

# 인공지능 기반 프렉탈 디자인의 기술 동향 및 제작 공정 변화 분석

## A Study on Technological Trends and Production Process Transformation of AI-Based Fractal Design

주 저 자 : 김헌재 (Kim,Heon Jae)

동양대학교 산학협력단 교수  
oldj007@naver.com

<https://doi.org/10.46248/kidrs.2026.1.636>

접수일 2026. 02. 20. / 심사완료일 2026. 03. 02. / 게재확정일 2026. 03. 09. / 게재일 2026. 03. 30.

## Abstract

This study aims to analyze the technological evolution and structural transformation of production processes in AI-based fractal design. Traditionally grounded in mathematical computation and numerical software systems, fractal design has recently shifted toward probabilistic, data-driven generative AI frameworks. Through literature review, algorithmic analysis, and case studies across industries, this study compares traditional and AI-based workflows. Findings indicate that AI-based processes significantly enhance production speed and experimental diversity, while redefining the designer's role from a computational executor to a prompt engineer and decision curator. This transformation represents not merely a technical shift but a reconfiguration of design value and creative agency. The study proposes a future collaborative model between human designers and AI systems in fractal design.

## Keyword

Fractal Design(프랙탈 디자인), Generative AI(생성형 인공지능), Production Process(생산 프로세스), GAN(GAN), Diffusion Model(확산 모델), Design Automation(디자인 자동화)

## 요약

본 연구는 인공지능 기반 프랙탈 디자인의 기술적 진화와 제작 공정의 구조적 변화를 분석하는 것을 목적으로 한다. 프랙탈 디자인은 초기 수기 계산 및 수치 해석 소프트웨어 중심의 수학적 생성 구조에서 출발하여, 최근에는 생성형 인공지능(Generative AI) 기반의 확률적-데이터 중심 생성 체계로 전환되고 있다. 본 연구는 문헌 고찰, 생성 알고리즘 구조 분석, 산업별 활용 사례 비교를 통해 전통적 제작 공정과 AI 기반 제작 공정을 단계별로 비교하였다. 분석 결과, AI 기반 공정은 제작 속도와 실험 다양성 측면에서 우위를 가지며, 디자이너의 역할은 계산자에서 '프롬프트 설계자' 및 '의사결정 큐레이터'로 전환되고 있음을 확인하였다. 이는 단순한 기술 변화가 아니라 디자인 가치의 재구성 과 창작 주체의 재정의라는 점에서 의미를 가진다. 본 연구는 향후 인간-AI 협업 기반 프랙탈 디자인 모델의 방향성을 제시한다.

## 1. 서론

- 1-1. 연구 배경
- 1-2. 연구 목적
- 1-3. 연구 방법

## 2. 프랙탈 디자인의 이론적 고찰

- 2-1. 프랙탈 디자인의 기술적 변천사
- 2-2. 생성형 AI의 원리와 프랙탈 구조
- 2-3. 디자인 공정에서의 '자동화' 정의

## 3. AI 프랙탈 디자인 제작 공정 분석

- 3-1. 전통적 제작 공정 분석

- 3-2. AI 기반 제작 공정 분석

- 3-3. 공정 단계별 비교

## 4. AI 프랙탈 디자인 활용 사례 분석

- 4-1. 산업별 활용 사례
- 4-2. 도구별 특성 비교
- 4-3. 디자인 가치 분석

## 5. 결론

- 5-1. 연구 요약
- 5-2. 학문적·실천적 시사점
- 5-3. 향후 전망

## 1. 서론

### 1-1. 연구 배경

21세기 디지털 시각 문화는 생성형 인공지능(Generative AI)의 급격한 발전과 함께 구조적 전환을 경험하고 있다. 특히 텍스트-이미지 변환 모델을 중심으로 한 이미지 생성 기술은 기존의 알고리즘 디자인 체계를 재구성하고 있으며, 디자인 생산 방식 자체를 변화시키고 있다. 전통적 알고리즘 디자인은 명시적 수식과 규칙에 기반하여 반복 계산을 수행하는 체계였다면, 생성형 AI는 대규모 데이터 학습을 통해 확률적 패턴을 재구성하는 방식으로 작동한다. 이와 같은 전환은 단순한 계산 속도의 향상이 아니라, 이미지 생성의 원리와 창작 구조의 근본적 변화를 의미한다.

이러한 변화가 가장 선명하게 드러나는 영역 중 하나가 프랙탈 디자인이다. 프랙탈(fractal)은 브누아 망델브로에 의해 체계화된 기하학 개념으로, 자기 유사성(self-similarity), 비정수 차원(fractal dimension), 무한 반복성 등의 특성을 통해 자연계의 복잡한 형상을 수학적으로 설명하는 이론적 틀을 제공한다. 전통적 프랙탈 이미지는 복소수 반복 함수와 같은 명시적 수학 공식에 의해 생성되었으며, 제작자는 매개변수의 정밀한 조정을 통해 형상의 구조를 통제하였다. 이 과정에서 프랙탈은 계산의 결과이자 수학적 질서의 시각적 표현으로 이해되었다.<sup>1)</sup>

그러나 생성형 AI의 도입 이후 프랙탈 디자인의 생성 원리는 근본적으로 달라지고 있다. 오늘날의 AI 시스템은 프랙탈의 수학적 정의를 직접 계산하지 않는다. 대신 방대한 이미지 데이터로부터 반복 구조와 자기 유사적 패턴을 통계적으로 학습하고, 이를 확률적 생성 과정을 통해 재구성한다. 즉, 생성 결과는 명시적 수식의 산물이 아니라, 데이터 분포의 재조합에 의해 도출된 시각적 유사성의 산물이다. 이로 인해 '프랙탈'이라는 개념은 수학적 정의에서 벗어나, 시각적 특성에 기반한 범주로 재해석되는 경향을 보인다.

1) 김윤희, 프랙탈 기법을 활용한 텍스타일 디자인 연구, 숙명여자대학교 석사학위 논문, 2002, pp.11

### 1-2. 연구 목적

본 연구의 목적은 인공지능 기반 프랙탈 디자인의 기술적 진화가 단순한 도구의 발전을 넘어 제작 공정의 구조적 전환을 초래하고 있음을 규명하는 데 있다. 프랙탈 디자인은 전통적으로 수학적 반복 알고리즘과 복소수 계산에 기반하여 생성되어 왔다. 이 과정에서 제작자는 수식의 매개변수를 직접 조정하고 반복 연산을 수행하며, 계산 결과로 도출되는 시각적 형상을 통제하는 역할을 담당하였다. 그러나 생성형 인공지능의 도입 이후 프랙탈 이미지는 더 이상 명시적 수학 공식을 직접 계산하는 방식으로 생성되지 않는다. 대신 대규모 이미지 데이터 학습을 통해 '프랙탈적 시각 구조'를 확률적으로 재현하는 방식으로 전환되고 있다.

이와 같은 변화는 단순히 생성 속도의 향상이나 편의성 증가라는 차원을 넘어, 프랙탈 디자인의 존재론적 지위와 창작 행위의 성격을 재정의하는 문제를 내포한다. 따라서 본 연구의 첫 번째 목적은 프랙탈 디자인의 생성 방식이 수기 계산 및 수치 해석 기반 체계에서 AI 기반 확률 생성 체계로 어떻게 전환되었는지를 기술적·구조적 관점에서 분석하는 데 있다. 이를 통해 전통적 알고리즘 디자인과 생성형 AI 디자인 사이의 원리적 차이를 규명하고자 한다.

### 1-3. 연구 방법

본 연구는 기술적 분석과 사례 비교를 통한 연구 방법을 채택한다. 프랙탈 디자인의 변화는 단일 차원의 기술 발전으로 설명될 수 없으며, 알고리즘 구조, 제작 공정, 산업 적용 사례, 가치 체계의 전환을 종합적으로 고려해야 하기 때문이다.

첫째, 국내외 학술 문헌 조사를 수행하였다. 프랙탈 기하학의 이론적 기초, 알고리즘 디자인의 역사, 생성형 인공지능의 기술적 발전 과정에 관한 선행 연구를 분석하였다.

둘째, 생성형 인공지능 알고리즘의 작동 원리를 구조적으로 분석하였다. 특히 GAN(Generative Adversarial Network)과 Diffusion 모델의 생성 과정을 검토하여, 이들이 어떻게 기하학적 패턴과 자기 유사적 구조를 학습·재현하는지를 살펴보았다.

셋째, 산업별 적용 사례를 비교 분석하였다. 패션, 건축, 디지털 미디어아트, 게임 산업에서 AI 기반 프랙탈 디자인이 어떻게 활용되고 있는지를 조사하고, 적용 목적과 제작 공정의 변화를 분석하였다. 이를 통해 기술적 변화가 실질적 생산 구조에 어떠한 영향을 미치

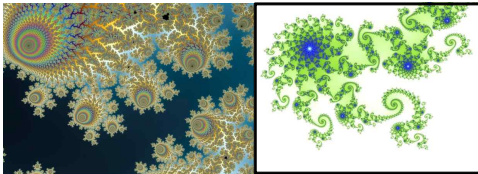
는지를 확인하였다.

넷째, 제작 공정 단계별 구조 비교 분석을 수행하였다. 전통적 프렉탈 제작 공정을 '수식 설정-매개변수 조정-렌더링-후처리' 단계로 구분하고, AI 기반 제작 공정을 '프롬프트 설계-샘플 생성-선택 및 재조합-보정' 단계로 구분하여 비교하였다.

## 2. 프렉탈 디자인의 이론적 고찰

### 2-1. 프렉탈 디자인의 기술적 변천사

프렉탈 디자인의 발전 과정은 단순한 도구의 진화라기보다, 생성 원리의 전환이라는 구조적 변화를 보여준다. 본 연구는 이를 크게 세 단계로 구분한다. 첫째는 수기-수식 계산 단계, 둘째는 수치 해석 소프트웨어 단계, 셋째는 딥러닝 기반 생성 단계이다. 이 세 단계는 각각 서로 다른 생성 논리와 제작 공정 구조를 내포한다.



[그림 1] 전통적 프렉탈 그래픽 예시

첫 번째 단계인 수기-수식 계산 단계에서 프렉탈 이미지는 명시적 수학 공식에 의해 생성되었다. 복소수 반복 함수, 비선형 동역학 방정식, 자기 유사적 변환식 등이 이미지 형성의 직접적 원인이 되었다. 제작자는 매개변수 값을 조정하며 반복 연산을 수행하였고, 계산 결과로 도출되는 점들의 집합이 시각적 구조를 형성하였다. 이 단계에서 프렉탈 디자인은 '수학적 구조의 시각화로 이해되었으며, 이미지의 미적 특성은 계산의 부산물로 간주되었다. 다시 말해, 미적 결과는 수학적 정확성에 종속된 형태였다.<sup>2)</sup>

두 번째 단계인 수치 해석 소프트웨어 단계에서는 계산 과정이 자동화되고 사용자 인터페이스가 개선되었다. GUI 기반 프로그램을 통해 매개변수 조정이 직관적으로 이루어졌으며, 색상 맵핑, 텍스처 적용, 렌더링

2) 송록영, '프렉탈(Fractal) 기하학에 근거한 텍스타일 디자인 연구', 한국기초조형학회, 2006, pp. 312

최적화 기술이 도입되었다. 그러나 생성의 근본 원리는 여전히 수학적 알고리즘에 있었다. 이 시기 프렉탈 디자인은 기술적 접근성을 획득하였으나, 생성 논리 자체는 수학 중심 구조를 유지하였다. 제작 공정의 효율성은 개선되었지만, 창작자는 여전히 수식과 알고리즘을 이해하고 통제해야 했다.

세 번째 단계는 딥러닝 기반 생성 단계이다. 이 단계에서 프렉탈 이미지는 더 이상 명시적 수학 공식을 직접 계산하여 생성되지 않는다. 대신 대규모 이미지 데이터 학습을 통해 반복적 시각 패턴과 자기 유사 구조를 통계적으로 모델링하고, 이를 확률적 방식으로 재구성한다. 생성형 인공지능은 프렉탈의 수학적 정의를 따르지 않더라도, 프렉탈과 유사한 시각적 특성을 구현할 수 있다. 이는 생성의 원리가 '계산'에서 '학습'으로 전환되었음을 의미한다.

특히 Diffusion 모델은 점진적 노이즈 제거 과정을 통해 이미지를 생성한다. 초기에는 무작위 노이즈 상태에서 시작하여, 반복적인 복원 단계를 거치며 점차 구조가 형성된다. 이 과정은 시각적으로는 자기 유사적 패턴이 점진적으로 드러나는 효과를 보이며, 프렉탈 구조의 반복성과 유사한 인상을 제공한다. 그러나 이러한 유사성은 수학적 자기 유사성의 직접적 구현이라기보다, 데이터 학습을 통해 형성된 확률적 패턴의 재현이라는 점에서 차이를 가진다.

따라서 프렉탈 디자인의 기술적 변천사는 단순히 계산 속도의 향상이나 인터페이스 개선의 문제가 아니라, 생성 원리의 인식론적 전환을 포함한다. 수학적 결정론적 체계에서 확률적 학습 체계로의 이동은 프렉탈의 정의와 해석 방식을 재구성하는 계기가 된다.<sup>3)</sup>

### 2-2. 생성형 AI의 원리와 프렉탈 구조

생성형 인공지능은 다양한 모델 구조를 통해 이미지를 생성한다. 그 중 대표적인 구조는 GAN(Generative Adversarial Network), Diffusion 모델, 그리고 Transformer 기반 텍스트-이미지 매핑 구조이다. 이들 모델은 서로 다른 방식으로 패턴을 학습하고 재구성하지만, 공통적으로 데이터 분포를 기반으로 시각적 결과를 생성한다는 특징을 가진다.

GAN은 생성자(Generator)와 판별자

3) 김양수, 김정혜, '프렉탈 기하학의 조형원리를 적용한 3D프린팅 패션소재 연구-패션소재의 기본조직 응용을 중심으로-', 한국패션디자인학회, 2018, pp. 14-15

(Discriminator)가 상호 경쟁하는 적대적 학습 구조를 가진다. 생성자는 실제 데이터와 유사한 이미지를 생성하려 하고, 판별자는 생성된 이미지와 실제 이미지를 구별하려 한다. 이러한 반복적 경쟁 과정 속에서 생성자는 점차 실제 데이터 분포에 가까운 시각 패턴을 학습한다. 프렉탈 이미지가 학습 데이터에 포함될 경우, 반복적 구조와 자기 유사적 형태는 경쟁 학습 과정에서 강화될 수 있다. 그러나 이 과정은 수학적 반복 연산의 직접 구현이 아니라, 통계적 유사성의 최적화 과정이다.

Diffusion 모델은 확률적 복원 모델에 해당한다. 이 모델은 이미지를 점진적으로 노이즈화한 뒤, 역과정을 통해 노이즈를 제거하면서 원래의 데이터 분포를 복원한다. 이때 복원 과정은 단계적이며 반복적이다. 이러한 단계적 구조는 시각적으로 반복과 축적의 효과를 발생시키며, 프렉탈의 자기 유사성과 유사한 인상을 준다. 하지만 이 역시 수학적 자기 유사성의 정확한 구현 이라기보다는, 데이터 기반 확률 모델링의 결과이다.

Transformer 기반 텍스트-이미지 매핑 구조는 언어적 입력을 시각적 출력으로 변환한다. 프롬프트는 더 이상 수식이 아니라, 의미 단위로 구성된 자연어 문장이다. 이 구조에서 생성의 핵심은 매개변수 조정보다는 언어적 지시와 맥락적 조건 설정에 있다. 이는 제작 공정의 중심을 수학적 계산에서 의미 기반 제어로 이동시킨다.

결국 생성형 AI는 프렉탈의 '정확성을 재현하기보다는, 시각적으로 설득력 있는 결과를 생성하는 데 초점을 둔다. 전통적 프렉탈이 수학적 일관성과 결정론적 구조를 기반으로 했다면, AI 기반 프렉탈은 확률적 최적화와 데이터 분포 재현을 기반으로 한다. 이러한 차이는 프렉탈 디자인의 본질을 '구조적 정확성'에서 '시각적 설득력'으로 이동시키는 변화를 반영한다.<sup>4)</sup>

### 2-3. 디자인 공정에서의 '자동화' 정의

디자인 영역에서 '자동화'라는 개념은 종종 기계적 반복이나 노동 대체의 의미로 단순화되어 이해된다. 그러나 기술 발전의 맥락에서 자동화는 단순한 반복 수행을 넘어, 작업 구조와 의사결정 체계의 재편을 포함하는 복합적 개념으로 확장되어 왔다. 특히 알고리즘 디자인과 생성형 인공지능이 결합되는 현대적 맥락에서

는 자동화의 범위를 보다 정교하게 구분할 필요가 있다.

본 연구는 디자인 공정에서의 자동화를 세 가지 범주로 구분한다. 첫째는 계산 자동화(computational automation), 둘째는 생성 자동화(generative automation), 셋째는 의사결정 자동화(decisional automation)이다. 이러한 구분은 자동화가 개입하는 단계와 그 영향 범위를 구조적으로 파악하기 위한 분석 틀로 제시된다.

첫 번째 범주인 계산 자동화는 명시적 수식이나 알고리즘에 따라 반복적 연산을 수행하는 과정의 자동화를 의미한다. 이는 컴퓨터 그래픽스와 초기 알고리즘 디자인에서 가장 먼저 구현된 자동화 유형이다. 예컨대 프렉탈 디자인의 초기 단계에서 복소수 반복 연산이나 매개변수 계산은 인간이 수기로 수행하던 작업을 컴퓨터가 대체하였다. 이 단계에서 자동화는 인간의 계산 부담을 경감하는 역할을 수행하였으나, 생성의 논리와 결과 선택의 책임은 여전히 인간에게 귀속되었다.

두 번째 범주인 생성 자동화는 계산된 결과의 조합과 변형을 통해 다양한 산출물을 자동으로 만들어내는 단계이다. 이 경우 인간은 기본 규칙이나 매개변수를 설정하지만, 실제 이미지의 변형과 확장은 알고리즘이 수행한다. 파라메트릭 디자인이나 절차적 생성(procedural generation)이 이에 해당한다. 생성 자동화 단계에서는 결과의 다양성이 확대되며, 인간은 구조 설계자이자 조건 설정자로 기능한다. 그러나 결과의 의미 부여와 최종 선택은 여전히 인간의 판단에 의존한다는 점에서 자동화의 범위는 제한적이다.

세 번째 범주인 의사결정 자동화는 생성 과정에서의 선택과 평가, 나아가 일부 판단 과정까지 시스템이 수행하는 단계를 의미한다. 이는 단순히 연산이나 변형을 자동화하는 것을 넘어, 결과의 적합성이나 완성도를 판단하는 기능이 기계에 부분적으로 이양되는 상태를 가리킨다. 생성형 인공지능은 데이터 분포에 기반하여 '가장 그럴듯한' 결과를 확률적으로 선택하고 출력한다는 점에서, 제한적이지만 의사결정 자동화 단계에 진입하고 있다고 볼 수 있다.

AI 기반 프렉탈 디자인은 바로 이 세 번째 범주에 부분적으로 위치한다. 전통적 알고리즘 디자인에서는 제작자가 수식과 매개변수를 설정하고, 그 결과를 직접 평가선택하는 구조가 유지되었다. 반면 생성형 AI는 학습 데이터에 기반하여 어떤 패턴이 '적절한 프렉탈적 형상'에 해당하는지를 스스로 판단하고, 그에 부합하는

4) 이석진, 이정아, '프렉탈(Fractal)의 생성 알고리즘을 적용한 텍스타일 디자인 개발' 한국공간디자인학회, 2015, pp. 107

이미지를 생성한다. 이는 결과의 방향성과 형상 특성이 인간의 직접적 계산 통제를 벗어나 확률적 판단 체계에 의해 결정된다는 점에서 기존 알고리즘 디자인과 구별된다.<sup>5)</sup>

### 3. AI 프렉탈 디자인 제작 공정 분석

#### 3-1. 전통적 제작 공정 분석

본 장에서는 전통적 프렉탈 제작 공정과 AI 기반 제작 공정을 단계별로 비교하고, 정량적 지표를 통해 공정 구조의 차이를 분석한다. 단순한 속도 비교를 넘어, 생성 논리, 통제 방식, 반복 구조의 차이를 종합적으로 고찰한다. 전통적 프렉탈 디자인 제작 공정은 명시적 수학 공식에 기반하여 진행된다. 제작자는 복소수 함수나 반복 방정식의 매개변수를 직접 설정하고, 반복 계산을 통해 형상을 점진적으로 생성한다. 이 과정은 다음과 같은 단계로 구성된다.<sup>6)</sup>

첫째, 매개변수 수동 입력

제작자는 수식의 상수 값, 반복 횟수, 복소수 범위 등을 직접 설정한다. 이 단계에서의 통제력은 매우 높으나, 계산 원리에 대한 이해가 요구된다.

둘째, 반복 계산 수행

설정된 매개변수에 따라 수천~수백만 회의 반복 연산이 이루어진다. 반복 구조는 수학적 결정론에 의해 형성된다.

셋째, 장시간 렌더링

고해상도 이미지 출력에는 상당한 렌더링 시간이 필요하다. 매개변수 변경 시 전체 과정을 다시 수행해야 한다. 이 공정은 높은 정밀 통제력을 보장하지만, 실험 반복 비용이 높고 시간 효율성이 낮다는 한계를 가진다.

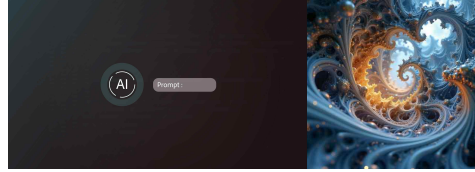
#### 3-2. AI 기반 제작 공정 분석

AI 기반 프렉탈 제작 공정은 수식 입력이 아닌 ‘언

5) 이석선, 이정아, ‘프렉탈(Fractal)의 생성 알고리즘을 적용한 텍스타일 디자인 개발’ 한국공간디자인학회, 2015, pp. 107-108

6) 노영숙, 최정민, 박종혁, ‘건축 디자인 향상을 위한 비정형 외피 생성의 프렉탈 해석기법 적용에 관한 연구’, 상품학연구, 2010 pp. 16

어 기반 지시(prompt)’를 중심으로 구성된다. 생성형 모델은 프롬프트를 해석하여 학습 데이터에 기반한 확률적 이미지를 생성한다.



[그림 2] 프롬프트로 설계한 그래픽

첫째, 프롬프트 설계

제작자는 수학 공식 대신 자연어를 사용하여 원하는 패턴, 색상, 구조를 설명한다. 통제는 의미 기반으로 이루어진다.

둘째, 샘플 대량 생성

하나의 프롬프트로 수십~수백 개의 변형 이미지가 생성된다. 생성 비용은 매우 낮다.

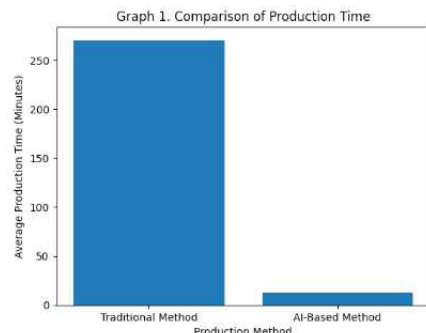
셋째, 선택 및 후편집

제작자는 생성 결과 중 적합한 이미지를 선택하고, 필요 시 추가 편집을 수행한다. 이 공정은 계산 통제력은 상대적으로 낮으나, 실험 다양성과 속도 측면에서 전통 공정보다 현저한 우위를 보인다.

#### 3-3. 공정 단계별 비교

제작 속도, 반복 실험 가능성, 디테일 통제력 측면에서 두 공정을 비교한다.

첫째, 제작 속도 비교



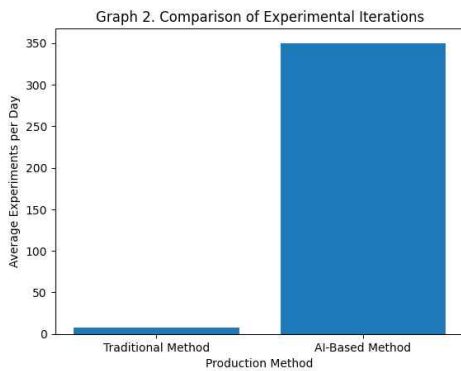
[그림 3] 제작 속도 비교 그래프

전통 방식 평균 제작 시간: 180~360분

AI 방식 평균 제작 시간: 5~20분

평균값 기준으로 전통 방식은 약 270분, AI 방식은 약 12.5분으로 나타났다. 이는 제작 시간이 약 20배 이상 단축되었음을 의미한다. 이러한 시간 구조의 변화는 단순한 효율성 향상이 아니라, 제작 과정의 실험 구조를 재편한다. 전통 방식에서는 매개변수 변경 시 전체 렌더링을 다시 수행해야 했으나, AI 방식에서는 수분 내 재생성이 가능하다. 전통적 제작 방식과 AI 기반 제작 방식의 평균 제작 시간(분)을 비교한 결과, AI 방식이 현저히 단축된 제작 시간을 보인다.7)

둘째, 반복 실험 가능 횟수 비교



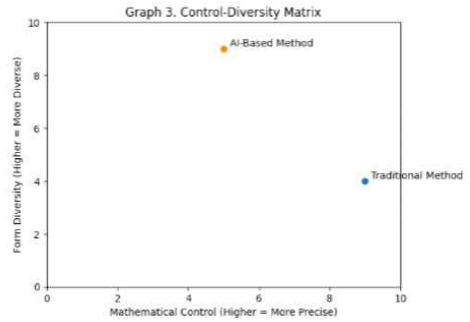
[그림 4] 실험 반복성 비교 그래프

전통 방식: 하루 평균 5~10회

AI 방식: 하루 평균 200~500회

평균 기준으로 전통 방식은 약 7.5회, AI 방식은 약 350회로 나타났다. 이는 반복 실험 가능성이 약 45배 이상 증가했음을 의미한다. 제작 시간 단축은 실험 비용을 감소시키며, 이는 창작의 탐색 범위를 급격히 확장시킨다. 즉, AI 공정은 실패 비용을 최소화함으로써 실험적 시도를 장려하는 구조를 형성한다.

셋째, 디테일 통제력 및 형태 다양성 비교



[그림 5] 통제력-다양성 매트릭스

전통 방식은 수학적 매개변수 조정이 가능하므로 정밀 통제력은 높게 나타난다. 그러나 생성 결과의 다양성은 수식 구조에 의해 제한된다. 반면 AI 방식은 통제의 정밀도는 상대적으로 낮지만, 데이터 기반 확률 생성으로 인해 형태 다양성이 매우 높다. 이를 2차원 매트릭스로 표현하면 위의 그림과 같다.

[표 1] 통제력-다양성 분석

구분	정밀 통제력	형태 다양성
전통	높음	낮음
AI 방식	중간	높음

이 비교는 두 공정이 단순히 “우열 관계”에 있는 것이 아니라, 서로 다른 가치 축에 위치함을 보여준다. 전통 공정은 구조적 정확성을, AI 공정은 탐색적 확장성을 강점으로 가진다. 종합적으로 제작 시간, 반복 실험 가능성, 통제력-다양성 구조를 종합하면 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

첫째로 AI 공정은 시간 구조를 재편하여 실험 중심 제작 체계를 가능하게 한다. 둘째, 반복 비용 감소는 창작 탐색 범위를 확대한다. 셋째, 통제력의 중심이 수학적 계산에서 의미 기반 선택으로 이동한다.

따라서 AI 기반 프렉탈 제작 공정은 단순히 전통 공정을 대체하는 것이 아니라, 제작의 논리와 가치 체계를 다른 축으로 이동시키는 구조적 전환이라 평가할 수 있다.

7) Sordo, Z. Synthetic Scientific Image Generation with VAE, GAN, and Diffusion Models. MDPI 2025. 논문, 2024, pp. 30-32

## 4. AI 프렉탈 디자인 활용 사례 분석

### 4-1. 산업별 활용 사례

AI 기반 프렉탈 디자인은 단순한 시각 장식 요소를 넘어 산업 전반의 설계 구조를 변화시키고 있다. 전통적 프렉탈 디자인이 주로 예술적 실험 또는 이론적 시각화의 영역에 머물렀다면, AI 기술의 도입 이후 프렉탈은 실제 산업 생산 시스템에 통합되기 시작하였다. 본 절에서는 패션, 건축, 디지털 미디어, 게임 산업을 중심으로 적용 양상을 분석한다.

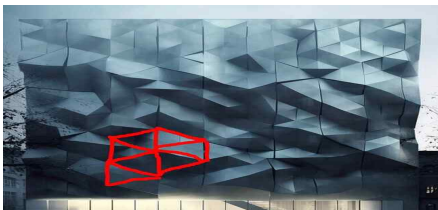
#### 1) 패션 산업



[그림 6] 패션에 적용된 프렉탈 디자인

패션 산업에서 프렉탈 패턴은 반복성과 확장성을 기반으로 섬유 디자인에 활용되어 왔다. 전통 방식에서는 패턴 생성과 수정에 많은 시간이 소요되었으며, 시제품 제작 비용 또한 높았다. 그러나 AI 기반 생성 시스템은 하나의 프롬프트를 중심으로 수백 개의 변형 패턴을 즉각적으로 생성할 수 있으며, 이는 “다품종 소량 생산” 체계와 높은 친화성을 가진다. 특히 맞춤형 의류 생산에서 소비자의 체형 데이터와 프렉탈 패턴을 결합하는 방식은 개인화 디자인을 가능하게 한다. 이는 단순한 시각 다양성을 넘어 소비자 참여형 디자인 모델로 확장될 가능성을 내포한다.

#### 2) 건축 및 외장재 설계



[그림 7] 건축 외장에 적용된 프렉탈 디자인

건축 영역에서 프렉탈 구조는 자연 친화적 조형미를 구현하는 수단으로 활용되어 왔다. 기존에는 파라메트릭 디자인 툴을 활용하여 수학적 반복 구조를 설계하였으나, AI 도입 이후 설계 초기 단계에서 다양한 외피 패턴을 빠르게 시각화할 수 있게 되었다. 이는 건축 설계의 ‘아이디어 발상 단계’를 근본적으로 단축시키며, 설계자의 미적 선택 범위를 확장한다. 동시에 구조적 안전성 검증은 여전히 수학적 모델링이 필요하므로, AI 생성 결과는 초기 탐색 도구로 기능하는 경향이 있다.

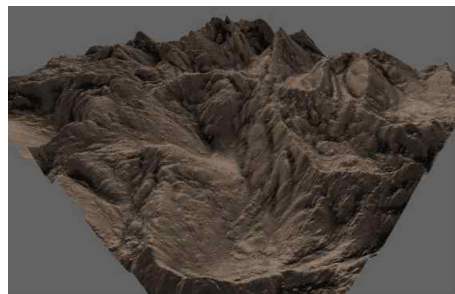
#### 3) 디지털 미디어 아트



[그림 8] 미디어아트 프렉탈 디자인

몰입형 전시와 인터랙티브 미디어 아트에서 프렉탈은 무한 확장성과 자기 유사성을 기반으로 관객의 지각을 자극한다. AI 기반 프렉탈은 실시간 생성이 가능하다는 점에서 기존 렌더링 중심 시스템과 차별성을 가진다. 관객의 움직임이나 생체 데이터를 입력값으로 활용하여 프렉탈 구조를 실시간 변형하는 시스템은 ‘생성적 환경(Generative Environment)’을 구현한다. 이는 작품이 고정된 결과물이 아니라 지속적으로 변화하는 과정이라는 점에서 현대 예술의 과정 중심적 성격과 결합한다.

#### 4) 게임 산업



[그림 9] 게임 배경에 적용된 프렉탈 디자인

게임 배경 제작에서 프렉탈은 자연 지형 생성에 널리 활용된다. AI 기반 프렉탈 디자인은 반복 구조의 자동 확장과 변형을 가능하게 하여 대규모 오픈월드 환경 제작 비용을 절감한다. 특히 텍스처와 패턴 생성 자동화는 제작 시간을 획기적으로 단축시킨다. 이러한 사례는 AI 프렉탈 디자인이 단순 미적 실험을 넘어 실질적 경제적 효율성을 확보하고 있음을 보여준다.

## 4-2. 도구별 특성 비교

[표 2] 미드저니, 런웨이, 전용 프렉탈 AI 비교

구분	미드저니	런웨이	전용 프렉탈 AI
감성표현	강함	중간	약함
구조통제	중간	중간	강함
영상확장	약함	강함	제한적

AI 프렉탈 디자인은 사용되는 생성 도구에 따라 결과물의 성격이 상이하게 나타난다. 텍스트-이미지 기반 생성 모델은 감성적 색감과 추상적 표현에 강점을 가지며, 구조적 반복의 수학적 정확성은 상대적으로 낮다. 반면 전용 프렉탈 생성 알고리즘은 구조 통제력이 높으나 생성 다양성이 제한되는 경향을 보인다. 이러한 차이는 제작 목적에 따라 도구 선택 전략을 달리해야 함을 의미한다. 예컨대 건축 외피 설계에서는 구조적 제어가 중요하므로 수학 기반 모델이 유리하며, 패션 패턴 디자인에서는 시각적 다양성이 중요한 요소가 된다. 또한 AI 기반 도구는 데이터 학습 기반이라는 점에서 데이터 편향 문제를 내포한다. 프렉탈의 수학적 본질과 무관하게 학습된 시각 패턴을 반복 생성할 가능성 또한 존재한다. 이는 ‘프렉탈적 유사성’과 ‘수학적 프렉탈’ 사이의 개념적 차이를 발생시킨다.<sup>8)</sup>

## 4-3. 디자인 가치 분석

AI 도입은 단순한 효율성 증대를 넘어 디자인 가치 체계 자체를 변화시키고 있다.

8) Xiao, S., Guo, Y., Peng, H., Liu, Z., Yang, L., & Wang, Y. Generalizable AI-Generated Image Detection Based on Fractal Self-Similarity in the Spectrum. arXiv, 2025, pp. 17-19

첫째, 시간 가치의 재정의이다. 제작 속도의 극적 단축은 시각적 실험의 비용을 거의 0에 가깝게 만든다. 이는 실패의 부담을 감소시키며 실험적 디자인을 장려한다.

둘째, 창작 주체의 변화이다. 디자이너는 더 이상 수학적 계산을 직접 수행하지 않는다. 대신 생성 결과를 선택-평가-재조합하는 큐레이터적 역할을 수행한다.

셋째, 경제적 가치 구조의 전환이다. 평균 70~85%의 비용 감소는 프렉탈 디자인을 고급 예술 영역에서 상업 생산 영역으로 이동시킨다.

그러나 이러한 변화는 동시에 ‘창작성의 희석’이라는 비판을 동반한다. 생성 과정의 자동화는 창작자의 고유성을 약화시킬 위험을 내포한다. 따라서 향후 디자인 가치 논의는 효율성과 독창성 사이의 균형 문제를 중심으로 전개될 필요가 있다.

## 5. 결론

### 5-1. 연구 요약

본 연구는 인공지능 기반 프렉탈 디자인의 기술 동향과 제작 공정 변화를 분석하였다. 전통적 제작 방식은 수학적 정밀성과 반복 계산을 중심으로 구성되었으며, 제작 시간과 비용 측면에서 높은 제약을 가진 구조였다. 반면 AI 기반 제작 공정은 프롬프트 중심 생성 체계를 통해 제작 속도를 획기적으로 단축하였으며, 실험 반복성을 극대화하였다. 평균 제작 시간은 수 시간에서 수 분 단위로 감소하였고, 하루 실험 가능 횟수는 수십 배 이상 증가하였다. 또한 평균 70~85%의 비용 절감 효과가 나타났다. 이러한 변화는 단순한 기술 발전이 아니라 제작 공정의 구조적 전환을 의미한다.

### 5-2. 학문적·실천적 시사점

첫째, 디자인 교육 체계의 변화가 요구된다. 기존의 수학 기반 알고리즘 이해 능력뿐 아니라, 프롬프트 설계 능력과 생성 결과 평가 능력이 중요 역량으로 부상한다.

둘째, 창작 윤리와 저작권 문제에 대한 제도적 논의가 필요하다. AI 학습 데이터의 출처와 생성 결과의 저작권 귀속 문제는 향후 법적·철학적 쟁점이 될 것이다.

셋째, 디자인 자동화에 대한 비판적 인식이 필요하다. 자동화는 효율성을 제공하지만, 동시에 창작자의

역할을 재구성한다. 이는 ‘창작’의 정의 자체를 재고하게 만든다.

### 5-3. 향후 전망

향후 프랙탈 디자인은 인간과 AI의 협업 구조로 발전할 가능성이 높다. 본 연구는 다음과 같은 협업 모델을 제안한다.

첫째, 인간 디자이너가 초기 구조적 개념과 미적 방향성을 설정한다.

둘째, AI가 다량의 변형 결과를 생성한다.

셋째, 인간이 선택 평가 재조합을 수행한다.

넷째, 수학적 정밀 보정 단계에서 인간과 알고리즘이 협력한다.

이 모델은 계산적 정확성과 확률적 다양성을 결합하는 하이브리드 체계이다. AI 기반 프랙탈 디자인은 더 이상 기술적 보조 수단이 아니다. 그것은 제작 공정의 시간 구조, 경제 구조, 창작 주체 구조를 재편하는 핵심 기술이다. 그러나 궁극적으로 디자인의 가치는 자동화의 수준이 아니라, 생성된 결과를 해석하고 의미를 부여하는 인간의 사유 능력에 의해 결정된다. 따라서 미래의 프랙탈 디자인은 “AI가 생성하는 이미지”가 아니라 “인간과 AI가 공동으로 소유하는 구조”로 이해되어야 한다.

---

### 참고문헌

1. 송록영, ‘프랙탈(Fractal) 기하학에 근거한 텍스타일 디자인 연구’, 한국기초조형학회, 2006
2. 김현진, 몬드리안 디자인 스튜디오, ‘기하학의 학문적 발전체계를 통한 프랙탈의 특성분석과 공간적 활용 가능성에 관한 연구’, 한국공간디자인학회, 2007
3. 김양수, 김정혜, ‘프랙탈 기하학의 조형원리를 적용한 3D프린팅 패션소재 연구-패션소재의 기본조직 응용을 중심으로-’한국패션디자인학회, 2018

4. 이석선, 이정아, ‘프랙탈(Fractal)의 생성 알고리즘을 적용한 텍스타일 디자인 개발’ 한국공간디자인학회, 2015
5. 이석선, 이정아, ‘프랙탈(Fractal)의 생성 알고리즘을 적용한 텍스타일 디자인 개발.’ 한국공간디자인학회 논문집, 10(4), 2015.
6. 이경훈, 윤용배, ‘프랙탈 기하학 이론의 건축적 적용에 관한 연구’, 대한건축학회, 2006
7. 노영숙, 최정민, 박종혁, ‘건축 디자인 향상을 위한 비정형 외피 생성의 프랙탈 해석기법 적용에 관한 연구’, 상품학연구, 2010
8. 프랙탈 기하학(FRACTAL GEOMETRY)의 이해와 디자인에의 응용 가능성에 관한 연구. 한국 과학기술정보연구원.
9. 문철, 그래픽 디자인에 있어서 프랙탈 구조의 활용 가능성 연구. 디자인학연구, 17(1), 2004.
10. Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., et al. (2014). Generative adversarial nets. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 27.
11. McCormack, J., Dorin, A., & Innocent, T. (2004). Generative design. *Digital Creativity*, 15(2).
12. Zhang, H., Zhao, Y., Zhou, J., & Li, M. FGM-HD: Boosting Generation Diversity of Fractal Generative Models through Hausdorff Dimension Induction. *arXiv*, 2025.
13. Xiao, S., Guo, Y., Peng, H., Liu, Z., Yang, L., & Wang, Y. Generalizable AI-Generated Image Detection Based on Fractal Self-Similarity in the Spectrum. *arXiv*, 2025.
14. Sordo, Z. Synthetic Scientific Image Generation with VAE, GAN, and Diffusion Models. *MDPI* 2025.
15. 김해자, ‘프랙탈 조형원리를 적용한 헤어컷 디자인이 고객의 행동의도와 경영성과에 미치는 영향’, 건신대학원대학교 석사학위논문, 2020
16. 김윤희, ‘프랙탈 기법을 활용한 텍스타일 디자인 연구’ 숙명여자대학 석사학위논문, 2002
17. 황욱, ‘프랙탈 기법을 응용한 손수건 디자인 개발 연구’, 영남대학교 석사학위논문, 2002.