

프랙탈 기하학을 적용한 건축 형태생성에 관한 연구

A Study on Architectural Form Creation based on the Application of Fractal Geometry

강 훈*
Kang, Hoon

Abstract

Chaos theory, qualitative study of unstable aperiodic behavior in deterministic nonlinear dynamical systems, is dominant paradigm in the twenty first century. Fractal geometry, as an expressed form of chaos, now influences many areas such as architecture, art, music, economics, literature, etc. The purpose of this study is to analyze fractal geometry and fractal formative elements in architectural design. There are scaling, superimposition, distortion, deformation and repetition in the fractal form generator that can be applied to design concept and process in architecture. This study shows fractal geometry can be the architectural form creation method. Fractal geometry similar to nature's patterned order can be provided endless possibilities for design analysis and methodology in architecture. Therefore the further study of fractal geometry should progress synthetically through the basis of the study.

키워드 : 프랙탈 기하학, 자기유사성, 비선형성, 형태 생성자
keywords : fractal geometry, self-similarity, non-linearity, form generator

1. 서론

1.1 연구의 배경과 목적

복잡하고 다양한 현대사회를 반영하는 카오스(Chaos)¹⁾의 개념은 고대의 종교적 언어에서 우주적 질서(Cosmos)를 위협하는 것 혹은 어떠한 형태의 혼란, 무질서 같은 초기 상태를 의미해왔다. 그러나 현대에 있어서의 카오스란 필연적으로 일어 날수 없는 사건을 칭하는 우연성의 개념에 가까우며, 정돈되고 정확하게 사전에 예측할 수 있는 현상에 대한 반대 개념으로 인식되고 있다.

카오스는 이미 이 세상 어디에도 존재하는 결정론적 비선형예측이라 말하기도 한다. 이러한 카오스의 특징 중 두드러지게 나타나는 것이 프랙탈이기 때문에 프랙탈을 이용하여 현대사회의 복잡계를 설명하고자 하는 것이다.

현대건축분야에 있어서도 합리주의에 입각한 기존의 이론들이 현대사회의 복잡하고 다양한 프로그램을 수용하지 못하는 실정이다. 이에 본 연구에서는 현대사회의 복잡화, 다양화된 프로그램을 표현할 수 있는 카오스 이

론의 기하학적인 표현 형태인 프랙탈²⁾ 기하학(Fractal geometry)의 조형원리를 적용하여 새로운 건축형태생성의 한 방법적인 대안을 제시하고자 한다.

1975년 만델브로트(B.Mandelbrot)에 의해 개념화된 프랙탈은 최근 예술가, 디자이너들에게 새로운 조형적변수로 작용되어지고 있으며 나아가 디지털건축디자인의 하나의 형태생성방법으로 자리매김하고 있다. 이러한 프랙탈 기하학의 건축적 적용에 관한 논의는 고도의 기술문명 사회에 직면한 기계적인 환경에서 자연에 기초한 디자인을 요구하게 되고 자연의 패턴을 갖는 카오스이론과 복잡성을 설명하고자 하는 프랙탈의 근본취지에 따라 프랙탈의 필요성이 제기되고 있는 것이다. 이에 본 연구는 카오스 이론들 중 기하학적 표현 방식의 하나이며 궁극적으로 자연에 기초한 프랙탈 기하학의 특성과 알고리즘을 이용한 건축형태생성에 접근하고자 한다. 이러한 프랙탈의 이해를 바탕으로 하는 디자인 도구로서의 잠재적 가능성을 가정하여 현대 문화와 환경 내에서의 디자인 방법으로서의 그 건축적 적용의 타당성을 탐구하고자 함을 목적으로 한다.

* 정희원, 강원대학교 건축학과 교수, 건축사, 공학박사
** 이 논문은 강원대학교 2008학년도 자체학술연구비에 의하여 연구되었음.

1) 수학에서의 카오스는 단순한 혼돈을 말하는 것이 아니라 처음에는 정연한 질서를 유지하다가 어느 순간부터 걸잡을 수 없는 상황을 연출하는 무질서를 의미한다. 즉, 결정론적으로 진행하던 것이 갑자기 불확정적인 양상으로 변하는 것이 카오스이며 대표적인 특징 중 하나가 프랙탈의 자기유사성과 자기조직화라 하겠다.

2) 최초의 형태와 관련한 카오스 이론가들은 1960년대 초까지 몇몇의 수학자들에 의해 칸토어 집합 페아노 곡선 등 극히 예외적인 집합 또는 수학적 기이한 형상들만을 다루어 왔다. '프랙탈'이라는 용어의 시초는 IBM의 토마스 왓슨(Thomas J. Watson) 연구센터에 근무했던 프랑스 수학자 만델브로트(B. Mandelbrot)가 1975년경 작은 척도를 사용할수록 무한대로 늘어나는 해안선의 길이를 측정하다 발견한 이론으로 '쪼개다'라는 뜻을 가진 그리스어 '프랙투스(fractus)'에서 따와 처음 만들었다고 한다.

1.2 연구의 방법과 범위

이와 같은 연구의 목적을 위해 본 연구는 우선적으로 프랙탈 기하학의 이론적 개념과 그 구조를 파악해야 하나 이는 선행연구에서 잘 나타나 있는 관계로 본 연구에서는 간략하게 알아보고 선행연구들에서 나타난 건축적인 부분에 대한 프랙탈 기하학의 적용방안에 대하여 구체적으로 살펴본다. 아울러 선행연구에서 나타난 프랙탈의 건축적 적용에 대해 직접 건축적 사례를 들어 건축 형태생성의 방법론적인 방안을 제시하고자 한다.

결과적으로 프랙탈 기하학의 건축적 적용 구조를 정의한 뒤 이를 전제로 프랙탈 기하학에 의한 건축 형태 생성원리 및 과정이 하나의 디자인 방법론의 일부로 정리될 수 있음을 보여주고자 한다. 본 논의는 프랙탈 기하학의 건축적 적용가능성을 진단하고 실제 적용한 건축계획의 사례를 제시함으로써 프랙탈 기하학이 현대건축의 형태생성의 하나의 방법론적인 가치가 있음을 증명하고자 하며 본 논문에서 논의될 프랙탈의 비결정형개념에 의한 실증적 가치를 적용하는 논의는 후속과제로 남겨두고자 한다.

2. 프랙탈공간

2.1 프랙탈 기하학의 이론과 특성

자연은 기계적이고 선형적인 것이 아닌 비선형적이고 유기적인 특성을 지니고 있다. 이러한 자연적 미학을 수학적으로 해석한 것이 프랙탈 기하학이며 이러한 프랙탈 기하학은 기존의 유클리드 기하학이 순수하고 보편적인 도형의 세계를 추구하는 반면, 프랙탈 기하학은 무한한 미분과 관계되며 감각적이고 우연적인 역동성을 강조하게 된다.³⁾

프랙탈 기하학이 고전적 기하학에 비해 수식보다는 형태를 이뤄가는 방식의 규칙 구조인 알고리즘(algorithm)⁴⁾을 갖고, 특정 크기나 축척 등에 의해 한정되지 않으며 무한히 성장 가능한 잠재성을 갖고 있는 까닭에 자연의 형태에 가까운 현상들을 설명하는데 더 적합하다⁵⁾고 볼 수 있다. 아이러니하게도 프랙탈이 자연현상을 설명하기위해 만들어진 기하학임에도 불구하고 건축 형태 분야에 있어서의 프랙탈은 그 자체가 형태생성을 위한 기법으로서의 자리매김을 하고 있는 경향을 나타내고 있다. 즉, 건축에서 말하는 프랙탈 공간은 프랙탈이 만들어내는, 정확히 프랙탈 기하학의 알고리즘이 만들어내는 형태와 공간을 총칭하여 말하고 있는 듯하다. 하지만 자연의 선은 자를 대고 그린 것 같은 순수 기하학적인 것이 절대 아니다. 구름, 파도, 우주성운, 협곡, 숲 등 프랙탈 기하학으로 실제 우리가 살고 있는 세계를 생생하게 표현할 수 있다. 세부구조가 전체구조를 끊임없이 반복하는 프랙탈 패턴

이 만들어내는 형상은 믿기 어려울 정도로 화려하고 환상적이면서 또한 그 형상은 자연과 우주의 다양한 모습을 묘사해준다.



그림 1 양치류, 오리온성운, 브로콜리, 구름, 파타고니아해안 - 자연의 프랙탈 이미지

이러한 자연의 혼돈 현상 속에서 질서를 찾아내는 것이 바로 프랙탈이다. 컴퓨터의 발달로 방정식 초기조건 아주 미세한 수치까지도 손쉽게 계산해 낼수 있게 됨으로서 로렌츠(Edward Norton Lorenz)의 '기이한 끌개(strange attractor)⁶⁾ 같은 기하학적 구조를 얻어낼 수 있게 되었다.

프랙탈은 자기 유사성을 전제로 끊임없이 자기 복제를 반복하는 순환성을 가진다. 또한 알고리즘의 단순성으로 간단한 식으로 무한한 우주를 표현할 수 있다. 자연물에서 뿐만 아니라 수학적 분석, 생태학적 계산, 위상공간에 나타나는 운동 모형 등 곳곳에서도 발견되어 자연이 가지는 기본적인 구조를 표현할 수 있다. 따라서 우리는 프랙탈 구조에 대한 이해를 통하여 불규칙하며 혼란스러워 보이는 현상을 배후에서 지배하는 규칙도 찾아낼 수 있게 된 것이다.

프랙탈 기하학으로 만들어진 형태의 특성을 살펴보면 널리 알려진 바와 같이 가장 대표적인 특성으로 자기유사성(self-similarity), 비선형성(Non-linearity), 무작위성(Randomness)을 들 수 있으며 생생 알고리즘으로는 스케일링(scaling), 중첩(superposition), 왜곡(distortion), 변형(deformation), 반복(repetition)등을 열거할 수 있다. 프랙탈의 특성에 대한 내용과 분류는 [표 1] 7)로 설명한다.

표 1. 프랙탈의 기하학적 특성

특성	내용
자기 유사성 (self-similarity)	·모든 축척을 관통하는 패턴 안의 패턴 ·어느 부분을 잘라 보아도 전체의 모양과 닮아 있는 부분 속의 전체가 들어 있는 구조 ·부분이 전체를 반영하는 반복 구조
비선형성 (Non-linearity)	·엄밀한 자기유사나 단조로운 반복이 아닌 비선형성이 계속 나타나는 자기유사성의 구조 ·초기 조건에 대한 민감한 의존성 ·선형에 비해 예외적, 무작위적, 비예측적, 불규칙적, 증폭적 성질
무작위성 (Randomness)	·예측 가능한 사건들의 연속은 그 예측 가능성으로 인해 수렴하는 반면 창조적인 시스템은 발산한다는 원리 ·프랙탈은 무작위 프랙탈(Random Fractal)의 개념으로 더욱 풍부하고 유용해짐

3) 김주미, 프랙탈 개념에 기초한 조형원리와 표현특성, 한국실내디자인학회 논문집, 2003.04, p13

4) 알고리즘(algorithm)이란 유한한 횟수의 일정한 형식적 규칙을 거쳐 하나의 결과를 얻어내는 절차를 말한다.

5) 김승환, 프랙탈, 공간, 1993, pp.53-54참고

6) 기이한 끌개(strange attractor)를 기묘한 끌개 혹은 낯선 끌개라 부르기도 한다.

7) [표1]은 이명식, 건축디자인에서 프랙탈 기하학의 적용에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2009.05, p167 인용

2.2 프랙탈 기하학의 형태 생성원리

일반기하학이 수식으로 전개되는 반면 프랙탈 기하학은 알고리즘에 의해 전개되는 특성을 가지고 있다. 즉 프랙탈 방정식에 의해 기본단위의 생성자인 기본적인 형태의 자기유사성에 의한 반복과 스케일링에 의해 형태를 생성시키고 있다, 여기서 말하는 기본적인 형태를 프랙탈에서는 '생성자(generator)'로 칭하며 자기유사성과 스케일링, 반복, 왜곡, 중첩, 흔적 그리고 다른 특성들과 혼합되어 형태를 이루어가고 있으며 이러한 과정을 생성 알고리즘(generation algorithm)이라 말한다. 따라서 건축에 적용된 프랙탈의 경우 기본 요소인 생성자를 형태 생성자(form-generator)⁸⁾로 알고리즘을 형태 생성알고리즘(form-generation algorithm)으로 칭할 수 있겠다.

표 2. 프랙탈 기하학의 유형 및 형태생성자

유형	형태생성자	표현형태	
결정형 프랙탈	칸토어 (Cantor)		
	코흐곡선 (Koch curve)		
	시어핀스키 가스킷 (Sierpinski Gasket)		
	멩거스폰지 (Menger sponge)		
비결정형 프랙탈	만델브로트 (Mandelbrot)	$Z_{n+1} = Z_n^2 + C$	
	로렌즈의 끌개 (Lorenz attractor)		



그림 2. 멩거스폰지 (menger sponge)

형태 생성자는 프랙탈 기하학의 도형을 만드는 기본이 되는 형태 요소로서 생성자에 따라 생성되는 프랙탈 이미지는 같은 알고리즘을 이용한다 해도 전혀 다른 형태를 구성하게 된다. 때문에 형태생성자의 결정은 프랙탈 알고리즘을 적용시키기 이전에 아주 중요한 형태결정 요소로 작용하는 것이다.

특히, 건축형태생성에 있어서 형태생성자의 결정은 지역적 특수성과 주변 환경 그리고 작가가 가지고 있는 형

8) 형태 생성자란 프랙탈 형태의 기본형태(primitive object, form generator)로서 이를 이용하여 프랙탈 형태 생성알고리즘에 의해 그 형태가 생성된다.



그림 3. 시어핀스키 가스킷(Sierpinski Gasket)

태생성사유에 따라 변화하게 되며 건축형태생성의 중요한 위치를 차지하게 되는 것이다. 이렇게 생성된 형태 생성자는 프랙탈 알고리즘을 통해 최종 결과물로 도출되는 과정을 거친다.

2.3 프랙탈 기하학의 생성알고리즘

프랙탈 기하학의 형태 생성알고리즘이란 스케일링 (scaling), 중첩(superposition), 왜곡(distortion), 변형 (deformation), 반복(repetition) 등의 조형원리들이 복합적으로 작동하는 과정을 의미하나 개개의 조형원리들을 의미하기도 한다.. 최근 들어 등장하는 기이한 끌개(strange



그림 4. 스케일링과 반복을 보여주는 3D Fractal Image, Dirk Monteny, 2005

attractor)를 형태 생성자로 취할 경우, 프랙탈 알고리즘인 왜곡과 변형을 이용하면 랜드폼 (landform)과 웨이브폼 (waveform)이 만들어진다. 이들 알고리즘을 이용하여 생성한 프랙탈 이미지 중 칸토어집합이나 멩거스폰지, 시어핀스키 카펫과 가스킷, 코어곡선, 만델 브로트 집합, 카오스게임, 로렌즈의 끌개 등이 잘 알려져 있으며 프랙탈

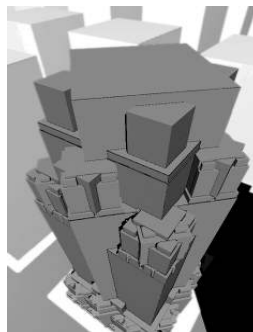


그림 5. 스케일링과 반복, 중첩을 보여주는 3D Fractal Image, RYTYDY, architect who based in new-york

기하학을 이용한 건축 작품들도 최근에 들어 많이 나오고 있다. 프랙탈의 기하학의 형태생성 알고리즘의 조형적인 원리들에 대하여 알아보자.
(1) 스케일링 (scaling)
프랙탈에서의 스케일링은 형태 생성자가 기하학적인 선형변환 (linear transformations)을 일으키며 내각과 길이의 비례를 유지시키며 그 크기를 변형하여 닮음 도형을 얻어내는 방법으로 설명된다. 이러한 스케일링은 프랙탈 기하학의 생성알고리즘의 가장 기본적인 조형원리로 대부분의 결정형 프랙탈의 경우 생성알고리즘은 스케일링을 포함 한다.

(2) 중첩 (superimposition)

중첩 (superimposition)의 사전적 의미로는 두 개 이상의 형상을 포개어 합친다는 뜻이다. 프랙탈 기하학의 알고리즘에서의 중첩의 의미역시 형태 생성자를 포개어 합친다는 의미로 사용되나 주로 하나의 조형원리로 사용되는 것이 아닌 다른 조형원리와 함께 사용되어 하나의 형상에서 어떠한 다



그림 6. 스케일링, 중첩, 반복의 만델브로트 프랙탈이미지

른 형상으로 변환시키는 과정을 가지화하여 시간과 공간의 동적인 상태를 표현하는 것을 의미 한다.

(3) 반복(repetition)



그림 7. Memorial to the Murdered Jews of Europe, Peter Eisenman, 2005

프랙탈 기하학에서 반복(repetition)은 유사한 형태의 지속적인 반복에 의해 시각적으로 무한히 확장되는 효과를 자아낸다. 피터 아이젠만의 유대인 학살 기억 조형물(Memorial to the Murdered Jews of Europe)은 직육면체의 형태생성자를 무수한 반복적인 작업으로 전체 형태를 구성하고 있는 사례이다.

(4) 왜곡(distortion)과 변형(deformation)

왜곡(distortion)과 변형(deformation)은 대상의 크기나 특정 요소를 전체적으로나 부분적으로 변형시켜 형태를 일그러뜨려 처음의 형상을 전혀 다른 형상으로 만들거나 처음형상과 유사한 완전한 복제가 아닌 형상으로 조정하는 작업을 말한다..



그림 8. 왜곡, 변형의 프랙탈이미지

이러한 프랙탈 알고리즘의 왜곡과 변형은 건축 형태생성에 가장

많이 적용되는 조형원리 중 하나이다.

2.3 건축형태 및 공간에 적용된 프랙탈

[표2]는 널리 알려진 프랙탈의 유형과 형태 생성자가 알고리즘을 통해 프랙탈로 불리는 형태가 되는 과정을 나타내고 있다. 여기서 프랙탈에서 일반적으로 말하는 형태 생성자와 건축에 있어서 형태생성자란 어떻게 구분되는지에 대해 좀 더 구체적으로 살펴보자.

결정형 프랙탈 개념에서의 형태생성자란 초기형태 즉 형태 창시자(Form Imitator)의 단순한 기하도형의 반복이나 변형에 의해 형태 생성자(Form Generator)를 결정한다. 프랙탈에서 말하는 형태 생성자는 직선이나 기하적인 도형 등을 사용하며 프랙탈 알고리즘을 적용하여 나타나는 2차원적인 이미지만으로 프랙탈을 설명할 수 있지만 건축형태 생성자는 공간과 3차원적인 형태생성이 목적인 만큼 대부분의 건축형태 생성자는 프랙탈의 결정형개념인 2차원의 도형을 익스트루드(extrude)한 형태 생성자나 3차원의 기하적인 형태 생성자, 끝개를 이용한 비 결정형의 3차원 형태 생성자들이 주로 이용되며 이의 반복, 중첩, 스케일링이라는 프랙탈 알고리즘을 이용하여 건축형태와 공간을 생성시키고 있다.

프랙탈 공간은 유클리드 공간처럼 텅 빈 것이 아니라 연속적으로 변주하면서 스스로 생성되는 공간이다. 또 페치워크 같은 비정형적인 조각들의 모음이라고 할 리만공간(Riemann space)⁹⁾을 생성하면서 동시에 연속적으로 그

사이를 주파하는 자기-조직하는 공간이기도 하다. 여기에 자기복제와 반복이라는 특성이 추가되어야 할 것이다. 프랙탈이 자기-조직하는 생태계의 생성원리이자 작동 원리가 될 수 있는 이유가 여기에 있다. 스스로 끊임없이 주름잡기와 퍼기를 반복하면서 자기복제를 수행하고 연속적인 변주를 통한 비정형적인 자기조직화의 과정이 바로 프랙탈인 것이다.¹⁰⁾

심광현이 기술한 프랙탈 공간에 대한 내용은 상당히 건축적으로 고려할 만한 내용을 담고 있다고 본다. 단순한 자기-조직과 복제의 특징적인 부분만을 나타내는 공간이 모두 프랙탈 공간이라는 의미가 아닌 이러한 특징들이 연속이라는 알고리즘을 통해 나타남에 집중해야 할 것이다. 즉, 프랙탈 기하학의 직접적인 차용이 아닌 프랙탈 미학적인 관점에서 나타나는 프랙탈 공간이 곧 건축공간임을 인식하고 이의 구체적이며 과학적인 접근이 있어야 한다.

따라서 본 논문은 방법적 측면에서의 프랙탈 조형원리와 프랙탈 형태 생성자를 이용한 일반적인 접근으로 건축형태 생성을 시도하고자 한다. 이러한 방법역시 근본적으로 프랙탈이 추구하는 자연의 형태추구를 위한 방법과는 거리가 있지만 프랙탈 기하학을 건축적으로 적용시켰다는 점에서 나름 유용한 건축형태생성의 하나의 방법이 될 수 있다고 본다. 이러한 단순 기하도형을 프랙탈 알고리즘에 적용해 건축형태를 생성시키고자 하는 것을 본 논문에서는 결정형 프랙탈 개념으로 분류하고 있다.

3. 프랙탈 기하학을 적용한 건축사례

3.1 프랙탈 건축의 분류

프랙탈은 크게 결정형과 비결정형의 두가지로 분류해서 살펴볼 수 있다. 하나는 자신의 모양을 몇 단계에 걸쳐서 재귀적(再歸的)으로 수학적 규칙에 따라 축소시키고 회전시켜 만들어지는 결정형 프랙탈이고, 다른 하나는 형상의 일부분을 계속 확대할 때 전체 모습과 통계적으로 유사한 형상을 갖는 비결정형 프랙탈이다



그림 9. 결정형 프랙탈개념의 3차원 Fractal Image

건축에 적용되는 부분은 대부분 결정형으로 이는 형태생성자로 불리는 단순한 기하도형의 단순반복적인 형태를 건축에서 차용해왔으며 이를 프랙탈의 특성을 나타내는 작품으로 말하고 있기 때문이다. 따라서 프랙탈 건축이라 일컫는 작품들은 결정형 프랙탈 개념이 적용되었다고 볼 수 있다. 그러하기에 하나의 형

9) 리만공간(Riemann space)이란 매 점의 충분히 작은 근방에서는 유클리드공간과 근사하지만 공간 전체로 놓고 보면 휘어져 있는 그런 공간을 말한다. 즉 물리적으로는 어떤 매질 또는 마당까지를 공간자체의 속성으로 가지는 그런 공간을 리만공간이라고 말할 수 있으며, 유클리드공간의 확장이며 유클리드공간은 리만공간의 특수경우라고 볼 수 있다.

10) 심광현, 『프랙탈』 p.29

태를 단순하게 축소 반복하는 것에 그치는 것이다.

비결정형 프랙탈은 자연의 프랙탈로서 구름이나 번개, 깨진 유리조각, 겨울철 유리창에 서리는 성에, 나무와 풀이 어우러진 숲과 산, 바다 속의 아름다운 산호 등의 우리를 둘러싸고 있는 자연계에서 발견할 수 있는 복잡하고 불규칙한 모양이나 기상변화, 온도변화등과 같은 복잡한 현상들을 말할 수 있다. 이러한 비결정형 프랙탈은 자연이미지에 적극적으로 접근하는 개념으로 프랙탈이 추구하는 진정한 의미를 내포하고 있다고 하겠다.

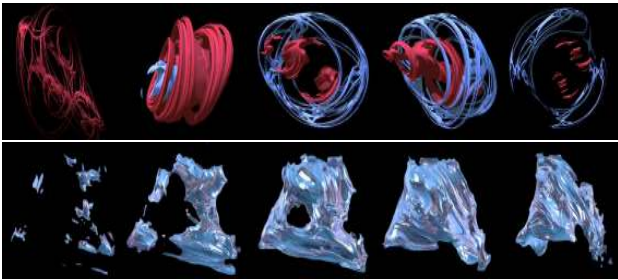


그림 10. 컴퓨터 프로그램(Dyna MASZ)을 이용하여 생성한 비결정형 프랙탈이미지

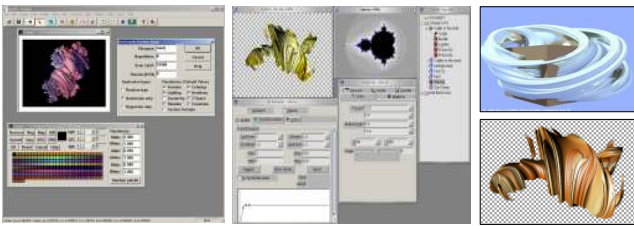


그림 11. 컴퓨터 프로그램(Chaos Pro)을 이용한 비결정형 3D프랙탈 이미지 생성

3.2 프랙탈 건축의 한계와 건축적 적용

현재까지 발표된 프랙탈 기하학의 건축적 적용에 관한 선행연구는 프랙탈 기하학이론의 설명과 건축 작품사례를 위주로 프랙탈 기하학이 적용되었음을 살펴보는 것이 대부분이다. 형태생성자의 선택에서 생성알고리즘의 이용 그리고 다이어그램 등을 이용한 공간적 구축, 마지막으로 여러 조건들에 의한 변형과정을 통해 건축물의 형태가 생성되며 이는 프랙탈을 이용한 건축이라고 명시하고 있다. 하지만 이러한 주장들은 건축물의 형태가 생성되기까지의 과정 중 프랙탈 기하학이 적용된 부분은 단지 프랙탈 기하학의 생성 알고리즘인 조형원리를 적용시켰을 뿐 자연의 형태를 닮고자 하는 프랙탈이 근본적으로 추구하는 이미지는 찾아보기 힘들다. 다시 말하면 프랙탈에서 말하는 형태 생성자가 건축의 형태생성자로 사용되어지고 있다는 말은 그 형태 생성자가 어떤 기하학적인 형태가 되어도 상관없다는 말과도 상통한다.

그렇다고 해서 기존매체에 발표된 수많은 프랙탈의 건축적 적용에 관한 주장들을 무시할 수 없는 것은 건축형태가 지향하는 것이 진정한 프랙탈 이미지인 자연의 형태를 추구하는 것에도 의미가 있지만 프랙탈 기하학의 형태 생성자와 알고리즘의 일부를 차용해와 이를 건축적

으로 해석하여 건축적 형태를 생성시키고자 하는 시도역시 중요한 하나의 건축 형태 생성방법이 될 수 있기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 프랙탈의 결정형으로 볼 수 있는 형태생성자의 알고리즘을 통해 생성된 건축형태생성을 직접 계획 작품을 통해 적용해보고자 한다. 이러한 시도역시 프랙탈 기하학의 일부 알고리즘을 차용한 건축적 적용이라는 한계를 지니고 있지만 이러한 방법 또한 건축형태생성의 좋은 하나의 방법으로 자리 잡을 수 있기 때문이다.

3.3 프랙탈 기하학을 적용한 건축사례

프랙탈 기하학 분야에서는 수학자들의 연구에 의해 많은 종류의 알고리즘이 발표되었다. 그러나 건축에 있어서는 이들 알고리즘을 혼합하여 사용하거나 다른 건축적인 특수성과 함께 사용하기 때문에 프랙탈 기하학의 단순한 알고리즘만을 적용해 형태를 생성 하는 것은 아니며, 주된 건축형태 생성과정에 다양한 프랙탈 생성 알고리즘을 적용하여 형태생성을 하고 있음을 알 수 있다.

(1) 빅토리아 앨버트 뮤지엄(the Victoria & Albert Museum, 1996), 롬(the ROM), Daniel Libeskind



그림 12. the Victoria & Albert Museum, the ROM, Daniel Libeskind



그림 13. the Victoria & Albert Museum 프랙탈 알고리즘에 의한 형태생성, Daniel Libeskind

다니엘 리베스킨드의 롬(the ROM)과 빅토리아 앨버트 뮤지엄(the Victoria & Albert Museum)은 프랙탈의 특성 중 하나인 자기유사성이 잘 드러난 사례이다. 나선을 형태생성자로 하여 변형, 스케일링, 그리고 중첩이라는 프랙탈 알고리즘을 통하여 건물의 형태를 생성하고 있다. 프랙탈 알고리즘을 이용하여 변형된 기하학적인 나선은 서로 겹쳐지고 각이 변형되는 과정을 거쳐 내력벽으로서의 역할을 하게 된다. 직진과 후퇴를 반복 하는듯한 다양한 궤적에 따라 배치된 기하학적인 형태는 중첩되는 사이공간을 생성하게 되고 이러한 공간은 현대의 다양성과 복잡성을 그대로 표출하게 되는 것이다. 외벽의 재료 역시 세라믹 타일을 동일한 패턴으로 반복 사용하여 기하학적인 형태로 변환 나선의 자기유사성을 더 강조하는 역할을 하고 있다.

(2) 스프링 텍처 H(Springtecture H Public Toilet, 1998), 스프링 텍처 A(Springtecture A Art Museum Aomori, 2000), Shuhei Endo

슈에이 엔도의 스프링 텍처 H(Springtecture H)와 스

프링 텍처 A(Springtexture A)는 끝없는 연속성을 획득하는 공간추구를 위해 형태생성자인 원형의 스케일링의 조형원리가 적용된 사례이다. 원형의 형태 창시자(Form Imitator)는 축소와 확대의 스케일링 과정을 거쳐 수직으로 이동하고 회전한다.



그림 14. Springtexture H, Shuhei Endo, 1998

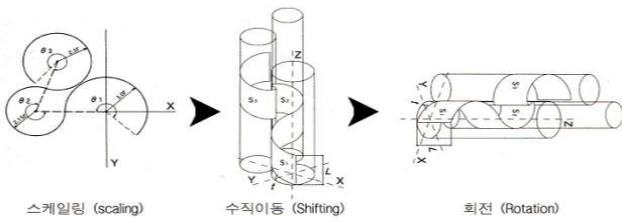


그림 15. Springtexture H, Shuhei Endo, 1998의 프랙탈 알고리즘

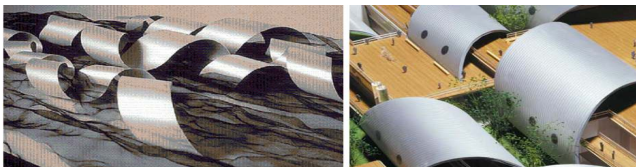


그림 16. Springtexture A, Shuhei Endo, 2000

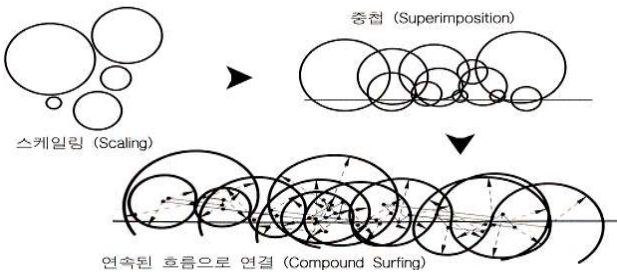


그림 17. Springtexture A, Shuhei Endo, 2000의 프랙탈 알고리즘

생성자들의 위치변환에 의해 중첩된 곡면은 연결되어 3차원의 방향성을 갖는 연속된 면이 된다. 연속된 면은 골판 메탈 스킨의 재료에 의해 흐르는 듯한 부드러운 곡면을 만들어낸다.¹¹⁾

(3) 셰이크 자이드 국립박물관(Sheikh Zayed National Museum), 막스 라인하르트 하우스(Max Reinhardt Haus), Peter Eisenman, 2007, 1992

피터 아이젠만이 아랍 에미리트 아부다디에 계획한 셰이크 자이드 국립박물관(Sheikh Zayed National Museum, 2007)과 아이젠만의 대표적인 주름기법(folding)

11) 이성구, 김광배, 슈에이 엔도 건축에 나타나는 프랙탈 기하학의 형태생성 알고리즘에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2004.06 참고, 그림15, 17의 다이어그램은 p189 [표5]형태생성알고리즘 다이어그램 인용

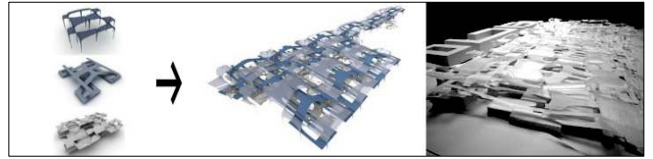


그림 18. Sheikh Zayed National Museum, Arab Emirates, Peter Eisenman 2007

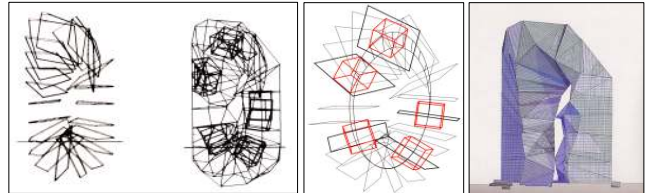


그림 19. Max Reinhardt Haus, Peter Eisenman 1992

의 사례인 막스 라인하르트 하우스(Max Reinhardt Haus, 1992)작품역시 결정형 프랙탈 개념으로 해석할 수 있다. 셰이크 자이드 박물관의 경우 기본형태생성자를 변형해 기본단위 건축형태를 만들고 이를 반복, 중첩하는 프랙탈 알고리즘을 이용하여 건축형태를 생성하고 있다. 막스 라인하르트 하우스는 기본적인 사각 형태를 피비우스티의 패스를 따라 프랙탈 알고리즘의 반복과 변형으로 형태를 생성시키며 내부역시 형태 생성자를 큐브로 설정함으로써 킴으로써 전체적인 형태를 구성하고 있다.

(4) 카디프 오페라하우스(Cardiff Bay Opera House), Greg Lynn, 1994



그림 20. Cardiff Bay Opera House, Greg Lynn

그렉 린의 카디프 오페라하우스(Cardiff Bay Opera House, 1994)의 경우 땅에서 물로 뺀어 나가며, 땅을 잘게 썬 패턴을 이용해 사이트 내부에 흐르는 새로운 인터페이스로 물과의 접촉을 유도해 단일체가 아닌 프로그램과 공간이 어우러진 새로운 공간을 창출하려는 그의 의도는 잠재된 땅과 물의 맥락을 읽어 드러내는 주름(fold)과 리즘(rhizome)의 사유에서 비롯되었으며 형태적으로 살펴보면 기하학적인 타원형의 형태 생성자를 해안선의 프랙탈 모습을 오페라극장까지 연장함으로써 스케일링(scaling)과 변형(deformation)을 하는 프랙탈 기하학의 형태 생성알고리즘을 이용하여 풀고 있다.¹²⁾

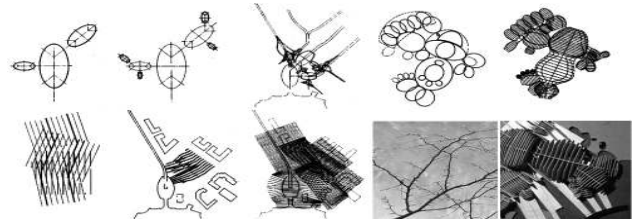


그림 21. 결정형 프랙탈개념을 branch, lattice라는 형태 생성언어로 설명하는 Cardiff Opera House, Greg Lynn, 1994.

12) 그렉 린은 프랙탈 기하학의 형태 생성알고리즘을 형태 생성언어에서 branch로 설명하고 있다.

(5) 라즈백 스타디움과 스테튼 아일랜드 뮤지엄 (Razorback Stadium Expansion and The Staten Island Museum - SIAS), Peter Eisenman, 1999, 2001



그림 22. Razorback Stadium Expansion, Peter Eisenman, 1999



그림 23. The Staten Island Museum - SIAS (Institute for Arts and Sciences), Peter Eisenman, 2001

피터 아이젠만의 라즈백 스타디움(Razorback Stadium Expansion, 1999)과 스테튼 아일랜드 뮤지엄(The Staten Island Museum - SIAS, 2001)의 경우 대표적인 비결정형 프랙탈 개념의 건축 형태생성작품사례로 볼 수 있다. 앞서 언급한 끝개나 우연한 형태 생성자를 형성하는 3차원 프랙탈 형태생성자로부터 건축의 기본적인 형태를 구성하는 작업의 시도를 볼 수 있는 것이다. 이러한 형태들은 비 결정형 프랙탈의 형태생성자로 만들어진 건축형태는 프랙탈 기하학의 알고리즘을 이용하기보다는 형태 생성자 자체가 가지는 우연한 형태에서 그 이미지를 차용하는 경우가 더 많다. 결정형 프랙탈이 단순한 기하형태의 형태 생성자를 끝없이 반복하거나 스케일링 등 프랙탈 알고리즘을 이용해서 자연형태에 가까운 프랙탈 이미지를 만드는 반면, 비결정형 프랙탈은 형태 생성자 자체가 이미 알고리즘을 이용한 것처럼 자연의 이미지에 접근하고 있는 이유로 알고리즘을 이용하기보다는 형태생성자의 이미지를 차용해오는 것이 더 자연의 이미지에 가깝게 다가갈 수 있는 것이다.

4. 프랙탈 기하학의 건축적 적용

프랙탈 기하학의 건축적 적용을 본 논문에서는 건축계획사례의 계획과정을 통하여 살펴보고자 한다. 본 작품은 저자가 지도한 학생작품이며 형태생성자의 결정 단계에서부터 출발하여 건축화한 작품인 까닭에 결정형 프랙탈 개념이 건축화 하는 과정과 그 방법적 도구로서의 효과를 쉽게 확인하게 될 것이다.

사례의 작품은 철강 산업과 항만산업이 발달된 포항송도동에 위치한 [이동 가능한 상리공생 수변시설계획안]으로 산업시설물의 해수오염으로 인해 해수욕장 모래유실, 해수온도상승 등 물의 기능은 떨어지고 대중들의 관심은 물로부터 멀어지고 있는데 대한 해양시설의 활성화방안으로 계획한 작품이다.

작품의 건축형태생성 프로세스는 먼저 형태 생성자를 결정하고 다음으로 생성된 형태 생성자에 맞게 규모계획

을 한뒤 이를 프랙탈 알고리즘을 통해 건축형태화 하는 프로세스로 진행하였다.

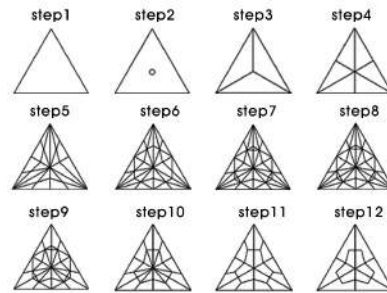


그림 24. 단위 형태생성자 결정과정

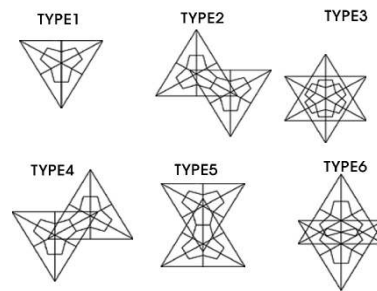


그림 25. 형태생성자의 단위유닛변화

4.1 형태생성자의 결정

형태생성자의 결정은 건축 환경에 따라 많은 요소들이 생성자로 선택될 수 있다. 특히 대지가 위치한 지역의 특수성은 건축물의 형태에 많은 영향을 미치는 만큼 그 형태 생성자 역시 지역의 특수성에 영향을 받는다. 본 사례에서는 두 지역모두 해변

을 끼고 있는 도심지와 해변가에 건축물을 계획하고자 하며 형태 생성자를 결정하는 요소로 지역적으로 쉽게 볼 수 있는 방과제와 논의 결정체 그리고 벌집과 땅의 형태에서 형태 생성자를 추출했다.

형태생성자의 기본 형태를 추출하면 형태생성자의 결정을 위한 변형과정을 거친다. [그림25] 이러한 과정은 형태 생성자가 규모계획에 적합하도록 건축화를 하기위한 필수 과정이며 이러한 과정을 통하여 단위 생성자를 결정하고 이렇게 결정된 단위 생성자는 또다시 유닛변화가 가능한지를 점검함으로써 프랙탈 알고리즘에 적용시킬 수 있는 형태 생성자가 결정되는 것이다.

4.2 단위공간의 생성과 프랙탈 알고리즘의적용

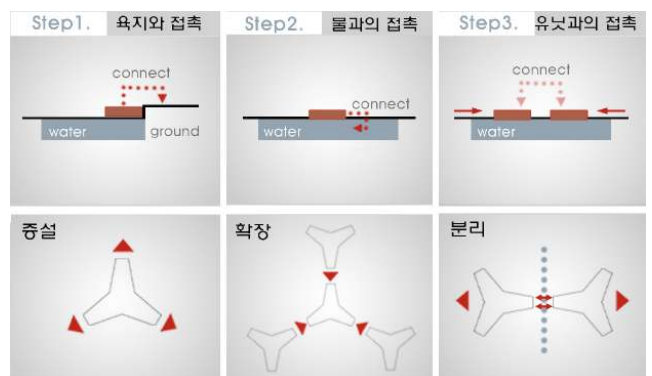


그림 26 형태생성자의 주변요소와의 관계맺기, 프랙탈 알고리즘을 통한 증설, 확장, 분리

이렇게 결정된 건축 형태 생성자는 주변요소와의 관계맺기와 프랙탈 알고리즘을 이용하여 입체적인 건축형태로 변하게 된다. 즉 프로그램에 의한 각각의 공간들을

반복과 중첩의 프랙탈 알고리즘에 의해 형태생성을 유도한다.

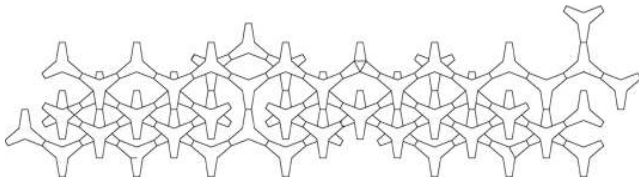


그림 27. 반복 알고리즘에 의한 형태생성



그림 28. 형태생성자의 단위유닛변화

Structure Diagram

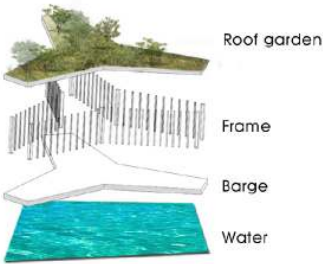


그림 29. 단위형태 구조개념

생성자들은 이제 단위 공간의 성격을 가지고 프로그램에서 제시된 면적을 충족시키는 볼륨들을 형성케 된다. 상황에 따라서 형성된 볼륨은 건축형태 생성자의 기본적 크기에서 규모계획의 결과에 따라 다양한 크기로 스케일링 할 수 있다. 본 계획안은

형태 생성자의 변화를 통해 결정된 단위형태를 규모계획에 맞게 크기를 재조정하고 이의 반복과 중첩작업을 통해 다양한 볼륨을 구성하였다. 단위 구조형성은 물위의 데크와 구조체를 지지하는 프레임 과 내부의 기능에 따른 공간, 그리고 상부루프의 친환경적인 가든을 조성하는 개념으로 단위형태를 구성하였다. 이렇게 만들어진 단위형태는 다시 땅과 물과 각 유닛과의 관계맺기를 통해 증설, 확장, 분리개념으로 프랙탈 알고리즘의 반복, 중첩작업을 이용해 전체적인 건축형태를 생성시키고 있다.

4.3 건축 계획적 개념과 평면 및 단면계획

본 계획안은 물과 인간의 관계맺기를 통한 다양성을 표현하려는 기본적인 개념에서 출발하였다. 자연과 도시, 과거와 미래, 바다와 육지, 문화와 산업 그리고 인간의 육체와 정신이라는 대립되는 언어들을 수용할 수 있는 멀티플 공간구축을 물과 인간의 관계를 통해 표현하고자 시도 하였으며 이러한 시도는 단위형태의 반복과 중첩으로 형태화되고 있다. 각 공간의 구성은 인간이 물에대한 관심을 고조하기 위해 물과의 관계구성에 중점을 두었으며 이러한 관계는 단위공간의 중첩으로 시각적인 관계맺기와 직접적인 보행을 통한 관계맺기로 풀고자 하였다. 각 단위공간을 연결시켜주는 매개공간 역시 같은 단위형

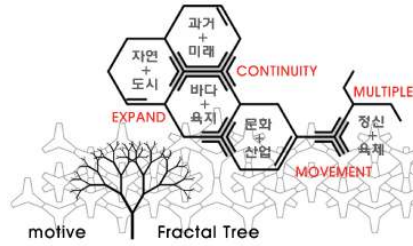


그림 30. concept

태의 테크로 전체적인 형태가 건축 형태생성자의 반복에 의해 형성됨을 보여준다. 결과적으로 프로그램과 사용주체의 흐름에 따라 건축 형태생성자의 선택과 결정, 형태생성자의 기본적인 공간구성에 적합한 형태로의 변형을 통해 생성된 건축형태생성자의 프랙탈 알고리즘의 반복과 중첩이라는 조형원리에 따라 전체적으로 프로그램과 공간구성에 적합한 형태로 구축되어 가게 된다.

태의 테크로 전체적인 형태가 건축 형태생성자의 반복에 의해 형성됨을 보여준다. 결과적으로 프로그램과 사용주체의 흐름에 따라 건축 형태생성자의 선택과 결정, 형태생성자의 기본적인 공간구성에 적합한 형태로의 변형을 통해 생성된 건축형태생성자의 프랙탈 알고리즘의 반복과 중첩이라는 조형원리에 따라 전체적으로 프로그램과 공간구성에 적합한 형태로 구축되어 가게 된다.

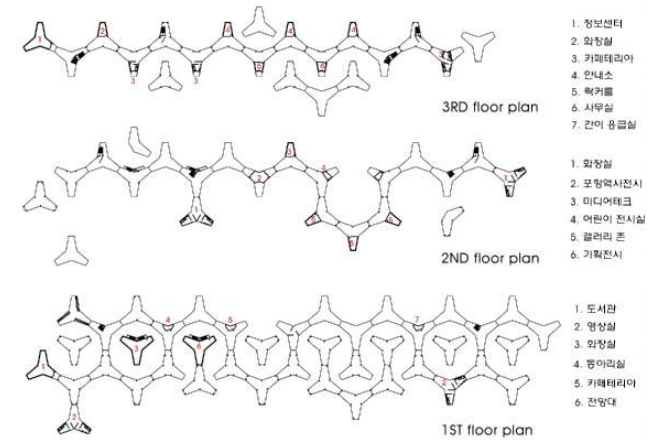


그림 31. 평면도

Section Diagram

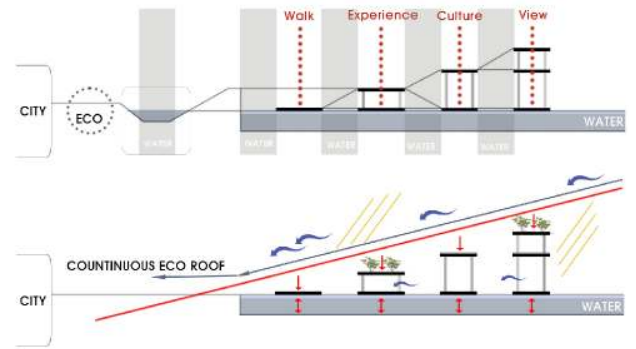


그림 32. 단면 다이어그램

Continuity

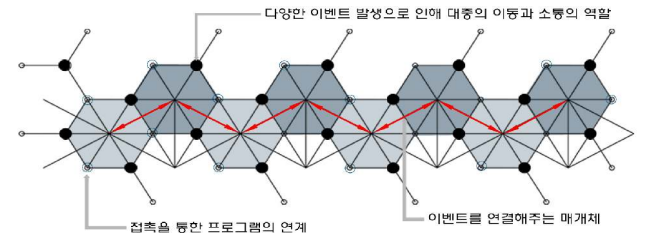


그림 33. 평면구성 프로그램을 표현하는 다이어그램

이렇게 생성된 건축형태는 구체화과정을 거쳐 실제적으로 사용가능한 공간을 구성하게 되며 최종형태로 정리된다.

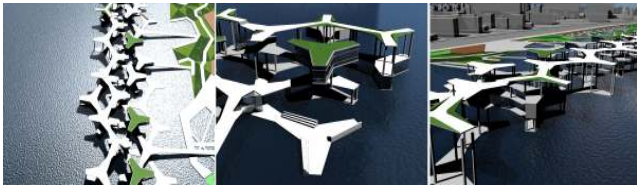


그림 34. 완성된 형태이미지



그림 35. 완성된 조감도

5. 결 론

프랙탈 기하학의 형태 생성분야를 심도 있게 살펴보고 실제 건축계획에 프랙탈 기하학의 형태생성 알고리즘을 적용시켜 프랙탈 기하학을 적용한 건축 형태생성의 가능성을 살펴보았다. 그 결과 프랙탈 기하학의 형태생성은 건축적으로 아주 유용한 하나의 형태생성방법을 제시하고 있음을 알 수 있었으며 이러한 방법을 이용하여 건축 계획적인 접근을 시도하였다. 복잡하고 다양한 현대사회에서 건축의 형태생성분야가 추구하는 것은 자연으로 돌아가고자 하는 것임을 부인할 수 없다.

엄밀히 말하자면 본 논문에서 살펴본 것과 같이 자연을 표현하고자 하는 건축형태는 프랙탈이라 말할 수도 있겠지만 근본적인 사유의 표현으로 해석함이 옳을 것이라 생각한다. 하지만 건축형태와 공간생성에 있어서 프랙탈은 분명 훌륭한 하나의 기법을 제시하고 있으며 프랙탈이 추구하고자 하는 근본적인 사유가 무엇이든 간에 불확실한 현대의 다양한 문화현상의 구축 질서를 파악하기 위한 도구로서 혹은 다양하고 복잡한 인간 행태들을 담기 위해 급변하는 프로그램들을 효과적으로 지원할 수 있는 공간 형태를 생성하는 도구로써 분명 프랙탈 기하학은 그 역할을 충분히 담당하고 있다고 생각한다.

다만 한 가지 아쉬운 점은 여러 선행연구들에서도 볼 수 있는 것처럼 프랙탈이 나타내는 공간의 궁극적인 목적인 자연과의 동화, 자연의 표현에 다가가지 못하고 형태 생성자와 프랙탈 기하학의 생성알고리즘의 일부만을 차용해와 건축형태화 하고 있다는 점이다. 이러한 점은 후속연구를 통해 좀 더 깊은 프랙탈 공간에 대해 연구를 해야 할 것이며 특히 프랙탈 비결정형개념의 알고리즘인

끝개와 같은 디지털 매체에 적극적으로 의존하는 형태생성분야는 더 많은 시간을 통해 연구를 해야 될 것으로 생각한다.

참고문헌

1. 김수경, 「프랙탈 기하학을 이용한 건축형태 생성 방법에 관한 연구」, 한양대학교 대학원 석사논문, 2000.
2. 김주미, 「프랙탈 개념에 기초한 조형원리와 표현특성」, 한국실내디자인학회 논문집, 2003.4.
3. 이경훈, 윤용배, 「프랙탈 기하학 이론의 건축적 적용에 관한 연구」, 대한건축학회논문집, 2006.11.
4. 이명식, 「건축디자인에서 프랙탈 기하학의 적용에 관한 연구」, 대한건축학회논문집, 2009.5.
5. 이성구, 김광배, 「슈에이 엔도 건축에 나타나는 프랙탈 기하학의 형태생성 알고리즘에 관한 연구」, 대한건축학회논문집, 2004.06.
6. 강훈, 『디지털 디자인 건축』, 2005.
7. 김승환, 『프랙탈』, 공간, 1993.
8. 김용운·김용국 공저, 『프랙탈과 카오스의 세계』, 도서출판 우성, 2000.
9. 심광현, 『프랙탈』, 현실문화연구, 2005.
10. 이정우, 『주름, 갈래, 울림』, 거름, 2001.
11. Carl Bovill, Fractal Geometry in Architecture & Design, Birkhauser, 1991.
12. Edward D. Lorenz, The Essence of Chaos, Univ. of Washington Press, 1996.
13. Greg Lynn, Folds, Bodies & Blobs collected essays, 1998.
14. J. Howlett, Fractal Geometry: Theory and Application, Kogan Page, 1991.
15. Peter Eisenman, Diagram Diaries, Universe Publishing, 1999.

논문접수일 (2009. 10. 22)

심사완료일 (1차 : 2009. 11. 22, 2차 : 해당없음)

게재확정일 (2009. 11. 26)