

남해연안해역에 있어서 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성과 기초생산

1. 가뭄시 여수해만의 수질환경과 식물색소량 분포특성¹⁾

윤양호 · 김성아
여수수산대학교 해양학과
(1995년 2월 14일 접수)

Seasonal variations of phytoplankton population and primary productivity in the southern coastal waters of Korea.

1. A Characteristics of the distribution of chlorophyll *a* and water quality in the dry season in the Yosuhae Bay and adjoining sea¹⁾

Yang-Ho YOON and Song A KIM

*Dept. of Oceanography, Yosu National Fisheries University Yosu 550-749, Korea**

(Manuscript received 14 February 1995)

A study was carried out on the distribution of chlorophyll *a* and water quality in the dry season in Yosuhae bay and adjoining sea, Southern Korea, in July of 1994.

Concentration of salinity and phosphate were lower in the outer bay than in the inner bay. While nitrate and silicate were higher in the former than in the latter. We were identified with coastal water of origin from China with the lower salinity in outer bay. The China coastal water was characteristic of high nutrients and phytoplankton biomass, such as chlorophyll *a*.

The principal component analysis (PCA) on the analytical data proved that high density of phytoplankton biomass occurred under the condition of low salinity and high concentration of dissolved inorganic nutrients.

It is thought that the thermohaline structure and biological productions of Yosuhae bay were controlled by the China coastal water in the outer bay.

Key words : chlorophyll *a*, water quality, nutrients, principal component analysis, dry seasons, continental water of China

1. 서 론

연안해역은 해양과 육지의 접경지로서 육상의 변화, 즉 육수의 영향을 직접받고 있을 뿐만 아니라, 이같은 육상의 영향정도에 따라 서로다른 해양환경의 특성을 나타내게 되는 곳이다. 특히 강의 하구에 위치하는 연안해역에서 그와 같은 변화의

정도가 크게 되며, 대부분의 계절변화도 육수와 해수의 세력확장에 의하여 그 특성을 달리 나타내게 된다. 따라서 연안해역은 환경특성과 생물생산도 계절에 따라 상의한 특성을 나타내고 있을 뿐만 아니라, 강수현상 등 육수유입의 정도에 의해 그 특성이 크게 지배되게 된다.

따라서 연안해역은 이와 같은 육수에 기원을

¹⁾ 본 연구는 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제연구비에 의하여 연구되었음.

둔 환경요인과 해양에 기원을 둔 요인들이 상호 복합적으로 연계되어 환경특성이 결정되어지는 곳 이기에, 해양중에서도 가장 복잡, 다양한 환경특성을 나타내는 곳이다. 그러기에 연안해역의 환경특성 파악에는 복잡 다양한 여러요인을 총체적으로 취급하여야만 하기에, 그의 취급과정에서 연안해역의 환경특성이나 생물생산기구에 비교적 높은 기여를 하고 있으면서도, 보다 경향이 강한 유사한 요인에 가려 분석에서 제외되는 항목들이 종종 나타나게 된다.

그러기에 본 연구에서는 섬진강 하구에 위치하는 여수해만을 대상으로, 오랜기간 가뭄으로 연안해역에 육수유입이 거의 없는 시기를 택해, 연안해역의 환경특성에 가장 크게 영향을 미치는 육수영향의 상당부분 제한된 시기에 여수해만의 수질환경과 엽록소의 분포특성에 의한 해양구조를 파악하여 육수유입시기와 비교하여 봄으로서, 본 해역에 영향을 미치는 또다른 유사 해양환경의 정도를 유추하여, 여수해만의 해양환경특성과 생물생산기구를 파악하고는데 필요한 기초자료를 구축하고자 한다.

2. 재료 및 방법

현장조사는 1994년 7월 20일 여수수산대학교 실습선 남수호를 이용하여, 여수해만의 남북단면(Y-line)을 설정 단면 위의 7개 정점과 주변 해역의 5개의 정점을 대상으로 실시하였다 (Fig. 1). 채수는 각 관측점의 0 m, 5 m, 10 m, 25 m, 저층에서 1 m위 (B-1 m)의 수층을 대상으로 Van Dorn 채수기를 이용하였다. 해양환경 특성을 파악하기 위한 조사항목으로는 수온, 염분, 투명도, 용존산소와 용존 무기질소, 용존무기인, 규산염 등의 영양염류 및 엽록소 (chlorophyll *a*)를 분석하였다. 또한, 가뭄시의 강수현상을 평년시와 비교하기 위한 자료는 기상청의 발간하는 기상월보를 이용하여 여수지방의 강수량 자료를 이용하였다.

현장관측에 의해 측정, 분석된 항목별 분석방법

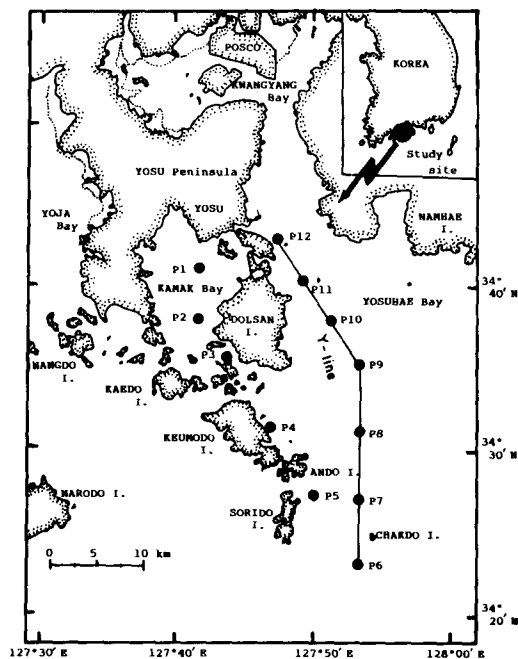


Fig. 1. Map showing sampling station in the Yosuhae bay and adjoining sea.

은 수온과 염분 및 현장밀도에 대해서는 Sea logger CTD (Sea-bird Electronics사)를 이용하여, 연직으로 1 m간격으로 측정, 분석하였다. 투명도는 직경이 30 cm인 백색 원판인 투명도판을 이용하여 측정하였으며, 용존산소량은 Winkler의 변법에 의해 분석하여, 수온과 염분에 의해 산출되는 포화량과의 상대비로부터 겉보기 산소소비량을 산출하였다. 해수중의 용존영양염류는 박막여과지 (공경 : 0.45 μm , 직경 : 47 mm)에 의해 여과된 여액을 가지고, 암모니아염, 아질산염 및 질산염은 日本海洋觀測指針 (1985), 인산염과 규산염은 Strickland and Parsons (1972)에 준하여 분석하였다. 그리고 엽록소는 해수 500 ml를 공경이 0.45 μm 인 박막여과지 (직경 : 47 mm)를 이용하여 흡인 여과한 후 여과지에 포집된 부유생물을 90%의 아세톤으로 추출하여 분광광도계 (Milton Roy, 3000D)에 의해 엽록소 파장의 흡광도를 측정하는 SCOR-Unesco (1966)의 분광광도법에 준하여 분석하였다.

그리고, 각각의 방법에 의하여 얻어진 분석결과

1. 가뭄시 여수해만의 수질환경과 식물색소량 분포특성

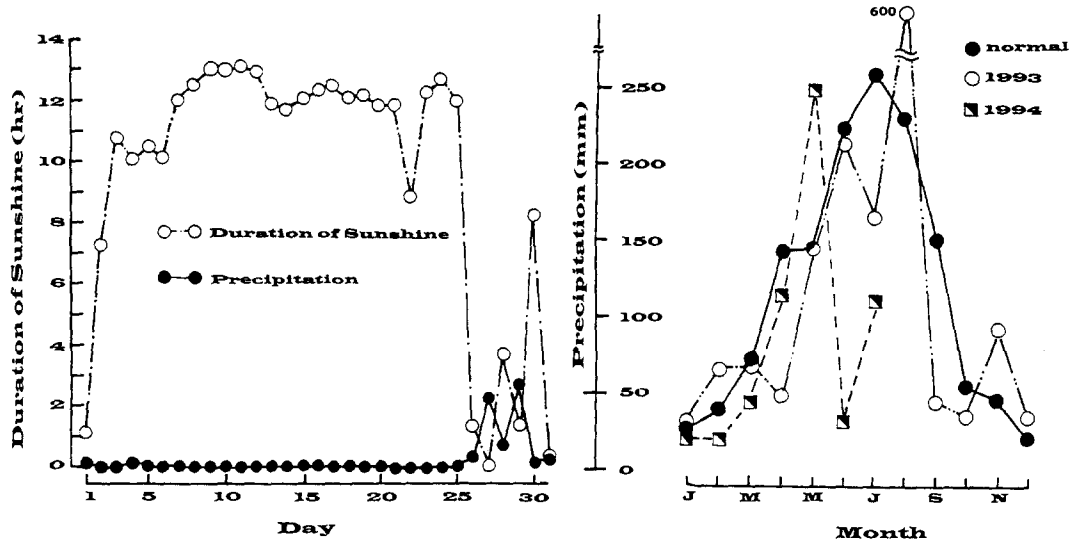


Fig. 2. (A) A changes of the precipitation and duration of sunshine in the dry season. (B) The monthly variations of precipitation in normal year, 1993 and 1994.

는 최종적으로 다변량해석 방법중, 주성분분석을 이용하여 항목간의 종합적 특성치를 유도하여, 가뭄시 여수해만의 해양환경특성을 고찰하여 보았다. 분석에 사용한 주성분분석은 일본마이콘학원에서 작성한 다변량해석의 프로그램을 NEC PC를 사용하여 계산하였으며, 주성분의 계산은 상관행렬을 기본으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기상조건

여수해만은 평상시 늦봄에서 초여름사이에 가장 많은 강수현상의 보여지게 되며, 연안해역 역시 이 시기에 육수의 영향을 강하게 받아 연안 먼 곳까지 육수의 영향을 미치게 되어, 연안해역에는 매우 광범위한 저염현상을 나타내게 된다. 그러나, 1994년 7월은 6월말에서 약 1개월여 이상 전혀 강수현상이 보여지지 않은 가뭄이 지속되어 (Fig. 2), 평상시와는 다른 해양환경 특성을 나타낼 것으로 추정되어 진다. 즉, Fig. 2로 부터 여수지방의 평년강수량은 연중 6월에서 8월이 높게 나타나고 있으며, 그 중

에서도 7월이 가장 높다. 그러나 1994년은 6월의 강수량의 경우는 본 해역에서 가장 강수량이 적은 겨울보다도 낮게 나타나고 있으며, 7월의 경우도 6월 보다는 높게 나타나고 있으나 (Fig. 2B), 하순의 강수현상을 제외하면은 6월부터 7월 중순, 즉 조사 시점까지는 거의 강수현상이 보여지지 않고, 하루 10시간 이상의 일조시간을 나타내는 맑은 날씨가 연속되고 있다 (Fig. 2A). 이와 같은 기상조건 하에서의 여수해만의 환경은 육수의 영향이 제한되어, 본 해역에 영향을 미치고 있는 외양의 여러 환경조건들에 의하여 지배되고 있으리라 보아지게, 이들 해양구조의 파악에 크게 도움이 되리라 판단 되어 진다. 즉, 연안해역은 평시에 육수유입 등의 육상조건에 외양의 여러조건들이 어우어져 독특한 연안해역의 해양구조를 나타낸다고 보아지나, 육수의 대량유입으로 유사한 특성을 나타내는 외해의 요인파악은 어렵게 된다. 그러나, 가뭄등에 의해 육수유입의 제한된 시기의 해양환경파악은 보다 구체적인 대상해역의 해양변동 요인들을 파악하는데 유효한 방법이라 보아진다.

3.2 일반물리학적 요인의 환경특성

가뭄이 지속된 기간 여수해만의 일반물리적인 환경요인의 변동양상은 수온의 경우 13.3°C에서 27.0°C로 변화하여 수심과 해역에 따른 수온의 변화폭이 크게 나타나고 있으며, 해역적으로는 내만에 해당되는 북부해역에서 25.0°C 이상으로 높고, 외해역인 남부해역에서 24.0°C 내외의 값을 나타내고 있으나, 남부해역의 10 m 이심에서는 20.0°C 이하의 낮은 값을 나타내고 있다. 또한 남부해역에서는 10 m 를 전후한 수심에서 매우 발달된 수온약층이 형성되고 있으며, 외해역의 중층 이심에서는 20.0°C 이하의 낮은 수온 값을 나타내고 있다 (Fig. 3). 이와 같은 경향은 평상시 섬진강의 담수 영향으로 고수온수가 본 해역의 외해역까지 넓게 영향권을 미치고 있는 것과는 상반되는 결과 (김, 1991)로, 가뭄으로 인하여 육수유입이 제한되고 있어 외해수가 내만역 깊숙히 까지 영향을 미치고 있는 것으로 보인다.

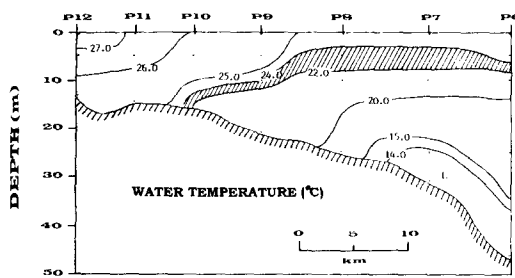


Fig. 3. Vertical distribution of water temperature along the Y-line in the dry season.

한편, 염분농도의 분포는 32.04 psu에서 34.17 psu의 분포범위로 하절기의 염분농도로서는 매우 높은 값을 나타내고 있다. 즉, 본 해역은 7월의 경우에 내만역은 30.0 psu 이하, 외해역의 저층에서도 33.0 psu 정도의 값을 보이고 있다는 결과 (김, 1991)에 비하면, 가뭄시 보여지는 내만역의 염분농도는 평상시의 외해 저층역에 보여지는 농도로서, 본 해역에서는 겨울철 보여지는 염분값이라 할 수 있다. 해역별 염분농도의 분포는 고염수가 내만역 깊숙히까지 침입하는 양상을 나타내고 있어, 만내에서 고염 (>33.0 psu)의 수괴가 보여지고 있는 반면, 만의 외해쪽의 표·중층에서 저염수 (<33.0 psu)가

넓게 분포하는 독특한 양상을 나타내고 있으며, 이들 사이에는 염분의 불연속선이 존재하고 있다 (Fig. 4). 김 (1991)에 의하면 본 해역은 외해역에서도 7월부터 염분의 하강하여 9월에 30.0 psu 이하의 최저 염분을 보이고 있으며, 7월의 경우는 저층해수에서도 33.0 psu 이하의 염분농도를 나타내고 있는 것으로 보고하고 있다. 그러나 가뭄이 지속된 조사시점에는 내만역까지 33.0 psu 이상의 고염수가 보여지고 있다. 이와 같은 염분농도의 차이는 강수량과 증발량의 차이에서 오는 부분보다도 고염의 대만류 등 외해수가 내만역까지 확장되고 있기 때문이라 보아진다.

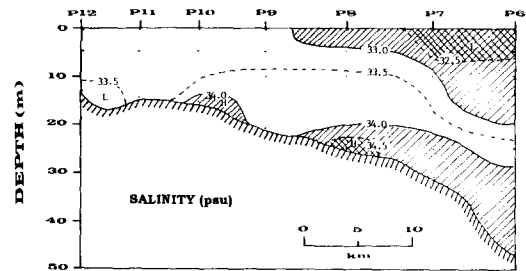


Fig. 4. Vertical distribution of salinity along the Y-line in the dry season.

T-S diagram의 분석 결과, 강수현상이 보여지는 계절의 연안해역은 내만역에 저밀도의 수괴가 보여져, 외해로 갈수록 고밀도수가 출현하는 것에 반해, 가뭄이 지속되는 시기인 7월은 외해측의 관측점에서 저염, 저밀도 수괴가 출현하고 있는 반면, 내만역의 표층에서 고염, 고밀도수가 출현하는 특징을 나타내고 있다 (Fig. 5). 이와 같은 결과는 여수해만의 해황은 주로 육수의 유입과 외해수의 확장 등에 의해 결정되고 있다는 지금까지의 결과 (김, 1991)와는 달리, 외해역에도 육상에 기원을 둔 저염수의 공급이 이루어지고 있음을 지적할 수 있다. 즉, 외해역에 유입되는 또다른 저염수의 공급이 가뭄시가 아닌 평상시에도 계속하여 이루어지고 있는 것으로 보여지며, 다만 평상시에는 다량의 육수유입에 의해 그 경향 파악이 어려웠던 것으로 보인다. 또한 여수해만에 이와 같은 외해의 저염수 공급과 확장이 본 해역의 해황구조는 물론 생

1. 가뭄시 여수해만의 수질환경과 식물색소량 분포특성

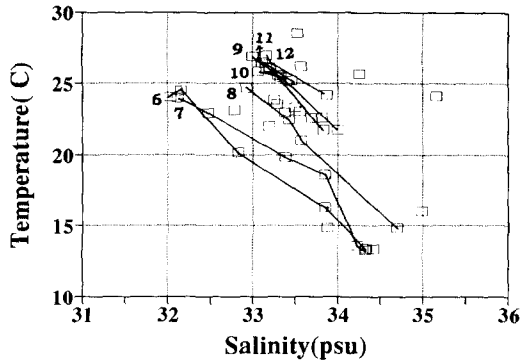


Fig. 5. Temperature and salinity diagram on the dry season in the Yosuhae Bay. (Number in figure indicates station No.)

물생산기구에 크게 관여하고 있는 것으로 보인다.

투명도 분포는 강우현상이 보여지는 5월과 6월의 경우는 2.2 m~6.0 m (5월)과 1.9 m~7.5 m (6월)을 나타내고 있으나 (Fig. 6B), 가뭄이 지속된 7월은 5.5 m~14.0 m를 나타내, 약 2배 이상의 높은 값을 나타내고 있다 (Fig. 6A). 이는 가뭄에 따른 청명한 날씨로 해수괴가 안정되어 있고, 영양염 공급의 차단으로 생물생산이 활발하지 못하기 때문이라 보인다.

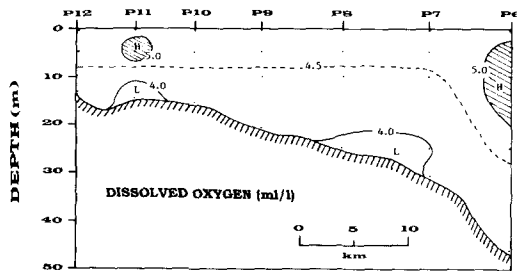


Fig. 6. Vertical distribution of dissolved oxygen (DO) along the Y-line in the dry season.

용존산소량은 절대값으로서 3.71 ml/l에서 5.49 ml/l의 분포범위를 나타내고 있으며, 해역적으로는 표층에서 4.5 ml/l 이상으로 비교적 높고, 중층 이하에서 4.5 ml/l 이하의 낮은 값을 나타내고 있다 (Fig. 7). 이를 겉보기 산소소비량으로서 나타내면

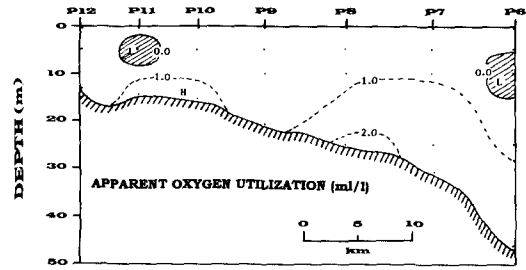


Fig. 7. Vertical distribution of apparent oxygen utilization (AOU) along the Y-line in the dry season.

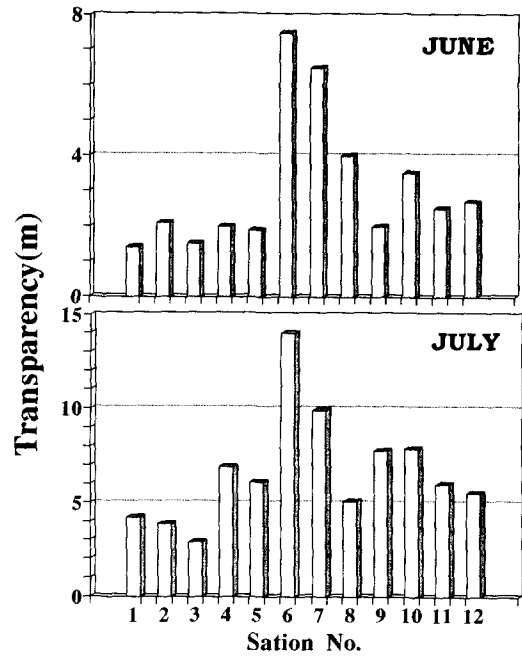


Fig. 8. A changes of transparency at differential month in the Yosuhae bay and adjoining sea.

-0.22 ml/l에서 1.92 ml/l의 범위를 나타내어, 대부분의 해역에서 용존산소가 불포화상태를 나타내고 있으며, 단지 내만 깊숙한 해역의 중층과 저밀도 수괴의 중층 등, 국한된 수역에서 산소 과포화가 보여지고 있을 뿐이다 (Fig. 8). 이는 가뭄으로 청명한 날씨가 지속되어 안정된 해양구조에 의해 대기과 해양표면의 가스교환 능력이 매우 제한되고 있을뿐만 아니라, 육수 유입등의 제한으로 영양염 공급이 부족해 수주환경에서의 기초생물의 생물생

산화동이 광합성작용보다 미생물에 의한 유기물의 산화과정이 앞서고 있기 때문에 보아진다 (Parsons et al., 1984).

3.3 영양염류

가뭄시 여수해만 해역의 수질환경 중, 암모니아염의 농도변화는 3.17 $\mu\text{g.at}$ 에서 5.59 $\mu\text{g.at}$ 로서 해역에 따른 큰 농도 분포의 차이는 없으나, 내만해역에서 비교적 낮아 4.0 $\mu\text{g.at}$ 이하의 값을 나타내고 있으며, 외해역의 표층과 중·저층에서 4.0 $\mu\text{g.at}$ 이상의 상대적으로 높은 값을 나타내고 있다 (Fig. 9). 아질산염의 농도변화 폭은 1.57 $\mu\text{g.at}$ 에서 3.81 $\mu\text{g.at}$ 로서 전 해역에 걸쳐 매우 높은 값을 나타내는 특징을 보이고 있다. 해역별로는 가장 내만역의 표층과 외해역의 저염수가 보이는 표층에서 2.0 $\mu\text{g.at}$ 보다 낮은 농도를 보이고 있으며, 외해역의 저층에서 2.5 $\mu\text{g.at}$ 보다 높은 농도의 값을 보이고 있다 (Fig. 10). 질산염의 변화폭은 0.37 $\mu\text{g.at}$ 에서 6.76 $\mu\text{g.at}$ 으로 연안해역에서 보여지는 값으로서는 매우 낮게 나타내고 있다. 해역별로는 내만역의 표층과 저층에서 상대적으로 높아 2.0 $\mu\text{g.at}$ 이상의 농도를 나타내고 있으나, 내만역의 표층과 외해역의 중층 이심에서는 1.0 $\mu\text{g.at}$ 이하 정도로 매우 낮은 값을 나타내고 있다 (Fig. 11). 상기의 세가지 형태의 질소원을 합한 용존무기질소의 농도변화는 5.76 $\mu\text{g.at}$ 에서 13.65 $\mu\text{g.at}$ 로서 연안해역에 보여지는 값으로서는 낮다 (Parsons et al., 1984). 해역별로는 내만역의 표·중층과 외해역에서 8.0 $\mu\text{g.at}$ 이하로 낮은 값을 보이고 있는 반면, 저층에서 9.0 $\mu\text{g.at}$ 이상의 농도를 나타내고 있다 (Fig. 12). 이와 같은 질소원의 분포로부터 가뭄시의 여수해만의 수질특성은 아질산염이 매우 높게 나타나는 특징을 보이고 있어, 암모니아염 등 물질의 산화과정이 활발하게 이루어지고 있는 것으로 보아진다. 특히, 질산염이 낮은 값을 나타내고 있는 것은 광합성 기초생물의 성장에 필요한 질소원으로서 질산염의 이용되고 있기 때문이라 보아지며, 보여지는 암모니아염의 농도는 유기물의 산화에 의한 분해산물로 표현되

는 것이라 보아진다 (Bougis, 1976).

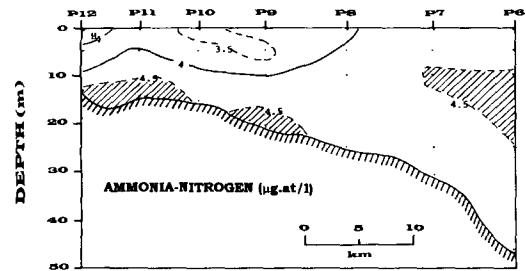


Fig. 9. Vertical distribution of ammonia-nitrogen along the Y-line in the dry season.

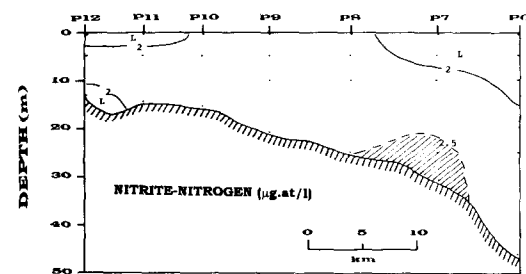


Fig. 10. Vertical distribution of nitrite-nitrogen along the Y-line in the dry season.

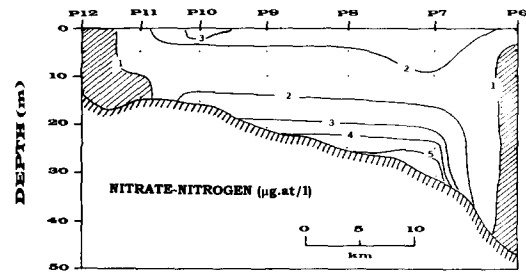


Fig. 11. Vertical distribution of nitrate-nitrogen along the Y-line in the dry season.

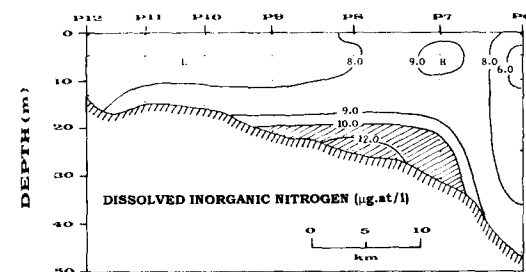


Fig. 12. Vertical distribution of dissolved inorganic nitrogen along the Y-line in the dry season.

1. 가뭄시 여수해만의 수질환경과 식물색소량 분포특성

용존무기인의 변동폭은 nd에서 1.31 $\mu\text{g.at}$ 로 변화하여 관측점에 따른 변화의 폭이 크게 나타나고 있다. 해역별로는 내만해역에서 0.5 $\mu\text{g.at}$ 이상의 농도를 보이고 있는 것에 반해, 외해역에서는 0.1 $\mu\text{g.at}$ 이하의 낮은 값을 나타내고 있다. 특히 외해역에 보여지는 저염분수의 표층에서는 0.01 $\mu\text{g.at}$ 이하의 매우 낮은 인산염의 농도를 나타내어 심한 인산염의 부족현상이 보여지고 있다 (Fig. 13). 특히 본해역은 공단에서 유입되는 다량의 인산염에 적응되어 있는 생물군들에 의해 이루어 지고 있기 때문에 경향은 더 심각한 것으로 판단된다 (윤, 미발표).

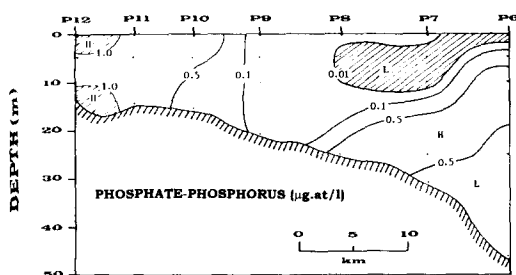


Fig. 13. Vertical distribution of phosphate-phosphorus along the Y-line in the dry season.

N/P ratio은 내만해역과 외양역의 중층에서 16 이하의 값을 보이고 있는 것을 제외하면, 대부분의 해역에서 100이상이 높은 값을 나타내어 (Fig. 14), 가뭄시 본해역에서는 질소원에 비해 인산염의 크게 부족하고 있음을 알 수 있다 (Redfield et al., 1963). 이와 같은 결과는 일반적으로 해양의 광합성 생물의 성장은 질소원에 의해 지배되고 있다는 내용 (Hecky and Kilham, 1988)과는 상반되는 현상으로 가뭄시만이 아닌 평상시 본해역의 생물생산기구를 파악하는데 중요한 내용이라 보아진다.

용존무기규소의 변동폭도 2.21 $\mu\text{g.at}$ 에서 14.05 $\mu\text{g.at}$ 로서 낮은 값을 나타내고 있으나, 해역에 따른 변동폭이 비교적 크게 나타나고 있다. 해역별로는 내만역에서 낮고, 외해역의 저염수의 수괴에서 높은 값을 나타내고 있다. 특히 외해 저염수의 중층이심에서 최대농도를 나타내고 있어, 외해의 저염

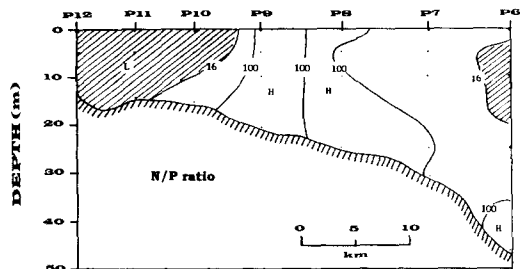


Fig. 14. Vertical distribution of N/P ratio along the Y-line in the dry season.

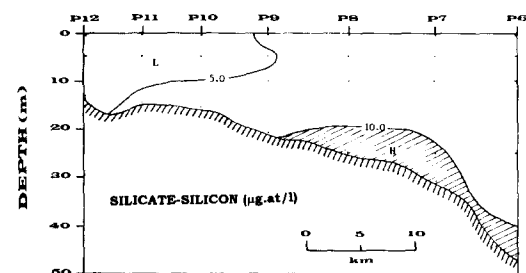


Fig. 15. Vertical distribution of silicate-silicon along the Y-line in the dry season.

수가 육상에 기원을 두고 유입되고 있는 수괴임을 시사하고 있다 (Fig. 15). 해역에서의 용존규소의 농도변화는 식물플랑크톤 종조성의 천이를 유발시킬 것은 물론 해역의 규조류의 대발생에 가장 민감하게 영향을 미치는 원소로 알려지고 있기에 (角楯, 1979; Tsunogai and Watanabe, 1983), 외해역에 보여지는 규산염 농도는 여수해만의 생물생산과정에서 크게 관여하고 있다고 판단된다.

3.4 식물플랑크톤의 생물량

염록소로 표현되는 식물플랑크톤 생물량의 변동폭은 0.26 mg/m^3 에서 5.26 mg/m^3 로서 해역에 따른 심한 불균일 분포를 나타내고 있다. 분포양상은 내만역과 외해의 저염분수괴의 중층에서 3.0 mg/m^3 이상의 농도를 나타내고 있으며, 외해저염수의 수괴에서 1.5 mg/m^3 내외로 상대적으로 높은 값을 나타내어, 저밀도수괴에서 비교적 높은 생물량을 보이고 있으며, 고밀도 수역에서 낮은 값을 나타내고 있다. 특히, 저밀도 수괴와 고밀도 수괴가 혼합되

는 경계역의 중층에서 높은 생물량을 나타내고 있다 (Fig. 16).

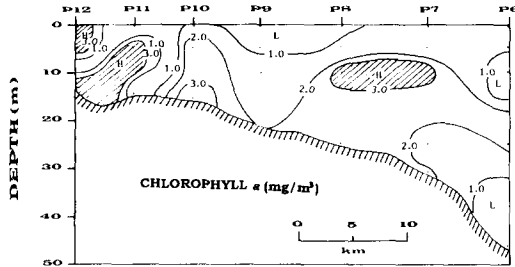


Fig. 16. Vertical distribution of chlorophyll a concentration along the Y-line in the dry season.

이와 같은 식물플랑크톤 생물량의 불균일한 분포는 해역의 물리·화학적 환경 용인의 매우 상이함을 나타내고 있는 것으로서 (Parsons et al., 1984), 여수해만의 경우 연안으로부터의 육수유입이나 외해역의 저염수에 의한 영양염류의 공급에 의해 생물생산이 크게 지배되고 있음을 나타내고 있는 것이라 보아진다.

3.5 주성분분석에 의한 해황 특성

복잡 다양한 해양환경의 특성을 파악하기 위해서는 수많은 항목의 요인들이 측정, 분석되어야 하며, 그 결과의 분석을 위해서는 얻어진 항목의 독자적인 고찰은 물론 항목간의 비교, 분석에 의하여 해양환경의 특성을 유추해야 한다. 따라서 이와 같이 복잡다양한 해양환경 특성의 파악을 위해서는 종래와 같은 요인상호간의 단순 비교·분석 방법만으로는 그 현상들을 명확히 파악하는데 한계성을 가지고 있다고 할 수 있다. 그러기에 근년 컴퓨터의 보급이 대중화됨에 따라 이들 수 많은 측정 항목을 몇개인가의 집약된 항목으로 표현하여 보자는 해석방법, 즉 다변량 해석법의 시도가 水圈의 환경특성 파악과 생태계 현상의 해석에 대하여서도 활발하게 이루어 지고 있다 (Allen and Koonce, 1973; Holligan and Harbour, 1977; Sullivan and Moncreiff, 1988; 尹, 1989; 1992).

그러나, 이들 다변량해석에 의한 해석은 주로 호소나 하천 등의 육수의 수질특성 등을 파악하는데에 이용되어지고 있고 (廣崎·諏訪, 1973), 해역에서는 연속적인 데이터의 취득이 곤란한 점 등으로 그다지 널리 이용될 수 없었다 (村上, 1987). 특히 다변량해석 중에서도 水역의 환경특성 분석에는 주성분분석이 주로 이용되고 있으며, 최근에는 하천이나 호소의 수질특성의 분석 (中路 등, 1979; 1980; 伊藤 등, 1981, 吉見 등, 1982; 星野 등, 1984) 뿐만 아니라, 해역의 해황·수질특성 분석 (太田 등, 1986; 尹, 1989; 李 등, 1991)과 해역구분 (周東 등, 1986; 尹, 1989; 尹과 朴, 1992), 그리고, 주성분분석과 중회귀분석을 이용한 적조발생의 예찰 (大内·高山, 1981; 大内 등, 1983; 大内, 1982; 1984; Murakami and Hirayama, 1987; 村上, 1987) 등에도 이용되고 있어, 水圈의 여러분야에서 매우 광범위하게 이용되어 지고 있다.

따라서, 본 항에서는 다변량해석에 의하여 여수해만의 해황특성을 파악하고자 여수해만에서 얻어진 자료들이 종합지표를 얻어내기 위한 주성분분석을 실시하여 해황특성을 파악하여 본다.

가뭄시 여수해만에서 측정된 항목들간의 상관해열을 Table 1에 나타내었다. 단, 주성분분석에 이용한 자료는 Y-line의 자료외에 Fig. 1에 나타난 기타 5개의 관측점의 층별 자료도 포함하였다. 이로 부터 수온에 대하여 용존무기질소와 규소가 높은 음(-)의 상관을 보여, 고수온역에서 낮은 영양염농도를 나타내고 있는 것으로 나타나, 표층과 내만역에서 식물플랑크톤에 의한 영양염흡수가 활발한 것으로 보아졌다. 또한, 염분과 규소사이에는 강한 양(+)의 상관성이 보여져, 앞의 규소의 분포에서 언급한 내용과 상반되는 결과를 나타내고 있는 것처럼 보이나, 이는 가뭄시 여수해만의 외해역에 존재하는 저염분수에서의 규산염은 식물플랑크톤의 동화작용에 의해 급속히 흡수되고 있음을 나타내는 것으로 판단된다. 현장밀도와 질산염에 대한 강한 양(+)의 상관에 대해서는 같은 결과로서 판단할 수 있다. 즉, chl-a와 영양염류의 관계에서 그 정도는 양하나 질산염과 규산염은 약한 음(-)의

1. 가뭄시 여수해만의 수질환경과 식물색소량 분포특성

Table 1. Correlation matrix between chlorophyll a and physico-chemical factors in the dry season

	Temp.	Sal.	Sigma-t	DO	AOU	Ammonia	Nitrite	Nitrate	DIN	DIP	N/P	Silicate	Chl-a
Temp.	1.000												
Sal.	-0.558	1.000											
Sigma-t	-0.956	0.774	1.000										
DO	0.215	-0.195	-0.230	1.000									
AOU	-0.380	0.299	0.386	-0.978	1.000								
Ammonia	-0.183	-0.223	0.055	0.144	-0.100	1.000							
Nitrite	-0.434	0.292	0.426	-0.058	0.143	0.349	1.000						
Nitrate	-0.542	0.365	0.533	-0.147	0.259	-0.053	0.346	1.000					
DIN	-0.577	0.199	0.499	-0.035	0.157	0.600	0.674	0.789	1.000				
DIP	0.172	0.111	-0.114	0.061	0.070	0.131	0.097	-0.080	0.414	1.000			
N/P	-0.244	-0.074	0.166	0.095	-0.065	0.250	0.098	0.162	0.272	-0.557	1.000		
Silicate	-0.749	0.638	0.793	-0.245	0.370	-0.137	0.151	0.487	0.294	-0.261	0.147	1.000	
Chl-a	0.125	0.001	-0.089	0.142	-0.167	0.187	0.019	-0.120	0.026	0.300	0.039	-0.414	1.000

Table 2. Eigenvalue, accumulated proportion, eigenvector and factor loading by principal component analysis (PCA) on the dry seasons

Principal Component	1st	2nd	3rd	4th				
Eigenvalue	4.622	2.266	1.792	1.362				
Accumulated Proportion (%)	35.56	52.99	66.77	77.62				
Analytical parameters	Eigenvector				Loading Factor			
	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th
Temperature	0.423	0.060	0.066	0.067	0.909	0.090	0.088	0.079
Salinity	-0.320	0.169	0.069	-0.448	-0.682	0.254	0.092	-0.523
Sigma-t	-0.431	0.014	-0.038	-0.209	-0.927	0.021	-0.051	-0.244
DO	0.180	-0.413	-0.252	-0.409	0.388	-0.621	-0.338	-0.572
AOU	-0.250	0.279	0.248	0.438	-0.538	0.570	0.332	0.511
Ammonia	-0.052	-0.487	0.207	0.282	-0.113	-0.733	0.277	0.330
Nitrite	-0.252	-0.291	0.242	0.026	-0.541	-0.438	0.324	0.030
Nitrate	-0.331	-0.091	-0.014	-0.030	-0.712	-0.137	-0.019	-0.036
DIN	-0.317	-0.402	0.164	0.141	-0.681	-0.605	0.219	0.164
DIP	0.062	0.023	0.635	-0.250	0.134	0.035	0.850	-0.292
N/P	-0.106	-0.286	-0.413	0.333	-0.227	-0.431	-0.553	0.388
Silicate	-0.374	0.172	-0.242	-0.154	-0.803	0.258	-0.324	-0.180
Chlorophyll a	0.095	0.225	0.322	0.146	0.204	0.339	0.431	0.170

DO: Dissolved Oxygen

AOU: Apparent Oxygen Utilization

DIN: Dissolved Inorganic Nitrogen

DIP: Dissolved Inorganic Phosphorous

상관을 보여, 가뭄시 여수해만의 식물플랑크톤 군집은 이들 영양염의 흡수에 의해 성장이 유지되고 있는 것으로 판단되어지며, 이는 항목별 분포경향의 결과와도 일치하는 내용이다. 그리고 N/P ratio에 대해서는 용존무기인의 강한 음(-)의 상관을 보이고 있어, N/P ratio에 용존무기질소보다 인이 기여도가 높음을 알 수 있다.

그리고, 주성분분석의 결과는 Table 2에 나타내었다. 이로 부터 주성분의 계산은 누적기여율이 77.6%를 나타내는 제4주성분까지 한정하여 계산하였으며, 얻어진 주성분식은 식 (1)과 같게 되어 제1주성분에 집약되는 고유값의 크지 않아 일반적으로 연안역에서 보여지는 주성분분석의 결과와는 차이를 보이고 있으며 (周東 등, 1986; 尹, 1989), 제2주성분 이하의 고유값에 대해서도 서로 차이가 없었다.

$$Z = 4.622Z_1 + 2.266Z_2 + 1.792Z_3 + 1.362Z_4 \dots (1)$$

주성분분석 결과의 인자부하량의 분포 (Fig. 17)로 부터 각각의 주성분에 대한 종합특성을 유추하면, 제1주성분은 수온과 강한 양의 관계를 나타내

고 있고, 관련성은 약하나 DO, Chl-a 등과 양의 관계를 보이고 있는 것에 반해, DIN 등 질소원과 Sal.와는 강한 음의 관계를 보이고 있는 것으로 부터, 영양염류의 흡수에 의한 식물플랑크톤의 광합성 활성도를 나타내고 있다고 보아졌다. 제2주성분은 AOU와 강한 양의 관계를. 암모니아염, DO 등과 강한 음의 관계를 나타내고 있는 것으로 부터 수역내의 유기물 산화과정의 정도를 나타내는 지표로 보아졌다. 제3주성분은 DIP, Chl-a과는 양의 관계를, N/P ratio이나 DO와는 음의 상관을 나타내고 있는 것으로 부터, 식물플랑크톤의 성장에 제한을 주고 있는 요인을 나타내고 있다고 보아졌다.

즉, 이와같은 주성분분석의 결과, 본 해역의 생물생산은 고수온, 저염분역에서 보다 활발히 이루어지고 있으나, 저수온, 고염분 해역에서는 낮은 것으로 보아지며, 저염분역에 보다 높은 질소 농도가 나타나고 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로부터도 여수해만의 외해역에 출현하는 저염수의 세력정도에 의해 해황구조는 물론 생물생산기구에 크게 영향을 미치고 있는 것으로 판단할 수 있다.

각 관측점별, 층별의 득점분포로 부터 해역별 특

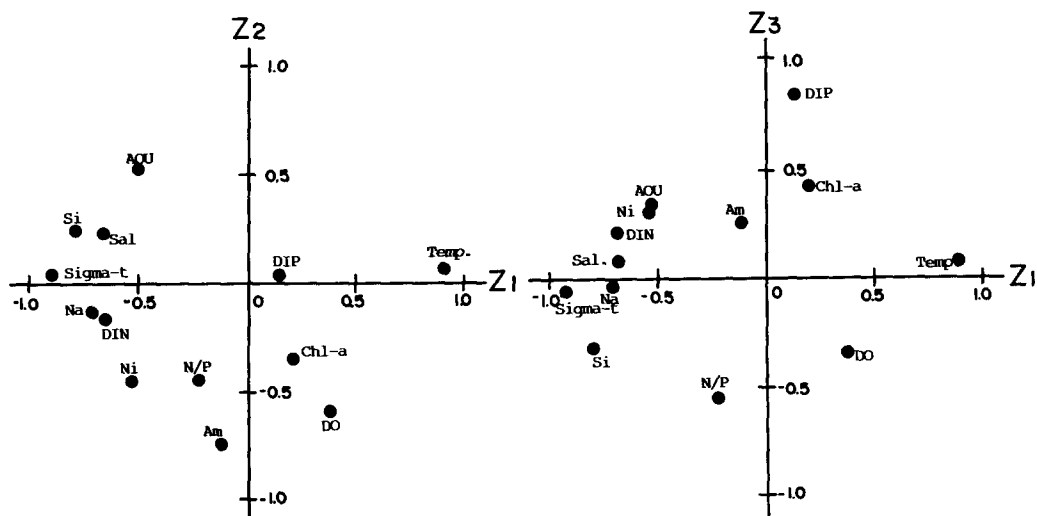


Fig. 17. Distribution of loading factor by principal component analysis (PCA) in the dry season (A; 1st and 2nd principal component (PC), B; 1st and 3th PC1).

1. 가뭄시 여수해만의 수질환경과 식물색소량 분포특성

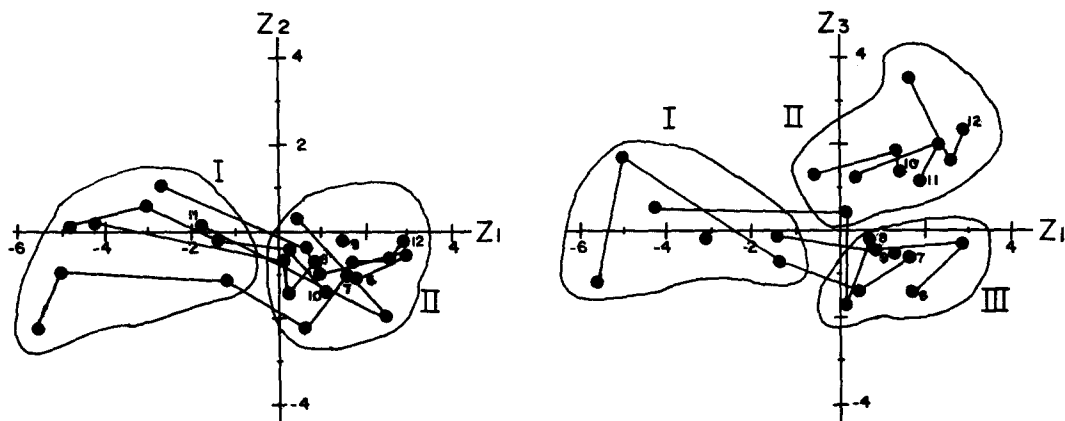


Fig. 18. Regional distribution of score by PCA in the dry season (A; 1st and 2nd PC, B; 1st and 3th PC) (Number in figure indicates station No.)

성을 파악하면, 제1주성분과 제2주성분에 의한 득점분포로 부터는 2개의 수역으로 구분이 된다 (Fig. 18A). 즉, 각 관측점이 저층수에 해당하여 생물활성이 낮은 I 수역과 표층수에 해당하여 생물활성이 비교적 높은 II 수역이다. 제1주성분과 제3주성분에 의한 득점분포로 부터는 3개의 수역으로 구분이 가능하며 (Fig. 18B), 수역 I은 각관측점의 저층수에 해당하여 생물활성이 매우 낮음을 알 수 있다. 수역 II는 내만역의 수역으로 생물활성이 비교적 활발하고 인산염 등 영양염공급이 이루어지고 있으나 수역 III은 외해역의 표층으로 생물활성은 비교적 높으나 영양염공급이 제한되고 있음을 유추할 수 있다.

4. 결 론

이상과 같은 결과로 부터, 여수해만은 육수의 영향이 적을 때에는 외해수가 내만 깊숙히까지 영향을 미치고 있으며, 외해역에는 육상기원을 두고 있는 저염분수가 출현하고 있다. 외해역에 출현하는 저염분수는 가뭄시에만 출현하고 있는 것이 아니라, 평상시에도 출현하고 있으나 (김, 1992), 연안역에서 유입되는 육수와 남해연안수 등에 의해 추적이 어려웠던 것으로 판단된다.

그리고 외해역에 출현하는 저온, 저염분수의 근원에 대해서는 영양염과 생물량의 분포 및 낮은 염분농도와 비교적 높은 수온 등으로 부터 중국대륙연안수에서 형성된 대륙연안수가 확장되고 있는 것으로 판단되어 진다. 또한, 동기간 한국 남해안은 모두 가뭄으로 육수유입이 적었다는 점과 중국대륙연안수가 한국남해안까지 영향을 미치고 있다는 결과 (Huh, 1982; 김, 1986; 양, 1994)들도 이를 증명해주는 내용이라 할 수 있다.

따라서, 하절기 개방된 여수해만의 해역은 중국대륙연안수의 유입과 확장세력의 범위에 의해 해양구조는 물론 생물생산기구에 크게 영향을 미치고 있는 것으로 판단되어지며, 이에 대한 보다 정확한 확장기구나 경로 등에 대해서는 앞으로 해명해야 할 과제라 보아진다.

감사의 글

본 연구는 1992년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 진행된 연구결과의 일부이다. 이에 연구의 기회를 부여해 준 재단에 감사의 뜻을 전한다. 또한 현장관측에 도움을 준 여수수산대학교 실습선 남수호 文章秀 선장이하 승무원 여러분께 감사를 전하며, 현장관측은 물론 자료의 측정,

분석 및 정리에 협조하여 준 여수수산대학교 해양학과 김대일, 김동렬, 김영식, 이규민, 오석진군에게도 아울러 고마움을 전한다.

그리고, 자료의 주성분분석에 컴퓨터의 사용을 제공해준 여수수산대학교 식품공학과 박춘규교수에게도 감사의 뜻을 전한다.

참 고 문 헌

- 김동수, 1991, 여수연안 정치망 어장의 환경요인과 어획량 변동에 관한 연구, 제주대학교 박사학위논문, 97 pp.
- 金仁鈺, 1986, 濟州島周邊海域에 出現하는 中國大陸沿岸水에 關한 研究, 濟州大學校 大學院 碩士學位論文, 45 pp.
- 양성기, 1994, 한국 남해연안의 해표면 수온분포와 천해전선의 변동 특성, 한국환경과학회지, 3, 111~128.
- 尹良湖 · 朴正美, 1992, 低水溫期 光陽灣의 有機汚濁 現象에 대하여, 麗水水產大學 水產科學研究所 研究報告, 1, 55~67.
- 尹良湖, 1992, 多變量解析에 의한 麗水沿岸海域 植物플랑크톤 群集의 變動特性, 韓國水質保全學會誌, 8, 141~149.
- 李興在 · 李瑩鎮 · 韓振錫 · 權肅杓, 1991, 主成分分析에 의한 仁川沿岸水質의 評價, 韓國水質保全學會誌, 7, 9~19.
- Allen, T. F. H. and J. F. Koonce, 1973, Multivariate approaches to algal stratagems and tactics in systems analysis of phytoplankton, Ecology, 54, 1234~1246.
- Bougis, P., 1976, Marine plankton ecology, North-Holland Publishing Co., Amsterdam-Oxford, 355 pp.
- 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, Limn. & Oceanogr, 33, 796~822.
- Holligan, P. M. and D. S. Harbour, 1976, The vertical distribution and succession of phytoplankton in the western English channel in 1975 and 1976, J. mar. biol. Ass. U.K., 57, 1075~1093.
- Huh, O. K., 1982, Satellite observations and annual cycle of surface circulation in the Yellow Sea, East China Sea and Korea Strait. La mer, 20, 210~222.
- Murakami, K., and I. Hirayama, 1987, Multivariate analysis of water quality and red-tide in coastal region, Specialised Conference on Coastal and Estuarine Pollution, 19~21.
- Parsons, T. R., Y. Maita and C.M.Lalli, 1984, A manual of chemical and biological methods for seawater analysis, Pergamon press, Oxford, 173 pp.
- Parsons, T. R., M. Takahashi and B. Hargrave, 1984, Biological oceanographic processes (3rd ed.). Pergamon press, Oxford, 330 pp.
- 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.
- SCOR-Unesco, 1966, Determination of photosynthetic pigments. In "Unesco (ed.), Determination of photosynthetic pigments in sea water. Paris", 10~18.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons, 1972, A practical handbook of seawater analysis, Fish. Res. Bd. Canada, Bull. 167 (2nd ed.), 310 pp.
- Sullivan, M. J., and C. A. Moncreiff, 1988, A multivariate analysis of diatom community structure and distribution in a Mississippi salt marsh, Bot. Mar., 31, 93~99.

1. 가뭄시 여수해만의 수질환경과 식물색소량 분포특성

- Tsunogai, S. and Y. Watanabe, 1983, Role of dissolved silicate in the occurrence of phytoplankton bloom, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 39, 231~239.
- 太田 立男·鳴 健一·高柳 俊博, 1986, 主成分分析法による三河灣海況分析, *用水と廢水*, 28, 1118~1121.
- 大内 晟·高山 晴義, 1981, 主成分分析による赤潮圖について, *日本水産學會誌*, 47, 1275~1279.
- 大内 晟, 1982, 廣島灣おく部における赤潮豫報研究の現状, *沿岸海洋研究ノト*, 20, 33~42.
- 大内 晟 外2人, 1983, 珪藻赤潮の重回歸式と海域區分について, *日本水産學會誌*, 49, 867~873.
- 大内 晟, 1984, 廣島灣の赤潮豫察システムについて, *廣島水産試験場研究報告書*, 14, 31~38.
- 周東 健三等, 1986, 大阪灣の海洋環境, *海と空*, 62, 89~107.
- 角皆 靜男, 1979, 植物プラソクトン組成を決定する第一因子としての溶存ケイ素, *北海道大學水産學部イ報* 30, 314~322.
- 中路 勉·港 和行·入江 燎三, 1979, 河川水質の統計學的研究 (1), 長野縣内湖沼水質への多變量解析の適用, *信州大學農學部紀要*, 16, 79~92.
- 中路 勉·港 和行·橋本 誠, 1979, 湖沼水質の統計學的研究 (2), 長野縣内湖沼水質への多變量解析の適用, *信州大學農學部紀要*, 17, 89~99.
- 日本海洋學會編, 1985, 海洋觀測指針, 日本海洋學會, 428 pp.
- 廣崎 昭太·諏訪 隆之, 1973, 河川·用水の水質汚濁と都市化との關係についての多變量解析, *數理科學*, 11, 44~50.
- 星野 洋右·佐藤 昭三郎·坂井 正·吉田 多摩夫, 1984, 主成分分析を用いた新設ダム湖の水質解析, *水質汚濁研究*, 7, 561~569.
- 村上 和男, 1987, 水質自動觀測データの解析と赤潮豫測への應用, *港灣技術研究所報告*, 26, 213~252.
- 吉見 洋·岡 敬一·井口 潔·關野 廣子, 1982, 相模川水系の水質解析について, *水質汚濁研究*, 5, 193~200.
- 尹 良湖, 1989, 瀬戸内海における植物プラソクトン, 特に赤潮生物の増殖に及ぼす環境特性, 廣島大學大學院 生物園科學研究科 博士學位論文, 361 pp.