

금강하구둑 건설후의 水質變化

김종구 · 유선재 · 권정노*
군산대학교 해양환경공학과, *국립수산진흥원 군산분소

Variations of Water Quality after Construction of Keum River Estuary Barrage

Jong-Gu KIM, Sun-Jae YOU and Jung-No KWON*

Department of Marine Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-702, Korea
*National Fisheries Research & Development Institute, Kunsan 573-030, Korea

To evaluate the water quality characteristic after construction of Keum river estuary barrage, water quality analysis were conducted on August, October in 1995 and January, May in 1996 respectively.

The results were summarized as follows. The concentrations of COD were in the range of 1.01~5.10 (mean 2.50)mg/l for surface water and 0.51~6.68 (1.88)mg/l for bottom water. The concentrations of dissolved inorganic nitrogen (DIN) were in the range of 1.26~105.91 (29.66) μ g-at/l for surface water and 1.42~68.38 (19.42) μ g-at/l for bottom water. The concentrations of phosphate phosphorus were in the range of ND~0.99 (0.34) μ g-at/l for surface water and 0.17~1.04 (0.49) μ g-at/l for bottom water.

The nitrogen ratio to the phosphorus were as high as 3.5~849.5 (146.5). Therefore, Phosphate phosphorus was playing an important role in phytoplankton growth as limiting factor in Keum river estuary. The correlation coefficient of salinity and DIN according to COD was shown to -0.757 and -0.874 respectivity.

Mean values of eutrophication indice were calculated to 9.7, 7.2 for surface and bottom water, these values were exceeding 1, the value of eutrophication criteria. Especially station 1-3 were shown over 10 as eutrophication indices. Therefore, Keum river estuary could be evaluate to possibility area for breakout of red tides.

Key words: water quality characteristic, water quality criteria, eutrophication indices, limiting factor, keum river estuary

緒 論

금강은 유로연장 412 km, 유역면적 9,886 km², 담수유출량 6.4×10⁹ton/year의 유역특성을 가진 우리나라 제 3의 하천 (Chung, 1981)으로 전라남도 장수군 장수읍에서 발원하여 금강하구둑을 통해 서해로 유입된다.

금강하구역은 1988년 12월 금강하구둑 완공과 최근에 활발히 진행되고 있는 군장국가공단 조성 및 신항건설의 추진으로 많은 변화가 일어나고 있으며, 주변 공단에 제지, 펄프공장 및 첨단공업에 관련된 공장들이 입주되고 있어 금강하구의 환경오염에 대한 관심이 날로 높아지고 있다.

금강하구의 자연환경특성을 파악하기 위한 많은 연구가 이루어졌는데, Chung et al. (1983)이 조사한 금강하구의 해수순환역학에서 보면 하구의 염분변동은 소조기가 대조기보다 심하고 퇴적작용도 소조기에 더 활발하다고 보고하였으며, Lee and Kim (1987)도 금강하구에서 탁도최고치의 형성 및 그 변화에 대해 조사한 연구에서 탁도 최고치의 형성은 담수의 유입과 강한 조류의 상호역학적인 관계로 인한 침식과 퇴적물의 재부상이 주 요

인이라고 설명하였다. Lee (1990)는 금강하구둑 건설 전·후의 해양환경 변화에 관하여 보고하였고, Yu et al. (1994)은 본 조사지역보다 바깥 하구역에서 황색수색대의 환경변화특성을 밝혔다. 그 외에도 금강하구에서 영양염 순환이나 유동 및 퇴적학적 문제를 다룬 연구로는 Cho et al. (1978)의 물리화학적 요인과 저서생물과의 관계에 관한 연구, Chung et al. (1983)의 하구에서 해수순환역 경계층의 염분변동에 관해 연구, Oh and Lee (1985)의 하구에서 유속 및 유량의 계절변화 및 하상퇴적물의 특성에 관한 연구, Ki and Kim (1987)의 하구역에서 질소화합물 순환과 클로로필 a의 분포결정에 관한 연구, Cho and Seoh (1988)의 금강하구역에서 부유물질 연변동에 관해 연구, Yang and Kim (1989)의 금강 하구역에서 수질의 시공간적 변화특성에 관하여 연구 및 Choi (1993)의 금강하류부의 수질변화에 관하여 조사연구 등이 있다.

금강하구해역은 1994년 8월 하구둑 수문조작후 금강상류로부터 토사유입 차단 및 유속감소로 인해 부유물질 농도의 감소, 투명도의 증가에 따른 적조발생 및 쓰레기 집적 등 급격한 환경변화를 보이고 있다. 그 예로 수문을 차단한 이듬해인 1995년 4월에 하구역에서 처음으로

규모적조가 발생한 이후 1996년 5월에도 동일지역에서 적조가 발생하였다. 이러한 환경변화에도 불구하고 수문 조작후 하구해역의 수질환경에 대한 조사나 연구보고는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 금강하구둑 수문 조작후 하구해역의 수질변화특성을 파악하기 위해 1995년 8월부터 1996년 5월까지 사계절에 걸쳐 수질의 계절적 변동을 조사하고, 수문조작전의 수질과 비교평가하였다. 그리고 부영양도 지수를 이용하여 하구해역의 부영양화 정도를 평가해 보았다.

材料 및 方法

1. 수질조사

조사대상지역에는 군산의 생활하수 및 충남 서천·장항의 생활하수가 유입되며, 장항과 군산 사이에 해상신도시 예정부지가 일부 조성되어 물의 흐름을 방해하고 또한 명암에서 장항쪽으로 남북도류제 공사가 한창 진행중에 있어 완공될 경우 금강하구해역은 길이가 약 21 km에 이르는 하천형태의 만을 가진 하구로 변하게 된다.

조사지점은 Fig. 1과 같이 금강하구둑 수문 아래 지점 1에서부터 명암 외해의 지점 8까지 총 8개 지점을 대상으로 하였으며, 1995년 8월부터 1996년 5월까지 계절별로 조사하였다. 시료채취는 선박을 이용하였으며 표층수와 저층수를 채수하였다.

수질분석은 일본 해양환경조사법 (1979) 및 해양오염 및 적조관측지침 (1989)에 준하여 실험하였다. 수온, 용존산소 (DO), pH, 염분농도는 Hydrolab을 사용하여 현장에서 측정하였다. 화학적산소요구량 (COD)은 알카리성 KMnO₄법으로, 총부유물질 (SS)은 시수 일정량을 GF/C로 여과하여 건조후 여과지의 중량차로 측정하였다. 암모니아질소는 인도페놀청법에 의해 측정하였고, 아질산질소는 NED법으로, 질산질소는 cadmium reduction method로 측정하였다. 총무기질소 (DIN)는 암모니아질소와 아질산질소 그리고 질산질소의 합으로 구하였다. 인산염 (DIP)은 Ascorbic acid법으로 비색정량하였다.

2. 부영양도 평가

부영양도 평가방법은 조사된 자료를 이용하여 Okai-chi (1985)가 제안한 다음식을 사용하여 해역의 부영양도를 평가하였다.

$$\text{부영양도} = \frac{\text{COD}(\text{mg}/\ell) \times \text{TIN}(\mu\text{g}-\ell) \times \text{PO}_4^{3-}-\text{P}(\mu\text{g}-\text{at}/\ell)}{3.4272}$$

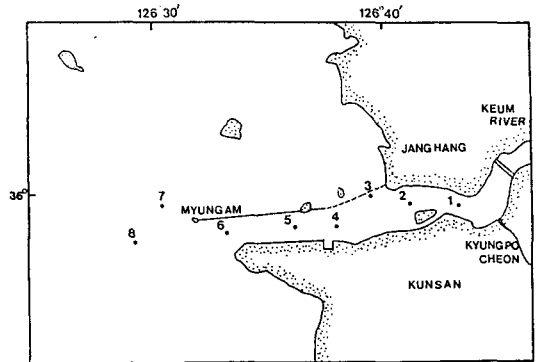


Fig. 1. Map of the sampling stations in Keum river estuary.

이는 해역의 부영양화 지표로서 적조를 유발시키는 한계를 고려한 방법으로, 여기서는 적조 초기로 보여지는 규모의 세포수 10³개체/ml를 한계로 해서 여기에 함유된 C량인 0.83 mg/l (COD=1mg/l)를 고려하고 N은 7.14 μg-at/l, P는 0.48 μg-at/l를 기준으로 해서 평가한다.

結果 및 考察

금강하구해역의 각 지점에서 조사된 수질분석결과와 범위 및 평균값을 Table 1, 2에 나타내었다. Table. 1은 표층수의 계절별 범위와 평균값을, Table. 2는 저층수의 계절별 범위 및 평균값을 나타내었다.

1. 염분, 용존산소, 화학적산소요구량 및 부유물질의 분포

본 조사해역에서 조사된 일반수질의 지점별, 계절별 수질변화를 Fig. 2~5에 나타내었다.

염분은 표층수에서 11.33~32.02 (25.46) ‰, 저층에서 14.27~33.48 (27.15) ‰의 범위를 나타내었다. 하구둑 아래 지점 1에서부터 외해로 갈수록 증가하는 경향을 나타내었고, 염분쇄기현상으로 저층수가 표층수보다 전반적으로 높은 염분농도를 나타내었다. 그러나 지점 6부터는 표층수와 저층수간의 염분의 차이가 급격히 줄어드는 것으로 보아 이 지점부터 표·저층수의 혼합이 원활하게 이루어 지는 것으로 판단된다. 계절별 특징을 보면 동계에 표·저층수간의 농도차가 크게 나타내면서 전체적으로 높은 농도를 보였고, 하계에는 전체적인 농도는 낮았으며, 표·저층간의 강한 혼합을 나타내었는데 이는 강우유출에 의한 하구에서의 강혼합의 영향으로 판단된다.

용존산소 (DO) 농도는 수산생물 특히 어패류 산란 및 성장에 있어 중요한 제한요인으로 작용할 뿐만아니라

Table 1. Seasonal range and mean values of water quality in the Keum river estuary (surface water)

Item	Unit		Summer	Autumn	Winter	Spring
Temp.	℃	Range	28.80~29.50	12.00~12.85		12.50~13.10
		Mean	29.01	12.32		12.86
Salinity	‰	Range	11.33~26.39	21.03~32.02	16.52~32.97	26.22~31.43
		Mean	19.68	26.03	26.92	29.20
pH		Range	7.72~8.14	8.05~8.16	8.04~8.11	8.12~8.22
		Mean	7.99	8.10	8.09	8.18
DO	ml/l	Range	2.62~4.73	5.74~6.35	6.71~8.99	6.62~7.16
		Mean	3.76	5.97	7.70	6.89
COD	mg/l	Range	1.98~4.97	1.39~3.61	1.04~5.10	1.01~3.76
		Mean	3.18	2.34	2.69	1.78
TSS	mg/l	Range	5.66~161.74	18.95~65.74	11.86~61.48	6.26~33.52
		Mean	41.70	37.64	27.93	11.47
NH ₄ ⁺ -N	μg-at/l	Range	0.77~19.59	0.86~10.26	ND~26.85	0.32~15.29
		Mean	10.93	4.39	9.88	4.70
NO ₂ ⁻ -N	μg-at/l	Range	0.15~9.84	0.58~3.76	0.16~1.285	0.10~0.61
		Mean	3.05	1.91	0.78	0.31
NO ₃ ⁻ -N	μg-at/l	Range	6.05~76.12	3.97~36.36	5.02~56.69	0.35~14.88
		Mean	33.44	17.19	25.36	6.53
DIN	μg-at/l	Range	6.98~105.91	5.40~47.94	5.23~84.82	1.26~27.65
		Mean	47.46	23.49	36.15	11.54
NO ₄ ³⁻ -P	μg-at/l	Range	0.26~0.99	0.20~0.70	ND~0.14	0.19~0.41
		Mean	0.54	0.40	0.08	0.32
N/P ratio		Range	26.85~392.26	14.69~163.48	65.51~614.60	3.49~80.06
		Mean	117.86	64.90	367.99	35.42

Table 2. Seasonal range and mean values of water quality in the Keum river estuary (bottom water)

Item	Unit		Summer	Autumn	Winter	Spring
Temp.	℃	Range	28.50~28.70	12.08~12.80		9.90~11.90
		Mean	28.56	12.38		10.79
Salinity	‰	Range	14.27~30.50	21.81~32.01	26.00~33.48	27.26~31.27
		Mean	21.09	27.21	30.07	30.22
pH		Range	7.79~7.11	8.12~8.20	8.12~8.23	8.19~8.24
		Mean	8.01	8.16	8.18	8.21
DO	ml/l	Range	2.28~4.61	5.56~6.23	7.40~8.39	5.80~7.30
		Mean	3.24	5.84	7.87	6.93
COD	mg/l	Range	1.02~4.18	1.33~6.68	0.51~1.84	1.52~2.46
		Mean	2.12	2.32	1.23	1.86
NH ₄ ⁺ -N	μg-at/l	Range	1.05~16.04	0.68~2.43	ND~13.99	0.97~8.37
		Mean	8.01	1.62	4.72	2.78
NO ₂ ⁻ -N	μg-at/l	Range	0.15~7.45	1.03~3.09	0.15~1.56	0.07~0.33
		Mean	2.53	1.77	0.85	0.21
NO ₃ ⁻ -N	μg-at/l	Range	2.98~44.89	5.14~28.01	4.97~33.09	0.24~10.56
		Mean	19.39	14.39	17.42	4.00
DIN	μg-at/l	Range	4.18~68.38	7.26~33.33	5.23~48.63	1.42~19.26
		Mean	29.93	17.79	22.99	6.99
NO ₄ ³⁻ -P	μg-at/l	Range	0.27~1.04	0.46~0.86	0.19~0.55	0.17~0.59
		Mean	0.60	0.70	0.31	0.33
N/P ratio		Range	15.48~207.21	11.90~43.86	16.41~108.45	3.97~33.04
		Mean	58.50	24.78	869.79	20.44

수괴의 이동이나 혼합과정을 구명하는 중요한 요인이다. 본 해역의 용존산소 농도분포를 보면, 표층에서 2.62~8.99 (6.08) ml/l, 저층에서 2.28~8.39 (5.97) ml/l의 범위를 나타내었다. 지점별로는 군산의 생활하수가 흐르는

경포천이 유입되는 지점 1에서 연평균 5.78 ml/l로서 가장 낮았고, 외해로 갈수록 점차 증가하는 경향을 보였다. 계절별로는 하계인 8월에 표층 3.76 ml/l, 저층 3.24 ml/l로 낮은 용존산소 농도를 보였고, 동계인 2월에 7.70 ml/l

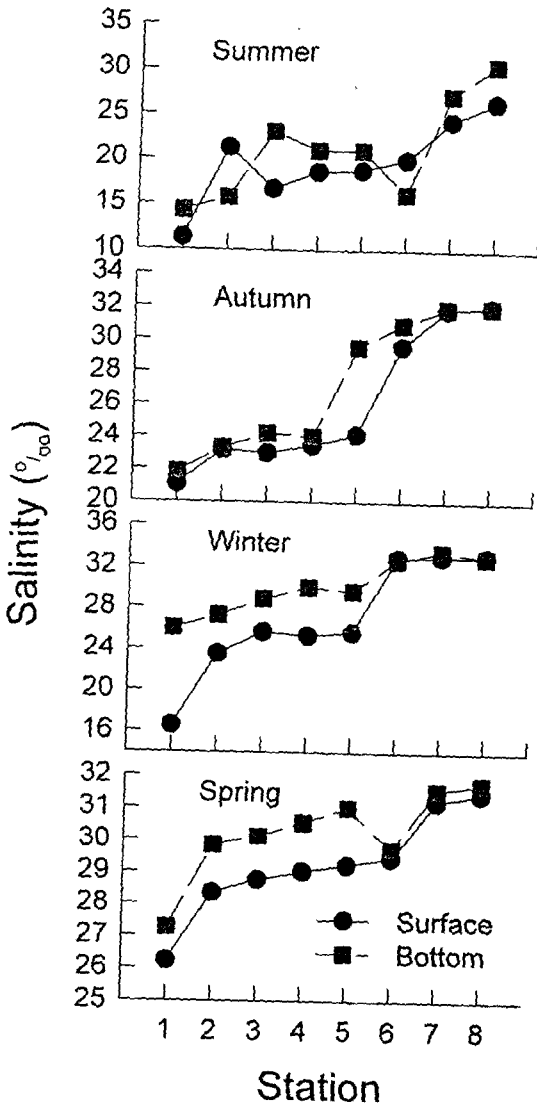


Fig. 2. Seasonal variation of salinity at each station.

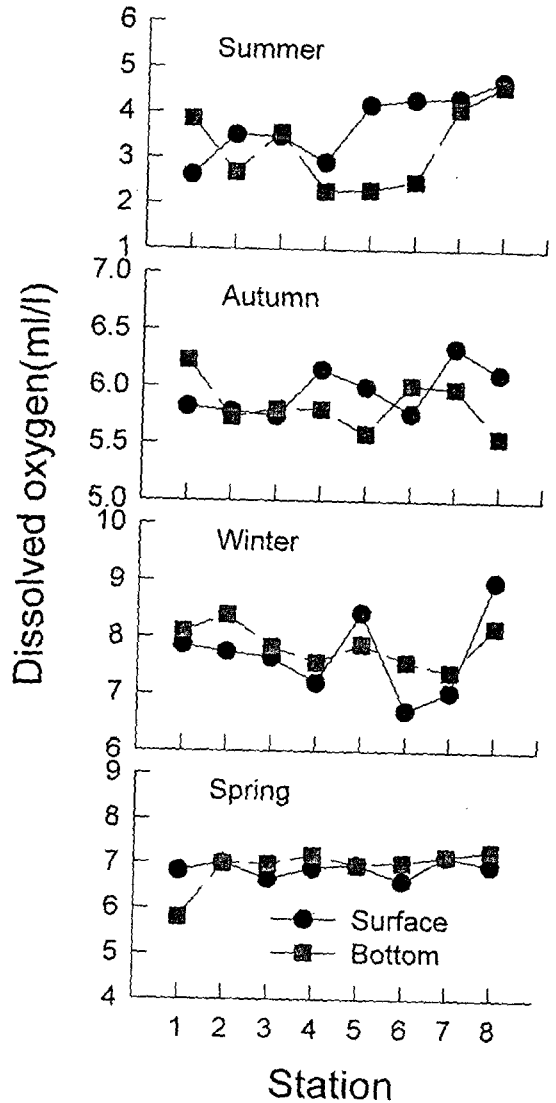


Fig. 3. Seasonal variation of dissolved oxygen at each station.

의 농도를 나타내었다. 이는 일본 수산자원보호협회 (1972)에서 제시한 수산생물의 서식 및 산란에 적합한 농도인 3.5 ml/l과 비교할 때 하계 저층수에 대해서 부적합한 것으로 나타났다.

해역의 유기오염의 지표로 이용되는 화학적 산소요구량 (COD)의 농도범위를 보면, 표층에서 1.01~5.10 (2.50)mg/l, 저층에서 0.51~6.68 (1.88)mg/l의 범위를 나타내었다. 지점별 변화특성을 보면, 지점 1이 연평균 3.91 mg/l, 지점 8이 1.48 mg/l로서 외해로 나갈수록 점차 감소하는 경향을 보이고 있으며 전체적으로 해역환경기준 2~3등급의 수질을 나타내었다. 이는 Lee (1990)가 조사한 1.05~2.09 mg/l, Yu (1994)가 조사한 0.6~3.38 mg/l

보다 높아 본 조사해역은 유기오염물질의 농도가 매년 조금씩 증가하는 경향을 나타내었다.

해역의 투명도와 직접적인 상관성이 있는 부유물질의 표층수의 농도범위는 5.66~161.74 (29.68)mg/l로서 금강 하구둑 아래 지점 1에서 가장 높은 농도를 나타내었고 외해로 갈수록 급격히 감소하는 경향을 보였다. 해역환경기준과 비교하면 금강 상류수의 영향을 직접 받고 있는 지점 1~3을 제외하고는 전체적으로 해역환경기준 2등급 (25 mg/l이하) 이내에 속한다. 이는 Choi et al. (1986)이 낙동강 하류역에서 조사한 3.75~138.30 mg/l과 유사한 농도범위를 보였다. 그리고 수문조작전의 자료인 1989~90년에 Lee (1990)가 조사한 10.4~58.4 mg/l과

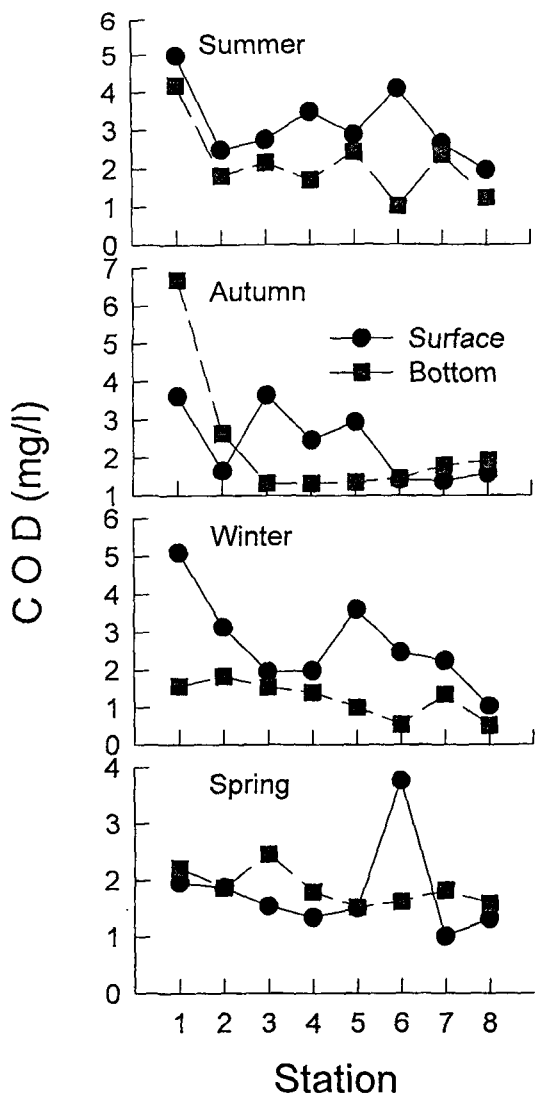


Fig. 4. Seasibak variation of COD at each station.

비교해 보면, 본 조사의 하계 지점 1의 자료를 제외하고는 전체적으로 낮은 농도이며 평균농도에서도 약 20 mg/l 이상 낮게 나타났다.

2. 영양염류의 분포특성

금강 하구해역 표층수의 영양염류 변화특성을 Fig. 6~7에 그리고 총무기질소중 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 계절별, 지점별 함유율의 변화를 Fig. 8~9에 나타내었다.

암모니아 질소의 농도범위 (평균)는 표층에서 ND~26.85 (7.47) $\mu\text{g-at/l}$, 저층에서 ND~16.04 (4.28) $\mu\text{g-at/l}$ 로 나타났다. 지점별 농도변화는 금강상류수와 군산 생활

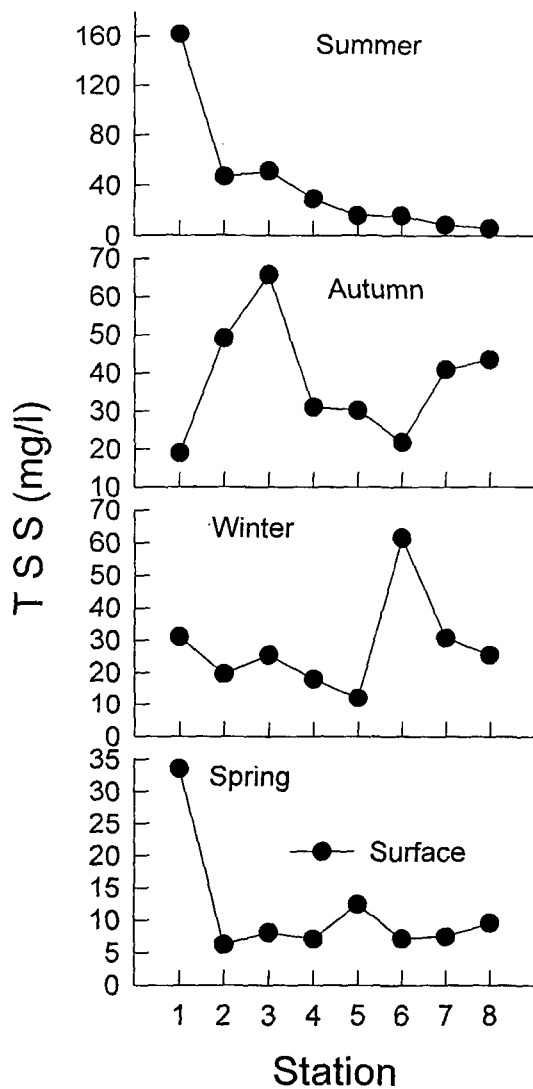


Fig. 5. Seasonal variation of TSS at each station.

하수가 유입되는 지점 1에서 16.38 $\mu\text{g-at/l}$ 의 농도를 보였고 외해로 나갈수록 점차 감소하여 명암부근의 지점 7, 8에서 연평균 약 0.6 $\mu\text{g-at/l}$ 의 농도로 나타났다. 계절별로는 8월에 평균 10.93 $\mu\text{g-at/l}$ 로 가장 높았고 11월에 4.39 $\mu\text{g-at/l}$ 로 가장 낮았다. 이는 Lee (1990)가 1990년에 조사한 2.99~17.41 $\mu\text{g-at/l}$ 와 비슷한 농도를 보였으나 변동폭은 크게 나타났다. 그러나 Choi et al. (1986)이 낙동강 하류에서 조사한 43.38 (0.22~173.37) $\mu\text{g-at/l}$ 보다는 낮았다.

아질산질소의 농도범위 (평균)는 표층에서 0.10~9.84 (1.51) $\mu\text{g-at/l}$, 저층에서 0.07~7.45 (1.34) $\mu\text{g-at/l}$ 로 나타났다. 지점별 농도변화는 암모니아질소와 유사한 경향을 보

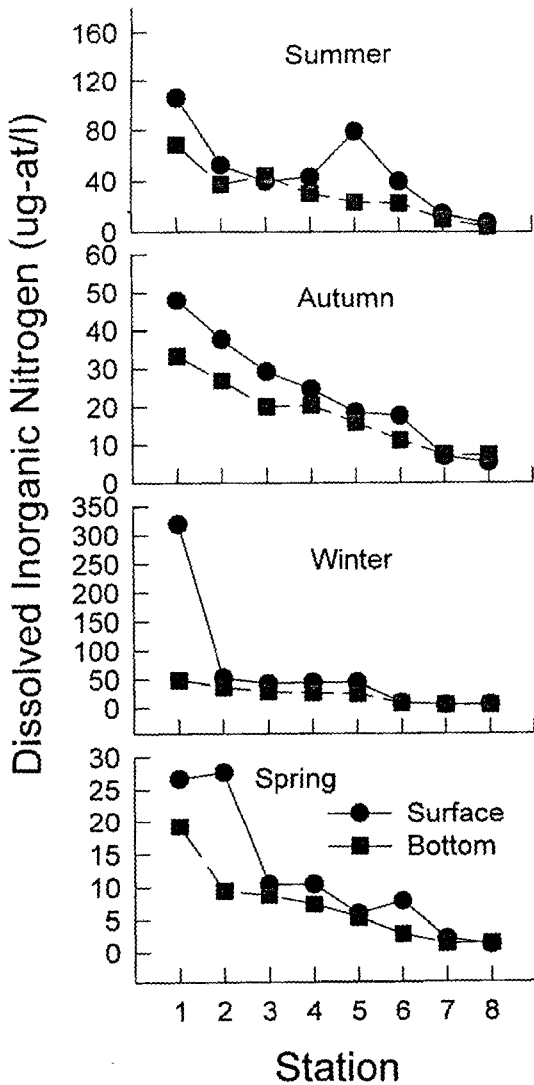


Fig. 6. Seasonal variation of DIN at each station.

였다. 계절별로는 하계 8월 표층에서 $3.05 \mu\text{g-at/l}$ 로 다른 계절보다 아주 높은 아질산농도를 보였다. 이는 Lee (1990)가 조사한 $0.10\sim 3.20 \mu\text{g-at/l}$ 와 비슷한 농도를 보였다.

질산 질소의 농도범위 (평균)는 표층에서 $0.33\sim 76.12 (20.63) \mu\text{g-at/l}$, 저층에서 $0.24\sim 44.89 \mu\text{g-at/l}$ 로서, 지점별로는 하구둑 아래 지점 1에서 $46.01 \mu\text{g-at/l}$ 로 가장 높았고 외해지점인 7,8에서 약 $5.0 \mu\text{g-at/l}$ 로서 가장 낮았다. 계절별로는 하계 8월이 가장 높고, 춘계인 5월에 가장 낮았다. 이는 Lee (1990)가 조사한 $2.99\sim 17.41 \mu\text{g-at/l}$ 보다는 전체적으로 조금 증가된 농도를 나타내었다.

총무기질소 (DIN)의 농도범위는 표층에서 $1.26\sim$

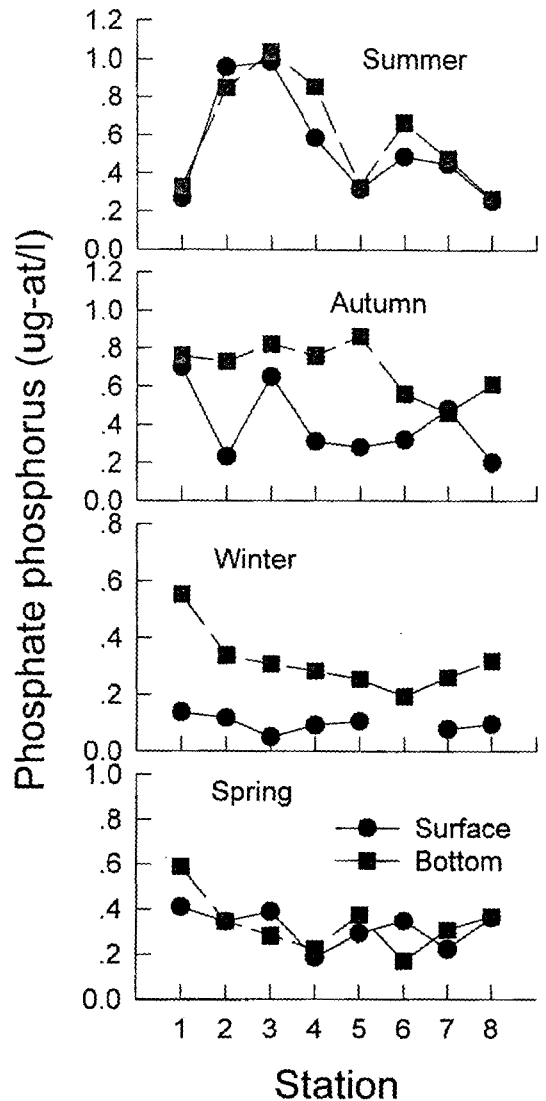


Fig. 7. Seasonal variation of $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$ at each station.

$105.91 (29.66) \mu\text{g-at/l}$, 저층에서 $1.42\sim 68.38 (19.42) \mu\text{g-at/l}$ 로 나타났다. 이는 Yu (1994)가 조사한 $7.08\sim 98.84 \mu\text{g-at/l}$ 와 유사한 농도수준을 나타내었고, Kim (1994)이 진해만에서 조사한 표층의 $0.64\sim 107.05 \mu\text{g-at/l}$, 저층의 $2.89\sim 82.28 \mu\text{g-at/l}$ 과 비교하면 표층에서 훨씬 높은 농도를 가지고 있음을 알 수 있다. 해역수질환경기준과 비교해 보면, 전체적으로 3등급기준인 $14.285 \mu\text{g-at/l}$ 을 훨씬 초과하였다.

각 지점에서 조사된 총무기태질소중 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 함유율 분포의 지점별, 계절별 변화를 Fig. 4, 5에 나타내었다. 지점별 변화특성은 지점 2~4에서 암모니아질소의 비율이 약 30% 정도를 차지

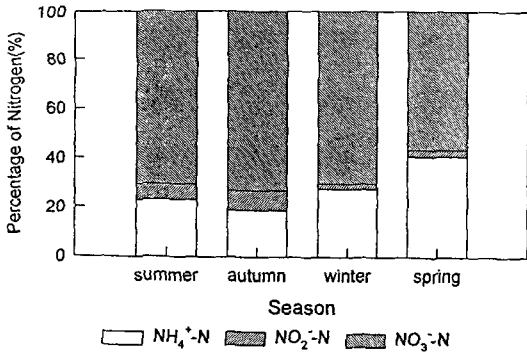


Fig. 8. Seasonal variation of inorganic nitrogen.

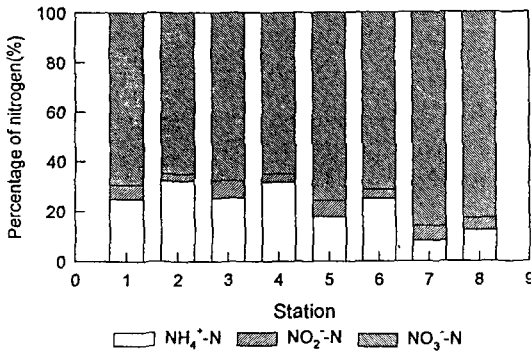


Fig. 9. Variation of inorganic nitrogen at each station.

하다가 외해로 갈수록 감소하여 지점 8에서는 약 15% 정도로 감소하였다. 반면에 질산질소는 암모니아질소와 반대의 경향을 나타내었다. 그리고 아질산질소는 거의 큰 변화가 없었다. 계절별로는 춘계에 암모니아질소가 약 40% 정도로 높았다가 점점 감소하여 추계에 20% 이하로 나타났으며, 질산질소는 이와 반대의 경향을 나타내었다.

질산질소의 성분비 변동에 따른 총무기질소의 변화를 보면, 전체적으로 질산질소의 성분비율이 높을 때 총무기질소의 농도가 증가되었고, 암모니아 성분비가 증가하면서 총무기질소 성분비는 감소하는 경향을 보였다. 이는 Otsuki et al. (1981)이 Takahamairi에서 총무기질소 농도와 암모니아, 질산질소의 성분비의 계절변동중 질산질소 성분비의 증감에 따라 총무기질소의 농도가 증감된다는 결과와 유사한 결과를 나타내었다.

일반적으로 하구해역의 식물플랑크톤 성장에 제한인자로 작용하는 인산인의 농도범위 (평균)는 표층에서 ND~0.99 (0.34) $\mu\text{g-at}/\ell$, 저층에서 0.17~1.04 (0.49) $\mu\text{g-at}/\ell$ 로 나타났다. 하구 안쪽해역에서 높은 농도를 보였고 외해로 갈수록 낮은 농도를 나타내었다. 특히 경포천의 영향을 받는 지점 2와 3에서 높은 농도를 보였다.

계절별로는 여름철에 가장 높고 겨울철에 낮게 나타났다. 이는 Yu (1994)가 1992년에 조사한 ND~0.9 $\mu\text{g-at}/\ell$ 와 Lee (1990)가 조사한 0.02~1.05 $\mu\text{g-at}/\ell$ 와는 유사한 농도 범위를 보였다. 그러나 Kim (1994)이 적조가 빈번히 발생하는 진해만에서 조사된 농도인 0.00~0.41 (0.18) $\mu\text{g-at}/\ell$ 보다 높은 농도를 보이고 있고, 오염이 심한 마산만에서 조사된 자료중 표층의 0.19~0.23 $\mu\text{g-at}/\ell$, 저층의 0.15~8.12 $\mu\text{g-at}/\ell$ 와 비교하면 표층에서 상당히 높은 인산염의 농도 수준을 보였으나, 저층의 경우 아직 마산만 정도로 오염이 심화되어 있지 않았음을 알 수 있다. 해양환경기준과 비교해 보면, 환경기준 2등급 이내의 수질을 나타내었다.

영양염류가 식물플랑크톤의 성장에 미치는 영향을 평가하는 기준으로 일본수산자원 보호협회 (1973)가 제시한 적조발생 가능농도인 질소 7.48 $\mu\text{g-at}/\ell$, 인 0.48 $\mu\text{g-at}/\ell$ 보다는 대체적으로 높은 농도를 보여 항상 적조가 발생할 가능성을 가지고 있음을 알 수 있다.

용존무기태질소 (DIN)와 인산염의 비율 (N/P ratio)을 살펴보면, 표층에서 3.49~849.5 (146.5), 저층에서 3.97~207.21 (43.38)로서 나타났다. 전반적으로 인산염에 비하여 총무기질소의 점유 비율이 매우 높아, 인산염이 식물플랑크톤 성장의 제한인자로 작용하고 있었다. 지점별로는 육상 오염원의 영향을 가장 많이 받는 지점 1이 연평균 285.1로서 가장 높았고, 외해로 갈수록 급격히 감소하여 지점 8에서 30으로 나타났다. 그러나 저층수의 경우 표층보다 전지점에서 낮았으며, 담수의 영향을 가장 크게 받는 지점 7, 8의 저층수에서 일반 외해수에서 나타나는 N/P ratio인 16과 근접된 비율을 나타내었다.

3. 하구수문조작후의 수질변화

1994년 8월 금강하구 수문을 조작한 후 금강하구해역에 나타난 수질변화특성을 기존의 금강하구해역을 대상으로 조사한 수질자료와 비교 평가하였다. 대상자료는 본 조사지점과 유사한 지점에서 조사된 KORID의 "황해의 해양오염조사 및 대책연구" (1993,1994)를 이용하였으며, 수질항목은 염분, 화학적산소요구량, 부유물질 그리고 영양염류를 대상으로 평가하였다. 자료는 1993년 5월과 8월, 그리고 1994년 5월의 평균치를 이용하였다.

염분의 경우, 수문조작전인 농도는 2.29~28.35 (평균 16.57) mg/ℓ 였으나, 수문조작후의 염분농도는 11.33~32.97 (평균 25.45) %로 크게 증가하였다. 이는 담수유입의 차단으로 나타난 현상으로 본 조사해역이 금강의 영향을 많이 받고 있다는 것을 알 수 있다.

화학적산소요구량의 경우, 수문조작전에는 1.16~9.93

(평균 4.60)mg/l이었으나 수문조작후는 1.01~5.10 (평균 2.65)mg/l로서 농도가 감소하였는데, 이는 수문조작전에는 담수유출시 하구의 토사를 유출로 인하여 저질의 유기물이 함께 유출하기 때문이다.

부유물질의 경우 수문조작전에는 8.79~247.90 (평균 86.51)mg/l이었으나, 수문조작후 5.66~161.74 (평균 29.68)mg/l로 상당히 큰 변화를 나타내었다. 이것은 금강을 통한 부유물질 유출량은 연간 1.3×10^6 톤 정도로서 이중 60~80%는 우기인 하기에 유출되고, 하구역의 부유물질 함량 및 분포양상은 계절별 변화 뿐만아니라 조석주기에 따라 큰 폭으로 변화하고, 금강을 통해 유출되는 부유물질의 65% 정도가 금강하구에 집적된다는 보고 (Choi et al., 1989)에서와 같이 금강하구는 노령하천으로 저층에 많은 퇴적물이 축적되어 있고 담수의 하천유출에 큰 영향을 받고 있는 지역이기 때문이다.

이러한 부유물질의 감소는 금강하구역에서 투명도를 크게 증가시켰고 이에 따라 식물플랑크톤의 증식에 큰 제한인자로 작용하고 있는 빛의 투과량이 증가하면서 1995년 춘계 규조조작가 발생하기 시작하였다.

영양염류중 인산염의 경우 수문조작전에는 0.42~1.39 (평균 0.96) $\mu\text{g-at/l}$ 이었으나, 수문조작후에는 0.00~0.99 (평균 0.34) $\mu\text{g-at/l}$ 로 감소되었고, 총무기질소의 경우 인산염과 마찬가지로 수문조작전에는 30.5~184.86 (평균 96.63) $\mu\text{g-at/l}$ 이었으나 수문조작후는 1.26~105.91 (평균 29.66) $\mu\text{g-at/l}$ 으로 크게 감소되었다.

4. 염분농도에 따른 COD 및 영양염류의 변화

조사해역에서 육상기원 오염물질이 하구를 통해 외해역으로 유출되는 과정에서 외해수에 의해 나타나는 영향을 간접적으로 표현하기 위하여 염분농도에 따른 유기오염물인 COD 및 영양염류와의 상관관계를 Fig. 10에 나타내었다.

유기오염의 지표인 화학적산소요구량 (COD)과 염분과의 관계를 보면, 두 성분간에는 상관관계수가 -0.757인 역의 상관관계 [COD (mg/l) = -0.151 Sal (%) + 6.341] 가 있는 것으로 평가되었고, 육상으로부터 유입된 유기물은 해수에 의해서 점차 희석 또는 분해되어 감을 알 수 있다. 상관식의 절편 6.341은 해수의 혼합이 없는 육상유입수 고유의 COD농도를 의미한다.

염분과 영양염류인 총무기질소 및 인산염과의 상관관계를 보면, 총무기질소의 경우 염분과 거의 직선적인 역의 상관관계를 나타내고 있으며, 상관관계식은 DIN ($\mu\text{g-at/l}$) = -4.104 Sal (%) + 134.115로 나타났다. 상관계수 (r)는 0.874로 두 성분간에 좋은 상관성이 있었고, 이는

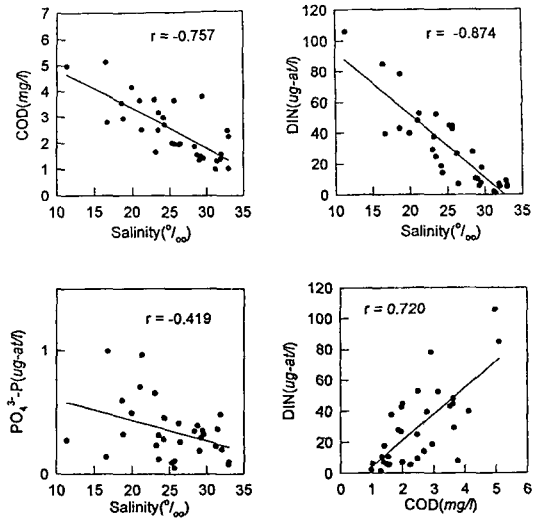


Fig. 10. The relationship between salinity and COD, DIN, PO₄³⁻⁻P.

Yu et al. (1994)가 금강하구에 대해서 밝힌 염분과 DIN과의 상관계수인 연평균 0.858과 비슷한 상관성을 나타내었다. 그러나 인산염과는 -0.419의 역의 상관계수를 가진 낮은 상관성을 가지고 있었다.

유기오염물의 지표인 COD와 영양염류인 DIN과의 상관관계를 보면, 두성분간에는 거의 직선적인 정의 상관관계 [DIN ($\mu\text{g-at/l}$) = 16.973 COD (mg/l) - 12.740, r=0.720]를 가지고 있었다. 이것은 이 두성분 모두 육상에서 기원되는 오염물질의 부하에 의존하고 있음을 알 수 있다.

5. 부영양도 평가

금강하구역의 부영양도 평가를 위해 본 조사에서 측정된 COD와 TIN 및 DIP자료를 이용하여 부영양도지수를 계산하였다 (Table 3).

부영양도지수를 보면 표층수에서 0.0~41.4 (9.7), 저층에서 0.2~49.3 (7.2)으로 계산되었다. 지점별로는 외해역의 지점 7, 8을 제외하고는 전 지점에서 1이상의 지수값을 나타내고 있어 항시 적조가 발생할 수 있는 가능성을 가지고 있었다. 특히 지점 1~3사이에는 높은 영양염 농도와 아울러 유기오염물질도 상당히 존재하고 있어 적조 발생 가능성이 높은 해역으로 평가되었다.

結 論

금강하구의 수문조작 후인 1995년 8월부터 1996년 5월 까지 계절별로 조사된 자료를 이용하여 수질의 계절적

Table 3. Eutrophic state indices for each station in the Keum river estuary

Station	Summer	Autumn	Winter	Spring	Mean	
Surface	1	41.4	35.3	17.4	6.2	25.1
	2	36.6	4.2	5.6	5.2	12.9
	3	31.6	20.1	1.2	1.8	13.7
	4	25.9	5.5	2.0	0.8	8.6
	5	21.1	4.5	5.0	0.8	7.8
	6	23.3	2.3	0.0	3.0	7.2
	7	4.9	1.4	0.3	0.1	1.7
	8	1.1	0.5	0.2	0.2	0.5
Bottom	1	27.5	49.3	12.4	7.3	24.1
	2	16.9	15.1	6.7	1.8	10.1
	3	28.9	6.4	4.0	1.8	10.3
	4	13.0	6.0	3.1	0.9	5.7
	5	5.4	5.4	1.9	0.9	3.4
	6	4.5	2.7	0.3	0.2	1.9
	7	3.4	1.8	0.6	0.2	1.5
	8	0.4	2.5	0.3	0.3	0.9

변동 및 수질변화특성을 평가하였다. 그리고 해역의 부영양화 정도를 평가한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 일반 수질항목중 COD는 표층에서 1.01~5.10 mg/l (평균 2.50 mg/l), 저층에서 0.51~6.68 mg/l (평균 1.88 mg/l)이었으며, 지점별로 하구둑 아래 지점 1에서 수질환경기준 3등급수를, 지점 8은 2등급수로서 외해로 갈수록 COD농도가 감소하는 경향을 보였다. TSS의 경우 5.66~161.74 mg/l (평균 29.86 mg/l)로서 지점 1~3은 3등급이상을 그 이외 지점은 2등급수를 나타내었다.

2. 영양염류 분포특성을 보면, 총무기질소 (DIN)는 표층에서 1.26~105.91 (29.66) $\mu\text{g-at/l}$, 저층에서 1.42~68.38 (19.42) $\mu\text{g-at/l}$ 로서 해역 수질환경기준 3등급을 모두 초과하는 높은 농도를 나타내었다. 반면에 인산염은 표층에서 ND~0.99 (0.34) $\mu\text{g-at/l}$, 저층에서 0.17~1.04 (0.49) $\mu\text{g-at/l}$ 로서 환경기준 2등급 이내의 수질을 보였다. N/P비는 표층에서 평균 146.5, 저층에서 43.38로서 전체적으로 총무기질소의 농도가 매우 풍부한 해역으로, 인산염이 식물플랑크톤 성장의 제한인자로 작용하는 해역임을 알 수 있다.

3. 하구둑 수문조작후 하구해역의 수질변화를 보면, 화학적산소요구량, 영양염류, 부유물질농도가 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 하구해역이 금강상류로부터 오염부하의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다.

4. 염분과 COD 및 영양염류와의 관계를 보면, 염분 변화에 따른 COD와의 상관성은 -0.757, DIN과의 상관성은 -0.874로서 비교적 높은 역상관성을 가지고 있어, COD와 DIN은 금강으로 유입되는 담수에 의존함을 알

수 있다.

5. 금강하구의 부영양도를 평가해보면, 부영양도지수가 표층에서 평균 9.7로서 지점7, 8을 제외하고는 전 지점에서 부영양도 판단기준값인 1을 초과한 지수값을 나타내었다. 특히 지점 1~3은 10이상으로 항시 적조가 발생할 가능성을 가진 해역으로 평가할 수 있다.

참 고 문 헌

- Cho, H.Y., K.H. Ra and S.U. Hong. 1978. A Study on the Relationship of the Physical and Chemical Environmental Factors and Benthos in the Keum River Water. Korean J. Limnol., 11 (1-2), 7~15.
- Choi, B.H. 1993. A study on the variation of water quality in the downstream of Geum River. M.S. Thesis, CheonBuk Nat. Univ. (in Korean)
- Choi Y.C. 1985. Eutrophication modelling for the water quality management in Nakdong Estuary. Ph.D. Thesis, Nat'l Fisheries Uni. of Pusan. (in Korean)
- Chung, J.Y. 1981. Estuary dynamic of the Keum estuary. In a basic study on Oceanographic environmental of the west coast of Korea the Keum estuary and adjacent continental shelf. N.U. RIBS-ED-80-134, 58~71.
- Chung, J.Y., J.H. Lee and H.S. An. 1983. Circulation Dynamics of the Keum River Estuary I. Variability of the Salinity Boundary Layer. J. Oceanogr. Soc. Korea, 18 (2), 142~148. (in Korean)
- Cho, J.W., M.S. Seoh. 1988. Annual Variation Characteristics of Suspended Solid in the Keum River Estuary. J. of Korean Earth Sci. Soc., 9 (2), 142~162. (in Korean)
- Ki, J.H. and K.D. Kim. Studies on Chemical and Biological Processes in the Keum River Estuary, Korea I. The Cycle of Dissolved Inorganic Nitrogen : General Consideration. J. Oceanogr.Soc. Korea, 22 (3), 196~206.
- Ki, J.H. and K.D. Kim. 1987. Studies on Chemical and Biological Processes in the Keum River Estuary, Korea II. Factors Controlling Chlorophyll-a Distribution. J. Oceanogr.Soc. Korea, 22 (3), 207~215.
- Kim J.G. 1994. Eutrophication modelling for Jinhae bay in Summer. Ph.D. Thesis, Nat'l Fisheries Uni. of Pusan. 52~54. (in Korean)
- KORID.1993. A study on the investigation and contermearure of marine pollution in the Yellow sea. Mini. of Environ. · Mini. of Sci & Tech., 115~125. (in Korean)
- KORID.1994. A study on the investigation and contermearure of marine pollution in the Yellow sea. Mini. of Environ. · Mini. of Sci & Tech. (in Korean)
- Lee, M.C. 1990. Study on the variation of the Marine Environments before and after the enclosure of the Dam in Kum River Estuary. M.S. Thesis, Chosen Univ. 7~30. (in Korean)

- Lee, C.T. and T.I. Kim. 1987. Formation and evolution of turbidity maximum in the Keum Estuary, West coast of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 22 (2), 105~118. (in Korean)
- Oh, S.H. and G.H. Lee. 1985. Hydrographic and Physico-chemical Water Quality of Keum River. *Bull. KACN*, 7, 5~16. (in Korean)
- Okaichi, T. 1985. The cause of red-tide in neritic water. *Japan Fisheries res. Convers. Ass.*, 58~75.
- Otsuki, A., T. Kwaai and M. Aizaki. 1982. Dynamics of phosphorus and dissolved inorganic nitrogen in highly eutrophic lake water of Takahamairi Bay, lake Kasumigaura. *Rep. Nat'l. Inst. Environ. Stud.*, 22, 3~21.
- Yang, H.S. and S.S. Kim. 1990. Characteristics of Spatio-temporal Variation of the Water Quality in the Lower Keum River. *J. Korean fish. Soc.*, 23 (3), 225~237. (in Korean)
- Yu, B.C., S.J. You and J.W. Cho. 1994. Environmental Characteristics of the Yellow Water Zones in the Estuary of Keum River. *J. Korean fish. Soc.*, 27 (1), 97~105. (in Korean)
- 日本水産資源保護協會編. 1973. 水産環境水質基準, 11~13.
- 日本海洋學會. 1979. 海洋環境調査法. 恒星社厚生閣, 東京.
- 國立水産振興院. 1989. 海洋汚染 및 赤潮觀測指針.
- 國際環境問題 研究所. 1995. 環境 關係 法規. 同和技術.

1996년 8월 13일 접수

1998년 9월 5일 수리