

가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동특성 2. 수질환경과 엽록소 *a*량의 변동특성

윤 양 호
여수대학교 해양학과
(1999년 10월 18일 접수)

Variational Characteristics of Water Quality and Chlorophyll *a* Concentration in the Northern Kamak Bay, Southern Korea

Yang-Ho Yoon

Department of Oceanography, Yosu National University, Yosu, 550-749, Korea
(Manuscript received 18 October, 1999)

In order to study on the variational characteristics of water quality and chlorophyll *a* concentration, the water samples were collected daily or three times a week during the period from April 1990 to November 1991 at Kukdong port located in the Northern Kamak bay of Southern Korea

I made an analysis on biological factor as chlorophyll *a* concentration as well as physico-chemical factors such as water temperature, salinity, sigma-t, dissolved oxygen, nutrients (ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, and silicate), N/P ratio and chemical oxygen demand.

In Northern Kamak bay seasonal variations in physical factors such as water temperature, salinity and sigma-t were very marked. On the other hand, chemical factors such as nutrients concentration and COD were not so. Chemical factors, in particular, silicate were influenced by input of freshwater. And the roles of silicate on the seasonal succession of phytoplankton species composition was very low.

Phytoplankton biomass as measured by chlorophyll *a* concentration was very high all the year round, and it was controlled by the combination of several factors, especially of N/P ratio determined by dissolved inorganic nitrogen.

Key words : variational characteristic, water quality, chlorophyll *a*, nutrients, N/P ratio, Kamak bay

1. 서 론

연안해역은 육상과 외해의 접경지로서 육상의 변화를 직접 수용하고 있는 곳이다. 따라서 연안해역은 육상 기원 물질의 유입량이나 기상조건에 따라 해황이나 해양 환경 특성을 달리하게 되어, 계절적인 변화 양상이 비교적 뚜렷한 곳이다. 특히 대도시나 임해산업도시를 끼고 있는 연안해역은 근년 급속한 산업화와 생활환경의 개선에 의해 각종 생활하수 및 산업폐수가 다량으로 유입되어 극도의 부영양화가 진행되고 있으며, 이로 인해 인위적인 요인에 의한 연안환경의 변화 및 환경문제가 빈발한다.

대상해역인 가막만은 전국 굴 생산의 약 30%를 점유하고 있으며,¹⁾ 전체 수면적의 약 9.9%를 점유하는 해역에서 수확식 굴양식을 실시하고 있어,²⁾ 과밀한 양식시설에 의한 해역의 자가오염 및 주변 임해공업단지 그리고 인접도시로부터 산업폐수와 도시하수 등에 의한 오

염물질도 다량으로 유입되고 있는 해역이다. 그리고, 만내의 해저지형은 만 중앙부는 튀어나와 수심이 낮고 내만 측인 북쪽과 입구 쪽인 남쪽은 비교적 수심이 깊다.³⁾

조석에 의한 해수의 조차는 대조 시에 약 3m이며, 해수의 교환은 만 북동쪽의 광양만과 연결되는 북동수로와 남쪽의 남해로 연결되는 만 입구의 남쪽수로로 통하여 이루어지며, 이들 수로에 의하여 유입된 해수는 만내에서 서로 수렴하여, 만내에는 특성을 달리하는 세 개의 수형이 존재하는 것으로 알려지고 있다.⁴⁾ 또한, 남쪽만 입구의 일부해역은 수산 자원 보호 및 육성을 위한 청정해역으로 지정되어 있는 것에 반해, 만의 북서해역은 유입되는 생활하수와 산업폐수로 인하여 고수온기에 해저 저(무)산소화와 적조발생⁵⁾ 등으로 빈번한 해역환경문제를 발생시키고 있어, 해역의 이용과 관리에 많은 문제점을 제기하고 있는 등, 가막만은 매우 복잡, 다양한 해양환경 특성을 나타내고 있는 내만이다.

가막만에서 현재까지 수행된 연구보고는 다수 있으나, 대부분은 만내의 해수유동 등 물리환경 파악¹⁶⁻⁹⁾과 서식 생물량의 분포 등 생물해양학적 조사연구^{2,10-14)}에 대한 내용이다. 기타로는 Lee³⁾에 의한 지질학적인 조사보고, Cho 등¹⁵⁾에 의한 굴양식어장의 단편적인 부영양화 조사와 조현서 등¹⁶⁾에 의한 수질 및 저질환경 특성에 대한 보고가 있으나, 해양생태계의 근간을 구성하고 있는 기초생산자와 이들에 직접적인 영향을 주고 있는 환경과의 관련성에 의한 생물생산기구 등에 대한 연구는 매우 빈약하다.¹⁷⁾ 따라서 본 연구에서는 만내의 한 개 정점을 대상으로 주년을 통한 장기 수질항목과 식물플랑크톤 생물량에 대한 모니터링으로부터 가막만의 생물생산에 관여하는 이화학적 환경특성을 고찰하여 보고자 한다.

2. 재료 및 방법

현장조사는 가막만의 북쪽에 위치하는 국동항 계류방파제 선단에 하나의 정점(Fig. 1)을 선정하여 1990년 4월부터 1991년 11월까지 항복에 따라 매일 또는 격일간격으로 표층과 저층 해수(해저에서 1m위에 있는 수층)를 대상으로 실시하였다. 다만, 영양염류와 식물색소량은 1991년 1월부터 실시되었다. 채수는 Kitahara type 채수기를 이용하였으며, 항목별 측정과 분석은 채수 후 현장에서 측정이 가능한 항목에 대해서는 현장에서, 기타의 항목은 실험실에 운반하여 분석하였다. 측정항목과 분석방법은 다음과 같다.

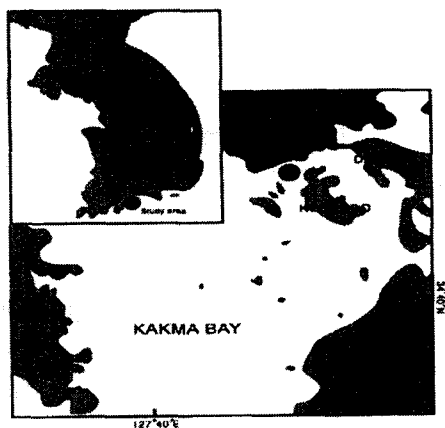


Fig. 1. A map showing sampling stations in Northern Kamak bay.

즉, 수온은 현장에서 채수 직후 봉상 수온온도계(0~50℃, 1/10℃)를 이용하여 측정하였으며, 염분은 질산은을 이용한 Mohr적정법, 용존산소량은 Winkler변법¹⁸⁾에 의해 분석하였다. 그리고, 용존무기영양염류는 해수를 membrane filter(pore size: 0.45μm, 직경: 47mm)가 장착된 여과기에서 흡인 여과시킨 다음, 여과된 해수를 분석용 시료로 제공하여, 암모니아염은 인도페놀법, 아질산염은 BR법, 질산염은 Cd-Cu환원칼럼의 의한 방법¹⁹⁾, 인산염

과 규산염은 모리브덴청법^{18,19)}에 따라 분광광도계(Milton Roy Co., Spectronic 20D)를 이용하여 비색 측정하였다. 또한 수질의 유기오염정도를 파악하기 위한 화학적 산소요구량은 과망간산칼륨-요소적정법²⁰⁾에 의하였다.

식물플랑크톤의 생물량은 엽록소 a량(Chlorophyll a, Chl-a)으로 나타내었으며, Chl-a량은 해수 500ml를 membrane filter (pore size: 0.45μm, 직경: 47mm)가 장착된 여과기에서 흡인 여과하여, 여과지 위에 채집된 식물플랑크톤을 90% v/v acetone을 이용 냉암소에서 2시간 이상 추출시킨 후, 원심분리기를 이용하여 상등액과 불순물로 분리시켰다(3,000rpm, 10min). 분리된 시료의 상등액은 상기의 분광광도계를 이용하여 색소의 흡광도를 측정,²¹⁾ 경험식에 의한 Chl-a 량을 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 물리·화학적 환경요인

1) 수 온

최저수온은 층별에 관계없이 2월 초순에 기록되어 4.6℃를 나타내고 있으며, 최고 수온은 8월 초순에 28.4℃를 기록했다. 이로부터 가막만 수온의 연교차는 23.8℃로서 큰 차이를 보였다. 이와 같은 값은 가막만이 난류의 영향을 받고 있는 해역임을 감안하면 다소 큰 값²²⁾이나, 관측점이 육상과 접하고 있는 천해역에 반폐쇄적인 해역 특성을 나타내고 있어, 최고, 최저값이 높게 나타나고 있는 것으로 보아지며, 특히 최저값이 매우 낮게 나타나고 있었다.²³⁾ 그리고, 고수온기에 보여지는 수심별 수온의 차, 즉 성층의 정도는 얇은 수심과 조석 및 선풍운향에 의한 연직 혼합으로 매우 약하여, 연간 층간 혼합된 양상을 보였다. 계절의 변화에 따른 수온의 변화는 8월에 최고값, 2월에 최저값을 기점으로 하여 매우 완만한 변화양상을 나타내었다(Fig. 2).

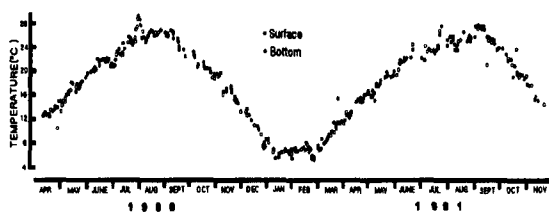


Fig. 2. Daily changes of water temperature from June 1990 to Nov. 1991.(open circles ; surface, closed circles ; bottom)

2) 염 분

염분의 경우는 최저값이 장마철인 7월 초순(27.13‰)에 보여지고 있으며, 최고값은 최저수온의 출현시기와 유사한 1월 하순(34.70‰)에 기록되고 있다. 염분의 연교차는 7.53‰로서 연안해역으로서는 비교적 적은 변동 값을 나타내었다. 이는 본 해역에는 대량으로 유입하는 하천 등이 없고, 조사지점의 해수혼합이 비교적 원활하기 때문으로, 그 결과 고수온기에 연안해역에서 쉽게 보여지는 연직적인 염분차이도 나타나지 않았다.

계절적으로는 저수온기인 동계에 높은 염분농도를, 고수온기인 하계에 낮은 염분농도를 나타내고 있으며, 하계 장마철을 제외하면 비교적 균일한 염분농도를 나타내었다. 특히 1월 하순에서 2월 초순에 걸쳐서는 34.0% 이상의 고염수가 표층에까지 출현하고 있어, 겨울에는 내만 깊숙히 까지 대마난류 등 외해수의 영향이 미치고 있는 것으로 판단되었다(Fig. 3). 그러나, 내만해역은 높은 염분농도에 비해 매우 낮은 수온분포를 나타내어, 외해수의 영향에 대한 상반된 결과를 보이고 있으나, 이는 수심의 얕은 내만의 수온은 대기의 영향을 쉽게 받기 때문이다.²³⁾

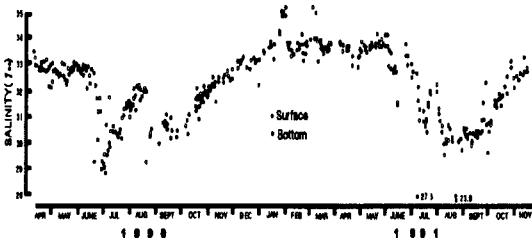


Fig. 3. Daily changes of salinity from June 1990 to Nov. 1991.

3) 현장밀도

수온과 염분으로부터 계산한 현장밀도(σ_t)는 8월 하순에 최저값(15.23kg/m³)을 나타내고 있으며, 최고 염분농도를 나타내는 1월 하순에 최고값(27.37kg/m³)을 나타냈다. 현장밀도의 연교차는 12.14kg/m³로서 큰 변동폭을 보이고 있으며, 계절변화의 양상도 뚜렷하여, 강수 등에 의한 담수유입이 많은 고수온기에 낮고, 해수의 상하 혼합이 활발한 저수온기에 높은 밀도를 나타내어, 전형적인 연안해수의 특징을 보여주었다(Fig. 4). 또한 현장밀도의 증가와 하강의 경도는 수온과 염분보다 급한 기울기를 형성하고 있으며, 변화 경향으로부터는 현장밀도가 염분보다 수온에 의한 기여율이 더욱 높게 나타났다.

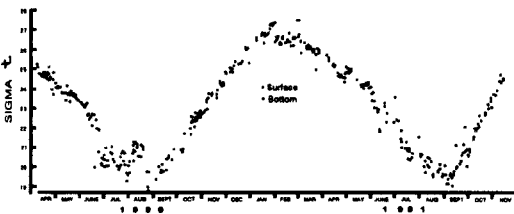


Fig. 4. Daily changes of sigma t from June 1990 to Nov. 1991.

4) T-S diagram

수온과 염분농도로부터 작성한 T-S diagram을 Fig. 5에 나타내었다. 그림으로부터 동계에는 현장밀도가 24 kg/m³ 이상의 고밀도수 출현이 보여지는 것에 반해, 기타의 계절에는 24kg/m³보다 낮은 밀도수에 의해 가막만

북부해역이 점유되고 있었다. 그리고 동계는 고밀도의 수괴가 오랫동안 지속되고 있는 것에 반해, 5월부터 24 kg/m³전후의 밀도수가 출현하기 시작하여 점차 저밀도 수괴가 형성되어, 초가을까지 저밀도 현상이 진행되어 8~9월이 장마철인 6~7월보다도 낮은 밀도수가 출현하는 특성을 나타내었다.

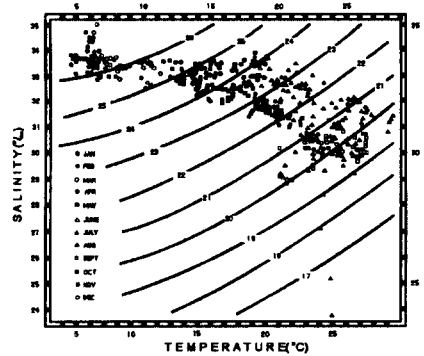


Fig. 5. Maps showing T-S diagram in Kamak Bay from June 1990 to Nov. 1991.

5) 용존산소량

1991년 1월부터 11월까지 분석된 용존산소량(dissolved oxygen, DO)과 용존 산소 포화도(saturation of DO)의 격일 변화를 보면, 동계에는 산소량이 높고, 여름에 낮은 값을 나타내었다. 그러나, 산소포화도는 9월 하순에 최저 50.7%에서 3월 하순에 최고 128.6%(3월 25일)을 나타내고 있어 계절적으로 산소량의 변화가 매우 심한 차이를 나타내고 있었다. 즉, 해수의 연직혼합이 활발한 동계와 식물플랑크톤이 blooming을 보이는 계절에 산소과포화를 나타내는 반면, 해역의 성층이 형성되는 여름과 가을철에 불포화 상태를 나타내었다(Fig. 6).

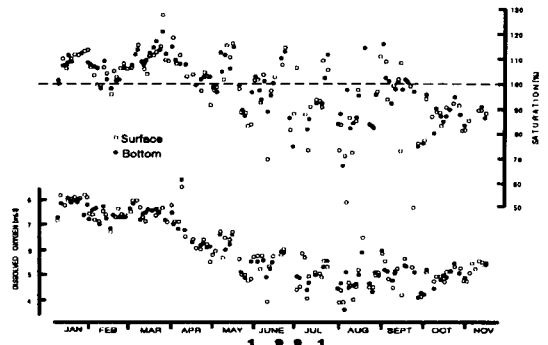


Fig. 6. The changes of dissolved oxygen(DO, lower) and its' saturation(upper) from June 1990 to Nov. 1991.

특히 8월과 9월의 저층에서 매우 낮은 산소포화도를 나타내고 있는데, 이는 조사지점의 여수시 연안에 위치하고 있어 하계 각종 생활하수와 산업폐수에 의해 다량의 유기물이 유입으로 해저 표층에 침전되어 있는 유기

물에 대한 활발한 미생물 작용으로 저층의 산소가 다량으로 소모되기 때문이라 할 수 있다.²⁴⁾ 이는 가막만내에서 생활하수 유입이 많고 해수교환이 나쁜 만의 북서해역은 고수는 성층기에 해서 저산소 또는 무산소층이 출현한다는 결과⁵⁾와도 일치하는 내용이다.

6) 용존무기질소

Fig. 7은 1991년 1월부터 11월까지 조사정점에서 용존무기질소의 격일 변화를 나타내었다. 본 항의 용존무기질소(dissolved inorganic nitrogen, DIN)는 암모니아태 질소(NH₄-N), 아질산태 질소(NO₂-N) 및 질산태 질소(NO₃-N)를 합한 값을 말한다. DIN 농도의 변화는 6월 하순에 최저농도 2.59μg·at/l, 5월 중순에 최고농도 28.36μg·at/l를 나타내어, 최고, 최저값 모두 식물플랑크톤의 경시적인 변화가 비교적 큰 수온 상승기에 보여졌다. 또한 최고, 최저값의 차이는 25.8μg·at/l로 시·공간적으로 매우 심한 농도의 차이를 나타내어, 가막만 북부해역의 질소원은 부정기적인 경로를 통해 유입되고 있음을 시사하고 있었다. 연평균 용존량은 9.78 ± 5.22 μg·at/l (평균 ± 표준편차; 앞으로는 동일한 방법에 의하여 서술함)로서, 1976년 양한춘¹¹⁾에 의하여 본 해역에서 측정된 층계의 평균값 3.45μg/at/l 보다는 매우 높은 값이며, Shim¹²⁾에 의해 측정된 NO₂-N의 값인 0.014~0.836μg·at/l (본 조사에서는 0.09~1.90μg·at/l)와 비교하더라도 매우 높은 값으로서, 이는 가막만 북부해역이 최근 10여년간 상당부분 부영양화가 진행되고 있음을 뜻하는 내용이라 할 수 있다. 그러나 조사기간 가막만 북부해역에서 측정된 용존무기질소의 농도는 기타의 임해공업단지와 다량의 생활하수가 유입되는 연안해역의 농도^{25,26)}와 비교하면 그다지 높은 수준은 아니다. 다만, 가막만 입구부가 청정해역으로 지정되어 있음을 고려하면 가막만의 영양염류 농도가 최근 수년 동안에 매우 빠르게 증가하고 있다고 할 수 있다.

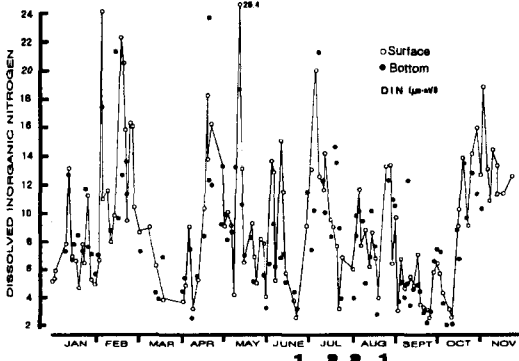


Fig. 7. The changes of dissolved inorganic nitrogen(DIN) Jan. to Nov. in 1991.

그리고 전반적인 DIN의 계절적 변화양상은 동계와 육수가 유입이 많은 장마철에 높은 값을 나타내고 있으며, 식물플랑크톤 생산 활동이 활발한 봄과 가을²⁴⁾에 낮

은 값을 나타내고 있어, 식물플랑크톤 생산 등에 효율적으로 흡수, 동화되고 있다고 할 수도 있으나, 변동양상이 계절에 관계없이 조사시점에 따라 급격히 변화하고 있어, 가막만 북부해역의 용존무기질소는 생활하수나 산업폐수 등이 대도시와 공단을 접하고 있는 북부 연안해역에서 해역으로 유입된 이후, 해수유동에 따라 관측점에 쉽게 영향을 주고 있는 것으로 이해할 수 있었다.

7) 용존무기인

용존무기인(dissolved inorganic phosphorus, DIP)은 인산태 인(PO₄-P)형태로 존재하는 인을 말한다. DIP 농도의 연변화는 최저농도 0.05μg·at/l (1월 1일)에서 최고농도 4.65μg·at/l (2월 1일)를 나타내고 있으나, 1회의 최고값을 제외하고는 2.0μg·at/l 이상의 농도는 보이지 않았다(Fig. 8). 연평균 용존량은 0.67 ± 0.59μg·at/l를 나타내어, 과거 양한춘¹¹⁾에 의해 봄철 측정된 평균값 0.26μg·at/l 나, Shim¹²⁾에 의한 0.04~2.15μg·at/l (최고값 이외에는 모두 1.0μg·at/l 이하) 보다는 매우 높은 값을 나타내고 있는 것으로부터, 가막만 북부해역은 DIN 항목과 같이 최근 10여년간 상당부분 부영양화가 진행되고 있음을 알 수 있었다.

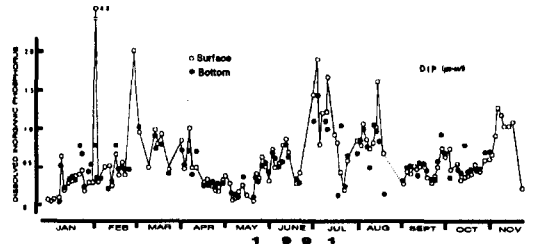


Fig. 8. The changes of dissolved inorganic phosphorus (DIP) from Jan. to Nov. in 1991.

그러나 1987년과 1988년 만 중앙부에서 이병돈 등²⁾에 의하여 측정된 0.11~1.53μg·at/l (평균 0.55μg·at/l)과는 유사한 값을 나타내고 있어, 가막만 북부해역의 용존무기인의 농도는 시·공간적으로 매우 불규칙하면서도 큰 폭으로 변동하는 것으로 판단되었다. 그리고, DIP의 계절적인 변화는 겨울에 높게 나타나는 2회의 예를 제외하고는 7, 8월인 여름에 높고, 기타 계절에 낮은 경향을 나타내고 있어, 만내 DIP의 유입원은 대부분 담수에 의하는 것으로 판단되었다.

8) N/P 원자비

Fig. 9에는 DIN과 DIP로부터 산출한 N/P 원자비의 격일변화를 나타내었다. 해수를 생활의 기반으로 하는 식물플랑크톤은 생체 중의 질소와 인의 비율이 Redfield ratio²⁷⁾로서 16:1 정도이다. 따라서, 이를 기본으로 해양 식물의 성장에 제한을 주고 있는 영양인자는 질소와 인만을 한정하여 생각한다면, N/P 비가 16이상인 경우에는 용존무기인에 비하여 용존무기질소가 상대적으로 많

아, 식물플랑크톤의 성장은 인의 존재량에 의하여 지배된다고 볼 수 있으며, 반대로 N/P 비가 16 이하인 경우는 질소의 존재량에 의하여 식물플랑크톤의 성장이 지배된다고 할 수 있다.

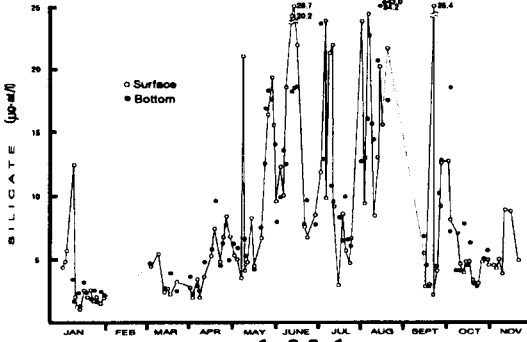


Fig. 9. The changes of N/P ratio from Jan. to Nov. in 1991.

가막만의 N/P 비는 봄과 겨울에 높고, 6월에서 9월 고수운기에 낮은 값을 나타내고 있어, 담수유입의 적은 겨울철과 4, 5월 봄철은 인에 의하여, 기타 담수유입이 비교적 많은 시기에는 질소에 의하여 식물플랑크톤의 성장이 제한되고 있는 것으로 판단되었다. 즉, 가막만 북부의 식물플랑크톤 성장은 만외에서 유입되는 영양염류의 양에 의해 지배되고 있으며, 전체적으로는 용존무기인 보다도 질소의 용존량에 의해 지배되고 있었다. 이와 같은 결과는 해양에서는 인보다 질소원에 의하여 식물의 성장이 지배된다는 일반적인 결과²⁸⁾이나 부영양화가 진행된 해역에서는 용존무기질소가, 극도의 부영양화가 진행된 연안해역에서는 질소원 보다도 용존인의 존재량에 의해 식물플랑크톤 성장의 지배된다는 결과²⁹⁾와도 일치하고 있다. 이와 같은 결과로부터 가막만 북부해역은 최근 십수년간에 많은 수질환경 변화를 보이고 있으며, 현재는 부영양화 해역으로 이행되는 단계에 있다고 판단된다.

그러나, 식물플랑크톤 군집은 매우 다양한 생물 종에 의해 구성되고 있고, 종에 따라 영양요구를 달리하기에 단순히 N/P 비 대소에 의해 식물플랑크톤의 성장과 제한 영양염을 이해하는데에는 많은 고려가 필요하게 된다.^{30,31)} 또한 일부 보고에서는 가막만은 질소나 인의 독립적인 작용보다도 이들 균형비인 N/P 비에 의해 식물플랑크톤 생물량이 크게 지배되는 것으로도 알려져 있다.¹⁷⁾

9) 용존무기규소

Fig. 10은 용존무기규소($\text{Si}(\text{OH})_4\text{-Si}$) 농도의 격일 변화를 나타내었다. 규소의 연변화는 표층의 최저농도 $0.85\mu\text{g} \cdot \text{at} / \ell$ (1월 14일)에서 최고농도 $28.7\mu\text{g} \cdot \text{at} / \ell$ (6월 12일)로서 연교차는 $27.85\mu\text{g} \cdot \text{at} / \ell$ 를 나타내고 있으며, 연평균으로는 $8.20 \pm 7.04\mu\text{g} \cdot \text{at} / \ell$ 를 나타내었다.

계절적으로는 봄과 가을에 낮고, 여름에 높은 값을 나타내었다. 이와 같은 결과는 중위도 연안해역의 경우, 수온 상승기에 식물플랑크톤 종조성이 규조류에서 식물성 편모조류로 천이 되는 과정에 규소의 고갈의 큰 역할을 수행하고 있다는 角峯,³²⁾ Tsunogai and Watanabe,³³⁾ 坂本³⁴⁾ 등이 보고와는 상반된다. 즉, 가막만 북부해역의 식물플랑크톤 종조성의 계절적 천이에는 규산염의 역할이 매우 미약하다 할 수 있으며²⁹⁾, 만내로의 규산염 유입원 역시 대부분 담수유입에 의하는 것으로 보아졌다.

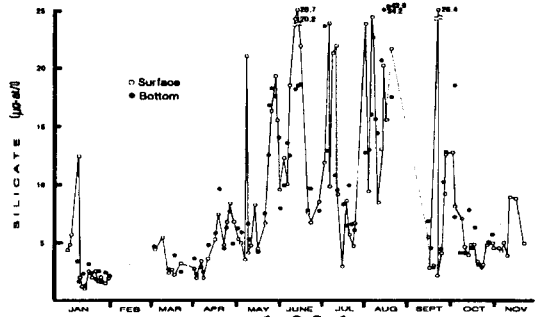


Fig. 10. The changes of silicate from Jan. to Nov., in 1991.

10) 화학적 산소요구량

Fig. 11에는 해역의 유기오염 지표로서 화학적산소요구량(chemical oxygen demand, COD)농도의 격일 변화를 나타내었다. 표층 COD의 연변화 폭은 최저농도 nd (측정값 이하; 7월 24일 등)에서 최고농도 $2.50\text{mgO}_2 / \ell$ 로, 그 차이는 $2.50\text{mgO}_2 / \ell$ 를 나타내었다. 그러나 일부 최고 범위의 값을 제외하고는 $1.5\text{mgO}_2 / \ell$ 이하의 값을 나타내고 있어, 유기물질의 농도로서 가막만 북부해역은 아직 1급수 수준의 수질상태를 나타내고 있었다.

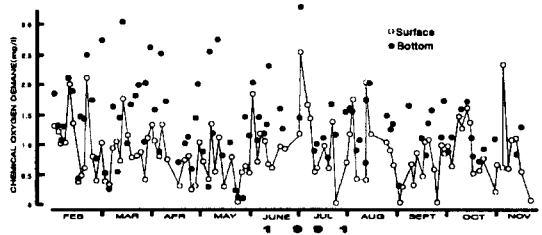


Fig. 11. The changes of chemical oxygen demand (COD) from Jan. to Nov. in 1991.

또한, 본 연구의 COD 측정값은 Shim¹²⁾이 1979년과 1980년에 측정된 값인 $0.17\text{mgO}_2 / \ell$ 에서 $2.04\text{mgO}_2 / \ell$ 와 비교하여 크게 차이를 나타내는 값은 아니나, 최근 10여 년간에 어느 정도 유기오염이 진행되고 있음을 나타낸다. 그리고, COD는 계절적인 뚜렷한 변화양상은 나타나지 않았고, 연간 $1.0\text{mgO}_2 / \ell$ 이상의 비교적 안정된 값을

나타내었다. 또한, 다른 물리·화학적 환경요인과는 달리 표층과 저층의 변화양상도 달라, 대부분 관측일에 저층에서 매우 높은 값을 나타내고 있었다. 이는 관측점의 위치가 협수로로 향로에 해당되고 있으며, 수심이 낮아 조석이나 선박운항 등에 의해 해저 표층 퇴적층의 교란으로 저층 해수에 상당부분 유기물 축적이 이루어진 표층퇴적물 입자가 포함되고 있기 때문으로 판단되었다.

3.2. 엽록소 a 량

Fig. 12에는 엽록소 a 량의 격일 변화를 나타내었다. 변화의 폭은 최저 0.34mg/m³(90년 10월 21일)에서 최고 17.89mg/m³(9월 23일)로서, 1991년 평균은 5.0 ± 2.82mg/m³을 보여 비교적 높은 값을 나타내고 있다.³⁵⁾ 이와 같은 결과를 과거 본 해역에서 측정된 값들^{2,11,12)}과 비교하여 보면, 양한춘¹¹⁾이나 이병돈 등²⁾보다는 매우 높은 값을 보이고 있으며, Shim¹²⁾과는 유사한 값을 나타내고 있어, 본 해역에서의 식물플랑크톤 생물량은 시·공간적으로 매우 불균일한 분포를 하고 있는 것으로 보아졌다.

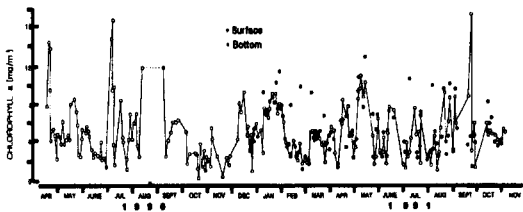


Fig. 12. The changes of phytoplankton biomass as measured by chlorophyll a concentration from Jan. to Nov. in 1991.

그러나, 조사 대부분의 시점에서 2.0mg/m³이상의 비교적 높은 생물량을 나타내어, 가막만의 기초생물생산성은 매우 높다는 것을 알 수 있었다. 그러나, Chl-a 량이 계절적인 변화에는 뚜렷한 양상을 보이지 않고 있으며, 전반적으로는 봄과 고수온기에 높은 값을 나타내었다. 특히, 고수온기 편모조류의 출현비율이 많은 시기에 비교적 높은 값을 나타내고 있는데, 이는 식물플랑크톤의 종 조성 차이에서 오는 현상이다.³⁶⁾ 또한, 다소 차이는 있

으나, 계절에 관계없이 저층에서 표층보다 높은 생물량을 보이고 있어, COD항목에서와 같이 저층 해수에는 표층퇴적층의 입자가 상당부분 혼재하고 있기 때문이라 판단되며, 실제 남해 천해역의 표층퇴적물 중에는 매우 높은 식물색소량이 존재하고 있는 것으로 보고³⁷⁾되고 있다.

3.3. 측정 항목 사이의 상호관련성

분석한 요인들 사이의 상호 관련성을 이해하기 위해 Table 1에는 분석 항목사이의 상관행렬을 나타내었다. 다만, 표는 가막만은 내만 해역으로 각종 환경요인이 계절적 변화가 극심함에도 불구하고, 조사기간 중 1991년 자료 모두를 일괄적으로 대입, 분석하고있어, 계절에 따른 요인간 관련성을 살펴보기에는 다소 문제점을 가진다.

상관행렬로부터 가막만 북부해역의 경우, 염분은 수온과 강한 음의 상관을 보여 겨울에 높고, 강수 등에 의해 담수 유입이 많은 여름에 낮은 농도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 현장밀도는 수온과 염분에 강한 상관성을 나타내고 있으나, 염분은 연간 비교적 안정되어 크게 변화를 보이고 있지 않은 반면, 수온의 연교차가 크게 나타나고 있어, 수온에 의한 밀도변화의 기여도가 높게 나타나고 있다.

영양염류는 타 항목과 높은 관련성을 나타내지는 않고 있으나, 아질산염만은 수온과 양의 상관, 염분 및 현장밀도와는 음의 상관을 나타내고 있어, 가막만 북부해역의 영양염류는 주로 만외의 담수 유입 등에 의존하는 비율이 큰 것으로 나타났다. DIN은 암모니아염 및 질산염과 양의 상관을, 특히 질산염과 높은 상관을 나타내, DIN은 암모니아염보다 질산염에 더욱 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. N/P 비는 질산염과 DIN에 높은 양의 상관을 보여, 만내 N/P 비는 인보다 질소원 변화에 따라 영향을 크게 받고 있는 것으로 판단되었다. 규산염은 비교적 수온과 강한 양의 상관, 현장밀도와 강한 음의 상관을 보여, 여름철 담수유입에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

그리고, 만내의 식물플랑크톤 생물량은 질소, 인 등 개별적 변동보다 N/P 비의 변동에 의해 더욱 크게 영

Table 1. Correlation matrix between Chl-a and physio-chemical parameters in Kamak bay

	Temp.	Sal.	Sig.-t	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	DIP	N/P	Si	Chl-a
Temp.	1										
Sal.	-0.752	1									
Sig.-t	-0.942	0.926	1								
NH ₄ -N	0.013	0.034	0.022	1							
NO ₂ -N	0.450	-0.485	-0.496	-0.007	1						
NO ₃ -N	-0.037	0.068	0.079	0.219	0.054	1					
DIN	0.028	0.026	0.023	0.442	0.143	0.955	1				
DIP	-0.026	-0.106	-0.053	-0.106	0.231	-0.015	-0.016	1			
N/P	-0.073	0.230	0.186	0.185	-0.230	0.645	0.634	-0.398	1		
Si	0.625	-0.349	-0.529	0.096	0.578	0.079	0.166	0.205	-0.215	1	
Chl-a	-0.080	0.126	0.114	-0.063	-0.359	0.033	0.002	-0.171	0.472	-0.330	1

Temp.; temperature, Sal.; salinity, Sig.-t; sigma-t, NH₄-N; ammonia-nitrogen, NO₂-N; nitrite-nitrogen, NO₃-N; nitrate-nitrogen, DIN; dissolved inorganic nitrogen, DIP; dissolved inorganic phosphorus = phosphate-phosphorus, N/P; N/P ratio, Si; silicate-silicon, Chl-a; chlorophyll a

향을 받는 것¹⁷⁾으로 나타나, 가막만의 높은 기초생물생산을 유지하기 위해서는 균형 있는 영양염류의 존재가 무엇보다 중요한 것으로 나타났다.

4. 결 론

가막만 북부해역의 물리, 화학 및 생물학적 해양환경은 비교적 뚜렷한 계절적 변화 특성을 보여주고 있으나, 영양염류, COD 등, 일부 항목은 계절변화보다 유입되는 각종 외부 물질의 유입량과 조석 등 해수유동에 의해 더욱 영향을 받는 것으로 추정되었다. 만내 영양염류의 대부분은 만 외부에서 유입되는 담수, 하수 등에 의해 영향을 받고 있으며, 특히 규산염에서 그 경향은 뚜렷하였다. 일반적으로 온대해역에서는 봄철 규조류에 의한 대발생 이후 식물성편모조류로 식물플랑크톤 종의 천이를 보이고 있는데, 이는 봄철 규조류에 의한 대발생으로 규산염이 고갈되어 규산을 필요로 하지 않은 식물성편모조류로 종조성이 변화하는 것으로 알려지고 있으나,^{32,33,34)} 가막만의 경우 여름철 높은 편모조류의 출현에 동반하여 규산염 농도가 매우 높게 나타나고 있어, 종의 천이에 규산염의 역할은 매우 미약한 것으로 판단되었다.

그리고, Chl-*a*량에 의한 식물플랑크톤 생물량의 변화와 분석 항목 사이의 상관행렬로부터 만내는 연간 높은 생물생산능력을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 높은 생물생산은 질소, 인 등의 각각의 영양염류 용존량보다 N/P 비, 즉, 기초영양소의 균형에 의해 유지되고 있는 것으로 판단되었다.

또한, 측정·분석된 항목과 고찰로부터 가막만 북부해역은 10여년 전에 비해 많은 유기물 축적이 이루어져, 만내는 상당부분 부영양화 해역으로 이행되고 있는 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

- 1) 이규형, 조규대, 1990, 가막만의 수온과 염분의 분포. 한국수산학회지, 23, 25~39.
- 2) 이병돈, 강형구, 강용주, 1991, 굴 양식장 수역의 기초생산 연구. 한국수산학회지, 24, 39~51.
- 3) Lee, D. S., 1987, Coastal sedimentation(Kamagyang Bay). In "Geology of Korea. Kyohaksa, Seoul", 396~399.
- 4) 수로국 해양과, 1978, 1977년도 여수항 일대 조류관측 결과. 수로기술연보, 91~123.
- 5) 지영일, 1992, 가막만 식물플랑크톤 생물량의 계절적인 변동과 해양환경특성. 여수수산대학 학사학위논문, 24 pp.
- 6) 이명철, 장선덕, 1982, 가막만의 해수교환. 한국해양학회지, 17, 12~18.
- 7) 이명철, 1983, 가막만의 자정능력. 여수수산전문대학 연구보고, 4, 19~25.
- 8) Kim, K., 1983, Water characteristics and circulation in the Gamagyang Bay. Proc. Coll. Natur. Sci., Seoul Nat'l Univ., 8, 109~120.
- 9) 이규형, 최규정, 1985, 6월중 가막만의 수온, 염분 및 투명도 분포. 한국수산학회지, 18, 157~165.
- 10) 양한춘, 1977, 봄철 여수연안 규조류의 양과 조성. 여수수산전문대학 논문집, 11, 71~81.
- 11) 양한춘, 1978, 봄철 여수연안의 식물플랑크톤 색소량 분포. 여수수산전문대학 논문집, 12, 82~88.
- 12) Shim, J. H., 1980, Biological oceanography of the Gamagyang Bay - the Yeoja Bay water system (I). J. Oceanogr. Soc. Korea, 15, 89~99.
- 13) 심재형, 신은영, 최중기. 1981, 여수 근해의 쌍편모조류에 관한 분류학적 연구. 한국해양학회지, 16, 57~98.
- 14) 윤양호, 1995, 가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동특성 1. 식물플랑크톤 군집의 계절동태와 적조원인생물. 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고, 4, 1~15.
- 15) Cho, C. H., K. Y. Park, H. S. Yang and J. S. Hong, 1982, Eutrophication of shellfish farms in Deukyang and Gamagyang Bays. Bull. Korean Fish. Soc., 15, 233~240.
- 16) 조현서, 유영석, 이규형, 1994, 가막만 수질 및 저질환경의 계절별 변동특성. 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고, 3, 21~33.
- 17) 윤양호, 1992, 다변량해석에 의한 여수연안해역 식물플랑크톤 군집의 변동특성. 한국수질보전학회지, 8, 141~149.
- 18) 日本海洋學會 編, 1985, 海洋觀測指針. 日本海洋學會, 東京, 428pp.
- 19) Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons, 1972, A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Canada, Bull. 167(2nd ed.), 310pp.
- 20) 日本水産資源保護協會 編, 1980, 新編水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣. 東京, 552pp.
- 21) SCOR-Unesco, 1966, Determination of photosynthetic pigments. In "Unesco(ed.), Determination of photosynthetic pigments in sea water. Paris", 10~18.
- 22) 나정열, 한상규, 조규대, 1990, 한반도 근해의 해류와 해수 특성-남해 연안수 확장과 수온변화-. 한국수산학회지, 23, 267~279.
- 23) 김상우, 조규대, 노홍길, 이재철, 김상현, 신상일, 1995, 1992~93년 하계 특량만의 수온과 염분의 분포. 한국수산학회지, 28, 7~14.
- 24) Parsons, T. R., M. Takahashi and B. Hargrave, 1984, Biological oceanographic processes (3rd ed.). Pergamon press, Oxford, 330pp.
- 25) 吉田陽一, 1973, 低次生産段階における生物生産の變化. In "日本水産學會編, 水圏の富營養化と水産増養殖. 水産學シリス 1. 恒星社厚生閣, 東京", 92~103.
- 26) 박주석, 1980, 한국남해안의 식물성 plankton의 출현량 및 조성과 이들의 먹이와 적조로서 양식생물에 미치는 영향. 수산진흥원연구보고, 23, 7~157.
- 27) Redfield, A. C., B. H. Ketchum and F. A.

- Richards, 1963, The influence of organisms on the composition of sea-water. In "HILL, M. N.(ed.), The Sea. Vol.2, The composition of sea-water comparative and descriptive oceanography. John Wiley & Son, New York", 26~77.
- 28) Hecky, R. E. and P. Kilham, 1988, Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments; A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnology and Oceanography*, 33, 796~822.
- 29) 尹良湖, 1989, 瀬戸内海における植物プランクトン, 特に赤潮生物の増殖に及ぼす環境特性. 広島大学大学院 生物圏科学研究科 博士學位論文, 361 pp.
- 30) Kain, J. M. and G. E. Fogg, 1960, Studies on the growth of marine phytoplankton. III. *Prorocentrum micans* Ehrenberg. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 39, 33~50.
- 31) Strickland, J. D. H., O. Holm-Hansen, R. W. Epply and R. J. Linn, 1969, The use of a deep tank in plankton ecology. I. Studies of the growth and composition of phytoplankton crops at low nutrient levels. *Limnology and Oceanography*. 14, 23~34.
- 32) 角皆静男, 1979, 植物プランクトン組成を決定する第一因子としての溶存ケイ素. 北海道大学水産学部彙報, 30, 314~322.
- 33) Tsunogai, S., and Y. Watanabe, 1983, Role of dissolved silicate in the occurrence of a phytoplankton bloom. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 39, 231~239.
- 34) 坂本市太郎, 1986, 魚類給飼養殖の視點からの窒素リン負荷の規制. In "村上 彰男編, 漁業からみた閉鎖性海域の窒素リン規制 恒星社厚生閣 東京", 96~133.
- 35) 飯塚昭二, 1985, 最近のわが國沿岸内灣域における植物プランクトンの出現状況(2). 海域の最高クロロフィル α 量に関するアンケートまとめ. *日本プランクトン學會報*, 32, 173~176.
- 36) Honjo, T., T. Shimouse and T. Hanaoka, 1978, A red tide occurred at the Hakozaki fishing port, Hakata Bay, in 1973- The growth process and the chlorophyll content-. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 25, 7~21.
- 37) 윤양호, 1998, 완도 신지도 연안해역 표층퇴적물 중의 유기물 분포에 대하여. *여수대학교 논문집*, 13(2), 1135~1151.