

금강 중·하류에서 AGP에 의한 수질평가

신재기* · 조경제

(인제대학교 환경시스템학부, 김해 621-749)

Water Quality Assessment by Algal Growth Potential (AGP) from Midstream to Downstream of the Kum River. *Shin, Jae-Ki* and Kyung-Je Cho (School of Environmental Science and Engineering, Inje University, Kimhae, 621-749, Korea)*

Algal growth potential (AGP) bioassay were conducted to assess the water quality and fertility in the Kum River from March 1998 to June 1999. AGP values were always the highest at the conjunction site of the Kapchon, which is a tributary of the Kum River. Average value of AGP by *Microcystis aeruginosa* in the main river and tributary was 17.0 mg dw/l, 48.3 mg dw/l, respectively. AGP values decreased towards the lower part of the river and consisted in the water quality or nutrient analysis results. Among the tributaries, AGP of the Kapchon, Mihochon and Soksongchon were relatively high, and the average value was 161.2, 50.3 and 125.6 mg dw/l, respectively. AGP value in the Yukuchon was lowest among the study stations with <2.7 mg dw/l. Water quality in the lower part of the Kum River deteriorated in drought season, and the AGP values of this season were higher than those in other seasons. Based on correlation analysis between AGP results and nutrients, limiting nutrient appeared to be P because SRP ($r = 0.99$) was higher than other nutrients, and N uptake in algal growth was preferred by NH_4 rather than NO_3 . The variation of AGP was different according to localities and seasons, and it was related to nutrient fluctuation in the inlet tributary. Water quality status according to AGP was assessed to be eutrophic.

Key words : AGP, Ammonium, Chlorophyll-a, *Microcystis aeruginosa*, SRP

서 론

경제의 성장과 도시화에 따른 생활수준의 향상으로 용수의 요구가 급증할 뿐만 아니라 그 만큼 하·오수 발생량이 증가하여 수질오염이 심각해지고 있다. 수질의 부영양화는 수체에서 영양염 농도의 단순한 증가현상 뿐만 아니라 그와 관련된 수중 생물상의 변화를 수반하여 생태계의 구조와 기능적 측면에서 물질생산성의 불균형을 초래하게 된다(Kotai et al., 1978). 우리나라는 생활하수, 산업폐수 및 축산폐수 등의 오수관리가 제대로

실행되지 못하여 대부분의 내륙 수계에서 N·P 영양염 농도의 증가로 인한 조류의 대발생이 연중 전개되고 있으며, 특히 갈수기에는 장기화되고 있다(신, 1998). 이러한 조류의 대발생은 정수처리를 어렵게 하고 이취미 문제를 야기하는 등 상수관리에도 악영향을 미치고 있다.

금강은 유역에서 점오염원 역할을 하는 도시하천으로부터 각종 오·폐수가 다량 유입되어 하류에서 조류 발생량은 연평균 70 $\mu\text{g chl-a/l}$ 를 초과하고 있으며, 유량이 빈약한 시기에는 만성적으로 대발생하고 있다(임 등, 2000). 중류(갑천과 미호천 합류후)에서부터 수질이 매우 악화되어 그 하류에서는 영양염의 감소와 조류생장

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

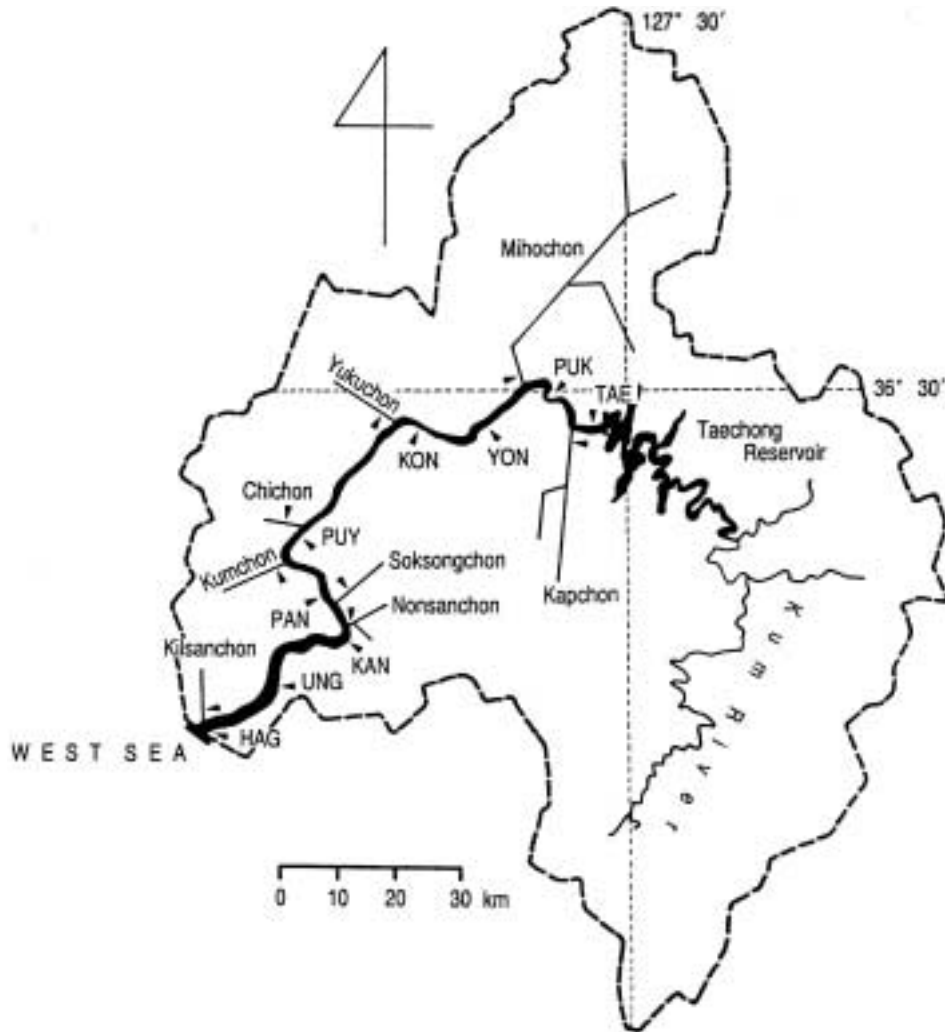


Fig. 1. Sampling locations to estimate AGP values in the midstream to downstream of the Kum River. The estuarine barrage or watergates were constructed in the river mouth from December 5, 1983 to November 20, 1990. Water impoundment began in August 30, 1994.

의 관련성이 매우 높아 전형적인 부영양화 현상을 보이고 있다(유 등, 1999; 임 등, 2000). 조류의 증식은 환경요인에 따라 좌우되며 그 변화 폭은 크고 조류의 이용 가능한 영양염의 구성 및 그 비율이 중요한 요인으로 작용한다(신, 1998). 따라서 수질평가를 이화학 분석에만 치중하는 것보다도 자연개체군 또는 단일 배양조류 등을 이용한 평가도 매우 중요하게 다루어져야 할 부분이다.

조류성장잠재력 (algal growth potential, AGP)은 1966년 Oswald and Golueke에 의해 수체의 영양상태를 파악하는데 처음 사용되었으며(Lehmusluoto, 1978), 수중에서 미세조류가 성장할 수 있는 이용 가능한 영양염의 풍부도를 평가하는 생물검정법으로서 폭넓게 활용되고 있다. 조류는 수체의 영양상태에 따라 현존량을 달리하

기 때문에 그 수준을 판별하는데 가치있는 지표로 이용될 수 있다. 조류생장을 제한하거나 영향을 미치는 영양염을 파악하는데 있어서는 수질의 이화학 분석 결과나 영양염의 상대적 비율 특히 N/P 비율이 적용되고 있다. 그러나 수질분석에 의한 조류생장의 영양염 제한성은 대략적인 수치평가에 의한 것으로 볼 수 있다(Miller *et al.*, 1974).

시험조류 (test algae)를 이용하는 bioassay는 제한영양염 판정 뿐만 아니라 오·폐수 처리효율을 판정하거나 독성을 평가하는 등 다양하게 활용되고 효율성도 높다(Lhotsky and Marvan, 1988). 국내에서는 1990년대에 하천과 호소에서 AGP 분석이 꾸준히 이루어져 왔으며, 수질의 부영양화 정도를 평가하고, N·P 영양염의

상대적 결핍을 밝히는데 주로 활용되었다(위 등, 1991; 신과 조, 1999).

본 연구는 하류부에서 조류의 대발생이 심각한 금강 중·하류 구간의 본류와 유입지류에서 시험조류(*Microcystis aeruginosa*)의 성장실험(AGP)을 통하여 수중에서 미세조류가 이용할 수 있는 무기 N·P 영양염을 파악 하였고, 수질 부영양화 정도를 평가하였다. 또한 AGP와 N·P 영양염 및 chl-a 농도와의 상호관련성을 분석하였다.

재료 및 방법

금강 유역에서 AGP측정을 위한 조사는 본류 9개 지점-대청호 조정지댐(TAE), 부강(PUK), 금남교(YON), 공주교(KON), 백제교(PUY), 반조원(PAN), 강경대교(KAN), 옹포대교(UNG) 및 하구둑(HAG), 8개 지류-갑천, 미호천, 유구천, 지천, 금천, 석성천, 논산천 및 길산천 등 총 17개 지점이었다(Fig. 1). AGP는 98년 3월 10일, 6월 21일, 9월 18일, 12월 27일, 99년 1월 27일, 3월 9일, 4월 13일 및 6월 9일에 걸쳐 총 8회 측정하였다.

수질분석과 AGP 측정시료는 각 지점에서 0.3 m 깊이 의 표층수를 Van Dorn 채수기로 채수하여 사용하였다. 수중 NH₄, NO₃ 및 SRP(soluble reactive phosphorus) 영양염 농도는 시료를 Whatman GF/F filter로 여과한 후 Rump and Krist(1988)의 방법에 따라 분석하였다. 엽록소 a 농도는 90% ethanol로 비등 추출하여 665 nm와 750 nm의 흡광도값으로 산정하였다(Nusch, 1980).

AGP 측정에 사용된 시험조류는 국외에서 널리 이용되고(AHPA, 1992) 있을 뿐만 아니라 국내에서 수질 부영양화로 인해 크게 문제가 되고 있는 남조류 *Microcystis aeruginosa*를 선택하였다. *M. aeruginosa*는 1998년 7월에 금강 하류의 HAG에서 채집하여 단세포를 manipulator로 분리 배양하였고, *Microcystis*는 MA 배지(Watanabe, 1996)에서 배양하였다. Membrane filter(0.45 m, Millipore)로 여과한 원수 50 ml에 P-starvation시킨 *M. aeruginosa*를 ml 당 1,000 세포가 되도록 접종하였다(Claesson and Forsberg, 1978; APHA, 1992; 신, 1998). AGP 측정은 duplicate로 하였고, 접종한 시료는 7일 동안 배양한 후 600 nm 파장에서 흡광도를 측정하였으며, 최종적으로 신과 조(1999)의 방법에 따라 건중량(mg dw/l)으로 산출하였다. 배양온도는 25°C로 항온을 유지 하였고, 광은 200 mol/m²/s로 24시간 연속조사하였으며, 100~110 rpm으로 회전시켰다. 자료의 상관분석은 Minitab 7.1 통계패키지(Minitab Inc., 1989)를 이용하였다.

결 과

1. 무기 N·P와 chl-a 변동

1) 본류구간

본류의 NH₄는 평균농도가 891 µg N/l이었고, TAE에서 평균 38 µg N/l로 시작하여 갑천으로부터 유입되는 고농도(평균 5,231 µg N/l)에 의해 PUK에서 평균이 1,476 µg N/l로서 TAE의 38배 수준으로 급격하게 증가하였다. 이후 하류의 PAN까지 평균 752 µg N/l 수준으로 감소하였으며 UNG에서 940 µg N/l로서 조금의 증가가 있었으나 HAG에서 평균 577 µg N/l로 다시 큰 폭으로 감소하는 경향이 뚜렷하였다(Fig. 2). NH₄는 계절적으로 볼 때 12월~3월이 비교적 높았고 6월과 9월이 비교적 낮았던 결과로 보아 본류의 유량의 증가 영향이 컸던 것으로 볼 수 있었다. UNG에서 큰 차이는 아니지만 이전 조사 지점보다도 다소 높은 농도를 나타낸 것은, 특히 이 구간은 정체성이 강하고 수심이 어느정도 유지되는 하천의 하류부에 해당하여 본 조사를 통해 파악되지 않은 또 다른 영향인자가 있었던 것으로 판단되었다.

중·하류에서 NO₃의 변동은 본류의 평균값이 916 µg N/l였고 NH₄와는 달리 중·하류에서 유하거리에 따른 정점별 농도는 PUY에서 평균농도가 1,000 µg N/l로서 다른 지점에 비해 조금 높았으나 변동 폭은 크지 않았다(Fig. 2).

SRP는 다른 영양염 인자에 비해 변동 양상이 뚜렷하였고 NH₄와 유사한 경향을 보였다. 중·하류에서 SRP는 TAE에서 평균농도가 7 µg P/l로서 매우 낮았고 갑천이 유입된 직후인 PUK에서 평균값이 117 µg P/l로서 17배정도 증가하였다. 이후 하류로 유하하면서 큰 폭으로 감소하여 HAG에서는 평균농도가 11 µg P/l 수준으로 낮아졌다(Fig. 2). 일반적으로 SRP는 담수에서 식물플랑크톤의 현존량을 결정하는 중요한 제한인자로 잘 알려져 있다. 따라서 하류로 유하하면서 P가 감소한 것은 식물플랑크톤의 생물량 증가와 밀접한 관련성이 있는 것으로 판단된다(신, 1998).

Chl-a 농도는 중류에서 하류로 갈수록 급격하게 증가하는 양상이 뚜렷하였다. TAE에서 평균값이 3.9 µg/l 농도로 낮았으나 하류로 갈수록 높아져 KAN에서 평균이 53.0 µg/l였고 HAG에서 64.4 µg/l로서 TAE보다 17배정도 증가한 수준이었다(Fig. 2). 하류로 갈수록 chl-a의 증가는 무엇보다도 NH₄와 SRP가 감소한데 주된 원인을 둘 수가 있었다. 따라서 금강의 중·하류 구간에서 식물플랑크톤의 생장은 이들 무기 N·P의 농도가 중요

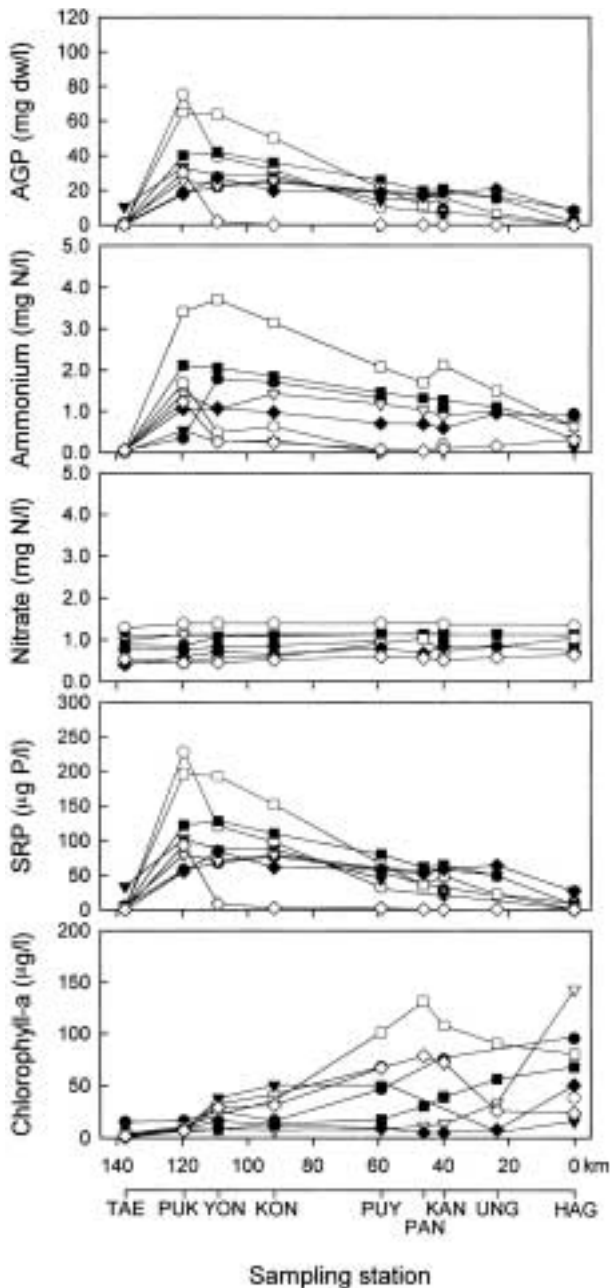


Fig. 2. Spatial and temporal variations of AGP, ammonia, nitrate, SRP and chl-*a* concentration from midstream to downstream of the Kum River. March 9, 1998 (●), June 21, 1998 (○), September 7, 1998 (▼), December 27, 1998 (▽), January 27, 1999 (■), March 21, 1999 (□), April 6, 1999 (◆) and June 21, 1999 (◇).

한 요인으로 볼 수 있었다.

2) 주요 유입지류

지류에서 NH_4 의 분포로 볼 때, 갑천에서 평균농도가

5,231 $\mu\text{g N/l}$ 으로 가장 높았고, 그 다음으로 석성천, 미호천 및 논산천이 각각 2,579 $\mu\text{g N/l}$, 2,274 $\mu\text{g N/l}$ 및 1,535 $\mu\text{g N/l}$ 이었으며 유구천은 평균농도가 111 $\mu\text{g N/l}$ 로서 가장 낮았다. 평균농도로 볼 때 가장 높았던 갑천과 최저를 보인 유구천과의 비교에서 갑천이 유구천보다 평균 47배 더 높아 그 차이가 컸다 (Fig. 3). 반면에 지류에서 NO_3 는 평균값이 872 $\mu\text{g N/l}$ 였고 본류구간의 변동과 마찬가지로 NH_4 와는 달리 조사시기 및 정점별 차이는 적었고 거의 일정한 수준을 보였다 (Fig. 3). 따라서 NO_3 가 본류에 미치는 영향은 그리 크지 않은 것으로 볼 수 있었다.

지류에서 SRP 분포는 다른 영양염 인자보다 뚜렷하였고 NH_4 와 유사한 경향을 보였다. SRP는 갑천이 가장 높아 평균농도가 486 $\mu\text{g P/l}$ 였고 석성천, 미호천 및 논산천의 순으로 각각 평균농도가 379 $\mu\text{g P/l}$, 153 $\mu\text{g P/l}$ 및 74 $\mu\text{g P/l}$ 를 나타냈다 (Fig. 3). SRP의 농도가 가장 낮았던 유구천과 갑천의 비교에서 갑천이 평균적으로 47배 더 높아 본류로 유입되는 SRP의 영향이 매우 컸다. 또한 본류의 부영양화는 NH_4 와 SRP의 수준에 의해 좌우되므로 이에 대한 저감대책 마련이 시급한 것으로 판단된다. 그 단적인 예로 오염부하가 상대적으로 큰 도시를 관류하는 계천으로부터 유입되는 N·P의 증가량에 비례하여 chl-*a*가 지속적으로 증가하는데 원인을 들 수 있다.

지류에서 chl-*a* 농도는 0.5~74.7 $\mu\text{g/l}$ 범위로서 평균값은 18.1 $\mu\text{g/l}$ 였다. Chl-*a* 분포는 유구천, 지천 및 금천의 평균이 각각 5.7 $\mu\text{g/l}$, 3.4 $\mu\text{g/l}$ 및 6.9 $\mu\text{g/l}$ 로서 비교적 낮았고, 미호천과 길산천이 각각 30.9 $\mu\text{g/l}$, 51.7 $\mu\text{g/l}$ 로서 높았으며 갑천과 논산천은 각각 18.8 $\mu\text{g/l}$, 16.9 $\mu\text{g/l}$ 로서 그 중간 수준에 해당하였다 (Fig. 3).

2. AGP

*M. aeruginosa*를 시험종으로 측정한 AGP 결과는 조사시기에 따라 변이가 컸다. 1998년 6월과 99년 3월에는 PUK에서 AGP가 각각 75.2, 64.6 mg dw/l였으며, PUY에서 10.0, 21.1 mg dw/l, HAG에서 1.9, 0.0 mg dw/l였다. 반면 1999년 6월에는 PUK에서 30.9 mg dw/l로 생장하였을 뿐 YON하류부터 HAG까지는 거의 생장이 없어 2.0 mg dw/l 이하였다 (Fig 2). 따라서 중·하류 구간에서 AGP의 변동은 계절에 따라 다르게 나타났으며, AGP 크기는 수중 NH_4 및 SRP의 농도와 밀접한 관련성이 관찰되었다.

지류의 AGP 결과를 보면, 1999년 6월에는 갑천에서 262.3 mg dw/l, 1999년 3월에 석성천에서 275.4 mg dw/l

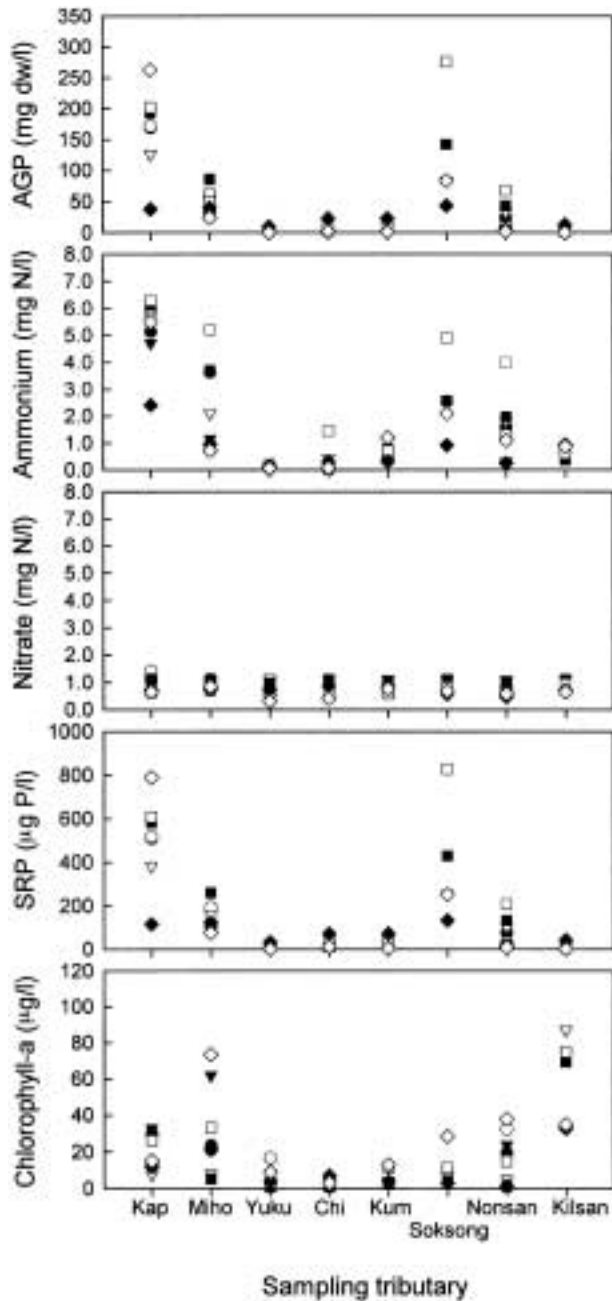


Fig. 3. The distribution of AGP, ammonia, nitrate, SRP and chl-*a* concentration at tributaries of the Kum River. March 9, 1998 (●), June 21, 1998 (○), September 7, 1998 (▼), December 27, 1998 (▽), January 27, 1999 (■), March 21, 1999 (□), April 6, 1999 (◆) and June 21, 1999 (◇).

로 가장 높았고 미호천과 논산천은 평균값이 각각 50.3, 23.9 mg dw/l였으며 그 이외 지류에서는 0~23.1 mg dw/l 범위로서 AGP값이 상대적으로 매우 적었다(Fig. 3).

Table 1. Correlation coefficients between AGP and inorganic N · P nutrient, chlorophyll-*a* concentration in the Kum River and its tributary.

Factors	Algal growth potential (AGP)	
	Main river (N = 66)	Tributary (N = 52)
Ammonia	0.743**	0.860**
Nitrate	0.142	0.199
Soluble reactive phosphorus	0.999***	0.999***
Chlorophyll- <i>a</i> in river water	-0.290	-0.059

Note: ** P<0.01; *** P<0.001.

3. N · P 영양염과 AGP

AGP값은 수중 NH₄와 SRP 영양염 농도와 상관성이 매우 높게 나타났는데 본류와 지류에서 각각 0.74, 0.86 (P<0.01) 및 0.99, 0.99 (P<0.001)이었다(Table 1, Figs. 4, 5). 반면 NO₃ 농도는 상관성이 매우 낮게 나타났다. 금강 중·하류의 본류와 지류에서 조류의 chl-*a*와 AGP의 상호관련성을 볼 때, chl-*a*가 높은 곳에서는 대체로 AGP값이 낮았고, chl-*a*가 낮은 곳에서는 AGP값이 높은 경향을 보였다(Figs. 4, 5). 결과적으로, AGP값이 높고 chl-*a*가 낮은 곳은 N과 P가 다량 유입되는 곳으로서 직접적으로 오염원 영향이 반영되었고, 유속이 어느 정도 유지되는 본류의 중류부나 도시하천의 유입부에 해당하였으며, 하류로 갈수록 그 양상은 대별되어 chl-*a* 농도가 높아지면서 수중 영양염의 감소로 인해 AGP가 적음이 뚜렷하였다.

고찰

수중의 fertility를 측정하는 AGP 검정법은 제한영양염 추정(Goldman, 1978), 처리수의 방류로 인한 오염영향 평가(USEPA, 1971) 및 위해성 평가(Forsberg *et al.*, 1978) 등 수질을 다양하게 평가하는데 활용되어 왔다.

AGP는 수중에서 조류가 생장할 수 있는 잠재력을 나타내는 것으로서 수질의 오염도를 판별하는 척도이다. 이러한 측면으로 볼 때, 금강에서 남조류 *M. aeruginosa*를 통한 검정 결과는 실제 수질오염도와 잘 일치하는 등 매우 효과적이었으며, 하류로 유하하면서 담수조류 발생량이 급격히 증가하므로 water fertility가 감소되는 경향을 잘 반영하였다. AGP에 대한 SRP와 NH₄의 영향이 매우 컸으며 두 영양염 중 어느 한 영양염이 감소되거나 고갈된 구간에서 AGP값은 감소하였으며 특히 P에 대한 영향이 뚜렷하였다.

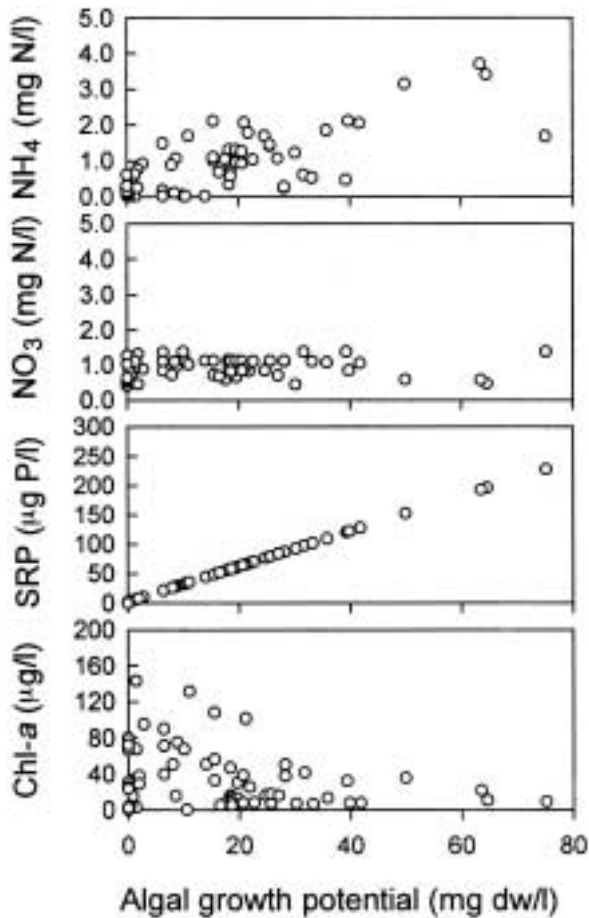


Fig. 4. Relationships between ammonium, nitrate, soluble reactive phosphorus, chlorophyll-*a* concentration and algal growth potential in the main river of the Kum River from March 1998 to June 1999. (N=66).

금강에서 AGP 측정결과를 국내의 다른 수계에서 조사된 것과 비교해 볼 때, AGP에 의한 수질평가가 가능하였다. 신과 조 (1999)에 의해 정리된 호소 (14.1 mg dw/l)와 하천 (12.9 mg dw/l)의 평균값에 비해 금강 본류 (17.0 mg dw/l, 0~75.2 mg dw/l 범위)는 조금 높았으나, 지류 (48.3 mg dw/l, 0~275.4 mg dw/l)는 각각 3.4배, 3.7배 수준으로 더욱 높았다. 조사 시기마다 원수에서 식물플랑크톤이 흡수 이용하고 남은 잔여 영양염의 영향이 지배적이었는데, 잔여 영양염의 농도는 갈수기로 갈수록 더 증가하고 AGP가 높게 나타나는 경향을 보였다 (Miller *et al.*, 1974).

금강 수질에서 조류의 성장에 대한 제한 영양염 평가는 매우 중요하다고 할 수 있다. AGP 분석결과 다른 인자보다도 P의 상관성이 N보다 높아 P 제한성이 강하게

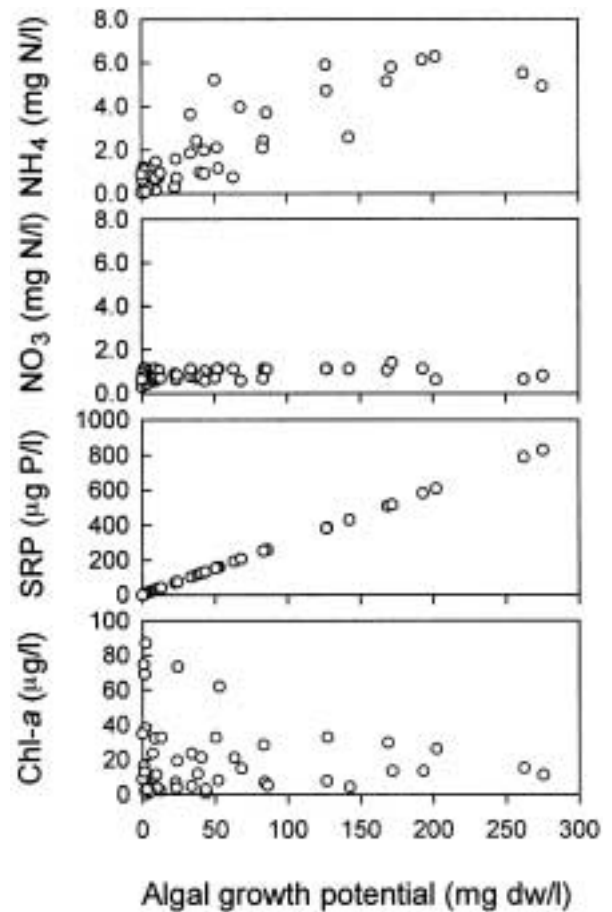


Fig. 5. Relationships between ammonium, nitrate, soluble reactive phosphorus, chlorophyll-*a* concentration and algal growth potential in tributaries of the Kum River from March 1998 to June 1999. (N=52).

나타났다. N 성분중에서 NH_4 가 NO_3 보다 상관성이 양호하여 조류의 성장에는 NO_3 보다 NH_4 가 선호됨을 알 수 있었다(조와 신, 1996; 신과 조, 1999). 수계의 영양상태 평가에서도 AGP가 10 mg dw/l 이상을 부영양 (Sudo, 1980), 20 mg dw/l 이상을 과영양 상태 (Miller *et al.*, 1974)로 보는 기준을 적용할 때 금강의 본류는 부영양 수준을 훨씬 초과한 것으로 나타났으며, 지류의 수질은 지역에 따라 차이가 컸으나 본류보다 AGP의 평균값이 2.8배로서 월등히 높아 이에 대한 수질관리가 중요한 것으로 평가되었다.

적 요

금강 중·하류의 본류와 지류에서 1998년 3월부터

1999년 6월까지 수질 fertility를 *Microcystis aeruginosa*의 조류생장잠재력 (AGP)으로 평가하였다. 금강에서는 갑천이 합류되는 지점에서 AGP가 가장 높았고, *M. aeruginosa*의 AGP는 평균값이 38.1 mg dw/l (17.6~75.2 mg dw/l)였다. 또한 조류검정 결과에서 하류로 갈수록 생장이 둔화되어 AGP값이 낮게 나타났고, 이러한 양상은 수질분석 결과와 일치하였다. 지류에서 AGP는 갑천, 미호천 및 석성천이 각각 161.2, 50.3 및 125.6 mg dw/l로서 높았고 유구천이 2.7 mg dw/l로서 최저를 기록하였다. 금강 하류의 수질은 갈수기에 더욱 악화되었고 이 시기에 중류에서 AGP값도 컸다. AGP 결과와 영양염의 관계에서 P와 상관성이 가장 높아($r = 0.999$) 조류의 성장에 P의 영향이 가장 큰 것으로 추정되었고, 질소원으로는 NO_3 보다 NH_4 가 선호됨을 알 수 있었다. 금강에서 AGP는 장소와 계절에 따라 변화 폭이 컸고 유입 지류의 영양염류 농도 증감과 밀접한 관련성이 있었다. 또한 AGP를 통한 수질상태는 평균값이 32.7 mg dw/l로서 부영양 수준을 훨씬 초과한 것으로 평가되어 이에 대한 수환경 관리가 중요하였다.

참 고 문 헌

- 신재기. 1998. 낙동강 부영양화에 따른 담수조류의 생태학적 연구. 인제대학교 박사학위논문. 203 p.
- 신재기, 조경제. 1999. 낙동강에서 AGP에 의한 수질평가. 한국육수학회지 **32**: 349-357.
- 위인선, 이종빈, 주현수. 1991. 주암댐 및 이사천댐 유역의 조류생장 잠재력 조사에 관한 연구. 한국환경생물학회지 **9**: 104-112.
- 유선재, 김종구, 권태연, 이석모. 1999. 금강의 부영양화 현상에 관한 연구. 한국환경과학회지 **8**: 155-160.
- 임창수, 신재기, 조경제. 2000. 금강 중·하류의 오염양상과 수질평가. 한국육수학회지 **33**: 51-60.
- 조경제, 신재기. 1996. 낙동강 담수조류 N, P 요구도 분석을 위한 bioassay. 한국육수학회지 **29**: 263-273.
- APHA, AWWA, WEF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Claesson, A. and A. Forsberg. 1978. Algal assay procedure with one or five species. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **21**: 21-30.
- Forsberg, C., S.-O. Ryding, A. Claesson and A. Forsberg. 1978. Water chemical analyses and/or algal assay? - Sewage effluent and polluted lake water studies. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **21**: 356-363.
- Goldman, C.R. 1978. The use of natural phytoplankton populations in bioassay. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **21**: 364-371.
- Kotai, J., T. Krogh and O.M. Skulberg. 1978. The fertility of some Norwegian inland waters assayed by algal cultures. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **21**: 413-436.
- Lehmusluoto, P.O. 1978. Some aspects on the classification of natural waters by algal assays (AGP), prelude. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **21**: 437-440.
- Lhotsky, O. and P. Marvan. 1988. A standardized method of algal assay. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **23**: 957-959.
- 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.
- Rump, H.H. and H. Krist. 1988. Laboratory manual for the examination of water, wastewater, and Soil. VCH Verlagsgesellschaft, Publ, New York, NY (USA). 190p.
- Sudo, R. 1980. Studies on the water-blooms in lake Kasumigaura. *Jpn. J. Limnol.* **41**: 124-131.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 1971. Algal Assay Procedure: Bottle Test. National Eutrophication Research Program, Corvallis EPA1972-795-146 /1, Region 10, 82p.
- Watanabe, M. 1996. Isolation, cultivation and classification of bloom-forming *Microcystis* in Japan. In, Watanabe, M.F., K. Harada, W.W. Carmichael and H. Fujiki. (eds). Toxic *Microcystis*. pp. 13-34. CRC Press, Boca Raton, London.