

# *Microcystis aeruginosa*의 성장특성 및 응집특성에 관한 연구

이태관, 김정배, 배현균\*  
계명대학교 환경과학과

## I. 서론

최근 산업발달 및 인구증가 등에 의해 생활하수와 각종 폐수가 수계로 유입되어 부영양화 등 수질을 악화시킴으로 사회적인 문제가 되고 있다. 부영양화가 진행되면 식물성 플랑크톤 및 조류가 대량으로 번식하게 되는데 수온이 높은 시기에는 남조류가 대량증식하여 수표면에 수화(Water bloom)현상을 일으킨다. 특히 "nuisance algae"라고 불리는 남조류에 의한 수화현상은 호수의 pH의 상승, 용존산소의 저하, 어류의 폐사, 이취미의 발생 및 정수처리 과정에서 여과지폐쇄 등 수많은 피해를 야기시킬 뿐만 아니라<sup>1-3)</sup> 일부 남조류에서는 표적기관에 따라 나누어지는 신경독, 간장독 및 세포독 등의 독소를 함유하고 있어 어류와 포유류 사망의 원인이 되고 인간에게는 피부염이나 복통, 두통 및 알러지 등을 유발시킨다는 것이 보고되면서 관심의 대상이 되고 있다<sup>4-10)</sup>. 문제를 일으키는 남조류들은 *Microcystis*, *Nodularia*, *Anabaena*, *Oscillatoria* 등이 있으며 이 중에서 가장 대표적인 종이 *Microcystis aeruginosa*이다. 이 *Microcystis*는 대부분의 남조류와 같이 세포내에 기포를 가지고 있어 비중이 적어 수면에 멍석같은 스킴을 형성하여 바람이 불면 물가로 밀려와 가축이나 야생동물이 먹고 죽는 사고가 발생하기도 한다<sup>11)</sup>.

본 연구에서는 수화 원인종이며 독소 생성의 주 원인종으로 알려진 *Microcystis aeruginosa*를 이용하여 실험실에서 pH와 인 등의 조건을 인위적으로 변화시킴에 따른 증식특성과 *Microcystis aeruginosa*가 상수처리과정 중 응집에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 공시조류

본 실험에서 사용한 *Microcystis aeruginosa*(삼교호 수화시료)로서 국립환경연구원으로부터 분주받아 CB배지에서 계대배양하였고 조류의 배양조건은 온도

25°C, 조도 1900 ~ 2000 Lux, 명암주기 18h : 6h, 교반속도 50rpm이었다.

## 2. 배지조성 및 전배양균의 조제

Table 1. Chemical composition of CB medium.

Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	15	mg
KNO <sub>3</sub>	10	mg
β-Na <sub>2</sub> glycerophosphate	5	mg
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	4	mg
Vitamin B <sub>12</sub>	0.01	μg
Biotin	0.01	μg
Thiamine-HCl	1	μg
PIV metal solution*	0.3	ml
Bicin	50	mg
Distilled water	997	ml

\* PIV metal solution : FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O 19.6mg · ℓ<sup>-1</sup>, MnCl<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O 3.6mg · ℓ<sup>-1</sup>, ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 2.2mg · ℓ<sup>-1</sup>, CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 0.4mg · ℓ<sup>-1</sup>, Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O 0.25 mg · ℓ<sup>-1</sup>, Na<sub>2</sub>EDTA · 2H<sub>2</sub>O 100mg · ℓ<sup>-1</sup>.

증식한 균체를 원심분리(3,000rpm, 4°C, 10min)하여 회수하고 냉장보관중인 15ppm 차아염소산나트륨용액으로 2회 세척한 후 이를 전배양균으로 사용하였다.

## 3. 생육도의 측정

시수 100ml에 15ppm 차아염소산나트륨용액 0.1ml를 첨가하고 한시간 동안 실온에서 방치한다. 그 후, 30W의 세기로 초음파처리하고 토마스혈구계수기로 균체수를 계수하였다.

## 4. 균의 생육에 미치는 pH와 인의 영향

공시균주의 생육에 미치는 생육인자들의 영향을 규명하기 위하여 먼저 초기 pH를 각각 다르게 조절한 CM배지에 전배양균의 최종농도가 1%되게 접종한 다음 25°C, 2,000Lux, 50rpm에서 배양하여 생육도를 측정하였다. 공시조류의 생육에 미치는 인 농도의 영향을 검토하기 위하여 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>를 제외한 CB배지를 고압증기 살균하고 멸균한 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>용액을 첨가하여 최종농도가 각각 다르게 조절하여 살균된 CB배지를 조제한다. 그리고 인을 제외한 CB배지에 배양한 전배양균을 1%로 되게 위와 같이 조제된 살균배지에 접종하고 배양하였다.

## 5. jar-test

jar-test는 원형비이커에 시료총량을 500ml로 하여 급속교반(140rpm) 10분, 완속교반(40rpm) 15분, 정치침전 30분을 실온(22~26°C)에서 하였다. 인공탁수는

증류수에 카오린을 사용하여 탁도를 40도로 조정한 후,  $\text{CaCO}_3$ 를 이용하여 알칼리도를 40도로 조정하였다. 이 인공탁수에 조류를 각각  $1.21 \times 10^5$ ,  $4.9 \times 10^5$  및  $1.21 \times 10^6$  cell/ml를 첨가한 다음 jar-test를 실시하였다. 또한 THMs실험은 추출한 인공시료(IOM+SOM) 1, 2, 4, 5ml를 500ml의 증류수에 첨가한 다음 jar-test를 실시하였다. 응집제는  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 16 \sim 18\text{H}_2\text{O}$ 를 사용하였으며 응집제 첨가 직후, 0.1N 및 0.01N의 NaOH와 HCl을 사용하여 pH를 7.0으로 조정하였다. 그 외 zeta 전위는 완속교반 직후의 시료를 채취하여 측정하였으며, 30분 침전후 시료를 채취하여 탁도,  $E_{254}$ 와  $E_{260}$ 을 측정하였다.

## 6. 분석항목

- ① THMs : GC(Hewlett-Packard HP 5890 series)로 분석
- ② Turbidity : HF Scientific inc. No-32712로 측정
- ③ pH : JENCO Model 1671로 측정

## III. 결과 및 고찰

### 1. 초기 pH의 영향

pH의 영향을 알아보기 위하여 CB배지의 pH를 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0으로 조절하여 조류를 배양한 결과 조류는 알칼리성 조건에서 매우 빠른 증식양상을 나타내었다. 초기 pH의 영향은 Fig. 1에 나타내었다.

### 2. 인 농도에 의한 증식특성

호수생태계에서 용존 무기인(dissolved inorganic phosphorus : DIP)의 이용율은 식물플랑크톤의 생산력을 조절하는 요인이므로 무기인은 식물플랑크톤의 현존량을 예측하는데 사용되어왔다. 따라서 인의 농도가 공시조류의 증식에 미치는 영향을 검토했다. 본 시험에 사용된 *Microcystis aeruginosa*는 인 농도가 0.3mg/l 이상의 농도에서 균의 생육도가 급속히 증가하여 0.8mg/l에서 최대값에 도달했다. 인 농도에 의한 증식특성은 Fig. 2에 나타내었다.

### 3. CB배지와 M<sub>11</sub>배지의 조류 증식곡선

국내에서 주로 남조류의 배양에 사용되어지고 있는 CB배지와 일본에서 조류의 인공배양시 이용되어지는 M<sub>11</sub>배지( $\text{NaNO}_3$  0.01%,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.001%,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.0075%,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.004%,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0.002%, Fe-citrate 0.0006%)의 배지조성에 따른 균의 증식 변화를 조사하였다. CB와 M<sub>11</sub>배지는 유도기가 3~4일 정도로 공시조류의 증식양상이 유사하였으나 대수증식기에서는 CB배지보다는 M<sub>11</sub>배지에서 빠른 증식양상을 나타내었으며 공시조류는 CB배지에서 배양 14일에 정지기에 도달했고 M<sub>11</sub>배지에서는 배양 12일에 정지기에 도달했다.

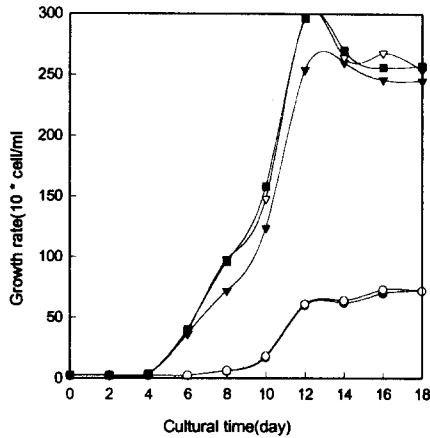


Fig. 1 Effect of initial medium pH on the cell growth of *Microcystis aeruginosa*.  
 ● : 6.0, ○ : 7.0, ▼ : 8.0, ■ : 9.0, ▽ : 10.0

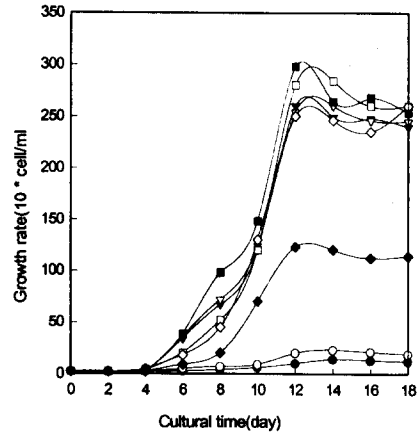


Fig. 2 Growth curves of *Microcystis aeruginosa* at each phosphorus concentration of medium.  
 ▼ : 6ppm, ▽ : 4ppm, □ : 2ppm, ■ : 0.8ppm  
 ◇ : 0.3ppm, ◆ : 0.1ppm, ○ : 0.06ppm, ● : 0.04ppm

#### 4. 처리수의 탁도변화

탁도를 기준으로 최적응집제 첨가농도는 인공탁수의 경우 응집제 20.6mg/l, 조류의 경우  $1.21 \times 10^5$  cell/ml는 21mg/l,  $4.9 \times 10^5$  cell/ml는 30mg/l,  $1.21 \times 10^6$  cell/ml는 40mg/l로서 조류량 증가에 비례하여 응집제 첨가량이 증가하였고 응집 후 탁도는 조류를 첨가하지 않았을 때 0.06 NTU이었으며 조류를 첨가하였을 때는 0.18 및 0.19 NTU로 조류를 첨가하였을 때의 탁도가 훨씬 높음을 확인할 수 있었다.

#### 5. 조류농도에 의한 zeta전위 변화

조류를 첨가하지 않았을 때의 zeta 전위는 -11.20이었으나 조류 주입후에는 조류농도의 증가에 따라 각각 -14.80, -17.15 및 -21.35로서 zeta 전위는 조류 첨가량에 반비례함을 알 수 있었다. 일반적으로 응집은 등전점 즉 zeta전위가 0일 때 가장 잘 이루어지며, 보통  $\pm 15$ 에서 응집이 양호한 것으로 알려져 있는데 조류의 주입 후 -21.35까지 내려가는 것으로 보아 부영양화시 조류에 의한 응집저해를 예측할 수 있다.

#### 6. 처리수의 잔류세포수

조류량이 증가함에 따라 세포제거효율은 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 조류량의 증가에 따라 잔류세포수는  $1.21 \times 10^5$  cell/ml는 8000개/ml,  $4.9 \times 10^5$  cell/ml는 12000개/ml,  $1.21 \times 10^6$  cell/ml는 16000개/ml로서 절대량은 증가함을 알 수 있었다.

#### 7. 처리수의 UV<sub>254</sub> 및 UV<sub>260</sub>

UV<sub>254</sub>는 THMs 전구물질을 나타내는 지표로 사용되고, UV<sub>260</sub>은 생물학적 난분해성 물질을 나타내는 지표로 사용되고 있다. 본 실험에서는 이 두 지표에 의해 간접적으로 조류유래 유기물질을 측정하고자 하였다. 조류량의 증가에 따라 UV<sub>254</sub> 및 UV<sub>260</sub>의 흡수치가 증가되는 양상을 나타내었는데 이 결과는 탁도나 잔류세포수와는 상반되는 결과로 E<sub>254</sub> 및 E<sub>260</sub>상에서 흡수되는 물질은 응집에 의해 제거되지 않음을 나타내고 있다. 즉, 조류유래의 SOM과 IOM 등의 유기물질들은 제거되지 않아 UV<sub>254</sub> 및 UV<sub>260</sub>의 흡수치를 증가시키는 것으로 추측된다.

### IV. 결 론

본 연구는 국내 대부분의 호수에서 가장 흔히 발견되는 남조류인 *Microcystis aeruginosa*의 성장특성과 상수처리과정 중 응집에 미치는 영향을 연구하였다.

1. *Microcystis aeruginosa*의 생육에 미치는 배지 초기 pH의 영향을 알아보기 위하여 CB배지의 pH를 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0으로 조절하여 공시조류 배양 후, 생육도를 측정한 결과 본 공시조류는 중성에서 긴 유도기를 거쳐 증식하는 양상을 나타내었고 산성에서는 증식이 거의 일어나지 않았다. 그러나 알칼리성 조건에서는 매우 빠른 증식양상을 나타내었다.

2. 인 농도가 *Microcystis aeruginosa*의 증식에 미치는 영향을 검토했다. 인 농도가 0.02mg/l 와 0.06mg/l 에서는 생육이 아주 미흡하였으나 0.3mg/l 이상의 농도에서는 균의 생육도가 급속히 증가하여 0.8mg/l 에서 최대값에 도달했다. 그러나 6mg/l 의 농도에서는 균의 생육도가 조금 감되었으며 10mg/l 에서는 균의 생육은 거의 일어나지 않았으며, 0.02mg/l 에서는 실험상에서 백화되는 현상을 나타내었다.

3. CB배지와 M<sub>11</sub>배지의 배지조성에 따른 균의 증식 변화를 조사하였다. CB와 M<sub>11</sub>배지는 유도기가 3~4일 정도로 공시조류의 증식양상이 유사하였으나 대수증식기에서는 CB배지에서 보다는 M<sub>11</sub>배지에서 빠른 증식양상을 나타내었으며 공시조류는 CB배지에서는 배양 14일에 정지기에 도달했으며 M<sub>11</sub>배지에

서는 배양 12일로 정지기에 도달했다.

4. 응집 후 최적탁도에 있어 인공탁수가 조류 첨가 시료보다 낮았으며 응집제 투입량은 조류수가 증가할수록 많았다.

5. zeta 전위는 조류수가 증가함에 따라 낮아져 조류 첨가량에 반비례함을 알 수 있었다. 이는 조류가 증가할수록 더 많은 응집제를 요구하는 것을 간접적으로 나타낸다.

6. 조류 개체수가 증가함에 따라 처리 효율은 증가하였지만 처리수의 절대 개체수는 증가함을 알 수 있었다. 또한 UV<sub>254</sub> 및 UV<sub>260</sub>은 조류의 개체수가 증가함에 따라 처리효율이 떨어짐을 알 수 있었다.

#### IV. 참고문헌

1. Gerloff, G. C., G. P. F. Fitzgerald and F. Skoong, The mineral of *Microcystis aeruginosa*, *Am. J. Bot.* 39, pp. 26-32(1952)
2. Zehnderm A. and P. R. Gorham, Factors influencing the growth of *Microcystis aeruginosa* Kutz. Emend Elenkin, *Can. J. Microbiol.* 6, pp. 645-662(1960)
3. 原田建一, 渡眞利代, 湖沼汚染の指標化合物, ミクロシスチン, 現代化學. 3, pp. 53-58(1992)
4. Robert, R., F. Soong, J. Fitzgerald, L. Turczynowicz, O. E. Saadi, D. Roder, T. Maynard and I. Falconer, Health effects of toxic cyanobacteria(blue-green algae), *Univ. Adelaide. South Australia* (1993)
5. Schwimmer, M. and D. Schwimmer, Medical aspects of psychology, In D. F. Jackson. ed., *Algae, Man and the Environment*. Syracuse Univ. Press. pp. 279-358(1968)
6. Keleti, G., L. Sykora, L. A. Maiolie, D. L. Doerfler and M. Campbell, Isolation and haraterization of endotoxin from cyanobacteria(blue-green algae), In W. W. Carmichael(ed.), *The Water Environment ; Algal Toxins and Health*, Plenum Press(1981)
7. Byth, S., Palm Island mystery disease, *J. Aust.*, 2, pp. 40-42(1980)