에즈포는 레이저로 프렉탈 패턴을 커팅한 후 이를 인체 위에 재구성하여 인



Figure 38. 스케일링과 회전.
From LUCID. (2015).
<http://www.irisvanherpen.com>



Figure 39. 삭제와 변형.
From QUAQUAVERSAL. (2016).
<http://www.irisvanherpen.com>



Figure 40. 반사와 층밀리기.
From SYNTOPIA. (2018).
<http://www.irisvanherpen.com>



Figure 41. 중첩에 의한 구성, 2014년(좌), 2016(우).
From ThreeASFOUR Dress 3D printed. (n.d.).
<http://threeasfour.tumblr.com>



Figure 42. 왜곡과 재구성.
From SPRING 2015 READY-TO-WEAR Threeasfour. (n.d.).
<https://www.vogue.com>

체의 부위별 비례에 따라 왜곡되면서 하나의 조화로운 패턴이 되게 디자인하였다. 이러한 단위형태들은 스케일링의 변화뿐만 아니라 비선형적인 유사성을 띠게 된다.

4) 단위형태의 접기

주름을 통한 접기 방식은 의복의 공간을 외부 환경으로 확장하고 유동적인 구조를 창출하는 효율적인 방법이다. 접기의 표현 특성은 일종의 섬유 공예적인 성격을 가지는 동시에 현대의 디지털 기법을 통한 혁신적인 면을 모두 가지고 있다. 접기 방식의 첫 번째 유형은 단위형태를 이어 붙인 다음 인체에 접어 형태를 만드는 방식으로 2016년 쓰리에즈포는 마름모꼴의 단위형태를 평면 위에 배열한 후 접기를 이용해 인체에 재구성하였다(Figure 43). 두 번째 유형은 접기를 이용해 단위형태를 만들면서 입체감 있게 전체 직물표면을 조직화하는 방식이다(Figure 44). 또 다른 방법은 이미 만들어진 직물 조직구조를 접는 방식에 의해 다시 입체감 있는 표면질감으로 만드는 방법이다. <Figure 45>에서 헤르펜은 매우 가볍고 부피감이 느껴지는 메쉬 작품을 만들기 위해 레이저 커팅 된 가죽에 실리콘 및 크리스털을 포함한 다른 소재를 접어 연결함으로써 주름에 의한 표면구조를 만들었다.

III. 3D 프린팅 패션소재의 개념과 디자인 현황

1. 3D 프린팅 패션소재의 개념과 특성

3차원 인쇄는 연속적인 계층의 물질을 뿌리면서 3차원 물체를 만들어내는 제조 기술로, 1984년에 개발되었다. 3D 구조는 X, Y, Z에 따라 생성되며 각 치수를 컴퓨터를 통해 입력하게 된다. 치수의 입력을 통해 입체 구조를 갖는 형태의 이미지가 완성되고 그 설계 데이터를 기계에 전송하여 프린팅하는 방식으로 제작된다. 설계 데이터에 따라 액체, 고체 또는 파우더 형태의 폴리머(수지), 금속 등의 재료를 가공하고 적층 방식(layer-by-layer)으로 쌓아 올려 제품을 제조하는 3D 프린터는 밀링 또는 절삭이 아닌 적층 가공(additive manufacturing)으로 입체물을 제작하는 장치를 말한다(Paek, 2015).

현재 다양한 분야에서 디자인된 3D 프린팅 패션소재의 특성을 살펴보면 첫째는 섬유의 복제성으로 실제 섬유조직과 유사하게 재현된다. 이러한 조직의 형태적 복제는 기존 섬유가 가지는 유연성을 함께 얻을 수 있으며, 기존 섬유조직의 구조적 응용을 통해 현재의 3D 프린팅 기술이 가지는 기능적인 결함을 보완하는 특성이 될 수 있다. 3D 프린팅 패션소재의 두 번째 특성은 3차원의 구조를 만들기 쉽다는 점으로 건축의 외피구조처럼 다



Figure 43. 접기에 의한 구성.
From ThreeASFOUR Dress 3D printed. (n.d.).
<https://threeasfour.tumblr.com>



Figure 44. 단위형태 접기.
From INK BLOT TEST. (n.d.).
<http://sandrabacklund.com>



Figure 45. 접기에 의한 표면질감.
From Iris van Herpen 2015 Spring Summer
Womens Runway. (2014).
<http://www.denimjeansobserver.com>

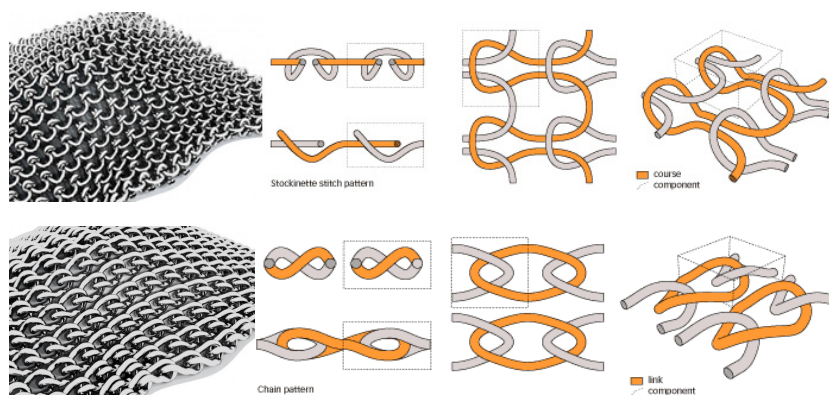


Figure 46. 니팅 패턴(위)과 체인 패턴(아래).

From Giulio, (2009).

<http://www.giuliopiacentino.com>

양한 구조적 설계가 가능하다는 장점이 있다. 세 번째로는 창조적 디지털 물성을 통한 이미지의 구현성을 들 수 있다. 이는 인간의 상상력을 극대화 해주며 섬유의 질감뿐만 아니라 그동안 구현이 불가능했던 디자인을 가능하게 하고 있다. 또한 계속 개발되고 있는 재료적 물성은 다른 재료와의 조화를 통해 새롭게 결합되어지면서 다양한 소재의 물성을 창조하고 있다.

2. 3D 프린팅 패션소재의 제작방법

디지털 데이터를 물체의 성질로 변환하기 위해 먼저 3D 모델링을 해야 한다. 3D 모델링은 가상의 3D 공간 속에 수학적 모델을 만들어가는 과정으로 3D 프린터가 활성화되기 이전부터 3D 객체를 표현하기 위해 활용되었다. 3D 프린팅에는 3D CAD(computer aided design)나 3D CG(computer graphics) 등 각종 소프트웨어를 활용한 3D 모델링 소스가 필요하고 각 데이터의 호환성도 중요하다.

이러한 모델링을 통해 소재조직을 설계할 수 있는데, 3D 프린팅을 위해서는 3D 객체의 외부와 내부가 가득 찬 솔리드 모델링이 가능한 프로그램이 적합하다.

또한 기본적으로 3D 프린팅을 하기 위해서는

3D 모델링 파일을 G코드의 파일로 변환해야 한다. G코드는 프린터 노즐이 이동할 3차원 좌표값을 기록한 파일인데, G코드로 변환하기 위해서는 모델링 파일을 슬라이서(Slicer) 프로그램으로 일정 두께로 층층이 잘라야 한다. 이를 위한 가장 대표적인 프로그램이 큐라(Cura)이다.

G코드로 변환된 파일을 3D 프린팅 시 필라멘트의 재질에 따라 출력물의 물성이 달라지고, 기계의 종류에 따라 쓸 수 있는 재료의 상태가 다르다. 가장 많이 보편화하고 있는 FDM 프린터의 경우 플라스틱 재료로 된 필라멘트를 열로 녹여 적층하는 방법으로 가공된다. 이때 필라멘트 재질에 따라 가공물이 차이가 나게 되며, 열의 온도를 재료별로 세팅해줘야 한다. FDM 방식에 많이 쓰이는 ABS, PLA는 물성이 딱딱하고 탄성이 없어 완구, 피규어, 모형 등 외형을 제작하는데 쉬우나 패션소재의 재료로는 적합하지 않다. 플렉서블 필라멘트(flexible filament)로 불리는 Filaflex, TPU, TPE 등은 고무 재질을 가지고 있어 탄성이 있고 보다 견고하다. 그러나 물경거리는 물질 때문에 압출기(extruder)에서 빠져나오지 못하고 옆으로 나와 막히는 경우가 많아서 기계적 적합성을 반드시 확인해야 한다. SLS의 경우 분말로 된 재료라면 뭐든지 가능하나 분말의 입자가 같아야 하며 소재별로 레이저 세팅이

달라져야 한다. 최근 전통 소재를 3D 프린팅에 맞게 개발하는 방법들이 활발히 연구되면서 다양한 소재의 가공물들이 개발되고 있다.

3. 3D 프린팅 패션소재의 조직구조

1) 기본 조직

(1) 위빙

위빙(weaving)은 실로 직물을 만드는 조직을 말하며, 보통은 날실과 씨실을 조합하는 방식에 따라 평직, 능직, 수자직으로 나눌 수 있다. 평직 <Figure 47>의 사례로 2016년 일본의 테크놀로지 스타트업체인 ‘STARted’와 함께 3D 인쇄 액세서리 및 전문 디자이너인 마사하루 오노(Masaharu Ono)는 입을 수 있는 조끼를 만들었다. 조끼는 실제 직물의 유연성을 재현하기 위해 열가소성 폴리우레탄으로 만들어진 신축성 있고 유연한 소재인 TPU를 사용하여 SLS 방식으로 제작되었다. 이 프로젝트는 일본어로 ‘편직’을 의미하는 ‘Animono’라는 이름이 부여되었다(Figure 48). 직물 표면에 빗살 방향의 이랑무늬를 형성하는 능직 <Figure 49>는 3D 모델링으로 <Figure 50>처럼 1대 2의 능직을 만들 수 있다. <Figure 51>의 수자직은 직물의 표면이 경사만 길게 떠 있는 조직 형태로 <Figure 52>와 같이 모델링 할 수 있다.

(2) 니팅

이론적으로 패브릭구조로 된 3D 프린팅 제작물은 착용 가능하며 편안하고 유연한 3D 프린팅 의류를 만드는 데 핵심이 될 수 있으며, 니팅의 루프에 대한 연구로 시작되었다. <Figure 46>은 그라스하퍼(Grasshopper)에서 원사를 디지털 방식으로 3D 모델링 하는 방법을 보여주고 있다. 유연한 섬유를 얻기 위해 니팅으로 편직하는 방법과 사슬로 연결하는 두 가지 방법은 조직 사이에 움직임과 유연함을 제공할 수 있어 더욱 실용적인 직물조직을 구현할 수 있다. 여기서 니팅조직은 루프의 각

도나 형태에 따라 편물 구성 방법을 쉽게 조절할 수 있다(Figure 53).

<Figure 54>는 니팅의 조직특성을 나타내는 3D 프린팅 니트 조끼로 루프의 형태에 따라 내구성과 조직의 형태를 다르게 할 수 있다. <Figure 55>의 경편은 닫힌 코로 엮어지는데, <Figure 56>은 경편 조직을 3D 모델링하여 실험해 본 결과물로 니팅에 비해 신축성이 떨어진다. 또한 재료의 유연함을 얻기 위해 3D 프린팅 매개 변수를 미세 조정하는 것이 어렵지만, 실제 <Figure 57>과 같은 크로세는 수공예적인 섬세함을 구현할 수 있다. <Figure 58>은 3D 프린팅으로 만들어진 섬세한 레이스 칼라로 SLS 제작방식이다.

(3) 링킹

링크(link)는 ‘연결(결합)하다’의 의미를 지닌 동사로 링크는 서로 엮어 짜인 조직구조를 말한다(Larsen & Freudenheim, 1986). 즉, <Figure 59>와 같이 교차로 엮어진 끈에 의하여 만들어지는 조직으로 본 연구에서 링킹을 모델링하고 출력한 결과물이 <Figure 60>이다. 매듭이 있는 네팅과는 달리 연속되고 개방적인 구조인데, 원사가 아래위 스프링 구조로 서로 엮여 니팅과 함께 탄력성이 큰 장점이 있다.

(4) 매쉬

FDM 3D 프린터는 PLA 소재의 필라멘트로 레이어 된 <Figure 61>의 매쉬패턴을 완벽하게 재현할 수 있다. <Figure 62>는 매쉬로 쌓아 올린 구조물이며, FDM으로 출력한 결과물이다. 그러나 단점은 견고성인데 최소 0.4mm의 직경이 유지되더라도 줄이 끊어지는 경우가 있다. 다른 사례로 ‘LMN Tech Studio’는 그리드 구성 요소의 겹치는 부분이 <Figure 63>과 같이 관절모양의 볼로 연결된 그리드를 제작하였고, 연결부위는 관절처럼 꺾어지는 유연성을 가지게 된다(Figure 64).

Table 4. 기본조직을 응용한 3D 프린팅 패션소재의 구조방식.

조직명칭	조직특성	사례	출력	조직명칭	조직특성	사례	출력
위빙	 Figure 47. 평직. From 삼원조직 [Triangular organization]. (n.d.). https://terms.naver.com	 Figure 48. 평직 조직. From Watkin. (n.d.). https://all3dp.com	SLS 방식	 Figure 53. 위편. From 메리야스 [Knit]. (n.d.). https://terms.naver.com	가로방향으로 루우프(loop:코)가 연속됨	 Figure 54. 니팅조직. From Macarena. (2010). p. 139.	SLS 방식
	 Figure 49. 능직. From 삼원조직 [Triangular organization]. (n.d.). https://terms.naver.com	 Figure 50. 능직모델링.	-	 Figure 55. 경편. From 메리야스 [Knit]. (n.d.). https://terms.naver.com	세로방향으로 실이 지그재그로 변환	 Figure 56. 경편모델링.	SLS 방식
	 Figure 51. 수자직. From 삼원조직 [Triangular organization]. (n.d.). https://terms.naver.com	 Figure 52. 모델링. From Hartwig and Darr. (2014). p. 550.	-	 Figure 57. 크로세. From 크로세 레이스 [Crochet lace]. (n.d.). https://terms.naver.com	혹을 이용하여 가닥 상태의 재료를 천으로 만들	 Figure 58. 레이스카라. From "Lace'r Sintering". (2016). http://www.materialis.e.com	SLS 방식
링킹	 Figure 59. 링킹.	 Figure 60. 링킹출력물.	FDM 방식	 Figure 65. 체인메일.	고리를 연결시켜 유연한 직물구조처럼 만든 것	 Figure 66. 체인메일 출력물.	SLA 방식
매쉬	 Figure 61. 그리드.	 Figure 62. 매쉬. From 3D printing layered structures. (2014). http://www.3ders.org	FDM 방식	 Figure 67. 스케일메일. From Weave a suit of medieval scale mail. (2010). https://metalsmithing.wonderhowto.com	작은 조각들을 넓은 표면을 덮을 수 있게 연결	 Figure 68. 스케일메일 출력물.	SLS 방식
	 Figure 63. 관절조직. From 관절 [Joint]. (n.d.). https://terms.naver.com	 Figure 64. 격자조직. From LMN Tech Studio. (n.d.). https://lmnarchitects.com	SLA 방식	 Figure 69. 플레이트 메일. From 메일 [Mail]. (n.d.). https://terms.naver.com	납작한 조각들을 링으로 연결	 Figure 70. 플레이트메일. From "The POSEIDON garment". (2015). https://www.3ders.org	SLS 방식

Figure 50, 56, 59, 60, 61, 65, 66, 68 photographed by the author. (July 21, 2018).

(5) 메일

메일(mail)은 철사를 고리 모양으로 만들어 엮은 갑옷을 말하는데, <Figure 65>와 같이 조직구조가 체인메일(chainmail)로 연결된 구조로 유연한 조직을 얻을 수 있다(Figure 66). 스케일 메일(scale mail)은 작은 조각들의 일부를 서로 덮어지게 연결해 넓은 표면을 만든 것이다(Figure 67). <Figure 68>와 같은 스케일 메일은 깃털과 같은 단위형태를 덮어 직물을 구성하였고, <Figure 69>의 플레이트 메일(plate mail)은 납작한 조각들을 링으로 연결한 것으로 <Figure 70>과 같이 넝쿨과 유사한 표면구조를 만들기도 한다. 이를 <Table 4>로 정리하였다.

2) 특수조직

패션디자인에 적용된 특수조직을 응용한 3D 프린팅 패션소재 구조 방식은 단위형태 결합 방식, 입체조형 방식, 콜라주 방식으로 분류되며 유연성과 형태적 조형성이 동시에 고려된다. 2016년 F/W 이리스의 새로운 드레스 디자인은 신체의 움직임에 지속해서 반응하는 독특한 개별 구성 유닛이 마치 비늘처럼 만들어진 체인형태로, 드레스 전체가 생태계를 구성하는 6,556가지 이상의 변이된 요소로 구성되었다(Figure 71). <Figure 72>는 3차원 매쉬와 같은 구조의 유닛을 실리콘 링크로 연결해 공중에 뜨는 듯한 3차원의 조직구조를 형성하는 패션소재이다. 너버스 시스템(Nervous System)의 키네매틱스(Kinematics) 디자인 시스템은 힌지 패넬의 구조적 논리와 접기 및 압축 시뮬레이션 전략을 결합하여 효율적인 SLS 제작방식의 맞춤형 디자인을 생산한다(Figure 73). 3D 프린트된 최초의 비키니인 'N12'는 인체의 곡면을 스냅 식으로 연결하여 만든 비키니로 표면의 매끈함과 곡면 처리 방식이 의류 실용화의 가능성을 열어준 작품이다(Figure 74).

<Figure 75>는 노아 라비브(Noa Raviv)의 작품으로 스트라타시스(Stratasys)의 오브제500 커넥스3 멀티



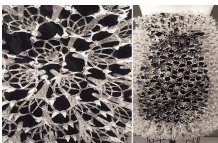



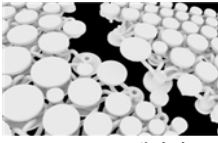

머티리얼(Objet500 Connex3 Multi-material) 프린터를 사용하여 여러 가지 색상이 조합된 재료로 주름을 잡은 듯한 입체감을 한 번에 출력하였다. <Figure 76>과 같은 소재는 2차원과 3차원의 매쉬구조 효과를 주며, 레이스와 같이 소재의 두께를 얇게 하거나 특정한 부분을 3D로 돌출시킬 수 있다. 2015년 샤넬(Chanel)은 오프 꾸뛰르적인 공예기법과 3D 기술을 융합하여, 소매나 밑단 부분에 3D 프린터로 격자 모양으로 출력한 소재를 트위드에 겹친 후 수를 놓아 섬세한 직물을 완성하였다(Figure 77). 프링글스 오브 스코틀랜드(Pringles of Scotland)는 2014년 SLS 방식의 3D 프린팅으로 입체화시킨 아가일 체크 모양의 3D 프린팅 조각을 실제 니트웨어와 연결하여 장식적으로 부착하였다(Figure 78). 이를 <Table 5>로 정리하였다

IV. 프랙탈 기하학에 의거한 3D 프린팅 패션소재 조형방법 구축

1. 프랙탈 기하학에 의거한 3D 프린팅 조형원리

3D 프린팅을 위한 3차원 모델링에서 디자인된 기하학적 도형의 초기 모습은 반복 규칙과 위상 변화에 따라 다양한 생성자로 만들어질 수 있다. 이를 위해 창시자를 형성한 후 기본 소재조직과 결합하고 3차원의 복제성과 융합이 이루어지는 3D 모델링의 3차원 디지털 공간으로 퍼드백한 후 생성자를 형성한다. 생성자는 프랙탈 기하학의 조형원리인 반복적 자기유사성의 특성 아래 불규칙한 조형특성에 의해 변형되면서 프랙탈 기하학적 패턴을 만들게 된다. 3D 패턴 모델링에서 변형(transform)은 원하는 디자인을 위해 오브제의 작업 위치를 이동 및 회전하기, 원하는 크기로 변형하기 등 다양한 기능을 말한다. 그 밖에 중요한 3D 입체화 기능은 '결합(combine), 구축(construct), 수

Table 5. 특수조직을 응용한 3D 프린팅 패션소재 구조방식.

조직 분류	제작 방식	조직 특성	사례	출력 방식	조직 분류	제작 방식	조직 특성	사례	출력 방식
단위 형태 결합 방식	체인 메일에 의한 결합	입체적 체인 결합	 Figure 71. 변형메일. From Iris van Herpen's Crystal-esque 3D printed dress. (2015). https://www.3ders.org	SLA 방식	입체 조형 방식	3차원 높이 변형	색상이 조합된 입체적 주름	 Figure 75. 입체주름. From Noa. (2014). http://www.noaraviv.com	Polyjet 방식
	볼트에 의한 결합	3차원 입체 효과와 유연성	 Figure 72. 입체결합. From READY-TO-WEAR SPRING/SUMMER 2015. (n.d.). https://en.vogue.fr	SLS 방식			3차원 돌출된 형태의 또 다른 조직감 형성	 Figure 76. 입체조직. From LUCID. (2016). http://www.irisvanherpen.com	SLS 방식
	헨지에 의한 결합	헨지 패널로 유연성 을 부여	 Figure 73. 헨지결합. From Kinematics. (2016). http://www.n-e-r-v-o-u-s.com	SLS 방식	콜라주 방식	장식 으로 부착	3D 프린팅 출력물 과 직물의 결합	 Figure 77. 소재장식. From 샤넬과 3D 프린터 가 만나면 [When Chanel and 3D printer meet]. (2015). http://www.techholic.co.kr	SLS 방식
	스냅에 의한 결합	유닛을 스냅 형태로 끼워 연결	 Figure 74. 스냅방식. From "N12 3D Printed Bikini". (2011). http://www.shapeways.com	SLS 방식			직물의 무늬를 출력물 과 결합	 Figure 78. 무늬장식. From Pringles of Scotland. (2014). http://www.islamidigitalarts.com	SLS 방식

정(modify), 패턴(pattern)' 기능으로 프랙탈 생성원리의 위상변화 과정으로 볼 수 있다. 제작을 위한 샘플소재의 3D 프린팅 테스트가 이루어진 다음 단위형태로 출력된다. 출력된 소재샘플을 의상패턴 위에 배치한 후 단위형태와 크기를 결정하기 위해 의상형태 내에서 대칭, 회전, 결 방향 등을 모색한다. 그다음 직물구성을 위해 출력된 최종 단위형태를 결합하고 구성된 직물의 조직을 변형

하여 작품을 완성한다(Figure 79).

2. 프랙탈 기하학에 의거한 3D 프린팅 조형방법

시각적 원형으로서 기하학적 도형은 자연 이미지에서 창시자로 추출하거나 생성자의 외곽선을 구성하는 형태가 되기도 한다. 생성자는 다시 반

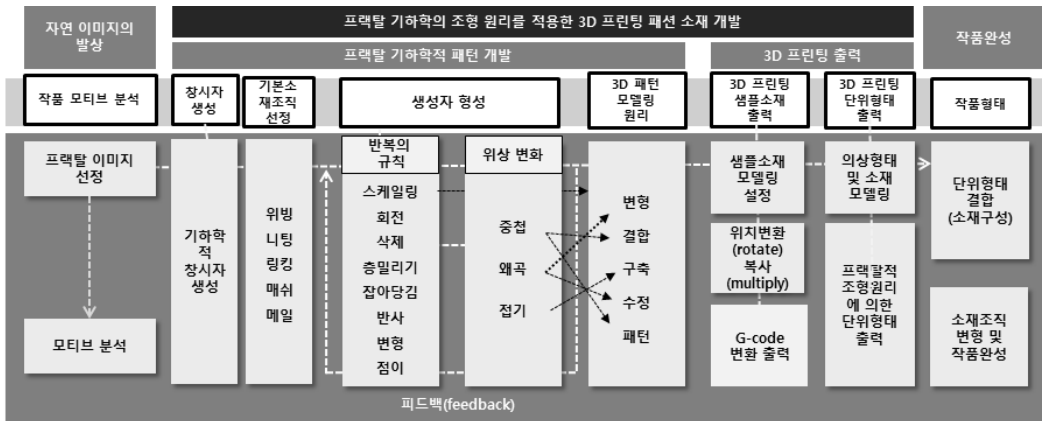


Figure 79. 프랙탈 기하학에 의한 3D 프린팅 조형원리와 패션소재 개발과정.

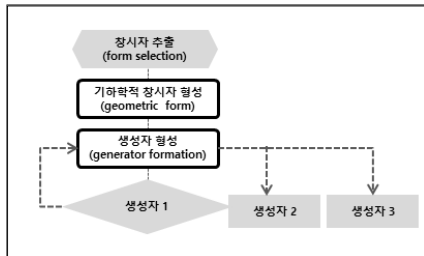


Figure 80. 생성자의 형태생성 과정.

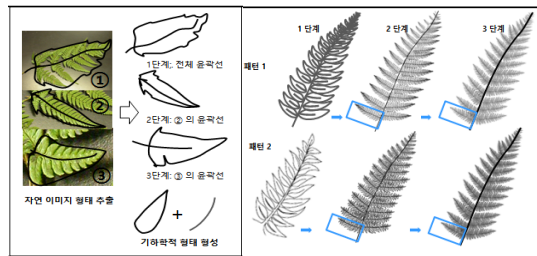


Figure 81. 생성자의 변형과 복잡성에 의해 달라지는 패턴.

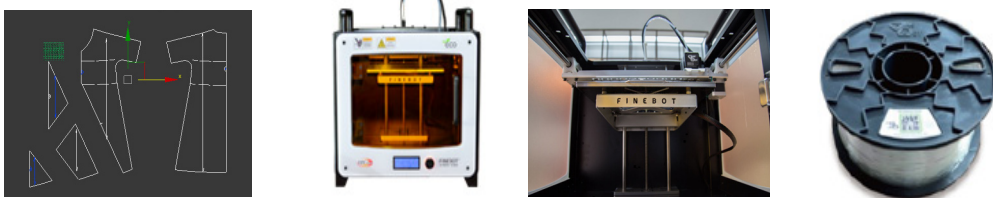


Figure 82. 본 연구에서 사용되어진 모델링 프로그램(3D Max), 기기(FDM) 및 재료(TPU).

Photographed by the author.
(June 8, 2018).

복 규칙과 위상변화를 통해 다른 생성자들을 만들 수 있다. <Figure 80>은 생성자의 형태생성 과정으로 생성자 1을 생성하고 다시 생성자 2, 생성자 3으로 변형될 수 있다. 이러한 생성자의 변형은 <Figure 81>과 같이 반복에 의해 복잡성이 증가되면서 패턴의 변형을 가져오게 된다.

본 연구에서 사용된 모델링 프로그램인 '3D max'는 고성능의 다양한 모델링 도구들과 매핑기능을 사

용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 벡터(vector)와 비트맵(bitmap) 이미지를 공유하는 Oops(object oriented programming system) 계열 프로그램이기 때문에 AI 파일이 호환되므로, 3D Max에서 패턴 CAD 파일을 불러와 실제 의상 패턴이 대입되었을 때의 크기와 모양을 비교하면서 모델링 할 수 있다(Figure 82). 또한 표면 질감효과를 위해 조소, 조각 작업과 같은 직관적인 도구에 해당하는 매쉬믹서(meshmixer)와 같

은 서피스(surface) 모델링 프로그램의 장점들을 활용하였다. 출력에 사용된 FDM 적층방식 프린터는 <Figure 82>의 TPC 메카트로닉스의 'Finebot 9600'으로 PLA, ABS 소재뿐만 아니라 신축성 소재 TPU가 출력 가능한 프린터이다. 적층방식은 FDM 방식으로 신축성이 있어 다소 끈적이는 TPU 소재에 맞추어 노즐 두께를 0.4mm에서 0.6mm로 최적화시켰다. 필라멘트는 유연하고 출력이 TPE보다 쉬운 TPU 재질의 흰색 색상을 사용하여 원사의 표현특성을 도드라져 보이게 하였다.

V. 프랙탈 기하학의 조형원리에 의거한 3D 프린팅 패션소재 디자인

1. 기본조직 구조 설정

직물의 유연한 특성을 가진 3D 프린팅 패션소재를 제작하기 위해 신축성이 풍부하고 유연하여 착용감이 편한 기본조직을 니트 <Figure 83>, <Figure 84>와 링킹<Figure 85>, 체인메일 <Figure 86>으로 설정하였다. 이를 <Table 6>으로 정리하였다.

2. 제작 결과 및 해설

1) 작품 1

재관선인장 모티브의 줄기에서 보이는 표면효과를 위해 니트 원사를 자유 변형시켜 조직변형에 응용하였다. <Figure 87>과 같이 모티브를 분석하면

변형된 줄기에서 자기유사성, 비선형성, 무작위성의 프랙탈 특성을 볼 수 있다. 여기에 반복의 규칙인 회전, 스케일링, 변형과 중첩, 왜곡 등의 프랙탈 기하학의 원리를 사용하여 이파리처럼 변형된 선인장의 표면 요철감과 볼륨감을 나타내면서, <Figure 88>과 같이 결합한 니트의 루프를 3D Max의 좌표 설정으로 생성자를 왜곡시키고 잡아당겨 변형시켰다. 이러한 위상변화를 통해 형성된 표면질감을 입체적인 조직으로 모델링시킨 후<Figure 89>, 단위형태로 나누어 샘플 출력하며 수정하였다(Figure 90).

이 작품의 단위형태의 사이즈는 출력 제한 사이즈인 20×20cm를 넘지 않는 범위에서 최대한 텍스처가 연결되도록 하였다. 우선 앞판의 전체 텍스처와 단위형태의 크기를 결정한 후, 이를 연결해 하나의 니트조직을 만든 후에 매쉬믹서를 이용해 전체 텍스처의 흐름을 부여했다(Figure 91). 다시 질감을 위상변화시켜 더욱 입체적인 조직으로 변형시킨 후, 단위형태로 나누어 출력하였다(Figure 92). 몸판의 텍스처를 형성하는 부분은 단위형태 출력물 크기인 157×125mm로 동일하고 개당 15시간이 소요되었다. 앞판은 총 18개이며 이들의 텍스처는 각기 다른 흐름을 형성한다. 소매와 옆부분의 단위형태는 같은 크기이며 소매, 몸판 옆 라인에 앞, 뒤판 총 16개가 배치된다. 소재 조직을 결합하기 위해 경사 쪽은 열고정 접착을 하며 위사 쪽은 루프를 끼워 연결하여 디테일인 <Figure 93>, <Figure 94>와 같이 결합, 완성하였다. <Table 7>과 같이 정리하였고, 스타일링 이미지는 <Figure 95>와 같다.

Table 6. 패션소재 기본조직의 종류.


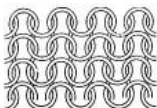
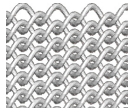
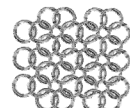



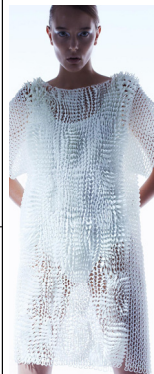
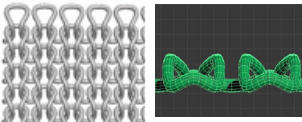
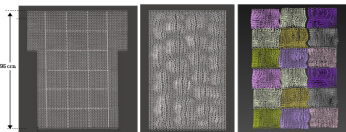

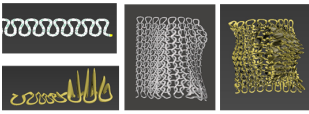
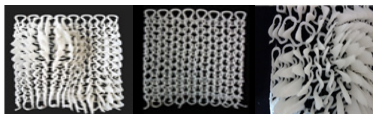
조직명	위편조직(대나무 뜨기)		스프링 조직	연결조직
조직구조				
	Figure 83. 겹뜨기.	Figure 84. 안뜨기.	Figure 85. 링킹.	Figure 86. 메일.

Figure 83-86 photographed by the author. (June 22, 2018).

Table 7. 작품 1의 제작과정과 작품이미지.

작품의 전개과정			작품 디테일	스타일링 이미지	
	 <p>• Cura에서 0.2mm-0.5mm, 압출량조절</p> <p>• 형태 출력 실험 1</p> <p>• 형태 출력 실험 2</p>				
					<p>Figure 93. 디테일 1.</p> 
					<p>Figure 95. 작품 1의 스타일링.</p>
<p>Figure 88. 기본조직 모델링.</p>		<p>Figure 91. 의상형태 및 소재배치.</p>			<p>Figure 94. 디테일 2.</p>

2) 작품 2

가운뎃을 중심으로 시계방향으로 돌아가는 제 관 선인장 모티브의 표면효과에서 창시자의 기본 형태를 가져왔고(Figure 96), 결합하는 식물 조직은 스프링 연결구조를 지닌 링킹조직이다(Figure 97). 이 모티브는 프랙탈 기하학의 특성인 자기유사성, 비선형성, 불규칙성, 무작위성을 가지며 프랙탈 기하학의 원리인 반복의 규칙인 회전, 스케일링, 변형과 중첩, 왜곡이 적용된다. <Figure 99>와 같이 시험 출력 결과, 링킹조직은 유연성과 부피감을 주는 소재이기 때문에 움직임이 큰 부위에 변형없이 적용하였다. 한 방향으로 돌아가는 원형의 모티프를 가슴 쪽에 배치하면서 링킹의 스프링 구조와 연결되게 하였다. 이 원형의 모티프는 3개의 단위형태로 구성되며, 3D Max에서 시계방향으로 잡아당겨 좌표를 왜곡시킨 원사가 생성자 1, 2, 3으로 디자인되었다(Figure 98).

완성된 최종형태는 O자형 실루엣으로, 몸판의 가운뎃을 중심으로 회전되면서 퍼져나가는 소재 구조를 형성하게 된다. 이러한 형태를 제작하기 위해 회전 방향이 다른 6가지 종류의 모델링으로

구성하였다(Figure 100). 이들의 결 방향은 좌우 대칭되며 결 방향이 만나는 곳은 연결 부위의 높낮이 변화가 자연스럽게 연결되도록 배치하였다. 의상으로 구현하기 위해 먼저 스커트 한쪽에 3개의 단위형태를 출력하여 높이를 맞추고 양옆, 뒤 중심 쪽을 연결해 봉긋한 둥근 형태가 스커트 실루엣을 형성시켜 단위형태를 출력하였다(Figure 101). 그리고 시계방향으로 돌아가는 원형의 가슴 모티프가 링킹조직의 바이어스 구조와 연결되게 하였다. 소재조직을 결합하기 위해 경사 쪽은 열 고정 접착을 하며 위사 쪽은 루프를 끼워 연결하여 <Figure 102>, <Figure 103>과 같이 결합, 완성하였다. 이를 <Table 8>과 같이 정리하였고, 스타일링 이미지는 <Figure 104>와 같다.

3) 작품 3

방사선 형태의 파로디아속 파로디아 마그니피카를 모티브로 선정하여 프랙탈 이미지를 분석하였다(Figure 105). 창시자의 형태인 반원형 구조가 고리구조를 가지면서 <Figure 106>과 같은 체인메일과 결합하여지는 소재 디자인이다. 이는 프랙탈

Table 8. 작품 2의 제작과정과 작품이미지.


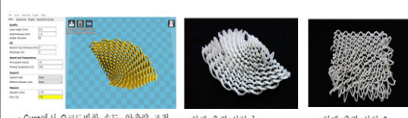

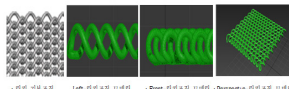
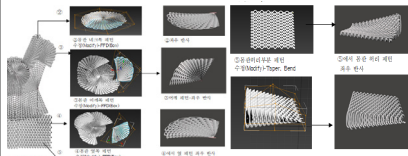

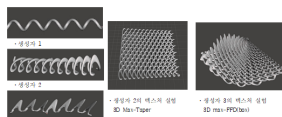

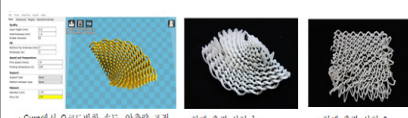




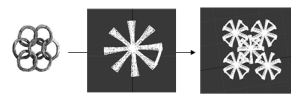
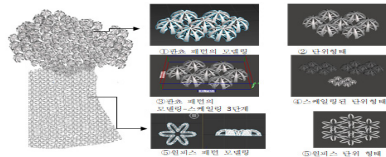




작품의 전개과정		작품 디테일	스타일링 이미지	
 <p>• 크래프트 이미지 추출 • 크래프트 • 용기의 디자인</p>		 <p>• Cura에서 0.35mm(45도) 압출양 조절 • 형태 출력 설정 1 • 형태 출력 설정 2</p>	 <p>Figure 104. 작품 1의 스타일링.</p>	
 <p>• 평평한 기본조직 Left-평평조직 모델링 • Plane-평평조직 모델링 • Perspective-평평조직 모델링</p>		 <p>Figure 100. 의상형태 및 소재배치.</p>		 <p>Figure 102. 디테일 1.</p>
 <p>• 평평한 2차 메쉬조직 설정 3D Mesh-Taper • 평평한 3차 메쉬조직 설정 3D Mesh-PPD(Mesh) • 평평한 4차 메쉬조직 설정 3D Mesh-PPD(Mesh)</p>		 <p>Figure 103. 디테일 2.</p>		
 <p>Figure 99. 샘플소재 출력.</p>		 <p>• 출력물 1 2000x1700x35mm • 출력물 2 1800x1700x40mm • 출력물 3 2000x1800x35mm</p>		

Table 9. 작품 3의 제작과정과 작품이미지.

작품의 전개과정		작품 디테일	스타일링 이미지	
<div><p>•소재의 이미지와 원안</p><p>•모티브</p><p>•동작의 단면인</p></div> <p>Figure 105. 모티브 분석 및 창시자디자인.</p>		<div><p>1.단조-배치된 소재의 단면</p><p>2.단조-배치된 소재의 단면</p><p>3.단조-배치된 소재의 단면</p></div> <p>Figure 108. 샘플소재 출력.</p>	<div></div> <p>Figure 113. 작품 1의 스타일링.</p>	
<div><p>기본조직 (channel)</p><p>•Top-기본조직의 모델링</p></div> <p>Figure 106. 기본조직 모델링.</p>		<div><p>1.단조-배치된 소재의 단면</p><p>2.단조-배치된 소재의 단면</p><p>3.단조-배치된 소재의 단면</p><p>4.단조-배치된 소재의 단면</p><p>5.단조-배치된 소재의 단면</p><p>6.단조-배치된 소재의 단면</p></div> <p>Figure 109. 의상형태 및 소재배치.</p>		<div><p>Figure 111. 디테일 1.</p></div>
<div><p>•생성자</p><p>•front, left-생성자의 구조(Contact)</p><p>•second-left-생성자의 구조(Contact)</p></div> <p>Figure 107. 생성자의 디자인.</p>		<div><p>Figure 112. 디테일 2.</p></div>		
<div></div> <p>Figure 110. 소재조직의 구성.</p>				

기하학의 특성인 자기유사성, 비선형성, 무작위성을 가지며 프랙탈 기하학의 반복의 규칙인 회전, 스케일링과 중첩, 접기가 적용된다. 반구형의 생성자를 모델링한 후<Figure 107>, 생성자 5개를 체인

메일식으로 연결하여 단위형태를 만든 후 중첩해 입체적인 직물을 구성하였다. 또한 <Figure 108>과 같이 샘플 소재를 출력하는 단계에서 크기의 조절과 고리의 연결방법을 실험하여 연결고리들이 서

로 붙지 않도록 하였다.

체인메일은 드레이프성을 가지므로 의상형태를 <Figure 109>와 같이 A라인 원피스 형태로 디자인한 후 상의와 하의 스커트를 분리하여 모델링을 완성하였다. 그리고 구성 시 드레이프성을 잘 살리기 위해 20도 정도 바이어스 방향으로 배치하였다. 상의 판췌 형태는 6개의 반구를 한 패턴으로 생성자에 스케일링의 변화를 주어 3가지 크기를 갖는 단위형태로 모델링하였고, 체인 메일식의 유연한 결합을 위해 열 고정 방식으로 <Figure 110>과 같이 서로 떨어지게 단위형태를 결합하였다. 디테일인 <Figure 111>, <Figure 112>와 같이 중첩시켜 볼륨을 완성하였고 스타일링 이미지는 <Figure 113>과 같다. 이를 <Table 9>와 같이 정리하였다.





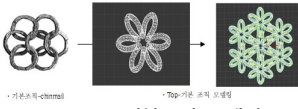
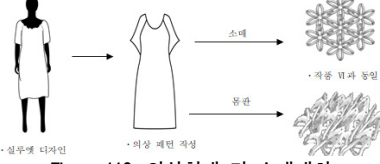
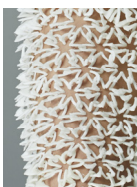
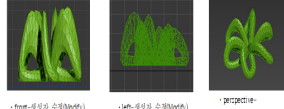
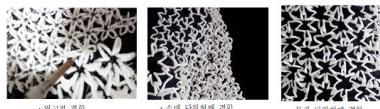
4) 작품 4

동운철화는 꽃잎이 모여 있는 것과 같은 프랙탈 구조를 보인다. 꽃잎처럼 뻗어 나간 불규칙한 가지들에서 가장 형태가 왜곡된 창시자의 형태를 추출한 후 <Figure 114>, 프랙탈 기하학의 특성인 자기유사성,

비선형성을 프랙탈 기하학의 조형원리인 반복의 규칙인 회전, 스케일링, 변형과 중첩, 왜곡을 적용하여 디자인하였다. 기본조직을 6개의 고리가 달린 체인 메일 조직으로 모델링한 후 <Figure 115>, 3D Max의 FFD 도구를 사용하여 모델링 포인트를 잡아당겨 생성자의 형태를 <Figure 116>과 같이 왜곡, 변형시켰다.

한 방향으로 형태의 흐름이 보이도록 6개의 꽃잎 형태가 아래로 방향성을 가지면서 질감조직의 흐름을 형성하게 하였다. 이를 위해 큐라의 설정값을 조절하며 샘플 소재를 출력하여 크기와 변형 각도 등을 점검하고 <Figure 117>, 이에 맞게 의상 형태를 디자인하고 소재를 배치하였다(Figure 118). 단위형태가 가장 잘 보이도록 앞판과 뒷판의 전체를 형성하게 구성하였기 때문에 텍스처가 효과적인 단위형태 크기를 결정하기 위해 실험을 거듭하였다. 결과적으로 몸판을 Z축으로 변형 왜곡하여 입체적인 질감을 구성하면서 소재의 중량이 높아져 자연스럽게 아래 방향으로 처지는 효과가 나타났다. 허리 부분까지 내려오는 옆판과 소매는 실용성을 고려하여 좀 더 작은 크기의 얇은 매쉬조

Table 10. 작품 4의 제작과정과 작품이미지.

작품의 전개과정		작품 디테일	스타일링 이미지
 <p>Figure 114. 모티브 분석 및 창시자디자인.</p>	 <p>Figure 117. 샘플소재 출력.</p>	 <p>Figure 120. 디테일 1.</p>	 <p>Figure 122. 작품 1의 스타일링.</p>
 <p>Figure 115. 기본조직 모델링.</p>	 <p>Figure 118. 의상형태 및 소재배치.</p>	 <p>Figure 121. 디테일 2.</p>	
 <p>Figure 116. 생성자의 디자인.</p>	 <p>Figure 119. 소재조직의 구성.</p>		

직으로 구성하였다. 이 경우 크기가 작아진 체인 메일 형태가 서로 붙어 찰랑거림 없이 스트레치 효과만 가진다. <Figure 119>와 같이 체인 메일식의 유연한 결합을 위해 열 고정 방식으로 서로 떨어지게 단위형태를 결합하였다. 디테일인 <Figure 120>, <Figure 121>과 같이 중첩해 볼륨을 구성하였고 스타일링 이미지는 <Figure 122>와 같이 완성하였다. 이를 <Table 10>과 같이 정리하였다.

VI. 결론 및 제언

자연 속에서 찾아낸 프랙탈 기하학의 구조적 질서는 디자인에 있어서 미적 근거를 탐색하는데 중요한 원리가 된다. 본 연구는 이러한 프랙탈 기하학의 조형원리를 적용한 3D 프린팅 패션소재 디자인방법을 구축하여 작품을 제작하였고, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫째, 분석적 기반으로 먼저 프랙탈 조형개념과 원리를 살펴보고, 패션소재로서 3D 프린팅 패션 디자인의 개념 및 현황을 파악하였다. 그리고 3D 프린팅 패션소재가 더욱 기능적인 유연함을 갖도록 3D 프린팅 패션소재의 사례를 표집 및 분석한 후 기본 소재조직과 결합하여 정답함으로써 패션 소재 디자인 방법의 토대를 마련하였다.

둘째, 프랙탈 기하학의 생성원리는 자기유사성의 반복적 규칙에 의한 중첩, 왜곡, 접기 등으로 비선형, 불규칙성, 무작위성을 조형적으로 표현하게 된다. 이러한 프랙탈 조형원리는 반복적 자기유사성의 원리에 따라 불규칙한 특성을 조직화하는 원리로 자연의 패턴을 구축하며 공간을 점유해 나가게 된다.

셋째, 모티브가 되는 자연의 프랙탈 형태를 관찰하여 기하학적 형태를 추출하고 이를 통해 생성자를 디자인할 수 있었다. 이는 자연의 효율적인 질서와 생성의 구조를 만들어 주는 프랙탈 조형원

리의 최소 단위형태가 되며 패션소재의 표면조직을 구조화시킨다. 프랙탈 조형방법은 디자인의 시작점부터 적용되어 디자인 과정뿐만 아니라 생성자의 단위형태 변환에도 적용되기 때문에 기하학적 형태는 전체 디자인의 형태를 결정하기도 한다.

넷째, 디자인에서 프랙탈 기하학의 형태는 단위 형태를 조직화하는 패턴화된 질서로 표현되는데 이를 3D 모델링을 통한 3차원 좌표설정으로 원사의 표면질감을 심미성 있게 조형화시켰으며, 단위 형태의 위상변화에도 적용하여 니팅, 링킹, 체인메일과 같은 기본조직을 활용한 3D 프린팅 패션소재를 제안할 수 있었다.

다섯째, 설정된 프랙탈 이미지 변환에 맞는 프로그램 연구를 통해 프랙탈 기하학의 조형원리를 3D 모델링방법에 적용하는 디자인 방법을 구축하였고, 이를 작품으로 제안하여 원사와 직물의 최종 형태를 한 번에 출력할 수 있는 3D 프린팅의 효율성을 확인하였다. 이러한 점은 시제품을 위한 타임라인을 줄이는 효율성을 증대시키고 생산적인 면에서도 버려지는 분량을 최소화하는데 기여할 수 있다.

여섯째, 3D 프린팅의 방식과 재료, 현재 산업 동향을 살펴보고 현재 보급화되고 있는 FDM 방식의 3D 프린터를 개인 제작방식으로 이용하였다. 패션소재의 3차원 표면효과가 3D 프린팅을 이용하여 극대화될 수 있으며 중첩, 왜곡, 접기와 같은 위상변화에 의해 소재표면의 깊이와 표면질감을 다양하게 표현할 수 있다.

일곱째, 3D 프린팅으로 출력된 단위형태의 결합방법을 연구하여 크기에 제약적인 부분을 보완하였으며, 소재조직 선정부터 모티브에 맞도록 조직 전체를 디자인한 후 이를 세부적으로 계획하여 조형화시켰다.

여덟째, 4가지의 디자인 유형에서 니트조직을 기본으로 한 ‘작품 1’은 실제 니트조직과 같은 물성을 지니며 입체적인 루프가 물결치는 조형미를

가진다. 링킹조직을 기본으로 한 ‘작품 2’는 스프링과 같은 입체적인 탄력성을 지니며 결 방향에 따라 회전하는 조형성을 갖게 된다. 체인메일을 기본조직으로 한 ‘작품 3, 4’는 스트레치 효과와 드레이프성을 갖게 된다. 이 경우 중첩에 의해 공간감을 표현하게 되며 Z축의 잡아당겨지는 방향에 따라 결을 형성하게 된다.

자연의 형태구조에서 찾아낸 패턴과 형태원리를 기본으로 한 소재 디자인은 자연이 만드는 합리적 구조에 대한 과학적 유용성과 방법적 합리성을 동시에 가질 수 있었다. 이러한 유연한 직물구조를 기본으로 한 3D 프린팅 제작방법이 빠르게 발전하는 3D 프린터 시장에서 더욱 조형적인 직물을 실용화 할 수 있는 핵심적인 디자인 방법으로 발전되기를 기대한다.

References

- a10687500-스톡 이미지 [a10687500-stock image]. (n.d.). *gettyimagesbank*. Retrieved July 17, 2018, from <https://www.gettyimagesbank.com/view/%EC%97%B0/a10687500>
- Brian, E. S. (n.d.). Leaf positioning(phyllotaxy). *Molecular & Developmental Biology (BIOL3530)*. Retrieved July 12, 2018, http://www.mun.ca/biology/desmid/brian/BIOL3530/DEVO_07/devo_07.html
- Briggs, J., & Peat, F. D. (1990). *Turbulent mirror* (Kim, G. T., Trans). Seoul: Pomyangsa. (Original work published 1989)
- Chapter 1-Fractals In Our World. (n.d.). *FRactal Explorer*. Retrieved July 5, 2018, from http://www.wahl.org/fe/HTML_version/link/FE1W/c1.htm
- Chapter 2-Fractals Basic-Taking a closer. (n.d.). *FRactal Explorer*. Retrieved July 5, 2018, from http://www.wahl.org/fe/HTML_version/link/FE2W/c2.htm#linear
- Earth's Brain from Hector Garrido. (2013, February 7). *RobotSpaceBrain*. Retrieved July 6, 2018, from <http://www.robotspacebrain.com/earths-brain-from-hector-garrido>
- Giulio, P. (2009). Knitting patterns on a surface in Grasshopper. *Giulio Piacentino*. Retrieved July 9, 2018, from <http://www.giuliopiacentino.com/knitting-pattern/#more-938>
- Hartwig, J., & Darr, S. (2014). Influential factors for liquid acquisition device screen selection for cryogenic propulsion systems. *Applied Thermal Engineering*, 66(1-2), 548-562. doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.02.022
- INK BLOT TEST. (n.d.). *SANDRA_BACKLUD*. Retrieved July 9, 2018, from <http://sandrabacklund.com/previous-collection.php?page=28>
- Iris van Herpen's Crystal-esque 3D printed dress & shoes for Paris Fashion Week turns heads on the runway. (2015, March 28). *3ders*. Retrieved July 9, 2018, from <https://www.3ders.org/articles/20150328-iris-van-herpens-crystal-esque-3d-printed-dress-shoes-paris-fashion-week.html>
- Iris van Herpen 2015 Spring Summer Womens Runway. (2014, October 8) Retrieved July 25, 2018, <http://www.denimjeansobserver.com/mag/2014/10/08/iris-van-herpen-2015-spring-summer-mode-paris-fashion-week-france-womens-silicone-3d-cutout-laser-mesh-alien-exoskeleton-dress-skirt-spikes-drapery>
- Jeon, H. Y. (2017, March 4). 세렝게티 얼룩말이 가르쳐 준 포옹의 힘 [The power of embrace taught by the Serengeti zebra]. *Daily Tomorrow*. Retrieved July 5, 2018, from <http://www.dailytw.kr/news/articleView.html?idxno=15471>
- Kim, H. Y. (2012). *A study on the tree-dimensional design education using fractal geometry*. Unpublished master's thesis, Kookmin University, Seoul.
- Kim, J. M. (2003). The design principles and expressive characteristics based on fractal concepts. *Korean Institute of Interior Design Journal*, (37), 12-20.
- Kim, S. A. (1998). *A study on fashion illustration using computer programs: Focused on fractal programs*. Unpublished master's thesis, Ewha Womans University, Seoul.
- Kim, S. J. (2009). *A study on experimental furniture design development applied fractal geometry*. Unpublished master's thesis, Ewha Womans University, Seoul.
- Kim, M. J. (2011). *Study on jewelry design of optical pattern*. Unpublished doctoral dissertation, Kaya University, Gimhae.
- Kim, Y. G., & Kim, Y. W. (1998). *프랙탈과 카오스의 세계* [World of fractals and chaos]. Seoul: Woosung.
- Kinematics. (2016). *Nervous System*. Retrieved July 5, 2018, from <https://www.n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/kinematics-concept>
- Lace'r Sintering: Materialise, Miles and Lineapiù Bring 3D Printing to the Knitwear Industry. (2016, November 10). *materialise*. Retrieved July 5, 2018, from <https://www.materialise.com/en/blog/lacer-sintering-materialise-miles-and-lineapiu-bring-3d-printing-to-knitwear-industry>
- Larsen, J. L., & Freudenheim, B. (1986). *Interlacing: The elemental fabric*. New York: Kodansha International.
- Lee, J. (2008). *A study on the fashion design from fractal geometry: Centering on Kai's power tools(KPT) technique*. Unpublished master's thesis, Ewha Womans University, Seoul.
- LMN Tech Studio. (n.d.). *LMN*. Retrieved July 5, 2018,

- from <https://lmnarchitects.com/practice/lmn-tech-studio>
- LUCID. (2015). *IRIS VAN HERPEN*. Retrieved June 8, 2018, from <https://www.irisvanherpen.com/haute-couture/lucid>
- Macarena, S. M. (2010). *Future fashion: Innovative materials*. New york: Promopress.
- Macro Photograph of Broccoli. (2012, September 22). *imgur*. Retrieved July 15, 2018, <https://imgur.com/gallery/otgNL/comment/6862899>
- Mandelbrot, B. (1967). How long is the coast of Britain? statistical self-similarity and fractional dimension. *Science*, 156(3775), 636-638. doi:10.1126/science.156.3775.636
- Mandelbrot, B. (1982). *The fractal geometry of nature*. San Francisco: Freeman.
- Moon, S. J. (2014). *A textile design using the fractal theory*. Unpublished master's thesis, Ewha Womans University, Seoul.
- Noa, R. (2014). *NOA RAVIV*. Retrieved July 18, 2018, from <http://www.noaraviv.com/hard-copy-collection/5mgbebz32pkiokkc2wjntwzce6ku72>
- N12 3D Printed Bikini: Technical Update: Technical. (2011, June 13), *SHAPEWAYS*. Retrieved July 5, 2018, from <http://www.shapeways.com/blog/archives/875-n12-3d-printed-bikini-technical-update.html>
- Paek, S. H. (2015). Introduction of 3D printing technology & applications. *Korean Industrial Chemistry News*, 18(1), 2-10.
- Philip, B. (2014). *가자: 형태들을 연결하는 관계* [Nature's patterns: A tapestry in three parts] (Kim, M. N., Trans.). Seoul: Sciencebooks. (Original work published 2009)
- Pringles of Scotland. (2014). Printing fun at the 3D Print show London. *Digital & Islamic Art*. Retrieved June 15, 2018, from <http://www.islamicdigitalarts.com/tag/3d-printing>
- QUAQUAVERSAL. (2016). *IRIS VAN HERPEN*. Retrieved August 8, 2018, from <https://www.irisvanherpen.com/womenswear/quaquaversal>
- READY-TO-WEAR SPRING/SUMMER 2015. (n.d.). *VOGUE*. Retrieved June 8, 2017, from <https://en.vogue.fr/fashion-shows/shows/defile/spring-summer-2015-paris-iris-van-herpen/9689#00300h>
- SPRING 2015 READY-TO-WEAR Threasefour. (n.d.). *VOGUE*. Retrieved June 8, 2017, from <https://www.vogue.com/fashion-shows/spring-2015-ready-to-wear/threasefour/slideshow/collecion>
- SYNTOPIA. (2018). *IRIS VAN HERPEN*. Retrieved August 8, 2018, from <https://www.irisvanherpen.com/haute-couture/syntopia>
- ThreeASFOUR Dress 3D printed. (n.d.). *threasefour*. Retrieved June 10, 2018, from <http://threasefour.tumblr.com/page/3>
- The POSEIDON garment with 600 interconnected movable scales is 3D printed in one piece. (2015, August 10). *www.3ders.org*. Retrieved July 5, 2018, from <https://www.3ders.org/articles/20150810-3d-printed-poseidon-garment-includes-more-than-600-interconnected-movable-scale-s.html>
- Watkin, H. (n.d.). 3D Printed AMIMONO Vest by STARTed and Masaharu Ono. *All3DP*. Retrieved July 8, 2018, <https://all3dp.com/amimono-3d-printed-vest>
- Weave a suit of medieval scale mail. (2010, November 22). *WONDERHOWTO*. Retrieved July 11, 2018, <https://metalsmithing.wonderhowto.com/how-to/weave-suit-medieval-scale-mail-405367>
- Yun, M. H. (2012). A study of the expressive possibilities of modern formative arts using fractal geometry. *Journal of the Korean Society of Design Culture*, 18(4), 300-311.
- 관절 [Joint]. (n.d.). *Naver*. Retrieved July 11, 2018, https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=938742&cid=51006&categoryId=51006#TABLE_OF_CONTENT3
- 국경선 길이의 수학 [Mathematics of borderline length]. (2006, May 31). *Fractal Art by @FRACTAL*. Retrieved July 17, 2018, http://www.afractal.com/rgbboard/view.php?&bbs_id=FractalData&page=3&doc_num=31
- 굴 버섯 근접 촬영 - 스톡 이미지 [Oyster mushroom closeup-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 15, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/62527313/stock-photo-oyster-mushrooms-grow-on-a.html>
- 근접 촬영에 신선한 민트 - 스톡 이미지 [Fresh mint in closeup-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 15, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/19673529/stock-photo-fresh-mint-in-closeup.html>
- 금잔화 꽃-스톡 이미지 [Marigold-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 15, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/1704826/stock-photo-marigold-flowers.html>
- 나무뿌리-스톡 이미지 [Root-stock image]. (n.d.). *shutterstock*. Retrieved July 15, 2018, from https://www.shutterstock.com/ko/image-vector/set-tree-roots-silhouette-vector-illustration-663933910?src=kD_8gZSP-lThclJzHd0A-1-10
- 나뭇잎 곤충에 의해 천공-스톡 이미지 [Perforated by leaf insect-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 15, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/121523242/stock-photo-autumn-leaves-perforated-by-insects.html>
- 녹색 고비잎 - 스톡 이미지 [Green fern leaf-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 15, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/66859851/stock-photo-green-fern-leaves-against-darkness.html>
- 녹색 잎-스톡 이미지 [Green leaf-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 15, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/50565909/stock-photo-green-leaf.html>
- 메리야스 [Knit]. (n.d.). *Naver*. Retrieved July 11, 2018, from <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1092604&cid=40942&categoryId=32093>
- 메일 [Mail]. (n.d.). *Naver*. Retrieved July 11, 2018, <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1693015&cid=60360&categoryId=60360>

- 브로콜리 - 스톡 이미지 [Broccoli-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 15, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/134279394/stock-photo-broccoli-floret-isolated-on-a.html>
- 삼원조직 [Triangular organization]. (n.d.). *Naver*. Retrieved July 11, 2018, <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=280431&cid=42822&categoryId=42822>
- 샤넬과 3D 프린터가 만나면 [When Chanel and 3D printer meet]. (2015, November 1). *Tech Holic*. Retrieved July 5, 2018, from <http://www.techholic.co.kr/news/articleView.html?idxno=41091>
- 선인장 구체-스톡 이미지 [Cactus sphere-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 17, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/36798013/stock-photo-cactus-sphere.html>
- 솔방울-스톡 이미지 [Pine cone-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 17, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/52133963/stock-photo-pine-cone-isolated-on-white.html>
- 야자수의 잎-스톡 이미지 [Leaves of palm trees-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 15, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/2749161/stock-photo-leaves-of-palm-tree.html>
- 잎 먹는 애벌레-스톡 이미지 [Leaf-eating larvae-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 17, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/179358140/stock-photo-green-butterfly-worm-leaf-eating.html>
- 자연탐구4 [Nature inquiry 4]. (n.d.). *사이언스레벨업*. Retrieved July 17, 2018, from https://sciencelevelup.kofac.re.kr/contents/detail?course_cd=HR003&contents_type_cd=NCT004&contents_idx=94
- 작은 소금결정-스톡 이미지 [Small salt crystals-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 17, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/2851508/stock-photo-tiny-salt-crystals.html>
- 잠자리 날개-스톡 이미지 [Dragonfly wing-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 17, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/13998141/stock-photo-dragonfly-wings-in-high-resolution.html>
- 크로셰 레이스 [Crochet lace]. (n.d.). *Naver*. Retrieved July 11, 2018, https://terms.naver.com/imageDetail.nhn?docId=287080&imageUrl=https%3A%2F%2Fdbstthumb-phinf.pstatic.net%2F2F2545_000_1%2F20130624191602044_44USM79WC.jpg%2Fi5086.jpg%3Ftype%3Dm4500_4500_fst&mode=simple&cid=42822&categoryId=42822
- 화이트 오키드-스톡 이미지 [White orchid-stock image]. (n.d.). *depositphotos*. Retrieved July 15, 2018, from <https://ko.depositphotos.com/50702651/stock-photo-orchid-on-white.html>
- 3D printing layered structures. (2014, October 14). *www.3ders.org*. Retrieved July 15, 2018, from <http://www.3ders.org/articles/20141027-german-scientists-turn-to-3d-printing-technology-to-create-artificial-textiles.html>

A Study on 3D Printing Fashion Materials Applying the Modeling Principle of Fractal Geometry

- Focused on Basic Texture Application of Fashion Materials -

Kim, Yang Soo • Kim, Jung Hae^{*}

Ph.D., Dept. of Fashion Design, The Graduate School of Ewha Womans University
Professor, Dept. of Fashion Design, Ewha Womans University^{*}

Abstract

The production method of 3D printing is easy to produce small quantity customized by the fashion industry and 3D printing fashion materials open diversity and creativity in materials in the field of clothing. The Study aims to construct a new 3D printing fashion material design method by combining the generating principle of fractal geometry, which is a natural form principle, and the structure principle of a textile structure, to satisfy both aesthetic creativity and functionality as a fashion material. 3D printing and fractal geometry have commonality that they are easy to applied in topology, and they are a new modeling principle that combines nature, science, and art. The purpose of this study is to propose various implementations for expanding the base of 3D printing fashion materials and to create a new design method in terms of production technology as well as individual manufacturing area. The principle of fractal generation starts with minimized forms such as lines, geometrical shapes, etc. The shape of fractal geometry in the design is expressed in a patterned order that organizes the unit form. It was modeled to the texture of the surface of the yarn by setting the three-dimensional coordinates through 3D modeling and the 3D printing fashion material using the basic organization such as knitting, linking, and chain mail. Then, a design method was established through the program study for the set fractal image transformation, and the efficiency of 3D printing which can output the yarn and the final form at once was confirmed. Through this research, it is expected that the 3D printing production method based on the flexible fabric structure will be developed as a core design method for practical application of the more formal fabric in the rapidly developing 3D printer market.

Key words : 3D printing, fractal geometry, fractal design, fashion material, textile structure