

## 천수만 미세플랑크톤의 상대적 중요성 : 종조성, 개체수, 클로로필 및 일차생산력

신윤근\* · 심재형\* · 조준성\*\* · 박용철\*\*  
\*서울대학교 해양학과, \*\*인하대학교 해양학과

### Relative Significance of Nanoplankton in Chõnsu Bay: Species Composition, Abundance, Chlorophyll and Primary Productivity

YOON KEUN SHIN\*, JAE HYUNG SHIM\*, JUN SUNG JO\*\* AND YONG CHUL PARK\*\*

\*Dept. of Oceanography, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea

\*\*Dept. of Oceanography, Inha University, Incheon, 402-751, Korea

서해 천수만에서 미세식물플랑크톤(nanoplankton)의 상대적 중요성을 연구하기 위해 1985년 9월부터 1986년 8월까지 월별로 시료를 채집, 분석하였다. 천수만에서 동정한 미세플랑크톤은 6문 8강 13목 17과 25속 33종으로 구성되었다. 보편종은 *Micromonas pusilla*, *Pedinomonas mikron*, *Pyramimonas grosii*, *Chroomonas lateralis*, *Pyrenomonas salina*(=*Chroomonas salina*), *Chroomonas* sp., *Cyclotella* sp., *Gonyaulax* sp. 등과 2~5  $\mu\text{m}$ 와 6~8  $\mu\text{m}$ 의 구형의 단세포생물, Naviculoid form 등의 미동정 종이었다. 미세플랑크톤의 개체수는 시·공간적으로 변화가 컸으며 10월에 최대치, 9월에 최소치를 나타냈다. 천수만의 미세플랑크톤 개체수는 일반적인 연안해역의 미세플랑크톤 현존량 범위에 속하는 것으로 사료된다. 미세플랑크톤 중에서 중요한 우점종은 2~5  $\mu\text{m}$ 와 6~8  $\mu\text{m}$ 의 둥근형의 단세포생물이었다. 미세플랑크톤 클로로필 함량은 0.81~4.78  $\mu\text{g/l}$ 이며, 미세플랑크톤의 일차생산력은 16.4~767.2  $\text{mgC/m}^2/\text{day}$ 로 측정되었다. 미세플랑크톤은 개체수에서 38~93%(평균 66%), 미세플랑크톤의 클로로필 함량 및 일차생산력에서 각각 25~87%(평균 64%), 9~87%(평균 53%)의 기여도를 보여 20  $\mu\text{m}$  이하의 식물플랑크톤들이 천수만 식물플랑크톤 군집에서 중요한 위치를 점하는 것으로 나타났다.

In order to study on the relative significance of nonoplankton in Chõnsu Bay, nanoplankton samples were collected and analyzed monthly from September, 1985 to August, 1986. A total of 33 taxa representing 6 phyla, 8 classes, 13 orders, 17 families, 25 genera, 33 species have been identified. *Micromonas pusilla*, *Pedinomonas mikron*, *Pyramimonas grosii*, *Chroomonas lateralis*, *Pyrenomonas salina* (= *Chroomonas salina*), *Chroomonas* sp., *Cyclotella* sp., *Gonyaulax* sp., unidentified spherical monads (2-5  $\mu\text{m}$  and 6-8  $\mu\text{m}$  in size), and unidentified naviculoid form were common species. The distribution of nonoplankton standing crops showed a great temporal and spartial variations. Nanoplankton standing crops was highest in October, 1985 and lowest in September, 1985. The abundance of nanoplankton in Chõnsu Bay may be within the range of that of most coastal areas. Unidentified spherical monads (2-5  $\mu\text{m}$  and 6-8  $\mu\text{m}$  in size) were most dominant. Chlorophyll-a concentrations of nanoplankton ranged from 0.81 to 4.78  $\mu\text{g/l}$  and daily primary productivity by nonoplankton, 16.4 to 767.2  $\text{mgC/m}^2/\text{day}$ . Nanofraction of total phytoplankton cell number accounted for 38% to 93% (average 66%), chlorophyll-a and primary productivity of nanoplankton 25 to 87% (average 64%) and 9 to 87% (average 53%), respectively. The results implied that nanoplankton could be a considerable contribution to phytoplankton biomass and primary productivity in Chõnsu Bay phytoplankton community.

## 서 론

해양환경에서 미세플랑크톤의 중요성은 이미 1950년대 후반부터 밝혀지기 시작하였다(Yentzsch and Ryther, 1959; Gilmartin, 1964). 이 방법으로 연구하는 연구자들은 채집망에 걸리는 큰 식물플랑크톤을 네트플랑크톤(netplankton)으로, 그 이하는 미세플랑크톤(nanoplankton)으로 구분하여 사용하였기 때문에 연구자들이 사용한 망목크기에 따라 미세플랑크톤의 정의는 달라졌다(예를들면, Yentzsch and Ryther(1959)의 경우는 65  $\mu\text{m}$  이하, Gilmartin(1964)의 경우는 56  $\mu\text{m}$  이하). 본 연구에서는 이미 여러 연구자들(심과 이, 1984; Chang *et al.*, 1987; 심과 신, 1989)이 사용한 20  $\mu\text{m}$  채집망을 통과하는 플랑크톤을 미세플랑크톤으로 정의하고자 한다. Sieburth *et al.*(1978)는 식물플랑크톤을 그 크기에 따라 세 종류 - picoplankton(0.2~2  $\mu\text{m}$ ), nanoplankton(2~20  $\mu\text{m}$ ), microplankton(20~200  $\mu\text{m}$ ) - 로 구분하였는데, 이 경우 nanoplankton의 의미는 본 연구에서 제안한 의미와 다르므로 저자들은 2~20  $\mu\text{m}$ 의 nonoplankton을 미소플랑크톤으로, picoplankton(0.2~2  $\mu\text{m}$ )은 초미소플랑크톤으로 명명하여 20  $\mu\text{m}$  이하의 플랑크톤을 미세플랑크톤으로 정의한 것과 구분하여 사용할 것을 제안한다. 본 연구에서 개체수의 경우는 2~20  $\mu\text{m}$ 의 미소플랑크톤을 대상으로 하였고, 클로로필 함량과 일차생산력은 20  $\mu\text{m}$  이하의 미세플랑크톤을 대상으로 하였다.

식물플랑크톤의 크기분포는 먹이사슬 동태와 해양생태계의 생태적 효율에 매우 중요한 영향을 미치고 있다(Ryther, 1969; Parsons and LeBrasseur, 1970; Walsh, 1976; Malone, 1980). 따라서 식물플랑크톤의 연구에서 크기분포를 규명하는 일은 필수적이라 하겠다. 20  $\mu\text{m}$  이하 플랑크톤의 해양생태학적 중요성에 대한 연구는 22  $\mu\text{m}$ 의 채집망을 이용한 Malone(1971)에 의해서 시작되었다고 사료된다. 이미 세계 여러 해역에서 식물플랑크톤 세포수, 클로로필, 세포 체적, 일차생산력 등에 미세플랑크톤이 기여하는 정도가 매우 크다는 것이 여러 연구자에 의해 규명되어 왔다(Hallegraeff, 1981; Booth *et al.*, 1982; Hannah and Boney, 1983; Geider, 1988). 그러나 우리나라에서의 크기분포를 연구하게 된 것은 1980년대 초 Shim(1980)에 비로소 시작되었다.

그 후 Shim and Lee(1983), Shim *et al.*(1985)은 동남해역에서 출현한 식물플랑크톤의 개체수와 클로로필에서 미세플랑크톤의 중요성을 규명하였으며, 심과 이(1984)는 충무항 주변해역, 심 등(1984)은 광양만, Shim and Yoo(1985)는 군산 주변해역, 장과 심(1986), 최 등(1988)은 서해에서의 식물플랑크톤 정량적 연구를 통해 식물플랑크톤 군집에서 미세플랑크톤이 정량적으로 중요함을 밝혔다. 또한 Chang *et al.*(1987)은 미세플랑크톤의 분류학적 연구를 통해 천수만 및 주변해역에서 출현한 미세플랑크톤 중 5종을 미기록종으로 보고하였다. 그 외에 조(1985), 조와 원(1985)의 조사에서도 미세플랑크톤의 정량적 중요성을 보고하고 있는데 이들은 미세플랑크톤을 60  $\mu\text{m}$  이하로 정의하여 조사하였다. 이와 같은 여러 연구들은 조사해역에서 한두차례 또는 계절별로 연구한 것들이어서 미세플랑크톤의 시·공간 분포를 규명하는데 미흡하였으며, 이들 자료를 이용하여 생태계내 물질과 에너지의 흐름이나 영양염의 동태를 연구하는데는 한계가 있다.

따라서 본 연구는 천수만에서 미소플랑크톤의 종조성과 개체수 및 미세플랑크톤의 클로로필 함량을 조사하여 이들의 시·공간적 분포양상을 파악하고, 이들이 식물플랑크톤 군집에서 기여하는 정도는 어느 정도인지 규명하며, 미세플랑크톤의 일차생산력을 측정하여 해양생태계 동태를 연구하는 기초자료를 제공할 목적으로 수행되었다.

## 재료 및 방법

천수만 내 6개 정점에서 1985년 9월부터 1986년 8월까지 20  $\mu\text{m}$  이하의 식물플랑크톤 시료를 채집하였다(Fig. 1). 정량시료는 van Dorn 채수기와 Niskin 채수기로 500 ml 채수하여 변용시킨 Lugol's solution으로 처리한 뒤 aluminium foil로 차광, 저장하였다. 종의 동정은 Nikon 광학현미경(Nikon type 104)하에서 행하였다. 정량분석을 침전법으로 상등액을 제거하여 시료를 농축하고 Palmer-Maloney chamber를 이용하여 광학현미경하에서 행하였다. 검색 참고문헌으로는 Butcher(1959, 1961, 1967), Campbell(1973), Thronsdon(1969, 1980, 1983), Chang *et al.*(1987) 등을 이용하였으며, 분류체계를 밝힘에 있어서, 구조류는 Hartley(1986)의 분류체계

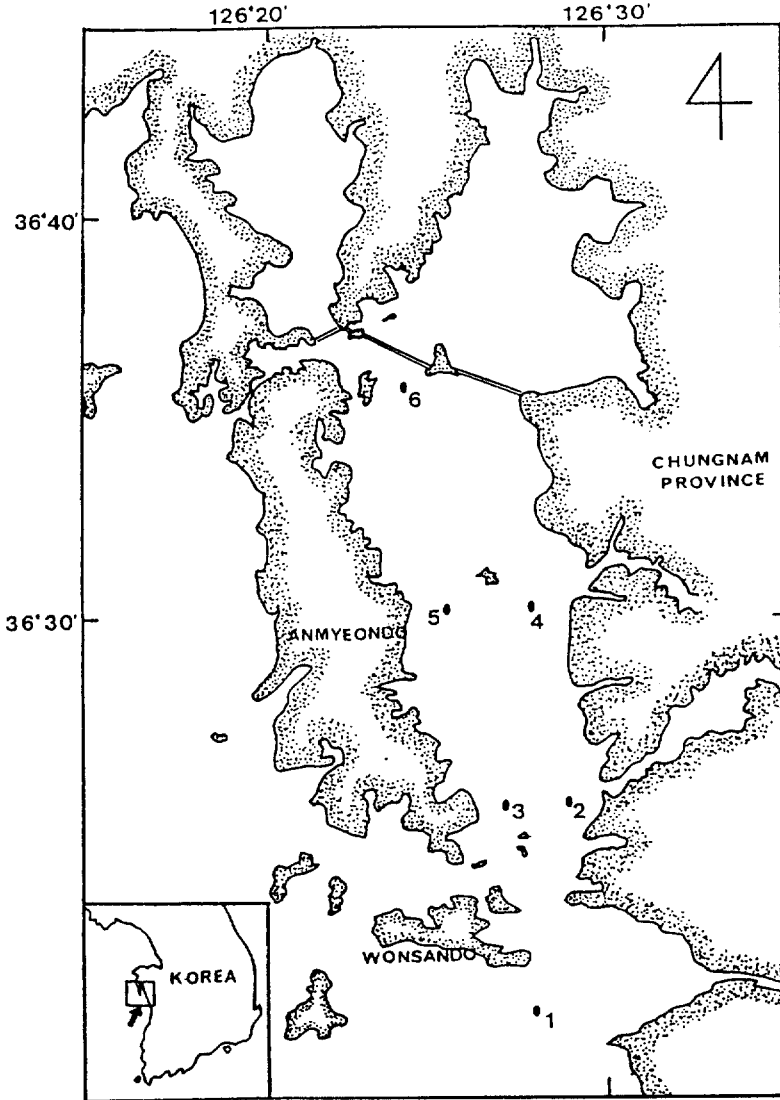


Fig. 1. A map showing sampling sites.

를 따랐고 그 외의 종군은 Parke and Dixon(1976)의 체계를 따랐다. 클로로필 측정은 현장에서 Turner design III Fluorometer를 사용하여 생체내의 형광량(*in vivo* fluorescence)을 측정하였다. 형광량을 클로로필 농도로 보정하는 작업은 조사직전 실험실에서 spectrophotometric method로 실시하였다. 미세플랑크톤의 클로로필 농도는 20  $\mu\text{m}$ 의 Nitax 망으로 여과하여 측정하였다. 연구해역의 일차생산력은 현장에서 Niskin으로 채수한 해수를  $\text{C}^{14}$  방법(Parsons *et al.*, 1984)으로 처리한 뒤 서로 다른

광조건(입사광의 100, 61, 37, 21, 2%)에서 BOD병(300 ml)으로 배양하였다. 배양방법과 uptake 계산 방법은 Carpenter and Esaias(1978), Carpenter and Lively(1980) 등을 따랐으며, 배양시간은 2시간을 초과하지 않았다. 배양 후 각 시료는 여과지(Watmann GF/C glass fiber)로 여과하여 dry ice에 냉동 보관하였다. 실험실로 옮긴 후 여과지에 흡수된 inorganic carbon-14를 없애기 위해 건조기에서 10분간 acid fume시켰으며, Liquid scintillation counter(Packard Tricarb Co.)로  $\text{C}^{14}$ 의 DPM을 측정하

Table 1. The list of nanoplankton species observed in the this study.

<p>PHYLUM CHRYSOPHYTA            CLASS BACILLARIOPHYCEAE            Order CENTRALES            Suborder Coscinodiscineae            Family Thalassiosiraceae  <i>Cyclotella comta</i>  <i>Cyclotella striata</i>  <i>Cyclotella</i> sp.  <i>Skeletonema subsalsum</i>            Order PENNALES            Suborder Raphidinae            Family Achnanthaceae  <i>Cocconeis</i> sp.            Family Naviculaceae  <i>Diploneis</i> sp.  <i>Mastogloia minuta</i>  <i>Navicula</i> sp.  <i>Stauroneis</i> sp.            Family Nitzschiaceae  <i>Nitzschia</i> sp.</p> <p>CLASS CHRYSOPHYCEAE            Order CHROMULINALES            Family Chromulinaceae  <i>Chromulina</i> sp.</p> <p>PHYLUM DINOPHYTA            CLASS DINOPHYCEAE            Order PROROCENTRALES            Family Prorocentraceae  <i>Prorocentrum minimum</i>  <i>Prorocentrum nanum</i>  <i>Prorocentrum triestinum</i>            Order GYMNODINIALES            Family Gymnodiniaceae  <i>Amphidinium</i> sp.  <i>Gymnodinium simplex</i>  <i>Gymnodinium</i> sp.  <i>Gyrodinium</i> sp.            Order PERIDINIALES            Family Gonyaulacaceae  <i>Gonyaulax</i> sp.</p>	<p>PHYLUM CHLOROPHYTA            CLASS PRASINOPHYCEAE            Order PEDINOMONADALES            Family Pedinomonadaceae  <i>Pedinomonas mikron</i>            Order PTEROSPERMATALES            Family Nephroselmidae  <i>Micromonas pusilla</i>  <i>Nephroselmis</i> sp.            Order PYRAMIMONADALES            Family Pyramimonadaceae  <i>Pyramimonas grosii</i>            Order PRASINOCLEDALES            Family Prasinocladaceae  <i>Tetraselmis</i> sp.</p> <p>CLASS CHLOROPHYCEAE            Order VOLVOCALES            Family Dunaliellaceae  <i>Dunaliella</i> sp.            Family Chlamydomonadaceae  <i>Chlamydomonas</i> sp.</p> <p>PHYLUM CRYPTOPHYTA            CLASS CRYPTOPHYCEAE            Order CRYPTOMONADALES            Family Cryptomonadaceae  <i>Chroomonas lateralis</i>  <i>Chroomonas</i> sp.  <i>Cryptomonas marina</i>  <i>Pyrenomonas salina</i> (= <i>C. salina</i>)</p> <p>PHYLUM HAPTOPHYTA            CLASS HAPTOPHYCEAE            Order PRYMNESILAE            Family Prymnesiaceae  <i>Chrysochromulina</i> sp.</p> <p>PHYLUM CYANOPHYTA            CLASS CYANOPHYCEAE            Order CHROOCOCCALES            Family Chroococcaceae  <i>Merismopedia elegans</i>  <i>Microcystis viridis</i></p>
--	---

였다. 미세플랑크톤의 일차생산력은 20  $\mu\text{m}$  망으로 미리 여과한 해수를 상기방법과 동일하게 처리하여 구하였다. 각 정점의 수심별 광도는 LICOR 수중광도계로 측정하였으며, 해수 중의 총 이산화탄소량은 산정적법으로 결정하였다(Parsons *et al.*, 1984).

## 결 과

## 종 조성

본 해역에서 출현한 미소플랑크톤은 총 33종이 동정되었는데, 이들을 분류한 결과 6문 8강 13목 17과 25속 33종으로 구성되어 있다(Table 1). 미동정 종들은 계수를 위하여 크기와 형태에 따라 11그룹으로 나누었다(Table 2). 출현종들 중 *Micromonas pusilla*, *Pedinomonas mikron*, *Pyramimonas grosii*,



Table 3. Nanoplankton standing crops in Chõnsu Bay

date	depth	st 1	st 2	st 3	st 4	st 5	st 6
85.9	s	1121	398	580	319	537	1255
	m	533	—	—	—	—	—
	b	580	703	368	—	—	678
85.10	s	1362	763	1262	2717	2050	6384
	hm	1054	937	1693	—	2011	1196
	m	1142	1414	1524	1247	1552	1386
	lm	1325	994	—	—	1181	1793
85.12	b	1520	1434	1066	799	1126	747
	s	813	619	455	536	—	—
	m	—	—	—	—	—	—
86.1	b	755	762	641	—	—	—
	s	994	729	696	752	537	484
	m	—	1039	757	462	570	697
86.3	b	—	755	945	925	476	425
	s	1466	1670	2033	1062	1191	2810
	hm	417	—	—	—	1486	1602
	m	564	1188	—	1593	612	784
86.4	lm	703	—	—	—	—	—
	b	845	607	—	1591	1074	654
	s	1715	986	1125	960	1736	2599
	m	1184	650	1025	1094	653	497
86.5	b	805	875	553	650	530	610
	s	932	621	1457	1207	2073	1527
	m	578	336	613	742	1159	1444
86.6	b	757	385	548	601	578	774
	s	1042	749	1043	1262	1154	1633
	m	300	740	805	727	1883	1798
86.8	b	876	425	459	832	656	772
	s	1000	2115	1730	1831	1347	1306
	m	1211	951	1165	3118	799	935
	b	633	897	1006	960	581	532

S: surface, hm: high middle, m: middle, lm: low middle, b: bottom

*Chroomonas lateralis*, *Pyrenomonas salina* (= *Chroomonas salina*), *Chroomonas* sp., *Cyclotella* sp., *Gonyaulax* sp. 등과 2~5 µm와 6~8 µm 크기의 구형의 단세포생물(monads) 및 Naviculoid form 등의 미동정종들은 매 시기 출현한 보편종들이다 (Table 2). 전반적으로 종조성은 크게 변하지 않았으나 정점 6에서 9월에 *Cyclotella comta* 등이, 10월에는 *Skeletonema subsalsum*, *Prorocentrum minimum*, *Merismopedia elegans* 등이 출현하여 차이를 보였다.

#### 개체수 및 클로로필

미소플랑크톤의 개체수는 300 cells/ml(6월 정점

1 중층)-6,384 cells/ml(10월 정점 6 표층)의 범위로 변화폭이 컸다(Table 3). 월 평균 세포개체수는 평균 624~689 cells/ml의 범위인 9월, 12월, 1월을 제외하고는 대부분 1,000 cells/ml 전후의 범위였으며, 10월에 1,544 cells/ml로 최대치, 9월에 624 cells/ml로 최소치를 기록하였다(Fig. 2a). 미소플랑크톤 현존량의 공간분포는 월별 차이가 다소 있으나 겨울(12월, 1월)을 제외하고는 내만으로 갈수록 증가하는 추세를 보였으며, 수직분포는 표층에서 다른 수층에 비해 높은 경향을 나타냈다(Table 3). 미세플랑크톤의 클로로필 함량은 0.81~4.78 µg/l의 범위로 공간적 변화의 폭보다 계절변화의 폭이 큰 것으로 나타났다 (Table 4). 미세플랑크톤 클로로필의 월변화 양상은

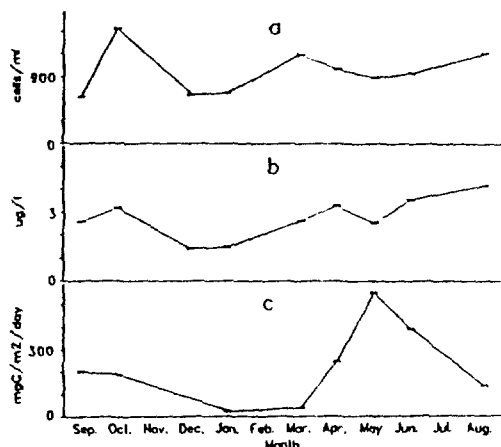


Fig. 2. Monthly variations of average nanoplankton cell number (a), chlorophyll-a (b) and primary productivity (c).

세포개체수와 유사하였으나, 12월에 평균 1.42 µg/l로 가장 낮고, 8월에 4.17 µg/l로 가장 높게 나타나 최대치와 최소치의 시기가 상이하였다(Table 4, Fig. 2b). 클로로필의 공간분포는 세포개체수와 유사하여 대부분 내만으로 갈수록 증가하는 추세를 나타냈다(Table 4).

**일차생산력**

조사기간 중 자료가 없는 12월을 제외한 시기 동안 미세플랑크톤 이하의 식물플랑크톤에 의한 일차생산력은 16.4~767.2 mgC/m<sup>2</sup>/day의 범위로 월별 변화의 폭이 컸으며, 5월에 최대, 1월에 최소값을 보였다(Table 5, Fig. 2c).

Table 4. Chlorophyll-a concentrations in Chõnsu Bay

		st 1	st 2	st 3	st 4	st 5	st 6	average
85.9	total	3.47	3.63	3.15	3.30	5.30	3.90	3.79
	nano	2.57	2.83	2.65	2.60	2.60	2.20	2.58
	nano %	74	78	84	79	49	56	70
85.10	total	3.42	3.08	3.38	3.26	3.42	3.45	3.67
	nano	2.89	2.68	2.95	3.02	2.87	4.78	3.20
	nano %	85	87	87	93	84	88	87
85.12	total	2.52	2.10	0.91	2.09	—	—	1.90
	nano	1.97	1.70	0.81	1.20	—	—	1.42
	nano %	70	81	89	57	—	—	76
86.1	total	2.63	3.04	4.88	3.61	4.99	4.96	4.02
	nano	1.82	1.57	1.22	1.74	1.66	0.93	1.49
	nano %	69	52	25	48	33	19	41
86.3	total	10.96	10.33	10.36	14.93	12.21	5.46	10.71
	nano	2.87	2.56	4.11	2.45	1.24	2.65	
	nano %	22	25	28	20	23	25	
86.4	total	5.24	3.92	4.69	4.39	4.07	3.16	4.25
	nano	3.29	2.70	3.72	3.52	3.58	2.91	3.29
	nano %	63	69	79	80	88	92	79
86.5	total	2.48	3.04	3.20	3.63	3.54	4.51	3.40
	nano	1.95	1.77	2.19	2.79	2.82	3.77	2.55
	nano %	88	58	68	77	80	84	76
86.6	total	4.53	4.12	3.57	4.04	4.25	5.47	4.33
	nano	3.47	3.05	3.15	3.31	3.74	4.60	3.55
	nano %	77	74	88	82	88	84	82
86.8	total							11.08*
	nano							4.17*
	nano %							38

\*: the average values of chlorophyll-a concentration at mooring station S1 in August 5-6, 1986.

Table 5. Primary productivity of nanoplankton in Chõnsu Bay

unit: mgC/m <sup>2</sup> /day					
st 1	st 2	st 3	st 4	st 5	st 6
85.9	152.2		169.3		278.3
85.10	109.0				268.5
86.1	25.0			16.4	
86.3	32.2	27.6	52.0		30.2
86.4	232.2				252.6
86.5	427.9		767.2	464.6	
86.6	514.6	253.3	330.6		460.5
86.8	133.7				

우점종

2~5 µm와 6~8 µm 크기의 구형의 단세포생물이 전 시기에 걸쳐 중요한 우점종으로 나타났으며, 4~5 µm의 Cryptophyceae에 속하는 미동정종은 늦가을과 겨울에 우점종으로, *Chroomonas* sp.은 가을에 우점종으로 나타났다(Table 6). 2~5 µm의 구형의 단세포생물이 미소플랑크톤 현존량에서 점유하는 비율이 가을 43~88%, 겨울 31~67%, 봄 11~68%, 여름 11~60%로 미소플랑크톤 중 가장 우점하는 것으로 나타났다. 6~8 µm의 구형의 단세포생물은 봄과 여름에 평균 33~47%의 기여도를 보이는 중

Table 6. Dominant species of nanoplankton in Chõnsu Bay.

Data	Dominant species	Degree of dominance (%)
85.9	spherical monad (2-5 µm)	66
85.9	spherical monad (2-5 µm)	66
	spherical monad (6-8 µm)	12
85.10	spherical monad (2-5 µm)	55
	crptomonad (4-5 µm)	13
	spherical monad (6-8 µm)	10
	<i>Chroomonas</i> sp	10
85.12	spherical monad (2-5 µm)	49
	crptomonad (4-5 µm)	20
	spherical monad (6-8 µm)	18
86.1	spherical monad (2-5 µm)	48
	spherical monad (6-8 µm)	24
	crptomonad (4-5 µm)	14
86.3	spherical monad (2-5 µm)	50
	spherical monad (6-8 µm)	33
86.4	spherical monad (2-5 µm)	49
	spherical monad (6-8 µm)	33
86.5	spherical monad (25 µm)	30
	spherical monad (6-8 µm)	35
86.6	spherical monad (2-5 µm)	35
	spherical monad (6-8 µm)	38
86.8	spherical monad (2-5 µm)	35
	spherical monad (6-8 µm)	47

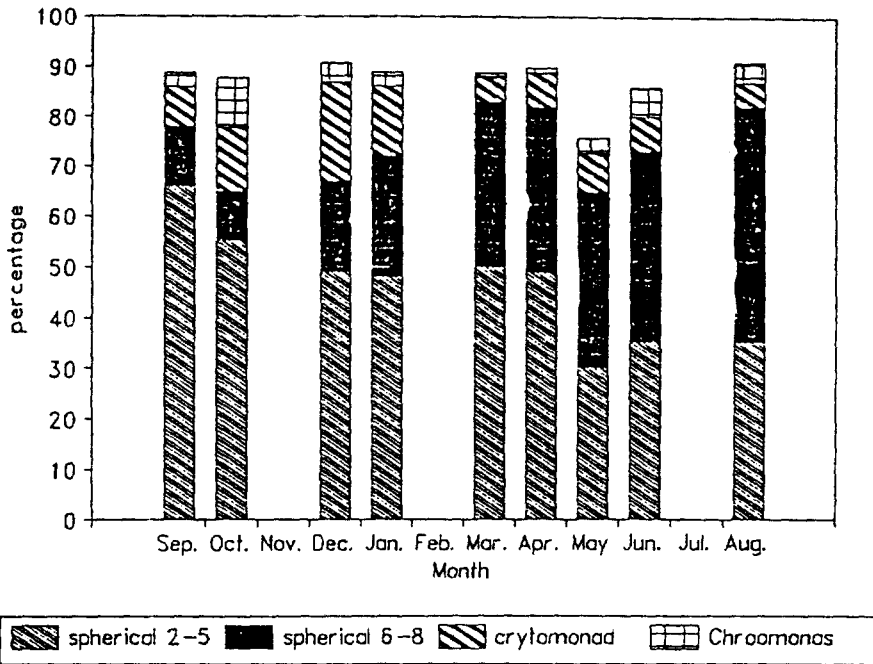


Fig. 3. Monthly variations of percentage compositions of dominant species.



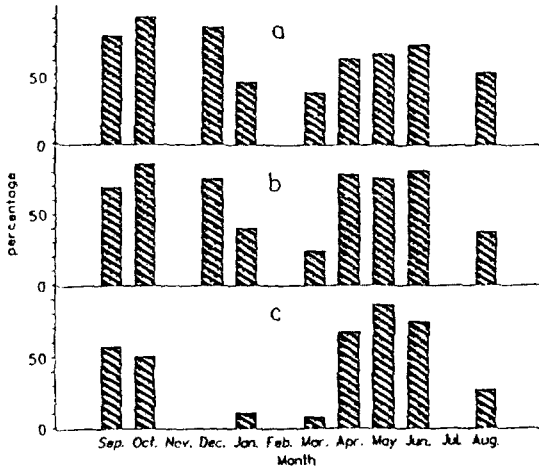


Fig. 4. Monthly variations of nanoplankton fraction (%). (a) cell number (b) chlorophyll-a (c) primary productivity.

요한 우점종으로 나타나 계절에 따른 미세플랑크톤의 크기분포가 변하고 있음을 나타내고 있다(Fig. 3).

식물플랑크톤 군집에서 미세플랑크톤의 점유율

식물플랑크톤 전체 출현 개체수에 대한 미세플랑크톤의 평균 비율이 38~93%로 규조류가 대발생을 일으킨 1월, 3월, 8월을 제외하고는 미세플랑크톤의 점유율은 상당히 컸다(심과 신, 1989). 85년 9월의 미세플랑크톤 현존량(세포 개체수)은 전체 현존량에 대한 평균 비율이 79%이며, 10월에는 9월보다 비율이 높아져 평균 93%의 점유율을 나타냈다. 12월에는 미세플랑크톤의 비율은 84.6%를 차지하고 1월에는 46.2%, 3월에는 37.9%로 감소하는 추세를 보이고 있다. 반면 4월, 5월, 6월에는 각각 63.4%, 66.1%, 72.5%를 점유하여 증가하는 추세를 보였으나, 규조류가 대량 번식한 8월에는 53.4%로 감소하였다(Fig. 4a). 점유율의 수직분포를 볼 때, 표층에서의 점유율이 다른 수층에 비해(예를들면, 9월 표층 점유율 81%, 저층 점유율 78%) 다소 높은 경향을 나타냈다.

연구해역의 클로로필 농도는 0.91~14.93 µg/l의 범위(Jo, 1988) 그 중 미세플랑크톤(<20 µm)의 점유율은 25~87%(평균 64%)이었다. 미세플랑크톤 클로로필의 점유율이 높았던 시기는 가을에서 초겨울, 봄에서 초여름으로 대체적으로 70% 이상의 높은 점유율을 보였으며 netplankton이 대발생한 1월, 3

월, 8월에는 40% 이하의 낮은 점유율을 나타냈다(Fig. 4b).

연구해역에서의 일차생산력은 180.6~850.8 mgC/m<sup>2</sup>/day 범위인데(Jo, 1988), 일차생산력에서의 미세플랑크톤의 기여도는 9%에서 87%의 범위로 5월에 최대, 1월과 3월에 최소치를 나타냈다(Fig. 4c). 연평균은 53%로 평가되었는데 개체수와 클로로필에서의 미세플랑크톤 기여도에 비해 다소 작았다.

고찰

미세플랑크톤의 종조성 및 개체수

본 연구해역에서 출현한 미세플랑크톤의 종수는 33종으로 이는 춘계 서해의 식물플랑크톤상을 연구한 장과 심(1986)의 21종보다는 다소 많고 천수만 및 천수만 주변해역의 미세플랑크톤을 연구한 Chang et al.(1987)의 31종과는 비슷한 결과이다. 특히, 정점 6에서 다른 정점에서와는 달리 9월에 *Cyclotella comta* 등이, 10월에는 *Skeletonema subsalsum*, *Proocentrum minimum*, *Merismopedia elegans* 등이 출현하여 차이를 보였다. *Cyclotella comta*, *Skeletonema subsalsum*, *Merismopedia elegans*는 담수성이고(Hasle and Evensen, 1975; Mizuno, 1976), *P. minimum*은 광염성인데 1~33%의 염분에서 생존할 수 있는 종으로(Campbell, 1973) 이들은 방조제로부터 유입되었을 것으로 사료된다. 이 결과는 천수만의 미세플랑크톤의 종조성에 방조제로부터의 담수 유입으로 영향을 받을 수 있음을 시사해 준다.

미세플랑크톤의 개체수는 300~6,384 cells/ml의 범위로 이 결과는 춘계 서해의 식물플랑크톤상을 연구한 장과 심(1986)의 표층 결과 27~600 cells/ml보다 10여배 정도 풍부하였다. 세계 대부분의 연안역에서 미세플랑크톤 현존량은 1,000~2,000 cells/ml인 것으로 보고되고 있는데(Reid, 1983; Geider, 1988), 이것과 비교할 때, 본 연구결과도 대부분 1,000 cell/ml 전후로 일반적인 연안역의 미세플랑크톤 현존량 범위에 속하는 것으로 판단된다. 영국 동부 연안해역에서 미세플랑크톤의 수도(abundance)와 크기분포(size distribution)를 연구한 Geider(1988)의 결과에 의하면 가장 우점한 종은 미동정의 작은 편모조류와 단세포생물들로 약 84%의 점유율을 보였다고 보고하였는데 본 연구에서는 4

Table 7. The percentage of nanoplankton in different regions of the Korea Sea.

Site	Size-fraction	Nanofraction (%)	Average (%)	References
<b>EAST SEA</b>				
Southwestern Waters of East Sea	20 $\mu$ m	16-99 (Chl.) 80-92 (cell No.)	74.5 88.5	Shim <i>et al.</i> (1985)
East Sea	60 $\mu$ m	25-83 (Chl.)	62.3	Cho (1985)
<b>SOUTH SEA</b>				
Southeastern Sea	60 $\mu$ m	6-100 (Chl.)	42.3	Cho and Won (1985)
Kwangyang Bay	20 $\mu$ m	12-46 (cell No.)	36.5	Shim <i>et al.</i> (1984)
Chungmu Harbor	20 $\mu$ m	43-99 (cell No.)	78.4	Shim and Lee (1984)
<b>YELLOW SEA</b>				
Yellow Sea	20 $\mu$ m	— (cell No.)	46.2	Chang and Shim (1985)
Yellow Sea	20 $\mu$ m	— (cell No.)	65	Chang (1990)
Yellow Sea	20 $\mu$ m	64-83 (Chl.) 46-78 (P.P.)	73.8 —	Choi <i>et al.</i> (1988)
Kunsan coastal region	20 $\mu$ m	72-99 (cell No.)	88.8	Shim and Yoo (1985)
Kyunggi Bay	20 $\mu$ m	34-92 (Chl.) 38-85 (P.P.)	74 57	Chung and Park (1988)
Chŏnsu Bay	20 $\mu$ m	39-93 (cell No.) 25-87 (Chl.) 9-87 (P.P.)	66 64 53	present study

Chl.: Chlorophyll, cell No.: cell number, P.P.: Primary productivity

종의 우점종들의 점유율이 평균 87%이어서(Fig. 3) 영국 동부 연안의 결과와 유사하였다. 특기할 사항은 10월에 내만의 정점 6에서 미소플랑크톤의 현존량이 현저하게 높다는 점이다. 이는 방조제의 수문을 통해 비정기적으로 방류되는 담수의 영향 때문인 것으로 사료된다. 수문을 통해 담수가 방류되는 때 시료를 채취한 정점 6의 표층에서 담수종인 *Skeletonema subsalsum*이 3,984 cells/ml로 현존량이 매우 높게 나타났다(Table 3). 정점 6의 전체 미소플랑크톤 현존량에서 *S. subsalsum* 현존량을 뺀 값은 주위의 정점 4, 5와 비슷한 수준이었음을 고려할 때 방조제에서 방류되는 담수를 통해 유입된 것으로 사료되며, 방조제로부터의 담수유입으로 말미암아 천수만 생태계가 상당한 영향을 받고 있음을 시사한다.

#### 미소플랑크톤의 상대적 중요성

한국 근해에서 조사된 미세식물플랑크톤의 자료를 종합, 정리하여 Table 7에 나타내었다. Table 7에 나타난 결과는 조사시기의 많고 적음과 조사범위의 넓고 좁음에 따라 상당히 차이를 보일 수 있기 때문에 같은 비중으로 비교하는 데는 무리가 있으나 전반적인 경향은 파악할 수 있다. 한국 연근해에서의

평균적인 미세플랑크톤의 점유율은 36.5~88.8%의 범위로 지역적인 차이가 크나 모든 해역에서 상당히 중요한 위치를 점하고 있음을 시사하고 있다. 가장 광범위하게 여러 차례에 걸쳐 조사된 황해의 결과를 살펴보면 세포개체수와 일차생산력의 경우 본 연구 결과가 황해의 평균치(세포개체수-장, 1990; 일차생산력-최 등, 1988; 정과 박, 1988)와 비슷하나 클로로필의 경우에는 황해의 평균치(최 등, 1988; 정과 박, 1988)보다 다소 낮게 나타났다(Table 7). 따라서 천수만 미세플랑크톤이 식물플랑크톤 군집에서 기여하는 정도는 황해의 일반적인 경우와 유사하며, 천수만 식물플랑크톤 군집에서 그 기여도가 상당히 큰 것으로 사료된다.

본 연구에서 영양염의 농도가 낮은 시기에 미소플랑크톤의 점유율이 상당히 높게 나타나는데(심과 신, 1989) 미소플랑크톤 현존량이 전체 현존량에 기여하는 정도는 영양염의 동태와 관련이 크다(Ku-parinen, 1987). 식물플랑크톤의 대발생이 있을 후, 영양염의 농도가 낮은 상태에서 미소플랑크톤의 기여도가 점차 증가하는 경향은 크기가 작은 종이 큰 종보다 영양염 섭취(uptake)와 광합수에 유리하기 때문인 것으로 사료된다(Banse, 1976). 따라서 본

연구해역과 같은 입안역에서도 영양염의 농도가 낮은 시기에는 주로 미세플랑크톤에 의해 생물량이 좌우되고 있는 것으로 사료된다. 수직분포를 볼 때, 표층에서의 점유율이 다른 수층에 비해 높은 경향을 나타냈는데 장(1990)도 동일한 경향성을 보고하였다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 미세플랑크톤의 크기가 큰 식물플랑크톤보다 환경적응력이 크기 때문인 것으로 사료된다.

일차생산력에서의 미세플랑크톤의 기여도가 세포 개체수나 클로로필에서의 기여도보다 적은 것은 배양한 식물플랑크톤을 여과할 때 G/FC glass fiber를 이용하여 여과하였기 때문에 광합성을 하는 초미소플랑크톤(picoplankton)의 상당량이 걸리지 않고 여과되므로(Yentsch, 1983) 20  $\mu\text{m}$  이하 식물플랑크톤의 일차생산산량이 과소평가된 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- 심재형, 신윤근, 1989. 천수만 일차생산자의 생물량-식물플랑크톤 탄소량과 세포개체수 및 클로로필과의 관계-. 한국해양학회지, 24(4), 194-205.
- 심재형, 신윤근, 이원호, 1984. 1982년도 광양만 식물플랑크톤 군집의 분포에 관한 연구. 한국해양학회지, 19(2), 172-186.
- 심재형, 이원호, 1984. 남해 충무항 부근의 식물플랑크톤 - Nanoplankton의 상대적인 중요성-. 서울대 자연과학대학논문집, 9(2), 157-170.
- 장 만, 1990. 한국 서해 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 서울대 이학박사학위논문. 185p.
- 장 만, 심재형, 1986. 춘계 서해의 식물플랑크톤 연구. 해양연구 8(1), 1-11.
- 정경호, 박용철, 1988. 서해 경기만의 기초생산력 및 질소계 영양염의 재생산에 관한 연구. 한국해양학회지, 23(4), 194-206.
- 조창환, 1985. 가을철 한국 주변해역의 Microplankton 및 Nanoplankton의 클로로필 함량과 분포. 한국수산학회지 18(1), 63-66.
- 조창환, 원용인, 1985. 여름철 남해동부연안에서의 Nanoplankton의 양 및 분포. 통영수대 논문집 20, 137-141.
- 최중기, 박용철, 김용철, 이영철, 정광수, 손승규, 황학진, 한석범, 1988. 서해 연안 이장의 생산력 조사. 수진연구보고, 42, 143-168.
- Banse, K., 1976. Rates of growth, respiration and photosynthesis of unicellular algae as related to cell size -a review. *J. Phycol.*, 12: 135-140.
- Booth, B.C., J. Lewin, and R.E. Norris, 1982. Nanoplankton species predominant in the Subarctic Pacific in May and June 1978. *Deep-Sea Res.*, 29: 227-245.
- Butcher, R.W., 1959. An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Waters. Part I. Introduction and Chlorophyceae. London. Her Majesty's Stationary Office. 74 pp.
- Butcher, R.W., 1961. An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Waters. Part VIII. Euglenophyceae. London. Her Majesty's Stationary Office. 20 pp.
- Butcher, R.W., 1967. An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Waters. Part IV. Cryptophyceae. London. Her Majesty's Stationary Office. 54 pp.
- Campbell, P.H., 1973. Studies on Brackish water phytoplankton. Univ. of North Carolina Chapel Hill, North Carolina, 497 pp.
- Carpenter, E.J. and W.E. Esaias, 1978. In: "American-Soviet Symposium on The Biological Effects Pollution on Marine Organisms." (T. W. Duck and A. I. Siminov, Ed.) US EPA, Gulf Breeze, Fla.
- Carpenter, E.J. and J.S. Lively, 1980. Review of estimates of algal growth using C-14 tracer techniques. In: Primary productivity in the Sea (P. G. Falkowski, Ed.). Plenum Press. New York 161-178.
- Chang, M., J.H. Shim and H.T. Huh, 1987. Nanoplankton of the Korean Coastal waters. *Ocean Research*, 9(1,2): 7-14.
- Furuya, K. and R. Marumo, 1983. Size distribution of phytoplankton in the Western Pacific Ocean and adjacent waters in summer. *Bull. Plankton Soc. Jap.*, 30: 21-32.
- Geider, R.J., 1988. Abundances of autotrophic and heterotrophic nanoplankton and the size distribution of microbial biomass in the southwestern North Sea in the October 1986. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 123: 127-145.
- Gilmartin, M., 1964. The primary production of a British Columbia fjord. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 21: 505-538.
- Hallegraeff, G.M., 1981. Seasonal study of phytoplankton pigments and species at a coastal station off Sydney: Importance of diatoms and the nanoplankton. *Mar. Biol.*, 61: 107-118.
- Hannah, F.J. and A.D. Boney, 1983. Nanophytoplankton in the Firth of Clyde, Scotland: seasonal abundance, carbon fixation and species composition. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 67: 105-147.
- Hartley, B., 1986. A Check-list of the freshwater, brackish and marine diatoms of the British Isles and adjoining Coastal Waters. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 66: 531-610.
- Hasle, S.R. and D.L. Evensen, 1975. Brackish-water and fresh-water species of the diatom genus *Skeletonema* Gray. I. *Skeletonema subsalsum* (A. Cleve) Bethge. *Phycologia*, 14(4): 283-297.
- Jeong, H.J., 1988. An ecological study on marine tintinnids (CILIATED PROTOZOA; ORDER TINTINNIDA) in Cheonsu Bay, Korea. M.S. Thesis. SNU, 60 pp.
- Jo, J.S., 1988. Primary productivity and nutrient dynamics in Chunsu Bay, Yellow Sea. MS thesis, Inha Univ., 65 p.

- Kuparinen, J., 1987. Production and respiration of over-all plankton and ultraplankton communities at the entrance to the Gulf of Finland in the Baltic Sea. *Mar. Biol.*, **93**: 591-607.
- Malone, T.C., 1971. The relative importance of netplankton and nanoplankton as primary producers in neritic and oceanic tropical waters. *Limnol. Oceanogr.*, **16**: 633-639.
- Malone, T.C., 1980. Size-Fractionated Primary Productivity of Marine Phytoplankton. In: Primary Productivity in the sea (P.G. Falkowski Ed.). *Plenum Press*, New York. 301-319.
- Mizuno, T., 1976. Illustration of the freshwater plankton of Japan. Hoikusha Publishing Co., Ltd., 351 pp.
- Parke, R.T. and P.S. Dixon, 1976. Check-list of British Marine Algae 3rd revion. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **56**: 527-594.
- Parsons, T.R. and R.J. LeBrasseur, 1970. The availability of food to different trophic levels in the marine food chain. In: *Marine Food Chain* (J.H. Steele Ed.), *Oliver Boyd, Edinburgh*. 325-343.
- Parsons, T.R., Y. Maita, and C.M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford. 173 pp.
- Reid, F.M.H., 1983. Biomass estimation of components of marine nanoplankton and picoplankton by the Uterinohl settling technique. *J. Plankton Res.*, **5**: 235-252.
- Ryther, J.H., 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. *Science*, **166**: 72-76.
- Shim, J.H., 1980. Biological oceanography of the Gamagyang Bay - the Yeoja Bay water system (I). *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **15**(2): 89-99.
- Shim, J.H. and W.H. Lee, 1983. Plankton study in the southeastern sea of Korea (I). Phytoplankton distribution in September, 1981. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **18**(2): 91-103.
- Shim, J.H., W.H. Lee, and S.-Y. Bak, 1985. Studies on the plankton in the southeastern waters of the East Sea (Sea of Japan) (II) Phytoplankton-standing crop, nanofraction, and primary production. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **20**(3): 37-54.
- Shim, J.H. and S.J. Yoo, 1985. Phytoplankton community off the coast of Kunsan, Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **20**(1): 31-42.
- Sieburth, J. McN., V. Smatacek, and J. Lenz, 1978. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.*, **23**: 1256-1263.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of sea water analysis. Bull. No. 167. Fish. Res. Bd. Canada, Ottawa. 310 pp.
- Takahashi, M. and P.K. Bienfang, 1983. Size structure of phytoplankton biomass and photosynthesis in subtropical Hawaiian waters. *Mar. Biol.*, **76**: 203-211.
- Thronsdon, J., 1969. Flagellates of Norwegian Coastal Waters. *Nytt Mag. Bot.*, **16**: 161-216.
- Thronsdon, J., 1980. Bestemmelse av marine nakne flagellater. *Blyttia*, **38**: 189-207.
- Thronsdon, J., 1983. Ultra- and Nanoplankton Flagellates from Coastal Waters of Southern Honshu and Kyushu, Japan. (including some results from the western part of the Kuroshio off Honshu) Working party on Taxonomy in the Akashiwo Mondai Kenkyukai. 62 pp.
- Walsh, J.J., 1876. Models of the Sea. In: The ecology of the sea (D.H. Chshing and J. J. Walsh, eds.). Blackwell Sci. Publ., Oxford. 389-446.
- Yentsch, C.A., 1983. A note on the fluorescence characteristics of particles that pass through glass-fiber filters. *Limnol. Oceanogr.*, **28**: 597-599.
- Yentsch, C.A. and J.H. Ryther, 1959. Relative significance of the net plankton and nanoplankton in the waters of Vineyard Sound. *J. Cons. Perm. int. Explor. Mer.*, **24**: 231-238.

---

Received October 29, 1990

Accepted November 19, 1990