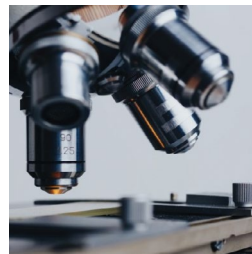


ISSN 1225-8784
Vol. 28 No. 1 February 2019

Science of Fisheries & Oceanography

수산과학연구소논문집



2019
02



전남대학교 수산과학연구소
CHONNAM NATIONAL UNIVERSITY

연구논문

- 1 서남해 주변해역의 조석, 조류특성
추효상
- 11 소록도 동쪽 해역의 조석, 조류
추효상
- 20 여수 금오도 연안에 분포하는 부유성 난·자치어의 종조성 및 계절변동
서광연, 이성훈, 김 진, 한경호
- 26 흑산도 연안에서 기선저인망에 어획되는 어류의 종조성 및 양적변동
한경호, 유태식, 이 진, 이성훈
- 36 삼천포 연안에 출현하는 부유성 난·자치어의 종조성 및 계절변동
남윤석, 이성훈, 노태형, 한경호
- 43 전남 강진만 연안에서 부유성 난 및 자치어의 계절분포
박진우, 이성훈, 노태형, 한경호
- 51 진도 연안에 출현하는 부유성 난과 자치어의 종조성 및 변동
한경호, 김희진, 이 진, 이성훈
- 58 섬진강 및 수어천 하구해역의 식물플랑크톤 군집 분포
윤양호
- 70 유압모터 구동용 동기제어 시스템 제안
양경욱

Original Research Article

- 1** Tide and Tidal Flows around Southwestern Waters of Korea
Hyosang Choo
- 11** Tide and Tidal Flows around the East of Sorok Island
Hyosang Choo
- 20** Seasonal Variation in Species Composition of Ichthyoplankton in Coastal Water off Geumdo in Yeosu, Korea
Kwang-Yeon Seo, Sung-Hun Lee, Jin Kim, Kyeong-Ho Han
- 26** Species Composition and Quantitative Fluctuation of Fishes Collected by an Otter Trawl in Coastal Waters off Heuksan-do, Korea
Kyeong-Ho Han, Tae-Sik Yu, Jin Lee, Sung-Hoon Lee
- 36** Seasonal Variation and Distribution of Fish Eggs and Ichthyoplankton in the Coastal off Samchunpo, Korea
Yun-Seok Nam, Sung-Hoon Lee, Tae-Hyoung Roh, Kyeong-Ho Han
- 43** Distribution of Ichthyoplanktons in Gangjin Bay, Korea
Jin-Woo Park, Sung-Hoon Lee, Tae-Hyoung Roh, Kyeong-Ho Han
- 51** Species Composition and Variation of Ichthyoplankton in Coastal Waters of Jindo, Korea
Kyeong-Ho Han, Hui-Jin Kim, Jin Lee, Sung-Hun Lee
- 58** Spatio-temporal Distributions of Phytoplankton Community in the Estuarine of Seomjin River and Sueo Stream (ESRaSS), South Korea
Yang Ho Yoon
- 70** Propose of Synchronous Control System for Hydraulic Motor Drive
Kyong-Uk Yang

서남해 주변해역의 조석, 조류특성

Tide and Tidal Flows around Southwestern Waters of Korea

추효상^{1,*}Hyosang Choo^{1,*}¹전남대학교 해양기술학부¹Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea*Correspondence to Hyosang Choo
E-mail: choo@jnu.ac.kr

Received December 21, 2018

Revised January 15, 2019

Accepted February 11, 2019

Abstract : In order to estimate tide and tidal flows around Southwestern Waters of Korea, tide and current observations were carried out. Tidal amplitudes increase from south to north at the study area. M2 component is largest and semidiurnal component accounts for 52~65 percents in the whole tidal amplitude. The place where the rate is highest is Naebyung Island and lowest is Mokpo. Also, diurnal component takes 18~22 percents and shows high in Naebyung Island and low in Mokpo. Over tide and compound tide for shallow water constituents have 4~9 percents and 5~13 percents in the whole tidal amplitude, respectively. However their rates are large in Mokpo and small in Naebyung Island. Shallow water constituent due to tidal friction and advection effect grows more and more going into the inside of the study area. At Naebyung Island, mean high water interval of M2 tide is earliest. Current flows NE at flood and SW at ebb at Jin Island~Gasa Island and Jin Island~Hatae Island, but it flows NW~NE at flood and SE~SW at ebb at Hwawon Peninsula~Palgeum Island. Tidal current form show reversing at Island~Gasa Island and Jin Island~Hatae Island and rotating at Hwawon Peninsula~Palgeum Island. The time when maximum speeds of flood and ebb appear at Hwawon Peninsula~Palgeum Island is delayed for 1.1 hours as against at Jin Island~Gasa Island or Jin Island~Hatae Island. Characteristics of tidal flows between Jin Island~Hatae Island and Hwawon Peninsula~Palgeum Island are quite different. Constant flows are dominant southwest.

Keywords : Tide, Tidal flow, Jaen Island, Naebyung Island, Southwestern Waters

서 론

우리나라 서남해안은 진도, 화원반도, 목포를 연결하는 해역과 인근에 산재한 상·하조도, 내·외병도, 가사도, 하태도, 장산도, 안좌도, 팔금도, 암태도, 자은도 등의 크고 작은 섬들이 위치한다(Fig. 1). 따라서 이들 섬과 섬 사이 또는 섬과 반도 및 육지 연안 사이에 좁은 수로가 형성되어 지형적 형상(해안선)과 해저수심이 매우 복잡하다. 또한, 이들 해역은 하천과 강을 통한 육상기원 쇄설물의 유입이 활발하고 조수간만의 차이와 조류, 파랑의 영향으로 퇴적물의 재부유가 활발해 연중 탁한 해수를 나타낸다(KIGAM, 1997). 한편, 이들 해역은 주요 무역항을 통항하는 모든 선박의 주 항로이기도 하여 해양사고가 빈번한 지역이다(Bak *et al.*, 2007).

서해의 조석은 동중국해에서 진입하는 조석파에 의한 것으로, 조차는 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 점차 커진다. 우리나라 서남해의 대조차는 목포(34°46'47"E 126°22'32"N)와 진도(34°22'40"E 126°18'31"N)에서 각각 377.8 cm, 298.4 cm이며, 평균해면은 목포 243.0 cm, 진도 201.0 cm이다(KHOA, 2013). 또한 연안을 따라서는 반일주조가 우세한 조석형태이나 외해로 갈수록 반일주조가 우세한 혼합조 형태로 나타난다(Lee, 1992). 북태평양의 조석파가 우리나라 남해에서 황해(서해)로 전파되는 과정에 서남해의 돌출해안을 돌아가게 되고, 이때 외해의 조류가 협수로를 통과하면서 매우 빠른 유속이 나타나게 된다. 서해의 조류는 일반적으로 창조시 북방, 낙조시 남방으로 흐르나, 서남해역은 조류가 여러 갈래의 크고 작은 수로를 통해 분류되었다 합류하는 등 흐름 방향이 해역에 따라 매

우 복잡하고 유속도 매우 강해 화원반도 서쪽에서 최강유속 2.7 kn (창조)~3.3 kn (낙조)에 이른다(KHOA, 2009). 해당해역 주변 진도~화원반도~목포 연안 및 섬 주변 협수로는 와류와 함께 반일주조류가 우세한 왕복성 조류의 규칙적인 1일 2회의 창·낙조류가 일어나고, 일조부등은 작은 편이나 주변 외해는 유향, 유속이 조시에 따라 변하는 회전성조류 현상이 나타난다

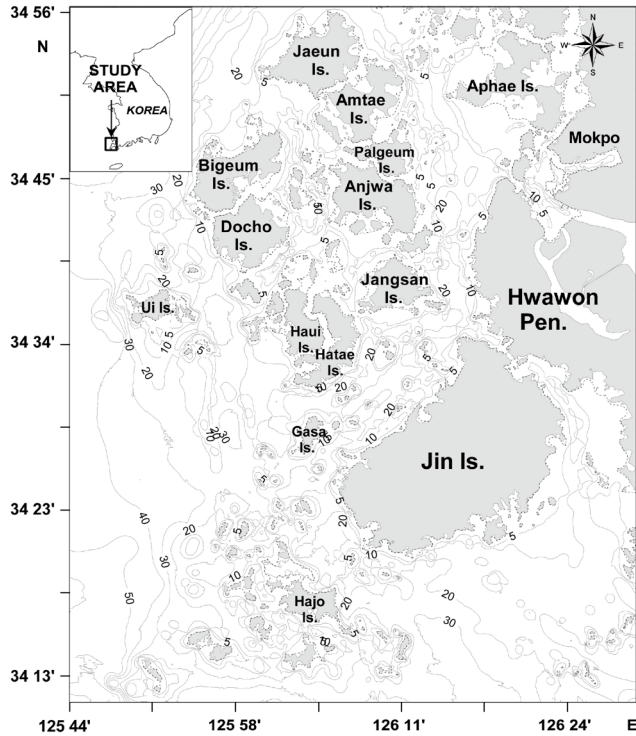


Fig. 1. Bottom topography around Southwestern Waters. Contour numbers show depth (m).

(KHOA, 2001). Jung and Choi (2010)는 목포해역에서 조위와 조류 관측자료를 분석하여 낙조류 우세 조류특성을 지적하였으며, Kang and Moon (2001)은 천해조에 대한 수치실험에서 서남해안의 지형적 특성으로 영산강 하구역은 낙조우세가 발생하고 하류 방향의 유사이동이 발생하여 수심이 깊어짐과 동시에 조간대가 형성되고 형성된 조간대는 낙조우세를 더욱 심화시키는 것으로 조사하였다.

조석현상이 우세한 우리나라 서남해 연안에서 이용 가능한 해양에너지원 중 하나는 조류로, Kim *et al.* (2011)은 서남해안에서 장기 관측한 유속자료로 연간조류에너지를 산정하여 조류타원 및 각 지점의 연간에너지밀도를 추산하였다. 그 결과, 울돌목(진도~화원반도) 및 조류속이 상대적으로 빠른 수로가 많이 존재하는 전남 서남해역이 10 MW/cm² 이상의 연간에너지밀도를 나타내는 조류발전의 최적지로 적합함을 시사하였다.

본 연구는 많은 섬과 불규칙한 수심, 복잡한 수로가 존재하는 한국 서남해안에서의 조석특성 및 조류변동을 파악하기 위해 해역 내 주요 해수유동 지점에서 대, 소조시 조류현장관측과 조석관측을 실시하였다. 조시에 따른 층별 조류변화와 조석특성은 동 해역 주변 다도해 해역의 생산성에 영향을 미치는 연직혼합 및 조류에 의한 해수교환 과정을 이해하는데 큰 역할을 할 것으로 판단된다.

자료 및 방법

본 조사는 Table 1과 같이 한국 서남해역의 자은도, 진도, 내병도 주변 TG-1~TG-3 정점에서 조위관측을, 그리고 팔금도~화원반도, 하태도~진도, 가사도~진도, 내병도 북쪽 해역에서 CR1~CR3, CR-3 정점에서 조류관측을 시행하였다(Fig. 2).

Table 1. Locations, depths and periods of tide and current observation

Obs.	Station	Location	Depth	Period
Tide	TG-1	Lat. : 34°55.60'N Lon.: 126°05.30'E	10 m	2001.11.09~11.28
	TG-2	Lat. : 34°35.21'N Lon.: 126°15.75'E	14 m	2001.11.09~11.24
	TG-3	Lat. : 34°22.44'N Lon.: 125°57.57'E	12 m	2001.11.09~12.08
Curr.	CM1	Lat. : 34°46.1'N Lon.: 126°15.9'E	17 m	2001.11.17~11.18 (spring tide) 2002.08.02~08.03 (neap tide)
	CM2	Lat. : 34°31.4'N Lon.: 126°07.2'E	18 m	2001.11.17~11.18 (spring tide) 2002.08.02~08.03 (neap tide)
	CM3	Lat. : 34°28.7'N Lon.: 126°05.0'E	159 m	2001.11.17~11.18 (spring tide)
	CM-3	Lat. : 34°26.9'N Lon.: 125°57.1'E	35 m	2002.08.02~08.03 (neap tide)

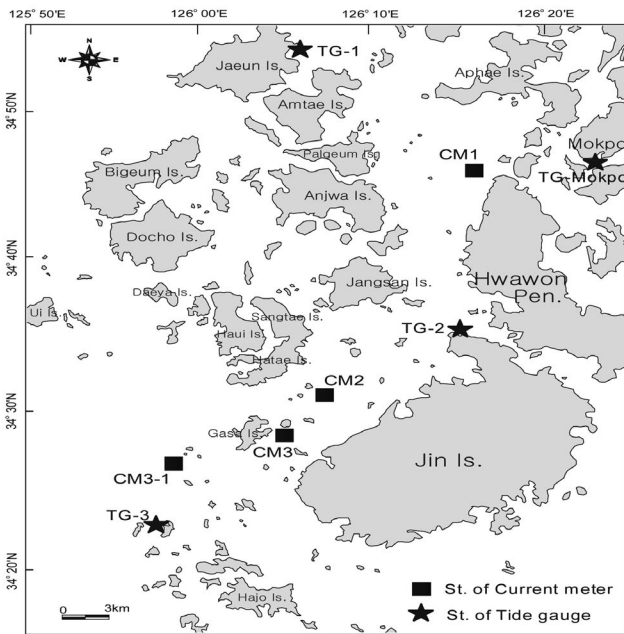


Fig. 2. Observational stations around the study area.

동 해역은 주변에 많은 섬들이 분포하는 다도해역으로 섬과 섬 사이 조류가 강하며, 대형선박의 인근 목포항과 연근해 소형선박의 입출항이 빈번한 주요 연안항로에 해당하여 장기 측류를 위한 계류는 동 항로 내 계류된 조류 측정 장치가 선박의 안전 항해에 지장을 초래하거나, 조류 측정기기가 파손될 위험이 있어, 부득이 주요 항로를 벗어난 지점을 선정하여 정박한 관측선에서 대조와 소조시 1주야(25시간) 관측에 의한 단기조류관측을 실시하였다. 대조시 측정된 조류 관측 정점 CM3는 당초 측정지점 CM-3를 계획했으나, CM-3 정점이 외해에 직접 영향을 받아 약한 바람에도 파고가 매우 높아 대조시 조사 도중 부득이 CM3 정점으로 이동되었다. 관측정점의 위치는 Fig. 2에 나타내었다. 관측은 관측시각 및 해면기압, 유속보정을 마친 후 조석은 TG-1~TG-3 정점의 해저에 계류하여 30분 간격으로 조위를, 조류는 정선된 관측선에서 10~30분 간격으로 CM1~CM3, CM-3 정점의 표층(1/10)에서 유향, 유속을 연속 측정하였다.

조석관측에는 압력식 자기 검조기인 TG205 Logger (Canada RBR사)와 Model 702 Tide Gauge (England Valeport사), 조

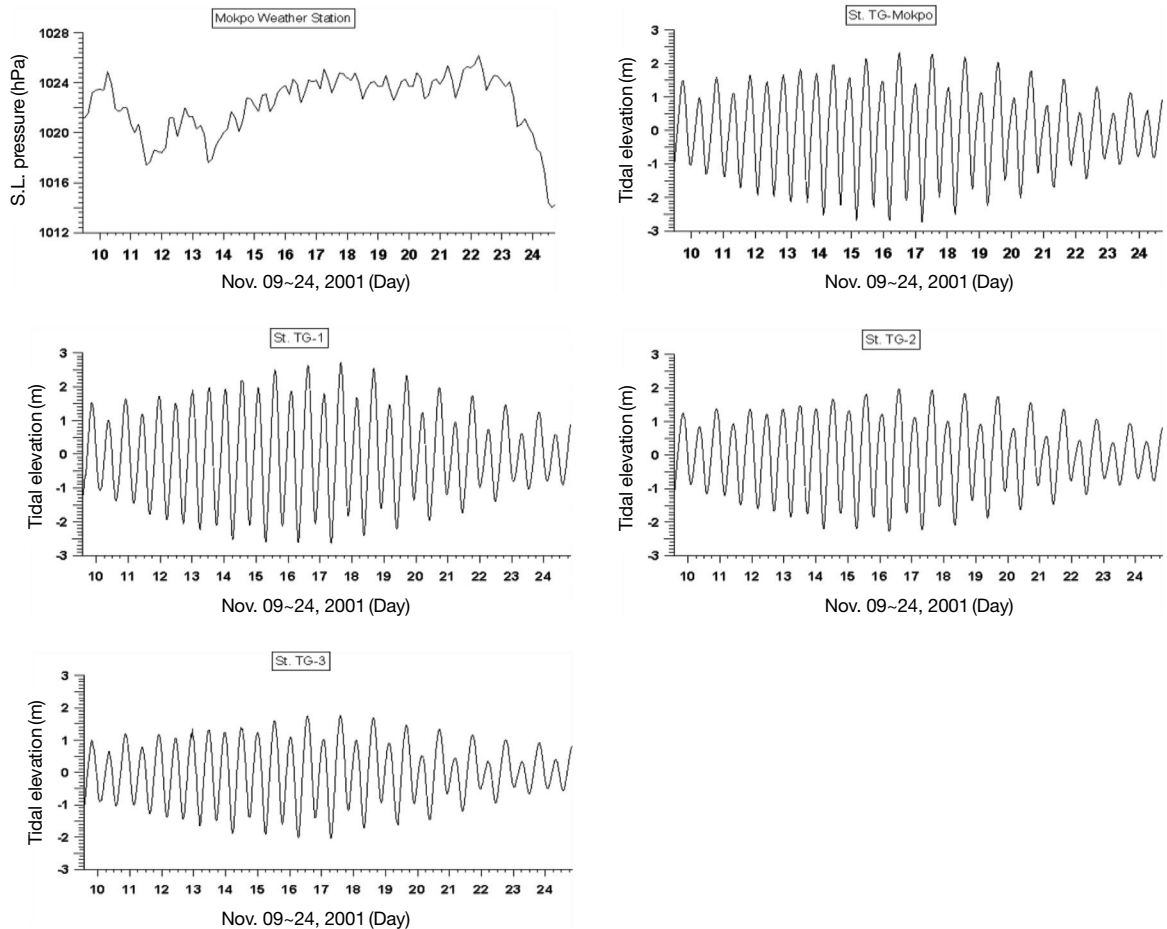


Fig. 3. Time series of air pressure at sea level at Mokpo and sea level changes at St. TG-1~TG-3 and TG-Mokpo from Nov. 09 to Nov. 24, 2001.

Table 2. Major harmonic constants of tide at TG-Mokpo and St.TG-1~TG-3

Cons.	St.							
	TG-Mokpo		TG-1		TG-2		TG-3	
	Amp.(cm)	Pha. lag (°)	Amp.(cm)	Pha. lag (°)	Amp.(cm)	Pha. lag (°)	Amp.(cm)	Pha. lag (°)
MM	21.6	279.6	9.4	268.2	12.7	298.7	3.2	265.8
MSF	10.8	45.8	9.9	61.5	9.3	84.5	4.9	110.7
Q1	4.1	226.0	2.7	209.1	5.0	200.2	2.5	202.2
O1	27.8	207.9	25.4	219.2	23.3	192.1	21.8	209.3
M1	7.9	211.8	2.6	205.7	9.3	167.0	1.2	226.2
K1	26.4	227.0	29.3	253.7	14.7	221.5	26.8	243.4
J1	12.6	25.2	3.1	28.0	14.6	345.4	0.6	308.5
OO1	5.8	250.5	2.7	315.5	5.5	210.7	0.3	308.5
P1	8.7	227.0	9.7	253.7	4.9	221.5	8.9	243.4
MU2	3.1	340.1	2.5	133.4	1.8	346.9	3.0	297.6
N2	36.6	30.0	30.1	16.6	24.7	3.5	22.9	345.0
M2	148.7	33.5	155.0	44.8	126.1	23.1	105.3	9.8
L2	12.5	84.3	1.1	88.9	2.0	129.9	1.9	66.7
S2	48.3	82.9	50.5	94.4	39.2	67.2	35.4	46.5
K2	13.1	82.9	13.7	94.4	10.7	67.2	9.6	46.5
NU2	7.1	30.0	5.8	16.6	4.8	3.5	4.4	345.0
2SM2	2.3	253.2	2.4	294.3	1.8	274.8	0.6	290.4
MO3	4.2	30.1	2.7	11.7	3.3	22.5	1.5	8.9
M3	1.8	69.9	1.0	234.7	1.7	68.8	0.4	86.1
MK3	6.2	34.5	3.7	45.5	4.7	25.4	2.5	40.1
MN4	12.9	229.9	5.3	200.5	7.6	213.5	2.6	136.7
M4	36.4	187.6	19.1	180.9	24.5	172.2	8.1	156.6
SN4	14.2	290.1	4.8	290.0	8.8	273.4	1.5	179.2
MS4	21.5	241.7	13.3	236.7	14.3	220.6	5.5	197.0
2MN6	4.5	112.2	1.4	108.8	2.1	90.5	0.9	330.1
M6	8.2	68.2	3.6	88.6	4.1	29.0	1.7	5.4
MSN6	5.1	158.9	1.5	198.2	3.1	140.4	0.4	37.8
2MS6	5.7	119.8	3.7	137.0	2.2	77.9	1.5	21.8
2SM6	0.5	224.4	0.3	149.2	0.4	322.1	0.6	18.3

류관측에는 자기 기록 유향 유속계인 ACM-16M (Japan Alec 사), RCM7, RCM9 (노르웨이 AANDERAA사)을 각각 사용하였다. 조위는 관측된 측정 자료에서 해면기압 보정을 마친 후, 매시별 조위기록 자료로부터 조화분석 프로그램 TASK Package (Proudman Oceanographic Laboratory, UK)를 이용하여 조화분석해 해당 지점의 조화상수 및 비 조화상수를 산출하였다. 또한, 인근해역과의 비교를 위해 정점 TG-1~TG-3의 측정시기 동안 목포항 검조소 TG-Mokpo 지점(34°46'47"N 126°22'40"E)에서 측정된 조위측정 결과를 분석하여 조위자료를 평가하였다. 한편, 조류는 측정된 자료로부터 유속벡터의 시계열 분포, 조류 타원도 및 연속 조류 벡터도를 작성하였으며, 매시 자료를 북방 및 동방성분으로 분해 후, 단기 조화분석법에 의한 일주조, 반 일주조류의 진폭과 지각을 산출하였다. 단기 조류의 조화분석에서 사용된 관측자료 양은 25시간으로, 이들 유속벡터를 동방 및 북방 유속성분으로 분해한 후, 평균류, 1일 주조류, 1/2 일주조류의 합으로 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$V(t) = V_0 + V_1 \cos(15^\circ t - \kappa_1) + V_2 \cos(30^\circ t - \kappa_2) + \dots \quad (1)$$

이것을 Fourier 급수로 전개하면 식(2)와 같다.

$$V(t) \approx V_0 + A_1 \cos(15^\circ t) + A_2 \cos(30^\circ t) + \dots + B_1 \sin(15^\circ t) + B_2 \sin(30^\circ t) + \dots \quad (2)$$

여기서, $V_0 = \frac{1}{24} \sum_{t=0}^{23} V(t)$, $A_i = \frac{1}{12} \sum_{t=0}^{23} V(t) \cos(15^\circ it)$, $B_i = \frac{1}{12} \sum_{t=0}^{23} V(t) \sin(15^\circ it)$, $V_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$, $\kappa_i = \tan^{-1} \frac{B_i}{A_i}$, $i = 1, 2$ 이다. 그리고

$i = 1$ 의 일주조류는 K1, O1 및 P1 분조성분, $i = 2$ 의 1/2일 주조류는 M2, S2, K2 분조성분을 나타낸다.

결과 및 고찰

1. 조석

Fig. 3은 2001년 11월 09일~11월 24일 목포기상대에서 측

Table 3. Corrected amplitudes and phase lags at St. TG-1~TG-3 and St. TG-Mokpo of major M2, S2, K1 and O1 tidal component for one year from Jan. 1 to Dec. 31, 2007

St.		TG-Mokpo		TG-1		TG-2		TG-3	
Lat. & Long.		34°46.78'N 126°22.53'E		34°55.60'N 126°05.30'E		34°35.21'N 126°15.75'E		34°22.44'N 125°57.57'E	
Cons. Amp Pha		Amp. (cm)	Pha. lag (°)	Amp. (cm)	Pha. lag (°)	Amp. (cm)	Pha. lag (°)	Amp. (cm)	Pha. lag (°)
	M2	143.2	29.2	149.3	41.1	121.4	19.0	101.4	6.3
	S2	49.9	73.8	52.2	85.9	40.5	58.3	36.6	38.2
	K1	29.9	242.3	33.2	269.3	16.6	236.9	30.4	259.1
	O1	22.8	221.4	20.8	233.0	19.1	205.7	17.9	223.2

Table 4. Non-harmonic tidal constants at St. TG-Mokpo and St. TG-1~TG-3

Constant	St.			
	TG-Mokpo	TG-1	TG-2	TG-3
M.H.W.I.	1 ^h 00 ^m	1 ^h 25 ^m	0 ^h 39 ^m	0 ^h 13 ^m
L.H.W.I.	7 ^h 12 ^m	7 ^h 37 ^m	6 ^h 51 ^m	6 ^h 25 ^m
App. H.H.W (cm)	491.6	511.0	395.2	372.6
H.W.O.S.T (cm)	438.9	457.0	359.5	324.3
H.W.O.M.T (cm)	389.0	404.8	319.0	287.7
H.W.O.N.T (cm)	339.1	352.6	278.5	251.1
M.S.L (cm)	245.8	255.5	197.6	186.3
L.W.O.N.T (cm)	152.5	158.4	116.7	121.5
L.W.O.M.T (cm)	102.6	106.2	76.2	84.9
L.W.O.S.T (cm)	52.7	54.0	35.7	48.3
Spring R. (cm)	386.2	403.0	323.8	276.0
Mean R. (cm))	286.4	298.6	242.8	202.8
Neap R. (cm)	186.6	194.2	161.8	129.6
Range Ratio (Sp.R/Mokpo Sp.R)	1.00	1.04	0.84	0.71
Time Diff (:Mokpo)	0 ^h 00 ^m	+ 0 ^h 25 ^m	- 0 ^h 21 ^m	- 0 ^h 47 ^m
Tidal Factor	0.27	0.27	0.22	0.35

정된 해면기압과 목포검조소 TG-Mokpo 그리고 TG-1~TG-3 정점의 조위측정자료에서 목포기상대의 해면기압을 보정한 조위기록을 시계열로 나타낸 것이다. 조석은 전형적인 반일주조로 최대조차는 276~403 cm였다. 조석진폭은 목포 위쪽 자은도 주변 TG-1 정점이 가장 크고, 진도 남쪽 내병도 주변 TG-3 정점에서 가장 작았다. 목포검조소의 조위는 TG-1 정점 다음으로 진폭이 커, 조석은 진도 남쪽(TG-3)에서 진도 북쪽(TG-2), 목포(TG-Mokpo), 자은도(TG-1) 순으로 남쪽에서 북으로 올라올수록 점차 커졌다. 한편, 이들 자료를 조화분해한 결과 중각 분조에 대한 조화상수(반조차(진폭), 지각)를 Table 2에 나타냈다. Table 2의 지각은 135°E를 기준으로 하였다.

Table 2에서 M2 분조의 진폭이 가장 컸으며, 반일주조에 해당하는 MU2, N2, M2, L2, S2, K2, NU2 분조의 진폭의 합이 전체 진폭에서 차지하는 비율은 52~65%로 외해에 위치한 TG-3 정점에서 가장 크고 목포검조소에서 가장 작았다. 한편,

일주조인 Q1, O1, M1, K1, J1, OO1, P1 분조는 18~22%로 역시 TG-3 정점에서 가장 컸고 목포검조소에서 가장 작았다. 그러나 천해조 성분인 배조(M4, M6)와 복합조(2SM2, MN4, SN4, MS4, 2MN6, MSN6, 2MS6, 2SM6) 진폭은 각각 4~9%, 5~13%로 TG-3 정점에서 가장 작고, 정점 중 가장 내만에 위치한 목포검조소(TG-Mokpo)에서 가장 컸다. 한편, 배조와 복합조를 합한 천해조 성분은 8~22%로 조석에 의한 마찰효과와 비선형효과로 지형이 복잡한 내만으로 갈수록 그 비가 컸다.

2001년 11월 실시된 TG-1~TG-3 정점의 조석 4대 분조(M2, S2, K1, O1)에 대해 목포검조소의 1년(2007.1.1.~12.31)간 조화상수를 이용하여 관측기간과 위치에 따른 연보정을 실시하여 나타낸 진폭과 위상 결과를 Table 3에 나타냈다. 그리고 이들 연보정된 주요 4대 분조의 반 조차(진폭)와 지각의 상관관계로 구한 비조화상수를 Table 4에 나타냈다.

Table 4에서 M2 분조에 대한 평균고조간격은 TG-3 정점이

0^h 13^m으로 가장 빨랐으며 다음이 TG-2 (0^h 39^m), 목포검조소 (TG-Mokpo, 1^h 00^m), TG-1 (1^h 25^m)의 순서로 늦어졌다. 이는 조석파가 위도 상 서남해안 가장 남쪽에 위치한 진도 남쪽 해역을 시작으로 진도 북쪽~화원반도, 화원반도~목포, 자은도 순으로 점차 북쪽해역으로 진행해 옴을 보여준다. TG-3 (내병도) 정점과 TG-2 (진도~화원반도) 정점 간 차이는 26분, TG-2 정점과 목포검조소(TG-Mokpo, 화원반도~목포) 간 21분, 목포검조소와 TG-1 (자은도 동쪽) 정점 간 25분으로 각 정점 간 약 21~26분의 차이를 나타냈다. 조석형태수는 서남해 다도해의 내측에 위치한 TG-Mokpo, TG-1, TG-2 정점이 0.22~0.27로 우리나라 남서해안에 전형적으로 나타나는 반일주조가 우세한 조석형태였으나, 다도해 외측에 위치한 TG-3 정점은 0.35로 반일주조가 우세한 혼합조형태였다. 이러한 결과는 2011년 4월~10월 국립해양조사원(KHOA, 2011)이 자은도와 진도에서 조사한 조석형태수의 결과(자은도 0.27, 진도 0.29)와 대체로 일치한다.

각 정점의 평균해면은 186.3~255.5 cm로 TG-3 정점에서 가장 낮고, TG-1 정점에서 가장 높았다. 또 TG-2와 TG-3 정점의 평균해면은 TG-Mokpo와 TG-1 정점에 비해 약 59 cm 정도 낮았다. 본 조사기간 동안 해석된 목포의 평균해면은 장기 평균된 목포검조소의 평균해면 243.0 cm와 비교해 약 2.8 cm 높았다. 이는 TG-1~TG3 정점의 측정기간이 30일 미만이고 목포검조소의 자료가 1년간에 따른 장주기 조석성분이 제대로 분석되지 않아 나타난 결과이거나 이 해역에서의 탁월풍, 기압 등에 의한 기상변화와 수온, 해수밀도변동이 원인일 수 있다. 그러나 정점 간 거리가 지리적으로 크게 떨어져 있지 않음에도 불구하고 평균해면의 차가 큰 것은 각 정점이 외해, 섬 주변, 협수로, 내만 등 서로 다른 지형요소를 가짐에 따라 해수 마찰과 비선형적 요인에 의한 효과가 어느 정도 해수면의 승강에 작용하고 있을 것으로 판단된다. 보다 정확한 평균해수면 변동을 보기 위한 장기 조위관측이 요구된다.

약 최고고조위 및 대조 평균 고조위는 373~511 cm, 324~457 cm로 TG-2, TG-3 정점에서 낮고, TG-Mokpo, TG-1 정점에서 높았다. 각 정점의 대조차, 평균조차, 소조차는 각각 276~403 cm, 203~299 cm, 130~194 cm 였으며, TG-3 정점이 가장 낮고, TG-1 정점에서 가장 컸다. 목포검조소(TG-Mokpo)에 대한 대조차 조고비는 0.71~1.04배로 TG-3 정점과 TG-1 정점에서 큰 차이를 나타냈다. 목포항 기준 TG-1~TG-3 정점의 조시차는 +25분~-47분이었다.

2. 조류

대조시 CM1~CM3 정점의 표층에서 측정된 조류벡터의 시계열분포를 Fig. 4에 나타냈다. 조류는 진도~가사도, 진도~하태도 사이 CM3와 CM2 정점에서 창조와 낙조에 따라 북동과

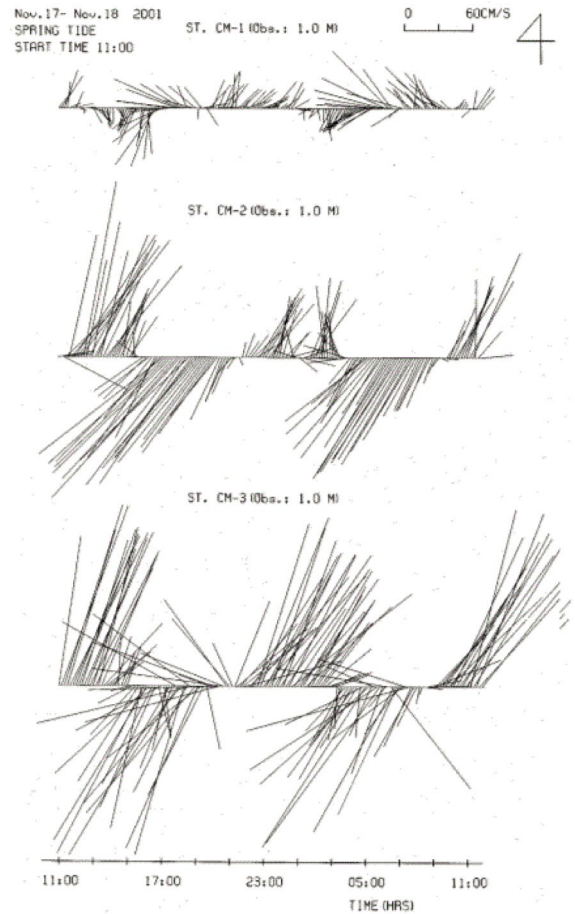


Fig. 4. Stick vector diagrams at surface layer of St. CM1~CM3 in spring tide.

남서쪽으로 흐르고, 화원반도~팔금도에 위치한 CM1 정점은 북서~북동, 남동~남서 방향으로 다소의 유속변화를 보였다. CM3와 CM2 정점은 진도 북서 연안에 형성된 북동-남서 방향의 좁은 수로(Fig. 1)를 따라 창조시 북북동(NNE)~북동(NE), 낙조시 남남서(SSW)~남서(SW)방향의 강한 왕복성 조류를 나타냈다. CM3 정점은 창조류, CM2 정점은 낙조류가 대체로 우세하였다. 한편, CM1 정점은 CM3와 CM2 정점과 달리 해저지형에 의한 주 수로 형성이 복잡하고, 화원반도 서쪽으로부터의 조류와 자은도~증도에서의 조류가 시간차를 두고 유출입되는 지점인 관계로 창, 낙조 유형이 일정 왕복형태를 나타내지 않았다. 즉, CM3와 CM2 정점에서 북동 방향의 창조류가 흐를 때, CM1 정점은 북동 방향의 창조류와 전류, 그리고 남~남동 방향의 낙조류가 형성되었다. 이는 창조시 진도와 화원반도 서쪽 수로를 따라 북동류하는 흐름과 시간차를 두고 자은도~증도에서 남동류하는 흐름이 만나게 되기 때문이다. 따라서 CM1 정점은 창, 낙조에 따른 일정 패턴이 나타나지 않고 유형, 유속 변동이 큰 불규칙한 회전성 조류변동을 나타냈다. 낙조시 CM3

Table 5. Time of maximum speed at maximum flood and ebb currents at St. CM1~CM3 in spring tide. Directions and velocities of maximum flood current, ebb current and mean flow are shown

St.	Time of max. speed		Max. current				Mean flow	
	Flood	Ebb	Flood		Ebb		Dir. (°)	Vel. (cm/s)
			Dir. (°)	Vel. (cm/s)	Dir. (°)	Vel. (cm/s)		
CM1	H.W – 4.7h	L.W – 4.3h	19	34.9	215	62.1	284	7.0
CM2	H.W – 3.5h	L.W – 2.8h	10	158.4	222	170.7	249	11.7
CM3	H.W – 3.7h	L.W – 3.5h	24	150.8	210	195.7	13	26.1

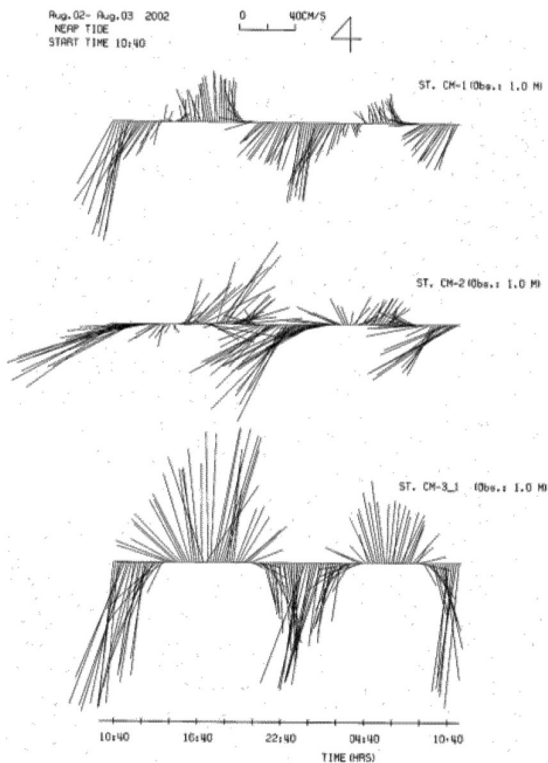


Fig. 5. Stick vector diagrams at surface layer of St. CM1~CM3 in neap tide.

와 CM2 정점의 남서류가 강할 때 CM1 정점은 남서류 이후 북동 방향 흐름을 나타내어, 창조시와 같이 화원반도~진도 방향 흐름 이후 시간차를 두고 자은도~중도 방향 흐름이 이어졌다. 창, 낙조류의 수렴과 분산으로 인해 CM1 정점의 조류유속은 주변 정점에 비해 유속이 작았다. Choo and Kim (2013)은 다도해역의 조류와 조석 수치실험에서, 섬과 섬사이 해수가 수렴 또는 발산되는 해역은 조석진폭이 커지고, 섬들로 인한 해저마찰로 단위면적당 일률이 커져 조석 에너지의 분산(dissipation)이 크게 나타남을 지적하였다.

Table 5에 대조기 관측기간 중 창, 낙조 최강류시 및 최강유속과 유향, 관측기간 동안의 평균유속과 유향을 나타냈다. 고조와 저조시는 동 시기 목포검조소에서 측정된 조위 결과를

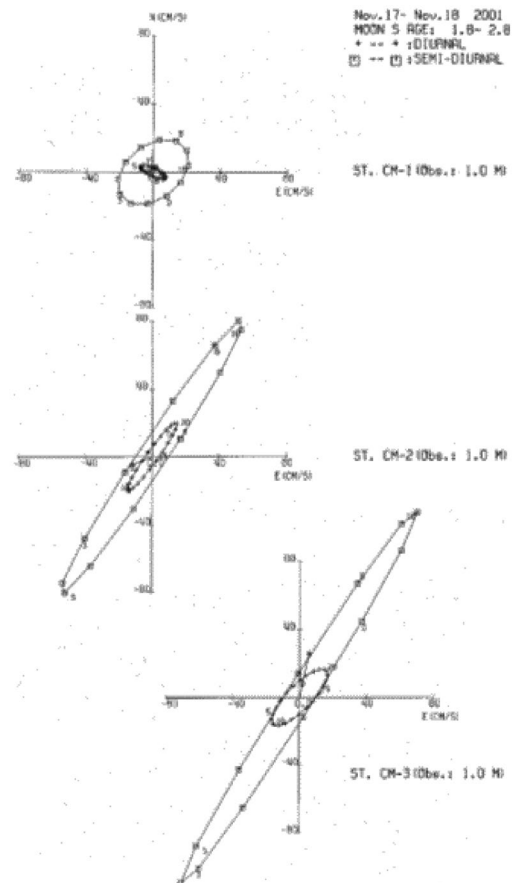


Fig. 6. Diurnal and semi-diurnal tidal ellipses at surface layer of St. CM1~CM3 in spring.

기준으로 하였다. CM2와 CM3 정점의 최강창조류는 고조 전 3.5~3.7시에 발생하였으며, 그 때의 최강유속은 151~158 cm/s였다. 최강낙조류는 저조 전 2.8~3.5시에 발생하였고 최강유속 171~196 cm/s였다. 한편, CM1 정점의 최강창조류 발생시각은 CM2와 CM3 정점과 비교해 1.0~1.2시간, 최강낙조류는 0.8~1.5시간 더 늦어 평균 약 1.1시간 뒤 최강류가 출현하였다. 관측기간 중 평균류는 CM1 정점이 서북서 방향 7.0 cm/s였으나, CM2 정점은 남서 방향 11.7 cm/s, CM3 정점은 북북동 방향 26.1 cm/s로 CM3 정점에서 유속이 가장 컸고, 유향은 정점

Table 6. Constituents of tidal ellipse at St. CM1~CM3 in spring tide

Comp. of ellipse	St.	Diurnal			Semi-diurnal			Constant	
		Dir. (°)	V_1 (cm/s)	ζ_1 (°)	Dir. (°)	V_2 (cm/s)	ζ_2 (°)	Dir. (°)	V_0 (cm/s)
Major axis	CM1	113	8.3	76.2	233	23.9	84.7	284	7.0
	CM2	36	24.6	317.0	34	97.2	320.7		
	CM3	45	22.3	291.2	32	130.2	296.4		
Minor axis	CM1	203	2.4	346.2	323	16.1	354.7	249	11.7
	CM2	126	3.5	227.0	124	8.4	230.7		
	CM3	135	7.4	200.2	122	8.2	206.4		
V_S / V_L	CM1		0.28	(L)		0.67	(L)	13	26.1
	CM2		0.14	(L)		0.09	(L)		
	CM3		0.33	(L)		0.06	(L)		

Table 7. Constituents of tidal ellipse at St. CM1~CM-3 in neap tide

Comp. of ellipse	St.	Diurnal			Semi-diurnal			Constant	
		Dir. (°)	V_1 (cm/s)	ζ_1 (°) (hr)	Dir. (°)	V_2 (cm/s)	ζ_2 (°) (hr)	Dir. (°)	V_0 (cm/s)
Major axis	CM1	194	9.5	3.2	11	37.2	336.9	222	15.0
	CM2	256	13.0	9.8	56	49.3	325.4		
	CM-3	187	21.7	2.8	7	78.5	336.6		
Minor axis	CM1	284	1.7	273.2	101	4.4	246.9	251	16.8
	CM2	346	0.7	279.8	146	2.8	235.4		
	CM-3	277	4.8	272.8	97	19.0	66.64		
V_S / V_L	CM1		0.18	(L)		0.12	(L)	199	14.4
	CM2		0.06	(L)		0.06	(L)		
	CM-3		0.22	(L)		0.24	(R)		

에 따라 달랐다.

소조시 CM1~CM-3 정점의 표층에서 측정된 조류의 조류벡터의 시계열분포를 Fig. 5에 나타냈다. 소조시 CM2 정점의 조류는 대조시와 마찬가지로 창조시 북북동(NNE)~북동(NE), 낙조시 남남서(SSW)~남서(SW)방향의 강한 왕복성 조류를 나타냈다. 그러나 CM1 정점은 대조시와 달리 남남서(SSW)~북북동(NNE) 방향의 왕복성을 보였다. CM-3 정점은 진도 서쪽 외해에 위치해 대조시의 CM3 정점과 달리 창조시 주로 북북동(NNE), 낙조시 남남서(SSW) 방향이었다. 그러나 진도 북서연안 수로 내 위치한 CM2나 CM3 정점에 비해 약한 회전성을 나타냈다. 소조시 조류는 느린 유속으로 인해 대조에 비해 조시에 따른 유향의 안정성이 컸다.

Tables 6과 7은 Figs. 4와 5의 결과를 조화 분해한 일주조, 반일주조 조류타원의 각 요소와 항류 성분을 나타낸 것이며, Figs. 6과 7은 이들 조류타원과 항류를 성분별로 나누어 도시한 조류타원도이다. Tables 6과 7의 지각은 관측 당일 태음이 동경 135°E 자오선을 통과한 시각을 기준으로 하였다.

대, 소조시 각 정점의 조류타원은 대체로 반일주조 성분

일주조 성분보다 우세하였다. 대조시 CM1 정점은 반일주조 류타원의 장축에 대한 단축의 비(V_S/V_L)가 타 정점에 비해 커 (0.67), 회전성 조류의 특성을 나타냈다. 그러나 소조의 경우엔 이 비가 0.12로 낮아져 대, 소조에 따른 조류 특성변화가 매우 컸다. 소조시 CM-3 정점의 반일주조류타원에서도 장축에 대한 단축의 비가 상대적으로 컸다. CM2 정점의 대, 소조기 반일주조 장축길이를 본 대조와 소조의 조류유속 비는 1:0.5였다. 그러나 CM1 정점은 1:1.6으로 대, 소조에 따른 비가 CM2와 반대였다. 이와 같이 위치적으로 CM1과 CM2 정점이 서로 인접해 있음에도 불구하고 조류특성이 매우 상이하게 나타나는 것은 서남해 다도해역의 지형적 특성에 따른 것으로 보인다.

Figs. 4와 5에서와 같이 대, 소조시 항류(평균류)는 대조시 CM1과 CM3 정점을 제외하고 대체로 남서 방향을 나타내어 동 해역은 남서 방향의 낙조류가 북서 방향의 창조류보다 우세함을 보였다. 이러한 결과는 동 해역 주변이 낙조류가 우세하게 나타나는 현상(Jung and Choi, 2010)과 대체로 일치한다. 항류의 세기는 대조기 CM1 정점을 제외하고 11.7~26.1 cm/s였다. CM1 정점의 항류크기는 소조시가 대조시보다 2배 이상 컸다.

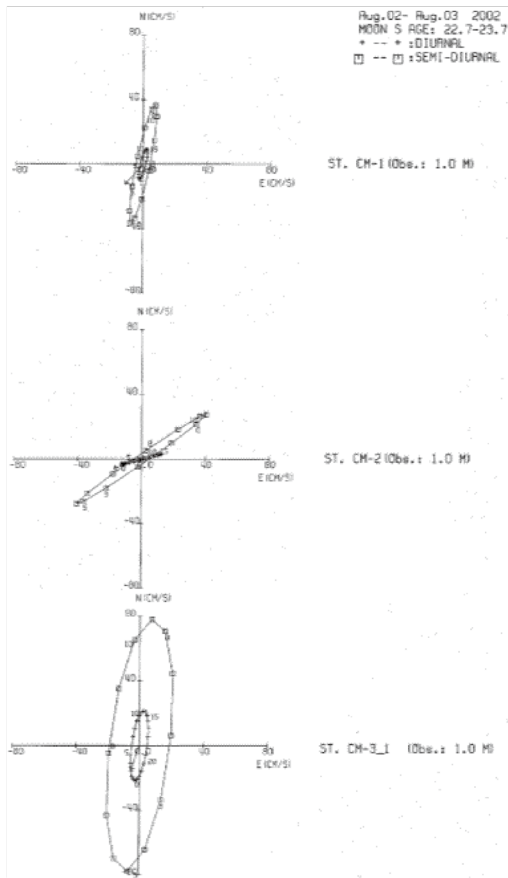


Fig. 7. Diurnal and semi-diurnal tidal ellipses at surface layer of St. CM1~CM-3 in neap tide.

항류에 따른 해수의 이동 경로를 보기 위해 Figs. 8과 9에 대조와 소조시 CM1~CM3, CM-3 정점에서 측정된 조류의 연속 진행 벡터도를 나타냈다. 관측기간 중 가장 먼 거리를 이동한 정점은 대조시 CM3 정점으로 북북동-남남서 방향으로 이동하면서 약 20 km를 진행하였다. CM2 정점은 약 12 km, CM1 정점은 약 7 km였다. 소조시는 CM1과 CM2 정점이 약 12 km로, CM1 정점은 대조시보다 더 멀리 진행하였다. 이는 조류에서와 같이 항류도 CM1과 CM2 정점에서 서로 다른 특성을 나타내고 있음을 보여준다.

요 약

조석진폭은 자은도 주변이 가장 크고, 내병도 주변에서 가장 작았으며, 진도 남쪽에서 진도북쪽, 목포, 자은도 순으로 남쪽에서 북으로 올라올수록 점차 커졌다. 조석분조 중 M2 분조의 진폭이 가장 컸으며, 전체 진폭에 대한 반일주조진폭의 비율은 52~65%로 외해에 위치한 내병도에서 가장 크고 목포에서 가

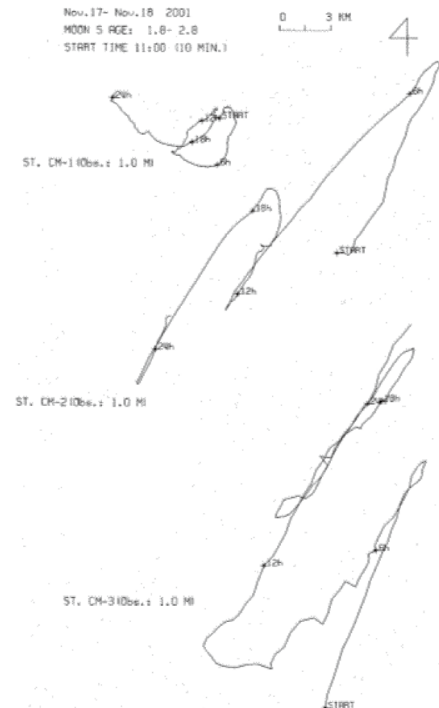


Fig. 8. Progressive vector diagrams at surface layer of St. CM1~CM3 in spring tide.

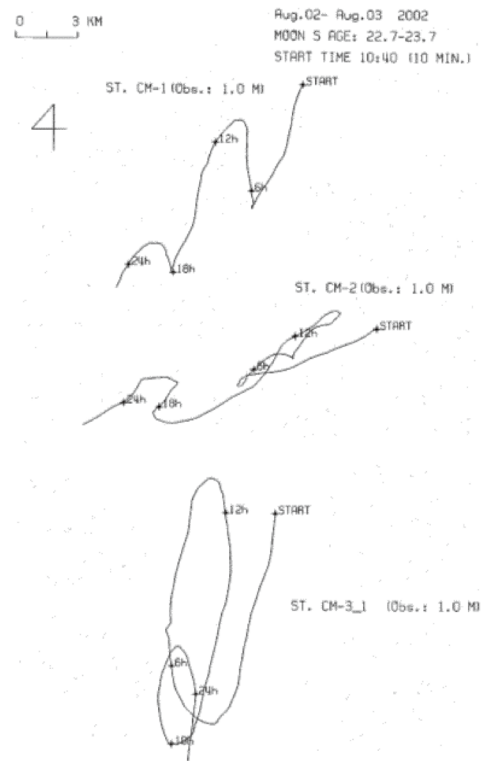


Fig. 9. Progressive vector diagrams at surface layer of St. CM1~CM-3 in neap tide.

장 작았다. 일주조는 18~22%로 역시 내병도에서 가장 컸고 목포에서 가장 작았다. 천해조 성분인 배조와 복합조 진폭은 각각 4~9%, 5~13%로 내병도에서 가장 작고, 목포에서 가장 컸다. 배조와 복합조를 합한 천해조 성분은 조석에 의한 마찰효과와 비선형효과로 지형이 복잡한 내만으로 갈수록 그 비가 컸다. M2 분조의 평균고조간격은 내병도가 가장 빨랐고 진도북쪽, 목포, 자은도의 순서였다. 이는 조석파가 진도 남쪽 해역에서 북쪽으로 점차 진행함을 보여주었다. 관측정점 간 평균고조간격의 차이는 약 21~26분이었다. 조석은 대체로 반일주조 형태였으나, 내병도는 일주조가 다소 우세한 혼합조 형태였다.

조류는 진도~가사도, 진도~하태도에서 창, 낙조에 따라 북동과 남서, 화원반도~팔금도에서 북서~북동, 남동~남서 방향의 유속변화를 나타냈다. 진도~가사도, 진도~하태도는 북동-남서 방향의 좁은 수로를 따라 강한 왕복성 조류를 나타냈다. 대조시 화원반도~팔금도는 화원반도 서쪽의 조류와 자은도~중도의 조류로 인해 창, 낙조에 따른 일정 패턴이 나타나지 않고 유향, 유속변동이 큰 불규칙한 회전성 조류변동을 나타냈다. 화원반도~팔금도의 최강 창, 낙조류 출현시각은 진도~가사도, 진도~하태도와 비교해 약 1.1시간 늦었다. 조류타원은 대체로 반일주조 성분이 일주조 성분보다 우세하였다. 대조시 화원반도~팔금도는 진도~가사도, 진도~하태도에 비해 회전성 조류 특성을 나타냈다. 진도~하태도와 화원반도~팔금도는 위치적으로 서로 인접하였으나 조류특성은 매우 상이하였다. 항류(평균류)는 대조시 화원반도~팔금도, 진도~가사도를 제외하고 대체로 남서 방향 낙조류가 북서 방향 창조류보다 우세하였다.

진도~목포의 우리나라 서남해안에서 측정된 조석 및 조시에 따른 층별 조류 관측결과로부터 지금까지 자세히 밝혀지지 않았던 서남해 다도해 주변해역에서의 조석특성과 해수유동구조가 파악되었다. 이러한 결과는 향후 동 해역에서의 해양자원과 에너지 개발을 위한 해역구분, 에너지 부존량 추정, 적지 선정 등에 필요한 기초자료가 될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- Bak, W.S., J.Y. Chung and O.S. Kim, 2007. Analysis on the navigational dangerous elements in jindo coastal VTS area to improve marine traffic system, Proceedings of the Korean society of marine environment and safety, Autumn 2007, pp. 175-176.
- Choo, H.S. and D.S. Kim, 2013. Tidal and tidal currents around the archipelago on the Southwestern waters of the South Sea, Korea. J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf., 19(6), 582-596.
- Jung, T.S. and J.H. Choi, 2010. Numerical modelling of Ebb-dominant in the Mokpo coastal zone. J. Korean Soc. Coast. Ocean Eng., 22(5), 333-343.
- Kang, J.W. and S.R. Moon, 2001. Tidal Propagation Characteristics in the Estuary which shows Significant Shallow Tides. J. Korean Soc. Coast. Ocean Eng., 13(1), 56-60.
- Kim, S.Y., H.Y. Cho, S.Y. Chun and S.T. Chung, 2011. A study of tidal current energy resources distribution around Korean Marginal Seas, Proceedings of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies, pp. 58-61.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Administration (KHOA), 2001. Annual Technical Report, pp. 62-109.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Administration (KHOA), 2009. West Coast of Korea Pilot. Pub. No. 130, pp. 12-46.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Administration (KHOA), 2011. Survey Report on the Coastal Areas of Southwestern Sea, pp. 103-118.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Administration (KHOA), 2013. Prediction and Result of mean sea level. www.khoa.go.kr/basic/content.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 1997. Assessment of Natural Aggregate Resources of Korea. KR-97 (C)-48, 846pp.
- Lee, S.W., 1992. Coastal Oceanography in Korea. Gypmoondang press, pp. 177-185.

소록도 동쪽 해역의 조석, 조류

Tide and Tidal Flows around the East of Sorok Island

추효상^{1,*}Hyosang Choo^{1,*}¹전남대학교 해양기술학부¹Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea*Correspondence to Hyosang Choo
E-mail: choo@jnu.ac.krReceived December 21, 2018
Revised January 15, 2019
Accepted February 11, 2019

Abstract : In order to estimate tide and tidal flows around the east of Sorok Island in the South Sea of Korea, current observations were carried out simultaneously at two observational stations. Tide shows the mixed form with semi-diurnal and diurnal tide around the east of Sorok Island. Mean high water interval of M2 tide is earliest at Balpo harbor, Gohung Peninsula and delayed in order of at Geogum Channel and Nokdong harbor. It means that tide proceeds from Balpo to Nokdong through Geogum Channel. Currents at St. NC-1 flow NE at ebb and SW at flood dominantly and have mean speed of 20 cm/s and maximum speed of 43.6 cm/s. Ebb flow is stronger than flood flow. Mean flow during the observational period has the speed of 4~10 cm/s and NNE direction. At St. NC-2, currents flow W~NW at flood and SE at ebb and its maximum speed is 86 cm/s, which are stronger than St. NC-1. However unlike St. NC-1, mean current flow S~SSE. Tidal current ellipses around the east of Sorok Island have reversing form.

Keywords : Tide, Tidal flow, Sorok Island, Geogum Channel

서론

소록도는 우리나라 남해의 고흥반도 남쪽과 거금도 사이에 위치한 거금수도 서쪽 가장자리에 위치하는 섬으로 전라남도 고흥군 도양읍에 속한다. 소록도 북쪽의 고흥반도 끝에는 녹동항이 있으며, 녹동항은 인근의 섬 지역을 연결하는 중심지로 주변 각 섬에서 생산되는 활어, 선어, 김, 미역, 멸치 등 해산물의 집산지 역할을 하고 있어 녹동~소록도 주변해역은 많은 선박이 왕래하고 있다. 소록도 동쪽 해역은 거금수도와 연결되고 서쪽 해역은 득량만과 연결된다(Fig. 1). 따라서 소록도 동쪽 해역은 거금수도를 따라 남해 외해에서 유입하는 해수와 서쪽 득량만에서 녹동항을 따라 유입되는 해수의 영향을 양쪽에서 받고 있는 해역으로 남해 외해수와 득량만 만내수가 교환되어지는 장소이기도 하다.

한국 남해 외해와 연안의 만이 만나는 경계의 외해측은 성층이 뚜렷하고 만내측은 연직방향으로 수괴가 잘 혼합된 상태가 나타나며, 수온약층은 혼합층과 성층역사이의 해수표면에 노출되는 조석전선 또는 천해전선이 출현할 가능성이 있다. 이

러한 전선역은 기초생산과 어란, 치자의 분포에 영향을 미치고(Choo, 2002; Hao *et al.*, 2003), 여름 식물플랑크톤의 번식은 이와 같은 조석전선역의 소란(disturbance)과 깊은 관련을 가진다(Pingree *et al.*, 1975). 이 전선역에서 주목되는 것은 플랑크톤의 번식에 수온보다는 조석, 조류 등에 의한 소란(혼합)이 영양염류의 공급에 관여하고 소란시간과 식물세포의 분열시간과의 관계가 중요한 역할을 하게 된다(Pingree and Griffiths, 1978; Cushing, 1995).

거금수도 전체길이는 약 16.5 km, 수심은 중앙에서 약 20 m, 폭은 수로 중앙에서 평균 약 3.3 km이나 수로 서쪽과 남쪽으로 갈수록 4.2~7.2 km로 넓어지는 구조를 가진다. 소록도 주변해역 유동에 관한 기존의 연구는 거금수도 내 9개 조사정점에서 일주야 조사된 조류관측(KHOA, 1978)과 수로해역의 조류수치실험 결과(Jeollanamdo, 1993)가 있다. 또한 Kim *et al.* (2009)은 수로 내 조류관측을 통해 최강유속 82.4 cm/s, 조시별 평균유속 12.8~28.0 cm/s임을 보고하였다. 이들 결과에 따르면, 거금수도 내 조류는 창조시 수로 남쪽 입구에서 북류한 남해 외해수가 점차 가속되면서 육지 연안에 압류되고 소록도 동

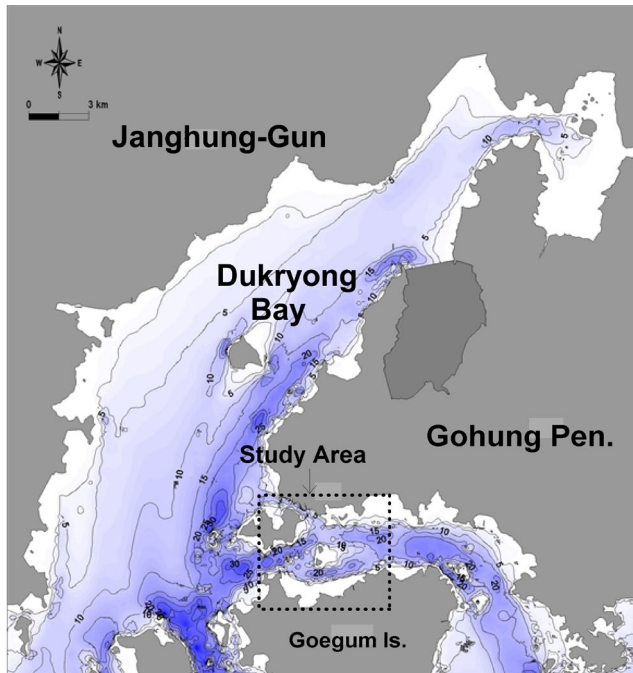


Fig. 1. Bathymetry around the study area. Contour numbers show depth (m).

쪽 해역의 상화도, 하화도 주변에 도달하게 된다. 이후 조류는 남북으로 분류되어 일부는 녹동~소록도 협수로를 지나고, 일부는 소록도~거금도 사이를 반류 또는 와류를 형성하면서 서류하여 수로 서쪽 득량만으로 유출된다. 이 해역 주변의 최강유속은 녹동~소록도 협수로부터 나타나며, 낙조시는 그 역으로 득량만 만내수가 서쪽에서 유입되어 소록도 동쪽 해역에서 합류한 다음, 수로 남쪽 남해 외해로 빠져나간다. 따라서 소록도 동쪽해역은 남해 연안수와 득량만 만내수의 해수교환이 이루어지는 거금수도 내 흐름의 합류와 분류가 일어나는 곳으로, 연직방향 흐름성분으로 인한 해수혼합이 매우 활발해 해역의 기초생물 생산이 해역의 유동상황에 직접 영향을 받게 된다. 따라서 거금수도 주변해역은 조석, 조류를 활용한 김, 미역, 전복 등의 양식산업이 발달하였고, 이들 해역의 생산성 향상과 관련된 수질조사(Yoon and Park, 2000), 유기물분포(Yoon, 2000), 양식장 내의 해양환경(Yoon and Koh, 1995), 수온·염분변동(Choo *et al.*, 1997) 등에 관한 연구도 다수 시행되었다.

본 연구는 남해 연안수와 득량만 만내수의 교환과 연직혼합이 활발한 거금수도 내 소록도 동쪽 해역에서의 조석특성 및 조류변동을 파악하기 위해 대, 소조시 조류현장관측과 조석관측자료 분석을 실시해 조시에 따른 표, 중, 저층에서의 조류변화를 조사하였다. 이러한 현장관측에 의한 층별 조류변동은 동해역의 생산성에 영향을 미치는 연직혼합과정을 이해하는데 큰 역할을 할 것으로 판단된다.

Table 1. Locations, depths and periods of current observation

Station	Location	Depth	Period
NC-1	Latitude: 34°30.18'N	22 m	2008.06.21.~06.22 (spring tide)
	Longitude: 127°08.74'E		2008.06.28.~06.29 (neap tide)
NC-2	Latitude: 34°30.81'N	15 m	2008.06.21.~06.22 (spring tide)
	Longitude: 127°09.16'E		2008.07.11.~07.12 (neap tide)

자료 및 방법

본 조사는 Table 1과 같이 소록도 동쪽의 NC-1, NC-2 정점에서 동시 조류관측을 시행하였다. 소록도 동쪽해역은 고흥반도 남쪽 녹동항과 인접한 해역으로 남해 연안을 향해하는 크고 작은 선박의 정기항로에 해당하여 장기 측류를 위한 계류는 동항로 내 설치된 조류 측정 장치가 선박의 안전항해에 지장을 주거나, 조류 측정기기가 파손될 위험이 있어, 부득이 정박한 관측선에서 대조와 소조 1주야(25시간) 관측에 의한 단기조류관측을 실시하였다. 관측정점의 위치는 Fig. 2에 나타내었다. 관측은 관측 시각 및 해면기압, 유속 보정을 마친 후 NC-1 정점은 전체수심(22 m) 중 표층(1 m)과 중층(7 m), 저층(14 m)에서 30분 간격으로, NC-2 정점은 전체수심(15 m) 중 표층(2 m)에서 10분 간격으로 유향과 유속을 연속 측정하였다. 조류관측에는 자기 기록 유향 유속계인 RCM9(노르웨이 AANDERAA사)과 전자 유향 유속계인 ACM200PC(일본 Alec사)를 사용하였다.

한편, 조류관측과 동시에 국립해양조사원이 동해역 주변 고흥(발포) 김조소(34°28'36"N, 127°20'51"E)에서 측정한 조위관측자료를 사용하였다. 조위는 관측된 측정 자료에서 해면기압 보정을 마친 후, 매시별 조위기록 자료로부터 조위 시계열분포와 조화분석 프로그램 TASK Package(Proudman Oceanographic Laboratory, UK)를 이용하여 조화분석해 조류관측시기와 동일한 시기의 조화상수 및 비조화상수를 산출하였다. 조류는 측정된 자료로부터 유속벡터의 시계열 분포, 조류 분산도 및 연속 조류 벡터도를 작성하였으며, 매시 자료를 북방 및 동방성분으로 분해 후, 단기 조화분석법에 의한 반일주조, 1/4 일주조류의 진폭과 지각을 산출하였다. 단기 조류의 조화분석에서 사용된 관측자료량은 25시간으로, 이들 유속벡터를 동방 및 북방 유속성분으로 분해한 후, 일주조류, 1/2 일주조류, 1/4 일주조류의 합으로 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$V(t) = V_0 + V_1 \cos(15^\circ t - \kappa_1) + V_2 \cos(30^\circ t - \kappa_2) + V_4 \cos(60^\circ t - \kappa_4) + \dots \quad (1)$$

이것을 Fourier 급수로 전개하면 식(2)와 같다.

$$V(t) \approx V_0 + A_1 \cos(15^\circ t) + A_2 \cos(30^\circ t) + A_4 \cos(60^\circ t) + \dots \\ + B_1 \sin(15^\circ t) + B_2 \sin(30^\circ t) + B_4 \sin(60^\circ t) + \dots \quad (2)$$

여기서, $V_0 = \frac{1}{24} \sum_{t=0}^{23} V(t)$, $A_i = \frac{1}{12} \sum_{t=0}^{23} V(t) \cos(15^\circ it)$, $B_i = \frac{1}{12} \sum_{t=0}^{23} V(t) \sin(15^\circ it)$, $V_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$, $\kappa_i = \tan^{-1} \frac{B_i}{A_i}$, $i = 1, 2, 4$ 이다. 그리

고 $i=1$ 의 일주조류는 K1 (일월합성 일주조), O1 (주 태음일주조) 및 P1 (주 태양일주조) 분조성분, $i=2$ 의 1/2 일주조류는 M2 (주 태음반일주조), S2 (주 태양반일주조), K2 (일월합성반일주조) 분조성분, $i=4$ 의 1/4 일주조류는 배조인 M4 (태음 1/4 일주조), S4 (태양 1/4 일주조), 복합조인 MS4 (M2 + S2) 분조성분을 나타낸다.

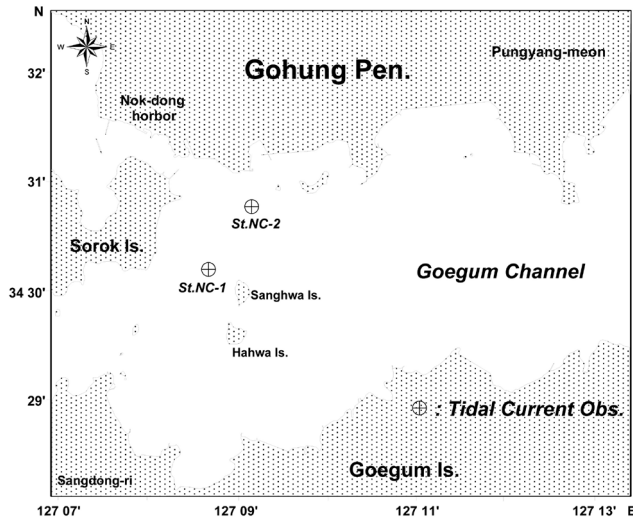


Fig. 2. Observational stations around the east of Sorok Island.

결과 및 고찰

Fig. 3은 고흥(발포) 검조소에서 NC-1, NC-2 정점의 조류 관

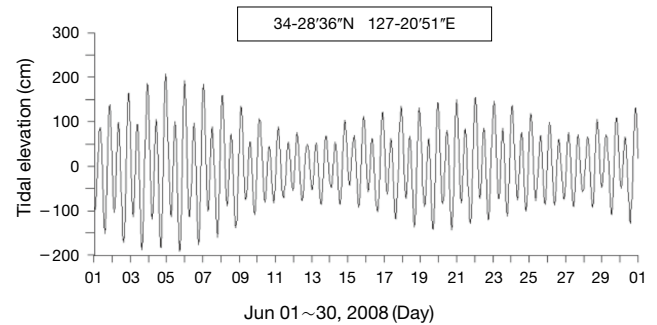


Fig. 3. Time series of sea level change at Balpo harbor from June 1 to June 30, 2008.

Table 2. Harmonic and non-harmonic constants at Nokdong harbor, Geogum Channel and Balpo harbor

St.		Nokdong harbor		Geogum channel		Balpo harbor	
	Location	34°31'27"N 127°08'09"E		34°30'00"N 127°09'00"E		34°28'36"N 127°20'51"E	
	Period	1972.10.01~10.30				2008.06.01~06.30	
	Amplitude & Cons. Phase lag	Amp. (cm)	Pha.lag (°)	Amp. (cm)	Pha.lag (°)	Amp. (cm)	Pha.lag (°)
Harmonic Constants	M2	116.2	278.1	110.0	275.0	100.6	268.2
	S2	47.9	296.5	53.0	298.0	44.9	293.7
	K1	26.0	181.3	30.0	189.0	24.6	184.1
	O1	19.0	171.1	18.0	170.0	17.7	160.3
Non Harmonic Constants	M.H.W.I.	09 ^h 36 ^m		09 ^h 29 ^m		09 ^h 15 ^m	
	L.H.W.I.	15 ^h 48 ^m		15 ^h 41 ^m		15 ^h 26 ^m	
	App. H.H.W (cm)	418.2		422.0		375.6	
	H.W.O.S.T (cm)	373.2		374.0		333.3	
	H.W.O.M.T (cm)	325.3		321.0		288.4	
	H.W.O.N.T (cm)	277.4		268.0		243.5	
	M.S.L (cm)	209.1		211.0		187.8	
	L.W.O.N.T (cm)	140.8		154.0		132.1	
	L.W.O.M.T (cm)	92.9		101.0		87.2	
	L.W.O.S.T (cm)	45.0		48.0		42.3	
	Spring R. (cm)	328.2		326.0		291.0	
	Mean R. (cm)	232.4		220.0		201.2	
	Neap R. (cm)	136.6		114.0		111.4	
	Range Ratio (/Nokdong Sp.R)	1.00		0.99		0.89	
	Tidal Factor	0.274		0.294		0.29	

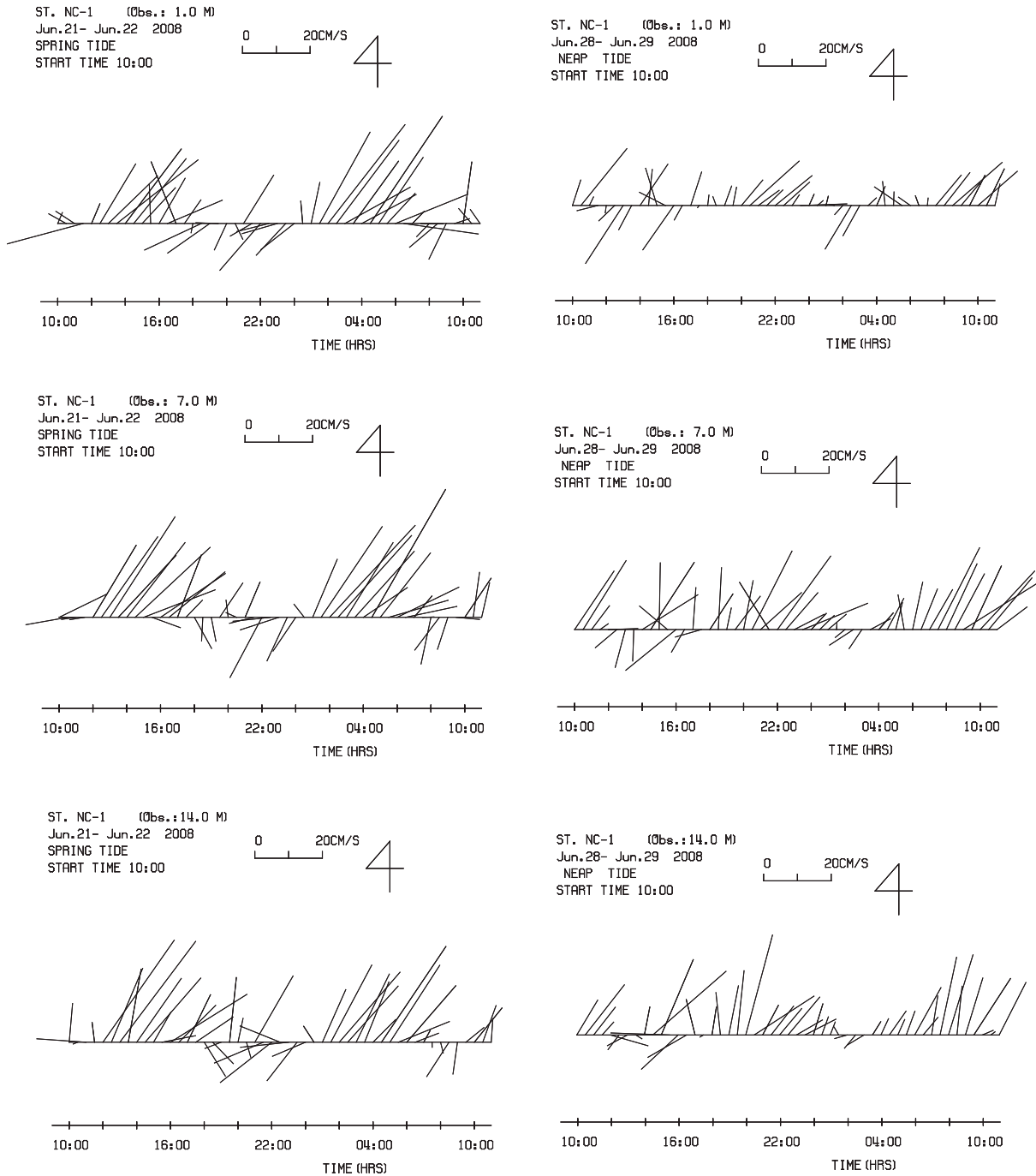


Fig. 4. Stick vector diagrams at surface, mid and bottom layer of St. NC-1 in spring (left) and neap (right) tide.

측시기가 포함된 2008년 06월 01일~06월 30일 약 1달 동안의 조위자료로부터 해면기압을 보정한 조위 기록을 시계열로 나타낸 것이다. 조류 관측이 행해진 06월 21일~22일은 조차가 큰 대조, 28일~29일은 조차가 작은 소조기의 조위 분포를 나타냈다. 조석은 남해 연안에 보여지는 전형적인 반일주조의 형태였다. 한편, 이들 자료를 조화분해한 결과 중 4대 분조에 대한 조

화상수(반조차(진폭), 지각)와 이들의 상관관계로 구한 비조화상수를 Table 2에 나타냈다. Table 2에는 고힥(발포)에서의 조석 조화상수 외 조류측정 지점과 가까운 거금수도과 녹동항에서의 기존자료도 함께 제시하였다.

Table 2의 M.H.W.I. (Mean High Water Interval; 평균고조간격), M.L.W.I. (Mean Low Water Interval; 평균저조간

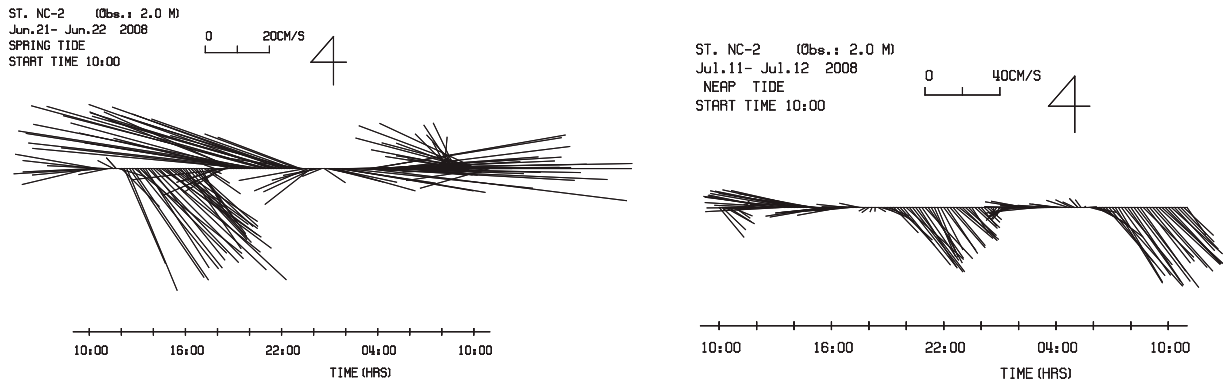


Fig. 5. Stick vector diagrams at surface layer of St. NC-2 in spring (upper) and neap (lower) tide.

Table 3. Current velocities and directions for maximum and mean flow at surface, mid and bottom layer of St. NC-1 and NC-2

St.	Tide	Depth	Maximum flow		Mean flow	
			Vel (cm/s)	Dir (°)	Vel (cm/s)	Dir (°)
NC-1	Spring	Surface	38.1	34.0	7.30	29.5
		Mid	43.6	30.0	10.2	42.8
		Bottom	37.3	37.0	9.54	29.9
	Neap	Surface	21.6	39.0	3.90	25.8
		Mid	27.1	27.0	9.66	29.6
		Bottom	30.6	15.0	8.30	22.0
NC-2	Spring	Surface	86.0	89.0	2.83	148.9
	Neap	Surface	56.2	138.2	10.2	180.1

Table 4. Constituents of tidal ellipse at surface, mid and bottom layer of St. NC-1 in spring tide

Comp. of ellipse	Depth	Diurnal			Semi-diurnal			Constant	
		Dir. (°)	V_1 (cm/s)	ζ_1 (°) (hr)	Dir. (°)	V_2 (cm/s)	ζ_2 (°) (hr)	Dir. (°)	V_0 (cm/s)
Major axis	Sur.	65.4	5.1	292.0 (19.4)	224.3	15.5	312.4 (10.8)		
	Mid	51.6	3.6	334.5 (22.2)	224.7	16.0	311.2 (10.7)	29.5 (sur.)	7.29 (sur.)
	Bot.	52.5	3.7	0.81 (0.05)	223.6	12.9	313.0 (10.8)		
Minor axis	Sur.	155.4	0.7	202.0 (13.4)	314.3	2.6	222.4 (7.67)		
	Mid	141.6	0.4	244.5 (16.3)	314.7	3.7	221.2 (7.63)	42.8 (mid)	10.2 (mid)
	Bot.	142.5	0.2	90.8 (6.0)	313.6	4.3	223.0 (7.70)		
V_S / V_L	Sur.		0.14	(L)		0.17	(L)	29.9	9.54
	Mid		0.11	(L)		0.23	(L)	(bot.)	(bot.)
	Bot.		0.046	(L)		0.33	(L)		

격), App.H.H.W. (Approximate High High Water; 약 최고고조면), H.W.O.S.T. (High Water of Spring Tide; 대조평균고

조위), H.W.O.M.T. (High Water of Mean Tide; 평균고조위), H.W.O.N.T (High Water of Neap Tide; 소조평균고조위), M.S.L

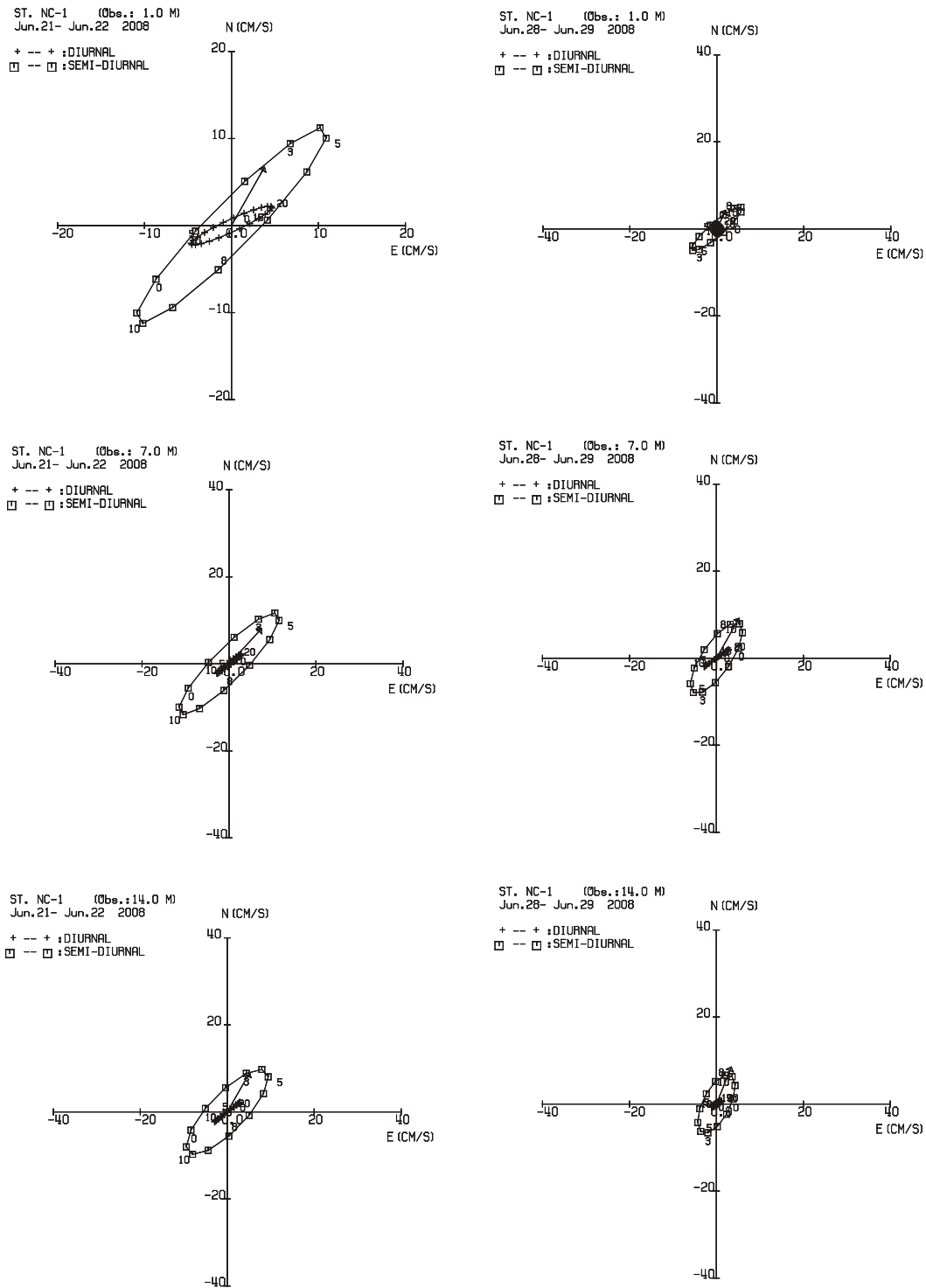


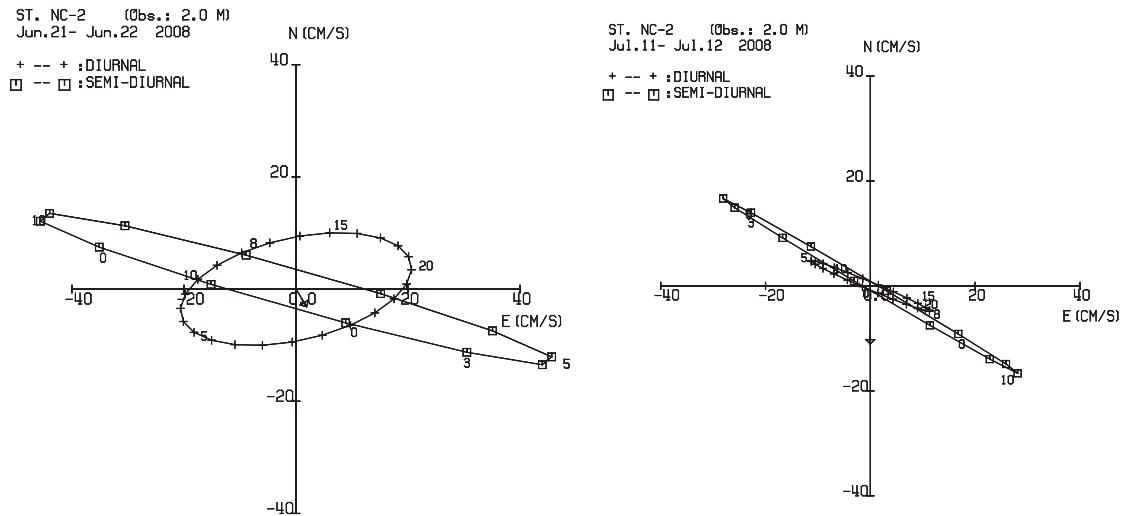
Fig. 6. Tidal ellipses at surface, mid and bottom layer of St. NC-1 in spring (left) and neap tide (right).

(Mean Sea Level; 평균해면), L.W.O.N.T. (Low Water of Neap Tide; 소조평균저조위), H.W.O.M.T (Low Water of Mean Tide; 평균저조위), L.W.O.S.T (Low Water of Spring Tide; 대조평균저조위), Spring R. (Spring Range; 대조차), Mean R. (Mean

Range; 평균조차), Neap R. (Neap Range; 저조차) 등은 비조화 상수에 해당한다. Table 2에서 M2 분조에 대한 평균고조간격은 녹동향이 09^h 36^m으로 가장 늦었으며 다음이 거금수도, 고흥 발포항의 순서로 빨랐다. 이는 조석파가 고흥 발포항에서 거금

Table 5. Constituents of tidal ellipse at surface layer of St. NC-2 in spring and neap tide

Comp. of ellipse	Tide	Diurnal			Semi-diurnal			Constant	
		Dir. (°)	V_1 (cm/s)	ζ_1 (°) (hr)	Dir. (°)	V_2 (cm/s)	ζ_2 (°) (hr)	Dir. (°)	V_0 (cm/s)
Major axis	Spring	77.2	21.1	292.5 (19.4)	285.7	48.3	317.9 (11.0)	148.9 (spring)	2.8 (spring)
	Neap	292.9	12.3	83.8 (5.6)	120.5	32.8	305.6 (10.5)		
Minor axis	Spring	167.2	9.1	202.5 (13.5)	15.7	3.5	227.9 (7.86)	180.1 (neap)	10.2 (neap)
	Neap	22.9	0.73	353.8 (23.5)	210.5	0.77	215.6 (7.44)		
V_S/V_L	Spring		0.43	(L)		0.07	(L)		
	Neap		0.06	(L)		0.02	(L)		

**Fig. 7.** Tidal ellipses at surface layer of St. NC-2 in spring (upper) and neap (lower) tide.

수도를 거쳐 녹동항으로 진행해 옴을 보여준다. 녹동항과 발포항의 차이는 21분, 녹동항과 거금수도는 7분의 차이가 났다. 조석형태수(Tidal Factor)는 세 지점 모두에서 0.27~0.29로 0.25 이상을 나타내어 반일주조가 우세한 혼합조형태를 나타냈다. 평균해면은 187.8~211.0 cm로 발포항에서 낮고, 거금수도에서 높았다. 약 최고고조위 및 대조 평균 고조위는 376~422 cm, 333~374 cm로 역시 거금수도에서 가장 높았다. 대조차, 평균조차, 소조차는 녹동항이 각각 328.2, 232.4, 136.6 cm로 세 지점 중 가장 컸으며, 녹동항 대비 대조차 조고비(Range Ratio)는 0.89~0.99로 큰 차이가 없었다.

소록도 동쪽 NC-1 정점의 대, 소조시 표, 중, 저층 조류벡터의 시계열 분포를 Fig. 4에 나타냈다. 유동은 대체로 북동과 남서류가 탁월한 조류 형태로 관측기간 중 평균 유속 약 20 cm/s, 최강유속 43.6 cm/s로 북북동류였다. NC-1, NC-2 정점의 최강

유속과 관측기간 중 평균된 평균류 크기를 Table 3에 나타냈다. Table 3의 평균류는 일주야(25시간) 평균된 조석 잔차 흐름으로 조류에 의한 물질수송 역할을 하게 된다.

NC-1 정점은 일반적으로 낙조시 북북동~동북동, 창조시 서남서~남남서류로 나타남이 보고되어져 있다(KHOA, 1978). 한편, 표, 저층의 유동에서 수심에 따른 유향변화나 유속감소는 두드러지지 않았다. 이는 이 해역의 지형적 잔차류, 바람에 의한 취송류 또는 수온 염분 변화에 따른 밀도류 성분 등이 탁월한 순압적 조류에 비해 그리 크지 않음을 말해 준다. 흐름은 전반적으로는 반 일주조가 탁월한 왕복류였다. 대, 소조에 따른 유속변화는 소조시 표층과 중층이 대조시의 약 60%였으나, 저층은 85%로 표, 중층보다 유속변화가 크지 않았다. 창조류에 비해 북동 방향의 낙조류가 우세하였으며 창, 낙조에 따른 유향의 반전이 약했다. 평균류는 4~10 cm/s 크기의 북북동류가 존

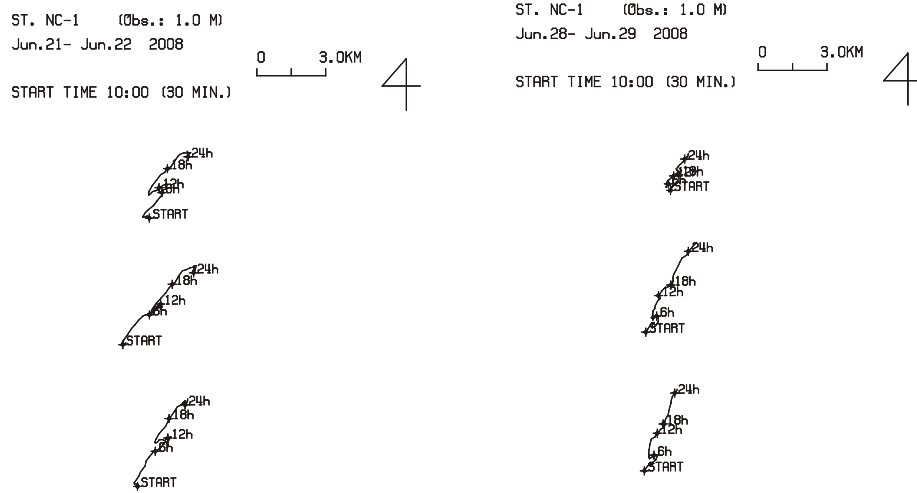


Fig. 8. Progressive vector diagrams at surface, mid and bottom layer of St. NC-1 in spring (left) and neap (right) tide.

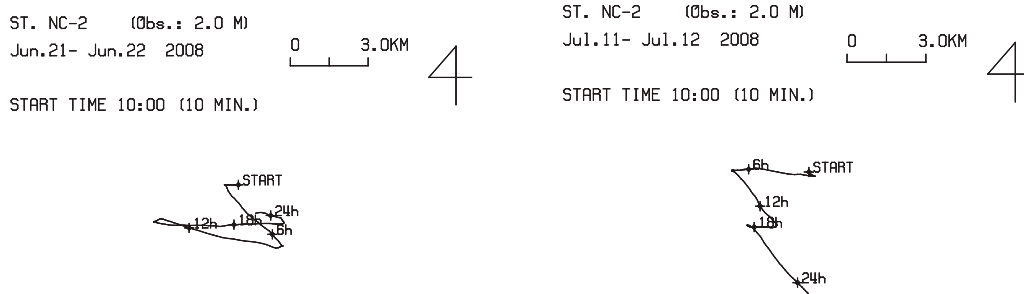


Fig. 9. Progressive vector diagrams at surface layer of St. NC-2 in spring (upper) and neap (lower) tide.

재하였다.

소록도 동쪽 NC-2 정점의 대, 소조시 표층 조류벡터의 시계열 분포를 Fig. 5에 나타냈다. 유동은 NC-1 정점과 달리 창조시 서~북서, 낙조시 남동 방향으로 흐르며 대조시 최강 유속은 낙조류 방향 86.0 cm/s였다. 유속은 대체로 NC-1 정점에 비해 컸다. 조류는 NC-1 정점처럼 1일 2회의 창, 낙조류가 출현하는 반일주 조류가 탁월하였다. 평균류의 크기는 3~10 cm/s로 NC-1 정점과 유사하나 유형은 남~남남동으로 거의 반대방향이었다.

Figs. 6과 7은 Figs. 4와 5의 결과를 조화 분해하여 일주조와 반일주조 성분별로 나누어 도시한 대, 소조시 NC-1 정점의 표, 중, 저층, NC-2 정점 표층의 조류 타원도이다. 그림에서 조류는 반일주 조류가 일주조류보다 대체로 탁월했고, 반 일주조 장축 방향은 NC-1 정점이 북동-남서, NC-2 정점이 북서-남동의 왕복성이었다. 항류는 NC-1 정점의 전 층에서 북북동~북동 방향 흐름이 존재 하였으며, 크기는 중층에서 약 10 cm/s 였다. NC-2 정점 표층은 남~남남동방향으로 소조시 최대 약 10 cm/s의 크기를 나타냈다.

대, 소조시 NC-1, NC-2 정점의 조류타원 각 요소를 Tables

4와 5에 나타냈다. 대조기 NC-1 정점 (Table 4)의 표, 중, 저층은 일주조 장축방향이 50~65°, 크기 3~5 cm/s였으며 반일주조는 225°, 크기 13~16 cm/s였다. 반일주조의 장축과 단축크기 비는 0.2~0.3으로 장축이 단축에 비해 큰 왕복성 형태였다. 한편, 반일주조의 유속은 225° 방향에서 약 10.8시간 후 최대에 달했다. 반 일주조 및 일주조류의 회전방향은 반시계방향이다. 1조석 주기에 걸쳐 평균된 탁월 유형은 30~43°, 탁월 유속은 7.3~10.2 cm/s였다.

대조기와 소조기 NC-2 정점의 표층 (Table 5)은 일주조와 반일주조의 장축방향이 대조와 소조시 차이를 보였다. 이는 NC-2 정점이 NC-1 정점에 비해 조시에 따른 유동변화가 큼을 의미한다. 반일주조의 장축과 단축크기 비는 0.02~0.07로 NC-1 정점에 비해 조류의 왕복성은 더 컸다. 그러나 반일주조류가 최대 유속에 도달되는 시간은 NC-1 정점과 유사하였다. 평균된 탁월 유형은 150~180°, 탁월 유속은 2.8~10.2 cm/s로 대조와 소조에 따른 변화가 컸다. 한편 Tables 4와 5의 지각은 관측 당일 태음이 동경 135°E 자오선을 통과한 시각을 기준으로 하였다.

NC-1과 NC-2 정점에서 측정된 조류의 연속진행 벡터도를

Figs. 8과 9에 나타났다. 관측기간 중 NC-1 정점의 조류는 대, 소조 및 표, 중, 저층에서 남서~북북동방향으로 왕복하면서 대체로 북북동~북동 방향으로 이동하였다. 관측기간 중의 이동 거리는 약 3~5 km였다. 대조시 NC-2 정점의 조류진행은 소조 시나 NC-1 정점보다 규칙적이지 못했으며 진행거리도 가장 짧았다. 소조시는 서~남동방향으로 왕복하며 약 5 km를 이동하였다.

요 약

소록도 동쪽 해역의 조석은 M2 분조에 대한 평균고조간격은 고히 발포향, 거금수도, 녹동향의 순으로 녹동향이 가장 늦었다. 조석형태수는 반일주조가 우세한 혼합조 형태였다. 평균해면은 187.8~211.0 cm로 발포향에서 낮고, 거금수도에서 높았다. 약 최고고조위 및 대조 평균 고조위도 거금수도가 가장 높았다. 대조차, 평균조차, 소조차는 녹동향이 가장 컸다. 소록도 동쪽 NC-1 정점의 유동은 전반적으로는 반 일주조가 탁월한 왕복류로 북동과 남서류가 우세하였으며 평균유속 약 20 cm/s, 최강유속 43.6 cm/s였다. 수심에 따른 유향변화나 유속감소는 크지 않았다. 대, 소조에 따른 유속비율은 표층과 중층 60%, 저층 85%였다. 창조에 비해 북동 방향의 낙조가 우세하였으며 창, 낙조에 따른 유향의 반전은 약했다. 관측기간 동안 평균류는 4~10 cm/s 크기의 북북동류가 존재하였다. 소록도 동쪽 NC-2 정점의 유동은 NC-1 정점과 달리 창조시 서~북서, 낙조시 남동으로 최강유속은 낙조류 86.0 cm/s였다. 유속은 NC-1 정점보다 컸다. 평균류는 3~10 cm/s로 NC-1 정점과 유사하나 유향은 남~남남동으로 반대방향이였다.

조시에 따른 유동변화로, 대조기 NC-1 정점 표, 중, 저층은 일주조 장축방향 50~65°, 크기 3~5 cm/s였으며 반일주조는 225°, 크기 13~16 cm/s였다. 반일주조 장축과 단축의 비는 0.2~0.3으로 장축이 단축에 비해 큰 왕복성 형태였다. 대조와 소조기 NC-2 정점의 표층은 일주조와 반일주조의 장축방향이 대조와 소조시 차이를 보였으며, 대, 소조시 향류의 변화도 컸다. 반일주조 장축과 단축크기 비는 0.02~0.07로 NC-1 정점에 비해 조류의 왕복성이 더 컸다. 관측기간 중 NC-1 정점의 조류는 남서~북북동방향으로 왕복하면서 북북동~북동 방향으로 이동하였다. 대조시 NC-2 정점은 소조시나 NC-1 정점보다 조류진행이 규칙적이지 못했으며 진행거리도 짧았다. 소조시는 서~남동방향으로 왕복하며 약 5 km를 이동하였다.

소록도 동쪽해역에서 측정된 조석 및 조시에 따른 층별 조류

관측결과로부터 지금까지 밝혀지지 않았던 이 해역의 조석특성과 해수유동구조가 파악되었으며, 이러한 결과는 향후 해양생산력 조사를 위한 해역의 연직혼합 계산에 필요한 기초자료가 될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- Choo, H.S., 2002. The variations of oceanic conditions and the distributions of eggs and larvae of Anchovy in the Southern Sea of Korea in summer. *Korean J. Ichthyol.*, 35(1), 77-85.
- Choo, H.S., K.H. Lee and Y.H. Yoon, 1997. Variations of Temperature and Salinity in Kugum Suro Channel. *Korean J. Ichthyol.*, 30(2), 252-263.
- Cushing, D.H., 1995. Population production and regulation in the sea. A Fisheries Perspective. Cambridge University Press, 354p.
- Hao, W., S. Jian, W. Ruijing, W. Lei and L. Yi'an, 2003. Tidal front and the convergence of anchovy (*Engraulis japonicus*) eggs in the Yellow Sea. *Fish. Oceanogr.*, 12, 434-442.
- Kim, D.K., J.Y. Lee, S.H. Seo, C.G. Kim, J.K. Cho and B.Y. Cha, 2009. Scouring and accumulation by tidal currents around cubic artificial reefs installed at Geogeo waterway. *J. Korean Soc. Mar. Eng.*, 33(8), 1275-1280.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Administration (KHOA), 1978. Tidal currents around Naro Islands. Annual Technical Report, pp. 151-184.
- Pingree, R.D. and D.K. Griffiths, 1978. Tidal fronts on the Shelf Seas around the British Isles. *J. Geophys. Res.*, 83, 4615-4622.
- Pingree, R.D., P.R. Pugh, P.M. Holligan and G.R. Forster, 1975. Summer phytoplankton blooms and red-tides along tidal fronts in the approaches to the English Channel. *Nature*, 258, 672-677.
- Southern provinces of Jeolla, 1993. A Study on the 3-Dimensional Utilization of Fishing Villages in Pungnam and Gahwa, Goheung-gun, Korea, pp. 71-222.
- Yoon, Y.H., 2000. A Study on the Distributional Characteristic of Organic Matters on the Surface Sediments and Its Origin in Keogeum-sudo, Southern Part of Korean Peninsula. *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, 9(2), 137-144.
- Yoon, Y.H. and J.S. Park, 2000. The analysis of variational characteristics on water quality and phytoplankton by principal component analysis (PCA) in Kogum-sudo, Southwestern part of Korea. *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, 9(1), 1-11.
- Yoon, Y.H. and N.P. Koh, 1995. Studies on the Environmental Characteristics of the Breeding Ground in the Kogum-sudo, Southern Part of Korean Peninsula 1. Seasonal Succession of Phytoplankton Population. *J. Aquacult.*, 8(1), 47-58.

여수 금오도 연안에 분포하는 부유성 난·자치어의 종조성 및 계절변동 Seasonal Variation in Species Composition of Ichthyoplankton in Coastal Water off Geumodo in Yeosu, Korea

서광연¹, 이성훈¹, 김 진¹, 한경호^{2,*}

Kwang-Yeon Seo¹, Sung-Hun Lee¹, Jin KIM¹, Kyeong-Ho Han^{2,*}

¹정석수산, ²전남대학교 수산과학과

¹Jeong Seok Fisheries, Goheunggun, Jeollanamdo, Republic of Korea

²Department of Aqualife Science, Chonnam National University, Yeosu, Republic of Korea

*Correspondence to Kyeong-Ho HAN
E-mail: aqua05@jnu.ac.kr

Received January 19, 2019

Revised March 4, 2019

Accepted March 7, 2019

Abstract : To determine seasonal fluctuation in abundance and species composition of fish larvae and juveniles samples were collected by RN 80 net in coastal waters off Geumodo, Yeosu, Jeollanamdo from July, 2002 to May, 2003. During the study period, eggs of *Engraulis japonicus* were accounted for 51.30% of the total fish eggs, followed by *Leiognathus nuchalis* (24.3%), *Sillago japonica* (10.75%), *Sardinops melanostictus* (7.17%), *Hypodytes rubripinnis*, *Paralichthys olivaceus*, *Cynoglossus joyneri* and the others. The collected fish larvae and juveniles were identified 24 taxa, 19 family and 4 orders. The most of dominant species was *Engraulis japonicus* accounted for 28.88% of the number of the total fish larvae and juveniles. The diversity index of the larvae and juveniles was 1.036~2.219 from July to May, which was the highest in August and the lowest in January. The evenness index of them was 0.693~0.986, which was the highest in February and the lowest in July. The dominance index of them was 0.411~0.818, which was the highest in January and the lowest in August.

Keywords : Fish eggs, Fish larvae, Species composition, Geumodo, Ichthyoplankton

서 론

여수시에 속하는 금오도는 우리나라의 남해 중앙에 위치한 도서로서 면적이 26.99 km²이고, 주변에 유인도 10곳, 무인도가 21곳으로 계절에 따라 대마난류, 중국대륙 연안수 등 다양한 수괴의 영향을 받는 곳으로 어족 번식상 최적의 해양환경을 갖추고 있어 다양한 종류의 어류가 서식, 분포하는 천혜의 어장이다.

어류는 난에서 부화하여 자어와 치어를 거쳐 성어가 되며, 일반적으로 연급군의 강도는 초기 성장단계의 기아나 포식 정도에 의해서 결정된다(Kim, 1991). 성장 초기에는 사망률이 무척 높고 환경의 영향을 많이 받기 때문에, 성어로 가입되는 양은 해황 및 환경변화에 따라 매년 변화한다(Hjort, 1926; Saville and Schnack, 1981). 따라서 초기 감모율이 높은 난기와 자치어기의 종조성 및 출현량 변동은 성어의 가입량 변동을 예측하기 위한 기초자료로 매우 중요하다(Kim, 1991). 특히, 부유성

어란이나 유영력이 미약한 자치어는 정량적 채집이 가능하여 환경의 변화에 따른 어류의 양적변동을 정확하게 파악할 수 있어 수산자원량을 파악하는데 이용되고 있다(Cha, 2002).

여수 인근 해역에서 부유성 난 및 자치어 분포에 관한 연구는 여자만(Yoo *et al.*, 1993), 광양만(Cha and park, 1994), 광양만 묘도 해역(Han *et al.*, 1998), 여수 가막만 연안(Han, 1999), 광양만 입구해역(Seo, 2013), 여수 남도 주변연안(Kim, 2015) 등이 있으며, 만이나 부분적인 연안과 해역을 중심으로 이루어져 왔다.

금오도 연안에 관한 연구는 어류의 종조성에 관한 논문은 Han and Oh (2007), Hwang *et al.* (2008)이 있지만, 부유성 난 및 자치어에 관한 연구는 없는 실정이다.

이 연구는 여수시 금오도 연안 해역에 출현하는 어류의 자원 생물학적 연구의 일환으로 표준네트로 채집되는 어류의 부유성 난 및 자치어의 종조성을 밝히며, 이들 종의 계절적 양적변동, 우점도 및 종 다양성 지수를 구하여 군집구조를 분석하였다.

재료 및 방법

여수시 금오도 연안 해역에 5개의 정점(Fig. 1)을 정하여 2002년 7월부터 2003년 5월까지 계절별로 2회씩 총 8회 조사를 실시하였다.

정점별 환경 특성을 파악하기 위하여 T-S meter (Hydro-bios, type MC 5)를 사용하여 수심 1 m의 표층 수온과 염분을 측정하였다.

부유성 난과 자치어의 채집은 RN 80 Net (망구 직경 80 cm, 측장 320 cm, 망목 0.34 mm를 사용하였고, 정량적 분석을 위하여 네트의 입구에 유랑계(Gerneral coanics. Inc.)를 부착하였으며, 예망속도는 약 1 Knot로 10분간 예망하였다.

채집에 관한 일반적인 사항들은 Smith and Richardson (1977)에 따랐으며, 채집한 표본은 선상에서 10% 중성 포르말린으로 고정한 후 실험실로 운반하여 종별로 동정하여 종조성 및 목록을 작성하였고, 월별로 출현종수, 개체 수(1,000 m³당)를 산출하여 양적인 변동을 비교하였다.

어획된 종의 분류는 Jeong (1977), Kim (1981) 및 Okiyama (1988)에 따랐고, 분류체계 및 학명은 Nelson (1994)에 따랐으며, *Scartella cristata*의 국명은 Han and Hwang (2003)에 따랐다.

연구기간 중 채집된 자치어의 생물 군집구조 분석을 위하여 다양도(Diversity), 우점도(Dominance), 균등도(Evenness) 지수를 구하였다. 생물 군집의 월별 유사성을 파악하기 위하여 Primer 5.0 program (Clarke and Warwick, 1994)을 이용하여 연구기간 중 총 출현한 개체수를 토대로 군집간의 유사도(Similarity)를 산출하였다.

결과 및 고찰

일반적으로 부유성 난과 자치어의 분포는 성어자원의 분포, 해류에 의한 운송 및 초기발육단계의 피포식 등에 의해서 좌우되며, 초기 발육단계의 분포량은 가입량에도 영향을 미치게 된다는 보고가 있다. 따라서, 부유성난과 자치어의 분포는 자원량 분석에 매우 중요한 역할을 한다(Han, 1999). 금오도 연안의 부유성 난과 자치어의 분포 연구 결과는 다음과 같다.

1. 환경

1) 수온

이 해역에서 측정된 표층 수온은 2003년 1월에 정점 2의 5.8°C에서 2002년 7월에 정점 4의 26.5°C의 범위로 20.7°C의 변동폭을 보였다(Fig. 2). 정점간 평균 수온은 2002년 7월에 26.1°C로 가장 높았으며, 10월에는 19.7°C로 계속 하강하여

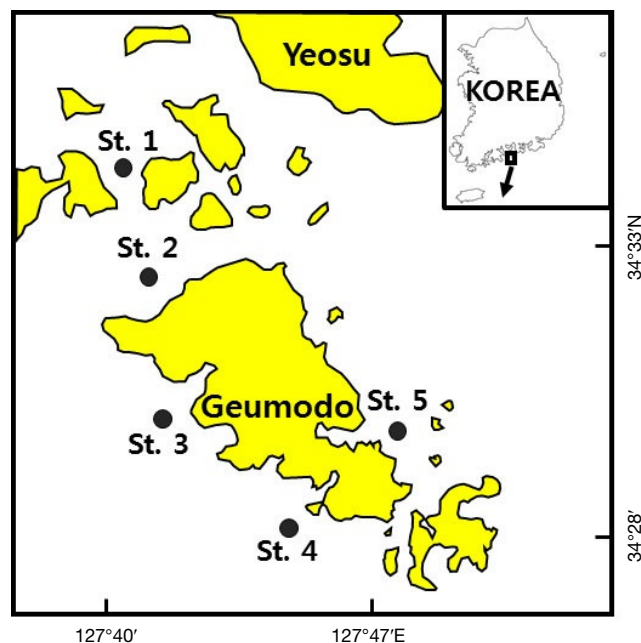


Fig. 1. The sampling area in coastal waters off Geumodo, Yeosu.

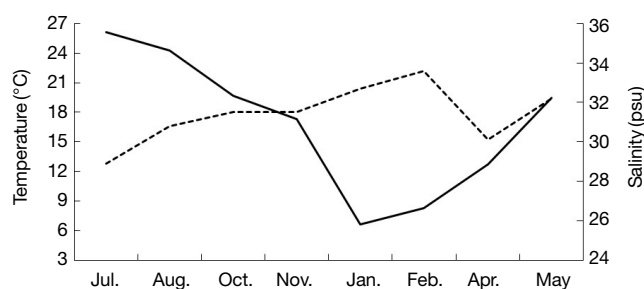


Fig. 2. Monthly variation of water temperature (—) and salinity (---) in coastal waters off Geumodo, Yeosu.

2003년 1월에는 6.6°C로 가장 낮았다. 이후 수온이 상승하여 4월에는 13.0°C를 보였다.

2) 염분

연구기간 동안 월별 평균 염분은 2002년 7월에는 28.9 psu로 가장 낮았으나, 여름 이후 상승하여 11월에는 31.5 psu였고, 겨울철인 2월에 33.6 psu로 가장 높았으며, 이후 다시 하락하여 봄철인 4월에는 30.1 psu였다(Fig. 2). 염분의 변동은 수온과는 반대 양상이었다.

2. 출현종의 종조성 및 양적변동

1) 부유성 난

부유성 난은 총 8개 분류군이 출현하였으며, 멸치(*Engraulis japonicus*), 정어리(*Sardinops melanostictus*), 미역치(*Hypo-*

Table 1. The number of collected fish eggs in the coastal waters off Geumodo, Yeosu(inds./1,000 m³)

Species \ Month	2002				2003				Total
	Summer		Fall		Winter		Spring		
	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	
<i>Engraulis japonicus</i>	11,429	1,842	98	18	–	–	55	36	13,478
<i>Leiognathus nuchalis</i>	5,412	–	–	–	–	–	811	161	6,384
<i>Sillago japonica</i>	1,461	779	–	–	–	–	529	54	2,823
<i>Sardinops melanostictus</i>	1,011	590	–	–	–	–	214	69	1,884
Unknown spp.	306	178	57	9	5	2	288	152	997
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	212	59	–	–	–	–	–	–	271
<i>Cynoglossus joyneri</i>	148	73	6	–	–	–	14	–	241
<i>Paralichthys olivaceus</i>	–	–	–	–	–	–	132	60	192
Total	19,975	3,521	161	27	5	2	2,043	532	26,270
Number of species	7	6	3	2	1	1	7	6	8

dytes rubripinnis), 청보리멸(*Sillago japonica*), 주둥치(*Leiognathus nuchalis*), 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 참서대(*Cynoglossus joyneri*) 및 미분류 난 등으로 분류되었다(Table 1).

부유성 난의 출현량을 살펴보면, 멸치가 연구기간 동안 출현한 난의 51.6%를 차지하여 가장 우점하는 종으로 나타났으며, 주둥치(24.5%), 청보리멸(10.8%), 정어리(7.2%) 순이었다.

월별로는 7월에 총 7개의 분류군으로 가장 많았으며, 그 중 멸치가 11,429 inds./1,000 m³ (7월 출현량의 57.21%), 다음으로 주둥치가 5,412 inds./1,000 m³ (출현량의 27.09%)를 차지하였다. 8월에는 총 6개의 분류군이 출현하여, 그 중 멸치가 1,842 inds./1,000 m³ 출현하여 52.31%를 차지하였고, 다음으로 청보리멸이 779 inds./1,000 m³ (22.12%) 출현하였다.

가을철인 10월과 11월에는 각각 3개, 2개 분류군의 부유성 난이 출현하였는데, 그 중 멸치가 98 inds./1,000 m³, 18 inds./1,000 m³ 출현하여 각각 60.87%와 66.67%를 차지하여 가장 우점하였다. 다음으로 미분류 난이 각각 57 inds./1,000 m³, 9 inds./1,000 m³ 출현하여 35.40%, 33.33%를 차지하였다.

겨울철인 1월과 2월에는 중 동정이 어려웠던 1개의 분류군만이 출현하여 가장 적은 출현 종이 기록되었다.

4월에는 7개의 분류군이 출현하였는데, 그 중 주둥치가 811 inds./1,000 m³ (40.70%)로 가장 많은 출현량을 보였고, 다음으로 청보리멸이 529 inds./1,000 m³ (25.89%)였으며, 미분류 난이 288 inds./1,000 m³ 출현하여 14.10%를 차지하였다.

5월에는 총 6개의 분류군이 출현하였으며, 그 중 주둥치가 161 inds./1,000 m³ 출현량의 30.26%를 차지하였고, 다음으로 미분류 난이 152 inds./1,000 m³로 5월 출현량의 28.57%를 차지하였다.

부유성 난의 연중 출현량을 비교해 볼 때, 멸치가 1월과 2월을 제외한 모든 계절에 출현하였고, 총 개체수도 13,478 inds./1,000 m³로 전체 출현량의 51.3%를 차지하였다.

멸치는 연구기간 동안 출현한 부유성 난의 51.30%를 차지

하여 가장 우점하였는데, 계절별 출현 변동을 보면 봄철에 출현하기 시작하여 여름철에 가장 많이 출현하였고, 수온이 하강하는 가을철에 급격히 감소하여 겨울철에는 출현하지 않았다. 이것은 이 해역에서 수온이 상승하는 3월과 8월 사이 산란군이 형성되어 멸치 난의 출현량이 급격히 증가한 것으로 생각되며, 7월 이후 급격히 감소하는 것으로 보아 여자만(Yoo *et al.*, 1993), 순천만(Han *et al.*, 2001)에서와 같이 장마철 담수의 유입량이 많아지면서 염분에 대한 내성이 약한 멸치가 외해역으로 이동한 것으로 판단된다.

출현한 어종별로 산란기를 추정해 보면, 정어리, 주둥치 및 청보리멸은 봄과 여름에 출현하였는데, 그 중에서도 여름철에 더 많은 양이 출현하는 것으로 보아 봄에서 여름으로 넘어가는 시기에 산란하는 종임을 추정할 수 있었다. 미역치는 여름철에만 출현하여 산란기가 여름에 한정되어 있었고, 넙치는 봄철에만 출현하여 산란기가 여름에 한정되어 있음을 추정할 수 있었다.

2) 자치어

(1) 종조성

출현한 자치어는 총 19과 24개의 분류군으로 확인되었으며, 그 중 21개 분류군은 종 수준까지, 2개 분류군은 속 수준까지, 1개 분류군은 과 수준까지 동정되었다(Table 2).

7월에는 16과 18종으로 연구기간 중 가장 많은 자치어가 출현하였고, 8월에는 15과 17종, 10월에는 9과 11종이 출현하였으나, 11월에는 3과 4종으로 큰 폭으로 감소하였다. 1월에는 2과 3종이 출현하여 출현종수가 가장 적게 나타났다. 2월에는 3과 4종이었으나, 4월에는 11과 11종, 5월에는 11과 12종으로 증가하였다.

청어목(Clupeiformes)에 속하는 멸치가 연구기간 동안 출현한 자치어의 28.88%를 차지하여 최우점하였으며, 전어(*Konosirus punctatus*)는 15.18%를 차지하였고, 연구기간 동안 출현

Table 2. Monthly variation of fish larvae and juveniles in coastal waters off Geumodo, Yeosu

(inds./1,000 m³)

Species	Month	2002				2003				Total
		Summer		Fall		Winter		Spring		
		Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	
<i>Engraulis japonicus</i>		513	175	9	4	–	–	160	107	968
<i>Konosirus punctatus</i>		129	113	3	–	–	–	83	181	509
<i>Scartella cristata</i>		221	78	19	19	–	–	–	–	337
<i>Leiognathus nuchalis</i>		156	124	–	–	–	–	31	16	327
<i>Sillago japonica</i>		230	38	–	–	–	–	–	–	268
Gobiidae sp.		102	65	34	–	2	2	21	23	249
<i>Omobranchus elegans</i>		102	49	13	7	–	–	18	13	202
<i>Ilisha elongata</i>		–	–	–	–	–	–	–	112	112
<i>Platycephalus indicus</i>		38	17	12	–	–	–	13	11	91
<i>Paralichthys olivaceus</i>		18	20	46	–	–	–	–	–	84
<i>Repomucenus</i> sp.		19	14	7	3	–	–	10	4	57
<i>Pholis nebulosa</i>		–	–	–	–	–	–	9	23	32
<i>Sardinops melanostictus</i>		3	5	2	–	–	–	6	12	28
<i>Argyrosomus argentatus</i>		2	3	–	–	–	–	3	7	15
<i>Pampus echinogaster</i>		1	8	5	–	–	–	–	–	14
<i>Cynoglossus joyneri</i>		4	5	4	–	–	–	–	–	13
<i>Chromis notata</i>		2	9	–	–	–	–	–	–	11
<i>Hexagrammos otakii</i>		–	–	–	–	5	3	–	–	8
<i>Sebastes inermis</i>		–	–	–	–	–	2	2	3	7
<i>Hexagrammos agrammus</i>		–	–	–	–	4	3	–	–	7
<i>Hypodytes rubripinnis</i>		2	4	–	–	–	–	–	–	6
<i>Auxis</i> sp.		4	–	–	–	–	–	–	–	4
<i>Rhodymenichthys dolichogaster</i>		2	–	–	–	–	–	–	–	2
<i>Cypselurus hiraui</i>		–	1	–	–	–	–	–	–	1
Total		1,548	728	154	33	11	10	356	512	3,352
Number of species		18	17	11	4	3	4	11	12	24

한 자치어 중에서 이들 2종이 차지한 비율은 44.06%였고, 나머지 22개 분류군이 55.94%를 차지하였다.

월별로 7월에 멸치가 33.14%를 차지하여 최우점하였고, 다음은 청보리멸이 14.86%, 8월에는 멸치가 24.04%를 차지하여 가장 우점하였으며, 다음으로 주둥치가 17.03%, 전어가 15.52%를 차지하였다.

10월에는 넙치가 29.87%를 차지하여 가장 많이 출현하였고, 다음으로 망둑어과 어류(Gobiidae sp.)가 22.08%, 갈기베도라치(*Scartella cristata*)가 12.34%를 차지하였다. 그리고 11월에는 갈기베도라치가 57.58%를 차지하여 최우점하였고, 앞동갈베도라치가 21.21%, 멸치가 12.12% 순이었다.

1월과 2월에는 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*)가 각각 45.45%, 30.00%를 차지하였고, 노래미(*H. agrammus*)가 각각 36.36%, 30.00%를 차지하였다.

4월에는 멸치가 44.94%로 가장 많이 출현하였고, 다음으로 전어가 23.31%를 차지하였다. 5월에는 전어가 35.35%로 가장 우점하였고, 다음으로 준치(*Ilisha elongata*)가 21.88%, 멸치가 20.90%였다.

이 해역에서 정착성 어종은 주둥치, 양태(*Platycephalus in-*

dicus), 동갈양태속 어류(*Repomucenus* sp.), 앞동갈베도라치(*Omobranchus elegans*), 넙치, 황줄베도라치(*Rhodymenichthys dolichogaster*), 갈기베도라치 및 망둑어과 어류 등으로 총 8종이 출현하였다.

(2) 계절변동

자치어의 출현량은 수온이 낮았던 2월에 10 inds./1,000 m³가 출현하여 연중 출현량의 0.30%로 가장 낮았으며, 수온이 26.1°C로 높았던 7월에 1,548 inds./1,000 m³로 출현 전체 출현량의 46.18%로 가장 높게 나타났다.

8월에는 728 inds./1,000 m³로 전체 출현량의 21.72%로 7월에 비하여 다소 낮았으며, 10월에는 154 inds./1,000 m³로 4.59%, 11월에는 33 inds./1,000 m³로 연중 출현량의 0.98%를 차지하였다. 그 후 점차 줄어들어 2월에 최저치로 기록하였다가 그 이후 4월에 356 inds./1,000 m³로 10.62%, 5월에는 512 inds./1,000 m³로 15.27%를 차지하여 점차 증가하였다.

월별 출현한 자치어를 종별로 살펴보면 7월에는 총 18종이 출현하여, 그 중 최우점종은 멸치로 513 inds./1,000 m³로 33.14%였으며, 다음으로 청보리멸이 230 inds./1,000 m³로

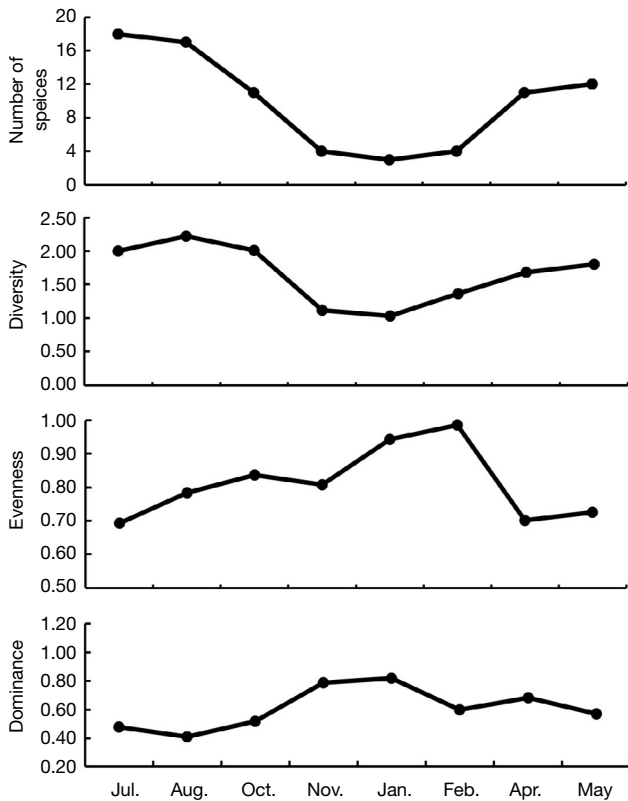


Fig. 3. Monthly variation of number of species, diversity, evenness, and dominance index of ichthyoplankton in coastal waters off Geumdo, Yeosu.

14.86%, 갈기베도라치가 221 inds./1,000 m³로 14.28% 순이었다.

8월에는 총 17종이 출현하였는데, 그 중 멸치가 175 inds./1,000 m³ 출현하여 24.04%를 차지하여 최우점하였고, 다음으로 주둥치(124 inds./1,000 m³, 17.03%), 전어(113 inds./1,000 m³, 15.52%) 순이었다.

10월에는 총 11종이 출현하였는데, 그 중 넙치가 46 inds./1,000 m³로 29.87%를 차지하여 최우점하였고, 다음으로 망둑어과 어류가 34 inds./1,000 m³로 22.08%, 갈기베도라치가 19 inds./1,000 m³로 12.34%를 차지하였다.

11월에는 총 4종이 출현하였는데, 그 중 갈기베도라치가 19 inds./1,000 m³로 57.58%를 차지하여 최우점하였고, 다음으로 앞동갈베도라치가 7 inds./1,000 m³로 21.21%를 차지하였다. 1월에는 각각 3종이 출현하여, 총 11 inds./1,000 m³가 출현하였고, 2월에는 4종이 출현하여 총 10 inds./1,000 m³ 출현하였다.

4월에는 총 11종이 출현하였는데, 그 중 멸치가 160 inds./1,000 m³로 44.94%를 차지하여 최우점하였고, 다음으로 전어가 83 inds./1,000 m³로 23.31%를 차지하였다.

5월에는 총 12종이 출현하였는데, 그 중 전어가 181 inds./1,000 m³로 35.35%를 차지하여 최우점하였고, 다음으로 준치

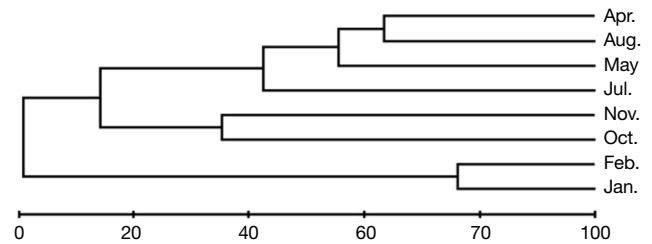


Fig. 4. Dendrogram based on the community similarity of each month by number of ichthyoplankton in coastal waters off Geumdo, Yeosu.

가 112 inds./1,000 m³로 21.88%를 차지하였으며, 멸치가 107 inds./1,000 m³로 20.90%를 차지하였다.

3. 생태학적 지수

1) 군집구조

월별로 분석한 종 다양도 지수는 1.036~2.219로, 1월에 출현 종수가 가장 낮았으며, 8월에 가장 높은 값으로 나타났다 (Fig. 3).

종 다양도 지수는 수온이 높은 시기에 비교적 높은 값을 보였고, 수온이 낮은 시기에는 비교적 낮은 값을 보여 출현종수 및 개체군의 변화와 비슷한 양상을 보였다.

균등도 지수는 0.693~0.986로 2월에 가장 높은 값을 보였고, 7월에 가장 낮게 나타나서 종 다양도 지수와 반대 경향을 보였다.

우점도 지수는 0.411~0.818로 1월에 가장 높았고, 8월에 가장 낮게 나타나서 균등도 지수와는 유사한 경향을 보였고, 종 다양도 지수와는 반대 경향을 보였다.

2) 유사도

출현 종수에 근거한 월별 유사도를 보면 1월과 2월에 노래미와 쥐노래미가 유사 어종으로 나타나 76.19%의 유사성을 보였고, 4월과 8월에는 멸치, 전어, 주둥치 등이 유사어종으로 나타나 63.47%의 유사성을 보였으며, 나머지는 60% 미만으로 상대적으로 낮은 유사성을 보였다 (Fig. 4).

요 약

전라남도 여수시 금오도 연안 해역에서 2002년 8월부터 2003년 3월까지 매월 1회씩 총 8회에 걸쳐 채집된 부유성 난 및 자치어의 종조성 및 양적변동을 조사하였다. 연구기간 동안 채집된 부유성 난은 총 8개 분류군이 출현하여, 멸치, 정어리, 미역치, 청보리멸, 주둥치, 청베도라치, 참서대 및 미 분류 난 등으로 분류되었다. 출현량을 보면, 멸치의 난은 연구기간 동안

출현한 부유성 난의 51.3%를 차지하여 가장 우점하는 종으로 나타났다. 연구기간 동안 출현한 자치어는 총 4목 19과 24개 분류군이 출현하였는데, 그 중 21개 분류군은 종 수준까지, 2개 분류군은 속 수준까지, 1개 분류군은 과 수준까지 분류되었다. 멸치가 조사기간 동안 출현한 자치어의 28.88%를 차지하여 최우점하였으며, 전어는 15.18%를 차지하였다. 월별로 분석한 종 다양도지수는 1.036~2.219로, 1월에 출현종수가 가장 낮았으며, 8월에 가장 높은 값을 보였고, 7월에 가장 낮게 나타났다. 우점도 지수는 0.411~0.818로 1월에 가장 높았고, 8월에 가장 낮게 나타났다.

참고 문헌

- Cha, S.S. and K.J. Park, 1994. Distribution of the Ichthyoplankton in Kwangyang Bay. Korean J. Ichthyol., 6(1), 60-70.
- Cha, S.S., 2002. Review on the Studies of Ecology of Fish in their Early Life Stages off Korea. Korean J. Ichthyol., 14(1), 76-82.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick, 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation Natural Environment Research Council. Plymouth Marine Laboratory, UK, 144pp.
- Han, K.H., Y.M. Yoon and H.C. Yang, 1998. Seasonal Variation in Abundance and Species Composition of Fishes Community off Myo-do in Kwangyang Bay, Korea. Bull. Yosun Nat'l Univ., 13(2), 1025-1046.
- Han, K.H., 1999. Distribution of Ichthyoplankton in the Kamak Bay of, Yeosu, Korea. The Fisheries Science Institute, 8(1), 111-119.
- Han, K.H., D.Y. Kim, D.S. Jin, S.S. Shin, S.R. Baik and S.H. Oh, 2001. Seasonal Variation and Species Composition of Ichthyoplankton in Suncheon Bay, Korea. Korean J. Ichthyol., 13(2), 136-142.
- Han, K.H. and D.S. Hwang, 2003. Development of Larvae and Juveniles of the Blennioid Fish, *Scartella cristata*, Korean J. Ichthyol., 15(1), 53-60.
- Han, K.H. and Y.S. Oh, 2007. Fluctuation in abundance and species composition of fishes by bottom otter trawl in coastal waters of Geumodo, Yeosu. J. Korean Soc. Fish. Ocean Technol., 43(4), 251-260.
- Hwang, J.H., K.H. Yoo, S.H. Lee and K.H. Han, 2008. Fluctuation in the Abundance and Species Composition of Fishes Collected by a Fyke Net in the Coastal Waters of Geumo-do, Yeosu. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 41(1), 39-47.
- Jeong, M.K., 1977. The fishes of Korea. Iljisa, Paju, Korea, 727pp.
- Johan, H., 1926. Fructuations in the year classes of important food fishes. ICES Journal of Marine Science, 1(1), 5-38.
- Kim, S.A., 1991. Fisheries resource assessment theory. Useongmunhwasa. seoul, Korea, 176pp.
- Kim, S.A., 2015. Distribution of ichthyoplankton in coastal waters of nang-island, Yeosu. Master Thesis, Chonnam University, Yeosu, Korea, 42pp.
- Kim, Y.U., 1981. Fish eggs and larvae of the coastal waters in Korea. The Ocean Science Institute of National Fisheries University of Busan, Busan, Korea, 109pp.
- Nelson, J.S., 1994. Fishes of the world (3rd ed.). John Wiley & Sons, New York, 600pp.
- Okiyama, M., 1988. An Atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai University Press, 1157pp.
- Oh, S.H., 2003. Species Composition and Community Structure of Fishes in Kwangyang Bay, Korea. Doctoral dissertation, Chonnam University, Yeosu, Korea, 220pp.
- Saville, A. and D. Schnack, 1981. Some thoughts on the current status of studies of fish egg and larval distribution and abundance. Rapp. P-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer., 178, 153-157.
- Smith, P.E., S.L. Richardson, 1977. Standard techniques for Pelagic fish egg and larvae surveys. Fao fisheries technical paper NO. 175. 100pp.
- Seo, S.H., 2013. Distribution of ichthyoplankton in the mouth parts of Kwangyang. Master Thesis, Chonnam University, Yeosu, Korea, 32pp.
- Yoo, J.M., S. Kim and E.K. Lee, 1993. The effect of freshwater input on the abundances of fish eggs and larvae during on rainy season in Yoja bay, Korea. Ocean and Polar Research, 15(1), 37-42.

흑산도 연안에서 기선저인망에 어획되는 어류의 종조성 및 양적변동

Species Composition and Quantitative Fluctuation of Fishes Collected by an Otter Trawl in Coastal Waters off Heuksan-do, Korea

한경호¹, 유태식¹, 이 진¹, 이성훈^{1,*}

Kyeong-Ho Han¹, Tae-Sik Yu¹, Jin Lee¹, Sung-Hoon Lee^{1,*}

¹전남대학교 해양기술학부

¹Marine Technology Undergraduate, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

*Correspondence to Sung-Hoon Lee
E-mail: formalin100@hanmail.net

Received January 8, 2019
Revised January 17, 2019
Accepted February 11, 2019

Abstract : Fluctuation in the abundance and species composition of fishes in the coastal waters of Heuksan-do, Shinan, Jeollanam-do, Korea were investigated from 2013 to 2015. A total of 2,044 fishes were sampled and classified into 94 species, 56 families, and 15 orders. The dominant species was *Engraulis japonicus* (217 individuals, 1,918 g), followed by *Leiognathus nuchalis* (198 individuals, 3,016 g), and *Coilia nasus* (121 individuals, 2,129 g). The highest number of individuals was found in 2013, while the biomass was the highest in 2015. The diversity index was the highest in 2013 ($H' = 3.692$) and the lowest in 2015 ($H' = 3.561$). The dominance index was the highest in 2015 ($D = 0.312$) and the lowest in 2013 ($D = 0.220$). The richness index was the highest in 2014 ($RI = 12.440$) and the lowest in 2015 ($RI = 11.050$). The economically important species in this area are *Okamejei kenojei*, *Beringraja pulchra*, *Conger myriaster*, *Coelorinchus multispinosus*, *Lophiomus setigerus*, *Sebastes schlegeli*, *Leiognathus nuchalis*, *Larimichthys polyactis*, and *Trichiurus lepturus*.

Keywords : Fluctuation in abundance, Species composition, Community structure, Otter trawl, Heuksan-do

서론

한반도 연안 천해역은 기초생산력이 높아 먹이생물이 풍부하고 포식자들을 피할 수 있는 은신처가 많기 때문에, 많은 어류들의 산란장, 생육장, 먹이 섭이 장소로 이용되고 있다(Cha and Park, 1997). 우리나라 전라남도 연안은 해안선의 굴곡이 심하고 다양한 크기의 많은 섬들로 구성되어 있을 뿐만 아니라, 해류, 수온, 수심과 탁도의 변화가 매우 심한 해양적 특성을 보인다(Kang, 1966). 황해는 넓은 분지형의 대륙붕 해역으로 평균수심 44 m로서 등심선은 해안선을 따라 평행하며, 수심 약 80 m 내외의 골이 황해 중앙부의 남북방향으로 길게 뻗어 있다(Choi, 2011).

흑산도는 전라남도 신안군 흑산면에 딸린 섬으로 면적 21.7 km², 인구 2,103명(2014년 기준)이며, 목포에서 남서쪽으로 98.2 km 떨어져 있으며, 홍도 · 다물도 · 대둔도 · 영산도 등과

함께 흑산군도를 이룬다(Cho *et al.*, 2017). 또한, 수심이 깊고 투명도가 높을 뿐만 아니라, 육지부와 거리가 멀리 떨어져 있어 외해의 특성을 나타내고 있다. 이러한 특성으로 인하여 다양한 수산생물이 서식하고, 해류의 유동에 의해 다양한 회유성 어종이 존재하는 것으로 추정된다. 이와 같이 수산자원학적으로 중요한 해양적 특성을 나타내고 있다.

어류의 종조성 및 양적변동에 관한 연구는 광양만(Han *et al.*, 1998), 포항 석병 연안(Han *et al.*, 2002), 울산 연안(Han *et al.*, 2002), 여수 연안(Han and Oh, 2007), 영광 연안(Han *et al.*, 2012), 거문도 연안(Sin *et al.*, 2015) 등이 있다. 흑산도 주변해역에서 진행되었던 연구는 어류 종조성 및 군집구조(Lim, 2007)가 진행되었으나, 그 후에 어류 종조성과 변동에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다.

해양생물을 포획하는 연구방법에 이용되는 어구 중 저인망 어구는 어구의 아래 부분이 해저에 닿도록 한 뒤 배로 어구를

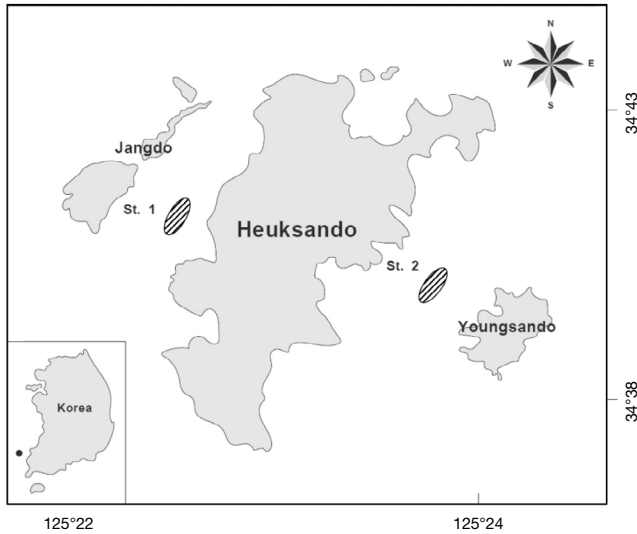


Fig. 1. Map showing the sampling sites in coastal waters off Heuksan-do, Shinan.

끌어서 해양생물을 잡는 능동적인 어구로 어망이 끌리는 구역 내에 있는 어류는 종류를 가리지 않고 어획 되기 때문에 어류 군집 연구에 적합한 어구라 할 수 있다(Sainsbury, 1996).

따라서 이 연구는 흑산도 연안 어류의 자원생물학적 연구의 일환으로, 기선저인망에 어획되는 어류의 종조성을 정량적으로 조사하여 이 종들의 연도별 양적변동 및 군집구조를 분석하고 나아가 이 조사결과를 10년 전 연구결과(Lim, 2007)와 비교 분석하여 자원생물학적 연구의 기초적 자료로 사용하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

이 연구는 Lim (2007)에서 진행되었던 흑산도 주변 해역의 2개의 정점에서 2013년 2월부터 2015년 11월까지 기선저인망을 이용하여 계절별로 총 12회에 걸쳐 조사하였다(Fig. 1).

1. 수질환경 조사

각 정점의 환경 특성을 파악하기 위하여 수온, 염분을 각각 T-S meter (Type MC 5), Salinity meter (YSI #33)를 사용하여 측정하였다.

2. 양적변동 조사

채집된 어류를 연도별로 구분하여 출현종수, 출현 개체수 및 생체량을 구하여 양적인 변동을 비교하였고, 체중은 저울로 1g 까지 측정하여 생체량을 구하였다.

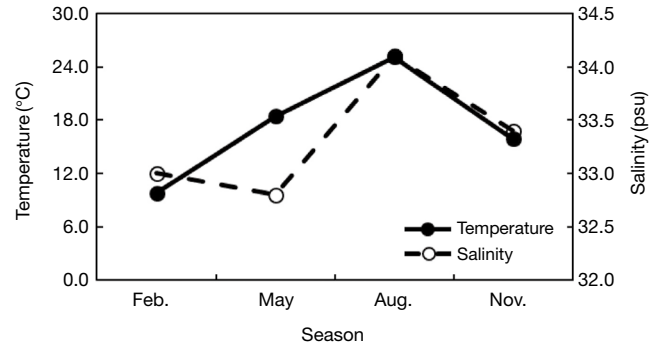


Fig. 2. Monthly change of mean water temperature and salinity in coastal waters off Heuksan-do, Shinan from 2013 to 2015.

Table 1. Number of orders, families, and species of fishes in coastal waters off Heuksan-do, Shinan from 2013 to 2015

Class	Orders	Families	Species	R.A. (%)
Chondrichthyes	Carcharhiniformes	1	1	1.0
	Rajiformes	1	2	2.0
Osteichthyes	Anguilliformes	2	2	2.0
	Clupeiformes	1	4	4.1
	Aulopiformes	1	1	1.0
	Ophidiiformes	1	2	2.0
	Gadiformes	2	4	4.1
	Lophiiformes	1	1	1.0
	Mugiliformes	1	1	1.0
	Belontiiformes	2	2	2.0
	Zeiformes	1	1	1.0
	Scorpaeniformes	8	19	19.4
	Perciformes	28	46	46.9
	Pleuronectiformes	4	7	7.1
	Tetraodontiformes	2	5	5.1
Total	15	56	98	100.0

R.A., Relative Abundance

3. 군집구조 분석

기선저인망에 의해 채집된 생물군집 구조 분석을 위해 primer 5.0 program (Clarke and Warwick, 1994)을 이용하여 종 다양도(Diversity), 우점도(Dominance), 균등도(Evenness) 및 풍부도(Richness) 지수를 구하였고, 생물 군집의 연도별 유사성을 파악하기 위하여 출현한 개체수를 토대로 군집간의 유사도(Similarity)를 산출하였다.

결 과

1. 수질환경

흑산도 연안의 3년간 계절별 저층 평균 수온 분포를 조사한

Table 2. Yearly individual variation in abundance of fishes in coastal waters off Heuksan-do, Shinan from 2013 to 2015

Species	Year			Total	R.A (%)
	2013	2014	2015		
<i>Scyliorhinus torazame</i>	8	1	1	8	0.4
<i>Okamejei kenojei</i>	4	3	10	17	0.8
<i>Beringraja pulchra</i>	14	7	5	26	1.3
<i>Muraenesox cinereus</i>	2	3	7	12	0.6
<i>Conger myriaster</i>	12	12	13	37	1.8
<i>Coilia nasus</i>		1	120	121	5.9
<i>Engraulis japonicus</i>	75	142		217	10.6
<i>Setipinna tenuifilis</i>	3	2	9	14	0.7
<i>Thryssa kammalensis</i>	50	60	44	154	6.7
<i>Saurida elongata</i>	3	1	6	10	0.5
<i>Hoplobrotula armata</i>	3	5	7	15	0.7
<i>Sirembo imberbis</i>	1	2	6	9	0.4
<i>Coelorinchus japonicus</i>	20	18		38	1.9
<i>Coelorinchus longissimus</i>		7		7	0.3
<i>Coelorinchus multispinulosus</i>	19	35	7	61	3.0
<i>Gadus macrocephalus</i>	1			1	0.0
<i>Lophiomus setigerus</i>	33	12	10	55	2.7
<i>Mugil cephalus</i>	14	7	7	28	1.4
<i>Cypselurus agoo</i>		4		4	0.2
<i>Hyporhamphus sajori</i>	9	8	6	23	1.1
<i>Zeus faber</i>	7	6	14	27	1.3
<i>Helicolenus hilgendorfi</i>	1	1	1	3	0.1
<i>Paracentropogon rubripinnis</i>			3	3	0.1
<i>Scorpaena miostoma</i>	3	1	2	6	0.3
<i>Sebastes hubbsi</i>		3	1	4	0.2
<i>Sebastes inermis</i>	9	4	5	18	0.9
<i>Sebastes schlegeli</i>	31	18	25	74	3.6
<i>Sebastes thompsoni</i>	7	3	8	18	0.9
<i>Sebastes marmoratus</i>	8	3	5	16	0.8
<i>Erispex pottii</i>			4	4	0.2
<i>Chelidonichthys spinosus</i>	3	9	2	14	0.7
<i>Lepidotrigla guentheri</i>	1		1	2	0.1
<i>Satyrichthys rieffeli</i>			4	4	0.2
<i>Bembras japonica</i>	3	2	1	6	0.3
<i>Platycephalus indicus</i>	6	3	6	15	0.7
<i>Hexagrammos agrammus</i>	9	7	2	18	0.9
<i>Hexagrammos otakii</i>	12	9	8	29	1.4
<i>Hemitripterus villosus</i>	23	3	3	29	1.4
<i>Liparis tanakai</i>	17	2		19	0.9
<i>Liparis tessellatus</i>		5		5	0.2
<i>Lateolabrax japonicus</i>	5	4	5	14	0.7
<i>Doederleinia berycoides</i>	4	16	3	23	1.1
<i>Epinephelus septemfasciatus</i>	2		1	3	0.1
<i>Apogon semilineatus</i>	7	3	4	14	0.7
<i>Branchiostegus japonicus</i>	5	3	2	10	0.5
<i>Seriola lalandi</i>	1	4	2	7	0.3
<i>Trachurus japonicus</i>	3	31	9	43	2.1
<i>Leiognathus nuchalis</i>	91	35	72	198	9.7
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	4	1	2	7	0.3
<i>Pagrus major</i>	8	6	5	19	0.9
<i>Collichthys niveatus</i>	20	12	15	47	2.3
<i>Johnius belengerii</i>	6	5		11	0.5
<i>Larimichthys polyactis</i>	52	2	28	82	4.0
<i>Miichthys miiuy</i>	6		4	10	0.5
<i>Nibea albiflora</i>	10	10	6	26	1.3
<i>Argyrosomus argentatus</i>	11	7	6	24	1.2

Table 2. Continued

Species	Year			Total	R.A (%)
	2013	2014	2015		
<i>Chaetodon wiebeli</i>		2		2	0.1
<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	1			1	0.0
<i>Microcathus strigatus</i>	8	4		12	0.6
<i>Terapon jarbua</i>	1	4	2	7	0.3
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	4	2	4	10	0.5
<i>Ditrema temmincki</i>	6	2	2	10	0.5
<i>Chromis notatus</i>	19	6	8	33	1.6
<i>Pomacentrus coelestis</i>		1		1	0.0
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	3	33	5	41	2.0
<i>Halichoeres tenuispinis</i>		1	1	2	0.1
<i>Pseudolabrus sieboldi</i>	2		2	4	0.2
<i>Pteragogus flagellifer</i>	1	2		3	0.1
<i>Zoarces gilli</i>	5	3	5	13	0.6
<i>Dictyosoma burgeri</i>	2	3	6	11	0.5
<i>Ernogrammus hexagrammus</i>	2	4	5	11	0.5
<i>Uranoscopus japonicus</i>	3			3	0.1
<i>Xenocephalus elongatus</i>		2	2	4	0.2
<i>Enneapterygius etheostomus</i>	5	3	5	13	0.6
<i>Omobranchus elegans</i>		8	9	17	0.8
<i>Petroscirtes breviceps</i>	2	2	1	5	0.2
<i>Repomucenus beniteguri</i>	3	3		6	0.3
<i>Repomucenus lunatus</i>	1	3	2	6	0.3
<i>Siganus fuscescens</i>	3		3	6	0.3
<i>Sphyaena pinguis</i>	3		9	12	0.6
<i>Trichiurus lepturus</i>	37	17	22	76	3.7
<i>Auxis rochei</i>	2	1		3	0.1
<i>Sarda orientalis</i>	1			1	0.0
<i>Scomber japonicus</i>	10	8	5	23	1.1
<i>Scomberomorus niphonius</i>	5	5	10	20	1.0
<i>Psenopsis anomala</i>	1	3		4	0.2
<i>Paralichthys olivaceus</i>	1	2	10	13	0.6
<i>Eopsetta grigorjewi</i>	2	1	3	6	0.3
<i>Kareius bicoloratus</i>	3	3	3	9	0.4
<i>Pleuronectes herzensteini</i>	4		2	6	0.3
<i>Pleuronichthys cornutus</i>	6	9	5	20	1.0
<i>Zebrias fasciatus</i>		8		8	0.4
<i>Cynoglossus joyneri</i>	5	13	7	25	1.2
<i>Stephanolepis cirrifer</i>	3	2	4	9	0.4
<i>Thamnaconus modestus</i>	2		1	3	0.1
<i>Takifugu niphobles</i>	3	15		18	0.9
<i>Takifugu rubripes</i>	5	5	3	13	0.6
<i>Takifugu xanthopterus</i>	3	3	3	9	0.4
Total	827	740	731	2,298	100.0
Dominance (%)	36.0	32.2	31.8	100.0	
Number of Species	84	82	78		

결과, 2월에 9.8°C로 가장 낮았고, 8월에 25.1°C로 가장 높게 나타났다. 계절별 저층 염분 농도는 5월에 32.8 psu로 가장 낮았고, 8월에 34.1 psu로 가장 높게 나타났다(Fig. 2).

2. 어류의 종조성

흑산도 연안에서 조사기간 중 확인된 어류는 총 15목 56과 98종으로, 출현 개체수 및 생체량은 각각 2,044개체, 305,768

Table 3. Yearly biomass variation in abundance of fishes in coastal waters off Heuksan-do, Shinan from 2013 to 2015

Species	Year			Total	R.A (%)
	2013	2014	2015		
<i>Scyliorhinus torazame</i>	1,040			1,040	0.3
<i>Okamejei kenojei</i>	900	700	2,680	4,280	1.4
<i>Beringraja pulchra</i>	22,600	15,900	11,400	49,900	16.3
<i>Muraenesox cinereus</i>	1,100	850	2,160	4,110	1.3
<i>Conger myriaster</i>	900	1,750	2,910	5,560	1.8
<i>Coilia nasus</i>		110	2,019	2,129	0.7
<i>Engraulis japonicus</i>	810	1,108		1,918	0.6
<i>Setipinna tenuifilis</i>	89	85	340	514	0.2
<i>Thryssa kammalensis</i>	710	760	510	1,980	0.6
<i>Saurida elongata</i>	136	120	238	494	0.2
<i>Hoplobrotula armata</i>	200	400	1,150	1,750	0.6
<i>Sirembo imberbis</i>	90	190	690	970	0.3
<i>Coelorinchus japonicus</i>	287	1,200		1,487	0.5
<i>Coelorinchus longissimus</i>		175		175	0.1
<i>Coelorinchus multispinulosus</i>	165	910	245	1,320	0.4
<i>Gadus macrocephalus</i>	250			250	0.1
<i>Lophiomus setigerus</i>	6,260	4,850	5,390	16,500	5.4
<i>Mugil cephalus</i>	2,380	760	1,590	4,730	1.5
<i>Cypselurus agoo</i>		1,170		1,170	0.4
<i>Hyporhamphus sajori</i>	255	320	720	1,295	0.4
<i>Zeus faber</i>	2,340	1,190	1,950	5,480	1.8
<i>Helicolenus hilgendorfi</i>	110	200	210	520	0.2
<i>Paracentropogon rubripinnis</i>			570	570	0.2
<i>Scorpaena miostoma</i>	412	80	360	852	0.3
<i>Sebastes hubbsi</i>		220	260	480	0.2
<i>Sebastes inermis</i>	567	390	380	1,337	0.4
<i>Sebastes schlegeli</i>	6,050	4,410	10,370	20,830	6.8
<i>Sebastes thompsoni</i>	650	285	960	1,895	0.6
<i>Sebastes marmoratus</i>	530	940	2,040	3,510	1.1
<i>Erispex pottii</i>			235	235	0.1
<i>Chelidonichthys spinosus</i>	250	1,600	380	2,230	0.7
<i>Lepidotrigla guentheri</i>	135		80	215	0.1
<i>Satyrichthys rieffeli</i>			620	620	0.2
<i>Bembras japonica</i>	380	170	95	645	0.2
<i>Platycephalus indicus</i>	800	570	1,220	2,590	0.8
<i>Hexagrammos agrammus</i>	936	1,190	240	2,366	0.8
<i>Hexagrammos otakii</i>	1,442	1,640	1,050	4,132	1.4
<i>Hemitripterus villosus</i>	4,660	490	679	5,829	1.9
<i>Liparis tanakai</i>	1,870	346		2,216	0.7
<i>Liparis tessellatus</i>		3,300		3,300	1.1
<i>Lateolabrax japonicus</i>	570	610	2,620	3,800	1.2
<i>Doederleinia berycoides</i>	350	1,250	340	1,940	0.6
<i>Epinephelus septemfasciatus</i>	743		367	1,110	0.4
<i>Apogon semilineatus</i>	230	225	430	885	0.3
<i>Branchiostegus japonicus</i>	550	580	460	1,590	0.5
<i>Seriola lalandi</i>	1,100	1,130	1,700	3,930	1.3
<i>Trachurus japonicus</i>	260	1,326	660	2,246	0.7
<i>Leiognathus nuchalis</i>	1,485	465	1,066	3,016	1.0
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	600	150	430	1,180	0.4
<i>Pagrus major</i>	1,005	1,410	1,760	4,175	1.4
<i>Collichthys niveatus</i>	1,328	1,180	1,870	4,378	1.4
<i>Johnius belengerii</i>	213	1,560		1,773	0.6
<i>Larimichthys polyactis</i>	4,700	190	4,430	9,320	3.0
<i>Miichthys miuiy</i>	1,132		1,520	2,652	0.9
<i>Nibea albiflora</i>	840	1,300	420	2,560	0.8
<i>Argyrosomus argentatus</i>	1,234	820	750	2,804	0.9

Table 3. Continued

Species	Year			Total	R.A (%)
	2013	2014	2015		
<i>Chaetodon wiebeli</i>		140		140	0.0
<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	70			70	0.0
<i>Microcathus strigatus</i>	295	480		775	0.3
<i>Terapon jarbua</i>	25	200	360	585	0.2
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	308	460	1,370	2,138	0.7
<i>Ditrema temmincki</i>	430	345	180	955	0.3
<i>Chromis notatus</i>	740	370	445	1,555	0.5
<i>Pomacentrus coelestis</i>		110		110	0.0
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	160	2,360	690	3,210	1.0
<i>Halichoeres tenuispinis</i>		85	170	255	0.1
<i>Pseudolabrus sieboldi</i>	180		350	530	0.2
<i>Pteragogus flagellifer</i>	90	240		330	0.1
<i>Zoarces gilli</i>	543	570	750	1,863	0.6
<i>Dictyosoma burgeri</i>	55	76	179	310	0.1
<i>Ernogrammus hexagrammus</i>	35	180	350	565	0.2
<i>Uranoscopus japonicus</i>	239			239	0.1
<i>Xenoccephalus elongatus</i>		85	36	121	0.0
<i>Enneapterygius etheostomus</i>	65	97	154	316	0.1
<i>Omobranchus elegans</i>		225	430	655	0.2
<i>Petroscirtes breviceps</i>	76	85	70	231	0.1
<i>Repomucenus beniteguri</i>	134	110		244	0.1
<i>Repomucenus lunatus</i>	78	465	360	903	0.3
<i>Siganus fuscescens</i>	288		670	958	0.3
<i>Sphyræna pinguis</i>	173		760	933	0.3
<i>Trichiurus lepturus</i>	2,530	1,360	2,800	6,690	2.2
<i>Auxis rochei</i>	3,700	2,500		6,200	2.0
<i>Sarda orientalis</i>	1,500			1,500	0.5
<i>Scomber japonicus</i>	1,140	870	1,234	3,244	1.1
<i>Scomberomorus niphonius</i>	13,200	11,400	6,550	31,150	10.2
<i>Psenopsis anomala</i>	130	255		385	0.1
<i>Paralichthys olivaceus</i>	1,220	220	8,520	9,960	3.3
<i>Eopsetta grigorjewi</i>	250	210	990	1,450	0.5
<i>Kareius bicoloratus</i>	730	1,990	1,110	3,830	1.3
<i>Pleuronectes herzensteini</i>	610		340	950	0.3
<i>Pleuronichthys cornutus</i>	800	1,260	1,290	3,350	1.1
<i>Zebrias fasciatus</i>		710		710	0.2
<i>Cynoglossus joyneri</i>	620	1,330	1,090	3,040	1.0
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	254	250	620	1,124	0.4
<i>Thamnaconus modestus</i>	310		175	485	0.2
<i>Takifugu niphobles</i>	165	1,050		1,215	0.4
<i>Takifugu rubripes</i>	900	1,810	2,420	5,130	1.7
<i>Takifugu xanthopterus</i>	540	810	840	2,190	0.7
Total	106,120	93,253	106,395	305,768	100.0
Dominance (%)	34.7	30.5	34.8	100.0	
Number of Species	79	82	72		

g이 채집되었다. 그 중 농어목(Perciformes) 어류가 28목 46종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로 쏨뱅이목(Scorpaeniformes) 어류가 8목 19종이 출현하였으며, 가자미목(Pleuronectiformes) 어류가 4목 7종, 복어목(Tetraodontiformes) 어류가 2목 5종, 대구목(Gadiformes)이 2목 4종 출현하였다. 이

들 5목의 어류가 전체 출현종수의 82.65%를 차지하여 우점하는 분류군으로 나타났다(Table 1).

과별로 출현한 어종을 보면 양볼락과(Scorpaenidae) 어류가 8종으로 가장 많이 출현하였고, 민어과(Sciaenidae) 어류가 6종, 놀래기과(Labridae) 어류가 3종 출현하였다.

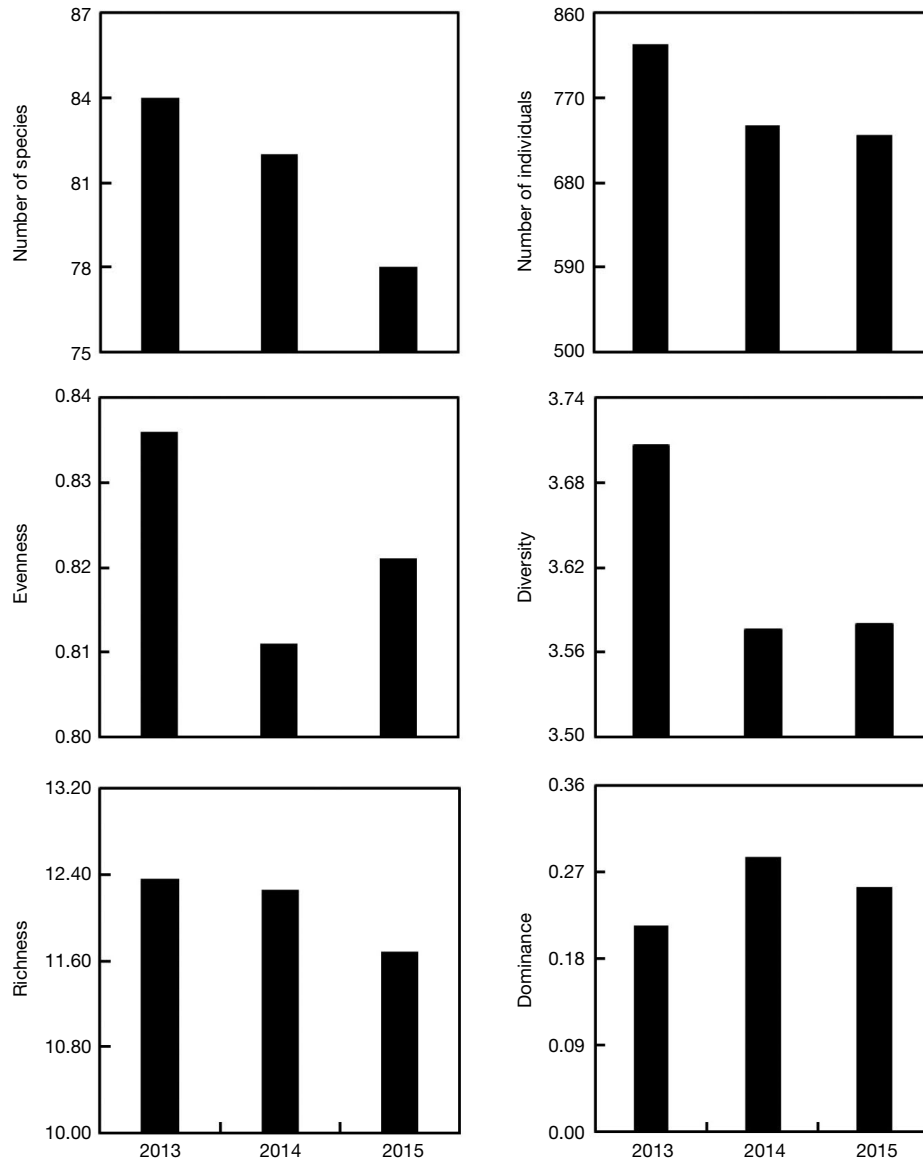


Fig. 3. Yearly variation of index of number of species, individuals, diversity, evenness, richness, and dominance in coastal waters off Heuksan-do, Shinan from 2013 to 2015.

3. 어류의 양적변동

연도별 출현종은 2013년에 15목 52과 84종이 출현하였고, 2014년에 14목 50과 82종으로 증가하였으나, 2015년에 14목 48과 78종으로 감소하였다.

연도별 출현 개체수의 변동을 보면, 2013년에 823개체가 출현하였으며, 그 중 주둥치(*Leiognathus nuchalis*)가 93개체 출현하여 2013년 총 개체수의 11.25%를 차지하여 우점하였다. 2014년에는 740개체가 출현하였으며, 멸치(*Engraulis japonicus*)가 152개체 출현하여 2014년 총 개체수의 20.54%를 차지하여 우점하였다. 2015년에 731개체 출현하였으며, 웅어(*Coil-*

ia nasus)가 113개체 출현하여 2015년 총 개체수의 15.46%를 차지하여 우점하였다(Table 2).

연도별 출현 생체량의 변동을 보면, 2013년에 108,385 g이 출현하였으며, 그 중 참홍어(*Beringraja pulchra*)가 23,900 g이 출현하여 2013년 총 생체량의 21.79%를 차지하여 우점하였다. 2014년에는 90,807 g이 출현하였으며, 그 중 참홍어가 12,840 g이 출현하여 2014년 총 생체량의 14.14%를 차지하여 우점하였다. 2015년에는 108,370 g이 출현하였으며, 그 중 참홍어가 10,870 g이 출현하여 2015년 총 생체량의 10.03%를 차지하여 우점하였다(Table 3).

전체 출현한 종 중 멸치가 310개체로 전체 출현량의 13.49%

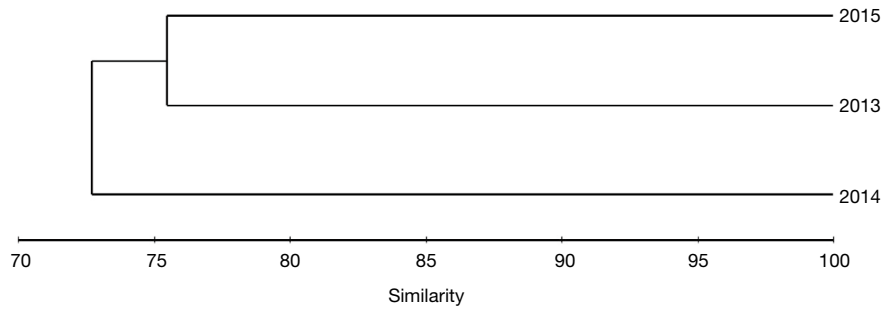


Fig. 4. Dendrogram based on the community similarity of each year by number of fishes in coastal waters off Heuksan-do, Shinan from 2013 to 2015.

Table 4. Comparison with dominant species among previous studies of fish assemblage collected by a otter trawl

Source	Present study	Lee (2004)	Song (2006)
Study period	2013~2015	2003	2002
Study area	Heuksan-do	Dolsan-do	Uljin
Study interval	Seasonal	Monthly	Seasonal
Fishing gear	Otter trawl	Small otter trawl	Small otter trawl
Dominant species (%)	<i>Engraulis japonicas</i> (13.49)	<i>Leiognathus nuchalis</i> (53.26)	<i>Engraulis japonicas</i> (9.23)
	<i>Thryssa kammalensis</i> (8.70)	<i>Engraulis japonicas</i> (7.61)	<i>Hexagrammos otakii</i> (7.53)
	<i>Leiognathus nuchalis</i> (6.70)	<i>Amblychaeturichthys hexanema</i> (4.46)	<i>Hexagrammos agrammus</i> (5.94)
	<i>Coilia nasus</i> (4.96)	<i>Konosirus Punctatus</i> (3.50)	<i>Pterogobius zonoleucus</i> (5.83)

를 차지하여 가장 우점한 종으로 나타났으며, 다음으로 주둥치가 200개체 (8.70%), 용어가 154개체 (6.70%), 참조기 (*Larimichthys polyactis*)가 82개체 (3.57%), 갈치 (*Trichiurus lepturus*)가 76개체 (3.57%) 순이었다.

4. 군집분석

출현종수는 2015년에 78종으로 가장 적게 나타났고, 2013년에 84종으로 가장 많이 나타났다. 개체수는 2015년에 731개체로 가장 적게 나타났고, 2013년에 827개체로 가장 많이 나타났다. 다양도 지수는 2014년에 3.576으로 가장 낮은 값을, 2013년에 3.706으로 가장 높은 값을 나타냈다. 균등도 지수는 2014년에 0.811로 가장 낮은 값을, 2015년에 0.836으로 가장 높은 값을 나타냈다. 우점도 지수는 2013년에 0.215로 가장 낮은 값을, 2014년에 0.286으로 가장 높은 값을 나타냈다. 풍부도 지수는 2015년에 11.680으로 가장 낮은 값을, 2014년에 12.360으로 가장 높은 값을 나타냈다 (Fig. 3).

5. 유사도 분석

출현종수와 출현 개체수에 근거한 연도별 유사도를 보면

2013년과 2015년에 멸치, 청멸 (*Thryssa kammalensis*), 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*), 주둥치, 갈치, 참조기 등이 출현하여 75.46%의 유사성을 띄었다. 다음으로 2013년과 2014년에 멸치, 청멸, 주둥치, 갈치 등이 출현하여 73.96%의 유사성을 띄었으며, 2014년과 2015년에 멸치, 줄비늘치 (*Coelorrinchus multispinulosus*), 조피볼락, 주둥치, 갈치 등이 출현하여 71.48%의 유사성을 띄었다 (Fig. 4).

고 찰

어류는 살고 있는 장소에 따라 크게 표층어류와 저서어류로 나눌 수 있는데, 일반적으로 표층어류는 저서어류에 비해 유영력이 강하여 분포범위가 넓으며, 환경과 시·공간에 따른 변화가 심하여 정량 채집에 의한 어려움이 많은 편이다. 이러한 이유로 적합한 어업통계자료가 없는 해역에서 어류의 종조성 변화와 양적 변화를 추정할 때는 저서어류를 대상으로 하는 경우가 많다 (Lee, 1989; 1991; 1993; 1996; Lee and Kim, 1992; Lee and Hwang, 1995).

Huh and Kwak (1998)에 따르면 연안의 수심이 얇은 곳일수

록 저인망에 의한 부어류의 어획 비율이 높아지고, 깊은 곳일 수록 부어류의 어획 비율이 낮아진다고 하였다. 이 연구에서 기선저인망에 의해 채집된 어류를 보면 홍어(*Okamejei kenojei*), 참홍어, 아귀(*Lophiomus setigerus*), 노래미(*Hexagrammos agrammus*), 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*), 도다리(*Pleuronichthys cornutus*), 참서대(*Cynoglossus joyneri*) 등이 채집되었는데, 이들은 저질 위에 서식하는 전형적인 저어류이다. 이들 어종이 어획된 것으로 보아 저인망에 의해 채집된 이 연구에 이들의 실제 출현량을 어느 정도 반영하고 있다고 판단된다. 또한 멸치, 주둥치, 웅어, 참조기 등 비저서성 어류들이 채집되었는데, 이들이 저층에 내려왔을 때에만 한정되기 때문에 이 연구에서 채집된 개체수 및 생체량이 흑산도 연안에 존재하는 전체 개체군을 정확히 반영했다고 보기 어렵다고 보여진다. 멸치, 반지(*Setipinna tenuifilis*), 고등어(*Scomber japonicus*) 등 비저서성 어류는 중간에는 저층에 머물다가 야간에는 표층에서 먹이를 섭취하는 경향이 있기 때문에(Ferno and Olsen, 1994), 이 연구와 같이 중간에 연구를 진행한 경우 야간보다 비저서성 어류의 비율이 높아질 가능성이 있다.

흑산도 주변 기선저인망에서 출현한 연도별 개체수와 생체량을 비교해보면, 개체수는 2013년부터 2015년까지 각각 827개체, 740개체, 731개체로 다소 감소하였으나 큰 차이는 없었다. 생체량은 2013년부터 2015년까지 각각 109,685 g, 90,807 g, 108,370 g으로 나타났다. 흑산도는 지형적 요인에 의해 해수 교환이 거의 이루어지지 않고, 항내에서 발생하는 생활하수와 가두리 양식장 등에서 발생하는 오염원이 수질을 점차 악화시키며(Kang *et al.*, 2004), 이런 물리 화학적 변화에 따른 수질환경과 쿠로시오 해류에 의한 빈산소 수괴가 발생하여 해양생태계에 변화가 일어나 개체수와 생체량 변화에 영향을 미쳤을 것이라 생각된다. 하지만, 이 연구 결과에서는 큰 차이가 없었고, 출현한 어종 중 경제성이 높은 어종들도 많이 포함되어 있었으며, 이들은 대부분이 15 cm 이하의 유어와 40 cm 이상으로 구성되어 있는 것으로 보아 어류들의 성육장 및 산란장으로 이동하는 경로임을 시사해주고 있다.

과거 흑산도 주변 해역(Lim, 2007)에서 기선저인망에 어획된 결과에서는 총 15목 56과 94종 1,995개체가 출현하였다. 이 연구보다 4종이 적게 출현하였고, 개체수 역시 이 연구에서 300개체 이상 증가한 결과가 나타났는데, 출현종수와 개체수가 증가하는 결과를 보였으나 큰 차이를 보이지 않았다. 우점종은 멸치, 주둥치, 웅어, 참조기 순으로 나타났는 두 연구에서 멸치는 최우점하였고, 이 연구에서 청멸의 출현이 많아 아우점하였다.

이 연구는 소극적인 방법이지만 다른 해역에서 기선저인망에 의하여 어획된 어획물을 통하여 여수 돌산 연안(Lee, 2004), 울진 연안(Song, 2006)과 비교 고찰하고자 한다(Table 4).

2013년부터 2015년까지 조사기간 중 출현한 어류는 총 15목 56과 98종, 2,298개체로 나타났고, 우점종은 멸치, 주둥치, 청멸, 웅어였다. 여수 돌산 연안(Lee, 2004)에서는 총 7목 32과 47종, 7,264개체로 나타났고, 우점종은 주둥치, 멸치, 도화망둑, 전어였다. 울진 연안(Song, 2006)에서는 총 9목 30과 44종, 943개체로 나타났고, 우점종은 멸치, 쥐노래미, 노래미, 흰줄망둑으로 각 연구마다 차이를 보였다. 이는 서해, 남해, 동해의 해역의 특성, 채집 시기, 채집 기간, 채집 횟수 및 회유성 어종 등의 차이가 출현한 어종 및 개체수에 영향을 준 것으로 생각된다. 또한, 멸치는 서해, 남해, 동해 전 연안에 걸쳐 출현 및 우점을 한 것으로 보아 우리나라 전 연안에 분포하는 것으로 판단된다.

수산자원은 해양환경의 변화에 따라 가입, 성장, 자연 사망 등에 의하여 끊임없이 증가 및 감소하는 특성이 있음을 고려할 때, 항내 오염과 양식장에 의한 오염이 심화되는 흑산도 주변 해역의 효율적인 수산자원 관리를 위해서 지속적으로 수질환경 및 자원 동태를 파악하고, 자원량이 감소하는 원인을 정확하게 규명하여 자원의 회복 및 관리에 노력을 기울여야 할 것으로 판단된다. 또한, 기선저인망 특성상 부어류 채집에 적합하지 않으므로, 추후에 어류상 조사를 실시할 경우에 다양한 어구를 이용하여 연구를 해야할 필요가 있다고 생각된다.

참고 문헌

- Cha, S.S. and K.J. Park, 1997. Seasonal Changes in Species Composition of Fishes collected with a bottom trawl in Kwangyang Bay, Korea. J. Korean Fish. Soc., 9, 235-236.
- Cho, Y.J., H.S. Kim, H.H. Myeong, J.W. Park and J.G. Oh, 2017. The vegetation structure of evergreen broad-leaved forest of Dae-huksan island in the Dadohaehaasang national park. J. Korean Island, 29, 217-237.
- Choi, Y.C., 2011. The characteristics of yellow sea bottom cold water in September, 2006. J. Fish. Mar. Sci. Edu., 23, 425-432.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick, 1994. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, Natural environment research council. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, U.K., 144pp.
- Ferno, A. and S. Olsen, 1994. Marine fish behavior in capture and abundance estimation. Fishing News Books, Oxford, 1-221.
- Han, K.H. and Y.S. Oh, 2007. Species composition and quantitative fluctuation of fishes collected by gape net in coastal waters of Yeosu, Korea. J. Korean Soc. Fish. Technol., 43, 261-273.
- Han, K.H., J.H. Kim and S.R. Baek, 2002. Seasonal variation of species composition of fishes collected by set net in coastal waters of Ulsan, Korea. Korean J. Ichthyol., 14, 61-69.
- Han, K.H., S.H. Lee, J.H. Hwang, H.H. Jeong, S.J. Rha, S.I. Jang, and P.G. Seo, 2012. The fluctuation in the abundance and species

- composition of fish collected by stow nets in the coastal waters of Yeonggwang. Bull. Fish. Sci. Inst., 20, 82-90.
- 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.
- Han, K.H., Y.M. Yoon and H.C. Yang, 1998. Seasonal variation in abundance and species composition of fishes community of Myo-do in Kwangyang bay, Korea. Bull. Yosu Nat'l. Univ., 13, 1025-1046.
- Huh, S.H. and S.N. Kwak, 1998. Seasonal variations in species composition of fishes collected by an otter trawl in the coastal water off Namhae island. Korean J. Ichthyol., 10, 11-23.
- Kang, J.W., S.R. Moon, S.J. Park and J.W. Jung, 2004. Changes of pollutant dispersion mechanism by facilities for seawater exchange in Daeheuksando. Eng. Res. Technol., 4, 581-587.
- Kang, J.W., 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. Bull. Pusan Fish. Coll., 7, 1-136.
- Lee, T.W. and S.W. Hwang, 1995. Temporal variation in species composition from 1990 to 1993 - The demersal fish of Asan bay. Bull. Korean Fish. Soc., 28, 67-79.
- Lee, T.W. and G.C. Kim, 1992. Diurnal and seasonal variation in abundance and species composition - The demersal fishes of Asan Bay. Bull. Korean Fish. Soc., 25, 103-114.
- Lee, T.W., 1989. Seasonal fluctuation in abundance and species composition of demersal fishes in Cheonsu bay of the Yellow Sea, Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 22, 1-8.
- Lee, T.W., 1991. Optimal sample Size - The demersal Fishes of Asan Bay. Bull. Korean Fish. Soc., 24, 248-254.
- Lee, T.W., 1993. Spatial variation in abundance and species composition - The Demersal Fishes of Asan Bay. Bull. Korean Fish. Soc., 26, 438-445.
- Lee, T.W., 1996. Change in species composition of fish in Chonsu Bay. Bull. Korean Fish. Soc., 29, 71-83.
- Lim, Y.U., 2007. Species composition and community structure of fishes in coastal waters of Heuksan island, Korea. Ph. D. Thesis, Jeonnam National University, 156pp.
- Sainsbury, J.C., 1996. Commercial fishing methods. Fishing news books, Cambridge, 359pp.
- Sin, K.S., K.H. Han, J.I. Baek, S.H. Lee and W.K. Lee, 2015. Variation in abundance and species composition of fishes in eelgrass (*Zostera marina*) bed and around Geomundo. J. Korean Soc. Fish. Technol., 51, 484-492. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2015.61.4.484>.

삼천포 연안에 출현하는 부유성 난·자치어의 종조성 및 계절변동

Seasonal Variation and Distribution of Fish Eggs and Ichthyoplankton in the Coastal off Samchunpo, Korea

남윤석¹, 이성훈², 노태형², 한경호^{2,*}Yun-Seok Nam¹, Sung-Hoon Lee², Tae-Hyoung Roh², Kyeong-Ho Han^{2,*}¹한국감정원, ²전남대학교 해양기술학부¹Korea Appraisal Board, Daegu 41068, Republic of Korea²Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea*Correspondence to Kyeong-Ho HAN
E-mail: aqua05@jnu.ac.kr

Received December 27, 2018

Revised January 16, 2019

Accepted February 11, 2019

Abstract : Seasonal variation and distribution of fish eggs and ichthyoplanktons were investigated by specimens collected from the coastal waters off Samchunpo in each season, 2001. Approximately 8 species of eggs were collected. Among them in which *Engraulis japonicus* was a dominant species, followed by *Leiognathus nuchalis*, *Sardinops melanostictus* and the others. The larvae and juveniles were identified into 22 taxa. Most larval fish species were appeared in June and September. The dominant species, *Engraulis japonicus* accounted for 42.9% of the total larvae and juveniles, followed by *Leiognathus nuchalis* (13.9%), *Omobranchus elegans* (9.3%). These 3 taxa accounted for 66.1% of the total collected larvae and juveniles. Cluster analysis showed that March and December are most closely grouped, followed by June and September.

Keywords : Ichthyoplankton, Samchunpo, Seasonal variation, Fish eggs, Species composition

서론

삼천포는 경상남도 사천시 남부에 있는 지역으로, 창선도와 녹도 사이의 수로는 전라남도 진도군 연안에 위치한 울돌목과 함께 전국에서 손꼽히는 물살이 거친 해역이다. 삼천포는 1960년대까지만 해도 지정학적으로 풍부한 어족자원의 청정해역을 끼면서도 인근 섬들 사이에 갯벌도 많이 있어서 매우 다양한 어패류를 수확할 수 있었다. 하지만 1970년대 경제개발이 진행되고 경부고속도로 및 구마고속도로 등의 고속도로망과 울산, 창원 등의 산업단지가 동부 경남권에 치우쳐 건설되고, 삼천포 연안 인근에 화력발전소가 건설되면서 어획량이 급감하였다.

어류는 난에서 부화하여 자어와 치어를 거쳐 성어가 된다. 일반적으로 연급군의 강도는 초기 성장단계의 기아나 포식 정도에 의해서 결정된다. 그래서 성장초기에는 사망률이 무척 높고 환경의 영향을 많이 받기 때문에, 성어로 가입되는 양은 해황 및 환경변화에 따라 매년 변화한다(Hjort, 1926; Saville and Schnack, 1981). 따라서 초기 감소율이 높은 난기와 자치어기

의 종조성 및 출현량 변동은 성어의 가입량 변동을 예측하기 위한 기초 자료로 매우 중요하다(Kim, 1991).

우리나라 연근해와 자치어 분포에 대한 최근의 연구는 당진 난지도 주변해역(Yoon, 2018), 울산 남부 연안(Go *et al.*, 2018), 진해만 북부 해역(Han *et al.*, 2018), 광양만(Cha and Park, 1994), 한국 동해남부 해역(Kim and Kang, 1995), 광양만 묘도해역(Han *et al.*, 1998), 완도 보길도 연안(Han, 1999) 및 여수 순천만 연안(Han *et al.*, 2001) 등의 주로 만이나 부분적인 연안과 해역을 중심으로 이루어지고 있다.

한편, 삼길포 신수도 연안에서의 연구는 삼중자망에 의한 어류 군집의 구조(Kim and Kang, 1991), 치어의 군집구조와 변동(Kim and Kang, 1992), 치어류의 군집구조와 변동(Kim and Kang, 1995) 등이 있다.

이 연구는 삼천포 연안에 출현하는 어류의 자원생물학적 연구의 일환으로 부유성 난 및 자치어의 종조성을 밝히며, 이들 종의 계절적 변동, 우점도 및 종다양성 지수를 구하여 집괴분석을 실시하였다.

재료 및 방법

이 연구를 위하여 삼천포 연안에 위치한 5개 정점(Fig. 1)에서 계절별로 2001년 총 4회(3월, 6월, 9월, 12월)에 걸쳐 만조시에 조사하였다.

채집에 관한 일반적인 사항들은 Smith and Richardson (1977)에 따랐으며, 채집한 표본은 선상에서 10% 중성 포르말

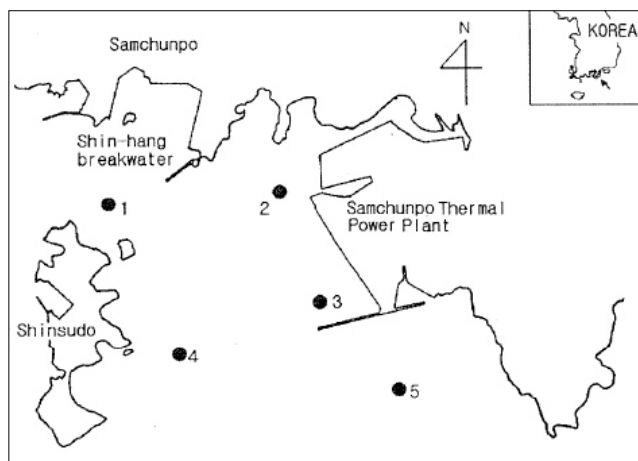


Fig. 1. Map showing the sampling area in coastal waters off Samchunpo, Korea in 2001.

린으로 고정된 후 실험실에서 종별로 동정하여 종조성 및 목록을 작성하였다. 어획된 종의 분류는 Kim (1981) 및 Okiyama (1988)에 따랐으며, 분류체계 및 학명은 Nelson (1994)에 따랐으며, *Scartella cristata*의 국명은 Han and Hwang (2003)에 따랐다.

조사기간 중 채집된 자치어의 생물 군집구조 분석을 위하여 다양도(Diversity), 우점도(Dominance), 균등도(Evenness) 및 풍부도(Richness) 지수를 구하였다. 생물 군집의 계절별 유사성을 파악하기 위하여 Primer 5.0 program (Clarke and Warwick, 1994)을 이용하여 조사기간 중 총 출현한 개체수를 토대로 군집간의 유사도(Similarity)를 산출하였다.

결 과

1. 수온

삼천포 연안의 정점별, 계절별 수온변화는 Table 1과 같다.

배 수구에서 가장 가까이 위치한 2번 정점을 제외한 모든 정점의 수온은 각 계절별로 비슷한 범위를 보였다. 그러나 2번 정점은 발전소의 온배수로 인하여 다른 정점보다 계절별로 2.2 ~ 4.2°C 높게 나타났다.

Table 1. Surface water temperature (°C) in coastal waters off Samchunpo, Korea in 2001

Season	Stations					Mean
	1	2	3	4	5	
Spring	8.5	12.2	8.7	8.6	8.8	9.4
Summer	18.0	22.2	18.4	18.3	18.8	19.1
Fall	26.2	28.4	26.4	26.3	26.6	26.8
Winter	11.3	14.9	11.4	11.7	11.9	12.2

Table 2. Mean abundance of eggs in coastal waters off Samchunpo, Korea in 2001

(unit: individuals/1,000 m³)

Species	Season				Total	R.A. (%)
	Spring	Summer	Fall	Winter		
<i>Engraulis japonicus</i>	16.0	957.8	265.1	—	1,238.9	55.7
<i>Sardinops melanostictus</i>	6.5	176.9	—	—	183.4	8.3
<i>Leiognathus nuchalis</i>	—	378.0	113.9	—	491.9	22.1
<i>Callionymus</i> sp.	—	23.9	7.8	—	31.7	1.4
Soleidae	—	—	14.4	—	14.4	0.6
Callionymidae	—	6.7	13.6	3.0	23.3	1.0
<i>Pennahia argentata</i>	—	15.9	30.6	—	46.5	2.1
Unknown	28.4	75.1	50.2	38.6	192.3	10.1
Total	50.9	1,634.3	495.6	41.6	2,222.4	100.0
Number of Species	3	7	7	2	8	

R.A.; Relative Abundance

Table 3. Mean abundance of larvae and juveniles in coastal waters off Samchunpo, Korea in 2001(unit: individuals/1,000 m³)

Species	Season				Total	R.A. (%)
	Spring	Summer	Fall	Winter		
<i>Engraulis japonicus</i>	8.8	160.8	777.2	–	946.8	42.9
<i>Konosirus punctatus</i>	–	15.5	11.2	–	26.7	1.2
<i>Sardinops melanostictus</i>	12.9	81.7	–	–	94.6	1.3
<i>Syngnathus schlegelii</i>	–	12.2	20.3	–	32.5	1.5
<i>Sebastes schlegelii</i>	2.2	–	–	–	2.2	0.1
<i>Platycephalus indicus</i>	–	–	11.4	–	11.4	0.5
<i>Hexagrammos agrammus</i>	22.7	–	–	12.5	35.2	1.6
<i>Hexagrammos otakii</i>	10.9	–	–	7.5	18.4	0.8
<i>Leiognathus nuchalis</i>	–	79.7	226.2	–	305.9	13.9
<i>Callionymus</i> sp.	–	37.3	71.5	–	108.8	4.9
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	–	15.3	–	–	15.3	0.7
<i>Pholis crassispina</i>	33.6	–	T–	–	33.6	1.5
<i>Pholis nebulosa</i>	51.8	–	–	–	51.8	2.3
<i>Omobranchius elegans</i>	–	25.3	178.7	–	204.0	9.3
<i>Parablennius yatabei</i>	–	–	–	36.7	36.7	1.7
<i>Scatella cristata</i>	–	13.6	74.3	–	87.9	4.0
Gobiidae	–	25.3	20.9	12.6	61.8	2.8
<i>Luciogobius guttatus</i>	–	10.8	–	–	10.8	0.5
<i>Limanda yokohamae</i>	12.9	–	–	–	12.9	0.6
<i>Cynoglossus joyneri</i>	–	–	5.1	–	5.1	0.2
<i>Rudarius ercodes</i>	–	18.0	36.0	–	54.0	2.4
<i>Takifugu niphobles</i>	–	19.8	29.2	–	49.0	2.2
Total	155.8	518.3	1,462.0	69.0	2,205.4	100.0
Number of Species	8	13	12	4	22	

R.A.; Relative Abundance

2. 종조성

1) 부유성 난

조사 해역에 출현한 부유성 난은 총 8개의 분류군으로, 멸치(*Engraulis japonicus*), 정어리(*Sardinops melanostictus*), 주둥치(*Leiognathus nuchalis*), 보구치(*Pennahia argentata*), 동갈양태속(*Callionymus* sp.), 돛양태과(*Callionymidae*), 납서대과(*Soleidae*) 및 미분류 난으로 분류되었다.

부유성 난은 겨울철을 제외한 모든 계절에 출현하였으며, 여름철인 8월에 최대의 출현량을 보였다.

부유성 난의 출현량을 보면, 멸치는 조사기간 동안 출현한 부유성 난의 55.7%를 차지하여 가장 우점하는 종으로 나타났으며, 주둥치가 22.1%, 정어리가 8.3%, 미분류 난이 10.1%를 차지하였다.

여름에는 멸치, 주둥치, 정어리 및 미분류 난 등 총 7종 1,634.3 inds./1,000 m³의 난이 출현하였고, 그 중 멸치가 957.8 inds./1,000 m³로 6월 전체 출현량의 58.6%로 가장 많았다. 다음은 주둥치가 378 inds./1,000 m³ 출현하여 출현량의 23.1%를 차지하였으며, 정어리가 176.9 inds./1,000 m³ 출현하여 출현량의 10.8%를 차지하였다.

가을에는 멸치, 주둥치 및 미분류 난이 총 7종 495.6 inds./

1,000 m³이 출현하였고, 그 중 멸치가 265.1 inds./1,000 m³로 9월 전체 출현량의 53.5%로 가장 많이 출현하였고, 다음으로 주둥치가 113.9 inds./1,000 m³ 출현하여 출현량의 23.0%를 차지하였으며, 미분류 난이 50.2 inds./1,000 m³ 출현하여 10.1%를 차지하였다.

봄에는 멸치와 정어리가 각각 16 inds./1,000 m³, 6.5 inds./1,000 m³, 미분류 난이 28.4 inds./1,000 m³ 출현하였으며, 12월에는 돛양태류와 미분류 난이 각각 3 inds./1,000 m³, 38.6 inds./1,000 m³ 출현하였다.

부유성 난의 연중 출현량을 비교해 볼 때, 멸치가 겨울을 제외한 봄, 여름, 가을에 걸쳐 고루 출현하여 가장 높은 출현빈도를 보였다. 출현 개체수는 멸치가 1,238.9 inds./1,000 m³으로 전체 출현량의 55.7%를 차지하였고, 다음이 주둥치로 491.9 inds./1,000 m³ 출현하여 22.1%를 차지하였다.

2) 자치어

조사기간 동안 자치어는 총 6목 16과 22개의 분류군이 출현하였는데, 그 중 20개 분류군은 종 수준까지, 1개 분류군은 속 수준까지, 1개 분류군은 과 수준까지 동정되었다.

자치어는 청어목(*Clupeiformes*) 어류가 49.5%로 양적으로 가장 우점하였으며, 농어목(*Perciformes*) 어류가 10종으로 종

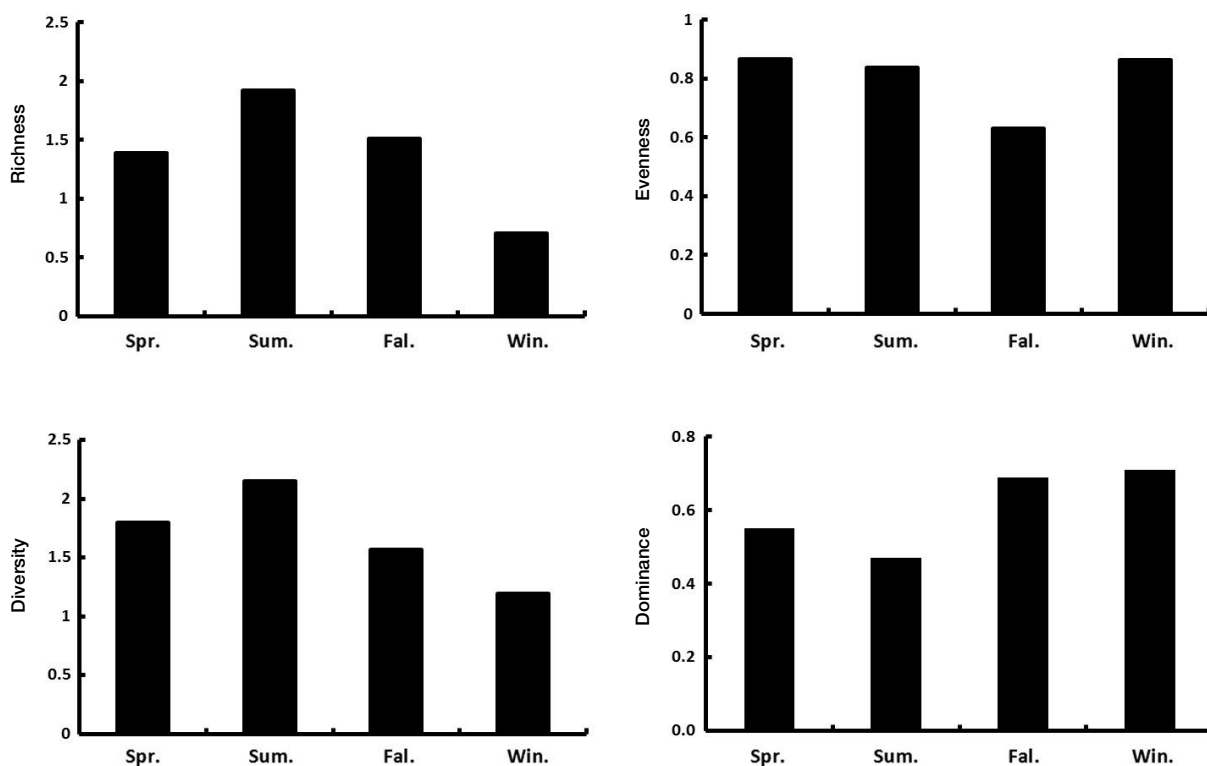


Fig. 2. Seasonal variation of richness, evenness, diversity, and dominance index of larvae and juveniles in coastal waters off Samchunpo, Korea in 2001.

수에서 가장 다양하였고, 양적으로는 40.8%를 차지하여 두 번째로 우점하였다. 그 중 봄에는 5목 6과 8종의 자치어가 출현하였고, 수온이 상승하는 여름에는 4목 10과 13종이 출현하여 가장 다양한 종이 출현하였다.

가을에는 6목 10과 12종의 자치어가 출현하여 가장 많은 출현 종수를 보였고, 수온이 가장 낮았던 12월에는 2목 3과 4종이 출현하여 연구기간 중 가장 적은 종이 출현하였다.

멸치과(Engraulidae)의 멸치가 조사기간 동안 출현한 자치어의 42.9%를 차지하여 극우점하였으며, 주둥치는 13.9%를 차지하였다.

앞동갈베도라치(*Omobrandchus elegans*)는 9.3%를 차지하였고, 조사기간 동안 출현한 자치어 중에서 이들 3개 종이 차지한 비율은 66.1%로 많이 분포하는 종들로 나타났으며, 나머지 19개 분류군은 33.9%를 차지하였다.

계절별로는 봄에 베도라치가 33.3%를 차지하여 극우점하였고, 다음은 청베도라치(*Parablennius yatabei*)가 21.6%, 수온이 상승하는 여름에는 멸치가 31.0%로 극우점하였으며, 다음은 정어리와 주둥치가 각각 15.8%, 15.4%로 우점하였다(Table 3).

가을에는 멸치가 53.2%, 주둥치가 15.5%, 앞동갈베도라치가 12.2%로 우점하였으며, 12월에는 점베도라치(*Pholis crassispina*)가 53.0% 출현하여 우점하였다.

3. 계절변동

자치어의 출현량은 봄에 155.8 inds./1,000 m³가 출현하여 연중 출현량의 7.1%로 가장 낮았으며, 여름에는 518.3 inds./1,000 m³ 자치어가 출현 전체 출현량의 23.5%로 나타나, 봄에 비하여 개체량과 출현종수가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 가을에는 1,462.0 inds./1,000 m³가 출현하여 전체 출현량의 66.3%로 출현 종수는 여름보다 적으나 출현량에서는 6월에 비해 아주 높게 출현하여 가장 많은 출현량을 나타냈고, 겨울에 접어들면서 69.3 inds./1,000 m³가 출현하여 연중 출현량의 3.1%를 차지하였다.

계절별 출현한 자치어를 종별로 살펴보면, 봄에는 총 8종이 출현하였고, 그 중 극우점종은 베도라치로 51.8 inds./1,000 m³가 출현하여 33.3%를 차지하였으며, 다음은 점베도라치가 33.6 inds./1,000 m³ 출현하여 21.6%를 차지하였고, 노래미가 22.7 inds./1,000 m³ 출현하여 14.6%를 차지하여, 이 해역에서 3월경 산란에 참여하는 종으로 나타났다. 여름에 총 13종이 출현하여, 그 중 멸치가 160.8 inds./1,000 m³가 출현하여 31.0%를 차지하여 극우점하였고, 다음은 정어리가 81.7 inds./1,000 m³ 출현하여 출현량의 15.8%를 차지하였고, 주둥치가 79.7 inds./1,000 m³가 출현하여 15.4%를 차지하여 3월과 완전히 달라지는 양

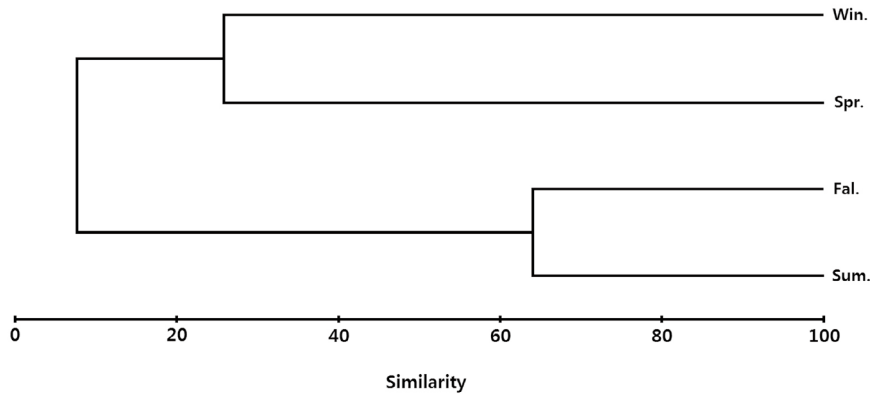


Fig. 3. Dendrogram based on the community similarity of each season by number of larvae and juveniles in coastal waters off Samchunpo, Korea in 2001.

상을 보였다. 가을에는 12종의 자치어가 출현하였고, 그 중 우점종은 멸치로 777.2 inds./1,000 m³가 출현하여 53.2%를 차지하였으며, 다음은 주둥치가 226.2 inds./1,000 m³로 15.5%를 차지하여, 우점종에서 여름과 비슷한 양상을 보였다. 겨울에는 쥐노래미, 노래미, 청베도라치, 망둥어과 어류 등이 출현하였는데, 쥐노래미과의 자치어가 출현한 3월과 비슷한 양상을 보였다.

이러한 결과로 볼 때 겨울과 봄에는 주로 쥐노래미과의 쥐노래미, 노래미, 황중베도라치과의 점베도라치, 베도라치와 같은 종들이 출현하여 추계~동계 산란종임을 알 수 있었다. 가을에는 멸치와 주둥치, 앞동갈베도라치, 12월에는 청베도라치에 의한 우점도가 높게 나타났다. 기타 실고기, 양태, 동갈양태속 어류, 미끈망둑, 문치가자미, 참서대, 그물코쥐치, 복섬이 소수 출현하였으며, 갈기베도라치도 1종 출현하였다.

4. 군집구조

풍부도 지수는 여름에 1.922로 가장 높게 나타났고 겨울에 가장 낮은 0.708을 나타내었으며, 다양도 지수는 여름에 가장 높게 나타났으며, 겨울에 가장 낮은 값을 나타내어 풍부도 지수와 비슷한 경향을 보였다. 반면, 우점도 지수는 겨울에 0.713으로 가장 높았으며, 여름에 0.468로 가장 낮은 값을 나타내었다. 균등도 지수는 가을에 가장 낮은 값을 보였으며, 봄에 가장 높은 값을 나타내었다(Fig. 2).

5. 유사도분석

계절별 군집의 유사도를 보면 여름과 가을이 그룹을 이루어 64.0%로 가장 가까운 중간 유사성을 띄었고, 봄과 겨울은 유사도 25.8%로 여름과 가을에 비해 낮은 중간 유사성이 나타났다. 그리하여 여름과 가을, 봄과 겨울로 크게 2개의 군집으로 나누어졌다(Fig. 3).

고찰

이 연구는 RN 80net를 이용하여 채집된 부유성 난 및 자치어의 종조성, 계절변동을 조사하였다. 조사 해역의 수온 범위는 수온이 가장 낮은 8.5°C에서 수온이 가장 높은 28.4°C의 범위로 19.9°C의 차이를 보였고, 진해만 북부 해역(Han *et al.*, 2018)의 8.7~27.8°C와 약간의 차이를 보였으며, 울산 남부연안(Go *et al.*, 2018)의 12.8~25.8°C으로 큰 차이를 보였다.

조사 해역의 계절별 부유성 난 및 자치어의 출현량(Tables 2, 3)을 보면, 겨울에 가장 적은 개체수와 출현종수를 보였고, 여름에 가장 많은 부유성 난의 개체수와 종수, 가을에 가장 많은 자치어의 개체수를 보였다. 이는 다수의 어종이 수온이 낮아지는 가을보다 수온이 높아지는 봄철에 산란한다는 것을 알 수 있고, 수온이 어류의 산란에 영향을 미친다는 것으로 판단된다.

이 연구에서는 총 6목 16과 22개의 분류군이 출현하였고, 농어목이 10개의 분류군이 출현하여 가장 우점하였다. 진해만 북부 해역(Han *et al.*, 2018)에서는 6목 13과 17개 분류군이 출현하였고, 농어목이 7개의 분류군으로 가장 우점하였다. 울산 남부연안(Go *et al.*, 2018)에서는 총 5목 13과 22개 분류군이 출현하였고, 농어목이 10개의 분류군으로 가장 우점하여 세 개의 연구에서 모두 농어목 어류가 가장 많이 출현하였다.

조사기간 중 출현한 개체수를 비교해보면 진해만 북부 해역(Han *et al.*, 2018)에서는 청어목 어류가 189.4 inds./1,000 m³가 출현하였으며, 멸치가 전체 출현 개체수의 51.79%로 가장 우점하였고, 주둥치가 12.6%, 앞동갈베도라치가 12.1%로 우점하였으며, 이들 3종이 전체 출현 개체수의 76.46%로 상당수 우점하였다. 울산 남부연안(Koh *et al.*, 2018)에서는 청어목 어류가 272 inds./1,000 m³가 출현하였으며, 멸치가 전체 출현 개체수의 75.0%로 가장 우점하였고, 까나리가 3.8%, 볼락이 2.5%순으로 우점하였으며, 이들 3종이 전체 출현 개체수의 81.8%로 상당수 우점하였다.

이러한 결과로 볼 때, 이 해역이 멸치와 주둥치의 산란장으로 이용되고 있음을 알 수 있었다. 부유성 난의 계절별 출현양상을 통하여 산란기를 추정해 보면, 멸치의 경우 봄, 여름, 가을에 걸쳐 난이 출현한 것으로 보아 장기간 산란이 지속적으로 이루어지며 주 산란기는 여름경으로 추정할 수 있었다. 주둥치와 동갈양태과의 난은 여름과 가을에 출현하여 산란기를 알 수 있었으며, 여름에 더 많은 부유성 난이 출현하는 것으로 보아 봄에서 여름으로 넘어가는 시기에 산란하는 종임을 추정할 수 있었다. 또한, 겨울과 봄에는 주로 쥐노래미과의 쥐노래미, 노래미, 황줄베도라치과의 점베도라치, 베도라치와 같은 종들이 출현하여 추계~동계 산란종임을 알 수 있었다.

이 연구에서는 멸치가 겨울에는 출현을 하지 않고 봄부터 가을까지 출현하였는데, 이는 멸치는 봄에서 초가을까지 긴 시간 동안 지속적으로 산란하는 어종이고, 최적 산란 수온은 15~20°C(Cha and Shim, 1988)라는 연구 결과와 일치하였다. 진해만 북부 해역(Han *et al.*, 2018), 울산 남부연안(Koh *et al.*, 2018), 이 연구결과를 비교해보면 계절별 멸치의 개체수 차이가 있는데, 이는 계절별 각 지역의 수온에 따라 멸치의 최적 수온에 의해 그 출현량의 변동이 있는 것으로 판단된다.

진주만의 경우 진주만 북쪽에 위치한 남강댐 방류수의 영향을 받아 내측에서 산란된 어란이 표층수의 흐름을 따라 외측으로 이동되었고 부화된 자치어가 외측에서 많이 채집된 것으로 추정되었다. 특히 남강댐에서 방류량이 많은 시기인 봄과 여름에는 어란(8월)과 자치어(6~8월)가 방류수 영향을 많이 받는 것으로 나타났다(Myoung, 2017).

다른 지역의 연구와 연구지역 주변 해역을 비교하면서 지형, 환경에 따른 부유성 난과 자치어의 분포의 차이를 알 수 있었으며, 삼천포 해역의 부유성 난 자치어에 대한 연구는 활성화되지 않아 삼천포 해역의 과거부터 현재의 부유성 난과 자치어의 변화는 파악하기 어려운 것으로 판단된다. 현재 기후변화로 인한 수온 상승, 댐과 공사 등 외부요인에 의한 환경변화로 인해 부유성 난 및 자치어의 변화가 생겼을 것으로 판단되며, 이를 파악하기 위해서 지속적인 부유성 난 및 자치어의 자원 조사가 필요하다고 생각되며, 그 외 수온의 변화나 어류상의 변화에 대한 연구도 필요하다고 생각된다.

요 약

경상남도 삼천포 연안에서 2001년에 계절별로 총 4회(3월, 6월, 9월, 12월)에 걸쳐 만조시에 채집된 어류의 부유성 난 및 자치어의 종조성 및 계절변동을 연구하였다.

연구기간 동안 채집된 부유성 난은 8개 분류군으로, 멸치, 정어리, 주둥치, 보구치, 동갈양태과, 돛양태류, 납새대류 및 기타 난 등으로 분류되었고, 출현량을 보면, 멸치의 난은 연구기간

동안 출현한 부유성 난의 52.8%를 차지하여 가장 우점도가 높았으며, 주둥치의 난은 20.6%, 정어리의 난은 12.4%를 차지하였으며, 기타 난은 9.5%를 차지하였다.

자치어는 총 6목 16과 22개의 분류군이 출현하였는데, 멸치가 연구기간 동안 출현한 자치어의 42.1%를 차지하여 극우점하였으며, 주둥치가 13.6%를 차지하였다. 앞동갈베도라치와 정어리는 각각 9.1%와 6.2%를 차지하였고, 연구기간 동안 출현한 자치어 중에서 이들 4개의 분류군이 70.9%로 대부분을 차지하였다.

자치어의 계절별로는 봄에 베도라치가 33.3%를 차지하여 극우점하였고, 다음은 청베도라치(*Parablennius yatabei*)가 21.6%, 수온이 상승하는 여름에는 멸치가 31.0%로 최우점하였으며, 다음은 정어리와 주둥치가 각각 15.8%, 15.4%로 우점하였고, 가을에는 멸치가 53.2%, 주둥치가 15.5%, 앞동갈베도라치가 12.2%로 우점하였으며, 겨울에는 점베도라치(*Pholis crassispina*)가 53.0% 출현하여 우점하였다.

조사기간 중 여름에 다양도 지수가 2.148로 가장 높게 나타났고 겨울에 가장 낮은 1.196을 나타내었다. 계절별 종별 출현 개체수로 유사도 분석을 수행한 결과 여름과 가을이 가장 가깝게 유집되었고, 봄과 겨울이 그 다음으로 가깝게 유집되었다.

참고 문헌

- Cha, S.S. and K.J. Park, 1994. Distribution of the Ichthyoplankton in Kwangyang Bay. Korean J. Ichthyol., 6(1), 60-70.
- Cha, S.S. and J.H. Shim, 1988. Seasonal variation of the pelagic fish egg community in the Mid-east coastal waters of the Yellow sea. J. Oceanol. Soc. Kor., 23(4), 184-193.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick, 1994. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environment Research Council. Plymouth Marine Laboratory. Plymouth, UK, 144.
- Han, K.H., 1999. Distribution of Ichthyoplankton off Bogil Island in Wando, Korea. Bull. Yosu Nat'l. Univ., 14(2), 547-552.
- Han, K.H., D.Y. Kim, D.S. Jin, S.S. Shin, S.R. Baik and S.H. Oh, 2001. Seasonal Variation and Species Composition of Ichthyoplankton in Sunchon Bay, Korea. Korean J. Ichthyol., 13(2), 136-142.
- Han, K.H., Y.M. Yoon and H.C. Yang, 1998. Seasonal Variation in Abundance and Species Composition of Fishes Community off Myodo in Kwangyang Bay, Korea. Bull. Yosu Nat'l. Univ., 13(2), 1025-1046.
- Han, K.H., T.S. Yu, J. Lee and S.H. Lee, 2018. Seasonal Variation in Species Composition of Ichthyoplankton in Northern Jinhae Bay, Korea. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 51(1), 72-78.
- Hjort, J., 1926. Fructuations in the year classes of important food fishes. J. Cons. int. Expior. Mer., 1, 5-38.
- Joo, S.P., 1997. List of animals in Korea. The Korean Society of Systematic Zoology. Academy Books, 489pp.

- Kim C.K. and Y.J. Kang, 1991. Fish assemblage collected by gill net in the coastal shallow water off Shinsudo, Samchonpo. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 24(2), 99-110.
- Kim, Y.U., 1981. Fish eggs and larvae of the coastal waters in Korea. The Ocean Science Institute of National Fisheries University of Busan, Busan, Korea, 109pp.
- Kim, S.A., 1991. fishery resources assessment theory, WooSung media group, Seoul, 175pp.
- Kim, Y.H. and Y.J. Kang, 1992. Community Structure and Variation of Juvenile Fishes in the Coastal Waters, Shinsudo, Samchonpo. Korean J. Ichthyol., 4(1), 87-95.
- Kim, Y.H. and Y.J. Kang, 1995. Community structure and variation of juveniles in coastal water, Shinsudo, Samchonpo. Korean J. Ichthyol., 7(2), 177-186.
- Koh, S.J., B.R. Chu, T.S. Yu, S.H. Lee and K.H. Han, 2018 Species Composition and Seasonal Variation of Ichthyoplankton in Coast of Southern Ulsan, Korea. Jour. Fish. Mar. Sci. Edu., 30(3), 137-143.
- Lee, S.G., 2000. Dictionary of Korean Fish Names. Institute of Fishery Science, 222pp.
- Myoung, S.H., 2017. Species composition and community structure of fish eggs, larvae, and young fish collected inside and outside of Jinju Bay. Doctoral dissertation, Pukyong National University, Busan, Korea, 191pp.
- Nelson, J.S., 1994. Fishes of the world (3rd ed.). John Wiley & Sons, New York, 550pp.
- Okiyama, M. (ed.), 1988. An atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai University Press, 1154pp.
- Saville, A. and D. Schnack, 1981. Some thoughts on the current status of studies of fish egg and larval distribution and abundance. Rapp. P-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer., 178, 153-157.
- Smith, P.E. and S.L. Richardson, 1997. Standard techniques for fish eggs and larvae surveys. FAO Fisheries Technical paper. 100.
- Yoon, B.I., 2018. Distribution of Ichthyoplankton in Coastal waters of Nanji-Island. Master Thesis, Chonnam University, Yeosu, Korea, 34pp.

전남 강진만 연안에서 부유성 난 및 자치어의 계절분포

Distribution of Ichthyoplanktons in Gangjin Bay, Korea

박진우¹, 이성훈², 노태형², 한경호^{2,*}Jin-Woo Park¹, Sung-Hoon Lee², Tae-Hyoung Roh², Kyeong-Ho Han^{2,*}¹한국어류연구소, ²전남대학교 해양기술학부¹Korea Fish Research & Institute, Jeju 63643, Republic of Korea²Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea*Correspondence to Kyeong-Ho HAN
E-mail: aqua05@jnu.ac.kr

Received December 27, 2018

Revised January 16, 2019

Accepted February 11, 2019

Abstract : The ichthyoplanktons were sampled during four different months (February, May, August, and November, 2015) to study distribution of the ichthyoplankton in the Gangjin Bay. During the study, the collected fish eggs were identified as belonging to 7 species. The most of dominant species *Engraulis japonicus* were accounted for 31.22% of the total fish eggs, followed by the others (25.17%) and *Konosirus punctatus* (16.09%) and *Leiognathus nuchalis* (15.96%). The larvae and juveniles were identified into 18 taxa. The dominant species *Konosirus punctatus* accounted for 27.42% of the total larvae and juveniles, followed by *Leiognathus nuchalis* (12.78%), *Sebastes schlegelii* (11.55%) and *Ilisha elongata* (11.34%). These 4 taxa constituted 63.09% of the total collected larvae and juveniles.

Keywords : Ichthyoplankton, Gangjin Bay, Juvenile, Fish eggs, Species composition

서론

강진만은 입구가 좁은 반 폐쇄형 지역으로, 만 북측이 탐진강과 연결된 하구환경이다(Park, 2002). 폐쇄적인 만의 특성상, 만 자체의 고유한 환경 특성과 장마철 집중적인 담수 유입에 의한 염분 하강(Wolff, 1983), 부유물에 의한 탁도(Roads and Young, 1970), 유기물의 유입으로 인한 오염(Pearson, 1975) 등에 의하여 생물군집의 구조가 영향을 받는다(Park, 2002).

일반적으로 하구 수역은 담수와 해수가 혼합되어 기수역을 형성하고 있어서 어류의 먹이가 될 수 있는 플랑크톤이 풍부하여 다양한 어류상을 나타내고 있다. 또한 하구역은 조수의 왕래에 의하여 유량, 유속, 방향 등이 수시로 변하고 염도의 농도구배가 항상 동적으로 변화되면서 특수한 생태계를 구성하고 있어 여기에 서식하고 있는 어류도 해수 어류, 기수성 및 담수 어류 등의 다양한 어종이 분포하고 있다.

우리나라에서 난 및 자치어 분포에 관한 연구는 울진(Han and Kim, 2007), 제주도 북방 함덕(Go *et al.*, 1991), 월성 주변(Cha *et al.*, 1991), 완도 보길도(Han, 1999) 및 여수 순천만(Han *et al.*, 2001) 연안 등에서 이루어졌으며, 이 연구가 진행되었던 강진만에서 이루어진 난 및 자치어 분포에 관한 연구는

Park (2002)의 석사 학위 연구 이후 이루어지지 않았다.

강진만은 남해안의 청정 해역으로 각종 연안 양식장과 어장이 산재해 어민의 소득증대에 일익을 담당하고 있다(Kang *et al.*, 1999). 그러나 2006년 장흥다목적댐이 완공되어 담수유입량의 변화가 예상되고 이 해역의 생태계 변화가 일어난 것으로 예상된다.

따라서 이 연구는 Park (2002)의 연구에서 진행하였던 같은 정점에서 부유성 난 및 자치어 분포 변화를 비교하고, 이들 중의 계절적 양적변동, 우점도 및 군집분석을 하였다.

재료 및 방법

이 연구는 2015년 2월부터 5월, 8월, 11월까지 계절별로 총 4회 진행되었고 전라남도 강진만 연안에서 Park (2002)과 같은 6개 정점에서 부유성 난 및 자치어를 채집하였다.

각 정점의 환경 특성을 파악하기 위하여 수온, 염분을 각각 T-S meter (Type MC 5, U.S.A.), Salinity meter (YSI #33, U.S.A.)를 사용하여 측정하였다.

채집에 관한 일반적인 사항들은 Smith and Richardson

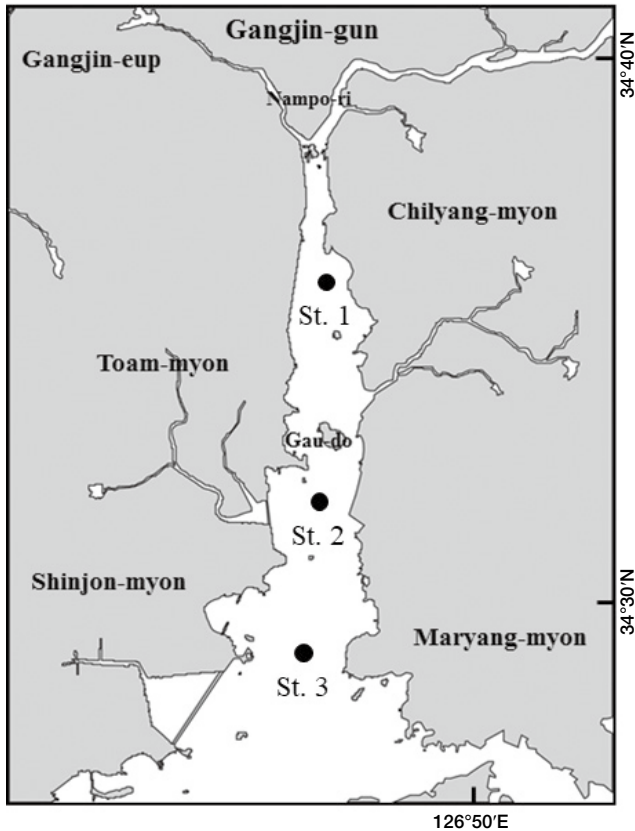


Fig. 1. Map showing the sampling area in coastal waters of Gangjin Bay, Korea in 2015.

(1977)에 따랐으며, 채집한 표본은 선상에서 10% 중성 포르말린으로 고정된 후 실험실에서 난과 자치어만을 분리하였으며, 해부현미경(Nikon SMZ-10, Japan)을 이용하여 종별로 동정하여 종조성 및 목록을 작성하였다. 채집된 어종의 분류는 Kim (1981) 및 Okiyama (1988)를, 분류체계 및 학명은 Nelson (1944), Joo (1997)와 Lee *et al.* (2000)를 따랐다.

채집된 어류를 월별로 출현종수, 개체수/1,000 m³ (inds./1,000 m³)를 산출하여 양적인 변동을 비교하였고, 생물 군집구조 분석을 위하여 다양도(Diversity), 우점도(Dominance), 균등도(Evenness) 및 풍부도(Richness) 지수를 구하였다. 생물 군집의 계절별 유사성을 파악하기 위하여 Primer 5.0 program (Clarke and Warwick, 1994)을 이용하여 총 출현한 개체수를 토대로 군집간의 유사도(Similarity)를 산출하였다.

$$\text{유사도 지수} : A_{ij} = \sum (\Pi h \times p_{jh}) / \sqrt{(\sum \Pi h^2 \times p_{jh}^2)}$$

i, j : 비교하고자 하는 2개의 종

h : 각각의 달

P : 1년 동안 채집된 한 종의 총개체수에 대한 어느 특정한 달에 채집된 개체수의 비율

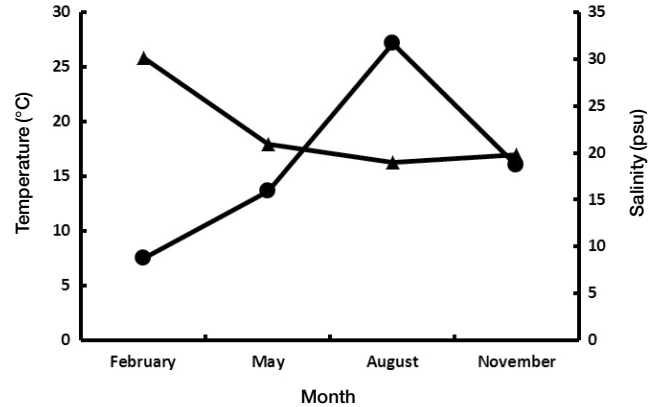


Fig. 2. Monthly variation of mean water temperature (°C) (●-●) and salinity (psu) (▲-▲) in coastal waters of Gangjin Bay from February to November, 2015.

결 과

1. 환경조사

강진만 연안의 수온 분포를 측정한 결과, 하계인 8월에 25.7~29.2°C의 범위를 보이며 평균 27.2°C로 나타났고, 동계인 2월에 6.1~8.3°C의 범위를 보여 평균 7.5°C로 나타났다.

계절별 염분은 동계인 2월에 22.1~31.7 psu의 범위를 나타내, 평균 30.2 psu로 가장 높게 나타났고, 하계인 8월에 11.4~27.3 psu의 범위를 나타내, 평균 19.0 psu로 가장 낮게 나타났다(Fig. 2).

2. 출현종의 조성

1) 부유성 난

강진만 해역에 출현한 부유성 난은 총 8개의 분류군이 출현하여, 멸치(*Engraulis japonicus*), 주둥치(*Leiognathus nuchalis*), 보리멸(*Sillago sihama*), 정어리(*Sardinops melanostictus*), 전어(*Konosirus punctatus*), 도다리(*Pleuronichthys cornutus*), 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 및 미분류 난 등으로 분류되었고, 7개 분류군은 중 수준까지 동정되었다(Table 1).

부유성 난의 출현량을 보면, 멸치가 전체 출현한 부유성 난의 31.2%를 차지하여 가장 우점하는 종으로 나타났으며, 미분류 난은 21.6%로 나타났다. 다음으로 전어가 16.1%, 주둥치는 16.0%를 차지하였다.

계절별 출현량은 5월에 전어와 넙치, 멸치 및 미분류 난 등의 총 5종의 난이 출현하여, 그 중 전어가 64개체/1,000 m³로 27.47% 출현하였으며, 멸치는 29개체/1,000 m³ 출현하여 12.45%를 차지하였다. 미분류 난은 134개체/1,000 m³ 출현하

Table 1. Mean abundance of eggs in coastal waters of Gangjin Bay, Korea in 2015(unit: inds./1,000 m³)

Species	Month				Total	R.A.(%)
	Feb.	May	Aug.	Nov.		
<i>Engraulis japonicus</i>	–	29	176	22	227	31.2
<i>Leiognathus nuchalis</i>	–	–	116	–	116	16.0
<i>Sillago sihama</i>	–	–	51	–	51	7.0
<i>Sardinops melanostictus</i>	–	2	24	–	26	3.6
<i>Konosirus punctatus</i>	–	64	53	–	117	16.1
<i>Pleuronichthys cornutus</i>	3	–	–	–	3	0.4
<i>Paralichthys olivaceus</i>	–	4	–	–	4	0.6
Unknown	–	134	49	–	183	25.2
Total	3	233	469	22	727	100.00
Number of Species	1	5	6	1	8	

R.A.; Relative Abundance.

Table 2. Mean abundance of larvae and juveniles in coastal waters of Gangjin Bay, Korea in 2015(unit: inds./1,000 m³)

Species	Month				Total	R.A.(%)
	Feb.	May	Aug.	Nov.		
<i>Engraulis japonicus</i>	–	11	21	4	36	7.4
<i>Ilisha elongata</i>	–	24	31	–	55	11.3
<i>Sardinops melanostictus</i>	–	1	9	–	10	2.1
<i>Konosirus punctatus</i>	–	74	59	–	133	27.4
<i>wPlatycephalus indicus</i>	–	–	4	2	6	1.2
<i>Sebastes inermis</i>	–	19	–	–	19	3.9
<i>Sebastes schlegelii</i>	8	17	28	3	56	11.6
<i>Sillago sihama</i>	–	–	32	2	34	7.0
<i>Leiognathus nuchalis</i>	–	21	41	–	62	12.8
<i>Pholis nebulosa</i>	19	21	–	–	40	8.3
<i>Synechogobius hasta</i>	–	5	–	–	5	1.0
<i>Sphyræna pinguis</i>	–	–	3	2	5	1.0
<i>Paralichthys olivaceus</i>	–	4	2	–	6	1.2
<i>Limanda yokohamae</i>	–	2	–	–	2	0.4
<i>Cynoglossus joyneri</i>	–	3	2	–	5	1.0
<i>Cynoglossus robustus</i>	–	–	2	–	2	0.4
<i>Takifugu niphobles</i>	2	2	3	–	7	1.4
<i>Takifugu rubripes</i>	–	–	2	–	2	0.4
Total	29	204	239	13	485	100.0
Number of Species	3	13	14	5	18	

R.A.; Relative Abundance.

여 57.51%를 차지하였고, 나머지 2종인 넙치와 정어리가 각각 4개체/1,000 m³, 2개체/1,000 m³이 출현하여 출현량의 2.58%를 차지하였다.

8월에는 총 6종의 부유성 난이 출현하여 연중 가장 많은 양이 출현하였는데, 그 중 멸치가 176개체/1,000 m³ 출현하여 37.53%로 가장 우점하였다. 다음으로 주둥치(24.73%), 전어(11.30%) 순으로 나타났고, 보리멸과 미분류 난, 보리멸이 각각 51개체/1,000 m³, 49개체/1,000 m³ 및 24개체/1,000 m³ 출현하여 이들 3종이 26.44%를 차지하였다.

11월에는 멸치가 22개체/1,000 m³ 출현하였고, 수온이 가장 낮은 2월에는 도다리가 3개체/1,000 m³ 출현하였다.

2) 자치어

자치어는 총 5목 14과 18개의 분류군이 출현하였어 종 수준까지 동정되었다(Table 2).

그 중 봄철인 5월에는 5목 11과 13개의 분류군이 출현하였고, 여름철인 8월에는 5목 11과 14개의 분류군이 출현하였다.

수온이 하강하기 시작하는 가을철인 11월에는 3목 5과 5종

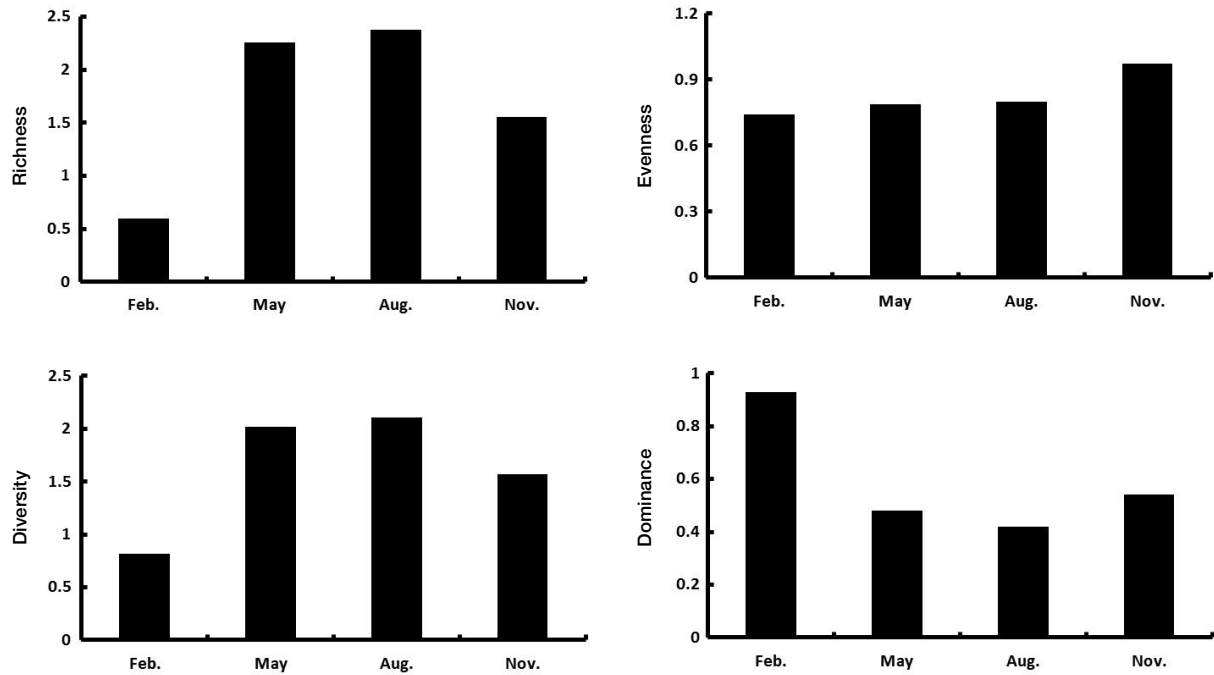


Fig. 3. Seasonal variation in richness, evenness, diversity, and dominance index of larvae and juveniles in coastal water of Gangjin Bay, Korea in 2015.

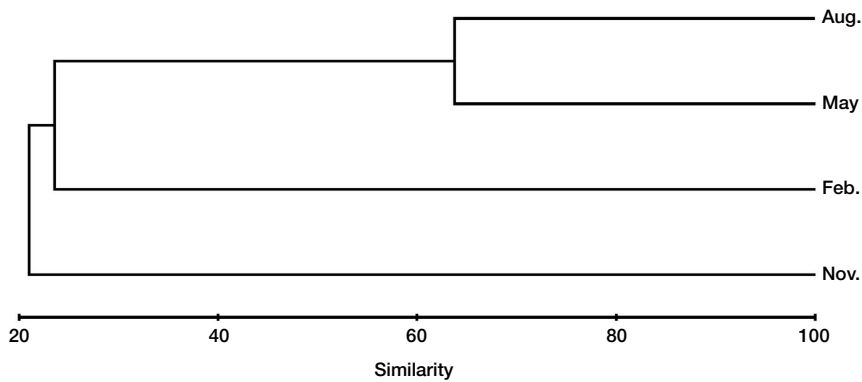


Fig. 4. Dendrogram based on the community similarity of each season by number of larvae and juveniles in coastal waters of Gangjin Bay, Korea in 2015.

의 자치어가 출현하여, 여름철에 비하여 많이 감소하는 것을 볼 수 있었고, 겨울철인 2월에는 3목 3과 3종이 출현하였다.

청어목(Clupeiformes)에 속하는 어류 중 전어가 전체 출현한 자치어의 27.4%를 차지하여 최우점하였으며, 주둥치는 12.8%를 차지하였다.

조피볼락(*Sebastes schlegelii*)과 준치(*Ilisha elongata*)는 각각 11.6%와 11.3%를 차지하였고, 전체 출현한 자치어 중에서 이들 4개 종이 차지한 비율은 63.1%로 많이 분포하는 종들로 나타났으며, 나머지 14개 분류군은 36.9%를 차지하였다.

자치어의 출현량은 수온이 낮은 2월에 29개체/1,000 m³ 출현

하여 연중 출현량에 6.0%를 차지하였으며, 수온이 상승하기 시작한 5월에는 개체/1,000 m³가 출현하여 전체 출현량의 42.1%로 나타났다.

여름철인 8월에는 239개체/1,000 m³가 출현하여 전체 출현량의 49.3%로 출현량, 출현종수 모두 연중 가장 높게 나타났으며, 가을철인 11월에 접어들면서 13개체/1,000 m³가 출현하여 연중 출현량의 2.7%로 가장 낮았다.

출현한 자치어를 종별로 살펴보면, 5월에는 총 13종이 출현하였고, 그 중 전어가 74개체/1,000 m³가 출현하여 5월 36.3%로 가장 우점하였다. 다음으로 준치가 24개체/1,000 m³가 출현

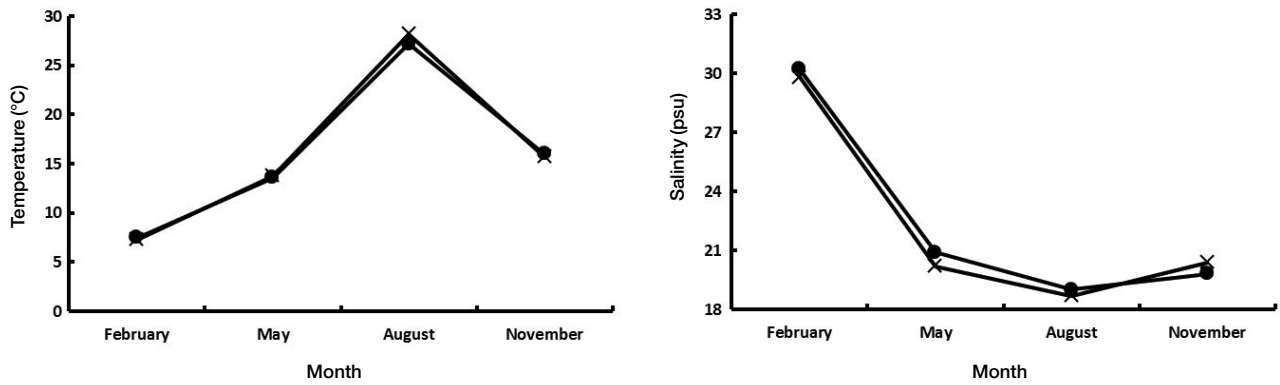


Fig. 5. Monthly variation of water temperature and salinity in Gangjin Bay, Korea in 2000 (Park, 2002: × - ×) and 2015 (Present study: ● - ●).

Table 3. The list of fish from previous and present studies in Gangjin Bay, Korea in 2015

Orders	Families	Species	Park (2002)	Present study (2015)	
Clupeiforme	Engraulidae	<i>Engraulis japonicus</i>	●	●	
		<i>Thryssa hamiltoni</i>	●		
	Pristigasteridae	<i>Ilisha elongata</i>	●	●	
		<i>Sardinops melanostictus</i>	●	●	
	Clupeidae	<i>Konosirus punctatus</i>	●	●	
Scorpaeniformes	Platycephalidae	<i>Platycephalus indicus</i>	●	●	
		<i>Sebastes inermis</i>		●	
	Scorpaenidae	<i>Sebastes schlegelii</i>		●	
Perciformes	Apogonidae	Unknown	●		
	Sillagnidae	<i>Sillago sihama</i>	●	●	
	Leiognathidae	<i>Leiognathus nuchalis</i>	●	●	
	Callyonimidae	<i>Callionymus sp.</i>	●		
	Pholididae	<i>Pholis nebulosa</i>	●	●	
	Blenniidae	<i>Scartella cristata</i>	●		
		<i>Omobranchus elegans</i>	●		
	Tripterygiidae	Unknown	●		
			<i>Acentrogobius pflaumi</i>	●	
			<i>Pterogobius zonoleucus</i>	●	
	Gobiidae		<i>Synechogobius hasta</i>	●	●
			<i>Periophthalmus modestus</i>	●	
			<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	●	
			Unknown	●	
	Sphyraenidae	<i>Sphyraena pinguis</i>	●	●	
Pleuronectiformes	Paralichthyidae	<i>Paralichthys olivaceus</i>		●	
	Pleuronectidae	<i>Limanda yokohamae</i>		●	
		<i>Eopsetta grigorjewi</i>	●		
	Cynoglossidae	<i>Cynoglossus joyneri</i>	●	●	
		<i>Cynoglossus robustus</i>		●	
Tetraodontiformes	Monacanthidae	<i>Rudarius ercodes</i>	●		
	Tetraodontidae	<i>Takifugu niphobles</i>		●	
		<i>Takifugu rubripes</i>		●	
Number of Species			24	18	

하여 11.8%를 차지하였고, 주둥치와 베도라치(*Pholis nebulosa*)가 각각 21개체/1,000 m³로 10.3%씩 차지하였다.

8월에는 총 14종이 출현하였고, 그 중 전어가 59개체/1,000

m³가 출현하여 24.7%로 5월과 같이 우점하였고, 주둥치가 41개체/1,000 m³로 17.2%를 차지하였다. 보리멸이 32개체/1,000 m³로 13.4%, 준치가 31개체/1,000 m³로 13.0%, 조피볼락이 28

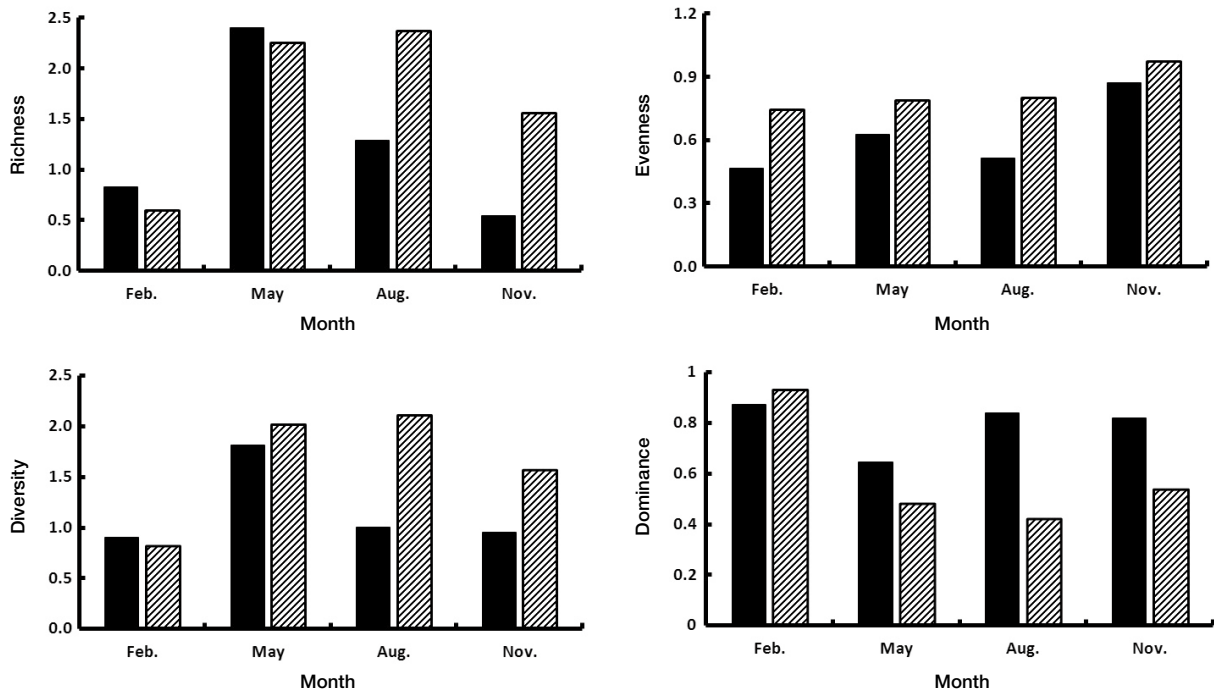


Fig. 6. Community indices at each month in Gangjin Bay, Korea in 2000 (Park, 2002: ■) and 2015 (Present study: ▨).

개체/1,000 m³로 11.7%, 멸치가 21개체/1,000 m³로 8.8% 순으로 나타났다.

11월에는 총 5종의 자치어가 출현하였으며, 그 중 우점종은 멸치로 4개체/1,000 m³가 출현하여 30.8%를 차지하였으며, 다음은 조피볼락이 3개체/1,000 m³로 23.1%를 차지하였다. 기타 양태 (*Platycephalus indicus*), 보리멸 및 꼬치고기 (*Sphyrna pinguis*) 등 3종이 출현량의 46.2%를 차지하였다.

2월에는 베도라치가 19개체/1,000 m³로 65.5%로 가장 우점하였고, 조피볼락이 8개체/1,000 m³로 27.6%, 복섬이 2개체/1,000 m³로 출현량의 6.9%로 나타났다.

3. 군집구조

2015년 강진만에서 채집되었던 자치어의 월별 종 풍부도 지수는 0.594~2.374로 8월에 가장 높았으며, 2월에 가장 낮았다. 균등도 지수는 0.743~0.972로 11월에 가장 높았으며, 11월을 제외한 2월, 5월, 8월은 비슷한 경향을 보였다. 다양도 지수는 0.817~2.109로 8월에 가장 높은 값을 나타내었고, 2월에 출현 종이 없어 가장 낮은 풍부도 지수 그래프와 비슷한 경향을 나타냈다. 우점도 지수는 0.418~0.931로 2월에 가장 높았고, 5월과 8월에 비교적 낮은 값을 나타내었으며, 여름철에 비교적 높게 나타나 풍부도 지수 및 다양도 지수와는 반대 경향을 나타내었다(Fig. 3).

계절별 군집의 유사도(Fig. 4)를 보면, 봄과 여름이 그룹(A)를 이루어 63.80%로 가장 가까운 중간 유사성을 띄었고, 그룹

(A)와 겨울은 그룹(B)를 이루어 23.60%로 봄과 여름에 비해 낮은 중간 유사성이 나타났다. 그룹(B)와 가을은 그룹(C)를 이루어 21.01%로 가장 낮은 중간 유사성이 나타났다. 그리하여 그룹 A, 그룹 B, 그룹 C로 크게 3개의 군집으로 나누어졌다.

고 찰

평균 수온은 Park (2002)의 연구에서 8월에 28.2°C로 가장 높았고, 2월에 7.3°C로 가장 낮게 나타났으며, 이 연구에서도 8월에 27.2°C로 가장 높았고, 2월에 7.5°C로 낮게 나타나 여름철 평균 수온은 근소하게 낮았으나, 겨울철 평균 수온은 높은 차이를 보였다.

평균 염분은 Park (2002)의 연구에서 2월에 29.8 psu로 가장 높았고, 8월 18.7 psu로 가장 낮게 나타났으며, 이 연구에서는 2월에 30.2 psu로 가장 높았고, 8월에 24.9 psu로 나타나 과거 연구보다 높게 나타났다. 여름철 염분이 낮게 나타난 이유로는 한반도 특성상 하계에 강수량이 많아, 이로 인하여 담수의 유입이 많아져 염분이 낮게 나타난 것으로 생각된다. 또한, 2006년 탐진강에 장흥다목적댐이 건설되었고, 강진만 해역의 담수의 유입이 크게 줄어 이 연구에서 염분이 Park (2002)에 비해 높게 측정 되었을 것이라 판단된다.

연구기간 중 출현한 자치어의 종수는 Park (2002)에서 총 5목 16과 24개의 분류군이 출현하였으며, 2000년 5월에 18개의

분류군으로 가장 많은 종이 출현하였고, 11월에 3개의 분류군으로 가장 적은 종수를 나타내었다. 이 연구에서는 총 5목 14과 18개의 분류군이 출현하여 2015년 8월에 14개의 분류군으로 가장 많은 종이 출현하였고, 2월에 1종이 출현하였다.

Park (2002)에는 출현하지 않았지만 이번 연구에서 새롭게 출현한 종은 볼락, 조피볼락, 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 문치가자미(*Limanda yokohamae*), 개서대(*Cynoglossus robustus*), 복섬, 자주복(*Takifugu rubripes*)으로 총 7종이었다. 또한 이전 연구(Park, 2002)에서는 출현하였지만, 이번 연구에서 출현하지 않은 종은 풀반지(*Thryssa hamiltoni*), 동갈돔과(Apogonidae) 어류, 동갈양태속(*Callionymus* sp.) 어류, *Scartella cistata* (Han and Hwang, 2003), 앞동갈베도라치(*Omobranchus elegans*), 먹도라치과(Triptyeriidae) 어류, 줄망둑(*Acentrogobius pflaumi*), 흰줄망둑(*Pterogobius zonoleucus*), 말뚝망둑(*Periophthalmus modestus*), 두줄망둑(*Tridentiger trigonocephalus*), 망둑어과(Gobiidae) 어류, 물가자미(*Eopsetta grigorjewi*), 그물코취치(*Rudarius ercodes*) 등 13개의 분류군으로 확인되었다(Table 3).

Park (2002)의 연구에서는 풀망둑(*Synechogobius hasta*)이 32.86%를 차지하여 최우점하였고, 주둥치가 16.52%, 베도라치가 12.41%, 흰줄망둑이 11.89%를 차지하여 우점하는 종으로 나타났다. 이번 연구에서는 전어, 주둥치, 조피볼락, 준치가 우점하는 종으로 나타나 과거 연구와 차이를 보였는데, 과거 연구에 비하여 정착성 어류인 망둑어과 어류가 줄어들고 전어, 조피볼락, 준치와 같은 회유성 어류가 많이 채집되어 이와 같은 결과가 나온 것으로 생각된다. 또한, 과거에 망둑어과 어류가 6개의 분류군이 나왔던 결과에 비하여 이 연구에서는 1개의 분류군이 출현하여, 매립 사업, 농업용수 등의 영향으로 강진만 연안 해양생태계의 변화가 망둑어과 어류의 산란 및 서식지에 영향을 주었을 것이라 생각된다.

풍부도 지수는 Park (2002)의 연구에서 5월에 2.402로 가장 높았고, 11월에 0.546으로 가장 낮았으며, 이 연구에서는 8월에 2.374로 가장 높았고, 2월에 0.594로 가장 낮았다. 균등도 지수는 Park (2002)의 연구에서 10월에 0.872로 가장 높았고, 2월에 0.467로 가장 낮았으며, 이 연구에서는 10월에 0.972로 가장 높았고, 2월에 0.743으로 가장 낮았다. 다양도 지수는 Park (2002)의 연구에서 5월에 1.812로 가장 높았고, 2월에 0.908로 가장 낮았으며, 이 연구에서는 8월에 2.109로 가장 높았고, 5월에 2.020으로 가장 낮아 풍부도 지수 그래프와 유사한 형태를 보였다. 우점도 지수는 Park (2002)의 연구에서 2월에 0.872로 가장 높았고, 5월에 0.647로 가장 낮았으며, 이 연구에서는 2월에 0.931로 가장 높았고, 8월에 0.418로 가장 낮았다(Fig. 6).

Park (2002)과 이번 연구를 비교하면서 수질환경에 따른 부유성 난과 자치어의 분포의 차이를 알 수 있었으며, 강진만 연안의 부유성 난 자치어에 대한 연구는 주기적으로 활성화 되지

않아 강진만 연안의 과거부터 현재의 부유성 난과 자치어의 변화의 원인은 파악하기 어려운 것으로 판단된다. 현재 기후변화로 인한 수온 변화, 주변 공사나 외양수의 유입 등 외부요인에 의한 환경변화로 인해 부유성 난 및 자치어의 변화가 생겼을 것으로 판단되며, 이를 파악하기 위해서 지속적인 부유성 난 및 자치어의 자원 조사가 필요하다고 생각되며, 그 외 수온의 변화나 어류상의 변화에 대한 연구도 필요하다고 생각된다.

요 약

전라남도 강진만 연안의 수질환경 및 군집구조의 변화를 13년 전의 연구와 비교 분석하고자 2015년 2월, 5월, 8월, 11월까지 총 4회에 걸쳐 강진만 연안에 출현하는 부유성 난 및 자치어를 채집하였다.

이 연구에서 출현한 어류는 총 5목 14과 18개의 분류군 485개체/1,000 m³이 출현하였고, Park (2002)에서는 5목 16과 24개의 분류군 2,699개체/1,000 m³로 이 연구에서 적은 분류군과 개체수가 출현하였다.

우점종에 있어서 이 연구에서 전어가 133개체/1,000 m³로 27.42%, 주둥치가 62개체/1,000 m³로 12.78%, 조피볼락이 56개체/1,000 m³로 11.55%, 준치가 55개체/1,000 m³로 11.34% 순으로 우점하여, 과거 Park (2002)의 연구에서 진행되었던 우점종인 풀망둑, 주둥치, 베도라치, 흰줄망둑과 차이를 보였다.

종 풍부도 지수 및 다양도 지수를 비교해 볼 때, 유사한 값을 보였으며, Park (2002)의 연구에 비해 8월과 11월의 풍부도 및 다양도 지수는 상대적으로 높았다. 봄과 여름인 5월과 8월에 63.80%로 가장 가까운 종간 유사성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- Cha, S.S., K.J. Park, J.M. Yoo and Y.U. Kim, 1991. Distribution of Ichthyoplankton in the Adjacent Waters of Wolsong, Korea. Korean J. Ichthyol., 3(1), 11-31.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick, 1994. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environment Research Council. Plymouth Marine Laboratory. Plymouth, UK, 144pp.
- Go, Y.B., G.M. Go and J.M. Kim, 1991. Occurrence of fish larvae at Hamduck coastal area, northern part of Cheju Island. Korean J. Ichthyol., 3(1), 24-35.
- Han, K.H., 1999. Distribution of Ichthyoplankton off Bogil Island in Wando, Korea. Bull. Yosu Nat'l. Univ., 14(2), 547-552
- Han, K.H. and D.G. Kim, 2007. Quantitative Variation and Species Composition of Ichthyoplankton in Coastal Waters of Uljin, Korea. Korean J. Ichthyol., 19(4), 292-298.

- Han, K.H., D.Y. Kim, D.S. Jin, S.S. Shin, S.R. Baik and S.H. Oh, 2001. Seasonal Variation and Species Composition of Ichthyoplankton in Suncheon Bay, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 13(2), 136-142.
- Joo, S.P., 1997. List of animals in Korea. The Korean Society of Systematic Zoology. Academy Books, 489pp.
- Kang, S.Y., 1999. Analysis of environmental factor in ecosystem of Gangjin bay. *Korean J. Environ. Biol.*, 17(4), 521-527.
- Kim, Y.U., 1981. Fish eggs and larvae of the coastal waters. Pukyong National University Institute of Fishery Science, 109pp.
- Lee, S.G., 2000. Dictionary of Korean Fish Names. Institute of Fishery Science, 222pp.
- Nelson, J.S., 1994. Fishes of the world (3rd ed.). John Wiley & Sons, New York, 550pp.
- Okiyama, M. (ed.), 1988. An atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai University Press, 1154pp.
- Park, J.W., 2002. Distribution of Ichthyoplanktons in Gangjin Bay, Korea. Master Thesis, Chonnam National University, 25pp.
- Pearson, T.H., 1975. The benthic ecology of Linnhe and Loch Eill, a sea loch system on the west coast of Scotland. IV. Changes in the benthic fauna attributable to organic enrichment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 20, 1-41.
- Roads, D.C. and D.K. Young, 1970. The influence of deposit feeding organisms on sediment stability and community structure. *J. Mar. Res.*, 28, 150-178.
- Smith, P.E. and S.L. Richardson, 1977. Standard techniques for fish eggs and larvae surveys. FAO Fisheries Technical paper. 100.
- Wolff, W.J., 1983. Estuarine benthos. In B. H. Ketchum (editor). *Estuaries and enclosed seas. Ecosystem of the World 26*. E. S. P. S., New York. U. S. A.

진도 연안에 출현하는 부유성 난과 자치어의 종조성 및 변동

Species Composition and Variation of Ichthyoplankton in Coastal Waters of Jindo, Korea

한경호¹, 김희진¹, 이진¹, 이성훈^{1,*}Kyeong-Ho Han¹, Hui-Jin Kim¹, Jin Lee¹, Sung-Hun Lee^{1,*}¹전남대학교 수산과학과

Department of Aquaculture Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

*Correspondence to Sung-Hun Lee
E-mail: formalin100@hanmail.netReceived December 27, 2018
Revised January 25, 2019
Accepted February 11, 2019

Abstract : To determine change and species composition of fish larva and juveniles, samples were collected by RN 80Net in coastal waters of Jindo from April, 2011 to January, 2012. During the study, the collected fish eggs were identified as belonging to 8 species. The most of dominant species *Engraulis kaponicus* were accounted for 79.85% of the total fish eggs, followed by *Leiognathus nuchalis* (7.58%), *Konosirus punctatus* (4.85%). The collected fish larvae and juveniles were identified 26 species, 20 family, 8 order. The most of dominant species *Engraulis japonicus* accounted for 58.92% of the number of the total fish larvae and juveniles, *Konosirus punctatus* (14.23%), *Ilisha elongata* (5.81%).

Keywords : Larvae, Juveniles, RN 80Net, Coastal water, Jindo

서론

전라남도 진도는 우리나라의 서남단에 위치하고 있는 도서로서 면적이 430.6 km²이고, 주변에 유인도가 45곳, 무인도가 185곳으로 황해와 남해에 연결되는 해류와 수괴가 상존하며, 연안수의 세력에 영향을 받는 곳으로 어족 번식상 최적의 해양 환경을 갖추고 있어 다양한 종류의 어류가 서식, 분포하는 천해의 어장이다(Lim, 2002).

우리나라 남·서해의 연안역은 많은 섬과 만이 자리 잡고 있어서 생산성이 매우 높아 자치어의 생육장으로 가치 있는 곳이다. 어류는 난에서 부화하여 자어와 치어를 거쳐 성어가 되며, 일반적으로 연급군의 강도는 초기 성장단계의 기아나 포식 정도에 의해서 결정된다(Kim, 1991). 그래서 성장 초기에는 사망률이 무척 높고 환경의 영향을 많이 받기 때문에, 성어로 가입되는 양은 해황 및 환경변화에 따라 매년 변화한다(Hjort, 1926; Saville and Schnack, 1981). 따라서 초기 감모율이 높은 난기와 자치어기의 종조성 및 출현량 변동은 성어의 가입량 변동을 예측하기 위한 기초자료로 매우 중요하다(Lim, 2002).

우리나라에서 최근 자치어 분포에 관한 연구는 울진 연안

(Han and Kim, 2007), 제주도 서부 해역(Lee et al., 2006), 영일만(Han et al., 2003), 고흥반도 연안(Han et al., 2002), 순천만(Han et al., 2001) 등이 이루어지고 있으며, 지금까지 진도 연안에서는 부유성 난 및 자치어 분포에 대하여 Lim(2002)이 석사 학위로 연구한 이후에 없는 실정이다. 그러므로 이 연구는 10년이 지난 2011년에 같은 정점에서 부유성 난 및 자치어 분포 변화를 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 2011년 4월부터 7월, 10월 및 2012년 1월에 전라남도 진도군 연안에서 Lim(2002)과 같은 7개 정점에서 조사하였다(Fig. 1).

부유성 난 및 자치어의 채집은 망구 직경 80 cm, 측장 320 cm, 망목 0.34 mm (RN 80Net)를 사용하였고, 예망속도는 약 2 knot로 10분간 예망하였다. 채집에 관한 일반적인 사항들은 Smith and Richardson(1977)에 따랐고, 채집한 표본은 선상에서 5% 중성 포르말린으로 고정한 후 전남대학교 자원생물실

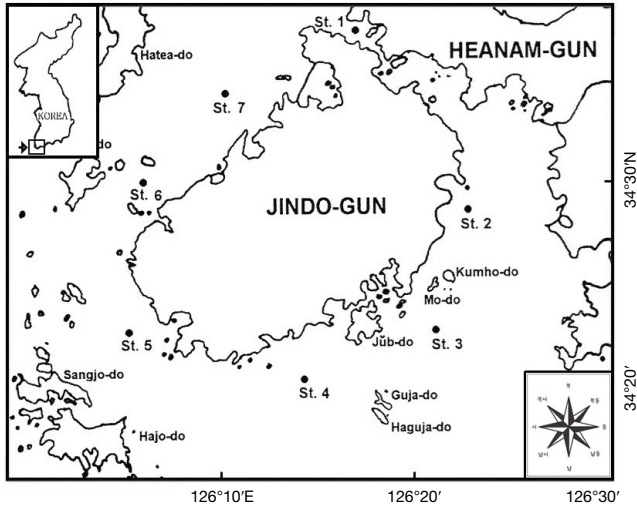


Fig. 1. Map showing the sampling area in coastal waters of Jindo, Korea.

험실로 이동하여 난과 자치어를 분리하였다. 또한 해부현미경 (Nikon SMZ-10, Japan)을 이용하여 난과 자치어를 종별로 동정하였으며 종조성 및 목록을 작성하였다. 조사기간 중 채집된 자치어의 분류는 Kim (1981) 및 Okiyama (1988)에 따랐으며, 분류 체계 및 학명은 Nelson (1994) 및 Kim and Kim (1997)에 따랐다.

조사기간 중 채집된 자치어의 생물 군집구조 분석을 위하여 다양도 (Diversity), 우점도 (Dominance), 균등도 (Evenness) 및 풍부도 (Richness) 지수를 구하였다. 생물 군집의 월별 유사성을 파악하기 위하여 Primer 5.0 program (Clarke and Warwick, 1994)을 이용하여 조사기간 중 총 출현한 개체수를 토대로 군집간의 유사도 (Similarity)를 산출하였다.

각 지수의 계산식은 다음과 같다.

종 다양성지수: $H' = - \sum P_i \times \ln(P_i)$

P_i: I번째 종의 점유율

우점도지수: $D = (Y_1 + Y_2) / Y$

Y: 총개체수

Y₁: 첫 번째 우점종의 개체수

Y₂: 두 번째 우점종의 개체수

종 균등도지수: $J = H' / \ln(S)$ (Pielou, 1966)

풍부도지수: $RI = (S - 1) / \ln(N)$

RI: 풍부도

S: 전체 종 수

N: 총 개체수

Table 1. Monthly variation of mean water temperature and salinity in coastal water of Jindo from April, 2011 to January, 2012

	Apr.	Jul.	Oct.	Jan.
Temperature (°C)	14.2	24.6	20.3	7.3
Salinity (psu)	32.1	30.4	31.9	33.9

유사도 지수: $A_{ij} = \sum (P_{ih} \times P_{jh}) / \sqrt{(\sum P_{ih}^2 \times \sum P_{jh}^2)}$

i, j: 비교하고자 하는 2개의 종

h: 각각의 달

P: 1년 동안 채집된 한 종의 총 개체수에 대한 특정한 달에 채집된 개체의 비율

결 과

1. 환경조사

진도 연안의 표층 평균 수온 분포를 조사한 결과, 하계인 7월에 24.3°C로 가장 높았고, 동계인 1월에 7.8°C로 가장 낮았다. 정점별 표층 수온은 7월인 St. 2에서 24.6°C로 가장 높았고, 1월인 St. 4에서 7.4°C로 가장 낮았다.

월별 표층 염분은 동계인 1월 33.0 psu로 가장 높았고, 하계인 7월에 31.1 psu로 가장 낮았다. 정점별 표층 염분은 1월인 St. 6에서 33.4 psu로 가장 높았고, 4월인 St. 1에서 30.9 psu로 가장 낮았다 (Table 1).

2. 어류의 종조성

1) 부유성 난

본 연구에서 해역에 출현한 부유성 난은 총 7개의 분류군이 출현하여, 멸치 (*Engraulis japonicus*), 전어 (*Konosirus punctatus*), 주둥치 (*Leiognathus nuchalis*), 보리멸 (*Sillago sihama*), 도다리 (*Pleuronichthys cornutus*), 넙치 (*Paralichthys olivaceus*) 및 미동정 (Unknown spp.) 난으로 분류되었다 (Table 2).

부유성 난은 총 2,046.0 inds./1,000 m³가 출현하였는데, 그중 멸치가 1,633.7 inds./1,000 m³로 전체 출현량의 79.85%로 가장 우점하였고, 다음으로 주둥치가 155.0 inds./1,000 m³로 7.58%, 전어가 99.2 inds./1,000 m³로 4.85% 순으로 우점하였다.

조사기간 중 출현하였던 부유성 난을 살펴본 결과, 2011년 4월에 4개의 분류군 111.6 inds./1,000 m³이 출현하였는데, 이 중 전어가 77.5 inds./1,000 m³로 가장 우점하였고, 다음으로 멸치 12.4 inds./1,000 m³로 우점하였다.

7월에 5개의 분류군 1,370.2 inds./1,000 m³가 출현하여 가장 많은 종수와 출현량을 보였는데, 이 중 멸치가 1,085 inds./1,000 m³로 가장 우점하였고, 다음으로 주둥치가 155 inds./

Table 2. Mean abundance of fish eggs in coastal waters of Jindo from April, 2011 to January, 2012(unit: inds./1,000 m³)

Species	Season					R.A.(%)
	Apr.	Jul.	Oct.	Jan.	Total	
<i>Engraulis japonicus</i>	12.4	1085	536.3	–	1633.7	79.85
<i>Leiognathus nuchalis</i>	–	155	–	–	155	7.58
<i>Konosirus punctatus</i>	77.5	21.7	–	–	99.2	4.85
<i>Sillago sihama</i>	–	77.5	–	–	77.5	3.79
Unknown spp.	12.4	31	15.5	3.1	62	3.03
<i>Pleuronichthys cornutus</i>	–	–	–	9.3	9.3	0.45
<i>Paralichthys olivaceus</i>	9.3	–	–	–	9.3	0.45
Total	111.6	1370.2	551.8	12.4	2046.0	100.00

R.A, Relative Abundance

Table 3. Variation of species composition of fish larvae and juveniles in each season in coastal waters of Jindo from April, 2011 to January, 2012(unit: inds./1,000 m³)

Species	Season					R.A.(%)
	Apr.	Jul.	Oct.	Jan.	Total	
<i>Engraulis japonicus</i>	18.6	787.4	105.4	–	911.4	58.92
<i>Konosirus punctatus</i>	127.1	93	–	–	220.1	14.23
<i>Ilisha elongata</i>	74.4	15.5	–	–	89.9	5.81
Gobiidae spp.	18.6	18.6	–	6.2	43.4	2.81
<i>Mugil cephalus</i>	15.5	15.5	–	–	31	2
<i>Parablennius yatabei</i>	–	18.6	3.1	–	21.7	1.4
<i>Argyrosomus argentatus</i>	3.1	15.5	–	–	18.6	1.2
<i>Platycephalus indicus</i>	–	9.3	9.3	–	18.6	1.2
<i>Sebastes schlegelii</i>	6.2	9.3	–	–	15.5	1
<i>Hexagrammos agrammus</i>	6.2	–	–	9.3	15.5	1
<i>Synechogobius hasta</i>	15.5	–	–	–	15.5	1
<i>Paralichthys olivaceus</i>	9.3	6.2	–	–	15.5	1
<i>Takifugu niphobles</i>	6.2	9.3	–	–	15.5	1
<i>Conger japonicus</i>	9.3	3.1	–	–	12.4	0.8
<i>Sillago sihama</i>	–	12.4	–	–	12.4	0.8
<i>Leiognathus nuchalis</i>	3.1	9.3	–	–	12.4	0.8
<i>Pholis nebulosa</i>	12.4	–	–	–	12.4	0.8
<i>Pholis fangi</i>	6.2	6.2	–	–	12.4	0.8
<i>Cynoglossus joyneri</i>	–	6.2	6.2	–	12.4	0.8
<i>Sebastes inermis</i>	9.3	–	–	–	9.3	0.6
<i>Takifugu rubripes</i>	–	9.3	–	–	9.3	0.6
<i>Syngnathus schlegelii</i>	–	6.2	–	–	6.2	0.4
<i>Limanda yokohamae</i>	6.2	–	–	–	6.2	0.4
<i>Anguilla japonica</i>	3.1	–	–	–	3.1	0.2
<i>Hippocampus coronatus</i>	–	–	3.1	–	3.1	0.2
<i>Cynoglossus robustus</i>	–	3.1	–	–	3.1	0.2
Total	350.3	1,054.0	127.1	15.5	1,546.9	100.00
Number of species	18	19	5	2	26	

R.A, Relative Abundance

1,000 m³, 보리멸이 77.5 inds./1,000 m³순으로 우점하였다.

10월에 2개의 분류군 551.8 inds./1,000 m³가 출현하였는데, 그중 멸치 536.3 inds./1,000 m³가 가장 우점하였고, 다음으로 미동정 난 15.5 inds./1,000 m³우점하였다.

2012년 1월에는 2개의 분류군, 11.7 inds./1,000 m³가 출현하였는데, 그중 도다리 9.3 inds./1,000 m³가 가장 우점하였고, 다음으로 미동정난 3.1 inds./1,000 m³로 우점하였다.

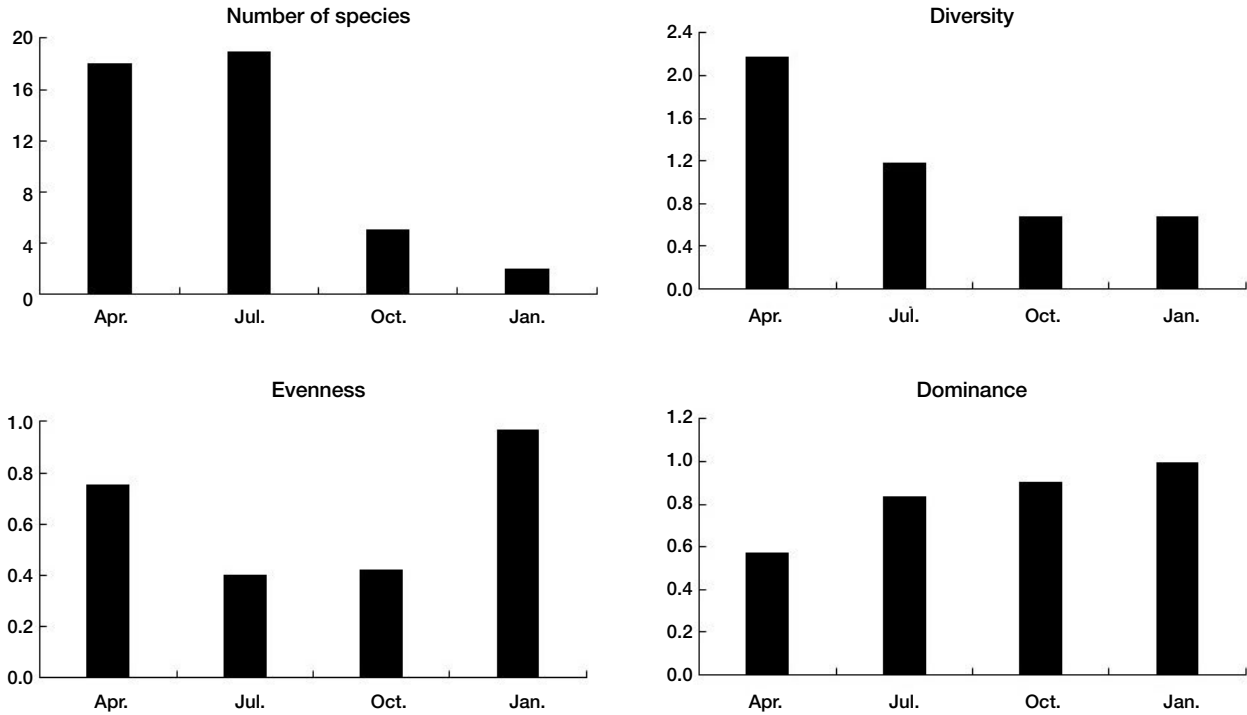


Fig. 2. Seasonal variation in number of species, diversity, evenness, and dominance of fish larvae collected by RN80 net in coastal waters of Jindo from April, 2011 to January, 2012.

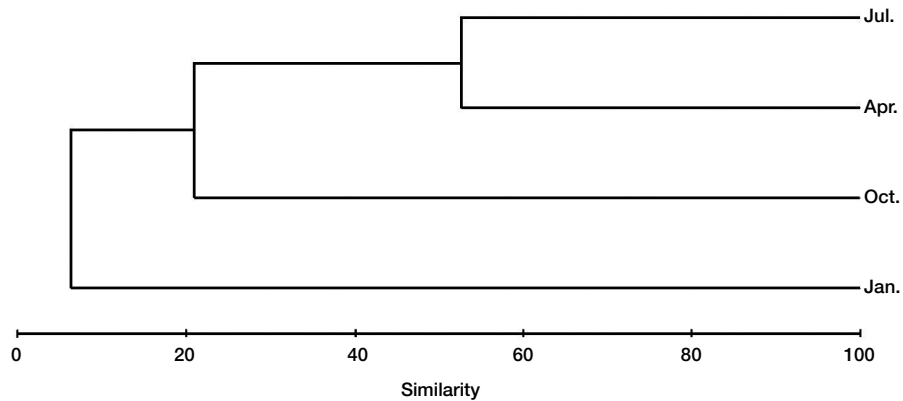


Fig. 3. Dendrogram based on the community similarity of each month by number of juveniles in coast of Jindo.

2) 자치어

본 조사기간에 출현한 자치어는 총 8목 20과 26개 분류군이 출현하였고, 출현한 자치어는 뱀장어(*Anguilla japonica*), 검봉장어(*Conger japonicus*), 멸치, 전어, 준치(*Ilisha elongata*), 실고기(*Syngnathus schegeli*), 해마(*Hippocampus coronatus*), 숭어(*Mugil cephalus*), 조피볼락(*Sebastes schlegelii*), 볼락(*Sebastes inermis*), 노래미(*Hexagrammos agrammus*), 보리멸, 주둥치, 보구치(*Argyrosomus argentatus*), 베도라치(*Pholis nebulosa*), 흰베도라치(*Pholis fangi*), 청베도라치(*Parablennius*

yatabei), 양태(*Platycephalus indicus*), 풀망둑(*Synechogobius hasta*), 망둑어과 어류(*Gobiidae* spp.), 개서대(*Cynoglossus robustus*), 참서대(*Cynoglossus joyneri*), 문치가자미(*Limanda yokohamae*), 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 복섬(*Takifugu niphobles*), 자주복(*Takifugu rubripes*)이었다(Tabel 3).

2011년 4월에 7목 15과 18종 총 350.3 inds./1,000 m³의 자치어가 출현하였는데, 그중 전어가 127.1 inds./1,000 m³로 36.28%를 차지하여 가장 우점하였고, 다음으로 준치가 74.4 inds./1,000 m³로 21.24%, 멸치와 망둑어과 어류가 각각 18.6

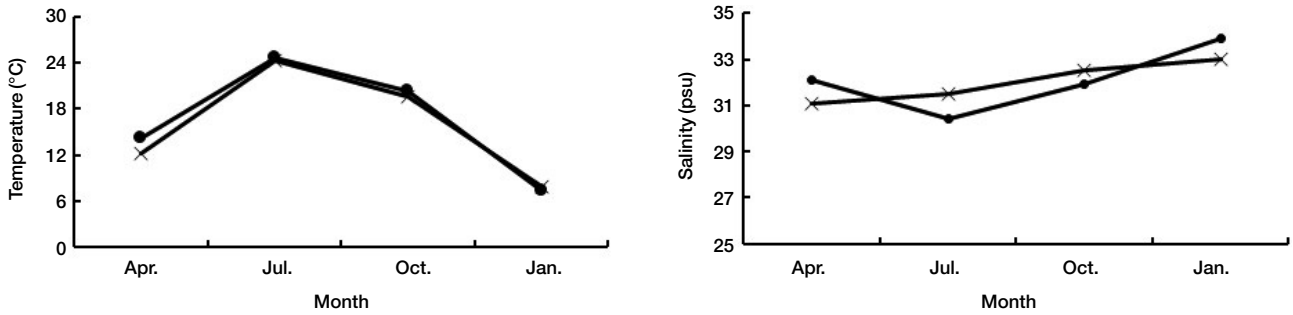


Fig. 4. Monthly variation of water quality in Jindo, Korea in 2001 to 2002 (Lim, 2002: ●) and 2011 to 2012 (Present study: ×).

inds./1,000 m³로 5.31% 순으로 우점하였다. 7월에 8목 17종 19종 총 1,054.0 inds./1,000 m³로 연중 가장 많은 자치어가 출현하였다. 그중 멸치가 787.4 inds./1,000 m³로 74.71% 차지하여 가장 우점하였고, 다음으로 전어가 93.0 inds./1,000 m³로 8.82%, 청베도라치와 망둑어과 어류가 각각 18.6 inds./1,000 m³로 1.76% 순으로 우점하였다. 10월에는 5목 5과 5종 총 127.1 inds./1,000 m³의 자치어가 출현하였는데, 그중 멸치가 105.4 inds./1,000 m³로 82.93%를 차지하여 가장 우점하였고, 다음으로 양태가 9.3 inds./1,000 m³로 7.32%, 참서대가 6.2 inds./1,000 m³로 4.88% 순으로 우점하였다. 마지막으로 2012년 1월에 2목 2과 2종 총 15.5 inds./1,000 m³의 자치어가 출현하였는데, 그중 노래미가 9.3 inds./1,000 m³로 60.00%를 차지하여 가장 우점하였고, 다음으로 망둑어과 어류가 6.2 inds./1,000 m³로 40.00% 순으로 우점하였다.

3. 군집분석

조사기간 중 출현했던 자치어의 군집구조를 나타내는 생물학적 특성의 출현 종수, 다양도, 균등도, 우점도 지수를 나타내었다(Fig. 2). 출현 종수는 2011년 7월에 19종으로 가장 많이 나타났고, 2012년 1월에 2종으로 가장 적게 나타났다. 다양도 지수는 2011년 4월에 2.174로 가장 높은 값을, 2012년 1월에 0.673으로 가장 낮은 값을 나타냈다. 균등도 지수는 2012년 1월에 0.971로 가장 높은 값을 나타내었고, 2011년 7월에 0.400으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 우점도 지수는 2012년 1월에 1.000으로 가장 높은 값을 나타내었고, 2011년 4월에 0.575로 가장 낮은 값을 나타내었다.

4. 유사도

출현 종수에 근거한 월별 유사도를 보면 4월과 7월에 멸치, 전어, 준치, 송어, 주둥치 등이 유사 어종으로 나타나 52.66%의 가까운 중간 유사성을 띄었으나, 월별 비교해 보았을 때 높지 않은 중간 유사성을 확인 할 수 있었다(Fig. 3).

Table 4. The list of fish from previous and present studies in Jindo, Korea in 2011 to 2012

Scientific name	Korean name	Lim (2002)	Present study (2011~2012)
<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	●	●
<i>Conger japonicus</i>	검봉장어	●	●
<i>Ophichthae spp.</i>	바다뱀과 어류	●	
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치	●	●
<i>Konosirus punctatus</i>	전어	●	●
<i>Ilisha elongata</i>	준치	●	●
<i>Syngnathus schegeli</i>	실고기	●	●
<i>Hippocampus coronatus</i>	해마	●	●
<i>Hippocampus japonicus</i>	산호해마	●	
<i>Mugil cephalus</i>	송어	●	●
<i>Sebastes schlegelii</i>	조피볼락		●
<i>Sebastes inermis</i>	볼락	●	●
<i>Scorpaenidae spp.</i>	양볼락과 어류	●	
<i>Pseudoblennius percoides</i>	돌팍망둑	●	
<i>Hexagrammos agrammus</i>	노래미	●	●
<i>Hexagrammos otakii</i>	취노래미	●	
<i>Sillago sihama</i>	보리멸	●	●
<i>Leiognathus nuchalis</i>	주둥치	●	●
<i>Argyrosomus argentatus</i>	보구치	●	●
<i>Pholis nebulosa</i>	베도라치	●	●
<i>Pholis fangi</i>	흰베도라치	●	●
<i>Parablennius yatabei</i>	청베도라치	●	●
<i>Repomucenus spp.</i>	동갈양태속 어류	●	
<i>Platycephalus indicus</i>	양태	●	●
<i>Synechogobius hasta</i>	풀망둑	●	●
<i>Gobiidae spp.</i>	망둑어과 어류	●	●
<i>Sphyrna pinnatus</i>	꼬치고기	●	
<i>Paralichthys olivaceus</i>	넙치		●
<i>Cynoglossus robustus</i>	개서대	●	●
<i>Cynoglossus joyneri</i>	참서대	●	●
<i>Limanda yokohamae</i>	문치가자미	●	●
<i>Rudarius ercodes</i>	그물코취치	●	
<i>Takifugu niphobles</i>	복섬	●	●
<i>Takifugu rubripes</i>	자주복	●	●
Number of species		32	26

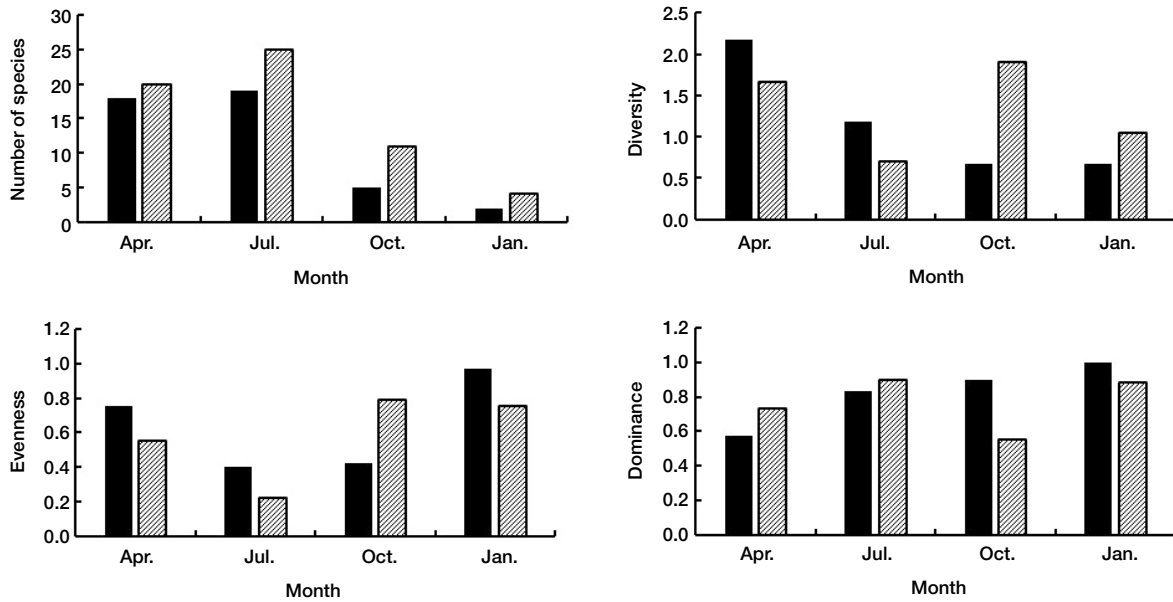


Fig. 5. Community indices at each monthly in Jindo, Korea in 2001 to 2002 (Lim, 2002: ▨) and 2011 to 2012 (Present study: ■).

고 찰

Lim (2002)의 연구에서 수온은 2001년 7월에 24.6°C로 가장 높았고, 2002년 1월에 7.3°C로 가장 낮게 나타났으며, 본 연구에서도 마찬가지로 수온은 2011년 7월에 24.3°C로 가장 높았고, 2012년 1월에 7.8°C로 가장 낮았다.

염분은 Lim (2002)의 연구에서 2002년 1월에 33.9 psu로 가장 높았고, 2001년 7월에 30.4 psu로 가장 낮게 나타났으며, 이 연구에서는 2012년 1월에 33.0 psu로 가장 높았고, 2011년 4월에 31.1 psu로 가장 낮았다(Fig. 4).

연구기간 중 출현종수는 Lim (2002)에서 총 8목 24과 32종이 출현하여 2001년 7월에 25종으로 가장 많은 출현종수를 나타내었고, 2002년 1월에 4종을 가장 적은 종수를 나타내었는데, 본 연구에서는 총 8목 20과 26종이 출현하여 2011년 7월에 19종으로 가장 많은 출현종수를 나타내었고, 2012년 1월에 2종으로 가장 적은 출현종수를 나타내었다.

이전 연구(Lim, 2002)에는 채집되지 않았지만 이번 연구에서 처음으로 채집된 종은 조피볼락과 넙치로 2종이었다(Table 4). 또한 이전 연구(Lim, 2002)에서는 채집이 되었지만, 이번 연구에서 채집되지 않은 종은 바다뱀과 어류(*Ophichthinae* spp.), 산호해마(*Hippocampus japonicus*), 양볼락과 어류(*Scorpaenidae* spp.), 돌박망둑(*Pseudoblennius percoides*), 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*), 동갈양태속 어류(*Repomucenus* spp.), 꼬치고기(*Sphyrna pinnatus*), 그물코쥐치(*Rudarius ercodes*) 등 8종으로 확인되었다.

월별 출현종수는 Lim (2002)의 연구에서 4월에 20종, 7월

에 25종으로 가장 많은 종수를 나타내었고, 10월에 11종, 1월에 4종으로 가장 적은 출현종수를 나타내었으며, 본 연구에서는 4월에 18종, 7월에 19종으로 가장 많은 종수를 나타내었고, 10월에 5종, 1월에 2종으로 가장 적은 출현종수를 나타내었다(Fig. 5). 종다양도 지수는 Lim (2002)이 10월에 1.900으로 가장 높았고, 7월에 0.701로 가장 낮았으며, 본 연구에서는 4월에 2.174로 가장 높았고, 1월에 0.673으로 가장 낮았다. 월별 유사한 값을 보였지만, 10월은 이전 연구 Lim (2002)와 비교해 보았을 때, 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 균등도 지수는 Lim (2002)의 연구에서 10월에 0.792로 가장 높았고, 7월에 0.218로 가장 낮았으며, 이 연구에서는 1월에 0.971로 가장 높았고, 7월에 0.400으로 가장 낮았다. 종다양도 지수 그래프와 유사한 형태를 보였지만 마찬가지로 10월에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 우점도 지수는 Lim (2002)의 연구에서 7월에 0.899로 가장 높았고, 10월에 0.553으로 가장 낮았으며, 이 연구에서는 1월에 1.000으로 가장 높았고, 4월에 0.575로 가장 낮았다.

이와 같이 Lim (2002)의 어류의 다양성보다 본 연구의 다양성이 적은 이유는 진도군 주변 해양에서 이루어지고 있는 각종 항만공사 및 해저케이블 공사로 인한 해양환경 변화가 발생되는 것으로 추정되며, 향후 본 연구에서는 해양환경변화와 어류의 다양성에 대한 상관관계를 연구할 필요성이 있다.

요 약

진도 연안의 수질환경 및 군집구조의 변화를 10년 전의 연

구와 비교 분석 하고자, 2011년 4월, 7월 10월과 2012년 1월 까지 총 4회에 걸쳐 진도 연안에 출현하는 부유성 난 및 자치어를 조사하였다. 본 연구에서 확인된 어류는 총 8목 20과 26종 1,546.9 inds./1,000 m³이었으며, 우점종에 있어서 멸치가 911.4 inds./1,000 m³로 58.92%, 전어가 220.1 inds./1,000 m³로 14.23%, 준치가 89.9 inds./1,000 m³로 5.81% 순으로 우점하였다. 종다양도 지수와 균등도 지수 및 우점도 지수를 비교해 보았을 때, 유사한 값을 보였지만 10월에는 약간의 차이가 있음을 확인할 수 있었고, 4월과 7월에 52.66%로 가장 높은 종간 유사성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- Han, K.H. and D.G. Kim, 2007. Quantitative Variation and Species Composition of Ichthyoplankton in Coastal Waters of Uljin, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 19(4), 332-342.
- Han, K.H., D.Y. Kim, D.S. Jin, S.S. Shin, S.R. Baik and S.H. Oh, 2001. Seasonal Variation and Species Composition of Ichthyoplankton in Sunchon Bay, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 13(2), 45-52.
- Han, K.H., J.S. Hong, Y.S. Kim, K.A. Jeon, Y.S. Kim, B.K. Hong and D.S. Hwang, 2003. Species Composition and Seasonal Variations of Ichthyoplankton in Coastal Waters of Yeongil Bay, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 15(2), 87-94.
- Han, K.H., Y.H. Shin and D.S. Hwang, 2002. Seasonal Variations in Species Composition of Ichthyoplankton off Kohung Peninsula, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 14(1), 45-52.
- Hjort, J., 1926. Fructuations in the year classes of important food fishes. *J. Cons. int. Expior. Mer.*, 1, 5-38.
- Kim, S.A., 1991. fishery resources assessment theory, WooSung media group, Seoul, 175pp.
- Kim, Y.U., 1981. Fish Eggs and Larvae of the coastal waters in Korea. National Fisheries University of Pusan The Ocean Science Institute, 109.
- Kim, Y.U. and I.S. Kim, 1997. Pisces. In list of Animals in Korea (excluding insects). *Korean Soc. Syst. Zool. ed. Seoul*, 243-281.
- Lee, S.J., Y.B. Go and B.J. Kim, 2006. Seasonal Variation of Species Composition and Distribution of Fish Eggs and Larvae in the Western Part of Jeju Island, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 18(2), 129-140.
- Lim, Y.E., 2002. Species Composition and Seasonal Variation of Ichthyoplankton in Coastal Waters of Jindo, Korea. master thesis Yeosu National University, Yeosu, 27pp (in Korea).
- Nelson, J.S., 1994. *Fishes of the world* (3rd ed). New York, John Wiley & Sons, 550pp.
- Okiyama, M., 1988. An atlas of the early stage fishes in Japan, Tokai University Press, 1154pp.
- Saville, A. and D. Schnack, 1981. Some thoughts on the current status of studies of fish egg and larval distribution and abundance, *Rapp. P-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.*, 178, 153-157.
- Smith, P.E. and S.L. Richardson, 1977. Standard techniques for fish egg and larve surveys, *FAO Fisheries Technical paper No.175*, 100pp.

섬진강 및 수어천 하구해역의 식물플랑크톤 군집 분포

Spatio-temporal Distributions of Phytoplankton Community in the Estuarine of Seomjin River and Sueo Stream (ESRaSS), South Korea

윤양호^{1,*}Yang Ho Yoon^{1,*}¹전남대학교 해양기술학부¹School of Marine Technology,
Chonnam National University, Yeosu 59626,
Republic of Korea*Correspondence to Yang Ho YOON
E-mail: yoonyh@jnu.ac.krReceived January 8, 2019
Revised January 21, 2019
Accepted February 11, 2019

Abstract : I carried out field survey to analyze the characteristics of marine environments and phytoplankton community in the Estuarine of Seomjin River and Sueo Stream (ESRaSS) from January to October 2017. The results showed that water temperature was uniformly distributed, while the salinity had great variation in the ESRaSS. The Chlorophyll *a* (Chl-*a*) concentration varied from 0.42 to 2.98 µg/L in average, sepecially from 0.50 to 2.13 µg/L in surface layer, which implies that the spatio-temporal distributions of Chl-*a* was insignificant. Phytoplankton community consisted of 36 genera 57 species showing a relatively simple. Its controlled by diatoms with 70.2%, the species number was low in winter and autumn, but high in spring and summer. Phytoplankton cell density ranged from 1.6 to 307.0 cells/mL, with the average layer being 8.6 to 93.3 cells/mL low in winter and high in summer. The seasonal succession of phytoplankton dominant species was distinct *Eucampia zodiacus* in winter, *Skeletonam costatum*-ls in spring, *Chaetoceros curvisetus* in summer and *Guinadia delicata* on the autumn surface, and *S. costatum*-ls was dominant species throughout the year. The phytoplankton community based on the ecological indices showed a very large fluctuation and unstable structure across the estuarine segments and over the seasons. Although the biological oceanographic characteristics of the ESRaSS were different from season to season, it was thought that the environmental factors that controlling the hydrodynamics and the corresponding phytoplankton biomass were determined by principal component analysis (PCA).

Keywords : Estuarine of Seomjin River and Sueo Stream (ESRaSS), Marine environments, Phytoplankton community, Ecological indices, Principal component analysis (PCA)

서론

하구해역은 하천수가 바다로 유출되는 해역으로 육상으로부터의 유기탄소 및 높은 기초생산을 지탱할 수 있는 영양염 유입이 원활하여 생물해양학뿐만 아니라 해양환경학적으로 관심이 높은 해역이다(Hopkinson *et al.*, 2005; Cloern *et al.*, 2014). 하구해역은 일반적으로 담수의 유입강도에 따라 매우 발달된 염분 썩기모양의 성층구조를 가지는 하구해역, 부분적으로 혼합되어 완만한 밀도성층을 보이는 하구해역 및 잘 혼합된 하구해역 등 3가지 형태로 구분한다(Pritchard, 1989). 특히 하구

해역은 바다에 담수가 유입되어 해수와 혼합되고 있어, 물리·화학적인 환경요인뿐만 아니라 생물학적으로도 농도구배가 매우 크기 때문에(Hoshiai, 1964; McLusky, 1993), 식물플랑크톤을 포함한 생물군집의 분포 및 생지화학적 반응도 매우 다양하며, 흥미롭다. 또한 조차가 상대적으로 큰 하구해역은 조석주기는 물론 계절에 따른 변화는 물론 하구해역의 해수 혼합 정도의 차이에 따른 공간적인 생물분포에도 큰 변화 폭을 나타낸다(Trigueros and Orive, 2000). 그리고 하구해역의 식물플랑크톤 구성은 급격한 환경변화에 적응 가능한 종 및 풍부한 영양염류 등으로 상대적 대형세포를 가지는 종에 의해 우점된다(Cloern,

2018).

섬진강 및 수어천 하구해역은 1970년대 이전까지는 광양만으로 직접적인 담수 유입이 이루어졌지만, 1970년대 중반 섬진강 하구의 삼각주에 건설된 POSCO 광양제철소 및 연관단지, 그리고 광양컨테이너 항만 조성 등으로 현재는 태인도를 중심으로 각 산업단지 사이의 협수로 및 POSCO 동측의 광양만 해역으로 구성된다. 협수로 대부분은 낮은 수심으로 조석의 영향은 받고 있는 감조역이지만, 해수교환은 그다지 원활하지 않지만 담수보다 해수 영향이 상대적으로 강한 해역이다. 섬진강 하구해역에 대한 해양환경 및 식물플랑크톤에 대한 연구는 비교적 다양하지만(Kwon *et al.*, 2001; Yang *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2012), 수어천 하구까지 포함된 해역에 대한 생물해양학적 연구는 거의 없다. 따라서 이 논문에서는 섬진강 및 수어천 하구해역의 협수를 대상으로 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 분포 및 변동에 따른 생물해양학적 환경특성을 고찰한다.

재료 및 방법

섬진강 및 수어천 하구해역의 해양환경과 식물플랑크톤 생물량으로 Chlorophyll *a* (Chl-*a*) 농도 및 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 특성에 의한 하구해역의 생물해양학적 특성 파악하기 위한 현장조사는 2017년 1월(겨울), 4월(봄), 7월(여름) 및 10월(가을) 4회 실시하였다. 조사는 소형어선을 이용하여 섬진강 및 수어천 하구의 협수로 해역에 설정된 9개 정점을 대상으로 하였다(Fig. 1). 정점 확인은 휴대용 GPS (Gelmen) 또는 선박용 플로터로 확인하였고, 낮은 수심으로 만조를 택하여 2시간 이내에 마칠 수 있도록 하였다. 그리고 5 m 이하 수심인 정점에서는 저층해수의 채수를 생략하였다.

해양환경 인자 중 수온, 염분, 탁도 및 해역의 잠재적 생산성을 파악할 수 있는 Chl-*a* 농도는 현장에서 직접 측정할 수 있는

잠수형 형광광도계(JFE Advantech Co., Ltd, ASTD102) 및 부착된 센서를 이용하여 각 정점의 표층에서 저층까지 1 m 간격으로 측정하여, 표층 및 저층을 해석에 이용하였다. 식물플랑크톤 군집 파악을 위한 표본은 각 정점의 표층과 저층보다 2 m 위의 수층(저층)을 대상으로 3 L 용량의 반닫채수기를 이용하여 채수하였다. 표본은 해수 500 mL를 폴리에틸렌 표본병에 채집하여 중성포르마린으로 최종농도 0.4%가 되도록 고정하였다(Thronsdon, 1978; OSC, 1986). 고정표본은 실험실에서 플라스틱 메스실린더를 이용 48시간 이상 정치한 다음 상등액을 제거하는 방법으로 500 mL → 100 mL → 50 mL → 10 mL의 4단계를 거쳐 농축하였다(NKK, 1985). 검정은 농축시료 0.1 mL를 pipetman으로 0.1 mL를 채취하여 1.0 mm 간격의 가로, 세로선이 들어 있는 계수판(Rigosha 제품)에서 커버글라스를 한 다음 미분간섭장치(DIC)가 장착된 광학 현미경(Nikon, Eclipse 80i)을 이용하여, 100X~400X 배율에서 종의 동정과 세포수를 계수하였고, 현존량은 단위체적당의 세포수로 표시하였다.

식물플랑크톤 중 동정은 Cupp (1943), Dodge (1982), Chihara and Murano (1997), Tomas (1997), Hallegraeff *et al.* (2010) 및 Omura *et al.* (2012) 등의 문헌을 참고하였다. 또한 식물플랑크톤 중명 및 분류체계는 매우 빠르게 변화하고 있어 분류체계는 World Register of Marine Species (WoRMS, www.marine-species.org)에 준하여 정리하였다. 그리고 출현종과 세포밀도를 Primer program을 이용하여 식물플랑크톤 군집의 4대 생태지수, 즉 다양성지수(H'), 풍부도지수(R), 균등도지수(J) 및 우점도지수(D)를 아래식으로 계산하였다.

- ① 다양성지수(Shannon and Weaver, 1963): $H' = -\sum P_i \times \ln(P_i)$, P_i 는 i 번째 종의 점유율
- ② 풍부도지수(Margalef, 1958): $R = (S - 1)/\ln(N)$, S 는 출현종수, N 은 총출현개체수
- ③ 균등도지수(Pielou, 1966): $J = H'/\ln(S)$
- ④ 우점도지수(McNaughton, 1968): $D = (Y_1 + Y_2)/Y$, Y 는 총개체수, Y_1 과 Y_2 는 첫 번째와 두 번째 우점종의 개체수

식물플랑크톤 분류군별 출현세포수 및 우점종 결과 및 식물플랑크톤 생물량에 더하여 잠수형 형광광도계에서 측정된 수온, 염분, 탁도 등의 해양환경 자료를 종합적으로 SPSS 통계프로그램을 이용하여 각 계절에 따른 주성분분석(PCA)을 실시하여 식물플랑크톤 군집의 분포 및 변동특성을 파악하였다.

결과 및 고찰

1. 해양환경

섬진강 및 수어천 하구해역의 해양환경으로 표층의 수온, 염분 및 탁도의 계절변동은 Table 1과 같다. 수온이나 탁도의 계

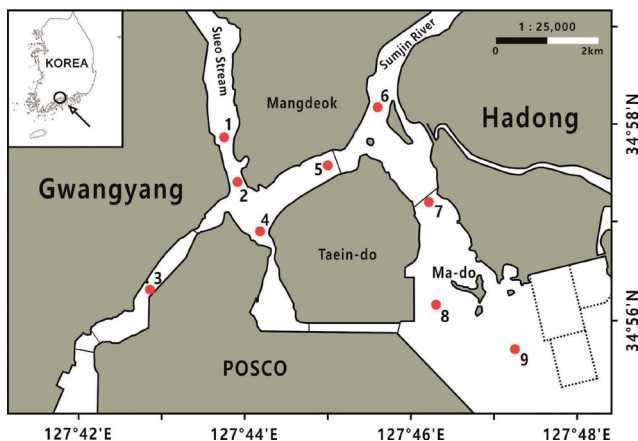
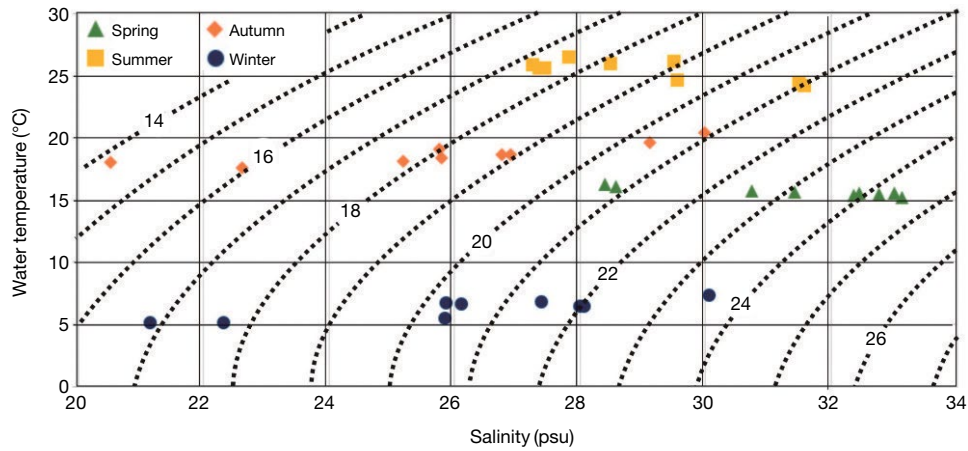


Fig. 1. Maps show to sampling stations in the ESRaSS.

Table 1. Seasonal variations of water temperature, salinity and turbidity in the ESRaSS

Environmental factors	Season	Layer	Minimum	Mean	Maximum	Standard deviation
Water temperature (°C)	Winter	Surface	5.0	6.1	7.4	0.81
		Bottom	5.5	7.4	9.1	1.29
	Spring	Surface	15.2	15.7	16.3	0.36
		Bottom	15.1	15.5	16.1	0.27
	Summer	Surface	24.3	25.6	26.6	0.81
		Bottom	22.9	24.9	26.2	1.21
	Autumn	Surface	17.6	18.4	19.5	0.71
		Bottom	17.6	19.5	21.1	1.33
Salinity (psu)	Winter	Surface	20.38	25.51	30.10	3.27
		Bottom	25.84	29.31	32.69	2.57
	Spring	Surface	27.15	31.28	33.13	2.12
		Bottom	28.57	31.89	33.16	1.55
	Summer	Surface	25.60	28.55	31.57	1.92
		Bottom	28.50	30.40	32.63	1.49
	Autumn	Surface	19.51	24.27	28.95	2.83
		Bottom	22.62	28.52	31.81	3.45
Turbidity (FTU)	Winter	Surface	1.23	1.76	2.44	0.94
		Bottom	1.52	2.37	4.14	0.94
	Spring	Surface	3.24	6.91	11.07	2.62
		Bottom	4.13	9.41	13.68	3.18
	Summer	Surface	2.15	3.89	6.21	1.45
		Bottom	3.01	6.56	11.77	2.56
	Autumn	Surface	2.04	3.05	5.89	1.42
		Bottom	1.68	3.67	5.82	1.36

**Fig. 2.** Spatio-temporal distribution of T-S diagram in the ESRaSS.

절적 변동 폭은 온대해역의 수온상승이나 강우량에 따라 변화하는 양상을 보이고 있지만, 공간적 변동 폭은 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 염분은 시·공간적 변동 모두에서 현저한 변화를 나타내었다. 수층별로는 수온은 최고 겨울에 1.7°C, 염분은 가을에 최고 2.86 psu, 그리고 탁도는 여름에 최고 5.56 FTU의 차이로 저층에서 높게 나타났지만, 낮은 수심으로 차이는 크

지 않았다(Table 1).

수온, 염분의 변화를 나타낸 T-S diagram에서도 이와 같은 현상은 그대로 관찰되어, 계절에 따른 수온의 변화는 상대적으로 균일하지만, 염분 농도의 공간적 분포는 매우 커서, 동일 계절에도 시스템으로서 8 이상의 매우 큰 변동을 나타내었다(Fig. 2). 연안 하구해역임에도 탁도는 전 계절 평균으로는 10 FTU의 농

Table 2. Seasonal fluctuations of chlorophyll *a* concentration in the ESRaSS

Depth	Seasons															
	Winter				Spring				Summer				Autumn			
	Min.	M.	Max.	SD	Min.	M.	Max.	SD	Min.	M.	Max.	SD	Min.	M.	Max.	SD
Surface	0.42	0.50	0.74	0.10	0.48	0.91	1.16	0.19	0.96	1.55	2.13	0.36	0.79	1.40	1.98	0.37
Bottom	0.48	0.97	2.98	0.81	0.72	1.11	1.30	0.17	0.94	1.70	2.87	0.56	0.91	1.19	1.47	0.20

Min.: Minimum, M.: Mean, Max.: Maximum, SD: Standard deviation

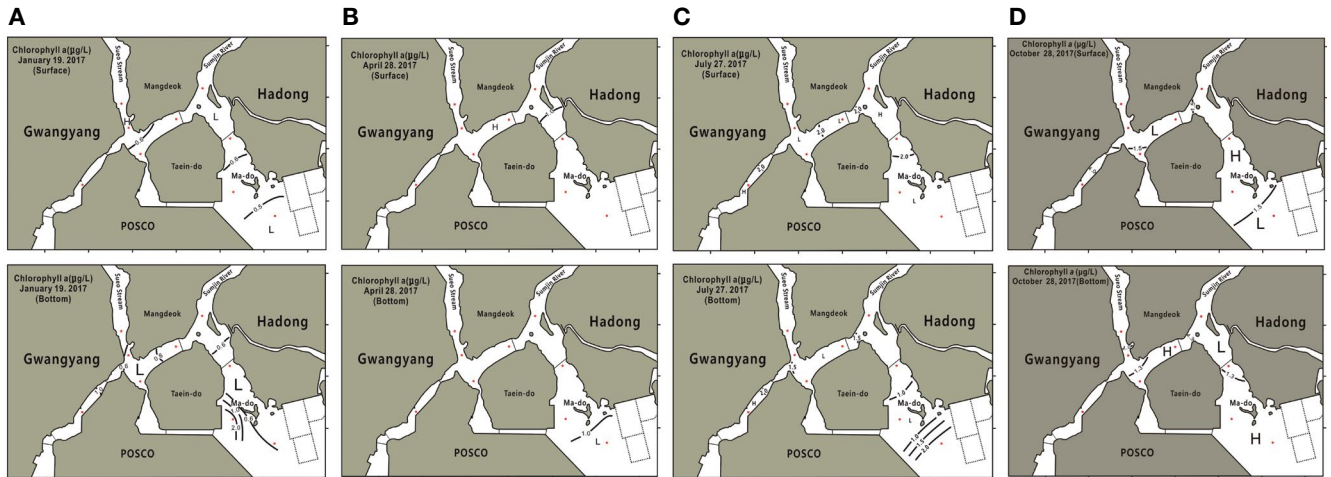


Fig. 3. Spatio-temporal distributions of chlorophyll *a* concentration in the ESRaSS.

도로 매우 낮은 특성을 보였고, 봄과 가을에 저층에서 최댓값으로 10 FTU 이상의 농도를 보였다.

하구해역에서 해양환경의 시·공간적인 분포는 주로 하천수의 유출량 및 해수의 혼합, 그리고 조석주기 등에 의해 크게 영향을 받으며, 환경 인자에 대한 농도구배는 매우 큰 것으로 알려진다(McLusky, 1993). 그러나 섬진강 및 수어천 하구해역의 수온은 조석보다 태양복사의 영향으로 비교적 균일한 분포를 보였다. 그렇지만 염분은 조석의 영향으로 해수 혼합정도에 따라 공간적 분포 차이가 크게 나타나고 있어, 비교적 잘 혼합된 하구해역의 특성을 나타내었다(Pritchard, 1989). 그리고 탁도는 모든 계절에 낮은 값을 보이고 있어, 섬진강 및 수어천 하구해역은 조류에 의해 완만하게 해수가 혼합되고 있어, 표층퇴적층의 재부유 등의 강한 혼합은 발생하지 않은 것으로 판단되었다.

2. 식물플랑크톤 생물량(Chl-*a* 농도)

섬진강 및 수어천 하구해역의 Chl-*a* 농도는 겨울 표층이 0.42 µg/L을 최솟값과 겨울 저층에서 2.98 µg/L의 최댓값을 범위로 하여 변화하여 시·공간적인 변동 폭은 크지 않았다. 시간적 변화는 1월 표층은 0.50 ± 0.10 µg/L (평균±표준편차로 이하 동일 방법)의 변동 폭을, 저층은 0.97 ± 0.81 µg/L의 변동 폭을 보여

저층이 보다 높은 농도와 공간적으로 큰 차이를 보였다. 봄은 표층이 0.91 ± 0.19 µg/L, 저층이 1.11 ± 0.17 µg/L의 변동 폭으로 겨울보다 다소 높았다. 여름은 표층이 1.55 ± 0.36 µg/L, 저층이 1.70 ± 0.56 µg/L의 변동 폭을 보여 가장 높은 농도를 보였고, 가을은 표층이 1.40 ± 0.37 µg/L, 저층이 1.19 ± 0.20 µg/L의 변동 폭으로 겨울이나 봄보다는 높고, 여름보다 낮은 농도를 보였다(Table 2).

공간분포는 겨울 표층에서 수어천에서 POSCO에 이르는 수로부에서 0.6 µg/L 이상을 보이나, 섬진강 하구에서 태인도 북 및 동 수로에서 0.6 µg/L 이하를, 그리고 POSCO 동쪽인 내만해역에서 0.5 µg/L 이하의 낮은 농도를 보였다(Fig. 3A, upper). 저층은 POSCO와 광양시 수로에서 1.0 µg/L 이상의 상대적 고농도를, 섬진강 및 수어천 하구 정점에서 0.6 µg/L 이상, 그리고 태인도 북 및 동 수로에서 0.6 µg/L 이하의 낮은 농도를 보이지만, 태인도 남동 정점에서 2.0 µg/L 이상의 상대적 높은 농도를 보였다(Fig. 3A, lower). 봄은 단조로운 분포로 섬진강 및 수어천 하구해역을 포함하는 태인도 북 수로에서 1.0 µg/L 이상으로 상대적 고농도이지만, 태인도 동 수로에서 내만해역에 걸쳐 1.0 µg/L 이하의 Chl-*a* 농도를 보였다(Fig. 3B, upper). 저층도 표층과 유사하여 전체 하구해역에서 1.0 µg/L 이상의 높은 농도를 보이지만, POSCO 동쪽 내만해역에서 1.0 µg/L 이하로 낮았다

Table 3. Seasonal fluctuation of phytoplankton species composition in the ESRaSS

	Winter	Spring	Summer	Autumn	Total
Diatoms	15G 21S	17G 25S	21G 31S	12G 14S	25G 40S
Dinoflagellates	2G 3S	4G 6S	5G 9S	3G 4S	7G 12S
Slicoflagellates	2G 2S	1G 1S	3G 4S	—	3G 4S
Euglenoids	1G 1S	1G 1S	1G 1S	1G 1S	1G 1S
Total	20G 27S	23G 33S	30G 45S	16G 19S	36G 57S

(Fig. 3B, lower). 여름 표층은 섬진강 하구해역 및 POSCO 서쪽 해역에서 2.0 µg/L 이상의 높은 농도를 보이나, 수어천 하구해역에서 태인도 북 및 동 수로의 남쪽에서 2.0 µg/L 이하의 낮은 농도를 보였다(Fig. 3C, upper). 저층은 POSCO 서쪽 및 동쪽의 내만해역 인근에서 2.0 µg/L 이상의 농도를 보이며, 수어천 하구해역 및 태인도 북 수로에서 1.5~2.0 µg/L, 그리고 섬진강 하구해역에서 1.0~1.5 µg/L 및 태인도 동 부수의 남부 내만해역에서 1.0 µg/L 이하의 낮은 Chl-*a* 농도를 보였다(Fig. 3C, lower). 그리고 가을 표층은 수어천, 섬진강 하구해역 및 POSCO 북동에서 1.5 µg/L 이하의 낮은 농도를, 태인도 동쪽에서 1.5 µg/L 이상의 Chl-*a* 농도를 보였다(Fig. 3D, upper). 저층은 표층과는 다르게 수어천 및 섬진강 하구해역에서 태인도 북동의 해역에서 1.3 µg/L 이하의 낮은 농도를 보였고, 태인도 북 및 남 수로의 남부 내만해역에서 1.3 µg/L 이상의 Chl-*a* 농도를 보였다(Fig. 3D, lower).

하구해역에서 영양염 등 이화학적 인자는 물론 식물플랑크톤 생물량의 시·공간적인 변화 폭은 일반적으로 단위 차이를 보일 정도의 큰 변화를 보인다(Pennock, 1985; Gameiro *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2015). 또한 광양만 내만해역에서 Chl-*a* 농도의 시간적 변화 역시 단위를 달리하는 변화 폭을 보이는 것으로 보고하고 있다(Jang *et al.*, 2005). 하지만 섬진강 및 수어천 하구해역의 Chl-*a* 농도는 평균으로 표층에서 연중 4배 정도 차이를 보이지만, 단위를 달리하는 변화 폭은 관찰되지 않았다. 이는 섬진강 하구해역의 Chl-*a* 농도가 상대적으로 낮은 농도를 보이는 것과 함께 조석변화 등 해수유동에 의한 식물플랑크톤 성장에 필요한 환경조건이 형성되기 어려운 조건을 가지고 있기 때문으로 해석된다. 실제 섬진강 수계에서 광양만 수계에 거친 해양환경 섬진강 하구해역은 담수의 유입정도에 따라 Chl-*a* 농도도 비례적으로 변하지만, 해수유동 변화가 심한 우기보다는 담수유입이 낮고 혼합수의 체류시간 증가로 식물플랑크톤 성장에 호적조건을 형성하는 건기에 표층에서 5~6배, 저층에서는 3~4배 정도 높다는 내용(Park *et al.*, 2012)과 유사하였다.

3. 식물플랑크톤 군집

1) 종조성

섬진강 및 수어천 하구해역에서 출현이 확인된 식물플랑크톤

종은 전체 36속 57종으로 단순하였고, 분류군은 규조류가 25속 40종으로 70.2%, 와편모조류가 7속 12종으로 21.1%, 규질편모조류가 3속 4종으로 7.0%, 그리고 유글레나조류가 1속 1종으로 1.7%의 점유율을 보였다. 그리고 시간적으로는 겨울이 20속 27종에 규조류가 21종, 와편모조류가 3종, 규질편모조류가 2종 및 유글레나조류가 1종으로 단조로웠고, 봄은 23속 33종에 규조류가 25종, 와편모조류가 6종, 규질편모조류 및 유글레나조류가 각 1종, 여름은 30속 45종에, 규조류가 31종, 와편모조류가 9종, 규질편모조류가 4종, 그리고 유글레나조류가 1종이었다. 그리고 가을은 16속 18종에, 규조류가 14종, 와편모조류가 4종, 그리고 유글레나조류가 1종으로 겨울과 가을에 단조로운 종 출현을 보였고, 봄과 여름에 다소 출현 종이 증가하였다. 그리고 와편모조류 등 식물성 편모조류는 수온상승과 함께 출현 종이 다소 증가하였다(Table 3).

출현종에서 규조류, *Chaetoceros curvisetus*, *Cylindrotheca closterium*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia longissima*, *Skeletonema costatum*-ls 및 유글레나조류, *Eutreptiella gymnastica* 등 6종이 4계절 출현하였으나, 종 수는 한정적이었다. 3계절 출현한 종은 규조류, *Bacillaria paxillifera*, *Chaetoceros danicus*, *Coscinodiscus gigas*, *Dictylum brightwellii*, *Eucampia zodiacus*, *Pleurosigma directum*, *P. normannii*, *Rhosolenia setigara*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira. rotula* 와편모조류, *Scrippsiella trochoidea* 등이었다(Table 4).

출현 종의 시·공간적 변동 폭은 표층에서 겨울이 4.4 ± 1.88 , 봄은 10.0 ± 4.92 , 여름은 19.4 ± 3.66 , 그리고 가을은 6.7 ± 2.12 로 변화하였다. 저층은 겨울이 10.2 ± 3.37 , 봄은 13.3 ± 2.36 , 여름은 21.5 ± 2.12 , 그리고 가을은 7.0 ± 1.73 의 변동 폭을 나타내어, 출현 종이 낮은 가을과 겨울은 정점에서 5종 내외, 출현 종이 많은 봄과 가을은 15종 내외로 출현하였고, 해수의 영향이 강한 저층이 표층보다 다소 많은 출현 종을 나타내었다. 그리고 공간적으로는 표층에서 겨울이 수어천 및 섬진강 하구해역에서 5종 이하를 보인 반면, POSCO 서쪽 수로와 태인도 동 수로에서 5종 이상 출현하였다(Fig. 4A). 봄은 태인도 북 수로에서 5종 이하로 출현한 반면, 수어천 및 섬진강 하구를 포함한 POSCO 서쪽 수로에서 10종 이상이, 그리고 태인도 동 수로에서 5~10종이 출현하였다(Fig. 4B). 여름은 겨울이나 봄보다는 다양한 종 출현으로 수어천 및 섬진강 하구해역에서 20종 이하의 출현

Table 4. Seasonal fluctuations of phytoplankton species in the ESRaSS

Species name	Seasons				Species name	Seasons			
	Winter	Spring	Summer	Autumn		Winter	Spring	Summer	Autumn
DIATOMS					<i>Skeletonema costatum</i> -ls.	*	*	*	*
<i>Bacteriastrium hyalinum</i>			*		<i>Stephanopyxis palmeriana</i>			*	
<i>Bacillaria paxillifera</i>	*	*	*		<i>Surirella foetida</i> var. <i>recedens</i>			*	
<i>Chaetoceros affinis</i>		*	*		<i>Thalassionema nitzschioides</i>	*	*	*	
<i>Ch. compressus</i>			*		<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>		*		
<i>Ch. curvisetus</i>	*	*	*	*	<i>Th. rotula</i>	*	*	*	
<i>Ch. danicus</i>	*	*	*		<i>Th. subtilis</i>			*	*
<i>Ch. didymus</i>			*		unidentified diatoms	*	*	*	*
<i>Ch. lorenzianus</i>		*			PHYTOFLAGELLATES				
<i>Ch. socialis</i>	*				DINOFLAGELLATES				
<i>Chaetoceros</i> spp.	*	*	*		<i>Akashiwo sanguineum</i>	*			
<i>Coscinodiscus gigas</i>	*		*	*	<i>Alexandrium</i> sp.		*		
<i>Coscinodiscus</i> spp.	*		*	*	<i>Noctiluca scintillans</i>		*	*	
<i>Cylindrotheca closterium</i>	*	*	*	*	<i>Prorocentrum compressum</i>			*	
<i>Dictylum brightwellii</i>	*	*	*		<i>P. cordatum</i>		*	*	
<i>Eucampia zodiacus</i>	*	*	*		<i>P. dentatum</i>		*		
<i>Fragilaria crotonensis</i>			*		<i>P. triestinum</i>			*	*
<i>Guinardia delicatula</i>				*	<i>Protoperidinium</i> spp.	*		*	*
<i>Guinardia flaccida</i>			*		<i>Scrippsiella trochoidea</i>		*	*	*
<i>G. striata</i>			*		<i>Tripes furca</i>			*	
<i>Gyrosigma</i> spp.	*	*			<i>T. fusus</i>			*	
<i>Leptocylindrus danicus</i>	*	*	*	*	unidentified dinoflagellates	*	*	*	*
<i>Licmophora</i> sp.		*			SILICOFLAGELLATES				
<i>Melosia</i> sp.			*		<i>Dictyocha fibula</i>		*	*	
<i>Navicula</i> spp.	*	*	*	*	<i>D. speculum</i>			*	
<i>Nitzschia longissima</i>	*	*	*	*	<i>Ebria tripatita</i>	*		*	
<i>Paralis sulcata</i>		*			<i>Octactis ottonarius</i>	*		*	
<i>Pleurosigma directum</i>	*	*	*		EUGLENOIDS				
<i>Pl. normanii</i>	*	*		*	<i>Eutreptiella gymnastica</i>	*	*	*	*
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>		*	*		Species number				
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.		*	*	*		27	33	45	19
<i>Rhizosolenia imbricata</i>			*						
<i>Rh. seriata</i>	*	*		*					

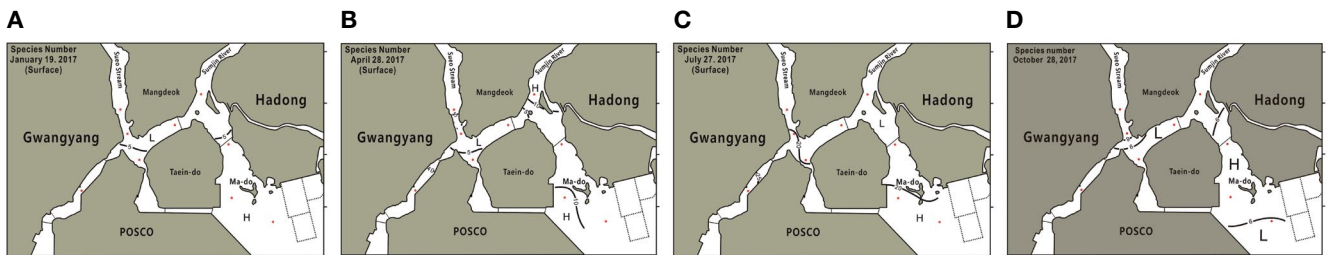


Fig. 4. Spatio-temporal distributions of phytoplankton species number in the ESRaSS.

을 보였고, POSCO 서쪽 및 동쪽 내만해역에서 20종 이상 출현 하였다(Fig. 4C). 그리고 가을은 가장 낮은 출현 종이 출현하여 Stn. 3과 9에서 6종 이하로 출현하였고, 수어천 하구해역에서 9 종 이상의 출현 종을 나타내었다(Fig. 4D).

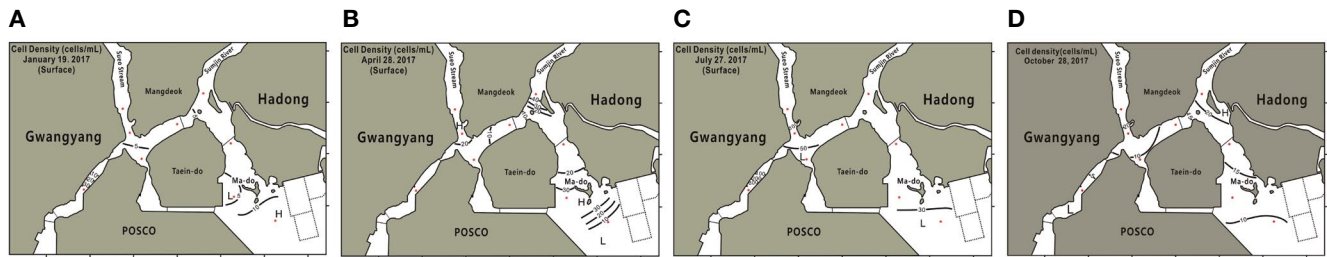
하구해역은 하천수와 해수가 혼합되는 곳으로 출현 생물종은 염분변화에 적응 가능한 기수성 종이 관찰되기에 종수는 담수 역이나 해수역에 비해 극단적으로 낮은 특성을 보인다(Hoshiai,

1964; Vigil *et al.*, 2009; Bazin *et al.*, 2014). 섬진강 및 수어천 하구해역도 이러한 경향이 관찰되고 있으며, 3계절 이상 지속적으로 출현이 관찰되는 식물플랑크톤 종도 17종으로 우리나라 동해(Yoon, 2016), 서해(Yoon, 2015a) 및 남해(Yoon, 2011; 2015b)에 비해 적었다. 그러나 출현 종은 일반 연안해역에 비해 단조롭지만, 출현 종을 구성하는 분류군별 구성 비율은 남서해역이나 기타 연안해역과 유사하였고(Yoon, 2011; 2015a; 2015b;

Table 5. Seasonal fluctuation of phytoplankton cell density in the ESRaSS

Seasons	Taxon	Phytoplankton standing crop (cells/mL)							
		Surface				Bottom			
		Min.	Mean	Max.	SD	Min.	Mean	Max.	SD
Winter (2017.01.19)	Diatoms	1.6	8.6	34.0	10.0	11.0	22.5	39.8	10.6
	Phytoflagellates	0	0.07	0.2	0.36	0	0.2	0.6	0.20
	Sub-total	1.6	8.6	34.2	10.0	11.0	22.7	40.0	10.6
Spring (2017.04.28)	Diatoms	3.4	21.8	46.0	12.9	27.2	36.6	49.2	10.4
	Phytoflagellates	0	0.4	1.0	0.34	0.2	0.4	0.8	0.25
	Sub-total	3.4	22.2	46.2	13.0	27.4	37.0	50.0	10.7
Summer (2017.07.27)	Diatoms	29.4	89.7	307.0	84.2	47.2	50.6	54.0	4.81
	Phytoflagellates	0.6	3.6	7.8	2.42	0.8	1.1	1.4	0.42
	Sub-total	31.8	93.3	309.8	84.2	48.6	51.7	54.8	4.38
Autumn (2017.10.28)	Diatoms	3.0	12.3	25.0	7.06	3.2	4.8	6.8	1.83
	Phytoflagellates	0	1.7	7.4	2.41	0.8	1.0	1.4	0.35
	Sub-total	3.0	14.0	27.2	8.23	4.0	5.8	7.6	1.80

Min.: Minimum, Max.: Maximum, SD: Standard deviation

**Fig. 5.** Spatio-temporal distributions of phytoplankton cell density in the ESRaSS.

2016), 고수온기에 와편모조류를 포함하는 식물성 편모조류가 다소 높게 출현하는 것도 남서연안해역이나 온대해역에서 일반적으로 관찰되는 내용(Parsons *et al.*, 1984; Yoon, 2011)과 유사하였다.

2) 현존량

섬진강 및 수어천 하구해역의 식물플랑크톤 현존량의 시·공간적 변화는 표층에서 겨울 최소값 1.6 cells/mL에서 여름 최대값 307.0 cells/mL의 범위에서 변화하였고, 시간적으로는 표층에서 겨울이 8.6 ± 10.0 cells/mL의 변동 폭을, 봄은 22.2 ± 13.0 cells/mL, 여름은 93.3 ± 84.2 cells/mL, 그리고 가을이 12.3 ± 7.06 cells/mL의 변동 폭을 보여 겨울에 가장 낮았다. 저층은 수심이 낮아 일부 정점에 대해서만 조사가 실시되었지만, 겨울은 22.7 ± 10.6 cells/mL의 변동 폭을, 봄은 37.0 ± 10.7 cells/mL, 여름은 167.4 ± 86.5 cells/mL, 그리고 가을은 5.8 ± 1.80 cells/mL의 변동 폭을 보여 표층과는 달리 가을에 가장 낮았다(Table 5). 즉 시간적으로는 수온 상승기에 높았고, 수온 하강기에 낮은 세포밀도를 보여 수온과 연관성이 깊게 나타났다. 수층별로는 저층보다 표층의 변화 폭이 한 단위 이상 높게 나타났다.

세포밀도의 공간분포는 표층에서 겨울은 출현종과 유사하여 수어천 하구해역과 태인도 북 수로에서 5 cells/mL 이하의 낮은 세포밀도를 보였고, 태인도 동쪽 섬진강 하구해역에서 5~10 cells/mL의 범위, POSCO 서쪽 수로에서 30 cells/mL 이상의 상대적으로 높은 세포밀도를 보였다(Fig. 5A). 봄은 섬진강 하구해역에서 상대적으로 담수영향이 강한 곳에서 40 cells/mL 이상, 태인도 남수로와 광양만 북부 해역의 만나는 해역에서 30 cells/mL, 그리고 수어천 하구 및 태인도 북동 섬진강 하구해역에서 20 cells/mL의 세포밀도를 보이지만, 태인도 북부 및 POSCO 동쪽 광양만 해역에서 10 cells/mL 이하의 세포밀도를 보였다(Fig. 5B). 여름은 겨울이나 봄보다 단위가 다른 세포밀도로 출현하여 수어천 하구에서 POSCO 서쪽 수로부에서 100 cells/mL 이상의 높은 세포밀도를 보였고, 섬진강 하구에서 태인도 북 및 동 수로에서 30~50 cells/mL의 세포밀도를, 그리고 POSCO 동쪽의 광양만 해역에서 30 cells/mL 이하의 세포밀도를 보였다(Fig. 5C). 그리고 가을은 수어천과 섬진강 하구해역의 상부에서 20 cells/mL 이상의 높은 세포밀도를 보였고, POSCO 서쪽 수로 및 동쪽의 광양만 해역에서 10 cells/mL 이하의 낮은 세포밀도를 보였다(Fig. 5D).

Table 6. Seasonal fluctuation of dominant species for phytoplankton community in the ESRaSS

Dominant species	Dominance (%)							
	Winter		Spring		Summer		Autumn	
	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom
<i>Chaetoceros curvisetus</i>		9.7			39.4	27.1		
<i>Ch. socialis</i>		9.2						
<i>Coscinodiscus gigas</i>					6.2			13.8
<i>Eucampia zodiacus</i>	28.4	32.6			6.8			
<i>Guinadia delicatula</i>							46.4	
<i>Leptocylindrus danicus</i>					6.8			
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>			7.5		11.2	20.3		
<i>Skeletonema costatum</i> -ls	27.1	17.6	57.0	72.0	5.7	11.8	8.9	12.6
<i>Stephanopyxis palmariana</i>						5.0		
<i>Thalassiosira rotula</i>	19.1	11.0						
<i>Eutreptiella gymnastica</i>							10.7	16.1

섬진강 및 수어천 하구해역의 식물플랑크톤 세포밀도는 일정한 규칙성이 없이 시·공간적으로 매우 불규칙하면서 큰 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 하구해역이 하천을 통한 물리·화화적인 환경인자의 원활한 공급 등으로 인근 해역과 이들 인자의 농도구배가 매우 크다는 내용(McLusky, 1993)이나 식물플랑크톤 군집 등의 외부적 환경인자에 의한 대발생 시·공간적 변동 폭이 매우 크다는 특성(Trigueros and Orive, 2000)으로 해석할 수 있었다. 또한 광양만은 국내에서도 대규모 임해공업단지가 조성되어 부영양화가 진행된 해역임을 고려하면, 섬진강 및 수어천 하구해역에 관찰되는 식물플랑크톤 세포밀도는 그다지 높지 않았다(Domingues *et al.*, 2005; Carstensen *et al.*, 2015).

3) 우점종

중위도의 개방해역에서 식물플랑크톤 군집은 빛, 수괴의 연직안정도, 영양염류의 공급 등과 같은 물리·화학적 환경인자에 따라 강한 해수 혼합 직후인 봄에는 규조류에 의해 우점되지만, 규산염 등 영양염 농도가 낮아지는 여름에는 와편모조류 등 식물성 편모조류에 의해 우점종이 천이되는 것이 일반적으로 알려져 있다(Parsons *et al.*, 1984; Yoon *et al.*, 1992). 섬진강 및 수어천 하구해역은 개방해역과는 영양염류 공급과정 등이 다르기는 하지만, 식물플랑크톤 군집에서 전체 정점 평균으로 5% 이상의 우점율을 보이는 종을 종에서는 연중 규조류에 의해 우점되었다(Table 6). 즉 표층에서 겨울은 중심규조, *Eucampia zodiacus*, *Skeletonema costatum*-ls 및 *Thalassiosira rotula*가 각각 28.4%, 27.1% 및 19.1%의 우점율을 보였고, 봄은 *S. costatum*-ls가 57.0%의 우점율로 극우점하였다. 여름은 겨울과 봄과는 다르게 중심규조, *Chaetoceros curvisetus* 및 우상규조, *Pseudo-nitzschia pungens*가 각 39.4% 및 11.2%의 우점율을 보였고, 이외에도 대형 중심규조, *Coscinodiscus gigas*, *E. zodiacus* 그리고 *Leptocylindrus danicus* 및 *S. costatum*-ls가 5~7%의 우점율을 나타내었다. 그리고 가을은 낮은 세포밀도에, 전 해역에서 공통으

로 우점하는 종이 관찰되지 않았지만, 중심규조, *Guinadia delicatula* 및 유글레나조, *Eutreptiella gymnastica*가 각 46.4%와 10.7%로 우점하였고, 기타 *S. costatum*-ls가 8.9%의 우점율을 나타내었다. 저층은 겨울에서 여름까지는 우점율에서 다소 차이는 있더라도 표층과 유사하였지만, 가을에는 표층에서 우점한 *E. gymnastica* 및 *S. costatum*-ls가 각 16.1%와 12.6%의 우점율을 보이는 것 이외에도 대형 규조인 *C. gigas*가 13.8%의 우점율을 나타내었다(Table 6).

빈영양 해역에서 소형세포인 피코플랑크톤이 우점하는 것에 반해, 하구해역은 대형세포의 식물플랑크톤이 우점하는 것으로 알려진다(Cloern, 2018). 또한 북미 및 유럽 등의 다양한 하구해역을 대상으로 우점하거나 대발생을 형성하는 종을 정리한 결과에 의하면, 하구해역의 대표적 종(key bloom species)으로 규조류, *Cerataulina pelagica*, *Dactyliosolen fragilissimus*, 와편모조류, *Heterocapsa triquetra*, *Prorocentrum cordatum* 등의 기수성 종과 이외에도 규조류 *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Skeletonema* 및 *Thalassiosira* 속이라고 하는 내용(Carstensen *et al.*, 2015)이 알려진다. 이들 대표적 우점종은 우리나라 하구해역에서도 어렵지 않게 관찰되지만(Yoon, unpublished data), 섬진강 및 수어천 하구해역은 이들 종 이외에 *Eucampia*, *Leptocylindrus*, *Pseudo-nitzschia* 속 등이 출현하였고, 와편모조의 우점은 관찰되지 않았지만, *Eutreptiella* 속이 우점하였다. 그러나 섬진강 및 수어천 하구해역에서 관찰되는 대부분 우점종은 남서 연안해역에서 일반적으로 관찰되는 종이나(Yoon, 2011), *E. gymnastica*가 광양만에서 우점하는 것은 다소 이례적이다. 또한 일반적으로 알려지는 것과 같이 섬진강 및 수어천의 우점 식물플랑크톤은 상대적으로 대형에 속하는 종으로, 생물생산에 필요한 영양염류 등의 공급이 원활한 것으로 추정되었다.

4) 생태지수

표층의 식물플랑크톤 군집에 의한 생태지수에서 섬진강 및 수어천 하구해역의 풍부도 지수는 봄 0.729에서 여름 5.486가

Table 7. Seasonal fluctuation of ecological indices for phytoplankton community in the ESRaSS

Ecological indices		Minimum	Mean	Maximum	Standard deviation
Richness (R)	Winter	1.379	1.862	2.474	0.349
	Spring	0.729	2.840	3.868	0.860
	Summer	3.781	4.445	5.485	0.577
	Autumn	1.936	2.292	3.070	0.368
Evenness (J)	Winter	0.932	0.950	0.963	0.010
	Spring	0.941	0.967	0.981	0.015
	Summer	0.980	0.981	0.984	0.001
	Autumn	0.950	0.962	0.976	0.008
Diversity (H')	Winter	1.671	2.008	2.390	0.228
	Spring	1.956	2.499	2.938	0.395
	Summer	2.936	3.096	3.373	0.143
	Autumn	2.088	2.274	2.642	0.188
Dominance (D)	Winter	0.829	0.876	0.915	0.028
	Spring	0.867	0.920	0.953	0.034
	Summer	0.952	0.959	0.968	0.006
	Autumn	0.885	0.906	0.938	0.017

지 폭 넓은 변화를 보였고, 정점 평균으로는 출현 종수 및 세포밀도가 높았던 여름에 4.445로서 높고, 출현 종수 및 세포밀도가 낮았던 겨울에 1.862로 낮았으며, 계절적으로는 여름을 제외하고는 상대적으로 낮은 풍부도 지수를 보였다(Table 7). 균등도 지수는 겨울 0.932에서 여름 0.984까지 변동하고 있지만, 평균적으로는 겨울 0.950에서 여름 0.981의 범위에서 상대적으로 균일한 분포를 나타내었다(Table 7). 다양도 지수는 겨울 1.671에서 여름 3.373의 범위로 비교적 큰 변동을 보였으며, 평균으로는 풍부도지수와 같이 출현 종수 및 세포밀도가 낮았던 겨울에 2.008에서 출현 종수 및 세포밀도가 높았던 여름 3.096까지 변동하여 여름과 봄에 상대적으로 군집 다양성이 높은 반면, 겨울과 가을에 다양성이 낮은 것으로 평가되었다(Table 7). 우점도 지수는 겨울 0.829에서 여름 0.968까지 변동하고 있지만, 평균값으로도 겨울 0.876에서 여름 0.959까지 변동하여 다른 지수와는 다소 다르게 겨울을 제외하고는 모두 0.9 이상으로 특정한 몇 종에 의해 우점되는 식물플랑크톤 군집구조를 나타내었다(Table 7).

표준편차에 의한 공간분포는 식물플랑크톤 출현 종수 및 세포밀도가 높았던 여름보다 봄에 해역에 따른 생태지수의 편차가 큰 것으로 나타났으며, 우점도 지수에서 그러한 분포가 더욱 현저하였다. 특히 우점도 지수에서 다양성이 가장 높은 여름의 공간적 편차는 거의 없이 매우 균일한 특성을 보였다(Table 7).

섬진강 및 수어천 하구해역의 생태지수 변화에서 균등도 지수를 제외한 모든 지수에서 계절적 변동 폭은 매우 크게 나타났으며, 우점도 지수에서도 상대적으로 큰 지수값을 보이고 있는 것에서, 섬진강 및 수어천 하구해역의 식물플랑크톤 군집의 변동은 매우 커면서 불안한 구조를 가지는 것으로 판단되었다.

Table 8. A results of principal component analysis (PCA) on the marine environmental factors and phytoplankton community in the ESRaSS

Season	Principal component	Eigenvalue	Proportion (%)	Accumulative proportion (%)
Winter	1st	5.367	53.7	53.7
	2nd	2.358	23.6	77.3
Spring	1st	3.987	44.3	44.3
	2nd	2.975	33.1	77.4
Summer	1st	8.625	50.7	50.7
	2nd	4.016	23.6	74.3
Autumn	1st	4.899	49.0	49.0
	2nd	2.788	27.9	76.9

4. 식물플랑크톤 군집의 분포특성

섬진강 및 수어천 하구해역의 식물플랑크톤 군집 출현 및 변동 특성, 그리고 생물해양학적 특성을 파악하기 위하여 각 정점에서 측정된 수온, 염분, 시그마 t, 탁도, 용존산소량 및 포화도, Chl-a 농도 등의 환경인자와 식물플랑크톤 군집에서 출현 종수, 전체 출현 세포밀도, 규조류 및 식물성 편모조류의 세포밀도, 계절별 우점종에 대한 세포밀도를 이용하여 SPSS 프로그램에 의한 주성분분석을 실시하였다. 주성분분석의 해석은 누적기여율 70%를 기준으로 설정하였다(Yoon, 1989; 2016). 전 계절의 주성분분석에서 누적기여율은 제2주성분에서 70%를 넘는 것으로 계산되었다(Table 8). 그리고 연구대상 해역의 얕은 수심으로 저층은 일부 자료만 분석되었기에 해석에서 제외하고, 표층의 결과만 제시하였다.

겨울(2017.01) 주성분분석의 결과는 $Z = 5.367Z_1 + 2.358Z_2$ 로 제2주성분까지의 누적기여율을 77.3%를 나타내었으며, 봄(2017.04)은 $Z = 3.987Z_1 + 2.975Z_2$ 로 누적기여율을 77.4%, 여름(2017.07)은 $Z = 8.625Z_1 + 4.016Z_2$ 로 누적기여율을 74.3, 그리고 가을(2017.10)은 $Z = 4.899Z_1 + 2.788Z_2$ 로 제2주성분까지의 누적기여율은 76.9%를 나타내어, 모든 계절 제2주성분까지로 약 75%의 특성값이 집약되는 것으로 계산되었다(Table 8).

겨울 주성분분석에 의한 인자부하량의 그림에서 제1주성분은 식물플랑크톤 전체 세포밀도와 최우점종인 *Eucampia zodiacus* 및 *Thalassiosira rotula*, 그리고 출현 종수 등에 강한 양의 상관을 나타내었고, 탁도와 우점규조인 *Skeletonema costatum*-ls에 다소 약하지만 음의 상관을 보이는 것에서 제1주성분은 식물플랑크톤 출현을 지배하는 환경지표로 해석되었다. 제2주성분은 수온, 염분, 시그마 t 등의 환경 인자에 강한 양의 상관을 보이며, 약하지만 *S. costatum*-ls에 음의 상관을 보이는 것에서 해수의 확장을 표현하는 지표로 해석되었다(Fig. 6A). 봄은 제1주성분에 염분과 시그마 t의 환경인자와 출현 종수가 강한 양의 상관을 보이는 반면, 수온과 강한 음의 상관을 보이며, 다소 약하지

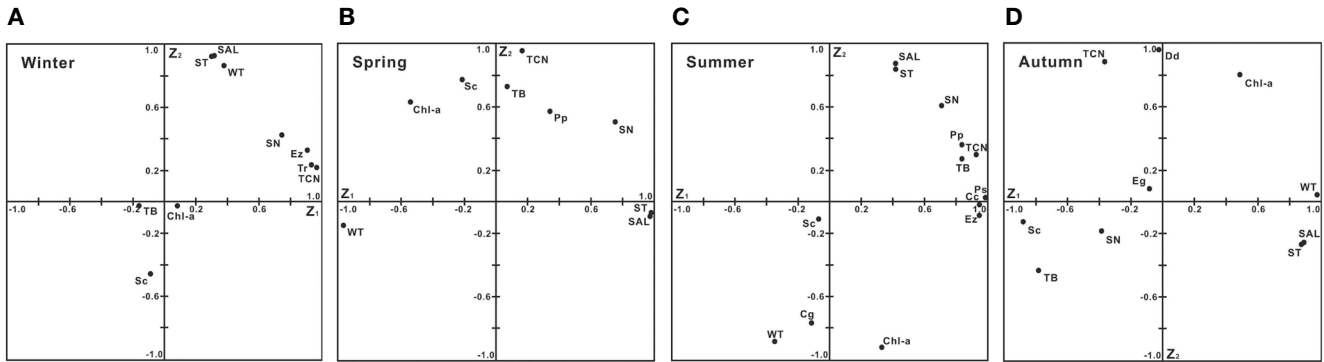


Fig. 6. Seasonal changes of loading factor by PCA on the marine environment factors and phytoplankton community in the ESRaSS.

만 Chl-a 농도와도 음의 상관을 보이는 것에서 해수확산을 나타내는 지표로 해석되었다. 제2주성분은 식물플랑크톤 전체 및 최우점종 *S. costatum*-ls의 세포밀도, Chl-a 농도, 탁도에 강한 상관을 보이며, 다소 약하지만 출현 종수나 차우점종 *Pseudo-nitzschia pungens*와도 비교적 높은 양의 관계를 보이는 것에서 식물플랑크톤 출현을 지배하는 환경지표로 해석되었다(Fig. 6B). 여름은 제1주성분에 식물플랑크톤 전체 및 최우점종 *Chaetoceros curvisetus* 및 차우점종 *Pn. pungens* 세포밀도, 탁도와 출현 종수, 그리고 우점종 *E. zodiacus*, *Leptocylindrus danicus*와 강한 양의 상관을 보이는 반면, 다소 약하나 수온 및 중심규조 *Coscinodiscus gigas* 및 *S. costatum*-ls와 음의 상관을 보이는 것에서 식물플랑크톤 출현을 지배하는 환경지표로 해석되었다. 제2주성분은 염분, 시스마 t, 그리고 출현 종수에 강한 양의 상관을 보이거나, 수온, Chl-a 농도 및 *C. gigas*와는 강한 음의 상관을 보이는 것에서 해수확장을 나타내는 지표로 해석되었다(Fig. 6C). 가을은 제1주성분이 수온, 염분, 시스마 t 등의 환경 인자에 강한 양의 상관을 보이며, 약하지만 Chl-a 농도와도 양의 상관을 보였다. 그러나 제3우점종 *S. costatum*-ls에 강한 음의 상관을, 그리고 약하지만 식물플랑크톤 세포밀도와 출현 종수 및 기타 우점규조에 음의 상관을 보이는 것에서 해수확장을 나타내는 지표로 해석되었다. 제2주성분은 최우점종 *Guinardia delicata*, 식물플랑크톤 세포밀도 및 Chl-a 농도와는 강한 양의 상관을 나타내었고, 약하지만 탁도와 염분 등에 음의 상관을 나타내는 것에서 식물플랑크톤 출현을 지배하는 환경지표로 해석되었다(Fig. 6D).

섬진강 및 수어천 하구해역의 일부 환경인자와 식물플랑크톤 군집 항목을 이용한 주성분분석 결과, 이들 하구해역의 해양환경은 계절에 따라 다수 인자의 순번은 달라지지만, 크게 해수확장(담수확장) 및 식물플랑크톤 출현을 지배하는 환경인자라는 두 가지 내용으로 환경특성이 요약되었다(McLusky, 1993; Trigueros and Orive, 2000; Hopkinson *et al.*, 2005; Cloern *et al.*, 2014). 특히 각 계절에 따른 식물플랑크톤 출현 특성은 다음과

같았다. 겨울은 우점종 *E. zodiacus*, *T. rotula* 및 *S. costatum*-ls는 서로 출현 환경특성을 달리하여, 최우점종인 *E. zodiacus*와 제3우점종 *T. rotula*는 상대적으로 해수확산이 강한 곳을 선호하는 것에 반해, 차우점종인 *S. costatum*-ls는 담수영향이 강한 하구해역을 선호하는 것으로 평가되었다. 봄은 해수보다 담수확산이 강한 하구해역에 식물플랑크톤 세포밀도가 높았고, Chl-a나 탁도 역시 해수보다 담수영양을 받는 하구해역에서 높은 것으로 해석되었다. 여름도 다른 계절과 유사하여 우점규조, *C. gigas* 및 *S. costatum*-ls는 해수보다 담수확산이 강한 하구해역을 선호하며, 탁도 및 Chl-a 농도는 최우점종, *Ch. curvisetus* 및 차우점종, *Pn. pungens*에 의해 지배되는 양상을 보이는 것으로 해석되었다. 가을은 다른 계절과는 다소 다르게 식물플랑크톤 군집은 담수와 해수가 혼합된 하구해역을 선호하며, 탁도는 Chl-a 등 식물플랑크톤 생물량보다 담수유입 또는 일부 천해역 표층퇴적물의 재부유 영향이 큰 것으로 해석되었다.

요 약

섬진강 및 수어천 하구해역의 해양환경 및 식물플랑크톤 군집의 분포 및 출현 특성을 파악하기 위해 2017년 1월부터 10월까지 4회, 계절별로 현장조사를 실시하였다. 결과 섬진강 및 수어천의 해양환경은 수온은 비교적 균일한 분포를 하는 것에 비해 염분은 큰 농도구배를 나타내었다. Chl-a 농도는 0.42~2.98 µg/L의 범위에서 표층 평균은 0.50~2.13 µg/L으로 변화하여 시·공간적인 변동 폭은 크지 않았다. 식물플랑크톤 출현종은 전체 36속 57종이 출현하여 규조류에 의한 점유율이 70.2%로 높았다. 계절적으로는 겨울과 가을 출현 종수가 낮았고, 봄과 여름에 출현 종수가 많았지만, 전반적인 다양성은 낮았다. 세포밀도는 1.6~307.0 cells/mL의 범위, 표층 평균은 8.6~93.3 cells/mL로 겨울에 낮고, 여름에 높았다. 우점종은 *Skeletonema costatum*-ls를 제외하고는 계절적 천이가 뚜렷하여, 겨울에 *Eucam-*

pia zodiacus, 봄에 *S. costatum*-ls. 여름에 *Chaetoceros curvise-tus* 및 가을 표층에서 *Guinadia delicatula*가 최우점하였다. 생태지수에 의한 군집구조는 시·공간적으로 식물플랑크톤 군집의 변동은 매우 크면서 불안한 구조를 가지는 것으로 판단되었다. 주성분분석에 의한 도출된 섬진강 및 수어천 하구해역의 생물해양학적 특성은 계절에 따라 다소 차이는 있지만, 해수(담수) 확장 및 식물플랑크톤 출현을 지배하는 환경인자라는 두 특성값으로 환경특성이 요약되었다.

참고 문헌

- Bazin, P., F. Jouenne, T. Friedl, A.F. Deton-Cabanillas, B. Le Roy and B. Véron, 2014. Phytoplankton diversity and community composition along the estuarine gradient of a temperate macrotidal ecosystem: Combined morphological and molecular approaches. *PLOS One*, 9(4), e94110. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094110>
- Carstensen, J., R. Klais and J.E. Cloern, 2015. Phytoplankton blooms in estuarine and coastal waters: Seasonal patterns and key species. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 162, 98-109.
- Chihara, M. and M. Murano, 1997. *An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan*. Tokai Univ. Press, Tokyo, 1547pp.
- Cloern, J.E., 2018. Why large cells dominate estuarine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 63, S392-S409.
- Cloern, J.E., S.Q. Foster and A.E. Kleckner, 2014. Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems. *Biogeosci.*, 11, 2477-2501.
- Cupp, E.E., 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of north America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. of California*, 5, 237.
- Dodge, J.D., 1982. *Marine Dinoflagellates of the British Isles*. Her Majesty's Office, London, 303pp.
- Domingues, R.B., A. Barbosa and H. Galvão, 2005. Nutrients, light and phytoplankton succession in a temperate estuary (the Guadiana, south-western Iberia). *Est. Coast. Shelf Sci.*, 64, 249-260.
- Gameiro, C., P. Cartaxana, M.T. Cabrita and V. Brotas, 2004. Variability in chlorophyll and phytoplankton composition in an estuarine system. *Hydrobiol.*, 525, 113-124.
- Hallegraeff, G.M., C.J.S. Bolch, D.R.A. Hill, I. Jameson, J.M. LeRoi, A. McMinn, S. Murray, M.F. de Salas and K. Saunders, 2010. *Algae of Australia: Phytoplankton of Temperate Coastal Waters*. CSIRO Publ., Cambella, 432pp.
- Hopkinson, C.J. and E.M. Smith, 2005. Estuarine respiration: an overview of benthic, pelagic and whole system respiration. In "del Giorgio, P.A. and P.J. le B. (eds). *Williams eds Respiration in Aquatic Ecosystems*. Oxford Univ. Press, New York", 122-146.
- Hoshiai, T., 1964. Synecological study on the intertidal zonation of the Asamushi coastal area with special reference to its reformation. *Bul. Mar. Biol. Stn Asamushi, Tohoku Univ.*, 12, 93-126.
- Jang, P.G., W.J. Lee, M.C. Jang, J.D. Lee, W.J. Lee, M. Chang, K.C. Hwang and K. Shin, 2005. Spatial and temporal distribution of inorganic nutrients and factors controlling their distributions in Gwangyang Bay. *Ocean Polar Res.*, 27, 359-379.
- Kwon, K.Y., P.G. Lee, C. Park, C.H. Moon and M.O. Park, 2001. Biomass and species composition of phytoplankton and zooplankton along the salinity gradients in the Seomjin River Estuary. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 6, 93-102.
- Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, 3, 36-71.
- McLusky, D.S., 1993. Marine and estuarine gradients - An overview. *Netherlands J. Aquat. Ecol.*, 27, 489-493.
- McNaughton, S.J., 1968. Structure and function in California grassland. *Ecol.*, 49, 962-972.
- NKK (Nippon Kishou Kyoukai), 1985. *Manual on Marine Observation*. Oceanogr. Soc. Japan, 428pp.
- Omura, T., M. Iwataki, V.M. Borja, H. Takayama and Y. Fukuyo, 2012. *Marine Phytoplankton of the Western Pacific*. Kouseisha Kouseikaku, Tokyo, 160pp.
- OSC (The Oceanographic Society of Japan, eds), 1986. *A Manual for Coastal Environmental Survey (Sediments and Biology)*. Kouseishakouseikaku, Tokyo, 266pp.
- Park, M.O., S.S. Kim, S.G. Kim, J. Kwon, S.M. Lee and Y.W. Lee, 2012. Factors controlling temporal-spatial variations of marine environment in the Seomjin river estuary through 25-hour continuous monitoring. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Eng.*, 15, 314-322.
- Parsons, T.R., M. Takahashi and B. Hargrave, 1984. *Biological Oceanographic Processes (3rd eds.)*. Pergamon Press, Oxford, 330pp.
- Pennock, J.P., 1985. Chlorophyll distributions in the Delaware estuary: Regulation by light-limitation. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 21, 711-725.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoretical Biol.*, 13, 131-144.
- Pritchard, D.W., 1989. Estuarine classification - a help or a hindrance. In "Neilson, B.J., A. Kuo and J. Brubaker (eds). *Estuarine Circulation*. Humana Press, Clifton, NJ", 1-38.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. Illinois, Press, Urbana, 177pp.
- Thronsdon, J., 1978. Preservation and storage. In "Sournia, A. (ed). *Phytoplankton manual*. Unesco, Paris", 69-74.
- Tomas, C.R., 1997. *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates*. Academic Press, Oxford, 858pp.
- Trigueros, J.M. and E. Orive, 2000. Tidally driven distribution of phytoplankton blooms in a shallow, macrotidal estuary. *J. Plankton Res.*, 22, 969-986.
- Vigil, P., P. Countway, J. Rose, D.J. Lonsdale, C.J. Gobler and D.A. Caron, 2009. Rapid shifts in dominant taxa among microbial eukaryotes in estuarine ecosystems. *Aquat. Microb. Ecol.*, 54, 83-100.
- Yang, S.R., H.S. Song, K.C. Kim, C. Park and C.H. Moon, 2005. Changes in environmental factors and primary productivity in the Seomjin river estuary. *J. Korean Soc. Oceanogr. 'The Sea'*, 10, 164-170.
- Yoon, Y.H., 1989. *Environmental Analysis of Phytoplankton Growth in the Inland Sea of Japan with Special Reference to the Occur-*

- rence of Red tide. Ph.D Thesis, Hiroshima Univ., 361pp.
- Yoon, Y.H., 2011. Marine environments and phytoplankton in the southwestern sea of Korea. In “Choi, C.K. (ed). *The plankton ecology in Korean coastal waters*. Donghwa Pub., Seoul”, 68-93.
- Yoon, Y.H., 2015a. Spatio-temporal distributions of phytoplankton community in the coastal waters of Gogunsan Islands (CoWGs), West Sea of Korea. *J. Korea Acad.-Indust. Coop. Soc.*, 16, 2287-2300.
- Yoon, Y.H., 2015b. Spatio-temporal variability of phytoplankton community in the Jeju Marine Ranching Area (JMRA). *J. Korea Acad.-Indust. Coop. Soc.*, 16, 7761-7772.
- Yoon, Y.H., 2016. Bio-environmental characteristics of the Uljin Marine Ranching Area (UMRA), east sea of Korea. 1. Spatio-temporal distributions of phytoplankton community. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 19, 37-46.
- Yoon, Y.H., H.G. Rho and Y.K. Kim, 1992. Seasonal succession of phytoplankton population in the Hamdok port, Northern Cheju Island. *Bull. Mar. Sci. Inst., Cheju Nat'l Univ.*, 16, 27-42.
- Zhang, Y., H. Lin, C. Chen, L. Chen, B. Zhang and A.A. Gitelson, 2011. Estimation of chlorophyll-*a* concentration in estuarine waters: Case study of the Pearl River estuary, South China Sea. *Environm. Res. Lett.*, 6(2), 024016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/2/024016>

유압모터 구동용 동기제어 시스템 제안

Propose of Synchronous Control System for Hydraulic Motor Drive

양경욱^{1,*}Kyong-Uk Yang^{1,*}¹전남대학교 수산해양대학 해양기술학부¹School of Marine Technology,
Chonnam National University, 50 Daehak-ro,
Yeosu 59626, Republic of Korea*Correspondence to Kyong-Uk YANG
E-mail: yangku@jnu.ac.kr

Received December 27, 2018

Revised February 19, 2019

Accepted February 19, 2019

Abstract : In this paper, we study the synchronous control of hydraulic system with two hydraulic motors in the hydraulic system. A hydraulic motor use for a rotary motion in hydraulic system. As the external load force in the hydraulic system increases, the hydraulic power can not be generated by only one hydraulic motor, therefore it is used to generate the hydraulic power by connecting two hydraulic motors. At this time, the same external load must be applied to two hydraulic motors depending on the external load, so a stable hydraulic system can be provided. The power acting on the hydraulic motor is controlled using the hydraulic control valve installed at the inlet side of the hydraulic motor. Therefore, the hydraulic motors must be controlled and synchronized using the hydraulic control valve. The method for synchronizing is to use the control algorithm we proposed, the synchronization target is set to the rotation number of the hydraulic motors, and to perform the modeling of the hydraulic system. We propose a synchronization method for the hydraulic motor and verify the usefulness of the proposed method through simulation results in this study.

Keywords : Hydraulic system, Hydraulic motor, Synchronous control system, Simulation

서론

유압 시스템에서 발생하는 유체 에너지는 유압 실린더를 이용하여 직선 운동으로, 유압 모터를 이용하여 회전 운동으로 변환하여 동력을 발생시킨다. 이 유압 시스템에서 발생하는 동력의 크기는 운동 작동부인 유압 실린더와 유압 모터에 영향을 미치는 외부 부하력에 의하여 결정된다. 유체 에너지를 발생시키는 유압 펌프는 외부 부하력을 고려하여 제원을 결정하나, 그 제원을 상회하는 동력을 발생시켜야 하는 경우에는 2개의 유압 작동부에서 유압 실린더와 유압 모터를 각각 상호 연결하여 유압 시스템을 구성하여야 한다.

이 때, 유압 작동부에 작용하는 외부 부하력이 골고루 유압 작동부에 작용시키는 문제가 대두된다. 유압시스템에서는 유압의 상대 크기에 따라 전달되는 특성을 가지고 있기 때문에 복수의 유압 작동부를 사용하는 유압 시스템의 경우에는 일정한 압력과 유량을 유압 작동부에 공급하고 작동시키는 것이 매우

중요하며, 이러한 이유로 전체 유압 시스템의 안정성에도 영향을 미치게 된다.

일반적으로 전기, 기계, 유압 시스템에서는 복수의 작동부에 각각 조절할 수 있는 장치를 설치하여 동기화하는 방법을 이용하여 시스템의 안정성을 높이는 방법을 많이 사용하고 있다 (Yang and Byun, 2016; 2017; Byun, 2017). 이러한 제어 방법은 시스템을 구성하는 구성 요소의 응답이 매우 빠른 경우에는 어느 정도 안정된 제어 출력을 얻을 수 있으며 제어기도 개루프 제어를 통하여 제어할 수 있으나, 제어 대상에 대한 정확한 수치 모델을 구성하여야만 만족스러운 제어 출력을 얻을 수 있다는 점이 실용화하기에 어려움을 가지고 있다.

이 연구에서는 유압시스템에서 회전 운동을 담당하는 유압 모터의 동기화를 위한 동기제어 방법을 제안한다. 이를 위해 유압 제어 밸브의 유량을 통하여 유압 모터를 동기화 할 수 있도록 시스템에 대한 모델링과 유압 모터에 대한 동기제어 시스템을 설계한다. 또한 제안한 방법에 대하여 시뮬레이션을 수행하

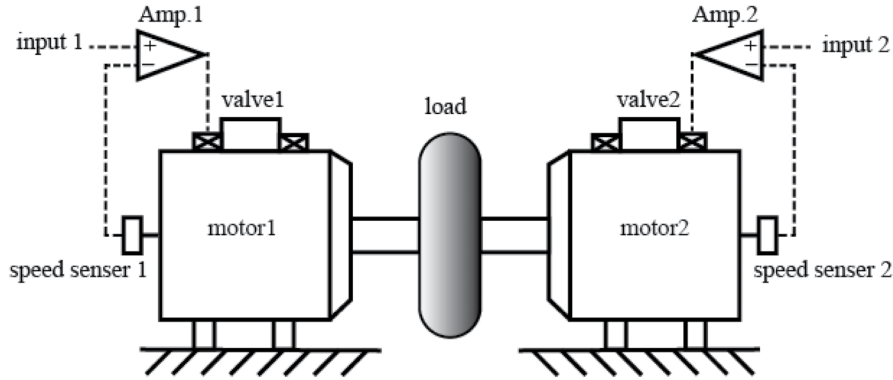


Fig. 1. Schematic diagram of the synchronous hydraulic system which is an object of study.

여 제안 방법의 유용성 검증한다. 또한, 유압 모터의 내부 누설 등 비선형 요소들에 대한 간섭화를 모델화하여 원하는 제어 출력 결과를 얻을 수 있도록 하였다.

제안한 유압 모터 구동용 동기 제어에는 각각 유압 모터에 유압 제어 밸브가 설치되며 여기에서 나오는 유량을 유압 모터의 회전수로 제어하는 방법을 제안하며, 유압 모터 사이에는 관성체를 설치하여 외부 부하력이 유압 모터에 작용되도록 하였다. 특히, 2개의 유압 모터에 대한 동기화를 위하여 동적 방정식을 유도하였고 유압 제어 밸브에 의하여 조절될 수 있도록 상세하게 모델링을 수행한 점이 중요한 연구 결과인 것이다. 일반적인 유압 동적 방정식은 압력과 유량을 중심으로 모델화를 시도하고 있지만, 이 연구에서는 유압 모터에 작용하는 유압 작동유의 압축성, 누설 유량 등도 고려하여 모델 식을 유도하였다. 연구 내용으로는 동적 모델 식을 유도하고 이것을 바탕으로 수치해석 프로그램을 작성하여 수치 시뮬레이션(Vissim(ver.8), 2015)을 통하여 제안한 동기 제어기의 성능을 평가하였다. 또한 외란에 대한 동기 제어기의 유용성과 속도 변화에 따른 제어기 성능도 검증하였다.

유압모터 구동형 동기제어 시스템의 구성 및 모델링

연구 대상으로 하는 유압 시스템의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 이 유압 시스템의 주요 구성 장치는 유압 모터(motor 1, 2), 유압 제어 밸브(valve 1, 2), 유압 모터의 회전수를 계속하기 위한 회전 계측기(speed sensor 1, 2), 외부 부하력을 모의하기 위한 관성체(load), 제어 밸브를 구동시켜주는 전기 앰프(Amp. 1, 2) 등으로 구성되어 있으며, 유압 모터에 가해지는 부하력을 모의하기 위한 관성체는 유압 모터 축 사이에 설치되어 있고 유압 모터의 회전수를 조절하기 위한 유압 제어 밸브가 전기 앰프에 의하여 조절되어진다.

제어 대상인 2개의 유압 모터로 이루어진 동기 유압 시스템은 유량 제어 밸브에 의하여 유압 모터의 회전수가 조정되므로, 유압 제어 밸브의 동특성을 고려해야 한다.

유압 제어 밸브에서 나오는 유량의 동특성을 연속점에서의 압력-유량에 대한 관계식이나, 압력-유량을 나타내는 곡선으로부터 얻을 수 있으므로, 유량 이득 K_q 와 유량-압력계수 K_c 를 고려하여 나타내면 아래와 같다(Merritt, 1967).

$$Q_1 = K_{q1}\Delta x_{v1} - K_{c1}\Delta P_1 \quad (1)$$

$$Q_2 = K_{q2}\Delta x_{v2} - K_{c2}\Delta P_2 \quad (2)$$

여기서, x 는 유압 제어 밸브 내의 스톱의 움직인 거리, P 는 유압 모터에 작용하는 부하 압력, 아래 첨자 1, 2는 각각의 유압 모터를 나타낸다.

유압 모터에서 작용되는 부하 유량을 나타내면,

$$Q_{L1} = D_1\dot{\theta}_1 + C_1P_1 + (V_1/4\beta)\dot{P}_1 \quad (3)$$

$$Q_{L2} = D_2\dot{\theta}_2 + C_2P_2 + (V_2/4\beta)\dot{P}_2 \quad (4)$$

이며, $D_{1,2}$ 는 유압 모터의 배제용적, $C_{1,2}$ 는 유압 모터의 누설계수, $V_{1,2}$ 는 유압 모터 내 유압 작동유의 체적, $\beta_{1,2}$ 는 유압 작동유의 체적탄성계수 및 $\dot{\theta}_{1,2}$ 는 유압 모터의 각속도를 의미한다.

유압 모터에서 발생하는 토크는

$$D_1P_1 = J_1\ddot{\theta}_1 + B_1\dot{\theta}_1 + k_1(\theta_1 - \theta_L) \quad (5)$$

$$D_2P_2 = J_2\ddot{\theta}_2 + B_2\dot{\theta}_2 + k_2(\theta_2 - \theta_L) \quad (6)$$

으로 나타내었다. 여기서 $J_{1,2}$ 는 유압 모터의 관성, $B_{1,2}$ 는 점성 감쇄계수, $k_{1,2}$ 는 축의 비틀림 강성을 표시한 것으로 같은 크기를 가지므로 $k_1 = k_2 = k$ 로 표시한다.

유압 모터에 걸리는 부하력을 토크로 나타내면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$J_L\ddot{\theta} + B_L\dot{\theta} + T_L = k_1(\theta_1 - \theta_L) + k_2(\theta_2 - \theta_L) \quad (7)$$

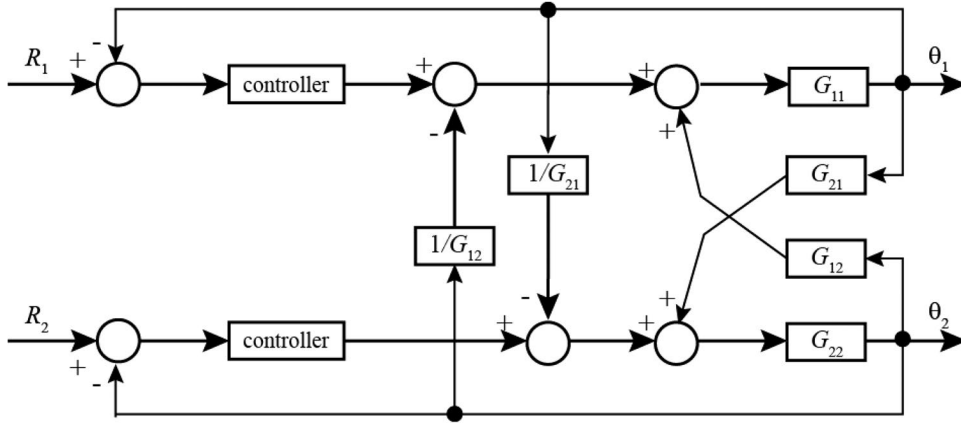


Fig. 2. Block diagram of the synchronous control system for hydraulic motor drive.

여기서, J_L 은 부하 관성, B_L 은 점성 감쇄계수, T_L 은 부하 토크를 의미한다.

한편, 유압 제어 밸브는 유압 제어 밸브를 구동시키는 신호 증폭기에 의하여 작동되므로, 신호 증폭기 이득을 k_V 라 하면 유압 제어 밸브 내 구동체의 동특성과 제어 입력 $u_{1,2}$ 와의 상관관계는 아래의 식(8), (9)로 나타낼 수 있다.

$$k_V x_{V1} = k_{V1} u_1 \quad (8)$$

$$k_V x_{V2} = k_{V2} u_2 \quad (9)$$

위에서 제시한 제어 대상에 대한 모델식을 라플라스 변환(Kim, 2010)을 이용하여 변환시킨 후 블록선도로 나타내면, Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

블록선도에서 나타낸 각 블록 내 모델링 식은 아래와 같다.

$$G_{11} = \frac{k_{V1} \left(\frac{1}{\omega_L^2} s^2 + \frac{2\zeta_L}{\omega_L^2} s + 1 \right)}{A_1(s)} \quad (10)$$

$$G_{12} = \frac{\frac{k k_{cl}}{k_{V1}} \left(\frac{1}{\omega_1} s + 1 \right)}{\frac{1}{\omega_L^2} s^2 + \frac{2\zeta_L}{\omega_L} s + 1} \quad (11)$$

$$G_{21} = \frac{\frac{k k_{cl}}{k_{V2}} \left(\frac{1}{\omega_2} s + 1 \right)}{\frac{1}{\omega_L^2} s^2 + \frac{2\zeta_L}{\omega_L} s + 1} \quad (12)$$

$$G_{22} = \frac{k_{V2} \left(\frac{1}{\omega_L^2} s^2 + \frac{2\zeta_L}{\omega_L} s + 1 \right)}{A_2(s)} \quad (13)$$

여기서, $\omega_L = \frac{J_L}{2k}$, $\zeta_L = \frac{B_L \sqrt{2J_L k}}{2}$, $\omega_1 = \frac{4\beta k_{cl}}{V_1}$, $\omega_2 = \frac{4\beta k_{cl}}{V_2}$ 이다.

식(10)과 (13)의 분모는 아래의 식을 의미한다.

$$A_1(s) = \left(\frac{J_1}{4\beta D_1^2} \frac{J_L}{2k} \right) s^5 + \left(\frac{k_{cl} J_1 J_L}{2D_1^2 k} + \frac{J_L B_1}{4\beta D_1^2} \right) s^4 + \left(\frac{J_1 + J_L/2}{4\beta D_1^2} + \frac{J_L k_{cl} B_1}{2k D_1^2} + \frac{J_L}{2k} \right) s^3 + \left(\frac{B_1}{4\beta D_1^2} + \frac{k_{cl}(J_1 + J_L/2)}{D_1^2} \right) s^2 + \left(\frac{k_{cl} + B_1}{D_1^2} + \frac{k}{2\beta D_1^2} + 1 \right) s + \frac{k k_{cl}}{2D_1^2} \quad (14)$$

$$A_2(s) = \left(\frac{J_2}{4\beta D_2^2} \frac{J_L}{2k} \right) s^5 + \left(\frac{k_{cl} J_2 J_L}{2D_2^2 k} + \frac{J_L B_2}{4\beta D_2^2} \right) s^4 + \left(\frac{J_2 + J_L/2}{4\beta D_2^2} + \frac{J_L k_{cl} B_2}{2k D_2^2} + \frac{J_L}{2k} \right) s^3 + \left(\frac{B_2}{4\beta D_2^2} + \frac{k_{cl}(J_2 + J_L/2)}{D_2^2} \right) s^2 + \left(\frac{k_{cl} + B_2}{D_2^2} + \frac{k}{2\beta D_2^2} + 1 \right) s + \frac{k k_{cl}}{2D_2^2} \quad (15)$$

따라서, 위 식들을 이용하여 유압 모터에서 발생하는 회전수

를 유압 밸브에 인가되는 제어 입력 $u_{1,2}$ 에 반응하는 유압 모터의 각도로 모델링하면 다음 식으로 구해진다.

$$\theta_1 = \frac{k_{v1}D_1\left(\frac{1}{\omega_L^2}s^2 + \frac{2\zeta_L}{\omega_L}s + 1\right)u_1 + \frac{kk_{c1}}{2D_1^2}\left(\frac{1}{\omega_1}s + 1\right)\theta_2}{A_1(s)} - \frac{\frac{k_{c1}}{2D_1^2}\left(\frac{1}{\omega_1}s + 1\right)\frac{1}{G_{12}}}{A_1(s)} \quad (16)$$

$$\theta_2 = \frac{k_{v2}D_2\left(\frac{1}{\omega_L^2}s^2 + \frac{2\zeta_L}{\omega_L}s + 1\right)u_2 + \frac{kk_{c2}}{2D_2^2}\left(\frac{1}{\omega_2}s + 1\right)\theta_1}{A_2(s)} - \frac{\frac{k_{c2}}{2D_2^2}\left(\frac{1}{\omega_2}s + 1\right)\frac{1}{G_{21}}}{A_2(s)} \quad (17)$$

동기 제어 시스템 구성 및 시뮬레이션

1. 동기 제어 시스템 구성

이 연구에서 대상으로 하고 있는 유압 모터의 회전수를 동기화하기 위하여 제어 대상을 제어하기 위한 제어기를 설계하여 Fig. 1과 같이 동기 제어 시스템을 구성하였다. 제안한 제어기는 기준모델 추종형 제어기(Yang and Hur, 2007)를 사용하여 동기 제어기를 구현하였다. 제어 대상은 식(14), (15)에 의하여 특성 방정식의 차수는 5차로 나오지만 동기 제어계를 설계함에 있어 간섭이 발생하여 3차계로 변환됨을 확인할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 제어 대상의 특성 방정식을 3차계로 설정하여 제어 계인을 구하였다. 기준 입력 $R_{1,2}$ 은 같은 크기의 신호를 인가하며, 동기 제어기를 통하여 계산되어진 제어 입력 신호를 각각의 유압 모터 구동용 밸브 앰프를 통해 유압 제어 밸브를 제어하게 된다. 유압 제어 밸브의 구동부의 작동에 의하여 유압 모터에 들어가는 유압 작용유의 유량을 조절하게 되며 유압 모터의 회전수를 동기화하는 것이다. 각 유압 모터의 회전수를 회전 센서를 통해 제어계의 기준 입력과 비교하고 여기 발생하는 제어 오차를 최소화 하도록 동기 제어기에서 제어 입력이 계산되는 과정으로 동기 제어계의 시스템이 운영되어진다.

제어 대상인 유압 모터(Yuken, 2012)를 포함한 유압 시스템의 전달함수는 기존의 연구(Yang *et al.*, 2017)에 사용된 시스템의 전달 함수를 이용한다. 이 유압 모터 카달로그에 나오는 유압 모터의 제원 및 모델 식에 들어가는 변수 값 등을 이용하여 계단(step)입력에 따른 제어 대상의 전달 함수 $G_p(s)$ 를 구하면 다음과 같다.

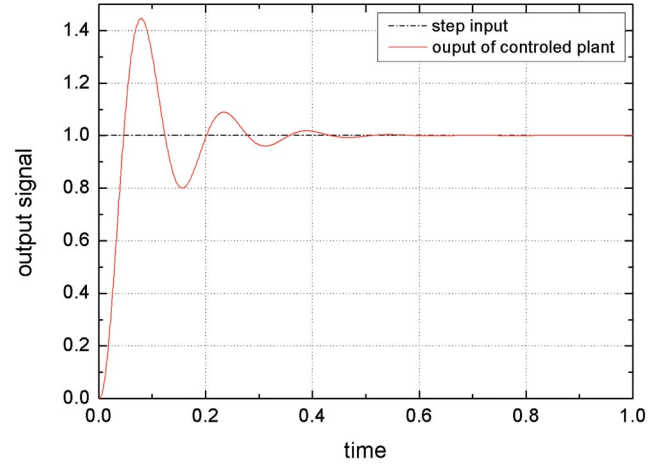


Fig. 3. Step responses of controlled plant including the hydraulic motor drive.

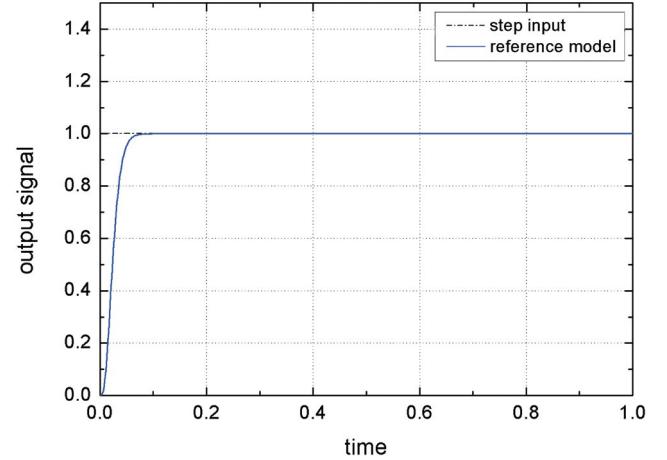


Fig. 4. Step responses of reference model for controlled plant.

$$G_p(s) = \frac{1}{1 \times 10^{-6}s^3 + 5.91 \times 10^{-4}s^2 + 1.36 \times 10^{-2}s + 1} \quad (18)$$

Fig. 3은 단위 계단 입력에 따른 유압 시스템의 전달 함수 결과 값을 나타낸 것이다. 시스템의 특성을 살펴보면 정상 상태에 도달하는 시간은 0.36초 정도이며, 최대 오버슈트 시간은 0.076초로 표시되었다. 전형적인 고차 시스템에서 보여지는 출력 파형을 가지고 있는 것으로 파악되었다. 이 결과 값을 기초로 하여 제어기를 설계하기 위한 기준 모델 $G_m(s)$ 는 제어 대상의 속응성을 향상시키면서 오버슈트를 감쇄하기 위하여 출력의 정착시간이 0.06초가 되도록 기준 모델을 선정하고, 기준 입력에 따른 제어 대상의 결과가 나오도록 제어기의 제어 계인을 구하였다.

Fig. 4는 기준 모델의 출력 값을 나타낸 것으로써, 제어 대상의 속응성을 향상시키기 위하여 상승 시간을 짧게 선정하였으며, 또한 오버슈트가 발생하지 않도록 제어 대상의 출력이 기준

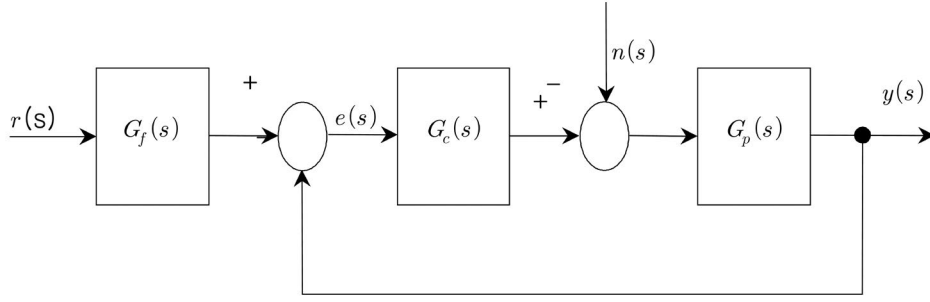


Fig. 5. PID controller structure including the pre-filter applied to controlled plant.

모델에 따라 구현해 낼 수 있도록 제어기의 제어 게인을 구하여 제어계를 구성하였다.

$$G_m(s) = \frac{1}{1.78 \times 10^{-9}s^4 - 1.052 \times 10^{-6}s^3 - 2.45 \times 10^{-4}s^2 - 2.55 \times 10^{-2}s - 1} \quad (19)$$

식(19)의 기준 모델을 바탕으로 하여 예비필터 $G_f(s)$ 와 제어기 $G_c(s)$ 를 구하면 아래와 같다.

$$G_f(s) = \frac{561.702}{0.124s^2 + 13.328s + 561.702} \quad (20)$$

$$G_c(s) = \left(13.328 + 561.702 \frac{1}{s} + 0.124s \right) e(s) \quad (21)$$

따라서, Fig. 2의 제어기(controller)는 식(19)~(21)을 사용하여 예비 필터(pre-filter)를 가진 PID제어기를 설계하였다. 이 연구에서 사용한 제어계를 Fig. 5에 나타내었다.

2. 시뮬레이션 및 고찰

유압 모터의 회전수를 동기화하기 위하여 설계된 동기 제어 시스템의 유효성을 확인하기 위하여 단위 스텝 입력에 따른 제어 대상의 제어 출력을 수치해석 프로그램을 통해 검증하였다.

Fig. 6은 이 연구에서 제안한 동기 제어기를 적용한 단위 계단 입력에 따른 제어 출력을 표시한 것이다. 2개의 유압 모터의 제어 출력이 기준 모델에 부합함으로써 안정적으로 정상 상태가 유지됨을 확인할 수 있다. 단위 계단 입력에 대하여 제어 대상에 오버슈트가 발생되었던 0.047초 이전에 제어 대상에 인가되는 제어 입력의 제어량이 커짐으로 인하여 0.02초 부근부터 0.05초 사이에 최대 0.03 정도의 동기 오차가 발생하였으나, 기준 모델의 정착 시간인 0.06초 근방에서는 동기오차에 영향을 주지 않고 안정적인 정상상태를 유지할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 이 연구에서 제안한 동기 제어계의 안정성을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 동기 시스템을 구성하고 있는 유압 모터 하나에만 소음을 인가했을 경우에 단위 계단입력에 따른 제어 대상의 출

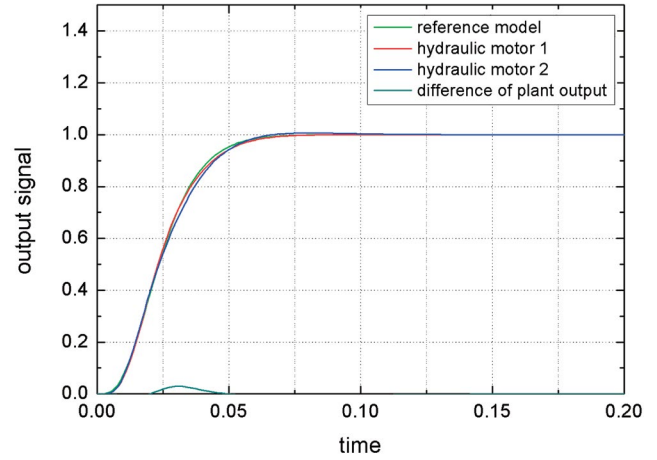


Fig. 6. Step responses of the synchronous control system for hydraulic motor drive.

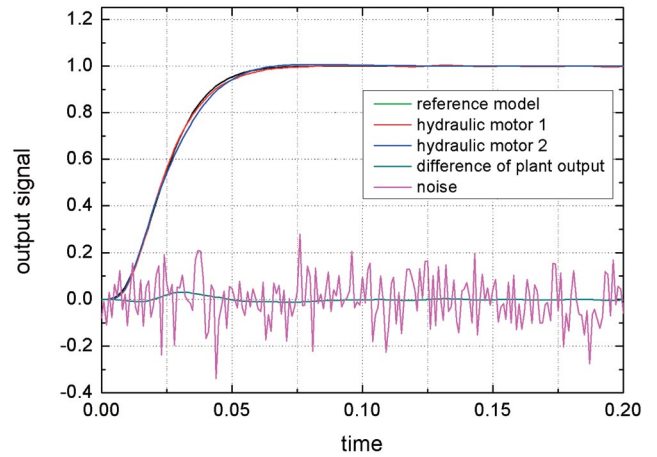


Fig. 7. Step responses of the synchronous control system for hydraulic motor drive under noise (10% of the reference input) applied to a hydraulic motor.

력을 표시한 것이다. 인가된 소음은 기준 입력의 10%일 경우로 산정하여 제어 대상에 인가하였다. 그림에서 알 수 있듯이 제어 출력의 결과는 Fig. 5와 큰 차이가 없음을 확인할 수가 있었다.

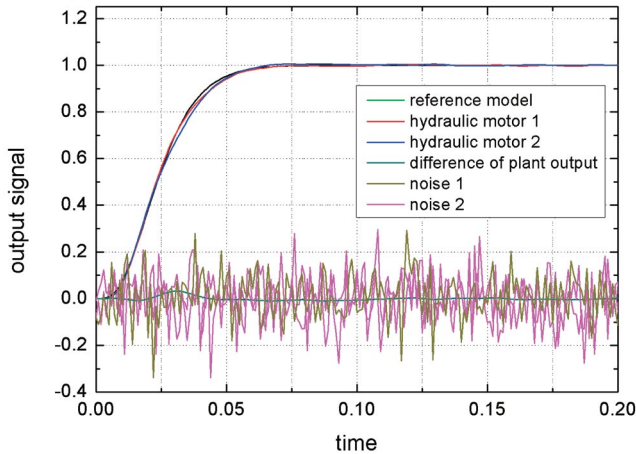


Fig. 8. Step responses of the synchronous control system for hydraulic motor drive under noise (10% of the reference input) applied to two hydraulic motors.

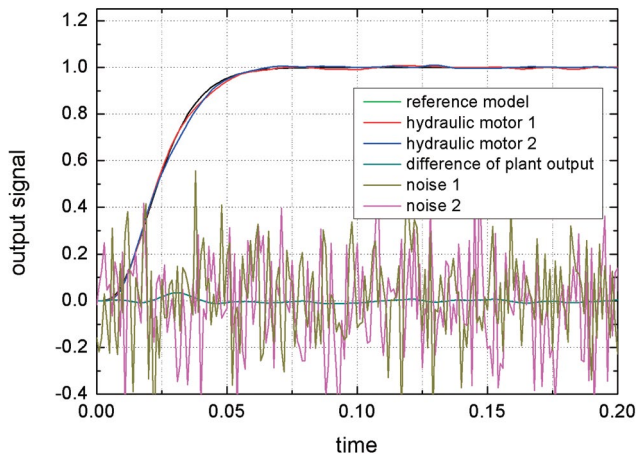


Fig. 9. Step responses of the synchronous control system for hydraulic motor drive under noise (20% of the reference input) applied to two hydraulic motors.

다만, 각각의 유압 모터에서 나오는 제어 출력의 수치적인 차이 점은 발생하는 것으로 파악되었으나, 기준 모델에 따라 안정적으로 제어 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 8은 동기 시스템을 이루는 유압 모터 각각에 소음을 인가했을 때의 단위 계단입력에 따른 제어 출력 값을 표시한 것으로, 기준 모델에 잘 추종하는 것으로 파악이 되었다. 유압 모터에 가해진 소음은 각각 다른 크기와 파형을 가진 신호이지만, 이 연구에서 제안한 제어계를 통하여 안정적인 제어 특성을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 이러한 경우는 제어 대상에 대한 모델링 과정에서 필히 발생할 수 밖에 없는 모델링 오차에 대한 제어계의 안정성을 확보할 수 있는 동기 제어제임을 증명하는 것으로, 이 연구에서 제안한 제어계가 강인성을 확보한 것으로 이해할 수 있다.

이 연구에서 제안한 제어계의 소음 억제성 및 모델링 오차가 발생한 경우에도 제어계의 유용성을 확인하기 위하여, 제어 대상에 단위 계단 입력의 크기에 20%에 해당되는 외란이 발생하더라도 안정적인 제어 출력을 얻을 수 있는지를 Fig. 9에 나타내었다. 상대적으로 인가된 소음의 크기가 작은 Fig. 8과 비교하면 정상상태에서의 외란의 영향이 발생함을 알 수 있으나, 정상상태에서 발생하는 오차는 안정한제에 있기 때문에 안정되게 제어 출력을 확보하는 것으로 확인하였다. 실제 현장에서는 소음에 대한 대책이나 저감 장치의 영향으로 인하여 기준 입력에 큰 영향을 줄 수 없으므로, 수치해석을 통한 안정성 검증에는 큰 무리가 없을 것으로 사료된다. 따라서 이 연구에서 제안한 동기 제어계의 구성이 안정성과 유용성을 확보하는 것으로 판단된다.

결론

이 연구에서는 2개의 유압 모터로 구성된 유압 시스템의 동기 제어계를 구성하고, 안정적으로 제어계를 구성할 수 있도록 제어 대상을 모델링 하였으며, 동기 제어기를 제안하고 수치해석과 시뮬레이션을 통하여 제안한 동기 제어계의 안정성과 유용성을 검증하였다.

제안한 유압 모터 구동용 동기 시스템은 2개의 유압 모터에 대한 동기화를 위하여 동적 방정식을 유도하였고, 여기서 얻어진 동적 시스템 방정식을 배경으로 하여 동기 제어기를 설계하였다. 제안된 제어계의 성능을 검증하는 방법으로 소음의 존재 및 크기를 변화시키는 방법을 사용하였으며, 수치 시뮬레이션을 통하여 안정된 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 동기화 대상인 유압 모터에 존재하는 비선형요소인 유압 작동유의 압축성과 내부 누설량에 대한 간섭현상을 수치 모델화함으로써 동기 제어기를 이용한 제어 출력의 과도 상태 및 정상 상태의 특성도 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

따라서, 이 연구에서 제안한 동기 제어계가 외부 부하력에 관계없이 안정되게 제어 대상을 제어 할 수 있음을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- Byun, J.H., 2017. The synchronous control system design of a dual electric propulsion system for small boats. *Journal of the KIECS*, 12(1), 85-92.
- Kim, J.S., 2010. *Linear Control System Engineering*. Chungmugak, pp. 18-54.
- Merritt, H.J., 1967. *Hydraulic Control Systems*. John Wiley & Sons, Inc., 84pp.

- Vissim (Ver.8), 2015. visual solution, www.vissim.com.
- Yang, K.U. and J.G. Hur, 2007. Proposal of practical reference-model and its performance improvement for PID control. *Journal of the KIECS*, 11(3), 66-72.
- Yang, K.U. and J.H. Byun, 2016. The synchronous control system design for four electric cylinders. *Journal of the KIECS*, 11(12), 1209-1218.
- Yang, K.U. and J.H. Byun, 2017. The synchronous control system design of a movable weir using coupling structure. *Journal of the KIECS*, 12(5), 837-843.
- Yang, K.U., J.G. Hur, D.S. Choi, D.J. Yeo and J.H. Byun, 2017. Study on ship automatic berthing system with mooring lines. *China Ocean Engineering*, 31(1), 19-29.
- Yuken Hydraulics, 2012. *General Catalog*, Korean Version, pp. 570-574.

제정 1992.09.01
개정 1999.11.10
개정 2009.02.28
개정 2018.11.01

제1조(투고자격) 본지의 투고 자격은 수생태계 및 수산관리 관련 연구 전문가로 한다.

제2조(원고내용) 원고는 원저로서 타 학술지에 발표되지 않은 것에 한하며, 내용은 수환경 및 생태계, 수산 및 해양산업 발전에 기여할 수 있는 분야의 총설, 연구논문 및 노트로 한다. 기타 DB 관련 기술보고 등은 편집위원회에서 필요하다고 인정할 경우 게재할 수 있다.

제3조(원고제출) 논문의 원고는 본 저널의 온라인 시스템으로 투고를 원칙으로 한다(<http://www.jops.co.kr/ojms/SFO>). 원고를 제출하는 과정은 원칙적으로 교신저자를 통해서만 이루어진다. 원고를 제출하는 교신저자는 제출하는 원고에 포함된 모든 공저자들의 정보와 논문에서의 역할을 올바르게 제공해야 한다. 원고를 제출할 시에는 반드시 표지 원고(cover letter)를 함께 작성하며, 표지 원고에는 해당 연구의 개요 및 목적이 본 저널에 잘 부합하는지 간단명료하게 기술되어야 한다. 최종적으로 표지 원고가 제출된 후에는 온라인 시스템을 통해 모든 공저자들에게도 이메일을 통하여 자동으로 원고가 투고되었음을 알린다.

제4조(원고심사 및 채택) 제출된 원고는 책임편집위원 1명과 외부 심사위원 2명의 심사 결과를 토대로, 게재 여부는 연구소 편집위원회에서 결정한다. 원고가 투고 규정에 부합하지 않거나 게재가 부적합하다고 판단될 때에는 그 사유를 명기하여 저자에게 반송할 수 있다.

제5조(원고의 언어) 원고의 작성은 국문이나 영문을 사용한다.

제6조(원고 작성방법)

1. 논문은 간결하고, 알기 쉽게 작성하여야 하며, 도표를 포함하여 인쇄 면수로 최대한 10면을 초과하지 않는 것을 원칙으로 한다.
2. 원고의 체제는 국문인 경우; 제목, 저자명, 소속, 영문제목, 영문저자명, 영문소속, 영문초록, 본문(서론, 재료 및 방법, 결과, 고찰, 요약), 참고문헌의 순으로 한다.
3. 영문제목은 명사의 경우 모두 대문자로 시작한다.
4. 공동 저자에 의한 논문의 경우 교신저자(corresponding author)를 표시한다.
5. 국문 및 영문 논문 원고 모두에서 영문 요약 밑에 5개 단

어 내에서 keyword를 삽입한다.

6. 원고작성은 국문과 영문 모두 “한글 최신판” 프로그램을 사용하여, A4 용지에 폰트 크기 12에 줄 간격 2를 기준으로 한다.
7. 국문 논문에서도 도표의 설명은 반드시 영문을 사용한다.
8. 도판은 인쇄 후에 내용이 명확히 확인되도록 작성하고, 반드시 원판 제출을 원칙으로 한다. 또한 도표는 본문 중에 삽입하여 원고를 작성한다. 원색 도판인 경우는 도판 제작 실비를 저자가 부담하는 것을 원칙으로 한다.
9. 논문 중의 학명은 반드시 이탤릭체로 표기한다.
10. 논문 본문 중의 참고문헌의 인용은 반드시 영어로 표기하는 것을 원칙으로 하며, 다음의 예에 준한다.
Kim and Yoon(2003), Simpson *et al.*(2007), (Kim and Yoon, 2003), (Simpson *et al.*, 2007)
11. 인용문헌은 논문의 뒤에 정리하되, 반드시 영문으로 표기하는 것을 원칙으로 한다. 저자의 알파벳순으로 다음에 준하여 정리한다.

Raymond, J.E.G., R.R. Srinivasagam and J.K.B. Raymont, 1969. Biochemical studies on marine zooplankton. VII. Observation on certain deep sea zooplankton. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 54(3), 357-367.

Raymond, J.E.G., 1967. Plankton Productivity. Pergamon Press, New York, 363pp.

Thronsen, J., 1978. Preservation and storage. In “Sourina, A. (ed). Phytoplankton manual. Unesco, Paris”, 69-74.

12. 논문 내용의 단위는 원칙적으로 국제단위계(SI)의 표기 방법에 준한다.

제7조(교정) 초고 및 재고는 저자가 하며 교정 중에 문장 또는 도표의 변경 및 추가는 원칙적으로 할 수 없다. 3교는 편집위원회에서 실시한다.

제8조(원고료) 수산과학연구소는 예산의 범위 내에서 심사료 논문에 대해 일정의 원고료를 지급할 수 있다.

제9조(별쇄) 별쇄의 경우에는 저자에게 제공된 PDF 파일을 이용하여 각자가 부담한다.

논문 투고 규정

제10조(영문원고의 교람) 영문 원고 및 영문 초록은 영문을 모국어로 하는 외국인 전문가에게 교람을 받은 후 투고한다.

제11조(논문집 발행예정일): 본 연구논문집은 매년 2월 15일과 12월 15일에 발행한다.

제12조(기타) 본 규정 이외의 사항에 대해서는 편집위원회에서 논문 게재 여부 결정 시 협의하여 결정한다.

부 칙(1992.09.01.)

본 규정은 공포된 날부터 시행한다.

부 칙(1999.11.10.)

본 규정은 공포된 날부터 시행한다.

부 칙(2009.02.28.)

본 규정은 공포된 날부터 시행한다.

부 칙(2018.11.01.)

1. 본 규정은 제정 및 공포된 날부터 시행한다.
2. 본 규정은 2019년 2월 15일 편집되는 논문집부터 시행한다.

제정 1992.09.01

개정 1999.11.10

개정 2009.02.28

개정 2018.11.01

제1조 본 규정은 전남대학교 수산과학연구소논문집 (Science of Fisheries & Oceanography - SFO)에 게재하고자 투고된 논문의 심사, 채택 및 심사위원회에 대하여 규정한다.

제2조 ① 접수한 논문에 대하여 2명의 심사위원을 전공분야별 편집위원의 추천에 의하여 편집위원장이 이를 위촉한다. ② 편집위원장은 심사위원 위촉 이후 5일 이내에 심사위원에게 논문심사를 의뢰한다. ③ 논문의 심사과정에 대한 사항은 편집위원장 및 해당 논문 편집위원의 책임하에 진행하며, 논문 심사를 의뢰한 2인의 논문심사위원 결과를 토대로 해당 편집위원의 최종 게재 여부를 결정한다.

제3조 심사위원 및 저자의 성명은 비공개로 한다.

제4조 심사내용은 저자에게만 통보하고 공개하지 아니한다.

제5조 심사위원이 게재불가로 판정하는 경우 그 이유를 구체적으로 종합의견란에 지적하여야 한다.

제6조 심사위원은 심사 의뢰 후 15일 이내에 위촉받은 논문을 심사하여, 논문심사 결과를 반송하여야 하며, 이 기간이 지나면 심사위원에게 1회 독촉을 한다. 심사의뢰 후 21일이 지나도록 심사 결과를 제출하지 아니하는 경우 해당 편집위원은 다른 심사위원으로 변경할 수 있다.

제7조 해당 편집위원은 심사위원의 심사의견서를 받은 후 1주일 이내에 그 사본을 저자에게 발송하여야 한다.

제8조 내용의 수정 보충 등이 요구된 원고가 연구소에서 발송한 날로부터 15일 이내에 회송되지 않은 경우에는 취소 처리할 수 있다.

제9조 최종적으로 채택 불가 된 논문의 경우, 저자의 재심 요구는 받아들여지지 않는다.

제10조 심사위원에게는 소정의 심사수당을 지불한다.

부 칙(1992.09.01.)

본 규정은 공포된 날부터 시행한다.

부 칙(1999.11.10.)

본 규정은 공포된 날부터 시행한다.

부 칙(2009.02.28.)

본 규정은 공포된 날부터 시행한다.

부 칙(2018.11.01.)

1. 본 규정은 제정 및 공포된 날부터 시행한다.
2. 본 규정은 2019년 2월 15일 편집되는 논문집부터 시행한다.

제정 2018.11.01

제1조 본 규정은 전남대학교 수산과학연구소논문집 (Science of Fisheries & Oceanography - SFO)에 게재하고자 투고된 논문에 대한 이해당사자들(출판사, 편집위원 및 심사위원, 논문저자) 간의 출판물에 관한 윤리강령을 다룬다.

제2조 전남대학교 수산과학연구소 논문집 출판업체는 논문 출판에 관련한 저작권 및 지적재산권에 대해서 계약의 주체인 수산과학연구소에 그 권리가 있음을 계약서에 포함하여 서명해야 한다. 또한 편집위원, 심사위원 및 논문 저자들이 지키는 논문출간과 관련한 모든 정보에 대해서 기밀로 하고 누설하여서는 절대 안 된다.

제3조 편집위원장은 논문 심사에 있어서 최대한 공정하게 심사에 임해야 하며, 심사배정에 있어서도 최대한 이해관계가 해당하지 않는 경우에만 심사가 진행될 수 있도록 해야 한다. 그리고 논문 심사과정에 있어서 시간 계획에 따라서 원활히 심사가 진행될 수 있도록 조율한다.

제4조 편집위원 및 심사위원들은 투고된 논문에 대해서 심사가 진행되는 과정에서 저자들에게 학문적으로 도움이 될 수 있는 방향으로 친절하게 검토와 의견을 작성해야 한다. 투고된 원고가 본 저널의 목적과 방향에 부합하지 않다고 판단되는 경우, 그 즉시 편집위원 혹은 편집위원장에게 통보하여 원고가 반려될 수 있도록 조치해야 한다. 또한 논문 심사에 있어서 다른 논문과의 표절이 의심되거나 비록 언어가 다르더라도 유사한 연구인 경우에 그 내용이나 의견을 즉시 편집위원장에게 알려져 조치를 취할 수 있도록 한다. 이 경우에 있어서 해당 인용문헌의 정보를 함께 제공토록 한다.

제5조 논문에 명기된 저자들은 투고된 연구내용이 순수하고 고유한 연구임을 명확히 해야 한다.

제6조 출판사, 편집위원 및 심사위원들은 논문이 최종 출판되기 전까지 투고된 논문의 연구와 관련된 어떠한 제반 사항에 대해서도 그 정보가 누설되지 않도록 해야 하는 의무를 가진다.

수산과학연구소논문집 편집위원

편집위원장 (Editor - in - Chief)

김종규 교수 (수산해양과학 전 분야)

분과별 편집이사 (Associate Editors)

서호영 교수 (해양환경생물 분야: 해양생물, 지질, 해양오염 등)

안진내 교수 (수산과학 분야: 양식, 수산가공, 어업기술 등)

김동균 교수 (융복합과학 분야: 생태계 모델링, 수환경관리 및 정책, 선박운용 등)

편집위원 (Editorial Board Members)

김광일 교수 (호남제주권, 제주대학교, 선박항적 및 운용분석)

김현주 박사 (충북권, 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소, 해양공학)

박영석 교수 (수도권, 경희대학교, 생태정보학)

백근욱 교수 (영남권, 경상대학교, 수산과학)

이충일 교수 (강원권, 강릉원주대학교, 수산해양학)

정광석 교수 (영남권, 동주대학교, 플랑크톤 분자생물)

수산과학연구소논문집

28권 1호

2019. 2. 25 인 쇄

2019. 2. 28 발 행

발행인: 곽인실

편집인: 김종규

발행소: 전남대학교 수산과학연구소

59626 전라남도 여수시 대학로 50

전 화: +82-61-659-6744

홈페이지: <http://jnufsi.jnu.ac.kr>

<http://www.jops.co.kr/ojms/SFO>

출 판: 정행사

02586 서울시 동대문구 난계로 28길 48 303호

전 화: 02-2232-3281~2, Fax.: 02-2232-5874

홈페이지: <http://www.junghaengsa.co.kr>

이메일: s3213@korea.com

Science of Fisheries & Oceanography

Volume 28 Number 1

Printed on February 25, 2019

Published on February 28, 2019

Publisher: Ihn-Sil Kwak

Editor-in-Chief: Jong-Kyu Kim

Published by

Chonnam National University The Fisheries Science Institute

50 Daehak-ro, Yeosu-si, Jeollanam-do 59626, Republic of Korea

Tel.: +82-61-659-6744

Homepage: <http://jnufsi.jnu.ac.kr> / <http://www.jops.co.kr/ojms/SFO>

Printed by

Junghaeng-Sa

#303, 48, Nangye-ro 28-gil, Dongdaemun-gu, Seoul 02586,

Republic of Korea

Tel.: +82-2-2232-3281~2, Fax.: +82-2-2232-5874

Homepage: <http://www.junghaengsa.co.kr>

E-mail: s3213@korea.com

Science of Fisheries & Oceanography

수산과학연구소논문집



전남대학교
CHONNAM NATIONAL UNIVERSITY

수산과학연구소