Vol. 28(3):305-315 | Ocean and Polar Research | September 2006

Article

새만금 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 분포: 방조제 건설에 따른 군집 변화

유정규[1*] · 정정호[2] · 남은정[1] · 정경미[1] · 이순우[1] · 명철수[1]

[1](주) 이엔씨 기술연구소
(405-839) 인천광역시 남동구 구월4동 1319-3 양지빌딩
[2]광운대학교 환경공학과
(139-701) 서울특별시 노원구 월계동 447-1번지

Zooplankton Community and Distribution in Relation to Water Quality in the Saemangeum Area, Korea: Change in Zooplankton Community by the Construction of Sea Dyke

Jeong-Kyu Yoo[1*], Jeong-Ho Jeong[2], Eun-Jung Nam[1], Kyung-Mi Jeong[1], Soon-Woo Lee[1], and Cheol-Soo Myung[1]

[1]*Environmental Engineering and Consultant Technology Institute*
Incheon 405-839, Korea
[2]*Department of Environmental Engineering, College of Engineering*
Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

Abstract : In order to examine the transition of zooplankton community by the Saemangeum sea dyke, the temporal and spatial distribution of zooplankton community with relation to environmental variables was investigated using data collected in 2004 and 2005. Sixty-one zooplankton taxa were identified. Average abundance (except *Noctiluca scintillans*) ranged from 236 to 1810 indiv. m^{-3}, and was the highest in May 2005 and the lowest in February 2005. Dominant species were *Acartia hongi* and *Paracalanus indicus*, and cirripedia nauplii and zoea were dominant groups. After the closure of the 4th sea dyke, brackish species such as *Tortanus derjugini* and *Pseudodiaptomus inopinus* are widely distributed while the abundance of *N. scintillans* decreased in the northern area inside the dyke. In canonical correspondence analysis (CCA) for examining the relationships among zooplankton, stations and environmental variables, the northern area inside the dyke was distinguished from the other areas and was represented by *Acartia* spp. and brackish copepods. Also, this area was characterized by high chlorophyll *a* concentration and COD, and low diversity.

Key words : zooplankton community, environmental variables, brackish species, CCA

1. 서 론

하구 연안역에서 동물플랑크톤 분포는 담수 유입과 조석에 의한 시공간적인 다양한 환경 변이로 인해 불규칙한 변화 양상을 보이며, 복잡한 환경에 적응된 소수종이 출현하여 다양성이 낮은 경향을 보인다(Miller 1983; Kimmerer 1993). 동물플랑크톤의 분포 및 현존량을 조절하는 환경 요인으로는 수온, 염분 등 물리적인 요인과 먹이 농도 및 생물 간 상호작용 등 생물학적 요인 등이 중요하게 인식된다. 하구 연안역에서 염분은 동물플랑크톤의

*Corresponding author. E-mail : jkyoo@ecocean.co.kr

공간적 분포에 가장 큰 영향을 미치고(서 등 1991; 윤과 최 1997; Rippingale and Hodgkin 1977; Jones *et al.* 1990) 수온 변화는 계절적 종 변동의 원인이 된다(윤과 최 2003; Calbet *et al.* 2001; Lo *et al.* 2004; Jamet *et al.* 2005). 또한 동물플랑크톤이 수온과 염분에 대한 내성 범위가 크다는 것은 물리적 환경 요인보다 먹이 농도와 먹이 경쟁 또는 주야 수직 이동 등 생물학적인 요인이 크게 작용할 수 있다(박 등 2002; Paffenhöffer and Stearns 1988; Esteves *et al.* 2000). 따라서 하구 연안 먹이망에서 동물플랑크톤은 복잡한 환경 변화에 적응하고 대처해가며 개체군을 유지하게 된다(Hough and Naylor 1991; Gupta *et al.* 1994; Morgan *et al.* 1997; Ueda *et al.* 2004).

새만금 해역에서는 방조제 길이가 33 km에 이르고 총 면적은 40,100 ha에 달하는 국내 최대 규모의 간척 사업이 진행중이다. 2003년 6월 북부 수역에서 4호 방조제로 인해 내, 외측 해역이 차단되었으며, 2006년 4월에 신시 및 가력 구간에 대한 끝물막이 공사가 진행되어 새로운 인공 호수가 생성되었다. 새만금호와 같은 인공 호수인 시화호는 초기에 호수 내의 지속적인 부영양화로 인해 방조제 건설 전보다 엽록소 *a* 농도가 94배 증가하였으며, 이는 저층의 저산소 환경을 유도하였다(최 등 1997). 동물플랑크톤은 연안종이 소멸하고 기수종의 단일 우점현상이 나타났다(박과 허 1997). 또한 수질 개선을 위해 배수 갑문을 통해 호수의 물을 연안으로 방류함으로서 연안 생태 환경에 영향을 미치기도 하였다(이 등 1997; 홍 등 1997; 김과 이 2000). 현재는 해수 유통을 전제로 수질 개선에 노력하고 있으나 방조제 내측과 외측에서 여전히 빈번한 식물플랑크톤 대증식과 동물플랑크톤 소수종에 의한 군집 유지가 지속되는 생태학적 불안정성을 보이고 있다(해양수산부 2005b). 따라서 새만금 해역에서는 방조제 건설에 따른 인위적인 환경 변화로 인해 큰 규모의 생물 군집 변화가 예상된다. 본 연구에서는 2004년부터 2005년까지 4호 방조제 차단 후 끝물막이 공사 전 새만금 해역 동물플랑크톤의 군집 구조와 수질 환경 요인을 파악하고 방조제 건설에 따른 수질 환경변화가 동물플랑크톤 군집 구조에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

2. 재료 및 방법

동물플랑크톤 조사는 2004년과 2005년 5, 7, 9월에 공통적으로 수행되었으며, 2005년에는 2월에도 수행되었다. 대조기 저조를 기준으로 조석 시간을 최대한 동일 시하기 위해 선박 4척을 동시에 운영하여 저조 2시간 전후 이내로 조사를 수행하였다. 조사 정점은 방조제 내측의 저층 지형 변화로 야기된 수심 변화에 의한 선박의 접근 불가 및 기상 상태에 따라 조사 시기별로 차이를 보였으나

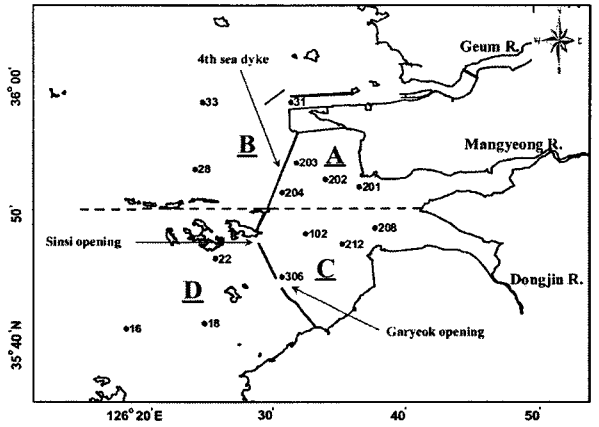

Fig. 1. A map showing the sampling stations and areas.

본 연구에서는 2004년과 2005년에 공통적으로 조사된 14개 정점을 취하였다. 조사 해역은 4호 방조제 차단에 따라 해수 유통이 차단된 북부 구간을 내측 A 해역과 외측 B 해역으로 구분하였으며, 개방구간을 통해 해수가 유통되는 남부 구간을 내측 C 해역과 외측 D 해역으로 구분하였다(Fig. 1). 시료 채집은 원추형 네트(망구 45 cm, 망목 300 μm)를 이용하여 저층 바닥부터 표층까지 2 kont로 경사 예인하였으며, 수심이 5 m 이하인 경우 표층에서 수평 채집을 하였다. 여과된 해수량 측정을 위해 네트에 유량계(General Oceanics)를 부착하였다. 채집된 시료는 채집병으로 옮긴 후 중성 포르말린으로 시료 내 최종 농도가 4~5% 되도록 즉시 고정하였다. 고정된 시료는 실험실에서 부표품을 취하여 계수판으로 옮긴 후 해부현미경(Olympus SZ60) 하에서 우점종이 100개체 이상 되게 동정 및 계수하였다. 경우에 따라서 동물플랑크톤 부속지를 해부하여 광학현미경(Olympus BX51) 하에서 동정하였다. 동정된 각 동물플랑크톤 분류군은 단위 체적(1 m^3) 당 개체수로 환산하였다. 요각류는 대부분 종 수준까지 동정하였으며, 일부 동물플랑크톤 및 부유유생은 동정 상의 어려움으로 인해 상위 분류군으로까지만 구분하였다. 야광충(*Noctiluca scintillans*)은 네트로 채집된 시료에서 부표품을 취하여 해부 현미경 하에서 계수하였으며, 네트 채집에 의한 오류 가능성이 크기 때문에 전체 동물플랑크톤 정량 분석에서는 제외하였으며, 단지 현존량 변화의 경향성을 파악하기 위해 계수하였다.

환경 요인으로 수온, 염분, 엽록소 *a* 농도, 용존산소(DO)를 측정하였다. 방조제 내측에서는 낮은 수심으로 인해 표층 조사만 수행하였으며, 외측에서는 표층과 저층을 구분하여 조사하였다. 또한 해양에서 부영양화에 따른 동물플랑크톤 군집 변화 및 주요 지표종의 가치를 평가하기 위해 화학적 산소요구량(COD)을 측정하였다.

조사 시기별 수괴 특성에 따른 동물플랑크톤 군집 분포

를 파악하기 위해 정준대응분석(CCA, Canonical Correspondence Analysis)을 실시하였으며, 다변량 통계 패키지 프로그램(MVSP, verson 3.2)를 이용하여 수행하였다. 동물플랑크톤 자료는 야광충을 제외하고 조사 시기별 우점종의 누적 개체수가 전체 개체수의 90% 이상 되는 상위 7~15 순위까지를 취하여 분석에 이용하였다. 자료값의 정규분포 가정이 필요한 경우 자료값을 로그(log) 변환하여 분석하였다. 계절적인 변화 양상보다 방조제 건설에 따른 동 시기의 해역별 연간 변화를 보기 위해 2004년과 2005년의 동물플랑크톤 및 환경요인 자료를 같은 조사 시기별로 구분하여 분석하였다. 동물플랑크톤 군집 구조 및 안정성을 해역별로 분석하기 위한 종 다양성지수는 자료값을 자연로그($\log_e$) 변환하여 다변량 통계 패키지 프로그램(MVSP version 3.2)을 이용하여 구하였다(Shannon and Weaver 1963).

3. 결 과

수질 환경

해역별 수질 환경 요인은 Table 1에 나타내었다. 수온은 다른 해역보다 A 해역에서 5월과 7월에 가장 높았으며 2월에 가장 낮았다. 그러나 9월에는 해역 간 수온 차이가 거의 없었다. 염분은 2월과 5월에 해역 간 차이가 가장 작게 나타났다. 풍수기인 7월과 9월에는 해역 간 편차가 크게 나타났는데 2004년 7월 A 해역에서는 평균 17.4 psu로 최소 염분이 관측되었다. 동 시기에 B 해역에서도 19.0 psu로 낮은 염분이 나타났으나 정점 간 편차가 매우 크고 수직적인 염분 차이도 10 psu에 달했다. 이와 같은 경향은 2005년 7월에도 공통적으로 나타났다. 용존 산소는 5월에 공통적으로 D 해역에서 상대적으로 높았으며, 7월에는 A 해역, 9월에는 D 해역 그리고 2월에는 B 해역에서 가장 높게 나타났다. 조사 시기별로는 전 해역에서 2월에 평균적으로 높았으며, 9월에 상대적으로 낮았다. 화학적 산소요구량은 2004년 9월을 제외하고 A 해역에서 상대적으로 높았다. 특히 7월 A 해역에서 화학적 산소요구량은 평균 5 mg l^{-1} 이상을 나타냈다. 엽록소 *a* 농도는 9월을 제외하고 A 해역에서 높은 경향을 보였다. 5월에는 A 해역에서 다른 해역과 비교해 높은 농도를 나타냈으며, 7월에는 내측 해역(A, C)에서 공통적으로 높은 특징을 보였다. 9월에는 B 해역에서 다른 해역보다 2배 이상 높은 농도가 나타났다.

주요 동물플랑크톤 분포

조사 기간 동안 출현한 동물플랑크톤은 총 61개 분류군이었으며, 이 가운데 13개 분류군의 동물플랑크톤이 전 계절에 출현하였다. 전 조사 시기에서 *Paracalanus indicus*, *Acartia hongi*, 야광충(*Noctiluca scintillans*), 십각류 유생(decapoda larvae) 그리고 따개비 유생(cirripedia nauplii) 등이 시공간적으로 가장 넓게 출현한 동물플랑크톤이었다. 조사 시기별로 야광충을 제외한 전체 동물플랑크톤의 평균 개체수는 236~1,810 indiv. m^{-3} 범위로 나타났으며, 2005년 2월에 가장 낮고 2005년 5월에 가장 높았다.

연중 출현한 *Acartia hongi*는 5월에 출현 개체수가 가장 높았다(Fig. 2a). 정점별 누적 개체수는 A 해역 정점 201과 B 해역 정점 31에서 각각 2,691 indiv. m^{-3}, 2,404 indiv. m^{-3}로 높게 나타났다(Fig. 2a). *Calanus sinicus*는 D 해역 정점 18에서 246 indiv. m^{-3}로 가장 높았으며, A 해역 정점 202에서 21 indiv. m^{-3}로 가장 낮았다(Fig. 2b). 이 종은 내측보다 외측에서 출현 개체수가 높은 특징을 보였으며, 내측에서도 방조제 부근에 인접할수록 출현 개체수가 높았다. *Centropages abdominalis*의 출현 개체수는 5월에 집중되는 특징을 보였으며, 누적 개체수는 D 해역에서 높게 나타났다(Fig. 2c). *Paracalanus indicus*는 B 해역 정점 31에서 2,383 indiv. m^{-3}로 가장 높았다(Fig. 2d). 주로 7월과 9월 등 고수온기에 출현 개체수가 집중되는 특징을 보였으며 다른 해역과 비교해 A 해역에서 출현 개체수가 가장 낮았다. 따개비 유생은 2004년 7월에 출현 개체수가 가장 높았다. A 해역 정점 204와 C 해역 정점 306 등 방조제 인근 내측 해역에서 출현 개체수가 높은 특징을 보였다(Fig. 2e). zoea는 고수온기에 출현 개체수가 높았으며, A 해역 정점 201, 203 그리고 C 해역 정점 306에서 다량 출현하였다(Fig. 2f). *Evadne tergestina*는 고수온기에 출현 개체수가 높았으며, 방조제 내측보다는 외측에서 상대적으로 높았다. A 해역에서는 출현 개체수가 매우 낮았으며, B 해역에서는 정점 28, 33에서 각각 564 indiv. m^{-3}, 593 indiv. m^{-3}로 높게 나타났다(Fig. 2g). *Acartia pacifica*는 2004년 9월 A 해역 중 가장 안쪽에 위치한 정점 201, 202에서 출현 개체수가 높았으나 2005년 9월에는 A 해역 정점 203, 204과 방조제 외측 정점 18, 31에서 높은 특징을 보였다(Fig. 2h). 전체 개체수 분포에서 제외된 야광충은 채집 시료 중 가장 다량 출현하였다. 이 종은 전 조사 시기에서 출현하였으나 주로 5월에 출현 개체수가 높았다. 출현 개체수는 B 해역에서 월등히 높은 경향을 나타냈다(Fig. 2i). 특히 정점 31과 28에서는 각각 282,180 indiv. m^{-3}, 219,464 indiv. m^{-3}로 출현하였다. *Tortanus derjugini*는 5월, 7월, 그리고 9월까지 출현하였으며, 2005년 7월과 9월에 A 해역에서 출현 개체수가 높았다(Fig. 2j). 정점별로는 정점 203에서 959 indiv. m^{-3}로 출현 개체수가 가장 높았다.

환경 요인과 동물플랑크톤의 관계

정준대응분석(CCA) 결과에서 제 1축(Axis 1)은 조사

Table 1. Temporal and spatial changes of average values in environmental variables. SD indicates Standard deviation, and S-B indicates the difference of each factor between surface and bottom.

Variable	Year	2004						2005							
	Month	May		Jul.		Sep.		Feb.		May		Jul.		Sep.	
	Area	Avr. ± SD	S-B	Avr. ± SD	S-B	Avr. ± SD	S-B	Avr. ± SD	S-B	Avr. ± SD	S-B	Avr. ± SD	S-B	Avr. ± SD	S-B
Temp. (°C)	A	14.2 ±0.7		25.3 ± 0.3		23.6 ± 0.3		2.4 ± 0.1		15.0 ± 0.6		26.2 ± 0.5		22.8 ± 0.2	
	B	13.2 ± 0.4	0.5	22.6 ± 1.1	1.8	23.0 ± 0.3	1.0	3.0 ± 0.2	0.0	14.9 ± 0.5	1.9	24.1 ± 0.6	2.7	22.9 ± 0.0	−0.1
	C	12.9 ± 0.4		25.0 ± 0.6		23.5 ± 0.2		2.8 ± 0.1		14.3 ± 0.4		25.2 ± 0.3		22.9 ± 0.1	
	D	12.2 ± 0.5	0.7	23.1 ± 0.8	1.9	22.9 ± 0.1	0.6	3.2 ± 0.1	0.0	13.8 ± 0.4	0.9	23.0 ± 0.6	1.7	22.9 ± 0.1	0.0
Sal. (psu)	A	29.4 ± 1.0		17.4 ± 2.4		25.9 ± 1.7		29.5 ± 1.2		30.2 ± 0.5		26.1 ± 1.7		28.5 ± 2.0	
	B	30.2 ± 1.1	−0.5	19.0 ± 14.8	−10.0	25.1 ± 6.8	−4.8	30.5 ± 1.7	−0.7	30.2 ± 1.8	−0.9	24.4 ± 8.7	−7.0	26.7 ± 6.7	−4.0
	C	30.2 ± 0.6		22.9 ± 1.9		26.3 ± 1.0		30.8 ± 0.4		30.8 ± 0.3		28.7 ± 0.8		30.1 ± 0.7	
	D	31.1 ± 0.3	−0.2	27.6 ± 2.2	−1.5	29.7 ± 0.8	−0.8	31.5 ± 0.0	0.0	31.3 ± 0.1	−0.1	31.0 ± 0.5	−0.1	31.6 ± 0.5	−0.4
DO (mg/*l*)	A	7.4 ± 0.6		9.0 ± 1.5		5.9 ± 0.1		11.3 ± 0.7		8.3 ± 0.1		11.8 ± 1.0		7.5 ± 1.1	
	B	7.6 ± 0.8	−0.4	8.1 ± 0.5	0.4	6.6 ± 1.1	0.8	12.5 ± 0.2	0.2	8.2 ± 0.7	−0.6	8.7 ± 2.8	1.2	6.9 ± 0.7	0.0
	C	8.0 ± 0.3		8.4 ± 0.3		6.6 ± 0.8		12.1 ± 1.5		8.6 ± 0.1		11.8 ± 0.7		6.5 ± 0.7	
	D	8.5 ± 0.2	−0.1	8.4 ± 0.5	1.1	7.4 ± 0.8	0.0	10.1 ± 2.1	−0.1	9.0 ± 0.2	0.0	10.9 ± 0.8	1.7	7.5 ± 0.9	0.6
COD (mg/*l*)	A	3.5 ± 1.2		5.4 ± 0.9		2.2 ± 0.7		2.7 ± 0.4		3.2 ± 0.5		5.1 ± 0.6		2.7 ± 0.7	
	B	3.1 ± 1.1	0.1	2.6 ± 0.9	0.3	2.7 ± 0.8	0.9	2.0 ± 0.2	0.0	1.8 ± 0.5	0.3	2.7 ± 0.3	1.2	2.1 ± 1.0	0.5
	C	3.5 ± 0.7		4.2 ± 0.8		2.3 ± 0.7		2.3 ± 0.2		2.7 ± 0.4		3.9 ± 0.3		1.8 ± 0.3	
	D	3.3 ± 0.3	0.2	3.2 ± 0.6	−0.1	2.2 ± 0.5	0.1	2.0 ± 0.3	0.0	1.5 ± 0.2	0.2	3.1 ± 0.9	1.3	1.3 ± 0.1	−0.1
Chl. *a* (*μg/l*)	A	4.6 ± 2.3		11.1 ± 2.8		3.2 ± 0.9		11.7 ± 3.6		7.0 ± 4.7		20.0 ± 11.5		2.7 ± 0.9	
	B	1.1 ± 0.4	−0.4	1.8 ± 1.0	0.0	9.9 ± 9.6	6.5	8.0 ± 4.6	−0.3	1.0 ± 0.3	−0.3	4.0 ± 0.6	1.0	7.7 ± 1.3	0.2
	C	2.9 ± 0.6		12.4 ± 4.2		4.6 ± 0.3		8.2 ± 2.1		3.3 ± 0.9		15.3 ± 6.3		2.6 ± 0.1	
	D	1.1 ± 0.2	−0.2	8.8 ± 2.9	3.2	4.7 ± 0.9	1.7	3.9 ± 2.4	−1.1	1.8 ± 0.6	−0.7	2.4 ± 0.8	−2.2	1.5 ± 0.2	−0.3

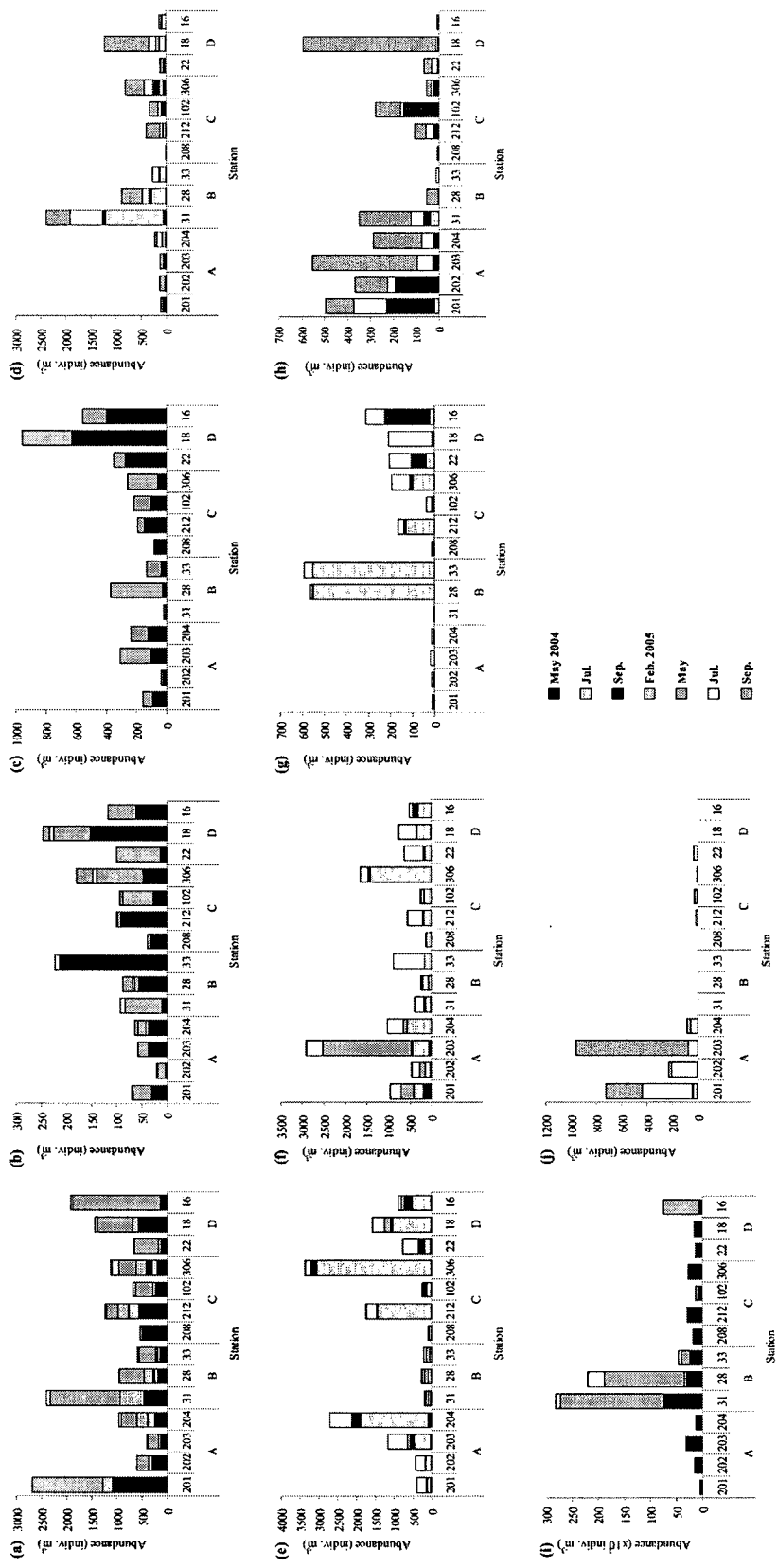

Fig. 2. Temporal and spatial distribution in abundance of dominant zooplankton species in the Saemangeum area. (a) *Acartia hongi*, (b) *Calanus sinicus*, (c) *Centropages abdominalis*, (d) *Paracalanus indicus*, (e) cirripedia nauplii, (f) zoea, (g) *Evadne tergestina*, (h) *Acartia pacifica*, (i) *Noctiluca scintillans* (j) *Tortanus derjugini*.

Table 2. Summary statistics for the first two axes from canonical correspondence analysis(CCA) of zooplankton species, station and environmental variables in the Saemangeum area.

Month	Feb.		May		Jul.		Sep.	
Axis	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2
Eigenvalues	0.07	0.04	0.05	0.03	0.10	0.03	0.08	0.04
Percentage	29.42	19.03	21.48	14.18	25.62	8.64	13.58	7.26
Cum. Percentage	29.42	48.44	21.48	35.66	25.62	34.26	13.58	20.78
Cum.Constr.Percentage	55.39	91.22	46.66	77.47	57.02	76.25	47.05	72.31
Spec.-env. correlations	0.93	0.76	0.83	0.82	0.86	0.68	0.62	0.71

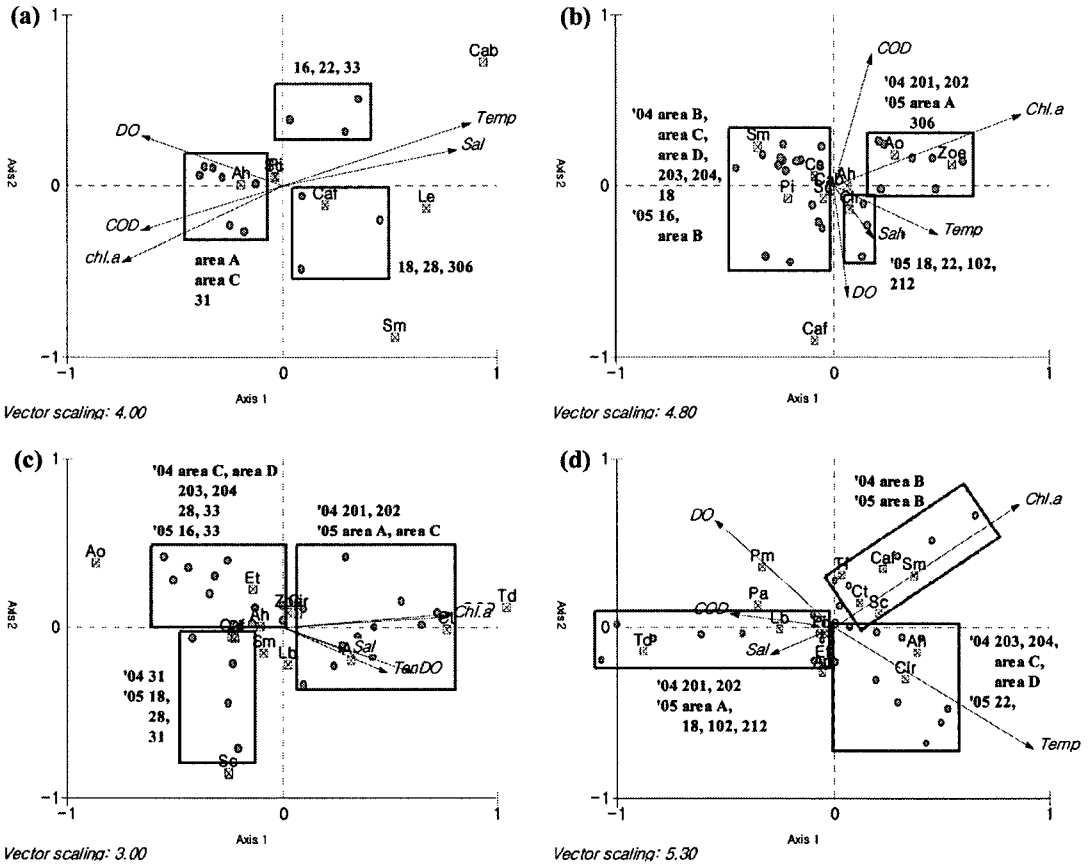

Fig. 3. Canonical correspondence analysis (CCA) biplot with first two axes from CCA of zooplankton species, station and environmental variables in the Saemangeum area. Arrows represent environmental variables, grey circles represent station scores and squares represent species scores. Sm: Scyphomedusa juvenile, Sc: *Sagitta crassa*, Et: *Evadne tergestina*, Ah: *Acartia hongi*, Ao: *Acartia omorii*, Ap: *Acartia pacifica*, Cs: *Calanus sinicus*, Cab: *Centropages abdominalis*, Ct: *Centropages tenuiremis*, Lb: *Labidocera bipinnata*, Le: *Labidocera euchaeta*, Pa: *Paracalanus aculeatus*, Pi: *Paraclanus indicus*, Pm: *Pseudodiaptomus marinus*, Td: *Tortanus derjugini*, Tf: *Tortanus forcipatus*, Caf: *Corycaeus affinis*, Cir: cirripedia nauplii and Zoe: zoea. (a) February, (b) May, (c) July and (d) September.

시기별로 0.05(5월)~0.10(7월)의 고유치(eigenvalues) 범위를 나타냈으며, 제 2축(Axis 2)은 0.03(5월)~0.04(2월)의 범위를 나타냈다(Table 2). 제 1, 2축의 전체 자료 분산에 대한 누적 기여율은 조사 시기 동안 20.78(9월)~48.44%(2월)를 나타냈다. 제 1축에 대한 동물플랑크톤과 환경 요인의 상관계수는 0.62(9월)~0.93(2월)의 범위를 보였으며, 제 2축은 0.68(7월)~0.82(5월)의 범위를 나타냈다. 2월과 5월에는 제 1, 2축에서 동물플랑크톤과 환경 요인의 상관

성이 높은 것으로 나타났다. 7월에는 제 1축에서 높은 상관성이 나타났다. 2월 조사에서 *Acartia hongi*는 화학적 산소요구량, 용존산소 그리고 엽록소 *a* 농도와 상관성이 높았으며, 방조제 내측 해역(A, C 해역)에서 특징적으로 출현하였다(Fig. 3a). 수온과 염분이 상대적으로 높은 외측 해역에서는 *Centropages abdominalis*와 *Labidocera euchaeta*가 특징적으로 출현하는 경향을 보였다. 5월에는 *Acartia omorii*와 zoea가 엽록소 *a* 농도와 높은 상관성을 보였으며, 이러한 수괴 특성은 A 해역에서 나타났다(Fig. 3b). 7월 조사에서는 *Tortanus derjugini*가 엽록소 *a* 농도 및 화학적 산소요구량과 높은 상관성을 나타냈다(Fig. 3c). 이 종은 A 해역에서 공통적으로 출현 개체수가 높았으며, 2005년에는 C 해역에서도 특징적으로 출현하였다. 9월에는 엽록소 *a* 농도가 높은 B 해역에서 *C. affinis*, *Centropages tenuiremis*, *Sagitta crassa* 등이 특징적으로 출현한 동물플랑크톤이었다(Fig. 3d). *T. derjugini*는 화학적 산소요구량과 양의 상관성을 보이며 7월과 유사한 분포 특성을 나타냈다.

4. 토 의

하구 연안에서 동물플랑크톤은 생식활동을 위한 적합한 염분 범위를 가지게 되는데, 이는 삼투압 조절에 영향을 받기 때문이다(Rippingale and Hodgkin 1977; Howarth *et al.* 2000). 따라서 염분은 동물플랑크톤의 공간적 분포를 결정하는 가장 중요한 인자가 된다(Jones *et al.* 1990; Cervetto *et al.* 1999). 그러나 하구 연안에서 동물플랑크톤은 생식활동 조건과 서식조건 범위가 다르게 나타나기도 한다. 즉, 적합한 조건을 벗어난 환경에서 생식이 불가능하더라도 서식이 가능하다는 것이다. 따라서 조석 주기에 따라 염분이 광범위하게 변하는 하구 연안에서 동물플랑크톤은 기수종과 해수종이 혼재되어 나타난다(Ambler *et al.* 1985; Krumme and Liang 2004). 만경, 동진강 하구역에서 동물플랑크톤 군집은 대부분 연안종으로 구성되며 넓은 범위의 염분에서 서식이 가능한 종들이 출현한다(서 등 1991). 그리고 섬진강 하구역에서는 전 계절 연안에서 흔히 볼 수 있는 동물플랑크톤이 주를 이루며, 전 계절 담수 유래종은 미약하게 출현한다(박 등 2002). 본 연구에서도 대부분 연안종이 동물플랑크톤 군집의 주를 이루었으며, 일부 기수종도 출현하였다.

정준대응분석(CCA)은 환경 요인과 동물플랑크톤 분포와의 관계를 이해하는데 최근에 널리 쓰이는 다변량 통계분석기법이다(Akbulut 2004; Dejen *et al.* 2004; Tackx *et al.* 2004; Marques *et al.* 2006). 정준대응분석은 두 가지 형태의 변수 집합을 하나의 지각도로 표현함으로써 다양한 환경 요인과 동물플랑크톤 군집 변화를 표현하는데 적절한 방법으로 이용된다. 정준대응분석 결과에서 4호 방조제 차단 후 나타난 해역별 수질 환경의 변화는 A 해역에서 가장 크게 나타났다. 2월을 제외하고 5월부터 9월까지 2004년에는 A 해역 상류에 위치한 정점에서 엽록소 *a* 농도와 화학적 산소요구량이 높게 나타났으나 2005년에는 이와 같은 현상이 A 해역의 전 정점으로 확장되었다. 화학적 산소요구량은 해역의 유기 오염 지표로 이용되며 부영양화 정도를 나타낸다. 부영양화된 연안 해역에서 동물플랑크톤 오염 지표종으로서 *Acartia* 개체군은 널리 알려져 있다(홍 등 1994; 강 등 1996; Ueda 1986; Kang and Lee 1990). 본 조사 결과에서도 A 해역에서는 공통적으로 *Acartia* 개체군이 다량 출현하는 경향을 나타냈다. 2월과 5월에는 *Acartia hongi*와 *A. omorii*, 7월에는 *A. pacifica*가 특징적으로 출현하였다. *A. hongi*는 저수온기에 대량 발생하며 먹이 농도가 높은 내만 수역에서 출현 개체수가 높다(윤과 최 2003). 따라서 *Acartia* 개체군은 엽록소 *a* 농도와 화학적 산소요구량이 높은 A 해역의 수괴 특성과 분포 경향이 일치하였다.

새만금 방조제 내측 해역에서는 4호 방조제 차단 후 지속적인 식물플랑크톤 현존량이 증가하며, 이는 화학적 산소요구량 증가 등 수질 환경 악화에 기여할 가능성이 제시되고 있다(해양수산부 2005a; 해양수산부 2006). 4호 방조제 차단 후 A 해역에서는 2004년보다 2005년에 엽록소 *a* 농도가 크게 증가하였다. 조류 약화에 따른 성층 강화와 영양염의 확산 저해는 내측 해역에서 엽록소 *a* 농도를 높이는 원인이 된다(해양수산부 2005a). 물리-화학적인 요인에 의해 4호 방조제 차단 후 내측에서 식물플랑크톤이 꾸준히 증가 추세를 보이고 있으나 이와 더불어 방조제 내측에서 야광충의 감소는 식물플랑크톤 증가에 긍정적인 요인이 될 수 있다. 2002년과 2003년 새만금 해역에서 야광충은 전 해역에서 출현 개체수가 높았으며, 특히 내측 해역에서 상대적으로 높았다(해양수산부 2003, 2004). 그러나 본 연구에서 야광충은 방조제 내측보다 외측 해역에서 출현 개체수가 높았으며, 특히 B 해역에서 월등히 높았다. 그리고 방조제 내, 외측 해역 간 개체수 차이는 2004년보다 2005년에 더욱 심화되었다. 이와 함께 엽록소 *a* 농도는 2004년보다 2005년에 방조제 내측 해역에서 크게 증가하였다. 야광충 분포 수역의 표층 염분 범위를 분석한 결과 30 psu 부근의 해역에서 가장 높은 개체수를 보였다. 기존 연구 결과를 보면 수온 10~28°C, 염분 28~36 psu 범위가 적합한 환경으로 제시된다(Huang and Qi 1997; Teda *et al.* 2004; Miyaguchi *et al.* 2006). 따라서 새만금에서 야광충의 대량 출현 시기는 춘계부터 추계 사이로 정의될 수 있으며 염분의 변화가 상대적으로 심한 방조제 내측에서 출현이 제한될 것으로 판단된다. 또한 강우에 의한 일시적인 염분 감소로 인해 야광충의 성장 및

출현이 저해된다는 Huang and Qi(1997)의 결과는 상대적으로 수심이 낮고 강우에 의한 염분 변화가 클 것으로 예상되는 A 해역에서 야광충의 감소를 뒷받침한다. 그러나 야광충이 조류 및 바람 등에 의해 불균등 분포를 하여 지역적인 변이성이 큰 바 분포 특성에 대한 조사는 추후에 면밀히 검토되어야 할 것으로 본다. 식물플랑크톤은 야광충 현존량 변화에 가장 큰 영향을 미치는 중요한 먹이원이며 하루에 현존량의 12% 이상이 야광충에 의해 제거되기도 한다(Buskey 1995; Elbrächter and Qi 1998; Nakamura 1998). 야광충 대증식 기간에는 식물플랑크톤에 대한 포식압 증가로 인해 야광충 현존량과 엽록소 *a* 농도 사이에는 음의 상관관계가 나타난다(Huang and Qi 1997). 따라서 본 조사에서 야광충의 섭식 실험이 수행되지는 않았지만 간접적으로 야광충의 감소는 식물플랑크톤에 대한 포식압 감소로 이어질 가능성이 있다.

방조제 차단 후 내측 해역에서 가장 큰 환경 변화는 해수 유통 저해로 인한 염분 감소를 들 수 있다. 비록 개방 구간을 통해 해수가 유통된다 할지라도 이는 일부 해역에 국한될 수 있다. 4호 방조제 건설 후 해수 유통이 차단된 내측의 반폐쇄적인 해역(A 해역)에서는 해수가 유통되는 내측 해역(C 해역)보다 하계에 염분 감소가 큰 폭으로 나타났다. 비록 B 해역에서 평균 염분이 A 해역과 비교해 큰 차이가 없다할지라도 B 해역은 금강 유출량에 큰 영향을 받는 정점 31을 제외하고 높은 염분을 나타내고 있으며, 수직적인 염분 차이가 평균 7~10 psu에 달한다. 4호 방조제 차단 후 나타난 방조제 내측의 낮은 염분 분포는 2002년과 2003년 새만금 해역 동물플랑크톤 조사 결과(해양수산부 2003, 2004)에서 출현하지 않던 *Tortanus derjugini*의 출현으로 확인된다. *Tortanus derjugini*는 정준대응분석결과에서 7월과 9월에 A 해역이 다른 해역과 구분되는 가장 중요한 동물플랑크톤으로 판명되었다. 2004년 정점 201, 202와 2005년 A 해역 전 정점이 유사 해역으로 구분되었는데 이는 *T. derjugini*의 2004년과 2005년의 분포 범위와 일치하는 것이다. 이 종은 국내 만경, 동진강 하구계에서 5월과 10월 사이에 출현하며 분포는 염분 18~26 psu 범위의 기수역으로 제한된다(Soh *et al.* 2001). 새만금 해역에서 이 종은 2004년에 최대 개체수가 47 indiv. m^{-3}였던데 반해 2005년에 959 indiv. m^{-3}로 크게 증가하였으며, 심지어 2005년 9월 조사에서는 방조제 내측 해역의 최고 우점종이었다. 분포 수역 범위는 2004년에는 A 해역 상류에서 주로 출현하였으나 2005년에는 내측 전 수역으로 분포가 확장되었으며, 심지어 신시 개방 구간 외측 수역까지 출현이 확인되었다. 또한 *T. derjugini*와 같은 기수성 요각류 *Pseudodiaptomus inopinus*는 내측 해역에서 분포 수역이 2004년보다 2005년에 넓게 확장되었다. 이 종은 만경, 동진강 하구역에서 염분 0.7~25.9 psu의 넓은 범위에서 출현하며 본 조사에서 가장 안쪽에 위치한 정점 201보다 안쪽에 위치한 상류 해역으로 분포가 제한된다(서 등 1991). 기수성 요각류가 방조제 내측에서 분포 수역이 2004년보다 2005년에 넓게 확장된 것은 4호 방조제 차단 후 나타난 현상으로 해수 유통 저해로 인해 내측의 저염분대 범위가 점차 확장되고 있음을 시사한다. 시화호에서는 방조제 차단 후 지속적인 담수화 작업으로 인해 기수성 요각류 *Sinocalanus tenellus*가 전체 동물플랑크톤 개체수의 90% 이상을 차지하기도 하였다(박과 허 1997).

하구 연안에서 담수 유입은 일차 생산력을 높이고 (Cloern *et al.* 1983; Mallin *et al.* 1993; Sin *et al.* 1999) 상위 단계 생물의 성장 및 생산에 기여한다(Montagna and Kalke 1992; Jassby *et al.* 1995; Kimmerer 2002). 그러나 물막이 공사에 의한 담수의 확산 저해는 방조제를 사이에 두고 내, 외측 간 생산력 차이를 심화시킨다. 내측 해역에서 높은 일차 생산은 상위 단계 생물군의 생산을 높일 수 있으나 과도한 식물플랑크톤의 증가는 오히려 생물기원 유기 오염 물질 증가를 초래하여 화학적 산소요구량 증가 등 수질 악화를 초래할 수 있다(해양수산부 2004, 2005a). 또한 과도한 담수 유입에 의한 급격한 염분 감소는 연안 생물군의 감소를 초래할 수 있다. 이는 담수 유입의 부정적인 측면으로 생물체의 삼투압 조절에 의한 스트레스 및 개체군 손실로 나타난다(Howarth *et al.* 2000). 외해역에서는 영양염 공급의 차단으로 인해 초기에 식물플랑크톤 감소가 나타나며 이는 동물플랑크톤 종수 및 개체수 감소로 이어진다(Lee and Park 2002). 본 결과에서는 방조제 건설로 인해 내, 외측 해역 간 엽록소 *a* 농도 차이는 심화되고 있는 것이 확인되었으며 내측에서 높은 엽록소 *a* 농도에 따른 화학적 산소요구량 증가도 관찰되었다. 그러나 동물플랑크톤의 현존량 및 생산 증가는 뚜렷하지 않았으나 일부 유기 오염 지표종의 출현이 확인되었으며, 염분 감소에 따른 기수종의 분포 확장이 나타났다. 따라서 일차 생산 증가에 따른 동물플랑크톤의 생산 증가보다는 담수의 확산 저해로 인해 발생하는 동물플랑크톤의 조성 변화만이 관찰되었다.

해수 유통을 전제로 한 갑문 운영 효과는 본 조사 결과에서 나타난 개방 구간 및 단절 구간의 내, 외측 해역에서 동물플랑크톤 군집 차이로 확인할 수 있다. 정준대응분석 결과에서 해수가 유통되는 C와 D 해역은 비교적 유사한 동물플랑크톤 군집과 수괴 특성을 보이는 것으로 나타났으며, 특히 2004년에 더욱 유사한 특징을 보였다. 2005년 결과에서는 C, D 해역이 다소 다른 수괴 특성을 보였는데 이는 방조제 내측 수질 변화의 확장에 따른 것으로 보인다. 특히 2005년 7월에 엽록소 *a* 농도와 화학적 산소요구량이 방조제 내측에서 전체적으로 높게 형성되어 C 해역 동물플랑크톤 군집에 변화를 초래한 것으로 보인다. 그러

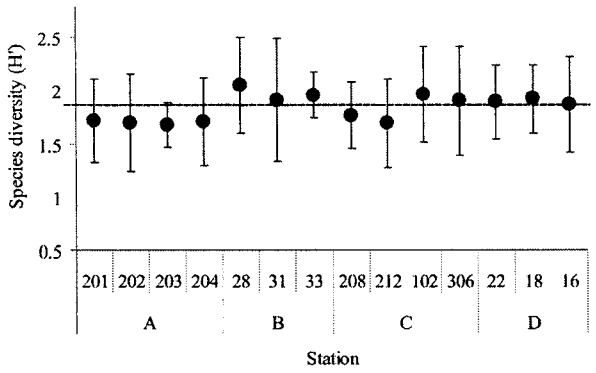

Fig. 4. Average of species diversity index (H') by Shannon and Weaver (1963). Dotted line indicates total average of species diversity index in the Saemangeum area.

나 전 조사 시기에서 해수 유통이 차단된 A와 B 해역이 서로 다른 수괴 특성 및 동물플랑크톤 군집을 보이는 것과는 대조적이다. 해수 유통 저해로 인한 동물플랑크톤의 군집 차이는 방조제 개방 구간과 단절 구간의 내, 외측 해역에서 동물플랑크톤 군집의 평균 종 다양성 지수 변화로 알 수 있다. 평균 종 다양성 지수는 개방 구간을 통해 해수가 유통되는 남부 외측 D 해역에서 1.91, 내측 C 해역에서 1.85로 나타났다. 그러나 방조제로 해수 유통이 차단된 북부 외측 B 해역에서 1.99, 내측 A 해역에서 1.70으로 나타나 해수 유통이 단절된 해역에서 내, 외측의 다양성 지수 차이가 뚜렷이 나타나고 있다(Fig. 4). C 해역에서 상류측 정점은 A 해역과 유사한 다양도 지수를 나타내었으나 방조제 부근 개방구간에 위치한 정점 102, 306은 외측 B, D 해역과 유사한 다양성 지수를 보였다. 따라서 해수 유통이 차단된 방조제 내, 외측 수역은 정준 대응 분석결과에서 나타난 것처럼 다른 수괴 특성에 의해 상이한 동물플랑크톤 군집이 나타나며 해수가 유통되는 일부 해역에서는 비교적 유사한 군집이 나타나는 것이 확인되었다.

새만금 해역은 끝물막이 공사 전 이미 지형적으로 반폐쇄된 해역에서 가장 큰 생물학적 변화를 보이고 있다. 따라서 끝 물막이 공사가 완료되면 일부 해역에서 나타나고 있는 동물플랑크톤 군집 변화는 내측의 전 수역으로 확대될 것이며, 갑문 운영을 통한 해수 유통 효과는 조사 결과에서 보듯이 일부 해역으로 제한될 가능성이 높다.

사 사

본 연구는 해양수산부 "새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구(BSPM 26003-1686-4, 32001-1760-4)"의 일환으로 수행되었습니다. 논문을 세세하게 검토해주신 심사위원님과 수질자료 분석에 도움을 주신 한국해양연구원 김은수 박사님, 박준건 연구원님께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

강영실, 박주석, 이삼석, 김학균, 이필용. 1996. 진해만 수질환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성. *한국수산학회지*, 29, 415-430.

김동성, 이재학. 2000. 시화호 오염수 방류에 따른 중형저서동물의 군집변동. *한국환경생물학회지*, 18, 279-290.

박철, 이평강, 양성렬. 2002. 계절과 염분 변화에 따른 섬진강 하구역 동물플랑크톤의 분포 변화. *한국해양학회지*, 7, 51-59.

박철, 허성회. 1997. 시화호와 인근 해역의 동물플랑크톤 분포로 본 시화호의 생태적 안정성. *한국해양학회지*, 2, 87-91.

서해립, 서호영, 차성식. 1991. 만경 동진강 하구계의 동물플랑크톤의 분포와 염분. *한국해양학회지*, 26, 181-192.

윤석현, 최중기. 1997. 인천연안 동물플랑크톤 군집의 계절적 분포 특성. *황해연구*, 7, 91-104.

윤석현, 최중기. 2003. 경기만 동물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포. *한국해양학회지*, 8, 243-250.

이태원, 문형태, 허성회. 1997. 시화호 수질 악화에 따른 시화호와 주변 해역 어류의 종조성 변화. *한국해양학회지*, 2, 110-116.

최중기, 이은희, 노재훈, 허성회. 1997. 시화호와 시화호 주변 해역 식물플랑크톤의 대증식과 일차 생산력에 관한 연구. *한국해양학회지*, 2, 78-86.

해양수산부. 2003. 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구 (1차년도), 수질 모니터링 및 모델링 연구. BSPM139-03-1514-4, 298 p.

해양수산부. 2004. 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구 (2차년도), 해양수질분야. BSPM195-04-1581-4. 293 p.

해양수산부. 2005a. 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구 (3차년도), 해양수질환경 모니터링 분야. BSPM26003-1686-4. 360 p.

해양수산부. 2005b. 시화호 해양환경 개선 사업. BSPM32900-1749-4. 686 p.

해양수산부. 2006. 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구 (4차년도), 해양수질환경 모니터링 분야. BSPM32001-1760-4. 320 p.

홍성윤, 마채우, 강영실. 1994. 부산항 해역의 지표성 요각류 분포 및 동물플랑크톤 군집. *한국해양학회지*, 29, 132-144.

홍재상, 정래홍, 서인수, 윤건탁, 최병미, 유재원. 1997. 시화 방조제의 건설은 저서동물군집의 시공간적인 분포에 어떠한 영향을 미쳤는가?. *한국수산학회지*, 30, 882-895.

Akbulut, N. 2004. The determination of relationship between zooplankton and abiotic factors using canonical correspondence analysis (CCA) in the Ova stream (Ankara/ Turkey). *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, 32, 434-441.

Ambler, J.W., J.E. Cloern, and A. Hutchinson. 1985. Seasonal cycles of zooplankton from San Francisco Bay. *Hydrobiologia*, 129, 177-197.

Buskey, E. 1995. Growth and bioluminescence of *Noctiluca scintillans* on varying algal diets. *J. Plankton Res.*, 17, 29-40.

Calbet, A., S. Garrido, E. Saiz, M. Alcaraz, and C.M. Duartel. 2001. Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean waters: The importance of the smaller size fractions. *J. Plankton Res.*, 23, 319-331.

Cervetto, G., R. Gaudy, and M. Pagano. 1999. Influence of salinity on the distribution of *Acartia tonsa* (Copepoda, Calanoida). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 239, 33-45.

Cloern, J., A. Alpine, B. Cole, R. Wong, J. Arthur, and M. Ball. 1983. River discharge controls phytoplankton dynamics in the northern San Francisco Bay estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 16, 415-429.

Dejen, E., J. Vijverberg, L.A.J. Nagelkerke, and F.A. Sibbing. 2004. Temporal and spatial distribution of microcrustacean zooplankton in relation to turbidity and other environmental factors in a large tropical lake (L. Tana, Ethiopia). *Hydrobiologia*, 513, 39-49.

Elbrächter, M. and Z.Y. Qi. 1998. Aspect of *Noctiluca* (Dinophyceae) population dynamics. p. 315-335. In: *Physiological Ecology of Harmful Algae Blooms*. ed. by D.M. Anderson, A.D. Cembella, and M.G. Hallegraeff. NATO ASI Series, Vol. G41. Springer-Verlag, Berlin.

Esteves, E., T. Pina, M.A. Chicharo, and J.P. Andrade. 2000. The distribution of estuarine fish larvae: Nutritional condition and co-occurrence with predators and prey. *Acta Oecol.*, 21, 161-173.

Gupta, S., D.J. Lonsdale, and D.P. Wang. 1994. The recruitment patterns of an estuarine copepod: A coupled biological-physical model. *J. Mar. Res.*, 52, 687-710.

Hough, A.R. and E. Naylor. 1991. Field studies on retention of the planktonic copepod *Eurytemora affinis* in a mixed estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 76, 115-122.

Howarth, R.W., D.P. Swaney, T.J. Butler, and R. Marino. 2000. Climatic control on eutrophication of the Hudson River estuary. *Ecosystems*, 3, 210-215.

Huang, C. and Y. Qi. 1997. The abundance cycle and influence factors on red tide phenomena of *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in Dapeng Bay, the South China Sea. *J. Plankton Res.*, 19, 303-318.

Jassby, A.D., W.J. Kimmerer, S.G. Monismith, C. Armor, J.E. Cloern, T.M. Powell, J.R. Schubel, and T.J. Vendlinski. 1995. Isohaline position as a habitat indicator for estuarine populations. *Ecol. Appl.*, 5, 272-289.

Jones, K.L., C.A. Simenstad, D.L. Higley, and D.L. Bottom. 1990. Community structure, distribution, and standing stock of benthos, epibenthos, and plankton in the Columbia River estuary. *Prog. Oceanogr.*, 25, 211-242.

Kang, Y.S. and S.S. Lee. 1990. Taxonomic reexamination and distribution of copepods known as *Acartia clausi* in coastal waters of Korea. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 23, 378-384.

Kimmerer, W.J. 1993. Distribution patterns of zooplankton in Tomales Bay, California. *Estuaries*, 16, 254-274.

Kimmerer, W.J. 2002. Effects of freshwater flow on abundance of estuarine organism: Physical effects or trophic linkages?. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 243, 39-55.

Krumme, U. and T.H. Liang. 2004. Tidal-induced changes in a copepod-dominated zooplankton community in a macrotidal mangrove channel in northern Brazil. *Zool. Stud.*, 43, 404-414.

Lee, C.R. and C. Park. 2002. Long-term variation of zooplankton composition and abundance in Asan Bay, Korea: is it influence of dyke construction? *The Yellow Sea*, 8, 9-19.

Lo, W.T., C.L. Chung, and C.T. Shih. 2004. Seasonal distribution of copepods in Tapong Bay, Southwestern Taiwan. *Zool. Stud.*, 43, 464-474.

Mallin, M.A., H.W. Pearl, J. Rudek, and P.W. Bates. 1993. Regulation of estuarine primary production by watershed rainfall and river flow. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 93, 199-203.

Marques, S.C., U.M. Azeiteiro, J.C. Marques, J.M. Neto, and M.Â. Pardal. 2006. Zooplankton and ichthyoplankton communities in a temperate estuary: spatial and temporal patterns. *J. Plankton Res.*, 28, 297-312.

Miller, C.B. 1983. The zooplankton of estuaries. p. 103-149. In: *Estuaries and enclosed seas*. ed. by B.H. Ketchum. Elservier, Amsterdam.

Miyaguchi, H., T. Fujiki, T. Kikuchi, V.S. Kuwahara, and T. Toda. 2006. Relationship between the bloom of *Noctiluca scintillans* and environmental factors in the coastal waters of Sagami Bay, Japan. *J. Plankton Res.*, 28, 313-324.

Montagna, P.A. and R.D. Kalke. 1992. The effect of freshwater inflow on meiofaunal and macrofaunal populations in the Guadalupe and Nueces Estuaries, Texas. *Estuaries*, 15, 307-326.

Morgan, C.A., J.R. Cordell, and C.A. Simenstad. 1997. Sink or swim? Copepod population maintenance in the

Columbia River esturine turbity-maxima region. *Mar. Biol.*, 129, 309-317.

Nakamura, Y. 1998. Biomass, feeding and production of *Noctiluca scintillans* in the Seto Inland Sea, Japan. *J. Plankton Res.*, 20, 2213-2222.

Paffenhöfer, G.A. and D.E. Stearns. 1988. Why is *Acartia tonsa* (Copepoda: Calanoida) restricted to nearshore environments?. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 42, 33-38.

Rippingale, R.J. and E.P. Hodgkin. 1977. Food availability and salinity tolerance in a brackish water copepod. *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.*, 28, 1-7.

Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The Mathematical Theory of Communication. Univ. Illinois Press, Urbana. 117 p.

Sin, Y., R.L. Wetzel, and I.C. Anderson. 1999. Spatial and temporal characteristics of nutrient and phytoplankton dynamics in the York River estuary, Virginia: analyses of long-term data. *Estuaries,* 22, 260-275.

Soh, H.Y., H.L. Suh, S. Ohtsuka, Y.H. Yoon, and S.D. Choi. 2001. Taxonomic studies on brackish copepods in Korean waters-II. Ontogeny and phylogeny of appendages in copepodid stages of *Tortanus derjugini* Smirnov, 1935 (Copepoda, Calanoida). *J. Plankton Res.*, 23, 1157-1169.

Tackx, M.L.M., N.D. Pauw, R.V. Mieghem, F. Azemar, A. Hannouti, S.V. Damme, F. Fiers, N. Daro, and P. Meire. 2004. Zooplankton in the Schelde estuary, Belgium and the Netherlands. Spatial and temporal patterns. *J. Plankton Res.*, 26, 133-141.

Teda, K., S. Pithakpol, and S. Montani. 2004. Seasonal variation in the abundance of *Noctiluca scintillans* in the Seto Inland Sea, Japan. *Plank. Biol. Ecol.*, 51, 7-14.

Ueda, H. 1986. Taxonimic reexamination and geographic distribution of copepods known as *Acartia clausi* in Japan coastal and inlet waters. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, 42, 134-138.

Ueda, H., A. Terao, M. Tanaka, M. Hibino, and Md. S. Islam. 2004. How can river-estuarine planktonic copepods survive river floods? *Ecol. Res.*, 19, 625-632.

Received Jun. 16, 2006
Accepted Aug. 21, 2006