

생물학적 패턴의 건축적 적용에 관한 연구*

A Study on the Architectural Application of Biological Patterns

Author 김원갑 Kim, Won Gaff / 정희원, 경일대학교 건축학과, 공학박사

Abstract The development of digital media made the change of architectural paradigm from tectonic to the surface and pattern. This means the transition to the new kind of materiality and the resurrection of ornament. This study started as an aim to apply biological pattern to architectural design from the new perception of pattern. Architectural patterns in the early era appeared as ladders, steps, chains, trees, vortices. But since 21st century, we can find patterns in nature like atoms and molecular structures, fluid forms of dynamics and new geometrical pattern like fractal and first of all biological patterns like viruses and micro-organisms, Voronoi cells, DNA structure, rhizomes and various hybrids and permutations of these. Pattern became one of the most important elements and themes of contemporary architecture through the change of materiality and resurrection of ornament with the new perception of surface in architecture. One of the patterns that give new creative availability to the architectural design is biological pattern which is self-organized as an optimum form through interaction with environment. Biological patterns emerge mostly as self-replicating patterns through morphogenesis, certain geometrical patterns(in particular triangles, pentagons, hexagons and spirals). The architectural application methods of biological patterns are direct figural pattern of organism, circle pattern, polygon pattern, energy-material control pattern, differentiation pattern, parametric pattern, growth principle pattern, evolutionary ecologic pattern. These patterns can be utilized as practical architectural patterns through the use of computer programs as morphogenetic programs like L-system, MoSS program and genetic algorithm programs like Grasshopper, Generative Components with the help of computing technology like mapping and scripting.

Keywords 생물학적 패턴, 표피, 매개변수주의, 분화, 진화
Biological pattern, Surface, Parametricism, Differentiation, Evolution

1. 서론

1.1 연구의 목적

21세기의 새로운 건축 디자인의 다양한 양상들은 무엇보다도 발전된 기술들로 인해 가능하게 되었다고 할 수 있다. 그 가운데에서도 디지털 매체의 발전은 기존의 건축적 관습으로부터 혁신적인 변화를 가져왔는데, 그것은 과거의 건축적 패러다임, 즉 20세기 공간 결정 차원에서의 구조 개념이었던 텍토닉의 개념으로부터 물성의 새로운 변화, 장식의 부활 같은 개념으로의 이동을 의미한다. 이것은 프레데릭 제임슨(Frederic Jameson)이 후기 자본주의 사회의 특징을 “깊이가 표피, 혹은 다중의 표피들로 대체되는 것”¹⁾이라고 말한 것과도 관계된다. 후기 자본주의 시대의 논리에서 건축은 발전된 전자 매체의

중요성과 함께 거대한 정보의 전시장으로 인식될 수 있기 때문이다.²⁾

이것은 표피들이 볼륨들 보다는 형태화 과정의 징후를 더욱 즉각적으로 산출하며, 볼륨들이 외적으로 결정되는 듯이 보임으로써 임의적이고, 어느 정도 불투명하고 불활성인 반면, 표피들은 매개 변수적인 변양태들의 더욱 순수한 표현으로 나타나기 때문이기도 하다.³⁾ 텍토닉으로부터 표피로의 이동은 장식의 새로운 부활이라는 개념으로 연결될 수 있는데, 이것은 과거의 조각적 장식 개념이나 포스트 모던식의 상징적 장식들과는 달리, 물성

1) Frederic Jameson, Postmodernism or the Cultural Logic of Late Capitalism, in New Left Review, 1/146, 1984년 7-8월호, pp.53-92
2) Stephen Perrella의 'Hypersurface'에 대한 논의는 하이퍼미디어와 같이 상상되는 사이버 공간과 주로 투영의 표피, 혹은 터미널 등으로 인식되는 건축 사이의 수렴을 보여주는 예이다. Stephen Perrella (ed.), Hypersurface Architecture, Architectural Design, 1998
3) Antoine Picon, Digital Culture in Architecture, Birkhäuser, 2010, p.88

* 이 논문은 2011학년도 경일대학교 교내연구비 지원에 의한 것임.

과 재질의 중요성들과 연결되어, 발전된 디지털 기술에 의해 새로운 감각으로 연결되는 장식의 개념, 즉 장식의 새로운 기능⁴⁾을 의미한다. 그리고 이러한 표피에 대한 새로운 장식적 기능 가운데에서 중요한 역할을 하는 것은 무엇보다도 ‘패턴’이라고 할 수 있을 것이다.⁵⁾ 파시드 무사비(Farshid Moussavi)가 주장하듯, 현대 건축의 새로운 장식적 기능들 가운데에서 패턴은 그녀의 분류 항목들인 “구조, 스크린, 표피” 모두에서 중요한 요소로 나타나기 때문이다.⁶⁾ 이러한 패턴의 다양한 영역들 가운데에서도 21세기의 새로운 디지털 기술에 의해 새롭게 응용될 수 있는 영역들 중의 하나는 주변 환경과 상호 작용하며 최적의 형태로 자기 조직화(self-organization)되는 패턴들, 즉 생물학적 패턴의 응용이라고 할 수 있다. 건축 디자인의 다양한 패턴들 가운데에서도 동역학적이며, 주변 환경과 상호 작용하여 새롭게 발생되고 진화하는 생물학적 패턴이야말로 발전된 새로운 디지털 기술과 함께 앞으로의 정보 사회에서 가장 유용한 방식으로 될 수 있기 때문이다. 본 연구는 이러한 생물학적 패턴들의 다양한 특징들을 형태 및 제어, 발생, 진화 메커니즘 등의 다양한 관점으로 분류하여 이 특성들을 건축 디자인에 적용할 수 있는 가능성을 타진하려는 배경에서 시작되었다. 따라서 건축 디자인의 중요한 요소인 패턴들 가운데에서 최근 새롭게 인식이 되고 있는 생물학적 패턴들의 특징들과 건축적으로 가능한 적용 방식, 그리고 이 방식들이 현대의 건축 디자인에 적용된 사례들을 분석하여 21세기의 새로운 디자인 방식의 가능성을 조망하는 것에 본 연구의 목적이 있다.

1.2. 연구의 방법과 범위

본 연구는 건축 디자인의 중요한 요소로서의 패턴에 대한 새로운 인식을 통해 패턴의 건축적 의미와 적용 사례들, 생물학적 패턴의 발생 과정과 특징들에 대한 분석을 하며, 생물학적 특징들 가운데에서 건축적으로 적용 가능한 방식들을 분류하여 항목별로 적용 사례들을 분석하였다. 각각의 건축적 사례들은 건축에서 표피와 표피의 패턴들에 대한 중요성이 새롭게 부각되기 시작한 1990년대 이후부터 현재까지 각종 건축 문헌들에 소개된 건축물들 중에서 생물학적인 패턴을 디자인에 적용한 사례들을 분석 대상으로 선정했다. 2장은 패턴의 의미와

건축에서의 적용 사례, 건축에서의 새로운 현대적 패턴 기술들에 관해 분석하였다. 3장은 생물학적 패턴의 발생 과정과 특징들, 건축적으로 적용 가능한 방식들을 항목별로 분류하였다. 4장은 3장에서 분류된 적용 방식들의 실제 사례들을 항목별로 조사 분석하였다.

2. 패턴의 건축적 의미

2.1. 패턴의 의미

패턴의 어원은 아버지(father), 후원자(patron), 신, 주인 등을 의미하는 라틴어의 pater, 혹은 patronus에서 유래하며, 기본적으로 사건이나 사물들의 반복되는 주제 유형들, 혹은 대상물들의 일련의 요소들을 가리키는 것으로, 반복과 주기성에 기초한 ‘쪽맞춤’(tessellation)은 이것의 대표적 예라 할 수 있다. 그것으로부터 모델, 사례, 매트릭스, 주형 등으로서의 패턴의 개념이 유래하며, 패턴의 현대적 개념은 시퀀스, 분배, 구조, 혹은 진보, 반복되는 유니트들의 시리즈나 빈도, 동일하거나 유사한 요소들의 시스템이나 과정들을 의미하게 된다.⁷⁾ 그러므로 패턴은 대상물의 특정한 형태를 가리키는 것이 아니며, “대상물들의 계층의 특징적 형상”⁸⁾인 형태와는 구별될 필요가 있다. 이것은 패턴이 건축의 형태에 적용될 때 구체적인 형상보다는 일련의 추상화된 반복적 형태 요소에 가까우며, 그러므로 패턴 디자인은 대상물에 내재된 패턴들의 반복성과 규칙성을 인식하는 ‘패턴 인식’(pattern recognition)이 중요함을 알 수 있다. 패턴은 또한 인공적 디자인이나 예술품들뿐만 아니라 자연에서도 중요한 특징으로 나타나는데, 이것은 ‘특별한 반복적 사건이나 반복적인 물질 형성’ 등으로도 설명될 수 있다. 이것의 의미는 패턴이 에너지에서 사물에 이르기까지 광범위한 범위를 가지며, 자연계에서 패턴은 에너지와 사물들 간의 상호 작용과 상호 조율로 발생한다는 것을 함축한다. 예를 들어 간단한 인공적 패턴은 반복과 주기성에 기초할 수 있지만, 대부분의 자연계에서는 그렇지 않으며, “유사하지만 필연적으로 동일하지는 않고, 반복되지만 필연적으로 정형적이거나 잘 결정된 대칭이 아닌 단위들의 배열”⁹⁾로 나타난다. 자연계에서 패턴은 개방된 계가 평형으로부터 멀리 떨어진 상태에서 환경과 에너지, 사물, 정보를 교환할 때, 계 내의 요소들 사이의 상호 작용과 피드백에 기초해 비선형 동역학계들 내에서 복잡성의 창발과 발전, 분화로 이끄는 비가역적 과정인 자기 조직화를 통

4) 여기서 기능은 20세기의 기능주의가 의미하는 직설적 의미의 기능과는 다른 의미를 포함한다. Farshid Moussavi, Michael Kubo, *The Function of Ornament*, Actar, 2006

5) 예를 들어 헤어조크와 드 뤼론의 독일 에베어스발테(Eberswalde) 기술학교 도서관과 같이, 장식적 요소가 실제적으로 이미지이거나 이미지들의 시리즈일 때에도 전체적 효과는 패턴이나 쪽맞춤의 효과를 보여준다. Antoine Picon, op. cit., p.138

6) Farshid Moussavi, Michael Kubo, op. cit., pp.70-77, pp.104-115, pp.158-165

7) Mark Garcia, Prologue for a History, Theory and Future of Patterns of Architecture and Spatial Design, AD, 11/12, 2009, p.8

8) Philip Ball은 패턴을 형태와 구별한다. Philip Ball, *The Self-Made Tapestry: Pattern Formation in Nature*, Oxford University Press, 1999, p.9

9) Ibid.

해 나타난다. 기본적으로 건축에서 패턴의 질문은 인공적 장식에 대한 미학적 흥미, 그리고 자연계 내의 패턴 형성에 내재된 과정에 대한 흥미의 두 가지 영역으로부터 나오는데, 생물학적 패턴은 후자의 내재된 패턴들의 발견인 '패턴 인식'으로부터 가능하게 된다고 할 수 있다.

2.2. 건축에서의 패턴 디자인의 역사

초기 신석기 시대부터 주로 상징과 주술적 의미에서 추상화된 외양으로 사용되던 패턴이 건축과 공간의 디자인에서 최초로 이론적으로 언급된 것은 플라톤의 「티마에우스」 Timaeus로, 거기서 그는 “세계가 밀접하게 채워진 원자 같은 고체와 기하학적 형태들의 패턴으로 이루어진다”고 언급하고 있다. 이것은 패턴이 건축에서 일종의 양식의 유전자이자 다이어그램, 디테일, 장식, 구조 등을 결정하는 요소로 되었음을 의미한다. 역사적으로 초기의 건축적 패턴들은 “사다리와 계단, 사슬, 나무, 소용돌이, 동심원, 궤도”¹⁰⁾ 등으로 나타났으며, 이 외에도 비트루비우스가 언급했듯이, 기하학적인 시각적 유희 (trompe l'oeil) 패턴들이 상징적, 신학적, 원근적 목적으로 사용되었다고 할 수 있다.¹¹⁾ 패턴 이론의 최초의 중요한 연구¹²⁾로서 요소들의 단순한 유형으로부터 무한하고, 진화적이며, 생물학적인 패턴 유형들의 방식이 연구된 시기는 18, 19세기였는데, 이는 다윈과 린네의 영향을 받은 패턴 이론가들의 역할이 컸음을 의미한다. 이것은 또한 건축 디자인의 이론적 요소로서의 패턴 이론이 기본적으로 많은 부분을 생물학에 바탕을 두고 있음을 의미하기도 한다.

20세기 모더니스트들 역시 패턴에 무조건 반대한 것은 아니며,¹³⁾ 기능주의와 패턴의 결합을 통해 다양한 패턴 유형들을 보여주었으나, 이것들 중 가장 중요한 패턴 이론은 크리스토퍼 알렉산더가 건축의 요소들을 다이어그램으로 요약된 253개의 특별 패턴들로 구성된 「패턴 랭귀지」 A Pattern Language(1977)라고 할 수 있다. 이 이론은 1970년대와 80년대의 공간 구분론적 작품들 뿐 아니라 90년대 파올라 비가노의 도시계획에 이르기까지 폭넓게 영향을 주었기 때문이다. 나아가 포스트 모더니스트들의 다양한 역사주의와 탈중심, 왜곡, 이질성 등의 패턴

들과 앙리 르페브르가 리듬을 패턴과 동일시하여 쓴 책 「리듬분석: 공간, 시간, 일상생활」 Rhythmanalysis: Space, Time and Everyday Life(1992) 등은 20세기 말까지의 건축 디자인에서의 패턴 이론의 중요한 적용사례들이라 할 수 있다. 그리고 무엇보다도 1990년대 중반 이후 램 콜라스 같은 건축가들에 의해 포스트 모던의 대립성을 대신해 포괄적(generic)인 것에 대한 새로운 추구와 함께 “포괄성의 새로운 형태들을 구체화하기에 적합한 물질적 조직으로서의 패턴”¹⁴⁾ 이 새롭게 이슈화되었다고 볼 수 있다.

2.3. 건축에서의 현대적 패턴의 방식과 기술

21세기 이래 현대의 건축 패턴의 특징은 새로운 디지털 기술과 다이어그램 기술에 의해 더욱 하이테크적, 개념적, 동역학적, 가상적, 비촉각적, 비물질적, 비가시적인 방향으로 이루어지고 있다. 이것들은 주로 “과도와 같은 고대적 패턴들의 디지털/매개변수적 패턴, 비숫방울 패턴, 피보나체 수열 패턴, 수리와 도관 시스템 패턴, 단백질 접힘의 패턴, 세포 자동차 패턴, 끌개 패턴, 힘장 패턴, 시에르핀스키 큐브 패턴, 물결무늬(moirés) 패턴, 매듭 패턴, 프랙탈 패턴, 네트워크 패턴, 벌떼/새떼 패턴, 원자와 분자구조 패턴, 유체의 동역학 패턴, 아키텍스타일 패턴, 그리고 무엇보다도 바이러스와 미생물 조직 패턴, 보로노이 세포 패턴, 섬유질 패턴, DNA 패턴, 리좀과 다양한 혼성물의 패턴들”¹⁵⁾ 같은 생물학적 패턴들로 요약될 수 있다. 이러한 패턴들은 크게 두 가지의 영역 - 도시 조직의 패턴과 건물 외피의 패턴 - 으로 적용되고 있다. 전자는 모더니스트의 백지상태와 포스트 모더니스트의 맥락주의 사이의 이분법, 그리고 지역과 세계 사이의 분절을 해결할 방법으로 기존 도시의 물질 구조를 그대로 재생산하는 대신, 도시의 일관성을 새롭게 구축하는 방식으로 피터 아이젠만의 레프스톡 공원 계획에서부터 MVRDV의 데이터스케이프에 이르는 예들과 같이, 일정한 새로운 패턴을 도시 구조에 부여하여 도시적 일관성을 구축한다. 후자는 헤어조크와 드 뫼론¹⁶⁾이나 FOA의 작품들에서와 같이 건물 외피에 일정한 패턴으로 일관성을 부여하는 방식이다. 이것은 주로 다양한 기하학적 패턴들의 모자이크적 쪽맞춤을 통해 구현된다. 현대 건축의 비정형 곡면 표피들을 생성시키는 디지털 기술은 형태 변이를 위한 모핑(Morphing)¹⁷⁾과 형태 생

10) Paul Emmon, Embodying networks: bubble diagrams and the image of modern organicism, The Journal of Architecture, vol. 11 no.4, 2006

11) Ernest Gombrich, The Sense of Order, Phaidon, 2006, p.34

12) 예를 들어 P. Dominique Douat, Méthode pour faire une infinité de desseins différents avec des carreaux mi-partis de deux couleurs par une Ligne diagonale, ou observations, Paris, 1722, 혹은 Wolfgang von Wersin의 후기 작품, Mark Garcia, op. cit., p. 9 재인용

13) 미스 반 데어 로에도 사치스런 패턴화된 재료들을 사용했으며, 르 꼬르뷔제도 Salubra(1931-32)를 위해 패턴화된 상업적 벽지를 사용했고, 프랭크 로이드 라이트 역시 많은 주택들에서 패턴화된 타일들을 사용했다.

14) Alejandro Zaera-Polo, Patterns, Fabrics, Prototypes, Tessellations, AD., 2009. 11/12, p.18

15) Mark Garcia, op. cit., p.14

16) 헤어조크와 드 뫼론의 프랑스 리콜라 창고 건물(1993)은 표피에 인공적 유사 그래픽 기술로 표면을 일종의 패턴으로 만든 거의 최초의 예이다.

17) 모핑은 형태 생성을 위한 블롭과는 달리 형태변이를 위한 기법으로, 서로 유사성이 없는 원본 대상물과 목표 대상물의 형상적 속성들을 조합해 일정 범위 내에서 혼성적 형태를 만들어내는 기법이다. 박정대, 곡면형상의 구축을 위한 디지털 기술과 건축 디자인

성을 위한 블롭(Blob)¹⁸⁾, 자유곡면 생성의 새로운 기법인 넘스(NURBS)¹⁹⁾ 등 다양한 기술들이 있지만, 패턴은 주로 다각형(polygon)들의 반복으로 이루어진다는 점에서 다각형 기하학에 의한 쪽맞춤 기법이 많이 사용되기 때문이다. 외피에서 다각형의 쪽맞춤 기법은 외피를 구조적, 환경적 제어 기능으로부터 해방함으로써 가능하게 되었으며, 사각형 그리드와 달리 표면 단위 당 더 짧은 접합 길이가 가능함으로써, 사각형의 쪽맞춤으로써는 할 수 없는 곡면 외피 패턴의 자유로운 구축이 가능하게 된다. 나아가 외피의 이러한 패턴들은 또한 가상의 3차원 대상물에 임의의 질감이나 재질을 입히는 기술로, 평면적 텍스처어를 이중 굴곡의 표면 위에 매핑하면서 그것을 최소한으로 왜곡시키는 방식인 텍스처 매핑(texture mapping)²⁰⁾ 기술로 인해 건물 외피를 추상적 패턴이자 일종의 정보 전달 매체로 발전시킨다.

3. 생물학적 패턴의 특징과 건축적 적용 방식

3.1. 생물학적 패턴의 발생 과정

생물학에서 패턴은 형태의 발생(morphogenesis) 과정에서 나타나는 현상이다. 형태의 발생은 초기의 배아 상태에서 개체적인 특성들로 나타나지 않던 새로운 특성과 특질들이 발현되는 일종의 창발(emergence) 과정으로, 최초의 생물학적 패턴은 개체 발생의 과정에서 수정란이 수정 직후 분열을 시작해 극성을 띠고 패턴을 형성하는 공간 조직화 과정에서 나타난다. 패턴형성의 과정은 단백질들이 뭉쳐서 형성된 작은 막대모양의 미소관(microtubule)이 공간적으로 위치를 결정하게 되고, 체축이 만들어진 후 이루어지는 것으로, 이 과정은 유전자와 세포 환경과의 다양한 상호 작용에 의한 확률적 과정으로서의 후성적(epigenetic) 경로를 따른다. 즉 이 과정은 앨런 튜링(Alan Turing)이 식물들의 형태 발생 모델에서 밝혔듯이, 형태 발생을 제어하는 화학물질인 모르포겐

프로세스, 서울대학교 박사학위논문, 2005, p.80

- 18) 블롭은 상호 간섭에 의해 본질을 손상시키지 않는 범위 내에서 자연스럽게 변형되는 위상학적 변위 기법으로, 개개의 다각형 형태들이 각각 속성을 유지한 채 더 큰 하나의 표면에 쌓여 새로운 형태를 구성하는 기법을 통해 유연한 곡면 표피를 생성한다. 이효진, 조성용, 김동현, 디지털 기술 도입에 따른 건축표피의 구축적 의미에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2010. 11, pp.8-10
- 19) 넘스는 Non-Uniform Rational B-Spline의 약자로, 넘스 표피 모델링에서 사용되는 곡선이나 스플라인을 통제해 단순한 2차원의 선, 원, 호, 만곡에서 3차원의 유기적 곡면까지 그릴 수 있는 3차원 기하학이다. Ibid., p.8
- 20) 텍스처 매핑은 1990년대 말쯤부터 패턴화의 새로운 기술로서 휘어진 NURB 표피에 적용됨으로써 비디오 이미지들이 굴곡진 표면에 투영되거나 표피 내에 디지털 디스플레이 시스템들을 내재시키는 것이 가능하도록 만들었다. 이것은 후에 스크립트로 대체되었고 매핑만이 스크립트에 의해 보조적으로 남게 되었다. Patrik Schumacher, Parametric Patterns, AD., op. cit., p.33 참조.

농도의 변화에 따라 비선형적으로 변화한다.²¹⁾ 여기서 이러한 패턴을 만들어내는 메커니즘은 자기 조직화의 과정이다. 패턴의 대부분의 질서는 이런 자기 조직화에 의해 일어나고, 그 후에 자연 선택에 의해 다듬어지게 된다.²²⁾ 여기서 자기 조직화는 자신의 조직 자체를 일종의 에너지 교환 체계로 간주해 열역학적 개방계에서 자신의 계와 환경 사이의 에너지를 교환하는 자발적 발현 과정으로, 계의 내적 조직이 외부로부터 어떤 압력도 없이 특별한 기능을 추진하기 위해 환경에 적응하는 과정이며, 이 과정 속에서 생물체의 형태는 주변 환경에 구조적으로 최적의 상태로 되는 형태 발생 과정을 의미한다. 이러한 형태 발생 과정에서 나타나는 세포의 다양한 패턴 형성은 술방울의 앞차레에서 나타나는 피코나치 수열 같은 자발적 질서, 혹은 앵무 조개의 단면에서 나타나는 자기 유사적 패턴들, 환경과의 하중 분배 과정에서 생기는 나무의 나이테, 유기체의 다양한 삼각형, 오각형, 육각형, 나선 등의 기하학적 패턴들로 나타난다. 이것은 유기체의 패턴이 주변 환경과의 상호 작용 속에서 최적화를 이루는 과정에서 나타나는 형태라는 것을 의미한다. 생물학적 패턴은 그러므로 베르그송의 '생의 도약'(élan vital)과 같이, 삶과 같은 경향을 가지는 목표 지향적 체계를 통해 창발한다고 할 수 있다.

3.2. 생물학적 패턴의 건축적 적용 방식

생물학적 패턴을 건축 디자인에 적용하는 방식은 생물학적 패턴의 특징들을 형태 패턴 및 메커니즘 패턴이라는 두 개의 큰 범주로 나누어 그 가운데 생물체의 형태를 직접적으로 패턴화하여 적용하는 방식과 세포 구조들의 형태 패턴을 적용하는 방식, 구조체의 에너지 제어 메커니즘 방식을 패턴화하여 적용하는 방식, 그리고 개체의 형태 발생 메커니즘의 패턴 및 개체군 진화방식 메커니즘의 패턴을 적용하는 방식으로 크게 4가지 방식들로 구분될 수 있다.

(1) 직접적 형상의 패턴

생물학적 패턴을 건축에 적용하는 가장 손쉬운 방식은 생물학적 대상을 직접적으로 복사하는 것이지만 이것은 가장 낮은 수준의 방식이다. 이 방식에는 나뭇잎이나 조개 껍질, 나무, 뼈 같은 많은 패턴화된 예들이 있지만, 패턴의 종류가 그렇게 많지는 않으며, 주요 패턴들이 그렇게 효율적이지도 않다. 생물학적 형상들과 그 형상에 수반되는 구조와 메커니즘은 크기에 따라 다르기 때문이

21) 앨런 튜링은 초기의 형태 발생 모델에서 화학물질인 모르포겐의 농도 변화가 대칭이나 동질성의 파괴, 동질적 혼합 등의 패턴의 창발을 유도한다고 말한다. Alan Turing, The Chemical Basis of Morphogenesis, Philosophical Transactions, 1952, Michael Weinstock, Morphogenesis and the Mathematics of Emergence, AD., 2004. 5/6, p.14 재인용.

22) Stuart Kauffman, At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity, 혼돈의 가장자리, 국형태 역, 사이언스 북스, 2002, p.173

다.²³⁾ 예를 들어 에펠탑이 인간 대퇴부 뼈의 머리 부분 골수 구조를 모티브로 하고, 수정공의 지붕 디자인 역시 아마존 백합의 잎사귀를 모티브로 했지만, 그것이 특별히 구조에 장점을 지닌 것은 아니라고 할 수 있다.²⁴⁾

(2) 구조와 세포 형태의 패턴

생물학적 패턴을 건축에 적용하는 보다 나은 방식은 생물체의 구조와 조직의 방식을 패턴화하여 적용하는 방식이다. 이것은 저에너지 사용, 쉬운 재활용, 소수의 가능한 재료로 극단적인 영구성과 융통성을 얻는 생물체의 특징을 공학적으로 모방하는 방식, 즉 생체 모방기술 (biomimetics)²⁵⁾에 해당하며, 자기 조직화된 결과로서의 구조적 형태, 혹은 물질과 에너지들이 생물체와 주변 환경과의 사이에서 상호 제어되는 방식에 대한 모방을 하는 방식이다. 이것은 물리적 대상의 직접적 형상 보다는 정보 속의 패턴의 인식에 더 의존하며, 일종의 추상을 통해 기술을 더욱 강화한다. 대부분의 유기체들의 다양한 스케일에 걸쳐 자기 조직화되는 기하학적 패턴은 주로 원형과 삼각형, 오각형, 육각형, 나선 등의 형상으로 나타나며, 상대적으로 약한 소수의 구성 물질이 자기 조합되어 매우 강한 강도를 나타낸다. 예를 들어 식물들은 자신들의 구조적 목표를 달성하기 위해 각각의 조직적 수준에서 작은 양의 부드러운 재료들을 사용해 연속적인 위계 속에서 자신들의 물질 조직과 줄기 단면들의 변양태들을 통해 중력과 풍력에 저항한다. 이것은 생물학적 자기 조직화의 특징이 작고 단순한 구성 요소들이 더 큰 유기체를 형성하기 위해 3차원적 패턴 속에서 함께 조합되며, 그 유기체는 다음에 창발적 자질과 행태를 가지는데 더 복잡한 구조로 자기 조합됨을 의미한다.²⁶⁾ 구조와 조직 방식을 패턴화하는 방식은 다음과 같이 생물체 구조와 조직의 환경에 대해 최적화된 기하학적 형상들의 패턴을 모방하는 방식과 유기체들과 환경 사이에서 물질과 에너지 방식이 상호 제어되는 패턴을 모방하는 방식들로 분류될 수 있다.

1) 원형 패턴

나무 내의 구멍들은 원형의 패턴으로 나타나며, 이 원형 구멍들의 위계적 배치는 갈라짐들에 대한 제어를 제공한다.²⁷⁾ 예를 들어 대나무의 성장은 주로 길이방향으

23) 예를 들어 조개 껍질의 힘은 껍질의 두께에 따른 다른 유형의 구조들의 분배에 의존하는데, 그것은 크기에 따라 함께 변하며, 다른 종류의 공격에 저항해야 하는 종에 따라 다르다. 그렇게 함으로써 조개 껍질의 형상은 유용한 시작점으로 될 수 있으며, 어떤 쌍각류 조개들은 방사형 등줄기에 의해 경제적으로 단단해진다. Julian Vincent, Biomimetic Patterns in Architectural Design, AD., op. cit., p.76

24) Ibid.

25) 생체공학(bionics), 생체모방(biomimicry), 생체영감(bioinspiration), 혹은 생체영감 디자인(bioinspired design) 등으로 언급되기도 하는, 생물학으로부터 유래한 디자인 범칙들의 도구이다.

26) Michael Weinstock, Self-Organisation and the Structural Dynamics of Plants, AD., 2006. 3/4, p.28

27) David G. Hepworth, Julian FV Vincent, Graham Stringer, George



<그림 1> 대나무 내의 원통형 세포들과 액체전달 튜브들



<그림 2> 뼈의 해면체 섬유질 구조

로만 나타나고, 상대적으로 직경 방향의 성장은 거의 나타나지 않는데, 줄기는 거의 50%의 긴 원통형 세포들 (parenchyma)과 40%의 섬유질, 10%의 목질부, 혹은 속이 빈 액체 전달 튜브들로 구성되며, 이런 구성 패턴²⁸⁾의 모방은 탄소 섬유 재료와 유리 섬유 보강 재료 같은 섬유질 구성재료에 응용될 때 구조적으로 매우 강한 구조물로의 전환이 가능하게 된다. 마찬가지로 뼈의 해면체 섬유질 구조는 다공질의 세포적 고체로, 광물질적 포말의 원형 구멍들이 많은 물질로, 이 내부의 복잡하게 연결된 다공질의 네트워크²⁹⁾ 역시 원형의 패턴으로 응용될 때 매우 높은 강도의 구조물을 만들 수 있게 된다.

2) 다각형 패턴



<그림 3> 비누방울 포말의 다각형분화패턴

유기체의 세포들의 내적 구조는 빈 공간이건 공기나 유동체로 채워진 공간이건 각각은 유동적이거나 고체의 면과 모서리를 가지는데, 이 세포들의 형태는 다면체이며 다양한 다각형의 포말 패턴으로 이루어진다. 이 포말의 형태는 다르시 톱슨이 성장하는 세포들의 형상을 위한 수학적 표현에 관해 논했듯이,³⁰⁾ 주로 육각형과 오각형 구조의 무작위적 배열

Jeronimidis, Variations in the morphology of wood structure can explain why hardwood species of similar density have very different resistances to impact and compressive loading, Philosophical Transactions of Royal Society A 360, 2002, pp.255-72

28) 대나무의 액체 전달 튜브들은 주위로 엽초와 관다발 속에서 조절되는 섬유들을 가지며, 모든 대나무들은 줄기 내의 세포들의 분배 속에서 수평적, 수직적 모두의 특징적 분화를 보여준다. 섬유질의 비율은 내부보다는 벽체의 외부 세 번째에서 더 높고, 아래쪽에 비교해 위쪽 부분이 더 높다. 섬유질과 다발의 분배는 높이와 가늘기에 따라 분화됨으로써 줄기의 상부는 더 많은 비율의 섬유질을 가진 많은 더 작은 관다발들로 구성되고, 그것은 가늘기가 증가할수록 재료적 강도도 식물의 더 높은 부분에 있는 바람과 물의 증가하는 스트레스에 적절히 증가하도록 만든다. Christina Sanchis Gritch, Richard J. Murphy, Ultrastructure of fibre and parenchyma cell walls during culm development in Dendrocalamus asper, Anals of Botany 2005, 95, pp.619-629, Michael Weinstock, op. cit., p.30 재인용.

29) 공학적인 포말 형상들, 나무, 해면 모양의 다공질의 뼈와 코르크 같은 세포형 고체들의 구조와 특징들은 행태적 유사성을 가지며, 공학적 디자인을 위해 개발될 수 있다. L.J. Gibson, M.F. Ashby, Cellular Solids: Structure and Properties, Cambridge University Press, 1997, Michael Weinstock, Self-Organisation and Material Construction, Ibid., pp.34-35 재인용.

30) 포말의 수학적 설명은 이미 1873년 비누 방울들이 모일 때 120도 각도로 세 개의 표면들이 만난다는 Plateau의 관찰과 1883년 Lord Kelvin이 3-D 공간을 다중의 부분이나 세포들로 분할한 역사를

로 구성됨을 알 수 있다.³¹⁾ 예를 들어 규조류나 방산충의 규산질 미세 골격 형상은 육각형 그물 패턴으로, 이것들의 뼈대 내부 구조는 비누 방울 포말의 다각형 분화 패턴이 포말형 건축의 기하학을 상징했듯이,³²⁾ 구조적으로 매우 효율적인 면을 보여준다. 생체 모방 기술에 의해 생산되는 새로운 재료로서의 중합체(polymer)나 포말 금속 등 역시 다각형의 패턴을 가지며, 비유기적인 인공적 물질들을 이용해 자연의 생물학적 물질들과 유사한 특성을 가지는 높은 강도의 물질을 만들 수 있다.

(3) 물질과 에너지 제어 메커니즘의 패턴

생체 모방 기술의 또 다른 방식은 생물학과 공학에서 문제가 해결되는 방식 속에서 패턴을 인식하는 것으로, 패턴을 단지 형태로만 환원하거나 물질적 조건만으로 환원시키지 않고, 패턴들의 형성과 변형을 기초하는 과정들을 모방하는 방식이다. 이것은 물질적 특성과 형태 사이의 관계에 기초하며, 수행적 잠재력과 억제, 조합의 논리를 만들어내는 자기 조직적 과정들에 연관되는 분화되고 수행적인 물질 시스템에 초점을 맞추는 것이다. 이것은 또한 힘들의 흐름으로부터 태양 에너지와 그것에 연관된 열역학적 현상들의 분배에 이르기까지 외적 영향들에 연관된 물질 시스템의 형태와 능력에 대한 분석의 연속적 피드백을 통한 형태적 패턴의 통찰을 의미한다.³³⁾ 물질 시스템과 환경의 상호 작용으로부터 조절되는 다양한 형태적 패턴들이 나오는데, 여기서 환경의 조절은 열역학, 광학, 음향 등의 조절을 의미하고, 물질 시스템의 조절은 내적 힘들, 진동, 음파들의 변화적 분배, 습도 용량과 온도 구배 속의 변화들 같은 건물의 물리적 양상 등이 해당된다.³⁴⁾ 예를 들어 나무 내 구멍들의 위계적 배치와 갈라짐들이 제어되는 패턴으로부터 구조용 콘크리트의 빈 공간의 크기와 배분이 제어되는 패턴이 적용

될 수도 있다.

(4) 형태발생 메커니즘의 패턴

생물학적 패턴의 건축적 적용 방식에서 가장 궁극적인 진보적 방식은 건축물이 실제적으로 수행(performance) 지향적인 디자인으로 되도록 환경 속에서의 형태적 경향들과 패턴을 도구화하는 방식이다. 이것은 물질적 분절과 환경적 조절 모두를 향한 패턴 인식을 통해 가능하게 되며, 생물체의 형태가 발생하는 형태 발생 과정과 발생된 유기체가 진화해가는 과정 모두의 메커니즘에 대한 분석으로부터 그러한 과정들의 건축적 적용이 가능하게 된다.

1) 분화 패턴

형태 발생의 과정은 자기 조직화 과정 속에서 나타나는 분화(differentiation)의 패턴을 만들어낼 수 있는데, 이것은 생물체의 특징인 다중 수행적 건축을 가능케 하는 방식이다.³⁵⁾ 자기 조직화는 분화를 통해 다양한 변형태의 모델들을 발생시키는데, 분화는 형태 발생 과정에서 위치에 따라 자기 다른 단백질 화합물의 영향 속에서 서로 다른 유전자의 발현에 의해 다양한 표현형(phenotype)의 증가를 수반하며, 다양한 표현형의 증가는 기존의 건축적 최적화 방식이었던 단일 목표의 최적화 대신 다양한 스케일 환경 내의 형태적 특성과 능력의 관점에서 시너지적, 통합적 방식으로 물질과 시스템을 이해하는 다중 수행적 건축을 가능하게 해주기 때문이다.

2) 매개변수적 패턴

형태 발생과정으로부터 응용할 수 있는 또 하나의 패턴은 매개변수적 패턴이다. 이것은 자기 조직화의 또 다른 특성인 다중적 형태를 얻기 위한 방식으로, 분화로부터 얻어지는 다중 형태는 표면 분화의 증가를 통해 동적이며 고도의 수행적인 건축 패턴을 만들어내는 매개변수적 건축을 가능하게 하기 때문이다. 매개변수 디자인은 “건축 형태를 발달, 변형, 수정하기 위해 대상물에 영향을 주는 내적, 외적 힘들을 매개변수화하고, 시간의 흐름에 따라 각각의 힘들이 이완하는 다른 힘의 작용 범위 내에서 인력, 또는 척력을 받아 시뮬레이션되며 형태가 만들어지는 기법”³⁶⁾이다. 이것은 파트릭 슈마허(Patrik Schumacher)가 주장하듯, ‘매개변수주의’(parametricism)라는 용어로 설명되며, 연속적인 분화와 변형(versioning), 반복 등의 방식과 스크립팅 등으로 표현된다.³⁷⁾ 매개변수적 패턴은 슈마허에 의해 다음과 같은 목표들로 특징지어진다: “1)

가진다. 다르시 톰슨의 ‘세포들의 형태’에 관한 장은 ‘변형 이론’과 연결해 읽을 때 형태 발생의 패턴과 분화로까지 확장될 수 있다. D'arcy Thompson, *On Growth and Form*, Cambridge University Press, 1961(1917년 초판).

31) 포말은 공간 속에 서로 다르게 조직된 세포들을 가지며, 반면에 별 집 모양들은 평행한 열들로 조직되고, 더욱 정형적인 프리즘 모양의 세포들을 가지려는 경향을 지닌다. 모든 세포 물질들에서 세포들은 각각 정형이거나 비정형의 형상일 수 있으며, 분배에서 다양할 수 있다. Michael Weinstock, op. cit.

32) 프라이 오토와 그의 생물학 동료인 J.G. 헬름케는 규조류와 방산충의 뼈대 내부 구조를 통해 이 복잡한 구조들의 형성이 공기 방울이나 포말들의 집합의 횡단 표면들 위의 광물적 침전의 과정임을 밝혀내고 다양한 자기 조직적 형태 패턴을 실험했다. Frei Otto, Klaus Bach (eds.), *Radiolaria*, vol. 33, Publications of the Public Institute of Lightweight Structures, University of Stuttgart, 1990.

33) 예를 들어 연결 부위의 조직 섬유 내의 섬유질 단백질의 구조와 조직의 반복되는 패턴들은 그것들의 하층이 작용한 성장 과정에 연관해서만 이해될 수 있는데, 그 과정 속에서 결합 조직 형성 세포들은 조직 내의 힘들의 흐름에 직접적으로 대응해 섬유질들을 놓는다.

34) Achim Menges, Michael Hensel, *Patterns in Performance- Oriented Design*, AD., 2009. 11/12, p.92

35) 생물체들이 환경 속에서 다양한 상호 작용을 통해 다중적 목표의 최적화를 이루듯이, 건축 역시 생물체의 이러한 메커니즘을 응용해 환경과의 상호 작용 속에서 다중적 기능과 다중적 형태의 다중적 목표를 수행하는 가운데 환경적으로 특별한 조건들에 대해 유연하게 대응할 수 있게 된다.

36) 류무열, 디지털 건축의 시간기반 프로세스에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제20권 2호, 2001, p.542

37) Patrik Schumacher, *Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design*, AD., 2009. 7/8, p.15

정방형이나 삼각형, 원 같은 정형의 기하학, 요소들의 단순한 반복, 연관되지 않는 요소나 시스템들의 중첩 등을 피할 것; 2) 매개변수적으로 순응될 수 있는 모든 형태들을 고려하고, 다양한 수준에서 점진적으로 분화시키며, 시스템적으로 상호 관련시킬 것; 3) 단일 시스템의 분화로부터 외피, 구조, 내적 세부분할 같은 다중의 하부 시스템의 스크립트된 결합으로 이동할 것. 한 시스템 내의 분화는 다른 시스템들 내의 분화들과 상호 연관된다; 4) 보상적 적응보다는 차이들의 증대를 선호하는 상호 연관을 통한 유기적 통합을 목표로 할 것. 연관된 시스템은 더 풍부한 분절이 얻어지고 더욱 방향성을 가지는 시각적 정보가 가능한 초기 분화를 강조할 것.”³⁸⁾ 매개변수 패턴은 그러므로 차이들의 증폭을 통해 내재하는 표면 분화를 더욱 증폭시킬 수 있게 된다. 여기서 분화는 또한 구성 요소 분화를 이끌 어떤 패턴이나 이미지를 표면에 매핑함으로써 의도적으로 도입될 수도 있다.³⁹⁾

3) 성장법칙 패턴

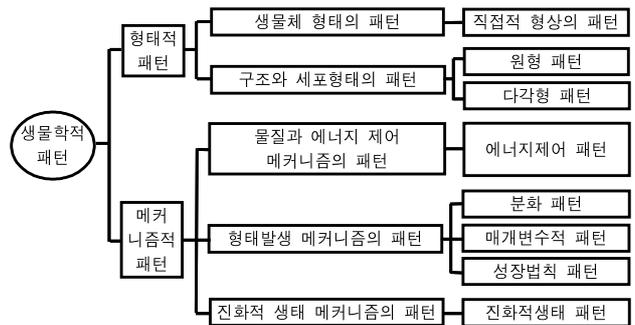
성장은 배의 발생 이후 거치는 단계로, 형태 발생의 마지막 단계인데, 유기체의 이러한 성장과정을 패턴화하여 건축 디자인에 적용하는 방식이 가능하다. 예를 들어 높은 굴곡의 영역에서 성장률이 증가하는 산호의 성장법칙은 제안된 네트워크 내에서 하우징 유니트들의 분배와 위치 선정에 정보를 줄 수도 있다. 나아가 생물체 성장의 메커니즘을 수행적 도구로 만든 대표적 예는 일련의 문법에 따라 특성들을 순환적으로 교체하는 것에 기초를 둔 린덴마이어 시스템(L-system)⁴⁰⁾으로, 이 시스템은 동일한 규칙을 반복적으로 적용하는 과정에서 구성요소들을 고쳐쓰고, 대체함으로써 복잡성이 증가하는 시스템이다. 이것은 결과적으로 3차원의 구조화된 체계를 통해 통합된 형태를 생성해낼 수 있게 된다.⁴¹⁾

(5) 진화적 생태 메커니즘의 패턴

형태 발생이 주로 한 개체의 발생을 다룬다면, 진화는 개체군의 관점에서 여러 세대에 걸쳐 돌연변이와 자연선택을 거쳐 새롭게 변화해가는 과정을 의미한다. 예를 들어 산호초나 흰개미 둥지, 작은 부레관 해파리군, 열대 맹그로브 숲 같은 모델들은 모두 지역적 행위자와 환경적 자극들의 상호 작용을 통해 구축되는 집합적 질서 패턴을 보여주는데, 이러한 생태 패턴을 적용해 맹그로브 나무와 숲의 사회적 조합법칙에 기초한 생태학의 도시적

모델도 가능할 수 있게 된다.⁴²⁾ 생물체의 진화 과정을 건축 디자인에 적용하는 대표적인 방식은 다양한 진화 알고리즘들⁴³⁾ 중의 하나인 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)⁴⁴⁾을 적용하는 것이다. 현대 건축에서 장, 피막, 복잡한 표피, 깊은 구조 같은 새로운 패턴을 가능하게 해주는 것은 무엇보다도 발전된 새로운 기술들이라고 할 수 있는데, 이것들은 주로 Grasshoper, Generative Components 같은 유전 알고리즘적인 생물학적 패턴 발생 소프트웨어 프로그램에 의해 가능하게 되기 때문이다.

<표 1> 생물학적 패턴의 건축적 적용방식



4. 생물학적 패턴의 건축적 적용 사례

4.1. 직접적 형상의 패턴



<그림 4> 윌킨슨 아이어, 멀티플렉스 극장



<그림 5> 극장렌조 피아노, 휴스턴 메닐콜렉션 미술관



<그림 6> 노먼 포스터, 스위스 Re빌딩 외피

생물체의 직접적인 형상 패턴은 주로 생물체의 구조 형태를 패턴화하여 적용하는 사례들을 보여준다. 윌킨슨 아이어(Wilkinson Eyre)의 멀티플렉스 극장계획(1998)은 중앙의 아트리움 주위로 소극장들을 배치하기 위해 해바라기 씨의 배치 패턴과 산양 뿔의 성장 곡선 패턴, 달팽이와

38) Ibid., pp.16-17

39) Patrik Schumacher, Parametric Patterns, op. cit., p.34

40) 헝가리의 생물학자 Astrid Lindenmayer가 1968년 서로 다른 단순한 다중세포 유기체들의 성장 패턴을 연구한 유기체 발생의 형태적 기술로, 컴퓨터의 형태 문법, 즉 문자열(string)들로 알려진 다양한 단순 개체들의 과정을 통해 형태 언어를 설명하는 추상적 구조이다. 이는 생물학적 진화과정 모델링과 식물 형태발생 분야에서 형태 발생 시스템의 하나로 이용된다.

41) 김정신, 바이오모픽 건축의 재료 표현특성에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집, 2006. 10, p.292

42) Theodore Spyropoulos, Evolving Patterns: Correlated Systems of Interaction, AD., 2009. 11/12, p.86

43) 유전 알고리즘(GA), 진화전략(ES), 진화 프로그래밍(EP), 유전 프로그래밍(GP) 등이 있다.

44) John Holland가 1975년 개발한 최적화 알고리즘으로, 생물학적 유전자인 염색체에 해당하는 문자열로 재생산, 교배, 돌연변이를 거쳐 다음 세대에 새로운 자식을 인공적으로 만들어내며, 이런 연산을 반복해 최적해를 구한다. 이것은 유전자형과 표현형을 가지는 개체들의 개체군을 초기화하고 유지하며, 부모를 제공하기 위해 두 가지 개체의 무작위적 선택에 의해 교배시킨 후, 염색체 교차와 돌연변이를 이용해 다양한 자손들이 개체군을 채울 때까지 세대를 반복시켜 모든 부모들이 버려지고 적합한 기준을 만족시키는 개체군을 양산시키는 프로그램이다.

소라 껍질에서 나타나는 피보나치 수열 패턴을 나선형 배치에 적용한 예이다. 렌조 피아노의 휴스턴 메닐 콜렉션 미술관(1987) 역시 경량화를 위해 지붕 트러스 형태를 거대한 조류의 손뼉 패턴으로부터 적용한 예이다. 나아가 노먼 포스터의 스위스 Re 런던 사무소(2004)는 풍압과 하중을 조절하기 위해 해면동물의 규산질 외피 패턴으로부터 유선형의 외양과 대각선 외피 골조 패턴을 발생시킨다.

4.2. 원형 패턴



<그림 7> 살만 크랙, 뷰로 하폴드의 원형튜브



<그림 8> SMO 아키텍투어, 베를린 버블건물



<그림 9> AKT, 렌 타워의 원형패턴

원형 패턴은 식물의 단면이나 뼈의 다공질 구조에서 자주 발견되는 구조 조직의 패턴 양상이다. 이 패턴은 단순한 형태적 패턴 모방에서 벗어나 구조 체계의 효율적 배치와 조직에 적용될 때 매우 훌륭한 성능의 생체 모방 기술로 표현될 수 있다.

예를 들어 에어컨이나 다른 기계들에 의존하지 않고 건물의 온도를 제어하고 열을 밤에 재방사 해줄 단열 형태의 디자인을 위해 살만 크랙(Salman Craig)이 뷰로 하폴드(Buro Happold)에서 단열재 속으로 방향이 잡힌 원형 패턴의 튜브들을 도입함으로써 열의 장파식 방사가 그 튜브들을 통해 직접적으로 통과하도록 한 방식이 이러한 적용 사례이다. SMO 아키텍투어와 Arup의 베를린 버블 건물(2002)과 AKT의 렌 타워(2006)는 다양한 크기와 구조적 스케일을 가진 원형 패턴들의 적층식 메우기(packaging and stacking) 수법으로 구조 패턴이 이루어짐으로써 브레이싱 시스템의 최적화 패턴을 이룩한 사례를 보여준다. 이것은

“유한요소 모델링(FEM) 패키지들과 건축의 디지털 도구들이 스트레스에 대응하는 축적과 스케일링에 의해 원들의 최적화 구성을 이룬 것으로, 세포 구성의 생물학적 과정들이 원들을 감싸도록 스크립트시킨 결과”⁴⁵⁾ 이다. 건물 표피에서의 원형 패턴들의 적용은 ‘원형 메우기’(circle-packing)그물로부터 유도된 표피 위의 원과 구체들의 특별한 배치와 결합된 패턴들로 표현되기도 한다. 원형 메우기(CP)그물은 이웃하는 삼각형들의 내접원들이 그들의 일반 모서리에 동일한 접촉점을 가지게 되



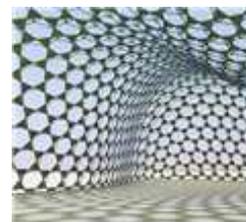
<그림 10> FOA, 마드리드 레갈 메디슨협회



<그림 11> LVMH, 루이비통 상점표피

는 삼각형 그물들로, 이 그물의 이웃하는 내접원들은 서로 한 점에서 접하며, ‘메우기’(packing)로 불리는 원들의 배치를 형성하는 형태이다. FOA의 마드리드 레갈 메디슨 협회(2006)의 표피, LVMH 아키텍처의 파리 루이비통 상점의 표피들은 모두 이 원형 메우기 그물로부터 패턴을 적용한 사례들이다. 원형 메우기 그물과는 별개로 FOA의 런던 그리니치 레이번스본 디자인 커뮤니케이션 대학(2010)의 외피 패턴 역시 다양한 원형 패턴들이 창들의 크기에 연관되어 구성되는 양상을 보여주는 사례이다.

4.3. 다각형 패턴



<그림 12> 3중 육각형 그물



<그림 13> 니콜라스 그림쇼, 에덴 프로젝트



<그림 14> FOA, 아이치2005 스페인관

원형 메우기 그물의 원형 패턴은 또한 전산화되어 육각형과 삼각형, 오각형들로 구성된 그물, 혹은 3중 육각형(tri-hex) 그물들로 발전될 수 있는데, 여기서 평면적 표면들을 가지는 오각형과 육각형 그물들은 부적으로 굴곡진 영역 내에서 불록함이 없는 패턴들을 보여주게 된다. 벽민스터 폴리, 프라이 오토, 라스 스파우브룩 등은 육각형 그물 형상에 기초한 방산층의 규산질적 미세 골격 형상의 구조적 효율성을 오래 전부터 건축에 응용해 왔는데, 이것은 기하학적으로 매우 흥미로운 주제로, “평면적 표면들을 가진 육각형 그물을 발생시키기 위해 삼각형 그물로 시작해 그물 정점에서 탄젠트 평면들을 교차시킴으로써 육각형 패널의 그물이 만들어지게 된다.”⁴⁶⁾ 니콜라스 그림쇼의 에덴 프로젝트(2001)는 규산질의 그물논 형상으로 자유롭게 확산과 수축을 하는 방산층의 육각형 외피를 모델로 하여 폴리머 필름으로 된 육

45) Mark Garcia, Reductive Engineering Patterns: An Interview with Hanif Kara, AD., 2009. 11/12, p.72

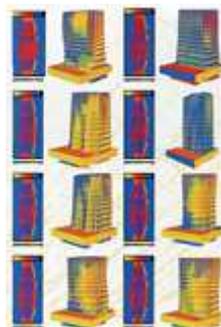
46) Helmut Pottman, Geometry and New and Future Spatial Patterns, Ibid., p.62

각형 모듈의 표피를 원형 돔 위에 씌운 사례이며, PTW 아키텍트와 Arup의 베이징 워터큐브(2007) 역시 육각형 패턴의 ETFE 4,000개가 표피를 덮는 구조를 보여준다. FOA의 일본 아이치 2005의 스페인관(2005) 또한 다양하게 분화된 다양한 색채의 육각형 구조들이 표피를 덮는 양상을 보여준다.

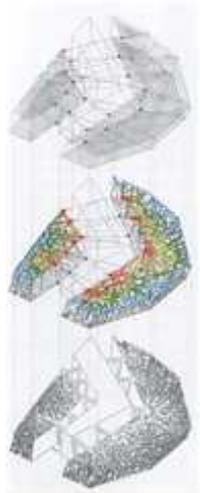
<표 2> 형태적 패턴 사례

형태적 패턴		
		
직접적형상패턴	원형패턴	다각형패턴

4.4. 에너지 제어 패턴



<그림 15> Emtech, 피라에우스 타워



<그림 16> OCEAN, 체코 국립도서관

에너지와 사물들간의 상호 작용 방식에 대한 과정의 패턴화는 물질 시스템과 환경 모두의 제어에 관한 행태적 경향들과 패턴들이 도구화됨으로써 수행 지향적인 디자인으로 이끌게 된다. 이것은 “물질적 분절과 환경적 조절 모두를 향한 패턴 인식을 가지는 피드백 내의 패턴 발생의 연속적인 시너지적 통합 내에서 펼쳐지는 디자인”⁴⁷⁾ 이라 할 수 있다. AA의 창발 기술과 디자인 프로그램(Emtech)의 아테네 피라에우스 타워(2005)의 표피는 매일의 태양 노출 절정 시간과 평균 시간대의 분석에 기초한 반복적인 알고리즘 과정으로부터 도출되는 적응적 표피의 사례를 보여준다. 이것은 전체의 외피 형상과 표피 요소의 지역적 분절 모두의 자기 차양화 능력을 개발하기 위해 수많은 환경적 적합 기준들에 연관되어 다중의 표피 발생들이 전산적으로 진화되고 분석된 결과라고 할 수 있다. 마찬가지로 OCEAN과 쉐플러 + 파트너스의 체코 국립도서관 계획(2006)은 컴퓨터를 통해 캔틸레버식 건물 외피 내의 스트레스 분배가 주요 힘들의 벡터 장으로 평가되고 매핑되며,

이 구조적 정보에 따라 태양 빛의 각도, 시각축, 공간적 특성 같은 다른 매개변수들과 결합되어 통합된 가지들의 네트워크가 만들어지는 방식을 보여준다.

4.5. 분화 패턴

분화는 형태 발생의 과정에서 다른 종류의 세포들이 만들어지는 과정에서 표현형이 다양하게 증가하는 과정으로, 건축에서도 분화된 패턴들의 다양한 표현형 증가를 위해 이용될 수 있다. FOA는 건물의 표피 디자인에서 태양 노출과 시야 등의 매개변수와 연관된 외피의 기능적 수행, 외피의 전체적 질서, 접합부와 접합 패턴, 디테일이나 국부적 수행 기능에 따라 분화된 패턴들을 적



<그림 17> FOA, 레이번스본 대학



<그림 18> FOA, 레스터 하이크로스 리테일 외피패턴



<그림 19> FOA, 트리니티 EC3사무소의 패턴분화

극적으로 사용한다. FOA의 아이치 2005 스페인관은 6개의 변형된 육각형들의 기하학적 법칙에 따라 색채 패턴들이 분화되며, 레이번스본 대학에서는 인테리어의 특별한 요구에 따라 다른 크기들로 국부적으로 분화된 창문 패턴들이 쪽맞춤 패턴의 구조 속으로 투영되는 방식을 보여준다. 이들의 레스터 하이크로스 리테일과 극장 복합시설(2008)은 관찰자의 위치에 따라 투명성과 불투명성의 분화를 만들어내는 패턴을 보여준다. 나아가 두바이의 아이코닉 타워(2004)와 런던의 트리니티 EC3 사무소(2006)에서 패턴의 분화는 국부적으로 파사드 쪽맞춤과 상호 작용하는 특별한 표면의 분화된 태양 노출에 의해 발생되며, 레갈 메디슨 협회에서 원형 메우기 기하학은 두 개의 구체와 하나의 원환에 의해 형성된 기본적 기하학에 적용되기 위해 분화되는 방식을 보여준다.

4.6. 매개변수적 패턴

매개변수적 패턴은 벤틀리 시스템의 발생요소(GC) 프로그램에 의해 복잡한 숙주 표면(host surface) 위의 독특한 위치들에 자기 적응적 요소들을 매개변수적으로 적응시킴으로써 얻어진다. 여기서 표면의 패턴 분화는 공간의 기하학적이거나 기능적인 양상들과 상호 관련되어 얻어지게 된다. 파사드의 적응적 분화는 그러므로 표면의 방향에 따라 폭넓게 변화하는 환경적 매개변수들, 즉 굴곡 표면 위의 태양광 강도의 점진적 변양태 같은 매개변수들에 의해 만들어질 수도 있다. 나아가 표면 분절은 양각, 이음매, 물질, 텍스처, 색채, 반사도와 투명성 같은 다양한 매개변수들의 상호 관련적 스크

47) Achim Menges, Michael Hensel, op. cit., p.93

립트를 통해 만들어질 수 있다.⁴⁸⁾ 예를 들어 비엔나 응용예술대학의 자하 하디드와 파트릭 슈마허 팀이 계획한 분화된 공간 패턴은 서로 다른 표피 조건들의 매개변수들에 따라 네트워킹 범칙을 변화시키는 네트워크 스크립트로부터 창출된다. 나아가 자하 하디드 사무소의 마드리드 시의회



<그림 20> 자하 하디드, 마드리드 시의회



<그림 21> 자하 하디드, 파리 필하모니

(2007)는 점진적으로 변하는 태양 노출에 대한 적응 속에서 조율되는, 환경적으로 적응적인 파사드로 이루어진다. 여기서 개구부의 크기와 차양 요소의 돌출 역시 태양 노출에 따라 변화하며 수행적으로 적용되는데, 이러한 분화적 양상들은 매개변수적 패턴의 결과라고 할 수 있다. 마찬가지로 그들의 파리 필하모니 계획안(2007)에서 적용된 패턴들은 표피의 변화하는 방향을 따르고 강조하며, 표피의 방향이 바뀔에 따라 양각의 패턴도 변화하는 매개변수적 패턴을 보여준다.

4.7. 성장 범칙 패턴



<그림 22> AA디자인랩, 어반립

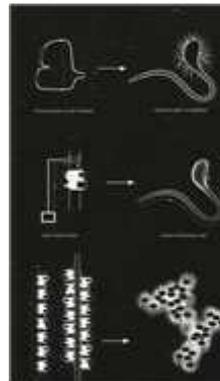
형태 발생의 마지막 단계인 성장의 범칙 역시 패턴화 되어 건축에 적용될 수 있다. AA 디자인 랩의 어반 립(2009) 계획은 섬유질에 기초한 구조 시스템과 단위 배치의 발전을 보여주는 것으로, 산호의 성장 범칙 패턴에 따라 네트워크 내의 건물 유니트들의 배치를 한 작품이다. L-시스템은 성장 범칙 패턴을 만들어내는 수행적 도구로, 아킴 멩게스의 디지털 성장과 개체발생적 흐름 계획은 L-시스템을 이용해 발생된 표면 기하학이 매개변수적 요소들의 알고리즘적 분배에 제공되고, 이것이 복합적 네트워크를 형성하는 과정을 보여준다. 이 시스템에 의해 표면의 모든 부분은 개체 발생적 흐름이 안정된 형상으로 될 때까지 계속 변화를 하며, 표면의 변화들에 대응해 다양한 알고리즘이 표면 위에서 선들의 네트워크를 설정하고 가상의 3차원적 모델이 구축되는 방식을 따르게 된다. MIT의 벤 파이퍼가 실험한 3차원 트러스 실내 공간은 L-시스템으로부터 발전된 형태 발생적 표면 구조인 MoSS 프로그램으로부터 성장되어 발생한 표면들의 꼭지점들이 적응적인 3차원적 세포 구조를 형성하도록 해 자유로운 형태의 벌집형 트러스 구조를 발생시키는 성장 범칙 패턴을 보여준다.

4.8. 진화적 생태 패턴

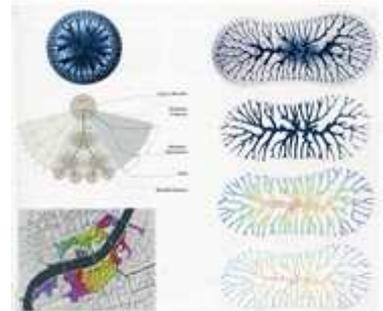


<그림 23> AA디자인랩, 망갈시티

진화적 생태 패턴은 개체군 내의 개체의 역할을 시험하며 자연에서 발견되는 집합적 행태의 패턴들을 통해 만들어진다. 이것은 도시적, 건축적, 물질적 스케일들 사이를 관통해 성장과 적응의 행태적 패턴 논리에 의해 진화적인 시스템으로 개발된다. AA 디자인 랩의 망갈 시티 계획(2009)은 맹그로브 나무와 개체군으로서의 맹그로브 숲의 사회적 결합 규칙에 기초한 생태학의 도시적 모델을 실험한 것으로, 진화적 생태 패턴을 이용한 예이다. 그들의 베를린 미니마폼은 아킴그랩의 멤버인 데이빗 그린의 리빙 포드와 고층 건물들(1965) 계획을 모티브로 하여 인간을 피드백과 순환적 활동을 통해 연루시키고, 동역학적 조직과 사회적 실험을 통해 삶의 새로운 개념을 진화시키는 방식으로 원래의 리빙 포드와 타워의 변형을 실험하는 진화적 생태 패턴을 보여준다. 그들의 연결적 근린 계획안(2008) 역시 물질과 디지털 전산의 상호 작용과 코드변환을 통해 발전된 탈중심화된 연결적 근린의 진화적 생태 패턴을 보여주는 예이다.



<그림 24> AA디자인랩, 베를린 미니마폼



<그림 25> AA디자인랩, 연결적 근린

<표 3> 메커니즘 패턴 사례

메커니즘 패턴				
에너지제어 패턴	분화패턴	매개변수 패턴	성장범칙 패턴	진화적 생태패턴
물질과에너지 메커니즘패턴		형태발생 메커니즘		진화생태 메커니즘

48) Patrik Schumacher, Parametric Patterns, op. cit., p.36

5. 결론

패턴은 20세기의 중요한 건축적 규범이었던 텍토닉으로부터 21세기의 급격한 변화, 즉 물성의 변화와 장식의 부활, 그리고 그것으로부터 파생된 건축물 표피에 대한 새로운 인식의 결과로 인해 건축 디자인의 중요한 요소이자 주제로 되었다고 할 수 있다. 이러한 패턴들 가운데에서도 21세기의 새로운 디지털 기술의 발전에 의해 건축의 디자인에 새로운 창조성을 가져다 줄 수 있는 방식들 중의 하나는 무엇보다도 주변 환경과 상호 작용하며 최적의 형태로 자기 조직화되는 패턴들인 생물학적 패턴이라 할 수 있다. 생물학적 패턴은 저에너지의 사용, 쉬운 재활용, 소수의 가능한 물질들로부터 극도의 영구성과 융통성을 가지는 생물계의 특성들을 공학적으로 응용해 가장 효율적으로 주변 환경에 최적화되는 건축 디자인을 가능하게 해주기 때문이다. 본 논문은 패턴의 건축적 의미와 건축적 적용 사례, 생물학적 패턴들의 특징과 건축적 적용 방식, 생물학적 패턴들이 현대 건축에 적용된 사례들의 분석을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 패턴은 초기에 상징적, 주술적 의미의 추상화된 외양으로 사용되었으며, 이후 건축에서는 주로 사다리꼴 계단, 사슬, 나무, 소용돌이, 동심원, 궤도, 기하학적인 시각적 유희 패턴들로 나타났다. 21세기 이후 건축의 현대적 패턴은 주로 디지털 기술을 이용해 원자와 분자 구조 패턴, 유체의 동역학 패턴들 같은 다양한 자연계의 패턴들 및 프랙탈 같은 새로운 기하학적 패턴, 그리고 무엇보다도 바이러스와 미생물 조직 패턴, 세포의 형태 패턴, DNA 패턴, 리즘과 다양한 혼성물의 패턴들 같은 생물학적 패턴들로 나타났다. 이러한 패턴들의 건축적 적용은 주로 도시 조직에 대한 적용과 건물 자체의 외피에 대한 적용의 두 가지 방식으로 나타났다.

둘째, 생물학적 패턴은 개체 발생의 과정에서 패턴을 형성하는 공간 조직화 과정에서 나타나는 것으로, 자기 조직화의 과정 속에서 주변과의 상호 작용에 의해 최적화의 형태로 나타난다. 이것은 주로 형태 발생 과정에서 나타나는 자기 유사적 패턴들과 환경과의 하중 분배 과정에서 생기는 패턴, 유기체의 다양한 삼각형, 오각형, 육각형, 나선 등의 기하학적 패턴들로 나타난다.

셋째, 생물학적 패턴들의 건축적 적용 방식은 직접적 형태의 패턴, 구조와 세포 형태의 패턴으로서 원형 패턴, 다각형 패턴, 물질과 에너지 제어 메커니즘의 패턴, 형태 발생 메커니즘 패턴으로서 분화 패턴, 매개변수적 패턴, 성장 법칙의 패턴, 진화적 생태 메커니즘 패턴으로서 진화적 생태 패턴 등의 방식으로 나타났다. 이러한 패턴들은 L-시스템 및 MoSS 프로그램 같은 형태 발생 프로그램과 Grasshoper, Generative Components 같은 유전 알

고리즘적 프로그램 등의 발전된 컴퓨터 프로그램들과 매핑과 스크립팅 같은 전산 기술들의 사용을 통해 건축적 패턴으로 실용화될 수 있었다. 생물학적 패턴은 무엇보다도 동물과 식물의 단순한 모방이 아닌, 물질과 에너지, 주변 환경과의 상호 작용 속에서 나타나는 패턴들에 내재된 법칙을 인식하는 패턴 인식으로부터 다양한 매개변수들을 고려해 발전적 패턴들과 행태적 패턴들이 수행 지향적 디자인으로 통합될 때 물질적 분절과 환경적 조절 모두를 향한 도구로 발전될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 김정신, 바이오모픽 건축의 재료 표현특성에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집, 2006. 10
2. 류무열, 디지털 건축의 시간기반 프로세스에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제20권 2호, 2001
3. 박정대, 곡면형상의 구축을 위한 디지털 기술과 건축 디자인 프로세스, 서울대학교 박사학위논문, 2005
4. 이효진·조성용·김동현, 디지털 기술 도입에 따른 건축표피의 건축적 의미에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2010. 11
5. Aldersey-Williams H., Zoomorphic, Laurence King Publishing, 2003
6. Ball P., The Self-Made Tapestry: Pattern Formation in Nature, Oxford University Press, 1999
7. Bentley P., Digital Biology, 디지털 생물학, 김한영 역, 김영사, 2003
8. Garcia M., (ed.), AD, Patterns of Architecture, Wiley-Academy, 2009. 11/12
9. Gombrich E., The Sense of Order, Phaidon, 2006
10. Hensel M., Menges A., Weinstock M., Emergent Technologies and Design, Routledge, 2010
11. Hensel M., Menges A., Morpho-Ecologies, AA Publications, 2006
12. Hensel M., Menges A., Weinstock M., (eds.), AD, Emergence: Morphogenetic Design Strategies, Wiley-Academy, 2004. 5/6
13. Hensel M., Menges A., Weinstock M., (eds.), AD, Techniques and Technologies in Morphogenetic Design, Wiley-Academy, 2006. 5/6
14. Kauffman S., At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity, 혼돈의 가장자리, 국형태 역, 사이언스 북스, 2002
15. Leach N., (ed.), AD, Digital Cities, Wiley-Academy, 2009. 7/8
16. Moussavi F., Kubo M., The Function of Ornament, Actar, 2006
17. Otto F., Bach K., (eds.), Radiolaria, vol. 33, Publications of the Public Institute of Lightweight Structures, University of Stuttgart, 1990
18. Picon A., Digital Culture in Architecture, Birkhäuser, 2010
19. Schuller G., (ed.), Designing Universal Knowledge, Lars Muller, 2009
20. Weinstock M., The Architecture of Emergence, Wiley, 2010

[논문접수 : 2012. 02. 16]

[1차 심사 : 2012. 03. 16]

[2차 심사 : 2012. 03. 27]

[게재확정 : 2012. 04. 06]