

## 서해 중동부 연안수역과 경기만에서 일차 생산력과 동화계수에 관한 연구

김연식 · 최중기 · 정경호 · 박용철  
인하대학교 해양학과

### Primary Productivity and Assimilation number in the Kyonggi Bay and the mid-eastern coast of Yellow Sea

YEON SHIK KANG, JOONG KI CHOL, KYONG HO CHUNG AND YONG CHUL PARK  
*Dept. of Oceanography, Inha University, Incheon, Korea*

서해 중동부 연안수역과 경기만에서 식물플랑크톤에 의한 일차 생산력과 동화계수에 영향을 주는 요소들을 규명하고자 1989년 3월부터 1990년 10월까지 chl-a 농도, 광 조건, 수온, 염분도 및 투명도 등을 현장에서 조사하였다. 식물플랑크톤에 의한 chl-a 농도는 서해 중동부 연안수역에서 0.78~4.79  $\mu\text{g/l}$ 이었으며, 경기만에서는 0.91~4.3  $\mu\text{g/l}$ 의 변화폭을 보였다. 서해 중동부 연안수역에서 일일 평균 일차 생산력과 년 평균 생산력은 각각 37.23~1104.44(평균 361.54)  $\text{mgC/m}^2/\text{d}$ , 131.96 $\text{gC/m}^2/\text{yr}$ 이었으며, 경기만에서는 37.01~1028.46(평균 236.89)  $\text{mgC/m}^2/\text{d}$ , 86.46 $\text{gC/m}^2/\text{yr}$ 으로 서해 중동부 연안수역이 경기만보다 다소 높게 측정되었다. 동화계수를 살펴보면 서해 중동부 연안수역에서는 1.13~11.03  $\text{mgC/mg chl-a/hr}$ 이었으며, 경기만에서는 1.47~24.28  $\text{mgC/mg chl-a/hr}$ 으로 조사되어 경기만이 다소 높게 측정되었다. 연구대상 해역에서는 다른 해역에 비해 조사된 측정치들이 다소 높게 나타났다. P-I curve에서의  $\alpha$ (light utilization efficiency)는 서해 중동부 연안 수역에서 0.01~0.62 [ $\text{mgC/mg chl-a/hr}$ ]/ $[\mu\text{E/m}^2/\text{sec}]$ 이었으며, 경기만에서는 0.03~0.93 [ $\text{mgC/mg chl-a/hr}$ ]/ $[\mu\text{E/m}^2/\text{sec}]$ 으로 조사되어 경기만에 출현하는 식물플랑크톤이 좀더 빛을 효율적으로 이용하는 것으로 나타났다. 빛에 대한 식물플랑크톤의 생리적인 적응상태를 지시하는  $I_k$ 값은 서해 중동부 연안수역에서 평균 120.37  $\mu\text{E/m}^2/\text{sec}$ 이었으며, 경기만에서는 48.35  $\mu\text{E/m}^2/\text{sec}$ 으로 측정되어, 경기만에서 출현하는 식물플랑크톤이 서해 중동부 연안수역에서 출현하는 식물플랑크톤보다 상대적으로 낮은 광에 적응되어 있었다.

In order to examine controlling factors on primary productivity and assimilation number of phytoplankton, chlorophyll-a concentrations, light intensity, temperature, salinity and transparency were measured in the Kyonggi Bay and in the mid-eastern coast of Yellow Sea from March 1989 to October 1990. Chlorophyll-a concentration of phytoplankton ranged from 0.91 to 4.30  $\mu\text{g/l}$  in the Kyonggi Bay, and from 0.78 to 4.79  $\mu\text{g/l}$  in the mideastern coast of Yellow Sea. Daily averaged primary productivities and annual primary productivities of phytoplankton ranged from 37.01 to 1028.46 (averaged 236.89)  $\text{mgC/m}^2/\text{day}$ , 86.46 $\text{gC/m}^2/\text{yr}$  in the Kyonggi Bay, and from 37.24 to 1104.44 (averaged 361.54)  $\text{mgC/m}^2/\text{day}$ , 131.96 $\text{gC/m}^2/\text{yr}$  in the mid-eastern coast of Yellow Sea, respectively. Assimilation number of phytoplankton ranged from 1.47 to 28.28  $\text{mgC/mg chl-a/hr}$  in the Kyonggi Bay, and from 1.13 to 11.03  $\text{mgC/mg chl-a/hr}$  in the mid-eastern coast of Yellow Sea. Assimilation number of phytoplankton in the Kyonggi Bay was higher than that of the mid-eastern coast of Yellow Sea. Light utilization efficiencies ( $\alpha$ ) in the P-I curve ranged from 0.03 to 0.93 [ $\text{mgC/mg chl-a/hr}$ ]/ $[\mu\text{E/m}^2/\text{sec}]$  in the Kyonggi Bay, and from 0.01 to 0.62 [ $\text{mgC/mg chl-a/hr}$ ]/ $[\mu\text{E/m}^2/\text{sec}]$  in the mid-eastern coast of Yellow Sea. Their results indicated that phytoplankton in the Kyonggi Bay utilized light more efficiently than those of the mid-eastern coast of Yellow Sea. The average values of  $I_k$  were 48.15  $\mu\text{E/m}^2/\text{sec}$  in the Kyonggi Bay, and 120.37  $\mu\text{E/m}^2/\text{sec}$  in the mid-eastern coast of Yellow Sea. It means the phytoplankton populations in the Kyonggi Bay seem to be adapted to lower light intensity than those of the mid-eastern coast of Yellow sea.

## 서 론

모든 식물은 광합성을 통해 무기물( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ )로부터 높은 에너지의 유기 화합물을 합성한다. 식물플랑크톤에 의해 만들어진 일차 생산물은 해양과 담수계의 유기물의 기본이며, 식물플랑크톤의 광합성에 의해 생성된 산소는 지구상의 생물들의 호흡에 필요한 산소의 중요한 부분을 이룬다(Bony, 1979). 해양의 일차생산력에 있어서 가장 중요한 영향을 미치는 요인은 빛이며, 빛은 시·공간적 및 기상 등의 여러 조건에 의해 매우 변화폭이 크며 다양하게 영향을 미친다. 해양에서 식물플랑크톤의 일차생산력에 중요한 물리적 성질은 입사광과 수괴의 혼합이다. 이러한 성질들은 일일 및 계절적인 변화를 보인다. 영양염이 제한되지 않은 환경에서는 빛의 시·공간적 변화가 식물플랑크톤의 광합성을 결정하는 중요한 요인이 된다고 하였다(Law and Bannister, 1980).

경기만과 같이 조류가 강한 해역에서는 활발한 퇴적물의 재부유 작용과 난류혼합(turbulent mixing)이 탁도를 높여 광의 투과를 저해하므로 식물플랑크톤의 일차 생산량에 영향을 주지만, 다른 한편으로는 저층의 풍부한 영양염을 확산시켜 일차 생산을 촉진시키기도 한다. 이러한 난류의 혼합(turbulent mixing)은 해양 식물플랑크톤의 영양염의 섭취와 광합성에 영향을 준다(Savidge, 1981)고 하였다. 또한 식물플랑크톤이 주기적으로 변화(cyclic changes)하는 빛 세기에 노출되면, 실험실에서의 배양시료와 천연 식물플랑크톤 모두에서 광합성 활동이 증가하는 경우도 있다고 알려져 있다(Harris and Piccinin, 1977; Marra, 1978). 따라서 주기적으로 변하는 조류(tidal currents)에 의해 잘 혼합된 수역에서의 일차 생산과 영양염의 계절변화 양상이 일반적인 온대 해역에서의 계절변화양상과는 다르게 나타나며, 이러한 해역에서 식물플랑크톤의 분포 또한 일반적인 행야환경과 다르게 나타난다(Demers et al., 1979). 이러한 수역에서 식물플랑크톤의 생태·생리적 특성을 알기 위해 일차 생산 능력과 색소의 광합성 능력 그리고 광과 광합성 관계(P-I curve)를 아는 것은 매우 중요하다(Demers et al., 1986). 광합성과 광과의 관계는 P-I curve로 나타내며(Yentsch and Lee, 1966), 이 P-I curve는 주변 환경요인의

영향과 식물플랑크톤의 생리적인 적응상태( $P_{max}$ ,  $\alpha$ ,  $I_k$ )를 제시해 준다(Fee, 1969; Jassby and Platt, 1976; MacCaul and Platt, 1977). MacCaul과 Platt (1977)는  $\alpha$ (initial slope)와 최대 동화계수( $P_{max}$ )가 매우 높은 상호관계가 있다고 하였다. 동화계수에서 이러한 일일 변화는 빛세기, 온도, 영양염과 같은 환경요인과 식물플랑크톤의 세포 크기의 변화들과 깊은 연관성이 있다고 하였으며(Falkowski, 1981), 일차 생산력 측정에 중요한 영향을 준다고 하였다(Harding et al., 1982).

본 조사수역 중 경기만은 조석 변화에 따른 일일 반주조의 주기적인 변화와 강한 조류 등으로 탁도가 높으며 광이 중요한 제한 요소로 작용하여 식물플랑크톤 생태와 일차 생산력이 영향을 받는다(Choi and Shim, 1986a; Chung and Park, 1988). 또한 경기만 바깥쪽의 서해 중동부 연안수역은 계절적으로 성층구조가 나타나며 천해 전선이 형성되어 식물플랑크톤의 분포와 생산력이 영향을 받는 수역이다(Choi, 1991). 이와 같이 조석변화가 큰 수역과 비교적 조석 변화가 작고 계절적으로 안정된 수괴 사이의 대조적인 환경에서의 식물플랑크톤의 일차 생산력과 광합성에 따른 생리적인 능력을 비교해 봄으로써 두 수역에 서식하는 식물플랑크톤의 환경 적응 현상을 밝혀 보고자 한다.

## 연구재료 및 방법

본 연구는 1989년 6월부터 1990년 10월에 걸쳐 서해 중동부 연안 수역(307선의 정점 3, 5, 7, 308선의 정점 10, 309선의 정점 1, 2)에서 격월로 총 8회에 걸쳐 실시하였으며, 경기만(정점 1, 5, 7)에서는 1989년 3월부터 1990년 10월에 걸쳐 분기별로 총 8회에 걸쳐 실시하였다(Fig. 1).

수온, 염분도 및 투명도는 STD meter(Alec electronics AST-3000) 및 Secchi disc를 이용하여 현장에서 측정하였으며, 소광계수는 Pool과 Atkins(1929)에 의해 제안된  $k=1.7/D$ ( $k$ : Extinction coefficient ( $\text{m}^{-1}$ ),  $D$ : Secchi depths)로부터 계산되었다. 광도(light intensity)는 현장에서 Li-Cor quantum meter를 이용하여 측정하였으며, 기초 생산력에 필요한 여러 광조건에 대한 값이는 Beer의 법칙을 이용하여 산출하였다( $I_0 = I_n \cdot e^{-kD}$ ;  $k$ 는 소광계수,  $I_0$ 는 수심  $D$

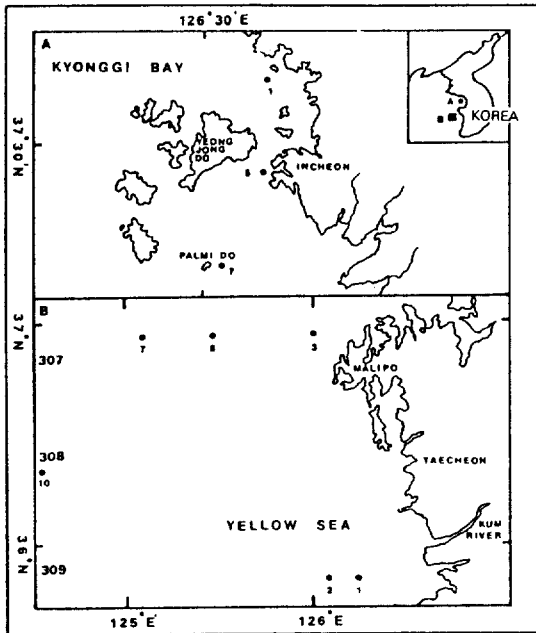


Fig. 1 Map showing sampling stations in the study area. A: Kyonggi Bay. B: Yellow Sea.

에서의 광도 그리고  $I_0$ 는 표층에서의 광도).

Chlorophyll-*a*의 측정은 현장에서 Niskin 채수기를 이용하여 채수한 후, Field Fluorometer(Turner design III)을 이용하여 *in vivo* fluorescence를 측정하였다. Nanoplankton(<20  $\mu$ m)의 chlorophyll 양은 nanomesh(mesh size : 20  $\mu$ m)로 시료를 통과시킨 후 측정하였다. Chlorophyll과 fluorescence의 보정은 현장조사 후 현장 해수를 이용하여 spectrophotometric method(Parsons et al., 1984)와 비교하여 실시하였다.

일차 생산력의 측정은 Niskin 채수기를 이용하여 시료를 채취한 후 Parsons et al.(1984)의 방법에 따라 채수된 시료를 100 ml cap test tube에 넣고  $^{14}$ C-bicarbonate(Amersham Inc)을 첨가한 후 여러 광조건(100%, 61.0%, 35.8%, 14.8%, 5.6%, 2.6%)하에서 2-3시간 배양을 한 후 Whatman GF/C filter로 여과시킨 다음 냉동 보관하였다. 이렇게 냉동 보관된 시료들을 실험실로 옮겨와 염산용액으로 acid fuming시킨 다음 scintillation cocktail(15 ml)에 넣고 시료와 scintillation cocktail이 충분히 반응하도록 한 후 Liquid Scintillation Counter(Parkard Tricarb-C)로 식물플랑크톤에 의해 고정된  $^{14}$ C의 방사능을 측

정하였다.

## 연구결과 및 고찰

### 1. 물리적 환경요인(수온, 염분도, 투명도)

서해 중동부 연안수역에서 조사 기간 중 최저 수온은 90년 2월 정점 307-03에서 4 $^{\circ}$ C 이었으며, 최고 수온은 90년 8월에 정점 308-10에서 28.4 $^{\circ}$ C로 나타났다. 외해에 위치한 정점 308-10에서 수온의 계절 변화가 내해쪽 정점보다 크게 나타났다. 경기만에서 최저 수온은 89년 3월에 정점 5에서 5.3 $^{\circ}$ C 이었으며 최고 수온은 89년 8월에 정점 1에서 26 $^{\circ}$ C로 나타났으며, 정점간의 수온 변화는 거의 없었다. 서해 중동부 연안수역에서 조사 기간 중 염분도 변화는 90년 8월에 정점 307-05에서 30.36‰로 가장 낮게 측정되었으며, 90년 4월 정점 307-07에서 32.88‰으로 가장 높게 측정되었다. 연안 수역의 각 정점별 년 변화폭은 1.48~2.61‰(평균 2.04‰)이었으며, 외해보다는 담수의 영향을 많이 받는 내해 연안쪽에 위치한 정점에서 그 변화폭이 비교적 크게 나타났다. 경기만에서 염분도 변화는 23.29~32.25‰로 측정되었다. 동계에 높게 나타났으며 하계로 가면서 강우 및 한강, 임진강 그리고 지천을 통한 담수의 유입으로 낮게 나타나 기수역의 성격을 띠었다. 외만보다는 내만에 위치한 정점에서 그 변화폭이 크게 나타났다. 서해 중동부 연안수역과 비교해 볼 때, 평균 약 3.85%의 차이를 보였으며, 경기만이 서해 중동부 연안수역보다는 염분도의 계절변화폭이 크게 나타났다.

서해 중동부 연안수역에서 조사 기간 중 투명도는 1.6~16 m이었으며, 90년 2월에 정점 307-03에서 가장 낮게 측정되었으며, 89년 8월 정점 308-10에서 가장 높게 측정되었다. 계절적인 변화보다 오히려 정점간의 변화가 더 크게 나타났다(그림 2A). 경기만에서 투명도는 1.2~5 m이었으며, 89년 3월에 정점 1에서 가장 낮게 나타났으며, 89년 10월에 정점 7에서 가장 높게 측정되었다. 경기만에서의 투명도 역시 조석에 의한 수직적인 혼합이 활발한 동계에 매우 낮게 나타났으며, 하계로 갈수록 다소 수괴가 안정되어 투명도가 증가하는 경향을 보였다(그림 2B). 전반적으로 경기만의 투명도는 낮은 수심과 조석의 영향으로 수괴의 수직적인 혼합이 활발해 저층

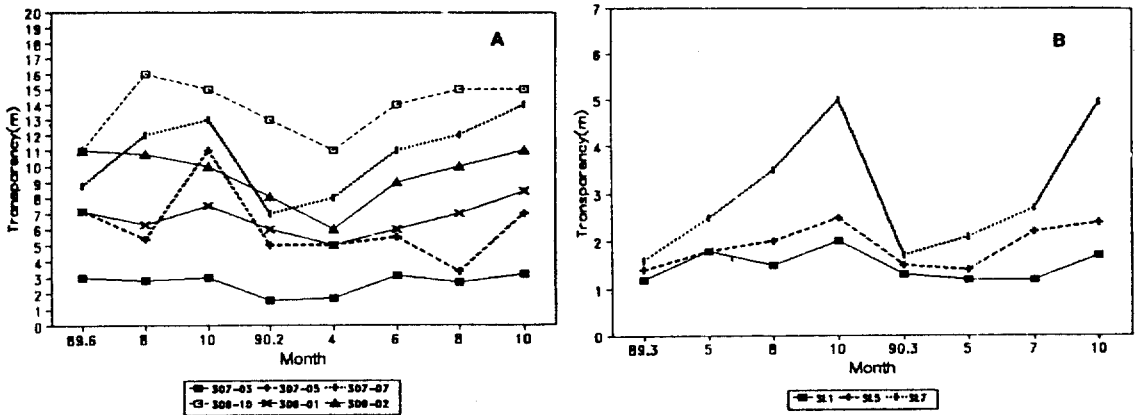


Fig. 2. Seasonal variations of transparency in the study area. A: Mid-eastern coast of Yellow Sea. B: Kyonggi Bay.

퇴적물의 재부유로 인해 연중 낮은 투명도를 보였다.

2. Chlorophyll-a 농도

서해 중동부 연안수역에서 조사 기간중 식물플랑크톤에 의한 chl-a 농도의 변화(Tab. 1A)는 90년 2월에 가장 외해쪽에 위치한 정점 308-10에서 0.78 µg/l으로 최저 농도를 보였으며, 90년 4월에 정점

307-07에서 4.79 µg/l으로 최고 농도를 보였다. 외해쪽에 위치한 정점에서 매우 낮게 측정된 이유는 강한 수온 약층이 형성되기 때문이다. Nanoplankton(<20 µm)에 의한 chl-a의 농도는 0.91~2.68(평균 1.69 µg/l)로 측정되었으며, nanoplankton에 의한 chl-a 점유율은 32.2~97.2%(평균 64.7%)으로 나타났다. Nanoplankton에 의한 chl-a 점유율은 내해 연안쪽

Table 1. The results of chlorophyll-a concentrations in the study area.

A: Mid-eastern coast of Yellow Sea										Unit: µg/l	
St.	307-03		307-05		307-07		308-10		309-01		
Date	Tot.	Nano	Tot.	Nano	Tot.	Nano	Tot.	Nano	Tot.	Nano	
89. 6	2.27	1.78	2.00	1.83	1.60	1.48	1.41	1.02	2.03	1.88	
89. 8	1.52	1.40	1.23	0.96	0.94	0.61	0.83	0.67	2.09	1.61	
89.10	2.85	1.60	2.73	0.88	3.61	2.27	1.31	1.14	2.65	1.30	
90. 2	1.33	1.23	1.30	1.20	0.95	0.88	0.73	0.69	1.20	0.82	
90. 4	2.11	2.05	2.87	2.63	4.79	2.68	2.02	1.87	2.10	1.90	
90. 6	1.39	1.11	1.46	1.20	1.20	0.82	1.18	1.05	1.49	1.12	
90. 8	2.29	1.41	2.21	1.79	1.13	0.66	0.95	0.87	3.08	2.14	
90.10	2.95	1.65	2.19	1.94	1.71	1.33	1.04	0.94	1.68	1.53	
Avg.	2.09	1.53	2.00	1.55	1.99	1.34	1.19	1.03	2.04	1.54	

B: Kyonggi Bay							Unit: µg/l	
St.	1		5		7			
Date	Tot.	Nano	Tot.	Nano	Tot.	Nano		
89. 3	0.91	0.86	1.25	0.98	1.57	1.08		
89. 5	1.86	1.45	1.41	1.15	1.86	1.22		
89. 8	4.30	3.80	3.90	3.40	2.40	2.20		
89.10	2.10	1.30	4.30	2.80	1.30	1.00		
90. 3	1.31	1.10	1.35	1.03	1.32	1.00		
90. 5	2.35	1.85	1.68	1.30	2.24	1.30		
90. 7	4.05	2.65	3.50	2.85	1.95	1.70		
90.10	2.10	1.45	3.65	1.80	2.35	1.05		
Avg.	2.37	1.81	2.63	1.91	1.87	1.32		

Table 2. Primary Productivity ( $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ ) in the study area.  
A: Mid-eastern coast of Yellow Sea

Date	Stations			Date	Stations				
	Tot.	Nano	Nano(%)		Tot.	Nano	Nano(%)		
89. 6	307-03	291.20		90. 2	307-03	37.24	19.60	52.65	
	307-05	530.40			309-01	193.34	87.24	45.12	
	309-01	357.20	336.70	94.26					
	309-02	421.70							
89. 8	307-03	197.00		90. 8	307-3	311.08	117.85	37.88	
	307-05	203.70			307-05	353.91	195.91	55.36	
	307-07	549.70			307-07	1104.44	594.74	53.85	
	309-01	708.00			308-10	356.19			
	309-02	591.80			309-01	302.83			
89. 1	307-03	111.37	42.84	38.47	90. 10	307-03	78.45	20.01	25.51
	309-01	93.64	67.76	72.36		307-05	10009.44	440.78	43.67
	309-02	184.37	126.84	68.80		307-07	203.19	158.93	78.22
				308-10		114.77	97.28	84.76	
				309-01		371.99	248.64	66.84	

### B: Kyonggi Bay

Date	Stations								
	1			5			7		
Tot.	Nano	Nano(%)	Tot.	Nano	Nano(%)	Tot.	Nano	Nano(%)	
89. 3	37.01	16.96	45.82	100.76	42.09	41.77	109.40	73.00	66.73
89. 5	287.06	178.08	62.04	176.92	64.26	36.32	437.49	168.65	38.55
90. 3	38.36	21.16	55.16	158.39	68.65	43.34	220.68	131.53	59.60
90. 5							187.47	92.29	49.23
90. 7				54.23			154.69	45.16	29.19
90.10	69.88	21.00	30.05	430.71	122.86	28.52	1028.46	190.94	18.57

정점보다 외해쪽에 위치한 정점에서 상대적으로 높게 나타났다. 이는 nanoplankton이 netplankton보다 낮은 영양염 농도에 강한 적응력(Takahashi et al., 1982)을 보이기 때문인 것으로 사료된다.

경기만에서 조사기간 중 식물플랑크톤에 의한 총 chl-a 농도의 변화(Tab. 1B)는 89년 3월에 정점 1에서  $0.91 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 최저였으며, 89년 8월에 정점 1에서  $4.3 \mu\text{g}/\text{l}$ 으로 가장 높게 나타났다. 서해 중동부해역과는 다소 다르게 하계에 높게 측정되었는데, 이는 하계에 영양염이 풍부한 담수 유입이 증가되고 경기만내의 수괴의 안정으로 탁도가 감소되어 영양염과 광조건이 양호한데 기인되는 것으로 사료된다(Choi and Shim, 1986a). 서해 중동부 연안수역이 전형적인 춘계와 추계에 두번의 최대치를 보이는 Bimodal 형태를 띠는 반면에 경기만은 담수 유입이 많은 하계에 최대 chl-a 농도를 보였다. Nanoplankton에 의한 chl-a 농도 변화는  $0.86 \sim 3.8 \mu\text{g}/\text{l}$ (평균  $2.33 \mu\text{g}/\text{l}$ )이었으며, nanoplankton에 의한 chl-a 점

유율은  $44.68 \sim 94.51\%$ (평균  $69.56\%$ )로 나타나 서해 중동부 연안수역과 비슷하다.

### 3. 기초 생산력

서해 중동부 연안수역에서 식물플랑크톤에 의한 일일 일차 생산력 분포(Tab. 2A)는  $37.24 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{d} \sim 11044 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{d}$ 의 범위로 평균  $361.54 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{d}$ 의 분포를 보였으며, 년 평균 일차 생산력은  $131.96 \text{ gC}/\text{m}^2/\text{yr}$ 로 추정되었다. 일일 일차생산력 분포는 일반적으로 외해보다는 연안에 위치한 정점에서, 그리고 동계보다는 하계로 가면서 증가하는 양상을 보였다. 연 평균 일차생산력은 인접한 천수만에서 조사(Cho, 1988)된 년 평균 일차 생산력  $150 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{yr}$ 보다 다소 낮은 값을 보였다. 본 조사수역에서 Nanoplankton에 의한 일일 일차 생산력은  $19.6 \sim 594.74 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{d}$ (평균  $182.5 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{d}$ )의 범위로 총 일일 일차 생산력의  $25.51 \sim 94.26\%$ (평균  $50.48\%$ )를 기여하였다. 총 일차생산력에 대한 nanoplank-

ton의 기여도는 동계보다는 하계로 갈수록, 연안보다는 외해에 위치한 정점에서 높게 나타났다.

경기만에서 식물플랑크톤에 의한 일일 일차 생산력 분포(Tab. 2B)는  $37.01 \text{ mgC/m}^2/\text{d} \sim 1028.46 \text{ mgC/m}^2/\text{d}$ 의 범위로 평균  $236 \text{ mgC/m}^2/\text{d}$ 의 분포를 보였으며, 년 평균 일차 생산력은  $86.4 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$ 로 추정되었다. 일일 일차생산력은 식물플랑크톤의 대증식시기인 5월과 10월에 비교적 높게 나타났고, 동계와 하계에 낮게 측정되었다. 하계에 나쁜 기상조건(특히, 광조건)으로 인해 높은 chlorophyll양에도 불구하고 일차생산력이 낮게 측정되었다. Nanoplankton에 의한 일일 평균 일차 생산력은  $90.97 \text{ mgC/m}^2/\text{d}$ 로 추정되어 총 일차 생산력에 대해  $57 \sim 66.73\%$ (평균  $43.42\%$ )의 기여도를 보여, 서해의  $50.48\%$ 에 비해 다소 낮게 측정되었다. 본 조사수역과 동일한 수역에서 정과 박(1988)에 의해 조사된 년 평균 일차 생산력  $320.0 \text{ mgC/m}^2/\text{yr}$ 보다 매우 높게 측정되었는데, 이는 Chung과 Park(1988)의 조사시 이상적인 대증식의 발생으로 인한 과도한 평가 때문이라고 사료된다. 경기만이 서해 중동부 연안수역보다 다소 낮은 일차 생산력을 보였다. 물론 경기만에서 출현하는 식물플랑크톤이 서해 중동부 연안수역에서 출현하는 식물플랑크톤보다 광합성 능력이 높을지라도, 빛이 투과되는 유광대가 경기만에 비해 서해 중동부 연안수역이 약 3.7배 정도 깊기 때문에 일차 생산력 추정에서 경기만이 낮게 측정되었다. 경기만과 인접한 한강하구에서 Kwon(1990)에 의해 조사된 년 평균 일차 생산력은  $40.697 \text{ mgC/m}^2/\text{yr}$ 으로 경기만에 비해 매우 낮게 측정되었다. 이는 한강하구에 비해 경기만 수괴의 광투과가 좋기 때문인 것으로 사료된다. 동계에 낮게 측정되는 이유는 낮은 수온으로 인해 식물플랑크톤의 대사율이 떨어질 뿐만 아니라 조석이나 강한 바람으로 인해 저층 퇴적물이 재부유되어 탁도가 높아져 광조건의 악화로 식물플랑크톤의 광합성에 상당한 감소 효과를 주기 때문인 것으로 사료된다(Choi and Shim, 1986b).

#### 4. 동화계수

빛이 포화되었을 때(즉, 빛이 광합성에 제한요소가 아닌 포화된 상태일 때), 식물플랑크톤의 chlorophyll에 의한 탄소 고정 능력은 단위 chlorophyll당 일차 생산력으로 표시하며 이 비를 동화계수(Assi-

milation number)라고 한다(Falkowski, 1981). 동화계수는 다음 두 가지 계수의 추정이 가능하다. 즉, 최대 광합성 효율(maximum photosynthetic efficiency)과 최대 특정 성장률(maximum specific growth rate)이다.

서해 중동부 연안수역에서 식물플랑크톤에 의한 동화계수의 변화를 살펴보면(Tab. 3A),  $1.13 \sim 11.02 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ (평균  $4.02 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ )의 범위를 보였다. 동계보다는 하계로 가면서 양호한 광조건, 수온 상승등으로 인해 증가하는 경향을 보였다. 본 해역에서 측정된 동화계수는 인접한 천수만(Cho, 1988)에서 식물플랑크톤의 동화계수  $1.8 \sim 9.31 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ 와 비슷하게 나타났다. Nanoplankton에 의한 동화계수의 변화(Tab. 3A)는  $1.16 \sim 9.92 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ (평균  $3.9 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ )의 범위로 나타났다. 동화계수의 계절적인 변화는 90년 2월에  $1.92 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ 으로 가장 낮게 측정되었으며, 89년 8월에  $8.698 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ 으로 가장 높게 나타났다. 일반적으로 하계로 가면서 높게 측정되었는데, 이와같은 이유는 양호한 광조건, 수온의 상승등으로 인해 식물플랑크톤의 대사활동이 활발해지기 때문인 것으로 사료된다.

경기만에서 식물플랑크톤에 의한 동화계수의 변화를 살펴보면(Tab. 3B),  $1.24 \sim 24.28 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ (평균  $7.69 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ )의 범위를 보였다. 동화계수의 계절변화는 89년 3월에 정점 1에서  $2.91 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ 로 가장 낮게 측정되었으며, 90년 10월에 정점 7에서  $24.28 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ 로 가장 높게 측정되었다. 동계에는 낮은 수온과 저층 퇴적물의 재부유로 인한 낮은 광조건을 조성해 동화계수가 낮게 측정되었고, 이에 비해 하계에는 양호한 광조건, 수온의 상승 그리고 담수로부터 풍부한 영양염의 유입 등으로 높게 나타났다. 동일수역에서 조사(Chung and Park, 1988)된 총 식물 플랑크톤에 의한 동화계수  $2.30 \sim 23.56 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ 와 비슷하게 나타났다. 서해 중동부 연안수역에서 조사된 동화계수  $1.13 \sim 11.02 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ 와 천수만(Cho, 1988)에서 조사된 동화계수  $1.8 \sim 9.31 \text{ mgC/mg chl-a/hr}$ 보다 높게 나타나 경기만에서 서식하는 식물플랑크톤이 서해 중동부해역에서 출현하는 식물플랑크톤보다 높은 광합성 효율을 가진 것으로 사료된다. Nanoplankton에 의한 동화 계수는  $1.09 \sim$

Table 3. Photosynthetic parameters in the study area. A: Mid-eastern coast of Yellow Sea

Mon.	St.	A.N.(#)		O.L.I.(# #)	
		Total	Nano	Total	Nano
89. 6	307-03	4.943		2.49	
	307-07	4.636		5.38	
	309-01	6.601	6.749	4.25	4.25
	309-02	5.444		6.69	
89. 8	307-03	6.35		7.01	
	307-05	10.01		10.72	
	307-07	11.02		8.25	
	309-01	6.8		10.72	
89.10	307-03	4.26	2.57	3.34	3.34
	309-01	2.1	3.15	3.34	5.48
	309-02	1.63	3.06	4.27	4.71
90. 2	307-03	1.85	1.24	2.87	4.71
	309-01	1.98	1.29	3.34	5.48
90. 8	307-03	8.16	6.814	5.78	5.78
	307-05	5.501	4.34	10.75	10.75
	307-07	7.979	9.92	0.99	0.261
	308-10	2.363		6.31	
	309-01	3.227		6.45	
90.10	307-03	2.64	1.62	1.243	1.243
	307-05	7.45	4.05	0.888	0.888
	307-07	1.13	1.16	0.888	0.888
	308-10	1.92	2.06	0.888	0.888
	309-01	10.96	7.17	1.519	1.519

B: Kyonggi Bay

Mon.	St.	A.N.(#)		O.L.I.(# #)	
		Total	Nano	Total	Nano
89. 3	1	1.88	1.09	3.12	3.12
	5	3.38	2.40	3.12	3.12
	7	3.48		2.83	
89. 5	1	19.44	7.04	2.41	2.41
	5	13.82	8.71	4.09	4.09
	7	7.12	5.45	2.41	2.41
90. 3	1	1.47	1.34	1.34	1.34
	5	7.12	3.73	1.51	1.51
	7	3.28	5.69	3.28	3.28
90. 5	7	4.84	4.11	2.37	0.98
90. 7	5	1.24		0.62	
	7	2.68	1.28	0.8	1.93
90.10	1	5.487	1.836	1.043	1.043
	5	14.88	6.22	2.038	2.038
	7	24.28	6.509	0.493	0.493

# [mgC/mg chl-a/hr]: Assimilation Number

# # [ $\times 100 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ ]: Optimum Light Intensity

8.71 mgC/mg chl-a/hr (평균 4.26 mgC/mg chl-a/hr) 으로 측정되었으며, 일반적으로 동계보다는 하계에, 내만보다는 외만으로 갈수록 다소 증가하는 경향을

Table 4. Light saturation parameters in the study area. A: Mid-eastern coast of Yellow Sea

Mon.	St.	$\alpha$ (*)		$I_k$ (**)	
		Total	Nano	Total	Nano
89. 6	307-03	0.072		68.65	
	307-07	0.052		89.15	
	309-01	0.041	0.048	161.00	140.60
	309-02	0.069		78.89	140.60
	309-02	0.069		78.89	
89. 8	307-03	0.051		125.14	
	307-05	0.029		345.17	
	307-07	0.057		193.17	
	309-01	0.062		109.68	
	309-02	0.055		169.27	
89.10	307-03	0.037	0.031	115.14	82.90
	309-01	0.014	0.024	150.00	131.25
	309-02	0.029	0.035	56.21	87.43
90. 2	307-03	0.018	0.007	102.78	177.14
	309-01	0.019	0.017	104.21	75.88
90. 8	307-03	0.027	0.025	302.22	247.36
	307-05	0.05	0.029	110.02	149.66
	307-07	0.135	0.09	59.10	110.22
	308-10	0.010		236.30	
	309-01	0.017		189.82	
90.10	307-03	0.066	0.032	40.00	50.63
	307-05	0.621	0.245	12.00	16.53
	307-07	0.188	0.19	6.01	6.11
	308-10	0.174	0.114	11.03	18.07
	309-01	0.203	0.126	54.00	56.90

B: Kyonggi Bay

Mon.	St.	$\alpha$ (*)		$I_k$ (**)	
		Total	Nano	Total	Nano
89. 3	1	0.0342	0.015	54.97	72.67
	5	0.038	0.0343	111.58	69.97
	7	0.049		71.02	
89. 5	1	0.405	0.185	48.00	38.05
	5	0.374	0.109	36.95	79.91
	7	0.339	0.165	21.01	33.03
90. 3	1	0.066	0.047	22.27	28.51
	5	0.178	0.124	40.00	30.08
	7	0.032	0.07	102.50	81.29
90. 5	7	0.118	0.108	41.02	38.06
90. 7	5	0.049		25.31	
	7	0.134	0.017	20.00	75.29
90.10	1	0.092	0.047	56.64	39.00
	5	0.378	0.194	42.01	32.00
	7	0.934	0.794	25.99	8.20

# [mgC/mg chl-a/hr]/[ $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ ]

# # [ $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ ]

보였다. 경기만이 서해 중동부 연안수역에서 조사된 nanoplankton에 의한 동화계수 3.9 mgC/mg chl-a/hr보다 다소 높게 나타났다.





Table 6. Correlation coefficients ( $r^2$ ) matrix between primary productivity (P.P), assimilation number, chl-a concentrations, standing crops, salinity, temperature, transparency in the Yellow Sea.

## A. Mid-eastern coast of Yellow Sea

	P.P	A. number	Chl-a	S. crops	Sal.	Tem.	Trans
P.P	1.00	0.68	-0.21	-0.17	0.08	0.21	0.31
A. number		1.00	-0.96	0.06	0.01	0.22	-0.41
Chl-a			1.00	0.52	-0.18	0.09	-0.45
S. crops				1.00	-0.28	0.02	-0.58

## B. Kyonggi Bay

	P.P	A. number	Chl-a	S. crops	Sal.	Tem.	Trans
P.P	1.00	0.79	0.31	-0.31	0.11	0.41	0.90
A. number		1.00	0.29	-0.30	-0.07	0.50	0.64
Chl-a			1.00	-0.48	-0.47	0.73	0.46
S. crops				1.00	0.21	-0.35	-0.38

명도( $r^2=0.90$ )과 매우 높은 상관관계를 보였으며, 동화계수는 투명도( $r^2=0.64$ ), 온도( $r^2=0.50$ )와 약간의 상관관계를 보였다(Tab. 6B). 따라서 경기만에서 일차생산력과 동화계수에 가장 중요한 영향을 주는 환경요인은 투명도인 것으로 사료된다.

## 결론

두 연구해역에서 조사한 연구결과는 다음과 같다. 서해 중동부 연안수역에서는 염분도의 계절적인 변화가 거의 보이지 않았으며, 경기만에서는 담수의 영향을 많이 받아 염분도 변화가 심하게 나타났다. 경기만에서 낮은 수심과 조석에 의한 수괴의 활발한 수직적인 혼합으로 저층 퇴적물의 재부유되어 년중 낮은 투명도를 나타내었으며, 이러한 낮은 투명도는 수괴내의 광투과를 감소하여 식물플랑크톤의 일차 생산력을 제한하는 요인으로 작용하였다. 서해 중동부 연안수역에서 chl-a 농도는 0.78~4.79  $\mu\text{g/l}$ 의 범위였으며, 경기만에서 chl-a 농도는 0.91~4.3  $\mu\text{g/l}$ 의 범위를 보였다. 총 chl-a 농도에 대한 nanoplankton(<20  $\mu\text{m}$ )의 점유율은 서해 중동부 연안수역과 경기만에서 각각 64.69%, 69.56%로 서로 비슷한 양상을 보였다.

서해 중동부 연안수역에서 년평균 일차생산력은 131.96  $\text{gC/m}^2/\text{yr}$ 이었으며, 경기만에서는 86.46  $\text{gC/m}^2/\text{yr}$ 로 서해 중동부 연안수역이 경기만보다 다소 높게 측정되었다. 총 일차 생산력에 대한 nanoplankton의 기여도는 서해 중동부 연안수역과 경기만에서 각각 48%, 43.2%로 서해 중동부 연안수역이 다소 높게 측

정되었다. 서해 중동부 연안수역에서 식물플랑크톤에 의한 동화계수는 1.13~11.02  $\text{mgC/mg chl-a/hr}$ 이었으며, 경기만에서는 1.24~24.28  $\text{mgC/mg chl-a/hr}$ 로 경기만이 다소 높게 나타났다.

P-I curve에서 initial slope( $\alpha$ )는 서해 중동부 해역에서 0.01~0.62 [ $\text{mgC/mg chl-a/hr}$ ]/[ $\mu\text{E/m}^2/\text{sec}$ ]이었으며, 경기만에서는 0.032~0.934 [ $\text{mgC/mg chl-a/hr}$ ]/[ $\mu\text{E/m}^2/\text{sec}$ ]으로 경기만에서 서식하는 식물플랑크톤이 서해 중동부 연안수역에서 서식하는 식물플랑크톤보다 좀더 빛을 효율적으로 이용하는 것으로 나타났다. 주위 빛조건에 대한 식물플랑크톤의 생리적인 적응상태를 지시하는  $I_k$  값은 서해 중동부 연안수역 6.01~345.17(평균 120.37) [ $\mu\text{E/m}^2/\text{sec}$ ]이었으며, 경기만에서는 20.0~111.58(평균 48.15) [ $\mu\text{E/m}^2/\text{sec}$ ]으로 경기만에서 서식하는 식물플랑크톤이 서해 중동부 연안수역에서 서식하는 식물플랑크톤보다 상대적으로 낮은 광에 적응되어 있는 것으로 나타났다.

서해 중동부 연안수역에서 일차 생산력은 동화계수와 약간의 상관관계( $r^2=0.64$ )를 보였을 뿐 다른 물리적인 환경요인과는 낮은 상관관계를 보였다. 경기만에서 일차 생산력과 동화계수에 가장 큰 영향을 미치는 환경요인은 투명도로 나타났다.

## 감사의 글

본 논문을 검토해 주신 군산대 이원호 교수님과 해양연구소 유신재 박사님 그리고 해양 생물실 여러분의 도움에 감사드리며 본 연구를 위해 수고해

주신 수산진흥원 및 해양경찰대 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

- Bony, A. D., 1979. The phytoplankton. The institute of Biology's Studies in Biology no. 52. 115pp.
- Choi, J. K. and J. H. Shim, 1986a. The Ecological Study of Phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. I. Environmental Characteristics. *J. Oceanol. Korea* **21**, pp. 56-71.
- Choi, J. K. and J. J. Shim, 1986b. The Ecological Study of Phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. III. Phytoplankton Composition, Standing Crops, Ty-chopelagic Plankton. *J. Oceanol. Korea* **21**, pp. 156-170.
- Choi, J. K., 1991. The influence of tidal front on primary productivity and distribution of phytoplankton in the mid-eastern coast of Yellow Sea. *J. Oceanol. Korea* **26**: 223-241.
- Chung, K. H. and Y. C. Park, 1988. Primary production and nitrogenous regeneration by zooplankton in the Kuynggi Bay, Yellow Sea. *J. Oceanol. Korea* **23**: 194-206.
- Demers, S., P. E. Lafleur, L. Legendre and C. L. Trump, 1979. Short-term variation covariability of chlorophyll and temperature in the St. Lawrence Estuary. *J. Fish. Res. Bd. Can.* **36**: 568-573.
- Demers, S., L. Legendre, J. C. Therriault, 1986. Phytoplankton responses to vertical tidal mixing. In: Lecture Notes on coastal and estuarine and estuarine studies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo: 1-40.
- Falkowski, P. G., 1981. Light-shade adaptation and assimilation numbers. *J. Plankton Res.* **3**: 203-216.
- Fee, E. J., 1969. A numerical model for the estimation of photosynthetic production, integrated over time and depth, in natural waters. *Limnol. Oceanogr.* **14**: 906-911.
- Harding, L. W., Jr. B. B. Prezelin, B. M. Sweeney and J. L. Cox, 1982. Primary productivity as influenced by diel periodicity of phytoplankton photosynthesis. *Mar. Biol.* **67**: 179-186.
- Harris, G. P. and B. B. Piccinin, 1977. Photosynthesis by natural phytoplankton populations. *Arch. Hydrobiol.* **80**: 405-457.
- Jassby, A. D. and T. Platt, 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* **21**: 540-547.
- Jo, J. S., 1988. Primary Productivity and Nutrient dynamics in Chunsu Bay, Yellow Sea. M. S. thesis. Inha Univ. 65pp.
- Kwon, S. K., 1990. An Ecological Study on Phytoplankton Community in Lower Han River and Han River Estuary M. S. thesis. Inha Univ. 88pp.
- Law, E. J. and T. T. bannister, 1980. Nutrient and light limited growth *Thalassiosira fluviatilis* in continous culture, with implications for phytoplankton growth in the Ocean. *Limnol. Oceanogr.* **25**: 457-473.
- MacCaull, W. A. and T. Platt, 1977. Diel variation in the photosynthetic parameters of coastal marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* **22**: 723-731.
- Marra, J., 1978. Phytoplankton photosynthetic response to vertical movement in mixed layer. *Mar. Biol.* **46**: 203-208.
- Parsons, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. 177pp.
- Poole, H. N. and W. R. G. Atkins, 1929. Photo-electric measurement of submarine illumination throughout the year. *J. Mar. Biol. ASS. U. K.* **16**: 297-324.
- Savidge, G., 1981. Studies on the effects of small-scale turbulence on phytoplankton. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* **61**: 477-488.
- Takahashi, M., I. Koiko, K. Iseki, P. K. Biengang and A. Hattori, 1982. Phytoplankton species responses to nutrient changes in experimental enclosures and coastal waters. In Marine Mesocosms. Biological and chemical research in experimental ecosystems. edited by G. D. Grice and M. R. Reeve. New York. Springer-Verlag. 332-340.
- Yentsch, C. S. and R. W. Lee, 1966. A study of photosynthesis light reactions and a new interpretation of sun and shade phytoplankton. *J. Mar. Res.* **24**: 319-337.

Accepted September 29, 1992