

제주도 남부 가파도 연안 어류군집의 계절별 특성

고준철* · 한송헌 · 김보연 · 최정화 · 황강석¹

국립수산과학원 제주수산연구소 연구원, ¹국립수산과학원 수산자원연구센터 연구원

A seasonal characteristic of fish assemblage in the coastal waters Gapa-do, southern part of Jeju Island

Jun-Cheol KO*, Song-Heon HAN, Bo-Yeon KIM, Jung-Hwa CHOI and Kang-Seok HWANG¹

Researcher, Jeju Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Jeju 63068, Korea

¹Researcher, Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53064, Korea

A seasonal characteristic of fish assemblages in the coastal waters of Gapa-do was determined using samples collected by a trammel net from 2015 to 2019. Annual mean temperature and salinity were 18.9°C, 33.6 psu (2015), 19.5°C, 33.6 psu (2016), 18.9°C, 33.8 psu (2017), 18.8°C, 34.5 psu (2018) and 19.5°C, 33.7 psu (2019), which show a stable water mass. During the survey period, a total of 50 species (30 families and 8 orders) of fishes were identified, including Scorpaeniformes (3 families and 9 species) and Perciformes (18 families and 29 species) that accounted for 68% of the total number. The number of species was higher in summer than in winter, showing the peak in the summer by 35 species and the low in the winter by 20 species. The number of individuals and the biomass peaked in the summer by 690 individuals and 151.4 kg, and were the lowest in the autumn by 336 individuals and 76.6 kg. The annual diversity index, evenness index and richness index were appeared to be 2.54-2.75, 0.68-0.76 and 5.32-6.65 at each stations. The dominance index was appeared to be the highest in 2018 and the lowest in 2015. Marbled rockfish (*Sebastiscus marmoratus*), rock fish (*Sebastes inermis*), filefish (*Stephanolepis cirrhifer*), rabbit fish (*Siganus fuscescens*), porcupine fish (*Diodon holocanthus*) and smallscale blackfish (*Girella melanichthys*) were dominant species, which occurred abundantly during the entire survey period. Subtropical fishes were identified as a total of 24 species (48.0%) and the number of species was higher in 2019 by 20 (60.6%) species and lower in 2015 by 13 (44.8%) species. The dominant species of the subtropical fishes were appeared to be rabbit fish, porcupine fish, smallscale blackfish, flag fish (*Goniistius zonatus*), stripey (*Microcanthus strigatus*), grunter (*Parapristipoma trilineatum*), and bluestriped angelfish (*Chaetodontoplus septentrionalis*) at the study sites.

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

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

서론

가파도는 제주도에서 남쪽으로 5.5 km 떨어진 연안인 우리나라 최남단 마라도와 제주도 본섬 사이에 위치해 있는 유인섬으로 주변 연안의 해황은 남쪽에서 북상하는 대마난류수와 북서쪽에서 남하하는 황해저층냉수 및 양쯔강 유출수의 영향을 받고(Rho, 1985), 조류세기가 상당히 빨라 연안용승에 의해 해양 먹이생물이 풍부해 다양한 어족자원들의 어장이 형성되는 등 제주도 수산업 측면에서 매우 중요한 해역이다(Kim et al., 2002). 가파도가 속한 제주도 주변 해역의 해양환경은 전 세계적인 기후변화로 인해 아열대 해양생태계로 변화하고 있는 추세로 겨울철 수온 상승률이 다른 계절에 비해 증가하고 있으며(Jang et al., 2006), 이로 인해 과거에 볼 수 없었던 아열대성 미 기록 어종 및 열대해역 기원 해양생물들의 출현이 지속적으로 증가하고 있다(Kim and An, 2010; Choi and Lee, 2010). 이처럼 동중국해에서 북상하는 대마난류수와 양쯔강 유출수 및 황해저층냉수의 영향에 의해 해수순환이 활발히 일어나 새로운 생물가입으로 종 다양성이 높게 나타나고(Snelgrove and Butman, 1994), 시기별 이질적 수괴 영향에 의해 제주도 연안에 다양한 해양생물이 서식·분포하는 요인이 되고 있다(Yang et al., 2007).

최근, 제주도 연안의 어류군집 변화 양상은 토착성 어종에 비해 아열대성 어종의 출현빈도가 뚜렷이 증가하고 있고, 아열대성 어종 중 계절별로 연중 출현하여 이미 토착화 된 어종들이 늘어나고 있는 추세로 제주도 연안에 서식하는 어류 군집구조가 변화하고 있다(Ko et al., 2015). 제주도 주변 연안에서 보고된 어류군집에 관한 연구로는 제주도 연안 해양환경과 어류군집의 계절별 특성(Ko et al., 2015) 연구를 비롯해 제주도 서부연안(Lee et al., 2009), 제주도 북부연안(Go and Shin, 1988), 제주도 남부연안(Choi et al., 2003; Go and Shin, 1990), 제주도 남부 문섬 연안(Choi and Lee, 2013; Myoung, 1997) 및 제주도 정치망 어류군집 연구(Kim et al., 2009; Lee and Choi, 2008; Cha et al., 2008; Cha et al., 2004) 등 많은 연구들이 수행되어 왔다. 그러나, 선행된 연구들은 대부분 제주도 주변 연안 및 무인섬 일대에서만 단기간 조사에 국한되게 수행되어 졌고, 동중국해에서 북상하는 대마난류에 의해 해양환경 변화가 가장 먼저 감지되는 제주도 남부 유인섬 연안에 대한 어류군집 모니터

링 연구는 없는 실정이다.

따라서, 본 연구는 최근, 5년(2015~2019) 동안 가파도 연안에 서식하는 어류들의 군집구조 변화를 파악하기 위해 대표 정점에서 실시한 해양환경 및 어획시험 조사 결과를 바탕으로 어류의 출현 종조성, 분포실태 및 연도별, 계절별 종조성 변화 등 종합적인 분석을 통해 가파도 연안에 서식하는 어류 군집구조 변화 연구의 기초자료를 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 2015년부터 2019년까지 5년 동안 동계(2월), 춘계(5월), 하계(8월), 추계(11월) 계절별로 해양환경과 어획시험을 실시하였다(Fig. 1). 어획시험에 사용된 어구는 삼중자망(1폭: N/Y, 망목 30 mm, 길이 35 m, 깊이 2.0 m) 10폭을 사용하여 가파도 연안 1개 정점에서 조류가 잔잔한 조급시기에 맞춰 당일 투망 하고, 익일 양망하였다. 어장환경을 파악하기 위한 수온과 염분 조사는 삼중자망 양망 시 선상에서 수온·염분측정기(YSI, Pro-30)를 이용하여 표층과 저층 해수를 채수기로 각각 취수하여 측정 후 야장에 기록하였다.

선상에서 어획된 시료는 ice box에 빙장 처리하여 실험실로 운반한 후 전량 분석 하였다. 어류 분류체계 및 종 동정은 The Korean Society of Systematic Zoology (1997), Kim et al. (2001), Masuda et al. (1992), Nakabo (1993)에 따라 실시하였고, 어획된 모든 어류에 대해 개체수 및 생체량(g)을 계수 및 측정 하였다.

본 연구에서 확인된 어류들 중 아열대성 어류에 대한 기준은 기 보고된 연구결과(Ko et al., 2015), <http://www.fishbase.org>, 국내·외 및 FAO 어류도감을 참고하여 대만 및 일본 오키나와 주변의 열대 및 아열대 해역에서 서식·분포하는 어종을 아열대성 어종으로 정의하여 분석 하였다.

어류에 대한 군집분석은 McNaughton (1967)의 우점지수(Dominance index)를 계절별 출현하는 전체 총 개체수로 산출하였으며, 종다양성 분석은 Shannon and Wiener (1949)의 종 다양도 지수(Species diversity index, H'), Pielou (1969)의 균등도(E')와 Margalef (1958)의 종 풍도지수(R')를 사용하였다. 연도별 우점도는 K-dominance 곡선으로 비교하였고(Lambhead et al., 1983), 계절별 출현한 어종의 유·무를 이용하여 연

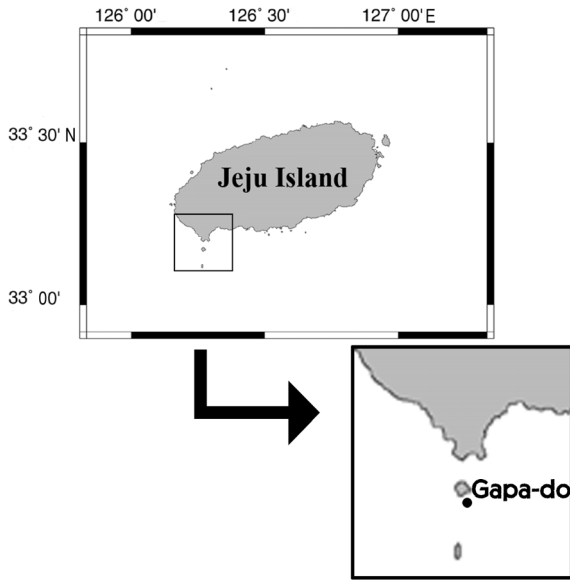


Fig. 1. A map of sampling site in Gapa-do, Jeju Island, from 2015 to 2019.

도별 유사도(similarity)를 분석하였다(Bray and Curtis, 1957). 그룹 간 유의차는 SIMPROF (similarity profile)

test를 실시하여 검정하였고, 그룹 간 유의차가 확인되면 SIMPER (Similarity percentage) 분석을 실시하여 각 그룹 간 비유사도(dissimilarity)에 기여하는 종을 확인하였다. 이러한 분석은 PRIMER version 6 (Clarke and Gorley, 2006)을 이용하여 산출 및 도식화 하였다.

결과

해양환경 특성

2015년부터 2019년까지 계절별(동계; 2월, 춘계; 5월, 하계; 8월, 추계; 11월) 조사해역의 표·저층 평균수온은 14.2~24.9℃로 동계에 낮고, 하계에 높은 계절적 패턴을 보였으며, 연 평균수온은 2015년에 18.9℃, 2016년 19.5℃, 2017년 18.9℃, 2018년 18.8℃, 2019년 19.5℃로 2016년과 2019년 평균수온(19.5℃)이 가장 높고, 2018년(18.8℃)에 가장 낮게 나타났다(Fig. 2). 계절별 평균수온은 2018년 동계에 13.1℃로 가장 낮았고, 2019년 하계에 26.5℃로 가장 높게 나타났다.

표·저층 평균염분은 33.6~34.5 psu로 동계에 높고, 하계에 낮은 패턴을 보였으며, 연 평균염분은 2015년에

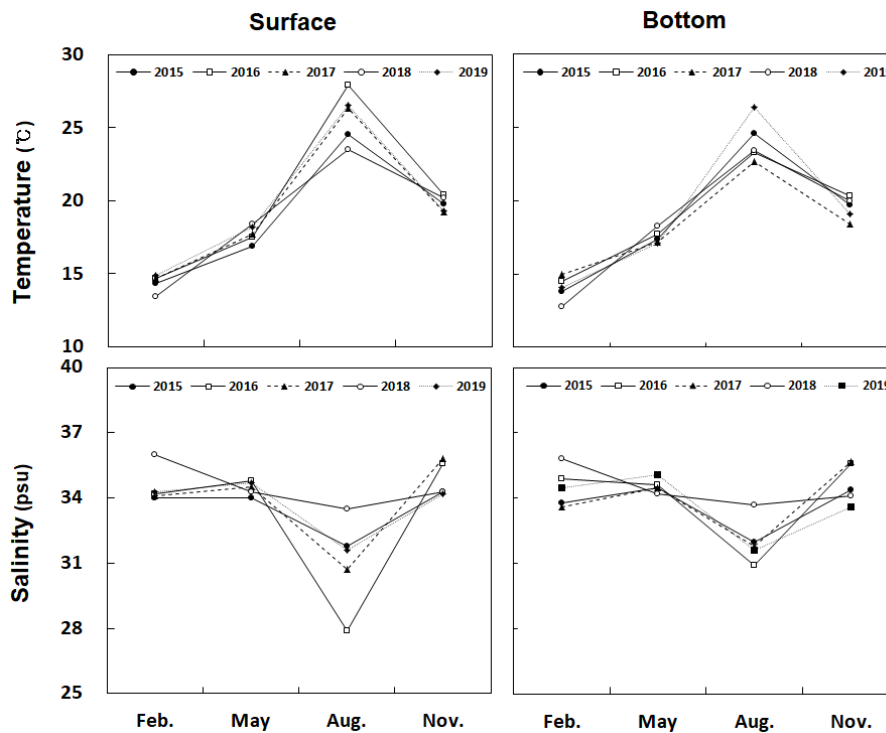


Fig. 2. Seasonal variations of Temperature (°C) and Salinity (psu) at study site in Gapa-do.

33.6 psu, 2016년 33.6 psu, 2017년 33.8 psu, 2018년 34.5 psu, 2019년 33.7 psu로 2018년(34.5 psu)에 가장 높고, 2015년과 2016년(33.6 psu)에 낮게 나타났다. 계절별 평균염분은 2016년 하계에 29.4 psu로 가장 낮았고, 2018년 동계에 35.9 psu로 높게 나타났다.

연도별, 계절별 종조성 현황

조사기간 동안 삼중자망에 의해 어획된 어류에 대한 연도별, 계절별 종조성 결과는 2015년부터 2019년까지 총 50종, 1,859개체, 446.1 kg이 어획되었고, 어획종수는 2015년 29종, 2016년 30종, 2017년 26종, 2018년 28종, 2019년 33종으로 2017년에 어획종수가 가장 적었으며, 2019년에 가장 높게 나타났다. 개체수는 2015년에 297개체로 조사기간 중 가장 낮았고, 2018년에 445개체로 가장 높았다. 생체량은 2015년에 70.1 kg으로 가장 낮았고, 2016년에 103.4 kg으로 가장 높게 나타났다. 계절별 어획종수는 동계에 20종, 춘계 32종, 하계 35종, 추계 32종으로 하계에 어획종수 증가, 동계에 감소하는 경향을 보였으며 개체수와 생체량의 경우도 같은 양상을 나타냈다(Table 1).

조사기간 동안 어획된 어종은 총 7목 30과 50종 이었는데, 이 중 농어목(Perciformes) 어류가 18과 29종으로 전체 어획종의 58.0%로 높은 점유율을 차지하였고, 다음으로는 썸뱅이목(Scorpaeniformes) 어류가 3과 9종, 점유율 18.0%로 나타났다(Table 2). 개체수 우점종은 썸뱅이(*Sebastes marmoratus*)가 254개체(13.7%)로 가장 많았고, 다음으로 볼락(*Sebastes inermis*) 233개체(12.5%), 쥐

치(*Stephanolepis cirrhifer*) 227개체(12.2%), 독가시치(*Siganus fuscescens*) 190개체(10.2%), 가시복(*Diodon holocanthus*) 185개체(10.0%)의 순으로 나타났다. 생체량 우점종은 독가시치 71.4 kg (16.0%), 가시복 68.3 kg (15.3%), 볼락 49.2 kg (11.0%), 썸뱅이 42.0 kg (9.4%), 긴꼬리벵에돔 41.6 kg (9.3%)의 순으로 나타났다.

어획된 어종의 연도별 어획현황은 2015년 4목 18과 29종(297개체 70.2 kg), 2016년 6목 2과 30종(405개체 103.4 kg), 2017년 3목 17과 26종(349개체 97.8 kg), 2018년 4목 20과 28종(445개체 92.4 kg), 2019년 5목 21과 33종(363개체 82.4 kg)으로 어획종수는 2019년에 가장 높았고, 개체수는 2018년, 생체량은 2016년에 각각 높게 나타났다. 분류군별로 썸뱅이목 어류는 2015년과 2018년에 각각 7종으로 다른 기간에 비해 높게 나타났고, 농어목 어류는 2019년에 21종으로 가장 높았다.

계절별 어획현황 조사결과에 의하면 동계 4목 15과 20종, 춘계 5목 20과 32종, 하계 4목 23과 35종, 추계 4목 19과 32종으로 수온이 낮은 동계에 어획량이 낮고, 수온이 높게 형성되는 하계에 가장 높은 어획량을 보였다. 동계와 하계를 제외한 다른 시기의 어획량은 춘계 20과 32종, 추계 19과 32종으로 유사한 출현 경향을 보였고, 개체수와 생체량은 춘계부터 증가하기 시작하여 하계에 최고치를 보인 후 추계에 감소한 것으로 나타났다. 조사해역에서 전체 어획된 50종 중 계절별로 모든 시기에 공통으로 나타난 종수는 14종(28.0%)이었으며 다른 시기에는 출현하지 않고, 어획종수가 가장 높았던 하계에 유일하게 출현한 어종은 8종으로 도화망둑

Table 1. Annual and seasonal variations of Species composition, number of individual and biomass of fishes collected by a trammel net in coastal waters of Gapa-do

Year / Season	Habitat		
	Species	Individual	Biomass (kg)
2015	29	297	70.1
2016	30	405	103.4
2017	26	349	97.8
2018	28	445	92.4
2019	33	363	82.4
Total	50	1,859	446.1
Winter	20	336	76.6
Spring	32	492	133.2
Summer	35	690	157.4
Autumn	32	341	78.8

Table 2. Annual variations in species composition of fish collected by a trammel net in the coastal water of Gapa-do from 2015 to 2019

Species	2015				2016				2017				2018				2019				Total			
	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%
<i>Dasyatis akajei</i> +					1	0.2	0.3	0.3													1	0.1	0.3	0.1
<i>Engraulis japonicus</i>	2	0.7	<0.1	<0.1	1	0.2	<0.1	<0.1					1	0.2	<0.1	<0.1					4	0.2	<0.1	<0.1
<i>Plotosus lineatus</i> +																					1	0.3	<0.1	<0.1
<i>Inimicus japonicus</i>	2	0.7	0.3	0.5																	2	0.1	0.3	0.1
<i>Scorpaenopsis cirrhosa</i> +													1	0.2	0.3	0.3					1	0.1	0.3	0.1
<i>Sebastes hubbsi</i>	8	2.7	1.6	2.2	57	14.1	11.1	10.8	18	5.2	3.2	3.3	21	4.7	3.7	4.0	32	8.8	5.7	6.9	136	7.3	25.3	5.7
<i>Sebastes inermis</i>	43	14.5	9.4	13.4	70	17.3	14.8	14.3	29	8.3	6.0	6.1	34	7.6	7.3	7.9	57	15.7	11.7	14.2	233	12.5	49.2	11.0
<i>Sebastes pachycephalus</i>	9	3.0	2.3	3.2	1	0.2	0.1	0.1	2	0.6	2.9	2.9	1	0.2	0.2	0.3	1	0.3	0.2	0.2	14	0.8	5.6	1.3
<i>Sebastes schlegeli</i>	1	0.3	0.5	0.6																	1	0.1	0.5	0.1
<i>Sebastes marmoratus</i>	50	16.8	8.3	11.8	50	12.3	8.5	8.3	49	14.0	8.3	8.4	75	16.9	11.9	12.9	30	8.3	5.0	6.1	254	13.7	41.0	9.4
<i>Pseudoblennius percoides</i>	2	0.7	0.1	0.2	2	0.5	<0.1	<0.1					2	0.4	0.2	0.2					6	0.3	0.4	0.1
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>													1	0.2	<0.1	<0.1					1	0.1	<0.1	<0.1
<i>Lateolabrax japonicus</i>	1	0.3	0.4	0.6																	1	0.1	0.4	0.1
<i>Scombrops boops</i>	1	0.3	0.1	0.2													1	0.3	<0.1	<0.1	2	0.1	0.2	0.0
<i>Apogon doderleini</i> +													3	0.7	0.1	0.1					3	0.2	<0.1	<0.1
<i>Apogon semilineatus</i> +					1	0.2	<0.1	<0.1	2	0.6	<0.1	<0.1					2	0.6	<0.1	<0.1	5	0.3	<0.1	<0.1
<i>Seriola dumerili</i> +					1	0.2	0.5	0.5	8	2.3	5.2	5.3	1	0.2	0.9	1.0	1	0.3	0.4	0.5	11	0.6	7.1	1.6
<i>Trachurus japonicus</i>					1	0.2	<0.1	<0.1	1	0.3	<0.1	<0.1					1	0.3	<0.1	<0.1	3	0.2	<0.1	<0.1
<i>Parapristipoma trilineatum</i>	3	1.0	1.4	2.1	8	2.0	3.4	3.3	8	2.3	2.7	2.8	11	2.5	3.5	3.8	9	2.5	3.1	3.7	39	2.1	14.2	3.2
<i>Pagrus major</i>													1	0.2	0.8	0.8					1	0.1	0.8	0.2
<i>Lethrinus haematopterus</i> +	2	0.7	0.5	0.6																	4	0.2	0.9	0.2
<i>Pseudupeneus spilurus</i> +					5	1.2	2.5	2.4	7	2.0	3.6	3.7	4	0.9	1.8	2.0					16	0.9	7.9	1.8
<i>Parupineus ciliatus</i> +																	9	2.5	4.4	5.3	9	0.5	4.4	1.0
<i>Pempheris japonica</i> +	2	0.7	0.1	0.1	1	0.2	<0.1	<0.1	5	1.4	0.2	0.2					9	2.5	0.5	0.6	17	0.9	0.9	0.2
<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i> +	1	0.3	0.2	0.2	9	2.2	1.7	1.7	6	1.7	1.2	1.2	17	3.8	2.7	2.9	3	0.8	0.5	0.7	36	1.9	6.3	1.4
<i>Girella leonina</i> +	72	24.2	16.1	22.9	23	5.7	6.3	6.1	23	6.6	5.5	5.6	21	4.7	5.5	6.0	33	9.1	8.2	9.9	172	9.3	41.6	9.3
<i>Girella punctata</i>	3	1.0	1.0	1.4	1	0.2	0.4	0.4	1	0.3	1.4	1.4	1	0.2	0.1	0.2	1	0.3	0.2	0.3	7	0.4	3.2	0.7
<i>Microcanthus strigatus</i> +					13	3.2	1.1	1.1	16	4.6	1.5	1.5	7	1.6	0.6	0.6	5	1.4	0.4	0.5	41	2.2	3.6	0.8

Table 2. Continued

Species	2015				2016				2017				2018				2019				Total			
	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%
<i>Kyphosus cinerascens</i> +	5	1.7	1.3	1.8													2	0.6	0.5	0.6	5	0.3	1.3	0.3
<i>Kyphosus vaigiensis</i>									6	1.7	1.9	2.0									6	0.3	1.9	0.4
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	2	0.7	2.0	2.9	1	0.2	0.4	0.4									1	0.3	0.5	0.5	4	0.2	2.9	0.6
<i>Oplegnathus punctatus</i> +	2	0.7	0.3	0.4	3	0.7	0.4	0.4	1	0.3	0.3	0.3	15	3.4	2.1	2.3	4	1.1	1.1	1.3	25	1.3	4.2	0.9
<i>Goniistius zonatus</i> +	26	8.8	6.0	8.5	10	2.5	3.6	3.5	2	0.6	0.4	0.4	27	6.1	7.5	8.1	26	7.2	7.1	8.6	91	4.9	24.5	5.5
<i>Ditrema temmincki</i>																	1	0.3	0.1	0.2	1	0.1	<0.1	<0.1
<i>Chromis notata</i> +	1	0.3	<0.1	0.1	3	0.7	0.3	0.2	1	0.3	<0.1	<0.1	1	0.2	<0.1	<0.1	3	0.8	0.1	0.1	9	0.5	0.5	0.1
<i>Choerodon azurio</i> +	1	0.3	0.4	0.6	10	2.5	3.9	3.8	1	0.3	0.4	0.4	12	2.7	3.6	3.9	8	2.2	3.0	3.7	32	1.7	11.3	2.5
<i>Semicossyphus reticulatus</i>	1	0.3	0.8	1.1					1	0.3	0.9	0.9									2	0.1	1.7	0.4
<i>Pseudolabrus sieboldi</i> +	1	0.3	0.1	0.1	1	0.2	<0.1	<0.1	1	0.3	0.1	0.1	3	0.7	0.3	0.3	1	0.3	<0.1	<0.1	7	0.4	0.5	0.1
<i>Pteragogus flagellifer</i>	1	0.3	<0.1	0.1	3	0.7	<0.1	<0.1					1	0.2	<0.1	<0.1	1	0.3	<0.1	<0.1	6	0.3	0.2	0.0
<i>Siganus fuscescens</i> +	29	9.8	8.7	12.3	42	10.4	15.0	14.5	75	21.5	29.2	29.9	33	7.4	14.1	15.3	11	3.0	4.4	5.3	190	10.2	71.4	16.0
<i>Scomber japonicus</i>									13	3.7	0.6	0.7									13	0.7	0.6	0.1
<i>Paralichthys olivaceus</i>					1	0.2	1.2	1.2													1	0.1	1.2	0.3
<i>Pseudaesopia japonica</i>																	1	0.3	0.1	0.1	1	0.1	<0.1	<0.1
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	9	3.0	1.9	2.6	50	12.3	8.6	8.3	30	8.6	4.7	4.8	86	19.3	8.1	8.7	52	14.3	8.2	9.9	227	12.2	31.3	7.0
<i>Thamnaconus modestus</i>					1	0.2	0.5	0.5													1	0.1	0.5	0.1
<i>Rudarius ercodes</i> +																	1	0.3	0.1	0.2	1	0.1	0.1	0.0
<i>Ostracion immaculatus</i> +	3	1.0	0.5	0.7					6	1.7	2.2	2.3	5	1.1	1.0	1.0	7	1.9	2.0	2.4	21	1.1	5.6	1.3
<i>Canthigaster rivulatus</i> +													4	0.9	0.8	0.9	1	0.3	0.2	0.3	5	0.3	1.0	0.2
<i>Takifugu poecilonotus</i>					3	0.7	0.8	0.8									2	0.6	0.4	0.4	5	0.3	1.2	0.3
<i>Diodon holocanthus</i> +	14	4.7	6.1	8.6	32	7.9	17.6	17.1	37	10.6	15.2	15.6	56	12.6	15.2	16.4	46	12.7	14.2	17.2	185	10.0	68.3	15.3
Total	29	100	70.2	100	405	100	103.4	100	349	100	97.8	100	445	100	92.4	100	363	100	82.4	100	1859	100	446.1	100
Number of species	29				30				26				28				33				50			

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

Table 3. Seasonal variations in species composition of fish collected by a trammel net in the coastal water of Gapa-do from 2015 to 2019

Species	Winter				Spring				Summer				Autumn			
	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%
<i>Dasyatis akajei</i> +													1	0.3	0.3	0.3
<i>Engraulis japonicus</i>	1	0.3	<0.1	<0.1					3	0.4	<0.1	<0.1				
<i>Plotosus lineatus</i> +					1	0.2	<0.1	<0.1								
<i>Inimicus japonoc</i>					1	0.2	<0.1	<0.1	1	0.1	0.3	0.2				
<i>Scorpaenopsis cirrhosa</i> +													1	0.3	0.3	0.3
<i>Sebastes hubbsi</i>	31	9.2	5.60	7.3	55	11.2	10.2	7.6	36	5.2	6.9	4.4	14	4.1	2.6	3.4
<i>Sebastes inermis</i>	64	19.0	12.8	16.8	98	19.9	21.1	15.8	48	7.0	10.3	6.5	23	6.7	5.0	6.3
<i>Sebastes pachycephalus</i>	2	0.6	0.50	0.6	12	2.4	5.2	3.9								
<i>Sebastes schlegeli</i>					1	0.2	0.5	0.3								
<i>Sebastes marmoratus</i>	46	13.7	7.50	9.7	59	12.0	9.3	6.9	113	16.4	19.8	12.6	36	10.6	5.5	6.9
<i>Pseudoblennius percoides</i>	2	0.6	0.20	0.3	3	0.6	<0.1	<0.1					1	0.3	<0.1	<0.1
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>									1	0.1	<0.1	<0.1				
<i>Lateolabrax japonicus</i>					1	0.2	0.4	0.3								
<i>Scombrops boops</i>					1	0.2	<0.1	<0.1	1	0.1	<0.1	<0.1				
<i>Apogon doderleini</i> +									3	0.4	<0.1	<0.1				
<i>Apogon semilineatus</i> +									5	0.7	<0.1	<0.1				
<i>Seriola dumerili</i> +									10	1.4	6.7	4.2	1	0.3	0.4	0.5
<i>Trachurus japonicus</i>									2	0.3	<0.1	<0.1	1	0.3	<0.1	<0.1
<i>Parapristsipoma trilineatum</i>	1	0.3	0.90	1.2	7	1.4	3.3	2.5	27	3.9	8.6	5.4	4	1.2	1.4	1.7
<i>Pagrus major</i>									1	0.1	0.8	0.5				
<i>Lethrinus haematopterus</i> +													5	1.5	1.3	1.6
<i>Pseudupeneus spilurus</i> +	2	0.6	1.3	1.6	8	1.6	3.4	2.6					6	1.8	3.2	4.1
<i>Parupineus ciliatus</i> +	4	1.2	2.2	2.9	2	0.4	1.2	0.9	2	0.3	0.7	0.4	1	0.3	0.3	0.4
<i>Pempheris japonica</i> +	2	0.6	<0.1	<0.1	3	0.6	<0.1	<0.1	8	1.2	0.5	0.3	4	1.2	0.2	0.3
<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i> +	2	0.6	0.4	0.5	2	0.4	0.3	0.3	27	3.9	4.6	2.9	5	1.5	0.9	1.2
<i>Girella leonina</i> +	104	31.0	22.9	29.8	18	3.7	5.4	4.1	25	3.6	7.5	4.8	25	7.3	5.8	7.4

Table 3. Continued

Species	Winter				Spring				Summer				Autumn				
	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%	N	%	W	%	
<i>Girella punctata</i>					6	1.2	2.7	2.0	22	3.2	1.8	1.1	1	0.3	0.4	0.5	
<i>Microcanthus strigatus</i> +					1	0.2	<0.1	<0.1					18	5.3	1.7	2.1	
<i>Kyphosus cinerascens</i> +													4	1.2	0.9	1.1	
<i>Kyphosus vaigiensis</i>													6	1.8	1.9	2.4	
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	2	0.6	2.0	2.6	1	0.2	0.5	0.3	1	0.1	0.4	0.3					
<i>Oplegnathus punctatus</i> +	1	0.3	<0.1	<0.1	1	0.2	0.2	0.1	18	2.6	2.8	1.8	5	1.5	1.1	1.4	
<i>Goniistius zonatus</i> +	11	3.3	2.7	3.6	37	7.5	8.0	6.0	32	4.6	9.9	6.3	11	3.2	3.9	4.9	
<i>Ditrema temmincki</i>									1	0.1	<0.1	<0.1					
<i>Chromis notata</i> +					1	0.2	<0.1	<0.1	7	1.0	0.3	0.2	1	0.3	0.2	0.2	
<i>Choerodon azurio</i> +					2	0.4	0.5	0.4	14	2.0	4.7	3.0	16	4.7	6.1	7.8	
<i>Semicossyphus reticulatus</i>					1	0.2	0.8	0.6	1	0.1	0.9	0.6					
<i>Pseudolabrus sieboldi</i> +					2	0.4	<0.1	<0.1	2	0.3	<0.1	<0.1	3	0.9	0.3	0.3	
<i>Pteragogus flagellifer</i>					1	0.2	<0.1	<0.1	2	0.3	<0.1	<0.1	3	0.9	<0.1	<0.1	
<i>Siganus fuscescens</i> +	29	8.6	11.8	15.3	69	14.0	27.4	20.6	53	7.7	17.6	11.2	39	11.4	14.7	18.6	
<i>Scomber japonicus</i>									13	1.9	0.6	0.4					
<i>Paralichthys olivaceus</i>					1	0.2	1.2	0.9									
<i>Pseudaesopia japonica</i>									1	0.1	<0.1	<0.1					
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	26	7.7	4.1	5.3	39	7.9	7.7	5.8	103	14.9	12.3	7.8	59	17.3	7.3	9.2	
<i>Thamnaconus modestus</i>									1	0.1	0.5	0.3					
<i>Rudarius ercodes</i> +													1	0.3	0.1	0.2	
<i>Ostracion immaculatus</i> +	1	0.3	0.2	0.3	5	1.0	1.2	0.9	12	1.7	3.5	2.2	3	0.9	0.8	1.0	
<i>Canthigaster rivulatus</i> +					1	0.2	0.2	0.2					4	1.2	0.8	1.0	
<i>Takifugu poecilonotus</i>	1	0.3	0.2	0.2					2	0.3	0.5	0.3	2	0.6	0.5	0.7	
<i>Diodon holcanthus</i> +	4	1.2	1.3	1.6	52	10.6	21.8	16.4	92	13.3	34.3	21.8	37	10.9	10.9	13.8	
Total	336	100	76.6	100	492	100	133.2	100	690	100	157.4	100	341	100	78.8	100	
Number of species		20				32				35				32			

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

(*Amblychaeturichthys hexanema*), 세줄얼게비늘(*Apogon dodorleini*), 줄도화돔(*Apogon semilineatus*), 참돔(*Pagrus major*), 망상어(*Ditrema temmincki*), 고등어(*Scomber japonicus*), 각시서대(*Pseudaesopia japonica*), 말쥐치(*Thamnaconus modestus*)로 조사되었다(Table 3).

아열대성 어류 어획현황

조사기간 동안 총 50종이 어획되었으며, 이 중 아열대성 어류는 25종이 어획되어 전체의 50% 출현율을 나타냈다. 연도별 어획양상은 2015년 어획종 29종, 아열대성 어류 13종(44.8%), 2016년 어획종 30종, 아열대성 어류 14종(46.7%), 2017년 어획종 26종, 아열대성 어류 15종(57.7%), 2018년 어획종 28종, 아열대성 어류 16종(57.1%), 2019년 어획종 33종, 아열대성 어류 20종(60.6%)으로 아열대성 어류 출현율은 연차적으로 증가하는 경향을 보였고, 특히, 최근 2019년 출현경향은 2015년에 비해 15.8% 증가한 것으로 나타났다. 계절별 변화의 경우 동계 11종(55.0%), 춘계 17종(53.1%), 하계 17종(48.6%), 추계 22종(68.8%)으로 동계에서 하계까지 출현율이 감소하다 추계에 가장 높은 어획비율을 나타냈다. 또한, 가파도 연안에서 서식하고 있는 아열대성

어류에 대한 개체수 우점종은 독가시치, 가시복, 긴꼬리벵에돔, 아홉동가리, 벤자리(*Parapristipoma trilineatum*), 청줄돔(*Chaetodontoplus septentrionalis*), 호박돔(*Choerodon azurio*), 강담돔(*Oplegnathus punctatus*), 거북복(*Ostracion immaculatus*), 주걱치(*Pempheris japonica*), 금줄촉수(*Parupineus ciliatus*)등의 순으로 나타났고, 이들 어종들은 가파도 연안에서 계절별로 연중 서식하는 것으로 확인되었다(Fig. 3).

우점종

연도별 우점종을 살펴보면, 2015년 제1 우점종은 긴꼬리벵에돔, 제2 우점종 쏜뱅이, 제3 우점종 볼락, 제4 우점종 독가시치, 제5 우점종 아홉동가리의 순이었으며 우점지수(DI)는 8.8~24.2 범위로 이들 종은 전체 개체수의 74% 이상을 차지하였다(Table 4). 2016년 제1 우점종은 볼락, 제2 우점종 우럭볼락, 제3 우점종 쏜뱅이, 제4 우점종 쥐치, 제5 우점종 독가시치의 순이었으며 DI는 10.4~17.3 범위로 전체 개체수의 66% 이상이었다. 2017년 제1 우점종은 독가시치, 제2 우점종 쏜뱅이, 제3 우점종 가시복, 제4 우점종 쥐치, 제5 우점종 볼락의 순이었으며 DI는 8.3~21.5 범위로 전체 개체수의 63% 이상이었다. 2018년 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 쏜뱅이, 제3 우점종 가시복, 제4 우점종 볼락, 제5 우점종 독가시치의 순이었으며 DI는 7.4~19.3 범위로 전체 개체수의 63% 이상이었다. 2019년 제1 우점종은 볼락, 제2 우점종 쥐치, 제3 우점종 가시복, 제4 우점종 긴꼬리벵에돔, 제5 우점종 우럭볼락의 순이었으며 DI는 8.8~15.7 범위로 전체 개체수의 60% 이상이었다.

계절별 우점종을 살펴보면, 저수온기인 동계에 제1 우점종은 긴꼬리벵에돔, 제2 우점종 볼락, 제3 우점종 쏜뱅이, 제4 우점종 우럭볼락, 제5 우점종 독가시치의 순이었으며 DI는 8.6~31.0 범위로 동계에 최상위 우점종은 긴꼬리벵에돔으로 나타났다(Table 5). 수온이 점차 상승하는 춘계의 제1 우점종은 볼락, 제2 우점종 독가시치, 제3 우점종 쏜뱅이, 제4 우점종 우럭볼락, 제5 우점종 가시복이었으며, DI는 10.6~19.9 범위로 춘계 최상위 우점종은 볼락이었다. 수온이 최대로 상승하는 하계의 제1 우점종은 쏜뱅이, 제2 우점종 쥐치, 제3 우점종 가시복, 제4 우점종 독가시치, 제5 우점종 볼락의 순이었으며 DI는 7.0~16.4 범위로 하계 최상위 우점종은

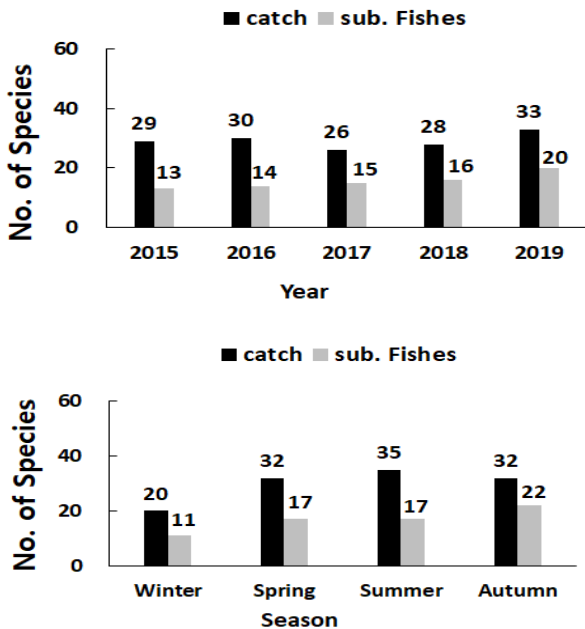


Fig. 3. Annual (left) and seasonal (right) variations of number of species at catch fishes and subtropical fishes collected by a trammel net in the coastal water of Gapa-do from 2015 to 2019.

Table 4. Annual variations of dominant species and community dominance index (DI) of fish collected by a trammel net in the coastal water of Gapa-do from 2015 to 2019

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
2015	<i>Girella leonina</i>	24.2	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	16.8	<i>Sebastes inermis</i>	14.5	<i>Siganus fuscescens</i>	9.8	<i>Goniistius zonatus</i>	8.8
2016	<i>Sebastes inermis</i>	17.3	<i>Sebastes hubbsi</i>	14.1	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	12.3	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	12.3	<i>Siganus fuscescens</i>	10.4
2017	<i>Siganus fuscescens</i>	21.5	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	14.0	<i>Diodon holocanthus</i>	10.6	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	8.6	<i>Sebastes inermis</i>	8.3
2018	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	19.3	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	16.9	<i>Diodon holocanthus</i>	12.6	<i>Sebastes inermis</i>	7.6	<i>Siganus fuscescens</i>	7.4
2019	<i>Sebastes inermis</i>	15.7	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	14.3	<i>Diodon holocanthus</i>	12.7	<i>Girella leonina</i>	9.1	<i>Sebastes hubbsi</i>	8.8

Table 5. Seasonal variations of dominant species and community dominance index (DI) of fish collected by a trammel net in the coastal water of Gapa-do from 2015 to 2019

Season	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
winter	<i>Girella leonina</i>	31.0	<i>Sebastes inermis</i>	19.0	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	13.7	<i>Sebastes hubbsi</i>	9.2	<i>Siganus fuscescens</i>	8.6
Spring	<i>Sebastes inermis</i>	19.9	<i>Siganus fuscescens</i>	14.0	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	12.0	<i>Sebastes hubbsi</i>	11.2	<i>Diodon holocanthus</i>	10.6
Summer	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	16.4	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	14.9	<i>Diodon holocanthus</i>	13.3	<i>Siganus fuscescens</i>	7.7	<i>Sebastes inermis</i>	7.0
Autumn	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	17.3	<i>Siganus fuscescens</i>	11.4	<i>Diodon holocanthus</i>	10.9	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	10.6	<i>Girella leonina</i>	7.3

솜뱅이로 나타났다. 하계에 비해 수온이 점차 하강하는 추계 제1 우점종은 쥐치, 제2 우점종 독가시치, 제3 우점종 가시복, 제4 우점종 솜뱅이, 제5 우점종 긴꼬리벵에돔의 순이었으며 DI는 5.8~22.9 범위였고, 추계 최상위 우점종은 쥐치였다.

군집지수

어획종 중 상위 5% 이상 우점종 합에 어획 개체수로 계산한 우점도 지수(DI)를 연도별로 살펴본 결과 0.76~0.80 범위로 2016년에 높고, 2019년에 낮은 값을 보였으며 계절별 변화의 경우 0.69~0.89 범위로 하계에 낮고, 동계에 높은 값을 나타냈다(Table 6). 종 다양도 지수(H') 변화에 있어 우선, 연도별 변화의 경우 2.43~2.68 범위로 2019년에 높고, 2015년에 낮은 값을 나타냈으며, 계절별 변화의 경우 2.07~2.79 범위로 추계에 높고, 동계에 낮게 나타났으나, 춘계를 제외한 다른 시기의 군집

지수 값은 비교적 유사한 경향을 보였다. 어획종수와 생물량에 따라 변화하는 균등도 지수(E')의 연도별 변화의 경우 0.72~0.79 범위로 2017년에 높고, 2015년에 가장 낮은 값을 보였고, 계절별 변화는 추계에 0.81로 최대, 동계에 0.69로 최소값을 나타냈다. 종 풍부도 지수(R)의 연도별 변화의 경우 4.27~5.43 범위로 2019년에 높았고, 2017년 낮았으며, 계절별 변화는 종 다양도와 종 풍부도 지수 변화와 같은 양상으로 추계에 5.32로 높고, 동계에 3.27로 가장 낮게 나타났다.

한편, 각 연도별로 어획된 어종의 전체 생체량 자료를 이용하여 연도별 우점종에 대해 K-dominance 곡선으로 연도별 종 다양도를 비교 분석해 보았다(Fig. 4).

K-dominance 곡선 상 60% 이내에 포함된 종수를 살펴보면, 2015년에 4종, 2016년 3종, 2017년 4종, 2018년 5종, 2019년 5종으로 나타나 연도별 종 다양도는 2019년과 2018년에 가장 높고, 2016년에 가장 낮게 나타났

Table 6. Variations of community indices of fish collected by a trammel net in the coastal water of Gapa-do from 2015 to 2019

Year, Season	2015	2016	2017	2018	2019	Winter	Spring	Summer	Autumn
Community indices									
Dominance index (DI)	0.79	0.80	0.79	0.79	0.76	0.89	0.83	0.69	0.74
Diversity index (H')	2.43	2.55	2.59	2.57	2.68	2.07	2.48	2.74	2.79
Evenness index (E')	0.72	0.75	0.79	0.77	0.77	0.69	0.72	0.77	0.81
Richness index (R)	4.92	4.83	4.27	4.43	5.43	3.27	5.00	5.20	5.32

다. 연도별 생체량 최상위 우점종은 2015년에 긴꼬리벵에돔, 2016년 가시복, 2017년 독가시치, 2018년과 2019년에 각각 가시복으로 나타났다.

유사도

결과에 의하면, 통계학적으로 유의차를 보이는 2개 그룹으로 나뉘었고, 그룹 A (2015년)와 그룹 B (2016년, 2017년, 2018년, 2019년)로 구분 되었다(Fig. 5). 그룹 A는 그룹 B와 74%의 유사도를 나타냈다(SIMPROF

test, $P < 0.05$). 2개로 구분된 그룹간의 차이(비유사성, dissimilarity)에 기여하는 종을 확인하기 위해 SIMPER 분석을 실시한 결과, 2개로 구분된 그룹 중 유의차를 보인 A 그룹과 나머지 그룹에서 비유사도 기여도가 35%로 낮았으며, 이 그룹간 비유사도에 기여한 종은 긴꼬리벵에돔, 가시복, 쥐치, 독가시치, 두줄촉수(*Pseudupeneus spilurus*) 순으로 나타났다.

고 찰

가파도 주변 해황에 영향을 미치는 수괴로는 동중국해에서 북상하는 대마난류수에 의해 직접적인 영향을 미치고 수심이 깊은 저층의 황해저층냉수와 여름철 양자강 유출수가 있는데, 이번 연구해역은 황해저층냉수와 양자강 유출수의 영향을 받으며 복잡하고 다양한 해황상태를 보이고 있다(Ko et al, 2003). 또한, 가파도 연안 해저지형은 대부분 암반 지형을 기반으로 불규칙적인 수중 여와 수직암반이 여러 곳에 형성되어 있고, 가파른 수직 경사도에 의해 수심변화도 심하게 나타나는 해역으로 암반과 해빈으로 구성되어 있는 제주도 본섬 연안의 해저지형과는 다른 지형 구조를 띠고 있다. 이러한 해저지형은 잘 발달된 용승역과 빠른 유속에 의해 영양염류가 높은 저층수를 표층으로 끌어 올리는 연안용승 현상이 활발히 이루어져 이 해역의 기초 생산력을 높이게 된다(Pang and Kim, 1993).

제주도 연안의 수온과 염분 특성은 동중국해에서 북상하는 대마난류수의 영향을 받아 연평균 높은 수온이 유지되고 계절별로 하계에 강한 일사와 높은 강수량 및 하천수 유입에 의해 수온과 염분 변화가 심하게 나타난다. 조사기간(5년간) 동안 평균수온은 19.1℃로 2016년과 2019년에 나타난 19.5℃의 높은 수온을 제외하면 18.8~18.9℃의 유사한 범위를 나타냈고, 연도별 염분 변화의 경우 평균염분은 33.8 psu로 2018년 34.5 psu의

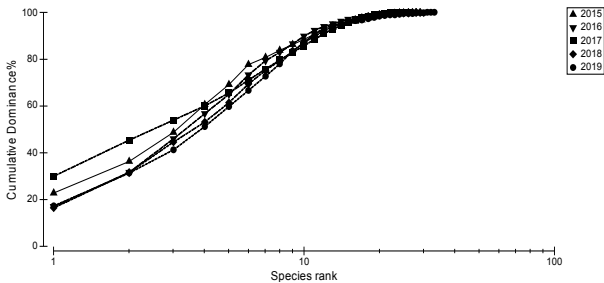


Fig. 4. K-dominance curves (x-axis logged) of total biomass of fish collected by a trammel net in the coastal water of Gapa-do from 2015 to 2019.

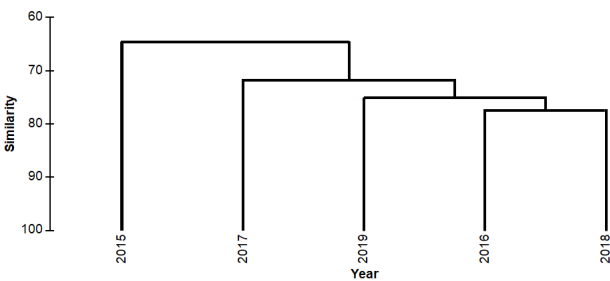


Fig. 5. Results of cluster analysis performed on Bray Curtis similarity from standardized species presence/absence transformed data. The dotted lined indicate no significant difference of fish collected by a trammel net in the coastal water of Gapa-do from 2015 to 2019.

높은 염분을 제외하면 33.6~33.8 psu로 염분변화 차이가 심하지 않고 비교적 유사하게 나타났다. 기 보고된 제주도 연안 어류군집 연구결과(Ko et al., 2015)에 의하면 제주도 본섬 연안 4개 정점에서 분기별 2년간 조사된 평균 수온과 염분은 각각 18.8℃, 33.8 psu로 본 연구결과와 비교해 보면 염분은 동일한 값(33.8 psu)을 나타낸 반면, 수온은 19.1℃로 0.3℃ 높게 나타났다. 이처럼 가파도 연안의 수온이 본섬 수온보다 높게 나타난 요인은 제주도 본섬의 남부에 위치해 있어 대마난류의 주류수가 직접적인 영향을 받는 것과 최근 기후변화로 인해 수온 변동폭이 크게 나타나는 특정 시기(2016, 2019년) 발생 횟수가 많았던 것으로 판단된다.

조사기간 동안 삼중자망으로 어획된 어류는 총 7목 30과 50종이 출현 하였고, 분류군별로 살펴보면, 가파도 연안에 서식하는 어류들 중 농어목 어류(58%)와 쏨뱅이목 어류(18%)의 점유율이 높게 나타났다. 연도별 어획종수 변화 중 다른 조사 시기는 28~30종의 유사한 범위였지만, 2017년에 26종으로 가장 낮았고, 2019년은 33종으로 가장 높게 나타났다. 이처럼 어획종수 변화폭이 크게 나타난 시기를 그 해의 수온 측정값과 비교해 보면, 어획종수가 가장 낮게 나타난 2017년의 경우 평균 저층수온(18.3℃) 및 하계와 추계의 수온도 다른 시기의 측정값보다 가장 낮았고, 어획종수가 가장 높았던 2019년의 경우 표·저층 평균수온은 다른 시기와 유사하지만, 특히, 계절별로 어획종수가 가장 높은 하계 저층수온이 26.4℃로 다른 시기의 저층수온 보다 2~3℃ 높게 나타난 것으로 판단된다.

본 연구에서 어획된 종수는 총 50종으로 조사 되었고, 기존에 보고된 어류군집 연구결과와 비교해 보면, 제주도 남부 연안 36종(Go and Shin, 1988), 북부 연안 36종(Go and Shin, 1990), 서부 연안 81종(Lee et al., 2009) 및 최근에 보고된 제주연안 4개 정점에서 83종(Ko et al., 2015)이었다. 이처럼, 조사 정점수가 많고, 여러 어구가 사용된 결과에 비해 본 연구의 어획 종수는 낮았지만, 이외에 제주도 본섬 연안에서 조사된 결과에 비하면 어획종수가 높게 나타났다. 어획된 종수 변화를 계절별로 살펴보면, 동계 20종, 춘계 32종, 하계 35종, 추계 32종으로 춘계부터 어획종수가 증가하기 시작하여 하계에 가장 높고 이후 낮아지는 경향을 보였다. 또한, 계절에 관계없이 연중 어획된 어종은 14종이었고, 다른 계절

에는 나타나지 않고 하계에만 나타난 종은 8종으로 도화망둑, 세줄옆계비늘, 줄도화돔, 참돔, 망상어, 고등어, 각시서대, 말쥐치였다. 이처럼 하계에 어획종수가 높게 나타나는 현상은 수온이 높게 나타나는 시기에 어류 종조성이 높게 나타난다는 기존 연구결과와 유사한 경향을 보였다(Lee et al., 2009; Kim et al., 2012).

가파도 연안에서 어획된 우점종 변화를 살펴보면, 연도별, 계절별로 최상위 우점종은 긴꼬리병에돔, 볼락, 독가시치, 쥐치, 쏨뱅이로써 이들 어종이 가파도 연안에 서식하는 대표종 이었다. 연도별 제1 우점종의 경우 2016년과 2019년에 각각 볼락으로 나타났으나, 이외의 시기에는 다른 종들이 상위 우점순위를 차지하였고, 2016년을 제외한 다른 시기에 쏨뱅이와 가시복이 제2, 3 우점종으로 같은 출현 양상을 나타냈다. 계절별 우점종 양상의 경우 온대성 어류와 아열대성 어류가 우점순위를 교차하면서 다양한 우점 양상을 보였고, 특히, 하계보다 추계에 제1~5 우점종 중 아열대성 어종이 3종(독가시치, 가시복, 긴꼬리병에돔)으로 나타나 아열대성 어종의 계절별 우점 양상은 추계에 가장 높게 나타난다는 연구결과(Ko et al., 2015)와 일치하게 나타났다.

연도별, 계절별 군집지수 변화의 경우 우점도 지수(DI) 0.69~0.89, 종 다양도 지수(H') 2.07~2.79, 균등도 지수(E') 0.69~0.81, 종 풍부도 지수(R) 3.27~5.43로 연도별로 2015년에 종 다양도 및 균등도 지수가 다른 시기에 비해 가장 낮았고, 2019년의 경우 어획종수가 가장 높게 나타난 결과에 의해 조사기간 중 종 다양도 및 풍부도 지수가 가장 높게 나타났다. 계절별 군집지수 변화에 있어 우점도 지수를 제외하면 동계에 낮고, 추계에 높게 나타났다. 이러한 결과를 최근에 보고된 연구의 종 다양도 지수를 비교해 보면, 제주도 서부연안(Lee et al., 2009) 2.80~3.22 및 제주도 4개 연안(Ko et al., 2015) 2.92~3.14로 본 연구결과에 비해 비교적 높게 나타났다. 이처럼 본 연구의 군집지수 값이 기 보고된 연구결과보다 낮게 나타난 요인은 조사 정점수 및 어획종수 차이에 기인한 것으로 판단되며, 계절별 군집지수 변화 양상은 수온이 상승하는 시기인 하계에 높게 나타난 선행 연구와 반대 양상으로 본 연구에서는 수온이 점차 하강하는 추계에 군집지수가 높게 나타났다. 이러한 원인은 하계에 특정종들의 개체수 우점현상으로 어획종수와 개체수 관계에서 군집내 다양성 및 균등성이 다르게 나타

난 것으로 판단된다.

제주도 연안은 한반도에 영향을 미치는 대표적 난류 수인 대마난류수로 인해 해양생물 가입 및 종 다양성이 높게 나타나고, 제주도 주변해역의 여러 수괴들에 의해 해양환경 특성이 다양해 열대 및 아열대 생물이 서식할 수 있는 적합한 환경이 형성 된다(Snelgrove and Butman, 1994; Yang et al., 2007). 조사기간 동안 가파도 연안에 아열대성 어종은 총 25종이 어획되었고, 이는 총 어획된 어종(50종) 중 50% 이상의 출현율을 나타냈다. 연도별로 2015년부터 2018년까지 13~16종(44.8~57.1%)이 출현 하였지만, 2019년에 20종(60.6%)으로 가장 높은 출현율을 보였고, 계절별로도 동계에서 하계까지는 11~17종(48.6~55.0%)이었으나, 특히, 추계에 22종(68.8%)으로 가장 높게 출현한 것으로 나타났다. 또한, 계절에 관계없이 연중 어획된 종은 14종으로 이 중 아열대성 어종은 10종이었고, 분류군별로 농어목 어류에서 7종, 북어목(Tetraodontiformes) 어류 3종의 순으로 나타났다. 최근 제주도 주변연안에서 다양한 연구 활동의 결과로 새로운 아열대 어종 및 미기록 종 어류가 밝혀지고 있다. 기 보고된 연구결과와 비교해 보면, 제주도 서부연안에서 아열대 어종 출현율이 48%였고(Lee et al., 2009), 제주도 4개 연안에서는 49% (Ko et al., 2015)로 나타났지만, 본 연구에서는 50%로 아열대성 어류 출현율이 증가한 것으로 나타났다. 이처럼 제주도 본섬에 비해 가파도 연안에서 아열대성 어류 출현율이 높게 나타나는 것은 지리적으로도 남쪽에 위치해 있고, 춘계부터 추계까지 산란과 번식을 위해 외해에서 유입되는 첫 번째 길목이 가파도 주변 연안이며 기초 생산력이 풍부함에 따라 산란장과 월동장을 찾아 이동해 오기 때문인 것으로 판단된다.

아열대 해역 어류군집에 가장 중요한 환경요인은 적정한 수온범위 유지가 관건이며, 아열대 해양환경을 형성하기 위해서는 평균수온이 연중 18~20℃ 이상 유지되어야 하고(Kwon et al., 2007), 일차생산력이 높으며 영양염류의 적정한 농도범위 형성 유·무에 따라 어류 군집구조가 달라진다(Sorokin, 1995). 제주도 연안 해양생태계는 기후변화에 따라 아열대화로 진행 중임이 확연한 현실로 나타나고 있으며 이러한 환경에서 서식·분포하는 어류의 종조성, 우점양상 및 군집구조 등이 변화는 당연한 사실이다. 따라서, 기존 온대해역에서 서식하

는 토착성 어류 및 아열대 어류 군집구조 변화에 대한 지속적인 연구조사가 무엇보다도 필요하며 서식지 확산에 따른 북상한계선 해역 모니터링 조사 등 권역별 해양생물 군집생태 연구가 절실히 요구된다.

결론

제주도 남부 가파도 연안에서 서식하는 어류의 군집구조와 계절적 변동을 파악하기 위해 2015년부터 2019년까지 삼중자망을 이용하여 어획물 종조성 및 계절변화를 분석하였다. 연도별 평균 수온, 염분은 각각 18.9℃, 33.6 psu (2015), 19.5℃, 33.6 psu (2016), 18.9℃, 33.8 psu (2017), 18.8℃, 34.5 psu (2018), 19.5℃, 33.7 psu (2019)로 비교적 안정된 수괴를 형성하고 있었다. 조사기간 동안 총 8목 30과 50종이 어획되었으며 썸뱅이목(3과 9종), 농어목(18과 29종) 어종이 전체 어획종의 68%를 차지하고 있었다. 시기별 어획종수는 고수온기인 8월에 35종으로 가장 많이 어획되었고, 저수온기인 2월에 20종으로 가장 적게 어획되었다. 시기별 어획개체수와 생체량은 8월에 690개체, 151.4 kg으로 가장 높았으며, 2월에 336개체, 76.6 kg으로 낮았다. 연도별 종다양도(H'), 균등도(E') 및 풍부도(R) 지수의 범위는 각각 2.54~2.75, 0.68~0.76, 5.31~6.65로 2015년에 낮고, 2018년에 높게 나타났다. 주요 우점종은 썸뱅이, 볼락, 쥐치, 독가시치, 가시복, 긴꼬리뱅에돔 등으로 이 어종들은 계절에 상관없이 조사해역 내에서 우점 출현하고 있었다. 조사기간 동안 아열성 어류는 총 25종, 출현율 50.0%로 나타났으며, 연도별 어획종수는 2019년에 20종으로 가장 많이 어획되었고, 2015년에 13종으로 가장 적었다. 조사해역에서 어획된 아열대성 어류의 주요 우점종은 독가시치, 가시복, 긴꼬리뱅에돔, 아홉동가리, 범돔, 벤자리, 청줄돔 등으로 나타났다.

사사

본 연구는 국립수산물품질관리원 제주수산연구소 「제주주변 연근해어업 및 환경생태조사 R2021035」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>.
- Cha BY, Kim DK, Yoon JT and Kim BY. 2008. Composition and catch variation of fishes by a set net in the coastal waters off Gwideuk, Jeju Island. *Kor J Ichthyol* 20, 28-35.
- Cha BY, Chang DS and Kim BY. 2004. Seasonal variation of fish catch by a set net in Hamdeuk fishing ground off Jeju Island. *Kor J Kor Fish Soc* 37, 65-72.
- 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 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. *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 BY, Seo DO and Lee CH. 2009. Catch fluctuation of the pound set net according to tide age in the coastal waters of Jeju. *J Kor Fish Soc* 42, 83-88.
- Kim JT, Rho HG and Kim SH. 2002. Studies on the forming mechanism of the fishing ground of yellow tail, *Seriola quinqueradiata*, in the Adjacent Sea of Jeju Island. *J Kor Fish Technol* 30, 20-35.
- Kim JY, Kim JN and Choi JH. 2012. Seasonal variation of species composition in marine organisms at Oryukdo in the southeastern waters off Korea. *J Kor Fish Mar Sci Edu* 24, 781-792.
- Kim YU, Myoung JG, Kim YS, Han KH, Kang CB and Kim JG. 2001. Marine fishes of Korea. Hangeul 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.
- 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.
- Kwon YA, Kwon WT, Boo KO and Choi YG. 2007. Future projections on subtropical climate regions over South Korea using SRES AIB Data. *J Kor Geography Soc* 42, 355-367.
- Lambshead 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.
- Lee CH and Choi CM. 2008. Catch fluctuation of the rectangular set net according to the tide age in the coastal waters of Jeju. *J Korean Soc Fish Technol* 44, 112-119.
- Masuda H, Amaoka K, Araga C, Uyeno T and Yoshino T. 1992. The fishes of the Japanese archipelago. Tokai University Press. Tokyo, pls 378, 1-456.
- Margalef DR. 1958. Information theory in ecology. *General systems* 3, 36-71.
- 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, 1-1474.
- Pang IC and Kim TH. 1993. Upwelling of the western coastal water in Cheju Island. *Bull Nat Cheju Univ* 17, 1-12.
- Pielou EC. 1969. An introduction to mathematical ecology, 291-331. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0).
- Rho HG. 1985. Studies on arine environmental of fishing

- ground in the waters around Jeju Island. Ph.D. Thesis, Tokyo Univ, Japan, 215.
- Shannon CE and Wiener W. 1949. The mathematical theory of communication. University Illinois Press, Chicago, 125. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.
- Snelgrove PVR and Butman CA. 1994. Animal-sediment relationships revisited : cause versus effect. *Oceanogr Mar Biol: an Annual Review* 32, 111-177.
- Sorokin YI. 1995. *Coral Reef Ecology*. Springer Verlag Press, Berlin, 465.
- 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.
-
2020. 08. 24 Received
2020. 10. 07 Revised
2020. 10. 30 Accepted