



## 바이오미미크리를 적용한 경기장 건축의 친환경 특성 및 계획 요소 분석

### *Analysis of Eco-friendly Characteristics and Planning Elements of Stadium Architecture Using Biomimicry*

김자경\*

Ja-Kyung Kim\*

\* Corresponding author, Professor, Dept. of Interior Architecture, Inha Technical College, South Korea (jkkim@inhac.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** It is essential to secure sustainability and eco-friendliness in stadium construction, which is large in scale and consumes a lot of energy. As an alternative to this, biomimicry Architecture is emerging. In this paper, we tried to suggest the direction of the construction of the biomimicry stadium as an ideal future alternative. Therefore, we are going to investigate the current stadiums where biomimicry is applied, and check which natural characteristics are applied and how eco-friendly planning factors are reflected. Through this, this study aims to identify the main characteristics and advantages of eco-friendly stadiums that imitate nature, and which aspects of planning elements to focus on. **Method:** The main morphological characteristics and eco-friendly characteristics were checked centering on the 10 stadiums to which the biomimicry design was applied, and the eco-friendly planning elements applied to each stadium were checked. As for the analysis criteria, the overall eco-friendliness was analyzed by the application rate by checking the application of the basic 7 items of domestic green building certification. **Result:** As a result of the analysis, the stadium architecture following the imitation of natural forms serves as a landmark in a beautiful form, and the overall application rate of eco-friendly planning elements was investigated at 74.8%. In particular, indoor environment planning elements with natural design were applied the most at 94.1%, followed by maintenance at 93.3%, water resource management at 88%, materials and resources at 87.2%, ecological environment at 59.7%, and energy and environmental pollution at 51.1%.

© 2023. KIEAE all rights reserved.

#### KEYWORD

바이오미미크리 건축  
친환경 경기장  
바이오미미크리 경기장 건축

Biomimicry Architecture  
Eco-friendly Stadium  
Biomimicry Stadium Architecture

#### ACCEPTANCE INFO

Received Apr. 22, 2023  
Final revision received May. 15, 2023  
Accepted May. 19, 2023

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

21세기 지구환경의 변화와 생태 위기는 사회 전반 시스템은 물론 건축에서의 지속가능성, 친환경으로의 전환을 필수로 하게 되었다. 이에 에너지 소비가 많은 경기장 건축에서도 친환경성을 높이기 위한 다양한 방법이 적용되고 있으며 팬데믹 이후 미래 경기장에 대한 새로운 대안을 찾는 움직임이 커지고 있다. 미래 경기장은 더욱 더 웰빙과 지속가능성이 중요해지고, 다양한 옵션이 수행되는 융통성과 위생과 안전, 쾌적한 환경에 대한 요구가 더욱 중요해지고 있다. 이에 대한 해결책으로 생체모방에 의한 자연의 형태와 시스템, 프로세스를 반영하는 바이오미미크리(Biomimicry) 건축이 대안으로 부각 되고 있다. 건축은 역사상 자연을 영감의 원천으로 자연과 항상 연결되어 있다. 최근 바이오미미크리는 단순한 형태모방 차원을 넘어 건축 환경의 구조, 원칙, 시스템을 제공하고 있다. 따라서 본 논문은 미래 지속가능한 경기장 건축의 대안을 바이오미미크리 디자인에서 찾고자 하였다. 이에 현재 바이오미미크리를 적용한 경기장을 조사하고, 바이오미미크리 디자인 요소 중 어떠한 측면이 강조되어 적용되었는지, 자연의 어떠한 측면을 모

방하였는지, 친환경적인 계획 요소가 어떻게 반영되었는지 체크하고자 한다. 이를 통해 바이오미미크리 디자인 적용된 경기장의 이점이 무엇이며, 친환경 계획 요소 중 어떠한 계획 요소에 더 주안점을 두는지 제시하고자 한다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 미래의 이상적인 지속가능한 경기장에 대한 아이디어를 자연을 모방한 바이오미미크리에서 찾고자 하였다. 이에 현재 바이오미미크리 디자인을 반영한 경기장 건축에 대한 분석을 통해 경기장 건축에 바이오미미크리가 어떻게 적용이 되는지, 자연의 어떠한 측면을 반영하여 친환경성을 나타내는지, 친환경 계획 요소 중 주로 어떤 계획 요소가 반영되었는지 조사하고자 한다. 이를 위해 각종 문헌과 연구 자료와 기사 자료, 웹 리서치, 분석 대상이 되는 경기장의 인터넷 사이트 검색을 진행하였으며, 다음과 같은 방법으로 연구를 진행하였다.

첫째, 바이오미미크리 개념과 바이오미미크리가 적용된 건축 유형과 주요 특성을 조사한다.

둘째, 바이오미미크리 개념이 적용된 경기장을 조사한 결과 12개 정도의 경기장이 조사 되었는데 이 중 2000년 이후 실제로 준공된 경기장이 10개로 조사되어 이를 분석 대상으로 선정한다.

셋째, 분석 대상의 모방 대상과 주요 형태적 특성과 자연의 어떠

한 패턴과 프로세스를 모방하여 친환경적인 특성이 나타나고 있는지 조사한다.

넷째, 분석 대상에 세부적으로 적용된 친환경 계획 요소가 무엇이며 주로 어떠한 측면에 계획 요소에 주안점을 두는지 체크 하였다. 이를 위해 향후 국내 경기장의 친환경적 특성과 비교가 용이하도록 국내 녹색 건축 인증의 기본 7개 항목을 중심으로 해외 인증 항목에서 경기장에 적용 가능한 세부 계획 요소를 추가하여 분석기준으로 친환경 계획 요소의 적용 유무를 체크 하였다. 각 계획 요소에서 어떤 계획 요소를 중점으로 많이 반영 되었는지 항목별, 대상별로 비교가 용이하도록 반영 여부를 기준으로 계획 요소가 잘 반영 된 경우 2점, 부분 반영 된 경우 1점, 미 반영된 경우 0점으로 점수를 부여하여 적용률을 도출 하는 방식으로 적용 유무를 체크하여 항목별 친환경성을 분석한다.

다섯째, 각각 적용된 적용률과 적용된 계획 요소를 비교하여 바이오미미크리가 적용된 경기장에서는 어떠한 친환경 계획 요소에 주안점을 두는지 가장 많이 적용된 계획 요소를 제시하는 방식으로 진행한다.

## 2. 바이오미미크리 개념 및 건축 유형

### 2.1. 바이오미미크리의 개념

바이오미미크리(Biomimicry)는 그리스어로 생명을 의미하는 'Bios'와 모방을 의미하는 'Mimesis'의 합성어로 Webster의 사전은 생체모방을 '공학이나 발명에서 자연적인 생물학적 설계 또는 프로세스의 모방'으로 정의하고 있으며[7], 1950년대부터 도입되어 다양한 개념으로 사용되었으나 미국의 생물학자인 재닌 M.베니어스(Janine Benyus)가 1997년 그의 저서 '생체모방학(Biomimicry)'에서 개념을 정립하여 대중화 하였다[4]. 그는 '인간 문제를 해결하기 위한 설계 및 프로세스의 모방으로 정의'하고 있으며, 건축가 바다르나(Badarnah)는 '환경 친화적인 개발을 통해 문제, 특히 건축 문제를 해결하는 것'으로 확장하여 개념을 정의하고 있다[14]. 즉 바이오미미크리에 대한 정의는 학문간 유의미한 차이는 있지만 자연의 생물학적 전략을 영감으로 사용하는 공통점이 있으며 점차 적용 범위와 개념이 확대되고 있으며 다양한 분야에 적용되어 구체화 된 사례가 늘어나고 있다. 이는 자연은 항상 변화에 적응하며 현상을 유지하기 위해 가장 효율적인 특성을 선택하고 진화하는 특성을 지닌

다. 그리고 자연은 폐기물 에너지를 생성하지 않고 순환원리에 의해 재사용과 재활용이라는 기본 원칙에 따라 작동하는 원리로 현대 사회 지속가능한 발전과 건축과 디자인 등에 영감을 주기 때문이다. '생체모방'은 이러한 자연의 패턴과 설계, 프로세스를 모방하여 다양한 전략을 배우고 인간의 다양한 문제에 대한 지속가능한 해결책을 찾는 혁신에 대한 접근방식으로 정의할 수 있다. 그러므로 바이오미미크리는 자연과 생명체에서 볼 수 있는 디자인적 요소나 특성의 연구 및 모방을 통해 현대의 환경문제의 해결책을 제공하는 데에 그 목적이 있다[3].

### 2.2. 바이오미미크리 건축 유형 및 특성

바이오미미크리 건축은 자연의 형태와 재료, 구성, 프로세스와 기능 등을 모방하는 방식을 취하게 된다. 그러므로 건축 유형 또한 기본적으로 자연으로부터 무엇을 모방을 어떠한 수준까지 적용하는지, 그 특징을 중심으로 분류 해 볼 수 있다. 모방의 유형은 일반적으로 재닌 M. 베니어스가 제안한 특정 유기체나 전체 유기체의 일부 형태를 모방하는 Organism level, 유기체가 행동하는 행동을 모방하는 Behavior level, 전체 생태계의 시스템을 모방하는 Ecosystem level을 중심으로 세부 건축 유형을 구분해 볼 수 있다. 기본 3가지 모방 영역과 레벨에서 건축에 접근하는 방법은 Organism level에서는 특정 자연물의 형태 자체나 생성 알고리즘을 건축 외형이나 공간에 적용하는 형태적 모방 유형이 있으며, Behavior level에서는 자연이 수행하는 과정을 모방하는 것으로 자연의 기능과 구조, 물리적·화학적 특성을 건축의 구조나 자재에 반영하여 에너지와 구조체의 효율을 높이는 기능·구조 모방 유형과 생명체가 주변 환경의 변화를 감지하고 정적·동적으로 반응하는 움직임 모방한 반응·움직임 모방 유형이 있다[5]. Ecosystem level은 가장 어려운 수준의 모방 유형으로 생태계의 전체 또는 부분이 갖는 통합 시스템의 이점을 건축에 적용하여 지속가능한 건축을 통합 구축하는 생태계 통합 시스템 모방 유형으로 구분해 볼 수 있다. 따라서 바이오미미크리 건축 유형은 크게 4가지로 Table 1.과 같이 분류해 볼 수 있다[3][5]. 그리고 각 건축 유형의 모방의 레벨 정도를 결정하는 주요 차원의 요소는 5가지로 어떤 형태를 모방하는지, 무엇으로 만들어 지는지(재료), 어떻게 만들어지는지(구성), 어떻게 작용되는지(프로세스), 기능이 무엇인지(기능)로 구분해 볼 수 있다[17].

Table 1. Types of architecture by area of biomimicry

Area(level)	Type of architectural imitation	Architectural Application
Organism level (Imitation of living things)	Imitation of nature's form itself or creation algorithm, morphological imitation	It is reflected in the form of architecture, façade, and space. Shaping the shape of a unique and modern building
Behavior level (Imitate the behavior of living things)	Imitation of function, structure, operation, physical and chemical properties of nature and its elements	Reflected on building structure and building materials, increasing the efficiency of the building's energy, structure
	Imitation of biological functions such as reactions and movements	Architecture that detects changes in the surrounding environment and reacts statically and dynamically
Ecosystem level (Ecosystem imitation)	Imitation of an integrated system of living organisms in whole or in part of an ecosystem	Composition of sustainable architectural structure and environment by reflecting the integrated system of the whole or part of the ecosystem

Sign	Stadium name	Location	Opened	Capacity (seat)	Gross floor area (m <sup>2</sup> )	Imitation target	Image
A	Qizhong Forest Sports City Tennis Arena	Shanghi, China	2005	80,000	85,000	Magnolia Leaf	
B	Water Cube	Bejing, China	2008	6,000~11,000	65,000	Soap Bubbles	
C	Bejing National Stadium	Bejing, China	2008	80,000	258,000	Bird's Nest	
D	Bilbao Arena	Bilbao, Spain	2010	10,014	30,808	Leaf	
E	Bao'an Stadium	Shenzhen, China	2011	40,000	88,500	Bamboo Forest	
F	Akron Stadium (Chivas Stadium)	Guatajalza City, Mexico	2010	49,850	110,000	Volcano	
G	Hassan Bin Zayed Stadium	Al ain, UAE	2014	25,000	45,000	Date Palm Leaves	
H	Pancho Arena	Felcsut, Hungary	2014	3,816	12,000	Trees, Forest	
I	Grandstand Stadium	Newyork, USA	2016	8,125	11,612	Leaf	
J	Hangzhou Sports Park Stadium	Hangzhou, China	2019	80,000	60,000	Lotus Petals	

Fig. 1. Stadium to be Analyzed

Table 2. Planning elements for eco-friendliness analysis

Evaluation items	Planning Items	Planning Elements
1. Land use and transportation	Ecological value	Ecological value of existing site, Land use / Use of natural terrain
	Adjacent site impact	Feasibility of solar interference prevention measures
	Reducing land environmental load	Conservation of raw terrain, Natural surface residual rate (Recycling of topsoil), Permeable packaging
	Traffic load reduction	Proximity of public transportation, Whether bicycle storage is installed or not, Electric vehicle charging station
2. Energy and environmental pollution	Energy saving	Energy performance indicator, Power automatic control system, meter installation by usage, High efficiency lighting, Equipment, Absorption water heater (High efficiency of facility system), Recovery of exhaust and waste heat, Temperature monitoring
	Sustainable energy use	Solar power, Local air conditioning, Geothermal energy, Wind power, Biomass
	Environmental pollution	Prevention of global warming(Energy to reduce carbon dioxide emissions, Prohibition of the use of certain substances to destroy the ozone layer, Evaporative cooling of water space) / Waste(Recycling, Separate collection, Composting of food waste)
3. Materials and resources	Resource saving	Saving consumer goods used in the bathroom, Recyclable separation method, Variable structure design, Long life design (Improved durability)
	Sustainable resource utilization	Whether to use eco-certified products, Use recyclable materials, Reuse materials, Use sustainable materials, Display carbon emission information of materials
4. Water resource management	Water circulation system	Measures to reduce rainwater load (Rainwater Leakage Reduction Facility)
	Water conservation	Measures to reduce water supply for daily use, Watersaving sanitary appliances, Use of rainwater, Installation of heavy water supply
5. Maintenance	Systematic site management	Site management considering environment, Rationality of planning
	Efficient building management	Provide operation and maintenance documents and instructions, Conduct TAB and commissioning
6. Ecological environment	Creation of green space in the site	Natural soil green rate, Establishing green space in connection with surrounding environment, Creating new pasture, wetland, mountain and wetland
	Microclimate control	Wind path creation, Wind and shade planting, Hydrophilic space around the building
	Secure ecological function	Greening of external space, greening of building walls, greening of roof, greening of artificial ground
	Creature habitat space	Biotope composition (Land, Aquatic)
7. Indoor environment	Locality amenities	Ecological greening through native planting, Creating a local green community, and creating a nature-friendly playground
	Air environment	Use of indoor air pollutant low emission materials, Air conditioning environment control, Natural ventilation performance (Natural ventilation, Air circulation fan), Control of harmful substances emitted from construction materials, Retractable roof, Wall, Louver system
	Thermal environment	Adopt indoor thermostat, double shell, Heat buffer space, Heat insulation to minimize heat loss
	Noise environment	Reduction of indoor noise and noise in the water supply system for traffic noise
	Light environment	Natural light, light duct, lighting plan by sensor, Shade control device
	Comfortable indoor environment	Space for rest and recharging (Players, Visitors), Facilities considering barrier free

### 3. 바이오미미크리 경기장 건축의 친환경 계획 요소 분석

#### 3.1. 분석 대상 및 분석기준

##### 1) 분석 대상

바이오미미크리 디자인이 반영된 경기장 건축 중 2000년 이후 완공된 경기장을 중심으로 분석 대상을 Fig 1.과 같이 10곳을 정하였다. 모방 대상은 목련과 연꽃, 비누 거품, 새 동지, 나무와 나뭇잎, 대나무 숲, 화산 등의 자연형태를 반영한 경기장을 중심으로 선정하였다. 분석 대상 선정은 친환경 인증을 받은 건축보다는 바이오미미크리가 반영된 건축을 중심으로 선정하였으며 최종적으로 이러한 건축이 어떠한 측면에서 친환경적인지 어떤 계획 요소들이 적용되었는지 조사하고자 하였다.

##### 2) 분석기준 및 방법

우선 각 분석 대상별 경기장 건축에 바이오미미크리 디자인이 형태에 어떻게 적용되고, 주요 재료와 구조는 어떻게 적용되었는지, 어떻게 자연형태가 반영되고 작용 되는지, 이에 따른 환경 조절 기능이 무엇인지를 중심으로 친환경적인 특성을 체크 한다. 그리고 각 조사 대상이 현재 친환경 건축의 평가 기준항목에서 어떠한 계획 요소가 반영되었는지 조사하여 바이오미미크리 디자인인 반영된 경기장의 친환경 계획 요소 특성을 도출하고자 한다. 이에 친환경 계획 요소의 기준은 국내 경기장과 비교가 용이하도록 녹색건축인증(G-SEED)의 평가항목인 토지 이용 및 교통, 에너지 및 환경오염, 재료 및 자원, 수자원 관리, 유지 관리, 생태환경, 실내 환경 7가지 항목을 중심으로 기본 계획 항목을 정하고[1], 세부 계획 항목은 해외 친환경 건축 인증인 LEED와 CASBEE의 평가항목에서 경기장 건축에 적용이 가능한 세부 계획 요소를 체크하여[2] 국내 인증 항목에 누락된 요소를 추가하여 세부 계획 요소로 잡고 Table 2.1)와 같은 계획 요소 항목을 최종 도출하였다. 이에 이를 분석기준으로 각 대상 경기장의 적용 유무를 항목별로 체크하였다. 계획 요소 체크 시 적용 유무와 친환경 기술 반영도를 전체적으로 파악하기 위해 전체적으로 잘 반영된 경우 ○(2점), 부분 반영 되었을 경우 ▲(1점), 전혀 반영이 안 된 경우 -(0점)로 구분하여, 체크 한 후 점수를 부여하고, 이를 기준으로 적용률을 도출하였다.

#### 3.2. 분석 대상의 건축 및 친환경적 특성

분석 대상으로 선정된 10곳의 건축적 특성을 바이오미미크리 건축 유형 중 어떤 유형에 해당이 되는지, 주요 컨셉에 해당되는 형태 모방 대상은 무엇이며, 형태 모방이 건축의 어떤 부분에 적용 되었는지, 형태 모방의 유형에 따른 건축 유형은 어떻게 되는지, 주재료와 구조는 어떻게 되는지, 그리고 형태 모방을 통한 주요 기능과 빛, 바람, 습도, 공기 등 환경인자에 따른 반응성과 움직임이 건축 구조나 공간에 어떻게 반영되어 친환경적인 특성을 나타내는지에 대해 조사한 결과 Fig 2.와 같다.

조사 결과 분석 대상 모두 특정 자연형태를 건축 전체 형태나 구조, 입면 패턴에 모방하여 Organism level에 해당되며, 건축 유형은 형태적 모방형에 해당되는 것으로 조사 되었다. 전반적으로 전체 형태에 반영한 유형이 A, B, C, D, F, J이며, 기둥과 구조에 반영된 유형이 E, H, 입면에 프랙탈 패턴으로 적용된 유형이 G, I로 조사 되었다. 대부

분 형태 자체를 모방에 초점에 맞춰져 있지만 이 중 키네팅 셰이딩 파사드(Kinetic Shading Façade) 로 빛과 공간 필요에 따라 개폐가 되는 유형이 A, J는 지붕에서 G, I는 입면에서 조절이 되는 유형으로 주변 환경에 적극적으로 반응하는 것으로 조사 되었다. 이러한 유형은 특히 빛과 바람, 공기에 대하여 적극적으로 반응하여 자연채광과 차양 효과, 자연 통풍과 환기에 더욱 적극적으로 대응하여 실내 환경 쾌






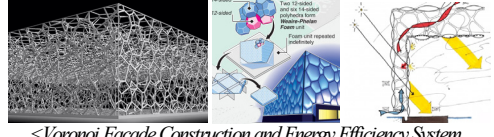
Sign	Imitation Target	Application Type	Form Image	Main material Structure
A [7] [18]	 Magnolia leaf	Morphological imitation : flowering of flowers		· Steel folding roof
	<b>Applied Concept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retractable roof structure in the form of 8 sliding petals</li> <li>Kinetic shading façade in which each roof rotates to open and close</li> </ul>  <p>&lt;Conceptual diagram of opening and closing the 8-petal roof&gt;</p>		
	<b>Eco-friendly character-istics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Natural lighting, natural ventilation, ventilation, heating and cooling energy saving system by retractable roof: 82% savings, artificial lighting and mechanical ventilation reduced by 65%</li> <li>Kinetic shading façade: Responds to the building's surrounding climate in real time to change its composition and blocks direct sunlight at least 5 times stronger</li> </ul>		
B [7] [13]	 Soap bubbles	Morphological imitation : natural structure of soap bubbles		Steel space frame · ETFE Clad structure · Weyer-Phelan structure
	<b>Applied Concept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Voronoi elevation façade formed by gathering soap bubbles</li> <li>Composition of a cushion shell with ETFE film covering the roof and exterior walls and blowing air airtight</li> </ul>  <p>&lt;Voronoi Façade Construction and Energy Efficiency System Concept&gt;</p>		
	<b>Eco-friendly character-istics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximization of natural light by Watercube structure, solar energy capture to control interior space heat and heating water temperature</li> <li>Water conservation: rainwater collection, recycling, efficient filtration and backwashing system</li> <li>Achieves excellent thermal efficiency with ETFE cushion shell, strengthens light blocking and insulation performance, saves up to 55% of lighting energy and 30% of heating and cooling energy</li> <li>Energy Recovery, Use of Renewable Energy, CO2 Cooling System: Natural CO2 cooling technology reduces energy consumption, waste and carbon emissions</li> <li>Seismic design</li> </ul>		

Fig. 2. Analyzing the shape and eco-friendly characteristics of the building to be analyzed





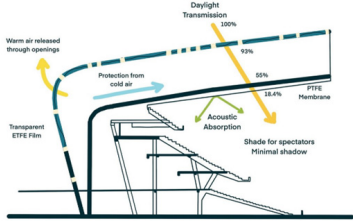

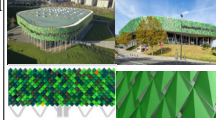
Sign	Imitation Target	Application Type	Form Image	Main material Structure
C [16] [19]	 Bird's nest	Morphological imitation : structure of the nest		<ul style="list-style-type: none"> <li>Steel structure</li> <li>Waterproof polymer membrane structure</li> <li>ETFE membrane structure</li> </ul>
	<b>Applied Concept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A mass that reflects the structural form of a bird's nest, and a structure that expresses the ambiguity between inside and outside with numerous steel columns</li> </ul>		
	<b>Eco-friendly characteristics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Natural light, natural ventilation, ventilation, reasonable ventilation and air conditioning system with waterproof polymer membrane structure</li> <li>Rainwater recycling, heavy water recycling</li> <li>Introduced a triple pump system consisting of a geothermal heat pump, cold water unit and hot water unit: summer cooling, winter heating and hot water supply Air conditioning and heating energy saving</li> <li>Solar power generation: Use of outdoor plaza lighting</li> <li>Powerful seismic design : withstanding seismic intensity 8.0</li> <li>Applying eco-friendly building materials, optimizing waste recycling</li> <li>Solid waste collection and disposal unit</li> </ul>  <p>&lt;Energy efficiency concept by steel frame and ETPE membrane structure&gt;</p>		
D [6] [21]	 Leaf	Morphological imitation : patterns of trees and leaves		<ul style="list-style-type: none"> <li>Precast concrete panel structure</li> <li>Black coated steel sheet</li> <li>Galvanized steel sheet</li> </ul>
	<b>Applied Concept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fractal elevation façade formed by simplifying the shapes of trees and leaves on the hill</li> <li>Designed like a tree supporting the metal façade elements of the structure with steel sheets painted in different colors</li> </ul>		
	<b>Eco-friendly characteristics</b> [6][21]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Natural ventilation-Ventilation, natural light through a pond or stream or greenish natural light as seen from under a cave, awning</li> <li>Acoustic friendly noise absorption with perforated corrugated board</li> <li>Rainwater and heavy water reuse system</li> <li>Bright green perforated exterior reduces main energy load</li> </ul>		

Fig. 2. Analyzing the shape and eco-friendly characteristics of the building to be analyzed (Continued)









Sign	Imitation Target	Application Type	Form Image	Main material Structure
E [12]	 Bamboo forest	Morphological imitation : Vertical of bamboo and forest		<ul style="list-style-type: none"> <li>Steel structure</li> <li>Prestressed cable structure</li> <li>Membrane roof</li> </ul>
	<b>Applied Concept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A structure that supports the weight of the stand and the wide roof with a support elevation structure that reflects the vertical line and thin shape of the bamboo forest</li> <li>Reflect regional identity</li> <li>The green steel pillars have a unique interaction with the bamboo forest pattern of light and shadow.</li> </ul>  <p>&lt;Space by bamboo forest pattern pillars&gt;</p>		
	<b>Eco-friendly characteristics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Natural light, natural ventilation</li> <li>Accessibility in various directions</li> <li>Minimization of material use due to cable structure</li> </ul>		
F [8] [23]	 Volcano	Morphological imitation : Volcanic Crater		<ul style="list-style-type: none"> <li>Concrete shell</li> <li>Membrane roof</li> </ul>
	<b>Applied Concept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mass that embodies clouds and craters created during volcanic eruptions</li> <li>Lightweight roof structure, pitch and stand buried in a volcanic hill</li> </ul>		
	<b>Eco-friendly characteristics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilization of artificial green spaces, geothermal heat on hills, natural structures</li> <li>Air conditioning and natural ventilation</li> <li>Building a water circulation system, collecting and recycling roof rainwater</li> <li>Recycling materials such as silica sand, synthetic fibers, and rubber sand</li> <li>Energy saving system such as high-efficiency lighting</li> <li>Building an underground parking lot and natural ventilation system</li> </ul>  <p>&lt;Sectional composition of artificial hill utilization space&gt;</p>		
G [9] [20]	 Date palm leaves	Morphological imitation : Leaf rotation		<ul style="list-style-type: none"> <li>Steel Structure</li> <li>Glass Membrane Panel</li> <li>Steel iamond rid Structure</li> </ul>

Fig. 2. Analyzing the shape and eco-friendly characteristics of the building to be analyzed (Continued)

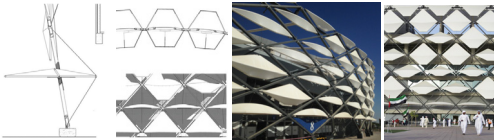
Sign	Imitation Target	Application Type	Form Image	Main material Structure
G [9] [20]	<b>Applied Concept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· A geometric façade embodying the rotation of date palm leaves and a palm tree trunk pattern</li> <li>· Fractal façade structure with shading and shading functions by using parametric technology to enable individual movement</li> <li>· Combine images of arabian headdress</li> </ul>		
	<b>Eco-friendly characteristics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Reducing the total energy required for cooling by using the palm ball façade concept, natural ventilation · ventilation, natural cooling, the exterior works as a passive cooling device</li> <li>· Roof design for sun protection: natural light and shading on the pitch and spectators, acting as a passive external shading device for the building</li> <li>· 28% reduction in water consumption of the heavy water recycling system</li> <li>· Use of non-toxic and eco-friendly materials, maintaining a pleasant indoor air environment</li> <li>· 74% waste recycling in the construction phase</li> <li>· Utilization of solar energy</li> <li>· Shade interactive playground</li> </ul>  <p>&lt;Concept of awning and light control according to individual movement by parametric technology&gt;</p>		
H [10] [11]	<b>Applied Concept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Create an emotional space with an internal elevation structure by simplifying the shape of tree branches and forest</li> <li>· A structure in which a wooden structure unit in the form of a branch meets the grid shell roof to form a space</li> </ul>		
	<b>Eco-friendly characteristics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Utilization of natural environment and remodeling terrain characteristics with wood material</li> <li>· Energy saving through the use of low-energy building materials (Jointed wood structures), solar collectors, etc.</li> <li>· Rainwater recycling</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Laminate wood</li> <li>· Grid shell structure</li> <li>· Reinforced concrete structure</li> <li>· Natural slate roof</li> </ul>
I [10]	<b>Applied Concept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Leaf-shaped canopy, elevation of simplified fractal pattern by transforming and rotating the leaf pattern</li> <li>· Façade. Porous structure composed of 486 geometric panels utilizing opaque, translucent Teflon and PTFE</li> </ul>		
	<b>Eco-friendly characteristics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Utilization of natural environment and remodeling terrain characteristics with wood material</li> <li>· Energy saving through the use of low-energy building materials (Jointed wood structures), solar collectors, etc.</li> <li>· Rainwater recycling</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Reinforced concrete</li> <li>· Teflon membrane, PTFE canopy structure</li> <li>· Metal frame</li> </ul>

Fig. 2. Analyzing the shape and eco-friendly characteristics of the building to be analyzed (Continued)

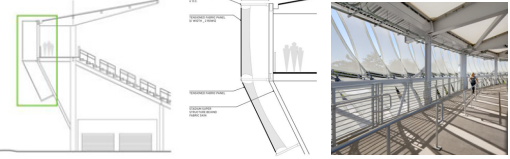


Sign	Imitation Target	Application Type	Form Image	Main material Structure
I [10]	<b>Eco-friendly characteristics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Porous façade design provides natural ventilation, natural light</li> <li>· Retractable Teflon roof structure</li> <li>· Rainwater, heavy water utilization system, advanced rainwater treatment system, general case 40% reduction in water consumption compared to water</li> <li>· Waste recycling: more than 90% of landfill waste</li> <li>· Food disposal compost system, recycling bin</li> <li>· Keeping the stadium cool by reflecting heat through the white roof</li> <li>· Maintaining a pleasant indoor air environment by using non-toxic, eco-friendly materials</li> </ul>  <p>&lt; Porous façade concept and interior view of geometric panels &gt;</p>		
	<b>Applied Concept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Repetitive truss petal module mass in the form of a lotus leaf.</li> <li>· Plant iconography applied as a flowered roof structure.</li> <li>· 28 large petals and 28 small petals</li> </ul>	 <p>Morphological imitation : Petal shape</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Steel Truss</li> <li>· Modular Structure</li> </ul>
J [15] [22]	<b>Applied Concept</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Energy-saving mass</li> <li>· Minimize materials, minimize the use of steel materials</li> <li>· Natural light and ventilation with a modular petal structure that opens and closes according to the amount of sunlight</li> <li>· High efficiency water source heat pump, air handling unit, chiller control system, fan coil unit</li> <li>· Energy saving through heat recovery, air conditioning system, and high-performance control system</li> </ul>		
	<b>Eco-friendly characteristics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Utilization of natural environment and remodeling terrain characteristics with wood material</li> <li>· Energy saving through the use of low-energy building materials (Jointed wood structures), solar collectors, etc.</li> <li>· Rainwater recycling</li> </ul>		

Fig. 2. Analyzing the shape and eco-friendly characteristics of the building to be analyzed (Continued)

적성에 영향을 주고, 이에 따른 에너지 절약 효과에 영향을 주어 친환경 경적인 특성이 다양하게 나타나는 것으로 조사되었다. 그리고 지붕이나 파사드 패턴이 조절되는 유형 외에도 조사 대상 모두 자연채광과 자연 환기가 되는 자연 조절형 기능이 조사 되었다. 그리고 대부분 조사 대상이 자연물이 가지는 구조적인 안정성을 가지며, 심미적인 형태로 지역사회 랜드마크로서의 역할을 하고 있으며, 유기적 형태로 주변 자연환경과 조화가 잘 되는 것으로 조사 되었다. 이에 모든 사례가 형태적으로 에너지 절약적인 건축 형태로 평가되고 있으며, 무엇보다 가벼운 경량 재료와 자연적 구조로 재료를 최소화함으로써 자원절약과 지속가능성을 추구하고 있는 것으로 조사되었다.

### 3.3. 분석 대상 친환경 계획 요소 분석

#### 1) 토지 이용 및 교통

조사 대상에 적용된 토지 이용 및 교통과 관련된 계획 요소의 적용

여부를 조사한 결과 Table 3.과 같다. 전체 계획 항목의 적용률은 88.9%로 높은 적용률을 보였으며, 계획 항목에서 가장 높은 적용률은 인접 대지 영향으로 100%로 모두 적용되었으며, 그다음 대지 환경 부하 저감이 91.7%, 교통 부하 저감 86.7%, 생태적 가치가 82.5%로 조사되었다. 세부 계획 요소에서는 일조권 간섭 방지 대책과 원지형의 보존, 자전거보관소 설치 여부가 20점으로 가장 잘 적용되고 있으며, 그다음은 투수성 포장재, 대중교통의 근접성이 18점, 그다음은 기존 대지의 생태학적 가치, 지연지표면 잔존율이 17점, 그다음은 토지 및 자연 지형 이용이 16점, 전기 자동차 충전소가 14점으로 적용되고 있었다.

2) 에너지 및 환경오염

조사 대상에 적용된 에너지 및 환경오염 대책과 관련된 계획 요소의 적용 여부를 조사하여 분석한 결과 Table 4.와 같다. 전체 계획 항목 적용률은 51.1%로 나타났으며, 계획 항목에서는 에너지 절약 75.7%, 환경오염 저감 대책 60%, 지속 가능한 에너지 사용이 10%로 조사 되었다. 세부 계획 요소에서는 고효율 등기구 장비, 오존층 파괴 특정 물질 사용 금지와 재활용 분리수거가 모든 대상에 적용되어 20점으로 가장 많은 적용률을 보이고, 그다음 전력 자동 제어 시스템, 용도별 계량기 설치, 이산화탄소 배출 저감 에너지 사용이 대부분 적용되어 19점으로 조사되었다. 반면에 지역 냉난방, 풍력, 바

Table 3. Land use and transportation planning factors applied to the analysis target

Plan items	Planning elements	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Score	Total
Ecological value	Ecological value of existing site	○	○	○	○	▲	○	▲	▲	○	○	17	33
	land use / use of natural terrain	▲	○	▲	○	○	○	▲	○	▲	○	16	
Adjacent site impact	Feasibility of solar interference prevention measures	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	20
Reducing land environmental load	Conservation of raw terrain	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	55
	Natural surface residual rate	○	▲	▲	○	○	○	▲	○	○	○	17	
	Pluggable packaging	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	18	
Traffic load reduction	Proximity of public transportation	▲	○	○	○	○	▲	○	○	○	○	18	52
	Whether bicycle storage is installed or not	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	
	Electric vehicle charging station	○	○	○	▲	○	-	▲	▲	○	▲	14	
Total score/total ratio(%)		15	16	16	17	17	15	14	16	17	17	160/88.9	

Table 4. Energy and environmental pollution reduction plan elements applied to the analysis target

Plan items	Planning elements	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Score	Total	
Energy saving	Energy performance indicator	○	○	○	○	▲	○	○	▲	○	○	18	106	
	Power automatic control system	○	○	○	○	○	○	○	▲	○	○	19		
	Meter installation by usage	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	○	19		
	High efficiency lighting, equipment	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20		
	Absorption water heater	▲	○	○	-	-	-	-	-	-	▲	6		
	Recovery of exhaust and waste heat	-	○	○	-	-	-	▲	-	-	○	7		
	Temperature monitoring	○	○	○	▲	○	▲	○	▲	○	○	17		
Sustainable energy use	Use of renewable energy	Solar energy	-	○	○	-	-	-	-	▲	-	-	5	12
		Solar power	-	-	▲	-	-	-	-	-	-	-	1	
		Local air conditioning	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
		Geothermal energy	-	-	○	-	▲	○	-	-	-	▲	6	
		Wind power	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
		Biomass	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
Environmental pollution	Prevention of global warming	Energy to reduce carbon dioxide emissions	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	19	66
		Prohibition of the use of certain substances to destroy the ozone layer	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	
		Evaporative cooling of water space	-	▲	○	-	-	▲	-	-	-	▲	5	
	waste	Recycling separate collection	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	
		Composting of food waste	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	2	
Total score/total ratio(%)		16	23	27	14	16	18	17	14	18	21	184/51.1		

이오매스, 태양광 등 신재생 에너지 사용은 거의 적용이 안 된 것으로 조사 되었다. 그리고 에너지 절약 항목에서는 상대적으로 흡수식 냉온수기, 배기열·폐열 회수 적용이 많이 안 되었으며, 환경오염 계획 항목에서는 음식물쓰레기 퇴비화, 수 공간 조성을 통한 증발냉각이 상대적으로 적게 적용이 되었다. 적극적인 설비를 적용한 신재생 에너지 사용보다는 패시브 한 태양열 에너지 활용과 에너지 절약 시스템을 통한 에너지 절약을 중심으로 계획 요소가 적용되고 있는 것으로 조사 되었다.

3) 재료 및 자원

조사 대상에 적용된 재료 및 자원과 관련된 계획 요소의 적용 여부를 조사한 결과 Table 5.와 같다. 전체 계획 항목 적용률은 87.2%이며, 계획 항목에서는 지속 가능한 자원 활용이 94%, 자원절약이 78.8%로 조사 되었다. 세부 계획 요소에서 가장 높은 적용률은 화장실에서 사용되는 소비재 절약과 친환경 인증 제품 사용 여부, 지속가능성 재료 사용으로 조사 되었다. 그다음 장수명화 설계와 재활용 가능 소재 사용, 재료의 탄소 배출량 정보 표시 등이 19점으로 전반적

으로 적용이 된 것으로 조사되었다. 그다음은 재활용 가능 분리 공법, 재사용 자재 사용이 16점으로 조사 되었다. 상대적으로 가변형 구조 설계가 8점으로 상대적 낮게 조사 되었으나 건축 구조 자체의 가변성은 없으나 내부 공간에서 좌석 수의 조정과 공간용도 변화 등은 8곳에서 반영된 것으로 조사 되어 일부 반영으로 체크 되었으며, 조사 대상 대부분 공간의 다목적성에 대한 고려가 반영되고 있는 것으로 조사 되었다.

4) 수자원 관리

조사 대상에 적용된 수자원 관리 즉 물 순환 관리와 관련된 계획 요소의 적용 여부를 조사한 결과 Table 6.과 같다. 전체 계획 항목 적용률은 88%이며, 계획 항목에서는 수 문환 체계 구축이 90%, 수자원 절약이 87.5%로 조사 되었다. 세부 계획 요소에서는 생활용 상수 절감 대책과 질수행 위생기구 사용이 20점으로 모두 적용된 것으로 조사 되었다. 그다음은 우수 부하 저감 대책이 18점, 중수도 설치가 17점, 우수 이용이 13점으로 전반적으로 수자원 절약과 관련된 계획 요소에 대해 적극적으로 고려가 되고 있는 것으로 조사되었다.

Table 5. Material and resource planning elements applied to the analysis object

Plan items	Planning elements	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Score	Total
Resource saving	Saving consumer goods used in the bathroom	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	63
	Recyclable separation method	-	○	○	○	○	▲	○	▲	○	○	16	
	Variable structure design	▲	▲	▲	▲	▲	-	▲	-	▲	▲	8	
	Ong life design (improved durability)	○	○	○	○	○	○	○	○	▲	○	19	
Sustainable resource utilization	Whether to use ecocertified products	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	94
	Use recyclable materials	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	19	
	Reuse materials	▲	○	○	▲	▲	▲	○	○	○	○	16	
	Use sustainable materials	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	
	Display carbon emission information of materials	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	19	
Total score/total ratio(%)		12	17	17	16	16	14	17	14	17	17	157/87.2	

Table 6. Water resource management plan elements applied to the analysis target

Plan items	Planning elements	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Score	Total
Water circulation system	Measures to reduce rainwater load	▲	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	18	18
Water conservation	Measures to reduce water supply for daily use	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	70
	Water-saving sanitary appliances	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	
	Use of rainwater	-	○	○	○	-	○	▲	○	○	-	13	
	Installation of heavy water supply	▲	○	○	○	○	▲	○	▲	○	○	17	
Total score/total ratio(%)		6	10	10	10	7	9	9	9	10	8	88/88	

Table 7. Maintenance plan elements applied to the analysis target

Plan items	Planning elements	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Score	Total
Systematic site management	Site management considering environment, rationality of planning	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	20
Efficient building management	Provide operation & maintenance documents & instructions	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	36
	Conduct TAB and commissioning	▲	○	○	▲	○	▲	○	○	○	▲	16	
Total score/total ratio(%)		5	6	6	5	6	5	6	6	6	5	56/93.3	



5) 유지 관리

유지 관리와 관련된 계획 요소의 적용 여부를 조사한 결과 전체 적용률은 93.3% 상당히 높은 적용률을 보였으며, 세부 계획 요소의 적용 여부를 체크 한 결과는 Table 7.과 같다. 체계적인 현장 관리가 100%, 효율적인 건물 관리가 90%로 조사 되었다. 이는 바이오미미크리 건축 형태 구현을 위해 BIM, Rhino 3D, Co- bmputational Solver 등의 프로그램을 사용하여 TAB 및 커미셔닝을 실시하고, 대

형 경기 이후에도 운영 유지 관리가 잘되고 있는 것으로 조사 되었다.

6) 생태 환경

생태 환경과 관련된 계획 요소의 적용 여부를 조사한 결과 전체 적용률은 59.5%로 조사되었으며, 계획 요소의 적용 여부를 체크 한 결과 Table 8.과 같다. 가장 적용률이 높은 계획 항목은 대지 내 녹지 공간 조성이 73.3%이며 그다음 적용률은 미기후 조절이 71.7%, 지역성 어메니티 61.7%, 생물 서식 공간이 58.3 %, 생태적 기능 확보

Table 8. Ecological environment planning elements applied to the analysis target

Plan items	Planning elements	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Score	Total	
Creation of green space in the site	Natural soil green rate	○	▲	○	○	▲	○	▲	○	▲	▲	15	44	
	Establishing green space in connection with surrounding environment	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	○	19		
	Creating new pasture, wetland, mountain, and wetland	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	10		
Microclimate control	Wind path creation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	43	
	Wind and Shade planting	○	○	○	▲	○	○	▲	○	○	▲	17		
	Hydrophilic space around the building	-	○	○	-	-	▲	-	-	-	▲	6		
Secure ecological function	Greening of external space	▲	○	○	○	○	○	▲	○	○	○	18	32	
	Greening of building walls	-	-	-	-	-	▲	-	-	-	-	1		
	Geening of roof	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
	Greening of artificial ground	▲	▲	▲	▲	○	▲	○	▲	○	▲	13		
Creature habitat space	Biotope Composition	land	○	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	19	35
		aquatic	-	-	▲	-	-	▲	-	-	-	▲	3	
	Bio Habitat Restoration Design	▲	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	13	
Locality amenities	Ecological greening through native planting	▲	▲	▲	○	▲	○	▲	○	○	▲	14	37	
	Creating a local green community	○	○	○	○	○	▲	○	○	○	○	19		
	Creating a nature-friendly playground	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	4		
Total score/total ratio(%)		17	19	22	18	18	23	18	19	19	18	191/59.7		

Table 9. Indoor environment planning factors applied to the analysis target

Plan items	Planning elements	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Score	Total	
Air environment	Use of indoor air pollutant low emission materials	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	112	
	Use of indoor air pollutant low emission materials	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20		
	Natural ventilation performance	Natural ventilation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		20
		Air circulation fan	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		20
	Control of harmful substances emitted from construction materials	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		20
	Retractable roof, wall, louver system	○	-	▲	○	▲	-	○	-	○	○	○		12
Thermal environment	Adopt indoor thermostat	▲	○	○	○	▲	▲	○	▲	○	○	16	52	
	Double shell, heat buffer space	▲	○	▲	○	○	○	○	○	○	○	18		
	Heat insulation to minimize heat loss	○	○	▲	○	▲	○	○	○	○	○	18		
Noise environment	Indoor noise level for traffic noise	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	39	
	Noise reduction of water supply and drainage facilities	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	19		
Light environment	Natural light, light duct	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	58	
	Lighting plan by sensor	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20		
	Shade control device	○	○	○	○	○	○	○	▲	○	▲	18		
Comfortabe indoor environment	Space for rest and recharging	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	40	
	Facilities considering barrier free	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20		
Total score/total ratio(%)		29	30	29	32	29	29	32	28	32	31	301/94.1		

가 40% 순으로 조사되었다. 세부 계획 요소별로 체크 했을 때 가장 높은 적용률은 바람길 조성이며 그다음은 주변 환경 연계 녹지 구축, 육생 바이오톱, 지역 그린 커뮤니티 조성이 19점, 외부 공간 녹화가 18 점, 방풍 및 그늘 식재가 17점, 자연지반 녹지율이 15점, 토종식재를 통한 생태 녹화 14점, 인공지반 녹화, 생물서식지 복원 설계가 13점으로 다른 항목 비해 적용률이 높게 나타났다. 반면 옥상녹화, 벽면 녹화, 수생 바이오톱, 친자연형 놀이터 조성, 건물 주변 친수 공간 조성이 상대적으로 낮은 적용률로 조사 되었다.

### 7) 실내 환경

실내 환경과 관련된 계획 요소의 적용 여부를 조사한 결과 전체 적용률은 94.1%이며, 세부 계획 요소별 적용 여부를 체크 한 결과 Table 9.와 같다. 계획 항목에서 가장 높은 적용률은 쾌적한 실내 환경이 100%로 가장 잘 반영이 되었으며, 그다음 음 환경 97.5%, 빛 환경 96.7%, 공기 환경 93.3%, 온열 환경 86.7% 순으로 조사되었다. 세부 계획 요소에서는 대부분 거의 적용이 되어 20점인 계획 요소가 많이 조사 되었다. 전체 16개 계획 요소 중 15개 요소가 16점 이상으로 체크 되었으며, 공기 환경에서 개폐식 지붕, 벽, 루버 시스템 만 12점으로 조사 되었다. 그러나 전체적으로 개폐식 지붕이나 벽이 적용된 곳이 5곳이며, 2곳은 일부 조절 기능을 넣어 자연채광과 차양, 환기에 이용되는 것으로 조사 되었다.

### 3.4. 분석 종합

바이오미미크리를 적용한 경기장 사례 10곳을 분석한 결과 친환경 계획 요소의 전체 평균 반영 비율은 74.8%이며, 각 항목별로 살펴보면 Fig. 3.에서 보듯이 실내 환경 94.1%, 수자원 관리 88%, 재료

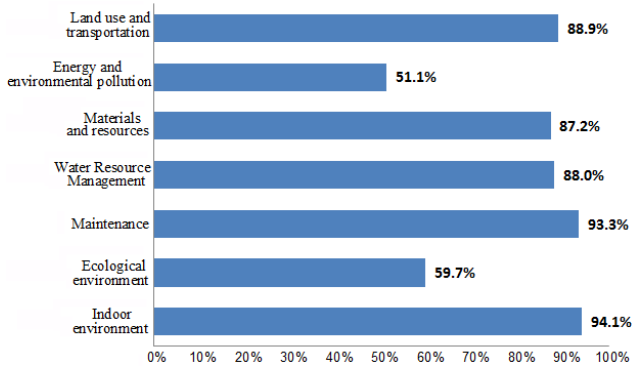


Fig. 3. Total application rate of eco-friendly planning elements applied to the analysis target

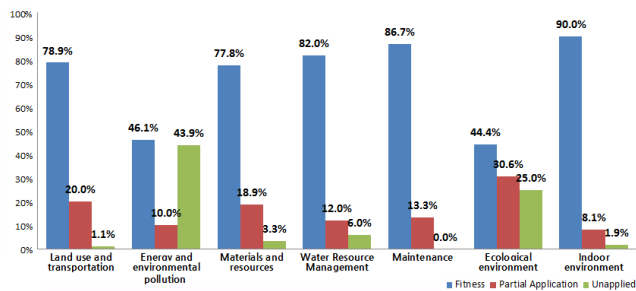
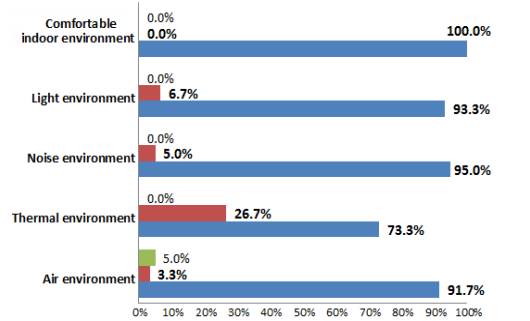


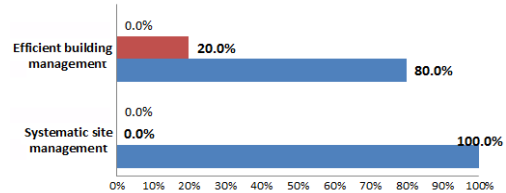
Fig. 4. Comparative analysis of detailed application rate by plan element

및 자원 87.2%, 생태 환경 59.7%, 에너지 및 환경오염 51.1% 순으로 적용률을 보였다. 그리고 각 계획 항목별로 적용률을 전체적으로 적용률이 높은 순으로 정리하여 제시하면 Fig. 5.와 같다.

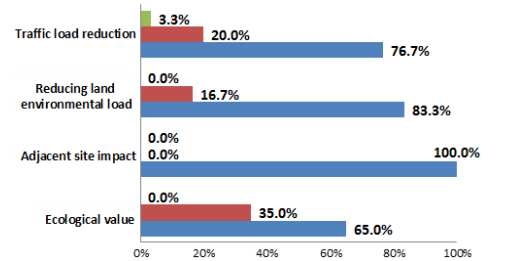
전체 적용률에서 실내 환경이 가장 높은 적용률이 나왔는데, 이는 조사 대상 건축물이 자연의 구조와 형태를 모방하여 건축의 형태와 외피 디자인을 통해 빛, 바람, 온도, 습도, 소음에 대한 조절을 통해 자연채광과 차양, 환기, 통풍을 통한 냉각과 습도 조절을 통해 실



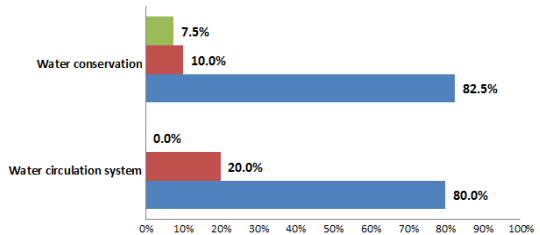
(1) Indoor Environment



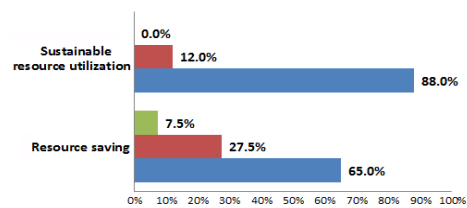
(2) Maintenance



(3) Land use and Transportation



(4) Water Resource Management



(5) Resource Management

■ Fitness ■ Partial Application ■ Unapplied

Fig. 5. Application rate of detailed planning elements by item

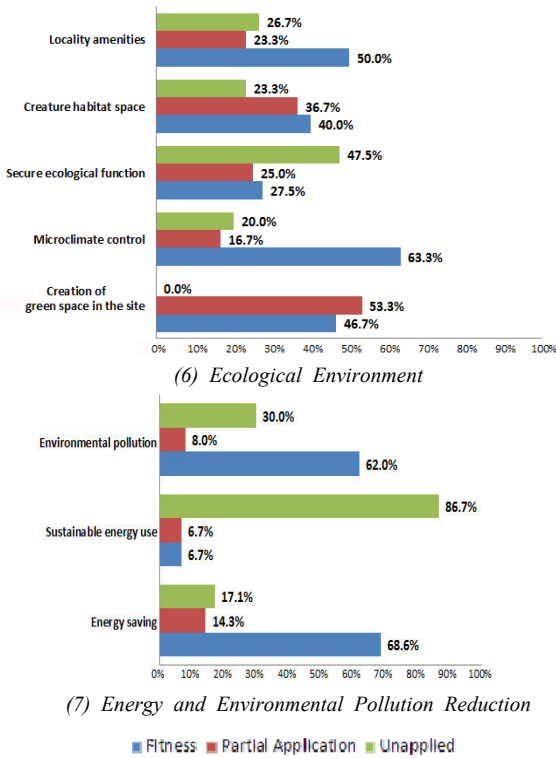


Fig. 5. Application rate of detailed planning elements by item (Continued)

내 환경의 쾌적성을 높였기 때문에 실내 환경에 대한 적용률이 높게 나타났다. 이에 따라 기계적 설비와 조명에너지를 적게 사용하게 되어 에너지를 절약하고, 오염물질 저 방출 자재와 유해 물질 억제 재료와 시스템으로 공기 환경이 좋아지고, 자원과 에너지 절약이 이루어진 것으로 조사 되었다. 그리고 수자원 관리가 적용률이 높은 이유는 조사 대상 입지가 건조하고 물이 부족한 지역에 입지하여 물 절약을 위한 순환시스템에 대한 계획을 초기 계획부터 적용하여 높게 나타나고 있다. 반면, 상대적으로 생태 환경과 에너지 및 환경 오염이 적게 나타나는데 이는 도심지에 위치하여 녹지 연출 공간 면적이 적으므로 다양한 녹지 공간 연출보다는 작은 면적을 활용한 주변 외부 공간 녹화와 지역민들을 위한 그린 커뮤니티를 중심으로 조성되고 있다. 그리고 주변 환경 주변 사막화에 따른 녹지가 부족한 사이트에 입지하여 정책적으로 경기장 인근 주변 녹화나 공원 조성으로 주변 지역 연계 활용하는 사례가 많아 직접적인 생태 환경 조성보다는 주변 환경을 연계하는 환경조성에 중점을 두고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 건축 형태 자체가 자연을 모방하여 구체적으로 자연형태를 담아 자연경관을 대체하면서 주변 자연경관과 조화를 이루는 경우가 대부분으로 조사 되었다. 그리고 에너지 활용에서 자연형 설계를 이용한 에너지 절약은 많이 이루어지나 평가 항목 구성에서 그 부분은 실내 환경 항목에서 체크가 되고, 신재생 에너지 이용과 설비 활용을 통한 에너지 절약 시스템은 적용이 안 되어 적용률이 낮은 것으로 파악된다. 그리고 건조 지역으로 물이 부족한 지역으로 인공적인 수 공간 연출이 적고, 난방 보다는 자연 통풍을 통한 난방 시스템이 추가 되어 적용률이 적게 나타난 것으로 파악되었다.

#### 4. 결론

본 연구는 바이오미미크리 디자인이 경기장에 반영되었을 때 친환경적으로 얼마나 이점이 있는지, 어떤 친환경 계획 요소에 중점을 두는지 분석하고자 하였다. 이에 대표적인 사례 10개를 중심으로 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 현재 경기장 건축에 적용된 바이오미미크리 건축 유형은 조사 대상 모두 Organism level 단계의 형태적 모방으로 조사 있었다. 대부분 모방 대상 형태 자체를 전체적으로 반영한 유형이 주를 이루고, 입면에 프랙탈 패턴을 반영한 유형, 전체 형태에 구조적인 특성을 반영하거나 키네팅 쉐이딩 파사드로 빛과 공간 필요에 따라 개폐가 되는 유형, 꽃의 개화를 형상화 한 지붕이 개폐되는 유형이 조사 되었다. 이에 생명체의 행동을 모방하는 Behavior level이나 자체적 변화에 의한 에너지의 생산과 저장 등 통합적 시스템으로 적용된 Ecosystem level 단계 사례를 조사 되지 않았다. 그러므로 향후 바이오미미크리 경기장 디자인에서 Behavior level과 Ecosystem level 단계를 적용을 통한 보다 적극적인 개발이 필요하다고 여겨진다.

둘째, 조사 대상 건축 대부분 자연물이 가지는 구조적인 안정성을 가지며, 자연 형상이 주는 상징성으로 지역사회 랜드마크로서의 역할을 하고 있으며, 친환경 재료를 반영한 것으로 조사 되었다. 그리고 무엇보다 형태적으로 빛과 바람이 잘 통하는 입면 구조와 형태로 기계적 설비 없이 온도와 습도, 공기흐름에 대한 자연적 조절이 되는 구조로 에너지 절약적인 건축 형태로 평가되고 있으며, 가벼운 경량 재료와 자연적인 구조로 재료를 최소화함으로 자원절약과 지속가능성을 추구하고 있는 것으로 조사되었다.

셋째, 조사 대상에 적용된 친환경 계획 요소를 분석한 결과 전체 평균 반영 비율은 74.8%이며, 각 계획 항목별로는 실내 환경 94.1%, 수자원 관리 88%, 재료 및 자원 87.2%, 생태 환경 59.7%, 에너지 및 환경오염 51.1% 순으로 적용률을 보였다. 이는 자연형태 모방을 통해 빛과 바람, 공기에 대한 반응시스템을 구축하여 자연채광과 차양, 자연 통풍과 환기에 더욱 적극적으로 대응하여 실내 환경계획 요소 항목에서 높은 적용률로 나타났다. 이를 통해 실내 환경 전반 쾌적성에 영향을 주고, 자연 구조에서 나타나는 자연 패턴 연출로 실내 심미성을 높여 주고 있으며, 조명과 냉·난방 비용과 공조 설비, 유지 관리 비용 절감되어 에너지 절약효과로 친환경적인 특성이 다양하게 나타나는 것으로 조사되었다. 단, 평가항목의 에너지 및 환경오염 항목에서는 자연형 설계를 이용한 에너지 절약보다는 실제 에너지원에 해당되는 신재생 에너지 이용과 액티브 설비시스템이 세부 계획 요소로 구성되어 이 부분은 실제 적용이 많이 안 되어 적용률이 낮은 것으로 나타났다.

이에 현재 바이오미미크리 경기장 건축은 무엇보다 자연형태를 반영하여 주변 자연경관과 조화되며 자연형 설계를 통한 에너지 절약과 쾌적한 실내 공간 조성에 탁월하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 향후 바이오미미크리 경기장 개발에서는 단순한 형태적 모방에서 친환경적 우수성을 차용하되, 각 지역의 기후와 지역적 특성을 반영하여 주변 자연환경에 반응하여 자체적 에너지를 생산하고 저장하는 에너지 시스템을 적극적으로 적용하고, 실제 자연 요소의 실내·외의 적극적인 도입을 통한 통합적인 시스템의 적용을 좀 더 고려해

볼 필요가 있다고 여겨진다. 이를 통해 향후 국내 친환경 경기장의 새로운 타입 개발 시 형태 모방 방법을 응용하고, 반영이 안 된 친환경 계획 요소를 좀 더 강화하는 개발이 이루어진다면 이상적인 미래형 친환경 경기장 대안 제시가 가능할 것이라 여겨진다.

## Acknowledgement

본 연구는 2018년도 한국연구재단 이공학 개인기초 연구사업의 지원을 받아 수행된 결과로 이루어졌습니다. 과제번호: NRF-2018RID1A1B07043552)

## References

- [1] 김자경, 국내·외 하계 경기장 친환경 계획 요소 비교 연구, 한국: KIEAE Journal, 제20권 제5호(통권 제105호), 2020.10, pp.61-71. // (J.K. Kim, A comparative study of eco-friendly planning factors for summer stadiums in Korea and abroad, Korea: Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 20(5), 2020.10, pp.61-71.)
- [2] 김자경, 사례 분석을 통한 해외 경기장의 친환경 계획요소에 관한 연구, 한국: 한국실내디자인학회 논문집, 제29권 제3호(통권 140호), 2020.06, pp.41-55. // (J.K. Kim, A study on the environmental-friendly elements of foreign stadiums through case analysis, Korea: Journal of the Korean Institute of Interior Design, 29(3), 2020.06, pp.41-55.)
- [3] 서동훈, 박열, 바이오미미크리 건축의 디자인 접근 특성 연구, 한국: 대한건축학회논문집, 제38권 제12호, 2022.12, pp.47-54. // (D.H. Seo, Y. Park, A study on the design approach characteristics of biomimicry architecture, Korea: Journal of Architectural Institute of Korea, 38(12), 2022.12, pp.47-54.)
- [4] 최성경, 문정민, 생태학적 관점에 의한 바이오미미크리 공간디자인 특성 연구, 한국디자인포럼, 제43호, 2014.04, pp.105-118. // (S.K. Choi, J.M. Moon, Research of biomimicry space design characteristic based on the ecological point of view, Korea: Korea Design Forum, No43, 2014.04, pp.105-118.)
- [5] 홍규선, 조현의, 이성재, 바이오미미크리에 기반을 둔 건축디자인 사례 연구, 한국문화공간건축학회 논문집, 제54호, 2016.05, pp.137-148. // (K.S. Hong, H.E. Cho, S.Z. Yi, A case study on architectural design methodologies based on biomimicry, Korea: Journal of Korean Cultural Space Architecture Society, No.43, 2016.05, pp.137-148.)
- [6] AGNYANA, Bilbao arena, <https://agnyana.wordpress.com/2013/05/29/bilbao-arena-and-sport-center-by-acxt-architects/>, 2023.04.02.
- [7] ARUP, Qizhong Forest Sports City Tennis Arena, Water Cube, <https://www.arup.com/projects/chinese-national-aquatics-center>, 2023.04.02.
- [8] Architonic, Akron Stadium, <https://www.architonic.com/en/project/axor-estadio-omnilife/5101662>, 2023.04.08.
- [9] Archello, Hassan Bin Zayed Stadium, <https://archello.com/project/interactive-playground-at-new-hazza-bin-zayed-stadium>, 2023.04.08.
- [10] Archdaily, Pancho Arena, Grandstand Stadium, <https://www.archdaily.com>, 2023.04.08.
- [11] Architect Magazine, Pancho Arena, [https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/innovative-detail-pancho-arena\\_o](https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/innovative-detail-pancho-arena_o), 2023.04.08.
- [12] Designboom, Bao'an Stadium, <https://www.designboom.com/architecture/gmp-architekten-baoan-stadium/>, 2023.04.02.
- [13] GRAPHICNEWS, Water Cube, <https://www.graphicnews.com/en/pages/22575/olympics-national-aquatic-centre-venues>, 2023.04.02.
- [14] MDPI, Biomimicry Architecture, <https://www.mdpi.com/2313-7673/8/1/107>, 2023.03.20.
- [15] Nbbj, Hangzhou sports park stadium, <http://www.nbbj.com/work/hangzhou-stadium/#previous>, 2023.04.08.
- [16] Rethinking The Future, Beijing National Stadium, <https://www.re-thinkingthefuture.com/architectural-facts/a2572-10-things-about-you-did-not-know-about-birds-nest-china/>, 2023.04.02.
- [17] Science Direct, Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.10.015>, 2023.03.20.
- [18] Solarlits, Biomimetic kinetic shading facade inspired by tree morphology for improving occupant's daylight performance, <https://solarlits.com/jd/8-65#f2>, 2023.03.20.
- [19] Shutterstock, Beijing National Stadium, <https://en.wikiarquitectura.com/building/beijing-olympic-stadium/>, 2023.04.02.
- [20] Thornton Tomasetti, Hassan Bin Zayed Stadium, <https://www.thorntomasetti.com/project/hazza-bin-zayed-stadium>, 2023.04.08.
- [21] WikiArquitectura, Bilbao arena, <https://en.wikiarquitectura.com/building/bilbao-sports-arena/>, 2023.04.02.
- [22] Wikipedia, Hangzhou sports park stadium, [https://en.wikipedia.org/wiki/Hangzhou\\_Olympic\\_Sports\\_Expo\\_Center](https://en.wikipedia.org/wiki/Hangzhou_Olympic_Sports_Expo_Center), 2023.04.08.
- [23] YD YANKO DESIGN, Akron Stadium, <https://www.yankodesign.com/2009/01/28/it-is-a-football-stadium-inside-a-volcano/>, 2023.04.08.

1) 향후 국내·외 경기장의 친환경 계획 요소와 비교가 용이하도록 기존 연구에 활용된 계획요소 분석표를 활용함. 본 표는 국내 녹색건축 인증 항목을 중심으로 기본 항목을 설정하고 LEED, CASEB의 세부 항목을 검토하여 경기장에 적용이 가능한 항목을 추가하여 기본적으로 분석 지표로 사용했으며 향후 다양한 경기장의 친환경성 비교를 위해 통합된 분석 기준을 활용함. G-SEED의 계획 요소 외에 추가 계획 요소는 이태리체로 표기함