

월성원자력발전소 주변해역에서 저층트롤에 의해 어획된 어류의 종조성

최정화 · 김정윤^{1*} · 김진구¹ · 김종빈²

국립수산과학원 자원관리과, ¹부경대학교 자원생물학과, ²남서해수산연구소 아열대수산연구센터

Seasonal Variation of Species Composition of Fish in the Coastal Waters off Wolseong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea by Otter Trawl Survey

Jung Hwa Choi, Jung Yun Kim*, Jin Koo Kim¹ and Jung Bin Kim²

Fisheries Resources Research Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

¹Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²Southeastern Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Jeju 556-823, Korea.

We examined seasonal variation in fish species composition in coastal waters near Wolseong Nuclear Power Plant in the East Sea of Korea. A total of 72 species, 39 families, 14 orders, 46,214 individuals, and 4,639,667 g were collected. *Glyptocephalus stelleri* was the most dominant species by number of individuals (35%), followed by *Clupea pallasii* (26%). *Liparis tanakai* and *Lophius litulon* were the dominant species by biomass, accounting for 46% and 28%, respectively. We showed that bottom salinity and temperature are the most important environmental factors influencing fish species composition. Although bottom salinity did not differ statistically among seasons or stations, we detected some variation among stations. Additionally, bottom temperature differed among seasons and stations ($P<0.05$), affecting numbers of individuals and biomass. Thus, seasonal variation in fish assemblages can be classified into two groups: spring/summer and autumn/winter.

Key words: Nuclear power plant, Species composition, Fish assemblage

서 론

우리나라 동해 연안은 조석간만의 차가 적고 파랑의 영향을 많이 받으며, 대륙붕이 좁고 해안선이 단조로우며 해안선에서 멀어질수록 수심이 급격히 깊어지는 특징을 보인다. 특히, 본 연구해역은 동해 남부 지역으로 북한한류가 대륙붕 연안을 따라 남하하고, 대한해협을 통해 고온, 고염의 대마난류가 유입되어 해황의 시공간 변화가 심하게 일어나는 특징을 보이는 지역이다(Park et al., 1991).

우리나라 동해 남부 연안의 어류의 종조성에 대해서는 고리 연안(Baek et al., 2010), 영일만(Lee, 1999; Hong et al., 2008), 신월성 원자력발전소 조간대(Choi et al., 2008), 동해 연안(Yoon et al., 2008), 울산 연안(Han et al., 2002) 등에서 연구되었으며, 원자력발전소 주변의 해양생물에 대해서는 플랑

크톤과 해조류의 군집 및 식생이 연구되었다(Seo et al., 2009; Kim et al., 2010).

원자력발전소의 수온이 상승한 냉각수가 해양으로 방출되어 발전소 주변의 수온이 높아지고 이로 인해 주변 해양환경에 직·간접적으로 영향을 미치며(Crema and Bonvicini Pagliai, 1981; Lardicci et al., 1999), 온배수의 유출량과 물리적 확산 범위에 따라 다양한 형태로 생태계에 영향을 미친다(Gibbons and Sharits, 1974; Durrett and Pearson, 1975; Warwick, 1993; Kim et al., 2007; Teixeira et al., 2009).

원자력발전소가 주변 해역의 어류상 변화에 미치는 영향과 특징요인을 규명하기는 쉽지 않다. 본 연구는 월성 원자력발전소 지역에서 서식하는 어류의 종조성과 계절변동을 분석하고, 나아가 발전소의 주변해역 해양환경요인들과의 관계를 파악하고자 한다.

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0645>



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.

Kor J Fish Aquat Sci 47(5) 645-653, October 2014

Received 19 August 2014; Revised 10 October 2014; Accepted 15 October 2014

*Corresponding author: Tel: +82. 51-720-2284 Fax: +82. 51-720-2277

E-mail address: hoochi0901@naver.com

재료 및 방법

어류 표본은 월성 원자력발전소 주변 해역에서 저인망(Otter trawl)을 사용하여 2006년부터 2008년까지 총 3년동안 연 4회, 2월(겨울), 5월(봄), 8월(여름), 11월(가을)에 계절별로 채집하였다(Fig. 1). 조사정점은 발전소 저질이 유사한 지역으로 발전소 취수구 주변해역(취수구에서 3 km 이내 지점), 배수구 주변해역(배수구에서 3 km 이내 지점), 그리고 발전소로부터 5-8 km 밖 대조구 주변해역을 선정하였다. 매 채집 시기에 수온, 염분, 수소이온농도(pH), 용존산소(DO)를 다항목수질측정기(YSI 6600, USA)로 각 정점의 표층 및 저층에 대하여 측정하였다.

채집에 사용된 저인망은 길이 약 29 m, 망목은 날개그물과 몸통그물이 40.4 mm, 자루그물이 20.0 mm였다. 각 정점에서 약 2 knot/h의 속도로 30분 예망하였으며, 예망시 그물이 약 8 m가 벌어져 입구 면적은 8 m², 1회 채집 면적은 약 15,000 m²였다.

채집된 어류는 얼음을 채운 아이스박스에 담아 냉장상태로 실험실로 운반하여 중수준까지 동정한 후 개체수와 생체량을 측정하였다. 생체량은 습중량으로 1 g 단위까지 측정하였다.

출현어류의 시기별 변동양상을 파악하기 위하여, 종다양도지수(H') (Shannon, 1948)를 월별 개체수 자료를 이용하여 산출

하였으며, 각 지수의 계산식은 아래와 같다.

$$H' = -\sum_{i=1}^s \left[\frac{n_i}{N} \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right]$$

(n_i: i번째 종의 월별 출현 개체수, N: 해당 월에 채집된 종의 개체수, S: 출현종수)

중간 출현양상의 유사도는 출현한 종의 개체수 값을 Square root 변환 후 Bray-Curtis similarity 지수를 계산하여 비가중 산술평균(UPGMA)방법으로 수상도(Dendrogram)를 작성하는 계보적 집괴분석(Hierarchical cluster analysis)을 이용하였다. 또한, 출현종의 시기별 정점별 출현 개체수 자료를 PRIMER V5를 사용하여 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA)을 하였으며 구하여진 Principal Score 값과 월별 정점별 해양환경요인과의 상관분석(Correlation Analysis)을 통해 종 조성 변동의 원인을 살펴보았다.

결 과

해양 환경

채집 시기의 정점별 수온은 대조구 주변해역에 비해 배수구 주변해역과 취수구 주변해역의 수온이 높은 경향을 보였으며, 표층 12.6-20.2℃, 저층 9.6-15.4℃의 범위였다(Table 1). 세 정점 모두 표층에서는 8월 수온이 가장 높았으며, 2월에 가장 낮았다. 저층에서는 2월 수온보다 5월 수온이 더 낮았으며 11월로 갈수록 점차 증가하는 경향을 보였다. 염분은 세 정점에서 표층 32.4-33.9 psu, 저층 33.7-34.0 psu의 범위였으며, 표층에서는 2월에 가장 높았고, 계절이 바뀔수록 점차 염분이 낮아졌다. 대조구 주변해역의 저층은 월별 차이가 거의 없는 반면에 취-배수구 주변해역에서는 11월로 갈수록 점차 염분이 낮아졌다. 수소이온농도(pH)는 7.7-8.0 값으로 계절과 정점별로 차이가 없었으며, 용존산소(DO)는 전 계절에서 대조구 주변해역이 취수구 주변해역과 배수구 주변해역에 비해 표층에서는 높고, 저층에서는 낮았다.

종 조성

월성 원자력발전소 주변해역에서 저인망에 채집된 어류는 총 14목(Order), 39과(Family), 72종(Species)이었다(Table 2). 분류군별 출현종수는 농어목(Perciformes) 어류가 16과 20종으로 가장 많았으며, 썸뱅이목(Scorpaeniformes)은 6과 16종, 자미목(Pleuronectiformes)은 2과 9종, 대구목(Gadiformes)과 청어목(Clupeiformes)은 2과 4종, 달고기목(Zeiformes)과 바다빙어목(Osmeriformes)이 1과 2종이 채집되었으며, 나머지는 1과 1종씩 채집되었다.

개체수에서 기름가자미(*Glyptocephalus stelleri*)가 전체 어종의 35.0% (16,153개체)를 차지하여 가장 많이 채집되었고, 다음으로는 청어(*Clupea pallasii*)가 25.6% (11,851개체)

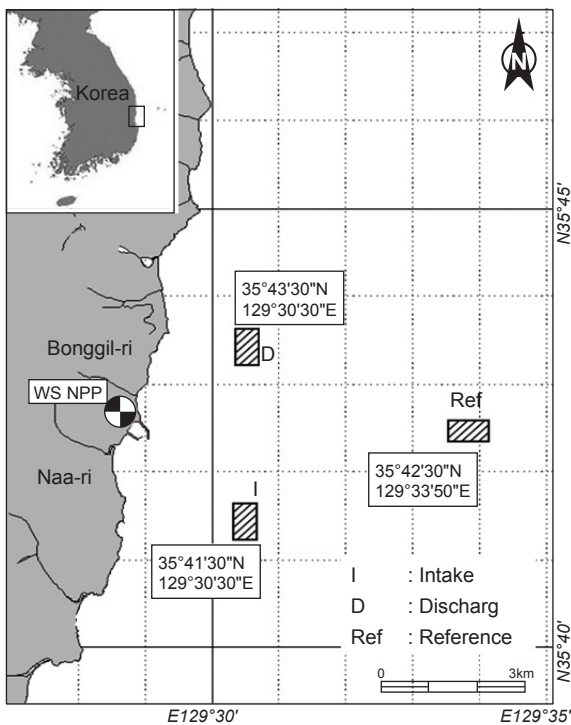


Fig. 1. Sampling stations of the coastal waters off Wolsong nuclear power plant.

로 채우점하였다. 이 외에도 물메기(*Liparis tessellatus*), 전갱이(*Trachurus japonicus*), 황아귀(*Lophius litulon*), 용가자미(*Hippoglossoides pinetorum*)가 각각 채집 개체수의 약 5.3%

씩을 차지하였다. 생체량에서는 꼼치(*Liparis tanakai*)가 채집된 어류의 45.6% (2,116,296 g)를 차지하였고, 황아귀가 27.6% (1,279,005 g)로 채우점하였다. 이 외에도 기름가자미와 청어가

Table 1. Environment factors at the stations of intake (I), discharge (D) and reference (R) in the coastal waters off Wolsong nuclear power plant

		Temperature (°C)		Salinity (psu)		pH		DO		
		Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	
2006	February	R	11.8	11.3	34.0	34.0	8.0	7.9	8.0	8.1
		D	11.7	11.1	33.8	34.0	8.0	7.9	8.3	8.4
		I	11.4	11.0	34.0	34.1	8.0	7.9	7.9	8.1
	May	R	14.4	13.4	33.8	34.0	8.0	8.0	9.4	9.2
		D	15.1	14.3	33.7	34.0	8.0	8.0	9.4	9.4
		I	14.7	14.4	33.8	34.0	8.1	8.0	9.4	9.2
	August	R	20.0	10.0	33.9	34.1	8.0	7.8	9.2	8.1
		D	18.0	9.8	33.4	33.5	7.9	7.8	9.2	8.7
		I	20.4	7.7	33.5	34.0	8.0	7.8	9.2	7.8
	November	R	17.9	12.2	33.3	33.8	8.0	7.9	9.4	7.6
		D	18.5	15.1	32.8	33.7	8.0	7.8	8.9	7.5
		I	18.0	16.7	33.3	33.4	8.0	7.9	9.4	8.9
2007	February	R	13.9	10.5	34.0	34.0	8.0	7.9	10.1	9.1
		D	14.0	12.5	34.0	34.0	8.0	8.0	9.9	9.4
		I	13.9	12.4	34.0	34.0	8.0	8.0	10.1	9.7
	May	R	13.5	5.6	33.7	34.0	8.0	7.8	9.5	7.8
		D	14.7	6.3	33.8	34.0	8.0	7.8	9.4	8.3
		I	12.8	6.5	33.8	33.9	8.0	7.8	9.3	7.7
	August	R	18.9	10.7	33.4	34.1	7.9	7.7	9.2	7.2
		D	22.4	11.9	33.2	34.1	8.0	7.7	8.3	7.8
		I	22.6	12.4	33.2	34.1	8.0	7.7	8.5	7.9
	November	R	19.7	14.2	33.5	34.1	8.0	7.7	8.9	7.5
		D	20.9	18.0	33.2	33.4	8.0	7.8	8.8	8.6
		I	20.1	16.0	33.2	34.1	8.1	7.7	9.0	7.6
2008	February	R	12.2	10.8	33.8	33.9	8.0	7.8	9.7	7.5
		D	14.6	11.6	33.9	33.9	8.0	7.8	8.4	8.3
		I	12.5	11.8	33.8	33.9	8.0	7.8	8.9	7.8
	May	R	14.0	10.1	33.9	34.0	8.0	7.9	9.6	8.3
		D	14.6	10.0	33.7	33.9	8.0	8.0	9.3	8.0
		I	13.4	10.1	33.9	33.9	8.0	7.8	9.3	8.4
	August	R	17.0	8.4	33.4	33.8	8.0	7.8	9.2	7.6
		D	18.9	12.3	33.6	33.9	7.9	7.8	8.9	8.2
		I	17.4	9.3	33.5	33.8	7.9	7.9	8.9	7.9
	November	R	16.3	13.9	31.9	34.1	7.9	7.8	9.6	7.9
		D	16.9	13.2	31.1	33.8	7.9	7.7	9.6	8.8
		I	15.3	13.1	32.3	34.0	7.9	7.7	9.8	8.4

Table 2. Species composition of fish collected by an otter trawl in the coastal waters off Wolsong nuclear power plant. N and W represent the number of individuals and biomass (g) of annual fish catch, respectively (ca. 15,000 m²), and the cross mark (+) represents the value less than 0.1%

Scientific name	2006				2007				2008				Total			
	N	W	%N	%W	N	W	%N	%W	N	W	%N	%W	N	W	%N	%W
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	4,181	84,221	27.8	8.9	2,706	38,685	20.9	3.2	9,266	269,146	50.7	10.8	16,153	392,052	35.0	8.5
<i>Clupea pallasii</i>	1,818	64,624	12.1	6.8	6,042	213,705	46.7	17.8	3,991	74,514	21.9	3.0	11,851	352,843	25.6	7.6
<i>Liparis tessellatus</i>	963	72,486	6.4	7.6	1,247	30,342	9.6	2.5	250	13,414	1.4	0.5	2,460	116,242	5.3	2.5
<i>Trachurus japonicus</i>	2,370	15,768	15.8	1.7	31	242	0.2	+	13	266	+	+	2,414	16,276	5.2	0.4
<i>Lophius litulon</i>	748	344,483	5.0	36.3	1,164	758,802	9.0	63.3	371	175,720	2.0	7.0	2,283	1,279,005	4.9	27.6
<i>Hippoglossoides pinetorum</i>	1,344	70,815	8.9	7.5	436	37,565	3.4	3.1	300	29,559	1.6	1.2	2,080	137,939	4.5	3.0
<i>Liparis tanakai</i>	666	171,985	4.4	18.1	53	72,010	0.4	6.0	1,174	1,872,301	6.4	75.1	1,893	2,116,296	4.1	45.6
<i>Apogon lineatus</i>	320	1,711	2.1	0.2	149	697	1.1	+	1,199	4,464	6.6	0.2	1,668	6,872	3.6	0.1
<i>Arctoscopus japonicus</i>	968	28,437	6.4	3.0	113	4,853	0.9	0.4					1,081	33,290	2.3	0.7
<i>Gadus macrocephalus</i>	409	9,942	2.7	1.0	220	3,458	1.7	0.3	444	3,387	2.4	0.1	1,073	16,787	2.3	0.4
<i>Coleorhynchus multispinulosus</i>	40	314	0.3	+	203	3,878	1.6	0.3	545	8,942	3.0	0.4	788	13,134	1.7	0.3
<i>Engraulis japonicus</i>	307	2,509	2.0	0.3	57	798	0.4	+	69	445	0.4	+	433	3,752	0.9	0.1
<i>Psenopsis anomala</i>	304	9,158	2.0	1.0	5	390	+	+	35	1,558	0.2	+	344	11,106	0.7	0.2
<i>Acropoma japonicum</i>	20	51	0.1	+					242	1,866	1.3	+	262	1,917	0.6	+
<i>Malakichthys wakiyae</i>					243	3,002	1.9	0.3	2	46	+	+	245	3,048	0.5	0.1
<i>Pleuronectes yokohamae</i>	141	41,896	0.9	4.4	46	14,057	0.4	1.2	28	7,608	0.2	0.3	215	63,561	0.5	1.4
<i>Trichiurus lepturus</i>	8	79	+	+	72	6,269	0.6	0.5	98	7,402	0.5	0.3	178	13,750	0.4	0.3
<i>Konosirus punctatus</i>	89	7,546	0.6	0.8					6	828	+	+	95	8,374	0.2	0.2
<i>Chelidonichthys spinosus</i>	12	2,404	+	0.3	16	2,432	0.1	0.2	51	8,068	0.3	0.3	79	12,904	0.2	0.3
<i>Decapterus manuae</i>	69	782	0.5	+									69	782	0.1	+
<i>Collia nasus</i>	12	328	+	+	27	1,285	0.2	0.1	25	1,194	0.1	+	64	2,807	0.1	0.1
<i>Larimichthys polyactis</i>	61	2,387	0.4	0.3					3	181	+	+	64	2,568	0.1	0.1
<i>Hemitripterus villosus</i>	12	85	+	+					43	2,963	0.2	0.1	55	3,048	0.1	0.1
<i>Coleorhynchus japonicus</i>					46	1,386	0.4	0.1	1	43	+	+	47	1,429	0.1	+
<i>Conger myriaster</i>	28	4,290	0.2	0.5	5	824	+	+	14	1,617	+	+	47	6,731	0.1	0.1
<i>Helicolenus hilgendorfi</i>	8	446	+	+									33	1,750	0.1	+
Callionymidae sp.	28	391	0.2	+	5	390	+	+	20	914	0.1	+	28	391	0.1	+
<i>Hexagrammos otakii</i>	24	5,546	0.2	0.6					1	883	+	+	25	6,429	0.1	0.1
<i>Sphyaena pinguis</i>	16	1,101	0.1	0.1									16	1,101	+	+
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	16	264	0.1	+									16	264	+	+
<i>Repomucenus lunatus</i>					13	753	+	+					13	753	+	+
<i>Sillago sihama</i>					9	336	+	+	9	336	+	+	9	336	+	+
<i>Synagrops philippinensis</i>	4	13	+	+	4	34	+	+	4	34	+	+	8	47	+	+
<i>Alicichthys elongatus</i>					7	1,935	+	+	7	1,935	+	+	7	1,935	+	+

채집된 어종 생체량의 각각 8.5%와 7.6%, 용가자미와 물메기는 각각 3.0%를 차지하였다.

종조성 변동

연도별로는 2006년 41종, 2007년 40종, 2008년 47종이 채집되었으며, 2006년과 2008년에는 기름가자미가, 2007년에는 청어가 가장 많이 채집되었다. 정점별로는 대조구 주변해역 47종, 취수구 주변해역 50종, 배수구 주변해역 49종이 채집되었으며, 대조구 주변해역과 배수구 주변해역에서는 기름가자미가, 취수구 주변해역에서는 청어가 우점적으로 채집되었다.

월별 출현종수는 2006년 2월에 11종으로 가장 적었고, 2008년 2월에는 30종으로 가장 많았으나 시기별로 변동 양상은 뚜렷하지 않았다(Fig. 2).

개체수에서는 2008년 8월에 317개체로 가장 적은 개체가 채집되었고, 2008년 5월에는 11,358개체로 가장 많은 개체가 채집되었다. 채집 개체수의 시기별 증감은 기름가자미와 청어의 출현양상과 매우 밀접하였다. 정점별 개체수의 변동은 유사하였지만 배수구 주변해역에서 특히 채집량이 많았다.

생체량에서는 2008년 8월에 8,584 g으로 낮았고, 2008년 11월에는 1,914,726 g으로 가장 높았다. 시기별 증감의 형태는 정점마다 차이를 보였는데, 2007년 11월의 배수구 주변해역과 2008년 11월의 취수구 주변해역에서는 각각 개체 무게가 큰 황아귀와 꼼치가 많이 잡혀 생체량이 높았다.

종다양도지수(H', Diversity index)는 0.52 (2008년 11월)-1.77 (2008년 2월)의 범위였다. 매년 11월 낮은 값을 보였는데, 특히 2008년에는 청어가 3,422개체로 전체 어종의 약 88%, 꼼치가 약 8%를 차지하여 종다양도지수값이 다른 시기에 비해 낮았다. 정점별로는 대조구 주변해역에서 0.16-1.80, 배수구 주변해역에서 0.77-1.86, 취수구 주변해역에서는 0.75-2.00의 분포 값을 보였다.

군집분석

채집된 전체 우점종의 개체수 값을 이용하여 시기와 정점에 따른 출현양상을 군집분석한 결과, 40%의 유사도에서 5개의 그룹으로 구분되었다(Fig. 3). 그룹 1은 꼼치, 줄비늘치(*Coleorhynchus multispinulosus*), 청어, 황아귀가 공통적으로 출현했고, 그룹 2는 청어와 황아귀가 집중적으로 출현하였으며, 그룹 3은 기름가자미, 물메기, 용가자미, 청어, 황아귀가 공통적으로 출현하였다. 그룹 4는 멸치(*Engraulis japonicus*), 샛돔(*Psenopsis anomala*), 전갱이가 공통적으로 출현하는 그룹이며, 그룹 5는 반딧불게르치(*Acropoma japonicum*)와 샛돔이 공통적으로 출현하며 반딧불게르치가 우점하는 그룹이었다.

조사시기와 정점들간 어류 종조성의 차이를 살펴보기 위하여 주성분분석 수행한 결과 총 23개의 성분으로 분리 되었다. 전체 변동의 누적 50%까지 기여하는 상위 성분을 분석한 결과, PC 1-5까지의 고유값(Eigen values)은 5.0 이상이었으며, 변화율의 대소차가 4.6%로 모든 성분이 비슷하게 종조성 변동에

기여하였다(Table 3). 어류의 종조성 변동에 가장 많은 영향을 미치는 해양환경요인을 알아보기 위해 주성분 분석을 수행한 결과(Table 4), PC 1은 저층 염분에 유의한 차이가 있었으며 ($P<0.05$), PC 2는 저층 수온에 유의한 차이가 있었다($P<0.05$). 이 외에도 PC 3은 유의한 해양환경요인이 없었고, PC 4는 저층 염분, PC 5는 표층 수온에 유의한 결과를 보였다($P<0.05$). 종조성에 가장 영향을 미치는 상위 두 개의 주성분의 분석 결과(Fig. 4), PC 1과 PC 2는 각각 저층 염분과 저층 수온으로 군집분석의 5개의 그룹으로 나타났다. PC 1의 (-)값은 염분이 낮았던 시기

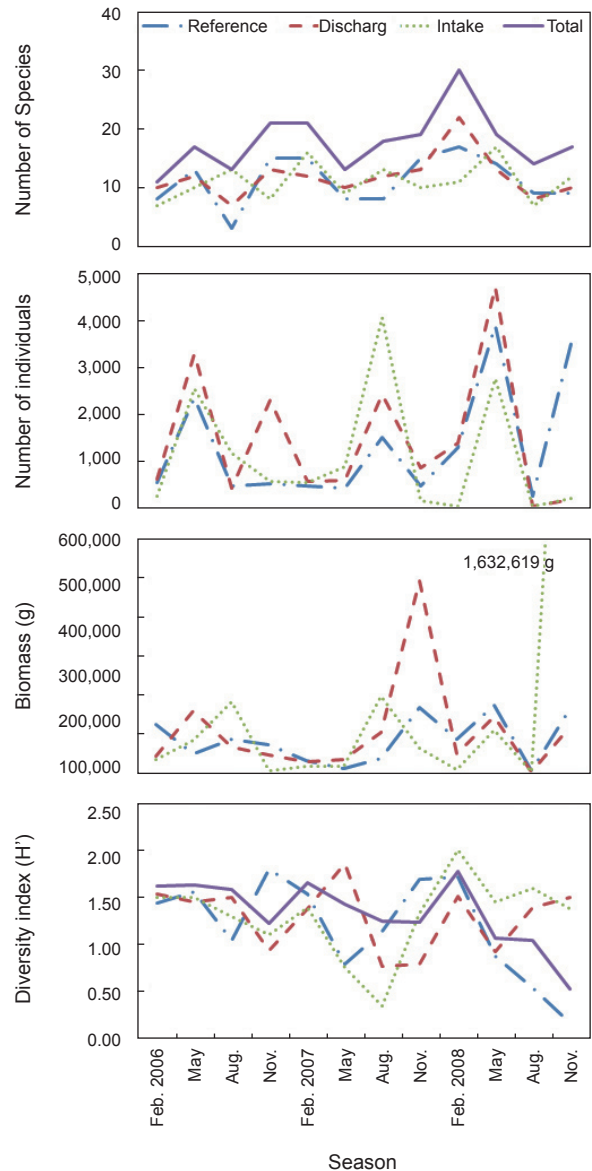


Fig. 2. Seasonal variations in number of species, number of individuals, biomass (g), and diversity index of fish collected by an otter trawl in the coastal waters off Wolsong nuclear power plant.

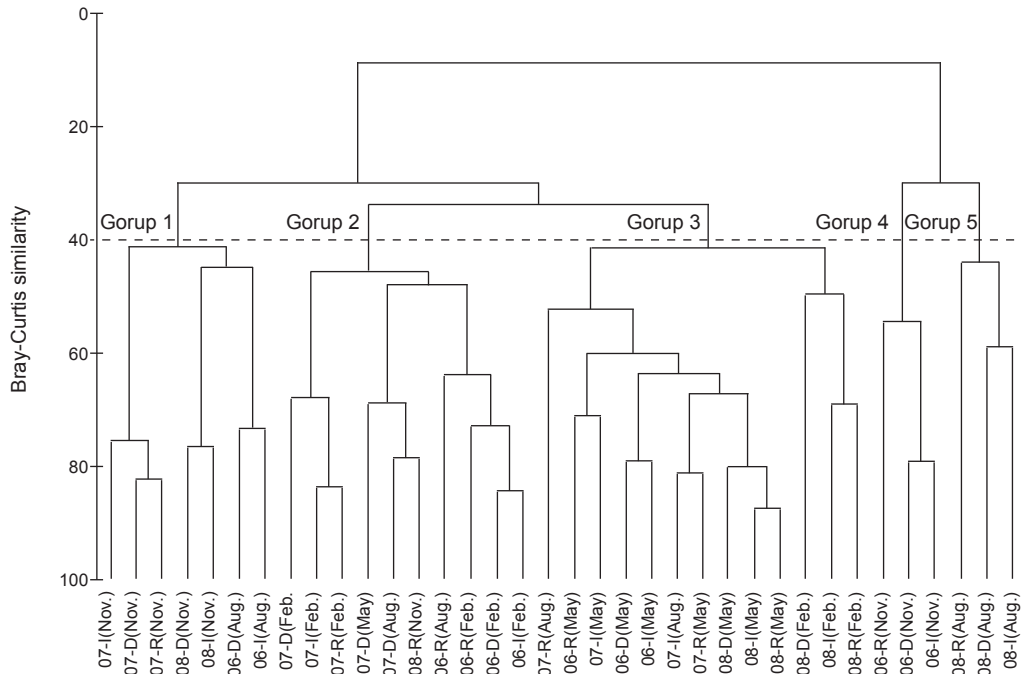


Fig. 3. Dendrogram of hierarchical clustering on fish assemblage for seasonal sampling in the coastal waters off Wolsong nuclear power plant (I: intake, D: discharge, R: reference).

로, 2006년 11월 모든 정점이 속하였으며 그룹 4에 속하는 어종들이 공통적으로 출현하였으나 대부분의 그룹이 (+)에 속하는 것으로 나타났다. PC 2는 수온이 낮았던 11월, 2월의 가을, 겨울 그룹과 5월, 8월의 봄, 여름 그룹으로 분리되었다.

고찰

저인망을 이용한 본 연구에서 채집된 어류는 총 72종이었으며 전갱이, 청어, 전어(*Konosirus punctatus*), 멸치와 같이 일부 부어류를 제외하고 대부분이 저어류(Benthic fish)였다. 저인망

은 저어류가 주로 채집되는 어구로 알려져 있지만 일시적으로 유집되는 청어, 멸치 등 부어류도 일부 채집되는 것으로 알려져 있다(Lee 1991, 1999). 영일만에서 저인망을 이용한 연구에서는 총 59종의 어류가 채집되었으며, 돛양태(*Repomucenus lunatus*), 두줄망둑(*Tridentiger trignocephalus*), 춤양태(*Repomucenus huguenini*), 까나리(*Ammodytes personatus*), 청보리멸(*Sillago japonica*) 등의 소형 저어류가 주로 채집되어 본 연구와는 종조성에서 차이를 보였다(Lee, 1999). 이는 본 연구해역이 외해와 연결되어 있고, 수심이 깊은 서식환경 특성에 기인한 것으로 판단된다. 또한 울진과 후포 연안에서는 각각 20종,

Table 3. Eigen value, variance and cumulative variance of the principle components

PC	Eigen	Variance (%)	Cum. Variance (%)
1	8.61	12.0	12.0
2	6.73	9.3	21.3
3	5.86	8.1	29.4
4	5.40	7.5	36.9
5	5.30	7.4	44.3
6	4.58	6.4	50.7
7	4.46	6.2	56.9
8	4.07	5.7	62.5
9	3.78	5.3	67.8
10	2.73	3.8	71.6

Table 4. Correlation coefficients between principle component (PC) scores and environment factors. The mark (*) denoted significant level at $P < 0.05$

Environmental factor	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Suurface Temperature	-0.100	-0.200	0.205	-0.176	0.392*
Bottom Temperature	-0.272	-0.411*	0.257	0.004	0.231
Suurface Salinity	0.141	0.039	-0.123	0.100	-0.184
Bottom Salinity	0.524*	0.182	-0.014	0.461*	0.048
Suurface pH	-0.012	-0.308	0.039	0.094	0.114
Bottom pH	-0.142	0.168	-0.140	0.018	-0.082
Suurface DO	-0.072	0.086	-0.201	0.137	-0.042
Bottom DO	-0.082	0.168	-0.278	-0.028	0.273

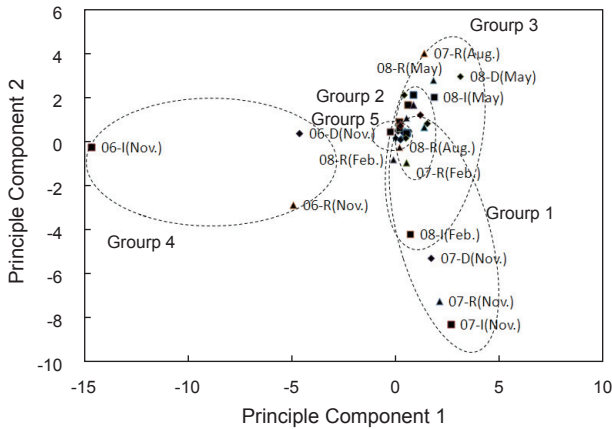


Fig. 4. Principle component analysis of fish assemblage for seasonal sampling in the coastal waters off Wolsong nuclear power plant (I: intake, D: discharge, R: reference).

23종이 출현하였으며, 물메기, 기름가자미, 용가자미가 우점하는 것으로 나타났는데(Lee, 2011), 본 연구보다 출현한 어종이 적었지만 우점종이 저어류라는 점은 동일하였다.

우점적으로 출현한 기름가자미는 동해 전 연안에서 자망, 연승, 저층트롤 등으로 주로 어획되고 있으며, 분포밀도 또한 높은 것으로 알려져 있다. 동해 북부해역(고성 아야진, 수심: 300-450 m)과 중부해역(울진 후포, 수심: 110-130 m)에서 우점적으로 출현하고, 부산과 강릉사이의 연안 해구들과 강원도 동부 심해(200-1,000 m)에서도 출현하는 것으로 알려져 있다(Park et al., 2007, Yoon et al., 2008; Choi et al., 2012). 본 연구에서는 5월에 가장 많은 출현 개체수를 보였는데, 이는 산란기인 3-5월에 연안으로 이동한 기름가자미의 생태적 특성에 의한 것으로 보이며(Kim et al., 2005; Cha et al., 2008), 11월의 낮은 출현(4개체) 양상은 연안에서 외해로 이동했기 때문에 거의 어획되지 않은 것에 기인한 것으로 판단된다(Park et al., 2007).

한편, 1,000개체 이상 채집된 10개 어종 중 도루묵의 경우, 94% 이상이 2006년 5월에 어획되었다. 도루묵은 서식수온이 2-13°C, 산란수온이 6-10.5°C로 낮은 수온에서 서식하는 종으로 알려져 있으며(Kim et al., 2005), 가을철에 산란을 위해 강원도 연안으로 회유하는 어종으로 보고되었다(Yang et al., 2012). 본 연구에서는 봄에 높은 출현개체수를 보였으나, 여름과 가을에는 출현하지 않는 것으로 나타나 월성에서 서식하는 개체들이 수온의 상승과 함께 산란을 위해 북상한 것으로 판단된다. 또한, 매년 월성에서 출현하는 도루묵 출현량이 급격히 줄어드는 결과를 보였는데, 2006년 이후 해양환경의 변화에 따라 도루묵의 어장이 연도별로 점차 북상하여 대부분 강원도 연안에서 형성되었기 때문인 것으로 생각된다(Yang et al., 2012).

본 연구결과에서 월성주변해역의 어류 종조성에 가장 많은 영향을 미치는 해양환경요인은 저층 염분과 저층 수온이었다. 저

층 염분은 계절별 정점별로 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, 염분 변화에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 지형요인이 없는 것으로 알려져 있어 간접적으로 어류의 종조성에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다(Choi et al., 2008). 저층 수온은 시기별, 정점별 뚜렷한 변동양상을 보였으며 채집 개체수와 생태량에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$). Kim et al. (2010)은 월성 원자력발전소 주변해역에 서식하는 동물플랑크톤의 분포와 군집구조 역시 계절적 수온에 영향을 받았으며 배수구 주변해역에서는 출현 종수 및 개체수와 수온 사이에 상관관계가 존재하는 것으로 나타난다고 보고하였으나, 온배수 영향보다 기타 해양환경 요인(영양염, 먹이원 등)이 영향을 미칠 것이라고 보고되었다.

본 연구해역인 월성연안에서의 저인망에 채집된 어류 군집구조는 봄(5월), 여름(8월)과 가을(11월), 겨울(2월)의 두 그룹으로 구분되어 계절적인 요인보다는 PC 2인 저층 수온의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 연구해역보다 남쪽에 위치한 영일만 또한 어류 군집 구조의 변화가 여름(8월), 가을(11월)과 겨울(2월), 봄(5월)으로 계절적인 구조는 다르나 PC 2인 저층 수온에 의해 이루어지는 것으로 나타나 저층 수온이 동해안 저어류 군집구조를 결정짓는 중요한 요인인 것으로 판단된다(Lee et al., 2012).

사 사

본 연구는 국립수산과학원(RP-2013-FR-099)에 의해 수행되었습니다.

References

- 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. *Kor J Ichthy* 22, 186-194.
- Cha HK, Kwon HC, Lee SI, Yang JH, Chang DS and Chun YY. 2008. Maturity and spawning of Korean flounder *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt) in the East Sea of Korea. *Kor J Ichthy* 20, 263-271.
- Choi KH, Han MH, Kang CK, Park JM, Choi JH, Park JH, Sohn MH Baeck GW, Choy EJ and Lee CI. 2012. Seasonal variations in species composition of fish assemblage collected by trammel net in coastal waters of the East Sea. *Bull Kor Soc Fish Tech* 48, 415-427.
- Choi Y, Lee HH and Jang JH. 2008. Ichthyofauna of the Intertidal Zone around the Nuclear Power Plants off Sinweolseong, Eastern Coast, *Kor J Ichthy* 20, 313-317.
- Crema, R and Bonvicini Pagliai AM. 1981. The structure of benthic communities in an area of thermal discharge from a coastal power station. *Mar Pollut Bull* 11, 221-224.
- Durrett, CW and Pearson WD. 1975. Drift of macroinver-

- tebrates in a channel carrying heated water from a power plant. *Hydrobiologia* 46, 33-43.
- Gibbons, JW and Sharits RR. 1974. Thermal ecology. U.S. Atomic Energy Commission, Springfield, Virginia, 670pp.
- Han KH, Kim JH and Baek SR. 2002. Seasonal variation of species composition of fishes collected by set net in coastal waters of Ulsan, Korea. *Kor J Ichthy* 14, 61-69.
- Hong BK, Kim JK, Park KD, Jeon KA, Chun YY, Hwang KS, Kim YS and Park KY. 2008. Species composition of fish collected in gill nets from Youngil Bay, East Sea of Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 41, 353-362.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyohaksa, Seoul, 613pp.
- Kim MH, Moon HT, Shin SH, Shon MB, Byun JY, Choi HC and Son MH. 2010. Characteristics of zooplankton community in the coastal waters of Wolsong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea. *Kor J Environ Biol* 28, 40-48.
- Kim YH, Ahn JK, Yoon HD and Jang MA. 2007. Effects of heated effluents on the intertidal macroalgal community near Gori Nuclear Power Plant. *Algae* 22, 297-304.
- Lardicci, C, Rossi F and Maltagliati F. 1999. Detection of thermal pollution: Variability of benthic communities at two different spatial scales in an area influenced by a coastal power station. *Mar Pollut Bull* 38, 293-303.
- Lee JB, Shin YJ, Lee SJ, Lee JH, Choi YM, Lee DW, Kim SW and Yang JH. 2012. Seasonal variations of fisheries resources composition in the coastal ecosystem of the Yongil Bay, Korea. *J Environ Sci Inter* 21, 1275-1285.
- Lee TW. 1991. The demersal fishes of Asan Bay I. optimal sample size. *Kor J Fish Aquat Sci* 24, 248-254.
- Lee TW. 1999. Seasonal variation in species composition of demersal fish in Yongil Bay, East Coast of Korea. *Kor 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. *Kor J Ichthy* 23, 187-197.
- Park HH, Jeong EC, Bae BS, Yang YS, Hwang SJ, Park JH, im YS, Lee SI and Choi SH. 2007. Fishing investigation and species composition of the catches caught by a bottom trawl in the deep East Sea. *Bull Kor Soc Fish Tech* 44, 183-191.
- Park JS, Lee SS, Kang YS and Huh SH. 1991. Distribution of indicator species of copepods and chaetognaths in the middle East Sea of Korea and their relationships to the characteristics of water masses. *Kor J Fish Aquat Sci* 24, 203-213.
- Seo IS, Moon HT, Choi BM, Kim MH, Kim DI, Yun JS, Byun JY, Choi HC and Son MH. 2009. Community structure of macrobenthic assemblages around the Wolsong Nuclear Plant, East Sea of Korea. *Kor J Environ Eco* 27, 341-352.
- Shannon, CE. 1948. The mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27, 379-423.
- Teixeira, TP, Neves LM and Araujo FG. 2009. Effects of a nuclear power plant thermal discharge on habitat complexity and fish community structure in Ilha Grande Bay, Brazil. *Mar Environ Res* 68, 188-195.
- Warwick, RM. 1993. Environmental impact studies on marine communities: Pragmatical consideration. *Aus J Ecol* 18, 63-80.
- Yang JH, Lee SI, Park KY, Yoon SC, Kim JB, Chun YY, Kim SW and Lee JB. 2012. Migration and distribution changes of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea. *Bull Kor Soc Fish Tech* 48, 401-414.
- Yoon SC, Cha HK, Lee SI, Chang DS, Hwang SJ and Yang JH. 2008. Variation in species composition of demersal organisms caught by trawl survey in the East Sea. *Bull Kor Soc Fish Tech* 44, 323-344.