

자연과의 공존을 위한 디자인 방향성 연구

- 생체모방 건축과 거미줄 구조를 중심으로 -

Design Method for Coexistence with Nature

- Focusing on Biomimic Architecture and Spiderweb Structure -

○정 재 이* 김 수 미**

Jung, Jaegi Kim, Soomi

Abstract

The purpose of this study is to study design method for coexistence with nature due to interest in eco-friendly architecture and sustainable architecture is increasing. In this situation, biomimicry is mentioned as an alternative to building a sustainable environment.

It is intended to apply to architecture by bringing strong structural strength, tensile strength, and light weight, which are the advantages of spider web structure, as biomimetic fabric through spider web structure. It is expected that a lightweight and efficient structure can be built through the tensile structure, and since research on this is insufficient, more related research is needed in the future.

키워드 : 지속가능성, 친환경, 생체모방, 거미줄 구조, 인장구조

Keywords : Sustainability, Eco-Friendly, Biomimicry, Spiderweb Structure, Tensile Structure

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

산업혁명 이후 점차 심해진 인위적인 자연의 변형과 화석연료의 무분별한 사용으로 환경 오염은 인간 생존을 위협하는 문제로 확대되었다. 또한 계속되는 건축과 철거로 인해 환경 파괴를 초래하면서 친환경 건축에 대한 관심이 높아졌다. 특히 국내에서 1990년대 말부터 환경문제에 대한 인식이 높아지면서 도시계획, 주거단지 및 건축 개발차원에 걸쳐 친환경에 대해 관심이 높아지고 있다. 하지만 학문분야간의 연계된 연구는 아직 미비한 상태로 도시의 환경문제를 각각의 전문분야에서 바라봄에 따라 친환경 건축의 도입이 도시차원의 지속가능성에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지, 또는 친환경 도시전략이 건축계획에 어떠한 영향을 줄 것인지 등에 대한 연구는 미비한 상태이다.¹⁾ 이에 건축과 단지, 그리고 도시의 물리적, 환경적 차원에서의 연구가 필요한 시점이다. 따라서 자연과 함께 살아가야 하는 환경 속에서 자연을 파괴하기보다는 공존하며 건축하는 방법을 찾아보고자 한다.

1.2 연구 방법 및 범위

연구는 자연과 공존하기 위한 디자인 방향 연구를 목표로 한다. 먼저, 지속가능한 환경을 구축하기 위한 하나의 대안으로써 생체모방에 대해 알아본다. 그 후 생체모방 건

축의 소재로써 거미줄의 가치 및 가능성에 대해 조사한다. 이때, 거미줄의 건축적 적용 방안을 집중으로 조사한다. 마지막으로 거미줄을 통한 생체모방 건축의 발전 방향에 대해 연구하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1. 생체모방 건축

오늘날 급속한 산업화와 도시화는 환경파괴를 초래하면서 지속가능성과 친환경에 대한 관심을 증대시켰다. 이러한 사회적 배경 속에서 생체모방은 지속가능한 환경을 구축하기 위한 하나의 대안으로 언급되고 있다. 또한 현대건축에서 디자인적 요소로도 많이 차용되고 있다.

‘생체모방(biomimicry)은 ‘생체(Bio)와 ‘모방(Mimesis)’이라는 그리스어 단어의 합성어이다. 대표적인 경우로 생체의 기능을 동반한 형태를 모방하는 것과 자연의 생산 및 진화의 원리를 배우는 과정의 모방, 그리고 생태계에서 일어나는 폐기와 재생의 폐쇄형 순환과 같은 시스템을 모방하는 것이 있으며 자연을 탐구하여 혁신을 추구하는 영역이다. 이러한 자연 생태계의 원리, 형태를 모방하여 자연의 유기체처럼 주변과 상생하며 자연환경 변화에 적응할 수 있는 건축을 추구하는 것이 생체모방 건축이다.²⁾ 따라서 생체모방건축은 단순히 자연 형태를 그대로 재현하는 것만이 아니라 이러한 형태를 지배하는 규칙을 이해함으로써 자연의 지속 가능성을 위한 솔루션을 찾는 건축

1) 정재용, 박훈, 대한건축학회 논문집, 생태건축의 공간 특성에 관한 연구, 2008

2) 김종무, 강철희, 윤혜경, 대한건축학회, 생체모방의 축적 적용을 위한 프로세스, 2018

의 현대 철학이다.

2.2 생체모방의 건축적 적용 방식

생체모방의 건축적 적용 방식은 기능적인 형태(Form), 시스템(System), 부분적인 적용(Specific Part)으로 종합할 수 있다. 과거에는 자연의 형상을 건축에 직접적인 형태나 은유적인 표현을 통해 상징적으로 적용한 사례가 많았지만 생체모방의 형태로의 건축적 적용은 단순히 심미적인 표현을 넘어서 환경적인 고려 및 높은 기능 향상의 효과를 추구한다. 생체모방의 시스템으로의 건축적 적용은 생체의 생존을 위한 과정이나 생태계의 상호 유기적인 관계의 원리를 건축 시스템의 전반에 적용함으로써 효율성 및 복합적 효과가 나타나는 것을 말한다. 마지막으로 생체모방의 부분적인 적용은 건설 과정이나 건축 재료 및 특정 부분을 도입하는 방식으로 미시적 관점에서의 적용을 의미한다.³⁾ 생체모방을 건축에 효율적으로 적용하여 장점을 가져오기 위해서는 이처럼 여러 방면의 건축적 적용 방식에 대한 고려가 충분히 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

2.3 생체모방 건축의 선행 연구 및 발전 방향

해외의 연구 및 개발 동향을 살펴보면 Biomimicry^{3.8}, Ask Nature 등과 같은 웹사이트를 통해 누구나 쉽게 생체모방 관련 정보의 수집 및 공유가 가능하며, 생체모방 자문기관과 설계사무소 간의 협업 등을 통해 건축 설계의 실제적인 적용까지도 확대되고 있다. 공학 및 디자인 분야에서는 생체모방을 적용하여 개발까지 가능한 프로세스를 연구하는 논문이 상당수 발표되고 있으며, 생체모방 관련 논문들이 해마다 증가하고 있다.⁴⁾

생체모방의 건축적 활용 예시로는 거미줄의 강한 강도와 인장력을 활용하여 구축하거나, 달팽이의 자가냉각 원리를 이용해 사막과 같은 지역에서 더위를 피하는 방법, 혹은 선인장이 밤에 기공을 열어 증산작용을 하는 원리를 모방하여 건물의 외피 부분에 차양을 설치하는 방법 등이 있다.

건축·도시 분야의 기술지식과 생체모방이 만나 융복합되었을 때 전혀 새로운, 기존에 존재하지 않던 기술과 지식을 창출할 수 있으며, 이러한 결과는 건축·도시라는 거대한 산업의 특성으로 볼 때 사회적·경제적 파급효과가 매우 클 것으로 예상된다.⁵⁾

2.4 거미줄을 통한 생체모방 건축

거미는 생태계를 보호하는 익충이며 거미줄의 재료는 의학, 농업, 방탄복 산업 등 다양한 분야에 활용 가치가 무궁무진한 연구 대상으로 알려져 있다.

거미줄은 고분자 탄소섬유로 이루어진 재료이다. 탄소섬유는 실 안에 탄소가 92%이상 함유된 섬유로, 철에 비해 무

게는 매우 가볍지만 10배의 강도, 7배의 탄성을 가지고 있다. 게다가 내부식성, 전도성, 내열성이 높아 철이 사용되는 모든 제품과 산업에 적용이 가능하여 미래 산업의 핵심소재로 꼽히는 재료이다. 가볍고 강도가 높은 탄소섬유는 항공기 동체, 자동차 차체 등에 적용되어 경량화에 따른 연비 개선 효과와 이산화탄소 배출 감소 효과가 큰 친환경 소재이다. 탄소섬유의 강한 인장력을 활용한 탄소섬유보강 콘크리트 역시 건축분야에서 자주 사용되는 소재이다.

이처럼 경량성과 높은 인장력을 가진 소재는 건축분야에서 사용하기에 매우 좋은 소재이다. 이는 건축공학가 프라이 오토(Frei otto)의 연구를 통해서도 알 수 있다. 프라이 오토는 자연과학과 인문과학 간의 학제적 연구를 수행해 오면서 ‘적응력이 있고’, ‘생태학적이며’, ‘경량적인’ 건축을 정립하고자 하였다. 그는 생물학적인 구조들이 물리적이고 화학적인 토대를 가지고 있을 뿐 아니라 인간의 기술적인 구조 역시 포함하고 있다는 사실을 입증하였다. 프라이 오토에게 있어 ‘적응력 있는 건축’의 이념적 원형은 ‘신체 기관과 같은 건축’ 이었고, ‘경량적인 건축의 목표는 최소한의 재료를 사용하여 최적의 형태를 구현하는 것이다.’⁶⁾ 이처럼 프라이 오토의 건축 이념에는 경량성과 생태학적인 요소가 들어 있었고 그는 자신의 실험과 연구를 바탕으로 여러 인장구조를 발견하고 이를 토대로 설계에 반영하여 2015 프리츠커상을 수상하였다.

3. 사례분석

인장구조는 다양한 방식과 재료로 사용되고 있다. 본 사례분석에서는 1. 거미줄 구조의 인장방식 활용 사례와 2. 친환경 방식에서의 거미줄 구조의 인장력 활용 사례로 나누어 분석하고자 한다.

3.1 거미줄 구조의 인장방식 활용 사례

거미줄 구조의 인장방식 활용 사례의 경우 모두 인장력을 사용한 경량 구조라는 공통점이 있으며 과거에 지어진 사례 (1) 뮌헨 올림픽 스타디움을 제외한 3가지 사례는 모두 강철 구조와 PTFE 표면으로 구성했다는 공통점이 있다.

(1) 뮌헨 올림픽 스타디움 (Munchen Olympic stadium)
사상 최초로 시도한 강철 케이블에 거대한 아크릴 유리 덮개를 설치한 구조이다. 436km의 강철케이블이 58개의 주철탑사이에 걸려 8,000개의 유연한 패널로 구성되어 구불구불한 캐노피를 지탱한다. 알프스 산맥을 상징하여 만들어졌으며 투명한 캐노피는 새롭고 민주적이며 낙관적인 독일을 상징한다.

(2) 마라카낭 경기장 지붕 리모델링 (Maracanã Stadium Roof Structure)

기존의 캔틸레버 콘크리트 지붕은 기능면에서 부적절했










3) 김종무, 강철희, 윤혜경, 대한건축학회, 생체모방의 축적 적용을 위한 프로세스, 2018

4) 전계서

5) 김주형, 김재준. (주)엘지씨엔에스, 환경반응 생체모방(Biomimicry) 미래 건축·도시, 2014

6) 이란표, 한국실내디자인학회논문집, 프라이 오토의 '자연적 구조' 건축의 유형적 특성과 표현양태에 관한 연구, 2006

표1. 거미줄 구조의 인장방식 활용 사례

	1) 뮌헨 올림픽 스타디움 (Munchen Olympic stadium), 1972	2) 마라카낭 경기장 지붕 리모델링 (Maracanã Stadium Roof Structure), 2013	3) 브라질리아 국립박물관 (Brasilia National Stadium), 2013	4) 덴버 유니언 스테이션 리모델링 (DenverUnion Station), 2014
위치	독일, 뮌헨	브라질, 리우데자네이루	브라질, 브라질리아	미국, 덴버
용도	올림픽 경기장	월드컵 경기장 높이: 32m,	월드컵 경기장	덴버의 주요 기차역
규모	80,000석	규모: 110 m × 75 m, 8만석	6만 8,009석	25.1 acres
건축가	Behnisch,프라이 오토(Freio Otto)	schlaichbergemann	CastroMelloArquitetos, gmpArchitects, schlaichbergemann	Skidmore, Owings& Merrill
조감도				
상징성	알프스 산맥, 랜드마크	1950,2014 FIFA월드컵 사용	FIFA 월드컵 2016년 하계 올림픽 사용	21세기 새로운 교통시설
도시 맥락 및 접근성				
구조 및 기타 설명	인장 지붕 구조 (강철 케이블과 아크릴 패널로 구성)	경량 지붕 구조 (압축링3개와 인장링1개를 사용)	'기둥 숲' 라 불리는 산책로와 이중 외피 구조의 지붕	

* 사진 출처 :

<https://www.archdaily.com/515131/maracana-stadium-roof-structure-schlaich-bergemann-und-partner>, <https://www.archdaily.com/527293/brasilia-national-stadium-gmp-architekten>, <https://www.archdaily.com/506815/denver-union-station-som>

** 다이어그램 출처 : 저자 작성

을 뿐 아니라 장기적으로 봤을 때 구조적 안정성도 충분하지 않았기 때문에, 구조적으로 안정적인 경량지붕구조를 케이블링을 사용해 구축하였으며 표면은 PTFE 코팅 유리섬유 멤브레인으로 구성했다.

(3) 브라질리아 국립박물관 (Brasilia National Stadium)

브라질리아 국립 박물관은 브라질 월드컵 경기장 중 두 번째로 규모가 큰 곳이다. 현대적인 건물 디자인과 도시 배치로 알려져 있으며 도시 중심부에 위치해 있다. 상부스킨은 PTFE 코팅 유리로 구성되었고 하부는 멤브레인 개방형 매쉬로 구성되었다. '기둥 숲' 이라 불리는 산책로와 이중 외피 구조의 지붕으로 구성된다.

(4) 덴버 유니언 스테이션 리모델링(DenverUnion Station)

20세기 이전 철도 차량기지를 주요 교통 센터로 리모델링하여 도시의 오래된 기차길과 그 주변을 대중교통 중심의 개발을 위한 21세기 새로운 교통시설로 바꾸었다. 열차홀의 기본구조는 표면 PTFE를 지지하는 16개의 강철 트러스로 구성되었다. 또한 이 역의 건축가 SOM은 역에 명

확한 상징성을 부여하기 위해 노출 페인트 구조 강철을 사용하였다.

3.2 친환경 방식에서의 거미줄 구조의 인장력 활용 사례

친환경 방식에서의 거미줄 구조의 인장력 활용 사례는 모두 ETFE와 탄소섬유를 재료로써 사용하였고 컴퓨터를 통한 시뮬레이션 설계로 제작되었다는 공통점이 있다. 두 사례 모두 로봇으로 제작하였기에 거푸집 공사가 필요하지 않아 친환경적이라는 장점도 가지고 있다.

(1) ICD/ITKE Research Pavilion, 2014-15

디자인은 탄소섬유 강화 구조물의 생물학적 구성과정에 대한 연구를 토대로 진행되었다. 파빌리온의 재료 및 구조를 살펴보면 표면은 ETFE 필름으로 덮였으며 탄소섬유로 구조를 형성했다. 특히 컴퓨터 시뮬레이션 설계를 통해 구조적으로 필요한 곳만 선택적으로 탄소섬유 보강을 한 효율적인 구조이다. 제작방식은 로봇 제작 공정으로 탄소섬

유 구조체를 제작하였다.

(2) 부가 파이버 파빌리온 (BugaFibrepaivilion), 2019

부가 파이버 파빌리온의 재료는 유리 및 탄소섬유와 ETFE 멤브레인이다. 섬유 복합재(키티 또는 콜라겐과 같은 섬유질)로 하중을 지지한다. 기존 강철 구조물보다 5배 가벼운 구조이다. 제작 방식은 고급 섬유 복합재를 로봇 방식으로 생산하여 현장 조립을 하는 방식으로 불과 몇 년 전만 해도 불가능했던 설계와 건축 방식이다.

표2. 친환경 방식으로의 거미줄 구조의 인장력 활용 사례

	1) ICD/ITKE Research Pavilion, 2014-15	2) 부가 파이버 파빌리온 (BugaFibrepaivilion), 2019
위치	독일, 스투트가르트대학교	독일, BundesgartenschauHeilbronn
건축가	ICD/ITKE University of Stuttgart	컴퓨터 설계 및 건설 연구소(A. Menges교수) 건축 구조 및 구조 설계 연구소(J. Knippers교수)
구조	 	
	ETFE 필름으로 외피 구성, 탄소섬유로 내부 보강	섬유복합재로 하중을 지지하는 구조
제작 방법	 	 
	컴퓨터 설계, 시뮬레이션 및 제조 기술	로봇 방식으로 생산

* 사진 출처 :

https://www.archdaily.com/770516/icd-itke-research-pavilion-2014-15-icd-itke-university-of-stuttgart?ad_source=search&ad_medium=projects_tab,
<https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/buga-fiber-pavilion/>

3.3 소결

인장력을 이용한 대부분의 구조가 탄소섬유 및 철강으로 구조를 형성하고 ETFE로 표면을 덮은 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 탄소섬유가 인장력 있는 구조체로써 철강과 같은 역할을 소화한다고 볼 수 있다. 또한 모든 사례에서 경량성이라는 장점을 가지고 있다. 특히 경기장 리모델링 사례에서는 경량성이라는 장점을 이용해 더 많은 인구를 수용하도록 설계하거나 콘크리트의 구조적인 미흡함을 보완했다. 이처럼 인장력 구조를 활용해 경량성있는 구조를 구축한다면 에너지면에서 효율적인 구조를 구축할 수 있을 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구는 환경과파괴가 심각한 문제로 떠오르며 친환경 건축에 대한 관심이 높아지는 현대 시점에, 자연과의 공존을 위한 건축에 대해 연구하고자 했다. 이에 대한 대안으로 생체모방 건축을 분석했으며 그 중 거미줄을 통하여 집중적으로 탐구해보았다. 분석된 내용은 다음과 같다.

첫째, 과거에 생체모방은 단순히 형태를 표방하거나 은유적인 표현을 하는 것이었지만 최근 건축에서의 생체모방은 기능적인 형태(Form), 시스템(System), 부분적인 적용(Specific Part)으로 다양하게 분석되고 적용된다. 이는 생체모방의 장점을 가져오기에 더욱 유리할 것으로 보인다.

둘째, 사례분석을 통한 인장구조의 분석을 통해 인장구조의 경량성, 친환경성에 대해 알 수 있었다. 경량성은 구조적으로 큰 장점이다. 또한 거푸집을 사용하지 않는다는 점은 환경 오염이 심각한 현재에 친환경 건축으로써 큰 역할을 할 것으로 보인다.

마지막으로, 거미줄의 재료인 탄소섬유는 강도와 인장력, 경량성이라는 장점을 가지고 있다. 이는 다양한 분야에서 현대의 문제를 해결할 방안으로 고려될 수 있다. 현재 항공기 동체, 자동차 차체 등에 적용되어 경량화에 따른 연비 개선 효과와 이산화탄소 배출 감소 효과를 얻고 있다. 건축분야에서도 섬유강화 콘크리트 및 탄소섬유 구조체 등 탄소섬유를 활용해 장점을 취하고 있다. 하지만 아직 연구가 미비한 상태이며 건축적 활용 및 적용 방안에 대한 연구가 더 필요한 것으로 보인다.

참고문헌

1. 정재용, 박훈, 대한건축학회 논문집, 생태건축의 공간 특성에 관한 연구, 2008
2. 김종무, 강철희, 윤혜경, 대한건축학회, 생체모방의 축적 적용을 위한 프로세스, 2018
3. 김주형, 김재준. (주)엘지씨엔에스, 환경반응 생체모방(Biomimicry) 미래 건축·도시, 2014
4. 이란표, 한국실내디자인학회논문집, 프라이 오토의 '자연적 구조' 건축의 유형적 특성과 표현양태에 관한 연구, 2006