

미래 수중독립도시의 연구 동향 분석

CiteSpace 문헌계량학 분석 방법을 기반으로

Analysis of Research Trends in Future Underwater Independent Cities

Based on the analysis of CiteSpace Literature Metrology

주 저 자 : 조국청 (Zhao, Guo Qing) 국민대학교 테크노디자인전문대학원 공간·문화디자인학과 박사과정

교 신 저 자 : 민경훈 (Min, Kyeonghoon) 인덕대학교 실내건축과 조교수
ggangcha00@naver.com

Abstract

Against the backdrop of global climate change and rising sea levels, underwater independent cities are widely attracting attention as potential solutions to cope with urbanization and ecological crises. In this study, the literature on underwater independent cities from 2000 to 2023 was systematically organized and analyzed using the CiteSpace literature measurement method. The core topics of this field, research focus, and future development directions were presented through literature inquiry trends, keyword presentation analysis, and literature official analysis. According to the results of the study, future underwater independent cities have important potential in coping with the challenges of climate change and urbanization, and future studies should focus on the synergy effect of technological innovation and policy support. Despite significant progress, existing research focuses primarily on the technical level and lacks in-depth exploration of the role of design in driving the development of independent cities on water. This study clarifies the core value and practical significance of design in the future water independent urban development, and provides theoretical basis and direction for promoting sustainable, ecological and intelligent urban design.

Keywords:

Global climate crisis (지구 기후 위기) , underwater independent city (수중독립도시) , CiteSpace, Ecological Sustainability (생태적 지속 가능성)

요약

세계적인 기후변화와 해수면 상승을 배경으로 수중독립도시는 도시화와 생태적 위기에 대처하기 위한 잠재적 해결책으로 널리 주목받고 있다. 본 연구에서는 CiteSpace 문헌계측학적 방법을 이용하여 2000년부터 2023년까지 수중독립도시에 관한 문헌을 체계적으로 정리하고 분석하였다. 문헌발문동향, 키워드공헌분석, 문헌공인분석 등을 통해 이 분야의 핵심주제, 연구중점, 향후 발전방향을 제시하였다. 연구 결과에 따르면 미래의 수중독립도시는 기후변화와 도시화의 도전에 대처하는 데 중요한 잠재력을 가지고 있으며, 향후 연구에서는 기술혁신과 정책지원의 시너지 효과에 초점을 맞춰야 한다. 상당한 발전에도 불구하고 기존 연구는 주로 기술 수준에 초점을 맞추고 있으며 독립적인 수중도시의 발전을 촉진하는 디자인에 대한 심층적인 논의가 부족하다. 이 연구를 통해 미래의 수중독립도시 개발에서 디자인의 핵심 가치와 실천적 의미를 명확히 하고 지속 가능하고 생태적이며 지능적인 도시 디자인을 촉진하기 위한 이론적 근거와 방향 지침을 제공하고자 한다.

목차

1. 서론

- 1-1. 연구의 배경과 목적
- 1-2. 연구의 범위 및 방법

2. 이론적 고찰

- 2-1. 연구의 주요 개념
- 2-2. 관련 분야 연구 총론

2-3. CiteSpace 분석

3. 연구 방법과 결과

- 3-1. 검색 전략 및 선별 기준
- 3-2. 데이터 분석방법 및 결과

4. 결론

참고문헌

1. 서론

1-1. 연구의 배경 및 목적

지구 기후 변화, 해수면 상승 및 도시화가 지속적으로 진행됨에 따라 미래도시의 지속 가능한 발전은 많은 도전에 직면해 있다. 유엔에 따르면 2050년까지 전 세계 인구의 68퍼센트가 도시에 살고 해안선과 해안 지역의 도시 밀도가 크게 증가할 것이라고 한다.¹⁾ 2100년까지 4억1000만 명 이상이 해수면의 위협을 받을 것으로 예상되며, 이는 연안 수억 명의 생명과 생계에 직접적인 영향을 미칠 것이다.²⁾ 이런 추세는 미래도시 형태에 대한 국내외 학계와 산업계의 반성을 불러일으키고 있으며, 특히 '수중 도시'라는 새로운 도시 모델에 대한 관심을 불러일으키고 있다. 이처럼 미래도시의 잠재적 발전 방향 중 하나인 수중도시는 해양 생태계와의 상호작용을 통해 육지 자원 점유 감소, 해수면 상승 대응, 도시화 문제 해결 등의 측면에서 혁신적인 방법론으로 각광받고 있다.

종합적인 학문으로서 디자인은 도시 공간 기능의 창조, 환경과 인간의 조화로운 발전, 체계적인 문제 해결을 통해 이루어진다. 이는 수중 독립 도시의 계획에서, 디자인은 기술의 시각적 표현일 뿐만 아니라 생태학적 지속 가능성, 기후 적응성 및 사회 통합을 위한 가장 핵심적인 도구로 활용됨을 의미한다. 특히 수중독립도시(UIC, Underwater Independent City)³⁾는 수중도시 발전의 특수한 형태로서 단순히 건물을 수면 위에 놓는 것만이 아니라 에너지 자급, 자원 재활용, 생태환경의 지속가능성 등 다방면에 걸친 복잡한 문제를 다루고 있으며, 무엇보다 건축 및 공간 디자인 분야에서 이와 같은 문제들을 융 복합적으로 적용하여 모델을 구축하여 실험하고 있다. 따라서 수중독립도시에 대한 연구는 미래의 건축 및 공간디자인 분야에서 중요한 학문적 가치가 있다고 사료된다.

본 연구는 문헌측량학적 방법을 통해 수중독립도시 분야의 미래 연구 이슈와 개발 동향을 체계적으로 분석하는 것을 목적으로 하며, 특히 이 분야에서 디자인

1) Merkens, Jan-Ludolf, Reimann, Lena, Hinkel, Joche n, Vafeidis, Athanasios T, Gridded population projections for the coastal zone under the Shared Socioeconomic Pathways. *Global and Planetary Change*, 2016.10, Vol.145, pp.57-66

2) <https://www.un.org/zh/climatechange/reports/sea-level-rise>

3) 윤재은, 이규연, et al., [시그널 코리아2025], 광문각출판미디어, 2024, pp.331-336

학의 역할과 핵심 이슈에 중점을 두고 향후 관련 연구와 실천을 위한 이론적 자료를 구축하는데 집중하고자 한다.

1-2. 연구의 범위 및 방법

연구의 방법으로는, 데이터 자료 분석을 기반으로 실증적인 연구를 진행하기 위한 citespace 프로그램을 활용하여, 수중독립도시의 연구현황과 이슈를 체계적으로 정리하고, 가시적인 방법으로 결과를 도출하고자 한다. 특히 CiteSpace 문헌 측정 분석 방법을 통해, 최근 수중독립도시 및 관련 주제에 대한 이슈를 중심으로 마이닝 분석을 수행하고자 한다. 아울러 연구의 범위는 크게 세 가지 기준을 수립하여 진행한다.

첫 번째, 도시의 개념과 수중도시의 발전 과정을 조사한다. 해당 과정을 통해 도시의 초기 개념에서 오늘날의 수상도시의 발전 및 응용, 특히 환경과 사회의 이중 압력 하에서 생산 및 발전의 진화 과정을 정리한다.

두 번째, 독립도시의 핵심특징을 조사한다. 해당 과정을 통해 미래수중독립도시의 에너지, 자원순환, 자급 자족, 생태환경과의 상호작용적 특성을 탐색한다.

세 번째, CiteSpace의 문헌 측정 분석을 조사한다. 해당 과정을 통해 국제 핵심 저널의 문헌에 대한 정량 분석을 통해 이 분야의 전 세계적으로 연구 핫스팟, 프론티어 및 핵심 요소를 도출한다.

마지막으로, 건축공간 디자인관점을 적용한 미래 수중독립도시의 연구 동향 분석에 대한 연구의 결과를 제시한다.

2. 이론적 배경

2-1. 도시의 개념과 수중도시의 발전과정

2-1-1. 도시의 개념

인간 사회 경제, 문화 및 정치 활동의 중앙 집중식 매개체로서 도시는 발전의 오랜 역사를 가지고 있다. 초기 도시국가에서 현대 대도시로 도시형태의 변화는 인구집중의 결과일 뿐만 아니라 사회경제와 과학기술발전의 직접적인 반영이기도 하다. 도시연구 초기에는 공간배치, 인구분포, 사회구조 등의 관점에서 주로 분석했지만 자원부족, 환경오염 등의 문제가 심화되면서 지속가능한 도시개발이 21세기 도시연구의 핵심 의제로 떠올랐다.⁴⁾

2-1-2. 수중도시의 발전 과정

수중도시의 개념은 인류 최초의 해양 문명까지 거슬러 올라갈 수 있다. 역사적으로 베네치아, 암스테르담 같은 도시들은 초기 수중도시들의 대표로서 한정된 육지 자원을 배경으로 인공 섬 쌓기, 수로 건설 등을 통해 토지 자원 부족 문제에 대처해 왔다. 그러나 현대적 의미의 수중都市는 도시 공간을 수역으로 확장하는 데 그치지 않고 생태, 에너지, 기술과 같은 다차원적 혁신이 수반된다. 특히 최근 몇 년 동안 지구 기후 변화 및 해수면 상승 문제가 심각해짐에 따라 새로운 형태의 도시로서 수중都市는 점차 학계 및 산업계의 많은 관심을 끌고 있다.

2-2. 독립도시의 개념 및 핵심 특징

독립도시, 즉 기존 국가나 지역으로부터 독립하여 자급자족할 수 있는 도시형태는 미래도시계획에 있어 잠재력이 큰 모형이다. 수중에 세워진 독립都市는 전통적인 도시가 직면한 토지, 에너지, 자원 등의 문제를 해결할 뿐만 아니라 해양 생태계의 복잡성에 적응할 수 있는 고유한 지속 가능한 발전 능력을 갖추어야 한다.



[그림 1] 독립도시의 주요 특징

결론적으로 독립도시가 강조하는 ‘독립성’은 지리적 공간뿐만 아니라 자원 획득, 에너지 사용 및 폐기물 처리에도 반영된다.

2-3. CiteSpace 분석

CiteSpace는 미국 필라델피아의 드렉셀 대학교(The College of Information Science and Technology,

4) Hatuka,Tali, et al.,The political premises of contemporary urban concepts: The global city, the sustainable city, the resilient city, the creative city, and the smart city, Planning Theory & Practice 2018,Vol.19, No.2, pp.160-179

Drexel University) 정보 과학 및 기술 대학원의 천차 오메이(Chaomei Chen) 교수가 JAVA 기반으로 개발한 응용 소프트웨어이다. CiteSpace의 개발 개념은 시각화 기법을 활용하여 특정 분야의 문헌을 분석함으로써 과학 연구에서 나타나는 현상을 발견하는 데 있다.⁵⁾ CiteSpace는 ‘Citation Space’의 약어로, 한글로는 ‘인용 공간’으로 번역할 수 있다. CiteSpace는 1962년 토머스 새뮤얼 쿤(Thomas Samuel Kuhn)의 《과학 혁명의 구조》에서 영감을 받아 개발되었다. 쿤은 과학 연구의 초점이 시간에 따라 변화하며, 때로는 느리고 때로는 급격하게 전환된다고 주장했으며, 이미 발표된 문헌에서 과학 발견의 궤적을 추출할 수 있다고 보았다.

CiteSpace는 과학 문헌에 내재된 잠재적 지식을 분석하기 위해 설계된 다차원적이고, 시간 가변적이며, 동적인 인용 시각화 분석 소프트웨어이다. 과학 지식의 구조, 규칙 및 분포를 데이터 시각화를 통해 보여주며, 연구자들 사이에서는 과학 지식 지도(Scientific Knowledge Map) 또는 ‘과학 맵’으로도 불린다. 중국의 저명한 학자인 류쩌위안(劉則淵, Liu Ze-yuan) 교수는 과학 지식 지도를 다음과 같이 정의하였다. 과학 지식 지도는 지식 영역(knowledge domain)을 대상으로 과학 지식의 발전 과정과 구조적 관계를 시각적으로 나타낸 이미지이다. CiteSpace 과학 지식 지도 소프트웨어는 초기에는 문헌의 공인 분석(co-citation analysis)을 위해 특별히 설계되었으며, 인용 공간에서 지식의 기초와 연구 최전선을 탐구하는 데 사용되었다. 이후 지속적인 업데이트와 최적화를 통해, CiteSpace는 단순히 인용 공간 분석뿐 아니라 저자, 기관, 국가/지역 간 협력 등 다양한 과학 텍스트의 지식 단위 간의 공출 현 분석(co-occurrence analysis)기능도 제공하게 되었다.

전통적인 문헌 리뷰 방법과 비교할 때, CiteSpace는 연구 및 연구자 간의 관계를 더 직접적이고 명확하게 반영할 수 있다. 문헌계량학 분석을 통해 체계적으로 문헌을 조사하고, 해당 연구 흐름과 관련된 지식 지도를 작성하여 연구 분야 내 가장 중요한 연구 내용을 탐구하는 데 도움을 준다. 예를 들어, Huimin Yang과 Chulsoo Kim(2023)의 연구에서는 지난 35년간의 문헌을 바탕으로 CiteSpace를 활용하여 연안 건축 연구 지식 지도를 구축하였고, 이를 통해 해당 분야의 연구

5) Chaomei Chen, Practice of Mapping Scientific Frontiers, CiteSpace’s analysis principles,Higher Education Press, 2018, pp.1-4

현황, 연구 주제 및 연구 최전선을 요약하여 이와 관련된 연구에 이론적 기반과 의사결정 지원을 제공하였다.⁶⁾ 또한, Lei Wang과 Wenzheng NiuJiang 등(2023)은 CiteSpace를 활용하여 해양 경제 분야를 체계적으로 분석하였으며, 해양과 지역 경제 융합, 해양 생태 보호 등 연구 최전선과 미래 연구 방향을 탐구하였다.⁷⁾ 그러나 CiteSpace를 활용하여 미래 수중독립도시에 대한 연구 진전을 체계적으로 검토한 연구는 거의 없는 실정이다. 현재의 관련 문헌은 적절한 체계화가 부족하며, 이에 따라 미래 수중독립도시와 관련된 기존 문헌을 맵핑(mapping)하고 체계화할 필요성이 대두되고 있다.

3. 연구 방법과 결과

3-1. 검색 전략 및 선별 기준

문헌 측정 분석을 수행할 때 데이터 소스의 품질과 신뢰성은 연구 결과의 효율성을 보장하는 기초이다.⁸⁾ 본 연구에서는 WoS가 전 세계적으로 영향력 있는 저널, 특히 SCI, SSCI와 같은 핵심 저널을 포괄하여 본 연구에 고품질의 참고문헌을 제공할 수 있기 때문에 WoS(Web of Science) 데이터베이스를 주요 데이터 소스로 선택하였다. 또한 WoS 데이터베이스의 다학제 적용 범위는 광범위하여 학제 간 수중도시 연구를 위한 포괄적인 문헌 데이터 지원을 제공할 수 있다.

본 연구에서는 WoS 데이터베이스에서 ‘수중도시’, ‘해양 도시화’, ‘떠다니는 도시’, ‘양서 건축’, ‘해양 확장’, ‘인공 섬’ 등 관련 개념을 중심으로 키워드 및 주제를 활용한 일련의 검색 전략을 수립하여 문헌을 수집하였다. 주요 주제어 외에도 ‘지속 가능 발전’, ‘해수면 상승’, ‘도시 계획’, ‘적응성’, ‘생태 공학’, ‘매립지 조성’, ‘자급자족’ 등의 상위어를 추가적으로 설정하여 검색 범위를 확대하였으며, 이를 통해 가장 관련성 높

은 문헌을 선별하였다. 표1은 구체적인 선별 기준을 보여준다.

위와 같은 검색 전략과 선별 기준을 통해 총 640편의 관련 문헌을 수집하였고, 초보적인 검토를 거친 후 수중독립도시에 직접 관련된 문헌을 우선적으로 보존하였다. 단순한 해양 생태학 연구나 에너지 기술, 식물학과 같은 주제와의 관련성이 낮은 연구는 제외하였다.

[표 1] 연구 선별의 기준

분류	선별 기준	제외 기준
주제 관련성	R1 연구주제 : 수중도시/부유건축/자급자족/지속가능발전/해수면상승 관련 연구	NR1 연구주제 : 수중 독립도시와 무관한 연구 또는 글
	R2 주제어 선별: 생태공학/도시복원력/매립지/인공섬 관련 주제어 추가 연구	NR2 주제어 불일치: 수중독립도시 연구 중, 화공재료/생물학/지구과학 등 주제와 불일치
시간 범위	2012년01.01.부터 2024년12.31.까지	선별 기준 외 기간
문헌 종류	전문학회/연구기관 등 연구논문자료	뉴스/미발행 보고서 등 비연구자료
언어	영어	비영어

특히 높은 인용도를 보유하거나 영향력 있는 학술지에 게재된 연구를 우선적으로 보존하여 문헌의 학술적 영향력을 확보하고자 하였다. 최근 12년 이내에 발표된 문헌을 우선으로 하여, 수중독립도시 연구 분야의 포괄적 이해와 최신 연구 동향을 반영하고자 하였다. 마지막으로 CiteSpace의 계량 서지학 도구를 사용하여 중복 문헌을 제거한 후 최종적으로 WoS 데이터베이스에서 선별된 고품질 문헌은 총 567편이며, 이는 후속 분석의 자료로 사용될 예정이다.

3-2. 데이터 분석방법 및 결과

문헌 계량학(Scientometrics)은 정보학의 한 분과로, 과학 문헌에 대한 정량적 분석 방법이다. 이를 통해 연구 분야의 새로운 동향과 지식 구조를 파악할 수 있으며, 보다 객관적이고 신뢰할 수 있는 분석을 연구에 제공한다. 대량의 정보를 구조적으로 분석함으로써 시간 경과에 따른 추세, 연구 주제, 학문적 연구 방향의 변화를 추론할 수 있다. 본 연구는 데이터베이스에서 미래 수중독립도시에 관한 연구 자료를 체계적으로 수집하고, CiteSpace 도구를 활용하여 선정된 문헌을 시각

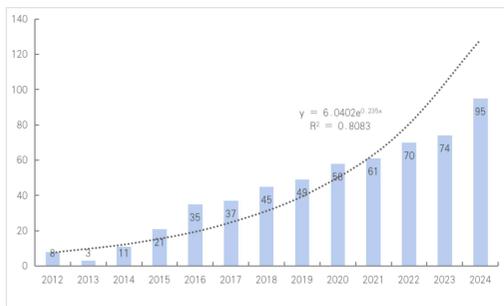
6) Yang, H, Kim, C, A Bibliometric Analysis of Research Hotspots and Trends in Coastal Building from 1988 to 2023: Based on the Web of Science and CiteSpace, Buildings 2023, Vol.13, No.8, p.1893

7) Lei Wang, Wenzheng Niu, Lili Ding, Zhongchao Zhao, A bibliometric review on marine economy: Current status, development and future directions, Marine Policy, 2023.9, Vol.155, 105705, PP.2-22

8) Su, X., Li, X, & Kang, Y, A bibliometric analysis of research on intangible cultural heritage using CiteSpace, Sage Open, 2019.4, Vol.9, No.2, PP.1-18

적으로 분석하였다. 이를 통해 문헌 공 피인 네트워크(co-citation network)와 키워드 동시 출현 네트워크(co-occurrence network)를 구축하였으며, 문헌 간의 관계와 진화 경로를 직관적으로 시각화하였다. 이를 기반으로 수중독립도시 연구 분야의 핵심 주제와 발전 동향을 도출하였다. 다음은 CiteSpace를 활용한 본 연구의 분석 결과이다:

1) 발행 추세 (Trends in Publications) : 연구 분야의 연구 성과와 활동 수준을 반영하는 지표로, 아래는 2012-2024년 동안 수중독립도시 관련 연구의 문헌 연도별 분포 통계이다[그림 2]. 이를 통해 2012년부터 현재까지 수중독립도시 관련 연구가 초기 단계에 있음을 알 수 있다. 논문 발행 건수는 전반적으로 꾸준히 증가하고 있으며, 2024년에 정점(95편)을 찍었고, 향후에도 계속 증가할 것으로 예상된다.

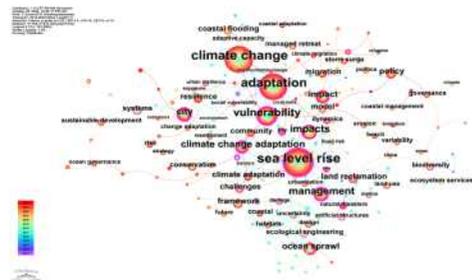


[그림 2] 2012-2024 연도별 연구 발행 추세

2) 키워드 동시 출현 분석(co-word analysis): 연구 주제의 분포와 진화는 해당 분야의 현재 연구 동향과 연구 방법의 변화를 직관적으로 보여준다. 키워드는 문헌의 핵심 내용을 요약한 것으로, 키워드 동시 출현 네트워크를 통해 키워드의 중심성이 분석하면 특정 시기의 연구 주제를 대표할 수 있다. 키워드 동시 출현 분석은 공어 분석(co-word analysis)이라고도 불리며, 동일한 텍스트 주제에서 함께 등장하는 단어 또는 명사구를 분석하여 해당 학문 분야의 관련 주제 간 관계를 파악하고 학문적 발전을 탐구하는 텍스트 내용 분석 기술이다.

키워드 분석은 특정 연구 분야의 본질을 깊이 이해하고, 현재 연구 동향과 미래 방향을 식별하는 데 유용하다. 분석의 목적은 키워드 동시 출현 네트워크를 사용하여 연구 분야의 학문 구조를 시각적으로 나타내는 것이다. 본 연구에서는 CiteSpace 문헌 계량 도구를 활용하여 샘플 문헌의 키워드를 분석하고, 키워드 동시

출현 네트워크를 생성하였다[그림 3]. 최종적으로 184개의 노드와 270개의 연결선으로 구성되며, 밀도는 0.016로 나타났다. 키워드 노드는 다양한 색상으로 구성되어 있으며, 내부에서 외부로의 색상 변화는 키워드가 연구된 시기를 나타낸다. 외곽으로 갈수록 따뜻한 색상에 가까울수록 현재 연구와 더 가깝고, 현재 연구의 핵심 주제를 의미한다. 노드 크기는 키워드 등장 빈도를 나타내고, 노드 간의 연결선은 키워드 간 연관성을 나타낸다. 연결선의 두께는 두 키워드가 동시 출현한 횟수를 의미한다.

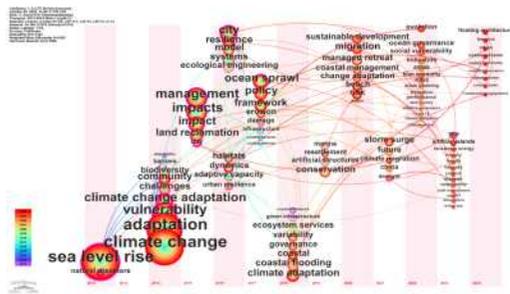


[그림 3] 키워드 동시 출현 MAP

지식 이론 관점에서 보면, 빈도와 중심성이 높은 키워드는 일정 기간 동안 다수의 연구자들이 공통적으로 관심을 가진 문제로, 연구의 핵심 주제와 최선전임을 나타낸다. 예를 들어, 수중독립도시 관련 연구에서는 기후 변화(climate change), 해수면 상승(sea level rise), 적응(adaptation), 취약성(vulnerability), 관리(management), 영향(impacts), 기후 변화 적응(climate change adaptation), 도시(city), 해양 확장(ocean sprawl), 정책(policy), 매립(land reclamation), 회복력(resilience) 등의 키워드가 높은 빈도를 보이며, 이는 현재 연구의 주요 관심사임을 보여준다. 이러한 키워드들은 주로 환경 적응 및 보호 연구에 집중되어 있으며, 수중독립도시의 연구는 상대적으로 적은 편이다. 이는 본 연구에서 해당 연구 범위를 선택한 주요 이유 중 하나이다.

3) 시구간 분석(Time-zone Analysis): 과학 연구가 발전함에 따라 연구 주제는 끊임없이 변화한다. 시구간 분석은 시간이 흐름에 따라 연구 주제의 변화와 새로운 연구 방향의 부상을 보여주는 데 유용하다. 이를 통해 각 시기별 연구 초점의 변화를 파악할 수 있다. 본 연구에서는 Timezone을 분석 노드로 선택하여 키워드 시간 순 진화 도를 생성하였다. 분석의 특정 지표와 임계 값은 다음과 같다: 시간 조각 1, g-index=10으로 임

계 값을 설정하여 작은 키워드를 숨긴 후 현재의 지도를 생성하였다. 최종적으로 184개의 노드와 270개의 연결선, 밀도 0.016의 시간대 시각화도가 도출되었다(그림 4). 이를 통해 키워드의 분포가 균등하고, 연구 주제가 다른 시간대마다 다르며 연구 내용이 계속 풍부해지고 있음을 확인할 수 있다. 2012년부터 해수면 상승(sea level rise), 기후 변화 적응(climate change adaptation), 관리(management), 매립지 조성(land reclamation), 회복력(resilience), 해양 확산(ocean sprawl), 이동(migration), 지속 가능 발전(sustainable development), 해양 관리(ocean governance), 폭풍 해일(storm surge), 보존(conservation), 해상 인공 섬(sea artificial islands), 떠 다니는 건축(floating architecture) 등이 새롭게 나타난 키워드로 확인된다.



[그림 4] 시간대별 키워드 다이어그램 MAP

해수면 상승과 기후 변화에 관한 연구는 수동적 적용에서 출발하여, 도시 영향 및 충격에 대한 관심을 거쳐, 적극적인 대응 방안을 제시하는 방향으로 발전해 왔다. 이러한 대응 방안에는 이민, 해안 방어 구조물 건설, 홍수 방지 및 배수 설계, 매립지 조성, 인공섬 건설, 퇴적물 운송, 생태 복원, 리스크 예방 등이 포함되며, 이는 관리에서 거버넌스로, 더 나아가 지속 가능한 발전에 대한 관심으로 발전해왔다. Yoshida, N는 매립, 산림 개간 등 인간 활동이 자연 환경과 생태계에 미치는 영향을 분석하였으며, 부유 구조를 새로운 해결책으로 제안하여 환경 영향을 줄이는 동시에 해안 지역을 확장할 가능성을 논의하였다. Sengupta, D는 21세기 연안 매립의 세계적 현황을 분석하며, 인간 활동의 위험성을 강조하였다. Setiadi, R는 ‘해상 도시(sea city)’ 개념을 도입하여 해양과 도시 간의 관계를 인정하는 회복력 전략을 강조하였다. Afzal, MS는 인공 섬 건설 단계에서 준설 작업, 매립 활동 및 퇴적 과정 등이 연안 및 해양 생태계에 미치는 영향을 평가하고, 문제 해결을 위한 전략적 조치와 미래 발전 방향을 제시

하였다.

[표 2] Top 59 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2012-2014
adaptability	2014	1.21	2014	2016	—
climate change	2014	2.14	2015	2015	—
adaptive capacity	2016	2.52	2016	2019	—
coastal defense structures	2016	1.56	2016	2019	—
plans	2016	1.28	2016	2016	—
simulation	2016	1.28	2016	2016	—
perspectives	2016	1.28	2016	2016	—
scenarios	2017	2.14	2017	2018	—
infrastructure	2017	2.14	2017	2018	—
flood risk management	2017	1.77	2017	2019	—
impacts	2015	1.77	2017	2017	—
restoration	2017	1.25	2017	2017	—
ecological restoration	2017	1.25	2017	2017	—
international migration	2017	1.25	2017	2017	—
disaster risk reduction	2017	1.25	2017	2017	—
coastal defense	2017	1.25	2017	2017	—
projections	2017	1.25	2017	2017	—
ecosystem services	2018	2.91	2018	2020	—
ecological engineering	2016	2.01	2018	2021	—
green infrastructure	2018	1.56	2018	2020	—
artificial structures	2019	2.83	2019	2021	—
ocean sprawl	2017	2.58	2019	2019	—
challenges	2014	2.2	2019	2021	—
conservation	2019	2.19	2019	2021	—
systems	2016	2.16	2019	2020	—
life cycle assessment	2019	1.81	2019	2019	—
decision pathways	2019	1.2	2019	2019	—
managed retreat	2020	3.72	2020	2021	—
coastal flooding	2018	2.72	2020	2021	—
flood risk	2020	2.67	2020	2021	—
adaptive management	2020	1.78	2020	2021	—
sediment transport	2020	1.72	2020	2020	—
coastal management	2020	1.68	2020	2021	—
model	2016	1.3	2020	2020	—
coastal adaptation	2020	1.24	2020	2020	—
costs	2020	1.15	2020	2020	—
floating cities	2020	1.15	2020	2020	—
coral reefs	2014	2.14	2021	2021	—
determinants	2021	1.7	2021	2021	—
design	2017	1.63	2021	2021	—
erosion	2017	1.5	2021	2021	—
bay	2015	1.33	2021	2024	—
ocean governance	2022	3.35	2022	2024	—
social vulnerability	2022	2.51	2022	2024	—
sustainable development	2020	2.51	2022	2022	—
change adaptation	2020	2.1	2022	2024	—
urban resilience	2016	1.94	2022	2022	—
land reclamation	2015	1.83	2022	2024	—
evolution	2022	1.73	2022	2024	—
blue economy	2022	1.67	2022	2024	—
governance	2018	1.54	2022	2024	—
adaptive governance	2022	1.11	2022	2022	—
climate mitigation	2022	1.11	2022	2022	—
climate policy	2022	1.11	2022	2022	—
resettlement	2019	1.82	2023	2024	—
artificial islands	2023	1.71	2023	2024	—
renewable energy	2023	1.67	2023	2024	—
resilience	2016	1.62	2023	2024	—
climate migration	2021	1.61	2023	2024	—
land use	2017	1.55	2023	2024	—
strategy	2020	1.12	2023	2024	—

4) 버스트 감지 (Burst Detection) : ‘Burst’는 특정 변수의 값이 단기간에 급격히 변동하는 현상을 의미한다

다. 여기서 변수는 인용 문헌에서 사용된 단어 또는 구문 빈도, 인용 문헌 자체(저자, 기관, 문헌명 등)의 빈도를 포함할 수 있다. CiteSpace에서는 연구 최전선을 문헌의 제목, 초록, 설명자 및 식별 자에서 추출된 Burst 단어를 기반으로 식별한다. 본 연구에서는 CiteSpace 소프트웨어의 Burst 검출 알고리즘을 활용하여 59개의 Burst 키워드를 도출하였다[표 2].

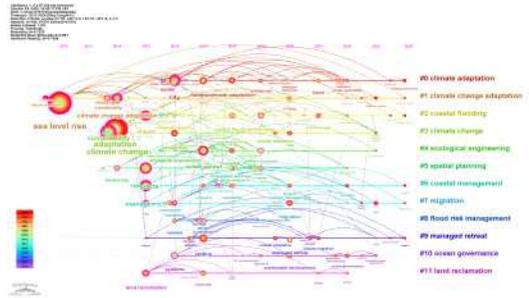
핫스팟 지속 기간은 2012~2024년이며 3단계로 나눌 수 있다[표 3]:

[표 3] 시기별 주요 키워드 표현

시기	주요 키워드
2012-2017년	climate change, adaptive capacity, scenarios, infrastructure
2018-2021년	ecosystem services, artificial structures, ecological engineering, ocean sprawl, challenges, conservation, systems, coral reefs
2022-2024년	ocean governance, social vulnerability, sustainable development, change adaptation

시간선 그래프와 결합하여, 향후 연구 동향은 community engagement, lessons, coastal governance, coastal areas, floating city, floating architecture, floating offshore wind turbine, urban, coastal erosion, energy, coastal community, climate justice 등이 될 가능성이 있음을 예측할 수 있다[그림 5].

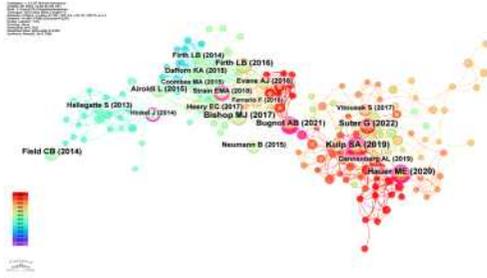
이 세 가지 단계에서 Kirimat, A는 ‘스마트 플로팅 도시’라는 독창적인 개념을 제안하여, ‘스마트 시티’와 ‘플로팅 시티’ 개념을 결합하고, 차분 진화(DE) 표현형 전략(MO_CGADE)과 다중 목표 통합 차분 진화 알고리즘(MO_EDE)을 개발하였다. Ham, P는 필리핀 해안 지역을 위해 프로토타입 주택 기반의 플로팅 커뮤니티 프레임워크를 설계하였다.



[그림 5] Keyword Timeline Graph

Okamoto, T는 해안 적응 계획에서 공정성과 정의의 기준의 정의 및 평가가 충분히 다루이지 않았음을 지적하며, 해안 적응 계획의 공정성을 평가하는 과정과 결과를 다룬 도구에 대한 추가 연구가 필요하다고 주장하였다. 이 연구에서는 ‘도시 해안 적응 계획(UCAP)에서 공정성과 정의를 어떻게 평가할 것인가’를 탐구하였다.

5) 문헌 공동 피인용 분석 (Co-Citation Analysis of Literature) : 문헌 공동 피인용 분석은 특정 연구 분야에서 핵심 문헌과 연구의 최전선을 파악하는 데 활용된다. 핵심 문헌은 학문 또는 연구 분야의 형성과 발전에 있어 중요한 토대를 제공하고 진전을 이끄는 역할을 한다. 문헌 공동 피인용 네트워크에서 높은 피인용 논문을 분석하면 특정 분야의 지식 기반을 명확히 이해할 수 있다. 또한, 이 지식 기반을 구성하는 문헌들을 군집 화합으로써 연구 최전선을 파악하는 데 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서는 CiteSpace에서 인용문(Reference)을 분석 대상으로 설정하고, 시간 구분(Time Slicing)을 2012-2024년으로, 시간 단위(Years Per Slice)를 1로 설정하여 264개의 네트워크 노드와 892개의 연결선, 밀도 0.0257인 문헌 공동 피인용 네트워크를 생성하였다. 인용 연대는 특정 논문의 인용 역사를 나타내며, 연대의 색상은 해당 인용 시간을, 연대의 두께는 해당 시간 구간 내 인용 수와 비례한다. 중심성이 높은 문헌은 시간 구간 간의 전환점으로서 이론적 혁신을 제시하는 중요한 역할을 할 수 있다[그림 6].



[그림 6] 문헌 공동 피인용 네트워크

본 연구에서는 중심성이 0.01 이상인 문헌을 총 69편 탐색하였으며, 그중 핵심 문헌으로 중심성이 0.1 이상인 문헌을 총 6편 선택하였다. 선택된 이 6편의 높은 중심성 문헌은 인용 빈도와 돌발성이 높아, 해당 분야의 학문적 발전에 중요한 역할을 하는 기초적이며 전환점을 이루는 주요 문헌들이다[표 4].

[표 4] 높은 중심성 공동 피인용 문헌

빈도수	중심성	연도	문헌
15	0.33	2021	Bugnot AB, 2021, NAT SUSTAIN, V4, P33, DOI 10.1038/s41893-020-00595-1
21	0.32	2019	Kulp SA, 2019, NAT COMMUN, V10, P0, DOI 10.1038/s41467-019-12808-z
8	0.22	2014	Hinkel J, 2014, P NATL ACAD SCI USA, V111, P3292, DOI 10.1073/pnas.1222469111
9	0.21	2018	Strain EMA, 2018, J APPL ECOL, V55, P426, DOI 10.1111/1365-2664.12961
3	0.14	2021	Floerl O, 2021, NAT SUSTAIN, V4, P1060, DOI 10.1038/s41893-021-00780-w
19	0.12	2020	Hauer ME, 2020, NAT REV EARTH ENV, V1, P28, DOI 10.1038/s43017-019-0002-9

본 연구는 CiteSpace 도구의 적용과 결합하여 후속 연구 핫스팟 식별 및 트렌드 분석을 위한 견고한 기반을 마련한다. 상기 분석방법을 통해 도출된 데이터는 수중독립도시 연구 분야의 지식지도를 효과적으로 구축하고, 이 분야의 연구이슈, 첨단문제, 향후 발전방향 등을 제시할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 CiteSpace 문헌 계량 분석을 기반으로 미래 수중독립도시 연구의 주요 주제와 최전선 동향을 체계적으로 정리하였다. 문헌 발행 동향, 키워드 공출현 분석, 시간대 시각화 분석, 급부상 단어 분석, 문헌 공동 인용 분석을 통해 이 분야의 핵심 주제, 연구 초점 및 미래 발전 방향을 밝혀냈다. 연구 결과에 따르면, 수중독립도시 연구는 지속 가능성, 기후 적응성, 자원 관리의 스마트 화 등 다차원적인 주요 동향을 보이며, 이는 연구자들이 전 세계 기후 변화, 도시화 및 자원 압력 등 도전에 대응하기 위한 학제 간 연구 필요성을 반영한다.

먼저, CiteSpace의 시간 순서 분석에 따르면, 문헌은 2012년부터 2024년까지 뚜렷한 성장세를 보였으며, 특히 2015년 이후 가속화된 증가 추세를 나타냈다. 서로 다른 시기별 고빈도 인용 문헌과 핫토픽 주제 분석을 통해 초기 연구는 주로 해양 에너지 활용 및 수자원 관리와 같은 기술적 측면에 집중되었음을 알 수 있다. 이후에는 기후 변화에 대응하기 위한 계획적 이주와 매립지 및 인공섬 조성 방안이 제시되었고, 현재는 매립지 조성이 환경 보호에 미치는 부정적 영향을 인식하며 생태 적응성과 지속 가능성을 기반으로 한 자급자족 수중독립도시 설계 방안이 주목받고 있다. 수중독립도시 연구는 건축학, 환경과학, 사회학 등 다학문적 융합 경향을 보이고 있다.

둘째, 문헌 계량 분석 결과, 지속 가능한 발전이 수중독립도시 연구의 핵심 주제로 나타났다. 특히, 부유 플랫폼 설계, 자원 순환, 생태계 관리 등의 영역에서 폭넓은 관심을 받고 있다. 고빈도 키워드 분석 결과 지속 가능성(sustainability), 기후 회복력(climate resilience), 재생 가능 에너지(renewable energy)등이 주요 화두로 부각되었으며, 이는 연구자들이 수중 환경에서 장기적인 지속 가능한 도시 생활을 구현하는 데 중점을 두고 있음을 보여준다. 이러한 경향은 수중독립도시가 단순한 물리적 공간의 확장이 아니라 지속 가능한 기술과 생활 방식을 실험하는 장임을 시사한다.

셋째, 분석 결과에 따르면, 수중독립도시의 기후 적응 설계가 점차 중요한 연구 방향으로 자리 잡고 있다. 최근 연구는 기후 변화에 따른 수중독립도시의 회복력 향상에 초점을 맞추고 있으며, 이는 재난 방지 설계와 해수면 상승 적응 기술을 포함한다. 이러한 연구는 수중 도시의 기본 생존 요구를 해결할 뿐만 아니라 기능적 관점에서 생태 적응적 혁신으로 전환하는 탐구를 촉진하고 있다. 초기 이주 전략에서 생태 적응 전략으

로 점차 발전하는 이 같은 경향은 미래 글로벌 수중독립도시 건설에도 중요한 참고 자료를 제공한다.

비록 수중독립도시 연구가 상당한 진전을 이루었지만, 여전히 몇 가지 도전 과제가 남아 있다. 첫째, 연구 핫스팟이 이론에서 실천으로 전환되는 과정에서 기술, 비용 및 자원 제한을 극복하는 것이 시급히 해결해야 할 문제이다. 둘째, 실제 응용 과정에서 각기 다른 기후 환경, 생태 조건 및 사회적 요구의 차이는 미래 수중독립도시 건설 방안에 다양성을 요구하며, 보다 많은 현지화된 실천과 조정이 필요하다. 또한, 미래 수중독립도시의 실행 가능성은 기술뿐만 아니라 생태 보호와 사회적 통합 등 다중 요소 간의 균형에 의존하며, 이는 미래 연구에 학제 간 접근 방식을 요구한다.

전반적으로, 전 세계 기후 변화, 토지 자원 부족 및 도시화 진행 가속화라는 배경 속에서 수중독립도시는 새로운 도시 발전 모델로 점차 학술 연구와 산업 탐구의 핫토픽으로 자리 잡고 있다. 본 연구는 CiteSpace 분석을 통해 수중독립도시 분야의 핵심 주제와 발전 방향을 종합하였다. 지속 가능성, 기후 적응성, 자원 스마트 관리 및 다 학문적 융합 응용은 미래 수중독립도시 발전의 이론적 기반을 마련하고, 광범위한 연구 공간과 응용 가능성을 제공한다. 특히 건축-공간 디자인 분야에서 혁신과 현실 제약, 생태 보호 및 문화 표현의 균형을 맞추는 방법은 향후 심층 연구를 위한 핵심 문제이다. 문헌의 측정 및 분석 결과를 체계적으로 요약하여 본 연구는 수중독립도시의 설계 및 계획에 대한 강력한 이론적 지원과 실용적인 지침을 제공하며 향후 더 많은 설계 지향적인 학제 간 연구가 분야의 발전을 더욱 촉진하기를 기대한다.

참고문헌

1. 윤재은, 이규연, et al., [시그널 코리아2025], 광문각출판미디어, 2024.
2. Chaomei Chen, Practice of Mapping Scientific Frontiers : CiteSpace's analysis principles, Higher Education Press, 2018.
3. Hatuka, Tali, et al., The political premises of

contemporary urban concepts, Planning Theory & Practice 2018

4. Kurytek, Anna, Floating housing communities on the example of Waterbuurt in Amsterdam, space&FORM, 2016
5. Su, X., Li, X., & Kang, Y., A bibliometric analysis of research on intangible cultural heritage using CiteSpace, Land 2022, 2019
6. Lv, Zhihan, and Tianyun Su, An ubiquitous 3D visual analysis platform of seabed, Multimedia Tools and Applications, 2019
7. Merkens, Jan-Ludolf, Reimann, Lena, Hinkel, Jochen, Vafeidis, Athanasios T, Gridded population projections for the coastal zone under the Shared Socioeconomic Pathways, Global and Planetary Change, 2016
8. Yang, H, Kim, C, A Bibliometric Analysis of Research Hotspots and Trends in Coastal Building from 1988 to 2023: Based on the Web of Science and CiteSpace, Buildings 2023
9. Lei Wang, Wenzheng Niu, Lili Ding, Zhonghao Zhao, A bibliometric review on marine economy: Current status, development and future directions, Marine Policy, 2023
10. www.gca.org
11. www.blue21.nl
12. www.un.org
13. www.academia.edu