

# 영양염과 식물성플랑크톤 그리고 식물성플랑크톤과 유기물의 상관관계의 평가

김우항

목포해양대학교 해양시스템공학부

## Evaluation of the Relationship between Nutrients and Phytoplankton; and Phytoplankton and Organic matter

Woo-Hang Kim

Faculty of Ocean System Engineering, Mokpo Natural Maritime University, 571 Chukkyo-dong, Mokpo, Chonnam, 530-729, Korea

**요 약 :** 영양염과 식물성플랑크톤 그리고 식물성플랑크톤과 유기물의 관계를 평가하는 것을 목적으로 하였다. 그 결과 질소가 제한 영양염으로 나타나고 있으며 가장 제한이 되고 있는 계절은 여름으로 DIN/DIP의 비가 4.7로 나타났다. Chl.-a는 겨울철인 2월에 비해 봄과 여름인 5월과 8월에 79%, 97%가 증가하는 것으로 나타났다. 유기물의 농도는 COD로 나타내었으며 2월에는 0.84 mg/l로서 가장 낮은 값을 나타내었으며 8월인 여름철에 가장 높은 1.12 mg/l를 나타내었다.

영양염과 Chl.-a의 상관관계는 DIN과의 상관에서  $r^2$ 가 0.93, DIP과의 상관에서  $r^2$ 가 0.89로 매우 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 식물성 플랑크톤의 증식이 영양염의 감소에 주요 원인이라고 할 수 있다. 또한 Chl.-a와 COD의 회귀분석에서 상관계수  $r^2$ 가 0.78로서 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 회귀식을 이용하여 분석한 결과 유기물의 생산량은 겨울철에는 25%, 여름철에는 40%가 증가하는 것으로 나타났다.

**핵심용어 :** 영양염, 유기물, 식물성플랑크톤, 제한영양염, 회귀분석

**Abstract :** *The objective of this study was to evaluate the relationship between nutrients and phytoplankton; and phytoplankton and organic matter. In order to examine the limiting nutrient for phytoplankton, Redfield ration was used and revealed nitrogen limitation. Nitrogen limitation was greatest with a 4.7 DIN/DIP ratio especially during the summer season. Chl.-a increase by 79% and 97% in spring and summer, respectively, compared to winter. COD was lowest with 0.84mg/l in winter and highest with 1.12mg/l in summer.*

*The interrelationship between nutrients and Chl.-a was high. Relationship coefficient( $r^2$ ) between DIN and Chl.-a, and DIP and Chl.-a were 0.93 and 0.89, respectively. This suggests Nutrients might be utilized at the increase of phytoplankton. Also, Relationship coefficient( $r^2$ ) between Chl.-a and COD was 0.78. COD production rate was calculated with Regression Equation. The COD production rate was 25% in winter and 40% in summer.*

**Key words :** Nutrient, Organic matter, Phytoplankton, limiting nutrient, Regression

### 1. 서론

연안해역의 수질오염은 크게 외부의 유입과 내부의 생산으로 나누어진다. 특히 유기물은 해역의 부영양화의 정도에 따라서 생산량이 크게 다르다. 그러므로 유기물에 의한 수질오염을 방지하기 위해서는 외부의 유입량과 내부 생산량의 정도를 평가하는 것이 매우 중요하다. 또한 내부의 생산량은

식물성플랑크톤의 증식에 따라 증가하므로 식물성플랑크톤의 증식과의 영향관계를 규명하여야 한다. 또한 식물성플랑크톤은 수온에 따라서 증식하는 속도가 다르며 영양염의 농도에도 영향을 받게 된다.

현재까지 연구를 살펴보면 해역에서 영양염의 시공간적 변화나 식물성플랑크톤의 변화 등의 연구가 주를 이루고 있다. 또한 대부분의 연구에서는 담수가 유입되는 해역을 선정하여

우기에 많은 양의 영양염과 유기물이 유입되므로 외부유입량을 삭감해야 된다는 논문들이 많다. 그러나 이러한 연구를 살펴보면 해역에서 식물성플랑크톤의 변화나 영양염의 변화를 조사한 논문은 많이 있으나 영양염의 농도에 의한 유기물의 생산량을 평가한 논문은 거의 없다. 그러므로 식물성플랑크톤의 증식에 의한 유기물의 내부생산량을 평가하고 영양염과의 관계를 설명하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

해역에서 유기물의 증가량을 평가하는 것은 해역의 수질관리에서 한 축을 이루는 중요한 부분이며 유입되는 유기물을 감소시켜도 내부에서 생산되는 양을 알지 못하면 해역의 관리가 어렵다고 할 수 있다. 그러므로 해양에서 생산되는 유기물의 양을 연구하는 것은 매우 의미 있는 일이라고 할 수 있다. 유기물의 내부생산은 해양의 바닥에서 용출되거나 식물성플랑크톤의 증식에 의하여 증가되어지나 대부분은 식물성플랑크톤에 의한 것이다. 그러므로 식물성플랑크톤의 생산량에 미치는 영양염과 상관관계를 알아보고 식물성플랑크톤에 의한 유기물의 생산량을 평가하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

외부의 유입원 즉 강이 있는 곳을 선정하는 경우 우기에 많은 양의 민물이 유입되며 이 때 많은 양의 영양염과 유기물이 유입되기 때문에 기존에 존재하고 있는 유기물과 영양염의 변화를 관측하는데 어려움이 많다. 그래서 해양에서 유기물의 생산량을 평가하기 위해서 가능한 외부의 유입원이 없는 해역을 선정하여 외부에서 유입에 의한 오차를 없애는 것이 필요하며 매년 특수한 기상의 영향을 배제하기 위해서 장기간의 자료를 사용하는 것이 필요하다.

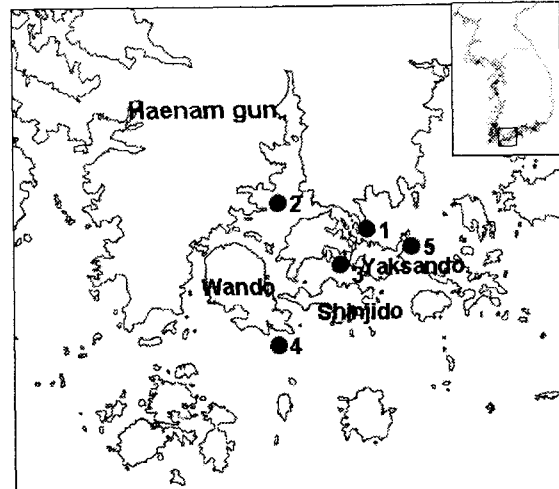
그러므로 본 연구에서는 외부의 유입원이 거의 없는 완도의 해역을 선정하여 장기간의 자료를 통한 영양염과 식물성플랑크톤 그리고 유기물의 상관관계를 평가하였다. 상관관계가 높은 경우 회귀식을 사용하여 영양염의 농도 감소에 따른 식물성플랑크톤의 증식량과 유기물의 생산량을 평가하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 실험방법

이 연구는 강이나 하천을 통한 민물의 유입이 적은 해역인 완도해역을 선정하였다. 완도연안해역에서 측정지점을 Fig. 1에 나타내었으며, 완도읍 남단동방(1), 완도읍 동방(2), 신지도 북방(3), 완도남방(4), 조약도 동방(5) 등 5지점을 사용하였다. 위의 5개 지점의 자료를 계절별로 2월, 5월 8월 11월의 자료를 사용하였으며 이 5개 지점을 평균한 자료를 완도해역의 자료로 사용하였으며 각 계절별 자료는 과거 10년간의 자료를 평균하여 나타내었다. 사용한 항목으로는 수온, 염분, pH, 용존산소(DO), 화학적산소요구량(COD), 용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP), Chlorophyll-a(Chl. a)이다. 본 연구의 자료는 국립수산과학원의 해양환경측정망에서 분석한 자료를 사용하였으며 1996년부터 2005년까지 10

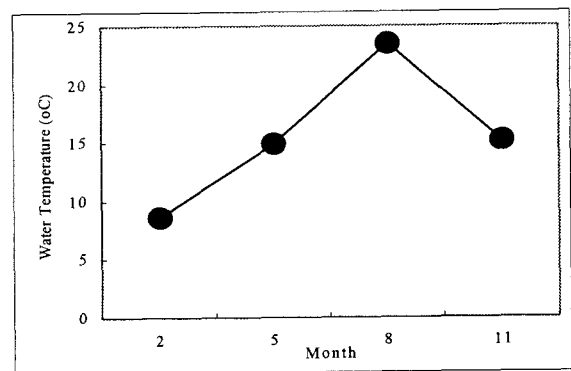
년간의 자료를 이용하였다. 단, DIP와 Chl. a의 경우 측정자료가 없는 부분이 많아 최근 5년간의 자료가 이용되었다.

Fig. 1 Sampling stations in the Wando coastal area.



## 3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 계절별 수온과 pH의 변화를 그래프에 나타내었다. 수온의 경우 겨울철인 2월에는 8.6 °C에서 여름철인 8월에는 23.5 °C를 나타내고 있다. 계절별 pH를 나타내고 있으며 계절별 pH의 차이는 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 완도해역의 염분농도는 계절에 따라 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 강우가 많은 여름에도 민물의 유입이 거의 없는 것으로 강우에 의한 영양염이나 유기물의 유입을 고려하지 않아도 된다.



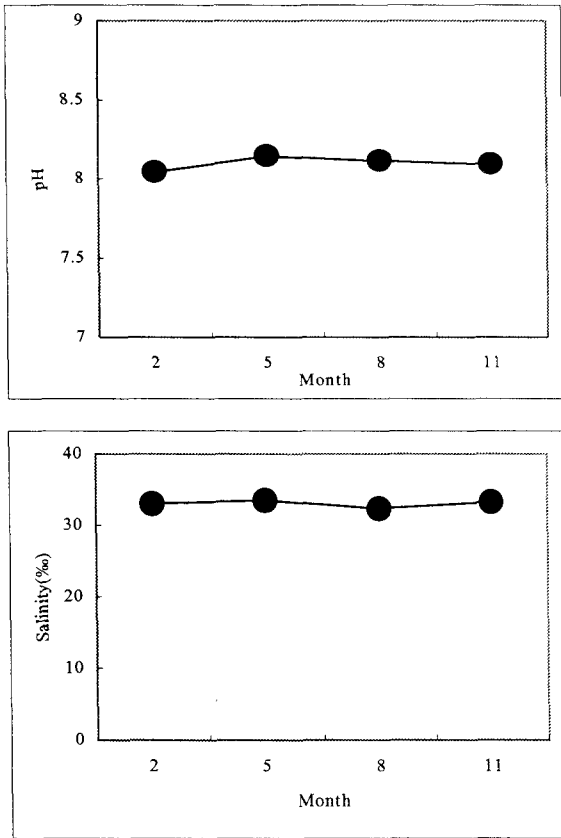


Fig. 2 Seasonal variation of water parameter in Wando coastal area.

계절에 따른 영양염의 변화와 DIN/DIP비, Chl.-a 와 COD를 Fig. 3에 나타내었다. DIN과 DIP를 비교할 때 봄과 여름철인 5월과 8월에 감소하는 정도는 DIN인 큰 것으로 나타나고 있다. 식물성플랑크톤의 제한영양염을 알아보기 위하여 Redfield ratio(N:P=16:1)를 이용하여 제한영양염을 평가하여 보면 완도해역은 질소가 제한 영양염으로 나타나고 있다. DIN/DIP의 비가 가장 큰 겨울철이며 가장 낮은 계절은 여름으로 나타났다. 2월의 경우 DIN/DIP가 9.2로 나타났으며 8월의 경우 4.7로 나타나 질소에 의해 식물성플랑크톤의 성장이 제한되는 것으로 나타났으며 특히, 여름철이 심하게 제한되는 것으로 나타났다. 식물성플랑크톤은 수온이 낮은 2월에는 가장 낮은 값인 1.43  $\mu\text{g/l}$ 를 나타내었으나 수온이 증가하는 5월과 8월에는 2.49  $\mu\text{g/l}$ , 2.82  $\mu\text{g/l}$ 로 증가하여 2월에 비해 79%, 97%가 증가하는 것으로 나타났다. 이 자료는 위의 영양염의 자료와 비교할 때 영양염의 감소하는 것이 식물성플랑크톤의 증가에 의한 것으로 생각할 수 있다. 유기물의 농도는 COD로 나타내었으며 COD의 결과는 Chl.-a와 거의 같은 경향을 나타내고 있다. 2월에는 0.84 mg/l로서 가장 낮은 값을 나타내었으며 8월인 여름철에 가장 높은 1.12 mg/l를 나타내었다. 위의 결과를 종합하면 영양염이나 유기물의 유입이 거의 없는 완도의 해역에서 수온이 증가하면서 영양염의 농도는 감소하고 있으며 이는 식물성플랑크톤

의 생산으로 이것이 다시 COD를 증가시키는 결과로 나타난다고 볼 수 있다.

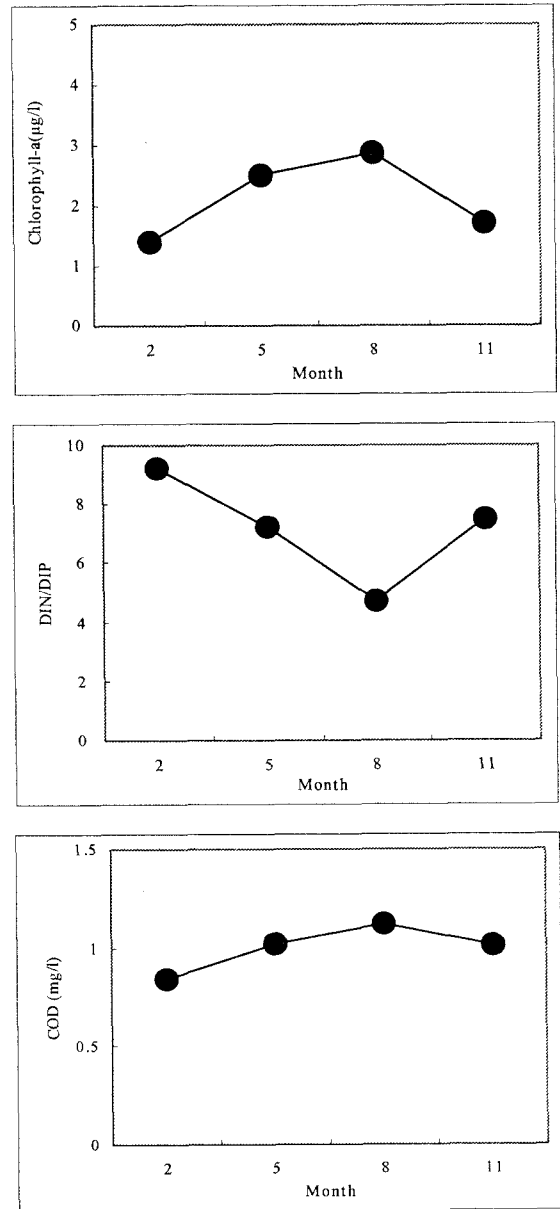


Fig. 3 Seasonal variation of DIN/DIP ratio, Chlorophyll-a and COD in Wando coastal area.

Fig. 4는 영양염과 Chl.-a, Chl.-a와 COD를 회귀분석을 통하여 상관관계를 평가하였다. DIN과 Chl.-a의 회귀분석을 통한 상관관계에서 상관계수  $r^2$ 가 0.93로 매우 높게 나타났으며 역상관관계가 있음을 보여주고 있다. 위의 회귀식에 나타난 식을 사용하여 DIN의 감소에 따른 Chl.-a의 생산량을 산정하면 0.1 mg/l의 DIN감소에 따른 Chl.-a의 생산량은 약 1.8  $\mu\text{g/l}$ 인 것으로 나타났다. 또한 DIP와 Chl.-a의 관계에서 상관계수  $r^2$ 가 0.89로 높은 상관관계를 나타내고 있다. DIP와 Chl.-a도 역상관관계를 나타내고 있으므로 인의 감소가 식물성플랑크톤의 증가에 이어졌다고 할 수 있다.

4. 결론

위의 회귀식에 나타난 식을 사용하여 DIP의 감소에 따른 Chl.-a의 생산량을 산정하면 0.01 mg/l의 DIN감소에 따른 Chl.-a의 생산량은 약 2.6  $\mu\text{g/l}$ 이 증가하게 된다. Chl.-a와 COD의 상관관계는 상관계수  $r^2$ 가 0.78로 유의적인 것으로 나타났다. 위의 회귀식을 사용하여 계산하면 1  $\mu\text{g}$ 의 Chl.-a가 증가하면 COD는 0.15 mg/l가 증가하는 것으로 계산할 수 있다. 또한 Chl.-a의 농도가 0에서 COD는 0.66mg/l를 나타내고 있으므로 그 이상의 농도는 Chl.-a에 의해 나타난 값이라고 할 수 있다. 이와 같이 계산한 값을 이용하면 식물성플랑크톤에 의한 유기물의 증가량을 계산할 수 있다. 그러므로 식물성플랑크톤에 의한 COD의 증가량을 계산하면 2월에 약 22%, 8월에 40%로 증가한다고 할 수 있다. 영양염, Chl.-a 그리고 COD에 있어서 상관관계가 매우 높은 것으로 나타내고 있으므로 영양염의 증가는 식물성플랑크톤의 증가로 이어지며 이것이 곧 유기물의 증가로 이어지는 것을 잘 나타내고 있다.

해수의 유입이 거의 없는 완도 해역에서 약 10년간의 월별 수질자료를 이용하여 식물성플랑크톤의 증가에 의한 유기물의 증가에 대하여 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 식물성플랑크톤의 제한영양염을 알아보기 위하여 Redfield ratio(N:P=16:1)를 이용하여 제한영양염을 평가하여 보면 완도해역은 질소가 제한 영양염으로 나타나고 있다. 가장 제한이 되고 있는 계절은 여름으로 DIN/DIP의 비가 4.7로 나타났다.
2. Chl.-a는 겨울철인 2월에 비해 봄과 여름인 5월과 8월에 79%, 97%가 증가하는 것으로 나타났다. 유기물의 농도는 COD로 나타내었으며 2월에는 0.84 mg/l로서 가장 낮은 값을 나타내었으며 8월인 여름철에 가장 높은 1.12 mg/l를 나타내었다.
3. 영양염과 Chl.-a의 상관관계는 DIN과의 상관에서  $r^2$ 가 0.93, DIP과의 상관에서  $r^2$ 가 0.89로 매우 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 식물성플랑크톤의 증식이 영양염의 감소에 주요 원인이라고 할 수 있다. 또한 Chl.-a와 COD의 회귀분석에서 상관계수  $r^2$ 가 0.78로서 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 회귀식을 이용하여 분석한 결과 유기물의 생산량은 겨울철에는 25%, 여름철에는 40%가 증가하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

[1] 박중현, 박승윤, 이용화, 최다미, 이상룡(2005) 목포항 주변 해역에서 장기 모니터링을 통한 수질의 계절 및 연간 변동, 해양환경안전학회지, 제 11권 제 2호, pp.97-102  
 [2] 이영식, 유준, 권기영, 최용규, 조은섭(2004) 광양만에 서 식물플랑크톤증식 제한영양염의 시.공간적 변동 특성, 대한환경공학회지, 제 26권 제 8호, pp. 890-895  
 [3] 이영식(1997) 히로시마만에 있어서 부영양화의 원인, 대한환경공학회지, 제 19권 제 3호, pp. 371-380  
 [4] 김도희, 유한홍(2003) 집중 강우시 목포 주변해역의 수질 특성, 해양환경공학회지, 제 6권 제 2호, pp.28-37  
 [5] 김광수 (2001) 목포항의 수질 및 부영양도의 계절 변화, 해양환경공학회지, 제 4권 제 3호, pp.3-15

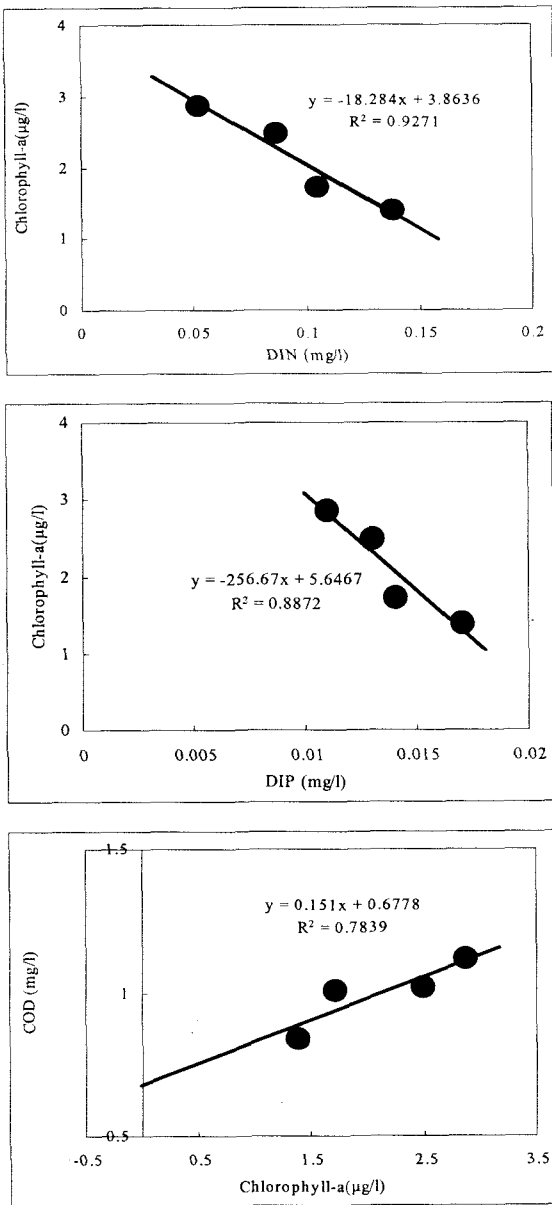


Fig. 4 Results of linear regression analyses chlorophyll-a vs. environmental factors