

# 파라메트릭 디자인 방법론을 적용한 바이오모픽 의상조각 모델링 프로세스와 구성요소 분석

유영선<sup>†</sup> · 조민진<sup>\*</sup>

경희대학교 의상학과 교수<sup>†</sup> · 경희대학교 의상학과 박사<sup>\*</sup>

## A study of parametric design methodology for 3D modeling parameters of biomorphic clothing sculpture

Young-Sun Yoo<sup>†</sup> · Min-Jin Cho<sup>\*</sup>

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

Doctor, Dept. of Clothing and Textiles, Kyung Hee University<sup>\*</sup>

(2019. 4. 8 접수; 2019. 5. 13 수정; 2019. 6. 19 채택)

### Abstract

The purpose of this study is to examine the clothing component information and attributes as the control parameters for the 3D modeling process of the biomorphic clothing sculpture using a parametric methodology. The 3D modeling parameters of biomorphic clothing sculpture were identified as exaggerated silhouette, surface texture, and digital color. The types of exaggerated silhouettes were shoulder and hip exaggeration, shoulder exaggeration, hip exaggeration, vertical exaggeration, and horizontal exaggeration. The types of surface texture were embossed, lacy, furry, and complex textures. The types of digital color were chrome, blur, blend, and acid colors. The characteristics of morphological representation due to the attributes of these control variables were identified as morphological variation, organic morphology, organizational morphology, and realistic morphology. As a result, it was found that the parameter attributes were applied to the biomorphic clothing sculpture parametric design process and developed into various shapes.

*Key Words:* biomorphic clothing sculpture(바이오모픽 의상 조각), Fractal(프랙탈), Voronoi(보로노이), Tessellation(테셀레이션), biological algorithm(생물학적 알고리즘)

## I. 서론

오늘날 디자인과 첨단 컴퓨터 기술의 접목은 디자이너의 직관에 의한 개념적 가치를 형태와 기능으로 구현하던 전통적인 디자인 과정에서 수학적, 물리적 연산을 지원받는 엔지니어링 디자인의 혁신적 프로세스로 전환시키고 있다. 지식기

반 엔지니어링, 즉 파라메트릭 디자인(Parametric design)은 창의적인 디자인 개념과 논리적인 체계의 컴퓨터를 활용하여 컴퓨터 로직을 토대로 생성되는 수많은 형상과 복잡한 패턴들을 파생시킬 수 있는 생성적 디자인 방법론이다(박정대, 2012). 매개변수에 의한 파라메트릭 디자인은 디지털 기술을 바탕으로 자연에서 나타나는 구조적 질서와 원칙을 복잡하나 효율적이며 미적인 결과물로 생성 가능하게 할 수 있다는 점에서 건축을 비롯한 다양한 분야의 디자인 방법론으로 활용되고 있다.

<sup>†</sup>Corresponding author ; Young-Sun Yoo  
Tel. +82-2-961-0254  
E-mail : ysyoo@khu.ac.kr

바이오모픽 아트(Biomorphic art)는 일찍이 생물의 생체구조와 정밀하고 신비한 생체기능에 대한 해석을 통하여 인간 생활에 기여하는 새로움을 제공해 온 예술가들의 활동에서 발전되었으며 이들은 자연에 대한 기계론적 사고를 거부하고 영혼과 정신 등 형이상학적인 것을 기반으로 유기적인 생명체 또는 형태들을 작품 속에 도입하고자 한 점에서 오늘날의 파라메트릭 디자인 방법론을 적용한 프랙탈 이미지와 보로노이 다이어그램 디자인과 닮아있다(박수연, 2017).

파라메트릭 디자인 방법론의 선행연구들은 건축분야에서 많이 나타났는데 권수환 외(2013)는 코딩에 대해 지식이 없는 비전문가를 대상으로 하는 IFC-XML(The Industry Foundation Classes-Extensible Markup Language)의 자동구축시스템을 개발하여 웹기반 라이브러리를 운영하기 위한 기초연구를 하였으며, 김용일과 양관목 (2015)은 파라메트릭 모델링에 BIM을 이용한 주택설계과정을 통하여 SPC(Student Performance Criteria)에서 요구하는 이해와 적용능력을 발전시키기 위한 도구를 확립하고자 하였다. 이 연구들은 건축 구조설계 과정에 파라메트릭 방법을 도입하여 대안을 발견하고자하는 파라메트릭 디자인 프로세스에 관한 연구였다. 건축 외 분야의 선행연구로는 이진욱(2011)의 생성적 디자인을 이용한 가구디자인의 특성에 관한 연구와 서혁준(2014)의 자동차 디자인에서의 파라메트릭 모델링 효용성에 관한 연구가 있었다. 이 밖에 남상원(2010)은 주얼리 디자인 향상을 위한 최신 기반 기술의 활용 방법을 가지고 전문가를 교육할 수 있는 방안에 관한 기초연구를 진행하였다. 이처럼 파라메트릭 디자인 방법론은 건축분야에서 주로 다루어진 연구 주제로 타 분야에서는 아직 많이 다루어지지 않고 있으며, 연구내용도 이론적 접근으로만 이루어져 있었다. 따라서 본 연구는 3차원의 형태구축으로 이루어지는 건축분야와 의상조각(clothing sculpture)의 유사성을 논리적 기반으로 디지털 과학의 많은 부분이 인간생활 속에 들어와 도구로서의 역할을 넘어 정보 입력만으로 예술적 결과를 만들어낼 수 있다는 점과 최근 디지털 기술을 바탕으로 생물의 근원적 원리를 정보화한 생성적 디자인 창출에 관심이 고조되고 있다는 점을 주목하였으며, 파라메트릭 디자인 방법론을 적

용한 바이오모픽 의상조각(Biomorphic Clothing Sculpture) 모델링 프로세스와 매개변수로서의 구성요소를 밝히는데 연구목적을 두었다. 연구방법은 이론연구와 사례분석으로 이루어졌고, 사례분석을 위하여 수집된 자료들은 2010년 이후 디지털 기술을 적용하여 3D모델링된 부분을 포함한 의상들이며 자료수집은 국내·외 3D프린팅 전문 웹사이트와 패션저널, 신문기사, 인터넷 자료 등을 활용하였다. 수집된 사례는 패션전문가 3인이 모여 모두 동의한 것을 채택하였으며 바이오모픽 특성이 뚜렷하게 나타나지 않은 사례와 아마추어적인 디자인 사례를 제외하고 최종적으로 총 124개의 사례들을 분석에 사용하였다.

## II. 바이오모픽 예술과 의상조각

### 1. 바이오모피즘과 바이오모픽 아트

바이오(Bio)는 생명, 생기있는 현상, 생물 기관 등에 관련 및 연결을 의미하는 복합형이며, 형상성(Morphism)은 한 기관 또는 부분의 형태 및 구조가 집합적으로 이루어진 형태이다(김현주, 이재규, 2014). 즉, 자연의 생명감있는 형상을 유추할 수 있는 디자인 형태학을 바이오모피즘(Biomorphism)이라 할 수 있다.

바이오모픽 아트는 생명형태적 혹은 생물형상적 미술로서, 특히 자연에서 발견되는 현상들에 기초를 둔 불규칙하고 우연한 형태에 근거한 추상미술을 가리킨다. 에드워드 루시 스미스(Edward Lucie-Smith)의 정의에 의하면 '바이오모픽(Biomorphic)'이란 자연 속에서 보여지는 형태들에 근거를 두고 있는 불규칙한 추상 형태들을 포함한다. 주로 꽃이나 식물, 남성과 여성의 성기(性器) 및 생명체 혹은 생명 현상과 연관된 모티브를 사용하는 유기체적인(organic) 양식이다(월간미술. nd.).

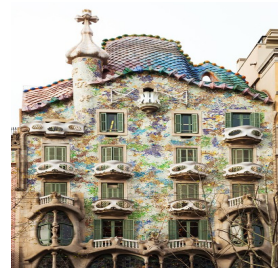
바이오모픽 아트의 기원은 조각가 장 아르프(Jean Arp)에서 비롯되었고 그는 '바이오모피즘의 아버지'로 불린다(Greenbaum, 1994). 클리블랜드 아트뮤지엄(Cleveland Museum of Art)의 큐레이터 에드워드 B. 헨닝(Edward B. Henning)은 아르프의 목조 릴리프 인 '포레스트(Forest)' <그림 1> 이 조안 미로(Joan Miró)의 초기 바이오모피즘 실



〈그림 1〉 포레스트(Forest), 1916  
(출처 : <http://www.clevelandart.org>)



〈그림 2〉 더 헤어(The Hare), 1927  
(출처 : <https://www.guggenheim.org>)



〈그림 3〉 까사바트요(Casa Batllo)  
(출처 : <https://www.casabatllo.es>)

험적 작품 ‘더 헤어(The Hare)’에 영향을 미친 것으로 주장하였고 대상이 되는 자연물의 상징적 색채와 형태들을 추상화하여 표현되었다. 〈그림 2〉는 미로의 작품으로 바이오모픽 특성을 찾아볼 수 있다(Henning, 1979). 이 그림의 오브제들은 생명체의 역동성이 드러나는 유기적 곡선과 상징적 색채로 표현되고 있다. 〈그림 3〉은 건축가 안토니오 가우디(Antoni Gaudi)의 까사바트요(Casa Batllo)로 바다와 사람의 뼈 모양을 소재로 유기체의 형태를 모방한 건축물이다. 이처럼 바이오모픽 아트는 역동적이고 유기적인 곡선을 연속적으로 사용하여 표현대상을 살아있는 생명체로 표현한 것 같은 형태와 초현실적 장식과 상징적 색채로 표현되었다.

현재 디자인 분야에 나타나고 있는 바이오모픽은 단순히 자연의 형태를 반영하는 것이 아니라 자연의 복잡한 질서를 수학적 생성 알고리즘의 기법으로 컴퓨터 기술과 접목되어 표현되면서 보다 다채로운 디자인 제안이 가능하게 되었다.

## 2. 바이오모픽 의상 조각 (Biomorphic clothing sculpture)

의상 조각(Clothing Sculpture)은 아트 투 웨어(Art to Wear), 아트 웨어(Art Wear), 웨어러블 아트(Wearable Art)로 불리는 예술과 의상의 결합으로 파생된 예술운동의 하나로 나타났다. 1990년대 이후 작가의식의 확대로 순수조형을 위한 예술이 아닌 시대적 요구와 사회적 문제를 조각과 같은 형태의 예술 의상을 통해 표출한 것이다. 김정혜(1998)는 의상 조각은 대부분 개인적인 메타포를 제시하며 그 이미지는 의상을 의인화한 실제

였으며 의상 조각의 형태가 포함하고 있는 네거티브 공간은 인체 형태를 암시하여 관람자에게 커다란 감흥과 상상을 불러일으키게 되는 예술과 결합된 의상으로서의 조각의상의 개념을 정립하였다.

최근에는 3D 프린팅으로 생산된 의상들이 ‘sculpture’로 불리면서 의상 조각의 범위가 확대되었다. 본 연구에서는 이러한 3D 프린팅으로 제작된 의상을 ‘의상 조각’으로 정의하였다. 네덜란드 패션 디자이너 아이리스 반 헤르펜(Iris van Herpen)은 패션 디자인 분야에 과학과 디지털 기술을 융합시켜 아름다움과 재생이라는 개념에 초점을 맞춘 웨어러블 아트를 통해 표현하고 있는데 그녀는 패션 디자이너이자 조각가로 불리고 있다(Scene360, nd). 헤르펜은 패션은 스타일을 넘어서서 기술, 예술 및 과학을 대상으로 하는 의상 이상의 것임을 증명하고 있다.

2010년 초반부터 패션분야의 3D 프린팅 사용은 증가하고 있다. 즉, 3D 프린팅의 독창적인 과정과 새로운 소재개발은 의상 조각 제작에 다양한 가능성을 부여하고 있어 디자이너들의 관심을 모으고 있는 것이다(Richardot, 2018).

앞으로도 3D 의상조각은 모델링과 제조기술 발전에 따라 창조적 실험이 가능하며 의상 조각을 개발하고자 하는 이들에게 새로운 솔루션을 제공할 수 있을 것이다.

## Ⅲ. 파라메트릭 디자인 방법과 표현기법

### 1. 파라메트릭 디자인 방법론

파라메트릭 디자인은 내재된 논리의 분석과 체계화를 통해 이루어지며, 이를 전문가의 디자인 지식을 모델링 하는데 포함시켜 디자이너의 경험을 데이터와 연동함으로써 프로젝트의 정확성과 효율성을 높이기 위해 착안된 방안이다(박정대, 2012). 또한 디자인을 구성하는 3차원의 객체 즉, 각각의 구성 요소들의 기하학적인 정보뿐만 아니라 요소들이 가질 수 있는 추상적인 의미 즉, 디자인 콘셉트, 모티프, 디자인 특성 등을 포함해 단순한 형태 생성이 아닌 디자이너의 감성까지 디자인에 포함시켜 새로운 가치를 창조할 수 있다.

최근 디자인의 감성적인 부분이 중요해지면서 다양한 분야에서 디자인 지식을 제품 구현 과정에 적용하고 있다. 특히 건축디자인의 경우 전체 디자인 과정의 생성 지식에 디자인 가치를 넣어 재창출한 후, 일정한 규칙으로 정리하여 지식 데이터베이스화 하고 이것을 공유하고 활용함으로써 새로운 부가가치를 창출하는 지식기반 디자인을 적용하고 있다(박수연, 2017).

지식기반 디자인의 대표적 방법인 파라메트릭 디자인은 설계에서 주요 속성들이나 치수들을 매개변수화 하여 형태를 생성하는 디자인 방법으로서 이 방식으로 설계하면 어떤 변수가 변화할 때 자동으로 그와 연관된 형상이 변화하게 된다(이상수, 2009). 뿐만 아니라 설계를 비롯한 생산 및 종합적인 유지관리에 이르는 일반 디자인 프로세스에서 더 나아가 해당 산업분야의 누적된 지식을 객체의 모델정보에 융화시킬 수 있다는 점에서 그 중요성이 부각되고 있다(박정대, 2012).

## 2. 파라메트릭 디자인 모델링 표현기법

파라메트릭 디자인은 제 2의 자연이라고 불리는 매개변수에 의한 디자인으로 매개변수 시스템에서 디자인 형태를 구현하기 위해 형태의 발달, 변형, 수정의 과정을 오브젝트에 영향을 주는 내적, 외적의 힘을 계산식에 넣어 매개변수화 하고 시뮬레이션하면서 형태를 만들어가는 과정이다. 파라메트릭 디자인의 모델링 방법은 구속조건기반(Constraint based)과 번식기반(Propagation based)으로 나뉜다. 구속기반은 소프트웨어에서 제공하는 컴포넌트의 형태정보 및 속성정보를 변경하여 설계에 반영하게 된다. 반면 번식기반 파라메트

릭은 알고리즘(Algorithm)을 이용하여 공간 구성과 형태를 생성할 수 있어 기하학적, 위상학적 디지털공간의 확장과 창의적인 다양한 형상 대안을 만들어 낼 수 있다(윤명철, 고성룡, 2011). 따라서 번식기반 파라메트릭 모델을 활성화하여 다양한 비정형 형태를 만들 수 있다는 점은 다양한 디자인 자원이 필요한 패션분야에서 그 활용가치가 크다고 할 수 있다.

번식기반 파라메트릭 알고리즘 구현에 있어 스크립트를 이용한 컴퓨터이션이 많은 비중을 차지하는 표현기법으로 프랙탈(Fractal), 보로노이(Voronoi), 파보나치(Fibonacci), 분기구조(Bifurcation) 등의 자연의 세포구조 혹은 발생적 규칙이 수학적으로 응용된 사례가 많았으며 표면을 자연의 성장하는 패턴에 따라 점진적 변형을 적용시키는 테셀레이션(Tessellation)기법도 많이 사용되고 있다(고흥권, 2009).

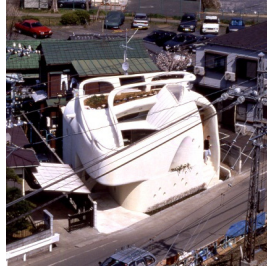
본 연구에서는 파라메트릭 디자인 표현방법에 관련되는 프랙탈, 보로노이 이론과 파라메트릭 패턴 생성 방법으로 다루어지는 테셀레이션, 일부의 변형이 전체에 상호 의존적으로 영향을 미치는 생물학적 알고리즘(Biological algorithm) 이론을 중심으로 파라메트릭 디자인의 모델링 표현기법과 특성을 알아보고자 하였다.

### 1) 프랙탈(Fractal)

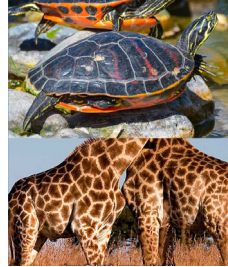
프랙탈의 가장 대표적 특성은 전체의 형상이나 구조가 부분의 구조와 같으며 규모를 확대, 축소하여도 같은 형태를 지니는 자기유사성으로 상세한 모양이 계속해서 반복되는 패턴안의 패턴을 보여주며 점진적으로 새로운 형태를 제시할 수 있는 가능성을 보여준다(윤민희, 2012). 프랙탈의 다른 특성인 비선형성은 입력값의 변화가 예상치 못한 값의 변화를 일으키는 것으로 두 가지 이상의 형태가 서로 맞물리면서 이전과는 다른 새로운 상태로 발전되는 성질이다(엄소희, 2010). 무작위성은 비정형성과 유사성으로 실제 세계에 존재할 것 같은 형태를 만들어 낼 수 있으며, 신선함과 비예측을 가지는 흥미로운 작업을 가능하게 한다. 이러한 프랙탈의 생성원리는 어떠한 수치가 입력되어 프랙탈 방정식이 결과를 산출해 내면, 그 결과에 따라 다시 대입 되어지는 피드백



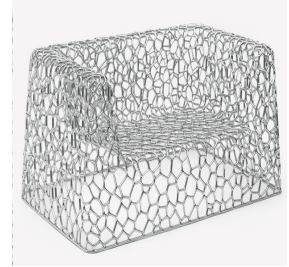
〈그림 4〉 후드 2(Hood 2)  
(출처: 디지털아트 (p. 53) Paul, 2009, 서울: 시공사.)



〈그림 5〉 트루스 워(Truss Wall)  
(출처: <https://www.architectsjournal.co.uk>)



〈그림 6〉 자연에 나타난 보로노이  
(출처: <https://www.toolfarm.com>)



〈그림 7〉 랜덤 박(Random Pak)  
(출처: <http://marc-newson.com>)

알고리즘으로 반복 연산의 과정에서 복잡한 구조를 야기하고 결과적으로 형태의 상당한 변화, 즉, 유사반복적 증식의 특성인 생명체의 성장과 진화를 표현한다(이명식, 2009).

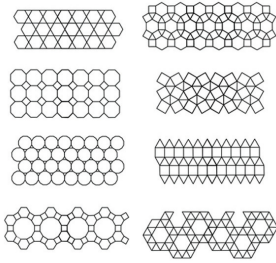
〈그림 4〉 후드 2(HOOD2)는 영국 작가 윌리엄 래섬(William Latham)의 작품으로 알고리즘을 사용해 애니메이션의 시퀀스와 무한한 가능성을 적용한 컴퓨터 생성 자연을 보여준다. 이는 살아있는 유기체를 연상시키며, 컴퓨터 생성 형태학의 미학을 더욱 두드러지게 한다(Paul, 2007). 〈그림 5〉는 건축가 우시다(E. Ushida)의 건축물 트루스 워(Truss Wall)로 동경의 도시질서를 강조하기 위하여 카오스적 나선형의 반복곡선으로 전체 형상을 구성하였고 연속성을 강조하기 위해 벽면의 색상을 통합한 유기적 형상을 이루게 하였다(김석태, 2003).

## 2) 보로노이(Voronoi)

상호관계적 자기조직화를 구현하는 모델링 방법으로는 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram)이 있다. 보로노이는 자연 현상과 공간의 구조를 설명해 줄 수 있는 매우 유용한 방법으로 CAD, CAM 등에 응용될 뿐 아니라 가시적인 자연현상을 설명해 줄 수 있는 도구로의 가능성이 있다(강가예, 윤재은, 2008). 이러한 보로노이 다이어그램의 특징은 임의의 시작점을 중심으로 각 정점이 다른 정점에 영향을 주지 않고 최대로 가질 수 있는 범위를 표현하기에 적합하고 공간적 정보를 수집하여 근접한 패턴으로 분류, 조직할 수 있는

상호관계적 자기조직화의 특성이 드러난다. 최소의 규칙으로 구성 요소간의 상호작용이 이루어진 체계를 가지고 지속적인 진화를 하는데 이는 자기조직화(Self-organization)라는 특징적 과정으로 볼 수 있으며 자기조직화를 통한 패턴의 창발은 반복적 증식(Paligenesis)을 하며 공간의 진화(Evolutionary space)를 수행한다. 자연계의 상호작용을 주고받는 자기조직성은 자연의 복잡성을 창조하며 이는 개체간의 행동과 피드백의 순환형태로 서로의 행동을 변화시켜 스스로 증가한다.

상호관계적 자기조직화 표현기법에서 구현되는 보로노이 다이어그램 모델링은 잠자리 날개, 기린의 얼룩무늬, 비누거품, 거북이의 등껍질 패턴, 벌집구조 등 쉽게 관찰할 수 있는 자연현상과 세포의 분열이나 동물의 무늬, 벌집과 같이 다양한 자연 구조를 표현가능하게 한다(이종석, 황선정, 2017). 〈그림 6〉은 자연에 나타난 보로노이 패턴 사례이다. 〈그림 7〉은 보로노이 다이어그램의 자기조직화 표현기법을 활용한 디자인 사례로 마크 뉴슨(Marc Newson)의 랜덤 박(Random Pak)이라는 의자이다. 랜덤 박 시리즈는 일반적으로 자동차 및 항공 우주 산업에서 사용되는 쾌속조형법인 레이저 소결법(Laser Sintering Process)을 이용하여 뉴슨 스튜디오(Newson Studio)에서 개발된 소프트웨어를 사용하여 형태를 구축하였으며 내부의 다른 지지구조 없이 가구의 외피 전체를 일체적인 구조로 제작되었다(이진욱, 2011). 이와 같이 보로노이 다이어그램의 자기조직화의 특성은 생체의 내적 조직이 외부로부터 어떤 압력도 없이 특별한 기능을 추진하기 위해 환경에 적응되는 과정이라 할 수 있으며 생물학



〈그림 8〉

## 테셀레이션 타일링(Tessellation Tiling)

(출처: 수학적사고의 아름다운 산물 (p.106) 이종우, 2008, 경문사.)

적 관점에서 유기체의 발생과 성장과정, 형태 생성의 전 과정에 관련되어 자발적 질서, 비정형의 유사적 패턴, 기하적 패턴, 등으로 형성되어 나타나고 이것은 3D 모델링 과정에서 파라메트릭 디자인 기법으로 적용되어 형태생성에 활용될 수 있다.

## 3) 테셀레이션(Tessellation)

테셀레이션은 파라메트릭 디자인 모델링에서 표면(Surface)의 분할을 통해 조형을 만드는 중요한 형태 생성 방법이다. 파라메트릭 디자인은 파라미터 값을 알고리즘에 대입해 디자인마다 고유한 조형성을 발현하는데 이때 면 분할에 의한 조형은 분할된 개체 마다 고유한 패러미터 값을 가지고 그 개체들이 일정한 알고리즘에 의해 전체를 형성할 수 있다(이성중, 안성모 2018). 테셀레이션을 활용한 모델링 방법으로는 평면이나 공간을 도형으로 완벽하게 덮는 것으로 반복되어진 패턴의 형태로 구성되는 표면의 구조를 나타내기 좋은 방법이다(이종우, 2008). 이렇게 구현된 테셀레이션 모델링은 반드시 도형을 틈이나 포개짐이 없이 겹치지 않고 평면 안을 모두 채우는 것이 특징이다. 테셀레이션은 정형화된 표면이 자연적 개체로 분할되고 이 표면이 위상학적 변형을 거쳐 점진적인 변화를 입을 수 있는 복잡계 형태로 발전되거나 테셀레이션의 규칙에 있어 적절한 변수의 부여를 통해 분할의 질서를 구성하고 유닛, 기하도형을 기본으로 한 변형의 과정을 통해 전체를 구성해가며 이는 재가공을 통해 자연의 모습을 담아낸다(고흥권, 2009). 〈그림 8〉은 테셀



〈그림 9〉

## 테셀레이션 아트(Tessellation Art)

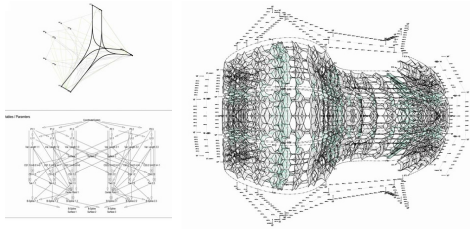
(출처: <http://jeffdepner.com>)

레이션 패턴 사례이며 〈그림 9〉는 제프 데프너(Jeff Depner)의 아크릴 작품으로 반복문양이 정육각형 구성을 기본으로 하지만 반복 구성된 육각형의 상자들이 다양한 색상과 명도, 채도의 획일적 반복을 하면서 입체적 공간감을 담고 있다.

## 4) 생물학적 알고리즘(Biological algorithm)

생물학적 알고리즘 모델링은 일정한 수식의 생성적 알고리즘을 통해 갈라지는 각도, 빈도수, 크기 등을 조절하여 무작위적인 자연의 형태를 만들어낸다. 이러한 방법에서 창의적인 디자이너의 추상적인 의도는 규칙 또는 조건을 바탕으로 짜인 프로세스나 알고리즘에 변수를 대입시켜 표현되고 그 알고리즘의 결과물은 직관적이며 형식적 의도 뿐 아니라 미학적 의도로 해석가능하다(이경수, 김영인, 2018). 따라서 생성적 알고리즘을 활용하면 매개변수에 의해 디자이너가 의도한 바와 다른 가변성을 포함하여 변화되고 예측하지 못한 우연적인 이미지가 생성된다는 점에서 알고리즘적 진화의 특성을 나타낼 수 있다고 하겠다. 알고리즘적 진화는 나뭇가지가 자라나는 과정과 같은 자연의 진화과정을 변수를 통해 보여주거나 하나가 다른 하나로 분화되면서 생겨나는 규칙성을 표현한다. 이것은 형태학 기법(Morphology)으로 불리며 자연생명체가 자기성장을 통해 얻어지는 형태가 가장 효율적이라는 것에서 출발하였으며 다양하고 새로운 형태를 생성하여 건축물에 적용하기 위한 생물학적 모델링 방안이다(김호수 외, 2012).

〈그림 10〉의 다니엘 콜(Daniel Coll)의 종이 띠



〈그림 10〉 종이 띠 형태학 실험  
(출처 : <http://www.achimmenges.net>)

형태학 실험(Strip Morphologies)은 매개변수적 구성 요소를 서로 다르게 예시함으로써 다양하게 분화되는 하부 위치의 재료체계를 만드는 실험으로 곡점, 표면과 접촉 정렬선 등의 기하학적 형상들을 매개 변수적 구성요소로 설정해 다중 형태적인 개체군 속으로 증식시키는 과정을 보여준다. 이러한 분화 방식에 의해 구조와 빛, 음향들의 다양한 목표에 다중적으로 수행이 가능한 구조와 형태가 만들어진다고 할 수 있다(김현갑, 2011). 〈그림 11〉의 생성적 알고리즘의 적용 사례로 슈투트가르트의 실험적 건축가인 아킴 멩게스(Achim Menges)의 로보틱 파빌리온(Robotic Pavilion)이다. 현장 특유의 자연을 바탕으로 뮤지엄 V&A에 설치된 케노피 일리트라 필라멘트 파빌리온(Elytra Filament Pavilion)은 알고리즘적 진화 표현기법을 구현하기 위해 자연에서 발견된 경량 구조 원리와 딱정벌레의 섬유구조를 활용하여 제작되었다.

#### IV. 파라메트릭 디자인 방법론 적용을 위한 3D 모델링 의상 분석

##### 1. 사례분석

본 절에서는 앞의 파라메트릭 방법론에서 도출된 특성을 근거로 프랙탈, 보로노이, 테셀레이션, 생물학적 알고리즘의 대표적인 특성으로 도출된 키워드인 ‘유사반복적 증식’, ‘자기조직화’, ‘표면의 분절과 분화’, ‘알고리즘적 진화’를 중



〈그림 11〉 일리트라 필라멘트 파빌리온 (Elytra Filament Pavilion)  
(출처 : <https://www.archdaily.com>)

심으로 바이오모픽 의상조각 사례들을 분류 구성요소의 표현특징으로 분석하였다.

##### 1) 유사반복적 증식 바이오모픽 의상조각

유사반복적 증식의 바이오모픽 의상조각은 자기유사적 형태의 패턴을 반복적으로 증식하면서 표현된 것으로 파라메트릭 표현방법 중 프랙탈 기법이 적용된 것이다.

〈그림 12〉는 아이리스 반 헤르펜(Iris van Herpen)의 2010년 봄, 여름 ‘크리스탈라이제이션 컬렉션(Crystallization Collection)’ 중 하나로 액체가 크리스털로 변형 되는 과정에서 영감을 얻은 것이다(Etherington, 2010). 보이지 않는 물의 구조와 카오스적 형태 변형을 의상의 외피로 표현하였다. 자기 유사 반복적 증식을 사용하여 물의 역동적 움직임을 3차원적인 엠보스드 텍스처(embossed textures)로 형상화 하였으며 메탈 화이트의 크롬 색채(chrome color)를 사용하고 상의의 실루엣은 수평적으로 과장된 형태로 표현되었다. 〈그림 13〉은 쓰리에프포(threeASFOUR)의 ‘바하이(Bahai)’로 불리는 2013년 작품으로 자연의 프랙탈을 표현하는 컬렉션 컨셉에 맞춰 유사 반복적 증식의 표현기법으로 초현실적 변이 표현특성을 표현하였다. 이 작품은 수학과 프랙탈 기하학을 사용하여 각 단위가 연동 될 때 6단계의 반복이 가능하도록 코딩되었다(Wu, 2016). 다른 크기로 나누어진 레이스 텍스처(lacey textures)의 조각들이 유사 반복적 패턴으로 연결된 드레스를 모델링 한 것이다. 3D 프린팅 된 드레스는 화이트 크롬 색채의 과장된 실루엣으로 변이의 과정



〈그림 12〉  
아이리스 반 헤르펜  
(Iris Van Herpen), 2010  
(출처 : <https://www.dezeen.com>)



〈그림 13〉  
쓰리에즈포(threeASFOUR), 네리 옥스만(Neri Oxman),  
2013  
(출처 : <https://www.materialise.com>)



〈그림 14〉  
네리 옥스만(Neri Oxman), 쓰리에즈포(threeASFOUR),  
2014  
(출처 : <http://www.materialecolgy.com>)



〈그림 15〉  
쓰리에즈포(threeASFOUR),  
2016  
(출처 : <https://www.vogue.co.uk>)

을 극대화 하였다. 〈그림 14〉 네리 옥스만(Neri Oxman)의 작품 ‘주할(Zuhul)’로 번성과 성장을 나타내는 행성과 신화를 의미한다. 토성의 소용돌이 바람을 상징하는 길고 풍부한 퍼리 텍스처어(furry textures)로 덮여있다. 합성 미생물을 사용하여 표현한 생동감 있는 에시드 색채(acid color)는 바이오모픽 아트(art)의 특성인 상징적 색채이다. 자연의 형태와 모양에서 영감을 얻어 인체의 움직임에 따라 증폭되는 변이적인 형태의 드레스는 자연과 인간관계를 조합하는 유기적인 미학이 담겨있다. 〈그림 15〉는 쓰리에즈포의 2016년 ‘바이오미미크리(Biomimicry)’ 컬렉션 작품으로 생물학적 형태와 질감을 바탕으로 한 3D 프린트 드레스이다. 14가지 패턴으로 구성되어있으며 의도적인 자기유사적 증식의 표현기법을 통해 자연스러운 동물의 표피를 크롬 색채의 레이스 텍스처어로 인체 전신 피부처럼 구현하였다. 자연 생명체를 모티프로 한 추상화한 패턴과 오가닉 형태로 바이오모픽 의상으로서의 생명체 추상의 특성을 표현하였다.

유사반복적 증식 기법으로 표현된 바이오모픽 의상조각은 프랙탈 기하학 표현방법을 사용하여 생명체의 형상에 다양한 특성과 의미를 부여하고 이질적 표현, 스케일의 변형 등의 비현실적 상상이 결합된 차별성으로 초현실적 변이를 나타냈다.

## 2) 자기조직화 바이오모픽 의상조각

자기조직화 바이오모픽 의상조각은 파라메트릭 방법론의 보로노이 기법의 면분할이 상호관계 속에 스스로 조직적 배열로 표현되는 것으로 자신의 환경과의 상호작용하는 과정에서 다른 유기체와의 활동에 대응하여 끊임없이 변화시켜 나가는 것이다.

〈그림 16〉은 3차원 보로노이 기법의 프란시스 비톤티(Francis Bitonti)의 2013년 ‘디바스 가운(Dita's Gown)’이다. 견고한 플라스틱 소재로 만들어진 드레스는 인체의 굴곡에 따라 굴절되는 네트구조로 제작 모델링되었으며, 황금 비율을 기반으로 한 나선은 인체에 적절하게 맞추어 컴퓨터 렌더링으로 적용되었다. 그래스호퍼(Grasshopper) 그래픽 스크립팅 환경에서 라이노(Rhino)의 엄격한 매개 변수 입력을 통해 전체 가운의 기하학적 구성 요소와 패턴을 구축하고 3D 프린팅되는 크기 및 오프셋 차이를 조정 가능하게 모델링되었다(Howarth, 2013). 〈그림 17〉은 빈 타니(Bint Thani)가 두바이 도시건축 프로젝트에서 건축가 아메르 알두(Amer Aldour)와 협업으로 현대적인 도시 풍경과 고층 건물에서 영감을 얻은 건축적 개념의 3D 패션이다. 이것은 두바이 도시 건축물 풍경을 보로노이 기법으로 생성된 패턴을 컷아웃 기법과 뚜렷한 큐빅 구조의 장식으로 크림색의 각테일 드레스를 표현한 것이다(Kira, 2015). 상호관계적 자기조직화의 특성과 초현실적 역동성을 표현하고 있으며 엠보스드와 레이스의 복합적 표현감을 보여주고 있다. 〈그림 18〉은 아이리스 반





〈그림 16〉  
프란시스 비통티  
(Francis Bitonti), 2013  
(출처 : <https://www.dezeen.com>)



〈그림 17〉  
빈 타니(Bint Thani),  
2015  
(출처 : <https://www.3ders.org>)



〈그림 18〉  
아이리스 반 헤르펜  
(Iris van Herpen), 2016  
(출처 : <http://www.niccolocasas.com>)



〈그림 19〉  
자밀라 로우  
(Jamela Law), 2017  
(출처 : <https://press.ginkgo3d.com>)

헤르펜이 2016년 니콜로 카사스(Niccolo Casas)와 협업으로 만든 ‘마그마 드레스(Magma Dress)’로 모델의 움직임과 신체 위치에 따라 그물 셀의 형태가 적용되고, 모양과 방향이 달라지면서 인체와 의복간의 우아한 상호작용에서 구현되는 자기조직화의 특성을 가지고 있다. 크롬 색채의 부드러운 3D 프린팅 레이스 텍스처어가 인체의 곡률에 부드럽게 안착되어 우아함으로 표현되었다. 〈그림 19〉는 자밀라 로우(Jamela Law)의 육각형의 벌집구조에서 영감을 얻어 3D 프린팅된 2016년 빙 휴먼 컬렉션(Beeing Human Collection)의 작품으로 모델링에는 라이노세로스 3D(Rhinoceros 3D)프로그램과 T-스플라인즈(T- Splines) 및 그라스호퍼(Grasshopper) 플러그인을 사용하였다(The ginko press team, 2017). 벌집의 구조를 인체구조에 조합하여 리드미컬하게 흐르는 꿀벌의 외형을 묘사한 의상은 어깨와 힙이 과장된 실루엣과 메탈 화이트 크롬 색채로 벌집모양 레이스 텍스처어로 표현되었다.

바이오모픽 의상조각에서 상호관계적 자기조직화는 하나의 변형이 전체에 영향을 미치는 표현기법으로 인체굴곡에 따른 면 분할이나 셀의 변형을 통해 패턴으로 조직화된 형태로 3차원 세포 분열, 생체의 구조와 닮은 유기적 외형으로 나타났다.

### 3) 표면의 분절과 분화 바이오모픽 의상조각

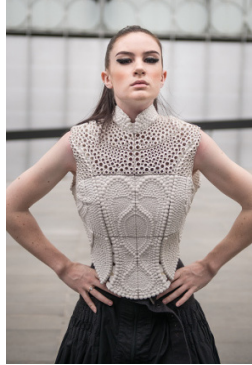
테셀레이션 기법의 표면의 분절과 분화는 표면

에서 이루어지는 점진적 변화를 통해 형태를 표현하는데 빈틈이나 겹쳐지는 부분이 없이 평면이나 공간을 도형으로 완벽하게 덮는 것이다.

〈그림 20〉은 2013년 아이리스 반 헤르펜과 네리 옥스만의 협업으로 제작한 산호를 모사한 돌기형 텍스처어 조각이 반복되고 집합된 3D프린팅 드레스이다. 움직임과 텍스처어의 효과를 극대화하기 위해 단단하면서도 유연한 혼합재료로 만들어졌고 테셀레이션 방법으로 구현된 표면의 분절과 분화 표현기법이 적용되어 변이된 생물의 껍질 이미지의 바이오모픽 의상을 보여준다. 산호덩어리의 이미지로 구현된 투피스는 인체의 형태를 벗어나 확대된 실루엣과 산호의 혼합색을 보여주는 블렌딩 색채(blending color)로 표현되었다. 〈그림 21〉은 엑스와이제트 워크샵(XYZ workshop)의 하이드로시프트 탑(Hydroshift Top)이다. 테셀레이션 표현방법을 사용한 레이스 모양의 직물을 만들어 소재 질감을 표현하고 표면의 분절과 분화의 기법안에서 잔물결의 형태를 엠보스트 텍스처어로 접목시켰으며, 메탈 화이트의 크롬 색채를 사용하였다. 〈그림 22〉는 아이리스 반 헤르펜의 2015년 해킹 인피니티 컬렉션(Hacking Infinity Collection)의 한 작품으로 4개의 패널로 구성되어 있다. 드레스는 신체의 움직임에 지속적으로 반응하는 각각의 구성요소인 스파이크가 뺨곡이 표면에 분포되어 있는 테셀레이션 방식으로 제작되었다. 퍼리 텍스처어의 돌출된 스파이크는 풍부한 입체감과 마치 생명체를 보는 듯한 생동감을



〈그림 20〉  
아이리스 반 헤르펜  
(Iris van Herpen, 2013  
(출처: <https://www.materialecology.com>)



〈그림 21〉  
엑스와이제트 워크샵  
(XYZ Workshop), 2013  
(출처: <http://www.xyzworkshop.com/>)



〈그림 22〉  
아이리스 반 헤르펜  
(Iris van Herpen), 2015  
(출처: <http://www.niccolocasas.com>)



〈그림 23〉  
멜린다 루이  
(Melinda Looi), 2015  
(출처: <https://www.3ders.org>)

표현하고, 블러 색채(blur color)의 사용으로 인체의 움직임이 좀 더 부각되도록 하였다. 〈그림 23〉은 멜린다 루이(Melinda Looi)의 2015년 오션 컬렉션(Ocean Collection)의 작품으로 맑은 바닷물 압초들 사이에 완만하게 움직이는 파도의 생동감에서 영감을 얻은 색상을 3D 프린팅 바이오모픽 의상으로 표현하였다. 압초이미지로 과장된 볼레로와 드레스, 신발에 이르는 복합적 텍스처어(complex textures)는 이국적인 이미지의 표면의 분절과 분화의 특성을 나타냈다(Alec, 2015).

바이오모픽 의상조각 사례에서 표면의 분절과 분화는 바닷 속 생물, 이끼가 덮여진 표면과 같은 모양의 도형이 빈틈없이 가득 채우는 것으로 정형화된 표면이 분할되어 질서를 만들고 집합되면서 조직적 형태를 나타냈는데 소재의 풍부한 표면감을 통해 생명체의 추상성과 역동성을 유기적으로 표현하였다.

#### 4) 알고리즘적 진화 바이오모픽 의상조각

알고리즘적 진화의 특성은 생명의 진화과정을 컴퓨터의 알고리즘으로 구축해 표면을 성장시키는 생물학적 알고리즘을 활용하여 표현되는 것으로 자연의 복잡한 질서 표현이 가능하며 무작위적 자연형태를 일정한 수식의 알고리즘을 통해 만들어내는 것이다.

〈그림 24〉는 아이리스 반 헤르펜의 2011년 컬렉션 작품으로 자연 세계를 모방하는 플라스틱

구조의 외골격을 3D 프린팅으로 표현하였다. 자연의 유연한 곡선이 인체를 따라 흐르는 유기적 형태를 나타내며 생성적 알고리즘이 파라메트릭 구조를 만들면서 부드러운 입체감의 소재 질감을 표현하였다. 메탈 블랙의 크롬색채와 복합된 질감의 표면감으로 과장된 실루엣은 초현실적 이미지를 나타내고 있다. 〈그림 25〉는 2011년 아이리스 반 헤르펜이 다니엘 윌리그(Daniel Wildrig)와 콜라보레이션 한 작품으로 생성적 알고리즘을 활용하여 새의 유기적 형태와 깃털을 레이스 텍스처어와 과장적 실루엣으로 나타내고 있다. 어깨를 강조한 수평적 확대 형태로 복잡한 외골격 형상을 크롬 색채를 사용해 표현하였다. 〈그림 26〉은 프란시스 비톤티의 2013년 작품으로 자연의 풍경을 모티프로 인체에 부분마다 다른 특징을 내포하도록 의상을 표현하였다. 생성적 알고리즘을 사용하여 제작한 유기적 형태의 비선형적 세가지 다른 곡선 구조 레이어들과 겹쳐지고 서로 다른 방향으로 교차하여 신체를 감싸는 듯 디자인하였다. 화이트의 크롬 색채와 레이스 텍스처어를 사용하였다. 〈그림 27〉은 아이리스 반 헤르펜의 2017년 컬렉션 '에어리폼(Aeriform)' 중의 한 작품으로 공기의 본질을 탐색하고 해부하여 그 가벼움에 대한 아이디어를 그림자와 빛을 활용하여 표현하였다. 3D 프린팅으로 출력한 외피는 알고리즘적 진화의 표현기법을 사용하여 표현하였으며 크롬 색채를 사용하였고 여러 가지 텍스처어 혼합은 이질적 크로스오버 소재 질감을 나타



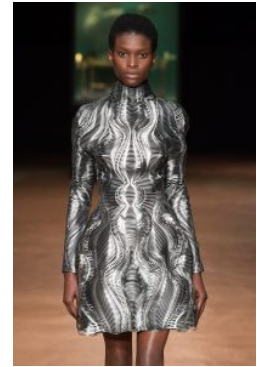
〈그림 24〉  
아이리스 반 헤르펜  
(Iris van Herpen), 2011  
(출처: <http://sensoree.com>)



〈그림 25〉  
아이리스 반 헤르펜  
(Iris van Herpen), 2011  
(출처: <http://www.danielwidrig.com>)



〈그림 26〉  
프란시스 비톤티  
(Francis Bitonti), 2013  
(출처: <https://www.dezeen.com>)



〈그림 27〉  
아이리스 반 헤르펜  
(Iris van Herpen), 2017  
(출처: <http://www.fashiontrendsetter.com>)

〈표 1〉 파라메트릭 디자인 기법 표현특성에 따른 바이오모픽 의상조각 구성요소 정보와 속성

| 파라메트릭 디자인 기법 특성 | 사례 표현특징       | 파라메트릭 디자인적용 바이오모픽 의상조각 구성요소 |           |               | 바이오모픽 의상조각 형태적 특성        |
|-----------------|---------------|-----------------------------|-----------|---------------|--------------------------|
|                 |               | 실루엣                         | 색채        | 텍스처           |                          |
| 유사 반복적 증식       | 생체역동성 변이      | 과장형                         | 크롭 블러 에시드 | 레이시 엠보스드 퍼리   | 형태변이<br>유기적 형태<br>사실적 형태 |
| 상호관계적 자기조직화     | 유기적 형태와 구조    | 과장형                         | 크롭 블러     | 레이시 엠보스드      | 유기적 형태<br>조직적 구조형태       |
| 표면분절과 분화        | 추상적 패턴 유기적 형태 | 과장형                         | 블렌딩 블러    | 레이시 엠보스드      | 유기적 형태                   |
| 알고리즘적 진화        | 초현실적 형태변이     | 과장형                         | 크롭 블러     | 레이시 엠보스드 콤플렉스 | 형태변이<br>사실적 형태           |

내고 있다.

알고리즘적 진화의 생성적 알고리즘 방식으로 제작된 바이오모픽 의상조각은 인체를 부각시키는 유기적 형태로 현실의 경계를 넘는 외피의 표현에 사용되었다. 알고리즘적 진화는 자연의 복잡한 질서 표현이 가능하며 무작위적 자연형태를 일정한 수식의 알고리즘을 통해 만들어내는 것으로 의상 사례에서도 생성 진화하는 자연의 형태적 표현으로 나타났다.

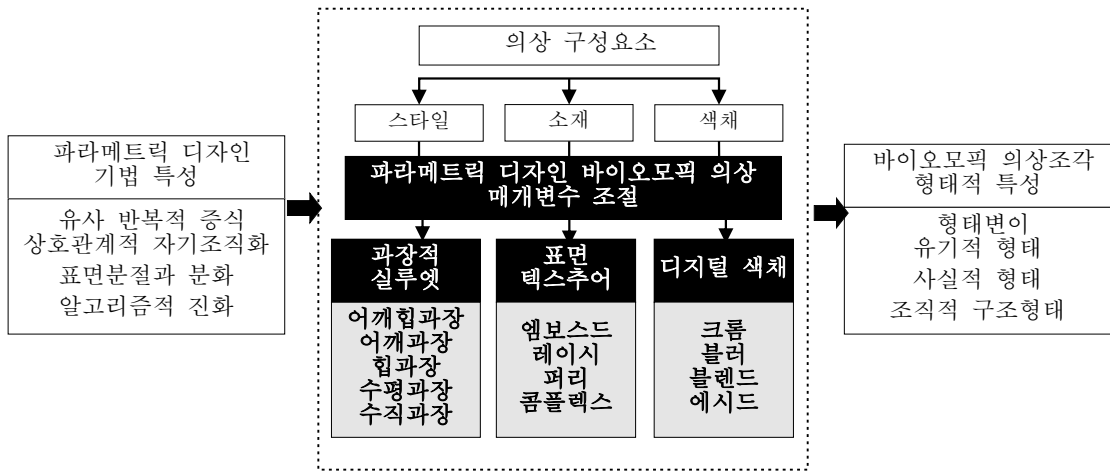
## 2. 분석결과 및 고찰

〈표 1〉은 바이오모픽 의상조각 사례들의 파라

메트릭 디자인 방법론에 따른 구성요소 표현특성 분석결과를 토대로 바이오모픽 의상조각 3D 모델링 과정에 필요한 조절 매개변수로써의 디자인 구성요소 정보와 속성을 정리한 것이다.

〈표 1〉을 근거로 파라메트릭 디자인 바이오모픽 의상조각 매개변수 조절 과정과 속성을 〈그림 29〉와 같이 정리하였다.

의상 디자인 구성요소인 ‘스타일’, ‘소재’, ‘색채’는 바이오모픽 의상조각에서는 ‘과장적 실루엣(exaggerated silhouette)’, ‘표면 텍스처(surface texture)’, ‘디지털 색채(digital color)’의 3D 모델링 매개변수로 조절되었다. 3D 프린팅에서 사용하는 소재 언어는 텍스처 외에도 서피스(surface), 스



〈그림 29〉 파라메트릭디자인 바이오모픽 의상 매개변수 조절 과정

킨(skin)이 있었으나 본 연구에서는 의상에 익숙한 단어인 텍스추어를 선택하였다. 과장적 실루엣의 속성은 인체의 굴곡을 따라 과장된 ‘어깨힙과장형’, 신체의 일부분을 과장한 ‘어깨 과장형’, ‘힙 과장형’, 폭으로 확대된 ‘수평 과장형’, 길이가 연장된 ‘수직 과장형’으로 정리되었다. 표면 텍스추어의 속성은 울퉁불퉁한 표면감의 ‘엠보스드(embossed)’, 네트나 레이스 조직의 표면감 ‘레이시(lacey)’, 동물 모피 같은 긴 털의 텍스추어인 ‘퍼리(furry)’, 복합적인 텍스추어가 섞인 ‘콤플렉스(complex)’의 텍스추어로 설명된다. 디지털 색채의 속성은 금속성의 ‘크롬(chrome)’, 빛의 번짐 현상에 따른 ‘블러(blur)’. 두 가지 이상 색채가 혼용된 ‘블렌드(blend)’. 주목성이 높은 증명도, 고채도 사용하는 ‘에시드(acid)’ 색채로 도출하였다. 이들 조절 매개변수의 속성은 지식기반 데이터와 파라메트릭 디자인 표현기법에 따라 형태변이, 유기적 형태, 조직적 구조 형태, 사실적 형태의 형태적 특성으로 나타났다.

### V. 결론

본 연구에서는 파라메트릭 디자인 방법론을 적용한 바이오모픽 의상조각의 3D 모델링 프로세스와 구성요소 특성 즉, 모델링 매개변수와 속성을 밝히고자 하였다.

먼저 지식기반 데이터 구축을 위하여 바이오모픽 아트와 파라메트릭 디자인 방법론의 표현기법을 파악하였다. 바이오모픽 아트 특성은 생명체 역동성, 상징적 색채, 유기성, 초현실성으로 나타났고 파라메트릭 방법의 표현기법은 프랙탈 기법, 보로노이 다이어그램 기법, 테셀레이션 기법, 생물학적 알고리즘 기법으로 파악되었으며, 관련 예술과 건축 사례를 분석한 결과 프랙탈 기법은 유사 반복적 증식 표현, 보로노이 다이어그램 기법은 상호관계적 자기조직화 표현, 테셀레이션 기법은 표면분절과 분화, 생물학적 알고리즘 기법은 알고리즘적 진화표현이 그 표현 특성으로 나타났다.

이러한 데이터를 지식기반으로 바이오모픽 3D 프린팅 의상 사례들을 분석한 결과 유사 반복적 증식 특성의 의상조각 사례들에서는 생체 역동성, 변이의 표현특징과 전체 또는 인체의 한 부분이 확대되는 과장형 실루엣이 나타났고, 크롬, 블러, 에시드의 디지털 색채가 특징적으로 적용되었음을 알 수 있었다. 상호관계적 자기조직화 특성의 의상조각 사례들에서는 유기적 형태와 구조가 표현특징으로 나타났고 전체 또는 인체의 일부가 과장된 실루엣이 나타났으며 크롬, 블러의 디지털 색채가 표현되었다. 표면의 분절과 분화 특성의 의상조각 사례들에서는 유기적 형태가 두드러진 특징으로 나타났고 전체 또는 인체의 일부가 과장된 실루엣이 나타났으며 블렌딩, 블러의 색채가

주도적으로 나타났다. 알고리즘적 진화 특성의 의상조각 사례들에서는 초현실적 형태변이가 특징으로 나타났고, 전체 또는 인체의 일부가 과장된 실루엣, 그리고 크롬, 블러의 디지털 색채가 나타났다. 이러한 결과를 근거로 파라메트릭 디자인을 적용한 바이오모픽 의상조각 3D 모델링의 조절 매개변수는 ‘과장된 실루엣’, ‘표면 텍스처’, ‘디지털 색채’로 도출되었으며, 매개변수의 속성은 바이오모픽 의상 파라메트릭 디자인 과정에 적용되어져 다양한 디자인으로 개발되어졌음을 알 수 있었다.

따라서 본 연구 결과로 도출된 파라메트릭 디자인 방법을 적용한 바이오모픽 의상 조각 3D 모델링 프로세스와 매개변수 속성은 향후 컴퓨터 기술이 접목된 예술적 의상디자인 개발을 목표로 하는 플랫폼 인터페이스에 적용되어 다양한 형태를 구현해 내는 작업도구가 됨으로서 컴퓨터기술을 활용한 미래 패션산업에 기여할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

강가에, 윤재은. (2008). 디지털 공간에서의 보로노이 다이어그램 적용에 관한 연구. *한국실내디자인학회 논문집*, 17(3), 156-164.

고홍권. (2009). 디지털 공간에서 자연모사의 표현 특성에 관한 연구. *한국문화공간건축학회 논문집*, 28, 5-12.

권수환, 박승화, 전한중. (2013). 논문: 개방형BIM 적용 한옥 부재의 특징형상기반 형상모델링 자동구축시스템 개발에 대한 연구. *디자인융복합학회*, 12(2), 199-214.

권수환, 전한중. (2014). 파라메트릭 디자인 기반 한옥 부재의 지식 표현과 활용에 관한 연구. *대한건축학회 논문집*, 30(7), 101-110.

김석태. (2003). 논문: 디지털 건축 디자인에 나타난 비유클리드 기하학적 성향에 관한 연구. *기초조형학연구*, 4(1), 187-195.

김용일, 양관목. (2015). 파라메트릭 모델링과 BIM을 이용한 SPC 적용 실험에 관한 연구. *대한건축학회연합논문집*, 17(5), 51-57.

김원갑. (2011). 생물학적 자기조직화와 현대건축 디자인의 상호관계에 관한 연구. *대한건축학*

*회 논문집*, 27(4), 181-190.

김정혜(1998). 예술의상에 관한 연구 (1). *복식*, 38, 159-178.

김현주, 이재규. (2014). 바이오모픽 표현특성을 적용한 브랜드 쇼룸의 상호작용성에 관한 연구. *한국공간디자인학회 논문집*, 30, 199-211.

김호수, 오주영, 박영신. (2012). 생물학적 알고리즘을 이용한 비정형구조물의 패턴생성. *대한건축학회 논문집*, 28(8), 53-60.

남상원. (2010). 파라메트릭 디자인 이론을 활용한 주얼리 디자이너 전문가 교육 방안에 관한 기초연구. *조형디자인연구*, 13(2), 70-90.

바이오모픽 아트. 월간미술. 자료검색일 2016. 10. 29. 자료출처 <http://monthlyart.com/encyclopedia/>

박수연. (2017). *파라메트릭 방법론을 적용한 바이오모픽 의상 조각(Biomorphic Clothing Sculpture) 지식 기반 모델링 구성 요소와 프로세스 연구*. 경희대학교 대학원 박사학위논문.

박정대. (2012). 디지털 형태생성 방법론에 관한 연구: 파라메트릭 알고리즘이 적용된 비정형 건축물을 중심으로. *디지털디자인학연구*, 12(1), 577-586.

서혁준. (2014). 자동차 디자인에서의 파라메트릭 모델링 효용성에 관한 연구-자동차 패턴 디자인 프로세스 개선을 중심으로-. *커뮤니케이션 디자인학연구*, 49, 6-15.

엄소희. (2010). 프랙탈 기하학의 원리를 통한 현대 복식의 다의적 표현성에 대한 연구. *복식문화연구*, 18(4), 703-716.

윤명철, 고성룡. (2011). 디지털 공간에서 BIM기반 비정형 파라메트릭 형태 생성에 관한 연구-보로노이 다이어그램의 파라메트릭 공간정의를 중심으로. *대한건축학회연합논문집*, 13(3), 79-86.

윤민희. (2012). 프랙탈 기하학을 활용한 현대조형 예술의 표현 가능성에 관한 연구. *한국디자인문화학회지*, 18(4), 300-311.

이경수, 김영인. (2018). 제너러티브 디자인 방법론과 3D프린팅을 활용한 패션상품 프로토타입 프로세스 디자인 연구. *한국디자인문화학회지*, 24(3), 411-423.

이명식. (2009). 건축디자인에서 프랙탈 기하학의 적용에 관한 연구. *대한건축학회 논문집*, 25(5), 165-172.

- 이성수. (2009). 비정형 건축 구조 설계에서의 파라메트릭 디자인에 대한 이해. *전산구조공학*, 22(5), 8-14.
- 이성중, 안성모. (2018). 테셀레이션을 통한 패리메트릭 패턴의 생성적 특성 연구. *기초조형학연구*, 19(5), 529-544.
- 이종석, 황선정. (2017). 3D 프린팅 테스트를 통한 패션 액세서리 디자인 개발 -입체 보로노이 다이어그램을 활용-. *브랜드디자인학연구*, 15(3), 148-160.
- 이종우. (2008). *수학적사고의 아름다운 산물*. 경문사.
- 이진욱. (2011). 생성적 디자인을 이용한 가구디자인의 특성에 관한 연구-프랙탈 기하학과 보로노이 다이어그램을 적용한 가구디자인을 중심으로-. *한국실내디자인학회논문집*, 20(1), 89-97.
- Alec. (2015. 5. 26). Melinda Looi & Materialise showcase gorgeous Gems of the Ocean 3D printed gown. 자료검색일 2018. 12. 20. 자료출처 <https://www.3ders.org>
- Amandine Richardot. (2018. 1. 24). 3D printed fashion: Why is additive manufacturing interesting for fashion?. 자료검색일 2018. 12. 20. 자료출처 <https://www.sculpteo.com>
- Dan Howarth. (2013. 3. 7). 3D-printed dress for Dita Von Teese by Michael and Francis Bitonti 자료검색일 2018. 12. 20. 자료출처 <https://www.dezeen.com>
- Greenbaum, T. (1994), Bizarre Bijoux: Surrealism in Jewelry. *The Journal of Decorative and Propaganda Arts*, 20, 197-207.
- Henning, E. B. (1979), A Painting by Joan Miro, *The Bulletin of the Cleveland Museum of Art*, 66(6), 235-240.
- Kira. (2015. 4. 5). Emirati designer Khulood Thani creates Dubai's first 3D printed dress. 자료검색일 2018. 12. 20. 자료출처 <https://www.3ders.org>
- Neri Oxman. (2014). Zuhul. 자료검색일 2018. 12. 20. 자료출처 <https://neri.media.mit.edu>
- Paul, C. (2007). *디지털아트:예술 창작의 새로운 가능성*(조충연 역). 서울:시공사,
- Rose Etherington. (2010. 8. 1). Crystallization by Iris van Herpen, Daniel Widrig and MGX by Materialise. 자료검색일 2018. 12. 20. 자료출처 <https://www.dezeen.com>
- Tatiana. (2013. 9. 25). 3D printing dresses from NY Fashion Week to the Jewish Museum. 자료검색일 2018. 12. 20. 자료출처 <https://i.materialise.com>
- 8 Strangely Fascinating and Innovative Fashion Designers.(nd). 자료검색일 2018. 12. 20. 자료출처 <https://scene360.com>