

## 금강 하구에서의 화학적, 생물학적 제과정에 관한 연구 II. Chlorophyll-a 분포결정 요인에 관하여

기준학 · 김경렬  
서울대학교 자연과학대학 해양학과

### Studies on Chemical and Biological Processes in the Keum River Estuary, Korea II. Factors controlling chlorophyll-a distribution

*Jun-Hak Ki and Kyung-Ryul Kim*

Department of Oceanography, College of Natural Sciences  
Seoul National University, Seoul 151, Korea

요약: 금강 하구(Keum River Estuary)에서의 chlorophyll-a의 분포를 규제하는 제 과정등을 이해하기 위하여, 1986년 4월과 7월 두차례에 걸쳐 현장 조사를 실시하고, Chlorophyll-a, 영양염, pH, SPM, 용존산소, 수온, 염분 등의 분포 양상을 조사하였다.

갈수기인 4월은 방조제에서 약 35km 상류의 강경까지 염수의 침입이 있었으나, 풍수기였던 7월은 약 3km 상류역까지만 염수의 영향이 관측되었다. 4월의 경우 전 강하구(estuary)에 걸쳐 평균 500mg/l 이상의 높은 SPM 분포를 보인 반면, 7월은 증가된 담수의 영향으로 SPM의 농도가 평균 10mg/l 정도밖에 이르지 않았다.

Chlorophyll-a의 분포는 시기, 위치에 따라 많은 변화를 보여, 7월의 경우 4월에 비하여 매우 높은 chlorophyll-a의 분포를 보였으며, 두 시기 모두 담수-해수 경계역에서 급격한 감소를 보였다 (4월 평균: 담수역 6.5  $\mu\text{g}/\text{l}$ , 강하구 1.4  $\mu\text{g}/\text{l}$ ; 7월 평균: 담수역 35  $\mu\text{g}/\text{l}$ , 강하구 6.8  $\mu\text{g}/\text{l}$ ).

영양염이 항상 충분히 존재하는 금강 하구에 있어서, 두 시기간의 chlorophyll-a 농도에 큰 차이를 보인 것은, 주로 SPM 농도의 현격한 차이에 의한 빛 에너지 효율성의 차이에 기인된 것으로 생각된다.

담수-해수 경계지역에서의 chlorophyll-a의 급격한 감소는, 주로 ionic strength의 증가로 야기된 삼투압의 변화에 적응하지 못한 식물 plankton들의 대소멸(mass mortality)에 기인된 현상으로 생각된다. 초기혼합 지역에서 AOU, ammonia의 증가를 보인 4월, pH의 급격한 감소를 보인 4월 및 7월의 자료들은, 식물 plankton의 죽음으로 인하여 공급된 유기물들의 분해 과정을 통하여 나타날 수 있는 현상들로서, 위의 결론을 뒷받침하여 주고 있다.

#### Abstract

The Keum River Estuary was investigated two times in April and July, 1986, to study process controlling chlorophyll distribution in estuarine waters. During the surveys, distribution patterns were studied for chlorophyll-a, nutrients, pH, SPM (Suspended Particulate Matter), DO (Dissolved Oxygen), temperature, salinity, etc..

During April survey (low-discharge period), sea water penetrated to Kangkyung, about 35 km upstream from the constructing weir, while in July (high-discharge period) only to 3 km upstream from

the weir. In April, SPM showed very high concentrations (500 mg/l) on the average. But very low concentrations (about 10 mg/l) were observed in July due to high discharge of fresh water.

Chlorophyll-a concentrations showed large variations both in time and space: much higher concentrations in July than in April and sharp decrease in concentrations at the fresh water-sea water interface (April: 6.5  $\mu\text{g/l}$  for fresh waters and 1.4  $\mu\text{g/l}$  for estuarine waters; July: 35  $\mu\text{g/l}$  for fresh waters and 6.8  $\mu\text{g/l}$  for estuarine waters).

Difference in chlorophyll-a concentrations for these two surveys appears to be caused mainly by the difference in effectiveness of penetrating lights controlled by SPM in the waters.

Sharp decrease in chlorophyll-a at the fresh water-sea water interface is believed to be resulted from mass mortality of fresh water phytoplankton caused by changes in osmotic pressure in the region. Observations in the same regions such as increase in AOU (Apparent Oxygen Utilization) and ammonia, decrease in pH, probably resulted through decomposition processes of dead planktons, further support the idea.

## I. 서 언

강하구 (estuary) 에서의 chlorophyll 분포는 외양에 비해 복잡한 여러 자연현상에 의해 복합적으로 영향을 받는 가운데 결정된다. 그 요인으로는 수괴의 순환 형태와 수층의 성층 현상, 영양염의 농도, 광량, 수층의 소광 계수, 수온 그리고 동물 plankton 등에 대한 섭식 (grazing), 삼투압 그리고 하천 배수량 등을 들 수 있다 (Head, 1976; Filardo and Dunstan, 1985; Pennock, 1985).

식물을 성장시키는 광합성에 있어서 이들 중 빛 energy 와 영양염의 농도가 특히 중요한 요인으로 작용하며, 식물 plankton 이 성장하는데 있어서 영양염이 제한 요소가 되지 않는 환경에서는 빛 energy 의 효용성이 chlorophyll 의 분포를 결정하는 가장 중요한 요인이 된다 (Laws and Bannister, 1980; Pennock, 1985). 빛 energy 의 효용성 정도는 순간 광량 (incident light) 과 수층에 의한 소광 정도에 의해 결정된다 (Wofsy, 1983). 그러므로 계절적으로 혹은 지역적으로 SPM (Suspended Particulate Matter) 의 농도 변화가 크게 나타나는 강하구에 있어서는 SPM 의 농도 변화가 chlorophyll 의 분포에 매우 민감하게 작용할 수 있을 것이 예상된다.

또한 강하구는 일반 대양이나 연안역과는 달리, 조석 작용에 의해 수괴가 끊임없이 주기적으로 움직이고, 담수와 해수의 혼합이 계속해서 이루어지는 가운데, 구성 물질들의 변화가 매우 심하게 이루어지는 환경이다. 따라서 생체

가 살아 나가기 위해서는 이러한 환경 변화에 대하여 적절히 적응할 수 있어야 한다. 특히 염분의 증가에 따른 삼투압의 변화가 생물의 생존 여부에 미치는 영향은 매우 치명적이어서, 담수-염수 경계역인 저염분의 초기 혼합 지역에서는 대소멸 (mass mortality) 현상을 초래하기도 한다 (Morris et al., 1978, 1982; Filardo and Dunstan, 1985). 이와같이 강하구에서는 chlorophyll 의 분포에 영향을 주는 요인이 많지만 그 주요인은 강하구마다 특징적으로 나타나 일반화하기는 어렵다.

본 연구에서는 금강 하구 (Keum River Estuary) 를 그 대상으로 하여, chlorophyll 의 주종을 이루는 chlorophyll-a, SPM, 염분, 수온, 용존 산소, pH 및 여러 영양염등을 조사하여, 이 지역에서의 chlorophyll 분포를 결정하는 주요 요인들을 규명하고자 하였다.

## II. 조사 지역

금강 하구는 전형적인 감조 하구로 감조의 영향은 군산에서 약 50 km 상류까지 미치고 있다 (Fig. 1). 조석은 반일주조형이고 군산항에서의 평균 조차는 4.3m 이다. 연평균 강우량은 약 1200mm 인데 강우가 여름에 집중되기 때문에 연간 약 64억 ton 의 하천 배수량중 60% 이상이 7, 8, 9 월의 3 개월간에 배수된다 (정등, 1983).

금강 하구는 조석 작용, 하천 배수 등에 의한 강력한 난류 작용에 기인하여, 강어귀에서만 부분-혼합형의 특성을 보이며, 다른 곳은 거의 수층간에 균일한 수괴 특성을 나타내고 있다

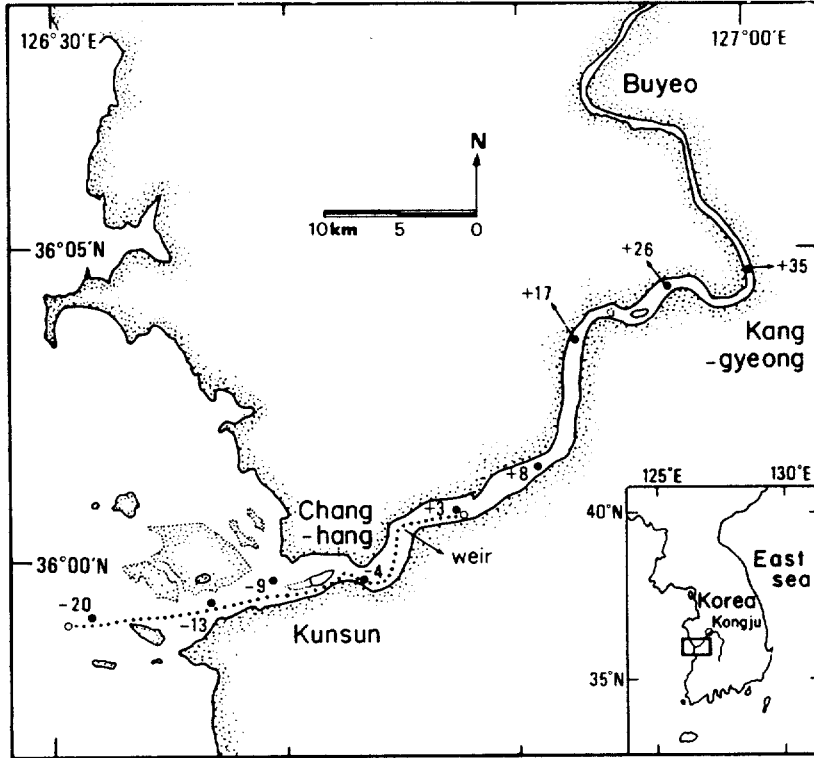


Fig. 1. The map showing the Keum River Estuary and sampling stations. The numbers indicate the distance from the constructing weir in kilometers (+ : upstream, - : downstream).

(정등, 1983; 김, 1985; 기, 1987).

금강 하구는 풍수기 일부를 제외한 거의 전 기간에 걸쳐 SPM의 농도가 매우 높은 지역이다. 특히 하천 배수량이 적고 조석 작용이 큰 시기에는 SPM이 최대값(turbidity maximum)을 가지는 지역이 강하구 내에 생성되기도 하여, 1983년 6 월에는 SPM의 농도가 3000mg/l 이상되는 지역이 관측되기도 하였다(김, 1985; Lee and Kim, 1987).

### III. 조사 방법

1986년 4 월 25일(갈수기; 대조기, 군산에서의 평균 조차: 5m95cm)과 1986년 7 월 30-31 일(풍수기; 소조기, 군산에서의 평균 조차: 2m 85cm)에 현장 조사를 실시하였다. 각 정점의 위치는 군산항 약 5 km 상류에 위치한 방조제를 기점으로 하여 이곳에서부터의 거리를 km 단

위로 하여 나타내었고, 방조제보다 상류역은 +, 하류역은 -로 표시하였다(Fig. 1). 4 월 관측 중의 정점들은 Fig. 1에 직접 도시되어 있으며, 7 월 관측 중에는 지도에 일련의 점으로 표시되어 있는 수로상에서 정점간 거리를 약 500-1000m로 하여 총 48개의 정점을 취하여 시료를 채취하였다. 시료 채취는 이동 관측(traverse)을 주로 하여, 4 월의 경우는 수면하 50cm, 바닥 퇴적층상 100cm에서 각각 표층수와 저층수를 채취하였고, 7 월에는 수면하 50cm에서 표층수만을 채취 하였으며, 3l Van Dorn형 채수기나 5l Niskin형 채수기를 이용하였다.

시료 보존에 어려움이 있는 ammonia는 여과하지 않은 원 시료에 대해 채수후 30분 이내에 hypochlorite donor로 trione을 쓴 Ivančić and Degobbis (1984)법에 따라 indophenol blue로 발색시킨 뒤 24시간내에 그 흡광도를 측정하여 정량하였다. 그 이외의 영양염 분석을

위한 시료는, 채수후 한시간 이내에 GF/C 여과지로 여과한뒤 dry ice로 급속 냉동하여 실험실로 이송, 냉동실(-10°C)에 보관하였고, 2주일내에 Strickland and Parsons (1972)에 기술되어 있는 방법에 따라 영양염 분석을 하였다.

용존 산소 및 chlorophyll-a의 정량은 Parsons et al. (1984)의 방법을 이용하였고, SPM은 현장에서 membrane 여과지나 GF/C 여과지로 약 500ml의 시료를 여과한 뒤 정량하였으며 (박등, 1985), pH와 수온은 각각 Corning-120 pH계와 전자 온도계를 이용, 채수후 바로 측정하였다.

#### IV. 결 과

Fig. 2에 염분과 수온의 지역적 변화를 나타내었다. 염분의 분포를 보면 4월에는 염수의 침입이 방조제를 기점으로 상류 약 35 km까지 이루어졌음에 반해 7월에는 방조제 상류 약 3 km 지점까지만 이루어졌다. 이것은 7월의 경우 급증한 강수량으로 인해 많은 양의 담수가 하구로 유입됨으로 해서 (4월 하천 배수량:  $31\text{m}^3/\text{sec}$ ; 7월 하천 배수량:  $211\text{m}^3/\text{sec}$ ) 나타난 현상이다. 따라서 7월 관측은 염수의 영향이 나타난 구간 즉, 방조제 상류 약 3 km에서 하류 약 22 km까지의, 지역적으로 4월에 비해 50% 정도 감소한 약 25 km의 구간에서 이루어졌다. 염분, 수온 모두 4월에 비해 7월에 더욱 이산된(scattered) 경향을 보이는데 이는 증가한 담수의 영향으로 수괴가 patch를 이루는 작용이 커짐으로써 나타난 현상으로 보인다.

두 시기의 T-S도를 Fig. 3에 보였는데, 7월의 경우 특히 이산된 경향을 보이기는 하지만, 대체로 직선형을 이루고 있으며, 이는 금강 하구에 있어서의 수괴가 일차적으로 두 시기 모두 담수(염분 0‰)와 해수(염분 약 30‰)의 점진적인 혼합에 의해 이루어지고 있으며, 금강 본류에 유입되는 몇몇 작은 지류의 영향은 매우 미미한 것임을 나타낸다. 따라서 이 지역에서는 각 성분들을 염분을 혼합 인자로 하여 도시하고, 그 분포 양상을 이론적인 혼합 직선(theoretical

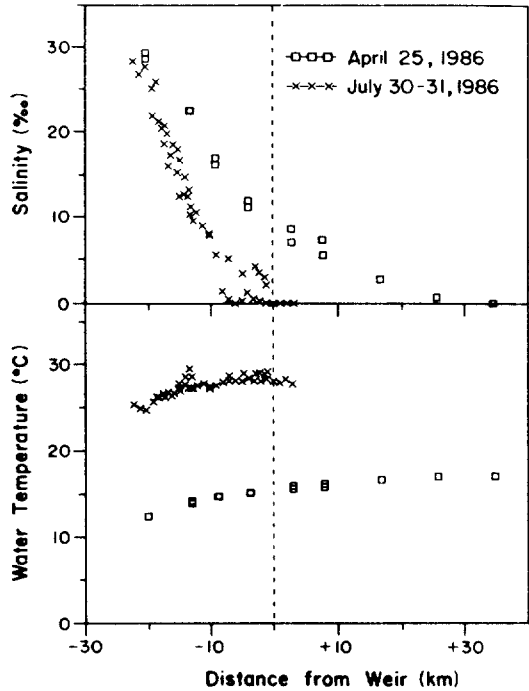


Fig. 2. Salinity and water temperature distribution along the main axis of the Keum River Estuary.

mixing line) 과 비교하여 강하구 내에서의 반응성을 조사하는 방법이 타당성있는 자료 분석법이 될 수 있음을 보여준다.

Fig. 4에 두 시기의 chlorophyll-a, SPM, 그리고 pH를 염분에 대하여 도시하였다. Chlorophyll-a는 두 시기 모두 담수역에서 높은 농도를 보이고 염수와의 혼합이 시작되면서 그 농도

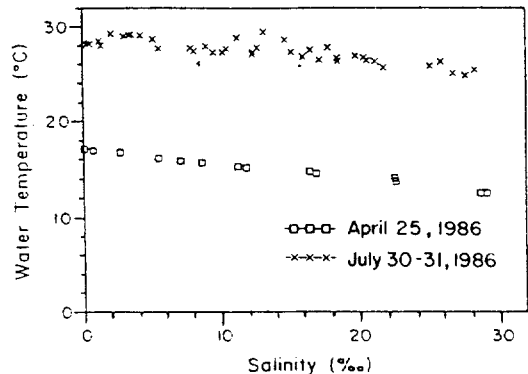


Fig. 3. T-S plot for the Keum River Estuary waters.

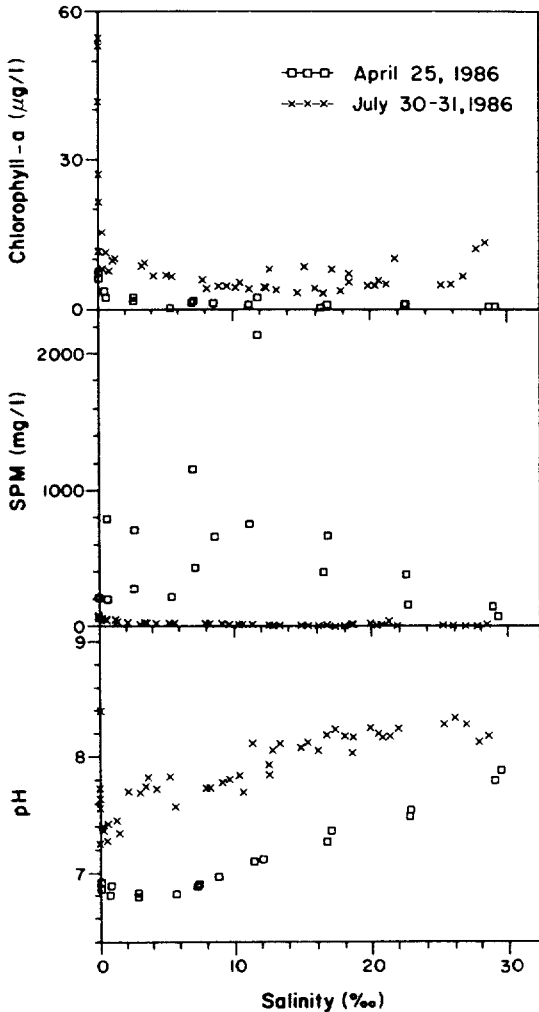


Fig. 4. Chlorophyll-a(a); SPM(b); and pH(c); versus salinity plots, for the Keum River Estuary waters.

가 급격히 감소하여 이후 하류역까지는 거의 일정한 분포를 보였다(4월의 경우 담수역에서의 평균 농도  $6.5\mu\text{g/l}$ 가 초기 혼합이 일어나며  $1.4\mu\text{g/l}$ 로 급격히 감소하였고, 7월의 경우에는  $35\mu\text{g/l}$ 의 농도가  $7\mu\text{g/l}$  정도로 격감하였다). 그러나 양적으로는 두 시기의 차이가 매우 커서, 7월은 4월에 비하여 5배이상 높은 농도를 나타내었다.

SPM은 4월의 경우 최고  $2000\text{mg/l}$ 를 넘었고, 강하구내의 평균 농도가 약  $500\text{mg/l}$ 로서, 7월의 평균 농도인  $10\text{mg/l}$ 에 비해 수십배 높은 농도를 보여, chlorophyll-a와는 시기적으로

반대되는 양상이었다. 4월의 SPM 농도가 매우 높게 나타난 것은 이 시기가 대조기이고 하천 배수량이 적어, 조석 교반(tidal stirring)작용이 크게 이루어져 퇴적물의 재부유가 활발히 이루어졌기 때문으로 생각된다(김, 1985; Lee and Kim, 1987).

pH는 두시기 모두 초기 혼합 단계에서 급격히 감소하여, 동일 구간에서의 chlorophyll-a의 감소와 유사한 양상을 보이며, 그 이후는 해수와 혼합되면서 다시 증가하고 있다. Chlorophyll-a의 농도가 높았던 7월의 경우, pH 또한 4월에 비하여 높은 값을 보이고 있다.

## V. 고 찰

### (1) 4월 관측

영양염이 항상 풍부한 환경임(기, 1987)에도 불구하고 이 시기에 낮은 생체량(biomass)을 보이고 있는 것은, SPM의 농도가 전 강하구에서 매우 높아(Fig. 4b) 빛 energy의 효율성을 감소시킴으로써 나타난 현상으로 생각되며, 이러한 관측 결과는 영양염이 풍부한 환경에서는 빛 energy의 효율성이 1차 생산의 주 제한요인이 된다는 것을 보여준다(Laws and Bannister, 1980; Pennock, 1985).

본 연구에서는 조사되지 않았지만 동물 plankton의 섭식 작용은 식물 plankton 즉, chlorophyll의 분포에 큰 영향을 줄 수 있다. Hudson River Estuary에서 행해진 연구(Malone et al., 1980)에 따르면 하천 배수량과 동물 plankton의 생체량은 서로 반비례하는 관계를 보여주었는데 이로 미루어 하천 배수량이  $21\text{m}^3/\text{sec}$ 로 많았던 7월에 비하여  $31\text{m}^3/\text{sec}$ 로 적었던 4월에 좀 더 활발한 동물 plankton의 활동이 있었으리라고 추측된다.

강하구 환경에서는 조석 작용에 의해 담수와 해수가 주기적으로 혼합되고 이에 따라 수괴의 ionic strength가 변화하는데, 특히 담수와 해수가 처음으로 만나는 담수-염수 경계역에서는 이 변화가 매우 커서 삼투압과 구성 물질의 변화가 급격하게 이루어져, 이러한 환경 변화에 적응하지 못한 식물 plankton이 대량으로 죽는

대소멸 (mass mortality) 현상이 일어날 수 있음이 보고되어 있다 (Morris et al., 1978, 1982; Filardo and Dunstan, 1985). 초기 혼합 지역에서 chlorophyll-a의 농도가 급격히 감소하는 모습을 보이는 4월 자료는, 이 시기에 금강 하구에서도 이와 같은 현상이 일어나고 있었음을 강하게 암시하고 있다. 이러한 식물 plankton의 대소멸은 많은 양의 용존성 혹은 입자성 유기물을 수층으로 공급하게 될 것이며 이에 수반된 용존 산소의 소모를 야기하게 될 것인데 (Morris et al., 1978, 1982), 초기 혼합 단계에서

AOU (Apparent Oxygen Utilization)가 증가하고 ammonia도 증가하는 양상을 보여주고 있어, 앞의 예상을 뒷받침하고 있다 (Fig. 5). 초기 혼합 이후의 염분 범위에서는 chlorophyll-a는 거의 일정한 농도를 유지하고 있으며, 이는 이 지역에 광염성 (eu-ry-haline) 종이 많이 있기 때문으로 생각된다 (Shim and Yang, 1982).

위에 기술된 초기 혼합 단계에서의 여러 현상을 정량적으로 고찰하여 보기 위하여 간단한 advection-diffusion 모델 (Boyle et al., 1974; Kaul and Froelich Jr., 1984; 기, 1987)을 이용하여 유기물의 분해와 그에 따른 용존 산소의 제거 flux를 각각 구하였다. 모델식에 적용하기 위해 다음과 같이 chlorophyll-a와 AOU를 염분에 대한 식으로 fitting 하였고 그 curve를 Fig. 6에 나타내었다.

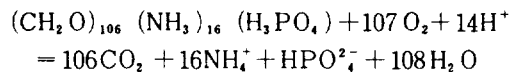
$$CHLa = 5.077 \text{EXP}(-SAL) + 1.090$$

$$(r^2 = 0.903)$$

$$AOU = 43.51SAL / (SAL + 0.1) + 49.62$$

$$(r^2 = 0.982)$$

Chlorophyll-a의 양을 유기 탄소량으로 바꾸기 위하여 90g-C/g-Chlorophyll-a의 (Harding et al., 1986) 변환 계수를 이용하였으며, 유기물의 분해과정을 기술하는 stoichiometry는 ammonia로까지 유기물이 분해되는 경로로 가정하고 다음의 식 (Stumm and Morgan, 1981)을 이용하였다.



모델 계산 결과에 의하면, 염분 0에서 2.7‰ 구간에서 산소의 제거 flux는 1.3 moles/sec였고, Chlorophyll-a의 양을 유기 탄소량으로 전환한 뒤 그것이 분해되는데 따른 산소의 소모량을 추정할 때 0.9 moles/sec로 나타나, 용존 산소 소모량의 약 70% 정도가 유기물의 산화에 이용되는 것으로 나타났다. 나머지 30%에 이르는 용존 산소 제거 flux의 잔량은 모델 계산에서 온 오차, 혹은 다른 생명체들 (동물 plankton, macroalgae, fish 등)의 호흡 작용 등의 과

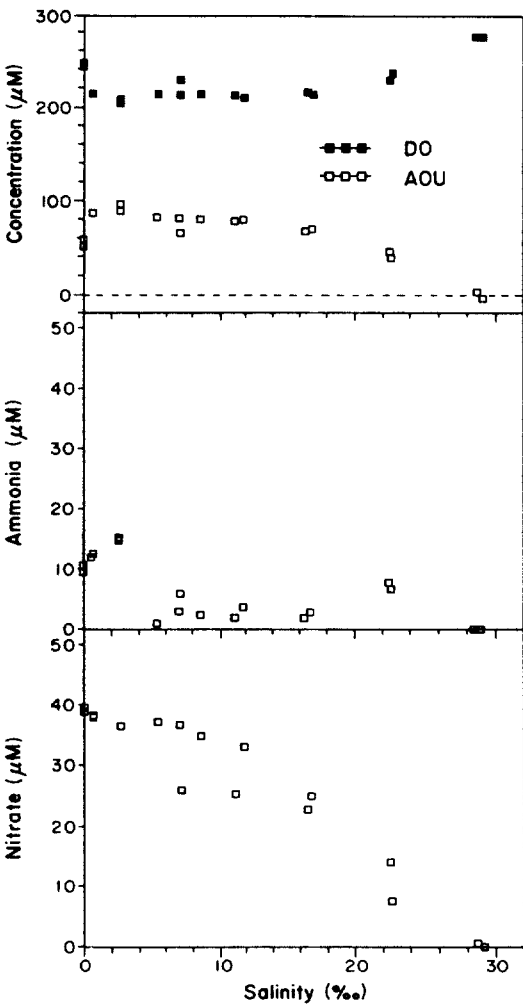


Fig. 5. AOU (Apparent Oxygen Utilization) and DO (Dissolved Oxygen) (a); Ammonia (b); Nitrate (c) versus salinity plots for the April survey in the Keum River Estuary.

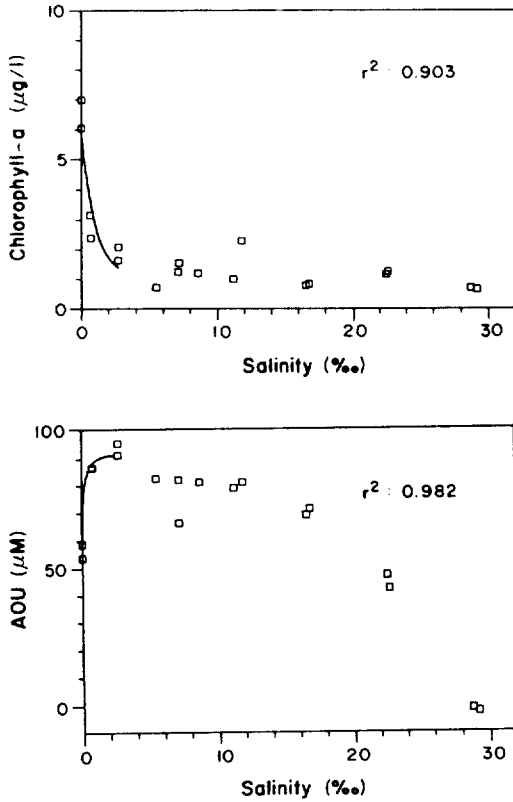


Fig. 6. Curve fitting for chlorophyll-a and AOU in April, 1986. Curves are fitted for the initial mixing region only ( $r^2$ 's indicate correlation coefficients).

정들에 기인한 결과로 생각된다.

## (2) 7월 관측

이 시기는 소조기이자 풍수기로서 조석 교반 작용(tidal stirring)이 매우 제한되었던 시기이다. 강하구에서의 수괴 순환의 특성상 강하구에 집적되었던(김, 1985; Lee and Kim, 1987) SPM이 급증한 하천 배수에 의해 강하구 밖으로 쓸려 나가 강하구는 매우 청정한 상태를 유지하고 있었으며(Fig. 4b; Potsma, 1980; 김, 1985; Lee and Kim, 1987), 이에 따라 빛 energy를 유용하게 이용할 수 있게 되어 생산활동이 활발히 이루어지고, 이러한 고농도의 chlorophyll-a 분포를 보인 것으로 생각된다.

일반적으로 온도가 상승하게 되면 제반 생물학적 작용들이(성장, 대사 작용 등) 활발해지

게 되는데, 두 시기의 수온 분포를 볼 때 4월보다 7월에 수온이 두배 정도 높아 더욱 활발한 성장 활동이 7월에 일어날 수 있는 가능성을 제공하고 있지만, 본 연구에서는 식물 plankton의 생리적 특성에 대한 연구가 이루어지지 않아 정량적으로 수온 증가에 따른 식물 plankton의 적응 과정을 설명할 수는 없었다.

담수 및 해수의 초기 혼합 지역에서 4월의 경우처럼 급격한 chlorophyll-a의 감소를 보이고 있는데 이것은 4월의 경우와 마찬가지로, 담수역에서 활발한 생산 활동을 하던 담수종 식물 plankton들이 담수-해수 경계역에서의 삼투압 변화에 적응하지 못하고 죽음으로서 나타난 현상으로 생각된다. 이러한 지역에서의 식물 plankton에 대한 정성 및 정량적 조사는 상기 현상을 직접적으로 규명할 수 있는 중요한 연구과제로서, 이에 대한 연구가 현재 진행 중에 있다.

Chlorophyll-a가 줄어드는 초기 혼합 단계에서 SPM이 flocculation 작용에 의하여 줄어드는 것이 관측되는데(Fig. 4b), 이러한 무기물의 flocculation에 동반하여 식물 plankton이 함께 flocculation 될 수 있으며(Aunimelech, 1982), 이것 또한 이 시기의 초기 혼합 단계에서 나타난 급격한 chlorophyll-a의 감소를 초래한 원인중의 하나가 될 수 있었을 것으로 생각된다.

염분 변화에 따른 pH 변화는 Fig. 4c에 보였는데 담수역에서 8.4까지 높은 값을 보였던 pH가 혼합이 일어나기 시작하는 경계에서(염분 약 0.5‰) pH 7.3 정도로 급격히 낮아졌다가 다시 염분의 증가와 더불어 증가하고 있다. Tamar Estuary에서 Morris (1978)에 의해 행해진 연구에 의하면, 담수역에서 활발한 광합성 작용에 의하여 매우 높았던 pH가(약 8.4) 혼합 초기에 급격히 감소하여 염분 약 1‰에서 pH 7.5 정도로 낮아지는 현상이 관측되었다. 이로 미루어 금강 하구의 담수역에서 나타나는 높은 pH도 활발한 광합성 작용에 의해 용존  $CO_2$ 가 1차 생산자(primary producer)에게 급격히 흡수됨으로써 전체 carbonate계의 화학이 이동된 결과로 생각되며, 이후 담수-염수 경계역에서의 대소멸로 인해 과량으로 공급된 유기물의 mineralization이 활발히 진행됨으로써 염분 약

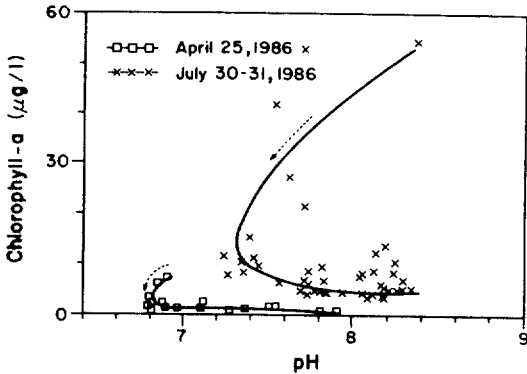


Fig. 7. Chlorophyll-a versus pH plot for the Keum River Estuary waters (The line is fitted by eye and the arrows show direction of salinity increase).

0.5‰ 부근에서 최저 pH가 기록된 것으로 보인다(Morris, 1978; Morris et al., 1978). 이후의 염분역에서는 pH가 대체로 염분의 증가와 함께 증가하는 양상으로, 다른 환경 요인보다는 주로 ionic strength의 영향을 받아 그 분포가 결정되는 것으로 보인다(Mook and Koene, 1975).

Fig. 7의 chlorophyll-a와 pH의 상관도를 보면 다른 염분 범위와 비교해서 1‰ 이하의 data는 대체로 일차 비례 관계를 보이고 있어, pH는 식물 plankton의 광합성 과정의 진행 정도를 민감하게 나타내고 있음을 알 수 있다. 전체적으로 증가한 광합성 작용을 반영하여 7월이 4월에 비해 상당히 높은 pH 분포를 보여주고 있다(Fig. 4c, Fig. 7).

## VI. 맺음말

금강 하구에서의 chlorophyll-a의 분포는, SPM의 농도에 일차적으로 영향을 받아 결정되며, 또한 담수-해수 경계역에서 일어나는 혼합 초기의 급격한 염분 변화 등이 중요한 인자로 작용하고 있음을 확인하였다.

담수-염수 경계역에서의 chlorophyll-a의 급격한 감소와 동반된 pH, 용존 산소등의 변화는, 이들이 생산 활동의 진행 정도를 보이는 매우 민감한 지시자로서 이용될 수 있음을 보이고 있다.

초기 혼합이 일어나는 담수-염수 경계역은, 식물 plankton의 대소멸과 동반된 pH, 용존 산소량의 급격한 변화 그리고 유기물의 과량 공급 등으로 인하여 수괴의 화학적 조건이 급격히 바뀌는 환경이며, 따라서 금강하구로 유입되는 많은 물질들의 반응성, 분포 양상등을 결정하는데 있어서 매우 중요한 지역으로서, 앞으로 생물학, 미생물학 등을 포함한 종합적인 연구가 더욱 집중되어야 할 대상으로 생각된다. 특히 식물 plankton에 대한 정성, 정량적 연구, 동물 plankton에 의한 2차 생산력 연구등은 chlorophyll-a만으로는 이해하기 어려운 생산력(productivity), 염분과 수온 변화에 따른 적응성 여부 등에 대한 구체적인 자료를 제공하여줄 것이다. 또한 유기물, alkalinity 등에 대한 연구는, 대소멸 현상에 따른 탄소, 수소이온 등의 mass balance 문제를 규명할 수 있는 직접적인 증거를 제공할 수 있을 것이며, 앞으로의 연구가 더욱 요청되고 있다.

## VII. 감사의 글

본 연구는 과학재단의 지원을 받아 수행된 것입니다.

본 논문을 끝까지 읽어 주시고 유익한 조언을 많이 해주신 서울대학교의 심재형 교수님과 인하대학교의 박용철 교수님께 깊이 감사드립니다. 군산대학교의 이원호 교수님, 강원대학교의 김범철 교수님, 신윤근 석사등과의 토론은 불분명하였던 여러 부분들을 확실히 하는데 많은 도움이 되었습니다.

또한 본 연구 과정중의 야외 조사, 시료 분석 등 여러 부분에서 많은 도움을 준 서울대학교 해양학과 정희수 석사와 강동진, 민동하, 안태훈, 홍석의 학사, 그리고 화학실의 모든 분들에게 감사드립니다.

## VIII. 참고문헌

- 기준학, 1987. 금강 하구에서의 영양염류 순환에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문: 125p.  
김태인, 1985. 금강 하구 부유 퇴적물의 분포



- 및 이동. 서울대학교 석사학위논문: 85p.
- 정 종률, 이 재학, 안 회수, 1983. 금강 하구의 해수 순환 역학. 한국 해양학회지, 18(2): 142-148.
- 박 주석, 김 학균, 이 필용, 1985. 해양 오염 및 적조 조사 지침. 국립 수산 진흥원: 297p.
- Aunimelech, Y., B.W. Troeger, and L.W. Reed, 1982. Mutual flocculation of algae and clay. evidence and implications. *Science*, **216**: 63-65.
- Boyle, E.A., R. Collier, A. Dengler, J.M. Edmond, A.C. Ng, and R.F. Stallard, 1974. On the chemical mass balance in estuaries. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **38**: 1719-1728.
- Filardo, M.J., and W.M. Dunstan, 1985. Hydrodynamic control of phytoplankton in low salinity waters of the James River Estuary, Virginia, U.S.A.. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **21**: 653-667.
- Harding, L.W., B.W. Meeson, and T.R. Fisher Jr., 1986. Phytoplankton production in two East Coast Estuaries: photosynthesis-light functions and patterns of carbon assimilation in Chesapeake and Delaware Bays. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **23**: 773-806.
- Head, P.C., 1976. Organic processes in estuaries, pp 53-91. In "Estuarine Chemistry" (eds. J.D. Burton and P.S. Liss). Academic Press.
- Ivancic, I., and D. Degobbis, 1984. An optimal manual procedure for ammonia analysis in natural waters by the indophenol blue method. *Water Res.*, **18**(9): 1143-1147.
- Kaul, L.W., and P.N. Froelich Jr., 1984. Modeling estuarine nutrient geochemistry in a simple system. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**: 1417-1433.
- Laws, E.A., and T.T. Bannister, 1980. Nutrient-and light-limited growth of *Thalassiosira fluviatilis* in continuous culture, with implication for phytoplankton growth in the ocean. *Limnol. Oceanogr.*, **25**: 457-473.
- Lee, C.-B. and T.-I. Kim, 1987. Formation and evolution of turbidity maximum in the Keum Estuary, West Coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **22**(2): 105-118.
- Malone, T.C., P.J. Neale, and D.C. Boardman, 1980. Influences of estuarine circulation on the distribution and biomass of phytoplankton size fractions, In "Estuarine Perspectives" (ed. V.S. Kennedy). Academic Press.
- Mook, W.G., and B.K.S. Koene, 1975. Chemistry of dissolved inorganic carbon in estuarine and coastal brackish waters. *Estuar. Coast. Mar. Sic.*, **3**: 325-336.
- Morris, A.W., 1978. Chemical processes in estuaries: the importance of pH and its variability, pp 179-187. In "Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology" (ed. N.E. Krumbein). vol. 1: The Aquatic Environment. Ann Arbor Science.
- Morris, A.W., R.F.C. Mantoura, A.J. Bale, and R.J.M. Howland, 1978. Very low salinity regions of estuaries: important sites for chemical and biological reactions. *Nature*, **274**: 678-680.
- Morris, A.W., A.J. Bale, and R.J.M. Howland, 1982. Chemical variability in the Tamar Estuary, South-West England, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **14**: 649-661.
- Parsons, T.R., Y. Maita, and C.M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press.
- Pennock, J.R., 1985. Chlorophyll distributions in the Delaware Estuary: regulation by light-limitation. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **21**: 711-725.
- Postma, H., 1980. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment, pp 153-186. In "Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries" (eds. E. Olausson and I. Cato). Wiley-Interscience.
- Shim, J.-H., and J.-S. Yang, 1982. The community structure and distribution of phytoplankton of the Kum River Estuary. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **17**(1): 1-11.
- Strickland, J.D.H., and T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada 167, 2nd ed. 310p.
- Stumm, W., and J.J. Morgan, 1981. *Aquatic Chemistry: An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*, 2nd ed. 780p. Wiley-Interscience.
- Wofsy, S.C., 1983. A simple model to predict extinction coefficients and phytoplankton biomass in eutrophic waters. *Limnol. Oceanogr.*, **28**: 1144-1155.

---

Received August 11, 1987

Accepted September 9, 1987