

금강 하구 연안역의 해황과 관련한 영양염 전선

최용규⁺ · 양원석 · 정주영*

Nutrient Front Relating to the Hydrography in the Outflow Region of the Keum River

Yong-Kyu CHOI⁺, Won-Seok YANG and Ju-Young JEONG*

Kunsna Lab, West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Kunsan 573-030, Korea

*Department of Oceanography, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

Using results obtained from field surveys in the outflow region of the Keum River in winter (February 22), spring (May 9), summer (July 31) and autumn (October 17) in 2000, it was described the nutrient front relating to the hydrography. It showed that the horizontal gradients was sharp in the distributions not only in salinity but also in nutrients in the region of the mouth of estuary far away about 20 km from the dyke of the Keum River during the year. The two layer structure was a ubiquitous feature in the inner estuarine side of the region showing the maximum horizontal gradients in salinity and nutrients. Although the absolute values in salinity and nutrient concentrations were distinguished by season, the nutrient front separates the saltier and nutrients poor water in the open sea from the brackish and nutrients rich water of the plume. These results suggest that the nutrient front coincides with the estuarine front in the region of freshwater influence (ROFI) of the Keum River.

Key words: Nutrient front, Horizontal gradient, Estuarine front, ROFI

서 론

금강 하구역은 건기와 우기가 뚜렷이 구별되는 강하구 환경을 가지고 있으며, 금강하구언 공사가 완료된 이후에 금강 하구역은 완전 혼합형 하구에서 부분 혼합형 하구로 바뀌었고, 이에 따라 하구언 외측의 수계는 물리적 과정뿐만 아니라 화학적 분포에도 상당한 변화를 가져왔다 (Kwon and Lee, 1999; Kim et al., 1998; Lee et al., 1999; Lee and Yang, 1997). 또한 하구언의 갑문 작동 이후로 금강 하구역은 풍수기를 제외하고는 만의 특성이 강하게 나타나고 있다 (Yang et al., 1999; Lee et al., 1999). 금강 하구에서 담수 유출수로 인한 그 영향 범위는 계절에 따라서 변동하는데, 갈수기 때는 하구언 갑문에서 약 1~2 km 내에서 담수 유출수가 영향을 미치지만 (Yang et al., 1999), 풍수기에 다량의 담수가 유출되었을 때, 하계 담수 유출수는 하구언에서 수십 km 떨어진 십 이동파도까지 확장하는 것으로 보고되고 있다 (Lee et al., 1995).

이와 같이 금강 하구역은 하구언 갑문 작동 이후에 조류 속도의 감소로 인하여 부유 현탁 물질의 농도가 감소하였으며, 영양염의 농도는 증가하였고, 따라서 식물플랑크톤의 대량 번식이 발생할 가능성이 있다 (Yang et al., 1999). 또한 부영양화 지수로 보면 항상 적초가 발생할 수 있는 해역으로 보고되고 있다 (Kim et al., 1998). 금강 하구역에서 식물플랑크톤의 대증식에 일차적인 요인이 되는 영양염의 거동을 살펴 보면, 규산 규소와 질산 질소는 보존적 거동을 하지만, 인산 인은 금강 하구내에서 다른 흡·탈착 과정을 하며, 풍수기에는 인산 인의 첨가 현상을 보인다 (Yang and Kim, 1990; Yang et al., 1999).

한편, 하구역에서는 담수의 유입으로 인하여 영양염의 분포뿐만 아니라 (Choi et al., 2000), 기초 생산력에도 영향을 미치며 (Gomes et al., 2000), 전선 부근에서는 더 급격한 변화를 보이고 있다 (Tian et al., 1993; Yoder et al., 1993). 하구 전선은 뚜렷한 수색의 변화나 여러 가지 부유 물질의 집적 현상으로 쉽게 파악될 수 있으며 (Garvine and Monk, 1974; Yanagi, 1987), 조석 전선과 함께 연안 전선으로 분류되고 있다 (Yanagi, 1987). 금강 하구 연안역에서도 담수와 해수와의 상호 작용에 의해서 수괴의 여러 가지 특성들이 급격히 변하는 불연속선이 있으리라고 생각된다.

금강 하구역에서 담수와 염수의 경계역은 염분이 약 30 psu 미만인 혼합수를 금강 plume으로 설명하고 있다 (Lee et al., 1995). 그러나 영양염이 많은 담수 유출수에 대한 설명은 하구내에서나 그 근접역에서만 설명되어 왔다 (Kim et al., 1998; Lee and Yang, 1997; Yang et al., 1999; Choi et al., 2000). 금강 하구 연안역에서 부영양인 담수와 비교적 빈영양인 해수와의 상호 작용은 식물플랑크톤의 대증식이나 기초 생산력의 변화에 영향을 미치므로 영양염의 시·공간적인 변화 양상을 파악할 필요가 있다고 생각된다.

따라서 본 연구는 금강 하구 연안역에서 식물 플랑크톤의 대증식과 관련이 있는, 담수 유출수의 영양염 불연속은 어디이며, 계절에 따라서 어떻게 변하는가를 해황과 관련하여 살펴 보았다. 그 결과 금강 하구 연안역에서 담수 유출수로 인한 영양염 전선은 하구 전선과 함께 계절에 따라서 크게 변동하지 않고 연중 일정한 위치에서 형성되고 있음을 나타내었다.

재료 및 방법

금강 하구 연안역은 풍수기때를 제외하고는 만의 성격을 나타

⁺Corresponding author: ykchoi@monaf.go.kr

내는 해역으로, 계절에 따라서 담수와 해수의 상호 작용에 의해서 변화가 많은 해양 생태계 환경이다. 계절에 따라서 담수 유출수의 영향이 변동하는 해역에서 영양염 전선의 변화를 보기 위하여 금강 하구언에서부터 약 70 km 떨어진 어청도 남서쪽까지 동서 방향으로 7개의 연구 정점을 설정하였다 (Fig. 1). 이들 정점에서 연속적으로 수온과 염분을 관측하였으며, 화학 분석은 표층과 저층에서 각각 채수를 하여 분석을 행하였고, 7월에는 표층, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m 그리고 저층에서 채수하여 부유물질과 chl-a를 추가로 분석하였다. 그리고 채수는 가능한 대조에서 소조로 변하는 시기에 맞추어 실시하였다. 다량의 담수가 유출되었을 때는 편향력에 의해서 담수는 북서쪽으로 치우쳐 흐르지만, 본 연구에서는 영양염이 많은 담수와 비교적 빈영양인 해수의 사이에서 형성되는 영양염 전선의 계절 변화를 우선 파악하기 위해서 동서 방향으로 정점을 설정하였다.

수온과 염분은 CTD (SBE 19)를 이용하여 현장에서 연속 관측하여, 1 m 깊이별로 평균한 자료를 사용하였다. 그리고 영양염 분석을 위하여 현장에서 해수를 채수한 후 냉장 보관하여 실험실에서 분석하였으며, 분석 방법은 해양환경 공정시험방법에 따랐다 (해양수산부, 1998). 즉, 암모늄 질소는 인도페놀법을 이용하여 640 nm에서 정량 측정하였고, 아질산 질소는 슬퍼아미드 용액과 NED 용액으로 반응시켜 543 nm에서, 질산 질소는 카드뮴-구리 환원관을 통과시켜 아질산 질소의 정량 방법에 의해서 정량하였다. 인산인은 885 nm에서 정량 측정하였다. 정량 측정에는 분광광도계 (Cary-1E, Varian)를 사용하였다. 그리고 chl-a는 시료를 memberane filter로 여과한 후, 아세톤 용액을 이용하여 원심 분리 후에 흡광도를 측정하였다. 부유 물질은 GF/F를 이용해 105°C에서 건조 후 정량하였다.

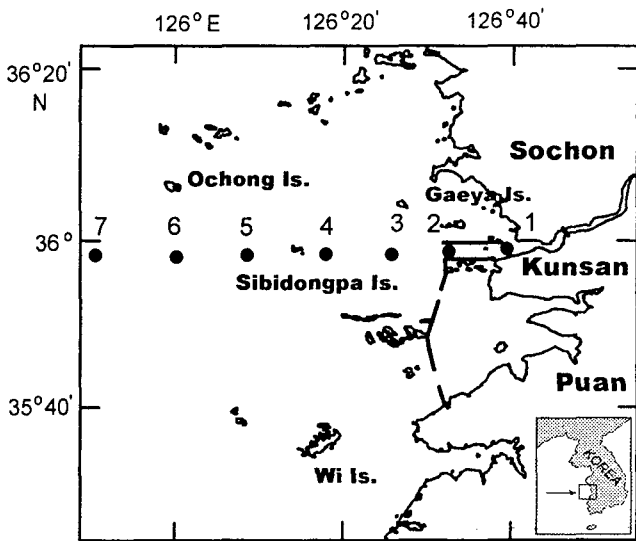


Fig. 1. Positions of the station in the study area.

결 과

영양염 전선의 계절 변화

금강 하구 연안에서 외양쪽으로 영양염이 어떻게 변하는가를 보기 위하여 Fig. 2에 겨울 (2월 22일)에 관측한 각 정점의 표층과 저층의 아질산 질소, 질산 질소 그리고 인산 인의 변화를 염분과 함께 나타내었다. 각 성분들은 표층과 저층이 거의 유사한 값을

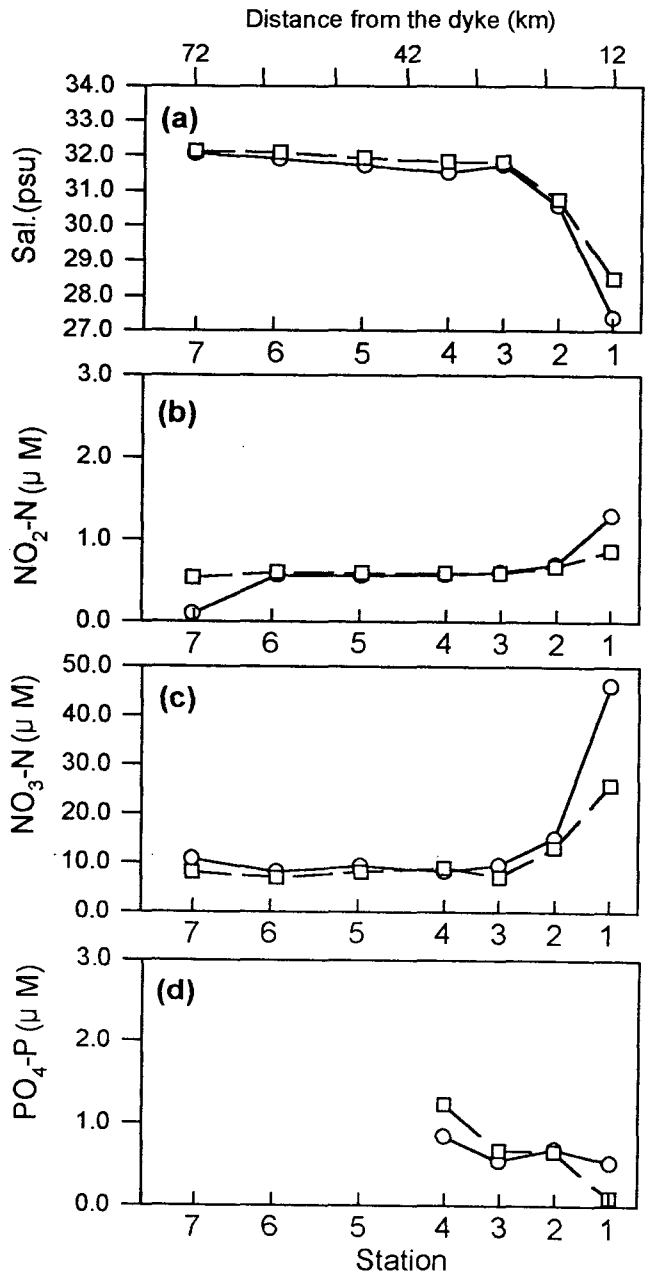


Fig. 2. Variation of salinity (a), nitrite (b), nitrate (c) and phosphate (d) at each station in February 22, 2000. Circles with full line (○—○) denote the surface layer and squares with dashed line (□--□) the bottom layer.

보이고 있었다. 염분은 표층과 저층이 정점 1에서 28.0 psu 내외로 낮았으며, 정점 2에서 31.0 psu로 높아져서 정점 3에서 정점 7까지는 31.5~32.0 psu으로 거의 일정한 분포를 나타내었다 (Fig. 2(a)). 아질산 질소 (Fig. 2(b))와 질산 질소 (Fig. 2(c))는 정점 1에서 각각 1.0 μM 내외, 25 μM 이상의 값을 나타내었다. 그러나 정점 2에서 농도가 낮아져서 정점 3부터 아질산 질소 (0.5 μM 내외)와 질산 질소 (10 μM 내외)는 일정한 값을 보였다. 인산 인 (Fig. 2(d))은 정점 1 (0.5 μM 내외)에서 정점 4 (1.0 μM 내외)까지 다소 증가하는 경향을 보였으며, 외양쪽 (정점 5부터 정점 7까지)에서는 적정할 수가 없었다.

Fig. 3은 봄 (5월 9일)에 관측한 각 정점의 표층과 저층의 염분, 아질산 질소, 질산 질소 그리고 인산 인의 변화를 나타낸 것이다. 봄에는 표층과 저층의 염분 차이가 약 1.0 psu로 염분 약층이 나타났다. 염분은 정점 2에서 가장 급한 기울기를 보였다 (Fig. 3(a)). 아질산 질소와 질산 질소는 정점 1에서 각각 약 1.0 μM 과 약 16.0 μM 이지만, 정점 3으로 갈수록 농도가 낮아져서, 정점 3부터 정점 7까지는 아질산 질소 (약 0.1 μM)와 질산 질소 (약 0.3 μM)가 일정한 분포를 나타내었다 (Fig. 3(b), (c)). 인산 인의 농도 변화는 다소 불규칙하였다 (Fig. 3(d)).

Fig. 4는 여름 (7월 31일)에 관측한 결과를 나타낸 것이다. 여름의 특징은 염분 및 영양염 약층이 뚜렷하여 표층과 저층 사이에 농도의 값 차이가 다른 계절보다도 컸다. 표층과 저층의 염분 차이가 거의 모든 정점에서 약 2.0 psu 이상을 나타내었다. 정점 1에서 정점 2까지 염분은 가장 급한 기울기를 나타내었다. 그리고 다른 계절과 같이 정점 3부터 정점 7까지 표층은 30.0 psu 내외였고, 저층은 31.0 psu 내외로 일정하였다 (Fig. 4(a)). 아질산 질소, 질산 질소 그리고 인산 인은 염분과 같이 정점 1과 정점 2에서 가장 큰 기울기를 나타내었다. 아질산 질소는 정점 3의 저층 (약 2.1 μM)에서 큰 농도를 나타낸 것을 제외하고 (Fig. 4(b)), 정점에 따른 영양염 농도의 변화는 겨울과 봄의 변화 양상과 유사하다. 정점 3부터 외양쪽으로 갈수록 영양염의 농도는 거의 변화가 없이 일정한 농도를 보였다.

Fig. 5는 가을 (10월 17일)에 관측한 결과를 나타낸 것이다. 가을의 특징은 겨울과 봄의 분포 경향과 유사하게 표층과 저층의 농도 차이가 거의 없었다. 변화 양상은 다른 계절과 같이 염분과 영양염들의 변화가 정점 1과 2에서 가장 급한 기울기를 나타내었다. 특히 여름과 가을동안의 인산 인의 변화는 아질산 질소나 질산 질소의 변화와 같이, 정점 1과 정점 2에서 가장 급한 기울기를 보이며, 정점 3부터 정점 7까지 일정한 농도를 나타내었다 (Fig. 5(d)).

해황과 영양염 전선

영양염 전선은 영양염이 많은 담수와 비교적 빈영양인 해수가 만나서 생기는 수괴의 경계역이므로 해황을 살펴보기 위하여 수온과 염분의 연직 단면도를 나타내어 보았다. Fig. 6은 염분과 수온의 연직 단면을 계절별로 나타낸 것이다. 수리 단면은 여름 (7월 31)에 염분과 수온의 수평 및 연직 차이가 가장 컸다 (Fig. 6(e), (f)). 즉, 여름에 염분 약층 및 수온 약층이 가장 뚜렷하였으며, 하구뿐만 아니라 외양쪽에서도 염분 약층 및 수온 약층이 뚜렷하게 나타났다. 그리고 여름과 가을에 하구쪽에서 염분이 약 21.0 psu로

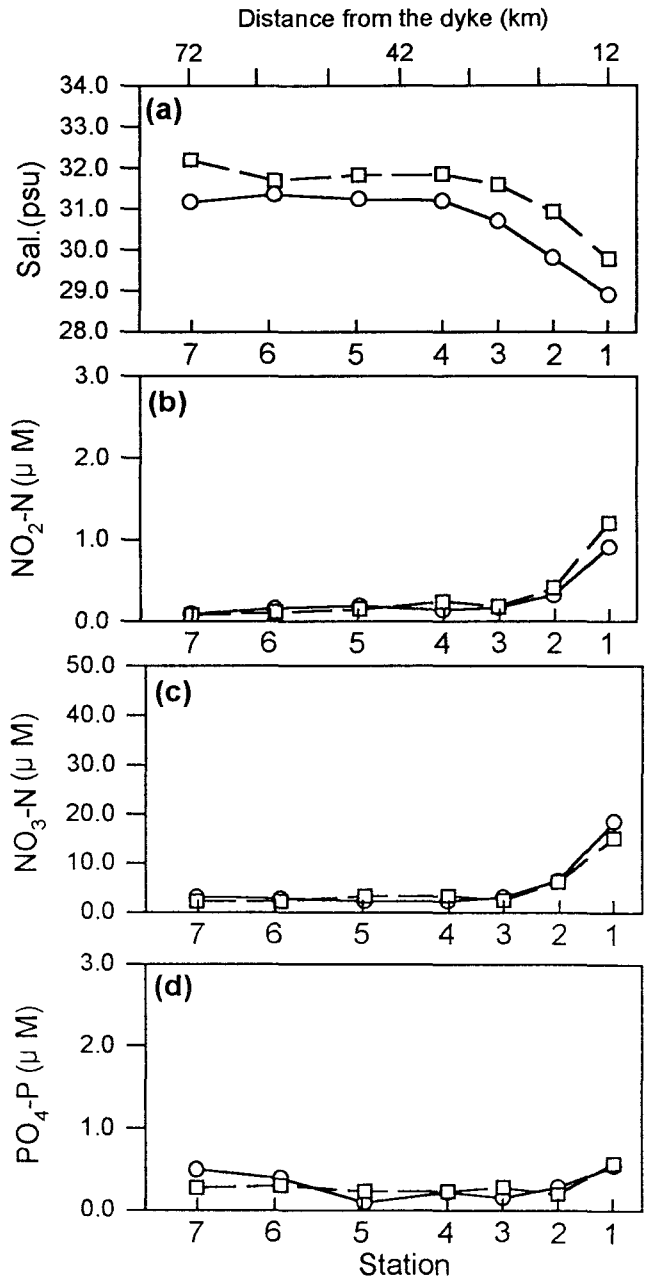


Fig. 3. The same as in figure 2 except for in May 9, 2000.

가장 저염상을 나타내었다 (Fig. 6(e), (g)). 수온은 겨울 (Fig. 6(b))에 하구쪽에서 저수온 ($\leq 3.0^\circ\text{C}$)이던 것이 봄부터 가을 (Fig. 6(d), (e), (f))까지는 하구쪽이 고수온 ($\geq 26.0^\circ\text{C}$)을 나타내었다. 염분 약층은 하구쪽 (정점 1)에서 계절에 관계없이 연중 나타났다 (Fig. 6(a), (c), (e), (g)).

금강 하구역에서 여름과 가을에 가장 저염상을 나타내는 이유는 금강 하구언을 통해서 담수가 방류되기 때문이라 생각된다. Fig. 7은 금강 하구언을 통해서 방류되는 담수의 양 (농업기반공사, 2000)을 월별로 나타낸 것이다. 담수의 방류량은 5월에 약 100,000톤에서 8월에 약 1,980,000톤으로 월별로 방류량의 변화가 컸다. 8월과 9월의

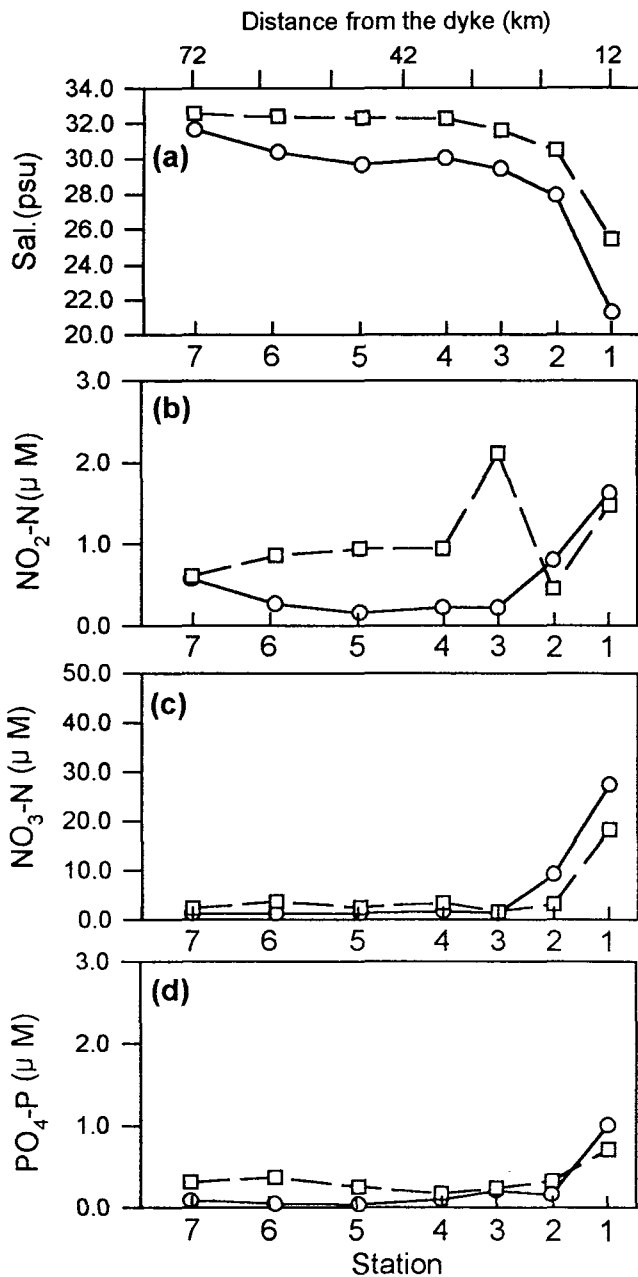


Fig. 4. The same as in figure 2 except for in July 31, 2000.

두 달동안에 담수의 방류량 (약 186,000톤)이 연간 방류량의 약 58% (2000년 총 방류량은 6,554,751톤)에 이르렀다. 담수의 방류량이 여름과 가을에 연간 방류량의 반 이상에 이르고 있어, 금강 하구 연안은 여름과 가을에 가장 광범위한 저염화 현상을 보였다.

저염수가 하구언으로부터 가장 멀리 퍼져 나가는 여름에 식물 플랑크톤은 어떻게 분포하는가를 보기 위하여 Fig. 8에 여름에 관측한 부유 물질과 chl-a의 연직 분포도를 나타내었다. 부유 물질은 하구역인 정점 1과 2에서 10 mg/L 이상으로 높게 나타났으며, 정점 3부터 외양쪽으로 10 mg/L 이하였다. chl-a는 염분 전선 혹은 영양염 전선이 형성되는 외양쪽의 정점 3에서 chl-a의 농도가 3.0 μg/L로

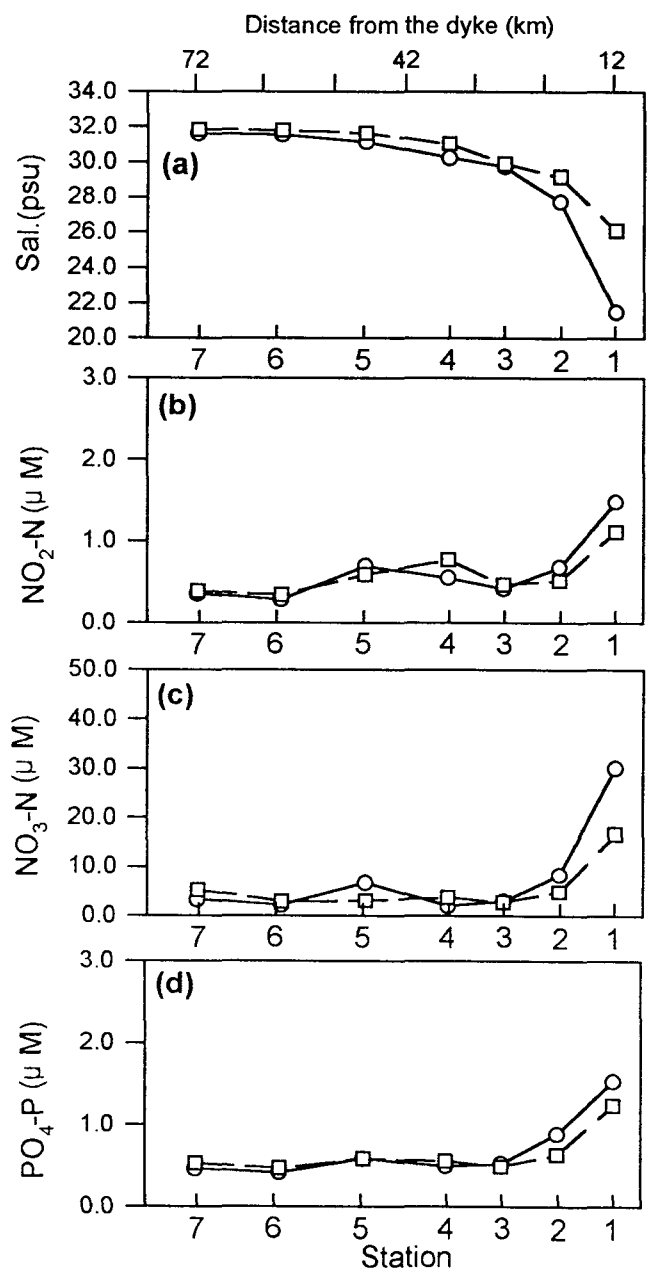


Fig. 5. The same as in figure 2 except for in October 17, 2000.

높았다. 염분이 30 psu 이하인 저염수가 정점 5까지 퍼져 나감에도 불구하고 (Fig. 6(e)), 영양염은 정점 3부터 정점 7까지 거의 일정하였다 (Fig. 4(b), (c), (d)). 이것은 저염수가 십이동파도까지 퍼져나갈지라도 영양염은 하구를 벗어난 정점 3에서부터 외양쪽의 정점 7까지, 그 농도는 하구쪽보다 낮으면서 거의 일정한 농도를 나타내고 있었다.

영양염 전선이 관측한 때에만 나타난 것인지 혹은 안정되게 연속 지속되는 것인지를 살펴 보기 위하여 표층에 있는 담수와 저층에 있는 염수와의 경계의 안정도를 판단하는 무차원 상수인 Froude number를 Garvine and Monk (1974)에 따라서 계산해

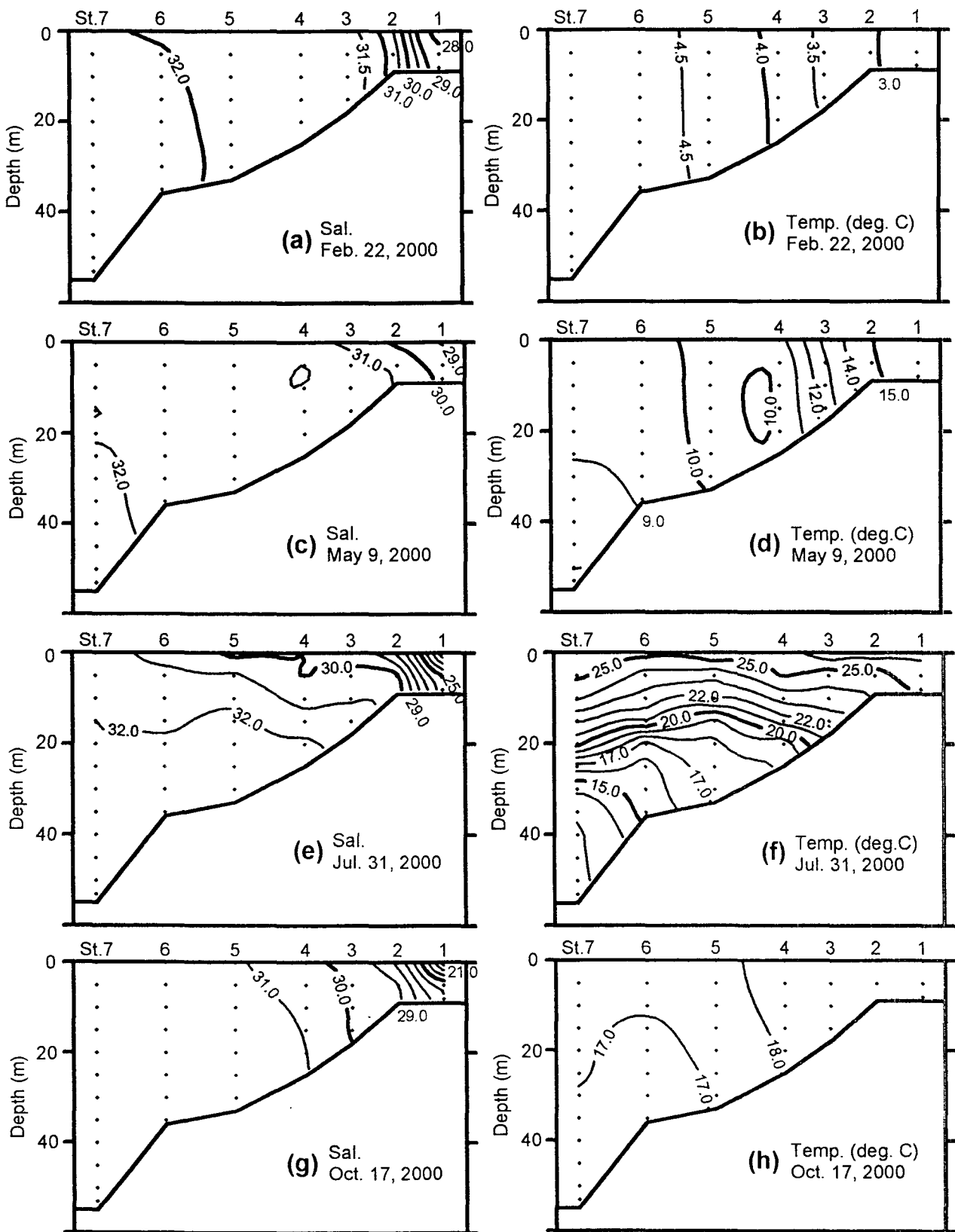


Fig. 6. Sections of salinity (left panel) and temperature (right panel) in February 22 (top), May 9 (middle upper), July 31 (middle lower) and October 17 (bottom) in 2000.

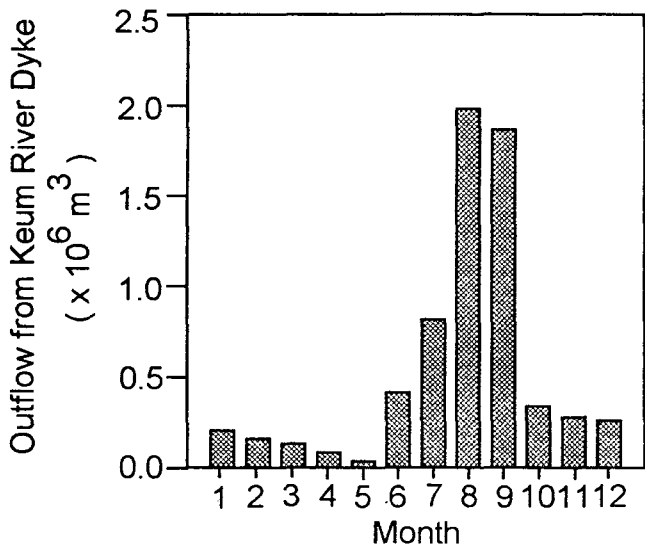


Fig. 7. Monthly discharge of freshwater from the Keum River dyke for 2000.

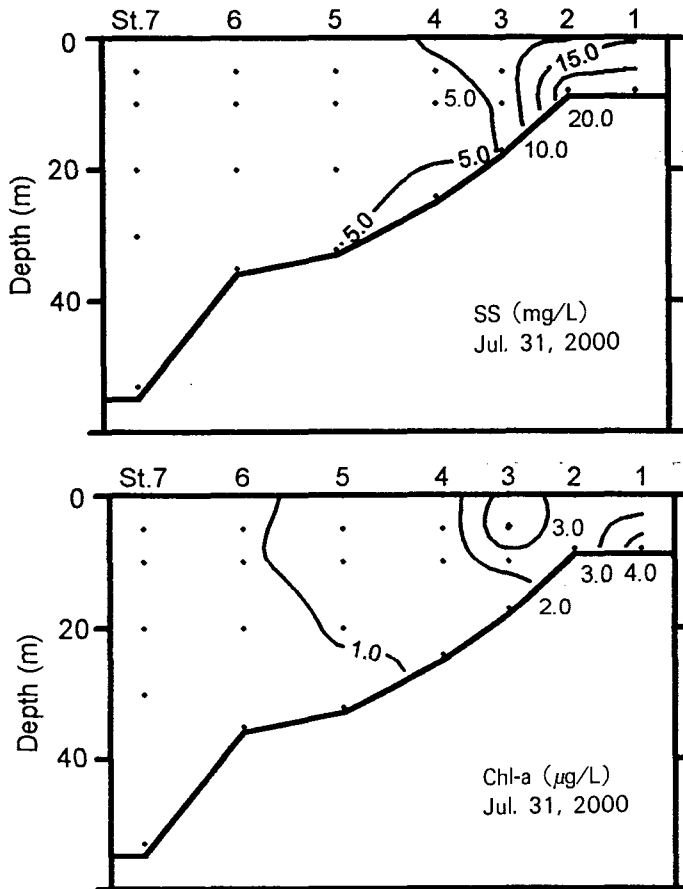


Fig. 8. Sections of suspended solid (upper) and chlorophyll-a (lower) in July 31, 2000.

보았다. 즉 $Fr = u^2 / \gamma h$ 로써, u 는 유속 (cm/s), γ 는 담수와 염수의 밀도 차이 (kg/m^3)이고, g 는 중력가속도 ($9.8 m/s^2$)이며, h 는 담수

의 두께로 5 m로 하였다. 그리고 유속은 국립해양조사원 (NORI)의 조석표 서지 제 510호를 이용하였는데 이에 따르면, 근산항 입구에서 창조류때는 최강 약 1.1 m/s, 낙조류때는 약 0.7 m/s로 흐른다. Froude number가 1 미만이면 담수와 염수와의 경계는 안정하며, 그 값이 1 이상이면 경계는 불안정하여 혼합을 나타내게 된다. Fig. 9는 영양염 전선이 나타나는 정점 2에서 유속을 0.5~1.5 m/s로 하여 Froude number를 계산하여 나타낸 것이다. 2월에 유속이 0.7 m/s 이상일 때와 5월에 유속이 1.4 m/s 이상일 때만 수주는 불안정하여 혼합을 일으킨다. 금강 하구 연안역은 조류가 크다고 할 지라도 겨울철을 제외하고는 금강 하구에서 유출되는 담수에 의해서 성층을 이루고 있다. 이는 금강하구 연안역에서는 담수의 유출이 없는 겨울을 제외하고는 영양염 전선이 연중 형성될 수 있음을 나타낸다.

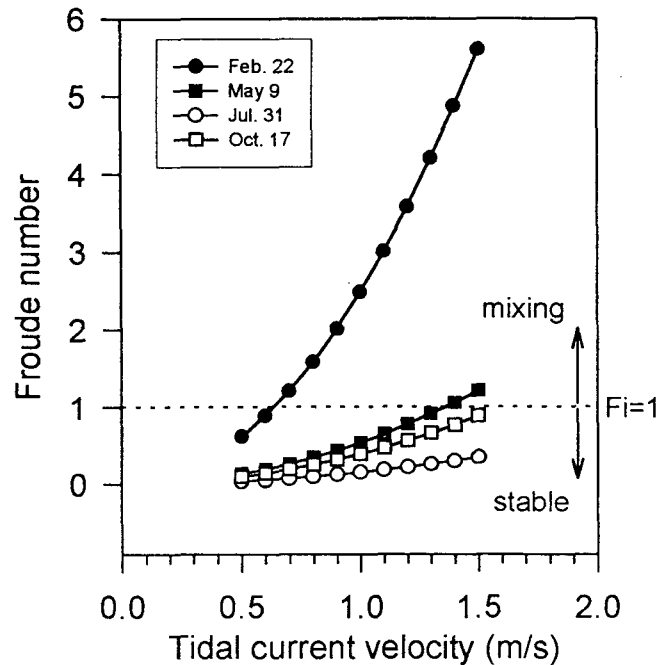


Fig. 9. Variation of Froude number for tidal current velocity from 0.5 to 1.5 m/s at station 2.

고 찰

금강 하구 연안역에서 염분과 영양염들의 가장 큰 구배는 정점 2를 중심으로 나타나고 있으며, 또한 하구 입구역인 정점 2에서부터 외양쪽으로 갈수록 염분은 증가하며, 영양염은 정점 1부터 3까지는 감소하고 정점 3부터 7까지는 일정한 경향을 보인다 (Fig. 2~Fig. 5). 즉, 금강 하구의 담수 유출수는 하구역내에 잔존하면서 해수와 혼합되어 외양쪽으로 유출되며, 정점 2 부근을 벗어난 해역에서는 영양염이 풍부한 담수의 성질을 나타내지 않는 것으로 보인다. 이것은 하구언 조성 이후에 금강 하구역이 만의 특성을 나타내기 때문으로, Lee et al. (1999)은 금강 하구역에서 조류에 따라서 저염수가 이동하지만 약 10 km 내외이며, 담수 방류가 중

단된 이후에 한 조석 주기 동안에는 저염수가 하구를 벗어나지 못하며, 하구 상류에서 조류에 따라 왕복 이동하며 점차 외해로 유출된다고 하였다. 또한 Yang et al. (1999)은 하구내 영양염의 분포를 결정하는 염분의 분포가 갈수기에는 하구언에서 1~2 km 정도로 근접한 곳에서 염분이 5~15로 나타나 영양염의 첨가 현상 등 화학적 변화가 이곳에 집중되고, 풍수기 동안에는 하구 전역에서 이러한 염분 분포가 나타난다. 따라서 하구언 조성 이후에 갈수기 동안 하구언에 근접한 일부만이 진정한 하구의 역할을 하고 나머지는 만과 같은 특성을 보이고 있다고 보고하였다. 이와 같이 하구역내에서 영양염들의 농도는 계절에 따라서 다르지만, 외양과 접하는 하구 입구역인 정점 2에서 염분 및 영양염의 기울기가 가장 크게 나타나고 있어 하구 전선과 영양염 전선이 함께 형성되는 것으로 보인다. 금강 하구내에서 영양염들의 거동에 대해서 Yang et al. (1999)은 인산 인의 첨가 현상을 보고하였고, Yang and Kim (1990)은 인산 인이 흡·탈착 과정을 한다고 하였다. 이처럼 질산 질소와 아질산 질소는 외양쪽으로 가면서 일정한 감소 현상을 보이지만, 인산인의 농도는 갈수기인 2월과 5월에는 일정한 경향이 없고, 풍수기의 영향을 받는 7월과 10월에는 정점 1에서 높고 정점 2와 3에서는 감소 경향을 보인다 (Fig. 2~Fig. 5).

영양염의 유입과 함께 식물플랑크톤에 의한 광합성의 호조건 해역은 금강 하구 입구역에 해당하는 정점 2 (혹은 정점 3) 부근이라고 할 수 있으며, 이 해역에서 식물 플랑크톤의 초기 대증식이 발생할 수 있다고 생각된다. Gomes et al. (2000)은 담수 유출에 의해서 야기된 표층 염분의 변화는 기초 생산력의 변동에 큰 영향을 미친다고 하였으며, Yoder et al. (1993)은 연안 전선역에서 높은 생체량을 나타내는 식물플랑크톤이 비교적 좁은 띠를 이루며 형성된다고 하였다. 또한 Tian et al. (1993)은 가장 높은 기초 생산력은 하구 전선역의 바로 외양쪽에서 나타난다고 하였다. 이와 같은 사실들은 여름철 풍수기에 담수 유출수가 외양쪽으로 넓게 퍼져 나가더라도, 하구역을 벗어난 해역에서 일사량과 수온 및 영양염의 호조건이 형성됨으로써, 식물플랑크톤에 의한 영양염 소모가 즉시 발생하여, 영양염 전선은 연중 일정한 위치에서 형성되고 있음을 알 수 있었다. 또한 하구역 내에서는 풍영양일지라도 부유 물질의 농도가 높게 나타나므로 식물플랑크톤의 광합성에 제한이 있는 것으로 판단된다 (Fig. 8).

그러나 하구 연안역에서는 조석 주기, 담수 유입 그리고 바람 등에 의해서 수주의 성층과 혼합이 영향을 받는다. 따라서 계절 변화보다도 짧은 시간 규모에서는 조석 주기나 바람같은 물리적 과정 및 식물 플랑크톤의 증식같은 생물학적 과정 등에 의해서도 영양염 전선의 위치적 변동은 충분히 발생되리라 생각된다.

결 론

금강 하구 연안역에서 2000년 2월 22일, 5월 9일, 7월 31일 그리고 10월 17일에 관측한 자료로 영양염 전선을 살펴보았다. 금강 하구언에서 약 20 km 떨어져 있는 하구의 입구역인 정점 2 부근에서 염분과 영양염이 뚜렷한 수평 구배를 보였다. 계절별로 염분이나 영양염의 절대치는 변동을 보였지만, 염분과 영양염에서 가

장 큰 수평 구배를 보인 전선은 염분이 적고 부영양인 금강 유출수와 염분이 많고 빈영양인 하구 외측의 연안수를 뚜렷하게 구분하였다. 이것은 금강 하구 연안역에서 염분 전선과 영양염 전선이 일치함을 알 수 있었다. 영양염 전선의 하구 안쪽으로는 이층 구조가 연중 뚜렷하였지만, 냉각 효과가 영향을 미치고 갈수기때인 겨울과 초 봄에는 이층 구조가 나타나지 않을 수도 있다. 또한 여름에 금강 하구로부터 유출된 담수가 하구언에서 약 40 km 떨어진 십이동파도까지 영향을 미치지만, 정점 3에서 chl-a가 높은 농도를 나타내는 것으로 보아, 식물플랑크톤에 의해서 영양염은 소모되는 것으로 보인다. 이것은 금강 하구 안쪽이 부영양화되어 있어 항상 적조가 발생할 수 있다고 할지라도, 하구 안쪽에서는 부유 물질의 양이 많기 때문에 식물플랑크톤의 광합성 작용에는 제한을 받으리라 여겨진다. 따라서 초기 식물플랑크톤의 대증식은 영양염 전선이 형성되는 정점 2의 외해측에서 발생할 수 있음을 나타낸다. 따라서 담수 유출로 인한 표층 염분의 변화에 따른 식물플랑크톤의 천이 과정, 계절에 따른 부유 물질의 변동과 Chl-a와의 상관성을 살펴보는 것도 필요하다고 생각된다. 아울러, 바람이나 열속 등과 관련하여 조석 주기별로 변하는 하구 전선의 수리학적 구조를 구명하는 것도 앞으로의 과제이다.

감사의 글

이 연구는 국립수산과학원에서 수행중인 적조연구 및 피해방제 기술개발의 세부 과제인 군산 연안의 적조 발생과 동태 연구 (2000~2002) 사업의 일부로 수행된 결과입니다.

참 고 문 헌

- Choi, Y.K., S.G. Lee, G.S. Park and Y.S. Lee. 2000. Seasonal Variation of DIN and DIP Related to the Outflowing Freshwater from Chonbuk Coastal Area during 1997~1998. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, 58, 114~124 (in Korean).
- Garvine, R.W. and J.D. Monk. 1974. Frontal Structure of a River Plume. *Journal of Geophysical Research*, 79, 2251~2259.
- Gomes, H.R., J.I. Goes and T. Saino. 2000. Influence of physical processes and freshwater discharge on the seasonality of phytoplankton regime in the Bay of Bengal. *Continental Shelf Research*, 20, 313~330.
- Kim, J.G., S.J. You and J.N. Kwon. 1998. Variation of Water Quality after Construction of Keum River Estuary Barrage. *J. Korean Fish. Soc.*, 31, 685~694 (in Korean).
- Kwon, H.K. and S.H. Lee. 1999. Physical Environment Changes in the Keum River Estuary by the Dyke Gate Operation I. Mean Sea Level and Tide. *The sea J. Korean Soc. Oceanogr.*, 4, 93~100 (in Korean).
- Lee, S.H., H.K. Kwon, H.Y. Choi, J.S. Yang and J.Y. Choi. 1999. Physical Environment Changes in the Keum River Estuary by the Dyke Gate Operation II. Salinity Structure and Estuary Type. *The sea J. Korean Soc. Oceanogr.*, 4, 255~265 (in Korean).
- Lee, S.H., H.Y. Choi and I.S. Oh. 1995. Structure and Variation of the Keum River Plume in Summer. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 30,

- 125~137 (in Korean).
- Lee, Y.H. and J.S. Yang. 1997. 500-days Continuous Observation of Nutrients, Chlorophyll Suspended Solid and Salinity in the Keum Estuary, Korea. 「The sea」 J. Korean Soc. Oceanogr., 2, 1~7 (in Korean).
- National Oceanographic Research Institute. 2000. Tide tables, Pub. No. 510, 262pp (in Korean).
- Tian, R.C., F.X. Hu and J.M. Martin. 1993. Summer Nutrient Fronts in the Changjiang (Yantze River) Estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 37, 27~41.
- Yanagi, T. 1987. Classification of "Siome", Streaks and Fronts. Journal of the Oceanographical Society of Japan, 45, 149~158.
- Yang, H.S. and S.S. Kim. 1990. Characteristics of Spatio-temporal Variation of the Water Quality in the Lower Keum River. Bull. Korean Fish. Soc., 23, 225~237 (in Korean).
- Yang, J.S., J.Y. Jeong, J.Y. Heo, S.H. Lee and J.Y. Choi. 1999. Chemical Mass Balance of Materials in the Keum River Estuary 1. Seasonal Distribution of Nutrients. 「The sea」 J. Korean Soc. Oceanogr., 4, 71~79 (in Korean).
- Yoder, J.A., P.G. Verity, S.S. Bishop and F.E. Hoge. 1993. Phytoplankton Chl *a*, primary production and nutrient distributions across a coastal frontal zone off Georgia, U.S.A. Continental Shelf Research, 13, 131~141.
- 농업기반공사. 2000. 금강하구둑 방류 자료, 농업기반공사 금강사업단 (미발표 자료).
- 해양수산부. 1998. 해양환경 공정시험방법. 317pp.

2001년 11월 12일 접수

2002년 5월 15일 수리