

제주도 북부 북촌리 연안에서 어획된 어류군집의 장기변화(2012~2022)

고준철* · 김보연 · 한송헌 · 김민선 ·곽정현
국립수산과학원 아열대수산연구소 연구원

Long term variations of fish assemblage in the coastal waters Bukchon-ri, northern part of Jeju Island from 2012 to 2022

Jun-Cheol KO*, Bo-Yeon KIM, Song-Heon HAN, Min-Sun KIM and Jung-Hyun KWAK

Researcher, Subtropical Fisheries Research Institute, NFIS, Jeju 63068, Korea

Long term variations of fish assemblage in the coastal waters of Bukchon-ri were determined using samples collected by trammel net from 2012 to 2022. Water temperature increased by 0.4°C in 2022 that was less than 2012. During the survey period, a total of 95 species (53 families and 15 orders) of fishes were identified, Scorpaeniformes (five families and 22 species) and Perciformes (25 families and 39 species) accounted for 73% of the total number. The number of species was higher in summer than winter, showing a peak in summer at 66 species and lower in winter and autumn at 45 species. The number of individuals and the biomass peaked in summer at 1,238 individuals and 280.1 kg, and were the lowest in autumn at 597 individuals and 155.4 kg. The annual diversity index, evenness index and richness index were appeared 2.11-2.80, 0.64-0.80 and 4.70-7.34 at each years. The dominance index were appeared highest in 2014 while 2021 were appeared the lowest in 2017. The subtropical fishes were identified total of 38 species (40.0%) and the number of species was higher in 2022 at 22 (52.4%) species and lower in 2015-2017 at each 10 (31.3-37.0%) species. The dominant species of subtropical fishes were appeared rabbit fish (*Siganus fuscescens*), boxfish (*Ostracion immaculatus*), smallscale blackfish (*Girella melanichthys*), flag fish (*Goniistius zonatus*), stripey (*Microcanthus strigatus*), rock porgy (*Oplegnathus punctatus*), and bluestriped angelfish (*Chaetodontoplus septentrionalis*) in study sites.

Keywords: Jeju Island, Fish assemblage, Species composition, Subtropical fishes

서론

제주도 연안은 남해안과 같이 내만이 아닌 완만한 해

안선과 개방형 해안지형이고, 연안은 20~30 m 내외로 수심이 완만하지만, 외해역은 100 m 이상 급경사를 이

Received 18 September 2023; Revised 17 October 2023; Accepted 27 October 2023

*Corresponding author: kjc3410@korea.kr, Tel: +82-64-750-4375, Fax: +82-64-743-5883

Copyright © 2023 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

루는 깊은 수심에 의해 시기적, 계절별로 외해수의 직접적인 영향을 받는다. 제주도 북부연안의 해황은 남해 연안수 및 대마난류수의 직접적인 영향을 받고, 여름철 양자강 유출수와 겨울철 황해 저층 냉수들이 시기적으로 세력을 달리하며, 복잡하고, 다양한 해황 상태를 나타낸다(Rho, 1985; Cho, 1988; Kim and Rho, 1994). 또한, 연안역을 따라 해류, 조류와 지형적 영향으로 연안역과 외해역 사이에 조석전선이 형성되고, 지형성 용승현상에 의해 북부연안에 좋은 어장이 형성된다(Kim et al., 1998; Ko et al., 2003).

최근, 제주도 해양환경 특성은 겨울철 수온 상승을 기반으로 아열대 해양생물을 비롯한 다양한 수중생물이 공존 · 서식하는 아열대 해양생태계로 진행되고 있고(Jang et al., 2006), 제주도 남부연안을 중심으로 서식하던 아열대 해양생물들이 제주도 전 연안으로 확산되는 추세로 열대 및 아열대 해역 기원 해양생물 및 새로운 미기록 종들의 유입이 많아지고 있다(Kim and An, 2010; Choi and Lee, 2010). 대만 및 오키나와 주변해역에서 열대 및 아열대 해양생물 수송 역할을 담당하는 대마난류수에 의해 제주해역에는 새로운 해양생물 유입과 종 다양성이 높게 나타난다. 또한, 제주도 주변해역에서 성질이 다른 이질적 수괴들의 직 · 간접적인 영향으로 인해 다양한 해양생물들이 제주연안에 서식하는 중요한 요인이 되고 있다(Snelgrove and Butman, 1994; Yang et al., 2007).

최근, 제주도 연안의 어류상은 남부연안에 위치한 유 · 무인섬을 중심으로 아열대 어류 및 미기록종 어류들이 꾸준히 유입되어 서식하고 있으며, 이들 어류들은 남부연안의 해양환경에 적응하면서 연안 북상회유를 하며, 서식지를 동, 서 및 북부연안으로 확장하고 있다. 또한, 제주연안에 서식하던 어류들이 남해안과 경남 연안 및 동해 연안까지 북상하여 서식하는 등 제주도 연안은 새로운 종들의 유입과 그 어종들이 정착하여 서식하고, 지리적 분산을 위해 북상하는 등 어류 군집구조가 확연히 변하고 있다(Ko et al., 2021). 어류 군집에 관한 선행 연구 결과로는 함덕 연안(Go and Shin, 1988), 서귀포 대정 및 남부 연안(Go and Shin, 1990; Choi et al., 2003), 차귀도 연안(Lee et al., 2009), 문섬 주변(Myoung, 1997; Choi and Lee, 2013), 제주도 연안(Ko et al., 2015), 제주도 남부 가파도 연안(Ko et al., 2021) 등이 있다. 하지만,

기 보고된 결과들 중 복잡한 해양환경 특성을 나타내는 제주 북부연안을 대상으로 조사된 연구는 미비하였고, 대부분 단기간에 조사된 결과로써 특히, 최근들어 기후 변화에 의해 빠르게 변화하는 해양생태계와 그 공간에서 치열한 서식경쟁으로 어종의 다양성 변화를 파악하기 위한 장기간 모니터링 연구는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구는 지난 10년(2012~2022년)간에 걸친 해양환경과 어획시험조사 모니터링 결과를 토대로 북부연안에 서식하는 어류의 종조성, 아열대성 어류 분포 상태 및 연도별 군집 장기변화 등을 종합적으로 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

제주도 북부연안(조천읍 북촌리)의 어류군집 장기변화를 파악하기 위해 2012년부터 2022년까지 10년 동안 2, 5, 8, 11월에 계절별로 해양환경과 어획시험 조사를 실시하였다(Fig. 1). 조사해역의 해양환경을 파악하기 위한 수온, 염분은 어선에서 수온 · 염분측정기(YSI, 6600-V2)로 표 · 저층 해수를 취수하여 현장에서 측정 및 기록하였다. 어획시험에 이용한 그물은 삼중자망(1 폭: N/Y, 외망 450 mm, 내망 75 mm, 길이 35 m, 높이 2.5 m) 10폭(총 350 m)을 사용하여, 조류가 잔잔한 조금 시기에 맞춰 당일 오후 3시경에 투망하고, 다음날 오전 7시경 양망하였다.

어선에서 확보된 전체 시료는 냉장 보관함에 넣어 측정실로 이동한 후 The Korean Society of Systematic Zoology (1997), Kim et al. (2001), Masuda et al. (1992), Nakabo (1993)에 따라 분류체계와 종 동정을 하였고, 전체 시료에 대해 개체수 및 전중량(g)을 측정 및 기록하였다.

시료로 확보된 어류들 중 아열대성 어류에 대한 정의는 이전 연구(Ko et al., 2015), <http://www.fishbase.org>, 국내 · 외 어류도감을 참고하여 분포 중심해역이 대만과 오키나와 주변의 열대 및 아열대 해역에서 서식하는 어종으로 하였다.

우점지수는 McNaughton (1967)에 전중량을 이용하여 분석하였고, 종다양성 분석은 Shannon and Wiener (1949)의 종다양도지수(Species diversity index, H'), Pielou (1969)의 균등도(E')와 Margalef (1958)의 종풍도지수(R)를 사용하였다. 연도별 종다양도는 K-dominance 곡선으로 비교하였고(Lambshead et al., 1983), 연도별

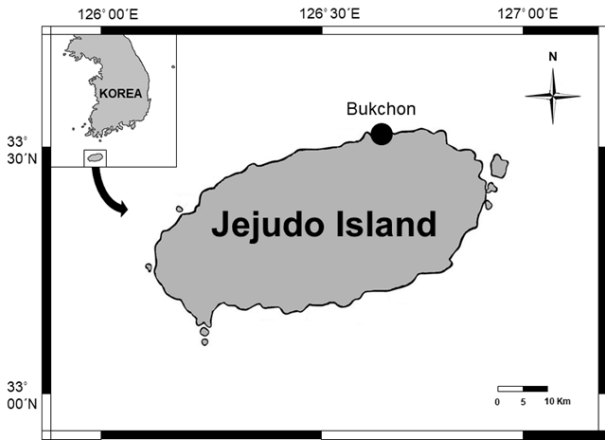


Fig. 1. A map of sampling site in Jeju Island, from 2012 to 2022.

출현어종 유·무를 분석하여 유사도(similarity)로 나타냈다(Bray and Curtis, 1957). 그룹 간 유의차는 SIMPROF (similarity profile) test 로 분석하였고, 확인된 그룹 간 유의차는 SIMPER (Similarity percentage) 분석하여 각 그룹 간 비유사도(dissimilarity)에 기여하는 종을 추출하였다. 이와 같은 결과들의 산출 및 도식화는 PRIMER version 6 (Clarke and Gorley, 2006)를 이용하여 분석하였다.

결 과

해양환경 변화

2012년부터 2022년까지 계절별(동계; 2월, 춘계; 5월, 하계; 8월, 추계; 11월) 표·저층 평균수온은 17.4~19.4℃ 범위였다(Fig. 2). 연 평균수온은 2012년에 17.4℃, 2013년 18.1℃, 2014년 18.6℃, 2015년 17.7℃, 2016년 17.6℃, 2017년 19.4℃, 2018년 18.1℃, 2019년 18.8℃, 2020년 18.6℃, 2021년 19.0℃, 2022년 17.8℃로 2017년 평균수온(19.4℃)이 가장 높고, 2012년(17.4℃)에 가장 낮게 나타났다. 장기간 평균 수온변화는 2012년 대비 2022년에 0.4℃ 상승한 것으로 나타났으며, 겨울철 수온 변화는 2016년 이전에 비해 2017~2022년까지 0.8℃ 상승한 것으로 나타났다.

표·저층 평균염분은 32.2~34.0 psu 범위였다. 연도별 평균은 2012년에 33.1 psu, 2013년 33.6 psu, 2014년 33.4 psu, 2015년 32.2 psu, 2016년 33.5 psu, 2017년 33.8 psu, 2018년 34.0 psu, 2019년 33.4 psu, 2020년

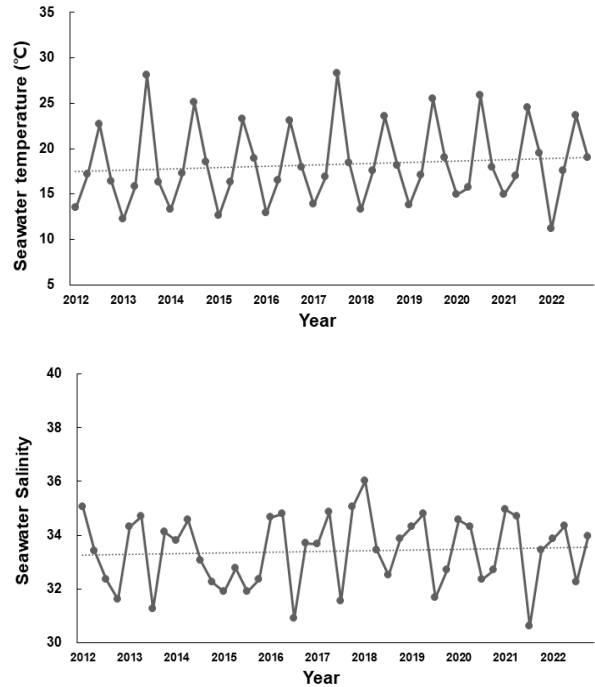


Fig. 2. Annual variations of Temperature (°C) and Salinity at study site in the coastal waters of Bukchon-ri.

33.5 psu, 2021년 33.4 psu, 2022년 33.6 psu으로 2018년 평균염분(34.0 psu)이 가장 높고, 2015년(32.2 psu)에 가장 낮게 나타났으며, 평균 염분변화는 2012년 대비 2022년에 0.05 psu 상승한 것으로 나타났다.

연도별 종조성

2012년부터 2022년까지 삼중자망에 의해 어획된 어류는 총 95종, 3,562개체, 820.1 kg이었다(Table 1). 어획종수는 2012~2017년까지 27~36종이었지만, 2018년부터 어획종수가 증가하여 2021년에 43종으로 가장 높게 나타났다. 개체수는 2019년 469개체로 증가하여 2020년에 597개체로 가장 많았고, 2013년과 2015년에 각각 184개체로 가장 낮았다. 전중량은 2020년에 112.0kg으로 가장 높았고, 2019년과 2022년에 각각 102.8kg, 108.5kg으로 비교적 많았고, 2013년과 2015년에 41.5 kg 및 44.5 kg으로 적었다.

조사기간 동안 총 15목 53과 95종이 어획되었으며, 농어목(Perciformes)어류가 25과 39종으로 전체 어획된 어종 중 어획비율이 36.4%로 높았고, 다음으로는 썸뱅이목(Scorpaeniformes) 어류가 5과 22종, 점유율 36.3%

로 나타났다(Appendix 1, 2). 개체수 우점종은 쥐치 (*Stephanolepis cirrhifer*)가 810개체(22.7%)로 가장 많았고, 다음으로 썸뱅이(*Sebastes marmoratus*)가 730개체 (20.5%), 볼락(*Sebastes inermis*)이 260개체(7.3%), 참돔 (*Pagrus major*)이 210개체(5.9%), 고등어(*Scomber japonicus*)가 127개체(3.6%)의 순으로 나타났다. 생체량 우점종은 썸뱅이가 148.4 kg (18.1%), 쥐치가 112.4 kg (13.7%), 참돔이 61.6 kg (7.5%), 볼락 54.5 kg (6.6%), 아홉동가리 (*Goniistius zonatus*)가 33.0 kg (4.0%)의 순이었다.

연도별 어획현황은 2012년 307개체/80.6 kg, 2013년 184개체/41.6 kg, 2014년 230개체/55.9 kg, 2015년 184개체/44.5 kg, 2016년 269개체/57.5 kg, 2017년 254개체 /56.9 kg, 2018년 368개체/83.8 kg, 2019년 469개체 /102.8 kg, 2020년 597개체/112.0 kg, 2021년 305개체 /75.9 kg, 2022년 395개체/108.5 kg 으로 어획총수는 2021년에 가장 높았고, 개체수 및 생체량은 2020년에 각각 높게 나타났다. 썸뱅이목 어류는 2016년과 2017년 에 각각 6종, 5종이며 이외의 시기에 어획되었던 9~11종 에 비해 가장 낮게 나타났고, 농어목 어류는 2016년에 12종으로 가장 낮았지만, 2018년 이후부터 18~21종으로 조사기간 초반부에 비해 증가한 것으로 나타났다.

2012~2022년까지 연도별로 매년마다 어획된 종은 7 종이었고, 어종은 썸뱅이, 쥐치, 참돔, 줄복(*Takifugu*

Table 1. Annual variations of species composition, number of individual and biomass of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Bukchon-ri from 2012 to 2022

Year	Species	Individual	Biomass (kg)
2012	36	307	80.6
2013	35	184	41.6
2014	34	230	55.9
2015	32	184	44.5
2016	28	269	57.5
2017	27	254	56.9
2018	40	368	83.8
2019	36	469	102.8
2020	39	597	112.0
2021	43	305	75.9
2022	42	395	108.5
Total	95	3,562	820.1

pardalis), 독가시치(*Siganus fuscescens*), 범돔(*Microcanthus strigatus*) 및 아홉동가리로 나타났다. 한해를 제외한 9 년간 어획된 종은 3종으로 개볼락(*Sebastes pachycephalus*), 거북복(*Ostracion immaculatus*) 및 황놀래기(*Pseudolabrus sieboldi*), 8년간 어획된 종은 6종으로 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 볼락, 벵에돔(*Girella punctata*), 강담돔(*Oplegnathus punctatus*), 긴꼬리벵에돔(*Girella leonina*) 및 썩감펍 (*Scorpaenopsis cirrhosa*)으로 조사되었다.

아열대 어류 출현현황

출현종수 기준으로 조사기간 동안 총 95종으로 이 중 아열대 어류는 38종으로 전체의 40.0% 출현율을 나타냈고, 개체수 기준의 경우 총 3,562개체 중 아열대 어류는 664개체로 전체의 19.0% 비율을 나타냈다(Fig. 3A). 연도별 출현종수 기준 어획현황은 2013년 어획종 35종, 아열대 어류 16종(45.7%), 2015년 어획종 32종, 아열대 어류 10종(31.3%), 2018년 어획종 40종, 아열대 어류 19종(47.5%), 2019년 어획종 36종, 아열대 어류 14종 (38.9%), 2022년 어획종 42종, 아열대 어류 22종(52.4%)으로 아열대 어류 출현율은 2018년 이후부터 증가한 것

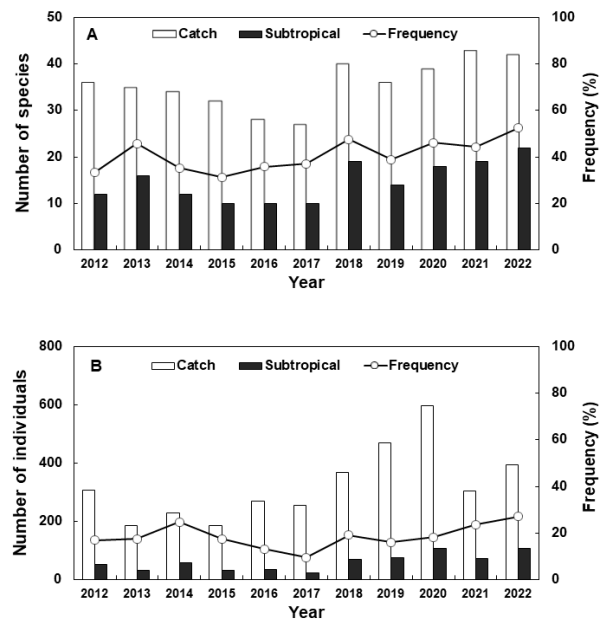


Fig. 3. Annual variations of number of species (A) and number of individuals (B) at total catch and subtropical species collected by trammel net in the coastal waters of Bukchon-ri from 2012 to 2022.

으로 나타났으며, 특히, 최근 3개년(2020~2022년) 동안 전체 어획 어종수를 비롯한 아열대 어종수도 증가하여 아열대 어류 출현비율이 44.2~52.4%로 조사기간 중 가장 높게 나타났다. 아열대 어종 개체수 비율의 경우 2012~2017년까지 13.0~24.8%로 낮았지만, 2018년부터 전체 어획 개체수 증가와 유사하게 아열대 어류 개체수도 증가하기 시작하였고, 특히, 2021~2022년 아열대 어류 개체수 비율은 23.6~27.1%로 조사기간 중 가장 높게 나타났다(Fig. 3B). 또한, 북촌리 연안에서 서식하고 있는 아열대 어류에 대한 개체수 우점종은 아홉동가리, 독가시치, 긴꼬리뱅에돔, 청줄돔(*Chaetodontoplus septentrionalis*), 범돔, 거북복, 강담돔(*Oplegnathus punctatus*) 등 이었고, 이들 어종은 북촌리 연안에서 연중 어획되는 어종으로 조사되었다.

우점종

연도별 우점종을 살펴보면, 2012년 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 참돔, 제3 우점종 독가시치, 제4 우점종 썸뱅이, 제5 우점종 망상어(*Ditrema temmincki*) 순이었으며 우점지수(DI)는 9.4~18.2 범위로 이들 종은 전체

개체수의 58% 이상을 차지하였다(Table 2).

2013년 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 볼락, 제3 우점종 썸뱅이, 제4 우점종 고등어, 제5 우점종 인상어(*Neoditrema ransonneti*) 순이었으며 DI는 3.8~22.3 범위로 전체 개체수의 65% 이상이었다. 2014년 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 썸뱅이, 제3 우점종 긴꼬리뱅에돔, 제4 우점종 검은볼락(*Sebastes ventricosus*), 제5 우점종 뱅에돔 순이었으며 DI는 5.7~24.3 범위로 전체 개체수의 57% 이상 이었다. 2015년 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 썸뱅이, 제3 우점종 검은볼락, 제4 우점종 참돔, 제5 우점종 볼락 순이었으며 DI는 6.5~26.6 범위로 전체 개체수의 66% 이상이었다. 2016년 제1 우점종은 썸뱅이, 제2 우점종 멸치(*Engraulis japonicus*), 제3 우점종 쥐치, 제4 우점종 참돔, 제5 우점종 망상어 순이었으며 DI는 5.9~16.0 범위로 전체 개체수의 63% 이상이었다. 2017년 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 썸뱅이, 제3 우점종 참돔, 제4 우점종 볼락, 제5 우점종 뱅에돔 순이었으며, DI는 2.4~29.5 범위로 전체 개체수의 82% 이상이었다. 2018년 제1 우점종은 썸뱅이, 제2 우점종 쥐치, 제3 우점종 볼락, 제4 우점종 범돔, 제5 우점종 아홉동가리

Table 2. Annual variations of dominant species and community dominance index (DI) of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Bukchon-ri from 2012 to 2022

Year	No. 1 dominant species	DI	No. 2 dominant species	DI	No. 3 dominant species	DI	No. 4 dominant species	DI	No. 5 dominant species	DI
2012	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	18.2	<i>Pagrus major</i>	11.4	<i>Siganus fuscescens</i>	9.4	<i>Sebastes marmoratus</i>	9.4	<i>Ditrema temmincki</i>	9.4
2013	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	22.3	<i>Sebastes inermis</i>	16.8	<i>Sebastes marmoratus</i>	14.7	<i>Scomber japonicus</i>	7.6	<i>Neoditrema ransonneti</i>	3.8
2014	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	24.3	<i>Sebastes marmoratus</i>	13.0	<i>Girella lionina</i>	7.4	<i>Sebastes ventricosus</i>	6.5	<i>Girella punctata</i>	5.7
2015	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	26.6	<i>Sebastes marmoratus</i>	17.4	<i>Sebastes ventricosus</i>	8.2	<i>Pagrus major</i>	7.1	<i>Sebastes inermis</i>	6.5
2016	<i>Sebastes marmoratus</i>	16.0	<i>Engraulis japonicus</i>	15.2	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	14.9	<i>Pagrus major</i>	10.8	<i>Ditrema temmincki</i>	5.9
2017	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	29.5	<i>Sebastes marmoratus</i>	26.4	<i>Pagrus major</i>	16.9	<i>Sebastes inermis</i>	6.7	<i>Girella punctata</i>	2.4
2018	<i>Sebastes marmoratus</i>	28.5	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	24.2	<i>Sebastes inermis</i>	11.7	<i>Microcanthus strigatus</i>	4.9	<i>Goniistius zonatus</i>	3.3
2019	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	31.8	<i>Sebastes marmoratus</i>	23.0	<i>Sebastes inermis</i>	12.8	<i>Goniistius zonatus</i>	4.1	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	3.0
2020	<i>Sebastes marmoratus</i>	22.1	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	19.6	<i>Scomber japonicus</i>	17.8	<i>Sebastes inermis</i>	7.4	<i>Girella lionina</i>	4.5
2021	<i>Sebastes marmoratus</i>	24.3	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	21.6	<i>Pagrus major</i>	8.5	<i>Sebastes inermis</i>	6.6	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	5.6
2022	<i>Sebastes marmoratus</i>	21.0	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	18.0	<i>Sebastes inermis</i>	11.1	<i>Goniistius zonatus</i>	7.3	<i>Thamnaconus modestus</i>	6.6

순이었으며, DI는 3.3~28.5 범위로 전체 개체수의 73% 이상이었다. 2019년 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 썸뱅이, 제3 우점종 볼락, 제4 우점종 아홉동가리, 제5 우점종 청줄돔 순이었으며, DI는 3.0~31.8 범위로 전체 개체수의 75% 이상이었다. 2020년 제1 우점종은 썸뱅이, 제2 우점종 쥐치, 제3 우점종 고등어, 제4 우점종 볼락, 제5 우점종 긴꼬리병에돔 순이었으며, DI는 4.5~22.1 범위로 전체 개체수의 75% 이상이었다. 2021년 제1 우점종은 썸뱅이, 제2 우점종 쥐치, 제3 우점종 참돔, 제4 우점종 볼락, 제5 우점종 청줄돔 순이었으며, DI는 5.6~24.3 범위로 전체 개체수의 67% 이상이었다. 2022년 제1 우점종은 썸뱅이, 제2 우점종 쥐치, 제3 우점종 볼락, 제4 우점종 아홉동가리, 제5 우점종 말귀치 순이었으며, DI는 6.6~21.0 범위로 전체 개체수의 64% 이상이었다.

군집지수

상위 5% 이상 우점종 합에 전체 개체수로 환산한 우

점도 지수(DI)는 0.61~0.80 범위로 2013년에 낮고, 2017년에 높은 값을 보였으며, 2018년 이후부터 0.64~0.68 범위로 조사기간 초반에 비해 비교적 높게 나타났다 (Table 3). 종 다양도 지수(H')는 2.11~2.80 범위로 2017년에 낮았고, 2014년에 높게 나타났으며, 2012~2014년까지 조사기간 초반에 높은 값을 보인 이후 2017~2019년까지 중반에 낮게 나타나다 2021~2022년에 증가한 것으로 나타났다. 종수와 진중량에 따라 변화하는 균등도 지수(E')는 0.64~0.80 범위로 2016년에 가장 높게 나타났고, 종 다양도 지수 경향과 유사하게 조사기간 초반에 높게 나타나다 중반에 감소한 후 2020~2022년에 증가한 것으로 나타났다. 종 풍부도 지수(R)는 4.70~7.34 범위로 2017년에 낮고, 2021년에 가장 높게 나타났으며, 조사기간 중반에 낮은 값을 보인 후 최근(2021~2022년)에 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 계절별 군집지수 변화의 경우 우점지수는 추계에 높았고, 종 다양도와 균등도 및 종 풍부도 지수는 다른 계절에 비해 하계에 가장 높게 나타났다.

Table 3. Variations of community indices of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Bukchon-ri from 2012 to 2022

Year, Season	Year, Season											Year, Season			
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Winter	Spring	Summer	Autumn
Dominance index (DI)	0.74	0.61	0.62	0.66	0.68	0.80	0.64	0.68	0.67	0.67	0.64	0.68	0.59	0.52	0.72
Diversity index (H')	2.79	2.73	2.80	2.61	2.68	2.11	2.47	2.35	2.55	2.72	2.77	2.60	2.88	3.02	2.54
Evenness index (E')	0.78	0.77	0.79	0.75	0.80	0.64	0.67	0.66	0.70	0.72	0.74	0.68	0.72	0.72	0.66
Richness index (R)	6.11	6.52	6.25	5.94	4.83	4.70	6.60	5.69	5.95	7.34	6.86	7.04	8.02	9.27	6.63

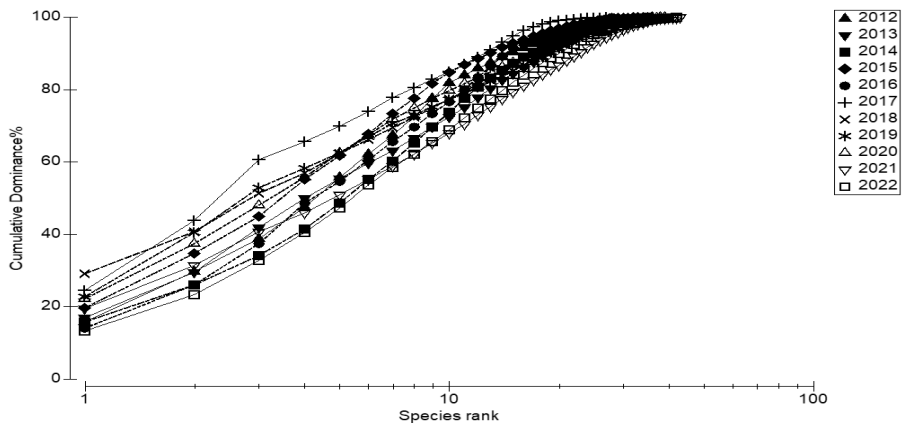


Fig. 4. K-dominance curves (x-axis logged) of total biomass of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Bukchon-ri from 2012 to 2022.

어획종의 전체 전중량을 사용하여 우점종에 대해 K-dominance 곡선으로 연도별 종 다양도를 비교하여 분석하였다(Fig. 4) K-dominance 곡선상 60% 이내에 포함된 종수를 연도별로 살펴보면, 2012년에 5종, 2013년 6종, 2014년 6종, 2015년 5종, 2016년 6종, 2017년 3종, 2018년 4종, 2019년 4종, 2020년 4종, 2021년 7종, 2022년 7종으로 나타나 연도별 종 다양도는 2017년에 가장 낮고, 2021년과 2022년에 가장 높게 나타났다. 또한, 연도별 전중량 최상위 우점종은 2012년에 독가시치, 2013년에 볼락, 2014년과 2015년에 쥐치로 나타났고, 2016년부터 2022년까지 썸뱅이로 나타났다.

유사도

연도별 유사도 분석 결과 3개 그룹으로 나뉘었고, 그룹 A (2012~2013년)와 그룹 B (2014~2017년) 및 그룹 C (2018~2022년)로 구분 되었다(Fig. 5). 그룹 A와 그룹 B는 48.0%, 그룹 A와 그룹 C는 51.6%, 그룹 B와 그룹 C는 45.1%의 유사도를 나타냈다(SIMPROF test, P<0.05). 3개로 구분된 그룹간의 차이(비유사성, dissimilarity)에 기여 종을 추출하기 위해 SIMPER 분석한 결과, A~C 그룹간 비유사도에 기여한 종은 볼락, 우

럭볼락, 썸뱅이, 청줄돔 등으로 나타났다.

고찰

제주도 북부해역은 연중 대마난류수와 한국 남해 연안수의 영향을 받으며, 동계 북서계절풍에 의한 황해 저층 냉수 및 하계 양자강 유출수 등이 계절별로 변화하면서 복잡한 해황(Rho, 1985; Cho, 1988; Kim and Rho, 1994)을 띄게 된다. 외해역에서 이러한 이질 수괴들의 혼합과 연안역의 가파르고 돌출된 해저지형에 의해 외해역과 연안역 경계에 조석전선이 형성되어 외해역과 성질이 다른 저온·고염의 연안수가 제주도 북부연안에 영향을 미친다(Kim et al., 1998). 조사기간(10년간) 동안 전체 연평균 수온은 18.3℃였으며, 2017년에 가장 높고(19.4℃), 2012년에 가장 낮게(17.4℃) 관측된 값을 제외하면 18.1~19.0℃ 범위로 연도별 수온변화는 2016년 이전까지 낮게 나타난 반면, 2017~2022년까지 점차 증가한 것으로 나타났다. 조사기간 동안의 연평균 수온변화는 2012년 대비 2022년에 0.4℃ 상승하였다. 특히, 겨울철 수온변화의 경우 2012~2016년까지 12.9℃였지만, 2017~2022년까지 13.7℃로 최근, 겨울철 수온이 2016년 이전에 비해 0.8℃ 상승한 것으로 나타났다. 선행된

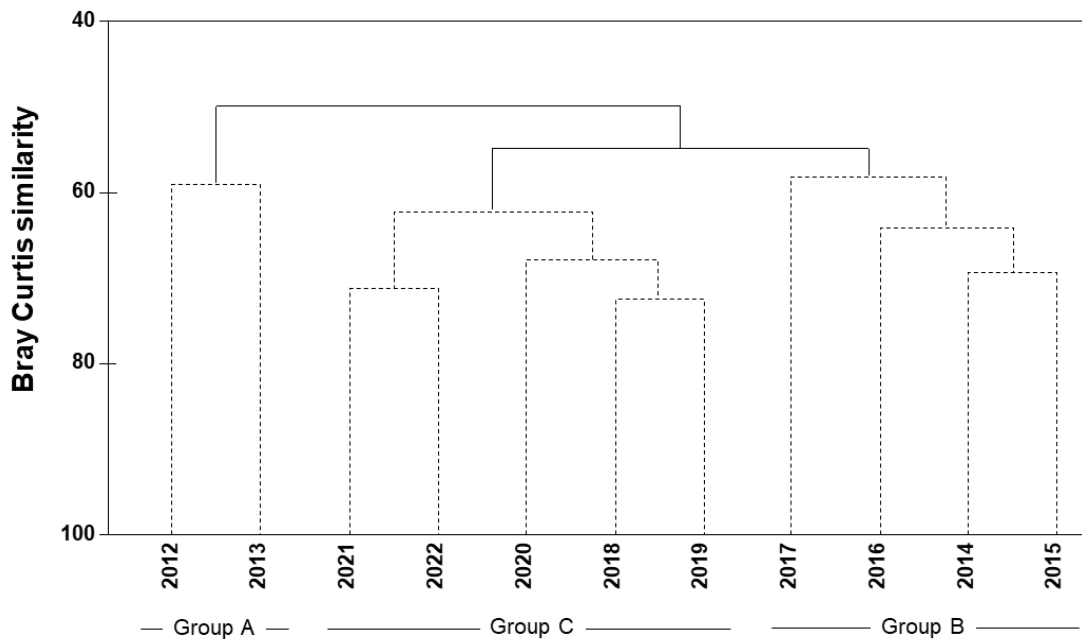


Fig. 5. Results of cluster analysis performed on Bray Curtis similarity from standardized species absence transformed data. The dotted lined indicate no significant difference among 11 years (SIMPROF test).

제주도 연안 4개 해역의 어류 군집연구(Ko et al., 2015)에 의하면, 본 연구와 동일한 조사해역에서 2년간(2012~2013) 평균수온은 17.8℃였고, 제주도 남부 가파도 어류 군집연구(Ko et al., 2021)의 경우 5년간(2015~2019) 평균수온은 19.1℃였다. 이처럼 제주도 본섬 연안 중 지리적 위치와 계절적 영향에 의해 수온이 가장 낮게 나타나는 북부연안이지만, 앞선 선행 연구기간(2012~2013년, 17.8℃)의 평균수온에 비해 0.5℃ 증가한 것으로 나타났다. 이러한 수온 증가 요인은 전 세계적인 기후변화에 의해 동중국해에서 북상하는 대마난류수 세력의 확장에 따라 수온 변동폭이 크게 나타나는 특정시기(2017, 2021년) 발생 횟수 증가로 조사기간 초반(2012~2013년)에 비해 수온이 상승한 것으로 판단된다.

제주도 북부연안에서 10년간 조사된 어류는 총 15목 53과 95종이었고, 연도별로 어획종수 변화를 살펴보면, 2012~2017년까지 27~36종으로 평균 32종이 어획되었고, 2018~2022년까지 36~43종으로 평균 40종이 어획되었다. 이처럼 조사기간 중반(2014~2016년)까지는 어획종수가 적었지만, 조사기간 중·후반(2018~2020년)에 들어 어획 종수가 증가한 요인을 현장에서 조사된 수온 측정값과 비교해 보면, 조사기간 중반 여름, 겨울철 평균 수온은 각각 23.8℃, 12.9℃였고, 같은 계절 중·후반의 경우 24.9℃, 14.0℃로 2018~2020년의 평균수온이 각각 1.1℃ 상승한 것으로 나타났다. 이처럼, 수온 증감에 따른 서식처의 물리적 환경변화는 해양생물의 생존 및 성장에 영향을 미치고, 자원량과 재생산력에까지 영향이 전달된다(Funamoto et al., 2013; Yoo et al., 2015). 특히, 조사해역은 제주도 연안 중 수온이 가장 낮은 해역이지만, 겨울철 수온 상승이 북부연안에 유입되어 서식하는 어류들의 생존을 증가에 기인함으로써 조사기간 후반에 출현 종수가 증가한 것으로 판단된다.

본 연구에서 출현한 95종과 제주도 연안에서 선행된 어류군집 및 어류상에 대한 연구결과와 비교해 보면, 제주도 함덕 연안 36종(Go and Shin, 1990), 서귀포 연안 36종(Go and Shin, 1988), 차귀도 연안 81종(Lee et al., 2009), 제주연안 4개 정점에서 83종(Ko et al., 2015) 및 제주남부 가파도 연안 50종(Ko et al., 2021)으로 이전 연구들은 조사기간이 짧거나 단기간에 한정된 조사로 인해 어획종수가 적게 나타났지만, 본 연구에서는 조사기간 중·후반에 어종수 증가와 더불어 10년 동안의 장

기간 조사로 높은 어획종수를 나타냈다. 전체 조사기간 동안 매년 어획된 어종은 7종(독가시치, 범돔, 솜뱅이, 아홉동가리, 줄복, 쥐치, 참돔), 한해를 제외한 전 기간에 어획된 어종은 3종(개볼락, 거북복, 황놀래기), 두해를 제외한 전 기간에 어획된 어종은 6종(강담돔, 긴꼬리붕에돔, 넙치, 뱅에돔 볼락, 썩감뽕)으로 이들 16종의 어종은 본 연구해역을 대표하는 우점종이면서 해마다 증가하는 개체로 인해 북부연안의 어류군집 구조에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한, 어종수 및 개체수 변화를 계절별로 살펴보면, 동계 45종(597개체), 춘계 54종(842개체), 하계 66종(1,238개체), 추계 45종(885개체)으로 어종수 및 개체수 모두 춘계부터 증가하기 시작하여 하계에 가장 높았고, 이후 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 수온이 높게 형성되는 하계에 어류 종조성이 증가한다는 기존 연구와 유사한 경향을 나타냈다(Ko et al., 2015; Ko et al., 2021).

제주도 북부 연안에서 어획된 어류들의 연도별 우점종 변화를 살펴보면, 최상위 우점종은 쥐치 및 솜뱅이였고, 이들 어종은 전체 어종 중 16~32% 이상의 점유율을 차지하며 북부 연안에 서식하는 대표종으로 나타났다. 2012, 2013년 및 2016년을 제외한 제1, 2 우점종은 쥐치와 솜뱅이로 이들 어종이 최상위 우점종 이었고, 제3~5 우점종은 다른 어종들이 연도별로 교차하면서 다양한 우점 양상을 나타냈다. 특히, 2012~2017년까지 제3~5 하위 우점종은 참돔, 볼락, 망상어 등 온대성 어류들이 차지한 반면, 2018~2022년까지 하위 우점종은 아홉동가리, 청줄돔, 범돔 등 아열대 어류들이 우점 양상을 나타냈다. 제주연안 4개 정점 어류군집 연구(Ko et al., 2015)에 의하면 북부연안의 제1~5 우점종은 쥐치, 볼락, 솜뱅이, 참돔, 망상어의 순으로 아열대 어류 없이 대부분 온대성 어류가 차지하였으며, 본 연구의 제1~3 우점종과 같은 양상이었다. 그러나, 본 연구의 2018~2022년에 나타난 제4~5 하위 우점종에 아열대 어류들이 포함된 요인으로는 제주도 남쪽 연안에서 서식하는 아열대 어류들이 수온 증가에 따른 지리적 확산에 의해 연안을 따라 북상 회유를 하면서 북부연안까지 서식장을 확장한 것과 2017년 이전에 비해 아열대 어류 개체수 증가로 2018년도 이후 우점을 증가에 기인한 것으로 판단된다.

연도별 군집지수 변화는 우점도 지수(DI) 0.61~0.80, 종 다양도 지수(H') 2.11~2.80, 균등도 지수(E') 0.64~

0.80, 종 풍부도지수(R) 4.70~7.34으로 우점도 지수는 2017년에 가장 높았고, 종다양도 지수, 균등도 지수 및 풍부도 지수는 2014년, 2016년, 2021년에 각각 높게 나타났다. 그러나, 조사기간 중 어획종수가 27종으로 가장 낮은 결과를 나타낸 2017년의 경우 우점도 지수를 제외한 다른 군집지수는 조사기간 동안 유일하게 가장 낮게 나타났다. 이처럼 군집지수가 가장 낮게 나타난 시기의 어획종수 차이를 그해에 관측된 수온 측정값과 비교해 보면, 2017년도 평균수온은 19.4℃로 조사기간 중 최고치를 나타냈으며, 특히, 하계 관측 수온의 경우 28.3℃로 다른 시기에 비해 가장 높게 나타났다. 제주도 연안 4개 정점의 어류군집 연구(Ko et al., 2015)에 의하면 서식처의 어류군집 특성 중 종조성에 영향을 미치는 해양환경 요인으로 적정한 수온 범위 및 영양염류 농도 형성 유·무에 따라 어류 군집구조가 변화한다 하였고, 이러한 결과에 의해 본 연구에서 나타난 평균 수온 범위 이상의 환경이 형성되었던 특정 시기에 어획종수 및 군집지수가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 한편, 계절별 군집지수 변화는 춘계 이후 수온 증가와 함께 출현종수, 개체수 및 전중량이 많아지는 하계에 가장 높게 나타났다.

제주도 주변 해역은 전 세계적 기후변화 및 대마난류 수 세력확장으로 동계 수온이 다른 계절에 비해 뚜렷이 상승하고 있고, 이로 인해 열대 및 아열대 해역에서 유입되어 서식하는 해양생물들의 생존율이 지속적으로 증가하여 기존 온대성 어류들과 시·공간적 경쟁 구도를 띄면서 제주도 연안 어류군집 구조에 변화를 초래하고 있다 (Jang et al., 2006; Choi and Lee, 2010). 조사기간 동안 아열대 어류는 총 38종이 어획되었으며, 총 어획된 어종(95종) 중 40% 출현율을 나타냈다. 연도별로 2017년 이전에 비해 2018년~2022년까지 19~22종(48~52%)으로 2018년부터 출현종 및 아열대 어종수가 증가한 것으로 나타났고, 계절별 아열대 어류 출현율은 동계에서 춘계까지 36~39%, 하계 47%, 추계 40%로 하계에 가장 높고, 추계까지도 높은 출현율을 나타냈다. 기존 결과들에 의하면, 차귀도 연안의 아열대 어류 출현율은 48%(Lee et al., 2009), 제주도 4개 연안 49% (Ko et al., 2015), 제주도 남부 가파도 연안 50% (Ko et al., 2021)였고, 본 연구의 아열대 어류 출현율은 40%로 기존 연구에 비해 낮게 나타났다. 그러나, 선행 연구결과의 조사해역은 제주도

연안 중에서 비교적 수온이 높은 곳들이고, 본 연구는 제주도 중에서도 수온이 가장 낮게 형성되는 해역임을 감안 한다면, 아열대 어류 출현율 40%의 비율은 낮은 것이 아니라 제주도 연안 전체 출현율 중에서 최소 범위에 속하는 해역이며, 연도별 출현율 결과에서도 나타났듯이 2020~2022년까지 최근 아열대 어류 출현율이 44~52%로 증가된 결과를 해석해 보면, 아열대 어류 유입과 서식은 계절별 수온 변화와 관계없이 제주도 연안 전체 해역에서 나타나고 있어, 해역별 아열대 어류 출현율은 평균화 단계로 변화하는 양상이라 할 수 있다.

어획시험 결과 중 분류군별 우점율이 높은 어류는 농어목, 썸뱅이목 어류로 점유율은 각각 36.4%, 36.3%로 유사한 결과를 보였다. 제주도 북부연안은 지리적 해역 특성상 수온이 낮은 해역으로 기존 온대성 어류들의 우점양상이 다른 해역에 비해 높게 나타나게 되고, 기 보고된 제주도 가파도 연안의 썸뱅이목 어류 18%, 제주도 연안 4개 정점의 썸뱅이목 어류 21%, 제주도 서부연안 17%로 본 연구의 썸뱅이목 어류 비율이 높게 나타났다. 이에 반해 농어목 어류는 제주도 가파도 연안 58%, 제주도 연안 4개 정점 43%, 제주도 서부연안 52%로 본 연구의 농어목 어류 36% 비율은 낮다고 볼 수 있지만, 북부연안에서 조사된 농어목 어류(39종) 중 아열대 어류가 22종이 나타난 결과를 볼 때 농어목, 썸뱅이목 어류의 점유율이 유사하게 나타난 것은 수온 등 해양환경의 변화와 아열대성 어류를 비롯한 농어목 어류의 출현종수 증가와 함께 기존 온대성 어류들과 공존하는 서식지 특성에 기인한 것으로 판단된다.

제주도 연안 해양생태계는 지난 수년전부터 아열대화로 진행되어 왔으며 열대 및 아열대해역 기원 해양생물들의 유입, 사멸, 적응 및 서식을 통해 아열대 해양생태계 기반 환경으로 변화함은 물론, 최근 다양한 연구 활동을 통해 제주도 연안의 어류 군집구조 특성이 밝혀지고 있다. 이처럼 제주도 연안은 기존 온대성 어류와 아열대성 어류들 사이에서 복잡하고 다양한 서식처 경쟁구도 양상을 보이며, 계절별 해양환경 변화에 적응하면서 안정된 재생산을 통해 지속적인 지리적 분산과 복상이 예상된다. 따라서, 제주도 연안 및 주변해역을 중심으로 현재의 어류군집 생태연구를 비롯한 유입 가능한 어종 및 복상이 예상되는 어종 등 재생산 및 성장 등 생태학적 연구 필요성이 중요하다 할 수 있다.

결론

제주도 북부 북촌리 연안에서 서식하는 어류의 군집 구조와 계절적 변동을 파악하기 위해 2012년부터 2022년까지 삼중자망을 이용하여 어획물 종조성 및 계절변화를 분석하였다. 수온은 2012년 대비 2022년에 0.4℃ 상승하였다. 조사기간 동안 총 15목 53과 95종이 어획되었으며 썸뱅이목(5과 22종), 농어목(25과 39종) 어종이 전체 어획종의 73%를 차지하고 있었다. 시기별 어획종수는 고수온기인 8월에 66종으로 가장 많이 어획되었고, 저수온기인 2월과 11월에 45종으로 가장 적게 어획되었다. 시기별 어획 개체수와 생체량은 8월에 1,238개체, 280.1 kg으로 가장 높았으며, 2월에 597개체, 155.4 kg으로 낮았다. 연도별 종다양도(H'), 균등도(E') 및 풍부도(R) 지수의 범위는 각각 2.11~2.80, 0.64~0.80, 4.70~7.34로 2017년에 낮고, 2014, 2021년에 높게 나타났다. 아열성 어류는 총 38종, 출현율 40.0%로 나타났으며, 연도별 어획종수는 2022년에 22종(52.4%)으로 가장 많이 어획되었고, 2015~2017년에 10종(31.3~37.0%) 가장 적었다. 조사해역에서 어획된 아열대성 어류의 주요 우점종은 독가시치, 거북복, 긴꼬리벵에돔, 아홉동가리, 범돔, 강담돔, 청출돔 등으로 나타났다.

사사

본 연구는 국립수산물품질관리원 아열대수산물연구소 「제주 주변 연근해어업 및 환경생태조사 R2023012」의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

Bray RJ and Curtis JT. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol Monogr* 27, 325-349. <https://doi.org/10.2307/1942268>.

Cho YK. 1988. A study on the bottom water and transport in the south sea Korea. M.S. Thesis, Seoul National University, Korea, 55.

Choi Y, Oh JK and Ra HK. 2003. Fish fauna of the southern coastal waters in Jeju-do, Korea. *Kor J Ichthyol* 15, 120-126.

Choi Y and Lee HH. 2013. The fish fauna of little Munsom in Jeju-do, Korea. *Kor J Environ Biol* 31, 45-52.

Choi Y and Lee HH. 2010. Redescription of the glassye

snapper *Heteropriacanthus cruentatus* (Perciformes: Priacanthidae) from the coastal waters of Jeju Island, Korea. *Kor J Ichthyol* 22, 126-128.

Clarke KR and Gorley RN. 2006. PRIMER V6: user manual/tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, U.K, 1-190.

Funamoto T, Yamamura O, Kono T, Hamatsu T and Nishimura A. 2013. Abiotic and biotic factors affecting recruitment variability of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) off the Pacific coast of Hokkaido, Japan *Fish Oecol* 22, 193-206.

Go YB and Shin HS. 1988. Species occurrence and food chain of fisheries resources, nekton, on the coast of Pukchon, Cheju Island. I. Species composition and diversity. *J Kor Fish Soc* 21, 131-138.

Go YB and Shin HS. 1990. Species composition and diversity of fisheries resources, nekton off the coast of Hawsun, Southern part of Cheju Island. *Kor J Ichthyol* 2, 36-46.

Jang SM, Kim SS, Choi YC and Kim SG. 2006. A study of correlations between air-temperature of Jeju and SST around Jeju Island. *Kor J Mar Environ Energy* 9, 55-62.

Kim BJ and An JH. 2010. New record of blenny *Omobranchus loxozonus* (Perciformes: Blenniidae) from Jeju Island, Korea. *Kor J Ichthyol* 22, 61-64.

Kim IO and Rho HK. 1994. A study on China coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island, *J Kor Fish Soc* 27, 515-528.

Kim SH, Rho HK and Choi CM. 1998. A study of the hydrographic conditions and tidal front on the northern coastal area of Cheju Island. *J Kor Fish Soc* 31, 437-446.

Kim YU, Myoung JG, Kim YS, Han KH, Kang CB and Kim JG. 2001. Marine fishes of Korea. Hanguel Graphics, Pusan, 1-382.

Ko JC, Kim BY, Kim MJ, Park SE, Kim JB and Cho HK. 2015. A seasonal characteristic of marine environment and fish assemblage in the coastal waters Jeju Island, Korea from 2012 to 2013. *J Kor Fish Mar Sci Edu* 27, 327-352. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.2.319>.

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>.

Ko JC, Kim JT, Kim SH and Rho HG. 2003. Fluctuation

- characteristics of temperature and salinity in coastal waters around Jeju Island, Korea. *J Kor Fish Soc* 36, 306-316. <https://doi.org/10.5657/kfas.2003.36.3.306>.
- Lambshhead PJD, Platt H M and Shaw KM. 1983. The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *J Nat Hist* 17, 859-874.
- 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. *Kor J Ichthyol* 21, 167-176.
- Margalef DR. 1958. Information theory in ecology. *General systems* 3, 36-71.
- Masuda H, Amaoka K, Araga C, Uyeno T and Yoshino T. 1992. *The fishes of the Japanese archipelago*. Tokai University Press. Tokyo, pls 378, 456.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California grassland. *Nature* 216, 168-169.
- Myoung JG. 1997. The fish fauna of Munsom in Cheju-do, Korea. *Kor J Ichthyol* 9, 5-14.
- Nakabo T. 1933. *Fishes of Japan with pictorial keys to the species*. Tokai University Press, Tokyo, 1474.
- Pielou EC. 1969. An introduction to mathematical ecology, 291-331. <https://doi.org/10.2307/2528618>.
- Rho HG. 1985. Studies on marine environmental of fishing ground in the waters around Jeju Island. Ph.D. Thesis, Tokyo University, Japan, 215.
- Shannon CE and Wiener W. 1949. *The mathematical theory of communication*. University Illinois Press, Chicago, 125.
- Snelgrove PVR and Butman CA. 1994. Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. *Oceanogr Mar Biol: an annual review* 32, 111-177.
- The Korean society of systematic zoology. 1997. *List of animals in Korea (excluding insects)*. Academy Press. Seoul, 200-480.
- Yang MH, Moon TS, Yoo JT, Ko JC and Chang DS. 2007. Species appearance and seasonal variation of macrobenthic invertebrate in the coastal water of Chagwi-do, Jeju Island. *Kor J Malacol* 23, 235-243.
- Yoo HK, Byun SB, Yamamoto J and Sakurai Y. 2015. The effect of warmer water temperature of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) Larvae. *J Kor Soc Mar and Saf* 21, 339-346. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738136>.

Appendix 1. Annual variations in species composition, number of individual and biomass (kg) of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Bukchon-ri from 2012 to 2022

Species	Years		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		Total		
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	
<i>Triakis scyllium</i>																					1	0.9			1	0.9	
<i>Okamejei boesemani</i> +																					3	2.3	3	2.1	6	4.4	
<i>Okamejei kenoei</i>																					1	0.8			1	0.8	
<i>Dasyatis akajei</i> +												1	1.3			1	0.8						1	3.6	3	5.7	
<i>Dasyatis matsuburai</i>					1	1.7																			1	1.7	
<i>Urolophus aurantiacus</i>					1	0.3				1	0.3			2	0.7			2	0.5	3	1.1	9	4.0	18	7.0		
<i>Engraulis japonicus</i>	21	0.4							1	<0.1	41	0.5														63	0.9
<i>Plotosus lineatus</i> +	1	0.1																								1	0.1
<i>Aulopus japonicus</i> +			1	0.1																						1	0.1
<i>Trachinocephalus myops</i>							2	0.5													3	1.0			5	1.5	
<i>Lophiomus setigerus</i>	1	1.2												1	2.7											2	3.9
<i>Lophius litulon</i>											1	0.6	1	3.3									1	1.5	3	5.3	
<i>Histrio histrio</i> +										1	0.3						3	0.8					2	0.4	6	1.5	
<i>Mugil cephalus</i>							2	4.5																		2	4.5
<i>Monocentris japonica</i> +	1	<0.1												1	0.1											2	0.1
<i>Zeus faber</i>	2	0.5	2	1.5									2	0.3	3	0.7	1	0.4	4	1.0	2	1.0	1	0.3	17	5.7	
<i>Fistularia commersonii</i> +																							1	1.0	1	1.0	
<i>Inimicus japonocu</i>	2	0.9	3	1.3												5	1.8			8	1.6	3	1.1	21	6.7		
<i>Scorpaena miostoma</i> +			1	0.1														4	0.4	2	0.2	4	0.3	11	1.0		
<i>Scorpaena neglecta</i> +																				1	0.3				1	0.3	
<i>Scorpaenodes littoralis</i> +	3	0.3	3	0.4																						6	0.7
<i>Scorpaenopsis cirrhosa</i> +	3	1.3	1	0.2	1	0.7	2	0.7					3	1.8	4	1.6	1	0.3	3	1.1	1	0.2	19	7.8			
<i>Sebastes hubbsi</i>	27	6.7	31	7.0	4																					67	14.5
<i>Sebastes ventricosus</i>					15	2.2	15	2.6	15	2.9			4	0.8	12	2.4	9	1.6				12	3.6	82	16.1		
<i>Sebastes inermis</i>					10	2.2	12	2.5	10	1.9	17	2.9	43	9.0	60	12.7	44	8.6	20	3.8	44	10.8	260	54.5			
<i>Sebastes pachycephalus</i>	6	1.7	5	0.7	3	0.3	4	0.4	9	1.9	1	0.1	6	0.8	13	3.8	7	2.5			1	0.1	55	12.1			
<i>Sebastes schlegelii</i>	14	4.3	1	0.6			2	0.8			1	1.1			2	0.9				3	2.8			23	10.6		
<i>Sebastiscus marmoratus</i>	29	6.9	27	5.3	30	5.8	32	6.7	43	8.1	67	13.9	105	24.4	108	23.3	132	24.8	74	14.7	83	14.5	730	148.4			
<i>Sebastes oblongus</i>	2	0.2	1	0.2			1	0.1					1	0.1												0.6	
<i>Inegocia japonica</i>																		1	0.6	1	0.5			2	1.2		
<i>Cociella crocodila</i>																				2	0.9	5	2.4	7	3.2		
<i>Platycephalus indicus</i>					1	0.6																			1	0.6	

Appendix 1. Continued

Species	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		Total		
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	
<i>Hexagrammos agrammus</i>									4	1.6													4	1.6	
<i>Hexagrammos otakii</i>	2	0.9					1	0.4	1	0.6	1	1.2	1	0.4	2	1.8	1	0.3					9	5.4	
<i>Pseudobleinnius cottoides</i> +							1	<0.1					1	<0.1									2	0.1	
<i>Gymnoanthus intermedius</i>					1	0.3																	1	0.3	
<i>Pseudobleinnius percoides</i>	2	0.1			1	0.1	1	0.1					1	0.1	3	0.3	3	0.3					11	0.9	
<i>Vellitor centropomus</i> +																					3	0.9	3	0.9	
<i>Liparis tanakai</i>	1	0.2			2	4.0																	3	4.2	
<i>Lateolabrax japonicus</i>	6	4.2																					6	4.2	
<i>Epinephelus bruneus</i> +					2	0.4	2	0.7	1	0.4			1	1.5	3	4.5					1	1.2	10	8.7	
<i>Epinephelus poecilnotus</i> +			2	0.6	9	2.6							1	0.2									12	3.3	
<i>Sillago japonica</i>																					1	0.1	1	0.1	
<i>Scombrops boops</i>							1	0.1												1	<0.1		2	0.1	
<i>Apogon semilineatus</i> +	1	<0.1									1	<0.1											2	0.1	
<i>Seriola dumerili</i> +											4	2.2					3	1.3	6	3.1	1	0.2	14	6.8	
<i>Seriola lalandi</i>															1	0.4							1	0.4	
<i>Seriola quinqueradiata</i>					1	0.5									1	1.3	1	0.6					3	2.4	
<i>Trachurus japonicus</i>					2	<0.1					1	<0.1	3	0.1	2	<0.1	9	0.4	1	<0.1			18	0.6	
<i>Parapristipoma trilineatum</i> +																				1	0.3	1	0.3	2	0.6
<i>Pagrus major</i>	35	11.2	3	0.7	12	2.9	13	4.6	29	6.6	43	9.5	11	2.4	3	1.6	18	7.7	26	7.0	17	7.3	210	61.6	
<i>Lethrinus haematopterus</i> +									2	1.2										1	0.6		3	1.8	
<i>Parupineus ciliatus</i> +															1	0.4	3	0.8	2	0.9			6	2.2	
<i>Pempheris japonica</i> +									5	0.4			2	0.1			2	0.1	1	0.1	1	<0.1	11	0.8	
<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i> +			2	0.3										5	0.9	14	2.1	11	2.1	17	2.5	11	1.6	60	9.4
<i>Girella leonina</i> +			4	1.1	17	3.6	9	1.4	4	1.9	6	2.4	1	0.2			27	5.6	2	0.5	5	1.3	75	18.0	
<i>Girella punctata</i>	4	1.6	2	1.0	13	4.6	1	0.2	8	2.4	6	2.4	5	2.2	6	1.6	1	0.3					46	16.3	
<i>Microcanthus strigatus</i> +	4	0.2	2	0.1	3	0.2	1	0.1	3	0.3	1	0.1	18	1.7	5	0.5	10	0.7	1	0.1	2	0.2	50	4.2	
<i>Rhncopelates oxyrhynchus</i> +													1	0.2									1	0.2	
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	1	0.4	2	0.5	3	1.1					3	1.1	5	1.1	9	2.3				1	0.5	2	0.5	26	7.6
<i>Oplegnathus punctatus</i> +			1	0.3	2	0.6	1	0.3			1	0.2	2	0.3	6	1.5	4	1.5	7	2.0	7	2.6	31	9.3	
<i>Goniistius zonatus</i> +	2	1.0	5	1.2	9	2.7	6	1.9	2	0.5	3	1.6	12	4.6	19	5.6	9	3.0	7	4.0	29	6.9	103	33.0	
<i>Ditrema temmincki</i>	29	3.9	1	0.1	8	1.2	6	0.9	16	1.9	1	0.2	6	0.8	1	0.1	7	1.2					75	10.3	
<i>Neoditrema ransometi</i>			7	1.0																			7	1.0	

Appendix 1. Continued

Species	Years		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		Total	
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Chromis notata</i> +			1	<0.1	1	<0.1									3	0.1	3	0.1	9	0.2			8	0.2	25	0.7
<i>Choerodon azurio</i> +			2	1.4														1	1.1	5	2.1	10	5.3	18	10.0	
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	1	<0.1			1	0.1	1	0.1																	3	0.3
<i>Semicossyphus reticulatus</i>	2	3.7	3	3.4	2	0.9				5	6.4			2	1.5	5	4.5	1	1.3	2	1.5	5	3.7	27	26.8	
<i>Pseudolabrus sieboldi</i> +	2	0.3			1	0.1	1	0.2	2	0.2	1	0.1	2	0.2	3	0.3	3	0.3	3	0.2	3	0.3	3	0.3	21	2.1
<i>Pteragogus flagellifer</i>							1	<0.1			1	0.1									1	<0.1			3	0.1
<i>Pseudolabrus eoethimus</i> +	2	0.5												1	0.1										3	0.6
<i>Suezichthys gracilis</i> +																			1	<0.1					1	0.1
<i>Zoarces gilli</i> +			1	0.5																					1	0.5
<i>Dictyosoma burgeri</i>	1	<0.1																							1	0.1
<i>Uranoscopus japonicus</i>																							1	0.3	1	0.3
<i>Siganus fuscescens</i> +	29	12.7	1	0.3	9	1.4	7	3.0	7	3.4	2	1.2	7	2.1	3	1.6	11	4.7	3	1.0	2	1.4	81	32.8		
<i>Prionurus scalprum</i> +													1	1.0											1	1.0
<i>Scomber japonicus</i>			14	1.8							6	0.5					106	12.0	1	0.2				127	14.4	
<i>Paralichthys olivaceus</i>	5	5.1	4	2.2	4	4.1	1	0.2	1	0.8			4	4.7			1	0.6	2	1.4	2	2.8	24	21.9		
<i>Hippoglossoides pinetorum</i>										1	0.1														1	0.1
<i>Kareius bicoloratus</i>																						1	0.9	1	0.9	
<i>Pleuronectes schrenki</i>											1	0.9													1	0.9
<i>Pleuronectes yokohamae</i>															1	1.0									1	1.0
<i>Pleuronichthys cornutus</i>																					3	0.6			3	0.6
<i>Zebrias fasciatus</i>							1	0.3	1	0.3															2	0.6
<i>Paraplagusia japonica</i>			1	0.1																					1	0.1
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	56	7.5	41	5.2	56	8.8	49	8.7	40	6.9	75	11.0	89	9.7	149	18.2	117	17.0	66	9.1	72	10.3	810	112.4		
<i>Thamnaconus modestus</i>	4	0.5	3	0.8	1	0.3							3	0.6	2	0.2	19	3.5	9	1.7	26	8.4	67	15.9		
<i>Ostracion immaculatus</i> +	3	0.9	4	1.1	2	0.4	2	0.5	8	2.1	4	1.0	7	1.8	6	1.5			5	1.9	6	2.1	47	13.1		
<i>Canthigaster rivulatus</i> +															1	0.1	1	0.2							2	0.3
<i>Takifugu niphobles</i>							1	0.1																	1	0.1
<i>Takifugu pardalis</i>	2	1.0	1	0.5	1	0.2	4	1.8	8	3.5	3	1.1	2	0.8	4	1.4	3	1.1	1	0.5	1	0.7	30	12.6		
<i>Takifugu poecilonotus</i>									1	0.2					4	0.7	3	0.8	1	0.3	1	0.3	10	2.2		
<i>Diodon holocanthus</i> +	1	0.3	1	0.3	1	0.3							1	0.2	6	1.4	5	2.0	2	0.6	5	2.8	22	7.8		
Total	307	81	184	42	230	55	184	44	269	57	254	57	368	84	469	103	597	112	305	76	395	108	3,562	820		
Number of species	36		35		34		32		28		27		40		36		39		43		42		95			

N, number of individuals; W, biomass(kg); +, subtropical fish.