

**프랙탈 개념에 기초한 조형원리와 표현특성

- 회화와 공간조형을 중심으로 -

The Design Principles and Expressive Characteristics Based on Fractal Concepts

- Focused on Painting and Space Design -

김주미* / Kim, Joo-Mi

Abstract

The purpose of this study is to propose a new design principles and to analyze the pattern of art and architecture applying fractal concepts. As this study is based on fractal geometry as a natural science, I intended to explain the concepts and provide some methods of generating fractal properties. Two major aspects are discussed.

Frist, fractals are geometric shapes that are self-similar, in other words, they iterate a basic shape at ever increasing a decreasing dimensions. Self-similarity, irregularity, and scaling are fundamental characteristics of fractal geometry.

Second, the fractal concepts of art and design can be analyzed and used as a critical tool. In both criticism and design, fractals provides a tool In fine, fractal geometry can be provided endless possibilities for artists and designers intended in expressing the more complex underlying rhythms and organic patterns of nature.

키워드 : 자연패턴, 프랙탈기하학, 자기유사성, 어트랙터, 반복 패턴

1. 서론

과학과 예술은 자연을 보는 방법에 있어 유사성이 있으며 새로운 자연과학적 발견은 인간의식의 진보를 가져왔다. 최근 자연의 복잡성(complexity)을 연구하는 카오스이론은 비선형동력학 이론과 실험도구로서 디지털미디어를 결합시켜 자연현상의 새로운 규칙들을 밝혀내고 있다. 본 연구에서 다루어지는 프랙탈 개념은 이러한 새로운 자연과학적 발견에 기초한 기하학이론으로 자연의 패턴이 갖는 카오스 현상과 복잡성을 설명해 주는 수학적 모델이다.

모더니즘의 주된 예술형식은 동일성의 원리에 기초한 순수한 기하학적 형상이다. 유클리드 형상과 정확한 반복패턴으로 이루어진 예술형식의 표면과 구조는 많은 부분 자연의 본성이 제거된 것이라고 생각된다. 이러한 형식원리는 자연으로부터 스스로를 구별하기 위한 것으로 우리의 환경으로부터 프랙탈을 제거했다고 본다. 따라서 종래의 환원적 결합방식과 획일화된 단조로운

환경에서 벗어나 이를 극복하고 보완할 수 있는 새로운 생태학 적이며 유기적인 조형언어가 요구되고 있다.

1977년 만델브로트(B. Mandelbrot)에 의해 개념화된 프랙탈은 최근 혁신적인 예술가, 디자이너들에게 새로운 조형적 변수로 작용되어 지고 있으며 고도의 기술문명 사회에 직면한 기계적 환경에서 프랙탈 형식과 자연에 기초한 디자인은 더욱 더 그 필요성이 제기되고 있다.

본 연구는 회화, 공간조형의 시각적, 구조적 조직화와 배치에 대한 것으로 프랙탈 특성과 패턴이 어떻게 실체화 되는가에 대한 방법과 표현특성의 분석에 대한 것이다. 이를 통해 자연의 기하학인 프랙탈의 조형적 특성과 그 적용가능성에 대한 기초적 정보를 제공하는 것이 연구의 목적이다. 연구 절차와 방법은 다음과 같다. 첫째, 프랙탈의 조형적 특성에 대한 주제적 개념들을 이해하기 위해 자연과학에서 제기된 새로운 자연인식과 프랙탈 개념 및 생성원리를 다루기로 한다. 둘째, 프랙탈의 주된 특성인 자기유사성과 어트랙터에 대해 살펴보고 이와 관련된 구체적 조형원리를 제시하기로 한다. 셋째, 프랙탈 조형원리에 기초한 회화, 공간조형을 중심으로 표현특성을 분석하고자 한다. 이 과정에서 제시된 작품은 대부분 프랙탈 언어를 사용했지만 이 개념

* 정회원, 원광대학교 환경디자인전공 부교수

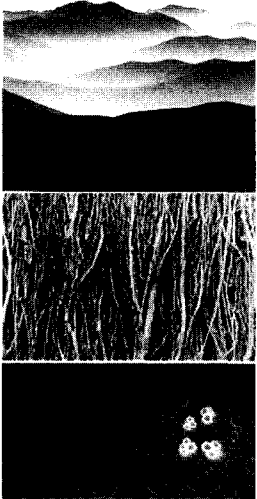
** 이 논문은 2002년도 원광대학교 교비지원에 의해서 연구됨

이 체계화되기 이전의 여러 작품들도 프랙탈 관점으로 선택되어 제시되었다. 위와 같이 연구과정을 통해 프랙탈 조형의 적용가능성에 대한 방법을 구체화 할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 프랙탈 개념과 조형적 가능성

2.1. 자연패턴의 기하학적 특성

과학자들은 수학이라는 언어를 사용하여 자연연구를 발전시켜 왔다. 수학은 패턴의 과학으로 그 발전과정은 자연의 패턴을 발견하고 그 패턴 속에 숨어 있는 질서와 규칙을 밝혀내려는 노력과 함께 이루어져 왔다. 이처럼 인간, 자연을 포함한 자연계 및 인공계는 무수한 패턴과 구조로 형성되어 있다. 반복 패턴은 자연현상 속에 있는 근본적인 조직원리로 음악, 시, 무용에서는 시간적 간격에 의해서 반복이 나타나며 조각, 건축에서는 공간적 간격에 의해서 반복이 이루어진다. 이러한 반복 패턴은 통일과 질서를 이루기 위한 조형적 원리가 된다. 또한 패턴은 건축형상의 본질적 구성원리로 과거 역사적으로 건축은 수학의 한 부분이었으며 그 시대마다 조형적 모듈과 패턴이 다르게 제시되어 왔다.



<그림 1> The Patterns of Nature

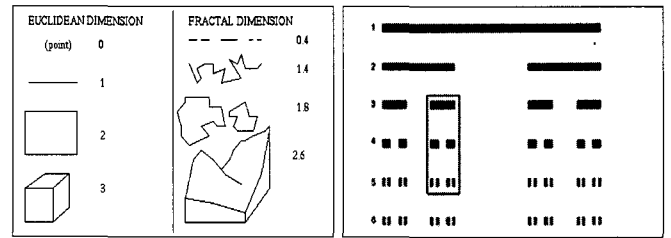
가 아니라 복잡계²⁾로 이루어졌으며 자연이 외관상 비규칙적이고 비예측적이어서 무작위적인 운동으로 보이지만 그 비규칙성의 이면에는 잘 정의된 질서 구조가 공존한다는 사실을 과학자들은 밝혀냈다. 무질서하고 우연으로 보았던 많은 자연현상 속에 결정론적인 기하학적 패턴이 숨겨져 있음을 의미한다. 따라서 자연패턴은 나름대로의 조직논리를 가지고 있으며 본질적으로 ‘패턴화된 질서’(patterned order)를 보여 준다.

1)B. Mandelbrot, Fractals, in Hall, N., Ed, Exploring chaos, N.Y.: W.W. Norton & Co., 1991, pp.122-123

2)복잡계란, 대강 복잡하지만 조직화된 (complicated but organized) 이라는 의미이다. 자기조직화의 일정한 요소를 가진 계로 계가 시간이 지남에 따라 무질서해지는 것이 아니라 어떤 패턴으로 질서를 잡아가는 것을 말한다. 인간, 자연을 포함한 생명체들을 자기조직화를 보여주는 좋은 예가 된다.

2.2. 조형의 새 변수로서 프랙탈

만델브로트에 의해 제안된 프랙탈은 자연계의 구조적인 비규칙성을 기술하고 분석할 수 있는 새로운 기하학으로, 동력학에서 다양하게 나타나는 카오스현상을 정량적으로 기술할 수 있는 새로운 언어를 제공한다. 프랙탈 패턴은 자연에서 흔히 볼 수 있는 비규칙적인 형상으로 고사리 잎의 가지치기 모양, 구름의 부정형 패턴, 번개의 비규칙적 궤적, 산과 해안선의 들쭉날쭉한 모양 등을 들 수 있다. 다른 예로는 눈의 결정체, 전기 방전의 패턴, 마른 진흙의 갈라진 모양, 유체의 난류 패턴, 신경의 구조, 은하계의 비정규적 분포 등 분자 단위부터 천문학 단위까지 모든 크기의 자연계 현상에서 나타난다. 자연환경의 구성 안에는 대부분 단순한 프랙탈이 아니라 멀티프랙탈(multifractals)로 되어 있다. 여러 개가 겹쳐진 것으로 카오스의 복잡성을 보여주는 좋은 지표가 된다.<그림1>



<그림 2> Euclidean Dimension & Fractal Dimension/ Cantor Set

유클리드기하학이 순수하고 보편적인 도형의 세계를 추구한다면, 프랙탈기하학은 무한한 미분과 관계되며 감각적이고 유연적인 역동성을 강조하게 된다. 또한 유클리드 기하학에서 선은 1차원, 평면은 2차원, 그리고 보통 우리가 사는 공간은 3차원으로 정의되었으며 이제까지 모든 계들은 정수(integer)로 된 차원을 가지는 것으로 간주되어 왔다. 그러나 자연은 그렇게 단순한 형태를 나타내는 일이 거의 없다. 예를 들어 1.4차원, 2.6차원 등의 비정수(non-integer)차원으로 수량화된다. 이러한 비정수차원을 프랙탈 차원이라 한다.<그림2>

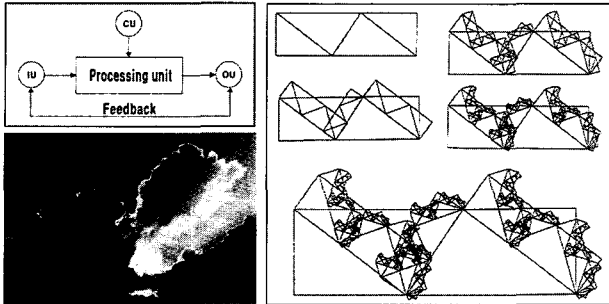
위와 같이 새롭게 인식된 자연은 비유클리드 형상으로 프랙탈 개념으로 설명이 가능하게 되었다. 프랙탈은 자연의 본질이 기계적, 선형적인 특성이 아니라 유기적이고 비선형적이라는 새로운 자연관을 제시하며 자연의 미학적 본성과 관계되는 개념이라 할 수 있다. 따라서 프랙탈 기하학은 새로운 수학적 도구로 형상과 공간 구성 및 비평적 도구로 사용되어질 수 있다. 다시 말해 프랙탈은 디자인과 분석, 비평을 위한 새로운 조형언어로 디자이너로 하여금 새로운 관점과 자연에 대한 이해에 있어 창조적 직관을 갖게 하며 무한한 조형적 가능성을 제공한다고 생각된다.

3. 프랙탈 특성과 조형원리

3.1. 반복 시스템의 생성원리

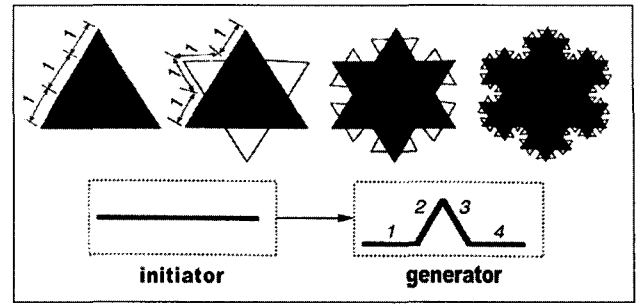
프랙탈을 생성하는 중요한 방법³⁾은 반복 규칙(iterated rule)이다. 간단한 규칙을 무한히 반복하는 IFS(Iterated Function System)기법에 의해서 가능하다.⁴⁾ 이를 통해 자연계의 비규칙적인 패턴이나 구조를 기하학적으로 나타낼 수 있다.⁵⁾ <표1, 그림3>

<표 1> The Iterator, Principle of Feedback



<그림 3> Cloud Pattern by IFS

프랙탈 이미지는 컴퓨터로 이루어지지만 트래싱지나 복사기계를 활용함으로써 생성해 낼 수 있다. 대부분의 프랙탈 이미지는 반복 연산, 즉 비선형 피드백의 수학적 형태를 가진 일련의 방정식을 이용하여 컴퓨터로 만들어진다. 따라서 프랙탈 방정식은 유클리드 형상을 그리지 않게 된다. 반복 연산과정에서 갑작스런 비예측적 현상이 나타나게 되며 작은 변화가 극적인 영향을 일으킬 수 있기 때문이다. 또한 피드백 시스템에는 어떠한 수치가 프랙탈 방정식의 한 면에 입력되고 방정식이 결과를 산정해 내면 그 다음 결과는 방정식에 다시 대입되어 진다. 새로운 결과는 다시 대입되며 방정식을 다시 한번 반복 수행하게 된다. 이렇게 자신이 만든 결과로 다시 자신의 상태를 조절하는 비선형 피드백은 자기조직화의 가장 중요한 특징으로 질서의 갑작스런 창발과 불안정성을 일으키는 기반이 된다. 이러한 불안정성과 복잡성은 자발적 조직화와 질서화를 촉진시키게 된다. 그 이유는 작은 변화들이 자기강화적 피드백에 의해 반복적으로 증폭될 수 있기 때문이다.⁶⁾ 이것은 생성에 관여하는 정보의 작은 변화가



<그림 4> Koch Curve(initiator & generator)

복잡한 구조를 야기시키고 궁극적으로 형태의 상당한 변화를 가져올 수 있음을 의미한다.

프랙탈 도형을 만들 때 개시자(initiator)는 최초의 직선이나 도형이고 생성자(generator)는 개시자의 반복 방법을 의미한다. 개시자와 생성자의 반복에 의해 프랙탈을 생성하게 되는데 이 과정에서 임의적인 요소를 도입하여 크기와 형태 특징을 임의로 바꾸어 나감으로써 비규칙성을 구현해 낼 수 있게 된다.<그림4>

3.2. 프랙탈 패턴의 기하학적 특성

만델브로트는 자연의 불규칙한 패턴과 무한히 복잡한 형상에 대한 연구에서 나타나는 공통적인 특성을 자기유사성(self-similarity)으로 보았으며 자연현상을 해석하는 강력한 도구로 설명했다. 프랙탈은 무한히 작은 축적에 이르기 까지 자기유사성을 갖는 비정수 차원의 복잡한 기하학적 물체이다. 또한 프랙탈은 카오스 운동의 기하학적 측면이라고 할 수 있는데, 이는 카오스 운동이 위상공간에서 전형적인 프랙탈 구조를 갖기 때문이다. 프랙탈 형상의 기하학적 특성은 다음과 같다.



<그림 5> Similar Patterns of Cauliflower/ Lorenz Attractor

첫째, 전체와 부분이 유사한 구조를 갖는다. 자기유사성은 어느 부분을 잘라 보아도 전체의 모양과 닮아 있다. 부분 속에 전체가 들어 있는 구조로 부분이 전체를 반영하는 반복 구조를 의미한다. 꽃양배추인 콜리플라워 형상과 같이 멀리서 보면 그 모양이 잘 정의된 윤곽을 지닌 것처럼 보인다. 그러나 좀 더 가까이 들여다보면 그 매끈한 윤곽이 사라지게 되며 비규칙적 구조가 나타난다. 크기가 변하더라도 작은 덩어리들이 나선형으로 모여 큰 덩어리를 이루고 있다.

<그림5>

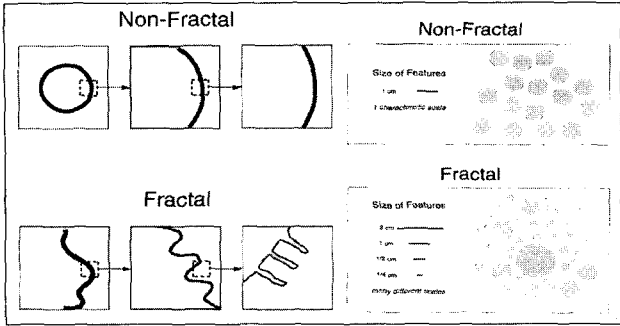
둘째, 프랙탈 형상은 비규칙적, 비대칭적 구조이다. 유클리드 형상과는 반대로 전혀 규칙적이지 않다. 즉 선형적인 자기 유사성이 아니다. 삼각형, 원, 구, 원통 등과 같은 전통기하학의 형태들

3)수학적 관점에서 프랙탈은 3가지의 형태로 분류된다. 첫째, IFS방법으로 초기형상의 반복에 의해 형성되는 프랙탈로 곡선(curve)과 어떤 방향(vector)의 집합을 이용해서 생성되는 형상이다. 코흐 눈송이(Koch Snowflake), 칸토르 집합(Cantor Set), 반줄리의 양치식물(Barnsley's Fern), 드래곤 곡선(Dragon Curve) 등이 이에 해당된다. 둘째, 복소수 프랙탈(Complex Number Fractals)로 만델브로트집합(Mandelbrot Set), 줄리아 집합(Julia Set)이 해당된다. 셋째, 궤적 프랙탈(Orbit Fractals)로 바이퍼케이션(Bifurcation)을 포함하는 로렌즈 (Lorenz), 로슬러(Rossler), 에농(Henon), 피코버(Pickover) 등 카오스이론과 관련된다.

4)T. Pappa, The Magic of Mathematics, San Carlos: Wide World Publishing, 1994, pp.50-51

5)H.O.Peitgen, H. Jurgens,& D. Saupe, Chaos and Fractals, N.Y.: Springer-Verlag, 1992, p.17 수학적 피드백 루프는 반복(iteration, 원래 라틴어 로 repetition 이라는 뜻을 갖음)에 의한 비선형 과정으로 초기 값을 입력(IC) 하면 조절변수(CU)에 의해 출력(OU)이 만들어지고 다시 출력 값이 입력 값으로 개입되는 것을 말한다.

6)F. Capra, 생명의 그물, 김용정·김동광 역, 범양사, 1998, p.170



<그림 6> Non-Fractal & Fractal

의 크기를 확대하면 그 구조는 없어진다. 그러나 프랙탈 형상 부분을 점점 확대, 축소하더라도 단순해지지 않으며 비규칙성의 정도가 계속 나타나는 자기유사성을 나타낸다. 그 비규칙성의 정도가 크거나 작아져도 통계적으로 유사성을 갖게 된다.⁷⁾<그림6>

만델브로트에 의하면, 시어핀스키 개스킷(Sierpinski Gasket)이나 코흐곡선(Koch Curve)은 모든 부분이 전체와 정확히 일치하기 때문에 선형적인 자기유사나 대칭구조를 갖고 있다고 보았다. 그러나 프랙탈은 엄격한 자기유사나 단조로운 반복이 아니며 완전한 동일성이 해체된 비동일적인 카오스의 세계를 나타낸다.

셋째, 프랙탈 구조에는 규칙성/비규칙성, 단순성/복잡성, 다양성/일관성 등의 대조적인 특성들이 상호보완적으로 공존하고 있는 형태이다. 카오스 현상의 기하학적 구조로 무작위적으로 보이나 그 이면에는 질서를 이루기 위한 규칙과 제한이 내재되어 있기 때문이다. 따라서 프랙탈 패턴의 형성 메카니즘은 복잡하고 비규칙적인 형상일지라도 단순한 반복 규칙에 기초하게 된다.

넷째, 위상공간에 나타나는 어트랙터(attractor)⁸⁾는 프랙탈 특성을 갖는다. '끌어당긴다'라는 뜻의 어트랙터는 복잡한 영역 안에서 중심이 되는 운동의 한정된 영역을 가리킨다. 특히 기상학적 모델에서 발견된 로렌즈 어트랙터(Lorenz Attractor)는 카오스의 기하학적 형상으로 조직화된 무질서를 보여준다. 전혀 그 궤적을 예측할 수 없지만 놀랍게도 어떤 특정 패턴을 갖고 있다. 이러한 어트랙터는 모든 궤적이 수렴하는 불변 집합(invariant set)으로 복잡한 전체 시스템 내에서 구조적 안정성을 나타내는 특징적 요소로 작용되어 진다. 이처럼 카오스 현상은 어트랙터에 의해 지배되는데 그 어트랙터가 예전에 볼 수 없었던 스트랜지 어트랙터(strange attractor)로 이것이 프랙탈의 정교한 구조라는 사실이 과학자들에 의해 증명되었다.<그림5>

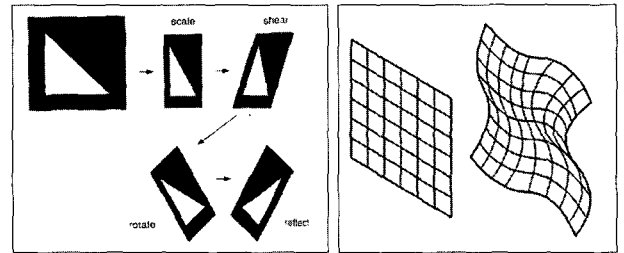
위와 같이 프랙탈은 자기유사성과 어트랙터의 기하학적 특성

을 갖는다.

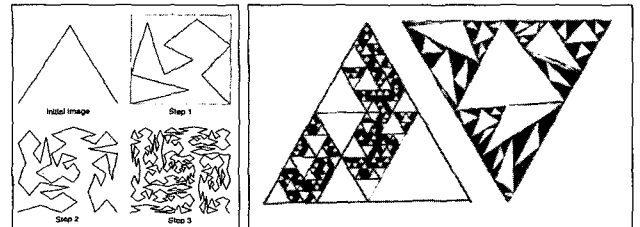
3.3. 자기유사성과 어트랙터 구조의 조형원리

자기유사성에서 유사(similar)란, '형상들의 관계적 특성'으로 '패턴의 특성'을 갖고 있는 것을 의미한다. 여기에서 패턴은 어떤 차원에 있어서 규칙성을 의미한다.⁹⁾ 패턴의 가장 단순한 예는 시각적 단위를 반복하는 것이며 자기유사성의 실현은 다음과 같은 원리를 적용함으로써 가능하다.

첫째, 형식적 단위를 축소하거나 확대하는 크기의 스케일링¹⁰⁾에 의해 다양하게 만들어 진다. 이러한 다수의 스케일 속에서도 형상의 특성을 변하지 않게 함으로써 가능하다. 스케일이 변해도 형식의 동일성(indifference), 불변성(invariance), 항상성(constancy)을 갖는 것을 의미 한다. 따라서 시스템의 부분과 전체의 물리적 상응성(correspondence)이나 기하학적 닮음(resemblance)의 관계를 통해 자기유사성의 패턴이 생성된다.¹¹⁾



<그림 7> Similar Transformation / Topological Dimension



<그림 8> Space-Filling Curve / Random Sierpinski Gaskets

둘째, 자기유사성은 변형된 유사, 즉 완전한 복제가 아닌 것을 의미한다. 완전한 닮음이 아닌 유사변형으로 이는 회전(rotation), 반사(reflection), 삭제(shear), 왜곡(strain) 등의 변형 방법에 의해 이루어진다.¹²⁾

셋째, 자기유사성은 스트레칭(stretching)과 폴딩(folding) 기법의 연속적 반복 변형에 의해서도 형성된다. 이러한 연속적 패

7)L. S. Liebovitch, Fractals and Chaos Simplified for the Life Sciences, N.Y.: Oxford Univ. Press, 1998, pp.43-48

8)Capra, op. cit., pp. 189-190. 어트랙터 구조의 부분들을 확대시키면, 그 구조는 그 속에서 동일한 구조가 반복적으로 되풀이되는 다층하부구조가 존재한다. 따라서 스트랜지 어트랙터를 프랙탈 기하학을 나타내는 상태 공간 속에서의 궤적으로 규정하고 있다. 디자인에서는 미적질서와 전체 구조의 일관성을 이끌어내는 조형적 요소를 의미한다.

9)C. Bovill, Fractal Geometry in Architecture and Design, Boston: Birkhauser, 1996, p.15

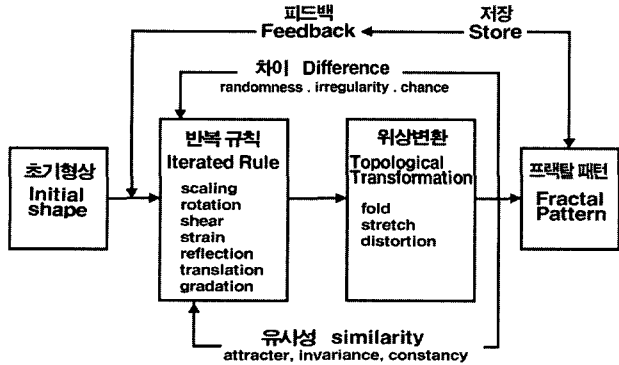
10)스케일링은(scaling) 형상이 수직, 수평방향 모두가 같은 인자(factor)로 확대, 축소되는 것을 의미한다.

11)Ibid., p.373./ L. Lwsmoir-Gordon, W. Rood, & R. Edney, Introducing Fractal Geometry, Icon Book UK, 2000, p.145

12)Peitgen, Jurgens, & Saupe, op. cit., p.234

턴은 유클리드적인 데카르트 형상에 대한 거부로 위상기하학¹³⁾, 형태발생학과 관계된다. 특히 고무처럼 잡아당기고 접음의 무한한 중첩구조를 통해 유연한 유기적 프랙탈을 형성할 수 있게 된다.<그림7,8>

<표 2> Fractal Geometry Recursive Patterns System



위와 같이 프랙탈 패턴은 초기 형상이나 단위의 반복 규칙과 변형과정을 통해 형성되며 피드백 시스템에 의해 그 결과는 다시 초기 입력 값으로 개입되어진다. 이렇게 스스로를 조절하는 반복 과정에서 복잡한 자기유사성의 구조가 형성된다. 프랙탈 패턴은 반복 규칙과 다변형, 다함수적 체계에 의해 이루어지며 그 과정에서 무작위성, 비규칙성, 유연은 프랙탈을 자연에 가깝게 만들어 주는 차이의 특성이다. 또한 어트랙터, 불변성, 항상성은 유사성의 특성으로 전체형상에 일관성을 부여하는 요인이 된다.<표2>

4. 회화, 공간조형에 적용된 프랙탈 표현특성

4.1. 스케일링에 의한 자기유사성



<그림 9> Ornamental Art / Gothic Cathedral

과학과 예술은 자연에 대한 이해와 발견을 토대로 상호보완적인 관계로 발전되어 왔다. 또한 과거 많은 예술가, 건축가들은 자연의 카오스적 성질을 이해하고 직감적으로 이를 작품에 표현하였다.

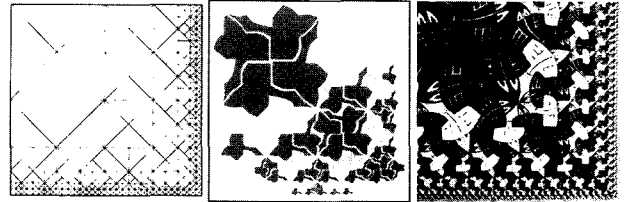
스케일링에 의한 프랙탈 패턴은 장식예술의 역사적 패턴에 잘 나타나 있다.¹⁴⁾ 무한소의 축적을 통해 순환적 반복 패턴들이 표현되어 있다. 특히 고딕 성당 건축의 패턴과 형태에는 미적으로 풍부한 고도의 복잡성 측면이 반영

13) 위상기하학(topology)은 패턴과 관계의 기하학이다. 길이, 각도 면적이 모두 연속적으로 변형될 수 있는 기하학으로 일명 고무판 기하학(rubber sheet geometry)으로 불리 운다. 연속적인 접기, 펼치기, 비틀기 등을 통해 변형될 수 있는 도형을 다루며 이러한 변형과정을 통해서도 변화하지 않는, 즉 불변하는(invariant) 패턴들의 관계를 다루는 수학이다.

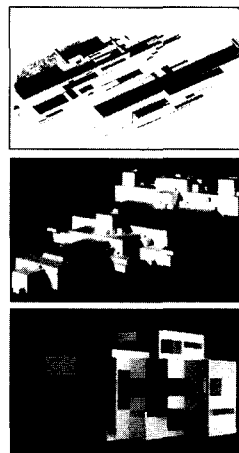
14) S. Wolfram, A New Kind of Science, Wolfram Media, Inc., 2002, p.43

되어 있으며 스케일링 기법에 의해 긴장과 균형이 조화되어 있다.<그림9>

또한 예서의 작품 속에는 자기유사성의 구조가 나타나 있다. 많은 부분이 프랙탈 개념을 내포하고 있으며 무한소의 스케일링을 통해 자기유사성이 내포된 그래픽들이 표현되어 있다.¹⁵⁾<그림10>



<그림 10> M.C. Escher, Construction Diagram and Part of Square Limit, 1964



<그림 11> K.Malevich, Planits-Today's Structure, 1924 Architeclon, 1926/ T.V. Doesburg & C.V. Eestern, Model of the Masion, 1923

러시아 구축주의의 조형이념을 실현했던 말레비치(K.Malevich)는 기하학적 평면을 회화적 구성의 중요한 요소로 인식하였으며 역동적인 절대주의 구성을 창출하였다. 다양한 크기와 형태를 가진 육면체들의 수직, 수평의 구성을 '아키텍톤(architectons)'이라고 명명하고 회화로부터 최초로 건축적 구성을 시도하였다. 3차원의 볼륨 구성인 아키텍톤은 프랙탈의 예로 모호한 스케일과 크기를 점점 더 작게 축소함으로써 복잡한 건물 전체를 나타내었다.¹⁶⁾

이와 유사한 형상으로 데스틸(De Stijl)의 반 뒤스버그(T.Van Desberg) 작품을 들 수 있다. 그의 공간구성은 기본적인 사각형과 직선의 스케일링에 의해 이루어지는데 기하학적 형태들의 역동적인 균형상태를 나타낸다.<그림11>



<그림 12> C.Ginzburg, Chaos Fractal (whole & part), 1986

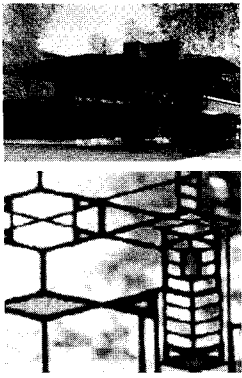
프랙탈 아티스트인 긴즈버그(C. Ginzburg)의 작품은 다수의 스케일이 내재된 자기유사성의 포토몽타주(photomontage) 추상형태를 나타낸다. 거대한 스케일의 표면은 들쭉날쭉한 부분들로 풀라주 되어 있으며 전체와 부분은 상호 유사한 특성을 드러낸다.¹⁷⁾<그림12>

라이트(F. L. Wright)와 고프(B. Goff)는 프랙탈 기하학이 체계화되기 이전에

15) M. J. Turner, Fractal Geometry in Digital Imaging, San Diego: Academic Press, 1998, p.3.

16) <http://classes.yale.edu/99-00/math190a/EuropeanArch.html>

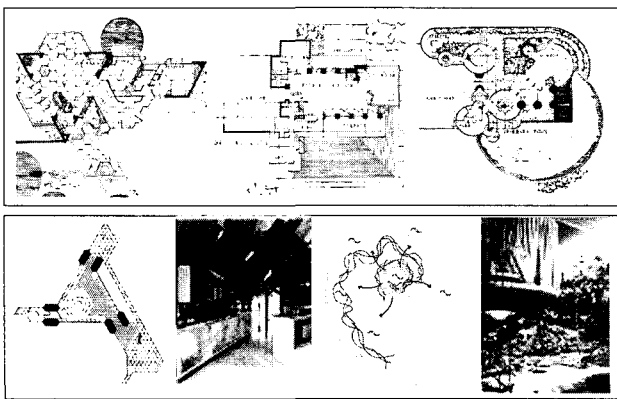
17) J. Briggs, The Pattern of Chaos, N.Y.: Touchstone, 1992, p.67



<그림 13> F.L. Wright, Robie House & Windows

이미 형태와 재료사용에 있어 자연의 유기성과 프랙탈 특성을 표현하였다. 건축의 비정형적 프랙탈 특성은 라이트의 주택 작품에 나타나 있다. 평면, 입면과 같은 큰 스케일에서부터 창문, 문, 장식패턴 등의 작은 스케일에 이르기 까지 프랙탈의 복잡한 질서를 보여준다. 로비하우스는 건축 평면과 실내장식에서 프랙탈 분배의 다양한 형상을 보여준다. <그림 13>

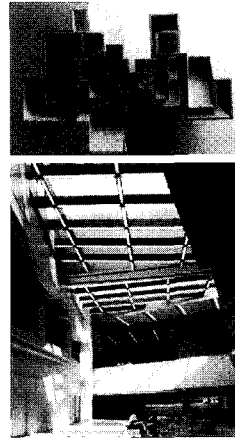
특히 3개의 주택 평면은 의도적이지 않아도 같은 인접조건 다이어그램을 가지고 있으며 비선형의 연속변형에 따라 동치되고 있음을 볼 수 있다. 높이와 넓이가 각각 프랙탈 분배에 따라 다양하게 배치되어 있다. 이러한 자기유사적 구조는 각 주택에 형태적 일관성을 제공할 뿐만 아니라, 방의 크기를 기능에 따라 달리할 수 있게 된다.¹⁸⁾ 또한 고프(B. Goff)의 대부분 건물들은 프랙탈적으로 변형된 기하학적 형태를 이룬다. 그는 주로 프랙탈, 나선형과 같은 자연 안에 있는 형태와 패턴을 이용하였다. 태양, 바람, 물과 같은 자연적인 요소의 생성과 성장의 내적 법칙에 기초해서 형태를 조직하였다. 프라이스 하우스는 자기유사성의 전형적인 예로 유사한 삼각형을 60개 정도의 스케일로 증가시키고 분할하여 공간을 구성하였으며 언폴딩(unfolding)원리에 기초한 유기적 성장의 질서를 나타낸다. 바빙거 하우스는 난류의 흐름과 같은 나선형의 카오스 궤적을 적용하여 방들을 배치하였다. 중심을 향해 이끌리는 나선형 방향은 반복적으로 움직이는 질서화된 조직으로 스트랜지 어트랙터와 유사한 구조를 나타낸다.¹⁹⁾<그림14>



<그림 14> F.L. Wright, Three House Plans, 1941, 1938, 1938 / B. Goff, Joe Price Studio, 1956 & Bavinger House, 1950

디지털미디어를 주로 활용하는 피터아이젠만(P.Eisenman)의

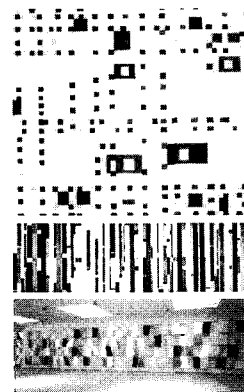
건축형태는 스케일링 기법이 많이 나타나있다. 카나레지오 주택의 계획은 각기 다른 스케일의 주택을 병치시키고 주택 안에 또 다른 주택을 포함시켜 전통적인 주택의 기능 자체를 부정하였다. 주택의 스케일은 대, 중, 소 각각 2배씩이며 주택 내부에 그 보다 작은 주택들을 삽입시켰다. 또한 아르노프 센터에서는 다양한 간격의 그리드 메트릭스와 기하급수적으로 중첩된 곡선에 의해 공간이 생성되었다. 중첩에 의해 흔적을 확산시키고 그 결과 얻어진 우연적 패턴에 기초해서 공간적 기능과 프로그램이 생성되는 방법을 적용했다. 2000명 학생이 강의를 듣기 위해 빠르게 통과해야하므로 내부 입구, 통로는 그리드 스케일링에 의해 완벽한 추상형태를 나타낸다. 어떤 의미, 메세지도 포함하지 않는 비표상적 형상으로 움직임의 유동성과 흐름을 강화하기 위한 전략이다. 또한 각각의 기능을 서로 밀어 넣는 자기유사적 천을 짜는 시스템을 형성하여 공간 안에서 각각의 시각을 분산시키고 있다. 각 구조의 경계를 교차시켜 모호하게 하고 선들을 비틀고, 중첩시켜 다양한 공간적 해독을 가능케 하였다.²⁰⁾ <그림15>



<그림 15> P.Eisenman, Cannaregio Town Square, 1978 & Arnoff Center, 1996

4.2. 비규칙적 반복에 의한 자기유사성

초기 모더니즘에서 몬드리안(P. Mondrian)의 추상기하학적 구성 작품은 대부분 자연의 성장구조와 비례 특징에 기초한 조형 모듈을 사용하였다. 자연형상 안에서 발견되어지는 소산구조(dissipative structure)의 비례 특징이 전반적인 구성에 나타나 있다. 특히 순수한 색채와 수평, 수직의 선만을 사용했지만 크기 변화와 대조, 비대칭적 배열을 적용하여 비규칙성의 기하학적 구성이 표현되어 있다. 또한 비례의 연속적 모듈이 사용된 로쉬(R. P. Lohse)의 작품은 수직적으로 반복된 패턴과 다양한 색이 사용되어 비규칙적 특성을 나타낸다.²¹⁾ 켈리(E.Kelly)는 우연과 무작위적인 조형적 특성이 강조된 그리드 패턴팅을 통해 비규칙적인 유기적 형상을 기하학화 하려고 노력 하였다. 우연에 의해 배열된 색채의 스펙트럼으로 기하학적 구조의 복잡한 조작과 무작위적인 방법



<그림16>P.Mondrian, Broadway Boogie Woogie, 1942 / R.P. Lohse, Ten Similar Themes in Five Colors, 1947 / E. Kelly, Sculpture for Large Wall, 1957

18)Bovill, op.cit., pp.123-128/ W. J. Mitchell, 건축의 형태언어, 김경준·남순우 역, 도서출판국제, pp.121-125

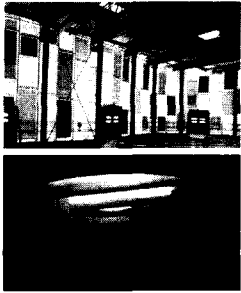
19)C. Jenks, The Architecture of the Jumping Universe, London: Academy Editions, 1997, pp.42-45

20)Ibid., pp.139-140

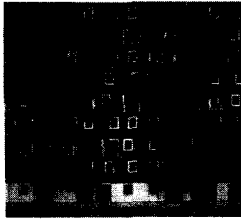
21)G. Kepes, Module, Proportion, Symmetry, Rhythm, N.Y.; New York Univ. Press, 1978, p.149

으로 프랙탈 구조의 색면을 구성했다.<그림16>

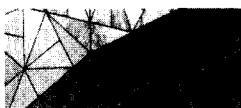
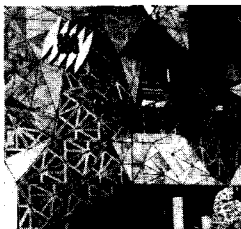
사우어브러치와 휴튼(M. Sauerbruch & L. Hutton)이 설계한 조명전문회사 건물은 빛이 주된 조형 개념이다. 특히 36가지 색



<그림 17> M. Sauerbruch & L. Hutton, Photonics Centre, 1996-98



<그림 18> S. Holl, Amsterdam Pavilion, / MVRV, WoZoCo's APT. for Elderly People, 1997/ ARM, Storey Hall, 1996



<그림 19> Lab Architecture Studio, SBS Radio & TV Station(facade & surface), Melbourne, 2003

상의 블라인드를 유리창 전면에 비규칙적 패턴으로 반복 사용함으로써 시각적으로 공간감을 확장시켰다. 이러한 프랙탈 패턴의 형태와 색채는 사람이 건물 주위를 걸을 때 움직임과 진동의 감각을 느끼게 하며 연속적 시각 경험을 가능케 한다. 내부공간은 고도의 복잡함을 드러내지만 비규칙적 반복을 통해 유사성과 통일성을 보여준다.<그림17>

스티븐 홀(S. Holl)의 암스텔담 파빌리온은 연속적으로 면이 분할되어서 체로 부피가 되는 다공 사각형구조인 멩거 스폰지(Menger Sponge)에 기초한 프랙탈 형상이다. 사각형의 다양한 크기가 비례칭적으로 반복되어 대조적인 단면을 구성하면서 시각적인 흥미를 제공한다. 어떤 무늬는 정확히 반복되며, 어떤 무늬는 크기, 비례, 리듬이 가변적으로 적용되어 면 분할이 이루어져 있다. 또한 엠브이알디비(MVRDV)의 암스텔담 노인 아파트 입면은 프랙탈 스케일링과 비규칙성이 나타나 있다. 입면은 3단계로 기본 박스 형태가 반복되어 있다. 개구부와 발코니에서 각 모듈의 크기와 깊이가 변화를 통해 카오스적 질서 개념이 나타나 있다. 즉 무작위적인 배치방식이지만 그 속에 규칙이 나타나 있다. 에이알엠(ARM)이 설계한 스토리 홀의 입면은 비규칙적인 반복 패턴에 의한 콘크리트 면들로 구성되어 있다.<그림18>

영국의 수학자, 발명가, 작가인 펜로즈(R. Penrose)의 타일 붙이기 패턴을 적용한 것으로 계속 반복적으로 순환하는 프랙탈 구조가 외부와 내부의 벽, 천장, 바닥에 적용되어 있다. 이는 파충류의 표면, 물결치는 표면의 은유로 외관, 바다, 벽, 천장을 하나로 통합하기 위해 이 패턴을 적용한 것이다. 이 패턴은 크리스탈과 같이 전일적인 특성을 가졌을 뿐만 아니라 고도의 비규

칙성을 갖고 있다. 이를 통해 고전인 것과 새로운 도시체계가 갖는 유기적이고 카오스적인 특성을 그대로 드러내고자 한 것이다.²²⁾ 최근 랩(Lab) 건축 스튜디오에 의해 계획된 시민광장의 건물들은 대부분 프랙탈 기하학 구조와 패턴으로 이루어져 있다. 복잡한 문화활동이 이루어지는 도시구조에 반복적인 자기유사성 구조를 적용하여 시각적, 형태적인 일관성을 유지시키고자 한 것이다.²³⁾ <그림19>

4.3. 연속적 반복에 의한 자기유사성

최근 물리학자, 테일러(R. P. Taylor)는 실험을 통해 추상표주의 작가인 폴록(J.Pollock)의 작품이 갖는 프랙탈 특성을 입증하였다. 폴록의 작품이 복잡하고 반복적인 형상을 보이면서 눈송이나 양치식물의 구조에서 자연발생적으로 발생하는 프랙탈 특성을 갖고 있음을 밝혀냈다.²⁴⁾ 테일러에 의하면, 폴록의 제스처에 의한 몸과 손의 직관적인 각도 조절과 시간의 개념은 프랙탈 패턴 형성에 중요한 계기를 제공한다는 것이다. 폴록이 사용하는



<그림 20> R. Taylor Drip Pattern by a pendulum & J. Pollock, Number 14(detail), 1948 / F. Stella, The Funeral from Moby Dick & Detail, 1992

오토마티즘(automatism)은 우연성을 획득하기 위한 직접적인 방법으로 손과 몸의 움직임을 통해 자연스럽게 리듬을 표현하고자 한 것이다. 특히 몸의 움직임에 의한 자기유사적인 연속적 궤적 등에는 자연의 패턴이 나타나 있다. 특히 카오틱 드립 시스템(chaotic drip system)에 의해 생성된 드립 패턴들 사이에는 시각적 유사성과 프랙탈 특성이 들어 있으며 미적 긴장을 나타내게 된다.

최근 스텔라(F.Stella)의 작품은 건축환경 전체에 구축되고 미디어의 경계를 확장하려는 의도가 많이 나타나 있다. 형상/배경이라는 전통적인 이항대립구조를 해체시키고 탈중심화로 나아가고 있다. 복잡하게 뒤얽힌 구조와 색채들은 비회화적이면서 동시에 건축적인 방법으로 나타나고 있다. 특히 작품에 나타난 왜곡된 다차원의 형태는 담배 연기와 같은 소용돌이와 난류의 과학적, 자연적 특성에 대한 관심이며 카오스이론과 연결되어 있다.²⁵⁾ 그의 대부분의 최근 작품들은 바로크적인 공간감과 화려한 색채가 겹쳐져 있으며 역동적인 힘을 느끼게 한다. 즉 질서와 무

22)Ibid., pp.178-181

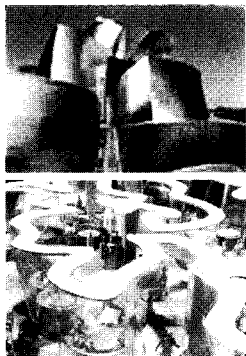
23)Domus, No. 856, 2003, pp.60-75

24)http://www.phys.unsw.edu.au/PHYSICS_/FRACTAL_EXPRESSIONIS/M/frsatal_taylor.html

25)http://www.lafayette.edu/new.php/viewnc/1994-print

질서 사이의 모호함을 나타내고 중심/주변의 구분을 해체하여 끊임없이 연속적으로 변화하는 형상이다.<그림20>

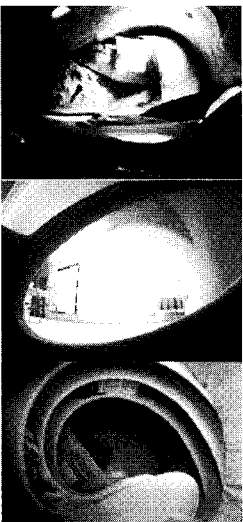
게리(F.O.Gehry)는 최근 비선형 과학에 기초하여 형태생성의 근거를 찾고 있으며 유동의 프랙탈(fluid fractals) 형상을 공간 조직화에 적용하고 있다. 빌바오 구겐하임 박물관은 유기적 유연성(organic flexibility)의 상태에 도달하기 위해 모던한 투명의 유리 상자가 아닌 더욱 더 겹쳐진 폴딩방식을 통해 전체형상을 생성하고 있다. 자연의 생물형태적(biomorphic)특징에 기초하며 모던건축의 판넬적, 자기동일성(self-sameness)과는 대조적으로 고도의 복잡성과 자유로운 형태를 나타낸다. 또한 상징적 은유물인 물고기, 파충류의 표면 패턴은 외부 마감에 나타나 있으며 선형적 요소들인 벽, 바닥, 지붕간의 위상적 변환에 의해서 유동적인



<그림 21> F.O.Gehry, Guggenheim Bilbao Museum, 1987/ Conde nast Cafeteria, 2000

구조를 형성하게 된다. 전체구조는 가이아 (Gaia)의 이미지로 26개의 힘찬 꽃잎들이 피어나는 역동적인 형상은 은유한 것이다. 반사에 의한 반사, 크리스탈의 자기유사성 그리고 파편화된 조각들이 유리면들과 겹쳐지면서 실체의 이미지를 나타내고 있다. 또한 게리의 콩테나스 카페테리아 디자인에서 천정 패턴과 파티션은 연속적인 유니트의 반복 형태로 구성되었지만 각기 다른 형상으로 프랙탈 특성을 보여 준다.<그림21>

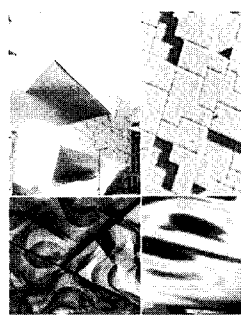
키슬러(F. Keisler)는 회화, 건축, 조각이 동등한 가치를 지녔다고 생각했으며 자연의



<그림 22>F Keisler, Endless House, 1959 / Ushida & Findlay, Truss Wall House, 1993 & Tsukuba-city, 1994

유기적인 특성을 표현하여 모던 기능주의 건축의 입방체를 벗어나고자 했다. 특히 그는 자연으로부터의 영향과 초월적인 감각에 의해 공간을 표현하려고 하였다. 엔드리스 하우스는 한 가족이 살아가기 위한 주택 계획안으로 발표된 것이다. 출입과 조망, 채광 등을 위해 크고 작은 구멍이 뚫어져있으며 사각형이나 원형이 아닌 자유로운 곡선의 반복 구조로 되어있다. 또한 형태와 크기가 각각 다른 창들은 곡면 위에 무작위적으로 배치되어 있다. 이러한 프랙탈 형상은 모던 건축의 형식적 문법이 거부된 것으로 주택으로서의 기능 뿐 만 아니라 그 안에 살아가는 사람들에게 극적 상상력을 자극하는 심리적 기능을 부여하고자 한 것으로

볼 수 있다.<27> 엔드리스 하우스는 형태적인 측면에만 주목한 것이 아니라 궁극적으로는 인간이 자연이나 우주의 법칙에 순응하며 살아가기 위해 필요한 기능에 주목한 결과라 할 수 있다. 우지다와 화인드레이(Ushida & Findlay)는 프랙탈과 나선형 형상의 기하학적 표현을 공간구조에 적용하였다. 그의 주택 공간은 대부분 카오스,복잡성 이론을 기초로 이루어지며 정적이고 유칼리드적인 형상을 벗어나 연속적인 파동 형태(wave-form)를 나타낸다. 부드러운 위상학적 표면으로 자연의 유기적인 본성에 기초하고 있다. 특히 트러스 월 하우스는 프랙탈 도시질서를 강조한 것으로 나선형의 계속되는 곡선으로 전체형상을 이루었다. 모든 벽면이 단조로운 흰색 표면으로 통합되었기 때문에 더욱 더 연속성을 띄게 된다. 또한 부드러운 형태는 고정구조물, 가구, 창문과 같은 요소들을 흡수하며 흰색 벽면과 달리 이 부분 요소들은 색상을 띄게 된다. 신체가 갖는 유연성과 활력을 표상한 것으로 움직임의 은유이며 미끈미끈한 진흙과 같은 골격을 이루고 있다. 이러한 유기적인 전체 형상은 동적인 시지각과 행위를 가능케 하는 구조가 된다.<그림22>



<그림 23> D. Libeskind, The Victoria & Albert Museum (facade & surface), 1996 / Jbane Barnes, "Groove" Textile Design(whole & part)

리베스킨드(D.Libeskind)의 빅토리아 알버트 박물관은 나선형의 구조를 통해 내외부 공간들을 상호 결합시키고 '발견의 미로 (labyrinth of discovery)'를 기능적으로 밀접하게 통합시킨 것이다. 나선형의 순환체계, 미로는 기존 갤러리와 새로운 박물관의 프로그램 요소들을 중재하고 조직화하기 위한

구조적 전략이다. 나선형은 과거/현재, 구조/형태, 건물/장식, 기술/공예 등의 상호 대립적인 요소들을 융합시키고, 동시에 다문화적 체계와 예술, 과학기술 및 역사의 융합을 상징한다. 기존의 무미건조한 박물관의 패쇄성을 넘어서 새로운 종류의 경험을 제안한 것이다. 나선형구조는 예술과 역사, 외부와 내부를 변증법적으로 발전시켜나가고자 한 의도이며 건물 표면 패턴도 프랙탈 구조로 되어 있다. 궁극적으로 시간성, 역사성 그리고 진화적 국면을 갖는 건물의 연속성과 혼재성을 프랙탈 자기유사성과 반복개념을 통해 드러낸 것이라 할 수 있다.<29>

5. 결론

과학자와 마찬가지로 예술가, 디자이너 역시 패턴의 본질을 추

27)Y. Katsuhiko, 공간 연출디자인의 원류, 프레데릭 J.키슬러, 김명환 편역, 미술 문화, 2003, p.288

28)AR, Vol.67, 1997, p.28

29)Ibid., pp.64-67/ D. Pearson, New Organic Architecture, Berkeley & L.A.; Gaia Books Limited, 2001, pp.68-69

26)Jenks, op. cit. pp. 182-185/ M. Fridman Ed., Gehry Talks, London: Thames & Hudson, 2003, pp.210-212

구하며 새로운 수학적 개념을 사용하여 회화 및 공간의 구성과 비평을 행하고 있음을 알 수 있다. 본 논문은 프랙탈을 분석하기 위해 사용하는 수학적 방법과 프랙탈이 창조되는 생성 방법에 관한 연구로 프랙탈 조형원리를 제시하고 그에 기초하여 회화, 공간조형을 분석하였다. 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 과학, 예술 세계는 공통적으로 자연의 패턴 연구와 관련이 있다. 자연은 단순계가 아닌 복잡계로 자기조직화에 의한 패턴화된 질서를 보여준다. 또한 프랙탈기하학은 유기적, 생태적 디자인의 중요한 조직원리로 디지털미디어와 결합하여 많은 조형적 가능성을 제시하고 있음을 알 수 있었다.

둘째, 프랙탈은 피드백의 수학적 형태를 가진 방정식에 의해서 만들어 지며 이 과정에서 비선형성과 임의성은 그 형상을 자연에 가깝게 만들어 주는 요인으로 이해되었다.

셋째, 자기유사성, 스케일링, 어트랙터는 자연현상을 해석할 수 있는 강력한 도구로 일반적인 프랙탈 특성이 된다. 이러한 특성은 반복 규칙과 변형방법에 의해 생성되며 복잡성/단순성, 비규칙성/규칙성의 상호보완적 조형 형식에 기초함을 알 수 있었다.

넷째, 작품의 분석 결과, 스케일링, 비규칙적 반복, 그리고 연속적인 반복에 의한 자기유사성의 표현특징으로 나타났다. 프랙탈 개념이 체계화되기 이전에도 회화, 공간조형에 프랙탈이 적용되었음을 알 수 있었다. 또한 최근 많은 예술가, 디자이너들은 형태생성의 근거를 자연의 복잡성을 연구하는 카오스이론과 전자적 패턴다임 안에서 찾고 있음을 알 수 있었다. 본 연구는 대부분 회화와 큰 공간의 내외부 구조를 중심으로 이루어졌지만 실내공간의 작은 단위나 가구, 벽지, 카펫, 커버링, 마감재, 섬유 등의 작은 스케일에서도 프랙탈 패턴의 적용가능성이 많다고 생각된다.

넷째, 프랙탈 표현특성은 합리적, 계몽주의에 의해 제안된 서구 모던디자인의 통합적 질서와는 다른 복잡한 질서를 갖고 있으며 더욱 더 자연의 본성에 가까워지려는 시도로 판단되었다.

이상 새로운 과학적 개념들은 예술성과 창조적 조형언어를 제공해 준다. 그러나 그것들이 예술, 디자인의 주제나 기본원리로 사용된다고 해서 미적가치와 타당성을 항상 보장 받는 것은 아니다. 이는 과학적 개념이 인간 경험으로 드러나고 표현될 때 비로써 그 조형적 가능성을 인정받을 수 있다고 생각된다.

참고문헌

1. 이정우, 접힘과 펼쳐짐, 거름, 2000
2. Bovill, Carl, Architecture and Design, Boston; Birkhauser, 1996
3. Briggs, John, The Pattern of Chaos, N.Y.; Touchstone, 1992
4. Fridman, M. Ed., Gehry Talks, Thames & Hudson, 2003
5. Gleick, James. Chaos, N.Y.; Penguin Books, 1987
6. Jenks, C., The Architecture of the Jumping Universe, London; Academy Editions, 1997
7. Kepes, G., Module, Proportion, Symmetry, Rhythm, N.Y.; New York Univ. Press, 1978

8. Liebovitch, L. S., Fractals and Chaos Simplified for the Life Sciences, N.Y.; Oxford Univ. Press, 1998
9. Mandelbrot, Benoit, The Fractal Geometry of Nature, N.Y.; W.H. Freeman and Co, 1977
10. _____, Fractals, in Hall, N., Ed., Exploring Chaos, N. Y.; W. W. Norton & Co., 1991
11. Pappas, T., The Magic of Mathematics, San Carlos; Wide World Publishing, 1994
12. Pearson, D., New Organic Architecture, Berkeley & L.A.; Gaia Books Limited, 2001
13. Peitgen, H. D., Jurgens, H., & Saupe, D., Chaos and Fractals, N.Y.; Springer-Verlag, 1992
14. Prigogine, Ilya, The End of Certainty, N.Y.; The Free Press, 1996
15. Turner, M. J., Fractal Geometry in Digital Imaging, San Diego; Academic Press, 1998
16. Wolfram, S., A New Kind of Science, Wolfram Media, Inc., 2002
17. Capra, Fritjof, 생명의 그물, 김용정 · 김동광 역, 범양사, 1998
18. Katsuhiko, Y., 공간 연출디자인의 원류, 프레데릭 J.키슬리, 김명환 편역, 미술문화, 2003
19. Mitchell, W.J., 형태언어, 김경준·남순우 역, 도서출판국제 1993
20. Stewart, Ian, 자연의 수학적 본성, 김동광 역, 동아출판, 1996 Domus, No. 856, 2003
21. <http://classes.yale.edu/99-00/math190a/EuropeanArch.html>
22. http://www.phys.unsw.edu.au/PHYSICS_/FRACTAL_EXPRESSIONISM/frsatal_taylor.html
23. <http://www.lafayette.edu/new.php/viewnc/1994-print>

<접수 : 2003. 2. 28>