

생성적 디자인을 이용한 가구디자인의 특성에 관한 연구

- 프랙탈 기하학과 보로노이 다이어그램을 적용한 가구디자인을 중심으로 -

A Study on the Characteristics of Furniture Design Using Generative Design

- Focus on the Furniture Design using Fractal Geometry and Voronoi Diagram -

Author 이진욱 Lee, Jin-Wook / 정희원, 동명대학교 건축대학 실내건축학과 전임강사, 공학박사

Abstract Furniture design is no exception to human desire for pursuit of the nature. In various design fields, it has turned out nature-decorative method in the past, and also recently it has turned out bio-adaptive method which is more root design process using principal of generation in nature world. The purpose of this study is to analyze application methods and characteristics of fractal geometry and voronoi diagram which are most representative principals of generative design in nature by research on the example of furniture design using these principals. The results of having analyzed furnitures by generative design can be summarized as follows; design principals of fractal: superposition, scaling, repetition & gradation, deformation, distortion and voronoi diagram: individual speciation, variational patten, repetition-gradation, ambiguous boundary create new design concept and emergent form in furniture design. Application methods are 'form emergence by algorithm', 'conventional process based on principals of generative design', and 'reproduction of pattern from generative design'. Biological reinterpretations and new explorations of principals of nature generation offer unbounded possibilities for furniture design.

Keywords 생성적 디자인, 가구 디자인, 프랙탈 기하학, 보로노이 다이어그램
Generative Design, Furniture Design, Fractal Geometry, Voronoi Diagram

1. 서론

1.1. 연구의 배경과 목적

자연을 모티브로 한 가구 디자인의 역사는 가구라는 말이 생기기 이전부터 존재하였다. 원시시대 쓰러진 통나무나 바위에 걸터앉는 것과 같이 순수한 자연물 그 자체를 이용하면서부터 가구 디자인과 자연적 모티브는 불가분의 관계라 할 수 있다. 고대에서부터 중세, 근대를 지나 현재에 이르기까지 자연은 가구를 비롯한 건축, 공간 디자인 등 모든 디자인 분야에 있어 직접적 또는 간접적으로 차용되어져 왔다.

고대시대의 인체비례 적용이나 자연물 형태의 장식, 아르누보 시대의 식물형상의 유기적 곡선 장식, 20세기 초 표현주의에서 나타난 유기적 형상들은 모두 자연을 닮고자하는 인간의 욕망을 나타내고 있으며, 이를 자연 모사(nature-decorative)라 지칭할 수 있다. 이러한 이전의 경향이 단순히 자연적인 형태의 외형적 특성을 장식적, 은유적으로 표현하는데 그쳤다고 한다면, 최근 다양한 디자인 분야에서 나타나는 자연모사는 철학, 생물학,

물리학 등의 발전에 힘입어 자연의 생태적, 발생적, 진화적 시스템을 새로운 생성적 디자인(generative design) 시스템으로 발전시켜 새로운 패러다임으로써의 자연모사(bio-adaptive)를 창출하고 있다. 특히 이러한 자연모사(bio-adaptive)의 경향은 컴퓨터 기술의 발전과 더불어 더욱 생성적이고 알고리즘적인 접근방법으로서 자연이 가지고 있는 복잡계 질서를 자기조직화 시스템으로 구축해내고 이러한 시스템을 현실공간에서 물리적 제작에까지 적용하려고 하는 특성을 보여주고 있다.¹⁾

이처럼 자연계가 가지고 있는 생태적, 발생적, 진화적 시스템을 이용한 생성적 디자인(generative design)의 방식은 건축, 공간 디자인 분야에서 디지털 기술과 결합되어 보다 적극적이고 광범위하게 적용되고 있으며, 가구 디자인에서도 다양한 방식으로 이용되고 있다. 다만 가구 디자인의 특성상 가상공간에만 머물러 있지 않고 실제 모델의 제작이라는 결과적 한계와 실제 이용이 가능하여야 하는 기능성이라는 제약에 따라 이러한 생성적

1) 고희권, 디지털 공간에서 자연모사의 표현특성에 관한 연구, 한국문화공간건축학회논문집 통권 제28호, 2009.12, p.5 재구성

디자인의 적용 방식에서 차이는 나타나고 있다.

본 연구는 자연계 생성적 디자인의 가장 대표적인 이론인 프랙탈 기하학과 보로노이 다이어그램을 이용한 가구 디자인의 사례들을 조사하여 이러한 원리들의 적용 방식과 그 특성을 규명하는데 목적이 있다. 이를 통해 앞으로 가구 디자인 분야에서 생성적 디자인의 적용 가능성을 확장하는데 기여할 것으로 기대한다.

1.2. 연구 방법 및 범위

본 연구는 생성적 디자인의 원리를 이용해 실제적으로 제작·발표된 가구 작품들을 대상으로 진행하였다. 먼저 자연계 생성적 디자인의 이론들 중에서 가구, 건축, 인테리어 등 디자인 및 연구 분야에서 최근 주목받고 있으며, 실질적으로 디자인에 활용되고 있는 프랙탈 기하학과 보로노이 다이어그램을 연구대상으로 선정하였다. 가구 디자인 사례의 경우 이 두 가지 이론이 디자인 구상 초기 또는 결과물에 적극적으로 활용된 작품들을 발표하고 있는 작가들을 선별하여 그들의 작품 중 가상 또는 개념적인 작품이 아닌 실제적인 가구의 형태와 기능을 가진 작품들을 연구 사례로 선정하였다. 작가와 작품은 문헌 고찰과 인터넷 리서치를 토대로 진행되었다. 연구 방법으로는 먼저 프랙탈 기하학과 보로노이 다이어그램의 개념과 유형, 그리고 그 특성을 조사하여 이러한 생성적 디자인이 가지는 조형적 특성들을 분석하였다. 다음으로 선정된 작품들을 대상으로 생성적 디자인의 적용 방식과 특성들을 분석하였다. 마지막으로 사례조사를 종합하여 생성적 디자인을 통한 가구 디자인의 가능성과 한계를 살펴보았다.

2. 생성적 디자인의 이론적 고찰

2.1. 프랙탈(Fractal)

(1) 프랙탈의 개념





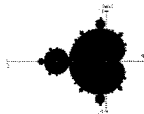
프랙탈(fractal)이란 단어는 1975년에 폴란드 출신의 프랑스 수학자 베노이트 만델브로트(Benoit Mandelbrot)가 모든 척도에서 나타나는 세부적인 모양을 나타내기 위해 만들어냈다. 그 어원은 '조각난', '부서진', '불연속적인'이란 뜻을 지닌 프락투스(fractus)라는 라틴어이다. 프랙탈 기하학은 자연에서 발견되는 불규칙한 모양을 다루는 기하학이다. 일반적으로 프랙탈은 무한한 세부, 무한한 길이, 부드러움의 결여라는 특징을 지닌다.²⁾

(2) 프랙탈의 기하학적 유형

프랙탈은 결정형 프랙탈과 비결정형 프랙탈로 크게 구

분할 수 있다. 결정형 프랙탈은 자신의 모양을 몇 단계에 걸쳐서 재귀적(再歸的)으로 수학적 규칙에 따라 축소시키고 회전시켜 만들어지는 것으로, 그 예로는 칸토르 먼지, 코흐 곡선, 코흐 눈송이, 시어핀스키 삼각형, 시어핀스키 양탄자, 피타고라스 나무 등이 있다. 비결정형 프랙탈은 형상의 일부분을 계속 확대할 때 전체 모습과 통계적으로 유사한 형상을 갖는 것으로, 브로콜리, 콜리플라워, 기관지, 뇌, 고사리, 나무, 해바라기, 벌집, 소라 껍질, 눈꽃송이, 해안, 강줄기 등 자연에서 흔히 볼 수 있는 것들이 그 예가 된다.³⁾ 대표적인 프랙탈의 형태와 생성과정은 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> 대표적인 프랙탈의 형태와 생성과정⁴⁾

| 유형 | 형태 | 생성과정 |
|-------------------|--|---|
| 칸토르 먼지 (1882) |  | 선을 하나 그리고, 한가운데 1/3부분을 제거한다. 양쪽의 남은 선분에서 다시 각각 가운데 1/3부분을 제거한다. 이 과정을 무한히 반복하여 얻을 수 있다. |
| 코흐곡선 (1904) |  | 창시자인 선분을 3등분하여 가운데 선분을 위로 구부러 올려 길이가 원래 선분의 1/3인 선분 네 개를 생성시키고, 생성자를 축소해가며 새로 생긴 네 개의 선과 바꾸는 과정을 무한반복하여 얻을 수 있다. |
| 시에르핀스키 삼각형 (1916) |  | 창시자인 정삼각형의 세 변의 중점을 이으면 원래의 정삼각형 안에 작은 정삼각형이 만들어지는데, 이 작은 정삼각형을 제거하는 과정을 무한반복하여 얻을 수 있다. |
| L-시스템 (1968) |  | 창시자인 초기 가지를 일정한 길이의 비(比)가 될 때마다 두 개의 가지로 갈라지는 과정을 무한반복하여 얻을 수 있다. |
| 만델브로트 집합 (1975) |  | 복소수 점화식 $z=z^2+c$ ($z=x+yi$, $c=c1+c2i$)에서 z 의 초기값을 $z=0$ 로 하여 반복해서 계산했을 때 $z=z^2+c$ 를 발산시키지 않는 복소수 c 의 집합으로 정의된다. |

(3) 프랙탈의 조형 특성

프랙탈은 간단한 기하학적 변환을 단순히 반복·점진 시킴으로써 무한한 복잡성을 가지는 형태를 생성할 수 있다. 이러한 프랙탈의 기하학적 특성은 우선 첫째, 일부분의 모양이 전체의 모양과 유사한 것으로 어느 부분을 잘라보아도 전체의 모양과 닮아 있는 부분 속에 전체가 들어 있는 구조를 가지는 자기 유사성(Self-similarity), 둘째, 반복, 진화, 척도 등의 형태 구성 원칙들을 불규칙적, 우연적으로 선택함으로써 예측 불가능한 형태가 창발되는 무작위성(Randomness), 셋째 복잡한 구조나 생명체의 행위들은 어떤 규칙적인 것으로 수렴하는 듯이 보이는 정도하에서 혼돈으로 기울어져 간다는 의미의 불규칙성(Irregularity), 넷째 어떤 변수의 작은 변화가 다

2) Nigel Lesmoir-Gordon 외 2인, INTRODUCING: Fractal Geometry, 프랙탈 기하학, 이충호 역, 김영사, 2009, p.11

3) <http://www.afractal.com/fractalex.htm>, 2010. 11

4) 이명식, 건축디자인에서의 프랙탈 기하학의 적용에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계) 제25권 제5호, 2009. 5, p.166 재구성

른 변수에 관계없이 결과에 예측하지 못한 큰 영향을 미칠 수 있다는 비선형성(Nonlinearity) 등으로 정리 될 수 있는데, 이는 자연세계의 기하학적 특성과 일치한다.⁵⁾

이와 같은 프랙탈의 기하학적 특성을 바탕으로 창조되는 예술 및 디자인 작품들은 부서진(brokenup), 불규칙한(irregular), 분할된(fragmented) 형상을 가지게 되며 사각형, 삼각형, 원, 구, 원통 등의 유클리드적 형상과는 전혀 다른 기하학적 형태를 가지고 있다. 프랙탈 디자인의 조형 특성은 <표 2>와 같은 특징들을 가진다.

<표 2> 프랙탈 기하학의 조형 특성

| 조형 특성 | 특징 |
|------------------------------------|--|
| 중첩 (Superposition) | <ul style="list-style-type: none"> 하나의 형태가 다른 형태위에 겹쳐지는 것 공간에서 중첩성은 동시성, 침투성, 투명성, 중합, 다층과 같은 의미로 사용된다. 또한 중첩을 여러 디자인요소와 연계하여 겹침, 집침, 기울임, 투명도 조작, 모서리 확장 등으로 다양화하여 표현할 수 있다. 가장 중요한 요소는 선적인 요소인데, 심리적, 시각적으로 공간의 변화와 생동감을 주어 새로운 무한의 공간을 부여한다. |
| 스케일링 (Scaling) | <ul style="list-style-type: none"> 일반적으로 선형변환(Linear transformations)으로 정의되는 스케일링은 내각과 길이의 비례를 유지시키며 도형의 크기를 변형하여 닮은 도형을 얻어내는 방법 형상의 변화없이 크기, 즉 척도가 변화하는 변형 과정으로 확대, 축소를 통해 유사변형을 산출한다. 스케일의 변화는 특히 반복이나 범이, 대립, 방사, 리듬 등으로 유기적, 통합적, 유사성, 성장성, 명료함, 긴장감, 역동성, 오브제성의 다양한 조형효과를 창출 |
| 반복과 점증 (Repetition & Gradation) | <ul style="list-style-type: none"> 동일한 형태가 1회 이상 사용되어 동일한 패턴으로 연속되어 가는 것 동일하거나 비슷한 선, 형태, 질감, 명도, 색 등의 반복을 통해 예상 가능한 패턴, 즉 통합적 시각구조를 창출 정확한 반복은 실증나게 하지만 자연계의 반복적인 성장 패턴들은 반복 속에서도 다양한 형태를 얻을 수 있다. 유사성, 통일성, 역동성, 안정감, 질서, 무한의 공간창출, 공간의 분할의 조형적 효과를 창출 |
| 변형 (Deformation) | <ul style="list-style-type: none"> 사제와 반복, 비틀림, 비례, 비율, 축적, 회전, 총밀리기(Shear), 분절, 분화에 의한 형태의 변형과 색채와 이미지의 변형이 있다. 키네틱, 데몬스트레이션, 연속성, 동시성, 역동성, 시간성, 발생구조의 조형효과를 창출 |
| 왜곡 (Distortion) | <ul style="list-style-type: none"> 크기, 내각 등 특정요소를 부분적으로 변형시켜 기존의 형태와는 전혀 다른 일그러진 형태를 만드는 것으로 왜곡에 의해 생성된 형태는 원본의 변형된 유사, 즉 완전한 복제가 되어서는 안된다. 변형된 모습의 불규칙성, 불연속성의 형태구성으로, 불규칙성, 흐름, 움직임, 운동성, 역설적 방향성, 비정형성의 조형효과를 창출 |

2.2. 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram)

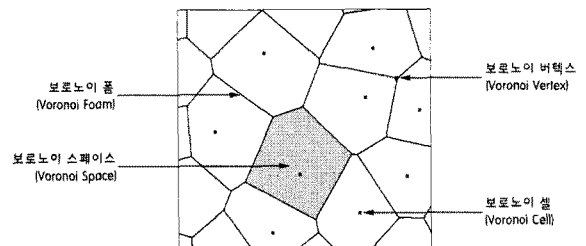
(1) 보로노이 다이어그램의 개념

보로노이 다이어그램은 1850년 독일의 수학자 디리클레(Peter Gustav Lejeune Dirichlet)에 의해 처음 제안되고 우크라이나 수학자 보로노이(Georgy Voronoi)에 의해 정의되었다. 보로노이 다이어그램은 자연계의 현상과 공간의 구조를 해석할 수 있는 이론으로 프랙탈 이론, 카

오스 이론 보다 먼저 나왔으나 본격적으로 주목받기 시작한 것은 최근의 일이다. 보로노이 다이어그램은 프랙탈 이론처럼 가시적인 자연현상 및 비가시적인 사회현상을 설명해 주는 도구로 사용될 뿐만 아니라, 보로노이 다이어그램은 기하학적 구조에서 출발하였기 때문에 공간 및 형태 생성과도 상당한 연관성을 가지고 있다.⁶⁾

(2) 보로노이 다이어그램의 생성원리

보로노이 다이어그램은 <그림 1>과 같이 보로노이 셀(Voronoi Cell), 보로노이 버텍스(Voronoi Vertex), 보로노이 스페이스(Voronoi Space), 보로노이 폼(Voronoi Foam)으로 구성된다.



<그림 1> 보로노이 다이어그램의 구성

보로노이 다이어그램은 제시된 점 데이터들이 하나의 영역 내에만 포함되도록 분할할 때, 분할된 영역내의 임의의 점이 다른 영역의 기준점까지의 거리보다 자신이 속한 영역의 기준점까지의 거리가 제일 가깝도록, 최단 영역을 찾아내는 알고리즘을 가진다.

(3) 보로노이 다이어그램의 조형 특성

보로노이 다이어그램은 환경 정보 및 잠재 요소들을 매개 변수화하고, 이러한 변수들에 영향을 받아 실제적인 형태와 공간을 형성하게 된다. 이렇게 형성된 보로노이 다이어그램의 공간화 특성으로는 첫째, 시스템의 구조가 외부로부터 분명한 압력 또는 관련 없이 스스로가 증가하여 창발을 이루는 자기 조직화(Self-organization), 둘째, 보로노이 셀을 가진 독자적인 영역이 보로노이 알고리즘에 따라 분열을 시작하고 반복적인 증식을 이루는 반복적 증식, 셋째, 보로노이 셀의 집합이 알고리즘의 적용과 그 자신이 가진 상관관계에 따라 자기조직화를 통해 진화하는 진화 공간, 넷째, 보로노이 다이어그램을 통하여 형성된 공간은 초기의 점 값에 의하여 생성되는 공간이어서 자신과 접해 있는 공간에 영향을 받는 개체간의 상호작용, 다섯째, 규칙을 가진 체계와 자기조직적 진화를 거듭하여 자연발생적인 패턴의 창발을 이루는 심미성 등의 특성을 가진다.⁷⁾

이와 같은 공간화 특성을 가진 보로노이 다이어그램에 의해 창발된 형태와 공간들의 조형 특성은 <표 3>과 같

5) 이경훈·윤용배, 프랙탈 기하학 이론의 건축적 적용에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계) 제22권 제11호, 2006.11, p.204 재구성

6) 'Voronoi Diagram' <http://www.wikipedia.org>, 2010.10

7) 구분미, 디지털 환경의 생성적 디자인 특성에 관한 연구, 한국기초조형학회논문집 제10권 제5호, 2009.10, p.21, 재구성

은 특징들을 가진다.

<표 3> 프보로노이 다이어그램에 의해 창발된 형태와 공간들의 조형 특성

| 조형 특성 | 특징 |
|-------------------------------|--|
| 개체 분화 (Individual Speciation) | · 전체 공간의 분할·해체 과정을 통해 하위 공간의 집합체를 형성하여 메달 구조(aggregate structure)의 형태를 가지게 된다. 보로노이 다이어그램을 보로노이 테셀레이션(Voronoi Tessellation)이라 부르는 것도 이러한 모자이크 형식의 메달 구조로 이루어지기 때문이다. |
| 변이적 패턴 (Variational Patten) | · 최소한의 단순규칙을 이용해 통일성 있는 패턴을 창출 · 매개변수들과 생성 알고리즘의 조작에 즉각적으로 반응하여 변형적·변이적 형태를 반복하는 패턴으로 나타나게 된다. · 이는 보로노이 다이어그램이 자연의 형태에서 시작되어 자연발생적 형태로 귀결되는 자연의 복잡계적 특성에 일치 |
| 반복·점중 (Repetition·Gradation) | · 개체 분화에 의해 분리된 개체들은 다시 연결되고 확장되며, 끊임없는 상호작용으로 개체 집단은 복제와 재생산을 통하여 반복되고 점중된 형태를 가지게 된다. |
| 모호한 경계 (Ambiguous Boundary) | · 보로노이 다이어그램의 생성방식에 있어 공간 상관성 분석, 구성요소 분석 등 환경분석기반 매개변수의 추출을 통한 공간화는 그 매개변수 자체의 변동적 속성으로 인하여, 생성되는 결과 역시 경계의 모호함을 가지는 유기적 형태의 공간이 된다. |

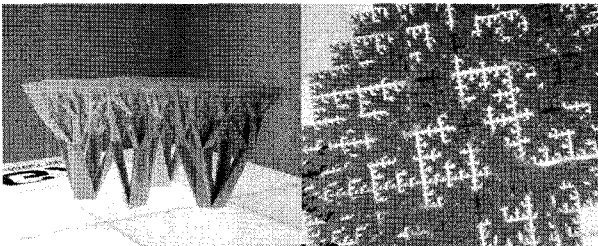
3. 가구 디자인에서의 적용사례

3.1. 프랙탈(Fractal) 기하학을 적용한 가구디자인 사례

(1) Platform

① Fractal table, 2008

Milan 2008에서 처음 공개된 프랙탈 테이블은 Platform의 베르텔(Jan Wertel)과 오버펠(Gemot Oberfell)에 만들어진 프랙탈 시리즈의 첫 번째 작품으로 프랙탈 성장 형태 연구에서 파생되어 만들졌다. 나무 형태의 줄기가 성장하면서 함께 뻗어 나온 작은 가지는 위를 향해 갈수록 점차 조밀해져 탁자의 윗부분을 구성한다. 프랙탈 테이블은 에폭시 수지를 사용한 광경화 조형(SLA, Stereo-Lithography Apparatus) 기술을 사용하여 완성된 것으로 쾌속 조형법(Rapid Prototype)을 사용하지 않고는 제조가 불가능한 작품이다.

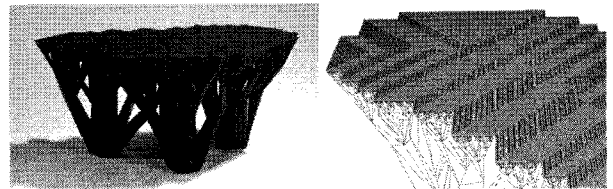


<그림 2> Fractal table(좌) 및 상판 패턴(우)

② Fractal.MGX, 2008/2009

Platform에 의해 두 번째로 선보인 Fractal.MGX (fractal Table II)는 프랙탈 테이블 I의 진보된 작품이다.

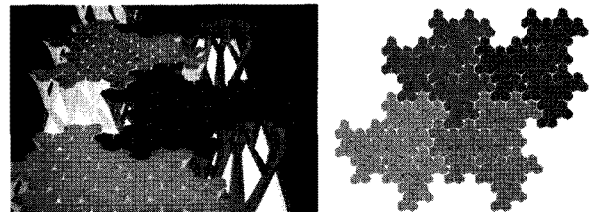
안정성, 유용성과 같은 기능적 요구를 더욱더 적극적으로 수용한 결과물이다. 나무 모양의 줄기들은 더 작은 가지들로 자라며 점점 조밀해져 테이블 상부의 표면을 형성하게 된다. 이 구조는 바닥에서부터 매우 비조직적으로 시작되어 그 끝이 규칙적인 그리드를 형성할 때까지 점진적으로 조직화된다. 이와 같이 유사 프랙탈로부터 정확한 자기유사성의 프랙탈까지 진행된다. 이 결과를 얻기 위해 nurbs 모델링과 폴리곤 모델링을 지원하는 서로 다른 CAD 소프트웨어들이 사용되었다8).



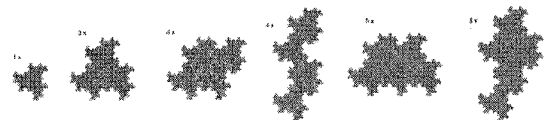
<그림 3> Fractal.MGX(좌) 및 상판 패턴(우)

③ Module.MGX, 2010

Module.MGX는 프랙탈 테이블에 기초한 모듈러 테이블 시스템이다. 이 작품은 프랙탈과 같은 자기 유사성을 가지는 기하학적 구조, 자연에서 발생하는 패턴들, 그리고 황금 분할과 같은 비례시스템에 대한 연구로부터 영감을 얻었다. 가파른 각도의 벽과 속이 빈 구조로 제작하여 불필요한 요소들을 최소화함으로써 생산 과정에서 에너지를 절감하고 비용부담에서 더 큰 효율성을 가지게 하였다. 이 테이블은 단독으로도 사용가능하며 <그림 4> 및 <그림 5>와 같이 무한대로 단절없이 서로 연결하여 사용할 수 있다. 특히 Module.MGX는 ABS 수지(acrylonitrile butadiene styrene copolymer)를 이용한 3D 프린팅 기술로 제작되어 대량생산 또한 가능하다.



<그림 4> Module.MGX(좌) 및 조합된 상부 이미지(우)



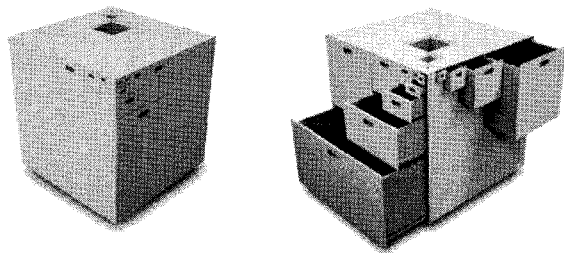
<그림 5> Module.MGX의 증식 및 변형을 통한 확장 개념도

(2) Takeshi Miyakawa

① Fractal 23, 2006

8) <http://www.platform-net.com/>

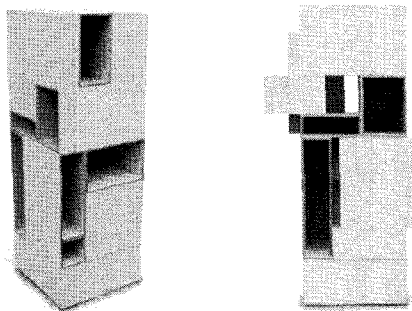
Fractal 23은 정육면체의 전방과 후방공간을 활용할 수 있는 방안을 실험하는 과정에서 탄생되었다. 이러한 실험은 단순하면서도 중요한 특징을 발견하게 되어 새로운 발상을 바탕으로 디자인에 접근하였다. 정육면체는 내부구획 방법에 따라 여분공간이 계속해서 생기는데 이는 다른 측면에서 접근해야만 쓰일 수 있다. 그 공간을 모두 이용하기 위해 프랙탈의 기하학을 도입하여 사면에서 모두 오픈할 수 있게 하여 100% 이용 가능한 영역을 만들고 있다. 결과적으로 Fractal 23은 기하학적 개념과 함께 강한 그래픽 요소로 시선을 사로잡는다.⁹⁾



<그림 6> Fractal 23(좌) 및 서랍을 오픈한 상태(우)

② 14+1, 2007

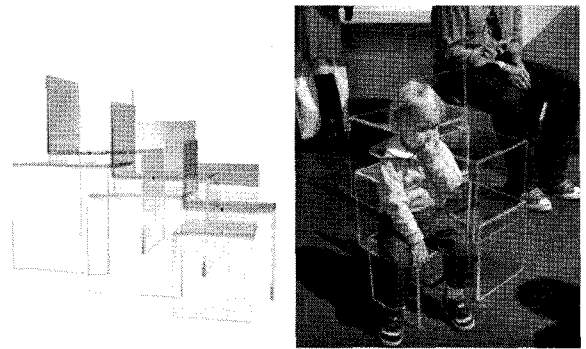
Fractal 23의 성공 후 동일한 프랙탈 기법을 적용하여 선보인 14+1은 모두 다른 크기를 가지는 15개의 박스들로 구성된 빌트인 선반 시스템이다. 6개의 박스들은 여분의 수납공간을 확보하기 위해 이동이 가능하다.



<그림 7> 14+1(좌) 및 수납장을 오픈한 상태(우)

③ Family Chair, 2008

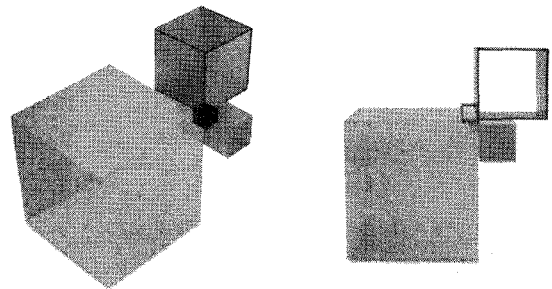
투명 아크릴 한판을 자르고 구부려 서로 다른 크기로 조합된 의자 6개를 만들어낸 작품이다. 만약 6개의 의자 중 하나만 제거하더라도 전체가 스스로 서있지 못하게 된다. 각각의 의자들은 서로를 지탱해주며 의자로서의 기능을 수행하게 된다. <그림 8>의 사용예와 같이 점진적으로 변화하는 서로 다른 크기의 의자는 사용자의 휴먼스케일에 맞게 디자인되었다.



<그림 8> Family Chair(좌) 및 사용예(우)

④ Candy Blossom, 2009

앞서 작업한 Family Chair(2008)와 동일하게 한 장의 아크릴을 자르고 구부려 프랙탈 큐브들의 형태로 작품을 완성하였다. 이 작품은 작은 커피 테이블과 조명기구로 사용될 수 있다.¹⁰⁾



<그림 9> Candy Blossom(좌) 및 정면(우)

(3) Aranda/Lasch

Benjamin Aranda와 Christopher Lasch에 의해 디자인된 Quasi 시리즈는 엄격한 모듈러 질서의 추구에 관한 것이지만 거의 무질서나 다름없는 흐트러짐에 관한 것이기도 하다. 이러한 특성은 1984년 발견된 물질의 새로운 단계인 준결정(Quasicrystal)¹¹⁾ 구조의 특성으로, 분리된 부분의 경계를 맴도는 물질적 구조를 나타낸다. 주기적인 (또는 모든 방향에서 반복적인) 모듈러 패턴을 가지는 일반적인 결정과는 달리 준결정의 차별화된 특성은 그 구조적 패턴이 결코 동일한 방식으로 두 번 이상 반복되지 않는다는 것이다. 이는 끝이 없고 균일하지 않지만, 흥미롭게도 모듈러 조각들을 이용한 소규모 집합의 배열에 의해 묘사되어질 수 있다. 이러한 모듈러의 집합

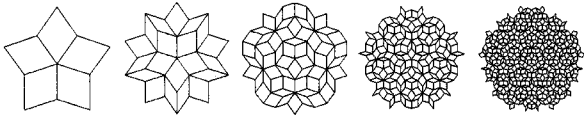
10) www.tmiyakawadesign.com

11) 준결정(準決定, Quasicrystal)이란 규칙성과 비주기성을 모두 가진 구조적 형태의 물질을 말한다. 준결정 물질들은 모든 공간을 채우지만 병진 대칭(並進 對稱, translational symmetry)이 이루어지지 않는 패턴을 형성한다. 결정(決定, Cristal)에 관한 전통적인 이론들은 2점, 3점, 4점, 그리고 6점 회전 대칭이 이루어지지만, 준결정은 이와는 다른 규칙의 대칭을 나타내고 있다. 결정과 동일하게 준결정은 Bragg 회절(Bragg diffraction)의 변형을 통해 생산되지만, 결정이 단순히 반복되는 구조를 가지는 반면에 준결정은 훨씬 복잡한 구조를 가지고 있다. <http://www.wikipedia.org>, 2010.10

9) Objet, Archiworld, p.117

에 의한 패턴생성은 자기유사적인 특성을 가지며, 변형, 반복과 증식의 특징들을 나타내어 프랙탈 기하학의 특성과 일치한다.

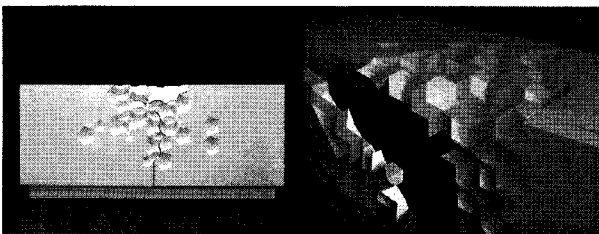
Quasi 시리즈들은 이러한 준결정 구조의 대표적 패턴인 펜로즈 타일¹²⁾을 기초로 디자인 되었다.



<그림 10> 펜로즈 타일(Penrose Tile)

① Quasicabinet, 2007

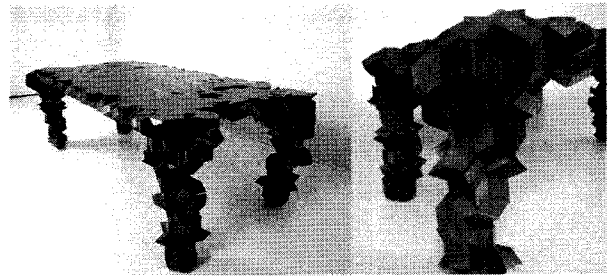
아이보리로 도색된 그린보드를 사용하여 만들어진 Quasicabinet은 수납장이라기보다는 신성한 제단과 같은 외관을 가지고 있다. 펜로즈 타일의 3차원 형상이 소거된 정면과 상관은 '아름다운 붕괴'라는 찬사를 받으며 모던한 디자인에 신선함을 더하고 있다. 특히 상판과 전면의 좌우측 문짝이 분리되는 위치에 3차원화 된 펜로즈 타일의 소거를 통해 물체의 분리경계에서 나타나는 준결정 구조에 대한 묘사가 더욱 극적인 느낌을 만들어내고 있다.



<그림 11> Quasicabinet의 정면(좌) 및 디테일(우)

② Quasitable, 2007

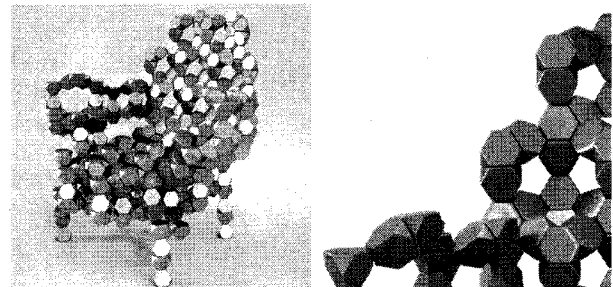
Quasitable은 18도 및 26.56도의 경사면을 가지는 마름모 형태의 6면 결정체를 모듈로 사용하여 제작되었다. 각 모듈은 호두나무를 CNC 밀링공정을 거쳐 가공하여 제작되었다. 두 가지 모듈을 조합하여 쌓아가면서 테이블의 상판과 4개의 다리가 일체화된 작품이 완성되었다. 두 가지의 기본 모듈을 이용하여 조합하였음에도 불구하고 Quasitable은 반복되지 않으면서 독특한 대칭을 이루고 있다.



<그림 12> Quasitable(좌) 및 디테일(우)

③ Fauteuil, 2007

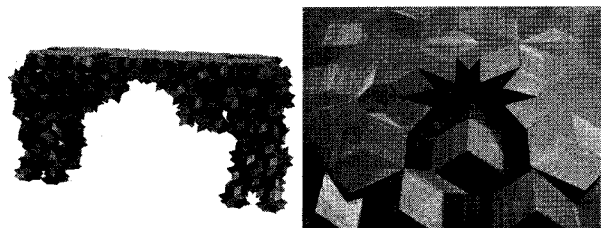
Fauteuil은 이전의 작품과는 조금 다른 모듈을 이용하여 제작되었다. 재료면에서도 나무와 함께 알루미늄을 사용하였으며, 정사면체(Tetrahedron)를 기본으로 각 모서리부분을 다시 절단하여 만든 팔면체를 모듈로 사용한다. 팔면체의 각 면은 삼각형과 육각형의 조합으로 이루어지며, 삼각형과 마주보는 육각형의 중심에 각각 구멍을 내어 모듈간의 접합점으로 사용한다. Fauteuil의 형태는 전체적으로는 완벽한 좌우대칭을 이루고 있지만 각 결정체의 서로 다른 조합방식을 통해 또 다른 준결정 구조에 대한 묘사로 해석할 수 있다.



<그림 13> Fauteuil(좌) 및 디테일(우)

④ Quasiconsole, 2008

Quasiconsole의 형태는 얼핏 좌우대칭의 형태를 가지기도 하지만 좀 더 자세히 살펴보면 부분부분 발생하는 패턴의 형태는 유사하지만 같은 형태가 반복되지 않는 준결정 구조의 특성을 그대로 반영하고 있다. 앞서 발표한 Quasitable과 동일한 모듈과 조합방식을 사용하였지만 콘솔의 형태로 변형되어 제작됨으로써, 이러한 방식으로 더욱 다양한 형태의 가구들을 제작할 수 있는 가능성을 보여주었다.



<그림 14> Quasiconsole(좌) 및 디테일(우)

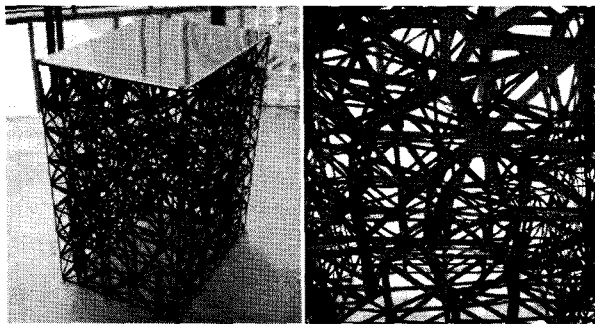
12) 펜로즈 타일은 로저 펜로즈(Sir Roser Penrose)에 의해 1970년대에 발견된 것으로, 프로토타입의 타일들이 비주기적 집합에 의해 반복되지 않게 생성될 수 있는 타일링이다. 펜로즈 타일에서 추출된 모든 타일링은 반복되지 않기 때문에 펜로즈 타일은 비주기적인 타일로 간주된다. 다이어그램 속에서 펜로즈 타일링은 반사대칭(反射對稱, reflection symmetry)과 5점 회전대칭(回轉對稱, rotational symmetry)을 나타내고 있다. <http://www.wikipedia.org>, 2010.10

3.2. 보로노이 다이어그램을 적용한 가구디자인 사례

(1) MATSYS

① N_Table, 2007

MATSYS는 Andrew Kudless에 의해 2004년 설립된 디자인 스튜디오로 건축, 공학, 생물학 그리고 컴퓨테이팅을 접목시킨 작품들을 발표하고 있다. N_Table은 Norah Zuniga Shaw¹³⁾의 비디오 설치물을 위해 종이로 접은 약 200개의 부품으로 디자인되었다. 다양한 rhino-qhull 알고리즘을 적용하여 각 보로노이 셀의 형태는 점차적으로 삼각형화 되었으며, 세포의 결합구조는 테이블 바닥에서부터 상부로 올라갈수록 더 불규칙적인 구조가 된다.

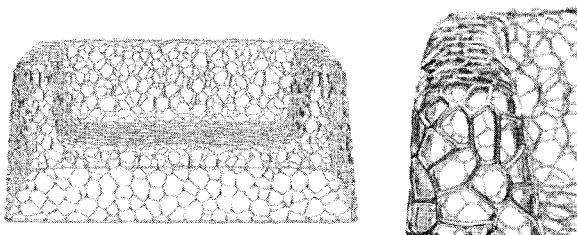


<그림 15> N_Table의 형태(좌) 및 디테일(우)

(2) Marc Newson

① Random Pak series, 2006/2007

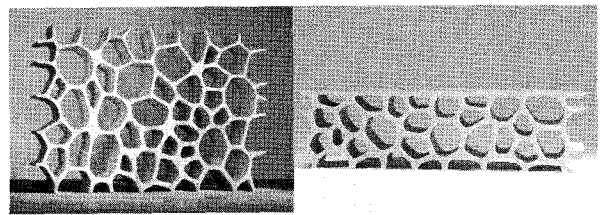
Marc Newson은 보로노이 다이어그램을 형상화 한 Random Pak Twin Sofa(2006)와 Random Pak Chair(2007)를 제작하였다. Random Pak 시리즈는 일반적으로 자동차 및 항공우주 산업에서 사용되는 쾌속조형법인 레이저 소결법(laser sintering process)을 이용하여 Newson 스튜디오에 의해 자체개발된 소프트웨어를 통해 형태를 생성하였다. 내부의 다른 지지구조 없이 가구의 외피 전체를 보로노이 다이어그램으로 연결하는 일체적인 구조로 제작되었다.



<그림 16> Random Pak Twin Sofa(좌)와 Random Pak Chair의 디테일(우)

② Vononoi Shelf series, 2007

Marc Newson은 2007년 보로노이 다이어그램을 적용한 또 다른 작품으로 Vononoi Shelf와 Low Vononoi Shelf를 발표하였다. Vononoi Shelf가 먼저 제작되고 이 작업을 기반으로 좀 더 실용성을 부여하여 평편한 상판의 형태를 부여한 Low Vononoi Shelf가 제작되었다. 이 작품들 모두 보로노이 다이어그램의 직설적인 모사를 통해 형태를 생성하고 구조적인 기능을 만족시키고 있다. 보로노이 셀의 보이드 공간을 이용해 수납이 가능하도록 하였으며, 각각 흰색 카탈라 대리석과 회색 바르디글리오 대리석을 이용해 견고하게 제작되었다. 이 두 작품은 비경계성, 무한한 반복과 증식과 같은 보로노이 다이어그램의 특성을 반영하고 있다.



<그림 17> Vononoi Shelf(좌)와 Low Vononoi Shelf(우)











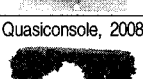

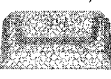
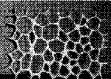
3.3. 생성적 디자인의 적용 방식

이상에서 살펴본 작품에 있어 생성적 디자인이 적용되는 방식은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. Platform, MATSYS의 작품과 같이 알고리즘을 이용한 생성적 디자인의 방식으로 사용자에게 의해 지정된 규칙에 따라 온전히 컴퓨터 연산에 의존하여 비예측적인 결과로 형태가 완성되는 유형이 있다. 이때 디자이너의 역할은 형태 결정자가 아닌 형태 생성 규칙에 간섭하는 조정자의 역할로 국한되며 형태 결정은 컴퓨터를 이용하지 않고서는 불가능하다. 또 다른 방식으로는 Takeshi Miyakawa, Aranda/Lasch의 작품들처럼 자연계의 형태 생성원리를 기초로 하지만 컴퓨터 연산에 의한 비예측적 결과라기보다는 디자이너의 철저한 사전계산에 의해 예측가능성을 바탕으로 형태가 생성되는 방식이다. 이때 자연계의 생성원리는 형태 생성의 창시자가 되지만, 조정자와 형태 결정은 전적으로 디자이너의 역할이 된다. 마지막으로 Marc Newson의 작품들에서 나타나는 것과 같이 생성적 디자인의 원리에 따라 나타나는 결과적 형태에 대한 모사의 방식이 있다. 즉, 자연모사(bio-adaptive)를 통해 나타날 수 있는 심미적 패턴에 대한 직접적인 모사(decorative)의 유형으로 정의할 수 있다.

앞서 살펴본 작가와 가구들을 대상으로 생성적 디자인의 적용방식과 조형특성들을 <표 4>와 같이 분석하였다.

13) The Ohio State University의 예술학부 교수로써 춤과 테크놀러지의 결합, 컴포지션 분야의 전문가로 활동 중이다.

<표 4> 생성적 디자인을 이용한 가구디자인 작품분석

| 작가 | 작품 | 재료 및 규격 | 생성적 디자인 원리 유형 | | 적용방식 | 디자이너의 역할 | 조형특성 |
|------------------|---|--|-----------------|------------------------------------|--------------------------|----------|--------------------------|
| Platform | Fractal table, 2008  | Epoxy Resin 98×61×42 cm | Fractal | L-system Koch Curve | 알고리즘을 이용한 형태 창발 | 조정자 | 중첩 스케일링 반복과 점증 변형 |
| | Fractal.MGX, 2008/2009  | Epoxy Resin L98 x W61 x H42 | Fractal | L-system | 알고리즘을 이용한 형태 창발 | 조정자 | 중첩 스케일링 반복과 점증 변형 |
| | Module.MGX, 2010  | ABS 48cm x 49.9cm x h40cm | Fractal | L-system Koch Curve | 알고리즘을 이용한 형태 창발 | 조정자 | 중첩 스케일링 반복과 점증 변형 |
| Takeshi Miyakawa | Fractal 23, 2006  | plywood (oil paint finish) 28" x 28" x 28" | Fractal | Cantor Dust Sierpiski carpet | 생성적 디자인 원리에 기초한 전통적 프로세스 | 조정자 결정자 | 개체분화 스케일링 반복과 점증 |
| | 14+1, 2007  | plywood (bleached + clear finish) 21" x 21" x 59"H | Fractal | Cantor Dust Sierpiski carpet | 생성적 디자인 원리에 기초한 전통적 프로세스 | 조정자 결정자 | 개체분화 스케일링 반복과 점증 변형 |
| | Family Chair, 2008  | clear acrylic 37" x 50" x 29" | Fractal | Mandelbrot Set | 생성적 디자인 원리에 기초한 전통적 프로세스 | 조정자 결정자 | 중첩 스케일링 반복과 점증 |
| | Candy Blossom, 2009  | clear acrylic, cast color polyester resin 18"W x 15"L x 18"H (light fixture) 27"W x 22"L x 27"H (coffee table) | Fractal | Sierpiski carpet Mandelbrot Set | 생성적 디자인 원리에 기초한 전통적 프로세스 | 조정자 결정자 | 중첩 스케일링 반복과 점증 |
| Aranda/Lasch | Quasicabinet, 2007  | Greenboard, Lacquered 6'-0"L x 2'-6" H x 1'-6" D | Fractal | L-system Penrose tiling | 생성적 디자인 원리에 기초한 전통적 프로세스 | 조정자 결정자 | 중첩 반복적 증식 변형 |
| | Quasitable, 2007  | Walnut 105w x 50d x 30h | Fractal | L-system Penrose tiling | 생성적 디자인 원리에 기초한 전통적 프로세스 | 조정자 결정자 | 중첩 반복적 증식 변형 왜곡 |
| | Fauteuil, 2007  | Aluminum, Cardboard 3'-6" L x 3'-8" H x 3'-0" D | Fractal | L-system Penrose tiling | 생성적 디자인 원리에 기초한 전통적 프로세스 | 조정자 결정자 | 중첩 반복적 증식 변형 왜곡 |
| | Quasiconsole, 2008  | Walnut 6'-6"L x 3'-0" H x 1'-8" D | Fractal | L-system Penrose tiling | 생성적 디자인 원리에 기초한 전통적 프로세스 | 조정자 결정자 | 중첩 반복적 증식 변형 왜곡 |
| MATSYS | N_Table, 2007  | Paper, Glass | Voronoi Diagram | | 알고리즘을 이용한 형태 창발 | 조정자 | 개체분화 변이적 패턴 반복·점증 |
| Marc Newson | Random Pak series, 2006/2007  | Grown nickel h:87.9×w:140×d:62.5 cm | Voronoi Diagram | | 생성적 디자인 패턴 모사 | 재현자 | 개체분화 변이적 패턴 반복·점증 |
| | Voronoi Shelf series, 2007  | grey Bardiglio marble white Carrara marble H178.1xW276.2xD37.5 cm | Voronoi Diagram | | 생성적 디자인 패턴 모사 | 재현자 | 개체분화 변이적 패턴 반복·점증 모호한 경계 |

4. 결론

이상의 연구를 통해서 자연계 생성적 디자인의 원리인 프랙탈과 보로노이 다이어그램을 이용한 가구 디자인의 특징은 다음과 같이 몇 가지로 정의할 수 있다.

첫째, 프랙탈의 조형원리인 중첩, 스케일링, 반복과 점증, 변형, 왜곡과 보로노이 다이어그램의 공간화 특성인 개체 분화, 변이적 패턴, 반복·점증, 모호한 경계 등의 특징을 통해 가구 디자인에서도 새로운 디자인 개념과 형태를 창조하고 있다.

둘째, 생성적 디자인의 원리가 가구디자인에 적용되는 방식은 알고리즘을 이용한 형태 창발, 생성적 디자인 원리에 기초한 전통적인 프로세스, 생성적 디자인 패턴 모사의 세 가지 유형으로 구분할 수 있다.

셋째, 생성적 디자인의 원리에서부터 최종 결과물이 완성되기까지 디자이너의 역할 또한 다양한 방식으로 개입하게 된다. 창시자-조정자-결정자의 프로세스를 통해 생성적 디자인이 진행된다고 볼 때, 생성적 디자인의 원리는 창시자의 역할을 하며 디자이너는 개입 정도에 따라 조정자 또는 결정자의 역할을 하게 된다. 또한 이러한 생성적 디자인의 결과적 형태에 대한 탐구와 적용을 통한 재현자의 역할로 구분할 수 있다.

넷째, 세 가지 적용방식 모두 자연계 생성원리를 적용하기에 적합한 방식들이지만, 새로운 형태 생성의 가능성을 모색하기 위해서는 알고리즘을 이용한 형태 창발의 방식, 즉 인간의 사고가 아닌 컴퓨터 연산에 의한 비예측적 형태 창발에 의해 완전히 새로운 형태의 창조 과정이 필요하다. 이렇게 탄생한 새로운 형태들은 결국 다른 두 방식들에 영향을 미치게 됨으로써 더욱더 디자인의 방법적 측면에서 뿐만 아니라 그 결과물에 있어서도 다양성과 창조성의 영역을 넓혀 갈 수 있을 것이다.

이상과 같이 자연을 닮고자 하는 인간의 욕망은 가구 디자인에 있어서도 예외가 아니며, 과거의 자연 모사(nature-decorative) 수법을 비롯하여 최근에는 자연계의 생성원리를 적용한 자연 모사(bio-adaptive)를 통해 보다 더 근원적인 디자인 접근방식들이 나타나고 있다. 또한, 일부 디자이너들에 의해서는 이러한 자연 모사(bio-adaptive)적 접근방식을 일반화된 디자인 수법으로 받아들여 생성적 디자인의 원리에 따라 나타나는 결과적 패턴에 대한 모사(decorative)로 발전하고 있다. 본 연구에서 다룬 프랙탈과 보로노이 다이어그램은 현재 가장 일반화된 자연계의 기하학으로 다양한 분야에서 널리 사용되고 있으며, 이러한 원리들에 대한 철학, 생물학, 물리학적 인 재해석과 새로운 원리들에 대한 탐구가 지속되고 있다. 이러한 노력에 대한 관심과 연구를 통해 가구 디자인 또한 새로운 디자인 접근 방식들을 도입함으로써

보다 광범위한 영역으로의 확장과 새로운 형태 창조의 무한한 가능성을 보여줄 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Nigel Lesmoir-Gordon 외 2인, INTRODUCING: Fractal Geometry, 프랙탈 기하학, 이충호 역, 김영사, 2009
2. 고흥권, 디지털 공간에서 자연모사의 표현특성에 관한 연구, 한국문화공간건축학회논문집 통권 제28호, 2009.12
3. 구분미, 디지털 환경의 생성적 디자인 특성에 관한 연구, 한국기초조형학회논문집 제10권 제5호, 2009.10
4. 이명식, 건축디자인에서 프랙탈 기하학의 적용에 관한 연구, 대한건축학회논문집 통권247호, 2009.5
5. 박종진 외, 3차원 보로노이 다이어그램을 활용한 건축 디자인 생성 프로세스에 관한 연구, 한국CAD/CAM학회 학술발표대회 논문집, 2009.2
6. 이경훈 외, 디지털건축에 있어서 형태생성의 특성에 관한 연구, 한국문화공간건축학회논문집 제25호, 2009.2
7. 박종진 외, 건축 디자인 생성에서의 보로노이 다이어그램 적용에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집 제28권 제1호, 2008.10
8. 강가에 외, 디지털 공간에서의 보로노이 다이어그램 적용에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집 제17권 3호, 2008.6
9. 이경훈 외, 프랙탈 기하학 이론의 건축적 적용에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계) 제22권 제11호, 2006.11
10. 김주미, 프랙탈 개념에 기초한 조형원리와 표현특성, 한국실내디자인학회논문집 37호, 2003.4
11. 김수경 외, 프랙탈을 적용한 건축 형태 생성원리에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집 20권, 2000.10
12. Objet, Archiworld, 2009
13. <http://matsysdesign.com>, 2010.5
14. <http://www.dezeen.com>, 2010.5
15. <http://www.platform-net.com>, 2010.5
16. <http://www.tmiyakawadesign.com>, 2010.9
17. <http://www.afractal.com>, 2009.11
18. <http://www.marc-newson.com>, 2010.10

[논문접수 : 2010. 12. 28]

[1차 심사 : 2011. 01. 17]

[게재확정 : 2011. 02. 09]