

금강 하구호에서 수질의 계절변동과 오염도

신재기* · 조경제

(인제대학교 환경시스템학부, 김해 621-749)

Seasonal Dynamics and Pollution Status of the Water Quality in the Kum River Reservoir.
Shin, Jae-Ki* and Kyung-Je Cho (School of Environmental Science and Engineering, Inje University, Kimhae, 621-749, Korea)

Monthly variations of physico-chemical and biological parameter were determined in near the Kum River mouth at lower discharge period from January 1998 to September 1999. The characteristics of water quality was showed hypertrophic with average values of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), chlorophyll-a and transparency are 3.9 mg N/l, 160 µg P/l, 73 µg/l and 0.8 m, respectively. Among a nitrogen component, inorganic and organic nitrogen comprised 34% and 66% of TN, NH₄ and NO₃ comprised 30% and 70% of inorganic nitrogen respectively. SRP concentration comprised below 9% of TP. TN/TP and DIN/SRP ratio in winter were higher than in summer. SRSi fluctuation was very wide as ranged from 0 to 3.0 mg Si/l and the highest after flood event in summer. Long-term depleted pattern of Si was observed, that is considered to be important nutrient for algal growth. Chlorophyll-a concentration was very high as 113 µg/l, 162 µg/l in winter and summer respectively, which persistent bloomed diatom *Stephanodiscus* and blue-green algae *Microcystis*. In consequence, water quality management of these periods are considered very important.

Key words : Chlorophyll-a, Eutrophication, Hypertrophic, *Microcystis*, NH₄, SRP, SRSi, *Stephanodiscus*

서론

하천의 하구는 해양의 연안과 경계를 두고 상류로부터 다양한 오염원에 노출되어 많은 오염물이 유입되는 육상에서 최종 경로에 해당한다. 자연적인 하구의 수질은 담수와 해수가 교차함으로써 생태계의 다양성을 유지할 수 있는 중요성을 지니고 있는가 하면 과도한 유·무기물의 공급이 수반되면 연안오염과 관련성이 깊어 이에 대한 연구 및 평가는 매우 가치가 있다.

담수하천의 수질은 유역의 최상류에서 비교적 청정하나 하류로 유하하면서 악화되는 양상이 뚜렷하다. 중·

하류에서 수질악화는 급속한 경제성장, 도시화에 따른 인구 집중현상 및 풍요로운 생활수준 향상으로 인한 물 사용량이 급증되는 만큼 각종 오·폐수가 증가하여 가속화되고 있다. 또한 우리나라는 호수 및 하천의 수질개선을 위해 환경사업의 기초시설이 막대한 비용의 투입으로 증설되고 있으나 수질은 좀처럼 개선되지 않고 있으며 특히 무기 N과 P를 비롯한 유기물 오염은 날로 심각해지고 있다(조 등, 1998; 신 등, 1999; 임 등, 2000). 수질오염은 단순히 수질 그 자체만이 악화되는 것이 아니라 외부로부터 다량의 영양염 유입으로 인해 식물플랑크톤이 번성하고 자생유기물의 양적 증가로 수중생태계의 구조와 기능적 측면에서 물질순환의 균형이 깨지

* Corresponding author: Tel: 011-870-6121, Fax: 055) 334-7092, E-mail: jaekishin@hanmail.net

는 현상을 의미한다(OECD, 1982; UN, 1993).

수질오염은 오·폐수가 제대로 처리되지 못하고 하천으로 곧바로 유입되는 양이 많아 부영양화를 가속시키는 인위적인 요인과 함께 자연적인 요인도 기여하는 바가 크다. 하계에 집중되어 있는 강수량의 대부분은 단시간에 유출됨으로서 이 시기를 제외하고는 하천의 유량이 극히 부족하다(신, 1998; 임 등, 2000). 유량의 절대적 부족으로 갈수현상이 심화되고 이때 하천의 자정작용이 원활하지 못해 수질관리가 더욱 어려운 실정이다.

금강 본류는 하천 하구에 독과 배수갑문이 축조되어 시기에 따라 다소 차이는 있으나 부여~강경구간부터 그 하류는 반호수적 수문 환경을 보이고 있으며 수질악화는 갑천, 미호천, 석성천 및 논산천으로부터 유입되는 각종 오·폐수의 영향이 대부분을 차지한다(임 등, 2000). 특히 N과 P 농도가 높아 하류에서 담수조류가 만성적으로 대발생하는 등 전형적인 과영양상태를 보이고 있다. 하구둑의 수문 폐쇄 직후에 하구의 수질은 부영양화가 빠르게 진행되었으며 특히 상류로부터 유입되는 영양염류의 농도가 매우 높아 수계의 수질관리를 위하여 이에 대한 관리가 중요하고도 시급한 것으로 나타났다(유 등, 1999; 임 등, 2000).

금강 중·하류에서 수질에 관한 연구는 다른 대하천 수계에 비해 그리 많지가 않았다. 유 등(1999)은 하구의 수문을 닫은 1년 후인 1995년~96년에 걸쳐 본류의 주요 6개 지점에서 계절별로 4회 조사하여 부영양화 현상을 설명하였고, 임 등(2000)은 1998년 3월~99년 6월에 걸쳐 중·하류(대청호 조정지댐~하구둑)의 본류 및 지류를 대상으로 17개 지점에서 총 8회 조사하여 오염양상을 평가한 바 있다. 그 외 산업기지개발공사(산기개, 1986), 한국수자원공사(한수공, 1995) 및 농어촌진흥공사(농진공, 1985~1997)에서 수자원 개발 및 유지계획에 따른 환경조사의 일환으로 조사된 일부 보고서가 있다.

본 연구는 금강 하구호에서 비교적 유량이 적은 시기를 중심으로 부영양화에 관련된 수질항목을 매월 분석하였고 수질오염실태를 파악하여 향후 육수생태학적 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

한반도 서해 중부에 위치한 금강은 국내 4대강의 하나로서 전라북도 진안에서 발원하여 군산하구까지 총 유로연장이 약 400 km에 달하며 유역면적은 9,888 km²이다. 금강 하구에는 수자원확보와 가뭄 및 홍수조절의

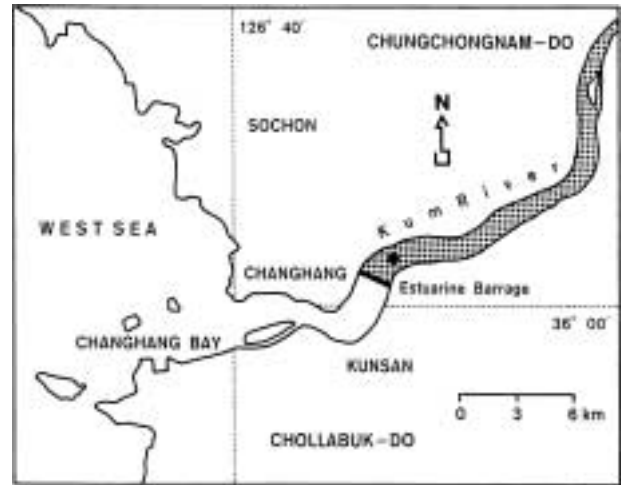


Fig. 1. Sampling locations for the water quality monitoring in the Kum River-Reservoir. The estuarine barrage or watergates were constructed on the river mouth from December 5, 1983 to November 20, 1990. Water impoundment began in August 30, 1994.

일환으로 1988년에 군산과 장항을 잇는 총 길이가 1.84 km인 하구둑과 수문이 축조되었고(Fig. 1), 1994년 9월부터 수문을 닫아 현재 하구둑 상부는 완전 담수화되었다(농진공, 1997). 하구호는 저수기 또는 갈수기에 상류 40 km 지점부터 유속이 급감하여 하천수 방류를 위한 수문개방 시기를 제외하고는 그 하류는 유속축정이 어려울 정도로 정체성을 강하게 보이고 있는 반호수적 수문 특성을 나타낸다(한수공, 1998).

수문자료는 한국수문연보, 유량연보(건교부, 1979~97) 및 금강수위월보(금홍통, 1998~99)의 자료를 활용하였다. 수질조사 항목 중 수온과 DO는 DO meter (YSI 58 또는 59)로, pH, 전기전도도 및 투명도는 각각 Orion 230A meter, Konduktometer LF191-WTW 및 Secchi 원판(지름 0.25 m)으로 현장에서 측정하였다. 분석시료는 Van Dorn 채수기로 표층(0.3 m 수심)에서 채수하였다. 시료용기는 41 플라스틱병을 사용하였고 아이스박스를 이용하여 실험실로 옮겼다. 운반한 시료는 항목에 따라 즉시 분석하거나 냉동(-20~-70°C)보관 후 2주 이내에 정량하였다. 수질은 Rump and Krist(1988), APHA(1992) 및 환경부(1993)의 분석법에 따라 측정하였다. 각종 유기물 분석은 시료를 그대로 사용하였으나 무기영양염(NH₄, NO₃, SRP 및 SRSi)은 Whatman GFF filter로 여과한 후 분석하였다. 유기질소는 TN에서 DIN(NH₄+NO₃)의 차이로 산출하였고 유기인은 TP에서

Table 1. Average values of environmental factors in the Kum River Reservoir from January 1998 to September 1999.

Factors	Average \pm Std.	Max.	Min.
Temperature ($^{\circ}$ C)	19.6 \pm 9.6	29.9	2.4
Dissolved oxygen (mg O ₂ /l)	12.9 \pm 3.5	19.9	7.7
pH	8.2 \pm 0.8	9.4	7.0
Conductivity (μ S/cm)	233.3 \pm 66.1	370.0	129.0
Transparency (m)	0.8 \pm 0.2	1.3	0.4
Total suspended solids (mg dw/l)	32.0 \pm 12.6	48.9	2.5
Chlorophyll- <i>a</i> (μ g/l)	73.2 \pm 57.4	212.9	15.9
Total nitrogen (μ g N/l)	3,912.6 \pm 940.8	5,507.0	2,207.0
Organic nitrogen (μ g N/l)	2,516.6 \pm 866.0	4,049.1	985.8
Dissolved inorganic nitrogen (μ g N/l)	1,326.0 \pm 445.9	2,105.6	567.9
Ammonium (μ g N/l)	402.8 \pm 327.7	981.7	18.1
Nitrate (μ g N/l)	932.7 \pm 243.4	1,366.3	549.8
Total phosphorus (μ g P/l)	157.3 \pm 87.7	328.0	82.0
Organic phosphorus (μ g P/l)	144.3 \pm 84.1	318.3	70.1
Soluble reactive phosphorus (μ g P/l)	14.0 \pm 10.7	33.9	0.0
Soluble reactive silicon (mg Si/l)	0.8 \pm 0.8	3.0	0.0
TN/TP ratio	29.2 \pm 10.4	40.4	11.1
DIN/SRP ratio	720.4 \pm 2,097.9	9,523.0	25.0
SRSi/SRP ratio	75.8 \pm 71.8	246.3	0.5
Discharge (m ³ /s)	97	162.0	18.0

SRP농도를 뺀 값으로 보았다. TSS는 시료를 membrane filter (0.45 m) 또는 Whatman GFF filter에 여과하여 105 $^{\circ}$ C에서 2시간 이상 건조시킨 후 여과 전·후 무게의 차이로 계산하였다. Chl-*a* 농도는 시료를 Whatman GFF filter에 여과한 후 90% 에탄올을 용매로 사용하여 비등 추출하였고 분광광도계로 665 nm와 750 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다(Nusch, 1980).

결과 및 고찰

1. 수환경 요인

금강에서 유량 변동은 연중을 통해 계절적 편차가 매우 컸고 다른 계절에 비해 유량이 급격하게 증가한 시기는 6월~9월로서 이 시기에 강우가 집중되었다(임 등, 2000). 1998년 1월~1999년 9월사이에 규암(PUY부근)에서 관측된 일 유량의 범위는 18~2,924 m³/s로서 평균값은 145 m³/s였고 하상계수는 162이었다. 또한 평균 유량은 19년 자료의 평균값과 비슷하였고 평수량 이상의 수준에 해당하였다. 최대 유량을 보인 시기는 1998년 7월말경이었다. 수문 경향은 하계에 변동 폭이 컸고 불규칙적이었으며 동계의 강설 시기를 제외하고는 <20 m³/s로 급감하여 하계보다 변화 폭이 적었다(임 등, 2000). 수질환경을 조사한 시기에 규암지점의 유량은 18~162 m³/s 범위였고 평균값은 97 m³/s로서 저수량~평수량의

중간 수준이었다(Table 1). 하천의 수문 변동은 기후의 상황과 유역의 배수패턴에 의해 좌우되며(Chapman, 1992), 평수량 이하의 유량이 장기화될수록 하류지역에서 chl-*a* 농도가 급격하게 증가되어 수질이 악화되는 시기로 볼수 있어 하천의 수질은 수문학적 영향(Reynolds, 1988; Basu and Pick, 1996)도 큰 것으로 관찰되었다.

하구에서 21개월동안 매월 측정된 수질항목, 평균값, 표준편차, 최대값 및 최소값을 나타낸 것은 Table 1과 같고 주요 변동은 Figs. 2~8과 같다. 수온은 평균값이 19.6 $^{\circ}$ C였고 최고값은 29.9 $^{\circ}$ C, 최저값은 2.4 $^{\circ}$ C로서 여름에 높고 겨울에 낮은 전형적인 계절영향이 뚜렷하였다. DO는 7.7~19.9 mg O₂/l 범위로서 변동 폭이 매우 컸고 평균농도는 12.9 mg O₂/l였으며 수온과 반대 경향을 보였다. 수중 pH는 7.0~9.4 범위로서 평균값은 8.2이었다. pH는 다른 환경인자보다도 DO의 증감과 관련성이 높아 대체적으로 DO가 높을 때 pH값이 높고 DO가 낮을 때 pH값이 낮은 경향을 보였다. 전기전도도는 129~370 μ S/cm 범위로서 평균값은 233 μ S/cm였으며 갈수기인 동계에 높고 유량이 풍부한 하계에 낮은 양상을 보였다(Fig. 2).

TSS는 2.5~48.9 mg dw/l 범위로서 평균값은 32.0 mg dw/l였다. TSS의 변동은 다른 시기에 비해 유량이 증가한 99년 4월에 비교적 높았다(Fig. 2). 또한 chl-*a* 농도는 낮은 반면 TSS는 다소 높은 경향을 보였는데 이는 무엇보다도 지류의 영향과 하상정비에 따른 토사의 증

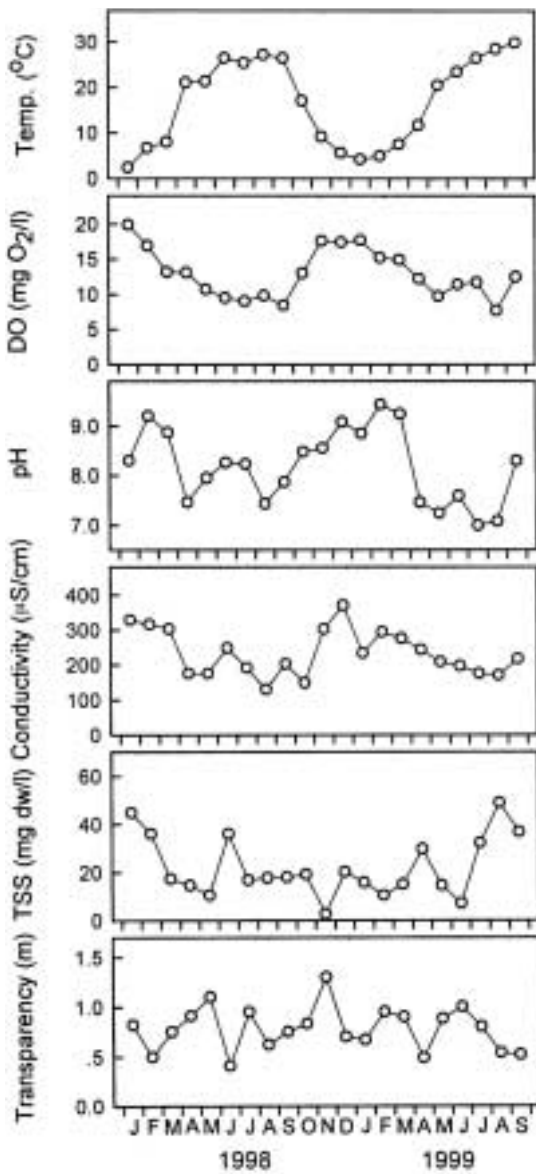


Fig. 2. Monthly variations of water temperature, dissolved oxygen, pH, conductivity, total suspended solids and transparency in the Kum River-Reservoir from January 1998 to September 1999.

가가 주된 원인으로 확인되었다. 이러한 영향을 제외한 경우로서 TSS가 증가하는 경향은 식물플랑크톤을 포함한 생물량의 증가에 따른 결과로 해석되었다.

Secchi 원판으로 측정된 물의 투명도는 0.4~1.3 m 범위로 변화 폭이 컸고 평균값은 0.8 m였다. 투명도는 여름과 겨울에 낮았고 봄과 가을에 다소 높은 경향을 보였다(Fig. 2). 투명도는 수중의 용해성 물질이나 입자성 유기물질의 양에 영향을 받으며 입자성 물질은 미세플

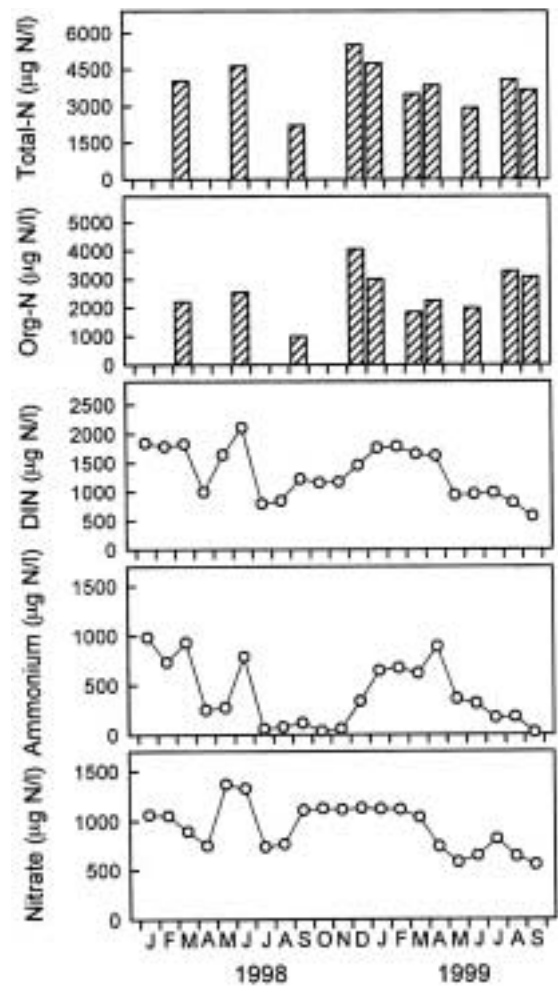


Fig. 3. Monthly variations of total nitrogen, organic nitrogen, dissolved inorganic nitrogen, ammonium and nitrate concentration in the Kum River-Reservoir from January 1998 to September 1999.

랑크톤과 입자 유기물질로 구분할 수 있다. 투명도의 연간 변동은 TSS의 변동과 유의한 상관관계를 보였고 식물플랑크톤 현존량인 chl-a와는 상관성이 낮았다. 이러한 결과는 본 연구기간동안 빈번하였던 강수에 의해 외부에서 유입되는 각종 입자성 물질의 영향이 하구호의 투명도에 크게 미쳤음을 시사한다.

2. N · P 및 Si 변동

TN, DIN, NH₄ 및 NO₃의 평균농도 및 범위는 각각 3,913 µg N/l (2,207~5,507 µg N/l), 1,326 µg N/l (568~2,106 µg N/l), 403 µg N/l (18~982 µg N/l) 및 933 µg N/l (550~1,366 µg N/l)였고 유기질소는 2,517 µg N/l (986~4,049 µg N/l)였다(Table 1). 질소화합물(TN) 농도

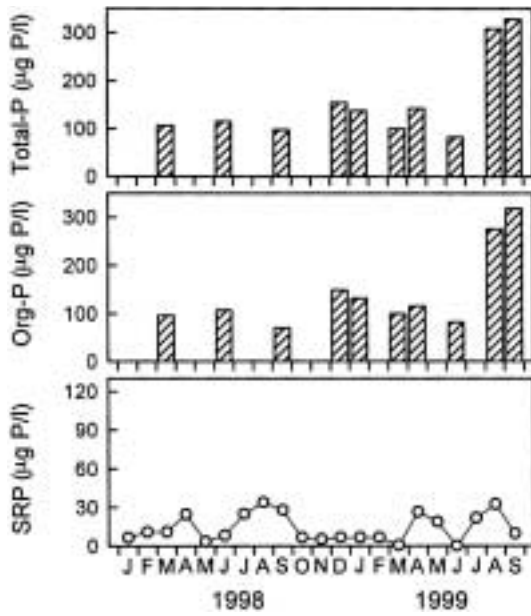


Fig. 4. Monthly variations of total phosphorus, organic phosphorus and soluble reactive phosphorus (SRP) concentration in the Kum River-Reservoir from January 1998 to September 1999.

에서 유기질소는 66%, DIN은 34%를 차지하였고 DIN 중에서 NH₄가 30%, NO₃가 70%를 차지하였다. 연중 변동에 있어서 TN과 유기질소 및 NH₄는 12월과 1월에 평균 농도가 각각 5,100 µg N/l, 3,500 µg N/l 및 600 µg N/l 수준으로 높았고 특히 암모니아는 7월~11월까지 평균농도가 87 µg N/l로서 상대적으로 다른 시기에 비해 매우 낮았다 (Fig. 3). 반면에 DIN과 NO₃는 여름에 평균 값이 각각 800 µg N/l, 700 µg N/l로서 낮거나 뚜렷한 증감의 경향성을 보이지 않았다 (Fig. 3).

TP, 유기인 및 SRP는 평균농도와 범위가 각각 157.3 µg P/l (82~328 µg P/l), 144.3 µg P/l (70~318 µg P/l) 및 14.0 µg P/l (0~34 µg P/l)로서 변동 폭이 크거나 변화양상이 불규칙하였다 (Fig. 4). TP에서 SRP를 빼 부분을 유기인으로 볼 때 유기인은 TP의 92%를 차지하였고 SRP는 8%에 불과하였다. TP와 유기인은 8월~9월에 각각 318 µg P/l, 297 µg P/l로서 급격한 증가를 보여 다른 시기보다도 각각 2.7배와 2.8배 컸다. 또한 유기 및 무기영양염 비율에 있어서 인에 대한 유기영양염의 비율은 질소와 비교해 볼 때 9배나 컸다.

반응성 용존규소(SRSi)는 농도범위가 0~3.0 mg Si/l 였고 평균값은 0.8 mg Si/l로서 변동 폭이 매우 컸으며 결핍되는 시기도 8회나 관찰되었다 (Fig. 5). SRSi는 8월에 평균 2.5 mg Si/l로서 가장 높았고 하절기 강우에 의



Fig. 5. Monthly variation of soluble reactive silicon (SRSi) concentration in the Kum River-Reservoir from January 1998 to September 1999.

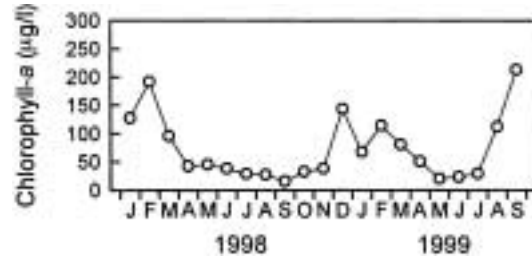


Fig. 6. Monthly variation of chlorophyll-a concentration in the Kum River-Reservoir from January 1998 to September 1999.

한 유량의 증가 영향이 가장 컸으며 SRP 변동과 관련성이 관찰되어 SRP가 감소한 후 SRSi가 급감하는 양상이 뚜렷하였다. SRSi는 토양에 근간이 되는 인자로서 증감의 변동 중 증가요인은 유역의 토지이용에 의한 비점오염원의 영향이 크며 전술한 바와 같이 하천정비 등에 의한 인위적인 교란도 중요한 요인으로 볼 수 있었고 감소요인은 저층으로의 침강과 식물플랑크톤의 흡수 및 이용 (Takano and Hino, 1996)이 상당한 부분을 차지할 것으로 판단된다.

3. Chl-a 변동

식물플랑크톤의 현존량을 나타내는 chl-a는 최저 16 µg/l에서 최고 213 µg/l까지 변동이 컸고 평균농도는 73 µg/l였다 (Table 1). 연중 chl-a의 변동에서 높은 시기는 규조류 *Stephanodiscus*가 장기간 대발생하는 동계 (12월~3월)와 남조류 *Microcystis*가 수표면에 녹색으로 수화를 일으키는 여름기간 (8월~9월)이 해당하였다. 따라서 온대의 담수생태계에서 일반적으로 나타나는 식물의 생육기인 춘계와 추계에 높은 전형적인 계절변동은 찾아볼 수 없었고 도리어 여름과 겨울에 폭발적으로 증가하는 양상을 보였다 (Fig. 6). 이 시기에 chl-a는 동일하게 100 µg/l을 훨씬 초과하였고 조사결과 중에서 대부분

20 $\mu\text{g/l}$ 이상이었고 70 $\mu\text{g/l}$ 이상은 9회나 관찰되어 내부 유기물 생산이 상당한 비중을 차지하는 것으로 판단되었다.

4. 제한영양염 추정

수중에서 식물플랑크톤의 성장에 대한 제한영양염의 판정은 일반적으로 화학적 수질분석에 의한 상대 비율과 AGP (algal growth potential) 측정이나 NEB (nutrient enrichment bioassay)와 같은 생물검정의 결과로서 평가될 수 있다 (Miller *et al.*, 1974; Goldman, 1978). N과 P의 상대적인 풍부성은 식물플랑크톤 군집의 양과 조성에 중요한 영향을 미치게 되며 (Smith, 1986; McCauley *et al.*, 1989), N/P 비율은 물의 영양상태와 밀접한 관련성이 있어 수질이 오염될수록 그 비율이 감소하고 오염이 덜할수록 증가하는 경향을 보이며 P에 비해 상대적으로 N의 함량이 매우 클 때 그 값이 크다 (Downing and McCauley, 1992).

N/P의 비가 <10이면 N제한, >20이면 P제한으로 보는 Porcella와 Bishop (1975)에 따르면 N/P의 비는 평균값이 720 (25~9,523 범위)으로서 매우 크기 때문에 식물플랑크톤의 성장에 대한 제한인자는 P가 중요하게 작용할 것으로 추정되었다 (Table 1, Fig. 7). 또한 TN/TP의 비로 볼 때 그 비율이 29.2 (11~40 범위)로서 17 이상 (Downing and McCauley, 1992)에 해당하여 영양염의 제한성은 무기 N·P의 결과와 동일하였으며, 신과 조 (2000)에 의해 금강 중·하류를 대상으로 평가된 AGP 결과와 일치하였다.

Si/P의 비는 평균값과 범위가 각각 76, 0~246이었고, 50 이하 수준을 보였던 시기는 2월~7월 및 9월이었고 이 시기는 담수조류 중 규조류의 발생이 비교적 높았던 때였다 (Fig. 7). 또한 발생 조류의 주요 종조성은 *Synedra*와 *Aulacoseira*속 규조류로서 다량의 Si와 P가 공급된 직후에 더욱 뚜렷하여 다른 규조류에 비해 영양염의 요구도가 높은 것으로 추정되었고 이러한 결과는 소형 규조류 *Stephanodiscus*가 장기간 대발생하는 동계의 평균 96보다 현저하게 적은 수준이 이를 뒷받침한다고 하겠다.

5. 수질의 계절적 특성

금강 하구호의 수질을 조사한 결과 여름 (1999년 8월~9월)과 겨울 (1998년 1월~3월, 12월 및 1999년 1월~3월)의 극심한 오염 수준에 대한 전형적인 양상이 대별되었다 (Table 2). 영양염 중 NH_4 , NO_3 와 TN/TP 및 DIN/SRP의 비는 하계에 낮고 동계에 높아 각각 7.0, 1.8, 2.9 및 14.0배 정도 컸고, 반면에 SRP와 SRSi는 동

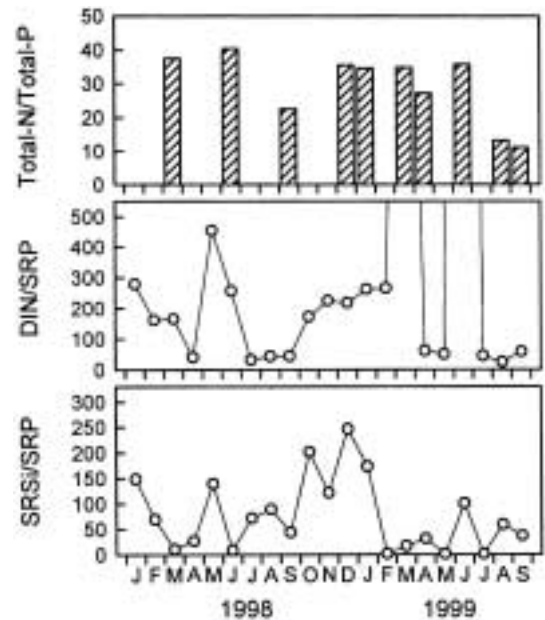


Fig. 7. Monthly variations of total-N/total-P, dissolved inorganic nitrogen/soluble reactive phosphorus (upper) and soluble reactive silicon/soluble reactive phosphorus (lower) in the Kum River-Reservoir from January 1998 to September 1999.

계보다 하계에 각각 3.0, 1.6배 더 높아 크게 대비되었다. 하계에 질소 성분이 낮은 것은 다른 요인보다도 계절에 따른 강우의 영향으로 유량이 증가하여 희석된 효과로 볼 수 있었고, 동계에 SRP와 SRSi의 농도가 낮은 것은 규조류 *Stephanodiscus*의 만성적인 대발생이 감소의 주된 요인으로 나타났다.

동·하계에 chl-a 수준은 규조류 *Stephanodiscus*가 우점하였던 동계보다도 남조류 *Microcystis*가 번무한 하계가 더욱 높았다. 투명도는 chl-a의 수준과 일치하였고 하계에 큰 폭으로 감소한 것은 남조류 *Microcystis*의 군체가 부상하여 수표면 부근의 상부에 조류막을 형성한 것에 원인을 둘 수 있었다. 또한 1998년과 1999년 하계의 chl-a 농도를 비교해 보면 최대 198 $\mu\text{g/l}$ 정도 차이가 있었는데, 이러한 결과는 지속된 강우의 빈도와 유량의 증감에 따른 차이로 설명될 수 있었다 (Basu and Pick, 1996). 따라서 하천의 하구호에서 식물플랑크톤 발생량의 조절에 다른 환경요인과 더불어 수문인자가 중요하게 작용할 것으로 판단되었다.

금강 하구호에서 동·하계에 전개되는 수질양상은 낙동강에서 조사된 선행연구 (신, 1998; 조와 신, 1998)의 결과와 매우 유사하였으며 주요 영향인자로는 무기 N·P 및 Si 농도와 수문학적 요인이 크게 관여되는 것

Table 2. Comparison of water quality according to summer (August~September) and winter (December~March) season in the Kum River Reservoir.

Dominant algae (Season)	Temp. (°C)	NH ₄ -N (µg/l)	NO ₃ -N (µg/l)	SRP (µg/l)	SRSi (mg/l)	Chl-a (µg/l)	Trans. (m)	TN/TP	DIN/SRP
<i>Stephanodiscus</i> (Winter)	5.6	671.9	1,054.2	7.0	0.67	117.0	0.8	35.6	585.5
<i>Microcystis</i> (Summer)	29.2	96.6	592.3	21.1	1.10	162.4	0.5	12.2	41.8

으로 판단되었다(신, 1998). 따라서 하구호의 수질관리는 상류로부터 유하되는 유량이 극히 빈약한 저수 또는 갈수기를 중심으로 이루어져야 할 것으로 보며 무엇보다도 도시하천에 분포된 오염원으로부터 유입되는 영양염의 절대적인 제어가 뒤따라야 할 것으로 본다.

6. 수질오염도

중·하류에서 부영양화의 평가항목인 chl-a, 투명도 및 TP로서 수질을 평가하였다(Vollenweider, 1968; USEPA, 1976; Carlson, 1977; Forsberg and Ryding, 1980; OECD, 1982). 그 결과 하구 저수지의 수질은 여러 평가기준을 통해 대부분 부영양화된 것으로 나타났다(Fig. 8). 1~100 범위에서 10등급으로 구분한 Carlson (1977)의 영양지수에 의하면 50 이상을 부영양, 70 이상을 과영양단계로 보는 기준을 적용할 때 하구에서 투명도, chl-a 및 TP의 평균값이 각각 64, 70 및 76으로서 수질이 매우 악화되었다.

Chl-a는 식물플랑크톤의 현존량 뿐만 아니라 부영양화 상태를 평가하는 지표가 된다. 연평균 농도가 >25 µg/l을 부영양(eutrophic), >75 µg/l을 과영양(hypertrophic)으로 평가하는 Vollenweider와 Kerekes (OECD, 1982)의 기준에 따르면 73 µg/l로서 과영양 수준에 가까운 수질 상태를 보였다(임 등, 2000).

TN과 TP농도가 각각 600~1,500 µg N/l, 393~6,100 µg N/l와 25~100 µg P/l, 16~390 µg P/l를 부영양, >1,500 µg N/l, >6,100 µg N/l와 >100 µg P/l, 750~1,200 µg P/l를 과영양으로 보는 기준(Forsberg and Ryding, 1980; OECD, 1982)에 따르면 금강 하구호는 부영양 또는 과영양상태로 평가되었다(Table 1 참조).

금강 중·하류의 수질악화는 지류의 점오염원으로부터 고농도의 N·P 영양염이 유입되는데 원인을 들 수가 있으며 특히 저수기~갈수기에 본류의 하류에서 장기간 식물플랑크톤이 만성적으로 대발생하는 등 전형적인 수질오염 양상을 보이고 있는 수준에 있다(임 등, 2000). 따라서 금강 하류는 주변 지역의 개발이 가속화되고 있어 향후 물 이용이 더욱 증가할 것으로 전망되

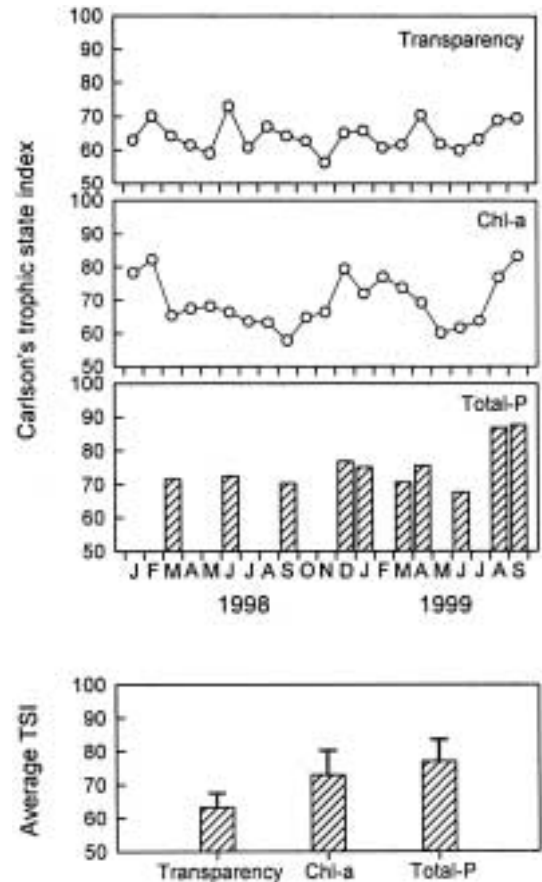


Fig. 8. Monthly variations and average trophic state index (TSI) by Carlson's criterion (1977) of each parameters in the Kum River-Reservoir from January 1998 to September 1999.

고 있기 때문에 이에 대한 대책 마련이 시급한 것으로 사료된다. 또한 현 시점에서 부영양화에 대한 수질관리 뿐만 아니라 하천생태계의 건강성 유지를 위해 지속적인 생태학적 조사가 필요할 것으로 판단되었다.

적 요

금강 하구호의 수질 특성을 파악하기 위하여 1998년

1월부터 1999년 9월까지 매월 조사하였다. 수질 인자 중 TN, TP, chl-a 및 투명도의 평균값은 각각 3,900 µg N/l, 160 µg P/l, 73 µg/l 및 0.8 m로서 부영양화 특성이 잘 나타났다. TN 중에서 유기질소가 66%, 무기질소가 34%를 차지하였고 무기질소 중에서 NH₄와 NO₃는 각각 30%와 70%를 점유하였다. 또한 TP에 대한 SRP의 비율은 9% 이하였다. TN/TP 및 DIN/SRP비는 겨울에 높고 여름에 낮았다. SRSi는 0~3.0 mg Si/l 범위로 변동 폭이 컸고 하계에 매우 높았으며 SRSi가 장기간 고갈되는 양상도 관찰되어 SRP와 더불어 담수조류(규조류)의 생장에 영향을 줄 수 있는 제한영양염으로 추정되었다. Chl-a는 동·하계에 각각 113 µg/l, 162 µg/l로서 월등히 높았고 이 시기는 규조류 *Stephanodiscus*와 남조류 *Microcystis*가 번무하는 시기였다. 하구 저수지의 수질오염도는 과영양상태로 평가되어 이에 대한 수질관리가 매우 시급한 것으로 판단되었다.

인 용 문 헌

- 건교부(건설교통부). 1979-97. 한국수문연보, 유량연보.
 금홍통(금강홍수통제소). 1998-99. 금강수위월보.
 농진공(농어촌진흥공사). 1985-97. 금강호 환경관리 및 사후 환경조사보고서.
 농진공(농어촌진흥공사). 1997. 금강호, 하구둑 유지관리 보고서(1994~1996). 462pp.
 산기개(산업기지개발공사). 1986. 금강유역 조사보고서. 353 pp.
 신재기. 1998. 낙동강 부영양화에 따른 담수조류의 생태학적 연구. 인제대학교 박사학위논문, 202pp.
 신재기, 조경제. 2000. 금강 중·하류에서 AGP에 의한 수질 평가. 한국환경생물학회 춘계학술발표논문집, 102pp.
 신재기, 조경제, 오인혜. 1999. 대청호에서 수환경 요인과 식물플랑크톤의 변동. 한국환경생물학회지 17: 529-541.
 임창수, 신재기, 조경제. 2000. 금강 중·하류에서 오염양상과 수질평가. 한국육수학회지 33: 51-60.
 유선재, 김중구, 권태연, 이석모. 1999. 금강의 부영양화 현상에 관한 연구. 한국환경과학회지 8: 155-160.
 조경제, 신재기. 1998. 낙동강 하류에서 동·하계의 N·P 영양염류와 식물플랑크톤의 동태. 한국육수학회지 31: 67-75.
 조경제, 신재기, 광승국, 이옥희. 1998. 담수산 *Stephanodiscus* 속 규조류의 오염지표성 평가. 한국육수학회지 31: 204-210.
 한수공(한국수자원공사). 1995. 금강유역 조사보고서. 316pp.
 한수공(한국수자원공사). 1998. 대청댐 하류에서 오염물질의 이송 및 확산에 관한 연구. 118pp.
 환경부. 1993. 수질오염공정시험방법, 도서출판 동화기술. pp. 17-314.
 APHA, AWWA, WEF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
 Basu, B.K. and F.R. Pick. 1996. Factors regulating phytoplankton and zooplankton biomass in temperate rivers. *Limnol. Oceanogr.* 41: 1572-1577.
 Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
 Chapman, D. 1992. Water quality assessments- A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. UNESCO/WHO/UNEP, Chapman & Hall. 585pp.
 Downing, J.A. and E. McCauley. 1992. The nitrogen: phosphorus relationship in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 37: 936-945.
 Forsberg, C. and S.O. Ryding. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. *Arch. Hydrobiol.* 89: 189-207.
 Goldman, C.R. 1978. The use of natural phytoplankton populations in bioassay. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* 21: 364-371.
 McCauley, E., J.A. Downing and S. Watson. 1989. Sigmoid relationships between nutrients and chlorophyll among lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 1171-1175.
 Miller, W.E., T.E. Maloney and J.C. Greene. 1974. Algal productivity in 49 lake waters as determined by algal assays. *Wat. Res.* 8: 667-679.
 Nusch, E.A. 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol. Beih. (Ergebn. Limnol.)* 14: 14-36.
 OECD. 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France. 154pp.
 Porcella, D.B. and A.B. Bishop. 1975. Comprehensive management of phosphorus water pollution. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Mich. 303pp.
 Reynolds, C.S. 1988. Potamoplankton: paradigms, paradoxes and prognoses, In Round, F.E. (ed.), Algae and the aquatic environment. Biopress. pp. 285-311.
 Rump, H.H. and H. Krist. 1988. Laboratory manual for the examination of water, wastewater, and Soil. VCH Verlagsgesellschaft, Publ, New York, NY (USA). 190pp.
 Smith, V.H. 1986. Light and nutrient effects on the relative biomass of blue-green algae in lake phytoplankton. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 148-153.
 Takano, K. and S. Hino. 1996. The effect of silicon concentration on replacement of dominant diatom species in a silicon-rich lake. *Jpn. J. Limnol.* 57: 153-162.

UN (United Nations). 1992. Protection of inland waters against eutrophication. New York, ECE/ENVWA/26. 29 pp.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1976. Water quality criteria research of the US E.P.A., Proceedings of an EPA sponsored symposium, EPA-600

(3-76-079): 185.

Vollenweider, R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen phosphorus as factors in eutrophication. OECD Paris. DAS/CSI/68.27.