

Original article

## 열린 하구인 섬진강 하구 및 광양만 연안 어류 군집의 시공간적 변화

이선호<sup>1</sup> · 김원석<sup>1</sup> · 박재원<sup>1</sup> · 조현빈<sup>2</sup> · 이완옥<sup>2</sup> · 유태식<sup>2</sup> · 김효겸<sup>2</sup> · 지창우<sup>2</sup> · 곽인실<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 해양융합과학과, <sup>2</sup>전남대학교 수산과학연구소

### Spatio-temporal Variation of Fish Communities in Open Estuary, Seomjin River Estuary and Gwangyang Bay Coast.

Sun Ho Lee<sup>1</sup> (0000-0002-3820-8515), Won-Seok Kim<sup>1</sup> (0000-0003-3368-3891), Jae-Won Park<sup>1</sup> (0000-0002-4067-7089), Hyunbin Jo<sup>2</sup> (0000-0001-8064-7880), Wan-Ok Lee<sup>2</sup> (0000-0001-5063-3357), Tae Sik Yu<sup>2</sup> (0000-0002-1687-2503), Hyo Gyeom Kim<sup>2</sup> (0000-0003-3634-7359), Chang Woo Ji<sup>2</sup> (0000-0001-6133-9399) and Ihn-Sil Kwak<sup>1,2,\*</sup> (0000-0002-1010-3965) (<sup>1</sup>Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; <sup>2</sup>Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

**Abstract** The fish community in the Seomjin River-Seomjin River Estuary-Gwangyang Bay coast continuum was investigated three times from March 2019 to October 2019. The collected species at the eight sites during the survey period were 49 species belonging to 31 families, including two endangered species. According to Bray-Curtis similarities, observations were divided into four groups based on the fish community composition; two groups (group 1, 2) and two uncategorized groups (group 3, 4). ANOSIM based on spatial and temporal groupings indicated that the spatial differences in fish communities ( $R=0.398$ ,  $P=0.001$ ) were relatively more important than the temporal differences (analysis of similarities,  $R=0.273$ ,  $P=0.002$ ). In particular, there were significant differences between groups 1 and 2 (analysis of similarities,  $R=0.556$ ,  $P=0.001$ ), and similarity percentage analysis revealed that *Argyrosomus argentatus* (9.4%), *Favonigobius gymnauchen* (6.9%) and *Konosirus punctatus* (5.9%) contributed to these differences of fish assemblages for each group. The fish fauna distributed in the Seomjin River-Gwangyang Bay ecosystem were spatially divided and the number of species and number of individuals showed seasonal differences. This study could be a basis for understanding changes in the fish community and implementing conservation and management strategies on major species within a continuous environment of the river-estuary-ocean continuum.

**Key words:** Seomjin River Estuary, spatio-temporal variation, river-estuary-ocean continuum, fish community, non-metric multidimensional scaling, similarity percentage analysis, analysis of similarities

## 서론

강-하구-해양 연속성 개념은 지구상에서 가장 생산적이

고 역동적인 수중 생태계를 설명한다(Paerl, 2006). 이 개념은 강이 수평으로 연결되어 하류부 생태계가 상류부 생태계의 영향을 받는 것을 의미하며, 하구역은 상류에서 유입되는 다양한 유기 물질과 영양염으로 높은 생산성을 가지게 되어(Willson, 2002; Yoon *et al.*, 2016), 어류의 산란장 및 성육장, 서식지의 역할을 한다(Wang and Zhang, 2020). 그러나 최근 들어 도시개발로 인한 매립이나 수중보 건설, 하

Manuscript received 8 February 2022, revised 30 May 2022,

revision accepted 9 June 2022

\* Corresponding author: Tel: +82-61-659-7148, Fax: +82-61-659-7149

E-mail: iskwak@chonnam.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

구독 건설 등으로 인해 하구는 점점 사라지고 있으며(Park and Gwak, 2019), 하구독은 하구역 해수 유동의 차단과 장기적인 담수화로 인해 기존 하구역에 서식하던 저서동물(zoobenthos)을 폐사시킬 뿐만 아니라 하구생태계가 가지는 다양한 생태학적 기능을 상실하게 한다(Lim and Choi, 2005).

어류는 하천생태계 내 최종소비자로(Moyle and Cech, 2000), 다른 생물분류군들과 밀접한 관계가 있으며, 해당 지역의 생물다양성을 대표한다고 할 수 있다(Baek *et al.*, 2013). 어류 군집은 자연적인 환경변화뿐만 아니라 인위적 교란에 민감하게 반응하기 때문에 어류상 및 군집분석을 통해 수생태계 서식처 건강성을 종합적으로 평가할 수 있다(Lee *et al.*, 2014). 또한, 어류는 종에 따라서 생활사, 섭식 습관, 생태적 지위(ecological niches)가 서로 다르고 광범위하기 때문에 다양한 시공간적 규모에서 환경 상태를 평가할 수 있는 적합한 지표로 알려져 있다(Gonzalez *et al.*, 2020).

우리나라의 주요 대하천은 홍수 피해 방지 및 용수 활용을 위하여 보와 하구둑 건설을 통해 조절되어, 강과 하구의 연속성이 부족하다. 섬진강은 한국에서 유일하게 하구에 인공 구조물이 설치되지 않은 대하천으로서, 광양만과 연결되어 강-하구-해양 연속체의 생태계가 유지되고 있다. 그중 섬진강 수계는 회유성 어종인 은어(*Plecoglossus altivelis*)가 대규모로 회유하고, 참게(*Eriocheir sinensis*)와 재첩(*Corbicula fluminea*) 등 다양한 경제성 생물들이 풍부하여 경제적으로도 매우 중요하다(Baek *et al.*, 2013). 또한 높은 고유종 빈도와 환경부 지정 멸종위기 야생생물 I급으로 지정되어 있는 임실납자루(*Acheilognathus somjinensis*) 및 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되어 있는 큰줄납자루(*A. majusculus*)가 출현하는 등 상대적으로 높은 자연성이 보존된 지역이다. 광양만은 섬진강에서 유입되는 담수의 영향으로 다양한 육상기원 물질이 유입되고 이에 따른 기수역의 형성으로 기초생산력이 매우 높아 어류의 훌륭한 서식 및 산란지로 알려져 있어(Kwak *et al.*, 2012), 어류 군집의 보전과 관리를 위한 연구가 필요하다.

섬진강 하구의 어류 군집에 관한 선행 연구는 Huh *et al.* (2012)의 섬진강 하류역에 서식하는 어류 군집 연구 및 Kim *et al.* (2012)의 섬진강 하구 어류상 및 주요 개체군 생태에 관한 연구, Baek *et al.* (2013)의 기수역이 존재하는 섬진강의 어류 군집 연구가 진행되었다. 광양만 어류 군집에 관한 연구는 Huh and Kwak (1997)의 광양만 갈피밭에 서식하는 어류의 종조성 및 계절 변동 연구와 Park *et al.* (2019)의 소형 저인망을 이용한 광양만 어류 종조성 및 양적 변동 연구를 비롯해 다양한 채집도구를 이용하여 어류상과 분포에 대한 연구가 진행되었으나, 섬진강 및 섬진강 하구와

광양만 어류의 군집 연속성에 대한 연구는 부족하다. 또한, 강-하구-해양 연속체 내에서 영양물질의 이동(Bruesewitz *et al.*, 2015; Richoux *et al.*, 2018)과 식물플랑크톤 군집 변화(Arhonditsis *et al.*, 2007; Dalu *et al.*, 2014; Wang and Zhang, 2020) 등의 연구들과 환경 특성 및 하위 영양단계 생물에 대한 선행 연구에 비해, 어류상 및 분포에 대한 연구는 미미한 실정이다.

본 연구에서는 개방형 하구인 섬진강 하구의 담수 및 기수, 해양 생태계 내 어류 군집 구조의 시공간적 변화와 연결성을 알아보고, 출현하는 주요 어종을 파악하여 강-하구-해양 연속체의 생태적 특징을 설명하고자 하였다. 나아가 본 연구 결과에 기반한 섬진강-섬진강 하구-광양만 연속체 내의 어류 시공간적 분포 특성을 통해, 해당 생태계 내 어류 군집의 보전과 활용 방안을 논의하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사 지점 및 조사 기간

섬진강은 전북 진안군과 장수군의 경계인 팔공산에서 발원해 전북 임실군, 순창군의 상류를 통과하여 중류인 곡성군과 하류인 하동군을 지나 남해의 광양만으로 유입되는 하천이며(Hong *et al.*, 2017), 섬진강 주변에 인구가 밀집되어 있지 않고, 대규모 오염원이 없어 수질 상태가 비교적 양호한 상태로 평가된다(Yang and Choi, 2003). 광양만은 남해군과 여수만도 사이에 위치한 반 폐쇄성만으로, 만의 동쪽과 서쪽 간의 길이는 27 km, 남쪽과 북쪽의 폭은 15 km인 타원형으로 이루어져 있다(Kim *et al.*, 2018). 섬진강 유역의 기후는 남해안 중앙부에 위치하여 여름인 7~9월까지는 습한 해양성기후로 고온, 다습하며 겨울에는 대륙성 기후의 영향을 받아 한랭, 건조하고 하류는 남해안에 접하고 있어 상류로부터 기온이 높고 강우량이 많다. 섬진강 유역의 연평균 기온은 11.82°C, 연평균 강우량은 1,400 mm이며, 약 67%가 여름철에 집중되고 있다(Yang *et al.*, 2009). 섬진강 하구는 광양제철소를 비롯한 인근 산업단지의 영향권에 있어 잠재적으로 높은 오염이 우려되는 지역으로, 2005년 특별관리해역으로 지정되었다.

섬진강에서 광양만까지 이어지는 일대에 대한 어류상을 파악하기 위하여 총 8개 지점(섬진강 및 섬진강 하구 3개 지점(ES1~3)과 광양만 연안 5개 지점(ES4~8))을 선정하였다(Fig. 1). 또한, 다양한 시기를 고려하여 연구 지역 내 분포하는 어류상 파악을 위해, 3회에 걸쳐 현장 조사를 수행하였으며, 조사 시기는 2019년 3월, 2019년 5~6월, 2019년 9~10월로 선정하였다.

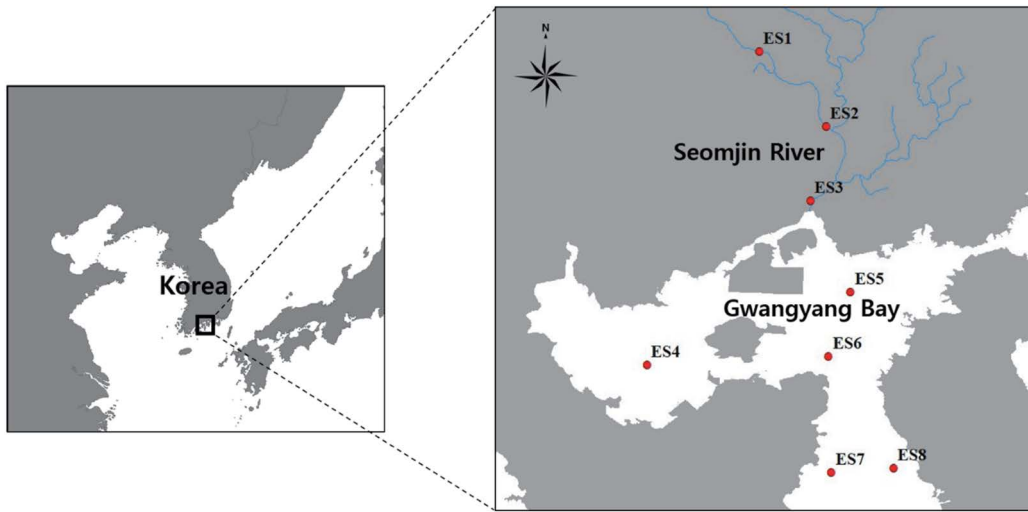


Fig. 1. Map showing the sampling areas in Seomjin River Estuary and Gwangyang Bay in Korea.

조사 지점의 세부사항은 다음과 같다.

ES1 : 35°04'41.88"N, 127°43'44.40"E

ES2 : 35°01'41.52"N, 127°46'26.40"E

ES3 : 34°58'41.16"N, 127°45'46.80"E

ES4 : 34°52'03.00"N, 127°39'14.40"E

ES5 : 34°55'00.12"N, 127°47'24.00"E

ES6 : 34°52'24.60"N, 127°46'33.60"E

ES7 : 34°47'43.44"N, 127°46'37.20"E

ES8 : 34°47'54.24"N, 127°49'08.40"E

## 2. 조사 방법

어류는 하천과 연안의 특성을 고려하여 섬진강 하구역인 ES1~3에서는 자망(gill net)과 형망(dredge)을 이용하고, 광양만 연안인 ES4~8에서는 새우조망(beam trawl)을 이용하였다. 자망은 길이 100 m, 높이 1.5 m, 망목, 13 mm의 규격을 사용하여 24시간 이상 정치 후 인망하였으며, 형망은 망폭 1.5×0.5 m, 망목 10 mm를 사용하여 각 정점당 소해면적 926 m<sup>2</sup>에서 어류를 채집하였다. 새우조망은 망폭 8 m, 망목 30 mm의 규격으로, 저인망 어선을 이용하여 각 정점당 2 kt의 속도로 10분간 예망하여 소해면적 4,939 m<sup>2</sup>에서 채집을 실시하였다.

어류는 현장에서 동정하여 개체수 파악 후 즉시 방류하였으며 현장에서 동정이 어려운 개체의 경우 계측한 뒤 Ice box에 빙장 처리하여 실험실로 운반 후 동정하였다. 어류의 동정은 국내에서 발표된 문헌(Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005)을 이용하였고 모든 종의 학명(scientific name) 및 과명(family name)은 2019 국가생물종목록(NIBR, 2020)을

기준으로 하였으며 분류체계는 Nelson (2006)의 분류체계를 따랐다. 연구 지역의 지점별 기초적인 환경 특성을 파악하기 위해 다항목 수질측정기(YSI, Professional Plus, USA)를 이용하여 표층 수온(WT), 용존산소(DO), 염분, pH, 전기전도도(EC)를 측정하였다.

## 3. 통계 분석

조사 지점 및 조사 시기에 따라서 종의 출현과 군집 구조를 분석하기 위해 군집분석(cluster analysis, CA)을 수행하였다. CA는 종의 출현 유무에 따라 '1'과 '0'으로 표시해 이진화하여 Jaccard 거리를 산출한 후 average 연결 방법을 이용하여 수행하였다. 수행하기 전 자연로그로 데이터를 변환하였으며, 로그 0의 불능을 피하기 위해 1을 더한 후 자연로그 변환을 하였다. CA에 사용된 동일한 데이터를 비계량 다차원 척도법(non-metric multidimensional scaling, NMDS)에 적용하여 시각화하였다. NMDS의 최종 stress 값(적합도 측정치)의 유의성을 결정하기 위해 Monte carlo randomization test (n=999)를 수행하였으며, 어류 군집 구조와 환경요인 사이의 관계는 'envfit' 함수를 이용하여 999번의 순열 검정을 바탕으로 상관계수 및 유의수준을 파악하였고, 유의한 관계에 있는 평가항목을 나타내었다. NMDS ordination으로 구분된 그룹 간의 차이에 대한 유의성을 파악하기 위해 ANOSIM (analysis of similarity) 분석을 999번의 순열 검정을 통해 실시하였으며, SIMPER (similarity percentage) 분석을 통해 각 그룹별 어류 군집 차이에 기여하는 분류군을 파악하였다. 이원배치분산분석(two-way ANOVA)을 이용하여 조사 지역의 계절별 어류 군집 분포

차이를 파악하였다. Two-way ANOVA는 Kruskal-Wallis test와 Bartlett test를 바탕으로 분석하였고 Bonferroni correction 을 바탕으로 사후 검정을 진행하였다.

CA, NMDS ordination, 'envfit' 함수, Two-way ANOVA, ANOSIM, SIMPER 분석 및 시각화는 R program (ver. 3.6.3, RS Team, Inc., Boston, MA, USA) 내 'vegan' (Oksanen *et al.*, 2019) 및 'ggplot2' (Wickham *et al.*, 2011) 패키지를 사용하였다.

## 결 과

### 1. 조사 지점의 기초수질 특성

조사 지점은 섬진강에서 광양만으로 가까워질수록 염분이 점차 높아지는 하구의 특징을 보였으며, 계절적으로 그 양상이 유사하게 나타났다. 섬진강 ES1에서 0.6 PSU로 염분이 가장 낮게 나타났는데, 해수의 영향이 거의 미치지 않는 담수 지역으로 판단된다. ES1보다 하류에 위치한 ES2, ES3의 염분은 각각 9.8, 13.7 PSU로 나타나 ES2부터 ES3까지 해수의 영향이 미치기 시작하는 기수역 지역이며, ES4부터 상대적으로 담수의 영향이 낮은 연안역 지역으로 나타났다. 섬진강의 영향을 상대적으로 가장 적게 받는 ES7, ES8에서 염분이 30.4 PSU로 가장 높았다. 수온은 담수역인 ES1에서 가장 낮았으며, ES5에서 가장 높았다. 용존산소의 경우 기수역인 ES2에서  $9.2 \text{ mg L}^{-1}$ 으로 가장 높았으며, 연안역 지점인 ES5에서  $6.9 \text{ mg L}^{-1}$ 으로 가장 낮았다. 계절별 기초수질의 변동은 5~6월에 수온이 평균  $21.2^\circ\text{C}$ 로 가장 높았으며, 용존산소와 pH는 각각 평균  $9.7 \text{ mg L}^{-1}$ , 8.1로 3월에 가장 높았다(Table 1).

### 2. 섬진강 및 광양만 연안의 어류상

본 연구에서 조사된 섬진강과 광양만 연안에서 총 31

과 49종 5,678개체가 출현하였다(Table 2). 조사 시기별 출현개체수는 3월에 118개체, 5~6월에 1,820개체, 9~10월에 3,740개체 출현하여 9~10월에 채집개체수가 가장 많았다. 과(Family)별 출현개체수 비율은 주둥치과(Leiognathidae)의 어류가 상대풍부도(Relative abundance, RA) 81.3%로 가장 높았으며, 민어과(Sciaenidae) 10.9%, 멸치과(Engraulidae) 1.3% 순으로 나타났다. 이 외 붕장어과(Congridae)를 비롯한 28과는 1% 미만의 RA를 보였다. 전체 조사 지점 내 우점종은 주둥치(*Nuchequula nuchalis*)로 총 4,615개체가 채집되어 RA 81.3%로 나타났으며, 아우점종은 보구치(*Argyrosomus argentatus*)로 총 365개체가 채집되어 RA 6.4%로 나타났다(Fig. 2, Table 2).

섬진강-하구 지역(ES1~3)의 어류상은 총 15과 23종 399개체가 출현하였다. 3월에 6과 6종 37개체, 5~6월에 12과 14종 308개체, 9~10월에 8과 12종 54개체 출현하여 5~6월에 가장 많은 종수와 개체수가 조사되었다. 과별 출현개체수 비율은 주둥치과 어류가 RA 73.2%로 가장 높았으며, 망둑어과(Gobiidae) 5.8%, 멸치과 4.8% 순으로 나타났다. 섬진강-섬진강 하구 지역의 우점종은 주둥치로 총 292개체가 채집되어 RA 73.2%로 나타났고 아우점종은 날개망둑(*Favonigobius gymnauchen*)이 총 22개체가 채집되어 RA 5.5%로 나타났다(Table 2).

광양만 연안지역(ES4~8)의 어류상은 총 26과 37종 5,279개체가 출현하였다. 3월에 12과 13종 81개체, 5~6월에 22과 28종 1,512개체, 9~10월에 12과 13종 3,686개체 출현하여 5~6월에 가장 많은 종수가, 9~10월에 가장 많은 개체수가 조사되었다. 과별 출현개체수 비율은 주둥치과의 어류가 RA 81.9%로 가장 높았으며, 민어과 11.7%, 멸치과 1.1% 순으로 나타났다. 광양만 연안 지역의 우점종은 주둥치로 총 4,323개체가 채집되어 RA 81.9%로 나타났고, 아우점종은 보구치로 총 365개체가 채집되어 RA 6.9%로 나타났다(Table 2).

**Table 1.** Values of water quality measured from each sampling station (average  $\pm$  standard deviation).

Sites	WT ( $^\circ\text{C}$ )	DO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Salinity (PSU)	pH	EC ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ )
ES1	13.6 $\pm$ 4.2	9.1 $\pm$ 1.0	0.6 $\pm$ 0.7	7.5 $\pm$ 0.7	827.8 $\pm$ 882.5
ES2	16.4 $\pm$ 3.2	9.2 $\pm$ 1.1	9.8 $\pm$ 6.9	7.8 $\pm$ 0.4	13,128.0 $\pm$ 8,717.9
ES3	17.1 $\pm$ 3.6	8.7 $\pm$ 0.7	13.7 $\pm$ 10.6	7.8 $\pm$ 0.3	17,808.0 $\pm$ 1,1797.6
ES4	18.1 $\pm$ 4.8	8.3 $\pm$ 2.1	29.5 $\pm$ 2.0	8.3 $\pm$ 0.3	39,464.7 $\pm$ 3,588.9
ES5	19.7 $\pm$ 3.7	6.9 $\pm$ 1.5	30.0 $\pm$ 1.4	7.9 $\pm$ 0.3	41,328.3 $\pm$ 1,906.2
ES6	18.3 $\pm$ 4.8	7.2 $\pm$ 2.0	28.6 $\pm$ 2.4	8.1 $\pm$ 0.1	38,302.7 $\pm$ 1,591.7
ES7	18.0 $\pm$ 4.7	7.7 $\pm$ 1.6	30.4 $\pm$ 1.8	8.2 $\pm$ 0.1	40,408.0 $\pm$ 3,315.8
ES8	17.8 $\pm$ 4.5	8.3 $\pm$ 1.0	30.4 $\pm$ 1.7	8.2 $\pm$ 0.1	40,254.3 $\pm$ 3,058.2

WT: Water temperature; DO: Dissolved oxygen; EC: Electrical conductivity

**Table 2.** The list and individual number of collected fishes in Seomjin River Estuary and Gwangyang Bay.

Scientific name and Korean name		Sites								Total	R.A. (%)	Remarks	
		ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8				
<b>Congridae</b>	<b>붕장어과</b>												
<i>Conger myriaster</i>	붕장어				5	2					7	0.12	Sea
<b>Muraenesocidae</b>	<b>갯장어과</b>												
<i>Muraenesox cinereus</i>	갯장어			1	1	4	7	6	2	21	0.37	Sea	
<b>Clupeidae</b>	<b>청어과</b>												
<i>Konosirus punctatus</i>	전어		8	7		27		1		43	0.76	Pe	
<b>Engraulidae</b>	<b>멸치과</b>												
<i>Thryssa adalae</i>	풀반돔이		6	2		5	5	1	6	25	0.44	Sea	
<i>Thryssa kammalensis</i>	칭멸		8	3		11	8	16	5	51	0.90	Sea	
<b>Cyprinidae</b>	<b>잉어과</b>												
<i>Acheilognathus majusculus</i>	큰줄납자루	2								2	0.04	Pr, En	
<i>Hemibarbus labeo</i>	누치	2								2	0.04	Pr	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지	3								3	0.05	Pr	
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	참몰개	1								1	0.02	Pr	
<i>Tribolodon hakonensis</i>	황어		1							1	0.02	An	
<b>Lophiidae</b>	<b>아귀과</b>												
<i>Lophius litulon</i>	황아귀						1			1	0.02	Sea	
<b>Mugilidae</b>	<b>송어과</b>												
<i>Mugil cephalus</i>	송어	2	1	1				5		9	0.16	Pe	
<b>Osmeridae</b>	<b>바다빙어과</b>												
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어	1	4							5	0.09	Am	
<b>Apogonidae</b>	<b>동갈돔과</b>												
<i>Apogon lineatus</i>	열동가리돔				1	7	3	1	1	13	0.23	Sea	
<b>Carangidae</b>	<b>전갱이과</b>												
<i>Trachurus japonicus</i>	전갱이					1				1	0.02	Sea	
<b>Gobiidae</b>	<b>망둑어과</b>												
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	문절망둑	1			3					4	0.07	Pe	
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	도화망둑					4	5			9	0.16	Sea	
<i>Favonigobius gymnauchen</i>	날개망둑	3	17	2						22	0.39	Sea	
<i>Cryptocentrus filifer</i>	실망둑				1					1	0.02	Sea	
<i>Ctenotrypauchen microcephalus</i>	빨갱이								2	2	0.04	Sea	
<b>Moronidae</b>	<b>농어과</b>												
<i>Lateolabrax japonicus</i>	농어			1						1	0.02	Pe	
<i>Lateolabrax maculatus</i>	점농어	1	2							3	0.05	Pe	
<b>Leiognathidae</b>	<b>주둥치과</b>												
<i>Nuchequula nuchalis</i>	주둥치	1	163	128	2,885	326	927	120	65	4,615	81.28	Sea	
<b>Pholidae</b>	<b>황줄베도라치과</b>												
<i>Pholis nebulosa</i>	베도라치		9	1	1					11	0.19	Sea	
<b>Sciaenidae</b>	<b>민어과</b>												
<i>Larimichthys polyactis</i>	참조기					52	6	113	82	253	4.46	Sea	
<i>Argyrosomus argentatus</i>	보구치				3	161	112	41	48	365	6.43	Sea	
<b>Sillaginidae</b>	<b>보리멸과</b>												
<i>Sillago japonica</i>	청보리멸				11	21	11			43	0.76	Sea	
<i>Sillago sihama</i>	보리멸				1					1	0.02	Sea	
<b>Sparidae</b>	<b>도미과</b>												
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	감성돔				10		7			17	0.30	Sea	
<b>Sphyraenidae</b>	<b>꼬치고기과</b>												
<i>Sphyraena pinguis</i>	꼬치고기					1	1			2	0.04	Sea	

Table 2. Continued.

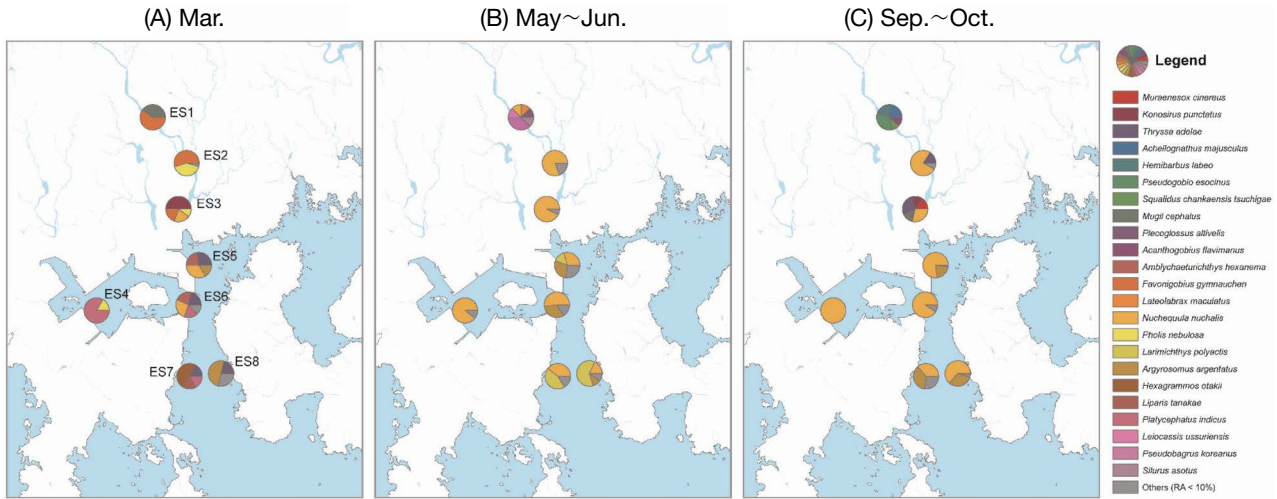
Scientific name and Korean name	Sites								Total	R.A. (%)	Remarks
	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8			
<b>Trichiuridae</b> 갈치과											
<i>Trichiurus lepturus</i> 갈치					3	1	6	3	13	0.23	Sea
<b>Zoarcidae</b> 등가시치과											
<i>Zoarces gillii</i> 등가시치					1				1	0.02	Sea
<b>Cynoglossidae</b> 참서대과											
<i>Cynoglossus joyneri</i> 참서대						1			1	0.02	Sea
<i>Cynoglossus robustus</i> 개서대					1				1	0.02	Sea
<b>Pleuronectidae</b> 가자미과											
<i>Pleuronichthys cornutus</i> 도다리				8	5				13	0.23	Sea
<i>Pleuronectes yokohamae</i> 문치가자미		5	1					1	7	0.12	Sea
<b>Hexagrammidae</b> 쥐노래미과											
<i>Hexagrammos otakii</i> 쥐노래미				25			3		28	0.49	Sea
<b>Liparidae</b> 꼼치과											
<i>Liparis tanakae</i> 꼼치							1	2	3	0.05	Sea
<b>Platycephalidae</b> 양태과											
<i>Platycephalus indicus</i> 양태		2		8		4	1		15	0.26	Sea
<b>Scorpaenidae</b> 양볼락과											
<i>Sebastes koreanus</i> 황해볼락					2				2	0.04	Sea
<i>Sebastes marmoratus</i> 솜뱅이					4	12			16	0.28	Sea
<i>Inimicus japonicus</i> 쭈기미				1	3	3			7	0.12	Sea
<i>Hypodytes rubripinnis</i> 미역치								2	2	0.04	Sea
<b>Triglidae</b> 성대과											
<i>Chelidonichthys spinosus</i> 성대					1				1	0.02	Sea
<b>Bagridae</b> 동자개과											
<i>Leiocassis ussuriensis</i> 대농갱이	1								1	0.02	Pr
<i>Pseudobagrus koreanus</i> 눈동자개	3								3	0.05	Pr
<b>Siluridae</b> 메기과											
<i>Silurus asotus</i> 메기	1								1	0.02	Pr
<b>Tetratodontidae</b> 참복과											
<i>Takifugu niphobles</i> 복섬			4	8	1				13	0.23	Sea
<b>Rajidae</b> 홍어과											
<i>Okamejei kenojei</i> 홍어					3	8		5	16	0.28	Sea
No. of individuals	22	226	151	2,972	646	1,122	315	224	5,678		
No. of species	13	12	11	16	23	18	13	13	49		
Primary freshwater fish (%)	59.09	—	—	—	—	—	—	—	0.23		
Peripheral freshwater fish (%)	18.18	4.87	5.96	0.10	4.18	—	1.90	—	1.06		
Anadromous fish (%)	—	0.44	—	—	—	—	—	—	0.02		
Amphidromous fish (%)	4.55	1.77	—	—	—	—	—	—	0.09		
Sea fish (%)	18.18	92.92	94.04	99.90	95.82	100	98.10	100	98.61		

R.A.: Relative abundance; Pr: Primary freshwater fish; Pe: Peripheral freshwater fish; An: Anadromous fish; Am: Amphidromous fish

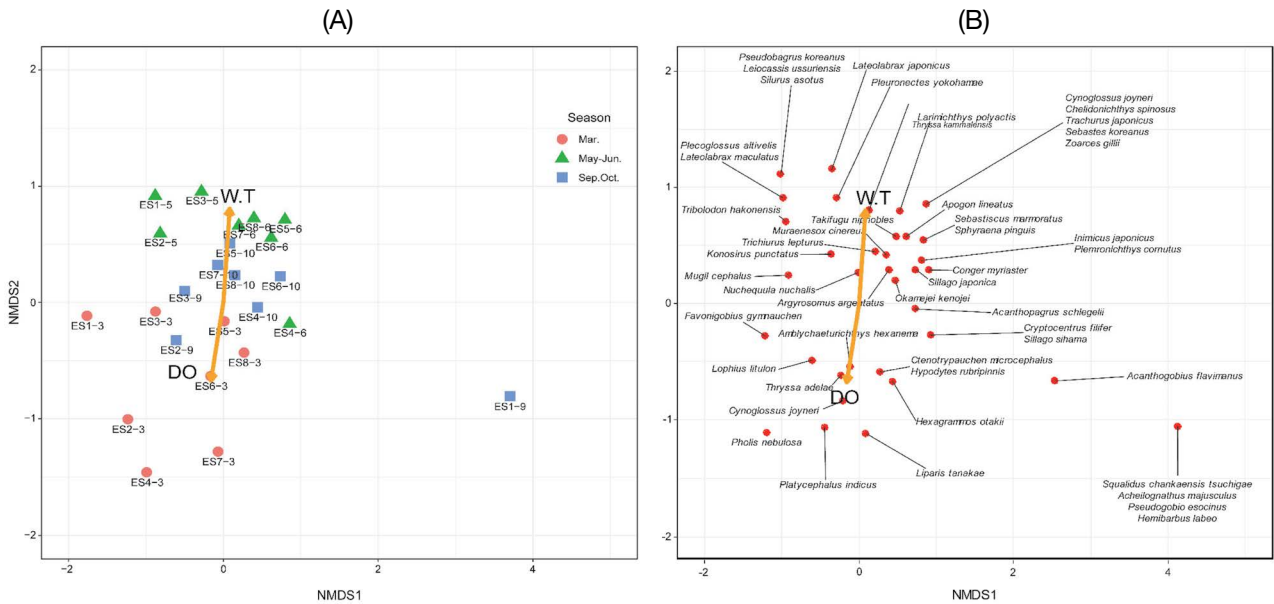
### 3. 어류 군집의 시공간적 분포 특성

NMDS 분석 결과 섬진강-광양만에서 조사된 어류 군집은 시공간에 따라 구분되어 나타났다(stress=0.127, Fig.

3A). 특히 독립적인 군집 구성을 보이는 ES1~9를 제외하고 NMDS1 축은 공간적인 요인, NMDS2 축은 시간적 요인을 잘 나타냈다. 위쪽은 상대적으로 높은 수온을 이루는 5~6월의 조사 시기와 연관되었으며( $r^2=0.66$ ,  $P=0.001$ ), 아



**Fig. 2.** Map of the study area indicating fish community compositions observed in (A) March, (B) May~June, and (C) September~October. Pie charts on each map were composed of relative abundance of fish species.



**Fig. 3.** Non-metric multidimensional scaling ordination of fish communities displaying (A) sampling sites and (B) species in the Seomjin River Estuary and Gwangyang Bay.

래쪽은 높은 용존산소량에 연관되어 상대적으로 낮은 수온을 이루는 3월 조사 시기에 연관되었고 ( $r^2=0.48$ ,  $P=0.002$  (Fig. 3A)), 염분과는 낮은 상관관계를 보였다 ( $r^2=0.02$ ,  $P=0.792$ ). 상대적으로 높은 수온과 연관된 출현종은 산란기와 연관이 있는 동자개과 (Bagridae) 어류와 참조기 (*Larimichthys polyactis*), 따뜻한 수온에 먹이활동을 하기 위해 연안으로 올라오는 농어과 (Moronidae) 어류, 계절적 회유를 하는 문치가자미 (*Pleuronectes yokohamae*)와 같은 어류

들이 분포하였으며, 상대적으로 낮은 수온과 연관된 출현종은 풀반대이 (*Thryssa adela*)를 비롯하여 봄이 되면 북상하며 계절적 회유를 하는 양태 (*Platycephalus indicus*)와 같은 어류들이 분포했다 (Fig. 3B). 9월 ES1의 어류 군집은 큰 줄납자루, 누치 (*Hemibarbus labeo*), 모래무지 (*Pseudogobio esocinus*) 등과 같은 1차 담수어 (primary freshwater fish)의 출현으로 다른 지점 및 조사 시기와 비교하여 독립적인 구성을 보여 기타 그룹으로 구분된 것으로 판단된다 (Fig. 3A).

**Table 3.** Analysis of similarity (ANOSIM) using jaccard distance matrix across all fish samples of each groups and analysis of similarity of dissimilarity of fish assemblage by each group as determined using similarity percentage analysis (SIMPER).

Groups	Average dissimilarity (%)	Discriminating species	SIMPER					ANOSIM		
			Average abundance		Average dissimilarity	Contribution (%)		P value	R value	P value
			1 Group	2 Group		Species	Cumulative			
1 <sup>st</sup> and 2 <sup>nd</sup>	83.9	<i>Argyrosomus argentatus</i>	-	0.86	0.08	9.4	9.4	0.001	0.556	0.001
		<i>Favonigobius gymnauchen</i>	0.63	-	0.06	6.9	16.4	0.003		
		<i>Konosirus punctatus</i>	0.63	0.14	0.05	5.9	22.3	0.009		
1 <sup>st</sup> and 3 <sup>rd</sup>	86.1	<i>Leiocassis ussuriensis</i>	-	1.00	0.10	11.4	11.4	0.002	0.464	0.116
		<i>Pseudobagrus koreanus</i>	-	1.00	0.10	11.4	22.8	0.002		
		<i>Silurus asotus</i>	-	1.00	0.10	11.4	34.1	0.002		
		<i>Acheilognathus majusculus</i>	-	1.00	0.11	10.9	10.9	0.002		
1 <sup>st</sup> and 4 <sup>th</sup>	100.0	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	-	1.00	0.11	10.9	21.8	0.002	0.750	0.118
		<i>Hemibarbus labeo</i>	-	1.00	0.11	10.9	32.7	0.002		
		<i>Pseudogobio esocinus</i>	-	1.00	0.11	10.9	43.7	0.002		
		<i>Acanthogobius flavimanus</i>	-	1.00	0.11	10.9	54.6	0.002		
		<i>Plecoglossus altivelis</i>	-	1.00	0.08	9.3	9.3	0.026		
2 <sup>nd</sup> and 3 <sup>rd</sup>	85.5	<i>Lateolabrax maculatus</i>	-	1.00	0.08	9.3	18.6	0.026	0.743	0.070
		<i>Leiocassis ussuriensis</i>	-	1.00	0.08	9.3	27.9	0.026		
		<i>Pseudobagrus koreanus</i>	-	1.00	0.08	9.3	37.2	0.026		
		<i>Silurus asotus</i>	-	1.00	0.08	9.3	46.5	0.026		
		<i>Acheilognathus majusculus</i>	-	1.00	0.09	8.8	8.8	0.042		
2 <sup>nd</sup> and 4 <sup>th</sup>	99.3	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	-	1.00	0.09	8.8	17.5	0.042	0.906	0.078
		<i>Hemibarbus labeo</i>	-	1.00	0.09	8.8	26.3	0.042		
		<i>Pseudogobio esocinus</i>	-	1.00	0.09	8.8	35.0	0.042		
		<i>Acanthogobius flavimanus</i>	0.71	1.00	0.09	8.8	43.4	0.042		
3 <sup>rd</sup> and 4 <sup>th</sup>	100.0	Insufficient replication in the group								



CA 결과, 각 지점 어류 군집의 유사도에 따라서 총 4개의 그룹으로 나뉘었다(Fig. 4). 크게 1, 2 두 개의 그룹으로 구분되고, 두 그룹 내 속하지 않는 2개의 지점(3, 4그룹)으로 나뉘었는데, 1그룹은 담수역 지점과 기수역 지점이 주로 구성되어 있으며, 2그룹은 광양만 연안역 지점인 ES4~8로만 구성되었다. 이를 바탕으로 공간적인 변수와 계절적인 변수를 이용하여 ANOSIM 분석을 진행한 결과, 섬진강-광양만 연속체의 어류 군집은 계절적인 요인(ANOSIM  $R=0.273$ ,  $P=0.002$ )의 차이보다 공간적인 요인(ANOSIM  $R=0.398$ ,  $P=0.001$ )의 차이가 상대적으로 더 중요함을 알 수 있었다. 구분된 그룹들 중에서도 1그룹과 2그룹 간에 유의한 차이가 존재하였으며(ANOSIM  $R=0.556$ ,  $P=0.001$ ), 보구치(9.4%), 날개망둑(6.9%), 전어(*Konosirus punctatus*, 5.9%)가 이 두 그룹의 차이에 크게 기여하는 것으로 나타났다(Table 3). 기타 그룹 중 3그룹은 은어, 점농어(*Lateolabrax maculatus*)와 같은 회유성 어종들이 주요 종으로 나타났고, 4그룹은 문절망둑(*Acanthogobius flavimanus*)을 제외한 대부분의 종들이 1차 담수어로 나타났다. 이러한 그룹 간의 차이에 기여하는 분류군을 확인하기 위해 SIMPER 분석을 실시한 결과, 각 비교 그룹별 average dissimilarity는 83.9~100%의 범위로 나타났다. 1그룹과 2그룹의 차이가 가장 낮게 나타났고, 1그룹과 4그룹의 차이가 가장 높게 나타났다(Table 3). 각 그룹별 비 유사성에 기여하는 종은 1그룹에선 날개망둑과 전어, 2그룹에선 보구치, 3그룹에선 은어, 대농갱이(*Pelteobagrus ussuriensis*), 점농어, 4그룹에선 큰줄납자루, 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*), 누치와 같은 1차 담수어가 주를 이루었다.

담수역과 기수역에 해당하는 ES1~3과 연안역에 해당하는 ES4~8을 구분하여 계절별 어류 종수와 개체수 변화를 파악한 결과, 유의한 계절적 차이가 관찰되었다(Fig. 5). ES1~3에선 계절의 변화에 따라 3월과 5~6월의 출현 종수 변화(3월, 종 수; 5~6월, 종 수)가, 3월과 5~6월(3월, 개체수; 5~6월, 개체수) 및 5~6월과 9~10월의 출현개체수(5~6월, 개체수; 9~10월, 개체수) 변화가 통계적으로 유의하게 나타났으며, ES4~8 지점에서 3월과 5~6월의 출현 종수(3월, 종 수; 5~6월, 종 수)와 출현개체수(3월, 개체수; 5월, 개체수) 변화가 통계적으로 유의하게 나타났다( $P<0.05$ ).

## 고 찰

어류 군집의 시공간적인 분포 특성은 섬진강과 하구, 광양만 연안의 강-하구-해양의 특성이 잘 나타났다. 특히 염분과 같은 기초수질 특성 결과를 바탕으로 구분된 담수역 그리고

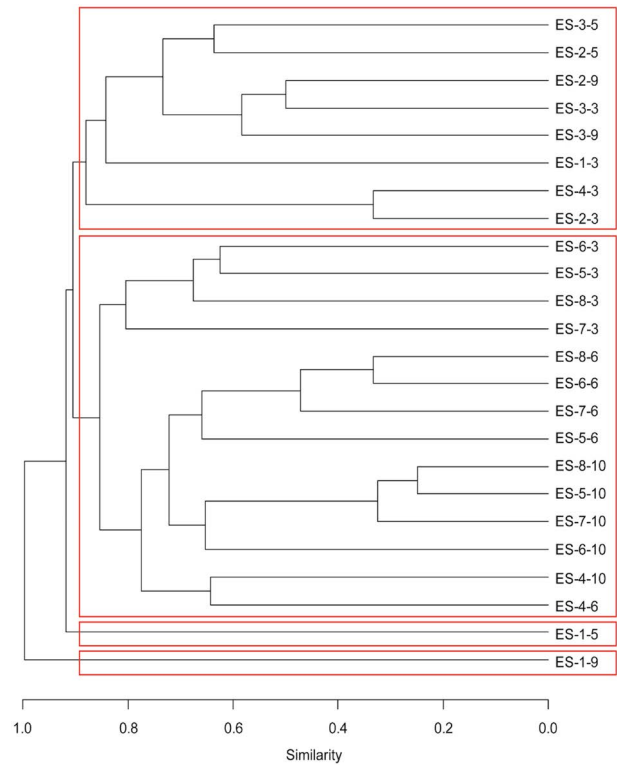
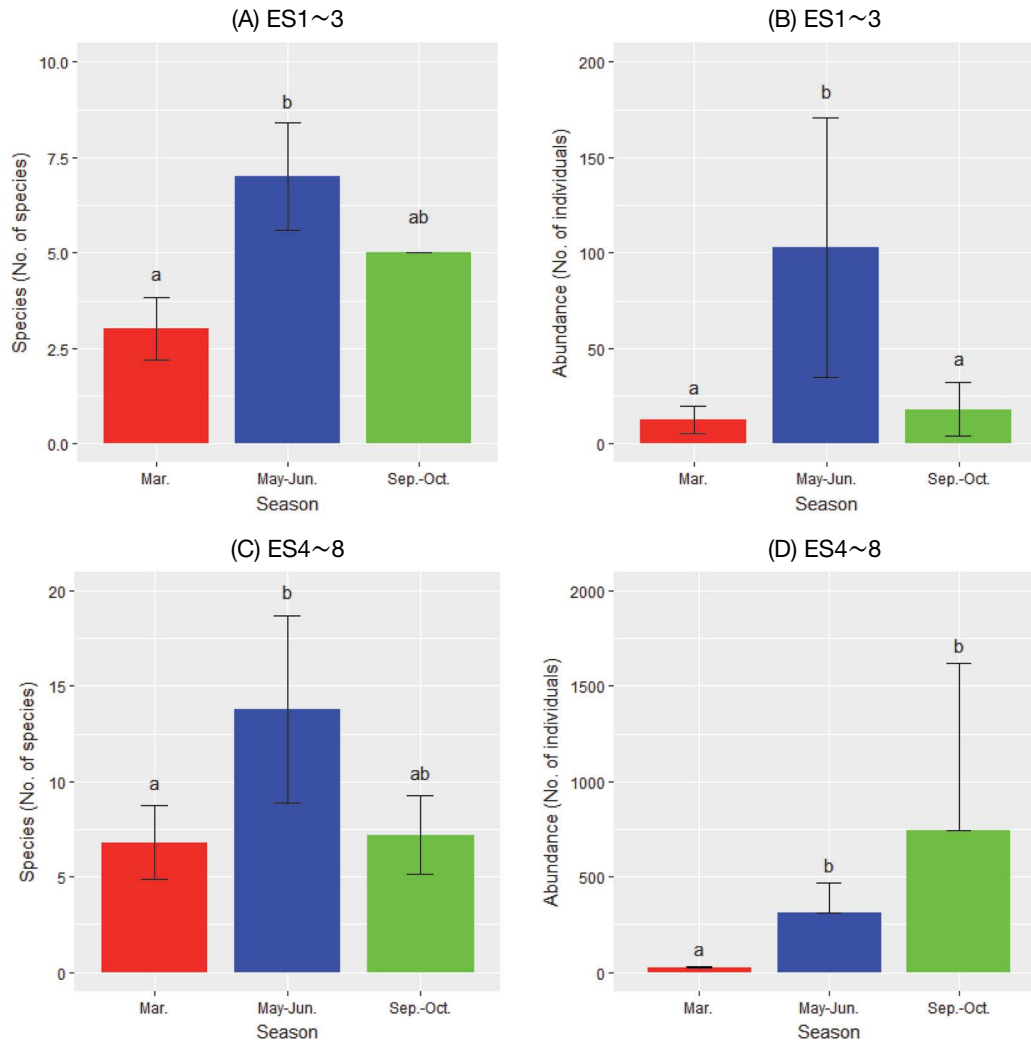


Fig. 4. A result of Jaccard cluster analysis of study sites in the Seomjin River Estuary and Gwangyang Bay.

기수역, 연안역 내의 어류 군집 특성이 구분되었다. 본 연구에서 상대적으로 담수의 영향을 가장 많이 받는 지점인 ES1의 경우 조사 기간 중 출현개체수가 다른 지점에 비해 매우 적었고, 대부분 1차 담수어의 출현이 주를 이루었다. 특히, ES1에서 현재 환경부 지정 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되어 있는 큰줄납자루가 출현하여 개체수 유지를 위한 집중적인 서식지 보호가 필요하다고 판단된다(Ji et al., 2021). 기수역으로 구분된 ES2와 ES3은 전어, 황어(*Tribolodon hakonensis*), 송어(*Mugil cephalus*), 은어 등의 회유성 어종이 출현하여 전형적인 기수역의 특징이 잘 나타났다. 그중 은어는 우리나라 전역에 분포하는 것으로 알려져 있으나 개발 및 수질오염 등으로 서식 지역이 줄어들고 있는 실정이며, 연구 지역인 섬진강은 남해안 은어의 서식 및 산란지로 매우 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있어, 환경과 서식지의 보호가 이루어져야 한다.

담수, 기수역과 달리 연안역으로 구분된 ES4~8은 해양 어류의 출현빈도가 95.8~100%의 빈도로 매우 높았다. 그중에서 ES4~6까지는 담수역 및 기수역보다 더 많은 종수와 개체수가 출현하였다. 주둥치는 농어목(Perciformes) 주둥치과에 속하는 어류로 우리나라 서해와 남해, 일본 중남부, 타



**Fig. 5.** Seasonal variations in the number of fish species and individuals (abundances) in the Seomjin River-Gwangyang Bay continuum. Eight stations were classified into two groups based on fish communities. (A) The average of the number of species collected from ES1 to ES3, (B) the average abundance collected from ES1 to ES3, (C) the average of the number of species collected from ES1 to ES3, (D) the average abundance from ES4 to ES8 were displayed. Different alphabet indicates statistically significant differences ( $P < 0.05$ ).

이완, 중국 등의 연안에 주로 분포하는 것으로 알려져 있으며 (Kim *et al.*, 2005), 광염성 어류로 하구지역 및 연안에 우점하여 분포하지만, 높은 우점 현상은 다양한 연안 개발과 환경변화, 오염 등의 현상과 함께 일어날 가능성도 존재한다 (Jeong *et al.*, 2015). ES4와 ES6에서는 본 연구에서 채집된 주둥치의 총 개체수 중 82.6%가 출현하였는데, ES4는 광양항 앞의 광양만 내만에 위치하였고, ES6은 묘도 동쪽의 광양만 입구에 위치하고 있어 유출되는 오염물질의 직접적인 영향을 받는 지역으로 사료된다. 광양만 안으로 유입되는 주요 수로에 위치하는 지점 (ES6~8)은 상대적으로 빠른 유속으로 인해 퇴적물에 축적되는 중금속의 양이 상대적으로 적을 수 있지만, 상대적으로 밀폐된 만 내의 ES4에서는 다양

한 중금속 오염원에 노출되어 퇴적물 내 축적이 일어날 수 있다 (Kim *et al.*, 2019). 따라서, 연안 환경의 오염과 그에 따른 어류 군집의 영향을 파악하기 위해, 잠재적으로 오염이 우려되는 연안 및 유입 하천 내 어류 군집의 지속적인 모니터링이 필요하다.

섬진강-광양만 생태계 내 어류 군집은 공간적으로 주요하게 구분되었으며, 보구치, 날개망둑, 전어가 공간적인 차이에 유의하게 기여하는 것으로 나타났다. Jeon *et al.* (2020)은 남해안에 서식하는 보구치의 이석을 이용하여 연령 및 성장을 파악하고 성장 계수를 계산하는 것으로 보구치의 자원 상태를 선행 연구와 비교하였는데, 성숙 연령이 낮아지고, 연령별 전장이 증가하는 결과로 보아 보구치 자원의 상태가 좋

지 않은 것으로 시사하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 보았을 때, 섬진강-광양만 생태계 내 주요 출현종인 보구치의 지속적인 모니터링이 필요하고, 관리 방안과 대책이 수립되어야 한다. 날개망둑은 1그룹에 속한 기수역 지점에서만 출현하여 비 유사성을 대표하는 종으로 잘 나타났지만, 광양만 내 서식하는 가시망둑(*Pseudoblennius cottoides*), 문절망둑, 농어(*L. japonicus*), 감성돔(*Acanthopagrus shlegelii*), 봉장어(*Conger myriaster*), 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*) 등의 주요 먹이원으로 보고된 바 있어, 광양만 어류 생태계의 먹이사슬에서 저차 소비자와 고차 소비자를 연결 시켜주는 연결고리 역할(Huh and Kwak, 1998)을 하는 중요한 분류군으로 판단된다. 전어는 연안역인 ES5와 ES7에서도 발견되었으나 모두 6월 조사 시기 한 차례만 채집되었다. 하지만, 담수 및 기수역으로 구성된 ES1~3에서는 매 조사 시기마다 채집되어 차이를 보였고, 날개망둑보다는 낮은 값으로 비 유사성을 대표하는 종으로 선정되어 담수-기수-해양 연속체 내 공간적인 어류상의 차이를 확인할 수 있었다. 하지만 본 연구에서 어류 군집 조성을 파악하기 위해 사용된 형상과 새우조망은 전어와 같은 유영성 어류의 채집에 한계가 존재하고, 이로 인해 상대적으로 과소 평가되었을 것으로 사료된다.

본 연구의 결과에서 나타난 경제성 어종은 봉장어, 갯장어(*Muraenesox cinereus*), 전어, 은어, 감성돔, 갈치(*Trichirus lepturus*) 등이 나타났으며, 내만성이 강한 감성돔을 제외하면 대부분 계절에 따라 회유(migration) 및 이동하는 종으로 나타났다. 경제성 어종은 출현 종 및 시기, 개체수의 계절적 차이를 보이며, 3월에는 전어만 5개체 출현하였지만, 5~6월에는 봉장어와 전어 36개체를 비롯해 6종 60개체가 출현하였고, 9~10월에는 4종 41개체가 출현하였다. 어족 자원의 보전을 위해서는 계절적 분포 특징을 고려해 관리해야 할 필요성이 있다. Kim *et al.* (2012)에 따르면 섬진강 하구역을 치어기 생육장으로 이용하는 어류는 황어, 점농어, 감성돔, 주둥치, 돌가자미(*Kareius bicoloratus*), 물가자미(*Eopsetta grigorjewi*), 양태 등으로 나타났다. 또한, 낙동강 하구와의 비교에 있어 대형 하구둑이 없어 하구역이 제대로 조성된 섬진강의 승어, 문절망둑, 민물두줄망둑(*Tridentiger bifasciatus*) 등의 건강성 지수(condition factor) 값이 더욱 높은 값으로 나타났다고 보고하였다. 하지만 광양만은 1970년대 여천 화학공업단지 조성을 시작으로 80년대 광양제철소 부지조성, 90년대 울촌공업단지 부지조성 등으로 인해 대규모 매립되었고, 공유수면 매립사업과 호안 축조공사가 진행되고 있다(Park *et al.*, 2019). 이와 같은 대규모 매립사업과 공사는 조류 및 물질 순환 등 물리·화학적 요인을 변화시키고, 어류의 생육장 및 산란지인 하구에도 많은 영향

을 끼친다. 따라서, 본 연구에서 진행한 강-하구-해양 연속체에 대한 모니터링은 경제성 어종뿐 아니라, 강-하구-해양 연속체의 환경 및 어류 군집 변화와 출현하는 주요종에 대한 모니터링, 보호 및 관리를 위해 중요하다.

본 연구는 국내 유일한 개방형 하구인 섬진강 하구와 광양만의 연속적인 수환경 내에서 분포하는 어류 군집의 시공간적인 특성을 파악하고자 하였다. 본 연구는 일 년 동안의 계절별 어류상을 기반으로 강-하구-해양의 공간 및 계절별 차이를 나타내었다. 보다 장기적인 모니터링을 통해 광양만 내 오염 물질 및 환경변화와 기후 변화 등에 따른 강-하구-해양 연속체 내의 어류 군집 구조의 변화를 파악할 수 있을 것이며, 이는 경제성 어종과 생태적 지표종을 보전할 수 있는 지침 및 가이드라인의 자료로서 활용될 수 있을 것이다.

## 적 요

강-하구-해양 연속체는 지구상에서 가장 생산적이고 역동적인 수중 생태계 중 하나이다. 어류는 생활사, 섭식 습관, 생태적 지위가 서로 다르고, 광범위하기 때문에 이를 통해 다양한 시공간적 규모에서 환경 상태를 평가할 수 있는 적합한 지표 생물이다. 2019년 3월부터 10월까지 3회에 걸쳐 섬진강-섬진강 하구-광양만 연안 연속체 내에서 조사된 어류는 멸종위기종 2종을 포함하여 31과 49종으로 나타났다. Bray-Curtis 유사도에 따라 2개의 그룹(1, 2그룹)과 두 그룹 내 속하지 않는 2개의 지점(3, 4그룹)으로 구분되었는데, 1그룹은 담수역 지점과 기수역 지점들이 주로 구성되었으며, 2그룹은 광양만 연안역 지점들인 ES4~8로만 구성되었다. 공간적인 변수와 시간적인 변수를 이용하여 ANOSIM 분석을 진행한 결과, 섬진강-광양만 연속체의 어류 군집은 계절적인 요인(ANOSIM  $R=0.273$ ,  $P=0.002$ )의 차이보다 공간적인 요인(ANOSIM  $R=0.398$ ,  $P=0.001$ )의 차이가 상대적으로 더 중요하였다. 구분된 그룹들 중에서도 특히 1그룹과 2그룹 간에 유의한 차이가 존재하였으며(ANOSIM  $R=0.556$ ,  $P=0.001$ ), 보구치(9.4%), 날개망둑(6.9%), 전어(5.9%)가 이 두 그룹의 차이에 크게 기여하는 분류군으로 나타났다. 섬진강-광양만 생태계 내 분포하는 어류상은 공간적으로 크게 구분되었으며, 종수와 개체수는 계절적인 차이를 보이는 것으로 나타났다. 본 연구는 강-하구-해양 연속체의 연속적인 환경 내에서 분포하는 어류 군집의 변화, 주요 어종의 보호 및 관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

**저자정보** 이선호(전남대학교 해양융합과학과 대학원생), 김원석(전남대학교 해양융합과학과 대학원생), 박재원(전남대

학교 해양융합과학과 대학원생), 조현빈(전남대학교 수산과학연구소 학술연구교수), 이완옥(전남대학교 수산과학연구소 학술연구교수), 유태식(전남대학교 수산과학연구소 박사 후 연구원), 김효겸(전남대학교 수산과학연구소 학술연구교수), 지창우(전남대학교 수산과학연구소 박사 후 연구원), 박인실(전남대학교 해양융합과학과 교수)

**저자기여도** 개념설정: 박인실, 방법론: 박인실, 김원석, 박재원, 조현빈, 이완옥, 김효겸, 지창우, 분석: 이선호, 조현빈, 김효겸, 자료제공: 박인실, 자료관리: 박인실, 원고 초안작성: 박인실, 이선호, 김효겸, 지창우, 원고 교정: 박인실, 이선호, 지창우, 유태식, 원고 편집 및 검토: 박인실, 이선호, 김원석, 박재원, 조현빈, 이완옥, 유태식, 과제관리: 박인실 연구비 수주: 박인실. 모든 저자는 논문의 결과에 동의하였고, 출판될 최종본을 검토하고 동의하였습니다.

**이해관계** 이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

**연구비** 본 연구는 한국연구재단 대학중점연구사업 [NRF-2018R1A6A1A03024314]과 [NRF-2020R1A2C1013936]의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## REFERENCES

- Arhonditsis, G.B., C.A. Stow, H.W. Paerl, L.M. Valdes-Weaver, L.J. Steinberg and K.H. Reckhow. 2007. Delineation of the role of nutrient dynamics and hydrologic forcing on phytoplankton patterns along a freshwater-marine continuum. *Ecological Modelling* **208**(2-4): 230-246.
- Baek, S.H., J.D. Yoon, J.H. Kim, H.J. Lee, K.R. Choi and M.H. Jang. 2013. Characteristics of fish community in the Seomjin River and brackish area. *Korean Journal of Environmental Biology* **31**(4): 402-410.
- Bruesewitz, D.A., W.S. Gardner, R.F. Mooney and E.J. Buskey. 2015. Seasonal water column  $\text{NH}_4^+$  cycling along a semi-arid sub-tropical river-estuary continuum: responses to episodic events and drought conditions. *Ecosystems* **18**(5): 792-812.
- Dalu, T., P.W. Froneman and N.B. Richoux. 2014. Phytoplankton community diversity along a river-estuary continuum. *Transactions of the Royal Society of South Africa* **69**(2): 107-116.
- Gonzalez, L.A., A. Quigg, J.L. Steichen, F.P. Gelwick and L.J. Lester. 2020. A new approach to functionally assess estuarine fish communities in response to hydrologic change. *Estuaries and Coasts* **44**(4): 1118-1131.
- Hong, C., W.S. Kim and I.S. Kwak. 2017. Changes of benthic macroinvertebrate community composition following natural temperature and precipitation increase. *Korean Journal of Ecology and Environment* **50**(3): 275-285.
- Huh, M.K., J.Y. Seo and W.H. Joo. 2012. Community structure and species diversity of fish across spatial scales in the lower reach of Seomjin River. *Journal of Environmental Science International* **21**(11): 1361-1369.
- Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1997. Species composition and seasonal variations of fishes in eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. *Korean Journal of Ichthyology* **9**(2): 202-220.
- Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1998. Feeding habits of *Favonigobius gymnauchen* in the eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **31**(3): 372-379.
- Jeon, B.S., J.H. Choi, Y.J. Im, H.W. Lee and J.W. Kim. 2020. Maturity and spawning of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **53**(1): 36-42.
- Jeong, J.M., J.M. Park, S.H. Huh, H.J. Kim and G.W. Baek. 2015. Diet composition of spot mape ponyfish, *Leiognathus nuchalis* in the coastal waters of Gadeok-do. *Korean Journal of Ichthyology* **27**(1): 33-38.
- Ji, C.W., D.S. Lee, D.Y. Lee, Y.S. Park and I.S. Kwak. 2021. Analysis of food resources of 20 endangered fishes in freshwater ecosystems of South Korea using non-metric multidimensional scaling and network analysis. *Korean Journal of Ecology and Environment* **54**(2): 130-141.
- Kim, C.H., E.J. Kang, H. Yang, K.S. Kim and W.S. Choi. 2012. Characteristics of fish fauna collected from near estuary of Seomjin River and population ecology. *Korean Journal of Environmental Biology* **30**(4): 319-327.
- Kim, D.K., H. Jo, I. Han and I.S. Kwak. 2019. Explicit characterization of spatial heterogeneity based on water quality, sediment contamination, and ichthyofauna in a riverine-to-coastal zone. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **16**(3): 409.
- Kim, H.Y., I. Han, W. Oh, J. Choi and K. Lee. 2018. Distribution and seasonal changes of fisheries resources in the Gwangyang Bay. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* **30**(6): 2163-2175.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Press Co., Seoul, Korea.
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyohak Press Co., Seoul, Korea.
- Kim, J.Y. and C.I. Zhang. 2010. A study on the market-based fisheries resource management for the sustainable fishery. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* **46**(4): 416-429.
- Kim, Y.H., E.H. Lee, J.N. Kim, J.H. Choi, T.Y. Oh and D.W. Lee. 2011. Age and growth of whitespotted Conger *Conger myriaster* in the Southern coastal water of Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **44**(6): 689-694.
- Koh, E.H., D.H. Kwon and C.S. Jang. 2018. Basic reproductive biology of *Muraenesox cinereus* in Korean water. *Journal*

- of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology **54**(4): 353-359.
- Kwak, S.N., S.H. Huh and H.W. Kim. 2012. Change in fish assemblage inhabiting around Dae Island in Gwangyang Bay, Korea. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety* **18**(3): 175-184.
- Lee, K.Y., H. Jang, Y. Yun, S. Park, J.C. Kim, J. Lee and J. Choi. 2014. Ecological diagnosis of the Gongjicheon water system using length-weight relationships and condition factor (K) of population of the *Zacco platypus*. *Journal of Environmental Impact Assessment* **23**(2): 137-149.
- Lim, H.S. and J.W. Choi. 2005. Ecological impact of the dyke construction on the marine benthos community of the oligohaline Youngam Lake. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **38**(3): 172-183.
- Moyle, P.B. and J.J. Cech. 2000. Fishes: an introduction to ichthyology 5th ed. Prentice Hall, New Jersey, U.S.A.
- National Institute of Biological Resources (NIBR). 2020. National list of species of Korea. National Institute of Biological Resources (NIBR), Incheon, Korea.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world 4th ed. John Wiley and Sons, New York, U.S.A.
- Oksanen, J., F.G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlinn, P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens, E. Szoecs and H. Wangen. 2019. Vegan: Community Ecology Package (R package version 2.5-6.).
- Paerl, H.W. 2006. Assessing and managing nutrient-enhanced eutrophication in estuarine and coastal waters: Interactive effects of human and climatic perturbations. *Ecological Engineering* **26**(1): 40-54.
- Park, B.H. 1982. Current status and countermeasures of littoral sea resources management. *Journal of Korea Fishing Vessel Association* **11**: 10-12.
- Park, J.S. and W.S. Gwak. 2019. Effects of estuarine dam on fish assemblage in Danghang Bay of the South Sea, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **31**(2): 83-89.
- Park, S.B., S.H. Lee, J. Kim and K.H. Han. 2019. Species composition and quantitative fluctuation of fishes collected by a small otter trawl in Kwangyang Bay. *Bulletin of the Institute of Fishing Technology* **12**(1): 53-60.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Richoux, N.B., L. Bergamino, S. Moyo and T. Dalu. 2018. Spatial and temporal variability in the nutritional quality of basal resources along a temperate river/estuary continuum. *Organic Geochemistry* **116**: 1-12.
- Wang, J. and Z. Zhang. 2020. Phytoplankton, dissolved oxygen and nutrient patterns along a eutrophic river-estuary continuum: Observation and modeling. *Journal of Environmental Management* **261**: 110233.
- Wickham, H. 2011. ggplot2. *Wiley Interdisciplinary Reviews* **3**(2): 180-185.
- Wilson, J.G. 2002. Productivity, fisheries and aquaculture in temperate estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **55**(6): 953-967.
- Yang, H. and H. Choi. 2003. Estimation of water quality environment in Youngsan and Seumjin River basins. *Journal of the Korean Geographical Society* **38**(1): 16-31.
- Yang, J.S., N.K. Kim, D.S. Sik and J.S. Shon. 2009. Hydrologic time series analysis for sustainable water resources supply considering climate change effects in Seomjin River watershed. *Korean Society of Civil Engineers* **10**: 3495-3498.
- Yoon, J.D., M.H. Jang, H.B. Jo, K.S. Jeong, G.Y. Kim and G.J. Joo. 2016. Changes of fish assemblages after construction of an estuary barrage in the lower Nakdong River, South Korea. *Limnology* **17**(2): 183.