

동해 후포 연안 어류상의 수심별 차이

이충일 · 정해근 · 권순만 · 한문희 · 설강수 · 박주면*

강릉원주대학교 해양자원육성학과

Depth-dependent Variability of Fish Fauna in the Coastal Waters off Hupo, East Sea by Chung Il Lee, Hea Kun Jung, Soon Man Kwon, Moon Hee Han, Kang Su Seol and Joo Myun Park* (Department of Marine Bioscience, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Republic of Korea)

ABSTRACT The temporal and depth-related variations in the species composition and abundance of demersal fish assemblage were studied in the coastal waters off Hupo, East Sea. Fish samples were collected seasonally between 2011 and 2017 at two stations of study area using trammel net and bottom gill net. In total, 46 fish species belonging to 17 families were collected during study period, with 36 and 22 species occurring in depths of ~80 m (site A) and ~140 m (site B), respectively. *Glyptocephalus stelleri*, *Cleisthenes pinetorum* and *Gymnocanthus herzensteini* were abundant at shallower site, and *Dasycottus setiger* at deeper site. The number of species, abundance, biomass and diversity fluctuated with water depth, but not temporally (both seasonally and annually). Analysis of similarity (ANOSIM) revealed that the fish assemblage structures were significantly different with water depth, but not by year or season. Non-metric multidimensional scaling (MDS) ordination plot emphasized visually in spatial difference of fish assemblages, and it was due to differential contributions of dominant species in relation to water depth and temperature.

Key words: Fish assemblage, water depth, gill net, East Sea

서 론

연구해역은 경상북도 동해 중부 연안에 위치한 해역으로 서쪽으로 육지가 접해 있고 동쪽으로 외양과 연결되어 있으며 강의 유입이 적은 전형적인 동해 연안의 지형적 특징을 가지고 있다. 동해는 반폐쇄형 연안해(marginal sea)로, 동해 연안의 생태계는 북쪽에서 연안을 따라 남하하는 북한한류와 남쪽에서 북상하는 고온, 고염의 대마난류의 영향을 받는 특징을 가지고 있다(Naganuma, 2000; Lee *et al.*, 2009). 또한, 동해는 외양으로 갈수록 수심이 급격히 증가하는 지형적 특성과 남부 연안에서는 여름철에 저층수의 용승에 의한 냉수대 출현(Kim and Kim, 1983)으로 인해 인접해 있는 남해와 뚜렷이 구분되는 다른 물리적, 생태학적 구조를 보이고 있다. 최근 동해의 물리적 환경변화와 이에 따른 생물 군집과 분포의 변화가

관찰되고 있으며, 이러한 동해의 물리, 생태적 환경변화는 전 지구적인 기후변화와 밀접한 관련이 있다(Kang *et al.*, 2000; Tian *et al.*, 2011; Jung *et al.*, 2017; Park *et al.*, 2017).

어류의 시공간 분포 특성을 이해하는 것은 각 어류의 서식지 적응행동에 관한 생태학적 기초를 설명하고 성공적인 수산자원관리를 위해 중요하다(Hilborn and Walters, 1992). 연안 해역에서 수심에 따른 어류 군집의 공간 분포는 주로 대륙붕(shelf)과 대륙사면(slope) 경계에서 변화가 발생한다(e.g. Fujita *et al.*, 1995; Moranta *et al.*, 1998; Kallianiotis *et al.*, 2000). 그 외 서식지의 저질 특성(e.g. Gaertner *et al.*, 1999), 수온, 염분, 해류 등과 같은 수괴의 물리적 특성(e.g. Mahon and Smith, 1989), 주요 어류의 먹이가 되는 저서생물의 분포(e.g. Colloca *et al.*, 2003), 그리고 위도(e.g. Choi *et al.*, 2012)에 따라 군집 구조에서 차이가 발생한다. 반면, 어류 군집의 시간적 변동은 계절적 수온의 변화와 회유종의 출현에 따라 변화가 관찰된다(Baek *et al.*, 2010; Park and Huh, 2015).

지금까지 동해에서는 다양한 어구(저인망, 삼각망, 삼중

*Corresponding author: Joo Myun Park Tel: 82-33-640-2855, Fax: 82-33-640-2340, E-mail: joomyun@gmail.com

재료 및 방법

1. 시료 채집

자망, 통발 등)를 사용한 어류 군집 연구가 수행되었다(e.g. Lee, 1999; Han *et al.*, 2002; Baeck *et al.*, 2010; Park and Huh, 2015). 동해 남부 해역에서 삼각망과 통발을 이용하여 어류를 채집한 결과 어구 특성에 따라 부어류(삼각망) 또는 저어류(통발)가 우점하였다(Baek *et al.*, 2010; Park and Huh, 2015). 이는 각 어종의 생태적 특성 또는 수괴에서 분포 특성에 따른 결과로 판단되었다. Lee *et al.* (2008)은 동해 왕돌초 주변에서 어류 군집을 조사하였고, 계절과 수심에 따라 어류 군집의 현존량과 우점종이 다름을 보고하였다. Lee (2011)는 동해 울진과 후포 연안 20~50 m에서 계절별로 otter trawl을 이용한 저어류 군집을 조사하였고, 회유종이 우점하는 정치망 채집과 달리 어류 군집의 계절적 차이가 적음을 보고하였다. 그러나 과거 연구들은 어류 군집 구조의 공간적(수심 및 서식지) 차이에 대하여 정량적 분석을 하지 않았고, 이러한 군집 구조 차이에 어떤 요인이 어느 정도의 영향을 미치는지에 관하여 고려하지 않았다. 동해와 같이 좁은 공간 내에서 수심이 급격히 변하는 해역에서는 수심에 의한 생물 군집에서 큰 차이가 발생할 수 있기 때문에(Moranta *et al.*, 1998; Abad *et al.*, 2007), 동해 어류 군집 연구에서 수심에 대한 영향을 고려할 필요가 있다.

본 연구는 한국 동해 중부 후포 연안에서 삼중자망과 저층자망을 이용하여 채집한 어류 군집 종조성의 수심별 차이를 조사하였고, 각 수심에서 어류 군집의 시간적 변동(연도와 계절) 또한 관찰하였다. 본 연구결과는 동해 어류 군집 차이의 주요 요인을 제시할 것이며, 향후 장기간 생물 군집 모니터링 및 군집변화를 예측하기 위한 기초자료가 될 것이다.

본 연구에 사용된 시료는 경상북도 동해안에 위치한 후포 연안에서 2011년에서 2017년까지 계절별로 채집하였다(Fig. 1). 본 연구에서 사용된 어구는 삼중자망(trammel net, 길이×높이×폭: 90 m×2.8 m×10 폭, 외망 망목: 600 mm, 내망 망목: 85 mm)과 저층자망(bottom gill net, 길이×높이×폭: 75 m×2 m×13 폭, 망목: 90 mm)이었다. 어류 시료는 각각 수심이 다른 2개의 정점(정점 A, ~80 m; 정점 B, ~140 m)에서 24시간 동안 어구를 설치하여 어류를 채집하였고, 계절은 겨울(12월~2월), 봄(3월~5월), 여름(6월~8월), 가을(9월~11월)로 구분하여 조사를 진행하였다. 2011년 여름에서 2015년 봄까지는 정점 A에서 시료를 채집하였고, 2015년 여름에서 2017년 가을까지는 정점 B에서 채집하였다. 어류의 출현량 변동에 영향을 미치는 환경요인을 측정하기 위하여 수층별 수온, 염분, 용존산소(DO, dissolved oxygen)를 CTD (Sea-Bird Electronics, SBE19 plus V2)를 이용하여 관찰하였다. 수심별 수온의 연직 구조는 계절 간 차이는 컸지만, 연도별로 큰 차이가 없었기 때문에, 각 계절별 연도의 평균 값으로 나타났다.

채집된 시료는 현장에서 ice box에 보관하여 실험실로 운반 후, 실험실에서 종수준까지 동정하였고 종별로 개체수와 생체량(0.1 g)을 측정하였다. 채집된 각 어류의 학명은 FishBase 웹사이트(www.fishbase.org)에서 확인하였다(Froese and Pauly, 2017).

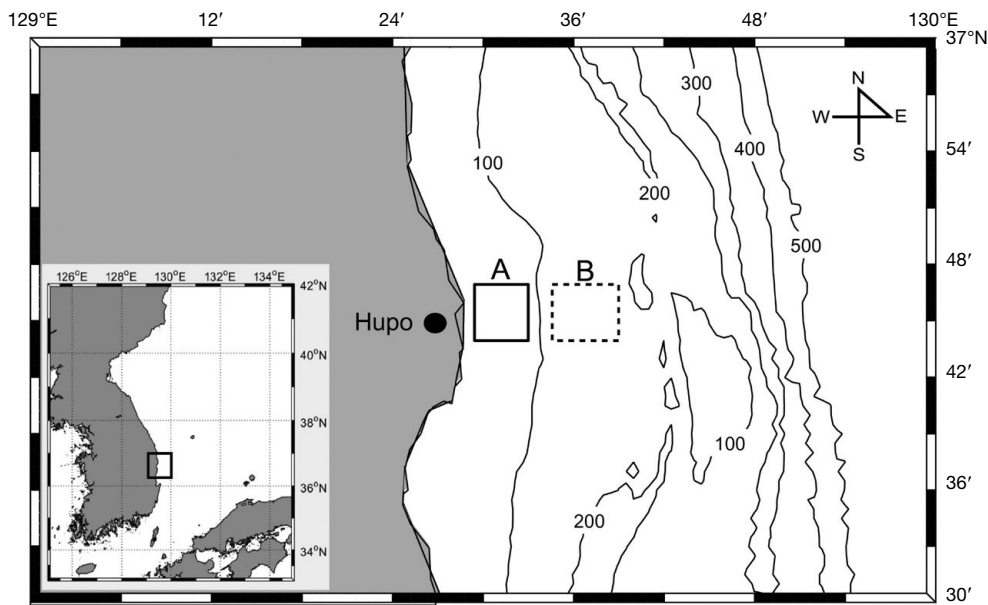


Fig. 1. Location of two study sites in the coastal waters off Hupo, East Sea. Samples were collected within boxed areas in each study site (i.e. site A and B).

2. 자료분석

각 월별 어류 군집 구조를 비교하기 위하여 Shannon and Wiener의 종다양도지수(H')를 구하였다(Shannon and Weaver, 1949). 어류 군집의 종조성 자료는 연도 채집 정점의 차이에 대한 영향과 채집 어구 차이에 따른 우점종의 영향을 최소화하기 위하여 자료분석 전에 어종 출현에 대한 빈도를 이용한 Presence/Absence로 변환하였다.

연도, 수심, 계절별 어류 군집 구조의 차이를 분석하기 위하여, 변환한 어류 현존량 자료는 Bray-Curtis similarity를 이용하여 유사도 매트릭스를 구축하였고, nMDS (non-metric multidimensional scaling) ordination을 이용하여 시각화 하였다(Clarke *et al.*, 2006). 정점별 어류의 출현 자료를 이용하여 군집의 차이를 비교하기 위하여 one-way analysis of similarity (ANOSIM) 분석을 하였다. 그리고 두 정점에서 동시에 채집이 이루어지지 않았기 때문에, 어류 군집의 연도별, 계절별 차이는 각 정점별로 분석하였다. ANOSIM 분석에서 global-R 통계량은 각 그룹의 유사성을 나타내는 값으로 -1에서 +1의 범위로, '0'에 가까울수록 그룹 간 차이가 없고, -1 또는 +1에 가까울수록 각 그룹은 유의하게 구분된다는 것을 의미한다. ANOSIM 분석 결과, 어류 군집 구조에서 차이가 유의한 경우 ($P < 0.05$), nMDS ordination plot에서 어류 군집을 구분하였고, 어떤 어종이 각 그룹을 구분하는데 기여하였는지를 분석하였

다(Anderson *et al.*, 2008). 각 어종의 상대적 기여도는 조사 기간 동안 5회 이상 출현하고 상호연관계수(Spearman's rank correlation coefficient) 0.4 이상인 어종을 이용하였다.

수심과 계절에 따른 종수, 현존량, 다양도의 차이를 분석하기 위하여 분산분석(two-way ANOVAs)을 실시하였다. 모든 변수는 고정변수(fixed factor)로 지정하였다. 분산분석 결과 차이가 유의한 경우, Tukey's test를 통하여 사후분석을 실시하였다. 그리고 정점별 물리환경요인의 차이는 Student's t-test를 이용하여 유의성을 검증하였다.

분산분석과 Student's t-test는 SYSTAT software를 이용하였고(Systat version 18, SPSS Inc., Chicago), 다변량분석은 PRIMER v7 multivariate statistics package (www.primere.com)와 PERMANOVA + add-on module을 이용하여 수행하였다(Anderson *et al.*, 2008; Clarke and Gorley, 2015).

결 과

1. 수심별 수온변동

본 연구에서 정점 A와 B의 연도별 평균수온 연직구조는 계절 변동 특성이 뚜렷하였다(Fig. 2). 정점 A에서는 가을과 겨울에 표층부터 수심 약 50 m 정도까지 각각 17°C와 12°C 정

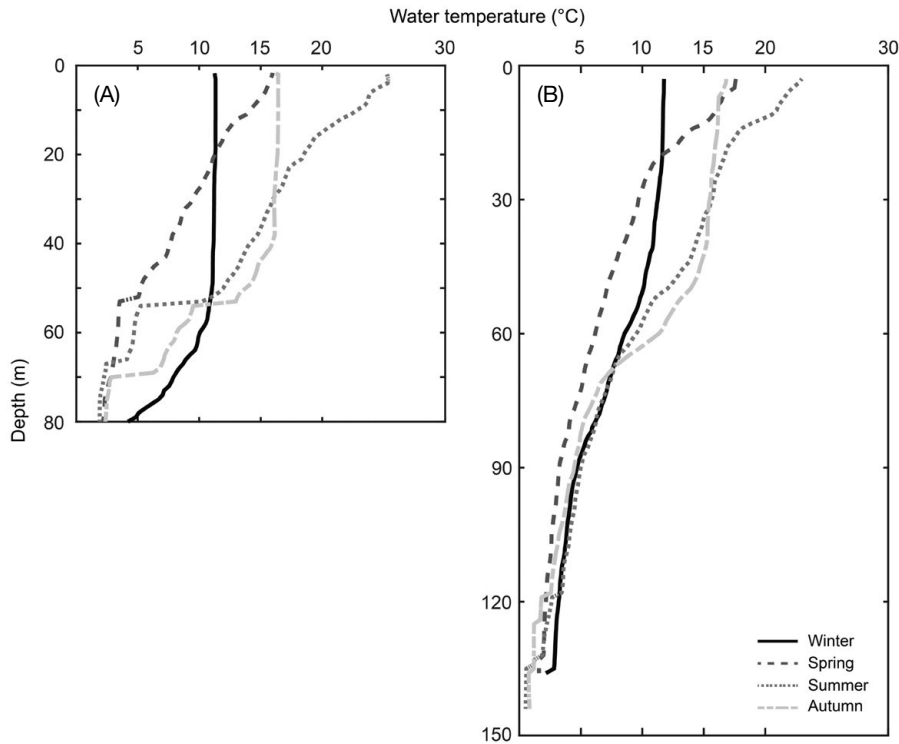


Fig. 2. Seasonal changes in vertical structures of water temperature at site A (left) and B (right) in the coastal waters off Hupo, East Sea.

Table 1. Species composition of fish assemblages collected seasonally between 2011 and 2017 in the coastal waters off Hupo, East Sea

Family	Species	Site A		Site B		Total	
		N	W (g)	N	W (g)	N	W (g)
Clupeidae	<i>Clupea pallasii</i>	210	51,162.9	97	16,548.2	307	67,711.0
Cottidae	<i>Alcichthys elongatus</i>	66	6,263.9			66	6,263.9
	<i>Gymnocanthus herzensteini</i>	516	65,954.9	19	5,953.5	535	71,908.4
	<i>Gymnocanthus intermedius</i>	134	12,062.2			134	12,062.2
	<i>Icelus cataphractus</i>			173	11,605.2	173	11,605.2
Cyclopteridae	<i>Aptocyclus ventricosus</i>	1	705.6			1	705.6
	<i>Eumicrotremus asperrimus</i>			6	1,071.4	6	1,071.4
	<i>Eumicrotremus orbis</i>	1	1,254.1			1	1,254.1
Engraulidae	<i>Engraulis japonicus</i>	25	379.1	1	20.6	26	399.7
Gadidae	<i>Gadus macrocephalus</i>	61	25,824.0	36	14,223.7	97	40,047.7
Hexagrammidae	<i>Hexagrammos agrammus</i>	9	1,506.9			9	1,506.9
	<i>Hexagrammos octogrammus</i>	10	4,684.5			10	4,684.5
	<i>Hexagrammos otakii</i>	9	4,212.4			9	4,212.4
	<i>Pleurogrammus azonus</i>	19	5,168.9			19	5,168.9
Liparidae	<i>Liparis tanakae</i>	38	2,013.5			38	2,013.5
	<i>Careproctus rastrinus</i>	1	160.4	5	904.8	6	1,065.2
	<i>Crystallichthys matsushimae</i>			7	1,339.9	7	1,339.9
	<i>Liparis agassizii</i>			1	334.2	1	334.2
	<i>Liparis punctulatus</i>	54	9,262.3	12	12,172.9	66	21,435.2
	<i>Liparis tessellatus</i>			1	40.1	1	40.1
Lophiidae	<i>Lophius litulon</i>	10	13,756.7			10	13,756.7
Pleuronectidae	<i>Cleisthenes pinetorum</i>	518	46,771.6	81	14,604.0	599	61,375.6
	<i>Clidoderma asperrimum</i>	16	2,665.2			16	2,665.2
	<i>Eopsetta grigorjewi</i>	1	480.2	1	32.4	2	512.6
	<i>Glyptocephalus stelleri</i>	1,609	97,776.2	1,050	112,058.0	2,659	209,834.2
	<i>Hippoglossoides dubius</i>	22	3,303.8	26	8,082.2	48	11,386.0
	<i>Microstomus achne</i>	2	378.9			2	378.9
	<i>Pseudopleuronectes herzensteini</i>	189	23,445.6			189	23,445.6
	<i>Pseudopleuronectes schrenki</i>	2	258.8			2	258.8
	<i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>	1	292.0			1	292.0
	<i>Verasper moseri</i>	2	89.7			2	89.7
Psychrolutidae	<i>Dasycottus setiger</i>	13	2,897.9	1,569	344,148.6	1,582	347,046.5
Salmonidae	<i>Oncorhynchus masou</i>			1	594.3	1	594.3
Scombridae	<i>Scomber japonicus</i>	5	702.8			5	702.8
	<i>Scomberomorus niphonius</i>	9	3,783.8			9	3,783.8
Scombroptidae	<i>Scombroptus boops</i>	2	626.8			2	626.8
Sebastidae	<i>Helicolenus hilgendorffii</i>	1	126.5			1	126.5
	<i>Sebastes steindachneri</i>			1	249.8	1	249.8
	<i>Sebastes thompsoni</i>	5	1,210.1			5	1,210.1
	<i>Sebastes marmoratus</i>	3	278.1			3	278.1
	<i>Sebastes macrochir</i>	5	432.9			5	432.9
Stichaeidae	<i>Lumpenus sagitta</i>	8	426.8			8	426.8
Trichodontidae	<i>Arctoscopus japonicus</i>	23	1,428.8	20	1,348.3	43	2,777.1
Zoarcidae	<i>Lycodes tanakae</i>			79	114,821.8	79	114,821.8
	<i>Lycodes toyamensis</i>			3	1,185.4	3	1,185.4
	<i>Lycodes nakamurae</i>			1	127.0	1	127.0
Total		3,600	391,748.3	3,190	661,466.4	6,790	1,053,214.7

도로 연직 혼합이 잘 이루어져 균질하였고, 봄과 여름에는 수심에 따라 수온이 지속적으로 감소하였다. 정점 B에서도 A와 같이 가을과 겨울에 표층부터 50 m 정도까지 연직 혼합이 잘 이루어졌고, 이후 수심 약 80 m까지 감소하는 양상을 보이다가 90 m 이하의 수심에서 다시 수심별 균질하였다. 그러나 봄과 여름에 표층에서 약 30 m 수심까지 수온이 급격히 감소하였고, 수심 약 90 m까지 수온이 3°C 정도까지 감소하였다. 주 어획 수심 구간에서의 수온은 A와 B 지역 모두 5°C 이하를 지속적으로 유지하였다. 하지만 A 지역은 B 지역에 비해 상대적으로 계절 변화의 폭이 컸으며, B 지역의 수온은 뚜렷한 계절 변화 없이 일정 수온 범위를 지속적으로 나타냈다.

2. 어류 군집의 종조성

조사기간 동안 17과에 속하는 총 46종, 6,790개체, 1,053.2 kg의 어류가 채집되었다(Table 1). 가자미과(Pleuronectidae) 어류가 10종 출현하여 가장 많았고, 그 다음으로 꼼치과(Liparidae) 어류가 6종, 양볼락과(Sebastidae) 어류가 5종, 독중개과(Cottidae)와 쥐노래미과(Hexagrammidae) 어류가 4종 채집되었다. 개체수에서 가장 많이 채집된 종은 기름가자미(*Glyptocephalus stelleri*)로 총 2,659개체가 채집되어 전체 채집 개체수의 39.2%를 차지하였다. 그 다음으로 고무꺼정어(*Dasycottus setiger*), 용가자미(*Cleisthenes pinetorum*), 대구횃대(*Gymnocanthus herzensteini*)가 채집되었는데, 상기 4종은 500개체 이상 채집되었으며, 전체 채집개체수의 79.2%를 차지하였다. 생체량에서는 고무꺼정이가 347,046.5 g (33.0%), 기름가자미가 209,834.2 g (19.9%), 벌레문치(*Lycodes tanakae*)가 114,821.8 g (10.9%) 순으로 채집되었다.

정점별 어류 종조성을 살펴보면, 정점 A에서는 총 36종, 3,600개체, 391,748.3 g의 어류가 채집되었고, 정점 B에서는 총 22종, 3,190개체, 661,466.4 g의 어류가 채집되어, 정점 A에서는 종수가 더 많았고, 생체량은 정점 B에서 더 높았다. 정점 A에서는 기름가자미, 용가자미, 대구횃대가 우점종이었고, 정점 B는 고무꺼정어, 기름가자미, 줄가시횃대(*Icelus cataphractus*)가 우점하여, 정점 간 우점종의 차이를 보였다.

3. 어류 군집 구조의 시공간 변동

ANOSIM 분석 결과 조사해역의 어류 군집 구조는 정점(i.e. 수심)에 따라 유의한 차이를 보였으나, 각 정점에서 연도 또는 계절에 대하여 유의한 차이가 없었다(Table 2). ANOSIM의 global-R 또한 정점 간 비교에서 가장 높았다.

ANOSIM 결과와 유사하게 조사 해역의 어류 군집은 정점에 따라 nMDS ordination plot에서 공간적으로 구분되었다(Fig. 3). 정점 B(수심 120~150 m) 어류 군집은 그림의 왼쪽에 위치해 있었고, 정점 A(수심 50~90 m) 어류 군집은 그림

Table 2. Results of one-way analysis of similarity (ANOSIM) for the differences of fish assemblages in response to site, and year and season within each study site. Bold value indicated statistical significance ($P < 0.05$)

Sources	Global-R	P
Site A versus B	0.877	0.001
Site A		
Year	-0.086	0.682
Season	0.264	0.097
Site B		
Year	0.177	0.153
Season	0.069	0.348

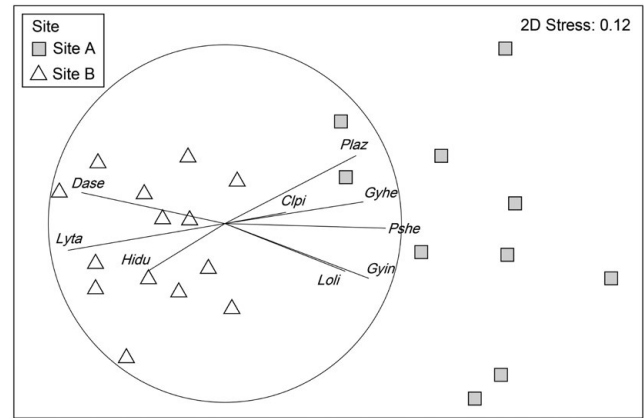


Fig. 3. nMDS ordination of fish assemblages constructed from Bray-Curtis similarity matrices at two study depths. Species correlations are represented as vectors for species with correlations greater than 0.4 and occurring more than 5 times. Vectors represent Spearman's correlations, and the circle indicates a correlation of 1. Species abbreviations: Clpi, *Cleisthenes pinetorum*; Dase, *Dasycottus setiger*; Gyhe, *Gymnocanthus herzensteini*; Gyn, *Gymnocanthus intermedius*; Hidu, *Hippoglossoides dubius*; Loli, *Lophius litulon*; Lyta, *Lycodes tanakae*; Plaz, *Pleurogrammus azonus*; Pshe, *Pseudopleuronectes herzenste*.

오른쪽에 퍼져 있었다. ANOSIM 결과에서 연구해역의 어류 군집은 수심에 유의한 영향을 받았지만, 계절 또는 연도에 따라 유의한 차이가 없었기 때문에, 각 수심별 어류 군집을 구분하는데 기여한 어종을 nMDS ordination plot에 vectors로 나타냈다(Fig. 3). 그 결과, 총 9종이 정점별 어류 군집을 구분하는데 correlation vector 0.4 이상을 나타냈다. 고무꺼정어, 벌레문치, 용가자미(*Hippoglossoides dubius*)는 정점 B를 구분하는데 기여하였고, 가시횃대(*Gymnocanthus intermedius*), 대구횃대, 용가자미, 임연수어(*Pleurogrammus azonus*), 참가자미(*Pseudopleuronectes herzensteini*), 황아귀(*Lophius litulon*)는 정점 A를 구분하는데 기여하였다.

4. 어류 군집의 종수, 현존량, 생체량, 다양도의 시공간 변동

조사기간 동안 채집된 어류 군집의 종수, 현존량, 생체량,

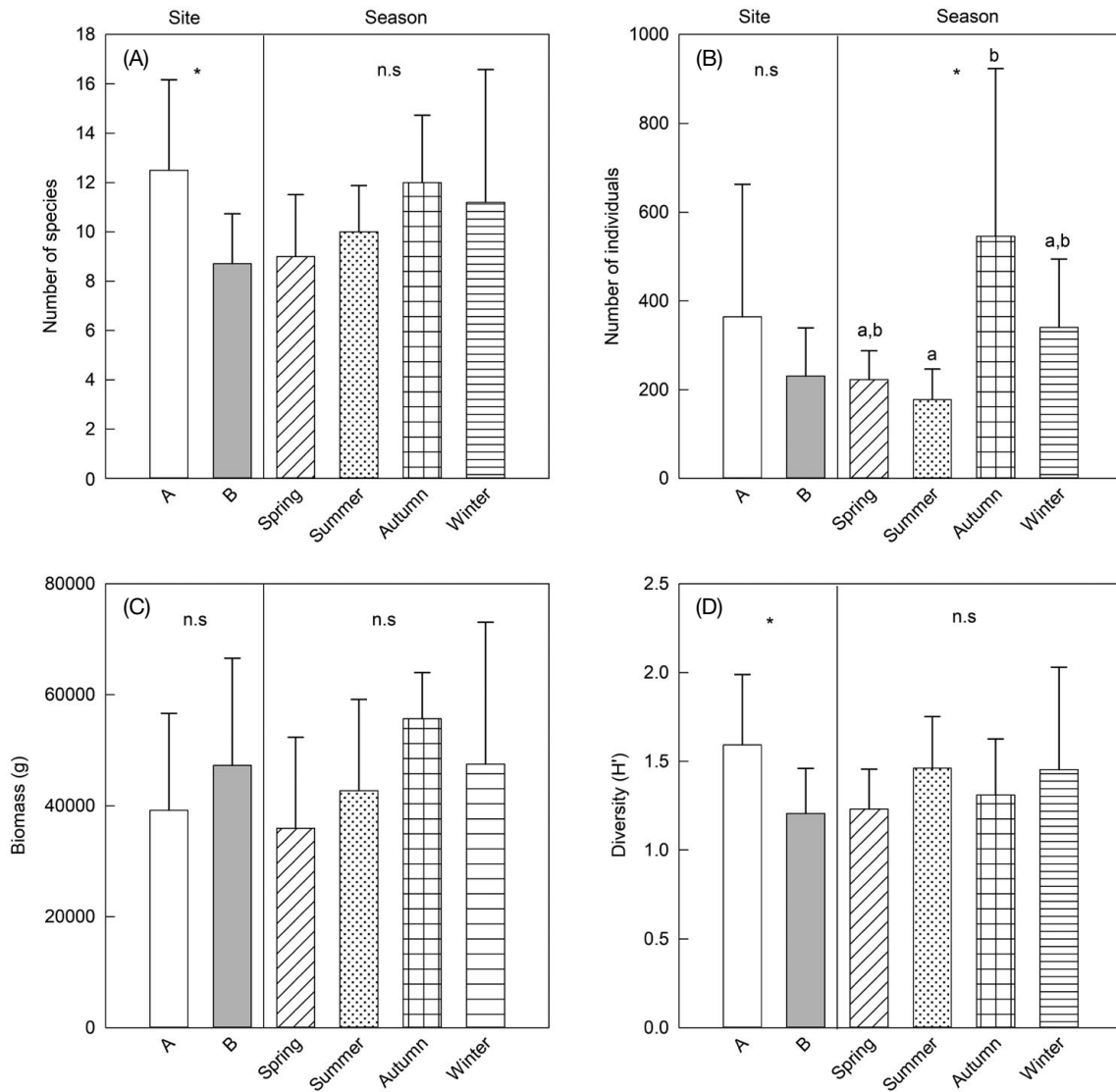


Fig. 4. Variations in mean number of species (A), abundance (B), biomass (C) and diversity (D) of fish assemblages with respect to study site and season. Bars represent standard deviations. * = significant at $P=0.05$, and n.s = no significance.

종다양도지수는 정점과 계절에 따라 변동을 보였다(Fig. 4). Two-way ANOVAs 결과, 현존량과 생체량은 정점 간 유의한 차이는 없었지만, 종수와 종다양도지수는 정점 A에서 더 높았다(ANOVA, $P<0.05$). 계절별로 현존량만 차이가 유의하였고, 나머지 변수들(종수, 생체량, 종다양도지수)은 계절에 따른 유의한 영향이 없었다. ANOVA 사후분석(Tukey's test) 결과, 현존량은 가을철에 다른 계절보다 높았고, 여름철에 가장 낮은 값을 보였다. 전반적으로 조사해역 어류 군집은 계절별로 차이가 크지 않았지만, 정점 A에서 더 많은 어종이 출현하였고, 따라서 종다양도지수 또한 높았다. 그리고 모든 변수들에서 정점과 계절의 상호효과 또한 통계적 유의성이 없었다(ANOVA two-factor interaction terms, $P>0.05$).

5. 정점별 물리환경요인의 차이

조사해역에서 정점별 수심과 수온은 차이가 유의하였으나, 염분과 용존산소는 유의한 차이가 없었다(Student's t-test, $P=0.05$; Fig. 5). 평균 수심은 정점 A에서 70.2 m (± 14.62), 정점 B에서 130.6 m (± 7.50)였고, 평균 수온은 정점 A에서 7.0°C (± 4.18), 정점 B에서 2.4°C (± 0.67)였다. 수온은 수심이 깊은 정점 B에서 더 낮았다. 평균 염분은 정점 A에서 34.0 psu (± 0.16), 정점 B에서 34.0 psu (± 0.03), 그리고 용존산소는 정점 A에서 4.49 mg/L (± 1.27), 정점 B에서 4.36 mg/L (± 2.57)으로 정점 간 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

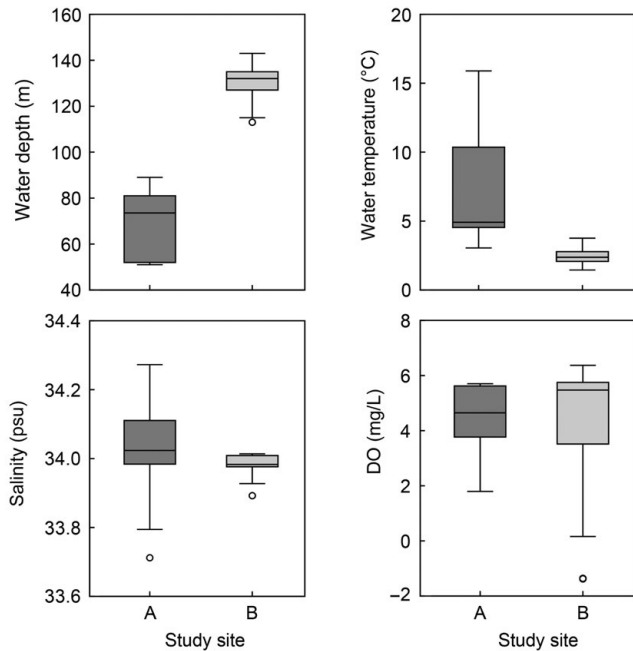


Fig. 5. Box plots for water depth (m), temperature (°C), salinity (psu) and dissolved oxygen (DO) at two study sites in the coastal waters off Hupo, East Sea. Open circles = outliers.

고찰

본 연구는 총 17과 46종의 어류를 채집하였다. 본 연구는 다년간 조사에 의해 비교적 많은 어종이 채집되었으나, 상대적으로 채집된 어종의 과(Family)는 다양하지 않았고, 채집된 어종의 대부분(25종)이 쏨뱅이목(Scorpaeniformes)에 속하였다. 동해에서 본 연구와 유사한 저층자망 또는 삼층자망을 이용한 어류 군집 연구를 살펴보면, 동해 북부와 중부에서 각각 10과 20종과 11과 17종의 어류가 채집되었고(Choi *et al.*, 2012), 홍해 연안에서 19과 28종(Hwang *et al.*, 1997), 포항에서 27과 58종(Han *et al.*, 2002)의 어류가 채집되었는데, 채집 어종 수는 채집 횟수, 어구의 규격, 지역에 따라 차이를 보였지만, 채집된 어종은 본 연구처럼 특정 그룹(Order or Family)에 국한되지 않았다. 일반적으로 연안 해역의 어류 군집은 농어목(Perciformes) 어종이 가장 우점하며, 종수에 비례하여 다양한 그룹(Family)의 어류가 채집된다. 동해에서 저인망, 정치망, 통발 등 다른 어구를 사용한 어류 군집 연구에서도 농어목 어류가 가장 우점하는 일반적인 어류 분류군 조성을 나타냈다(e.g. Lee, 1999; Baek *et al.*, 2010; Park and Huh, 2015). 과거 연구들은 수심 50 m 이내의 비교적 얕은 수심에서 어류를 채집한 반면, 본 연구는 수심 약 80 m와 140 m 사이에서 어류를 채집하였다. 따라서 본 연구에서 이러한 분류군 조성의 차이는 본 연구가 과거 연구들에 비해 비교적 깊은 수심에서 어류를 채집하여 생물 다양성이 높지 않았고 쏨뱅이목 어류가 우점했던

것으로 판단된다.

본 연구에서 어류의 종수와 다양도는 수심이 깊은 정점 B에서 더 낮았다(see Fig. 4). 동해에서 수심이 깊어짐에 따라 어종의 다양성이 감소하는 현상은 과거 왕돌초 주변 어류 군집 연구(Lee *et al.*, 2008)와 심해 저인망 어류 군집 연구(Park *et al.*, 2007)에서도 확인되었다. 그리고 수심이 깊은 서식지에서 쏨뱅이목 어류의 우점 양상은 과거 동해 심해 저어류 군집 연구에서도 확인되었다(Park *et al.*, 2007). 이처럼 수심에 따른 종 다양성의 차이가 나타나는 주요 원인은 어류가 서식할 수 있는 환경 범위가 수층별로 다르기 때문이다. 본 연구에서 정점 A는 정점 B에 비해 계절적으로 수온 범위가 넓었고, 다양한 수온 범위에 출현할 수 있는 많은 어종이 출현하여 종 다양성도 상대적으로 정점 A에서 더 높았던 것으로 판단된다.

본 연구에서 채집된 어류 중에서 우점종은 대부분이 독증개과, 가자미과, 꼼치과에 속한 어류들이었다(see Table 1). 이들 모두 저서성 어종으로 동해 왕돌초 주변의 100 m 이하의 수심에서 채집된 어류 군집연구(Lee *et al.*, 2008)와 울진과 후포 연안 20~50 m에서 otter trawl에 채집된 어류 군집 연구에서도 우점종에 속하였다(Lee, 2011). 또한, 채집된 어종 중 고무꺼정, 줄가시횃대, 벌레문치, 칠성갈치, 분홍꼼치, 물미거지 등은 동해 수심 300 m 이하에서 서식하는 대표적인 심해성 어종으로 알려져 있으며, 과거 동해 심해 어류 군집을 대표하는 어종으로 보고되었다(Park *et al.*, 2007; Sohn *et al.*, 2010). 따라서, 이들 어종은 동해 포항 이북해역 어류 군집을 대표하는 어종들로 판단되며, 동해 어류 군집을 다른 해역 어류 군집과 구분 짓는데 기여하였다.

조사 해역 어류 군집의 종조성은 수심에 따라 뚜렷한 차이를 보였다. 비록 본 연구는 수심이 다른 2개의 정점에서 동시에 시료를 채집하지 않았지만, 두 정점 간 시료 채집 시기의 차이가 크지 않았고, 특정 서식지에서 어류 군집의 장기간 변동이 나타날 만큼의 시간적 범위가 길지 않았기 때문에(e.g. decadal-scale; Fodrie *et al.*, 2010), 이러한 시료 채집에서 비동시성의 영향이 미비할 것이라고 생각하였다. 이러한 차이는 우점종 출현량의 차이 때문이었는데, 우점종 중에 가시횃대, 대구횃대, 용가자미, 참가자미는 얕은 수심(정점 A)에서 현존량이 높았고, 고무꺼정, 벌레문치, 줄가시횃대는 깊은 수심(정점 B) 어류 군집을 대표하는 어종이었다. 이러한 수심별 어류 군집의 차이는 수온 분포의 차이로 설명할 수 있는데, 정점 A에서는 계절에 관계없이 수심 증가에 따라 수온이 지속적으로 감소하는 수심에서 어류를 채집하였고, 정점 B는 약 3°C 내외에서 수온이 균질한 양상을 보였다. 이러한 수산자원생물의 서식지 수온 변화는 이곳을 서식하고 있는 생물들의 다양성에 영향을 미칠 수 있는 요인이 될 수 있다. 해양생물들은 육상생물에 비해 수온의 변동에 매우 민감하며, 이러한 수심별 수온 차이가 우점종의 출현량에 영향을 미쳐 군집

구조에서 차이를 나타낼 가능성이 있다. 그러나 이러한 수온 변동 외에 수심별 수압에 적응한 각 생물종 자체의 종특이성 등의 요인이 이러한 변동에 복합적인 요인으로 작용할 수 있다. Moranta *et al.* (1998)은 이러한 수심별 군집 구조의 차이를 200~1800 m의 대륙사면 (continental slope)에서 관찰하였고, McClatchie *et al.* (1997)은 80~898 m에서 수심 증가에 따라 종 풍부도 (species richness)가 증가함을 관찰하였다. Smale *et al.* (1993)는 수심에 따라 연안 (<100 m), 대륙붕 (90~190 m), 상부 대륙사면 (>200 m) 군집으로 구분하였다. 비록 본 연구는 비교적 좁은 수심범위 (80~140 m)에서 어류를 채집하였지만, 수심 약 100 m 전후에서 수온 구조의 차이가 나타났기 때문에, 어류 군집이 이러한 수심과 수온의 영향을 받았을 것으로 판단된다.

일반적으로 연안 해역에서 어류 군집은 계절에 따라 크게 달라지는 양상을 보인다. 그러나 본 연구해역에서 두 정점 모두 계절에 따른 어류 군집의 현존량 및 군집 구조에서 차이가 뚜렷하지 않았다. 수심이 깊은 해역에서는 연중 물리환경요인이 큰 변화를 보이지 않기 때문에, 생물 군집 구조 또한 연중 일정한 경향을 나타낸다 (Labropoulou and Papaconstantinou, 2000). 반면, 수심이 얕은 연안역에서는 (<50 m) 계절적 회유종의 출현에 따라 군집 구조가 크게 변하였는데, 동해에서 이러한 회유종은 부어류의 계절적 회유와 여름철 저층 냉수대 출현에 따른 한해성 저어류의 출현 때문으로 보고되었다 (Baek *et al.*, 2010; Park, 2010).

본 연구는 동해 후포 연안에서 삼중자망과 저층자망에서 채집된 어류 군집 종조성의 수심별 차이에 대한 중요한 결과를 보여줬다. 본 연구 결과 후포 연안 수심 80 m와 140 m 어류 군집은 연도 또는 계절보다 수심에 더 큰 영향을 받았다. 이러한 군집의 차이는 수심 변화에 따라 종수 및 종다양성지수의 감소와 우점종의 차이 때문이었다. 그러나 본 연구는 10년 이상 장기간 조사 결과를 분석하지 않았기 때문에, 연간 어류 군집의 유의한 차이는 확인할 수 없었다. 연안에서 어류 군집 연구는 생물다양성을 증대시키고 어류 자원 보존 및 관리를 위해 중요한 자료가 되며, 장기간 군집 모니터링을 위한 기초 자료가 된다. 향후 연구지역에서 본 연구와 연계하여 장기간 (10년 이상) 어류 군집을 조사한다면, 인간활동 또는 기후변화에 의한 동해 환경변화가 생물 군집에 미치는 영향을 밝히는데 중요한 결과를 제공할 수 있을 것이다.

요 약

본 연구는 동해 중부 후포 연안에 서식하는 어류 군집의 계절 및 수심에 따른 차이를 분석하였다. 연구에 사용된 어류 시료는 2011년과 2017년 사이에 계절별로 저층자망과 삼중

자망을 이용하여 채집하였다. 총 17과에 속하는 46종의 어류가 채집되었고, 정점 A (수심 약 80 m)에서 36종, 정점 B (수심 약 140 m)에서는 22종이 채집되었다. 현존량에서 우점종은 기름가자미 (*Glyptocephalus stelleri*), 용가자미 (*Cleisthenes pinetorum*), 대구횃대 (*Gymnocanthus herzensteini*), 고무꼭정이 (*Dasycottus setiger*) 였는데, 전자의 3종은 얕은 수심 (정점 A)에서 더 많이 채집되었고, 후자 1종은 깊은 수심 (정점 B)에서 현존량이 더 높았다. 조사해역 어류 군집의 종수, 현존량, 생체량, 종다양도는 수심에 따라 변하였지만, 시간 (계절 또는 연도)에 따라 유의한 차이는 없었다. ANOSIM (Analysis of similarity) 결과 또한 어류 군집 구조는 수심에 따라 차이가 유의하였지만, 연도 또는 계절에 따라 유의한 차이가 없는 것으로 보여주었다. nMDS (Non-metric multidimensional scaling) 결과는 이러한 군집 구조가 시각적으로 뚜렷이 구분되었고, 이러한 구분은 수심과 수온 차이에 따른 우점종의 공간분포 차이 때문으로 설명할 수 있었다.

사 사

본 연구 시료 채집을 위해 도움을 주신 후포 산성호 김종일 선장님과 시료 분석에 도움을 준 강릉원주대학교 박종원에게도 사사를 표현합니다. 이 논문은 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원 (장기해양생태계 연구, MICT기반 명태수산자원 회복·관리기술 개발)과 강원씨그랜트사업의 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Abad, E., I. Preciado, A. Serrano and J. Baro. 2007. Demersal and epibenthic assemblages of trawlable grounds in the northern Alboran Sea (western Mediterranean). *Sci. Mar.*, 71: 513-524.
- Anderson, M.J., R.N. Gorley and K.R. Clarke. 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods. PRIMER-E, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK.
- Baek, G.W., S.H. Huh, S.C. Park, J.H. Kim and J.M. Park. 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.
- Choi, K.H., M.H. Han, C.K. Kang, J.M. Park, J.H. Choi, J.H. Park, M.H. Shon, G.W. Baek, E.J. Choi and C.I. Lee. 2012. Seasonal variations in species composition of fish assemblage collected by trammel net in coastal waters of the East Sea. *J. Korean Soc. Fish. Technol.*, 48: 415-427.

- Clarke, K.R., P.J. Somerfield and M.G. Chapman. 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.
- Clarke, K.R. and R.N. Gorley. 2015. PRIMER v7: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, 296pp.
- Colloca, F., M. Cardinale, A. Belluscio and G. Ardizzone. 2003. Pattern of distribution and diversity of demersal assemblages in the central Mediterranean Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 56: 469-480.
- Fodrie, F., K.L. Heck, S.P. Powers, W.M. Graham and K.L. Robinson. 2010. Climate-related, decadal-scale assemblage changes of seagrass-associated fishes in the northern Gulf of Mexico. *Glob. Chang. Biol.*, 16: 48-59.
- Froese, R. and D. Pauly. (Eds). 2017. FishBase. World Wide Web electronic publication. Retrieved from <http://www.fishbase.org> on 14 December 2017.
- Fujita, T., I. Tadashi and Y. Ishito. 1995. Depth-gradient structure on the demersal fish community on the continental shelf and slope off Sendai Bay, Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 118: 13-23.
- Gaertner, J.C., N. Mazouni, R. Sabatier and B. Millet. 1999. Spatial structure and habitat associations of demersal assemblages in the Gulf of Lions: a multicompartamental approach. *Mar. Biol.*, 135: 199-208.
- Han, K.H., J.C. Son, D.S. Hwang and S.H. Choi. 2002. Species composition and quantitative fluctuation of fishes collected by trammel net in coastal waters of Seokbyeong, Pohang. *Korean J. Ichthyol.*, 14: 109-120.
- Hilborn, R. and C.J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. *Rev. Fish. Biol. Fish.*, 2: 177-178.
- Hwang, S.D., Y.J. Park, S.H. Choi and T.W. Lee. 1997. Species composition of fish collected by trammel net off Heunghae, Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 30: 105-113.
- Jung, H.K., M.S.M. Rahman, C.-K. Kang, S.-Y. Park, S.H. Lee, H.J. Park, H.-W. Kim and C.I. Lee. 2017. The influence of climate regime shifts on the marine environment and ecosystems in the East Asian Marginal Seas and their mechanisms. *Deep Sea Res. Part II*, 143: 110-120.
- Kallianiotis, A., K. Sophronidis, P. Vidoris and A. Tselepidis. 2000. Demersal fish and megafaunal assemblages on the Cretan continental shelf and slope (NE Mediterranean): seasonal variation in species density, biomass and diversity. *Prog. Oceanogr.*, 46: 429-455.
- Kang, S., S. Kim and S.W. Bae. 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.
- Kim, C.H. and K. Kim. 1983. Characteristic and origin of the cold water mass along the coast of Korea. *J. Ocean. Soc. Korea*, 18: 73-83.
- Labropoulou, M. and C. Papaconstantinou. 2000. Community structure of deep-sea demersal fish in the North Aegean Sea (northeastern Mediterranean). *Hydrobiologia*, 440: 281-296.
- Lee, J.Y., D.J. Kang, I.N. Kim, T. Rho, T. Lee, C.K. Kang and K.R. Kim. 2009. Spatial and temporal variability in the pelagic ecosystem of the East Sea (Sea of Japan): a review. *J. Mar. Syst.*, 78: 288-300.
- Lee, S.I., S.J. Hwang, J.H. Yang and J.M. Shim. 2008. Seasonal variation in species composition of gill net and trammel net catches in the coastal waters off Wangdol-cho, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 20: 291-302.
- Lee, T.W. 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, T.W. 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.
- Mahon, R. and R.W. Smith. 1989. Demersal fish assemblages on the Scotian shelf, northwest Atlantic: spatial distribution and persistence. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46: 134-152.
- McClatchie, S., R.B. Millar, F. Webster, P.J. Lester, R. Hurst and N. Bagley. 1997. Demersal fish community diversity off New Zealand: Is it related to depth, latitude and regional surface phytoplankton? *Deep Sea Res. Part I*, 44: 647-667.
- Moranta, J., C. Stefanescu, E. Massutí, B. Morales-Nin and D. 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.
- Park, H.H., E.C. Jeong, B.S. Bae, Y.S. Yang, S.J. Hwang, J.H. Park, Y.-S. Kim, S.I. Lee and S.H. Choi. 2007. Fishing investigation and species composition of the catches caught by a bottom trawl in the deep East Sea. *J. Korean Soc. Fish. Technol.*, 43: 183-191.
- Park, J.M. 2010. Species composition and reproductive ecology of fishes in the coastal waters off Gori, Korea. Doctoral dissertation, Ph. D Thesis, Pukyong Natl. Univ., Busan, 236pp.
- Park, J.M. and S.H. Huh. 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, J.M., S.H. Huh, H.C. Choi and S.N. Kwak. 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.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana, 177pp.
- Sohn, M.H., H.W. Lee, B.K. Hong and Y.Y. Chun. 2010. Seasonal

- variation of species composition by depths in deep sea ecosystem of the East Sea of Korea. *J. Korean Soc. Fish. Technol.*, 46: 376-391.
- Smale, M.J., R.A. Roel, A. Badenhorst and J.G. Field. 1993. Analysis of the demersal community of fish and cephalopods on the Agulhas Bank, South Africa. *J. Fish Biol.*, 43: 169-191.
- Tian, Y., H. Kidokoro and T. Fujino. 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.