Korean J. Environ. Biol. 20(2) : 146~151(2002)

강진만 일차생산력의 계절변화

주 현 수* · 김 성 호 · 이 우 범[1]

서남대학교 생명과학과, [1]여수대학교 도시환경공학부

Seasonal Variation of Primary Productivity in Gangjin Bay

Hyun-Soo Joo*, Seong-Ho Kim and Woo-Bum Lee[1]

Department of Life Science, Seonam University, Namwon 590-711, Korea
[1]Division of Civil and Environmental Engineering, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

Abstract - The primary productivity and physicochemical factors were surveyed seasonally in Gangjin bay from February to October in 1998. The determination of the primary productivity was performed in situ by isotope-method using $NaH^{14}CO_3$. The range of primary productivity was 2.78 mgC m^{-3} hr^{-1} ~ 4.92 mgC m^{-3} hr^{-1} according to seasons. The primary productivity showed the highest value in summer, followed by those of winter, autumn and spring. The primary productivities of station 1, 2 which are located the upper area, were lower than those of station 3, 4, 5 and 6. The correlations showed that the primary productivity correlated with chlorophyll *a*, underwater light intensity but reversely correlated with suspended solids. These results suggested that the primary productivity in Gangjin Bay was mainly influenced by the inflow of freshwater from Tamjin River.

Key words : primary productivity, chlorophyll *a*, physicochemical factors, correlation

서 론

연안에서의 수질은 유기물의 양에 의해 달라지므로 수생태계의 특성을 파악하고 해수수질을 관리하기 위해서는 유기물의 생성근원을 조사하는 것이 중요하다(최 1995). 수체의 유기물은 두 가지 공급경로로 유입되는데, 해당 유역의 도시나 육상 생태계에서 형성되어 유입되는 외부기원 유기물(allochthonous organic matter)과 수체내에서 식물플랑크톤과 수생식물 등 일차생산자의 광합성에 의해 생성되는 내부생성 유기물(autochthonous organic matter)로 구분된다. 외부기원 유기물은 유역으로부터 발생되는 도시하수나 육상생태계의 부엽물(humic substances)에 의해 나타나고 수체의 체류시간이 짧은 경우에 비중이 커지는 반면, 내부생성 유기물은 외부로부터 큰 유입원이 없고 체류시간이 긴 수역의 경우에 비중이 커지게 된다(김과 김 1990).

내부생성 유기물을 의미하는 일차생산은 수중에 유기물을 공급하는 기초적인 과정으로 물리적 환경으로부터 일차생산자로의 물질 순환 및 에너지 전이량을 나타내므로 수생태계에서는 이를 기준으로 총 생물량과 고차소비자 단계의 생산량까지도 추정할 수 있는 지표가 된다. 수역에서 일차생산에 관여하는 식물은 수변식물, 유근식물, 대형조류 및 부유식물 등으로 구분되며 대부분

* Corresponding author: Hyun-Soo Joo, Tel. 063-620-0382
Fax. 063-620-0385, E-mail. ecoju@tiger.seonam.ac.kr

의 연안생태계에서는 미소플랑크톤에 의한 일차생산이 전체의 62~88%를 점유하는 것으로 알려져 있다(심과 강 1986). 식물플랑크톤에 의한 일차생산은 광합성에 의해 생성되는 물질의 생성속도로 측정되며 수역에서는 명암병법과 방사성동위원소 ^{14}C을 사용하는 방법이 주로 사용되고 있다(Steemann 1952; Pugh 1973). 일차생산력은 영양염, 투명도, 수온, 부유물질과 같은 환경요인에 영향을 받는 것으로 알려져 있으며(최 1991; 심 등 1992), 이와 같은 환경요인들이 복합적으로 작용하여 결정된다(Epply 1972).

우리나라 남해안에 위치한 강진만은 전라남도 장흥군과 강진군을 경유하는 총 연장 50 km 수계의 탐진강이 유입되는 해역으로 그 상류에 유역면적 193.0 km, 총 저수용량 18,300만 m^3 규모의 탐진댐이 1995년 착공하여 현재까지 공사가 진행되고 있어 공사 완료 후 강진만 해양생태계에 많은 영향을 미칠 것으로 예상된다(한국수자원공사 1998). 남해안을 대상으로 한 생태분야나 환경에 관한 조사연구로는 광양만(양 1978; 양과 김 1981), 득량만(박 1980; 조 1995), 진해만(이 1984) 등이 있으나 강진만에 관한 생산력 및 해수의 이화학적 환경특성에 관한 연구는 현재까지 몇몇의 보고서를 제외하고는 거의 없는 상태로 이 해역을 대상으로 이화학적 수질현황과 일차생산력 등의 계절별 변화와 환경요인의 관계에 대해 알아보고자 하였다.

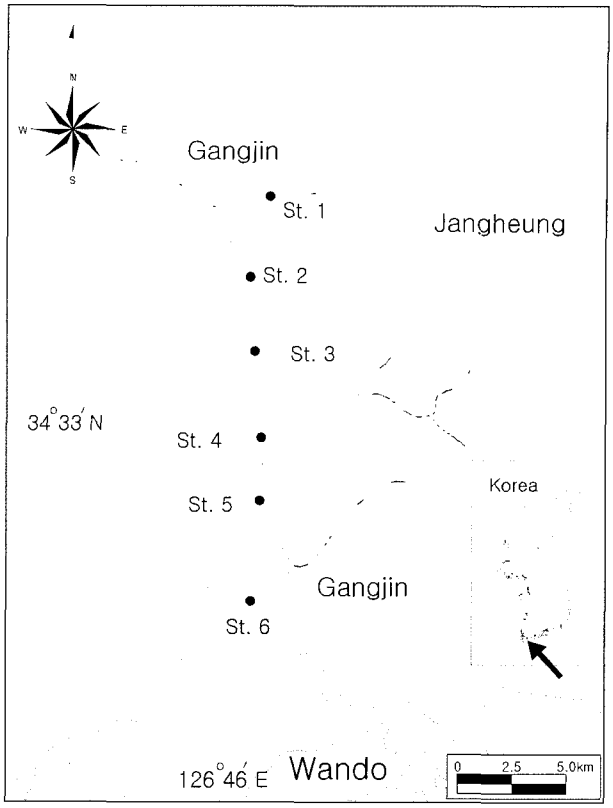

Fig. 1. The map showing the sampling stations at Gangjin Bay.

재료 및 방법

본 연구는 1998년 2월 28일, 5월 13일, 8월 9일 및 10월 31일 4회에 걸쳐 강진만 내 6개 정점에서 시행되었다(Fig. 1).

본 연구수역인 강진만은 조사시기에 따라 수위변화가 크게 나타나는 해역으로 조사정점 1에서 6으로 갈수록 수심이 깊어지는 경향을 나타내고 있으며 정점 1에서 5까지는 1.5~4 m 정도의 수심을, 정점 6의 최대수심일 경우 약 9 m에 달한다. 강진만 해역의 이화학적 수질환경의 특성을 파악하기 위하여 수온, DO (YSI #58, USA), pH (Orion EA 940, Japan), 투명도, 염분도 (YSI #33, USA) 등은 현장에서 바로 측정하였으며, COD, 총무기탄소, chlorophyll-*a*, 질산성 질소(NO_3-N), 아질산성 질소(NO_2-N), 암모니아성 질소(NH_3-N), 인산성 인(PO_4-P) 및 부유물질 등은 실험실로 시료를 운반하여 흡광광도계 (Shimadzu 2100S, Japan)를 사용하여 측정·분석하였다 (Strickland and Parsons 1968; APHA 1985).

식물플랑크톤에 의한 일차생산력은 Strickland and Parsons (1968)의 방법에 의해 측정하였다. 300 ml의 명병 및 암병 각 1개씩에 수심별로 채수한 시료를 가득 채운 다음, 1 μCi 농도의 $NaH^{14}CO_3$ (sodium bicarbonate) 용액을 1 ml씩 주입하였다. 현장에서 2시간 이상 배양한 후, hand vacuum pump를 사용하여 시료 300 ml를 pore size 0.45 μm의 membrane filter로 여과하여 실험실로 운반하였다. membrane filter를 건조시킨 후 cocktail에 녹여 scintillation counter (Beckman LC 6500, USA)로 방사선량을 측정하였다(Pugh, 1973). 측정된 명병과 암병의 방사선량의 차이 값을 순생산력을 산출하는데 사용하였으며, 일차생산력의 계산은 총 무기탄소량을 고려하여 다음 공식에 따라 산출하였다.

$$\text{mg C fixed } l^{-1}\,\text{hr}^{-1} = \frac{\text{counting activity of filtered sample}}{\text{total activity added to sample}} \times \frac{300}{\text{filtered volume}} \times \frac{1}{\text{incubation time}} \times \text{total inorganic C (mg } l^{-1}) \times 1.064$$

결과 및 고찰

1998년 2월, 5월, 8월 및 10월에 강진만 6개 정점에서 조사한 이화학적 환경요인의 계절별 · 정점별 변화를 Table 1과 2에 나타내었다. 연간 수온변화는 7.2~29.9 °C의 범위를 나타냈으며, pH는 7.1~8.9의 약알칼리성 상태를, 투명도는 0.1~1.3 m를, COD는 1.5~5.2 mg l^{-1}, 용존산소의 연 평균치는 8.1 mg l^{-1}로 수질환경 1등급 기준치인 6 mg l^{-1} 이상을 상회하고 있다. 부유물질의 변화는 12.5~156.0 mg l^{-1}로 나타났고 염분도의 계절별 평균치는 16.1~25.3 psu로 조사되었다. 암모니아성 질소는 0.062~0.912 mg l^{-1}, 질산성 질소는 0.100~1.098 mg l^{-1}, 아질산성 질소는 ND~0.321 mg l^{-1}로 각각 나타났으며, 이들의 합인 DIN의 범위는 0.176~1.702 mg l^{-1} 였으며 연평균 0.555 mg l^{-1}으로 조사되어 마산만(0.894 mg l^{-1})보다는 낮고 진해만(0.268 mg l^{-1})보다는 높게 나타났다(환경부 1998). 또한 본 조사결과를 유 등(1998)이 보고한 광양만의 DIN 0.079~1.456 mg l^{-1}과 비교할 때 강진만의 수치는 일부를 제외하고는 매우 낮은 것으로 나타났다. 인산성 인은 조사기간동안 0.033~0.055 mg l^{-1}의 범위에서 변화되었으며 연평균은 0.043 mg l^{-1}로 환경부(1998)에서 제시한 광양만 0.058 mg l^{-1}에 비해 낮고 여수해만(0.044 mg l^{-1}), 부산연안(0.050 mg l^{-1})과는 유사한 수치를 보였다. 인산성 인의 정점별 분포는 DIN에서 나타낸 것과 같이 상류에서 높고 하류로 갈수록 급격히 감소하는 경향을 보였다. 본 조사결과에서는 인산성 인만을 조사하였기 때문에 직접적인 비교는 하기 어려우나 일반적으로 수생태계에서 생물이 이용하는 인의 형태는 용존성 무기태 인(DIP)이 대부분인 것으로 알려져 있다. 따라서 인산성 인을 총 인 기준으로 하고 비교해 보면 강진만은 0.03~0.055 mg l^{-1}의 범위로서 중영양 상태를 유지하는 것으로 나타났다. 질소와 인은 연안역을 비롯한 수역에서 식물플랑크톤의 증식을 조절하는 가장 큰 제한요인이며 물론 N/P ratio에 따라 그 이용정도가 결정되어지나, 강진만의 영양염 조사결과를 Sawyer(1952)가 제시한 조류의 성장 한계농도인 질소 0.3 mg l^{-1}, 인 0.01 mg l^{-1}에 비교한다면 N, P 모두가 이 기준을 상회하고 있는 것으로 나타났다.

수생식물의 광합성에 관여하는 색소인 chlorophyll *a*는 모든 식물에 공통적으로 함유되어 있으므로 그 양은 수중 광합성 식물의 현존량과 해당수역의 일차생산력 지표가 된다(APHA 1985). 또한 chlorophyll *a* 농도는 일차생산력과 밀접한 상관을 보이고 있는 것으로 알려져 있다(허, 1993; 황, 1996). 강진만 해수의 chlorophyll *a* 양은 2월에 4.91~8.27 mg m^{-3}, 5월에 2.94~9.53 mg m^{-3}, 8월에 11.59~30.38 mg m^{-3}, 10월에 4.13~6.42 mg m^{-3}의 범위로 각각 조사되었다. Chlorophyll *a*의 정점별 분포는 상류에 비해 중-하류의 조사정점에서 비교적 높은 경향을 나타냈다. 우리나라 각 연안에서 지금까지 조사되었던 chlorophyll *a*의 조사결과를 살펴보면 광양만(여수대학교 환경문제연구소 1997) 9.07 mg m^{-3}, 광양만(조

Table 1. Temporal changes of environmental factors on the seawater of Gangjin Bay from February to October in 1998

Month	W.T. (°C)	pH	Trans. (m)	Sal. (psu)	DO (mg l^{-1})	COD (mg l^{-1})	SS (mg l^{-1})	DIN (mg l^{-1})	PO_4-P (mg l^{-1})
Feb.	7.2~8.9	7.3~8.2	0.1~0.8	16.0~31.5	9.2~9.9	1.5~5.2	26.2~156.0	0.176~0.565	0.023~0.042
May	15.6~18.6	7.1~8.1	0.3~1.0	3.5~29.0	7.5~9.8	1.9~3.8	13.9~77.4	0.263~1.702	0.019~0.059
Aug.	28.2~29.9	7.6~8.9	0.1~0.5	1.0~22.7	6.2~6.7	2.4~4.9	12.8~33.6	0.185~1.296	0.029~0.082
Oct.	18.7~19.7	7.8~8.2	0.2~1.3	1.5~24.5	7.0~8.0	2.3~4.9	12.5~37.7	0.275~1.386	0.031~0.096

W.T.: water temperature, Trans.: transparency, Sal.: salinity, DO: dissolved oxygen, COD: chemical oxygen demand, SS: suspended solids, DIN: dissolved inorganic nitrogen.

Table 2. Spatial changes of environmental factors on the seawater of Gangjin Bay from February to October in 1998

Station	W.T. (°C)	pH	Trans. (m)	Sal. (psu)	DO (mg l^{-1})	COD (mg l^{-1})	SS (mg l^{-1})	DIN (mg l^{-1})	PO_4-P (mg l^{-1})
1	8.9~29.9	7.1~7.8	0.1~0.4	1.0~16.0	6.7~9.8	3.6~5.2	25.7~156.0	0.565~1.386	0.034~0.096
2	8.0~28.7	7.7~8.2	0.1~0.4	1.8~24.0	6.6~9.7	3.0~4.2	27.4~74.4	0.276~1.702	0.033~0.069
3	8.0~28.8	8.1~8.2	0.2~0.5	8.5~24.5	6.7~9.8	2.4~3.9	24.5~56.5	0.311~0.726	0.031~0.055
4	7.2~29.0	8.1~8.9	0.3~1.0	11.0~25.0	6.5~9.9	1.9~3.6	18.3~77.4	0.213~0.434	0.023~0.047
5	7.7~28.2	7.7~8.6	0.4~1.2	20.5~30.8	6.3~9.8	1.8~2.8	14.5~25.8	0.230~0.404	0.022~0.042
6	8.4~28.5	8.0~8.2	0.5~1.3	22.7~31.5	6.2~9.2	1.5~2.4	12.5~26.2	0.176~0.275	0.019~0.036

W.T.: water temperature, Trans.: transparency, Sal.: salinity, DO: dissolved oxygen, COD: chemical oxygen demand, SS: suspended solids, DIN: dissolved inorganic nitrogen.

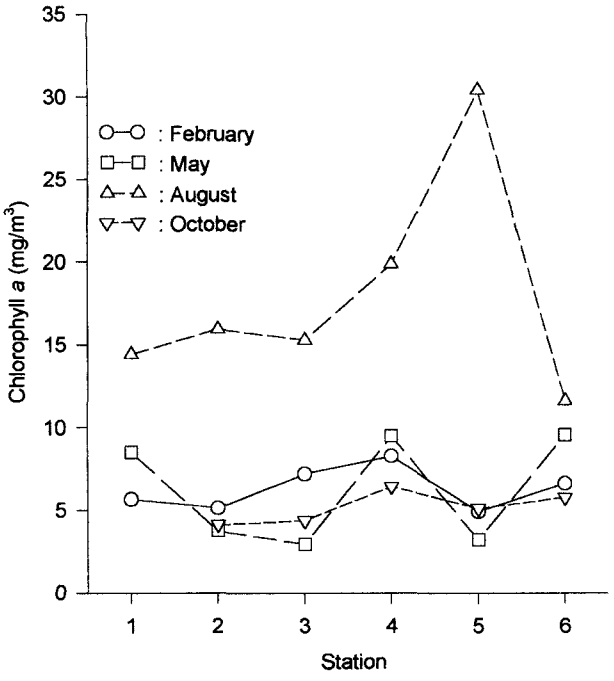

Fig. 2. Temporal and spatial variation of chlorophyll *a* in Gangjin Bay.

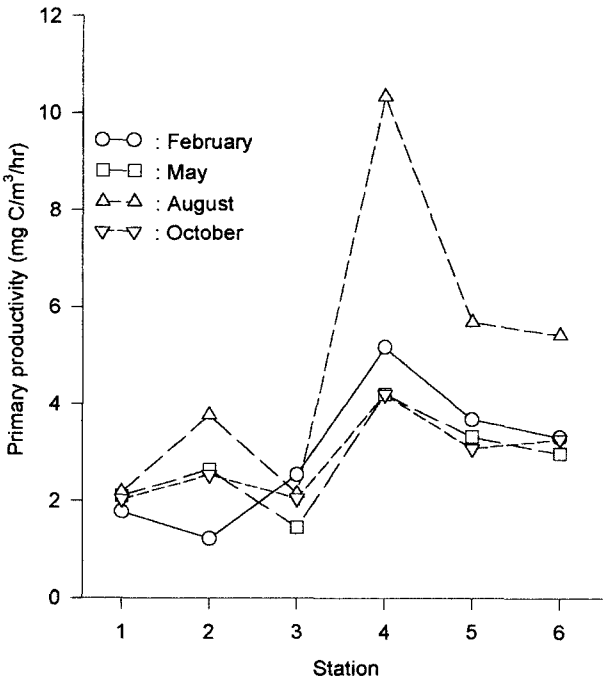

Fig. 3. Temporal and spatial variation of primary productivity in Gangjin Bay.

1995) 17.15 mg m^{-3}, 득량만(조 1995) 6.85 mg m^{-3}, 천수만(신 등 1990) 0.81~4.78 mg m^{-3}, 경기만(강 등 1992) 0.91~4.30 mg m^{-3}, 서해 중동부연안(강 등 1992) 0.78~4.79 mg m^{-3} 및 동해 남부해역(심과 박 1986) 0.97~3.59 mg m^{-3}으로 보고되고 있다. 본 조사결과에서 나타난 chlorophyll *a*의 연간변화 2.94~30.38 mg m^{-3}, 연 평균치는 8.90 mg m^{-3}으로 이를 연평균과 최고 값을 기준으로 기존 조사결과와 비교하면 광양만에 비해 낮으며 나머지 조사해역에 비해 1.3~2.8배 높은 것으로 나타났다.

식물플랑크톤에 의한 일차생산력은 수온, 영양염의 농도, 수중광도, 식물플랑크톤 현존량 등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받으며 이와 같은 환경요인들이 복합적으로 작용하여 결정된다(Epply 1972). 강진만의 일차생산력은 2월에 1.22~5.17 mgC m^{-3} hr^{-1}의 범위로 평균 2.95 mgC m^{-3} hr^{-1}를 나타내었으며, 5월에 1.45~4.20 mgC m^{-3} hr^{-1}의 범위로 평균 2.78 mgC m^{-3} hr^{-1}를, 8월에 2.15~10.33 mgC m^{-3} hr^{-1}의 범위로 평균 4.92 mgC m^{-3} hr^{-1}를, 10월에 3.08~4.02 mgC m^{-3} hr^{-1}의 범위로 평균 3.52 mgC m^{-3} hr^{-1}를 나타내었다. 계절별 평균값은 하계에 가장 높고 동계, 추계, 춘계의 순으로 나타나 온대해역에서 볼 수 있는 일반적인 계절변화인 하계>춘계, 추계>동계의 경향과는 상이함을 보여주고 있는데(Fig. 3) 이는 본 조사수역의 수심이 대단히 낮아 조류에 의해 저니의 현탁이 쉽게 일어나며, 저조시 정점 3까지 바닥이 들어나는 변화가 큰 특성을 가지므로 수역의 안정성이 결여되어 나타난 현상으로 사료되며, 향후 조사횟수를 증가함으로써 일정한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 정점별로는 정점 4에서 연변화 4.20~10.33 mgC m^{-3} hr^{-1}으로 조사정점 중 가장 높은 일차생산력을 나타냈으며 정점 1, 2 및 3에서 1.22~3.77 mgC m^{-3} hr^{-1}의 범위를 나타내어 강진만 상류수역의 생산성이 중류와 하류수역에 비해 낮게 나타나 chlorophyll *a*의 결과와 비슷한 정점별 경향을 나타내고 있었다. 특히 담수와 함께 유입되는 토사를 비롯한 무기성 쇄설물 등에 의한 수중 조도의 급감으로 상류의 일차생산력이 영향을 받고 있는 것으로 사료된다(Fig. 3). 광양만 일차생산력의 조사결과를 살펴보면 동계에는 2.66~6.59 mgC m^{-3} hr^{-1} (평균 4.47 mgC m^{-3} hr^{-1})를, 춘계에 1.77~7.41 mgC m^{-3} hr^{-1} (평균 3.77 mgC m^{-3} hr^{-1})를, 하계에는 1.77~19.61 mgC m^{-3} hr^{-1} (평균 10.79 mgC m^{-3} hr^{-1})를, 추계에 0.93~8.78 mgC m^{-3} hr^{-1} (평균 3.87 mgC m^{-3} hr^{-1})를 나타내는 것으로 보고하고 있다(여수대학교 환경문제연구소 1997). 이는 강진만보다 동계에 1.5 mgC m^{-3} hr^{-1}, 춘계와 추계에 1.0 mgC m^{-3} hr^{-1}, 하계에 5.8 mgC m^{-3} hr^{-1}가 각각 높게 나타났다. 이러한 결과는 광양만의 경우 주변에

Table 3. Correlation between physicochemical parameters and primary productivity

	W.T.	pH	Trans.	Sal.	DO	COD	SS	NH_3-N	NO_3-N	PO_4-P	Chl.	U.L.I.	Pri.P.
W.T.	1												
pH	0.181	1											
Trans.	−0.072	0.271	1										
Sal.	−0.481	0.359	0.530	1									
DO	−0.912	−0.325	−0.151	0.168	1								
COD	0.236	−0.377	−0.586	−0.818	−0.013	1							
SS	−0.448	−0.363	−0.460	−0.022	0.497	0.386	1						
NH_3-N	−0.018	−0.109	−0.241	−0.377	0.219	0.235	0.097	1					
NO_3-N	0.184	−0.567	−0.409	−0.862	0.088	0.700	0.041	0.432	1				
PO_4-P	0.330	−0.344	−0.421	−0.791	−0.171	0.669	−0.070	0.165	0.836	1			
Chl.	0.630	0.352	−0.102	−0.146	−0.568	0.209	−0.243	−0.305	−0.040	0.121	1		
U.L.I.	0.134	0.423	0.878	0.582	−0.399	−0.576	−0.448	−0.338	−0.555	−0.520	0.110	1	
Pri. P.	0.379	0.614	0.192	0.117	−0.392	−0.172	−0.336	−0.265	−0.367	−0.293	0.572	0.443	1

W.T.: water temperature, Trans.: transparency, Sal.: salinity, DO: dissolved oxygen, COD: chemical oxygen demand, SS: suspended solids, Chl.: chlorophyll *a*, U.L.I.: underwater light intensity, Pri. P.: primary productivity.
n = 24, $p < 0.01$

공업단지를 비롯한 여러 오염원이 강진만에 비해 훨씬 많으며 이로부터 식물플랑크톤의 증식을 유도할 수 있는 무기성 영양염의 배출이 빈번하게 일어나고 있기 때문인 것으로 보인다(여수대학교 환경문제연구소 1997; 박 등 1998; 유 등 1998).

강진만의 일차생산력에 영향을 미치는 이화학적 환경요인을 파악하기 위해 이화학적 환경요인과 일차생산력 사이의 상관관계를 분석하였다. 먼저 이화학적 요인들 사이에서 나타난 상관계수를 살펴보면 COD와 NO_3-N은 0.700, COD와 PO_4-P는 0.669 수치로 높은 상관관계를 나타냈으며, 투명도와 염분도는 0.530으로, 투명도와 수중광도(미발표 자료)는 0.878, DO와 SS는 0.497을 각각 나타내었다. COD와 염분도는 −0.818로 상관성이 크게 나타났으며 염분도와 NO_3-N ($r = -0.862$), pH와 NO_3-N ($r = -0.567$)은 음의 상관관계를 나타내었다. Chlorophyll *a*와 수온은 상관계수가 0.630으로 정상관을 보여주었다. 이화학적 요인과 일차생산력의 상관관계를 살펴보면 수중광도 0.443, pH 0.614, chlorophyll *a* 0.527로 나타나 강진만의 일차생산력과 이화학적 요인과의 상관성이 명확하지는 않으나 얻어진 결과만으로 볼 때 수중광도, chlorophyll *a*, pH에 의존되고 있음을 알 수 있었다(Table 3). 유와 이(1980)는 진해만을 연구수역으로 실시한 조사에서 식물플랑크톤 군집변화와 수온, 염분도, pH, 투명도, 용존산소, chlorophyll *a*, 아질산성 질소 및 인산성 인 등 9가지 종류의 이화학적 환경요인의 상관관계를 분석하여 이 중 식물플랑크톤 군집변화에 영향을 미치는 중요한 환경요인으로 인산성 인, 투명도, chlorophyll *a*, 수온 및 염분도 등을 제시하였다. 영일만을 조사대상 수역으로 하여 심과 배(1986)에 의하면 식물플랑크톤 현존량의 변화에 영향을 미치는 이화학적 환경요인으로 영양염을 함유한 담수의 유입이 가장 크게 기여하고 있다고 보고하였다. 강진만에서 일차생산성에 비교적 크게 영향을 미치는 이화학적 환경요인은 수중광도, pH 및 chlorophyll *a*로 분석되어 유와 이(1980)의 결과와 일치하고 있으나 유와 이(1980)의 조사결과에서 상관성이 있는 것으로 분석된 나머지 항목과는 상관성이 낮은 것으로 나타나 조사해역에 따른 차이를 나타내었으며 심과 배(1986)는 영일만에서 영양염을 함유한 담수유입이 영일만의 식물플랑크톤 현존량에 큰 영향을 미치는 것으로 보고하였으나 본 연구에서는 영양염과 일차생산력과의 상관계수가 0.4 이하로 나타나 상이함을 보였다. 따라서 전체적으로 강진만에서 일차생산성에 영향을 크게 미치는 이화학적인 환경요인은 일차생산을 할 수 있는 용적과 수체내에 들어오는 수중광도에 의존되고 있음을 알 수 있으며, 이와 같은 환경요인의 변화는 탐진강으로부터 유입되는 담수의 특성과 유입량 및 조석에 의한 해수의 교란 등이 주 요인으로 작용하고 있는 것으로 생각된다.

적 요

강진만 해역의 6개 조사정점을 대상으로 1998년 2월부터 1998년 10월까지 계절별로 이화학적 환경요인과 일차생산력을 측정하였다.

일차생산력은 $NaH^{14}CO_3$을 이용한 배양방법을 사용하였고, 조사결과 2.78 mgC m^{-3} hr^{-1} ~ 4.92 mgC m^{-3} hr^{-1}의 범위를 나타났으며, 계절별 일차생산력의 변화는 하계,

동계, 추계, 춘계의 순으로 나타났다. 조사정점별로는 강진만의 상류수역에 해당되는 정점 1과 2에 비해 3, 4, 5 및 6의 조사결과가 크게 나타났다. Chlorophyll a의 분포는 평균 5.16～17.90 mg m^{-3}를 나타났으며 계절별로는 하계에, 정점별로는 정점 4에서 높게 나타났다. 일차생산력과 chlorophyll a를 비롯한 이화학적 조사결과와의 상관관계를 분석한 결과 chlorophyll a의 분포, 수중광도와는 정상관을, 부유물질과는 역상관을 보였으며 강진만의 일차생산력의 변화는 상류수역인 탐진강으로부터 유입되는 담수에 의해 크게 영향을 받고 있는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

강연식, 최중기, 정경호, 박용철. 1992. 서해 중동부 연안 수역과 경기만에서의 일차 생산력과 동화계수에 관한 연구. 한국해양학회지. 27(3):237-246.

김동섭, 김범철. 1990. 팔당호의 일차생산 한국육수학회지. 23: 167-179.

박종천, 이우범, 주현수. 1998. 광양만 생태계의 미생물 군집에 관한 환경요인 분석. 한국환경생물학회지. 16:143-150

박주석. 1980. 한국 남해안의 식물성 플랑크톤의 출현량 및 조성과 이들의 먹이와 적조로서 양식생물에 미치는 영향. 국립수산진흥원. 23:5-92.

신윤근, 심재형, 조순성, 박용철. 1990. 천수만 미세 플랑크톤의 상대적 중요성: 종조성, 개체수, 클로로필 및 일차 생산력. 한국해양학회지. 25(4):217-228.

심재형, 박용철. 1986. 한국 동남해역의 해양기초생산력과 질소계 영양염 동적관계. 한국해양학회지. 21(1):13-24.

심재형, 배세진. 1986. 영일만의 식물플랑크톤 분포. 한국해양학회지. 20(2): 49-60.

심재형, 여환구, 박종규. 1992. 한국 동해 남부해역의 일차생산계 1. 생물량과 생산력. 한국해양학회지. 27(2):91-100.

심재호, 강성현. 1986. C^{14}법과 산소법에 의한 일차생산 비교연구. 한국해양학회지. 21(2):73-84.

양한춘. 1978. 봄철 여수연안의 식물 플랑크톤 색소량 분포. 여수수산전문대 논문집. 12:82-85.

양한춘, 김영환. 1981. 광양만 부유생물의 조성 및 양의 계절적 변화. 여수수산전문대 논문집. 15:35-45.

여수대학교 환경문제 연구소. 1997. 광양만 환경실태 및 보전대책 860pp.

유춘만, 주현수, 박종천, 이우범, 이원교. 1998. 말똥성게의 배우자를 이용한 광양만 해수의 생물학적 수질평가. 한국환경생물학회지. 16(4):319-327.

유광일, 이진환. 1980. 진해만의 환경적 연구. 한국해양학회지. 15(1):62-65.

이진환. 1984. 진해만 식물 플랑크톤 군집의 구조와 동태에 관한 연구. 한양대학교 박사학위논문. 111pp.

조기안. 1995. 환경오염특성에 따른 연안 기초 생태계의 변화. 전남대학교 박사학위논문. 234pp.

최중기. 1991. 황해 중·동부 연안 수역의 조석전선이 식물 플랑크톤 생산력과 분포에 미치는 영향. 한국해양학회지. 26(3):223-241.

최종수. 1995. 낙동강 수계의 유기물 수지와 식물 플랑크톤의 일차생산에 의한 내부 생성 부하량의 기여도. 강원대학교 이학석사학위 논문. 61pp.

한국수자원공사. 1998. 탐진강 다목적댐 건설사업 강진만 해양환경조사 보고서. 492pp.

환경부. 1998. 환경백서.

황길순. 1996. 소양호 1차 생산력과 부영양화에 관한 연구. 강원대학교 박사학위논문. 214pp.

허우명. 1993. 소양호의 부영양화와 남조류 bloom. 강원대학교 박사학위논문. 204pp.

APHA, AWWA, WPCF. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th edn, Washington DC 1268pp.

Epply RW. 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. Fish Bull. 70:1063-1085.

Pugh PR. 1973. An evaluation of liquid scintillation Counting techniques for use in aquatic primary production studies. Limnol Oceanogr. 18:310-319.

Sawyer CN. 1952. Stream pollution : some new aspects of phosphates in relation to lake fertilization. Sewage and Ind Wast. 24(6):768-772.

Steemann NE. 1952. The use of radio-active carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. J cons Int Explor Mer. 18:117-140.

Strickland JDH, Parsons TR. 1968. A practical handbook of sea water analysis. Bull Fish Res Bd Con. 167:201-203.

(Received 23 April 2002, accepted 10 May 2002)