한국해양환경·에너지학회지
J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy
Vol. 26, No. 3, 256-265, August 2023

https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2023.26.3.256
ISSN 2288-0089(Print) / ISSN 2288-081X(Online)

Original Article

인공어초 단지 주변 해양쓰레기 피해 시민모니터링과 스쿠버다이빙 레저활동 접목 방안

우민수[1] · 곽태진[2] · 박요섭[3] · 홍선욱[4] · 임세한[5,†]
[1]한국해양과학기술원 울릉도·독도해양연구기지 기술원
[2]해양탐사그룹 팀부스터 대표
[3]한국해양과학기술원 포항로봇실증기지 책임기술원
[4]동아시아바다공동체 한국해양쓰레기연구소 대표
[5]대한민국 해군사관학교 해양학과 교수

How to Apply Citizen Monitoring of Marine Debris Damage Around Artificial Reefs to Scuba Diving Activities

Minsu Woo[1], Taejin Kwak[2], Yosup Park[3], Sunwook Hong[4], and Sehan Lim[5,†]
[1]Research Specialist,Ulleungdo-Dokdo Ocean Research Station, Korea Institute of Ocean Science Technology, Ulleung 40205, Korea
[2]Leader, Marine Exploration Group Team Booster, Seoul, Korea
[3]Principal Research Specialist, Pohang Maritime Robotics Test & Evaluation Station, Korea Institute of Ocean Science Technology, Pohang 37553, Korea
[4]Chief Executive Officer, Korea Marine Litter Institute, Our Sea of East Asia Network, Tongyeong 53020, Korea
[5]Professor, Department of Oceanography, Naval Academy of Republic of Korea, Jinhae 51698, Korea

요 약

인공어초는 해양생물을 보호하고 수산자원을 배양하기 위해 설치하는 구조물로 설치 후 효과의 재조사를 실시하여야 한다. 하지만 국내 1,435,618개나 되는 인공어초가 설치되었고 장기적으로 사후 조사가 이루어지지 않고 있다. 폐어구에 걸려 어초 고유의 기능을 상실하는 악순환도 빈번하다. 이를 보완하기 위해 레저 활동과 시민과학을 접목하여 어초 주변의 해양쓰레기 사례를 3가지 방법으로 조사하였다. 수중 침적물 밀도조사(Underwater Debris Survey, UDS), 일반 수중촬영 조사(Common Underwater Photography, CUP)와 양방향 음파탐사기 조사(Side Scan Sonar, SSS)를 통해 총 18개의 정점에서 조사를 실시하였다. UDS를 적용한 인공어초 4곳의 해양쓰레기는 30 m^2당 4~15개, 0.02~21 kg으로 나타났고, 대부분 플라스틱 낚시용품과 폐어구가 높은 비중을 차지하였다. 이와 같이 스쿠버다이빙과 수중 침적물 밀도조사(UDS) 방법을 접목한 시민 과학의 새로운 유형을 활용하면 인공어초의 장기적인 모니터링과 함께 과학적인 데이터 확보가 가능할 뿐 아니라 해양환경 보호와 지속적인 해양레저 산업 발전을 추구할 수 있다.

Abstract – Artificial reefs are structures installed to protect marine life and cultivate marine resources. After installation, the effects need to be reassessed. However, despite the installation of a staggering 1,435,618 artificial reefs, long-term post-installation surveys have not been conducted. The vicious cycle of artificial reefs losing their original functions due to marine debris entanglement is also frequently recognized. To address this issue, we investigated marine debris around artificial reefs by integrating leisure activities and citizen science. We conducted surveys at a total of 18 locations using three methods: Underwater Debris Survey (UDS), Common Underwater Photography (CUP), and Side Scan Sonar (SSS). The marine debris on four artificial reefs surveyed using UDS ranged from 4 to 15 items per 30 m^2, weighing from 0.02 to 21 kg, with a significant proportion being plastic leisure fishing gears and discarded commercial fishing gears. By combining scuba diving, Underwater Debris Survey (UDS), and citizen science, a new type of scientific data collection, it is possible to achieve long-term monitoring of artificial reefs, obtain scientific data, and pursue marine environmental protection and sustainable development of the marine leisure industry.

Keywords: Artificial reef(인공어초), Citizen science(시민과학), Scuba diver(스쿠버다이버), Marine debris(해양폐기물)

†Corresponding author: shlim@navy.ac.kr

1. 서 론

인공어초는‘대상 해양생물을 정착시키거나 끌어모으고, 그에 대한 보호와 배양을 목적으로 해저나 해중에 시설하는 인공구조물로서, 해양생물의 서식환경과 특성을 활용한 대표적인 수산자원 조성 방법’이다(Korea fisheries resources information system[2022]). 한국수산자원공단의 2020년 인공어초 설치통계에 따르면 1971년부터 2020년까지 우리나라 연안역의 면적 230,821ha에 1,435,618개의 인공어초가 설치되었고, 인공어초 시설사업 사후관리에 따라 조성 이후 2~3년 안에 효과에 대한 해역의 정보, 위치, 어초의 상태, 서식 생물 현황, 폐기물 정보 등의 조사를 재실시하게 되어있다. 그러나 오래 전에 시설된 인공어초의 경우 어업활동 등에 의해 원래의 위치나 상태를 유지하지 못하고, 조업하는 그물에 걸려 고유의 기능을 상실하는 사례가 빈번히 제기되어 왔다. 인공어초의 순기능 상실을 복원하기 위하여 사후관리의 중요성이 부각되고 있다(Ahn *et al*.[2005]). 또한 해양수산부는‘해양레저관광 활성화 대책’ 중 수중레저산업 활성화 방안으로, 수중 환경과 개발 여건이 우수한 강원도 고성과 제주 2개소에 인공어초 등의 시설 조성(Ministry of Oceans and Fisheries[2019])을 지원하기도 하였다. 국내 수중레저 인구는 매년 급증하고 있으며, 스쿠버다이빙 역시 우리나라 동해와 남해를 중심으로 많은 사람이 즐기는 대표적인 해양레저 스포츠로 자리매김하였다. 수중작살, 해루질 등을 즐겼던 예전의 스쿠버다이빙에서 최근에는 소형 액션카메라 및 다양한 수중카메라의 보급으로 수중촬영을 하는 스쿠버다이버가 많아지고 있으며 아름다운 수중경관뿐 아니라 해양쓰레기로 인해 피해받는 수중 생태계의 모습도 소셜네트워크서비스를 통해 확산되고 있다. 일반 대중이 과학연구활동에 참여하여 과학자들과 함께 자료를 수집하고 결과를 도출하는 시민과학(citizen science)의 활동도 증가하고 있다(Koh and Ye[2020]). 해양쓰레기 분야에서는 최근 스쿠버다이버들이 기록한 수중 해양쓰레기 생물피해 사례들을 모아 분석한 결과가 책자로 발행되기도 하였다(Kwak *et al*.[2021]). 또한 시민과학은 환경문제 해결 및 생태계 보전을 위한 수단으로 더욱 활발하게 적용되고 있어 그 잠재력 역시 증가할 전망이다(Koh and Ye[2020]).

해양탐사그룹 팀부스터 Kwak *et al*.(2021)은 인공어초 주변에 폐어구가 걸려 어초가 제 기능을 하지 못하고 유령어업의 원인이 되는 현장을 보고하였다. 바다 밑에 설치해 두고 계속 효과를 모니터링하지 못하면 언제 어초의 기능이 사라지고 순기능 대신 피해유발 원인이 될지 알 수 없는 상황이다. 대부분의 어구가 내구성이 강한 플라스틱으로 만들어지고 해양생물을 잘 잡기 위한 형태로 제작되어 설치되므로 인공어초에 걸린 폐어구를 방치하면 유령어업 현장으로 장기간 피해를 일으킬 수 있다. 폐어구에 포획되는 해양생물 중 90% 이상이 수산업에서 상업적으로 가치를 가지는 종들이라는 보고도 있다(WWF[2020]).

해안쓰레기는 체계화된 조사 방법들이 널리 사용되는 반면 해저의 쓰레기에 대해서는 조사 방법론에 대한 논의가 매우 제한적이다(GESAMP[2019]). 버려지거나 유실된 폐어구의 실태는 정확하게 파악하기도 어렵고, 깊은 바닷속 쓰레기를 수거하는 데에는 인력이나 비용 측면에서 상당한 대가를 치러야만 한다(Kang and Kim[2012]). 전문 다이버를 이용한 모니터링은 기회비용이 매우 크고, 조사범위 또한 한정적일 수 밖에 없다. 그러나, 국내 20만명 이상 활동하는 레크레이션 잠수사가 일정한 교육을 받고 모니터링에 참여하면 크라우드 소싱(crowd sourcing)의 형태로 시공간적 모니터링 자료의 밀도가 높아질 것이다. 이 연구는 어초의 실태를 전문가들에 의한 재조사에만 맡기지 말고 어초 주변으로 몰려드는 어류와 생물상을 관찰하기 위해 비정기적으로 어초를 방문하는 수중 다이버들의 레저활동을 접목하는 방안을 찾기 위한 것이다. 수중 18개 정점에서 조사를 실시하고 방법을 비교하여 보다 과학적인 자료를 시민 과학자들의 참여로 도출할 방법을 모색하였다.

2. 연구 방법

기존 인공어초에서 발견된 해양쓰레기 피해 사례를 수집하고, 조사 대상지역을 선정한 뒤 3가지 방법을 시범으로 적용해 보았다.

2.1 인공어초 해양쓰레기 피해 사례

인공어초의 해양쓰레기 피해 기록을 Kwak *et al*.(2021)에서 추출하였고, 해양탐사그룹 팀부스터(Team Booster)의 자체 활동을 통해서 수집된 자료를 간추려 목록화 하였다(Table 1)(Kwak *et al.* [2021]). Fig. 1은 Table 1의 현장 사진으로서 해양쓰레기로 인하여 본래의 기능인 해양생물의 서식 환경 제공을 하지 못하고 유령어업이 일어나 수산자원 조성에 악영향을 미치는 모습을 생생하게 보여준다.

Kwak *et al*.(2021)은 해양쓰레기 피해가 발견된 사례들의 해저지형 유형을 분류해 본 결과, 암반에서 가장 많은 피해가 발견되었고 다음으로 인공어초가 많음을 보여준 바 있다(암반 65.1%, 인공어초 16.3%, 모래지형 16.3%와 테트라포드 2.3%). 이것은 해양생물들의 피해가 발견된 사례만을 수집 분석한 것이어서, 실제 인공어초를 대상으로 한다면 더 많은 피해사례가 분포할 것으로 예상된다.

2.2 조사 방법

국내 해양쓰레기 시민모니터링은 주로 해안에서 이루어지고 있으며, 수중의 경우 다양한 비영리 시민 환경단체에서 수거를 목적으로 활동하고 있지만 과학적 분석을 위한 데이터 축적 또는 장기간 모니터링을 실시하는 경우는 전무하다. 이번 연구에 사용한 3가지 방법은 다음과 같다. 첫 번째는 수중 쓰레기 조사 방법인데, 호주에 기반을 둔 해양생물 모니터링 프로그램인 RLS(Reef Life Survey, 스쿠버다이버들이 전 세계 암반과 산호초의 생물 다양성에 대한 표준화된 시각적 수중 조사를 수행하는 비영리 시민과학 프로그램) 방법과 해양 플라스틱 쓰레기 모니터링 및 평가지침(GESAMP: The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, UNEP 과학전문가 자문기구)을 기초로 하여 자체 고안한 것으로 여기서는 수중 침적물 밀도조사

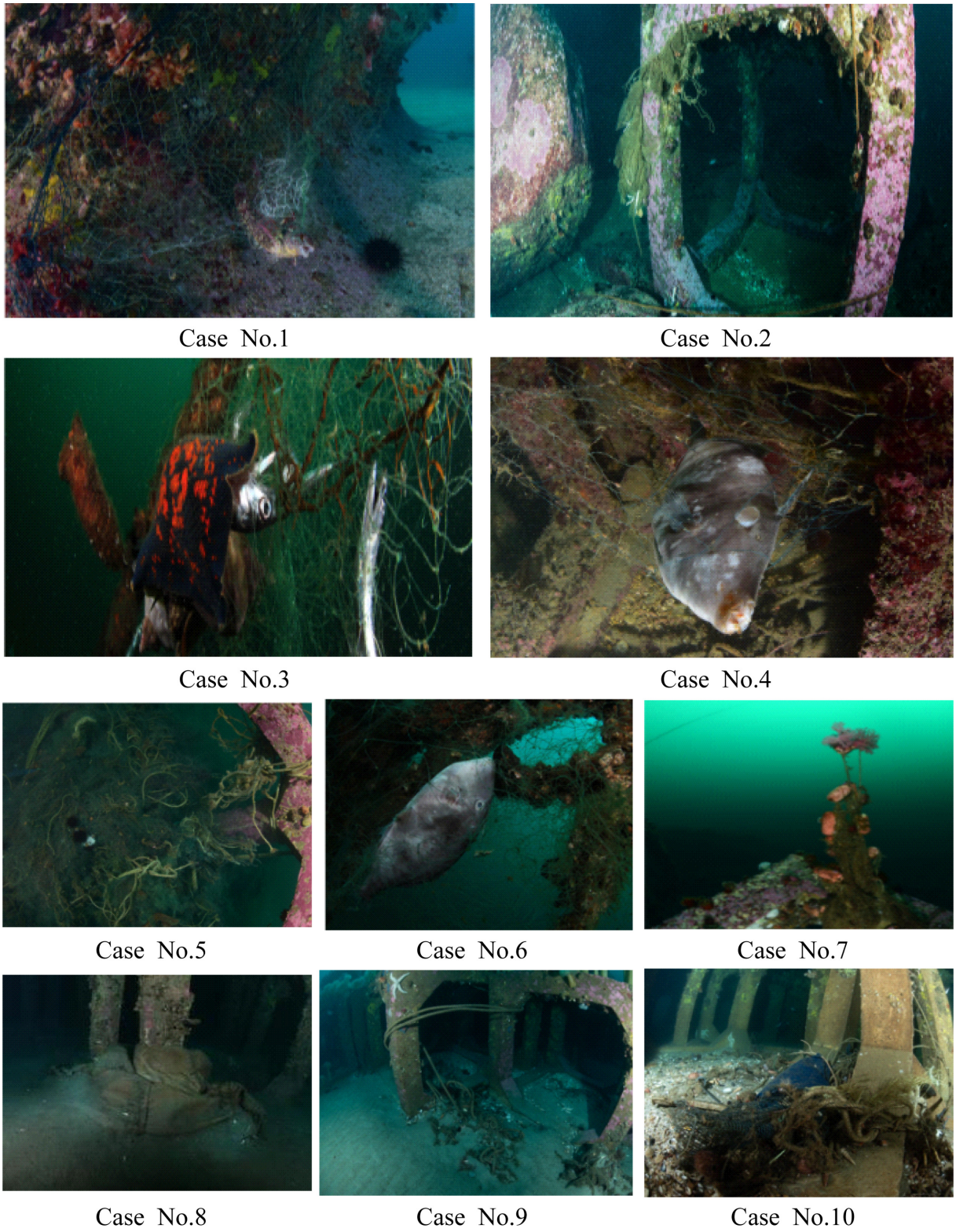


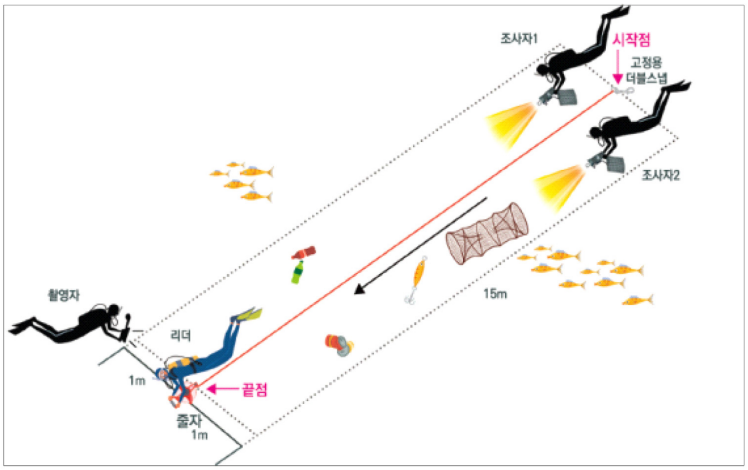
Fig. 1. Artificial reef damage cases by case no based on Table 1.

(Underwater Debris Survey, 이하 UDS)로 명명한다(Kang *et al.* [2021]).

이 방법은 줄자 또는 15 m 로프, 시작점 고정용 더블스냅(double snap), 침적물 수거용 망, 신호용 수중조명 및 수중칼(또는 수중가위)을 이용하여 4명의 스쿠버다이버가 한 팀이 되어 조사한다. 수중 조사팀은 Fig. 2와 같이 캡틴, 조사자 2명, 카메라맨으로 역할을

Table 1. Case of damage caused by artificial reefs. Cases are collected from Kwak *et al.*[2021] (1~7) and Team Booster (8~10)

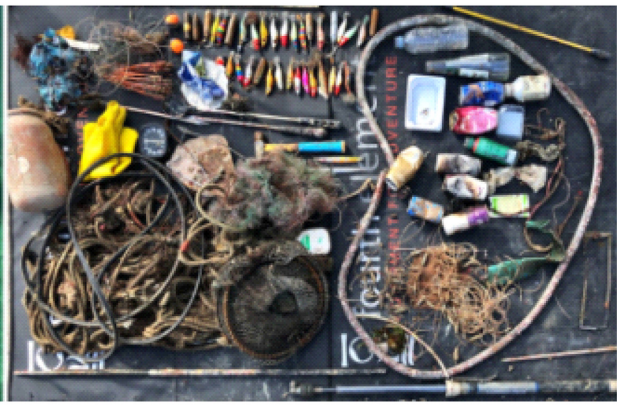
Case No	Region	Location	Debris type
1	Youngjin-ri, Yeongok-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do	37°52′02.7″N 128°51′47.9″E	Fishing gear
2	Bongpo-ri, Toseong-myeon, Goseong-gun, Gangwon-do	38°15′32.5″N 128°35′49.2″E	Fishing gear
3	Jucheong-ri, Ganghyeon-myeon, Yangyang-gun, Gangwon-do	38°07′31.6″N 128°38′51.7″E	Fishing gear
4	Jucheong-ri, Ganghyeon-myeon, Yangyang-gun, Gangwon-do	38°07′29.1″N 128°38′52.6″E	Fishing gear
5	Namae-ri, Hyeonnam-myeon, Yangyang-gun, Gangwon-do	37°56′35.1″N 128°48′56.2″E	Fishing gear
6	Geomundo, Samsan-myeon, Yeosu-si, Jeollanam-do	34°01′14.5″N 127°18′39.2″E	Fishing gear
7	Namae-ri, Hyeonnam-myeon, Yangyang-gun, Gangwon-do	37°56′37.6″N 128°48′56.6″E	Fishing gear
8	Munamjin-ri, Jugwang-myeon, Goseong-gun, Gangwon-do	38°17′48.5″N 128°33′02.0″E	Industrial waste
9	Munamjin-ri, Jugwang-myeon, Goseong-gun, Gangwon-do	38°16′50.6″N 128°34′16.3″E	Fishing gear
10	Ayajin-ri, Toseong-myeon, Goseong-gun, Gangwon-do	38°16′50.6″N 128°34′16.3″E	Residential wastes



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. Underwater debris survey (UDS) overview: (a) Concept diagram of manual for underwater debris collection and survey activities using scuba diving; (b) UDS survey in action; (c) Underwater debris collected from 30 m^2.

분담하고 캡틴은 더블스냅을 이용하여 기준점을 고정한 후 줄자를 이용, 기준선(15 m × 2 m)을 설치한다. 기준선 설치 후 조사자는 기준선을 중심으로 1 m 내에서 유영하며 수중 쓰레기를 수거하고, 카메라맨은 자료용 사진 및 활동사진을 촬영한다. 30 m^2 범위 내의 쓰레기만 수거해 쓰레기를 확인한다. 수거한 쓰레기는 육지로 가지고 나와서 1) 생활쓰레기, 2) 어업 및 낚시쓰레기, 3) 외국기인 쓰레기로 크게 구분한 뒤 다시 각 분류마다 재질에 따라 플라스틱, 금속, 유리 등으로 분류하고 다시 38종으로 구분한다. 기존의 해안쓰레기 분류와의 차이점은 낚시쓰레기를 상세히 구분하고 있다는 점이다. 이 방법에 따라 조사면적당 쓰레기의 종류와 개수, 무게를 기록한다.

두 번째는 레저 스쿠버다이버가 인공어초 다이빙 포인트에 입수하여 어초시설에 걸려있거나 어초 주변 또는 해저면에 침적되어 있는 해양쓰레기를 근접 촬영하고 일부 또는 전부를 수거하는 방법으로 특별한 지침 없이 수행할 수 있는 가장 일반적인 방법이다. 이를 통해 얻을 수 있는 정보는 수중 사진, 날짜, 위치정보, 수심, 수온 등이다. 여기서는 일반 수중촬영 방법(Common Underwater Photography, 이하 CUP)이라 부른다.

세 번째는 수중 쓰레기 파악에 흔히 사용되는 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar, 이하 SSS)를 이용한 탐색 방법이다. 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar)는 수중물체나 해저면의 형태를 영상화하기에 매우 효과적이어서 특정한 목표물을 찾는 데 유용하다(Jang *et al.*[2009]). 특히 인공어초의 경우 자연적인 암반이나 지형과 다르게 특징적인 형태를 가지고 있어 이 장비를 이용하여 인공어초의 위치 및 상태를 파악할 수 있다. 장비는 Fig. 3과 같이 Tritech 사의 StarFish 450F(450 kHz)를 이용하였고, 이를 통해 식별된 인공어초지역을 스쿠버다이빙과 병행하여 수중촬영(CUP)을 실시하였다.

2.3 조사 지역 및 조사대상 어초 선정

수중에 침적되어있는 해양쓰레기는 인공어초 단지뿐 아니라 다

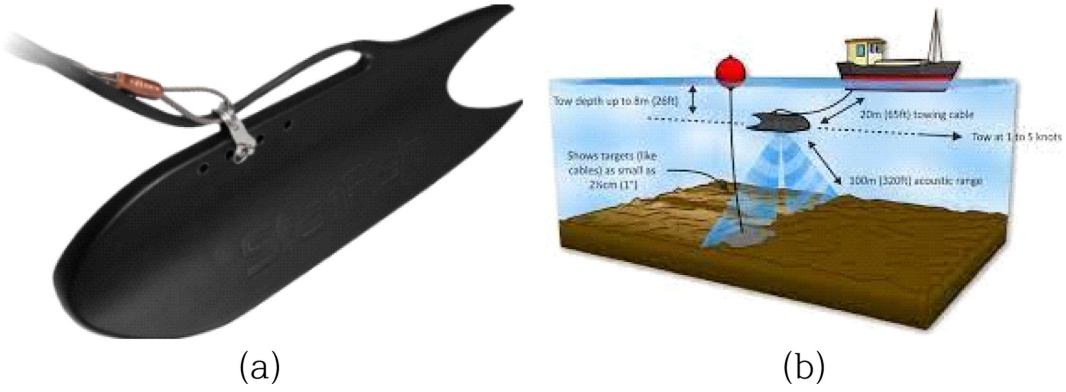


Fig. 3. Method using Side Scan Sonar (SSS) for survey: (a) Starfish 450F by Tritech; (b) Survey diagram for using SSS.

Table 2. Survey date and points (n=18) with survey method. *Artificial reef (n=4). CUP (Common Underwater Photography); UDS (Underwater Debris Survey); SSS (Side Scan Sonar)

Date	Region (Number of survey)	Survey method
2020-11-01	*Namae-ri (1), Hyeonnam-myeon, Yangyang-gun, Gangwon-do	CUP
2021-10-09	Galdo (1), Namhae-gun, Gyeongsangnam-do	UDS
2021-10-09	Galdo (2), Namhae-gun, Gyeongsangnam-do	UDS
2021-10-09	Galdo (3), Namhae-gun, Gyeongsangnam-do	UDS
2021-10-10	Sejongdo (1), Namhae-gun, Gyeongsangnam-do	UDS
2021-10-10	Sejongdo (2), Namhae-gun, Gyeongsangnam-do	UDS
2022-04-30	*Seogi-dong, Seogwipo-si, Jeju-do	SSS, CUP
2022-05-22	Hyeongjeseom (1), Busan-si	UDS
2022-05-22	Hyeongjeseom (2), Busan-si	UDS
2022-05-22	Nam-hyeongjeseom (1), Busan-si	UDS
2022-05-23	Nam-hyeongjeseom (2), Busan-si	UDS
2022-05-23	Mokseom (1), Busan-si	UDS
2022-05-23	Mokseom (2), Busan-si	UDS
2022-06-25	*Namae-ri (2), Hyeonnam-myeon, Yangyang-gun, Gangwon-do	CUP, UDS
2022-08-07	Hongdo (1), Tongyeong-si, Gyeongsangnam-do	UDS
2022-08-07	Hongdo (2), Tongyeong-si, Gyeongsangnam-do	UDS
2022-08-08	Gukdo, Tongyeong-si, Gyeongsangnam-do	UDS
2022-09-13	*Hyeonpo-ri, Ulleung-gun, Gyeongsangbuk-do	CUP, UDS

Table 3. Surveyed artificial reefs location and type information

Region	Location	Type of artificial reef	Target
Namae-ri (1), Hyeonnam-myeon, Yangyang-gun, Gangwon-do	37°57.837′N, 128°47.237′E	Dice (Fig. 5-(a))	Fish
Namae-ri (2), Hyeonnam-myeon, Yangyang-gun, Gangwon-do	37°56.720′N, 128°47.670′E	Semicircle-branched (Fig. 5-(b))	Shell, Fish
Hyeonpo-ri, Ulleung-gun, Gyeongsangbuk-do	37°31.804′N, 130°49.166′E	Dice (Fig. 5-(a))	Fish
Seogi-dong, Seogwipo-si, Jeju-do	33°14.453′N, 126°34.400′E	Triangular (Fig. 5-(c))	Shell, Seaweed

양한 수중환경에서 발견되며 위에 소개된 3가지 방법을 이용하여 다양한 수중환경의 총 18개 정점에서 조사하였다. 이 중 UDS 방법을 적용한 정점이 14개이다(Table 2). 인공어초 단지는 시설 시 어초 설치의 목적, 어초의 형태, 수량, 시설 면적 등의 정보를 지자체나 설치기관에서 공개하는 자료를 통해 어느 정도 확인할 수 있었다. 국내에 설치된 인공어초 단지 중 스쿠버다이버가 레저의 목

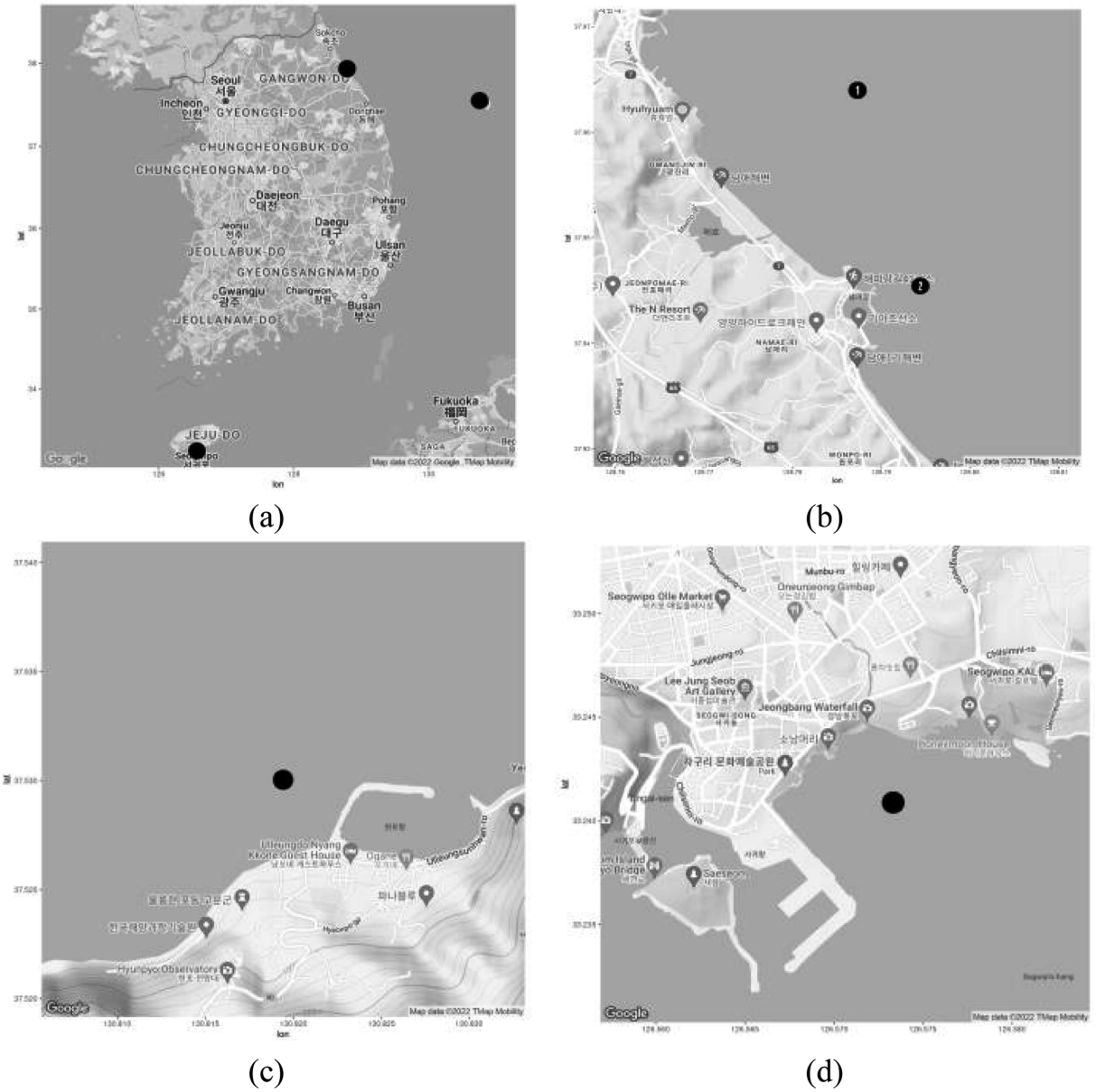
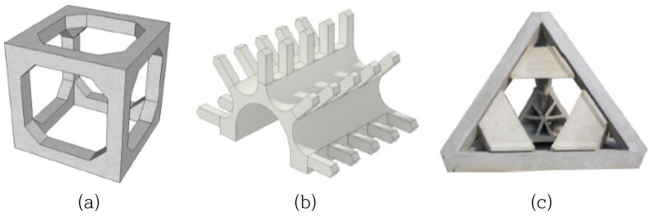


Fig. 4. (a) Detailed location of surveyed artificial reefs. (b) Yangyang-gun, Gangwon-do, (c) Ulleung-gun, Gyeongsangbuk-do, (d) Seogwipo-si, Jeju-do.



(a) (b) (c)

Fig. 5. The type of artificial reefs installed in each region: (a) Dice reefs in Yangyang-1, Ulleung; (b) Semicircle-branched reefs in Yangyang-2; (c) Triangular pyramid reefs in Seogwipo (Artificial reef information book from Korea Fisheries Resources Agency).

적으로 자주 방문하며 인공어초를 다이빙 포인트로 이용하는 곳을 대상으로 하였다. 강원도 양양군, 경상북도 울릉군 그리고 제주특별자치도 서귀포시를 조사대상 지역으로 선정하였고 다이빙 리조트 관계자 인터뷰를 통해 각 지역에 설치된 인공어초 중 4개의 단지를 선정하여 조사하였다(Table 3, Fig. 4).

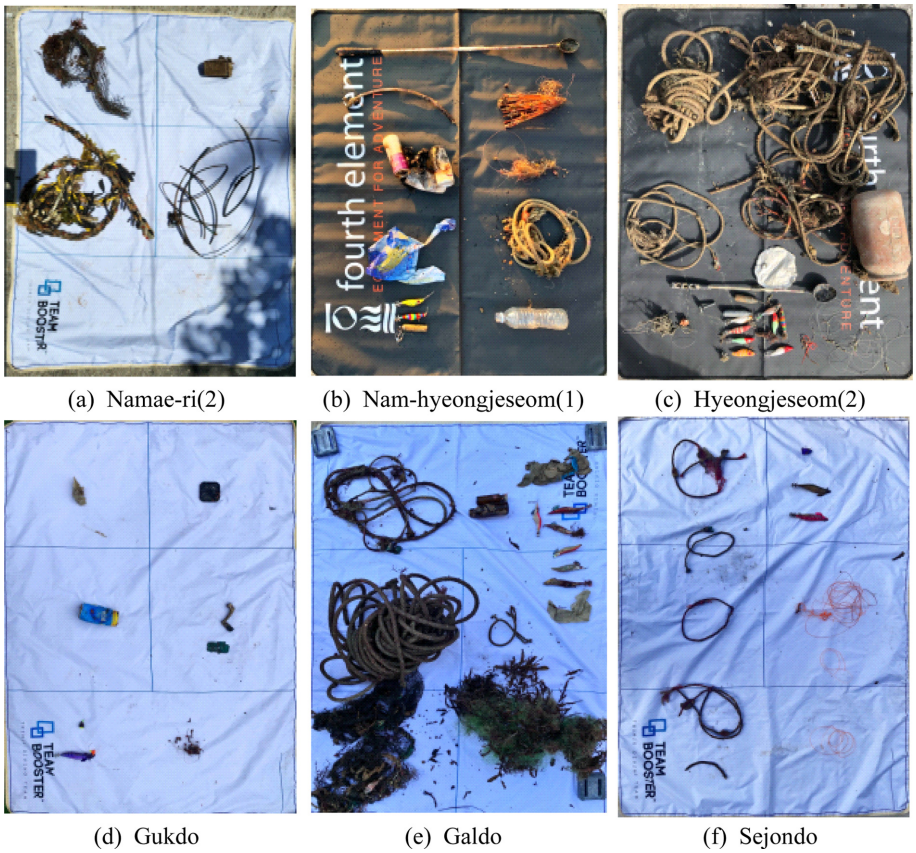
양양군(Fig. 4b)은 어류용 어초인 Fig. 5(a)의 사각형 어초와 Fig. 5(b)의 반원가지형 어초가 단지를 이루고 있었고, 울릉군(Fig. 4(c))은 Fig. 5(a)의 어류용 사각형 어초 단지가 시공되어 있었다. 제주특별자치도 서귀포시에 설치된 인공어초의 경우 Fig. 5(c)의 해조류 착생이 유리하고 내부에 초식성 패류 및 어류의 서식장 용도로 개발된 정삼각뿔형 어초가 시공되어 있었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 결과

2020년 11월부터 2022년 9월까지 18곳에서 조사한 결과 중 수거한 쓰레기 분류 모습을 Fig. 6에 제시하였고, 전체 결과를 Table 4에 정리하였다. 대부분 암반지형에서 조사가 이뤄졌으며 쓰레기 개수의 범위는 4~15개/30 m^2, 무게의 범위는 0.02~21 kg/30 m^2로 나타났다(Fig. 7). 2022년 9월 13일에 수행한 울릉도 현포리의 사각형 어초 조사의 경우 수심 20~25m 인공어초 주변 면적 30 m^2 (가로 15 m, 세로 2 m) 지역을 UDS 방법으로 조사하였으나 수중 쓰레기는 발견되지 않았다. 조사한 전체 쓰레기 중 플라스틱 낚시용품과 폐어구가 높은 비중을 차지하였다. 18곳 중 UDS로 조사한 경우에 수거 항목별로 개수와 무게를 구하였다. 하지만 CUP나 SSS의 방법으로는 쓰레기의 종류나 양을 단위면적당 정량화된 수치로 제시할 수 없었다.

2022년 4월 30일 서귀포시 서귀동 자구리 해역에 적용한 SSS는 Fig. 8과 같은 이미지를 보여주었다. 이곳은 수심은 10~25 m로 경사면이며, 파도와 조류에 따라 수중 쓰레기의 이동이 빈번히 관찰되는 곳이다. UDS를 적용하기 어려운 정점이어서 SSS로 인공어초의 위치와 형상을 파악하고, 확인한 위치에서 스쿠버다이빙으로 영상조사를 연속 실시한 결과 정삼각뿔 어초 단지에 로프가 걸려 있음을 알 수 있었다. 개수와 무게는 확인할 수 없었다.



(a) Namae-ri(2) (b) Nam-hyeongjeseom(1) (c) Hyeongjeseom(2)

(d) Gukdo (e) Galdo (f) Sejondo

Fig. 6. Collected underwater debris by UDS.

Table 4. Underwater debris survey results include artificial reef (*), rock bed and gravel field (**). All site survey area is 30 m^2

Region	Type of survey	Type of debris (qty)	Number per 30 m^2	Weight (kg) per 30 m
*Namae-ri (1), Hyeonnam-myeon, Yangyang-gun, Gangwon-do	CUP	-	-	-
Galdo (1), Namhae-gun, Gyeongsangnam-do	UDS	Fishing goods (6), Fishing gears (1), Can (2), Glass (1)	10	1.4
Galdo (2), Namhae-gun, Gyeongsangnam-do	UDS	Fishing goods (6), Fishing gear (6), Plastics (1), Glass (1), Fiber (1)	15	4.6
**Galdo (3), Namhae-gun, Gyeongsangnam-do	UDS	Fishing goods (2), Fishing gears (1), Plastics (5), Cans (1), Glass (1), Fiber (1)	11	1.9
Sejongdo (1), Namhae-gun, Gyeongsangnam-do	UDS	Fishing goods (6), Fishing gears (5)	11	0.5
Sejongdo (2), Namhae-gun, Gyeongsangnam-do	UDS	Fishing goods (7)	7	0.9
*Seogi-dong, Seogwipo-si, Jeju-do	SSS, CUP	Fishing gears (Rope)	-	-
Hyeongjeseom (1), Busan-si	UDS	Fishing goods (3), Fishing gears (5), Plastics (1), Cans (3), Glass (1)	13	2.4
Hyeongjeseom (2), Busan-si	UDS	Fishing goods (7), Fishing gears (2), Plastics (2)	11	2.3
Nam-hyeongjeseom (1), Busan-si	UDS	Fishing goods (5), Fishing gears (3), Plastics (2)	10	21.0
Nam-hyeongjeseom (2), Busan-si	UDS	Fishing goods (6), Fishing gears (1), Plastics (5), Cans (2), Glass (1)	15	2.2
Mokseom (1), Busan-si	UDS	Fishing goods (3), Plastics (1)	4	0.7
Mokseom (2), Busan-si	UDS	Fishing goods (1), Fishing gears (3), Plastics (5)	9	1.2
*Namae-ri (2), Hyeonnam-myeon, Yangyang-gun, Gangwon-do	CUP, USD	Fishing goods (1), Fishing gears (8)	9	0.02
Hongdo (1), Tongyeong-si, Gyeongsangnam-do	UDS	Fishing goods (3), Fishing gears (4), Plastics (1), Fiber (1), Metal (1)	10	1.3
Hongdo (2), Tongyeong-si, Gyeongsangnam-do	UDS	Fishing goods (7), Plastics (2), Glass (1), Metal (1)	11	1.8
Gukdo, Tongyeong-si, Gyeongsangnam-do	UDS	Fishing goods (5), Plastics (2), Cans (1), Metal (1)	9	0.5
*Hyeonpo-ri, Ulleung-gun, Gyeongsangbuk-do	CUP, UDS	-	-	-

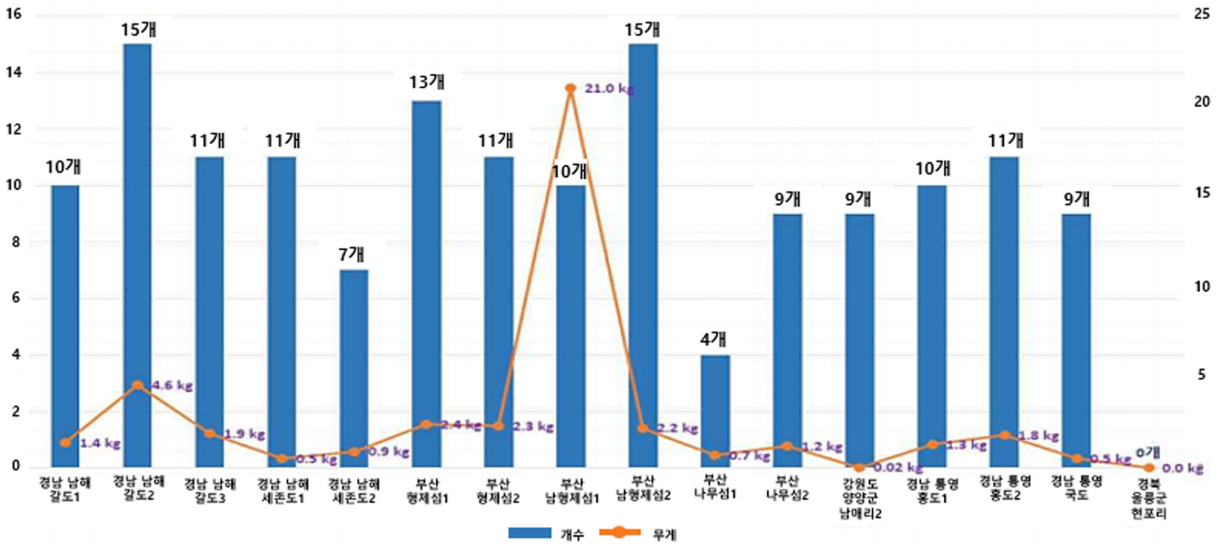
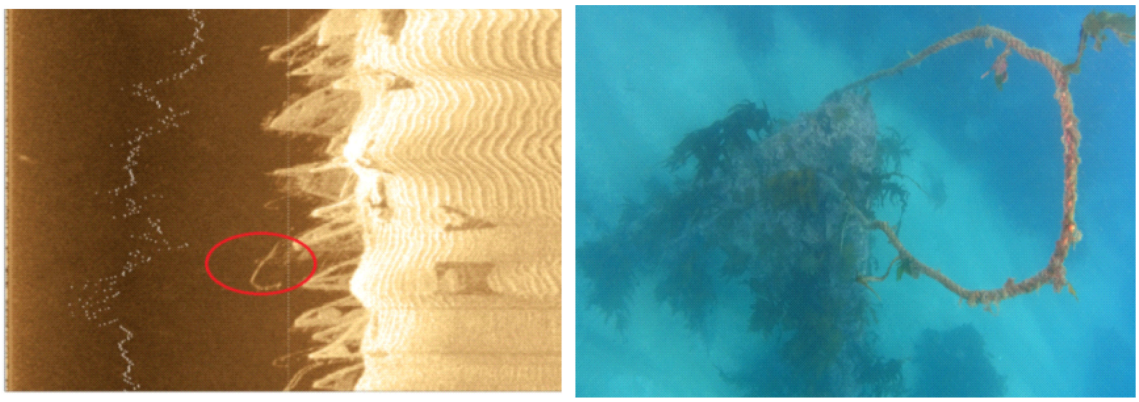


Fig. 7. Number and weight of underwater debris per 30 m^2 by site through UDS.

3.2 고찰

이번 연구를 통해서 얻은 결과를 바탕으로 3가지를 검토하였다.

첫째, 기존의 인공어초 관리 체계로는 장기간에 걸친 모니터링에 한계가 있다. 인공어초시설사업진행 및 관리규정의 제26조(사후관리)에 따르면, 시·도지사는 관할해역에 시설된 어초어장에 대한 연차별 어초어장관리 계획 및 활용방안을 수립하고, 시설된 어초의 효율적인 관리를 위해 위치와 상태를 조사하여 보수·보완·보강을 하고, 어초 기능 회복 및 효과 향상을 위해 어초에 걸린 폐기물 제



(a) (b)

Fig. 8. (a) Side Scans Sonar image of a rope hanging from the artificial reef, (b) Image of ropes captured by an underwater camera during scuba diving.

거, 어초의 기능성 및 생태학적 효과 분석을 위한 서식 생물상 조사 등을 실시한다(해양수산부훈령 제572호, 2020.12.30. 시행: 인공어초시설사업진행 및 관리규정). 하지만 이런 방법은 각 인공어초 단지에 있어 일시적인 조사이며 장기적인 모니터링은 불가능하다.

최근 증가하고 있는 스쿠버다이버들의 레저활동과 UDS를 접목한다면 시민과학의 새로운 유형으로서 장점이 클 것이다. 어초에 걸린 폐기물 제거 및 생태학적 효과 분석을 위한 서식 생물상 조사의 경우 주기적인 조사가 이루어져야 인공어초 효과에 대한 보다 과학적인 자료를 획득할 수 있다. 최근 합리적인 가격의 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar)와 멀티빔 음향측심기(Multi-Beam Echo Sounder)가 개발되고 있지만 적절한 활용을 위해서는 사용 방법 및 후처리에 대한 교육이 필요하고, 전용 선박 등이 필요하다는 이유로 시민과학과 접목하기는 어렵다. 또 CUP 방법의 경우도 사진을 촬영하는 것으로 끝나 정량적인 정보로 축적하기 어려운 한계가 있다. 따라서 정부기관과 연구기관이 보유한 인공어초 및 해양쓰레기 등에 대한 다양한 정보에 기반하고, UDS 방법을 통해 폐기물 유무 확인과 어초 단지에 침적 및 표착되어있는 폐어구와 같은 수중쓰레기에 대한 정확한 정보를 활용하면, 정부 정책 입안에 필요한 현장 상황 사진과 정량적 자료를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 스쿠버다이버들에게 시민과학자로서의 활동에 높은 성취감을 주어 자발적이고 적극적인 참여를 유도할 수도 있다.

둘째, 수중 쓰레기 분포 및 수거 현황 체계 구축이 필요하다. 현재 우리나라는 수중 쓰레기의 분포나 처리에 대한 상황을 파악할 수 있는 정보가 일반인들에게 제대로 제공되지 않고 있다. 해양환경공단에서 수중 쓰레기 관련 정보들을 제공하고 있으나 광역지자체 수준의 수거예산과 수거량을 공개하는 정도에 그치고 있어 어느 해역, 어느 해점에서 얼마나 많은 수중 쓰레기가 존재하는지, 수거하였는지는 알 수가 없다. 또한 스쿠버다이버들이 수중 쓰레기를 다이빙 중 발견하더라도 이를 신고하거나 처리하기 위한 제도적 장치가 마련되어 있지 않다. 더군다나 인공어초의 경우 관리의 주체가 지자체로 되어있는 경우가 많아 수거를 위해서는 민원을 제기해야만 하는 상황이며 공식적인 채널로 수중 쓰레기 발견 위치와 수거 등의 관련 정보가 공개되거나 제공되지 않으므로 인공어초에 대한 수중 쓰레기 상태를 확인하는 것은 사실상 불가능하다. 다만, 다이빙 리조트나 스쿠버다이버 상호 간의 비공식적 정보교환을 통해 다이빙 포인트의 상태를 파악하고 안전한 다이빙과 아름다운 수중경관 유지, 해양생태계 보호를 위해 자발적으로 수중 쓰레기를 수거하는 상황에 있는 것이다. 그러므로 본 연구진은 수중 쓰레기 분포와 처리 상황을 알 수 있도록 지자체와 해양환경공단, 한국수산자원공단 등 유관기관과 시민이 관련 정보를 입력하고 활용할 수 있도록 지리정보체계(GIS)에 기반한 가칭 “수중 쓰레기 분포 및 수거 현황 체계” 구축을 제안한다. 최근 한국지능정보사회진흥원에서 운영하는 AI-허브에 침적쓰레기 이미지 데이터가 공개되어 침적쓰레기에 대한 통계와 데이터가 관심을 받고 있는 추세이다. 침적쓰레기의 위치와 양, 종류, 그리고 기타 메타 정보를 체계적으로 수집할 수 있어야 한다.

셋째, 인공어초 다이빙 포인트와 해양수산부의 해중 경관 가꾸기를 연계하는 것이 바람직하다. 인공어초를 시설한 지자체에서는 지역 내 스쿠버다이빙 리조트와 연계하여 효과적으로 인공어초를 관리할 뿐 아니라, 일회성 방문으로 그칠 수 있는 해양레저인구를 붙잡을 방안이 될 수 있다. 해양수산부 제2차 해양관광진흥기본계획(2014-2023)은 ‘동북아 해양관광허브실현’라는 비전 아래 해양레저문화 확산과 관련 산업 육성을 통해 목표로 두고 있으며, 2023년까지 해양 여행 이동 총량 5억일 달성과 해양관광분야 신규 일자리 3만 5천개 창출 등의 구체적인 목표를 설정하고 있다. 계획에서 제시하는 5대 전략과제로 첫째, 휴식과 회복이 있는 행복한 바다관광, 둘째, 체험과 학습이 있는 즐거운 바다관광, 셋째, 문화와 예술이 있는 아름다운 바다관광, 넷째, 생활 속 이야기가 있는 정겨운 바다관광, 다섯째, 세계인이 찾아오는 글로벌 바다관광으로 해양관광 활성화를 위한 다양한 노력을 기울이고 있다. 이러한 해양관광 활성화의 일환으로 해양환경과 해양생태계를 보전하는 데 시민들이 직접 참여하여 활동할 수 있도록 인공어초 다이빙 포인트를 활용한 ‘아름다운 해중경관 가꾸기’를 현재 진행하고 있는 ‘해중경관지구’ 사업과 연계하여 적극 추진하는 것이 필요하다고

본다. 해중경관을 구경하는 차원의 수중관광에서 인공어초의 수중생태계를 조사하거나 수중 쓰레기를 수거하는 등의 활동을 함으로써 피해를 입은 수중경관을 복구하고 해양생태계를 구호하는 활동으로 연계한다면 참가하는 시민에게 '휴식과 회복이 있는 바다관광', 즐거움과 보람을 줄 수 있는 '체험과 학습이 있는 즐거운 바다관광'이 될 수 있을 것이다.

이 연구는 1백만 개가 넘는 인공어초 중 4개에 시범 적용한 것이며, 인공어초의 설치 여건에 따라 UDS를 적용할 수 없는 곳도 있을 것이다. 따라서 추가 적용 실험을 통해 UDS 방법 적용이 가능한 인공어초를 식별할 필요가 있을 것이다. 또 UDS는 전혀 교육받지 않은 레저 다이버가 실시하기에 다소 어려운 방법일 수 있으므로 사전 교육 훈련을 받아야 일정한 수준의 과학적 데이터를 수집할 수 있을 것이다.

4. 결 론

이 연구는 인공어초 주변의 해양쓰레기 조사를 위해 UDS(수중침적물 밀도조사), CUP(일반 수중촬영), SSS(양방향 음파탐사기) 세 가지 방법을 국내 18개 정점에 적용하여 실시하였다. UDS는 3~4명의 스쿠버다이버가 함께 작업하며 줄자, 로프, 더블스냅, 수중조명 및 수중칼 등의 간단한 도구를 사용하여 인공어초 주변의 쓰레기를 조사하고 수거하는 방법으로 조사된 쓰레기의 종류, 개수 및 무게 등을 기록한다. CUP는 수중촬영장비를 이용하여 인공어초 주변의 해양쓰레기와 그로 인해 피해를 입는 해양생물을 촬영하는 방법이다. SSS는 양방향 음파탐사기를 이용하여 인공어초 단지의 위치 및 상태를 파악하는 방법으로 이를 통해 식별된 인공어초 단지를 수중촬영과 병행하여 조사한다. 18개 정점에서 실험한 결과, 정량적 자료를 획득할 수 없는 CUP 방법과 전문적인 교육이 필요한 SSS 방법과는 다르게 UDS 조사방법은 인공어초 주변에서 30 m^2 당 4~15개, 0.02~21 kg의 해양쓰레기가 분포함을 알 수 있었다. 또 플라스틱 재질의 낚시용품과 폐어구가 높은 비중을 차지한다는 것도 기록하였다. UDS 방법은 정량적인 자료를 획득할 수 있을 뿐 아니라 간단한 교육을 통해 일반 레저다이버들도 수행할 수 있을 것이다. 이를 통해 증가하고 있는 국내 레저다이버에게 시민과학자로서의 역할을 부여하고 지자체에서는 지속적인 해양레저 스포츠 인구를 확보하고 인공어초의 관리를 유용하게 할 뿐 아니라 전문연구인력과의 연결을 통해 인공어초 효과 및 관리에 대한 비용효율적인 대안이 될 수 있을 것이라 기대한다.

후 기

본 연구는 한국해양수산개발원(KMI) 2022년 '우리바다 현장연구' 및 한국해양과학기술원 '해양 생태계에 미치는 플라스틱 쓰레기의 영향평가 기술개발(PEA0114)'의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

[1] Ahn, S.H., Kim, D.S. and Lee, S.I., 2005, Management after installation of artificial reefs –Present Condition and Development Scheme-, J. Korean Soc. Mar. Environ. saf, 139-141.

[2] GESAMP, 2019, Guidelines of the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean (Kershaw P.J., Turra A. and Galgani F. editors), (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection.

[3] Jang, W.I., Lee, S.M., Lim, J.S., Lim, M.H., Shin, S.R. and Yoon, J.H., 2009, Processing of Side Scan Sonar and SBP Data for the Artificial Reef Area, Geophys. and Geophys. Explor, 12(2), 192-198.

[4] Kang, W.S. and Kim, S.D., 2012, Distribution Characteristics and Cost Estimation of Collection and Treatment of Deposited Marine Debris in Coastal Fisheries around the Southwestern Islands of Korea, J. Korean. Soc. Mar. Environ. Energy, 15(4) 330-336.

[5] Kang, K.B., Kim, Y.R., Kwak, T.J. and Lee, J.S., 2021, UDS (Underwater Debris Survey) Manual book, Team Booster and OSEAN.

[6] Koh, J.K. and Ye, M.J., 2020, A Study on Types and Characteristics of Citizen Science to Address Environmental Issues in Korea, Journal of Environmental Policy and Administration, 28(4), 181-213.

[7] Korea fisheries resources information system, Overview of the artificial reefs, https://www.fira.or.kr/newgis/intro/afr01.do. 2022 (accessed 2022.12.28.).

[8] Kwak, T.J., Kim H.J., Kang, K.B., Lee, H.E., Yang, K.Y., Kim, H.M., Jeong, H.N., Hong, S. and Lim, S., 2021, Photographic Casebook 2: Marine Litter Impacts on Wildlife in South Korea Focusing on Evidence Collected by Scuba Divers, Our Sea of East Asia Network, Design W 152p.

[9] Ministry of Oceans and Fisheries, 2019, Marine Leisure Tourism Activation Plan 28.

[10] WWF, 2020, Stop ghost gear: The most deadly from of marine plastic debris, WWF international.

Received 29 March 2023
Revised 2 July 2023
Accepted 4 August 2023