

전남 갈곡천과 인천강 하구역의 식물플랑크톤의 분포 및 현존량

이옥민* · 유미선 · 이병인 · 임안숙

(경기대학교 생물학과)

The Distribution and Standing Crop of Phytoplankton at the Estuaries of Galgok Stream and Incheon River in Jeollanam-do

Ok-Min Lee*, Mi-Sun Yoo, Byung In Lee and An Suk Lim

Department of Biology, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea

Species composition, standing crop and dominant species of phytoplankton were investigated at 6 sites of Galgok stream and Incheon river which run into Gomso Bay, Jeollanam-do in April, August and November 2007. Total of 210 taxa were found which were classified as 6 classes, 12 orders, 25 families, 66 genera, 177 species, 27 varieties, 5 forms and 1 unidentified species. These river and stream had lower concentration of T-N and T-P compared to that of others; however, the site 2 of Galgok stream in summer was hypertrophic in T-P and also near hypertrophic in T-N, and the site 1 in Incheon river during fall appeared to be hypertrophic in T-N, and the site 3 in summer showed near hypertrophic level in T-P. Determining the trophic status of the water quality based on chlorophyll a (chl-a), the site 3 of Galgok stream in spring and the site 3 of Incheon river in fall were oligotrophic; moreover, 6 sites including the site 2 and 3 of Galgok stream in summer were mesotrophic, and 9 sites including all sites of Galgok stream in fall turned out to be eutrophic. Particularly, the site 1 of Galgok stream in summer was hypertrophic, having 58.19 mg chl-a m⁻³. There was a conspicuous difference between two values of standing crops based on chl-a and cell counting. This discrepancy may have occurred because of abundant cyanophytes and exclusion of picoplankton cells in cell counting. In the study, 5 cyanophytes, *Synechocystis aquatilis*, *Microcystis aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *Oscillatoria angustissima*, *O. limnetica* and 2 diatoms, *Thalassiosira bramptonae* and *Navicula viridula* var. *rostellata* were abundant. Based on the T-N, T-P values, standing crops and cell counting in Galgok stream and Incheon river were between mesotrophic and eutrophic conditions.

Key Words: cell counting, chlorophyll a, dominant species, Galgok stream, Incheon river, standing crop, trophic status

서 론

내륙 하천과 바다가 만나는 지점에 위치한 연안하구는 내륙으로부터 영양물질의 유입이 많은 수역이며, 따라서 일차 생산자인 식물플랑크톤의 수화현상이 빈번히 보고된다. 식물플랑크톤의 대발생은 이들이 가진 독소뿐만 아니라 자신들의 생장도 제한되어 국부적인 산소의 고갈을 가져오으로써 생태계의 파괴를 가져온다. 또한 식물플랑크톤은 수질의 변화에 따라 종 분포와 군집의 구조가 변화하므로 수질을 평가하기 위한 도구로 사용될 수 있다(Stoermer and Ladewski

1978). 그리고 식물플랑크톤의 생물지표종과 우점종을 파악함으로써 수질의 영양 상태를 파악하기도 하며 (Palmer 1980; Reynolds 1984; Yang and Dickman 1993), 특히 현존량은 수화현상을 예보하기 위한 중요한 수단이 되고 있다 (James 1979; Whitton 1979).

국내의 연안하구 수역에 대한 연구를 살펴보면, 한강을 비롯하여 섬진강, 낙동강, 금강, 영산강, 아산만 등에 대하여 식물플랑크톤의 분포 및 현존량에 대하여 연구된 바 있다(이와 양 1997; 신과 김 2002; 신과 전 2002; 신 등 2002; 김 2003; 정 등 2004; 신 등 2005). 이들의 연구를 통하여 국내 연안 하구 수역의 식물플랑크톤의 현존량은 일정한 계절적인 추이를 나타내지 않았고, 각 수역의 영양염의 증감에 따라 식물플랑크톤의 현존량의 변동을 나타냈다. 또한 기초생

*Corresponding author (omlee@kyonggi.ac.kr)

산량을 적절하게 유지하여 생태계를 보존하기 위해서는 동식물플랑크톤에 대한 기초적인 조사와 아울러 생물들 간의 상호작용에 대한 연구 등이 필요한 실정이다(신 등 2005).

본 연구에서는 서해안의 곰소만 유입 하천인 갈곡천과 인천강을 대상으로 식물플랑크톤의 분포 및 현존량과 환경요인을 조사하고, 생물지표종과 우점종의 연구를 통하여 하구역으로 유입되는 내륙하천과 하구역의 수질상태를 파악하며 계절별 영양염의 변동 및 수화현상을 예측하고자 하였다. 이를 통하여 곰소만 하구 생태계의 보존을 위한 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

서해안 곰소만의 유입하천 중 하나인 갈곡천은 방문산과 방장산에서 발원하여 고창군 부안면 수동리에서 곰소만으로 유입되는 하천이다. 이와 같이 바다에 인접한 내륙 하천은 영양물질의 유입이 많고, 유속이 느리므로 수화현상의 발생 빈도가 높게 나타난다(신 등 2005). 곰소만 유입하천 중 하나인 인천강은 전라남도 장성군 일대에서 발원한 고수천과 전라남도 장성군 삼계면과 고창군 무장면 일대에서 발원한 주진천 등이 합류되어 형성된 유로연장 30 km의 하천이다. 하천 유역은 대개 구릉지대로서 논농사 지역으로 이용되고 있다. 인천강은 짧은 유로연장과 하천 상류 저수지의 축조에 의한 유량의 감소 등으로 인하여 수질 오염에 대한 자정능력이 약화되었다.

갈곡천과 인천강의 총 6개 정점에 대하여 2007년에 계절별로 총 3회의 식물플랑크톤의 채집과 환경요인의 측정을 실시하였다. 갈곡천 수역의 채집 정점 1은 신림면 세곡리 신림저수지이며, 정점 2는 신림면 사창리의 제방 상류지점이다. 정점 3은 신림면 사포리에 위치하였다. 인천강의 정점 1은 고창군 아산면 운곡리의 운곡저수지의 수문 앞이며, 정점 2는 아산면 반암리 인근 지점이다. 그리고 정점 3은 심원면 선운리 인근 지점이다(Fig. 1).

수온과 pH 그리고 DO는 Navi® D-55(Horiba, Japan)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 총인(TP)과 총 질소(TN)의 측정은 자외선 흡광도법과 아스코르빈산 환원법(환경부 1996)을 이용하여 측정하였으며, COD는 COD_{cr} 환원법으로 측정하였다(APHA 1998). 엽록소 a의 농도는 현장에서 채수한 시료를 냉장 처리한 후 200 mL의 시료를 Whatman GF/C Filter로 여과하고, 이 여과지를 막자사발로 마쇄하고, 아세톤으로 용해하여 색소를 추출한 후 파장 630 nm, 663 nm, 645 nm, 750 nm에서 흡광도를 측정하여 산출하였다(APHA 1998). 세포수 계수에 의한 현존량 측정을 위해 포르말린 20 mL로 처리한 시료 1 L를 24시간 이상 정치한 후, 상등액을 제거하고 남은 시료를 균일하게 섞어 준 뒤

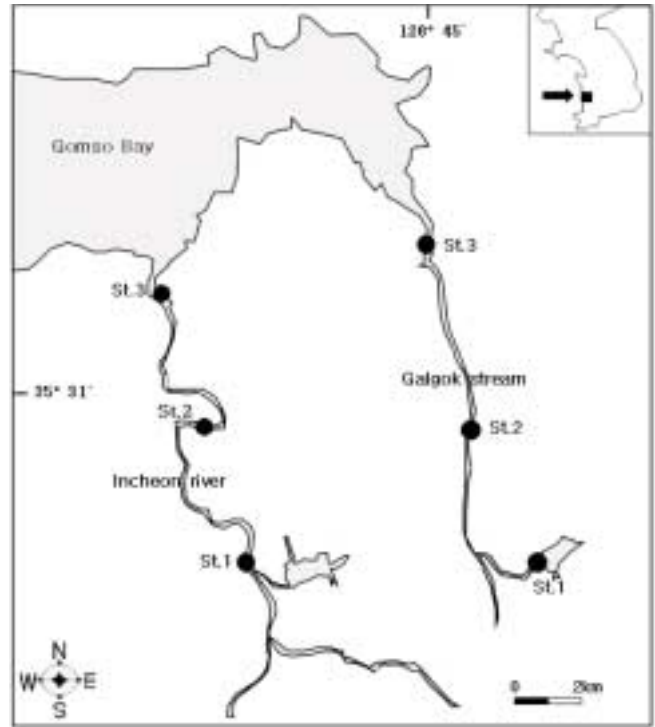


Fig. 1. The sampling sites of Galgok stream and Incheon river in Jeollanam-do from Apr. to Nov. 2007.

Sedgwick-Rafter chamber에 1 mL을 넣고 도립현미경(Olympus IX 70, Japan)을 이용하여 400배 하에서 계수하였다. 이 때 각 시료 당 5회씩 반복하여 계수한 후 평균값을 산출하였다. 부착성 조류는 채집 정점의 수생식물이나 물에 잠겨있는 돌과 육상식물 등을 훑어내는 방법으로 채집하여 침전시킨 후 농축된 시료를 관찰하였으며(Sournia 1978), 부유성 조류는 상층부 수심 50 cm에서 채수하였다. 규조류는 Lee et al.(1994)에 따라 시료를 전 처리한 후 분석하였다. 각 수역에서 출현한 식물플랑크톤 중 규조강은 Simonsen의 분류체계(Ettl et al. 1986)에 따랐고, 그 외의 분류군은 Hirose et al.(1977)을 참고하여 정리하였으며, 정(1993) 그리고 Prescott(1962), Patrick과 Reimer(1966, 1975) 등을 참조하였다.

결과 및 고찰

이화학적 환경요인

갈곡천 수역의 3개 정점에서 조사된 이화학적 환경요인은 다음과 같다. 수온은 최저 11.2(추계 정점 3)에서 최고 26.1°C(하계 정점 1)로 측정되었으며, pH는 최저 7.3(하계 정점 2)에서 최고 9.7(하계 정점 1)로 측정되었다. DO의 최저값은 하계의 정점 2의 6.40 mg L⁻¹로 나타났으며, 최고값은 추계의 정점 1에서 11.92 mg L⁻¹로 나타났다. 탁도는 최저 6.9 NTU에서 최고 20.1 NTU로 나타났다. 그리고 COD_{cr}은

Table 1. The physico-chemical factors at 6 sites of Galgok stream and Incheon river in Jeollanam-do from Apr. to Nov. 2007

Date	Site	WT (°C)	pH	DO (mg L ⁻¹)	COD _{cr} (mg L ⁻¹)	Turbidity (NTU)	T-N (mg L ⁻¹)	T-P (μg L ⁻¹)
Apr. 2007	Galgok #1	13.8	7.7	10.09	-	-	-	-
	Galgok #2	14.9	7.5	10.12	-	-	-	-
	Galgok #3	14.7	8.2	12.54	-	-	-	-
	Incheon #1	15.6	8.4	12.20	-	-	-	-
	Incheon #2	20.4	7.3	11.72	-	-	-	-
	Incheon #3	18.7	8.2	12.31	-	-	-	-
Aug. 2007	Galgok #1	26.1	9.7	11.02	15.4	20.1	0.79	70.51
	Galgok #2	23.2	7.3	6.40	5.3	11.8	1.42	170.03
	Galgok #3	25.1	7.5	7.02	7.8	16.6	0.62	87.48
	Incheon #1	24.2	7.2	6.30	4.8	16.1	0.75	63.90
	Incheon #2	23.0	7.2	6.04	4.6	19.4	0.81	46.49
	Incheon #3	24.1	7.4	6.04	6.6	76.4	0.77	127.05
Nov. 2007	Galgok #1	15.3	8.4	11.92	20.4	8.8	0.90	17.18
	Galgok #2	13.3	7.4	11.02	8.1	6.9	0.91	31.87
	Galgok #3	11.2	7.6	10.41	6.4	8.8	1.03	39.89
	Incheon #1	15.3	8.7	15.93	5.7	7.5	1.65	83.62
	Incheon #2	13.5	7.8	10.82	5.9	19.1	1.43	55.48
	Incheon #3	16.9	7.8	10.36	12.1	16.6	1.43	69.48

추계의 정점 1에서 가장 높은 수치인 20.4 mg L⁻¹로 나타났으며, 가장 낮은 수치는 하계의 정점 2에서 5.3 mg L⁻¹로 나타났으며(Table 1). 총 질소의 농도는 하계의 정점 3에서 가장 낮은 값인 0.62 mg L⁻¹로 나타났으며, 가장 높은 값은 하계의 정점 2에서 1.42 mg L⁻¹로 나타났다. 총 인 농도의 최저값은 추계의 정점 1에서 17.18 μg L⁻¹로 나타났으며, 최고값은 하계의 정점 2에서 170.03 μg L⁻¹로 나타났다. 이러한 수치는 Forsberg와 Ryding(1980)이 제시한 기준인 총 질소 1.5 mg L⁻¹과 총 인 100 μg L⁻¹가 수질의 과영양화 단계로 볼 때 하계 정점 2가 총 인에서 과영양화단계이며 총 질소도 과영양 단계에 가까운 값을 나타냈다.

인천강 하류지역 3개의 정점에서 계절별로 조사된 수온, DO, COD, pH, 탁도, 총질소의 농도 그리고 총인의 농도 등의 이화학적 환경요인은 다음과 같다. 수온은 춘계에 15.6-20.4°C로 나타났고, 하계에는 23.0-24.2°C로 나타났으며, 추계에는 13.5-16.9°C로 나타났다. pH는 최저 7.2(하계 정점 2와 정점 3)에서 최고 8.7(추계 정점 1)로 측정되었다. 따라서 본 수역은 대체로 알칼리성 수역인 것으로 나타났다. DO는 하계의 정점 2와 정점 3에서 가장 낮게(6.04 mg L⁻¹) 나타났으며, 추계의 정점 1에서 가장 높게(15.93 mg L⁻¹) 나타났다. 탁도는 최저 7.5 NTU(추계 정점 1)에서 최고 76.4 NTU(하계 정점 3)로 나타났다. 그리고 COD_{cr}은 추계 정점 3에서 가장 높은 수치인 12.1 mg L⁻¹로 나타났으며, 하계의 정점 2에서 가장 낮은 수치인 4.6 mg L⁻¹로 나타났다. 총 질소의 농도는 하계의 정점 1에서 가장 낮게(0.75 mg L⁻¹) 나타났으며, 추계의 정점 1에서 가장 높게(1.65 mg L⁻¹) 나타

났다. 총 인의 농도는 하계의 정점 2에서 46.49 μg L⁻¹로 나타났으며, 하계의 정점 3에서 127.06 μg L⁻¹로 나타나 두 정점 간의 차이가 매우 큰 것으로 나타났다(Table 1). Forsberg와 Ryding(1980)이 제시한 기준에 비추어 추계 정점 1에서 총 질소가 과영양단계로 나타났고, 하계 정점 3은 총 인에 있어서 과영양 수준을 나타냈다(Table 1).

영산강의 경우 하류보다 상류에서 높은 농도의 영양염을 갖는 것으로 나타났으며, 금강 하구역에서는 전체적으로 겨울에 높게 나타났으며(환경부 2004; 신 등 2005). 본 연구에서는 갈곡천의 총 질소의 양은 정점 2를 제외한 2개 정점에서 하계보다 추계에서 더 높은 값을 나타냈으며, 총 인은 모든 정점에서 추계보다 하계가 높은 것으로 나타났다. 인천강의 총 질소는 하계보다 추계에 높게 나타났다.

낙동강 하류수역인 남지읍과 물금읍 사이의 총 질소는 3.2-4.0 mg L⁻¹이며, 총 인은 130-160 μg L⁻¹로 나타났다(이 등 2002). 또한 한강 하류수역인 총 질소는 2.5-12.5 mg L⁻¹이며, 총 인은 10-1,000 μg L⁻¹으로 나타났다(정 등 2003). 시화호의 인공습지 개방수에 관한 연구에서는 총 질소가 2.2-30.6 mg L⁻¹이고, 총 인은 100-1,500 μg L⁻¹로 나타났다(김 2005). 본 연구수역의 총 질소와 총 인의 농도는 위의 수역과 비교할 때 비교적 낮은 것으로 나타났다.

출현종 목록

갈곡천과 인천강 수역으로부터 출현한 식물플랑크톤은 5문 6강 12목 5아목 25과 2아과에 속하는 66속 177종 27변종 5품종 1 미동정종인 총 210분류군으로 나타났다

(Appendix).

갈곡천 수역으로부터 출현한 식물플랑크톤은 5문 5강 10목 4아목 21과 2아과 56속에 속하는 138종 22변종 4품종 1미동정종 등 총 165 분류군으로 나타났다. 문별 출현 분류군을 보면 황갈조식물문의 규조강이 1강 2목 3아목 7과 23속 63종 10변종의 73분류군이 출현하여 가장 많은 출현 분류군을 나타냈으며, 다음으로는 1강 4목 10과 22속 50종 10변종 4품종의 64분류군이 출현한 녹조식물문으로 나타났다. 그리고 남조식물문은 1강 2목 2과 8속 17종 2변종의 19분류군이 출현하였으며, 1분류군의 와편모식물과 7분류군의 유글레나식물이 출현하였다(Appendix). 따라서 본 수역도 국내의 다른 하구역 수계에서와 마찬가지로(권 등 2001; 이 등 2002; 정 등 2003) 규조류와 녹조류의 서식이 용이한 것으로 나타났다. 인천강 수역으로부터 출현한 식물플랑크톤은 4문 5강 10목 5아목 19과 1아과 50속 112종 12변종 4품종 1미동정종 등 총 129 분류군으로 밝혀졌다(Appendix). 출현분류군을 문별로 정리하면, 남조식물문이 1강 2목 3과 10속 18종 2변종의 총 20분류군이 출현하였다. 황갈조식물문의 규조강은 2목 7과 24속 59종 8변종의 67분류군이 출현하여 가장 많은 출현 분류군 수를 나타냈으며, 황색편모조강이 1속 2종이 출현하였다. 유글레나식물문은 1과 2속 4종 1미동정종의 5분류군이 출현하였으며, 녹조식물문은 1강 4목 7과 13속 29종 2변종 4품종의 35분류군이 출현하였다.

일반적인 국내 연안의 하구역의 식물플랑크톤의 종 구성을 비교해 보면 섬진강, 한강하구와 낙동강 등에서는 규조류가 가장 높은 비율로 나타났다(권 등 2001; 이 등 2002; 정 등 2003). 본 연구 결과에서도 총 출현분류군 중 규조류가 가장 많은 분류군을 나타냈다.

현존량

갈곡천의 계절별 각 정점의 엽록소 a 농도 분석에 의한 식물플랑크톤 현존량 측정 결과 최고값은 하계 정점 1에서 58.19 mg m^{-3} 으로 나타났으며, 최저값은 춘계 정점 3의 0.85 mg m^{-3} 으로 나타났다. 세포수 계수에 의한 식물플랑크톤의 현존량 측정 결과는 춘계 정점 2의 $0.8 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$ 로 가장 낮은 값으로 나타났으며, 하계 정점 3의 $10.0 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$ 로 가장 높은 현존량 값으로 나타났다. 인천강 수역의 엽록소 a 농도 분석에 의한 식물플랑크톤 현존량 측정 결과, 최저값은 추계 정점 3의 1.65 mg m^{-3} 로 나타났으며, 최고값은 춘계 정점 2의 21.9 mg m^{-3} 로 나타났다. 세포수 계수에 의한 식물플랑크톤의 현존량 측정 결과는 춘계의 정점 1에서 $0.6 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$ 로 가장 적은 값을 나타냈으며, 하계의 정점 3에서 $9.5 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$ 로 가장 높은 현존량 값을 나타냈다.

Forsberg and Ryding(1980)이 제시한 엽록소 a 기준치와 비교하면 인천강과 갈곡천의 엽록소 a에 따른 현존량은 춘계

갈곡천의 정점 3과 인천강 추계 정점 3은 빈영양수역에 해당하고, 중영양수역에 해당하는 정점은 갈곡천의 하계 정점 2와 3을 포함한 6개 정점이며, 부영양수역은 갈곡천 추계 정점 전부를 포함한 9개 정점에서 나타났다. 특히 갈곡천 하계 정점 1은 58.19 mg m^{-3} 로서 과영양단계를 나타냈다(Fig. 2).

각 하구역 별 조사된 엽록소 a 농도의 최고치를 비교하면 아산만 하구역이 하계에 $171.2\text{--}339.4 \text{ mg m}^{-3}$ 로 가장 높은 값을 나타냈고, 낙동강과 한강 등도 90.0 mg m^{-3} 정도의 최고치를 나타냄으로써 비교적 높은 값을 나타냈다(신 등 2005). 본 조사수역인 갈곡천(58.19 mg m^{-3})과 인천강(21.9 mg m^{-3})의 최고치는 50.0 mg m^{-3} 에 가까운 최고치를 나타낸 영산강과 금강의 엽록소 a 농도와 유사하게 나타났다.

섬진강 수역의 조사에서 엽록소 a는 20.0 mg m^{-3} 을 나타냄으로써 비교적 낮은 농도로 나타났다(신 등 2005). 국내의 연안 하구에서의 엽록소 a에 따른 현존량을 비교해 보면, 섬진강 하구의 경우 하계보다는 추계에, 그리고 동계보다는 춘계에 더 높은 현존량을 나타냈다. 한강수역에서도 현존량은 춘계에 가장 높은 값을 나타냈으며, 하계에는 감소하였다(정 등 2004). 그러나 낙동강에서는 동계에 가장 높은 현존량을 나타내기도 하였으며(신 등 2005), 영산강에서는 춘계에 가장 높은 엽록소 a의 농도를 나타냈고, 동계에 가장 낮은 농도를 나타낸 바 있다. 또한 금강 하구에서는 조사 정점에 따라 동계, 춘계, 또는 하계가 가장 높은 값을 나타내는 등 뚜렷한 현존량의 계절적 추이를 찾을 수 없었다(신 등 2005). 이와 같이 하구역의 엽록소 a에 따른 현존량은 뚜렷한 계절적 추이를 찾기 어렵고 이는 하구역의 특성상 영양염의 농도 증감이 큰 변동을 나타내는 것과 일치하는 것으로 사료된다.

세포수 계수에 의한 현존량 측정결과는 동계에 최고치를 나타낸 갈곡천의 정점 1을 제외하고 모든 정점에서 하계에 최고치를 나타냈다. 대체로 $5 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$ 이상의 개체수를 나타낼 때 수화현상이 발생한 수역으로 간주된다(Horne and Goldman 1994). 따라서 조사된 인천강과 갈곡천 수역 중 하계의 갈곡천 정점 3과 인천강 정점 3, 그리고 추계의 갈곡천 정점 1이 수화현상을 나타냈다.

또한 엽록소 a 농도와 세포수 계수에 의한 현존량을 비교하면 서로 일치하지 않았다(Fig. 2). 갈곡천에서는 정점 3을 제외한 2개 정점에서 상이한 결과를 나타냈다. 인천강 수역에서는 엽록소 a의 농도는 정점 1과 2의 경우 춘계에 가장 높은 값을 나타냈으며, 하계에는 감소하는 결과를 보였으나, 정점 3에서는 하계에 증가하였다. 그러나 세포수 계수의 결과는 모든 정점에서 하계에 증가하였다. 이러한 차이는 각 정점의 우점종으로 나타난 *Synechocystis aquatilis*, *Microcystis flos-aquae*, *Oscillatoria limnetica* 등 남조류의 비율이 높은 결과로 사료된다(Table 2). 또한 남조류의 비율이 낮을수록 엽

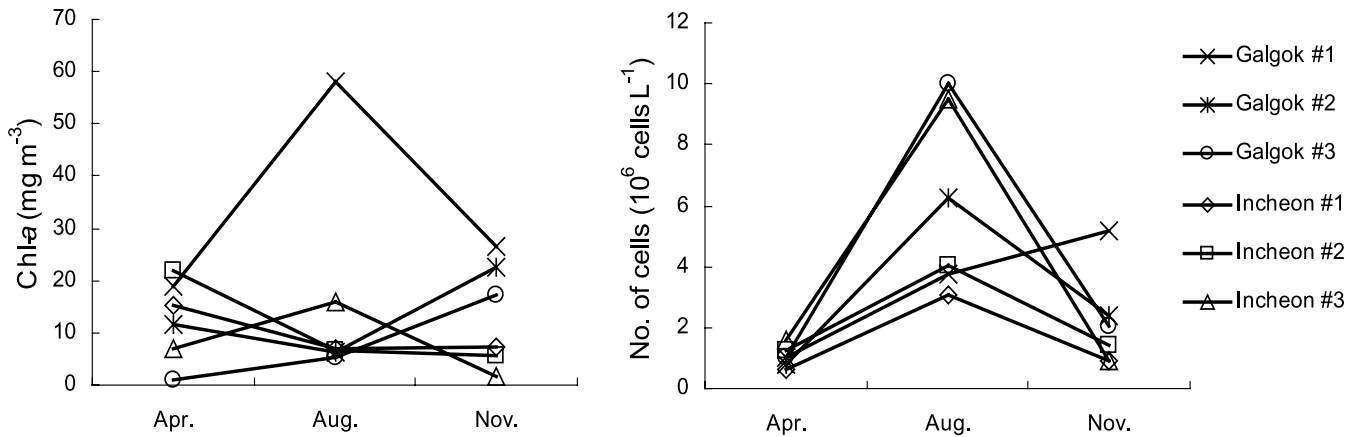


Fig. 2. Seasonal dynamics of standing crops through chl-a concentration (a) and the number of cells (b) of phytoplankton at 6 sites of Galgok stream and Incheon river from Apr. to Nov. 2007.

Table 2. The cell numbers and percentages of dominant species of phytoplankton at 6 sites of Galgok stream and Incheon river from Apr. to Nov. 2007

Sites	Apr. 2007			Aug. 2007			Nov. 2007		
	Dominant Species	%	cells L ⁻¹	Dominant Species	%	cells L ⁻¹	Dominant Species	%	cells L ⁻¹
Galgok #1	<i>Synechocystis aquatilis</i>	12	125,926	<i>Microcystis aeruginosa</i>	86	3,240,238	<i>Oscillatoria angustissima</i>	54	2,792,366
Galgok #2	<i>Synechocystis aquatilis</i>	17	136,591	<i>Synechocystis aquatilis</i>	52	3,255,200	<i>Oscillatoria angustissima</i>	67	1,616,504
Galgok #3	<i>Synechocystis aquatilis</i>	48	491,586	<i>Synechocystis aquatilis</i>	44	4,402,200	<i>Oscillatoria angustissima</i>	68	1,404,169
Incheon #1	<i>Synechocystis aquatilis</i>	14	85,734	<i>Synechocystis aquatilis</i>	20	619,706	<i>Microcystis flos-aquae</i>	65	603,000
Incheon #2	<i>Synechocystis aquatilis</i>	50	628,843	<i>Synechocystis aquatilis</i>	23	922,477	<i>Oscillatoria limnetica</i>	51	720,689
Incheon #3	<i>Thalassiosira bramptonae</i>	37	588,393	<i>Synechocystis aquatilis</i>	23	2,178,797	<i>Navicula viridula</i> var. <i>rostellata</i>	10	88,230

록소 a 농도와 세포수 계수에 의한 현존량이 일치함을 나타냈다는 연구도 있다(박 등 2006). 중영양호인 팔당호와 토교저수지에서 극소형(< 3 μm)의 개체들이 많은 경우 엽록소 a와 개체 수간의 상관관계가 유의하지 않다는 결과가 보고된 바 있으며(한 등 2002), 엽록소 a와 세포수 계수에 의한 현존량은 극소형에 있어서는 서로 일치하지 않음이 보고된 바 있다(Takamura and Yukihidro 1994). 또한 세포의 크기에 따라 그리고 종에 따라 엽록소 a 양이 다르며(Jiménez et al. 1987; Odata and Yamada 1993), 세포수 계수 시 포함되지 못하는 미소플랑크톤의 영향으로 판단된다(Larsson and Hagatrom 1982).

우점종 및 지표종

두 수역에서 출현한 식물플랑크톤 중 가장 높은 출현빈도를 보인 우점종은 *Synechocystis aquatilis*, *Microcystis aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *Oscillatoria angustissima*, *O. limnetica* 등 5분류군의 남조식물과 *Thalassiosira bramptonae*와 *Navicula viridula* var. *rostellata* 등 2분류군의 규조류를 포함한 7분류군으로 나타났다(Table 2).

또한 Palmer(1980)에 의거하여 갈곡천의 전체 165 분류군의 식물플랑크톤 중 *Oscillatoria limosa*를 포함한 15분류군의 식물플랑크톤은 오염수역을 지표하는 분류군이며, *Cyclotella comta*, *Fragilaria construens*, *Chlamydomonas globosa* 등 3분류군은 이취미를 발생하는 물질을 분비하는 분류군들이다. 그리고 하계의 정점 1에서 출현한 *Microcystis aeruginosa*와 *M. flos-aquae*는 유해 독성물질을 분비하는 분류군들이다. 인천강 수역에서 *Phormidium inundatum*, *Surirella splendida* 그리고 *Cladophora glomerata*은 청정수역을 지표하는 분류군으로서 하계의 정점 1로부터 출현하였다. 그리고 오염수역을 지표하는 분류군은 *Oscillatoria limosa*를 포함하여 13분류군이 출현하였으며, 이취미를 내는 분류군인 *Cyclotella comta*가 하계의 정점 3로부터 출현하였다. 그리고 추계의 정점 1과 2에서 독성물질을 분비하는 분류군인 *Microcystis aeruginosa*가 출현하였으며, 하계와 추계의 정점 1로부터 *M. flos-aquae*가 출현하였다(Table 3).

대부분의 채집 정점에서 오염수역에 출현하는 분류군이 다수로 출현하였으며, 이취미를 발생하는 물질을 분비하는 분류군과 독성물질을 분비하는 분류군이 출현한 점을 미루

Table 3. The indicators of phytoplankton at 6 sites of Galgok stream and Incheon river from Apr. to Nov. 2007

	Species	Sites(season*)
Clean water algae	<i>Coccones placentula</i>	G2(Sp)
	<i>Cladophora glomerata</i>	G1(Sp), I1(Sp)
	<i>Phormidium inundatum</i>	I1(Su)
	<i>Surirella splendida</i>	I1(Su)
Water pollution algae	<i>Oscillatoria limosa</i>	G2(Sp), G3(Sp), I1(F)
	<i>O. tenuis</i>	G1(Sp), G2(Sp), G3(Su,F), I1(Sp,F), I2(Su)
	<i>Phormidium autumnale</i>	I2(Sp)
	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	G1(Su), G2(F), G3(Su), I1(Su,F), I2(F)
	<i>Melosira varians</i>	G1(Sp,Su,F), G2(Sp,Su,F), G3(Sp,Su,F), I1(Sp,Su,F), I2(Sp,Su,F), I3(Sp, Su)
	<i>Synedra acus</i>	G1(Sp), I1(Su,F), I2(Sp,F)
	<i>S. ulna</i>	G1(Su,F), G2(Sp,Su,F), G3(Sp,Su,F), I1(Sp,Su), I2(Sp,Su,F), I3(F)
	<i>Gomphonema parvulum</i>	G1(Sp), G2(Sp,Su,F), G3(Su,F), I1(Sp,Su,F), I2(Su), I3(Sp)
	<i>Navicula cryptocephala</i>	G1(Sp,Su,F), G2(F), G3(Sp,Su,F), I1(Sp,Su), I2(Sp,Su)
	<i>Hantzschia amphioxys</i>	G1(Sp), G2(Su), G3(Sp,Su), I1(Su), G1(Sp)
	<i>Nitzschia palea</i>	G1(F), G2(Sp,Su,F), G3(Sp,F), I1(Sp,Su,F), I2(Sp,Su,F), I3(Sp)
	<i>Euglena viridis</i>	G3(Sp)
	<i>Eudorina elegans</i>	G3(Sp)
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	G1(Su,F), G3(F), I1(Su), I2(F)
	<i>Chlorella vulgaris</i>	G1(F), G2(F), G3(Sp)
<i>Coelastrum microporum</i>	G1(Su,F), G2(Su,F), G3(Sp,Su), I1(F)	
Taste and odor	<i>Cyclotella comta</i>	G1(Sp), G2(Sp), I3(Su)
	<i>Fragilaria construens</i>	G1(Su)
	<i>Chlamydomonas globosa</i>	G3(Sp)
Toxic algae	<i>Microcystis aeruginosa</i>	G1(Su), I1(F), I2(F)
	<i>M. flos-aquae</i>	G1(Su), I1(Su,F)

*Sp: spring, Su: summer, F: fall

어 볼 때 인천강과 갈곡천 수역은 수질오염이 심화될 때 수화현상이 야기될 수 있는 수역으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립문화재연구소의 석조문화재 손상제어기술 연구 과제(08B011Y-00140-2008)와 경기대학교 학술연구비(연구그룹과제)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

국립환경과학원. 1993. 호소 만입부에서의 조류대량증식 제어기술 개발(Ⅲ). pp. 60-67.
 권기영, 이평강, 박철, 문창호, 박미옥. 2001. 섬진강 하구역에서 염부경사에 따른 동·식물 플랑크톤의 현존량 및 종조성. 한국해양학회지 6: 93-102.
 김용재. 2003. 영산강의 식물플랑크톤 군집 동태. 한국조류학회지 18: 207-215.
 김용재. 2005. 하천수(반월천, 동화천, 삼화천)의 시화인공습지 관류에 따른 개방수에서 식물플랑크톤 군집 동태. 한국육수학회지 38: 403-411.
 박정훈, 문병렬, 이옥민. 2006. 수원시 수계에 분포하는 식물플랑크

톤의 종조성 및 영양단계. 한국조류학회지 21: 217-228.
 신성교, 백경훈, 송미경. 2002. 낙동강 중 하류수역에서 클로로필 a 최대농도 출현지역 평가. 한국육수학회지 35: 21-27.
 신용식, 이창희, 조기안, 송은숙. 2005. 국내 연안 하구역의 식물플랑크톤 생체량(Chlorophyll a) 및 수질 동향. 한국육수학회지 38: 160-180.
 신윤근, 김영길. 2002. 아산호의 생태학적 연구 2. 식물플랑크톤 군집 구조. 한국육수학회지 32: 187-197.
 신윤근, 전상호. 2002. 아산호의 생태학적 연구 1. 이화학적 특성과 영양상태. 한국육수학회지 35: 181-186.
 이용혁, 양재삼. 1997. 금강 하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분 변화에 대한 500일간의 연속관측. 한국해양학회지 6: 201-210.
 이정호, 권정남, 양상용. 2002. 낙동강의 식물플랑크톤 군집의 계절 변화. 한국조류학회지 17: 267-273.
 정승원, 이진환, 유중수. 2003. 한강하류의 환경학적 연구 V. 식물플랑크톤 군집 대발생의 특징. 한국조류학회지 18: 255-262.
 정승원, 이진환, 허희권. 2004. 한강 하류의 환경학적 연구 VI. 부영양 요인의 통계적 해석. 한국육수학회지 37: 78-86.
 정준. 1993. 한국담수조류도감. 아카데미출판사, 서울. 96 pp.
 한명수, 이후량, 홍성수, 김영옥, 이경, 최영길, 김세화, 유광일. 2002. 철원북방 DMZ 내의 중영양호 토교저수지의 생태학적 연구 V. 경안천(팔당호)과 토교저수지에서 식물플랑크톤의 크기별 현존량과 Chlorophyll a의 계절 변동. 환경생물학회지 20: 91-99.

- 환경부. 1996. 공정시험방법. 동화기술, 서울. 355 pp.
- 환경부. 2004. 하구역 생태계 정밀조사. 한강, 삼산천, 탐진강. 서울. 894 pp.
- APHA. 1998. *Standard method. For the examination of water and wastewater*. 20th. New York, 1220 pp.
- Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., and Mollenhauer, D. 1986. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2. Bacillariophyceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 876 pp.
- Forsberg O. and Ryding S.O. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waterreceiving lakes. *Arch. Hydrobiol.* **89**: 189-207.
- Hirose H.M., Akiyama T., Imahori K., Kasaki H. Kumano S., Kobayashi H., Takahashi E., Tsumura T., Hirano M. and Yamagishi T. 1977. *Illustrations of the Japanese freshwater algae*. Uchidarokakuho Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan, 932 pp.
- Horne A.J. and Goldman C.R. 1994. *Limnology*. McGraw-Hill, Inc. New York, pp. 457-475.
- James A. 1979. The value of biological indicators in relation to other parameters of water quality. In: James A. and Evison L. (eds). *Biological indicators of water quality*. John Wiley and Sons, N.Y. pp. 1-16.
- Jim nez F.J., Bautista R.B. and Rodriguez V. 1987. Relations between chlorophyll, phytoplankton cell abundance and biovolume during a winter bloom in Mediterranean costal water. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* **105**: 161-173.
- Lampert W. 1982. Further studies on the inhibitory effect of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* on the filtering rate of zooplankton. *Arch. Hydrobiol.* **95**: 207-220.
- Lasson U. and Hagatrom A. 1982. Fractionated phytoplankton primary production in Baltic eutrophication gradient. *Marine Biol.* **67**: 57-70.
- Lawton L.A. and Codd G.A. 1991. Cyanobacterial (Blue-green algal) toxins and their significance in U.K. and European waters. *J. Inst. Wat. and Env. Manag.* **5**: 460-465.
- Lee H.W., Lee S.M., Lee J.W., Park S.S. and Kang H.M. 1994. A study on phytoplankton flora in Sannam Reservoir and Daeam lake. *Environ. Problems Res. Ins. Kyungnam Univ.* **16**: 53-61.
- Odete T. and Yanada M. 1993. Phytoplankton carbon biomass estimated from the size-fractionated Chl-a concentration and cell density in the Northern Costal Wasters from Spring bloom to summer. *Bull. Plankton Soc. Japan* **39**: 127-144.
- Palmer C.M. 1980. *Algae and water pollution*. Castle Publication Ltd., UK, 213 pp.
- Patrick R. and Reimer C.W. 1966. *The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii, Vol. 1*. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, 688 pp.
- Patrick R. and Reimer C.W. 1975. *The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii, Vol. II part 1*. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, 213 pp.
- Persson P.E. 1982. Muddy odour: a problem associated with extreme eutrophication. *Hydrobiol.* **86**: 161-164.
- Prescott G.W. 1962. *Algae of the western great lakes area*. Otto Koeltz Science Publishers, Germany, 976 pp.
- Reynolds C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge Univ. Press, London, 384 pp.
- Sournia A. 1978. *Phytoplankton manual*. Unesco. UK, 337 pp.
- Stoermor E.F. and Ladewski T.B. 1978. *Phytoplankton association in Lake Ontario during IFYGL (International Field Year for the Great Lakes)*. Univ. Michigan, Great Lakes Res. Div. Publ., 64 pp.
- Takamura N. and Yukihidro N. 1994. Picophytoplankton biomass in relation to lake trophic state and the TN:TP ration of lake water in Japan. *J. Phycol.* **30**: 439-444.
- Whitton B.A. 1979. Algae & higher plants as indicators of river water quality. Chap. 5. In: James A. and Evison L. (eds.), *Biological indicators of water quality*. John Wiley and Sons, USA. pp. 5:1-34.
- Yang J.R. and Dickman M. 1993. Diatom as indicators of Lake Trophic Status in Central Ontario, Canada. *Diatom Res.* **8**: 179-193.

Received 4 October 2008

Accepted 20 November 2008

Appendix. (continued)

Species	Seasons			Galgok #1			Galgok #2			Galgok #3			Incheon #1			Incheon #2			Incheon #3			
	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov	
<i>Gyrosigma nodiferum</i>	+																					
<i>G. strigilis</i>					+				+				+	+	+	+	+	+			+	+
<i>Navicula bacillum</i>													+		+							+
<i>N. clementis</i>									+						+							
<i>N. cryptocephala</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+					
<i>N. cryptotenella</i>					+	+			+	+					+	+					+	
<i>N. cuspidata</i>				+	+				+						+							
<i>N. decussis</i>																					+	
<i>N. goeppertiana</i>								+							+						+	+
<i>N. gregaria</i>				+																	+	+
<i>N. protracta</i>								+													+	
<i>N. pseudolanceolata</i> var. <i>denselineolata</i>																						+
<i>N. pupula</i>					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						
<i>N. pupula</i> var. <i>capitata</i>					+																	
<i>N. pupula</i> var. <i>elliptica</i>															+							
<i>N. stroemii</i>									+													
<i>N. symmetrica</i>																					+	
<i>N. texana</i>								+		+											+	
<i>N. viridula</i> var. <i>rostellata</i>		+	+	+	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	D
<i>Neidium iridis</i>						+																
<i>Neidium iridis</i> var. <i>ampliatum</i>																						+
<i>Pinnularia acrosphaeria</i>				+				+														
<i>P. appendiculata</i>														+								
<i>P. gibba</i>	+									+												
<i>P. imperfecta</i>						+																
<i>P. microstauron</i>								+	+			+										
<i>Stauroneis anceps</i>																					+	
Fam. Nitzschiaceae																						
<i>Bacillaria paradoxa</i>									+													
<i>Hantzschia amphioxys</i>	+					+		+	+			+										
<i>Nitzschia amphibia</i>									+													
<i>N. closterium</i>																					+	
<i>N. constricta</i>					+			+	+	+											+	+
<i>N. dissipata</i>		+	+			+		+	+						+	+	+	+				+
<i>N. draveillensis</i>														+							+	
<i>N. obtusa</i>						+																
<i>N. palea</i>				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>N. terrestris</i>										+												+
Fam. Surirellaceae																						
<i>Surirella angusta</i>								+														
<i>S. lata</i>														+								
<i>S. minuta</i>					+			+	+		+				+	+						
<i>S. splendida</i>														+								
<i>S. tenera</i>								+							+						+	
Phylum DINOPHYTA																						
Cl. DINOPHYCEAE																						
Ord. PERIDINIALES																						
Fam. Peridiniaceae																						
<i>Peridinium marchicum</i>		+	+			+																
Phylum EUGLENOPHYTA																						
Cl. EUGLENOPHYCEAE																						
Ord. EUGLENALES																						
Subord. EUGLENINAE																						

Appendix. (continued)

Species	Seasons			Galgok #1			Galgok #2			Galgok #3			Incheon #1			Incheon #2			Incheon #3				
	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov	Apr	Aug	Nov		
<i>Crucigenia fenestrata</i>		+	+			+																	
<i>C. quadrata</i>										+				+									
<i>Tetrastrum minimum</i>		+																					
<i>Scenedesmus acuminatus</i>		+	+							+							+	+					
<i>S. acutiformis</i>						+											+						
<i>S. acutus</i>						+																	
<i>S. acutus</i> f. <i>costulatus</i>		+	+			+			+	+				+				+					
<i>S. arcuatus</i>			+																				
<i>S. armatus</i>						+			+														
<i>S. bicaudatus</i>																		+					
<i>S. brasiliensis</i>																		+		+			
<i>S. denticulatus</i>						+			+													+	
<i>S. ecornis</i>						+			+					+			+					+	
<i>S. incrassatus</i>																	+						
<i>S. intermedius</i>										+													
<i>S. longispina</i>						+				+													
<i>S. opoliensis</i>						+													+				
<i>S. protuberans</i> f. <i>pologranulatus</i>			+																				+
<i>S. quadricauda</i> var. <i>longispina</i> f. <i>granulatus</i>										+				+								+	
<i>S. quadricauda</i> var. <i>longispina</i> f. <i>regularis</i>																							+
<i>S. quadricauda</i> var. <i>maximus</i>																						+	
<i>S. spinosus</i>			+			+			+	+	+	+		+	+		+	+		+	+		
<i>S. spinosus</i> var. <i>bicaudatus</i>										+							+				+		
Fam. Desmidiaceae																							
Subfam. Closterieae																							
<i>Closterium diana</i>						+																	
<i>C. leibleinii</i>									+	+													
<i>C. venus</i>									+	+													
Subfam. Cosmarieae																							
<i>Cosmarium abbreviatum</i> var. <i>minor</i>			+			+																	
<i>C. angulosum</i>						+			+	+							+		+	+			
<i>C. circulare</i>																							
<i>C. costatum</i>																							
<i>C. globosum</i>																							
<i>C. globosum</i> f. <i>minor</i>																							
<i>C. granatum</i>																							
<i>C. humile</i>																							
<i>C. quadrum</i>																							
<i>C. rectangulare</i> var. <i>africanum</i>																							
<i>Cosmarium reniforme</i>																							
<i>C. subalatum</i>																							
<i>C. subcostatum</i>																							
<i>Euastrum denticulatum</i>																							
<i>Staurastum affine</i>																							
<i>S. cyclacanthum</i>																							
<i>S. dejectum</i>																							
<i>S. gemelliparum</i>																							
<i>S. hantzschii</i>																							
<i>S. laeve</i> var. <i>lativergens</i>																							
<i>S. orbiculare</i>																							
<i>S. punctulatum</i> var. <i>pygmaenum</i>																							
<i>S. taylorii</i>																							
Total taxa	22	45	65	41	36	54	50	35	30	26	37	53	34	34	45	12	15	10					

+: Occurrence in each site

D: Dominant species