Check for updates
Journal of the Korean Society of Costume
Vol. 74, No. 1 (February 2024) pp. 123-139
Print ISSN 1229-6880
Online ISSN 2287-7827
https://doi.org/10.7233/jksc.2024.74.1.123

비야케 잉겔스 건축에 나타난 프랙탈 기하학의 조형원리를 적용한 3D 패션디자인

윤 성 아 · 이 하 나+
대구대학교 패션디자인전공 겸임교수 · 고려대학교 가정교육과 강사+

3D Fashion Design Applying the Formative Principles of Fractal Geometry Shown in Bjarke Ingels Architecture

Seong-Ah Yun · Hana Lee+
Adjunct Professor, Dept. of Fashion Design, Daegu University
Lecturer, Dept. of Home Economics Education, Korea University+
(received date: 2024. 1. 16, revised date: 2024. 2. 7, accepted date: 2024. 2. 20)

ABSTRACT

This study analyzed the formative principles and formativeness of Bjarke Ingels' buildings based on fractal geometry to derive fractal elements and apply them to fashion design. Five of Bjarke Ingels' works were selected and analyzed based on the formative principles and formativeness of fractal geometry. Based on this, proceeded with 3D fashion design based on fractal elements extracted from each building. The research found the following: First, by selecting and analyzing five of Bjarke Ingels' architectural works, self-similarity, repetition, and overlapping were commonly derived. Second, four fashion design works were developed by applying fractal elements derived from the previously analyzed formative principles and formativeness. The identified fractal elements consisted of a mountain ridge, a rectangular parallelepiped, a modified square, and a diamond. In this study, to structurally express these fractal elements, similar large and small shapes were created based on self-similarity and applied to design through repetition and overlap, with design development conducted using a 3D program. Using various analysis methods, architecture's formative principles and formativeness can be identified, as in the cases conducted in this study; thereby making various fashion designs possible. Additionally, it is expected that the scope of fashion design development will be expanded through experimental attempts at digital fashion design utilizing 3D programs.

Key words: 3D fashion design(3D 패션디자인), Bjarke Ingels(비야케 잉겔스), fractal geometry(프랙탈 기하학), overlapping(중첩), repetition(반복), self-similarity(자기유사성)

Corresponding author: Hana Lee, e-mail: 2hana1@korea.ac.kr

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

4차 산업혁명의 핵심 특징인 융합은 미래세대에게 더욱 강조되는 내용이다(Huh & Shin, 2018). 패션은 사회, 정치, 경제, 이념, 기술, 예술 등과 밀접한 교류를 바탕으로 함께 발전하는 융합학문으로서 패션을 활용한 학제 간 융합연구의 중요성 또한 증가하고 있는 추세이다. 특히 건축과 패션의 지속적인 융합은 인체를 중심으로 한 조형 예술이라는 공통점을 바탕으로 또 다른 예술 영역을 창조하였다(Yim, 2014).

최근 북유럽을 대표하는 건축가로 각종 건축상을 수상하며 주목받고 있는 덴마크의 건축가 비야케 잉겔스(Bjarke Ingels)는 건축에 사회, 문화, 경제, 정치를 융합하여 철학적 요소를 반영하여 디자인하고 있다(Darrah, 2023). 또한, 기술과 지식의 발전을 기반으로 기존 건축이 지닌 유클리드 기하학을 뛰어넘는 새로운 형태를 시도하였다. 이러한 새로운 형태는 쾌락적 지속가능성을 주장하며 자연을 파괴하는 건축이 아니라 자연과 어우러지면서 즐거움을 찾을 수 있는 건축디자인이라는 그의 디자인 철학과 일맥상통한다.

비야케 잉겔스의 독특한 건축 형태는 프랙탈 기하학을 기반으로 설명이 가능하다(Fixsen, 2019). 프랙탈 기하학은 자연의 불규칙 속에서 공통된 법칙을 찾아내기 위해 연구되었으며, 자연의 무질서한 패턴이 컴퓨터의 발달과 함께 수치화가 가능해져 규칙을 발견하게 되었다. 불규칙한 모양 속에서 유사성을 만들어 내는 객관적인 규칙은 새로운 조형원리를 이끌어냈다. 비야케 잉겔스의 건축은 자연과 어우러지기 위해 유기적 형태에 대한 심도 있는 관찰에서 비롯되었다는 특징을 지니는데(Nugent, 2020), 이는 프랙탈 기하학과 그 근원이 일맥상통한다는 점에서 비야케 잉겔스의 건축을 프랙탈 기하학을 통한 접근하는 것의 타당성을 지닌다.

비야케 잉겔스 건축의 조형성을 프랙탈 기하학의 관점에서 패션에 접목하여 새로운 디자인을 제안하는 것은 동시대 건축과 융합연구를 진행한다는 차원에서 의미가 있다. 따라서 본 연구에서는 비야케 잉겔스의 작품을 프랙탈 기하학의 조형원리를 중심으로 분석하여 패션디자인에 적용하였다. 이를 통해 건축에 나타난 조형적 특성을 패션에 접목하여 창의적인 디자인을 제시하고자 한다. 또한 건축과 패션의 융합연구를 통한 창의적 시도가 다양한 패션디자인 방향을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 문헌을 바탕으로 한 이론적 연구와 작품 제작을 통한 실증적 연구로 진행한다. 프랙탈 기하학의 조형원리를 이해하고 비야케 잉겔스의 건축 작품 중 프랙탈 기하학의 조형원리가 가장 잘 드러난 작품을 선택하여 이를 바탕으로 패션디자인을 진행하였다. 구체적인 연구 방법은 다음과 같다.

첫째, 프랙탈 기하학의 개념과 조형원리에 대한 이해를 바탕으로 비야케 잉겔스가 세계건축가 상을 수상한 2008년 이후 작품들을 분석하여 프랙탈 기하학의 조형원리가 가장 잘 드러난 작품 5점을 선정하였다. 작품 선정은 연구자 간 교차 분석을 통해 진행하였으며, 최종 5점을 연구 대상으로 선정하였다. 선정한 건축물은 프랙탈 기하학의 조형원리와 조형성에 따라 분석하였으며, 이를 바탕으로 각 건축물의 프랙탈 요소를 추출하였다.

둘째, 비야케 잉겔스의 작품에 나타난 프랙탈의 요소를 바탕으로 프랙탈 기하학의 조형원리와 조형성을 반영한 창의적 패션 작품을 디자인하였다. 디자인은 3D 패션디자인 소프트웨어인 CLO를 활용하였으며, 이는 프랙탈 기하학의 조형성인 스케일링, 반복, 중첩, 왜곡에 의한 3차원적 특성을 잘 드러낼 수 있는 방법으로 프랙탈 기하학의 특성을 소재나 비용 등에 구애받지 않고 적용할 수 있다는 장점이 있어 도구로 활용하였다.

II. 이론적 배경

1. 비야케 잉겔스 건축

비야케 잉겔스는 자신의 이름을 딴 Bjarke Ingels Group(BIG) 건축 사무소를 설립하여 덴마크를 넘어 북유럽을 대표하는 건축가로 인정받고 있다. 2008년 세계 건축상을 수상하고, 2010년 세계의 10대 건축가에 뽑혀 세계적인 명성을 얻었다. 1974년 코펜하겐에서 태어나 만화가가 되기 위해 덴마크 왕립 예술학교에 진학했으며, 부모님의 권유로 건축 공부를 시작했다. 공모전 수상으로 건축에 대한 흥미가 커진 그는 스페인의 바르셀로나 에스쿠엘라 고등건축학교에 진학해 건축에 대한 지식을 더 쌓게 되었다.

졸업 후 비야케 잉겔스는 1998년부터 2001년까지 렘 콜하스의 OMA에서 근무하였고, 그 후 동료인 줄리언 데 스메드(Julien de Smedt)와 PLOT 건축 사무소를 공동 설립하여 독창적인 디자인으로 이목을 끌었다. 이후 2005년 BIG을 설립하여 다양한 건축가, 디자이너, 엔지니어들과 협력하여 건축디자인을 진행하고 있으며, 2021년에는 저렴한 모듈식 주택을 만드는 Nabr이라는 회사를 공동설립하여 주택 설계 및 개발 방식을 지속가능성의 관점에서 새롭게 운영하고 있다(Parkes, 2021). 비야케 잉겔스는 건축을 사회・문화・경제・정치적 사회의 모든 비물질적 구조물을 물리적 구조물로 변화하는 예술로 정의하여 실제로 인간이 어떠한 삶을 살고 싶은지에 대한 것이라는 디자인 철학을 지니고 있으며(Rawn, 2019), 이에 인간의 실제 삶과 관련하여 지속 가능한 개발과 재생 에너지에 대한 관심이 상당한 건축가이다(Werle, 2020).

이러한 비야케 잉겔스의 디자인 철학은 현대 사회가 지닌 다양한 관심사와 일맥상통한다. 따라서, 비야케 잉겔스의 건축을 전체적인 디자인의 시류와 함께 융합의 관점에서 패션 분야에서 논의하고자 한다.

2. 프랙탈 기하학의 개념

프랙탈(fractal)은 라틴어 '프랜게리(frangere)'의 '부서지다'는 뜻으로 '부서진 상태'를 뜻하는 형용사 '프랙투스(fractus)'에서 유래되었다. 일반적으로 프랙탈은 무한한 세부, 무한한 길이, 부드러움의 결여라는 특징을 지닌다. 프랙탈 기하학은 불규칙한 패턴의 수치화가 가능해지면서 시작되었다. 프랙탈 기하학은 자연 속에서 복잡한 현상과 형태를 밝히는 개념이며 전체와 부분에 내재하는 패턴에서 유사성을 생성하는 객관적인 규칙을 연구하는 학문이다. 이 이론은 자연의 모습을 그대로 해석한다는 점에서 자연의 형태 기하학이라 할 수 있다(Kim, 2017).

프랙탈 기하학의 대가인 수학자 브누아 만델브로트(Benoit Mandelbrot)는 자연에 직선이 없다는 것에 의문을 가졌고 불규칙한 모양의 규칙적 나열에 대한 의구심을, 수학을 이용하여 증명하였다. 만델브로트는 물체의 거칠거칠한 정도, 부서진 정도 및 불규칙한 정도와 같이 명확히 정의할 수 없는 성질을 측정하는 소수 차원의 계산 방법을 서술하여 이를 자연의 불규칙성을 계산하는 데 활용하였다(Gleick, 1987/1997). 이를 '만델브로의 집합'이라 하며, 만델브로의 집합과 함께 대표되는 프랙탈 도형으로는 칸토어 집합, 시에르핀스키 삼각형, 페아노 곡선, 코흐의 눈꽃 송이 등이 있다.

결과적으로 프랙탈은 자연환경의 본질적 조형과 구조를 내포하고 있으며, 조화로운 생태공간을 상징할 수 있는 자연의 기하학이라 할 수 있을 것이다. 이러한 기하학은 자연을 탐구할 수 있는 새로운 척도를 제공하는 과학 및 예술의 새로운 미학이다. 따라서 다양한 예술 세계 및 창조적 디자인을 구성하는 유용한 방법으로서 새로운 디자인 제안에 응용할 수 있는 가능성을 지니고 있다. 프랙탈 기하학에 관한 연구는 여러 분야에서 이루어졌다. 본 논문에서는 프랙탈 기하학의 조형 원리와 조형성을 연구한 선행연구 3개를 선정하여 〈Table 1〉으로 정리하였다. 선행연구를 바탕으로

〈Table 1〉 List of Previous Studies on Fractal Geometry

Previous research	Formative principles of fractal geometry	The formative nature of fractal geometry
Cho(2015)	Self-Similarity, Nonlinearity, Irregularity, Random Fractal	Scaling, Repetition, Overlapping
Kim(2017)	Self-Similarity, Nonlinearity, Irregularity, Random Fractal	Scaling, Repetition, Overlapping, Transformation
Son(2018)	Self-Similarity, Nonlinearity, Irregularity, Random Fractal	Scaling, Repetition, Overlapping, Distortion

본 논문에서 프랙탈 기하학의 조형적 원리는 자기유사성, 비선형성, 무작위성, 불규칙성으로 분류하였으며, 조형성으로는 스케일링, 반복, 왜곡, 중첩으로 분류하였다.

3. 프랙탈 기하학의 조형원리

프랙탈 기하학 형태의 구성은 자연계에서 도출된 패턴 구성의 특성이며, 특성은 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, 무한하게 세분화되고 무한한 길이를 가진다. 둘째, 정수가 아닌 소수 차원을 가진다. 셋째, 큰 규모와 부분이 닮아 유사성을 지닌다. 넷째, 간단한 반복 작업을 계속하여 만들 수 있다(Kim, 2017). 이러한 특성에서 나타난 조형적 원리는 자기유사성, 비선형성, 무작위성, 불규칙성으로 도출되었다.

1) 자기유사성(Self-Similarity)

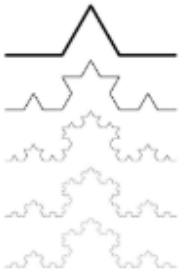
만델브로트는 '만델브로트 집합'에서 자연 속에 나타나는 불규칙하고 복잡한 패턴과 유형에 관한 연구를 통해 공통적인 특성으로 전체와 부분이 닮은 형상을 '자기유사성'이라는 개념을 정립하였으며 자연 속 패턴을 해석하는 프랙탈 기하학의 생성 과정 중 가장 큰 특성으로, '자기유사성'의 구조가 인간의 세계에서도 존재한다고 생각하였다. '자기유사성'은 자연계와 우주의 모든 것이 프랙탈 기하학의 구성적 특성을 지니고 있다.

이러한 자기유사성은 규모가 점점 작아지거나 커지는 쪽으로 유사한 모양이 반복되는 재귀성(recusion)을 말한다(Kim, 2017). 브로콜리의 구조를 자세히 들여다보면 하나의 불규칙한 조각이 반복되며 전체적인 구성을 이루는 것을 발견할 수 있다. 이것이 프랙탈 기하학의 중요한 특성인 '자기유사성'이다.

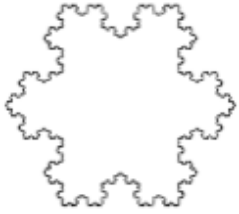
2) 비선형성(Nonlinearity)

비선형성은 초기 원인에 의하여 결과가 원인에 비례하지 않으며 초기 원인과는 상관없는 전혀 새로운 상태의 변수로 발전되는 특성이다. 뉴턴의 방정식은 작은 변화로 작은 효과를 이끌어내고, 큰 변화로 큰 효과를 도출하기 때문에 선형이라는 용어를 쓴다. 즉, 어떤 물체의 초기 조건을 알면 운동 방정식을 이용하여 그 물체의 다음 움직임을 미리 알아낼 수 있다. 뉴턴의 인과적인 결정론은 고전 물리학의 중심 개념이 되었지만, 자연현상은 선형적 사고를 통해서는 정확히 예측할 수 없다.

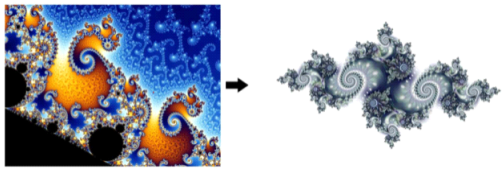
비선형 계는 일반적으로 풀 수가 없고 서로 합칠 수도 없다. 피드백에 의해 변화되는 시스템, 즉 불규칙한 행동이며, 논리적이고, 증가되고, 예측할 수 있는 선형성과는 반대이다(Lee, 1999). 비선형성의 조형원리의 특성을 나타내는 프랙탈 기하학으로 코흐의 곡선〈Fig. 1〉을 예로 들 수 있다. 직선, 곡선 상관없이 서로 연결된 선들을 의미하며, 단계를 거듭하여 무한히 반복하였을 때의 극한이 바로 코흐의 곡선이다(Hwang, 2005). 비선형성은 자연현상에서 예측하지 못한 복잡성과 다양성이 커다란 변화로 이어지기 때문이다〈Fig. 2〉. 즉 자



〈Fig. 1〉 Koch Curve
(Son, 2018, p.11)



〈Fig. 2〉 Koch Snowflake Curve
(Son, 2018, p.11)



〈Fig. 3〉 Julia Set
(Son, 2018, p.9)

연현상의 발생에서 생겨나는 구성은 다양한 형태로 확산되어 반복, 왜곡, 중첩, 변형된 구성으로 나타나게 된다.

3) 무작위성(Random Fractal)

프랙탈은 '무작위적인 프랙탈'이라는 개념을 도입하여 더욱 유용하게 활용되었다. 복잡한 구조가 규칙적인 것으로 수렴하는 듯이 보이는 구조를 말한다. 1918년 프랑스 수학자인 쥘리아 가스동(Gaston Julia)은 자연현상에서 발생하는 규칙으로 '쥘리아 집합〈Fig. 3〉'을 발견하게 되었다. 쥘리아 집합의 개념은 약 60년 전에 정립되었지만, 컴퓨터가 발달한 현대에 시각적으로 이해할 수 있게 되었다(Bovill, 1996). 이는 반복되는 구도를 그래프로 만들어 시각화하면서 나타난 우연한 이론이며 무작위성의 조형원리가 나타난다. 무작위성은 불규칙한 형태 속에서 우연적인 효과에 의해 창조적인 속성을 지니고 그 형태가 반복되어 무한한 확장성 및 반복으로 창조적 속성을 지닌 조형성이다.

4) 불규칙성(Irregularity)

자연계의 많은 사물이 불규칙한 형태를 가지고 예측할 수 없는 특성을 가지고 있지만 조형원리를 '규칙적인 불규칙성'으로 선택하여 속성에는 모두 일정한 규칙을 이루고 있다. 예를 들어 식물의 세포조직이나 살아있는 나무, 개미집과 같은 자연물들은 모두 계속적으로 펼쳐지는 분기 구조로 구성된 발생구조에 의해 자라난다. 이는 생성의 출발점에서부터 확산되는 성장이라는 전형적인 질서이며, 공간을 점거하면서 성장하는 보편적인 구조이다. 이러한 형태들이 이루는 불규칙성은 예외가 아닌 유클리드적 형태를 변형시키는 힘이자 자연을 창조하는 힘이다(Alik & Ayyildiz, 2016).

4. 프랙탈 기하학의 조형성

조형적 특성은 자기유사성, 비선형성, 무작위성, 불규칙성의 조형적 원리를 기반으로 생성되는 프랙탈 기하학의 구성은 생성 과정 중에 각종 모양과 구조를 나타내는데, 조형원리에서 도출된 형태적 조형성은 스케일링(Scaling), 반복(Repetition), 왜곡(Distortion), 중첩(Overlapping)으로 나타난다.

1) 스케일링(Scaling)

스케일링은 척도의 의미로 고대에서부터 쓰여오던 개념이다. 고대에는 형과 형태의 크기와 용적을 말하는 것이었으나 그 후에는 비율이 다른 형태들의 변형을 기해 크기와 위치에 변화를 주는 의미로 확대 해석되었다(Gleick, 1987/1997). 프랙탈 기하학의 구성에서 스케일링의 변환은 어떠한 형태를 본래 자리에서 다른 자리로 이동시키거나 기본형태를 축소 또는 확대하면서 다양한 표현을

할 수 있다. 크기나 위치는 변해도 그 기본 형태는 변하지 않는 방법이다(Lee & Lee, 2015). 따라서, 부분과 전체는 스케일만 다를 뿐 동일하다.

2) 반복(Repetition)

반복이란 동일한 대상이나 요소를 하나의 단위로 두고 둘 이상 배열하는 것을 말한다. 배열과정에서 형태와 형태 사이, 공간과 공간 사이에 동일한 패턴이 연속적으로 반복되거나 율동적인 회전이 나타난다(Song, 2006). 〈Fig. 2〉의 코흐의 눈꽃송이에서 볼 수 있듯이 반복의 요소는 단순성에 의해 간단한 규칙이 반복되어 사용된다. 프랙탈 기하학의 구성에서 반복은 자연계의 반복적인 성장패턴을 통해 볼 수 있다.

3) 왜곡(Distortion)

불연속선, 불규칙성, 분기적인 속성과 프랙탈의 형태 언어인 토러스(Torus) 등은 모두 형태의 왜곡으로 표현할 수 있다(Choi, 2011). 프랙탈 기하학에서 왜곡은 원본의 변형된 유사를 말하며 완전한 복제는 아니다. 이는 운동성, 방향성, 움직임과 함께 형태의 일그러짐 등의 특성이 있으며 건축분야에서 비정형적이며 기하학적인 건축디자인에 활용되기도 한다(Kim, 2011).

4) 중첩(Overlapping)

중첩의 사전적 의미는 여러 층이 겹쳐있는 것을 말한다. 프랙탈 기하학에서의 중첩은 분기 구조로 계속 펼쳐지거나 겹쳐지는 형태를 나타내고 있으며, 이러한 형태는 자연계에서 고사리의 잎의 '줄기 구조'가 반복되면서 구성되는 구조가 무한히 반복되는 것을 확인할 수 있다(Son, 2018). 중첩은 연속되어 겹쳐진다는 단순한 시각적인 효과에 머무르는 것이 아니라 기하학적 변형, 즉 전환, 회전, 중합 등을 통해 도형의 고유성을 표현하며 구성되는 특성이다.

따라서 프랙탈 기하학의 형태를 응용한 디자인에서 추구해야 할 것은 복잡함의 개념이 아님을 알 수 있다. 그것은 균형과 질서를 내포하는 복합성이고 그것을 지각하고 접합해야 하며 위계적 질서를 내포하고 있어야 한다. 지각하기에 적합한 질서란, 전체 환경의 지각된 복합성이 하부군의 형성으로 절대적 복합성보다 낮은 경우를 전제로 한다. 전체 환경의 지각된 복합성이 하부군의 형성으로 절대적 복합성보다 낮은 경우를 전제로 한다. 다양한 성향의 부분들과 주종관계로 이루어진 질서와 유사한 성향의 부분들이 대등하거나 리드미컬하게 배열된 경우나 위상적 관계 등으로 이루어진 조화를 명백한 지각 질서로 본다. 그러므로 지각에 적합한 질서의 측면에서, 복합성은 무질서를 의미하지 않으며, 이런 개념은 유기적 지각 개념이면서 동시에 새로운 조형 개념을 요구한다(Lee, 1999).

5. 프랙탈 기하학을 응용한 패션디자인

프랙탈 기하학을 응용한 패션디자인과 관련한 선행연구는 주로 액세서리나 텍스타일 분야와 관련한 연구가 진행되었으며, 선행연구의 주제 및 조형원리, 조형성을 〈Table 2〉로 정리하였다. 조형성을 지닌 액세서리의 구조를 프랙탈 기하학의 원리를 적용해 디자인한 연구로 Choi(2017)는 3D 프린팅을 활용하여 주얼리 디자인을 진행하였다. 프랙탈의 조형 특성인 반복, 중첩, 왜곡, 스케일링의 변환을 연속성, 기하학성, 과장성으로 분석하여 적층된 구조의 형태, 여러 단계의 겹침, 비틀기, 구부리기, 늘리기, 감싸기 등의 기법을 통해 자유로운 변형을 나타내었다. Son(2018)은 달팽이 껍질, 콜리플라워 물방울 등을 요소로 활용해 주얼리를 디자인했으며, 자연에서 시작된 조형성을 통해 유기적인 곡선 형태가 지니는 심미적 특성을 고려한 디자인이 개발되었다.

텍스타일과 관련한 연구로 Kim & Kim(2018)은 패션 소재의 기본조직을 단위 형태의 결합, 입체 조형, 콜라주 등의 방식을 통해 제작하여 3D

<Table 2> Fractal Geometry Shown in Previous Fashion-related Research

Previous research	Theme	Formative Principle	Formativeness
Choi (2017)	Jewelry design	• Self-similarity • Randomness • Irregularity • Non-linearity	• Repetition • Overlapping • Distortion • Scaling
Son (2018)	Accessory design	• Self-similarity • Randomness • Irregularity • Non-linearity	• Repetition • Overlapping • Scaling • Transformation
Kim & Kim (2018)	3Dprinting materials	• Self-similarity • Randomness • Irregularity • Non-linearity	• Overlappng • Distortion • Folding
Bao (2021)	Textile design	• Self-similarity • Scale-invariance • Non-linearity • Irregularity	• Scaling • Repetition • Distortion • Overlapping
Choi & Kim (2017)	Textile design	• Self-similarity • Non-linearity • Randomness • Irregularity	• Repetition • Overlapping • Scaling • Transformation
Eom & Jeong (2012)	Case studies related to interior design, clothing , and accessories	• Self-similarity • Randomness • Irregularity • Unpredictability	• Overlapping • Conversion of scaling • Repetition • Distortion
Shin (2022)	Art makeup	• Scaling • Repetition • Overlapping • Distrotion	• Self-similarity • Nonlinearity • Randomness • Irregularity
Zhang (2021)	Leather bag design	• Fractal dimension • Self-Similarity • Circularity • Randomness • Irregularity • Non-linearity	• Repetition • Change(distortion)

프린팅으로 소재를 개발하였다. 자연의 형태 구조에서 찾아낸 프랙탈 기하학의 원리를 적용해 유연한 직물 구조를 만들어 냈다. Bao(2021)는 프랙탈 패턴 생성 알고리즘을 바탕으로 장미, 백합 등을 모티브로 한 프랙탈 패턴을 개발하여 텍스타일을 디자인하였다. Choi & Kim(2017)도 꽃, 건축물, 보석, 손을 모티브로 하여 프랙탈의 구성원리와 조형원리를 활용해 총 10개의 텍스타일을 디자인했으며, 빠른 시간에 다양한 디자인을 만들어 낼 수 있는 점을 프랙탈 기하학을 활용한 디자인의 장점으로 꼽았다.

이 외에도 Eom & Jeong(2012)은 프랙탈 기하학을 적용한 의복과 액세서리의 디자인을 미국, 일본, 유럽 등의 사례를 조사하여 발표하였다. 의

류의 경우 자연의 불규칙한 패턴을 활용한 디자인을 3D 디지털 프린팅을 통해 디자인 사례가 있었으며, 액세서리 제품은 스카프, 가방, 넥타이, 목걸이 등의 다양한 제품군의 사례를 독특한 시각성과 예술적 소재를 바탕으로 확인하였다. Shin(2022)은 메이크업 디자인 연구를 위해 진행한 선행연구에서 패션디자이너 이리스 반 페르펜의 디자인을 반복과 중첩에 의한 자기유사성, 비선형성, 불규칙성과 왜곡과 스케일링에 의한 무작위성으로 설명하였다. Zhang(2021)는 자기유사성을 기반으로 동물, 식물, 기하학 요소를 적용한 프랙탈 패턴을 개발하여 이를 가죽제품의 디자인에 적용하였다. 프랙탈 디자인을 통한 가죽 제품 디자인은 다양한 생성 방법과 무한성을 지녀 미래 지향적인 가치를 드러내는 데 의미 있는 결론을 도출하였다.

이와 같이 패션과 관련하여 프랙탈 디자인의 조형성을 바탕으로 진행한 연구가 다수 확인되었다. 그러나 패션디자인 중 의복의 형태적 특성과 직접적인 관련이 있는 연구는 거의 없다. 프랙탈 디자인의 조형원리의 미래 지향적 가치는 물론이거니와 비야케 잉겔스와 같은 건축 디자이너의 작품의 관련성을 고려할 때 프랙탈 기하학을 바탕으로 한 패션디자인 개발 연구는 시의적절하다 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 비야케 잉겔스의 건축디자인에 나타난 프랙탈 기하학의 조형성과 조형원리를 바탕으로 한 패션디자인을 진행하고자 한다.

III. 비야케 잉겔스 건축에 나타난 프랙탈 기하학

위에서 제시한 각 연구 문제에 관한 연구 절차는 다음과 같다. 연구 문제 1은 비야케 잉겔스 건축에 나타난 프랙탈 기하학의 조형원리와 조형성의 고찰이다.

1. 선정 기준 및 범위

본 장에서는 비야케 잉겔스 건축 작품에 나타난 프랙털 기하학의 조형원리와 조형성을 분석한다. 선정 범위는 비야케 잉겔스의 건축 특성 표현이 두드러지고, 세계건축가 상을 수상한 2008년 이후부터 현재의 작품 순으로 5개를 선정하였다. 분석에 선정된 건축 작품은 〈Table 3〉과 같다.

〈Table 3〉 Analysis Case List

NO.	Year	Project	Location
1	2010	Hualien Masterplan	Hualien city, Taiwan
2	2015	King Tronto Residences	Toronto, Canada
3	2016	Serpentine Pavilion	London, England
4	2017	Kaktus Towers	Copenhagen, Denmark
5	2021	Vltava Pilharmic Prague	Prague, Czech Republic

2. 건축 작품 분석

비야케 잉겔스 5개의 건축 작품에 나타난 프랙탈 기하학의 조형원리와 조형성을 도출하고 작품에 나타난 표현 특성을 고찰한다.

비야케 잉겔스 그룹: 빅(BIG)은 다양한 방법으로 자연을 이용하여 자연과 건축의 소통과 함께 상호작용하며 때로는 자연의 요소를 내부로 끌어들이고 자연에서 아이디어를 얻으며 자연을 자연스럽게 건축 작품에 도입한다. 이러한 철학을 중심으로 설계된 비야케 잉겔스 건축 작품에 나타나는 형태적 특성을 중심으로 앞장에서 고찰한 프랙탈 기하학의 조형원리와 조형성을 통하여 분석한 결과 형태적으로 조형원리인 자기유사성이 전체적으로 도출되었으며 중첩을 중심으로 한 조형성이 도출되었다. 건축 작품의 형태적 관계에서 각 형태는 프랙탈을 이용하여 연관성을 가지고 있으며 각 형태 간의 상호보완적인 건축 작품의 모습을

보인다는 것을 알 수 있었다.

〈Table 4〉 Hualien Masterplan

Image	Fractal Geometry	
Hualien Masterplan	Formative Principle	Formativeness
	· Self-Similarity · Nonlinearity · Random Fractal · Irregularity	· Overlapping · Distortion · Repetition
Expression characteristics	• The greenest "mountain" housing project from Bjarke Ingels Group. • Hualien settlements are composed of green "landscape stripes" that resemble the mountains themselves(Quirk, 2014).	

〈Table 5〉 King Tronto Residences

Image	Fractal Geometry	
King Tronto Residences	Formative Principle	Formativeness
	· Self-Similarity · Nonlinearity · Irregularity	· Scaling · Overlapping · Repetition
Expression characteristics	• Each module presents an orthogonal mesh that has a spatial size and is progressively deformed according to various tasks. • The net rotates 45 degrees from the street grid to improve exposure to light and air, then projects upward to form a compact volume ("King Street West", n.d.)	

〈Table 6〉 Serpentine Pavilion

Image	Fractal Geometry	
Kaktus Towers	Formative Principle	Formativeness
	· Self-Similarity · Nonlinearity · Random Fractal · Irregularity	· Overlapping · Distortion · Repetition
Expression characteristics	• Architecturally, the building consists of an internal hexagonal core and a square deck that is repeated on each floor. • The balconies are unique and visible from all directions ("Kaktus towers", 2022).	

〈Table 7〉 Kaktus Towers

Image	Fractal Geometry	
Serpentine Pavilion	Formative Principle	Formativeness
	· Self-Similarity · Nonlinearity	· Scaling · Overlapping · Repetition
Expression characteristics	• Perfect rectangle • East, West, and ancient times are sculptural silhouettes with many undulations. As a result, presence becomes absence, orthogonals become curves, structures become gestures, and boxes become stains ("Serpentine Pavilion", n.d.).	

〈Table 8〉 Vltava Pilharmic Prague

Image	Fractal Geometry	
Vltava Pilharmic Prague	Formative Principle	Formativeness
	· Self-Similarity · Random Fractal	· Scaling · Overlapping · Repetition
Expression characteristics	• A rhythmic structure consisting of a winding path from the riverside to the rooftop. • Holes are formed for vision, fine-tuned for sound, and tuned for function and connectivity ("Bjarke Ingels Group", 2022).	

3. 건축 작품에 나타난 프랙탈

앞서 분석한 비야케 잉겔스의 건축 작품을 통하여 패션디자인 전개를 위한 프랙탈 요소를 도출하기 위하여 비야케 잉겔스 그룹: 빅(BIG)의 홈페이지에 공개된 건축 도면을 분석하였다.

첫 번째 작품인 Hualien Masterplan은 친환경적인 '산'의 건축 프로젝트이며, 산 능선의 형태를 선으로 적용한 디자인으로 산 자체를 닮은 녹색의 '풍경 줄무늬(landscape stripes)'로 구성되었다(Quirk, 2014). 이 건축 작품에서 도출된 프랙탈 요소는 산의 능선을 선으로 표현해 산의 삼각형 형태를 선으로 단순화한 형태를 프랙탈 요소로 도출하였다.

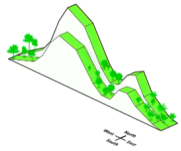
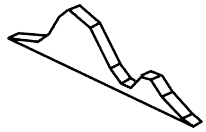
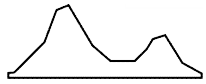
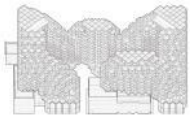
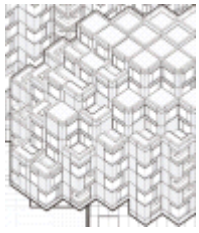
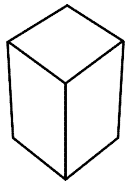
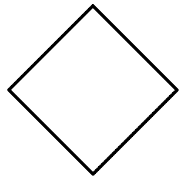
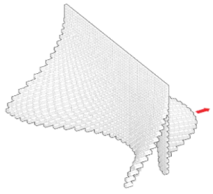
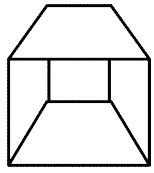
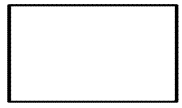
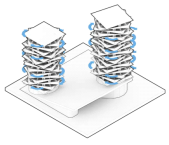
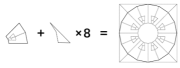
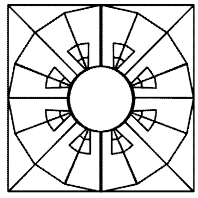
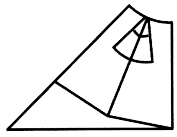
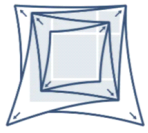
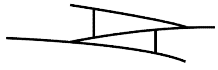
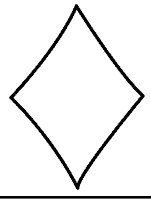
두 번째 King Tronto Residences에서 도출된 프랙탈 요소는 비야케 잉겔스의 빅 그룹의 또 다른 산 프로젝트로 산의 형상으로 4개의 산봉우리의 형태를 픽셀화하여 계단식의 구성을 보여준다. 픽셀화를 표현한 정육면체는 각 유닛은 45도 각도로 밖을 향하고 있으며 일반적인 건물과는 다른 산의 능선을 표현한 물결 모양의 외관을 보여준다(Parsi, 2022). 물결 모양 건물의 상단은 산의 능선을 표현한 것이며 45도 각도로 향하고 있는 각 유닛은 윗면이 마름모꼴의 형태로 정육면체의 입체적인 프랙탈 요소로 프랙탈-1로 도출하였고 프

랙탈-2는 마름모꼴의 형태로 도출할 수 있다.

세 번째 Serpentine Pavilion 건축 작품은 두 번째 작품인 King Tronto Residences의 작품과 같은 개념으로 작업 된 건축 작품이다. 이 두 개의 작품은 육면체를 쌓아 올려 픽셀화를 표현하였는데 이것은 빅 그룹의 'Unzipped Wall'의 개념을 보여주는 대표 작품이다(Shepherd, 2016). 전체 형태는 산을 형상화하였으며 사각형 형태의 육면체의 각 유닛의 교차로 결합이 해제된 형태로 마치 지퍼가 열린 형태와 비슷한 형태의 입구를 볼 수 있다. 이 건축 작품에서 도출된 프랙탈 요소로는 직사각형이 도출되었다.

네 번째 건축 작품 Kaktus Towers는 덴마크어로 선인장 타워라고 해석할 수 있다. 이름 그대로 선인장처럼 가시가 돋친 형태로 구성되었으며 발코니를 엇갈리게 만들어 개방감을 느끼게 하려는 의도가 불규칙한 삼각형 돌기의 디자인으로 귀결됐다(Kim, 2022). 선인장을 형상화한 이 작품에서

〈Table 9〉 Analysis Case List

No.	Project	Floor plan	Fractal-1		Fractal-2
1	Hualien Masterplan				
2	King Tronto Residences				
3	Serpentine Pavilion				
4	Kaktus Towers				
5	Vltava Pilharmic Prague				

는 한 층을 이루는 사각형의 형태에서 사다리꼴 도형 16개가 중앙 원형을 이루고 4개의 모서리에는 2개의 직사각형이 맞닿아 사각형의 프랙탈-1이 구성되었다. 이 사각형을 구성하는 프랙탈-2는 두 개의 사다리꼴의 도형과 한 개의 직사각형이 결합된 형태로 도출되었다.

다섯 번째 Vltava Pilharmic Prague은 "강에서 지붕까지"라는 문구를 사용하여 독특하고 눈에 띄는 BIG 지그재그의 형태로 강변에서부터 지붕까지 물이 굽이치는 모양으로 길을 형성하여 리드미컬한 구조로 되어있다(Hill, 2022). 도출된 프랙탈 요소는 오페라 하우스의 외관 라인인 지그재그가 프랙탈-1로 토출하였고 지붕의 형태인 마름모꼴의 형태에서 각 면이 도형의 중앙으로 들어오는 곡선의 형태로 프랙탈-2를 도출하였다.

비야케 잉겔스의 건축 작품에서 패션디자인 전개를 위하여 도출된 프랙탈 요소는〈Table 8〉로 정리할 수 있다. 두 번째 건축 작품인 King Tronto Residences와 세 번째 건축 작품인 Serpentine Pavilion은 육면체를 쌓아 픽셀화를 진행했다는 공통점이 있어 육면체를 공통된 프랙탈 요소로 도출하였기에 패션디자인에 적용하는 과정에서 이를 고려해 디자인 전개를 진행하였다.

VI. 작품 제작 및 해설

본 연구에서는 비야케 잉겔스의 건축에 나타난 프랙탈 기하학의 특징에 주목하여, 그의 작품에 나타난 조형원리와 조형성을 분석하여 패션디자인에 접목하고자 하였다. 총 5개의 분석 대상 건축물로부터 추출한 프랙탈 요소〈Table 9〉를 바탕으로 3D 패션디자인 도구인 CLO를 활용하여 디지털 패션디자인을 진행하였다.

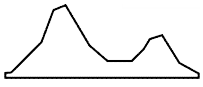
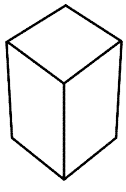
비야케 잉겔스의 건축은 규모가 점점 작아지거나 커지는 쪽으로 유사한 모양이 반복되는 자기유사성을 지녔으며, 동일한 요소나 대상을 하나의 단위로 하여 둘 이상 배열하는 반복과 분기 구조로 계속 펼쳐지거나 겹쳐지는 형태를 나타내는 중첩이 특징으로 확인되었다. 반복에서는 동일한 패턴이 연속되며 중첩에서는 단순한 반복을 넘어 변형, 전환, 회전 등을 확인할 수 있다. CLO와 같은 3D 패션디자인 도구는 비야케 잉겔스의 건축물에서 나타난 조형성인 반복과 중첩을 다양하게 시도해 볼 수 있으며, 반복과 중첩의 횟수에 제한받지 않는다는 장점이 있다. 소재나 비용 등에도 제한이 없어 3차원적 입체를 표현하기에 적절하다 할 수 있다.

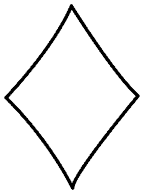
도출한 프랙탈 요소는 Hualien Masterplan의 산의 능선을 단순화한 형태, King Tronto Residences와 Serpentine Pavilion의 사각형과 정육면체, Kaktus Towers는 삼각형 돌기, Vltava Pilharmic Prague는 마름모를 디자인에 활용할 프랙탈 요소로 선정하였다. King Tronto Residences와 Serpentine Pavilion의 프랙탈 요소를 동일하게 설정하여 패션디자인 개발에 활용한 프랙탈 요소는 총 4개이다. 이에 따라 개발한 패션디자인 작품도 총 4개로 〈Table 10〉과 같다. 작품은 공통적으로 원피스 형태로 소재와 색채를 유사하게 제작하여 작품의 구성적 특징이 두드러지도록 하였다.

작품 1은 Hualien Masterplan을 분석하여 나타난 산의 능선을 단순화한 형태를 프택탈 요소로 하여 건축물에 나타난 녹색의 풍경 줄무늬를 가로가 아닌 세로로 적용하여 디자인 개발하였다. 산의 능선이 불규칙성을 기반으로 중첩되어 표현되는 것을 패션디자인 개발에서도 동일하게 적용하였다. 마치 산의 형태가 원근법에 따라 크고 작게 보이는 것처럼 중첩의 형태를 통해 이를 표현하였다. 또한 이러한 형태를 소매와 어깨에서부터 밑단에 이르기까지 전체적으로 적용하였다.

작품 2는 King Tronto Residences와 Serpentine Pavilion에서 도출한 직육면체를 적용하여 디자인을 개발하였다. 크고 작은 직육면체를 반복적으로 사용하였으며, 직육면체를 입체적으로 돌출시켜 디자인하였다. 육면체를 쌓아 픽셀화를 표현한 건

〈Table 10〉 Developed 3D Fashion Design

No.	Project	Developed Design
1	Image Fractal 	
2	Image Fractal 	

No.	Project	Developed Design
3	Image Fractal 	
4	Image Fractal 	

축물의 형태와 유사성을 표현하여 패션디자인에 적용하였다. 직육면체의 다양한 크기를 적용한 것은 스케일링의 특징이며 다수의 직육면체를 반복하여 적용하였다.

작품 3은 Kaktus Towers를 분석하여 삼각형 끝에 돌기가 돌출된 모습을 한 사각형을 프랙탈 요소로 하여 디자인을 개발하였다. 앞서 개발된 두 디자인과 달리 슬리브리스 디자인으로 인체에 타이트한 형태의 원피스에 크고 작은 프랙탈 요소가 비대칭적으로 상반신에서 하반신에 이르기까지 반복되는 형태로 디자인하였다. 특히 몸의 상반신에서 하반신으로 갈수록 프랙탈 요소의 크기가 점점 커지는 형태로 디자인하여 안정감을 주었다. 프랙탈의 요소는 건축물에서 선인장의 뾰족한 부위처럼 형상화된 요소와 마찬가지로 인체의 실루엣을 흐르는 전반적인 실루엣에 포인트가 되어 돌출된 형태를 취하였다.

작품 4는 Vltava Pilharmic Prague의 마름모를 프랙탈 요소로 하여 디자인하였다. 전체적으로 같은 크기의 마름모 형태에 지퍼로 연결하여 제작하였으며 지퍼를 어떻게 연결하느냐에 따라 디자인이 변환될 수 있다. 또한 자기유사성의 개념이 있어 작은 마름모가 여러 개 모여 큰 마름모를 만들어 내는 유사한 모양의 반복을 유지하고 있다. 반복되는 마름모 형태는 단순성의 반복을 통해 패턴을 만들어 내는 프랙탈 기하학의 조형성을 반영한다. 건축물에서는 하이앵글 구도에서 발견할 수 있는 마름모의 패션디자인 작품에 표현하였다.

V. 결론

본 연구는 비야케 잉겔스 건축물의 조형원리와 조형성을 프랙탈 기하학을 기반으로 분석하여 프랙탈 요소를 도출하였으며, 이를 패션디자인에 적용하였다. 본 연구의 연구결과는 첫째, 비야케 잉겔스의 건축작품 중 총 5개의 작품을 선정하여 분석한 결과 불규칙한 조각이 반복되며 전체적인 구성을 이루는 조형원리인 자기유사성과 반복과 중첩의 조형성이 공통적으로 도출하였다. 동일한 요소가 둘 이상 배열되거나 여러 층이 겹쳐있는 형태가 건축의 특징을 나타내었다.

둘째, 앞서 분석한 조형원리와 조형성을 바탕으로 도출한 프랙탈 요소를 적용한 패션디자인은 총 4개 작품을 개발하였다. 각 프랙탈 요소는 산의 능선 모양, 직육면체, 삼각형이 변형된 모양의 사각형과 마름모이다. 본 연구에서는 이러한 프랙탈 요소를 구조적으로 표현하기 위해 자기유사성을 바탕으로 비슷한 모양을 크고 작은 형태로 만들어 반복과 중첩을 통해 디자인에 적용하였다. 디자인 개발은 3D 프로그램을 통해 진행되어 반복과 중첩을 표현하는 데 물리적 제한이 없이 적용할 수 있었다.

이에 따른 결론으로는 첫째, 건축과 패션의 유사성을 바탕으로 건축의 구조적 특성을 패션의 구성적 특성에 접목하였다. 건축의 독특한 조형성이 패션디자인 개발에 긍정적인 영향력을 미쳤으며 이는 융합 학문으로서 패션이 지니는 특성을 반영하여 건축과 패션, 기하학 등 다학제 연구를 통한 패션디자인 개발을 시도할 수 있다는 좋은 사례로서 의미가 있다. 이를 통해 다양한 건축물의 조형성을 다양한 학문적 기반을 바탕으로 연구하여 패션디자인 발상을 다채롭게 진행해 볼 수 있을 것이다.

둘째, 이론적 배경을 통해 확인한 패션디자인 분야의 프랙탈 기하학 적용은 소재 개발이나 액세서리 개발에 국한되어 진행되었다. 본 연구를 통해 구조적 적용을 통한 패션디자인 개발이 가능하다는 점을 확인하여 새로운 디자인 창출에 의의가 있다 사료된다. 이를 통해 프랙탈 기하학을 적용한 다양한 디자인이 제시되길 기대하는 바이다.

본 연구는 비야케 잉겔스라는 건축가의 사례에 국한하여 프랙탈 기하학을 패션에 반영했다는 한계를 지닌다. 후속 연구에서는 프랙탈 기하학을 주제로 한 다양한 건축가의 작품을 함께 고려하여

디자인 전개에 활용할 수 있을 것이다. 또한 색채, 소재, 문양 등의 요소는 디자인 개발 단계에서 배제되었다. 추후 연구에서는 더욱 다양한 디자인 요소를 반영하여 적용한다면 복합적인 방법으로 패션디자인 전개가 가능할 것이다. 본 연구를 통해 진행된 사례처럼 조형예술의 조형원리와 조형성을 분석하는 다양한 시도가 계속해서 이루어진다면 패션디자인에 있어 다양한 시도가 가능해질 것이다. 또한 3D 프로그램을 통한 디지털 패션디자인의 실험적 시도를 통해 패션디자인 개발의 범위가 확장될 것으로 기대한다.

References

Alik, B., & Ayyildiz, S. (2016). Fractals and fractal design in architecture. In *13th international conference "standardization, prototypes and quality: A means of Balkan countries' collaboration"* (pp. 3-4).

Bao, Y. (2021). *The textiles design process based on fractal geometry* (Unpublished Doctoral Dissertation). Chosun University, Gwangju, Republic of Korea.

Bjarke Ingels group wins the international architectural competition for the new vltava philharmonic hall. (2022, May 17). *Metalocus.* Retrieved from https://www.metalocus.es/en/news/bjarke-ingels-group-wins-international-architectural-competition-new-vltava-philharmonic-hall

Bovill, C. (1996). *Fractal geometry in architecture and design.* Birkhauser, Germany & MA, USA: Springer Science & Business Media. doi:10.1007/978-1-4612-0843-3

Cho, E. (2015). *A graphic design study on scientific principle that analyze the form and structure of nature: Focusing on fractal* (Unpublished master's thesis). Seoul National University, Seoul, Republic of Korea.

Choi, C. B. (2011). *A study on analysis of organic design characteristics derived from natural forms* (Unpublished master's thesis). Hongik University, Seoul, Republic of Korea.

Choi, H.-Y. & Kim, S.-M. (2017). Textile design by principle of fractal geometry. *Design Forum, 55,* 195-206.

Choi, K. (2017). A study on the charactreristics of 3D printing jewelry design utilizing with fractal geometry. *Journal of Fashion Business, 21*(5), 136-150. doi:10.12940/jfb.2017.21.5.136

Darrah, P. (2023, February 25). How Bjarke Ingels, architect, spends his sundays. *The New York Times.* Retrieved from https://www.nytimes.com/2023/02/25/nyregion/bjarke-ingels-architect.html

Eom, K. H., & Jeong, B. R. (2012). A case study on the textile design product applied by fractal geometry. *Journal of the Korean Society of Design Culture, 18*(2), 239-251.

Fixsen, A. (2019, April 4). Bjarke Ingels unveils an ambitious plan for floating cities at the U.N. *Architecture Digest.* Retrieved from https://www.architecturaldigest.com/story/bjarke-ingels-plan-floating-cities-un

Gleick, J. (1997). *Chaos: Making a new science* (B. Park & H. Sun, Trans.). Seoul: Dongmunsa. (Original work published 1987)

Hill, J. (2022, May 18). BIG wins competition for Vltava Philharmonic Hall in Prague. *World-architects.com.* Retrieved from https://www.world-architects.com/en/architecture-news/headlines/big-wins-competition-for-vltava-philharmonic-hall-in-prague

Huh, W. W., & Shin, K.-C. (2018). A study on the direction of the fourth industrial revolution and convergence. *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology, 8*(12), 63-70. doi:10.21742/AJMAHS.2018.12.12.

Hwang, Y.-M. (2005). *A study on application of fractal geometry to architectural design* (Unpublished master's thesis). Dongguk University, Seoul, Republic of Korea.

Kaktus towers (2022, June 21). *Byens Netværk.* Retrieved from https://www.byensnetvaerk.dk/da-dk/arrangementer/2022/kaktus-towers.aspx

Kim, M. J. (2011). *Study on jewelry design of optical pattern using the fractal formative principle* (Unpublished Doctoral Dissertation). Kaya Uni- versity, Gimhae, Republic of Korea.

Kim, M. R. (2022, June 17). A cactus grew up in the middle of the city [도시 한가운데 선인장 솟았네]. *Chosun Ilbo.* Retrieved from https://www.chosun.com/culture-life/archi-design/2022/06/17/QS2X4WCDIRBCXL5WSED2DYA4XE/

Kim, Y. S. & Kim, J. H. (2018). A study on 3d printing fashion materials applying the modeling principle of fractal geometry: Focused on basic texture application of fashion materials. *Journal of Fashion Design, 18*(3), 111-134. doi:10.18652/2018.18.3.7

Kim, Y. S. (2017). *A study on 3d printing fashion materiols applying the modeling principle of fractal geometry: Focusing on basic texture application of fashion materials* (Unpublished Doctoral Dissertation). Eewha Womans University, Seoul, Republic of Korea.

King Street West Building, Toronto. (n.d.). *Arquitectura Viva.* Retrieved from https://arquitecturaviva.com/

works/edificio-king-toronto

Lee, S. & Lee, J. (2015). Development of textile design that applies generation algorithm of fractals. *Journal of Korea Institute of Spatial Design, 10*(4), 104-111.

Lee, T. Y. (1999). *A study on method for environmental design applying the fractal geometry* (Unpublished master's thesis). Ewha Womans University, Seoul, Republic of Korea.

Nugent, C. (2020, October 21). The climate is breaking down. Architect Bjarke Ingels has a masterplan for that. *Time.* Retrieved from https://time.com/collection/great-reset/5900743/bjarke-ingels-climate-change-architecture/

Parkes, J. (2021, August 23). Bjarke Ingels launches company to "reimagine the way we build our homes". dezeen. Retreived from https://www.dezeen.com/2021/08/23/bjarke-ingels-nabr-home-design-company/

Parsi, N. (2022, May 18). Bjarke Ingels-designed KING Toronto releases its final set of luxury penthouses. *Building Design+Construction.* Retrieved from https://www.bdcnetwork.com/bjarke-ingels-designed-king-toronto-releases-its-final-set-luxury-penthouses

Quirk, V. (2014, April 7). Hualien Residences / BIG. *Arch Daily.* Retrieved from https://www.archdaily.com/493754/hualien-residences-big-s-most-mountainous-housing-project-yet

Rawn, E. (2019, October 2). Spotlight: Bjarke Ingels. *Archdaily.* Retreived from https://www.archdaily.com/553064/spotlight-bjarke-ingels

Serpentine Pavilion and Summer Houses 2016. (n.d.). *Serpentine.* Retrieved from https://www.serpentinegalleries.org/whats-on/serpentine-pavilion-and-summer-houses-2016/

Shepherd, J. (2016). Serpentine gallery pavilion 2016: Bjarke Ingels' summer house unveiled. *Independent.* Retrieved from https://www.independent.co.uk/arts-entertainment/art/news/serpentine-gallery-pavilion-2016-bjarke-ingels-summer-house-unveiled-a7069446.html

Shin, W.-S. (2022). Analysis of fractal geometric structure-based acrylic pouring art makeup technique. *Journal of the Korean Society of Beauty and Art, 23*(1), 7-26. doi:10.18693/jksba.2022.23.1.7

Son, J.-M. (2018). *A study on jewelry design applying the plasticity of fractal geometry* (Unpublished master's thesis). Chung-Ang University, Seoul, Republic of Korea.

Song, R. Y. (2006). A study on the textile design based on the fractal geometry. *Journal of Basic Design & Art, 7*(1), 311-318.

Werle, S. (2020, February 07). Architect Bjarke Ingels presents his vision of playful sustainability. *Columbia News.* Retreived from https://news.columbia.edu/news/architecture-bjarke-ingels-designs-incorporate-playful-sustainability

Yim, E. H. (2014). Tectonic strategies in architectonic fashion design. *Journal of Fashion Business, 18*(1), 164-181. doi:10.12940/jfb.2014.18.1.164

Zhang, P. (2021). *A study on leather product design applying fractal geometry: Focus on bag design* (Unpublished Doctoral Dissertation). Dong-eui University, Busan, Republic of Korea.