

만경, 동진강 하구 표영생태계의 무생물 환경과 일차생산자 I. 환경 특성과 식물플랑크톤의 군집 구조

심재형 · 신윤근* · 여환구

서울대학교 해양학과

*상지대학교 환경학과

Abiotic environment and primary producer of estuarine pelagic ecosystem in the lower water of the Mankyung River and the Dongjin River I. Environmental characteristics and phytoplankton community structure

JAE-HYUNG SHIM, YOON-KEUN SHIN* AND HWAN-GOO YEO

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

**Dept. of Environmental Science, Sangji University, 220-702 Wonju, Korea*

만경, 동진강 하구 표영 생태계에서 일차생산자의 군집 구조와 분포 양상 그리고 이들과 무생물 환경과의 관계를 파악하기 위하여 1989년 10월부터 1990년 7월까지 5회에 걸쳐 시료를 채집, 분석하였다. 그 결과 식물플랑크톤은 159종이 동정되었으며 규조류가 70.4%로 가장 우세하였다. 생태특성으로는 연안종이 52%로 가장 우세하였고 담수종 18%, 외양종 12% 순으로 나타나 담수와 외양의 해수에 의해 영향을 받는 하구역의 특성이 뚜렷하다. 식물플랑크톤의 종 조성은 염분 변화에 좌우되는 것으로 사료된다. 연구해역에서 일차생산자의 현존량은 시, 공간에 따라 크게 변하는데 투명도와 밀접한 관계가 있는 것으로 보이며 서해의 다른 해역에 비해 높은 수준이다. 종 다양성 지수 역시 시, 공간적으로 변화가 컸으며 10월에 최대, 5월에 최소치를 보였다. 연구해역은 가을과 겨울에는 외양수에 의한 영향으로, 봄과 여름에는 강으로부터 유입되는 담수에 의한 영향으로 크게 두개의 해역으로 구분되어진다.

In order to study the community structure and distribution patterns of primary producers and their relation to abiotic environmental factors, phytoplankton and environmental parameter were determined during the five times from October, 1989 to July, 1990. 159 taxa of phytoplankton have been identified and the most important species group is diatom which contributes to 70.4% of the total number of species. Ratios of phytoplankton group(neritic species, fresh water species, oceanic species) clustered by habitats were 52%, 18%, 12%, respectively, suggesting study area be the typical estuarine environment which is strongly affected by both fresh water discharge and sea water penetration. Species composition could be governed by the variations of salinity. The standing stocks of primary producer in the study area vary with space and time, showing close correlation with water transparency, and exhibit relatively larger than those of other coastal regions in the Yellow Sea. Spectransies diversity also showed large variation with space and time. According to the cluster analysis, the study area could be divided into two regions (inner part and outer part): in fall and winter, outer area affected by the oceanic water, but in spring and summer, inner estuarine area heavily influenced by fresh water.

서 론

생태계 연구에 있어서 첫 단계는 생태계 생물학적 구성 성분에 대한 파악이며, 이들과 연관이 있는 무생물적인 환경 요인을 이해하는 일이다. 하구의 표영생태계에서 일차생산자인 식물플랑크톤의 양적 변화는 영양염(질산, 아질산, 인산), 광량 및 온도 등 무생물 환경의 변화에 의해 영향을 받으며 이들의 상호 관계의 파악은 생태계를 분석하는데 기초가 된다. 특히 하구역은 그 특성상 강 유역 일대에 걸친 인간의 활동에 의해 직접적으로 영향을 받고 있어 영양염의 동태는 매우 동적이며, 유입된 많은 유기물들에 의해 부영양화되는 경향을 보이고 있다. 한편 하구역에서의 방조제의 건설, 간척사업, 매립, 항구의 건설 및 폐기물의 투기로 말미암아 하구역 생태계는 그 독특한 성격을 상실해 가고 있다. 하구 생태계는 담수와 해수가 조석의 주기에 따라 매우 광범위한 수역에서 혼합되므로 염분과 수온 등의 물리적인 변화가 크고, 염분이나 온도의 변화에 내성이 큰 기수종들이 혼재하는 등 담수 생태계나 해양 생태계와는 다른 매우 독특한 생태 특성을 지니고 있다. 따라서 하구생태계를 잘 이해하려면 생태계의 일차 생산자의 종 분포 양상, 군집 구조, 이들의 환경

요인들에 대한 적응성 등을 파악하려는 노력이 필요하며 나아가 구성 생물군의 생산성과 동적인 기능을 이해하는 노력을 병행하여야 한다. 한국의 강 하구에서의 생태학적 특성을 파악하고자 하는 연구는 많이 이루어졌으나(정 등, 1965; 정, 1969; 김, 1972; 이, 1973; 심과 최, 1978; Lee *et al.*, 1988), 연구대상인 만경, 동진강 하구역에서 이러한 연구는 없는 실정이다.

본 연구의 목적은 연구 대상인 만경, 동진강 하구 생태계의 구조와 기능을 파악하는 첫 단계로 무생물환경과 일차생산자의 상호 관계를 이해하는데 두고 이를 위해 일차생산자의 종 분포 양상, 군집 구조 및 이들의 무생물환경요인들에 대한 적응성 등을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

Fig. 1에서와 같이 만경강 하류에서 서쪽으로 5개 정점, 동진강 하류에서 서쪽으로 4개 정점 등 총 9개 정점에서 1989년 10월부터 1990년 7월까지 5차례에 걸쳐 무생물 환경요인과 식물플랑크톤 시료 채집을 실시하였다.

염분과 수온은 T-S Bridge(Hydro-Bios type MC

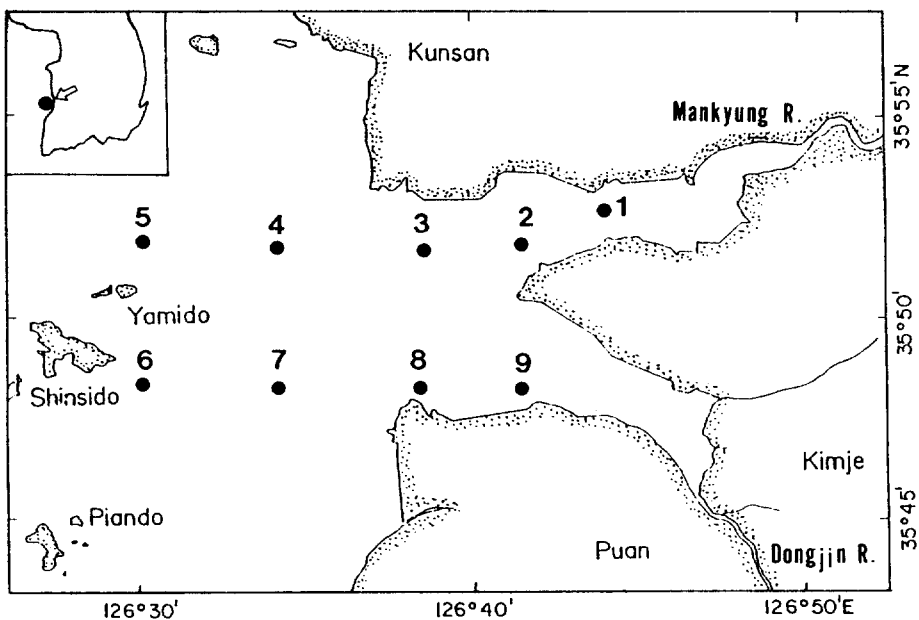


Fig. 1. A map showing sampling sites.

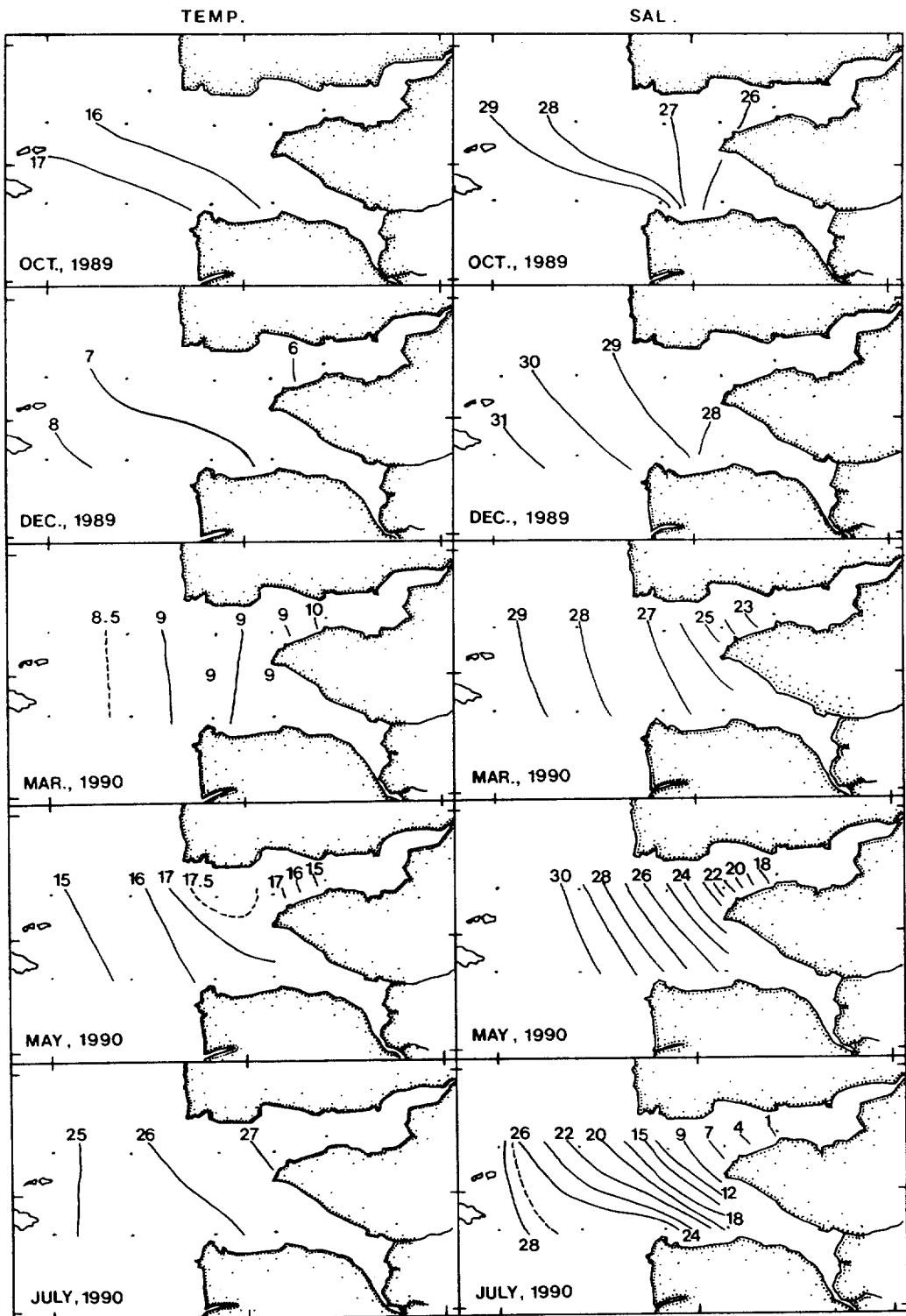


Fig. 2. Horizontal distribution of temperature and salinity at 1m depth.

5)를 사용하여 측정하였으며, 투명도는 Secchi Disc로 측정하였다. 식물플랑크톤의 정성적 연구를 위한 시료는 NORPAC형 플랑크톤 Net(망목 56 μm)로 각 정점에서 수직 예인하여 채집하고, 중성 포르말린으로 고정하되 최종농도가 4%가 되도록 하였다. 정량 시료는 Van Dorn 채수기로 500 ml 채수하여 변용시킨 Lugol's solution으로 처리한 뒤 aluminium foil로 차광, 저장하였다. 종의 동정은 Nikon 광학 현미경(Nikon type 104)하에서 행하였다. 정량분석은 침전법으로 상등액을 제거하여 시료를 농축하고 Sedgewick-Rafterchamber(netplankton 계수)와 Palmer-Maloney chamber(nanoplankton 계수)를 이용하여 광학 현미경 하에서 행하였다.

군집의 안정성(stability)과 연관된 종 다양성 지수는 Shannon and Wiener(1949), 균등도는 Pielou(1966), 우점도는 Simpson(1949)의 공식을 이용하여 계산하였다. 연구해역의 식물수문학적(phytohydrographic) 수역을 구분할 목적으로 식물플랑크톤의 정량자료를 이용하여 각 정점간의 유사도를 상관계수로 집괴분석을 하였다.

결과 및 고찰

1. 무생물환경요인의 시, 공간 분포양상

연구해역에서 조사기간 동안의 수온은 5.8 $^{\circ}\text{C}$ (12월 정점 1 표층) - 27.6 $^{\circ}\text{C}$ (7월 정점 1)의 범위로 각 시기의 정점간 수온 차이는 2.5 - 4.2 $^{\circ}\text{C}$ 로 작는데 비해 계절적으로는 약 20 $^{\circ}\text{C}$ 정도로 상당히 크게 나타났으며, 염분은 0.7‰(7월 정점 1) - 31.7‰(12월 정점 6 저층)의 범위로 수온의 변화와는 달리 시기에 따라 정점간의 차이가 상당히 큰 것으로 나타났다(Fig. 2). 가장 외양에 있어 담수의 영향을 적게 받는 것으로 나타난 정점 6에서의 염분은 3.3‰의 미미한 차이를 보이는데 반해 정점 1에서의 염분의 차이는 28.1‰의 매우 큰 차이를 보이는 등 고군산군도 주변 해역에서의 염분 변화는 4‰ 내외로 별로 크지 않은데 비해 하구역에서는 매우 변화의 폭이 크게 나타났다. 또한 동진강 하구의 정점들(정점 8, 9)에서의 변화보다 만경강 하구역에서의 변화가 더욱 크게 나타나는데 염분의 변화는 본 연구해역으로 유입되는 담수의 유입량에 따른 영향 정도의 차이

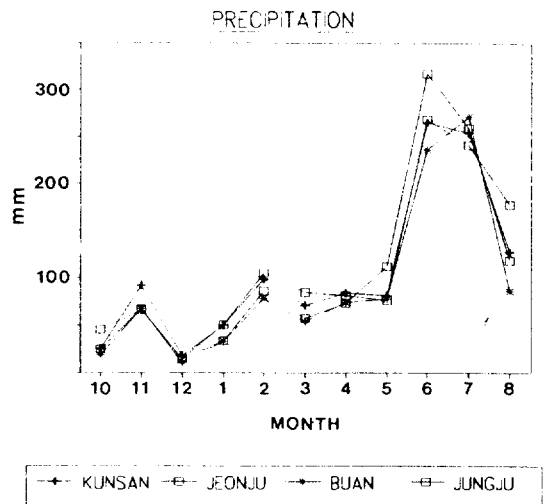


Fig. 3. Monthly variation of precipitation in the adjacent area of the Mankyung River and Dongjin River.

때문인 것으로 사료되며, Fig. 3에 나타난 만경, 동진강 상류에서의 강우량과 연구해역의 염분 변화는 계절적으로 상당히 밀접한 관계가 있는 것으로 나타나 이를 뒷받침한다. Fig. 4는 수온 염분의 변화가 큰 만경강 하구부터 고군산군도까지의 수직단면도를 나타낸 것으로 대체로 수온과 염분의 수직적 변화가 거의 없음을 보여주고 있다. 염분은 외해역으로 갈수록 증가하는 경향이 뚜렷한데 비해 수온은 특히 봄철에 정점 3의 표층에서 다소 다른 분포를 하는 것으로 나타났다. 이는 이곳의 수심이 낮은 뿔이 주변에 넓게 발달된 지형적인 영향일 것으로 사료된다. 10월에서의 3월까지는 수심에 따른 수온과 염분의 차이가 거의 없는데 5월과 7월에는 2-4 m 수심에서 미약하지만 성층이 생기는 것으로 판단된다.

해수의 투명도는 Secchi depth로 0.1 m(7월 정점 1) - 3.5 m(5월 정점 5, 7)의 범위로 나타나는데 시간적으로나 공간적으로 상당한 차이를 보인다(Table 1). 시기적으로는 겨울철에 0.4 m로 가장 낮았고 5월에 2.0 m로 가장 깊었으며 간조, 만조간의 차이 역시 뚜렷하여 간조때보다 만조때에 secchi depth가 크게 나타났으며, 공간적으로는 외해쪽에 위치한 정점들에서의 투명도가 안쪽의 정점에 비해 컸고 만경강 line의 결과보다 동진강 line에서 투명도가 크게 나타났다. 겨울철에는 수괴의 안정성이

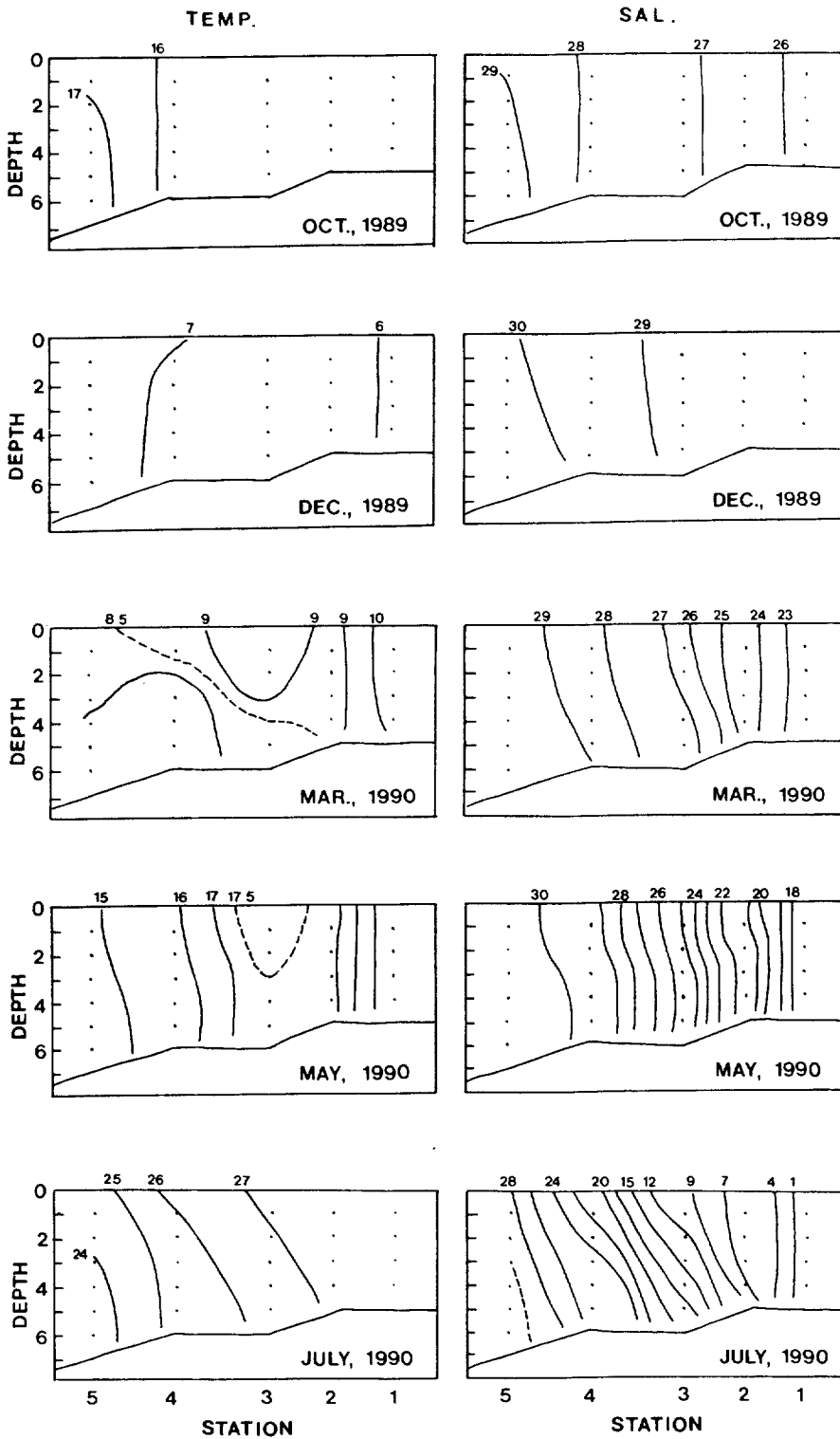


Fig. 4. Vertical distribution of temperature and salinity from station 1 to station 5

Table 1. Secchi depths in the study area

st. \ month						(unit: m)
	Oct.	Dec.	Mar.	May	Jul.	mean
1(flood)	0.5	0.3	0.4	0.7		0.47
1(ebb)	0.2				0.1	0.15
2(ebb)	0.2		0.4	0.3	0.5	0.35
2(flood)		0.5				0.50
3(ebb)	0.6	0.3	1.0	0.8	0.4	0.64
4	0.8	0.3	1.1	2.7	1.0	1.18
5	1.5	0.9	2.0	3.0	2.7	2.02
6	1.9	0.8		3.5	3.0	2.30
7	1.8	0.6	1.9	2.7	2.2	1.84
8(flood)	1.8	0.6	1.8	3.5	2.0	1.94
9(flood)	1.0	0.6	1.2	0.8	0.8	0.88
mean	1.11	0.41	1.08	2.00	1.41	

적어져(Fig. 4) 쉽게 물질들이 재부유될 뿐 아니라 입사광량이 적기 때문에 비록 외해쪽에 위치한 정점들이라도 투명도가 낮은데 비해 여름으로 갈수록 광의 양이 증가하는 한편 수괴의 안정성이 커져(Fig. 4) 투명도가 상당히 높게 나타나 상당한 수심까지 빛이 도달하는 것으로 보인다. 한편 여름철의 투명도는 담수에 의해 유입되는 고형물질의 양에 의해 투명도가 크게 영향을 받는 것으로 사료되는데 5월에 비해 담수의 유입이 많았던 7월의 투명도가 낮아지고 외양쪽으로 갈수록 투명도가 증가하는 경향을 보이며 담수의 유입량이 많은 만경강 line보다 담수 유입량이 적은 동진강 line 정점들의 투명도가 크게 나타나는 것(Table 1)이 이를 뒷받침한다. 따라서 연구해역의 투명도가 시, 공간적으로 차이를 보이는 것은 계절 변화에 따른 입사광량의 차이, 수심의 얕고 깊음과 조류의 세기의 차이에 의해 고형물질들이 재부유되는 정도가 달라지고, 또한 연구해역으로 유입되는 담수의 유입량에 의해 영향을 받는 것으로 사료된다.

2. 식물플랑크톤의 종조성의 시공간 분포

총 68개 시료에서 동정된 식물플랑크톤의 종 수는 총 159종으로(Appendix I)이 결과는 천수만(신, 1989)의 262종, 황해(장, 1990)의 248종, 경기만(Choi and Shim, 1986)의 228종, 광양만(심 등, 1984)의 214종보다는 적었고, 아산만(이, 1991)의 174종과는 유사하였으며, 군산근해(이동, 1989)의 121종 보다는 많았다. 식물플랑크톤 군집을 주요

종군으로 분류하면 규조류 112종(70.4%), 상편모조류 20종(12.6%), 녹조류 14종(8.8%), 유글레나류 4종(2.5%), 규질편모조류 3종(1.9%), 남조류 2종(1.3%), 기타편모조류 4종(2.5%)으로 구성되었다. 서식 환경에 따른 분류가 가능한 126종을 분류하면 원양종 15종(11.9%), 원양-연안종 7종(5.6%), 연안종 66종(52.4%), 연안-기수종 8종(6.3%), 기수종 4종(3.2%), 기수-담수종 3종(2.4%), 담수종 23종(18.3%)으로 연구해역이 기수역의 특성을 가지면서 강으로부터 유입되는 담수와 외해로부터 유입되는 외양수에 의해 영향을 받는 강 하구역의 특성을 뚜렷이 나타내고 있다. 본 해역의 결과는 경기만(Choi and Shim, 1986)과 아산만(이, 1991)의 결과에 비해 담수종이 상당히 높은 비율로 나타나 본 연구해역이 경기만이나 아산만에 비해 담수유입에 의한 영향을 더 크게 받고 있음을 시사한다.

Fig. 5는 조사 시기마다 서식환경에 따른 종들의 공간 분포 양상을 나타냈는데 이 결과는 해수의 T-S 분포(Fig. 2)와 잘 일치하고 있다. 전반적으로 담수성이거나 기수성인 종을 합한 종 그룹의 비율은 하구역에서 높고 외양으로 갈수록 감소하는 경향을 보이는데 비해 원양종과 원양-내만성인 종을 합한 종 그룹의 비율은 반대의 경향을 나타내고 있다. 만경강 line(정점 1-5)에서 동진강 line(정점 6-9)보다 담수의 영향을 더 많이 받고, 외양으로부터 유입되는 해수에 의한 영향을 덜 받고 있음을 시사한다. 12월(Fig. 5b)에 경우에는 위의 경향과 다른 양상을 보이는데 이는 염분이 만경강 하구보다 동진강하구에서 낮은 것(Fig. 2)을 고려하면 잘 해석된다.

3. 식물플랑크톤의 현존량의 시공간 분포

Net plankton의 현존량은 34 - 3,830 cells/ml의 범위이고 최소와 최대치 사이에 100배의 차이를 보여 변화의 폭이 컸으며, 월 평균 현존량은 10월 626 cells/ml, 12월 254 cells/ml, 3월 2,219 cells/ml, 5월 2,350 cells/ml, 7월 1,100 cells/ml로 12월에 최소치를, 5월에 최대치를 나타냈다(Table 2). 이 결과는 아산만의 38 - 24,847 cells/ml보다는 적고(이, 1991), 천수만의 48 - 3,720 cells/ml와는 매우 유사하며(심과 신, 1989), 경기만(Choi and Shim, 1986: 16 - 1,753 cells/ml), 황해 중부(최 등, 1988: 8 -

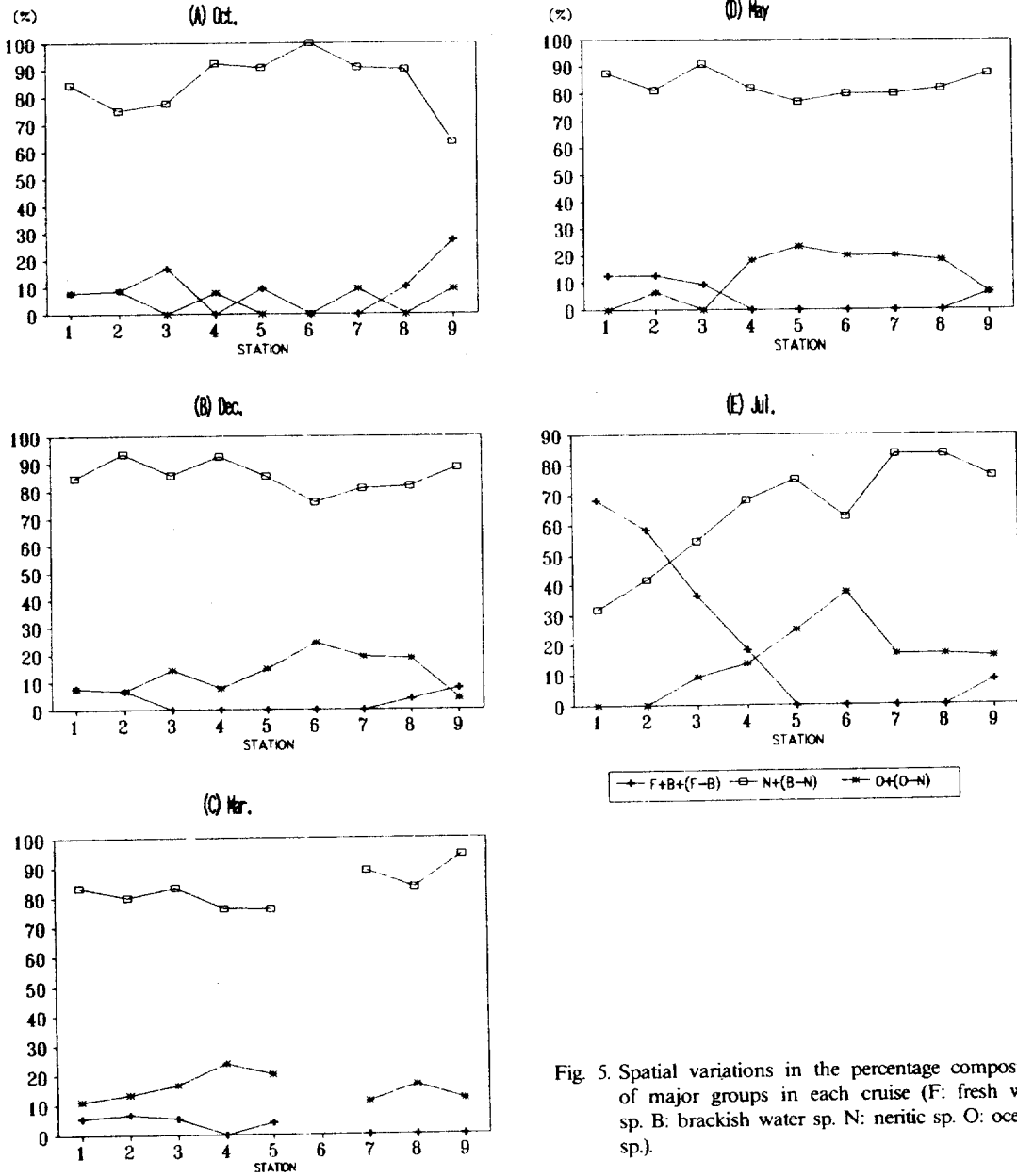


Fig. 5. Spatial variations in the percentage composition of major groups in each cruise (F: fresh water sp. B: brackish water sp. N: neritic sp. O: oceanic sp.).

1,240 cells/ml; 장, 1990: 1 - 1,622 cells/ml)보다는 높은 값이다. 10월의 현존량은 강 하구들 정점에서는 다소 낮았고 외양쪽 정점에서 높은 경향을 보인 반면 12월의 현존량은 만경강 하구역에서 높았으며 외양 쪽으로 갈수록 현존량이 적어지는 경향을 나타냈다. 3월에는 현존량이 12월에 비해 크게 증가하였으나 공간 분포는 경향성이 뚜렷하지 않고 정점에 따라,

수심에 따라 크게 차이를 나타냈으며, 특히 수직적인 변화가 뚜렷하여 표층보다는 저층의 현존량이 높았다. 5월에도 현존량이 3월보다 증가하였는데, 만경강 하구역에서 외양으로 갈수록 증가하는 경향을 보였으며, 만경강 line보다 동진강 line에서 높은 현존량을 나타냈다. 7월의 현존량은 5월보다 다소 낮아졌으나 아직도 상당한 수준을 유지하고 있어 온대

Table 2. Standing stocks of phytoplankton in the study area.

(unit: cells/m³)

station \ month	Oct.89			Dec.89			Mar.90			May 90			Jul.90		
	net	nano	NF(%)*	net	nano	NF(%)	net	nano	NF(%)	net	nano	NF(%)	net	nano	NF(%)
st 1s(Flood)	443	4612	91.2	564	5163	90.2	1690	9983	85.5	587	4210	87.8	602	22389	97.4
st 1s(Ebb)	203	5377	96.4												
st 2s(Flood)	669	6634	90.8				3830	4948	56.4	1010	4914	83.0	271	10929	97.6
st 2s(Ebb)				418	3965	90.5									
st 3s(Ebb)	476	4806	91.0	620	5194	89.3	1862	5975	76.2	995	3064	75.5	827	9257	91.8
st 3b(Ebb)				619	3143	83.5									
st 4s	1193	6021	83.5	244	5559	95.8	1873	4178	69.0	2065	3064	59.7	1587	5371	77.2
st 4b							3385	5380	61.4						
st 5s	545	2493	82.1	112	2221	95.2	1020	4214	80.5	2840	2823	49.8	1346	5643	80.7
st 5b	487	3681	88.3	137	2961	95.6	2327	5607	70.7	2670	2872	51.8	1551	3276	67.9
st 6s	950	3763	79.8	34	4577	99.3				2641	3413	56.4	934	3346	78.2
st 6b	574	3390	85.5	82	4969	98.4				2388	2913	55.0	526	1826	77.6
st 7s	776	3376	81.3	175	6139	97.2	1223	4562	78.9	3230	2377	42.4	1283	5981	82.3
st 7b	1075	3340	75.7	142	6067	97.7	2110	4802	69.5	3126	3882	55.4	1444	4798	76.9
st 8s(Flood)	686	3477	83.5	112	4694	97.7	1439	3907	73.1	1369	3231	70.2	1631	5716	77.8
st 8b(Flood)										3385	3419	50.2	1314	4998	79.2
st 9s(Flood)	325	3414	91.3	141	6127	97.8	2755	4834	63.7	3314	3550	51.7	460	12470	96.4
st 9(Flood)	357	1791	83.4	158	7728	98.0	3125	4161	57.1	3284	3297	50.1	1632	5693	77.7
mean	626	4012	86.0	254	4893	94.7	2220	5213	70.0	2350	3359	60.0	1101	7264	82.8

*NF: nanofraction(nanoplankton/total cell number×100) s: surface b: bottom

Table 3. Dominant species in the study area.

Date	Dominant species	degree of dominance(%)	Remark
Oct. 89	<i>Thalassiosira</i> sp.	4-64	12/14
	<i>Skeletonema costatum</i>	3-46	7/14
	<i>Chaetoceros debilis</i>	0-34	6/14
	<i>Odontella longicruris</i>	0-20	6/14
	<i>Paralia sulcata</i>	0-30	4/14
	<i>Plagiogramma vanheurckii</i>	0-28	2/14
	<i>Paralia sulcata</i>	6-85	13/14
Dec. 89	<i>Plagiogramma vanheurckii</i>	0-86	9/14
	<i>Chaetoceros danicus</i>	6-69	10/12
Mar. 90	<i>Asterionella glacialis</i>	3-26	9/12
	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	2-19	9/12
	<i>Asterionella kariana</i>	0-49	5/12
	<i>Eucampia zodiacus</i>	1-13	3/12
	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	1-86	12/14
May 90	<i>Nitzschia seriata</i>	0-16	7/14
	<i>Thalassiosira</i> sp.	0-60	5/14
	<i>Eucampia zodiacus</i>	0-49	11/14
Jul. 90	<i>Rhizosolenia stolterforthii</i>	0-53	10/14
	<i>Chaetoceros perpusillus</i>	0-31	5/14
	<i>Thalassiosira</i> sp.	0-28	3/14
	<i>Aphanocapsa</i> sp.	0-19	2/14
	<i>Anabaena affinis</i>	0-16	2/14
	<i>Actinastrum hantzschii</i> var. <i>fluviale</i>	0-18	1/14
	<i>Aulacoseira granulata</i>	0-11	1/14

Remark: sample number which each species occurred dominant one(more than 10%)/observed sample number

Table 4. Diversity, evenness, and dominance of phytoplankton in the study area

station	Oct.89			Dec.89			Mar.90			May 90			Jul.90		
	DI	E	DO	DI	E	DO	DI	E	DO	DI	E	DO	DI	E	DO
st 1s(F)	1.58	0.58	0.36	1.07	0.39	0.51	1.61	0.49	0.33	1.59	0.56	0.38	2.55	0.80	0.11
st 1s(E)	2.27	0.77	0.15												
st 2s	2.06	0.69	0.18	0.68	0.27	0.74	1.71	0.6	0.29	1.59	0.54	0.39	2.1	0.84	0.16
st 3s	2.08	0.70	0.16	1.02	0.35	0.57	1.86	0.62	0.21	1.20	0.50	0.42	2.47	0.80	0.12
st 3b				0.89	0.35	0.58									
st 4s	2.32	0.68	0.16	1.72	0.59	0.30	1.94	0.63	0.21	0.56	0.23	0.75	2.08	0.66	0.19
st 4b							1.97	0.65	0.18						
st 5s	2.39	0.73	0.17	0.86	0.48	0.61	1.23	0.45	0.50	0.44	0.25	0.77	1.52	0.55	0.33
st 5b	2.33	0.71	0.16	1.37	0.55	0.47	2.02	0.61	0.18	0.66	0.26	0.69	1.48	0.51	0.34
st 6s	2.37	0.68	0.18	1.84	0.89	0.20				0.64	0.28	0.67	1.37	0.54	0.37
st 6b	2.54	0.75	0.14	1.21	0.58	0.48				0.64	0.25	0.70	1.51	0.63	0.34
st 7s	2.65	0.77	0.12	1.59	0.62	0.30	1.53	0.52	0.38	0.47	0.21	0.76	1.56	0.59	0.29
st 7b	2.05	0.63	0.28	0.67	0.34	0.73	2.17	0.66	0.17	0.64	0.28	0.70	1.55	0.55	0.31
st 8s	2.45	0.74	0.17	1.50	0.63	0.38	1.72	0.58	0.27	0.78	0.32	0.65	1.57	0.52	0.30
st 8b										0.57	0.26	0.74	1.28	0.44	0.39
st 9s	2.07	0.69	0.22	1.39	0.56	0.37	2.00	0.66	0.18	1.08	0.38	0.46	2.18	0.79	0.15
st 9b	2.43	0.78	0.13	1.22	0.51	0.44	2.04	0.62	0.19	1.17	0.45	0.44	1.70	0.52	0.32
mean	2.26	0.71	0.18	1.22	0.51	0.48	1.56	0.51	0.26	1.00	0.40	0.61	1.78	0.62	0.27

(F): flood, (E): ebb, DI: diversity, E: evenness, DO: dominance, s: surface, b: bottom

해역의 일반적인 현존량 변화 양상과는 다른 모습이였다. Net plankton 현존량의 변화는 Secchi depth (Table 1)와 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 투명도는 식물플랑크톤의 양에 의해서도 영향을 받는데 5월의 경우 외양쪽에서 *Rhizosolenia delicatula*가 2,500 cells/ml 전후의 높은 현존량을 나타내에도 불구하고 Secchi depth는 깊게 나타나고 있다. 이것은 *R. delicatula*가 커다란 액포를 가지고 있어 비교적 투명하기 때문에 현존량이 큼에도 불구하고 투명도에 영향이 적은 것으로 사료된다(Jackson *et al.*, 1987).

Table 3에서 볼 수 있듯이 Net plankton 중 전 해역에서 우점종으로 나타난 종은 조사 시기를 통한 종도 없으며 조사 시기에 따라 우점종이 달라지는 양상을 보이고 있다(Table 3). 이는 본 연구해역이 매우 다양한 환경임을 시사하고 있다. 10월에 가장 우점한 종은 *Thalassiosira* sp.로 14개 시료 중 12개 시료에서 우점종으로 나타났으며, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros debilis*, *Odontella longicurris*, *Paralia sulcata*, *Plagiogramma vanheurckii* 등이 정점에 따라 우점종으로 나타났다. *S. costatum*, *P. sulcata*, *O. longicurris*, *P. vanheurckii*는 하구역에서 점유율이 높고, *C. debilis*는 외양역에서 기여도가

컸다. 12월에는 10월 우점종 중 *P. sulcata*, *P. vanheurckii* 등이 우점종으로 나타났는데 *P. sulcata*는 외양쪽으로 갈수록 점유율이 증가하고 *P. vanheurckii*는 하구역으로 갈수록 증가하는 역상관관계를 나타냈다. 3월에는 *Chaetoceros danicus*, *Asterionella glacialis*, *A. kariana*, *Rhizosolenia delicatula*, *Eucampia zodiacus* 등이 우점종으로 나타났는데 *A. kariana*는 하구역에서 높은 점유율을 나타낸 반면 나머지 4종은 외양쪽에서 높은 점유율을 보였다. 5월에는 *Rhizosolenia delicatula*의 대발생으로 정점 1, 2, 8을 제외하고는 80% 전후의 높은 기여도를 보였다. 정점 1, 2, 8 표층에서는 *Thalassiosira* sp.가 60% 전후의 높은 점유율을 나타내 *R. delicatula* 및 *Nitzschia seriata*와는 다른 분포 양상을 보였다. 7월에는 정점 1, 2, 3에서 담수종들이 우점종으로 나타나 다른 조사 시기의 결과와 비교할 때 종조성의 차이가 뚜렷하였다. 그 외 정점들에서는 *R. stolterforthii*와 *E. zodiacus* 점유율 합이 80-90% 정도로 매우 높았다.

미소플랑크톤(nanoplankton)의 현존량은 1,791 - 22,389 cells/ml의 범위로 10배의 차이를 보이는 등 변화가 크게 나타났으나 월 평균 현존량은 3,359(5월) - 7,263 cells/ml(7월)의 범위로 변화정도가 적

었다(Table 2). 이 결과는 아산만의 1,015 - 11,252 cells/ml(이, 1991)와 천수만의 300 - 6,384 cells/ml(심과 신, 1989)보다 크고, 황해의 1- 633 cells/ml(장, 1990)보다는 상당히 높은 수준이었다. 공간분포는 담수의 영향을 크게 받는 해역에서 미소플랑크톤의 현존량이 상당히 높았으며 고군산군도 주변의 외해역에서 낮은 경향성을 보였다(Table 2). 이 결과는 여러 연구자들이 담수의 유입으로 염분이 낮은 하구역에서는 미소플랑크톤이 주요 생물군으로 나타난다는 보고한 것과 잘 일치한다(Revelante and Gilmartin, 1978; Jackson *et al.*, 1987).

식물플랑크톤의 총현존량은 2,148 - 22,991 cells/ml의 범위로 현존량이 상당히 크고 변화의 폭도 매우 심하게 나타났다(Table 2). 총 현존량에서 미소플랑크톤의 기여도는 42.4% - 97.6%의 범위로 월 평균 점유율은 12월에 94.7%로 가장 높았고 5월에 60.0%로 가장 낮았다(Table 2). 미소플랑크톤 기여도는 담수의 영향을 크게 받는 하구역에서는 높고 외해역으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다.

4. 종 다양성 지수, 균등도, 우점도의 시공간 분포

군집의 안정성을 나타내는 종 다양성 지수, 균등도, 우점도는 Table 4에 나타내었다. 종 다양성 지수는 0.44 - 2.65의 범위로 변화의 폭이 컸다. 월 평균은 10월에 2.26, 12월에 1.22, 3월에 1.56, 5월에 1.00, 7월에 1.78로 10월에 가장 높고 5월에 가장 낮았다. 5월에는 *Rhizosolenia delicatula*의 점유율이 80% 내외로 매우 높았으며 12월에는 *Paralia sulcata*, *Plagiogramma vanheurckii* 두 종의 점유율이 80% 전후로 매우 높아 종 다양성 지수가 낮아졌다. 10월, 12월, 3월에는 대체로 강하구역에서의 종 다양성 지수가 낮는데 반해 5월과 7월에는 반대의 경향을 보이고 있다.

균등도는 0.21 - 0.84의 범위로 종 다양성지수와 동일한 경향을 보인 데 비해 우점도는 0.11 - 0.77의 범위로 우점도의 월 평균은 모두 10월에 최대, 5월에 최소로 종 다양성 지수의 결과와 반대로 나타났다.

5. 식물수문학적 수역 구분

식물플랑크톤의 정량자료를 이용하여 각 정점간의

유사도를 상관계수로 김피분석을 한 결과 연구 해역은 크게 두개 수역으로 구분되었다(Fig. 6). 10월에는 만경강 line의 가장 외양쪽에 위치한 정점 5의 표층만이 외해역으로 구분되었다(Fig. 6a). 정점 5 표층의 염분과 온도는 정점 5의 다른 수심보다 낮은 경향을 보여(Fig. 4) 본 해역의 수괴와는 다른 성질을 지닌 수괴가 표층으로 유입된 것으로 사료된다. 이 정점의 우점종도 다른 정점과 다소 다른 양상을 보이고 있는데 *Chaetoceros debilis*가 34%, *Skeletonema costatum*이 19%의 점유율로 다른 정점들에 비해 상당히 높고 다른 정점에서 높은 기여도를 보이는 *Thalassiosira* sp.는 4%의 기여도를 보이고 있어 차이를 나타냈다. 12월에는 외해역이 10월보다 확장되어 정점 5, 6, 7, 8(정점 7의 표층)을 포함하는 B수역과 나머지 A수역으로 구분된다. 이는 비교적 고염의 외양수가 10월보다 동진강 하구역쪽으로 주로 확장한 결과이며 A수괴의 저염의 해수가 정점 7의 표층으로 유입되어 정점 7의 표층은 A수역에 덩이를 이룬 것으로 사료되며 이 구분은 T-S분포(Fig. 2) 뿐 아니라 우점종의 분포와 잘 일치한다. 3월에는 12월과는 달리 만경강 하구역의 정점 1과 2가 A수역으로 구분이 되는데(Fig. 6c), 이곳은 담수의 유입으로 B수역에 비해 저염 고온이며, 우점종 중 *A. Kariana*의 기여도가 B수역에 비해 매우 높고 다른 우점종들의 기여도는 10% 이하의 낮은 기여를 보이는 등 차이를 보이고 있다. 5월에는 A수역에 정점 9 표층이 포함되는데 이 수역은 담수의 유입으로 영향을 받는 정도에 의한 구분으로 사료된다. 7월에는 담수의 유입으로 인해 강하게 영향을 받는 정점 1과 정점 2, 3 그리고 나머지 수역으로 나눌 수 있다.

이를 종합하여 보면 담수의 유입이 적은 가을과 겨울철에는 외해로부터 유입되는 수괴에 의해 연구 해역이 영향을 받고 담수의 유입이 많아져 영향을 크게 받는 봄과 여름철에는 연구해역으로 유입되는 담수에 의해 영향을 받아 대체로 두개의 수역으로 구분되는 것으로 사료된다.

참고문헌

기준학, 김경열, 1987. 금강 하구에서의 화학적, 생물학적 제과정에 관한 연구. II. Chlorophyll-a 분포결정 요인에 관하여. 한국해양학회지, 22: 207-215.

- 김정균, 1972. 하계한강하류의 식물성 플랑크톤의 분류와 해수 지표종. 한국육수학회지, 5: 31-41.
- 심재형, 신윤근, 1989. 천수만 일차생산자의 생물량-식물 플랑크톤 탄소량과 세포 개체수 및 클로로필과의 관계. 한국해양학회지, 24: 194-205.
- 심재형, 신윤근, 이원호, 1984. 1982년도 광양만 식물플랑크톤 군집의 분포에 관한 연구. 한국해양학회지, 19: 172-186.
- 심재형, 최중기, 1978. 한강하류에 있어서 부유성 조류군집의 구조 및 기능변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 13: 31-41.
- 이숙경, 1991. 아산만 및 경기만 식물플랑크톤 군집의 생태학적 비교 연구. 석사학위논문, 서울대학교, 95pp.
- 이원호, 이건형, 최문술, 이다미, 1989. 군산부근 조간대 및 조하대역에서의 식물 플랑크톤과 Bacterioplankton. 한국해양학회지, 24: 157-164.
- 이종철, 1973. 하구(낙동강) 감조수역의 수질이 Microflora에 미치는 영향. 한국육수학회지, 6: 1-11.
- 정영호, 1969. 한강의 Microflora에 관한 연구. 제 3보 한강하구 감조수역의 환경조건과 식물성 plankton. 학술원 논문집, 8: 59-132.
- 정영호, 심재형, 이민재, 1965. 한강의 Microflora에 관한 연구. 제 1보 한강하류의 식물성 plankton과 해수의 영향. 식물학회지, 8: 7-29.
- 장 만, 1990. 한국 서해 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 박사학위논문, 서울대학교, 185pp.
- 최중기, 박용철, 김용철, 이영철, 정창수, 손승규, 황학진, 한석범, 1988. 서해 연안 어장의 생산력 조사. 수산진흥원연구보고, 42: 143-168.
- Choi, J.K. and J.H. Shim, 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. III. Phytoplankton composition, standing crops, tycho-pelagic plankton. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21: 156-170.
- Jackson, R.H., P.J. le, B. Williams and I.R. Joint, 1987. Freshwater phytoplankton in the low salinity region of the River Tamar estuary. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 25: 299-311.
- Lee, W.H., K.R. Kim and M.S. Choi, 1988. Phytoplankton distribution and environmental factors in Lower Keum River during spring season. In: *The eutrophication and conservation of water resources. Proc. of 4th int. sym.* Eds. by K.S. Cho et al., IHR KNU, 162-182.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.*, 13: 131-144.
- Revelante, N. and M. Gilmartin, 1978. Characteristics of the Microplankton and nanoplankton communities of an Australian Coastal Plain Estuary. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 29: 9-18.
- Shannon, C.E. and W. Wiener, 1949. The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Champaign.
- Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.

Received February 11, 1991

Accepted June 1, 1991

Appendix I. List of phytoplankton species observed in the study area (O: oceanic, N: neritic, B: brackish, F: fresh water)

Diatoms		<i>Hemiaulus hauckii</i>	N
<i>Achnanthes brevipes</i>	N-B	<i>Hemiaulus membraneacus</i>	O
<i>Achnanthes</i> sp.		<i>Lauderia annulata</i>	O
<i>Actinocyclus ehrenbergii</i>	N	<i>Leptocylindrus danicus</i>	N
<i>Actinopytychus senarius</i>	N	<i>Leptocylindrus minimus</i>	N
<i>Actinopytychus splendens</i>	N-B	<i>Licmophora abbreviata</i>	N
<i>Actynocyclus</i> sp.		<i>Melosira nummuloides</i>	B
<i>Amphiprora paludosa</i>	B-F	<i>Melosira</i> sp.	
<i>Amphiprora</i> sp.		<i>Navicula directa</i>	N
<i>Amphora</i> sp.		<i>Navicula salinarum</i>	B
<i>Asterionella formosa</i>	F	<i>Navicula</i> sp.	
<i>Asterionella glacialis</i>	N	<i>Neidium dubium</i>	F
<i>Asterionella kariana</i>	N	<i>Nitzschia delicatissima</i>	N
<i>Aulacoseira granulata</i>	F	<i>Nitzschia longissima</i>	N
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	F	<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i>	N
<i>Aulacoseira islandica</i>	F	<i>Nitzschia seriata</i>	N
<i>Bacillaria paxillifer</i>	N-B	<i>Nitzschia</i> sp.	
<i>Bellelochea hologrochialis</i>	N	<i>Nitzschia vermicularis</i>	F
<i>Biddulphia</i> sp.	N	<i>Odontella aurita</i>	N
<i>Caloneis</i> sp.	F	<i>Odontella granulata</i>	N
<i>Cerataulina bergonii</i>	N	<i>Odontella longicruris</i>	N
<i>Chaetoceros affinis</i>	N	<i>Odontella longicruris</i> var. <i>hyalina</i>	N
<i>Chaetoceros compressus</i>	N	<i>Odontella sinensis</i>	N
<i>Chaetoceros danicus</i>	N	<i>Paralia sulcata</i>	N
<i>Chaetoceros debilis</i>	N	<i>Pleurosigma angulatum</i>	B
<i>Chaetoceros decipiens</i>	N-B	<i>Pleurosigma elongatum</i>	N-B
<i>Chaetoceros denticulatus</i>	O	<i>Pleurosigma</i> sp.	
<i>Chaetoceros didymus</i>	N	<i>Plagiogramma vanheurckii</i>	N
<i>Chaetoceros pendulus</i>	O	<i>Podosira stelligera</i>	N
<i>Chaetoceros perpusillus</i>	N	<i>Raphoneis</i> sp.	
<i>Chaetoceros socialis</i>	N	<i>Rhizosolenia alata</i> for. <i>indica</i>	O
<i>Chaetoceros willei</i>	O-N	<i>Rhizosolenia calcar-avis</i>	O
<i>Chaetoceros</i> sp.		<i>Rhizosolenia delicatula</i>	N
<i>Cocconesis</i> sp.		<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	N
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	O-N	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	O
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	O	<i>Rhizosolenia pungens</i>	N
<i>Coscinodiscus gigas</i>	N	<i>Rhizosolenia setigera</i>	N
<i>Cyclotella striata</i>	N-B	<i>Rhizosolenia stoltzerforthii</i>	N
<i>Cyclotella</i> sp.		<i>Skeletonema costatum</i>	N
<i>Cylindrotheca closterium</i>	N-B	<i>Stauroneis membranacea</i>	N
<i>Cymbella</i> sp.		<i>Stauroneis</i> sp.	
<i>Diploneis furca</i>	N	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	N
<i>Diploneis splendida</i>	N	<i>Stephanopyxis turris</i>	N
<i>Diploneis</i> sp.		<i>Streptotheca tamesis</i>	O
<i>Ditylum brightwellii</i>	N	<i>Surirella gemma</i>	N
<i>Eucampia zodiacus</i>	N	<i>Surirella</i> sp.	
<i>Fragilaria cylindrus</i>	N	<i>Synedra acus</i>	F
<i>Fragilaria</i> sp.		<i>Synedra tenera</i>	F
<i>Gomphonema acuminata</i> var. <i>coronatum</i>	F	<i>Synedra ulna</i>	F
<i>Guinardia flaccida</i>	N	<i>Synedra</i> sp.	
<i>Gyrosigma fasciola</i>	N	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	N
<i>Gyrosigma scalproides</i>	F-B	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	N

<i>Thalassiosira gravida</i>	N	<i>Actinastrum hantzschii</i> var. <i>elongatum</i>	F
<i>Thalassiosira hyalina</i>	N	<i>Micromonas pusilla</i>	
<i>Thalassiosira leptopus</i>	O-N	<i>Nephroselmis</i> sp.	
<i>Thalassiosira nordenskiöldi</i>	N	<i>Pediastrum biwae</i>	F
<i>Thalassiosira rotula</i>	N	<i>Pedinomonas mikron</i>	
<i>Thalassiosira</i> sp.		<i>Pyramimonas grosii</i>	
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	O	<i>Pyramimonas</i> sp.	
<i>Thalassiothrix longissima</i>	O	<i>Scenedesmus bijuga</i> var. <i>alternans</i>	F
<i>Thalassiothrix mediterranea</i> var. <i>pacifica</i>	N	<i>Scenedesmus dimorpha</i>	F
		<i>Scenedesmus maximus</i>	F
		<i>Scenedesmus obliquus</i>	F
		<i>Scenedesmus quadrispina</i>	F
		<i>Tetraselmis</i> sp.	
Dinoflagellates			
<i>Amphidinium</i> sp.			
<i>Ceratium fusus</i>	O-N		
<i>Ceratium kofoidii</i>	O		
<i>Ceratium pavillardii</i>	O	Blue-green algae	
<i>Dinophysis caudata</i>	O	<i>Anabaena affinis</i>	F
<i>Gonyaulax</i> sp.1		<i>Aphanocapsa</i> sp.	F
<i>Gonyaulax</i> sp.2			
<i>Gymnodinium</i> sp.1		Silicoflagellates	
<i>Gymnodinium</i> sp.2		<i>Dictyocha fibula</i>	O-N
<i>Gyrodinium</i> sp.		<i>Distephanus speculum</i>	O-N
<i>Gyrodinium spirale</i>	B-F	<i>Ebria tripartita</i>	N
<i>Gyrodinium splendens</i>	N		
<i>Prorocentrum balticum</i>	N	Euglenoids	
<i>Prorocentrum minimum</i>	N	<i>Euglena deses</i>	F
<i>Prorocentrum nanum</i>	N	<i>Euglena viridis</i>	F
<i>Prorocentrum triestinum</i>	O-N	<i>Euglena</i> sp.	
<i>Prorocentrum</i> sp.		<i>Eutreptiella marina</i>	N
<i>Protoperdinium bipes</i>	N		
<i>Protoperdinium</i> sp.		Other flagellates	
<i>Pyrophacus horologium</i>	O	<i>Chroomonas lateralis</i>	
		<i>Chroomonas</i> sp.	
Green algae		<i>Pyrenomonas salina</i>	
<i>Actinastrum hantzschii</i> var. <i>fluviale</i>	F	<i>Chrysochromulina</i> sp.	