

아산만의 영양염 및 입자성 유기물

문창호 · 박 철* · 이승용

부산수산대학교 해양학과 · *충남대학교 해양학과

Nutrients and Particulate Organic Matter in Asan Bay

Chang-Ho MOON · Chul PARK* and Sung Yong LEE

Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan,

Pusan 608-737, Korea

**Department of Oceanography, Chungnam National University,*

Taejon 305-764, Korea

Seasonal distributions of nutrients and particulate organic matter were investigated in Asan Bay, Korea. Most of nutrients were high in August and low in February. The atomic ratios of inorganic nitrogen to phosphorous were close to Redfield ratio except in May when the ratio was 24.8. In May, nutrient concentrations except phosphorous decreased with salinity until 31.5~32.0‰, but the concentrations increased again with salinity, impling that there were nutrient input sources within the estuary. Howerer, significant inverse relationships between nutrients and salinity in August suggest that nutrient sources were river discharge. Maximum chlorophyll *a* concentrations occurred in May. Relatively low ratios of R_b to R_a (R_b : fluorescence before acidification; R_a : fluorescence after acidification) during the study periods indicate that phytoplankton were not in good physiological condition. Relatively low ratio of particulate biogenic silica(PBSi) to particulate organic carbon(POC) and high ratios of PBSi and POC to chlorophyll *a* during the study periods suggest input of non-living detrital PBSi and POC from bottom in Asan Bay, where strong tidal mixing occurs.

서 론

하구는 담수와 해수의 특성이 혼합된 완충지대이다. 강으로부터 인접 해안에 공급되는 물질의 농도는 담수가 해수와 만남으로써 하구에서 일어나는 여러 생물·화학적 과정들에 의하여 결정되며(Kaul and Froelich, 1984), 또한 하구의 순환 등 복잡한 물리적 과정들이 이에 관여하고 있다. 따라서 하구의 환경특성 연구는 이곳에서 일어나고 있는 여러과정을 이해하는데 있어 매우 중요하다. 아산만 인근해역은 삼교, 아산 및 대호방조제 등

의 건설로 해안선의 변화가 있었으며 석문공단, 인주공단 등 여러 산업시설이 건설 중이거나 건설이 예정되어 있어 연안환경이 계속 변형되어 가고있고 앞으로도 많은 환경변화가 예상되는 해역이다. 특히 방조제 건설이후 건기에는 담수의 유입이 통제되나 우기에는 저장된 담수가 일시에 방출되어 이러한 비주기적 담수유입이 이곳의 환경 및 생물상에 많은 영향을 미칠 것이다. 실제로 낙동강 하구역에서 하구둑 건설 후 이곳의 환경 및 플랑크톤 군집구조의 변화가 있음이 보고된 바 있다(문·최, 1991).

본 연구는 1991년도 문교부 기초과학 육성 연구비의 지원에 의한 것임.

이제까지 아산만 연안의 환경조사로는 박(1989) 및 Park et al.(1991)의 동물플랑크톤 분포에 관한 연구, 이(1991)의 저어류에 관한 연구 이외에는 발표된 연구가 매우 미약하며 영양염 및 입자성 유기물에 관한 연구는 전무한 편이다. 또한 우리나라 연안에서 영양염 분포에 관한 연구는 활발한 편이나 해수 중 입자성 유기물질의 분포 및 계절변화에 관한 연구는 최·정(1972)과 권(1993)의 낙동강 수역에서의 연구 이외에는 매우 미약하다.

본 연구는 아산만에서 영양염 및 입자성 유기물질의 계절적 변화를 알아보고 담수 유입이 이들의 분포에 미치는 영향 및 입자성 유기물질 상호관계를 파악하여 담수의 비주기적 유입이 용존물질 및 해양생물에 미치는 영향을 이해하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구를 위한 시료는 1991년 11월 및 1992년 2월에는 3개 정점에서(Fig. 1) Van Dorn 채수기를 이용하여 수심별로, 1992년 5월과 8월에는 15개 정점에서 채취하였다.

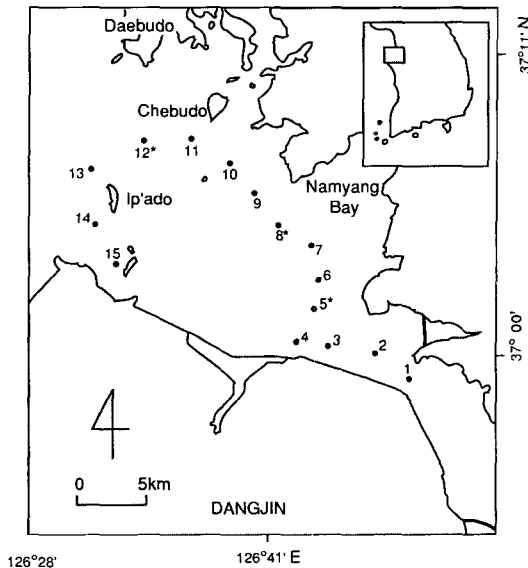


Fig. 1. The study area with sampling locations. The stations marked by "★" were the sites where vertical samplings were made in November 1991 and February 1992.

수심별 수온 및 염분은 T-S Bridge를 이용하여 현장에서 측정하였다. 영양염은 Strickland and Parsons(1972)의 비색법에 의하여 질산질소, 아질산질소, 암모니아질소, 규산규소 및 인산인을 측정하였으며 시료는 현장에서 유리섬유 여과지로 여과한 후, 여과된 시료를 분석시까지 냉동보관하였다. Chlorophyll *a* 측정을 위해서 해수 100~200ml를 공경 0.45 μ m 밀리포아 여과지로 여과하였고, 여과가 끝나기 직전 1% 탄산마그네슘 1ml를 여과지에 투입시켜 여과지를 분석시까지 냉동보관하였다. 분석을 위하여 여과지를 90% Aceton 10ml에 냉암소에서 24시간동안 침적하여 색소추출후 원심분리시켜 상등액을 취한 후, Fluorometer(Turner Dsigns Model 10)를 이용하여 5% 염산액을 1방울 첨가 전과 후의 Fluorescence값을 측정하여 chlorophyll *a* 및 phaeophytin 농도를 다음식을 이용하여 계산하였다(Holm-Hansen et al., 1965).

$$\text{Chl. } a(\mu\text{g/l}) = F_d \cdot T / (T - 1) \cdot (R_b - R_a) / \text{vol filtered}$$

$$\text{Phaeopigments}(\mu\text{g/l}) = F_d \cdot T / (T - 1) \cdot (TR_a - R_b) / \text{vol filtered}$$

R_b : fluorescence before acidification

R_a : fluorescence after acidification

T : ratio of R_b/R_a for pure chlorophyll *a*

F_d = appropriate calibration factor

$F_d = C_d/R_d$

C_d : concentration D determined spectrophotometrically

R_d : Fluorometer response for D

위 식에서 T 및 F_d 값은 순수 chlorophyll *a*(Sigma Co.)를 이용하여 결정하였다.

입자성 유기규소(particulate biogenic silica, PBSi) 측정을 위하여 해수 200~250ml를 밀리포아 여과지로 분석시까지 냉동 보관하였으며 분석은 여과지를 건조기에서 50 $^{\circ}$ C로 24시간 건조시킨 후 Na_2CO_3 5% 용액에 여과지를 침적시켜 항온수조에서 85 $^{\circ}$ C로 2시간동안 중탕시킨 후 추출된 용액을 위에서 언급한 규산염 측정 방법으로 농도를 측정하였다(Conway et al., 1977).

입자성 유기탄소(POC) 및 질소(PON) 측정을 위하여 해수 50~100ml를 450 $^{\circ}$ C에서 4시간 30분동안 precombusted된 유리섬유 여과지(GF/C)로 여과한 후 여과지를 건조기에서 50 $^{\circ}$ C로 24시간 건조시켜 CHN analyser(Perkin Elmer-2400)을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 수온 및 염분

조사기간 중 표층수온은 Table 1.과 같이 동계인 2월에 평균 2.7℃로 가장 낮았고 하계인 8월에 평균 24.9℃로 가장 높았다. 수층별 수온차는 연중 0.4℃ 이하로 큰 차이가 없었으며 11월 및 2월에 만내부에서 그리고 5월과 8월에는 만외부에서 수온이 다소 높았다(Appendix 1). 표층염분은 평균 30.47~32.40‰의 범위로 동계인 2월에 가장 높고 담수의 유입이 많은 8월에 가장 낮았다(Table 1). 수층별 염분차는 0.25‰ 이하로 수온과 마찬가지로 그 크기가 매우 작았다. 조사기간 동안 만안쪽에서의 염분이 만외구보다 다소 높은 경향이였다(Appendix 1). 이러한 수온 및 염분의 수직분포는 조사 해역이 조류에 의한 해수의 혼합이 활발한 지역임을 시사하고 있고 이는 박(1989)의 연구 결과와도 일치하고 있다.

2. 영양염

조사기간 동안 각 영양염 농도는 하계인 8월에 가장 높았으며 질산 질소, 인산인 및 규산 규소의 경우 춘계인 5월에 가장 낮았다(Table 1). 총 무기 질소와 인산 인의 원자 비는 5월에 24.8로 Redfield ratio(Redfield, 1958)인 16보다 매우 커 인산 인이 식물플랑크톤 성장의 제한요소로 작용하였으나 나머지 계절은 13.8~16.9의 범위로 Redfield ratio에 가까운 값을 나타냈다.

11월 및 2월의 수심별 영양염 분포를 보면 (Fig. 2), 11월에 인산 인, 질산 질소, 암모니아 질소의 경우 저층에서 다소 증가하는 양상이었으며 규산 규소는 표층에서 낮았다가 중층에서 최대이었으며

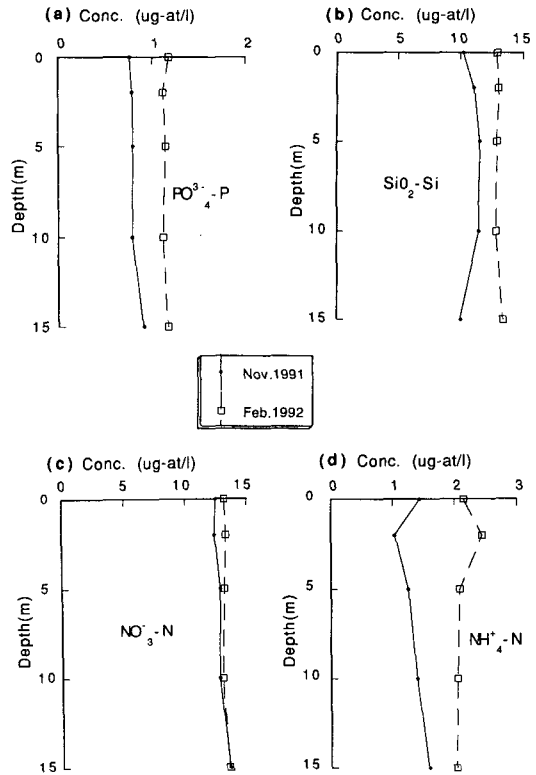


Fig. 2. Vertical profiles of nutrient concentrations in November 1991 and February 1992.

저층에서 감소하는 경향이였다. 2월 조사에서는 암모니아 질소가 2m 수심에서 최대인 것을 제외하고는 전 수심에서 비교적 균일한 분포를 나타내었다. 이는 2월에 수직혼합이 11월에 비하여 매우 강하였음을 시사해주고 있다.

담수유입과 영양염 농도와의 관계를 알아보기

Table 1. Mean values of temperature, salinity, and nutrient concentrations in the Asan Bay (Standard deviations are in parenthesis.)

Date	Tem (°C)	Sal. (‰)	Nutrient(μg-at/l)					ΣN/P ratio
			NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	SiO ₂	
91'	13.13	31.57	0.41	12.77	1.33	0.80	10.95	16.93
Nov.	(±0.51)	(±0.19)	(±0.27)	(±0.90)	(±0.35)	(±0.06)	(±2.65)	(±4.08)
92'	2.77	32.46	0.16	13.23	2.17	1.15	13.02	13.82
Feb.	(±0.22)	(±0.63)	(±0.02)	(±0.42)	(±0.71)	(±0.14)	(±0.59)	(±2.11)
92'	14.28	31.70	0.37	7.96	3.05	0.49	4.07	24.78
May	(±1.06)	(±0.57)	(±0.10)	(±1.50)	(±1.72)	(±0.10)	(±1.08)	(±8.26)
92'	24.90	30.47	1.34	14.65	4.75	1.28	24.59	16.04
Aug.	(±0.60)	(±0.73)	(±0.41)	(±4.74)	(±2.00)	(±0.28)	(±8.37)	(±3.73)

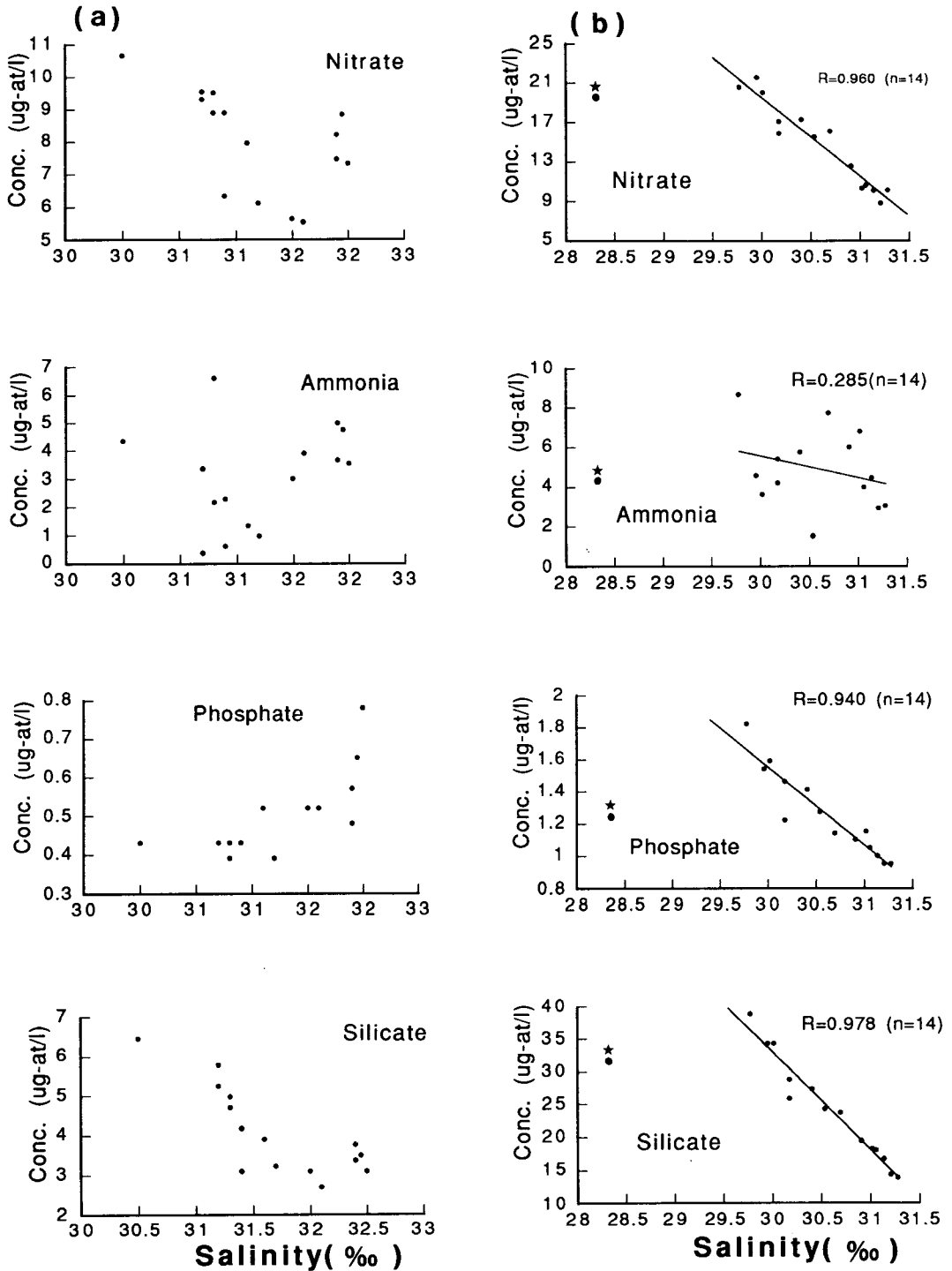


Fig. 3. Relationships between nutrient concentration and salinity in May (a) and in August (b) 1992 (The marks "★" in August were not included in calculating regression coefficient.)

위하여 각 영양염과 염분과의 상관관계를 Fig. 3에 나타내 보았다. 5월의 조사에서 질산 질소, 암모니아 질소 및 규산 규소의 경우, 염분 31.5~32.0‰까지는 염분이 증가할수록 농도가 감소하여 담수 유입이 이들 영양염의 주요 공급원으로 사료되나 염분이 32‰ 이상에서는 다시 염분이 증가할수록 농도가 증가함을 보여주고 있다. 이러한 경향은 본 조사해역의 경우 만외부에 특별히 공급원이 될만한 곳이 없는 것으로 볼 때 저층 혹은 수주에서 이들 영양염이 재생산되었을 것으로 사료된다. 인산 인의 경우 염분 31.5‰까지는 농도가 일정하나 그 이상의 염분에서는 다른 영양염과 마찬가지로 증가하는 양상이었다. 8월의 조사에서는 암모니아 질소를 제외하고 염분과 각 영양염 농도는 좋은 역 상관관계를 보여주고 있어(Fig. 3b), 이 시기에 이들 영양염의 공급원은 만 안쪽 혹은 담수유입임을 시사하고 있다. 상관계수가 질산 질소의 경우 0.96, 인산 인의 경우 0.94 그리고 규산 규소의 경우 0.98로 매우 높았다. 이러한 영양염과 염분의 역 상관관계는 광양만(Kim et al., 1988), 여수해만(Moon, 1990) 및 낙동강 하구(문·최, 1991) 등에서도 보고되고 있다. 정점 4에서 직선식과의 큰 편차는 이 시기에 정점 4에서의 높은 chlorophyll a 양으로 볼 때(Fig. 4) 이들 영양염이 식물플랑크톤에 의해서 소비되었기 때문으로 사료된다.

3. Chlorophyll a

chlorophyll a 농도는 Table 2와 같이 춘계인 5월에 평균 1.63 $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높았고 동계인 2월에 평균

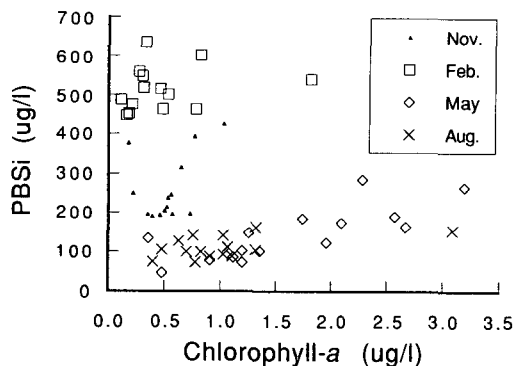


Fig. 4. Chlorophyll a concentration in May and August 1992.

0.48 $\mu\text{g/l}$ 로 가장 낮았다. 11월과 2월의 수직적 분포를 보면 아표층에서 chlorophyll 농도가 최대이었으며 5월과 8월의 수평적 분포는 만안쪽에서 비교적 농도가 높았다(Appendix 1). 5월에는 정점 3에서, 8월에는 인접한 정점 4에서 각각 3.19 $\mu\text{g/l}$, 3.09 $\mu\text{g/l}$ 로 최대값을 보였다(Fig. 4). Phaeopigment 농도는 2월에 평균 0.77 $\mu\text{g/l}$, 5월에 평균 0.98 $\mu\text{g/l}$ 로 비교적 높았으며, 11월 및 8월에는 각각 0.43 $\mu\text{g/l}$ 및 0.49 $\mu\text{g/l}$ 로 비교적 낮았다(Table 2).

chlorophyll a와 phaeophytin 농도의 상대적 비율을 나타내주는 R_b/R_a (R_b : fluorescence before acidification, R_a : fluorescence after acidification)의 비값은 2월에 평균 1.38로 가장 낮고 5월과 8월에는 각각 1.67, 1.66으로 비교적 높았다(Table 2). 순수 chlorophyll a의 경우 R_b/R_a 비율은 2.2이며(Holm-

Table 2. Mean values of chlorophyll a, phaeopigments, the ratios of R_b to R_a (R_b : fluorescence value before acidification, R_a : fluorescence value after acidification), concentrations of particulate biogenic silica (PBSi), particulate organic carbon (POC) and nitrogen (PON), the ratio of PBSi to POC (by weight), the ratios of POC to PON (by atomic weight) and the ratios of POC to chlorophyll a (by weight) in the surface water of Asan Bay (Standard deviations are in parenthesis.)

Month	Chl-a ($\mu\text{g/l}$)	Phaeopigment ($\mu\text{g/l}$)	R_b/R_a ratio	PBSi	POC ($\mu\text{g-at/l}$)	PON	PBSi/POC (by weight)	POC/PON (by atomic weight)	POC/Chl-a (by weight)
91'	0.53	0.43	1.57	9.28	39.91	3.14	0.76	15.35	927.35
Nov.	(± 0.21)	(± 0.22)	(± 0.08)	(± 2.85)	(± 16.17)	(± 2.19)	(± 0.53)	(± 8.33)	(± 423.14)
92'	0.48	0.77	1.38	18.39	105.21	16.04	0.44	6.66	4270.34
Feb.	(± 0.42)	(± 0.44)	(± 0.07)	(± 1.95)	(± 28.85)	(± 4.85)	(± 0.11)	(± 0.61)	(± 3331.79)
92'	1.63	0.98	1.67	5.13	60.77	6.01	0.23	18.16	518.55
May	(± 0.79)	(± 0.96)	(± 0.09)	(± 2.38)	(± 36.17)	(± 5.27)	(± 0.11)	(± 14.57)	(± 338.60)
92'	0.99	0.49	1.66	4.30	84.74	5.99	0.15	15.06	1334.87
Aug.	(± 0.59)	(± 0.11)	(± 0.99)	(± 1.40)	(± 25.01)	(± 2.16)	(± 0.12)	(± 4.45)	(± 819.36)

Hansen et al., 1965), 생리적으로 활발하게 성장하는 식물플랑크톤의 경우 보통 1.7이상, 그리고 뱀이나 갑각류의 추출물의 그 비율은 1로 알려져 있다(Yentsch and Menzel, 1963). 낮은 R_b/R_a 의 값은 chlorophyll *a*가 많이 degradation 되어가고 있음을 보여준다. 따라서 아산만에서 특히 2월에는 chlorophyll *a*값이 낮고 phaeopigment 농도가 높은 결과로 인한 매우 낮은 R_b/R_a 값은 식물플랑크톤이 생리적으로 성장하기에 나쁜 환경에 있음을 시사해 주고 있다.

4. 입자성 유기 규소

조사기간 동안 입자성 유기 규소농도는 11월 및 2월에 비교적 높았고 5월 및 8월에 낮았다(Table 2). 수심별로 조사된 11월 및 2월의 경우 표층에서 최대이었다가 중층에서 낮고 다시 저층에서 다소 증가하는 양상이었다(Appendix 1). 이러한 경향은 낙동강 하구의 조사(권, 1993)와도 일치하고 있다. 5월 및 8월의 수평분포 양상은 일반적으로 만안쪽이 높고 외해로 갈수록 낮아지는 경향이였다. 본 연구에서의 농도분포는 낙동강 하구의 0.40~11.45 $\mu\text{g-at/l}$ (권, 1993), Oslofjord만의 0.07~11.57 $\mu\text{g-at/l}$ (Paasche and Ostergen, 1980), Chesapeake Bay의 1~20 $\mu\text{g-at/l}$ (D'Elia et al., 1983) 및 Rappahaannok 하구의 20~40 $\mu\text{g-at/l}$ (Anderson, 1986)와 유사한 결과이었다.

입자성 유기 규소와 chlorophyll *a*의 관계를 볼 때(Fig. 5) 11월 및 2월에 chlorophyll *a*농도가 낮음에도 불구하고 입자성 유기 규소의 양이 상대적으로 높게 나타났다. 특히 2월에는 chlorophyll 농도가 가장 낮음에도 입자성 유기 규소의 양은 최대이었다(Table 2). 이는 이 시기에 규조류이외에 non-living detritus가 많았기 때문으로 사료되며 또한 타계절에 비하여 상대적으로 높은 염분을 고려하였을 때(Table 1) 이들 detritus의 공급원은 담수의 유입원에 의한 것이 아니고 동계의 활발한 수직 혼합으로 인한 저층으로부터의 유입에 의한 것으로 판단된다. 그러나 5월의 조사에서는 입자성 유기 규소농도가 비교적 낮고 또한 chlorophyll *a*와는 좋은 상관관계($r^2=0.86$)을 나타내고 있어 이시기에 입자성 유기 규소는 detritus에 의한 것보다는 주로 규조류에 의해 구성되었다고 사료된다. 8월에는 비교적 높은 chlorophyll *a*농도에도 불구하고 입자성 유기 규소농도가 낮아 8월에는 식물플랑크톤 중 규조류이외에 와편모조류 등 다른 종이 타계절에 비하여 상대적으로 많을 것으로 사료되나 이에 대한 연구가 더욱 이루어져야할 것으로 생각된다.

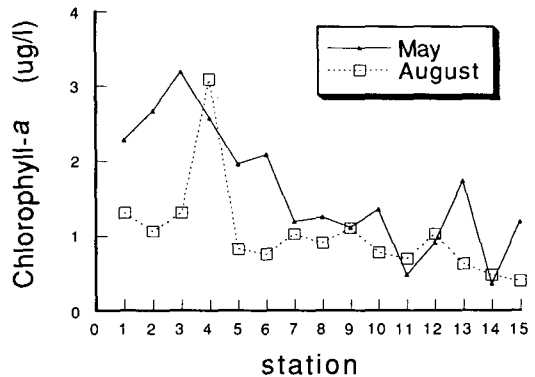


Fig. 5. Relationships between particulate biogenic silica (PBSi) and chlorophyll *a* in Asan Bay.

5. 입자성 유기 탄소 및 질소

각 조사시기별 입자성 유기 탄소 및 질소의 평균농도는 추계인 11월에 39.91 $\mu\text{g-at/l}$ 와 3.14 $\mu\text{g-at/l}$ 로서 최소이었으며, 2월에는 105.21 $\mu\text{g-at/l}$ 와 16.04 $\mu\text{g-at/l}$ 로서 최대이었다(Table 2). 특히 2월에 chlorophyll *a*양이 가장 낮음에도 불구하고 POC와 PON농도 값이 높은 것은 많은 양의 detritus가 존재함을 시사하며 이는 2월에 입자성 유기 규소농도가 높았던 것과도 일치하고 있다. 본 조사에서 나타난 입자성 유기탄소량은 낙동강 하구에서 조사한 최·정(1972)의 4.6~54.0 $\mu\text{g-at/l}$ 및 권(1993)의 10.30~97.85 $\mu\text{g-at/l}$ 와는 유사하나 심·신(1989)이 천수만에서 식물플랑크톤의 세포 체적으로부터 계산한 식물플랑크톤의 평균 탄소함량 17.4 $\mu\text{g-at/l}$ 보다는 높은 값을 나타내고 있다.

POC와 PON의 평균 원자비 값은 2월에 6.67로서 Redfield ratio와 유사한 값을 보이나(Table 2) 그 외의 계절은 15.1~18.2로서 탄소에 비하여 질소가 빨리 재생산되고 있음을 보여주고 있다.

5월 및 8월의 POC와 chlorophyll *a*의 상관성을 살펴보면 (Fig. 6) 5월에는 비교적 높은 상관성($r^2=0.62$)을 나타내고 있지만 8월은 뚜렷한 상관성을 보이지 않고 있다. 이는 5월에 각 정점의 POC양의 변화는 식물플랑크톤양에 의하여 결정되지만 8월에는 식물플랑크톤보다는 non-living detritus의 변화가 POC 농도를 결정하는데 더 중요한 부분을 차지한다고 볼 수 있다. POC와 chlorophyll *a*의 무게비는 2월에 평균 4270으로 가장 높고 5월에 약 518로서 가장 낮았다. 규조류의 대변식시 약 40 (Lorenzen, 1968; Eppley et al., 1977) 그리고 와편모조류 대변식시 78~209 (Eppley et al., 1977)로 알려져 있고, 그 외 광 및 영양염 상태가 나쁠때 그

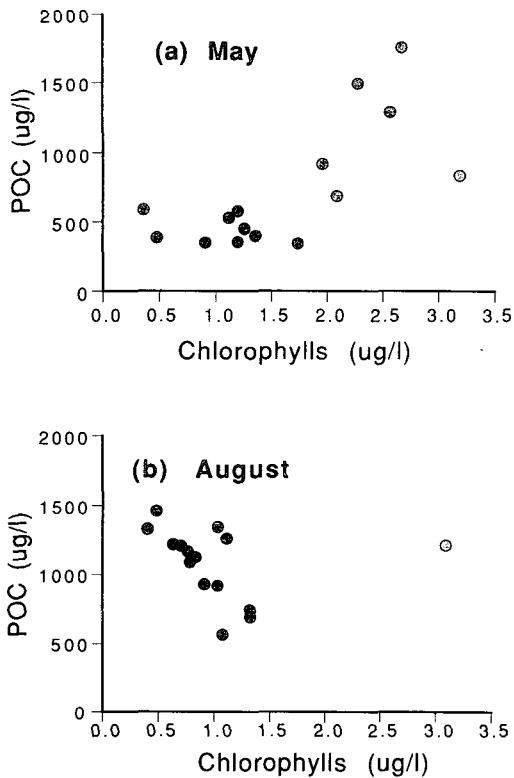


Fig. 6. Relationships between particulate organic carbon (POC) and chlorophyll *a* concentrations in May (a) and August (b) 1992.

비율은 더욱 증가하는 것으로 보고되고 있다(Hunter and Laws, 1981). 본 연구에서의 비교적 높은 값은 수직혼합이 매우 활발한 이 해역에서 저층으로부터 non-living POC가 많이 공급되었기 때문으로 사료된다.

입자성 유기 규소(PBSi)와 유기 탄소의 무게비는 0.15~0.76의 범위로 11월 및 2월에 비교적 높고 5월 및 8월에 낮게 나타났다(Table 2). 이 비율은 Paasche and Ostergen(1980)이 보고한 Oslofjord에서 0.01~0.41 그리고 Paasche(1960)가 실험실에서 배양된 규조류의 0.24~0.26과 유사한 값이다. 이러한 결과는 본 조사해역에서 PBSi와 POC 중 상당 부분이 non-living detritus임을 시사해주고 있다.

요 약

아산만에서 영양염 및 입자성 유기물의 계절적 변화를 조사하였다. 영양염은 8월에 높고 2월에 낮

았으며 무기 질소와 인산 인의 원자비는 5월의 24.8을 제외 하고는 Redfield ratio와 유사하였다. 5월에 인산 인을 제외한 다른 영양염들은 염분이 31.5~32.0‰까지는 염분이 증가할수록 감소하였으나 그 후 다시 증가하여 하구 내에서 영양염 공급이 있음을 시사해주고 있다. 그러나 8월의 조사에서 영양염과 염분이 좋은 역상관 관계는 이 시기에 영양염 공급원이 담수 유입으로 추정된다. chlorophyll *a* 농도는 5월에 최대이었고 조사시기 동안 Rb/Ra(Rb: fluorescence before acidification, Ra: fluorescence after acidification) 비가 비교적 낮아 조사해역의 식물플랑크톤이 생리적으로 성장하기에 나쁜 환경에 있는 것으로 사료된다. 입자성 유기 규소(PBSi)와 입자성 유기탄소(POC)의 비가 낮고 PBSi/chlorophyll *a* 비 및 POC/chlorophyll *a* 비가 상대적으로 높아 아산만에서 저층으로부터 많은 non-living detritus의 공급이 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

권기영, 1993. 낙동강 하구역 입자성 생물기원 규소의 계절적 변화. 부산수산대학교 석사학위논문. 44pp.
 문창호·최혜지, 1991. 낙동강 하구 환경특성 및 식물플랑크톤의 군집구조에 관한 연구. 한국해양학회지. 26, 144~154.
 박 철, 1989. 연안역 동물플랑크톤 시료의 변이: 반복채집 및 시간별 채집의 필요성. 한국해양학회지. 24, 165~171.
 심재형·신윤근, 1989. 천수만 일차 생산자의 생물량: 식물플랑크톤 탄소량과 세포개체수 및 클로로필과의 관계. 한국해양학회지. 24, 194~205.
 이태원, 1991. 아산만 정류 I. 적정 채집방법. 한국수산학회지. 24, 248~254.
 최 상·정태화, 1972. 낙동강 하구수역의 영양염류와 유기현탁물질. 한국해양학회지. 7, 1~14.
 Anderson, G. F. 1986. Silica, diatom and freshwater productivity maximum in Atlantic coastal plain estuaries, Chesapeake Bay. Estuar. Coast. Shelf Sci. 22, 183~197.
 Conway, H. L., J. L. Parker, E. M. Yaguchi and D. L. Mellinger. 1977. Biological utilization and regeneration of silicon in Lake Michigan. J. Fish. Res. Board Can. 34, 537~544.

- D'Elia, C. F., D. M. Nelsen and W. R. Boynton. 1983. Chesapeake Bay nutrients and plankton dynamics: III. The annual cycle of dissolved silicon. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 47, 1945~1955.
- Eppley, R. W., W. G. Harrison, S. W. Chisholm and E. Stewart. 1977. Particulate organic matter in surface waters off Southern California and its relationship to phytoplankton. *J. Mar. Res.* 35, 671~696.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holms and J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. int. Explor. Mer.* 30, 3~15.
- Hunter, B. L. and E. A. Laws. 1981. ATP and chlorophyll *a* as estimators of phytoplankton carbon biomass. *Limnol. Oceanogr.* 26, 944~956.
- Kaul, L. W. and P. N. Froelich. 1984. Modeling estuarine geochemistry in a simple system. *Geochim. Cosmochim. 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.
- Lorenzen, C. J. 1968. Carbon/chlorophyll relationship in an upwelling area, *Limnol. Oceanogr.* 13, 202~204.
- Moon, C. H. 1990. Studies on the phytoplankton and nutrients in the Yeosu Haeman. *Bull. Kor. Fish. Soc.* 22, 408~414.
- Paasche, E. 1980. Silicon content of five marine plankton diatom species measured with a rapid filter methods. *Limnol. Oceanogr.* 25, 474~480.
- Paasche, E. and I. Ostergen. 1980. The annual cycle of plankton diatom growth and silica production in the inner Oslofjord. *Limnol. Oceanogr.* 25, 481~494.
- Park, C., K. H. Choi and C. H. Moon. 1991. Distribution of zooplankton in Asan Bay, Korea with comments on vertical migration. *Bull. Kor. Fish. Soc.* 24, 472~482.
- Redfield, A. C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *Amer. Sci.* 46, 205~221.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis, 2nd ed. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 167, 310pp.
- Yentsch, C. S. and D. W. Menzel, 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.* 10, 221~231.

1993년 2월 3일 접수

1993년 3월 6일 수리

아산만의 영양염 및 입자성 유기물

Appendix 1. Concentrations of nutrients and particulate organic matter in the Asan Bay.

Date	St.	Dept (m)	Temp. (C)	Sal. (‰)	Nutrient($\mu\text{g-at/l}$)					Chlorophyll($\mu\text{g/l}$)			PBSi ($\mu\text{g-at/l}$)	POC ($\mu\text{g/l}$)	PON ($\mu\text{g/l}$)	POC/PON (by weight)
					NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	SiO ₂	Chl-a	Phaeo- pigme	R _b /R _a				
91' Nov.	5	0	12.2	31.30	0.82	13.44	1.75	0.76	14.20	0.18	0.33	1.37	13.45	199.10	13.44	14.81
		2	12.6	31.40	0.86	13.44	1.04	0.80	14.49	1.03	0.97	1.53	15.20	262.80	45.22	5.81
		5	12.6	31.40	0.80	14.16	1.31	0.84	14.49	0.65	0.77	1.47	11.25	421.80	196.60	21.52
	8	10	12.6	31.40	0.80	13.50	1.20	0.80	14.20	0.77	0.73	1.53	14.05	483.20	63.20	8.71
		0	12.8	31.50	0.33	12.76	1.47	0.80	5.45	0.53	0.34	1.63	8.55	471.80	109.06	4.32
		2	13.0	31.40	0.31	12.43	1.20	0.80	7.59	0.73	0.45	1.64	7.05	366.40	15.96	22.96
	12	5	13.1	31.50	0.35	13.04	1.42	0.80	9.05	0.56	0.38	1.61	8.80	66.140	*	*
		10	13.2	31.50	0.31	12.67	1.85	0.80	9.05	0.52	0.35	1.62	7.65	474.40	68.04	6.97
		15	13.2	31.50	0.33	13.84	2.13	1.01	9.14	0.35	0.24	1.61	7.00	545.00	27.02	20.17
		0	13.4	31.90	0.12	11.37	1.09	0.72	11.09	0.57	0.31	1.67	7.00	923.20	*	*
		2	13.8	31.80	0.18	11.31	0.87	0.76	11.19	0.46	0.26	1.66	6.90	*	*	*
		5	13.8	31.80	0.16	11.41	1.04	0.76	11.19	0.39	0.37	1.53	6.80	*	*	*
		10	13.8	31.80	0.14	12.14	1.15	0.76	11.28	0.50	0.36	1.59	7.30	*	*	*
		15	13.8	31.80	0.18	13.26	1.04	0.80	10.90	0.22	0.19	1.55	6.85	*	*	*
		92' Feb.	5	0	2.5	31.44	0.19	12.71	1.56	1.12	11.98	0.33	1.15	1.23	22.68	1361.00
2	2.4			31.71	0.17	12.99	1.56	1.12	12.43	1.81	1.75	1.52	19.27	1250.20	239.54	5.22
5	2.6			31.48	0.17	12.68	2.22	1.12	12.07	0.53	1.12	1.33	17.89	*	*	*
10	2.4			1.45	0.19	12.23	2.30	1.07	11.98	0.82	1.13	1.43	21.49	1331.80	254.38	5.24
8	0		2.8	32.80	0.17	13.54	2.68	1.34	13.52	0.78	1.25	1.40	16.55	1149.00	168.54	6.81
	2		2.8	32.80	0.13	13.65	1.56	1.30	13.43	0.18	0.22	1.46	16.17	661.40	109.06	6.06
	5		2.8	32.80	0.17	13.68	1.94	1.34	13.43	0.11	0.15	1.43	17.42	848.40	136.74	6.12
	10		2.8	32.80	0.15	13.66	1.56	1.30	13.34	0.16	0.32	1.35	16.01	2091.00	358.82	5.83
	15		-	-	0.21	13.62	1.38	1.30	13.52	0.48	0.81	1.39	16.55	1165.60	194.74	5.99
12	0		2.9	32.95	0.15	13.35	2.22	1.07	13.25	0.21	0.33	1.40	16.98	*	*	*
	2		3.0	32.95	0.15	13.35	4.24	0.94	13.34	0.31	0.60	1.35	18.50	*	*	*
	5		3.0	32.95	0.15	13.23	2.12	0.99	13.34	0.46	0.72	1.40	18.40	1500.80	284.20	5.26
	10		3.0	32.90	0.15	13.13	2.30	0.99	13.34	0.30	0.63	1.33	19.59	1211.40	213.36	5.68
	15		3.0	32.90	0.15	13.35	2.68	1.03	13.34	0.27	0.59	1.33	19.97	1316.60	228.34	5.77
	92' May		1	0	15.6	30.50	0.59	10.67	4.32	0.43	6.45	2.28	4.36	1.36	10.20	1494.00
2		0	15.0	31.20	0.37	9.55	3.36	0.43	5.78	2.67	1.09	1.73	5.85	1754.40	228.34	7.68
3		0	15.0	31.20	0.43	9.31	0.36	0.43	5.24	3.19	1.64	1.68	9.50	833.20	83.02	10.04
4		0	15.1	31.30	0.47	8.89	6.60	0.39	4.97	2.57	1.03	1.76	6.80	1289.00	94.22	13.68
5		0	15.2	31.30	0.55	9.51	2.16	0.43	4.70	1.96	0.73	1.75	4.40	917.60	101.64	9.03
6		0	15.0	31.40	0.39	8.09	2.28	0.43	4.17	2.09	1.00	1.70	6.20	686.40	53.20	12.90
7		0	15.1	31.40	0.39	6.33	0.60	0.43	3.09	1.20	0.45	1.63	2.60	352.40	116.62	3.02
8		0	14.6	31.60	0.39	7.95	1.32	0.52	3.90	1.26	0.61	1.69	5.30	449.40	30.80	14.59
9		0	14.7	31.70	0.37	6.11	0.96	0.39	3.22	1.12	0.46	1.73	3.05	527.00	30.80	17.11
10		0	14.2	32.00	0.31	5.63	3.00	0.52	3.09	1.36	0.61	1.71	3.60	396.80	8.40	47.24
11		0	14.2	32.10	0.31	5.53	3.90	0.52	2.69	0.48	0.27	1.64	1.65	384.40	30.80	12.48
12		0	13.0	32.40	0.25	7.45	3.66	0.48	3.36	0.91	0.54	1.65	2.80	348.40	8.40	41.48
13		0	12.1	32.45	0.29	8.83	4.74	0.65	3.49	1.74	0.68	1.74	6.60	341.40	*	*
14		0	12.8	32.50	0.24	7.32	3.54	0.78	3.09	0.36	0.56	1.62	4.80	588.00	34.58	17.00
15		0	12.8	32.40	0.24	8.20	4.98	0.57	3.76	1.20	0.61	1.68	3.65	576.80	98.00	5.89
92' Aug.	1	0	25.9	29.78	2.14	20.56	8.68	1.82	38.84	1.32	0.46	1.76	5.80	691.80	49.42	14.00
	2	0	25.6	29.96	1.86	21.54	4.58	1.54	34.38	1.07	0.54	1.68	4.00	563.04	49.42	11.39
	3	0	25.5	30.02	1.78	20.02	.62	1.59	4.38	1.32	0.55	1.73	3.70	738.96	56.98	12.97
	4	0	25.1	28.37	1.46	19.84	4.34	1.27	32.48	3.09	0.64	1.85	5.50	1211.40	98.00	12.36
	5	0	25.2	30.18	1.40	15.85	4.20	1.22	25.89	0.83	0.54	1.63	3.55	1121.40	71.82	15.61
	6	0	25.3	30.18	1.50	17.05	5.40	1.46	28.80	0.76	0.43	1.66	5.05	1165.56	127.82	9.12
	7	0	25.3	30.41	1.40	17.25	5.74	1.41	27.34	1.03	0.63	1.64	5.05	917.64	60.62	15.14
	8	0	25.1	30.54	1.28	15.52	1.52	1.27	24.33	0.91	0.51	1.66	3.15	927.36	49.42	18.76
	9	0	24.7	30.70	1.18	16.07	7.74	1.14	23.77	1.11	0.42	1.75	3.15	1258.44	86.80	14.50
	10	0	24.5	30.91	1.02	12.52	5.98	1.10	19.53	0.78	0.37	1.70	2.60	1086.60	116.62	9.32
	11	0	24.5	31.02	1.00	10.30	8.80	1.15	18.30	0.70	0.45	1.63	3.56	1205.76	60.62	19.89
	12	0	24.4	31.06	0.95	10.63	3.98	1.05	18.08	1.03	0.37	1.76	3.30	1344.36	79.24	16.97
	13	0	24.4	31.14	0.84	10.10	4.46	1.00	16.74	0.63	0.47	1.59	4.55	1217.04	83.02	14.66
	14	0	24.3	31.21	0.82	8.78	2.92	0.95	14.40	0.48	0.36	1.59	3.75	1462.20	131.46	11.12
	15	0	23.9	31.28	0.75	10.13	3.04	0.95	13.95	0.40	0.43	1.50	2.65	1329.24	120.26	11.05
14-b	15	23.9	31.35	1.46	4.69	1.08	1.00	10.83	0.40	0.45	1.48	5.35	635.04	131.46	4.83	
1-b	6	25.7	29.93	2.00	18.20	6.68	1.87	36.05	0.91	0.79	1.55	8.35	411.96	53.20	7.74	