

프라이 오토의 '자연적 구조'의 건축적 이념에 관한 연구

A Study on the architectural Idea of 'the natural Construction' of Frei Otto

이란표* / Lee, Ran-Pyo

Abstract

Frei Otto, who is called to be the father of the ecological architecture, has shaped a peculiar architectural form style. In distance from the formalistic persistence to the modernist form canon and the postmodern tendencies to the self-representation of architects, Frei Otto has taken a more fundamentalistic position. Through the interdisciplinary researches on the self-organizing processes in the nature and the technical world Frei Otto could reason with architects, engineers, biologists, historians and philosophers the principle and structure of the natural construction that is applicable to the morphological research and the architectural construction research.

In the middle of his architectural and scientific works is the idea of 'the natural construction' situated, and the basic principle and instrument of this 'Die Prinzip der Selbstbildung, The Principle of Self-making'. Founding himself on this principle, Frei Otto seeks after the new architectural form that is light, natural, flexible and variable by reasoning the typical formation process which refers to the common denominator of the self-making processes in the nature, the technique and the architecture. Despite his architecture is to be called to the anonymous, his architectural vision is headed toward the rationalistic form in accord with the natural laws.

This study is purposed to elucidate the constellation to which his scientific attempts belong and the theoretical and methodological foundations of his architecture of 'the natural construction'.

키워드 : 자연적 구조, 자기형성, 최적화 과정, 미니멀구성, 생태 건축

Keywords : Natural construction, Self-making, Optimalization, Minimal const ruction, Ecological architecture

1. 서론

1.1. 연구의 목적 및 의의

건축적 구성과 형식의 새로운 통일을 꿈꾸었던 르 코르뷔지에와 발터 그로피우스를 비롯한 모더니즘 건축가들의 건축적 이상은 단지 이상으로서만 머물렀을 뿐, 5,60년대에 이르면서 위기에 봉착하게 되었다. 이같은 위기의 원인을 정확하고 명료하게 진단한 사람은 유기적인 자연적 건축이념의 기초자인 프라이 오토(Frei Otto)였다. 그에 따르면, 이미 1920년대의 건축은 실제로 기능적으로 수행된 것이 아니라, 기능이 단지 표현 수단으로서만 기여하였으며 결국 개별 건축가의 형식적인 표현들을 위한 수단으로서만 작용하였다는 것이다. 따라서 새로운 건축적 해결을 향한 '신 건축(Das Neue Bauen)'의 지지자들의 노력은 "강조된 즉물성의 양식(Stil der betonten Sachlichkeit)"¹⁾에

머물러 있었으며, 이와 더불어 즉물성은 "장식"이 되어버렸다는 것이다. 왜냐하면 사람들은 건축을 통해 무언가를 표현하고자 한 표현주의의 표상세계를 여전히 벗어나지 못하고 있었기 때문이다.

20년대의 비전과 실험정신은 이념적이고 이데올로기적인 표어 하에 대중적인 집단 건축으로 구체화 되었으며, 지속적인 실험의 노력과 해결책의 모색 대신 루드비히 미스 반 데어 로에(Ludwig Mies van der Rohe)에게서 견고하게 형성된²⁾ 형식적 요소들을 반성없이 도입하는 시도들만이 이루어졌다. 이에 브루노 타우트(Bruno Taut)는 건축의 이 같은 발전을 "국제적으로 무가치한 것만을 양산하는 텅 빈 도식주의"³⁾라고 비판한 바 있다.

1)Otto, Frei, Bauen für morgen?, In: Frei Otto - Schriften und Reden 1951-1983, Braunschweig, Wiesbaden 1984, p.49.

2)Ibid. p.53.

3)Taut, Bruno, Die neue Baukunst in Europa und Amerika, Stuttgart 1929, p.54.

* 정희원, 배재대학교 건축학부 실내건축학전공 전임강사

단지 형식적인 건축정전에 의거하여 진행되어온 건축적 경향은 역사적 형식들의 임의적 차용, 건축가의 자기묘사 그리고 다양한 형식실험 등으로 특징지어지는 포스트모더니즘 건축이라는 새로운 움직임의 저항에 부딪히게 된다. 그러나 프라이 오토는 단일화된 모더니즘 건축이 단지 형식적 변용을 통해 극복될 수 있으리라고 생각하였던 포스트모더니즘 건축의 입장 역시 오해의 소산이라고 비판하면서, 건축적 형식과 자연적인 구조에 내재한 공통의 생성과정에 대한 이해를 건축의 기본 입장으로 삼았으며 이를 위해 끊임없는 학제적 연구를 제기하였다⁴⁾. 그리하여 그는 독일 베를린과 슈투트가르트에 세워진 연구소들에서 건축학, 엔지니어 공학, 생물학, 역사학, 철학 간의 학제적 연구를 수행하면서, 단지 개별 형식들과 건축적 구조를 위한 해결방안을 모색하는 것이 아니라, 이것들의 법칙성들과 보편적 이해를 획득하는 것에 초점을 맞춰 연구를 진행해왔던 것이다.

이미 50년대초부터 시작된 이 같은 노력의 한 가운데에는 그의 이론적인 기본입장이자 건축이념인 '자연적 구조(the natural construction)'가 놓여 있으며, 이러한 '자연적 구조'의 건축을 추동하는 기본 원리는 바로 '자기형성의 원리'이다. 인위적인 작용이 개입되지 않은채 스스로 형상화되는 모든 물질적 대상들의 기본원리인 자기형성의 원리에 기초하여 프라이 오토는 자연과 기술 그리고 건축에서 공통적으로 추론될 수 있는 '형상화 과정⁵⁾'을 탐구하여 이로부터 "가벼우면서도 자연적이며 적응능력이 있는 동시에 변경가능한 건축의 새로운 형식⁶⁾"을 발전시키고자 하는 것이다. 따라서 개별 건축가들이 저마다 자신의 건축이념을 표방하는 것과는 달리 그의 건축적 비전은 자연법칙에 따라 합리적인 형식을 찾아내고자 하는 보편적 노력에 맞춰져 있는 것이다.

이에 본 연구는 이러한 보편적 형식추구를 지향하는 동시에 자연과 인간의 조화 속에서 자유롭고 평화로운 사회의 실현에 궁극적인 목표를 두고 있는 프라이 오토의 자연주의적 건축이념의 이념적 배경과 이론적이고 방법론적인 기초를 근거 규정하는 것에 목적을 두며, 이에 의거하여 생태건축, 환경건축 등과 같은 최근의 건축경향들에 이론적 기반을 제공해줄 뿐만 아니라 미래의 건축의 발전방향을 가늠해볼 수 있도록 해주는 기초적 연구로서 작용하는 것에 의의를 두고 있다.

12. 연구의 범위 및 방법

프라이 오토의 건축을 '자연적 구조의 건축'이라고 규정해도 무방할 만큼 그의 건축은 자연을 도구이자 목적으로 삼는 건축이다. 자연을 도구로 삼는 건축이란 인간에 의해 인위적으로 정립된 건축이념이나 실현방식이 아니라 자연적 형상들과 이에 대한 과학적 분석에 의거하여 얻어진 형상화 방식에 기초한 건축을 말하며, 자연을 목적으로 삼는 건축이란 건축 자체가 지닌 자연변형 내지는 인위적 형상화의 의미를 최소화 시켜 궁극적으로 자연적 구조와 하나가 되는 건축을 말하는 것이다. 이처럼 두 가지 함의를 지니는 자연주의적 건축을 실현하기 위해 프라이 오토는 이미 오래 전부터 생물학을 비롯하여 자연과학과 인문과학 간의 학제적 연구를 수행하였으며, 이로부터 '자기형성의 원리'에 기초한 '적응력이 있고 (anpassungsfähig)', '생태학적이며 (ökologisch)', '경량 (leicht)' 건축을 실현시킬 수 있었다. 특히 그의 '자기형성의 원리'는 20세기 중반부터 논의되기 시작한 진화론적 생물학 및 철학의 입장과 깊은 연관을 맺고 있다.

이에 본 연구의 대상과 범위는 20세기 중반부터 20세기 말에 걸쳐 프라이 오토의 자연주의적 건축이념과 관련된 자연과학과 철학 내에서의 논쟁 및 프라이 오토 자신의 입장과 방법 그리고 이러한 방법들에 기초한 자연적 구조의 건축적 이념에 한정된다. 논의의 포괄성으로 인해 본 논의는 두 개의 논문으로 나뉘어 서술되며 본 논문은 그 첫 번째 부분에 해당된다.

논사전개방법에 있어서는 20세기 중반부터 새로운 양상을 띠게된 진화론적 학문경향의 맥락에서 프라이 오토의 중심개념인 '자기형성' 개념과 긴밀한 연관을 지니는 '자기조직화 (Self-organization)' 개념의 형성과 의미를 살펴본 후, 이와 유사하면서도 차이점을 지니는 프라이 오토의 '자기형성' 개념의 의의를 도출하는 작업이 이루어질 것이다. 그리고 이러한 '자기형성' 개념을 근간으로 하여 형성된 '자연적 구조의 건축'을 자연주의적 건축의 이론적 기반으로 규정하기 위해 기본적인 개념들 및 개념들 간의 관계를 재구성하는 방법이 사용될 것이다. '자기형성'의 개념에 기초한 '자연적 구조의 건축'을 재구성함으로써 얻어질 수 있는 이론적 기반은 프라이 오토 자신에 의해 고안된 방법들이 체계화될 수 있도록 해줄 것이며, 이와 더불어 그의 고유한 건축이념이 갖는 의미가 드러나게 될 것이다. 마지막으로 이러한 건축이념을 실제 구현된 건축물들에 대한 분석을 통해 검증하는 작업은 후속논문에서 이루어질 것이다.

이에 따라 2장에서는 우선 20세기 중반부터 새로이 논의되기 시작한 진화론적 생물학과 철학의 전개양상 및 쟁점을 프라이 오토의 입장과 비교분석하는 작업이 이루어질 것이며, 3장에서는 프라이 오토의 고유한 '자연적 구조의 건축'의 이론적 기반이 분석될 것이다. 본 논문에서 뒤이은 후속논문에서는 프라

4)Otto, Frei, Stuttgarter Architektur - gestern, heute und morgen, In: Frei Otto - Schriften und Reden 1951-1983, Braunschweig, Wiesbaden 1984, p.161.

5)Otto, Frei, Gestaltwerdung - Zur Formentstehung in Natur, Technik und Baukunst, arcus, Architektur und Naturwissenschaft, 4, Köln 1988.

6)Nerding, Winfried, Frei Otto. Arbeit für eine bessere "Menschenerde", In: Frei Otto. Das Gesamtwerk. Leicht bauen - natürlich gestalten, Birkhäuser, München 2005, p.13.

이 오토의 고유한 방법론과 그에 의해 고안될 다양한 실험들, 그리고 이에 기초하여 실현된 건축물들에 대한 분석이 이루어질 것이다.

2. 자기조직화와 자기형성

2.1. 진화론적 인식론의 쟁점과 자기조직화의 패러다임

사물 자체와 이것의 지각을 통한 사물의 현상 간의 차이를 ‘선천적 종합판단’에 의거하여 극복하고자 한 칸트 철학에 대하여 콘라드 로렌츠(Konrad Lorenz)는 ‘적응이론’이라는 새로운 대안을 제시하였다. 로렌츠에 따르면, “적응’이라는 말은 처음부터 일정한 부담을 안고 있는 동시에 오해를 불러일으키곤 하는 개념으로서, 현재의 맥락에서는 다음과 같은 의미, 즉 우리의 적응형식들과 범주들은 마치 우리의 발이 땅에 적응하듯이 ... 실제 존재하는 것에 적응한다는 의미 이상으로 사용되지는 않고 있다. 우리의 세계에 존재하는 실제 사물들의 현상형식들을 규정하는 ‘선천적인 것’은 간단히 말해 하나의 기관이며, 정확히 말하자면 하나의 기관의 기능이다. 그리고 우리는 그러한 선천적인 것에 대해 모든 유기적인 것의 탐구를 위한 전형적인 물음들을 제기할 경우에만 우리는 그것을 보다 가까이서 이해할 수 있게 될 것이다”⁷⁾. 여기서 로렌츠가 제기하는 적응개념은 실제 사물과 인간의 인식 간의 상응을 의미한다기보다는 칸트의 초월철학이 지양하고자 하였던 인식구조와 실제 사물세계의 구조 간의 차이에 초점이 맞춰져 있다. 따라서 우리는 “우리의 인식적인 ‘적응기관’이 영향력을 미치는 범위 내에서만” 그것을 신뢰할 수 있는 것이다. 그 이유는 “그 자체로 존재하는 것은 우리가 ... 삶을 영위하는 데 있어 중요치 않은 수많은 다른 측면들 역시 가지고 있기 때문이다”⁸⁾.

인간이 이처럼 부분적이거나 실제세계에 적용할 수 있었던 근거로서 진화론적 인식론자들은 ‘진화적 생존’을 들고 있다. 한스 모어(Hans Mohr)에 따르면, “잘못된 인식범주들에 근거하여 세계에 대한 잘못된 이론을 만들었던 사람은 ‘생존을 위한 투쟁’에서 몰락하였으며”⁹⁾, 게하르트 폴머(Gerhard Vollmer)에 따르면, “진화의 법칙들은 충분히 적응한 자만이 살아남는다는 사실을 말해준다”¹⁰⁾고 한다. 이 같은 ‘진화적 생존’이라는

근거로부터 풀머는 다음과 같은 기본테제를 이끌어낸다: “우리의 인식기제는 진화의 성과이다. 우리의 주관적 인식구조들은 진화과정에서 실제 세계에 대한 적응을 통해 형성되었기 때문에, 이러한 실제 세계에 부합되는 것이다. 따라서 이러한 주관적 인식구조들은 실제적인 구조들과 (부분적으로) 일치한다. 왜냐하면 그러한 일치만이 생존을 가능케 했기 때문이다”¹¹⁾. 그렇다면 이 같은 진화적 생존을 근거로 하는 적응개념을 주장하는 진화론적 인식론의 핵심은 무엇일까?

칸트에게서 개별적인 인식주체의 선형적 기제로 규정되었던 시간과 공간 그리고 인과성 등은 진화사적인 관점에서 보자면 오히려 경험적인 것이라고 할 수 있다. 예컨대 공간적 직관의 경우, 개인에게 있어 “경험 이전에 존재하는 한에서 그리고 경험이 가능해지기 위해 존재해야만 하는 한에서 ‘선형적’이다. 그렇지만 공간적 직관의 기능은 역사적으로 조건지어져 있는 것이지 사유를 통해 필연적으로 마련되는 것은 아니다”¹²⁾. 결국 이념사적으로 경험 이전에 실제 세계를 인식할 수 있는 선형적 기제가 존재하며 이러한 생각에 기초하여 물질적 대상 그 자체와 이것에 대한 지각 간의 화해를 이루려고 했던 관념적 사고는 개인적인 선형적 기제를 지속적인 ‘학습과정’을 통한 결과로 파악하면서 적응에 기초한 인식의 구조와 실제 세계의 구조 사이의 일치를 주장하는 진화론적 인식론에 자리를 내주게 되었던 것이다.

자연과학과 철학의 영역에서 논의된 진화론적 인식론의 입장은 만프레드 아이겐(Manfred Eigen)과 일리아 프리고진(Ilya Prigogine)의 이론적 개입을 통해 탄력을 받게 된다. 아이겐과 프리고진은 진화론적 이론지형의 한 가운데에 ‘자기조직화’ 범주를 위치시킴으로써, “새로운 학제적 패러다임”¹³⁾의 가능성을 마련하였던 것이다. 자기조직화란 무엇보다 생명의 진화를 위한 중심적인 전제조건으로서, 아이겐은 생명체 체계의 생성이 물질의 자기조직화로부터 기인한다고 주장한다. 그에 따르면, 자기조직화는 “주어져 있는 주변조건들이 엄밀히 견지되는 가운데 명확히 정해져 있는 상호작용과 결합작용들에 근거하여 특별한 물질적 형태들이 자기생산적인 구조들을 산출하는 능력”¹⁴⁾으로 규정될 수 있다고 한다.

프리고진은 여기서 더 나아가 이러한 정의를 확대발전시킨다. 열역학과 연관하여 물리학에서 이야기되는 ‘비가역적 과정(irreversible Process)’의 이론에 대한 성찰로부터 출발하여 그는 두 가지 중심 테제를 제기한다. 첫째, 물리학에서 과소평가

7)Lorenz, Konrad, Kants Lehre vom Apriorischen im Lichte gegenwärtiger Biologie, In: Lorenz, Konrad und Wuketis, Franz M.,(hrsg.), Die Evolution des Denkens, München/Zürich 1983, p.99.

8)Lorenz, Konrad, Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens, München/Zürich 1973, p.19.

9)Mohr, Hans, Wissenschaft und menschliche Existenz. Vorlesungen über Struktur und Bedeutung der Wissenschaft, Freiburg 1967, p.21.

10)Vollmer, Gerhard, Evolutionäre Erkenntnistheorie. Angeborene Erkenntnisstrukturen im Kontext von Biologie, Psychologie, Linguistik, Philosophie und Wissenschaftstheorie, Stuttgart 1975, p.103.

11)Ibid. p.102.

12)Lorenz, Konrad, Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens, p.21.

13)antsch, Erich, Die Selbstorganisation des Universums. Vom Urknall zum menschlichen Geist, München 1979, p.25 ff.

14)Eigen, Manfred, und Winkler, Ruthild, Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall, München/Zürich 1975, p.197.

되어왔던 시간변수는 새롭게 해석될 필요가 있으며, 둘째, 비가역적 과정들에서는 불안정성과 무질서만이 아니라, 질서화된 구조 역시 생산될 수 있다는 것이다. 그에 따르면, “비가역적 과정들은 첫째, 실재적일뿐 아니라 가역적이다. 말하자면 그것들은 시간적으로 가역적인 법칙들보다 상위에 놓여져야만 하는 그 어떤 부가적인 접근들에 부합되지 않는 것이다. 둘째, 비가역적 과정들은 물리적인 세계에서 근본적이며 구성적인 역할을 한다. 즉 그러한 과정들은 생물학적인 층위에서 특별히 명확하게 드러나는 정합적인 과정들의 기저에 놓여있는 것이다”¹⁵⁾. 시간개념과 관련하여 프리고진은 우리가 통상 시계에서 읽어내는 시간, 말하자면 우리에게 외적으로 존재하며 우리가 서로 소통하기 위해 필요로 하는 시간과 내적인 시간, 즉 개별 유기체들의 생물학적이고 화학적인 과정들에 내재해 있는 시간을 구별하면서, 이러한 비가역적인 내적인 시간이야말로 자기조직화과정의 기본원리라고 말한다.

결국 물리적인 세계에서 구성적인 역할을 하며 생물학적인 층위의 정합적 과정들의 기저에 놓여 있는 자기조직화의 원리는 “다양한 사회체계들의 형성에까지 이르는 진화의 전제로서 필수적”¹⁶⁾이라고 할 수 있다. 자기조직화 개념은 현재의 논의에서, 특히 진화론적 생물학의 영역에서 여전히 중요한 역할을 하고 있으며, 최근의 논의에 따르면, 자기조직화는 “단순성으로부터 복잡성을 산출하는 원리로서, 유전자형의 층위(genotypic level)와 표현형의 층위(phenotypic level) 모두에서 중요한 개념”¹⁷⁾으로 인식되고 있다.

2.2. 프라이 오토의 자기형성적 과정의 패러다임

“생물학만이 건축에 있어 필수불가결한 것이 되었을 뿐 아니라, 건축 역시 생물학에 대해 필수적인 것이 되었다”¹⁸⁾. 이처럼 프라이 오토는 이미 35년 전에 건축과 생물학 간의 긴밀한 관계에 대해 언급하였으며, 이러한 생각은 그 당시나 지금이나 여전히 유효하다. ‘생물학이 건축에 필수불가결하다’는 말은 오늘날 ‘생태건축’의 맥락에서 이해될 수 있겠지만, 이것은 프라이 오토가 의도하는 바를 지나치게 협소화시키는 것이라고 할 수 있다. 왜냐하면 그의 자연주의 건축의 기본과제는 “최소한

15) Prigogine, Ilya, Vom Sein zum Werden. Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften, München/Zürich 1979, p.13.

16) Eigen, Manfred, und Winkler, Ruthild, Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall, p.197.

17) Schank, Jeffrey C. and Wimsatt William C., Evolvability. Adaptation and Modularity, In: Thinking About Evolution. Historical, Philosophical, and Political Perspectives, vol. 2, ed. by Rama S. Singh, Costas B. Krimbas, Diane B. Paul and John Beatty, Cambridge Univ. Press, 2001, p.323.

18) Otto, Frei, IL(Institut für leichte Flächentragwerke an der Universität Stuttgart) 3, Biologie und Bauen 1, Karl Krämer Verlag, Stuttgart 1971, p.8.

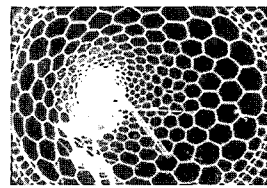
의 재료를 사용하여 공간을 감싸고 표면을 드리우는 것”¹⁹⁾으로 규정될 수 있기 때문이다.

반면 ‘건축이 생물학에 있어 필수불가결하다’는 말은 어떠한 의미에서는 매우 도전적으로 들리는 말이다. 사실 모든 생명체들은 세포들로부터 구성되고 세포들은 최소한의 물질로 이루어진 외피인 세포막으로 둘러싸여져 있는 공간들이자 유동적인 물질들이 가득 차 있는 공간들이다. 생명체들이 이루는 이 같은 구성을 프라이 오토는 이미 35년 전에 ‘수막구조(Pneu, 또는 die pneumatische Konstruktion)’이라고 불렀다. ‘수막구조’는



<그림 1> 비누거품의 수막구조

물로 이루어진 환경에서 폐쇄된 외피를 가지는 구조이며, 외피는 일정한 장력을 지니는 동시에 ‘응력을 가지는’ 층이다. 특히 외피의 형태는 층에 존재하는 섬유조직을 통해 결정된다. ‘Pneu’라는 말이 통상적으로는 기체로 채워져 있는 구조의 의미로 사용되기 때문에, 프라이 오토는 자신의 고유한 개념사용을 명확히 하기 위해 유동체로 채워져 있는 구조를 뜻하는 ‘Hydro’라는 말을 사용하기도 한다. 수막구조 또는 Hydro라는 개념이 프라이 오토에게서 차지하는 중요성은 매우 크다. 왜냐하면 ‘자연적 구조’ 그 자체이기도 한 세포의 구성을 완전하게 이해하기 위해서는 그러한 구성의 모델이 마련될 때에만 가능하기 때문이며, 따라서 그의 말대로 건축은 생물학에 있어 필수불가결한 것일 수밖에 없다. 그에 따르면, 자연적 구조의 모델을 제공해 줄 수 있는 것이 바로 ‘경량건축 테크닉’이라는 것이다.



<그림 2> 규조류와 방산충의 경량구조

이렇듯 생물학에 대한 프라이 오토의 관심은 단순히 현상적인 것에 머무르지 않는다. 실제로 그는 생물학자인 요한-게하르트 헬름케(Johann-Gerhard Helmcke)를 통해 미생물들의 형태와 이것들의 생성에 대한 생물학적인 설명들을 접하였다. 규조류(硅藻類, Diatomee)의 감각충과 방산충(放射蟲, Radiolarie)의 뼈대에서 그들은 자연에서 경량구조의 원리가 실현되고 있다는 사실을 비롯하여 형태가 만들어질 때 ‘자기형성’의 과정들이 나타난다는 사실을 공동으로 발견하였다. 이 같은 성과로 인해 1961년 ‘생물학과 건축’이라는 공동연구단이 만들어지게 되었다²⁰⁾. 이 연구단은 학제적 공동연구를 통해 다음과 같은 결론에 이르렀다. 즉 생물학적인 구조들은

19) Kull, Ulrich, Frei Otto und die Biologie, In: Frei Otto. Das Gesamtwerk. Leicht bauen - natürlich gestalten, Birkhäuser, München 2005, p.45.

20) Kull, Ulrich, Frei Otto und die Biologie, p.46.

물리적이고 화학적인 토대를 가지고 있을 뿐 아니라 인간의 기술적인 구조 역시 포함한다. 그리하여 자연적인 구성과 기술적인 구성은 서로 유비적이라는 것이다. 따라서 물리학의 법칙들과 기술적 구성에 관한 지식을 자연적 구조에 응용하는 것은 충분히 가능한 것이다.

여기서 한 가지 오해되어서는 안 될 사항이 언급될 필요가 있다. 즉 20세기 중반에 보편적인 논의가 이루어졌던 진화론적 인식론의 학문적 경향들에서와는 달리, 프라이 오토는 생물학적 결정론의 입장과 선형적 초월론의 입장에서부터 거리를 두었다는 사실이다. 프라이 오토의 자연적 구조의 이론이 비록 로렌츠의 적응이론 및 아이젠과 프리고진의 자기조직화 이론과 동일한 맥락에서 이해될 수 있기는 하지만, 인식구조와 실재구조 간의 (부분적) 부응 내지는 일치를 강조하면서 생물학적 결정론의 입장을 표명한 적응이론이나 물리적인 세계에서 구성적인 역할을 하며 생물학적인 층위의 정합적 과정들을 결정짓는 자기조직화의 원리를 주장한 선형적 초월론과는 달리 프라이 오토는 현재의 발전된 테크닉과 실험들을 거꾸로 자연 사물들에 적용시켜 생물학적인 대상들에 대한 구조적 이해에 이르는 ‘역전방식’을 사용하는 것이다.

역전방식을 통한 생명체계의 이해는 진화적 생존을 근거로 하는 적응개념이나 물리적인 세계에서 구성적인 역할을 하는 자기조직화 개념을 배제하지 않으면서 보다 탄력적인 설명방식을 가능케 해준다. 예컨대 전기와 물 공급 체계를 비롯하여 힘을 분산시키는 철골구조 등에 내재하는 기본구조를 연구하여 이로부터 얻어지게 된 결과는 시냇물과 강물의 유동체계 및 천둥번개의 전기적 흐름의 경로를 연구하는 데 있어서 중요한 역할을 하며, 심지어 꽃잎과 나무들이 어떻게 생성되고 어떤 식으로 유전적인 고착이 이루어지는지를 파악하는 데에 결정적인 단초를 제공해 준다는 것이다. 프라이 오토에 따르면, 이 같은 역전방식은 다음과 같은 중요한 성과를 이루었다고 한다: “상당히 넓게 퍼져 있는 홀에서 그물망 조직의 외피를 가진 수막구조들을 체계적으로 연구하고 이를 기술적으로 발전시킨 결과 생명의 생성과 형상화과정을 설명하는 데 있어 괄목할 만한 진보가 이루어졌다. 최근 200년간 분석적인 절차를 거치면서 수행되어온 토대연구가 이 같은 성과를 이룰 수 없었던 이유는 그러한 연구 자체가 기술적으로 고안된 수막구조의 형태형성과정을 인식하지 못했기 때문이다”²¹⁾.

프라이 오토는 이미 1970년대에 세포막과 결부되어 있는 섬유조직체계가 존재한다는 생각을 하고 있었다. 당시까지만 해도 생물학자들은 ‘세포골격’을 이루는 요소들을 연구하고 있었을 뿐이었다. 그러나 프라이 오토는 생물학자들 보다 훨씬 더 나아가 박테리아 세포들의 형태는 세포막 표면에 있는 뮤레인

(Murein) 또는 펩티도글리칸(peptidoglycan) 격자를 통해 고정되어 안정을 이룬다고 주장하였다. 그러나 이러한 세포들이 매우 커지게 되면, 뮤레인 격자로는 더 이상 고정될 수 없다. 이러한 이유 때문에 거대 박테리아들의 세포들 내에도 추가적인 그물망 구조가 존재해야만 하는 것이다. 프라이 오토의 이 같은 생각은 나중에 생물학자들에 의해 과학적으로 입증되었다²²⁾.

수막구조의 이 같은 중심적 위상은 수막구조가 모든 생명체의 기본적인 구성형태라는 생각과 더불어 지구상에 생명체가 처음 출현했을 때 이미 중요한 역할을 했으리라는 추론을 가능케 해준다. 그러나 여기서 간과해서는 안 될 사항은 수막구조의 형성이 거대분자들(예컨대 핵산이나 단백질)의 상호작용으로부터 유래될 수 없다는 것이다. 다시 말해 수막구조는 유전체계의 생성과는 독립적으로 발전되어 왔다는 것이다. 이 같은 이유 때문에 프라이 오토는 자신의 자연적 구조의 건축에서 생물학적인 자기형성과정 대신에 ‘물리적인 자기형성과정’²³⁾을 중요시 여겼던 것이다. 모든 세포막들은 막으로 둘러싸인 공간을 형성하며, 현존하는 막들의 확장을 통해서만 생성되기 때문에, 막의 형성원리는 물질의 고유성으로부터 생겨나는 것이다. 이 같은 막의 형성원리는 재료들과 구조 간의 고유한 관계가 고려된다면 보다 경제적인 건축이 가능할 수 있다는 경량건축의 원리에 부합된다. 마찬가지로 생명체들의 경우에도 개별 형식들과 형태들이 주어져 있는 주변적 조건들 하에서 스스로 형성된다고 할 때, 그것들이 이루는 구조계획은 유전자들 내에 포함되어 있다고 볼 수 없으며, 따라서 그러한 구조계획을 알기 위해서는 그것들의 주변적 조건들을 확정하는 것으로 족한 것이다. 그리고 이러한 주변적 조건들은 수막구조와 그물망 구조들에 의해 마련될 수 있다. 결국 “섬유조직에 기초해 있는 유연한 수막구조는 생명의 근원적인 구조”²⁴⁾라고 할 수 있으며, 기술적 과정만이 아니라, 생명체 전체에 내재하는 기본 구성원리인 것이다. 따라서 자연적 과정과 기술적 과정에 공통으로 존재하는 자기형성과정이 수막구조와 그물망 구조에 의거하여 마련된 주변조건들에 부합되게 가시화 될 수 있다면, 자연과 기술의 공통근거에 기반한 구성이 가능할 수 있는 것이며, 이 같은 자기형성과정의 패러다임은 결국 프라이 오토로 하여금 ‘자연적 구조의 건축’이라는 실험적 건축으로 인도하였던 것이다.

22)Kull, Ulrich, Frei Otto und die Biologie, p.47.

23)Barthel, Rainer, Naturform - Architekturform, In: Frei Otto. Das Gesamtwerk. Leicht bauen - natürlich gestalten, Birkhäuser, München 2005, p.17.

24)Frei Otto, Bodo Rasch: Gestalt finden : auf dem Weg zu einer Baukunst des Minimalen, p.45.

21)Frei Otto, Bodo Rasch: Gestalt finden : auf dem Weg zu einer Baukunst des Minimalen, Ed. Menges, Stuttgart 1995, p.45.

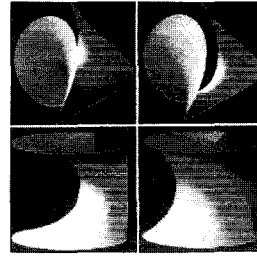
3. “자연적 구조”의 건축

3.1. ‘자연적 구조’의 기본 이념

자연 과학자이자 건축가로서 프라이 오토가 살아온 삶의 궤적에서 중심적인 화두를 이루는 것은 바로 ‘자연적 구조’였다. 그는 ‘자연적 구조’라는 개념을 다음과 같이 정의한다. “우리에게 있어 자연적 구조란 무한히 가변적인 다양성을 이루는 어떤 불특정한 대상이 아니다. 우리는 대상들을 산출하는 자연적 과정들을 특별히 명확하게 보여주는 구성들을 찾고 있다. 말하자면 그것은 본질적인 것이라고 할 수 있다. 아니 심지어 ‘고전적인 것’이라고 해도 될 것이다. ... 비록 기술이 인간의 도구라고 할지라도, 즉 인간이 자연에 대해 기술을 사용함으로써 여타의 모든 자연에 대립적인 태도를 취한다는 의미에서 인간의 도구에 지나지 않는 것으로 생각될 수 있다고 할지라도, 우리는 기술을 자연대상에 대립 아닌 인간의 산물이자 동시에 자연의 한 부분으로 이해하고자 한다. 인간은 자연을 지배한다. 그리고 인간은 자연을 이용가능한 것으로 만들어 왔다. 그리고 이제야 인간은 자신이 자연을 교란시키고 해롭게 만들어 급기야 절멸시키고 있다는 사실을 인식하고 있다. 따라서 인간은 점차 자연을 유지할 방법들을 모색하고 있다. 인간은 자연의 부분이자 전체의 부분이 되려고 노력하고 있다. 이러한 노력의 수단이 바로 자연과 화합하는 기술인 것이다”²⁵⁾.

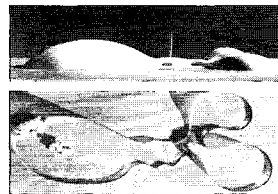
프라이 오토의 ‘자연적 구조’의 핵심을 차지하는 ‘본질적인 것’ 내지는 ‘고전적인 것’이란 자연의 형태구성적 과정들에 내재하는 ‘유형적인 것’을 뜻하는 것으로서 ‘자기형성’의 기본원리를 말하는 것이다. 앞서 프라이 오토의 ‘자기형성’개념에 관한 설명에서 묘사된 바 있듯이, 그는 철저한 과학적 연구를 통해 자연계에는 수많은 형태구성적 과정들이 존재하며, 이러한 구성들 모두가 유전적으로만 컨트롤되는 것은 아니라는 사실을 발견하였다. 물리적 특성을 지니는 이 같은 과정들은 그에 따르면 ‘기술적 구조’를 산출하는 데에 사용될 수 있다고 한다. 따라서 그가 주장하는 ‘자연적 구조’ 개념에서 ‘자연적’이라는 수식어가 의미하는 것은 자연에서와 동일한 자기 형성과정들이 존재하는 기술적 구성에서 ‘기술적’이라는 수식어가 의미하는 것과 동일한 것이다.

자연적 구조건 기술적 구성이건 형태구성이 최적의 상태로 이루어지는 조건을 전제로 하기 때문에, 이 둘 모두 최소한의 물질적 재료가 사용되어 최적의 형태를 구성하는 ‘미니멀 구조 (Minimal construction)’²⁶⁾을 목표로 한다. 최적의 미니멀 구조이라는 기본 원칙 하에서 프라이 오토는 원래 독일연구공동체



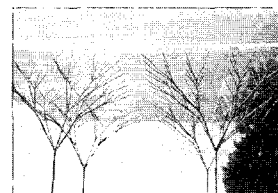
<그림 3> 미니멀 표면의 다양한 예들

의 특수연구 지원 프로젝트의 일환으로서 학제적 연구의 형태로 시작된 ‘자연적 구조’ 프로젝트에 참여하는 학문분야들 각각에 고유한 과제를 부여한다. 우선 건축분야의 과제로서 그는 “보편적인 의미에서 인간에 의해 만들어진 대상들의 경우 변화와 자기생성의 과정들을 추적”하면서 “바이오투우프 하우스(Biotope house), 생태 체계로서의 도시, 최소한의 재료로 만들어지고 최소한의 에너지가 들게끔 설계된 집”²⁷⁾의 건축을 제안한다. 그러나 그 자신도 언급하고 있듯이, 이 같은 건축의 과제를 실현시키기란 매우 어려운 일이다. 왜냐하면 자신의 고유한 건축 스타일에 따라 디자인하는 대신 그의 건축은 자연적 생성에 부합되는 디자인을 목표로 하기 때문이다. 따라서 특정한 모델이 존재하는 것이 아니라, “모든 시대마다 그 시대에 부합되게 점차로 최적화의 상태가 될 수 있는 무한히 많은 수의 집들과 도시들만이 존재할 뿐인 것이다”²⁸⁾. 모호하게 여겨질 수 있는 이 같은 건축이념은 그에 따르면 오히려 자연친화적 건축의 가능성을 더욱 확장시킬 수 있으며, 더 나아가 무엇보다 자연과학적인 생명체 구조 연구의 설명모델로서 기능할 수도 있다고 한다. 이처럼 자연친화적 건축의 가능성 마련에 토대가 되는 동시에 자연과학적 생명체 구조연구에 기여할 수 있는 구체적인 모델의 예로서 그는

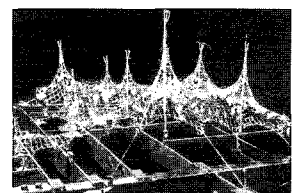


<그림 4> 수막구조 모델

‘수막구조(Pneus)’, ‘수목지절 구조(Verzweigungen)’, ‘그물망 구조(Netzen)’²⁹⁾를 들고 있다. 결국 이 같은 기본 구조들에 의거한 건축은 자연적 조건에 최적으로 부합되는 삶의 기본틀을 마련하는 데 기여할 수 있는 것이다.



<그림 5> 수목지절구조 모델



<그림 6> 그물망구조 모델

건축에 부여된 이 같은 중대한 과제에 못지않게 생물학을 비롯하여 기계공학, 정밀 자연과학 그리고 인문과학에도 중차대한 과제가 부여된다. 1960년대부터 시작되어 1970년대에 성

25)Frei Otto, Bodo Rasch: Gestalt finden : auf dem Weg zu einer Baukunst des Minimalen, p.15.

26)Barthel, Rainer, Naturform - Architekturform, p.18.

27)Frei Otto, Bodo Rasch: Gestalt finden : auf dem Weg zu einer Baukunst des Minimalen, p.17.

28)Ibid. p.17.

29)Ibid. p.18.

과를 거둔 생물학 영역에서의 성과는 “내부압력에 의해 뒷받침된 표피막 구조 및 네트구조에 관한 새로운 인식”³⁰⁾이었다. 이러한 인식을 통해 모든 생명체들의 기저에는 기본적인 ‘형식정전’이 공통으로 존재하고 있다는 생각이 가능해지게 되었다. 따라서 서로 상이하면서도 서로에게 영향을 주며 작용하는 생명체들에 안정적인 구조로서 내재하는 기본체계를 파악하는 과제는 건축 및 제반 학문분야들과 관련하여 생물학에 부여된 중요한 임무인 것이다.

이와 동일한 맥락에서 기계공학에 부여된 과제는 ‘자기형성의 메커니즘’³¹⁾을 탐구하는 것이다. 왜냐하면 자기형성적 구조물들 내에는 건설작업, 구조물 변경 그리고 구조물 파괴 등에 영향을 미치는 다양한 힘들이 작용하고 있기 때문이다. 자연적 과정들과는 달리 인간에 의해 인위적으로 수행되는 기계공학적인 최적화 과정은 특수성을 지닌다. 때문에 프라이 오토는 이러한 기계공학적인 최적화 과정이 생명체의 자기형성과정과 다르다. “생명이 없는 자연적 사물들의 자기형성과정 내지는 생명체의 자연도태과정들과 유사하다”³²⁾고 주장한다. 따라서 이 같은 인식에 근거하여 기계공학이 담당해야 할 과제는 “건설작업의 계획단계에서부터 축조물들을 축소시키고 불필요한 것들을 제거함”과 아울러 “불가피하게 새로운 축조물을 건설할 경우에 재료와 에너지 사용을 최소화 시켜 축조물로 하여금 생태환경의 일부로서 기능하도록 그 축조물의 환경에 알맞게 적응시키는 일”³³⁾이라고 한다.

최근 정밀 자연과학의 영역에서 새로이 대두된 시너지학(Synergetics)은 생명이 없는 자연사물들의 세계에 존재하는 기본관계로서 파괴되어 해체되는 대상들과 새로이 형성되는 대상들 간의 상각관계를 제기한다. 말하자면 “무생물의 자연사물들은 ... 알아볼 수 없을 정도의 혼돈의 상태로 해체되는 것이 아니라, 영원히 변화를 거듭할 뿐인 것이다. 따라서 잠시 동안 혼돈의 상태로 존재하는 것은 다시금 새로운 대상들과 구조들로 질서화 되면서 자연적 구조의 새로운 형태들을 형성시키는 것이다”. 이 같은 인식에 근거하여 시너지학 연구자들은 “무생물적 자연의 자기형성과정이면, 생명체의 자기형성과정이면 혹은 기술적 자연형성과정이면 간에 수많은 자기형성과정들이 동시적으로 작용하고 있는 사건”³⁴⁾인 생태환경체계를 파악하고자 하는 것이다.

결국 프라이 오토는 이처럼 개별 영역들에 중요한 과제를 부여함으로써, ‘자연적 구조’의 기본 이념을 구성하는 것이다. 그러나 이 같은 ‘자연적 구조’의 기본 이념은 아무런 문제없이

수행될 수 있는 이상주의적 이념으로 이해되어서는 안 된다. 왜냐하면 그는 다음과 같은 인간적 한계가 우리의 실제적 사태로서 존재함을 경고하고 있기 때문이다: “우리인간은 자연을 보지 못한다. 우리는 자연을 생각할 뿐이며, 이렇게 생각된 자연을 우리 자신의 거울로서 발견할 뿐이다. 우리는 생각된 자연으로부터 솟아나는 욕구들에 따라 자연을 형태화시킨다. 우리는 이를 통해 자연을 소외시키며, 인위적으로 만들면서도 예술을 획득하지는 못한다. 우리는 종종 생명체를 알아차리지 못한 채 그것에 고통을 준다. 결국 우리는 (자연에) 눈이 멀어 있기 때문에 우리가 인식하지 못하는 우리의 세계를 파괴하는 것이다”³⁵⁾.

3.2. ‘자연적 구조’의 건축이념

자연적 구조와 기술적 구성에 공통으로 존재하는 자기형성 과정들의 기본 유형을 파악하고자 하는 기본 전제 하에서 프라이 오토는 생물학과 학제적 공동연구로부터 자연친화적 건축의 기초정립과 자연과학적 생명체 구조연구에 기여할 수 있는 구체적인 모델로서 ‘수막구조’, ‘수목지절구조’, ‘피막 및 그물망 구조’를 추론하고, 기계공학과 학제적 공동연구로부터 ‘미니멀 구성’의 원리를 형성시키며, 시너지학과의 학제적 공동연구로부터 일회적 출현과 소멸이 아니라 영원히 유동하는 생태환경체계에 대한 통찰을 획득하고, 인문과학과의 학제적 공동연구로부터 인간에 의해 생각된 자연의 모습에 대비되는 실제적 자연 상의 가능성을 모색함으로써, 이 모든 결과물들을 포괄하는 거시적 건축이념을 정립시키고자 한다.

(1) ‘적응력 있는 건축’

루드비히 미스 반 데어 로에의 건축이념(‘Less is more’)을 일관되게 발전시켰던³⁶⁾ 프라이 오토는 자신의 건축이념의 한 가운데에 ‘적응력 있는 건축’을 위치시키면서 이러한 건축의 중심문제를 다음과 같이 규정한다. 즉 ‘경량의 탄력적인 건축방식을 통해 축조된 환경은 어떻게 하면 그곳에 거주하는 사람들의 욕구와 관심에 보다 더 잘 적응될 수 있을까?’³⁷⁾ 이러한 문제의식 하에서 그는 변화가능한 건축 내지는 불필요할 경우 간단

35)Ibid. p.22.

36)그는 미스 반 데어 로에, 프랭크 로이드 라이트, 이로 사리넨과 같은 모더니즘 건축의 선구자들에게서 직접 배웠던 경험을 회상하면서 자신도 그들의 이념을 일관되게 수행했다고 다음과 같이 말하였다: “보다 적은 것이 보다 많은 것이다”라는 건축이념을 나는 그 원천에서 직접 생생하게 경험하였다. 이러한 경험은 미국에서 해석되었던 것처럼 단지 양식적이고 형식적인 해석의 형태에만 국한되지는 않았다. 보다 적은 것의 이념을 나는 건축가로서 일관되게 추구해야만 했다. 보다 적은 것이 보다 많은 것이라는 이념이 나를 매혹시켰던 이유는 보다 적은 집, 보다 적은 재료, 보다 적은 시멘트, 보다 적은 에너지를 사용하면서도 현존하는 것을 사용하여 인간적으로 건축하는 것이 이상적인 것으로 생각되었기 때문이다”, Frei Otto, Architektur-Natur, Warmbronn 1996, p.4.

37)Otto, Frei, Auffassungsfähig Bauen, in: IL(Institut für leichte Flächentragwerke an der Universität Stuttgart) 14, Karl Krämer Verlag, Stuttgart 1974, pp.162-165.

30)Frei Otto, Bodo Rasch: Gestalt finden : auf dem Weg zu einer Baukunst des Minimalen, p.19.

31)Ibid. p.19.

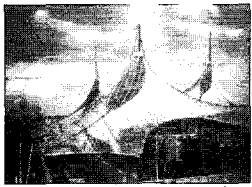
32)Ibid. p.20.

33)Ibid. p.20.

34)Ibid. p.20.

히 해체될 수 있는 건축을 추구하였다. 그는 우선 가족구조가 성장하거나 축소되는 상황이라든가 인간의 유동성과 정주성 등과 같은 변화 가능한 실제 조건들을 고려하면서 물리적 구조물을 위한 건축이 아니라 상황적 존재로서의 인간을 위한 건축을 가장 중요하면서도 긴급한 과제로 상정하였다.

지붕을 커다랗게 만들어서 공간 안에 있는 사람들에게 더 많은 자유를 허용하고 이동가능한 집을 통해 특정장소에 고착되지 않도록 해준다는 두 가지 기본 전략들에 의거하여 '자발적 집(autonomic House)'의 이념을 추구한 리처드 버크민스터 풀러(Richard Buckminster Fuller)와 산업화과정에 부합되게 건축을 기술과 산업의 법칙들 및 가능성들에 적응시키고자 하였던 콘라드 박스만(Konrad Wachsmann)의 영향 하에서 프라이



<그림 7> 몬트리올 엑스포 독일관, 1967

오토는 탄력적인 구조체계를 고안해 내었다. 이것은 일정한 장력을 이루는 철봉들을 중심으로 이것들의 상단부로부터 드리워진 밧줄이 지붕 금속판들을 지탱하는 경량의 뼈대를 지탱하는 구조로서 1967년 몬트리올에서 개최된 Expo의 독일관 건축에 다소 수정된 형태로 적용되었다.

최근까지도 지속되는 그의 경량건축은 "살아있는 자연의 대상들과 기술의 대상들의 진화에 있어서 가장 중요한 기초토대들 중의 하나"³⁸⁾로서 세 가지 층위를 지닌다. (표 1 참조)

첫 번째 층위는 '재료적 층위에서의 경량건축'으로서, 가장 커다란 최적화 잠재력을 건축소재 연구에서 찾는다. 시멘트와 플라스틱과 같은 재료들만이 아니라 최근 널리 사용되고 있는 섬유조직의 소재들에 관한 연구의 비약적인 발전은 경량건축의 발전에 가장 기본적인 전제가 되는 것이다.

두 번째 층위는 '구조적 층위의 경량 건축'으로서, 고전적인 구조물 경량화가 불필요한 부분들의 제거에 의존하는 것과는 달리, 프라이 오토의 경량화 건축은 발전된 접합 테크닉을 기초로 한다. 접합부 내지는 결합부의 질량 감소에 주목하여 그는 기계공학적 연구들로부터 최적의 형태를 찾아낼 가능성을 모색함과 아울러 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 모델화 작업에 기초하여 경량화 구조원리를 발견해 내고자 하였다.

세 번째 층위는 '시스템 층위의 경량건축'으로서, 프라이 오토는 '다기능성' 개념을 부각시켰다. 그에 따르면, 동시에 여러 기능들을 수행하는 구조 내지는 건축자재는 불필요한 다른 자재들의 사용을 제한할 수 있을 뿐 아니라 전체 질량의 감소효과 역시 가져온다는 것이다. 예컨대 특수하게 고안된 벽은 건물의 하중을 지탱하는 기능만이 아니라 공간을 마무리 하는 기능을 수행하며, 또한 방화와 방음 차단 기능 역시 수행하는

것이다.

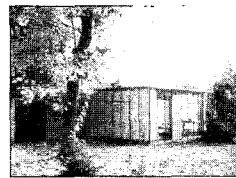
<표 1> 경량건축의 세 가지 층위

	최적화 잠재력을 위한 대상영역	연구결과
재료적 층위	건축소재 연구	섬유조직 소재들, 시멘트와 플라스틱 소재의 경량화와 견고화
구조적 층위	접합테크닉 연구	컴퓨터 시뮬레이션 모델 개발, 휘는 힘, 당기는 힘, 누르는 힘 등을 종합적으로 고려한 기본 법칙 개발
시스템 층위	건축물 구조와 소재의 다기능성 연구	기존의 구조물의 구성요소들에 대한 다기능적 역할규정, 기능과 구조의 통합체계 개발

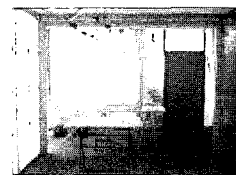
(2) '생태 건축'

적응력 있는 경량건축과 더불어 프라이 오토의 '자연적 구조'의 건축의 다른 한 축을 형성하는 것은 바로 '생태 건축'이다. 그는 자연이란 항상 생물학적인 균등상태로 존재하며 끊임 없이 스스로 재활성화될 수 있다는 다소 주관적인 초창기의 기본관점으로부터 벗어나 '그러한 균등상태란 매우 유동적이고 불안정한 것이며 약간의 자극만으로도 자연체계 전체가 무너질 수 있다는 입장'³⁹⁾에 도달하게 되었다고 하면서, 자연으로부터 직접 획득된 지식들이야말로 많은 문제들에 대한 해결책을 가져다 줄 수 있으며 현대의 기술발전의 성과들 역시 의미있게 사용될 필요가 있다고 역설하였다⁴⁰⁾.

이러한 생태 건축적 기본 이념이 가장 전형적으로 구체화된 것이 바로 그의 '태양열 건축'이다. 이미 1950년대 초부터 몇 안 되는 태양열 건축가들에 속하여 태양열을 이용한 건축에 정



<그림 8> 젤렌도르프 아틀리에, 1959



<그림 9> 젤렌도르프 아틀리에 내부, 1959

력을 쏟았던 프라이 오토는 「난방 없이도 따뜻한 집과 새로운 창문에 관하여」라는 논문에서 남쪽창문이 삼중으로 처리되고 두툼한 커튼이 드리워지게 될 경우 집 전체의 보온에 크게 기여할 수게 된다고 주장하였으며⁴¹⁾, 1959년 베를린 젤렌도르프에 유리로 된 첫 번째 아틀리에를 지어 실제적인 문제들을 해결하고자 하였다. 특히 여기서 그는 나무로 된 롤 벽과 유리로 된 투명한 벽을 설치함으로써 공간 내에 분리된 또 다른 공간을 창출하

였으며, 이를 통해 주변 영역이 보온효과를 창출하는 효과를 가져오도록 만들었다. 1967년에는 자신의 주택이자 아틀리에를

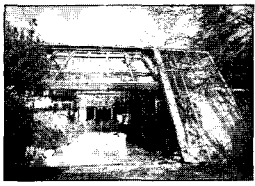
39)Otto, Frei, Architektur-Natur, p.5.

40)Frei Otto im Gespräch mit Wolfgang Pehnt, in: Jörg Krichbaum, Vittorio Magnago Lampugnani (Hg.),Baumeister im Profil, Frankfurt a.M. 1991, p.104.

41)Otto, Frei, Vom ungeheizt schon warmen Haus und neuen Fenstern, in: DBZ, Deutsche Bauzeitschrift, 3, 1955. 참조

38)Otto, Frei, IL 24, Karl Krämer Verlag, Stuttgart 1998, p.11.

유리 재료를 사용하여 건축하였다.



<그림 10> 뵘브론의 프라이 오토의 저택, 1967



<그림 11> 뵘브론의 아틀리에 내부, 1967



<그림 12> 뢰브로이히 단지 모형, 2004

최근 2004년에는 독일 노이스에 있는 뢰브로이히 예술공원 옆에 위치해 있었던 예전의 로켓 발사지에 적응력 있는 건축이자 생태 건축의 종합적 실현물인 실험적 주거 단지를 건축하였다.

결국 프라이 오토는 ‘생태 건축’이라는 자신의 고유한 건축이념을 통해 ‘보다 나은 환경 조성’, ‘주거적 특성의 자연적 조건 마련’, ‘개인 주거자의 적응능력 개선’, ‘효율적 에너지 사용’ 등과 같은 과제들을 해결하고자 하는 것이다.

4. 결론

이미 1950년대 이래로 ‘자연적 구조’라는 결코 완결될 수 없는 거시적 프로젝트에 지속적으로 정열을 투여해오고 있는 프라이 오토는 자연에서 이루어지고 있는 자기형성과정들과 최적화 과정들에 대한 이해에 기초하여, 건축가로서의 고유한 프로필을 드러내는 건축 대신 자연과 기술 모두에 내재해 있는 ‘형태모색 및 최적화 과정들’의 기본모델에 근거한 건축을 지향한다. 이를 위해 한편으로 그는 다양한 학제적 공동연구들을 통해 건축을 비롯한 각 학문영역에 자연적 구조의 일반원리와 체계를 탐구해 왔으며, 다른 한편으로 그는 이 같은 학제적 공동연구의 결과들로부터 건축이념의 기초로서 기능할 수 있는 요소들을 추론해 내어 자신의 고유한 건축이념인 ‘자연적 구조’의 건축 이념을 구축해 왔다. 이러한 ‘자연적 구조’의 건축 이념의 한 축인 ‘적응력 있는 건축’ 이념에 근거하여 그는 압력관계의 규정을 통해 형태화 되는 수막구조, 건인관계의 전환을 통해 안정적 구조를 형성하는 접시모양의 격자구조, 그리고 최적의 표면들로 이루어진 천막구조 등을 개발하였으며, 다른 한 축인 ‘생태 건축’ 이념에 근거하여 경우에 따라 바뀔 수 있는 거주자들마다의 상이한 욕구들에 적응할 수 있고 그에 따라 변경될 수 있는 주거건축을 모색하였다.

결국 ‘자연적 구조’를 중심으로 다각도로 이루어진 프라이 오토의 작업은 한편으로는 자연법칙들에 부합하여 합리적인 형

태를 찾아내고자 하는 형태학적인 시도로서, 그리고 다른 한편으로는 인간과 자연이 조화를 이루는 평화롭고 자유로운 사회를 향한 미래지향적 시도로서 이해될 수 있는 것이다.

참고문헌

1. Barthel, Rainer, Naturform - Architekturform, In: Frei Otto. Das Gesamtwerk. Leicht bauen - natürlich gestalten, Birkhäuser, München 2005.
2. Eigen, Manfred, und Winkler, Ruthild, Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall, München/Zürich 1975.
3. Frei Otto im Gespräch mit Wolfgang Pehnt, in: Jörg Krichbaum, Vittorio Magnago Lampugnani (Hg.), Baumeister im Profil, Frankfurt a.M. 1991.
4. Jantsch, Erich, Die Selbstorganisation des Universums. Vom Urknall zum menschlichen Geist, München 1979.
5. Kull, Ulrich, Frei Otto und die Biologie, In: Frei Otto. Das Gesamtwerk. Leicht bauen - natürlich gestalten, Birkhäuser, München 2005.
6. Lorenz, Konrad, Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens, München/Zürich 1973.
7. Lorenz, Konrad, Kants Lehre vom Apriorischen im Lichte gegenwärtiger Biologie, In: Lorenz, Konrad und Wuketis, Franz M.,(hrsg.), Die Evolution des Denkens, München/Zürich 1983.
8. Mohr, Hans, Wissenschaft und menschliche Existenz. Vorlesungen über Struktur und Bedeutung der Wissenschaft, Freiburg 1967.
9. Nerdinger, Winfried, Frei Otto. Arbeit für eine bessere "Menschenerde", In: Frei Otto. Das Gesamtwerk. Leicht bauen - natürlich gestalten, Birkhäuser, München 2005.
10. Otto, Frei, Architektur-Natur, Warmbronn 1996.
11. Otto, Frei, Bodo Rasch: Gestalt finden : auf dem Weg zu einer Baukunst des Minimalen, Ed. Menges, Stuttgart 1995.
12. Otto, Frei, Auffassungsfähig Bauen, in: IL(Institut für leichte Flächentragwerke an der Universität Stuttgart) 14, Karl Krämer Verlag, Stuttgart 1974.
13. Otto, Frei, Bauen für morgen?, In: Frei Otto - Schriften und Reden 1951-1983, Braunschweig, Wiesbaden 1984.
14. Otto, Frei, Gestaltwerdung - Zur Formentstehung in Natur, Technik und Baukunst, arcus, Architektur und Naturwissenschaft, 4, Köln 1988.
15. Otto, Frei, IL 24, Karl Krämer Verlag, Stuttgart 1998.
16. Otto, Frei, IL(Institut für leichte Flächentragwerke an der Universität Stuttgart) 3, Biologie und Bauen 1, Karl Krämer Verlag, Stuttgart 1971.
17. Otto, Frei, Stuttgarter Architektur - gestern, heute und morgen, In: Frei Otto - Schriften und Reden 1951-1983, Braunschweig, Wiesbaden 1984.
18. Otto, Frei, Vom ungeheizt schon warmen Haus und neuen Fenstern, in: DBZ, Deutsche Bauzeitschrift, 3, 1955.
19. Prigogine, Ilya, Vom Sein zum Werden. Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften, München/Zürich 1979.
20. Schank, Jeffrey C. and Wimsatt William C., Evolvability. Adaptation and Modularity, In: Thinking About Evolution. Historical, Philosophical, and Political Perspectives, vol. 2, ed. by Rama S. Singh, Costas B. Krimbas, Diane B. Paul and John Beatty, Cambridge Univ. Press, 2001.
21. Taut, Bruno, Die neue Baukunst in Europa und Amerika, Stuttgart 1929.
22. Vollmer, Gerhard, Evolutionäre Erkenntnistheorie. Angeborene Erkenntnisstrukturen im Kontext von Biologie, Psychologie, Linguistik, Philosophie und Wissenschaftstheorie, Stuttgart 1975.

<접수 : 2006. 8. 31>