

## 仁川港 閉鎖 海洋生態系 植物플랑크톤의 生物量과 一次生産力

柳 宗 秀 · 李 晋 煥\* · 金 英 煥\*\* · 李 仁 圭

(서울대학교 生物學科, \*祥明女子대학교 生物學科, \*\*忠北대학교 生物學科)

### Fluctuation of Phytoplankton Biomass and Primary Productivity in Closed Marine Ecosystem, Incheon Dock

Yoo, Jong Su, Jin Hwan Lee\*, Young Hwan Kim\*\* and In Kyu Lee

(Department of Biology, Seoul National University, Seoul,

\*Department of Biology, Sangmyung Women's University, Seoul and

\*\*Department of Biology, Chungbuk National University, Chongju)

#### ABSTRACT

Chlorophyll-a concentrations of phytoplankton and primary productivities in closed marine ecosystem, Incheon Dock, were measured and analyzed monthly from August, 1990 to December, 1991. Chlorophyll-a concentrations ranged from 1.61 to 28.67  $\mu\text{g Chl-a/l}$ , where nanoplankton (2-20  $\mu\text{m}$ ) fractions contributed in 19.0-82.3% and picoplankton (0.2-2  $\mu\text{m}$ ) fractions in 4.5-51.4%. Primary productivities measured by  $^{14}\text{C}$  method ranged from 49.4 to 4359.4  $\text{mg C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ , where nanoplankton (<20  $\mu\text{m}$ ) contributed in 18.8-94.6%. These results implied that very tiny cell-sized phytoplankton populations were important in point of chlorophyll-a concentration and primary productivity of phytoplankton community. In monthly variations of chlorophyll-a concentration by phytoplankton, the first peak occurred in March and the second in August. Nitrogen requirement by phytoplankton ranged from 0.7 to 60.7  $\text{mg at-N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$  and the turnover time of inorganic nitrogen showed maximum during winter and minimum in summer. Carbon assimilation number increased in summer and decreased in winter.

#### 緒 論

식물플랑크톤에 관한 최근의 연구동향은 세포 크기가 작은 플랑크톤에 많은 관심이 집중되고 있다(Stockner and Antia, 1986; Shin *et al.*, 1990; Shim *et al.*, 1991). 해양 환경에서 미세플랑크톤의 중요성은 1950년대 후반부터 밝혀지기 시작하였는데(Yentsch and Ryther, 1959; Gilmar-tin, 1964), 연구자가 사용한 망목의 크기에 따라 미세플랑크톤의 정의가 달랐었다. 이를테면, Sieburth 등(1978)은 세포 크기가 20-200  $\mu\text{m}$ 인 플랑크톤을 microplankton, 2-20  $\mu\text{m}$ 인 것은 nanoplankton, 0.2-2  $\mu\text{m}$ 인 것은 picoplankton

이라고 구분하였다. 한편, Shin 등(1990)은 세포 크기가 20  $\mu\text{m}$  이상인 세포를 netplankton, 20  $\mu\text{m}$  이하인 것을 nanoplankton이라는 개념과 Sieburth 등(1978)이 주장한 nanoplankton과의 혼동을 피하기 위해 세포 크기가 20  $\mu\text{m}$  이상인 것은 netplankton, 20  $\mu\text{m}$  이하인 것을 미세플랑크톤으로 구분하였으며, 미세플랑크톤을 세분하여 2-20  $\mu\text{m}$ 인 것은 nanoplankton(미소플랑크톤), 0.2-2  $\mu\text{m}$ 인 것은 picoplankton(초미소플랑크톤)으로 정의한 바 있다.

이와같은 식물플랑크톤의 크기 분포는 먹이사슬 동태와 해양생태계의 생태적 효율에 중요한 영향을 미치고 있으며(Walsh, 1976; Malone, 1980; Shin, 1989), 세포 크기 중 미세플랑크톤의 세포수, 염록소량, 일차생산력 등에 기여도가 매우 크다는 보고가 세계 여러 해역에서 밝혀지고 있다(Hallegraeff, 1981; Booth *et al.*, 1982; Geider, 1988).

본 연구는 1989-1992년도 한국과학재단 목적기초연구비 (89 0506-02)에 의하여 수행되었음.

특히 최근 연구에서는 picoplankton의 분포, 생물량 및 일차생산력의 상대적 중요성이 인식되고 있는데(Stockner and Antia, 1986), 국내의 경우 이러한 식물플랑크톤의 크기 분포에 대한 연구는 Shim (1980)에 의해 시작되었으나, 아직 그 자료가 빈약한 실정이고(Shim and Lee, 1983; Shim *et al.*, 1985; Shim and Yoo, 1985; Chung *et al.*, 1989; Shin *et al.*, 1990), picoplankton에 관한 연구는 Shim 등 (1991)의 보고가 있을 뿐이다.

해양에서의 純生産力(net primary productivity)의 측정은 Steemann-Nielsen (1952) 이후 여러 연구자에 의해  $^{14}\text{C}$  method로 많은 연구가 수행된 바 있으며(Malone, 1977; Harding *et al.*, 1982; Furnas, 1983), 국내의 경우 Shim과 Park (1986), Chung과 Park(1988), Shim 등(1991)의 연구자들에 의하여  $^{14}\text{C}$  method에 의한 일차생산력의 연구가 수행된 바 있다.

본 연구 대상지인 仁川港은 1974년에 근대적인 갑문식 전천후 船渠로 개축되어 현재에 이르고 있다. 인천항 선거는 2개의 갑문에 의해 선박을 입·출거시키는 선거로서 해수이면서도 湖沼와 같은 독특한 閉鎖生態系를 이루고 있어, 물리·화학적 환경요인, 생산성 및 각종 해양생물의 종조성이나 구성양식이 일반 해역과는 매우 상이할 수 있다. 그간 인천항을 대상으로 수행되어진 보고들(Yoo, 1990; Lee and Byun, 1991; Lee *et al.*, 1991; Yoo *et al.*, 1991)에서 이곳의 독특한 폐쇄 해양생태계 면모가 다소나마 밝혀지고 있음을 본다.

따라서 본 연구는 인천항 선거의 특이한 폐쇄생태계를 대상으로 하여 식물플랑크톤 생물량의 시·공간적 분포양상을 파악하고, 미세플랑크톤에 의한 일차생산력의 군집내 기여도를 규명함으로써, 폐쇄 해양생태계에서 식물플랑크톤의 동태를 파악하는 기초 자료를 제공할 목적으로 수행되었다.

## 材料 및 方法

연구지역인 인천항 선거는 북위  $37^{\circ}28'30''$ , 동경  $126^{\circ}27'30''$ 에 위치하며, 조사는 환경조건이 상이하다고 판단되는 선거내 4개 定點을 선정하여 1990년 8월부터 1991년 12월까지 매월 실시하였다(Fig. 1).

먼저, 定點 1은 갑문지역으로 선박의 출입에 의해 해수가 섞이며 교란되는 곳으로서, 갑문을 통해 경기만의 해수 유입이 가장 먼저 이루어지는 곳으로 수심은 8m 정도이다. 定點 2는 conveyer belt가 설치된 곡물부두로서 하역작업시 유출된 곡물 분말이 해수 표면에 흔히 부유하는 곳으로 수심은 8m 정도이다. 定點 3은 구선거로서 해수의 循環이 가장 빈약한 곳으로 수심은 7m 정도이고, 定點 4는 대형 container 선박이 정박해 있는 곳으로서 수심 7m 정도이다.

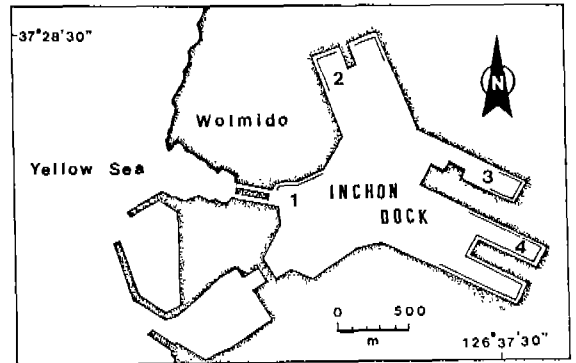


Fig. 1. A map showing the sampling stations in Incheon Dock.

수온은 S-C-T meter(YSI model 33), 그리고 照度(light intensity)는 Licor photometer를 이용하여 현장에서 측정하고, chlorophyll-a와 생산력 측정을 위한 시료는 van Dorn 채수기를 이용하여 채수하였다. 진광대 내에서의 일차생산력을 측정하기 위한 소광계수(extinction coefficient)는 식  $E=1.7/Zsd$ 으로 산출하였으며(Poolc and Atkins, 1929; Idso and Gilbert, 1974), 여러 광조건에 대한 길이는  $E_z = E_0 \cdot e^{-kz}$  ( $E_0$ : 표층광도,  $E_z$ : 수심  $z$ 에서의 광도,  $k$ : 소광계수,  $z$ : 수심) 식에 따라 산출하였다(Stemann-Nielsen, 1975).

식물플랑크톤의 생물량(chlorophyll-a)을 파악하기 위하여 각 점점의 표층과 저층수를 채수하였으며, 시료를 냉장 보관하여 실험실로 운반한 후 Turner Design III Fluorometer로 생체량 내의 형광량(*in vivo* fluorescence)을 측정하였고, spectrophotometric법에 의해 보정하였다(Parsons *et al.*, 1984). 식물플랑크톤의 크기구별 정의는 Shin 등 (1990)의 정의를 따랐으며, 식물플랑크톤의 총 염록소량 중 picoplankton의 염록소량은 pore size  $2\mu\text{m}$ 의 여과지로 여과한 해수층의 염록소량으로 하였고, nanoplankton의 염록소량은 현장수를  $20\mu\text{m}$  망목으로 통과시켜 netplankton을 제거한 후 측정된 값에서 picoplankton의 염록소량을 제한 것으로 하였으며, netplankton의 염록소량은 식물플랑크톤 총 염록소량 중 nanoplankton과 picoplankton의 양을 제한 값으로 하였다.

총 식물플랑크톤에 의한 一次生産力은 정점 1과 3에서 매일 측정하였으며, 100 ml의 배양병에 해수를 채운 후 일정량( $3\mu\text{Ci}$ )의  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ 를 주입하고, 이 병을 현장 해수에 넣어 여러 광조건(0, 2, 7, 16, 28, 51, 100%의 입사광) 하에서 90분 동안 배양하였다. 배양이 끝난 시료는 pore size  $0.2\mu\text{m}$ 의 여과지로 여과시켰다. 이 때, 여과지에 흡수된 inorganic  $^{14}\text{C}$ 을 제거하기 위하여 acid fuming을 실시하였다. 위와 같이 처리한 여과지를 scintillation cocktail (Lumagel safe)에 넣고 liquid scintillation counter(Packard

Tricab Co.)로 DPM(disintegration per minute)을 측정 한 후 그 값으로 일차생산력을 환산하였다(Carpenter and Lively, 1980; Chung and Park, 1988). 미세플랑크톤의 일차생산력은 20  $\mu\text{m}$  망목을 통과시킨 시료로서 총 식물플랑크톤의 일차생산력과 동일한 방법으로 수행하였다.

한편, 식물플랑크톤의 성장률을 측정하는 기준이 되는 同化數(assimilation number)는 일차생산력을 염록소량으로 나눈 값 [productivity per unit chlorophyll-a=( $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ )/( $\text{mg Chl-a} \cdot \text{m}^{-3}$ )]으로 표시하였다(Chung and Park, 1988).

## 結 果

**植物플랑크톤의 生物量.** 본 조사지의 각 정점에서 염록소 a로 본 식물플랑크톤의 크기군별 生物量은 Table 1과 같다. 먼저 정점별 평균 총 염록소량의 변화를 보면, 定點 1에서는 1990년 8-10월, 그리고 1991년 3, 4, 8월에 10  $\mu\text{g Chl-a/l}$  이상으로 높았으며, 그 평균에 있어 저층보다 표층이 높았다. 定點 2에서는 1990년 8-10월, 그리고 1991년 3, 7, 8월에 10  $\mu\text{g Chl-a/l}$  이상으로 높았고, 특히 표층에서는 1991년 5월에 24.95  $\mu\text{g Chl-a/l}$ , 그리고 저층에서는 1991년 2월에 12.51  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 으로 당시의 평균보다 높은 값을 보여 주목되었다. 定點 3에서는 1990년 9월, 그리고 1991년 3, 8월에 10  $\mu\text{g Chl-a/l}$  이상으로 높았으며, 定點 4에서는 1990년 9, 10월, 그리고 1991년 3, 8월에 10  $\mu\text{g Chl-a/l}$  이상으로 높았다. 따라서 인천항 선거에서 염록소량으로 본 平均 生物量은 표층이 7.09  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 이었고 저층이 6.88  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 이었고, 계절별로는 표층과 저층에서 서로 유사하였다.

한편, 식물플랑크톤의 크기군별 변화를 보면, netplankton 염록소량의 변화는 0.14-11.15  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 의 범위로 평균 1.97  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 이었고, 1990년 9월에 5.94  $\mu\text{g Chl-a/l}$ , 1991년 3, 8월에 9.00  $\mu\text{g Chl-a/l}$  이상으로 높았다. Nanoplankton의 경우는 0.75-9.35  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 의 범위로 평균 3.69  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 이었고, 1990년 10월 그리고 1991년 3, 4, 7월에 5  $\mu\text{g Chl-a/l}$  이상으로 높았다. Picoplankton은 0.24-4.53  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 의 범위로 평균 1.33  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 이었고, 1990년 10월과 1991년 2월에 2  $\mu\text{g Chl-a/l}$  이상으로 값이 높았다. 따라서 식물플랑크톤의 크기군별 염록소량은 모든 크기군에 걸쳐 정점 2에서 가장 높았고, netplankton과 nanoplankton은 정점 3에서, picoplankton은 정점 4에서 가장 낮았다. 또한, 계절별로는 춘계와 하계가 추계와 동계 보다 높았다.

수심별 총 식물플랑크톤 平均 生物量의 월 변화는 Fig. 2에 보인 바와같이 表層에서 1990년 9월에 23.01  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 로 가장 높게 나타났다가, 11월에는 2.51  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 로 감소하였고, 1991년 2월부터 증가하기 시작하여 3월에 21.47  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 였으나, 4월부터 다시 감소하여 6월에는 6.60

$\mu\text{g Chl-a/l}$ 로 낮았다. 따라서 총 식물플랑크톤에 대한 표층의 평균생물량은 3월과 8, 9월에 가장 높았고, 11, 12월과 5월에 가장 낮은 주년 변동을 나타내었다. 한편, 低層에서는 1990년 8월에 평균 6.37  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 이었고, 9월에는 17.20  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 로 증가하였으며, 11월에는 2.21  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 로 감소하였다가 1992년 2월부터 다시 증가하기 시작하여 3월에는 21.47  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 까지 증가하였으며, 4월부터 다시 낮아져서 5월에는 2.42  $\mu\text{g Chl-a/l}$ 까지 낮아졌다. 따라서 저층에서의 이들 평균 생물량은 표층에서와 마찬가지로 3월과 8, 9월에 가장 높았고, 11, 12월과 5월에 가장 낮은 주년 변동을 나타내었다. 또한 전반적인 평균값으로 볼 때 총 염록소량은 표층이 저층보다 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

식물플랑크톤의 크기군별 占有率은 Fig. 3에 보인 바와 같이, 表層에서는 netplankton이 차지하는 비율이 1991년 8월에 67.6%로 가장 높았고, 1991년 4월 3.3%로 가장 낮았으며, 연평균 26.8%이었다. Nanoplankton의 점유율은 1991년 4월에 78.3%로 가장 높았고, 1991년 8월 20.7%로 가장 낮았으며, 연평균 54.1%이었다. Picoplankton의 경우 1991년 2월에 51.4%로 가장 높았고, 1991년 4월 4.5%로 가장 낮았으며, 연평균 19.1%이었다.

한편, 低層에서 netplankton이 차지하는 비율은 1991년 8월에 67.8%로 가장 높았고, 1991년 4월에 3.5%로 가장 낮았으며, 연평균 29.5%이었다. Nanoplankton의 점유율은 1991년 4월에 82.3%로 가장 높았고, 1991년 8월에 19.0%로 가장 낮았으며, 연평균 51.4%이었다. Picoplankton의 경우는 1991년 10월에 42.9%로 가장 높았고, 1991년 3월에 4.5%로 가장 낮았으며, 연평균 19.1%이었다. Picoplankton과 nanoplankton을 포함한 미세플랑크톤의 점유율은 표층에서 최대 96.8%, 최저 32.4%, 연평균 73.7%이었고, 저층에서는 최대 96.5%, 최저 32.2%, 연평균 71.0%이었다.

**無機營養鹽의 變化.** 해수중에 포함된 무기질소계 영양염중 암모니아(ammonia)의 계절 분포는 0.38-8.58  $\mu\text{M}$ , 아질산염(nitrite)은 0.31-4.42  $\mu\text{M}$ , 질산염(nitrate)은 11.35-32.84  $\mu\text{M}$ 의 범위를 보여 다른 해역에 비하여 질소계 영양염의 농도가 높았다. 인산염(phosphate)은 0.04-0.39  $\mu\text{M}$ 의 범위로 변화 폭이 컸으며, 규산염(silicate)은 0.89-5.98  $\mu\text{M}$ 로 식물플랑크톤의 대발생 시기에는 농도가 낮았고, 인산염과 같이 다른 해역에 비하여서도 상대적으로 농도가 낮았다.

식물플랑크톤의 窒素要求量(NRP)을 Redfield ratio(C/N ratio:약 7)를 이용하여 일차생산력으로부터 산출해 본 결과(Redfield *et al.*, 1963), 그 월변화는 1990년 8월에 31.7  $\text{mg at-N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 였으나 12월에는 0.7  $\text{mg at-N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ , 1991년 1월에 0.86  $\text{mg at-N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 감소하였고, 3월부터 증가하기 시작하여 6월에 60.7  $\text{mg at-N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 7월부터 감소하여 10월에는 1.69

Table 1. Monthly fluctuation of chlorophyll-a concentrations of three sized phytoplankton groups (net-, nano- and picoplankton) during August, 1990 and December, 1991 in Incheon Dock (unit :  $\mu\text{g Chl-a/l}$ )

Date	Size	ST 1		ST 2		ST 3		ST 4		Average	
		S*	B*	S	B	S	B	S	B	S	B
'90	Net	1.65	0.99	1.83	0.92	0.41	0.92	0.26	0.28	1.04	0.78
Aug.	Na&Pi*	8.42	8.57	13.39	6.12	4.13	3.60	4.13	4.08	7.52	5.59
	Total	10.07	9.56	15.22	7.04	4.54	4.52	4.39	4.36	8.56	6.37
	Net	8.71	5.37	6.25	3.15	8.23	4.50	7.30	3.97	7.62	4.25
Sep.	Na&Pi	12.96	12.56	10.08	11.15	20.44	16.41	18.05	11.68	15.39	12.95
	Total	21.67	17.93	16.33	14.30	28.67	20.91	25.35	15.65	23.01	17.20
	Net	2.50	1.59	1.67	1.99	1.11	1.95	1.83	1.41	1.78	1.74
Oct.	Nano	8.08	8.22	5.62	5.29	5.04	2.83	6.02	5.80	6.34	5.54
	Pico	1.04	2.28	2.73	3.57	2.50	4.53	3.59	3.54	2.47	3.48
	Total	12.22	12.09	10.02	10.85	8.65	9.31	11.44	10.75	10.59	10.76
	Net	0.17	0.16	0.13	0.25	0.13	0.18	0.12	0.09	0.14	0.17
Nov.	Nano	2.52	1.70	1.52	1.85	1.68	1.41	1.59	1.43	1.83	1.60
	Pico	0.72	0.47	0.46	0.49	0.61	0.48	0.40	0.31	0.55	0.44
	Total	3.41	2.33	2.11	2.59	2.42	2.07	2.11	1.83	2.51	2.21
	Net	0.29	0.14	0.19	0.29	0.15	0.31	0.14	0.14	0.19	0.22
Dec.	Nano	1.90	2.09	1.47	1.95	1.65	1.90	2.47	2.65	1.87	2.15
	Pico	0.49	0.58	0.52	0.31	0.57	0.40	0.70	0.50	0.57	0.45
	Total	2.68	2.81	2.18	2.55	2.37	2.61	3.31	3.29	2.63	2.82
'91	Net	0.21	0.22	0.08	1.18	0.32	0.28	0.26	0.49	0.22	0.54
Jan.	Nano	1.70	2.04	0.52	1.29	1.61	0.90	1.03	1.51	1.21	1.44
	Pico	0.69	0.54	0.73	0.75	0.54	1.27	1.29	1.33	0.81	0.97
	Total	2.60	2.80	1.33	3.22	2.47	2.45	2.58	3.33	2.24	2.95
	Net	1.58	0.91	0.51	4.51	0.72	0.59	0.71	0.80	0.88	1.70
Feb.	Nano	2.93	2.37	0.28	5.27	0.90	1.10	3.37	2.87	1.87	2.90
	Pico	3.96	3.37	2.69	2.73	3.17	3.30	1.82	1.80	2.91	2.80
	Total	8.47	6.65	3.48	12.51	4.79	4.99	5.90	5.47	5.66	7.40
	Net	8.33	10.01	8.76	13.11	8.40	8.23	9.33	13.24	8.71	11.15
Mar.	Nano	11.33	9.22	7.05	11.46	7.57	8.07	8.50	8.62	8.62	9.35
	Pico	0.69	0.54	0.73	0.75	0.54	1.27	1.29	1.33	0.81	0.97
	Total	20.35	19.77	16.54	25.32	16.51	17.57	19.12	23.19	18.14	21.47
	Net	0.23	0.35	0.17	0.20	0.30	0.35	0.48	0.34	0.30	0.31
Apr.	Nano	8.70	8.39	6.49	7.37	5.83	6.23	7.09	7.17	7.03	7.29
	Pico	1.48	1.44	2.30	1.50	1.39	0.73	1.44	1.36	1.65	1.26
	Total	10.41	10.18	8.96	9.07	7.52	7.31	9.01	8.87	8.98	8.86
	Net	1.46	0.33	3.67	1.82	0.29	0.11	0.49	0.40	1.48	0.67
May	Nano	6.92	3.82	17.11	0.49	0.79	0.32	1.72	0.40	6.58	1.26
	Pico	1.23	1.09	4.37	0.28	0.26	0.24	0.44	0.35	1.58	0.49
	Total	9.61	5.24	24.95	2.59	1.34	0.67	2.65	1.15	9.64	2.42
	Net	1.14	0.22	0.96	0.37	1.05	0.62	0.77	0.47	0.98	0.42
June	Nano	5.33	2.81	5.14	3.39	3.45	3.51	3.61	2.03	4.38	2.93
	Pico	0.95	0.95	1.17	0.86	1.51	1.26	1.32	1.23	1.24	1.08
	Total	7.42	3.98	7.27	4.62	6.01	5.39	5.70	3.73	6.60	4.43

Table 1. Continued

Date	Size	ST 1		ST 2		ST 3		ST 4		Average	
		S*	B*	S	B	S	B	S	B	S	B
July	Net	0.49	0.49	0.95	2.46	0.61	0.49	0.40	0.55	0.61	1.00
	Nano	4.44	3.33	8.35	11.14	5.09	5.06	4.87	4.28	5.68	6.70
	Pico	0.95	0.74	1.20	1.26	0.92	0.95	0.95	1.08	1.01	1.01
	Total	5.88	4.56	10.50	17.86	6.62	6.50	6.22	5.91	7.30	8.71
Aug.	Net	11.29	10.26	11.73	11.06	7.79	5.96	8.91	7.42	9.93	8.68
	Nano	3.72	1.97	3.45	2.69	3.14	3.50	1.84	1.57	3.04	2.43
	Pico	1.61	1.75	1.84	1.97	1.70	1.52	1.70	1.48	1.71	1.68
	Total	16.62	13.98	17.02	15.72	12.63	10.98	12.45	10.47	14.68	12.79
Sep.	Net	0.78	0.51	0.32	1.29	0.37	0.24	0.30	0.30	0.44	0.59
	Nano	1.55	1.42	0.75	0.81	1.26	1.15	0.88	1.02	1.11	1.10
	Pico	0.59	0.67	0.54	0.48	0.46	0.43	0.43	0.40	0.51	0.50
	Total	2.92	2.60	1.61	2.58	2.09	1.82	1.61	1.72	2.06	2.19
Oct.	Net	0.27	0.45	0.32	0.76	0.27	0.22	0.36	0.23	0.31	0.42
	Nano	2.65	2.42	1.66	1.93	1.66	1.75	2.65	1.70	2.16	1.94
	Pico	1.84	2.25	1.39	1.71	1.71	1.26	1.35	1.89	1.57	1.78
	Total	4.76	5.12	3.37	4.40	3.64	3.23	4.36	3.82	4.04	4.14
Nov.	Net	0.19	0.29	0.20	0.39	0.15	0.24	0.38	0.53	0.23	0.36
	Nano	3.04	2.90	2.07	1.88	2.31	1.89	2.37	2.80	2.45	2.39
	Pico	1.21	1.21	1.21	1.11	1.26	1.06	1.11	1.01	1.20	1.10
	Total	4.44	4.40	3.48	3.38	3.72	3.19	3.86	4.44	3.88	3.85
Dec.	Net	0.15	0.29	0.44	0.44	1.57	0.29	0.14	1.47	0.58	0.62
	Nano	1.57	1.53	1.27	1.72	1.77	1.92	0.89	3.24	1.38	1.10
	Pico	0.93	0.93	0.79	0.74	1.08	0.88	0.88	0.79	0.92	0.84
	Total	2.65	2.75	2.50	2.90	4.42	3.09	1.91	5.50	2.88	3.56
Average	Net	2.07	1.86	2.14	2.85	1.65	1.42	1.75	1.99	1.90	2.03
	Nano	4.60	3.75	4.36	4.26	3.01	2.87	3.38	3.27	3.84	3.54
	Pico	1.26	1.31	1.59	1.29	1.36	1.36	1.29	1.29	1.35	1.31
	Total	7.93	6.92	8.09	8.40	5.92	5.65	6.44	6.55	7.09	6.88

(Na & Pi, Nano- and Picoplankton; S, Surface water; B, Bottom water).

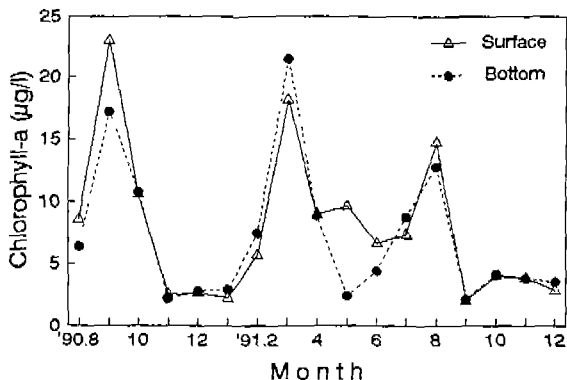


Fig. 2. Monthly fluctuation of phytoplankton chlorophyll-a on an average in Incheon Dock.

mg at-N·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>였다. 따라서 본 조사지에서 식물플랑크톤의 질소요구량은 하계에 높고, 동계에 낮아지는 경향을 나타내었다.

주변 해수의 가용질소계 영양염의 양을 식물플랑크톤의 질소요구량으로 나누어 준 값인 질소계 영양염의 回轉時間 (turnover time)은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 1990년 8월에는 2.5일이었으나 12월에는 149.3일, 1991년 1월에는 149.9일로 증가하였고, 2월부터 감소하기 시작하여 5월에는 1.0일로 가장 낮았으며, 10월에는 77.9일로 다시 증가하였다. 따라서 본 인천항 선거에서 회전시간은 춘계와 하계에는 감소하고, 추계와 동계에는 증가하는 경향성을 나타내었다.

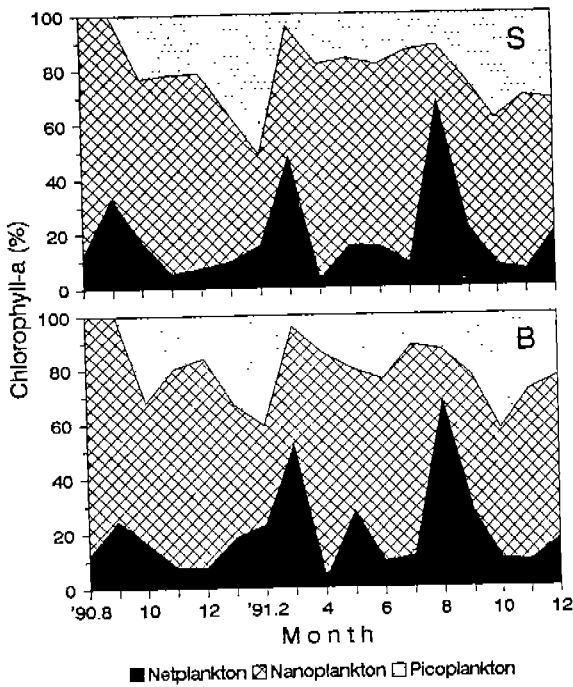


Fig. 3. Fluctuation of monthly ratio of each size fraction on phytoplankton chlorophyll-a in Inchon Dock (S, surface; B, bottom).

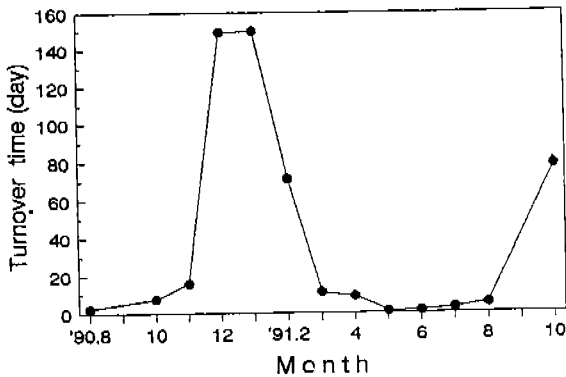


Fig. 4. Monthly fluctuation of turnover time of inorganic nitrogen in Inchon Dock.

一次生産力. 본 조사기간 중 측정된 식물플랑크톤의 일차생산력은 Fig. 5와 같이, 총 식물플랑크톤은 1990년 8월에 평균  $1768.1 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 이었으나 12월에는  $49.4 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ , 1991년 1월에  $52.9 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 감소하였고, 3월부터 증가하기 시작하여 6월에는  $4359.4 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 7월 이후 감소하여 10월에는  $115.5 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 낮아졌다. 따라서 전반적으로 볼 때 인천항 선거에서의 식물플랑크톤 일차생산력은

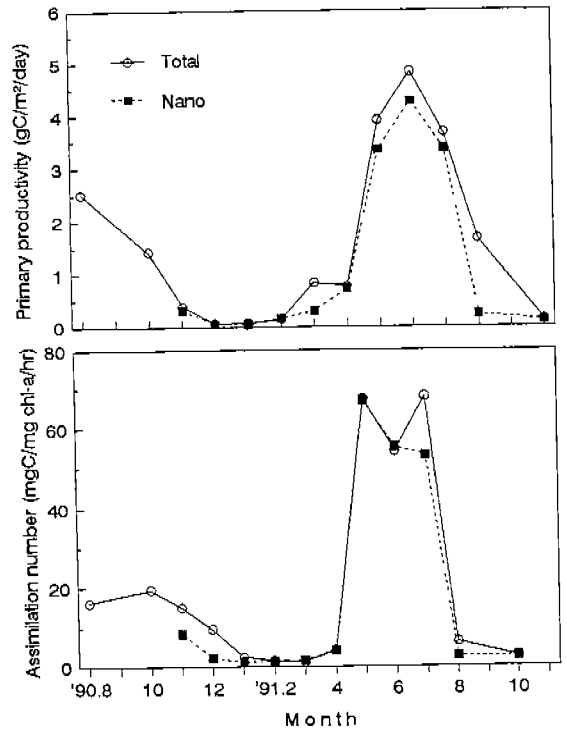


Fig. 5. Monthly fluctuation of primary productivity (upper) and assimilation number (lower) in Inchon Dock.

춘계에서 하계로 가면서 증가한 후 추계에서 동계로 가면서 감소하는 경향성을 나타내었고, 일차생산력의 최대값은 1991년 6월의  $4359.4 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ , 그리고 최소값은 1990년 12월의  $49.4 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 이었다. 또한 일일 평균 일차생산력은 정점 1에서  $1491.9 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 였고, 정점 3에서  $1068.4 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 여서 정점 1에서 다소 높은 값을 보였다. 따라서 본 조사의 일일 평균 일차생산력은  $1280.2 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 이었다.

한편,  $20 \mu\text{m}$  이하인 미세플랑크톤의 일차생산력에 대한 점유율(Fig. 5)은 1990년 11월에는  $213.9 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 83.4%, 12월에는  $43.9 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 89.0%, 1월에는  $35.3 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 66.7%, 2월에는  $88.6 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 83.1%, 3월에는  $270.7 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 38.7%, 4월에는  $568.7 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 94.6%, 5월에는  $2214.0 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 83.7%, 6월에는  $3807.1 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 87.3%, 7월에는  $3526.8 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 91.3%, 8월에는  $250.7 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 18.8%, 그리고 10월에는  $97.6 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 84.5%이었다. 정점별 일일 평균 일차생산력은 정점 1에서  $1164.5 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 였고, 정점 3에서  $856.5 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 총 식물플랑크톤과 같이 정점 1에서 다소 높은 값을 보였다. 따라서 인천항

선거에서 미세플랑크톤에 의한 일일 평균 일차생산력은  $1010.7 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 나타나 일일 평균 총 일차생산력의 79.0%를 차지하였다.

동화수(Fig. 5)는 1990년 8월에는  $16.2 \text{ mg C} \cdot \text{mg Chl-a}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 이었고, 12월에는  $9.6 \text{ mg C} \cdot \text{mg Chl-a}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 1991년 2월에는  $1.6 \text{ mg C} \cdot \text{mg Chl-a}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 감소하였으나, 4월부터 증가하기 시작하여 5월에는  $67.3 \text{ mg C} \cdot \text{mg Chl-a}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 가장 높은 값을 나타내었으며, 8월 이후 감소하여 10월에는  $2.6 \text{ mg C} \cdot \text{mg Chl-a}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 낮아졌다. 따라서 본 조사지에서 식물플랑크톤의 동화수는 대체로 하계에 증가하고 동계에 감소하는 경향을 나타냈다. 한편, 미세플랑크톤에 의한 동화수는 1990년 11월에는  $8.5 \text{ mg C} \cdot \text{mg Chl-a}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 이었으나, 12월부터 감소하여 1991년 2월에는  $1.3 \text{ mg C} \cdot \text{mg Chl-a}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 가장 낮았고, 3월부터 증가하기 시작하여 5월에는  $55.1 \text{ mg C} \cdot \text{mg Chl-a}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 10월에  $2.5 \text{ mg C} \cdot \text{mg Chl-a}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 감소하였다. 따라서 미세플랑크톤 역시 총 식물플랑크톤에 의한 일차생산력의 계절 변화와 유사한 경향을 시사하였다.

## 考 察

환경 여건이 특이하여 바다인데도 정제 호수와 유사한 특성을 지닌 인천항 선거에서 식물플랑크톤의 생물량은 동계는 낮게 유지되고, 춘계에서 하계에 넘어가면서 대체로 높게 지속되는 일반적인 경향을 나타내었는데, 이는 수온, 일조시간 및 광도의 증감 등, 식물플랑크톤 군집의 성장 요인들의 변화 때문으로 생각된다(Choi, 1985; Chung and Park, 1988).

식물플랑크톤의 총 엽록소량은  $1.62\text{-}28.67 \mu\text{g Chl-a/l}$ 로 평균  $6.99 \mu\text{g Chl-a/l}$ 였다. 이는 경기만의  $1.20\text{-}5.78 \mu\text{g Chl-a/l}$ (Chung and Park, 1988), 천수만의  $0.91\text{-}14.93 \mu\text{g Chl-a/l}$ (Shin et al., 1990), 동해 남부해역의  $0.21\text{-}2.18 \mu\text{g Chl-a/l}$ (Shim et al., 1985), 남해역의  $0.05\text{-}1.57 \mu\text{g Chl-a/l}$ (Chung and Yang, 1991) 보다 훨씬 높은 값이어서 주목되었다.

세포 크기가  $20 \mu\text{m}$  이하인 미세플랑크톤의 점유율은 최저 32.2%에서 최고 96.8%의 범위로 연평균 72.4%의 점유율을 보였다. 이는 경기만의 연평균 74.0% (34-92%)의 점유율과 비슷하였고(Chung and Park, 1988), 천수만의 연평균 64.0%(25-87%)보다 높았으며(Shin et al., 1990), 동해의 평균 85.0%(Chung, 1988)와 황해 중·동부의 6월 평균 81.4%보다 낮아(Choi, 1991), 폐쇄 해양환경을 이루고 있는 인천항은 연안 해역과 비슷하게  $20 \mu\text{m}$  이상의 netplankton이 상대적으로 많음을 알 수 있다.

Picoplankton의 생물량에 대한 월평균 점유율은 총 엽록소량이 낮은 추계와 동계에 18.8-44.6%로 비교적 높았으며, 총 엽록소량이 높은 춘계와 하계에는 4.51-21.5%로

대체로 낮았다. Shim 등(1991)은 동해의 고리 연안에서 picoplankton의 점유율이 동계에 15.7-83.2%라고 보고하였다. 따라서, 이들 결과를 종합해 볼 때 식물플랑크톤 총 엽록소량이 비교적 낮은 시기에 picoplankton의 생물량 또는 일차생산력에 대한 기여도가 높아지는 것을 알 수 있다. 한편, Takahashi 등(1985)은 일본 근해에서 picoplankton이 총 엽록소량의 20-100%를 차지한다고 보고하였고, Berman 등(1984)은 지중해에서 60-80%의 점유율을 보고한 바 있는데, 본 연구결과와는 이들 범위보다 다소 낮은 기여도를 보였다.

인천항 선거내에서 1990년 9월, 그리고 1991년 3월과 8월에 식물플랑크톤의 대발생이 관찰되었는데, 1990년 8월에 실시된 조사에서 netplankton이  $25.54 \mu\text{g Chl-a/l}$ 였고, 미세플랑크톤이  $13.46 \mu\text{g Chl-a/l}$ 로 총 식물플랑크톤의 생물량은  $39.01 \mu\text{g Chl-a/l}$ 였다. 이는 조사기간 중 최대의 엽록소량을 나타내었으나 이 결과는 정점 2의 표층에서만 채집되었고 다른 환경 자료들을 동시에 수행되지 않아 본 연구 결과에서 제외하였다. 그러나 이들 결과를 종합하면 인천항에서의 식물플랑크톤 대발생은 3월에 1차, 8월에 2차로 일어나는 것으로 결론지을 수 있다. 이는 Shim과 Yeo (1988)가 천수만에서 조사한 결과와 같았으나, Chung과 Park(1988)이 경기만을 대상으로 보고한 대발생 시기(5월과 9월)보다는 인천항이 다소 빠른 것으로 밝혀졌다. 한편, 본 연구도중 1991년 5월 하순경 엽록소량이  $17.82 \mu\text{g Chl-a/l}$ 으로 높게 관측되었는데 이는 섬모충류인 *Mesodinium rubrum*에 의한 적조현상이 국내에서 처음으로 확인되었다.

정점별로 비교한 식물플랑크톤 엽록소량의 차이는 정점 1과 2가 정점 3과 4보다 높았는데 이는 정점 3과 4에서는 수괴의 혼합이 적어 오염물에 대한 하층이 큰 때문으로 생각된다. 또한 표·저층별 엽록소량의 변화는 1990년 10, 12월, 그리고 1991년 1, 2, 3, 7, 9, 10, 12월에는 저층의 엽록소량이 더 높았다. 이는 조석현상이나 해수 순환이 결여되어 있는 환경여건으로 인하여 저층수가 상대적으로 안정되어 있으며, 수심도 얕아 식물플랑크톤 군집의 생활에 저층이 오히려 알맞기 때문으로 사료된다(Lee and Byun, 1991).

한편, 해양환경은 N/P ratio가 15 이하 일 때 질소계 영양염이 해양식물 성장의 제한 요인으로 작용하는 것으로 알려져 있다(Redfield et al., 1963). 폐쇄 해양생태계를 이루고 있는 본 조사지에서는 N/P ratio가 79-489로 일반해역에서 제한 요인으로 작용하는 질소계 영양염이 타해역에 비하여 연중 매우 풍부하게 존재하였다. 본 연구에서 식물플랑크톤의 질소요구량은 동계에  $0.7 \text{ mg at} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 낮았으며 춘계와 하계에는  $20.8\text{-}60.7 \text{ mg at} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 매우 높았다. 그러나 본 지역은 일반 해역과 달리 높은 질소요구량에도 불구하고 수괴내에서 질소계 영양염은 큰

제한 요인으로 작용하지 않는 것으로 생각되며, 질소계 영양염보다는 규산염에 의한 하중에 부분적으로 작용하리라 생각된다. 이는 식물플랑크톤이 대발생했던 시기에 Si/P ratio가 6.0-10.0로 다른 시기에 비하여 상당히 낮은 값을 보였고, 질소계 영양염의 회전시간이 동계에는 71.3-149.9일이었는데 질소요구량이 높았던 5-8월 사이는 1.0-5.3일로 그 회전율이 급격히 빨라지는 것으로 알 수 있었다. 동계에 회전시간이 긴 것은 낮은 수온 등으로 동화수가 낮아져 질소 이용속도가 감소했기 때문이며, 하계에 빠른 것은 수온 상승과 일차생산력의 급격한 증가로 질소 이용속도가 매우 빨라졌기 때문으로 사료된다.

본 조사지역인 인천항에서 식물플랑크톤의 일차생산력은 동계에  $49.4-106.6 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 낮았고, 춘계에서 하계에 걸쳐  $601.2-4359.4 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 높게 나타난 것은 춘·하계에 광조건이 좋아지고, 수온 상승에 따른 동화수의 증가, 식물플랑크톤의 종조성의 변화 등 여러 요인의 복합적인 작용 결과로 생각된다(Harding *et al.*, 1982; Chung and Park, 1988). 한국 연안에서 수행된 식물플랑크톤의 일차생산력을 비교해 보면, 경기만에서는  $30.3-3580.0 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (Chung and Park, 1988), 천수만에서는  $16.4-767.2 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (Shin *et al.*, 1990), 남해안에서는  $314.0-1727.0 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (Chung and Yang, 1991)여서 본 조사가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 이는 인천항 선거의 엽록소량이 평균  $6.99 \mu\text{g Chl-a/l}$ 로 타지역에 비하여 월등히 높고, 동화수도 타해역에 비하여 상당히 높았던 데 기인하는 것으로 사료된다.

미세플랑크톤은 세계 여러 해양에서 식물플랑크톤의 일차생산력에 80%를 차지하고, 생물량의 계절적 변화가 적은 대양(open sea)에서 식물플랑크톤의 대부분을 차지하고 있다. 이와 대조적으로 연안해역에서는 chain형 규조류와 dinoflagellate인 netplankton에 의해 식물플랑크톤의 생물량이 우발적으로 증가하는 특징적인 현상이 나타난다. 따라서 미세플랑크톤의 생물량은 평균적으로 보았을 때 netplankton 생물량보다 높은 값을 보이나, netplankton의 생물량은 변화폭이 더 크며 생산성이 증가함에 따라 미세플랑크톤의 생물량보다 상대적으로 증가하는 경향을 보였다(Malone, 1980).

미세플랑크톤에 의한 일차생산력은  $35.3-3807.1 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 여서 총 식물플랑크톤의 일일 평균 일차생산력의 79.0%를 차지한 반면, 총 엽록소량에 대한 기여도는 평균 81.9%였다. 따라서 본 연구에서 미세플랑크톤은 엽록소량에 비하여 일차생산력에 대한 기여도가 적게 나타나, 천수만에서와 그 경향이 유사하였다(Shin *et al.*, 1990). 일반적으로 생물량이 높은 계절에 높은 일차생산력이 일어나지만 생물량과 생산성은 서로 독립적이다. 일차생산력은 생물량, 온도 및 영양염류 등의 물리·화학적 요인과

최적 광도( $I_{opt}$ )와 최대 광합성( $P_{max}$ ) 등의 생리적 요인 등의 상호작용으로 정의되기 때문에 생물량이 항상 생산성과 정비례 관계로 나타나지 않는다.

한편, 광합성과 광의 관계는 photosynthesis/irradiance 곡선(P/I 곡선)으로 나타내며(Steemann-Nielsen and Jorgensen, 1962; Yentsch and Lee, 1966), 이러한 곡선은 광합성에 대한 주변 환경요인의 영향과 식물플랑크톤의 생리적 적응 상태를 보여준다(Fee, 1969; Jassby and Platt, 1976; MacCaul and Platt, 1977). 본 조사지역인 인천항에서 광량은 광합성에 필요한  $I_{opt}$  이상의 포화된 상태로 관측되었고, 광합성은 광도의 증가와 일치하는 경향성을 보였으나, 포화광(saturated light)보다 높은 광도에서는 동화수가 감소함을 보였는데 이는 높은 광조건이 광합성의 활성도를 억제시키고 있음을 분명히 시사하는 것으로 사료된다.

## 摘 要

인천항 閉鎖 海洋生態系에서 식물플랑크톤의 生物量과 一次生産力을 측정하기 위하여 1990년 8월부터 1991년 12월까지 시료를 채집, 분석하였다. 식물플랑크톤의 생물량을 chlorophyll-a로 분석한 결과 총 엽록소량은  $1.61-28.67 \mu\text{g Chl-a/l}$ 였는데 이 중 nanoplankton( $2-20 \mu\text{m}$ )은 조사 시기와 정점에 따라 총 엽록소량의 19.0-82.3%를 차지하였고, picoplankton( $0.2-2 \mu\text{m}$ )은 4.5-51.4%를 차지하였다. 한편,  $^{14}\text{C}$  method를 이용한 식물플랑크톤에 일차생산력은  $49.4-4359.4 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 측정되었는데, 이 중 미세플랑크톤( $< 20 \mu\text{m}$ )의 기여율은 18.8-94.6%여서 세포 크기가 작은 개체군의 생물량과 생산력이 전체 식물플랑크톤 군집에 중요한 역할을 담당하고 있음을 알 수 있다. 식물플랑크톤 생물량의 월변화를 보면 3월에 1차 대발생이 일어났고 8월에 2차 대발생이 일어났다. 식물플랑크톤에 의한 窒素 要求量은 동계에  $0.7 \text{ mg at-N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 에서 하계에  $60.7 \text{ mg at-N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 증가하였고 질소계 영양염에 대한 回轉時間(turnover time)은 동계에 149.9일에서 하계에 1.0일이어서 하계에 질소 이용율이 매우 빨라짐을 알 수 있었다. 同化數(assimilation number)는 하계에 증가하고 동계에 감소하는 경향을 보였다.

## 參 考 文 獻

- Berman, T., Y. Azov and D. Townsend. 1984. Understanding oligotrophic oceans: Can the eastern Mediterranean be a useful model. In, Marine Phytoplankton and Productivity: Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies. O. Holm-Hansen, *et al.*, (eds.). Vol. 8., Springer-Berlag,



- Berlin. pp. 101-112.
- 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.
- 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, pp. 161-178.
- Choi, J.K. 1985. The ecological study of phytoplankton in Gyeonggi Bay, Korea. Ph.D. thesis. Inha Univ., Incheon. 320 p.
- Choi, J.K. 1991. The influence of the tidal front on primary productivity and distribution of phytoplankton in the mid-eastern coast of Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **26**: 137-141.
- Chung, C.S. 1988. Bacterioplankton production and heterotrophic nutrition of dissolved organic compounds in the East Sea of Korea. M.S. thesis. Inha Univ., Incheon. 68 p.
- Chung, C.S., J.H. Shim, Y.C. Park and S.G. Park. 1989. Primary productivity and nitrogenous nutrient dynamics in the East Sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **24**: 52-61.
- Chung, C.S. and D.B. Yang. 1991. On the primary productivity in the southern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **26**: 242-254.
- Chung, K.H. and Y.C. Park. 1988. Primary production and nitrogen regeneration by macrozooplankton in the Kyunggi Bay, Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **23**: 194-206.
- 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.
- Furnas, M.J. 1983. Community structure biomass and productivity of size-fractionated summer phytoplankton populations in lower Narragansett Bay, Rhode Island. *J. Plankton Res.* **5**: 637-655.
- 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**: 105-147.
- 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.
- Idso, S.B. and R.G. Gilbert. 1974. On the universality of Poole and Atkins secchi disk-light extinction equation. *J. Appl. Ecol.* **11**: 399-401.
- Jassby, A.D. and T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relation ship between photosynthesis and light for phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* **21**: 540-547.
- Lee, I.K., J.H. Lee and S.A. Yoo. 1991. Annual fluctuations of physicochemical factors in Incheon Dock, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* **9**: 88-103.
- Lee, J.H. and J.S. Byun. 1991. Annual dynamics of phytoplankton diatoms in Incheon Dock. *Korean J. Phycol.* **6**: 69-82.
- MacCaul, W.A. and T. Platt. 1977. Diel variation in the photosynthetic parameters of coastal marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* **22**: 723-731.
- Malone, T.C. 1977. Environmental regulation of phytoplankton productivity in the Lower Hudson Estuary. *Est. and Coastal Mar. Sci.* **5**: 157-171.
- 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. pp. 301-319.
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford. 173 p.
- Poole, H.H. and W.R.G. Atkins. 1929. Photo-electric measurement of submarine illumination throughout the year. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **16**: 297-324.
- Redfield, A.C., B.H. Ketchum and F.A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. In, The Sea, M.N. Hill (ed.). Vol. 2., Inter Science, pp. 26-77.
- Shim, J.H. 1980. Biological oceanography of the Gamagyang Bay - the Yeoja Bay water system (I). *J. Oceanol. Soc. Kor.* **15**: 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**: 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**: 37-54.
- Shim, J.H. and Y.C. Park. 1986. Primary productivity measurement using carbon-14 and nitrogenous nutrient dynamics in the southeastern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **21**: 13-24.
- Shim, J.H. and H.G. Yeo. 1988. Spatial and temporal variations of phytoplankton in Chonsu Bay. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **23**: 130-145.
- Shim, J.H., H.G. Yeo and Y.K. Shin. 1991. Ecological effect of thermal effluent in the Korean coastal waters. I. Sig-

- nificance of autotrophic nano and picoplankton in the adjacent waters of Kori Nuclear Power Plant. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **26**: 77-82.
- Shim, J.H. and S.J. Yoo. 1985. Phytoplankton community of the coast of Kunsan, Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **20**: 31-42.
- Shin, Y.K. 1989. A study on the Planktonic production structure and energy flux in the pelagic ecosystem of Chonsu Bay, Korea. Ph.D. thesis. Seoul National Univ., Seoul. 146 p.
- Shin, Y.K., J.H. Shim, J.S. Jo and Y.C. Park. 1990. Relative significance of nanoplankton in Chonsu Bay: Species composition, abundance, chlorophyll and primary productivity. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **25**: 217-228.
- 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.
- Steemann-Nielsen, E. 1952. The use of radiocarbon (C-14) for measuring organic production in the sea. *J. Coast. Int. Explor. Mer.* **18**: 117-140.
- Steemann-Nielsen, E. 1975. Marine photosynthesis with special emphasis on the ecological aspects. Elsevier scientific publishing company, Amsterdam. pp. 16-18.
- Steemann-Nielsen, E. and E.G. Jorgensen. 1962. The algae. I. General part. *Physio. Plant.* **21**: 401-413.
- Stockner, J.G. and N.J. Antia. 1986. Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems: A multidisciplinary perspective. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* **43**: 2472-2503.
- Takahashi, M., K. Kikuchi and Y. Hara. 1985. Importance of picocyanobacteria biomass (unicellular, blue-green algae) in the phytoplankton population of the coastal waters off Japan. *Mar. Biol.* **89**: 63-69.
- Walsh, J.J. 1976. Models of the sea. In, The Ecology of the Sea. D.H. Chshing and J.J. Walsh (eds.). Blackwell Sci. Publ. Oxford. pp. 389-446.
- 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.
- Yentsch, C.A. and J.H. Ryther. 1959. Relative significance of the netplankton and nanoplankton in waters of Vineyard Sound. *J. Cons. Perm. int. Explor. Mer.* **24**: 231-238.
- Yoo, J.S., Y.H. Kim and I.K. Lee. 1991. Recolonization of the disturbed benthic algal community in Incheon Dock. *Korean J. Bot.* **34**: 165-173.
- Yoo, S.A. 1990. An ecological study of marine algae of Incheon Dock. *Thesis Coll. Paejae Univ.* **3**: 109-138.

(1992. 8. 7 接受)