

# 파라메트릭 디자인 기반 디지털 건축의 유기적 표현 특성 연구

1997년 이후 준공된 대표적인 디지털 건축 중심으로

## Research on the Organic Expression Characteristics of Digital Architecture Based on Parametric Design

focusing on prominent digital architecture projects completed since 1997

주 저 자 : 양자한 (Yang, Zi Han)

국민대학교 테크노디자인전문대학원 공간·문화디자인학과  
박사과정

교 신 저 자 : 박현아 (Park, HyunA)

충남도립대학교 건축인테리어학과 초빙교수  
pha3848@naver.com

<https://doi.org/10.46248/kidrs.2024.4.889>

접수일 2024. 11. 24. / 심사완료일 2024. 11. 30. / 게재확정일 2024. 12. 09. / 게재일 2024. 12. 30.

## Abstract

This paper focuses on digital architecture, analyzing the technical constructs of parametric design, boundary conditions, and non-Euclidean geometry, along with nine distinct characteristics. It further summarizes twelve characteristics of the organic expression of digital architecture. Ultimately, the paper consolidates the organic expression characteristics of digital architecture under parametric design into three main aspects: relationality, non-linearity, and abstraction. Through the analysis of three practical cases, including DDP, it concludes that parametric design enables digital architecture to not only present complex non-linear forms but also facilitate a harmonious coexistence between architecture, the environment, and functionality.

## Keyword

Parametric design(파라메트릭 디자인), Digital architecture(디지털 건축), Organic expression(유기적 표현)

## 요약

정보 기술의 발전으로 디지털화가 건축 설계의 중요한 흐름으로 자리 잡으면서, 디지털 건축 개념이 점차 실무에 적용되고 있다. 본 연구는 디지털 건축을 중심으로, 파라메트릭 디자인에 기반한 기술적, 구조적, 형태적 세 가지 구조와 아홉 가지 특성을 분석하였다. 또한, 디지털 건축의 유기적 표현에 대한 열두 가지 특성을 종합하고, 그 특성을 상호 관계성, 비선형성, 추상성으로 정리하였다. DDP를 포함한 네 가지 실제 사례를 분석하여, 디지털화가 단순히 복잡한 건축 형태에 대응하기 위한 기술적 선택일 뿐만 아니라, 건축 발전과 자연스러운 유동성 표현이라는 개념을 따르는 경향임을 탐구하였다. 파라메트릭 디자인을 활용한 디지털 건축은 복잡하고 비선형적인 형태를 구현할 수 있을 뿐만 아니라, 자연의 논리를 시뮬레이션하여 건축, 환경, 기능 간의 조화로운 공생을 실현할 수 있다. 본 연구를 통해 디지털 건축의 유기적 표현에 새로운 관점을 제시하고, 디지털 기술의 건축 분야 적용 확대를 촉진하기를 기대한다.

## 목차

### 1. 서론

- 1-1. 연구 배경 및 목적
- 1-2. 연구 범위 및 방법

### 2. 이론적 배경

- 2-1. 디지털 건축의 개념
- 2-2. 파라메트릭 디자인의 개념

### 3. 디지털 건축의 유기적 표현 특성

- 3-1. 디지털 건축의 유기적 표현 개념

- 3-2. 디지털 건축의 유기적 표현에 대한 파라미터 설계의 작용

- 3-3. 디지털 건축의 유기적 표현 구조 분석

- 3-4. 파라메트릭 디자인을 기반으로 한 디지털 건축의 유기적 표현특성

### 4. 사례 분석

- 4-1. 사례분석 기준 설정

- 4-2. 빌바오 구겐하임 박물관

- 4-3. 나오차오 체육관

- 4-4. 동대문 설계 광장

- 4-5. 아부다비 루브르

### 1. 서론

#### 1-1. 연구 배경 및 목적

현대 건축 설계 분야에서는 정보 기술의 빠른 발전과 함께 건축가들이 전통적인 설계 방식을 넘어서 더욱 유연하고 혁신적인 설계 사고를 모색하고 있으며, 이에 따라 디지털 건축(digital architecture)이라는 새로운 설계 개념이 등장하게 되었다. 디지털 건축은 컴퓨터 기술의 발전에 따라 디지털 모델 생성, 가상 환경 시뮬레이션, 건축 매개변수 생성 등 일련의 새로운 설계 과정들을 포함하고 있어, 건축 산업에 혁신적인 변화를 불러일으켰다. 디지털 건축은 단순히 설계 도구의 변화를 넘어서, 설계 개념과 건축 표현의 전환을 의미한다. 컴퓨터 기술의 지원을 통해 건축가는 설계 과정에서 실제 환경을 시뮬레이션할 수 있고, 디지털 수단을 통해 건축 설계를 독특한 동적 구조와 유기적 형태로 표현할 수 있게 되었다. 이와 같은 흐름 속에서 파라메트릭 디자인(parametric design)은 디지털 건축에서 널리 활용되고 있으며, 건축가들에게 매개변수 기반의 설계 구조를 제공하여 설계에 높은 유연성과 창의성을 부여하고 있다. 파라메트릭 디자인을 통해 미리 설정된 매개변수와 규칙에 따라 복잡한 기하학적 형태를 생성할 수 있고, 이러한 형태와 건축 구조 간의 관계는 컴퓨터 모델을 통해 정확히 표현됨으로써 건축 형태의 '유기적 표현'을 실현할 수 있게 되었다. 이러한 '유기적 표현'은 단순히 자연 형태를 시각적으로 모방하는 것에 그치지 않고, 자연계의 구조와 기능을 참고하여 건축과 환경의 깊이 있는 융합을 탐구하는 데 중점을 둔다.

이에 따라 본 연구의 목적은 디지털 건축의 유기적 표현 특성에 초점을 맞추고, 파라메트릭 디자인을 접근점으로 하여 디지털 건축의 유기적 표현 구성과 표현 방식을 심층적으로 분석하는 것을 목표로 한다. 디지털 건축의 유기적 표현 개념은 단순히 형태의 자연성이나 생체 모방성에 국한되지 않으며, 기능과 구조 측면에서 건축과 환경의 공생을 실현하는 데 중점을 둔다. 디지털 건축의 유기적 구조와 파라메트릭 디자인과 디지털 건축에 미치는 영향을 심층적으로 탐구함으로써, 매개변수 설계가 적용된 디지털 건축의 유기적 표현 특성을 깊이 이해하고 규명하고자 한다. 통해 건축가들에게

더욱 풍부한 설계 개념을 제공하고, 건축 분야에서 파라메트릭 디자인의 활용을 더욱 확산시키기를 기대한다.

#### 1-2. 연구 범위 및 방법

본 연구의 범위와 방법은 다음과 같다. 첫째, 첫 번째 장에서는 국내, 외 문헌 조사를 문헌 조사를 통해 연구의 범위와 방법을 설정하고, 디지털 건축에서 파라메트릭 디자인의 유기적 표현 특성을 핵심 연구 목표로 삼았다. 둘째, 두 번째 장에서는 문헌 연구법을 사용하여 관련 문헌을 심층적으로 읽고, 디지털 건축과 파라메트릭 디자인의 이론적 기초를 체계적으로 연구하여 두 개념의 핵심 개념과 관계를 명확히 하였다. 그 후, 세 번째 장에서는 문헌 연구법과 전문가 인터뷰법을 결합하여 디지털 건축의 유기적 표현 특성과 그 구조적 특성을 심층 분석하고 정리하였다. 이를 바탕으로, 네 번째 장에서는 사례 분석법과 실지 조사법을 사용하여 디지털 건축에서 유기적 표현의 구체적인 형태와 디자인 방법을 탐구하고, 연구에 실천적 지원과 방법론적 지침을 제공하였다. 마지막으로, 다섯 번째 장에서 결론을 도출하였다.

### 2. 이론적 배경

#### 2-1. 디지털 건축의 개념

디지털 건축(digital architecture)은 컴퓨터 기술과 건축학이 점차 융합되는 과정에서 형성된 개념이다. 초기 디지털 설계 기법에 관한 체계적인 연구를 진행한 건축가 윌리엄 J. 미첼(william J. mitchell)은 1995년에 출판된 『City of Bits: Space, Place, and the Infobahn』에서 디지털 환경이 공간과 건축을 어떻게 재구성할 것인지에 대한 구상을 제시하며 “디지털 건축”이라는 개념을 탄생시켰다. 컴퓨터 기술의 급속한 발전과 함께, 디지털 건축은 점차 현대건축 분야의 중요한 방향으로 자리 잡게 되었다. 디지털 건축은 전통적인 건축 설계 방법과는 달리, 건축의 전체적인 구성, 설계 최적화, 시공 관리, 후속 운영 및 유지보수를 컴퓨터 시뮬레이션, 디지털 모형화 및 정보 관리 등을 통해 수행하는 것을 강조한다. 디지털 건축은 설계 초기 단계에서부터 가상 모형화와 디지털 시뮬레이션 등의

수단을 도입하여, 건축가들이 디지털 환경 안에서 건축의 구상과 세부 설계를 실현할 수 있게 한다. 즉, 디지털 건축은 건축 디지털화의 물질적 결과물로, 구체적인 건축 형상을 의미하며, 오늘날의 맥락에서는 설계 방법, 과정, 표현 방식 또는 생산 및 건설 기술 등의 측면에서 디지털 기술의 깊은 영향을 받아 새로운 미학적 양식이나 기술적 적응성을 반영하는 건축 설계나 건축 실체로 정의할 수 있다.<sup>1)</sup>

따라서 디지털 건축은 단순히 디지털 도구의 사용을 넘어서, 새로운 설계 사고와 설계 과정이 융합된 건축 재이다. 디지털 건축은 건축 설계와 건축을 하나의 디지털화되고 동적인, 지능적인 과정으로 간주하며, 물리적 공간과 정보 공간의 융합을 실현하여 건축 산업에 혁명적인 변화를 불러왔다.

## 2-2. 파라메트릭 디자인의 개념 (Parametric Design)

매개변수화 개념은 원래 수학에서 유래된 것으로, 매개변수는 특정 수학 공식이나 정의에서 변하지 않는 양을 의미한다. 매개변수화는 함수 관계를 통해 상호 연관된 여러 변수와 정량을 조직하여, 통해 유기적인 전체를 형성하는 과정을 말한다. 매개변수화는 건축학에서 모든 요소를 컴퓨터 내의 매개변수로 변환한 후, 이러한 요소 간의 논리적 관계를 통해 이를 조직하여 매개 변수화된 모델을 형성하는 것을 의미한다.<sup>2)</sup>

**[표 1] 파라메트릭 디자인, 매개변수화, 매개변수 간의 관계**

이름	등급	관계와 작용
매개변수	기초 개념	매개변수는 매개변수화를 구성하는 기초로, 디자인에 기본적인 변수 입력을 제공하며 디자인 결과의 가변성에 영향을 미친다.
매개변수화	방법과 과정	매개변수화는 파라메트릭 디자인을 구현하는 수단으로, 매개변수를 조직하고 활용하여 조정 가능한 디자인 논리와 동적 관계를 형성한다.
파라메트릭 디자인	종합과 응용	매개변수와 매개변수화 과정을 통합하여 복잡하고 비선형적인 건축 형태와 기능 표현을 실현한다.

파라메트릭 디자인의 핵심은 설계 과정을 디지털화

1) Ji-Long Zhao, Jian-Jun Liu, Peng-Fei Zhao, 'Form, Aesthetics, and Ethics of Digital Architecture', The Architect, No. 138, April 2009.04.pp.27-30.

2) Wei-Guo Xu, 『Parametric Nonlinear Architectural Design』, Tsinghua University Press, 2016.pp.1-190.

하고, 건축 형태나 구조를 매개변수로 제어할 수 있는 기하학적 관계로 변환하는 것이다. 파라메트릭 디자인에서 디자이너는 매개변수와 규칙을 설정하여 설계 생성 과정에서 나타나는 형태와 공간 구조를 제어함으로써, 건축 형태의 동적 생성과 변화를 실현한다. 매개변수를 설정하는 목적은 도면 작성의 효율성을 높이기 위함이 아니라, 설계 조건들이 양적이고 논리적인 인과 관계를 형성하여, 설계 결과가 설계 조건의 변화에 대해 반응형 피드백을 생성하고, 설계 조건이 설계 결과에 미치는 예기치 않은 영향을 나타내게 하는 데 있다.<sup>3)</sup> 이러한 설계 방법은 건축가가 컴퓨터 환경에서 매개변수를 유연하게 조정하고, 설계 의도와 프로젝트 요구에 맞는 복잡한 기하학적 형태를 빠르게 생성할 수 있게 한다.

파라메트릭 디자인은 전통적인 정적 설계 방식과는 달리, 매개변수를 정의하고 조정함으로써 설계 결과를 지속적으로 발전시킬 수 있다. 그 특징은 높은 자기 적응성으로, 다양한 환경, 기능 및 미학적 요구에 따라 실시간으로 형태를 조정할 수 있다는 점이다. 알고리즘과 데이터를 기반으로 한 설계 방법으로서, 파라메트릭 디자인은 건축 형태의 시각적 효과뿐만 아니라, 기능성과 구조적 실행 가능성에도 중점을 둔다. 파라 메트릭 디자인은 객체의 적당한 크기나 비례를 제시하여 디자인된 객체의 기하학적인 치수의 비례를 효과적으로 조절하여 준다.<sup>4)</sup> 유연성과 혁신성 덕분에 파라메트릭 디자인은 디지털 건축에서 핵심적인 방법이 되었으며, 건축 설계에 다양한 가능성을 열어주었다.

**[표 2] 파라메트릭 디자인의 관련 내용**

주제	내용
개념	함수 관계를 통해 여러 상호 연관된 변수와 양을 유기적인 전체로 조직한다.
핵심	매개변수를 통해 건축 형태나 구조를 제어하고, 동적으로 설계 형태를 생성하고 변화시키는 것이다.
설계 방법	컴퓨터 환경에서 매개변수를 유연하게 조정하여 설계 의도에 맞는 복잡한 기하학적 형태를 빠르게 생성할 수 있다.
응용	물체의 크기와 비례를 조정하여 기하학적 형태를 효과적으로 제어하는 것이다.

3) Tian-Xiang Leng, 'Digital Architectural Design from the Perspective of Complexity Theory', School of Architecture, South China University of Technology, December 2011.12.pp.1-297.

4) 임진택, 김남웅, '프로토타입을 활용한 설계프로세스 개입에 관한 고찰', 대한건축학회 논문집-계획계, 2006.04, Vol.22, No.4. pp.127-134.

파라메트릭 디자인의 영향으로 디지털 건축의 설계 특성은 주로 유연성, 적응성 및 생성성 세 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 디지털 건축의 유연성은 파라메트릭 디자인 방식에서 비롯된다. 파라메트릭 디자인은 건축가가 설계 과정에서 변수들을 정의하고, 그 변수를 조정하여 다양한 설계안을 생성할 수 있게 한다. 이러한 특성은 설계가 환경, 기능, 미적 요구에 신속하게 대응할 수 있게 하며, 높은 유연성을 나타낸다. 둘째, 파라메트릭 디자인의 적응성은 건축 설계가 환경, 사용자 요구 및 외부 조건의 변화에 동적으로 대응할 수 있도록 한다. 건축가는 다양한 환경 요인, 예를 들어 바람 속도, 온도, 일조각도 등에 따라 자동으로 조정되는 일련의 매개변수를 설정할 수 있다. 이를 통해 건축물은 주변 환경과 공생 관계를 형성하여, 에너지 절약, 친환경성 및 사용자 편안함을 실현한다. 마지막으로, 생성성은 파라메트릭 디자인이 복잡한 기하학적 형태를 생성할 수 있도록 하며, 복잡한 기하학적 규칙과 매개변수를 설정하여 쌍곡면, 자유 곡면 및 복잡한 접힘 구조와 같은 독특한 시각 효과의 건축 형태를 만들어낼 수 있다. 이러한 형태는 미적 매력뿐만 아니라 구조와 기능에서도 혁신을 이룰 수 있다.

종합적으로, 파라메트릭 디자인은 디지털 건축 설계에서 건축의 적응성과 창의성을 증진시켜 현대 사회의 기능, 미학, 생태적 유기성에 대한 다양한 요구를 더 잘 충족할 수 있도록 한다. 다음 [표 3]은 파라메트릭 디자인 건축 특성이다.

[표 3] 파라메트릭 디자인 건축 특성

특성	내용
유연성	● 파라메트릭 디자인을 통해 설계 변수를 조정하여 다양한 요구에 맞는 여러 가지 설계안을 신속하게 생성할 수 있는 능력.
적응성	● 건축 형태가 외부 환경과 사용자의 요구 변화에 따라 동적으로 조정되어 에너지 절약, 환경 친화, 그리고 쾌적한 효과를 실현할 수 있는 특성.
생성성	● 파라메트릭 디자인을 활용하여 복잡한 기하학적 형태를 생성하고, 기하학적 규칙과 매개변수를 설정함으로써 미학적으로 매력적이고 기능적으로 혁신적인 건축 형태를 창조하는 능력.

### 3. 디지털 건축의 유기적 표현 특성

#### 3-1. 디지털 건축의 유기적 표현 개념

유기적(organic)이라는 용어는 원래 생물학과 화학 분야에서 복합적인 개념으로 시작되었으며, 생명체 내부의 상호 연결되고 의존적인 구조와 기능을 나타내다고 볼 수 있다. 또한 이는 전체와 부분 요소 간의 조직

체계를 의미한다.<sup>5)</sup> 20세기 초, 미국 건축가 프랭크 로이드 라이트(Frank Lloyd Wright)는 "유기적 건축(organic architecture)"의 개념을 제시했으며, 동시대 건축가 그레그 린(Greg Lynn)은 그의 저서 『Animate Form』에서 디지털 기술에서의 "유기적 표현" 개념을 더 깊이 탐구하였다. 그는 건축이 자가 적응성, 흐름성, 동적 특성을 가져야 하며, 컴퓨터 기술을 통해 자연 성장의 형태를 모방해야 한다고 주장하였다.<sup>6)</sup> 그 후, "유기적(organic)"이라는 용어는 디지털 건축 분야에서 널리 사용되었으며, 유기적이라는 개념은 단지 유기 건축에, 자체에 국한되지 않고, 디지털 개념이 등장하기 전 자연을 모방하려는 유기적 공간의 한계를 넘어서 새로운 공간으로 확장되었다. 이러한 디지털 건축의 유기적 공간은 시간과 공간의 제약을 벗어나 유기적인 형태와 연속적인 관계를 유지한다.<sup>7)</sup>

따라서 본 문서에서 디지털 건축의 유기적 표현은 주로 건축 형태, 공간 조직, 건축 구조의 동적 변화와 비선형성 등의 특성에 초점을 맞추며, 건축 공간의 상호작용과 적응성을 강조한다.

#### 3-2. 디지털 건축의 유기적 표현에 대한 파라미터 디자인의 작용

파라메트릭 디자인이 디지털 건축의 유기적 표현에 미치는 구체적인 역할은 건축 형태, 공간 조직, 건축 구조 세 가지 측면에서 분석된다. 다음 [표 4]는 작용 분석이다.

[표 4] 작용 분석

분류	작용	특성
건축 형태	자연스럽게 흐르는 비선형 곡면을 생성하여 자연계의 유기적 형태를 모방하고, 건축에서 유기적 표현이 자연과 긴밀히 융합되도록 한다.	비선형성 유동성 동적성 유기성
공간 조직	전통적인 공간 분할 논리를 깨고, 실내외 공간의 자연스러운 흐름과 전환을 실현한다.	연속성 모호성 적응성
건축 구조	구조와 형태를 일체화하여 경량화	복합성 융합

5) 김정아 '현대 실내 공간에서 나타나는 유기적 표현특성에 관한 연구'. 충남 : 한서대학교 예술대학원. 2007. 08. p.85.

6) Lynn, Greg. 『Animate Form. Princeton Architectural Press』, Princeton Architectural Press, 1999, pp.1-128.

7) 정인영 '디지털 건축에 나타난 유기적 표현 특성에 관한 연구: 자하 하디드 건축을 중심으로'. 조선대학교 디자인대학원. 2011.08. pp.98-100.

와 미적 균형을 실현한다.	성 편이성
----------------	-------

### 3-3. 디지털 건축의 유기적 표현 구조 분석

#### (1) 매개변수화 기술 구조

매개변수화 기술은 디지털 건축을 구현하는 핵심 수단으로, Grasshopper와 같은 알고리즘 및 매개변수 기반 도구를 통해 각도 조절 등을 수행하며 유기적인 형태의 곡선형, 생체 모방형 등의 복잡한 건축 형태상을 자율적으로 생성한다. 구조 분석 알고리즘을 통해 건축 구조의 하중 분산을 최적화하여 공간의 조직 능력과 연계성을 높이며, 이 기술은 디지털 건축이 다양한 요인에 적응하여 유기적 표현을 가능하게 한다.

#### (2) 비유클리드 기하학 구조 (non-euclidean geometry)

『중국 대백과 전서 정수해 본』에서는 비유클리드 기하학을 다음과 같이 설명한다: 일반적으로 로바첵스키 기하학(쌍곡기하학과 리만 구면 기하학을 포함)을 지칭하며, 이를 비유클리드 기하학이라 한다. 8)유클리드 기하학과 주요 차이점은 평행선 공리가 다르게 설정된 공리 체계를 채택한다는 점이다. 비유클리드 기하학은 공간의 휘어짐이라는 개념을 처음 제시했으며, 이를 통해 복잡한 곡면 공간을 정확하게 묘사할 수 있게 되었다. 이는 전통적인 정적이고 확정적인 공간 형태를 대신하여 동적이고 불확실한 공간 형태를 사용하는 방식으로, 디지털 건축에서도 널리 사용되어 더 유연하고 유기적인 새로운 건축 형태를 제시하게 되었다.

#### (3) 경계선 구조

디지털 건축에서는 경계가 더 이상 고정된 공간 분리선이 아니며, 동적이고 모호하며 조정 가능한 특성을 갖는다. 이러한 무경계와는 공간 내부와 외부의 조직, 건축 구조, 그리고 건축과 환경 간의 동적인 전환을 형성한다. 이러한 처리 방식은 디지털 건축의 유기적 표현을 강화하는 역할을 한다.

위 분석을 바탕으로 디지털 건축의 유기적 표현 구성 요소는 기술적 수단, 건축 형태, 공간 구조 세 가지 측면에서 세 가지로 나눌 수 있다. 각각은 파라메트릭 기술 구성, 비유클리드 기하학 구성, 경계선 구성으로 나누며, 이 세 가지 요소에서 도출된 특성에 대해 자체

8) Dan Wang, 'Non-Euclidean Tendencies: New Paradigms of Complexity in Contemporary Architecture', Xiamen University Architectural Design, 2007.05.pp.71.

히 설명한다. 디지털 건축의 유기적 표현구성 특성에 대한 분석에 따라 디지털 건축의 유기적 표현특성에 관한 결과를 도출하였다. 다음 [표 5]는 디지털 건축의 유기적 표현 구성 특성 분석이다.

[표 5] 디지털 건축의 유기적 표현 구성 특성 분석

분류	특성	특성 분석	
파라메트릭 기술구성	자율성	시스템은 데이터 구동 및 알고리즘 논리를 통해 자가 결정, 자가 최적화, 자가 조정을 실현한다. 이러한 자율성은 인간의 개입에 의존하지 않으며, 파라미터, 알고리즘, 센서 피드백을 통해 건축물이 환경, 사용 요구, 구조 변화에 동적으로 대응하여 자가 조직화 및 능동적인 특성을 보여준다.	
	상호작용성	파라메트릭 디자인은 디지털 건축의 형태, 조직 및 구조를 동기화하여 최적화하고, 서로 다른 요소들이 상호 연관되도록 하며, 복잡하고 자연스러운 기호로 표현된다.	
비유클리드 기하학 구조	적응성	파라메트릭 디자인은 생성 알고리즘과 생성 논리를 통해 디자인 최적화와 계획 반복을 수행하고, 자연에서의 선택과 변이 과정을 모방하여 건축의 복잡한 형태를 생성한다.	
	유동성과 연속성	비유클리드 기하학은 전통적인 디자인 방식을 깨고 연속적인 쌍곡면, 나선면, 곡선 표면과 공간 생성하여 건축 형태에 자연스러운 흐름감과 연속성을 부여한다.	
	복합성	비유클리드 기하학은 건축 디자인에 비대칭적이고 불규칙한 형태를 제공하며, 이러한 복합성은 자연계의 형태 특성과 일치하여 건축물의 유기적 표현력을 증가시킨다.	
경계선 구조	자기유사성	비유클리드 기하학은 건축 형태의 기하학적 구성을 통해 건축물의 내부와 외부 형태 구조에서 큰 반복성과 자기복제성을 나타낸다.	
	모호성	경계선은 더 이상 명확한 구분이 아니라 공간 전환 영역으로, 내부와 외부, 상하, 공공과 개인 공간의 경계를 모호하게 만들어 공간에 흐름성과 개방성을 부여한다.	
	융합성	건축 외부 형태는 경계 디자인을 약화해 환경과 융합되며, 건축의 경계는 자연과 상호작용을 하는 영역이 되어 건축의 생태적 특성을 나타낸다.	
	탈경계성	건축 공간에는 명확한 디자인 핵심이나 시각적 초점이 없으며, 이러한 탈중심화와 비대칭적인 건축 형태는 형태적인 해체를 이룬다.	
<b>특성</b>			
자율성	● 상호작용성	● 적응성	●
유동성과연속성	● 복합성	● 자기유사성	●
모호성	● 융합성	● 탈경계성	●

### 3-4. 파라메트릭 디자인을 기반으로 한 디지털 건축의 유기적 표현 특성

파라메트릭 디자인이 디지털 건축의 유기적 표현에서 가지는 역할과 특성을 심층적으로 탐구하기 위해, 공간 유기적 표현 특성에 관한 문헌을 정리하고, 이를

분석하여 본 연구의 이론적 기반과 방법론에 대한 근거를 마련한다. 다음 [표 5]는 공간의 유기적 표현 특성에 관한 선행 연구이다.

[표 6] 공간의 유기적 표현 특성에 관한 선행 연구

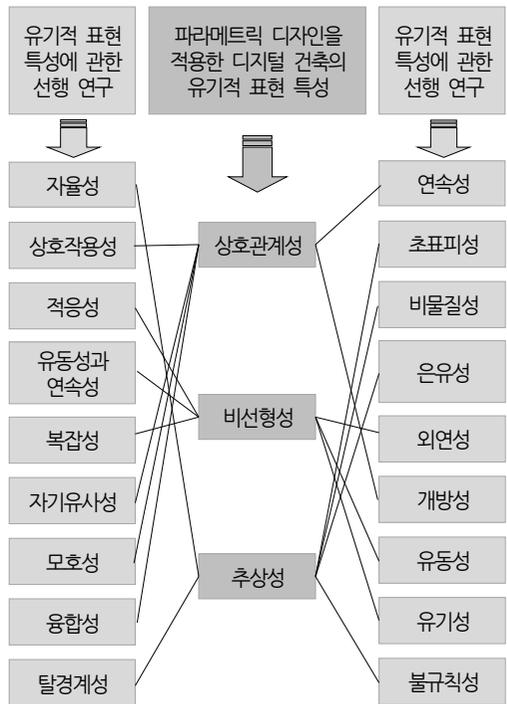
연도	연구자	주제	특성
2005	이종숙 박현옥 이한나	실내디자인에 나타난 유기적 형태 디자인의 표현특성 유형에 관한 연구	비선형성, 불규칙성, 불균형성, 유동성
2005	김학수	현대 건축에서 나타 난 '유기적 형태' 표현 경향에 관한 연구	자기유사성, 외연성, 은유성, 상호관계성
2007	박재은	디지털 건축의 유기체적 속성에 기반한 공간형태 실험에 관한 연구	비선형성, 복잡성, 초표피성, 비물질성
2011	정인영	디지털 건축에 나타난 유기적 표현특성에 관한 연구 : 자하 하디드 건축을 중심으로	비선형성, 상호관계성, 비물질성, 자기적응성
2011	라윤지 조규진 허범팔	프랭크 로이드 라이트 주택 건축에 나타난 공간 표현특성 연구	연속성, 상호관계성, 개방성
2019	노정하 이근택 홍현진	프랙탈 기하학을 활용한 현대건축의 유기적 표현특성에 관한 연구	자기유사성, 비선형성, 비물질성, 유동성, 연속성
2023	박세현 윤성호	세지마 가즈오 건축에 나타난 유기적 특성에 관한 연구	유동성, 상호관계성, 변이성, 유기성

[표 6]에 따른 공간 유기적 표현 특성에 관한 선행 연구를 바탕으로 선행 연구의 특성 결과를 정리하였다. 다음 [표 7]은 선행 연구 결과이다.

[표 7] 선행 연구 결과

특성	1	2	3	4	5	6	7	출현빈도
연속성					●	●		2
상호관계성		●		●	●		●	4
비선형성	●		●	●		●		4
초표피성			●					1
비물질성			●	●		●		3
은유성		●						1
외연성		●						1
개방성					●			1
유동성	●					●	●	3
유기성							●	1
불규칙성	●							1
변이성							●	1
상호적응성				●				1
자기유사성		●				●		2
복잡성			●					1

앞서 언급된 저자의 연구 결과와 선행 연구 결과를 바탕으로 정리된 24가지 특성은, 많은 특성 간에 개념의 유사성이나 서로 포함되는 관계가 존재하며, 또한 그 영향 요인이 다른 요소들에 비해 상대적으로 작은 경우가 많다, [그림 1]과 같다. 따라서 저자는 건축 내부 공간 조직의 협동 관계, 건축 형태의 동적 변화 규칙, 건축 기호의 해체와 정보 기술 특성을 통해 본 연구에 적합한 기반의 파라메트릭 디자인을 적용한 디지털 건축의 유기적 표현 3대 특성: 상호 관계성, 비선형성, 추상성을 도출하였다. 다음 [표 8]은 파라메트릭 디자인을 적용한 디지털 건축의 유기적 표현 특성이다.



[그림1] 디지털 건축의 유기적 표현 특성 분석

[표 8] 파라메트릭 디자인을 적용한 디지털 건축의 유기적 표현 특성

특성				
상호 관계성	비선형성		추상성	
모호성	●	유동성	●	탈경성
상호 관계성	●	복잡성	●	비물질성
자기유사성	●	자기적응성	●	초표피성
				●

이러한 특성들의 개념을 더 잘 이해하기 위해, 저자는 최종적으로 정리된 각 특성에 대해 설명을 추가하

여 사례 분석의 기준으로 활용할 수 있도록 하였다. 다음 [표 9]는 특성 분석이다.

[표 9] 특성 분석

특성	개념
상호 관계성	건축의 공간 조직, 형태, 구조와 환경 간의 다양한 융합과 협력 관계.
1 모호성	다양한 공간 간 경계의 불확실성과 유연한 전환.
2 상호 관계성	건축의 유기적 형태가 사람이나 환경과 형성하는 상호작용 관계.
3 자기유사성	건축의 유기적 기호는 전체에서 부분까지 형태적으로 자기 복제의 일관성이나 반복적인 관계를 나타낸다.
비선형성	건축 형태의 흐름, 복잡한 공간 조직 및 동적 반응 능력.
1 유동성	형태와 공간의 동적 변화, 공간은 연속적인 곡선, 쌍곡면, 나선형 면 또는 접힌 공간 등을 나타낸다.
2 복잡성	다차원 및 다층 구조의 공간과 비대칭, 불규칙한 건축 형태
3 자기적응성	알고리즘의 반복 변화를 기반으로 복잡한 공간에 적합한 유기적 형태를 생성할 수 있다.
추상성	기호와 형태의 비물질화, 개념화, 정보화.
1 탈경성	건축 공간에는 명확한 시각적 초점이 없으며, 탈중심화와 비대칭적인 공간 형태를 나타내며, 건축 기호와 기능적 의미에서 해체를 실현한다.
2 비물질성	공간 형태, 조직, 구조가 물질적 한계를 벗어나고, 건축의 가상적 측면, 동적 속성, 정보화 및 시각적 표현에 집중한다.
3 초표피성	건축 표면은 단순한 차폐물이나 미적 장식이 아닌, 동적이고 다기능적인 시스템으로, 환경 반응과 데이터 전달 등의 다양한 기능을 가지며, 표면 "인터페이스"를 통해 건축과 환경 간의 상호작용을 실현한다.

## 4. 사례 분석

### 4-1. 사례 분석 기준 설정

빌바오 구겐하임 박물관(1997)은 파라메트릭 디자인의 최전선 탐색을 보여준다. 프랭크 게리는 CATIA 디지털 도구를 사용하여 복잡한 곡면을 설계하였고, 디지털 건축이 파라메트릭 디자인에서 차지하는 위치를 확립하였으며, 파라메트릭 디자인의 개척자가 되었다. 베이징 국가 체육장(2008)은 헤르초그 와 드 뢰롱이 디지털 기술을 통해 복잡한 구조 설계와 건설을 실현한 예로, 대형 공공건축에서 파라메트릭 디자인의 적용을 보여준다. 동대문 디자인 플라자(2014)는 자하 하디드 스튜디오가 파라메트릭 디자인 소프트웨어를 통해 유선형, 동적인 건축 형태를 실현하였으며, 건축과 도시 맥락의 융합을 나타낸다. 아부다비 루브르 (2017)

은 장 누벨이 파라메트릭 기술을 활용하여 돔의 복잡한 기하학과 빛과 그림자 효과를 설계한 사례로, 이는 문화 건축에서 파라메트릭 디자인의 정교한 표현력을 보여준다. 이 네 가지 사례는 1997년부터 2017년까지 파라메트릭 디자인의 탐색, 발전, 성숙의 20년 역사를 포괄한다. 이들은 미주(스페인 빌바오), 아시아(베이징, 서울), 중동(아부다비) 등 여러 지역에 걸쳐 있으며, 파라메트릭 디자인이 다양한 문화적 배경에서 어떻게 적용되고 표현되었는지를 보여준다. 또한 기능적으로는 박물관, 체육관, 도시 종합체, 문화 시설을 포함하며, 파라메트릭 디자인이 다양한 건축 기능에 어떻게 적용하는지를 잘 보여준다. 각 사례는 형태와 공간 조직에서 파라메트릭 디지털 건축의 유기적 표현 특성을 잘 드러내어 연구에 다각적인 분석 가능성을 제공한다.

[표 10] 사례 분석 관점 기준

관점
이 연구에서는 건축의 유기적 표현 특성을 체계적으로 분석하고, 그 유기적 표현 특성의 정도를 정량화하였다. 구체적으로는 건축에서 나타나는 모호성, 상호 관계성, 자기유사성, 유동성, 복잡성, 자기적응성, 탈경성, 비물질성, 초표피성 등의 표현 특성에 따라 분류하고, 비율을 계산하여 이를 기준으로 분류를 수행하였다.
기준
● 완전한해결    ● 부분적 해결    ○ 미해결
70%~100%    40%~70%    0~40%

[표 11] 사례 기본 개황

no	작품명	위치	준공연도
1	빌바오 구겐하임 박물관	스페인빌바오	1997
2	나오차오 체육관	중국 베이징	2008
3	동대문 설계 광장	한국 서울	2014
4	아부다비 루브르	아랍에미리트 아부다비	2016

다음 [표 12]는 사례 분석 대상 작품 개요이다. 대상의 순서는 연도별로 나타내었다.

### 4-2. 빌바오 구겐하임 박물관

[표 12] 빌바오 구겐하임 박물관 (Guggenheim Museum Bilbao) 사례 분석

위치	연도	구기능	건축 면적	설계자
스페인 빌바오	1993 ~ 1997	박물관	24000m <sup>2</sup>	프랭크 게리 (Frank Gehry)
건축 이미지				

건축 형태		평면도	
공간 조직		인면도	
건축 구조		단면도	

특성			
상호 관계성	비선형성		추상성
모호성	●	유동성	●
상호 관계성	①	복잡성	●
자기유사성	●	자기적응성	①
		초표피성	○

분석		

프랭크 게리는 건축 표면을 다양한 각도의 쌍곡면으로 디자인하여, 햇빛의 각도에 따라 건축물에 다양한 빛과 그림자 효과를 만들어낸다. 건축물은 마치 조각 처럼 강과 조화를 이루며, 도시의 산업과 선박 문화를 반영한다.

박물관은 중정의 비선형 기하학적 형태와 유동적인 벽면을 통해 관람객에게 공간의 연속성과 동적인 특성을 느끼게 한다. 복잡한 형태와 층위의 교차를 통해 공간은 전통적인 기하학적 구조를 넘어 다층적인 상호 작용을 가능하게 한다.

건축 외관은 대량의 곡선을 사용하여 대담하고 신선한 형태를 만들어내며, 기존의 건축 형식을 깨고 일반적인 형태를 넘어섰다. 동시에 전체 건축은 하나의 통일된 형태를 이루고 있으며, 건축에 높은 추상성을 부여하고 건축과 예술 사이의 경계를 모호하게 만든다.

● 완전한해결   ① 부분적 해결   ○ 미해결

### 4-3. 나오차오 체육관

[표 13] 나오차오 체육관 (Beijing National Stadium) 사례 분석

위치	연도	구기능 건축 면적	건축 면 적	설계자
한국서울	2009 ~	문화 중	86574㎡	자하 하디드

중국 베이징	2003 ~ 2008	스포츠 경기장	258000㎡	헤르초크 와 드 뢰른 (Herzog & de Meuron Architekten)
--------	-------------	---------	---------	--

건축 이미지			
건축 형태		평면도	
공간 조직		인면도	
건축 구조		단면도	

특성			
상호 관계성	비선형성		추상성
모호성	○	유동성	●
상호 관계성	●	복잡성	①
자기유사성	○	자기적응성	●
		초표피성	①

분석		

나오차오의 전체 형태와 각각의 강철 구조물의 형태는 유사한 얽힘과 곡선 언어를 따르며, 건축 전체와 세부에서 유기적으로 통합된 시각적 효과를 나타낸다.

나오차오의 형태는 더 이상 기능적 요구에 국한되지 않고, 예술성과 상징성을 표현한다. 디자인은 나오차오가 경기장의 정체성을 넘어 문화적 의미를 지닌 상징적인 건축물로 탈바꿈하게 하여, 단일 기능의 제한을 벗어났다.

● 완전한해결   ① 부분적 해결   ○ 미해결

### 4-4. 동대문 설계 광장

[표 14] 동대문 설계 광장 (Dongdaemun Design Plaza) DDP 사례 분석

위치	연도	구기능	건축 면적	설계자
한국서울	2009 ~	문화 중	86574㎡	자하 하디드

2014	심	(Zaha Hadid)
------	---	--------------

건축 이미지		
건축 형태		
공간 조직		
건축 구조		

특성		
상호 관계성	비선형성	추상성
모호성 ●	유동성 ●	탈경성 ●
상호 관계성 ○	복잡성 ○	비물질성 ●
자기유사성 ●	자기적응성 ○	초표피성 ○

분석		

DDP 학습 공간에서는 불규칙한 회전 계단을 이용해 공간의 경계감을 모호하게 하였고, 나선형 디자인 요소를 반복 사용하여 공간이 통일된 점진적 관계를 형성하게 했다. 이 두 요소는 상호작용을 한다.

DDP의 형태와 내부 공간은 흐름 감이 가득하며, 디자인에서는 불규칙한 형태의 다차원 조합을 채택하였다. 시각적 형태는 복잡하고 다양하며, 강한 비선형성을 지닌다.

건축 형태는 전통적인 전체 감을 떼고, 건축 공간의 중심을 약화하며, 건축의 동적 속성을 강조한다.

● 완전한해결 ○ 부분적 해결 ○ 미해결

#### 4-5. 아부다비 루브르

[표 15] 아부다비 루브르 (Louvre Abu Dhabi) 사례 분석

위치	연도	구기능	건축 면적	설계자
아랍에미리트 아부다비	2009 ~ 2016	전람관	97000㎡	장누벨 (Jean Nouvel)

건축 이미지		
건축 형태		
공간 조직		
건축 구조		

특성		
상호 관계성	비선형성	추상성
모호성 ○	유동성 ●	탈경성 ○
상호 관계성 ●	복잡성 ●	비물질성 ●
자기유사성 ●	자기적응성 ●	초표피성 ●

분석		

돔의 디자인은 건축 내부와 외부의 경계를 모호하게 만들어, 빛과 건축이 서로 어우러지며 전체 공간은 흐름감 있고 개방적인 느낌을 준다. 돔은 여러 겹의 기하학적 패턴이 겹쳐 이루어져 있으며, 이 패턴들은 크기와 밀도에서 변화를 보이지만, 모두 비슷한 디자인 논리를 따른다.

기하학적 형태와 친 패턴으로 이루어진 돔은 독특한 시각적 효과를 형성할 뿐만 아니라 복잡한 물리적 및 광학적 기능을 가지고 있다. 돔의 기하학적 패턴은 정밀하게 설계되어 빛과 온도의 변화에 따라 빛의 강도를 조절할 수 있으며, 관람객의 편안한 경험을 보장하고 외부 환경과 상호작용을 유도한다.

돔의 '빛의 비' 효과는 건축에 초현실적인 공간감을 부여하며, 건축은 전통적인 물질적 기능을 넘어 사람, 문화, 역사, 예술 사이의 대화 상징이 된다. 돔의 다층적인 패턴은 다양한 각도와 빛에 따라 변화하는 표면 효과를 나타내어 건축에 동적인 감각과 풍부함을 더한다.

● 완전한해결 ○ 부분적 해결 ○ 미해결

[표 16] 사례 분석을 통한 유기적 표현 특성 분석 결과

작품명	빌 바 오 구겐하임 박물관	나오차오 체육관	동대문 설계광장	아부다비 루브르
-----	----------------	----------	----------	----------

특성					
상호 관계성	모호성	●	○	●	⦿
상호관계성	상호관계성	⦿	●	⦿	●
	자기유사성	●	●	●	●
비선형성	유동성	●	●	●	●
	복잡성	●	⦿	⦿	●
	자기적응성	⦿	●	⦿	●
추상성	탈경성	●	●	●	⦿
	비물질성	⦿	●	●	●
	초표피성	○	⦿	⦿	●

● 완전한해결   ⦿ 부분적 해결   ○ 미해결

## 5. 결론

먼저, 본 연구에서는 파라메트릭 디자인 기술이 적용된 디지털 건축의 12가지 유기적 표현 특성을 분석하여 상호 관계성, 비선형성, 추상성이 유기적 표현의 중요한 특성임을 도출하였다. 이 특성들은 기술과 디자인의 융합을 통해 건축이 기존의 기하학적 공간의 한계를 초월하고 직관에 의존하지 않는, 알고리즘을 기반으로 생성된 복잡한 곡선과 자유 곡면을 구현함으로써 역동적이고 복잡한 비선형 건축 형태를 추구하는 새로운 공간형태를 보여준다. 예를 들어 자하 하디드가 설계한 DDP 광장은 파라메트릭 디자인을 통해 각각의 알루미늄 패널이 정밀하게 배치되어 건축 형태의 연속성과 유동성을 표현한다. 이러한 디자인은 건축의 전통적인 기하학적 직선과 평면의 한계를 초월하여 마치 도시 속에 '성장'하는 듯한 자연스러운 곡면 형태를 창조하며, 도시의 형태와 문화와 융합하여 유기적인 시각 효과를 형성한다. 프랭크 게리가 설계한 빌바오 구겐하임 박물관 또한 마찬가지로 복잡하고 독특한 티타늄 표면의 형태가 마치 조각과 같은 비선형 형태를 시각적으로 표현한다. 빌바오 구겐하임의 곡면 디자인은 파라메트릭 디자인으로 생성된 불규칙한 표면을 통해 역동적이고 긴장감 있는 공간 표현을 형성하며, 햇빛과 주변 경관과의 상호작용으로 풍부한 빛과 그림자 효과를 연출하여 마치 건축 자체에 생명력이 있는 듯한 느낌을 준다. 이는 새로운 공간 표현을 보여준다.

다음으로, 디지털 건축의 유기적 표현은 파라메트릭 디자인으로 구동되는 자연스러운 표현 방식이다. 베이징의 나오차오는 개방형 철골 격자 디자인을 통해 건축물과 주변 환경 및 관람객 간의 역동적 상호작용을 형성하며, 이러한 복잡한 구조와 곡선 디자인은 파라메트릭 디자인으로 실현되었으며, 각각의 철골 위치와 곡률이 정밀하게 설계된 결과이다. 건축물의 비선형 격자

구조는 내외부 경계를 모호하게 만들어 건축물과 환경 사이에 자연스러운 연결을 형성한다. 나오차오는 단순히 관람객을 수용하는 공간이 아니라 자연환경과 공존하고 상호작용하는 '생명체'와 같은 역할을 하여, 파라메트릭 구동 하에 디지털 건축의 자연스러운 표현을 실현한다. 파라메트릭 디자인을 통해 디지털 건축은 복잡한 형태를 표현할 뿐만 아니라 자연의 논리를 시뮬레이션하여 건축과 환경, 기능 간의 조화로운 공생을 실현할 수 있다.

마지막으로, 파라메트릭 디자인의 응용이 성숙해짐에 따라, 이 기술의 건축 기능성 표현도 점점 더 완전해지고 있으며, 건축의 자기 적응성 또한 파라메트릭 디자인이 건축 설계에 적용되는 핵심 특성으로 자리 잡고 있다. 아부다비 루브르는 특수한 지리적 위치로 인해 자연광과 온도가 건물에 미치는 영향이 특히 중요한데, 건물의 돔은 파라 메트릭 기술을 통해 복잡한 기하학적 패턴으로 설계되어 '빛의 비' 효과를 만들어 내며 건물 내부의 채광을 효과적으로 조절하고 있다. 이를 통해 아부다비의 강한 햇빛과 고온 조건에 적응할 수 있게 되어, 파라메트릭 디자인의 응용은 아부다비 루브르를 단순히 미관상 아름다운 건축물에 그치지 않고, 생태적·기능적 측면에서 지속 가능한 발전을 실현한 스마트 건축물로 만들었다. 이와 같이, 디지털 기술의 응용은 건축의 유기적 공간을 더 나은 방식으로 조성하는 필연적인 흐름이 되었다.

빌바오 구겐하임 박물관, 베이징 국가 체육관, 동대문 설계 광장, 그리고 아부다비 루브르 박물관의 사례 분석을 통해 파라메트릭 디자인이 디지털 건축에서 핵심적인 역할을 한다는 점을 입증하였다. 이러한 사례들은 파라메트릭 디자인이 복잡한 비선형 기하학 생성과 고정밀 계산을 통해 건축 형태의 흐름성, 구조의 적응성, 공간 조직의 연속성을 어떻게 실현하는지 보여준다.

연구는 또한 파라메트릭 디자인의 적용 추세와 디지털 건축의 미래 발전 가능성을 강조하였다. 기술의 성숙에 따라 파라메트릭 디자인은 복잡한 형태의 표현에서 기능과 환경 적응성으로 확장되고 있으며, 특히 지속 가능한 건축과 스마트 시티 설계에서 넓은 응용 가능성을 지닌다. 동시에 파라메트릭 디자인은 건축이 정적인 폐쇄적 시스템에서 동적인 개방적 생태계로 변모하는 데 기여하며, 건축 설계에 새로운 방법론적 기초를 제공한다.

본 연구를 통해 디지털 건축의 유기적 표현 특성이 체계적으로 제시되었으며, 학문 연구에 이론적 지지를

제공하고, 실무 설계에 참고할 수 있는 자료를 제공하였다. 향후 연구는 파라메트릭 디자인과 인공지능, 가상 현실 등 신기술의 결합을 탐구하여 건축 설계의 기술과 문화 융합 측면에서 돌파구를 마련할 수 있을 것이다.

---

## 참고문헌

1. Wei-Guo Xu, 『Parametric Nonlinear Architectural Design』, Tsinghua University Press, 2016.
2. Lynn, Greg. 『Animate Form. Princeton Architectural Press』, Princeton Architectural Press, 1999. 잘
3. 임진택, 김남응, '프로토타입을 활용한 설계프로세스개념에 관한 고찰', 대한건축학회 논문집-계획계, 2006.4, Vol.22, No.4.
4. Ji-Long Zhao, Jian-Jun Liu, Peng-Fei Zhao, 'Form, Aesthetics, and Ethics of Digital Architecture', The Architect, No. 138, April 2009.
5. 김정아, '현대 실내공간에서 나타나는 유기적 표현특성에 관한 연구', 충남 : 한서대학교 예술대학원, 2007.
6. 정인영, '디지털 건축에 나타난 유기적 표현특성에 관한 연구 : 자하 하디드 건축을 중심으로', 조선대학교디자인대학원, 2011.
7. Tian-Xiang Leng, "Digital Architectural Design from the Perspective of Complexity Theory," School of Architecture, South China University of Technology, December 2011.
8. Dan Wang, 'Non-Euclidean Tendencies: New Paradigms of Complexity in Contemporary Architecture', Xiamen University Architectural Design, 2007.