

# 생물학과 건축의 통섭적 지평에 기초한 비오닉 공간디자인의 조건 및 원리\*

The conditions and principles of the 'Bionik' space design on the basis of the consilient horizon of biology and architecture

Author 이란표 Lee, Ran-Pyo / 정희원, 배재대학교 건축학부 실내건축학전공 조교수

Abstract In this research it is concentrated first of all on the attempts to reconstruct the historical context of the idea for the space design based on the natural construction and to re-appropriate it critically to the present context. Sequentially in the areas of philosophy, biology, neuroscience, and architecture it has been variously discussed on the problems about the synthesis of biology and techniques. In the context of the consilience of biology and technique Werner Nachtigall, who has intended to shed light on the morphological principles in the natural construction, founded the 'Bionik', which is different from the bionics or the biomechanics that are oriented to the imitation of natural forms. The space design that is on the basis of the Bionik treats organisms as a functional whole. Therefore the Bionik space design follows two kinds of principle such as the principle of analogy and the principle of optimization. After all the understanding of the consilience of nature and technique for Nachtigall and Bionik designers tends toward the explication of the complex process in which the human perceptions, the environment, and the phenomenal techniques are united together, and this complex process is associated with the space design based on the Bionik.

Keywords 비오닉, 생물학적 디자인, 창발성, 최적화의 원리, 유비추론의 원리  
Bionik, Biological design, Emergence, Principle of optimization, Principle of analogy

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경과 목적

갈릴레이에 따르면, “자연의 책은 수학의 문자들로 쓰여 졌으며, 자연의 문자들은 삼각형, 원, 그리고 그 밖의 기하학적 형태들”<sup>1)</sup>이라고 한다. 즉 수학적으로 배움을 터득한 사람은 자연 속에서 자연의 섭리를 이해하면서 자연의 책을 읽어나갈 수 있다는 것이다. 그러나 오늘날 인간과 자연과의 관계는 불변의 자연의 섭리를 이해하는 관계라기보다는 자연의 일원으로서 자연 속에서 능동적인 해체와 재구성 작용을 통해 새로운 것을 만들어내는 ‘해체구성(de-construction)’의 관계라고 할 수 있다. 오늘날의 인간과 자연의 관계 역시 갈릴레이의 시대와 마찬가지로 수와 공식에 기초하고 있기는 하지만, 역학적이

며 시각중심적인 르네상스시대와는 달리 유기적이고 공감각중심적인 오늘날 자연은 끊임없이 변화하고 자기조직화하며 자기발생을 수행하는 지속적인 발전과정으로 간주되고 있으며, 따라서 비정규적이고 비정형적인 카오스 상태의 자연현상들을 시뮬레이션화하고 생물학적인 진화적 과정들을 인위적으로 산출해내는 작업들에 많은 노력이 투여되고 있다.

그간 그 특성상 모델과 모범이 상정될 수 없었던 생물학적 자연이해는 이제 ‘카오스 이론(chaos theory)’이라든가 ‘자가발전 모델(self-development model)’ 내지는 ‘자기조직화 모델(self-organization model)’, 혹은 ‘에뮬레이션(emulation)을 통한 프로그램화 작업들’을 통해 구조화 및 공간화 과정에 다양하게 적용되고 있다. 그러나 이러한 작업들은 여전히 자연의 구조화 양태 자체보다는

\* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(KRF-2009-327-G00033)

1) Galileo Galilei, II Saggiatore Edition Nazionale, Bd. 6, Florenz 1896, p.232

인간에 의해 미리 규정된 구조화된 자연구성으로서 '인위적 구성(artificial construction)'의 한계에 머무르고 있다. 근대의 도구적 이성과는 다른 의미기는 하지만 결국 또 다른 의미의 도구적 이성의 지배 하에서 자유로울 수 없는 것이다. 그렇다면 공간적 구조화를 비롯하여 이에 기초한 생활공간의 디자인이 메커니즘적인 계산의 종속으로부터 벗어나 자연으로부터 구조화원리를 유추해 내어 본래적인 '자연적 구성(natural construction)'에 이르고자 한다면 미래의 공간 디자인은 어떠한 양태를 가져야 할 것인가?

이 같은 가장 기초적이면서도 시급한 문제의 해결을 위해서는 무엇보다 자연이해와 구조화에 대한 근본적 재고찰이 역사적인 맥락과 동시대적인 맥락에서 다층적으로 이루어질 필요가 있다. 아울러 최근의 다양한 학문적 패러다임 전환들의 시도들 중에서 가장 두드러지게 부각되고 있는 '생물학적 전환(biological turn)'<sup>2)</sup>의 경향에 입각하여 생물학적 자연이해와 공간디자인의 통섭적 지평을 해명하며 이에 기초하여 공간디자인의 '형태론적 가능성 조건들 및 원리들'을 정립할 필요성이 있다.

최근 학문적 패러다임의 '생물학적 전환'의 경향과 연관되는 이념으로서 '자연에서의 형태(Gestalt) 생성의 원리들을 파악할 가능성들'을 찾고자하는 '자연적 구성 건축'의 이념은 크게는 생태학적 운동에 이론적이고 실천적인 기초가 될 수 있으며, 작게는 생태 및 환경건축의 이론적 패러다임을 마련해 줄 수 있다. 따라서 본 연구는 우선 생물학적인 동시에 건축적인 통섭적 논의맥락을 간략히 비판적으로 재전유하면서 '생명체의 형상화에 대한 새로운 해석'이라는 건축을 넘어선 범학제적 연구의 가능성 조건들을 마련하며, 이를 기초로 20세기 말 21세기 초 인위적 구성의 양 측면인 바이오모ρφ 내지는 바이오미메틱스와 독립하여 독자적인 '비오닉 연구방법'에 기초해 있는 자연적 구성의 공간 디자인 이념을 현재화 시킴으로써, 공간디자인과 생물학적 자연이해의 통섭적 지평과 그 기본원리들을 해명하고자 한다.

## 1.2. 연구 방법 및 범위

본 연구의 첫 부분에서는 우선 근대의 시작과 현대의 시작이라는 두 시점의 대비에 비추어 현재의 상황을 조망하는 방식으로 본 연구의 기본테마인 자연적 구성을 둘러싼 자연이해의 역사적 맥락을 다루는 작업이 이루어진다. 그리고 이러한 논의와 연관된 공간디자인 논의의 배경을 살펴보고 기존의 논의들과의 차별점들을 도출하는 동시에 한계들을 정리하면서 그 결과를 본 연구의 출발의 기초로 삼는 작업이 이루어진다.

본 연구의 두 번째 부분에서는 본 연구의 특성인 학제간 연구 형태에 부합되게 다양한 파라미터들을 수립하여 이를 기초로 쟁점별 사안들을 비판적으로 재해석하고 재구성하는 작업이 이루어진다. 이를 위해 생물학적이고 건축적인 통섭적 지평에 관한 논의들의 전개양상과 쟁점을 현재적인 맥락으로 전유하는 작업이 이루어진다. 그리고 이러한 전유작업을 기초로 생물학과 공간디자인의 형태론적 가능성 조건 및 원리들을 구축하는 작업이 이루어진다. 마지막으로 이러한 맥락에서 시도된 건축물들 및 공간디자인의 예들을 분석하는 작업 역시 이루어진다.

## 2. 자연적 구성을 둘러싼 공간디자인 논의의 배경

자기조직적이고 자기발생적인 자연과 공간구성의 문제는 현대의 서막을 알리는 19세기 말, 20세기 초의 모더니즘 시기 및 소위 포스트 모던 이후의 시기인 20세기 말 21세기 초와 관련하여 조망될 때 역사적 연속성과 단절의 리듬을 타고 보다 입체적인 형태로 모습을 드러내게 된다.

중세와 근대 초의 기계적이고 정역학적인 자연이해가 유기적 자기조직화를 근간으로 하는 기능체계로서의 자연이해로 변화·발전되는 19세기 말, 20세기 초에 자연은 이상적으로 기능하는 형식들의 저장고로 간주되었으며, 이상화된 자연은 사진과 실험에 의한 정교한 재현과정에 맡겨지게 되었다. 그리하여 결국 합리적인 계획과 조망을 통해 자연의 문제들을 해결함으로써 인간 스스로가 자연의 지배자가 될 수 있다는 미래적 전망에 공간이해의 지향점이 놓여 있었다.

반면 20세기 말, 21세기 초의 상황에서 자연에 대한 관심은 더 이상 발전의 결과가 아니라 현재의 자연적 형태들을 환경에 적합하게 만들었던 생태학적 원리들로 이행되었고, 어떠한 정형화된 형태도 없는 자연의 무정형적 형태들을 산출해내기 위해 컴퓨터 프로그래머들은 유전적 알고리즘들을 개발하고 있다. 결국 미리 설정된 계획과 통제의 무용함에 대한 인식에 의거하여 특정한 프로그램들에 의해 산출되고 조절되며 완성되는 자기조직적인 모델들을 개발하는데 많은 노력이 기울여지고 있는 것이다. 구조화 작업과 관련된 현재의 공간구성의 문제들은 실시간의 플랫폼에서 지속적으로 업데이트되는 사이버네틱스 모델들 속에서 다각도로 다루어지고 있으며, 이 과정에서 생겨나는 형태들과 모형들은 인간의 육체에서 비롯되는 것이 아니라 '공-진화하는 소프트웨어(co-evolutive software)'의 코드에서 연원하는 것으로 여겨지고 있는 상황이다.

2) Kevon Kelly, Das Ende der Kontrolle. Die biologische Wende in Wirtschaft, Technik und Gesellschaft, Mannheim, 1997

근대의 시작과 현대의 시작이라는 두 시점에 비추어 현재의 상황을 조망해 보았을 때, 우리는 현저한 공통점과 차이점을 발견하게 된다. 공통점이라고 한다면, 근대초의 메커니즘적인 자연이해나 현대초의 유기적이고 기능적인 자연이해 그리고 현재의 '에뮬레이션(emulation)에 기초한 자연이해' 모두에서 자연은 이해와 파악의 대상으로 간주되고 있으며 따라서 구조화의 과정은 자연의 메커니즘에 비취진 인간의 사유공간이든, 생리학적인 심리메커니즘에 투과된 자연의 구조화든, 아니면 다른 프로그램에 의해 구동되는 프로그램이 만들어내는 가상현실이든 항상 이해되고 파악된 자연의 재현에 기초하고 있다는 것이다. 그러나 이 같은 공통점과는 달리, 한 가지 분명한 차이점은 현재 다양하게 시도되고 있는 구조화 과정들에는 끊임없는 변화와 진화를 근간으로 하는 생물학적 자연이해가 자리 잡고 있다는 것이다.

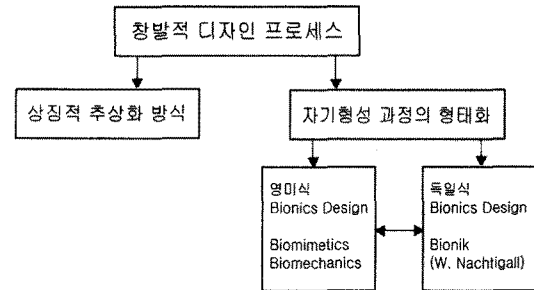
이 같은 자연이해를 함축하고 있는 '자연적 구성'의 맥락은 공간적 구조화의 역사적 맥락과 일정한 연관을 유지해 왔다. 왜냐하면 유기적 형태에 관한 고대 그리스 철학자들의 사상으로부터 기계적이고 메커니즘적인 근대의 토폴로지와 신고전주의 건축에서의 고전적 텍토닉을 지나 아르누보의 식물형상건축과 20세기 유기체적 형상건축 및 생태건축에 이르기까지 공간적 구조화는 모습을 달리 하면서도 항상 자연의 생물학적 체계화의 원리와 관련을 맺으며 진행되어 왔기 때문이다.<sup>3)</sup>

그러나 1990년대에 들어서면서 공간적 구조화 담론과 실제 디자인과정에서는 근본적으로 새로운 논의들이 이루어지기 시작하였다. 말하자면 생물체의 유기적 형상을 모방하여 그대로 공간적 형태로 표현하는 것에 국한되지 않고 생물체의 발생과 진화과정을 컴퓨터 테크닉을 통해 시뮬레이션화하여 새로운 디자인 형태를 창출하는 작업들이 이루어졌으며, 유기적 자연사물의 모방으로부터 벗어나 유기적 구성을 기술적으로 원리화 시켜 이를 역으로 자연이해에 적용시키는 시도들이 이루어진 것이다.<sup>4)</sup>

소위 '창발적 디자인 프로세스(emergent designing process)'라고 규정될 수 있는 이 같은 움직임은 건축디자인 프로세스에서 다양한 양태들을 야기 시켰다. 이러한 다양한 양태들을 분류해보자면 대략 두 가지 카테고리

리로 분류될 수 있을 것이다. 그 하나는 '상징적 추상화 방식'으로서, 이 범주에 속하는 시도들은 항시 변화·발전하는 생물체의 특징적 형태를 상징화하고 추상화하여 건축디자인 프로세스에 적용시키고자 한다. 예를 들면, 마이클 소르킨(Michael Sorkin), 프랭크 게리(Frank Gehry), 유진 쉰(Eugene Tsui) 등의 건축에서 볼 수 있듯이, 이들에게서 자연의 생물체들의 형상은 상징적으로 추상화되어 건축구조에 직접 적용되고 있다.<sup>5)</sup>

이 같은 상징적 추상화 방식과는 대조적으로 생물체의 끊임없는 진화발전예 주목하여 생물체의 형태발생과정을 디자인 프로세스에 응용하는 '자기형성과정의 형태화' 방식이 존재한다.<sup>6)</sup> 이러한 방식은 여러 가지로 분류될 수 있다. 그 하나는 유체역학적인 곡률좌표망에 의거한 수학적 접근과 이의 컴퓨터 모델링을 통해 생물체의 형태발생과정을 시뮬레이션화 하여 자기조직적인 체계를 만들어낸 후 이를 건축에 적용시키는 방식이며, 다른 하나는 생물체들의 구성과 전개방식들을 물리적이고 기술적인 지식의 도입을 통해 파악하고자하는 '기술 생물학(technical biology)'에 의거하여 '기술적 형태학'을 정초시키는 '바이오닉스 디자인(bionics design)'의 시도이다.



<그림 1> 창발적 디자인 프로세스의 체계 구분

'자기형성과정의 형태화' 방식의 다른 하나는 주로 미국에서 논의된 바이오닉스 디자인의 한계를 넘어서 독일 내에서 독특한 담론을 형성한 독일식 '비오닉(Bionik)'<sup>7)</sup>

3) 유기적 건축과 관련된 연구로는 앨런 헤스의 연구를 들 수 있다. Alan Hess, *Organic Architecture: The Other Modernism*, Gibbs Smith Publisher, 2006. 건축물들과 인간 및 동물의 형태 간의 유추적인 건축언어를 해명하고자 한 연구로는 귄터 포이어슈타인의 연구를 들 수 있다. Günther Feuerstein, *Biomorphic Architecture*, Edition Axel Menges, Fellbach, 2001

4) 이러한 시도들 중의 하나는 포르토게지의 연구를 들 수 있는데, 그는 표현주의 예술의 기본이념에 기초하여 열주, 집, 벽, 문, 사원, 탑 등의 건축적 원형들을 탐구하면서 자연의 형태들과 건축형태들 간의 차이와 유사성 뿐 아니라 인간정신과 자연적 형식들의 은밀한 질서의 공통적 통일성을 해명하고자 하였다. Paolo Portoghesi, *Nature and Architecture*, Skira, 2000

5) 알더시-윌리엄스는 최근 동물적 형상들에 영감을 받은 듯한 건축물들을 분석하면서 이러한 현상이 재료공학과 구조공학의 발전에 기인한 것인지 아니면 최근의 자연과학의 발전들을 새로이 전유한 결과인지를 프랭크 게리와 마이클 소르킨, 그리고 그렉 린 등의 건축물들을 대상으로 삼으면서 차근차근 검토한다. Hugh Aldersey-Williams, *Zoomorphic: New Animal Architecture*, Collins Design, 2003

6) Michael Hensel, Achim Menges, and Michael Weinstock *Emergence, Morphogenetic Design Strategies*, Academy Press, 2004; Michael Hensel, Achim Menges, and Michael Weinstock, *Techniques and Technologies in Morphogenetic Design*, Academy Press, 2006; Michael Hensel, Achim Menges, and Michael Weinstock, *Morpho-Ecologies: Towards Heterogeneous Space In Architecture Design*, Academy Press, 2007. 형태발생적 디자인 연구자들은 Foreign Office Architects(foa)의 파쉬드 무사비(F. Moussavi)와 알레안드로 제라 폴로(A. Z. Polo) 그리고 Advanced Geometry Unit(agu)의 찰스 워커(C. Walker) 등의 건축에 주목한다.

7) 본 연구는 미국식 바이오닉스 연구와 대조적으로 자연과 인간과

디자인을 들 수 있다. 독일식 비오닉을 이론적으로 정립한 생물학자 베르너 나흐티갈(Werner Nachtigall)의 비오닉 개념은 영미권에서 논의되는 Biomimetics나 Biomechanics에서 처럼 자연형태를 모방하여 기술적으로 가능하게 만드는 것이 아니라 '인간과 환경과 테크닉의 긍정적인 결합을 위해 자연의 구조화원리들과 발전원리들을 파악하는 것'을 목표로 한다.<sup>8)</sup> 이러한 나흐티갈의 영향을 받은 건축가 프라이 오토(Frei Otto)는 미국식 바이오닉스 디자인의 시도 자체가 생물체의 유전코드만을 연구하는 것에 그쳤을 뿐, 유기체들이 실제로 구조화되는 방식에 대해서는 등한시함으로써 다시금 '인위적인 구성'의 한계를 벗어나지 못하고 있다고 비판하였다. 그러면서 그는 '생물체 일반의 형태화 과정' 자체에서 건축적 실험의 근간을 해명하고자 하는 '자연적 구성'의 건축을 주창하였다.

지금까지 자연적 구성을 둘러싼 공간디자인 논의의 배경을 살펴본 결과 몇 가지 문제점들이 노정되어 있음을 알 수 있다.

첫째, 몇몇 경향을 제외하고는 유기적이건 생태학적이건 친환경적이건 그 어떠한 모토를 내건 자연적 건축이념들 및 이것들에 대한 연구들은 대부분 기술적 발전을 위해서건 새로운 패러다임을 정립시키기 위해서건 '자연으로부터 배운다'는 일념 하에 자연과 인간을 분리시키는 우를 범하고 있으며, 더 나아가 그럼으로써 여전히 자연을 '인위적으로 해석 내지는 분석'하는 한계에 머무르고 있다.

둘째, 기존의 건축담론들에서 논의되던 유기적 건축이념 역시 형태상의 유사성 내지는 표현주의적인 예술이념에만 근거한 나머지 테크니컬한 측면에서의 구체적인 지표나 기준이 모호한 상태로 남아 있는 한계가 있다.

셋째, 바이오미메틱스와 바이오메카닉스에 기초한 건축적 시도들은 생물체들에서 보여지는 구조화 특성들을 추론하여 그 결과를 건축적 구조화계획에 적용시킬 뿐 생물체들에서 존재하는 구조화 원리와 방법에 대해서는 명확한 해답을 내리지 못하고 있다.

이러한 한계들은 생물학적인 측면과 공간디자인적인 측면의 통섭적 지평에 근거한 자연적 구성 건축을 통해 일정정도 극복될 수 있을 것으로 보인다.

이상에서 살펴본 바와 같이 자연적 구성을 둘러싼 논의들 중 위의 한계들로부터 비교적 자유로울 뿐 아니라 '생물학적 자연이해와 공간디자인의 통섭적 지평의 가능성'을 보여주는 예는 바로 베르너 나흐티갈의 비오닉과 프라이 오토의 '자연적 구성'의 건축이라고 할 수 있다. 본

연구는 생물학과 공간디자인의 통섭적 지평에 기초한 공간디자인의 가능성 조건들 및 원리들을 모색하기 위한 연구이기 때문에 나흐티갈의 비오닉이 집중적으로 다루진다.

### 3. 생물학과 건축의 통섭적 지평

기술과 예술의 통합 내지는 보다 구체적으로 자연과학과 디자인의 통섭의 지평 하에서 현재에도 여전히 진행 중에 있는 프라이 오토의 '자연적 구조 건축'의 이념과 이것의 기술적 기초로서 베르너 나흐티갈의 '비오닉'은 진정한 의미의 '창발적 공간 디자인 프로세스'의 원형적 측면을 이루며 이것에 포함될 수 있는 다양한 시도들에 이론적이고 실천적인 기반을 제공해준다고 할 수 있다. 이미 오래 전부터 생태건축, 친환경 건축 다양한 자연주의 건축 논의들이 이루어져왔지만, 현상적인 자연모방에 그치거나 '자연과의 어우러짐'과 같은 표현주의적 파퓰에 한정되어 있으며, 심지어는 친환경적 재료의 사용에만 매몰되어 있음으로써, 본격적인 '자연적 구성'의 가능성 조건들이 마련되지 못하고 있다. 반면 나흐티갈의 비오닉은 공간적 구조화 자체가 지닌 자연변형 내지 인위적 형상화의 의미를 최소화 시켜 궁극적으로 자연적 구조와 하나가 되는 것을 지향하는 공간디자인의 가능성 조건 및 원리를 위한 연구이다.

이 장에서는 나흐티갈의 비오닉을 다루기에 앞서 우선 나흐티갈의 비오닉이 위치해있는 자연적 구성의 역사적 지평을 살펴보면서 자연적 구성의 핵심적 원리를 추론해내고, 이러한 맥락에서 나흐티갈의 비오닉의 구성내용을 다루게 될 것이다.

#### 3.1. 자연적 구성의 디자인 원리: 유비추론의 원리

생물체의 모습에서 구조화 원리를 발견함으로써 자연적 구성의 가능성기반을 마련하였던 이는 바로 레오나르도 다빈치(Leonardo da Vinci, 1452-1519)였다. 그는 이미 1505년 새의 비행에 관한 상세한 고찰들을 정리하면서 중요한 발견을 하였다.<그림 2> 즉 새가 날개를 접을 때 고유의 자세와 불균등성으로 인해 주름없이 날개를 접으며, 반면 날개를 펼 때 일정한 공기흐름방식을 형성하는 가운데 날개를 편다는 것이다. 이러한 발견에 착안하여 레오나르도 다빈치는 접을 때 닫히고 펼칠 때 열리는 린넨 재질의 덮개를 날개에 부착하였다. 레오나르도 다빈치의 이러한 발명은 생물체의 행태를 단순히 모방한 결과가

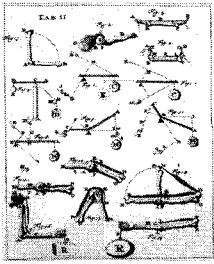


<그림 2> Design for a flying machine Codex Atlanticus f.858r, Leonardo da Vinci

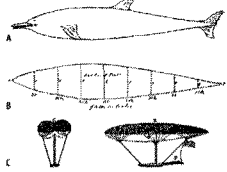
환경의 상호작용에 주목하는 베르너 나흐티갈의 독일식 '바이오닉스'에 기초하여 논의를 진행시킨다.

8) Werner Nachtigall, Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Berlin 2002

아니라 그 기본원리를 유추해내어 기술적으로 적용시킨 것이다.



<그림 3> lim joints, Giovanni Alfonso Borelli

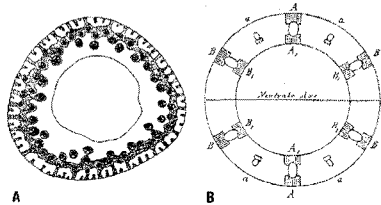


<그림 4> 돌고래형태로부터 얻어진 낮은 저항의 비행선 구조, George Cayley

다빈치보다 백여 년 후 이탈리아 플로렌스와 피사에서 수학과 물리학교수를 지냈던 보렐리(Giovanni Alfonso Borelli, 1608-1679)는 동물들의 육체지질들의 결합들로부터 결합의 원리들을 역학적인 물리적 법칙들의 도움으로 추론해 내어 기술적으로 적용할 가능성을 고안해 내었다.<그림 3> 보렐리로부터 2세기 후 공기역학의 아버지라고 불리었던 캐일리 (George Cayley, 1773-1857)는 공기의 저항을 최소화 시킬 수 있는 비행체를 고민하는 가운데 돌고래의 모양에서 그 가능성을 발견하였다. 그는 돌고래를 조각내어 각 조각들을 토대로 돌고래와 같은 모양의 비행선을 제작하였다.<그림 4>

레오나르도 다빈치, 보렐리, 캐일리 등의 구조디자인은 자연 상태에서부터 직접 형태를 모방하는 방식이 아니라 생물체의 작동원리를 유추해 내어 그 원리를 기술적으로 적용시키고자 한 전형적인 기술적 생물학의 예이다. 이 같은 기술적 생물학의 기저에는 ‘유비추론의 원리(principle of analogy)’가 자리 잡고 있음을 알 수 있다.

다빈치, 보렐리, 캐일리 등의 예들은 기술적 생물학 중에서도 공기역학적인 측면과 구조디자인의 측면이 통합을 이루고 있다면, 슈벤데너(Simon Schwendener, 1829-1919)는 기술적 생물학과 구조역학을 통합시켰다. 그는 ‘클라디움 마리스쿠스(cladium mariscus)’ 식물의 휘지 않는 안정적인 구조에 착안하여 그 구조원리를 철근 교각과 기차역 천장구조에 적용하였다.<sup>9)</sup>



<그림 5> cladium mariscus의 줄기(A)와 그 원리가 적용된 I-beam 구조

물론 라스도르스키(Wladimir Rasdorsky)는 슈벤데너의 I-beam 구조이념을 반박하면서 식물은 일정한 결합구조를 가지고 있는 것으로 파악되는 바, 이러한 결합구조 내에 두꺼운 세포벽을 이루는 ‘후막조직(厚膜組織, sclerenchyma, Sklerenchym)’은 강철보강에 적용될 수 있

고 유세포로 이루어진 부드러운 ‘유조직(柔組織, parenchyma, Parenchym)’은 콘크리트 배합에 적용될 수 있다고 주장한다. 결국 기술적 생물학과 구조역학의 통합적 지평을 추구한 슈벤데너와 라스도르스키 역시 “보강콘크리트와 줄기 및 잎사귀의 해부학적 구조 사이의 유추”<sup>10)</sup>를 끌어냄으로써 유추의 원리를 통한 비오닉을 실현할 수 있었다.

20세기 중반 이후에는 기술적 생물학과 공간구성의 관계가 보다 정교화 되는데, 20세기 초반과 20세기 중반을 잇는 중요한 연구가 먼저 언급될 필요가 있다. 그것은 바로 미국의 수학자 노버트 위너(Norbert Wiener, 1894-1964)의 해 창안된 ‘사이버네틱스(Cybernetics)’였다. 위너는 숙련된 조종사의 비행태도에 대한 정밀한 분석에 의거하여 비행기의 항로를 미리 예측할 수 있는 모델을 개발하였으며, 2차대전 종전 후 조절테크닉에 의거하여 생명체들에서의 시스템에 대한 테크니컬한 적용을 연구하여 사이버네틱스라는 중대한 성과를 이루어내었다. 그는 생물체의 분자유형이 엔지니어링에서의 기계의 주형(template)과 유추의 관계에 놓여 있다고 생각하면서 “분자스펙트럼의 진동수가 생물학적 실체의 동일성을 담지하는 패턴요소일 수 있으며, 유전자의 자기조직화는 진동수의 자기조직화의 현현일 수 있다”<sup>11)</sup>고 주장하였다.

본 연구의 주요 대상이자 20세기 중반 이후의 기술적 생물학과 공간디자인의 통섭적 가능성을 열어준 ‘비오닉(Bionik)’과 영미권에서 이루어진 ‘바이오닉스(bionics)’는 각기 상이한 배경에서 출발하였다. 바이오닉스는 신경의과 의사였던 잭 스틸(Jack E. Steele)에 의해 1958년 오하이오주 데이턴의 라이트 패터슨 공군기지의 공기역학분과에서 처음 공표되었던 이래로 생명체의 형식과 기술적 생산물 간의 테크닉 기반에 중점을 두었던 반면, 비오닉은 기계공학분야에서 진화생물학을 적용시킨 베를린 공대의 잉고 레헨베르크(Ingo Rechenberg)에 의해 초석이 놓여진 이래로<sup>12)</sup>, 생물체들에서 존재하는 구조원리들을 기술적으로 의미있게 만들어 생물학과 테크닉의 공통지평에 의거하여 최적의 기술적 해결책을 찾는 동시에 자연을 능동적으로 해석할 가능성을 마련하는 것을 목표로 하면서 진행되었다.

바이오닉스와 다소 구별되는 비오닉은 유추연구를 수행하였던 1960년대 독일의 생물학자 헬름케(J.-G. Helmcke)<sup>13)</sup>와 공기역학자 헤르텔(H. Hertel)의 이론적인

10) Karl J. Niklas, Hanns-Christof Spatz, Julian Vincent, Plant Biomechanics: An Overview and Prospectus, American Journal of Botany 93(10), 2006, p.1372

11) Norbert Wiener, Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. MIT Press, 1965(second edition), p.xii-xiii

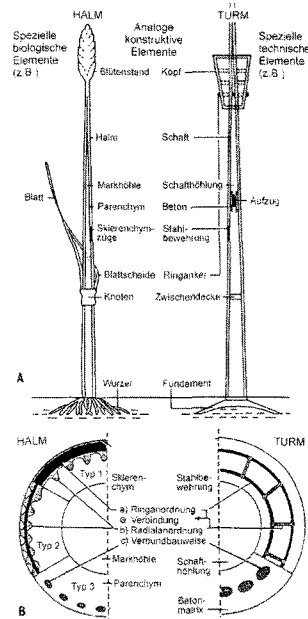
12) Ingo Rechenberg, Cybernetic solution path of an experimental problem(Kybernetische Lösungssteuerung einer experimentellen Forschungsaufgabe), Royal Aircraft Establishment, Library Translation 1122, Farnborough, 1965

9) Simon Schwendener, Das mechanische Princip im anatomischen Bau der Monocotylen, Leipzig 1874, p.45

시도들에 기초하여 베르너 나흐티갈에게서 발전되었다. 『창조의 판타지 - 생물학과 바이오테크닉의 놀라운 발견들』<sup>14)</sup>이라는 제목의 저서에서 나흐티갈은 당대의 바이오테크닉에 관한 축적된 지식들을 총망라하고 향후 전망을 제시하였다. 나흐티갈은 인위적 구성으로서 “테크닉의 도움으로 자연을 이해하고자 하는” 기술적 생물학과 구별되게, 자연적 구성으로서 유비추론의 원리에 의거하여 “테크닉을 위해 자연으로부터 배우는”<sup>15)</sup> 비오닉을 정립하였다.

### 3.2. 생물학과 공간디자인의 통섭적 지평으로서 비오닉

전 세계적으로 독보적인 비오닉 연구를 수행해오고 있는 나흐티갈은 비오닉을 “인간과 환경과 테크닉의 보다 긍정적인 네트화를 위해 자연의 구성원리들과 프로세스



<그림 6> 왼쪽의 곡식줄기로부터 유추된 구조기능원리가 오른쪽의 방송송출탑의 디자인에 적용된 예

원리들 그리고 진화원리들로부터 배우는 것”<sup>16)</sup>으로 정의내린다. 레오나르도에서부터 현대 학자들에게 이르기까지 생물학과 공간디자인의 통섭적 지평에서 있었던 학자들과 마찬가지로, 나흐티갈 역시 자연형태를 단순히 모방하는 것이 아니라, 그 구조기능적 원리들을 유추해내는 비오닉을 주창하였다. 예컨대 그는 곡식줄기의 구조기능적 원리를 상세히 분석한 후에 이로부터 방송 송출탑의 구조를 디자인하였다.<그림 6> 그림에서 알 수 있듯이, 곡식줄기에서 후막조직(Sklerenchym)이 수행하는 외부구조의 지지기능으로부터 송신탑의 철지지가 유추되고, 유조직(Parenchym)이 수행하는 그물망조직형태의 내부충전기능으로부터 콘크리트배합이 유추되며, 중간마디의 줄기보강기능으로부터 송신탑의 연결테크가 유추됨으로써, 생물학과 공간디자인의 통섭적 상호작용

이 이루어지는 것이다.

이러한 예에서도 알 수 있듯이, “생물학과 테크닉이 연관된 거의 모든 영역들에서 효력을 발휘하는 일종의 전략”<sup>17)</sup>과도 같은 나흐티갈의 비오닉은 다음과 같이 12가지 분야로 구성된다.<sup>18)</sup>

<표 1> 비오닉의 12가지 분야

	과제	생물학적 특징	테크닉적 해결
역사적 비오닉	역사적으로 수행된 비오닉의 범례들을 발굴하여 재조명	•육체의 각 지질 •새의 비행구조	•기계부속 디자인 •비행체 디자인
구조 비오닉	생물학적 구조요소들을 비교연구	•수막 •멤브레인	•수막구조 •멤브레인구조
건축 비오닉	생물계에서 사용되는 재료들과 경량화 구조들에 대한 연구	•거미줄망 •생물학적 접시막 •달걀막 •잎사귀층 •벌집	•로프구조 •멤브레인 및 접시구조 •가스배출 허용 보호막 •표면덮개 •표면공간이용
기후 비오닉	수동적 통풍과 냉온방, 원시적 건축구조의 기후적응성 연구	•태양과 바람에 대한 식물들의 적응원리	•기공재료사용을 통한 통풍과 온도조절 •주변환경과의 구조적 혼용
구조역학 비오닉	구조역학요소들과 메커니즘들 간의 비교연구	•곤충과 척추동물들에게 있어 타액분비구조	•폼핑 구조역학
운동 비오닉	뛰기와 수영 및 비행의 원리, 운동기관들과 그 매개체들 간의 유체역학적 상호작용 연구	•미생물체와 곤충 그리고 포유류의 운동메커니즘	•로봇운동공학 •의공학
기구 비오닉	구조 비오닉 및 구조역학 비오닉과 공동으로 구조를 개발연구	•생물체들의 구조화원리 •생물체들의 운동원리	•폼핑구조, 수막구조, 수압구조
인체 비오닉	인간과 기계의 상호작용 연구	•인체의 작동구조 및 원리	•로봇공학 •인공지능공학
센서 비오닉	인체의 물리화학적 자극들과 이것들의 테크닉적 적용 간의 관계 연구	•인체의 물리적 자극 및 화학적 자극	•자극센서들에 근거한 바이오테크놀로지
신경 비오닉	신경생물학과 바이오사이버네틱스 연구	•신경계의 전달 및 처리원리	•데이터분석 및 정보처리를 위한 뉴로바이올로지
프로세스 비오닉	생명체들의 프로세스화 과정 연구	•광합성원리 •신진대사원리	•수소테크놀로지 •복합적인 산업과 경제 운용원리해명
진화 비오닉	테크닉의 자연적 진화 과정 연구	•생물학적 형태와 구조요소들의 최적화 발전과정	•최적화 상태의 시뮬레이션

결국 나흐티갈이 구상한 비오닉은 “사회적치적인 요구이자, 개별학문분과를 넘어서는 초학제적 관점이며, 창조성트레이닝인 동시에 네트화된 사유방식”으로서 자연 속에서 인간이 최적화의 형태로 “생존하는 전략”<sup>19)</sup>이다.

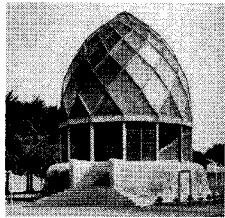
13) J.-G. Helmcke, Ein Beispiel für die praktische Anwendung der Analogieforschung. Mitteilung des Instituts für leichte Flächentragwerke der Universität Stuttgart 1972, pp.6-15  
 14) Werner Nachtigall, Phantasie der Schöpfung: faszinierende Entdeckungen der Biologie und Biotechnik, Hamburg 1974  
 15) Werner Nachtigall, Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Berlin 2002, p.7  
 16) Ibid., p.3

17) Ibid., p.5  
 18) Werner Nachtigall, Technische Biologie und Bionik, in: Technomorphe Organisationskonzepte, hrsg. v. Wolfgang Maier und Thomas Zoglauer, Stuttgart - Bad Cannstatt, 1994, pp.292-296  
 19) Werner Nachtigall, Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Berlin 2002, p.14

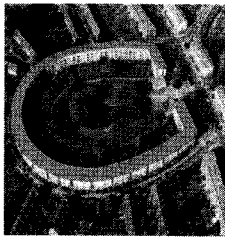
## 4. 비오닉 공간디자인

나흐티갈이 제시한 비오닉의 12가지 영역들 중에서 본 연구와 관련된 부분은 건축 비오닉이며, 건축 비오닉은 생물학과 공간디자인의 통섭적 지평에 근거한 고유한 의미의 비오닉 공간디자인인 것이다.

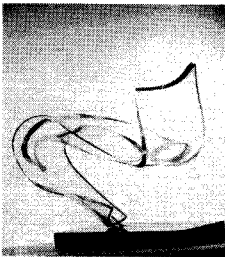
앞서 생물학과 공간디자인의 통섭적 지평과 관련된 역사에서 암시된 바 있듯이, 비오닉은 유비추론의 원리, 자기조직적이고 그물망적인 최적화 형태구성, 창발적 효과와 같은 전형적인 특징들을 가지고 있는 것으로 여겨진다. 이러한 비오닉의 특징들은 완벽한 형태로는 아니지만 공간디자인 영역에서도 맹아적인 형태로 이미 실현된 바 있다. 살아있는 생물체에 대한 이해를 발전된 테크닉에 의거하여 이해하는 과정에서



<그림 7> Glaspavillon in Werkbundausstelung in Köln, Bruno Taut, 1914



<그림 8> 유기적 형태의 주거단지, Bruno Taut, 1920



<그림 9> Plexiglasform, Laszlo Moholy-Nagy, 1946

해명된 생물체의 조직화 원리로서 네트워크 원리는 학문세계만이 아니라 공간의 구조화와 디자인에도 영향을 미쳤던 바, 20세기 초 독일의 건축가 브루노 타우트(Bruno Taut)는 식물의 구조화 원리로부터 유추하여 건축을 하였을 뿐 아니라<그림 7>, 말발굽 모양과 방사상의 유기적 결합 원리를 응용하여 주거단지를 건축하였다.<그림 8> '자연의 과정에서 서로 긴밀하게 결합되어 있는 모든 형태들은 두 지점 간의 최단거리의 법칙을 따른다'고 주장한 독일 미생물학회 초대 회장인 라울 프랑스의 견해로부터 라슬로 모홀리-나기(László Moholy - Nagy)는 최적화 디자인 원리를 정립하였다.<그림 9>

이상에서와 같이 몇 가지 비오닉 디자인의 역사적 사례들에서 나타난 바 있듯이, 비오닉 공간 디자인은 최근 바이오미메틱스에서 시도되는 자연적 현상의 테크니컬한 변용이 아니라 생물학과 공간디자인의 통섭에 근거한 새로운 디자인의 양태라고 할 수 있다.

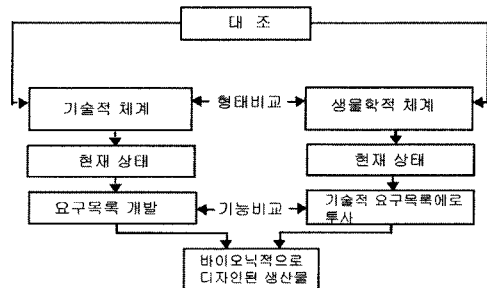
이 장에서는 비오닉 디자인의 원리와 이것에 기초한 디자인 프로세스 및 디자인 원리의 개별 실현원리들을 추론하는 작업이 이루어질 것이며, 마지막으로 비오닉 공간디자인의 범례들이 다뤄질 것이다.

### 4.1. 비오닉 디자인의 원리

나흐티갈은 12가지 비오닉의 분야들 중에서 건축 비오닉 내지는 비오닉 공간디자인을 다음과 같이 테두리 짓는다. 즉 “테크니컬한 영역에서 기능적 디자인은 생물학에서 구조형태론과 기능해부학에 부합된다. [...] 이상적인 경우에 테크니컬한 디자인은 테크니컬한 체계의 구성요소들을 기능적으로 최적의 상태로 결합시켜야 한다. 더 나아가 테크니컬한 디자인은 외적인 형태디자인이 한편으로는 내부를 기능적이고 최적의 상태로 포괄하며 다른 한편으로 미적인 관점들 역시 만족스럽게 충족시키는 방식으로 외적인 형태디자인을 구상해야 한다. 좋은 디자인은 이러한 두 가지 서로 맞닿아 있는 국면들이 세심하게 서로에게로 침투하여 잘 결합됨으로써 가능해지게 되는 것이다. 더 나아가 좋은 디자인은 항상 단순하면서도 아름답게 작용하는 것이다.”<sup>20)</sup> 여기서 비오닉 디자인의 두 가지 핵심적인 원리와 그 결과로서 좋은 디자인의 특성이 유추될 수 있다.

첫 번째 원리는 바로 ‘최적화의 원리’로서, 자연은 예컨대 “근육의 힘과 뼈의 강도를 극대화시키는 것이 아니라 근육과 뼈의 협력을 최적의 상태로 만들기에”<sup>21)</sup>, 최적의 상태를 유지할 수 있듯이, 공간디자인 역시 재료의 과잉과 불필요한 형태들을 최소화 하면서 기능이 구성에 최적의 상태로 부합되는 최적화된 체계를 만들어야 하는 것이다.

두 번째 원리는 앞서 인위적 구성에 대비되는 자연적 구성의 디자인 원리이다. 이러한 원리는 역사적으로 입증된 바 있는 원리로서 생물학적인 구조 및 체계와 테크니컬한 구조 및 체계 간의 유비추론원리이다. 유비추론의 원리가 디자인 과정에 적용되어 이루어지는 프로세스를 나타내 보자면 다음과 같다.



<그림 10> 유비추론 원리에 의거한 비오닉 형태 및 기능 비교작업 프로세스

특히 비오닉 디자인에 가장 중요한 원리인 유비추론의 원리를 나흐티갈은 10가지<sup>22)</sup> 측면에서 세분화 시켜 다음

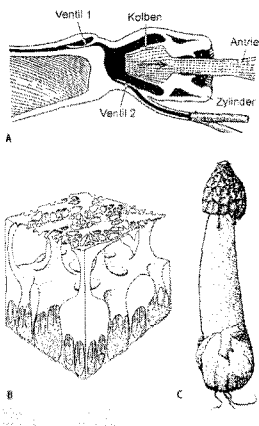
20) Ibid., p.99

21) Ibid., p.99

22) Werner Nachtigall, Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Berlin, 2002, pp.435-436

과 같이 구체적으로 규정한다. (1) 덧대는 구조 대신 집중화된 구조, (2) 개별요소의 극대화 대신 전체의 최적화, (3) 단일기능성 대신 복합기능성, (4) 주변 환경과의 세심한 조화, (5) 에너지 낭비 대신 에너지 절약, (6) 태양에너지의 직간접적 활용, (7) 불필요한 지속 대신 시간적인 한정, (8) 폐기물집적 대신 총체적 재활용, (9) 단선성 대신 그물망성, (10) 시행착오 과정을 통한 발전 등이다.

나흐티갈은 이 중 첫 번째, 세 번째, 일곱 번째 원리를 사례를 통해 설명한다.<그림 11> 그림에서 A는 집중화된 구조 원리의 예로서 노린



<그림 11> A: 노린재목 곤충의 펌핑구조, B: 파리알의 다기능적 접시모양판, C: 한시적 수명구조의 말뚝버섯

재(Heteroptera)목에 속하는 곤충의 타액펌핑 구조를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 노린재목의 곤충은 두 개의 밸브, 피스톤, 추진체, 실린더를 갖추고 있어서 추진체를 통해 피스톤이 실린더 내에서 운동하면 하나의 밸브로부터 이입된 타액이 다른 밸브로 빠져나가는

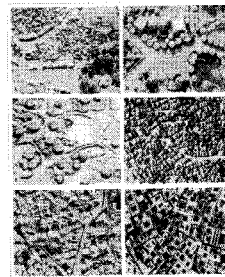
식의 펌핑작용이 이루어지는 것이다. 마찬가지로 B는 파리알에서 볼 수 있는 복합기능성 원리를 나타내고 있으며, C는 한시적 수명구조를 갖는 말뚝버섯의 예를 보여주고 있다.

이러한 세 가지 원리들 말고도 현재의 공간디자인에서 중요한 의미를 지닐 수 있는 원리들은 두 번째 원리인 전체의 최적화 원리와 네 번째 원리인 주변 환경과의 세심한 조화의 원리, 그리고 아홉 번째 원리인 그물망성의 원리이다. 생물계에서 개별요소의 극대화는 조화의 불균형 및 파괴로 이어질 수 있는 반면, 전체의 최적화는 개별요소들이 적당한 정도로 에너지를 사용하는 경우에 전체적으로 최적의 상태가 유지된다는 것을 의미한다. 공간디자인에서도 개별 요소들이 적절한 상호작용을 이룰 때, 이전에 미리 생각될 수 없는 ‘창발적 현상들(emergent phenomena)’이 나타남으로써 전체의 최적화가 이루어지게 되는 것이다.

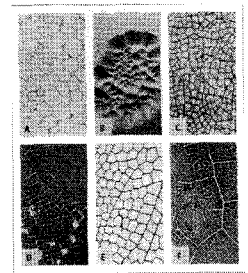
네 번째 원리인 주변 환경과의 세심한 조화는 생물계에서 전형적으로 나타나는 현상으로 어느 것 하나가 다른 하나에 종속되거나 인위적으로 적응하는 것이 아니라 유기적인 전체를 이루는 맥락에서 서로가 서로를 일정하게 형성시켜주는 것이다.

아홉 번째 원리인 그물망성 원리는 자연의 관계에 존재하는 비위계성과 비결정성을 나타내주는 원리로서 모든 것이 불특정하게 그러면서도 개별적으로는 서로 인과

적으로 결합되어 있는 그물망구조를 나타내주는 원리이다. 이러한 원리는 자연적으로 생겨난 오래된 동양의 도시구조들에서도 발견된다. 고대 아프리카의 도시들은 도로와 가옥의 형성이 인위적인 계획에 의해서가 아니라 자연적인 성장조건에 적합하게 형성되는 전형적인 비위계적이고 비선형적인 도시형성구조를 지닌다.<그림 12> 이것은 우연적인 기준들 하에서 형성되었으나 개별적으로는 세포컴플렉스들을 효율적으로 조직화시켜주는 고도로 기능적인 자연계 내의 결맥 네트워크와 유사하다.<그림 13>



<그림 12> 고대 아프리카의 우연적 도시형성구조



<그림 13> 자연의 자기조직적인 그물망적 결합구조

자연적으로 성장한 도시들과 자연계의 생명체들에서 나타나는 이 같은 자기조직화 형태는 인위적 계획으로부터 벗어나는 그물망적인 고유한 내적 질서원리들을 가지며, “주변과의 관계, 자기동일성의 창출, 결합형성의 필연성”<sup>23)</sup> 등의 공간디자인 이념들을 가장 최적의 상태로 실현할 수 있는 형태가 된다.

이처럼 최적화의 원리와 유비추론의 원리를 근간으로 하는 바이오닉 디자인은 본래적인 의미의 자연친화적 디자인을 위한 재료공학, 자연미, 자연의 디자인적 창조성을 실현하는 전형적인 예라 할 수 있다.

#### 4.2. 바이오닉 공간디자인의 범례

바이오닉 공간디자인의 범례들을 분석하기에 앞서 한 가지 언급해둘 사항이 존재한다. 그것은 바이오미메틱스나 바이오닉 모두 생물학적 체계들의 특징들을 기술적으로 응용 가능하게 만들 때 여전히 한계로 남아있는 부분이다. 예컨대 다기능적인 재료들과 구조들로서, 인체의 뼈는 인간의 체중을 유지해주고 직립을 가능케 해줄 뿐 아니라 골수에서 생산되는 피의 생산 공장 역할을 하기도 하며, 새의 날개는 비행을 위해 사용될 뿐 아니라 단열 및 보온의 역할을 하기도 하지만, 이 같은 다기능성의 기술적 응용은 로봇공학의 경우에 잘 부합되나 건축공학이나 구조물 디자인에는 직접 적용될 수 없는 한계를 지닌다. 두 번째로 최적화 원리의 경우, 진화론의 핵심이기도 한

23) Werner Nachtigall, Bau-Bionik. Natur ← Analogien → Technik, Berlin 2003, p.102



적자생존과 자연적 선택에 의거하여 유전적 알고리즘에서는 안정성이 최적의 것으로 규정될 수 있지만 자연에서는 항상 이 같은 이상적 상태만이 존재하는 것은 아니며, 기술적 적용의 경우 최적의 상태 자체가 문자 그대로 '최적(optimal)'이라고 판단할 절대적 근거는 없는 한계가 있다.

이 같은 한계들을 염두에 둔다면, 일정한 범위에서 비오닉 공간디자인의 범례라고 판단될만한 작업들<sup>24)</sup>이 이

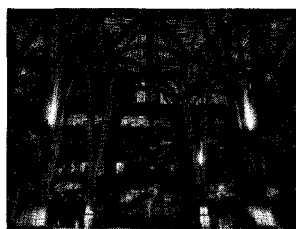


<그림 14> 뮌헨의 올림픽 경기장, Frei Otto

야기될 수 있을 것이다. 생물학과 공간디자인의 통섭적 지평에서 자연적 구성의 건축을 구현한 이는 이미 다른 곳에서 논의된 바 있는 프라이 오토이다. 프라이 오토는 자연 사물들이 갖고 있는 고유한 유기적 구조를 모방하는 것에 그치는 것이 아니라 현재의 발전된 테크닉과 실험들을 거꾸로 자연 사물들에 적용시켜 생물학적인 대상들에

대한 구조적 이해에 이를 수 있었다. 몬트리올의 독일 파빌리온이나 독일 뮌헨의 올림픽 경기장 지붕 구조물 <그림 14> 등에서 알 수 있듯이, 결국 그는 자연적 과정과 기술적 과정에 공통으로 존재하는 자기형성과정을 가시화 시킬 가능성을 생명의 근원적인 구조인 '섬유조직에 기초한 유연한 수막구조'에서 발견함으로써, 이를 통해 자연과 기술의 공통근거에 기반한 공간 디자인 구조를 주장할 수 있었다.

두 번째로 언급될 수 있는 비오닉 디자인의 범례는 바로 스페인 건축가인 산티아고



<그림 15> Atrium of Brookfield Place, Toronto, Santiago Calatrava, 1992

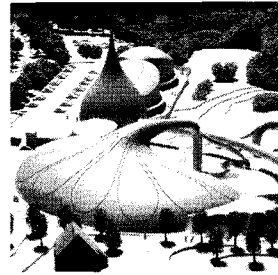
칼라트라바(Santiago Calatrava)의 건축이다. 칼라트라바 역시 "유추와 해석이라는 변형의 방식"<sup>25)</sup>에 의거하여 자연사물에 작용하는 구조원리를 건축적 테크닉으로 변용하여 자연과 테크닉에 공속적인 분석적 엔

지니어링 모델을 개발하였다. 그는 특히 동물의 골격체계에 대한 분석으로부터 시작하여 이로부터 교각과 건물의 최적화된 지지구조를 추론해 낼 수 있었다.

24) 나흐티갈은 비오닉 공간디자인의 범례들로서 프라이 오토(Frei Otto), 루이지 콜라니(Luigi Colani), 산티아고 칼라트라바(Santiago Calatrava) 등을 들고 있다. Werner Nachtigall, Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Berlin 2002, pp.100-101

25) 박선우·최선영·박찬수·최취경, 칼라트라바의 방법론적 전제에 의한 형태구성 메커니즘, 한국셀공간구조학회 춘계학술발표회논문집 제3권 1호, 2006, p.142

세 번째 범례는 독일 산업디자이너인 루이지 콜라니(Luigi Colani)의 유기적 디자인으로서, 콜라니는 생물체들의 구조형태들에서 유추해



<그림 16> Design of a health center with sanatoriums and spa, Luigi Colani, 2003

낸 유기적 형태들을 산업생산물들에 적용하여 소위 '바이오디자인(Biodesign)'이라는 고유한 영역을 개척하였다. 산업생산물들만이 아니라 건축영역에까지 적용된 그의 바이오역학적인 형식언어는 자연으로부터의 형태모방 차원을 넘어 새로운 자연형태를 창조하는 디자인 영역을 구축하였다.

비오닉 공간디자인의 범례로는 프라이 오토, 산티아고 칼라트라바, 루이지 콜라니 말고도 이탈리아 디자이너 카르멜로 디 바르톨로(Carmelo di Bartolo), 덴마크 건축가 오른 웃존(Jørn Utzon) 등을 들 수 있다. 물론 이들 외에도 비오닉 공간디자인에는 형태나 구조면에서 자연 산물들을 단지 복제하는 것이 아니라 자연이 어떠한 구조화 원리에 따라 어떻게 구성되고 어떻게 발전되는지에 대한 이해를 제공해 주며 더 나아가 기술적으로 적용 가능한 디자인 해결책들을 구상하는 사람들 역시 포함될 것이다. 중요한 것은 비오닉 공간디자인의 이념이 적용될 수 있는 디자인 범례들을 찾아내는 것이 아니라, 아직 형성 중에 있는 생물학과 공간디자인의 통섭적 지평으로서의 비오닉의 이론적 근거들을 확충하고 원리체계를 보다 체계적으로 구축하며 실현가능한 디자인 해결책들을 확장하는 일이다.

## 5. 결론

바이오메카닉스나 바이오미메틱스와는 달리 독자적인 의미의 비오닉을 주창하는 나흐티갈은 자연이 그 자체로 불완전하고 항상 움직이는 과정 속에서만 순간적으로 최적화 될 수 있을 뿐이라고 규정하면서 자연에 대한 이해 역시 지속적으로 변화가능한 것이어야 한다고 주장한다. 따라서 순간 포착된 실재 자연의 이해는 환경지각의 일부로 이해되어야 하는 것이다. 결국 유비추론의 원리와 최적화의 원리에 기초한 생물학과 테크닉의 종합적 도대에 근거한 나흐티갈의 비오닉은 인간의 지각작용과 환경 그리고 현상적 테크닉이 한데 어우러지는 복합적인 과정이라고 할 수 있으며, 이러한 복합적인 과정의 표현체가 바로 자연적 구성의 원리에 기초한 비오닉 공간디자인인 것이다.

비오닉 공간디자인은 일정정도 한계를 지니며 또한 아직 완결된 것도 아니다. 수도 없이 존재하는 생물체들에

존재하는 원리들을 파악하는 작업 자체만으로도 아직 많은 시간이 필요로 하며, 어떠한 생물체의 조직화 및 구조화 원리들이 어떠한 공간디자인에 유추적으로 응용될 수 있는지를 결정하는 데에 있어서도 많은 고민이 요구된다. 더구나 생물학과 테크닉의 통섭만이 아니라 생물학과 공간디자인의 통섭의 기저에 존재하고 있는 패러다임을 해명하는 작업, 생물계에서의 창발성 현상과 정신에서의 창발성 현상 간의 관계를 비교분석하는 작업, 비오닉에 기초한 자연적 구조 건축의 형태론적 공통원리규명을 위해 선결되어야할 연구 등은 아직 진행형인 비오닉 공간디자인의 체계적 형성을 위해 필수적으로 수행되어야할 중요한 작업들이다. 따라서 비오닉 공간디자인은 이 같은 한계들과 미해결과제들을 염두에 두면서 지속적으로 논의되어야 한다.

### 참고문헌

1. Aldersey-Williams, Hugh, *Zoomorphic: New Animal Architecture*, Collins Design, 2003
2. Feuerstein, Günther, *Biomorphic Architecture*, Edition Axel Menges, Fellbach 2001
3. Galilei, Galileo, *Il Saggiatore(1623)* Edition Nazionale, Bd. 6, Florenz, 1896
4. Helmcke, J.-G., *Ein Beispiel für die praktische Anwendung der Analogieforschung. Mitteilung des Instituts für leichte Flächentragwerke der Universität Stuttgart*, 1972
5. Hensel, Michael, Menges, Achim, and Weinstock, Michael, *Emergence: Morphogenetic Design Strategies*, Academy Press, 2004
6. Hensel, Michael, Menges, Achim, and Weinstock, Michael, *Morpho-Ecologies: Towards Heterogeneous Space In Architecture Design*, Academy Press, 2007
7. Hensel, Michael, Menges, Achim, and Weinstock, Michael, *Techniques and Technologies in Morphogenetic Design*, Academy Press, 2006
8. Hess, Alan, *Organic Architecture: The Other Modernism*, Gibbs Smith Publisher, 2006
9. Kelly, Kevon, *Das Ende der Kontrolle. Die biologische Wende in Wirtschaft, Technik und Gesellschaft*, Mannheim 1997
10. Nachtigall, Werner, *Bau-Bionik. Natur ← Analogien → Technik*, Berlin, 2003
11. Nachtigall, Werner, *Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler*, Berlin, 2002(2.Aufl.)
12. Nachtigall, Werner, *Phantasie der Schöpfung: faszinierende Entdeckungen der Biologie und Biotechnik*, Hamburg, 1974
13. Nachtigall, Werner, *Technische Biologie und Bionik, in: Technomorphe Organisationskonzepte*, hrsg. v. Wolfgang Maier und Thomas Zoglauer, Stuttgart - Bad Cannstatt, 1994
14. Niklas, Karl J., Spatz, Hanns-Christof, and Vincent, Julian Plant, *Biomechanics: An Overview and Prospectus*, American Journal of Botany 93(10), 2006
15. Portoghesi, Paolo, *Nature and Architecture*, Skira, 2000
16. Rechenberg, Ingo, *Cybernetic solution path of an experimental problem(Kybernetische Lösungssteuerung einer experimentellen Forschungsaufgabe)*, Royal Aircraft Establishment, Library Translation 1122, Farnborough, 1965
17. Schwendener, Simon, *Das mechanische Princip im anatomischen Bau der Monocotylen*, Leipzig, 1874
18. Wiener, Norbert, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. MIT Press, 1965(second edition)
19. 박선우 · 최선영 · 박찬수 · 최취경, *칼라트라바의 방법론적 전제에 의한 형태구성 메커니즘*, 한국셀공간구조학회 춘계학술발표회논문집 제3권 1호, 2006

[논문접수 : 2011. 07. 22]

[1차 심사 : 2011. 08. 16]

[게재확정 : 2011. 09. 02]