

어류군집 조사 결과 비교를 통한 최적의 방법 선택

김재영 · 엄상민 · 김병모¹ · 최태섭^{2*}

(주)네오엔비즈 환경안전연구소 연구원, ¹(주)네오엔비즈 환경안전연구소 선임연구원, ²(주)네오엔비즈
환경안전연구소 책임연구원

Optimal selection of fish assemblage survey method through comparing the result

Jae-Young KIM, Sang-Min EOM, Byeong-Mo Gim¹ and Tae Seob Choi^{2*}

Researcher, Institute of Environmental Protection, Neoenbiz Co., Bucheon Gyeonggi 14523, Korea

¹Senior Researcher, Institute of Environmental Protection, Neoenbiz Co., Bucheon Gyeonggi 14523, Korea

²Principal Researcher, Institute of Environmental Protection, Neoenbiz Co., Bucheon Gyeonggi 14523, Korea

Fish resource surveys were conducted near Jeju Island in June, August and October 2021 using an underwater camera monitoring system, fish pots, and SCUBA diving methods. The efficiency of the methods used to survey fish resources was compared using the number of individuals compared to area per unit time (inds/m³/h) and the number of species compared to area per unit time (spp./m³/h). As a result of comparing the number of individuals compared to the area per unit time (inds/m³/h), the order was underwater camera 214.69, SCUBA diving 124.62, and fish pots 0.57 inds/m³/h. The number of species compared to area per unit time (spp./m³/h) is in the following order: SCUBA diving 0.85, underwater camera 0.38, and fish pots 0.01 spp./m³/h. The fish resource monitoring method using underwater cameras was found to be more efficient in individual counts, and the SCUBA diving method was found to be more efficient in species counts. When considering cost and survey efficiency, the fish resource survey method using underwater cameras was judged to be more effective. The results of this study are expected to be widely used in estimating the population density of fish, which is the core of future fisheries resource surveys.

Keywords: Fish assemblage survey, Underwater camera, SCUBA diving, Fish pots, Efficiency

서론

해상풍력발전을 포함한 신재생에너지 사업과 바다골재 채취 등 해양의 공유수면에서 일어나는 해양의 이용

또는 개발 사업을 진행할 때, 사업의 유형과 규모, 해당 지역의 특성 등을 고려하여 해양환경에 미치는 직간접적인 영향을 평가하여야 한다. 물리, 화학, 생물학적 관

Received 5 December 2023; Revised 7 March 2024; Accepted 25 April 2024

*Corresponding author: tschoi67@gmail.com, Tel: +82-32-718-9440, Fax: +82-32-718-9409

Copyright © 2024 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

점에서 다양한 항목을 측정하고 분석하여 공유수면을 이용하거나 개발하는 사업이 환경에 미치는 영향을 예측하고, 사업의 시행으로 인한 영향을 저감하기 위한 방안을 수립해야 한다. 이는 해양환경영향평가를 통해 현황조사, 예측 및 저감 방안, 사후모니터링의 체계를 갖춰 어류의 난·자치어를 포함한 성어 등의 수산자원을 주요 관리 항목으로 지정하여 해양의 공유수면에서 일어나는 행위나 사업에 대해 사전에 영향을 평가하고 대책을 수립하고 있다. 영향평가 제도에서 요구되는 평가항목 중 어류 및 수산자원에 대한 조사는 다양한 어구 어법 또는 잠수를 통한 직접 조사가 활용되지만 비용 효율적인 측면에서 매우 제한적이고, 문헌조사를 통한 간접조사는 개괄적이고 형식적인 조사가 대부분인 것이 현실이다. 공유수면을 활용하는 개발 사업은 수심이 얇은 연안에서 이루어지고 있으며, 연안은 양식장 등 활발한 어업활동이 이루어지고, 수산생물의 성육장과 산란장을 형성하여 수산자원학적으로 매우 중요한 역할을 한다(Hajisamac and Chou, 2003; Song et al., 2012). 해양개발로 인한 영향은 생태계 구조상 먹이사슬을 따라 최종적으로 어류 및 수산자원으로 이어져 수산업에 직접적 피해를 일으킨다. 따라서 난자치어를 비롯한 성어 등과 같은 수산자원에 대한 직접적이고 효율적인 분석은 중요한 요소로 작용한다.

성어류 군집에 대한 조사는 종조성 및 계절 변동을 살펴보기 위함이다(Kim et al., 2014; Lee et al., 2009; Ko et al., 2021). 하지만 연구를 위해 트롤망류 같은 끌어구와 통발류 같은 함정어구 등의 기존 어구어법을 이용한 조사 방법은 정성적인 자료를 얻을 수 있는 장점이 있지만, 어류 서식 환경의 파괴와 어자원에 영향을 미친다는 단점과 높은 비용 및 인력이 필요하다(Lee et al., 2018). 잠수조사 방법은 어구를 사용하지 않으며, 잠수 장비만을 사용하여 관찰하므로 비파괴적인 방법 중 하나로 알려져 있다(Brock, 1982; Chabanet et al., 1995). 하지만 관찰 가능한 깊이와 시간에 제약이 있어 한정적인 영역만을 조사할 수 있는 문제가 있으며, 조사 지역의 접근성 한계로 인하여 수심이 깊은 곳에 서식하는 어류의 생태 및 분포를 완전히 이해하기 어렵다는 단점을 가진다.

최근 현장조사 기반의 수중 시각 조사기법이 어류의 개체 수와 생물량을 추정하는 데 활용되고 있다(Mallet

and Pelletier, 2014; Sward et al., 2019). 표적 또는 비표적 어류 분류군을 모두 조사하고자 할 때 이러한 기법을 활용해 근해 어류 생태계의 현황 및 환경 교란이 미치는 생태학적 영향에 대해 연구를 수행하고 있다(Hamilton et al., 2010; Zgliczynski et al., 2013). 수중 시각기반 현장조사의 장점은 어류 군집의 특성(풍부도, 군집 구조, 종 구성 등)과 관계없이 일관된 자료를 획득할 수 있다는 것이다. 수중 시각기반의 조사 자료는 사전 정의된 범위 내에서 관심 종의 개체 수를 추정할 수 있으며, 어류 분류군에 대한 밀도(단위면적당 개체 수)를 비롯해 다양도(Diversity) 등 군집 특성의 수치화가 가능하다(Bohnsack and Bannerot, 1986). 또한, 많은 시각기반 자료를 축적한다면 어류군집의 크기 분포와 종별 길이 및 생물량의 관계로부터 생물 밀도 추정도 가능할 것이다(Sandin et al., 2008; DeMartini et al., 2008).

어류(성어)와 같은 수산자원에 대한 조사를 위해 상업용 어구를 활용하는 전통적인 접근 방식은 특정 어류 종에 대한 선택성이 있고, 서식지 유형과 부합하지 않는 도구를 사용하는 경우에는 잘못된 결과를 도출할 수 있다. 해양환경영향평가 또는 수산자원 관리를 목적으로 하는 어류군집 조사는 비용 효율적이고 시기적절하게 서식지 계층화된 어류 밀도에 대한 추정치를 제공할 수 있어야 한다. 이를 위한 수중 시각기반의 조사 방식은 상대적인 어류 풍부도에 대한 보다 정확하고 덜 편향된 결과를 제공할 뿐만 아니라 절대 어류 풍부도에 대해서도 직접적인 추정을 제공할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

본 연구는 어류군집 조사에 수중카메라를 이용하여 해양환경과 생물에 미치는 영향이 작은 시각기반의 조사 기법이 최근 해양 공유수면에서 이루어지는 개발행위의 영향을 추정하기 위해 신속하고 비용 효율적인 방법으로 활용될 수 있는가를 평가하고자 하였다. 기존 어류군집 조사에서 널리 활용된 잠수조사와 통발류 같은 함정어구를 사용한 조사를 동시에 수행하여 그 결과를 비교함으로써 수중카메라를 이용한 시각적인 조사 방식이 이와 유사한 잠수조사와 비교해서 편향되지 않은 결과를 도출할 수 있는지 확인하고자 하였다. 또한 향후 추가적인 연구를 통해 해양환경영향평가 등 개괄적인 어류군집 및 수산자원 조사에서 표준화된 방법으로 활용될 수 있는 기초적인 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

어류군집 조사방법

어류군집(출현종 및 개체 수) 조사는 3가지 방법을 이용하였다. 전통적인 조사방법인 통발류 같은 함정어구를 이용하여 어획하는 방식의 조사와 잠수조사, 마지막으로 고정식 수중카메라를 이용한 방법이 활용되었다. 3가지 군집조사 방법 비교를 위한 조사 해역은 제주도 서쪽 연안에 위치한 신창 포구(제주시 한경면 소재)에서 바다 쪽으로 약 1.8 km 정도 떨어진 곳으로, 해상풍력단지가 건설되어있는 해역이다(Fig. 1). 해상풍력단지가 설치된 제주 해역은 수산 자원이 풍부한 해양생태계로, 수산생물과 어종이 다양하여 어류군집 조사의 방법 비교를 위한 최적의 장소로 판단되었다. 어류의 채집 및 관찰, 촬영된 어류의 종 동정 및 분류는 Kim et al. (2005); Hong (2006); Min et al. (2004); Nakabo (2002); Nelson (2006)을 참고하였다. 각 조사방법에서 출현한 어류목록은 분류체계에 따라 정리하였다.

어류군집 조사에 활용한 함정어구류인 통발은 직경 32 cm, 높이 55 cm, 망목 3.5 mm의 원통형으로 제작하였으며, 통발과 통발 사이의 간격을 2 m씩 이격하여 2개 정점(A, B)에 각 100개씩 총 200개의 통발을 설치하였다. 통발을 이용한 어류군집 조사 1회차는 2021년 06월 15~16일, 2회차는 2021년 08월 20~21일, 3회차는 2021년 10월 14~15일로 계절을 달리하여 총 3회 측정하였다. 통발의 투망은 조사 당일 오전 9시에, 양망은 다음 날 오전 9시에 실시하여 24시간 동안 채집하였으며, 미

끼로는 크릴새우, 콩치를 사용하였다. 채집된 어류는 현장에서 바로 동정하고 어종별 개체 수 및 중량을 측정하였다. 현장에서 동정이 어려운 종은 10% 포르말린 용액에 고정한 다음 실험실로 운반하여 동정하였다.

잠수조사는 함정어구류인 통발을 이용한 조사와 동일한 시기에 총 3회 실시하였으며, 통발을 설치한 2개 정점(A, B)에서 각 20분간 잠수하여 현장에서 출현하는 어류를 조사하였다. 잠수 조사 1회차는 2021년 06월 14일에 2개 정점에 대해 각 20분씩 총 40분, 2회차는 2021년 08월 19일에 동일하게 각 20분씩 총 40분, 3회차는 2021년 10월 13일에 한 개 정점에서 20분 조사를 수행하여 3회 조사하는 동안 총 100분(약 1.7시간)을 조사하였다. 잠수 조사의 공간적 조사 범위는 가상으로 20 m³로 설정하여 해상풍력 자켓 하단의 위치에 머무르면서 육안으로 출현하는 어종과 개체 수를 기록하였다.

수중카메라를 이용한 어류군집 조사는 수중카메라가 설치된 조사시스템 2대를 활용하여 약 20 m 수심의 2개 정점에 각각 설치하여 수행하였다. 수중카메라를 이용한 어류군집 조사 1회차는 2021년 06월 14~21일 사이에 40시간, 2회차는 2021년 08월 19~22일 사이에 36시간, 3회차는 2021년 10월 13~15일 사이에 36시간 동안 촬영하였다. 수중카메라를 이용한 어류군집 조사에서 조사 기간 대비 촬영시간이 짧은 이유는 수중카메라의 배터리 교환 등과 같은 기술적인 이유로 연속촬영이 어려웠기 때문이다. 수중카메라가 설치된 조사시스템에는 통발 조사와 같은 종류의 먹이(크릴새우, 콩치)를 넣어 조

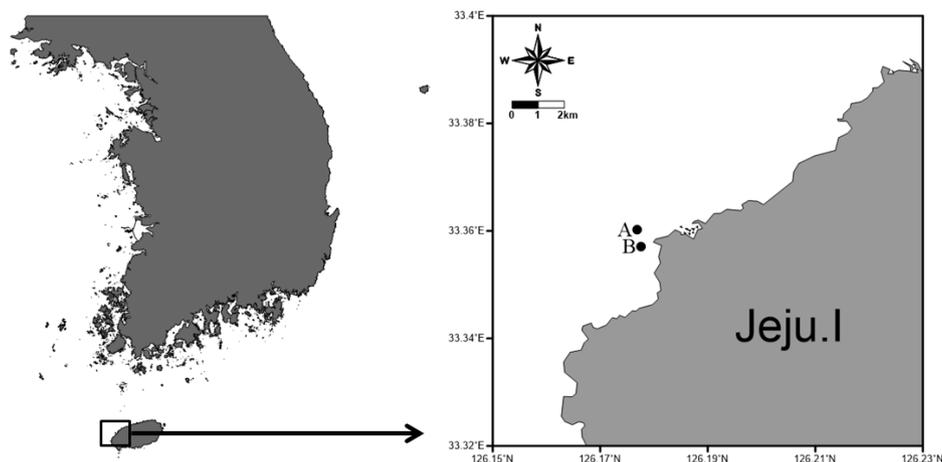


Fig. 1. Location of fish community survey area near north-western of Jeju Island, Korea.

사하였다. 촬영된 영상에 출현하는 어류는 실험실에서 반복 재생하면서 형태 형질을 바탕으로 동정하였다.

어류군집 조사를 위한 수중카메라

어류군집 조사에서 사용된 수중카메라는 영상저장용 내장 SD카드와 구동을 위한 배터리를 구성되어 있다. 외장형 배터리를 장착하여 외부(육상 또는 선박)로부터 전원공급과 영상전송을 위한 케이블 연결 없이 영상의 녹화가 가능하며, 장시간 수중에서 어류의 출현을 관찰할 수 있도록 설계하였다(Fig. 2).

수중카메라는 Full HD 30프레임, 해상도 1,920 x 1,080 화소(픽셀)의 성능을 보여주며, 시야각은 약 160° 정도이다. 또한 타임랩스(Time lapse, 저속촬영) 기능이 있어 장시간 촬영이 가능하다. 수중카메라의 케이스는 방수재질이며, 수압에 의한 누수 및 찌그러짐 방지를 위해 내압성이 뛰어나도록 설계하였다. 수중카메라의

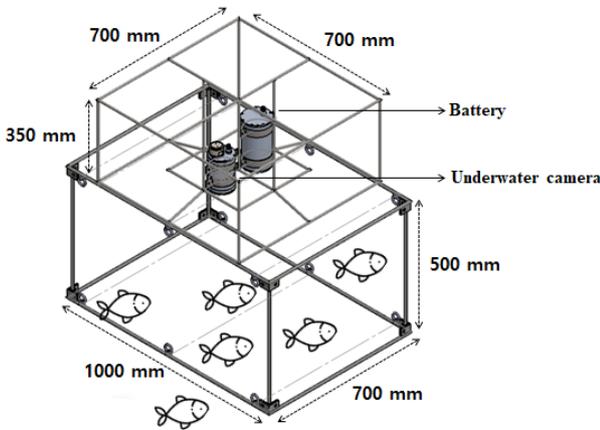


Fig. 2. Schematic diagram of fish survey system using underwater camera.

고정 및 정량적인 모니터링을 위한 관찰 프레임을 제작하였으며, 수압에 의한 찌그러짐 방지 및 녹 방지를 위해 알루미늄, 스테인리스(STS316) 및 티타늄 등을 사용하였다. 관찰 프레임의 크기는 수중카메라의 화각에 관찰 프레임 공간 전부가 촬영될 수 있도록 설계하였다(Fig. 2). 관찰 프레임은 스테인리스 재질의 볼트로 체결하여 이동 및 보관이 편리하도록 설계하였으며, 조류 또는 해류에 의해 프레임이 느슨하게 풀리는 것을 방지하기 위해 스프링 와셔를 이용하여 진동에 의한 볼트 풀림을 방지하였다. 잠수조사와 수중카메라를 이용한 조사는 모두 시각 기반의 조사라는 공통점을 가지고 있으나, 잠수조사는 사람이 잠수하여 관찰하는 방식이며, 본 연구에서 활용된 수중카메라를 이용한 조사는 관찰을 위한 장비만을 수중에 정치하여 조사하는 방식이라는 차이점이 있다.

자료의 해석

어류군집 조사에서 출현한 어류는 조사방식별로 분류 체계에 따라 목록화하고, 출현 개체 수 및 빈도(Frequency)를 계산하였다. 어류군집 조사에 사용된 3가지 방법의 비교를 위해 각 조사방법에서 출현한 어류의 단위시간당 면적대비 관찰된 개체 수(ind/m³/h)와 단위시간당 면적대비 관찰된 생물종 수(spp./m³/h)를 산정하여 비교하였다.

결과

함정어구(통발)를 이용한 조사

함정어구(통발)를 이용한 어류군집 조사에서 출현한 어류는 총 6목 10과 14종, 726개체였으며, 생체량은 총 71.92 kg이었다(Table 1). 어종별 출현빈도를 살펴보면

Table 1. List of species, number of individuals (n), frequency (%) and biomass (W) that appeared in fish assemblage survey using fish pots

Order	Family	Scientific name	Common name	N (n)	Frequency (%)	Weight (kg)
Anguilliformes	Congridae	<i>Conger myriaster</i>	Whitespotted conger	6	0.8	7.30
Octopoda	Octopodidae	<i>Octopus vulgaris Cuvier</i>	Common octopus	35	4.8	6.25
Perciformes	Acropomatidae	<i>Doederleinia berycoides</i>	Blackthroat seaperch	1	0.1	1.60
	Apogonidae	<i>Apogon semilineatus</i>	Half-lined cardinalfish	7	1.0	0.53
	Labridae	<i>Pseudolabrus sieboldi</i>	Bambooleaf wrasse	149	20.5	8.46
		<i>Halichoeres tenuispinis</i>	Motley stripe rainbowfish	29	4.0	1.00
		<i>Pseudolabrus eoethinus</i>	Red naped wrasse	12	1.7	0.70
Pomacentridae	<i>Chromis notatus</i>	Pearl-spot chromis	4	0.6	0.20	

Table 1. Continued

Order	Family	Scientific name	Common name	N (n)	Frequency (%)	Weight (kg)
Scorpaeniformes	Hexagrammidae	<i>Hexagrammos agrammus</i>	Spotty-Bellied Greenling	62	8.5	5.20
	Scorpaenidae	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	False kelpfish	162	22.3	22.20
		<i>Sebastes schlegeli</i>	Korean rockfish	62	8.5	6.26
		<i>Sebastes inermis</i>	Dark-banded rockfish	38	5.2	7.20
Siluriformes	Plotosidae	<i>Plotosus lineatus</i>	Striped eel catfish	157	21.6	3.32
Tetraodontiformes	Tetraodontidae	<i>Takifugu pardalis</i>	Panther puffer	2	0.3	1.70
Total				726	100	71.92
No. of species				14		

솜뱅이(*Sebastiscus marmoratus*)가 162개체(22.3%)로 가장 우점하였으며, 쓸종개(*Plotosus lineatus*)가 157개체(21.6%), 황놀래기(*Pseudolabrus sieboldi*)가 149개체(20.5%), 어랭이(*Hexagrammos agrammus*)가 62개체(8.5%), 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)이 62개체(8.5%) 순으로 우점하였다. 우점하는 5개 종의 총 출현빈도는 81.5%로 대부분을 차지하였다. 생체량을 기준으로 우점하는 종을 살펴보면, 솜뱅이의 경우 22.20 kg (30.9%)으

로 출현빈도와 동일하게 가장 우점하는 종이었다. 생체량을 기준으로 솜뱅이에 이어 황놀래기 8.46 kg (11.8%), 붕장어(*Conger myriaster*) 7.30 kg (10.2%), 볼락(*Sebastes inermis*) 7.20 kg (10.0%) 순으로 우점하였다.

잠수조사

잠수조사에서 출현한 어류는 4목 15과 29종이었다. 농어목이 22개 종으로 가장 많았고, 그 다음으로 복어목

Table 2. List of species, number of individuals (n) and frequency (%) that appeared in fish assemblage survey using SCUBA diving

Order	Family	Scientific name	Common name	N (n)	Frequency (%)
Perciformes	Apogonidae	<i>Apogon doederleini</i>	Doederlein's cardinalfish	2	< 0.1
		<i>Apogon semilineatus</i>	Half-lined cardinalfish	108	2.5
	Carangidae	<i>Seriola lalandi</i>	Yellowtail amberjack	5	0.1
	Cheilodactylidae	<i>Goniistius zonatus</i>	Spottedtail morwong	12	0.3
	Gobiidae	<i>Istigobius compbeii</i>	Campbell's goby	5	0.1
	Kyphosidae	<i>Microcanthus strigatus</i>	Stripety	3	0.1
		<i>Girella punctata</i>	Largescale blackfish	1	< 0.1
	Labridae	<i>Stethojulis terina</i>	Brokenline wrasse	3	0.1
		<i>Halichoeres poecilopterus</i>	Parajulis	211	5.0
		<i>Halichoeres tenuispinnis</i>	Motley stripe rainbowfish	121	2.9
		<i>Labroides dimidiatus</i>	Bluestreak cleaner wrasse	4	0.1
		<i>Pseudolabrus sieboldi</i>	Bambooleaf wrasse	29	0.7
		<i>Choerodon azurio</i>	Azurio tuskfish	12	0.3
		<i>Semicossyphus reticulatus</i>	Asian sheepshead wrasse	2	< 0.1
		Oplegnathidae	<i>Oplegnathus fasciatus</i>	Striped beakfish	46
	<i>Oplegnathus punctatu</i>		Spotted knifejaw	4	0.1
	Pomacanthidae	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	Bluestriped angelfish	8	0.2
		<i>Chromis notatus</i>	Pearl-spot chromis	3,500	82.6
		<i>Chromis analis</i>	Yellow chromis	2	< 0.1
	Serranidae	<i>Epinephaelus bruneus</i>	Longtooth grouper	3	0.1
<i>Pseudanthias squamipinnis</i>		Sea goldie	3	0.1	
Terapontidae	<i>Rhynchopelates oxyrhynchus</i>	Sharpbeak terapon	1	< 0.1	

Table 2. Continued

Order	Family	Scientific name	Common name	N (n)	Frequency (%)
Scorpaeniformes	Scorpaenidae	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	False kelpfish	15	0.4
		<i>Sebastes schlegeli</i>	Korean rockfish	2	< 0.1
Tetraodontiformes	Monacanthidae	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	Threadsail filefish	19	0.4
		<i>Thamnaconus modestus</i>	Black scraper	74	1.7
	Ostraciidae	<i>Ostracion immaculatus</i>	Bluespotted boxfish	6	0.1
	Tetraodontidae	<i>Canthigaster rivulata</i>	Brown-lined puffer	1	< 0.1
Zeiformes	Zeidae	<i>Zeus faber</i>	John dory	35	0.8
Total				4,237	100
No. of species				29	

이 4종, 썸뱅이목이 2종, 달고기목이 1종 순으로 출현하였다(Table 2). 출현한 총 개체 수는 4,237개체로 가장 많이 우점한 상위 5개 종은 자리돔(*Chromis notatus*)이 3,500개체(82.6%)로 가장 높게 우점하였으며, 용치놀래기(*Halichoeres poecilopterus*)가 211개체(5.0%), 놀래기(*Halichoeres tenuispinis*)가 121개체(2.9%), 줄도화돔(*Apogon semilineatus*)이 108개체(2.5%), 말쥐치(*Thamnaconus modestus*)가 74개체(1.7%) 순으로 우점하였다(Table 2). 우점하는 상위 5개 종의 총 출현빈도는 94.7%로 대부분을 차지하였다.

수중카메라를 이용한 조사

수중카메라를 이용한 어류군집 조사에서 출현한 어류는 7목 15과 30종이었다(Table 3). 수중카메라를 이용한 조사에서도 잠수조사와 유사하게 농어목이 16종으로 가장 우점하여 출현하였으며, 복어목과 썸뱅이목이 각각 6종, 나머지 동갈치목, 문어목, 실고기목, 달고기목은 각 1종씩 출현하였다. 출현한 어류의 총 개체 수는 16,832개체였으며, 우점하는 상위 5개 종에서 자리돔(*C. notatus*)이 6,244개체(37.1%)로 가장 높은 빈도로 출현하였으며, 용치놀래기(*H. poecilopterus*)가 4,755개체

Table 3. List of species, number of individuals (n) and frequency (%) that appeared in fish assemblage survey using underwater camera

Order	Family	Scientific name	Korean name	N (n)	Frequency (%)	
Beloniformes	Belonidae	<i>Strongylura anastomella</i>	Pacific needlefish	1	< 0.1	
Octopoda	Octopodidae	<i>Octopus vulgaris Cuvier</i>	Common octopus	12	0.1	
Perciformes	Apogonidae	<i>Ostorhinchus semilineatus</i>	Half-lined cardinalfish	69	0.4	
		<i>Apogon doederleini</i>	Doederlein's cardinalfish	61	0.4	
	Cheilodactylidae	<i>Goniistius zonatus</i>	Spottedtail morwong	19	0.1	
	Gobiidae	<i>Istigobius hoshinonis</i>	Hoshino's goby	180	1.1	
	Kyphosidae	<i>Microcanthus strigatus</i>	Stripey	11	0.1	
	Labridae	<i>Semicossyphus reticulatus</i>	Asian sheepshead wrasse	1	< 0.1	
		<i>Pseudolabrus eoethinus</i>	Red naped wrasse	1,924	11.4	
		<i>Halichoeres poecilopterus</i>	Parajulis	4,755	28.2	
		<i>Choerodon azurio</i>	Azurio tuskfish	41	0.2	
		<i>Pseudolabrus sieboldi</i>	Bambooleaf wrasse	842	5.0	
		<i>Pteragogus flagellifer</i>	Cocktail wrasse	52	0.3	
		<i>Halichoeres tenuispinis</i>	Motley stripe rainbowfish	2,087	12.4	
		<i>Labroides dimidiatus</i>	Bluestreak cleaner wrasse	1	< 0.1	
		Oplegnathidae	<i>Oplegnathus fasciatus</i>	Striped beakfish	1	< 0.1
		Pomacentridae	<i>Chromis notatus</i>	Pearl-spot chromis	6,244	37.1
	Serranidae	<i>Epinephaelus bruneus</i>	Longtooth grouper	1	< 0.1	

Table 3. Continued

Order	Family	Scientific name	Korean name	N (n)	Frequency (%)
Scorpaeniformes	Scorpaenidae	<i>Sebastes inermis</i>	Dark-banded rockfish	131	0.8
		<i>Sebastiscus marmoratus</i>	False kelpfish	57	0.3
		<i>Sebastes schlegeli</i>	Korean rockfish	50	0.3
		<i>Pterois lunulata</i>	Luna lion fish	30	0.2
		<i>Scorpaenopsis cirrosa</i>	Weedy stingfish	14	0.1
Syngnathiformes	Fistulariidae	<i>Fistularia commersonii</i>	Bluespotted cornetfish	1	< 0.1
Tetraodontiformes	Monacanthidae	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	Threadsail filefish	177	1.1
	Tetraodontidae	<i>Lagocephalus wheeleri</i> Abe	Green rough-backed puffer	1	< 0.1
		<i>Takifugu poecilonotus</i>	Fine-patterned puffer	3	< 0.1
		<i>Canthigaster rivulata</i>	Brown-lined puffer	2	< 0.1
		<i>Takifugu pardalis</i>	Panther puffer	3	< 0.1
Zeiformes	Zeidae	<i>Zeus faber</i>	John dory	61	0.4
Total				16,832	100
No. of species				30	

(28.2%), 놀래기(*H. tenuispinis*)가 2,087개체(12.4%), 무점황놀래기(*P. eoethinus*)가 1,924개체(11.4%), 황놀래기(*P. sieboldi*)가 842개체(5.0%) 순으로 관찰되었다(Table 3). 우점하는 상위 5개 종의 총 출현빈도는 94.1%로 대부분을 차지하였다.

어류군집 조사 방법의 비교

3가지 어류군집 조사방법에서 출현한 어류는 총 9목 23과 45종이었다 이 중에서 농어목(Perciformes)이 26종으로 가장 많았으며, 그 다음으로 복어목(Tetraodontiformes)이 7종, 썸뱅이목(Scorpaeniformes)이 6종 순으로 우점하였다. 상위 3개 목(order)에 속한 종들의 개체 수는 전체 개체 수의 약 87%를 차지하였고, 나머지 종은 장어목(Anguilliformes), 동갈치목(Beloniformes), 문어목(Octopoda), 메기목(Siluriformes), 실고기목(Syngnathiformes), 달고기목(Zeiformes)에서 각각 1종씩 출현하였다(Table 4). 어류군집 조사방법별로 분류하면 함정어구(통발)를 이용한 조사에서 6목 10과 14종, 잠수조사에서 4목 15과 29종, 수중카메라를 이용한 조사에서 7목 15과 30종이 출현하였으며, 수중카메라를 이용한 조사에서 가장 다양한 생물군이 출현하였다. 3가지 어류군집 조사에 출현한 어류 개체 수는 총 21,795개체였으며, 조사방법별로는 통발을 이용한 조사에서 726개체, 잠수조사에서 4,237개체, 수중카메라를 이용한 조사에서 16,832개체가 출현하였다. 수중카메라를 이용한 조사에서 출현한 개체 수는

통발을 이용한 조사와 비교하면 약 23배 많았으며, 잠수조사에 비해서는 약 4배 많았다.

출현한 전체 어류의 개체 수는 21,795개체로 이 중 가장 많은 개체 수를 보인 5개의 우점종은 자리돔(*C. notatus*)이 9,748개체(44.7%)로 가장 높은 출현빈도를 보였으며 용치놀래기(*H. poecilopterus*)가 4,966개체(22.8%), 놀래기(*H. tenuispinis*)가 2,237개체(10.3%), 무점황놀래기(*P. eoethinus*)가 1,936개체(8.9%), 황놀래기(*P. sieboldi*)가 1,020개체(4.7%) 순으로 출현하였다(Table 5). 상위 5개 종은 전체 개체 수 중 91.3%의 출현 비율을 보였다.

어류군집 조사에 활용된 3가지 방법을 비교하면, 잠수조사는 사람이 물 속에서 관찰되는 어류를 기록하는 방식으로 수행하며 조사면적을 대략 20 m³으로 설정하였다. 이에 반해 수중카메라를 이용한 조사는 촬영되는 화각을 고려하여 설계된 면적이 0.7 m³에 불과하여 조사면적에 있어서 큰 차이가 있었다. 총 조사시간을 기준으로 통발을 이용한 조사가 144시간으로 가장 길었고, 잠수조사가 총 1.7시간으로 가장 짧았다(Table 6). 이에 반해 수중카메라를 이용한 조사는 112시간 정도 소요되었다. 출현종 수를 비교하면, 통발을 이용한 조사에서 14종, 잠수조사에서 29종, 수중카메라를 이용한 조사에서 30종을 동정하였다. 조사시간과 함께 비교한다면 잠수조사가 가장 짧은 시간에 가장 많은 어류를 동정하였다고 판단된다. 출현한 개체 수는 수중카메라를 이용한

Table 4. Comparison of species and population (N) in the three survey methods using fish pot, SCUBA observations and underwater camera

Scientific name	Fish pots (N)	SCUBA observations (N)	Underwater camera (N)	Total No. of individuals (N)
<i>Conger myriaster</i>	6	-	-	6
<i>Strongylura anastomella</i>	-	-	1	1
<i>Octopus vulgaris</i> Cuvier	35	-	12	47
<i>Doederleinia berycoides</i>	1	-	-	1
<i>Apogon doederleini</i>	-	2	61	63
<i>Apogon semilineatus</i>	7	108	69	184
<i>Seriola lalandi</i>	-	5	-	5
<i>Goniistius zonatus</i>	-	12	19	31
<i>Istigobius compbeii</i>	-	5	-	5
<i>Istigobius hoshinonsis</i>	-	-	180	180
<i>Girella punctata</i>	-	1	-	1
<i>Microcanthus strigatus</i>	-	3	11	14
<i>Semicossyphus reticulatus</i>	-	2	1	3
<i>Stethojulis terina</i>	-	3	-	3
<i>Choerodon azurio</i>	-	12	41	53
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	-	211	4,755	4,966
<i>Halichoeres tenuispinis</i>	29	121	2,087	2,237
<i>Labroides dimidiatus</i>	-	4	1	5
<i>Pseudolabrus eoethinus</i>	12	-	1,924	1,936
<i>Pseudolabrus sieboldi</i>	149	29	842	1,020
<i>Pteragogus flagellifer</i>	-	-	52	52
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	-	46	1	47
<i>Oplegnathus punctatu</i>	-	4	-	4
<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	-	8	-	8
<i>Chromis analis</i>	-	2	-	2
<i>Chromis notatus</i>	4	3,500	6,244	9,748
<i>Epinephaelus bruneus</i>	-	3	1	4
<i>Pseudanthias squamipinnis</i>	-	3	-	3
<i>Rhynchopelates oxyrhynchus</i>	-	1	-	1
<i>Hexagrammos agrammus</i>	62	-	-	62
<i>Pterois lunulata</i>	-	-	30	30
<i>Scorpaenopsis cirrosa</i>	-	-	14	14
<i>Sebastes inermis</i>	38	-	131	169
<i>Sebastes schlegeli</i>	62	2	50	114
<i>Sebastes marmoratus</i>	162	15	57	234
<i>Plotosus lineatus</i>	157	-	-	157
<i>Fistularia commersonii</i>	-	-	1	1
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	-	19	177	196
<i>Thamnaconus modestus</i>	-	74	-	74
<i>Ostracion immaculatus</i>	-	6	-	6
<i>Canthigaster rivulata</i>	-	1	2	3
<i>Lagocephalus wheeleri</i> Abe	-	-	1	1
<i>Takifugu pardalis</i>	2	-	3	5
<i>Takifugu poecilonatus</i>	-	-	3	3
<i>Zeus faber</i>	-	35	61	96
Total	726	4,237	16,832	21,795
No. of species	14	29	30	45

Table 5. The number of species (N) and frequency (%) of the top 5 dominant species in the 3 fish survey methods used

Total	Scientific name									
	<i>Chromis notatus</i>		<i>Halichoeres poecilopterus</i>		<i>Halichoeres tenuispinis</i>		<i>Pseudolabrus eoethinus</i>		<i>Pseudolabrus sieboldi</i>	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
	9,748	44.7	4,966	22.8	2,237	10.3	1,936	8.9	1,020	4.7

Table 6. Comparison of 3 survey methods on spending time (hrs), area (m³), number of individuals per unit area per hour (inds/m³/h), and the number of species per unit area per hour (spp./m³/h)

Survey Method	Total survey time (hrs)	No. of species	No. of individuals	Survey Area (m ³)	No. of individuals per unit area per hour (inds./m ³ /h)	No. of species per unit area per hour (spp./m ³ /h)
Fish pots	144	14	726	8.8	0.57	0.01
SCUBA Observations	1.7	29	4,237	20	124.62	0.85
Underwater camera	112	30	16,832	0.7	214.69	0.38

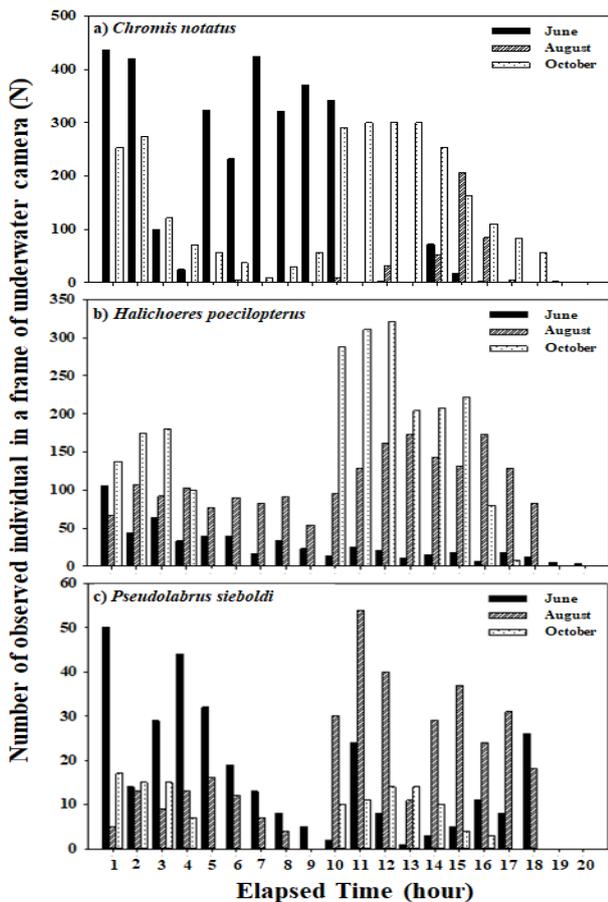


Fig. 3. Monthly comparison of the number of individuals appearing over time while filming using an underwater camera, a) *Chromis notatus*, b) *Halichoeres poecilopterus*, c) *Pseudolabrus sieboldi* method.

조사가 16,832개체로 가장 많았으며, 통발을 이용한 조사에서는 불과 726개체가 채집되었다.

3가지 어류군집 조사방법에서 출현하는 개체 수와 종수를 단위시간과 면적을 기준으로 환산하여 비교하였다 (Table 6). 단위시간당 면적대비 관찰된 개체 수(inds/m³/h)는 수중카메라를 이용한 조사에서 약 215개체로 가장 많았으며, 통발을 이용한 조사에서는 0.57개체로 나타났다. 잠수조사에는 약 125개체로 수중카메라를 이용한 조사보다는 58% 수준으로 뚜렷하게 낮은 결과를 보였다. 단위시간당 면적대비 관찰된 출현종 수(spp./m³/h)는 잠수조사가 0.85로 가장 높았고, 수중카메라를 이용한 조사는 0.38, 통발을 이용한 조사는 0.01로 통발을 이용한 조사가 현저히 낮은 결과를 보였다.

수중카메라를 이용한 조사에서 우점한 3종, 자리돔 (*C. notatus*), 용치놀래기(*H. poecilopterus*), 황놀래기 (*P. sieboldi*)에 대해 촬영하는 동안에 시간에 따라 출현하는 개체 수를 조사시기(6, 8, 10월)별로 계수하여 비교하였다(Fig. 3). 우점한 3종의 어류 모두 촬영하는 시간 동안 유사한 빈도로 출현하지 않았으며, 조사시기와 관계없이 전·후반으로 구분되는 양상을 보였다. 이는 대체로 어류의 먹이탐색 또는 섭식특성에 따른 위집현상으로 보인다.

고찰

함정어구(통발), 잠수 및 수중카메라를 이용하여 어류

군집 조사를 실시하고, 조사방법별로 확인되는 어류 종 수 및 개체 수를 계수하여 효과적인 조사방법을 제안하였다. 조사방법별 장단점 비교를 통해 각 방법에 내재되어 있는 특성과 한계를 파악하여 조사 목적과 대상에게 맞는 방법을 적절하게 선택하는 것이 중요하다는 것을 확인하고자 하였다.

함정어구(통발)를 이용한 조사는 잠수조사 및 수중카메라를 이용한 조사 결과와 비교하였을 때 조사에 투입된 시간대비 출현한 종 수 및 개체 수가 현저히 적었다. 과거 어류군집 조사는 엽애어구류인 삼중자망과 같은 그물을 이용하는 방식과 잠수조사를 병행하는 것이 일반적이었다(Cha, 2010). 수중카메라를 이용하는 어류군집 조사 역시 과거부터 많이 활용된 방식이다(Koh et al., 2004). 하지만 과거 수중카메라를 활용하는 방식은 어류전문가와 수중촬영전문가가 함께 잠수하여 육안 관찰과 촬영을 병행하는 방식으로 수행되었다. 이때 육안 관찰은 어류를 식별하고 서식 상태를 기록하는 방식이며, 촬영은 수중 사진 또는 동영상 촬영하고 육상에 올라와 촬영본을 재검토하여 도감과 대조하는 형식으로 출현종을 기록하여 분류하는 방식이다. 하지만 본 연구에서의 수중카메라를 이용한 조사는 잠수부가 개입하지 않고 수중카메라가 장착된 구조물을 수중에 정지시켜 오랜 시간 동안 촬영하는 방식으로 진행되어 어류의 위집한 상태를 상대적으로 용이하게 관찰할 수 있다는 장점을 가지며, 과거의 조사 방식보다 해양생물에 영향이 적은 조사 방식이다. 어류 등의 수산자원을 조사하는 가장 큰 목적은 주로 계절별, 해역별 분포밀도 등을 파악하여 어족자원의 관리를 위해 이루어지는데 기존의 잠수 또는 상용어구를 사용하는 방식은 이러한 목적을 달성하기 매우 어렵다.

위와 같은 직접적인 조사 방식이 아닌 간접적으로 수산자원을 조사하는 방식으로는 대부분 수협 계통판매 자료를 확보하여 수산자원 조사를 수행하는 것이 일반적이다. 하지만 자료의 누락이나 오차가 발생할 수 있는 문제점이 있다. 국가에서 시행하는 수산자원 조사의 경우 시각적으로 확인 가능한 과학어군탐지기를 이용하고 현존량 산정에 있어 정확한 정보를 위해 트롤어획조사를 동시에 병행하여 시간 및 비용 효율적으로 조사하는 방법으로 수행하듯 본 연구에서 제시하는 카메라 시스템 또한 기존 수산자원의 조사 방법에 있어 편향적이거

나 높은 비용이 드는 등의 한계를 극복할 수 있는 하나의 돌파구가 될 수 있을 것으로 기대된다.

조사방법별로 관찰된 어류를 살펴보면, 통발을 이용한 조사에서는 솜뱅이(*S. marmoratus*)가 최우점하여 일반적으로 제주해역에서 자리돔(*C. notatus*)이 우점한다는 사실과는 다른 결과를 보인 반면, 잠수조사와 수중카메라를 이용한 조사에서는 모두 자리돔(*C. notatus*)이 최우점하였다. 또한 잠수조사와 수중카메라를 이용한 조사에서 출현한 종 수는 각각 29종과 30종으로 유사하였다(Table 4). 하지만 출현종은 일부 차이가 있었으며, 이는 사람이 육안으로 관찰했을 때 특징이 뚜렷하여 동정이 상대적으로 용이하고 익숙한 종과 그렇지 않은 종의 출현에 의한 차이로 판단된다. 이러한 조사결과의 편향은 조사 방법 자체뿐만 아니라 관찰되는 종에 따른 내재된 요인으로 인해 발생할 수 있다. 또한 대부분의 방법론에서는 탐지 가능성 또는 종을 관찰할 확률이 모든 종에 대해 동일하다고 가정하지만 실제로는 식별 가능한 유형의 종으로 구성된다(Boulinier et al., 1998; MacNeil et al., 2008a; 2008b). MacNeil et al. (2008a)은 탐지 가능성에서 차이를 발생시키는 가장 큰 원인으로 종의 특성, 즉 형태적 특성과 행동에 의해 발생하는 것으로 보고하였다. 조사방법에 따른 편향을 확인하려면 추후에 각 방법에 따라 차별적으로 탐지되는 종의 유형을 먼저 확인해야 할 것이다.

잠수조사와 수중카메라를 이용한 조사에 출현한 생물 종 수는 각각 29종과 30종으로 유사한 수준이었지만, 조사시간의 효율을 고려한다면 각각 1.7시간과 112시간으로 잠수조사가 상대적으로 짧은 조사시간 동안 제한된 면적에서 더 많은 개체를 관찰하였다고 할 수 있다(Table 4, 6). 함정어구(통발)를 이용한 조사는 상대적으로 긴 조사시간 동안 출현한 종 수는 현저히 낮았다. 이는 어류의 먹이선택 또는 회피 특성에 의한 것으로 추측된다. 단위시간당 면적대비 관찰된 출현종 수를 보면, 잠수조사가 0.85로 수중카메라를 이용한 조사의 0.38 보다 약 2배 정도 높았다(Table 6). 잠수조사가 수중카메라를 이용한 조사에 비해 상대적으로 짧은 시간에 많은 종을 식별하였다. 이는 잠수조사자의 경험과 관계가 있을 것으로 판단되며, 경험이 많은 어류전문가가 잠수하여 조사하는 경우 형태적 특성이 익숙한 어종의 출현으로 짧은 시간에 많은 어종을 식별한 것으로

판단된다. 즉, 잠수조사는 조사자의 경험에 비례해 편향된 결과를 얻은 것으로 보인다. 반면 수중카메라를 이용한 조사는 잠수조사로서는 극복하기 어려운 충분한 시간동안 촬영하여 객관적인 자료를 확보할 수 있는 조사 방법이라 할 것이다.

수중카메라를 이용한 조사에서 우점한 3종의 촬영시간에 따른 출현 양상을 살펴보면, 6월에는 초기에 수중카메라의 촬영프레임에 들어오는 개체 수가 많은 반면, 8월과 10월에는 전·후반으로 구분되는 양상을 보이며, 후반에 더 많은 개체가 프레임에 접근하는 것으로 보인다(Fig. 3). 이는 어류의 전형적인 먹이탐색 및 섭식특성과 연관이 있는 것으로 보이며, 6월이 8월과 10월에 비해 수온이 오르며 더 많은 먹이의 필요성으로 인해 먹이탐색 활동이 활발했기 때문으로 사료된다. 수중카메라를 이용한 조사를 위해 설치된 프레임 구조물은 인위적으로 설치된 것으로 구조물에 대한 어류의 행동특성(어류의 위집현상 등)이 반영되어 촬영되었을 것으로 판단된다.

상용어구를 사용하거나 사람이 직접 잠수하여 출현하는 어류를 관찰 또는 촬영하는 전통적인 조사방법을 보완하기 위한 새로운 방법의 개발은 지속되어 왔다(National Research Council, 2000; Walsh et al., 2002). 특히 수중카메라를 이용하는 시각적 조사방법은 어류군집 조사와 관련하여 꾸준히 개선되었고, 어류생태학 및 자원조사를 위해 최근 많이 이용되는 추세이다(Mallet and Pelletier, 2014; Sward et al., 2019). 시각적 조사방법은 해양생물에 미치는 영향이 적고 조사에 유용하다. 특히 어획이 불가능하거나 어업이 제한되어 어류 개체의 직접적인 채집이 어려운 서식지를 대상으로 할 때 긍정적인 효과를 가져올 것으로 기대된다(Schobernd et al., 2013; McIntyre et al., 2015; Williams et al., 2010).

수중 드론, 원격조작 장비(ROV, Remotely Operated Vehicle) 또는 수중 자율운행 장비(AUV, Autonomous Underwater Vehicle)에 장착된 수중카메라는 암초, 심해 및 가스시추 또는 풍력발전을 위한 수중구조물과 같은 서식지에 대해 사람이 잠수하는 방식의 전통적인 수중 시각조사(UVC, Underwater Visual Census) 기술을 대체하고 있다(Andaloro et al., 2013; Goetze et al., 2015; Sward et al., 2019). 사람이 직접 수중에 잠수하지 않고 운용할 수 있는 수중카메라는 전통적인 방식의 수중 시각 조사와 비교하여 다음과 같은 이점을 가질 것이다:

1) 수중카메라로 촬영한 자료는 영구적인 기록으로 남길 수 있다; 2) 드론 또는 ROV의 원격조정 카메라는 잠수부가 접근할 수 없는 심해 및 상어와 같이 공격성을 가지는 위험한 어종이 출현하는 해역에서 사용할 수 있다; 3) 원격으로 운용 가능한 수중카메라의 활용은 잠수와 관련된 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다(Andaloro et al., 2013; Sward et al., 2019; Garner et al., 2021). 또한, 사람이 직접 조작하지 않는 수중카메라의 활용은 다양한 유형의 어류에 대해 전통적인 수중 시각 조사방식에서 알려져 있는 편향된 자료의 취득을 피할 수 있을 것으로 기대된다(Bernard et al., 2013; Sheaves et al., 2020). 사용되는 기술에 관계없이 수중카메라를 이용해 촬영된 많은 양의 자료는 검토와 처리에 많은 시간과 비용이 소모될 수 있는 대량의 이미지를 생성한다(Sheaves et al., 2020). 하지만 최근 기술의 발달로 이미지로부터 어류를 식별하여 동정하고 분석하는 등의 일련의 과정을 자동화하는 등 현재 많은 진전을 이루어 관련된 연구에 적용되고 있다. 수중카메라를 활용한 다양한 조사방식이 개발되어 활용되고 있지만 방식별로 장단점은 여전히 존재하고 있으므로 기술을 적용하고자 하는 해역의 특성과 조사 목표에 따라 적절한 방식이 선택되어야 하는 것은 가장 중요한 부분이다.

최근 국내에서는 신재생 에너지에 대한 높은 수요로 많은 해상풍력발전단지가 건설 및 개발 중에 있다(Oh et al., 2020; Park et al., 2021). 하지만 해상풍력발전 시설을 설치함으로써 발생하는 다양한 환경위해요인(수중소음, 전자기장, 부유사 등)에 의해 해양생태계에 미치는 악영향에 대한 많은 우려가 있다(Yoon, 2023). 본 연구는 이러한 부정적인 위해요인이 어류군집에 미치는 영향에 대해 평가를 수행하기 위해 해상풍력단지의 수중구조물에 수중카메라를 설치한 관찰 프레임을 설치하여 어류군집의 변화를 살펴보았다. 현재 해상풍력발전이 가동 중인 제주 해역은 독특한 지리적 조건으로 인해 풍부한 해양생태계와 다양한 수산생물이 서식하고 어류의 다양성은 매우 풍부한 것으로 알려져 있다(Kwak and Huh, 2007). 하지만 기존의 전통적인 방식의 어류군집 조사를 통해 해상풍력 사업으로 인한 영향을 직접적으로 파악하기 어려운 것이 현실이다. 어류군집 조사 분야에서 사람이 개입하지 않는 수중카메라의 활용은 편향되지 않은 정확한 자료를 획득할 수 있을 것으로 기대되며, 향후 지속가능한 어류

자원 관리와 보호 정책 수립에 기여할 것이다.

결론

본 연구는 제주도 인근 해역에서 어류군집 조사 방법에 따른 특징과 한계를 분석하기 위해 함정어구(통발)를 이용한 조사, 잠수조사, 수중카메라를 이용한 조사를 2021년 6, 8, 10월에 각 1회 씩 총 3회 수행하여 그 결과를 비교하였다. 조사 결과는 조사시간, 면적 등에 대한 자료를 단위시간당 면적대비 관찰된 개체 수(inds/m³/h) 및 단위시간당 면적대비 관찰된 생물종 수(spp./m³/h)로 환산하여 조사 효율 등을 비교하였다. 그 결과, 단위시간당 면적대비 관찰된 개체 수(inds/m³/h)에서는 수중카메라 조사가 214.69로 가장 높았고, 잠수 조사는 124.62, 통발 조사는 0.57 순이었다. 그리고 단위시간당 면적대비 관찰된 생물종 수(spp./m³/h)에서는 잠수 조사가 0.85로 가장 높았으며, 수중카메라 조사는 0.38, 통발 조사는 0.01 순이었다.

잠수 조사는 한정된 영역을 조사하며, 도달 가능한 깊이와 조사 시간에 제약이 따르고, 결과 분석 시 연구자의 주관적 의견이 반영될 수 있다. 따라서 편향적인 자료가 생성될 수 있다는 한계가 있다. 함정어구(통발)를 이용한 조사는 실제 어류 시료를 얻을 수 있는 이점이 있어 특정 어종의 자원량을 조사하기 위한 목적으로 많이 활용되기 때문에 조사대상이 되는 종의 어획을 위해 어구의 구조 및 재질이 다양하다. 그러나 통발을 이용한 조사는 원하지 않는 종의 포획 또는 어구의 망실 등으로 인해 서식 환경의 파괴와 수산자원 및 해양생태계에 미치는 영향 등이 문제점으로 보고되고 있다(Jeong et al., 2002; An et al., 2014; Choi et al., 2023). 통발을 이용한 조사는 다른 조사방법들과의 조합을 통해 자료의 정확성과 효율성을 높일 필요가 있다. 수중카메라를 이용한 조사는 비교적 낮은 비용, 적은 인력 요구, 낮은 위험성 등의 이점을 가지고 있어, 해양생태계의 지속적인 관찰에 적합하다. 그러나 자료 수집 영역 외의 정보를 얻을 수 없고, 장비의 손상 및 분실 가능성이 있다는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 고해상도 카메라 및 자료 전송 기술의 발전 등을 고려할 필요가 있다. 또한 수중카메라를 이용한 조사는 빠르게 다양한 자료를 획득할 수 있다는 장점이 있으며, 다른 방법들과 함께 활용함으로써 보다 종합적인 자료를 얻을 수 있을 것으로

판단된다. 그리고 장기간에 걸쳐 지속적인 관찰이 가능하며, 계절적 변화와 시간의 흐름에 따른 어류군집의 동태를 정확하게 파악하여 환경변화에 따른 어류의 분포 등 어류 생태계의 변화를 연구하는 데에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

사 사

이 논문은 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20203030020080, 해상풍력 단지 해양공간 환경 영향 분석 및 데이터베이스 구축).

References

- Andaloro F, Ferraro M, Mostarda E, Romeo T and Consoli P. 2013. Assessing the suitability of a remotely operated vehicle (ROV) to study the fish community associated with offshore gas platforms in the Ionian Sea: a comparative analysis with underwater visual censuses (UVCs). *Helgol Mar Res* 67, 241-250. <https://doi.org/10.1007/s10152-012-0319-y>.
- An HC, Bae JH, Park JM, Hong SE and Kim SH. 2014. Bycatch and discards of the whelk trap in the Uljin waters, East Sea. *J Kor Soc Fish Technol* 50, 520-529. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.4.520>.
- Bernard ATF, Gotz A, Kerwath SE and Wilke CG. 2013. Observer bias and detection probability in underwater visual census of fish assemblages measured with independent double-observers. *J Exp Mar Biol Ecol* 443, 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.02.039>.
- Bohnsack JA and Bannerot SP. 1986. A stationary visual census technique for quantitatively assessing community structure of coral reef fishes. NOAA Technical Report NMFS 41, 1-15.
- Boulinier T, Nichols JD, Sauer JR, Hines JE and Pollock KH. 1998. Estimating species richness: the importance of heterogeneity in species detectability. *Ecology* 79, 1018-1028. <https://doi.org/10.2307/176597>.
- Brock RE. 1982. A critique of the visual census method for assessing coral reef fish population. *Bull Mar Sci* 32, 269-276.
- Cha BY. 2010. Species composition and abundance of fish in the water off Geomun Island of the Southern Sea, Korea.

- Korean J Ichthyol 22, 168-178.
- Chabanet P, Dufour V and Galzin R. 1995. Disturbance impact on reef fish communities in Reunion Island (Indian Ocean). *J Exp Mar Biol Ecol* 188, 29-48. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(94\)00184-F](https://doi.org/10.1016/0022-0981(94)00184-F).
- Choi KS, Jo HS and Kang MH. 2023. Investigation on bycatch reduction methods of marine mammals for fishing with gill net, trap, trawl, stow net and set net. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 59, 279-289. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2023.59.4.279>.
- DeMartini EE, Friedlander AM, Sandin SA and Sala E. 2008. Differences in fish-assemblage structure between fished and unfished atolls in the northern Line Islands, central Pacific. *Mar Ecol Prog Ser* 365, 199-215. <https://doi.org/10.3354/meps07501>.
- Garner SB, Olsen AM, Caillouet R, Campbell MD, and Patterson WF. 2021. Estimating reef fish size distributions with a mini remotely operated vehicle-integrated stereo camera system. *Plos One* 16, e0247985. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247985>.
- Goetze JS, Jupiter SD, Langlois TJ, Wilson SK, Harvey ES, Bond T and Naisilisili W. 2015. Diver operated video most accurately detects the impacts of fishing within periodically harvested closures. *J Exp Mar Biol Ecol* 462, 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2014.10.004>.
- Hajisamae S and Chou LM. 2003. Do shallow water habitats of an impacted coastal strait serve as nursery grounds for fish?. *Estuar Coast Shelf Sci* 56, 281-290. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00162-2](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00162-2).
- Hamilton SL, Caselle JE, Malone DP and Carr MH. 2010. Incorporating biogeography into evaluations of the Channel Islands marine reserve network. *Proc Natl Acad Sci U.S.A.* 107, 18272-18277. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908091107>.
- Hong SY. 2006. Marine invertebrates in Korean Coasts. Academy Publishing Company Inc., Seoul, Korea, 1-479.
- Jeong SB, Lee JH, Kim HS, Oh TY and Choi SG. 2002. Analysis of stomach contents of sea-eel conger myriaster caught from lost plastic pot. *Bull Korean Soc Fish Tech* 38, 149-155.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyo-Hak Publishing Company Ltd., Seoul, Korea, 1-615.
- Kim MJ, Han SH, Kim JS, Kim BY and Song CB. 2014. Species composition and bimonthly changes of fish community in the coastal waters of Sagyeoi, Jeju Island. *Korean J Ichthyol* 26, 212-221.
- Ko JC, Han SH, Kim BY, Choi JH and Hwang KS. 2021. A seasonal characteristic of fish assemblage in the coastal waters Gapa-do, southern part of Jeju Island. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 57, 10-24. <https://doi.org/10.3796/ksfot.2021.57.1.010>.
- Koh JP, Go YB, Lee SJ and Kim SG. 2004. Species composition and behavioral characteristics of fishes observed around underwater cage system for the abalone, *Halotis discus* in coastal waters of Jeju Island. *Korean J Ichthyol* 16, 155-164.
- Kwak SN and SH Huh. 2007. Temporal variation in species composition and abundance of fish assemblages in Masan Bay. *Korean J Ichthyol* 19, 132-141.
- Lee GM, Lee YD, Park JY and Gwak WS. 2018. Species composition and seasonal variation of fish by SCUBA observation in the coastal water off Tongyeong, Korea. *Korean J Ichthyol* 30, 107-113. <https://doi.org/10.35399/ISK.30.2.6>.
- Lee SJ, Ko JC, Yoo JT, Im YJ, Kim BY, and Kim JI. 2009. Species composition and seasonal variation of fish assemblage of the western coastal waters of Jeju Island, Korea. *Korean J Ichthyol* 21, 167-176.
- MacNeil MA, Graham NAJ, Conroy MJ, Fonnesebeck CJ, Polunin NVC, Rushton SP, Chabanet P and McClanahan TR. 2008a. Detection heterogeneity in underwater visual census data. *Journal of Fish Biology* 73, 1748-1763. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02067.x>.
- MacNeil MA, Tyler EHM, Fonnesebeck CJ, Rushton SP, Polunin NVC and Conroy MJ. 2008b. Accounting for detectability in reef-fish biodiversity estimates. *Mar Ecol Prog Ser* 367, 249-260. <https://doi.org/10.3354/meps07580>.
- Mallet D and Pelletier D. 2014. Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: A review of sixty years of publications (1952-2012). *Fisheries Research* 154, 44-62. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.01.019>.
- McIntyre FD, Neat F, Collie N, Stewart M and Fernandes PG. 2015. Visual surveys can reveal rather different “pictures” of fish densities: Comparison of trawl and

- video camera surveys in the Rockall Bank, NE Atlantic Ocean. *Deep Sea Res I* 95, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2014.09.005>.
- Min DK, Lee JS, Koh DB and Je JK. 2004. Mollusks in Korea. Hangeul Graphics. Busan, Korea, 1-566.
- Nakabo T. 2002. Fishes of Japan with pictorial keys to the species, english edition, Tokai Univ Press, Tokyo, 1-1749.
- National Research Council. 2000. Improving the Collection, Management, and Use of Marine Fisheries Data. National Academy Press. National Academy Press, Washington, D.C., 1-236. <https://doi.org/10.17226/9969>.
- Nelson JS. 2006. Fishes of the world. 4th ed. John Wiley and Sons, Inc., New Jersey, 1-601.
- Oh HT, Yeo MY, Jung HE and Shim JM. 2020. Status and improvement of environmental impacts assessment on the marine endangered species around the coastal area of offshore wind energy - Case study of the marine mammals and sea birds - (in Korean). *J Fish Marine Sci Educ* 32, 1428-1444. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2020.12.32.6.1428>.
- Park M, Park S, Seong B, Choi Y and Jung SP. 2021. Current status and prospective of offshore wind power to achieve Korean renewable energy 3020 plan (in Korean). *J Korean Soc Environ Eng* 43, 196-205. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2021.43.3.196>.
- Sandin SA, Smith JE, DeMartini EE, Dinsdale EA, Donner SD, Friedlander AM, Konotchick T, Malay M, Maragos JE, Obura D, Pantos O, Paulay G, Richie M, Rohwer F, Schroeder RE, Walsh S, Jackson JBC, Knowlton N and Sala E. 2008. Baselines and degradation of coral reefs in the Northern Line Islands. Ahmed N, editor, *PLOS ONE* 3, e1548. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001548>.
- Schobernd ZH, Bachele, NM and Conn PB. 2013. Examining the utility of alternative video monitoring metrics for indexing reef fish abundance. *Can J Fish Aquat Sci* 71, 464-471. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0086>.
- Sheaves M, Bradley M, Herrera C, Mattone C, Lennard C, Sheaves J and Konovalov DA. 2020. Optimizing video sampling for juvenile fish surveys: Using deep learning and evaluation of assumptions to produce critical fisheries parameters. *Fish and Fish* 21, 1259-1276. <https://doi.org/10.1111/faf.12501>.
- Song MY, Kim JI, Kim ST, Lee JH and Lee JB. 2012. Seasonal variation in species composition of catch by a coastal beam trawl in Jinhae Bay and Jinju Bay. *J Korean Soc of Fisheries Technol* 48, 428-444. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.4.428>.
- Sward D, Monk J and Barrett N. 2019. A systematic review of remotely operated vehicle surveys for visually assessing fish assemblages. *Front Mar Sci* 6, 134. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00134>.
- Walsh S, Engas A, Ferro R, Fonteyne R and Marlen B. 2002. To catch or conserve more fish: the evolution of fishing technology in fisheries science. *ICES Mar Sci Symp* 215, 493-503. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.8887>.
- Williams K, Rooper CN and Towler R. 2010. Use of stereo camera systems for assessment of rockfish abundance in untrawlable areas and for recording pollock behavior during midwater trawls. *Fishery Bulletin* 108, 352-362.
- Yoon YG. 2023. Measurement and monitoring of underwater noise generated by operational offshore wind turbine in Southwest offshore wind farm. Doctoral dissertation, Hanyang university, Korea, 1-103.
- Zgliczynski BJ, Williams ID, Schroeder RE, Nadon MO, Richards BL, Sandin SA. 2013. The IUCN Red List of Threatened Species: an assessment of coral reef fishes in the US Pacific Islands. *Coral Reefs* 32, 637-650. <https://doi.org/10.1007/s00338-013-1018-0>.