

Article

한강 하구역에서 섬모충류 군집의 조성 및 계절에 따른 변동

홍현표^{1,3*} · 송태윤¹ · 이인우¹ · 김경태²¹(주)에코션

(406-840) 인천광역시 연수구 송도동 7-27 산업기술연구집적센터 503

²한국해양연구원 해양환경·방제연구부

(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29

³인하대학교 해양학과

(402-751) 인천광역시 남구 용현동 253

Tidal and Seasonal Variations in Ciliate Abundance and Biomass in the Han River Estuary

Hyun Pyo Hong^{1,3*}, Tae Yoon Song¹, In Woo Lee¹, and Kyung Tae Kim²¹ECOCEAN Co., Ltd.

Industrial Technology R&D Center, Incheon 406-840, Korea

²Marine Environmental & Pollution Prevention Research Department, KORDI

Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

³Department of Oceanography

Inha University, Incheon 402-751, Korea

Abstract : Ciliate abundance and biomass were determined at three anchored stations in the Han River estuary trimonthly from May 2006 to February 2008. The total abundance of ciliates ranged from 0-13,853 cells l^{-1} and biomass ranged from 0.00-73.98 $\mu g C l^{-1}$. Owing to the large seasonal temperature variation (range 0.20-27.2°C), ciliate abundance displayed marked seasonal variation, being higher in summer than in other seasons. Tintinnids dominated the ciliate communities at station YC where suspended sediment was highest. Difference of ciliate biomass between ebb tide and flood tide were irregular. Seasonal variations of ciliate carbon biomass at each station were related to temperature, suspended sediment and chl. *a*, especially nano chl. *a*. Geographical variations of ciliate carbon biomass in each season were related to suspended sediment and salinity.

Key words : ciliate, tintinnids, oligotrichs, biomass, Han River estuary

1. 서 론

해양에서 섬모충류는 소형동물플랑크톤(20~200 μm)의 생물량에서 자주 우점하는 중요한 분류군이다(Pierce and Turner 1992). 섬모충류는 그 크기가 작아 후생동물플랑크톤이 물리적 또는 생리적으로 이용하기 어려운 미소 플랑

크톤과 극미소 플랑크톤의 중요한 포식자이며 상위 영양 단계의 먹이로서 중요한 역할을 한다(Capriulo et al. 1991; Paffenhofner 1998; Gonzalez 1999; Godahantaraman and Uye 2003; Vidjak et al. 2006). 환경의 변이성은 연안 생태계에서 동물플랑크톤의 시·공간적 분포양상을 결정 짓는 중요한 역할을 하며(Godahantaraman and Uye 2003; Bojanic et al. 2006), 일반적으로 섬모충류의 현존량은 식물플랑크톤, 박테리아 그리고 종속영양 미소편모류의 생

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

물량 변동 뿐 아니라 물리 변동과 관련 있다(Park and Marshall 2000; Garstecki et al. 2002; Peters et al. 2002; Kamiyama et al. 2003; Stelfox-Widdicombe et al. 2004). 하구역에서 물리, 화학, 생물학적 조건의 변동은 담수 흐름의 계절 또는 연 변화에 따라 크게 변하며(Kimmerer 2002), 온대 하구역은 수온의 연변동이 매우 크고, 담수와 해수의 혼합으로 넓은 범위의 염분 구배를 나타내는 생태계로 특징 지워진다(Barría De Cao et al. 2005).

연구 해역인 한강 하구역은 한반도 서해중부에 위치한 경기만에 속하며, 한강수와 외해수의 유입으로 인하여 물리적 혼합작용이 활발한 해역이다. 박(2004)은 해수의 침입이 이루어지는 상한 경계를 김포대교 하단의 신평수중보로 규정하였고, 담수의 직접적인 영향은 인천광역시 옹진군 영흥도 남단 수역까지라고 하였으며, 해수와 담수의 영향 범위를 고려했을 때 염분은 0.2~30.9 psu의 분포 범위를 나타낸다고 하였다.

조류는 반일조종형으로 1일 2회의 창·낙조류가 왕복성을 가지고 나타나며, 20 m 내외의 얇은 수심으로, 평균 최대 유속 1.19 m/s의 강한 조류와 평균 5.7 m의 큰 조차를 보인다(손 2001). 한강하구역의 주 수로인 염하수로와 석모수로에서는 상류로 갈수록 낙조시간이 길고, 창조시간이 짧은 전형적인 창조우세의 조석 비대칭 현상을 보여주고 있으나, 한강 담수의 유입량이 지속적인 영향을 미치고 있어 전체적인 잔차 흐름은 낙조방향이 우세한 해역이다(윤 2006).

한강 하구역은 북방한계선이 지나가는 지역으로 군사적인 이유로 인해 생태계 조사를 위한 접근이 용이하지 않다. 기존에 수행된 부유생태계 연구 결과들은 대부분 식물플랑크톤과 관련된 연구들로 일차생산력(권과 최 1994)과 군집구조에 관한 연구(유와 임 1991; 최와 권 1994; 김 등 1998; 권 등 2006; 서 등 2007)가 주로 수행되었다. 섬모충류에 대한 분류 및 생태학적 연구가 국내의 연근해에서 비교적 많이 수행되었으나(심 등 1995; 정 등 2000, 2002; 양과 최 2003; 이 등 2007; Yoo and Lee 1987; Yoo et al. 1988; Yoo and Kim 1990; Choi et al. 1995; Lee and Choi 2000; Lei et al. 2005a, 2005b) 한강 하구역에서 섬모충류에 관한 연구는 전무하다. 본 연구는 조석작용이 활발한 한강하구역에서 조석변동에 따른 섬모충류 군집 변동을 이해하기 위해 연속관측에 따른 군집 변동을 논의하였고, 섬모충류 군집의 계절 및 공간 분포와 환경요인과의 관계에 대하여 논의하였다.

2. 재료 및 방법

연구해역은 한강 하구역에 위치한 염하수로(YC), 석모수로(SC), 장봉수로(JC) 상의 세 정점이며(Fig. 1), 2006년

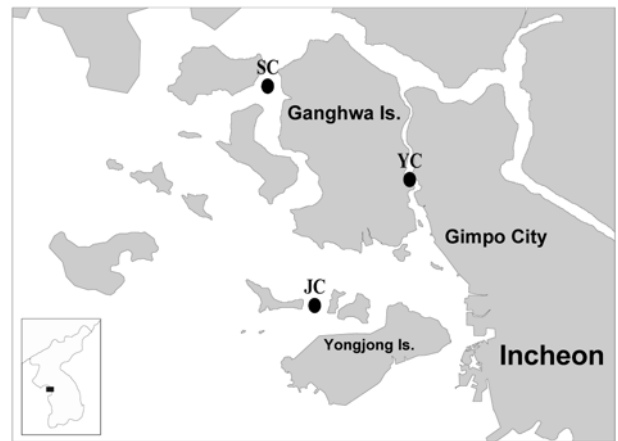


Fig. 1. Map of the Han river estuary with the locations of sampling stations.

5월부터 2008년 2월까지 분기별로 대조시에 총 8회 조사를 수행하였다. 조사 시기에 따라 8~13시간 연속관측을 수행하였으며, 1시간 간격으로 니스킨 채수기를 이용하여 표층 시료를 채집하였다.

환경요인 측정

물리적 환경요인은 CTD(Ocean seven 305, Idroaut)를 이용하여 표층에서 수온, 염분자료를 획득하였으며, 부유물질은 현장에서 표층수를 100~200 ml 여과지에 거른 후 실험실에서 측정하였다. 엽록소 a 는 크기에 따라 소형 엽록소 a ($>20 \mu\text{m}$)와 미소 엽록소 a ($<20 \mu\text{m}$)로 구분하였다. 측정방법은 해수 500 ml를 여과지(GF/F, Whatman)에 걸러 측정 시까지 -50°C 이하에서 보관하고, 90% 아세톤을 첨가하여 24시간 이상 냉장보관한 후 형광광도계(Turner Designs 10-AU Fluorometer)를 이용하여 측정하였다.

섬모충류 현존량 및 탄소량 분석

섬모충류 군집의 생물량 파악을 위해 현장에서 500 ml 폴리에틸렌 병에 표층수를 담아 루골용액으로 최종농도 2%되게 고정하였으며, 실험실에서 침전법을 이용하여 24시간 이상 침전시킨 후 50 ml로 농축하였다. 정량분석을 위하여 농축된 시료 1 ml를 취하여 Sedgwick Rafter 계수관에 넣고 광학현미경(BX51, Olympus)하에서 계수한 후 해수의 단위체적당 세포수를 플랑크톤 현존량으로 환산하였다. 정성분석을 위하여 농축된 시료를 적당량 slide glass위에 놓고 광학현미경 400-1000배하에서 Kofoid and Campbell(1929), Yamaji(1980), Yoo et al.(1988)과 Yoo and Kim(1990) 등의 참고문헌을 이용하여 동정하였다.

섬모충류의 부피(μm^3)는 크기와 형태를 바탕으로 기하학 공식을 이용하여 측정하였으며, 생체량(탄소량)은 피각을 가지지 않는 종들에 대해서 부피에 대한 탄소 전환값

으로 $0.19 \text{ pgC } \mu\text{m}^{-3}$ (Putt and Stoecker 1989)를 적용하였으며, 피각을 가지는 유충 섬모충류(Tintinnids)의 피각 부피($LV, \mu\text{m}^3$)에 대한 탄소량(C_t, pg) 전환은 $C_t = 444.5 + 0.053LV$ 의 회귀 방정식(Verity and Langdon 1984)을 이용하였다. 유충 섬모충류의 세포 부피(V)는 탄소량으로부터 부피에 대한 탄소량 전환값($0.19 \text{ pgC } \mu\text{m}^{-3}$)을 이용해 재 계산하였다.

시료 분석 및 자료처리

섬모충류는 피각이 없는 빈 섬모충류(oligotrichs), 피각이 있는 유충 섬모충류(tintinnids)로 구분하여 분석하였고, 광합성을 하는 *Mesodinium rubrum*은 섬모충류 현존량에서 제외시켰다. 현존량 및 탄소량 범위는 연속관측 중 최저값과 최고값을 사용하였으며, 평균값은 모든 관측 자료를 평균하여 표준오차(SE)와 함께 사용하였다. 계절별 연속 관측치의 평균값을 사용하여 계절 변동을 비교하였고, 정점 간 비교를 위해서는 모든 관측 자료의 평균을 이용하였다. 생물량 및 환경요인의 변동은 조사 시간에 따라 큰 차이를 나타내기 때문에 창조(flood tide, 저조에서 고조로 이어지는 모든 관측 자료)와 낙조(ebb tide, 고조에서 저조로 이어지는 모든 관측 자료) 구간으로 구분하였으며, T-test를 이용하여 조석에 따른 차이를 비교하였다. 섬모충류 생물량의 계절변동 원인을 파악하기 위하여 환경요인과 섬모충류 탄소량 간의 pearson 상관분석을 정점별로 수행하였고, 정점에 따른 섬모충류 생물량 변동을 파악하기 위하여 세 정점에서의 환경요인과 섬모충류 탄소량 간의 pearson 상관분석을 계절별로 수행하였다. 계절별 상관분석은 같은 계절에도 연도에 따른 환경변이가 커 각 연

도에 대해 모두 분석하였다. 분석 시에는 연속관측 자료 모두를 이용하였고, 섬모충류 생물량은 현존량 사용 시 크기가 작은 종이 많을 때 과대평가될 수 있으며, 크기가 큰 종이 소수 출현할 때 과소평가될 수 있기 때문에 탄소량을 사용하여 분석하였다.

3. 결 과

환경요인

수온의 계절변동은 세 정점에서 모두 동일한 양상을 나타내었으며, 하계인 8월에 높고 동계인 2월로 갈수록 감소하였다(Fig. 2). 최고 수온(27.2°C)은 2007년 8월 정점 JC에서 발생하였고, 최저 수온(0.20°C)은 2008년 2월 정점 SC에서 나타났으며, 평균 수온은 정점 간 차이를 보여주지 않았다. 조석에 따른 수온 차이는 계절과 정점에 따라 창조와 낙조에 따른 분포 양상이 일정하지 않았으며, 조석에 따른 차이가 나타나는 시기에도 창조와 낙조시 1°C 미만의 수온차를 보여주었다(Table 1-3).

염분의 계절 변동도 세 정점에서 동일한 양상을 나타내었으며, 풍수기인 하계 8월에 낮고, 동계인 2월로 갈수록 다시 증가하였다(Fig. 2). 최고 염분(31.62 psu)은 2008년 2월 정점 JC에서 기록되었고, 최저 염분(2.63 psu)은 2007년 8월 정점 YC에서 기록되었다. 평균 염분은 정점 JC ($28.6 \pm 0.2 \text{ psu}$)에서 가장 높았고, 그 다음으로 SC($20.9 \pm 0.6 \text{ psu}$) YC($17.5 \pm 0.7 \text{ psu}$) 순으로 정점 간 뚜렷한 염분 구배를 나타내었다. 조석에 따라서는 모든 정점에서 11월에 창조와 낙조에 따른 염분 차이를 나타내었으며, 2006년에는 낙조시에 염분이 높았고, 2007년에는 창조시에 높

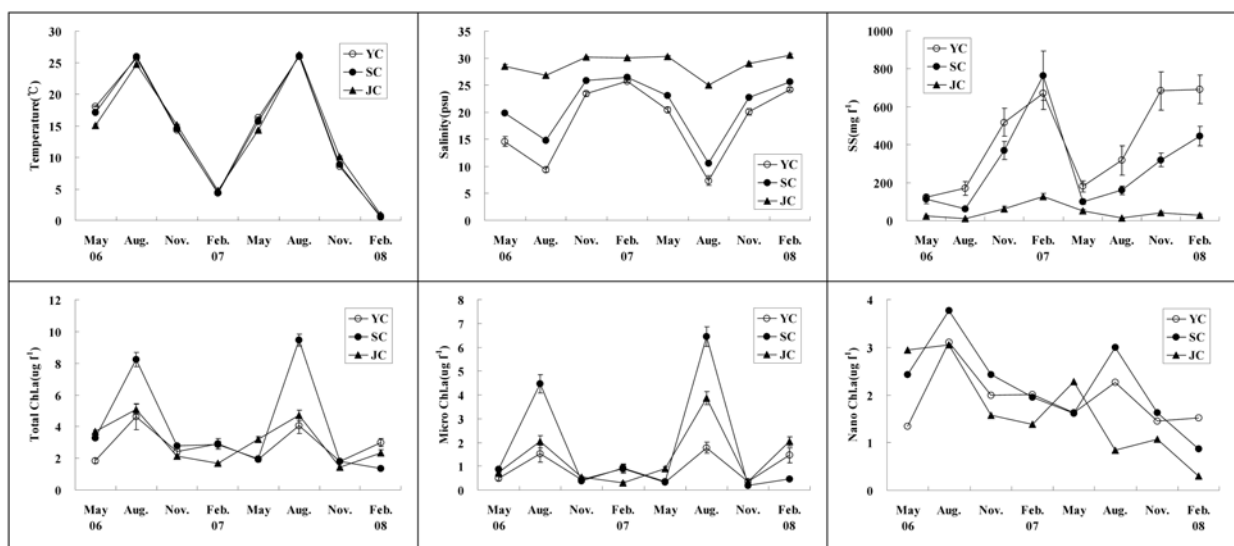


Fig. 2. Seasonal variations of temperature, salinity, ss, Total Chl.a, and Micro Chl.a, Nano Chl.a at three stations in Han river estuary.

Table 1. Environmental factors in the study area. T-test compared with ebb tide and flood tide data at st YC (ns: not significant)unit: suspended sediment (mg l^{-1}), temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity (psu), chl.a (ug l^{-1})

		Suspended sediment	Temperature	Salinity	Total Chl.a	Micro Chl.a	Nano Chl.a
2006_5	Ebb Tide	26.98-184.10(123.68 \pm 21.30)	17.86-18.29(18.08 \pm 0.05)	11.22-17.61(14.19 \pm 0.96)	1.28-3.14(1.89 \pm 0.27)	0.12-1.01(0.50 \pm 0.12)	0.77-2.25(1.39 \pm 0.18)
	Flood Tide	61.27-159.80(120.53 \pm 16.45)	17.65-18.39(18.07 \pm 0.15)	10.56-20.55(15.45 \pm 1.97)	1.47-2.52(1.77 \pm 0.19)	0.31-0.66(0.48 \pm 0.06)	0.93-1.86(1.29 \pm 0.15)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006_8	Ebb Tide	27.12-304.68(151.05 \pm 39.59)	25.39-25.93(25.62 \pm 0.09)	7.43-13.28(10.06 \pm 0.76)	2.00-8.01(3.99 \pm 1.03)	0.14-3.31(1.31 \pm 0.49)	1.71-5.05(2.68 \pm 0.55)
	Flood Tide	37.14-470.28(195.89 \pm 72.82)	25.80-26.03(25.89 \pm 0.04)	7.66-9.22(8.43 \pm 0.32)	2.27-9.41(5.54 \pm 1.34)	0.52-3.66(1.85 \pm 0.54)	1.74-5.75(3.69 \pm 0.86)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006_11	Ebb Tide	110.95-683.13(440.93 \pm 75.31)	14.10-14.70(14.41 \pm 0.09)	22.42-25.34(24.04 \pm 0.41)	1.63-3.38(2.25 \pm 0.22)	0.02-0.77(0.44 \pm 0.08)	1.18-2.61(1.81 \pm 0.16)
	Flood Tide	509.78-947.01(723.90 \pm 126.30)	13.93-14.05(13.99 \pm 0.03)	21.23-22.38(21.70 \pm 0.35)	2.51-3.38(2.87 \pm 0.26)	0.17-0.73(0.39 \pm 0.17)	2.23-2.65(2.47 \pm 0.13)
	p-value	ns	p<0.05	p<0.05	ns	ns	p<0.05
2007_2	Ebb Tide	332.75-1046.95(714.42 \pm 109.44)	4.42-4.55(4.48 \pm 0.02)	25.24-26.62(25.88 \pm 0.24)	1.88-4.76(2.90 \pm 0.42)	0.40-2.23(0.88 \pm 0.26)	1.36-2.87(2.02 \pm 0.21)
	Flood Tide	449.87-554.90(527.38 \pm 27.52)	4.27-4.29(4.28 \pm 0.01)	24.68-25.60(25.14 \pm 0.46)	2.74-3.17(2.95 \pm 0.22)	0.91-1.05(0.98 \pm 0.07)	1.69-2.27(1.98 \pm 0.29)
	p-value	ns	p<0.05	ns	ns	ns	ns
2007_5	Ebb Tide	125.01-405.21(228.08 \pm 44.17)	15.98-16.19(16.11 \pm 0.04)	18.46-21.81(19.91 \pm 0.52)	1.31-2.91(2.22 \pm 0.28)	0.02-0.73(0.40 \pm 0.10)	1.24-2.35(1.82 \pm 0.19)
	Flood Tide	55.95-288.17(149.39 \pm 33.05)	16.33-16.61(16.50 \pm 0.05)	17.74-22.78(20.41 \pm 0.74)	1.27-2.13(1.61 \pm 0.13)	0.02-0.42(0.24 \pm 0.06)	1.17-1.85(1.43 \pm 0.10)
	p-value	ns	p<0.05	ns	ns	ns	ns
2007_8	Ebb Tide	29.64-934.05(327.81 \pm 100.92)	25.20-26.43(26.01 \pm 0.14)	2.63-13.35(7.76 \pm 1.18)	1.95-6.80(3.89 \pm 0.62)	0.57-3.35(1.65 \pm 0.29)	0.91-4.01(2.24 \pm 0.35)
	Flood Tide	177.24-405.66(280.79 \pm 66.79)	25.68-25.94(25.85 \pm 0.09)	5.16-6.84(6.12 \pm 0.50)	3.52-5.26(4.55 \pm 0.53)	1.48-2.91(2.20 \pm 0.41)	2.04-2.65(2.35 \pm 0.18)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_11	Ebb Tide	586.12-1130.26(861.37 \pm 117.82)	8.06-8.30(8.21 \pm 0.05)	17.60-20.09(18.86 \pm 0.53)	1.71-2.27(2.07 \pm 0.13)	0.16-0.49(0.36 \pm 0.07)	1.55-1.78(1.71 \pm 0.05)
	Flood Tide	326.86-846.72(506.37 \pm 115.84)	8.53-9.18(8.95 \pm 0.15)	19.99-22.56(21.30 \pm 0.56)	1.38-1.83(1.55 \pm 0.11)	0.21-0.51(0.37 \pm 0.07)	1.06-1.38(1.18 \pm 0.07)
	p-value	ns	p<0.05	p<0.05	p<0.05	ns	p<0.05
2008_2	Ebb Tide	245.80-1079.89(659.43 \pm 119.29)	0.26-1.10(0.52 \pm 0.12)	22.80-26.31(24.15 \pm 0.50)	2.49-3.87(3.06 \pm 0.23)	0.21-2.98(1.51 \pm 0.43)	0.89-2.72(1.55 \pm 0.29)
	Flood Tide	588.02-905.61(739.82 \pm 68.06)	0.84-1.36(1.01 \pm 0.12)	23.08-25.51(24.34 \pm 0.50)	1.95-4.44(2.86 \pm 0.57)	0.42-2.65(1.39 \pm 0.49)	1.25-1.79(1.46 \pm 0.13)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Table 2. Environmental factors in the study area. T-test compared with ebb tide and flood tide data at st SC (ns: not significant)unit: suspended sediment (mg l^{-1}), temperature ($^{\circ}C$), salinity (psu), chl.a ($\mu g\ l^{-1}$)

		Suspended sediment	Temperature	Salinity	Total Chl.a	Micro Chl.a	Nano Chl.a
2006_5	Ebb Tide	60.67-195.49(116.53 \pm 23.37)	16.88-17.60(17.18 \pm 0.13)	16.85-21.01(19.28 \pm 0.73)	2.90-4.07(3.49 \pm 0.22)	0.29-1.36(0.87 \pm 0.18)	1.89-3.69(2.62 \pm 0.26)
	Flood Tide	26.91-299.51(107.74 \pm 37.38)	16.73-17.71(17.06 \pm 0.15)	17.16-21.88(20.33 \pm 0.77)	2.36-3.54(3.12 \pm 0.19)	0.52-1.42(0.85 \pm 0.13)	1.68-2.96(2.27 \pm 0.15)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006_8	Ebb Tide	20.53-121.78(66.58 \pm 15.28)	25.47-26.12(25.76 \pm 0.08)	11.59-16.28(14.34 \pm 0.67)	5.23-9.23(7.68 \pm 0.54)	2.09-6.80(4.24 \pm 0.66)	2.32-4.88(3.44 \pm 0.38)
	Flood Tide	33.48-76.26(54.11 \pm 7.16)	25.89-26.61(26.20 \pm 0.14)	11.64-17.88(14.82 \pm 1.31)	8.36-10.98(9.30 \pm 0.46)	3.66-5.75(4.88 \pm 0.41)	3.31-5.75(4.43 \pm 0.44)
	p-value	ns	p<0.05	ns	ns	ns	ns
2006_11	Ebb Tide	105.45-552.61(369.99 \pm 51.30)	14.32-14.92(14.61 \pm 0.07)	24.69-27.09(26.07 \pm 0.28)	2.02-3.28(2.81 \pm 0.14)	0.02-0.51(0.30 \pm 0.06)	2.00-2.93(2.51 \pm 0.10)
	Flood Tide	203.56-547.40(375.48 \pm 171.92)	14.16-14.28(14.22 \pm 0.06)	24.60-24.89(24.74 \pm 0.14)	2.56-2.95(2.75 \pm 0.20)	0.56-0.81(0.69 \pm 0.13)	2.00-2.14(2.07 \pm 0.07)
	p-value	ns	p<0.05	p<0.05	ns	p<0.05	ns
2007_2	Ebb Tide	198.03-1492.73(829.32 \pm 182.15)	4.33-4.46(4.42 \pm 0.02)	25.34-27.29(26.34 \pm 0.27)	2.02-3.66(2.95 \pm 0.25)	0.52-1.81(1.07 \pm 0.19)	1.50-2.65(1.88 \pm 0.15)
	Flood Tide	543.33-642.39(608.73 \pm 32.70)	4.13-4.24(4.18 \pm 0.03)	26.32-27.18(26.73 \pm 0.25)	2.61-2.82(2.72 \pm 0.06)	0.35-0.80(0.57 \pm 0.13)	2.02-2.27(2.15 \pm 0.07)
	p-value	ns	p<0.05	ns	ns	ns	ns
2007_5	Ebb Tide	74.42-182.85(130.73 \pm 17.35)	15.25-16.08(15.67 \pm 0.11)	20.02-24.38(22.14 \pm 0.54)	1.67-2.22(2.02 \pm 0.08)	0.10-0.70(0.41 \pm 0.08)	0.98-2.04(1.60 \pm 0.12)
	Flood Tide	28.23-102.31(60.76 \pm 11.59)	15.41-16.67(15.74 \pm 0.19)	21.40-25.50(24.29 \pm 0.62)	1.52-2.37(1.91 \pm 0.13)	0.16-0.52(0.30 \pm 0.05)	1.36-1.85(1.61 \pm 0.09)
	p-value	p<0.05	ns	p<0.05	ns	ns	ns
2007_8	Ebb Tide	42.87-205.51(132.80 \pm 20.58)	26.00-26.23(26.11 \pm 0.03)	8.35-14.05(11.10 \pm 0.79)	8.66-11.81(9.98 \pm 0.44)	5.44-9.32(7.01 \pm 0.49)	2.49-3.43(2.98 \pm 0.10)
	Flood Tide	101.79-315.11(215.76 \pm 43.79)	26.05-26.15(26.11 \pm 0.02)	8.07-11.31(9.54 \pm 0.81)	7.81-8.68(8.39 \pm 0.21)	4.36-6.29(5.33 \pm 0.43)	2.11-3.78(3.06 \pm 0.37)
	p-value	ns	ns	ns	p<0.05	p<0.05	ns
2007_11	Ebb Tide	170.88-480.55(330.08 \pm 50.16)	8.58-8.85(8.72 \pm 0.04)	20.84-23.06(21.88 \pm 0.38)	1.61-2.00(1.77 \pm 0.06)	0.02-0.34(0.19 \pm 0.05)	1.31-1.86(1.59 \pm 0.08)
	Flood Tide	186.32-453.91(303.96 \pm 56.36)	8.89-9.43(9.10 \pm 0.12)	22.04-26.36(23.89 \pm 0.92)	1.73-1.99(1.86 \pm 0.05)	0.03-0.39(0.18 \pm 0.08)	1.46-1.84(1.67 \pm 0.08)
	p-value	ns	p<0.05	p<0.05	ns	ns	ns
2008_2	Ebb Tide	146.94-695.47(495.63 \pm 71.97)	0.23-0.46(0.34 \pm 0.03)	24.72-26.55(25.52 \pm 0.29)	1.34-1.71(1.49 \pm 0.04)	0.38-0.80(0.59 \pm 0.07)	0.70-1.06(0.90 \pm 0.07)
	Flood Tide	243.84-451.63(360.36 \pm 46.06)	0.62-0.86(0.72 \pm 0.05)	24.70-26.78(25.88 \pm 0.49)	0.87-1.22(1.08 \pm 0.08)	0.17-0.47(0.27 \pm 0.07)	0.70-0.94(0.81 \pm 0.06)
	p-value	ns	p<0.05	ns	p<0.05	p<0.05	ns

Table 3. Environmental factors in the study area. T-test compared with ebb tide and flood tide data at st JC (ns: not significant)unit: suspended sediment (mg l⁻¹), temperature (°C), salinity (psu), chl_a (ug l⁻¹)

		Suspended sediment	Temperature	Salinity	Total Chl _a	Micro Chl _a	Nano Chl _a
2006_5	Ebb Tide	16.09-43.92(28.83 ± 4.46)	14.40-15.65(15.07 ± 0.19)	27.18-29.51(28.41 ± 0.38)	3.48-4.07(3.74 ± 0.09)	0.46-0.93(0.72 ± 0.08)	2.56-3.48(3.02 ± 0.15)
	Flood Tide	7.65-53.97(18.25 ± 6.07)	14.00-16.13(15.08 ± 0.34)	27.10-30.11(28.69 ± 0.47)	2.79-4.30(3.63 ± 0.18)	0.46-1.05(0.75 ± 0.08)	2.32-3.37(2.89 ± 0.14)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006_8	Ebb Tide	3.97-22.51(13.07 ± 2.78)	24.16-25.55(24.66 ± 0.23)	25.49-27.49(26.89 ± 0.26)	4.18-6.97(5.44 ± 0.44)	1.51-3.48(2.44 ± 0.29)	1.74-4.88(3.00 ± 0.37)
	Flood Tide	3.81-6.88(5.57 ± 0.51)	24.58-24.91(24.75 ± 0.05)	25.73-27.63(26.64 ± 0.36)	3.37-6.39(4.65 ± 0.46)	0.58-3.02(1.55 ± 0.35)	2.67-3.60(3.10 ± 0.15)
	p-value	p<0.05	ns	ns	ns	ns	ns
2006_11	Ebb Tide	32.13-122.30(74.58 ± 16.64)	14.92-15.53(15.30 ± 0.10)	30.12-30.87(30.52 ± 0.13)	1.74-2.47(2.09 ± 0.11)	0.45-0.77(0.57 ± 0.05)	1.18-1.79(1.51 ± 0.11)
	Flood Tide	31.74-74.54(45.62 ± 9.79)	14.72-15.04(14.85 ± 0.08)	29.03-30.04(29.56 ± 0.21)	1.86-2.37(2.17 ± 0.11)	0.40-0.68(0.49 ± 0.06)	1.46-1.79(1.68 ± 0.07)
	p-value	ns	p<0.05	p<0.05	ns	ns	ns
2007_2	Ebb Tide	85.38-263.60(144.21 ± 25.57)	4.69-4.84(4.77 ± 0.03)	29.85-30.34(30.05 ± 0.09)	1.69-1.95(1.77 ± 0.04)	0.19-0.54(0.34 ± 0.05)	1.36-1.53(1.43 ± 0.02)
	Flood Tide	68.60-160.97(101.69 ± 21.10)	4.65-4.86(4.76 ± 0.05)	29.96-30.38(30.15 ± 0.10)	1.29-1.74(1.55 ± 0.09)	0.16-0.35(0.26 ± 0.04)	1.13-1.39(1.29 ± 0.06)
	p-value	ns	ns	ns	ns	p<0.05	ns
2007_5	Ebb Tide	36.14-78.67(58.22 ± 8.40)	13.77-14.64(14.26 ± 0.16)	29.93-30.70(30.26 ± 0.17)	2.54-3.71(3.10 ± 0.26)	0.61-1.25(0.86 ± 0.11)	1.69-2.93(2.24 ± 0.21)
	Flood Tide	17.69-80.68(45.32 ± 10.78)	13.96-14.64(14.33 ± 0.13)	30.07-30.88(30.46 ± 0.16)	2.70-4.11(3.25 ± 0.22)	0.66-1.38(0.95 ± 0.10)	1.76-2.74(2.30 ± 0.16)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_8	Ebb Tide	5.50-27.64(17.88 ± 3.24)	25.81-26.36(26.06 ± 0.08)	24.16-25.76(24.85 ± 0.26)	3.83-6.04(5.11 ± 0.34)	3.33-5.08(4.02 ± 0.30)	0.43-1.71(1.09 ± 0.23)
	Flood Tide	4.54-12.29(7.27 ± 1.11)	25.84-27.20(26.51 ± 0.20)	24.08-26.36(25.10 ± 0.36)	2.10-5.69(4.32 ± 0.51)	1.51-4.59(3.73 ± 0.47)	0.29-1.10(0.58 ± 0.11)
	p-value	p<0.05	ns	ns	ns	ns	ns
2007_11	Ebb Tide	41.72-47.60(44.66 ± 2.94)	9.30-9.57(9.44 ± 0.14)	27.73-28.15(27.94 ± 0.21)	1.17-1.28(1.23 ± 0.05)	0.23-0.27(0.25 ± 0.02)	0.91-1.05(0.98 ± 0.07)
	Flood Tide	16.43-75.11(41.16 ± 9.68)	9.53-10.75(10.24 ± 0.17)	28.34-29.93(29.27 ± 0.23)	1.29-1.68(1.47 ± 0.06)	0.16-0.63(0.38 ± 0.07)	0.81-1.38(1.09 ± 0.07)
	p-value	ns	ns	p<0.05	ns	ns	ns
2008_2	Ebb Tide	26.87-33.39(30.13 ± 3.26)	0.69-0.72(0.71 ± 0.02)	29.00-29.97(29.49 ± 0.48)	3.04-3.17(3.11 ± 0.06)	2.63-2.81(2.72 ± 0.09)	0.36-0.42(0.39 ± 0.03)
	Flood Tide	13.09-68.50(28.07 ± 7.51)	0.76-1.20(0.97 ± 0.07)	30.13-31.62(30.78 ± 0.20)	1.48-2.94(2.12 ± 0.19)	1.18-2.65(1.85 ± 0.19)	0.22-0.31(0.27 ± 0.01)
	p-value	ns	p<0.05	p<0.05	p<0.05	ns	p<0.05

아 연도에 따른 양상이 다르게 나타났으며, 조석에 따른 차이는 3 psu 이하의 수준이었다(Table 1-3).

부유물질은 정점 YC와 SC에서는 동계인 2월에 높고, 춘계인 5월 또는 하계인 8월에 낮았으며, 정점 JC에서는 동계 또는 춘계에 높고, 하계에 낮게 나타나, 정점과 연도에 따른 경향이 다소 불규칙 하였다(Fig. 2). 최고 농도($1,492.73 \text{ mg l}^{-1}$)는 2007년 2월 정점 SC에서 관측되었고, 최저 농도(3.81 mg l^{-1})는 2006년 8월 정점 JC에서 관측되었다. 평균 부유물질 농도는 정점 YC($388.1 \pm 32.4 \text{ mg l}^{-1}$)에서 가장 높았고 그 다음으로 정점 SC($274.1 \pm 28.1 \text{ mg l}^{-1}$), 정점 JC($42.3 \pm 4.7 \text{ mg l}^{-1}$) 순이었다. 정점 YC에서는 조석에 따른 차이를 나타내지 않았고, 정점 SC와 JC에서는 일부시기의 낙조시에 부유물질 농도가 높게 나타났다(Table 1-3).

총 엽록소 a 는 하계인 8월에 높고, 동계인 2월에 낮게 분포하였으나, 정점 YC에서는 하계인 8월에 가장 높고, 춘계인 5월에 낮은 양상을 보여주었다(Fig. 2). 최고 농도(11.81 ug l^{-1})는 2007년 8월 정점 SC에서 기록되었고, 최저 농도(0.82 ug l^{-1})는 2008년 2월 정점 SC에서 기록되었다. 평균 농도는 정점 SC($4.03 \pm 0.32 \text{ ug l}^{-1}$)에서 가장 높았고, YC($2.87 \pm 0.18 \text{ ug l}^{-1}$)와 JC($3.19 \pm 0.16 \text{ ug l}^{-1}$)는 차이를 나타내지 않았으며, 조석에 따라서는 일부시기에 모든 정점에서 낙조시에 높은 농도를 나타내었다(Table 1-3).

소형 엽록소 a ($>20 \mu\text{m}$)는 하계인 8월에 높고 춘계인 11월에 낮았으나, 정점 JC에서는 하계에 가장 높고 동계 또는 춘계에 낮아 연도에 따른 차이를 나타내었다(Fig. 2). 최고 농도(9.32 ug l^{-1})는 2007년 8월 정점 SC에서 기록되었고, 최저 농도(0.02 ug l^{-1})는 2006년 11월과 2007년 5월 정점 YC에서 기록되었다. 평균 농도는 정점 YC($0.94 \pm 0.09 \text{ ug l}^{-1}$)에서 가장 낮았고, 정점 SC($1.80 \pm 0.25 \text{ ug l}^{-1}$)와 정점 JC($1.41 \pm 0.14 \text{ ug l}^{-1}$)는 차이를 나타내지 않았다. 정점 YC에서는 모든 시기에 조석에 따른 차이를 나타내지 않았고, 정점 SC와 JC에서는 일부시기에 차이를 보였으며, 정점 SC의 2006년 11월을 제외하고 모두 낙조시에 높은 농도를 나타내었다(Table 1-3).

미소 엽록소 a ($<20 \mu\text{m}$)는 총 엽록소 a 와 마찬가지로 정점 SC와 JC에서는 하계인 8월에 가장 높고, 동계인 2월에 낮게 분포하였으나, 정점 YC에서는 하계에 가장 높고 춘계에 낮은 양상을 보여주었다(Fig. 2). 최고 농도(5.75 ug l^{-1})는 2006년 8월 정점 YC에서 관측되었고, 최저 농도(0.22 ug l^{-1})는 2008년 2월 정점 JC에서 관측되었다. 평균 농도는 정점 SC($2.24 \pm 0.10 \text{ ug l}^{-1}$)에서 가장 높았고, 정점 YC($1.94 \pm 0.10 \text{ ug l}^{-1}$)와 정점 JC($1.78 \pm 0.11 \text{ ug l}^{-1}$)는 차이를 나타내지 않았다. 조석에 따라서 정점 SC에서는 모든 시기에 창조와 낙조에 따른 차이를 보이지 않았

으며, 정점 YC에서는 2006년 11월에는 창조시에 높았고, 2007년 11월에는 낙조시에 높아 연도에 따른 차이를 나타내었으며, 정점 JC에서는 2008년 2월 낙조시에 창조시 보다 높은 농도를 나타내었다(Table 1-3).

섬모충류 현존량 분포

조사 기간 중 섬모충류 현존량은 $0 \sim 13,853 \text{ cells l}^{-1}$ 의 범위로 평균 $886 \pm 79 \text{ cells l}^{-1}$ 로 나타났다. 계절에 따라서는 모든 정점에서 하계인 8월에 가장 높고 동계인 2월로 갈수록 감소하는 뚜렷한 양상을 보여주었으며, 하계인 8

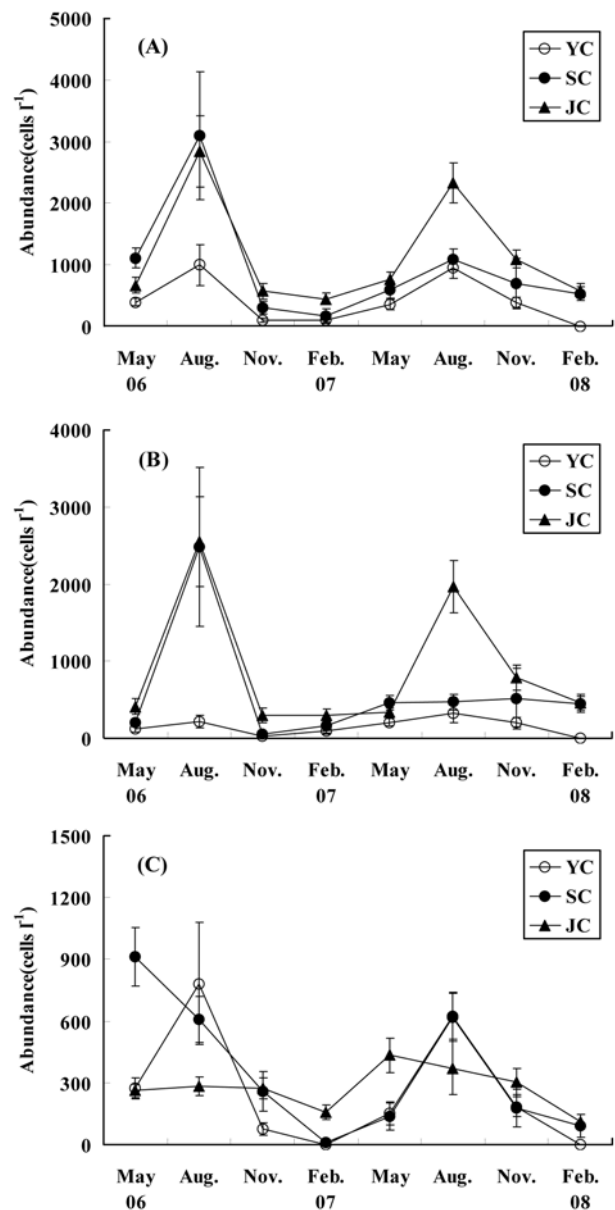


Fig. 3. Seasonal variations of abundance of total ciliates (A), Oligotrichs (B), Tintinnids (C), expressed as mean \pm SE (vertical bars), respectively.

Table 4. Abundance and biomass of ciliates in the study area. T-test compared with ebb tide and flood tide data at st YC (ns: not significant)unit: abundance (cells l^{-1}), biomass ($\mu\text{gC } l^{-1}$)

		Total ciliates		Tintinnids		Oligotrichs	
		Abundance(avg. \pm SE)	Biomass(avg. \pm SE)	Abundance(avg. \pm SE)	Biomass(avg. \pm SE)	Abundance(avg. \pm SE)	Biomass(avg. \pm SE)
2006_5	Ebb Tide	76-661(382 \pm 74)	0.21-4.04(2.44 \pm 0.54)	76-440(252 \pm 52)	0.21-3.87(2.12 \pm 0.51)	0-551(2130 \pm 67)	0.00-1.94(0.32 \pm 0.23)
	Flood Tide	0-673(415 \pm 112)	0.00-5.22(2.79 \pm 0.97)	0-577(309 \pm 108)	0.00-5.08(2.18 \pm 0.90)	0-333(107 \pm 61)	0.00-2.77(0.61 \pm 0.54)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006_8	Ebb Tide	192-1727(788 \pm 209)	0.45-8.20(3.17 \pm 1.15)	0-1636(536 \pm 204)	0.00-6.30(2.17 \pm 0.97)	0-854(225 \pm 121)	0.00-2.91(0.83 \pm 0.40)
	Flood Tide	408-4356(1329 \pm 762)	1.39-5.13(3.21 \pm 0.74)	306-3762(1129 \pm 662)	1.39-4.93(2.83 \pm 0.74)	0-594(200 \pm 108)	0.00-1.34(0.38 \pm 0.25)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006_11	Ebb Tide	0-408(114 \pm 53)	0.00-1.16(0.31 \pm 0.15)	0-306(89 \pm 41)	0.00-1.01(0.28 \pm 0.13)	0-102(25 \pm 16)	0.00-0.15(0.04 \pm 0.02)
	Flood Tide	0-110(69 \pm 35)	0.00-1.13(0.45 \pm 0.35)	0-110(37 \pm 37)	0.00-0.21(0.07 \pm 0.07)	0-96(32 \pm 32)	0.00-1.13(0.38 \pm 0.38)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_2	Ebb Tide	0-313(115 \pm 56)	0.00-0.43(0.15 \pm 0.07)	0	0	0-313(115 \pm 56)	0.00-0.43(0.15 \pm 0.07)
	Flood Tide	0-98(49 \pm 49)	0.00-0.14(0.07 \pm 0.07)	0	0	90-98(49 \pm 49)	0.00-0.14(0.07 \pm 0.07)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_5	Ebb Tide	0-890(362 \pm 149)	0.00-1.39(0.42 \pm 0.21)	0-556(125 \pm 88)	0.00-1.02(0.23 \pm 0.16)	0-600(237 \pm 89)	0.00-0.38(0.19 \pm 0.06)
	Flood Tide	0-849(355 \pm 122)	0.00-2.57(0.75 \pm 0.38)	0-531(176 \pm 76)	0.00-1.12(0.36 \pm 0.16)	0-318(179 \pm 59)	0.00-1.45(0.39 \pm 0.22)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_8	Ebb Tide	223-2300(925 \pm 190)	0.14-5.32(1.92 \pm 0.53)	212-1248(544 \pm 101)	0.14-3.76(1.19 \pm 0.34)	0-1500(381 \pm 146)	0.00-2.61(0.73 \pm 0.28)
	Flood Tide	408-1825(1063 \pm 413)	0.63-2.83(1.84 \pm 0.64)	408-1611(885 \pm 369)	0.63-1.84(1.38 \pm 0.38)	0-215(142 \pm 71)	0.00-0.31(0.17 \pm 0.09)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_11	Ebb Tide	541-761(600 \pm 54)	0.76-2.65(1.29 \pm 0.46)	185-362(274 \pm 50)	0.36-2.30(1.01 \pm 0.44)	180-571(325 \pm 93)	0.08-0.64(0.29 \pm 0.13)
	Flood Tide	184-194(188 \pm 2)	0.28-2.17(0.79 \pm 0.46)	0-194(95 \pm 55)	0.00-0.37(0.18 \pm 0.10)	0-190(94 \pm 54)	0.00-2.17(0.61 \pm 0.52)
	p-value	p<0.05	ns	ns	ns	ns	ns
2008_2	Ebb Tide	0	0	0	0	0	0
	Flood Tide	0	0	0	0	0	0
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Table 5. Abundance and biomass of ciliates in the study area. T-test compared with ebb tide and flood tide data at st SC (ns: not significant)unit: abundance (cells l^{-1}), biomass ($\mu\text{gC } l^{-1}$)

		Total ciliates		Tintinnids		Oligotrichs	
		Abundance(avg. \pm SE)	Biomass(avg. \pm SE)	Abundance(avg. \pm SE)	Biomass(avg. \pm SE)	Abundance(avg. \pm SE)	Biomass(avg. \pm SE)
2006_5	Ebb Tide	737-2079(1469 \pm 207)	7.88-15.76(10.47 \pm 1.12)	737-1714(1230 \pm 160)	5.72-14.01(9.30 \pm 1.13)	0-495(239 \pm 67)	0.00-3.18(1.16 \pm 0.50)
	Flood Tide	354-1633(808 \pm 173)	1.83-10.02(5.78 \pm 1.27)	89-1361(638 \pm 175)	1.44-10.02(5.26 \pm 1.26)	0-272(171 \pm 36)	0.00-1.33(0.52 \pm 0.20)
	p-value	p< 0.05	p<0.05	p< 0.05	p<0.05	ns	ns
2006_8	Ebb Tide	480-13853(3762 \pm 1776)	2.96-46.92(15.51 \pm 5.76)	90-1292(532 \pm 187)	0.17-4.73(2.37 \pm 0.70)	192-13324(3230 \pm 1759)	1.17-43.67(13.14 \pm 5.66)
	Flood Tide	1551-2921(2200 \pm 227)	7.65-14.42(11.6 \pm 1.12)	604-937(714 \pm 59)	2.60-7.89(5.01 \pm 1.08)	913-2167(1447 \pm 223)	4.10-9.98(6.35 \pm 1.24)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006_11	Ebb Tide	0-883(278 \pm 108)	0.00-2.97(1.04 \pm 0.41)	0-883(215 \pm 97)	0.00-2.58(0.72 \pm 0.33)	0-257(63 \pm 34)	0.00-2.45(0.32 \pm 0.27)
	Flood Tide	106-808(457 \pm 351)	0.20-1.98(1.09 \pm 0.89)	106-808(457 \pm 351)	0.20-1.98(1.09 \pm 0.89)	0	0
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_2	Ebb Tide	0-217(60 \pm 32)	0.00-0.32(0.07 \pm 0.05)	0	0	0-217(60 \pm 32)	0.00-0.32(0.07 \pm 0.05)
	Flood Tide	0-1132(447 \pm 348)	0.00-2.48(0.93 \pm 0.78)	0-94(31 \pm 31)	0.00-0.18(0.06 \pm 0.06)	0-1038(415 \pm 317)	0.00-2.30(0.87 \pm 0.72)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_5	Ebb Tide	0-564(251 \pm 64)	0.00-0.63(0.23 \pm 0.08)	0	0	0-564(251 \pm 64)	0.00-0.63(0.23 \pm 0.08)
	Flood Tide	303-1602(1001 \pm 182)	1.52-7.35(3.92 \pm 1.00)	89-855(300 \pm 121)	0.17-4.45(1.69 \pm 0.69)	202-1072(701 \pm 144)	0.51-7.18(2.24 \pm 1.01)
	p-value	p<0.05	p<0.05	ns	ns	p<0.05	ns
2007_8	Ebb Tide	752-1751(1074 \pm 109)	1.18-6.39(3.80 \pm 0.53)	0-1198(568 \pm 141)	0.00-3.24(1.80 \pm 0.39)	198-956(470 \pm 83)	1.18-2.57(1.78 \pm 0.17)
	Flood Tide	520-2688(1214 \pm 496)	1.00-11.90(4.06 \pm 2.62)	208-1344(723 \pm 235)	0.39-3.63(1.57 \pm 0.71)	103-1248(467 \pm 264)	0.05-7.66(2.33 \pm 1.81)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_11	Ebb Tide	0-4174(763 \pm 683)	0.00-7.98(1.44 \pm 1.31)	0-209(68 \pm 43)	0.00-2.60(0.49 \pm 0.43)	0-3965(695 \pm 655)	0.00-5.38(0.95 \pm 0.89)
	Flood Tide	0-1415(597 \pm 319)	0.00-3.64(1.51 \pm 0.85)	0-776(345 \pm 202)	0.00-3.64(1.29 \pm 0.86)	0-808(251 \pm 191)	0.00-0.56(0.21 \pm 0.14)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2008_2	Ebb Tide	0-1188(527 \pm 157)	0.00-1.47(0.68 \pm 0.19)	0-619(116 \pm 88)	0.00-1.17(0.22 \pm 0.17)	0-1188(411 \pm 146)	0.00-1.13(0.46 \pm 0.13)
	Flood Tide	200-960(545 \pm 165)	0.29-1.49(0.76 \pm 0.26)	0-192(48 \pm 48)	0.00-0.36(0.09 \pm 0.09)	200-768(497 \pm 127)	0.29-1.13(0.67 \pm 0.17)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Table 6. Abundance and biomass of ciliates in the study area. T-test compared with ebb tide and flood tide data at st JC (ns: not significant)
unit: abundance (cells l^{-1}), biomass ($\mu\text{gC } l^{-1}$)

		Total ciliates		Tintinnids		Oligotrichs	
		Abundance(avg. \pm SE)	Biomass(avg. \pm S E)	Abundance(avg. \pm SE)	Biomass(avg. \pm S E)	Abundance(avg. \pm SE)	Biomass(avg. \pm S E)
2006_5	Ebb Tide	355-882(477 \pm 82)	2.12-6.52(3.92 \pm 0.69)	92-353(224 \pm 38)	0.77-5.09(2.75 \pm 0.66)	94-529(253 \pm 62)	0.04-2.21(1.16 \pm 0.38)
	Flood Tide	171-1727(833 \pm 203)	2.08-9.98(5.39 \pm 1.09)	85-480(293 \pm 54)	1.96-6.90(3.73 \pm 0.76)	85-1247(540 \pm 173)	0.13-4.69(1.66 \pm 0.58)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006_8	Ebb Tide	633-7114(2158 \pm 904)	2.26-13.85(6.28 \pm 1.47)	186-624(362 \pm 51)	0.87-5.39(2.77 \pm 0.66)	271-6771(1796 \pm 902)	0.40-12.35(3.51 \pm 1.58)
	Flood Tide	1220-5682(3630 \pm 614)	3.36-24.07(12.94 \pm 3.68)	0-361(195 \pm 61)	0.00-13.27(2.90 \pm 2.13)	1220-5412(3435 \pm 583)	3.36-21.02(10.05 \pm 2.58)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	p<0.05
2006_11	Ebb Tide	92-714(319 \pm 89)	1.15-7.09(2.68 \pm 0.93)	92-306(168 \pm 35)	0.19-3.34(1.23 \pm 0.50)	0-408(151 \pm 57)	0.00-3.75(1.44 \pm 0.50)
	Flood Tide	520-1411(947 \pm 188)	2.08-3.58(2.69 \pm 0.33)	312-581(429 \pm 56)	0.58-1.93(1.07 \pm 0.30)	104-830(518 \pm 165)	0.15-3.00(1.63 \pm 0.58)
	p-value	p<0.05	ns	p<0.05	ns	ns	ns
2007_2	Ebb Tide	294-714(458 \pm 60)	0.40-4.80(2.05 \pm 0.68)	98-294(195 \pm 35)	0.19-0.53(0.35 \pm 0.06)	96-612(264 \pm 82)	0.04-4.61(1.70 \pm 0.71)
	Flood Tide	0-882(436 \pm 227)	0.00-9.48(2.90 \pm 2.21)	0-288(97 \pm 68)	0.00-5.81(1.50 \pm 1.44)	0-784(340 \pm 181)	0.00-3.68(1.41 \pm 0.79)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_5	Ebb Tide	490-751(648 \pm 43)	0.52-2.90(1.95 \pm 0.43)	0-576(333 \pm 94)	0.00-2.01(1.15 \pm 0.33)	96-490(315 \pm 64)	0.14-1.45(0.80 \pm 0.27)
	Flood Tide	91-1251(877 \pm 184)	0.16-3.95(2.39 \pm 0.56)	91-893(521 \pm 128)	0.16-2.43(1.47 \pm 0.36)	0-577(356 \pm 78)	0.00-1.74(0.93 \pm 0.30)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_8	Ebb Tide	660-4360(2361 \pm 507)	3.19-44.63(15.56 \pm 6.34)	0-1507(462 \pm 226)	0.00-17.02(4.33 \pm 2.61)	165-4360(1899 \pm 574)	0.24-44.63(11.23 \pm 6.93)
	Flood Tide	1010-3675(2303 \pm 436)	1.12-73.98(30.86 \pm 10.67)	0-668(282 \pm 132)	0.00-13.57(4.33 \pm 2.23)	1010-3675(2020 \pm 418)	1.12-68.11(26.52 \pm 10.97)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007_11	Ebb Tide	970-1477(1223 \pm 254)	1.97-2.04(2.00 \pm 0.04)	194-211(202 \pm 9)	0.40-1.23(0.81 \pm 0.41)	776-1266(1021 \pm 245)	0.74-1.64(1.19 \pm 0.45)
	Flood Tide	409-1764(1090 \pm 172)	0.86-3.02(1.66 \pm 0.25)	0-594(334 \pm 78)	0.00-1.61(0.97 \pm 0.22)	198-1460(724 \pm 200)	0.09-1.41(0.67 \pm 0.18)
	p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2008_2	Ebb Tide	588-1060(824 \pm 236)	1.63-3.45(2.54 \pm 0.91)	196-212(204 \pm 8)	0.60-0.85(0.73 \pm 0.13)	392-848(620 \pm 228)	1.03-2.59(1.81 \pm 0.78)
	Flood Tide	0-886(506 \pm 124)	0.00-11.55(4.14 \pm 1.87)	0-222(86 \pm 41)	0.00-2.34(0.41 \pm 0.33)	0-738(421 \pm 116)	0.00-11.55(3.73 \pm 1.95)
	p-value	ns	ns	p<0.05	ns	ns	ns

월을 제외하면 대부분 평균 1,000 cells l^{-1} 미만을 나타내었다(Fig. 3). 정점에 따른 평균 현존량은 정점 JC($1,233 \pm 138$ cells l^{-1})에서 가장 높았으며, 그 다음으로 정점 SC(983 ± 169 cells l^{-1})와 YC(442 ± 65 cells l^{-1}) 순이었다. 조석에 따라서는 정점 YC에서 2007년 11월 낙조시에 빈 섬모충류의 현존량 증가로 창조시보다 높은 현존량을 나타내었고, 정점 SC에서는 2006년 5월 낙조시에 유종 섬모충류의 현존량 증가로 창조시보다 높은 현존량을 나타내었으며, 2007년 5월에는 창조시에 빈 섬모충류의 현존량 증가에 의해 낙조시보다 높은 현존량을 보여주었다. 정점 JC는 2006년 11월 창조시에 빈 섬모충류와 유종 섬모충류 모두 증가하여 낙조시보다 높은 현존량을 나타내었다. 조사해역에서 조석에 따른 섬모충류 현존량은 일부시기에만 창조와 낙조에 따른 차이를 나타내었으며, 정점과 시기에 대해 일정한 양상을 나타내지 않았다(Table 4-6).

섬모충류 중 빈 섬모충류는 0~13,324 cells l^{-1} 의 범위로 평균 573 ± 73 cells l^{-1} 를 나타내었다. 계절분포는 정점 YC에서 하계인 8월에 증가 양상을 보여주고 있으나, 연중 평균 400 cells l^{-1} 미만의 수준이었으며, 정점 SC는 2006년 하계에 크게 증가하였으나, 2007년은 계절에 따른 현존량 변동을 나타내지 않았다. 그리고 정점 JC에서는 하계에 가장 높고 동계로 갈수록 감소하는 양상을 나타내어 정점과 연도에 따른 차이를 보여주었다(Fig. 3). 하계에는 정점 SC에서 20 μm 이하 크기의 빈 섬모충류의 현존량이 크게 증가하였고, 정점 JC에서는 50 μm 이하 크기의 빈 섬모충류 그룹의 현존량이 높았다. 그러나 정점 YC에서는 연중 평균 400 cells l^{-1} 미만의 낮은 현존량 분포를 보여주었다. 평균 현존량은 정점 JC(953 ± 136 cells l^{-1})에서 가장 높았고, 그 다음으로 SC(612 ± 158 cells l^{-1})와 YC(156 ± 26 cells l^{-1}) 순이었다. 조석에 따라서는 정점 SC에서만 2007년 5월 창조시에 20~50 μm 크기 빈 섬모충류의 현존량 증가에 의해 낙조시 보다 높은 현존량을 보여주었고, 나머지 정점에서는 조석에 따른 차이를 보여주지 않았다(Table 4-6).

섬모충류 중 유종 섬모충류는 0~3,762 cells l^{-1} 의 범위로 평균 313 ± 25 cells l^{-1} 이었으며, 계절 분포는 정점 YC에서 하계에 가장 높고 동계로 갈수록 감소하는 양상을 보여주었으며, SC에서는 하계 또는 춘계에 높고 동계로 갈수록 감소하였다. 그리고 정점 JC에서는 연중 유사한 현존량 분포를 나타내었다. 그러나 모든 정점에서 연중 1,000 cells l^{-1} 미만의 현존량 범위를 나타내었으며(Fig. 3), 평균 현존량은 정점 YC에서 286 ± 53 cells l^{-1} , 정점 SC에서 371 ± 47 cells l^{-1} , 그리고 정점 JC에서 280 ± 26 cells l^{-1} 을 나타내어, 정점 간 차이를 보이지 않았다. 조석에 따라서는 정점 YC에서 연중 창조와 낙조에 따른 차이를 나타내지 않았으며, 정점 SC는 2006년 5월 낙조시에

*Tintinnopsis diversicervica*의 현존량 증가에 의해 창조시 보다 높은 현존량을 나타내었다. 정점 JC에서는 2006년 11월 낙조시 *Leprotintinnus* spp.와 *Tintinnopsis angustior*의 현존량 증가로 창조시 보다 높은 현존량을 나타내었고, 2008년 2월 낙조시에 창조시 보다 높은 현존량을 보였으나, 이 시기의 출현종들은 100 cells l^{-1} 미만의 미약한 현존량을 나타내었다(Table 4-6).

이상의 결과에서 유종 섬모충류와 빈 섬모충류의 현존량에 따른 군집구성(%) 분포는 연도에 따른 계절적 경향이 불규칙하였으며, 정점에 따라 서로 다른 양상을 보여주었다. 조사 기간 중 평균 조성비는 유종 섬모충류가

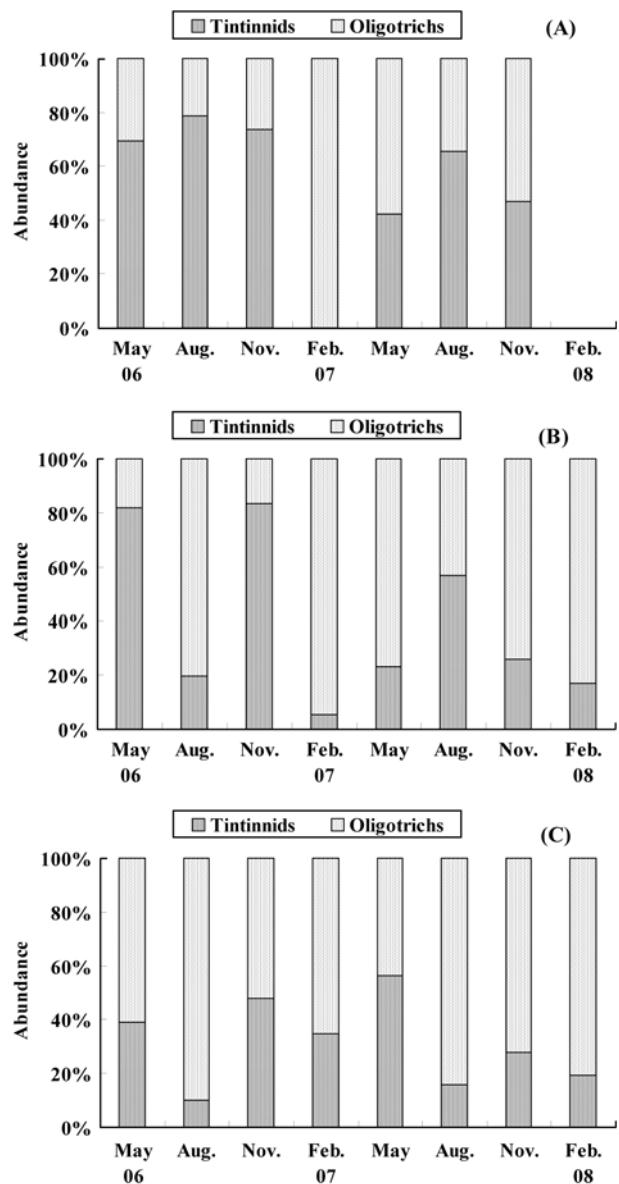


Fig. 4. Relative percentage of ciliates community in terms of abundance (cells l^{-1}) at St YC (A), St SC (B) and St JC (C).

35.3%를 차지하였고, 빈 섬모충류는 64.7%로 연구해역의 현존량 조성비는 빈 섬모충류가 유종 섬모충류에 비해 높았다. 정점에 따른 평균 조성비는 정점 YC에서 유종 섬모충류가 64.7%를 차지하였고, 빈 섬모충류가 35.3%를 나타내어 해역 전체 경향성과는 상이한 결과를 보여주었다. 반면 정점 SC와 JC에서는 유종 섬모충류가 각각 35.9%와 22.7%의 조성비를 나타내었고, 빈 섬모충류는 각각 62.3%와 77.3%를 나타내어, 하구역의 바깥쪽으로 갈수록 빈 섬모충류의 조성비는 증가하고 유종 섬모충류의 조성비는 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 4).

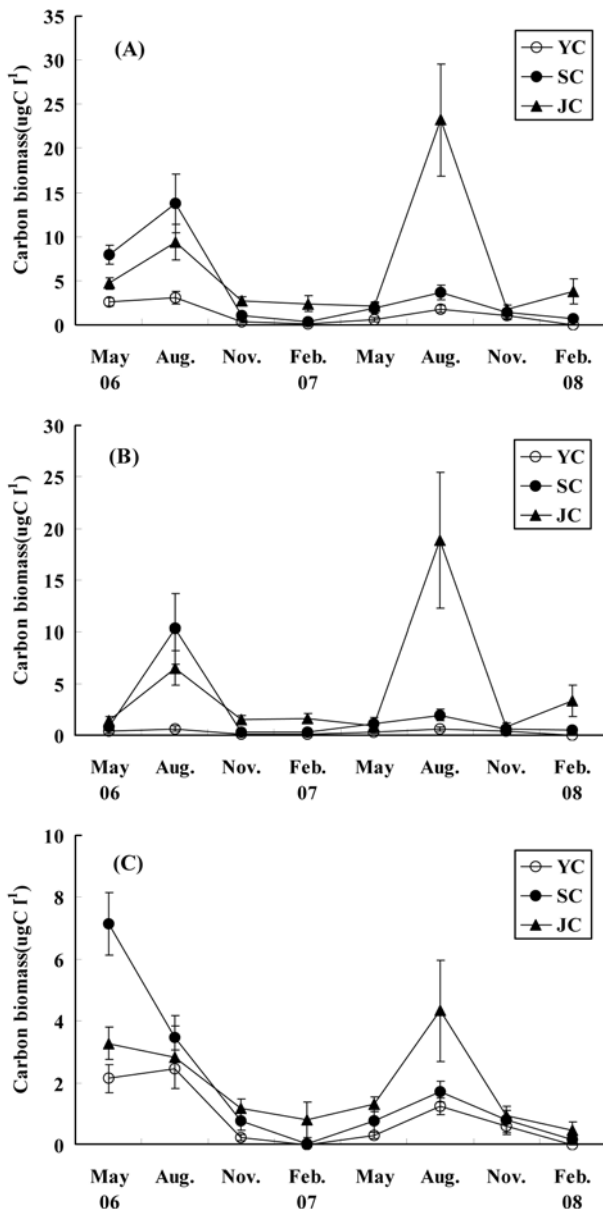


Fig. 5. Seasonal variations of carbon biomass of total ciliates (A), Oligotrichs (B), Tintinnids (C), expressed as mean \pm SE (vertical bars), respectively.

섬모충류 탄소량 분포

섬모충류 탄소량은 0.00~73.98 ugC l⁻¹의 범위로 평균 4.03 \pm 0.47 ugC l⁻¹를 나타내었다. 계절에 따른 탄소량 분포는 정점 YC와 SC에서는 현존량 분포와 마찬가지로 하계인 8월에 가장 높고 동계인 2월로 갈수록 감소하는 양상을 나타내었으나, 정점 JC는 하계에 가장 높고 동계 또는 춘계에 가장 낮게 나타나 연도에 따른 차이를 보여주었다(Fig. 3, 5). 정점 JC에서 섬모충류 탄소량의 계절 분포는 현존량 분포와 달리 빈 섬모충류의 탄소량이 크게 증가한 2008년 2월이 2007년 5월과 11월에 비해 높은 탄소량을 나타내었으며, 100 μ m 이상 크기의 빈 섬모충류 탄소량이 가장 큰 기여를 하였다. 평균 탄소량은 정점 JC(6.73 \pm 1.19 ugC l⁻¹)에서 가장 높았으며, 그 다음으로 정점 SC(4.08 \pm 0.67 ugC l⁻¹)와 YC(1.30 \pm 0.18 ugC l⁻¹) 순이었다. 조석에 따른 분포는 정점 YC와 JC에서 모든 시기에 조석에 따른 탄소량 차이를 보여주지 않았고, 정점 SC에서는 유종 섬모충류의 탄소량이 높았던 2006년 5월 낙조시에 창조시보다 높은 탄소량을 보여주었고, 빈 섬모충류의 탄소량이 높았던 2007년 5월 창조시에 낙조시보다 높은 탄소량을 나타내었다(Table 4-6).

섬모충류 중 빈 섬모충류는 0.00~68.11 ugC l⁻¹의 범위로 평균 2.36 \pm 0.43 ugC l⁻¹를 나타내었고, 계절 분포는 전체 섬모충류 탄소량 분포와 일치하였다(Fig. 5). 하계에는 정점 SC에서 50-100 μ m 크기의 빈 섬모충류의 탄소량이 가장 높았고, 정점 JC는 2006년에 50-100 μ m 빈 섬모충류의 탄소량이 가장 높았으며, 2007년에는 100 μ m 이상 빈 섬모충류의 탄소량이 가장 높았다. 그러나 정점 YC는 연중 1 ugC l⁻¹ 이하의 탄소량을 나타내었으며, 계절에 따른 차이가 크지 않았다(Fig. 5). 빈 섬모충류의 평균 탄소량은 정점 JC(4.68 \pm 1.13 ugC l⁻¹)에서 가장 높았고, 그 다음으로 정점 SC(2.08 \pm 0.56 ugC l⁻¹)와 YC(0.35 \pm 0.07 ugC l⁻¹) 순이었다. 조석에 따라서는 정점 YC와 SC에서 창조와 낙조에 따른 차이를 나타내지 않았으며, 정점 JC에서는 2006년 8월 창조시에 50-100 μ m 빈 섬모충류의 출현으로 낙조시 보다 높은 탄소량을 보여주었다(Table 4-6).

섬모충류 중 유종 섬모충류는 0.00~17.02 ugC l⁻¹의 범위로 평균 1.67 \pm 0.16 ugC l⁻¹를 나타내었다. 계절 분포는 정점 YC에서 하계에 높고 동계로 갈수록 감소하는 양상을 나타내었고, 정점 SC와 JC는 춘계 또는 하계에 높고 동계로 갈수록 감소하는 양상을 나타내어, 연도에 따른 차이를 보여주었다(Fig. 5). 하계에는 정점 YC에서 2006년에 *Tintinnopsis elongata*의 탄소량이 가장 높았고, 2007년에는 *Leptotintinnus* spp.의 탄소량이 높게 나타났다. 정점 SC는 2006년 춘계에 *T. elongata*, 2007년 하계에는 *Leptotintinnus* spp.의 탄소량이 가장 높았으며, 정점 JC는

2006년 춘계에 *Codonellopsis nipponica*, 2007년 하계에는 *Tintinnopsis radix*의 탄소량이 가장 높게 나타났다. 유종 섬모충류의 평균 탄소량은 정점 JC($2.05 \pm 0.32 \text{ ugC l}^{-1}$)에서 가장 높았으며, 그 다음으로 정점 SC($2.00 \pm 0.31 \text{ ugC l}^{-1}$)와 YC($0.95 \pm 0.15 \text{ ugC l}^{-1}$) 순이었다. 조석에 따라서는 정점 YC와 JC에서 창조와 낙조에 따른 탄소량 차이를 보여주지 않았고, 정점 SC에서는 2006년 5월 낙조시 *T. elongata*의 현존량 증가에 의해 창조시 보다 높은 탄소량을 나타내었다(Table 4-6).

유종 섬모충류와 빈 섬모충류의 탄소량에 따른 군집구성(%) 분포는 현존량과 마찬가지로 연도에 따른 계절적

경향이 불규칙하였으며, 정점에 따라서도 서로 다른 양상을 보여주었다. 조사 기간 중 평균 조성비는 유종 섬모충류가 41.5%를 차지하였고, 빈 섬모충류는 58.5%로 빈 섬모충류가 유종 섬모충류에 비해 다소 높게 나타났다. 정점에 따른 평균 조성비는 정점 YC에서 유종 섬모충류가 73.1%를 차지하였고, 빈 섬모충류가 26.9%를 나타내었다. 정점 SC와 JC에서는 유종 섬모충류가 각각 49.0%와 30.5%의 조성비를 나타내었고, 빈 섬모충류는 각각 51.0%와 69.5%를 나타내어, 현존량과 마찬가지로 하구역의 바깥쪽으로 갈수록 빈 섬모충류의 조성비는 증가하고 유종 섬모충류의 조성비는 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 6).

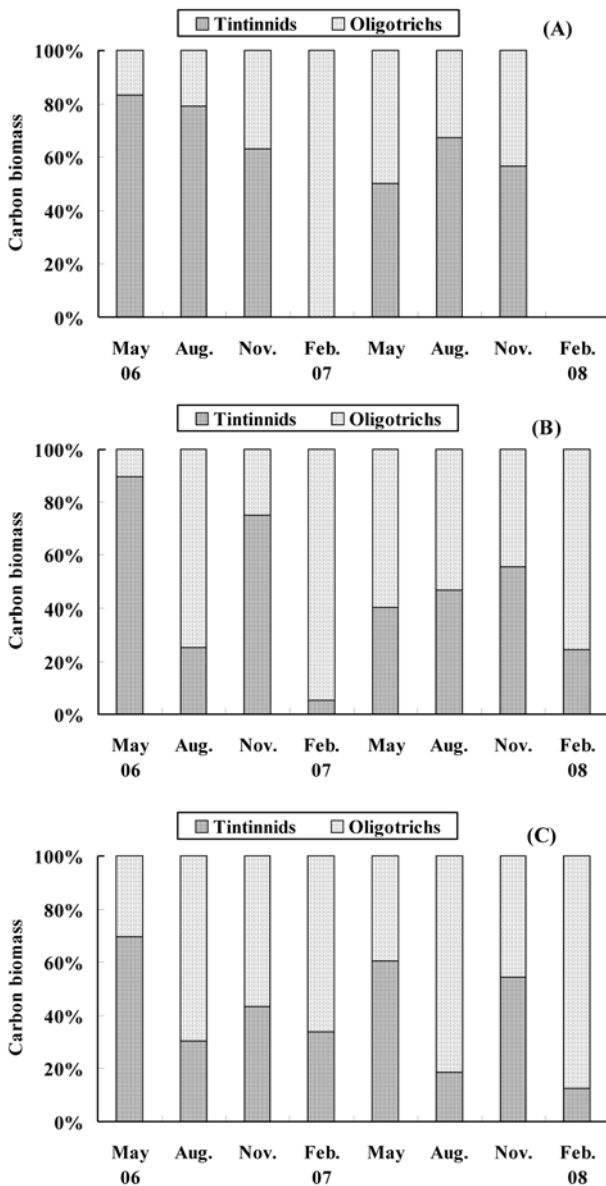


Fig. 6. Relative percentage of ciliates community in terms of carbon biomass (ugC l^{-1}) at St YC (A), St SC (B) and St JC (C).

환경요인과 섬모충류 탄소량 변동과의 관계

각 정점별 섬모충류의 계절변동에 중요한 환경요인을 파악하기 위하여 섬모충류 탄소량과 환경요인과의 상관분석을 실시한 결과, 모든 정점에서 섬모충류 탄소량은 부유물질 및 염분과 음의 상관관계를 나타내었고, 수온과는 양의 상관관계를 나타내었다. 엽록소 a 는 정점 YC에서는 유종 섬모충류와 소형 및 미소 엽록소 a 가 양의 상관관계를 나타내었고, 정점 SC에서는 유종 섬모충류가 미소 엽록소 a 와 양의 상관관계를 나타내었고, 빈 섬모충류와는 소형 및 미소 엽록소 a 와 양의 상관관계를 나타내었다. 정점 JC에서는 유종 섬모충류 및 빈 섬모충류 모두 소형 엽록소 a 와 양의 상관관계를 나타내었다(Table 7).

섬모충류 생물량의 지리적 분포에 중요한 환경요인을 파악하기 위하여 섬모충류 탄소량을 계절별로 나눠 상관분석을 실시하였다. 춘계인 5월은 2006년에 물리적 환경요인과는 관계가 나타나지 않았으며, 엽록소 a 에 대해 유종 섬모충류는 소형 엽록소 a 와 빈 섬모충류는 미소 엽록소 a 와 양의 상관관계를 나타내었다. 2007년은 유종 섬모충류가 부유물질과는 음의 상관관계를 그리고 염분과는 양의 상관관계를 나타내었다. 하계인 8월은 2006년 빈 섬모충류가 부유물질과는 음의 상관관계를 그리고 염분과는 양의 상관관계를 나타내었고, 2007년은 유종 섬모충류와 빈 섬모충류 모두 염분과 양의 상관관계를 나타내었다. 빈 섬모충류는 미소 엽록소 a 와 음의 상관관계를 나타내었다. 추계인 11월은 2006년 유종 섬모충류와 빈 섬모충류 모두 부유물질과는 음의 상관관계를 그리고 염분과는 양의 상관관계를 나타내었고, 빈 섬모충류는 미소 엽록소 a 와 음의 상관관계를 나타내었으며, 2007년은 환경요인과의 관계가 나타나지 않았다. 동계인 2월은 2007년 빈 섬모충류가 부유물질 및 소형 엽록소 a 와는 음의 상관관계를 나타내었고, 염분과는 양의 상관관계를 나타내었다. 2008년 2월은 유종 섬모충류와 염분이 양의 상관관계를 나타내었으며, 빈 섬모충류는 부유물질과 미소 엽록소 a 와는 음의

Table 7. Spearman's correlation coefficients between carbon biomass of ciliates and environmental variables at each station. All data through mooring observation at 3 stations were used. Top numbers are correlation coefficients and bottom numbers are the calculated probabilities. Significant correlations are indicated by bold numbers (TC: Total ciliates, TIN: Tintinnids, OLI: Oligotrichs)

	YC (n=87)			SC (n=92)			JC (n=86)		
	TC	TIN	OLI	TC	TIN	OLI	TC	TIN	OLI
SS	-0.423 0.000	-0.383 0.000	-0.271 0.011	-0.398 0.000	-0.392 0.000	-0.257 0.013	-0.337 0.002	-0.260 0.015	-0.282 0.009
Temperature	0.537 0.000	0.494 0.000	0.298 0.005	0.484 0.000	0.377 0.000	0.363 0.000	0.473 0.000	0.384 0.000	0.390 0.000
Salinity	-0.532 0.000	-0.486 0.000	-0.294 0.006	-0.457 0.000	-0.303 0.003	-0.365 0.000	-0.527 0.000	-0.379 0.000	-0.449 0.000
Micro Chl. <i>a</i>	0.203 0.059	0.240 0.025	-0.044 0.687	0.368 0.000	0.146 0.168	0.384 0.000	0.486 0.000	0.290 0.007	0.431 0.000
Nano Chl. <i>a</i>	0.223 0.037	0.243 0.023	0.027 0.803	0.473 0.000	0.345 0.001	0.356 0.001	-0.148 0.173	0.176 0.106	-0.206 0.057

Table 8. Spearman's correlation coefficients between carbon biomass of ciliates and environmental variables on each season. All data through mooring observation at 3 stations were used. Top numbers are correlation coefficients and bottom numbers are the calculated probabilities. Significant correlations are indicated by bold numbers (TC: Total ciliates, TIN: Tintinnids, OLI: Oligotrichs)

	May 2006 (n=39)			May 2007 (n=36)			Aug. 2006 (n=37)			Aug. 2007 (n=37)		
	TC	TIN	OLI	TC	TIN	OLI	TC	TIN	OLI	TC	TIN	OLI
SS	-0.080 0.628	0.004 0.980	-0.271 0.095	-0.441 0.007	-0.427 0.009	-0.275 0.105	-0.293 0.079	0.081 0.635	-0.341 0.039	-0.365 0.026	-0.260 0.121	-0.317 0.056
Salinity	0.096 0.565	0.019 0.909	0.249 0.132	0.394 0.017	0.483 0.003	0.161 0.349	0.369 0.027	0.049 0.776	0.403 0.015	0.606 0.000	0.367 0.025	0.544 0.001
Micro Chl. <i>a</i>	0.461 0.003	0.430 0.006	0.200 0.223	0.078 0.658	0.116 0.507	0.013 0.940	0.266 0.117	0.329 0.050	0.126 0.463	-0.016 0.924	0.032 0.851	-0.027 0.872
Nano Chl. <i>a</i>	0.340 0.034	0.237 0.146	0.386 0.015	0.193 0.260	0.281 0.097	0.042 0.809	0.164 0.340	0.213 0.213	0.072 0.678	-0.574 0.000	-0.265 0.113	-0.533 0.001
	Nov. 2006 (n=32)			Nov. 2007 (n=27)			Feb. 2007 (n=29)			Feb. 2008 (n=30)		
	TC	TIN	OLI	TC	TIN	OLI	TC	TIN	OLI	TC	TIN	OLI
SS	-0.554 0.001	-0.445 0.011	-0.460 0.008	-0.206 0.302	-0.180 0.368	-0.153 0.445	-0.438 0.017	-0.281 0.140	-0.478 0.009	-0.499 0.005	-0.348 0.060	-0.441 0.015
Salinity	0.615 0.000	0.426 0.015	0.571 0.001	0.158 0.431	0.155 0.441	0.103 0.609	0.491 0.007	0.338 0.073	0.514 0.004	0.531 0.003	0.374 0.042	0.469 0.009
Micro Chl. <i>a</i>	0.156 0.395	0.007 0.969	0.235 0.195	-0.179 0.372	-0.228 0.252	-0.077 0.702	-0.369 0.049	-0.187 0.331	-0.446 0.015	0.349 0.059	0.130 0.494	0.328 0.077
Nano Chl. <i>a</i>	-0.447 0.010	-0.307 0.087	-0.418 0.017	0.011 0.957	0.136 0.498	-0.095 0.637	-0.308 0.104	-0.221 0.250	-0.316 0.095	-0.462 0.010	-0.330 0.075	-0.407 0.026

상관관계를 나타내었고, 염분과는 양의 상관관계를 나타내었다(Table 8).

4. 고찰

조석과 섬모충류 현존량 분포

플랑크톤 분포는 수괴의 환경특성에 영향을 받으며 조

석의 영향을 많이 받는 수역에서 조석주기는 부유생물의 분포에 영향을 미친다(양과 최 2003). 중국 발해만에서 연구는 대조기 때 소조기에 비해 유종 섬모충류의 현존량이 높다고 보고하였으나(Zhang and Wang 2000), 양과 최(2003)는 인천연안에 위치한 세어도 해역에서 대조기와 소조기에 따른 차이가 발생하지 않았으나, 간조와 만조에 따른 차이는 뚜렷하였고, 인천연안의 팔미도 수역에서는

간조와 만조에 따른 차이를 보여주지 않았으나, 소형동물 플랑크톤의 일부 그룹에서 대조기와 소조기에 따른 현존량 차이를 나타내어, 조석주기의 차이 보다 시료 채집의 시간적 차이가 더 큰 원인일 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 2006년 8월 낙조시에 최대 30배의 현존량 차이를 나타내어 조사 시간에 따른 차이가 매우 큼을 알 수 있다. 환경요인(수온, 염분, 부유물질, 엽록소 *a*)은 창조시와 낙조시에 차이를 나타내었으나 시기와 정점에 따라 불규칙하였고, 통계적으로 의미 있는 차이는 일부시기에 국한되었으며, 일정한 양상을 보여주지 않았다(Table 1-3). 섬모충류 생물량도 시기와 정점에 따라 차이를 나타내었으며, 대부분의 시기에는 조석에 따른 생물량 차이를 나타내지 않았다(Table 4-6). 따라서 연구 해역의 섬모충류 현존량은 조석에 의한 영향을 크게 받지 않는 것으로 사료된다.

섬모충류의 계절 분포에 영향을 미치는 환경요인

연구해역의 섬모충류 연속관측 평균 현존량은 0~3,095 cells l^{-1} 의 범위였으며, 탄소량은 0.00~13.78 $\mu g C l^{-1}$ 범위로 하계에 높고 동계에 낮게 나타났다(Fig. 5). 많은 온대해역에서 소형동물플랑크톤의 현존량 및 탄소량이 하계에 높고 동계에 낮은 경향을 보여주고 있으며(Burkill et al. 1987; Dolan and Coats 1990; Leakey et al. 1992; Edwards and Burkill 1995), 하계 현존량 증가는 먹이 공급의 증가로 설명되곤 하는데, 소형동물플랑크톤의 현존량과 엽록소 *a* 간에 양의 상관관계를 나타내는 결과들이 보고되어 있다(Revelante and Gilmartin 1983; Revelante et al. 1985; Sanders 1987; Godhantaraman 2001). 조사해역의 섬모충류 생물량은 모든 정점에서 수온과는 양의 상관관계를 나타내었으며, 분류군간의 차이는 있지만 엽록소 *a*와 양의 상관관계를 보여주었다(Table 7). 소형동물플랑크톤의 하계 현존량 증가는 수온이 성장을 촉진에 가장 중요한 요인으로 알려져 있으며, 하계 높은 수온은 소형동물플랑크톤의 현존량 증가에 기여한다(Verity 1985; Abboud-Abi Saab 1989; Kamiyama 1994). 따라서 한강 하구역에서 하계 섬모충류 탄소량 증가는 수온 상승과 먹이원 증가에 따른 것으로 사료되며, 일반적인 온대해역의 소형동물플랑크톤 분포 경향을 나타내었다.

엽록소 *a*와의 관계에서 정점 YC는 유종 섬모충류와 소형 및 미소 엽록소 *a*가 양의 상관관계를 나타내었는데, 유종 섬모충류는 미소식물플랑크톤의 주요 포식자로 일반적으로 피각(lorica)의 구경은 먹이원의 크기와 관련 있다. Heinbokel(1978)은 유종 섬모충류가 섭이할 수 있는 최대 크기는 피각 구경의 50%라고 하였으며, Dolan et al. (2002)은 피각 구경의 25% 크기의 먹이를 가장 잘 섭이한다고 하였다. 하계 우점종은 *Tintinnopsis elongata*와

Leprotintinnus spp로 피각의 구경은 각각 53.5 μm 와 26.4 μm 로 미소 식물플랑크톤의 적당한 포식자로 사료되며, *T. elongata*는 일부 소형식물플랑크톤도 섭이 가능할 것으로 사료된다. 또한 정점 SC에서 빈 섬모충류와 소형 및 미소 엽록소 *a*가 양의 상관관계를 나타내고 있는데 하계 탄소량에서 가장 우점하는 빈 섬모충류는 50-100 μm 크기로 평균 70 μm 크기를 나타내었다. 빈 섬모충류와 먹이원의 크기는 2.5:1~30:1의 관계를 가지는 것으로 알려져 있어(Heinbokel 1978), 50-100 μm 빈 섬모충류는 미소 식물플랑크톤의 주 포식자이며, 일부 소형 식물플랑크톤도 섭이 가능할 것으로 보인다. 정점 JC에서는 유종 섬모충류와 빈 섬모충류 모두 소형 엽록소 *a*와 양의 상관관계를 나타내었는데, 하계 우점종은 유종 섬모충류에서는 *Codonellopsis nipponica*와 *Tintinnopsis radix*로 피각의 구경은 각각 61 μm 와 50 μm 로 크기가 매우 큰 종들이었다. 또한 빈 섬모충류는 50-100 μm (평균 70 μm)와 >100 μm 크기(평균 130 μm)로 소형 식물플랑크톤 섭이가 가능한 종들이었다. 그러나 조사 해역에서 출현한 식물플랑크톤의 하계 우점종은 *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros debilis* 그리고 *Eucampia zodiacus*로 모두 체인형의 규조류이기 때문에 섬모충류의 먹이원으로 적합하지 않을 것으로 사료된다. 따라서 먹이원은 미소 식물플랑크톤에 국한 될 것으로 보이며, 섬모충류 탄소량 증가는 미소 엽록소 *a*와 관련이 있는 것으로 사료된다.

또한 섬모충류 탄소량은 부유물질 농도와 모든 정점에서 음의 상관관계를 나타내었는데, 부유물질 농도는 연도에 따른 차이는 있으나 동계에 가장 높고 하계 또는 춘계에 가장 낮은 양상을 보여준 반면 섬모충류 탄소량은 하계에 가장 높고 동계 또는 추계에 가장 낮은 양상을 나타내었다(Fig. 2, 5). 높은 부유물질 농도는 섬모충류나 여과식자의 섭식기작을 방해하고(Garstecki et al. 2002), 상대적으로 이용 가능한 먹이 농도를 희석시키는 역할을 하기 때문에(Widdows et al. 1979; Arruda et al. 1983), 성장을 저하시키는 원인이 된다. 모든 하구역은 입구부분에서 부유물질 농도가 매우 높은 최대 탁도 지역을 나타내고 있는데(Barria de Cao et al. 2005), 정점 YC와 SC의 최대 부유물질 농도는 갈수기인 동계에 >1,000 $mg l^{-1}$ 를 나타내어 연구해역이 이에 속하는 것으로 사료된다. 이러한 최대 탁도 지역은 물리적 환경조건이 매우 불안정하여 부유생물 군집의 사망률과 스트레스가 증가하는 지역으로 매우 낮은 일차생산력을 나타낸다(Bousfield et al. 1975; Kimmerer 1992). 따라서 정점 YC와 SC에서 동계 또는 추계에 정점 JC에 비해 매우 낮은 섬모충류 탄소량은 이런 관점에서 이해할 수 있으며, 섬모충류 탄소량의 계절 분포는 부유물질의 계절분포와 관련이 있는 것으로 사료된다. 그러나 정점 JC에서는 동계인 2007년 2월을 제외하

면 계절에 따라 10~60 mg l⁻¹의 범위를 나타내어(Fig. 2) 정점 YC와 SC에 비해 섬모충류 탄소량 변동에 미치는 부유물질의 영향은 미약할 것으로 사료된다.

부유물질은 상기의 생물학적 저해 요인 외에 원생동물을 분석하는 과정에서 생물량을 저평가하게 만들기도 한다. Pick and Caron(1987)은 부유사가 많이 포함된 시료 분석 시 종속영양편모류의 생물량 저평가를 언급하였으며, Lovejoy et al.(1993)은 부유사가 많이 포함된 시료의 경우 일반적인 현미경 관찰 시 80% 정도 생물량의 저평가를 가져올 수 있다고 하였다. 중국 발해만에서 연속관측 자료에서도 섬모충류의 관찰이 확인되지 않은 사례들이 있으며(Zhang and Wang 2000), 본 연구 기간 중에도 정점 YC에서 2008년 2월에 섬모충류의 출현이 확인되지 않았다. 따라서 동계 부유물질의 급격한 증가는 섬모충류의 생물량을 저평가하는 원인이 될 수 있을 것으로 보인다.

염분은 모든 정점에서 섬모충류 탄소량과 음의 상관관계를 나타내었다. 이는 하계 섬모충류 탄소량이 크게 증가한 반면, 염분 농도는 크게 감소하였기 때문이다. 하구역은 담수 유입에 의해 넓은 범위의 염분 구배를 나타내며, 하구역에 서식하는 생물 군집은 염분 분포에 따라 다양하게 나타난다(Kimmerer 2002). 담수 유입은 영양염 유입량 증가로 식물플랑크톤 생산력을 증가시키는 긍정적 측면이 있으나(Mallin et al. 1993; Sin et al. 1999), 개체군의 손실이나 삼투 스트레스와 같은 부정적 영향을 나타내기도 한다(Howarth et al. 2000). 특히, 정점 YC와 SC에서 2007년 8월 염분 농도는 각각 평균 7.38 psu와 10.58 psu로 2006년 8월에 비해 감소하였으며(각각 9.39 psu, 14.85 psu), 탄소량 역시 2006년에 비해 2007년에 감소하는 연도별 차이를 나타내었다. 따라서 하계 연도에 따른 섬모충류 탄소량 변동은 염분 농도 감소와 관련이 있는 것으로 사료된다.

이상에서 섬모충류 탄소량의 계절분포는 수온, 부유물질 그리고 엽록소 *a*(특히, 미소 엽록소 *a*) 변동과 관련이 큰 것으로 보이나, 이 들 환경요인은 독립적으로 섬모충류 탄소량에 영향을 미치지 보다는 복합적인 영향을 미치는 것으로 보인다. 또한 염분 변동은 섬모충류 탄소량의 연변화와 관련은 있으나, 계절분포를 결정하는 요인은 아닌 것으로 사료된다.

섬모충류의 공간 분포에 영향을 미치는 환경요인

계절에 따른 해역 간 섬모충류 탄소량 변동과 환경요인과의 상관분석에서 연도에 따른 차이는 있으나 섬모충류 탄소량과 부유물질 농도는 음의 상관관계를 나타내었다(Table 8). 연구해역에서 부유물질 농도는 동계인 2007년 2월을 제외하고 정점 YC에서 가장 높았으며, 그 다음으로 SC와 JC 순이었다(Fig. 2). 섬모충류 탄소량은 2006년 5

월과 8월을 제외하고 정점 JC에서 가장 높았으며, 그 다음으로 SC와 YC 순으로 나타나(Fig. 5) 부유물질 농도가 높은 정점 YC에서는 연중 타 정점에 비해 낮은 탄소량을 나타내었다. 2006년 5월과 8월은 부유물질 농도 분포와 달리 정점 JC에 비해 정점 SC에서 섬모충류 탄소량이 높았는데, 이는 이 시기 SC에서 부유물질 농도가 크게 감소하여 섭이 장애와 같은 영향이 미약하였기 때문인 것으로 사료된다. 또한 섬모충류 중 유종 섬모충류의 상대적 탄소량 조성비는 연구 기간 중 평균 부유물질 농도가 가장 높은 정점 YC에서 높게 나타났으며, 부유물질 농도 감소에 따라 유종 섬모충류의 탄소량 조성비도 정점 SC와 JC 순으로 감소하였다. Tillmann et al.(1998)은 소형동물플랑크톤의 생물량 분포가 그룹에 따라 지리적 차이를 나타내며, 소형동물플랑크톤 중 유종 섬모충류는 다른 그룹에 비해 탁도가 높은 해역에서 탄소량 비중이 높게 나타난다고 하였다. 그는 이러한 그룹 간 공간 분포 차이가 탁도 구배에 따른 결과라 하였으며, 본 연구 결과와 일치하는 내용이다. 그러나 탁도가 분류군의 공간 분포에 어떠한 역할을 하는 지는 추후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

염분은 연도에 따른 차이가 있으나 섬모충류 탄소량과의 상관관계를 나타내었다(Table 8). 2006년 5월과 8월을 제외하고, 염분 농도가 가장 높았던 정점 JC에서 연중 가장 높은 탄소량을 나타내었으며, 염분 농도가 연중 가장 낮게 나타난 정점 YC에서 가장 낮은 탄소량을 나타내었다(Fig. 2, 5). 하구역에서 다른 연구 결과에서도 염분 감소에 따른 섬모충류 현존량 감소를 보고하고 있다(Elserehy and Sleight 1993; Mazei and Burkovsky 2006). 하구역은 물리적 환경변이가 크고, 넓은 범위의 염분구배를 나타내는 지역으로 특징지어진다. 하구역 군집에 있어 가장 제한 받는 염분 범위는 3-8 psu로 해양성이나 담수성 생물 모두 생리적 제한을 받는다(Khlebovich 1974, 1981, 1986). 연구해역은 경기만에 위치한 한강 하구역으로 염분은 2.63~31.63의 범위로 계절에 따른 변동 범위가 크고, 해역에 따라서도 정점 YC, SC 그리고 JC 순으로 뚜렷한 염분구배를 나타내어 하구역의 특징을 잘 반영하고 있다. 2007년 8월 정점 YC와 SC에서 섬모충류 탄소량은 정점 JC에 비해 매우 낮은 탄소량을 나타내었으며, 2006년 8월에 비해 정점 JC와의 탄소량 차이가 매우 크게 나타났다. 염분 농도는 정점 YC와 SC에서 2006년에 비해 2007년에 크게 감소하였으며, 이러한 정점 간 염분 격차는 섬모충류 탄소량의 정점 간 격차 변동에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 특히, 정점 SC에서 2006년 하계와 JC에서 2006년 및 2007년 하계에 섬모충류 탄소량이 크게 증가한데 반해 정점 YC는 하계에도 탄소량 증가가 크지 않았다. 이는 정점 YC에서 2006년 하계에 9.38 psu 그리고 2007년 하계에 8 psu 이하의 염분을 나타내고 있어 삼투 스트레스

에 따른 성장률 저해가 타 정점에 비해 크게 작용하기 때문인 것으로 보인다. 따라서 염분은 섬모충류 탄소량의 공간 분포와 관련이 있는 것으로 사료된다.

엽록소 *a*는 춘계에 섬모충류 탄소량과 양의 상관관계를 나타내었으나 타 계절에는 음의 상관관계를 나타내어 (Table 8) 춘계를 제외하고, 엽록소 *a* 분포가 섬모충류의 포식과 관련이 있는 것으로 사료된다. 그러나 소형식물플랑크톤은 체인형이 가장 우점하여 출현하였기 때문에 섬모충류에 의한 포식은 주로 미소형 식물플랑크톤에 제한될 것으로 보인다. 미소 엽록소 *a*는 2006년 춘계와 2007년 하계, 그리고 2008년 동계에 빈 섬모충류와 음의 상관관계를 나타내었는데, 연속관측 중 정점 JC에서는 빈 섬모충류 탄소량 변동에 따른 미소 엽록소 *a* 변동이 뚜렷하게 나타났으나, 정점 YC와 SC에서는 빈 섬모충류 탄소량 변동에 따른 미소 엽록소 *a* 변동이 미약하였다. 이는 정점 JC에 비해 정점 YC와 SC에서 미소형 식물플랑크톤에 대한 섬모충류의 포식압이 낮다는 것을 의미한다.

정점 YC는 연중 타 정점에 비해 낮은 탄소량을 나타내고 있는데 이는 연중 높은 부유사 농도에 의한 섭식 장애와 하계 급격한 염분 감소로 인한 삼투 스트레스 등 섬모충류의 성장을 저해하는 요인들이 타 정점에 비해 매우 크게 작용하기 때문인 것으로 사료된다.

이상에서 섬모충류 탄소량의 공간분포는 부유물질 및 염분과 관련이 있는 것으로 보이며, 이 둘 환경요인들은 섬모충류 탄소량의 공간 분포에 복합적인 영향을 미치는 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2007년도 한국해양연구원 기본사업 “하구역 관리 및 기능회복 기술 개발(PE97101)”의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 본 연구를 위해 자료수집에 도움을 주신 (주)에코선 해양생태팀 연구원과 본 논문을 검토해 주신 심사위원님께 감사드립니다.

참고문헌

권순기, 최중기 (1994) 한강하류 및 하구역의 식물플랑크톤 생태연구 I. 환경요인과 일차생산력. *Yellow Sea Res* **6**: 77-99

권오윤, 정승원, 이진환 (2006) 한강 하류의 환경학적 연구 VIII. 식물플랑크톤 군집의 변화에 미치는 물리 화학적 요인. *한국육수학회지* **39**:340-351

김용재, 김명운, 김상중 (1998) 한강 중하류 수계에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성. *Algae* **13**:331-338

서미연, 김백호, 배경석 (2007) 한강 하류에서 환경요인의 변

동과 식물플랑크톤의 군집 동태. *한국육수학회지* **40**: 395-402

손주원 (2001) 연안환경에서 유기 화합물에 대한 특성 연구. 이학석사 학위논문, 인하대학교, 81 p

심재형, 박수영, 조병철, 이원호 (1995) 만경동진강 염하구에서 섬모충류에 의한 박테리아 섭식에 관하여. *한국해양학회지* **30**:426-435

양은진, 최중기 (2003) 경기만 수역에서 미세생물 군집의 계절적 변동 연구 II. 미소형 및 소형 동물플랑크톤. *한국해양학회지* 「바다」 **8**:78-93

유광일, 임병진 (1991) 한강하류계의 식물플랑크톤 군집과 수질오염지표에 대하여. *한국육수학회지* **23**:267-277

윤병일 (2006) 경기만 한강하구 조석/조류 전파 특성 및 비선형 천해분조에 대한 수치 모델링. 이학석사 학위논문, 인하대학교, 93 p

이원제, 신경순, 이재도 (2007) 마산만에서 부유원생동물의 연구. *Ocean and Polar Res* **29**:401-410

정해진, 박종규, 김재성, 김성택, 윤주이, 김수경, 박용빈 (2000) 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생 연구 3. 1997년도 종속영양성 와편모류와 섬모류의 시공간적 변화. *한국해양학회지* 「바다」 **5**:37-46

정해진, 유영두, 김재성 (2002) 전북 새만금 남쪽해역의 유해성 적조 연구 발생 연구 2. 1999년도 여름-가을 종속영양성 와편모류와 섬모류의 시간적 변화. *한국해양학회지* 「바다」 **7**:140-147

최중기, 권순기 (1994) 한강하류 및 하구역의 식물플랑크톤 생태연구 II. 식물플랑크톤 군집구조. *Yellow Sea Res* **6**:101-129

Abboud-Abi SM (1989) Distribution and ecology of tintinnids in the plankton of Labanese coastal waters (eastern Mediterranean). *J Plank Res* **2**:203-222

Arruda JA, Marzolf GR, Faulk RT (1983) The role of suspended sediments in the nutrition of zooplankton in turbid reservoirs. *Ecology* **64**:1225-1235

Barria de Cao MB, Beigt D, Piccolo G (2005) Temporal variability of diversity and biomass of tintinnids (Ciliophora) in a southwestern Atlantic temperate estuary. *J Plank Res* **27**:1103-1111

Bojanic N, Vidjak O, Brautovic I (2006) Spatial and temporal variability in abundance and biomass of oligotrichs ciliates in Kastela Bay (middle Adriatic Sea). *Acta Adriat* **47**:93-109

Bousfield EL, Filteau G, O'Neil M, Gentes P (1975) Population dynamics of zooplankton in the middle St. Lawrence Estuary. In: Cronin Le (ed) *Estuarine research*, vol 1. Academic Press, New York, pp 325-341

Burkill PH, Mantoura RFC, Llewellyn CA, Owens NJP (1987) Microzooplankton grazing and selectivity of phytoplankton in coastal waters. *Mar Biol* **93**:581-590

- Capriulo GM, Sherr EB, Sherr BF (1991) Trophic behaviour and related community feeding activities of heterotrophic marine protists. In: Reid PC, Turley CM, Burkill PH (eds) *Protozoa and their role in marine processes*, NATO ASI series symposium, vol 25. Springer-Verlag, New York, pp 219-265
- Choi JK, Kim SK, Noh JH, Park KC (1995) The study on the grazing rate of protozooplankton in the microbial food web of Incheon coastal waters. *J Korean Soc Oceanogr* **30**:458-466
- Dolan JR, Coats DW (1990) Seasonal abundances of planktonic ciliates and microflagellates in mesohaline Chesapeake Bay waters. *Estuar Coast Shelf Sci* **31**:157-175
- Dolan JR, Claustre H, Carotti F, Plounevez S, Moutin T (2002) Microzooplankton diversity: relationships of tintinnids ciliates with resources, competitors and predators from the Atlantic coast of Morocco to the eastern Mediterranean. *Deep-Sea Res I* **49**:1217-1232
- Dolan JR, Sall N, Metcalfe A, Gasser B (2003) Effects of turbulence on the feeding and growth of a marine oligotrich ciliate. *Aquat Microb Ecol* **31**:183-192
- Edwards ES, Burkill PH (1995) Abundance, biomass and distribution of microzooplankton in the Irish Sea. *J Plank Res* **17**:771-782
- Elseberry HAH, Sleigh MA (1993) Ciliates in the plankton of the river Itchen estuary, England. *Acta Protozool* **32**:183-190
- Fenchel T (1987) *Ecology of protozoa: the biology of free living phagotrophic protists*. Springer-Verlag, Berlin, 197 p
- Garstecki T, Wickham SA, Arndt H (2002) Effects of Experimental sediment resuspension on a coastal planktonic microbial food web. *Estuar Coast Shelf Sci* **55**:751-762
- Godhantaraman N (2001) Seasonal variations in taxonomic composition, abundance and food web relationship of microzooplankton in estuarine and mangrove waters, Parangipettai, southeast coast of India. *Indian J Mar Sci* **30**:151-160
- Godhantaraman N, Uye S (2003) Geographical and seasonal variations in taxonomic composition, abundance and biomass of microzooplankton across a brackish-water lagoonal system of Japan. *J Plankton Res* **25**:465-382
- Gonzalez JM (1999) Bacterivory rate estimates and fraction of active bacterivores in natural protist assemblages from aquatic systems. *App Environ Microbiol* **65**:1463-1469
- Heinbokel JF (1978) Studies on the functional role of tintinnids in the southern California Bight. 1. Grazing and growth rates in laboratory cultures. *Mar Biol* **47**:177-189
- Kamiyama T (1994) The impact of grazing by microzooplankton in northern Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea of Japan. *Mar Biol* **119**:77-88
- Kamiyama T, Arima S, Tsujino M (2003) Characteristics of the distribution of bacteria, heterotrophic nanoflagellates and ciliates in Hiroshima Bay in summer. *Fish Sci* **69**:755-766
- Khlebovich VV (1974) *Kriticheskaya solenost' biologicheskikh protsessov (Critical Salinity of Biological Processes)*. Nauka, Leningard (in Russian)
- Khlebovich VV (1981) *Acclimation of animal organism*. Nauka, Leningard (in Russian)
- Khlebovich VV (1986) On biological typology of the estuaries of the USSR. *Proc Zool Inst AS USSR* **141**:5-16 (in Russian)
- Kimmerer WJ (1992) An evaluation of existing data in the entrapment zone of the San Francisco Bay estuary. Interagency Ecological Studies Program for the Sacramento San Joaquin estuary, Technical report 33, FS/BIO-IATR/92-33, 49 p
- Kimmerer WJ (2002) Effects of freshwater flow on abundance of estuarine organisms: Physical effects or trophic linkage? *Mar Ecol Prog Ser* **243**:39-55
- Kofoid CA, Campbell AS (1929) A conspectus of the marine and freshwater ciliata belonging to the suborder Tintinninoinea, with descriptions of new species principally from the Agassiz expedition to the eastern tropical pacific 1904-1905. *Univ Calif Publ Zool* **34**:403 p
- Leakey RJG, Burkill PH, Sleigh MA (1992) Planktonic ciliates in Southampton water: abundance, biomass, production, and role in pelagic carbon flow. *Mar Biol* **114**:67-83
- Lee WJ, Choi JK (2000) The role of heterotrophic protists in the planktonic community of Kyeonggi Bay, Korea. *J Korean Soc Oceanogr* **35**:46-55
- Lei Y, Choi JK, Xu K, Petz W (2005a) Morphology and infraciliature of three species of Metaurostylopsis (Ciliophora, Stichotrichia): *M. songi* n. sp., *M. salina* n. sp., and *M. marina* (Kahl 1932) from sediments, saline ponds, and coastal waters. *J Eukar Microbiol* **52**:1-10
- Lei Y, Xu K, Choi JK (2005b) *Holosticha hamulata* n. sp. and *Holosticha heterofoissneri* Hu and Song, 2001, two urotylid ciliates (protozoa, ciliophora) from intertidal sediments of the Yellow Sea. *J Eukar Microbiol* **52**:310-318
- Lovejoy C, Vincent WF, Frenette JJ, Dodson JJ (1993) Microbial gradients in a turbid estuary: application of a new method for protozoan community analysis. *Limnol Oceaogr* **38**:1295-1303
- Mazei YA, Burkovsky IV (2006) Pattern of psammophilous ciliate community structure along the salinity gradient in the Chernayta River estuary (the Kandalaksha Gulf, the White Sea). *Protistology* **4**:251-268

- Paffenhofer GA (1998) Heterotrophic protozoa and small metazoa: feeding rates and prey consumer interactions. *J Plankton Res* **20**:121-133
- Park GS, Marshall HG (2000) Estuarine relationships between zooplankton community structure and trophic gradients. *J Plankton Res* **22**:121-135
- Peters F, Marrase C, Havskum H, Rassoulzadegan F, Dolan J, Alcaraz M, Gasol JM (2002) Turbulence and the microbial food web: Effects on bacterial losses to predation and on community structure. *J Plankton Res* **24**:321-331
- Pick FR, Caron DA (1987) Picoplankton and nanoplankton biomass in Lake Ontario: relative contribution of phototrophic and heterotrophic communities. *Can J Fish Aquat Sci* **44**:2167-2172
- Pierce RW, Turner JT (1992) Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Rev Aquat Sci* **6**:139-181
- Putt M, Stoecher DK (1989) An experimentally determined carbon : volume ratio for marine "oligotrichous" ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol Oceanogr* **34**: 1097-1103
- Revelante N, Gilmartin M (1983) Microzooplankton distribution in the northern Adriatic Sea with emphasis on the relative abundance of ciliated protozoans. *Limnol Oceaogr* **21**:24-38
- Revelante N, Gilmartin M, Smolaka N (1985) The effects of Po river induced eutrophication on the distribution and community structure of ciliated protozoan and micrometazoan populations in the Northern Adriatic Sea. *J Plank Res* **7**:461-471
- Sin Y, Wetzel RL, Anderson IC (2000) Seasonal variations of size-fractionated phytoplankton along the salinity gradient in the York River estuary, Virginia (USA). *J Plank Res* **22**:1945-1960
- Stelfox-Widdicombe CE, Archer SD, Burkill PH, Stefels J (2004) Microzooplankton grazing in *Phaeocystis* and diatom dominated waters in the southern North Sea in spring. *J Sea Res* **51**:37-51
- Tillmann U, Hesse KJ (1998) On the quantitative importance of heterotrophic microplankton in the Northern German Wadden Sea. *Estuaries* **21**:585-596
- Verity PG, Langdon C (1984) Relationships between lorica volume, carbon, nitrogen, and ATP content of tintinnids in Narragansett Bay. *J Plankton Res* **66**:859-868
- Vidjak O, Bojanic N, Kuspilic G, Marasovic I, Gladan ZN, Brautovic I (2006) Annual variability and trophic relations of the mesozooplankton community in the eutrophicated coastal area (Vranjic Basin, eastern Adriatic Sea). *J Mar Biol Ass UK* **86**:19-26
- Widdows J, Fieth P, Worrall CM (1979) Relationship between seston, available food, and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar Biol* **50**:195-207
- Yamaji I (1980) Illustrations of the marine plankton of Japan. Hoikusha Publishing Company, Osaka, 369 p
- Yoo K, Lee JB (1987) On the trophic correlation between tintinnids and dinoflagellate in Masan Bay, Korea. *Bull Korean Fish Soc* **20**:230-236
- Yoo KI, Kim YO (1990) Taxonomical studies on tintinnids (protozoa: Ciliata) in Korean coastal waters. 2. Yongil Bay. *Korean J Syst Zool* **4**:67-90
- Yoo KI, Kim DY, Kim YO (1988) Taxonomical studies on tintinnids(protozoa: Ciliata) in Korean coastal waters, 1. Chinhae Bay. *Korean J Syst Zool* **4**:67-90
- Zhang W, Wang R (2000) Summertime ciliates and copepod nauplii distribution and micro-zooplankton herbivorous activity in the Laizhou Bay, Bohai Sea, China. *Est Coast Shelf Sci* **51**:103-114

Received Jul. 30, 2008

Revised Sep. 1, 2008

Accepted Jan. 20, 2009