Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 21, No. 7 pp. 1-11, 2020

https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.7.1
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

낙동강 하구역의 동물플랑크톤 군집 분포특성

강정훈[1,2*], 김민주[1,2]
[1]한국해양과학기술원 위해성분석연구센터, [2]과학기술연합대학원대학교 해양과학

Distributional characteristics of mesozooplankton community in Nakdong river estuary

Jung-Hoon Kang[1,2*], Minju Kim[1,2]
[1]Risk Assessment Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Geoje 53201, Republic of Korea,
[2]Department of Ocean Science, University of Science and Technology, Daejeon 34113, Republic of Korea

요 약 2015년 평수기인 5월과 태풍 “두쥐안”이 통과한 직후인 10월 초에 낙동강 하구역에서 동물플랑크톤 군집과 환경특성을 조사하였다. 10월에 출현한 동물플랑크톤 군집의 우점종은 따개비 유생, 유공충류와 야광충이었고, 환경특성은 낙동강 하굿둑 수문개방에 의한 담수유입, 난류수 유입과 태풍통과에 의한 수괴혼합에 의해 영향을 받았다. 반면 평수기인 5월에는 모든 정점에서 저염분 해수가 강하게 분포하여 담수 기인 지각류(*Evadne nordmanni*, *Podon polyphemoides*)가 우점하여 분포하였다. 모든 시기에 울타리 섬을 기준으로 내측에서 표층염분이 가장 낮았고, 외측으로 가면서 증가하였다. 10월의 표층과 저층 평균수온이 동일하여, 수괴혼합이 활발함을 지시했고, 부유물질 평균농도는 5월보다 10월에 높았다. 5월의 영양염 농도가 엽록소-*a* 농도와 함께 10월에 비해 높았다. 그러나 동물플랑크톤 총 평균 개체수는 엽록소-*a* 농도와 관련된 시기적 차이가 없었으며, 집괴분석결과 동물플랑크톤 분포특성은 모든 시기에 염분분포와 관련되어 세 그룹(울타리 섬 내측, 중간측, 외측)으로 구분되었다. 본 연구결과는 조사시기동안 낙동강 하구역에서 관찰된 동물플랑크톤 군집의 시기적 분포특성이 상향적 조절(영양염-엽록소-*a* 농도-동물플랑크톤)보다 수문개방에 의한 담수유입, 난류수 유입정도 그리고 태풍통과 기인 수괴혼합과 관련있음을 지시하였다.

Abstract This study investigated the mesozooplankton community and the related environmental factors in the Nakdong River Estuary in May and early October shortly after passage of the typhoon "DUJUAN" in 2015. The mesozooplankton community was dominated by barnacle nauplii, foraminiferans, and *Noctiluca scintillans*, and the environmental characteristics were characterized by freshwater inflow through the Nakdong River barrage, the intrusion of warm currents, and the effect of typhoon passage in October. In May, cladocerans, such as *Evadne nordmanni* and *Podon polyphemoides*, as indicator species of brackish water, prevailed throughout the study area. The surface salinity was lowest on the inner side of the barrier-islands and increased gradually to the outer side during the study. The average concentration of total suspended solids in October was higher than that in May, while the averaged concentration of nitrate and chlorophyll-*a* in May was higher than those in October. On the other hand, there was no temporal difference in the total averaged abundance of mesozooplankton. In contrast, the distributional pattern of the mesozooplankton community was associated with the salinity gradient in both seasons. These results suggest that the temporal difference of the mesozooplankton community depended on the extent of freshwater inflow by barrage opening, the intrusion intensity of warm currents, and typhoon passage in the Nakdong River estuary in 2015.

Keywords : Nakdong River Estuary, Barrage, Barrier-Islands, Typhoon, Mesozooplankton, Salinity

본 논문은 한국해양과학기술원 연구과제 [PE99813]로 수행되었음.
*Corresponding Author : Jung-Hoon Kang(Korea Institute of Ocean Science & Technology)
email : jhkang@kiost.ac.kr
Received March 31, 2020 Revised May 13, 2020
Accepted July 3, 2020 Published July 31, 2020

1. 서론

낙동강 하구는 삼각주와 사주발달이 양호한 곳으로, 상류에서 유입된 토사가 사주로 발달하여 조류와 파랑과 상호작용하여 끊임없이 변화하는 지역이다[1]. 1987년에 준공된 하굿둑의 건설로 낙동강 하구역은 지형적 변화와 함께 해양환경 변화를 가져왔다[1]. 특히 낙동강 하굿둑 하류부는 수문의 인위적 개폐로 담수와 해수가 급작스럽게 만나 지형과 조류의 영향으로 순환과정이 매우 복잡하다[2]. 담수가 방출되고 해수가 유입되어 급격히 만나는 담수와 해수는 염수 쐐기 형태로 성층화되는 양상을 보이며 하굿둑 수문의 개폐에 따라 간헐적인 방류에 수괴가 변화하는 과정에 식물플랑크톤 군집 구조가 영향을 받는다[2-4]. 일반적으로 식물플랑크톤의 생산력과 생물량은 영양염과 빛에 의해 결정되지만, 하구역에서는 식물플랑크톤 성장 제한요인으로 작용하지 않는다. 오히려 불안정한 수괴, 높은 탁도, 그리고 급격한 염분변화가 영향요인인 것으로 알려져 있다[5]. 낙동강에 공급된 총 부유물질 중 약 14%가 낙동강 하구역의 대륙붕 내측에 퇴적되며, 나머지 모두 바다로 이동하므로 탁도가 높은 것으로 알려져 있다[6]. 따라서 식물플랑크톤을 섭식하는 동물플랑크톤의 분포특성 또한 하구역 특성에 영향을 받게 될 것은 자명하다. 또한 하구역의 특성상 먹이생물이 풍부하고, 다양한 서식처를 제공하여 많은 해양성 어류가 섭이, 산란장 및 생육장으로 이용하는 것으로 알려져 있다[7]. 따라서 하구역의 동물플랑크톤은 일차생산자인 식물플랑크톤을 먹이로 하여, 어류와 주요 수산자원의 먹이원으로 이용되는 주요 역할자로 판단된다.

기상청의 낙동강권의 10년간(2000-2009년) 강수특성에 따르면, 총 강수량은 연평균 1337.4 mm이며 7월과 8월에 집중되었다[8]. 2004년 이후 강수량의 연간 유출량의 변동이 크게 나타나며 점차적인 감소를 나타냈다. 갈수기의 월 평균 강수량은 연 평균 강우량의 약 47%이며, 풍수기에는 약 206%에 달하였다[8]. 강우량이 많은 여름철 풍수기에는 많은 양의 담수가 하구역에 유입되어 기수역의 염분이 감소하고 영양염과 부유물질이 증가하며 플랑크톤의 종조성에 영향을 크게 미친다고 알려져 있다[9].

국내 하구역에서 연구 및 보고된 동물플랑크톤 관련 기존 연구는 금강 하구역의 경우, 1990년 하굿둑 건설에 따라 금강 상류로의 해양 동물플랑크톤 유입이 제한되었음이 보고되었다[10]. 영산강 하구역에서는 동물플랑크톤의 계절적 군집구조 변화와 하구역의 먹이망 구조 및 에너지 흐름에 대한 연구가 수행되었다[11]. 섬진강 하구역에서는 염분 경사에 따른 동물플랑크톤의 현존량 및 종조성 분포 연구가 수행되었고, 염분 범위에 따라 연안종과 기수종의 출현이 구분되었다[12]. 새만금 연안 하구역에서는 방조제 건설완료 이후 내측과 외측의 동물플랑크톤 군집의 차이가 뚜렷하지 않았던 이유로, 배수갑문 운영에 따른 해수유통이 활발하였기 때문인 것으로 추정하였다[13]. 낙동강에서는 서낙동강에서 동물플랑크톤의 출현과 분포의 계절적 특성 연구가 수행되었고, 낙동강 유역권 내에서는 정수생태계의 담수성 동물플랑크톤 연구가 수행된 바 있다[14-15]. 낙동강 하류 수역의 물금, 선암 및 을숙도에서 절지동물문(Arthropoda)과 윤형동물문(Rotifera)에 각각 속하는 11종과 5종의 출현이 보고되었다[4]. 예외적으로 박 등(1986)의 연구에서 47종의 해양 동물플랑크톤이 보고되었는데, 앞서 수행된 연구결과들과 유사한 종 조성 출현보고에 머물렀다[16]. 이처럼 강우량과 수문조절에 의한 담수유입 영향을 직접받는 낙동강 하구역에서의 동물플랑크톤 연구는 종조성 정보에 머물렀고, 환경과 관련된 동물플랑크톤의 분포특성연구는 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 낙동강 하구역에서 담수유입이 가장 대비될 수 있는 시점을 고려하여 동물플랑크톤 및 환경특성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사 지역

동물플랑크톤과 환경요인 조사는 부산 낙동강 하구역(35 - 35.12°N, 128.84 - 128.98°E)에서 강수기 전과 후에 수행되었으며, 조사정점의 수심은 2.2-33 m 범위였다. 강수기 전 조사는 2015년 5월 6일에 썰물로 인한 수심 미확보로 조사를 하지 못한 정점 10을 제외한 모든 정점에서, 강수기 후 조사는 2015년 10월 6~7일에 모든 정점에서 수행되었다 (Fig. 1, Table 1). 낙동강 하구역의 강수기 후 조사를 10월에 진행한 것은 8월 초 마른장마로 인해 낙동강 하굿둑 강수량 평균이 2014년도(1,271 m^3 day^{-1})에 비해 2015년(105 m^3 day^{-1})이 매우 낮았기 때문이었다[17].

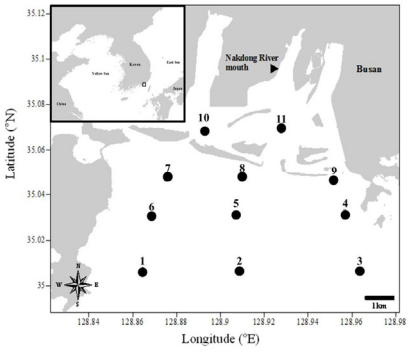

Fig. 1. Map showing the study sites around the Nakdong river estuary in May and October 2015.

Table 1. Coordinates of stations investigated in the Nakdong river estuary in May and October 2015.

Station	Latitude (°N)	Longitude (°E)
1	35°00'24"	128°51'52"
2	35°00'24"	128°54'32"
3	35°00'24"	128°57'50"
4	35°01'50"	128°57'24"
5	35°01'50"	128°54'24"
6	35°01'50"	128°52'05"
7	35°02'50"	128°51'31"
8	35°02'50"	128°54'35"
9	35°02'45"	128°57'07"
10	35°04'06"	128°53'34"
11	35°04'08"	128°55'40"

따라서 강수기 후를 대표할 수 있는 강수량이 더 확보될 수 있는 시기를 선택하고자 2015년 9월 23일 발생하여 29일에 소멸한 태풍 두쥐안(DUJUAN)의 영향을 고려하여 10월 초에 채집하였다 (Fig. 2).

2.2 환경요인

낙동강 하구역을 중심으로 선정된 11개 정점에서 강수기 전과 후의 수온, 염분, 총 부유물질(total suspended solids)과 영양염류(nutrients)를 채집 및 분석하였다. 수온과 염분은 CTD (Ocean 7, 316 Plus)를 이용하여 전 수층의 수직분포(vertical profile)자료를 획득했다. 총 부유물질 분석을 위한 해수는 Niskin 채수기로 채수한 후, 미리 무게를 측정한 여과지(GF/F 47 ㎜, Whatman)에 일정량의 해수를 여과 후 냉동하여 실험실로 운반하였다. 여과지를 105°C에서 1시간 건조 후 무게를 측정하여 단위 부피당 총 부유물질로 환산하였다 ($mg \cdot L^{-1}$).

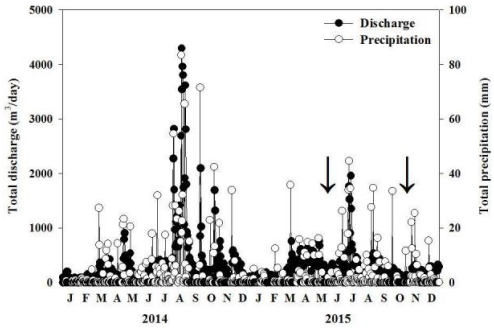

Fig. 2. Total discharge(m^3/day) and precipitation (mm) of Nakdong river estuary barrage in 2014 and 2015. The arrows represent the period of survey.

영양염류 분석을 위한 시료는 현장에서 일정량의 해수를 여과지(GF/F 47 ㎜, Whatman)로 거른 후의 여과해수를 50 mL 튜브에 담은 후 급속냉동 보관하여 실험실로 운반하였다. 질산염, 규산염 및 인산염은 영양염 자동분석기(Quickchem 8000, LACHAT)로 분석하였다.

2.3 엽록소-*a* 농도 분석

식물플랑크톤의 크기그룹별 (〉 20 ㎛, 3-20 ㎛, 〈 3 ㎛) 엽록소-*a* 농도 분석을 위한 해수는 표층에서 Niskin 채수기로 채수하였다. 해수시료가 여과된 여과지는 15 mL 튜브에 담아 냉동상태로 실험실로 운반 후, 90% 아세톤 10 mL을 넣어 24시간동안 4°C의 암냉조건에서 엽록소 색소를 추출하였다. 그 후 형광광도계(Turner Designs 10-AU)를 사용하여 측정하였다. 크기그룹별 (〉 20 ㎛, 3-20 ㎛, 〈 3 ㎛) 엽록소-*a* 농도는 다음과 같은 과정을 거쳐 구했다. 총 엽록소-*a* 농도 분석을 위해 일정량의 시료를 유리섬유여과지(GF/F 47 mm, Whatman)에 여과하였다. 초미소플랑크톤(〈 3 ㎛)의 엽록소-*a*농도 분석을 위해 일정량의 시료를 공극크기 3㎛의 여과지(NY3, Millipore)에 여과 후, 공극크기 0.7 ㎛인 여과지(GF/F 47 mm, Whatman)에 다시 여과하였다. 미소플랑크톤(3-20 ㎛)의 엽록소-*a*농도 분석은 일정량의 시료를 공극크기 20 ㎛ 여과지(NY20, Millipore)로 여과 후, 공극크기 0.7 ㎛인 여과지(GF/F 47 ㎜, Whatman)에 다시 여과하여 측정한 값에서 초미소플랑크톤 엽록소-*a* 농도를 감하여 구하였다. 소형플랑크톤(〉 20 ㎛)의 엽록소-*a* 농도는 총 엽록소-*a* 농도에서 초미소, 미소플랑크톤의 엽록소-*a*농도를 감하여 구하였다.

2.4 동물플랑크톤 채집 및 분석

동물플랑크톤은 네트(망구직경 45 ㎝, 망목크기 200 ㎛)를 저층에서 표층까지 일정한 속도(50 ㎝ s^{-1})로 수직 예인하여 채집하였다. 채집된 시료는 현장에서 중성 포르말린으로 최종 농도가 5%가 되도록 고정하였다. 실험실로 옮겨진 시료는 균등하게 섞은 후 부표품을 뽑아내어 Bogorov-type tray에 옮긴 후 해부현미경 (Discovery SV8, Zeiss Göttingen, Germany)을 이용하여 최대 100배의 배율 하에서 분석하였다. 동물플랑크톤 동정은 요각류의 경우 가급적 종 수준까지 하였고, 그 외의 생물군은 보다 광범위한 분류군으로 구분하였다. 분석된 동물플랑크톤은 환산 시 네트입구에 부착된 유량계 (Hydro-Bios Model 438-115)로 해수여과량을 획득하여 최종 개체수를 계산하였다 (inds.m^{-3}). 군집분석 (cluster analysis)은 동물플랑크톤 군집의 종조성과 개체수 자료를 토대로 전체 동물플랑크톤 군집의 1%이상 점유하는 분류군을 대상으로 수행하였고, 정점 간 유사도 지수(Bray-Curtis similarity index)를 토대로 도출된 결과를 수상도(dendrogram)로 표시하였다. 군집분석은 PRIMER (version 6.1.6)를 이용하였다. 동물플랑크톤 분류군 별 상관관계는 SPSS 프로그램(ver. 12.0; SPSS Inc., Chicago, IL ,USA)을 이용하여 분석하였다. 동물플랑크톤 생체량은 채집된 동물플랑크톤 시료를 정밀 표준망체(sieve)로 크기그룹별(>5 ㎜, 2 - 5 ㎜, 1 - 2 ㎜, 0.5 - 1 ㎜, 0.2 - 0.5 ㎜)로 나누어 여과하였다. 미리 건조 후 무게를 측정한 여과지(GF/F 47 ㎜, Whatman)에 수동 진공펌프(Burkle Hand Vacuum)로 낮은 압력(< 100 ㎜Hg)하에서 크기그룹별 동물플랑크톤 시료를 여과하였다. 시료를 거른 여과지의 무게는 60°C에서 24시간 건조시킨 후 방냉하여 측정하였고, ㎎·m^{-3}로 환산하였다.

3. 결과

3.1 환경 요인

2015년 5월과 10월에 낙동강 하구역 내측(St. 10-11), 중간측(St. 7-9) 그리고 외측(St. 1-6)에서 관측된 표층 수온은 계절적 차이를 나타냈다. 5월에 내측의 수온(평균 16.7 ℃)이 외측(평균 14.9 ℃)에 비해 높았던 반면, 10월에 내측의 수온(19.7 ℃)이 중간측과 외측(22.2 ℃, 21.9 ℃)에 비해 낮았다. 그리고 표층 평균수온은 5월에 15.1 ℃(13.7~16.7 ℃)이었고 (Fig. 3 A), 10월에 21.6 ℃(19.1~22.4 ℃)였다 (Fig. 3 C). 저층 평균수온은 5월에 13.3 ℃ (12.6 ~ 14.0 ℃)를 나타내 약 2℃ 정도 낮았고, 10월에 21.6 ℃(20.5 ~ 22.4 ℃)를 나타내 수온차이가 없어 수직혼합이 활발함을 지시하였다.

5월에 내측의 표층염분이 가장 낮았고(16.1 psu), 중간측이 28.5 psu, 외측이 30.5 psu였다(Fig. 3B). 10월에도 내측의 염분이 가장 낮았고(22.1 psu), 중간측(30.9psu), 외측이 31.5 psu을 나타냈다 (Fig. 3D). 표층 염분은 모든 시기에 내측에서 가장 낮았고 (5월:16.1 psu, 10월:22.1 psu), 5월이 10월에 비해 평균 1.2 psu 정도 낮았다.

5월의 표층 평균염분은 28.5 psu (16.1 ~ 33.2 psu)이었고, 10월에는 29.7 psu (20.5 ~ 32.6 psu)이었다. 저층 평균염분은 5월에 33.5 psu 이었고, 표층에 비해 약 5 psu 정도 높았던 반면, 10월에는 31.3 psu를 나타내 표층과의 차이가 약 1.6 psu 정도에 지나지 않아 활발한 수괴혼합이 있었던 것으로 확인되었다.

5월에 염분의 표층과 저층간 차이가 가장 컸던 곳은 울타리 섬 내외측인 정점 9와 11(9.60, 16.58)이었고, 그 다음으로는 정점 2, 5, 6, 7(3.23~5.71)이었고, 나머지는 0.01~1.71의 범위를 나타냈다. 10월에 표, 저층 간 염분 차이가 가장 컸던 곳은 조사해역의 서쪽인 정점 10, 7, 1에서 3.08~3.87의 범위를 나타냈고, 나머지 정점은 0.04(정점 8)~2.52(정점 2)의 범위를 나타냈다.

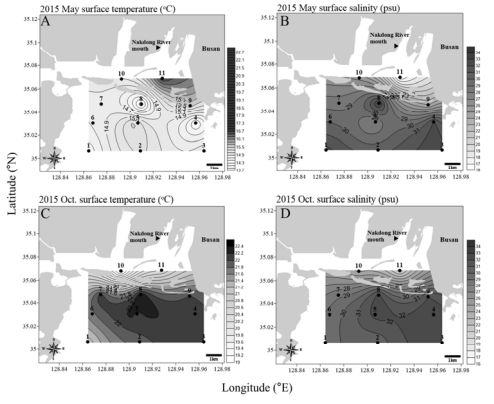

Fig. 3. Spatial distribution of the surface temperature and salinity at the sampling stations around Nakdong River estuary on (A, B) May 2015, (C, D) October 2015.

표층 총 부유물질은 5월에 평균 55.4 ㎎ L^{-1} (18.9 ~ 82.8 ㎎ L^{-1}) 범위를, 10월에는 67.9 ㎎ L^{-1} (48.9 ~ 75.1 ㎎ L^{-1}) 범위에서 변이를 나타냈다(Fig. 4). 표층의 총 부유물질은 5월과 10월에 공통적으로 조사지역의 중간 부분

(정점 3, 4, 5, 6, 7, 8)에서 높게 나타났고, 특징적으로 정점 1, 2, 9, 10, 11에서 10월이 5월에 비해 높았다 (Fig. 4). 10월의 부유물질 농도가 모든 정점에서 공통적으로 높게 나타났고, 평균농도가 5월에 비해 높은 것으로 보아, 활발한 수괴혼합과 관련 있음을 지시하였다.

식물플랑크톤 성장에 필요한 요소 중 하나인 영양염은 울타리 섬 안쪽에 위치한 정점 11의 질산염을 제외한 대부분의 경우 5월의 농도가 10월에 비해 높은 양상을 보였다 (Fig. 5).

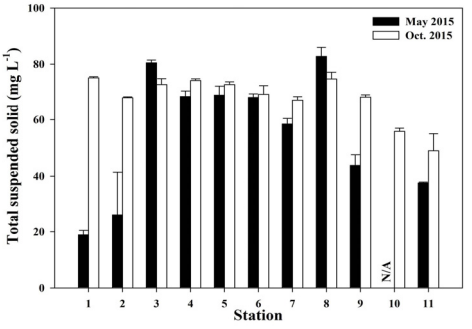

Fig. 4. Spatio-temporal variation of surface total suspended solid (mg L^{-1}) around Nakdong River estuary in May and October 2015. N/A represents station that was not surveyed.

질산염은 5월의 경우 울타리 섬 인접정점인 7, 9, 11에서 특히 높았다. 규산염의 경우 울타리 섬 인접 바깥쪽 정점인 7, 8, 9에서 5월보다 10월의 농도가 높았다 (Fig. 5). 질산염 농도범위는 5월에 7.0 ~ 69.3 μM(평균 35.9 μM), 10월에 0.2 ~ 39.1 μM(평균 9.2 μM)를 나타냈고, 인산염은 5월에 0.1 ~ 0.3 μM(평균 0.2 μM), 10월에 0.02 ~ 1.1 μM (평균 0.2 μM)를 나타냈다 (Fig. 5). 규산염은 5월에 3.0 ~ 12.4 μM(평균 7.4 μM), 10월에는 5.8 ~ 32.9 μM(평균 11.5 μM)이었다 (Fig. 5).

3.2 엽록소-*a* 농도

모든 정점에서 5월의 표층 엽록소-*a* 농도는 10월에 비해 모든 크기그룹에서 공통적으로 높았고, 특히 미소플랑크톤(3 - 20 ㎛)의 점유율이 높았다(Fig. 6). 반면 10월에는 네트플랑크톤(〉 20 ㎛)의 점유율이 상대적으로 높았다. 총 엽록소-*a* 농도는 5월에 2.4 ~ 25.3 ㎍ L^{-1}(평균 9.8 ㎍ L^{-1})의 범위를 나타냈고, 외측정점 3에서 가장 높았다 (Fig. 6). 10월의 경우, 0.8 ~ 5.7 ㎍ L^{-1}(평균 2.3 ㎍ L^{-1})의 범위에서 울타리 섬 내측 정점 10과 11에서 가장 높았다 (Fig. 6). 전반적으로 5월의 엽록소-*a* 농도가 10월에 비해 높았던 경향은 영양염 농도의 계절적 차이와 관련있었다 (Figs. 5 & 6).

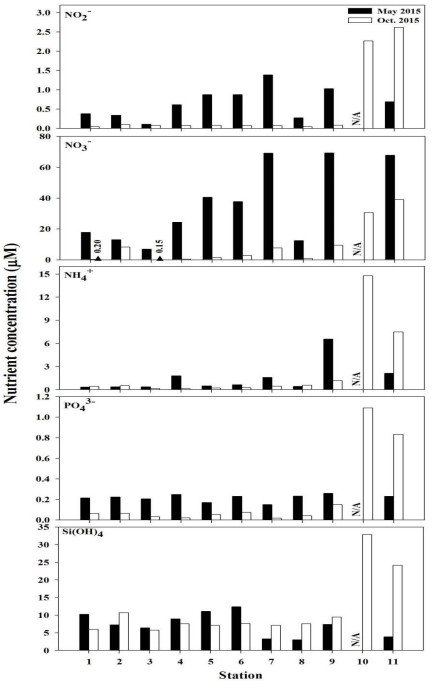

Fig. 5. Variation in nutrient concentration (nitrate, nitrite, ammonium, phosphate and silicate) around Nakdong River estuary in May and October 2015. N/A represents station that was not surveyed. ▲ represents data that was not clearly shown in the graph.

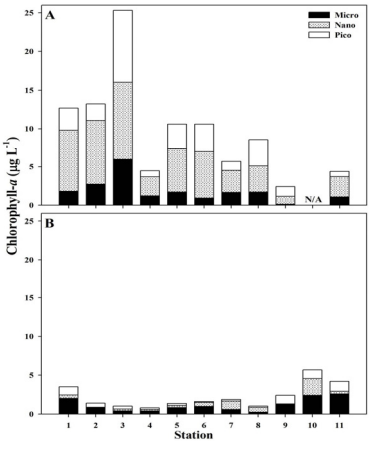

Fig. 6. Variation in the chlorophyll-*a* concentration of pico (0.7-3 ㎛), nano (3-20 ㎛), and micro (〉20 ㎛) plankton in the surface waters of Nakdong River estuary at (A) May 2015, (B) October 2015. N/A represents station that was not surveyed.

3.3 동물플랑크톤 군집

조사기간 중 출현한 동물플랑크톤은 야광충(*Noctiluca scintillans*), 유공충류(foraminiferans), 화살벌레류(chaetognaths), 지각류(cladocerans), 요각류(copepods), 유형류(appendicularians), 따개비 유생(barnacle nauplii), 기타 요각류를 제외한 대형저서생물의 유생(larvae)등으로 분류되었다. 5월에는 요각류 성체와 지각류가 전체 출현 동물플랑크톤 개체수의 38.3%와 32.2%를 차지하였고, 10월에는 유공충류와 야광충이 각각 26.8%와 23.1%를 차지하였다. 동물플랑크톤 총 평균개체수는 5월(평균 11,528 inds.m^{-3}; 5,063~17,918 inds.m^{-3})과 10월(평균 11,035 inds.m^{-3}; 4,312~18,583 inds.m^{-3})이 큰 차이가 없으며, 정점 2, 6, 8을 제외한 모든 정점에서 10월의 개체수가 5월에 비해 높았다(Fig. 7).

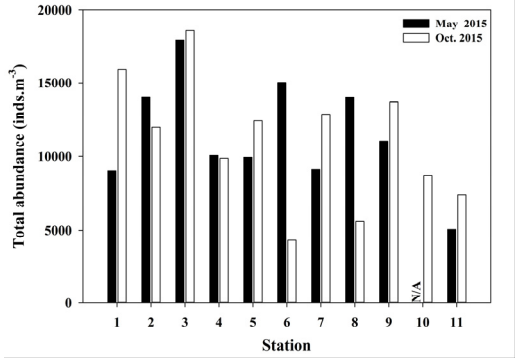

Fig. 7. Spatio-temporal variations in the total abundance of mesozooplankton community in Nakdong River estuary. N/A represents station that was not surveyed.

정점별 동물플랑크톤 군집분석결과 유사도 수준(5월: 70%, 10월: 60%)을 기준으로 5월에는 다섯 그룹(A-1, A-2, A-3, B, C)으로, 10월에는 세 그룹 (A′, B′, C′)으로 구분되었다 (Fig. 8). 구분된 그룹들은 지역적으로 내측, 중간측 그리고 외측으로 대략 구분되었다.

동물플랑크톤 평균개체수는 5월에 울타리 섬 내측인 그룹 A-1에서 가장 낮았고 (5,063 inds.m^{-3}), 울타리 섬 인접외측 중앙부인 그룹 A-2에서 가장 낮았다(14,011 inds.m^{-3}).

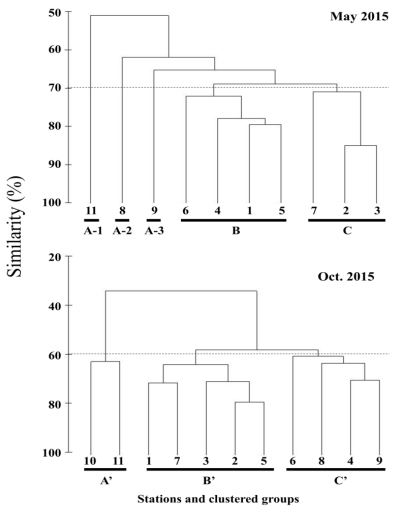

Fig. 8. Dendrogram of clustered groups by the Bray-Curtis similarity based on mesozooplankton abundance in the Nakdong River estuary. Group A-1(St.11), A-2(St.8), A-3(St.9), B(St.1, 4-6), C(St.2-3, 7) are clustered groups in May 2015, group A'(St.10-11), B'(1-3, 5, 7), C'(4, 6, 8-9) are clustered groups in October 2015.

그리고 대략 중간측과 외측에 위치한 그룹 A-3, B, C에서 11,070~13,692 inds.m^{-3}의 범위를 나타냈다(Fig. 9). 10월에는 울타리 섬 내측인 그룹 A'에서 8,051 inds.m^{-3}였고, 외측이라 할 수 있는 그룹 B'에서는 14,365 inds.m^{-3}였으며, 중간측에 해당하는 그룹 C'에서 8,364 inds.m^{-3}로 나타났다 (Fig. 9).

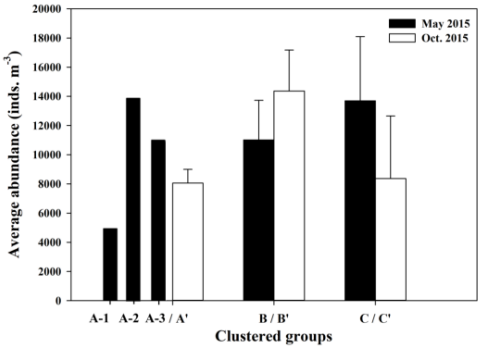

Fig. 9. Average abundance of clustered groups based on cluster analysis of mesozooplankton community around Nakdong River estuary. Group A-1(St.11), A-2(St.8), A-3(St.9), B(St.1, 4-6), and C(St.2-3, 7) are clustered in May 2015, group A'(St.10-11), B'(1-3, 5, 7), and C'(4, 6, 8-9) are clustered groups in October 2015.

낙동강 하구역 내측 정점들로 구분된 그룹은 A-1, A-2, 그리고 A-3(5월)와 A'(10월)이었다. 그룹 A-1과 A-3에서 지각류(A-1: 38.5%, A-3: 42.4%), 그리고 그룹 A-2에서 요각류 성체(67.4%)가 우점했고, 10월에는 따개비 유생(62.7%)과 요각류 성체 (20.1%)가 우점했다.

낙동강 하구역 중간측에 위치한 정점들로 구분된 그룹은 B(5월)와 C'(10월)였고, 5월에 요각류 성체(37.9%)와 지각류 (32.8%)가 우점하였고, 10월에는 따개비 유생(33.3%)과 유공충류(24.4%)가 우점하였다 (Fig. 10). 낙동강 하구역 외측 정점인 그룹 C(5월)와 그룹 B'(10월)로 나뉘었고, 5월에는 지각류(36.9%)와 성체요각류(35.5%) 그리고 야광충(15.0%)이 우점했고, 10월에는 유공충(34.0%)과 야광충(33.5%) 그리고 유형류(9.7%)가 우점하였다(Fig. 10).

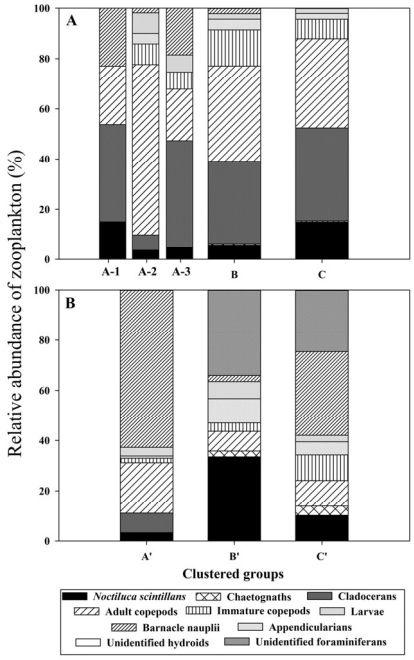

Fig. 10. Relative abundance (%) of taxonomic groups based on cluster analysis of mesozooplankton community at Nakdong River estuary on (A) May 2015 (B) October 2015.

5월과 10월의 동물플랑크톤 총 개체수 차이가 없었던 것과 달리, 총 생체량은 차이가 있었다 (Fig. 11). 총 생체량은 5월에 평균 78.3 mg.m^{-3}이었고, 10월에는 평균 124.1 mg.m^{-3}를 나타내 월등히 높았다. 5월에 0.2-0.5 mm 크기그룹의 생체량이 월등히 높았고 (40.3 mg.m^{-3}), 10월에는 0.5-1mm (40.2 mg.m^{-3})와 0.2-0.5 mm (36.8 mg.m^{-3}) 크기그룹의 생체량이 높았다(Fig. 11A). 생체량이 상대적으로 높았던 정점은 5월에 울타리 섬 내측(정점 11)과 인접외측(정점 8)에서 높았고, 〉5 mm을 제외한 모든 크기그룹이 골고루 우점하였다. 10월에는 외측 정점 3에서 특히 높았고(293.1 mg.m^{-3}), 0.5-1mm와 1-2mm 크기그룹의 점유율이 특히 높았다(Fig. 11B). 모든 정점에서 〉5mm를 제외한 모든 크기그룹이 골고루 출현했으며, 특히 울타리 섬 내측(정점 10, 11)(115.8~184.1 mg.m^{-3})과 인접 외측 정점(8, 9)(126.2~127.5 mg.m^{-3})에서 높은 값을 나타냈다.

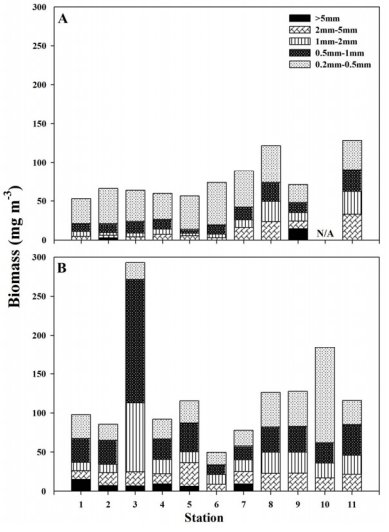

Fig. 11. Temporal variations in the biomass of mesozooplankton in Nakdong River estuary in (A) May 2015, (B) October 2015. N/A represents station that was not surveyed.

4. 토의

낙동강 하굿둑 방류와 하천수 유입에 직접적인 영향을 끼치는 기상인자는 높은 강우량, 낮은 증발량이며, 배출된 담수는 풍향에 따라 그 확산범위가 관련이 있다 [18]. 따라서 유하량이 보통시기인 5월에 비해 통상적으로 방류량이 많은 홍수기로 알려진 7~9월 중 9월에 태풍 "두쥐안"이 통과한 직후인 10월 초에 담수기인 동물플랑크톤이 하구역 군집 전체에 의미있는 영향을 줄 수 있을 것으로 기대하였다. 그러나 당초 예측과 달리 10월에 출현한 동물플랑크톤 군집은 낙동강 하굿둑 수문개방에 의한 담수유입 단일효과 외에 계절특성과 교차되어 나타났고 (따개비 유생, 유공충류, 야광충), 오히려 5월에 담수 기인

지각류(*Evadne nordmanni*, *Podon polyphemoides*)가 모든 정점에서 특징적으로 우점하였다. 이는 예외적으로 나타난 마른장마의 여파로 방류량이 많은 홍수기로 알려진 7~9월에 하굿둑 개방이 제한적이었고, 9월에 발생하여 통과한 태풍 "두쥐안"에 의한 강우량과 하굿둑 개방 기인 담수유입량도 현저히 적었던 것과 관계가 있어 보였다(Fig. 2). 오히려 5월 조사시기의 담수유입량이 상대적으로 더 높게 나타났다. 이러한 경향은 5월의 염분 분포특성과 담수성 지각류의 분포특성에서 그대로 반영되었다 (Figs. 3 & 10). 5월 표층염분이 10월에 비해 1.2 psu 낮았던 반면, 5월 저층염분은 10월에 비해 2.2 psu높았다. 그리고 울타리 섬 내측에서 외측으로 나가면서 염분이 16.1 psu에서 28.5 psu, 30.5 psu로 나타날 때, 동물플랑크톤 군집도 담수지표생물인 지각류와 연안성 요각류인 *Paracalanus parvus* s.l.가 우점하는 울타리 섬 내측 주변(그룹 A-1, A-2, A-3)과 중간 측 (그룹 B) 그리고 외측(그룹 C) 으로 구분되었다. 일반적으로 지각류는 연안과 하구역에서 상대적으로 수온이 높은 시기에 염분이 낮고, 유동성이 적은 반폐쇄 만에서 먹이조건이 충족되면 처녀생식(Parthenogenesis)을 통해 짧은 기간에 대량 발생하는 것으로 알려져 있다[19]. 5월의 표, 저층 평균수온이 각각 15.1℃, 13.3℃를 나타내 높은 수온은 아니지만, 반폐쇄 만에서 10월에 비해 상대적으로 높은 영양염과 결과적으로 나타난 높은 농도의 엽록소-*a*로 인해 높은 개체수가 관측된 것으로 판단된다. *Paracalanus parvus* s.l.는 국내연안역에 빈번히 출현하는 우점종 중에 하나이며, 염분 변화에 내성이 강한 광염성(euryhaline)의 특징을 갖고 있으며, 주요 먹이원으로 식물플랑크톤 외에 원생동물과 편모류를 왕성히 섭식하는 것으로 알려져 있다 [19, 20]. 따라서 우점한 분류군인 지각류와 함께 풍부한 먹이환경과 높은 염분내성을 가진 특성으로 5월의 동물플랑크톤 군집의 대표 분류군으로 나타났다.

일반적으로 자연적인 하구역 환경에서는 수온과 염분 특성이 조석에 의해 하루 두 차례 바뀌며, 통상적으로 수온에 비해 염분의 변동 폭이 크므로 동물플랑크톤 분포특성은 염분경사에 좌우된다 [11, 12]. 그러나 인공적으로 건설된 방조제나 하굿둑은 강수량과 증발량 및 환경조절의 필요성에 따라 수문개폐를 결정하므로, 자연적인 하구역 환경의 특성을 기대하기가 어렵다.

10월의 표, 저층 평균 수온이 5월에 비해 각각 평균 6.5℃, 8.3℃도 높게 나타나 계절성을 나타냈고, 염분 분포특성은 울타리 섬 내측이 가장 낮았고(22.1 psu), 중간측이 30.9 psu, 외측은 31.5 psu를 나타내 5월에 비해 더 높았다. 이는 낙동강 하굿둑 개방에 의한 담수유입수가 오히려 5월보다 적었던 것과 가을철에 해당하는 10월에는 상대적으로 염분이 높은 대마난류수가 남해연안에 유입되는 양과 세기가 증가하여 본 조사해역의 외측염분이 높았던 것으로 판단된다[21, 22]. 10월에 나타난 수온과 염분의 수직분포특성과 5월에 비해 높은 표층 부유물질 농도는 태풍 "두쥐안" 통과로 인한 활발한 수괴혼합의 결과로 여겨졌다 (Figs. 3 & 4). 염분이 가장낮은 정점 10과 11에서 낙동강 하굿둑으로부터 하천수와 저질 재부유(resuspension)의 영향의 결과로 영양염 농도가 특히 높았고, 담수물덩어리(flume patch) 이동영향으로 5월의 높은 농도의 질산염이 정점 5, 6, 7, 9, 11에서 관찰되었다[23]. 그러나 다른 영양염은 그 효과가 뚜렷하지 않았고, 10월의 경우 내만에서 관찰된 높은 농도가 일차생산자의 빠른 제거효과로 인해 외해역에서는 낮은농도 범위를 나타냈다(Fig. 5). 계절적 특징 중 하나인 10월보다 높게 나타난 5월의 영양염과 엽록소-*a* 농도가 동물플랑크톤 총 개체수와 생물량으로 연결되지 않았고, 차이가 없거나 오히려 그 반대였다 (Figs. 7 & 11). 오히려 10월에 우점한 종 조성과 분류군이 5월과 다르게 나타난 것이 대표적이었으며, 따개비 유생과 유공충류 그리고 야광충이 주요 분류군이었다 (Fig. 10). 울타리 섬 내측과 중간측 수역에서 따개비류가 가장 우점하였고, 유공충이 차우점했고, 야광충이 공우점했으며, 외양에 주로 출현하는 것으로 알려진 유형류(appendicularians)가 해역전체에 출현했다 (Fig. 10). 따개비 유생은 만각류(Cirripedia)로서 전 세계적으로 1,000종 이상이 분포하며, 암반과 다양한 기질에 무리를 이루어 부착생활을 한다. 만각류 유생은 일시성 플랑크톤(meroplankton)으로서 연중 출현하며 가을철에 특히 우점하며 수온과 염분에 대한 내성범위가 비교적 넓고, 특히 26 psu이하에서 높은 개체수를 유지하는 것으로 알려져 있다 [19, 24]. 만각류 유생은 수온이 낮고 염분이 높은 봄과 겨울에는 출현이 낮고, 수온이 높고 염분이 낮은 여름과 가을에 출현율이 높다고 알려져 있다. 특히 부산 오륙도 근처에서 만각류 유생의 개체수가 최대였을 때 수온이 22.8℃, 염분이 30.3 psu였고, 최소개체수 였을 때 수온이 12.9℃, 염분이 34.1 psu 였다 [25]. 본 조사기간동안 출현한 따개비 유생의 개체수가 2,723~5,048 inds.m^{-3} 였으며, 수온이 21.6℃, 염분이 22.1~31.5 psu로 나타나 기존의 결과들과 유사하였다. 부유성 유공충류(foraminiferans)는 다양한 환경요소의 영향을 받으므

로 해양환경변화를 유추하는데 매우 유용하다. 부유성 유공충 개체수는 염분에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 특히 염분이 감소하는 시기에 유공충 개체수도 급격히 감소하는 것으로 보고되었다[26]. 본 연구수역에서도 염분이 가장 낮은 울타리 섬 내측에서 출현하지 않고, 염분이 상대적으로 높은 외측과 중간측에서 높게 나타나 출현경향이 기존사례와 유사하였다.

야광충은 광온광염성의 종으로서 전 세계 해양환경에 분포하며, 먹이스펙트럼(박테리아, 규조류, 와편모류, 동물플랑크톤, 어란 등)이 매우 넓으며, 특히 식물플랑크톤의 농도가 높고 적정수온의 정체된 수역에서 그 개체수가 폭발적으로 증가하는 것으로 알려져 있다[26]. 또한 해류나 바람에 의해 이송된 야광충의 patch가 적정환경의 안정된 기상조건 하에 놓여있을 경우 그 수가 증가할 수도 있다[26]. 본 연구수역에서는 출현한 야광충의 개체수와 먹이생물인 엽록소-*a* 농도와 직접적인 관련성이 없어(p>0.05), 섭식보다는 오히려 물리적으로 집적되어 나타난 결과로 여겨진다. 그리고 야광충의 높은 개체수가 요각류 군집의 개체수 변동과 상관이 없는 것으로 나타나(p>0.05), 요각류의 난(eggs)을 섭식하여 요각류 개체군 형성에 영향을 미칠 가능성은 매우 낮은 것으로 판단된다[28].

본 연구결과는 생태경제학적 편익측면에서 경제적 생산과 함께 자연환경분야에 적용하여 생각해볼 수 있다. 기존에 낙동강 하굿둑의 기능을 생태경제학적 편익관점에서 평가한 에머지(EMERGY) 분석법으로 실질적 가치를 평가한 사례가 있다[29]. 낙동강 하굿둑의 건설로 인해 자연적 조석현상의 부재와 담수기인 영양염 유입감소로 인해 식물플랑크톤과 저서생물의 양이 감소하여 생태경제학적 가치가 감소되었다. 그러나 영양염 유입농도의 증가와 관련된 플랑크톤의 증가는 하구역 먹이환경의 질을 높여 결과적으로 생태경제학적 가치의 증가(김 양식산업 활성화, 패류 생물량 증가로 인한 외식산업 활성화, 그리고 치어의 생육장 신규형성)가 기대될 수 있다. 실제로 낙동강 하구에서 생산되는 양식 김(*Porphyra yezoensis*)은 기온과 수온이 낮을수록, 바람이 비교적 강하여 수층혼합과 관련된 물의 흐름이 유지되고, 담수에서 흘러들어온 높은 영양염 조건에서 생산량이 높은 것으로 확인되었다 [30]. 따라서 김 양식의 경우 5월과 같이 영양염 농도가 높고, 낙동강 하굿둑 방류에 의한 물의 흐름이 유지될 때 김 생산량에 직접적인 영향을 기대할 수 있다.

5. 결론

낙동강 하구역에서 태풍 "두쥐안"이 통과한 직후인 10월에 출현한 동물플랑크톤 군집은 낙동강 하굿둑 수문개방에 의한 담수유입과 계절특성이 교차되어 나타났고(따개비 유생, 유공충류, 야광충), 오히려 평수기인 5월에 저염분 해수가 강하게 분포하여 담수 기인 지각류(*Evadne nordmanni*, *Podon polyphemoides*)가 모든 정점에서 우점분포하였다. 모든 시기에 울타리 섬을 기준으로 내측에서 표층염분이 가장 낮았고 외측으로 가면서 증가하였으며, 수직수온분포와 부유물질농도는 수괴혼합이 활발한 10월에 균일했고 높았다. 5월의 영양염이 10월에 비해 높았고 엽록소-*a* 농도도 함께 높았다. 그러나 동물플랑크톤 총 평균 개체수는 그에 상응하는 시기적 차이가 없었으며, 생물량은 오히려 10월에 높았다. 집괴분석결과 동물플랑크톤 군집은 평수기인 5월과 홍수기인 10월에 공통적으로 세 그룹(울타리 섬 내측, 중간측, 외측)으로 구분되었고, 염분 분포특성과 관련이 있었다. 본 연구결과는 동물플랑크톤 군집 특성이 상향적 조절(영양염-엽록소-*a* 농도-동물플랑크톤)보다 수문개방에 의한 담수유입과 계절에 따른 난류수 유입정도 그리고 태풍통과에 따른 활발한 수괴혼합에 의한 영향이 더 뚜렷하였음을 지시하였다.

References

[1] Y. A. Lee, S. M. Lee, "Emergy analysis of the Function of the Nak-Dong River Estuary Barrage", Proceedings of the Korean society for marine and energy, pp. 110-116, November,2006. http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE00856453

[2] Y. E. Kim, "Hydrological survey of the Nakdong River estuary", Note of Inje University Environmental Research Institute, Vol. 1, pp.77-86, 1992. http://db.koreascholar.com/article.aspx?code=255762

[3] I. K. Chung, Y. J. Kang, O. S. Kwon, J. K. Seo. The ecology of phytoplankton in the Naktong estuary, *Algae*, Vol.15, pp.99-110, 2000. https://www.e-algae.org/upload/pdf/algae-2000-15-2-99.pdf

[4] I. K. Chung, N. L. Kim, E. H. Song, J. E. Lee, S. R. Lee, "Literature survey on the phytoplankton flora in the Nakdong River Estuary", *Korean journal of fisheries and aquatic sciences*, Vol. 46, No.4, pp.467-487, 2013. http://www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView.do?dbt=JAKO&cn=JAKO201326952290711&oCn=JA

KO201326952290711&pageCode=PG11&journal=NJOU00415417

[5] R. W. Sterner, D. D. Hagemeier, W. L. Smith, R. F. Smith, "Phytoplankton nutrient limitation and food quality for Daphnia", *Limnology and Oceanography,* Vol. 38, No.4, pp.857-871, 1993. DOI:https://doi.org/10.4319/lo.1993.38.4.0857

[6] S. C. Park, K. S. Chu, "Dispersal patterns of river-derived fine-grained sediments on the inner shelf of Korea Strait", Elsevier oceanography series, Vol.54, pp.231-240, 1991. DOI:https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70098-9

[7] D. S. McLusky, M. Elliott, The Estuarine Ecosystem: Ecology, Threats, and Management, p.214, Oxford University Press, 2004, pp. 73-91. https://books.google.co.kr/books?hl=ko&lr=&id=9CaQDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+estuarine+ecosystem&ots=sLcmbmEHT7&sig=aBcTAIP5hzyYQw6fCSMcyE8fcAg#v=onepage&q=The%20estuarine%20ecosystem&f=false

[8] Forecast. Korea Meterological Administration. Precipitation characteristics of the Nakdong River. c2010[cited 2016 June, 24], Available from: http://web.kma.go.kr/4rivers/sub_03_04.jsp (accessed: June, 24, 2016)

[9] W. H. Kim, H. H. Lee, "Sediment transport and deposition in the Nagdong Estuary, Korea", *The Journal of the Geological Society of Korea,* Vol. 16, No.3,pp.180-188,1980. http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/article/articleSearchResultDetail.do?cn=NART69851617

[10] S. W. Kim, K. I. Yoo, Y. K Choi, "Note: Zooplankton and Phytoplankton Dynamics with the Construction of River Mouth Dam in Kum River Estuary", Korea, *Korean Society of Limnology,* Vol.35, No.2, pp.141-144, 2002. www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView.do?dbt=JAKO&cn=JAKO200218317179545&oCn=JAKO200218317179545&pageCode=PG04&journal=NJOU00014679

[11] S. H. Youn, G. S. Oh, M. H. Chung, "Zooplankton community structure and copepod production in the Seomjin River Estuary", *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety,* Vol.16, No.4, pp.369-379, 2010. http://www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView.do?dbt=JAKO&cn=JAKO201015037854756&oCn=JAKO201015037854756&pageCode=PG04&journal=NJOU00291071

[12] P. G. Lee, C. Park, C. H. Moon, M. O. Park, K. Y. Gwon, "Biomass and species composition of phytoplankton and zooplankton along the salinity gradients in the Seomjin River Estuary", *The Sea,* Vol.6, No.2, pp.93-102, 2001. www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView.do?dbt=JAKO&cn=JAKO200120417584423&oCn=JAKO200120417584423&pageCode=PG04&journal=NJOU00291346

[13] C. R. Lee, H. K. Kang, J. H. Noh, "Temporal and spatial variation of zooplankton community structure post construction of saemangeum dyke", *Ocean and Polar Research,* Vol.31, No.4, pp.327-338, December, 2009. DOI:https://doi.org/10.4217/OPR.2009.31.4.327

[14] J. W. Jeong, E. H. Jang, S. R. Jeong, "Study on appearance and distribution of zooplankton at Seonakdong River (I)", *Republic of Busan Institute Health and Environment*, Vol.14, No.2, pp.187-206, 2004. https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YbBjjxHq7PcJ:https://www.busan.go.kr/Pageownload.do%3Fsavename%3Ds14-16.pdf+&cd=5&hl=ko&ct=clnk&gl=kr

[15] S. K. Kim, D. G. Hong, M. A. Kang, K. L. Lee, H. Y. Lee, G. J. Joo, J. Y. Choi, "Zooplankton community dynamic in lentic freshwater ecosystems in the Nakdong River basin", *Korean Journal of Environment and Ecology*, Vol.29, No.3, pp.410-420, 2015. DOI:https://doi.org/10.13047/KJEE.2015.29.3.410

[16] C. K. Park, K. D. Cho, S. H. Huh, S. K. Kim, C. H. Cho, "Ecological survey of the Nakdong River Estuary", *Bulletin of the Korean Fish and Technology Society*, Vol.22, No.4, pp.1-20, 1986. http://www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView.do?dbt=JAKO&cn=JAKO198611920228246&oCn=JAKO198611920228246&pageCode=PG04&journal=NJOU00290569

[17] Nakdong River Estuary Barrage. Korea water resources corporation. c2016[cited 2016, June, 24], Available from: http://www.water.or.kr/realtime/sub01/sub01/dam/hydr.do?s_mid=1332&seq=1408&p_group_seq=1407&menu_mode=3 (accessed: June, 24, 2016)

[18] S. Park, H. -S. Yoon, I .-C. Lee, H -T. Kim, Correlation between meteorological factors and water discharge from the Nakdong river barrage, Korea" *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol.14, No.2, pp. 111-117, 2008. http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200827053486455.page

[19] M. -C. Jang, K. Shin, P. -G. Jang, W.-J. Lee, " Relationship between environmental factors and short-term variations of mesozooplankton during summer in Jangmok Bay, south coast of Korea" *Ocean and Polar Research*, Vol.31, No.1, pp. 41-52, 2010. DOI: https://doi.org/10.4217/OPR.2010.32.1.041

[20] K. Suzuki, Y. Nakamura, J. Hiromi, "Feeding by the small calanoid copepod *Paracalanus* sp. on heterotrophic dinoflagellates and ciliates", *Aquatic Microbial Ecology*, Vol.17, pp.99-103, 1999. https://www.int-res.com/articles/ame/17/a017p099.pdf

[21] Y. H. Seung, "Water masses and circulations around Korean peninsula", *The Journal of the Oceanological*

Society of Korea, Vol.27, No.4, pp. 324-331, 1992. http://ocean.kisti.re.kr/IS_mvpopo212L.do?method=list&poid=ksoc&kojic=GHOHCR&sVnc=v27n4&sFree

[22] P. -G. Jang, B. G. Hyun, H. -G. Cha, H. -S. Chung, M. -C. Jang, K. Shin, "Seasonal variation of phytoplankton assemblages related to surface water mass in the eastern part of the South Sea in Korea", *Ocean Polar Research*, Vol.35, No.2, pp. 157-170, 2013. DOI: https://doi.org/10.4217/OPR.2013.35.2.157

[23] S. C. Yoon, S. H. Youn, Y. S. Suh, "The characteristics of spatio-temporal distribution on environmental factors after construction of artificial structure in the Nakdong River estuary", Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, Vol.20, No.1, pp. 1-11, 2017. https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART002201487

[24] O. M. Hwang, K. Shin, S. H. Baek, W. -J. Lee, S. Kim, M. -C. Jang, "Annual variations in community structure of mesozooplankton by short-term sampling in Jangmok Harbor of Jinhae Bay", *Ocean Polar Research*, Vol.33, No.3, pp. 235-253, 2011. DOI:https://doi.org/10.4217/OPR.2011.33.3.235

[25] J. Choi, J. Kang, W. Park, "Monthly variations of cirriped larvae near Oryuk Islets off Busan, Korea" *Korean Society of Environmental Biology*, Vol.33, No.2, pp. 230-239,2015. http://www.ebr.or.kr/journal/article.php?code=31675

[26] Y. Lee, H. Asahi, H. J. Woo, H. J. Kim, S. -J. Lee, B .-K. Khim, "Seasonal variation of planktonic Foraminifera assemblage in response to seasonal shift of Inter-Tropical Convergence Zone in the Northeastern Equatorial Pacific", *Ocean Polar Research*, Vol.36, No.4, pp. 437-445, 2014. http://koreascience.or.kr/article/JAKO201402148668937.page

[27] J. -H. Kang, "Distributional characteristics and carrying capacity of the potentially risky species *Noctiluca scintillans* at international Korean seaports", *Ocean and Polar Research*, Vol.32, No.4, pp. 449-462, 2010. http://www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView.do?dbt=JAKO&cn=JAKO201007049667512&oCn=JAKO201007049667512&pageCode=PG11&journal=NJOU00035740

[28] M. Quevedo, R. Gonzalez-Quiros, R. Anadon, "Evidence of heavy predation by *Noctiluca scintillans* on *Acartia clausi* (Copepoda)eggs off the central Cantabrian coast (NW Spain)", *Oceanologica Acta*, Vol. 22, No.1, pp. 127-131,1999. DOI:https://doi.org/10.1016/S0399-1784(99)80039-5

[29] Y. -A. Lee, S. -M. Lee, "Emergy analysis of the function of the Nak-Dong River Estuary Barrage", *Proceedings of the Korean Society for Marine Environment & Energy*, Korea, pp.110-116, November 2006. http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE00856453

[30] J. -N. Kwon, J. Shim, S. Y. Lee, J. D. Cho, "Effects of meteorological and oceanographic properties on variability of laver production at Nakdong river estuary, south coast of Korea", *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Korea, pp.868-877, 2013. https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART001837069

강 정 훈(Jung-Hoon Kang) [정회원]

- 1998년 2월 : 서울대학교 해양학과 (이학석사)
- 2004년 8월 : 서울대학교 지구환경과학부 (이학박사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원
- 2014년 9월 ~ 현재 : UST 교수

〈관심분야〉
해양생물학, 외래생물·생태학

김 민 주(Minju Kim) [정회원]

- 2016년 2월 : 부산대학교 생명시스템학과 (이학석사)
- 2016년 3월 ~ 2018년 2월 : 한국해양과학기술원 인턴연구원
- 2018년 3월 ~ 현재 : UST KIOST 스쿨 해양과학(해양학) 박사과정

〈관심분야〉
해양생물학, 동물플랑크톤 생태학