

낙동강 하구 환경특성 및 식물플랑크톤의 군집구조에 관한 연구

문창호 · 최혜지
부산수산대학 해양학과

Studies on the Environmental Characteristics and Phytoplankton Community in the Nakdong River estuary

CHANG-HO MOON, AND HYE-JEE CHOI

Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-023

낙동강 하구둑 건설 후 하구역의 환경특성 및 식물플랑크톤의 군집구조에 관하여 1989년 4월부터 12월까지 조사하였다. 하구둑 건설 후 장림천의 영향을 직접받는 하구둑 바로 아래지역은 뚝 건설 전에 비하여 용존산소가 낮아지고 암모니아 및 인산염의 농도가 증가 하였으며 이는 뚝 건설 후 낙동강의 유입이 일시적으로 차단되어 물의 정체현상이 일어나고 이곳에 장림천을 통하여 많은 생활하수 및 공장폐수가 유입 되었기 때문으로 사료된다. 질산염과 규산염 농도는 염분과 높은 역상관 관계를 나타내어 이들의 주요 공급원은 낙동강 유입으로 판단되었다. 식물플랑크톤의 현존량은 춘계에는 하구둑 상류지역에서 *Asterionella sp.*가, 하계에는 하구에서 *Skeletonema costatum*의 bloom이 있었으며 뚝 건설 전에 비하여 녹조류 및 남조류가 증가하였다. 특히 하구둑 상부지역의 높은 엽록소 b의 농도는 이곳의 담수 녹조류에 기인한 것으로 사료되며 중요종의 상당한 부분이 오염지표종이었다. 하구둑 건설 후 환경특성 및 식물플랑크톤 군집의 변화가 일어나고 있는 것으로 사료된다.

After the completion of the Nakdong River estuary barrage, environmental characteristics and phytoplankton communities in the estuary were investigated from April to December, 1989. Dissolved oxygen seems to have decreased in the just lower region of the barrage off Janglim, while ammonia and phosphate concentration increased, probably due to the waste discharge from the Janglim stream and stagnation of water after the barrage construction. Concentrations of nitrate and dissolved silicate were negatively correlated with salinity, suggesting that major source is the Nakdong River discharge. In April, there was a diatom (*Asterionella sp.*) bloom in the upper region of the barrage, while in July, a diatom (*Skeletonema costatum*) bloom in the estuary mouth. The green and blue-green algae in species composition seem to have increased after the barrage construction. The relatively high concentration of chlorophyll b in the upper region of the barrage probably result from the high density of freshwater green-algae there. Among the species occurred in the study area, many were indicative of water pollution. It seems that environmental characters and phytoplankton communities are changing after the barrage construction.

서 론

하구는 담수와 해수의 특성이 혼합된 완충지대로 유동성이 큰 동적계로서 하천수를 통하여 공급되는 물질의 농도는 해수에 의하여 희석되는 정도에 따라

다르며, 이곳에 서식하는 식물플랑크톤은 하천수로부터 공급되는 영양염 및 부유물질의 공급에 따른 투명도, 그리고 수온, 염분 등의 영향을 받을 것이다. 한편 하구에서 일어나는 여러 생물·화학적 과정들은 하천수에서 공급되는 많은 유기·무기물질 등이

인접해안에 공급되는 정도를 결정하며(Kaul and Froelich, 1984), 하구의 순환 등 복잡한 물리적 요인들이 이러한 과정에 관여하고 있다. 그러므로 하구의 환경특성 및 식물플랑크톤의 연구는 이곳에서 일어나고 있는 여러 과정들을 이해하는데 있어 매우 중요하다.

낙동강은 물의 손실을 방지하고 해수의 침투를 막아 농업용수의 공급을 원활히 하기 위하여 1984년부터 강하구를 막는 하구둑 공사가 시작되어 1987년에 완공되었다. 따라서 뚝 건설 후 담수환경과 해수환경이 일시적으로 격리되어 하구 수질 및 생태계의 변화가 예상된다. 그러므로 하구둑 건설 전과 후의 환경변화를 파악하기 위하여서는 하구둑 건설에 따른 생태계 변화를 지속적으로 연구할 필요가 있다.

낙동강 하구 및 인접해역에 대한 환경 및 생물상 조사로서 최·정(1972)의 낙동강 수역의 영양염류와 유기현탁물질에 관한 연구, 김 등(1984)의 낙동강 하류수질의 계절적 변화에 관한 조사, 최·박(1986)의 낙동강 하류역의 부영양화 현상에 관한 연구, 그리고 조·허(1988)의 낙동강 하구 부근의 식물플랑크톤 군집 구조와 분포에 관한 연구 등이 있다. 그러나 지금까지 낙동강 하구역에 관한 연구는 특정대상에 대한 부분적인 연구가 수행되었을 뿐이며 특히 하구둑 공사 후 예상되는 환경변화에 따른 식물플랑크톤 및 환경요인에 관해서는 아직 발표된 것이 없다.

본 연구의 목적은 하구둑 건설에 따른 환경 특성과 식물플랑크톤 군집 구조의 변화를 파악하는데 있다.

재료 및 방법

본 연구는 1989년 4월부터 12월까지 4회에 걸쳐 낙동강 하구역 14개 정점(Fig. 1), 즉 수문내 하구둑 상류지역 3 정점(상부지역, 정점 12, 13, 14), 하구둑 아래지역 3정점(중부지역, 정점 9, 10, 11) 및 하구역 8정점(하부지역, 정점 1-8)에서 표층수를 취수하여 조사하였다. 낙동강 하구에는 총 10개의 수문이 있으며 평시에는 이중 수문 1개를 간조시 약 1시간씩 1일 2회 열어두어 낙동강 물을 하류에 방류하고 있고 조사기간 중 7월에는 많은 강우량으로 인하여 수위

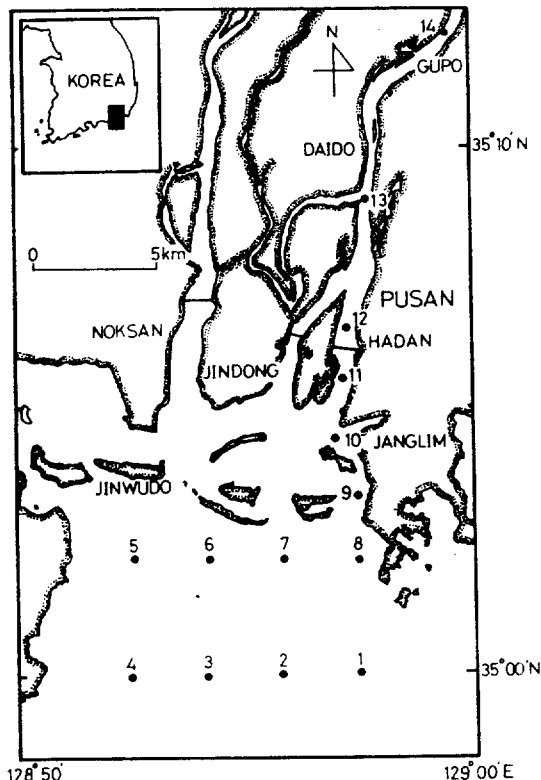


Fig. 1. Location of the sampling station in the Nakdong River estuary.

조절을 위하여 수문을 장시간 열어 두었다. 본 연구는 7월을 제외하고는 수문이 닫혀진 기간 동안 조사를 행하였다.

수온은 현장에서 봉상 온도계를 이용하여, 염분은 시료를 실험실로 운반하여 T.S-EI Salinometer SM-2000을 사용하여 측정하였고, 투명도는 직경 30 cm의 백색 Secchi-Disk를 사용하였으며, 용존산소는 Winkler 적정법으로 측정하였다.

영양염은 Strickland and Parsons(1972)의 비색법에 의하여 측정하였는데 시료는 현장에서 유리 섬유 여과지로 여과한 후, 여과된 시료를 분석시까지 냉동하에 보관하였다.

엽록소 측정을 위하여는 표층수 500-1000 ml를 공경 0.45 μm 밀리포어 여과지로 여과하였고 산화를 방지하기 위하여 여과가 끝나기 직전에 1% 탄산마그네슘 1 ml 정도를 여과지에 투입시켜 여과지를 냉동실에서 보관하였다. 분석은 여과지를 90% acetone에 침적하여 냉암소에서 24시간 방치하여 색소

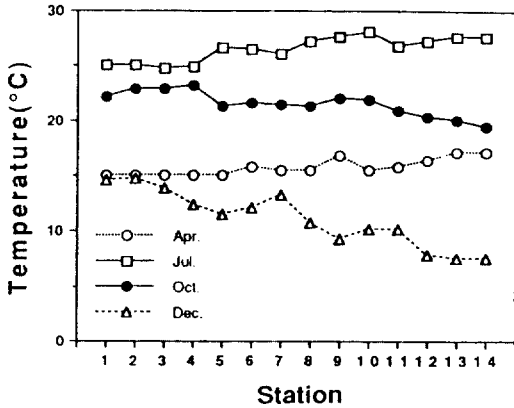


Fig. 2. Seasonal variations of surface water temperature.

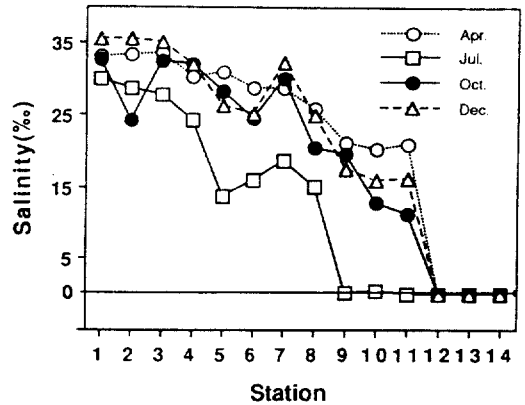


Fig. 3. Seasonal variations of salinity.

추출후 원심 분리시켜 그 상등액을 분광광도계를 사용하여 663 nm, 645 nm, 630 nm에서 각각 흡광도를 측정하여 농도를 계산하였고 750 nm에서 탁도를 측정하였다(Strickland and Parsons, 1972).

식물플랑크톤의 종조성 및 개체수를 파악하기 위하여 각 정점의 표층수를 500 ml 폴리에틸렌 채수병에 취하여 Lugol 용액 2-3 ml 넣어 고정시킨 후 시료의 광산화를 방지하기 위하여 aluminum foil로 광을 차단, 암소에서 보관하여 실험실로 운반한 후, 침전관에서 48시간 시료를 침전시킨 다음 상등액을 제거하여 적당량으로 농축한 다음 Sedgwick-Rafter 계수기를 사용하여 100, 400, 1000배의 배율하에서 식물플랑크톤을 동정·계수하였다.

결과 및 고찰

1. 해수의 이화학적 특성

조사기간 동안 측정된 평균 표층수온은 춘계 15.7°C에서 점차 증가하여 하계 28.2°C로 상승하여 최대가 되었다가 그 후 감소하여 조사기간 말인 동계에 11.1°C로 가장 낮아졌다(Fig. 2). 지역별로 볼때 춘계에는 상부지역에서 16.3-17.0°C 하부지역에서 15.0-15.5°C, 그리고 하계에는 상부지역에서 27.3-27.6°C, 하부지역에서 24.8-27.8°C의 범위로 춘계와 하계에는 하구둑 상부의 담수지역이 하구에 비하여 수온이 다소 높았으나 추계에는 상부지역이 19.4-20.2°C 하부지역이 21.3-22.9°C, 그리고 동계에는 상부지역이 7.5-7.8°C 하부지역이 10.8-14.7°C의 범위로 추계 및 동계에는 하구둑 상부지역이 하구역보다 다소 낮았

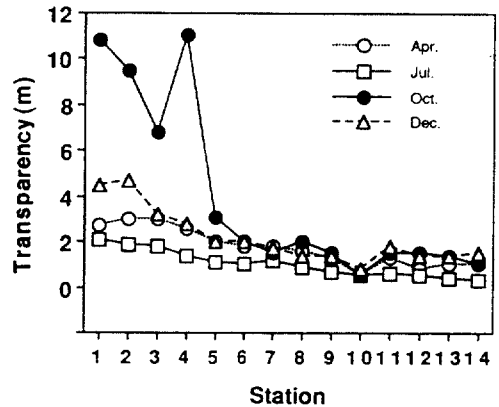


Fig. 4. Seasonal variations of transparency.

다.

염분은 춘계 0-33.51‰, 하계 0-29.92‰, 추계 0-32.60‰, 동계 0-35.54‰의 범위로 갈수기인 봄에 비교적 높았고 강우기인 여름에는 최저로 나타났다(Fig. 3). 하계를 제외하고는 하부·중부지역에서 11.23-35.54‰로 독 건설 전에 보고된 9.33-28.37‰(김등, 1984), 10.40-34.26‰(김 등, 1985)에 비해 다소 높게 나타났는데 이는 독 건설 후 담수유입이 일시적으로 차단되었기 때문으로 사료된다. 또한 독 건설 전에는 해수의 역류현상으로 인해 상부지역의 구포 상류지역까지 해수의 영향이 미쳤으나(김 등, 1984; 김 등, 1985) 독 건설 후 상부지역은 항상 담수환경이었다.

투명도는 수중에 존재하는 부유물질이나 콜로이드형 물질과 연관이 있으며 투명도가 낮을 경우 높은 탁도로 인해 빛이 차단되어 식물플랑크톤의 성장에

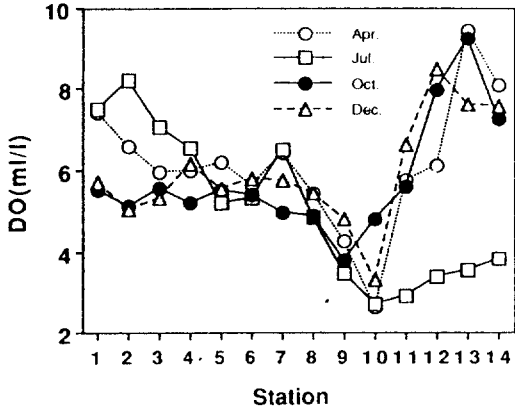


Fig. 5. Seasonal variations of dissolved oxygen.

제한요소로 작용하기도 한다. 춘계의 투명도는 0.5-3 m, 하계 0.3-2.1 m, 추계 0.5-11.0 m, 동계 0.8-4.7 m였다(Fig. 4). 장림천의 영향을 받는 중부지역의 정점 10 및 상부지역에서 투명도가 비교적 낮게 나타난 반면 하부지역에서는 비교적 높았다. 특히 하계에 하구역의 비교적 낮은 투명도는 장마철 강우로 수문 조절이 잦아 많은 양의 부유물질이 하구역으로 유입되었기 때문으로 사료된다. 하부지역과 중부지역에서 김 등(1982)과 산업기지개발공사(1984)의 결과인 0.3-1.9m와 비교해 볼 때 독 건설 후 이곳에서의 투명도는 다소 높아졌는데 이는 독 건설 후 담수의 차단으로 부유물질의 공급이 적었기 때문으로 사료된다.

용존산소량의 경우 춘계 2.62-9.43 ml/l, 하계 2.73-8.23 ml/l, 추계 3.78-9.24 ml/l, 동계 3.30-8.48 ml/l의 범위에 있었다(Fig. 5). 용존산소량은 하부 및 상부 지역에서 높은 반면 장림천이 위치한 중부지역에서 매우 낮게 나타났다. 중부지역에서 한국과학기술연구소(1970), 최·정(1972), 산업기지개발공사(1983)의 연구 결과치인 5.28-6.91 ml/l의 반해 본 연구에서는 2.62-6.62 ml/l였으며 특히 장림천의 영향을 직접받는 정점10에서 2.62 ml/l까지 감소하여 수중생물의 용존산소 한계농도인 3.60 ml/l(일본수자원보호협회, 1947)보다 낮은 빈산소 상태였으며 이곳의 수질이 주변해역에까지 영향을 미치고 있었다. 이는 독 건설 후 수문을 차단함으로써 담수와 해수의 희석이 억제되어 장림천에서 흘러나오는 생활하수 및 공장폐수가 해수와 쉽게 희석되지 못하고 정체

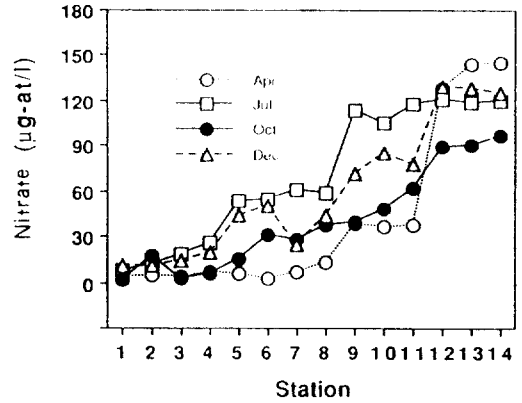


Fig. 6. Seasonal variations of nitrate concentrations.

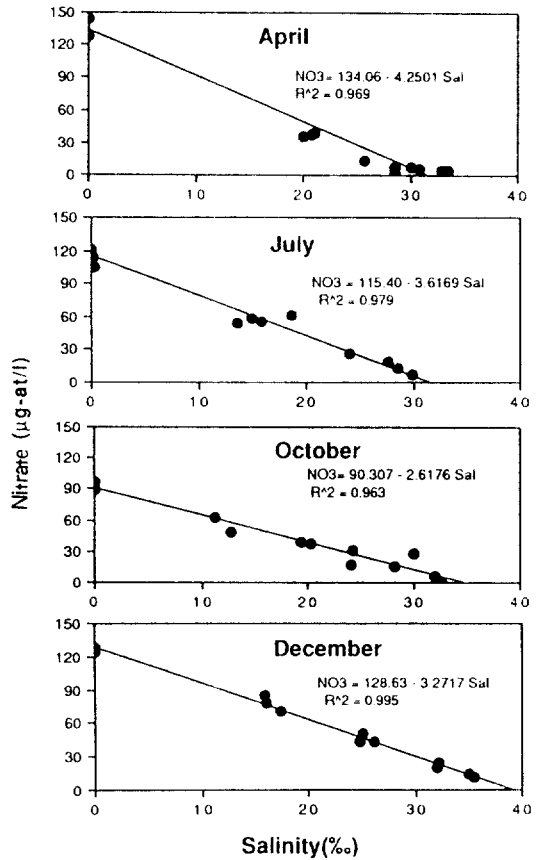


Fig. 7. Relationships between nitrate concentrations and salinity.

되어 나타나는 폐구역 현상에 기인한 것으로 사료된다.

영양염 중 질산염은 춘계 3.17-144.73 µg-at/l, 하계

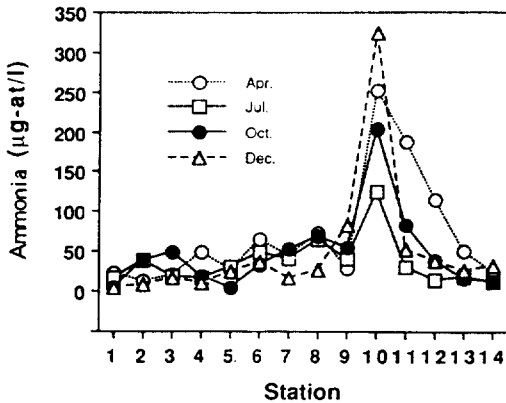


Fig. 8. Seasonal variations of ammonia concentrations.

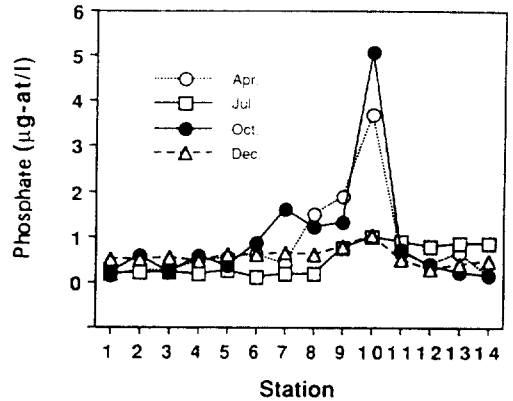


Fig. 9. Seasonal variations of phosphate concentrations.

7.97-121.23 µg-at/l, 추계 1.76-97.00 µg-at/l, 동계 11.25-128.86 µg-at/l(Fig. 6)의 범위로, 상부지역의 농도가 가장 높고 중부·하부지역으로 갈수록 낮아지는 경향이였다. 특히 담수유입이 많았던 하계에는 중부 및 하부지역의 거의 전 정점에서 타계절에 비해 높게 나타났는데 이는 하계에 홍수조절을 위해 수문을 열어두어 많은 양의 담수가 이곳으로 유입되었기 때문으로 사료된다. 계절별 담수유입과 질산염 농도와의 관계를 알아보기 위하여 질산염과 염분과의 상관관계를 Fig. 7에 나타내어 보았다. 춘계에는 상관관계수 $r^2=0.969(n=14)$, 하계 $r^2=0.981(n=14)$, 추계 $r^2=0.963(n=14)$, 동계 $r^2=0.995(n=14)$ 로 높은 역상관 관계를 나타내어 조사해역에서 질산염의 주 공급원은 낙동강 유입이며 식물플랑크톤에 의한 질산염 섭취는 미약한 것으로 판단되었다. 영양염으로서 질산염과 암모니아가 동시에 존재할 때 식물플랑크톤은 암모니아를 선호하여 섭취하는 것으로 알려져 있으며(Strickland *et al.*, 1969), 본 해역의 풍부한 암모니아 양으로 볼 때(Fig. 8) 암모니아가 본 해역에서 식물플랑크톤의 주요 질소원인 것으로 사료된다. 이러한 질산염과 염분과의 높은 역상관 관계는 광양만(Kim *et al.*, 1988) 및 여수해만(문, 1990)에서도 보고되고 있으며 이들 해역에는 많은 양의 암모니아가 존재하고 있다. 광양만에서 질산염의 농도변화는 수온도 미약하게 영향을 미치고 있으나 주로 심진강으로부터의 담수유입에 기인한 것으로 보고되고 있다(Kim *et al.*, 1988).

암모니아는 춘계 12.62-252.43 µg-at/l, 하계 16.39-124.29 µg-at/l, 추계 3.62-202.91 µg-at/l, 동계 3.46-

323.71 µg-at/l(Fig.8)의 범위로 나타났으며 매 조사시기마다 중부지역의 정점 10에서 가장 높았다. 계절별로는 하계에 타계절에 비하여 중부·하부지역의 거의 전 정점에서 낮게 나타났는데 이는 조사시기에 홍수조절로 수문을 열어두어 장림천에서 유입되는 많은 양의 암모니아가 강물에 의해 희석되었기 때문인 것으로 사료된다. 본 연구결과 중부지역의 경우 조사기간 동안 29.71-323.71 µg-at/l 범위로 하계를 제외하고는 대부분 50 µg-at/l 이상이었고, 이 농도는 최·정(1972) 및 김 등(1984)이 발표한 동일 해역에서의 0.13-50.86 µg-at/l와 비교해 볼 때, 독 건설 후 암모니아 농도는 중부지역에서 크게 증가 하였으며 이로써 이곳에서 암모니아의 주 공급원은 장림천에서 흘러 들어오는 생활하수 및 공장폐수인 것으로 판단된다.

인산염은 춘계 0.14-3.69 µg-at/l, 하계 0.11-1.00 µg-at/l, 추계 0.20-5.08 µg-at/l, 동계 0.44-1.03 µg-at/l였으며(Fig. 9), 계절별·지역별 분포양상은 암모니아와 유사한 경향을 보였다. 인산염 농도는 독 건설 전 하부·상부지역에서 김 등(1984), 최·박(1986)의 결과인 0.16-4.43 µg-at/l 보다는 다소 낮았으나 중부지역에서는 최·정(1972)과 이 등(1985)의 결과치인 0.29-5.05 µg-at/l보다 다소 높았다. 이는 독 건설로 인해 담수 유입이 차단되어 장림천에서 흘러 들어오는 생활하수와 공장폐수가 하부지역으로 혼합·희석되지 못하고 일시적인 정체현상을 일으키기 때문인 것으로 사료된다.

규산염은 춘계 4.77-18.10 µg-at/l, 하계 10.71-151.95 µg-at/l, 추계 2.62-44.02 µg-at/l, 동계 19.22-

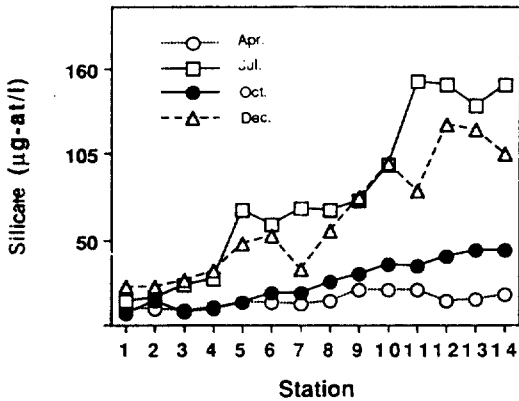


Fig. 10. Seasonal variations of silicate concentrations.

123.52 µg-at/l이었으며(Fig. 10) 질산염과 마찬가지로 상부지역으로 갈수록 농도는 증가했으며, 계절별로는 강우기인 하계에 중부 및 하부지역의 거의 전 정점에서 타계절에 비하여 높았다. 규산염은 독 건설전(최·정, 1972; 박, 1985; 박 등, 1986)에 비해 하부·중부지역은 유사하나 상부지역에서는 다소 높게 나타났다. Fig. 11은 계절별 규산염과 염분의 상관관계를 나타낸 것인데 춘계에는 상관계수 $r^2=0.973$ ($n=10$), 하계 $r^2=0.844$ ($n=14$), 추계 $r^2=0.930$ ($n=14$), 동계 $r^2=0.957$ ($n=14$)로 높은 역상관 관계를 나타내어 조사해역의 규산염의 주요 공급원은 질산염과 마찬가지로 낙동강 유입인 것으로 판단되었다. 하구에서 규산염의 주요 공급원은 지각광물의 풍화와 용해작용 및 규산을 포함하고 있는 육상 식물의 생물학적 분해를 통한 강물로의 유입이며(Silverman, 1979) 하구 주변의 공장폐수 및 생활하수로부터의 규산염 공급은 미약한 것으로 알려져 있다(Officer and Ryther, 1980). 춘계에 상부지역 정점들에서 직선식과의 많은 편차는 이곳에서 *Asterionella spp.* 등의 규조류가 대량 번식하여(Fig. 12, Table 3) 많은 양의 규산염이 소모되었기 때문인 것으로 사료된다. 강물로부터 유입된 규산염이 해수와 혼합될 때 비생물학적 요인에 의한 규산염 소모는 매우 미약하고 대부분의 소모는 규조류에 의해 일어나며(D'Elia *et al.*, 1983; Yamada and D'Elia, 1984) 규조류는 규산염을 섭취하여 그들의 피각을 만드는데 사용한다(Conway *et al.*, 1977).

2. 식물플랑크톤 군집의 종조성

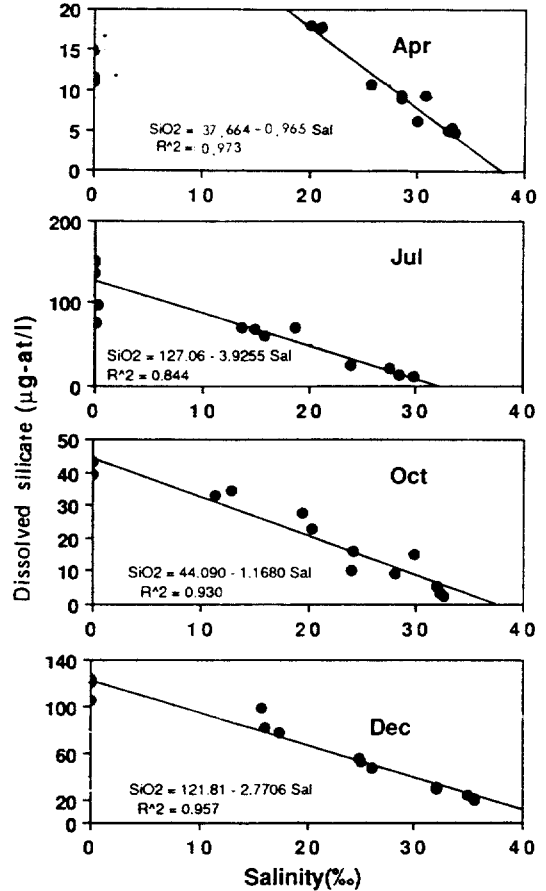


Fig. 11. Relationships between silicate concentrations and salinity(* in April were not included in calculating regression coefficient).

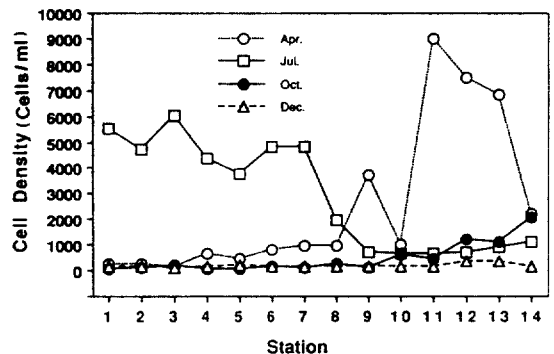


Fig. 12. Seasonal variations of phytoplankton standing crop in the study area.

낙동강 하구역에서 조사기간 동안 식물플랑크톤은 총 437종이 동정되었으며 이들 식물플랑크톤 군집의

Table 1. Numbers of phytoplankton genera and species occurred in the study area(The percents of total species in each month are in parenthesis)

Month	Apr.		Jul.		Oct.		Dec.		Total	
Group	Genera	Species	Genera	Species	Genera	Species	Genera	Species	Genera	Species
Diatoms	51	192 (67.6)	52	199 (64.1)	40	108 (56.8)	43	118 (69.8)	68	298 (68.2)
Dinoflagellates	15	29 (10.9)	11	28 (9.5)	6	15 (7.9)	8	10 (5.9)	15	37 (8.5)
Green-algae	19	42 (14.8)	22	53 (18.0)	19	46 (24.2)	16	27 (16.0)	27	110 (16.0)
Blue-green algae	14	18 (6.3)	14	21 (7.1)	10	8 (9.5)	7	10 (5.9)	17	28 (6.4)
Cryptomonads	1	1 (0.4)	2	2 (0.7)	1	1 (0.5)	2	2 (1.2)	2	2 (0.5)
Euglenoids	2	2 (0.7)	2	2 (0.7)	1	1 (0.5)	2	2 (1.2)	2	2 (0.5)
Total	102	284	103	295	79	189	78	169	131	437

주요종과 속의 구성비가 Table 1에 나타나 있다.

식물플랑크톤 군집은 6개의 주요 조류군 즉 규조류, 와편모조류, 녹조류, 남조류, cryptomonad와 euglenoid로 구성되어 있었으며, 그 중 규조류가 시·공간에 관계없이 높은 비율로 출현했으며, 다음으로 녹조류, 와편 모조류, 남조류 순이었으며 euglenoid와 cryptomonad는 각각 2속 2종이었다. 계절별로는 춘계 102속 284종, 하계 103속 295종, 추계 79속 89종, 동계에 78속 169종으로 나타나 추계와 동계에는 종의 수가 다소 감소했다. 이를 주요군류로 나누어 살펴보면, 규조류가 68속 298종으로 전체의 약 68%를 점하여 전 계절을 통하여 가장 우세하게 나타났으며 와편모조류는 15속 37종이 출현하여 전체의 8.5%를 점했는데 이는 낙동강 하구역에서 36종이 출현해 전체종의 13.1%를 차지하고 있다고 발표한 조·허(1988)의 결과보다는 다소 낮았다. 녹조류는 총 27속 70종으로 전체 출현종의 16.0%를 차지해 규조류 다음으로 중요한 구성종이었으며 남조류는 총 17속 28종으로 전체 출현종의 6.4%를 차지하였다. cryptomonad와 euglenoid는 각각 2속 2종으로 출현종 수는 적었지만 양적으로는 비교적 많이 출현하였다.

한편 낙동강 하구역에서 식물플랑크톤은 조·허(1988)의 276종, 정 등(1987)의 171종과 산업기지 개발공사(1983)의 186종과는 연구해역과 시기가 일치하지 않아 정확한 비교는 어렵지만 독 건설 전에

비해 규조류는 거의 유사하나 녹조류와 남조류가 다량 출현하였다. 이는 본 연구지역이 독 건설로 인한 상부지역의 담수환경을 포함하고 있기 때문에 결과적으로 많은 담수 녹조류 및 남조류가 출현하였기 때문으로 사료된다.

식물플랑크톤 군집구성의 지역별 변화를 보면 (Table 2) 규조류가 계절 및 지역에 관계없이 가장 우세하게 출현하였으며, 각 조류군의 지역별 평균 출현율을 살펴보면 규조류와 와편모조류는 하부지역에서 각각 73.0, 11.1%로 높았으며 중부·상부지역으로 갈수록 감소했다. 반면 녹조류와 남조류는 전 계절 동안 하부지역에서 출현율이 낮았으며 특히 녹조류는 담수역인 상부지역에서 31.6%로 높게 출현하고 있었고 cryptomonad는 지역별·계절별 차이를 보이지 않았으나 euglenoid는 상부지역에서 다소 높게 출현하였다. 하계에 하부지역에서 타계절에 비하여 녹조류의 상대적 증가는 조사시기에 홍수로 수문을 열어 두었기 때문에 일시에 많은 담수 녹조류가 하구에 유입되었기 때문으로 사료된다.

식물플랑크톤 군집구조의 이러한 종조성은 본 연구지역이 담수 및 해양환경을 동시에 포함하고 있다는 사실을 감안할 때 담수환경에서 식물플랑크톤 군집구조가 주로 규조류, 녹조류, 남조류의 구성종들의 천이에 의해 계절 변화가 이루어진다는 사실(Hutchinson, 1967)과 관련이 있다고 여겨진다. 독 건설 전(이 등, 1985; 정 등, 1987; 조·허, 1988)과

Table. 2 Variation of areal composition of phytoplankton groups occurred in the study area (The percents of the total are in parenthesis)

Month	Apr.			Jul.			Oct.			Dec.			Mean(%)			
Group	Area	Lower	Middle	Upper	Lower	Middle	Upper	Lower	Middle	Upper	Lower	Middle	Upper	Lower	Middle	Upper
Diatoms	163 (74.8)	94 (60.6)	54 (54.0)	148 (66.4)	96 (60.8)	77 (58.8)	78 (70.9)	46 (57.5)	38 (40.9)	99 (79.8)	47 (61.0)	42 (56.8)	73.0	60.0	52.6	
Dinoflagellates	25 (11.5)	17 (11.0)	2 (2.0)	28 (12.6)	8 (5.1)	7 (5.3)	15 (13.6)	3 (3.8)	2 (2.2)	8 (6.5)	2 (2.6)	1 (1.4)	11.1	5.6	2.7	
Green-algae	21 (9.6)	28 (18.1)	31 (31.0)	31 (13.9)	37 (23.4)	32 (24.4)	10 (9.1)	19 (23.8)	41 (44.1)	11 (8.9)	19 (24.7)	20 (27.0)	10.4	22.5	31.6	
Blue-green algae	7 (3.2)	13 (8.4)	10 (10.0)	13 (5.8)	14 (8.9)	12 (9.2)	5 (4.5)	10 (12.5)	10 (10.8)	3 (2.4)	6 (4.8)	7 (5.6)	4.0	8.7	8.9	
Cryptomonads	1 (0.5)	1 (0.6)	1 (1.0)	2 (0.9)	1 (0.6)	1 (0.8)	1 (0.9)	1 (1.3)	1 (1.1)	2 (1.6)	2 (2.6)	2 (1.6)	1.0	1.3	1.0	
Euglenoids	1 (0.5)	2 (1.3)	2 (2.0)	1 (0.4)	2 (1.3)	2 (1.5)	1 (0.9)	1 (1.3)	1 (1.1)	1 (0.8)	1 (1.3)	1 (1.6)	0.7	1.3	4.0	
Total	218	155	100	223	158	131	110	80	93	124	77	74				

비교해 본 연구에서는 규조류는 거의 같은 수준으로 출현한 반면 외편모조류는 다소 감소하였으며 녹조류와 남조류는 상부·중부지역에서 다소 높은 비율로 출현하였다. 이러한 군집구조의 변화로부터 독건설에 따른 생물상의 변화가 야기되고 있다고 사료된다.

3. 식물플랑크톤 현존량 및 우점종

식물플랑크톤 현존량은 춘계 157-9010(평균 3554) cells/ml, 하계 642-6064(평균 2022) cells/ml, 추계 55-2064(평균 656) cells/ml, 동계 107-340(평균 173) cells/ml의 범위로 나타났다(Fig. 12). 춘계에는 하구둑 상부지역에서, 하계에는 하부지역에서 규조류의 bloom이 일어났으며 추계 및 동계에는 정점간 차이가 비교적 적었다. 이러한 현상은 식물플랑크톤의 현존량이 초저염분 지역에서는 하계에, 하구에서는 춘계에 bloom이 일어나는 James 강(Moon and Dunstan, 1990)과는 정반대이며 춘계에 하구에서 현존량이 최대이었던 광양만(심 등, 1984) 및 수영만(최, 1969)과도 다르나, 7월에 현존량이 최대이었던 낙동강 하구역(정, 1970; 조·허, 1988; 이 등, 1985) 및 금강 앞바다(심·양, 1982)의 결과와는 일치하였다. 본 조사에서 하구둑 상부지역에서 하구역에 비하여 식물플랑크톤의 bloom이 먼저 일어난 것은 춘계에 담수역이 하구역에 비하여 수온이

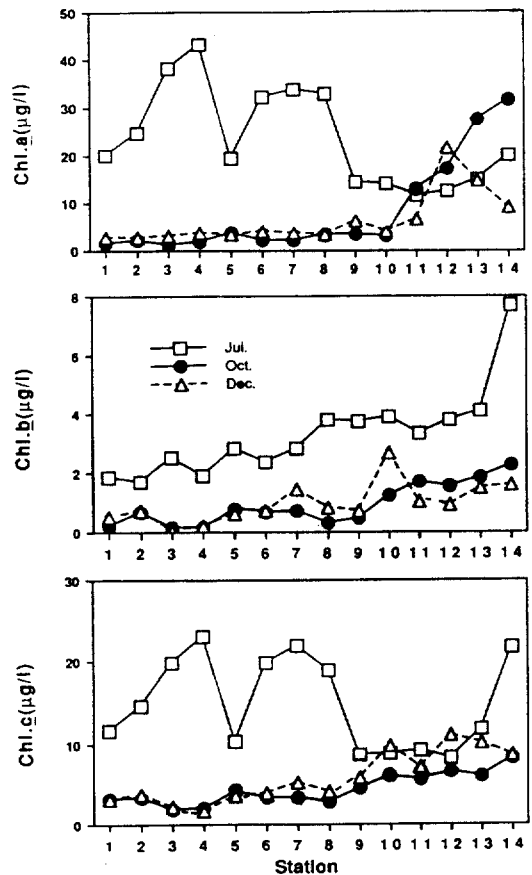


Fig. 13. Seasonal variations of chlorophyll concentrations.

Table 3. Variation of dominant species in the study area (The percents of the total are in parenthesis)

Area Month	Lower	Middle	Upper
Apr.	<i>Asterionella spp.</i> (46%) <i>Skeletonema costatum</i> (10%)	<i>Asterionella spp.</i> (84%)	<i>Asterionella spp.</i> (75%)
Jul.	<i>S. costatum</i> (64%) <i>Rhizosolenia fragilima</i> (7%) <i>Leptocylindrus minimus</i> (5%)	<i>Scenedesmus ellipsoideus</i> (7%) <i>Melosira sp.</i> (5%)	<i>S. ellipsoideus</i> (7%) <i>Merismopedia elegans</i> (7%)
Oct.	<i>S. costatum</i> (17%)	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (13%) <i>Actinastrum hantzschii</i> (10%)	<i>A. hantzschii</i> (27%) <i>C. meneghiniana</i> (13%)
Dec.	<i>S. costatum</i> (15%) <i>Eucampia zodiacus</i> (7%)	<i>Asterionella sp.</i> (9%) <i>Chroomonas sp.</i> (9%)	<i>Asterionella sp.</i> (22%) <i>Chroomonas sp.</i> (13%)

Table 4. Dominant species reported previously in the Nakdong River estuary

Area Month	Lower	Middle	Upper	Reference
Apr.	<i>Skeletonima costatum</i> <i>Nitzschia longissima</i> <i>Chaetoceros decipiens</i> <i>Asterionella formosa</i>	<i>S. costatum</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Nitzschia pungens</i>	<i>A. formosa</i> <i>C. meneghiniana</i> <i>M. granulata</i> <i>S. costatum</i> <i>Fragilaria crotonensis</i>	조·허(1988) 정 등(1987) 산업기지개발공사(1987)
Jul.	<i>N. longissima</i> <i>Ceratium sp.</i> <i>S. costatum</i> <i>C. decipiens</i> <i>Thalassiosira decipiens</i>	<i>S. costatum</i> <i>M. granulata</i>	<i>Asterionella sp.</i> <i>Chlorella sp.</i> <i>Euglena sp.</i> <i>Melosira italica</i>	조·허(1988) 정 등(1987) 최(1985)
Oct.	<i>N. seriat</i> <i>N. longissima</i> <i>A. formosa</i>	<i>A. formosa</i> <i>Cyclotella meneghiniana</i> <i>M. granulata</i>	<i>Cosmarium granatum</i> <i>A. gracillima</i> <i>C. meneghiniana</i> <i>T. decipiens</i>	조·허(1988) 정 등(1987)
Dec.	<i>Thalassiosira rotula</i> <i>S. costatum</i>	<i>M. italica</i> <i>Navicula membranacea</i>	<i>M. italica</i> <i>A. gracillima</i>	조·허(1988) 정 등(1987)

빠르게 상승하는 현상(Fig. 2) 때문에 사료되거나 앞으로 더 많은 연구가 필요하다고 생각된다. 식물 플랑크톤의 현존량을 엽록소 양으로 살펴볼 때(Fig. 13) 춘계에는 측정하지 못하였으나 하계는 엽록소 a의 양이 11.66-43.18 $\mu\text{g/l}$, 추계 1.19-31.54 $\mu\text{g/l}$, 동계 2.75-21.6 $\mu\text{g/l}$ 로 분포양상은 개체수의 변화와 유사하였다. 하계에 하부지역의 평균 30.51 $\mu\text{g/l}$ 은 낙동강 하구 황록색 수색대 내부 해역에서 여름철 엽록소 a양인 평균 23.92 $\mu\text{g/l}$ (박, 1985), 부영양화가 진행되고 있는 마산만의 13.27 $\mu\text{g/l}$ (박, 1975)보다 높았다. 엽록소 b 농도는 상류지역으로 갈수록 높았고 특히 하부 및 중부지역에 비하여 상부지역의 높은 값은 이곳에 서식하는 담수 녹조류의 기인한 것이다. 계절별로 볼때 하계에 하부지역에서 타계절에 비하

여 엽록소 b 농도가 높게 나타났는데 이는 하계에 하부지역으로 많은 담수의 유입이 있음을 나타내며, Table 2의 지역별 식물플랑크톤 군집의 구성비를 볼때 하부지역에서 하계에 녹조류의 상대적 조성비가 높았던 것과는 일치하고 있다. 엽록소 c의 분포는 엽록소 a와 유사한 경향을 보였다.

한편 현존량의 변화는 주로 우점종에 의해 좌우되었는데 각 계절에 출현한 지역별 우점종을 살펴보면(Table 3) 춘계에 하부지역에서는 *Asterionella spp.* 및 *Skeletonema costatum*이 우점적으로 출현하였고 중부지역 및 상부지역에서도 *Asterionella spp.*가 다량 출현하여 *Asterionella* 속은 전 지역에 걸쳐 우점종으로 나타난 반면 광온·광염성의 내만종인 *Skeletonema costatum*은 하부지역에서만 우점하였

다. 하계에는 하부지역에서 *Leptocylindrus minimus*, *S. costatum*이 우점하였고 중부지역에서는 *Rhizosolenia fragillima*, *Scenedesmus ellipsoideus* 및 *Melosira sp.*가, 상부지역에서는 *S. ellipsoideus* 및 남조류인 *Merismopedia elegans*가 우점하였다. 추계에 하부지역에서는 *S. costatum*이 중부지역 및 상부지역에서는 *Cyclotella meneghiniana*와 녹조류인 *Actinastrum hantzschii*가 우점하였다. 동계에는 하부지역에서 *S. costatum* 및 *Eucampia zoodiacus*가 우점하였고 중부지역 및 상부지역에서는 *Asterionella spp.*와 *Chroomonas sp.*가 우점하였다.

이를 독 건설 전 우점종의 양상과 비교하여 보면 (Table 4) 독 건설 전에는 *A. formosa*, *C. meneghiniana*와 *Melosira granulata* 등의 규조류가 조사해역에서 주로 우점하였고, 특히 해산종인 *S. costatum*은 춘계에, *Thalassiosira decipiens*는 하계에 상부지역까지 우점종으로 나타난 반면에 일부 녹조류는 상부지역에서 하계 및 추계의 특정 계절에 국한되어 우점종으로 나타나고 있다. 그러나 독 건설 후에는 *S. costatum*은 하부지역에 국한되어 우점하였고 중부·상부지역에서는 녹조류와 남조류가 다량 출현하여 우점종의 변화가 있음을 시사하고 있다. 한편 식물플랑크톤의 군집 형성은 수질을 표시하는데 매우 유용한 것으로 인식되고 있으므로(Patrick, 1973; 심·최, 1978) 조류에 의한 수질조사표(이, 1987) 및 국립환경연구소(1986)에서 발간된 조류와 수질오염표를 근거로 살펴보면, 낙동강 하구역에서 다수 출현하는 종 중 *Actinastrum hantzschii*, *Asterionella japonica*, *Cyclotella meneghiniana* 그리고 *Synedra acus* 등 많은 종이 담수 및 하구역에서 부영양화의 오염지표종과 관련이 있었다.

이상의 결과로부터 독의 완공과 더불어 식물플랑크톤은 우점종의 변화가 일어나고 있으며 다량 출현한 오염 지표종 및 많은 염록소 양으로 볼때 하구역은 부영양화가 진행되고 있다고 판단되며 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 시료된다.

사 사

본 연구는 한국과학재단(과제번호: 893-0505-009-1)의 지원하에 수행되었습니다. 이 연구를 수행하는데 많은 협력을 해주신 부산수산대학 실습선

올림픽 23호 노종주 선장님과 윤희희 기관장님께 감사의 마음을 전합니다.

참고문헌

국립환경연구소, 1986. 조류와 수질오염. 457pp.
 김용관, 심혜경, 조해래, 유선재, 1984. 낙동강 하류수질의 계절적 변화. 한국수산학회지, 17: 511-522.
 김용관, 장동석, 문홍영, 1985. 조석에 따른 낙동강 하류 수질의 변화. 한국수산학회지, 18: 109-118.
 김준호, 김훈수, 이민규, 김종원, 문형태, 서계홍, 김 원, 권도현, 유순애, 서영배, 김영상, 1982. 낙동강하구 생태계의 구조와 기능에 관한 연구. 자연연구, 7: 121-163.
 문창호, 1990. 여수해만의 식물플랑크톤 및 영양염에 관한 연구. 한국수산학회지, 22: 408-414.
 박영관, 1985. 낙동강 하구역에 출현하는 황록색 수색대의 특성에 관한 연구. 한국해양학회지, 20: 30-36.
 박청길, 조규대, 허성희, 김상근, 조창환, 1986. 낙동강 하구 부근의 해양환경조사연구. 한국어업기술학회지, 22: 1-20.
 박청길, 1975. 진해만 해수의 부영양화와 클로로필 분포. 한국수산학회지, 8: 121-126.
 산업기지개발공사, 1983. 낙동강 하구 생물상 조사. 276pp.
 산업기지개발공사, 1984. 낙동강 하구 생물상 조사(2차). 466pp.
 심재형, 신윤근, 이원호, 1984. 광양만 식물플랑크톤에 관한 연구. 한국해양학회지, 19: 172-186.
 심재형, 양재삼, 1982. 금강하구의 식물플랑크톤 분포와 군집구조. 한국해양학회지, 17: 1-11.
 심재형, 최중기, 1978. 한강하류에 있어서 부유성 조류군집의 구조 및 기능 변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 13: 31-41.
 이문호, 1987. 조류에 의한 수질 조사법. 동화기술, 서울, 205pp.
 이택열, 박주석, 진 평, 강용춘, 손철현, 이필용, 1985. 낙동강 하류역의 주요 수산 생물의 환경 및 자원 생물학적 연구. 수산진흥원 연구보고서, 34: 5-60.
 정영호, 1970. 낙동강 하류의 식물플랑크톤. 원자력회보, 2: 13-23.
 정영호, 노경희, 이옥문, 1987. 낙동강 하구역 식물 플랑크톤의 구계와 동태. 자연보존연구보고서, 9: 5-30.
 조창환, 허성희, 1988. 낙동강 하구 근해의 식물플랑크톤 군집구조와 분포. 해양연구, 10: 39-45.
 최 상, 정태화, 1972. 낙동강 하구수역의 영양염류와 유기탄소물질. 한국과학기술연보, 7: 1-14.
 최영찬, 1985. 낙동강 하류역의 부영양화현상에 관한 연구. 석사학위논문, 부산수산대학교, 36pp.
 최영찬, 박청길, 1986. 낙동강 하류역의 부영양화현상에 관한 연구. 한국수산학회지, 19: 339-346.
 최정신, 1969. 수영만에 있어서 규조류의 계절적 양 및 조성변화. 한국수산학회지, 2: 16-24.
 한국과학기술연구소, 1970. 낙동강 하구역의 해태어장 개발에 관한 연구. 과학기술처 연구개발 사업보고서, 서울, 53pp.
 Conway, H.L., J.L. Parker, E.M. Yaguchi and D.L. Mellinger, 1977. Biological utilization and regenera-

- tion of silicon in lake Michigan. *J. Fish. Res. Board Can.*, **34**: 537-544.
- D'Elia, C.F., D.M. Nelson and W.R. Boynton. 1983. Chesapeake Bay nutrient and plankton dynamics: III. The annual cycle of dissolved silicon. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **47**: 1945-1955.
- Hutchinson, G.E., 1967. A Treatise on Limnology. vol.2. John Wiley and Sons, Inc., New York. 1115pp.
- Kaul, L.W. and P.N. Froelich, 1984. Modeling estuarine nutrient geochemistry in a simple system. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **48**: 1417-1433.
- Kim, S.H., C.B. Song, S.H. Kang and D.B. Yang. 1988. The distribution pattern of nutrients at the cultivation ground of laver in Kwangyang Bay, 1986. *Ocean Research, Korea*, **10**: 1-8.
- Moon, C.H. and W.M. Dunstan. 1990. Hydrodynamic trapping in the formation of chlorophyll a peak in turbid, very low salinity waters of estuaries. *J. Plankton Research*, **12**: 323-336.
- Officer, C.B. and J.H. Ryther, 1980. The possible importance of silicon in marine eutrophication. *Mar. Eco. Prog. Series*, **3**: 83-91.
- Patrick, R., 1973. Use of algae, especially diatoms in the assessment of water quality. In: *Biological Methods for the Assessment of Water Quality*. Eds. by Cairns and K.L. Dickson, 76-95.
- Silverman, M.P., 1979. Biological and organic decomposition of silicates. In: *Studies in Environmental Science, vol.3. Biological Cycling of Mineral-Forming Elements*. Eds. by P.A. Trudinger and D.J. Swaine. Elsevier. 445-465.
- Strickland, J.D.H., R.W. Eppley and B.R. Mondiola, 1969. Phytoplankton populations, nutrients and photosynthesis in Peruvian Coastal Waters. *Biol. Inst. del Mer del Peru*, **2**: 1-45.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of sea water analysis. 2nd ed. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada 167, 310pp.
- Yamada, S.S. and C.F. D'Elia, 1984. Silicic acid regeneration from estuarine sediment cores. *Mar. Eco. Prog. Series*, **18**: 113-118.

Received April 2, 1991

Accepted May 29, 1991