

당동만 동물플랑크톤 군집의 생태학적 연구

한형섭 · 박용우¹ · 김종춘 · 마채우*

순천향대학교 생명시스템학과, ¹한국수산자원관리공단 서해지사 생태복원실

Ecological Study of Zooplankton Community at Dangdong Bay in Gyeongsangnamdo, Korea

Hyoun-Sum Han, Yong-Woo Park¹, Jong-Chun Kim and Chae-Woo Ma

Department of Life Science and Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 573-030, Korea

¹Korea Fisheries Resources Agency, Gunsansi 49-55, Korea

Abstract - This study was carried out to provide the preliminary data for study of zooplankton community structures and coastal pelagic ecosystem by understanding the seasonal change of zooplankton community depending on environmental factors at Dangdong bay in Tongyeong city. In this study, the environmental factors and the change of zooplankton community were analyzed for 2008 to 2011. In the results, a total of 80 species of zooplankton was sampled with a mean density of 1,599 inds.m⁻³. The dominant species changed seasonally, and the most dominant species was *Acartia steuerei* in winter and spring, *Penilia avirostris* in summer, and *Evadne nordmanni* in autumn. The Canonical Correspondence Analysis was conducted between the major dominant species and environmental factors. And for the environmental factors that effect the zooplankton community, the high correlation was observed with the water temperature, COD, DO and T-N, though there was slight difference among species. Therefore, more various research and environmental study are necessary to understand of planktonic ecosystem because the zooplankton community is affected by the interaction of both physical and biological factors.

Key words: pelagic ecosystem, zooplankton, dominance species, CCA analysis

서 론

동물플랑크톤은 해양생태계에서 식물플랑크톤을 주요 먹이원으로 하는 일차 소비자이며, 먹이피라미드 하부에 위치해 어류 및 이매패류 등 상위영양단계로 에너지를 전달하는 중간 고리 역할을 한다. 이에 동물플랑크톤에 대한 연구는 해양생태계를 이해하는 중요한 수단으로 알려져 있다

(Youn and Choi 2003; Hwang *et al.* 2011). 동물플랑크톤 종 조성 및 출현밀도 변화는 요인들은 물리적 요인 (UNESCO 1968; Lee and Park 2004)과 생물학적 요인들에 영향을 받는다 (Riley 1967; Youn and Choi 2003). 또한 연안 부유생태계는 일반적으로 물리적 요인과 생물학적 요인에 영향을 받기 때문에 환경요인과 부유생태계를 동시에 분석하는 것이 바람직하다 (Beyst *et al.* 2001; David *et al.* 2005).

국내 환경변화와 부유생태계의 상관관계에 대한 연구는 서해지역에서 새만금, 무안만, 시화호 그리고 아산만해역 내 인위적 방조제 및 산업시설 건설에 따른 부유생태계 연구 (Choi and Park 1993; Yoo *et al.* 2006; Lee *et al.* 2009; Yoo *et*

* Corresponding author: Chae-Woo Ma, Tel. 041-530-1283, Fax. 041-530-1638, E-mail. cwooma@sch.ac.kr

al. 2010; Moon *et al.* 2012)가 이루어졌으며, 동해지역에서 화력발전소 및 원자력발전소 인근에 서식하는 부유생물 분포 연구 (Park *et al.* 1991; Park *et al.* 1998; Kim *et al.* 2010)가 이루어졌다. 하지만 본 연구 조사지역이 포함된 남해지역에서 이루어진 연구는 반폐쇄형내만인 가막만 내 동물플랑크톤 분포 연구 (Moon *et al.* 2006)와 진해만 연안 수질환경에 따른 부유생물 분포 연구 (Soh and Choi 2004; Hwang *et al.* 2011), 담수의 영향을 받는 섬진강 하구역의 부유생태계 연구 (Park *et al.* 2002) 그리고 남해 전 연안에 분포하는 부유생물 연구 (Moon *et al.* 2010) 등 동물플랑크톤에 대한 기초조사만이 이루어진 것으로 보고되었다. 특히, 본 조사 지역과 인접한 통영 인근 해역 부유생태계 및 동물플랑크톤 군집에 대한 연구는 통영 인근 해역의 식물플랑크톤과 동물플랑크톤 계절적 변화 연구 (Lee *et al.* 2011)와 바다목장 자원조성을 위한 동물플랑크톤 출현양상 연구 (Yoon and Choi 2006)가 보고되었으나, 아직까지 남해 연안에서 인위적 산업시설 및 시설물 건설에 따른 반폐쇄형 내만 부유생태계 변화 및 장기 모니터링 분석과 동물플랑크톤 군집에 대한 계절적 변화 및 환경요인들과의 상관관계에 관한 연구는 미미한 실정이다. 또한 본 연구 조사지역인 당동만은 1990년대부터 조선소 및 산업단지가 조성되어 연안 생태계의 변화가 예상되는 지역이나, 아직까지 이곳의 생태학적 연구와 환경변화에 대한 연구는 전무한 실정이다.

이에 본 연구는 반폐쇄형 부유생태계인 당동만에 서식하는 동물플랑크톤 군집 형성과 생태계의 특징을 간접적으로 이해하기 위하여 장기간에 걸쳐 계절에 따른 동물플랑크톤의 군집 종 구성과 군집 구조, 출현밀도를 분석하고, 산업단지 및 인공시설물에 따른 환경요인과 동물플랑크톤 군집의 계절적 변동 상관관계를 파악하고자 하였다. 또한 앞으로의 연안 부유생태계 및 환경변화에 따른 동물플랑크톤 군집 변화 연구에 기초자료로 사용하는 것에 목적이 있다.

재료 및 방법

동물플랑크톤 채집은 2008년 1월부터 2011년 10월까지 경남 통영시 당동만 인근해역에서 5개 정점을 선정하여 계절별로 수행하였다 (Fig. 1). 채집 방법은 NORPAC 네트 (망목 330 μm , 망구 45 cm)를 이용하여 저층에서 표층까지 수직채집 (Vertical sampling) 방법을 사용하였으며, 채집된 동물플랑크톤은 현장에서 5~10% 중성포름알린을 이용하여 고정시킨 후 실험실로 운반하였다. 또한 네트입구에 유량계 (Hydro-Bios)를 부착하여, 여과 해수량 측정 후 전체 출현량을 체적당 개체수 (inds. m^{-3})로 정량화하여 분석하였다. 정

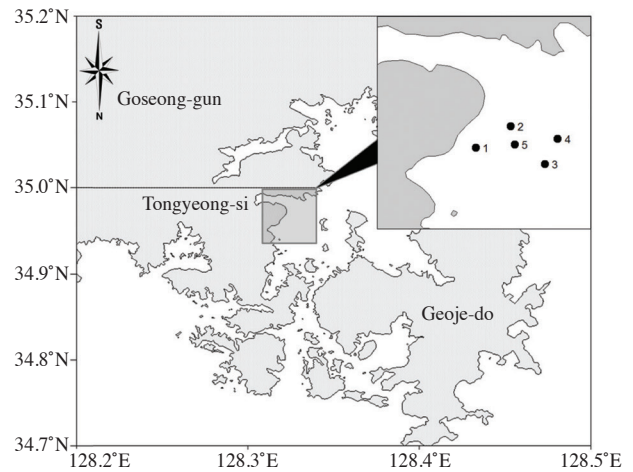


Fig. 1. Sampling stations of zooplankton at Dangdong bay of Tongyeong city in Gyeongsangnamdo, Korea

량 시료는 Motoda 식 분할기를 이용하여 분할한 후 (Motoda 1959), Bogorov 계수판에 옮겨 해부현미경 (Olympus SZX-12) 하에서 동정 및 계수하였다. 주요 분류군의 종 동정은 Smith and Johnson (1996)과 Chihara and Murano (1997)을 참고하였다. 우점종은 Le Bris (1988)가 제시한 종별 출현밀도 우점율에 정점 및 계절별 출현빈도를 지수를 곱하여 종별 Le Bris index를 구하고 이의 전체 점유율을 사용하여 산출하였다.

수온은 동물플랑크톤 채집 정점과 동일한 정점에서 Van Dorn water sampler (용적: 1 L)를 사용하여 해수를 채수하였고, 현장에서 YSI-556MPS를 사용하여 측정하였다. 화학적 산소요구량 (COD), 용존산소량 (DO), 총 질소 (T-N), 총 인 (T-P)은 해양환경공정시험방법 (2010년 12월 개정)을 기준으로 하여 분석 및 측정하였다.

조사 시기 동안 출현한 동물플랑크톤과 환경요인들과의 관계를 분석하기 위해 정준대응분석 (Canonical Correspondence Analysis: CCA)을 수행하였다. 정준대응분석은 상위 10종 우점종과 각각의 환경요인들을 CANOCO 프로그램 (ver. 4.5)을 이용하여 분석하였다. 정준대응분석에 사용된 자료들은 자료의 정규분포 가정을 만족하기 위해 square-root로 대수변환 후 분석하였다.

동물플랑크톤 출현 양상 중 비교대상은 요인의 데이터 정규성 검정 (normality test)을 실시한 후, 정규성을 이루는 데이터는 두 개 집단은 T-test 그리고 두 개 집단 이상인 경우 ANOVA를 사용하였고, 비정규성을 이루는 데이터는 두 개 집단 그리고 두 개 이상 집단의 경우는 각각 Kruskal-Wallis test 그리고 Mann-Whitney test를 사용하였다. 통계분석은 SPSS ver. 12와 Sigma Stat ver. 3.0를 사용하였다.

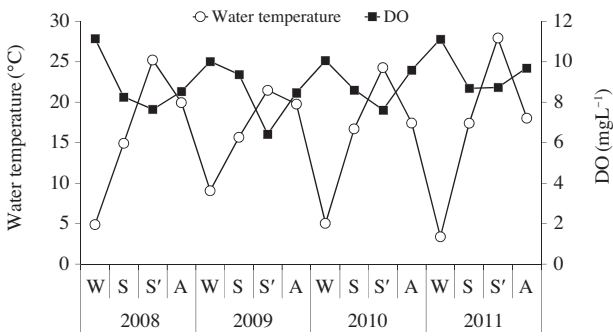


Fig. 2. Seasonal variations of water temperature and DO in Dangdong bay during the sampling periods from 2008 to 2011 (winter: W; spring: S; summer: S'; autumn: A).

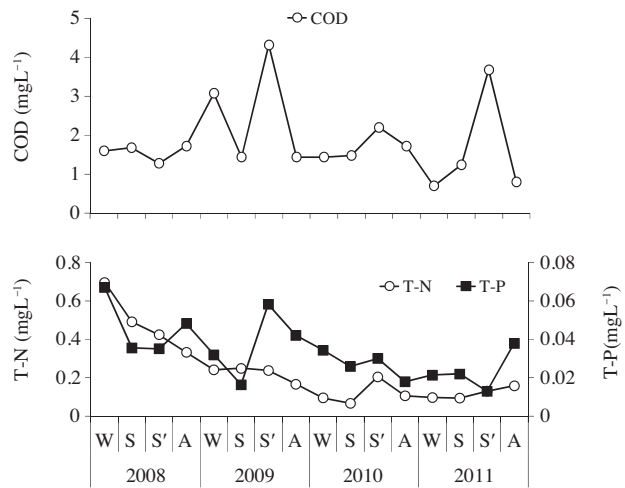


Fig. 3. Seasonal variations of COD, T-N and T-P in Dangdong bay during the sampling periods from 2008 to 2011 (winter: W; spring: S; summer: S'; autumn: A).

결 과

조사기간 동안의 수온은 3.4~27.9°C의 범위로 연중 평균수온이 16.3°C (±3.7°C)이었고, 전형적인 온대 해역의 계절적 양상과 동일한 것으로 나타났다 (Fig. 2). 용존산소량 (DO)는 연평균 9.0 mgL⁻¹ (±0.63 mgL⁻¹)로 나타났고, 연중 DO 변화량은 수온과 반비례적 양상을 나타냈고 (Spearman correlation; R²>0.5, p<0.05), 화학적 산소요구량 (COD)은 연평균 1.86 mgL⁻¹ (±0.49 mgL⁻¹)으로 나타났다. 영양염류인 총 질소 (T-N)는 연평균 0.23 mgL⁻¹ (±0.08 mgL⁻¹)로 나타났고, 총 인 (T-P)은 연평균 0.030 mgL⁻¹ (±0.007 mgL⁻¹)로 나타났다. 두 항목 모두 조사 초기인 2008년에 비하여 매년 농도가 낮아지는 추세로 보아 당동만 수질은 점진적으로 개선되고 있다고 판단된다. 총 질소 (T-N)는 연평균 0.23 mgL⁻¹ (±0.08 mgL⁻¹)로 나타났고, 연중 변화량은 계절에 따른 변화보다 시간의 흐름에 따른 수치가 감소하여 상대적으로 질소 농도가 낮아지는 것으로 확인되었다 (Fig. 3).

계절에 따른 당동만 동물플랑크톤의 출현 종수는 겨울철을 시작으로 가을철까지 지속적으로 증가하는 양상이었으며, 모든 계절에서 분류군 중 절지동물이 우점하고, 이 중 요각류의 출현 종수가 가장 많은 것으로 나타났다 (Fig. 4). 계절에 따른 출현밀도의 변화는 겨울철 1,791 inds.m⁻³, 봄철 111 inds.m⁻³, 여름철 712 inds.m⁻³ 그리고 가을철 2,783 inds.m⁻³로 가을철에 출현밀도가 가장 높은 것으로 나타났다. 이러한 원인은 가을철에 지각류인 *P. avirostris*가 출현밀도 1,500 inds.m⁻³ 이상으로 특정시기에 대량 출현한 것이 원인으로 확인되었다 (Fig. 4).

조사기간 동안 출현한 개체 중 Le Bris index 점유율을 4% 이상 차지한 우점종은 요각류인 *A. steueri*가 300 inds.m⁻³로 전체 출현 밀도 중 29.4%를 차지하며 2011년 가을철을 제

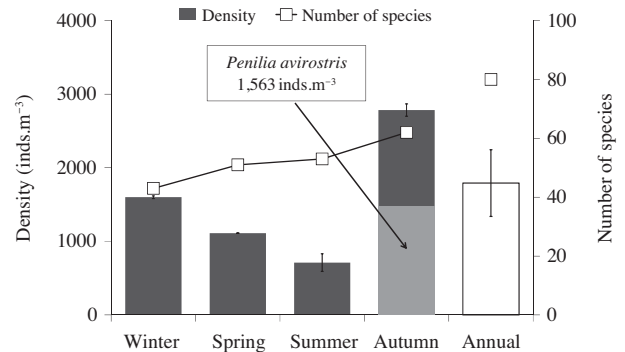


Fig. 4. Annual and seasonal variations of density and number of species in Dangdong bay during sampling periods. Vertical bars indicate standard deviation.

외한 모든 계절에 출현하여 최우점종으로 나타났다. 이 종은 계절적 양상은 뚜렷하게 나타나지 않았으나, 상대적으로 가을철에 가장 낮았고, 겨울철에 가장 높은 것으로 나타났다. 반면, 조사기간 중 7% 수준에서 우점한 *A. erythraea*는 가을철에 높았고, 겨울철에 낮은 것으로 나타나 *A. steueri*의 출현 양상과 반비례 하는 양상을 보여 *Acartia* 속 내에서 시간적인 종 간 경쟁의 양상이 관찰되었다. 최우점종인 지각류 *E. nordmanni*가 307 inds.m⁻³로 출현밀도는 *A. steueri*가 높았으나, 특정 정점에서 우점하는 양상으로 출현빈도를 고려한 Le Bris index가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 이 종은 계절에 따른 변동 양상이 있는 것으로 나타나지 않았으나, 주로 여름철과 가을철에 출현밀도가 급증하는 것으로 나타났다. 이 밖에 지각류인 *P. avirostris*는 출현 밀도가 가장 높

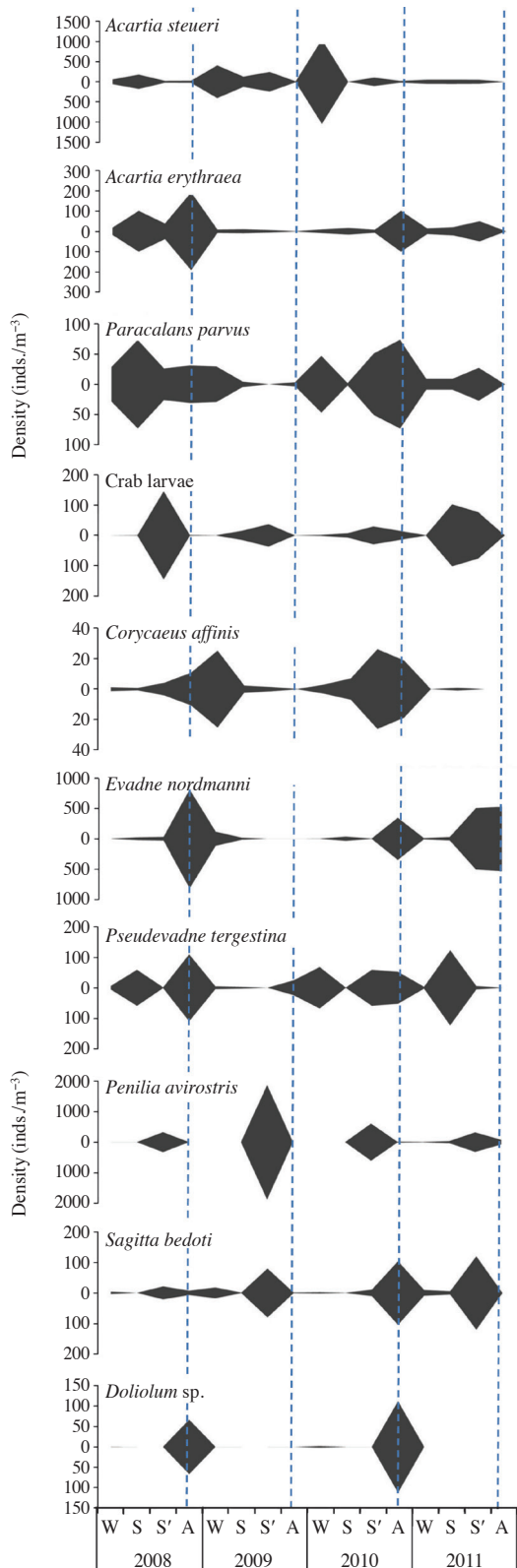


Fig. 5. Diagram of density variation of dominant species during the sampling periods from Jan. 2008 to Oct. 2011 (winter: W; spring: S; summer: S'; autumn: A).

Table 1. Density and Le Bris index dominance of dominant species during the study period from Jan. 2008 to Nov. 2011

	Rank	Species	Density (inds.m ⁻³)	Le Brisindex (%)
2008 ~ 2011	1	<i>Acartia steuerei</i>	300	29.4
	2	<i>Evadne nordmanni</i>	307	21.6
	3	<i>Penilia avirostris</i>	407	10.2
	4	<i>Acartia erythraea</i>	74	7.0
	5	<i>Pseudevadne tergestina</i>	65	6.8
	6	<i>Paracalanus parvus</i>	52	6.0
	7	Crab larvae	54	4.3
	8	<i>Corycaeus affinis</i>	50	3.0
	9	<i>Sagitta bedoti</i>	52	1.8
	10	<i>Doliolum sp.</i>	18	1.7
Total			1,379	91.7

지만, 조사지역 내 정점 출현빈도가 낮고, 여름철에만 우점한 것을 원인으로 상대적으로 Le Bris index 점유율이 낮은 것으로 나타났다. 이 종은 계절적으로 저수온기인 겨울철과 봄철에 적은 수만이 출현하거나 출현하지 않는 것으로 나타났다. 수온이 올라가는 여름철에는 개체수가 급증하는 양상이 나타났다. 요각류인 *Paracalanus parvus*는 계절적으로 봄철과 가을철에 출현밀도가 높은 것으로 나타났고, 여름철과 겨울철에는 출현하지 않거나, 적은 수의 개체가 출현하였다. Crab larvae는 4% 수준에서 우점하는 것으로 나타났으며, 봄철과 여름철에만 출현하는 것으로 나타났다. 이 외에 우점한 종의 출현양상은 요각류인 *Corycaeus affinis*가 조사기간 동안 계절적인 양상이 없는 것으로 나타났고, 모악류 *Sagitta bedoti*는 낮은 출현밀도를 유지하면서 주로 여름철과 가을철에 출현하였다. 또한 척삭동물인 *Doliolum sp.*는 2009년과 2011년에 출현하지 않았고, 2008년과 2010년 가을철에 높게 나타나 일시적으로 가을철에 서식 환경조건이 형성될 때에 출현밀도가 급증하는 종으로 확인되었다 (Table 1; Fig. 5).

계절별로 통영 당동만에 우점하는 동물플랑크톤 10종과 환경요인간 정준대응분석 (CCA)을 실시한 결과, 겨울철에 환경요인 중 수온과 COD에 양(+)의 상관관계를 가지고 있는 우점종은 *A. steuerei*, *P. parvus*, *C. affinis*로 파악되었다. DO와는 *A. steuerei*가 음(-)의 상관관계, *A. erythraea*와는 양(+)의 상관관계가 나타났다. 봄철에는 십각류의 계유생이 수온과 높은 양(+)의 상관관계가 확인되었고, T-N과 음(-)의 상관관계가 나타났다. 요각류인 *A. erythraea*는 COD와 양(+)의 상관성을 보였고, *A. steuerei*는 T-N과 양(+)의 상관관계가 나타났다. 여름철에는 지각류인 *E. nordmanni*와 *P. parvus*가 환경요인 중 수온 그리고 DO와 양(+)의 상관관계가 있는 것으로 나타났고, T-P와 음(-)의 상관관계가 나타났다. *P. avirostris*, *A. steuerei*와 따개비유생 (Cirriped

Table 2. Seasonal summary of Canonical Correspondence Analysis (CCA) for dominant species and environmental factors from Jan. 2008 to Nov. 2011

	Winter		Spring		Summer		Autumn	
	Axes1	Axes2	Axes1	Axes2	Axes1	Axes2	Axes1	Axes2
Eigenvalues	0.099	0.075	0.153	0.116	0.224	0.075	0.149	0.107
Species-environment correlations	0.884	0.777	0.792	0.380	0.968	0.728	0.776	0.938
Cumulative percentage variance								
of species data	17.0	29.7	18.2	32.0	31.8	42.5	17.9	30.8
of species-environment relation	44.6	78.1	43.4	76.2	61.3	81.9	47.0	80.6
Sum of all eigenvalues	0.586		0.842		0.703		0.832	
Sum of all canonical eigenvalues	0.223		0.353		0.365		0.318	

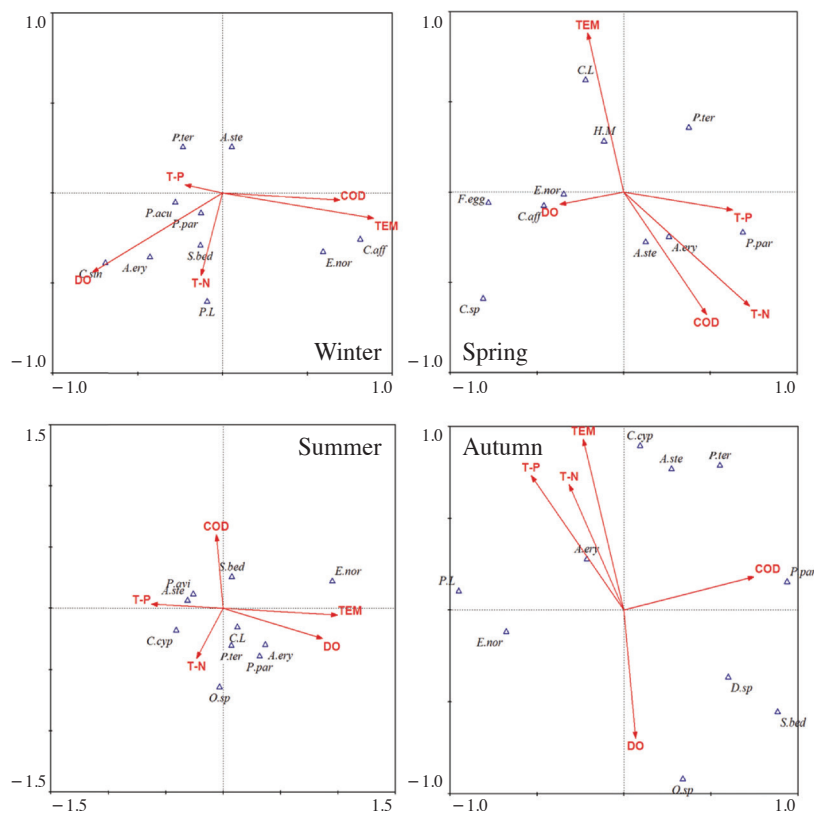


Fig. 6. Seasonal Canonical Correspondence Analysis (CCA) biplot between abundance of dominant species and environmental factors. A.ery: *Acartia erythroa*, A.ste: *Acartia steueri*, C.aff: *Corycaeus affinis*, C.cyp: *Cirriepd cypris*, C.L: Crab larvae, C.sin: *Calanus sinicus*, C.sp: Crangonidae sp., D.sp: *Doliolum* sp., P.ter: *Pseudevadne tergestina*, E.nor: *Evadne nordmanni*, H.M: Hydromedusa, O.sp: *Oikopleura* sp., P.acu: *Paracalanus aculeatus*, P.par: *Paracalanus parvus*, S.bed: *Sagitta bedoti*, P.L: Pagurid larvae.

cypris)은 수온과 음(-)의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 따개비유생(Cirriped cypris)은 T-N과 T-P는 양(+)
의 상관관계를 *P. avirostris*는 DO와 음(-)의 상관관계를 나타내었다. 우점종 중 모악류 *S. bedoti*는 COD와 양(+)
의 상관관계가 나타났다. 가을철에는 수온과 *Oikopleura* sp.와 상관관계가 가장 높은 것으로 확인되었고, *P. tergestina*, *A. steueri*, *P. parvus*와 *S. bedoti*는 COD와 양(+)
의 상관성을

나타내었다. 이 밖에 *Doliolum* sp.는 T-P와 음(-)의 상관관계가 나타났다. 즉, 반폐쇄형 내만인 통영 당동만 내 동물플랑크톤 군집에 영향을 미치는 환경요인은 종 간에 다소 차이가 있었지만, 수온이 주원인으로 확인되었고, 이후 COD와 DO가 이곳에 서식하는 동물플랑크톤의 군집 구조와 형성에 영향을 주는 환경요인으로 확인되었다(Table 2; Fig. 6).

고 찰

수온을 비롯한 다른 환경요인은 조사지역 인근해역인 진해만(Hwang *et al.* 2011), 남해연안(Moon *et al.* 2010)과 진해만과 가덕만(Kim and Kim 2009)에서 이루어진 선행연구들과 동일한 양상으로 남해안 반폐쇄형 내만의 일반적인 계절적 양상이 확인되었고, 조사기간 중 통영 당동만에 출현한 동물플랑크톤의 출현 밀도 및 양상은 남해 연안에 위치한 진해만(Soh and Choi 2004; Hwang *et al.* 2011), 남해 연안에서 이루어진 동물플랑크톤 군집의 계절변동에 관한 선행연구(Moon *et al.* 2010)와 동일한 것으로 나타내었다. 즉 동물플랑크톤 군집 형태는 서식환경 중 계절에 따른 수온 변화에 전적인 영향을 받는 것으로 판단되며, 통영 당동만 부유생태계는 인근 해역과 동일하게 전형적인 온대해역 부유생태계로 계절별 연안류의 영향을 받는 것으로 판단된다.

계절별 조사지역의 동물플랑크톤 출현밀도와 종수는 계절별로 차이가 있는 것으로 나타났으며, 종수는 대체로 고온수기인 여름철과 가을철에 가장 높고, 겨울철과 봄철에 낮은 것으로 나타났다. 반면, 출현밀도는 여름철에 감소하였다가 가을철에 증가하는 양상이었다. 이러한 현상은 Moon *et al.* (2010)의 남해 연안 동물플랑크톤 군집 계절변동 연구 결과와 동일하게 남해연안에서 봄철에 일어나는 식물플랑크톤의 대번식(Oh *et al.* 2007) 후 먹이생물 공급 안정으로 인한 동물플랑크톤 종 다양성 증가가 원인으로 판단되며, 종수와 다르게 출현밀도가 여름철에 일시적으로 감소하는 것은 우점종인 *A. steueri*, *A. erythraea* 그리고 *P. tergestina*가 이 시기에 이들을 주 먹이원으로 하는 멸치(*Engraulis japonicus*)의 대번식(Kim *et al.* 2013)으로 인한 회피기작과 Kang and Jeon (1999)이 보고한 남해안 대마난류와 남해연안수가 만나는 전선대의 위치가 상대적으로 여름철에는 외해지역에 형성되어 이시기에 동물플랑크톤들이 전선역을 따라 움직이는 회유기작이 작용하였기 때문으로 판단된다. 또한 Moon *et al.* (2006)과 Soh *et al.* (2002)의 가막만 해역에 서식하는 동물플랑크톤 계절적 분포 변화 연구와 동일하게 상대적으로 저수온기에 *A. erythraea*가 우점하고, 고수온기에 *Evadne* 속이 우점하는 것과 같이 동일 속에 있는 종일지라도 계절적 수온의 변화에 따라서 종별 분포의 천이가 발생하고, 이에 따른 우점종의 계절적 변화가 발생한 것이 복합적으로 작용한 것이 원인으로 판단된다.

동물플랑크톤 군집의 안정도를 평가하는 출현 종수는 본 연구 조사지역과 같은 반폐쇄적 내만에서의 계절에 따른 수괴의 변동이나 지형학적 요인과 희소종에 의해 영향을 받으며,

내만 안쪽으로 갈수록 적어질 가능성이 있는 것으로 알려져 있다(Moon *et al.* 2006; Moon *et al.* 2010). 본 연구에서도 조사기간 중 출현 종수는 2009년 여름, 2010년 겨울과 2011년 가을철에 상대적으로 적은 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 출현 우점종 중 이 시기에 출현밀도가 높은 *P. avirostris*, *A. steueri*와 *E. nordmanni* 등 특정종이 반폐쇄형 내만이라는 제한된 서식 공간 내에서 수온 감소에 따라서 종별 출현분포가 감소하고, 군집 내 희소종의 출현 종수가 증가하여야 하나, 이 시기의 하계시기 수온이 평년 수온에 비해 3~5°C 낮아 가을철로 넘어가는 시기에 수온 변동폭이 적어 희소종의 발생을 저지한 것이 원인으로 판단된다.

우점종 출현양상은 남해연역을 대상으로 한 선행연구와 유사하게 나타났으나(Hue *et al.* 2002; Moon *et al.* 2006), 난류 외양성종인 *Sagitta enflata*의 출현밀도가 낮은 반면, 혼합수역에 출현하는 종인 *S. bedoti*의 출현밀도가 높았던 것을 비롯하여 난류성 요각류의 출현이 적은 것으로 나타났다. 이는 마산만 및 진해인근 해역에서 이루어진 동물플랑크톤의 시·공간적인 분포에 대한 Kim and Kim (2009)의 연구 결과와도 비슷한 양상으로 진해만 입구에 건설된 침매터널 공사에 의해 수괴가 교란되어 외양수의 유입이 원활히 이루어지지 않은 것과 같이 본 연구 지역 인근 조조선 운영을 위한 대형 인공 구조물이 건설되어 있고, 이에 따라 수괴교란이 발생하여 부유생태계에 영향을 미친 것이 원인으로 판단된다.

정준대응분석을 실시한 결과, 조사기간 동안 우점종으로 분류된 *A. steueri*는 연도별 분석에서는 수온과 양(+)의 상관성을 나타냈고, 여름철 우점종으로 분류된 *P. avirostris*와 일시플랑크톤인 십각류의 게유생, 그리고 가을철에 최우점을 하였던 *E. nordmanni*는 수온과 높은 양(+)의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Hwang *et al.* (2011)에 의한 인근 진해만 동물플랑크톤 연구결과와 동일하게 환경요인 중 수온이 전체 군집을 결정짓는 우점종의 출현밀도에 영향을 주고, 이러한 양상이 전체 군집에 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 수온 이 외에 환경요인 중 COD, DO 그리고 T-N이 우점종과 전체 동물플랑크톤 출현분포와 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 강우와 담수유입 증가에 따른 COD 증가가 진해만 동물플랑크톤의 출현량 변동을 야기시킨다는 Kang *et al.* (1996)의 연구결과와 Keister *et al.* (2000)의 용존산소량이 요각류의 유생 출현밀도와 양의 상관관계를 가지고 있어 간접적으로 용존산소가 전체 동물플랑크톤 출현량에 영향을 준다는 연구결과 그리고 인산염의 증가는 규조류와 식물플랑크톤의 분포를 결정하여 간접적으로 동물플랑크톤의 출현분포에 영향을 준다는 Stalder

and Marcus (1997)의 연구결과와 동일하게 본 연구에서도 환경요인 중 수온 이외에 다양한 화학적 환경요인이 이곳에 서식하는 동물플랑크톤의 군집에 영향을 주는 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 통영 당동만에 서식하는 동물플랑크톤의 군집 특성과 환경요인과의 상관관계를 이해할 수 있었다. 또한 통영을 포함하는 국내 남해연안 부유생태계는 환경요인 중 수온의 영향을 가장 많이 받는 것이 확인되었고, 이 외에 COD와 T-N 등 다양한 환경요인이 우점종 출현밀도를 조절하여 동물플랑크톤 군집 형성에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 연구결과를 토대로 본 연구자는 반폐쇄형 내만인 당동만과 같이 인위적 간섭을 통해 직접적으로 연안생태계에 영향을 받는 지역의 부유생태계 및 동물플랑크톤 군집 변화를 이해하기 위해서는 환경요인 중 수온 변화를 통해 간접적으로 동물플랑크톤 군집 변화를 이해하며, 다양한 수질환경요인과의 상관성 분석을 통해 지역적 특성을 고려하고, 인위적 간섭에 따른 환경요인 변화와 기존 선행연구 결과 중 우점종의 출현양상을 비교하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 더욱이 보다 명확하게 동물플랑크톤 군집 형성 과정과 수질환경과의 상관관계를 파악하기 위해서는 Fernando and Graciela (1985), Omorii and Ikeda (1984) 그리고 Jang *et al.* (2010)이 제시한 것과 같이 생태계 구성원의 생물학적 특징을 고려한 단주기적 조사 방법이 병행되어야 한다고 판단된다.

적 요

본 연구는 통영시 당동만의 환경요인과 동물플랑크톤 군집을 분석하여 군집 형성 과정과 연안 부유생태계를 이해하기 위해 2008년 동계시기부터 2011년 춘계시기까지 계절별로 환경요인과 동물플랑크톤 군집의 변화를 분석하고, 우점종 출현양상과 환경요인의 상관관계를 CCA분석하였다. 조사기간 중 동물플랑크톤은 80종, 1,599 inds.m⁻³가 출현하였고, 동물플랑크톤의 군집 변화는 우점종의 출현밀도에 의해 결정되는 것으로 확인되었다. 계절별 우점종은 겨울철과 봄철에 *Acartia steueri*, 여름철에 *Penilia avirostris* 그리고 가을철에 *Evadne nordimanni*가 우점하여 가을철을 제외한 계절에서 요각류가 우점하는 것으로 나타났고, 우점종 출현 양상을 통해 조사지역 내 우점종 간 종 간 경쟁이 확인되었다. 주요 우점종과 환경요인 간의 정준대응분석(CCA)을 실시한 결과, 대부분의 계절에서 수온이 우점종 출현양상과 가장 상관관계가 높은 것으로 나타났고, COD, DO 그리고 T-N이

영향을 주는 환경요인으로 나타났다.

사 사

본 논문은 안정국가산업단지 조성 사후 환경영향조사 자료의 일부로서, 본 연구를 위해 지원해주신 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

REFERENCES

- Beyst B, D Buysse, A Dewicke and J Mess. 2001. Surf zone hyperbenthos of Belgian sandy beaches: seasonal patterns. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 53:877-895.
- Chihara M and M Murano. 1997. An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai University press. 1289pp.
- Choi KH and C Park. 1993. Seasonal fluctuation of zooplankton community in Asan bay, Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.* 26:424-437.
- David V, B Sautour, P Chardy and M Leconte. 2005. Long-term changes of the zooplankton variability in a turbid environment: The Gironde estuary (France). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 64:171-184.
- Fernando CR and MPS Graciela. 1985. New data in the ecological distribution of Cladocerans and first local observations on reproduction of *Evadne nordmanni* and *Podonin-termedius* (Crustacea, Cladocera) in Argentine sea water. *Physis Seccion A.* 43:131-143.
- Hue HK, DH Kim and SH Ahn. 2002. Community structure and distributions of zooplankton in Gangjin bay in 1999. *Korean J. Environ. Biol.* 20:46-54.
- Hwang OM, KS Shin, SH Baek, WJ Lee, SA Kim and MC Jang. 2011. Annual variations in community structure of mesozooplankton by short-term sampling in Jangmok harbor of Jinhae bay. *Ocean Polar Res.* 33:235-253.
- Jang MC, KS Shin, PG Jang and WJ Lee. 2010. Relationship between environmental factors and short-term variations of mesozooplankton during summer in Jangmok bay, South coast of Korea. *Ocean Polar Res.* 32:41-52.
- Kang YS and KA Jeon. 1999. Biological and chemical characteristics and trophodynamics in the frontal zone in the Southern waters of Korea. *Korean J. Fisher. Aquat. Sci.* 32:22-29.
- Kang YS, JS Park, SS Lee, HG Kim and PY Lee. 1996. Zooplankton community and distributions of copepods in relation to eutrophic evaluation in Chinhae bay. *J. Korean Fish.*

- Soc. 29:415-430.
- Keister JE, ED Houde and DL Breitburg. 2000. Effects of bottom-layer hypoxia on abundance and depth distributions of organisms in Patuxent River, Chesapeake Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 205:43-59.
- Kim KT and ES Kim. 2009. Seawater quality of Jinhae bay and adjacent sea of Gaduk Island, Korea. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.* 2009:137-143.
- Kim MH, HT Moon, SH Shin, MB Son, JY Byun, HC Choi and MH Son. 2010. Characteristics of zooplankton community in the coastal water of Wolsong nuclear power plant, East sea of Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 28:40-48.
- Kim MJ, SH Youn, JY Kim and CW Oh. 2013. Feeding characteristics of the Japanese anchovy, *Engraulis japonicus* according to the distribution of zooplankton in the coastal waters of Southern Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 31:275-287.
- Le Bris H. 1988. Fonctionnement des écosystèmes benthiques côtiers au contact d'estuaires: la rade de Lorient et la baie de vilaine. These de doctorat' Oceanologie Biologique, Université de Bretagne occidentale, Brest, 311pp.
- Lee CR, HK Kang and JH Noh. 2009. Temporal and spatial variation of zooplankton community structure post construction of Saemangeum dyke. *Ocean Polar Res.* 31:327-338.
- Lee JH, JH Chae, WR Kim, SW Jung and JM Kim. 2011. Seasonal variation of phytoplankton and zooplankton communities in the coastal waters off Tongyeong in Korea. *Ocean Polar Res.* 23:245-253.
- Lee PG and C Park. 2004. Impact of mesh size difference on zooplankton distribution data and community interpretation. *J. Kor. Soc. Oceanogr.* 9:13-19.
- Moon SY, HJ Oh and HY Soh. 2010. Seasonal variation of zooplankton communities in the Southern coastal waters of Korea. *Ocean Polar Res.* 32:411-426.
- Moon SY, HS Yoon, HY Soh and SD Choi. 2006. Environmental factors and variation characteristics of zooplankton communities in Gamak bay. *Ocean Polar Res.* 28:79-94.
- Moon SY, MH Seo, YS Shin and HY Soh. 2012. Seasonal variation of mesozooplankton communities in the Semi-enclosed Muan bay, Korea. *Ocean Polar Res.* 34:1-18.
- Motoda S. 1959. Devices of simple plankton apparatus. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 7:73-94.
- Oh HJ, YH Lee, JH Yang and SH Kim. 2007. The characteristics of phytoplankton distribution related to the oceanographic conditions in the Southern waters of the Korean in summer. *J. Kor. Associ. Geogra. Info. Stud.* 10:40-48.
- Omorii M and T Ikeda. 1984. *Methods in marine zooplankton ecology.* John Wiley and Sons, New York. 25pp.
- Park C, PG Lee and SR Yang. 2002. Variation of zooplankton distribution in the Seomjin river estuary with respect to season and salinity gradients. *J. Kor. Soc. Oceanogr.* 7:51-59.
- Park JG, JH Shim and JB Lee. 1998. Long-term variation of phytoplankton biomass and implication in the East and the South Sea, Korea. *J. Kor. Phycol.* 13:123-133.
- Park JS, SS Lee, YS Kang and HH Huh. 1991. Distribution of indicator species of copepods and chaetognaths in the middle East Sea of Korea and their relationships to the characteristics of water masses. *J. Kor. Fish. Soc.* 24:203-213.
- Riley GA. 1967. The plankton of estuaries, In: *Estuaries*, edited by Lauff, G.R., The Horn-Shafer Company, Baltimore. 326pp.
- Smith DL and KB Johnson. 1996. *A guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae.* Kedall and Hunt Publishing Company. 196pp.
- Soh HY, IT Lee, YH Yoon, SD Choi, SN Lee, MI Han, BS Kim, YH Kang and WB Lee. 2002. Species composition and occurrence patterns of zooplankton in Gamag bay. *Korean J. Environ. Biol.* 20:118-129.
- Soh HY and SD Choi. 2004. Species composition and occurrence patterns of zooplankton in Jinhae bay. *Korean J. Environ. Biol.* 22:43-56.
- Stalder LC and NH Marcus. 1997. Zooplankton response to hypoxia: Behavioral patterns and survival of three species of calanoid copepods. *Mar. Biol.* 127:599-607.
- UNESCO. 1968. *Zooplankton sampling. Monographs on oceanographic methodology 2.* UNESCO, Paris. 174pp.
- Yoo JK, CS Myung, JK Choi, HP Hong and ES Kim. 2010. Spatial and temporal variation of mesozooplankton community in Lake Sihwa, Korea. *Ocean Polar Res.* 32:187-201.
- Yoo JK, JH Jeong, EJ Nam, KM Jeong, SW Lee and CS Myung. 2006. Zooplankton community and distribution in relation to water quality in the Saemangeum area, Korea: Change in zooplankton community by the construction of sea dyke. *Ocean Polar Res.* 28:305-315.
- Yoon HS and SD Choi. 2006. Study on resources annexation in Tongyeong marine ranching: Effects of zooplankton attraction by night-lights. *Korean J. Environ. Biol.* 24:126-137.
- Youn SH and JK Choi. 2003. Spatio-temporal distribution of zooplankton community in Kyeonggi bay, Yellow sea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.* 8:243-250.

Received: 30 December 2014

Revised: 8 June 2015

Revision accepted: 9 June 2015