J. Korean Fish. Soc. 34(4), 348~354 한수지, 34(4), 348~354, 2001

장기관측자료에 의한 금강하구둑 수문조작에 따른 수질 변화 평가

권정노 · 김종구* · 고태승
국립수산진흥원 남해수산연구소, *군산대학교 토목환경공학부

The Estimation of Water Quality Changes in the Keum River Estuary by the Dyke Gate Operation Using Long-Term Data

Jung-No KWON, Jong-Gu KIM* and Tae-Seung KO
South Sea Regional Fisheries Research Institute, NFRDI
**School of Civil & Environmental Engineering, KunSan National University*

This study was conducted to estimation of change characteristics for water quality by the dyke gate operation in the Keum River estuary. The estimation data made use of surveyed data in Keum River estuary by NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute) during 1990~1999. Shown to compare water quality changes at st. A and st. D in Figure 1, the concentrations of TSS, COD and nutrients at st. A were as high as about 2~4 times than those at st. D due to affection of fresh water discharge in the Keum River. The percentages of water quality change at surface water by dyke gate operation in the Keum River estuary were shown that TSS (Total Suspended Solid) was decrease to 56%, 47% at st. A and D, and COD (Chemical Oxygen Demand) was increase to 68%, 71% at st. A and D, respectively. The changes percentage of DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) by dyke gate operation in the Keum River estuary were increase high to 95% at surface water and 7~30% at bottom water, but those of DIP (Dissolved Inorganic Phosphorus) were increase to 2.8~8.6% at surface water and 28% at bottom water. The range of fluctuation for water quality at each station by dyke gate operation has shown that salinity and TSS are little better than before dyke gate operation, but COD show highly fluctuation. Also we studied estimation of characteristics of water quality change by the season. COD was increased except the summer, TSS was decreased to all season. DIN was increased to about 61~172.1% for all season, but DIP was increased to the spring and decreased to the autumn. DIN enrichment in the estuary by dyke gate operation are interpreted to improvement of organic matter decomposition and nitrification by increasing the residence time and to increase nutrient flux in sediments due to decreasing dissolved oxygen and increasing a deposit matter.

Key words: Water quality changes, The Keum River estuary, DIN enrichment, COD, TSS, DIN, DIP

서 론

한반도 서해 중부역에 위치한 금강 수계는 국내 4대 강의 하나로서 발원지인 전라북도 진안에서 군산하구까지 총 유로연장이 약 400 km에 달하며, 집수 면적은 9,880 km^2으로 담수 유출량은 6.4×10^9 ton/year에 이른다.

금강하구는 1988년 농업용수와 공업용수의 안정적 확보를 목적으로 전라북도 옥구군 성산면 성덕리와 충청남도 서천군 마서면 도산리를 연결하는 총 1,841 m 길이의 금강하구둑이 건설되었고, 1994년 8월 하구언 갑문이 반영구적으로 폐쇄됨에 따라 하구해역의 환경변화가 크게 나타났으며, 군장국가공단 조성사업, 군산해상도시건설 등의 대규모 방조제 건설 및 매립사업이 실시되고 있고, 군산 내 · 외항 수로 준설사업 등 환경적 변화요인이 항상 내재된 해역으로 해양환경관리의 중요성이 대두된 해역이다.

금강하구는 담수와 해수가 만나 물질 혼합이 지속적으로 이루어지는 수질의 변화가 큰 해역이다. 이러한 금강하구해역은 1994년 9월 금강하구둑 폐쇄 이전에는 담수 방류량에 비해 조석의 영향이 우세한 완전혼합형 하구에 속하였으나 (Chung and Bhang, 1984), 갑문 폐쇄 후에는 하구해역과 금강 상류가 완전 차단되는 부분혼합형 또는 염분쇄기형으로 물리 특성이 변화하였다 (최 등, 1995).

금강하구의 자연환경 특성을 파악하기 위한 기존의 연구 중에서 하구둑 수문 조작전의 연구를 보면, 정 등 (1983)이 조사한 금강하구의 해수순환역학에서 하구의 염분 변동은 소조기가 대조기보다 심하고 퇴적작용도 소조기에 더 활발하다고 보고하였으며, Lee and Kim (1987)도 금강하구에서 탁도 최고치의 형성 및 그 변화에 대한 연구에서 탁도 최고치의 형성은 담수의 유입과 강한 조류의 상호역학적인 관계로 인한 침식과 퇴적물의 재부상이 주요인이라고 설명하였다. 유 등 (1994)은 바깥 하구역에서 황색수색대의 환경변화특성을 밝혔다. 그 외에도 금강하구에서 영양염 순환이나 유동 및 퇴적학적 문제를 다룬 연구로는 정 등 (1983)의 하구에서 해수 순환역 경계층의 염분 변동에 관한 연구, Oh and Lee (1985)의 하구에서 유속 및 유량의 계절변화 및 하상퇴적물의 특성에 관한 연구, 기 와 김 (1987)의 하구역에서 질소화합물 순환과 클로로필 a의 분포결정에 관한 연구, Cho and Seoh (1988)의 금강하구역에서 부유물질 연변동에 관해 연구, Yang and Kim (1990)의 금강 하류역에서 수질의 시공간적 변화특성에 관한 연구 및 Choi (1993)의 금강 하류의 수질변화에 관한 조사 연구 등이 있다.

그리고 하구둑 수문 조작 후의 연구는 이와 양 (1997)은 금강하구에서 하구둑 수문 조작으로 인한 환경변화에 관한 연구에서 담수 방출량의 우기 집중현상 및 조류의 감소, 부유물질의 감소, 영양염의 증가를 예측하였고, 김 등 (1998)은 1년간의 관측자료를

바탕으로 수문 조작 후 수질특성과 변화를 고찰하였다.

이들 연구는 대부분 단기간의 자료와 간헐적인 조사자료를 바탕으로 평가한 것으로 금강과 같은 해양환경 변화가 심한 하구역의 환경관리를 위해서는 장기적이고 체계적인 조사를 바탕으로한 환경 변수의 정확한 도출 및 상호 영향의 평가를 통한 체계적인 관리가 중요하다고 하겠다.

본 연구에서는 금강하구둑 수문 조작으로 인한 하구역 환경변화를 평가하기 위하여 1990년부터 1999년 동안 하구내 동일지점에서 계절별로 관측된 10년간의 장기 관측 자료를 이용하여 수문조작 전·후의 수질변동 및 계절변동 특성을 조사하고 수질변화 요인을 평가하였다.

연구내용 및 방법

1. 연구해역개관

금강하구에는 대규모 조석사주인 대죽사주가 발달하여 금강의 본류를 북수로 (장항쪽)와 남수로 (군산쪽)로 양분하고 있다. 평균조차는 군산항에서 4.3 m (대조기 5.7 m, 소조기 2.8 m)에 달한다. 기상조건은 전형적인 몬순기후로 동계와 하계 구분이 뚜렷하며, 연간 유출량의 약 60%와 연간 부유물 공급량의 약 80%가 하계인 6월부터 9월 사이에 집중된다 (Schubel et al., 1984).

금강하구 수질에 영향을 미치는 오염원으로는 금강하구둑 아래 위치해 군산시 생활하수의 약 75%를 유출시키는 경포천이 있으며, 충남 서천·장항의 생활하수가 소규모 하천을 통해서 유입되고 있다. 또한 장항과 군산 사이에 해상신도시 예정부지가 일부 조성되어 있고, 명암에서 장항쪽으로 남북도료제 공사가 한창 진행 중에 있어 완공될 경우 금강하구 해역은 길이가 약 21 km에 이르는 하천화된 만을 가진 하구로 변하게 된다.

2. 자료분석

하구 수질환경 평가를 위하여 1990년부터 1999년 (10년간)까지 국립수산진흥원에서 조사된 어장환경조사 (1990~1996)와 해양환경 측정망 조사 (1997~1999) 자료를 이용하였다. 수집된 자료는 계절별 (1990~1996년; 2, 4, 8, 11월, 1997~1999년; 2, 5, 8, 11월), 지점별 일부 차이가 있었다. 자료의 신빙성을 높이기 위하여 조사위치가 일치하는 지점으로 금강 하구둑에서 외해로 5 km (St. A), 10 km (St. B), 15 km (St. C), 20 km (St. D)에 해당되는 자료를 분석하였다 (Fig. 1).

조사된 수질항목은 수온, 용존산소 (DO), pH, 염분, 화학적산소요구량 (COD), 총부유물질 (TSS), 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 총무기질소 (DIN), 인산인 (DIP)이다. 수질분석은 해양오염 및 적조조사지침 (1985)와 해양환경공정시험법 (1998)에 의해 측정되었다.

결과 및 고찰

1. 금강하구해역 수질특성

금강하구역의 수질특성 평가를 위하여 1990년부터 1999년 동안

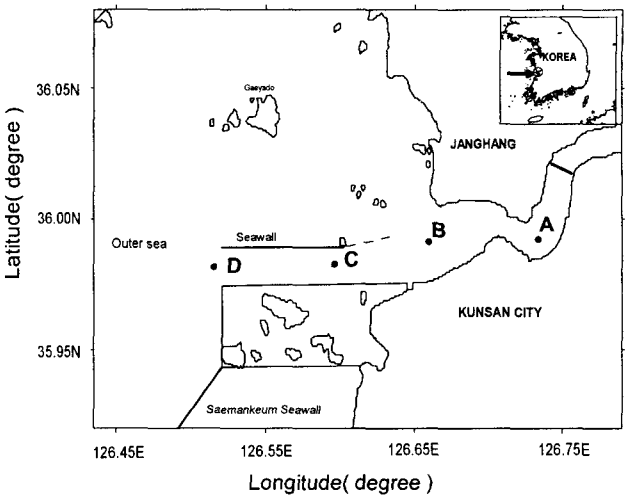

Fig. 1. Location map of survey stations in the Keum River estuary.

하구역 4개 정점에서 계절별로 관측된 자료를 이용하였으며, 표층에 대한 수질인자의 변동범위 및 평균값을 Table 1에 나타내었다.

지점별로 하구둑 아래 5 km 지점 (st. A)부터 외해역 20 km (st. D)으로 갈수록 일정한 경향을 나타내었다. 담수의 영향을 평가할 수 있는 염분은 A지점에서 평균 17.52였으나 D지점에서 27.17로 외해로 갈수록 일정하게 증가를 하였고, pH도 7.86에서 8.07로 일

Table 1. Range and mean values of surface water quality at each station for 1990~1999

Constituent		st. A	st. B	st. C	st. D
Temp. (℃)	Range	1.5~29.5	1.6~29.0	2.0~29.5	2.0~28.9
	Mean	13.90	13.89	13.88	13.72
Salinity	Range	0.05~27.70	0.15~30.04	0.87~32.03	6.95~32.82
	Mean	17.52	22.07	23.75	27.17
pH	Range	6.96~8.67	6.97~8.45	6.94~8.57	7.38~8.52
	Mean	7.86	7.96	7.99	8.07
SS (mg/L)	Range	7.4~321.1	1.0~210.0	6.8~199.2	5.0~140.0
	Mean	86.94	60.20	49.43	46.49
DO (mg/L)	Range	3.74~17.64	4.96~14.49	4.90~13.25	6.04~12.40
	Mean	8.74	8.74	8.87	8.83
COD (mg/L)	Range	0.45~5.85	0.45~3.64	0.35~3.61	0.08~4.11
	Mean	2.09	1.65	1.60	1.49
DIP (μM)	Range	0.08~2.23	ND~1.97	0.05~1.86	ND~1.84
	Mean	0.83	0.67	0.64	0.49
NH_4^+-N (μM)	Range	0.10~62.92	0.54~38.70	0.17~26.57	ND~20.22
	Mean	14.67	9.35	7.56	4.32
NO_2^--N (μM)	Range	0.23~10.76	0.17~7.02	0.04~7.13	0.01~6.51
	Mean	2.70	1.88	1.66	1.00
NO_3^--N (μM)	Range	13.84~88.16	7.73~90.91	3.80~82.79	0.23~84.94
	Mean	43.68	30.60	24.79	15.10
DIN (μM)	Range	22.46~147.52	10.63~107.99	6.23~105.43	2.23~102.13
	Mean	62.21	41.82	34.02	20.45

정한 증가를 나타내어 담수의 영향이 하구둑에서 20 km 떨어진 지점에서 거의 줄어듬을 알 수 있었다.

부유물질 농도는 A지점에서는 86.94 mg/L로 아주 높았으나 D지점에서는 46.49 mg/L로 약 50% 정도 감소하여 대부분의 부유물질이 하구내 축적됨을 알 수 있었다. COD도 A지점에서 2.09 mg/L이었으나 D지점에서 1.49 mg/L를 나타내어 부유물질과 함께 일정한 감소경향을 보였으나 농도 감소율은 크지 않았다. 이는 해역수질환경기준 2급수에 해당되었으며 금강하구해역은 상류 토사유입에 의한 부유물질의 농도는 높은 반면 유기오염물질에 의한 오염은 높지 않은 것으로 나타났다.

해역의 부영양화 정도를 평가할 수 있는 영양염류 농도를 살펴보면, 암모니아질소와 아질산질소 그리고 질산질소의 합인 DIN은 지점 A에서 62.21 μM이었으나 D지점에서 20.45 μM로 감소율이 약 67% 정도로 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 하구에서 무기질소의 변환과정은 물리적인 희석과 생물활동에 의한 변환으로 평가할 수 있는데, 본 해역에서는 희석효과를 염분으로 평가해 보면 약 36% 정도로 나타나, 전체 변화량 중 30% 정도는 생물활동의 영향을 받은 것으로 판단된다. DIP 농도는 A지점에서 0.83 μM이었으나 D지점에서 0.49 μM로 41% 정도 감소하였다. DIP의 변환은 희석, 흡착, 침강 및 생물학적 변환을 포함하고 있으며, 희석을 제외한 변환정도는 약 5%로 나타났다. 이를 해역수질환경기준과 비교해 보면, DIN의 농도는 전 지점에서 3급수 (14.28 μM 이하)를 초과하였고, DIP는 전 지점에서 3급수 (0.48~0.96 μM)에 해당된다. 이는 일본 수질오탁환경기준의 적조발생 해역에서 장기적인 적조발생억제를 위한 DIN 10 μM, DIP 0.64 μM 이하와 수산환경수질기준 (일본수산자원보호협회, 1972)에 해역의 적조발생 하한 조건인 DIN 7.14 μM, DIP 0.48 μM을 초과한 수질을 나타내어 항상 적조발생 가능성을 내포하고 있는 부영양 해역임을 알 수 있다.

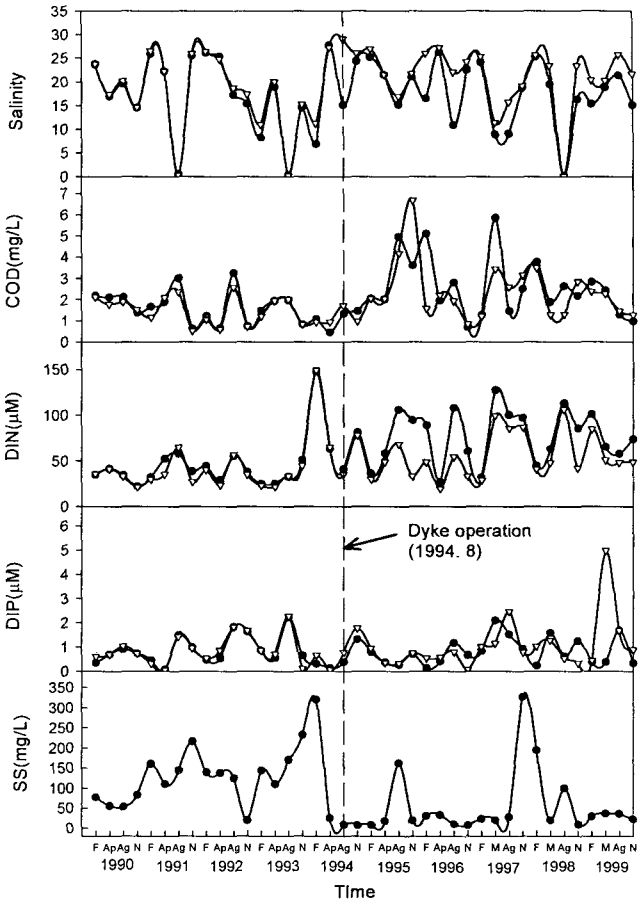

Fig. 2. Variations of water quality at st. A for 1990~1999 (black circle line: surface water, triangle line: bottom water).

2. 하구둑 수문 조작 전 · 후의 수질변동 및 연도별 시계열 변화

금강하구 해역에서의 연도별 수질 변화 특성을 파악하기 위하여 하구 안쪽 A지점과 D지점의 표 · 저층수를 이용하여 시계열 변화 특성을 분석한 결과를 Fig. 2와 3에 나타내었고, 1994년 8월 금강하구둑 수문을 조작 전 · 후의 수질변동 평균값을 Table 2와 3에 나타내었다.

시계열 변화 특성에서 전체적으로 계절별 변화 특성이 뚜렷하게 나타나고 있었으며, 연도별 변화는 COD의 경우 증가하는 경향을 나타내고 있으며, DIN의 경우 그 변화가 뚜렷하게 증가하는 것으로 나타나고 있다. 또한 부유물질은 전체적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 하구둑 수문 조작 시기인 1994년 8월을 기점으로 이전에는 표 · 저층간 수질 변동폭이 적었으나, 조작 이후에는 큰 변동폭을 보여 수질 특성의 변화가 크게 나타남을 알 수 있었다.

하구둑 수문 조작 전 · 후의 수온 변화는 수문 조작 후 A, D지점에서 약 0.5~1.0℃의 상승이 있는 것으로 나타났다. 염분은 A, D지점 표층에서 거의 변화가 없었으나, 저층에서는 A지점에서 2.53, D지점에서 3.3 정도 증가하여 저층을 통한 해수 유입량이 증가하였음을 알 수 있었다.

부유물질은 수문조작 전 · 후에 큰 변화를 보였는데, A지점에서 수문 조작 전 123.58 mg/L이 조작 후 53.91 mg/L를 보여 약 56%의 농도감소를 보였고, D지점에서 조작 전 61.86 mg/L이 조작 후 33.09 mg/L로 감소하여 약 47% 정도의 농도가 감소한 것으로 나타났다. 이는 금강하구 해역이 상류 담수의 영향을 크게 받고 있음을 나타내며, 갑문 폐쇄시 개방시에 비해 유동에너지가 30% 감소하고 저층 퇴적물의 재부유가 감소하여 부유물질 함량이 감소하였다는 최 등 (1995)의 연구와 일치하였다.

COD는 A지점 표층에서 수문 조작 전 1.55 mg/L에서 조작 후 2.59 mg/L로, D지점 표층에서 1.06 mg/L에서 1.87 mg/L로 각각 68%와 77% 증가하였고, 저층수는 A지점에서 61%, D지점에서 30% 정도 증가하였다. 이는 수문 조작 전에는 조석작용 및 다량의 담수유입에 의한 외해 확산이 활발하였으나, 조작 후에는 담수차단에 의한 외해 확산의 감소와 아울러 영양염류를 이용한 조류의 내부생산 증가, 도류제 공사로 인한 해수 교환율의 감소 등 복합적인 작용에 의한 영향으로 판단된다.

부영양화 지표인 영양염류 농도변화를 보면, DIN은 A지점 표층에서 수문 조작 전에 45.30 μM에서 조작 후에 88.43 μM로, D지점 표층에서 13.72 μM에서 26.61 μM로 각각 약 95%, 94% 정도 높은 증가율을 보였으나, 저층에서는 7~30% 정도의 낮은 증가율

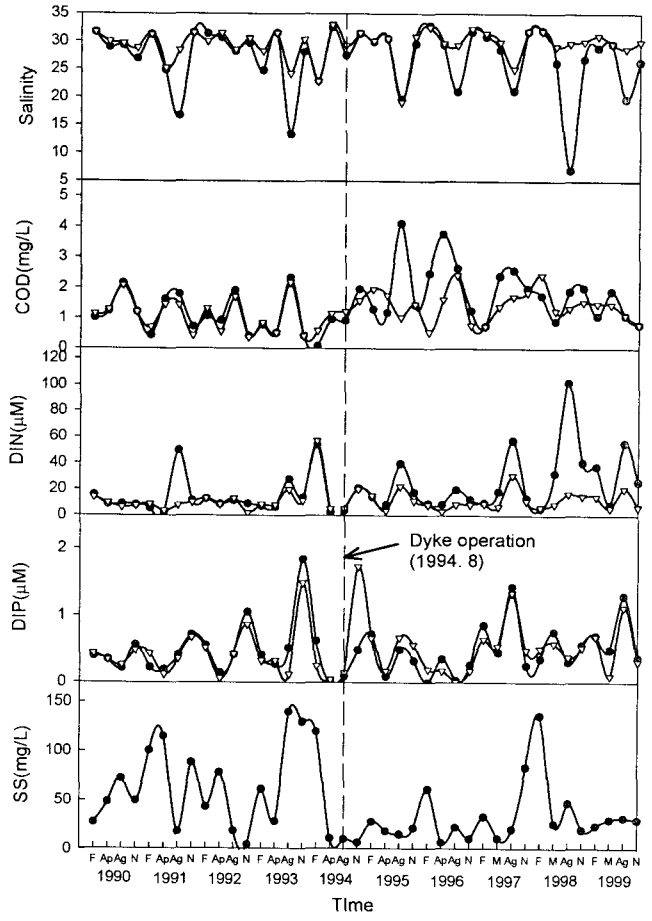

Fig. 3. Variations of water quality at st. D for 1990~1999 (black circle line: surface water, triangle line: bottom water).

Table 2. Variations of water quality before and after the dyke gate operation at st. A and st. D (surface water)

Constituent	unit	st. A		st. D	
		before	after	before	after
Temp.	℃	13.60	14.24	13.32	14.19
Salinity		17.11	17.57	27.54	26.64
pH		7.81	7.91	8.08	8.05
SS	mg/L	123.58	53.91	61.68	33.09
DO	mg/L	8.57	8.89	8.92	8.76
COD	mg/L	1.55	2.59	1.06	1.87
DIP	μM	0.82	0.84	0.50	0.54
NH_4^+-N	μM	8.85	31.28	2.54	6.28
NO_2^--N	μM	2.44	3.06	0.96	1.05
NO_3^--N	μM	34.00	52.16	10.22	19.45
DIN	μM	45.30	88.43	13.72	26.61

을 보였다. DIP는 A, D지점 표층에서 각각 2.8%와 8.6%의 낮은 증가를 나타내었고, 저층에서는 28%~30%의 비교적 높은 증가율을 보였다.

DIN의 축적 중에서도 암모니아질소와 질산질소 농도의 증가가

Table 3. Variations of water quality before and after the dyke gate operation at st. A and st. D (bottom water)

Constituent	unit	st. A		st. D	
		before	after	before	after
Temp.	℃	13.54	13.98	13.03	14.01
Salinity		18.53	21.06	29.34	32.64
pH		7.86	7.84	8.08	8.11
DO	mg/L	12.95	8.57	8.72	8.56
COD	mg/L	1.45	2.33	1.06	1.44
DIP	μM	0.86	1.10	0.42	0.55
NH_4^+-N	μM	9.91	15.70	2.57	2.90
NO_2^--N	μM	1.90	2.74	0.67	0.75
NO_3^--N	μM	30.86	38.77	7.88	8.26
DIN	μM	42.67	56.59	11.13	11.91

두드러지게 나타났으며, 이러한 결과는 이와 양 (1997)이 제시한 하구둑 수문 조작에 따라 하구해역내 무기질소의 농도가 축적되었다는 보고와 일치하고 있다. DIP의 경우 저층에서 높게 나타난 것은 수문 차단 후 퇴적물의 용출에 영향을 더욱 많이 받고 있음을 알 수 있었다.

수문 조작에 따른 DIN과 염분 및 암모니아질소, 질산질소와의 상관관계를 Fig. 4에 나타내었다.

DIN과 염분과의 상관계수는 수문조작전에 r^2=0.40 이었으나, 수문조작후 r^2=0.78로 상관성이 높아져 담수유입에 따른 하구내 영양염 분포특성에 미치는 기여도가 높아진 것을 알 수 있었다. DIN과 암모니아질소 및 질산질소와의 상관관계는 수문 조작 전보다 수문 조작 후에 높아졌으며, 특히 질산질소의 경우 암모니아질소에 비하여 높은 상관성을 나타내었다.

DIN 중 각 성분 (암모니아질소, 질산질소, 아질산질소)이 차지하는 비율의 연변동 특성을 Fig. 5에 나타내었다.

전체적으로 질산질소의 비율이 가장 높았으며, 암모니아질소, 아질산질소의 비율 순이다. 그러나 하구둑 수문 조작 후의 두드러진 변동 특성은 질산질소 및 아질산질소의 비율이 감소한 반면, 암모니아질소의 비율이 증가하는 경향을 나타내었다.

하구둑 수문 조작 전·후의 총무기질소에 대한 각 질소성분의 비율 변동을 보면 A지점의 경우 암모니아질소가 조작 전 19.54%에서 조작 후 35.37%로 증가, 질산질소는 75.06%에서 58.93%로 감소, 아질산질소는 5.39%에서 3.46%로 감소한 것으로 나타났고, D지점의 경우 암모니아질소는 18.51%에서 23.6%로 증가, 아질산질소는 7.00%에서 3.95%로 감소하였으나 질산질소는 74.49%에서 73.09%로 감소폭이 적은 것으로 나타났다. 이와 같은 금강하구둑 수문 조작 전·후의 DIN 변동을 보면 전체농도가 증가하였고 구성성분 중 암모니아질소의 비율이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

이상의 결과에서 하구 수문 조작 후의 DIN의 증가는 담수에 의해 유입된 DIN이 하구내 조석에너지의 감소와 체류시간의 증가로 외해로의 확산율이 낮아졌기 때문에 DIN의 축적이 하구내 이루어지고 있다고 보여지며, 이중 암모니아질소 비율의 증가는 하구내에서 nitrification (ammonia-nitrite 산화, ammonia-nitrate 산화)율이 수문 조작 전에 비해 조작 후에 감소되었기 때문이라 보여진다.

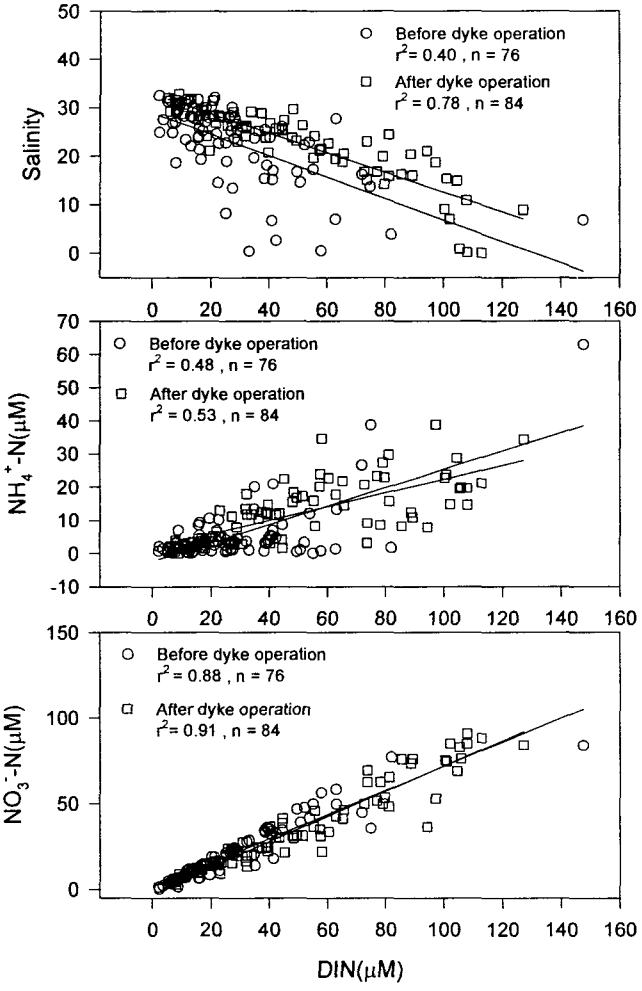

Fig. 4. Correlationship between DIN and salinity, NH_4^+-N, NO_3^--N before and after the dyke gate operation.

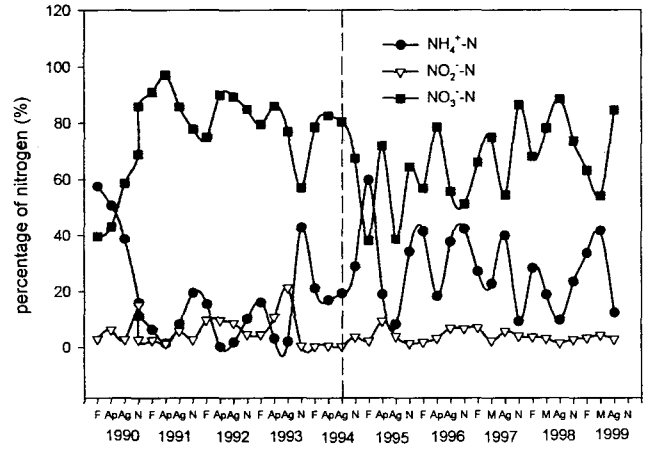

Fig. 5. Variations of nitrogen percentage at st. A for 1990~1999.

3. 계절별 수질 변동특성

금강하구해역의 계절적 수질변동 특성을 설명하기 위하여 1990년부터 1999년 동안 A, D지점 표층수의 수문 조작 전 · 후의 계절 평균농도를 Table 4와 5에 나타내었고, A, D 지점에서의 수문 조작에 따른 수질의 변동비율을 Fig. 6에 나타내었다.

수문 조작에 따른 수질변화 특성을 보면, 염분은 춘계와 하계에 농도가 감소하였으며, 추계와 동계에 증가하는 경향을 보였는데, 이는 강우특성상 갈수기인 추계와 동계에 방류량이 감소하여 상대적으로 고염분의 외해수의 영향을 받아 높아지는 경향을 보인

Table 4. Seasonal variations of water quality before and after the dyke gate operation for surface water at st. A during 1990~1999

Constituents		Spring	Summer	Autumn	Winter
Temperature (℃)	Before	10.73	27.09	13.56	3.03
	After	15.01	26.40	12.81	2.75
Salinity	Before	22.24	10.58	17.48	18.15
	After	18.97	10.34	19.69	21.29
pH	Before	7.95	7.62	7.84	7.83
	After	8.17	7.52	7.85	8.10
SS (mg/L)	Before	87.93	100.35	137.88	168.16
	After	25.62	67.21	65.63	57.16
DO (mg/L)	Before	9.33	6.18	8.41	10.39
	After	9.34	5.34	8.63	12.24
COD (mg/L)	Before	1.41	2.35	0.90	1.53
	After	2.83	2.63	1.90	3.00
DIP (μM)	Before	0.40	1.38	1.01	0.49
	After	0.97	1.05	0.87	0.48
DIN (μM)	Before	42.28	44.43	37.59	56.90
	After	68.12	96.96	82.10	106.54

Table 5. Seasonal variations of water quality before and after the dyke gate operation for surface water at st. D during 1990~1999

Constituents		Spring	Summer	Autumn	Winter
Temperature (℃)	Before	9.22	26.07	14.75	3.25
	After	14.02	26.29	13.25	3.21
Salinity	Before	29.70	23.02	29.07	28.38
	After	28.85	17.22	29.61	30.90
pH	Before	8.23	7.94	8.13	8.04
	After	8.22	7.83	8.11	8.06
SS (mg/L)	Before	56.50	51.96	68.32	70.68
	After	18.88	27.75	28.96	56.74
DO (mg/L)	Before	10.38	6.88	8.22	10.21
	After	9.47	6.69	7.89	10.99
COD (mg/L)	Before	1.05	1.82	0.69	0.67
	After	2.02	2.46	1.56	1.46
DIP (μM)	Before	0.19	0.32	1.04	0.44
	After	0.42	0.71	0.37	0.66
DIN (μM)	Before	5.51	20.14	10.38	18.87
	After	14.94	54.81	21.67	15.01

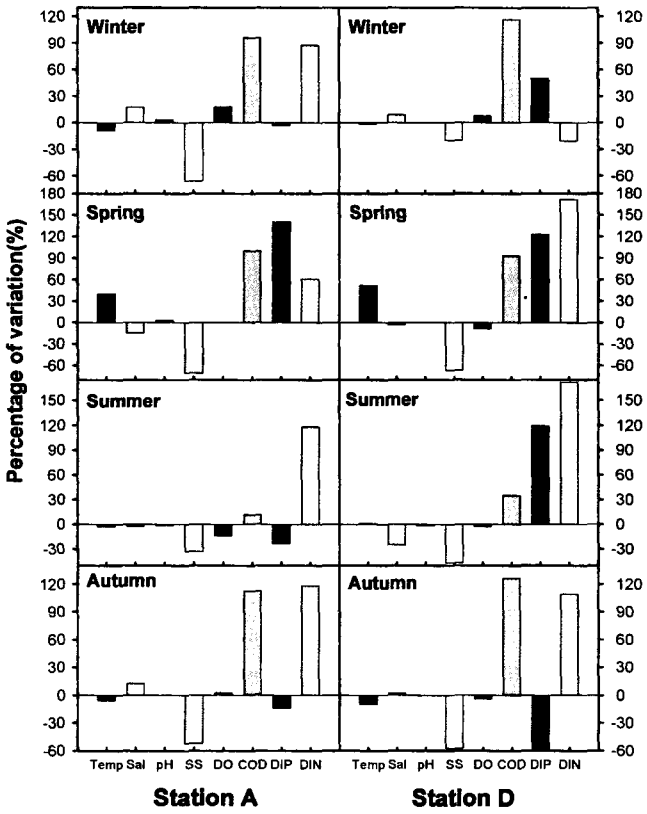

Fig. 6. The percentage of variations for water quality before and after the dyke gate operation by the season at st. A, D.

것으로 판단된다.

부유물질의 경우 전 계절에 걸쳐 전체적으로 감소하였으며, 특히 춘계에 A와 D지점에서 각각 71%, 67%로 최고의 농도 감소를 나타내었다. 특히 A지점 수문조작 전에는 동계에 계절별로 가장 높았으나 조작 후에는 하계에 가장 높게 나타났다. 이는 동계 부유물질 최고치의 주요 요인인 조석에너지와 연직혼합에 따른 저층 재부유가 수문 조작 후 현저히 감소하였기 때문이라고 생각되어진다.

COD는 전 계절에 걸쳐 증가하는 경향을 보였는데, 하계에 농도변화가 가장 낮았으며, 그 외 계절에는 93~126%의 높은 농도 증가를 나타내었다.

DIN의 농도는 A지점에서 전체적으로 증가하였는데 특히 하계와 추계에 118%의 증가를 보였다. D지점에서는 동계를 제외하고 108~172%의 높은 증가하는 경향을 나타내었다. DIP는 춘계에 123.3~140.5%의 높은 증가율을 보인 반면 추계에는 13.9~64.3%로 감소하는 경향을 나타내었다.

결 론

금강하구에서 하구둑 수문 조작 후의 수질 변동 특성을 평가하기 위하여 지점별, 계절별로 관측된 10년간의 자료를 이용하여 수질변동 및 계절변동 특성을 조사하고, 수질인자간의 관계를 통한 수질변화요인을 평가하였다. 관측자료는 국립수산진흥원에서 군산하구를 대상으로 조사한 1990년부터 1999년까지의 관측자료를 이용하였다.

금강하구둑에서 5 km 지점 (st. A)과 20 km 지점 (st. D)에서의 TSS, COD 및 영양염류의 농도차를 보면 A지점에서 약 2~4배 정도 높은 값을 보여 금강하구는 금강으로부터 담수유입 영향이 큰 것으로 나타났다.

1994년 8월 금강하구둑 수문 조작에 따른 표층수의 뚜렷한 수질변화로 부유물질 (TSS)은 전체적으로 감소하였고, 화학적산소요구량 (COD)과 영양염류 (DIN, DIP)는 증가하는 경향을 나타내었다. TSS의 농도는 A, D지점에서 각각 56%, 47%의 감소하였고, COD는 A, D지점에서 각각 68%, 71% 증가하였다.

영양염류 변화를 보면, DIN은 표층에서 약 95%의 높은 농도 증가를 보였으나 저층에서 7~30%의 변화를 보인 반면, DIP는 표층에서 2.8~8.6%, 저층에서 28%의 낮은 농도 증가율을 보여주었다.

지점 A 계절별 수질변동 특성은 부유물질은 동계와 춘계에 농도가 크게 감소하였고, COD는 하계를 제외한 전 계절에 큰 농도 증가를 나타내었다. DIN은 하계와 추계에 크게 증가하였고, DIP는 계절별 변화가 심하였는데 춘계에 농도 증가 추계에 감소하는 것으로 나타났다.

수문 조작 후의 하구내에서 질소의 축적현상은 담수차단으로 하구둑내의 체류시간의 증가로 인한 유기물 분해와 유입 하천수내 DIN 농도의 증가 및 담수 유입 차단에 의한 오염물질의 외해 확산이 감소에 기인하는 것으로 보여지나 앞으로 이에 대한 세밀한 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 국립수산진흥원의 고유과제인 국가해양측정망운영 중 서해해양환경측정망조사의 일부로 수행되었음을 밝히며 조사에 참여하신 모든 분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

Chung, J.Y. and I.K. Bhang. 1984. Circulation dynamics of the Keum river estuary-Fluid dynamic characteristics. J. Oceano. Soc. Korea, 19, 141~152.

Cho, J.W. and M.S. Seoh. 1988. Annual variation characteristics of suspended solid in the Keum River estuary. J. Korean Earth Sci. Soc., 9, 142~162 (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, 105~118 (in Korean).

Oh, S.H. and G.H. Lee. 1985. Hydrographic and physicochemical water quality of Keum River. Bull. KACN. 7, 5~16 (in Korean).

Shubel, J.R., H.T. Shen and M.J. Park. 1984. A comparison of some characteristic sedimentation processes of estuaries entering Yellow Sea. In *Proceeding of Korea-U.S. Seminar and Workshop on Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea,*

Y.A. Park, O.H. Pilkey and S.W. Kim eds., pp. 286~308.
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, 225~237 (in Korean).
日本水產資源保護協會編. 1973. 水產環境水質基準, 11~13.
기준학, 김경렬. 1987. 금강 하구에서의 화학적, 생물학적 제과정에 관한 연구 II. Chlorophyll-*a* 분포 결정 요인에 관하여. 한국해양학회지, 22, 207~215.
김경렬, 기준학. 1987. 금강 하구에서의 화학적, 생물학적 제과정에 관한 연구 I. 질소계 화합물의 순환: 전반적 고찰. 한국해양학회지, 22, 196~206.
김종구, 권정노, 유선재. 1998, 금강하구둑 수문폐쇄 후의 수질변화. 한국수산학회지, 31, 685~694.
이용혁, 양재삼. 1997. 금강하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분 변화에 대한 500일간의 연속관측. 「The Sea」 J. of the Korean Society of Oceano., 2, 1~7.
유병철, 유선재, 조주환. 1994. 금강 하구에 나타나는 황색 수색대의 환경특성. 한국수산학회지, 27, 97~105.
정종률, 이재학, 안희수. 1983, 금강하구의 해수순한 역학 I. 염분경계층의 변화성. 한국해양학회지, 18, 142~148.
최진용, 최현용, 서만석. 1995. 하구언 갑문폐쇄후 금강하구의 물리, 퇴적학적 특성변화. 한국해양학회지, 30, 262~270.
해양수산부. 1998. 해양환경공정시험법.
국립수산진흥원. 1985. 해양오염 및 적조조사 지침.

2001년 4월 2일 접수
2001년 6월 18일 수리