

동해 남부 연안에서 출현하는 저어류 군집구조의 변화

박주면 · 백근욱¹ · 허성회^{2*}

강릉원주대학교 해양자원육성학과, ¹경상대학교 해양식품생명과학과, ²부경대학교 해양학과

Variations in Demersal Fish Assemblage in the Southern Coast of East Sea, Korea

Joo Myun Park, Gun Wook Baeck¹ and Sung-Hoi Huh^{2*}

Department of Marine Bioscience, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

¹Department of Seafood and Aquaculture Science, College of Marine Science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

²Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

We investigated temporal and depth-related variation in species composition and abundance of the fish assemblage in the southern East Sea. Fish samples were collected seasonally between 2007 and 2008 using a demersal trawl off the southern coast of Korea. We identified 59 fish species belonging to 41 families. The most frequently occurring species was *Coelorinchus multispinosus*, followed by *Lophius litulon*, *Acropoma japonicum* and *Apogon lineatus*. The five most abundant species were *A. lineatus*, *A. japonicum*, *Myctophum nitidulum*, *Engraulis japonicus* and *C. multispinosus*, accounting for 87.04% of the total number of individuals collected. The number of species, abundance and diversity fluctuated with sampling location and time. Permutational multivariate analyses of variance revealed that the assemblage structure was influenced by year, season and water depth, with season being the main indicator. These changes were visually emphasized using non-metric multidimensional scaling ordination plots. Fluctuations in assemblage structure were due to differential contributions of the dominant species.

Key words: Fish assemblage, Temporal variation, Water depth, Trawl fisheries, East Sea

서론

연구해역은 동해 남부 부산광역시와 울산광역시 경계에 위치한 해역으로 해안선이 단조롭고 외양으로 갈수록 수심이 급격히 깊어지는 전형적인 동해 연안의 지형적 특징을 가지고 있다. 동해는 반폐쇄형 연안해(marginal sea)로 동해의 생태계는 북쪽에서 연안을 따라 남하하는 북한한류와 남쪽에서 북상하는 고온/고염의 대마난류의 영향을 받는 특징을 가지고 있다(Naganuma, 2000; Lee et al., 2009). 또한, 동해 남부 연안에서는 여름철에 해류와 바람의 영향을 받아 저층수의 용승에 의한 냉수대가 자주 출현하며(Kim and Kim, 1983), 이러한 용승현상에 의해 풍부한 영양염이 공급되어 생산력이 높고 먹이 생물이 풍부하여 때때로 상업성 어종들의 성육장, 월동장 또는 섭이장의 역할을 하기도 한다. 예를 들어 용가자미(*Cleisthenes pinetorum*), 꼼치(*Liparis tanakae*) 등 상업성 저어류의 미성

어(juvenile)가 연구해역 주변에 서식하는 것으로 보고되었다(Park, 2010). 그러나, 최근 동해에서 기후변화에 따른 대마난류의 강한 북쪽으로 확장에 의해 생물 군집의 변화가 관찰되고 있다(Kang et al., 2000; Tian et al., 2011; Park et al., 2017).

지금까지 연구해역 주변에서는 다양한 어구(저인망, 삼각망, 통발 등)를 사용한 어류 군집 연구가 수행되었다(Jo, 2001; Choo, 2007; Baeck et al., 2010; Park and Huh, 2015). 과거 연구들은 어류 채집에 사용된 어구 종류에 따라 어류 종조성의 차이가 나타났고, 이는 각 어종의 생태적 특성 또는 수괴에서 분포 특성에 따른 결과로 판단되었다. 반면, 본 연구와 동일어구(저인망)를 사용한 과거 연구들은 유사한 우점종 분포를 보였다(Jo, 2001; Choo, 2007). 그러나 과거 연구들은 어류 군집구조의 공간적 차이에 대하여 조사하지 않았고, 이러한 군집구조 차이에 어떤 요인이 어느 정도의 영향을 미치는지에 관하여 고려하지 않았다. 생물 군집구조의 시공간 변화는 다양한 요인에 영

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0426>



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.

Korean J Fish Aquat Sci 51(4) 426-434, August 2018

Received 3 May 2018; Revised 29 May 2018; Accepted 5 June 2018

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 6570 Fax: +82. 51. 629. 6568

E-mail address: shhuh@pknu.ac.kr

향을 받기 때문에, 다변량분석(multivariate analysis)에 의해서 이러한 변화를 합리적으로 설명할 수 있다.

따라서, 본 연구는 한국 동해 남부 연안에서 계절별, 수심별 저인망을 이용하여 채집한 어류 군집의 종조성과 군집구조가 시간과 공간에 따라 차이를 나타냈는지 조사하였다. 본 연구결과 는 향후 동해안 장기간 어류 군집변화를 예측하기 위한 기초자료가 될 것이다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 시료는 한국 동해 남부 연안해양의 수심 30-70 m에서 2007년과 2008년에 계절별로 소형기선저인망(길이, 20 m; 폭, 4 m; 날개 그물의 망목, 3 cm; 자루 그물의 망목, 1 cm)을 이용하여 채집하였다(Fig. 1). 수심에 따른 어류군집 차이를 비교하기 위하여 30-40 m, 40-50 m, 50-60 m, 60-70 m 사이에서 등심선을 따라 각 수심에서 계절별 1회씩 그물을 예인하였다. 2007년 겨울에는 50-60 m와 60-70 m에서 각각 2회 시료를 채집하였고, 2회 평균값을 사용하였다. 시료 채집은 각 수심별로 30분간 평균 2 knot (약 3.7 km/h)의 속도로 저인망을 예인하였고, 1회 채집 당 총 예인 면적은 약 7,400 m²이었다. 채집된 어류의 현존량은 단위면적당(10,000 m²)으로 나타났다. 계절은 겨울(2월), 봄(5월), 여름(8월), 가을(11월)로 구분하여 조사를 진행하였다. 어류의 출현량 변동에 영향을 미치는 환경요인을 측정하기 위하여 표층과 저층(10, 20, 30, 50, 60 m) 수온을 CTD (conductivity temperature depth; SBE19, Sea-Bird Electronics, USA)를 이용하여 측정하였다. 채집된 시료는 현장에서 ice box에 보관하여 실험실로 운반한 후, 종별로 개체수와 생체량(0.1 g)을 측정하였다.

각 월별 어류 군집 구조를 비교하기 위하여 Shannon and Wiener의 종다양도지수(H')를 구하였다(Shannon and Weaver, 1949). 현존량 자료는 우점종에 대한 영향을 최소화하기 위하여 분석 전에 로그변환(log₁₀[x+1])을 실시하였다. 연도, 계절, 수심에 따른 어종수, 현존량, 다양도의 차이를 분석하기 위하여 분산분석(three-way ANOVAs)을 실시하였고, 모든 변수는 고정변수(fixed factor)로 지정하였다.

연도, 계절, 수심별 어류 군집구조의 차이를 분석하기 위하여, 로그변환한 어류 현존량 자료는 Bray-Curtis similarity를 이용하여 유사도 매트릭스를 구축하였고, nMDS (non-metric multidimensional scaling) ordination을 이용하여 시각화하였다(Clarke et al., 2006). 이후 각 요인(연도, 계절, 수심)과 3요인의 상호효과의 유의성을 분석하기 위하여, three-way PERMANOVAs (permutational multivariate analyses of variance)를 실시하였다. PERMANOVA는 샘플간 거리를 이용한 비모수(non-parametric) 분산분석으로, 가설을 검증하기 위하여 permutation 방법을 사용한다. PERMANOVA는 또한 각 요인과 상호효과의 기여정도에 대하여 components of variation (COV)을 부여한다. 높은 COV값은 특정요인 또는 상호효과

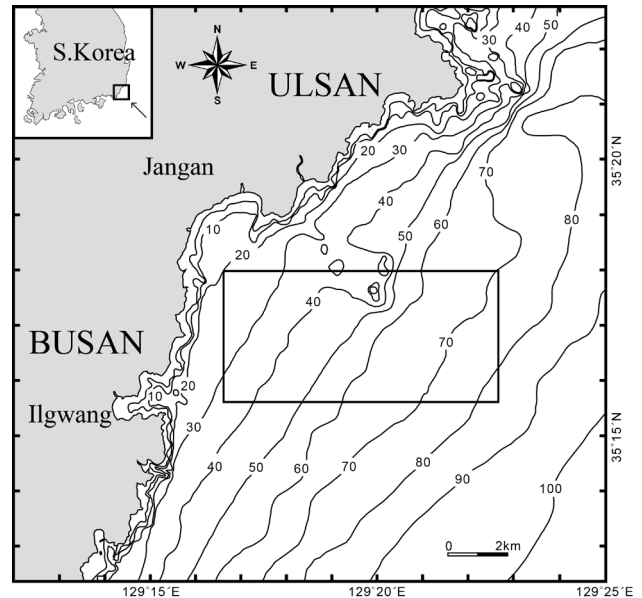


Fig. 1. Location of the study area in the southern coast of East Sea, Korea. Samples were collected along the four isobath contours (between 30-40 m, 40-50 m, 50-60 m and 60-70 m) within boxed area.

가 자료 구조를 결정하는데 더 큰 영향을 나타냄을 지시한다(Anderson et al., 2008; Linke 2011). PERMANOVA 결과 어류 군집구조에서 유의한 차이가 나타났을 경우($P < 0.05$), CAP (canonical analyses of principal coordinates)을 통하여 어류 군집을 구분하였고, 어떤 어종이 각 그룹을 구분하는데 기여하였는지, 또는 상호 연관성이 높은지를 분석하였다(Anderson et al., 2008). 각 어종의 상대적 기여도는 상호연관계수(correlation coefficients) 0.5 이상을 나타내는 어종을 이용하였다.

분산분석을 위해 SYSTAT software를 이용하였고(Systat version 18, SPSS Inc., Chicago), 다변량분석은 PRIMER v7 multivariate statistics package (www.primer-e.com)와 PERMANOVA+add-on module을 이용하여 수행하였다(Anderson et al., 2008; Clarke and Gorley, 2015).

결 과

수심별 수온변동

조사해역의 표층 수온은 12.7-22.8°C의 범위를 보였는데, 2007년 겨울에 가장 낮았고, 2008년 여름에 가장 높았다(Fig. 2). 저층 수온은 대부분 조사시기에서 수심 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으나, 겨울과 봄에는 표층 수온과 큰 차이를 보이지 않았다. 여름철에는 수심 증가에 따라 수온이 급격히 감소하는 경향을 보였는데, 2007년 여름에는 30-60 m, 2008년 여름에는 10-20 m 사이에서 급격히 감소하였다. 특히, 60 m의 수온은

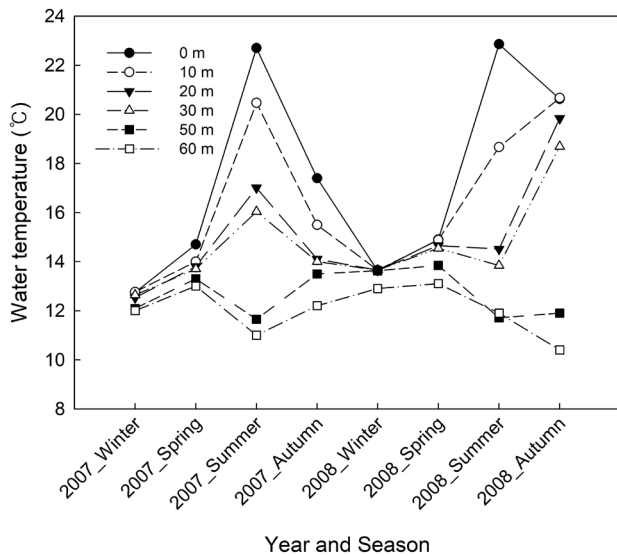


Fig. 2. Seasonal and depth-related variations in water temperature in the southern coast of East Sea, Korea.

2007년 여름과 2008년 가을에 최저치를 보였다(11.0-10.4℃). 2008년 가을에는 2007년에 비해 비교적 높은 수온 분포를 보였는데, 표층에서 수심 30 m까지는 20℃내외의 값을 나타냈고, 수심 50 m 이하에서 수온이 급격히 감소하였다.

어류 군집의 종조성

조사기간 동안 41과에 속하는 총 59종, 35,880개체, 505,468.1 g의 어류가 채집되었다(Table 1). 총 34회 채집에서 줄비늘치(*Coelorinchus multispinulosus*)의 출현빈도가 가장 높았으며(88.2%), 그 다음으로 황아귀(*Lophius litulon*)(85.3%), 반딧불게르치(*Acropoma japonicum*)(82.4%), 열동가리돔(*Apogon lineatus*)(82.4%) 순으로 높았다(Table 1). 출현빈도 50% 이상(17회 이상 출현)을 나타낸 어종은 총 7종이었으며, 12종은 1회(2.9%)만 출현하였다. 현존량에서 가장 많이 채집된 종은 열동가리돔으로 전체 채집 개체수의 34.51%를 차지하였다. 그 다음으로 반딧불게르치와 샛비늘치(*Myctophum nitidulum*)가 각각 전체 채집 개체수의 26.89%와 18.03%를 차지하였다. 그 다음으로 멸치(*Engraulis japonicus*), 줄비늘치 순으로 많이 채집되었는데 상기 5종은 700개체/10,000 m² 이상 채집되었으며 전체 채집 개체수의 87.04%를 차지하였다. 생체량에서는 황아귀가 전체 채집 생체량의 29.21%, 꼼치가 16.64%를 차지하였다. 그 다음으로 반딧불게르치, 성대(*Chelidonichthys kumu*), 열동가리돔 순으로 채집되었는데, 상기 5어종은 전체 채집 생체량의 72.06%를 차지하였다.

어류 군집의 변화: 연도, 계절, 수심의 영향

조사기간 동안 채집된 어류 군집의 종수, 현존량, 종다양도는

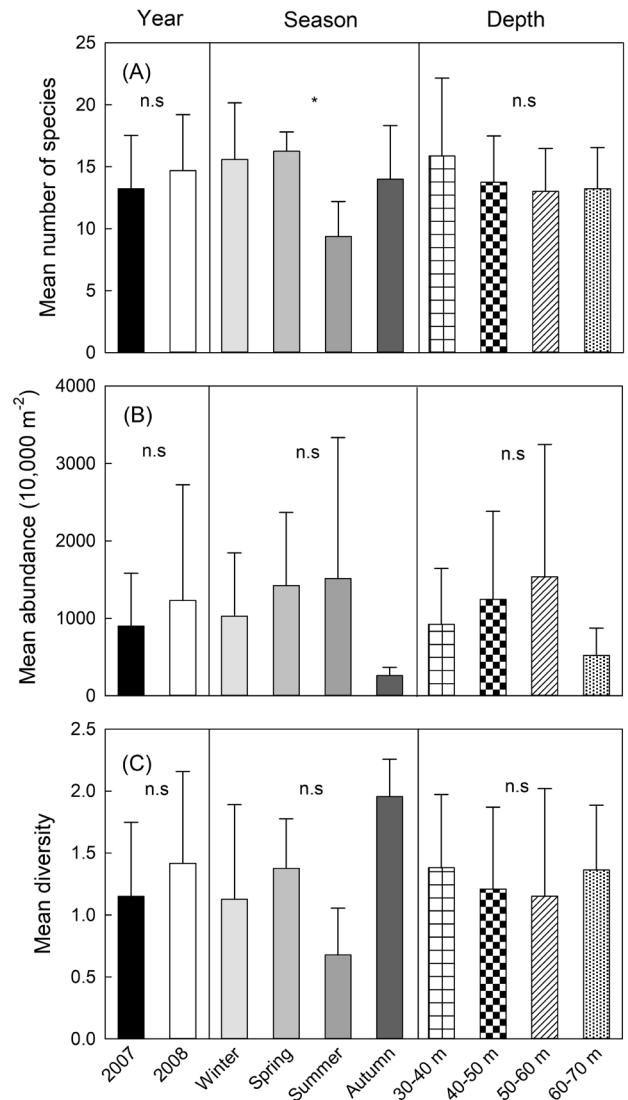


Fig. 3. Variations in mean number of species (A), abundance (B) and diversity (C) of fish assemblages with respect to year, season and depth. Bars represent standard deviations. n.s., no significance; *, significant at $P=0.05$.

연도, 계절, 수심에 따라 차이를 보였다(Fig. 3). 평균 어종수는 연도별, 수심별 큰 차이를 보이지 않았지만, 계절별로 여름에 비교적 적은 어종이 출현하였다. 평균 현존량은 2008년에 더 높았으며, 가을과 수심 60-70 m에서 다른 계절과 수심에 비해 비교적 낮은 값을 나타냈다. 종다양도지수 또한 연도별, 수심별로 큰 차이를 보이지 않았지만, 여름에 상대적으로 낮고 가을에 높은 경향을 나타냈다. Three-way ANOVAs 결과, 오직 종수만 계절에 따라 유의한 차이를 보였으며($P<0.05$), 현존량과 다양도는 연도, 계절, 수심에 따라 유의한 차이가 없었다. 그리고 2요인(two-way) 또는 3요인(three-way)의 상호효과 또한 통계

Table 1. Species composition of fish assemblage by frequency of occurrence (F), total number (N) and weight (W) and their percentage collected seasonally between 2007 and 2008 in the southern coast of East Sea, Korea

Family	Scientific name	F	%F	N	%N	W	%W
Acropomatidae	<i>Acropoma japonicum</i>	28	82.4	9,647	26.89	50,438.2	9.98
	<i>Doederleinia berycoides</i>	12	35.3	77	0.21	2,384.4	0.47
	<i>Malakichthys wakiyae</i>	4	11.8	11	0.03	34.6	<0.01
Aploactinidae	<i>Erispex pottii</i>	4	11.8	7	0.02	20.9	<0.01
Apogonidae	<i>Apogon lineatus</i>	28	82.4	12,381	34.51	33,761.6	6.68
	<i>Ostorhinchus semilineatus</i>	2	5.9	12	0.03	28.0	<0.01
Argentinidae	<i>Glossanodon semifasciatus</i>	1	2.9	1	<0.01	56.1	0.01
Bothidae	<i>Laeops kitaharae</i>	2	5.9	3	<0.01	9.5	<0.01
Callionymidae	<i>Callionymus lunatus</i>	16	47.1	89	0.25	1,269.3	0.25
	<i>Callionymus</i> sp.A	3	8.8	18	0.05	243.6	0.05
	<i>Callionymus</i> sp.B	1	2.9	8	0.02	99.8	0.02
	<i>Callionymus valenciennei</i>	8	23.5	35	0.10	372.1	0.07
Carangidae	<i>Trachurus japonicus</i>	14	41.2	128	0.36	1,059.2	0.21
Centrolophidae	<i>Psenopsis anomala</i>	11	32.4	135	0.38	8,999.2	1.78
Champsodontidae	<i>Champsodon snyderi</i>	4	11.8	8	0.02	25.3	<0.01
Clupeidae	<i>Clupea pallasii</i>	13	38.2	659	1.84	3,845.7	0.76
	<i>Sardinella zunasi</i>	1	2.9	1	<0.01	24.6	<0.01
Congridae	<i>Conger myriaster</i>	25	73.5	112	0.31	6,201.6	1.23
Cynoglossidae	<i>Cynoglossus joyneri</i>	10	29.4	42	0.12	1,752.2	0.35
	<i>Cynoglossus robustus</i>	9	26.5	23	0.06	800.2	0.16
Engraulidae	<i>Coilia nasus</i>	8	23.5	66	0.18	2,306.1	0.46
	<i>Engraulis japonicus</i>	15	44.1	2,001	5.58	13,280.2	2.63
Gadidae	<i>Gadus macrocephalus</i>	7	20.6	312	0.87	810.3	0.16
Gobiidae	<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	6	17.6	24	0.07	211.0	0.04
	<i>Chaeturichthys sciistius</i>	4	11.8	26	0.07	82.2	0.02
Hemipteridae	<i>Hemipteris villosus</i>	1	2.9	1	<0.01	256.9	0.05
Leiognathidae	<i>Nuchequula nuchalis</i>	6	17.6	26	0.07	394.0	0.08
Liparidae	<i>Liparis agassizii</i>	1	2.9	1	<0.01	46.6	<0.01
	<i>Liparis tanakae</i>	13	38.2	662	1.85	84,129.2	16.64
Lophiidae	<i>Lophius litulon</i>	29	85.3	428	1.19	147,643.0	29.21
Macrouridae	<i>Coelorinchus multispinulosus</i>	30	88.2	731	2.04	7,671.0	1.52
Mullidae	<i>Upeneus japonicus</i>	2	5.9	4	0.01	42.6	<0.01
Myctophidae	<i>Myctophum nitidulum</i>	9	26.5	6,469	18.03	11,461.1	2.27
Nemipteridae	<i>Parascolopsis inermis</i>	1	2.9	1	<0.01	38.5	<0.01
Ophiidiidae	<i>Neobythites sivicola</i>	2	5.9	4	0.01	18.6	<0.01
Paralichthyidae	<i>Pseudorhombus pentophthalmus</i>	20	58.8	195	0.54	17,270.0	3.42
Pholidae	<i>Pholis nebulosa</i>	1	2.9	1	<0.01	67.2	0.01
Pleuronectidae	<i>Cleisthenes pinetorum</i>	14	41.2	339	0.95	11,730.9	2.32
	<i>Eopsetta grigorjewi</i>	9	26.5	74	0.21	2,675.5	0.53
	<i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>	13	38.2	31	0.09	3,718.2	0.74
Rajidae	<i>Okamejei kenojei</i>	3	8.8	14	0.04	537.4	0.11

Table 1. Continued

Family	Scientific name	F	%F	N	%N	W	%W
Sciaenidae	<i>Pennahia argentata</i>	6	17.6	11	0.03	206.6	0.04
Scombroptidae	<i>Scombroptops boops</i>	1	2.9	54	0.15	174.8	0.03
Sebastidae	<i>Sebastiscus tertius</i>	2	5.9	7	0.02	532.6	0.11
	<i>Helicolenus hilgendorffii</i>	3	8.8	35	0.10	2,025.7	0.40
Sillaginidae	<i>Sillago japonica</i>	3	8.8	18	0.05	597.7	0.12
Sphyracidae	<i>Sphyracna pinguis</i>	4	11.8	7	0.02	397.3	0.08
Stromateidae	<i>Pampus echinogaster</i>	1	2.9	1	<0.01	161.9	0.03
Synodontidae	<i>Saurida tumbil</i>	2	5.9	3	<0.01	123.8	0.02
Tetrarogidae	<i>Paracentropogon rubripinnis</i>	2	5.9	34	0.09	145.1	0.03
Trichiuridae	<i>Trichiurus lepturus</i>	13	38.2	224	0.63	12,225.5	2.42
Triglidae	<i>Chelidonichthys kumu</i>	17	50.0	574	1.60	48,281.2	9.55
	<i>Lepidotrigla guentheri</i>	7	20.6	14	0.04	565.2	0.11
	<i>Lepidotrigla microptera</i>	1	2.9	1	<0.01	254.9	0.05
Uranoscopidae	<i>Uranoscopus japonicus</i>	1	2.9	1	<0.01	352.2	0.07
	<i>Xenoccephalus elongatus</i>	1	122.9	1	<0.01	163.7	0.03
Zeidae	<i>Zeus faber</i>	12	35.3	57	0.16	20,889.3	4.13
	<i>Zenopsis nebulosa</i>	2	5.9	5	0.02	1,785.8	0.35
Zoarcidae	<i>Zoarcis gillii</i>	5	14.7	22	0.06	768.2	0.15

적 유의성이 없었다.

조사 해역의 어류 군집은 연도, 계절, 수심에 따라 nMDS ordination plot에서 공간적으로 구분되었다(Fig. 4). 연도별로 2007년 어류 군집은 nMDS plot의 중앙에서 상하부에 위치해 있고, 2008년 어류 군집은 중앙에서 세로로 분포해 있었다. 계절별로 겨울 그룹은 그림의 상부, 봄 그룹은 오른쪽, 가을 그룹은 중앙

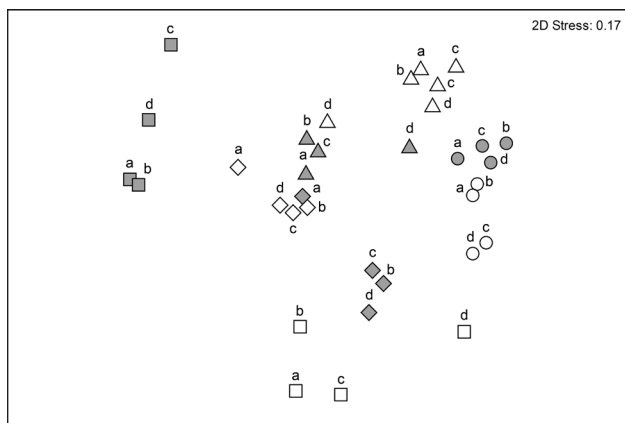


Fig. 4. nMDS ordination of fish assemblages constructed from Bray-Curtis similarity matrices of the four depths and four seasons. open symbols=2007, grey symbols=2008; triangle=winter, circle=spring, square=summer, diamond=autumn; 'a'=30-40 m, 'b'=40-50 m, 'c'=50-60 m, 'd'=60-70m.

에 위치해 있었다. 특히, 여름 그룹은 연도별로 차이를 보였는데, 2007년 여름 그룹은 중앙의 하부에 위치해 있었고, 2008년 여름 그룹은 왼쪽 상부에 위치해 있었다. 그러나 수심에 따른 어류 군집은 nMDS plot에서 뚜렷이 구분되지 않았다. Three-way PERMANOVAs 결과 조사해역의 어류 군집 구조는 연도, 계절, 수심에 따라 유의한 차이를 보였다(Table 2). 연도, 계절, 수심에 대한 상호효과를 봤을 때, 연도×계절에 대한 상호효과와 3요인의 상호효과는 유의하였지만, 연도×수심 또는 수심×계절의 상호효과는 유의한 영향이 없었다. 각 요인 또는 상호효과에 대한 COV값은 연도×계절의 상호효과에서 가장 높았고, 그 다음으로 계절의 효과가 높은 값을 보였다.

PERMANOVA 결과 연구해역의 어류 군집은 계절과, 연도-계절의 상호효과에 유의한 영향을 받았기 때문에, 연도와 계절의 상호영향을 고려하여 CAP 분석을 실시하였다(Fig. 5). CAP 분석 결과 어류 군집은 연도와 계절에 따라 유의한 차이를 나타냈다($t=5.730$; $P=0.001$; 999 permutations). CAP plot에서, 총 10종이 correlation vector 0.5 이상을 나타냈는데, 대부분 어종은 겨울 및 봄 군집과 상호 연관성이 높았다(Fig. 5). 꼼치, 샛비늘치, 참서대(*Cynoglossus joyneri*), 황아귀는 봄 군집을 다른 계절과 구분하는데 기여하였고, 황아귀는 2007년 봄 군집, 꼼치, 샛비늘치, 참서대는 2008년 봄 군집을 구분하는데 기여하였다. 개서대(*Cynoglossus robustus*)와 점납치(*Pseudorhombus pentophthalmus*)는 겨울 군집을 대표하는 어종이었고, 반딧불게르치와 샛돔(*Psenopsis anomala*)은 2008년 여름 군집과

상호 연관성이 높았다. 그러나 2007년 여름 군집과 correlation 0.5이상을 나타내는 어종은 없었다.

우점종의 출현량 변동

어류군집 차이에 대한 우점종의 영향을 분석하기 위하여, 상위 9 우점종을 대상으로 각 연도별, 계절별 평균 현존량 변동을 조사하였다(Fig. 6). 열동가리돔의 평균 현존량은 2007년 겨울에 매우 높은 값을 보였고, 봄에는 평균 300-400개체/10,000 m²가 출현하였으나, 여름과 가을에는 매우 낮은 평균 현존량을 보였다(Fig. 6a). 반딧불게르치와 섯비늘치는 각각 2008년 여름과 봄에 대부분의 개체가 출현하였고, 그 외 계절에는 출현개체가 없거나, 소수의 개체만 출현하였다(Fig. 6b, 6c). 멸치와 청어(*Clupea pallasii*)는 두 종 모두 2007년 여름철에만 높은 현존량을 보였고(Fig. 6d, 6g), 꼼치는 봄철에 대부분 개체가 출현하였다(Fig. 6f). 줄비늘치와 황아귀는 다른 우점종에 비해 연도별, 계절별 평균 현존량의 큰 변동을 보이지 않았다(Fig. 6e, 6i). 성대는 연도에 상관없이 가을에 높은 평균 현존량을 보였고, 다른 계절에는 평균 현존량이 다소 낮았다(Fig. 6h).

고 찰

본 연구는 총 8회의 계절별 저인망 조사에서 총 59종의 어류를 채집하였다. 본 연구와 같은 해역에서 연구된 어류 군집 연구 중, 본 연구와 동일한 어구를 사용한 저인망 조사에서는 1년간 월별 12회 채집에 의해 총 73-99종이 채집되었고(Jo, 2001; Choo, 2007), 삼각망 조사에서는 59종(Baeck et al., 2010), 4년간 총 16회 통발 조사에서는 32종이 채집되었다(Park and Huh,

Table 2. Mean squares (MS), pseudo-F ratios, significance levels (P) and component of variable (COV) for a series of PERMANOVA tests, employing Bray-Curtis similarity matrices derived from the abundance of fish assemblages for differences in response to year, season, depth and interactions of three factors. Bold values indicated statistical significance ($P < 0.05$)

Source	df	MS	Pseudo-F	P	COV
Main test					
Year	1	4731.2	8.395	0.009	15.885
Season	3	10732.0	19.042	0.001	35.052
Depth	3	1685.4	2.990	0.048	11.651
Interaction					
Year×Season	3	6423.0	11.397	0.001	37.630
Year×Depth	3	1405.0	2.493	0.116	14.270
Season×Depth	9	893.5	1.585	0.141	12.611
Year×Season×Depth	9	1229.5	2.182	0.035	25.339
Residuals	2	563.6			

df, degree of freedom; MS, mean square; P, statistical significance; COV, component of variation.

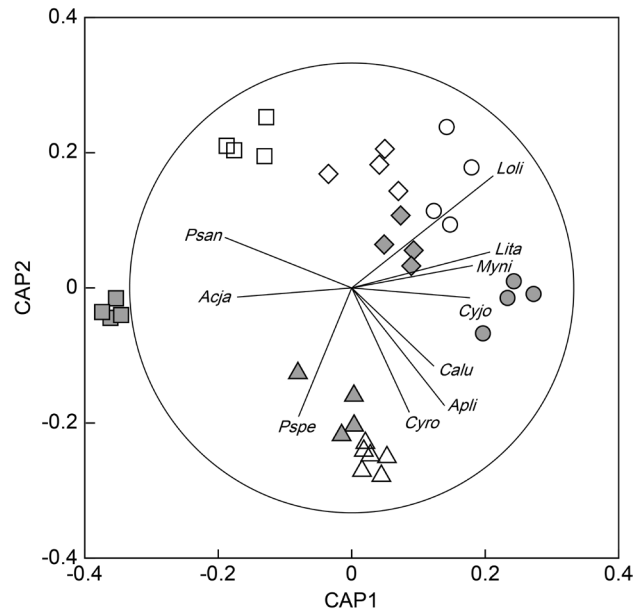


Fig. 5. Canonical analysis of principal coordinates (CAP) ordination plots of fish assemblages to assess differences among terms of year-season interaction. Species correlations with each canonical axis are represented as vectors for species with correlations greater than 0.5. Vectors represent Pearson correlations and the circle indicates a correlation of 1. open symbols=2007, grey symbols=2008; triangle=winter, circle=spring, square=summer, diamond=autumn. Species abbreviations: *Acja*, *Acropoma japonicum*; *Apli*, *Apogon lineatus*; *Calu*, *Callionymus lunatus*; *Cyjo*, *Cynoglossus joyneri*; *Cyro*, *Cynoglossus robustus*; *Lita*, *Liparis tanakae*; *Loli*, *Lophius litulon*; *Myni*, *Myctophum nitidulum*; *Psan*, *Penopsis anomala*; *Pspe*, *Pseudorhombus pentophthalmus*.

2015). 본 연구에서 채집된 어종수는 과거 저인망 조사에 비해 적었고, 통발 조사 보다는 많았지만, 삼각망 조사와는 같았다. 일반적으로 생물 군집 조사에서 채집횟수가 증가할수록 채집되는 어종수가 증가하는 경향을 보인다(Shin and Lee, 1990). 또한, 동일한 지역에서 동일한 시기에 어류를 채집할 경우, 저인망 조사가 넓은 지역에 서식하는 어류를 어종 선택성을 최소화하여 채집하기 때문에, 다른 어구(자망, 통발, 정치망 등) 사용에 비해 더 다양한 어종이 채집된다(An, 2002). 따라서, 본 연구는 1년간 월별 조사가 아닌 계절별 조사로 인해 과거 저인망 조사에 비해 채집 어종수가 적었지만, 저인망 조사의 특성상 비교적 많은 어종이 채집되었다.

채집된 어류 중에서 열동가리돔과 반딧불게르치가 전체 채집개체수의 60% 이상을 차지하여 가장 우점하였다(Table 1). 본 조사와 같은 해역에서 연구된 어류 군집연구에서 통발에서는 붕장어(*Conger myriaster*) (Park and Huh, 2015), 삼각망에서는 전갱이(*Trachurus japonicus*)와 숭어(*Mugil cephalus*)

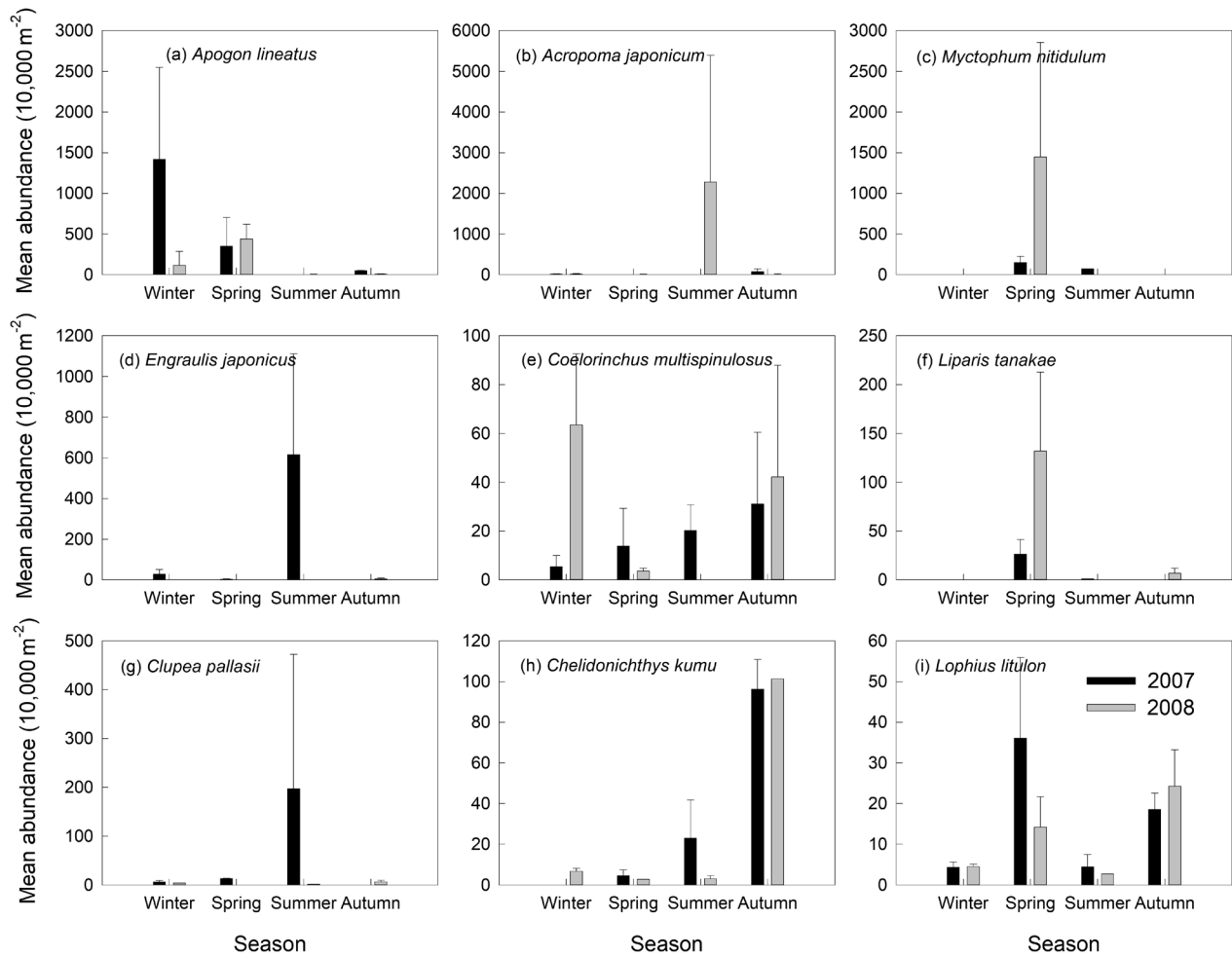


Fig. 6. Seasonal variations in mean abundance (\pm SD) of nine common fish species (a-i) during 2007 and 2008.

(Baeck et al., 2010)가 우점종이었다. 이와 같이 채집어구에 따른 우점종의 차이는 어구에 의한 어종 선택성의 차이, 서식지 및 수심별 어종의 차이 때문으로 생각된다. 즉, 통발에서는 저어류(benthic fish), 삼각망에서는 부어류(pelagic fish)가 우점종으로 채집된 반면, 저인망에서는 반저서성 어류(semi-benthic fish)가 우점종이었다. 국내에서 본 연구와 유사한 어구(저인망)를 사용하여 수행된 많은 어류 군집 조사에서도 반저서성 어류를 우점종으로 보고하였다(e.g. Huh and An, 2000; Jeong et al., 2014). 또한, 동해에서 같은 어구(저인망)를 이용한 어류 군집 연구를 살펴보면, 포항 영일만(하구역, 수심 15-30 m)에서는 돛양태(*Callionymus lunatus*), 두줄망둑(*Tridentiger trignocephalus*) 등이 우점하였고, 울진과 후포(수심 20-50 m)에서는 물메기(*Liparis tessellatus*), 기름가자미(*Glyptocephalus stelleri*), 용가자미 등이 우점하였다(Lee, 1999; Lee, 2011). 이와 같이 동해 어류군집은 위도(남부 vs 중부)와 서식지(연안역

vs 하구역)에 따라 우점종의 차이를 보였다.

동해 남부연안 어류 군집은 계절에 따라 뚜렷한 차이를 보였고, 연도별로 2007년과 2008년 여름철 군집에서 큰 차이를 보였다. 이러한 차이는 계절별, 연도별 여름철에 상대적으로 적은 종수와 우점종 출현량의 차이 때문이었는데, 우점종 중에 반딧불게르치의 현존량은 2008년 여름에 높았고, 멸치와 청어는 2007년 여름에 높았다. 이러한 연도별, 계절별 어류 군집의 차이는 저층 수온으로 설명할 수 있는데, 여름철에 다른 계절과 달리 수심 증가에 따라 수온이 급격히 감소하는 경향을 보였고, 2007년 여름철에는 50 m에서, 2008년 여름에는 수심 20 m에서 수온이 급격히 감소하였다. 이러한 여름철 저층 수온의 감소는 동해 남부연안에서 발생하는 연안 용승에 의한 저층 냉수대 출현 때문으로 생각되었다(Kim and Kim, 1983). 저층 냉수가 좀 더 얕은 수심까지 출현하였던 2008년에는 냉수에 대한 내성이 좀 더 높았던 반딧불게르치의 출현량이 높았고, 저층 냉수의

출현이 약했던 2007년 여름에는 부어류인 멸치와 청어가 좀 더 깊은 수심까지 출현할 수 있었던 것으로 판단된다. 해양생물들은 육상생물에 비해 수온의 변동에 매우 민감하며, 이러한 수온 변동이 우점종의 출현량에 영향을 미쳐 연간 군집구조에서 차이를 나타낼 가능성이 있다. 그러나 이러한 수온변동 외에 각 생물종 자체의 개체군 특이성, 회유성 어종의 연도별 현존량 차이 등의 요인이 이러한 변동에 복합적인 요인으로 작용할 수 있다.

본 연구에서 채집된 어종 중 다수의 어종은 미성어도 함께 출현하였다. 예를 들어, 꼼치와 청어의 경우 봄에서 초여름까지 미성어의 출현량이 높았는데(Park, 2010), 두 어종은 모두 겨울철에 산란하는 것으로 알려져 있고(NFRDI, 2004), 연구해역 또는 주변해역에서 산란 후 부화한 자치어가 봄과 여름철에 저층의 수온변동과 관계없이 연구해역을 서식지 및 성육장으로 이용하기 위하여 출현한 것으로 판단된다. 반면, 열동가리돔과 반딧불게르치는 미성어와 성어 모두 연중 출현하여(Park, 2010), 연구해역에서 전 생활사를 보내는 것으로 판단되었다.

반면 조사해역의 어류 현존량과 군집구조는 수심에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 어류 군집은 서식지 환경의 차이에 따라 군집구조의 차이를 나타내며, 이러한 차이는 종종 수심, 저질과 수괴의 특성에 영향을 받는다(e.g. Koslow 1993; Smale et al., 1993; Moranta et al., 1998). Moranata et al. (1998)은 이러한 차이를 200-1800 m의 대륙사면(continental slope)에서 관찰하였고, McClatchie et al. (1997)은 수심 증가에 따라 종 풍부도가(species richness)가 증가함을 관찰하였다. 본 연구에서는 수심에 따라 미묘한 군집구조의 차이를 보였지만, 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 본 연구는 비교적 좁은 수심범위(30-70 m)에서 어류를 채집하였기 때문에, 어류 군집에 수심의 영향을 판단하기 힘들었을 것으로 생각되었다. 따라서, 향후 동해에서 더 넓은 수심범위에서 수심별 생물 군집의 차이를 분석하고 어떤 요인이 이러한 차이에 영향을 미치는지에 관한 추가 연구가 요구된다.

본 연구는 동해 남부 연안해역에서 저인망으로 채집된 어류 군집 종조성의 시공간 변동을 조사하였다. 총 41과에 속하는 59종의 어류가 채집되고, 열동가리돔, 반딧불게르치, 샛비늘치, 멸치, 줄비늘치가 우점종에 속하였다. 어류 군집의 변동은 다변량 분석에 의해 잘 설명되었고, 우점종의 현존량 차이가 군집 구조 차이에 기여함을 알 수 있었다. 본 연구 결과는 향후 국내에서 어류 군집구조 변동을 효과적으로 분석하기 위한 방법을 제시할 것이고, 조사해역의 생물 다양성 및 수산자원 관리를 위한 중요한 자료로 이용될 것이다.

References

- An YR. 2002. Species composition and seasonal variation of fish assemblage in the coastal water off Gadeok-do, Korea. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Anderson MJ, Gorley RN and Clarke KR. 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods. PRIMER-E, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, U.K., 214.
- Baeck GW, Huh SH, Park SC, Kim JH and Park JM. 2010. Seasonal variation in species composition and abundance of fish assemblages collected by a three-side fyke net in the coastal waters off Gori. Korean J Ichthyol 22, 186-194.
- Clarke KR, Somerfield PJ and Chapman MG. 2006. On resemblance measures for ecological studies, including taxonomic dissimilarities and a zero-adjusted Bray-Curtis coefficient for denuded assemblages. J Exp Mar Biol Ecol 330, 55-80. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.12.017>.
- Clarke KR and Gorley RN. 2015. PRIMER v7: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, U.K., 296.
- Choo HG. 2007. Species composition and feeding ecology of fishes in the coastal waters off Kori, Korea. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Huh SH and An YR. 2000. Species composition and seasonal variation of fish assemblage in the coastal water off Gadeok-do, Korea-1. fishes collected by a small otter trawl. Korean J Fish Aquat Sci 33, 288-301.
- Jeong GS, Cha BY, Im YJ, Kwon DH, Hwang HJ and Jo HS. 2014. Comparison of species composition and seasonal variation of demersal organisms caught by otter trawl in the coastal waters off the Taean peninsula, in the West sea of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 47, 264-273. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0264>.
- Jo CO. 2001. Change in species composition of the fishes collected in the coastal waters off Kori. MS Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Kang S, Kim S and Bae SW. 2000. Changes in ecosystem components induced by climate variability off the eastern coast of the Korean Peninsula during 1960-1990. Prog Oceanogr 47, 205-222. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(00\)00043-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(00)00043-4).
- Kim CH and Kim K. 1983. Characteristic and origin of the cold water mass along in the coast of Korea. J Ocean Soc Korea 18, 73-83.
- Koslow JA. 1993. Community structure in North Atlantic deep-sea fishes. Prog Oceanogr 31, 321-338. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(93\)90005-X](https://doi.org/10.1016/0079-6611(93)90005-X).
- Lee JY, Kang DJ, Kim IN, Rho T, Lee T, Kang CK and Kim KR. 2009. Spatial and temporal variability in the pelagic ecosystem of the East Sea (Sea of Japan): a review. J Mar Syst 78, 288-300. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2009.02.013>.
- Lee TW. 1999. Seasonal variation in species composition of demersal fish in Yongil Bay, east coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 32, 512-519.
- Lee TW. 2011. Seasonal variation in species composition of demersal fish in the coastal water off Uljin and Hupo in the East Sea of Korea in 2002. Korean J Ichthyol 23, 187-197.
- Linke T. 2011. Trophic interactions among abundant members of the fish fauna in a permanently open and a seasonally

- open estuary in southwestern Australia. Doctoral dissertation. Murdoch University, Perth, Australia.
- McClatchie S, Millar RB, Webster F, Lester PJ, Hurst R and Bagley N. 1997. Demersal fish community diversity off New Zealand: Is it related to depth, latitude and regional surface phytoplankton? Deep Sea Res Part I: Oceanogr Res Pap 44, 647-667. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(96\)00096-9](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(96)00096-9).
- Moranta J, Stefanescu C, Massutí E, Morales-Nin B and Lloris D. 1998. Fish community structure and depth-related trends on the continental slope of the Balearic Islands (Algerian basin, western Mediterranean). Mar Ecol Prog Ser 171, 247-259.
- Naganuma K. 2000. The Sea of Japan as the natural environment of marine organisms. Bull Jap Sea Natl Fish Res Inst 50, 1-42.
- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute). 2004. Commercial fishes of the coastal and offshore waters in Korea. Hangel, Busan, Korea, 333.
- Park JM. 2010. Species composition and reproductive ecology of fishes in the coastal waters off Gori, Korea. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Park JM and Huh SH. 2015. Seasonal and interannual variation in species composition of fish assemblages collected by pots in the Southern Coast of East Sea. Korean J Ichthyol 27, 310-316.
- Park JM, Huh SH, Choi HC and Kwak SN. 2017. Larval distribution of the common dolphinfish *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 (Coryphaenidae) in the East Sea/Sea of Japan. J Appl Ichthyol 33, 815-818. <https://doi.org/10.1111/jai.13387>.
- Shannon CE and Weaver W. 1949. The mathematical theory of communication. Univ Illinois Press, Urbana, U.S.A., 177.
- Shin MC and Lee TW. 1990. Seasonal variation in abundance and species composition of surf zone fish assemblage at Taechon sand beach. Korea. J Oceanol Soc Korea 25, 135-144.
- Smale MJ, Roel BA, Badenhorst A and Field JG. 1993. Analysis of the demersal community of fish and cephalopods on the Agulhas Bank, South Africa. J Fish Biol 43, 169-191. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1993.tb01186.x>.
- Tian Y, Kidokoro H and Fujino T. 2011. Interannual-decadal variability of demersal fish assemblages in the Tsushima Warm Current region of the Japan Sea: impacts of climate regime shifts and trawl fisheries with implications for ecosystem-based management. Fish Res 112, 140-153. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.01.034>.