Bull. Korean Fish. Soc. 23(3), 225~237, 1990

韓水誌, 23(3), 225~237, 1990

錦江 下流域에서 水質의 時空間的 變化特性

梁漢燮・金聲秀
釜山水産大學校 海洋學科

Characteristics of Spatio-temporal Variation of the Water Quality in the Lower Keum River

Han-Soeb YANG and Seong-Soo KIM

Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737 Korea.

Various chemical constituents were measured from April to August 1988 at the downward 20 stations of Keum River, which is located in the Midwest of Korea, to understand the characteristics of water quality with respect to spatio-temporal variations of each constituent. The 24-hrs continuous measurements with 2-hrs interval were made simultaneously at station 2 near the estuary weir and station 9(Ganggyeong) of 35 *km* upstream from the weir in April.

By the results observed for one day in April at station 2, salinity has a range of 7.88~22.14‰ and its temporal variability is identical to the pattern of tidal cycle in the neighbouring Kunsan Harbor. However, turbidity shows relatively high values only at an interval of 4~5 hours after the lowest salinity time, though hourly fluctuation of pH is very small. Silicate and dissolved inorganic nitrogen have inversively linear correlationships with salinity, implying the concentration of the two nutrients strongly regulated by estuarine mixing of sea and river waters. In contrast, phosphate sustains roughly a constant level over a wide salinity range and distinctly lower values than those corresponding to nitrate in the oceans. Such distributions of phosphate have been observed in some estuaries, and interpreted as driven by removal of dissolved phosphate into bottom sediments and the buffering of phosphate by particulate matter. COD values at station 2 are relatively high in daytime(particularly afternoon) and in high-salinity periods.

At station 9, saltwater intrusion was never found but water level changed to the extent of 2.5 *m* for one day. Although each parameter at this station exhibits very slight variations in their abundance for 24 hours compared with station 2, the contents of COD, silicate and ammonia are significantly higher than at station 2.

Concentration of suspended matter is relatively high in the brackish water region up to ~20 *km* above the river mouth, probably due to strong tidal stirring of the bottom deposits. Also, relatively high pH, COD and O_2 saturation at the upward stations of 40~50 *km* from the weir are presumably attributable to active photosynthesis of plants in the region. In general, COD and nutrients except phosphate are higher values at the upper stations than in the estuary zone, and show the highest abundances in July nearly at all stations.

Finally, in the estuarine region tidal mixing of sea-river waters seems to be an important factor controlling the distributions of turbidity, COD, silicate and nitrate as well as salinity. However, water quality in the upward fresh-water zone is remarkably variable according to months or seasons.

서 론

금강은 우리나라 중서부에 위치하고 있으며 전라북도와 충청남도 사이를 통과하여 군산항으로 유출되는 유로연장 412 *km*의 큰 하천이다. 또한 그 유역면적이 9,886 km^2에 이르고, 유역내의 경지면적도 약 257×10^3정보나 된다. 그리고 연간 하천배수량은 약 64억톤에 달하며 중부 지방의 농·공업용수와 주변도시의 상수원으로서 중요한 하천이다. 그런데 금강하구인 군산항에서의 평균조차는 대조시 약 5.7 *m*로 갈수기에는 하구로부터 약 60 *km*의 상류지역까지도 해수의 유입이 있는 전형적인 감조하천이다(산업기지개발공사, 1979). 그러므로 조석주기에 따른 금강하구역으로의 해수침입을 막고 보다 많은 수자원을 개발하기 위해 군산에서 장항에 이르는 총길이 1,841 *m*의 하구둑이 1989년 10월에 완공되어 하구역 약 20 *km*정도의 감조수역이 담수역으로 바뀌게 되었다. 그러나 중·하류지역에 형성된 대전, 대덕, 공주, 논산, 강경 등 중소도시로의 인구집중과 공장건설로 폐수 배출량이 증가하고, 또한 하구둑 건설로 인해 하천 유속이 저하되고 하상구조도 변화할 것으로 예상된다. 따라서 하천의 자정능력은 현저하게 감소되어 금강하류역의 수질오탁이 우려된다.

일반적으로 하구역에서는 조석작용에 의해 해수와 담수가 계속적으로 혼합되므로 용존 화학성분들은 생물·화학적인 요인 뿐만 아니라 담수와 해수의 물리적 혼합과정에 의해서도 농도가 크게 변화한다. 즉 감조하천은 조석작용으로 표층퇴적물이 재부유되어 최대혼탁수를 형성하거나(Festa and Hansen, 1978; Ito and Sugimoto, 1985), 용존영양염류는 입자상 물질과의 반응성에 따라 성분마다 서로 다른 거동을 하는 것으로 알려져 있다(Edmond et al., 1981; 1985; Saino, 1985; Tanaka and Hamada, 1987; Fox, 1990).

최근 금강하류역의 일반적인 수질변화특성에 대해서는 다수의 보고가 있다. 이를테면 Chung et al (1983)은 금강하류역에서 조석과 조류 그리고 염분 경계층의 변화특성에 관해 보고했고, Oh and Lee(1985)는 유속 및 유량의 계절변화, 하상퇴적물의 특성에 관해 연구하였다. Lee and Kim(1987)도 금강 하류역의 최대혼탁수는 조석작용에 의해 형성되며 그 변화는 조석의 세기에 따라 달라진다고 했다. 또한 Kim and Ki(1987)는 하구역에서 무기태 질소화합물의 순환에 대해 전반적으로 고찰했으며, Ki and Kim(1987)는 클로로필 a의 분포결정요인에 대해 보고한 바 있다. 그러나 이들 연구는 하구둑 공사 이전이거나 공사 초기에 수행된 연구로서 영양염류 및 유기물의 농도변화 요인과 그 과정에 대해서는 거의 밝혀져 있지 않다.

따라서 본 연구는 군산내항에서 공주에 이르는 금강 본류역에 있어서 pH, 염분, 용존산소, 화학적 산소요구량, 부유물질 및 영양염류등을 측정하여 금강 하류수역의 수질 변화 특성과 그 농도변화 요인에 대해 연구하였다.

재료 및 방법

1988년 5월부터 4개월 동안 매월 1회씩 군산내항에서 충청남도 공주군 반포면 마암리까지 약 95 *km*에 이르는 금강본류역의 20개 지점(Fig. 1)에서 수면하 50 *cm*의 표층수를 채수하였다. 그리고 금강하구둑을 기점으로 300 *m* 상류인 지점 2와 35 *km* 상류의 강경대교(지점 9)에서는 4월 22일 오후 6시 혹은 7시부터 25시간동안 1~2시간 간격으로 현장

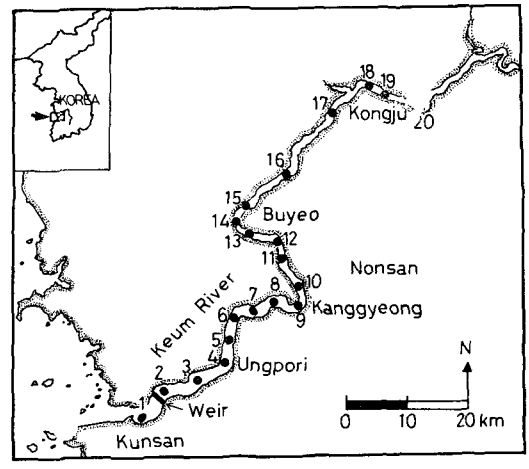

Fig. 1. Map of the sampling locations in Keum River.

관측과 표·저층 시료를 채취하였다. 표층수는 수면하 50 *cm* 수층에서 그리고 저층수는 하상 약 1 *m* 상부수층에서 채수하였다. 그외 주요 채수지점의 보다 상세한 위치는 지점 1이 군산내항 관용선 박부두이고, 지점 4는 전라북도 익산군 웅포면 웅포리로서 하구둑으로부터 상류 15 *km* 지점이다. 지점 14는 약 55 *km* 떨어진 규암면 규암리 나루터이고, 지점 15는 부여읍 낙화암 나루터이다. 지점 18은 하구둑을 기점으로 약 85 *km* 상류인 공주시 금강철교이고, 지점 20은 공주군 반포면 마암리 지점이다. 지점 2에서 지점 12까지는 선박을 이용하여 상류로부터 내려오면서 가능한 하천폭의 중앙부에서 채수하고, 그외 지점에서는 상류지점으로부터 차량으로 이동하면서 하천변에서 채수했다.

영양염류 및 화학적산소요구량(COD) 측정용 시수에는 채수 후 즉시 $CuSO_4$용액 소량을 첨가하고, Dry ice 상자에 넣어 실험실로 옮긴 다음 72시간 이내에 화학분석을 행했다. COD는 알칼리성 $KMnO_4$법(일본해양학회, 1984)으로 적정하여 정량하고, 암모니아성 질소는 Indophenol blue법(FAO, 1975), 질산성 질소는 환원제로서 Zn분말을 이용한 비색법(일본분석화학회북해도지부, 1981), 인산염은 Ascorbic acid법(Strikland and Parsons, 1968), 규산염은 규산-몰리브덴산 착체법(JIS, 1980)으로 비색정량했다. 이들 성분의 측정에는 여과하지 않은 시수를 사용하였고, 시수중에는 염분농도가 약 24‰이나 되는 물도 있어서 비교적 용존염류의 영향을 적게 받는 화학분석방법을 채택하였다.

용존산소(DO)는 채수 후 즉시 고정하고 육상으로 옮긴 다음 Winkler변법(일본분석화학회북해도지부, 1981)으로 측정하고, 탁도(Turbidity)는 현장에서 Kaolin 표준용액과 비교하여 정량했다. 부유물질(Suspended Matter: SM)은 공경 1.0 μm의 유리섬유여과지로 시수 *l*를 여과하여 여과지의 중량차로 농도를 측정하고, 염분(Salinity)은 전기전도형 Salinometer로 0.01‰까지 측정했다. 수온은 현장에서 봉상수은온도계로 0.1℃ 까지 측정하고, pH는 채수 후 24시간 이내에 pH meter로 측정했다.

결과 및 고찰

1. 금강 하구둑 상류 300 *m* 지점에서 수질의 시간변화 특성

1988년 4월 22일 오후 6시부터 25시간 동안 금강하구둑 상류 300 *m*인 지점 2에서 측정한 각 성분의 농도범위와 평균값은 Table 1에 수록하였고, 시간별 농도변화는 Fig. 2-1와 Fig. 2-2에 나타내었다. 표층수 중 염분의 시간변화(Fig. 2-1)를 보면 4월 22일 21시 측정값이 동일 측정값 중 가장 높고 이후 점차 감소하여 6시간 후 최저조시간인 4월 23일 03시에 7.88‰으로 가장 낮은 염분값을 보인다. 이어서 염분농도가 점차 증가하여 09시(최고조시간: 08시 23분)에 21.20‰으로 최대값을 나타내고 저조시간인 16시까지 서서히 감소하다가 다시 증가한다. 즉 염분농도의 시간변동은 군산항에 있어서 조석주기에 따른 해수면 변동과 꼭 같은 형태이고, 염분농도의 최대 혹은 최소를 나타내는 시간과 조고시간과의 차는 1시간 이내로 1시간 간격의 염분측정값을 고려한다면 이 두 시점은 거의 일치한다. 이러한 결과는 하구둑 준공 이전의 조사 보고(Chung et al., 1983)와도 잘 일치한다. 이 지점에서 염분의 변동범위는 표층에서 7.88~21.20‰ 으로 최고 13.32‰의 차를 나타내고 있으며 표층수와 저층수간의 염분차는 대개 1.50‰ 이하로 표층수가 약간 낮다. 물론 감조하구역에서 염분농도는 조석주기 뿐만 아니라 하천수의 유량, 하상의 기울기 등에 의해 달라지나 이 지점에서의 염분은 주로 조석에 따라 농도변화를 보이고 저층이 표층보다 해수의 영향을 약간 더 받는 것으로 판단된다.

탁도(Turbidity)의 1일 변동범위는 50~100도이고, 표·저층간의 차가 10도 이하로 표층이 대체적으로 낮은 편이다. 염분 최소값을 나타내는 4월 23일 03시를 전후하여 약 5시간 동안 탁도가 70~100도로 비교적 높은 값이고 탁도의 최대값은 최소염분의 시간대에 나타나지만 그 이외의 측정값은 50~60도로 거의 시간변화가 없다. 이와같이 낮은 염분을 나타내는 시간에만 고탁도인 것은 담수역 지점들에서 보다 비교적 낮은 염분농도를 보이는 하구수역 지점들에서 훨씬 높은 현탁물질의 농도를 나타내는 것으로 보아(Fig. 5-1), 해수의 유입으로 담수중 현탁물질의 농도가 희석되어 낮아졌다기 보다는 해수와 담수의 조석교반에 의한 저층퇴적물의 재부유 때문이라고 생각된다. Lee and Kim (1987)도 금강하구에서 표층퇴적물의 재부유에 의한 최대혼탁수는 염분침입의 선단부에서 형성되며, 그 중심은 조류에 따라 상·하류로 이동한다고 보고했다.

표층수 중 pH의 범위는 6.95~7.80으로 염분의 경우 보다 시간에 따른 변화폭이 좁으며 표·저층수간 pH의 차이도 0.25이하로 매우 작다. 그러나 pH값은 시간별로 약간의 변화를 보이는데 대체적으로 염분이 높을수록 pH값도 높아지는 경향이다. 보통 해수의 pH가 8 전후이고 일반하천수의 pH가

Table 1. Ranges and mean values of each chemical constituents measured at an interval of one or two hours for one day on April 1988 at the stations in the lower Keum River.

Station	Layer	Salinity (‰)	Turbidity	pH	Nutrients(μg-at/l)						COD (mg/l)	DO (mg/l)
					SiO_2-Si	DIN	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_2^--N	PO_4^{3-}-P		
2	S	7.88~21.20	50~100	6.95~7.80	7.20~27.68	26.29~53.18	22.02~48.61	ND~ 2.65	0.89~4.10	0.78~1.71	2.12~11.60	8.53~ 9.42
		(17.14± 3.31)	(63.9± 12.43)	(7.42± 0.18)	(15.83± 6.05)	(39.10± 9.59)	(34.08± 8.63)	(0.49± 0.80)	(3.83± 0.74)	(1.10± 0.27)	(7.00± 2.92)	(8.92± 0.31)
	B	9.17~22.14	50~100	7.10~7.96	6.86~25.80	24.11~50.44	19.41~42.85	ND~ 5.06	0.33~3.44	0.72~1.66	2.92~13.48	8.40~ 9.51
		(17.50± 3.43)	(66.2± 12.11)	(7.47± 0.19)	(15.45± 5.74)	(37.33± 8.90)	(33,23± 8.29)	(0.92± 1.48)	(2.66± 0.76)	(1.16± 0.31)	(7.58± 7.92)	(9.04± 0.33)
9	S	ND	-	6.55~7.00	55.64~73.71	61.90~89.20	29.95~50.80	24.09~43.78	1.93~5.11	0.36~1.24	8.48~14.48	9.67~12.18
				(6.71± 0.13)	(62.82± 6.03)	(75.50± 9.04)	(39.66± 7.00)	(34.16± 6.20)	(4.18± 0.73)	(0.72± 0.25)	(11.23± 1.79)	(10.78± 0.86)
	B	ND	-	6.55~6.90	53.07~73.17	64.70~94.90	25.72~49.02	24.21~47.46	3.65~4.81	0.36~1.40	8.44~14.88	9.54~12.28
				(6.68± 0.10)	(64.53± 5.60)	(79.20± 9.48)	(38.55± 7.31)	(36.75± 7.64)	(4.33± 0.31)	(0.76± 0.26)	(11.07± 1.75)	(10.86± 0.72)

Values in paranthesis are mean and standard deviation.

ND=not detected, S=Surface, B=Bottom

7 부근인 것을 고려하면 이 지점에서 다소 높은 pH값은 해수의 유입에 의한 영향이라고 판단된다.

영양염류중 규산염의 시간별 농도변화(Fig. 2-1)를 보면 표층수에서 7.20~27.68 *μg-at/l* 범위로 최소값과 최대값은 약 4배의 차가 있으나 수층간 농도차는 대개 약 3 *μg-at/l* 이하로 표층수중의 농도가 약간 높다. 규산염의 시간별 농도변화 모양은 영양염류 중 가장 뚜렷하고 염분과는 대칭적인 분포이다.

용존무기태질소(Dissolved Inorganic Nitrogen: DIN) 중 아질산염이 차지하는 비율은 대개 7% 이하이고, 표·저층수의 아질산염 농도범위는 0.33~4.10 *μg-at/l*이다. 암모니아는 4월 22일 20시에서 4

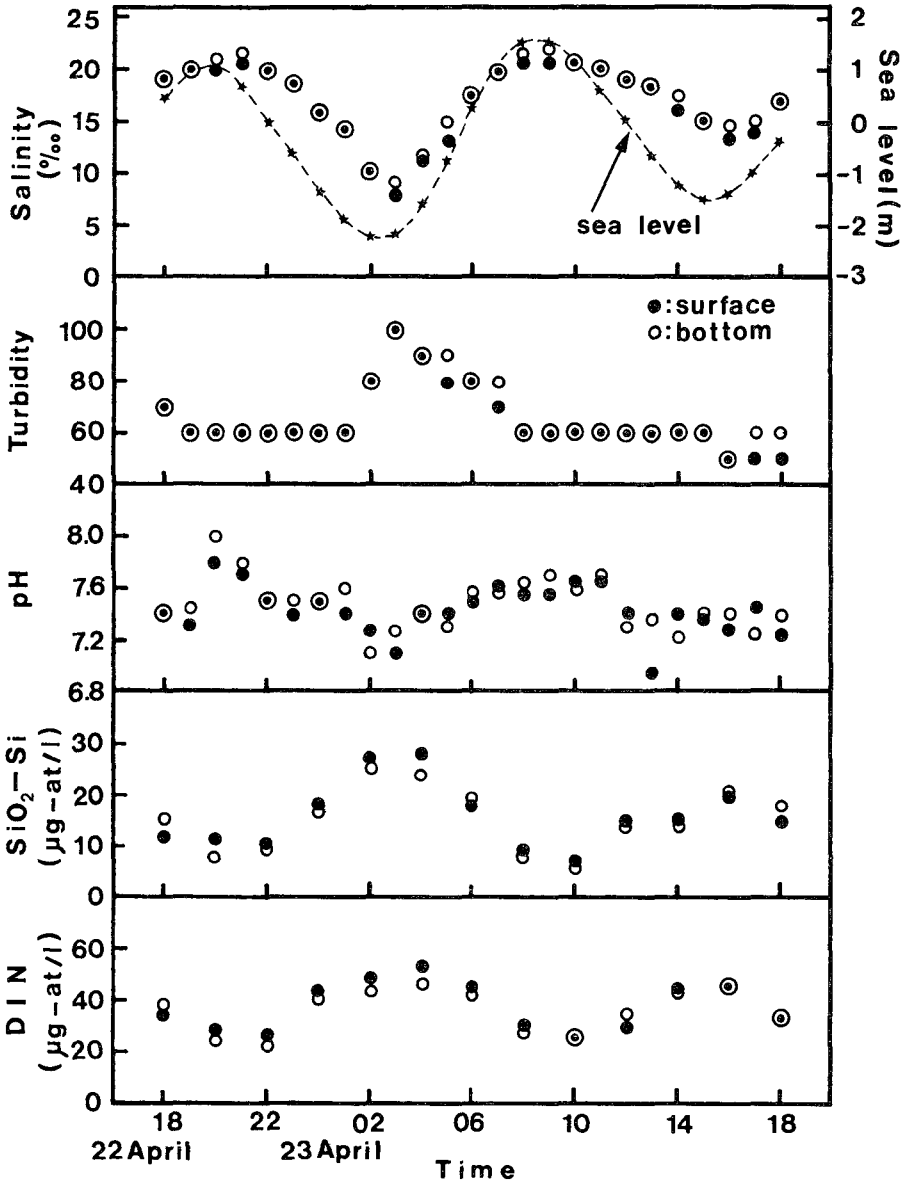

Fig. 2-1. Hourly variations of salinity, turbidity, pH, silicate and dissolved inorganic nitrogen content in water at station 2 located 300 meters above the estuary weir of Keum River on April 1988. Data of sea level in the Kunsan Harbor(star), surface(black circle) and bottom(open circle) are indicated.

월 23일 02시까지의 다소 높은 값(2.65~5.06 *μg-at/l*)을 제외하면 대부분 1.0 *μg-at/l* 이하이거나 전혀 검출되지 않았다. 질산성 질소는 표층에서 22.02~48.61 *μg-at/l*의 변동범위이고, 표·저층수간의 농도차는 6 *μg-at/l* 이하로 표층이 약간 높은 편이다. 질산염 및 용존무기태질소도 규산염의 경우와 같이 염분의 시간변화 모양과 대칭적인 농도분포를 보인다.

반면에 인산염의 경우는 표층수 중 농도범위가 0.78~1.71 *μg-at/l*이고, 수층간의 농도차도 약 0.5 *μg-at/l*이하이다(Fig. 2-2). 즉 인산염은 규산염이나 질산염과는 달리 시간별 혹은 조석주기에 따라 뚜렷한 농도변화를 나타내지 않고, 대부분 1.1 *μg-at/l* 전후로 거의 일정한 값을 유지하고 있는 것이 특이하다.

유기물의 오탁지표인 화학적산소요구량(COD)은 표층에서 2.12~11.60 *mg/l*의 범위이고 대체적으로 저층수의 COD값이 표층수 보다 약간 높으며, 그 차는 2 *mg/l* 이하이다(Fig. 2-2). COD의 시간별 농도변화모양은 염분에 비해 매우 완만하고 야간에 낮은 농도를 보이나 4월 23일 08시부터 차츰 증가하여 오후 2시에 가장 높은 값이다. 이러한 COD의 일변화는 일반적으로 내만역에 있어서 광합성에 의한 O_2 생성량의 시간변화양상(Sugiura, 1963)과 매우 유사하다.

용존산소(DO)포화도의 시간변화도 조석주기보다는 COD의 분포와 유사하다. 표층수 중 용존산소포화도는 86.9~99.9% 범위이고 표·저층수간의 차이는 3.4% 이하로 저층수가 다소 크다. 염분 최소값을 나타내는 4월 23일 03시를 전후하여 약 6시간 동안 86.9~93.3%의 비교적 낮은 용존산소포화도값이나 그외의 시간에는 94.4~100.8%이다.

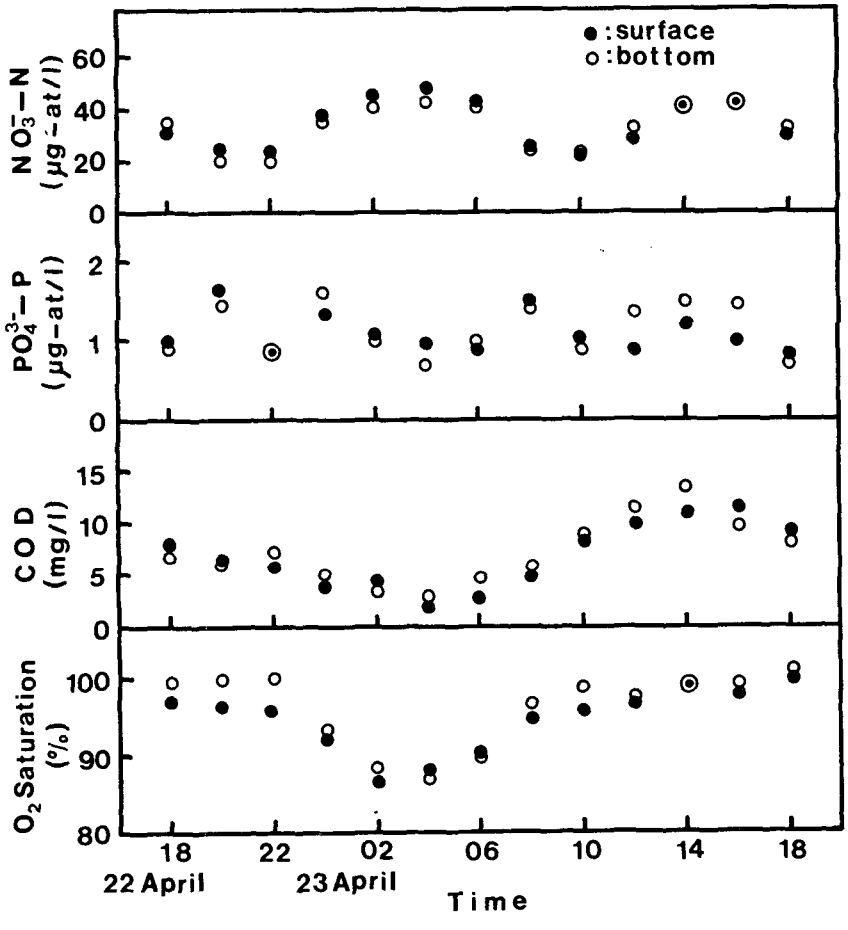

Fig. 2-2. Hourly variations of nitrate, phosphate, chemical oxygen demand and O_2 saturation at station 2. Sampling time and significance of the symbols are the same as in Fig. 2-1.

금강 하구역에 있어서 영양염류의 농도변화 요인을 파악하기 위하여 규산염과 보존성 성분(conservative constituent)인 염분과의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 두 성분간에는 거의 직선적인 역의 관계를 보이며, SiO_2-Si(*μg-at/l*)=-1.659 Sal.(‰) + 44.20으로 표현할 수 있다. 상관계수(r)는 0.95로 두 성분간에 좋은 상관성을 나타내며, 절편값 44.20 *μg-at/l*는 해수 혼합이 없는 하천수 고유의 규산염 농도를 의미한다. 또한 용존무기태질소(DIN)와 규산염 간에도 좋은 정의 상관관계{DIN(*μg-at/l*)= 1.353 SiO_2-Si(*μg-at/l*)+14.16, r=0.92}를 갖는다 (Fig. 3). 이 두 관계식으로부터 규산염과 DIN(주로 질산염)의 시간별 농도변화는 주로 해수와 담수의 혼합비율에 따라 결정됨을 알 수 있다. 그러나 인산염은 염분의 큰 변화에도 불구하고 비교적 일정하고 낮은 농도를 보인다. 이와 같이 감조하천에서 규산염 및 질산염은 보존적인 거동을 하는 반면 인산염은 이들 영양염류와 다른 물질순환과정에 의해 농도가 결정된다는 보고가 다수 있다(Edmond et al., 1981; 1985; Saino, 1985; Tanaka and Hamada, 1987; Fox, 1990). 그 원인으로서는 인산염은 수산화철에 의한 제거, 현탁물질에 의한 흡착 및 탈착 그리고 환경변화(수온, 염분 및 산화환원상태 등)에 따른 흡착·탈착능의 차이등이 알려져 있다. 예를들면 양자강 하구역에서 현탁물질의 농도에 관계없이 거의 일정한 인산염 농도를 유지하는 것은 현탁물질에 의한 흡착·탈착 평형에 기인한다고 한다(Edmond et al., 1985). 또한 Fox(1990)는 파푸아뉴기니아의 Sepik강에서 염분 0~12‰ 범위에서는 용존 인산염 농도가 0.5 *μg-at/l* 이하로 세계 주요하천의 평균농도인 0.6~1.6 *μg-at/l* 보다 훨씬 낮고, 이것은 철 수산화물에 의한 흡착제거 때문이며 12‰ 이상의 고염분 수역에서는 염분과 역의 직선관계를 나타낸다고 한다. 한편 Tanaka and Hamada(1987)는 염분 25‰ 이하에서는 인산염이 3 *μg-at/l* 전후로 안정하다가 25‰ 이상에서는 1 *μg-at/l*으로 급격히 저하하며 pH, 염분 및 부유물질의 농도는 인산염의 흡착제거능과 반비례한다고 보고했다. 본 연구에서는 염분이 비교적 낮고 탁도가 높은 4월 23일 02시에서 06시 사이에 인산염 농도가 다소 낮다. 이는 철 수산화물이나 현탁입자에 의한 흡착제거에 기인한다고 말할 수 있겠으나 대체적으로 시간에 따른 농도변화가 적은 것은 아마도 현탁물질로의 흡착 혹은 탈착과정에 의해 용존 인산염이 평형을 유지하기 때문이라 하겠다.

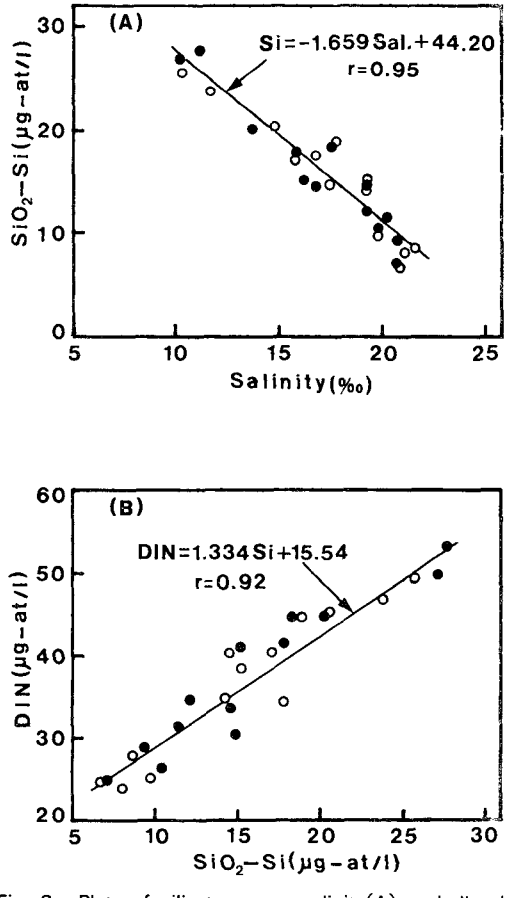

Fig. 3. Plots of silicate versus salinity(A) and dissolved inorganic nitrogen versus silicate(B) at station 2. Symbols and Sampling time as before.

한편 생물화학적 과정에 따른 COD의 농도변화를 보기위하여 AOU(Apparent Oxygen Utilization)와 COD값을 Fig. 4에 나타내었다. AOU는 포화산소량에서 실측한 용존산소량을 뺀 값으로 (+)값은 유기물분해로 소비된 산소량, (-)값은 광합성에 의해 생성된 산소량을 의미한다. 4월 22일 오후 6시부터 익일 08시까지 표·저층수 중 COD값과 AOU는 상관계수(r) 0.86으로 좋은 역의 상관관계를 보인다. 즉 4월 22일 야간 측정값은 염분이 19.22~21.62‰이고, COD값이 4.84~7.96 *mg/l*이며, AOU값은 0~0.5 *mg/l*으로, 산소포화도가 95~100 %로 거의 포화상태인데 비하여 23일 측정값 중 오전 8시까지는 22일 야간 측정값 보다 저염이고 낮은 COD값을 보이나 AOU값은 +0.6~+1.3 *mg/l*으로 크다. 그러나 23일 측정값 중 10시 이후의 주간에는 전일 야간 측정값과 거의 같은 염분범위와 AOU값을 보이나 COD값은 8.16~13.48 *mg/l*로

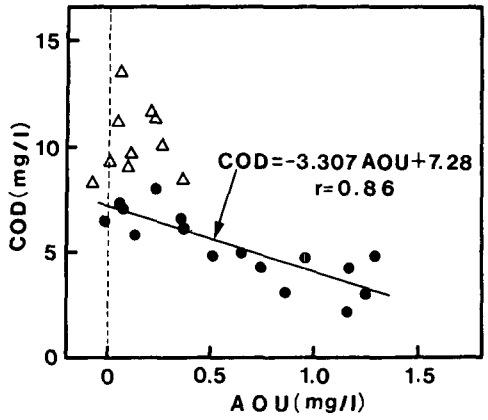

Fig. 4. Relationship between chemical oxygen demand and apparent oxygen utilization at station 2. Values in the daytime after 10 o'clock (triangle) and mainly at night(black circle) are together shown.

1~2배 높았다. 다시말해 이 지점에서는 염분농도가 낮은 저조시간에 산소소비량이 많고 야간 보다 주간 특히 오후에 광합성작용이 활발해서 COD값이 높아졌다고 하겠다.

2. 금강하구둑 상류 35 *km* 지점에서 수질의 시간변동

금강하구둑 상류 약 35 *km*의 지점 9(강경읍 강경대교)에서 지점 2와 동일 시기에 연속관측을 했다. 그 결과 이 지점의 수위는 5.5~8.0 *m*의 범위이고 시간별 변화는 군산항에서의 해수면 변동 보다 매우 완만하며, 고·저수위는 군산항 보다 약 4~5시간 늦게 나타난다. Oh and Lee(1985)도 이 지역의 수위는 간만조시간에 따라 큰 차이를 보이며 염분 역시 만조시의 시각에 따라 약 4.5‰ 의 차이를 나타낸다고 보고하고 있다. 또한 Lee and Kim(1987)도 만조시 시각에 따라 이 지역의 유속이 20 *cm*/sec에서 60 *cm/sec*까지 달라지며 수위도 조석에 따라 3.5 *m*정도 차가 있다고 보고했다. 그러나 본 조사기간중 이 지점의 표·저층에서 염분이 한번도 검출되지 않은 것으로 보아 약 2.5 *m*의 수위변화는 직접적인 해수 침입의 영향보다는 조석현상에 의한 해수의 역류로 하구역의 수위가 점차 높아짐에 따라 간접적으로 이 지점의 수위도 상승했기 때문이라 사료된다.

한편 화학성분의 경우는 성분에 따라 다소의 차이는 있으나 수위와는 달리 시간별 농도차가 비교적 적고 지점 2에서와 같은 뚜렷한 시간변화 양상도 나타나지 않았다. 각 성분의 농도범위와 평균값은 Table 1에 나타내었다.

pH는 6.55~7.00으로 지점 2에서 보다 약간 낮고 그 변화폭도 좁다. 시간별로는 4월 22일 21시, 23일 00시, 09시, 11시 및 17시의 측정값이 6.85~7.00의 범위로 다소 높지만 그외 측정값의 평균치와 표준편차는 6.67± 0.08이다.

영양염류 중 규산염은 55.64~73.71 *μg-at/l* 범위로 지점 2에 비해 약 2배 정도 높으나 수층간 및 시간별 상대표준편차는 10% 이하이다. 용존무기태질소(DIN)는 pH가 비교적 높은 시간의 측정값이 63~70 *μg-at/l* 범위로 다소 낮은 농도를 보이나 그외의 측정값은 표·저층에서 85± 10 *μg-at/l* 범위이다. 아질산염은 표층수 및 저층수중의 평균값이 각각 4.18± 0.73 *μg-at/l* 및 4.33± 0.31 *μg-at/l*로 용존무기태질소(DIN)중에 차지하는 비율은 7% 이하로 지점 2와 비슷하나 농도는 다소 높다. 암모니아의 평균값 및 표준편차는 표층에서 34.16± 6.20 *μg-at/l*, 저층에서 36.75± 7.64 *μg-at/l*로 지점 2 보다 농도도 매우 높고 DIN중의 비율 역시 약 40~50%로 매우 크다. 질산염 질소의 경우는 4월 23일 17시의 농도가 약간 낮으나 그외는 표·저층 모두 40± 10 *μg-at/l*의 농도범위로 지점 2에 비해 약간 높다. 인산염은 4월 23일 13시의 측정값이 다소 높으나 그외의 측정값은 0.63± 0.26 *μg-at/l*의 범위로 지점 2에 비해 약 0.2 *μg-at/l* 정도 낮은 값이다.

COD의 농도범위는 표·저층을 합쳐 8.44~14.88 *mg/l*로 지점 2에서의 변화폭 보다 좁은 반면 농도는 다소 높다. 시간별 변화는 저수위를 보이는 4월 23일 03시에서 07시 사이의 측정값이 12 *mg/l* 이상으로 약간 높은 값을 보이나 그외의 시간에는 대체적으로 10.2± 1.7 *mg/l*의 범위이다.

용존산소포화도는 4월 23일 오후 3시에서 5시까지의 측정값이 109~118% 범위로 10~20% 과포화되어 있으나 그 외의 시간에는 대부분 포화산소량과 거의 같은 용존산소 값이다.

3. 각 성분의 지점별 월별비교

각 성분의 지점별 및 월별 농도분포를 Fig. 5-1, Fig. 5-2, Fig. 5-3에 나타내었다. Fig. 5-1에서 염분은 군산내항인 지점 1에서 매월 가장 높은 값을 나타내었고 상류로 갈수록 현저하게 낮아져서 군산항 상류 약 27 *km*인 지점 7 이상에서는 염분이 한번도 검출되지 않았다. 월별로는 대체적으로 5월과 6월이 다른 달에 비해 고염분이고 7월이 가장 낮은 염분농도로 하구둑 상류 약 2 *km*의 지점 3의 상류 수역에서는 염분이 검출되지 않았다. 물론 각 지점에서의 염분측정시간이 서로 다르고, 또한 해수의 영향을 가장 많이 받는 고조시간과도 일치하지 않

으므로 이들 염분값은 그 지점에서의 최고값이라고는 말할 수 없으며 해수의 역류범위도 달라질 수 있다. Oh and Lee(1985)의 보고에 의하면 갈수기인 2월에 상류 약 35 *km* 지점인 강경까지 해수의 침입이 있었다고 한다. 또한 Kim and Ki(1987)도 4월에는 강경까지, 강우기인 7월에는 하구둑 상류 3 *km*까지 해수가 유입된다고 했다. 한편, Cho et al. (1978)는 1978년 4월 중순에 군산항에서 상류로 약 60 *km* 떨어진 부여까지 해수의 영향이 있다고 보고했다. 우리나라는 6월 말에서 9월까지는 강우기로 봄철에 비해 여름철에 하천수량이 많아지며, 건설부자료(1983)에 의하면 공주에서 연간 총수량의 약 60%는 7, 8, 9월에 공급된다고 한다. 그러므로 본 연구 조사기간 동안 강경 상류지점들에서 해수의 직접 침입으로 인한 각 성분의 농도변화는 그다지 크지 않았다고 할 수 있다.

pH의 지점별 변화는 월별로 다소 차이는 있으나 대체적으로 염분농도가 가장 높은 지점 1에서는 8.0±0.2 범위이고, 상류로 갈수록 감소하여 지점 3에서는 7.0±0.2이다. 지점 4부터는 서서히 증가하여 지점 11과 지점 12에서는 8.0±0.4로 가장 높고 월변화폭도 가장 크다. 지점 13, 14, 15에서 6월에 7.9~8.4 범위로 다소 높은 값을 제외하면 상류로 갈수록 점차 감소하는 경향이나 대개 7.2±0.4 범위의 값이다. Won and Yang(1978)이 낙동강 하류역에서 조사한 결과에 의하면 특히 하계의 오후에 일반하천수의 pH값 약 7 보다 훨씬 높은 pH 9 정도의 값이 담수역에서 측정되었고, 이러한 현상은 영국 Tamar강의 담수역에서도 보고된 바 있다 (Morris, 1978). 본 연구에서 다소 높은 pH값을 나타낸 지점 11에서 지점 15 사이에서는 다른 지점들에 비해 COD값도 4~6 *mg/l* 정도 높고, 용존산

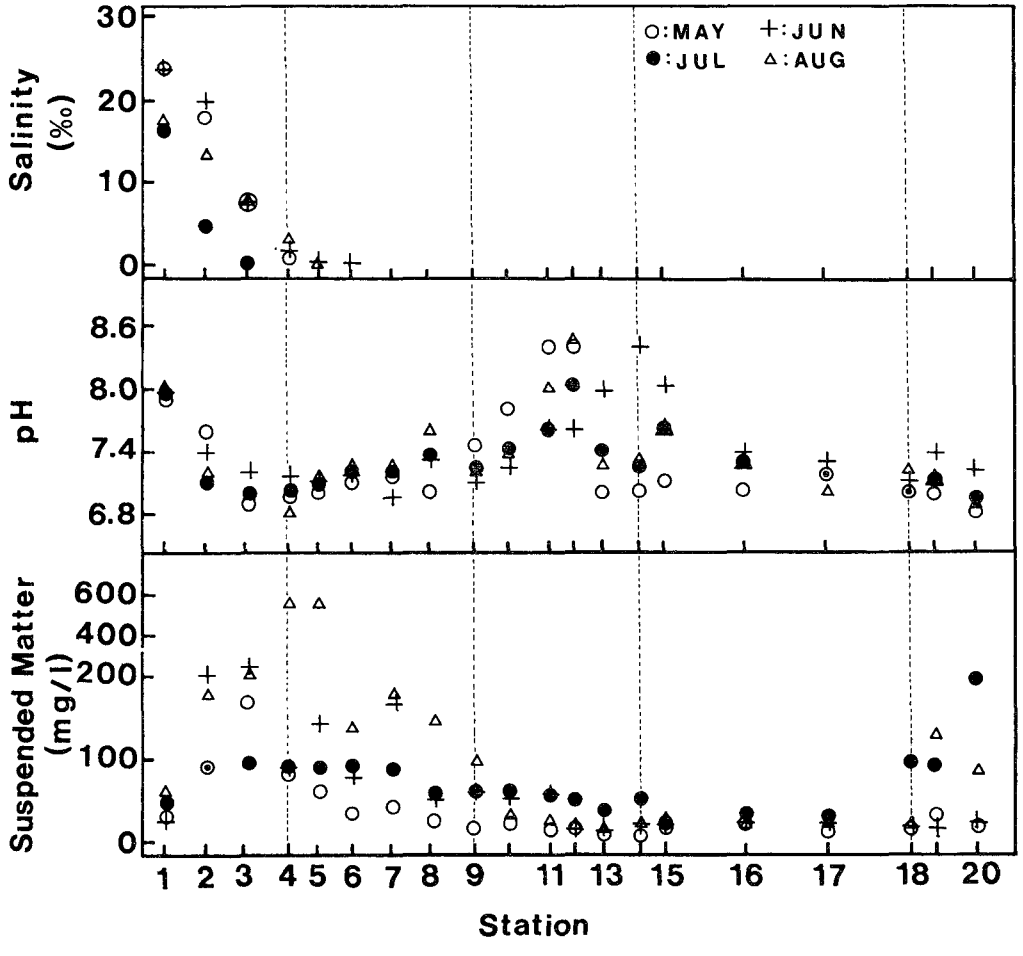

Fig. 5-1. Concentrations of salinity, pH and suspended matter in the surface water at each station from May to August 1988.

소포화도 역시 10~20% 과포화되어 있는 점으로 보아 광합성작용에 의해 pH값이 상승한 것이라고 사료된다.

현탁물질은 지점 1에서 40±20 *mg/l*로 비교적 낮고 상류로 갈수록 급격히 증가하여 지점 2와 3에서는 6월과 8월에 210±50 *mg/l*의 범위이다. 지점 4와 5에서는 8월에 560 *mg/l* 전후의 매우 높은 농도이고 월별변화폭도 가장 크다. 한편 지점 6에서는 평균 약 90 *mg/l*이고 지점 15까지 서서히 감소하여 20 *mg/l* 전후의 값이다. 지점 18에서 지점 20까지 7월과 8월에 약 80~190 *mg/l*의 비교적 높은 값을 제외하면 지점 15에서 지점 20까지는 거의 비슷한 농도이다. 월별로는 8월이 가장 높고 5월이 대체적으로 가장 낮다. 이와같이 하류수역에서 매월 현탁물질 농도가 높은 것은 조석교반작용에 의한 것이고 이 교반작용의 세기와 하천수량에 따라 현탁물질량은 월별로 큰 차이를 보인다고 생각된다(Lee and Kim, 1987; Festa and Hansen, 1978; Ito and Sugimoto, 1985).

규산염(Fig. 5-2)의 월변화폭은 지점 1, 2, 3에서

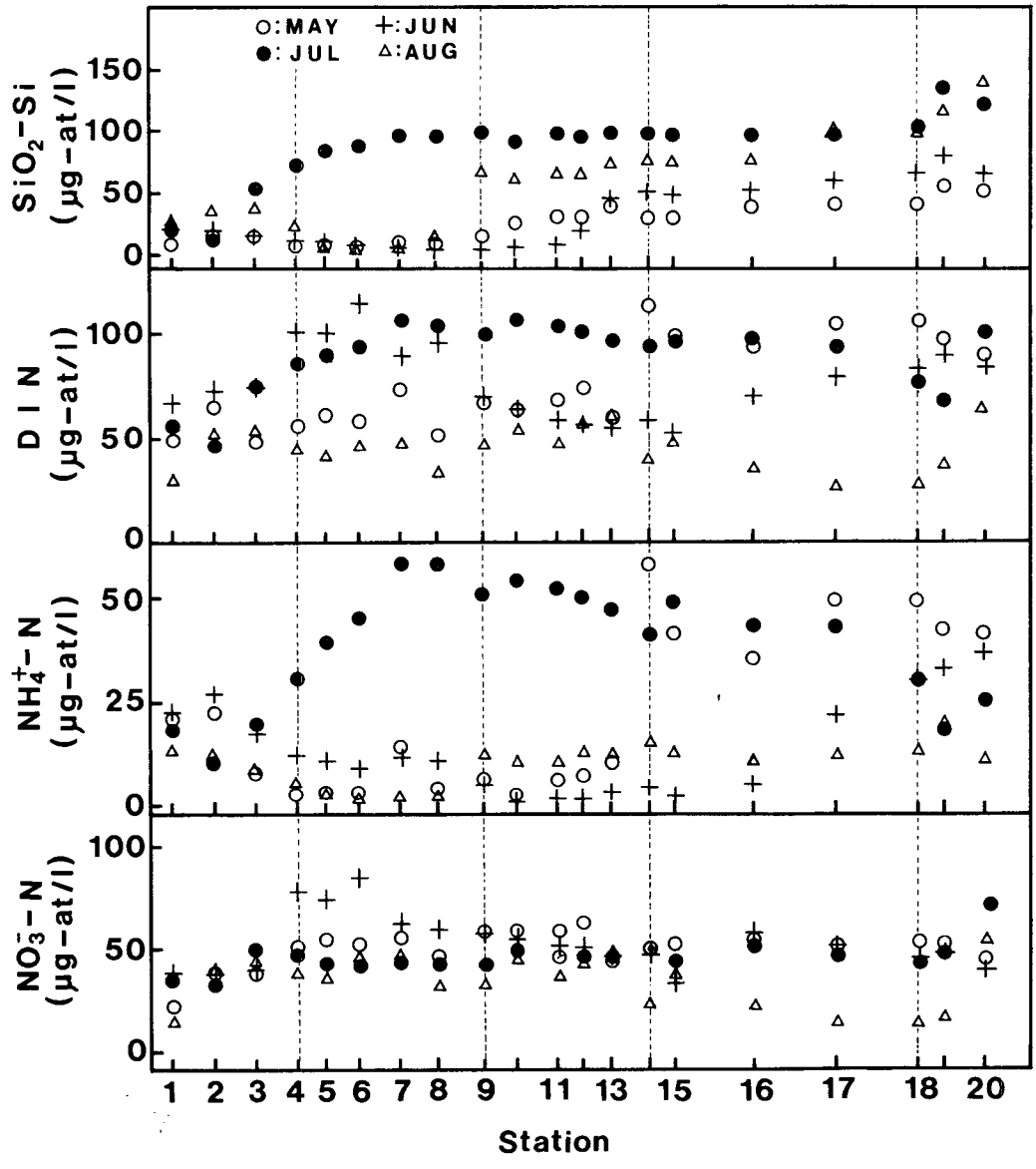

Fig. 5-2. Concentrations of silicate, dissolved inorganic nitrogen, ammonia and nitrate in the surface water at each station from May to August 1988.

대체로 작고 평균값은 20 *μg-at/l* 정도이다. 규산염 농도가 가장 높은 7월의 경우 지점 3부터 서서히 증가하고 지점 7부터 지점 18까지는 95±5 *μg-at/l* 범위로 지점별 차이가 거의 없으나 지점 19와 20에서는 125±10 *μg-at/l*로 다소 높다. 그외의 달에는 지점 4에서 지점 8까지는 15 *μg-at/l* 이하로 매우 낮다. 그러나 지점 9 상류에서는 8월 측정값이 70±5 *μg-at/l*으로 다소 높은 반면 5월이 가장 낮은 40±10 *μg-at/l* 범위이며, 6월 측정값은 5월보다 10~20 *μg-at/l* 정도 높다.

용존무기태질소(DIN)의 월변화폭은 지점 1, 2, 3에서 대체로 작고 평균값 역시 다른 지점에 비해 낮다. 지점 1의 월평균값은 약 50 *μg-at/l* 정도이고 지점 2와 3은 지점 1보다 약 10 *μg-at/l* 높다. 월별로는 7월이 가장 높고 8월이 가장 낮다. 7월의 DIN은 지점 5에서 지점 20까지 100±10 *μg-at/l* 범위로 지점별 큰 차가 없다. 반면에 6월에는 지점 4에서 8, 그리고 지점 17에서 지점 20 사이에서 다소 높은 값을 보인다.

암모니아는 월별 지점별 변화가 대체적으로 DIN과 유사하다. 즉 지점 1, 2, 3에서는 월변화도 작고 평균 약 18 *μg-at/l*이다. 지점 4에서 지점 13까지는 5, 6, 8월에 15 *μg-at/l* 이하로 매우 낮은 농도이다. 7월 암모니아의 측정값을 보면 지점 4부터 차츰 증가하여 지점 7, 8에서 약 60 *μg-at/l*으로 비교적 높은 값을 나타내다 다시 상류로 갈수록 점차 감소하는 경향이다. 한편 5월의 경우는 지점 14 상류에서는 하류 보다 월등히 높고 7월 측정값과 거의 비슷한 농도이며 지점 17 상류에서는 6월에 이외로 높은 값을 나타낸다.

질산염은 지점 4, 5, 6에서 6월 측정값이 80±5 *μg-at/l*로 다소 높은 반면 지점 14에서 지점 19까지 8월 측정값이 15±5 *μg-at/l*로 매우 낮다. 그 이외 대부분의 측정값은 45±15 *μg-at/l* 범위이다. 지점별로는 지점 1과 2가 다소 낮고 그외는 지점별로 뚜렷한 농도차이를 보이지 않는다.

인산염(Fig. 5-3)은 대체적으로 8월이 가장 낮고 7월이 가장 높다. 그리고 월평균 값으로는 지점 1이

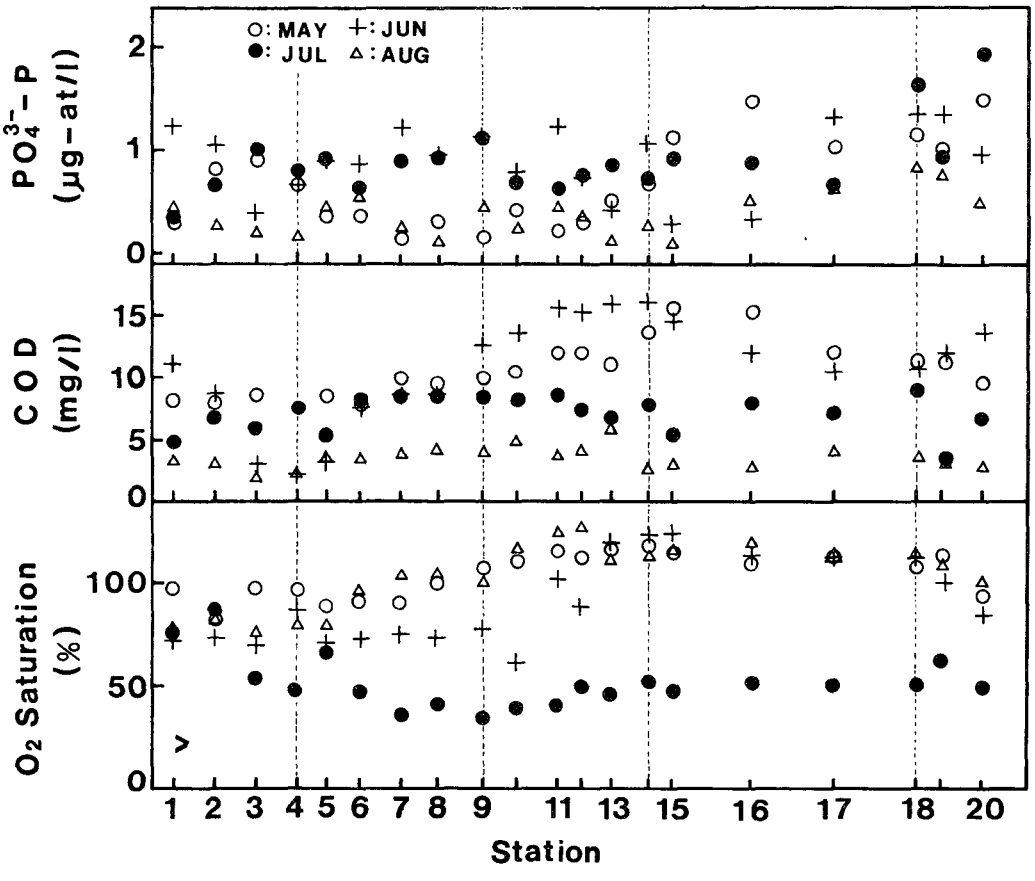

Fig. 5-3. Concentrations of phosphate, chemical oxygen demand and O_2 saturation in the surface water at each station from May to August 1988.

비교적 낮고 지점 16 상류수역이 대체적으로 높다. 6월 인산염 측정값은 지점 3, 그리고 지점 13, 15, 16에서 0.40 *μg-at/l* 이하인데 비해 그외 지점들에서는 1.0±0.4 *μg-at/l*의 범위로 지점별 변화폭이 상당히 크나 그 이외의 달은 지점 2에서 지점 15까지 지점별 차가 크지 않다.

COD는 8월 측정값이 대체로 2~4 *mg/l*로 가장 낮고 7월에는 7±2 *mg/l*의 범위로 비교적 지점별 농도차가 작다. 그러나 6월 측정값 중 지점 3, 4, 5에서 약 3 *mg/l*의 낮은 값을 제외하면 지점 1부터 지점 8까지는 5월과 6월 측정값이 약 9*mg/l* 정도이다. 지점 9에서 지점 14까지는 6월의 측정값이 12~16 *mg/l* 범위로 5월에 비해 약 2~4 *mg/l* 정도 높고 지점 15 상류로 갈수록 두 달 모두 서서히 감소하고 있다.

용존산소포화도를 보면 지점 1과 2에서는 평균 약 80%으로 월변화폭도 작고 지점별 차도 크지 않다. 그외 지점에서는 가장 낮은 값을 보이는 7월에 대체로 50±10%의 범위이다. 5월과 8월은 지점 1부터 지점 7까지는 평균 90% 전후이고 지점 8 상류에서는 서서히 증가하여 지점 11과 지점 15사이에서는 117±10%의 범위로 높은 값을 보이다 이후 서서히 낮아지고 있다. 한편 6월에는 지점 6에서 지점 10까지는 70±5% 범위로 5월 및 8월에 비해 다소 낮으나 지점 11 상류에서는 5월 및 8월의 측정값과 비슷하다.

요 약

금강본류역의 20개 지점에서 1988년 5월부터 4개월 동안 매월 1회씩 화학성분들을 측정하고, 4월에는 지점 2와 지점 9에서 25시간 동안 연속관측을 실시하여 금강 하류수역의 수질특성과 그 변동요인에 대해 연구하였다.

하구둑 상류 300 *m*(지점 2)에서 4월에 측정한 표·저층수 중 염분의 시간변화는 군산항 조석주기와 거의 일치하였고 규산염, 용존무기태질소 및 질산염의 시간변화는 염분분포와 거의 대칭적이었다. 염분과의 관계로부터 규산염과 질산염의 대부분은 보존적인 거동을 하며 해수의 유입은 하천수중 이 두 성분의 농도를 희석시킨다. 반면에 인산염은 염분농도와 관계없이 비교적 낮은 농도로 시간별 변화폭도 크지 않다. 이는 대부분의 용존 인산염이 무기침전물이나 현탁물질에 의해 흡착제거되고, 또한 흡·탈착 과정에 의해 인산염이 완충되어 있기 때문이라 추측된다. 한편 탁도는 최저염분을 나타내는 시간부터 약 4시간 동안 비교적 높았고, pH는 염분의 시간변화 모양과 유사하나 시간별 pH의 변화는 매우 완만하다. 그러나 COD와 용존산소포화도는 일반 내만역에서의 시간변화 모양과 유사한 것이 특징적이다. 즉 비슷한 염분범위에서 광합성능이 큰 10시 이후 주간에 측정한 COD값이 야간 보다 높으며, 호흡작용이 활발한 야간에는 염분농도가 낮을수록 COD는 낮아지고 AOU값은 커진다. 성분별로 다소의 차이는 있으나 표·저층수간 농도차가 매우 작으며, 규산염, 용존무기태질소 및 질산염은 표층이 다소 높고, 그외의 성분들은 저층이 약간 높다.

하구둑 상류 약 35 *km*의 강경(지점 9)에서는 염분이 한번도 검출되지 않았으나 수위의 시간변화폭은 약 2.5 *m*였다. 그러나 대부분의 화학성분들은 수위의 변화 만큼 시간별 농도차가 크지 않고 지점 2에서 보다 매우 완만한 농도변화를 보였다. 규산염, 용존무기태질소, 암모니아의 농도는 지점 2에 비해 월등히 높은 반면 pH 및 인산염은 다소 낮고 그외의 성분들은 지점 9가 약간 높다.

지점별로 보면 해수의 영향을 가장 많이 받는 지점 1과 2, 그리고 하구둑으로부터 상류 40~55 *km*의 지점들에서 pH값이 비교적 높으나 그외의 수역에서는 지점별 차이도 적고 pH값도 낮다. COD 및 용존산소포화도 역시 pH값이 높은 지점들에서 가장 높았으나, 그 수역을 중심으로 상류 및 하류로 갈수록 점차 감소하였다. 이와같이 지점 11과 지점 15 사이에서 이들 세 성분이 높은 것은 식물의 광합성작용에 의한 것이라고 사료된다. 현탁물질은 하구역 특히 하구둑으로부터 300 *m*에서 약 20 *km*까지의 지점들(지점 2에서 지점 6)에서 매우 높은 값을 보이며 이는 조석작용으로 해수와 담수가 강제혼합되면서 표층퇴적물이 재부유하기 때문이라고 판단된다. 영양염류는 월별로 다소의 차이는 있으나, 대체적으로 지점 1과 2에서 가장 낮고, 상류로 갈수록 점차 증가하며 지점 7 상류역이 하류역에 비해 높은 농도이다.

월별로는 7월에 규산염, 용존무기태질소 및 암모니아의 농도가 가장 높은 반면에 용존산소포화도는 가장 낮다. 그러나 지점 14 상류역에서는 5월에 측정한 용존무기태질소, 암모니아, 인산염 및 COD값이 7월보다 다소 높거나 비슷하다. 한편 영양염류와 COD값은 대체적으로 8월에 가장 낮으나 용존산소포화도는 가장 높다.

감 사

본 연구 수행 중 시료채취 및 현장관측시 많은 도움을 준 농업진흥공사 금강사업소직원 여러분께 감사드리며, 시료채취 및 화학분석에 많은 시간과 노력을 제공해 준 부산수산대학교 해양학과 권경림, 전경암, 김영일, 문성복군에게 감사드립니다.

Reference

건설부, 1983. 홍수량측정조사.

산업기지개발공사, 1979. 한국 하천 조사서.

日本分析化學會北海道支部. 1981. 水の分析, 第3版, 273～276, 化學同人, 京都, 日本.

日本海洋學會. 1984. 海洋環境調査法, 274～295, 京都, 日本.

JIS K0102 1981. 工場排水試驗法.

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.

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.

Edmond, J. M., E. A. Boyle, B. Grand and R. F. Stallard. 1981. The chemical mass balance in the amazon plume I. The Nutrients. Deep-Sea Res., 28, 1339～1374.

Edmond, J. M., A. Spivack, B. C. Grant, H. N. Hui, C. Zexiam, C. Sung and Z. Xiushau. 1985. Chemical dynamics of the Chanjing estuary. Continental Shelf Res., 4, 17～36.

FAO, 1975. Manual of Methods in aquatic environment research. Fish. Tec. Paper, No. 137.

Festa, J. F. and D. V. Hansen. 1978. Turbidity maxima in partially mixed estuaries. Est. Coast. Mar. Sci., 7, 42～53.

Fox, L. E. 1990. Geochemistry of dissolved phosphate in the Sepik River and estuary, Papua, New Guinea. Geochim. Cosmochim. Acta, 54, 1019～1024.

Ito, K. and T. Sugimoto. 1985. Diffusion and transport of suspended matter in estuaries. Bull. Coast. Oceanogr., 22(2), 128～135.

Ki, J. H. and K. R. 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, K. R. and J. H. Ki. 1987. Studies on chemical and biological processes in the Keum River estuary, Korea I. The cycle of dissolved inorganic nitrogen: general considerations. J. Oceanogr. Soc. Korea, 22(3), 191～206.

Lee, C. B. 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.

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.

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

Saino, T. 1985. Nutrient dynamic in the estuarine and coastal waters. Bull. Coast. Ocenogr., 23(1), 88～103.

Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1968. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Canada, Bull. 167, Otawa, Canada.

Sugiura, Y. 1963. Some chemico-oceanographical properties of the water of Suruga Bay. J. Oceanogr. Soc. Japan, 18(4), 193～199.

Tanaka, K. and S. Hamada. 1987. Investigations on nutrients in turbid estuaries: Buffering of phosphate concentration by suspended sediments. Bull. Coast. Oceanogr., 24(2), 125～133.

Won, J. H. and H. S. Yang. 1978. Studies on the water quality of Nagdong River downstream for drinking water and industrial supply water 1. Seasonal variations of the contents of inorganic conservative constituents of Nagdong River downstream water from May 1977 to April 1978. Bull. Korean Fish. Soc., 11(3), 129～138.

1990년 6월 26일 접수
1990년 7월 21일 수리