

# 낙동강 하류 식물플랑크톤 군집의 장기변화 : 남조 군집을 중심으로 ('93-'97)

하 경\*, 정 종문, 주 기재, 김 종원  
부산대학교 생물학과

## 1. 서론

영양염류 농도가 풍부한 담수생태계에서 흔히 관찰되는 남조번성 현상은 부영양화의 지표로 알려져왔다. *Microcystis*, *Anabaena*로 대표되는 독성 남조는 정수, 건강, 경제적 장애를 야기할 수 있다. 호수 생태계에서 *Microcystis*에 관한 연구는 번성기작과 기낭조절 메카니즘, 독소생성에 관한 실험실내 혹은 현장에서 장기적으로 이루어져왔다<sup>6), 7)</sup>. 큰 강생태계는 식수, 농·공업 용수 등 수자원으로서 가치가 높아, 효율적인 이용을 위해 댐과 보가 건설되어 강의 흐름이 조절되고 있는 경우가 많다. 이러한 조절강 (regulated river) 생태계에서는 매년 여름 남조 bloom 현상이 흔히 관찰됨에도 불구하고, 이 군집의 발생기작 및 생태에 관한 연구는 잘 이루어지지 않고 있는 실정이다.

낙동강은 남한에서 2번째로 큰 강으로 (유역면적, 23,817km<sup>2</sup>; 연장, 526km), 유역주민의 식수, 농·공업용수로 사용되고 있으며, 특히 하류역은 취수장이 밀집되어 있다. 효율적인 수요를 위해 이강의 지류와 본류에 5개의 댐과 하구둑이 건설되어, 강의 흐름이 심하게 조절 받고 있는 상태이다. 특히, 1992년 이후 여름철 *Microcystis* 번성현상이 매년 관찰되고 있어, 수자원 이용에 많은 어려움을 겪고 있다<sup>3), 4)</sup>. 남조 번성의 발생기작과 생태를 밝히는 것은 수자원 관리의 기반이 되는 중요한 자료가 될 수 있다. 따라서, 본 연구는 취수원이 밀집한 낙동강 하류지역인 물금에서 1993년부터 현재까지 남조군집의 발생과 번성기작, 연간변화, 이들의 생태를 밝혀 남조군집 번성시 수자원 관리의 효율성도도모하고자 한다.

## 2. 재료 및 실험 방법

본 연구는 낙동강 하류인 물금 (rk 27)지역에서 93년부터 97년까지 1주 간격으로 물리·화학·생물학적 요인들을 측정하였으며, 식물플랑크톤의 경우, 생체량(chl.a; Monochromatic Method), 생체체적, 종조성을 분석하였다. 특히, 남

조군집이 번성할 것으로 사료되는 여름철 (6월말~8월말)에는 2~3일로 조사간격을 좁혔다. 또한 남조가 번성하는 94년 8월 6~7일 남조군집의 수직적 분포의 일변화를 조사하였다 (3시간, 0.5m 간격).

조사지점의 육수학적인 특성을 파악하기 위하여, 기상학적 요인, 물리·화학적 요인들을 Wetzal 과 Likens (1992)에 따라 분석하였다<sup>5)</sup>. 일일 강우자료는 낙동강 유역 권에 위치한 대구, 진주, 함천, 밀양의 자료를 평균하였으며, 일일 유량은 rk 40인 삼랑진의 유량자료를 이용하였다. 기타 물리·화학적요인들의 측정방법은 Ha *et al.* (1998)<sup>1)</sup>에 제시되어있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. *Microcystis* 발생의 연간변화

1993년을 제외한 매년 여름 (6월~8월) 낙동강 하류역에서는 *Microcystis* 번성으로 인해 높은 생체량이 관찰되었다. 조사기간 연평균 chl.a 함량은  $46 \pm 47 \mu\text{g/l}$  ( $n=234$ )로 과영양 단계에 있으며<sup>2)</sup>, 갈수기 여름철남조(*Microcystis*), 겨울철규조(*Stephanodiscus*) 번성에 의한 생체량의 2 peak현상이 관찰되고 있다. 여름동안 식물플랑크톤 생체량 평균은  $25 \pm 27 \mu\text{g/l}$ 였으며, 연간변이는 아주 높았다 (range: 0.5~167,  $n=71$ ).

*Microcystis*군집은 여름철 식물플랑크톤의 80%이상 차지했으며, *M. aeruginosa*, *M. ichthyoblabe*, *M. wergenberg*, *M. incerta*, *M. novacekii*, *M. viridis*의 6종이 출현하였다.

여름 *Microcystis*군집의 발생시기 및 정도는 연도별로 뚜렷하게 나타났으며, 이는 몬순 (6월말~7월초) 동안 강우의 정도 및 빈도에 의해 유도되는 것으로 나타났다 (Fig. 1.)

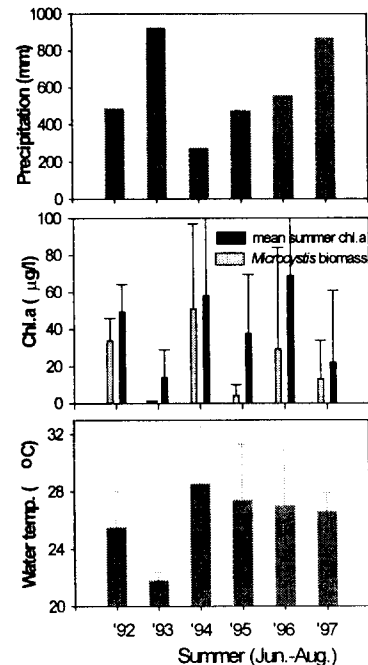


Fig. 1. The inter-annual variability in selected limnological parameters of summer ('93-'97)

몬순강우의 특징이 뚜렷하게 나타난 '93, '97, '98에는 가뭄이 지속되었던 '94에 비해 남조발생이 뚜렷하게 나타나지 않았다. 94년 여름은 6월 중순 이후 9월말까지 지속된 가뭄으로 인해 *Microcystis* bloom이 3개월 이상이나 지속되었으며, 최고 1974 $\mu\text{g/l}$ 까지 나타나기도 했다.

### 3.2 *Microcystis* 발생의 메커니즘 ('94 여름)

1994년 여름 낙동강 하류 역인 물금에서 *Microcystis* bloom현상이 관찰되었다. 표면수에 *Microcystis aeruginosa*에 의해 평균 chl.a 값이  $193 \pm 436 \mu\text{g/l}$  (세포수;  $>10^5 \text{ cells/ml}$ ) 정도의 높은 값이 3달 이상 (7월 중순~10월 중순) 유지되었다. 6월 18일 강우이후 가뭄이 지속되자 수온이 3주만에 24 $^{\circ}\text{C}$  (6월 18일)에서 33 $^{\circ}\text{C}$  (7월 9일)로 급증하였으며, 이때부터 남조 군집이 번성하기 시작했다. 7월 20일 경부터는 표면에 500 $\mu\text{g/l}$ 이상의 높은 값이 일주일 이상 지속되었다. 낙동강 하류역은 연중 높은 영양염류 농도가 유지되고, 남조 번성기간에도 영양염류의 고갈이 관찰되지 않는 점 (DIN,  $2.5 \pm 0.9 \text{ mg/l}$ ; TP,  $155 \pm 98 \mu\text{g/l}$ ; n=23), 남조 번성 후에 pH값이 증가한다는 점 (7→9)을 고려해볼 때, 가뭄으로 인한 적은 유량과 높은 일사량으로 인한 수온의 증가가 *Microcystis* bloom이 유도하는 가장 중요한 요인인 것으로 사료된다.

### 3.3 *Microcystis*의 수직적 분포의 일변화

*Microcystis* 군집의 번성이 빈번히 관찰되는 여름동안 이 군집의 수직적 분포와 일변화를 파악하기 위해 94년 8월 6~7일 취수장이 밀집한 물금지역에서 0.5m, 3시간 간격으로 *Microcystis* 군집과 물리·화학적 요인의 수직적 분포를 조사하였다. 94년 여름동안 *Microcystis* bloom으로 인해 높은 생체량을 나타내었으며 (0~5m의 평균,  $131 \pm 346 \mu\text{g/l}$ , n=31), 생체량이 높을수록 표면부 (0~1m)에 분포하는 것으로 나타났다(0~1m 평균,  $152 \pm 97 \mu\text{g/l}$ ; 1.5~5m,  $45 \pm 94 \mu\text{g/l}$ ) (Fig.2).

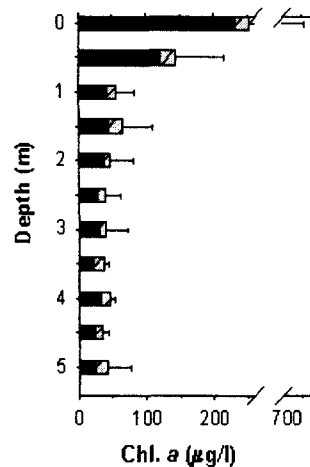


Fig. 2. Vertical distributions of chl.a concentration (▨) and *Microcystis* biomass (■) during the summer

*Microcystis*군집의 수직적 분포의 일변화 연구결과, 바람의 세기가 적은 밤부터 이른아침에 (풍속,  $<2\text{m/s}$ , P.M.23:00~A.M.7:00) 표면부 (0~0.5m)로 띄고,

바람의 세기가 비교적 높은 낮시간대에 (풍속, >4m/s, A.M.11:00-A.M.19:00) 전 수심에서 고르게 분포하는 것으로 나타났다 (Fig. 3).

물리·화학적 요소들 중, 수온, D.O., pH의 경우는 *Microcystis* 군집의 시간대별 수직적 변화에 따라 뚜렷한 일변화를 보여준 반면, 탁도와 영양염류 농도의 일 변화는 뚜렷하게 나타나지 않았다. 탁도의 경우는 뚜렷한 수심별 변화를 나타나지는 않았지만, 표면에서는 높은 값을 보여주었는데, 이것은 *Microcystis* scum에 의한 것으로 사료된다.

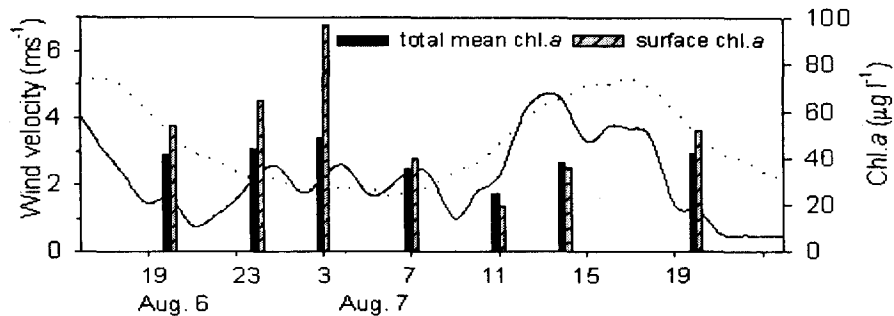


Fig. 3. Diel changes of wind velocity (—) and mean chl.a of entire water column (0-5m, n=9) (■) and surface chl.a (0m, n=9) (▨) from August 6 to 7, 1994 (n=29). ... indicates that daily mean wind velocity from July to September of 1994, data based on 92 days.

#### 4. 요약

부영양화가 극심한 조절강 생태계에서 남조 (*Microcystis* spp.)군집의 번성 기작과 이에 영향을 미치는 요소들을 파악하고자 1993년부터 1997년까지 낙동강 하류 역인 물금에서 남조번성의 연간변화 (inter-annual variability)와 발생 기작, 수직적 분포와 일변화를 파악하였다. *Microcystis aeruginosa*로 대표되는 이 군집은 몬순동안 강우의 강도와 빈도에 따라 뚜렷한 연간변화를 보여주었다. '93, '97, '98에는 3-4일 간격의 지속적인 강우로 인해 남조의 번성이 비교적 약하게 관찰된 반면, '94-'96은 남조의 번성현상을 뚜렷이 관찰되었다. 특히, 94년 여름은 *Microcystis* bloom을 보여준 해였다. 6월 중순이후 50년 주기의 가뭄으로 유량감소와 일사량증가, 이에 따른 수온의 급격한 증가 (24°C→33°C)로 인해 3주만에 *Microcystis* 번성이 관찰되었다. 이시기 동안 이 군집은 풍속의 변화에 따라 풍속이 <2m/s로 낮은 밤 (23:00~7:00)에는 표면부 (0-5m)로 뜨고, 풍속이 비교적 높은 (>4m/s) 낮시간에는 (11:00~19:00) 전수심에 비교적 고르게 분포하는 것으로 나타났다. 우리 나라뿐 아니라 아시아의 큰 강 생태계

에서 남조번성 현상이 빈번하게 관찰됨을 고려할 때, 본 연구결과는 큰 강 생태계의 수질개선을 위한 기초자료를 제공해주게 될 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- Ha, K., H. W. Kim and G. J. Joo, 1998, The phytoplankton succession in the lower part of hypertrophic Nakdong River (Mulgum), South Korea.- *Hydrobiol.* 253: 1-11
- Ha, K., E. A. Cho, H. W. Kim and G. J. Joo, 1998, *Microcystis* bloom formation in the lower Nakdong River in South Korea: Importance of nutrient loading. - *Mar. Freshwat Res.*, 43 (*in press*).
- Ha, K., G. J. Joo and K. S. Jeong, 1998, Inter-annual variability of the summer *Microcystis* bloom in the lower Nakdong River (S. Korea). - *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27 (*in press*).
- Kim, H. W., K. Ha and G. J. Joo, 1998, Eutrophication of the lower Nakdong River after the construction of an Estuary dam in 1987. - *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.*, 83 (*in press*).
- OECD, 1982, Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control, Paris, 154pp.
- Reynolds, C. S. 1984, The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Cambridge and New York, 384pp.
- Takamura, N. and M. Yasuno, 1984, Diurnal changes in the vertical distribution of phytoplankton in hypertrophic Lake Kasumigaura, Japan, *Hydrobiol.* 112: 53-60.
- Wetzel, R. G. and G. E. Likens, 1991, Limnological Analyses(second edition), Springer - Verlag, New York, 391pp.