

동해 울진 연안의 어류 자치어 종조성과 계절변동

박주면* · 김종훈 · 명세훈¹ · 정운환² · 이대원² · 최동문² · 이희갑

한국해양과학기술원 동해연구소, ¹국립수산과학원 수산자원연구센터, ²한국해양과학기술원 해양생명자원연구부

Seasonal Variations in Species Composition of Larval Fish Assemblage in the Coastal Waters off Uljin, East Sea by Joo Myun Park*, Jong Hun Kim, Se Hun Myoung¹, Yun-Hwan Jung², Dae-Won Lee², Dong Mun Choi² and Hee Gab Lee (East Sea Research Institute, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Uljin 36315, Republic of Korea; ¹Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 56034, Republic of Korea; ²Marine Biotechnology & Bioresource Research Department, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Republic of Korea)

ABSTRACT This study investigated the temporal patterns of species composition and abundance of larval fish assemblages through seasonal samplings in the coastal waters off Uljin, East Sea from April 2022 to February 2023. A total of 27 taxa of larval fishes were collected in the study area. The dominant fish larvae were *Pseudopleuronectes herzensteini*, *Sebastes inermis*, *Ammodytes japonicus*, *Pseudopleuronectes yokohamae*, *Rudarius ercodes* and *Parablennius yatabei* constituting 86.6% of total larval fish abundance. The number of species, abundance, and diversity index fluctuated according to season, showing the highest species number and abundance in April (spring) and diversity in July (summer). Larval fish assemblages were divided into three seasonal groups, including spring, summer and winter groups based on relative abundance of each fish larvae. Among abundant fish larvae, *P. herzensteini* predominated during spring, while *P. yatabei* and *R. ercodes* were abundant during summer. *S. inermis*, *A. japonicus* and *P. yokohamae* constituted the most abundant larval fish group during winter. These temporal changes in larval fish assemblages were attributed to seasonal changes in surface water temperature. The results from this study may elucidate our understanding of larval fish diversity and contribute to evaluating the nursery function of coastal habitats in the East Sea.

Key words: Ichthyoplankton, East Sea, Uljin coast, *Pseudopleuronectes herzensteini*, *Sebastes inermis*, *Ammodytes japonicus*

서 론

동해는 북서태평양에 위치한 반폐쇄형 연안해(marginal sea)로 해안선이 단조롭고 외양으로 갈수록 수심이 급격히 깊어지는 지형적 특성을 가지고 있다(Naganuma, 2000). 동해 해양환경 및 생태계는 남에서 북으로 흐르는 대마난류(Tsushima Warm Current)와 북에서 한반도 연안을 따라 남으로 흐르는 리만한류(Liman Cold Current)의 영향을 받는다(Naganuma, 2000; Lee

et al., 2009). 특히 동해 남서부 해역(강원도 및 경상북도 연안)은 리만한류의 지류인 북한한류의 영향으로 어류군집에서 냉수성 어종의 출현비율이 높은 양상을 보인다(Lee et al., 2018). 그러나 1980년대 이후 기후변화에 따른 대마난류의 확장으로 동해 해수온은 증가하는 경향을 보였으며, 이에 반응하여 동해 해양생태계 변화도 나타나고 있고(Kang et al., 2000; Tian et al., 2011), 동해 전반적으로 온대성 및 아열대성 어종이 증가하는 양상을 보이고 있다(Jung et al., 2014).

연안해역에서 어류 자치어의 군집구조는 시간적, 공간적 변동성이 뚜렷하다. 계절적 측면에서 연중 많은 분류군이 출현하고 특정한 시기에 특정 어종들이 출현하는 특징을 나타내고 있다(Loeb et al., 1983; Walker et al., 1987; McGowen, 1993). 이리

저자 직위: 박주면 (책임연구원), 김종훈 (대학원생), 명세훈 (해양수산연구원), 정운환 (책임기술원), 이대원 (책임기술원), 최동문 (선임기술원), 이희갑 (무기계약직기술원)

*Corresponding author: Joo Myun Park Tel: 82-54-780-5344, Fax: 82-54-780-5319, E-mail: joomyun.park@kiost.ac.kr

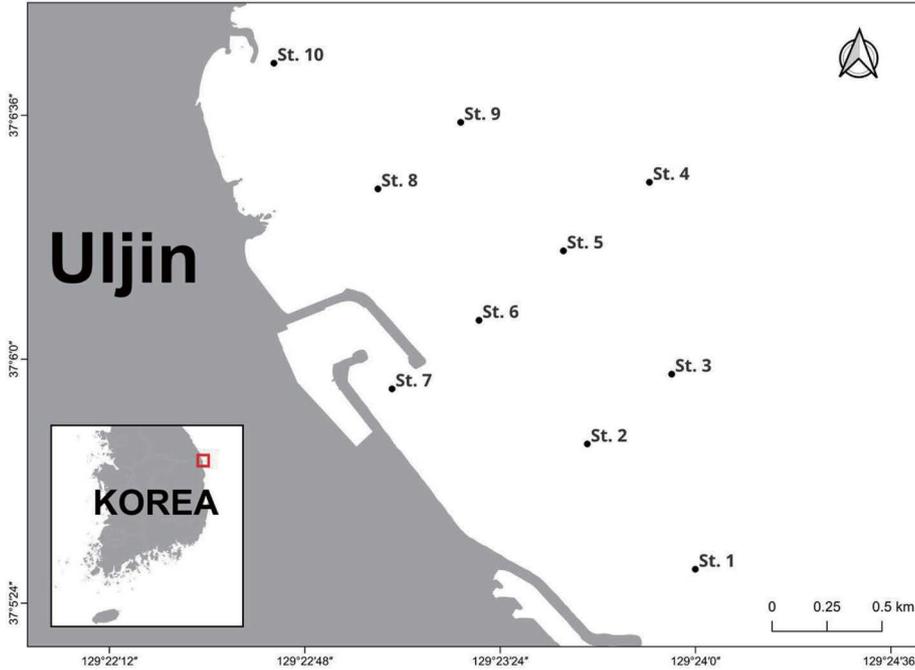


Fig. 1. Locations of the larval fish sampling stations in the coastal waters off Uljin, East Sea.

한 자치어 군집구조는 성어의 산란시기, 자치어의 행동양상, 자치어를 수송하는 해양학적 특성 등에 크게 영향을 받는다(Gray, 1993). 대부분 온대해역 어류는 수온 변화에 따라 특정 계절에 산란하는 특성을 가지기 때문에(Aida, 1991), 이러한 성어의 산란을 통하여 부화한 자치어 또한 뚜렷한 계절적 출현양상을 보일 수 있다. 따라서 연안해역에서 자치어 군집 연구는 해당 해역 내에서 산란하는 어류의 종류와 산란시기를 추정할 수 있는 중요한 연구 중 하나로 알려져 있다.

지금까지 국내 연안 해역에서 많은 자치어 군집연구가 수행되었다. 이러한 자치어 종조성 연구는 대부분 우리나라 남해, 서해 또는 제주도 연안에서 주로 수행되었고, 동해에서는 독도 주변해역(Kim *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2010; Shin *et al.*, 2021), 동해 연안(Cha *et al.*, 1991; Han *et al.*, 2003; Han and Kim, 2007; Baeck *et al.*, 2012), 동해 근해(Huh *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2022) 등에서 몇몇 연구가 진행되어 상대적으로 다른 해역에 비해 부족할 실정이다. 연안해역에서 자치어 군집연구는 각 어종의 산란기 및 산란장에 대한 정보와 효율적인 수산자원 관리를 위한 중요한 자료를 제공한다(Rutherford, 2002). 또한, 해양환경이 지속적으로 변화하고 있으므로, 이와 같은 연구 결과는 추후에 시간이 지나고 변화된 해양환경에 따라 해양생태계 군집과 생물상의 변화를 비교 분석할 수 있는 중요한 기초 자료가 될 수 있다. 따라서 본 연구는 우리나라 동해 중부에 위치한 울진 연안에서 출현하는 자치어 종조성과 계절변동을 조사하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 자치어 시료는 동해 울진 원자력발전소 취수구 인근 10개 정점에서 계절별(2022년 4월, 7월, 10월, 2023년 2월)로 레저 콤비 보트에서 링네트(망구 0.8 m, 망목 300 μ m)를 이용하여 채집하였다(Fig. 1). 시료 채집은 네트를 약 1 m 수심에서 수평예망 하였으며, 정량채집을 위하여 입구에 유량계(Hydro-Bios, Germany)를 장착하였다. 본 연구에서는 소형 보트를 이용하여 자치어 시료를 채집하였기 때문에 경사채집은 수행하지 않았다. 계절별 자치어 종류별 출현시기에 대한 환경요인을 파악하기 위하여 CTD(Sea-Bird Electronics, SBE 19plus V2, USA) 이용하여 각 정점별 수심별 수온과 염분을 측정하였다. 본 연구에서 자치어는 약 수심 1 m에서 채집하였기 때문에, 수온과 염분은 표층에서 수심 1 m까지의 평균값을 이용하였다.

채집된 시료는 현장에서 95% 에탄올에 고정된 뒤 실험실로 운반하여 해부현미경(Leica EZ4, Germany) 아래에서 자치어를 가능한 종 수준까지 동정하였다. 자치어 종의 형태학적 동정은 Okiyama (2014)를 참고하였고, 분류체계 및 학명은 FishBase를 통하여 확인하였다(Froese and Pauly, 2023). 자치어 시료 중 형태가 손상되었거나 발달단계가 초기인 경우 형태동정이 어렵기 때문에 이들 자치어 시료는 오른쪽 눈을 추출하여 분자분석을 실시하였다. Total genomic DNA는 10% Chelex resin(Bio-Rad, Hercules, CA, USA)을 사용하여 추출하였으며, 미토콘드리아 COI 영역을 증폭하기 위하여 VF2와 R2 프라이머를 사용하였

다(Ward *et al.*, 2005). 증합효소 연쇄 반응(PCR) 증폭은 total DNA 2 μ L, 10X PCR buffer 5 μ L, 2.5 mM deoxynucleoside triphosphate 2 μ L, 각 프라이머 1 μ L of each primer, Ex-Taq DNA polymerase 0.1 μ L를 섞은 혼합물에 3차 증류수 13.9 μ L를 넣어 총 25 μ L로 만든 다음 Thermal cycler (MJ mini PTC-1148, Bio-Rad, USA)를 이용하여 증폭하였다. PCR 조건으로는 Initial denaturation 95°C에서 5분, PCR reaction 34 cycles (denaturation 95°C에서 1분, annealing 50°C에서 1분, extension 72°C에서 1분), final extension 72°C에서 5분 실시하였다. 정제는 ExoSAP-IT (United States Biochemical Corporation USA)를 사용하였고, 염기서열은 ABI 3730xl DNA analyzer (Applied Biosystems Inc.)에서 ABI PRISM BigDye Terminator v.3.1 Ready Reaction Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, Inc. USA)를 이용하여 얻었다. 각 종의 염기서열은 NCBI (National

Center for Biotechnology Information)와 BOLD (Barcode of life data system)에 등록되어 있는 어류의 COI 영역과 비교하여 99% 이상 일치하는 종으로 동정하였다.

월별 종조성을 파악하기 위하여 Shannon and Wiener의 종다양도지수(H')를 구하였다(Shannon and Weaver, 1949). 통계분석을 위해 자료를 정규화(normality)하고 동분산성(homocedasticity)을 맞추며 우점종의 편향을 줄이기 위하여 자치어 출현량의 로그변환(logarithmic transformations, $\log_{10}[x + 1]$)을 수행하였다. 환경요인과 자치어 군집 출현량의 상관관계는 Pearson 상관계수를 이용하여 분석하였다.

계절별 자치어 출현양상에 따른 군집구조를 분석하기 위하여 Bray-Curtis 유사도지수를 이용하였다. 구해진 유사도는 group-average 방법을 이용하여 집괴분석(cluster analysis)을 실시한 뒤, 그 결과를 dendrogram으로 나타내었다. 자치어 종별 출

Table 1. Species composition and abundance (inds./1,000 m³) of larval fish assemblage in the study area

Family	Species name	2022			2023	Total	%
		Apr.	Jul.	Oct.	Feb.		
Engraulidae	<i>Engraulis japonicus</i>		13.4			13.4	0.3
Scorpaenidae	<i>Sebastes inermis</i>	107.7			633.8	741.5	16.5
	<i>Sebastes pachycephalus</i>				33.3	33.3	0.7
	<i>Sebastes vulpes</i>	34.9				34.9	0.8
	<i>Sebastiscus marmoratus</i>				28.6	28.6	0.6
	<i>Hexagrammos otakii</i>				13.1	13.1	0.3
Cottidae	<i>Alcichthys elongatus</i>	23.4				23.4	0.5
	<i>Furcina ishikawae</i>	23.4				23.4	0.5
	<i>Gymnocanthus herzensteini</i>	38.0				38.0	0.8
	<i>Icelinus japonicus</i>	11.5				11.5	0.3
	Cottidae spp.		18.0			18.0	0.4
Lateolabracidae	<i>Lateolabrax japonicus</i>				33.3	33.3	0.7
Stichaeidae	<i>Ernogrammus hexagrammus</i>	11.5				11.5	0.3
	<i>Lumpenus sagitta</i>				6.4	6.4	0.1
Ammodytidae	<i>Ammodytes personatus</i>				366.0	366.0	8.2
Blenniidae	<i>Omobranchus elegans</i>		26.6			26.6	0.6
	<i>Parablennius yatabei</i>		195.0			195.0	4.3
Callionymidae	<i>Callionymus beniteguri</i>		38.9			38.9	0.9
	<i>Callionymus curvicornis</i>		8.6			8.6	0.2
	Callionymidae spp.		22.2	4.6		26.8	0.6
Gobiidae	<i>Pterogobius zacalles</i>	35.2				35.2	0.8
Paralichthyidae	<i>Paralichthys olivaceus</i>	55.1				55.1	1.2
Pleuronectidae	<i>Cleisthenes pinetorum</i>		99.7			99.7	2.2
	<i>Platichthys bicoloratus</i>	11.7				11.7	0.3
	<i>Pseudopleuronectes herzensteini</i>	2,152.0				2,152.0	47.9
	<i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>				308.4	308.4	6.9
Monacanthidae	<i>Rudarius ercodes</i>		135.9			135.9	3.0
	Total abundance	2,504.4	558.3	4.6	1,422.9	4,490.1	100.0
	Number of species	11	8	1	8	26	

현 그룹을 구분하기 위해서 SIMPROF permutation 방법을 이용하여 999 permutations을 거친 뒤 95% 유의수준에서 그룹화하였다(Clarke *et al.*, 2008). 통계분석을 위하여 SPSS statistical software (IBM SPSS Statistics)와 PRIMER v7 statistical package (Clarke and Gorley, 2015)를 이용하였으며, 통계적 유의성은 0.05를 적용하였다.

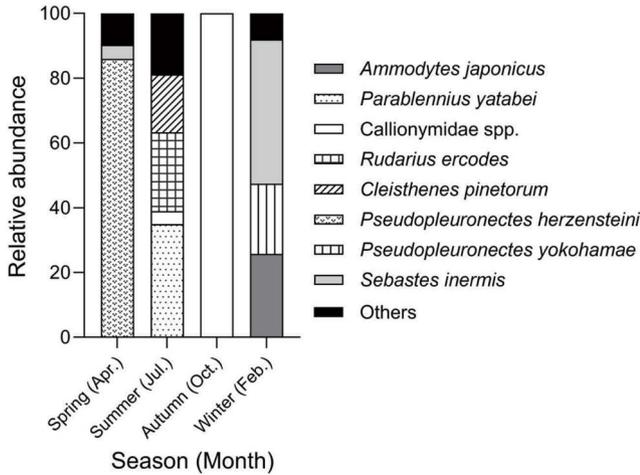


Fig. 2. Relative abundance of larval fish species with respect to season in the study area.

결 과

1. 자치어 종조성 및 계절변동

조사 기간 동안 총 13과 27분류군에 속하는 4,490.0 ind./1,000 m³의 자치어가 채집되었다(Table 1). 형태 및 분자분석을 통하여 총 25종(형태동정 7종, 분자동정 18종)이 종 수준에서 동정되었고, 2개 분류군은 과(Family) 수준으로 분류되었다. 가장 많이 출현한 어종은 참가자미(*Pseudopleuronectes herzensteini*)로 2,152.0 ind./1,000 m³가 채집되어 전체 현존량의 47.9%를 차지하였다. 그 다음으로 볼락(*Sebastes inermis*)이 741.5 ind./1,000 m³, 까나리(*Ammodytes japonicus*)가 366.0 ind./1,000 m³, 문치가자미(*Pseudopleuronectes yokohamae*)가 308.4 ind./1,000 m³, 그물코취치(*Rudarius ercodes*)가 135.9 ind./1,000 m³, 청베도라치(*Parablennius yatabei*)가 195.0 ind./1,000 m³ 채집되었다. 위에서 언급한 6종은 100 이상의 현존량을 보였으면 전체 현존량의 86.8%를 차지하였다.

자치어 종수는 계절별 1~11종이 채집되었는데, 춘계(4월)에 가장 많았으며 추계(10월)에 가장 적었다. 자치어 현존량 또한 춘계에 2,504.4 ind./1,000 m³로 가장 많았고, 추계에 4.6 ind./1,000 m³로 가장 낮았다. 종다양도지수는 하계(8월)에 1.742로 가장 높았고, 춘계에 0.695로 가장 적었다. 종다양도지

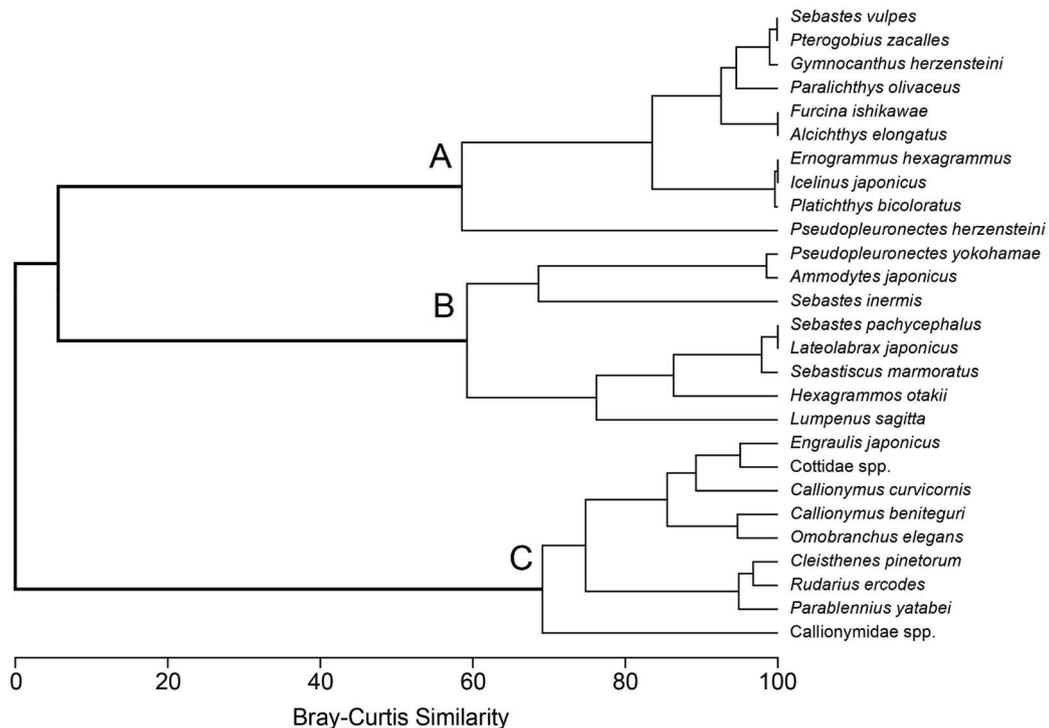


Fig. 3. Cluster dendrogram derived from the Bray-Curtis similarity matrix constructed from the abundance data for fish larvae. The thick lines indicate the groups (A-C) that were separated by the SIMPROF test at a significant level of 5%.

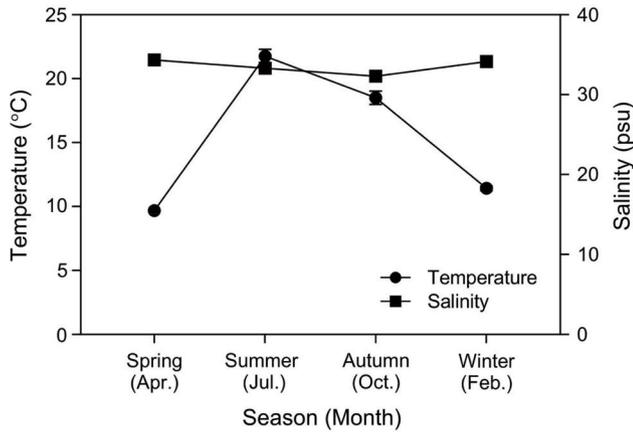


Fig. 4. Seasonal variations in surface water temperature and salinity in the study area.

수는 춘계에 최우점종인 참가자미 자치어의 높은 출현량으로 인해 상대적으로 낮은 값을 보였다.

조사해역에서 자치어 군집은 우점종에서 계절별로 뚜렷한 차이를 보였다(Fig. 3). 춘계에는 참가자미가 전체 자치어 현존량의 대부분인 85.9%를 차지하였고, 그 다음으로 볼락이 4.3%였다. 하계(8월)에는 청베도라치, 그물코쥐치, 용가자미(*Cleisthenes pinetorum*)가 각각 전체 현존량의 35.9%, 24.4%, 17.9%를 차지하였다. 추계에는 돛양태과(Callionymidae) 자치어만 출현하였고, 동계(2월)에는 볼락, 까나리, 문치가자미 순으로 많은 현존량을 나타냈다.

계절별 자치어 출현양상을 바탕으로 집괴분석을 수행한 결과 3개의 그룹이 뚜렷히 구분되었다(Fig. 3). 첫 번째 그룹(A)은 참가자미, 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 대구횃대(*Gymnocanthus herzensteini*) 등 총 10종이 속해 있었으며, 춘계에 출현량이 높은 그룹이었다. 두 번째 그룹(B)은 동계에 출현량이 높은 8종이 포함되어 있었으며, 주요 어종은 볼락, 까나리, 문치가자미 등이었다. 마지막 그룹(C)은 하계에 현존량이 높았던 청베도라치, 그물코쥐치 등 7종의 자치어와 돛양태과 및 독중개과(*Cottidae* spp.)에 속하는 자치어가 포함되었다.

2. 환경요인과 자치어 출현량

조사해역의 수온은 계절별 9.7~21.8°C의 범위를 나타냈는데, 춘계(4월)에 가장 낮았고 하계(7월)에 가장 높았다(Fig. 4). 염분은 32.3~34.3 psu의 범위를 보였고, 동계(2월)에 가장 높았으며, 추계(10월)에 가장 낮았다. 염분은 조사 기간 동안 계절별로 큰 차이를 보이지 않았으나, 고수온기인 하계와 추계에 표층 염분이 다소 낮아지는 경향을 보였다. 반면 각 계절별로 표층 수온과 염분은 정점별 큰 차이를 보이지 않았다.

조사해역에서 자치어 현존량과 환경요인(수온 및 염분)의 상

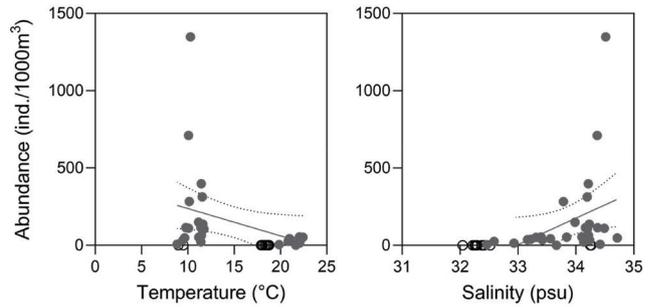


Fig. 5. Relationships between abundance of larval fishes and environmental variables (temperature and salinity) in the study area. Blank symbols indicate no fish larvae caught.

관관계를 살펴보면, 자치어 현존량은 수온과 음(-)의 유의한 상관관계를 보였고, 염분과 양(+)의 유의한 상관관계를 보였다($p < 0.05$). 즉, 수온에 따라 약 10°C 전후에서 자치어의 현존량이 높았고, 염분은 약 33.8 psu 이상에서 현존량이 높았다(Fig. 5).

고찰

우리나라 연안에서 수행된 자치어 군집연구에서 연구해역마다 우점종의 차이를 보였다. 대마난류의 영향을 받는 해역(제주, 남해, 동해 남부 등)에서 공통적으로 멸치가 우점종으로 나타났고(Lee et al., 2006; Baek et al., 2012; Choi et al., 2017; Baek et al., 2021), 동해에서 대마난류의 지류인 동한난류가 외양으로 확장되는 영향으로 멸치 자치어는 동해 근해와 외양에 위치한 독도 연안에서도 우점종으로 나타났다(Kim et al., 2002; Lee et al., 2010; Huh et al., 2013; Choi et al., 2022). 반면 일부 담수의 영향을 받는 남해와 서해의 하구역 자치어 군집에서 망둑어과 어류가 우점하는 경향을 보였다(Kim et al., 2003; Choi et al., 2015). 본 연구에서는 참가자미, 볼락, 까나리, 문치가자미 등이 우점종이었으며 멸치 자치어의 비율은 1% 미만이었다. 과거 남해(제주도 포함)와 서해에서 수행된 대부분 연구에서 우점종은 고수온기에 산란하는 어종의 자치어였지만(Lee et al., 2006; Kwak and Park, 2014; Choi et al., 2017; Baek et al., 2021), 본 연구에서는 저수온기에 출현한 자치어가 우점하는 경향을 보였다. 우리나라 동해 남부해역은 여름철에 대마난류의 확장으로 표층수는 고수온의 영향을 받지만 본 연구지역을 포함한 북위 36도 이북의 연안은 연중 수온이 낮은 북한난류의 영향을 받는 해역으로 알려져 있다(Kim and Min, 2008). 따라서 이러한 저수온 수괴의 영향으로 동계 산란어종의 자치어 출현량이 높았던 것으로 판단된다.

본 연구에서 채집된 자치어 시료는 자치어의 형태학적 특성과 분자동정으로 25종이 종 수준에서 분류되었고 2종이 과(Family) 수준에서 분류되었다. 우리나라에서 수행된 과거 대부

본 연구는 자치어 종 분류를 위해 문헌을 통한 형태 기반으로 분류하는 것이 일반적이었고, 이에 따라 대부분 연구 결과에서 미확인 어종이나 과(Family) 또는 속(Genus) 수준에서 분류되는 시료의 비율이 높았다. 예를 들어 제주 서부연안에서 출현한 총 59종의 자치어 중 28종(47.5%)이 종 수준에서 분류되지 않았고 (Lee *et al.*, 2006), 남해안 연안해역에서 출현한 자치어 50종 중 22종(44.0%)이 속 수준 이상의 종이였다(Choi *et al.*, 2017). 반면 최근 몇몇 연구에서는 본 연구와 같이 분자동정의 분류기법을 도입하여 자치어 군집 연구를 수행하였고, 그 결과 종 수준에서 분류되지 않은 종의 비율이 20% 미만이었다(Baek *et al.*, 2021; Myoung *et al.*, 2021). 이러한 DNA 분석을 통한 분자동정의 활용은 형태 발달이 완전하게 이루어지지 않은 초기생활사 시기의 종 동정의 해상도를 높일 수 있지만, 시간과 비용의 증가, 유전자 염기서열 비교를 위한 데이터베이스 부족 등으로 아직까지 한계점이 존재한다(Azmir *et al.*, 2017). 따라서 향후 두 방법을 상호보완하기 위한 분류기법 확립이 필요하다.

본 연구에서 자치어의 계절별 출현양상을 바탕으로 3개의 그룹으로 구분할 수 있었다(춘계, 동계 및 하계 그룹). 일반적으로 연안해역에서 자치어의 종별 출현시기 성어의 산란시기에 따라 차이가 나타난다. 온대해역의 어류는 수온에 따른 계절적 생식소 발달 정도에 따라 산란시기이 달라지며(Aida, 1991), 이러한 산란시기에 따라 자치어 출현시기이 결정된다. 본 연구에서 동계에 출현한 자치어 중 까나리와 문치가자미의 산란기는 11월에서 다음해 3월, 볼락의 산란기는 10월에서 다음해 1월로 알려져 있어 늦가을에서 겨울에 산란하는 어종인 까나리, 문치가자미, 볼락의 자치어는 동계에 우점하였고(Shinomiya and Ezaki, 1991; Seo *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2020), 겨울에서 초봄에 산란하는 참가자미 자치어는 춘계에 우점하였으며(Cha *et al.*, 2006), 봄에서 여름까지 산란하는 그물코쥐치, 용가자미, 청베도라치의 자치어는 하계에 출현량이 많았다(Lee and Hanyu, 1984; Kim *et al.*, 1992; Yang *et al.*, 2018). 이와 같이 어류 자치어의 조사는 어류의 산란 서식지와 산란 활동을 모니터링할 수 있는 중요한 연구가 될 수 있다(Pritt *et al.*, 2015).

환경요인은 연안해역에서 자치어를 포함한 많은 해양생물 군집의 생물상 변화에 영향을 미치는 요인이며, 특히 수온은 어류 초기생활사에 영향을 미치는 중요한 환경요인으로 알려져 있다(Raventos *et al.*, 2021). 최근 우리나라를 포함한 전 세계적으로 기후변화에 따른 해수온 상승은 어류 자치어의 먹이원 감소, 부유시기 감소, 출현시기 변화, 분포 변동 등에 영향을 미친다(Genner *et al.*, 2010; McLeod *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2021; Raventos *et al.*, 2021). Costa *et al.* (2021)은 대서양 남서부(남반구) 아열대 해역에서 어류 자치어와 미성어/성어 군집의 분포가 기후변화에 따라 더 남쪽(극지방 방향)으로 확산될 것으로 예측하였다. 본 연구 지역은 냉수괴인 북한한류 영향권의 해역으로 대마난류의 직접적인 영향을 받는 제주 또는 남해 연안과 달리

저수온기 산란 어종과 온대해역 서식종이 우점하는 양상을 보였다. 그러나 미래 기후변화에 따라 고수온기 산란 어종 또는 아열대 어류 자치어의 출현 가능성이 높을 것으로 예상된다(Figueira *et al.*, 2009). 따라서 미래 기후변화에 대한 해양생태계 영향을 감지하기 위해서 어류를 포함한 해양생물 유생의 지속적인 모니터링이 필요하다.

요 약

본 연구는 동해 울진 연안 10개 정점에서 계절별(2022년 4월, 7월, 10월, 2023년 2월)로 Ring net를 이용하여 채집한 자치어 종조성의 계절변동을 조사하였다. 총 27개 분류군에 속하는 자치어가 채집되었다. 어류 자치어 우점종은 참가자미(*Pseudopleuronectes herzensteini*), 볼락(*Sebastes inermis*), 까나리(*Ammodytes japonicus*), 문치가자미(*Pseudopleuronectes yokohamae*), 그물코쥐치(*Rudarius ercodes*), 청베도라치(*Parablennius yatabei*)였고 상기 6종은 전체 자치어 현존량의 86.6%를 차지하였다. 자치어 출현종수, 현존량, 다양도지수는 계절에 따라 변화하였는데, 출현종수와 현존량은 4월(춘계)에 가장 높았고, 다양도지수는 7월(하계)에 가장 높았다. 조사해역에서 자치어 군집의 계절별 출현양상에 따라 춘계, 하계, 동계 그룹을 구분할 수 있었다. 우점종 중 참가자미는 춘계에 우점하였고, 청베도라치와 그물코쥐치는 하계에 우점하였다. 그리고 볼락, 까나리, 문치가자미는 동계에 현존량이 높았다. 이러한 자치어 군집의 시간적 변동은 계절에 따른 수온 차이에 영향을 받았던 것으로 판단된다. 본 연구 결과는 동해에서 어류 자치어 다양성을 밝히고 연안해역의 산란장 기능을 평가하는 데 기여할 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 한국수력원자력의 “한울본부 해양생물 유입방지 그물망 설치 및 유지관리”와 한국해양과학기술원의 “한반도 주변해 해양환경/생태계 변동성 분석 및 진단 역량 강화(grant number: PEA0201)” 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Aida, K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleosts. Bull. Inst. Zool. Academia Sinica, Monograph, 16: 173-187.
- Azmir, I.A., Y. Esa, S.M.N. Amin, I.S. Md Yasin and F.Z. Yusof. 2017. Identification of larval fish in mangrove areas of Peninsular

- Malaysia using morphology and DNA barcoding methods. *J. Appl. Ichthyol.*, 33: 998-1006. <https://doi.org/10.1111/jai.13425>.
- Baeck, G.W., J.M. Park, K.M. Nam and S.H. Huh. 2012. Species composition and abundance of larval fishes in the coastal waters off Gori, Korea in 2006. *J. Korean Soc. Fish. Technol.*, 48: 284-292. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.3.284>.
- Baek, J.I., H.S. Ji, H.J. Yu, K.S. Hwang and D.N. Kim. 2021. Distribution of eggs and larvae in coastal waters of Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 54: 467-479. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0467>.
- Cha, H.K., K.Y. Park, S.I. Lee, H.W. Park, H.C. Kwon and S.H. Choi. 2006. Maturity and spawning of brown sole, *Pleuronectes herzensteini* (Jordan et Snyder) in the East Sea of Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 18: 363-367.
- 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: 11-23.
- Choi, H.C., H.K. Jung, J.H. Cho, S.H. Youn and H.J. Oh. 2022. Distribution of larval fishes off the East Sea, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 34: 186-200. <https://doi.org/10.35399/ISK.34.3.5>.
- Choi, H.C., J.M. Park and S.H. Huh. 2015. Spatio-temporal variations in species composition and abundance of larval fish assemblages in the Nakdong River estuary, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 27: 104-115.
- Choi, H.C., M.H. Yoo, S.H. Youn and H.J. Oh. 2017. Distribution of fish larvae in the southern coastal waters (Yeosu, Namhae and Tongyoung) of Korea in spring and summer. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.*, 23: 759-766. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2017.23.6.759>.
- Clarke, K. and R. Gorley. 2015. PRIMER v7: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, UK, 296pp.
- Clarke, K.R., P.J. Somerfield and R.N. Gorley. 2008. Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 366: 56-69. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.009>.
- Costa, M.D., K.A. Wilson, P.J. Dyer, R. Pitcher, J.H. Muelbert and A.J. Richardson. 2021. Potential future climate-induced shifts in marine fish larvae and harvested fish communities in the subtropical southwestern Atlantic Ocean. *Clim. Change*, 165: 66. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03097-x>.
- Figueira, W.F., P. Biro, D.J. Booth and V.C. Valenzuela. 2009. Performance of tropical fish recruiting to temperate habitats: role of ambient temperature and implications of climate change. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 384: 231-239. <https://doi.org/10.3354/meps08057>.
- Froese, R. and D. Pauly. 2023. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (10/2023). Accessed on 03 January 2024.
- Genner, M.J., N.C. Halliday, S.D. Simpson, A.J. Southward, S.J. Hawkins and D.W. Sims. 2010. Temperature-driven phenological changes within a marine larval fish assemblage. *J. Plankton Res.*, 32: 699-708. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbp082>.
- Gray, C.A. 1993. Horizontal and vertical trends in the distribution of larval fishes in coastal waters off central New South Wales, Australia. *Mar. Biol.*, 116: 649-666. <https://doi.org/10.1007/BF00355483>.
- 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: 87-94.
- 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: 332-342.
- Huh, S.H., H.C. Choi, G.W. Baeck, H.W. Kim and J.M. Park. 2013. Seasonal distribution of larval fishes in the central and southern surface waters of the East Sea. *Korean J. Fish. and Aquat. Sci.*, 46: 216-222. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0216>.
- Huh, S.H., M.I. Han, S.J. Hwang, J.M. Park and G.W. Baeck. 2011. Seasonal variation in species composition and abundance of larval fish assemblages in the southwestern Jinhae Bay, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 23: 37-45.
- Jung, S., I.C. Pang, J.H. Lee, I. Choi and H.K. Cha. 2014. Latitudinal shifts in the distribution of exploited fishes in Korean waters during the last 30 years: a consequence of climate change. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 24: 443-462. <https://doi.org/10.1007/s11160-013-9310-1>.
- Kang, S., S. Kim and S.W. Bae. 2000. Changes in ecosystem components induced by climate variability off the eastern coast of the Korean Peninsula during 1960-1990. *Prog. Oceanogr.*, 47: 205-222. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(00\)00043-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(00)00043-4).
- Kim, J.G., J.I. Choi, D.S. Chang, J.T. Na and Y.U. Kim. 2003. Distribution of fish eggs, larvae and juveniles around the Youngsan River estuary. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 36: 486-494. <https://doi.org/10.5657/kfas.2003.36.5.486>.
- Kim, S., J.M. Yoo and E.K. Lee. 2002. Species composition of fish eggs and larvae in spring and autumn around Dokdo in the East Sea of Korea. *Ocean Polar Res.*, 24: 443-448. <https://doi.org/10.4217/OPR.2002.24.4.443>.
- Kim, S.R., J.B. Kim, S.J. Lee and J.H. Yang. 2020. Maturity and spawning of Pacific sand eels *Ammodytes japonicus* in coastal waters near Donghae, Gangwon-do. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 53: 19-26. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0019>.
- Kim, Y.H. and H.S. Min. 2008. Seasonal and interannual variability of the North Korean Cold Current in the East Sea reanalysis data. *Ocean Polar Res.*, 30: 21-31. <https://doi.org/10.4217/OPR.2008.30.1.021>.
- Kim, Y.U., J.G. Myoung, K.H. Han and C.B. Kang. 1992. Morphology of larvae, egg development and spawning behavior of the blennioid fish, *Pictiblennius yatabei* (Jordan et Snyder). *Korean J. Ichthyol.*, 4: 44-54.
- Kwak, S.N. and J.M. Park. 2014. Temporal and spatial variation in species composition and abundances of ichthyoplankton in Masan Bay. *Korean J. Ichthyol.*, 26: 42-49.

- Lee, C.I., H.K. Jung, S.M. Kwon, M.H. Han, K.S. Seol and J.M. Park. 2018. Depth-dependent variability of fish fauna in the coastal waters off Hupo, East Sea. *Korean J. Ichthyol.*, 30: 36-45.
- Lee, H.W., J.H. Ryu, B.K. Hong, M.H. Sohn, Y.Y. Chun and J.K. Kim. 2010. Seasonal variation of ichthyoplankton off Dokdo in the East Sea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 751-755. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.6.751>.
- Lee, J.Y., D.J. Kang, I.N. Kim, T. Rho, T. Lee, C.K. Kang and K.R. Kim. 2009. Spatial and temporal variability in the pelagic ecosystem of the East Sea (Sea of Japan): A review. *J. Mar. Syst.*, 78: 288-300. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2009.02.013>.
- 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: 129-140.
- Lee, T.Y. and I. Hanyu. 1984. Reproductive cycle of small filefish, *Rudarius ercodes*. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 17: 423-435.
- Loeb, V.J., P.E. Smith and H.G. Moser. 1983. Recurrent groups of larval fish species in the California Current area. *CalCOFI Rep.*, 24: 152-164.
- McGowen, G.E. 1993. Coastal ichthyoplankton assemblages, with emphasis on the southern California Bight. *Bull. Mar. Sci.*, 53: 692-722.
- McLeod, I.M., J.L. Rummer, T.D. Clark, G.P. Jones, M.I. McCormick, A.S. Wenger and P.L. Munday. 2013. Climate change and the performance of larval coral reef fishes: the interaction between temperature and food availability. *Conserv. Physiol.*, 1: cot024. <https://doi.org/10.1093/conphys/cot024>.
- Myoung, S.H., S.N. Kwak, J.K. Kim and J.E. Williamson. 2021. Effect of freshwater discharge from Namgang Dam on ichthyoplankton assemblage structure in Jinju Bay, Korea. *Aquat. Living Resour.*, 34: 18. <https://doi.org/10.1051/alr/2021017>.
- Naganuma, K. 2000. The Sea of Japan as the natural environment of marine organisms. *Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst.*, 50: 1-42.
- Okiyama, M. 2014. An atlas of the early stage fishes in Japan, second edition. Tokai Univ Press, Hadano, 1639pp.
- Pritt, J.J., E.F. Roseman, J.E. Ross and R.L. DeBruyne. 2015. Using larval fish community structure to guide long-term monitoring of fish spawning activity. *N. Am. J. Fish. Manag.*, 35: 241-252. <https://doi.org/10.1080/02755947.2014.996687>.
- Raventos, N., H. Torrado, R. Arthur, T. Alcoverro and E. Macpherson. 2021. Temperature reduces fish dispersal as larvae grow faster to their settlement size. *J. Anim. Ecol.*, 90: 1419-1432. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13435>.
- Rutherford, E.S. 2002. Fishery Management. In: Fuiman, L.A and R.G. Werner (eds.), *Fishery Science: The unique contributions of early life stages*. Wiley-Blackwell Ltd., Oxford, pp. 206-221.
- Seo, Y.I., H. Joo, S.K. Lee, H.Y. Kim, J.C. Ko, M.S. Choi, J.I. Kim and T.Y. Oh. 2010. Maturity and spawning of marbled sole *Pleuronectes yokohamae* in the southern sea of Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 22: 83-89.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana, 177pp.
- Shinomiya, A. and O. Ezaki. 1991. Mating habits of the rockfish *Sebastes inermis*. *Environ. Biol. Fish.*, 30: 15-22. <https://doi.org/10.1007/BF02296872>.
- Shin, U.C., S. Yoon, J.K. Kim and G. Choi. 2021. Species composition of ichthyoplankton off Dokdo in the East Sea. *Korean J. Fish. and Aquat. Sci.*, 54: 498-507. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0498>.
- Tian, Y., H. Kidokoro and T. Fujino. 2011. Interannual-decadal variability of demersal fish assemblages in the Tsushima Warm Current region of the Japan Sea: impacts of climate regime shifts and trawl fisheries with implications for ecosystem-based management. *Fish. Res.*, 112: 140-153. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.01.034>.
- Walker Jr, H.J., W. Watson and A. Barnett. 1987. Seasonal occurrence of larval fishes in the nearshore southern California Bight off San Onofre, California. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 25: 91-109. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(87\)90028-X](https://doi.org/10.1016/0272-7714(87)90028-X).
- Ward, R.D., T.S. Zemlak, B.H. Innes, P.R. Last and P.D. Hebert. 2005. DNA barcoding Australia's fish species. *Philos. Trans. R. Soc. B: Biol. Sci.*, 360: 1847-1857. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1716>.
- Yang, J.H., J.H. Cho, J.B. Kim, J.H. Park, S.J. Lee and B.S. Yoon. 2018. Maturity and spawning of the pointhead flounder, *Hippoglossoides pinetorum* in the coastal waters off Gangwon-do, East Sea. *J. Korean Soc. Fish. Ocean Technol.*, 54: 296-305. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2018.54.4.296>.