

광양만 및 섬진강 하구에서 채집된 어류의 공간적 군집 특성

김용준¹ · 유태식² · 지창우² · 박인실^{1,2,*}

¹전남대학교 해양융합과학과, ²전남대학교 수산과학연구소

Spatial Characteristics of Fish Assemblage in Seomjin River Estuary and Gwangyang Bay by Yong Jun Kim¹, Tae-Sik Yu², Chang Woo Ji² and Ihn-Sil Kwak^{1,2,*} (¹Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ²Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

ABSTRACT This study conducted to investigate the temporal and spatial variations in the fish community structure in the Seomjin River estuary (ES1~ES3) and Gwangyang Bay (ES4~ES8). Surveys were conducted at eight points between May and September from 2020 to 2021. A total of 5,111 fish were collected, representing 42 families, 68 genera, and 78 species. The dominant species collected during the survey period were *Pennahia argentata*, with 2,370 individuals and a relative abundance of 46.4%. Also, as a subdominant species, *Nuchequula nuchalis*, 1643 individuals were caught, accounting for 32.1% relative abundance. According to Bray-Curtis similarities, observations were divided into three groups based on the fish community composition, and they were further categorized into brackish water areas, coastal areas, inner areas, and outer areas. Group 1 mainly consisted of fish inhabiting freshwater and brackish water areas, while group 3 exclusively contained fish living in marine waters. ANOSIM (Analysis of Similarity) analysis revealed a significant difference (ANOSIM R=0.783, $p=0.001$) between Group 2 and Group 3, and the species contributing to these clusters were *P. argentata* and *Muraenesox cinereus*. The study demonstrated spatial changes in the fish community structure from the Seomjin River estuary to the outer coast. The findings highlight the importance of long-term monitoring of major species that exhibit spatial variations, serving as essential foundational data for the conservation and management of economically significant fish species.

Key words: Seomjin River estuary, fish community, non-metric multidimensional scaling, analysis of similarities

서 론

어류는 수생태계 내에서 상위 소비자로서 자연적 및 인위적인 환경 변화에 민감하게 반응하며, 이러한 특성으로 인해 어류는 수생태계 내 생물 및 생태를 평가하는 데 유용한 지표로 사용되고 있다(Fausch *et al.*, 1984; Jang *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2014). 또한, 종에 따라서 생태적 지위(ecological niches), 섭식 습관, 생활사가 서로 다르며 광범위하기 때문에 다양한 시공간적 규모에서 환경 상태를 평가하는 데 적합한 지표로 알려져 있다(Gonzalez *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2022). 어류가 단시간 내 오염

원에 대한 생리 화학적인 반응을 갑작스럽게 보이면, 이는 어류 군집구조에 큰 영향을 미치게 되며(Adams, 2002; Seo, 2005), 다양한 종의 어류들은 서로 다른 섭식 습관, 생태적 지위, 생활사 등을 갖고 있어서 환경 상태를 평가하는 데에도 다양한 시공간적 규모에서 적절한 지표로 활용됨을 알 수 있다(Gonzalez *et al.*, 2021). 특히, 어류상 및 군집구조 연구는 외부환경 변화에 따른 수생태계 내의 어류 변화 양상을 쉽게 파악할 수 있으며(Lee *et al.*, 2022), 어류가 수생태계의 중요한 생물학적 지표로서 역할을 하고 있음을 보여준다.

섬진강은 국내 5대강 수계 중의 하나로, 전북 진안군과 팔공산에서 발원한 섬진강에서 전북 임실군, 순창군의 상류를 통과하여 중류인 곡성군과 하류인 하동군을 지나 남해의 광양만으로 이어진다(Hong *et al.*, 2017). 길이는 212.3 km, 유역면적 4,896.5

저자 직위: 김용준(연구원), 유태식(연구교수), 지창우(연구교수), 박인실(교수)
*Corresponding author: Ihn-Sil Kwak Tel: 61-659-7148,
Fax: 82-61-653-6620, E-mail: iskwak@chonnam.ac.kr

km²로 우리나라에서 네 번째로 긴 강이다(Lee *et al.*, 2021a). 섬진강은 다른 주요 대하천과 달리 하구에 인공 구조물이 설치되지 않은 대하천으로서, 광양만과 연결되어 강-하구-해양 연속체의 생태계가 유지되는 하천이다. 섬진강 수계는 소하성 어류 황어(*Tribolodon hakonensis*), 은어(*Plecoglossus altivelis*), 뱀장어(*Anguilla japonica*), 연어(*Oncorhynchus keta*), 청어(*Clupea pallasii*)가 어획되며 하구역의 특징을 가지는 생태학적으로 매우 중요한 지역이다(Nam and Huh, 2003; Kim *et al.*, 2012; Baek *et al.*, 2013). 광양만의 동쪽과 서쪽 간의 거리가 27 km, 남쪽과 북쪽의 폭은 15 km인 타원형이다(Kim *et al.*, 2018). 북쪽으로 섬진강 하구가 인접하고 다양한 수괴와 연안수의 영향을 받는 곳으로 어류의 산란장과 성육장으로써 최적의 해양환경을 갖추고 있다(Chu *et al.*, 2019). 또한, 광양제철을 비롯한 인근 산단의 영향권에 있으며, 남해안의 중앙에 위치한 반 폐쇄성 만의 지리적 특성을 갖고 있으며(Kwak *et al.*, 2012), 어류 및 다양한 해양생물의 플랑크톤과 기초먹이 등이 풍부하여 기초생산력이 매우 높아 다양한 어종을 대상으로 어업이 진행되고 있다(Kim *et al.*, 2001; Jeong *et al.*, 2005).

섬진강과 광양만의 어류 군집에 관한 선행 연구로는 섬진강 중 상류 수계의 어류상과 군집구조 연구(Jang *et al.*, 2009), 섬진강 하구 어류상과 주요 종의 개체군 생태 연구(Kim *et al.*, 2012), 섬진강 하류역에 서식하는 어류의 군집구조 및 종다양성 연구(Huh *et al.*, 2012), 기수역이 존재하는 섬진강의 어류 군집특성(Baek *et al.*, 2013), 광양만에서 조망어구에 어획된 어류의 종 조성 및 양적변동 연구(Lee *et al.*, 2021b), 광양만 잘피밭에 서식하는 어류의 종 조성 및 계절 변동 연구(Huh and Kwak, 1997), 광양만 대도 주변에 서식하는 어류 군집의 변화 연구(Kwak *et al.*, 2012) 등 다양한 연구들이 보고되고 있다. 그러나

섬진강 하구와 광양만에서 다양한 연구사례가 있지만, 섬진강 하구와 광양만 두 곳을 연결하여 어류 군집의 연속성과 어류상 및 분포에 대한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 우리나라의 개방형 하구인 섬진강 하구와 광양만의 담수-기수-연안 생태계 내 출현하는 어종을 파악하고 어류 군집구조의 시공간적 변화와 연결성을 파악하여 섬진강 하구와 광양만의 연속체의 생태적 특징을 설명하고자 하였다. 하구와 광양만 연속체 내의 어류 시공간적 분포 특성을 통해 생태계 내 어류 군집의 보전을 논의하고, 섬진강과 광양만의 출현하는 어류를 파악하여 향후 효율적이고 안정적인 담수-기수-연안 생태계 및 어족자원 조성 관리에 기초적인 자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사 지점 및 조사시기

본 연구 조사 대상지인 광양만은 반폐쇄성 만으로 섬진강과 연결되어 있으며, 지리적, 화학적, 물리적인 특성에 따라 하구, main channel, 외만, 내만 등 4개의 그룹으로 이루어져 있다(Kim *et al.*, 2019; Choi *et al.*, 2021). 본 연구에서 조사를 진행한 섬진강 하구와 광양만 일대에 대한 어류상을 파악하기 위해 2020년, 2021년의 5월과 9월 총 4회에 걸쳐 섬진강 하구 3개 지점(ES1~3), 광양만 5개 지점[내만(ES4), main channel(ES5, ES6), 외만(ES7, ES8)] 총 8개 지점을 선정하여 조사를 진행하였다(Fig. 1, Table 1).

2. 채집도구 및 조사방법

기초적인 환경 특성을 파악하기 위해 다항목 수질측정기(YSI,

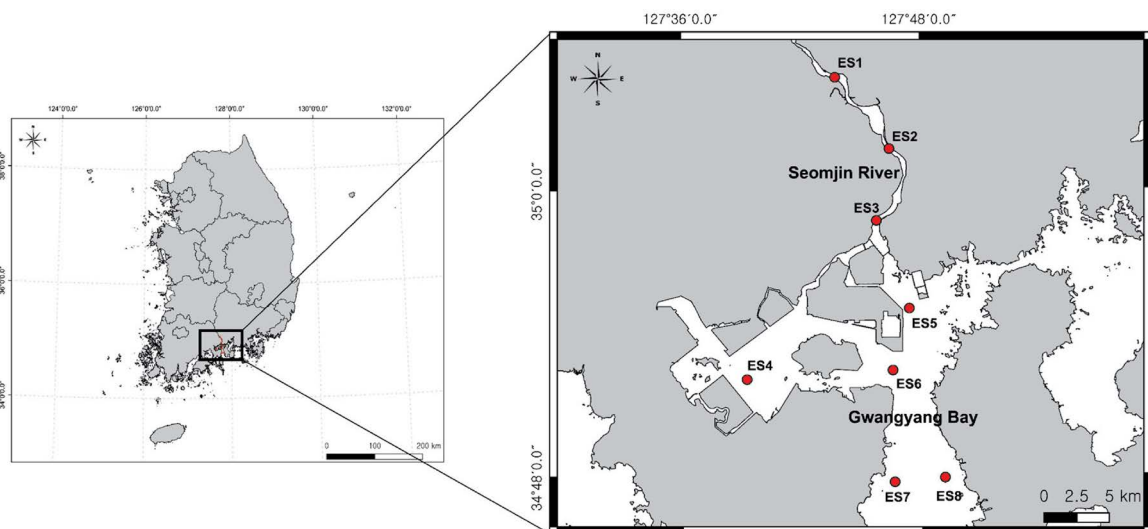


Fig. 1. Sampling sites in Seomjin River estuary (ES1~ES3) and Gwangyang Bay (ES4~ES8) in Korea.

Table 1. Geographical information and physical characteristics of each study site

Sites	Latitude	Longitude	WT (°C)	DO (mg L ⁻¹)	Salinity (psu)	pH	EC (μs cm ⁻¹)
ES1	N 35°04'41.88"	E 127°43'44.40"	20.8±2.6	8.0±0.4	3.9±3.8	7.1±0.4	1,394.9±1,061.5
ES2	N 35°01'41.52"	E 127°46'26.40"	21.1±2.5	7.2±0.5	11.2±3.1	7.4±0.1	17,374.1±4,266.2
ES3	N 34°58'41.16"	E 127°45'46.80"	21.4±2.3	7.9±0.1	14.1±3.5	7.6±0.1	23,814.6±1,364.1
ES4	N 34°52'03.00"	E 127°39'14.40"	20.9±2.5	7.2±0.5	30.5±1.9	7.8±0.2	43,229.8±664.9
ES5	N 34°55'00.12"	E 127°47'24.00"	21.2±3.2	6.8±0.9	30.7±2.0	7.9±0.1	42,940.0±843.0
ES6	N 34°52'24.60"	E 127°46'33.60"	20.7±3.1	7.1±1.3	30.9±1.9	8.0±0.1	44,821.3±2,569.2
ES7	N 34°47'43.44"	E 127°46'37.20"	20.5±3.1	4.5±3.2	32.0±1.1	8.0±0.1	45,727.9±2,085.0
ES8	N 34°47'54.24"	E 127°49'08.40"	20.7±3.2	7.3±0.9	33.0±0.4	8.1±0.1	47,365.1±2,663.7

Professional Plus, USA)를 사용하여 각 정점의 수온(Water temperature, WT), 염분(Salinity), 용존산소(Dissolved oxygen, DO), pH, 전기전도도(Electrical conductivity, EC)를 측정하였다(Table 1).

어류 채집을 위해 ES1~ES3 지점인 섬진강 하구역에서는 자망(gill net, 높이 1.5 m, 길이 100 m, 망목 13 mm)과 형망(dredge, 망폭 1.5×0.5 m, 망목 10 mm)을 사용하였다. 자망의 경우 18시간 정지 후 인망하여 어류를 채집하였다. 광양만 연안 지점인 ES4~ES8에서는 저인망 어선에서 새우조망(길이 8 m, 망폭 8 m, 망목 30 mm)을 이용하여 각 정점당 2kt의 속도로 10분간 예망하여 어류를 채집하였다. 채집한 어류는 현장에서 동정을 진행하였으며, 개체수 파악 후 즉시 방류하였다. 동정이 어려운 개체의 경우 계측한 뒤 방장 처리하여 실험실로 운반 후 동정하였다. 어류의 동정은 Kim *et al.* (2005)을 이용하였고, 모든 종의 학명(scientific name)은 FishBase (Froese and Pauly, 2023)를 기준으로 따랐다.

3. 데이터 분석

각 조사시기와 조사 지점에 채집된 어류의 군집구조를 분석하기 위해 종 다양도지수(H': Diversity index, Shannon-Weaner, 1948)와 종 균등도지수(J: Evenness index, Pielou, 1966), 종 풍부도지수(RI: Species richness index, Margalef, 1957), 우점도지수(DI: dominance index, McNaughton, 1967)를 산출하였다. 조사 지점에서 채집한 어류는 FishBase (Froese and Pauly, 2023)에 등록된 서식처 구분에 따라 담수기반 어류(Freshwater, Brackish; Freshwater fish), 해수기반 어류(Brackish, Marine; Marine fish), 담수와 해수에 서식가능한 어류(Freshwater, Brackish Marine; Universal fish)로 구분하여 상대빈도로 나타내었다.

어류 군집의 특성을 분석하기 위해 Bray-Curtis 거리와 Ward 연결방법을 사용하여 계층 군집분석(Hierarchical cluster analysis, HCA)을 수행하였다. 개체수 변이를 줄이기 위해 로그 변환하였으며, 로그 0의 불능을 피하고자 각 개체수에 1

을 더한 후 자연로그 변환을 하였다. HCA에 사용된 동일한 데이터를 “vegan”을 이용하여 다차원 척도법(Non-metric multidimensional scaling, NMDS) 분석을 수행하였다. NMDS의 최종 적합도 측정치 값의 유의성을 결정하기 위해 Monte carlo randomization test (n=999)를 수행하였다. 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 각 연도별 조사 지점의 어류 군집 분포 차이를 파악하였다. Two-way ANOVA는 Bartlett test와 Kruskal-Wallis test를 바탕으로 분석 후 Bonferroni correction을 바탕으로 사후 검정을 진행하였다. 모든 분석 및 시각화는 R program (ver. 4.2.2, RS Team, Inc., Boston, MA, USA)을 사용하였다.

결 과

1. 기초수질 특성

조사 지점에서 분석된 수질측정 중 염분은 섬진강 하구의 상류(ES1)부터 하구역(ES2, ES3)까지 3.9~14.1 psu 값으로 뚜렷한 증가 경향을 보였으며 하구의 특징을 보였다. 광양만은 내만(ES4, 30.5 psu)에서 외만(ES7~ES8, 32.0~33.0 psu)지점으로 갈수록 증가하는 경향을 보였으며 하구역과 뚜렷하게 구분이 되었다. 또한 pH와 전기전도도 역시 염분과 유사하게 섬진강 하구 상류(ES1)에서 각각 7.1, 1,394.9 μs cm⁻¹로 가장 낮았으며, 외만 지점(ES7, ES8)에서 pH 8.0, 8.1과 전기전도도 45,727.9, 47,365.1 μs cm⁻¹로 가장 높은 것으로 확인되었다.

2. 섬진강 하구 및 광양만 연안의 어류 종 조성

본 연구에서 채집된 어류는 총 14목 42과 68속 78종, 5,111 개체가 채집되었다. 조사시기별 출현 개체수는 2020년 5월

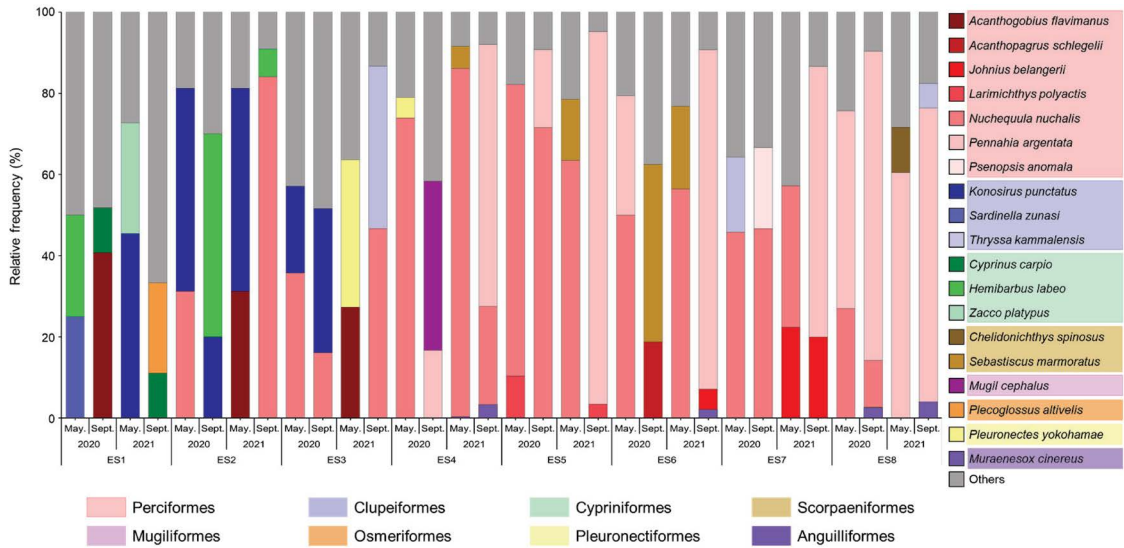


Fig. 2. Relative frequency of the fish species found in the Seomjin River estuary and Gwangyang Bay in Korea from May and September 2020~2021. The graph consisted of fish species with relative abundance.

에 601개체, 9월에 1,405개체가 어획되었으며 2021년 5월에는 1,254개체, 9월에 1,851개체가 출현하였다. 조사기간 내 채집된 우점종으로는 보구치(*Pennahia argentata*)가 2,370개체(R.A., 46.4%) 채집되었으며, 아우점종은 주둥치(*Nuquequula nuchalis*)로 1,643개체(R.A., 32.1%)가 채집되었다(Fig. 2).

섬진강 하구(ES1~ES3)에서 채집된 어류는 총 10목 17과 28속 33종 227개체가 조사되었다. 조사시기별로는 2020년 5월에 11종 38개체, 9월에 19종 68개체가 출현하였으며, 2021년 5월에 10종 38개체, 9월에 15종 83개체가 출현하였다. 섬진강 하구에서 조사기간 중 우점종으로 나타난 종은 전어(*Konosirus punctatus*)였으며, 2020년 5월(11개체, 28.9%), 9월(13개체, 19.1%), 2021년 5월(13개체, 34.2%)에 가장 우점하였다. 2021년 9월에는 주둥치가 51개체(61.4%)가 채집되어 가장 우점하였다.

광양만 연안(ES4~ES8)에서 채집된 어류는 총 11목 34과 50속 55종 4,884개체가 조사되었다. 조사시기별로는 2020년 5월에 26종 563개체, 9월에 24종 1,337개체가 조사되었으며, 2021년 5월에는 29종 1,216개체, 9월 21종 1,768개체가 출현하였다. 광양만 연안에서 조사기간 중 우점종으로 나타난 종은 2020년 5월(321개체, 57.0%), 2021년 5월(808개체, 66.4%)에 주둥치가 가장 우점하였으며, 2020년 9월(833개체, 62.3%), 2021년 9월(1,389개체, 78.6%)에 보구치가 가장 우점하였다.

3. 어류 군집지수 및 공간적 분포 특성

조사시기 및 지점별로 채집된 어류 개체수를 바탕으로 군집지수를 분석한 결과 다양도지수(H')는 2020년 5월(1.42±0.31)에

가장 높게 나타났으며, 2021년 5월(1.20±0.52)에 가장 낮게 나타났다. 종 균등도지수(J)는 2020년 5월(0.71±0.26)에 가장 높게 나타났으며, 2021년 9월(0.59±0.39)에 가장 낮게 나타났다. 종 풍부도지수(RI)는 2021년 9월(2.15±1.46)에 가장 높게 나타났으며, 2021년 5월(1.81±1.09)에 가장 낮은 값을 보였다. 우점도지수(DI)는 2021년 5월(0.74±0.17)에 가장 높은 값을 보였으며, 2020년 5월(0.66±0.16)에 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 3).

지점별 채집된 어류를 담수기반 어류, 해수기반 어류, 담수와 해수 모두 서식하는 어류(Universal fish)로 구분하였다(Fig. 4). 담수어류는 염분이 가장 낮은 지점인 ES1에서 54.5%로 가장 높은 비율로 출현하였으며, ES2에서 27.3%, ES3에서 2.3%로 점차 감소하였다. 해수어류는 모든 지역에서 출현하였으며, 해수지역인 ES4~ES8까지 해수어류의 출현 비율은 98% 이상으로 나타났다. 해수어류 중 ES1에서 채집된 어류는 까치복(*Takifugu xanthopterus*)이었으며, ES2와 ES3에 채집된 해수어류는 전어, 주둥치, 청멸(*Thryssa kammalensis*) 등이 주요종으로 채집되었다.

계층 군집분석(HCA) 결과 조사시기 및 지점별로 조사된 어류 군집은 Bray-Curtis 유사도에 따라 총 3개의 그룹으로 나타났다. Group 1은 담수어류와 소하성 어류인 잉어(*Cyprinus carpio*), 누치(*Hemibarbus labeo*), 승어(*Mugil cephalus*)가 주로 채집되어 하나의 cluster를 형성하였으며, Group 2는 주로 주둥치가 우점종으로 나타난 섬진강 기수역(ES2, ES3)과 main channel(ES5, ES6)이 속해 있었다. Group 3은 주로 보구치가 우점종으로 나타난 지점으로 main channel(ES4, ES5)과 외만(ES 8)이 속해 있었다(Fig. 5). 그룹 1은 주로 담수역과 기수역에서 서식하는 어류가 주로 채집되었으며, 전어(18.8%)

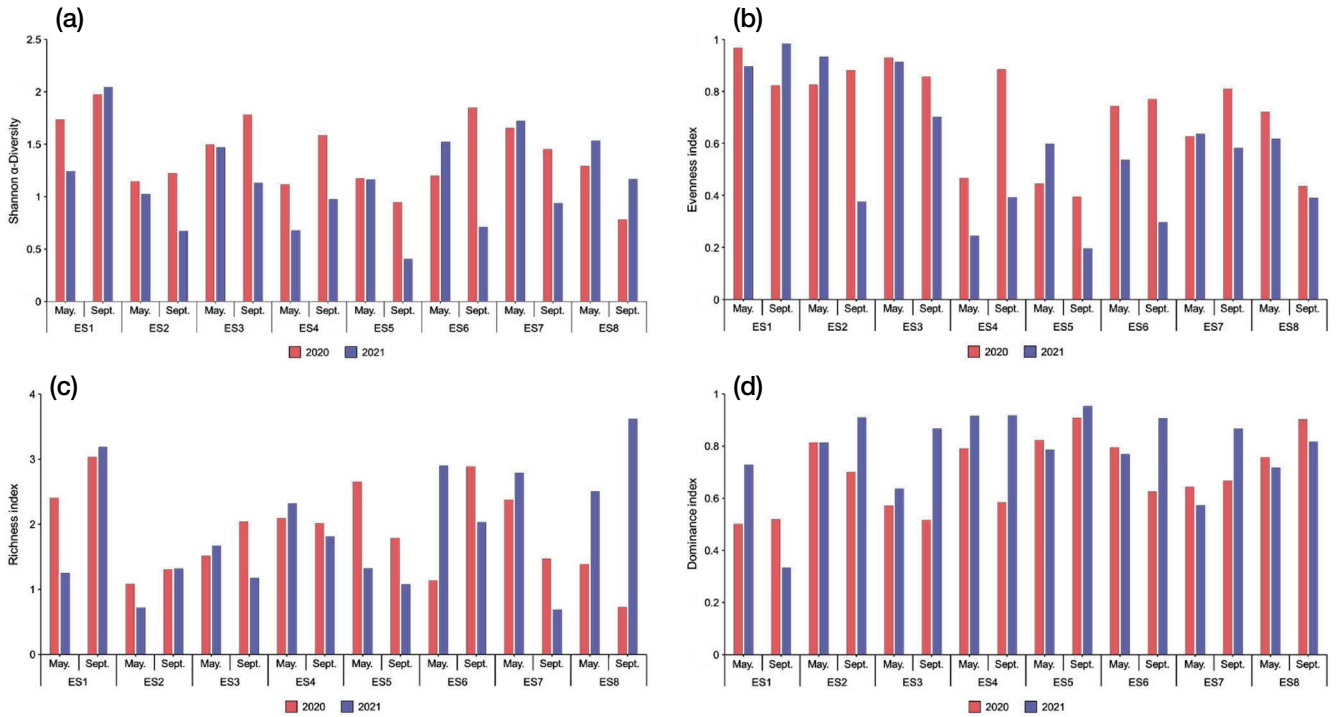


Fig. 3. Comparison of fish community indices for Seomjin River estuary and Gwangyang Bay in May and September 2020~2021. (a) Shannon diversity index, (b) Pielou's evenness index, (c) Margale's Species richness index, and (d) McNaughton's dominance index.

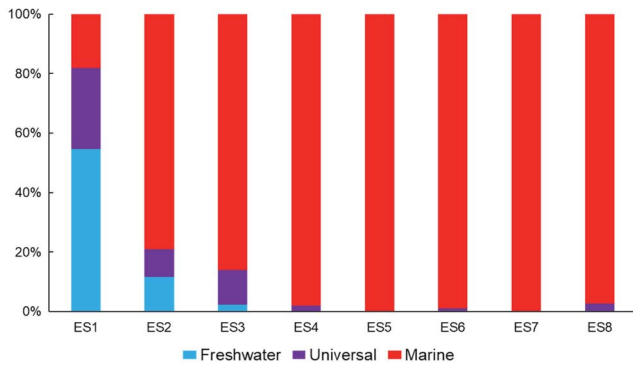


Fig. 4. The relative frequency of freshwater and marine fish in the Seomjin River estuary and the Gwangyang Bay.

와 문절망둑(*Acanthogobius flavimanus*), 주둥치(10.2%)가 우점종으로 나타났다. 그룹 2에서는 주로 연안역에서 서식하는 어류가 주로 채집되었으며, 주둥치(60.9%)가 우점종으로 나타났다. 그룹 3에서는 그룹 2와 유사하게 연안역에서 서식하는 어류가 채집되었지만 보구치(77.9%)가 우점종으로 나타났다. 이를 바탕으로 ANOSIM 분석 결과 그룹 2와 그룹 3 간에 가장 큰 유의한 차이(ANOSIM R=0.783, $p=0.001$)가 나타났으며, 두 그룹 간에 기여하는 종은 보구치(63.2%)와 갯장어(*Muraenesox cinereus*, 1.6%)로 나타났다. 그룹 1과 그룹 2의 차이에 기여하는 종으로는 주둥치(51.3%), 황아귀(*Lophius litu-*

lon, 2.6%), 셋돔(*Psenopsis anomala*, 1.4%)으로 나타났다($p<0.01$) (Table 2).

고 찰

본 연구에서는 섬진강 하구 및 광양만 연안에서 서식하는 어류의 종조성을 파악하였고, 담수역-기수역-연안역의 어류 군집의 공간적인 분포 특성을 파악하였다. 섬진강 하구와 광양만의 기초수질 특성의 차이는 담수역과 기수역, 연안역의 뚜렷한 차이가 나타났다. ES1에서는 조석의 영향을 받아 염분이 0.1~9.3 psu (3.9 ± 3.8 psu), 전기전도도가 $108.1 \sim 2,708 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($1,394.9 \pm 1,061.5 \mu\text{S cm}^{-1}$)로 나타났으며, 담수 영향이 많은 지점으로, 주로 담수에 서식하는 잉어과의 피라미(*Zacco platypus*), 붕어(*Carassius auratus*), 참마자(*Hemibarbus longirostris*), 누치가 출현하였다. ES2~ES3에서는 염분이 5.4~18.2 psu (12.7 ± 7.2 psu), 전기전도도가 $13,050.1 \sim 25,593 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($20,594.5 \pm 4,878.1 \mu\text{S cm}^{-1}$)로 나타나 기수역의 특성을 보이며, 주둥치, 문절망둑 등의 기수역 및 연안에서 서식하는 어종이 주로 출현하였다. 또한, 소하성 어종인 전어, 송어, 은어(*Plecoglossus altivelis*), 황어(*Tribolodon hakonensis*)가 출현하여 기수역의 특징이 잘 나타났다. 하구역에 출현한 어종 중 전어와 은어는 소하성 어종으로서 우리나라 전역에 분포하는 것으로 알려져 있으나

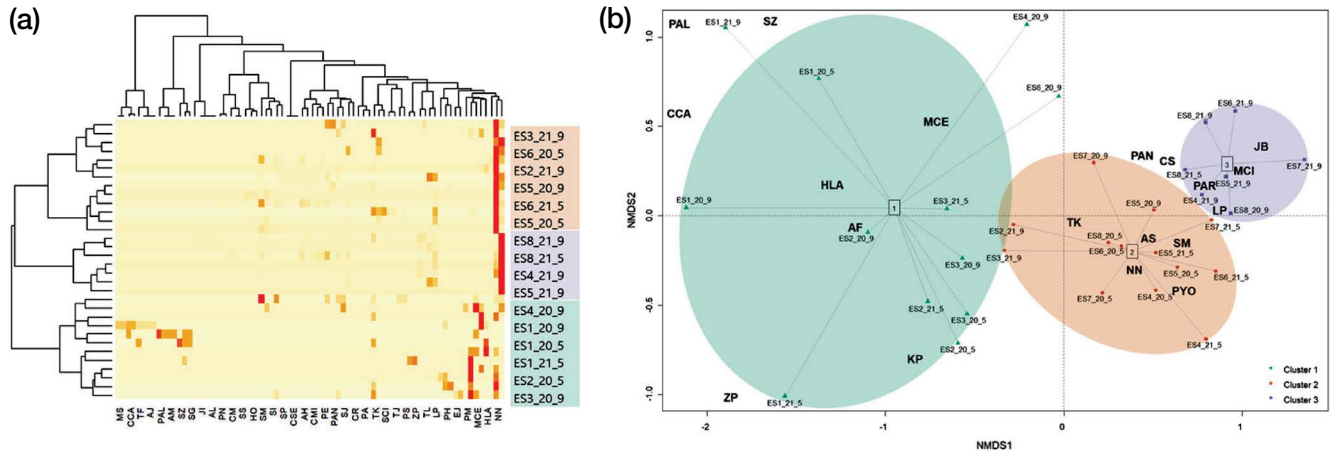


Fig. 5. (a) Hierarchical clustering of 76 fish species according to the study sites and cluster distance according to the Bray-Curtis dissimilarity. (b) Non-metric multidimensional scaling (NMDS) of 76 fish species and study sites according to hierarchical clustering analysis. The square represents the fish groups and colored circles represents the position of each fish species in ordination space. The abbreviations of 19 dominant fish species were followed: AF: *Acanthogobius flavimanus*; AS: *Acanthopagrus schlegelii*; CS: *Chelidonichthys spinosus*; CCA: *Cyprinus carpio*; HLA: *Hemibarbus labeo*; JB: *Johnius belangerii*; KP: *Konosirus punctatus*; LP: *Larimichthys polyactis*; MCE: *Mugil cephalus*; MCI: *Muraenesox cinereus*; NN: *Nuchequula nuchalis*; PAR: *Pennahia argentata*; PAL: *Plecoglossus altivelis*; PAN: *Psenopsis anomala*; PYO: *Pseudopleuronectes yokohamae*; SZ: *Sardinella zunasi*; SM: *Sebastiscus marmoratus*; TK: *Thryssa kammalensis*; ZP: *Zacco platypus*.

Table 2. The values of the similarity percentage analysis (SIMPER) and the analysis of similarity (ANOSIM) according to the hierarchical groups caught from Seomjin River and Gwangyang Bay

Groups	Average dissimilarity (%)	Discriminating species	SIMPER		Average dissimilarity	ANOSIM		P value	R value	P value
			Average abundance			Contribution (%)				
			1 Group	2 Group		Species	Cumulative			
1 and 2	93.8	<i>Nuchequula nuchalis</i>	1.9	114.7	0.48	51.3	51.3	0.001	0.628	0.001
		<i>Lophius litulon</i>	—	3.23	0.02	2.6	77.8	0.001		
		<i>Psenopsis anomala</i>	—	1.15	0.01	1.4	83.1	0.001		
1 and 3	98.7	<i>Pennahia argentata</i>	0.25	602.3	0.72	73.1	73.1	0.001	0.700	0.001
		<i>Muraenesox cinereus</i>	0	11.3	0.02	1.8	88.3	0.001		
		<i>Trichiurus lepturus</i>	0	5.6	0.01	0.1	91.7	0.001		
2 and 3	88.9	<i>Pennahia argentata</i>	11.8	602.3	0.56	63.2	63.2	0.001	0.783	0.001
		<i>Muraenesox cinereus</i>	0.15	11.3	0.01	1.6	89.4	0.004		

환경오염과 남획에 의해 서식지역이 줄어들고 있어 어획량도 감소하고 있다(Lee *et al.*, 2012). 본 연구에서 섬진강 하구의 전어와 은어는 각각 38개체(0.8%), 2개체(0.04%)로 적은 출현 빈도를 보이지만 섬진강은 전어와 은어의 서식지 및 산란지로 중요하여(Seo *et al.*, 2023) 섬진강의 환경과 서식지의 보호가 이루어져야 한다.

광양만(ES4~ES8)은 담수의 영향을 받는 하구역(ES1~ES3)과 달리 보구치, 주둥치, 참조기(*Larimichthys polyactis*), 민태(*Johnius belangerii*), 썸뱅이(*Sebastiscus marmoratus*) 등 연안에서 서식하는 어류가 출현하여 해수역의 특성이 나타났다. 이

중 보구치와 주둥치의 출현 빈도가 각각 46.4%, 32.1%로 가장 우점하였다. 보구치는 농어목 민어과에 속하는 우리나라 전 연안의 수심 40~100 m 되는 하상기질이 모래나 철인 바닥인 곳에 분포하며(Lee and Zhang, 2001), 동중국해, 인도양, 일본 남부해역 등에 널리 분포하는 난류성 어종이다(Koh *et al.*, 2014). 또한, 산란기는 6월에서 7월까지 짧은 기간 동안 산란을 하고 8월이 되면 산란을 마치는 것으로 알려져 있다(Jeon *et al.*, 2020). 광양만 난 및 자치어 분포 연구(Cha and Park, 1994; Chu *et al.*, 2019)에서도 보구치는 광양만을 주요 산란장으로 이용하고 있는 대표종이었으며, 본 연구에서 9월에 최우점종으로 나타난 보구치는

산란을 마치고 광양만에 서식하는 개체들이 어획된 것으로 추정된다. 주둥치는 농어목 주둥치과에 속하는 어종으로 해수 및 기수의 바닥에 서식하며 상업적 가치는 비교적 낮지만, 우리나라 남해와 제주도 부근에서 넓게 분포하고 높은 개체밀도를 보이고 있어 생태 지표종으로 활용할 수 있는 중요한 어종이다(Huh and Kwak, 1997; Jeong *et al.*, 2015). 특히, 안정동위원소 분석을 통한 연구 결과에서도 주둥치는 광염성 어류로 다양한 환경에서 서식하였으며(Choi *et al.*, 2020), 본 연구에서도 광양만(ES4~ES8)뿐만 아니라 섬진강 하구(ES2~ES3)에서도 우점하여 섬진강 하구와 광양만에서 생태학적으로 중요한 종임을 확인하였다.

어류 군집 특성은 계층 군집분석과 NMDS를 통해 확인하였다. 군집분석 결과 5월과 9월의 계절적 특성은 뚜렷하게 구분되지 않았으며, 채집된 어류에 의해 공간적 특성이 3개의 그룹으로 구분되었다. Group 1에서는 주로 담수어류인 피라미, 붕어, 참마자, 기수에 서식하는 전어, 문절망둑이 주로 출현하였으며, 평균 염분이 10.9 psu로 섬진강 하구 지역의 정점이 그룹화되어 하구의 특성이 나타났다(Froese and Pauly, 2023). Group 2와 Group 3은 주로 해양 어류에 의해 광양만 지점이 그룹화되었으나, 두 그룹 간 차이는 크게 주둥치와 보구치의 우점에 의해 나뉘었다. Group 2는 주로 주둥치가 우점한 지점으로 평균 염분이 23.7 psu로 섬진강 하구와 광양만의 main channel을 포함하고 있었다. Group 3은 보구치가 우점한 지점으로 평균 염분 30.7 psu로 광양만 외만 정점이 그룹화되어 나타나 어류의 서식처에 의해 광양만의 공간적 특성을 반영한 것으로 판단된다(Choi *et al.*, 2021). 특히, 비유사성(dissimilarity) 대표 어종으로 나타난 보구치는 수심 20~140 m의 모래와 개펄 지역의 저층부에 서식하는 반면, 주둥치는 수심이 얇은 연안이나 기수역에 무리를 지어 생활하여 서식 환경이 다른 특성을 보인다(Kim *et al.*, 2005). 두 종에 대해 식성, 자원량 추정 등 생태학적 특성에 대한 다양한 연구가 수행되었으나(Cha and Park, 2001; Jeong *et al.*, 2015; Choi *et al.*, 2020; Jeon *et al.*, 2020, 2022), 회유, 산란장, 서식처에 대한 추가 연구를 통해 광양만 내 생태학적 지표종의 잠재적 가치에 대해 평가할 필요가 있다.

과거 광양만 연안에서 저인망, 조망 등 다양한 어구를 사용하여 수행된 어류 종 구성과 군집에 관한 연구에서 공통적으로 나타난 주요종은 주둥치였으나, 대부분의 연구가 계절 변화에 초점을 맞추어 수행되었다(Cha and Park, 1997; Huh and Kwak, 1997; Lee *et al.*, 2021b; Lee *et al.*, 2022). 본 연구에서도 주둥치와 보구치가 주요종으로 나타났으나, 섬진강 하구, 광양만 내만, main channel, 외만을 나누어 연구를 수행하여 공간적 특성에 따른 어류 군집 특성을 나타내었다.

광양만은 1970년대 화학공업단지 조성 이후, 광양 제철소 건설, 공유수면 매립사업이 현재까지 진행되고 있으며(Lee *et al.*, 2021b), 최근 여수와 남해 해저터널 공사로 인해 해양 환경이 지

속적으로 변화되어왔다. 이러한 물리 화학적 변화는 광양만 내 서식하는 어류 군집뿐만 아니라 섬진강 하구의 산란장, 서식처에 영향을 줄 수 있기 때문에 하구와 연안의 연속된 환경의 지속적인 모니터링이 필요하다. 따라서 본 연구는 섬진강 하구와 광양만의 담수-기수-연안 생태계 내 분포하는 어류의 종을 모니터링하고 섬진강과 광양만의 어류 군집구조의 시공간적 변화와 연결성을 파악하였다. 본 연구 결과를 바탕으로 생태학적으로 중요한 섬진강 하구와 광양만에서 서식하는 어류의 장기적인 군집 변화와 주요종에 대한 모니터링 및 관리에 활용할 수 있을 것이며, 생태적 지표종과 경제성 어종을 보전할 수 있는 지침 및 가이드라인의 자료로서 활용될 수 있을 것이다.

요 약

섬진강 하구와 광양만은 국내에서 유일하게 대규모 독이 없는 자연상태를 유지하고 있어 생태학 및 경제학적으로 굉장히 중요한 위치에 있다. 또한, 다양한 어류의 주요 서식처로 알려져 있는 해역이다. 어류 군집에 대한 정보는 환경상태를 평가할 수 있는 적합한 지표군이기에 지속적인 모니터링이 필요하다. 본 연구에서는 2020년~2021년 5월과 9월에 총 8지점 섬진강 하구(ES1~ES3)와 광양만(ES4~ES8)에 출현하는 어종을 파악하고 어류 군집구조의 시공간적 변화를 파악하기 위해 조사를 진행하였다. 채집된 어류는 총 2강 14목 42과 68속 78종, 5,111개체가 채집되었다. 조사기간 내 채집된 우점종으로는 보구치가 2,370개체가 채집되었으며, 상대 풍부도(Relative abundance)는 46.4%로 나타났다. 아우점종은 주둥치가 1,643개체가 채집되어 상대 풍부도 32.1%가 나타났다. 어류 군집은 Bray-Curtis 유사도에 따라 총 3개의 그룹으로 나타났으며, 각각 기수역, 연안의 내측과 외측으로 나누어졌다. 1그룹은 주로 담수역 지점과 기수역에서 서식하는 어류가 주로 채집되었으며, 3그룹에서는 연안에 서식하는 어류들만 채집되었다. ANOSIM (Analysis of similarity) 분석을 진행한 결과, Group 2와 Group 3 사이에서 가장 큰 유의한 차이(ANOSIM R=0.783, p=0.001)가 나타났고, 두 그룹에 기여하는 종은 보구치와 갯장어였다. 본 연구는 섬진강 하구부터 연안 외측까지 공간에 따른 어류 군집 변화를 나타내었다. 이러한 결과는 공간에 따라 변화하는 주요종에 대한 장기적인 모니터링을 제시하며, 경제성이 높은 어종의 보호와 관리를 위한 중요한 기초 자료로 활용될 것으로 사료된다.

사 사

본 결과물은 한국연구재단의 지원(NRF-2018R1A6A1A03024314)을 받아 연구되었습니다.

REFERENCES

- Adams, S.M. 2002. Biological indicators of aquatic ecosystem stress. American Fisheries Society, Oak Ridge, U.S.A., 664pp.
- 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 J. Environ. Biol., 31: 402-410. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.4.402>.
- Cha, S.S. and K.J. Park. 1994. Distribution of the ichthyoplankton in Kwangyang Bay. Korean J. Ichthyol., 6: 60-70.
- Cha, S.S. and K.J. Park. 1997. Seasonal changes in species composition of fishes collected with a bottom trawl in Kwangyang bay, Korea. Korean J. Ichthyol., 9: 235-243.
- Cha, S.S. and K.J. Park. 2001. Feeding selectivity of postlarvae of White Croaker *Argyrosomus argentatus* in Kwangyang Bay, Korea. J. Kor. Fish. Soc., 34: 27-31.
- Choi, B., H. Jo, K. Park and I.-S. Kwak. 2020. Isotopic evidence for ontogenetic shift in food resource utilization during the migration of the slipmouth *Leiognathus nuchalis* in Gwangyang bay, Korea. Korean J. Ichthyol., 32: 84-90. <https://doi.org/10.35399/ISK.32.2.7>.
- Choi, B., W.-S. Kim, C.W. Ji, M.-S. Kim and I.-S. Kwak. 2021. Application of combined analyses of stable isotopes and stomach contents for understanding ontogenetic niche shifts in Silver Croaker (*Pennahia argentata*). Int. J. Environ. Res. Public Health, 18: 4073. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084073>.
- Chu, B.-R., S. Lee, T.-S. Yu, T.-Y. Hwang and K.-H. Han. 2019. Quantitative fluctuation and species composition of ichthyoplankton in Gwangyang Bay, Korea. J. Korean Soc. Fish. Ocean Technol., 55: 233-242. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.3.233>.
- Fausch, K.D., J.R. Karr and P.R. Yant. 1984. Regional application of an index of biotic integrity based on stream fish communities. Trans. Am. Fish. Soc., 113: 39-55. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1984\)113<39:RAOAI0>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1984)113<39:RAOAI0>2.0.CO;2).
- Froese, R. and D. Pauly. 2023. FishBase. World wide web electronic publication. www.fishbase.org, version (06/2023).
- Gonzalez, L.A., A. Quigg, J.L. Steichen, F.P. Gelwick and L.J. Lester. 2021. A new approach to functionally assess estuarine fish communities in response to hydrologic change. Estuaries Coast., 44: 1118-1131. <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00824-y>.
- Hong, C., W.-S. Kim and I.-S. Kwak. 2017. Changes of benthic macroinvertebrate community composition following natural temperature and precipitation increase. K.J.E.E., 50: 275-285. <https://doi.org/10.11614/KSL.2017.50.3.275>.
- 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. K.J.E.E., 21: 1361-1369. <https://doi.org/10.5322/JES.2012.21.11.1361>.
- Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1997. Species composition and seasonal variations of fishes in eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. Korean J. Ichthyol., 9: 202-220.
- Jang, S.-H., H.-S. Ryu and J.-H. Lee. 2009. Fish fauna and community structure in the mid-upper region of the Seomjin River. K.J.E.E., 42: 394-403.
- Jang, Y.-S., K.-Y. Lee, J.-W. Seo and J.-S. Choi. 2006. Sampling effects on fishing gears in the Hoengseong Reservoir. K.J.E.E., 39: 245-256.
- Jeon, B.-S., H.W. Lee, S. Kwang, S.J. Lee and C.W. Oh. 2022. Ecological characteristics and biomass of White Croaker *Pennahia argentata* population in the South Sea of Korean peninsula. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 55: 721-729. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0721>.
- 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 J. Fish. Aquat. Sci., 53: 36-42. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0036>.
- Jeong, J.M., J.M. Park, S.-H. Huh, H.J. Kim and G.W. Baek. 2015. Diet composition of spot nape ponyfish, *Leiognathus nuchalis* in the coastal waters of Gadeok-do. Korean J. Ichthyol., 27: 33-38.
- Jeong, S.-B., D.-J. Hwang, Y.-J. Kim, H.-H. Shin and Y.-U. Son. 2005. Species composition of the catches collected by a bottom trawl in the southern waters of Korea in summer, 2004. J. Korean Soc. Fish. Ocean Technol., 41: 35-45. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2005.41.1.035>.
- 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 J. Environ. Biol., 30: 319-327. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2012.30.4.319>.
- 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. Int. J. Environ. Res. Public Health, 16: 409. <https://doi.org/10.3390/ijerph16030409>.
- Kim, H., I. Han, W. Oh, J. Choi and K. Lee. 2018. Distribution and seasonal changes of fisheries resources in the Gwangyang Bay. J. Fish. Mar. Sci. Educ., 30: 2163-2175. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.12.30.6.2163>.
- 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 Publishing Co. Ltd., Seoul, Korea, 615pp.
- Kim, K.-H., J.-D. Kum and H.-J. Yang. 2001. The fish fauna and migration of the fishes in the fish way of the Nakdong River mouth dam. Korean J. Ecol. Environ., 34: 251-258.
- Koh, E.-H., Y.-S. An, G.-W. Baek and C.-S. Jang. 2014. Feeding habits of white croaker, *Pennahia argentata* in the coastal waters off Sejon island, Korea. J. Korean Soc. Fish. Technol., 50: 139-146. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.2.139>.
- Kwak, S.-N., S.-H. Huh and H.-W. Kim. 2012. Change in fish assemblage inhabiting around Dae Island in Gwangyang Bay, Korea. Korean Soc. Mar. Environ. Saf., 18: 175-184. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2012.18.3.175>.
- 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 relationship and condition factor (K) of population of the *Zacco platypus*. J. Environ. Impact Assess., 23: 137-149. <https://doi.org/10.14249/eia.2014.23.2.137>.
- Lee, S.H., H.G. Kim, H. Jo and I.-S. Kwak. 2021a. Characteristics of fish communities and length-weight relationships of dominant species (*Zacco platypus*) in Seomjin River. K.J.E.E., 54: 12-23. <https://doi.org/10.11614/KSL.2021.54.1.012>.
- Lee, S.-H., K.-W. Nam, S.-H. Cha, J.-H. Jeong and K.-H. Han. 2021b. Fluctuation in abundance and species composition of fish collected by beam trawl in coastal waters off Gwangyang Bay. S.F.O., 30: 11-17.
- Lee, S.H., W.-S. Kim, J.-W. Park, H. Jo, W.-O. Lee, T.-S. Yu, H.G. Kim, C.W. Ji and I.-S. Kwak. 2022. Spatio-temporal variation of fish communities in open estuary, Seomjin River estuary and Gwangyang Bay coast. K.J.E.E., 55: 132-144. <https://doi.org/10.11614/KSL.2022.55.2.132>.
- Lee, S.I. and C.I. Zhang. 2001. Prediction of the variation in annual biomass of White Croaker *Argyrosomus argentatus* in Korean waters using Leslie Matrix. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 34: 423-429.
- Lee, S.-W., J.-H. Yang and G.-S. Jeong. 2012. Optimal condition (water temperature and fish density) for transportation of Gizzard Shad (*Konosirus punctatus*) juvenile. Bull. Fish. Sci. Inst. Chonnam Nat'l Univ., 20: 65-73.
- Margalef, R. 1957. Information theory in ecology. General Systems, 3: 36-71.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationships among functional properties of Californian grassland. Nature, 216: 168-169. <https://doi.org/10.1038/2171163a0>.
- Nam, K.S. and S.-H. Huh. 2003. Feeding habit of *Limanda yokohamae* in the eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 36: 522-527. <https://doi.org/10.5657/kfas.2003.36.5.522>.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. J. Theor. Biol., 13: 131-144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0).
- Seo, J.-H., K.-S. Kim, J. Lee, W.-J. Choi and S.-H. Cha. 2023. Osteological development of the larvae and juvenile in *Konosirus punctatus*. Korean J. Ichthyol., 35: 83-90. <https://doi.org/10.35399/ISK.35.2.3>.
- Seo, J.-W. 2005. Fish fauna and ecological characteristics of Dark Chub (*Zacco temminckii*) population in the mid-upper region of Gam Stream. K.J.E.E., 38: 196-206.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. Bell. Syst. Tech. J., 27: 379-423.