

## 진해만 서부해역의 하계 수질의 시간변동 특성

조현서<sup>1</sup> · 이대인<sup>2\*</sup> · 윤양호<sup>1</sup> · 이문옥<sup>1</sup> · 김동명<sup>2</sup>

<sup>1</sup>여수대학교 해양시스템학부  
<sup>2</sup>부경대학교 환경시스템공학부

## Temporal Variation of Water Quality of the Western Chinhae Bay in Summer

Hyeon-Seo Cho<sup>1</sup>, Dae-In Lee<sup>2\*</sup>, Yang-Ho Yoon<sup>1</sup>, Moon-Ok Lee<sup>1</sup> and Dong-Myung Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Ocean System, Yeosu National University, Dundeok-dong, Yeosu-si, Jeollanam-do 550-749, Korea

<sup>2</sup>Division of Environmental System Engineering, Pukyong National University,  
599-1 Daeyon-Dong, Nam-Gu, Pusan 608-737, Korea

### 요 약

본 연구에서는 진해만 서부해역의 세 정점에서 2시간 간격으로 연속관측에 의해서 적조발생 전후의 수질변화를 모니터링하였다. 표·저층간에 수온차가 큰 시간에 저층의 용존산소가 최소를 나타내었고, 화학적 산소요구량은 세 정점 모두 표층에서 해역수질기준 II등급을 초과하였다. 용존무기질소 분포는 저층에서 유기물분해로 인한 재순환에 의해 고농도로 존재하였고, 표층에서는 상대적으로 낮았다. 존재형태별로는 표층에서는 암모니아가 대부분 차지하였고, 저층에서는 C2 정점에서는 질산질소가, C11과 C15 정점에서는 암모니아가 주종을 이루었다. 용존무기인은 C2 정점의 표층에서 8월 12일 오후 4시에서 밤 8시 사이에 고농도를, 야간에 최소를 보여주었다. C11과 C15 정점에서는 표층과 저층의 차이가 컸으며, 아침이후 급격한 증가를 나타내었다. N/P비 분석결과, 대부분의 시간대에서 질소가 생물성장의 제한인자가 될 가능성이 높았다. Chl-*a* 분포는 C2와 C11 정점에서는 극대층이 표층아래인 3~5 m 층에 형성되었고, 적조발생가능농도인 10 mg/m<sup>3</sup>을 초과하는 고농도를 나타냈다. C15 정점의 극대층은 표층에서 나타났고 상대적으로 낮은 농도분포를 보였다. 이러한 Chl-*a*는 일사량이 강한 오후에 고농도를 형성해서 야간에도 높은 농도를 유지하다가 새벽에 최소분포를 나타냈고 아침이후 다시 증가하는 양상을 보였다. 적조가 관측된 C2 정점에서는 적조발생전에 영양염류가 증가했으며, 수온성층이 최대가 되는 시간대에 식물플랑크톤이 고농도로 집적하면서 용존무기질소를 특히, 질산질소를 급격히 소모하는 것으로 나타났다.

**Abstract** – Temporal changes of Chl-*a*, physical and chemical factors were investigated by diurnal observation at 2-hour interval at three fixed stations in the western Chinhae Bay from 12 Aug. to 13 Aug. 1999. Difference of dissolved oxygen between surface and bottom layer was maximum when the thermocline were strong. Organic distribution such as COD was affected by the growth of phytoplankton. Limiting factor was nitrogen, that is, inorganic nitrogen plays a significant role on regulating the algal growth. Surface distribution of dissolved inorganic nitrogen was very low compared to bottom layer by uptake of organisms. Maximum value of Chl-*a* at station C2 and C11 were observed from subsurface layer, ranges of which exceeded possibility concentration of red tide outbreak, 10 mg/m<sup>3</sup>. On the other hand, that of C15 exist at surface layer. In this area, DIN and DIP concentrations increased by input sources such as rainfall and benthic flux before the bloom of phytoplankton. Accumulation of phytoplankton occurred at subsurface layer by the rapid uptake of DIN, especially nitrate ion, when strong thermocline existed as approach to the afternoon, which led to the increase of organics in water column and oxygen deficiency water mass at bottom layer until late at evening. Since then, DIN increases gradually as water temperature decrease to minimum. The quantitative understanding of nitrogen of fluxed to and from the various sources is necessary for environmental management.

**Keywords:** Temporal change(시간변화), Diurnal observation(일관측), Chl-*a*(엽록소 a), Red tide(적조), Nutrient(영양염)

\*Corresponding author: dilee@mail1.pknu.ac.kr

### 1. 서 론

연안해역의 수질은 시·공간적으로 변동한다. 육상과 해역 그 자체(주로 퇴적물)로부터의 오염원에 의한 유기물과 무기물 등의 부하량 변동, 일사량 및 강수 등에 의한 기상요인과 다른 해역과의 해수교환 등 여러 가지 물리학적, 생지화학적 과정을 통해서 수질이 결정된다고 할 수 있다. 이렇게 다양한 원인에 의해 영향을 받아 나타나는 해역의 수질특성을 종합적으로 평가함은 수질 오염 실태를 정확히 알고 그 이유를 파악해서 수질관리대책을 세우는데 매우 중요하다(Wilkinson 등[1997]; 해양수산부[2002]).

수질의 진단과 평가를 위해서는 목적에 따라 조사시기를 다양하게 결정하는데, 환경에 영향을 미칠 수 있는 요인의 발생 전·후 시기와 해역에서 나타나는 구체적인 현상의 대략적 주기, 그리고 조사방법의 현실성 등을 고려해서 이루어 질 수 있다. 특히, 하계에 적조가 빈발하는 폐쇄성 내만에서 환경특성을 이해하기 위해서는 조사시간간격이 길면 각 조사시간내에 발생하는 주요한 수질변동요인의 변화과정을 추적하지 못하므로 적조발생시점의 전·후에 연속시간관측을 통해서 일 중 변화양상을 파악하는 것은 매우 중요하고 그렇게 해서 얻어지 데이터는 아주 귀중한 가치가 있다 하겠다. 이러한 배경하에서 본 연구자들은 선행연구에서 적조 빈발지역이자 패류양식장이 밀집한 진해만 서부해역의 하계 수질 및 저질특성과 오염실태를 공간적인 해석을 통해 연구한 바 있고(이 등[2003]), 본 논문에서는 적조발생시기에 시시각각으로 변하는 수질의 변동특성을 보다 세밀하게 이해하기 위해서 대표적 고정점에서 연속적 시간관측을 통해 수질요인의 일중 변화과정과 적조발생의 이화학적 환경 메카니즘을 이해하는데 기여하고자 한다.

### 2. 재료 및 방법

진해만 서부해역의 패류양식장이 밀집한 곳에서 Fig. 1에 표시한 세 정점(견내량해협과 가까운 C2, 가조도를 중심으로 서쪽인

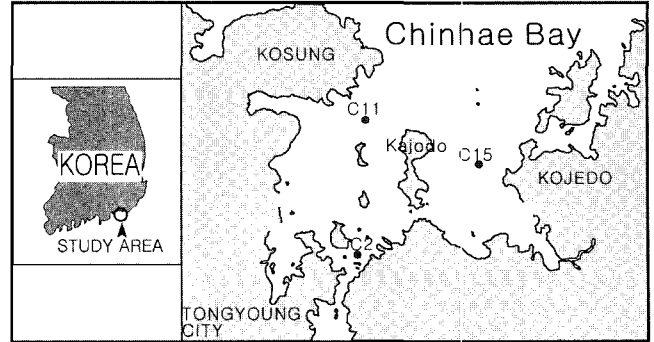


Fig. 1. Research points of the western part of Chinhae Bay.

C11과 동쪽인 C15 정점)에서 1999년 8월 12일부터 13일 사이에 관측선 3척을 이용해 2시간 간격으로 연속관측을 행하였다. 해수 시료는 C2에서 표층수, 중층수(3 m) 및 저층수(7 m)를, C11과 C15에서는 표층수, 중층수(5 m) 및 저층수(15 m)를 각각 채취하였다. 수온과 염분은 CTD를 이용해 측정하였고, Chl-a는 Submersible Fluorometer(Chlorotech-Alec Electronic Co., Ltd, ACL1151-D)를 이용하여 표층에서 저층까지 1 m간격으로 연속측정하였고, 그 값은 acetone으로 엽록소를 추출하여 측정하는 SCOR-Unesco(SCOR-Unesco[1966])의 분광광도법으로 보정하였다. 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD), 암모니아 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N), 아질산 질소(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N), 질산 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), 인산 인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P) 및 규산염(Si(OH)<sub>4</sub>-Si)은 해양환경공정시험법(해양수산부[1998])과 해양관측지침(日本氣象協會[1985])에 의거하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 수질변동 해석

조사시기인 1999년 8월 12일과 13일에 있어서 수질에 영향 미칠 수 있는 기상상태 중 바람은 동남풍과 동북풍이 각각 평균 풍

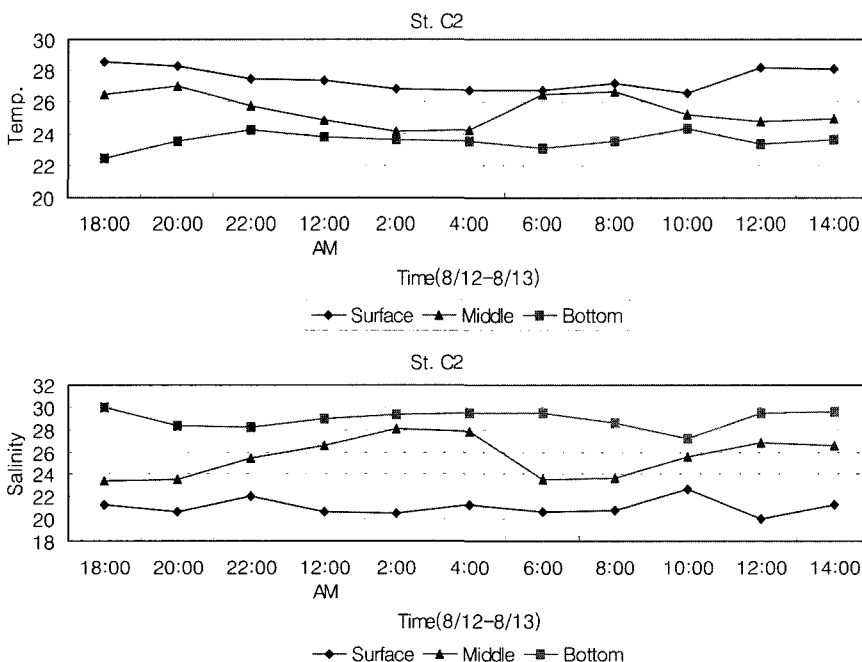


Fig. 2. Temporal variation of water temperature(°C) at station C2.

Fig. 3. Temporal variation of salinity at station C2.

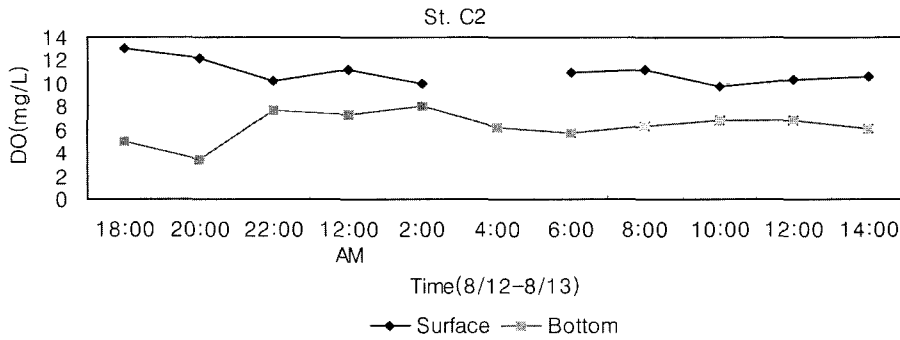


Fig. 4. Temporal variation of DO at station C2.

속 1.4 m/s와 1.2 m/s였고, 기온은 12일에는 21.3~29.1°C, 13일에는 18.9~29.5°C 범위였으며, 그리고 조사시기중에 강우는 없었으나, 7월과 8월은 평년에 비해 강수량이 각각 793.9와 443.2 mm 정도로 더 많아서 집중호우가 이 지역의 수질환경에 큰 영향을 미친 것으로 판단되었다(기상청[1999]).

C2 정점에서의 수온변화는 Fig. 2와 같이 표층은 26.54~28.59°C의 범위로 기온변화에 비해 온도차가 작았으며, 8월 12일 오후 6시에 최대온도를 나타낸 후 지속적으로 감소해 13일 새벽 2시와 4시에 최소치를 보였고, 아침이후 다시 증가해서 오후 12시와 2시

중에 최대치를 나타내었다. 저층은 22.39~24.35°C 였다. 표층과 저층의 수온차는 새벽에 3~4°C 였고, 일사량이 강한 오후에는 5~6°C 정도의 성층이 존재하였다.

C2 정점의 염분변화는 Fig. 3과 같이 표층은 20.01~22.66 psu 범위로 다른 계절에 비해 상당히 낮게 나왔는데, 육상유입의 영향이 크지 않는 것으로 보아서 앞서 언급한 이전에 내린 누적된 집중강우의 영향으로 사료된다. 저층은 27.21~29.97 psu의 범위로 표층보다 높았으며 시간에 따른 변동은 심하지 않았다. 표층과 저층의 염분차는 4~9 psu범위였다.

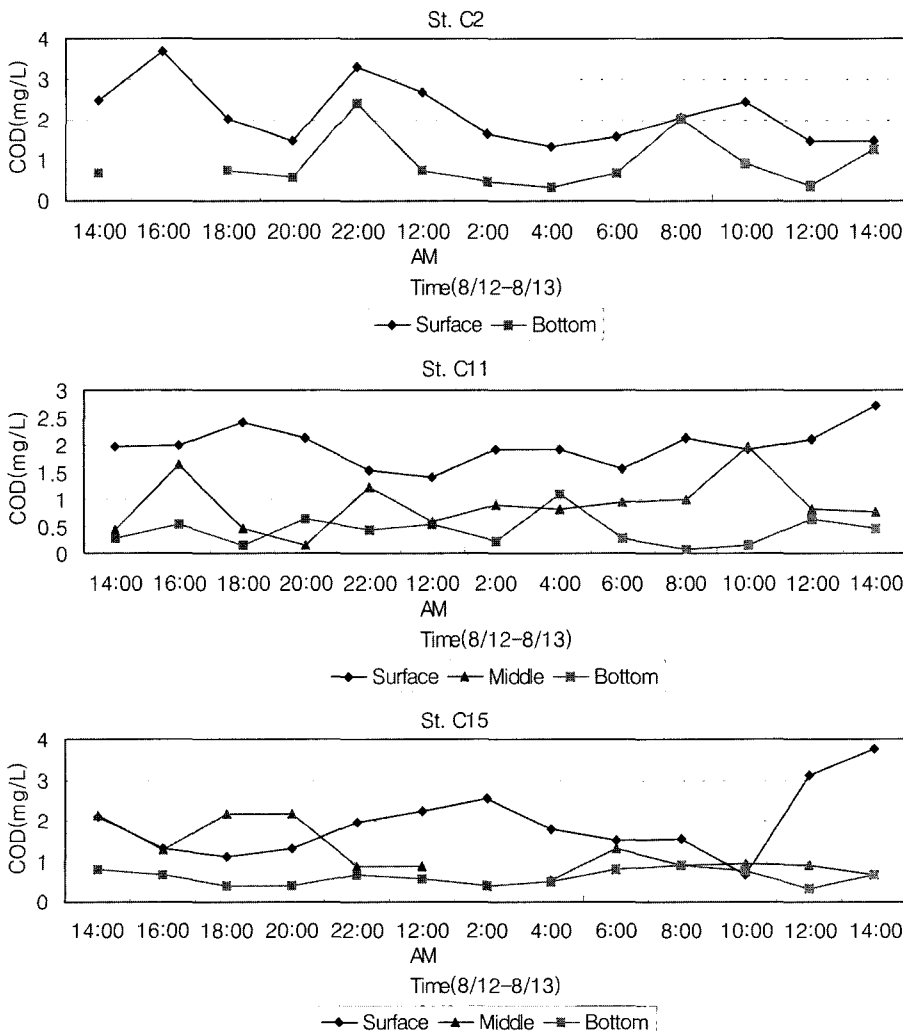


Fig. 5. Temporal variation of COD at each station.

전체적으로 표층과 저층의 수온과 염분은 대략 새벽 2시에서 6시 사이에는 상대적으로 거의 변화가 없는 것으로 나타났지만, 중층은 변동이 크게 나타났는데, 원인은 불명확하지만 새벽 4시 이후 수온이 증가하고 염분이 감소하는 변화양상을 나타내어 주목할 만 하였다.

정점 C2의 일 중 시간에 따른 용존산소(DO)변화는 Fig. 4와 같다. 표층은 9.68~13.05 mg/L의 범위로 거의 10 mg/L이상의 과포화상태를 나타내었는데, 수온이 최대인 저녁 6시에 peak를 이루었고 야간과 새벽에 최소를 나타내었다가 아침부터 서서히 증가하는 양상을 보였다. 이러한 경향은 수온과 Chl-a의 분포변동과 유사하였으며, 표층의 용존산소는 광합성의 결과에 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 저층은 3.37~8.03 mg/L의 범위로 8월 12일 저녁 6시와 8시에는 5 mg/L이하의 낮은 수치를 보였다가 야간과 새벽엔 최대치를 보였지만, 큰 농도변화는 보이지 않았다. 표층과 저층간의 수온차가 클 때 용존산소차가 커지는 경향이었고, 최소치를 보인 시점은 성층이 어느 정도 있을 시간으로 보아서 유기물분해로 인한 산소소모의 영향이 큰 것으로 판단된다. 그러나, 이 지점은 다른 정점들에 비해서 조류의 소동이 상대적으로 좋은 것을 주목할 필요가 있다.

화학적 산소요구량(COD)은 Fig. 5와 같이 C2 정점의 표층은 1.34~3.70 mg/L의 범위로 8월 12일 오후 4시 및 밤 10시에 3 mg/L이

상의 고농도를 보였고, 새벽에 감소하는 경향을 나타내었다. 저층은 0.33~2.41 mg/L범위를 보였고, 표층과 유사한 경향을 나타내었다. C11 정점은 표층에서 1.40~2.72 mg/L의 범위로 야간에 최소를 이루었다가 아침이후 다시 증가하여 8월 13일 오후 2시에 최대를 나타내는 양상을 보였다. 중층은 0.15~1.97 mg/L, 저층은 0.07~1.11 mg/L의 범위를 나타내었다. C15 정점은 표층에서 0.69~3.77 mg/L범위를 보였는데, C11과 마찬가지로 8월 13일 오후 2시에 최고치를 나타내었다. 중층은 0.53~2.17 mg/L 그리고 저층은 0.35~0.93 mg/L의 범위였다. 전체적으로 세 정점의 표층은 모두 해양수질기준 II등급을 초과하였는데, 주간에는 식물플랑크톤의 증식의 영향이 컸고, 야간에도 또한 고농도의 유기물이 존재하는 것으로 나타났다.

암모니아 질소, 아질산 질소와 질산 질소의 합인 용존무기질소(DIN) 표층은 Fig. 6과 같이 C2 정점 표층은 0.70~3.17 µg-at/L의 범위로 8월 12일 오후 4시부터 밤 10시까지 감소하다가 아침 8시에 최대를 나타낸 후 오후로 갈수록 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 식물플랑크톤의 활성과 관련이 있는 것으로 판단된다. 용존무기질소 중 아질산과 질산형태는 거의 없고 암모니아 형태가 대부분을 차지하였다. C11은 1.65~9.20 µg-at/L범위로 새벽에 최소 이후 계속 증가했고, 다른 정점들에 비해서 상대적으로 농도가 컸으며, 존재형태별로는 C2 정점과 마찬가지로 암모니아

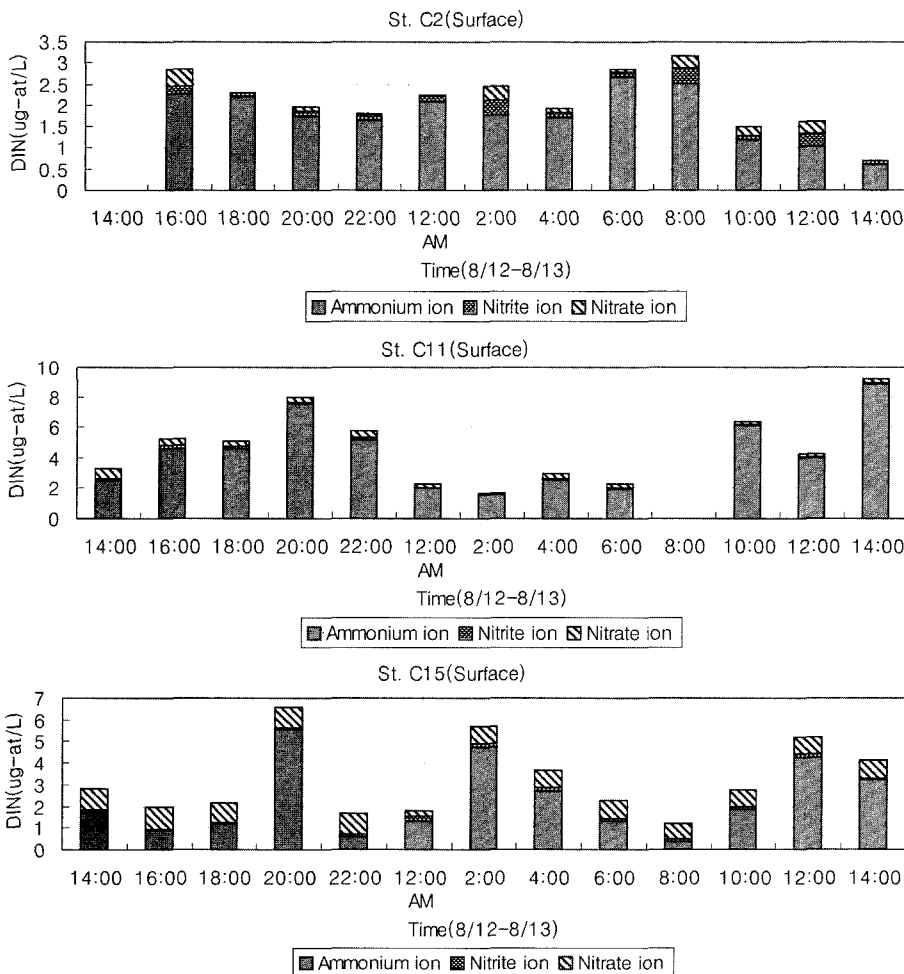


Fig. 6. Temporal variation of DIN at each station.

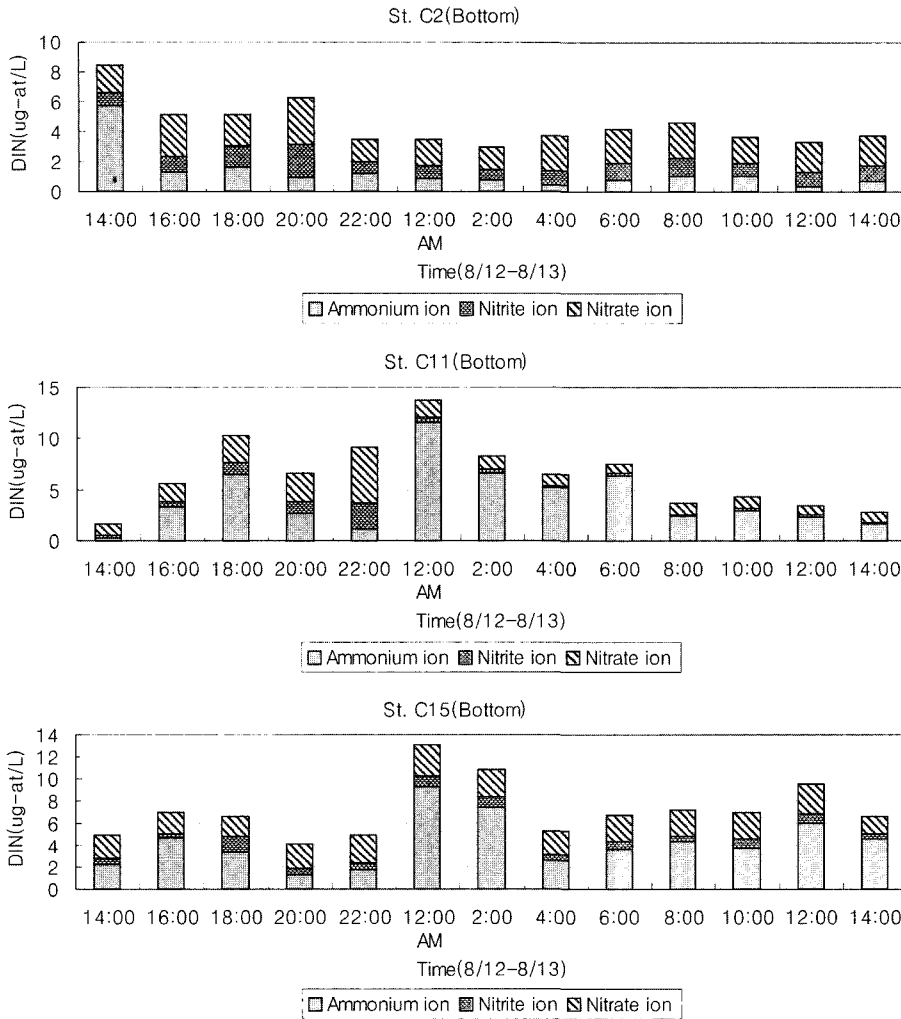


Fig. 7. Temporal variation of DIN at each station.

가 대부분 차지하였다. C15 정점은 1.19~6.56  $\mu\text{g-at/L}$ 를 나타내었으며 암모니아가 대부분을 차지하였지만, 다른 정점들에 비해 질산질소 함량이 컸었다. 저층의 용존무기질소는 Fig. 7과 같이 C2 정점은 3.00~8.41  $\mu\text{g-at/L}$ 범위로 아질산과 질산질소가 대부분을 차지하였다. C11 정점은 1.59~13.69  $\mu\text{g-at/L}$ , C15 정점은 4.15~13.04  $\mu\text{g-at/L}$ 를 나타내었다. 표층보다 전반적으로 농도가 높았다. C2 정점은 야간과 새벽보다 오후가 고농도를 나타내었고 특히, 질산질소가 대부분을 차지하였는데, 이는 산소의 존재하에 유기물분해가 다른 정점에 비해 큰 것을 알 수 있다. 이에 비해, 정점 C11과 C15는 야간에 최대분포를 나타내었고, 그 대부분이 암모니아였다. 이는 산화시킬 DO가 정점 C2에 비해 작음을 암시한다. 이러한 무기질소분포는 저층에서 유기물분해로 인한 재영양화에 의해 고농도를 유지하고 표층에서는 식물플랑크톤에 의해 급속히 흡수되는 순환을 가지는 것으로 사료된다.

인산 인( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )으로 나타내는 용존무기인(DIP)은 Fig. 8과 같이 C2 정점의 표층은 0.21~0.58  $\mu\text{g-at/L}$ , 저층은 0.24~0.77  $\mu\text{g-at/L}$  범위였다. C11 정점의 표층은 0.11~0.85  $\mu\text{g-at/L}$ , 저층은 0.42~1.36  $\mu\text{g-at/L}$  범위였고, C15 정점의 표층은 0.22~0.55  $\mu\text{g-at/L}$ , 저층은 0.61~1.47  $\mu\text{g-at/L}$  범위였다. C2 정점에서는 저층이 표층보다 고농

도를 나타내었고, 표층은 8월 12일 오후 4시에서 밤 8시 사이에 고농도를, 야간에 최소를 보여주었다. C11과 C15 정점에서는 표층과 저층의 차이가 컸으며, 아침이후 급격한 증가를 나타내었다.

C2 표층과 저층의 N/P비는 16이하로 이때는 질소가 제한인자로 작용하였고, C11 표층은 14시~22시 사이를 제외하고 질소가 제한인자였으며, C15 또한 표층과 저층 대부분이 질소가 제한인자였다(Redfield 등[1963]). 따라서, 무기질소가 본 연구해역에서의 생물성장에 인보다 더 직접적인 제한인자일 가능성이 높은 것으로 판단되었다(이 등[2003]).

수중에서 규조류의 골격물질로 이용되고 지각에 풍부해서 질소와 인에 비해 일반적으로 고농도로 존재하고 있는 규산염(Silicate)은 Fig. 9와 같이 C2 정점의 표층은 15.36~29.15  $\mu\text{g-at/L}$ , 저층은 22.98~58.00  $\mu\text{g-at/L}$  범위였다. C11 정점의 표층은 17.05~27.34  $\mu\text{g-at/L}$ , 저층은 7.90~119.80  $\mu\text{g-at/L}$  범위였고, C15 정점의 표층은 8.53~30.67  $\mu\text{g-at/L}$ , 저층은 60.80~106.56  $\mu\text{g-at/L}$  범위였다. C2 정점보다 C11과 C15가 더 높았으며 표층은 거의 변동없고, 저층은 아침으로 갈수록 증가하는 양상을 보였다. 부유생물량이 적으며 유기물 분해에 의한 영향으로 저층이 표층보다 높았고, 질소와 인보다는 고농도를 나타내었다.

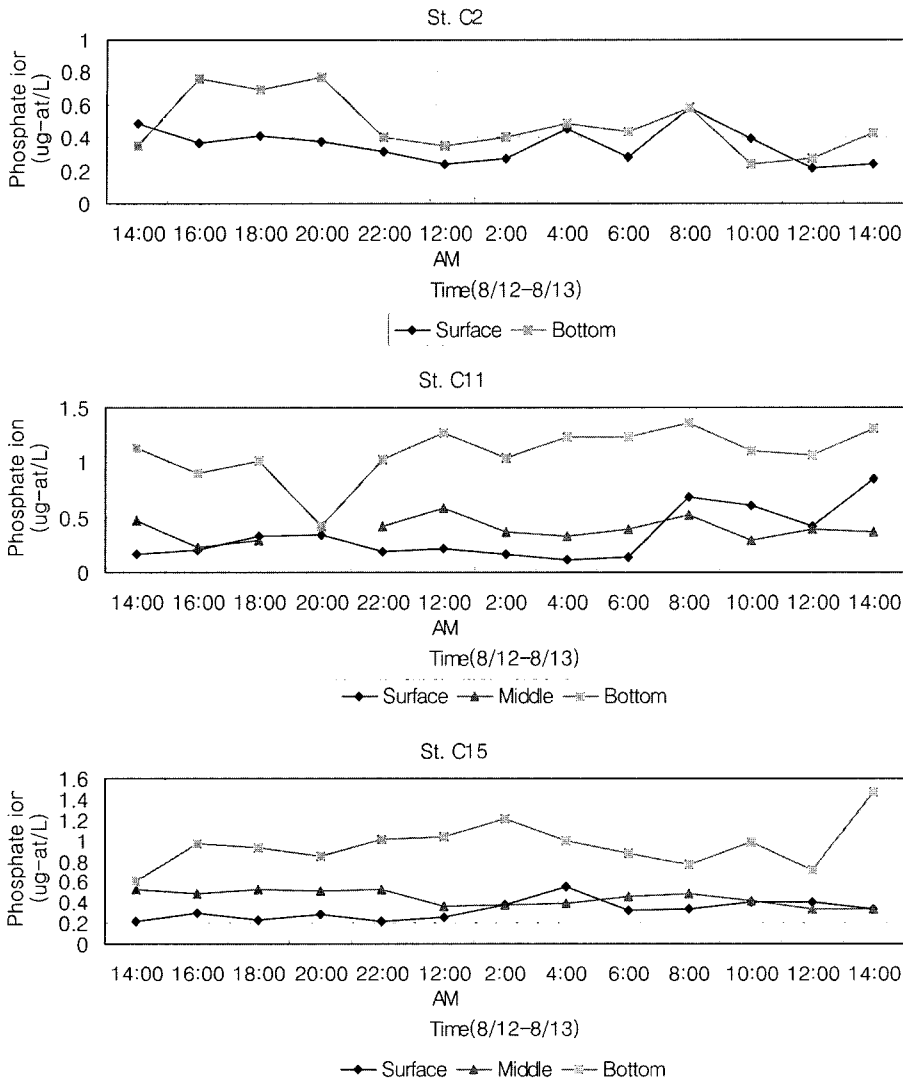


Fig. 8. Temporal variation of  $PO_4^{3-}$  at each station.

C2 정점의 Chl-a는 Fig. 10과 같이 표층은 5.78~15.28  $mg/m^3$ , 3 m층은 6.53~29.39  $mg/m^3$  그리고 저층은 2.9~9.26  $mg/m^3$  범위를 보였다. 표층아래인 3 m층에서 최대분포를 나타내었다. 시간적으로는 8월 12일 오후 6시에 최대를 보였고 새벽에 최소치를 나타내었다. 3 m층에서도 8월 12일 오후 6시에 최대치를 나타내었고, 그 이후 감소하는 경향을 나타내었다. 전체적으로 적조발생가능농도인 10  $mg/m^3$ (日本水産資源保護協會[1972])를 초과하였는데, 실제 8월 12일 오후에 적조발생이 관측되었다. C11 정점의 표층은 2.41~15.67  $mg/m^3$ , 5 m층은 0.87~24.21  $mg/m^3$  그리고 저층은 0.44~3.83  $mg/m^3$  범위였다. 정점 C2에 비해 다소 낮은 분포를 보였고, 5 m층에서 최고값을 나타냈다. 시간적으로는 표층은 야간 10시에 최대이후 새벽까지 감소했다가 그 후 증가하는 양상을 보였고, 중층은 새벽 4시에 최대를 그 이후 감소하는 경향을 나타내었다. C15 정점의 표층은 1.38~13.9  $mg/m^3$ , 5 m층은 0.39~4.49  $mg/m^3$  그리고 저층은 0.09~1.39  $mg/m^3$  범위로 다른 두 정점에 비해 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 또한 수층 중 표층이 최대분포를 나타내었는데, 일반적으로 아표층에서 극대를 이루는 결과와

다소 차이가 났다. 이것은 표층과 5 m층사이의 Chl-a 자료가 없는 점과 그리고 다른 두 정점과의 환경의 차이에 의해 초래되는 결과인지에 대해 불명확하기 때문에 차후 이에 대한 세밀한 검토가 필요할 것 같다. 시간별로는 야간에 최대분포를 이루었고 오후로 갈수록 다소 증가하는 양상을 보였다.

### 3.2 고찰

진해만 서부해역의 고정점에서 일조시간에 따른 환경변화를 해석하기 위해 2시간 간격으로 연속적으로 관측한 결과, 세 정점은 환경특성이 다소 차이는 것으로 판단되었다. 다만, 해수유동의 시간별 변화특성을 병행·관측하여 연계해석을 하지 못한 아쉬움이 있었다. 육상 유입의 오염부하량은 마산만 등에 비해서 작지만, 식물플랑크톤이 고농도로 존재하였다. 특히, 이 등[2003]의 결과와 같이 가조도 서쪽에 위치한 정점인 C2와 C11이 진해만 중부해역쪽에 가까운 C15보다 더 높은 식물플랑크톤의 분포를 나타내었다. C2 정점에서는 Chl-a의 분포값으로 알수 있듯이 8월 12일 오후 6시경에 3 m층에서 극대를 이룬 적조가 관측되었다.

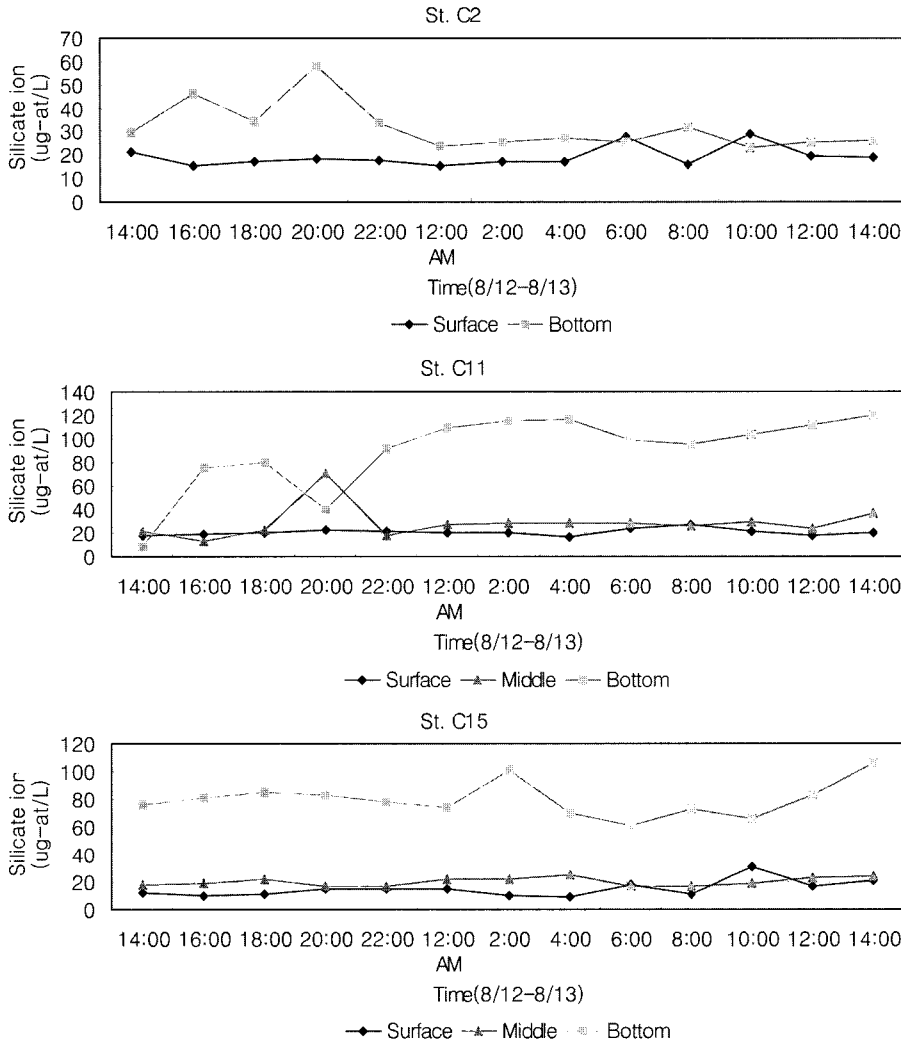


Fig. 9. Temporal variation of  $\text{Si}(\text{OH})_4$ -Si at each station.

대상해역에 수질의 시간별 변화양상은 수질인자에 따라서 다르게 나타났다. 비교적 규칙적인 수질변화와 다른 인자와의 상관성을 유추하기가 쉬운 수질인자도 있었지만, 특정시점에서 갑자기 증가하거나 감소하는 등 불규칙한 양상을 보인 수질인자도 있어서 해석에 애로점이 있는 것 또한 사실이었다. 차후 좀 더 정밀한 관측에 의한 데이터의 정도관리와 다량의 데이터 확보를 통한 다변량분석에 의해 수질인자간의 상관성을 해석하는 접근법이 필요할 것이다. 또한, 본 연구는 약 24시간을 2시간별로 연속측정하였는데, 차후 조사기간을 늘려서 모니터링하면 주간별 그리고 야간별 변동특성을 좀 더 명확히 파악할 수 있을 것이라 사료된다. 이러한 것을 감안해서 본 연구결과를 가지고 대상해역의 적조발생 전과 후에 있어서 Chl-a와 수질환경요인 변화양상을 종합적으로 비교·파악해 보면, 우선 식물플랑크톤이 수층에 대량 발생하기 전에 용존무기질소와 용존무기인이 증가하였고, 이와 더불어 표층 수온의 증가와 함께 수온성층이 최대가 되었을 때 표층 아래층에 적조가 발생되었으며, 동시에 표층에 용존산소와 유기물함량이 증가하였고 저층에는 용존산소가 약 4 mg/L이하로 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 저녁에도 유지되고 수온이 최대로 떨어

진 야간과 새벽으로 갈수록 Chl-a의 함량은 감소하고 용존무기질소 농도가 증가하는 특성을 보였다. 물론, 이러한 상황은 해역 특성에 따라 다소 달라질 수 있을 것이다. 결론적으로 이 해역에서는 외부에서의 하·폐수 유입이 크지 않음에도 불구하고 식물플랑크톤 그 자체와 양식생물의 배설물 등에 의해 고농도로 존재하는 유기물들이 침강하면서 분해되어 재순환되고 이때 용존산소를 감소시킨다. 조류소통이 좋지 않는 곳에서는 빈산소수괴 또는 무산소수괴를 형성해서 저층의 환경을 악화시키는 것으로 판단된다. 저층에서 재순환된 영양염류는 특히, 무기질소는 표층에서 식물플랑크톤에 의해 급속히 소모되어지는데, 이것은 무기영양염류 중 제한인자가 대부분 시간과 공간에서 질소인 것으로 나타난 것에 의해 뒷받침된다. 이러한 환경에서, 일사량 등 기상환경조건이 충족되면 식물플랑크톤의 증식에 의한 군집형성은 쉬울 것이라 판단된다. 따라서 이 해역의 효율적인 수질관리와 적조대책을 위해서는 유기물 뿐만아니라 무기 영양염류 특히, 오염된 퇴적물과 유기물분해로 재순환되는 질소화합물의 정량적인 평가와 관리가 필요하다 하겠다.

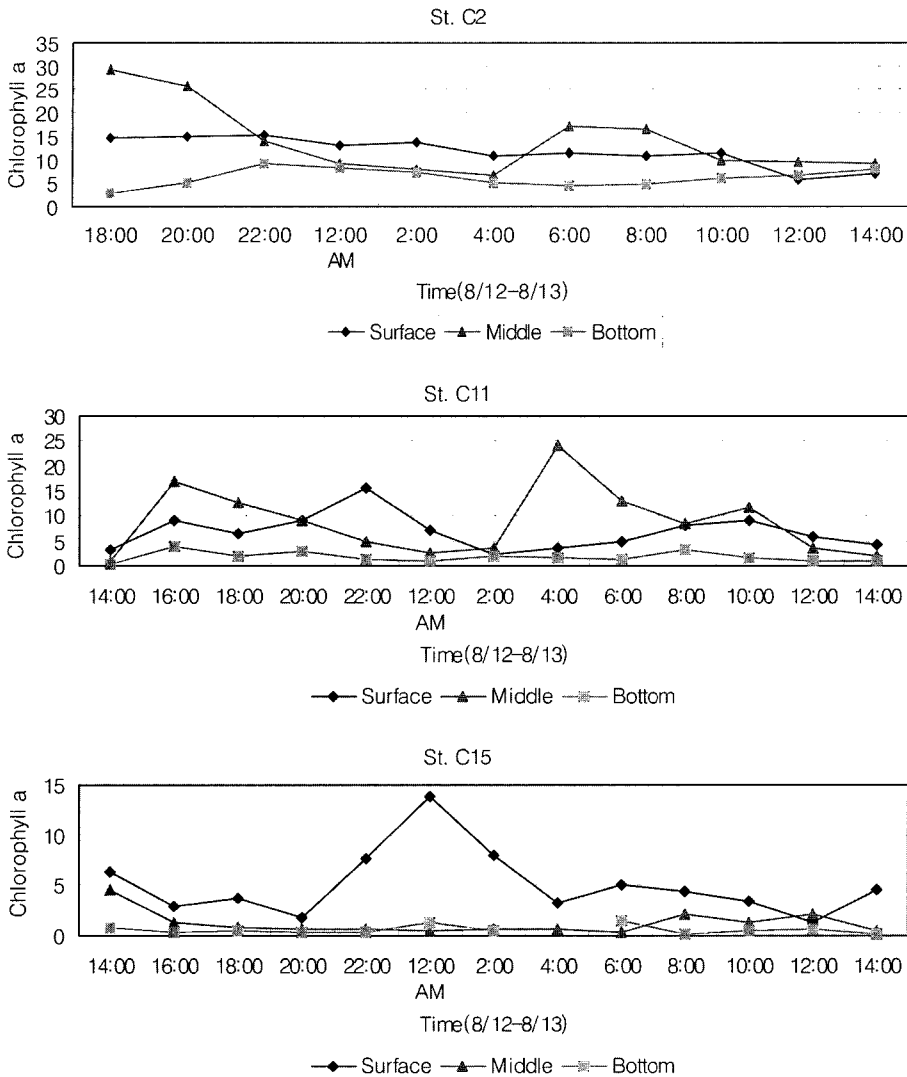


Fig. 10. Temporal variation of Chl-a (mg/m<sup>3</sup>) at each station.

### 4. 결 론

진해만 서부해역의 세 정점에서 2시간 간격으로 연속관측에 의한 수질인자의 변화는 다음과 같다.

1) C2 정점의 표층과 저층의 수온차는 새벽에 3~4°C였고, 일사량이 강한 오후에는 5~6°C 정도였고 이때 수층이 성층화되었다. 표층 염분은 20.01~22.66 psu범위로 집중강우의 영향으로 낮은 분포를 보였다.

2) C2 정점의 용존산소는 표층에서 거의 10 mg/L이상으로 과포화상태를 나타내었고, 저층은 3.37~8.03 mg/L의 범위였는데, 표·저층간에 수온차가 큰 시간에 저층의 용존산소가 최소를 나타내는 경향이였다. 화학적 산소요구량은 세 정점 모두 표층에서 해역수질기준 II등급을 초과하였는데, 주간에는 높은 COD는 식물플랑크톤의 증식에 의한 것으로 사료되었다. 또한 야간에도 수층에 고농도의 유기물이 존재하는 것으로 나타났다.

3) 용존무기질소 분포는 저층에서 유기물분해로 인한 재순환에 의해 고농도로 존재하였고, 표층에서는 식물플랑크톤에 의해 급속히 흡수되었다. 존재형태별로는 표층에서는 암모니아가 대부분 차

지하였고, 저층에서는 C2 정점에서는 질산질소가, C11과 C15 정점에서는 암모니아가 주종을 이루었다.

4) 용존무기인은 C2 정점의 표층에서 8월 12일 오후 4시부터 밤 8시 사이에 고농도를, 야간에 최소를 보여주었다. C11과 C15 정점에서는 표층과 저층의 차이가 컸으며, 아침이후 급격한 증가를 나타내었다.

5) N/P비 분석결과, 조사해역에서 질소가 생물성장의 제한인자일 가능성이 큰 것으로 나타났다.

6) Si(OH)<sub>4</sub>-Si의 시간변동은 표층에서는 거의 변화없고, 저층에서는 아침으로 갈수록 증가하는 양상을 보였다. 저층이 표층보다 높고 질소와 인 영양염류보다 고농도를 나타내었다.

7) Chl-a 분포는 C2와 C11 정점에서는 극대층이 표층아래인 3~5 m층에 형성되었고, 적조발생가능농도인 10 mg/m<sup>3</sup>을 초과하는 고농도를 나타냈다. C15 정점의 극대층은 표층에서 나타났고 상대적으로 낮은 농도분포를 보였다. 일사량이 강한 오후에 고농도를 형성해서 야간에도 높은 농도를 유지하다가 새벽에 최소분포를 나타냈고 아침이후 다시 증가하는 양상을 보였다.

8) C2 정점에서는 고농도의 식물플랑크톤 출현이전에 영양염류



가 증가했으며, 수온성층이 최대가 되는 시간대에 식물플랑크톤이 고농도로 집적하면서 용존무기질소를 특히, 질산질소를 급격히 소모하는 것으로 나타났고, 이러한 영양염류는 저층과 퇴적물에서의 유기물분해로 인해 다시 증가하는 것으로 사료되어 효과적인 수질관리를 위해서 수층의 유기물 뿐만아니라 퇴적물의 오염관리가 매우 필요하다.

### 참고문헌

[1] 기상청, 1999, 기상월보.  
 [2] 이대인, 조현서, 이문옥, 2003, “鎭海灣 西部海域의 夏季 環境特性 研究 - 수질 및 저질의 공간적 변동-”, 한국물환경학회지, 19(6), pp. 725~732.  
 [3] 해양수산부, 1998, 해양환경공정시험방법.  
 [4] 해양수산부, 2002, 환경관리해역 환경개선연구.

[5] 日本氣象協會, 1985, 海洋觀測指針.  
 [6] 日本水産資源保護協會, 1972, 水産環境水質基準, pp. 1~24.  
 [7] Redfield, A. C., Ketchum, B. H. and Richards, F. A., 1963, “The influence of organisms on the composition of sea water”, In; The Sea, 2, M.H. Hill, ed. Wiley, New York, pp. 26~77.  
 [8] SCOR-Unesco, 1966, “Determination of Photosynthetic Pigments”, In 「Unesco(ed.), Determination of Photosynthetic Pigments in the Sea-water, Paris」, pp. 10~18.  
 [9] Wilkinson, W. B., Leeks, G. J. L., Morris, A. and Walling, D. E., 1997, “Rivers and coastal research in the Land Ocean Interaction Study”, The Science of the Total Environment, 194, pp. 5~14.

---

2003년 10월 24일 원고접수  
 2004년 1월 27일 수정본 채택