2024년 춘계학술발표대회 : 대학생부문

지속가능한 환경을 위한 블루카본의 건축적 활용
- 친수공간의 환경과의 공존 방식을 대상으로 -

Architectural Application of Blue Carbon toward Sustainable Environment
- Focusing on the Coexistence of Hydrophilic Space with Environment -

○표 예 진* 김 수 미**
Pyo, Yejin Kim, Soomi

Abstract

The purpose of this study is to apply blue carbon, a marine resource, architecturally so that it could ultimately form a sustainable environment. Excessive fossil fuels for human development have caused serious climate change and environmental pollution. Blue carbon is a carbon absorption method using marine and coastal ecosystems, and active research is underway as a major solution for carbon neutrality. This study aims to propose an architectural space corresponding to climate change by analyzing the social necessity of blue carbon and the need for urban linkage and analyzing the way hydrophilic spaces coexist with the environment through cases.

키워드 : 블루카본, 블루어바니즘, 바다숲, 해안도시, 생태계, 기후변화, 지속가능성, 공존
Keywords : Blue Carbon, Blue Urbanism, Marine Forests, Coastal City, Ecosystem, Climate Change, Sustainability, Coexistence

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

화석연료의 사용으로 생성되는 블랙-브라운 카본은 대기 중의 탄소로, 육상 식물의 광합성 작용에 의해 저장되고, 해양 및 연안 생태계에 의해 저장되어 왔다.[2] 그러나 이산화탄소의 초과 배출은 생태계로 흡수되지 못하는 잉여 블랙-브라운 카본을 대기 중으로 다량 축적하게 했고, 이는 심각한 환경오염과 기후 변화를 초래했다. 따라서 세계 각국은 2050 탄소중립을 목표로 다양한 해결 방안을 모색하고 있다.

해양 생태계가 흡수하는 탄소인 블루카본은 육상생태계가 흡수하는 그린카본에 비해 탄소 흡수 속도가 50배 이상 빠르며, 지구의 70% 이상을 차지하고 있는 해양을 활용한 방안이라는 점에서 탄소 중립을 위한 주요 해결 방안으로 급부상하고 있다. 그러나 현재 세계의 해양 환경은 수온 상승과 해양 오염으로 인한 바다 사막화 현상으로 매우 열악한 상황이다. 이로 인해 국내외 공공기관과 기업들은 다양한 방식으로 해양 생태계를 복원하고 블루카본을 획득하기 위해 노력하고 있다. 특히 바다숲은 갯녹음 현상을 감소하고 해조류의 서식처를 제공한다.[3] 이러한 바다숲과 블루카본의 가치는 자원 공급, 해양 복원뿐 아니라 지속 가능한 환경을 만들 수 있다는 데 있다. 이는 육지와 바다를 통합하여 지속가능한 도시를 형성하고자 하는 ‘블루 어바니즘(Blue Urbanism)’ (2005, Timothy Beatley)과 맞닿아 있다. 따라서 본 연구는 기후 변화에 대응하는 바다숲과 블루카본을 친수공간에 적용함으로써 환경과 공존할 수 있는 건축적 방향을 탐구하고 지속가능한 환경을 위한 블루카본의 디자인 방향을 제시하는 데 그 목적이 있다.

1.2 연구 방법 및 범위

연구는 블루카본을 포함한 해양 자원이 환경과 공존할 수 있는 건축적 방안을 제시하는 것을 목표로, 사례 조사 및 분석을 통해 전개된다. 국내외 인공 암초 사례, 국내 바다숲 및 해안의 현황 등을 분석함으로써 지속가능성을 가진 블루카본의 가치와 국내 해안 도시와의 연계 방법을 살펴본다. 이후 해양 자원을 활용해 환경과 공존하는 해외 친수 공간의 사례를 비교 분석함으로써 블루카본이 건축적으로 활용될 수 있는 방법과 환경과 공존할 수 있는 친수공간의 특징을 모색하고자 한다.

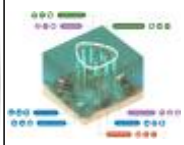
* 숭실대 건축학부 학사과정
** 숭실대 건축학부 부교수, 공학박사
(Corresponding author : School of Architecture, Soongsil University, soomikim@ssu.ac.kr)

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2021R1F1A104582).

2) 강석규, 우리나라 바다숲의 경제적 가치, 한국수산경영학회, 2018.03.

3) 한국수산자원공단, “바다숲 사업 개요”, 2024년 3월 7일 접속, https://www.fira.or.kr/fira/fira_030302_new.jsp

표1. 국내외 인공 암초 사례

	TRITON	Reef Cubes	ECOncrete	Coral Carbonate	ArchiReef	ReefLine	Dubai Reefs
사진							
기업	POSCO+RIST	ARC Marine	ECOncrete	Objet and Ideogram	Archireef	OMA+BlueLAB	URB
재료	철강산업 부산물	채석산업 부산물	채석산업 부산물, 조개껍데기	탄산칼슘	테라코타 타일	Carbon Xinc	바이오잉크 (바이오 프린팅)

* 사진 출처 (1) "포스코 개방 인공어초 3종, 해수부로부터 일반어초 승인" (2014.05.15.), https://www.ajunews.com/view/20140515094919299
(2) https://arcmarine.co.uk/ (3) https://econcretetech.com/ (4) https://www.oplusi.com/coral-carbonate
(5) https://archireef.co/ (6) https://www.thereefline.org/masterplan (7) https://urb.ae/projects/dubaireefs/

2. 이론적 고찰

2.1 기후 변화에 대응하는 바다숲과 블루카본

갯녹음 현상이라고도 불리는 바다 사막화는 암반의 표면을 탄산칼슘이 하얗게 뒤덮는 현상으로, 해양 생태계 종 다양성과 생물량을 감소시키며 급속도로 확산 중이다. 바다숲은 해양생물 서식처 제공 및 오염물질 정화를 통해 해양 생태계를 복원하는 방법으로, 바다 식물이 무리 지어 살 수 있도록 조성된 환경이다. 우리나라는 바다숲 조성 사업으로 전국에 약 228개소를 설치하였으며, IPCC에서 블루카본으로 인정된 잘피 숲을 조성하거나 인공 암초를 활용해 해조류의 서식지를 마련하는 등 해저 환경을 조성하고 있다. 특히 포스코는 철강 공정에서 발생하는 슬래그를 인공 어초의 재료로 활용하고 있다. 이외에도 국내외로 인공 암초에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 채석산업 부산물을 활용한 Reef Cubes와 ECOncrete, 탄산칼슘과 3D프린팅을 접목한 Coral Carbonate, 테라코타 타일을 활용한 ArchiReef, 신재료를 활용한 OMA의 ReefLine, URB의 Dubai Reefs 등이 있다. 대부분 산업 공정 부산물을 활용하거나 자연환경과 비슷한 재료로 만들어져 해저 환경과 환경 사이클 내에서 지속 가능한 환경을 조성한다. 이러한 바다숲 생태계 서비스가 가지는 가치는 자원 공급 서비스 편익의 가치뿐만 아니라 문화관광 서비스 편익의 가치, 환경조절 및 생태계유지 서비스 편익의 가치, 비사용 가치 및 경제 가치 등으로 확장될 수 있다.[1)]

IPCC(Intergovermental Panel on Climate Change)에 따른 블루카본의 사전적 의미는 'All Biologically-driven carbon fluxes and storage in marine systems that are amenable to management'로, '해양 및 연안 생태계에 의해 포집되어 수백 년에서 수천 년 동안 영구적으로 저장되는 유기탄소'로 정의할 수 있다.[2)] Yoon(2023)에 따르면 '블루카본에 대한 관심은 탄소흡수원의 역할을 넘어 기후 적응력·회복력을 제고하기 위한 해양에서의 자연기반해법으로 나아가고' 있으며, 미국·호주 등 해외에서는 기존 환경 정책 및 지역공동체와 결합한 블루카본 정책을 통해 '기후 변화에 따른 인간 적응뿐만 아니라 블루카본 생태계의 적응을 중요하게 고려'하고 있다.[3)] Hwang(2023)은 '블루카본 바이오매스 서식지 보존을 위한 공간계획'을 실현하기 위한 '탄소저감형 해안도시 조성의 필요성'을 제시하였다.[4)] 이를 통해 블루카본이 기후 적응력, 회복력 등 생태계 전반의 지속성을 위해 개발 및 연구가 필요한 자원이며, 공간 및 건축과의 연계를 통해 자원의 가치가 도시적 차원으로도 확장될 수 있음을 확인하였다.

2.2 환경과 공존하는 트리톤 바다숲

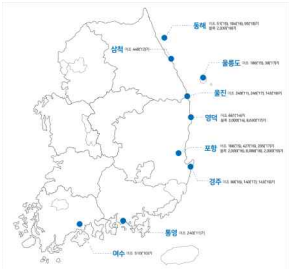


그림1. 트리톤 바다숲 위치 (출처: 참고* 및 저자 재구성)

트리톤은 철강 제조공정 과정에서 쇳물과 함께 생성된 철강 슬래그를 가공한 인공 어초이다. 일반 자연석에 비해 철, 칼슘 등 해안에 유용한 미네랄을 다량 함유해 해양 환경 복원에 유리하며 고비중, 고강도로 물리적 안정성이 우수하여 자연재해에 잘 견디는 소재이다.[5)] 포스코는 갯녹음 현상이 심각한 전국 30여 곳에 6600여 개의 트리톤을 설치해 바다숲을 조성하였다. 트리톤을 설치해 인공 바다숲을 조성하면 해조류 생체량이 증가하고 생물 다양성이 복원되며 여러 생물이 다양하게 모여 사는 하나의 생태계가 구성된다. 이는 풍부한 해양 자원을 형성하는 기반이 된다.

1) 강석규, 우리나라 바다숲의 경제적 가치, 한국수산경영학회, 2018.03.
2) 윤호성 외 7인, 동해안 블루카본 자원의 가치와 활용방안, 생명과학회지, 2022
3) 윤소라, 연안 및 해양에서의 자연기반해법으로서 블루카본 정책에 대한 검토-기후 적응력·회복력 제고와 관련하여, 환경법과 정책, 2023.10.
4) 황선아, 블루카본 바이오매스 서식지를 중심으로 한 탄소저감형 해안도시 조성의 필요성, 한국항해만학회, 2023.06.
5) POSCO/RIST의 저탄소 녹색성장 솔루션: 바다숲 조성 및 해양생태계 복원을 위한 TRITON, 농림수산식품부·POSCO·RIST, 2010, https://www.posco.co.kr/homepage/docs/kor5/dn/sustain/environ/Triton%20Brochure(Kor).pdf
* 포스코 뉴스룸, "영일만 친구는 바다가 고향이란다 - 바다숲 조성, 2024년 3월 10일 접속, https://newsroom.posco.com/kr/영일만-친구는-바다가-고향이란다-바다숲-조성/

3. 사례 분석

앞선 이론적 고찰을 통해 바다숲과 블루카본의 물리적, 사회적 필요성과 공간적, 도시적 연계의 필요성을 확인하였다. 따라서 본 연구는 이러한 필요성에 대한 디자인적 방향을 제시하고자 환경과 교류하고 공존하는 해외 친수 공간 5가지 사례를 선정하여 분석하였다. 사례는 수변 활용 친수 공간의 Clouds on the Sea, Copenhagen Harbour Bath와 해저 활용 친수 공간의 Biodiver[City], ReefLine, Dubai Reefs로 분류된다.

3.1 수변 활용 친수 공간 사례

수변을 활용한 친수 공간은 바다를 공간으로 직접 사용하기보다는 육지 공간이 바다로 확장되는 느낌이 더 강하며 물리적 환경이 변한다는 특징을 건축적으로 활용해 공간을 흥미롭게 구성하고 있다.

(1) Clouds on the Sea

Clouds on the Sea는 SANAA가 설계한 중국 Shenzhen Maritime Museum 공모 당선작이다. 바다 위를 떠다니는 하얀 구름을 핵심 컨셉으로 하는 종합해양박물관이며 해양 자원을 수집하고 전시, 교육, 연구 등이 이루어지는 공간이다. 기둥이 없는 반구형 실내 공간으로, 프로그램이 서로 유기적 연속성을 가지도록 계획하였으며 관람객들의 동선 또한 자유롭게 순환하도록 했다. 반투명 소재를 활용하여 컨셉을 구현하였으며, 에너지 총 사용량을 감소하도록 했다. 뿐만 아니라 재료를 통해 산-습지-바다의 서로 다른 지형적 맥락이 자연스럽게 연결되도록 하여 경계를 흐리고 시각적인 연계를 유도하였다.

(2) Copenhagen Harbour Bath

Copenhagen Harbour Bath는 BIG와 JDS가 설계한 바다 위를 부유하는 수영장으로, 기능이 쇠퇴한 산업 항만을 친

표2. 해외 친수 공간의 환경과의 공존 방식 분석

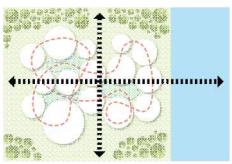
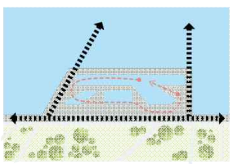
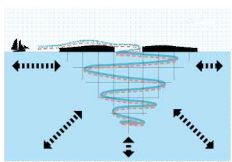
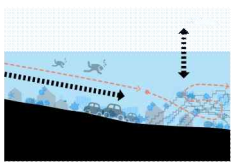
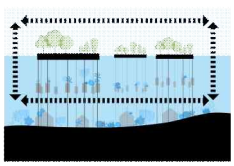
	수변 활용 공간		해저 활용 공간		
	Clouds on the Sea	Copenhagen Harbour Bath	Biodiver[City]	ReefLine	Dubai Reefs
작품 사진					
건축가	SANAA (2021) First Prize	BIG+JDS (2002) Completed	Quentin Perchet (2014) Grand Prix Laureat	OMA (2020) Commissioned Study	URB (2023)
위치	Shenzhen, China	Copenhagen, Denmark	Ocean	Miami, United States	Dubai’s coast
개요	Shenzhen Maritime Museum 공모 당선작	산업항만의 친수공간 전환 프로젝트	Jacques Rougerie Foundation’s Award 2014 Ocean GrandPrix	Underwater Sculpture Park for Miami Beach	두바이의 2050 기후중립 위한 해양복원 프로젝트
핵심 컨셉	바다 위를 떠다니는 하얀 구름	부유식 수영장	Oceanic zoo of awareness	나선형 계단 구조의 Underwater Folly	Mix Use Floating Ecotourism Hub
프로그램	종합해양박물관 (해양자원 수집 및 전시, 교육, 연구 등)	공연문화예술 및 일광욕, 물놀이 공간	해양자원 관람 및 해양보호 전시, 해양생물 성장 지원	수중 조각공원 및 인공산호초	해양 복원 및 연구, 생태관광 등
공간 개념도					
건축적 특징	반투명 소재 사용, 반구형 무주 공간, 실내외 유기적 연결	데크-수영장 연속, 육지-바다의 변화를 다이빙대로 치환	새로운 아쿠아리움, 소용돌이 형태의 해저터널 관	콘크리트 모듈식 유닛, 스노클링 관광공간 활용	재생에너지 활용 부유, 세계 최대규모 인공암초
환경과의 공존 방식	총에너지사용량 감소, 산-바다 중첩 공간	재생가능 토착목재 사용 쉽게 제거 가능 (폰툰)	해양생물의 성장 돕는 해저터널, 해양생태계 피라미드 반영한 단면	Carbon Xinc 사용 자연스러운 구조 형성 자연적 방파제 형성	제로에너지 도시 해양생물-구조체 결합 바이오프린팅 인공암초

*사진 출처 (1) https://www.archdaily.com/959142/sanaa-wins-international-competition-to-design-the-shenzhen-maritime-museum
(2) Copenhagen Harbour Bath (BIG), https://big.dk/projects/copenhagen-harbor-bath-1525
(3) https://www.jacquesrougeriedatabase.com/project/biodivercity
(4) The ReefLine (OMA), https://www.oma.com/projects/the-reefline
(5) Dubai Reefs (URB), https://urb.ae/projects/dubaireefs/

** 다이어그램 출처 : 저자 작성

*** 범례 : ◀▮▮▮▮▮▶ : 건축-환경 교류 방식, ◀- - -▶ : 사용자 주요 동선

수 공간으로 전환한 프로젝트이다. 공연문화예술 및 일광욕, 물놀이를 할 수 있는 공공공간으로, 기존에 조성된 하버파크-우드데크를 연장해 항구 수영장을 형성했다. 덴마크의 해안선을 따라 비슷한 건축적 의미를 지닌 Harbour Bath들이 곳곳에 위치하며 확장되고 있다. 데크와 수영장은 재생 가능한 토착 목재를 사용해 기능의 연장을 시각적으로 나타내고 있으며, 육지와 바다의 연결이 자연스럽도록 하였다. 떠다니는 폰툰 위에 지어져 쉽게 제거 가능하며 육지-바다의 물리적 변화를 계단-다이빙대의 건축적 장치로 구현하였다.

3.2 해저 활용 친수 공간 사례

해저를 활용한 친수 공간은 부유하거나 해저에 존재하면서 해양 자원과 연계되며, 모두 해양 생물을 위한 공간을 마련하고 있다는 특징이 있다. 관련 연구들이 비교적 최근에 진행되고 있어 자료 검색 등을 통해 현실성 있는 사례를 선정하고자 하였으며, 제시한 사례 중 공모작인 Biodiver[City]를 제외하고는 모두 실현 과정 중에 있다.

(1) Biodiver[City]

Biodiver[City]는 Jacques Rougerie Foundation’s Award의 2014년 Ocean 분야 GrandPrix 수상작으로, 바다의 동물원을 핵심 컨셉으로 하며 해양 보호 전시, 해양생물 성장 지원 등이 이루어지는 공간이다. 바다의 물고기를 공간 내부의 사람이 관찰하는 형식으로, 새로운 관점의 아쿠아리움을 제시하였다. 소용돌이 형태의 해저터널 관을 역삼각형 형태의 단면으로 형성하여 심해로 갈수록 개체종이 적어지는 해양 생태계를 반영하였으며, 이 해저터널 관이 해양 자원을 관람하면서도 해양생물의 성장을 도울 수 있는 공간으로 작용하도록 설계하였다.

(2) ReefLine

ReefLine은 OMA와 BlueLab Preservation Society가 함께 연구한 프로젝트로, 나선형 계단 구조의 Underwater Folly를 형성하는 것을 핵심 컨셉으로 한다. 제로 시멘트 지오폴리머 콘크리트(Carbon Xinc)를 사용하여 대기 중 탄소를 포착하도록 한다. 계단식 콘크리트 모듈 유닛으로 설계하여 구조물이 자연적인 구조를 형성하고 해저 지형을 따라 적층 가능하도록 설계하였다. 뿐만 아니라 해저에 쌓인 구조물이 해양생물을 위한 공간이자 수중 방파제로 작용하면서 스노클링 관광 공간으로도 사용되어 복합적인 공간으로 작용하며 문화 관광적 가치를 수반한다.

(3) Dubai Reefs

Dubai Reefs는 두바이의 2050 기후 중립 목표를 달성하기 위한 해양 복원 프로젝트이다. 부유하는 에코 허브를 핵심 컨셉으로 해양 복원 및 연구, 생태관광 등이 이루어지는 해양 공간이다. 태양열, 수력, 파도 등의 재생에너지를 활용해 부유하며 다양한 생태계에 인프라를 제공한다. 바이오 프린팅으로 인공 암초를 형성하여 생태계의 자연환경과 일치하도록 하였으며, 구조체가 해양생물과 결합하여 해안의 방파제로 작용할 수 있도록 설계하였다.

3.3 소결 : 비교연구 종합

5개의 사례는 모두 해양을 활용해 공간을 형성하고 있으며, 복합적인 방식으로 환경과 공존하고 있다. 재생 가능한 재료를 사용하거나 해양 환경과 어우러질 수 있는 재료를 사용함으로써 공간이 지속 가능한 환경을 형성하도록 설계하였다. 또한 공간적 인식을 수변 혹은 해저까지 확장하여 인간의 활동 영역을 바다까지 확장하고 있으며, 해저 공간의 경우에는 바다숲을 형성하고 해양 생물을 고려하는 과정까지 계획함으로써 블루카본과 건축이 공간을 매개체로 연계되는 모습을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구는 블루카본의 연구 현황과 친수공간 사례 등을 살펴봄으로써 블루카본이 건축적으로 환경과 공존하는 방법을 모색하고자 했다. 분석한 내용은 다음과 같다.

첫째, 사례들을 통해 해양 자원을 활용한 공간이 다양한 형태와 용도로 실현되고 있으며, 바다숲과 블루카본의 공간적 구축과 관련된 연구도 활발하게 진행되고 있음을 확인했다. 따라서 이러한 친수공간이 해양 자원을 활용하는 해안도시로써 작용한다면 지속가능한 도시를 형성하는 새로운 방법이 될 수 있다.

둘째, 해양 생태계를 복원하는 바다숲의 블루카본적 가치를 건축적 영역으로 확장하여 바라봄으로써 해양에 물리적 공간이 형성된다는 데 본 연구의 의의가 있다. 공간을 통해 인간이 환경적 변화를 직접 체감할 수 있게 되고, 그 공간은 해양 생태계를 포함한 지구 전체 생태계를 복원할 수 있는 능력을 지니게 된다. 기존에는 알 수 없었던 해저를 공간화함으로써 블루카본의 가치가 더욱 확장된다.

셋째, 블루카본에 대한 연구는 현재 적용 단계로, 대부분 실현되는 과정에 있어 조사 사례 중 다수가 디자인 계획안이라는 데 본 연구의 한계가 있다. 연구가 더 진행되고 실제 사례가 축적된다면 연구의 현실 가능성이 더 높아질 수 있을 것이다. 우리나라는 바다와 매우 밀접한 관계를 맺고 있기에 동해안, 남해안, 서해안 등의 특징에 맞는 프로토타입을 구성해 적용할 수 있다. 본 연구를 바탕으로 블루카본을 포함한 해양 자원과 건축을 연계한 국내 디자인 적용 방향 등의 후속 연구가 이루어지길 기대한다.

참고문헌

1. 윤소라, 연안 및 해양에서의 자연기반해법으로서 국내 블루카본 정책에 대한 검토 - 기후 적응력・회복력 제고와 관련하여, 환경법과 정책, 2023.10.
2. 황선아, 블루카본 바이오매스 서식지를 중심으로 한 탄소저감형 해안도시 조성의 필요성, 한국항해만학회, 2023.06.
3. 강석규, 우리나라 바다숲의 경제적 가치, 한국수산경영학회, 2018.03.
4. 윤호성 외 7인, 동해안 블루카본 자원의 가치와 활용방안, 생명과학회지, 2022.