

가막만 동물플랑크톤의 수층 분포에 미치는 저산소화의 영향

문성용 · 서호영 · 최상덕 · 정창수¹ · 김숙양¹ · 이영식^{1,*}

전남대학교 해양기술학부, ¹국립수산과학원 남해수산연구소

Effect of a Low-oxygen Layer on the Vertical Distribution of Zooplankton in Gamak Bay

Moon Seong Yong, Ho Young Soh, Sang Duk Choi,
Chang Soo Jung¹, Sook Yang Kim¹ and Young Sik Lee^{1,*}

Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

¹South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

Abstract – The dynamic of zooplankton community and its relationship with dissolved oxygen were studied at the Soho area of Gamak Bay from 22 August to 15 September in summer. We found that zooplankton were in low abundance or absent from bottom waters when oxygen concentrations were $<3 \text{ mg L}^{-1}$. The relationship between summer low-oxygen in bottom-layer and zooplankton community structure was discussed at vertical abundance in Soho area of Gamak Bay. To examine effects of bottom-layer low-oxygen on abundance and vertical distributions in the stratified Soho area, zooplankton was surveyed near-surface, within the near-bottom in the study area under a range of near-bottom dissolved oxygen conditions. There were vertical variation in total zooplankton abundance in the study area (ANOVA, $P < 0.05$). Overall abundance of zooplankton: copepod nauplii, *Oithona* sp. and tintinnids were lower throughout the water column when bottom-layer DO was low ($\leq 3 \text{ mg L}^{-1}$). In this context it was postulated that zooplankton distribution in the Soho area of Gamak Bay might be controlled by dissolved oxygen condition.

Key words : Gamak Bay, low-oxygen, zooplankton community

서 론

빈산소수괴는 반폐쇄적만 특징을 가지고 있는 하구역이나 만에서 저층으로 운반되는 입자성 유기물과 퇴적물 내의 유기물 분해를 통해서 저층의 용존산소를 소비하여 산소 결핍 현상이 원인이 되어 나타나게 된다(Diaz and

Rosenberg 1995). 일반적으로 빈산소 수괴는 용존산소의 농도가 2.0 mg L^{-1} 이하일 때를 말하며, 여름철에 하구역과 만에서 주로 형성되어 수 일에서 몇 달간 지속되는데(Selberg *et al.* 2001; Rabalais and Turner 2001), 저층의 빈산소 수괴가 형성될 경우에는 용존산소 농도에 민감한 극피동물이나 갑각류 등이 폐사하여 저층에는 무생물화 현상이 나타나게 된다(Zarkanellas 1979).

동물플랑크톤의 분포 요인으로는 크게 생물학적 요소와 무생물학적인 요소로 구분할 수 있는데, 생물학적 요

* Corresponding author: Young Sik Lee, Tel. 061-690-8958, Fax. 061-686-1588, E-mail. leeys@momaf.go.kr

소는 식물플랑크톤의 종조성과 현존량이라 할 수 있겠고 (Calbet *et al.* 2001), 무생물학적인 요소는 수온, 염분, 용존산소와 같은 물리·화학적 요소들이라 할 수 있겠다 (Poulet and Williams 1991; Haury *et al.* 1992; Stalder and Marcus 1997; Keister *et al.* 2000). 이 연구해역인 가막만 소호 인근해역은 반폐쇄적인 만의 특성을 지닌 해역으로서 약한 조류의 흐름 때문에 연등천과 같은 주변 하천으로부터 유기물 유입 증가로 인해 해양환경의 변화가 진행되고 있으며 (윤 2000), 하계 강우시기에는 주변 하천에서 많은 양의 담수와 함께 입자성 유기물이 만내로 유입되어 퇴적물이 분해되면서 저층 용존산소를 소비하게 되어 빈산소 수괴가 빈번하게 발생하는 해역이다.

연안 해역에서 빈산소 수괴가 형성되면 용존산소 농도에 따라서 동물플랑크톤의 출현 종수, 출현 개체수 및 종 다양도 등에 영향을 미치게 되므로 (Stalder and Marcus 1997), 국외에서는 빈산소 수괴가 형성되는 시기에 현장 연구와 함께 용존산소 농도에 따른 동물플랑크톤의 배양 실험에 대한 연구가 활발히 진행 중이다 (Roman *et al.* 1993; Stalder and Marcus 1997; Keister *et al.* 2000). 반면, 국내의 빈산소 수괴 형성과 생물 분포에 대한 연구는 한강과 섬진강 하구역에서 출현하는 동물플랑크톤의 분포 자료를 바탕으로 한 단편적인 해석만 있을 뿐 (임 1992; 김 2001), 연안에서 빈산소 수괴 형성이 동물플랑크톤의 분포자료에 미치는 영향에 대한 현장연구는 거의 이루어지지 않았다.

이에 본 연구에서는 가막만 소호 해역의 저산소화 현

상에 따른 동물플랑크톤의 수층별 분포 양상을 밝혀 용존산소 농도가 동물플랑크톤의 종조성과 출현량에 미치는 영향을 파악하여 하계 소호 주변해역의 동물플랑크톤 군집 동태에 대한 기초 자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구시기 및 환경요인

본 연구해역은 저산소화 현상이 빈번하게 발생하는 소호 인근해역에서 (Fig. 1), 2005년 8월 22일부터 9월 16일까지 3일에서 5일 간격으로 빈산소 수괴가 사라질 때까지 대조기 (최저 453~최고 625 cm)에 연구하였고, 모든 연구는 0.3 m, 2 m, 4 m, 저층에서 이루어졌다. 연구기간 동안 강수량 자료는 가막만 해역에 근접한 여수에서 측정된 여수지방기상대의 자료를 인용하였다 (KMA 2005). 환경 요인으로는 수온, 염분, 용존산소는 현장에서 다항목 수질측정기 (6920, YSI)로 측정하였으며, 화학적 산소요구량 (COD)은 알칼리성 과망간산 칼륨법으로 적정하여 정량하였다. 엽록소 *a* (Chlorophyll *a*)는 Niskin 채수기로 수심에 따라서 채수한 다음 시료수 250 mL를 공경 0.45 μm 여과지 (Membrane filter, Whatman)로 여과하고, 여과가 끝나기 직전 1% 탄산마그네슘 1 mL를 여과지에 주입한 후 분석시까지 냉동 보관하였다. 분석을 위해서 여과지를 90% 아세톤 10 mL를 냉암소에서 24시간 동안 색소를 추출한 후, 10분간 원심분리시켜 상등액을 취하여 UV-spectrophotometer (Varian Cary 300)를

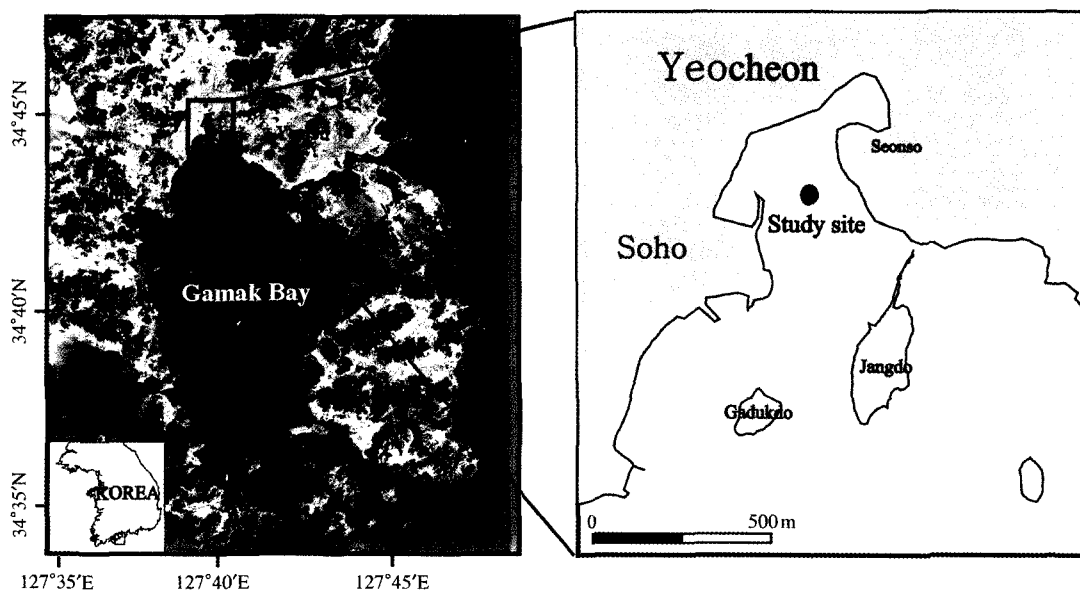


Fig. 1. Map showing of sampling site in Soho area of Gamak Bay.

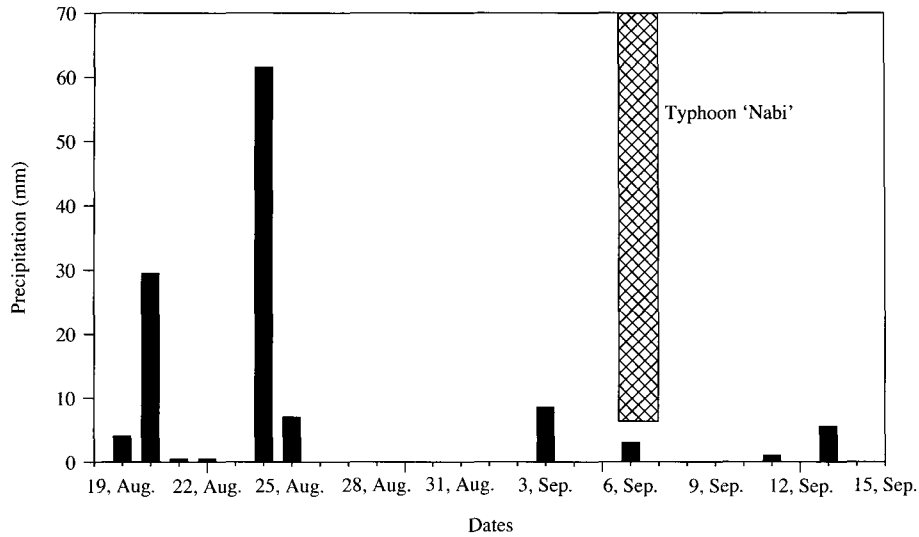


Fig. 2. Mean precipitation for Yosu area from 19 August to 15 September, 2005. (Data from KMA, 2005)

이용하여 흡광도를 측정하여 엽록소 *a* 농도를 계산하였다 (Parsons *et al.* 1984).

2. 동물플랑크톤 채집과 처리

동물플랑크톤의 채집은 수층에 따른 종조성과 출현량을 파악하기 위해서 수심 0.3 m, 2 m, 4 m, 저층을 대상으로 수중모터펌프(150 L min⁻¹)를 이용하여 수층별로 5분 동안 채수를 한 후, 표준네트(망구 직경, 35 cm; 망목, 70 μm)인 원추형 네트를 사용하여 거르는 방법으로 수층별로 3회씩 채집하였다. 네트로 여과한 시료는 동물플랑크톤 크기에 따라 다소 차이가 있는 점을 감안하여 중성 포르말린으로 최종농도가 3%가 되도록 고정하였다 (UNESCO 1968). 고정된 동물플랑크톤 시료는 Folsom식 부차시료기를 이용하여 출현량에 따라서 1/16~1/64를 취한 후 Bogorov counting chamber에 넣고 해부현미경 (Leica model MS 125)을 사용하여 가능한 중 수준까지 분류 계수하였다. 계수된 생물량은 정량 분석을 위해 여과량을 환산한 후, 단위 체적당 개체수 (inds. m⁻³)로 환산하였다.

3. 통계 처리

연구기간 동안에 수층별 출현 개체수의 차이를 파악하기 위해 분산분석 (ANOVA-test)을 실시하여 유의 수준 P<0.05에서 검정하였으며, 동물플랑크톤 군집에 미치는 환경요인을 규명하기 위해 용존산소에 빈감한 반응을 나타낸 분류군을 선정하여 Pearson 상관계수를 분석하였고, 이를 바탕으로 용존산소와 동물플랑크톤 출현

개체수의 상호관계를 단순회귀분석 (simple regression)을 실시하였다. 통계처리에 따른 모든 분석은 SPSS (Ver. 13.0) program을 이용하였다.

결 과

1. 물리·화학적 환경 요인

연구기간 동안 가막만과 근접한 여수에서 측정된 강수량을 살펴보면 (Fig. 2), 풍수기인 8월에 비교적 강수량이 많았으며, 태풍 '나비'의 영향을 받았던 9월 6일에는 10 mm 이하의 적은 강수량 수치를 나타내었다. 특히, 8월 중순부터 말까지는 많은 비가 내렸으며, 8월 25일에는 61.5 mm의 많은 강수량 수치를 나타내었다.

연구기간 동안 수온, 염분, 용존산소 (DO), 엽록소 *a* (Chlorophyll *a*), 화학적산소요구량 (COD) 의 수층별 변동양상을 Fig. 3에 나타내었다. 수온은 23.81~28.2°C의 범위로 9월 12일 표층에서 가장 높게 나타났으며, 태풍 '나비'의 영향으로 인해 9월 7일에 가장 낮은 수온 분포를 나타냈다. 수층에 따른 변화는 8월 22일에 표층과 저층의 수온은 약 3.0°C의 차이를 나타냈지만, 그 외 연구시기의 표층과 저층간의 수온 차이는 크지 않았다. 염분은 25.21~33.46 psu 범위로서 강수량이 많았던 8월 25일에 가장 낮게 나타났으며, 이 시기에 표층과 저층의 염분이 약 8.0 psu 차이를 나타내 표층에서 연구기간 동안에 가장 낮은 염분이 측정되었다. 용존산소는 2.10~13.43 mg L⁻¹의 범위로 연구기간 동안 수층별 범위는 대체로 저층으로 갈수록 낮고, 표층으로 갈수록 높게 나타

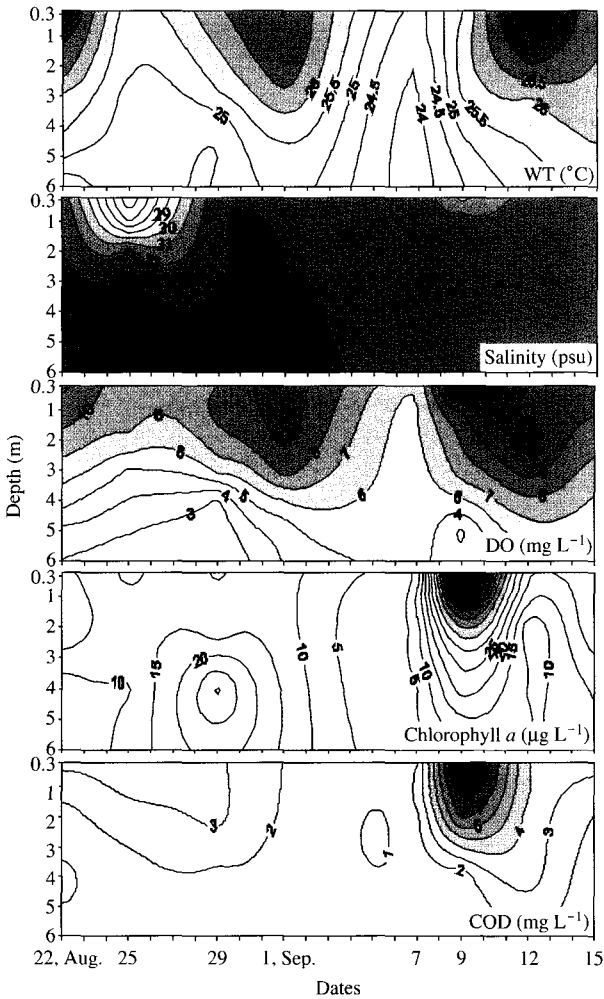


Fig. 3. Vertical variation of water temperature, salinity, DO, chlorophyll *a* and COD in Soho area of Gamak Bay.

났다. 특히, 8월 22일과 8월 25일에는 저층의 용존산소가 2.0 mg L⁻¹ 정도의 농도를 보여 빈산소 수괴가 형성되고 있음을 확인할 수 있었다. 엽록소 *a*는 3.69~87.60 µg L⁻¹의 범위로 9월 9일의 표층에서 가장 높게 나타났으며, 9월 7일 저층에서 가장 낮게 나타났다. 수층별 범위는 9월 12일을 제외한 기간 동안 표층에서 높았고, 저층으로 갈수록 낮은 양상을 나타냈다. 화학적산소요구량은 0.79~10.55 mg L⁻¹의 범위로 8월 22일에 가장 낮았으며, 태풍 '나비'의 영향이 있고 난 3일 후인 9월 9일에 표층을 중심으로 가장 높게 나타났다.

2. 동물플랑크톤 종조성과 개체수

본 연구에서 채집된 동물플랑크톤의 출현 개체수는 1,088~360,125 inds. m⁻³의 범위로 수층과 연구 시기에 따라 다르게 나타났으며 (Fig. 4), 연구기간 동안 출현한

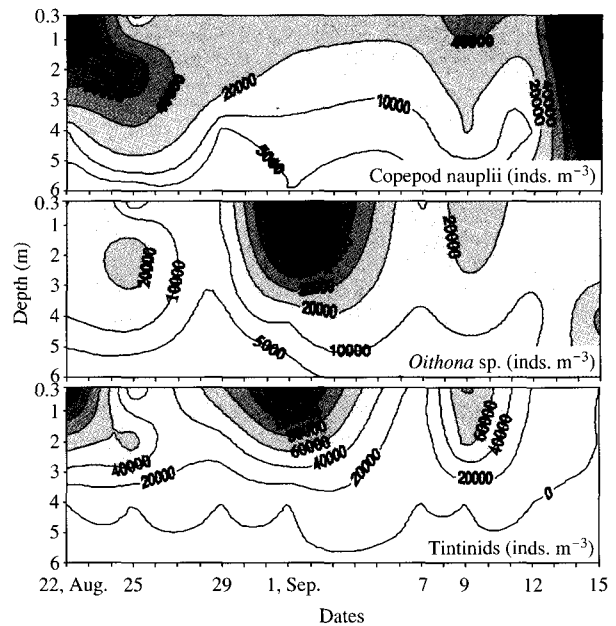


Fig. 4. Vertical abundance of zooplankton taxon in Soho area of Gamak Bay.

동물플랑크톤은 총 32개 분류군으로서 요각류는 7속 9종이 동정되었다. 이들 중 우점 분류군인 요각류 유생 (nauplii)과 미성숙체 (copepodite), *Oithona* sp., 유종섬모충류 (tintinnids)와 같은 소형 동물플랑크톤이 전체 출현 개체수의 70% 이상을 차지하였다. 반면, 우점 분류군을 제외한 동물플랑크톤 중 수층별 분포에서는 큰 차이를 나타내지는 않았지만 *Acartia erythraea*, *Acartia pacifica*, *Centropages abdominalis*, *Centropages dorsispinatus*, *Corycaeus affinis*, *Pseudodiaptimus marinus*, *Paracalanus parvus* s.1 등의 요각류가 분포하는 특성을 나타냈다.

연구기간 동안 출현했던 동물플랑크톤의 우점 분류군과 그 출현 개체수를 살펴보면, 연구가 시작되었던 8월 22일에는 유종섬모충류가 평균 55,880 inds. m⁻³가 출현하여 47.1%의 점유율을 나타냈으며, 요각류 유생은 50,918 inds. m⁻³가 출현하여 42.9%의 점유율을 보여 소형 동물플랑크톤을 중심으로 높은 분포를 보인 반면에 기타 분류군들은 극히 낮은 출현 개체수를 나타냈다. 저층의 저산소화가 진행되었던 8월 25일에는 유종섬모충류가 평균 18,430 inds. m⁻³가 출현하여 22.6%의 점유율을 나타냈으며, 요각류 유생은 평균 29,958 indiv.m⁻³가 출현하여 36.7%의 점유율을 나타냈지만 두 분류군 모두 전 조사시기 보다 상대적으로 낮은 분포 양상을 나타냈다. 또한, 소형 요각류 *Oithona* sp.는 평균 11,070 inds. m⁻³가 출현하여 13.6%의 점유율을 나타냈으며, 전 조사시기에 출현하지 않았던 이매패류 유생이 평균

20,168 inds. m⁻³을 출현하여 24.7%의 점유율을 나타냈다. 저산소화가 나타나지 않은 9월 7일에는 유충섬모충류는 평균 4,513 inds. m⁻³가 출현하여 14.3%의 점유율을 차지한 반면에 요각류 유생이 평균 14,767 inds. m⁻³가 출현하여 46.8%로 높은 점유율을 나타냈다. 또한, 요각류 *Oithona* sp.의 출현 개체수도 평균 8,285 inds. m⁻³가 출현하여 점유율이 26.3%로 비교적 높게 나타났다. 이 연구기간 중 18일이 지난 9월 9일에는 저층의 저산소화가 다시 나타났는데, 이 시기의 요각류 유생은 평균 27,663 inds. m⁻³가 출현하여 32.4%의 점유율을 차지하였지만, 유충섬모충류가 평균 37,732 inds. m⁻³가 출현하여 44.2%로 가장 점유율이 높게 나타나 상대적으로 요각류 유생의 출현 개체수가 낮게 나타났다. 또한, 요각류 미성숙체는 평균 2,657 inds. m⁻³가 출현하여 3.1%를 차지하였다. 저산소화가 나타나지 않았던 9월 15일에는 전 채집 기간 우점 분류군이었던 우점섬모충류는 출현하지 않은 특성을 보였지만 요각류 유생이 평균 35,243 inds. m⁻³가 출현하여 46.9%로 높은 점유율을 차지하여 가장 우점 분류군이었다. 요각류 미성숙체는 평균 6,727 inds. m⁻³가 출현하여 9.0%의 점유율을 나타냈으며, 다모류 (polychaete) 유생이 평균 2,373 inds. m⁻³가 출현하여 3.2%의 낮은 점유율을 나타내는 분포특성을 보였다.

3. 용존산소 농도와 수층별 동물플랑크톤 분포

수층의 용존산소 농도에 민감한 반응을 나타낸 동물플랑크톤 중 우점 분류군의 출현 개체수는 저산소화가 진행되는 기간과 저산소화가 사라지는 기간에서 서로 다르게 양상이 나타났다 (Fig. 4). 요각류 유생은 저산소화가 진행되는 시기인 8월 22일의 수층별 출현 개체수를 살펴보면, 수층 0.3 m에서 114,592 inds. m⁻³가 출현하였고, 저층에는 288 inds. m⁻³가 출현하여 큰 차이를 나타냈다. 또한, 저산소화를 나타냈던 8월 25일에는 수층 0.3 m에서 3,720 inds. m⁻³가 출현하였으며, 저층에서는

216 inds. m⁻³가 출현하여 저산소화에 따른 상이한 출현 개체수를 나타냈다. 반면, 저산소화가 사라졌던 9월 12일에는 수층 0.3 m에서 35,896 inds. m⁻³가 출현하였고, 저층에서는 10,572 inds. m⁻³가 출현하여 표층과 저층간의 출현 개체수 차이는 저산소화가 나타났던 연구 기간보다는 상대적인 차이를 나타내지 않았다. 소형 요각류 *Oithona* sp.는 저산소화가 가장 뚜렷하게 나타났던 8월 25일에 수층 0.3 m에는 1,224 inds. m⁻³가 출현하였으며, 저층에는 688 inds. m⁻³로 표층과 2배 정도의 차이를 나타냈다. 반면, 저산소화가 사라지는 시기인 9월 12일에는 수층 0.3 m에 14,168 inds. m⁻³가 출현하였지만, 저층에는 7,412 inds. m⁻³가 출현하여 상대적인 차이를 보였다. 유충섬모충류는 연구기간 동안에 0.3 m와 2 m의 수층에서만 출현하는 양상을 보였으며, 8월 22일 수층 0.3 m에서 151,808 inds. m⁻³가 출현하여 연구기간 동안 가장 높게 출현하였지만, 저산소화가 사라진 9월 15일에는 전혀 출현하지 않았다.

4. 동물플랑크톤과 환경요인간의 상관성

채집 기간 중 동물플랑크톤의 우점 분류군의 수층별 출현 개체수 자료를 이용하여 분산분석 (ANOVA-test)을 실시한 결과, 요각류 유생은 수층에 따라서 상이한 분포를 나타내 유의한 차이를 보였지만 (F=6.837, P<0.05), 요각류는 수층별 출현 개체수에서 유의한 차이를 보이지 않았다 (F=1.081, P>0.05). 반면, 유충섬모충류도 수층별 출현 개체수에서는 유의한 차이를 보였다 (F=6.14, P<0.05).

동물플랑크톤 분포 자료 중 우점으로 출현했던 분류군을 대상으로 출현 개체수에 미치는 용존산소를 포함한 환경요인과의 상관관계를 분석한 결과는 Table 1과 같다. 수온과 용존산소는 양의 상관관계 (r=0.697, n=30, P<0.01)를, 동물플랑크톤 총 출현 개체수는 수온과 용존산소에서 각각 r=0.524 (n=30, P<0.01), r=0.457 (n=

Table 1. Pearson correlation's coefficient matrix among zooplankton abundance, DO and environmental factors of Soho area in Gamak Bay

	TA	Nauplii	<i>Oithona</i>	Tintinnids	Temp.	Sal.	DO	Chl-a	COD
TA									
Nauplii	.620**								
<i>Oithona</i>	.750**	ns							
Tintinnids	.710**	NS	.682**						
Temp.	.524**	.462*	.467**	.542**					
Sal.	ns	ns	ns	ns	ns				
DO	.457*	.431*	.537**	.549**	.697**	ns			
Chl-a	ns	ns	.488*	.393*	ns	ns	.502**		
COD	ns	ns	ns	.375*	ns	-.364*	.684**	.808**	

*P<0.05, **P<0.01, ns is not significant, Total abundance (TA), Copepod nauplii (Nauplii), *Oithona* sp. (*Oithona*), Temperature (Temp., °C), Salinity (Sal., psu), Dissolved Oxygen (DO, mg L⁻¹), Chlorophyll a (Chl-a, µg L⁻¹), Chemical Oxygen Demand (COD, mg L⁻¹).

30, $P < 0.05$)의 양의 상관관계를 나타냈다. 요각류 나우플리우스 유생은 수온과의 상관분석 결과, 양의 상관관계 $r = 0.462$ ($n = 30$, $P < 0.05$)를 나타냈으며, 용존산소와 양의 상관관계 ($r = 0.462$, $n = 30$, $P < 0.05$)를 나타냈다. 소형 요각류 *Oithona* sp.는 수온과 상관관계에서 $r = 0.467$ ($n = 30$, $P < 0.01$)의 양의 상관관계를 보였으며, 용존산소에서도 양의 상관관계 ($r = 0.537$, $n = 30$, $P < 0.01$)를 나타냈다. 또한, 엽록소 *a*와 양의 상관관계 ($r = 0.488$, $n = 30$, $P < 0.05$)를 나타냈다. 유충섬모충류(tintinnids)는 수온 ($r = 0.542$, $n = 30$, $P < 0.01$)과 용존산소 ($r = 0.549$, $n = 30$, $P < 0.01$)에서 각각 양의 상관관계를 보였으며, 엽록소 *a*와 $r = 0.375$ ($n = 30$, $P < 0.05$)의 양의 상관관계를 보였다. 결과적으로, 동물플랑크톤의 수심별 분포 자료에 미치는 환경요인 중 수온과 용존산소는 총 출현 개체수와 우점종과 양의 상관관계를 보였으며, 엽록소 *a*는 소형 요각류 *Oithona* sp.와 유충섬모충류의 분포에서만 양의 상관관계를 보였다.

이 연구해역에서 수층별 동물플랑크톤 출현 개체수 변동에 영향을 미치는 용존산소의 영향을 파악하기 위하여 단순 회귀분석(simple regression analysis)를 실시한 결과 연구기간 중 용존산소 농도는 동물플랑크톤 총 출현 개체수 감소에 20.9% ($F = 7.39$, $P = 0.011$) 미치는 것으로 나타났으며, 요각류 유생의 출현 개체수 감소에 18.6% ($F = 6.394$, $P = 0.017$)를 미치는 것으로 나타났다. 또한, 소형 동물플랑크톤인 *Oithona* sp.의 출현 개체수 감소에 28.8% ($F = 11.319$, $P = 0.002$)로 나타났으며, 연구기간에 분포 중심이 표층이었던 유충섬모충류의 출현 개체수 감소에 31.1% ($F = 12.05$, $P = 0.002$) 기여하는 것으로 나타났다. 이러한 결과에서 용존산소 농도는 연구해역의 수층별 동물플랑크톤의 종수와 출현 개체수 분포에 환경요인으로 작용하는 것으로 나타났다.

고 찰

하계 빈산소 수괴 형성 원인은 주로 하구역이나 연안 천해역에서 표층과 저층의 해수 교환이 원활하지 못한 폐쇄적인 만에서 표층수온의 상승과 염분의 하강으로 인해 형성되는 성층이 그 원인이 되고 있으며, 수온 성층이 형성되는 해역에는 육상에서 유기물이 다량 유입되어 부영양화될 경우 저층의 빈산소 상태를 더욱 가속화 되는 것으로 보고되었다(Diaz and Rosenberg 1995; Hong and Lim 1997). 이번 연구 해역에서 발생한 저산소화 현상은 주로 소호 해역을 중심으로 저층에서 형성되었으며, 연구기간 동안 강우가 내린 2~3일 후에 저산소

화 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 연구해역이 반폐쇄적 해역임을 감안해 볼 때, 강수량이 많을 경우 염분의 저하와 함께 높은 일사량에 의한 표층과 저층간의 수온성층 현상과 함께 연등천과 같은 주변 하천에서 유입되는 유기물의 증가로 인하여 식물플랑크톤의 광합성이 활발하게 이루어져(윤 2000), 수온성층 현상과 함께 표층에서 생산된 식물플랑크톤의 사멸로 발생하는 유기물이 저층으로 침강하여 분해하는 과정에서 수층의 산소가 소비되어 나타날 가능성이 높지만(과학기술부 2000), 이와 같은 결과에 대한 해석을 높이기 위해서는 저산소 형성 기작에 대한 집중적이고 지속적인 현장 연구가 필요하다고 판단된다.

가막만 소호해역에서 수층에 따른 용존산소의 농도와 동물플랑크톤의 출현 개체수의 상관분석 결과에는 양의 상관관계가 나타났으며, 수층별 전체 출현 개체수에서도 뚜렷한 차이를 나타냈다. 만과 같은 연안역에서 저산소층이 형성되면 동물플랑크톤의 출현 종수와 출현 개체수는 저층의 용존산소 농도에 영향을 받는다고 보고하였으며(Howell and Simpson 1994; Keister *et al.* 2000), 이번 연구에서도 저산소화가 8월 22일부터 8월 29일까지 지속되어 이 시기의 수층별 동물플랑크톤 총 출현 개체수의 분포는 표층과 저층간의 현저한 차이를 나타냈다. 특히, 소형 요각류 *Oithona* sp.와 요각류 유생의 출현 개체수의 차이가 많게는 10배 이상 차이를 나타냈는데, 이러한 결과는 Roman *et al.* (1993)의 연구 결과에서 용존산소의 농도가 2 mg L^{-1} 이하가 되면 요각류의 부화율이 낮아지며, 이에 피식자인 자치어의 생물량에도 영향을 미친다는 연구결과를 잘 뒷받침 해 주고 있다. 미국의 Chesapeake 만에서는 빈산소 수괴가 형성되었을 경우에는 요각류 유생과 미성숙체의 출현 개체수는 용존산소가 2 mg L^{-1} 이상일 때 높은 출현 개체수를 나타내고, 2 mg L^{-1} 이하일 때 낮게 출현한다고 하였다(Keister *et al.* 2000). 또한, Keister *et al.* (2000)은 요각류 미성숙체의 경우 낮에는 용존산소 농도가 높았을 때는 저층 가까이에서 높은 개체수를 보이지만 밤에는 균등한 분포 특성을 보인다고 하였으며, 주간에는 저층의 용존산소 농도가 낮았을 경우에는 요각류 미성숙체는 낮은 출현 개체수를 보인다고 한 점은 본 연구 결과와도 일치하는 부분이다.

저층에 빈산소 수괴가 형성되면 요각류의 성체(adult)보다는 요각류 유생과 미성숙체, 그리고 소형 요각류의 수층 분포에 민감한 반응을 보이게 되지만, 이는 요각류 개체들의 행동 적응성으로 비추어 볼 때, 수층 분포와 관계가 있을 가능성이 높다(Bollens and Frost 1991). 이러한 요각류의 행동 양상은 저층의 빈산소 수괴가 형성

되면 결과적으로 요각류의 도피 행동을 일으켜 저층의 요각류들의 비율이 전체적으로 감소되어 나타나게 된다. 미국의 Chesapeake 만에서는 요각류들의 사망에 기인하는 근본적인 환경요인이 빈산소 수괴라고 보고된 바 있다 (Stalder and Marcus 1997). 이 연구 결과에서도 이러한 결과를 잘 반영하고 있는데, 요각류 성체의 출현 개체수에서 저층에 저산소화가 나타난 시기에는 많은 차이를 보이지 않았지만, 소형 요각류와 요각류 유생 및 미성숙체의 출현 개체수는 민감한 반응을 나타냈다. Roman *et al.* (1993)은 요각류 성체를 기준으로 용존산소 농도에 따른 두 종의 요각류, *Acartia tonsa*와 *Oithona colcarva*를 용존산소 2 mg L^{-1} 의 농도에서 24시간 배양실험을 한 결과, 용존산소 농도가 0.6 mg L^{-1} 와 0.1 mg L^{-1} 에서 생존율이 급감한다고 하였으며 (Marcus *et al.* 2004), Lampitt and Gamble (1982)은 *Oithona*속과 같은 소형인 cyclopoid 요각류는 산소 소비율이 *Acartia*속 요각류 보다 적다고 하였다. 이번 연구에서도 저산소화 현상이 발생한 시기에 나타난 요각류 *Oithona sp.*의 출현 개체수는 *Acartia erythraea*의 출현 개체수와 많은 차이를 보인 것은 분명한 사실이지만, 이러한 결과들은 종의 차이에 있어서 직접적인 비교는 어려운 부분이며, 이러한 결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 현장 자료와 함께 용존산소 농도에 따른 두 종에 대한 배양 실험을 통하여 보완하여야 할 부분이라고 판단된다.

결론적으로 가막만 소호 인근해역에서는 저층의 저산소화 현상이 발생했을 시에 동물플랑크톤 출현 종수와 출현 개체수의 직접적인 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 저산소화 현상은 반복적인 연구해역의 특성을 미루어 볼 때, 매년 하계에 주기적으로 발생할 가능성이 높으며, 발생 해역의 범위도 점차 확대되어 저층에는 무생물화 현상이 발생할 가능성이 높은 것으로 나타났다. 이에 가막만 소호 인근해역의 저산소화가 동물플랑크톤 분포에 미치는 모니터링을 위한 자료로서 이 연구와 같은 현장 연구를 실시함과 동시에 동물플랑크톤 주요 구성종과 용존산소 농도에 대한 배양 실험을 병행한 자료 확보를 통해서 보완해야 할 부분이라고 판단된다.

적 요

가막만 소호 인근해역의 용존산소 농도에 따른 동물플랑크톤 군집 동태를 연구하기 위해 2005년 8월 22일부터 9월 15일까지 연구를 실시하였다. 본 연구결과 저층의 용존산소 농도가 3 mg L^{-1} 이하일 때는 동물플랑크

톤 출현 개체수는 현저히 낮게 나타나거나 전혀 나타나지 않았다. 수층별 분포와 출현 개체수에 대한 저층의 저산소화 영향을 연구한 결과, 용존산소 농도는 저층으로 갈수록 낮게 나타났으며, 연구해역의 동물플랑크톤 출현 개체수는 대부분 표층에서 많이 나타났다. 연구해역의 수층별 동물플랑크톤 총 출현 개체수를 분산분석 (ANOVA-test)을 실시한 결과 유의한 차이를 나타냈다 ($P < 0.05$). 동물플랑크톤의 전체적인 출현 개체수에서는 요각류 유생, *Oithona sp.*, 그리고 유충섬모충류가 용존산소농도가 3 mg L^{-1} 이하인 수층에서 낮게 나타났다. 결과적으로, 이러한 환경 조건은 가막만 소호 인근해역의 동물플랑크톤 수층 분포에 영향을 주는 환경요인으로 용존산소 농도에 의해서 조절되고 있음을 확인할 수 있다.

사 사

이 연구는 국립수산과학원 세부과제인 '유기오염 탐색 기법 연구'의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 현장조사와 실험에 적극 협조하여 주신 남해연구소 해양환경팀 연구원들과 논문의 향상을 위해 세심하게 심사하여 주신 심사위원들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 과학기술부. 2000. 한국 연안해역에서의 적조발생 예보 및 억제기작 확립에 관한 연구, pp.396.
- 김광수. 2001. 섬진강 하류의 동물플랑크톤 군집에 관한 생태학적 연구. 전남대학교 박사학위논문. pp.170.
- 윤양호. 2000. 가막만 북서부해역 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 특성. 여수대학교 수산과학연구소 논문집. 9:34-47.
- 임병진. 1992. 한강하류계에서 동물플랑크톤 군집의 생태학적 연구. 한양대학교 박사학위논문. pp.192.
- Bollens SM and BW Frost. 1991. Diel vertical migrations in zooplankton: rapid individual response to predators. J. Plankton Res. 136:1359-1365.
- Calbet A, S Garrido, E Saiz, M Alcaraz and CM Duarte. 2001. Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean waters: the importance of the smaller size fractions. J. Plankton Res. 23:319-331.
- Diaz RJ and R Rosenberg. 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioral responses of benthic macrofauna. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 33:245-303.
- Haury LR, H Yamazaki and DL Fey. 1992. Simultaneous mea-

- surements of small-scale physical dynamics and zooplankton distribution. *J. Plankton Res.* 14:513-530.
- Hong JS And HS Lim. 1997. Benthic community recovery after hypoxia stress in Chinhae Bay, Korea. pp.117. In EMBS. Lysekil. Sweden.
- Howell P and D Simpson. 1994. Abundance of marine resources in relation to dissolved oxygen in Long Island Sound. *Estuaries* 17:394-402.
- Keister JE, ED Houde and DL Breitburg. 2000. Effects of bottom-layer hypoxia on abundances and depth distributions of organisms in Patuxent River, Chesapeake Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 205:43-59.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2005. Annual report of automatic weather station data (Yeosu). <http://www.kma.go.kr>
- Lampitt RS and JC Gamble. 1982. Diet and respiration of the small planktonic marine copepod, *Oithona nana*. *Mar. Biol.* 66:185-190.
- Marcus NH, C Richmond, C Sedlacek, GA Miller and C Oppert. 2004. Impact of hypoxia on the survival, egg production and population dynamics of *Acartia tonsa* Dana. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 301:111-128.
- Parsons TR, Y Matia and CM Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, New York.
- Poulet SA and R Williams. 1991. Characteristics and properties of copepods affecting the fourth international conference on copepoda. *Bull. Plankton Soc. Japan. Spec.*, pp. 271-290.
- Rabalais N and RE Turner. 2001. Hypoxia in the northern Gulf of Mexico: description, causes and change. pp.1-36. In Rabalais N, Turner RE (Eds) *Coastal Hypoxia: Consequences for Living Resources and Ecosystems* (Rabalais N and RE Turner, eds.). American Geophysical Union, Washington, DC.
- Roman MR, AL Gauzens, WK Rhinehart and JR White. 1993. Effects of low oxygen waters on Chesapeake Bay zooplankton *Limnol. Ocenogr.* 38:1603-1614.
- Selberg CD, LA Eby and LB Crowder. 2001. Hypoxia in the Neuse River Estuary: responses in blue crabs and crabbers. *North Am. J. Fish. Manage.* 21:358-366.
- Stalder LC and NH Marcus. 1997. Zooplankton responses to hypoxia: behavioral patterns and survival of three species of calanoid copepods. *Mar. Biol.* 127:599-607.
- UNESCO. 1968. Zooplankton sampling. pp. 174. In *Monographis on Oceanographic Methodology* 2. UNESCO. Paris.
- Zarkanellas AJ. 1979. The effects of pollution induced oxygen deficiency on the benthos in Elefsis Bay, Greece. *Mar. Environ. Res.* 2:191-207.

Manuscript Received: March 21, 2006

Revision Accepted: June 21, 2006

Responsible Editor: Wonchoel Lee