



## 황해 영광 안마 군도 해역의 요각류 출현 양상에 영향을 미치는 계절적 환경 요인

정영석<sup>1</sup> · 이석주<sup>2</sup> · 추서희<sup>3</sup> · 윤양호<sup>1,5</sup> · 조현서<sup>1,5</sup> · 김대진<sup>4\*</sup> · 서호영<sup>1,3,5\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 일반대학원 환경해양학과

(59626) 여수시 대학로 50

<sup>2</sup>해양생물증식연구센터

(59697) 전남 여수시 만성로 19

<sup>3</sup>전남대학교 일반대학원 빅데이터수산자원관리협동과정

(59626) 전남 여수시 대학로 50

<sup>4</sup>전남대학교 수산해양대학 선박실습센터

(59626) 전남 여수시 대학로 50

<sup>5</sup>전남대학교 수산해양대학 해양융합과학과

(59626) 전남 여수시 대학로 50

## The Seasonal Environmental Factors Affecting Copepod Community in the Anma Islands of Yeonggwang, Yellow Sea

Young Seok Jeong<sup>1</sup>, Seok Ju Lee<sup>2</sup>, Seohwi Choo<sup>3</sup>, Yang-Ho Yoon<sup>1,5</sup>, Hyeonseo Cho<sup>1,5</sup>,  
Dae-Jin Kim<sup>4\*</sup>, and Ho Young Soh<sup>1,3,5\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Oceanography, Graduate School, Chonnam National University,  
Yeosu 59626, Korea

<sup>2</sup>Marine Biological Resource Center, Yeosu 59697, Korea

<sup>3</sup>Interdisciplinary Program of Bigdata Fishery Resources Management, Graduate School,  
Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

<sup>4</sup>Training Ship Administrative Center, College of Fisheries and Ocean Sciences,  
Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

<sup>5</sup>Department of Ocean Integrated Science, College of Fisheries and Ocean Sciences,  
Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

**Abstract :** This study was conducted to understand the seasonal patterns and variation of the copepod community in the Anma Islands of Yeonggwang, Yellow Sea, with a focus on seasonal surveys to assess the factors affecting their occurrence. Throughout the survey period, *Acartia hongi*, *Paracalanus parvus* s. l., and *Ditrichocorycaeus affinis* were dominant species, while *Acartia ohtsukai*, *Acartia pacifica*, *Bestiolina coreana*, *Centropages abdominalis*, *Labidocera rotunda*, *Paracalanus* sp., *Tortanus derjugini*, *Tortanus forcipatus* occurred differently by season and station. As a result of cluster analysis, the copepod communities were distinguished into three distinct groups: spring-winter, summer, and autumn. The results of this study showed

\*Corresponding author. E-mail: [djkim@jnu.ac.kr](mailto:djkim@jnu.ac.kr),  
[hyosoh@jnu.ac.kr](mailto:hyosoh@jnu.ac.kr)

that the occurrence patterns of copepod species can vary depending on environmental conditions (topographic, distance from the inshore, etc.), and their spatial occurrence patterns between seasons were controlled by water temperature and prey conditions. One of the physical mechanisms that can affect the distribution of zooplankton in the Yellow Sea is the behavior of the Yellow Sea Bottom Cold Water (YSBCW), which shows remarkable seasonal fluctuations. More detailed further studies are needed for clear grounds for mainly why to many *Calanus sinicus* in the central region of the Yellow Sea are seasonally moving to the inshore, what strategies to seasonally maintain the population, and support the possibilities of complex factors.

**Key words :** copepod community, seasonal occurrence pattern, seasonal environmental drivers, *Calanus sinicus*, Anma Islands of Yeonggwang

## 1. 서 론

수해양 생태계에서 동물플랑크톤 중 가장 대표적인 분류군인 요각류(copepods)는 자·치어의 에너지 효율 및 초기 성장률, 초기 사망률을 결정하는 발생단계적인 먹이원(ontogenetic food sources)으로써 중요한 위치를 차지하고 있다(Sheldon et al. 1977; Van der Meeren and Næss 1993; Kørboe 1997; Madhupratap 1999; Graeb et al. 2006). 또한 요각류는 물리적, 화학적 상태 변화에 민감하게 반응하기 때문에, 이들의 군집 구조를 파악하는 것은 해양 환경을 이해하는 데 큰 도움이 된다(Bonnet and Frid 2004). 특히, 전선역(frontal zone)은 물리-화학적으로 서로 다른 수괴가 만나 혼합이 이루어지며, 그 크기와 발생 기간이 매우 다양하기 때문에(Yang et al. 1991; Jeong et al. 2009; Son et al. 2010), 동물플랑크톤의 군집구조 변동에 매우 커다란 영향을 미칠 수 있다(Park and Choi 1997; Kim et al. 2019). 이 중 황해에 주로 나타나는 조석 전선(tidal front)(Lie 1989; Lü et al. 2010)은 현재까지 황해 중앙골 저층에서 형성된 냉수와 황해 연안수가 만나 형성되는 것으로 알려져 있다(Dunxin and Qingye 2004; Jang et al. 2011; Lie et al. 2013; Zhong et al. 2020). 그러나, 황해에서 수행된 동물플랑크톤 연구들 대부분은 연안으로부터 거리가 먼 외양(황해 중앙부를 포함하는)에서 수행되어 왔기 때문에(Lim et al. 2009; Sun et al. 2010; Kim and Kang 2019, 2020, 2021; Zhao et al. 2022), 많은 섬으로 이루어진 우리나라 황해 연안에서 일어나는 이들 현상과 연계성을 이해하는데 한계가 있다.

한편, 섬 주변 해역에서는 섬의 육상부에서 배출되는 물질과 지속적 또는 일시적으로 일어나는 용승작용 등에 의해 유입되는 영양염으로 인해 1차 생산력이 높은 지역으로 알려져 있다(Perissinotto et al. 2000; Bucciarelli et al. 2001; Messié et al. 2020). 그러나 이러한 현상의 확산과 직접적인 원인에 대한 생태학적 정보는 부족한 실정이다. 따라서 섬 주변 해역에서의 요각류 군집 구조 변동을 이해하고 이에 대한 물리화학적 현상과의 관련성을 파악

하는 것은 중요한 연구 주제 중 하나이다. 본 연구해역인 황해 남부에 위치하는 영광 안마 군도는 안마도를 중심으로 석면도, 소석면도, 오도, 횡도, 죽도, 목섬 등의 작은 섬들로 이루어져 있다. 이 지역은 연중 바람의 강도가 세기 때문에 안마도 해상풍력단지, 낙월도 해상풍력단지와 같은 대규모 해상풍력단지 등의 개발이 예정되어 있다(Ju et al. 2022). 이러한 측면에서 볼 때, 강한 바람과 많은 섬들로 이루어진 본 연구해역의 특성을 고려하면 황해 외양에서 형성된 조석 전선 또는 황해저층냉수가 연안까지 충분히 영향을 줄 수 있을 것으로 판단되지만, 이를 생물 해양학적인 관점에서 기술한 연구가 부족하다. 따라서 본 연구는 섬이 많은 황해 안마 군도를 중심으로 요각류 군집의 계절 변동과 변동에 미치는 요인을 파악하고, 황해 연안에서 발생한 물리적 현상을 생물해양학적 관점에서 기술하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 환경요인 자료 수집

영광 주변 해역에서 요각류 군집의 계절 변동을 파악하기 위해 2020년 4월(봄), 7월(여름), 11월(가을), 2021년 1월(겨울)에 소형 해양조사선 에드오션호를 이용하여 안마도를 중심으로 21개의 정점에서 조사를 수행하였다(Fig. 1). 수온, 염분, 엽록소  $a$  농도, 탁도 및 용존 산소는 잠수형 형광광도계(ASTD 102, JFE Advantech, Japan)을 이용하여 측정하였다.

### 동물플랑크톤 채집

동물플랑크톤은 원추형 네트(망구 직경 45 cm, 망목 크기: 200  $\mu\text{m}$ )를 이용하여 바닥 수심(bottom depth-1 m) 부터 표층(surface)까지 수직으로 채집하였다. 수심이 10 m 이하의 정점에서는 2-3회 채집하여 시료를 합하였다. 또한 정량분석을 위하여 네트 입구에 유량계(Model 488115, Hydro-Bios co., Germany)를 부착하여 여과해수량을 산출하였다. 채집된 동물플랑크톤은 현장에서 중성 포르말

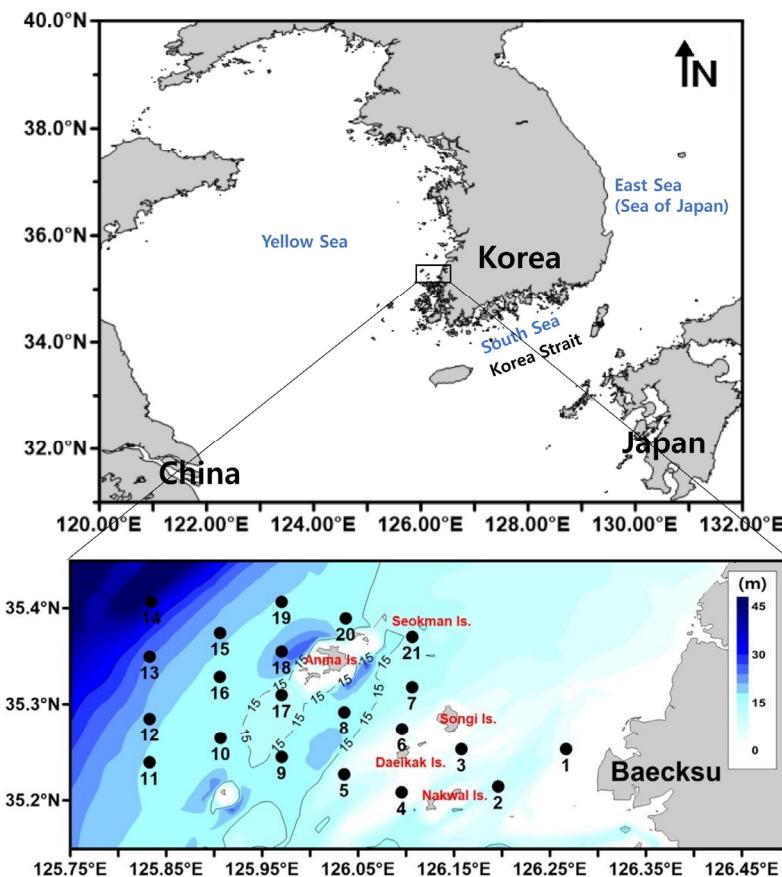


Fig. 1. Sampling station map

린으로 즉시 고정하여 최종 농도 5%가 되도록 하였다. 동물플랑크톤 종 동정과 출현 개체수 계수(counting)는 요각류의 출현 개체수가 최소 200개체가 넘도록 입구가 넓은 파이펫으로 5–20 mL를 분취한 후, 바닥이 5 mm 간격으로 분할된 UNESCO식 계수판에서 실시하였다. 요각류는 해부현미경(SMZ645, Nikon, Japan)을 이용하여 가능한 종 수준까지 동정하였다. 해부현미경으로 종 동정이 어려운 종은 종을 특정할 후 있는 부속지를 해부하여 영구표본을 만든 후, 보다 세밀한 관찰을 위해 고배율 광학 현미경(Eclipse E200, Nikon, Tokyo, Japan)을 사용하여 관찰하였다. 요각류 종 동정은 Chihara and Murano (1997), Soh (2010), Soh et al. (2013), Soh and Moon (2014)를 참고하였으며, 요각류 종명 및 분류 체계는 WoRMS Editorial Board (2023)에 준하여 정리하였다. 최종적으로 요각류 개체수는  $\text{inds. m}^{-3}$ 으로 환산하여 분석에 사용하였다.

### 자료 분석

자료 분석에 사용된 요각류 개체수 데이터는 정규화와 데이터간 편차를 줄이기 위하여  $\log_{10}(x+1)$  지수로 변환하

여 사용하였다. 환경 요인(수온, 염분, 엽록소  $a$  농도, 탁도, 용존 산소)에 대해서는 표층과 저층 자료의 평균값을 사용하였고, Z-score 표준화를 수행하여 단위를 제거하여 비교 가능하도록 하였다. 데이터 분석 전, 데이터의 편향(bias)을 야기할 수 있는 이상치(outliers)는 제거하였다. 각 요인은 변수별로 정규 분포를 만족하지 않기 때문에 계절에 따른 환경 요인의 통계적 차이는 비모수 분석인 Wilcoxon test와 Kruskal-Wallis test를 통해 확인하였다. 계절에 따른 군집 특성을 파악하기 위해 Bray-Curtis Dissimilarities를 기반으로 하는 Ward's link method에 따라 계절적 클러스터 분석과 비계량적 다차원 척도(non-metric Multi-Dimensional Scaling, nMDS) 배열법 분석은 Jeong et al. (2022)에 따라 수행하였다. 이후, 계절별 군집 특성에 따른 계절군에 미치는 환경요인을 탐색하기 위해 정준상관분석(Canonical Correspondence Analysis, CCA)과 상관분석(Correlation analysis)을 수행하였다. 모든 데이터 작업 및 통계 분석은 R program (version 4.1.0., R Core Team, 2020)의 두 가지 패키지("ggplot2", "vegan")를 이용하였다.

### 3. 결 과

#### 환경 요인

각 환경 요인(평균 수온, 평균 염분, 평균 엽록소  $a$  농도, 평균 탁도, 평균 용존 산소)은 안마도를 기준으로 동쪽과 서쪽으로 구분하여 계절별 변동 양상을 파악하였다 (Fig. 2). 평균 수온(Averaged Temperature)은 봄에 9.7–13.6°C의 범위를, 여름에 19.7–22.8°C의 범위를, 가을에 18.0–18.5°C의 범위를, 겨울에 3.2–7.0°C의 범위를 보였다 (Fig. 2). 평균 수온은 계절에 따른 차이가 뚜렷하게 나타났다( $p < 0.001$ , Kruskal–Wallis test). 그리고 평균 수온은 수심이 얕고 연안에 가까운 안마도 동쪽 해역이 겨울을 제외한 모든 계절(봄, 여름, 가을)에서 높게 나타난 반면, 안마도 서쪽 해역은 계절에 따라 변동 양상이 달랐다 (Fig. 2). 특히 여름에는 안마도 동쪽 해역에 비해 서쪽 해역에서 상대적으로 낮은 수온의 물(19.7°C)이 관찰되었는데, 이는 동쪽해역의 최고 수온(22.8°C)에 비해 약 3.1°C 낮았다 (Fig. 2).

평균 염분(Averaged Salinity)은 봄에 31.80–32.24 psu 범위를, 여름에 31.48–32.24 psu 범위를, 가을에 31.29–32.39 psu 범위를, 겨울에 31.26–32.14 psu 범위를 보였다 (Fig. 2). 평균 염분은 봄–가을, 봄–겨울, 여름–가을, 여름–겨울 간에는 유의미한 차이를 보였지만(respectively  $p < 0.001$ , Wilcoxon test), 봄–여름, 가을–겨울 간에서는 유의미한 차이를 보이지 않았다(respectively  $p > 0.05$ , Wilcoxon test). 평균 염분은 안마도를 기준으로 모든 계절에서 수심

이 얕고 연안에 가까운 동쪽이 낮게 나타난 반면 수심이 상대적으로 깊고, 연안으로부터 거리가 있는 서쪽 해역은 동쪽 해역에 비해 상대적으로 높게 나타나는 경향이었다 (Fig. 2).

평균 엽록소  $a$  농도(Averaged Chlorophyll- $a$  concentrations)는 봄에 1.67–7.73  $\mu\text{g/L}$ 의 범위를, 여름에 1.11–8.69  $\mu\text{g/L}$ 의 범위를, 가을에 1.67–8.62  $\mu\text{g/L}$ 의 범위를, 겨울에 0.61–3.62  $\mu\text{g/L}$ 의 범위를 보였다 (Fig. 2). 평균 엽록소  $a$  농도는 봄과 가을( $p > 0.05$ , Wilcoxon test)을 제외한 나머지 계절에서 모두 유의미한 차이를 보였으며( $p < 0.05$ , Wilcoxon test), 계절에 따른 차이 또한 뚜렷하게 나타났다( $p < 0.001$ , Kruskal–Wallis test). 또한, 안마도를 기준으로 모든 계절에서, 수심이 얕고 연안에 가까운 동쪽이 높은 평균 엽록소  $a$  농도가 나타난 반면, 수심이 상대적으로 깊고 연안으로부터 거리가 있는 서쪽 해역은 동쪽 해역에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 다만, 가을에 동쪽 해역에 가까운 9번 정점에서 8.62  $\mu\text{g/L}$ 에 이르는 매우 높은 값이 관측되었다 (Fig. 2).

평균 탁도(Averaged Turbidity)는 봄에 1.93–80.44 FTU의 범위를, 여름에 1.98–218.03 FTU의 범위를, 가을에 27.47–190.70 FTU의 범위를, 겨울에 2.61–81.70 FTU의 범위를 보였다 (Fig. 2). 평균 탁도는 봄–가을, 여름–가을, 가을–겨울 간에 유의미한 차이( $p < 0.001$ , Wilcoxon test)를 보인 반면, 나머지 계절 간에는 차이가 크지 않았다( $p > 0.05$ , Wilcoxon test). 그럼에도 불구하고 계절에 따른 차이는 뚜렷하게 나타났다( $p < 0.001$ , Kruskal–Wallis

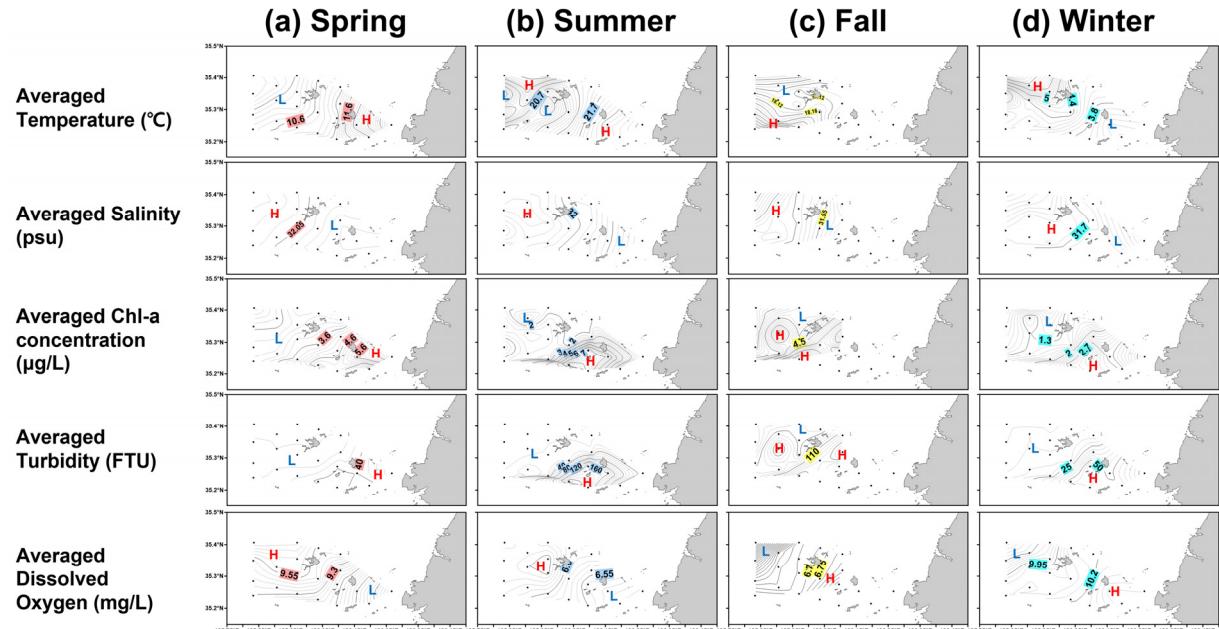


Fig. 2. Seasonal variation of environmental factors. “H” and “L” indicated relatively higher and lower for each season

test). 여름에 연안과 가까운 3–6번 정점에서 높은 농도의 탁도 범위(178.47–218.03 FTU)가 관찰되었다(Fig. 2). 또한, 평균 탁도는 평균 엽록소  $a$  농도와 유사하게 모든 계절, 안마도 동쪽해역에서 상대적으로 높은 값을 보였다(Fig. 2).

평균 용존 산소(Averaged Dissolved Oxygen)는 봄에 8.28–9.80 mg/L의 범위를, 여름에 6.33–7.10 mg/L의 범위를, 가을에 5.53–7.04 mg/L의 범위를, 겨울에 9.47–10.45 mg/L의 범위를 보였다(Fig. 2). 여름–가을 간에 유의미한 차이가 없었던 반면( $p > 0.05$ , Wilcoxon test), 나머지 계절 간에서 유의미한 차이가 나타났다( $p < 0.001$ , Wilcoxon test), 평균 용존 산소 또한 계절적인 차이가 뚜렷하게 나타났다( $p < 0.001$ , Kruskal-Wallis test). 봄과 여름에는 안마도 동쪽 해역에서 상대적인 낮은 값의 분포를 보인 반면, 안마도 서쪽 해역에서는 높은 값의 분포를 보였다(Fig.

2). 그러나 가을과 겨울에는 이와 반대로, 안마도 동쪽 해역(또는 안마도 동쪽 해역과 가까운 정점)이 상대적으로 매우 높은 값의 분포를, 안마도 서쪽 해역이 상대적으로 낮은 값의 분포를 보였다(Fig. 2).

#### 계절별 요각류 종구성과 군집에 미치는 환경 요인

조사 기간 중 요각류는 봄에 8–6,191 inds.  $m^{-3}$ , 여름에 8–8,601 inds.  $m^{-3}$ , 가을에 9–7,424 inds.  $m^{-3}$ , 겨울에 6–3,523 inds.  $m^{-3}$ 의 범위로 정점에 따른 큰 폭의 출현 개체 수 변동을 보였다(Fig. 3a). 전 계절 *Acartia hongi*, *Paracalanus parvus* s. l., *Ditrichocorycaeus affinis*가 우점적으로 출현하였으며, *Acartia ohtsukai*, *A. pacifica*, *Bestiolina coreana*, *Centropages abdominalis*, *Labidocera rotunda*, *Paracalanus* sp., *Tortanus derjugini*, *T. forcipatus*는 계절과 정점 별로 출현 개체수가 달랐다(Fig. 3, Table 1).

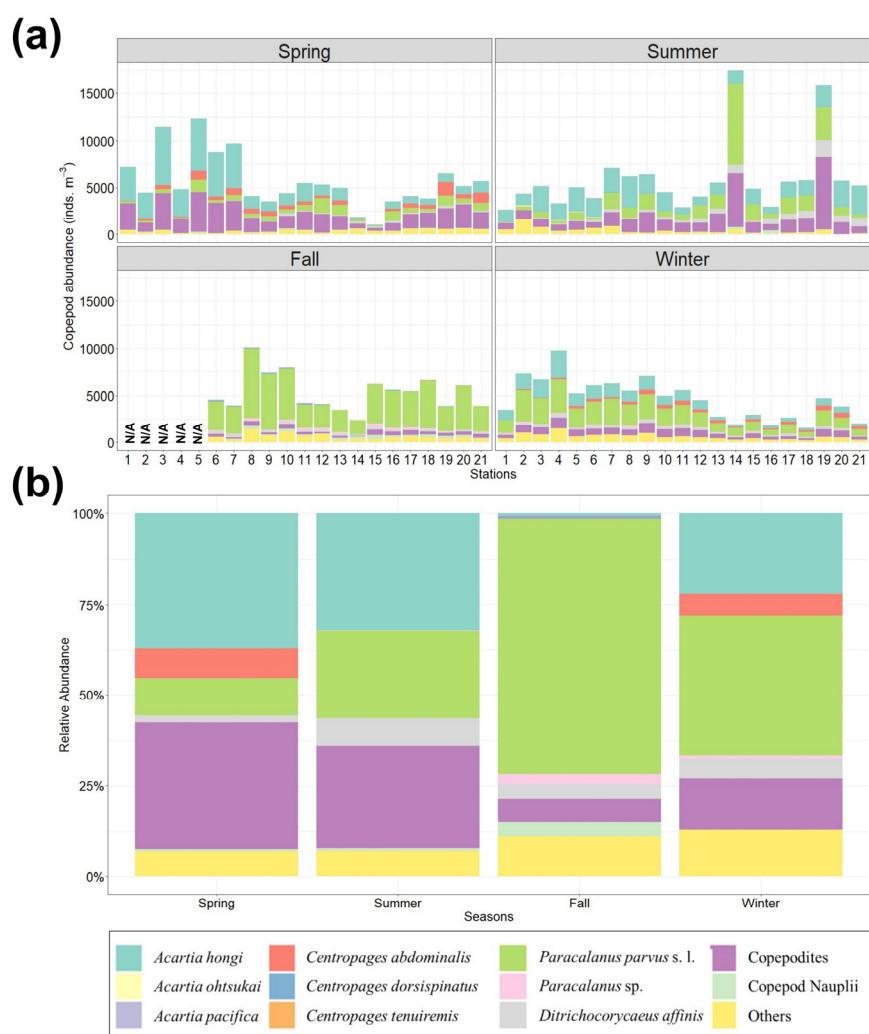


Fig. 3. Spatio-temporal differences in (a) the abundance and (b) the relative abundance of dominant copepods. N/A represents station that was not sampled

Table 1. Seasonal occurrence list of copepods in the Anma Islands of Yeonggwang

Species	Spring	Summer	Fall	Winter	Species	Spring	Summer	Fall	Winter
<i>Acartia hongi</i>	●	●	●	●	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	●	●	●	●
<i>Acartia ohtsukai</i>		●			<i>Paraclanus</i> sp.		●	●	●
<i>Acartia pacifica</i>			●		<i>Parvocalanus crassirostris</i>	●	●	●	
<i>Calanus sinicus</i>	●	●	●	●	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	●			●
<i>Centropages abdominalis</i>	●			●	<i>Tortanus forcipatus</i>				●
<i>Centropages dorsispinatus</i>	●	●			<i>Tortanus derjugini</i>			●	
<i>Centropages tenuiremis</i>	●	●			<i>Tortanus spinicaudatus</i>		●	●	
<i>Labidocera euchaeta</i>	●	●	●	●	<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	●	●	●	●
<i>Labidocera rotunda</i>	●	●			<i>Oithona</i> spp.	●	●	●	●
<i>Bestiolina coreana</i>	●	●							

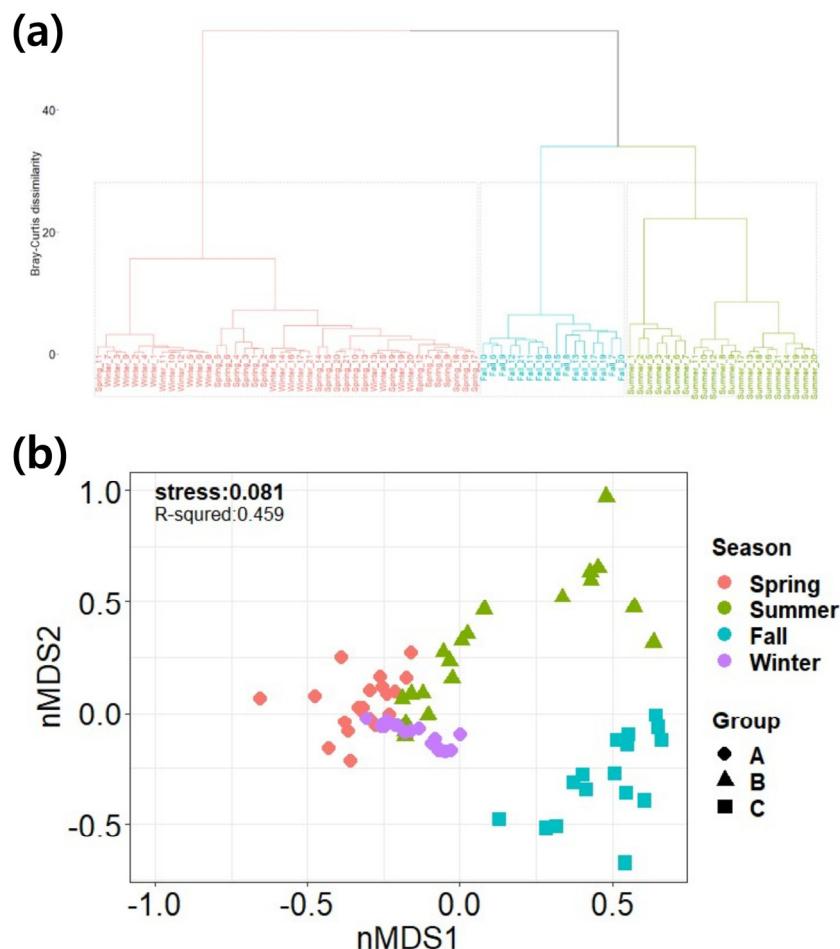


Fig. 4. (a) Dendrogram showing clustered groups by the Bray-Curtis index based on copepod abundance, (B) non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot for four seasons

계절에 따른 요각류 군집 특성을 파악하기 위해 수행한 Bray-Curtis 비유사도 기반의 nMDS 결과는 3개의 계절군 (A: 봄, 겨울, B: 여름, C: 가을)으로 구분되었다(Fig. 4a)

and b). CCA 분석 결과를 살펴보면, 제1, 2축의 전체 자료 분산에 대한 누적 기여율은 76.50%와 15.05%를 나타냈고, 5개의 환경요인이 계절별 요각류 변동의 91.55%를 설

명하였다(Fig. 5). Group A (봄, 겨울)와 일부 Group B (안마도 서쪽 해역)는 주로 평균 용존 산소가 *A. hongi*, *C. sinicus*, *C. abdominalis* 와 양의 상관관계를 나타내었다. Group A와 겹치지 않는 안마도 동쪽 해역을 포함하는

Group B (여름)는 주로 평균 온도 및 평균 Chl-a 농도가 *A. ohtsukai*와 *C. teuirementis* 와 양의 상관관계를 나타내었다( $p < 0.05$ , Table 2). Group C (가을)는 평균 Chl-a 농도, 평균 탁도가 *A. pacifica*, *C. dorsispinatus*, *Paracalanus* sp. 와 양의 상관관계를 나타내었다( $p < 0.05$ , Table 2). 전 계절에 모두 출현하고, 주로 우점하는 *P. parvus* s. l.은 평균 염분과 약한 음의 상관관계(correlation coefficient: -0.2499)를, *D. affinis*는 평균 염분과 약한 양의 상관관계(correlation coefficient: 0.1284)가 나타났다(Table 2), 또한, 연구해역에서 연중으로 출현하는 *A. hongi*와 *P. parvus* s. l.을 제외한 나머지 종들은 먹이에 대해 크게 반응함을 확인하였다( $p < 0.05$ , Table 2).

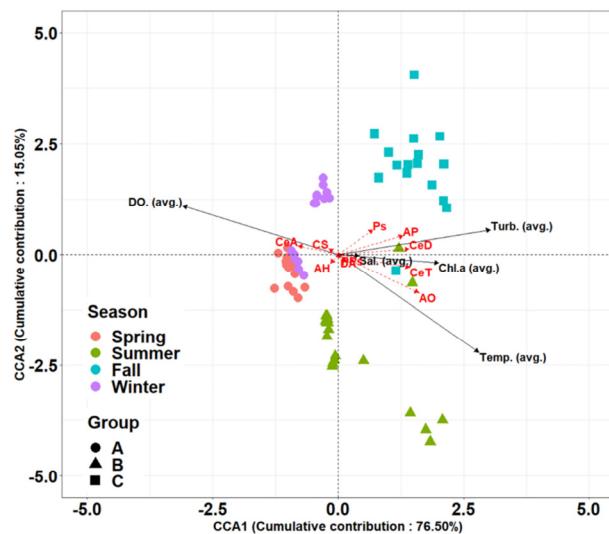


Fig. 5. Ordination plot of the canonical correspondence analysis (CCA) showing the major copepods and seasonal occurred copepods in relation to the physicochemical and biological factors. Abbreviations: AH: *Acartia hongi*, AO: *A. ohtsukai*, AP: *A. pacifica*, CS: *Calanus sinicus*, CeA: *Centropages abdominalis*, CeD: *C. dorsispinatus*, CeT: *C. tenuiremoris*, PP: *Paracalanus parvus* s. l., Ps: *Paracalanus* sp., DA: *Ditrichocorycaeus affinis*

#### 4. 고찰

황해 남부 영광 연안에 출현하는 요각류의 계절적인 군집구조 양상을 파악한 결과, 사계절 모두 내만종에 의해 군집이 유지되는 것으로 확인되었다. 연구 해역에서 전 계절 모두 출현한 종은 *Acartia hongi*, *Calanus sinicus*, *Ditrichocorycaeus affinis*, *Labidocera euchaeta*, *Paracalanus parvus* s. l., *Oithona* spp. 였고, 계절적으로 출현한 종은 *Acartia ohtsukai*, *A. pacifica*, *Bestiolina coreana*, *Centropages abdominalis*, *L. rotunda*, *Paracalanus* sp., *Tortanus derjugini*, *T. forcipatus*이었다(Table 1). 이를 중 눈에 띄게 변동이 관찰되는 종은 *A. hongi*와 *P. parvus* s. l.이었다(Fig. 3b). *A. hongi*의 양적인 변동은 봄에 98–5,548 inds.  $m^{-3}$ 로 가장 많은 비율(37.2%)을 차지하였고, 가을로 가면서 9–90 inds.  $m^{-3}$ 로 큰 폭으로 감소하였다가 겨울에 256–2,984

Table 2. Results of Spearman's correlation analysis between dominant or seasonal copepods and environmental factors. Asterisks indicate that correlation is statistically significant (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ )

Species	Environmental factors				
	Averaged Temperature (°C)	Averaged Salinity (psu)	Averaged Chl-a concentration (μg/L)	Averaged Turbidity (FTU)	Averaged DO (mg/L)
<i>Acartia hongi</i>	0.1162	<b>0.0527*</b>	0.0856	-0.0662	0.0867
<i>A. ohtsukai</i>	<b>0.3832***</b>	-0.1136	<b>0.1669*</b>	<b>0.2834*</b>	<b>-0.3597***</b>
<i>A. pacifica</i>	0.1363	<b>-0.2349*</b>	<b>0.3573*</b>	<b>0.3943**</b>	<b>-0.2916*</b>
<i>Calanus sinicus</i>	-0.6748	-0.2843	<b>-0.2387*</b>	-0.0733	0.6666
<i>Centropages abdominalis</i>	-0.7203	-0.0394	<b>-0.1105*</b>	<b>-0.3088*</b>	<b>0.7184***</b>
<i>C. dorsispinatus</i>	<b>0.3937*</b>	-0.2314	<b>0.393***</b>	<b>0.5601***</b>	<b>-0.5242***</b>
<i>C. tenuiremoris</i>	<b>0.3482**</b>	-0.2432	<b>0.2983***</b>	<b>0.4235**</b>	-0.4048
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	-0.0249	<b>-0.2499*</b>	0.0375	0.2802	-0.0322
<i>Paracalanus</i> sp.	-0.022	<b>-0.4361***</b>	<b>0.236*</b>	<b>0.5679**</b>	-0.2146
<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	0.0656	0.1284	<b>-0.3297**</b>	-0.2914	0.1423

inds.  $m^{-3}$ 로 증가하였다. *A. hongi*는 황해 고유종으로 황해에서 전반적으로 출현하고(Soh and Suh 2000), 겨울과 봄에 우점하여 출현한다고 보고되어 있다(Seo et al. 2018). 본 연구 기간 내에서도 겨울과 봄에 많이 출현한 것을 확인할 수 있었다. *P. parvus* s. l.의 양적인 변동은 봄에 82–1,578 inds.  $m^{-3}$ 로 출현 요각류 중에서 적은 비율(10.4%)을 차지하고 있었으나, 가을에 1,516–7,424 inds.  $m^{-3}$ 로 큰 폭으로 증가하여 가을에 출현한 요각류 중 가장 많은 비율(70.2%)을 차지하였다. *P. parvus* s. l.은 우리나라 연안에서 연중 출현하며, 여름에 개체군의 생식활동이 활발한 종으로 인식되어 왔다(Soh and Suh 1993; Lee et al. 2006; Moon et al. 2010). 가을에 이 종이 극우점하는 경향은 여름에 개체군의 생식활동이 활발했기 때문으로 판단된다. 한편 가을에 소수 출현하는 *Paracalanus* sp.는 *P. parvus* s. l.과 크기에서 명확한 차이를 보이고 있으나, 형태적으로는 매우 유사한 점을 많이 공유하고 있었다. 최근에 후자는 Ueda et al. (2022)이 동북아시아에 출현하는 종을 한정해 *P. orientalis*로 새롭게 명명하였으나, 여전히 국내에 출현하는 종은 크기 이외에도 개체 별 변이를 다수 포함하고 있어 추후 이와 관련한 분류학적 및 유전학적 검토가 이루어져야 할 것으로 보인다. 여름에만 출현하는 *A. ohtsukai*는 안마도 동쪽 해역, 수심이 얕은 지역(1–6번 정점)에만 한정하여 14–83 inds.  $m^{-3}$ 만 출현하였고, 가을에만 출현한 *A. pacifica*는 안마도 서쪽해역을 중심으로 10–66 inds.  $m^{-3}$  출현하였다. 다만, 가을의 경우에는 안마도 동쪽해역(1–5번 정점)에서 조사를 수행하지 못했기 때문에 동쪽과 서쪽을 비교할 수 없었다. 그리고 *A. ohtsukai*와

*A. pacifica*는 형태적으로 유사해 보이지만, 전자는 < 32 psu에서 우점한 반면, 후자는 > 32 psu 염분 범위를 선호하는 것으로 알려져 있다(Youn and Choi 2003; Moon et al. 2008; Soh 2010). 그리고 봄과 겨울에만 출현한 *C. abdominalis*는 봄에 16–83 inds.  $m^{-3}$ , 겨울에 29–510 inds.  $m^{-3}$  출현하였지만, 전체 요각류 대비 출현 비율은 적은 편(각 8.2%, 6.2%)에 속했다. 이 종은 온도가 낮은 계절 또는 낮은 물에서 주로 출현하는 냉수종의 특성이 반영된 것으로 판단된다(Uye et al. 1979; Slater and Hopcroft 2005).

요각류를 대상으로 집괴 분석을 실시한 결과, 연구해역은 봄과 겨울 그룹(Group A), 여름 그룹(Group B), 가을 그룹(Group C)으로 구분되었다(Figs. 4 and 5). 그러나 Group B 중 상대적으로 수심이 깊은 정점들이 nMDS와 CCA ordination plot 상에서 Group A와 겹쳐서 나타났다(Figs. 4b and 5). 이들 정점에서는 여름임에도 불구하고 *C. sinicus*가 평균 용존 산소와 양의 상관성을 보이면서 다량 출현하였다(Figs. 5 and 6). 또한, Group A 와 겹치지 않는 Group B의 경우는 서로 영향을 주는 환경 요인이 다르게 나타났다. 이는 같은 계절 내에서도 환경에 따라 서식하는 요각류 종의 출현 양상이 다를 수 있음을 의미한다. Group A와 일부 겹치는 Group B는 평균 용존 산소와 *C. sinicus* 간에 양의 상관성을 나타내었고, 상대적으로 깊은 수심을 가진 정점이 포함되었다. Group A와 겹치지 않는 Group B에서는 평균 수온, 평균 염분 및 평균 Chl-a 농도와 계절적으로 출현하는 종(*A. ohtsukai*, *C. tenuiremis*) 간에 양의 상관성을 나타내었고( $p < 0.05$ , Table 2), 평균 염분과는 약한 음의 상관관계를 나타내었다. 전자는 저층에

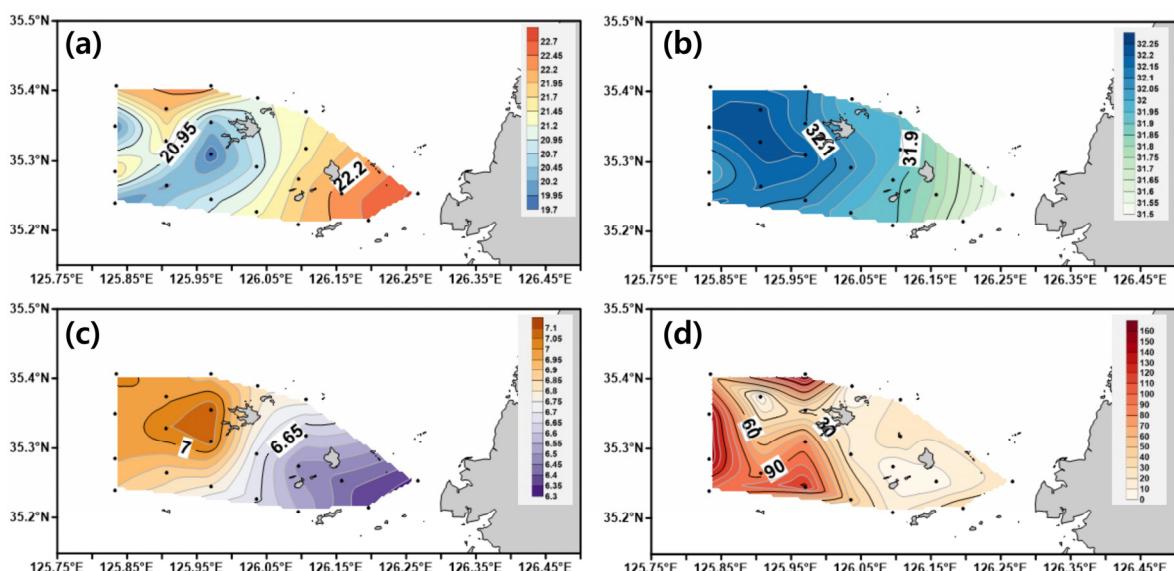


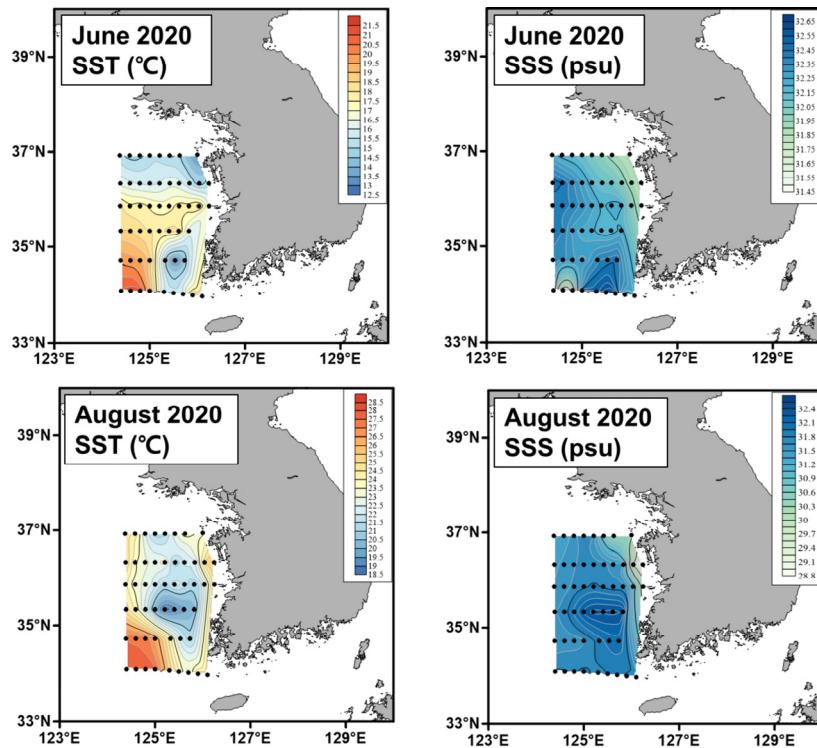
Fig. 6. In summer, (a) sea surface temperature ( $^{\circ}$ C), (b) sea surface salinity (psu), (c) sea surface dissolved oxygen (mg/L), and (d) spatial distribution of total calanid abundance (*Calanus sinicus* + *Calanus copepodites*) in study region

존재하는 상대적으로 저수온인 물이 영향을 미친 것으로 생각할 수 있다. 저수온의 물이 저층에서 표층으로 상승하면서 Chl-a 농도가 높아질 것으로 예측했지만, 본 연구의 결과에서는 저수온 물이 관찰된 표층 지역에서 Chl-a 농도가 연안보다 낮은 값을 나타내었다(Fig. 6). 이러한 현상은 이전 연구에서 관찰된 현상과 일치하였다(Lee et al. 2012; Kim and Kang 2021). 따라서, 저수온 물의 영향을 받은 지역에서는 먹이가 부족한 환경으로 볼 수 있지만, 후자의 경우에는 수심이 얕고 먹이가 풍부한 여름 연안 환경으로 판단할 수 있었다. 그리고 Group C는 다른 그룹들과 완전히 다른 특성을 나타내며, 주로 평균 Chl-a 농도, 평균 탁도와 양의 상관성을 보였다. 이 그룹에 반응하는 종들(*A. pacifica*, *C. dorsispinatus*, *Paracalanus* sp.)은 가을에 주로 출현하는 것으로, 가을의 환경이 먹이가 많고 탁도가 높은 환경과 주로 양의 상관성을 보이는 것은 육상으로부터 영암염이 유입되어 동물플랑크톤의 먹이(식물플랑크톤)의 양과 다양성이 증가했기 때문으로 추정된다(Ju et al. 2022). 이처럼 계절 간에서 공간적인 요인의 출현 양상이 다른 이유는 기존의 많은 연구 결과처럼 수온과 먹이 환경이 조절 인자(controlling factor)로 작용한 것으로 보인다(Fielder 1992; Martino and Houde 2010; Kang et al. 2013).

본 연구에서 흥미로운 사실은 여름에 안마도 주변해역에서 나타나는 저온 수괴와 냉수성 요각류인 *C. sinicus*의 다량 출현이다(Fig. 6). 냉수성 요각류인 *C. sinicus*는 황해 지역에서 주로 온도가 낮은 바닥에 개체군이 집중되어 있는 경향이 있을 뿐만 아니라, 온도가 높아진 여름에 황해 저층냉수에서 하면을 하는 것으로 알려져 있다(Wang et al. 2003). 한편, 연구지역을 포함하는 황해는 조차가 매우 심하고 조석 전선이 형성되는데, 이러한 현상들은 동물플랑크톤의 변동에 크게 영향을 줄 수 있다. 황해 동물플랑크톤에 영향을 미칠 수 있는 물리적인 기작(mechanism) 중 하나는 계절적 변동이 두드러지게 나타나는 황해저층 냉수(Yellow Sea Bottom Cold Water, YSBCW)의 거동이다(Yang et al. 2014; Sun et al. 2022). 황해저층냉수의 남하 정도는 매년 다르지만, 제주 서부~동중국해까지 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Zhang et al. 2008; Moon et al. 2009; Yang et al. 2014; Kang and Moon 2022). 현재 까지 황해 중앙골 저층에서 형성된 냉수와 황해 연안수가 만나 형성된 조석 전선에 대한 물리학적 관찰은 흑산도, 진도, 홍도 해역에서 저수온 현상의 확장이 많이 관찰되었고(Dunxin and Qingye 2004; Jang et al. 2011; Lie et al. 2013; Zhong et al. 2020), 이러한 현상은 쓰시마 난류와 같은 외해수의 유입으로 인한 연안 용승으로 인해 일어날 수 있다고 보고하였다(Jeong et al. 2009; Lee et al. 2012). 그러나 안마도 주변 정점에서 여름에 나타나는 저수온 수

괴(Figs. 2 and 6)는 이들 연구 지역과는 멀리 떨어진 황해 중동부에 더 가깝기 때문에 외해수의 유입으로 인한 연안 용승일 가능성은 낮을 것으로 판단된다. 황해 지역에 형성되는 조석 전선 또한 이 개체군의 거동에 영향을 미칠 수 있다. 황해의 조석 전선은 상대적으로 수온이 높은 황해 연안수와 찬 성질의 황해 중앙해역의 수괴가 만나는 지점에서 형성되어 황해 해양생태계에 큰 영향을 미칠 수 있다. 특히, 조석 전선에서 형성되는 수괴는 영양염과 용존 산소 등의 환경 조건의 영향을 받아 생물의 군집 구조와 생산성을 크게 바꾸는 역할을 한다(Kim et al. 2000). 본 연구에서는 조석 전선의 형성 범위를 특정하기 어려웠지만 2020년 여름(7월)에 안마도 남서쪽 해역에서 주변 온도보다 온도가 낮은 수괴가 관찰되었다(Figs. 2 and 6). 이러한 현상이 조석 전선에 의해 발생한 것인지 확인하기 위해 한국해양자료센터(Korea Oceanographic Data Center, KODC)의 정선관측자료를 참고하였다. KODC 자료에 의하면(Fig. 7) 2020년 6월의 낮은 표층 수온(SST)이 황해 북부 해역에 크게 영향을 미치고 있었고, 8월에 표층 수온은 황해 북부 해역부터 황해 동부에 이르기까지 전반적으로 낮았다. 그러나 연안으로부터 유출되는 연안수는 상대적으로 온도가 높게 나타났다. 이러한 결과로부터 조사 기간 동안 영광 인근 해역 근처에서 조석 전선이 형성되고 있음을 간접적으로 추정할 수 있었다. 이외에 섬 질량 효과(Island Mass Effect, IME)에 의한 국지적인 연안 용승의 효과를 들 수 있다. IME에 의해 국지적인 연안 용승 현상이 발생한 곳은 전 세계적으로 대부분 섬이 많고, 바람이 많이 작용하는 곳으로, 본 연구 해역과 비슷한 양상을 보이는 것으로 파악되었다(Table 3). 또한 Baek and Kim (2018)은 남풍 계열의 바람이 3~4일 이상 지속적으로 강하게 우쳤을 때, 해저지형의 영향으로 한반도 남동해역에서 연안 용승이 주로 발생한다고 보고하였고, 이를 판단할 수 있는 근거로써, 낮은 수온, 높은 염분 농도, 높은 영양염류(질소화합물( $\text{NO}_x$ ), 인산염 등), 높은 Chl-a 농도 등을 제시하였다(Takahashi and Kishi 1984; Baek and Kim 2018). 그럼에도 불구하고, 여름에 안마도 주변 해역에서 나타난 상대적으로 낮은 수온의 수괴(표층: 19.7~22.8°C, 저층: 17.9~22.7°C)는 황해저층냉수의 수온(< 12°C)(Choi 2011)에 비해 매우 높았고, 주변수와 최대 3~5°C 정도 밖에 차이가 나지 않기 때문에 냉수종인 *C. sinicus*가 다량 출현했음에도 황해저층냉수의 영향을 단정할 수 없었다.

한편 Kang et al. (2013)은 성충화가 뚜렷한 여름, 황해에서 수온이 높은 표층 환경을 피하기 위해 낮은 수온이 존재하는 저층에서 *C. sinicus*가 약한 DVM (diel vertical migration) 패턴을 보인다고 보고하였다. 이는 *C. sinicus*가 여름에 하면을 하는 것이 아닌 약하지만 주·야간의 수직 이동을 하고 있음을 의미한다. 따라서 여름 안마도 서



**Fig. 7. Horizontal distribution of sea surface of temperature and salinity in the Yellow Sea, June and August 2020. Data were obtained from the KODC ([www.nifs.go.kr/kodc](http://www.nifs.go.kr/kodc))**

**Table 3. A regional list of topographical conditions and wind-induced coastal upwelling phenomena associated with Island Mass Effect (IME)**

Countries	Regions	Observation range	Periods	Observed Phenomena	References
China	Bohai and Yellow seas	Nearshore to Offshore (the Oceanographic Research Vessel Sharing Plan of the National Natural Science Foundation of China)	Summer, 2019	A relatively colder and saltier water core exists from the bottom to the surface along the northeastern flank of Subei Bank	Wang et al. (2021)
China	Zhejiang and Fujian Coast	Zhoushan Islands in north of Zhejiang, Dongtou Archipelago in south of Zhejiang, Mazu Archipelago in the middle of Fujian	January, February, July, October, 2000–2004	Wind-Gradual bathymetric slope-driven coastal upwelling	Jing et al. (2007)
India	Southeastern Arabian Sea	Southeastern Arabian Sea (SEAS) region	1998–2016	High Chlorophyll $\alpha$ concentration	Shafeeqe et al. (2021)
Japan	around the Izu Islands	around the Izu Islands	16, 17, and 20 September 1980	High nutrient supply and productivity	Takahashi and Kishi (1984)
Korea, Republic of	Eastern part of Yellow Sea	Nearshore to Offshore (NIFS Serial Oceanographic observation)	June 26–July 3, 2009	Relatively low temperature, high dissolved oxygen concentration, and low turbidity in the surface layer	Lee et al. (2012)

쪽 해역에서 나타나는 *C. sinicus*의 출현은 물리적인 기작에 의한 이동이 아니라 이 종이 자발적으로 저수온을 따라 이동할 수 있음을 의미할 수 있다. 그럼에도 불구하고 황해에서 수산생물의 먹이로서 *C. sinicus*의 중요성을 고려할 때, 향후 여름 안마도 서쪽 해역에서 나타나는 저수온의 출현 및 거동이 *C. sinicus* 개체군 유지 전략에 어떻게 작용하고 있는지에 대한 연구는 필요해 보인다.

## 5. 결 론

본 연구 결과에 따르면, 황해 안마 군도 해역에서 관측된 요각류 군집은 계절에 따라 우점종과 계절적으로 출현하는 종으로 구분할 수 있었으며, 각 그룹별로 다른 환경 요인과의 상관성을 나타내었다. 하지만, 이러한 요각류 군집의 분포와 출현 패턴은 단순히 환경 요인에 의해 설명되지 않으며, 복잡한 요소들의 작용으로 인해 영향을 받을 수 있다. 특히, 영광 안마 군도 생태계에서의 섬 질량 효과는 여러 가능성(저수온의 확장, 해류와 경사 지형에 의한 국지적인 연안 용승 현상, 풍성 순환)을 모두 포함할 수 있으며, 이러한 요소들이 복합적으로 작용하여 수온, 염분, 생물의 분포 변화를 유발할 수 있다는 것을 알 수 있다. 하지만, 본 연구에서는 사용한 데이터 세트의 시간적, 공간적인 범위가 제한적이며 다양한 환경 요인의 상호작용에 대한 분석과 복합적인 요인에 의한 여러 가능성을 뒷받침 할 수 있는 명확한 근거는 부족하였다. 따라서, 이 해역에서 일어나는 복잡한 현상을 정의하고, 정량화하기 위해서는 보다 상세한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

이 논문은 2023년 해양수산부 재원으로 해양수산기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임을 밝힙니다(20180384, 수산전문인력양성). 그리고 심사위원들의 건설적인 검토가 본 논문을 완성하는 데 큰 도움이 되었기에 감사의 말씀 전합니다.

## 참고문헌

- Baek SH, Kim YB (2018) Influences of coastal upwelling and time lag on primary production in offshore waters of Ulleungdo-Dokdo during spring 2016. Korean J Environ Biol **36**(2):156–164
- Bonnet D, Frid C (2004) Seven copepod species considered as indicators of water-mass influence and changes: results from a Northumberland coastal station. ICES J Mar Sci **61**(4):485–491
- Bucciarelli E, Blain S, Tréguer P (2001) Iron and manganese in the wake of the Kerguelen Islands (Southern Ocean). Mar Chem **73**:21–36
- Chihara M, Murano M (1997) An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai University Press, Tokyo, 260 p
- Choi Y-C (2011) The characteristics of Yellow Sea Bottom Cold Water in september 2006. J Fish Mar Sci Edu **23**(3): 425–432
- Dunxin H, Qingye W (2004) Interannual variability of the southern Yellow Sea cold water mass. Chin J Oceanol Limnol **22**(3):231–236
- Fielder DG (1992) Evaluation of stocking walleye fry and fingerlings and factors affecting their success in lower Lake Oahe, South Dakota. N Am J Fish Manage **12**(2): 336–345
- Graeb BD, Mangan MT, Jolley JC, Wahl DH, Dettmers JM (2006) Ontogenetic changes in prey preference and foraging ability of yellow perch: insights based on relative energetic return of prey. T Am Fish Soc **135**(6):1493–1498
- Jang ST, Lee JH, Kim CH, Jang CJ, Jang YS (2011) Movement of cold water mass in the northern East China Sea in summer. The Sea **16**(1):1–13
- Jeong HD, Kwoun CH, Kim SW, Cho KD (2009) Fluctuation of tidal front and expansion of cold-water region in the Southwestern Sea of Korea. J Korean Soc Mar Environ Saf **15**(4):289–296
- Jeong YS, Choo S, Soh HY (2022) Influence of rainfall events on zooplankton community characteristics and feeding habits in estuarine-coastal environments. Front Mar Sci **9**:950695
- Jing ZY, Hua ZL, Qi YQ, Cheng XH (2007) Numerical study on the coastal upwelling and its seasonal variation in the East China Sea. J Coastal Res **51**:555–563
- Ju H, Song A, Park JH, Yoon YH (2022) Seasonal dynamics of phytoplankton community in the Anma Islands of Yeonggwang (AIY), West Sea, Korea. Korean J Environ Biol **40**(1):70–86
- Kang JH, Seo M, Kwon OY, Kim WS (2013) Diel vertical migration of the copepod *Calanus sinicus* before and during formation of the Yellow Sea cold bottom water in the Yellow Sea. Acta Oceanol Sin **32**:99–106
- Kang SY, Moon JH (2022) Distribution of water masses and characteristics of temperature inversion in the Western Seas of Jeju Island in spring. Ocean Polar Res **44**(3):191–207
- Kim G, Kang HK (2019) Mesozooplankton distribution in the southern Yellow Sea in autumn. Ocean Polar Res **41**(4): 251–263

- Kim G, Kang HK (2020) Mesozooplankton community structure in the Yellow Sea in Spring. *Ocean Polar Res* **42**(4): 271–281
- Kim G, Kang HK (2021) Mesozooplankton community structure in the Yellow Sea in Summer. *Ocean Polar Res* **43**(4): 269–277
- Kim KH, Lee JH, Shin KS, Pae SJ, Yoo SJ, Chung CS, Hyun JH (2000) Springtime distribution of inorganic nutrients in the Yellow Sea: its relation to water mass. *The Sea* **5**(3):224–232
- Kim M, Kang, JH, Kim, G, Kang, HK, Noh, JH (2019) Distribution of mesozooplankton during spring and autumn across the frontal zone of South Sea, Korea. *Ocean Sci J* **54**:229–243
- Kiørboe T (1997) Population regulation and role of mesozooplankton in shaping marine pelagic food webs. *Hydrobiologia* **363**(1):13–27
- Lee CR, Park C, Yang SR, Sin YS (2006) Spatio-temporal variation of mesozooplankton in Asan Bay. *The Sea* **11**(1): 1–10
- Lee Y, Choi JK, Shon J-K (2012) Phytoplankton distribution in the Eastern part of the Yellow Sea by the formation of tidal front and upwelling during Summer. *Ocean Polar Res* **34**(2):111–123
- Lie HJ (1989) Tidal fronts in the southeastern Hwanghae (Yellow Sea). *Cont Shelf Res* **9**(6):527–546
- Lie HJ, Cho CH, Lee S (2013) Frontal circulation and westward transversal current at the Yellow Sea entrance in winter. *J Geophys Res-Oceans* **118**(8):3851–3870
- Lim DH, Yoon WD, Yang JY, Lee Y (2009) The spatio-temporal distribution of zooplankton communities in the Northern Yellow Sea during Autumn and Winter. *J Korean Soc Mar Environ Saf* **15**(4):339–344
- Lü X, Qiao F, Xia C, Wang G, Yuan Y (2010) Upwelling and surface cold patches in the Yellow Sea in summer: effects of tidal mixing on the vertical circulation. *Cont Shelf Res* **30**(6):620–632
- Madhupratap M (1999) Free-living copepods of the Arabian Sea: distributions and research perspectives. *Indian J Mar Sci* **28**:146–149
- Martino EJ, Houde ED (2010) Recruitment of striped bass in Chesapeake Bay: spatial and temporal environmental variability and availability of zooplankton prey. *Mar Ecol Prog Ser* **409**:213–228
- Messié M, Petrenko A, Doglioli AM, Aldebert C, Martinez E, Koenig G, Moutin T (2020) The delayed island mass effect: how islands can remotely trigger blooms in the oligotrophic ocean. *Geophys Res Lett* **47**(2):e2019GL085282
- Moon JH, Pang IC, Yoon JH (2009) Response of the Changjiang diluted water around Jeju Island to external forcings: a modeling study of 2002 and 2006. *Cont Shelf Res* **29**(13):1549–1564
- Moon SY, Oh HJ, Soh HY (2010) Seasonal variation of zooplankton communities in the southern coastal waters of Korea. *Ocean Polar Res* **32**(4):411–426
- Moon SY, Ohtsuka S, Ueda H, Soh HY (2008) *Acartia (Odontacartia) ohtsukai* Ueda and Bucklin, 2006 (Copepoda, Calanoida, Acartiidae): first record of its occurrence in Korean waters and habitat segregation from its sibling species *A. pacifica* Steuer, 1915. *Zootaxa* **1841**(1):61–64
- Park C, Choi JK (1997) Zooplankton community in the front zone of the East Sea of Korea (the Sea of Japan): 1. Species list, distribution of dominant taxa, and species association. *Korean J Fish Aquat Sci* **30**(2):225–238
- Perissinotto RJ, Lutjeharms RE, van Ballegooyen RC (2000) Biological-physical interactions and pelagic productivity at the Prince Edward Islands, Southern Ocean. *J Mar Sys* **24**:327–341
- Seo MH, Choi SY, Park EO, Jeong D, Soh HY (2018) Species diversity of planktonic copepods and distribution characteristics of its major species in coastal waters of Korea. *Korean J Environ Biol* **36**(4):525–537
- Shafeeqe M, Balchand AN, Shah P, George G, BR S, Varghese E, Platt T (2021) Spatio-temporal variability of chlorophyll-a in response to coastal upwelling and meso-scale eddies in the South Eastern Arabian Sea. *Int J Remote Sens* **42**(13):4836–4863
- Sheldon RW, Sutcliffe Jr WH, Paranjape MA (1977) Structure of pelagic food chain and relationship between plankton and fish production. *J Fish Res Board Can* **34**(12):2344–2353
- Slater LM, Hopcroft RR (2005) Development, growth and egg production of *Centropages abdominalis* in the eastern subarctic Pacific. *J Plankton Res* **27**(1):71–78
- Soh HY (2010) Invertebrate fauna of Korea: marine planktonic copepods. National Institute of Biological Resources, Incheon, 197 p
- Soh HY, Moon SY (2014) Invertebrate fauna of Korea: marine planktonic copepods. National Institute of Biological Resources, Incheon, 138 p
- Soh HY, Moon SY, Wi JH (2013) Invertebrate fauna of Korea: marine planktonic copepods. National Institute of Biological Resources, Incheon, 157 p
- Soh HY, Suh HL (1993) Seasonal fluctuation of the abundance of the planktonic copepods in Kwangyang Bay. *Korean J Environ Biol* **11**(1):26–34
- Soh HY, Suh HL (2000) A new species of *Acartia* (Cope-

- poda, Calanoida) from the Yellow Sea. *J Plankton Res* **22**(2):321–337
- Son YT, Lee SH, Choi BJ, Lee JC (2010) Frontal structure and thermohaline intrusions in the South Sea of Korea from observed data and a relocation method. *J Geophys Res-Oceans* **115**(C2):2011. doi:10.1029/2009JC005266
- Sun F, Yu F, Si G, Wang J, Xu A, Pan J, Tang Y (2022) Characteristics and influencing factors of frontal upwelling in the Yellow Sea in summer. *Acta Oceanologica Sin* **41**(7):84–96
- Sun S, Huo Y, Yang B (2010) Zooplankton functional groups on the continental shelf of the yellow sea. *Deep Sea Res Pt II* **57**(11–12):1006–1016
- Takahashi M, Kishi MJ (1984) Phytoplankton growth response to wind induced regional upwelling occurring around the Izu Islands off Japan. *J Ocenogr Soc Japan* **40**:221–229
- Ueda H, Itoh H, Hirai J, Hidaka K (2022) *Paracalanus orientalis* n. sp. (Copepoda, Calanoida), formerly referred to as *P. parvus* in Japanese coastal waters. *Plankton Benthos Res* **17**(2):221–230
- Uye SI, Kasahara S, Onbé T (1979) Calanoid copepod eggs in sea-bottom muds. IV. Effects of some environmental factors on the hatching of resting eggs. *Mar Biol* **51**:151–156
- Van der Meeren T, Næss T (1993) How does cod (*Gadus morhua*) cope with variability in feeding conditions during early larval stages? *Mar Biol* **116**(4):637–647
- Wang B, Wu L, Zhao N, Liu T, Hirose N (2021) Summer wind effects on coastal upwelling in the southwestern Yellow Sea. *J Mar Sci Eng* **9**(9):1021. doi:10.3390/jmse 9091021
- Wang R, Zuo T, Wang KE (2003) The Yellow Sea cold bottom water - an oversummering site for *Calanus sinicus* (Copepoda, Crustacea). *J Plankton Res* **25**(2):169–183
- WoRMS Editorial Board (2023) World Register of Marine Species. <https://www.marinespecies.org> Accessed 03 Jun 2023
- Yang HS, Kim SS, Kang CG, Cho KD (1991) A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea Peninsula-III. Chemical characteristics of water masses in the polar front area of the central Korean East Sea. *Korean J Fish. Aquat Sci* **24**(3):185–192
- Yang HW, Cho YK, Seo GH, You SH, Seo JW (2014) Interannual variation of the southern limit in the Yellow Sea Bottom Cold Water and its causes. *J Mar Syst* **139**: 119–127
- Youn SH, Choi JK (2003) Spatio-temporal distribution of zooplankton community in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. *J Korean Soc Oceanogr* **8**(3):243–250
- Zhang SW, Wang QY, Lü Y, Cui H, Yuan YL (2008) Observation of the seasonal evolution of the Yellow Sea Cold Water Mass in 1996–1998. *Cont Shelf Res* **28**(3):442–457
- Zhao W, Dai L, Chen X, Wu Y, Sun Y, Zhu L (2022) Characteristics of zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in the South Yellow Sea. *Mar Pollut Bull* **176**:113471
- Zhong Y, Qiao L, Song D, Ding Y, Xu J, Xue W, Xue C (2020) Impact of cold water mass on suspended sediment transport in the South Yellow Sea. *Mar Geol* **428**:106244

## Author's Information

### Young Seok Jeong

Ph.D. Student, Chonnam National University

### Seok Ju Lee

Researcher, Marine Biological Resource Center

### Seohwi Choo

Ph.D. Student, Chonnam National University

### Yang-Ho Yoon

Professor, Chonnam National University

### Hyeonseo Cho

Professor, Chonnam National University

### Dae-Jin Kim

Professor, Chonnam National University

### Ho Young Soh

Professor, Chonnam National University

Received Feb. 14, 2023

Revised May 22, 2023

Accepted May 23, 2023

Copyright © 2023 Ocean and Polar Research

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 educational and non-commercial use, provided the original work is properly cited.