

바이오미미크리(Biomimicry) 건축의 디자인 접근 특성 연구

A Study on the Design Approach Characteristics of Biomimicry Architecture

서 동 훈* 박 열**
Seo, Dong-Hoon Park, Yeol

* 광운대 건축학과 석사, M.A, Dept. of Architecture, Kwangwoon University, Korea

** 광운대 건축학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Architecture, Kwangwoon University, Korea (Corresponding author : ypark@kw.ac.kr)

Abstract

Biomimicry means innovative results by applying the principles of nature to the human industry. Today, environmental problems caused by excessive development have increased interest in sustainable development. There are also attempts to look at biomimicry as a way to sustainable architecture. Architectural design using biomimicry improves the function of the building in terms of results. It can also be used in the overall process of building, operation, and future disposal. However, until now, understanding of the architectural design using biomimicry is only done in fragments, such as new types of forms and technologies. Therefore, this study analyzes the method of using biomimicry in architectural design and the results shown through it. It comprehensively studies the design approach characteristics of biomimicry architecture. First of all, this study proceeds with a theoretical understanding of the concept of biomimicry and architectural design using it. Based on this, we analyze the case of architectural design using biomimicry. The case are analyzed by dividing them into methods of using biomimicry and results of using biomimicry. Through this, the design approach characteristics of biomimicry architecture are derived. As a result, it was confirmed that the concept of biomimicry not only affects the result of architectural design, but also complexly affects the process of applying natural principles to design and architecturally implemented.

키워드 : 바이오미미크리, 디자인 접근, 활용 방법, 융복합성, 결합성

Keywords : Biomimicry, Design Approach, Method, Complexity, Combination

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날 환경문제는 나날이 심각해지면서 사회적으로도 지속가능성에 대한 고민은 필수가 되었으며, 이는 건축 분야에서도 지속가능한 건축의 대안을 마련하기 위해 다양한 연구 및 시도들이 진행되는 배경이 되었다.

바이오미미크리(Biomimicry)는 자연의 내재된 원리를 이해하고, 이를 모방해 인간의 생존에 필요한 다양한 지식과 기술을 발전시키는 것으로(Biomimicry Institute, n.d.), 건축에서는 환경적 측면에서 지속가능한 건축의 방법으로 바라보는 시도가 있다.¹⁾ 건축디자인에서 바이오미미크리를 활용하는 경우가 있으나, 아직까지 환경적 측면에서 지속가능한 건축을 위해 사용되는 사례보다는 단일 개체의 단순한 형태와 기능모방에 그치고 있다(Choi & Moon, 2014).

이 논문은 2021년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

1) 건축설계사무소 HOK(n.d.)는 2008년부터 바이오미미크리 교육 및 연구기관 Biomimicry 3.8과 함께 도시 및 건축의 지속가능성을 위해 생물 및 생태계의 혁신적인 아이디어를 도입하기 위한 연구를 지속적으로 진행해오고 있음.

바이오미미크리는 자연의 외적인 모방이 아닌 문제해결을 위한 근본적인 원리의 연구와 통합적인 적용에 중점을 두는 방향으로 나아가야 한다. 따라서 바이오미미크리를 건축디자인에 활용하는 방법과 이를 통해 나나는 결과에 대한 분석을 통해 바이오미미크리 건축디자인을 종합적으로 이해할 필요가 있다.

이에 본 연구의 목적은 바이오미미크리가 적용된 건축디자인을 바이오미미크리 활용 방법부터 결과까지 통합적으로 이해하고 디자인 접근 특성을 정립하고자 하는 것이며, 이를 통해 지속가능한 건축의 대안으로서 바이오미미크리 건축디자인의 가능성을 고찰하는 것이다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 바이오미미크리가 적용된 건축디자인을 바이오미미크리 활용 방법부터 결과까지 통합적으로 이해하고 디자인 접근 특성을 정립하기 위해 다음과 같은 방법으로 진행된다.

첫째, 2장은 본 연구의 기초 개념인 바이오미미크리에 대한 이론적 고찰로써 바이오미미크리를 지속가능한 방법으로 바라본 재닌 M.베니어스의 문헌을 통해 개념을 이해하고자 한다. 또한 건축 분야에서 바이오미미크리에 대한

Table 1. Korean precedent research classification for biomimicry architecture

Subject	Researcher	Summary
Architectural characteristics	Choi & Kim (2011)	Biomimicry architectural design is defined as three characteristics of organic form, autonomous system, and dividing program, and case analysis based on these characteristics.
	Elena (2013)	The characteristics of biomimicry architectural design are classified into 'imitation of living things', 'imitation of behavior of living things', and 'imitation of ecosystems'. After analyzing the case in terms of the form, function, and material of architecture, it is divided and analyzed before and after the digital design architecture era.
	Choi (2014)	From an ecological point of view, the design elements of biomimicry architectural design are classified into form, function, energy, context, and continuity, and a case study of biomimicry architectural design.
Architectural trend	Lee et al. (2015)	Analysis and trend identification of architectural cases applying biomimicry based on 'nature and living things', 'application method', and 'application effect'.
	Hong, Cho, & Yi (2016)	A diachronic examination of Biomimicry and the architectural cases of biomimicry are analyzed base on 'inspiration for form and space', 'inspiration for function and structure', 'inspiration for reaction and movement', and 'inspiration for integrated system'.
Architectural methodology	Lee & Kang (2015)	The necessity of constructing an open information system to increase the architectural utility of biomimicry and the basic information composition system were proposed.
	Kim, Kang, & Yoon (2018)	Based on the existing architecture and biomimicry process, the basic process of biomimicry architectural design was established, and the 'Organic Cycle-Cooperation' process was proposed through architectural case analysis.

연구 현황을 파악하기 위해 국내 건축 분야 선행연구를 분석함으로써 바이오미미크리 건축디자인에 대한 연구 동향과 선행연구자들의 관점을 파악한다. 그다음 이론적으로 고찰한 바이오미미크리의 개념과 선행연구 분석 내용을 종합해 건축디자인의 바이오미미크리 활용 방법과 결과를 통합적으로 이해할 수 있는 분석기준을 마련한다.

둘째, 3장은 건축디자인에서 바이오미미크리를 활용함으로써 나타나는 특성에 대한 분석으로써 바이오미미크리 건축디자인 사례를 2장에서 정리한 분석기준으로 분석 후 결과와 특성을 도출한다. 분석을 위한 사례는 웹과 문헌을 통해 2010년부터 2020년까지 바이오미미크리를 건축디자인에 활용한 실제 사례 11개를 대상으로 한다. 사례별로 개요부터 모방 대상(자연물)과 이를 적용한 건축디자인의 실제 사진, 분석내용을 정리하였으며, 이를 바탕으로 바이오미미크리 활용 방법과 결과의 특성을 도출한다.

셋째, 4장은 본 연구의 결론으로써 연구 결과를 요약하고 이를 통해 발견한 주요 내용에 대해 기술한다. 또한 본 연구의 의의 및 향후 발전 방향에 대해 제안하고자 한다.

2. 바이오미미크리(Biomimicry)와 건축디자인

2.1 바이오미미크리(Biomimicry) 개념

바이오미미크리(Biomimicry)란 자연의 원리를 통해 인간이 직면한 문제를 해결하는 것을 의미하며 그리스어로 생명을 의미하는 'Bios'와 모방을 뜻하는 'Mimesis'의 합성어이다.(Lee et al., 2015) Benyus(1997)는 1997년 저서 <Biomimicry: Innovation Inspired by Nature>를 통해 바이오미미크리의 개념을 정립하였으며 자연은 환경문제를 유발하지 않고 오랜 시간 지구에 존재해 왔으며, 인간의 기술력보다 우수함으로 자연의 방식을 모방하는것은 현대 환경문제의 해결책을 제공해 줄 수 있다고 바라보았다.

제닌 M.베니어스는 바이오미미크리가 모방할 수 있는 자연의 원리를 분류하고자 Organism Level, Behavior Level, Ecosystem Level 세 가지의 레벨로 제안하였다.

Organism Level은 생물의 형태가 가지고 있는 효율적인 원리를 모방하는 것으로 이는 생물이 가진 심미성이 아닌 생존을 위해 진화함으로써 만들어진 형태의 효율성을 말한다. Behavior Level은 생물이 자연 속에서 생존하기 위한 행동을 모방하는 것으로 이는 외부기후변화 또는 포식자로부터 자신을 보호하기 위해 이를 감지하고 물리적 행동이나 신진대사를 변화함으로써 대응하는 방식이다. 마지막으로 Ecosystem Level은 다양한 생명체들이 군집을 이루고 생태계를 유지하기 위해 상호작용하는 생태계 또는 생물 군락의 복합적인 관계를 모방하는 것이다. 앞서 살펴본 Organism Level, Behavior Level보다 고차원적인 모방이며, 지속가능성을 위해 바이오미미크리가 추구해야 할 최종적인 목표라고 제닌 M.베니어스는 언급한다. 인간 산업의 발전은 자연으로부터 채취한 화석 연료를 에너지원으로 사용하며 이루어 졌다. 반면 제닌 M.베니어스의 이론을 통해 살펴본 바이오미미크리 개념은 자연에서 채취한 것이 아닌 자연으로부터 배운 원리를 바탕으로 우리가 직면한 문제의 해결책을 찾는 새로운 접근방법이라 할 수 있다. 특히, 제닌 M.베니어스가 제안한 세 가지 레벨 중 Ecosystem Level은 바이오미미크리의 적용이 생물의 형태, 행동 등 특정 범주에 국한된 것이 아닌 자연의 근본적 원리에 대한 이해와 복합적 접근을 필요로 한다고 볼 수 있다.

2.2 선행연구 분석

바이오미미크리를 적용한 건축디자인에 대해 이해하고 건축 분야의 연구 현황을 파악하기 위해 국내에서 진행된 선행연구를 고찰하였다. 선행연구는 학회지 및 학위논문 등을 중심으로 살펴보았으며, 건축 분야에서 바이오미미크리에 관한 연구 동향을 파악하고 선행연구자들이 제안한 바이오미미크리 건축디자인 체계를 분석하였다.

1) 연구 동향

국내 건축 분야에서 바이오미미크리에 관한 연구는 2010년대부터 등장하기 시작하였으며 연구의 주제는 바이

오미미크리 적용에 따른 건축적 특성연구, 건축 사례의 경향성 연구, 건축에서 바이오미미크리 활성화 방안 연구 세 가지로 구분할 수 있다. 우선 Choi & Kim(2011), Elena(2013), Choi(2014) 연구는 바이오미미크리를 건축에 적용함으로써 나타나는 특성에 관한 연구가 이루어지면서 바이오미미크리의 건축적 적용 가능성 및 상관관계에 대해 논의하였다. 2015년도 이후부터의 연구 방향은 경향성 연구와 건축적 적용 활성화 방안 연구로 구분할 수 있다. Lee et al.(2015), Hong, Cho, & Yi(2016) 연구에서는 바이오미미크리를 적용한 건축 사례의 수집과 분석을 통해 건축에서 바이오미미크리 활용에 관한 경향 연구가 이루어졌으며, Lee & Kang(2015), Kim, Kang, & Yoon(2018) 연구에서는 바이오미미크리가 건축에서 활성화할 수 있는 방안을 위한 연구로써 정보시스템 구축, 프로세스 제안을 진행하였다. 이를 통해 국내 건축분야에서 바이오미미크리에 관한 연구는 건축적 적용 가능성에 대해서 인식하기 시작하였으며, 이에 대한 경향성 연구를 통한 사례의 체계화 및 활성화를 위한 구체적 방안 제시로 연구가 확장되었으나, 2018년 이후로는 추가적인 연구가 미비한 상황이다.

2) 바이오미미크리 건축디자인 분류

앞서 살펴본 선행연구 중 바이오미미크리 건축디자인의 특성을 분류한 연구는 총 세 가지로 Choi & Kim(2011)은 현대건축에 나타난 바이오미미크리의 특성을 유기적 Form, 자생적 System, 진화적 Program으로 분류하였으며, Elena(2013)는 형태, 기능, 재료로 Choi(2014)은 형태, 기능, 시스템으로 분류하였다. 이를 비교하면 선행연구 별 세부적인 명칭은 상이하였지만, 공통적으로는 바이오미미크리 건축디자인의 특성을 형태, 기능, 시스템 측면에서 분류하는 것으로 확인할 수 있다.

Table 2. Classification characteristics of biomimicry

Researcher	Classification characteristics			
	Common			Non common
Choi & Kim (2011)	Organic Form	-	Auto-System	Dividing Program
Elena(2013)	Form	Function	-	Material
Choi(2014)	Form	Function	System	-
Conclusion	Form	Function	System	-

바이오미미크리 개념의 건축적 적용은 완성된 건축물의 결과적 측면에서 성능 개선에만 국한된 것이 아닌, 자연의 원리가 건물이 설계되고 시공되는 과정적 측면에도 적용되는 복합적 접근이 필요하다고 볼 수 있다. 하지만 바이오미미크리를 적용한 건축디자인에 관한 국내 선행연구에서는 공통적으로 건물의 형태, 기능, 시스템 측면에서 분류하고 있으며, 이는 바이오미미크리 개념을 적용한 건축물이 어떻게 설계되고 시공되는지 과정적 측면이 아닌 건축디자인의 결과적 측면만을 고려한 것이라 볼 수 있다. 본 연구에서는 기존 선행연구들과 달리 바이오미미크리 개념이 건축디자인에 적용되는 과정과 결과를 종합적으로 살펴보고 그 특성을 체계화하고자 한다.

2.3 소결

앞서 살펴본 이론적 내용을 바탕으로 바이오미미크리 개념은 결과적 측면에 국한되는 것이 아닌 원리가 적용되는 방법까지 복합적으로 접근할 필요가 있으며, 따라서 건축디자인도 바이오미미크리 활용 방법과 결과에 대한 종합적 이해가 필요하다고 볼 수 있다.

1) 바이오미미크리 활용 방법의 구성

건축디자인에서 바이오미미크리의 활용 방법을 이해하기 위해서는 바이오미미크리 개념이 건축디자인에 적용되는 초기 단계인 설계 단계와 물리적으로 구현되는 시공 단계에 대한 이해가 필요할 것이다. 설계 단계는 프로젝트가 직면한 문제점을 인식하고 자연 원리의 분석 및 적용을 통한 문제해결 단계이며, 시공 단계는 자연 원리가 적용된 건축디자인을 경제적으로 구현하는 단계이다.

2) 바이오미미크리 활용 결과의 구성

바이오미미크리 활용 결과는 완성된 건축디자인에 대해 기존 선행연구들의 분류체계인 형태, 기능, 시스템을 기준으로 이루어질 수 있을 것이다. 바이오미미크리 개념을 적용한 건축디자인의 형태는 자연 원리를 적용함으로써 심미적 효과와 경제적 효과를 얻을 수 있으며, 기능은 생물이 환경에 적응하기 위한 다양한 행위를 모방함으로써 건물의 성능을 개선할 수 있다. 마지막으로, 시스템은 자연의 시스템은 자원과 에너지의 순환과정을 통해 환경을 유지하듯 이를 적용한 건축디자인도 건물의 에너지 효율성을 증가시킬 수 있다.

Table 3. Architectural design of biomimicry analysis standards

Type		Information
(A) Method	(a1) Plan	Problem solving step through problem recognition and design application of natural principles.
	(a2) Construction	Efficiency construction step of architectural design applying natural principles.
(B) Result	(b1) Form	Aesthetic and economic form resulting from the application of natural principles.
	(b2) Function	Building performance improved by applying natural principles.
	(b3) System	Efficiency in terms of energy through application of natural principles.

3. 바이오미미크리 건축디자인 사례분석

3.1 분석대상

바이오미미크리 개념을 적용한 건축디자인 사례를 바이오미미크리 활용 방법과 결과로 구분해 분석하고 이에 대한 특성을 살펴보고자 건축디자인 사례를 수집 및 선별하였다. 수집된 사례의 시간적 범위는 2011년부터 2020년까지 10년간 완공된 건축물을 기준으로 하였으며 공간적 범위는 여섯 개의 대륙 전체로 하였다. 수집 방식은 건축웹진 ‘Archdaily’를 통한 키워드 검색을 진행하였다. 이는 전 세계에서 방문자 수가 많은 건축 웹사이트 중 하나로 방대한 자료를 보유하고 있으므로 지역적 편향성이 상대적으로 적다고 볼 수 있기 때문이다. 검색 키워드는

Biomimicry와 유사용어인 Biomimetics, Biomorphism, Bioutilization 4개를 활용하였다. 키워드 검색을 통해 수집된 90개의 사례는 Archdaily에서 제공되는 작품에 대한 내용(건축가의 글, 도면, 사진, 개념도)을 바탕으로 검토하였으며, 내용 검토를 통해 바이오미미크리의 적용 여부를 기준으로 65개의 사례를 우선 제외하였다. 그다음 충분한 자료 확보를 통해 정확한 사례 분석이 가능할 수 있도록 시공 여부로 사례를 분류하여 미시공된 계획안 5개를 제외하였다. 마지막으로 20개의 사례 중 심미성과 상징성만을 위해 바이오미미크리를 적용한 사례 9개를 제외한 11개를 사례 분석 대상으로 최종 선별하였다. 이후 선별된 11개의 사례는 Archdaily에서 제공되는 정보 외에 건축가의 홈페이지, 문헌을 통해 추가 조사를 실시하였다.

Table 4. Case study list

Code	Year	Project name
C1	2011	Times Eureka Pavilion
C2	2012	ICD/ITKE Research Pavilion 2012
C3	2013	HygroSkin-Meteorosensitive Pavilion
C4	2014	Landesgartenschau Exhibition Hall
C5	2014	ICD-ITKE Research Pavilion 2013-14
C6	2015	Woven Thread Pavilion
C7	2016	ICD-ITKE Research Pavilion 2015-16
C8	2016	Elytra Filament Pavilion
C9	2017	ICD-ITKE Research Pavilion 2016-17
C10	2019	BUGA Fibre Pavilion
C11	2019	BUGA Wood Pavilion

3.2 바이오미미크리 활용 방법 및 결과 분석

건축디자인 사례에 대한 분석은 수집된 11개 사례별로 기본개요(사례명, 위치, 건축가, 주요설명), 그림 자료(외관, 내부공간, 부분 확대, 모방 자연물) 그리고 2장에서 정리한 분석기준(활용 방법, 활용 결과)을 바탕으로 진행한다. 사례별 분석 내용을 살펴보면 다음과 같다.

Table 5. Case study

Project	C1. Times Eureka Pavilion(2011)		
Location	London, UK	Architect	Nex Architecture
A wooden pavilion made with the motif of the capillary structure of leaves to architecturally express the design concept of nature.			
(A) Method	a1	Digital design was used to make the capillary structure of the leaf into an architectural design, and through this, the structure and construction method of the pavilion were considered in a complex way.	
	a2	By dividing a complex structure into simple straight members, the efficiency of construction is increased.	
(B) Result	b1	Based on the nature principles formation, an efficient form was produced by removing structurally unnecessary parts of the pavilion.	
	b2	-	
	b3	The pavilion is prefabricated and it can be transported and reused in other site.	

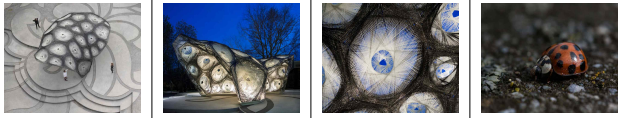
Project	C2. ICD/ITKE Research Pavilion 2012(2012)		
Location	Stuttgart, Germany	Architect	ICD/ITKE
To explore the possibilities of new materials in architecture, a fiber pavilion that mimics the fiber composition of the lobster.			
(A) Method	a1	Digital design was used to design an efficient form, structure, and material using method.	
	a2	The pavilion is manufactured by using a robotic fabrication to wind fibers.	
(B) Result	b1	By applying the shell structure, the thickness of the structure is made thin, and the facade and structure are integrated.	
	b2	Lightweight structure by using fibers.	
	b3	The fiber injection method of robotic fabrication increases material efficiency.	

Project	C3. HygroSkin-Meteorosensitive Pavilion(2013)		
Location	Orléans, France	Architect	Achim Menges
A pavilion that controls the opening/closing rate of the opening according to the external humidity by applying the principle that the spruce cone responds to humidity to the building.			
(A) Method	a1	After exploring the principles of nature, the pavilion was designed using digital design.	
	a2	Facade and structure are processed into segments using robotic fabrication and then assembled on site.	
(B) Result	b1	The segments of the pavilion are processed into curved plates to ensure structural safety.	
	b2	By utilizing the characteristic of wood to shrink according to humidity, the pavilion has the ability to actively respond to the external environment.	
	b3	Utilizes the characteristics of materials rather than artificial fuels to keep the internal environment constant. It is prefabricated and can be transported to another location for reuse in the future.	

Project	C4. Landesgartenschau Exhibition Hall(2014)		
Location	Stuttgart, Germany	Architect	ICD/ITKE
A pavilion that explores the possibility of a permanently usable building by applying the principle of the sea urchin exoskeleton.			
(A) Method	a1	It is planned to efficiently use form, structure, and material by using a digital design.	
	a2	Structure are processed into segments using robotic fabrication and then assembled on site.	
(B) Result	b1	By applying the principle of the sea urchin exoskeleton to the shape, the structure has a thickness of 50 mm and an internal space of 10m.	
	b2	-	
	b3	By processing wood with a robotic fabrication, the material is used more efficiently compared to the existing construction process.	

Project	C5. ICD-ITKE Research Pavilion 2013-14(2014)		
Location	Stuttgart, Germany	Architect	ICD/ITKE

A pavilion that explored a new architectural structure type using fibers as the main material by applying the principle of the structure of the beetle's elytra to architecture.



(A) Method	a1	Digital design was used to design an efficient form, structure, and material using method
	a2	After manufacturing segments composed of fibers using a robotic fabrication, it assembled on site.
(B) Result	b1	Shell structure composed of segments of fibers.
	b2	Lightweight structure by using fibers.
	b3	The fiber injection method of robotic fabrication increases material efficiency. It is prefabricated and can be transported to another location for reuse in the future.

Project	C6. Woven Thread Pavilion(2015)		
Location	Mumbai, India	Architect	NUDES

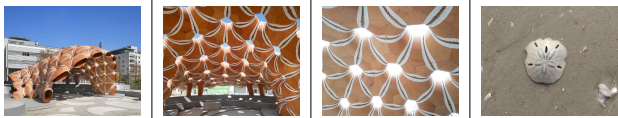
A pavilion that mimics the arrangement of leaves design principle with an optimal structure that has refined unnecessary parts



(A) Method	a1	Designed using digital design to architecturally produce phyllotaxis, the arrangement structure of plant leaves.
	a2	Manufactured using CNC, mold, and thermoforming to build organic shapes.
(B) Result	b1	Based on the nature principle, an efficient form was produced by removing structurally unnecessary parts of the pavilion.
	b2	-
	b3	The pavilion is made of modules and can be used to expand the space by combining modules.

Project	C7. ICD-ITKE Research Pavilion 2015-16(2016)		
Location	Stuttgart, Germany	Architect	ICD/ITKE

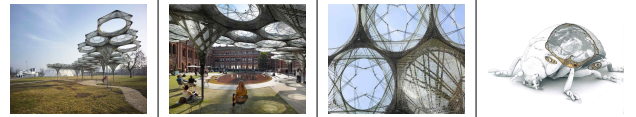
A pavilion that explores new ways to use wood as a building material and builds the principle of exoskeleton of sea urchin.



(A) Method	a1	After analyzing the characteristics of wood, digital design is used to design the shape based on the characteristics of the material.
	a2	After manufacturing the segments that make up the shape using a robotic fabrication, the segments are connected using fiber.
(B) Result	b1	Shell structure with internal space of 9.3m.
	b2	It is possible to effectively respond to the tensile force by combining the segments with a thread rather than a fastener.
	b3	The pavilion is prefabricated and it can be transported and reused in other site. By processing wood with a robotic fabrication, the material is used more efficiently.

Project	C8. Elytra Filament Pavilion(2016)		
Location	London, UK	Architect	ICD/ITKE

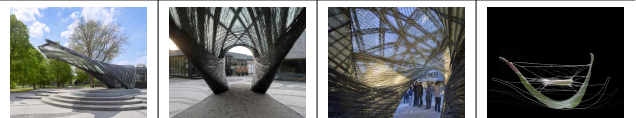
A pavilion that use fibers as the main material by applying the principle of the structure of the beetle's elytra to architecture.



(A) Method	a1	After designing a basic shape using digital design, the design is transformed in real time by reflecting the data collected at the site during construction.
	a2	After manufacturing segments using a robotic fabrication, assembling them on site, and making additional segments according to the field data.
(B) Result	b1	Hexagonal fiber segments combine to form a roof and support it with fiber columns.
	b2	By adjusting the shape during construction by reflecting users' behavioral patterns and microclimate, it create an optimized space for the site. Using fibers to secure the lightness of the pavilion
	b3	The fiber injection method of robotic fabrication increases material efficiency. It is prefabricated and can be transported to another location for reuse in the future.

Project	C9. ICD-ITKE Research Pavilion 2016-17(2017)		
Location	Stuttgart, Germany	Architect	ICD/ITKE

A pavilion with a cantilever structure that mimics the shape of a leaf miner's cocoon




(A) Method	a1	Digital design was used to design an efficient form, structure, and material using method
	a2	The pavilion is completely manufactured and transported to the site by winding fibers and using robots and drones in factory.
(B) Result	b1	12m span cantilever structure.
	b2	Lightweight structure by using fibers.
	b3	The fiber injection method of robotic fabrication increases material efficiency.

Project	C10. BUGA Fibre Pavilion(2019)		
Location	Heilbronn, Germany	Architect	ICD/ITKE

A large pavilion made with fibers to propose a new building system by integrating computer technology and biological principles.



(A) Method	a1	Co-design process using digital design to comprehensively consider each element of architecture
	a2	Using a robotic fabrication, a rod structure composed of fibers is manufactured and assembled on site and then covered with ETFE.
(B) Result	b1	Dome structure with internal space of 23m.
	b2	Lightweight structure by using fibers and ETFE.
	b3	The fiber injection method of robotic fabrication increases material efficiency. It is prefabricated and can be transported to another location for reuse in the future.

Project			
C11. BUGA Wood Pavilion(2019)			
Location	Heilbronn, Germany	Architect	ICD/ITKE
A large pavilion made of wood through the application of co-design that integrates computer technology and biological principles.			
			
(A) Method	a1	Co-design process using digital design to comprehensively consider each element of architecture	
	a2	Structure are processed into segments using robotic fabrication and then assembled on site.	
(B) Result	b1	Shell structure with internal space of 30m.	
	b2	The structure of the segments made of wood is a hollow structure that resonates and amplifies the internal sound without artificial equipment.	
	b3	The pavilion is prefabricated and it can be transported and reused in other site. By processing wood with a robotic fabrication, the material is used more efficiently.	

3.3 소결

앞서 2011년부터 2020년까지 10년 동안 바이오미미크리 개념을 활용한 건축디자인 사례를 바이오미미크리 활용 방법과 결과로 구분해 분석하였으며, 이에 대한 결과와 특성을 정리하면 다음과 같다.

1) 설계 단계의 바이오미미크리 활용 방법

바이오미미크리의 활용 방법 중 설계 단계에서는 공통적으로 생물학적 원리의 단편적 모방이 아닌 복합적인 이해와 건축디자인에 적용을 위해 설계 초기 단계부터 건축가, 생물학자, 엔지니어 등 다양한 분야의 전문가들이 협력을 통해 융합적 설계를 진행한다는 것을 알 수 있었다.(사례: C2, C3, C4, C5, C7, C8, C9, C10, C11) 이는 건축가의 기본적인 설계안을 바탕으로 필요에 따라 구조, 기계, 전기 등 각 분야의 전문가가 협력하는 기존의 방식과 달리 초기 단계부터 다양한 학문의 긴밀한 협력을 필요로 하며 이를 통해 건축디자인에 바이오미미크리를 효율적으로 구현하고 시공하기 위한 계획을 수립할 수 있도록 한다. 다음으로는 생물학적 원리를 건축적으로 구현하는 설계 과정에서 디자인, 시공 등의 절차와 형태, 구조, 재료 등의 건축요소가 선형적이고 단편적으로 구성되는 것이 아닌 서로 영향을 주고 받는 복합적인 프로세스로 구성되는 것을 볼 수 있었다.(사례: 전체) 이는 디지털디자인을 활용함으로써 다양한 변수들의 관계를 파악하며 디자인을 할 수 있었으며 이를 통해 생물의 외적인 모방이 아닌 생물학적 원리를 건축디자인에 적용할 수 있었다. 따라서 설계단계에서 바이오미미크리의 활용 방법은 융합적인 설계와 복합적인 프로세스를 통해 이루어지는 것을 알 수 있었으며, 이러한 설계 단계의 특성은 ‘융복합성’으로 정리할 수 있다.

2) 시공 단계의 바이오미미크리 활용 방법

바이오미미크리의 활용 방법 중 시공단계에서는 생물을 구성하는 작은 단위인 섬유의 구성방식을 건축화하고자 건물의 주재료로 생물학적 구조와 유사한 인공섬유(유

리섬유, 탄소섬유)를 교차 적층하는 방식으로 건물을 구축하며 이를 통해 생물학적 이점을 건축디자인에 적용하는 것을 알 수 있었다.(사례: C2, C5, C8, C9, C10) 섬유는 생물을 구성하는 기본 단위요소로 섬유의 방향과 밀도를 조절함으로써 재료 효율적으로 형태를 만든다.(ITKE, n.d.) 이러한 섬유의 구성방식을 건축적으로 적용하고자 사례들은 로봇과 인공섬유를 사용함으로써 구현할 수 있었다. 그 결과, 별도의 형틀(거푸집) 없이 단위면적 당 무게는 콘크리트나 철골 구조 대비 최소 5배 이상 가벼운 공간을 만들 수 있었다. 다음으로는 생물 형태가 재료 효율성을 높이고자 작은 단위요소의 결합을 통해 만들어지듯 건축도 시공단계에서 전체적인 형태를 조립이 가능한 단위요소로 분절함으로써 사전에 단위요소를 제작하고 현장에서 조립하는 방식으로 시공을 효율화하였다.(사례: C1, C3, C4, C5, C7, C8, C10, C11) 이를 통해 시공 시 현장에서는 사전에 제작된 단위요소의 조립만 진행함으로써 외부 기상환경에 영향을 최소화하고 공사 기간을 단축하는 등 시공의 효율성을 높일 수 있었다. 따라서 시공 단계에서 바이오미미크리의 활용 방법은 재료의 적층방식과 단위요소의 조립으로 나타나는 것을 알 수 있었으며, 이러한 시공 단계에서의 특성은 ‘결합성’으로 정리할 수 있다.

3) 형태 측면의 바이오미미크리 활용 결과

바이오미미크리의 활용 결과 중 형태는 생물이 재료 효율적인 형태를 구축하기 위해 작은 단위요소의 결합을 통해 복잡한 형태를 구현하듯, 건축디자인도 작은 단위요소가 결합된 위계적인 구조를 가진 것으로 나타났다.(사례: 전체) 또한 생물의 형태는 자연에 적응하기 위해 불필요한 부분을 제거하듯 건축디자인 또한 전체적인 형태에서 구조적으로 불필요한 부분은 제거하며 재료 효율적인 형태를 구축하는 것으로 나타났다. 이러한 결과물은 바이오미미크리 건축디자인만의 고유한 형태와 패턴을 만들며 사용자들에게 새로운 공간적 경험을 제공하는 것을 볼 수 있었다. 다음으로는 자연에서 쉽게 발견할 수 있으며, 적은 재료로 넓은 공간을 만들 수 있는 쉘·돔 구조를 건축디자인에도 적용함으로써 다양한 규모의 공간을 구축하는 것으로 나타났다.(사례: C2, C4, C5, C7, C9, C10, C11) 이러한 생물학적 구조는 재료는 적게 사용하면서도 안정적인 구조 성능을 가진다는 장점이 있으며 건축디자인에서도 이러한 효율성을 활용하는 것으로 나타났다. 따라서 바이오미미크리의 활용에 따른 형태는 위계적 구조와 생물학적 구조로 나타나는 것을 알 수 있었으며, 이러한 형태의 특성은 ‘유기성’으로 정리할 수 있다. 이는 바이오미미크리를 적용한 건축디자인의 고유한 형태 특성으로 생물 형태가 가진 심미성과 상징성을 모방하는 것이 아닌 형태에 내재된 생물학적 원리를 적용하면서 나타나는 결과적 특징이다.

4) 기능 측면의 바이오미미크리 활용 결과

바이오미미크리 활용 결과 중 기능은 생물이 자연 속에서 생존을 위해 지속적으로 변화하듯 건물이 외부환경에서 고정적으로 존재하는 것이 아닌 유기체처럼 외부환

경을 감지하고 반응하는 것을 볼 수 있었다.(사례: C3, C8) 사례 C3는 습도에 따라 개구부의 개폐율을 조절 가능한 입면모듈을 통해 외부환경에 맞춰 내부환경을 유지하였으며, 사례 C8은 시공과정에서 방문객들의 행동 패턴, 미기후 등을 센서로 수집하고 이를 반영해 주변 환경에 최적화되도록 형태를 시공과정에서 변형하였다. 따라서 바이오미미크리를 적용한 건축디자인의 기능은 주변 환경을 감지하고 이에 맞춰 반응함으로써 환경에 적응해 나가는 것을 알 수 있었으며, 이러한 특성을 ‘상호작용성’으로 정리할 수 있다.

5) 시스템 측면의 바이오미미크리 활용 결과

바이오미미크리 활용 결과 중 시스템은 생물이 자연에서 자원을 낭비하지 않으며 생존하듯 건물을 제작하거나 향후 폐기하는 과정에서 재료를 효율적으로 사용하기 위한 다양한 방식들이 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.(사례: 전체) 사례 C2, C5, C8, C9, C10는 인공지능을 로봇을 통해 사출 및 와인딩하는 방식으로 건물을 제작하였으며 이를 통해 형틀(거푸집)을 사용하지 않거나 재사용함으로써 제작하는 과정에서 배출되는 폐기물과 낭비되는 자재가 없도록 하였다. 사례 C1, C3, C5, C6, C7, C8, C10, C11는 건물을 분해 및 재조립이 가능한 모듈형식으로 제작함으로써 건물의 가변성 및 재활용성을 높였다. 전체적인 형태는 단위요소로 분해가 가능함으로써 향후 다른 장소로 운반되어 다시 활용할 수 있도록 하였으며 필요에 따라서는 모듈을 추가함으로써 공간을 유동적으로 사용할 수 있도록 하였다. 다음으로는 생물이 주어진 환경 속에서 스스로 생명을 유지해 나가듯 건물이 완공된 후 운영함에 있어 인공적인 연료의 사용이 아닌 건물이 가진 요소를 통해 자생적으로 건물을 운영하는 것을 볼 수 있었다.(사례: C3, C11) 분석된 사례들은 재료가 가진 고유한 특성을 활용함으로써 자생적으로 건물 운영이 가능하도록 하는 것으로 나타났다. 사례 C3는 목재가 습도에 따라 휘는 성질을 바탕으로 목재로 제작된 개구부의 개폐율이 자동적으로 조절되게 함으로써 인공적인 연료 사용 없이 내부환경을 유지할 수 있도록 하였다. 사례 C11은 공간을 구성하는 목재 단위요소를 소리가 울려 퍼질 수 있는 중공(Hollow)구조로 제작함으로써 별도의 음향 설비 없이 실내의 음환경을 개선할 수 있었다. 이처럼 바이오미미크리를 적용함으로써 에너지 측면에서 자생적으로 건물을 운영하는 것은 기계 설비 없이 재료의 특성 또는 단순한 물리학적 원리 등을 이용해 나타낼 수 있었으며 친환경으로 건물을 운영할 수 있도록 한 것을 확인하였다. 바이오미미크리를 적용한 건축디자인의 시스템은 경제적인 자원사용과 자생적인 건물운영으로 이루어지는 것을 알 수 있었으며 이를 통해 건물의 전 생애주기에서 발생하는 에너지를 순환적으로 사용한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 이러한 시스템의 특성을 ‘순환성’으로 정리할 수 있다.

2장에서 도출한 분석기준을 바탕으로 3장에서는 바이오미미크리를 활용한 건축디자인 사례를 수집 및 분석하였으며 이를 통해 바이오미미크리 개념을 건축디자인에

활용하는 방법과 이에 따른 결과의 특성을 알 수 있었다. 결과적으로 바이오미미크리 개념은 건축디자인의 완성된 결과에만 영향을 주는 것이 아닌 자연 원리가 디자인에 적용되고 건축적으로 구현되는 과정적 측면에도 복합적으로 영향을 주고 있는 것을 확인할 수 있었다.

Table 6. Architectural design of biomimicry Formation System and Characteristics

Analysis standards		Analysis results	
(A) Method	(a1) Plan	Interdisciplinary research	①Complexity
		Integrated process	
	(a2) Construction	Biological materials	②Combination
		Segments assembling	
(B) Result	(b1) Form	Hierarchically structure	③Organic
		Biological structure	
	(b2) Function	Sensing and responding	④Interaction
	(b3) System	Resource efficiency	⑤Closed loop
		Energy efficiency	

4. 결 론

본 연구는 지속가능한 건축을 위한 대안으로써 바이오미미크리 건축디자인의 특성을 종합적으로 이해하고자 진행되었으며, 결론은 다음과 같다.

첫째, 건축디자인에서 바이오미미크리 활용은 결과적 측면만이 아닌 건축디자인에 활용되는 방법까지 종합적으로 이해할 필요가 있다. 이를 위해 활용 방법은 설계와 시공으로 활용 결과는 형태, 기능, 시스템으로 구성할 수 있으며, 이를 통해 바이오미미크리 건축의 디자인 접근 특성은 설계의 융복합성, 시공의 결합성, 형태의 유기성, 기능의 상호작용성, 시스템의 순환성으로 정리할 수 있다.

둘째, 바이오미미크리의 활용은 생물의 원리와 기능이 건축디자인에 단편적으로 적용되는 것이 아닌 건물이 지어지는 과정과 완성된 결과에 통합적으로 적용될 필요가 있으며, 이를 위해 설계와 시공에 새로운 접근방식을 필요로 한다. 본 연구에서는 자연 원리를 건축적으로 구현하기 위해 학제 간 협력을 통한 융합적인 설계와 디지털 디자인을 바탕으로 한 복합적인 프로세스가 필요하다는 것을 확인하였다. 따라서 바이오미미크리 건축디자인은 설계와 시공이 분리된 선형적 프로세스가 아닌 설계부터 시공까지 각 세부 절차들이 유기적으로 연계된 방식이 필요하다고 할 수 있다. 따라서 이를 위한 바이오미미크리 건축디자인의 프로세스에 관한 지속적인 연구와 개발이 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 바이오미미크리 건축디자인의 형태는 생물의 형태가 가진 시각적 심미성과 상징성을 단순히 디자인에 차용하는 것이 아닌, 생물 형태의 효율적인 원리와 기능을 건축디자인으로 구현하는 과정에서 자연스럽게 형성되는 것이다. 생물의 형태는 자연의 생존압력에 의해 불

필요한 것은 제거하고 생존을 위해 효율적으로 형성된 결과물이다. 마찬가지로 바이오미미크리 건축디자인의 형태는 재료의 특성을 효율적으로 활용하고, 건물 내·외부의 물리적 문제로부터 안정적인 구조를 구현하는 과정에서 만들어진 결과물이다. 이러한 과정을 통해 구현한 바이오미미크리 건축디자인은 유기적인 형태와 패턴을 형성하며, 이를 통해 사용자들에게 새로운 시각적, 공간적 경험을 제공할 수도 있다. 따라서 바이오미미크리 건축디자인은 생물 형태의 심미성과 상징성을 차용하는 표면적 모방이 아닌 내재한 원리를 연구하고 건축디자인에 적용하는 방향으로 이루어질 필요가 있다.

넷째, 바이오미미크리 건축디자인은 자연 및 도시환경 속에서 독립적으로 존재하는 건축이 아닌 외부변화를 수용하고 상호작용하는 건축으로 나아가갈 필요가 있다. 환경은 지속적으로 변하며 자연의 생물은 반응과 진화를 통해 변화하는 환경 속에서 적응하고 생존한다. 지속가능한 건축을 위해서는 건축이 단순히 물리적으로만 지속되는 것이 아닌 외부환경과 상호작용하며 변화할 수 있는 하나의 생명체 같은 건축이 되어야 한다. 따라서 미래의 도시와 건축은 자연과 대비되는 공간이 아닌 외부환경과 지속적으로 상호작용하고 도시에서 사용되는 에너지가 낭비되지 않고 순환하는 등, 하나의 생태계 같은 모습으로 나아가갈 필요가 있다.

본 연구는 결과적 측면에서만 이해되던 바이오미미크리 건축디자인을 과정적 측면까지 통합적으로 이해하고 그 특성을 체계화하였다는 의의가 있다. 하지만 연구에서 다루어진 사례가 해외와 임시 가설물에 국한되어 있으므로 향후 국내 사례와 다양한 유형의 건축디자인 연구까지 지속적으로 이루어질 필요가 있다고 사료된다.

REFERENCES

1. Benyus, J. (1997). *Biomimicry : Inovation Inspired by Nature*. 1rd ed., New York, Harper Perenial.
2. Biomimicry Institute. (n.d.). *WHAT IS BIOMIMICRY?*, Biomimicry Institute Homepage, Retrieved January 22, 2021 from <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>.
3. Choi, J., & Kim, K. (2011). Study on features of ecological space of Biomimicry, *Journal of the Korean Institute of Interior Design*, 20(6), 116-223.
4. Choi, S. (2014). *Research of Biomimicry Architectural Design Elements based on the Ecological point of view*, Thesis, Chosun University.
5. Choi, S., & Moon, J. (2014). Research of Biomimicry space design characteristic based on the ecological point of view, *Journal of Korea Design Forum*, 43(-), 105-118.
6. Elena, T. (2013). *Case Study Analysis of Biomimicry Application in Architectural Space Design: Focused on the comparative analysis of buildings, before and after adoption of digital design architecture*, Thesis, Hanyang University.
7. HOK. (n.d.). *Genius of Biome: California Coast Design Research Project*, HOK Homepage, Retrieved March 15, 2022 from <https://www.hok.com/ideas/research/genius-of-biome-california-coast-design-research-project/>
8. Hong, K., Cho, H., & Yi, S. (2016). A case study on architectural design methodologies based on Biomimicry - Focus on the diachronic Study on the transition from Biomorphism to Biomimicry, *Journal of the Korean Institute of Culture Architecture*, -(54), 137-148.
9. ITKE. (n.d.). *ICD/ITKE Research Pavilions*, ITKE University of Stuttgart Homepage, Retrieved March 20, 2022 from <https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/icd-itke-research-pavilions/>
10. Kim, J., Kang, C., & Yoon, H. (2018). Process for the architectural application of Biomimicry, *Journal of the Architecture Institute of Korea Planning & Design*, 34(12), 77-84.
11. Lee, J., & Kang, J. (2015). A schematic study on developing an information system for the architectural application of Biomimicry, *Journal of the Architecture Institute of Korea*, 17(1), 45-54.
12. Lee, J., Kang, J., Kim, E., & Byun, N. (2015). A case study on Biomimicry methodology for building and architectural design, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 17(2), 31-40.

(Received Aug. 16, 2022/ Revised Sep. 13, 2022/ Accepted Oct. 28, 2022)