

프라이 오토(Frei Otto)의 건축에 나타난 생태학적 공간특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Ecological Architectural Space of Frei Otto

최경실*/Choi, Gyoung-Sil

Abstract

In the process of modernization the problem of environment destruction has become a worldwide issue. And now this problem is a concern for all branches of science, including that of architectural design. This thesis tries to find the meaning of ecological architectural space, one that increases the organic relationship, and communication, between architectural space and urban environmental space, between human beings and architecture, and between human beings and their environment.

As an example, we will take a look at the architectural space-design of Frei Otto, who offers diverse creative ecological architectural forms. His concept of architecture has the critical character when compared with the traditional conventional concept of architecture.

The ecological characteristics of his architectural space-design can be summarized as follows:

The first characteristic is his ample use of natural objects in the architectural structure. An ample use of living things like

trees and plants as well as of inanimate thing like water, wind as architectural elements enhances the functional efficiency of architecture.

The second characteristic is its ecological architectural system, which saves energy facilitates ventilation by changing the position and direction of the building, by systematically applying the materials, and by efficiently arranging the inner space.

The third characteristic is the dematerialization of architecture and the use of materials that are economical and appropriate for the circulation system of nature. The use of natural elements and recycling natural objects, makes it possible to reuse materials of the destroyed building.

In short, the ecological architecture of Frei Otto, which shows the relation between human beings and architecture, presents diverse possibilities of the architectural space as a complex natural system, which is more than a simple combination of separate elements.

키워드 : 생태학, 생태건축, 공간조형

1. 서론

영국의 사회학자인 안토니 기든스는 현대의 사회상황에 대해 다음과 같이 언급하고 있다. 전통에서 근대로의 이행은 인간의 삶에 많은 풍요를 제공했지만 그에 상응하는 부정적인 요소를 안겨주었다. 즉 산업화로 인한 환경오염과 생태계의 파괴, 전세계적인 지역간의 불평등, 인간소외현상의 심화 등의 현상으로 인류는 생존자체를 위협받는 시대를 맞고 있다는 것이다.

생태적 시스템은 평형상태에 도달하려는 각 개체군의 성쇠를 통하여 존속된다.¹⁾

따라서 현재 우리의 삶을 형성하고 있는 근대성의 실체에 대한 비판적인 재조명과 함께, 근대를 뛰어넘는 새로운 사회질서에 대한 모색

이 단순한 학문적 탐구의 과제로서 뿐만아니라 인류의 절실한 시대적 요청이 되고 있다.²⁾ 근대성의 확산으로 인한 인공적 환경의 모순의 폐해로 인한 환경문제는 세계적 관심사가 되었다. 이러한 관심은 전 학문적 영역을 포괄한다고 하겠다.

생태학적 문제가 전세계적인 것이라면 그에 대한 해결의 형식도 필연적으로 전세계적 기반을 가지게 될 것이다.

20세기 사회 경제 조직에서 발견한 중요한 사항을 들면 바로 근대 경제질서 처럼 고도로 복잡한 체계는 위계적 통제를 통해 효과적으로 관리될 수 없다는 점이다. 그러한 체계가 필요로 하는 상세하고 계속적인 신호는 위에서 지시되기 보다는 차라리 저투입에 의해 현장에서

1) Kenneth E. Boulding(1985), 이 정식 역(1990), 토털시스템으로서의 세계 The World as a Total System, 서울 : 법양사, p.34

2) Anthony Giddens, 이 윤희 외 공역(1991), 포스트 모더니티, 서울 : 민영사, p.6

* 정회원, 이화여자대학교 장식미술학과 전임강사

이루어 저야만 한다. 우리는 여기서 전세계적 차원에서 통합되어 있는 후기절약체계의 가능성을 발견한다.³⁾

이러한 절약의 개념은 다가올 미래에 인류의 생존방식과 관련하여 아주 중요한 방법적 의미를 지닌다.

경제학(economics)이라는 용어는 생태학이라는 말과 같은 어원 오이코스(Oikos)에서 유래 되었다. 어미부분인(nomics)는 관리를 의미하기 때문에, 경제학(economics)은 가계의 관리로 해석된다.⁴⁾ 생태학이란 쉽게 표현하자면 “자연의 절약”을, 또한 경제란 “인간의 생태”를 의미한다.⁵⁾

절약의 가능성이 유일한 희망적인 통로임을 자각하게 된 현재시점에서 보다 인간적인 환경이란, 인간과 인위적 환경 간의 현재의 도구적 관계에 도덕적 이슈가 점차 강화되는 현상을 의미한다. 인간에 있어서 행위의 장으로서, 환경적의미를 지니는 건축도 이러한 문제에 있어서 예외가 될 수 없다.

독일의 철학자 에른스트 블로흐(Ernst Bloch 1885-1977)는 기능주의적 건축을 “상품사회의 얼음처럼 차가운 자동세계”라고 비판하고 있다. 블로흐의 견해가 아니더라도 근대성의 해체는 건축 분야전반에서 다양한 방식으로 시도되고 있음은 주지의 사실이다. 1960년대 이후 이러한 다양한 미래건축에 관한 시도중에서도 생태학적 건축유형은 현실적인 설득력을 얻고 있으며, 이미 1970년대 후반부터 이미 서구의 선진국에서는 국가차원의 전략으로 생태학적 건축모델 개발이 정책화 되고있는 실정이다. 위에서 언급한 바와 같이 생태학적 문제해결의 형식이 필연적으로 전세계적 기반을 가지게 된 현재 우리는 건축적 형태에서도 “절약체계의 가능성”을 찾아야 할 것이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 건축공간과 도시공간, 더 나아가 인간과 건축, 인간과 환경의 보다 유기적인 관계성을 높이고, 소통을 강화하는 생태학적 건축공간의 의미를 살펴보고자 한다. 또한 기존의 건축형태에 대한 비판의 측면에서나 도시환경의 변화라는 측면에서 도출된 구체적 대안으로서, 일찌기 창조적이며 다양한 생태학적 건축형태를 제시한 독일 건축가 프라이 오토의 건축이념을 파악하고 그의 건축작품에 나타난 생태학적 공간구성방식의 의미와 기능성을 고찰해 보고자 한다.

2. 생태학과 건축공간

2-1. 생태학

생태학(Ökologie)은 주거, 거주지를 뜻하는 고대 그리스어의 “오이코스(Oikos)”와 이성과 우주적 질서, 학문의 의미를 지닌 “로고스(Logos)”의 합성어이다. 생태학이라는 개념은 1866년 에른스트 헤켈(Ernst Haeckel)이 처음 쓰기 시작했으며, “유기체가 주변의 외부세계와 맺는 관계를 연구하는 학문 전체”를 규정하는 말로 쓰였다. 생태학은 생물학의 한 분과에 속한다. 생태학의 연구대상은 다른 생

물학적 연구와는 달리 외부와 구분되는 어떤 전체로서의 유기체나 그 유기체로 대표되는 유형이 아니라 유기체와 유기체의 생존조건을 이루는 주변세계와의 상호작용이다. 독일의 생물물리학자이자 교수인 프리드리히(Friedrich)에 따르면 생태학은 “초개인적 결합체에 대한 학문”이다. 생태적 규칙성을 분석하기 위해서는 현상을 서술하거나 비교하기도 하며 인과적 관계를 관찰하기도 한다.

생태학은 크게 세가지의 분야로 나뉘어진다. 그 첫 번째로 생리학적인 생태학(physiologische Ökologie)은 개별 유기체나 개별 유형과 그것의 외적인 생존조건을 관련 대상으로 한다. 이것은 유기체와 주변 환경이 어떤 연속관계에 있는지를 연구한다.

두 번째 집단(개체군)생태학(Populations ökologie)은, 어떤 종에 속하는 것들 사이의 상호 작용을 연구하며 동시에 개체군과 그의 환경요인들 사이의 관계를 연구한다. 다음으로는 통합생태학(Synökologie)로서 하나의 생활 공동체 안에서 개별적인 유형들 사이의 관계와 그것들이 삶의 공간에 미치는 영향과 종속성을 연구한다. 생태학은 환경문제를 해결하는데 특히 중요성을 띤다.⁶⁾

생태학은 유기체(생물체)에 대한, 혹은 유기체의 조직에 대한, 그 환경에 대해 연구하는 과학이다. 생태계 혹은 생태학적 체계는 생태학 연구의 한 분야이다. 그것은 생물학적 상호체계와 물리적 환경으로 이루어져 있으며 에너지의 흐름에 의해 끌려가는 먹이사슬구조, 생물적 다양성과 물질의 순환체계, 등으로 명백하게 설명-규정되어진다. 생태학의 기본적인 원리는 유기체 혹은 유기체군 과 그 생물적, 반생물적 환경 사이의 통일성의 원리라 할 수 있다. 생태학은 한 유기체로부터 혹은 생태-현상타입 으로부터 형성되는 발생과정 혹은 발생타입과 그 환경과의 상호작용을 설명한다. 건축의 생태학적 이론은 그러므로 건물의 기능과 건물환경사이의 상호작용의 결과로 이루어지는 건축의 진화를 설명하는 하나의 이론이다. 생태학적 이론은 형태는 기능뿐 아니라 환경을 따른다는 입장을 취하고 있으며, 그러한 형태와 기능은 의존적이라기보다는 상호의존적인 관계에 놓여 있다. 건축은 그것 속에, 그리고 그 표현에 있어서 기능뿐 아니라 그 주변환경에서 통일성을 지닐때 생태적이다. 이 두 과학은 생산과 소비 시스템들의 능률성, 안정성과 관련해 중요성을 지닌다. 생태학은 에너지로 알려진것에 반해 경제는 돈으로 이해되어있다. 에너지는 현실적이고 돈은 상징적인 것이다.

생태학(Ecology)의 어원이 집, 주거지의 의미를 지닌 오이코스(Oikos)라는 점을 감안하면 생태학과(Ecology)와 건축의 관련성을 명백히 드러낸다. 생태학(Ecology)이 생태환경의 유기체에 관한 과학이라면, 건축은 생태환경 창조의 조형과학이다.⁷⁾

근대적 건축의 양상은 “생태적”이라는 개념의 표현방향에 있어 많은 부분 심각한 오류를 안고 전세계적으로 확산되어 왔다. 그것은 자연에 내재한 질서의 발견이라는 형식적 의미는 공유하였으나 지극히 형태적 모방을 지극히 추상적 형태로 해석하는 경향을 보이고 있다.

3) 앞글, p.169-173.

4) Eugene p.Odum, 이 도원 외 공역(1995), 생태학, 서울:민음사, p.46.

5) Ko, Ju-Suk (1978), A Ecological Theory of Architecture, Ph.D. Dissertation in Architecture, University of Pennsylvania, p.2

6) (1971), Brockhaus, Enzyklopädie, Wiesbaden: F.A. Brockhaus, b.13 - p.700

7) Ko, Ju-Suk(1978), A Ecological Theory of Architecture, Ph. D. Dissertation in Architecture, University of Penn Sylvania, p.2

생태학적 건축은 현실적으로 환경과 에너지를 의식한 건축계획을 전제로 한다. 즉 위치선정, 건물구성, 건물형태, 건축재료, 공간계획 그리고 내적 기능의 조직, 기술적 체계와 식물의 도입, 등과 같은 건축 구성요소에 관한 다각적이고 전반적인 분석, 검토과정이 수반되어야 함을 의미한다. 독일의 건축가인 프라이 오토(Frei Otto)⁸⁾는 1979년 스투트가르트 대학에서 열린 "친환경적 건축"이라는 주제로 열린 심포지움에서 자연과 함께하는 건축, 즉 생태건축의 필요성을 제기했다. "자연과학적 형태발견과정"에 우선권을 주어야 한다는 프라이 오토의 생각은 자연적 형태적 특징을 모방하는 생물학적 요소에 대한 중립적 태도를 넘어서서 자연의 힘의 법칙을 직접적으로 건축의 구성에 적용한다는 구조적 관점을 제시한다.

2-2. 생태학적 건축(Ökologisches Bauen)

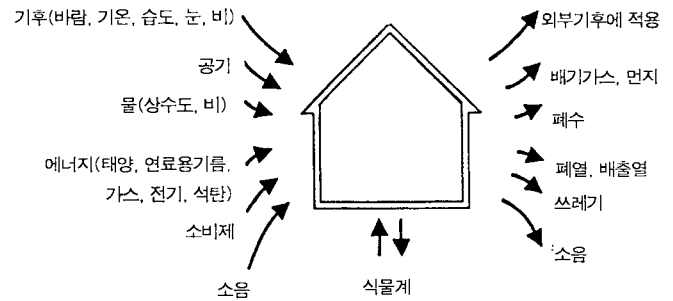
독일의 예를 볼 때, 1981년 현재 약 2600억 마르크에 달하는 건축비의 절반 정도가 주택의 건축에 쓰이며, 이것은 서독의 국민경제의 가장 큰 부분을 형성한다. 또한 건축재의 생산을 포함하여 주택의 건축에만 해마다 산업적 에너지 소비의 약 15분의 1이 쓰인다. 이러한 예는 단지 독일 뿐 아니라 전 세계적 현상이며, 이를 감안하면 인공 환경의 대부분을 차지하는 건축적 공간의 범위가 실로 거대하다는 것과 그로인한 폐해가 보이게 보이지않게 모든 자연개체에 미치는 영향이 막대하다는 것을 실감할 수 있다. 건축은 지금까지 거대한 소비체계에 지나지 않았다 해도 과언이 아닐 것이다. 환경오염도를 줄이는 것은 건물 사용자가 환경과 에너지에 대한 의식을 갖고, 건축을 할 때에도 건물의 구상이나 기술적 시스템을 그에 적합하게 설계함으로써 가능할 것이다. 생태환경과 관련하여 건축에서도 특히 다음과 같은 점이 분명히 인식되어야 할 것이다.

모든 건물과 주거는 가령 자동차나 산업시설과 마찬가지로 환경을 오염시키는 대상이다. 건축재의 생산과 운송은 건축 과정 자체나 건물의 사용에서와 마찬가지로 원료와 에너지를 사용하게 되고 공기와 물의 오염을 낳고 소음과 쓰레기를 발생시키며 기후와 지형적 변화를 야기한다. 모든 건물과 주거는 전체적으로 자원의 결핍과 환경오염에 중요한 부분을 차지한다.

건물들을 생태체계내의 개체로 인식한다면, 그것들은 전체 생태체계에 있는 여러 복합적인 흐름의 하위체계로서 생태체계의 저변에 흐르고 있다는 것을 알 수 있다. 이 흐름들은 사람들이 원했던 형태로

건물에 적용되고, 결국에는 환경을 오염시킴으로써 원하지 않았던 형태로 외부세계로 유출된다.⁹⁾

이러한 현상은 많은 물질, 재료들이 가공되고 손질되는 공장에만 적용되는 것이 아니라 주택이나 아파트, 상점, 학교에도 적용된다. 건물의 재료와 형태 그리고 기술적 설비, 사용과정 상에 작용하는 내적 조직 등은 자원이 낭비되든 절약하여 사용되든 간에, 그리고 환경과 그에 따라 우리의 건강이 해를 입든 그렇지 않든 간에 그 흐름에 일조를 한다



(그림 1) 주변환경과 건축의 상호작용

생태학적 건축은 현실적으로 환경과 에너지를 의식한 위치선정, 건물구성, 건물형태, 건축재료, 공간계획 그리고 내적 기능의 조직, 기술적 체계와 식물의 도입, 등과 같은 의미를 지닌다. 이러한 모든 사항들은 다음의 목적을 위해 건축에 도입된다.

- 건물을 만들고 사용하는데 필요한 에너지와 자원의 수용의 최소화.
- 자연체계와 재활용 자원을 현명한 사용(태양열의 사용, 자연적 기후 조절).
- 공기와 물의 오염, 폐열, 쓰레기, 폐수의 양 최소화.
- 다양한 유형의 동식물의 서식지 보존과 증가.
- 주변자연에 적합한 건축을 통한 건강한 주거와 작업권 보호.

일반적으로 생태적 건축은 유사한 건축방식, 즉 대안적 건축, 기후에 적합한 건축, 건축생물학 등을 포괄하려는 개념이다.¹⁰⁾

생태적 건축은 위에 거론한 목표를 통합적으로 실현하려고 노력한다.

건축가들 뿐 아니라 특히 도시에 거주하는 대부분의 사람들은 생태적 건축의 중요성을 인식하고 있다. 여러 상이한 과제와 요인들은 서로 다른 분야의 사람들 사이에 생각과 정보 그리고 경험의 교환을 촉진하고 상호간의 협동작업을 할 기회를 제공한다.

3. 프라이 오토의 생태학적 건축공간 이념

3-1. 건축생물학적 구조원리

생물학의 한 분야로서 생태학은 자연과학이며, 자연을 관찰하고 그것을 분석한다. 발전을 예견하고 계획하는 것은 생태학이 하는 일이 아니며, 살아있는 자연을 학문적으로 관찰하는 것은 건축의 과제에 속하지 않는다. 건축은 새로운 것을 창조한다. 건축은 종합이며 계획

8)프라이 오토(Frei Otto, 1925 -):독일 작센 주의 지그마르(Sigmar)에서 조각가인 아버지 밑에서 태어 났다. 프라이 오토는 드레스덴의 예술대학을 다니고, 1948년부터 1952년 까지 베를린 공과대학에서 건축을 공부 했다. 독일의 울름과 케를린, 북아메리카, 남아메리카에서 건축을 가르쳤으며, 1965년 이후 독일의 스투트가르트 공과대학에서 강의함. 1974년 평면박 지지구조물 분야의 연구 업적을 인정 받아 "토마스 제퍼슨 기념재단이 수여 하는 건축상을 수상했으며, 특히 생물학적 현상의 분석에 관심을 가지고 연구하는 건축가로 알려져 있다. 뮌헨 올림픽 스타디움의 지붕구조물을 포함 해서 많은 실험적이며 창조적인 건축작품이 알려져 있으며, 생태건축 모델이 될 수 있는 다양한 미래건축의 유형을 제시하고 있다. 자신의 건축관과 건축적 구조를 이론적으로 설명한 저서들을 펴낸 건축이론가이기도 하다.

9)P.und M. Krusche, D. Althaus, I. Gabriel(1982), kologisches Bauen, Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GMBH, p.6.

10)알굴, P.7.

이고 미래를 추측하는 것이다. 생태학과 건축의 관계는 실질적이고 실용적인 필연성을 바탕으로 설명된다. 환경의 문제는 결국 생물학적, 생태학적 문제이다. 생물학자나 생태학자들은 지구 표면의 생물학적 총체성 안에 속해 있는 인간이 끼치는 영향을 연구한다. 인공적 공간계획을 세우고 실현하는 일 등이 환경에 어떤 영향을 미치는지를 연구한다. 생물학자는 생물학적 삶의 공간의 성격을 규정하는 현대의 기술과 관계하며, 건축은 여러가지 방법으로 오늘의 상황을 연구하고 직접적으로 실제적 도움을 주는 생물학자를 필요로 한다. 건축의 과제는 일차적으로 인간생물학적인 해결을 해야한다는 것이다. 생물학과 건축의 가장 중요한 연결점은 그 안의 개별체들이 개별적으로 또는 무리를 이루는 것. 그들이 생물학적이고 기술적인 인간 전체의 영역 안에서 아주 상이한 행동을 하면서도 동시에 특정한 행동양식을 지니고 있다는 것이다. 인간과 동물의 건축, 성장과정과 형태를 갖춰가는 과정, 생물학적 구성형태와 자연적이고 인공적인 공간에서의 인간의 태도를 관찰함으로써 건축가는 생물학적 연관관계에 대한 통찰력을 갖는다.¹¹⁾

시기적으로만 본다면 프라이 오토는 초기 모더니즘 건축가에 속한다. 그의 건축작품에 나타난 다양한 건축이념은 그를 근대적 기능주의 건축가로, 또는 탈 근대적 이념의 건축가로, 또는 미래건축가라고도 불리게 한다. 또한 구조지식을 통한 형태접근의 전형을 보여주는 건축가, 기술가, 발명가로서의 그의 면모를 보면 어느 한 성격으로 분류하기는 어렵다.

그는 다양한 생태학적 건축모델을 제시하고 있지만, 본문에서는 프라이오토의 생태학적 건축이념을 파악하기위한 출발점을 “자연과학적 형태발전과정”에 우선권을 주어야 한다는 그의 생각에서 시작하려 한다.

귄터 베니쉬(Günter Behnisch)가 설계하고 프라이 오토 자신이 참여한 뮌헨의 올림픽 경기장 지붕에 대해, 오토는 이것이 예술적 조각이라고 비난하면서 다음과 같이 결론 짓는다.

강조된 형태를 만들어내려는 의지는 아직은 알려지지 않은, 그러나 자연의 법칙 아래 놓여있는 형태를 찾아내려는 추구의 과정과는 반대된다.¹²⁾

이 비판은 Frei Otto의 그 당시 구상은 물론 그때까지의 모든 도시 건축에 대한 비판이었다. 그리고 그것은 산업사회에 대한 비판으로서, 그 비판은 역사적으로 프랑스의 사회유토피아를 주창하던 사람들로부터 영국의 전원운동을 거쳐 르 꼬르뷔지에를 포괄하는 것이었다. 프라이 오토가 이로부터 생태학적 건축의 문제에 맞추어지게 된 것은 당연한 귀결이라할 수 있다. 그는 자연의 구조적 원리를 직접적으로 건축의 구성에 적용하는 과정에 대해 다음과 같이 언급하고 있다.

생물학의 형태계는 아주 오래되었다. 반면 현대 기술의 형태계는 매우 최근에 형성되었다. 형태에 대한 질문은 늘 새롭게 제기되어야

한다. 문제는 어떤 형태를 보는 것 뿐 아니라 그것을 “인식하는 것”이다. 그리고 더 나아가 새로운 형태를 발전시키는 것이다. 오늘날 우리가 다룰 수 있는 형태세계에 대해 던지는 질문은 여러 대상들을 비교하는 데 있어서의 바탕이 된다. 생물학과 건축의 형태계 사이에는 단순한 시각적 형태를 본딴 것이 아닌, 형태형성과정의 유사성에 바탕을 둔 동질성이 있다.¹³⁾

프라이 오토는 공기압을 이용한 공기를 폼은 막구조(Pneumatischen Konstruktionen)와 천막구조(Zelt-Konstruktionen), 그리고 가벼운 평면막지붕(Leichten Flächentragwerken)등 일련의 경량건축구조에 대한 연구를 통해 건축에 대한 새로운 생물학적 개념을 정립하고자 했다.



〈사진1〉 뮌헨의 올림픽스타디움(Olympiastadion München), 1968~1972, 귄터 베니쉬, 프라이 오토.

3-1-1 경량건축구조(Leichtkonstruktion)

자연의 구조를 건축적으로 해석한 “경량건축지구조물의 원칙”은 프라이 오토에게 있어서는 기능성의 문제보다 더 중요하다. 이 원칙은 건축을 미학과 연결시켜주는 가교의 역할을 한다. 그러나 그는 “이러한 건축적 오브제들이 기능적이거나 또는 가벼우면 자동적으로 미적이다”라는 구성적 기능주의의 입장을 가지고 있지는 않다. 프라이 오토는 역사적으로 규정되어 있는 개념인 구조적 진지성(konstruktive Ehrlichkeit), 유형(Typus) 그리고 개별성(Individualität)에 맞서 “가벼운 건축오브제”의 미학을 다음과 같이 규정한다.

그것들은 비기능적으로 되지 않으면서 이상적 형태를 갖추고 완성된 상태로 그것의 “진정한 조형형태”를 선입관을 가지지 않은 관찰자에게 보여줄 때 비로소 미적이 되며, 경제적이면서 기능적인 모든 오브제, 이상적인 전형적 형태이면서도 공동성과 개별성을 동시에 반영하는, 즉 개별적인 것에 꼭 나타나는 불완전성을 가질 때 그때 비로소 미적이 된다.¹⁴⁾

그는 기술에 의거한 건축의 문제들을 지적하고, 건축학의 경향에 대한 비판하고 있다. 프라이 오토는 그의 “생체공학”(Bionik)에서 자신이 초기에 가졌던 생물학적 요소에 대한 중립적 태도를 넘어서서 자연의 힘의 법칙을 직접적으로 건축의 구성에 적용한다.¹⁵⁾

경량건축구조물에서 선택을 통해 형태를 발견해내고, 또 최적의 상

11)Frei Otto(1984), Schriften und Reden hrsg. v.Berthold Burkhardt, Braunschweig/ Wiesbaden: Friedr.Viewig und Sohn Verlag, pp.175-177.

12)앞글, p.101.

13)앞글, pp.177-178.

14)앞글, p.208.

15)Hanno-Walter Kruft(1986), Geschichte der Architekturtheorie, München:Verlag C.H.Beck, p.506.

태가 되도록 만들어어나가는 과정들은 생물학의 그것과 유사하다. 생물학적 구조와 기술적 구조들에서 볼때 사람들은 모든 차원에서 그 구조들을 측정하고 비교할 수 있다. 경량건축구조물의 구성을 위해 그는 "Bic"라는 형식을 발전시키는데, 이에 따르면 어떤 매스 전체와 그의 생산물 간의 관계는 그 대상에서 전이된 힘과 이 힘이 전이된 거리를 통해 규정된다는 것이다. 구체적 건축생산물로서의 형태로 나타나는 매스의 유지, 지탱은 이 상태에서 전이되어지는 힘과 이 힘이 전이되는 간격을 통해 구체화 된다.

어떤 매스의 질량이 힘을 전이시키는 능력을 얼마나 가지고 있는가 하는 것은 모든 경량건축구조(Leichtkonstruktion)에서 가장 중요한 척도이다.¹⁶⁾

프라이 오토는 이 관계를 "Bic"이라는 도식으로 설명한다. Bic은 어떤 대상의 질량, 그 질량에서 전이된 힘과 이 힘이 전이된 거리로부터 나오는 형태(제작물)와 어떤 관계에 있는가를 나타내는 도식이다.

질량 G는 Gramm으로 측정되며, 힘 P는 Kilopond로 (Kilogramm의 중량을 나타내는 이학상의 단위), 거리 L은 미터(m)로 측정된다.

$$Bic = G/P \times L \text{ (g/kpm)}$$

일반적으로 P는 최대도 받아들일 수 있는 하중이다.

구성적 유사성의 법칙이 말하는 바는 다음과 같다: 상이한 크기를 가지고 있으면서도 동일한 재료와 기하학적으로 비슷한 형태를 가진 모든 물체는 동일한 유형의 하중을 가할 때 동일한 Bic의 값을 갖는다. 구성적 효율성은 따라서 거의 절대적으로 형태와 재료의 문제이다. Bic의 값을 가지고서 생물과 무생물, 기술과 예술의 모든 분야에 걸친 모든 대상들의 효율성을 모든 차원에서 측정하고 비교할 수 있다. 1g의 질량과 1cm의 길이를 가진 막대기가 1kp의 하중에서 부러진다고 하면 이것의 Bic 값은 1g/kpm이다. Bic은 경량건축구조에서 가장 중요한 선택요인이며, 모든 생물학적 구성에서도 이 점은 마찬가지이다.

위로부터의 하중을 받는 구조는 끌어당기는 힘을 받는 구조보다 높은 Bic 값을 갖는다. 누르는 힘(압축력)을 어떤 구간만큼 전이시키려면, 즉 어떤 일정한 압축력으로 어떤 구조를 이동시키려면 그것을 끌 때 필요한 질량보다 몇 배, 열 배, 때로는 천배가 넘는 질량을 필요로 한다.¹⁷⁾

이것은 생물학에서 뼈의 경우에 적용될 수 있으며 건축에서는 다리나 등근지붕 그리고 집들을 지지하는 얇은 지지대의 경우에 적용될 수 있다.

건축들을 설계할 수는 없을 것이다. 단지 지속적인 모색을 통해 그 건축들이 최종적 형태를 취하도록 도울 수밖에 없다고¹⁸⁾ 하는 프라이 오토가 생각하는 생물학적 건축은 경량건축의 구성의 예에서 나타나듯이 건축학적 설계를 통해 기술적 해결책을 찾기 위해 노력하는 것이 아니며, 가벼운 건축의 구성이 지닌 법칙성에 따라 "형태를 발견

해나가는 과정" 자체가 곧 생물학적 건축인 것이다. 위에서 살펴본 프라이 오토의 건축에 있어서 구조적 특성을 일례로 건축의 과정을 효율적으로 풀기 위해서는, 최소재료의 최적조작이¹⁹⁾ 필요하다는 점을 발견 할 수 있다.

이는 건축적 형태에서도 "절약체계의 가능성"을 찾아야 하는 생태적 환경의 일부로서의 건축이 지녀야할 가장 근본적인 윤리성에 부합한 의미로 파악된다.

건축을 최소한의 장비로 구성하고, 환경에서 개인의 자유를 구한다고 하는 절약체계를 적용한 프라이 오토의 사상은 변화하는 인간의 사용패턴에 적응하는 구조체를 만들어 내는데 기여한다.

프라이 오토의 관심은 텐션구조에서 발견되는 본질적인 유연성을 논리적으로 확장시키는 것이다.²⁰⁾

그는 공기를 품은 막구조(Pneumatischen Konstruktionen)와 천막구조(Zelt-Konstruktionen), 그리고 가벼운 평면막지지물(Leichten Flächentragwerken)에 대한 구조적 해결을 통해 자연적인 생물학적 건축(Natürliche und biologisches Bauen)에 대한 새로운 개념을 정립하고자 했다. 그는 이러한 관점을 발전시켜 인간의 상상력을 촉발하는 다양하고, 창조적인 생태학적 건축개념을 제시하고 있다.

3-2. 건축 생물학적 공간개념

3-2-1 성장하는 공간

1920년대에 후고 헤링(Hugo Hering)²¹⁾은 동시대의 다른 사람들과는 다른감각으로 기능주의 건축의 개념을 설명했다. 기능과 형태를 "삶의과정들"이라는 총체적 다양성과 결부시키고, 불규칙한 건물 모양과 복잡한 평면을 만들어 냈다. 그가 1927년에 쓴 "우리앞에 놓인 과제"에서 다음과 같이 말하고 있다.

중요한 것은 내부로부터, 그리고 실질적 삶의 과정으로부터 시작하여 주택을 계획하는 것이며, 또한 배치에 있어서도 이런 원칙을 적용하여 진행시키는 것이다. 건물의 외피는 출발점으로부터 이루어지는 것이 아니라, 모든 유기적 구조물의 외피와 마찬가지로 결과로서 도출된다. 직사각형 평면내부에 가구를 배치하는 대신에 가구의 주위에 벽을 설치해야 하며, 그럴경우에 벽들은 직사각형 건물이 최종 결과물이지는 않을 것이다. 따라서 벽들은 절대적 수직형태가 아닌 자연적 질서에 도달할 것이다. 공간은 그 목적에 맞게 조성되며, 그 속에서 삶을 영위하는 사람들과 생활로부터 그 형상을 부여 받게 될 것이다. 즉 그것들은 삶의 부분이 되어야 하며, 그것을 담당해야 한다. 아직도 많은 사람들이 유기적 총체로서 주택을 개발하고 "기능을 충족시키는 형태" 이상으로 성장하게 하거나 인간의 조직과 피부로서 주택을 바라보는 생각을 품지 못하고 있다.²²⁾

인간을 감싸는 피부의 형태는 액체를 담은 조직의 여러 압력과 몇몇

19) Philip Drew, 최 무혁 역(1987), 건축의 제3세대, 서울:기문당, p.173.
20)앞글, p. 175.

21)헤링(Hugo Hering, 1882-1958) 독일의 근대 건축가 스투트가르트 공과 대학과 드레스덴 공과대학에서 수학. 베를린에서 건축가로 활동하였으며, 1935-1943년에는 베를린 사립 미술학교의 교장 역임, 유기적 건축에 관한 이론정립에 힘썼으며, 그에 관한 수많은 글과 발표문을 남기고 있다.

16)Frei Otto(1984), Schriften und Reden, p.179.

17)Frei Otto(1984), Schriften und Reden, p.180.

18)앞글, p.46.

부분을 지지하는 뼈대부분에 의해 형성된다. 팽팽한 피부는 인간에게서 가시적으로 볼 수 있는 표면이다. 그것의 인간의 이미지를 형성한다. 팽팽하게 당겨진 피부는 막(Membran생물학에서 얇은 피막을 의미함) 구조의 구조형성법칙을 따른다.

건축분야에서도 쓰이는 공기막 구조물, 즉 기구와 같이 공기나 액체 또는 조직들을 둘러싸고있는 막, 즉 표면들은 그 형태를 통해 특별히 "인간처럼", 감각적으로 작용한다.²³⁾

전형적인 생물학적 구성형태는 그것이 지지하는 것의 형태양식에 영향을 끼친다는 것과 관련지어 생각할 수 있다.

1960년대에 건축가 외에도 생물학자, 인류학자, 식물학자, 고생물학자들이 참여한 연구모임인 "생물학과 건축"에 참여하게 되면서 프라이 오토는 자신이 불만족스럽게 생각했던 생체공학의 통속적 유추방식을 극복하려 하였다. 19세기 중반의 생체공학이 바탕이 되어 나온 에른스트 헤켈(Ernst Haeckel)의 "예술가로서의 자연"이라는 관점은 오랫동안 하나의 척도가 되었으나 이것은 후에 주로 외양을 모방하는 것으로 건축가들에게 수용되어졌다.²⁴⁾ "생물학과 건축"이라는 모임에서 오토는 예전에 직관적으로 수행되었던 형태유추를 학문적으로 체계화함으로써 극복해보려 하였다. 적응능력이 있는 경량건

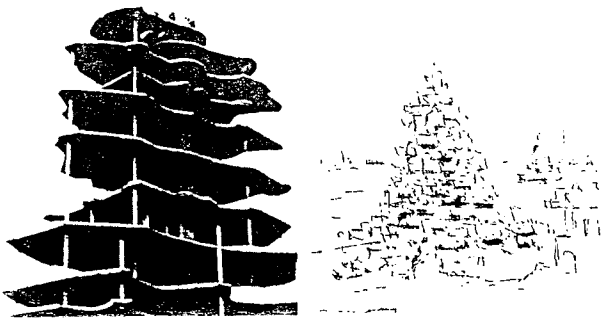
축구조는 자연에서 최적화와 선택의 과정을 겪는다는 인식을 갖게 됨으로써 오토는 인간에 의해 만들어진 건축형태도 자기형성의 과정으로 파악하게 되었다. 그리고 이러한 자기형성과정을 통해 자연과 기술이 연결되는 것으로 생각하였다.

3-2-2 유동적 공간

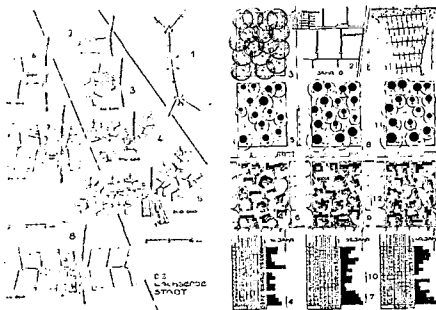
프라이 오토에게 있어서 천막구조(Zelt-Konstruktionen)는 낙원과 같은 비전을 던져주는 형태이다. 그것은 물론 자유로운 이동이라는 관념과 결합되어 있다. 건축의 테마로서의 이동의 자유로움은 기념비적이고 위압적인 건물에 반대하는 가볍고 개방적인 건축의 전복성과, 일상적 경험 안에서 견지되는 희망의 원칙으로 자유의 건축에 대한 표시였다.

천막구조는 스스로 이동성을 지닌 구조 이면서도 주변을 공원주거지역으로 통합시킬 수 있는 최선의 주거문화를 제공할 수 있는 것으로 간주된다.²⁵⁾

새로운 시대는 우리들이 각 지방의 고유한 기후로부터 벗어날 수 있는 가능성을 조성해 준다. 높은 비행기 안에서, 바다 한 가운데 떠있는 배 안에서, 북극지방의 사무실이나 적도 아래 집에서 우리는 안락하게 느낄 수 있는 동일한 세계를 만들어낸다. 비행기나 배와 집은 말하자면 매우 유사하며 본질적으로 동일하다. 집은 하나의 기계이다. 그것은 무게가 없이 나무 사이에서, 바위와 암초 위, 또는 황폐해진 도시의 돌 사이를 떠 다니는 아름다운 형체들을 담는 그릇이다. 오토가 실현하고자하는 건축공간은 기본적으로 인간의 사용패턴에 맞게 적용할 수 있는 구조체이다.



(사진 2) 1987 베를린 국제건축전에서 "생태나무 집들"에 대한 기초구조 아래 층에는 주차장을 두고 여러 층으로 나뉘 지붕마다 녹지로 조성되고, 집이 지어지는 여러 층들은 중심의 축으로부터 나무처럼 사방으로 성장할 수 있는 구조를 이루고 있다.



(그림 2) 성장하는 도시 확장 가능한 핵을 지닌 "고속도로가 지나가는 도시"의 성장에 대한 묘사, Frei Otto, 1959." 성장하는 도시"라는 개념하에 Otto는 교통에 용이하도록 수평으로 층을 이룬 고속도로도시를 설계했다. 이것은 각각의 중심핵이 여러 개로 확장될 수 있으며 평지의 주거 단위가 500명의 주민을 위해 짜여진 것이므로, 이것은 주민의 수가 20000명까지를 포괄하는 주거단위로 성장할 수 있게 되어있다.



(그림 3) 천막도시안의 천막주택 취사, 숙박시설을 갖춘 여행용 차는 자기 집 대신에 집을 둘러싼 정원에 세워둘 수 있다. 전원도시와 비슷한 구조의 도시안에 이동식 집을 계획. 주변 여건에 적용할 수 있는 거주 단위에 대한 생각은 사회적, 경제적 전제 하에서 시작된다. 공간에 대한 사람들의 변화하는 요구와 그때마다의 재정적 능력에 따라 사람들은 부분적으로, 또는 분할하여 건축한다.



(그림 4) 부유하는 섬 : 공기를 품은 막구조의 지붕-프라이 오토의 아이디어 스케치 1967.

22) Heinrich Klotz, 양 동양 역(1994), 현대건축론, 서울:기문당, pp.36-37.

23) Frei Otto(1984), Schriften und Reden, p.181.

24) 앞글, p.86.

25) Heinrich Klotz(1977), Architektur in der Bundesrepublik, Berlin/Frankfurt: Verlag Ullstein GmbH, p.258.



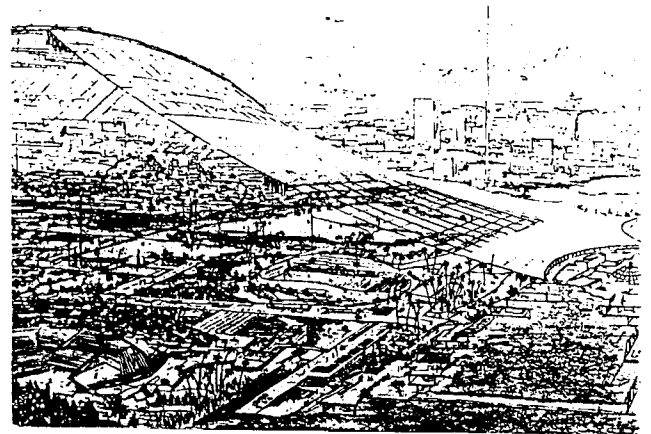
〈그림 5〉 부유하는 도시 : 아이디어 스케치 1959.

3-2-3 개방적 공간

모든 인간은 아주 상이한 개체이지만, 지구상의 모든 나라들의 건축가들은 매우 비슷한 집들을 고안해 낸다. 말하자면 모든 유형의 인간과 관련되어 있는 건축의 경향이 있고, 이 경향에서 볼 때 인종적, 민족적, 지역적 차이가 일반적으로 생각하기 보다는 매우 부수적인 역할을 한다. 더우기 민족들의 외형적인 차이는 성격과 사고방식과 같이 보이지 않는 차이보다 훨씬 뚜렷하게 느낄 수 있지만 주거에서 근본적인 역할을 하는 것은 바로 보이지 않는 후자라는 점을 알 수 있다.²⁶⁾

여러 개인이 모여서 형성하는 사회에서의 구성원들이 어려움을 갖게 되는 요인은 여러개인이 모인 집단이라는 상황자체가 아니라 그 개인들을 결합시키는 힘, 즉 분리하고 결합하는 힘을 상실하는 것이다. 인간의 행동공간으로서의 건축적 공간도 마찬가지로 각 부분간의 연결이 원활하지 않으면 그것으로부터 건축공간 본연의 기능성 상실로 인한 많은 문제점들을 야기시키게 되는 것이다. 인간의 주변환경으로 작용하고 있는 기존의 건축공간은 시간과 장소, 그리고 건물의 유형에 관계없이 획일적인 일정한 방식으로 구성되어 졌다는 것을 발견할 수 있다. 즉 사적 주거형태로부터 거리와 도시의 공적인 영역으로 나가는 길은 형태로나 기능적으로 교류요소가 최소화된, 사람이 살 수 없는 공간을 통과하게 되어 있다.²⁷⁾ 네덜란드의 건축가 알도 반 아이크(Aldo van Eyck)가 언급했듯이 집은 작은 도시 같아야 한다. 그렇지 않으면 그것은 제대로 된 집이 아니다. 반면 도시는 커다란 집과 같아야 한다. 그렇지 않으면 그것은 제대로 된 도시가 아니다. 건축공간은 열린 체계로 구성되어야 하며, 개인과 사회, 내부와 외부의 상호교류가 가능하여야 한다. 천막과 개방적인 공간의 연속체를 하나로 결합시키는 것이 프라이 오토가 시도한 것이었다. 그 이면에는 유토피아적 세계에 대한 비전, 또는 "좋은 거주지로서의 지구"에 대한 비전이 있었다. 또한 프라이 오토는 비누거품의 형태에서 최소 텐션의 표면이 생긴다는 점에 착안하여, 단위면적마다 동일한 장력을 가진 피막의 분포상태를 성립시킬 수 있게 된다. 즉 구조 전체에 같은 중량의 케이블과 동일형태의 네트를 사용할 수 있다. 이러한 구조를 가능케하는 재료는 아주 저렴한 가격으로 얻어진다. 또한 이러한 구조는 도시를 덮을 수 있는 거대한 건축, 피막구조의 가능성을 제시하게 한다. 지금까지의 건축에서의 지붕의 의미는 너무 축소되어 있었다. 그것은 무엇보다 삶의 공간을 확장해주는 역할을 하지 못했다는

것이였다. 그렇게 볼 때 막구조의 지붕은 단순히 공간을 덮거나 끝맺음하는 것 이상이며, 하늘 아래에서 주거의 장소를 제공해 주는 것으로서 이용되고 활성화될 수 있는 것이다. 이러한 건축적 구조내에서 발생하는 유동적이고 개방적인 내부공간은 그대로가 자연공간이기도 하며, 집의 피막이자 도시를 포괄하는 주변환경으로 작용한다. 그는 이러한 인간의 행위공간영역을 확장시키는 건축공간의 이상을 제시함으로써 자연과 건축사이의 대립을 극복하고 경계를 없애고자 노력 하였다.²⁸⁾



〈그림 6〉 아이디어 스케치, 프라이 오토



〈그림 7〉 공기막 지붕구조

4. 프라이 오토의 건축에 나타난 생태학적 공간조형특성

이태리의 건축가인 솔라리(Solari)는 그가 만든 건축구조물을 "자연의 전체성에 속해있는 새로운 자연"이라고 한다.²⁹⁾

앞의 3장에서도 언급한 바와 같이 환경의 문제는 결국 생물학적, 생태학적 문제이며, 생태학과 건축의 관계는 실질적이고 실용적인 필연성을 지닌다.

프라이 오토는 인간처럼 감각적으로 작용하는 유기적 속성을 지닌 건축물을 구조적 해결을 통해 정립하고자 했다. 성장하는 공간, 유동

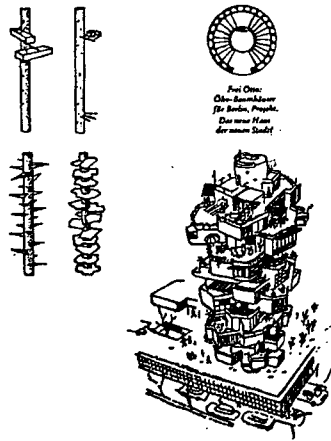
26) 앞글, p.14.

27) Günther Fischer(1987), Abschied von der Postmodern, Braunschweig/Wiesbaden: Fried.Vieweg und Sohn, pp.102.103. 참조.

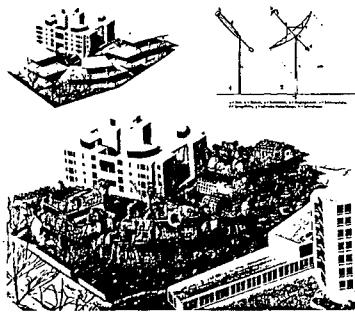
28) Vittorio Magnao Lampugnani, 김 경호 외 공역(1995), 현대건축사조개관 Architektur und St dtb des 20Jahrhunderts, 서울:기문당, p.237. 참고.

29) Hanno-Walter Kruft(1986), Geschichte der Architekturtheorie, München:Verlag C.H.Beck, p.511

적인공간, 개방적인 공간이라는 생태학적 건축개념을 적용한 프라이 오토의 건축작품에 대한 공간조형특성을 분석해 봄으로써, 건축을 형태와 재료의 관계를 통해 구성적 효율성을 제고할 수 있는, 생태적 시스템으로 이해하는 생태건축 디자인 방식에 대해 고찰하고자 한다.



〈그림 8〉 "생태나무 집들"에 대한 기초구조

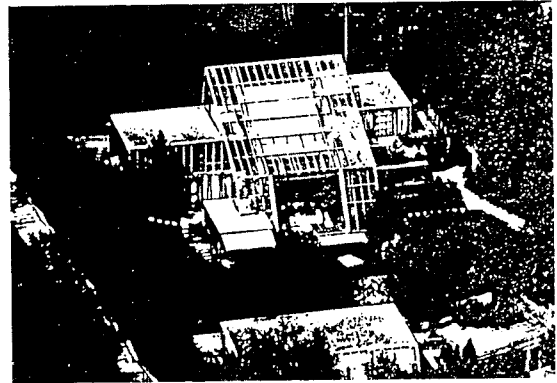


〈사진3〉 생태나무집의 모형과 태양열 집열기, 아이디어 스케치.

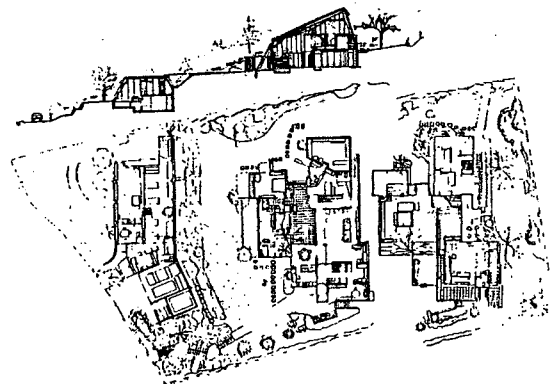
특히 에너지 절약형 건축이라는 문제에 초점을 맞춘 1987년 국제 건축전에서 프라이 오토는 생태나무주거(ko - Baumh user)라는 공중에 매달려 있는 집(H ngehausverfahren)으로 지을 것을 제안했다. 이 계획에 따르면 아래 층에는 주차장을 두고 여러 층으로 나눠 각 지붕마다 녹지로 꾸미게 되어있다. 그러한 집의 여러 층들은 중심의 축으로부터 나무처럼 사방으로 성장할 수 있게 되어있다.³⁰⁾ 이 구조 위에는 여러개의 개별형태의 주택들이 하나의 생태학적 적합성을 공유한 집합주택을 형성한다. 이 공동주택에 속한 모든 개별 주택은 그 주인의 녹화에대한 선호정도에 따라 실내와 실외정원을 가지게 된다. 프라이 오토는 이러한 공중에 매달린 녹지공간에 인공 연못을 조성하여 자연 서식지로서의 녹지공간을 고층에서도 누릴 수 있게 계획하였다.

유리 피막구조를 지닌 실내정원을 둠으로써 자연 태양열의 실내공급을 원활하게 하고 실내조경으로 인한 주거내 공기정화에 효과적 기여를 할 수 있는 요소로 활용하고 있다.적극적이며, 수동적인 모든방

식의 태양열 이용에 관심을 기울여 거대한 바깥 창면에는 잔디지붕을 도입함으로써 보온효과를 높이고 태양열 집열판을 우산형태의 펼칠수 있는 구조로 설치하여 태양광선의 방향에 따라 수시로 조절할 수있게하여 효율성을 높인다. 그는 이 집합주택의 안을 통해 자연 유기체 구조의 적용을 통한 독립적이면서도 개방적 주거형태의 대안을 보여주고 있다. 자연에 속해있는 자연 체계로서의 건축은 인간을 자연유기체의 하나로 인식하고 또다른 개체들과의 연관성을 지니는 것으로 가능할 것이다.



〈사진4〉 바름브론에 있는 오토의 작업실 겸 주택전경



〈사진 5〉 단면도, 평면도



〈사진 6〉 내부공간

30)Frei Otto(1985), pp.108, 109 참고. Friedensreich Hundertwasser (1996), Für ein natur und menschengerechters Bauen Hundertwasser Architektur, K ln:Taschen, pp.70-71, 92-105. 참고.

또다른 프라이 오토의 생태주거의 훌륭한 예는 바름브론(Warmbronn)에 있는 건축가 자신의 집이다. 이 집은 상하 두 개의 영역으로 나뉘어 있으며 도로쪽으로는 아틀리에 건물이 있으며 그 위에는 행인들이 볼 수 없게 되어있는 주거지가 있다. 두 개의 건물은 조그마한 언덕에 밀착되어 있다. 주거지는 중앙에 거실이 있고 그 위에는 온실이 있으며, 온실은 철로된 지지대 사이를 철사유리로 덮은 형태로 남쪽에는 문을 달고 위쪽으로 통풍이 가능하게 차양을 했다. 그 것의 왼쪽과 오른쪽에는 가족들을 위한 거실이 있고 이 것들은 가는 줄기를 가진 나무들로 바깥쪽을 치장해 안이 보이지 않게 했다. 80년대의 생태주거들(Ökohäuser)을 보면 그가 50년 말에 "도시의 재 낙원화"라고 이름했던 것을 다시 실현한 것처럼 보인다.

그가 해 놓은 공간구성에서 읽어낼 수 있는 것은 어떤 공간을 지각하는 가능성을 개인들의 자유로운 지각능력에 맡기려는 희망을 가지고 있다는 점이다.

이러한 의도에는 아마도 두 가지의 결정적인 이유를 들 수 있을 것이다.

그 하나는 오토의 자연과학적 세심함으로서 이는 재료의 성격을 고려하는 것으로 나타난다.

다른 한편으로는 자연에 대한 이해로서, 이는 오토가 인공적인 사회적 환경 속에서 자연적인 것이라고 불릴만한 것을 추구하는 과정에서 항상 고려하는 결정적 틀이 된다.

자연체계로서의 건축물은 생물서식지의 흐름을 단절시키지 않아야 한다.

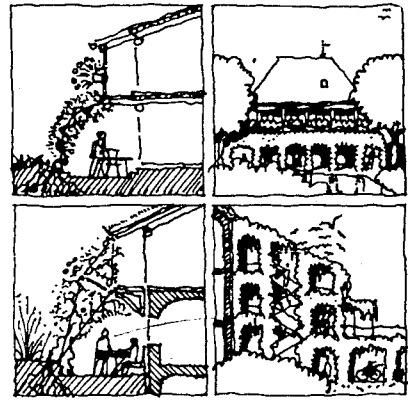
지면을 새롭게 분류함으로써 대지(Grundlage)를 생물학적으로 완전한 가치를 지니는 것으로 만들지 못한다면 우리의 대도시 상황을 건강하게 만드는 유일한 기회를 불필요하게 소모해 버리도록 방치하는 것이 된다. 위에 제시된 그의 생태건축의 예를 보면 오토는 공중에 매달린 녹지공간에 인공연못을 조성하여 자연 서식지로서의 녹지공간을 고층에서도 누릴 수 있게 계획하고, 건물의 전면에 잔디를 피막을 입히듯 지붕과 벽면에 도입함으로써 생태계의 생물 서식지의 흐름을 단절하지 않는 자연의 일부로 건물을 편입시키려 한다

바름브론(Warmbronn)에 있는 주택에서와 같이, 건물들의 전면과 지붕이 조그마한 언덕에 밀착되어 있는 형태로 구성 되어, 외부 기후와 바람의 영향을 최소화 하는 효과를 지니게 만들어 졌다. 또한 잔디지붕을 설치하는 것과 같이 자연요소를 건물 내외부에 적극적으로 도입하는 것은 주변환경의 생태적 질서를 깨뜨리지 않으면서, 에너지 절약효과와 도시의 오염요소로부터 건축물과 그 안에서의 인간의 생활을 보호하여주는 복합적인 효과를 지니게 된다.

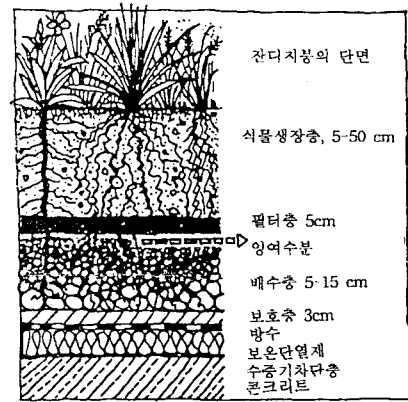
단순히 건물 지붕과 파사드에 잔디를 입히는 것만으로도 그 건축물은 단열효과, 방풍효과, 방수효과, 보냉효과, 공기정화효과, 방음효과를 동시에 얻을 수 있다³¹⁾.

이 건축물의 대지와와의 위치관계, 벽과 지붕의 형태, 유리 파사드, 지

붕의 잔디녹화 등의 요소들은 주변 자연환경에 적응성을 지닌 생태학적 공간구조의 특성을 나타내고 있다.

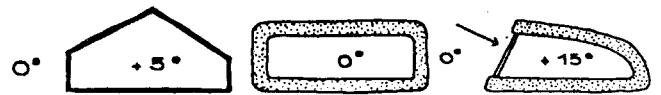


〈그림 9〉 구조벽이 없이도 건물전면을 타고 올라간 덩쿨은 건물외부공간에 내부공간으로 사용할 수 있는 여유공간으로서의 녹지공간을 자연스럽게 만들어 낸다.



〈그림 10〉 잔디지붕의 단면

프라이 오토는 집을 기후를 보존해주는 싸개로 이해한다. 자연을 종속시키려는 의도로 만들어진 건축물은 단순히 인간의 공격적 도구에 지나지 않는다는 것이다. 1952년 이래 그는 주택을 기후보존의 싸개로 작용하게 하려는 작업을 시작했다. 주택구조에서 그는 태양에너지를 수동적으로 이용하며, 차광장치와 소음방지유리를 통해 내부의 자연적 기후를 개선할 수 있었다.

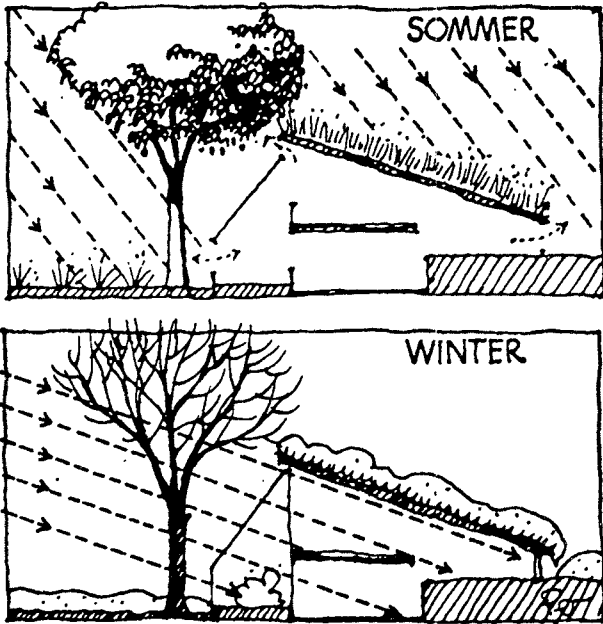


〈그림 11〉 열을 가하지 않고도 따뜻한 점의 유리창. 난방을 하지 않은 유리집의 평균적인 기온은 주변의 온도보다 높다.

창은 햇빛을 가두는 함정이다. 창을 통해 들어온 태양열은 건물의 내부에서 사람의 체온처럼 작용하게 된다. 그렇게 더워진 몸체에서 나온 온기는 들어왔던 창문을 다시 뚫고 나가지 못한다. 위의 그림에서 나타나고 있는바와 같이 열을 가하지 않은 유리집의 평균적인 기온은 주변의 온도보다 높으며, 열을 가하지 않은 내부공간의 기후, "자연적" 내부기후는 햇빛을 받는 창 면적과 단열이 되는 면적의 비율에 직접적인 영향을 받는다. 유리로 된 집의 기후는 외부로부터 격리된 공간보다 따뜻하다. 내부의 평균기온이 가장 높고 상승하는 것은 창이 태양을 향하고 다른 곳은 막혀진 집에서이다. 단열을 하지

31) P. und M. Krusche, D. Althaus, I. Gabriel(1982), Ökologisches Bauen, Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GMBH, p.91. Bauer-Böckler(1996), Häuser ökologisch geplant, Taunusstein: Blottner Fachverlag GmbH, p.70.

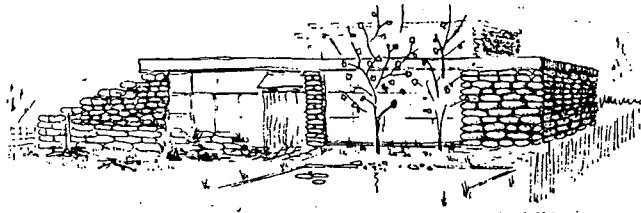
얇은 집에서는 창을 통해 비쳐들어온 온기가 이동하며, 서서히 외부로 다시 나간다. 단열이 제대로 되어있을수록, 열이 되돌아 나가는 것이 느리며 내부와 외부의 온도 차도 크다.³²⁾



〈그림12〉남향의 전면창과 바깥에 서 있는 나무와의 관계를 이용한 자연적 실내기후 조성의 예

바름브론에 있는 오토의 주택의 공간구성에서도 잘 나타나 있듯이, 인공적인 난방장치의 도움이 없이도 자연적인 실내기후가 좋은 조건을 가질 수 있는 곳에 건물을 위치하게 한다든지, 햇빛을 받는 창을 남쪽으로 향하게 함으로써 공간의 온도를 여름에는 시원하고 겨울에는 따뜻하게 유지할 수 있다. 또한 여기에서처럼 건물에 유리전면을 설치하고, 실내 공간구성에 있어서 “집 속의 집(Haus im Haus)”의 방식을 도입하여, 내부공간에 다중적인 피막구조를 형성하여 자연스럽게 실내공간의 보온효과를 높이고 있다. 이러한 공간구성은 실내 공기흐름을 유도할 수 있는 장치가 된다. 다중적 유리 피막구조의 적용은 에너지활용의 차원에서도 효과적이지만 실내공간의 영역을 확장해주는 시각적 효과를 동시에 거둘 수 있다.

프라이 오토는 대지위의 배치를 단순히 건물전면에 걸친 유리사용의 구조적 적용과 내부공간의 구성방식을 조정함으로써 에너지 절약과 자연적 공기순환 효과를 지니는 생태학적 건축설비 시스템의 가능성을 시사하고 있다.



〈그림13〉자연재료를 통한 가변 주택 : 모래로 채워진 주머니로 만이루어진 지면 위의 주택, Frei Otto, 1959

현대인이 일생동안 90% 이상의 시간을 단려진 실내공간에서 지내고 있다는 점을 감안할 때 건축공간이 건강한 환경으로 조성되어야 할 필연성을 갖는다. 건축공간은 제2의 피부로 불리는 의복에 이어 제3의 피부로 여겨진다. 이 제2, 제3의 피부도 신체의 피부처럼 인간의 건강에 지대한 영향을 끼친다. 사람들은 주택이 화학적인, 기계적인, 기후적인 여러 외부의 영향으로부터 자신을 보호해주는 기능을 갖기를 기대하는 한편 실내에서 될 수 있는 한 신선한 공기를 누리기를 희망한다.

사람이 두꺼운 플라스틱 외투를 입는다면 피부가 숨을 쉬지 못하는 것과 마찬가지로 건축물도 합성수지의 사용으로 지붕과 벽체가 숨을 쉬지 못하며, 실내공기의 순환이 어렵게 되는 것이다.³³⁾ 실내 마감재는 거주인의 건강과 편안함, 실내기후를 결정짓는 가장 중요한 요소가 되기 때문에 건축자재 특히 내장마감재들은 가능한 한 자연재를 사용하여야 한다.³⁴⁾

프라이 오토에 있어서 친환경적 재료사용이라는 것은 재료를 사용하지 않는 것이 가능하다는 데에 까지 이르는 것을 의미한다. 건축의 탈재료화의 최저경계는 재료가 없이 구조를 만드는 것이다. 그가 오랜 기간 연구해온 경량건축(Leichtbau)은 일반적으로 될 수 있는 대로 좋은 형태를 갖춘 아주 견고한 재료를 사용한다. 그리고 공기압축 구조를 사용하면서 물과 공기를 포함하여 가능한 한 값싼 경제적 재료들을 건축에 도입한다.³⁵⁾

공기를 가지고 건축하는 것은 그에게 있어서 이상향의 이야기가 아니다. 이러한 탈재료화는 상당한 적응력을 갖고 실제 적용이 되어지고 있다. 보다 적은 건축 재료를 써야한다는 것은 자연적 삶의 공간 안에서의 필연적인 지시사항이기도 하다. 경량건축을 통해 구조는 유동적이 되고 제작이나 결합 그리고 해체하는데 드는 시간이 줄어들므로해서 건물을 보다 빨리 새롭게 만들 수 있게 된다. 또한 다양하고 창조적인 건축형태의 가능성을 열어주고 있다.

생태학적 건축자재를 선택할 때에 고려해야 할 조건들을 살펴보면 건강에 긍정적 영향을 주는 것이어야 하며, 에너지 절약체계로서 기능할 수 있어야 한다. 또한 유해요소로부터의 보호구조를 지녀야 한다. 빗물의 적절한 관리와 재 활용 가능성, 재료의 성격과 비용의 적절성 등이 점검되어야 한다. 이미 위에서 살펴본 바와 같이 프라이



〈그림14〉녹색 천막의 구성을 가진 주거지에 대한 아이디어 스케치, Frei Otto, 1967/68

기능으로부터 전개되는 최소 재료의 형태에 관심을 가지고 환경적인 개인의 자유를 추구하는 건축을 이루기 위한 오토의 노력이 대지를 보존할 수 있는 건축구조로 제안하고 있는 이 녹색천막구조에 잘 반영되어 있다.

33)P. und M. Krusche, D. Althaus, I. Gabriel(1982), Ökologisches Bauen, p.227.

34)Dieter Beisel(1987), Bauen und Wohnen, München: dtv, p.113.

35)앞글, p.78.

32)Frei Otto(1984), Schriften und Reden, p.20

오토의 생태건축에는 다양한 자연재가 창의적으로 도입되고 있으며, 또한 재료의 최소화가 적용되고 있다. 그의 건축에서 우리는 식물과 물, 더 나아가 공기와 같은 자연요소를 생물체의 구조원리에 맞게 건축구조에 적극적으로 활용하려는 의도를 파악할 수 있다.

5. 결론

자연생태계의 질서는 인간과 동물이 지구상에 존재하는 모든 개체의 존재에 근본적으로 작용하는 체계이다. 그러한 질서는 모든 개체의 존재의미이기도하고 존재 형태에 직접적으로 관여한다. 인간은 이 원리에 반하는 체계성을 지닌 인공적인 물리적 환경을 구성함으로써 자연질서체계의 효율성을 지속적으로 감소 시켰으며, 그에 따른 결과로 인해 피폐한 생활환경속에 생존위기를 느끼는 자가당착에 직면하게 되었다.

프라이 오토는 인류가 추구하는 건축의 원형(das Ursprüngliche)을 추구하는데 있어서 비용을 들여 사람들의 손이 닿지 않은 미지의 어떤 곳을 찾아가는 방식을 취하는게 아니라 일상 속에서 그것을 구현하려한다. 그 방식에 있어서도 형태적인 측면에서의 원형적인 것을 재생시키는게 아니라, 그가 인간의 문화심리적 원형에 해당하는 형태라고 생각하는 보금자리를 재생시키려한다.³⁶⁾

그가 이루고자 하는 것은 인간의 삶에 근접해 있는 건축기술이며, 또한 인간이 사는 지구에 잘 적용할 수 있는 건축을 완전한 단계에까지 이르게하는 것이다. 변화와 발전 속에서 인간이 진실로 기댈 곳은 발전과 함께 조용한 움직임 가운데 변화하는 요소들이다. 즉 매 시간마다 최선의 형식을 만들어가면서 동시에 변화해 나가는 그런 것이다. 우리는 장차 어떻게 살게될 것이가에 대한 물음에 프라이 오토는 건축의 분야에 관하여 다음과 같이 언급한다."점점 더 고도로 발전해 나가는 건축술은 성장하는 생물학적 전체형상의 일부이며, 우리는 그 건축술과 더불어 그리고 그 건축술을 통해 계속 살아나갈 것이다." 그는 주변경관과 주변 자연환경에 순응하는 혹은 적합성을 지닌 구조와 형태의 건축물을 지향함으로써 에너지절약체계의 도입가능성을 시사하고, 생태적 미학의 의미를 일깨운다.

자연의 유기적 무기적 존재 자체를 에너지로 사용함으로써, "생태학은 자연의 절약"이라는 관점의 경제적 원리로 건축을 구성한다. 이는 생태적 환경의 일부로서 미래의 건축이 지녀야할 가장 근본적인 윤리성에 부합한 중요한 관점으로 파악된다. 지금까지 본문에서 다룬 그의 건축의 생태학적 공간개념을 통해 살펴 본 결과, 그가 인공적인 사회적 환경 속에서 자연적인 것을 추구하는 과정에서 항상 고려하는 결정적 틀이 되는 것은 단순히 자연적 형태가 아닌 그 속에 내재한 생물학적 원리를 적용함으로써 재료와 구조를 고려하는 것으로 나타난다.

그의 건축에 나타난 공간디자인에 관한 생태학적 특성을 종합해 보면 다음과 같다.

첫 번째로 들 수 있는 특성은 자연요소의 적극적 도입이다. 살아숨쉬

는 생명체, 자연적요소를 건축요소로 적극적으로 활용함으로써 건축의 기능적 효율성을 제고 시키는 효과를 지닌다. 물과 공기, 나무, 풀 등의 자연요소를 구조적이고 역학적인 관계성속에 다룸으로써, 생태계의 생물 서식지의 흐름을 단절하지 않는 자연의 일부로 건축물을 편입시키며, 창의적인 공간조형의 모범을 제시하고 있다.

둘째, 건물의 위치와 방향, 재료의 구조적 적용과 내부공간의 구성 방식을 조정함으로써 에너지 절약과 자연적 공기순환 효과를 지니는 생태학적 건축설비 시스템의 가능성을 시사하고 있다. 실내 공간구성에 있어서 "집 속의 집(Haus im Haus)"의 방식을 도입하여, 내부 공간에 다중적인 피막구조를 형성하여 자연스럽게 실내공간의 보온 효과를 높이고, 자연적 공기순환 장치로서의 기능을 지닌 구조방식이 된다. 이는 에너지활용의 차원에서도 효과적이지만 실내 공간의 영역을 확장해주는 시각적 효과를 동시에 거두는 공간구성의 예를 보여 주고 있다.

다중적 실내공간 구성으로 인한 공간의 개방적 관계성은 불필요한 분할을 초래하지 않아서 자재사용의 효율성을 제고 시키는 장점이 있다.

셋째, 건축의 탈재료화추구, 경제적이며 자연의 순환체계에 적합한 재료사용, 건축을 최소한의 장비로 구성하고, 환경에서 개인의 자유를 구한다고 하는 절약체계를 적용한 프라이 오토의 사상은 변화하는 인간의 사용패턴에 적응하는 다양한 구조체를 만들어 내는데 기여한다. 공간 내부에 자연요소의 도입과 재사용이 가능한 자연재의 사용은 자연스럽게 장식적 요소의 배제와 관계되며 건축구조물이 오염물질을 생산하는 주범이 되는 것을 피하며, 건축물 그 자체가 쓰레기로 남는 악순환의 고리를 탈피하는 방식이 된다. 생태학은 자연적 소재로 구성된 것은 자연스럽다는 단정을 내리지 않는다. 생태학은 어떤 연관관계를 가지고 작용하는가에 의문을 갖는 것이다.³⁷⁾

자연과 인간과 건축의 상호작용을 작업해내고 이해시키려는 프라이 오토의 생태학적 건축공간 조형의 예는 단순한 부분요소들의 조합을 넘어서서 보다 높은 질서를 지닌 구조, 복합적 자연체계로서의 건축공간에 대한 다양한 가능성을 제시해 주고 있다.

참고문헌

1. Anthony (Giddens, 이 윤희 외 공역(1991), 포스트 모더니티, 서울 : 민영사.
2. Eugene P. Odum, 이 도원 외 공역(1995), 생태학, 서울 : 민음사.
3. Vittorio Magnao Lampugnani, 김 경호 외 공역(1995), 현대건축사조개관 Architektur und St dtb des 20Jahrhunderts, 서울 : 기문당.
4. Kenneth E. Boulding(1985), 이 정식 역(1990), 토털시스템으로서의 세계 The World as a Total System, 서울 : 범양사
5. Philip Drew, 최 무혁 역(1987), 건축의 제3세대, 서울 : 기문당.
6. Heinrich Klotz, 양 동양 역(1994), 현대건축론(Moderne und Postmoderne), 서울 : 기문당.
7. Frei Otto(1984), Schriften und Reden hrsg. v.Berthold Burkhardt, Braunschweig/ Wiesbaden: Friedr.Viewig und Sohn Verlag.
8. Hanno-Walter Kruft(1986), Geschichte der Architekturtheorie, München:Verlag C.H.Beck.
9. Friedensreich Hundertwasser(1996), Freinatur und
- 37)Karl-Ernst Lotz(1993), Einführung in die Bau-u. Wohnökologie, Tübingen: Ulmer Verlag, p.15

36)Frei Otto(1985), Architekten heute B.2, Berlin: Quadriga Verlag, p.101.

- menschengerechters Bauen Hundertwasser Architektur, Köln: Taschen,
10. P. und M. Krusche, D. Althaus, I. Gabriel(1982), Ökologisches Bauen, Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GMBH,
 11. Günther Fischer(1987), Abschied von der Postmodern, Braunschweig/Wiesbaden: Fried.Vieweg und Sohn,
 12. Frei Otto(1985), Architekten heute B.2, Berlin: Quadriga Verlag,
 13. Karl-Ernst Lotz(1993), Einführung in die Bau-u. Wohn ökologie, Tübingen: Ulmer Verlag,
 14. Bauer-Böckler(1996), Häuser ökologisch geplant, Taunusstein : Blottner Fachverlag GmbH
 15. Ko, Ju-Suk (1978), A Ecological Theory of Architecture, Ph.D. Dissertation in Architecture, University of Pennsylvania,
 16. Peter Delius(1996), Geschichte der Architektur, Köln: K nemann Verlag
 17. Dieter Beisel(1987), Bauen und Wohnen, München: dtv
 18. Heinrich Klotz (1977), Architektur in der Bundesrepublik, Berlin/Frankfurt: Verlag Ullstein GmbH,

〈접수 : 1997. 5. 3〉