

자침된 선박의 인공어초로의 활용 Utilization of Scuttled Ships as Artificial Reefs

정소미¹, 나원배^{1,*}

Somi Jung¹, Won-Bae Na^{1,*}

¹부경대학교 해양공학과

¹Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

* Correspondence to Won-Bae Na
E-mail: wna@pknu.ac.kr

Received January 9, 2024

Revised January 22, 2024

Accepted January 22, 2024

Abstract : There is very limited research on how to utilize scuttled ships as a fisheries and tourism resource in Korea, which poses significant obstacles to deriving their best management practices. Thus, we investigated several cases of utilizing scuttled ships as artificial reefs and their levels to provide fundamental data needed for utilization plans of sunken ships, scuttled ships, or ships subject to reduction in the future. First, we reviewed representative cases of scuttled ships as artificial reefs and their historical practices. Then, we found the keys necessary to establish a best management practice. These include environmental integrity of shipwreck reefs, consistent application of a best management practice, a basis for cost estimates, the usefulness of shipwreck reefs etc. Moreover, we discussed how to improve the current domestic practice of scuttled ships, which has been established to construct a marine habitat enhancement structure.

Keywords : Artificial reefs, Scuttled ships, Best management practice, Utilization, Fisheries and tourism resource

서 론

인간이 이동, 생산, 탐험 등을 위해 배를 활용하기 시작한 시점부터 여러 가지 이유로 난파선(wrecks)이 발생하였다. 이들 중 일부는 역사적인 사건으로 인식되어 수십 년 동안 침몰 위치가 조사되었고, 심지어 인기 영화의 주제가 되었다. 그러나 난파선 대부분은 타이태닉호만큼 유명하지도, 크지도, 세간의 관심을 끌지도 못한다. 제2차 세계 대전 구축함부터 스페인 식민지 시대의 갈레온(galleon), 작고 버려진 소형 보트에 이르기까지 약 300만 척의 난파선이 해저에 흩어져 있다는 것(Kinyua, 2023)을 인식하는 사람은 많지 않다. 오늘날 이들 침몰선박 중 다수는 해양생물의 보금자리가 되고 있다.

난파선과 같은 인공구조물(man-made structures)이 우연이나 재난만으로 해저 바닥에 침몰한 것은 아니다. 고대 로마와 페르시아의 선원은 해전에서 적의 배를 가두거나 해적선의 항로를 교란하기 위해 다양한 물체를 해저에 의도적으로 가라앉혔다(Hess *et al.*, 2001). 또한, 인간은 해양생물이 자연초(natural reefs)에 유인됨을 인식하고, 인공구조물을 설치하여 자연

초와 유사한 유인 결과를 흉내내었다. 이와 같은 활용 사례는 1830년대 미국 사우스캐롤라이나 해역에 설치된 통나무 오두막 형태의 인공어초(artificial reefs), 최근 멕시코 만(Gulf of Mexico) 등에 인공어초로 활용되고 있는 석유 및 가스 시추 플랫폼, 플로리다 등의 해역에 인공어초로 자침된 선박(scuttled vessels) 등을 포함한다(Hess *et al.*, 2001; Parke, 2015; van Elden *et al.*, 2019). 결과적으로 해양생물의 유인 등 다양한 목적으로 인공구조물이 해저에서 활용되고 있다(Na *et al.*, 2023).

우리나라의 경우, 1970년대 본격적인 인공어초 설치사업을 시작한 이래 구조물의 형식이 복잡해지고 있으며, 그 규모 또한 대형화되고 있다(Kim *et al.*, 2014, 2020). 또한, 최근에는 육상 또는 해상 구조물을 재활용하여 인공어초로 설치하는 사례가 증가하고 있는데, 이는 관광단지 조성 등 지역경제 활성화와 밀접한 관련이 있다(Sohn *et al.*, 2011; Seo and Lee, 2023). 예를 들면, 폐기 선박, 퇴역군함, 감척 대상 선박 등이 강릉시 사근진 해역, 경남 사천시, 경북 울진군에 자침되어 수중 다이빙, 해양 서식지 조성 등에 활용되고 있다.

하지만, 자침된 선박의 자원화 활용 방안에 관한 연구는 극히

제한적이어서 이에 관한 모범관리관행(best management practice)을 도출하는 데 상당한 장애가 있는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 자침된 선박을 인공어초로 활용한 사례와 활용 수준(예: 모범관리관행)을 조사하고 이를 분석함으로써 향후 침몰, 폐기 또는 감척 대상 선박의 자원화(resources) 방안을 마련하는 데 필요한 기초자료를 제공하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 인공어초로 자침된 선박의 대표적 사례, 미국 플로리다 인공어초 연구, 자침된 선박을 인공어초로 활용하기 위한 모범관리관행, 플로리다 및 우리나라 선박 자침 사례 등을 순차적으로 분석하였다.

재료 및 방법

동료 심사 저널 등 과학 문헌에서 관련 데이터베이스를 검색했다. Table 1과 같은 검색 문자열로 구성된 키워드를 사용하여 참고문헌의 초기 범위를 식별했다. 검색에는 ‘Google’ 엔진이 사용되었으며 Table 1의 문자열을 부울 연산자(Boolean operator) ‘AND’와 연결하여 네 가지 주제(theme)의 검색어 중 하나 이상을 포함하는 제목과 초록을 조사하였다. “자침된 선박(scuttled vessel or ship)”을 검색해도 많은 결과가 나오지 않으면 “침몰 선박(sunken vessel)” 또는 “난파선(wrecked ship)”을 검색하여 추가적인 조사를 수행했다. 또한, 해양환경공단의

침몰선박 관리사업 보고서(2014~2022)를 수집하여 침몰선박과 관련된 미발표 회색 자료를 검색하였다.

Table 2의 포함 및 제외 기준에 따라 문헌 제목 및 초록의 초기 조사를 수행하고, 연구 질문 및 주제와 관련된 문헌을 결정하였다. 추가 문헌은 저자의 사전 읽기(prior reading), 상호 참조(cross-referencing) 등을 이용하여 확보하였다. 결과적으로 총 77편의 출판물 등이 조사되었다. 모든 자료는 2023년 8월부터 12월까지 저자들에 의해 최소 두 번 교차 확인되었다. 자료 분석을 통해 플로리다 인공어초 연구가 자침된 선박의 자원화 활용에 중요함을 인식하였다. 따라서 관련 내용도 자료 분석에 포함하였다. 또한, 우리나라 자침된 선박의 자원화 모범관행에 필요하다고 판단하여 인공어초가 창출하는 경제적 이점의 편의 측정에 관한 문헌도 조사하여 분석하였다.

인공어초로 자침된 선박의 대표적 사례

자침된 선박의 자원화를 조사하기 위해 ‘Wikipedia’를 활용하여(Wikipedia, 2016) 자침된 선박 72척을 Fig. 1과 같이 조사하였다. Fig. 1a와 같이 이들 선박의 54건(75%)은 2차 세계 대전 중 또는 전후에 건조된 군함 및 해안 경비정이며 나머지는 화물선(5건), 수송선(5건), 유조선(2건), 예인선(2건), 상선(1건), 바지선(1건), 포경선(1건), 훈련선(1건)이다.

Table 1. Search strings

Theme	Search String
Scuttled vessel	scuttled vessel* OR scuttled ship* OR sunken vessel* OR shipwreck* OR sinking OR reef* OR artificial reef* OR project* OR program* OR disposal OR dumping*
Resource	resource* OR biodiversity OR marine habitat* OR fish* OR scuba diving* OR underwater* OR submarine OR park* OR installation* OR placement* OR enhancement OR ecosystem
Benefit	benefit* OR benefit-cost* OR contingent valuation* OR community OR economic OR evaluation* OR impact* OR socioeconomic
Practice	assessment* OR business* OR guideline* OR practice* OR plan* OR strategic OR design* OR best OR management* OR annual OR report

Table 2. Inclusion and exclusion criteria

Criterion	Inclusion	Exclusion
Study type	Empirical and theoretical/conceptual studies. Peer-reviewed; technical books/conference articles/technical reports included if high quality; current practices and web data included if necessary	Current practices proposed, but no evidence in use
Language	English; Korean if necessary	Any other language
Date	2000 to 2023; subsequently extended to the 1990s, 1980s, and 1970s if necessary	Any study published before 1970

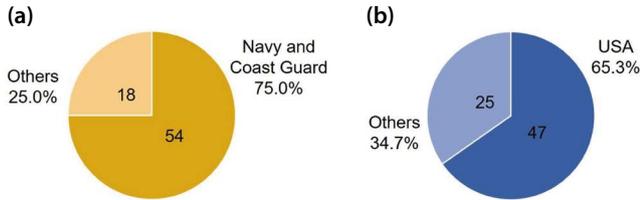


Fig. 1. Representative scuttled vessels worldwide: (a) classification by the original use and (b) classification by the scuttled locations.

Fig. 1b는 자침된 위치를 나타낸다. 해역별로 미국 (47건, 65.3%), 호주(3건), 대만(3건), 몰타(3건), 남아프리카공화국(3건), 영국(2건), 캐나다(2건), 뉴질랜드(1건), 멕시코(1건), 바하마(1건), 오만(1건), 코스타리카(1건), 태국(1건), 튀르키예(1건), 피지(1건), 필리핀(1건)이다. 따라서 미국이 자침된 선박을 인공어초로 가장 활발히 자원화함을 알 수 있다. 이는 1970년대에 미국 연방 기관 및 자치주가 해양서식지복원프로젝트(marine habitat restoration project)의 하나로 인가된 선박을 인공어초로 조성하는 실험을 시작했기 때문이다(Joosse, 2022; Jung *et al.*, 2022). 즉, 자침된 선박은 다양한 해양생물을 위한 새로운 서식지를 조성하기 위해 설치되었고, 이는 황폐해진 연근해 서식지를 복원하고, 스노클링이나 낚시 산업 등을 활성화하기 위해 활용되었다.

Fig. 1에 나타난 미국 해역에 자침된 47건의 주별 분포는 플로리다(19건, 40.4%), 노스캐롤라이나(6건, 12.8%), 뉴저지(5건, 10.6%), 버지니아(3건, 6.4%), 텍사스(3건, 6.4%), 사우스캐롤라이나(2건), 메릴랜드(2건), 하와이(2건), 앨라배마(1건), 델라웨어(1건), 미시시피(1건), 조지아(1건), 미상(1건)이다. 이는 2005년 인공어초 통계자료(플로리다 380건, 뉴저지 131건, 사우스캐롤라이나 100건, 뉴욕 65건, 조지아 41건, 노스캐롤라이나 35건, 버지니아 12건, 캘리포니아 < 10건) 추이를 비교적 잘 반영하고 있다(Pendleton, 2005). 따라서 미국 동부 대서양과 멕시코만 연안에 선박의 자침으로 인한 인공어초 조성이 활발함을 알 수 있다. 여기서 주목할 것은 Fig. 1의 자침된 72건 중 70건은 해양 사고(좌초 등)가 없는 선박을 인공어초로 자침하기 위해 사전에 계획되었다는 것이다. 다른 1건(Amaryllis; 화물선)은 1965년 허리케인으로 인해 플로리다 해변에서 좌초한 후 1968년 사고 선박을 예인하여 인공어초로 침하한 사례이다. 나머지 1건(MT Hephaestus; 병커링 유조선)은 2018년 폭풍으로 몰타 해안에 좌초한 후 2022년에 사고 선박을 예인하여 인공어초로 자침한 사례이다.

플로리다 키스(Keys)에 있는 플로리다 키스 국립해양보호구역(Florida Keys National Marine Sanctuary)은 인공어초를 다양한 목적으로 활용하고 있는 대표적인 해역이라 할 수 있다. 이곳에는 50년 동안 전 세계 바다를 향해한 후 1985년 자침한 선박 ‘Duane’을 포함하여 ~61개의 인공어초가 있다. 이는

2009년 자침한 해군 수송선 ‘Hoyt S. Vandenberg’를 포함한다. 의도하지 않은 잔해이든 인공어초 프로그램의 의도적인 노력이든 인간이 만든 물체가 가라앉으면 해양생물이 빠르게 이를 점령한다. 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 과학자 ‘Paxton’ 등은 인공어초에 대한 어류 군집 지표에 대한 메타 분석(meta analysis)을 수행하고, 자연적으로 발생하는 비교군(자연 압초 및 산호초를 포함하는 자연초)과 비교했다(Paxton *et al.*, 2020). 39개의 관련 연구를 종합한 결과, 압초 생태계 전반에 걸쳐 인공어초가 자연초와 비슷한 수준의 어류 밀도, 바이오매스, 종 풍부도 및 다양성을 지원한다는 사실이 밝혀졌다. 추가 분석을 통해 이러한 패턴의 미묘한 차이가 지리적 설정(해역, 위도) 및 인공어초 재료와 연관되어 있음이 입증되었다. 또한, NOAA 생태학자 ‘Taylor’는 선박을 가라앉히면 더 작은 물고기 떼가 빠르게 모이고, 시간이 지남에 따라 복잡한 물고기 군집이 형성되어 인공어초를 식민지화하며, 해조, 산호 및 기타 무척추동물이 구조물의 표면에 자란다고 밝혔다(Joosse, 2022). 이와 같은 생물군집의 원인으로는 구조물 주위를 휘감는 흐름인 용승(upwelling)과 구조물의 기하학적 특징(구멍과 어두운 공간)을 들 수 있다. 용승은 해양 먹이 그물의 필수 기반인 플랑크톤을 밀어 올리고, 정어리와 같은 작은 물고기를 끌어들여 상어와 다른 더 큰 포식자를 유인한다(Kim *et al.*, 2024). 인공어초의 구멍과 어두운 공간은 뱀장어 등을 유인하고, 참치와 꼬치고기가 먹이를 찾아오는 환경을 조성한다. 따라서 적절한 해양환경 조건에서는 거의 모든 물체가 어초의 역할을 할 수 있다.

그러나 많은 물체는 원래 상태에서 수중 오염의 원인이 될 수 있다(Na, 2019). 유독성 페인트, 석면, 철 및 녹슨 금속 입자가 구조물 밖으로 유출되어 물로 흘러 들어갈 수 있다. 이 때문에 공식적인 인공어초 조성 프로젝트에는 구조물이나 물체를 해저에 설치하기 전에 광범위한 청소 및 오염 제거가 포함된다(EPA and MARAD, 2006). 물론 난파선의 경우에는 광범위한 청소 및 오염 제거가 거의 불가능하다. 난파선은 종종 침몰하고, 버려진 후 몇 년 후에야 인공어초로 재발견된다(Asner *et al.*, 2022; Lee *et al.*, 2023). 예를 들면 1941년 독일의 폭격으로 침몰한 ‘SS Thistlegorm’에서 수행한 8년간(2007~2014)의 모니터링은 침몰된 선박이 어떻게 자연초와 유사한 생물 군집을 유지할 수 있는지에 대한 강력한 예를 제공한다(Lee *et al.*, 2023).

부정적인 예도 있다. 예를 들면 해양과학자는 침몰한 선박에서 철이 침출되어 주변 자연초 생태계에 악영향을 미친 사례를 발견했다(National Geographic, 2014; Work *et al.*, 2018). 2008년 하와이 남쪽의 산호초 형성물이자 미국 국립야생동물보호구역(U.S. National Wildlife Refuge)인 팔미라 환초(Palmyra Atoll)에 위치한 난파선 주변에서 코랄리모프(corallimorph)라고 불리는 말미잘이 관찰되었다(Lee *et al.*, 2023). 팔

미라 환초와 같은 중태평양 및 남태평양의 많은 지역에는 해수에 철이 풍부하지 않다. 따라서 1991년 좌초된 이후 쇠사슬로 해저에 정박해 있는 난파선에 의해 유입된 철이 주변 해역에서 갑자기 풍부해지면서 조류가 폭발적으로 증가하고, 산호류의 불균형한 침입이 발생했다. 말미잘의 어두운색으로 인해 ‘검은 암초’라고 불리는 과증식(overgrowth)은 난파선 주위로 805 m (0.5 mile) 이상 뻗어 있었고, 그 지역의 기존 산호를 소멸시켰다. 이 난파선은 2013~2014년 미국 어류 및 야생동물 관리국(U.S. Fish and Wildlife Service; FWS)이 주도한 5.5백만 달러 규모의 복원 프로젝트에서 제거되었다(National Geographic, 2014; Work *et al.*, 2018). 팔미라 환초는 생물다양성(하와이 제도보다 3배 더 많은 산호 종의 서식지)으로 유명하며 해양과학자는 이러한 복원 프로젝트가 이 지역의 풍부한 해양생물을 유지하는 데 도움이 되기를 희망하고 있다(van der Schyff *et al.*, 2020; Khen *et al.*, 2022).

의도적으로 인공어초를 조성할 때 오염이 문제가 되는 경우는 드물지만, 이러한 구조물이 더 큰 해양생태계에 어떤 영향을 미치는지 연구할 필요가 있다. 소위 유인-생산 논쟁(attraction-production debate)과 같은 과학적인 불확실성은 인공어초 또는 그 계획이 자연 서식지에 미칠 수 있는 잠재적 영향에 대해 신중한 접근의 필요성을 강조한다(Na, 2019; Paxton *et al.*, 2020). 그러나 한 가지 확실한 것은 “인공어초가 해양생물의 놀라운 서식지가 될 수 있다.”라는 것이다. 이는 자침 또는 침몰된 선박이 세계 곳곳에서 해양생태계에 미치는 긍정적인 효과를 통해 확인할 수 있다. 따라서 해양생태계에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 인식되어 온 자침된 선박이 실질적으로 지역사회에 어떤 영향을 미치는지 미국 플로리다 사례를 통해서 알아보는 것은 매우 유익하다.

플로리다 인공어초 연구

미국 플로리다는 멕시코만과 대서양 연안 자치주 중에서 가장 활발한 인공어초 프로그램을 운영하고 있다. Table 3에 나타난 바와 같이 3,756개의 인공어초가 플로리다의 34개 해안 카운티에 설치되어 있다(Ropicki *et al.*, 2021). 미국 육군공병대(U.S. Army Corps and Engineers; USACE)와 플로리다 환경보호국(Florida Department of Environmental Protection; FDEP)의 허가를 받았더라도 인공어초는 플로리다 어류 및 야생동물 보존위원회(Florida Fish and Wildlife Conservation Commission; FWC)에서 수립한 일련의 지침에 따라 설치된다. 이 지침은 플로리다주 인공어초 전략계획(State of Florida Artificial Reef Strategic Plan)에 명시되어 있다(FWC, 2003). 플로리다 인공어초는 레크리에이션 낚시꾼, дай버 및 기타 사용자 등이 활용한다. 인공어초의 존재와 활용은 해당 해안 지역사회에 상

Table 3. Number of artificial reefs installed in counties, Florida

County	No. of reefs	County	No. of reefs
Bay	478	Manatee	98
Brevard	68	Martin	117
Broward	123	Miami-Dade	246
Charlotte	34	Monroe	62
Citrus	25	Nassau	18
Collier	121	Okaloosa	285
Dixie	27	Palm Beach	125
Duval	103	Pasco	37
Escambia	329	Pinellas	363
Flagler	14	Santa Rosa	46
Franklin	68	Sarasota	204
Gulf	21	St. Johns	40
Hernando	26	St. Lucie	77
Hillsborough	75	Taylor	50
Indian River	17	Volusia	177
Lee	124	Wakulla	80
Levy	31	Walton	47

당한 경제적 이익을 가져다주는 다양한 경제 활동을 촉진한다. 따라서 이러한 경제적 이점에 대한 개요를 제공하고, 이를 측정하려고 시도한 연구를 논의하는 것이 필요하다.

1. 인공어초의 이점

인공어초는 다양한 목적으로 설치될 수 있으며 각각 의도된 목적과 관련된 일련의 잠재적 이점이 있다. 인공어초의 첫 번째 목적은 해양 척추동물과 무척추동물에게 생물학적 환경(예: 서식지)을 제공하는 것이다. 이 경우, 인공어초 설치로 인해 순 바이오매스(net biomass)가 증가한다는 이점이 있다. 두 번째 목적은 지역 해양 서식지 손실을 완화하는 수단으로 사용하는 것이다. 세 번째 목적은 낚시꾼과 다이버가 해양생물 또는 그 집합체를 활용하도록 인공어초의 위치를 제공하는 것이다. 이러한 목적과 관련된 편익은 경제 활동(예: 지출, 수입, 일자리)의 증가이다. 이러한 각각의 목적은 특히 인공어초를 사용하지 않는 사람들에게 비시장 이익(non-market benefits; 예: 존재 가치)을 제공할 수 있다. 여기서 비시장 이익은 비사용자가 인공어초를 생물학적 서식지에 유익한 것으로 인식하는 방식을 반영한다.

인공어초에서 얻을 수 있는 생물학적 이점은 차치하고, 많은 사람은 어업인, 레저 낚시꾼, 스포츠 다이버 등 사용자에게 편익을 제공하기 위해 인공어초를 배치한다고 주장한다. 예를 들어 “사람에게 유용하지 않은 인공어초는 성공적이지 않다”라는 주장(Milon *et al.*, 2000)을 들 수 있다. 이것이 수용 가능한 주장이라면 인공어초를 통하여 주변 지역사회에 발생하는 경제

적 이익에 대한 평가가 필요하다. 이 정보는 인공어초 설치 및 사용과 관련된 경제적 결과가 공익(public interest)에 어느 정도 기여하는지 이해하는 데 도움이 된다. 즉, 인공어초 개발이 카운티 또는 주에 미치는 실제적 또는 잠재적인 경제적 영향을 측정할 수 있으며 이를 통해 효과적인 공공 투자(public investment)의 정도를 결정할 수 있다. 결과적으로 해당 정보는 인공어초 설치에 대한 미래 공공 지출(public spending)을 정당화하고, 자원관리 도구로서 인공어초 설치와 관련된 적응 전략을 개발하는 데 도움이 될 수 있다. 물론 인공어초 프로그램을 구현하는 데 드는 비용도 측정해야 한다.

2. 경제적 이점의 편익 측정

인공어초 프로그램에서 파생되는 경제적 비용, 활동 및 이점, 즉 경제적 이점의 편익 측정(measurement of the economic costs and benefits)은 여러 가지 방법으로 측정할 수 있다. 이를 간략하게 살펴보면, 아래와 같다.

첫째, 경제적 영향 분석(economic impact analysis)은 인공어초 설치 후 지역 거주자 및 비거주자 지출과 관련된 시장 관련 활동이 어떻게 변하는지에 대한 통찰력을 제공할 수 있다. 경제적 영향 분석은 지출, 소득, 일자리 및 영업세와 같은 특정 지역 내 경제 활동의 변화를 나타낸다.

둘째, 조건부가치측정(Contingent Valuation Method; CVM)은 비시장 환경 상품 및 서비스를 평가하는 조사 기반 방법이다(Carson, 2000). 이 방법은 개인이 상품이나 서비스에 지불할 의사가 있는지 조사한다. 경제적 영향 분석은 인공어초 설치 전후의 지출에 대한 자료가 있는 경우 사용할 수 있지만, CVM은 계획단계에서 인공어초의 잠재적 이익을 측정할 수 있다. 예를 들면, CVM은 어업인과 다이버와 같은 자원 사용자에게 새로운 인공어초 설치에 얼마를 지불할 의향이 있는지 질문함으로써 해당 인공어초의 가치를 측정할 수 있다.

셋째, 비용효과분석(Cost Effectiveness Analysis; CEA)은 추정된 설치비용이 실제 인공어초 설치 과정에서 어느 정도 실현되었는지를 결정할 수 있다. 인공어초 개발을 위해 지역 및 주 정부 자금의 비용 효율성을 유지하는 것은 지속 가능한 카운티 인공어초 프로그램에 필수적이다. CEA는 인공어초 프로그램이 최소한의 비용으로 완료되도록 보장하는 데 도움이 된다.

넷째, 비용-편익분석(Cost-Benefit Analysis; CBA)은 인공어초 부지 선정, 허가, 설치, 모니터링 및 기타 활동과 관련된 비용을 고려하고, 해당 비용을 인공어초 프로그램으로 생성될 편익과 비교한다. 편익에는 인공어초 프로그램에 대한 전반적인 공공 수요와 관련된 총 경제적 가치가 포함된다. CBA 추정치에는 현지 시장에 반영된 값은 물론 인공어초에 대한 사용자 및 비사용자 수요와 관련된 가치가 포함된다. 즉, 인공어초에 관해 사용자와 비사용자의 수요가 지역 시장에서 반영된 인

공어초 관련 지출을 초과하는 경우, 해당 값도 CBA에 포함된다. 이러한 편익은 종종 소비자 잉여(consumer surplus)라고 불린다. 기회비용에는 해당 지역 내에서 2차 용도로 인공어초 관련 자금을 사용함으로써 상실된 편익이 포함될 수 있다. 편익 대 비용 비율이 1.0보다 크면 프로그램과 관련된 편익이 비용을 초과함을 나타낸다. 이는 인공어초 프로그램에서 도출된 비용이 편익을 초과함을 의미하는 1.0 미만의 비율보다 바람직하다. 편익 대 비용 비율이 1.0보다 크면 프로그램은 긍정적인 경제적 순이익을 가져온다.

위에 나열된 방법은 인공어초와 관련된 경제적 순이익을 결정하는 주요 수단이다. 이와 관련하여 플로리다 인공어초에 관한 여러 연구가 수행되었다. 이들 연구는 보트를 타는 사람과 낚시꾼의 활동 패턴 및 지출이 인공어초로 인해 어떻게 변화하는지 다루었고, 인공어초 설치의 사회적 영향과 인공어초 프로젝트의 비용 효율성을 조사하였다. 일부 연구에서는 존재 가치 및 소비자 잉여와 같은 인공어초와 관련된 전반적인 경제적 가치를 다루었고, 인공어초 프로그램과 관련된 비용이 편익을 초과하는지를 확인하였다. 하지만, 모든 연구가 이러한 문제를 각각 다루는 것은 아니다. 대부분의 연구는 연구 기간이 지정되어 있으며, 결과는 연구 당시 지역경제 및 지역사회 구조의 특성을 반영한다. 이러한 연구의 주요 결과는 아래와 같이 요약된다.

3. 플로리다 인공어초 연구

피넬라스 카운티(Pinellas County)는 플로리다에서 베이 카운티(Bay County) 다음으로 허용된 인공어초 수가 많다. Hanni와 Matthews는 클리어워터(Clearwater) 해변 근처의 인공어초 설치와 관련된 비용을 조사했다(Hanni and Matthews, 1977). 이 연구의 목적은 인공어초를 이용할 수 있는 낚시꾼과 다이버의 잠재적인 경제적 편익을 측정하는 것이다. 이 연구는 인공어초 프로그램의 비용 대비 편익 비율에 초점을 맞췄다. 낚시꾼의 비용 대비 편익 비율은 1.0보다 크지만, 다이버는 1.0 미만인 것으로 나타났다. 또한, Schug는 인공어초 프로그램의 전반적인 경제적 결과를 조사하기 위해 피넬라스 카운티 인공어초 시설의 사용자를 조사했다(Schug, 1982). 연구 결과 인공어초가 최대 사용 용량으로 활용되고 있지 않은 것으로 나타났다. 실제로 인공어초의 11~36%만 활용되고 있었으며, 사용자의 80%가 현지 거주자였다. 따라서 대부분 사용자가 지역 경제에 미치는 영향은 미미하지만, 인공어초 관련 활동으로 인해 전체 경제 활동이 향상되고 있었다. 인공어초 사용자의 총 연간 지출은 181,000~253,000달러로 추정되었고, 피넬라스 카운티의 인공어초 프로그램의 비용 대비 편익 비율은 1.0보다 큰 것으로 추정되었다.

마이애미-데이드 카운티(Miami-Dade County)는 플로리다에서 다섯 번째로 큰 인공어초 시설을 보유하고 있다. Milon은

사용자와 비사용자에 의한 인공어초 프로그램과 관련된 경제적 편익을 측정하려고 시도했다(Milon, 1987). 활용된 기술은 현지 보트 운전자와 다이버에게 우편으로 설문조사를 보내는 것이었다. 응답자들은 인공어초 프로그램에 대한 비용 지불 의사를 제공하도록 요청받았다. 응답자의 29%는 인공어초를 자주 이용하는 낚시꾼이었고, 13%는 인공어초를 자주 이용하는 다이버였다. 사용자와 비사용자 모두 마이애미-데이드 카운티의 인공어초와 관련된 편익에 긍정적이었다. 마이애미-데이드 카운티의 인공어초와 관련된 연간 편익은 707,000달러로 높게 추정되었다. 흥미롭게도 해당 편익의 가장 큰 구성요소는 비사용자와 관련이 있었다. 따라서 비사용자에게도 해당 인공어초의 가치가 높았다. 마이애미-데이드 카운티의 인공어초와 관련된 가치는 추정 방법에 따라 1,800만~1억 2,800만 달러였다.

플로리다 북서부(Northwest Florida)의 인공어초와 관련된 경제적 이익은 Bell 등에 의해 측정되었다(Bell *et al.*, 1998). 이 연구의 목적은 'Escambia', 'Santa Rosa', 'Okaloosa', 'Walton' 및 'Bay County'에 인접한 해역에 설치된 인공어초와 관련된 경제적 영향, 사용자 평가 및 비용 대비 편익 비율을 평가하는 것이었다. 총 4억 1,400만 달러의 지출이 인공어초 사용과 관련되었다. 이러한 지출은 8,136개의 일자리와 8,400만 달러의 임금 및 급여를 창출했다. 총지출 중 3억 5,900만 달러와 5,600만 달러는 비거주자와 거주자에게 각각 귀속되었다. 조사한 5개 카운티 중 총지출은 다음과 같이 분배되었다: 'Bay (36%)', 'Okaloosa (30%)', 'Escambia (22%)', 'Santa Rosa (7%)' 및 'Walton (5%)'. 인공어초 프로그램에 대한 지불 의향도 해당 지역에서 측정되었다. 연간 레크리에이션 사용 가치는 1,970만 달러로, 인공어초 프로그램에 대한 할인된 미래가치는 6억 5,600만 달러로 추산되었다. 플로리다 북서부 지역 내 인공어초의 비용 대비 편익 비율은 131로 추정되었으며, 이는 플로리다 북서부 5개 카운티 내에서 인공어초 프로그램을 개발 및 구현하는 비용에 대한 매우 높은 편익을 나타낸다.

Johns 등은 플로리다 남동부(Southeast Florida)의 인공어초 및 자연초와 관련된 경제적 영향 및 사용 가치를 분석했다(Johns *et al.*, 2001). 활용된 방법론은 플로리다 북서부의 인공어초 연구에 사용된 것과 유사하다. 이를 통해 기존 인공어초와 잠재적인 새 인공어초의 가치를 평가했다. 연구에 포함된 카운티는 'Palm Beach', 'Broward', 'Miami-Dade' 및 'Monroe'이다. 이 연구는 인공어초와 관련된 낚시 및 다이빙 활동에 거주자 및 비거주자가 연간 17억 달러를 지출한다는 사실을 발견했다. 총지출 중 'Broward'는 53%, 'Miami-Dade'는 25%, 'Palm Beach' 및 'Monroe'는 각각 11%를 차지했다. 이러한 지출은 이 지역에서 약 27,000개의 일자리와 7억 8,200만 달러의 임금을 창출했다. 흥미롭게도 자연초와 관련된 지출은 인공어초와 대조적으로 연간 27억 달러의 지출을 창출했다. 이 지역의 기존 인공어초와 관련된 연간 레크리에이션 사용 가치는 8,460만

달러로 추정된다(할인된 미래가치는 28억 달러). 새롭게 설치된 인공어초와 관련된 연간 사용 가치는 2,700만 달러로 추정된다(할인된 미래가치 8억 8,800만 달러). 새롭게 설치된 인공어초에 대한 연간 지불 의향은 400만 달러였다. 또한, 자연초와 관련된 연간 레크리에이션 가치는 2억 2,800만 달러로 인공어초보다 훨씬 높았다.

'Palm Beach - Monroe County' 지역 연구와 방법론이 유사한 연구가 플로리다 마틴 카운티(Martin County)에서 수행되었다(Johns, 2004). 해당 연구는 인공어초와 자연초의 가치 및 연간 사용 가치, 연간 지출, 일자리, 소득 등을 조사했다. 인공어초 사용과 관련된 연간 지출은 720만 달러였다. 거주자 및 비거주자 지출은 거의 동일했다. 인공어초와 관련된 소득은 320만 달러로 추정되었으며, 마틴 카운티 내에서 약 100개의 일자리가 창출되었다. 자연초와 관련된 값은 상대적으로 약간 작았다. 기존 인공어초와 관련된 연간 사용 가치(거주자 및 비거주자)는 360만 달러로 추정되었다(할인된 미래가치는 1억 2천만 달러). 새로운 인공어초와 관련된 연간 가치는 110만 달러로 추정되었다(할인된 미래가치 3,750만 달러).

'USS Spiegel Grove'는 2002년 플로리다 케이 라르고(Key Largo)에서 자침된 퇴역 해군 함정이다. 'Spiegel Grove'를 인공어초로 설치한 주요 목적은 자연초 환경에 근접한 인공어초를 도입함으로써 주변 자연초의 사용을 줄이고 자원을 효율적으로 관리하는 것이었다. 핵심 질문은 자연초의 사용을 줄이기 위해 인공어초를 설치함으로써 지역 경제에 이익을 창출할 수 있는가였다. 따라서 'Spiegel Grove' 설치 전후의 사용 패턴 및 지역 경제 활동에 관한 연구가 수행되었다(Leeworthy *et al.*, 2006). 이 연구는 'Spiegel Grove'가 다이버의 지역 자연 산호초를 대체하는 방법과 지역 경제에 미치는 영향에 대한 통찰력을 제공했다. 자원관리 목표와 관련하여 'Spiegel Grove' 인공어초는 성공적으로 평가되었다. 설치 후 연구 지역 내에서 다이버(스킨 다이버 포함)의 자연초 사용이 13.7% 감소했다. 또한, 이 지역의 자연초 전용 다이빙 전세 건수는 16.7% 감소했다. 그러나 전세 다이빙 및 기타 관련 다이빙(스킨 다이버 포함) 활동의 총 건수는 대폭 증가하였다. 다이빙 활동에 대한 지출의 순 변화는 연구 기간 260만 달러 증가했으며, 그 증가의 약 80%는 비거주자에 기인하였다. 지역 경제 내 소득은 960,000달러 증가했으며 추가로 68개의 일자리가 창출되었다. 따라서 'Spiegel Grove'의 설치에 자연초 환경과 지역 경제를 위한 상생 요인으로 평가되었다.

2006년 5월 17일, 퇴역한 Essex급 공격 항공모함 'USS Oriskany'가 플로리다 펜사콜라(Pensacola) 해안에서 자침되었다. 2004년에 설치하고자 하였으나, 추가적인 PCB(폴리염화비페닐) 제거 필요성과 허리케인 발생으로 인해 지연되었다. 선박 확보, 준비, 운송 및 침몰을 포함하는 프로젝트의 성공은 카운티, 주정부 및 연방 기관의 공동 노력 덕분이었다. 상단이 18

m (60 ft)이고 비행 갑판이 39 m (130 ft)인 ‘Oriskany’는 대부분의 초보 다이버들이 접근할 수 없는 위치와 수심에 자침되었다. 비행 갑판과 격납고 갑판으로의 다이빙은 기술 다이빙 기술(즉, ‘nitrox’, ‘trimix’)을 가진 사람들에게 더 적합한 것으로 알려져 있다. 설치의 주요 목적은 ‘Baldwin County’ (앨라배마)와 ‘Escambia County’ (플로리다) 지역에 있는 레크리에이션 다이빙 산업과 관련된 해안 경제 활동을 강화하는 것이었다. 단일 및 2개 카운티 시나리오에 대한 분석은 ‘Oriskany’ 설치 직후 1년 동안 상당한 경제 활동과 긍정적인 영향이 실현되었다고 추정하였다(Haas Center, 2007). 자침 후 첫해 동안 약 4,200회의 전세 다이빙 여행이 ‘Oriskany’로 이루어졌다. 비거주자가 창출한 다이빙 여행의 평균 지출은 463달러로 추정되었으며, 평균 거주자 다이빙 여행의 지출은 352달러였다. ‘Baldwin’와 ‘Escambia’에서 시작된 다이빙 활동을 합하면 220만 달러의 다이빙 여행 관련 지출과 360만 달러의 경제적 효과, 67개의 일자리 창출 및 140만 달러의 지역 소득 창출이 발생했다. ‘Escambia’에서 시작된 다이빙 활동은 120만 달러의 다이빙 여행 관련 지출, 200만 달러의 경제적 영향, 37개의 일자리 창출 및 740,000달러의 지역 소득 창출로 이어졌다. 또한, ‘Oriskany’는 기존 및 가상 다이빙 기회에 대한 다이버의 선호도를 조사할 기회를 제공했다. 예를 들어, ‘Oriskany’ 근처에 있지만, 해안에 더 가까운 작은 침몰선을 배치한 가상의 묶음(bundling) 배치의 가치가 조사되었다(Morgan *et al.*, 2009). 후속 분석에 따르면 추가 인공어초와 대형선박 인공어초를 묶는 개념이 사용 가치를 증가시키는 것으로 나타났다.

은퇴한 미 공군 미사일 추적함인 158 m (520 ft) 길이의 ‘USS Vandenberg’는 2006년 5월 플로리다 키웨스트(국립해양보호구역)에서 자침되었다. 설치의 주요 목적은 지역 경제 발전과 관광을 촉진하는 것이었다. 선박을 준비하고 침몰시키는 총비용은 860만 달러에 달했다. 후속 연구에 따르면 ‘Vandenberg’는 지역 경제뿐만 아니라 지역 다이빙 전세 산업을 증가시켰다(Leeworthy, 2011). ‘Vandenberg’ 침몰 이후 지역 다이빙 관련 사업은 ~190% 증가했다. 이로 인해 지출이 650만 달러 증가했고, 연간 주 및 지방 판매세 및 숙박세 수입은 약 620,000달러 증가했다. ‘Vandenberg’를 인공어초로 설치하여 105개의 추가 일자리(320만 달러 규모)가 창출되었다. ‘Spiegel Grove’ 프로젝트와 마찬가지로 ‘Vandenberg’ 인공어초 프로젝트의 추가 목적은 다이버(스킨 다이버 포함)가 자연초에서 인근 인공어초인 ‘Vandenberg’로 옮겨가는지를 평가하는 것이었다. 다이버의 총 자연초 사용은 감소했지만, ‘Vandenberg’로 인한 다이버의 전반적인 활동 증가는 인근 자연초 사용의 순증가로 이어졌다.

플로리다 남서부(Southwest Florida)의 인공어초 설치가 6개 카운티(‘Pinellas’, ‘Hillsborough’, ‘Manatee’, ‘Sarasota’, ‘Charlotte’, ‘Lee’)에 미친 경제적 영향이 연구되었다(Swett *et al.*, 2011). 연구 결과에 따르면 6개 카운티 지역에서 매년 약

614,000일의 보트 여행 일수(boating days)와 2백만 명 이상의 인적 일수(person days)가 인공어초를 사용하는 것으로 나타났으며, 매일 5,600명이 인공어초를 사용했다. 인공어초의 주요 사용자는 개인 보트를 타는 사람들이었으며, 고용 부문(가이드, 파티 및 전세 고객)도 이 지역에서 인공어초 사용을 보충하는 역할을 하는 것으로 밝혀졌다. 사실, 이 연구는 플로리다의 인공어초 활용에서 임대 부문(for-hire sector)이 수행하는 역할에 대한 명확한 통찰력을 제공한 최초의 연구였다. 6개 카운티에서 인공어초를 사용하여 창출한 연간 지출액은 2억 5,300만 달러였으며, 이 중 1억 3,600만 달러는 지역 거주자가 지출했고, 1억 1,700만 달러는 비거주자가 지출했다. 총지출 중 1억 6,300만 달러는 개인 보트 운전자가 지출했지만, 9,000만 달러는 임대 부문 고객이 지출했다. 인공어초에 대한 연간 지출은 1억 2,200만 달러의 수입, 1,700만 달러의 영업세, 2억 2,700만 달러의 경제적 효과를 창출했으며, 일자리 창출은 약 2,600개였다. 또한, 이 연구는 플로리다 해역에서 인공어초를 제공하고 유지하기 위한 공적 자금(public funds) 사용에 대한 강력한 대중적 지지를 발견했다.

자침된 선박을 인공어초로 활용하기 위한 모범관리관행

1. 모범관리관행

미국 환경보호청(U.S. Environmental Protection Agency; EPA)은 “인공어초를 만드는 목적은 해양 자원의 이익을 위해 수생 서식지를 향상하고, 수산자원을 보존, 관리, 개발하기 위한 추가 옵션을 제공하는 것이다. 전략적 인공어초 위치 선택과 함께 적절한 선박 청소 및 개선은 전환된 선박이 인공어초로서 환경에 이점을 제공하는 기회를 극대화할 것이다.”라고 밝히고 있다(EPA and MARAD, 2006). 미국 환경보호청과 연방 해운청(U.S. Maritime Administration; MARAD)이 공동으로 개발한 “국가 지침: 선박을 인공어초로 만들기 위한 모범관리관행(The National Guidance: Best Management Practices for Preparing Vessels Intended to Create Artificial Reefs)”은 인공어초로 사용하기 위해 낡고 퇴역한 군용 및 상업용 선박을 준비하기 위한 일관된 환경 기반 접근 방식을 제공한다(EPA and MARAD, 2006).

모범관리관행(Best Management Practices; BMPs)은 다음과 같은 조치를 포함하고 있다. 첫째, 인공어초로 사용하기 위해 준비된 선박이 인공어초로 사용될 때 환경적인 건전성이 보장되어야 한다. 둘째, 전국적으로 해당 관행이 일관되게 사용되어야 한다. 셋째, 인공어초로 사용하기 위한 선박 준비와 관련된 비용 추정의 근거가 제공되어야 한다. 넷째, 노후 선박 폐기를 위한 하나의 방안으로 인공어초 프로그램의 유용성이 강화

Table 4. Summary of clean-up goals for materials of concern

Materials of concern	Clean-up Goal
Oil and fuel	Remove liquid fuels and oils and semi-solids (greases) so that: no visible sheen is remaining on the tank surfaces (this includes all interior fittings, piping, structural members); no film or visible accumulation is remaining on any vessel structure or component (e.g., on machinery or from spills on decking or carpet). The end result of such clean-up should be that no sheen be visible upon sinking a vessel.
Asbestos	Remove any loose asbestos and asbestos that may become loose during vessel sinking; remove or seal accessible friable asbestos.
Polychlorinated Biphenyls (PCBs)	Remove all manufactured products containing greater than or equal to (\geq) 50 parts per million (ppm) of solid PCBs; remove all liquid PCBs regardless of concentration; remove all materials contaminated by PCB spills where the concentration of the original PCB source is \geq 50 ppm.
Paint	Remove harmful exterior hull anti-fouling systems that are determined to be active; remove exfoliating (peeling) and exfoliated paint.
Solids, debris, floatables	Remove loose debris, including materials or equipment that are not permanently attached to the vessel that could be transported into the water column during a sinking event.
Other materials of environmental concern	Remove other materials that may negatively impact the biological, physical, or chemical characteristics of the marine environment.

되어야 한다.

모범관리관행의 구현은 인공어초로 설치되기 위해 적절하게 준비된 선박이 환경적으로 건전하다는 것을 보장해야 한다. 해당 지침은 선박에 존재할 수 있는 환경문제 우려 물질과 해당 물질이 발견될 가능성이 있는 위치를 구체적으로 식별하게 하고, Table 4와 같이 각 재료 범주의 ‘정화(clean-up)’에 대한 일반적인 성능 목표와 자침 전 정화 방법(pre-sinking clean-up method)에 대한 정보를 제공한다.

환경문제 우려 물질에는 연료 및 오일(fuels and oils), 석면(asbestos), 폴리염화비페닐(polychlorinated biphenyls), 페인트 및 페인트 잔류물(paints and paint residues), 잔해물(debris; 예: 선박 잔해물(vessel debris), 부유물(floatables) 및 유입 물질(introduced material) 및 기타 물질(예: 수은(mercury), 냉매(refrigerants))이 포함된다. 모범관리관행은 해당 선박의 해양생물 서식지로의 활용 외에도 레크리에이션 다이빙 기회 창출 등과 같은 다른 용도에도 적용될 수 있다.

미국 환경보호청은 선박에서 인공어초로의 프로젝트(vessels-to-reef projects)에 대한 국가 지침으로 모범관리관행을 권장하고 있다. 실질적으로 해당 관행은 적합하며 선박 외부의 모든 허용된 수중 사용에 대해 구현되어야 한다. 그러나 이 지침은 자치주 또는 기타 규제 기관이나 자원관리 기관 또는 기타 기관에 구속력을 갖지 않는다. 다만 모범관리관행에서 명시한 정화 성능 목표의 달성 및 검증은 미 육군공병대가 관리하는 법적 조항(statutory provision)인 「Clean Water Act」 섹션 404 또는 「Rivers and Harbors Act」 섹션 10에 따른 허가 신청(permit application)을 지원하는 데 도움이 될 수 있다(EPA,

2023a, 2023b). 선박 준비에는 자치주 및 지역 법률이 적용될 수 있다. 또한, 연방정부에 비용이 발생하지 않는 한 연방해운청 선박을 자치주에서 인공어초로 사용할 수 있게 하는 「Liberty Ship Act of 1972」에 따라서 수행되는 미국 환경보호청 검토 및 인증의 일부로 모범관리관행 문서는 유용하다(EPA and MARAD, 2006). 해군 선박 등록에서 제거된 선박이 인공어초로 사용되면 해군 장관은 해당 선박의 준비가 모범관리관행에 따라 수행되도록 해야 한다. 모범관리관행 개발에 투입된 실무위원회는 미국 환경보호청, 연방해운청, 육군공병대는 물론이고, 미국 해양대기청, 어류 및 야생동물관리국, 해안경비대(U.S. Coast Guard; USCG), 해군부(Department of the Navy; DoN)를 포함한다.

2. 바젤 행동 네트워크

1972년 「Liberty Ship Act」로 거슬러 올라가는 관행인 이른바 인공어초를 위해 오래된 선박을 자침하도록 허용한 연방 인공어초 프로그램(the Liberty Ship Program)이 시작된 이래로 약 45척의 선박이 폴리염화비페닐(PCB) 및 각 선박에 내장된 중금속과 같은 막대한 양의 독성 물질과 수백만 달러 상당의 강철 및 비철금속과 함께 바다에 폐기되었다. 따라서 미국 연방해운청은 연방 인공어초 프로그램을 효과적으로 종료하는 새로운 정책을 2012년 채택했다(Basel Action Network, 2012). 정부가 후원하는 해양 투기 프로그램에 반대하는 캠페인을 벌여온 미국 기반 환경 단체인 바젤 행동 네트워크(Basel Action Network; BAN)는 오래된 선박의 자침 허용 프로그램 종료 소식을 국내 선박 재활용 산업 및 환경의 승리라고 평가하였다.

미국 연방해운청의 새로운 정책은 공개적으로 발표되지는 않았지만, 2012년 5월 29일에 발효되었다. 해당 정책은 1985년 이전에 건조된(폴리염화비페닐을 포함할 가능성이 있는) 모든 선박을 인공어초 고려사항에서 제외한다. 폴리염화비페닐은 미국 환경보호청에서 잠재적으로 인체에 발암성이 있고, 해양 먹이 사슬에 축적되는 것으로 기술된 지속성 독성 화학 계열이다. 폴리염화비페닐은 미국 「독성 물질 통제법(Toxic Substances Control Act)」에 따라 사용 및 생산이 금지되어 있다.

1945년 항공모함으로 취역하고, 1976년에 플로리다에서 자침된 'Oriskany'에 대한 연구가 미국 연방해운청의 새로운 정책 개발에 중요한 역할을 했다. '플로리다 어류 및 야생동물 보호위원회'에서 수행한 해당 연구는 자침된 'Oriskany'에서 폴리염화비페닐이 해양 먹이 사슬로 이동하는 것을 발견했으며 독성 생물 축적 물질을 포함하는 침몰 선박의 관행에 처음으로 의문을 제기했다(Self and Puckett, 2011). 이와 보조를 맞추어 '바젤 행동 네트워크'는 해군의 폐기된 선박을 자침하지 않고 재활용하는 것이 훨씬 더 경제적이라고 주장했다(Self and Puckett, 2010).

하지만 2005년 랜드연구소(Research and Development (RAND) Corporation)가 발간한 문서에 따르면 미국 조선소는 더 이상 경제적으로 선박을 재활용할 수 없으며, 외국 재활용 야드의 환경 및 안전 조건에 대한 우려로 인해 해당 폐기 방안이 중단되었다고 서술하고 있다(Bynes *et al.*, 2004). 또한, Hess 등은 선박을 무기한 보관하는 방안과 인공어초로 사용하기 위해 기증하는 방안을 비교하여 평가하였다(Hess *et al.*, 2001). 해당 연구 결과를 바탕으로 랜드연구소는 인공어초가 가장 저렴하게 실행할 수 있는 방안이라는 결론을 내렸다. 실제로 인공어초와 관련된 경제 활동은 다양한 수준의 정부기관에서 연방 비용을 상쇄하기에 충분한 세금을 생성할 수 있다. 해외에서의 선박 재활용도 비용이 저렴한 방안으로 판단되었지만, 미국 환경보호청 규정은 폴리염화비페닐로 오염된 품목(군함도 이에 해당함)의 수출을 금지한다. 현재 미국에서 폐기된 선박의 재활용은 정부의 자금 지원을 받아야 하며 장기 보관을 위해서는 정기적인 보호 조치와 염수의 부식 효과를 상쇄하는 방안(예: 드라이 도킹)이 필요한 실정이다. 두 방법 모두 인공어초 활용보다 비용이 많이 소요된다.

3. 랜드연구소 폐기 방안

랜드연구소는 선박의 폐기 방안으로서 인공어초로 활용하는 잠재적인 장점을 입증한 후, 인공어초로의 지속적인 활용 여부 및 방법과 관련된 경제, 법, 환경 등을 연구하였다(Bynes *et al.*, 2004). 연구 결과는 다음과 같이 요약된다.

첫째, 미국 중부 및 남부 대서양과 멕시코만 해안에서 폐기된 선박을 인공어초로 활용하고자 하는 수요가 많다. 폐기된 선박

을 공급받을 준비가 된 위치가 최소 400개 있다. 따라서 연방정부는 일정 수준의 기준(예: 대응 투자)에 따라 신청자를 선정할 수 있다.

둘째, 인공어초 프로그램을 구현하는 데 필요한 제도적 장치가 마련되어 있다. 대부분의 연안 주는 인공어초 프로그램을 운영하고 있으며 지역 어업 위원회는 인공어초 설치로 파생될 수 있는 지역이익을 조정하고 있다. 미국 연방해운청은 해군에서 소유권을 이전한 후 인공어초 프로그램을 위해 일부 선박을 기부하고 있다. 1984년 「국가어업향상법(National Fisheries Enhancement Act of 1984)」은 낚은 석유 굴착 장치의 인공어초로의 전환을 허용했으며, 해안경비대는 선박을 인공어초로 퇴역시키는 일상적인 관행을 수립하였다. 육군공병대는 인공어초가 항해를 방해하지 않도록 하는 허가 절차를 시행하고 있다. 1950년 「스포츠 어류 복원법(Federal Aid in Sport Fish Restoration Act of 1950)」에 대한 연방 지원은 매우 제한된 자원으로 운영되는 자치주 또는 지역 인공어초 설치 기관에 잠재적인 자금을 제공하고 있다.

셋째, 침몰한 선박에서 연안 환경으로의 폴리염화비페닐 방출과 관련된 환경문제가 제기되지만, 해군 테스트 프로그램에는 이러한 환경문제에 대한 우려가 다소 완화되고 비정상적인 폐기를 승인할 수 있는 새로운 환경보호청 프로세스가 마련되어 있다. 따라서 해당 프로세스는 환경보호청 승인에 기반을 제공하고 있다. 또한, 캐나다에서 제정한 침몰선박 표준도 환경보호청에 추가적인 기반을 제공하고 있다. 다른 환경문제는 폴리염화비페닐 문제만큼 심각하지 않은 것으로 나타났다.

넷째, 선박을 인공어초로 설치하는 프로그램을 추진하기 전에 두 가지 문제를 해결해야 한다. 먼저 프로그램에는 비즈니스 모델이 필요하다. 즉, 해군이나 연방해운청이 인공어초 프로그램 자체를 운영하는지, 별도의 기관이나 연방법인이 설립되는지, 계약자가 프로그램을 운영하는 동안 해군이나 연방해운청이 소유권을 유지하는지, 아니면 소유권과 인공어초 모두 입찰에 나설 수 있는지 검토해야 한다. 그러나 어떤 모델을 선택하든 연방정부 내에서 또는 연방정부와 계약을 맺은 단체가 단일 연락 창구가 된다면 인공어초 설치가 쉬울 것이다. 마찬가지로, 주정부가 어떤 제안이 가장 가치가 있는지 결정하고, 주정부의 이름으로 인공어초 프로그램을 추진하는 것이 가장 효율적일 것이다. 또한, 일부 법률은 개정되어야 한다. 인공어초 설치에 연방 자금을 사용하는 것을 금지하는 조항은 아마도 폐지되어야 할 것이다. 인공어초가 될 모든 선박의 소유권이 연방해운청으로 이전되지 않는 한, 해군은 인공어초로 설치할 선박을 기부하기 위해 더 명확한 권한이 필요하다. 또한, 인공어초 설치를 위해 선박을 다른 기관으로 이전하려면 더 광범위한 권한이 필요할 수 있다. 승인 및 세출법안은 필요한 자금을 제공해야 한다. 그렇지 않으면 선박을 인공어초로 설치하는 프로그램은 쓸모가 없게 된다.

4. 새로운 정책 및 지침

미국 환경보호청은 선박의 의도적인 해양 처분이 일반적으로 육지 기반 대안을 사용할 수 없는 경우에만 시행되어야 한다고 서술하고 있다(EPA, 2022a). 퇴역한 선박을 관리하기 위한 다른 방안에는 선박 또는 선박의 일부 재사용, 재활용 또는 폐기, 인공어초로 사용하기 위한 선박 준비, 육상에서의 선박 폐기가 포함된다. 「해양보호, 연구 및 보호구역법(Marine Protection, Research and Sanctuaries Act; MPRSA)」은 해양 처분을 승인하기 전에 육상 기반 대안을 고려할 것을 요구한다(EPA, 2022b).

선박은 연방 규정 「40 CFR 229.3」에 나타난 MPRSA 일반 허가의 특정 조건에서만 바다에 폐기될 수 있다(National Archives, 2023). 일반 허가 요건을 충족하지 못하는 선박을 해양에 처분하려면 특별 허가가 필요하다. 이 허가는 강철 선체가 있는 대형선박에 가장 적합하다. 소형 선박은 대형선박보다 육상 기반 대안에 더 적합하다. MPRSA의 일반 허가를 사용하여 매년 0~10척의 선박이 바다에 폐기된다. 선박과 선박 안팎의 품목은 잠재적인 환경, 인체 건강 및 항해 문제를 일으킬 수 있다. 선박의 용기에는 유해한 오염 물질이 포함되어 있으며, 오일, 연료, 윤활유, 폴리염화비페닐, 석면 및 부유 물질(예: 플라스틱)은 오염원이 될 수 있다. 일부 선박은 물에 떠다니거나 파손되어 해양 쓰레기를 생성할 가능성이 있으므로 해양 처리에 적합하지 않을 수 있다. 선박 잔해 및 부유물은 항해 방해 및 안전 위험이 될 수 있다. 또한, 선박 파편은 해양서식지를 물리적으로 파괴하고 해양생물을 질식사시키고 가둘 수 있다. 유리 섬유 용기는 유리 섬유(섬유 강화 플라스틱)가 열화하거나 부서져 미세플라스틱 오염 물질 부하를 발생시키고, 해양오염을 심화시킬 수 있어서 해양 폐기에 적합하지 않다.

선박을 해상에서 폐기하기 전에 자격을 갖춘 전문가는 해양 환경을 악화시킬 수 있는 모든 물질을 최대한 제거해야 한다. 여기에는 모든 연료관과 탱크를 비우고 씻는 등 선체에서 부스러기를 만들거나 화학적 오염원이 될 수 있는 기타 오염 물질과 쉽게 분리할 수 있는 물질을 제거하는 것이 포함된다(IMO, 2016). 이해관계자는 계획된 선박을 폐기하기 최소 1개월 전에 폐기가 이루어질 해역을 담당하는 환경보호청 지역 사무소에 통보하여야 한다. 해당 통보는 선박 폐기 전 1개월, 10일, 48시간 및 12시간 단위로 지속되어야 한다. 해상에서 선박을 처분하고자 하는 이해관계자를 위한 일반 지침은 아래와 같다(EPA, 2022a).

첫째, 1개월 전 환경보호청 통지: 긴급 상황(현지 해안경비대 및/또는 육군공병대 지역 사무소에서 결정)을 제외하고 선박 폐기 최소 1개월 전에 일련의 요구된 정보를 제안된 처분이 이루어질 해역을 담당하는 환경보호청 지역 사무소에 서면으로 제출해야 한다. 또한, 통지서 사본은 허가에 따라 효율적으

로 처리할 수 있도록 현지 해안경비대 항만장(Captain-of-the port, COTP) 및/또는 육군공병대 지역 사무소로 보내야 한다. 일련의 요구된 정보는 다음을 포함한다. ㉓ 폐기 필요성 진술(선박의 해양 폐기 필요성에 관한 서술), ㉔ 선박 및 화물 설명(선박의 종류 및 선박명 및 등록 번호를 포함하는 설명), 일반적으로 운송되는 화물의 종류, ㉕ 폐기 계획(제안된 폐기 절차 및 요청된 폐기 날짜에 대한 자세한 설명), ㉖ 환경 영향(폐기가 해양환경에 미치는 잠재적 영향에 대한 정보), ㉗ 처분 대안(해양처분에 대한 대안에 관한 적절한 평가 문서), 고려해야 할 대체 폐기 방법(폐품, 회수 및 매립), 인공어초 설치 장소에서의 활용.

둘째, 해안경비대 감독: 해안경비대 지역사령관 또는 피지명인은 선박의 폐기 장소로의 운송을 감독할 수 있다.

셋째, 오염 물질 제거를 위한 조치: 비상 상황(현지 해안경비대 및/또는 육군공병대 지역 사무소에서 결정)을 제외하고 폐기 전에 자격을 갖춘 전문가는 해양환경을 악화시킬 수 있는 모든 물질을 최대한 제거해야 한다. 조치에는 다음이 포함되지만 이에 국한되지는 않는다. ㉘ 모든 연료관과 연료 탱크를 가능한 가장 낮은 지점까지 비우고, 물로 세척하고, 다시 가능한 가장 낮은 지점까지 비워 기본적으로 기름이 없도록 한다. ㉙ 선체에서 다른 오염물질과 파편을 생성하거나 화학적 오염을 발생시킬 수 있고 쉽게 분리 가능한 모든 물질을 제거한다.

넷째, 환경보호청 및 해안경비대에 10일 전 통지: 긴급 상황(현지 해안경비대 및/또는 육군공병대 지역 사무소에서 결정)을 제외하고 폐기 최소 10일 전에 환경보호청 및 해안경비대 지역 사령관에게 선박이 청소 완료되어 점검 가능한 것을 알려야 한다. 선박은 환경보호청과 해안경비대가 허가서 3항의 요건이 충족되었다는 데 동의한 후에만 투기를 위해 운송될 수 있다.

다섯째, 폐기 장소 위치: 선박 폐기 장소는 다음과 같이 결정한다. ㉚ 선박 처리를 위해 현재 미국 해양대기청이 도면에 지정한 장소 또는 ㉛ 가장 가까운 육지에서 최소 12 mile(~19.3 km), 수심 최소 300 ft(~91 m). 다만 확립된 운송 항로(shipping lanes), 해양 보호 구역(marine sanctuary), 상업용 트롤 어업(trawling) 또는 국방(national defense)에 위험을 줄 수 있는 위치에는 폐기할 수 없다.

여섯째, 선박 준비: 폐기 선박의 해상 항법을 훼손하지 않고, 해당 선박이 빠르게 바닥으로 가라앉도록 필요한 모든 사전 조치를 해야 한다. 예인 선박은 자침된 선박이 수면 위로 떠오르지 않는지 확인하거나 떠다니는 폐기 물질을 회수하기 위해 최소 2시간 동안 자침 장소에 있어야 한다. 적절하게 준비된 선박을 자침하는 방법에는 여러 가지가 있다. 일반 허가는 특정 방법의 사용을 다루거나 명시적으로 승인하지 않지만, 환경보호청은 폭발물 자체의 위험성으로 인해 자침에 폭발물의 사용을 권장하지 않으며 해수 흡입구(sea chests) 사용, 물대포(water

cannons) 또는 펌프 사용, 패치(patch)로 임시 출입구(hatches) 만들기 등 선박을 자침하는 방법을 권장한다. 각 사례는 선박에 따라 다르므로 자침 계획을 지원하기 위해 해양공학 엔지니어에게 자문할 수 있다.

일곱째, 폐기 시간: 긴급 상황(현지 해안경비대 및/또는 육군공병대 지역 사무소에서 결정)을 제외하고, 선박 폐기는 낮에만 할 수 있다.

여덟째, 항만장, 해안경비대, 환경보호청에 48시간 및 12시간 전 통지: 긴급 상황(현지 해안경비대 및/또는 육군공병대 지역 사무소에서 결정)을 제외하고, 항만장, 해안경비대, 환경보호청에 선박 자침(폐기) 48시간 전에 통보해야 한다. 또한, 선박이 항구에서 출발하기 최소 12시간 전에 항만장 및 환경보호청에게 전화로 다음과 같은 세부 정보를 알려야 한다. ㉠ 출발 시간 및 장소, ㉡ 폐기 위치, ㉢ 현장 도착 예상 시간, ㉣ 예인 선박의 이름 및 통신 기능. 일정 변경은 가능한 항만장에게 즉시 보고해야 한다.

아홉째, 자침(폐기) 장소 좌표를 해양청에 통지: 환경보호청과 NOAA의 미국해양청(National Ocean Service)이 적절한 해도에 표시할 수 있도록 폐기 장소의 정확한 좌표를 1주일 이내에 서면으로 통지해야 한다.

플로리다 선박 자침 사례

1. 1987년 USCGC Duane

플로리다 키스 국립해양보호구역(Florida Keys National Marine Sanctuary)이 국립해양보호구역으로 지정되기 전에 다이빙이나 낚시를 위해 특정 지역에서 침몰한 몇 척의 퇴역 선박이 있다. 이들 중 하나는 1985년 8월 1일에 퇴역하고, 인공어초로 활용하기 위해 1987년 11월 27일에 자침된 미국 해안경비대 소형 쾌속정(cutter) ‘Duane’이다(Wikipedia, 2023). 이 선박은 2002년 5월 16일 미국 국가 사적지로 등록되었다(Florida Keys National Marine Sanctuary, 2023). 자침된 이후 영양이 풍부한 걸프 스트림(Gulf Stream)에 의해 활기찬 해양생물의 보금자리가 되고 있다. 선박 길이가 100 m (327 ft)인 ‘Duane’은 뛰어난 다단계 다이빙 해역을 제공한다. 다이버들은 해저의 프로펠러(propeller), 선미 갑판(deck), 조타실, 레이더 타워(radar tower) 등을 탐험할 수 있다. 선박에는 다양한 해양생물이 목격되고 있으며, 이는 입자 섭식자, 거북이, 돔, 타폰, 상어, 만타 가오리 등을 포함한다(Frink, 2012).

2. 2016년 Lady Luck

2016년 플로리다 폼파노 비치(Pompano Beach) 해역에서 자침된 ‘Lady Luck’의 자침 과정은 위치 선정, 선박 찾기, 선박

이동 및 청소, 침몰 및 다이버를 위한 준비, 자침을 포함하는 복잡한 과정이다(Meltzer, 2016). 일련의 과정을 단계별로 살펴보면 아래와 같다.

1단계는 위치 선정으로 해당 선박의 자침 위치를 결정하기 위해서 일반 시민의 접근성과 환경의 민감성이 고려되었다. 해당 규정은 기존 자연초 또는 해저를 손상할 수 있는 장소에 인공어초 설치를 금지한다. 따라서 허가를 신청하기 전에 해당 지역을 조사해야 한다. 해당 선박의 자침 장소는 폼파노 비치 앞 바다에서 약 0.4 km (0.25 mile) 떨어진 힐스보로 후미(Hillsboro Inlet) 근처 지점으로 결정되었다. 인공어초 허가를 받으려면 카운티, 주정부 및 육군공병대를 거쳐야 한다. 이는 시간이 오래 걸리고 힘든 작업이다. 어떤 경우에는 몇 년이 걸릴 수도 있다. 해당 선박은 카운티에서 승인을 간소화하는 데 도움을 주었다.

2단계는 자침할 선박을 물색하는 것이다. 선박 자침의 허가 과정이 어려운 만큼 적절한 자침 선박을 물색하는 것이 까다로울 수 있다. 일반적으로 자침된 선박은 해체된 정부 선박이거나 보트 중개인, 공개 경매 또는 온라인 목록을 통해 획득한 개인 유조선일 가능성이 크다. 운행하지 않는 선박도 보통 수백만 달러의 비용이 든다. 따라서 예산이 약 625,000달러에 불과한 자침 단체(폼파노 비치)는 몇 가지 난관에 봉착했다. 폼파노 비치는 애초에 마이애미(Miami)에서 판매하고 있는 선박을 고려했으나, 결국 뉴욕시(City of New York)의 잉여 경매에서 최소 250,000달러에 팔리고 있었던 ‘Newtown Creek’이라는 유조선을 선택했다. 이 선박은 경매에 나왔지만, 입찰자가 없어 폼파노 비치가 뉴욕시에 100,000달러를 제안하였고, 거래가 성사되었다.

3단계는 자침할 선박의 이동 및 청소이다. 자침될 선박이 여전히 운용(작동)할 수 있으면 항구에서 다른 항구로 쉽게 운송될 수 있다. 따라서 운송비용에 선장, 승무원, 연료 및 항구 사용 비용이 포함된다. 하지만 자침될 선박이 작동하지 않는다면 예인 비용이 추가되고 이는 일반적으로 운송비용을 2배로 증가시킨다. ‘Newtown Creek’의 경우 마이애미 강에 있는 조선소로 견인되었고, 그곳에서 청소 및 인양회사가 해당 선박에서 오염 물질을 제거하였다. 인공어초는 수중 생태계 일부가 되기 때문에 선박을 해저에 설치하기 전에 광범위하게 청소하고 내부를 제거해야 한다. 여기에는 전기 부품, 고무, 고무 배선이 있는 전선, 가구, 천 및 기타 분해 가능한 물질과 같이 열화가 가능한 모든 것을 제거하는 것이 포함된다. 석유, 휘발유 또는 기름이 포함된 것은 청소하고 제거해야 한다. 모든 폴리염화비페닐과 석면을 제거하거나 캡슐화해야 한다. 발전기, 엔진 헤드 및 가스나 기름에 닿은 것을 모두 제거하고, 화학적으로 청소하여 연료가 물에 스며들지 않도록 해야 한다. ‘Newtown Creek’의 경우 하루 12~16시간 작업을 기준으로 약 3개월의 준비 작업이 필요했으며 해당 비용으로 약 275,000달러가 소요되었고, 회수

회사는 제거된 대부분 물질과 자재를 폐기용으로 판매하였다.

4단계는 해당 선박의 자침 및 잠재적인 다이버를 위한 준비이다. 다이버가 자침된 선박을 안전하고 재미있게 즐기기 위해서는 해결해야 할 특정한 안전 문제가 있다. 통로와 해치(hatch)는 다이버의 산소 탱크가 통과할 수 있도록 넓혀져야 한다. 에어 포켓(air pockets)이 생기지 않도록 선박에 구멍을 뚫어 물이 흐를 수 있도록 해야 한다. 일반적으로 다이버가 쉽게 진입할 수 있도록 선체에 접근 구멍이 뚫려 있어야 한다. 이를 위해 해양공학 엔지니어 팀이 선박 조각 방법 등을 제안하였고, 선박 소유주(폼파노 비치)가 모델을 승인함으로써 자침 준비가 완료되었다.

5단계는 선박을 조심스럽게 자침하는 것이다. 선박을 자침시키는 것은 간단하지 않다. 먼저 엔지니어는 선박의 무게와 흐름을 고려하여 원하는 낙하 방향을 확인하고, 선박을 침몰시키는 데 필요한 물의 양과 물을 주입하는 데 필요한 속도를 계산한다. 그런 다음 최종 자침 지점으로부터 약간 떨어진 곳에서 물을 주입하기 시작한다. 'Lady Luck' (폼파노 비치에 있는 'Isle Casino'의 후원을 받아 변경된 선박 이름)의 경우 마이애미 강 항구에서 갑판 아래에 물이 반쯤 차 있었다. 그런 다음 포트로더데일(Ft. Lauderdale)의 에버글라데스 항(Port Everglades)으로 이동한 후 해당 선박에 더 많은 물을 주입하고 최종 현장까지 견인했다. 침몰 전날, 브라우워드 카운티(Broward County)는 자침 장소 주변에 4개의 부표를 먼저 설치하고, 이들 부표의 중앙에 주황색 부표를 추가로 설치하여 자침 위치를 표시했다. 오후 2시 자침 일정을 맞추기 위해 해당 선박은 자침 당일 오전 3시에 에버글라데스 항에서 자침 장소로 견인되기 시작했다. 엔지니어들은 바람, 파도, 해류를 조사하고, 그에 따라 자침 계획을 조정했다. 그런 다음 선박이 과부하되지 않도록 천천히 균형을 잡으면서 뱃머리에서 선미까지 물을 주입하기 시작했다. 'Lady Luck'의 길이는 99 m (324 ft)이며, 실제로 수면에서 낙하하기 시작하여 수심 40 m (130 ft)인 최종 자침 장소에 도달하는 데 1분밖에 소요되지 않았다. 자침 후에는 인증된 다이버가 다이빙 탐험을 할 수 있도록 난파선이 개방되었고, 해양생물이 선박을 해양생태계의 기능적 일부로 변형하기 시작했다(Pompano Beach, 2016).

3. 2019년 El Dorado

2019년 길이 48 m인 선박 'El Dorado'는 다이버와 어업인을 위한 인공어초를 조성하기 위해 플로리다 패너마시티비치(Panama City Beach) 앞바다에 자침되었다(Marcellin, 2019). 애초 해당 선박은 허리케인 마이클(Michael)로 인하여 침몰했으며, 소유주는 해당 선박을 베이 카운티(Bay County)에 기증하였다. 이후 인공어초로서의 새로운 역할을 할 수 있도록 기중

기와 에어백을 사용하여 선박이 곧바로 세워졌고(McCreless, 2019), 패너마시티비치의 선착장(St Andrews Marina)으로 견인된 후 자원봉사자가 선박을 청소하였다. 이후 해당 선박은 세인트 앤드류 만(St Andrew Bay) 남쪽의 30 m 수심에 자침되었다. 자침된 선박 상부의 수심은 얕아서 중급 및 숙련된 다이버에 적절한 것으로 알려져 있다. 해당 선박의 자침 사례를 통해 자침 비용 및 경제적 이익과 부적합한 재료의 환경적 이점 및 단점을 다음과 같이 고찰할 수 있다.

첫째, 자침 비용 및 경제적 이익: 앞서 서술한 것과 같이 플로리다는 미국에서 가장 활동적이고 다양한 인공어초 프로그램을 운영하고 있다. 인공어초의 경제적 이점을 조사한 플로리다 대학의 연구에 따르면 패너마시티비치가 위치한 플로리다 북서부 지역에서는 인공어초가 8,136개의 일자리와 8,400만 달러의 급여를 창출했다(Ropicki *et al.*, 2021). 인공어초 관련 산업에 지역 거주자는 5,600만 달러를, 비거주자는 3억 5,900만 달러를 지출했다. 플로리다 북서부의 인공어초 프로그램의 '비용-편익-비율(benefit-to-cost-ratio)'은 131점으로 매우 높았다. 2005년도 연구 결과에 따르면 선박의 자침 비용은 선박의 크기에 따라 46,000~2,000,000달러에 이른다(Pendleton, 2005). 특히, 자침 전 허가 및 준비 과정 비용이 전체 비용의 많은 부분을 차지할 수 있다. 유엔식량농업기구(UN Food and Agriculture Organization; FAO)가 발간한 인공어초 사용에 대한 실용 지침에 따르면 가벼운 금속, 유리섬유 및 철근 시멘트로 건조된 선박은 붕괴하는 경향이 있다(Fabi *et al.*, 2015). 또한, 유리 섬유 선체는 밀도가 낮고 해수면으로 이동할 수 있으므로, 이를 방지하기 위해 밀도가 더 높은 재료로 적절하게 무게를 조절해야 한다. 유압선과 같은 일부 선박 구조는 인공어초로 이상적이지만, 자침 준비 과정에서 청소 작업이 수행되어야 한다. 특히, 유해 폐기물 및 기타 오염 물질은 선박에서 제거하기 어렵고 비용이 많이 들 수 있다.

둘째, 인공어초 재료에 따른 환경적 이점 및 단점: 인공어초는 종종 해당 지역의 해양생물 개체수와 생물다양성을 개선하기 위해 설치된다. 국제해사기구(International Maritime Organization; IMO) 연구에서는 인공어초를 활용하여 상업용 어류의 생존, 성장 및 번식을 증가시키고, 낚시꾼, 다이버 및 서핑 애호가들의 관광을 촉진하는 방법을 설명하고 있다(London Convention and Protocol/UNEP, 2009). 또한, 국제해사기구는 인공어초를 평가해야 하는 다섯 가지 기준을 다음과 같이 제시하고 있다. ㉠ 법적(신뢰할 수 있고 해당 국가의 법률에 따라 작동함), ㉡ 기술적(취급이 안전하고 목적을 달성할 수 있으며 환경적 이점이 있으며 최악의 날씨에도 안정적으로 유지됨), ㉢ 디자인(구조적으로 견고하고 해양생물을 유인함), ㉣ 재료(천연 재료로 제작되는 것이 바람직하고, 해수로 인한 열화에 강해야 함), ㉤ 위치(지침에 따라 신중하게 설치되어야 함). 일반적

으로 유랍선과 연근해 설치된 해양구조물은 다른 구조물보다 내구성이 우수한 것으로 인식되고 있다. 예를 들면 피지의 ‘SS Salamander’는 길이가 40 m 유랍선으로 다이버에게 인기가 있으며 연산호(soft corals)와 말미잘(sea anemones)로 덮여 있다 (Marcellin, 2019; Cotton, 2020). 길이 183 m인 ‘Bianca C’ 유랍선은 기관실 폭발로 그레나다(Grenada)에서 침몰한 후, 다이빙 사이트로 인기가 매우 높다(Morrissey, 2008; Marcellin, 2019). 그러나 수년에 걸쳐 잘못 설치된 인공어초가 있으며 특히 부적절한 재료로 만들어졌을 때 그러했다. 예를 들면, 1960년대 및 1970년대에 설치된 타이어 어초(tire reefs)는 물고기와 해양생물을 유인하고, 오래된 타이어를 폐기하는 좋은 방법으로 간주되었다. 플로리다에서는 포트로더데일(Fort Lauderdale)의 해안을 따라 인공어초를 형성하기 위해 36에이커에 걸쳐 200만 개의 타이어 어초가 설치되었다. 타이어는 스틸 클립(steel clips)을 사용하여 서로 연결되었지만, 보호되지 못하였으며 결과적으로 바닷물에 부식되었다(Myatt *et al.*, 1989; Morley, 2008). 그 결과 인공어초에 유인되거나 서식하는 해양생태계는 훼손되었고, 다양한 기상 문제와 허리케인으로 인해 타이어는 해변 등 원치 않는 지역으로 분산되었다(D.E. Britt Associates Inc., 1974, 1975). 인도네시아와 말레이시아도 비슷한 문제를 겪었고(Alcara *et al.*, 1981; White *et al.*, 1990; Ch’ng and Thomas, 1991), 프랑스도 같은 이유로 리비에라(Riviera)에 설치된 타이어를 제거하기 시작했다(Ferrer, 2015). 따라서 이와 같은 인공어초 문제를 야기하는 몇 가지 요인이 특정되었다(New Heaven Reef Conservation Program, 2016). 이는 쓰레기 및 잠재적 독성 물질(예: 70년대 타이어 또는 오늘날의 PVC 및 플라스틱)과 폭풍 등에 의해 불안정한 작은 구조물의 사용이 포함된다.

따라서 상기에 서술된 자침 비용 및 경제적 이익과 재료에 따른 환경적 이점 및 단점을 고려하여 인공어초가 설치되어야 한다. 패너마시티비치의 다이빙 산업 관계자 등은 가능한 한 많은 인공어초 설치를 희망하며, 새로이 자침된 ‘El Dorado’가 흥미로운 다이빙 장소로서 더 많은 다이버와 해양생물을 유인하기를 기대하고 있다(McCreless, 2019).

우리나라 사례

1. 침선어초

우리나라에서는 선박을 자침하여 설치된 인공어초를 침선어초(shipwreck reef, sunken ship-reef)라고 명명하기도 한다. 한국수산자원공단(Korea Fisheries Resources Agency; FIRA)에 따르면 우리나라 일반어초에 ‘강제침선어초’가 포함되어 있으며, 이는 어류용으로 분류된다(FIRA, 2022). 여기서 일반어

초는 어초의 시설효과가 입증되어 해양수산부 중앙어초관리 위원회에서 어초사업 대상어초로 선정된 어초를 말한다. 강제 침선어초는 2000년 국립수산과학원이 개발했으며, 환경 위해성 없이 사후 처리한 후 수증시설로 설치되는 사용연한이 초과된 강제선박을 지칭한다. 일반적으로 강제침선어초는 제작비용이 저렴하고, 대상어선별로 규격, 공용적 및 중량이 달라서 다양한 구조로 자원조성 효과를 창출할 수 있으며 투명도가 높은 해역에서는 다이빙 볼거리를 제공한다는 장점을 가지고 있다(FIRA, 2022).

일반어초와 관련된 우리나라 법령 체계는 「수산자원관리법」, 「수산자원관리법 시행령」, 「수산자원관리법 시행규칙」, 「인공어초시설사업집행 및 관리규정」으로 구성된다. 「수산자원관리법」 제2절(수산자원조성) 제41조(수산자원조성사업)에 따르면 인공어초의 설치사업을 수산자원 조성 사업의 하나로 정의하고 있으며, 제55조의 2는 한국수산자원공단이 인공어초·바다숲·바다목장의 조성 등 수산자원조성사업을 수행하도록 규정하고 있다. 행정규칙인 「인공어초시설사업집행 및 관리규정」에 따르면 ‘침선어초’란 강제선박을 어초로 개정하여 수중에 시설하는 어초를 말하며, 강제선박으로 설치된 어초를 ‘강제침선어초’로 명명하고 있다. 또한, 강제침선어초의 시설기준은 8 ha(8 ha 미만이라도 수산자원조성사업에 필요한 경우 조성 가능)를 1개 단위 어초로 하며, 단위 어초당 용적은 800 m³ 이상이다. 따라서 「인공어초시설사업집행 및 관리규정」에서는 ‘침선어초’ 또는 ‘강제침선어초’라는 용어로 사용하고, 한국수산자원공단이 발간한 인공어초 현황(FIRA, 2022)에서는 ‘강제침선어초’라는 용어를 사용하고 있음을 알 수 있다.

2. 강제침선어초시설 및 설계요령

한국수산자원공단은 「강제침선어초시설 및 설계요령」을 강제침선어초의 시설 사업에 관한 관행으로 제시하고 있으며, 해당 요령 이외의 사항에 대하여는 「인공어초시설사업집행 및 관리규정」에 의한다고 명시하고 있다(FIRA, 2014). 해당 요령은 강제침선어초의 시설에 필요한 유류 오염 및 불필요 시설물 제거, 어초화 방법, 적지조사, 배치형태 및 시설 방법, 효과조사, 관리유지에 관한 것을 규정하고 있다. 해당 요령의 주요 내용은 아래와 같이 요약된다.

첫째, 침선어초로 사용될 선박은 관리 상태가 양호한 선박이어야 한다. 선령이 20년 이상인 선박을 침선어초로 활용할 경우에는 철의 두께, 내구성(30년 이상), 안정성, 경제성 등에 대한 조사를 선박안전기술공단(현 한국해양교통안전공단)과 수산자원사업단(현 한국수산자원공단)에 의뢰하고, 시설의 적합성을 인정받아야 한다.

둘째, 선박을 어초로 사용하기 위해서는 모든 유압유체(hydraulic fluid), 단열재, 기타 선구용품 등을 제거해야 한다. 또

한, 부식에 의한 해상 유출을 막기 위해 고정되지 않은 목재부와 기관실 덮개 등의 강제부도 제거해야 한다. 처리는 전문 업체가 행해야 한다. 잔존 유류는 유처리제(dispersant) 또는 소각 방법 등을 이용하여 해상오염의 염려가 없도록 처리하여야 한다. 전문지식 및 기술을 갖는 업체가 유지류(fat and oils)의 처리 및 청소, 냉매 제거를 수행하고, 공무원이 해당 과정을 감독한다.

셋째, 침선어초 시설 시 선체의 균형 유지와 어초의 기능 강화를 위해 선체에 적당한 개구(opening)를 설치해야 한다. 개구는 외판, 어창간의 격벽, 갑판 등에 원형 및 사각형 등으로 하며, 크기는 1~2m로 하되, 선박 단면적의 크기와 규격에 따라 수산과학원장(현 한국수산자원공단 이사장)과 협의하여 조정할 수 있다. 개구의 위치는 어초로 사용할 선박의 예인 등 시설에 지장이 없는 부분으로 한다.

넷째, 침선어초는 시설 안전성 확보를 위해 충전재(filling materials) 설치 등 필요한 조치를 할 수 있다. 예를 들면, 해상 수송 및 시설 중에 선체 하중의 변동을 막기 위하여 선체에 밸러스트용으로 콘크리트 등을 사용할 수 있다. 시설 후 안정계산에 필요한 충전재의 용적 및 중량, 선박 본체의 체적 및 중량, 투영 면적, 선체 높이는 국내 조선회사나 관련 연구기관의 기존 자료를 이용한다. 활동(sliding)에 대한 마찰계수는 0.5로 설정하고, 안전율을 고려한다. 충전재 등에 의해서 침선어초의 무게 중심이 낮아지기 때문에 전도(overturning)에 대해서는 안전율을 고려하지 않는다. 선박의 자체 무게에 의해 예인 및 시설 후 안정성을 확보할 수 있는 경우에는 밸러스트용 내부 충전재를 사용하지 않아도 된다.

다섯째, 시·도지사는 대상해역의 수산생물 서식 환경과 관련된 생물적 조건, 물리·화학적 조건 등으로부터 침선어초 어장 조성 계획(조사면적, 조사비 등)을 정하여 인공어초시설사업 연구·조사 가능기관에 의뢰하여야 한다. 의뢰받은 기관은 시·도지사의 적지조사 요청이 있을 경우 협조해야 하며, 조사 결과를 해당 시·도에 통보하여야 한다. 시·도지사는 연구·조사 가능기관이 적지로 판정한 수역에 대하여 침선어초 어장 조성 계획을 수립하여야 한다.

여섯째, 침선어초 어장의 조성위치 선정, 어초단체의 선정, 단위어초, 어초군의 검토 및 효과 추정에 필요한 생물적 조건 등을 조사하고, 이를 명확히 해야 한다. 조사 결과는 물리적 조건 조사와 함께 해석하여 효율적인 침선어초 어장 조성계획의 자료로 사용한다. 또한, 침선어초 어장의 계획과 설계에 필요한 수온, 염분, 유속, 수심 등 해양과 해저 등에 관한 조사를 수행한다. 시설 조성 후 환경조건을 예측하고, 생물조사 및 기존의 어장형성 상황을 입체적으로 분석하여 사업에 필요한 모든 조건을 수립하기 위한 자료를 획득한다. 조사 결과를 해석하고, 대상 해역의 어장특성, 자원특성 등 적합한 어장 조건을 추정하여 침선어초 어장 조성 계획을 수립한다.

일곱째, 침선어초로 설치될 선박은 예인 또는 적재하여 자침 위치까지 이동시킨다. 이동 중에 예인 밧줄이 절단되거나 선박 침몰 등의 사고가 발생하지 않도록 안전조치를 마련해야 한다. 시설 위치에는 사전에 부표를 정확히 설치해야 하고, 부표는 해상에서 발견되기 쉽고, 이동이나 유실되지 않도록 견고하게 설치해야 한다. 침선어초의 배치는 선박 단독 또는 콘크리트 어초 등 기존 어초와 조합하여 시설할 수 있다. 어초와 어초의 간격(분산)은 어초 전체의 투영 면적의 20배 이하 수준으로 시설하는 것이 바람직하다. 단위어초의 시설 규모는 1,600~2,400 m³ 수준으로 하되, 시설 수심, 사용어법 등 해역의 여건에 따라 적지조사 결과를 토대로 별도로 정할 수 있다. 복수의 단위어초로 구성되는 어초군 간의 거리는 어중에 따라 400 m(I, II형 어중) 또는 600 m(III형 어중) 이내로 배치한다.

여덟째, 침선어초를 시설하기 전에 다음 사항을 확인해야 한다. ㉓ 선내 잔유, 가스 등이 완전히 제거되었는가? ㉔ 기관실, 연료탱크 등 기름을 취급한 곳은 깨끗이 세척되어 있으며, 부착된 기름은 완전히 제거되었는가? ㉕ 주기관, 보조기관, 유압식 기계, 파이프 등 기름이나 가스 등 누출 염려가 있는 설비는 철거되었는가? ㉖ 쓰레기 등 불필요 물질은 완전히 제거되었는가? ㉗ 선체로부터 분리될 위험이 있는 갑판 위의 구조물이 제거되었는가? ㉘ 연돌, 데릭, 안테나 등이 제거되었는가? 예인 및 적재되어 시설 장소로 이동된 침선어초는 양묘선(anchor handling boat)에 의해 닻으로 고정한 후 펌프에 의해 해수를 주수하여 시설한다. 콘크리트 어초 등 다른 인공어초와 함께 시설할 경우, 일점 설치방식으로 하여 바지(barge)를 정지시킨 후 해양 등에 주의하여 부표 설치 위치에 시설해야 한다.

아홉째, 새롭게 시설된 침선어초의 효과조사는 시설 직후부터 1년 이상 조사하는 것을 원칙으로 하되, 해역실정에 따라 조정할 수 있다. 효과조사 시기는 계절별로 연 1회 이상 실시하여야 한다. 효과조사는 장관이 지정한 연구기관 및 공단에 의뢰하여 어초시설 위치의 확인조사, 잠수조사 또는 선상조사로 나누어 실시한다. 단, 해역실정에 따라 조사항목을 조정하여 실시할 수 있다. 조사보고서는 조사 단위어초마다 똑같은 순서에 의해서 간단하게 기술하고, 필요에 따라서는 표나 그림 등으로 정리하여, 어군탐지 기록, VTR테이프, 사진 등을 정리하여 첨가한다(비교군 병행조사). 효과조사 기관은 조사결과 침선어초에 어망 등의 폐어구가 걸려 어초의 기능이 현저히 저하하여 어초 어장으로 이용할 수 없다고 판단될 경우에는 어구 등을 제거할 수 있도록 관할 시·도에 통보한다.

이밖에도 「강제침선어초시설 및 설계요령」은 별표 등을 사용하여 ‘선박 어초화를 위한 해체공사 시공 요령 예(별표 1)’, ‘선박 어초화를 위한 시공 요령 예(별표 2)’, ‘설계 요령’, ‘주요 설계지침’, ‘설계예산서(예시)’, ‘일위대가표(예시)’, ‘단가산출 기초(예시)’를 제시하고 있다. ‘주요 설계 지침’에는 “강제침선어초 시설 시는 공단이사장(이하 지사장 포함)과 협의하여야 한

다.”라고 명시하고 있다.

3. 강제침선어초시설 사업집행기관 및 감독 책임

「인공어초시설사업집행 및 관리규정」 제4조(사업집행기관 등)에 따라 인공어초 사업집행기관은 시·도지사 또는 위탁받은 한국수산업자협회 이사장이 된다고 명시하고 있다. 단, “인공어초 시설 수역의 효율적인 사후관리를 위해 필요한 경우에는 시장(특별자치도의 경우에는 특별자치도지사를 말한다.), 군수 또는 자치구의 구청장에게 위임하여 집행할 수 있다.”라고 규정하고 있다. 따라서 사업집행기관은 강제침선어초 시설의 계획 수립부터 사후관리까지 모든 과정의 관리 감독 책임이 있다. 주요 과정을 살펴보면 아래와 같다.

관리규정 제14조 및 제15조에 따라 시·도지사는 어초사업을 효율적으로 추진하기 위하여 관할구역 안의 어초시설 적지여건 등을 감안하여 어초사업 시설계획을 수립하고, 연구조사기관에 적지조사를 의뢰하여 기준에 맞는 수역을 어초시설 예정수역으로 선정한다. 관리 규정 제16조 및 17조에 따라 사업집행기관은 어초사업자를 선정하고, 인공어초 제작 부지를 확보하며, 행정적 지원을 할 수 있다. 관리 규정 제19조에 따라 시·도지사 또는 공단이사장은 어초사업자로부터 어초제작 완료 보고가 있을 경우 관계공무원(공단의 경우 소속 직원)으로 하여금 어초 제작 검사를 실시토록 한다. 또한, 사업집행기관은 「국가계약법」 제13조 및 「지방계약법」 제16조의 규정에 따라 견실한 사업수행을 위하여 담당 공무원을 감독관으로 지명하여 어초 제작 및 시설하는 현장을 감독하게 하여야 한다. 다만, 어초사업을 효율적으로 수행하기 위하여 필요한 경우에는 「건설기술진흥법」 제39조제1항의 규정에 따라 건설기술용역업자로 하여금 건설 사업관리를 하게 할 수 있다.

4. 침선어초 사례

Table 5는 최근에 우리나라 해역에 설치된 침선어초를 나타낸다. 이는 폐기 선박, 퇴역군함, 감척 대상 선박 등을 활용한

사례이다. 해당 프로젝트를 좀 더 살펴보면 다음과 같다.

강릉시는 사근진 해안에서 3 km 떨어진 해역에 2013년부터 2021년까지 80억 원을 들여 113 ha 규모의 해중공원을 조성했다. 해중공원에는 육상전망대, 접안시설과 같은 육상시설과 800톤 및 2,400톤 폐선박 2척, 경장갑차 등 폐군수품 4종, 팔각별강제인공어초 등 다양한 해중경관시설이 설치되었다. 강릉시는 해중공원이 연간 1만~2만 명의 관광객이 방문하고, 스킨스쿠버의 방문이 ~30% 증가한 것으로 파악하고 있다(Yonhap News, 2023). 강릉 해중공원이 인기를 끌면서 고성군 죽왕면 오호리 연안에도 2024년 말 준공계획으로 410억 원을 들여 해중공원을 조성 중이다(The Chosun Daily, 2023). 또한, 서평성지로 불리는 양양군 죽도지구에도 해중 생태관광단지 조성을 위한 타당성 조사가 진행 중인 것으로 알려져 있다(Yonhap News, 2023). 따라서 강원도와 동해안에 인접한 시, 군 등 자치단체는 2024년 해양수산부 공모에 대비해 동해안 수중레저 거점 구축방안을 마련 중이다.

경남 사천시는 2009년 동서동권역 소규모 바다목장화 사업장에 119톤 1척과 139톤 2척 등 모두 3척의 강제침선어초를 설치했다. 해당 시설은 2008년 어업구조조정사업으로 폐업한 강선 3척을 2억 2,300여만 원의 사업비를 들여 인공어초로 재활용한 것이다(Gyeongnam Domin Ilbo, 2009).

퇴역 군함 ‘속영정’과 강제침선어초 2척 등을 활용하여 울진 바다목장 수중해양공원이 2009년에 조성되었다. 또한, 농림수산식품부(현 해양수산부)는 2009년 울진 시범 바다목장 안에 조성 중인 ‘수중해양공원’과 ‘바다숲’을 다이빙 포인트로 지정하는 내용 등을 담은 “울진 바다목장 수산자원관리수면 이용관리 규정안(도지사 고시)”을 승인했다(Uljin News, 2009).

경남 사천시는 2008년 동서동권역 소규모 바다목장화 사업의 일환으로 삼천포항 동서동 연안에 134톤 강제침선어초 2척을 설치했다(Gyeongnam Domin Ilbo, 2008). 해당 침선어초는 2007년 근해어업 구조조정 사업으로 폐업한 강선 134톤 2척을 이용해 2개월간 1억 2,400여만 원의 비용을 들여 설치되었다.

Table 5. Shipwreck reefs recently installed in Korean waters

Region	Project	Scuttled vessel	Installation period
Sagunjin, Gangneung	Gangneung Submarine Park Project	2 Shipwreck reefs (800-ton, 2400-ton)	2017~2018
Sachoen-si, Gyeongnam	Small-scale Sea Ranch Project in the East and West Regions	3 Shipwreck reefs (one 119-ton, two 139-ton)	2009
Uljin-gun, Gyeongbuk	Uljin Sea Ranch Underwater Marine Park - Underwater Diving Site	3 Shipwreck reefs (two 235-ton, one 3800-ton)	2009
Sachoen-si, Gyeongnam	Small-scale Sea Ranch Project in the East and West Regions	2 Shipwreck reefs (134-ton)	2008

토 론

1. 자침선박의 자원화 연구의 필요성

1990년대 후반과 2000년대 초반에는 플로리다 인공어초의 경제적 중요성에 관한 많은 연구가 있었지만, 최근 연구 부족으로 인해 인공어초가 플로리다 해안 지역사회와 주 전체의 경제에 어떻게 도움이 되는지에 대한 이해가 부족하다. 이전 연구는 인공어초의 경제적 기여에 대한 통찰력을 제공하지만, 이러한 연구는 지리적으로 그리고 시간상으로 특정되는 한계를 가지고 있다. 따라서 인공어초 사용 및 관련 지출 변화에 관한 해당 연구 결과는 인공어초가 제공하는 현재 편익에 대한 잘못된 가정으로 이어질 수 있다. 또한, 플로리다의 인공어초 수는 2011년에서 2020년 사이에 65% 증가했으며 여러 카운티에서 해역의 인공어초 수가 두 배로 증가하였다(Ropicki *et al.*, 2021). 이에 따라 새로운 인공어초 설치로 인한 한계 이익(marginal benefits)의 변화를 확인하려면 추가 연구가 필요하다. 플로리다 인공어초의 경제적 기여에 관한 새로운 연구를 통해 현재 및 미래 시점의 인공어초 건설 프로젝트와 관련된 비용 및 편익을 적시에 분석할 수 있을 것이다.

미국 플로리다와 달리 우리나라에서는 자침선박의 인공어초 활용이 매우 제한적이기 때문에 우리나라 침선어초에 관해 발표된 연구 결과는 극히 드물다. 2021년 발표된 연구가 유일한 것으로 판단되며, 해당 연구에서는 고에너지 파도와 너울이 빈번하게 관측되는 우리나라 동해안에서 2,000톤급 자침선박의 안정성 등을 분석하고, 이를 인공어초로 활용하는 방법이 제안되었다(Kim *et al.*, 2021). 대상 선박은 강릉에서 직선으로 ~3,600m 떨어진 수심 ~30m 해저에 설치된다고 가정하였다. 수지와 수리모형을 활용한 실험 결과, 외력(파압), 해저 지형(세굴) 변화, 구조물 이동 동향 측면에서 수심 30m보다 수심 40m에서 해당 선박의 안정성이 증가하는 것으로 나타났다. 파력에너지를 고려하여 수심과 설치 위치만 적절히 분석한다면 침몰선을 인공어초로 활용하는 가능성이 검증되었고, 정박 등 추가적인 보강작업만 하면 해당 선박을 계획된 위치에 안전하게 인공어초로 설치할 수 있다고 판단하였다.

유사한 연구로 해양사고로 침몰한 선박의 미래자원화(해양생물 서식지 조성) 효과조사가 수행되었다(Ryu *et al.*, 2020). 해당 연구에서 조사구인 '제현호'는 부산 서도등대(취섬공원) 서남방 수심 33m에 위치하며, 대조구는 조사구로부터 동쪽으로 약 2km 떨어진 동일 수심인 지역이었다. 해양생물 서식지 조성 효과조사는 수중촬영(정지화상, 동영상), 어류 위집현황 및 어획조사, 효과분석으로 조사되었다. 연구 결과 기존 인공어초(대조구)와 침몰선박(조사구)이 재질, 구조, 형태 등에서 차이가 있는 점을 고려할 때, 침몰선박과 같이 구조가 복잡하고, 규모가 큰 구조물이 일반적인 인공어초보다 수중생물의

위집 효과를 증대시킨다고 판단하였다. 후속연구가 수행되었으며(Bae *et al.*, 2021), 5회 조사에서 조사구는 대조구보다 자망어획 및 통발어획에서 출현종수는 ~1.4배, ~1.3배, 평균 생체량은 ~1.8배, ~1.9배 높게 출현하여 침몰선박의 생태적 효과를 확인하였다. 또한, 잔존유 제거를 통한 해양유류오염을 사전에 방지하고, 어초 조성으로 인한 수산자원 조성 효과를 분석하였다. 유류 제거 편익은 11,665.9만원, 해양생물 서식지 조성으로 인한 수산자원조성 편익 및 해양레저증진 편익은 1,138.1백만원으로 추정하였다. 설문조사 결과, 어업인은 침몰선박의 해양생물 서식지로의 기능과 경제적 편익 제공에 긍정적임을 확인하였다.

상기와 같은 침몰선박의 미래자원화 및 잔존유 회수, 위해도 평가, 위치 식별, 인양·회수·처리 등에 관한 연구는 우리나라에서 다수 수행되었다. 그러나 자침선박에 관한 연구는 앞서 서술한 침선어초의 안정성에 관한 연구(Kim *et al.*, 2021)가 유일한 것으로 판단된다. 따라서 최근 동해안 등에서 추진되었고, 앞으로 추진할 계획이 있는 자침선박(침선어초)의 설치 후 자원화 효과 및 경제적 이점의 편익 측정 등에 관한 연구를 수행하고, 이를 프로젝트 등에 활용할 필요가 있다.

2. 규정 및 요령에 관한 제언

「인공어초시설사업집행 및 관리규정」 제2조 제1호는 “침선어초란 강재선박을 어초로 개조하여 수중에 시설하는 어초를 말한다.”라고 규정하고 있다. 제20조제1항에서는 “사업집행기관은 일반어초를 시설하고자 하는 경우에는 그 목적에 따라 어류용, 어패류용, 패조류용, 해조류용어초, 강재침선어초, 기타어초 등으로 구분하여 시설할 수 있다.”라고 서술하고 있다. 제20조제2항 제3호에서는 “강재침선어초: 8헥타르(8헥타르 미만이라도 수산자원조성사업에 필요한 경우 조성가능)를 1개 단위 어초로 하며, 단위 어초당 용적은 800세제곱미터 이상으로 한다.”라고 서술하고 있다. 반면 「강재침선어초시설 및 설계요령」 제1장 총칙에서는 “강재침선어초(이하 ‘침선어초’라 한다)” 및 “침선어초에는 콘크리트 침선어초와 강재침선어초 등으로 나눌 수 있다.”라고 서술하고 있다. 따라서 해당 규정과 요령에서 사용되는 용어(강재침선어초, 강재침선어초, 침선어초, 콘크리트 침선어초)와 그 범위를 통일할 필요가 있다. 또한 해당 요령의 제1장 총칙에서는 “인공어초 시설사업에는 설치형태에 따라 침선어초와 부어초로 나눌 수 있으며”라고 서술하고 있다. 여기서 사용된 ‘침선어초’는 ‘부어초’와 달리 해저 바닥에 설치되는 인공어초를 총칭하고 있다. 따라서 다른 용어 선택이 필요하다.

「인공어초시설사업집행 및 관리규정」 제18조제2항 “사업집행기관은 시설예정 적지여건에 따라 어초의 안정성이 확보된 경우, 기술자문단의 검토의견을 들어 일반어초 특허·출원 범위의 형태변경 없이 해역별 특성에 적합하도록 변경하여 사용할

수 있다.”에서 ‘사용할 수 있다’의 목적어가 불명확하다. 즉, 무엇을 변경하여 사용할 수 있다는 것인지가 명확하지 않다.

「강제침선어초시설 및 설계요령」은 침선어초의 ‘어장 시설물’로서의 기능에 집중되어 있어, 최근 우리나라 연안에 설치된 침선어초의 기능(해중공원, 수중해양공원, 바다숲, 다이빙 포인트 등)을 적절히 다루지 못하는 것으로 판단된다. 따라서 ‘어장 시설물’ 및 ‘해중공원 등’을 포함하는 침선어초의 모범관리관행으로서의 역할 확대가 필요하다.

「강제침선어초시설 및 설계요령」에서 사용된 용어와 서술 중 일부는 더욱 간결하고 명확한 용어 및 서술로 대체할 필요가 있다. 예를 들면 다음과 같다. ‘어초화’는 국어사전에 없는 용어 로써 ‘어초 준비’ 등이 더 적절해 보인다. ‘대선(臺船)’은 ‘바지(barge)’로 대체하는 것이 적절하다. “생물적 조건 조사 결과, 기존어장 형태조사와 함께 해석하고 효율적인 침선어초어장 조성계획 자료로 사용한다.”에서 함께 해석하는 주체가 부재하며, 그 의미도 명확하지 않다. “어초와 어초의 간격(분산)은 어초 전체의 투영 면적이 20배 정도 이하로 하여 시설한다.”는 “... 투영 면적이 20배 이하가 되도록 시설한다.”로 수정할 필요가 있다. “새롭게 시설된 침선어초의 효과조사는 시설 직후부터 1년 이상 조사한 것으로 원칙으로 하되”는 “...조사하는 것을 원칙으로 하되”로 수정할 필요가 있다. 또한, 사용되는 용어의 현행화가 필요하다(예: 선박안전기술공단, 수산자원사업단, VTR 테이프 등).

3. 침선어초의 모범관리관행

우리나라 침선어초의 모범관리관행을 구축하기 위해서는 미국 환경보호청과 연방해운청이 제시하고 있는 일련의 지침(EPA and MARAD, 2006)을 준용할 필요가 있다. 이는 다음과 같이 요약될 수 있다. ① 침선어초는 환경적인 건전성이 보장되어야 한다. ② 전국적으로 해당 관행이 일관되게 적용되어야 한다. ③ 침선어초 준비와 관련된 비용 추정의 근거가 제공되어야 한다. ④ 노후 선박 폐기를 위한 하나의 방안으로 침선어초의 유용성이 강화되어야 한다.

위와 같은 모범관리관행의 근거가 되는 것은 「수산자원관리법」, 「수산자원관리법 시행령」, 「수산자원관리법 시행규칙」, 「인공어초시설사업집행 및 관리규정」, 「강제침선어초시설 및 설계요령」 등이다. 해당 법, 시행령, 시행규칙 및 규정은 비교적 현행화가 지속해서 추진된 것으로 판단되나, 「강제침선어초시설 및 설계요령」은 2014년 이래 현행화가 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 따라서 앞서 제안한 것과 같은 수정이 필요하다. 또한, 해당 요령이 세세한 모범관행을 제시하고 있으므로 앞서 서술한 일련의 지침을 잘 반영하고 있는지 살펴보는 것이 매우 중요하다.

첫째, 「강제침선어초시설 및 설계요령」은 침선어초의 환경적

인 건전성을 보장하고 있는가? 해당 요령의 제2장(선박 해체)에서 불필요 시설물 제거와 유지류 처리, 청소 및 냉매가스 제거를 권장하고 있다. 제5장(시설)에서는 침선어초를 시설하기 전 세척·제거·철거의 확인사항을 열거하고 있다. 이는 ㉠ 잔유 및 가스 제거, ㉡ 기름을 취급한 곳의 세척, 부착된 기름의 완전 제거, ㉢ 기름이나 가스 등 누출 염려가 있는 설비 철거, ㉣ 쓰레기 등 불필요 물질의 완전 제거, ㉤ 선체에서 분리될 위험이 있는 갑판 위 구조물의 제거, ㉥ 연돌, 데릭, 안테나 등의 제거를 포함한다. 따라서 해당 관행은 침선어초의 환경적인 건전성을 보장하고 있다고 판단된다. 다만, 선박에 존재 가능한 석면, 폴리염화비페닐, 페인트 및 페인트 잔류물에 관한 언급이 없어 이를 점검할 필요가 있다.

둘째, 전국적으로 해당 관행이 일관되게 적용되고 있는가? 해당 법, 시행령, 시행규칙 및 규정에 따라 해당 관행이 일관되게 적용되고 있다고 판단되지만, 「강제침선어초시설 및 설계요령」이 특정한 구속력을 가지는지 명확하지 않다. 단순한 권장사항이라고 한다면, 침선어초의 환경적인 건전성 등을 보장하는 장치가 무엇인지 불명확하다. 또한, 침선어초 설치와 관련된 일련의 신청 및 허가 절차가 명시되지 않아 이를 추진하는 사업집행기관 등에 혼선을 초래할 수 있다. 따라서 해당 요령을 개선할 필요가 있다.

셋째, 침선어초 준비와 관련된 비용 추정의 근거가 제공되고 있는가? 「강제침선어초시설 및 설계요령」 제3장 주요 설계지침, 제4장 설계 예산서(예시), 제5장 일위대가표(예시), 제6장 단가 산출 기초(예시)에서 관련 비용 추정의 근거를 제시하고 있다. 다만, 앞서 서술한 바와 같이 제시된 추정 근거의 현행화 여부가 불명확하다. 따라서 추정 근거를 더욱 명확히 제시할 필요가 있다.

넷째, 노후 선박 폐기를 위한 하나의 방안으로 침선어초의 유용성이 강화되고 있는가? 이 질문에 답하기 위해서는 침선어초의 자원화 방안 및 효과에 관한 연구가 지속해서 추진되어야 하고, 이미 설치된 침선어초의 효과 및 경제적 편익을 평가하고자 하는 사업집행기관의 의지와 역할이 필요하다. 또한, 우리나라의 선박 재활용 현황을 파악할 필요가 있다. 즉, 폐기된 선박의 재활용, 장기적 보관 및 인공어초로의 활용에 대한 경제적 평가를 수행하고, 비용 측면에서 침선어초의 유용성이 점검되어야 한다.

아울러, 미국의 자침선박 모범관리관행에서 제시되었던 문제점을 우리나라 사례와 비교하여 검토할 필요가 있다. 첫째, 우리나라에는 폐기된 선박을 인공어초로 활용하고자 하는 수요가 어느 정도인지를 파악해야 한다. 이를 통해 사업집행기관은 일정 수준의 기준에 따라 신청자를 선정할 수 있다. 둘째, 폐기된 선박을 인공어초로 구현하는 데 필요한 제도적 장치가 잘 마련되어 있는지 재점검할 필요가 있다. 이는 폐기된 선박의 소유권 이전, 이를 위한 일상적인 절차 및 관행, 중앙정부 및 자치단

체의 활용 가능한 자금원 등을 포함한다. 셋째, 선박을 자침하여 인공어초로 활용하기 위해서는 선박의 잠재적인 환경적 위해 요인을 제거해야 하는데, 선박 사전 준비를 허가하는 절차와 관행을 재검점할 필요가 있다. 넷째, 선박을 인공어초로 설치하는 프로그램을 추진하기 위해서 특정한 비즈니스 모델이 필요하다. 따라서 사업집행기관은 투명한 프로그램(또는 프로젝트)을 평가(효과조사 등)하고, 이를 공론화하여 해당 프로그램의 지속 가능성을 검증할 필요가 있다.

결론

첫째, 우리나라 자침된 선박의 모범관리관행을 수립하기 위해서는 미국 환경보호청과 연방해운청이 제시하고 있는 네 가지 지침을 준용할 필요가 있다. 이는 침선어초의 환경적 건전성의 보장, 모범관리관행의 일관된 적용, 비용 추정치의 근거 제공, 침선어초의 유용성 강화를 포함한다. 둘째, 미국의 자침선박 모범관리관행에서 제시되었던 문제점을 우리나라 사례와 비교하여 검토할 필요가 있다. 이는 폐기된 선박을 인공어초로 활용하고자 하는 수요의 파악, 선박을 인공어초로 전환하는 데 필요한 제도적 장치의 점검, 선박 사전 준비를 허가하는 절차와 관행의 점검, 해당 프로그램(프로젝트) 추진을 위한 비즈니스 모델의 특성을 포함한다. 따라서 이들 지침과 문제점을 고려하여 보다 명확하고, 체계적인 자침된 선박의 인공어초로의 활용 체계를 구축할 필요가 있다. 셋째, 「인공어초시설사업집행 및 관리규정」을 반영하여 「강제침선어초시설 및 설계요령」을 현행화해야 한다. 특히, 「강제침선어초시설 및 설계요령」은 침선어초의 ‘어장 시설물’로서의 기능에 집중되어 있어, 최근 우리나라 연안에 설치된 침선어초의 기능(해중공원, 수중해양공원, 바다숲, 다이빙 포인트 등)을 적절히 다루지 못하는 것으로 판단된다. 따라서 ‘어장 시설물’, ‘해중공원’ 등을 포함하는 침선어초의 모범관리관행으로서의 역할 확대가 필요하다.

요약

자침된 선박을 수산 및 관광 자원으로 활용하는 방법에 대한 연구가 매우 제한되어 있으며, 이는 모범관리관행을 도출하는데 상당한 장애가 된다. 이에 향후 침몰선, 자침된 선박, 감척 대상 선박의 활용 계획에 필요한 기초자료를 제공하기 위해 자침된 선박을 인공어초로 활용한 여러 사례와 그 수준을 조사하였다. 먼저, 인공어초로서 자침된 선박의 대표적인 사례와 역사적 관행을 검토하였다. 그런 다음 모범관리관행을 확립하는 데 필요한 핵심 요소를 찾았다. 여기에는 침선어초의 환경적 건전성, 모범관리관행의 일관된 적용, 비용 추정치의 근거, 침선어초의

유용성 등이 포함된다. 또한, 해양 서식지 개선 구조물로 설치되는 자침된 선박의 국내 관행을 개선하는 방법에 대해 논의했다.

사사

이 연구의 일부는 해양환경공단의 ‘2023년 침몰선박(7척) 현황 실태조사 및 상세 위해도 평가 연구’를 통해서 지원되었다.

참고 문헌

- Alcala, A.C., L.C. Alcala, E.D. Gomez, M.E. Cowan and H.T. Yap, 1981. Growth of certain corals, molluscs and fish in artificial reefs in the Philippines. *Proceedings of 4th International Coral Reef Symposium*, 2, 215-220.
- Asner, G.P., S.F. Giardina, C. Balzotti, C. Drury, S. Hopson and R.E. Martin, 2022. Are sunken warships biodiversity havens for corals? *Diversity*, 14(2), 139. <https://doi.org/10.3390/d14020139>
- Bae, J., S. Jung, D. Jang, S. Lee and S. Kim, 2021. Sunken Ship Management Business. Korea Marine Environment and Management Corporation, 371pp.
- Basel Action Network, 2012. U.S. Government Ends the Sinking of Old Ships as Artificial Reefs. Accessed 2 August, 2023. <https://www.ban.org/news-new/2012/09/06/u-s-government-ends-the-sinking-of-old-ships-as-artificial-reefs>
- Bell, F.W., M.A. Bonn and V.R. Leeworthy, 1998. Economic Impact and Importance of Artificial Reefs in Northwest Florida. Office of Fisheries Management and Assistance Service, Florida Department of Environmental Administration, Tallahassee, FL.
- Bynes, M.V., J.E. Peters and D. Rushworth, 2004. Artificial Reefs: A Disposal Option for Navy and MARAD Ships. RAND National Defense Research Institute, Santa Monica, CA, USA. https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/DOCUMENTED_briefings/2005/DB391.pdf
- Carson, R.T., 2000. Contingent valuation: A user's guide. *Environmental Science and Technology*, 34(8), 1413-1418. <https://doi.org/10.1021/es990728j>
- Ch'ng, K.M. and C. Thomas, 1991. Artificial reef program in Malaysia. In “Chou, L.M., T.E. Chua, H.W. Khoo, P.E. Lim, J.N. Paw, G.T. Silvestre, M.J., Valencia, A.T. White and P.K. Wong (eds). Towards an integrated management of tropical coastal resources. ICLARM Conference Proceedings, 22, National University of Singapore, Singapore”, 455pp.
- Cotton, M., 2020. Dive Log // SS Salamanda Wreck Fiji. Accessed 2 August, 2023. <https://www.youtube.com/watch?v=bfX12n2C8ss>
- D.E. Britt Associates, Inc., 1974. Report of investigation of Broward artificial reef (tire reef). Report to Broward County Waste Collection & Disposal Division of Solid Waste, 10pp.
- D.E. Britt Associates, Inc., 1975. Annual report of investigations of Broward artificial reef (tire reef). Report to Broward County Waste

- Collection & Disposal Division of Solid Waste, 5pp.
- EPA (United States Environmental Protection Agency), 2022a. Disposal of Vessels at Sea. Accessed 2 August, 2023. <https://www.epa.gov/ocean-dumping/disposal-vessels-sea>
- EPA (United States Environmental Protection Agency), 2022b. Marine Protection, Research and Sanctuaries Act (MPRSA) and Federal Facilities. Accessed 2 August, 2023. <https://www.epa.gov/enforcement/marine-protection-research-and-sanctuaries-act-mprsa-and-federal-facilities>
- EPA (United States Environmental Protection Agency), 2023a. Overview of Clean Water Act Section 404. Accessed in 2 August, 2023. <https://www.epa.gov/cwa-404/overview-clean-water-act-section-404>
- EPA (United States Environmental Protection Agency), 2023b. Section 10 of the Rivers and Harbors Appropriation Act of 1899. Accessed in 2 August, 2023. <https://www.epa.gov/cwa-404/section-10-rivers-and-harbors-appropriation-act-1899>
- EPA (United States Environmental Protection Agency) and MARAD (U.S. Maritime Administration), 2006. National Guidance: Best Management Practices for Preparing Vessels Intended to Create Artificial Reefs. 76pp.
- Fabi, G., G. Scarcella, A. Spagnolo, S.A. Bortone, E. Charbonnel, J.J. Goutayer, N. Haddad, A. Lök and M. Trommelen, 2015. Practical guidelines for the use of artificial reefs in the Mediterranean and the black sea. FAO, Studies and Reviews, General Fisheries Commission for the Mediterranean. No. 96. Rome, Italy, 77pp. <https://www.fao.org/3/i4879e/i4879e.pdf>
- Ferrer, S., 2015. France hits reverse on sinking tyres for artificial reefs. Accessed 2 August, 2023. <https://phys.org/news/2015-05-france-reverse-tyres-artificial-reefs.html>
- FIRA (Korea Fisheries Resources Agency), 2014. Shipwreck Reef Facilities and Design Know-how. Ecological Restoration Division, Resources Business Department, FIRA, 29pp.
- FIRA (Korea Fisheries Resources Agency), 2022. Artificial Reef Status. FIRA-IR-22-018, 101pp.
- Florida Keys National Marine Sanctuary, 2023. The Duane. Accessed 29 December, 2023. <https://floridakeys.noaa.gov/shipwrecktrail/duane.html>
- Frink, S., 2012. The silver anniversary of the USCGC Duane. Accessed 28, July, 2023. <https://dan.org/alert-diver/article/the-silver-anniversary-of-the-uscg-c-duane/>
- FWC (Florida Fish and Wildlife Conservation Commission), 2003. State of Florida Artificial Reef Strategic Plan. Division of Marine Fisheries Management, Tallahassee, FL, 15pp.
- Gyeongnam Domin Ilbo, 2008. Sinking of Shipwreck-reefs at Samcheonpo Port. Accessed 20 December, 2023. <https://www.idomin.com/news/articleView.html?idxno=265158>
- Gyeongnam Domin Ilbo, 2009. Dropping Shipwreck-reefs in the Sea off Samcheonpo. Accessed 20 December, 2023. <https://www.idomin.com/news/articleView.html?idxno=296251>
- Haas Center, 2007. The Economic Impact of Diving the USS Oriskany on the Regional Economy. The Haas Center for Business Research and Economic Development, The University of West Florida, Pensacola, FL.
- Hanni, E. and H.H. Matthews, 1977. Benefit-Cost Study of Pinellas County Artificial Reefs. FLSGP-T-77-005. Florida Sea Grant College Program, UF/IFAS Extension, Gainesville, FL, 44pp.
- Hess, R., D. Rushworth, M.V. Hynes and J.E. Peters, 2001. Disposal options for ships. RAND Corporation, Santa Monica, CA, USA, 59-80. <https://doi.org/10.7249/MR1377>
- IMO (International Maritime Organization), 2016. LC 38/16 Annex 7 Revised Specific Guidelines for the Assessment of Vessels. Accessed 2 August, 2023. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/2016%20Rev%20Specific%20Guidelines%20for%20vessels.pdf>
- Johns, G.M., 2004. Socioeconomic Study of Reefs in Martin County, Florida. Report prepared for Martin County, Florida by Hazen and Sawyer, P.C., Hollywood, FL, 120pp.
- Johns, G.M., V.R. Leeworthy, F.W. Bell and M.A. Bonn, 2001. Socioeconomic Study of Reefs in Southeast Florida. Report prepared for Miami-Dade County, Florida by Hazen and Sawyer, P.C., Miami, FL, 349pp.
- Joose, T., 2022. When wrecks become reefs. Smithsonian Ocean Find Your Blue. Accessed 31 July, 2023. <https://ocean.si.edu/ecosystems/coral-reefs/when-wrecks-become-reefs>
- Jung, S., T.V. Chau, M. Kim and W.B. Na, 2022. Artificial seaweed reefs that support the establishment of submerged aquatic vegetation beds and facilitate ocean macroalgal afforestation: A review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, 1184. <https://doi.org/10.3390/jmse10091184>
- Khen, A., M.D. Johnson, M.D. Fox, S.M. Clements, A.L. Carter and J.E. Smith, 2022. Decadal stability of coral reef benthic communities on Palmyra Atoll, central Pacific, through two bleaching events. *Coral Reefs*, 41, 1017-1029. <https://doi.org/10.1007/s00338-022-02271-6>
- Kim, D., J. Woo, H.S. Yoon and W.B. Na, 2014. Wake lengths and structural responses of Korean general artificial reefs. *Ocean Engineering*, 92, 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.09.040>
- Kim, D., J.Y. Jeong, S. Jung and W.B. Na, 2024. Evaluating the particulate organic matter particles distribution characteristics around artificial reefs using computational fluid dynamics. *Ocean Engineering*, 292, 116574. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116574>
- Kim, D., S. Jung and W.B. Na, 2020. Two perspectives for increasing of artificial reef wake region. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 32(6), 1623-1631. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2020.12.32.6.1623>
- Kim, H.D., K.H. Kim, K.T. Shim and H. Oh, 2021. Applicability study of a sunken vessel as an artificial reef in a high wave energy zone. *Energies*, 14(14), 4374. <https://doi.org/10.3390/en14144374>
- Kinyua, B.G., 2023. IUCN: 8,500 sunken and abandoned vessels pose imminent risk of spills. Accessed 24 July, 2023. <https://maritime-executive.com/article/iucn-8-500-sunken-and-abandoned-vessels-pose-imminent-risk-of-spills>
- Lee, C., E. Caroselli, M.M. Toffolo, A. Mancuso, C. Marchini, M. Mes-

- Counties. TP-178. Florida Sea Grant College Program, UF/IFAS Extension, Gainesville, FL, 148pp. <https://pinellas.wateratlas.usf.edu/upload/documents/Economic-Impacts-Artificial-Reefs-6-SWFla-Counties-2011.pdf>
- The Chosun Daily, 2023. Goseung Submarine Park ... The jade-colored East Sea, seen from under the water. Accessed 2 January, 2024. <https://www.chosun.com/national/regional/2022/11/16/6CR2D3SDLNCUPFLHMGZUYB7YP4/>
- Uljin News, 2009. Uljin Sea Ranch is the first in Kroea to be designated as an underwater diving site for retired warship. Accessed 2 January, 2024. <http://uljinnews.com/news/view.php?no=3528>
- van der Schyff, V., M. du Preez, K. Blom, H. Kylin, N.S.C. Kwet Yive, J. Merven, J. Raffin and H. Bouwman, 2020. Impacts of a shallow shipwreck on a coral reef: A case study from St. Brandon's Atoll, Mauritius, Indian Ocean. *Marine Environmental Research*, 156, 104916. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104916>
- van Elden, S., J.J. Meeuwig, R.J. Hobbs and J.M. Hemmi, 2019. Offshore oil and gas platforms as novel ecosystems: A global perspective. *Frontiers in Marine Science*, 6, 548. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00548>
- White, A.T., C. Ming, M.W.R.N. de Silva and F.Y. Guarin, 1990. Artificial Reefs for Marine Habitat Enhancement in Southeast Asia. Association of Southeast Asian Nations/United States Coastal Resources Management Project Education Series 7, 45pp. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABI687.pdf
- Wikipedia, 2016. Category: Ships sunk as artificial reefs. Accessed 1 August, 2023. https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Ships_sunk_as_artificial_reefs
- Wikipedia, 2023. USCGC Duane. Accessed 28 July, 2023. https://en.wikipedia.org/wiki/USCGC_Duane
- Work, T.M., G.S. Aeby, B.P. Neal, N.N. Price, E. Conklin and A. Pollock, 2018. Managing an invasive corallimorph at Palmyra Atoll National Wildlife Refuge, Line Islands, Central Pacific. *Biological Invasions*, 20, 2197-2208. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1696-1>
- Yonhap News, 2023. Is there nothing to see under the sea off the East Coast?... 'submarine park' is different. Accessed 2 January, 2024. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20231117064200062>