

## 완도해역에서 유기물의 생산량 평가

김우항\*

\* 목포해양대학교 해양시스템공학부

### Assessment for Production of Organic Matter in the Wando Costal Area.

Woo-Hang Kim\*

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

**요 약** : 육상 오염원의 영향을 적게 받는 완도 해역에서 약 10년간의 월별 수질자료를 이용하여 식물성플랑크톤의 증가에 의한 유기물의 증가에 대하여 분석하였다. 그 결과 DIN의 경우 겨울철인 2월에는 상대적으로 높은 농도인 0.138 mg/L를 나타내고 있으며 여름철인 8월에는 0.052 mg/L로 매우 낮은 값을 나타내고 있다. DIP의 경우도 DIN과 비슷한 경향을 나타내고 있으며 겨울철인 2월의 농도가 가장 높은 0.015 mg/l이고 여름철인 8월이 가장 낮은 값인 0.011 mg/l를 나타내고 있다. 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 N/P의 비가 10.5로 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 1.10 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 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 17%, 여름철에는 37%가 증가하는 것으로 나타났다. 위의 결과를 종합하면 완도의 해역에서 수온이 증가하는 여름철에 용존성 영양염의 농도는 감소하고 있으나 식물성플랑크톤의 지표가 되는 Chl.-a와 유기물의 지표가 되는 COD는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 이들을 회귀분석을 통하여 분석한 결과 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

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

**Abstract** : In this study, organic matters production was calculated with long term data in Wando costal area where was selected for non influent of fresh water. The objective of this study was to evaluate relationship between nutrients and phytoplankton and, between phytoplankton and organic matter.

The result of DIN was the highest with 0.138 mg/L in winter season and the lowest with 0.052 mg/L in summer season. Similarly, DIP was shown to be 0.017 mg/L in winter and 0.011 mg/L in summer. Limiting nutrient was revealed with nitrogen in Wando costal area. Specially in summer season, nitrogen limitation was the greatest with 10.5 of N/P ratio. Chl.-a was increased 80%, 108% in spring and summer compare with winter. COD was the lowest with 0.84 mg/L in winter and the highest with 1.10 mg/L in summer. The interrelation between nutrients and Chl.-a was high. Relationship coefficient( $r^2$ ) were 0.93( $P < 0.05$ ), 0.89( $P < 0.05$ ) between DIN and Chl.-a, DIP and Chl.-a. This results suggest dissolved nutrients might be utilized at the production of phytoplankton. Also Relationship coefficient( $r^2$ ) was 0.77( $P < 0.05$ ) between Chl.-a and COD. COD production rate was calculated with regression equation. The COD production rate was 17% in winter and 36% in summer.

It was revealed nutrients were decreased according to temperature increasing and then Phytoplankton and organic matter were increased. The Relationship of Nutrients, Chl.-a and COD was very high.

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

\* 정회원, whkim@mmu.ac.kr, 061)240-7293

## 1. 서론

해양에서 유기물의 증가는 용존산소의 감소로 이어지며 용존산소의 감소는 해양에 살고 있는 생물종의 수를 감소시켜 수산생물의 생산량을 감소시킨다. 용존산소는 수온이 높은 여름철 용해도의 감소로 인하여 농도가 낮아지며 이와 더불어 유기물의 분해가 활발하게 되면 용존산소가 더욱 감소하게 된다. 특히, 정체성 해역에서는 해수의 교환이 이루어지지 않아 용존산소의 농도는 더욱 낮아질 수 있어 피해가 생길 수 있다.

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(이 등, 2004, 이, 1997). 또한 대부분의 연구에서는 담수가 유입되는 해역을 선정하여 우기에 많은 양의 영양염과 유기물이 유입되므로 외부유입량을 삭감해야 된다는 논문들이 많다(박 등, 2005, 김 등, 2003, 김, 2001). 그러나 이러한 연구를 살펴보면 해역에서 식물성플랑크톤의 변화나 영양염의 변화를 조사는 활발하다. 그러나 담수로부터 오염물질의 유입이 적은 해역을 대상으로 장기적인 자료를 이용하여 영양염의 농도와 유기물의 생산량을 평가하는 연구는 매우 의미가 있다고 할 수 있다. 이러한 연구는 식물성플랑크톤의 증식에 의한 유기물의 내부생산량을 평가할 수 있어서 중요하다 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 퇴적물에서 용출되거나 식물성플랑크톤의 증식에 의하여 증가되었거나 대부분은 식물성플랑크톤에 의한 것이다. 그러므로 식물성플랑크톤의 생산량에 미치는 영양염과의 상관관계를 알아보고 또한, 식물성플랑크톤과 유기물의 상관관계를 평가하여 영양염이 유기물의 생산성에 미치는 영향을 파악할 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 유

기물의 생산량을 평가하기 위해서 가능한 담수로부터 오염의 영향이 적은 해역을 선정하여 외부에서 유입에 의한 오차를 없애는 것이 필요하며 매년 특수한 기상의 영향을 배제하기 위해서 장기간의 자료를 사용하는 것이 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 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)이며 수질의 분석방법은 해양환경공정시험법이 사용되었다. 본 연구의 자료는 국립수산과학원의 해양환경측정망에서 분석한 자료를 사용하였으며 1996년부터 2005년까지 10년간의 자료를 이용하였다. 단, DIP와 Chl. a의 경우 측정 자료가 없는 부분이 많아 최근 5년간의 자료가 이용되었다(국립수산과학원홈페이지 해양수산연구정보 해양환경조사자료).

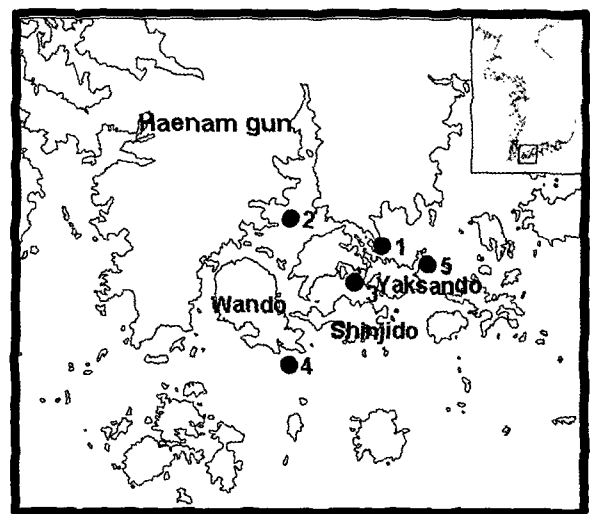


Fig .1. Sampling stations in the Wando coastal area.

### 3. 결과 및 고찰

Table 1은 5지점의 완도해역에서 분석된 수질자료를 10년간 평균값과 표준편차를 나타낸 자료이다. 그러나 10년간의 자료가 없는 항목인 총질소, 총인, 용존인, Chlorophyll-a은 5년간의 자료를 사용하여 계산하였다.

Fig. 2는 계절별 수온과 pH의 변화를 그래프에 나타내었다. 수온의 경우 겨울철인 2월에는 8.0 °C에서 여름철인 8월에는 24.7 °C를 나타내고 있으며 계절별 pH의 차이는 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 완도해역의 염분농도는 계절에 따라 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 강우가 많은 여름에도 담수의 유입이 적은 것으로 판단되며 우기에도 담수로 인한 영양염이나 유기물의 유입이 크지 않을 것으로 판단된다.

계절에 따른 영양염의 변화와 N/P비를 Fig. 3에 나타내었다. DIN의 농도는 10년간의 자료를 평균한 결과이며, DIP의 농도는 자료가 부족한 관계로 5년간의 자료를 평균하여 사용하였다. DIN의 경우 겨울철인 2월에는 상대적으로 높은 농도인 0.138 mg/L를 나타내고 있으며 봄을 거치면서 농도가 감소하여 여름철인 8월에는 0.052 mg/L로 매우 낮은 값을 나타내고 있다. 여름을 지나 가을인 11월에는 다시 증가하는 것으로 나타나고 있다.

DIP의 경우도 DIN과 비슷한 경향을 나타내고 있으며 봄철인 2월의 농도가 가장 높은 0.017 mg/L이고 여름철인 8월이 가장 낮은 값인 0.011 mg/L를 나타내고 있다. DIN과 DIP를 비교할 때 봄과 여름철인 5월과 8월에 감소하는 정도는 DIN인 큰 것으로 나타나고 있다. 식물성플랑크톤의 제한 영양염을 알아보기 위하여 Redfield ratio(N:P=16:1)를 이용하여 제한영양염을 평가하여 보면 완도해역은 질소가 제한 영양염으로 나타나고 있다. N/P의 비가 가장 큰 겨울철이며 가장 낮은 계절은 여름으로 나타났다. 2월의 경우 N/P가 18.0로 나타났으나 8월의 경우 10.5로 나타나 여름에 의해 식물성플랑크톤의 성장이 제한되는 것으로 나타났다. 계절에 따른 식물성플랑크톤과 유기물의 변화를 알아보기 위하여 Chl.-a, COD와 DO의 농도를 Fig. 4에 나타내었다. Chl.-a는 수온이 낮은 2월에는 가장 낮은 값인 1.38 µg/L를 나타내었으나 수온이 증가하는 5월과 8월에는 2.49 µg/L, 2.87 µg/L로 증가하여 2월에 비해 80%, 108%가 증가하는 것으로 나타났다. 이 자료는 위의 영양염의 자료와 비교할 때 영양염이 감소하는 경향과 Chl.-a가 증가하는 경향이 잘 일치하고 있는 것으로 나타나고 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 1.10 mg/L를 나타내었다. 위의 결과를 종합하면 영양염의 감소하는 경향은 Chl.-a와 COD의 증가하는 경향과 잘 일치하는 것으로 나타나고 있다.

Table 1. Mean values of water quality for ten years in Wando costal area <sup>(6)</sup>

Item	February		May		August		November	
	AVG.	S.D.	AVG.	S.D.	AVG.	S.D.	AVG.	S.D.
water temperature (°C)	8.0	0.92	15.6	1.37	24.7	1.71	14.9	1.74
salinity(‰)	32.9	1.49	33.3	0.61	32.4	1.58	33.1	0.68
pH	8.0	0.17	8.1	0.08	8.1	0.15	8.1	0.11
DO (mg/L)	10.2	0.72	8.4	0.42	7.2	0.99	7.5	1.14
COD (mg/L)	0.84	0.36	1.02	0.37	1.10	0.58	1.01	0.6
TN (mg/L)*	0.287	0.113	0.361	0.280	0.384	0.175	0.503	0.383
DIN (mg/L)	0.138	0.071	0.087	0.059	0.052	0.025	0.105	0.067
TP (mg/L)*	0.042	0.026	0.036	0.005	0.040	0.010	0.040	0.022
DIP (mg/L)*	0.017	0.0052	0.013	0.0065	0.011	0.007	0.014	0.0103
SS (mg/L)	14.0	5.64	12.8	7.7	8.9	9.36	12.3	6.34
Chlorophyll-a (µg/L)*	1.38	0.76	2.49	1.56	2.87	1.51	1.72	1.31

AVG. : average , S.D : standard deviation

\* : The values was calculated by five years data.

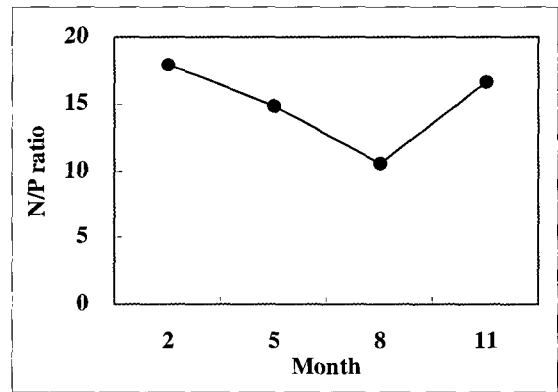
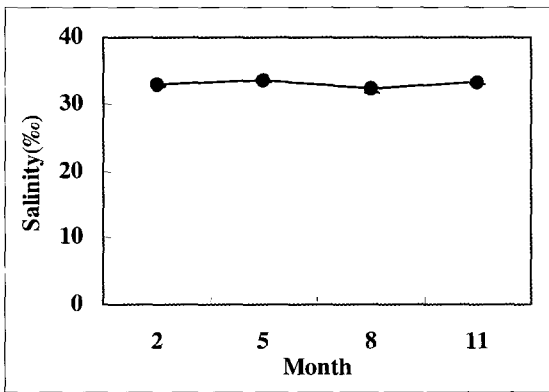
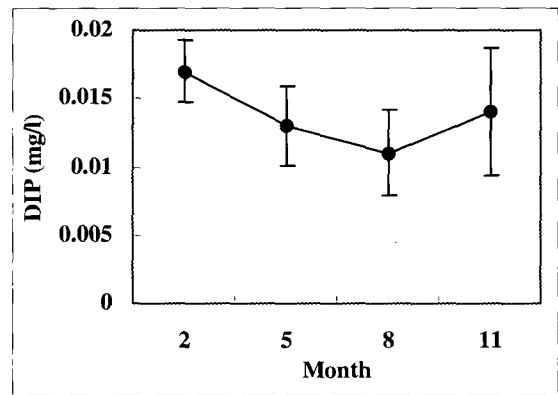
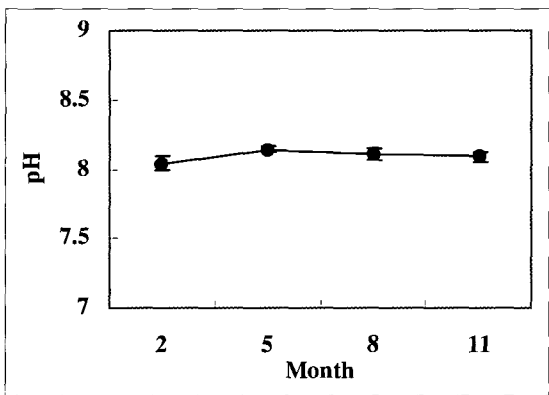
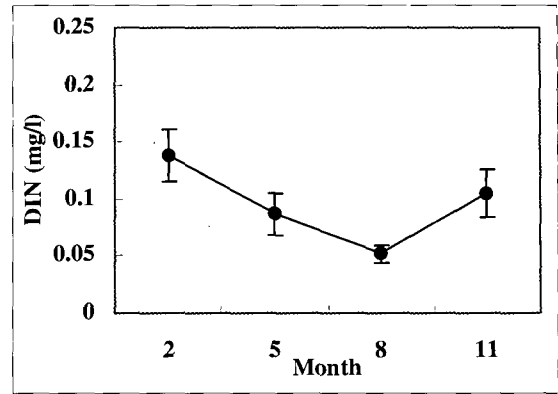
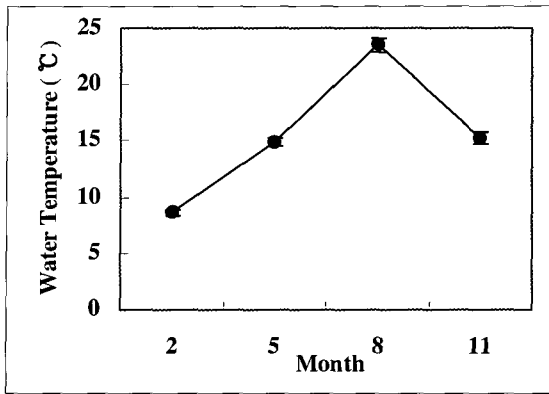


Fig. 2. Seasonal variation of water parameter in Wando costal area.

Fig. 3. Seasonal variation of Nutrient concentration and N/P ratio in Wando costal area.

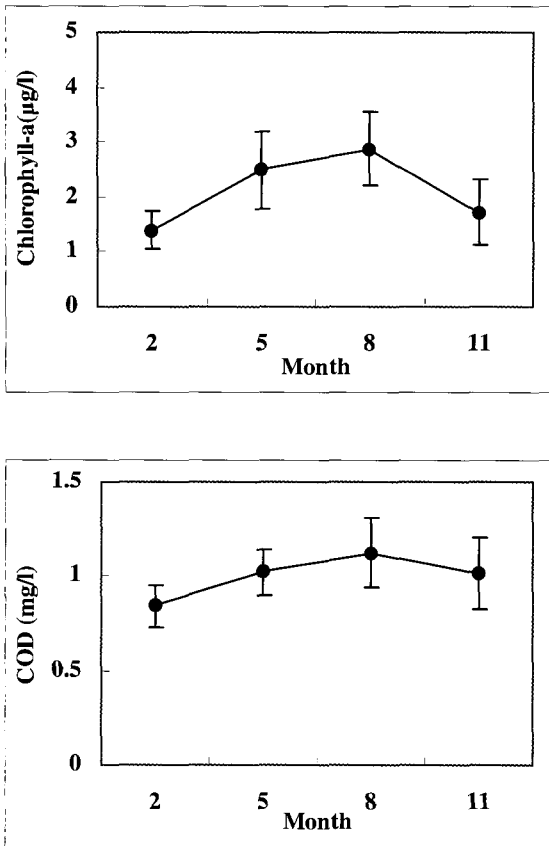


Fig. 4. Seasonal variation of Chlorophyll-a and COD in Wando coastal area.

Fig. 5는 영양염과 Chl.-a, Chl.-a와 COD의 계절별 평균 값을 회귀분석을 통하여 상관관계를 평가하였다. DIN과 Chl.-a의 회귀분석을 통한 상관관계에서 상관계수  $r^2$ 가 0.93 ( $P < 0.05$ )로 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 µg/L인 것으로 나타났다. 또한 계절별 평균 DIP와 Chl.-a의 관계에서 상관계수  $r^2$ 가 0.89 ( $P < 0.05$ )로 높은 상관관계를 나타내고 있다. DIP와 Chl.-a도 역상관관계를 나타내고 있으므로 인의 감소가 식물성플랑크톤의 증가에 이어졌다고 할 수 있다. 위의 회귀식에 나타난 식을 사용하여 DIP의 감소에 따른 Chl.-a의 생산량을 산정하면 0.01 mg/L의 DIN감소에 따른 Chl.-a의 생산량은 약 2.6 µg/L이 증가하게 된다. 계절별 평균 Chl.-a와 COD의 상관관계는 상관계수  $r^2$ 가 0.77 ( $P < 0.05$ )로 유의적인 것으로 나타났다. 위의 회귀식을 사용하여 계산하면 1 µg의 Chl.-a가 증가하면 COD는 0.14 mg/L가 증가하는 것으로 계산할 수 있다. 또한 Chl.-a의 농도가 0에서 COD는 0.70mg/L를 나타내고 있으므로 그 이상의 농도는 Chl.-a에 의해 나타난 값이라고 할 수 있다. Chl.-a와 COD와의 상관성이 높은 것으로부터 그래프의 회귀직선 식을 사용하여 Chl.-a에 의한 유기물의 증가량을 계

산할 수 있다. 그러므로 Chl.-a의 증가량에 의한 COD의 증가량을 계산하면 2월에 약 17%, 8월에 36%로 증가한다고 할 수 있다. 영양염, Chl.-a 그리고 COD에 있어서 상관관계가 매우 높은 것으로 나타내고 있으므로 영양염의 감소는 식물성플랑크톤의 증가로 이어지며 이것이 곧 유기물의 증가로 이어지는 경향을 잘 나타내고 있다.

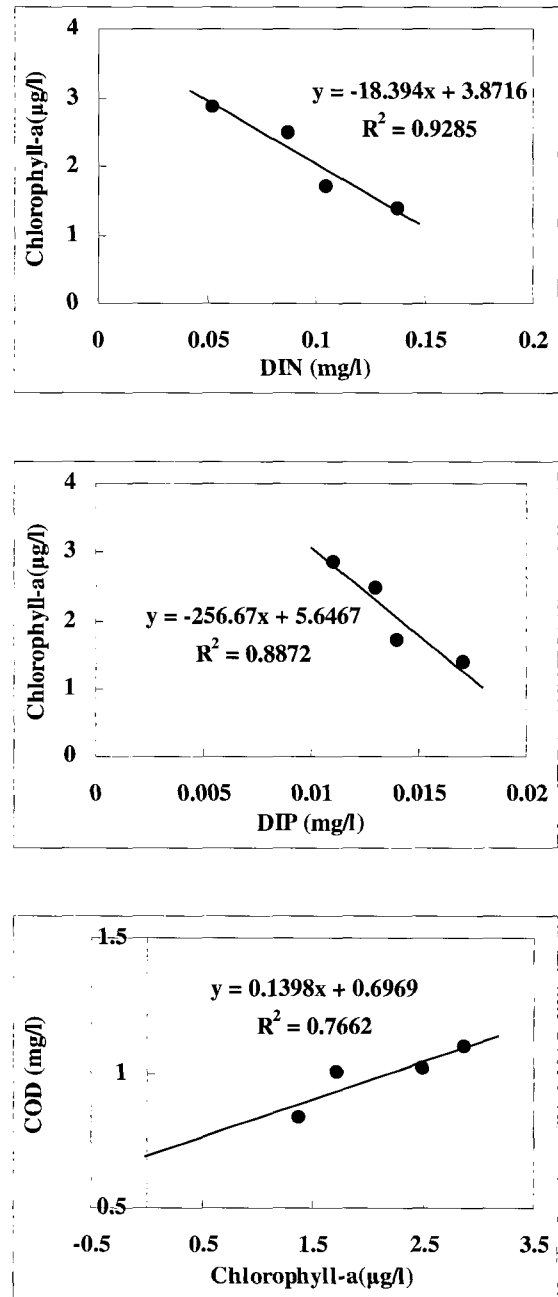


Fig. 5. Results of linear regression analyses chlorophyll-a vs. environmental factors.

#### 4. 결 론

담수의 유입이 비교적 적은 완도 해역에서 약 10년간의 월별 수질자료를 이용하여 식물성플랑크톤의 증가에 의한 유기물의 증가에 대하여 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. DIN의 경우 겨울철인 2월에는 상대적으로 높은 농도인 0.138 mg/L를 나타내고 있으며 여름철인 8월에는 0.052 mg/L로 매우 낮은 값을 나타내고 있다. DIP의 경우도 DIN과 비슷한 경향을 나타내고 있으며 봄철인 2월의 농도가 가장 높은 0.017 mg/L이고 여름철인 8월이 가장 낮은 값인 0.011 mg/L를 나타내고 있다.
2. 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 N/P의 비가 10.5로 나타났다.
3. Chl.-a는 겨울철인 2월에 비해 봄과 여름인 5월과 8월에 80%, 108%가 증가하는 것으로 나타났다. 유기물의 농도는 COD로 나타내었으며 2월에는 0.84 mg/L로서 가장 낮은 값을 나타내었으며 8월인 여름철에 가장 높은 1.10 mg/L를 나타내었다.
4. 영양염과 Chl.-a의 상관관계는 DIN과의 상관에서  $r^2$ 가 0.93( $P < 0.05$ ), DIP과의 상관에서  $r^2$ 가 0.89( $P < 0.05$ )로

매우 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 식물성플랑크톤의 증식이 영양염의 감소에 주요 원인이라고 할 수 있다. 또한 Chl.-a와 COD의 회귀분석에서 상관계수  $r^2$ 가 0.77( $P < 0.05$ )로서 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 회귀식을 이용하여 분석한 결과 유기물의 생산량은 겨울철에는 17%, 여름철에는 36%가 증가하는 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 이영식, 유준, 권기영, 최용규, 조은섭(2004), 광양만에서 식물플랑크톤중식 제한영양염의 시·공간적 변동 특성, 대한환경공학회지, 제 26권 제 8호, pp. 890-895
- [2] 이영식(1997), 히로시마만에 있어서 부영양화의 원인, 대한환경공학회지, 제 19권 제 3호, pp. 371-380
- [3] 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
- [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
- [6] 국립수산과학원 홈페이지 해양수산연구정보 해양환경조사자료

원고접수일 : 2006 년 5월 16일

원고채택일 : 2006 년 9월 24일