

제주도 서부 신창리 연안의 어류군집 특성

고준철* · 김보연 · 한송헌 · 김민선 ·곽정현

국립수산과학원 아열대수산연구소

Characteristics of Fish Assemblage in the Coastal Waters of Sinchang-ri in the Western Region of Jeju Island

Jun-Cheol Ko*, Bo-Yeon Kim, Song-Heon Han, Min-Sun Kim and Jung-Hyun Kwak

Subtropical Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Jeju 63068, Republic of Korea

The fish assemblage characteristics in the coastal waters of Sinchang-ri in the Western region of Jeju Island were determined using trammel net samples collected from 2012 to 2022. During the survey period, 81 fish species (43 families, 12 orders) were identified. Tetraodontiformes (4 families, 9 species) and Perciformes (26 families, 57 species) accounted for 84% of the total number. Annual species variation was highest in 2017 and 2019 (36 species) and lowest in 2015 (26 species). Seasonal species variation was higher in summer (peak, 58 species) than winter (peak, 41 species). The number of individuals (1,509) and biomass (446.5 kg) peaked in August (summer) and were lowest in February (winter; 415 individuals, and 150.7 kg). 41 (50.6%) subtropical fish species were identified, and the number of species was highest in 2020 {21 (61.8%) and lowest in 2014, 2017 [16–18 (47.1–47.4%)]}. Subtropical fish species, individuals and biomass were significantly correlated with environmental factors (summer temperatures) at the sampling sites. Scarbreast tuskfish *Choerodon azurio*, balloon fish *Diodon holocanthus*, flag fish *Goniistius zonatus*, bluestriped angelfish *Chaetodontoplus septentrionalis*, hairy stingfish *Scorpaenopsis cirrhosa*, threeline grunt *Parapristipoma trilineatum*, and blackfin sweeper *Pempheris japonica* were the dominant species of subtropical fish in the study sites.

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

서론

제주도 주변해역은 대마난류수, 황해저층냉수 및 양자강유출수 등 성질이 각기 다른 수괴들이 계절별로 영향을 미치고, 이러한 수괴는 계절풍 및 외해역과 연안역의 불규칙한 해저지형에 의해 강제혼합되면서 연안의 해황을 복잡하고, 다양하게 변화시킨다(Kim and Rho, 1994). 또한, 제주도 서부연안은 비양도, 차귀도 등 유·무인 섬들이 위치하고 있고, 가파른 수심 경사에 따라 지형성 용승현상이 자주 발생해 다른 연안에 비해 부영양화 해역이면서 기초 생산력이 높게 나타난다(Pang and Kim, 1993). 이처럼, 제주도 서부해역은 다양한 수괴 분포와 복잡한 물성 구조를 띄며 서해와 남해 및 동중국해를 연결하는 해역이며, 특히, 제주도를 포함해 남해 및 서해안의 해양환경 변화를

진단하고, 예측하는데 중요한 해역으로 최근, 해황특성을 파악하는 위한 관심이 높아지고 있다(Kang and Moon, 2022).

제주도 연안의 해양생태계는 수온상승과 더불어 남부연안을 중심으로 아열대 해양생물들이 지속적으로 유입되어 서식하고 있으며, 특히, 겨울철 수온상승은 아열대 해양생물의 서식처 환경 적응성을 높이고, 출현종수 및 개체수 증가에 영향을 미치는 등 아열대 해양생태계로 변화하고 있다(Ko et al., 2023). 이처럼, 제주도 연안에 열대 및 아열대 해양생물의 가입과 서식에 가장 큰 영향을 미치는 수괴는 대만 및 오키나와 부근해역에서 북상하는 대마난류수라 할 수 있으며, 이 난류수에 편승되어 다양한 아열대 해양생물들의 유입 및 서식 증가로 인해 해양생물 군집 및 어류 군집양상도 변하고 있다(Choi and Lee, 2010; Kim and An, 2010). 최근, 제주연안에 서식하는 어류 중

*Corresponding author: Tel: +82. 64. 750. 4375 Fax: +82. 64. 743. 5883

E-mail address: kjc3410@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0467>

Korean J Fish Aquat Sci 57(4), 467-478, August 2024

Received 4 March 2024; Revised 4 April 2024; Accepted 7 May 2024

저자 직위: 고준철(연구사), 김보연(연구원), 한송헌(연구사), 김민선(연구원), 곽정현(연구사)

아열대성 어류의 출현빈도는 해마다 증가하여 연중 서식하는 어종들이 늘어나고 있으며, 수온이 증가하는 여름철에 출현종수, 개체수 및 생체량 증가 경향이 뚜렷이 나타나게 되고(Lee et al., 2009), 가을철까지 그 양상이 유지되고 있다(Ko et al., 2021). 또한, 온대성 어류에 비해 아열대성 어류들이 포함된 농어목(Perciformes) 어류들의 우점 현상이 점차 높아지고 있으며, 남부연안을 중심으로 서식하였던 아열대성 어류들이 북부연안으로 서식처를 확장하는 등 어류 군집구조가 변하고 있다(Ko et al., 2021, 2023). 제주연안에서 수행된 어류군집 연구로는 북부(함덕리) 연안(Go and Shin, 1988), 남부(서귀포) 연안(Go and Shin, 1990; Choi et al., 2003), 서부(차귀도) 연안(Lee et al., 2009), 남부(문섬) 연안(Myoung, 1997; Choi and Lee, 2013), 남부(사계리) 연안(Kim et al., 2014), 제주도 4개 연안(Ko et al., 2015), 남부(가파도) 연안(Ko et al., 2021) 및 북부연안(Ko et al., 2023) 등이었다. 그러나, 최근에 보고된 북부연안 어류군집 연구(Ko et al., 2023) 결과를 제외하면, 일회성 내지 단기간에 조사된 연구가 대부분이며, 제주도 주변해역 중 여러 수괴들에 의해 복잡한 해양환경 특성을 나타내는 서부연안의 해양환경 특성과 어류군집 연구는 미비하고, 특히, 기후변화에 따른 해양생태계 변화가 감지되는 시점부터 최근까지 장기간에 걸친 모니터링 연구는 부족하다.

따라서, 본 연구는 제주도 서부연안의 해양환경 특성과 어획 시험 조사 결과를 종합적으로 분석하여 서식 어류의 출현특성, 토착성·아열대성 어류 서식실태 및 연도별 어류군집 변화 등을 파악하였다.

재료 및 방법

제주도 서부연안(한림읍 신창리: 33°20.244N, 126°09.911E)에 서식하는 어류군집 변화를 조사하기 위해 2012년부터 2022년까지 계절별(동계, 2월; 춘계, 5월; 하계, 8월; 추계, 11월)로 해양환경 및 어획시험 조사를 실시하였다(Fig. 1). 어획시험 어선은 양망기가 설치된 5톤 미만의 소형어선을 사용하였다. 수온, 염분은 수온·염분측정기(6600-V2; YSI, Yellow Springs, OH, USA)로 어획조사의 양망 과정이 종료된 후, 채수기를 이용해 표·저층(12–17 m) 해수를 취수하여 현장 야장에 기록하였다. 시험 어구는 삼중자망(1폭: N/Y, 외망 450 mm, 내망 75 mm, 길이 35 m, 높이 2.5 m) 10폭(총 350 m)을 사용하였고, 조류 흐름이 약한 조급 시기를 택하여 당일 15:00시경에 투망하였고, 다음날 07:00시경 양망하였다.

양망과정 중 그물에서 분리된 전체 어획시료는 냉장용 보관 용기에 넣고, 시료의 상태가 변형되기 전 실험로 이동 후 The Korean Society of Systematic Zoology (1997), Kim et al. (2001), Masuda et al. (1992), Nakabo (1933)에 따라 종 동정을 실시하였고, 모든 어획물에 대해 종류, 개체수 및 중량(g)을 기록하였다.

아열대성 어류에 대한 정의는 기존 연구(Ko et al., 2015,

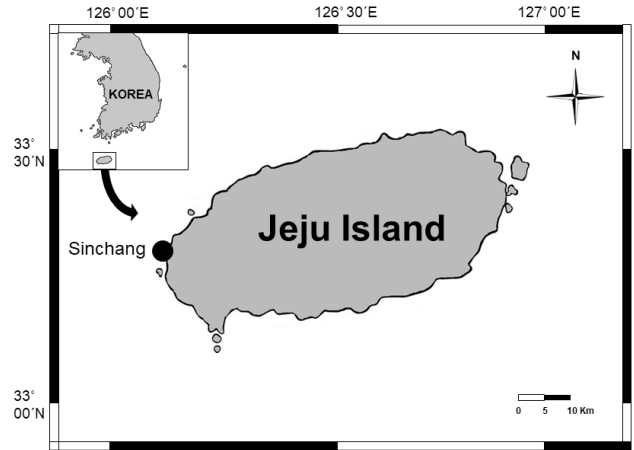


Fig. 1. A map of sampling site in Jeju Island, from 2012 to 2022.

2023), 국제 어류 학술 데이터베이스(<http://www.fishbase.org>), 국내·외 어류도감을 참고하여 동중국해 이남의 대만과 오키나와 주변해역에 분포·서식하는 어종으로 하였다.

군집지수 분석은 개체수 기준으로 상위 5% 이상 우점종의 합을 이용해 우점도지수 McNaughton (1967)를 분석하였고, Shannon (1948)의 종다양도지수(Species diversity index, H'), Pielou (1969)의 균등도(evenness index, E')와 Margalef (1958)의 종풍도지수(richness index, R)를 이용하였다. K-dominance 곡선을 이용하여 연도별 종다양도(Lambdahead et al., 1983)를 비교하였고, 유사도(similarity)는 연도별 출현어종 유무를 이용하여 분석하였다(Bray and Curtis, 1957). SIMPROF (similarity profile) test로 그룹 간 유의차를 분석하였고, 각 그룹 간 비유사도(dissimilarity)에 기여율을 SIMPER (similarity percentage)로 추출하였다. 유사도 및 군집분석의 도식화는 PRIMER version 6 (Clarke and Gorley, 2006)를 이용하였다.

결 과

수온, 염분 변화

2012년부터 2022년까지 계절별 표·저층 평균수온은 17.8–19.8°C 범위였다(Fig. 2). 연 평균수온은 2012년에 19.4°C, 2013년 18.5°C, 2014년 18.5°C, 2015년 19.2°C, 2016년 18.3°C, 2017년 18.6°C, 2018년 17.8°C, 2019년 18.6°C, 2020년 19.8°C, 2021년 19.3°C, 2022년 19.1°C로 2020년 평균수온(19.8°C)이 가장 높고, 2018년(17.8°C)에 가장 낮게 나타났다. 2012–2022년까지 평균수온은 18.8°C였고, 2012년 대비 2022년에 0.3°C 감소한 것으로 나타났다. 하계와 동계의 수온변화는 2016년 이전에 비해 2017–2022년까지 각각 0.2°C 상승하였다.

표·저층 평균염분은 33.6–34.3 psu 범위였다. 연도별 평균은 2012년에 34.0 psu, 2013년 34.0 psu, 2014년 33.8 psu, 2015년 33.4 psu, 2016년 34.0 psu, 2017년 34.3 psu, 2018년 34.1 psu,

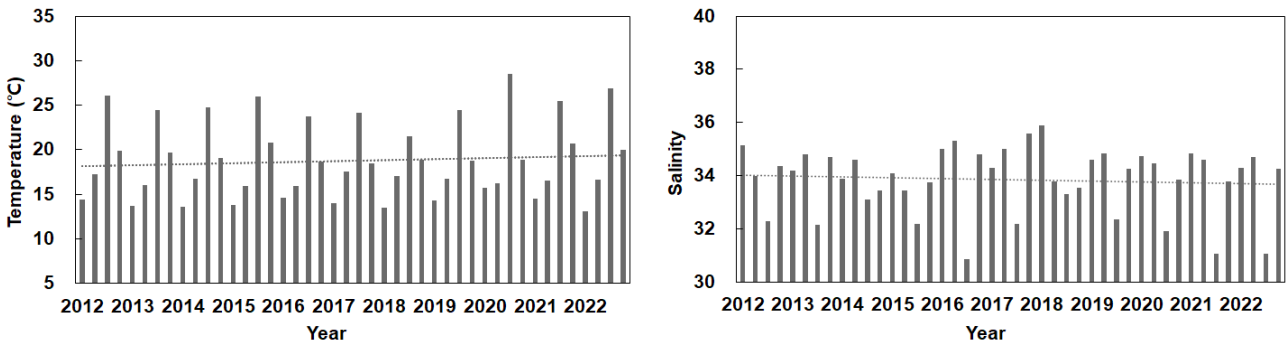


Fig. 2. Annual variations of temperature (°C) and salinity at study site in the coastal waters of sampling site.

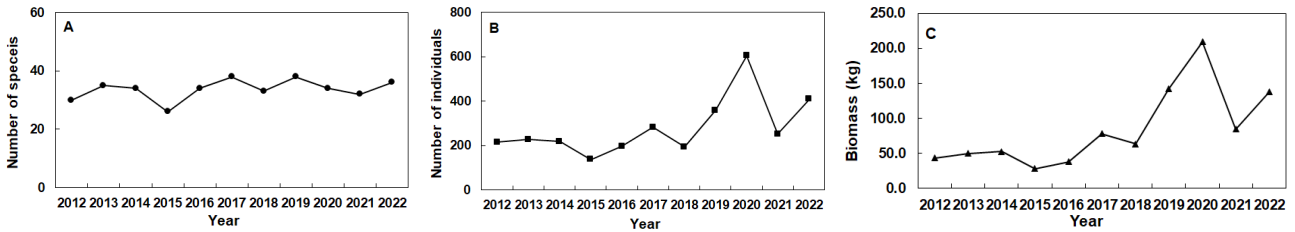


Fig. 3. Annual variations of number of species (A), number of individuals (B) and biomass (C) of the fishes collected by trammel net in the coastal waters of Sinchang-ri from 2012 to 2022.

2019년 34.0 psu, 2020년 33.7 psu, 2021년 33.6 psu, 2022년 33.6 psu으로 2017년 평균염분(34.3 psu)이 가장 높고, 2021년과 2022년(33.6 psu)이 가장 낮게 나타났다. 2012–2022년까지 평균염분은 33.9 psu였고, 평균 염분변화는 2012년 대비 2022년에 0.4 psu 감소한 것으로 나타났다.

종조성

2012년부터 2022년까지 삼중자망에 의해 어획된 어류는 총 81종, 3,090개체, 927.4 kg이었다(Fig. 3). 어획종수는 2017, 2019년에 각각 38종으로 가장 높고, 2016년에 26종으로 가장 낮게 나타났다. 2013–2014년까지는 34–35종이었지만, 2015년에 26종으로 감소하였고, 2017년과 2019년에 다시 증가하여 2022년까지 34–36종으로 비교적 높게 나타났다. 개체수는 2012–2014년까지 214–227개체였고, 2015년에 136개체로 가장 낮았지만, 2019년부터 다시 증가하여 2020년에 605개체로 조사기간 중 가장 높게 나타났으며, 최근까지 높은 수준을 유지하였다. 전중량은 개체수와 유사한 수준을 보이다 2015–2016년에 가장 낮게 나타났고, 2017년부터 증가하기 시작하여 2020년에 209.7 kg으로 가장 높았고, 조사기간 초·중반에 비해 2017년 이후부터 연도별 전중량이 높게 나타났다.

조사기간 동안 총 12목 43과 81종이 어획되었으며, 농어목(Perciformes) 어류가 26과 57종으로 전체 어획된 어종 중 어획비율이 65.9%로 높았고, 복어목(Tetraodontiformes) 4과 9종, 어획비율 18.2%순으로 나타났다(Table A1). 개체수 우점

종은 썸뱅이(*Sebastiscus marmoratus*)가 464개체(15.0%)로 가장 많았고, 다음으로 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*)가 397개체(12.9%), 호박돔(*Choerodon azurio*)이 340개체(11.0%), 가시복(*Diodon holocanthus*)이 253개체(8.2%), 아홉동가리(*Goniistius zonatus*)가 188개체(6.1%), 청줄돔(*Chaetodon topus septentrionalis*)이 142개체(5.0%)의 순으로 나타났다. 전중량 우점종은 호박돔이 196.5 kg (21.2%), 가시복이 84.1 kg (9.1%), 아홉동가리가 84.1 kg (9.1%), 넙치(*Paralichthys olivaceus*)가 79.1 kg (8.5%), 썸뱅이가 66.1 kg (7.1%), 흰가오리(*Urolophus aurantiacus*)가 47.8 kg (5.2%), 쥐치가 43.0 kg (5.0%)의 순으로 나타났다.

연도별 어획현황은 2012년 214개체/43.4 kg, 2013년 227개체/49.5 kg, 2014년 217개체/50.4 kg, 2015년 136개체/28.0 kg, 2016년 197개체/37.6 kg, 2017년 282개체/78.0 kg, 2018년 197개체/63.4 kg, 2019년 358개체/142.4 kg, 2020년 605개체/209.7 kg, 2021년 251개체/84.7 kg, 2022년 409개체/138.3 kg이었다. 개체수 및 전중량은 2012–2015년까지 낮게 나타났지만, 조사기간 중·후반(2017–2022년)부터 증가하는 추세로 2016년부터 증가하기 시작하여 2020년에 개체수와 전중량이 가장 높게 나타났다. 개체수와 전중량의 연도별 변화의 경우 2012–2016년에 비해 2017–2022년에 개체수는 평균 11%, 전중량은 평균 183% 증가하였다. 복어목 어류는 2012–2022년까지 4–6종으로 2013–2014년, 2017년 및 2021–2022년 6종으로 높았다. 농어목 어류는 2012–2015년까지 11–15종으로 낮

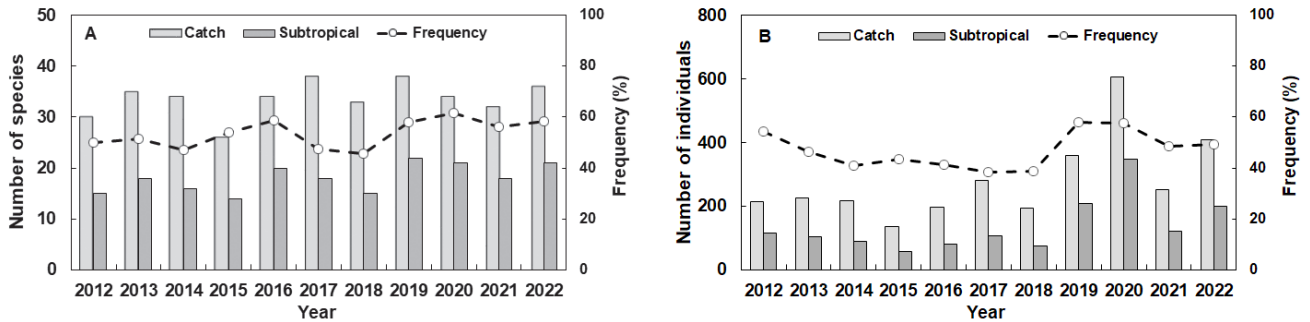


Fig. 4. Annual variations of number of species (A) and number of individuals (B) at total catch and subtropical species collected by trammel net in the coastal waters of Sinchang-ri from 2012 to 2022.

게 나타났지만, 2017년부터 17–19종으로 증가하기 시작하여 2019–2022년에 19–20종으로 가장 높게 나타났다.

2012–2022년까지 해마다 어획된 종은 13종이었고, 어종은 가시복, 거북복(*Ostracion immaculatus*), 말쥐치(*Thamnaconus modestus*), 범돔(*Microcanthus strigatus*), 벤자리(*Parapristipoma trilineatum*), 솜뱅이, 썩감팽(*Scorpaenopsis cirrhosa*), 아홉동가리, 주걱치(*Pempheris japonica*), 쥐치, 참돔(*Pagrus major*), 호박돔 으로 나타났다. 또한, 두해를 제외한 8년간 어획된 종은 7종으로 강담돔(*Oplegnathus punctatus*), 넙치, 볼락(*Sebastes inermis*), 쓸배감팽(*Pterois lunulata*), 쭈기미(*Inimicus japonicus*), 흑돔(*Semicossyphus reticulatus*), 흰가오리로 조사되었다.

아열대 어류 서식현황

출현종수를 기준으로한 아열대 어류 출현현황은 조사기간 동안 총 81종이 어획되었고, 이 중 아열대 어류는 41종으로 전체의 50.6% 출현율을 나타냈고, 개체수 기준의 경우 총 3,090개체 중 아열대 어류는 1,513개체로 전체의 49.0% 비율을 나타냈다(Fig. 4A). 연도별 출현종수 기준 어획현황은 2012년 어획종 39종, 아열대 어류 15종(50.0%), 2016년 어획종 34종, 아열대 어류 20종(58.8%), 2018년 어획종 33종, 아열대 어류 15종(45.5%), 2020년 어획종 32종, 아열대 어류 18종(61.8%), 2022년 어획종 36종, 아열대 어류 21종(58.3%)으로 나타났다. 아열대 어류 출현을 변화는 2015년부터 증가하였고, 2017–2018년에 감소하였지만, 2019–2022년까지 평균 출현율이 58.6%로 조사기간 초·중반에 비해 증가한 것으로 나타났다. 연도별 아열대 어류 개체수 비율은 2012년 54.2%, 2014년 41.0%, 2018년 38.7%, 2019년 58.1%, 2022년 49.1%였다. 조사기간 중 2017년과 2018년의 개체수 비율이 각각 38.3%, 38.7%로 가장 낮게 나타났고, 그 이후부터 증가하였으며, 최근(2019–2022년) 아열대 어류 평균 개체수 비율은 53.4%로 2012–2018년, 43.3%에 비해 증가한 것으로 나타났다(Fig. 4B). 또한, 조사해역에서 어획된 아열대 어류에 대한 개체수 우점종은 호박돔, 가시복, 아홉동가리, 청줄돔, 썩감팽, 벤자리, 주걱치였고, 전중량 우점

종은 호박돔, 가시복, 아홉동가리, 썩감팽, 벤자리로 나타났다.

수온, 염분과 아열대 어류 상관관계

서부 연안에서 출현한 아열대 어류 출현특성과 수온(하계), 염분과의 상관관계 분석결과를 Table 1에 나타냈다. 여름철 수온은 아열대 어류의 개체수와 생체량에 비교적 높은 양의 상관관계($r=0.69$, $r=0.66$, $P<0.05$)를 나타냈고, 출현종수는 개체수와 생체량($r=0.71$, $r=0.71$, $P<0.01$), 개체수는 생체량($r=0.98$, $P<0.01$)과 높은 상관관계를 보였다.

우점종

연도별 우점종을 살펴보면, 2012년 제1 우점종은 청줄돔, 제2 우점종 쥐치, 제3 우점종 멸치(*Engraulis japonicus*), 제4 우점종 가시복, 제5 우점종 거북복 순이었으며 상대우점지수[relative dominance, RD (%)]는 8.4–11.2 범위로 이들 종은 전체 개체수의 49% 이상을 차지하였다(Table 2).

2013년 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 솜뱅이, 제3 우점종 주걱치, 제4 우점종 청줄돔, 제5 우점종 아홉동가리 순이었으며 RD (%)는 7.9–17.2 범위로 전체 개체수의 54% 이상이었다. 2014년 제1 우점종은 솜뱅이, 제2 우점종 청줄돔, 제3 우점종 쥐치, 제4 우점종 흰가오리, 제5 우점종 가시복 순이었으며 RD (%)는 6.5–18.9 범위로 전체 개체수의 49% 이상이었

Table 1. Pearson correlation coefficient between biological parameters, environmental factors and species composition of subtropical fishes in coastal waters Sinchang-ri, western part of Jeju Island from 2012 to 2022

	Temperature	Salinity	Species	Individual	Biomass
Temperature	-	-	-	-	-
Salinity	-0.62*	-	-	-	-
Species	-	-	-	-	-
Individual	0.69*	-	0.71**	-	-
Biomass	0.66*	-	0.71**	0.98**	-

* $P<0.05$. ** $P<0.01$. -Not significant.

다. 2015년 제1 우점종은 썸뱅이, 제2 우점종 청줄돔, 제3 우점종 쥐치, 제4 우점종 아홉동가리, 제5 우점종 벤자리 순이었으며 RD (%)는 5.2–27.9 범위로 전체 개체수의 57% 이상이었다. 2016년 제1 우점종은 썸뱅이, 제2 우점종 멸치, 제3 우점종 호박돔, 제4 우점종 쥐치, 제5 우점종 벤자리 순이었으며 RD (%)는 5.6–27.4 범위로 전체 개체수의 61% 이상이었다. 2017년 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 썸뱅이, 제3 우점종 호박돔, 제4 우점종 썩감팽, 제5 우점종 긴꼬리뱅에돔(*Girella leonina*) 순이었으며, RD (%)는 4.3–24.1 범위로 전체 개체수의 59% 이상이었다. 2018년 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 썸뱅이, 제3 우점종 아홉동가리, 제4 우점종 호박돔, 제5 우점종 넙치 순이었으며, RD (%)는 6.7–14.4 범위로 전체 개체수의 50% 이상이었다. 2019년 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 호박돔, 제3 우점종 가시복, 제4 우점종 썸뱅이, 제5 우점종 아홉동가리 순이었으며, RD (%)는 4.6–16.8 범위로 전체 개체수의 56% 이상이었다. 2020년 제1 우점종은 호박돔, 제2 우점종 가시복, 제3 우점종 썸뱅이, 제4 우점종 쥐치, 제5 우점종 흰가오리 순이었으며, RD (%)는 8.3–21.7 범위로 전체 개체수의 67% 이상이었다. 2021년 제1 우점종은 썸뱅이, 제2 우점종 호박돔, 제3 우점종 흰가오리, 제4 우점종 아홉동가리, 제5 우점종 쥐치 순이었으며, RD (%)는 7.2–18.3 범위로 전체 개체수의 59% 이상이었다. 2022

년 제1 우점종은 썸뱅이, 제2 우점종 쥐치, 제3 우점종 가시복, 제4 우점종 아홉동가리, 제5 우점종 호박돔 순이었으며, RD (%)는 8.6–17.9 범위로 전체 개체수의 61% 이상이었다.

군집지수

상위 5% 이상 우점종 합에 전체 개체수로 환산한 우점도 지수(dominance index, DI)는 0.12–0.50 범위로 2020년에 낮고, 2015년에 높은 값을 보였으며, 2016년, 2018년 및 2021년 값을 제외하면, 2012–2014년은 높은 반면, 2019–2022년에 낮게 나타났다(Table 3). 종 다양도 지수(H')는 2.61–2.99 범위로 2020년에 낮았고, 2014년에 가장 높았으며, 2016년을 제외한 2012–2019년까지 높은 값을 보인 후 2020년부터 최근까지 낮게 나타났다. 종수와 전중량에 따라 변화하는 균등도 지수(E')는 0.74–0.87 범위로 2012년에 가장 높고, 2020년에 가장 낮게 나타났으며, 우점도 및 종 다양도 지수와 유사하게 2012–2015년까지 높게 나타난 반면, 2016–2022년에 낮게 나타났다. 풍도지수(R)는 5.09–6.56 범위로 2017년에 높고, 2015년에 가장 낮게 나타났으며, 2012, 2015년을 제외하면, 2013–2019년까지 높은 값을 보인 후 최근(2020–2022년)에 감소하는 것으로 나타났다. 계절별 군집지수 변화의 경우 우점도 지수 및 풍부도 지수는 하계에 높고, 동계에 낮게 나타났으며, 종 다양도 지

Table 2. Annual variations of dominant species and R·D (%) of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Sinchang-ri from 2012 to 2022

Year	No. 1 dominant species	RD (%)	No. 2 dominant species	RD (%)	No. 3 dominant species	RD (%)	No. 4 dominant species	RD (%)	No. 5 dominant species	RD (%)
2012	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	11.2	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	10.8	<i>Engraulis japonicus</i>	9.8	<i>Diodon holocanthus</i>	8.9	<i>Ostracion immaculatus</i>	8.4
2013	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	17.2	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	10.1	<i>Pempheris japonica</i>	9.3	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	9.3	<i>Goniistius zonatus</i>	7.9
2014	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	18.9	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	8.8	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	8.3	<i>Urolophus aurantiacus</i>	6.9	<i>Diodon holocanthus</i>	6.5
2015	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	27.9	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	10.3	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	8.1	<i>Goniistius zonatus</i>	5.9	<i>Parapristipoma trilineatum</i>	5.2
2016	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	27.4	<i>Engraulis japonicus</i>	14.2	<i>Choerodon azurio</i>	7.1	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	6.6	<i>Parapristipoma trilineatum</i>	5.6
2017	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	24.1	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	18.4	<i>Choerodon azurio</i>	7.1	<i>Scorpaenopsis cirrhosa</i>	4.6	<i>Girella leonina</i>	4.3
2018	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	14.4	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	13.4	<i>Goniistius zonatus</i>	7.7	<i>Choerodon azurio</i>	7.2	<i>Paralichthys olivaceus</i>	6.7
2019	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	16.8	<i>Choerodon azurio</i>	15.6	<i>Diodon holocanthus</i>	11.5	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	7.5	<i>Goniistius zonatus</i>	4.8
2020	<i>Choerodon azurio</i>	21.7	<i>Diodon holocanthus</i>	14.7	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	11.6	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	11.2	<i>Urolophus aurantiacus</i>	8.3
2021	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	18.3	<i>Choerodon azurio</i>	15.9	<i>Urolophus aurantiacus</i>	9.2	<i>Goniistius zonatus</i>	8.4	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	7.2
2022	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	17.9	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	12.5	<i>Diodon holocanthus</i>	12.2	<i>Goniistius zonatus</i>	9.5	<i>Choerodon azurio</i>	8.6

RD, Relative dominance.

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

Community indices	Year											Season			
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Winter	Spring	Summer	Autumn
Dominance index (DI)	0.29	0.29	0.28	0.50	0.310	0.18	0.32	0.14	0.12	0.31	0.18	0.57	0.60	0.70	0.65
Diversity index (H')	2.94	2.93	2.99	2.66	2.73	2.81	2.95	2.89	2.61	2.72	2.78	2.97	2.96	2.88	2.98
Evenness index (E')	0.87	0.82	0.85	0.82	0.77	0.77	0.84	0.79	0.74	0.79	0.77	0.80	0.78	0.71	0.77
Richness index (R)	5.40	6.27	6.13	5.09	6.25	6.56	6.08	6.29	5.15	5.61	5.82	6.64	6.83	7.79	7.48

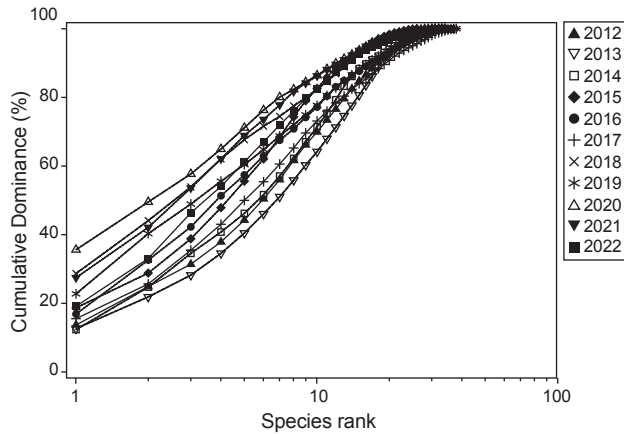


Fig. 5. K-dominance curves (x-axis logged) of total biomass of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Sinchang-ri from 2012 to 2022.

수는 하계에 낮고, 추계에 가장 높게 나타났지만, 동계와 춘계의 값도 추계와 유사한 수준으로 높았다. 균등도 지수는 우점도 및 풍부도 지수와 상반된 양상으로 동계에 가장 높고, 하계에 낮게 나타났다.

어획종의 전체 전중량을 사용하여 우점종에 대해 K-dominance 곡선으로 연도별 종 다양도를 비교하여 분석하였다(Fig. 5). K-dominance 곡선 상 60% 이내에 포함된 종수를 연도별로 살펴보면, 2012년에 7종, 2013년 9종, 2014년 7종, 2015년 5종, 2016년 5종, 2017년 7종, 2018년 3종, 2019년 5종, 2020년 3종, 2021년 3종, 2022년 5종으로 나타나 연도별 종 다양도는 2013년에 가장 높고, 다음으로 2012, 2014 및 2017년 순이었으며 2018, 2020, 2021년에 가장 낮게 나타났다. 또한, 연도별 전중량 최상위 우점종은 2012년에 가시복, 2013년 아홉동가리, 2014년 흰가오리, 2015년 솜뱅이, 2018년 넙치였고, 2016-2017년과 2019-2022년까지 호박돔으로 나타났다.

유사도

연도별 유사도 분석 결과 3개 그룹으로 나뉘었고, 그룹 A (2019-2020, 2022년), 그룹 B (2021년)와 그룹 C (2012-2018)로 구분되었다(Fig. 6). 그룹 A의 유사도는 74%, 그룹 B의 유사도는 68% 및 그룹 C의 유사도는 61% 였고, A, B와 C 그룹 간의

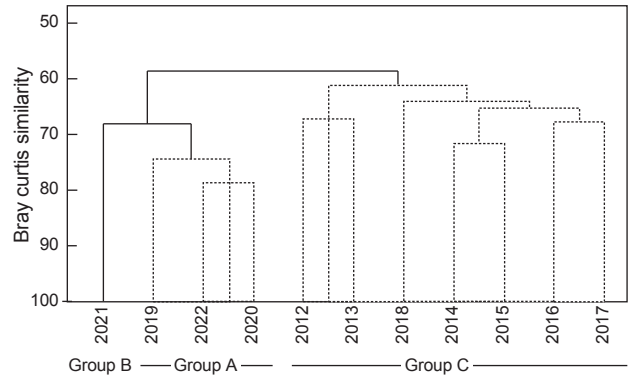


Fig. 6. Results of cluster analysis performed on Bray-Curtis similarity from standardized species absence transformed data. The dotted lined indicate no significant difference among 11 years (SIMPROF test).

유사도는 59%로 나타났다(SIMPROF test, P<0.05). 3개로 구분된 그룹간의 차이(비유사성, dissimilarity)에 기여 종을 추출하기 위해 SIMPER 분석한 결과, A-B 그룹간 비유사도에 기여한 종은 가시복, 쥐치였고, A-C 그룹은 호박돔, 가시복, B-C 그룹은 흰가오리, 호박돔으로 나타났다.

고 찰

제주도 서부해역은 계절별로 대마난류수, 양자강 유출수의 영향을 받지만, 특히, 저수온의 기원인 황해저층냉수가 남하하여 제주도 서남부해역까지 확장하고, 이 냉수대의 세력은 전년도 기온과 해면 수온에 따라 매년 남하하는 해역의 범위가 달라지는 경년변동 보이며 제주도 서부해역의 수온 편차를 일으키는 직접적인 요인이다(Kang and Moon, 2022). 조사기간(11년간) 동안 전체 연평균 수온은 18.8°C였으며, 2020년에 가장 높았고(19.8°C), 2018년에 가장 낮게(18.6°C) 관측된 값을 제외하면 18.3-19.4°C 범위였다. 조사기간 초·중반(2012-2016년) 평균 수온은 18.8°C였고, 조사기간 중·후반(2017-2022년)은 18.9°C로 2020-2022년까지 3년간 연평균 19.0°C 이상 나타남에 따라 2017-2022년에 수온이 높게 나타났다. 연평균 수온은 2012년 대비 2022년에 0.3°C 낮았지만, 하계와 동계의 수온변화는 2012-2016년까지 평균 25.0°C, 14.0°C였고, 2017-2022년까지

지 평균 25.2°C, 14.2°C로 2016년 이전에 비해 하계와 동계에 각각 0.2°C 상승한 것으로 나타났다. 본 연구와 동일한 조사해역에서 선행된 4개 연안 어류군집 연구(Ko et al., 2015) 중 서부연안(신창리)의 평균 수온은 18.6°C, 제주연안 무척추동물 군집연구(Ko et al., 2016)에서 18.7°C, 서부 연안 어류군집 연구(Lee et al., 2009)에서 18.8°C였다. 본 연구의 11년간 연평균 수온은 18.8°C로 선행된 연구결과와 유사하거나 다소 높게 나타났다. 그러나, 최근 3년간(2020–2022년) 관측된 평균수온은 19.4°C로 과거 연구들에 비해 높은 수온 값을 보였고, 조사기간 동안의 전체 연평균 수온은 기존 결과와 유사하지만, 2020년도에 들어 연평균 수온이 19°C 이상으로 높게 나타나고 있다. 최근에 보고된 제주 북부연안(Ko et al., 2023) 어류군집 연구에 의하면, 연평균 수온은 조사기간 초반에 비해 후반에 0.4°C 상승한 것과 같이 본 연구에서도 2017–2022년의 수온 상승 경향은 유사하였다. 이처럼 제주도 서부해역은 불규칙한 해저지형과 계절풍 영향으로 용승현상이 활발히 일어나 비교적 낮은 수온대를 형성(Pang and Kim, 1993)하지만, 제주도 서남방해역을 거쳐 한국 서해로 유입되는 대마난류수 분지류(황해난류)의 세력 확장과 수온역전 특성(Kang and Moon, 2022)으로 제주도 서부연안의 수온이 최근들어 높게 형성된 것으로 판단된다.

연도별 어획종수 변화는 2012–2016년까지 26–35종, 2017–2022년까지 32–38종으로 조사기간 2012–2016년까지 낮은 출현 종수를 보였지만, 2017–2022년에 출현 종수가 증가(11%)하였다. 또한, 개체수와 전중량의 경우도 출현종수 경향과 유사하게 2017–2022년에 각각 77%, 183% 증가한 것으로 나타났으며, 특히, 2020년에 개체수 및 전중량이 가장 높았던 요인은 동계(15.7°C) 및 하계(28.5°C)의 수온이 조사기간 중 가장 높았고, 이와 더불어 연평균 수온도 19.8°C로 높게 나타난 결과로 판단된다. 한편, 최근 보고된 제주도 북부연안 어류군집(Ko et al., 2023) 연구에서도 2020년에 개체수와 전중량이 가장 높았으며, 제주도 연안 중 수온이 낮은 해역임에도 동계수온(15.0°C)이 높게 나타남에 따라 그 해역에 서식하는 어류들의 생존율 증가에 기인함으로써 개체수와 전중량이 증가한 것으로 판단된다. 분류군별 점유율이 높은 어류는 농어목(57종) 65.9%, 북어목(9종) 18.2%로 기 보고된 연구들과 비교하면, 북부연안은 농어목 72%, 가파도 연안은 농어목 76%, 서부연안은 농어목 69%로 북부연안을 제외하면 농어목 어류의 점유율이 높은 경향은 유사하였다. 또한, 북부연안의 농어목 어류(61종)중 아열대 어류는 22종이었지만, 본 연구에서는 26종으로 다소 높았고, 특히, 연도별 농어목 어류 출현은 아열대 어종수 증가와 함께 연평균 수온이 높게 형성되었던 시기(2019–2022년)에 높게 나타난다는 결과와 같은 양상이었다(Ko et al., 2023).

어획시험 결과 출현종수는 81종이었으며, 최근의 제주도 북부연안(Ko et al., 2023)에서 보고된 95종에 비해 낮았지만, 남부(서귀포)연안 36종(Go and Shin, 1988), 제주도 북부(함덕)연안 36종(Go and Shin, 1990), 서부(차귀도)연안 81종(Lee et

al., 2009), 제주연안 중 서부(신창리)연안에서 42종(Ko et al., 2015) 및 가파도 연안 50종(Ko et al., 2021)으로 조사시기 및 조사해역은 각기 다르지만, 본 연구의 81종 출현 결과는 북부연안의 95종 출현 양상과 같이 최근에 들어 연도별 출현종수의 증가는 유사한 것을 알 수 있다. 2012–2022년까지 매년마다 출현한 어종은 13종(가시복, 거북복, 말쥐치, 범돔, 솜뱅이, 씩감팽, 아홉동가리, 주걱치, 쥐치, 참돔, 청줄돔, 호박돔)으로 이 어종들은 서부연안을 대표하는 어종으로 전체 개체수 비율 중 75%를 차지하는 서식처 우점종이었으며, 특히, 이들 13종 중 아열대 어종이 9종으로 나타났다는 것은 수온이 따뜻한 남부연안에 주로 서식하던 어류들이 수온상승 등 해양환경 변화로 서식지를 서부연안까지 확장해 이동·복상한 것으로 해석될 수 있다. 한편, 계절별 어종수 및 개체수 변화는 동계 41종(415개체), 춘계 45종(630개체), 하계 58종(1,509개체), 추계 48종(536개체)으로 동계에 가장 낮았고, 춘계부터 증가하기 시작하여 하계에 가장 높게 나타난 이후 추계에 다시 감소하였다. 이처럼, 하계의 종조성 증가 경향은 제주연안에서 보고된 기존 연구와 같은 양상으로 수온이 상승하는 시기에 출현 종수 및 개체수가 증가한다는 결과와 일치하였다(Ko et al., 2015, 2021, 2023).

2012년과 2020년을 제외한 연도별 최상위 우점종은 솜뱅이와 쥐치로 이 어종은 전체 점유율의 17–28% 이상으로 서부연안에 서식하는 대표종이었다. 그러나, 제2 우점종부터 우점양상이 다르게 나타났다. 즉, 온대성 어류인 쥐치와 솜뱅이를 비롯하여 아열대성 어류인 청줄돔, 호박돔, 가시복이 연도별로 교차하면서 출현하였고, 제2 우점 양상과 달리, 제3–5 우점종은 온대성 어류에 비해 아열대성 어류의 출현종수와 우점 비율이 점차 높게 나타났다. 특히, 아열대성 어류인 호박돔과 가시복의 경우 조사기간 초·중반에 제3–5 하위 순위에서 조사기간 중·후반에 제1–2 상위 순위로 상향 되었다. 이처럼, 서부연안의 어류군집은 개체수 증가에 기인한 소형·중형 크기의 아열대성 어류 우점 양상으로 변화하고 있었고, 북부(북촌리)연안(Ko et al., 2023)에서도 온대성 어류가 대부분 우점하였지만, 조사기간 후반(2018–2022년)부터 아열대 어종들이 하위 우점 순위에 나타난 것으로 보아 제주도 연안에서 아열대 어류의 북상 이동 경로는 남부-서부연안을 거쳐 북부연안으로 확장됨에 따라 아열대 어류 서식밀도가 북부연안에 비해 서부연안이 높은 것으로 판단된다.

서부연안의 군집지수 변화는 상대우점도 지수[RD (%)] 0.12–0.50, 종 다양도 지수(H') 2.61–2.99, 균등도 지수(E') 0.74–0.87, 종 풍부도지수(R) 5.09–6.56으로 군집지수 값은 조사기간 초·중반에 높게 나타났으나, 종 풍부도 지수를 제외한 다른 지수 값은 조사기간 후반에 낮았고, 특히, 2020년은 우점도, 종 다양도 및 균등도 지수가 가장 낮게 나타났다. 군집지수에 영향을 미치는 연도별 종조성 변화를 살펴보면, 종수, 개체수 및 전중량 평균 값이 조사기간 초·중반(2012–2016년)에 비해 중·후반(2017–2022년)에 각각 11%, 77%, 183% 증가하였고,

2017년부터 출현종수를 제외한 개체수 및 전종량이 증가한 반면, 군집지수 값은 낮게 나타났다. 특히, 2020년은 조사기간 중 동계 및 하계 수온을 비롯한 연평균 수온(19.8°C)이 가장 높게 나타난 결과에 의해 개체수 및 전종량도 가장 높았지만, 군집지수 값은 상대적으로 가장 낮게 나타났다. 이처럼, 2020년에 군집지수들이 가장 낮게 나타난 요인은 전체 출현종 중 특정종(호박돔 22%, 가시복 15% 등)의 우점 비율이 다른 출현종에 비해 월등히 높게 나타난 결과에 기인한 것으로 판단된다. 한편, 북부(북촌리)연안 어류군집(Ko et al., 2023)에서 적정범위 이상의 환경(수온)이 형성되는 시기에 어류 군집지수가 낮게 나타난다는 것을 종조성의 감소로 해석하였다. 그러나, 특정시기의 수온이 높게 나타난 현상은 본 연구와 동일하지만, 이와 반대로 어류 종조성은 증가한 것으로 나타났다. 이에 군집지수의 증·감 요인 파악을 위한 해양환경과 종조성간의 세밀한 상관관계 해석이 필요할 것으로 판단된다.

최근, 제주도 주변해역은 동중국해에서 북상하여 따뜻한 난류를 공급하는 대마난류수의 세력 확장과 이 난류에 편승되어 열대 및 아열대 해역에서 유입되는 해양생물들에 의해 복잡하고 다양한 해양생태계로 변하고 있고, 아열대 어종 및 미 기록종들이 해마다 증가하고 있다(Choi and Lee, 2013). 조사해역에서 전체 어류 81종 중 아열대 어류는 아열대 어류 41종으로 51% 출현율을 나타냈다. 아열대 어류 출현율을 연도별로 비교하면, 2012–2016년까지 평균 출현율은 52%였고, 2017–2022년까지 55%로 조사기간 중·후반에 출현율이 증가하였으며, 아열대 어류 개체수 비율의 경우도 2012–2016년까지 45%, 2017–2022년까지 48%로 아열대 어류 출현율과 같은 양상이었다. 또한, 계절별 아열대 어류 출현율은 동계 44%, 춘계 47%, 하계 57% 및 추계 54%로 하계-추계까지 50% 이상 높은 출현율을 보였다. 지금까지 연구된 결과들과 비교해 보면, 동일한 조사 해역인 제주도 4개 연안(신창리) 44% (Ko et al., 2015), 서부 연안 48% (Lee et al., 2009), 사계리 연안 45% (Kim et al., 2014), 가파도 연안 50% (Ko et al., 2021) 및 북부 연안 40% (Ko et al., 2023)로 가파도 연안과 비교적 유사하지만, 과거의 조사시기 및 다른 연안에 비해 본 연구의 출현율(51%)이 가장 높게 나타났다. 이처럼 서부연안은 북부연안을 제외한 제주도 전 연안 중에서 비교적 수온이 낮은 해역이지만, 연평균 수온을 비롯한 계절별 수온이 조사기간 중·후반(2017–2022년)에 상승하였고, 남부연안에 서식하는 아열대 어류들이 북상·이동할 수 있는 서식처 환경이 조성됨에 따라 어류 군집 내 아열대 어류 우점 양상이 증가할 것으로 예상되며, 향후, 수온상승 등 해양환경 변화와 더불어 아열대 어류 서식지를 서부연안에서 북부연안으로 확장하기 위한 기착연안으로써 공간적 의미는 크다고 할 수 있다.

어류 분류군 구성비율은 농어목 57종(66%), 북어목 9종(18%)으로 이 2개 분류군 비율이 전체 어류의 84%를 차지하였다. 최근, 제주연안의 어류 군집구조는 농어목 어류의 점유율이 높아지는 양상으로 새로운 아열대 어종수 출현 증가와 함께 군

집 내 다양성 변화가 나타나고 있다(Ko et al., 2023). 특히, 아열대 어류 중 농어목에 속한 어류의 비율이 제주도 전 연안에 걸쳐 뚜렷이 증가하고 있다. 기 보고된 농어목 어류 결과와 비교해 보면, 조사해역이 동일한 서부연안 69%, 제주도의 북서부 연안 76%, 제주도 4개 연안 64%, 북부연안 72%였으며, 본 연구결과에서 나타난 66%의 비율은 제주연안 어류 군집구조 변화 경향을 뒷받침한다. 또한, 조사기간 중 연도별 농어목 어종수는 점차 증가한 것으로 나타났으며, 서부연안의 어류 군집은 남부연안에서 북상하여 서식하는 아열대 어종수 증가와 더불어 농어목 어류의 다양성과 구성비율이 높아질 것으로 판단된다.

대마난류수의 이동경로는 제주도 서·남방해역에서 북상하여 본 조사해역인 신창리 연안에서 북부 연안으로 이동하고, 고온의 난류수가 북부연안을 따라 동쪽으로 이동하면서 난류 세력이 점차 약화되어 그 말단부는 김녕리에서 세화리 연안역으로 한정된다(Ko et al., 2003). 또한, 북부연안 어류군집(Ko et al., 2023)에서 조사기간 후반(2018–2022년)에 아홉돔가리, 청줄돔, 범돔 등 아열대 어종이 제3–5 하위 우점종으로 나타난 결과를 해석해 보면, 서부연안에 서식하는 아열대 어종들이 대마난류수의 이동경로에 따라 북부연안으로 서식처 확장이 더욱 활발히 진행될 것이며, 이에 따라 서부-북부연안의 어류 군집구조가 온대성 군집에서 아열대성 군집으로 변화될 가능성은 크다고 할 수 있다.

제주도 연안이 아열대 해양생태계로 변화하고 있다는 것은 연구 조사 결과에서도 확연히 나타나고 있으며, 새로운 종의 유입과 해양생물 군집의 시·공간적 변화는 모니터링 관찰 수준을 벗어나 더욱 빠르게 진행되고 있다. 본 연구에 의해 지난 11년간 서부연안의 어류 군집구조 변화를 확인할 수 있었다. 그러나, 일차적인 현장실험 연구결과와 문헌인용에 의한 추론들을 해석하였지만, 복잡하고, 다양한 해양생태계 변화를 이해하기에 부족한 면은 사실이다. 따라서, 아열대와 현상을 파악하기 위한 해양생물 유입, 적응 및 서식 등의 생태학적 연구를 비롯한 북상·이동 및 서식처 확장의 메커니즘 연구가 필요한 시점이다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 아열대수산물연구소「제주주변 연근해어업 및 환경생태조사 R2024012」의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

- Bray JR 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>.
- 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. *Korean J Environ Biol* 31, 45-52. <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9521-1>.

- org/10.11626/KJEB.2013.31.1.045.
- Choi Y and Lee HH. 2010. Redescription of the glasseye 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.
- 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. *Bull Korean 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.
- Kang SY and Moon JH. 2022. Distribution of water masses and characteristics of temperature inversion in the Western seas of Jeju Island in spring. *Ocean Polar Res* 44, 191-207. <https://doi.org/10.4217/OPR.2022018>.
- 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 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, Korea. *Kor J Ichthyol* 3, 212-221.
- Kim YU, Myoung JG, Kim YS, Han KH, Kang CB and Kim JG. 2001. Marine Fishes of Korea. Hanguel Graphics, Busan, Korea, 1-382.
- Ko JC, Kim BY, Han SH, Kim MS and Kwak JH. 2023. Long term variations of fish assemblage in the coastal waters Bukchon-ri, northern part of Jeju Island from 2012 to 2022. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 59, 301-314. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2023.59.4.301>.
- Ko JC, Kim BY, Sonh MH, Jo WC and Lee KC. 2016. Short-term changes of community structure of microbenthic invertebrates in the coastal waters Jeju Island, Korea from 2013 to 2015. *Korean J Malacol* 32, 297-328. <https://doi.org/10.9710/kjm.2016.32.4.297>.
- 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>.
- 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, 319-344. <http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.2.319>.
- Lambshead PJD, Platt HM 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. <https://doi.org/10.1080/00222938300770671>.
- 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.
- Masuda H, Amaoka K, Araga C, Uyeno T and Yoshino T. 1992. The Fishes of the Japanese Archipelago. Tokai University Press, Tokyo, Japan, 378-456.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *Gen Syst* 3, 36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California grassland. *Nature* 216, 168-169. <http://doi.org/10.1038/216168b0>.
- 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, Japan, 1474.
- Pang IC and Kim TH. 1993. Upwelling of the Western coastal water in Cheju Island. Cheju National University, Jeju, Korea, 1-12.
- Pielou EC. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J Theor Biol* 13, 131-144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0).
- Shannon. 1948. The mathematical theory of communication. *Bell Syst Tech J* 27, 623-656. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x>.
- The Korean Society of Systematic Zoology. 1997. List of Animals in Korea (Excluding Insects). Academy Press, Seoul, Korea, 200-480.

부 록

Table A1. Annual variations in species composition, number of individual and biomass(kg) of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Sinchang-ri from 2012 to 2022

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>Triakis scyllium</i>			1	1.2																			1	1.2			
<i>Narke japonica</i>			1	0.4					2	0.5			1	0.2										4	1.1		
<i>Okamejei acutispina</i> +									1	0.6					2	1.3									3	1.9	
<i>Okamejei boesemani</i> +					1	0.6																			1	0.6	
<i>Urolophus aurantiacus</i>			1	0.3	15	6.5	5	1.8			1	0.5	7	1.9	2	1.2	50	15.3	23	9.7	26	10.6	130	47.8			
<i>Engraulis japonicus</i>	21	0.4			13	0.1	5	<0.1	28	0.4	8	0.1	11	0.1					1	<0.1				87	1.2		
<i>Brotula multibarata</i>																1	0.4	2	1.2						3	1.7	
<i>Lophius litulon</i>															1	4.8									1	4.8	
<i>Monocentris japonica</i> +			1	<0.1	5	0.3	2	0.1	1	0.1			1	0.1	1	0.1									11	0.7	
<i>Zeus faber</i>			1	0.2	2	0.6							4	1.6	6	2.4	1	0.1			2	0.4	16	5.3			
<i>Fistularia commersonii</i> +																			1	1.2					1	1.2	
<i>Dactylopterus peterseni</i>												1	0.2												1	0.2	
<i>Inimicus japonicus</i>	2	0.8	1	0.3	4	1.1			1	0.2	4	1.5			4	2.5	9	2.8	4	1.1	2	0.8	31	11.1			
<i>Pterois lunulata</i> +	4	0.8	4	0.7	2	0.5			2	0.4	2	0.9	3	1.0	1	0.2	6	2.5			2	1.0	26	8.1			
<i>Scorpaena miostoma</i> +			1	0.0	6	0.3	7	0.5	5	0.3	1	0.1	2	0.1		1	0.1								23	1.3	
<i>Scorpaena neglecta</i> +					1	0.1																			1	0.1	
<i>Scorpaenodes littoralis</i> +	2	0.1	1	0.1									1	<0.1											4	0.2	
<i>Scorpaenopsis cirrhosa</i> +	9	2.7	4	1.5	7	2.7	7	2.2	7	2.1	13	4.3	13	5.2	14	6.3	12	4.4	4	1.8	10	3.4	100	36.7			
<i>Sebastes hubbsi</i>	10	2.0	12	2.4																					22	4.4	
<i>Sebastes ventricosus</i>					4	0.7			4	1.1	1	0.2			1	0.3			5	1.2	1	0.3	16	3.7			
<i>Sebastes inermis</i>					12	2.9	6	1.0	2	0.5	5	1.1	8	1.5	6	1.1	12	2.4	4	0.6	12	2.6	67	13.7			
<i>Sebastes pachycephalus</i>					1	0.1					2	0.5													3	0.6	
<i>Sebastes schlegelii</i>	2	0.8					1	0.9			1	0.4			2	0.7									6	2.8	
<i>Sebastiscus marmoratus</i>	14	2.4	23	2.9	41	6.5	38	5.3	54	5.9	52	7.7	26	3.5	27	4.0	70	10.9	46	7.2	73	9.8	464	66.1			
<i>Sebastiscus tertius</i>																			1	0.2					1	0.2	
<i>Erisphex pottii</i>													1	0.2												1	0.2
<i>Cociella crocodila</i>															1	0.5										1	0.5
<i>Hexagrammos agrammus</i>											1	0.7														1	0.7
<i>Hexagrammos otakii</i>	3	1.2	4	1.3							1	0.6	2	1.4											10	4.5	
<i>Pseudoblennius cottoides</i> +									1	<0.1																1	<0.1
<i>Pseudoblennius percoides</i>	4	0.3			1	0.1	1	0.1																		6	0.5
<i>Vellitor centropomus</i> +																					1	0.2	1	0.2			

Table A1. 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>Epinephelus bruneus</i> +	3	1.5	4	1.5	4	2.1	1	0.2	1	0.3	1	0.6			1	0.6							15	6.8
<i>Epinephelus poecilonotus</i> +	2	0.6																					2	0.6
<i>Apogon doederleini</i> +																	1	<0.1					1	<0.1
<i>Apogon endekataenia</i> +															1	0.0	1	<0.1					2	0.1
<i>Apogon semilineatus</i> +									1	<0.1													1	<0.1
<i>Scombrops boops</i>													1	<0.1									1	<0.1
<i>Seriola dumerili</i> +									1	0.3													1	0.3
<i>Seriola quinqueradiata</i>									1	1.2													1	1.2
<i>Trachurus japonicus</i>	1	0.1							2	0.1	1	0.1					1	<0.1	4	0.2	1	0.1	10	0.5
<i>Parapristipoma trilineatum</i> +	5	1.6	5	1.3	4	1.6	7	1.8	11	3.6	6	2.2	4	1.1	15	3.9	10	2.4	14	4.0	8	2.3	89	26.0
<i>Pagrus major</i>	2	1.0	4	2.2	5	2.8	4	2.8	5	1.3	10	4.0	6	1.5	10	9.4	5	3.5	2	0.3	2	1.2	55	29.9
<i>Parupeneus ciliatus</i> +							1	0.3							1	0.8	3	1.8	1	0.4	7	5.2	13	8.7
<i>Parupeneus spilurus</i> +	1	0.7																					1	0.7
<i>Pempheris japonica</i> +	8	0.5	21	1.4	7	0.5	2	0.1	9	0.7	8	0.4	2	0.1	7	0.4	5	0.3	1	0.1	1	0.1	71	4.6
<i>Pempheris schwenkii</i> +															1	<0.1					1	<0.1	2	0.1
<i>Chaetodon modestus</i> +										3	0.5						2	0.1					5	0.6
<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i> +	24	2.8	21	2.5	19	2.6	14	1.6	4	0.5	8	1.3	1	0.1	13	1.6	18	2.6	10	1.5	10	1.5	142	18.4
<i>Evistias acutirostris</i> +										2	1.9				1	0.8	1	1.1	1	1.1	1	0.9	6	5.8
<i>Girella leonina</i> +			3	1.9						12	2.7				4	1.1	3	1.0	1	0.2	3	0.8	26	7.6
<i>Girella punctata</i>	1	0.3	11	3.1	1	0.4	1	0.4			6	1.6			1	0.8							21	6.6
<i>Microcanthus strigatus</i> +	4	0.3	2	0.1	2	0.2	1	<0.1	2	0.2	4	0.3	6	0.4	8	0.7	3	0.2	4	0.4	11	0.7	47	3.6
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	2	0.2	1	0.2					1	0.2	5	3.6	1	0.3	4	4.0					1	0.3	15	8.8
<i>Oplegnathus punctatus</i> +			1	0.2			1	0.3	2	0.4	3	1.0	1	0.2	10	2.1	10	3.8	2	0.8	7	3.6	37	12.4
<i>Goniistius quadricornis</i> +									1	0.1									1	0.1			2	0.2
<i>Goniistius zonatus</i> +	1	0.4	18	6.3	8	3.2	8	2.8	8	3.4	12	5.9	15	6.3	17	6.9	41	17.2	21	12.4	39	19.3	188	84.1
<i>Ditrema temmincki</i>										2	0.2										2	0.2	4	0.5
<i>Chromis notata</i> +																			1	<0.1	1	<0.1	2	<0.1
<i>Choerodon azurio</i> +	15	4.8	5	1.6	6	2.2	4	2.5	14	6.4	20	12.1	14	9.8	56	32.4	131	74.9	40	23.3	35	26.5	340	196.5
<i>Pseudolabrus eoethinus</i> +																					1	0.1	1	0.1
<i>Pseudolabrus sieboldi</i> +			3	0.2	1	<0.1			3	0.1	3	0.3			3	0.2	1	0.1	2	0.1	2	0.1	18	1.1
<i>Pteragogus flagellifer</i>					1	<0.1																	1	<0.1
<i>Semicossyphus reticulatus</i>	2	1.4	2	1.7	2	2.0			1	1.7	2	5.5	1	1.2	2	3.3	4	4.8			4	3.3	20	25.0

Table A1. 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>Stethojulis interrupta terina</i> +																					1	<0.1	1	<0.1	
<i>Repomucenus beniteguri</i> +			2	0.1																			2	0.1	
<i>Siganus fuscescens</i> +	1	0.4								2	1.1	2	0.7	1	0.3	1	0.5							7	3.0
<i>Scomber japonicus</i>												2	0.5			12	0.9							14	1.4
<i>Paralichthys olivaceus</i>	3	2.5	3	2.8	4	2.9				2	3.5	13	18.2	14	25.0	5	12.9	2	3.4	5	8.1		51	79.1	
<i>Pseudorhombus cinnamomeus</i>									1	0.3														1	0.3
<i>Kareius bicoloratus</i>												1	0.2											1	0.2
<i>Zebrias fasciatus</i>							1	0.1																1	0.1
<i>Aluterus monoceros</i>							1	0.2																1	0.2
<i>Stephanolepis cirrifer</i>	23	2.7	39	4.5	18	2.1	11	1.3	13	1.2	68	7.9	28	2.4	60	5.5	68	7.7	18	2.0	51	5.6	397	43.0	
<i>Thamnaconus modestus</i>	8	1.3	16	3.2	2	0.5	3	0.9	1	0.2	1	0.3	5	1.3	9	2.9	18	4.1	16	3.6	21	6.7	100	24.9	
<i>Lactoria comuta</i> +																			1	0.1				1	0.1
<i>Ostracion immaculatus</i> +	18	2.8	4	0.7	2	0.3	2	0.4	3	1.2	4	1.0	1	0.2	9	1.8	6	0.9	1	0.2	9	2.4	59	11.9	
<i>Canthigaster rivulata</i> +														1	0.1	4	0.7				1	0.2	6	1.0	
<i>Takifugu pardalis</i>			1	0.5	1	0.5				1	0.5								1	0.6			4	2.1	
<i>Takifugu poecilonotus</i>			1	0.2	1	0.2															5	1.2	7	1.6	
<i>Diodon holocanthus</i> +	19	6.0	5	1.8	14	5.2	2	0.4	4	2.3	4	1.1	9	1.9	41	12.3	89	28.9	16	5.8	50	18.4	253	84.1	
Total	214	43.4	227	49.5	217	52.4	136	28.0	197	37.6	282	78.0	194	63.4	358	142	605	210	251	84.7	409	138	3,090	927	
Number of species	30		35		34		26		34		38		33		38		34		32		36				

N, Number of individuals; W, Biomass(kg); +, Subtropical fish.