

## 금강 하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분변화에 대한 500일간의 연속관측

이용혁 · 양재삼  
군산대학교 해양학과

## 500-days Continuous Observation of Nutrients, Chlorophyll Suspended Solid and Salinity in the Keum Estuary, Korea

YONG HYUK LEE AND JAE SAM YANG

Department of Oceanography, College of Natural Sciences, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

군산 하구역에서 해양학적 환경의 시간적 변화양상을 이해하고 하구언 축조 이후 갑문의 조작에 의한 환경의 변화를 알아보기 위하여 1995년 6월부터 1996년 9월까지 약 500일간 매일 관측을 하였다. 조사대상 항목은 해양 환경의 일반적인 조사대상인 영양염, 엽록소, 부유현탁물질 그리고 염분이었으며, 이를 자료를 설명하기 위하여 일차적으로 조석자료를 이용하였고, 또한 보조자료로서 기온, 강우량, 풍속등 기상 자료와 금강 하구언의 담수 방출량과 같은 하구언의 갑문조작 효과도 그 관련성을 조사하였다. 조석 위상에 따른 변화를 조사하기 위하여 1996년 4월에 26시간, 7월에 19시간에 걸쳐 시간별로 연속조사를 병행하였다. 시간별 조사에서 염분의 변화양상은 조위에 비례관계를 보였으며, 부유현탁물질과 엽록소는 창·낙조 사이에서 높은 농도를 보였다. 영양염류는 염분에 반비례하는 경향을 보였다. 500일 연속 관측에서 염분은 담수 방출량과 반비례하며, 엽록소는 봄철에 높은 농도를 보였다. 각 영양염류는 변화양상이 유사하였고, 염분과는 반비례 관계를 나타내었다. 부유현탁물질은 15일 주기인 조석 주기(neap-spring tide cycle)와 유사한 양상을 보였으며, 홍수기에는 담수 방출량에 의하여 주로 결정되었다. 금강 하구언의 갑문을 조작하기 이전과 비교해 볼 때 담수의 방출은 우기에 집중되고 있으며, 조류의 감소, 부유물질의 감소, 영양염류와 엽록소의 증가를 보였다.

We have monitored nutrients, chlorophyll, suspended solids, and salinity in the Keum Estuary to understand the temporal fluctuation of oceanographic parameters and to illustrate any variation due to the gate operation of the Keum River Dike from June, 1995 to September, 1996, approximately for 500 days. Tidal range is used as the key factor to explain the fluctuations and atmospheric parameters such as air temperature, wind velocity and rainfall are also used supplementally. The fresh water discharge was selected as another major impact on the estuarine environment due to the gate operation of the Keum Dike. In addition, daily variation by tidal cycle was investigated twice in April and July, 1996. In diurnal variation, salinity was positively correlated with tidal elevation, whereas negatively correlated with nutrients. Relatively high suspended solid and chlorophyll contents were found in the period between high and low tide. In 500 days continuous observations, salinity was negatively correlated with the volume of fresh-water discharge, but positively correlated with nutrients. A major chlorophyll bloom occurred in spring. A similar pattern of variation was observed between suspended solid and the neap-spring tidal cycle. In comparison with the data of the Keum Estuary before the gate operation of the Keum River dike, fresh-water discharge predominated other environmental factors during the rainy season. In addition, the velocity of tidal current and the concentration of suspended solid were decreased, while nutrients and chlorophyll contents were increased.

### 서 론

금강 하구는 담수와 해수의 특성이 혼합된 완충지대로서 반일 주조형 조석의 영향에 따라 수괴가 끊임없이 주기적으로 이동되어지며, 유입되는 해수와 하구언으로부터 방출되는 담수와의 혼

합이 지속적으로 이루어짐에 따라 구성물질들의 변화가 매우 심하게 이루어지는 환경이다. 하구언 갑문 작동 이전의 금강 하구역은 담수 방출량에 비하여 상대적으로 조석의 영향이 우세한 완전 혼합형(well-mixed type) 하구에 속하였다(Chung and Bhang, 1984). 그러나 94년 9월 금강 하구언 수문이 반영구적으로 폐쇄

됨에 따라 하구역과 금강 상류가 완전 차단되는 인위적 환경변화로 인하여 하구 및 인근해역에 미치던 금강 담수의 영향이 감소했다. 특히 인위적 환경 변화로 인하여 금강 상류로 전파되던 조석이 차단되었고, 갈수기에는 담수의 유입이 통제되나 풍수기에는 저장된 담수가 일시적으로 방출되는 비주기적 담수 유입으로 인하여 하구역의 환경특성에 많은 영향을 미칠 수 있다. 이미 우리 나라에서는 낙동강 하구언과 영산강 하구언, 한강 수중보 건설 등에 의한 하구 특성 변화가 보고된 바 있다(문과 최, 1991).

현재까지 금강 하구역에서 하구환경에 대해 연구되어진 내용을 보면, 김과 기(1987)의 화학적 생물학적 제과정에 관한 연구, 이(1988)의 금강 하구역 주변 식물성 부유생물 및 저서 규조류에 관한 연구, Shim과 Yang(1982)의 식물성 부유생물의 분포와 군집 구조에 관한 연구, 최(1988)의 조석 전파 과정에 대한 연구, 정 등(1983)의 해수 순환 역학 연구, Ahn(1989)의 인공위성 자료를 이용한 간석지(tidal flat)와 부유물질 분포에 관한 연구, Lee와 Kim(1987)의 최대 혼탁수 형성 및 변화에 대한 연구, 최 등(1995)의 하구언 갑문 폐쇄후 금강 하구의 물리, 퇴적학적 변화에 대한 연구 등이 있다. 그러나 최 등(1995)의 연구는 하구의 환경의 주요 요소인 화학적인 요소에 대한 연구가 이루어지지 않았으며, 하구언 갑문의 비정기적인 조작으로 인한 환경변화에 대한 조사가 미비하였다. 또한 하구가 조석에 의해 매우 역동적으로 변화하는 환경으로서 일일 변화가 연변화폭을 상회하기도 하는 환경임에도 불구하고 연간 2~3회 조사하여 계절적인 변화 등을 연구하는 것은 무리가 있었다.

따라서 본 연구에서는 금강 하구역에서 영양염류 및 엽록소, 부유물질과 염분을 매일 조사하여 일일 변화와 함께 장기적 변화를 알아보았다. 조사 항목들의 변화와 조석주기, 기상조건과 갑문조작으로 인한 담수 유입 등의 물리적 환경요인 변화와의 연관성을 분석하였다. 방조제 축조에 따른 인위적 변화에 대한 영향을 알아보고, 이들 자료를 금강 하구언 수문이 차단되기 전의 자료와 비교하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 지역개괄

한반도 서해 중부역에 위치한 금강 수계는 국내 4대강의 하나로서 발원지인 전라북도 진안에서 군산 하구까지 총연장이 약 400 km에 달하며, 집수면적은 약 9880 km<sup>2</sup>이다(임과 최, 1996). 금강 하구에는 1988년 군산과 장항을 연결하는 총 1,841 m길이의 금강 하구언이 건설됐으며, 군산 하구언의 축조로 인해 매년 빈발하는 가뭄과 홍수의 폐해를 조절하고 약 143 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> 규모의 농업 및 공업용수를 안정적으로 확보하게 되었다(최 등, 1995). 하구언 갑문 작동 이전에 금강 하구로부터 방출되는 담수는 동계에는 감소하고 하계에는 증가하여 7월부터 9월까지의 방출량이 연간 유량의 60% 이상에 달하며(김과 기, 1987), 연평균 담수 방출량은 156 m<sup>3</sup>/s(Schubel et al., 1984) 정도이나 하계의 강수량 차이에 따라 년별 방출량이 변화되었다(나, 1993). 이러한 금강 담수 방출량의 계절 변동은 하구의 순환형태를 변경할 뿐만 아니라 부유사의 퇴적과 이동에 영향을 미치며 생화학적 환경 특성요인의 변화를 가져온다.

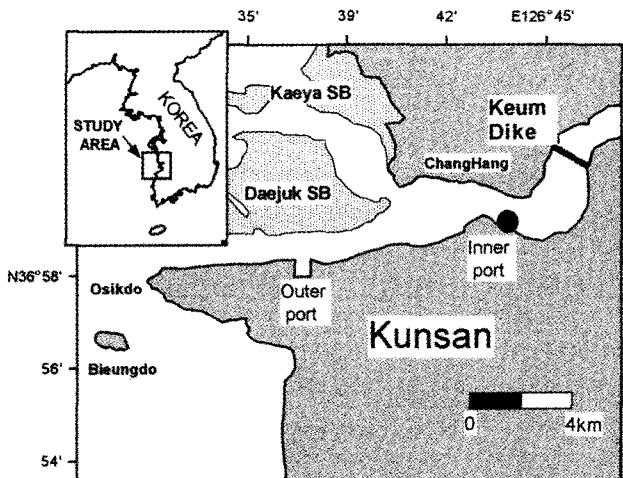


Fig. 1. Location of sampling station.

### 시료 채취

시료의 채수지점은 금강 하구언으로부터 약 4 km 하류지역인 군산검조소로서 조석의 영향과 담수의 영향을 동시에 복합적으로 받을 수 있는 지점이고 수심은 4~7 m이다(Fig. 1). 용존성 영양염류(암모니아, 아질산염, 질산염, 인산염)와 엽록소, 부유물질, 염분, 수온을 측정하였으며, 보조자료로서 군산측후소의 기상자료(일평균 기온, 일평균 풍속, 강우량), 군산 내항 검조소의 조석 자료, 농어촌진흥공사 금강사업단의 금강 하구언 담수 방출량 자료를 사용하였다.

### 분석항목 및 방법

온도는 봉상온도계를 이용하여 현장에서 측정하였다. 부유현탁물질은 시료 500 ml를 GF/C 여과지로 여과 후 103°C 건조기에서 1시간 30분 건조 후 함량을 측정하였다. 염분은 salinometer(T.S-Digital Lab Salinometer Model 3-G, TSURUMI SEIKI)로 측정하였다. 엽록소는 시료 500 ml를 여과 후 90% acetone과 1%의 MgCO<sub>3</sub> 용액에 24시간 동안 냉장 보관하여 원심분리기로 원심분리하여 부유물을 제거하여 측정하였다(Parsons et al., 1984). 인산염은 ammonium molybdate solution, sulfuric acid, ascorbic acid, potassium antimonyltartrate solution의 혼합 시약으로 10 ml 시료를 885 nm에서 정량 측정하였다(Parsons et al., 1984). 암모니아는 phenol로 고정 후 sodium nitroprusside solution, alkaline reagent, sodium hypochlorite solution, oxidizing solution을 이용, 10 ml 시료를 640 nm에서 정량 측정하였다(Solorzano, 1969). 아질산염은 sulfanilamide solution과 naphthylene diamine dihydrochloride solution을 이용, 시료 10 ml를 543 nm에서 정량 측정하였다(Parsons et al., 1984). 질산염은 Cd-Cu 환원 칼럼을 통하여 아질산염으로 환원시킨 후 아질산염과 동일한 방법으로 정량 측정하였다(Parsons et al., 1984). 흡광도계는 spectrophotometer(UV-160A, SHIMADZU)를 사용하였다.

### 조석 주기에 따른 시간별 연속 관측

한 조석 주기동안 조사항목들의 시간적 변화를 이해하기 위하여 1996년 갈수기인 4월 2일 만조인 15시부터 3일 만조인

16시까지 1시간 간격으로 26시간 동안, 1996년 풍수기인 7월 15일 만조인 16시부터 16일 간조인 10시까지 19시간 동안 표층에서 채수를 하여 즉시 실험실에서 분석을 하였다.

### 500일간 장기 관측

장기적 환경요인들의 특성을 이해하기 위하여 1995년 6월 15일부터 1996년 9월 21일 까지 약 500일간 매일 만조시 표층에서 채수를 하였다. 만조시에 채수한 목적은 조석 주기에 따른 시간적 변화에 있어서 군산 하구역은 영양염류와 부유물질, 염분, 엽록소 등이 조석 주기에 따른 시간에 지배됨으로 담수의 영향과 조석의 영향을 최소화하기 위함이었다. 채수 즉시 -20°C로 냉동 보관하여 모든 시료는 1개월 이내에 분석을 실시하였다. 장기 변화자료는 7일 간격으로 이동평균(moving average)을 하여 시계열(time series)로 나타내었다.

### 결과 및 고찰

#### 조석 주기 동안의 시간적 변화

금강 하구는 조차가 큰 지역으로서 대조기에 5~7 m 정도의 조차를 보인다. 관측 지점에서 조석에 따른 시간적인 변화를 볼 때, 염분변화는 조위와 유사한 변화 양상을 나타내고(Fig. 2-a) 염분과 조위는 비례관계를(Fig. 3-a) 보인다. 부유물질은 창조와 낙조 시간 사이에서 높은 농도를 나타낸다(Fig. 2-b). 엽록소의 변화양상은 조위의 변화와 서로 상반된 관계를 보인다(Fig. 2-c, 4-c). 영양염류(인산염, 아질산염과 암모니아)는 염분에 대해 반비례관계를 나타낸다(Fig. 2-d, e, f). 이것은 만조시 염분이 높고

영양염류의 농도가 낮은 외해수가 유입되어 염분의 농도가 증가하고 영양염류의 농도가 감소하는 반면, 저조시 담수성 수괴가 유입되어 염분의 농도가 감소하고 영양염류의 농도가 증가하는 현상때문인 것으로 사료된다. 따라서 영양염이 낮은 해수와 영양염이 높은 담수의 혼합 현상으로 설명되며 군산 하구역에서는 조석주기가 영양염류, 엽록소, 부유물질, 염분의 농도분포에 지배적임을 나타낸다.

#### 4월 관측 (갈수기)

4월 관측 시기는 대조기로 조차가 6~7 m 가량이며 갈수기로서 당일 하구언의 담수 방출이 없었고, 하루 전인 4월 1일 15시에서 17시사이에 비교적 소량( $6,823 \text{ m}^3$ )의 담수 방출이 있었다. 염분의 경우 만조시에는 21psu, 간조시에는 14psu로서 염분농도의 차이가 조석주기에 따라 약 5psu 정도 나타난다(Fig. 2-a). 염분농도의 증감 이유는 창조류에 의해 만조시까지 외해의 해수가 유입되어 높은 농도를 보이며, 낙조류에 의해 하구 상류부근의 담수가 유입됨으로서 간조시까지 염분이 감소하는 것으로 해석된다. 주기적 염분의 변화를 보면 4월 2일 간조인 21시에 염분의 농도가 14psu인 반면, 12시간 후인 4월 3일 간조인 09시에는 17psu로서 3psu의 염분 농도가 증가하였다. 이는 관측 당일 하루 전인 4월 1일에 방출되어진 담수가 즉시 혼합되거나 외해로 방출되지 않고 며칠에 걸쳐 점차적으로 혼합되기 때문에 2일 간 조시보다 3일 간조시에 염분의 농도가 증가한 것으로 유추된다.

부유현탁물질의 경우 정조기인 만조와 간조시에 비해 조류가 강한 창조류시 농도가 증가한다(Fig. 2-b). 조류는 금강 하구역 내에서 창조류가 낙조류보다 우세함에 따라(최 등, 1995), 창조류 동안 높은 농도를 보이며, 낙조류 동안에는 창조류보다 낮은 농도를 나타낸다. 결론적으로 부유물질은 창·낙조 사이에서 발생하는 강한 조류에 의한 저층 퇴적물의 재부유에 의하여 주로 발생되는 것으로 생각된다.

엽록소의 경우 만조 부근에서 높은 농도를 나타내며 영양염류나 염분과는 명확한 상관 관계를 나타내지 않는다(Fig. 2-c, d, e, f). 이것은 한 조석주기 동안에 엽록소 농도의 변화는 영양염과의 상관관계보다는 물리적인 하구내 해수의 유동에 의하여 결정되는 것으로 생각된다. 단지 부유현탁물질과는 유사한 경향을 나타내는데(Fig. 2-b, c) 이는 정조기에 침강되어 있던 식물성 부유생물이 유속의 증가에 따라 부유현탁물질과 함께 재부유된 것으로 사료된다.

영양염류의 경우 상호간에 유사한 경향을 나타내며 염분과는 반비례 관계를 나타내는데, 해수보다 저염인 담수성 수괴에 영양염류가 높게 함유됨을 나타낸다(Fig. 2-d, e, f). 영양염의 기원에 대해 두 경우를 상정할 수 있다. 있다. 첫째는 금강 하구언 방출에 의한 담수성 기원이며, 둘째는 저층퇴적물의 재부유에 의한 기원이다. 부유현탁물질의 경우 2일보다는 3일에 1.5배정도 높게 나타나는데 영양염류 또한 3일에 높게 나타난다. 즉 영양염류의 기원이 담수기원 뿐이라고 가정한다면, 염분이 3psu 낮은 2일이 3일보다 높은 농도를 나타내야 하는데 관측자료는 3일에 부유현탁물질의 증가에 따라 영양염류의 농도 또한 상승하는 것으로 보인다. 따라서 영양염류의 기원은 우선적으로 담수의 영향이며 부차적으로 저층퇴적물의 재부유에 의한 영향으로 사료된다.

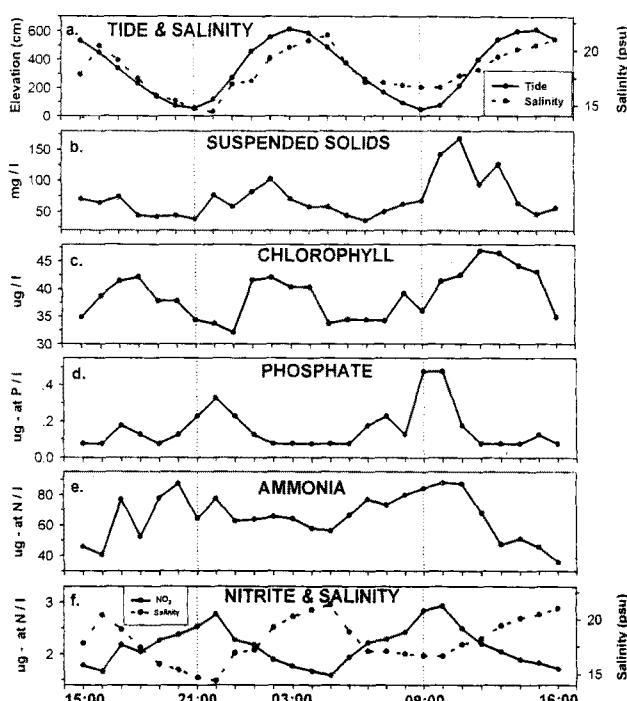


Fig. 2. Daily variation of a. tide & salinity, b. suspended solids, c. chlorophyll, d. phosphate, e. ammonia and f. nitrite & salinity 2~3, April, 1996 (dry season).

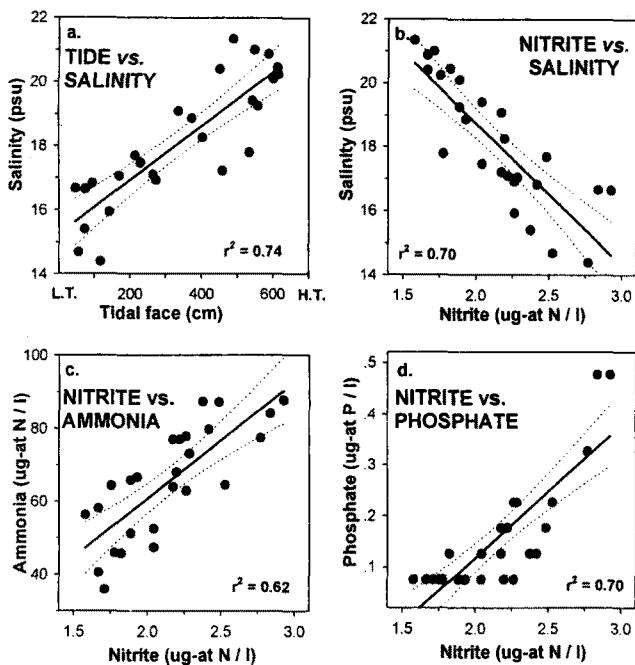


Fig. 3. Correlation between a. tide vs. salinity, b. nitrite vs. salinity, c. nitrite vs. ammonia and d. nitrite vs. phosphate (Solid line: regression line, Dashed line: 95% confidence interval), 2~3, April, 1996 (dry season).

Fig. 3은 4월에 관측한 자료들의 상관관계를 나타내며,  $r^2$  값이 0.6이상 되는 자료들을 도시하였다. 염분과 조석의 상관관계에 있어서  $r^2$  값이 0.74로서 잘 일치하는 양의 상관관계를 나타낸다(Fig. 3-a). 염분과 아질산염의  $r^2$  값은 0.70이며 음의 상관관계를 나타낸다(Fig. 3-b). 염분과 인산염, 암모니아와의  $r^2$  값은 0.6 미만이기는 하나 아질산염과의 상관관계에 있어서 인산염은  $r^2$  값이 0.70을 암모니움염과는  $r^2$  값이 0.62로서 양의 상관관계를 나타낸다(Fig. 3-c, d). 따라서 염분과 영양염류간에는 음의 상관관계를 나타낸다. 한편 부유물질과 엽록소의 경우 다른 자료들과 상관관계가 높게 나타나지 않았는데, 이는 부유물질은 조류의 영향을 받고 엽록소 또한 부유물질과 유사한 경향을 나타내기 때문으로 사료된다.

#### 7월 관측 (풍수기)

7월 관측시기는 대조기로서 조차가 5~6 m이며, 풍수기로서 하구언의 담수방출이 매일 있었으며 대량의 담수가 방출되었다 (Fig. 6 참조). 조석과 염분은 비례관계를 나타내고 있다 (Fig. 4-a). 염분은 양일 간조부근에 모두 1psu 이하이며 15일 만조에 18psu를 16일 만조에는 15일보다 6psu 낮은 12psu를 보인다. 이처럼 염분의 농도변화가 18psu 이상 크게 나타나는 것은 15일 16시 30분에서 19시 30분까지  $41,646 \text{ m}^3$ 의 담수방출이 있었고, 16일 06시 30분에서 08시 30분까지  $22,803 \text{ m}^3$ 의 담수방출이 있었기 때문이다. 15일 18시에서 19시 사이에 급작스런 염분농도의 하강이 있는데 이는 하구언에서 방류된 담수가 채수지점에 도달하는데 걸리는 시간이 약 2시간 정도 걸렸음을 의미한다.

부유현탁물질의 경우 4월과는 달리 창조류시 보다 낙조류시 더 높은 농도를 나타내는데 이는 조석 작용에 의한 창조류의 유속보다 낙조류시 방출되어지는 담수의 유속이 더 크기 때문으

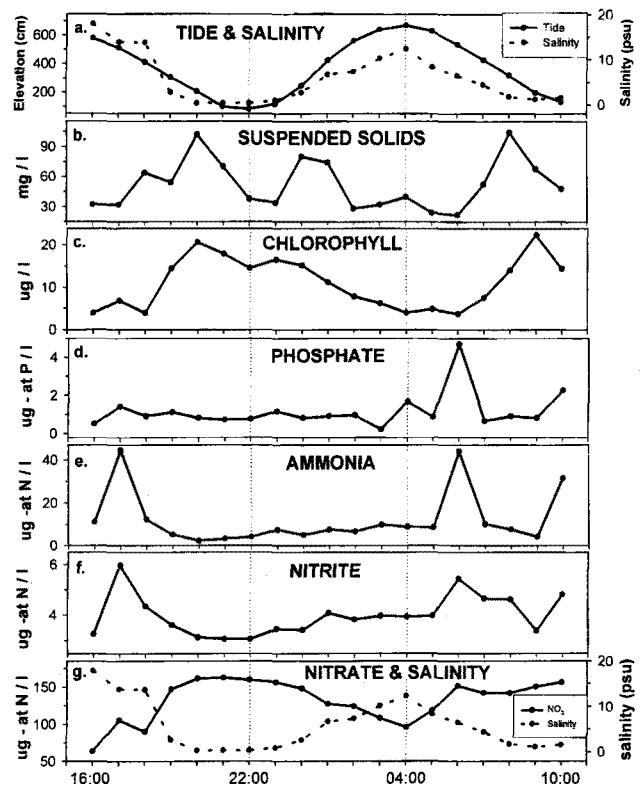


Fig. 4. Daily variation of a. tide & salinity, b. suspended solid, c. chlorophyll, d. phosphate, e. ammonia, f. nitrite and g. nitrate & salinity 15~16, July, 1996 (rainy season).

로 사료된다(Fig. 4-b). 또한 담수의 방출량이 많기 때문에 부유현탁물질의 농도가 하구역보다 낮은 담수의 영향으로 인하여 (Lee와 Kim, 1987) 4월보다는 7월에 농도가 낮게 나타나는 것으로 사료된다.

엽록소의 경우 부유현탁물질과의 경향이 유사하며 4월 보다 낮은 농도를 나타낸다(Fig. 4-c). 영양염류에 있어서 질산염은 염분과 높은 반비례관계를 나타내고 있으나(Fig. 4-g) 인산염, 암모니아, 그리고 아질산염과 염분간에는 유사성을 나타내지 않는다. 하지만 인산염과 아질산염 사이에는 유사한 농도 경향을 나타낸다(Fig. 4-d, e, f). 이는 곧 7월에 영양염류의 기원이 담수 뿐만 아니라 하구역에 위치한 지천이나 하수구를 통하여 공장오수나 생활하수가 유입되어 낙조시 하구를 통해 유출되기 때문으로 사료된다.

Fig. 5.는 7월에 관측한 자료중 상호간에 상관관계가 높은 자료들을 나타낸다. 조석과 염분의 관계에서  $r^2$  값이 0.66으로 양의 상관관계를 나타낸다(Fig. 5-a). 염분과 질산염의 관계에서  $r^2$  값이 0.94로 상당히 높은 음의 상관관계를 나타내는데, 따라서 질산염의 공급원이 담수에 의한 것임을 명확히 시사한다(Fig. 5-b). 엽록소는 조석과의 상관관계에서  $r^2$  값이 0.71을, 염분과의 상관관계에서  $r^2$  값이 0.74로 잘 일치하는 음의 상관관계를 나타낸다(Fig. 5-c, d).

#### 장기적 변화

조차(tidal range)는 당일 채수한 만조 수위에서 6시간 전인 간

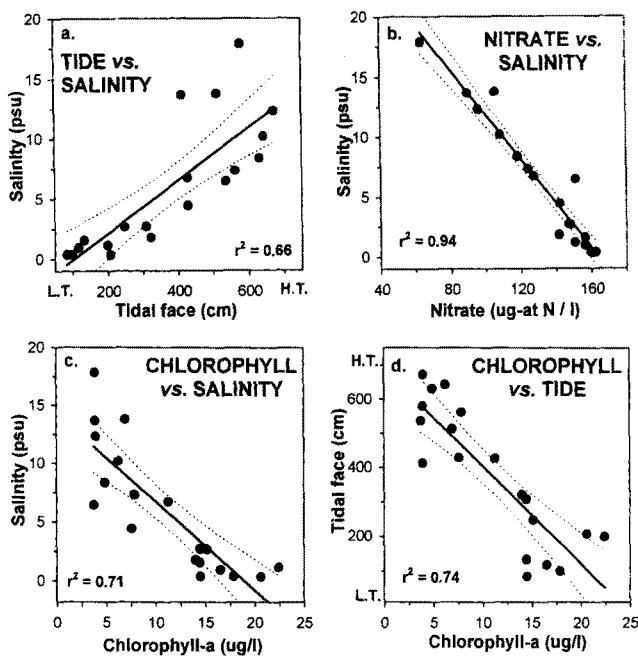


Fig. 5. Correlation between a. tide vs. salinity, b. nitrate vs. salinity, c. chlorophyll vs. salinity and d. chlorophyll vs. tide (Solid line: regression line, Dashed line: 95% confidence interval), 15~16, July, 1996 (rainy season).

조 수위를 차감한 값이다. 조차는 15일 주기인 대조-소조 조석 주기에 따라 증감하며 조차의 범위는 100 cm~700 cm까지의

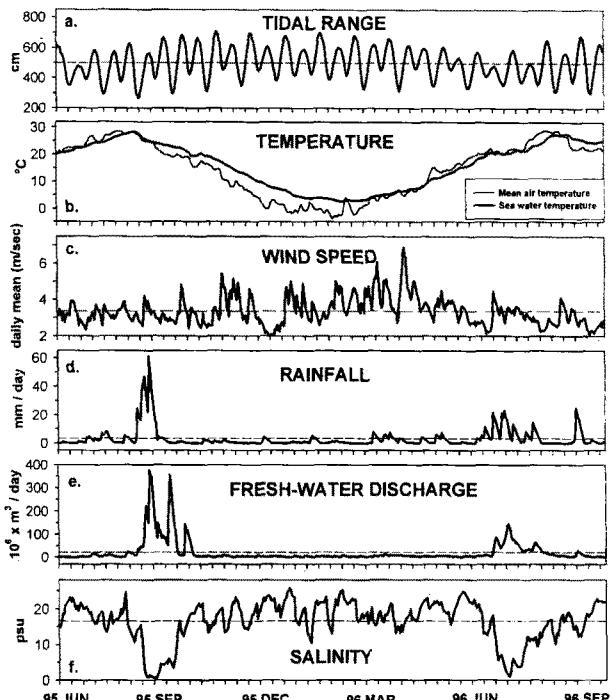


Fig. 6. Long-term variation of a. tidal range, b. temperature, c. wind speed, d. rainfall, e. freshwater discharge, and f. salinity (Dashed line: mean value), June, 1995~September, 1996.

범위를 갖는다(Fig. 6-a).

온도는 일평균 기온과 채수 당시 해수의 수온을 함께 나타낸다. 수온은 여름철에 30°C 부근까지 상승하며 겨울철에는 5°C 이하까지 하강하는데, 수온과 기온의 변화 범위와 양상이 비슷하며 연안역에 위치한 하구역의 수온은 대양이나 외해에 비해 기온의 영향을 크게 받는 것을 알 수 있다(Fig. 6-b).

일 평균 풍속에 있어서 동계에 풍속이 강하게 나타나며, 가장 강한 풍속이 4월초에 출현하였다(Fig. 6-c). 겨울철 강한 북서계 절풍의 영향으로 세립한 해저퇴적물이 재부유된다는 보고가 있으나(최, 1993), 본 연구지점에서는 풍속과 부유물질의 상관관계가 명확하게 나타나지는 않았다. 강우량 자료에 있어서 갈수기와 풍수가 뚜렷이 구분되며, 하계에 강우량이 집중적으로 분포한다. 1995년의 경우 장마가 8월 말에서 9월 중순에 걸쳐 지속되었으며, 1996년의 경우 6월부터 8월말까지 장마기간이 지속되었다(Fig. 6-d). 금강 하구연 담수 방출량의 자료는 강우량 자료와 잘 일치하며, 갈수기에 물을 저장해 두었다가 월 4에서 7회정도 간조시에 소량의 방류를 하고 집중 호우시 매일 대량의 담수를 방류한다(Fig. 6-e). 염분은 갈수기에는 20psu 이상의 농도를 유지하다가 하구연의 담수방출이 있을 경우 해수와 혼합되어 염분 농도가 20psu 이하로 감소하며(Fig. 6-f), 특히 여름철 집중 호우시 대량의 담수 방출(Fig. 7-a [1], [2])에 의한 영향으로 염분농도가 5psu 이하로 감소된다(Fig. 7-b [3], [4]).

부유현탁물질은 집중 호우시 방출량의 증가(Fig. 7-a [1], [2])에 따른 금강호의 저질과 금강유역의 부유사가 대량으로 방출되어 부유현탁물질의 농도가 급격히 증가하는 것으로 사료된다(Fig. 7-c [5], [6]). 또한 홍수기를 제외한 시기에는 부유현탁물질의 농도가 15일 조석 주기에 따라 증감하는 것을 볼 수 있다

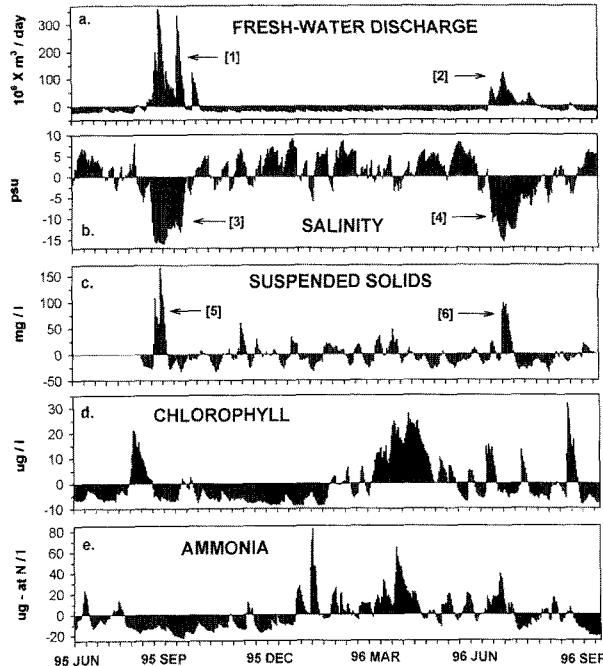


Fig. 7. Anomaly of a. fresh-water discharge, b. salinity, c. suspended solids, d. chlorophyll, e. ammonia (Zero line: mean value), June, 1995~September, 1996.

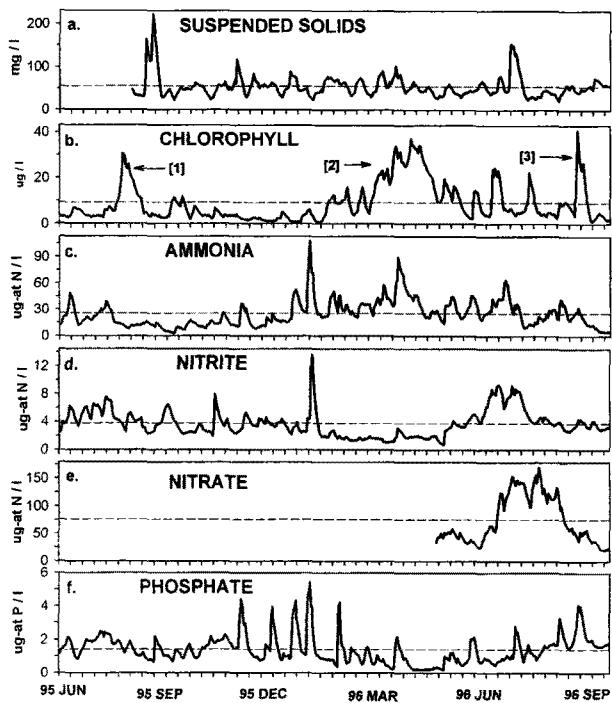


Fig. 8. Long-term variation of a. suspended solids, b. chlorophyll, c. ammonia, d. phosphate, e. nitrate, and f. nitrite (Dashed line: mean value), June, 1995~September, 1996.

(Fig. 9). 이는 조석작용에 따른 조류 유속에 의한 것으로서 소조기에는 유속이 감소하고 대조기로 갈수록 유속이 증가하기 때문에 이에 따른 저층퇴적물의 재부유하는 양에 따라 이러한 주기적 경향을 나타낸다.

엽록소는 봄철인 3~5월 동안 대증식이 지속됐으며(Fig. 8-b [2]) 가을철에는 봄철보다 기간이 짧은 단기적 대증식이 발생되었다(Fig. 8-b [1], [3]). 대증식이 발생하는 동안 출현하는 식물플랑크톤은 주로 해수종으로서 현미경 관찰 결과 *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira sp.*, *Eucampia sp.*, *Paralia sulcata*, *Chaetoceros sp.* 등의 규조류가 우점하였다. 집중 호우시 대량의 담수가 방출된 시기에 염분이 1psu 이하로 감소하였고, 이때 해수종과 함께 담수종이 관찰 되었다. 엽록소와 암모니아의 농도 변화를

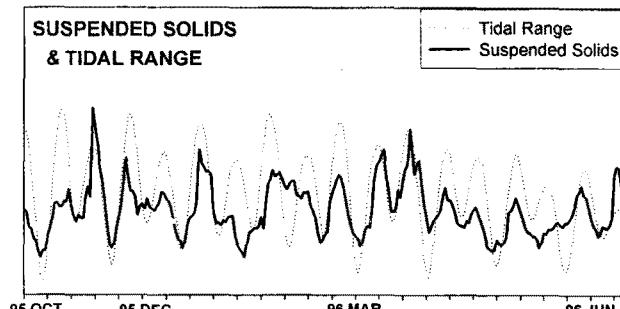


Fig. 9. Suspended solids and tidal range in the low-discharge period (Solid line: suspended solids, Dashed line: tidal range), October, 1995~June, 1996 (dry season).

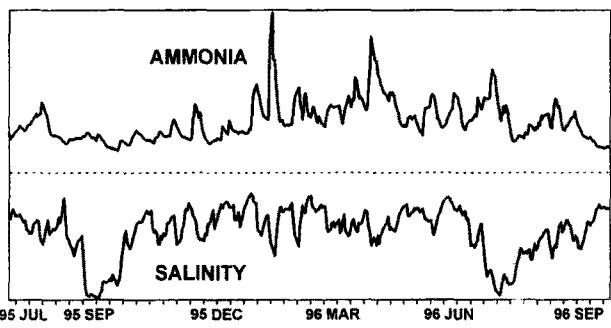


Fig. 10. Ammonia and salinity, April, 1995~September, 1996.

비교했을 때 암모니아의 농도가 높게 나타난 후에 엽록소의 농도가 증가함을 보인다(Fig. 7-d, e). 일반적으로 식물플랑크톤은 영양염류 중 질소의 섭취에 있어 효율성이 가장 높은 암모니아를 우선적으로 섭취하는데(Bougis, 1976) 이에 따른 결과로 사료된다.

영양염류의 경우 암모니아는 1월에서 6월경에 평균값보다 높은 농도를 나타내며(Fig. 8-c) 인산염과 아질산염은 1월에서 6월 사이에 평균값보다 낮은 농도를 나타낸다(Fig. 8-d, f). 이에 대한 이유는 좀 더 연구가 필요할 것이다. 영양염류 상호간에는 계절적 차이를 보이긴 하나 주기적 증감곡선은 유사한 경향을 보인다. 따라서 영양염류의 공급원은 성분이 다양한 여러 곳이 아니라 단일성분이라는 것을 시사한다(Fig. 8-c, d, e, f). 금강 하구역에 유입되는 영양염류의 기원은 염분과 암모니아의 반비례 관계(Fig. 10)와 염분과 질산염의 상관관계(Fig. 11)에서 잘 나타나듯이 담수기원임을 알 수 있다.

#### 하구언 갑문 폐쇄 이전과 이후의 비교

갑문 폐쇄 이후 금강 상류로 조석이 차단됨에 따라 최대 조류 유속이 30~40% 감소하였으며, 수괴유동이 둔화되었고 부유현

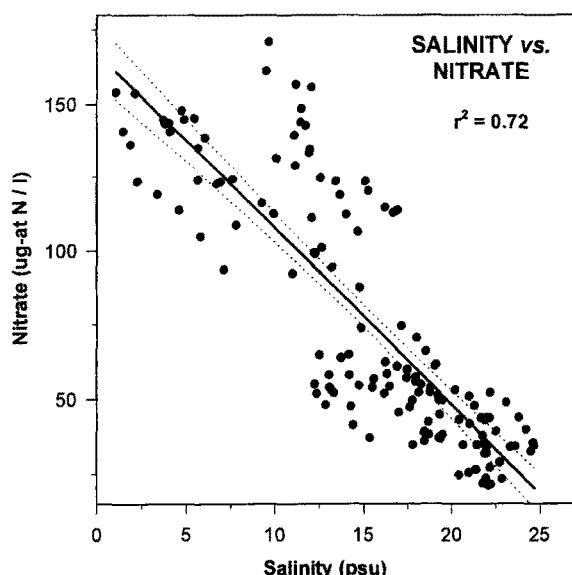


Fig. 11. Correlation between nitrate and salinity (Solid line: regression line, Dashed line: 95% confidence interval), April~September, 1996.

탁물질량이  $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$  수준으로 감소를 보였다(최 등, 1995). 이와 같은 부유현탁물질의 감소원인은 조류 유속의 감소로 인해 해저퇴적물의 재부유 현상이 감소했기 때문이다.

엽록소 농도에 있어서 갑문 폐쇄 이전의 갈수기인 4월에 관측된 평균 농도는  $1.4 \mu\text{g/l}$ , 풍수기인 7월에 관측된 평균농도는  $6.8 \mu\text{g/l}$ 로서 4월보다 7월에 엽록소가 낮다는 보고가 있는데(기와 김, 1987) 갑문 폐쇄 이후 4월의 농도는  $20 \sim 30 \mu\text{g/l}$ 이고 7월의 농도는  $5 \sim 10 \mu\text{g/l}$ 으로서 7월보다는 4월에 높은 농도를 나타냈다. 이와 같은 이유는 부유현탁물질 농도의 감소에 의한 빛 투과효율의 증가로 인하여 엽록소 농도가 봄철에 증가한 것으로 사료된다.

갑문 폐쇄 이전에 김과 기(1987)의 영양염류 측정에 있어서 본 조사 지역과 부근에서 관측된 암모니아는  $2 \sim 17 \mu\text{g/l}$ , 아질산염은  $1 \sim 2 \mu\text{g/l}$ , 질산염은  $20 \sim 100 \mu\text{g/l}$  정도의 범위를 나타내는데 폐쇄 이후 금강 하구역에서 관측된 암모니아 농도는  $15 \sim 30 \mu\text{g/l}$ , 아질산염은  $2 \sim 4 \mu\text{g/l}$ , 질산염은  $60 \sim 120 \mu\text{g/l}$ 을 나타낸다. 따라서 영양염류 또한 증가함을 보인다.

부유현탁물질의 농도에 있어서 갑문 폐쇄 이전에 반일, 반월 및 계절주기의 변화를 보였는데(Lee and Kim, 1987), 폐쇄 이후에도 조석 주기에 의한 반일변화, 대조-소조 조석 주기에 의한 반월 변화, 홍수기때 담수 방출에 의한 계절변화가 명확히 나타난다.

## 결 론

1. 조석주기에 따른 시간적 일변화의 관측결과, 염분의 농도는 조석주기에 비례하며, 부유현탁물질과 엽록소의 농도는 조류에 비례하였고, 영양염류의 농도는 염분과 반비례하였다. 따라서 군산 하구역의 환경특성은 조석에 지배적이다.

2. 500일간 장기적 변화의 관측결과, 담수의 영향이 하계인 풍수기애 집중되며 염분은 만조시에도  $5 \text{ psu}$ 이하로 감소하였다. 엽록소는 봄철에 장기간의 대증식을 가을에 단기간의 대증식이 발생하였다. 영양염류는 염분과 반비례관계를 나타내며 영양염류의 기원은 담수이다.

3. 부유현탁물질의 관측결과 조석에 의한 12시간 변화, 대조-소조 조석 주기에 따른 15일 변화, 홍수기 하구언 담수방출량에 따른 계절변화의 주기적 특성이 나타났다.

4. 하구언 갑문 폐쇄 이전과 이후의 비교 결과, 금강 상류로 전파되던 조석의 차단으로 인한 조류속도의 감소로 인하여 부유물질의 농도가 감소하였으며, 엽록소의 농도와 영양염류의 농도가 증가하였다.

## 사 사

본 연구는 1995년 교육부 연구비 지원에 의한 것입니다. 본 연구의 조석 자료에 협조해 주신 장항수로국 성노선 선생님과 금강하구언 담수방출량 자료에 협조해 주신 농어촌진흥공사 금강사업단 심덕섭 계장님께 감사드립니다. 본 논문을 끝까지 읽어 주시고 유익한 조언을 많이 해주신 군산대학교의 정해진 교수님과 최현용 교수님께 감사드리며 현미경관찰을 해주신 군산

대학교 이원호 교수님께 감사드립니다. 또한 본 연구과정 중의 야외조사, 시료분석등 여러 부분에서 많은 도움을 준 군산대학교 해양학과 화학실험실의 모든 분들께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김경렬, 기준학, 1987. 금강 하구에서의 화학적, 생물학적 제과정에 관한 연구, 1. 질소계 화합물의 순환: 전반적 고찰. 한국해양학회지, **22**(3): 191-206.
- 기준학, 김경렬, 1987. 금강 하구에서의 화학적, 생물학적 제과정에 관한 연구, 1. Chlorophyll- $\alpha$  분포결정 요인에 관하여. 한국해양학회지, **22**(3): 207-215.
- 나태경, 1993. 금강 및 금강 염하구에서 부유퇴적물의 이동과 미량금속원소들의 변화성. 서울대 석사학위논문, 89 pp.
- 문창호, 최혜지, 1991. 낙동강 하구 환경특성 및 식물플랑크톤의 군집구조에 관한 연구. 한국해양학회지, **26**(2): 144-154.
- 이원호, 1988. 서해 조간대와 조하대의 식물 플랑크톤 군집구조의 비교연구. 한국과학재단 보고서. 873-0505-0006-1.
- 임철호, 최문술, 1996. 금강수계의 이화학적 수질 특성에 관한 연구. 군산대학교 해양개발연구, **8**(1): 1-24.
- 정종률, 이재학, 안희수, 1983. 금강하구의 해수 순환역학. 한국해양학회지, **18**: 142-148.
- 최병호, 1988. 금강하구의 비선형 조석. 한국수문학회지, **21**(1): 87-93.
- 최진용, 최현용, 서만석, 1995. 하구언 갑문폐쇄 후 금강하구의 물리, 퇴적학적 특성변화. 한국해양학회지, **30**(4): 262-270.
- 최진용, 1993. 금강하구 및 인근해역에서 부유퇴적물의 계절적 변동에 관한 연구. 한국해양학회지, **28**(4): 272-280.
- Ahn, C.H., 1989. Distribution of tidal flats and suspended materials in Keum river estuaries using LANDSAT data. M.S. thesis, Inha Univ., 97 pp.
- Bougis, P., 1976. Marine Plankton Ecology. North-Holland Pub. Com., 355 pp.
- Chung, J.Y. and I.K. Bhang, 1984. Circulation dynamics of the Keum river estuary II. Fluid dynamic characteristics. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 141-151.
- 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**: 105-118.
- Parsons, T.R., Maita, Y. and Lalli, C.M., 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, 173 pp.
- Schubel, J.R., H.T. Shen and M.J. Park, 1984. A comparison of some characteristic sedimentation processes of estuaries entering the Yellow Sea. In: Proc. Korea-U.-S. Seminar and Workshop on Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea, edited by Y.A. Bark, O.H. Pilkay and S.W. Kim.
- 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.
- Solorzano, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limn. and Oceanol.*, **14**(5): 799-801.