공간조형에 표현된 비선형 동력학 현상

Phenomena of Nonlinear Dynamics in Space Design

임은영(Lim, Eun Young)

한세대학교 디자인학부 실내건축전공 전임강사

이 논문은 2002학년도 한세대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

1. 서론

2. 비선형 패러다임

2.1 비선형 패러다임과 특성
2.2 비선형 과정으로서의 카오스

3. 비선형 동력학 현상

3.1 초기조건에의 민감한 의존성(sensitive dependence on initial conditions)
3.2 스메일의 말굽(Smale's horseshoe)구조
3.3 난류와 스트레인즈 어트랙터(turbulence and strange attractor)
3.4 프랙탈 기하학(fractal geometry)

4. 비선형적 공간조형

4.1 비선형적 공간조형의 특징
4.2 공간조형 원리와 패턴

5. 결 론

참고 문헌

(要約)

새로운 패러다임으로의 전이를 의미하는 과학혁명은 필연적으로 지적 영역의 변화를 동반한다. 더욱이 과학과 예술의 관계는 서로를 가능케 하는 상생(相生)의 관계라 할 수 있다. 최근 비선형 과학에 대한 놀라운 관심과 함께 예술에의 신속한 적용은 양자의 긴밀한 상호작용을 다시 한 번 가늠케 한다. 과학과 예술에 있어서 중요한 것은 새로운 창조의 과정과 방법을 제시하는 일일 것이다. 이를 위하여 때로는 역발상을 시도하고, 또한 일상을 탈피하여 예측할 수 없었던 것들을 추적하는 모험과 탐구정신이 절실하다. 이와 같은 관점에서 본 연구는 비선형 패러다임의 기저가 되는 카오스 이론과 함께, 물리학과 수학에서 다루어지는 관련 이론들을 준거로 하여 비선형적 공간조형을 재검토하였다. 연구 과정에서 비선형은 일련의 계(系, a system)에 대하여 부분이 아닌 전체로 보아야 할 것에 대한 강력한 제안이며, 또한 새로운 질서요 창조의 원리임을 확인할 수 있었다. 이울러 본 연구는 비선형적 공간조형에 있어서 형태적 차용에 급급한 디자인 행위를 지양하도록 하는데에 암묵적 의도가 있었다. 따라서 비선형 동력학 현상의 원리와 프로세스를 이해, 적용함으로써 비선형이 지닌 창조적 속성이 공간에 총체적으로 발휘되기를 기대해 본다.

(Abstract)

Science Revolution, which stands for new paradigm in an era as a transfer, usually is accompanied with a change in intellectual sphere. Futhermore, as there is an indissoluble connection between science and art, so the correlation of two realm lead to mutual prosperity in coexistence. Recently, concerns for the phenomena of non-linear dynamics in science and its quick adaptation in art made it possible. What is important agenda for science and art is to suggest the process of creative evolution and its method, I believe. In order to attain these, different and contra way of thinking, spirit of research and venture for unpredictable things out of daily routine should be indispensible. In this study, I am offering and reviewing the space design based upon phenomena of nonlinear dynamics, drawn from concept of chaos in physics and mathematics. This study places a great emphasis on nonlinearity which should be understood as a whole, not partially, that enable a designer to find new cosmos and principles of creation. In addition to these, I wish that a designer would stop trying partial apply in nonlinear space. In fine, I hope this study enables a designer to adapt and generate nonlinearity as creative attribute in space by understanding of phenomena of nonlinear dynamics and its process as a whole.

(Keyword)

phenomena of nonlinear dynamics, chaos

1. 서론

자연과학의 전형인 물리학은 자연현상을 하나의 모형으로 설정하여 설명하는 학문이다. 20세기 물리학의 주류인 상대성(relativity)이론과 양자역학(quantum mechanics), 그리고 비선형 패러다임에 의한 카오스(chaos)이론 등은 고전역학의 환원주의(reductionism)적이고 이원론적인 사고방식으로부터, 복합적이고 전일론적인 가치관으로의 전환을 요구하고 있다. 이와 같은 상황의 전개는 다학제적 접근(inter-disciplinary approach)에 의한 연구방법을 강화하며, 영역간 협동과 소통의 관계를 형성해 나간다. 최근 과학과 예술은 서로를 가능케 하는 상생의 관계 가운데 서로에게 창조적 영감을 제공하고 있다. 과학적이지 않은 예술은 공허하며, 예술적이지 않은 과학은 창조와는 거리가 멀다. 위대한 예술적 성취는 과학적 기반 위에서 가능하다. 따라서 과학혁명의 전환은 필연적으로 새로운 예술이 태동되는 초기조건이 된다.

물리학의 새로운 방법론인 비선형 동력학 연구는 기존과학의 근본 가정들을 재검토하도록 요구한다. 비선형 과학자들에 의하면 규칙적이고 질서정연하며 예측가능한 코스모스 대신, 불규칙하고 무질서하며 복잡한 카오스가 존재한다는 것이다. 이와 같은 비선형 과학자들의 독특한 생각은 자연을 포함하는 모든 계에 대하여 전체성(wholeness)의 관점에서 바라봐야 할 것을 촉구한다. 또한 그 전체성의 맥락에서 일련의 계가 어떻게 질서에서 혼돈으로, 혼돈에서 질서로의 카타스트로피적 전이(catastrophical change)가 가능한지에 대해 모형을 제시한다. 즉 동력학계에 있어서의 정량적 현상이 정성적 특성으로 변화하는 양태변이를 보여주는 것이다.

본 연구는 이와 같이 그 과정과 방법이 무질서에 대한 법칙에 의존하는 복잡성의 과학을 배경으로 한다. 따라서 오늘날 급격한 확산일로에 있는 비선형 과학과 이에 따른 비선형적 공간조형의 연계선상에서 새로운 창조의 메카니즘을 고찰하고자 한다. 먼저 자연의 전체적인 본성에 기인하는 비선형 동력학 현상을 통하여 복잡성의 보편적인 행태가 카오스임을 밝히고자 한다. 비선형 동력학의 복잡계 구조가 모종의 방법으로 정보를 교환하며 창조과정으로 작용된다는 사실을 입증하려는 것이다. 과학적 패러다임에 연동하는 예술로서의 공간 또한 과거 형상과는 다른 양상임을 유추할 수 있다. 즉 유클리드 기하학(euclidean geometry)에 의한 규칙적, 직선적, 단순 기하학적 분석구조로는 전혀 적용할 수 없는, 그러므로 그 도형들이 잘못 추상화되었음을 드러내는 구조임이 예상된다. 이른바 새로운 기하학에 의한 공간조형은 무작위적이고 불규칙한 무질서로부터 새로운 질서를 구축하는 창조적 과정을 제시함으로써, 유클리드 기하학에서는 시각화할 수 없는 다차원의 공간을 드러낼 것이다. 이와 같은 관점에서 본 연구는 비선형적 공간조형의 복잡하고 난해한 전체구조에 주목하면서 새로운 조형적 가능성을 모색하고자 한다. 과학으로서의 비선형 동력학 현상(phenomena of nonlinear dynamics)과 함께 예술로서의 비선형적 공간은 공통적으로 복잡한 전체 메카니즘을 통해서 새로운 질서를 창조하기 때문이다. 이를 통하여 과학과 예술의 공통적인 행태인 창조적 속성을 규명하고 비선형적 패러다임에 의한 조형적 적용가능성을 검토하는 데에 그 목적과 의의가 있다.

2. 비선형 패러다임

2.1 비선형 패러다임과 특성

자연과학은 우주를 예측할 수 있다는 입장에서 출발한 학문이다. 또한 그 목표는 다양한 자연현상에 대한 규명과 새로운 가능성에 대한 예측이라 할 수 있다. 과학사가인 토머스 쿤(Thomas S. Kuhn)에 의하면 "새로운 희망과 새로운 스타일, 그리고 무엇보다도 중요한 사물을 보는 새로운 방식인 혁명은 조용히 다가오지 않는다."[1] 즉 새로운 패러다임으로의 전이를 의미하는 과학혁명은, 자연에 대한 하나의 설명이 급격하게 대체되는 카타스로피적 변환에 따른다. 자연과학의 전형인 물리학에서는 과학혁명의 단계를 다음과 같이 구분한다는 입장이다. 제 1혁명을 18세기 초, 뉴턴(Isaac Newton)역학의 발견으로, 제 2혁명을 20세기 초, 아인슈타인(Albert Einstein)의 상대성이론과 하이젠베르크(Werner Heisenberg)의 양자역학으로 그리고 제 3혁명을 20세기 말, 카오스 이론을 포함하는 비선형 동력학 현상의 제기로 구분한다.[2] 비선형 동력학 현상에 대한 근자의 집중은 사실, 오래된 개념에 대한 후발적 이해의 측면이다.

과학에 있어서 비선형에 대한 최초의 인식은 19세기 말, 프랑스의 수학자 푸앵카레 (Henri poincare)에 의해 시작되었다. 푸앵카레는 뉴턴 물리학에 의한 자연관의 오류를 지적하고 태양계는 불안정계임을 시사했다. 오늘날 '닫힌계'로 정의되는 뉴턴 물리학의 특징이 우연성이 개입할 여지가 없는 규칙성과 예측가능성에 있었다면, '열린계' 또는 '복잡계'로 인식되는 현대 물리학의 특징은 혼돈현상을 포함하는 비선형으로 설명된다. 이와 같은 비선형 패러다임으로의 전환은 자연을 부분적이고 환원적으로 이해했던 관점에서, 전일론적 체계(holistic system)로 보는 관점을 갖게 했다. 1977년 노벨 화학상을 받았던 일리야 프리고진(Ilya Prigogine)의 표현대로 "지난 과학에 의한 연구 결과물로서의 코스모스는 아주 미세한 일부분에 지나지 않는다."는 것이다. 새롭게 대두된 비선형 패러다임에 의해서 종래의 완전 합리성과 분석적 사고방식은 이미 후진적 가치관으로 밀려나고 있다. 지금은 모든 분야에 걸쳐 그 적용가능성의 범위를 넓혀가고 있는 추세이다.

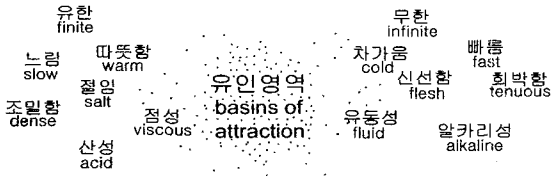
비선형은 본능적으로 계를 운영해 나가는 자기조직 시스템(self-organization system)이다. 따라서 일률적이지 않으며 창발적이다. 비선형성(nonlinearity)은 무질서(disorder)와 임의성(randomness)으로 대표되나 전체 구조적으로는 규칙적인 양태를 보인다. 곧 숨겨진 질서를 내포함을 의미한다. 이와 같이

1) James Gleick, Chaos : Making a New Science, N.Y. : A Penguin Book Science, 1987, p.39

2) 최무영, 혼돈과 질.
http://www.fractal.co.kr/fractal/muyoung/index.htm., p.3

비선형계는 불안정계와 안정계의 국면을 동시에 갖는다. 또한 비선형성은 그 이중적 코드를 수시로 개방하여 복잡성을 증대시킨다.

<표1>비선형의 이중적 코드사례와 유인영역



<표1>에서와 같이 열린흐름 체계 가운데 자율적인 상호 흡입과 방치의 허용은 그 경계가 모호한 유인영역 장치가 가동됨을 의미한다. 유인영역의 궤도 선상에서 왕성한 생명현상이 발현된다. 이와 같이 복잡한 물리적, 화학적 성질은 교란 혹은 소용돌이 등으로 대표되는 카오스적 현상으로 설명된다. 곧 비선형성이라 함은 자기 조직적인 열린흐름 체계로서 카오스적 행태를 포함하는 특성으로 이해된다.

수학에 있어서 비선형성의 문제를 제기하는 나비어-스토크스 방정식(navior-stokes equation)은 모든 측면에 있어서 동시다발적인 변화의 가능성 때문에 완전한 계산이 불가능하다. 그러나 선형 방정식이 결코 갖지 못하는 풍부한 행태를 취한다.[3] 선형계는 명확하게 나누어지지만, 비선형계는 정수로 나누어지지 않는 편미분계이다. 일부 수학자들은 나비어-스토크스 방정식의 행태를 일종의 수학적 병리현상으로 생각한다. 그러나 예측가능하고, 미분가능한 수학적 건강성(mathematical health)이 오히려 풍부한 정보를 수용하지 못한다는 측면은 재고되어야 한다. 계에 있어서 혼돈의 출현과 반복, 나아가 증폭현상은 새로운 창조 출현의 가능성과 개연성을 지니고 있기 때문이다. 이와 같은 맥락에서 다음절에서는 새로운 질서의 태동을 함의하는 카오스(chaos)현상과 그 의미에 대해 논해보고자 한다.

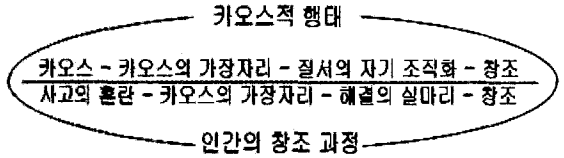
2.2 비선형 과정으로서의 카오스

20세기 초, 푸앵카레에 의해 혼돈의 잠재성이 제기된 이래, 기상학자 로렌츠(Edward N. Lorenz)의 논문에서 영감을 얻은 제임스 요크(James Yorke)에 의해서 카오스라는 이름이 명명되었다.[4] 1970년대, 비선형성에 접한 각 분야의 과학자들을 흥분시킨 것은 무질서가 존재한다는 것이었다. 우주의 규칙성을 탐구하는 과학자들에게 계의 순조로운 흐름을 저지하는 무질서의 발견은 무엇을 의미하는가? 카오스에 대해 눈을 뜨고 보니 카오스는 도처에 존재하고 있는, 지극히 보편적인 자연현상이었다. 또한 부분적으로는 예측 불가능하지만 전체적으로는 안정적인 구조를 갖고 있었다. 과학자들은 카오스를 계의 건강상태로 새롭게 인식하기 시작하였고, 카오스 이론을 '불규칙한 현상의 배후에 감추어져 있는 규칙성을 찾는 이론'으로 규정하였다. 열렬한 카오스론자인 조셉포드(Joseph Ford)는 이와 같은 카오스에 대하여 '질서와 예측성의 굴레로부터 마침내 해방된 동력학. 각각의 동력학적인 가능성을 임의로 자유롭게 표출하는 계들, 흥미로운 다양성, 풍부한 선택의 여지와 풍요로운 기회' 라고 정의했다.[5]

우리가 살고 있는 시스템은 폐쇄시스템(closed system)과 개방시스템(open system)으로 구분된다. 폐쇄시스템은 인과율에 의한 선형적 과정을 보이며 질서, 안정성, 규칙성, 평행성, 균일함 등의 개념을 갖는다. 반면 개방시스템은 시간의 흐름에 따라 인과율이 적용되지 않고, 이전에는 예측하지 못했던행태로 급격히 전환하는 비선형 과정을 보인다. 또한 무질서, 불안정성, 비규칙성, 비평형성, 다양성 등의 개념을 갖는다.[6] 이와 관련하여 실제세계는 일방적으로 질서 정연하게 움직이는 폐쇄시스템이 아니라, 상호작용하며 불안정하고 혼돈스러운 개방시스템이라 할 수 있다. 즉 경계면이 개방되어 있으며, 열린흐름(open flow)으로 복잡성이 증폭되는 현상, 그것이 카오스의 모습이다. 이와 같은 카오스의 생성요인은 초기조건에의 민감한 의존성[7]과 질서와 무질서가 서로 경쟁하는 효율적인 혼합, 즉 스트레인즈 어트랙터[8]라 할 수 있다. 이들은 자기조직적인 원리에 따라 열역학 제 2법칙인 엔트로피적 변환에 의해 혼합, 무질서, 무정형성의 증가와 감소현상을 보인다. 이때, 무질서에서 질서로 넘어가는 분기점(bifurcation)을 카오스의 가장자리(edge of chaos)라고 한다. 곧 새로운 질서 형성자리를 의미한다. 카오스는 이와 같이 아무것도 존재하지 않는 곳에서 정보를 창조해 낸다. 정보를 창조하는 힘. 이것이 바로 카오스의 속성이다.

인지과학(cognitive science)분야의 연구에 의하면 과학, 예술 등에서 인간의 창조과정 또한 카오스적 행태를 보인다. 문제에 집중할수록 해결의 가능성은 매우 희박해 보인다. 공백기 후, 문제에 파고드는 어느 순간 카오스의 가장자리처럼, 괴롭히던 문제의 실마리를 찾아 창의적인 문제해결에 이르게 된다.[9]

<표2> 카오스적 행태와 일치하는 인간의 창조과정



아서 캐스틀러(Arthur Koestler)는 이와 같이 무질서로부터 질서가 도출되는 것을 이합(bisocition)이라고 하였으며, 과학·예술 등의 창작활동에 있어서 그 과정의 핵심으로 설명했다. 물리적인 현상이든 인간의 창조과정이든, 비선형적인 행태를

3) James Gleick, Chaos, p.24

4) 로렌츠가 1963년 기상학 학술지에 발표한 「결정론적인 비주기성 흐름」을 우연히 접하게 된 제임스 요크가 미국 수학 월간지에 「주기 3은 카오스를 내포한다」는 논문을 통해 '결정론적인 무질서'에 대한 용어로서 카오스라는 명칭을 처음으로 사용하였다.

5) James Gleick, Chaos : 카오스, 박배식 · 성하운 역, 서울: 도서출판 동문사,1993, p.369

6) 김주미, 카오스, 프랙탈의 창조적 속성과 환경디자인에의 적용가능성에 관한 연구, 디자인학 연구, 제3권, 1996, p.239

7) 초기조건에의 민감한 의존성(sensitive dependence on initial conditions) : 3장1절 참조

8) 스트레인즈 어트랙터(strange attractor):3장 3절 참조

9) 김용운, 카오스의 날개짓, 서울: 김영사,1999, p.107

보이는 계를 통칭하여 복잡계(complex system)라 한다. 복잡한 현상에 공통되는 성질, 즉 비선형성을 통일적으로 관찰하는 복잡계 이론에 있어서, 카오스의 발견은 흔히 그 경로를 내비치는 창문으로 비유된다. 즉 카오스는 자기 조직화에 의한 새로운 질서의 창조자라 할 수 있으며, 상태(state)보다는 과정(process)의 과학, 존재(being)보다는 변환(becoming)의 과학으로 인식된다.

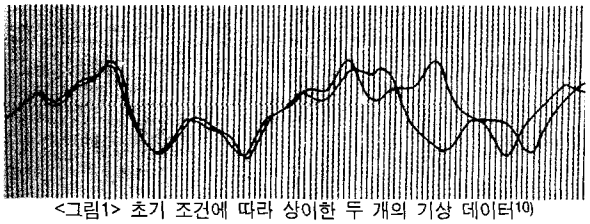
3. 비선형 동력학 현상

본 연구에서는 비선형적 행태를 보이는 물리적 현상들을 고찰하고자 한다. 과학적 패러다임의 변환은 필연적으로 지적 영역의 파급효과를 불러일으킨다. 이와 같은 관점에서 비선형 동력학 현상에 대한 고찰은 복잡계 구조의 원리와 창조적인 속성을 이해함으로써, 오늘날 비선형적인 공간생성의 원리를 규명하고, 그 창조적인 과정을 제시하기 위함이다. 소개되는 내용들은 비선형적 공간 조형에 가장 많이 영향을 주었던 현상들을 함축한 것이다. 따라서 비선형적 공간조형의 본질을 이해하는 밑거름이 되리라 생각한다.

3.1 초기 조건에의 민감한 의존성 (sensitive dependence on initial conditions)

오일러(Leonhard Euler)와 베르누이(Daniel Bernoulli)에 의해 발견된 대기 운동방정식은 기압, 온도, 습도, 풍속 등의 요인에 의해 계산되어 진다. 기후는 대기중에 떠다니는 각기 다른 뭇알갱이계(many-paticle system)들이 어떻게 화합하는가에 따라 결정되는 것이다. 이른바 뭇알갱이들의 협동현상으로, 계 전체의 성질을 특징지음으로써 기후를 예측하게 된다. 기상학자 로렌츠는 1963년<결정론적 비주기성 흐름 Deterministic Nonperiodic Flow>이라는 논문을 발표했다. 기상을 예측하는 모형인 로렌츠 방정식(Lorenz equation)에 의하면, 극미한 오차를 지닌 2개의 다른 기후 인자들을 컴퓨터에 입력하였을 때 그 결과치는 전혀 다른 기상모델을 나타낸다는 것이다. 기상과 같은 복합 비선형 역학계는 매우 민감해서 극미한 것 까지도 영향을 끼칠 수 있다는 것을 의미한다. 나비효과(butterfly effect)로도 불리우는 이 현상은 곧 예측불가능성(unpredictability)을 시사한다. 곧 나비의 세미한 날개짓에도 지구 반대편의 기상은 카타스트로피적 변환을 일으킬 수 있다는 것이다. 따라서 장기 기상예측 또한 불가능하다.

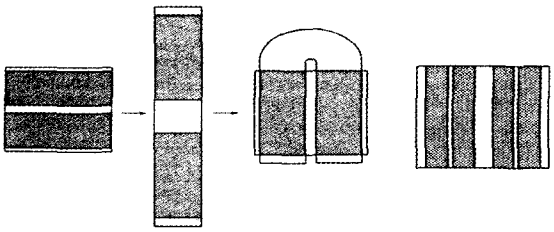
이와 같은 예측불가능성은 계의 복잡한 행태를 포함하며 새로운 질서로 향한다. 이는 작은 오차가 반복 점진적인 과정에서 카오스적 행태로 돌변함을 의미한다. 결코 반복되지 않는 카오스적 행태는 풍부한 레퍼토리를 양산하며 주기적으로 안정성을 유지한다. 따라서 초기조건에의 민감한 의존성이 갖는 예측불가능성과 구조적인 안정성은 카오스 계 전체의 성질임을 알 수 있다.



<그림1> 초기 조건에 따라 상이한 두 개의 기상 데이터[10]

3.2 스메일의 말굽(Smale's horseshoe) 구조

위상수학(topology)은 형태의 잡아당김(stretching), 비틀림(twisting), 구부림(bending), 압착(squeezing)등을 연구하는 수학의 한 분야이다. 그러므로 고무판 위의 기하학이라고도 불리어 진다. 잡아당김, 비틀림, 구부림, 압착 등의 형태변형은 계를 변화시키는 매개변수로서 작용한다. 위상수학자인 스메일은 비선형계에서 일어나는 이와 같은 현상들을 말굽구조로 명명된 방법을 통하여 정성적으로 측정하였다. 말굽구조의 기본원리는 입방체를 압착시킨 후 길게 잡아당기고, 구부려서 말굽의 형태를 만드는 데 있다. 이 과정을 반복하면 스파게티의 국수처럼 변형된다. 이때 최초의 인접했던 두 점은 시간의 경과에 따라 어느 위치에 놓이게 될는지 예측할 수 없다는 것이다. 이른바 동력학적 스파게티의 동질엉킴(homoclinic tangle)현상은 임의적인 잡아당김과 구부림에 의한 불규칙적인 겹구조를 나타낸다. 이와 같은 피드백의 반복 점진과정은 급작스럽고, 비연속적으로 간헐적인 만남을 허용하며 카오스적 계로 변모시킨다.

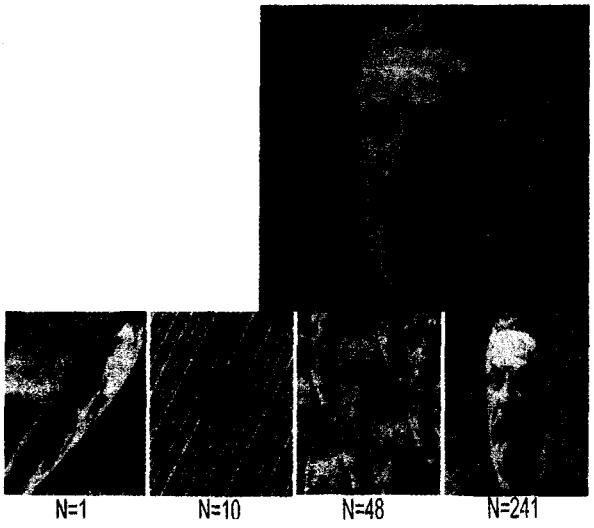


<그림2> 스메일의 말굽구조 모형

<그림3> 불규칙한 겹구조를 보여주는 용암의 흐름[11]

10) James Gleick, Chaos, p.17

11) James Gleick & Eliot Porter, Nature's Chaos, N.Y. : Little, Brown and Company, 1990, p.20



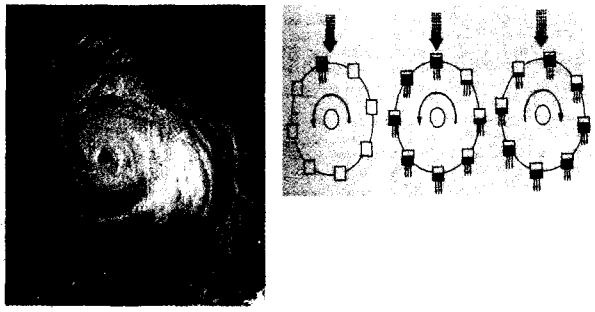
<그림4> 제임스 크러치필드의 컴퓨터 모자이크 실험[12]

물리학자 크러치필드(James Crutchfield)는 현대 카오스학의 아버지인 푸앵카레의 사진을 컴퓨터에 입력하여 잡아당기고 접힘에 의한 모자이크 실험을 시도하였다. 숫자 처리(digitization)된 푸앵카레의 사진은 컴퓨터에 의해 수학적으로 잡아 당겨진다. 비선형 방정식에 의해 반복처리가 진행될수록 푸앵카레의 얼굴은 균일하게 퍼진다. 그러나 어느 순간 처음의 사진과 근사한 재배치가 나타나게 되는데, 이는 스메일의 말굽에서 규명된 간헐성에 의한 것이다.

3.3 난류와 스트레인즈 어트랙터(turbulence and strange attrector)

난류는 순조로운 흐름이 갑자기 불규칙한 행태를 보이면서 뒤섞여 흐르는 거친 형태의 흐름을 말한다. 난류의 발생은 에너지가 대규모에서 소규모로 분산되는 과정을 수반한다. 즉 유체역학(fluid dynamics)에 있어서 난류의 행태는 불안정한 무질서 상태로의 돌입을 의미하며, 순조로운 흐름을 마비시키는 항력을 발생시킨다는 점에서 분산적이다. 난류의 행태는 프랙탈(fractal) 현상의 핵심인 자기 유사적 구조를 지닌다. 큰 소용돌이 속의 작은 소용돌이는 축척에 있어서의 자율성을 의미하는 한편, 속도를 줄이기 위한 자연의 고육적 본성이기도 하다. 또한 난류는 간헐적인 특성을 갖는다. 이는 대류현상으로서의 소용돌이를 의미하는 태풍지역을 위성으로 관찰함으로써 입증할 수 있다.
그러나 난류로의 위상전이(phase transition)과정에 대한 연구는 그 경계의 모호성만 제기될 뿐, 명확한 근거는 분석되지 않고 있다. 아직까지 유체 운동방정식은 편미분 방정식으로 특별한 경우를 제외하고는 풀리지 않는다.
이에 대하여 오토 뢰슬러(Otto Rossler)는 스스로를 조직하여 가는 자연의 의지와 카오스적 본성으로 설명한다.

12) John Briggs & F.David Peat, Turbulent Mirror : 혼돈의과학, 김광태 · 조혁역, 서울: 범양사,1990,p.72



<그림5> 소용돌이(NASA)[13]

<그림6> 로렌츠의 수차실험[14]

<그림7> 스트레인즈 어트랙터와 유체흐름을 표현한 악보[15]

로렌츠는 수차(water wheel)장치 실험을 통하여 난류의 행태를 모형화 하였다. 로렌츠의 실험에 의하면, 수차에 장착된 물통에 물이 위로부터 일정하게 떨어진다. 물의 무게 때문에 수차는 서서히 한 방향으로 회전하게 되는데, 물통의 무게가 증가함에 따라 그 회전 속도는 빨라지게 된다. 그러나 흐름이 더욱 빨라지면 비선형 효과가 계에 나타나므로 회전을 좌우로 돌며 카오스 현상을 보인다. 이와 같은 점에서 수차의 회전과 대류하는 유체의 회전은 공통된 성질을 지니고 있다. 수차와 유체의 임의적인 행태의 값을 컴퓨터에 입력하면 좌우 반복에 의한 궤적이 그려지는데 이를 기이한 끌개, 즉 스트레인즈 어트랙터라고 한다. 올빼미 얼굴을 연상케 하는 이 현상은 위상공간의 좌표계에서 임계점을 넘나드는 이중나선 구조를 이루며, 결코 그 궤적이 교차하거나 반복되지 않는 새로운 종류의 질서임을 보여준다.

3.4. 프랙탈 기하학(fractal geometry)

고전기하학에 입각한 유클리드적 형상들은 자연을 규칙적이고 추상적인 단순 도형으로 해석하였다. 프랙탈 기하학을 창안한 만델브로트(Benoit Mandelbrot)에 의하면 자연은 규칙적이지 않으며 쪼개지고 ,거칠고, 꼬이고, 엉키면서 서로 상관하는 복잡계 구조이다. 이는 무작위적 과정(random process)에 의해 생성되는 불규칙한 자연의 본질로서 이해된다. 따라서 자연의 기하학은 나누어 떨어지는 정수 개념이 아닌 소수 차원으로 측정해야 하며, 아울러 무한대적 특성을 지닌다. 만델브로트가 헬게 폰 코흐(Helge Von Koch)의 이름을 따서 고안한 코흐곡선은 유한한 공간 내에 있는 무한한 길이라는 역설

13)La Martiniere, La Terre vue par Satellite, Paris : DLR, 2002, p.228
14)James Gleick, Chaos, p.27
15) Benoit Jacques, Play it by Ear,

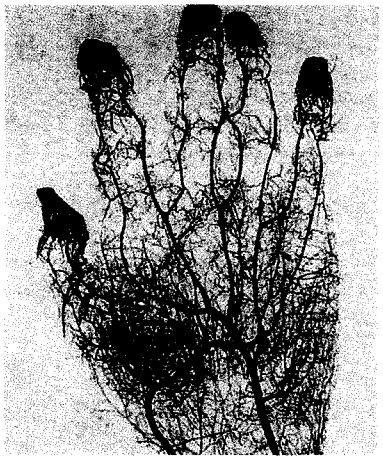
을 보여준다. 이와 같은 자연의 불규칙한 패턴과 무한히 복잡한 현상에 대한 연구는 자기복제 또는 자기참고의 개념을 지닌 자기유사성(self-similarity)구조를 의미한다. 자기유사성은 대규모로부터 소규모를 관통하는 축척의 자율적인 반복 행태로서 곧 회기(recursion)를 내포하는 것이다. 상기한 내용들은 자연을 단편적이고 부분적인 측면이 아닌, 자발적으로 운영되는 전일론적 시스템으로 이해해야 함을 뜻한다. 어떤 크기의 폭풍을 일컫는 허리케인은 좁은 골목의 회오리 바람과도 하나의 연속체를 이루고 있다. 미풍 또한 큰 폭풍처럼 행동한다. 자기유사성의 힘은 전체와 관련되는 문제라 할 수 있다.

프랙탈 차원(dimension)은 자연물의 성질에 대한 중요한 단서를 제공한다. 달 표면의 울퉁불퉁한 프랙탈 차원은 달의 지표면이 현무암임을 증명한다. 또한 프랙탈은 복잡한 주름 구조를 보인다. 신체 각 기관들의 세포조직은 끊임없는 무한 중첩구조인데, 이는 프랙탈 구조의 효율성을 암시한다. 즉 최소공간에 최대면적을 밀어 넣음으로써 생명활동이 효율적으로 수행되도록 한다. 전체 에너지를 최소화하려는 자연의 목적으로 이해된다. 자연은 길들여지고, 분류되고, 이용되어야 할 대상이 아니라, 창조의 원리이며 모델로서 인식되어야 한다. 곧 프랙탈은 불규칙적이고 파편적이며, 일률적이지 않은 현상에 대해 묘사하고 계산하며 생각하는 새롭고 창의적인 방법이라 할 수 있다.

<그림8>자기유사성을 보이는 사막의 베나르 조직[16]

<그림9> 축척의 자율성을 보여주는 아랍문자 코뿔소[17]

16) 베나르 조직: 베나르 불안정성(benard instability)에 의한 사막의 베나르조직은 대류의 카오스 현상이후 소용돌이가 빠져나간 흔적을 보여준다. 그 형태적 속성은 자기 유사성임을 알 수있다. 과학자들은 전체 대기가 들끓는 베나르 조직이 바다일 수 있다고 생각한다.



<그림10> 손의 프랙탈적 혈관분지 구조[18]

지금까지 비선형적 패러다임의 기저를 이루었던 비선형 동력한 현상에 대해 고찰하였다. 카오스는 '결정론적인 비선형계에 나타나는 불규칙하고 예측불가능한 현상'으로 설명된다. 즉 불규칙한 현상의 배후에 감추어져 있는 규칙성을 탐구한다. 혼돈과 질서가 공존하는 이른바 복잡성의 과학이다. 그 내면에는 '임의성을 가장한 질서'가 정교한 기하학적 구조로 안착되어 있다. 이를 카오스 전문가들은 새로운 종류의 질서라 부르며 안정계로 분류한다. 이와 같은 결정론적 혼돈이 만들어내는 질서의 구조가 바로 프랙탈이다. 프랙탈 시간(fractal time)은 자기유사성을 실현시킨다. 즉 패턴안의 패턴으로의 회귀를 의미하며, 무한을 보는 방법을 제시한다. 자기참고적인 다축척 형상들은 예기치 못한 새로운 가능성과 풍부함을 분출한다. 이와 같은 내용들을 토대로 하여 다음 장에서는 비선형 동력학 현상이 공간조형에 적용된 사례를 분석하고자 한다.

4. 비선형적 공간조형

4.1 비선형적 공간조형의 특징

20세기 후반, 특히 90년대 이후 급격하게 늘어난 서구 건축 디자인의 비선형적 행보는 디지털 미디어의 급격한 확산과 더불어 유클리드적인 단순계 사고에서 비유클리드적 복잡계에 의한 조형적 체계화로의 전환을 보여준다. 과거 고전기하학에서 다루었던 형태들은 실재에 대한 추상으로 플라톤적 조화철학에 영감을 주어 부분과 부분의 총합개념에 입각한 플라톤식 조직화를 추구하였다. 유클리드는 그 조형들을 이용하여 2000년 동안 지속되어온 기하학을 만들었으며, 예술가들은 유클리드 기하학에서 이상적인 미를 찾고자 하였고, 천문학자들 또한 우주를 다체문제로 인식하지 못하였다. 따라서 오늘날 어떤 계에 있어서 복잡한 전체구조로의 인식은 획기적인 창조원리로 받아들여지고 있다. 비선형적 공간조형에서 전체 조직화에 대한 구조의 핵심은 축척의 개념이다. 이는 자연의 유기체적 패턴의 조직화 과정인 프랙탈 과정(fractal process)을 참

17) Hassan Musa, Mon Premier Dictionnaire,

18) Jan Kaplicky, Confessions: Principles Architecture Process Life, Wiley Academy,2002. p.21

고하는 것을 의미한다. 비선형 패러다임에 입각한 공간 디자이너들은 공간에 있어서의 무정형성과 복잡성에 대한 감식력을 지니고 있다. 또한 공간 이용자들이 부분적인 공간 기능에 익숙해지는 것을 대신하여, 공간을 유기적인 전체시스템으로서 숙지하는 능력을 배양시킨다.

복잡성이 증대된 공간에서 시간은 형태생성을 촉발하는 능동적이고 역동적인 요소로서 작용한다. 이는 근대건축에 있어서 유클리드적 선분에 의한 평면이 시간을 배제시킨 단순한 결과물을 도출시킨 상황과는 대조적이다. 이와 관련하여 바우하우스가 지향했던 군더더기 없고, 규칙적이며, 직선적이고 단순한 형태의 공간들은 동일한 군집들로 인식된다. 그 이유는 완전한 위상공간(entire phase space)을 이루는 요소들인 경도와 위도, 높이, 그리고 시간의 개념인 속도 등의 충분조건을 갖추지 못하였기 때문이다. 이와 같은 도구들은 공간조형에 있어서 위상 수학적인 형태변형 즉 잡아당김, 비틀림, 구부림, 압착, 기울어짐 같은 구조들을 가능케 하며, 정보와 에너지가 충만한 창의적인 공간으로의 창출을 돕는다. 뿐만 아니라 비선형적 공간은 기능적인 측면에서도 효율적이다. 이는 자연이 고안한 프랙탈 구조 가운데 자기유사성으로 설명되는 매우 유연하고도 정교한 축척의 메카니즘을 적용함으로써 가능해진다.[19]

본 연구자는 언급된 내용들과 관련하여 비선형 동력학 현상이 공간에 적용된 사례를 분석, 소개함으로써, 비선형적 프로세스에 의한 공간조형의 창의적 방안을 제시하고자 한다.

4.2 공간 조형 원리와 패턴

4.2.1 초기조건에의 민감한 의존성

1. 폴 윌리엄스(Paul Williams) 어린이를 위한 설치미술작업 (Installation - Art works for children), 미국

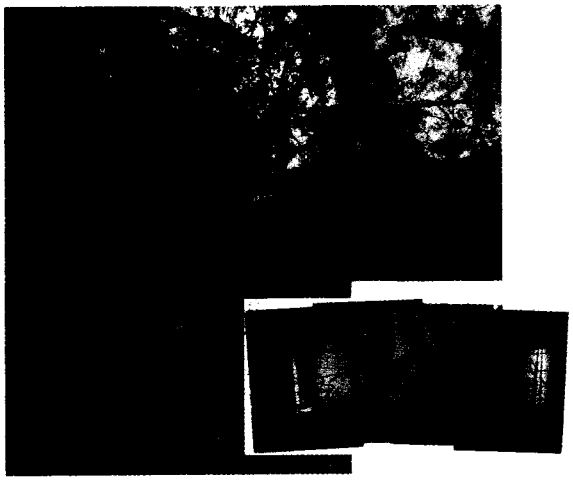
어린이를 위하여 창안된 설치작업이다. 과정에 따른 변환의 가능성을 열어 두고, 인간의 육체는 1인치 두께의 쇠파이프를 조절하는 도구로서의 의미를 갖는다. 인간의 손과 팔이 쇠파이프의 굴곡을 만들며 생명체가 꿈틀거리는 듯한 역동성을 분출시킨다. 또한 때로는 침묵과 집중을 유도하며 인간 내면의 본질을 재고하게 한다. 작업 과정을 통해서 인간의 몸은 육체적 고통을 작품에 반영하는 상관성을 갖는다. 즉 통증을 느끼는 근육과 부상을 입은 팔과 손은 작품을 새로운 차원으로 이끌어내는 초기조건이 된다. 작가의 육체적, 정신적인 변화가 작품의 물리적인 형태에 반영되는 것이다. 그러므로 처음 예측한 것과는 다른 작품으로 전이된다. 초기조건에의 민감한 의존성은 파괴가 아닌 창조에 도움이 된다. 아울러 이 작품은 우리 육체가 현실이라는 메시지를 전송한다.<그림11>

2. 프랭크 O. 게리(Frank O. Gehry), 내셔널-네덜란덴 빌딩 (Nationale - Nedelanden Building), 체코

게리의 개념스케치는 초기조건에 민감한 의존성을 강하게 시사한다. 전혀 형태를 예측할 수 없는 역동적이고 무작위적인 터치(touch)는 빙산의 일각만큼만 작품에 대한 영감을 내비치는 정도이다. 프라하의 내셔널-네덜란덴 빌딩의 표피는, 자율성과 임의성을 가장한 질서의 아름다움을 보여준다. 네오르네상스 양식의 주변 건물들과의 관계도 유지하면서 흥미롭고 독창적인 시각적 관심을 도출하였다. 인접한 강의 물결을 차용한 벽면의 수평적 분할과 불규칙적인 반복 그리고 왜곡은 주위를 집중시키며, 표류하는 뗏목을 연상케 하는 장방형의 창들은 감수성을 자극한다. 1968년 소련 침공으로 폐허가 된 프라하에 예술품으로 선정된 이 건물의 모서리 부분은 한 쌍의 남녀모습을 구조화한 것이다. 일종의 무질서한 교차로라는 부담스러운 입지를 상쇄시키기 위한 자구책이었는데, 시각적으로 개방된 유리 캐노피는 내외부의 연계성을 강화시켜 주며 공간을 친근하고 풍요롭게 변화시킨다.<그림12>, <그림13>

3.피터 아이젠만(Peter Eisenman), 홀로코스트 희생자 기념관(Monument and Memorial site), 오스트리아

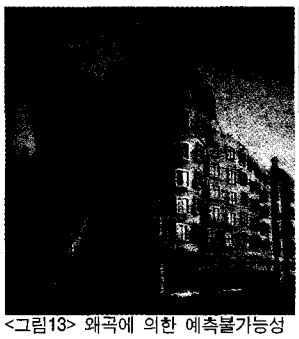
홀로코스트 희생자 기념관은 사회적, 물리적인 영역과 층을 '구분-재조합함'으로써 비롯되어 진다. 하단영역은 비엔나에 있는 두 곳의 유태인 거주지를 양분한 것이다. 또한 상단영역은 1938년 독일과 오스트리아의 합방지도이다. 이들을 컴퓨터로 재조합하는 과정에서 유태인 거주지역의 지각에 균열을 만들어 예측할 수 없는 당시의 정황을 암묵적으로 표현하였다. 이 균열 행태는 공간적으로도 유태인 지역과 합방지 간의 예측불가능성을 야기시킨다. 프랙탈적 파편을 연상시키는 불규칙하고 무작위적인 장벽들은 비슷하게 반복되는 듯 하나 결코 똑같이 반복되지 않는 비주기성을 지닌다. 비주기성과 예측불가능성은 형태적인 풍부함과 의외성을 창발시킨다. 기울기와 연속적인 뒤틀림의 크고 작은 파편들은 오차와 불확실성의 변수로서 작용한다. 질서정연하게 배치된 주변건물의 유클리드적 그리드와는 대조적이다. 이와 같이 상반되는 논리는 계몽주의자의 동상과 일직선상에 배치시켜 이율배반적인 상황, 즉 계몽논리와 비인간적인 논리가 공존할 수 있다는 가능성을 시사한다.<그림14>



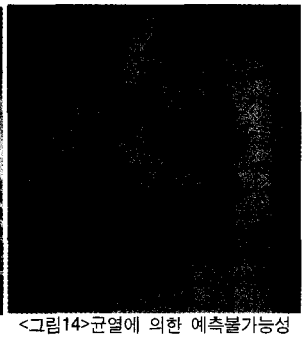
<그림11> 작업자의 상황이 초기조건이 되는 설치작업

19) 만델브로트에 의해서 명명된 베니스 상인 증후군(merchant of venice syndrome)에 의하면, 코흐곡선이 무한 길이의 선을 제한된 부피에 밀어 넣는 것과 같이 혈액은 신체의 5퍼센트에 불과한 공간만을 차지하면서 생명활동을 수행한다. 이는 대동맥으로부터 미세혈관에 이르기까지 계속 갈라지면서 축척을 조절하는 혈관 분지구조 때문이다. 즉 자기유사성에 의한 공간구조는 효율적임을 증명하는 것이다.

<그림12> 형태를 예측할 수 없는 게리의 개념스케치



<그림13> 왜곡에 의한 예측불가능성



<그림14>균열에 의한 예측불가능성

4.2.2 스메일의 말굽구조

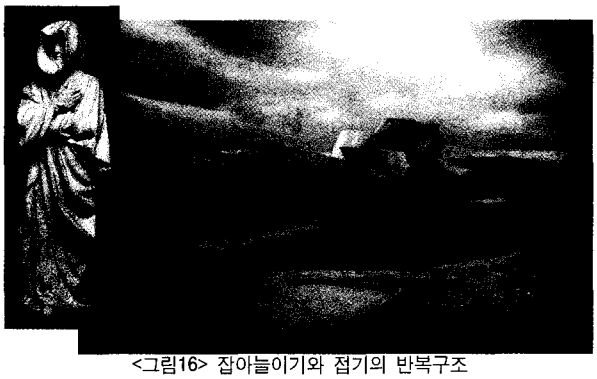
1 .Shuhei Endo, Maison 'Spring Texture', 일본.

이 시설물은 공원 전체에 간헐적으로 배치되어 있다. 공중화장실 등의 단순한 용도와 함께 환경조형물로서의 역할도 하며, 자연과 인공물의 화합을 시도한다. 넝쿨의 얽힘과 감김을 연상케 하는 이 구조는 잡아늘리고(stretching), 휘어진 위상학적 형태 변형을 보여준다. 그 방향성은 예측할 수 없는 것처럼 보이며 연속적으로 운동해 간다. 따라서 바닥, 벽, 천장 등의 경계 또한 모호하다. 부드러운 곡면의 자율적인 태도와 자연광의 결합은 관찰자의 시점을 자연스럽게 이동시킨다. 내부공간은 리드미컬하게 감긴 구조속에서 우연적으로 발생되며, 스메일의 말굽사상에서 보여주는 급격한 구조적 혼합을 이룬다.<그림15>

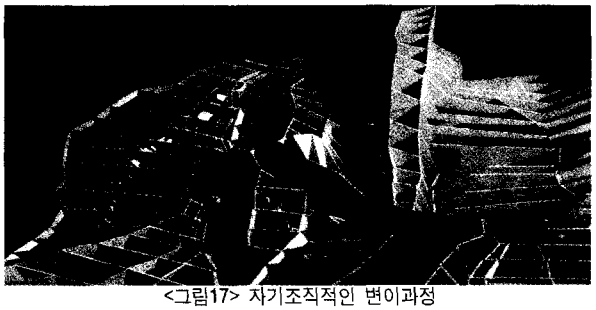
2. 프랭크 O. 게리(Frank O. Gehry), 빌바오 구겐하임 미술관(Guggenheim Museum Bilbao), 스페인

빌바오의 상업지구 및 사적지와 연결되는 구겐하임 미술관은 빌바오시의 상징이며 문화적 중심을 이루고 있다. 스페인산 석회암과 함께 외장 재료로 사용된 티타늄 패널들은 게리에게 영감을 준 클라우스 슬러터(Claus Sluter)의 조각처럼 잡아늘이기와 접기(folding)를 반복하며 맞물린 덩어리를 보여준다. 서로 상이한 두 동력학적 운동은 무한한 층위를 형성하는 겹 구조로서, 내용상 무작위적인 혼돈을 의미한다. 인근에서 함께 출발한 면들은 적당한 크기 이상의 거리가 되면, 서로 시야를 벗어나 독립적으로 방향을 전개시켜 나간다. 벌어진 면과 덩어리들은 그 곳에서 만난 다른 것들과 새로운 관계를 형성하게 된다. 과거와 미래의 전개는 모두 예측불가능한 상황으로 점철된다. 내부공간은 유리천창을 통해 자연의 빛이 유입되는 중앙 아트리움을 중심으로 생동감있고 유연하게 서로 관입된다. 전시내용은 영구소장품, 기획전시품, 생존작가 특별전시의 영역으로 구분되는데, 이 가운데 생존작가의 특별전시는 미술관 곳곳의 곡면 갤러리에 전시됨으로써 다른 기존 전시들과 차별화된다.<그림16>

<그림15> 휨 구조에 의한 예측불가능성



<그림16> 잡아늘이기와 접기의 반복구조



<그림17> 자기조직적인 변이과정

3. 카리 앤더슨(Kari Anderson), 도시연결(Urban Linkage) 프로젝트, 뉴욕

콜럼비아 건축대학원 스튜디오의 도시연결 프로젝트 중 하나이다. 건축과 도시와의 관계는 부분과 전체로서, 끊임없이 주고 받는 정보의 교환을 통한 열린계 시스템으로 상정된다. 정보, 인간, 물질의 연결 흐름은 자기 조직적인 선택과정을 통해 예측하지 못했던 상황으로 전이되어 간다.

건축은 모든 관계들의 집합이며 보다 큰 장치인 도시와의 연결을 시도한다. 도시는 동력학적 네트워인 동질얽힘에 의한 역동적인 복합체로서 독자적인 정체성을 강화시켜 나간다. 기존의 건축위에 얹혀지는 생물적 느낌의 골격구조는 접촉(contact)과 벌어짐에 의한 불규칙한 운동을 반복하며 구조적인 안정성(structurally stability)을 보여준다. 구조적인 안정성은 계 전체의 성질로서 형태적 특성을 규정짓는다.<그림17>

4.2.3 스트레인즈 어트랙터

1. 스티븐 홀(Steven Holl), 인류진화박물관(Museum of Evolution), 스페인

직각 구조안의 유기적인 다면체는 알라잔(Arlazan)강의 지류와 연결되는 아타푸에르카(Atapuerca)동굴의 탄생 설화를 반영한 것이다. 중심부의 인간의 혼성적이고도 원시적인 이미지는 유연하게 5개의 공간으로 흘러 들어가며, 연속적인 동선

<그림18> 실재(건물)와 비실재(수면)의 스트레인즈 어트랙터(왼쪽)
<그림19> 난류적인 유기적 다면체(오른쪽)

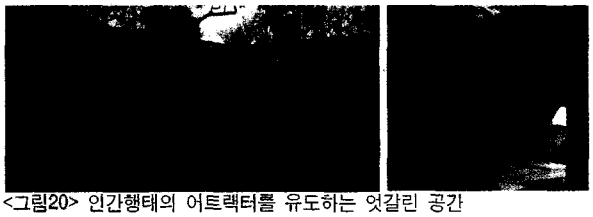
과 함께 위상전이를 형성한다. 관람자의 동선은 꾸에뜨-테일러 흐름(Couette-Taylor flow)과 같이 꼬이고 중첩되며 난류적 상황을 연출한다. 뒤엉킴을 통해 미를 창출하는 스트레인즈 어트랙터의 원리이다. 복잡한 경로를 통해 감아들어 가면서, 밖에서는 보이지 않는 내적으로 난해하고 어지러운 궤적을 그린다. 전시는 특별한 이벤트의 필요에 따라서 변경된다.
또한 건물 덩어리와 빈공간의 상보적인 관계는 전일론적 자각에 의한 것이다. 부유하는 덩어리들은 제로 레벨(zero level)의 수면위에 자신의 형태와 색채를 투영시키며. 비물질적 자아와 함께 스트레인즈 어트랙터를 구현시킨다.<그림18>,<그림19>

2. 벤 반 버클(Ben van Berkel), 뫼비우스 하우스(Mobius house), 네덜란드

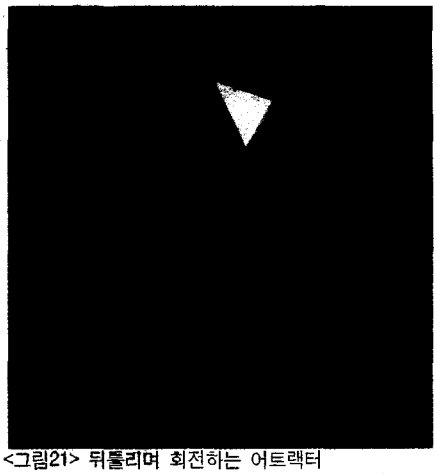
뫼비우스 주택은 '하나의 공간에 생활방식은 둘' 이라는 아이디어를 제시한다. 이중으로 꼬인 공간 다이아그램은 효율적인 분배와 극적 결합을 암시한다. 두 명의 사용자가 각자의 경로를 따라 움직이다가 특정지점에 이르러서는 공간의 특성을 공유하고 다시 서로 다른 방향으로 경로를 전개해 나간다. 그러므로 두 사용자의 이중적인 상태를 임계점에서 엮음으로서 다분화된 행위들을 하나의 구조 속에 응축시킨다. 이와 같은 상황은 주택에 사용된 두 가지 주된 재료들의 구성으로 치환된다. 건축의 내외부에서 콘크리트와 유리는 서로 교차되며 주택의 프로그램을 강화한다. 시공의 연속체(Time-Space Continuum)로서 뫼비우스띠의 원리는 공간의 연속성(sequence)에 의한 행태 패턴의 피드백에 의해 충족되어 진다. 결코 똑같이 반복되지는 않지만 다시 그 경로를 따라 회귀됨을 보여준다.<그림20>

3. 피터 아이젠만((Peter Eisenman), 막스 라인하르트 주택(Max Reinhardt Haus), 독일

미디어 센터로서 라인하르트 주택은 독일에 대한 자부심과 미래지향적 사고를 상징한다. 따라서 프리즘과 같이 단편적인 동시에 끊임없이 변화하는 이미지를 형태에 반영한 것이다. 뒤틀리며 회전하는 불안정한 운동은 마치 어떤 자성 물질에 의해 이끌려 가는 어트랙터 현상을 보여 준다. 비스듬히 엇갈리면서 중첩되는 비선형적 마디들은 속도와 함께 방향과 흐름을 제시하면서 불규칙한 리듬을 생성시킨다. 어트랙터는 흐름이 멈추지 않으므로 고정점이 없다. 어느 한 순간의 동력학계에 대한 모든 정보, 곧 경도와 위도와 고도는 위상공간 좌표상의 한 점으로 표시되지만, 바로 다음 순간에 속도가 계에 섭동하기 때문이다. 그 이유가 바로 라인하르트 주택이 정태적이지 않고 회전하는 유체처럼 인식되도록 한다.<그림21>



<그림20> 인간행태의 어트랙터를 유도하는 엇갈린 공간



<그림21> 뒤틀리며 회전하는 어트랙터

4.2.4 프랙탈

1. 스티븐 홀(Steven Holl), 심몬스 홀(Simmons Hall), 미국

스티븐 홀에게 있어서 다공구조는 생명을 스스로 운영해 가는 자가장치의 의미이다. 멩거 스폰지(menger sponge)를 연상케하는 심몬스 홀의 형태는 프랙탈의 자기유사적 구조로써 설명된다. 견고해 보이는 크고 작은 격자들은 패턴안의 패턴으로의 회귀를 의미하며, 세밀함과 덩어리감을 동시에 보여준다. 끊임없이 반복되는 다공구조는 구체적으로 매스의 수평 단면에서 간헐적으로 보여지는 아메바형 홀을 통해 서로 알 수 있다. 불규칙하고 꿈틀거리는 듯한 이 홀들은 주로 몇 개의 층을 단숨에 관통하는 라운지나 아트리움 또는 계단실이나 통로로 열려져 있다. 이와 같이 크고 생동감 있는 이 구조는 자연광을 건물의 하층부까지 끌어 내리고, 오염된 실내 공기를 위로 보내는 역할을 한다. 이는 산소를 조절하고 동맥과 정맥에 효율적으로 결합되어 신진대사를 원활하게 하는 폐의 프랙탈적 구조와 동일하다. 즉 다양한 축척과 형태의 다공구조는 생명을 위해 필요한 조건으로서 동력학적 피드백의 자기 유지 과정에 따라 창안된 '자가-생명운영 시스템'인 것이다.<그림22>,<그림23>

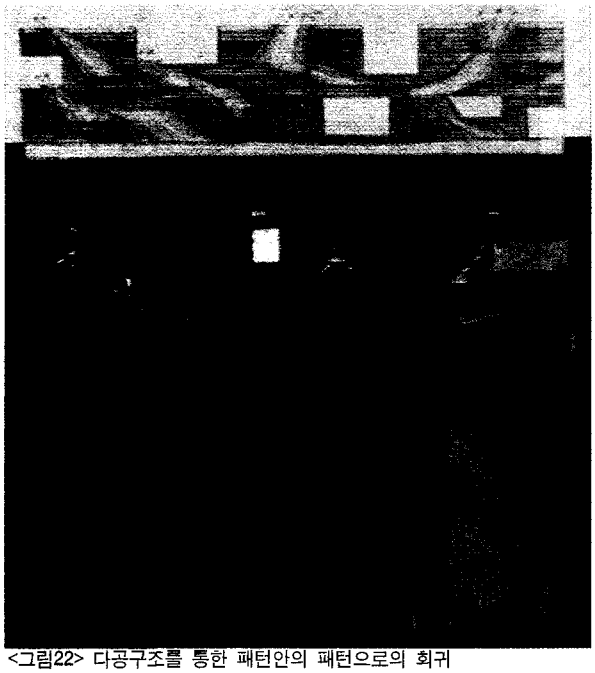
2. Peter Kulka & Ulrich Konigs, Chemnitz Stadium

스타디움 디자인은 자기조직(self-organization)의 본성을 지닌 자연물을 모티브로 하였다. 기둥은 무작위적인 간격을 지닌 숲의 나무들처럼 불규칙하게 배열되었으며, 일렁이는 듯한 지붕구조는 하늘에 떠다니는 구름을 투명한 소재로 표현한 것이다. 그 지붕위로 휘어진 금속 파이프가 교차되며 각각의 기둥으로 그 무게를 분산시킨다. 지붕아래 스탠드는 산과 골짜기의 굴곡을 조형적으로 해결한 것이다. 이와 같이 자기 조직적이며 무작위적인 자연의 행태들은 공간디자인에 있어서 무한한 창조의 가능성을 제공한다.<그림24>,<그림25>

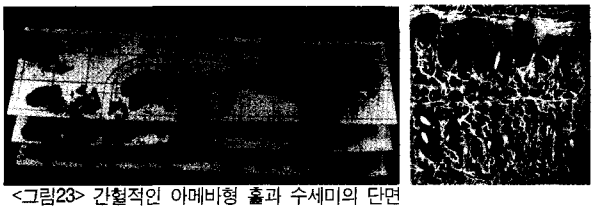
3. Herzog de Meuron, New Link Quai in Santa Cruz de Tenerife, 스페인

스페인 테네리페섬의 도시 산타크루즈를 바다에 더욱 접근시키는 계류시설 계획안이다. 화산활동으로 인한 침식으로 해안면은 평평한 대지를 제공하였고, 이로 인해 급속히 도시화가 촉진되었다. 새 부두 전략은 생태적인 관점에서 친자연적인, 친인간적인 접근방법으로 집중되었다. 유클리드적 기하학에 의한 인위적인 형태는 배제되고, 바다와 새 부두와 인간은 전일론적 시스템으로 일체화된다. 자연적으로 진화된 환경을 존중하여 화산활동으로 인해 구멍이 뚫린 돌의 생김새는 디자인 모티브로 상정되었다. 계획에 대한 접근은 실제사진을 추상적인 픽셀(pixel)로 분해(fragment)하여 선정한 분출물(extrusion)로부터 비롯되어 진다. 프랙탈 해안을 연상시키며 부유하는 낮고 긴 건물군의 형태는 임의적으로 보여지지만, 전체적으로 그 불규칙성의 정도는 일정한 프랙탈 차원을 갖는다. 울퉁불퉁한 건축선은 길이의 관점에서는 측정이 난해하지만, 들쑥날쑥한 정도에 있어서는 뚜렷한 특성을 보인다. 코흐의 눈송이 모델과 같이 규칙적인 불규칙성에 의해 무한한 공간의 확장성을 제시하고 있다.

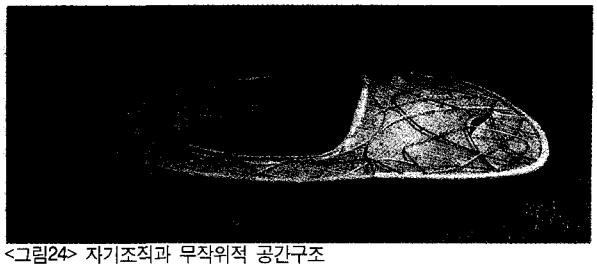
이와 같이 형상의 복잡성 뒤에 숨은 조직적인 구조는 공간을 효율적이고도 풍요롭게 만든다. 이는 산타크루즈 도시를 위한 랜드마크적이고 왕성한 교류장소로서의 설계 목적과도 부합되는 것이다. 섬의 자연환경과 일치하려는 전체에 대한 인식은 자연의 창조성이 우위에 있음을 인정하는 것이다. <그림26>,<그림27>,<그림28>



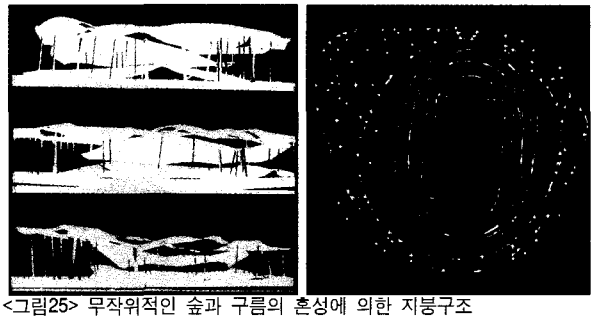
<그림22> 다공구조를 통한 패턴안의 패턴으로의 회귀



<그림23> 간헐적인 아메바형 홀과 수세미의 단면

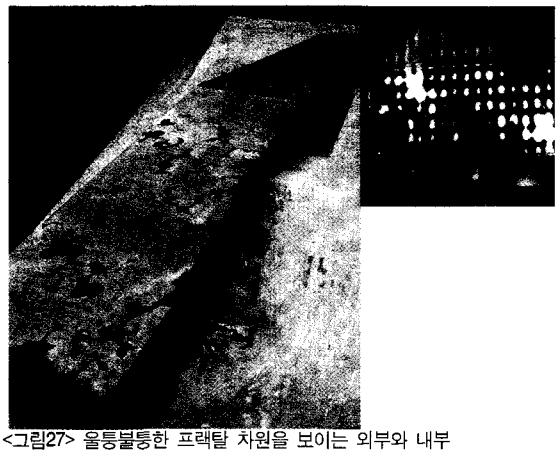


<그림24> 자기조직과 무작위적 공간구조



<그림25> 무작위적인 숲과 구름의 혼성에 의한 지붕구조

<그림26> 실제사진을 픽셀로 분해한 디자인 모티브와 공간모형



<그림27> 울퉁불퉁한 프랙탈 차원을 보이는 외부와 내부

<그림28> 규칙적인 불규칙성에 의한 공간의 자율적인 확장성

5. 결 론

비선형 패러다임은 몰이해로부터 저항, 반감 그리고 수용의 단계를 거치면서 보편적인 자연현상으로 받아들여지고 있다. 이른바 복잡성의 과학으로도 불리어 지는 비선형 과학의 중심부에는 카오스의 현상이 존재한다. '무질서로부터 질서로의 카타스트로피적 변환'. 이는 카오스가 개방시스템으로서 계에 복잡성을 증폭시킴으로 정보를 창출하는 카오스의 창조적 속성으로 설명된다. 이와 같은 카오스의 창조적 속성은 여러 과학자들에 의해서 비선형 동력학 현상들을 통하여 입증되었다. 동력학계의 새로운 통찰에 의하면 자연은 스스로를 조직해 가는 성질이 있으며, 카오스적 행태를 통해 아름다움을 창출해 낸다. 이와 같은 맥락에서 비선형 동력학 현상의 틀로서 분석한 비선형적 공간조형의 특징은 다음과 같이 정리된다.

<표3> 비선형적 공간조형의 특징

초기조건에의 민감한 의존성	스메일의 말굽구조	스트레인즈 어트렉터	프랙탈
예측불가능성 (unpredictability) 비주기성 (non-periodicity) 불규칙성 (irreguarity) 역동성 (dynamics) 의외성 (novelty) 임의성 (randomness) 즉흥적 (extempore)	예측불가능성 (unpredictability) 간헐성 (intermittency) 비평형성 (non-equilibrium) 탈중심성 (decentring) 역동성 (dynamics) 우연성 (accident) 모호성 (vagueness) 중첩 (reiteration)	복잡성 (complexity) 연속성 (continuity) 모호성 (vagueness) 유기적 (organic) 혼성 (hybridization) 중첩 (reiteration) 무한 (infinite)	불규칙성 (irreguarity) 임의성 (randomness) 정성적 (qualitative) 유기적 (organic) 전일론적 (holistic) 비정수 (non-integer) 확장 (expension) 무한 (infinite)

최근 자연과학은 세계를 해석하는 일종의 방법이 되었다. 특히 과학과 예술은 서로에게 영감을 제공하며 창조성을 촉발한다. 두 영역의 창조적인 행위의 목적은 현실을 넘어선 새로운 가치를 발견하기 위함이다. 그러므로 비선형적 패러다임에 의한 비선형적 공간은 오늘날 복잡하고 다양한 인간의 사고와 행태를 보다 폭넓고 세밀하게 지원해주는 진보적인 인간 환경이 되리라 확신한다. 디자이너의 역할이 문화 창조의 주역임을 감안할 때, 디자이너의 의식과 관점은 인간의 삶의 질과 직결되므로 매우 중요하다.

이와 같은 관점에서 본 연구자는 비선형적 패러다임에 의한 공간조형이 인간 환경의 새롭고 무한한 가능성을 열어주고 있다고 생각하는바, 전일론적인 질서창조의 원리와 방법인 비선형적인 사고로의 전환을 제안하는 바이다.

참고문헌

· 김용운 ; 카오스의 날개짓, 서울: 김영사, (1999)
· Briggs, John & Peat F. David, 김광태. 조역역 : Turbulent
· Gleick, James, 박배식. 성하운역 : Chaos : 카오스, 서울: 동문사, (1993)
· Ruelle, David, 안창림역 : Chance and Chaos : 우연과 혼돈, 서울: 이화여자대학교 출판부, (2000)
· Stewart, Ian, 박배식, 조역 역 : Does God Play Dice : 하느님은 주사위놀이를 하는가?, 서울: 범양사 출판부, (1993)
· Strosberg, Eliane, 김승윤 역 : Art and Science : 예술과 과학, 서울: 을유 문화사, (2001)
· Berkel, B.V. & Bos Caroline : Techniques, Rotterdam : UN Studio, (1999)
· Frank O. Gehry and Associates : Gehry Talks : Architecture+Process, N.Y. : Rizzoli, (1999)
· Gleick, James : Chaos : Making a New Science, N.Y. : Penguin Books, (1987)
· Gleick, James & Porter Eliot : Nature's Chaos, N.Y. : Little, Brown and Company, (1990)
· Hall, Nina : Exploring Chaos, N.Y. : W.W. Norton & Company, (1993)
· Jacoues, Benoit : Play it by Ear, Paris : Benoit Jaccues Book, (1989)
· Kaplicky, Jan : Confessions : Principles · Architecture · Process · Life, Great Britain : John Wiley & Sons Ltd, (2002)
· La Martiniere, : La Terre, Paris : DLR, (2001)
· Musa, Hassan : Mon Premier Dictionnaire, Paris : Grandir, (1994)
· Saee, Michele : Buildings + Projects, N.Y. : Rizzoli, (1997)
· ELcroquis : Herzog & de Meuron
· Eisenman, Peter : New World Arechitect, 서울 : 건축과 환경, (2001)
· Gehry, Frank O. : New World Architect, 서울 :건축과 환경, (2001)
· l'architecture d'aujourd'hui, Paris : Jean Michel Place, 325 Decembre, (1999)
· Quaderns : Spirals, Barcelona : ARCE
· ABSTRACT 98.99, N.Y. : Columbia University, (1999)
· 김주미 : 비선형 패러다임과 디지털 건축, 대한건축학회지, 제45권, 제9호, 2001
· 김주미 : 카오스, 프랙탈의 창조적 속성과 환경디자인에의 적용가능성에 관한 연구, 디자인학 연구, 제13권, 1996. 2
· http://www. fractal.co.kr