

## 정체 수역 내에서 미세조류의 생리생화학적 분석에 의한 수화발생 잠재력 탐색

김미경\* · 신재기<sup>1</sup> · 지홍기<sup>2</sup>

(영남대학교 해양과학연구소, 한국수자원공사 수자원연구원<sup>1</sup>, 영남대학교 토목도시환경공학부<sup>2</sup>)

### Probe of Algal Growth Potential (AGP) by Physio-Biochemical Analysis of Microalgae in the Stagnant Watershed

Mi-Kyung Kim\*, Jae-Ki Shin<sup>1</sup> and Hong-Ki Ji<sup>2</sup>

Marine Science Research Center, Yeungnam University, Gyongsan 712-749

<sup>1</sup>Environmental Research Center, Korea Institute of Water and Environment,  
Water Resources Corporation, Daejeon 305-730 and

<sup>2</sup>School of Civil, Urban and Environmental Engineering, Yeungnam University, Gyongsan 712-749, Korea

Algal growth potentials were probed by algal growth rates, maximal PSII quantum yields and ATP amount as well as dry weights of algae to evaluate the water fertility due to the algal growth in the stream (CT) and stagnant watershed (WW). *Oscillatoria agardhii* (CY) and *Coelastrum reticulatum* (CH) were cultured in nitrogen (N) and phosphorus (P) starvation media (CH-10 medium) and re-inoculated in CT and WW for 7 days. Cell division rates of CY were the highest ( $k = 7.5$ ) in WW after N starvation, while those of CH were the high ( $k = 2.97$ ) in WW after P starvation. The growth of CY was limited by P, while that of CH was by N. Conversely, maximal PSII quantum yields of CH were generally higher than those of CY in CT and WW according to culture time. CY was much more sensibly adapted than CH according to the variations of nutrient amounts in WW. The water fertility was much higher in WW than in CT. The potential assessment tool for water fertility will be able to compensate for the limit of physio-chemical analyses and to be applied as a monitoring system to forecast red-tide.

**Key Words:** algal growth potential, *Coelastrum reticulatum*, *Oscillatoria agardhii*, stagnant watershed, water fertility

#### 서 론

하천의 수화현상은 홍수기를 제외하고 상류로부터 농축된 오염원으로 인하여 연중 발생할 가능성이 높다(Lorenzen 1967; Miller *et al.* 1974; Claesson and Forsberg 1978; Sudo 1980; Rump and Krist 1988; 신과 조 2000a, b; 신 등 2003 a, b, c). 하지만 육상 수계의 정체 혹은 유수의 특성에 따라 수괴의 비옥도는 유역 환경과 수변 하상의 구조에 따라 유수 시스템을 형성하는 하천 수역과 정수 시스템을 이루는 저수 수역에서 각각 수화 발생 정도는 차별화되어 나타난다(김 등 2003; 김 2005). 유수 환경은 수심이 얇고, 유입수와 유출수

의 흐름이 빠르고, 수체의 체류시간이 짧아 강우나 하천 주변의 다양한 오염원으로부터 직접적인 영향을 받으나 하상에는 부착성 조류가 번무하여 오염원을 정화하거나 수괴의 흐름으로 오염원이 산화 또는 분해되어 수체의 자정 능력이 높은 특징이 있는 반면에 저수 환경은 수체의 체류시간이 길고, 수체의 자정 능력이 낮을 뿐만 아니라 수층별 수온차이로 인한 성층현상이 뚜렷하여 표층에는 부유성 조류를 대발생시키는 부영양화 현상이 악화될 수 있는 수환경 특성을 지닌다(공 1992; 신 등 2003 a, b, c, d).

따라서 수환경에 따른 수괴 내의 오염원 농도 변화에 따라 미세조류를 번식시킬 수 있는 비옥도 측정(Algal Growth Potential Test, AGPT)이 가능하다. 이 생물검정법은 1966년 처음 실시되었고(Lehmusluoto 1978), 1971년 미국의 환경보호청(EPA)의 부영양화 연구 프로그램으로 일환으로 연구되

\*Corresponding author (mkkim@yumail.ac.kr)

기 시작하여 수체의 비옥도, 제한영양염, 오·폐수 처리효율과 중금속 독성평가(Kim and Smith 2001), 하천과 호수에 대한 하수처리수의 영향과 하수처리 수준을 판단하고 결정, 수질분석 결과에 따른 수환경의 종합적 평가 등으로 활용되어 오고 있다(신 등 2003 a, b, c, d). 국내에도 1990년 이후, 하천과 호수의 수질평가와 영양염의 상대적 결핍과 생태계에 하수처리수의 영향을 밝히는데 활용되어 왔다(신과 조 2000a; 신 등 2003a, b, c, d). 수괴의 비옥도 측정을 위한 이러한 생물검정법은 주로 미세조류를 7일간 인-결핍(P-starvation)을 유도한 후, 실험수괴에 특정 미세조류인 남조류(*Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Phormidium*)를 직접 배양하여 수괴의 N과 P 등의 원소를 구성하는 영양염 섭취 정도에 따른 이들 남조류의 1차 생산력을 측정하는 목적으로 단지 건조중량을 측정하여 조류성장 잠재력을 측정하였다(Watanabe 1996). 이러한 방법은 배양된 미세조류의 생리와 생식주기에 따른 생리활성을 파악하는데는 한계가 있고, 건조중량 내에는 미세조류의 건조중량뿐만 아니라 현장 시료인 원수의 total suspended solids(TSS) 등의 무생물의 중량이 포함되어 있어 미세조류의 생산력을 나타내는데는 실험상의 애로점과 정확성을 나타내는데 한계가 있다.

본 연구는 기존의 건조중량과 이화학적인 수질분석에 의한 비옥도 측정의 한계점을 극복하기 위한 방안으로 미세 조류의 성장률, 최대광합성효율, ATP 농도를 분석하는 생리·생화학적 분석방법을 이용하여 정체수괴의 수화 발생 잠재력을 검정하는 실험방법(tool)을 개발하고자 하는데 그 목적이 있다.

## 재료와 방법

### 조사지역의 수환경 특징

현장의 유수 수괴(CT)와 정체 수괴(WW)의 조사지(36°10'N-36°26'N, 127°29'E-127°53'E)는 우리나라 중부에 위치한 대청호의 유입 지류인 옥천천의 상·하류 지역이다(신 등 2003a, b)(Fig. 1). 옥천천의 유로 연장은 29.0 Km이고, 농경지가 20%, 임야가 65.3%, 주거지를 포함한 기타 공유지가 14.7%를 차지하고, 하천의 경사는 완만하고, 하상은 돌과 자갈로 덮여 있어 부착조류가 번무하고, 건기와 우기에 따라 하천의 유량의 차이가 심하고, 여름철인 우기를 제외하고는 비교적 유량이 적다. 본 연구의 대조구(CT)라 할 수 있는 금천천은 다른 하천에 비해 유량이 매우 적고, 상류에는 장용산 자연 휴양림이 조성되어 오염원의 노출이 가장 낮은 지역이다. 실험구가 되는 WW의 위쪽은 옥천 하수처리장이 위치하고 있고,  $18 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ 의 하수처리수를 배출하고, 표준 활성 슬러지 처리(2차처리)와 고속응집조(3차처리) 처리를 하고 있고, 생활하수, 분뇨와 매립지장 침출수를 혼합하

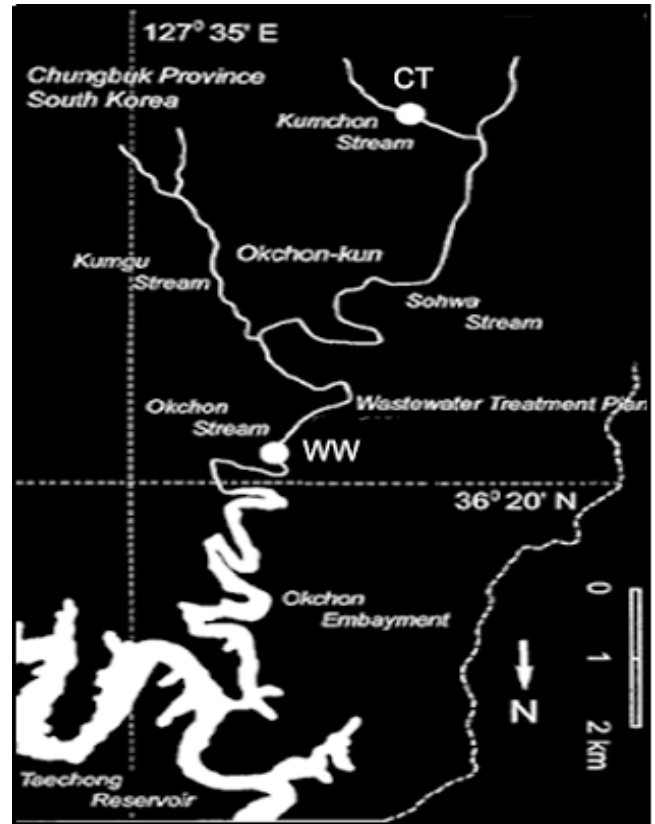


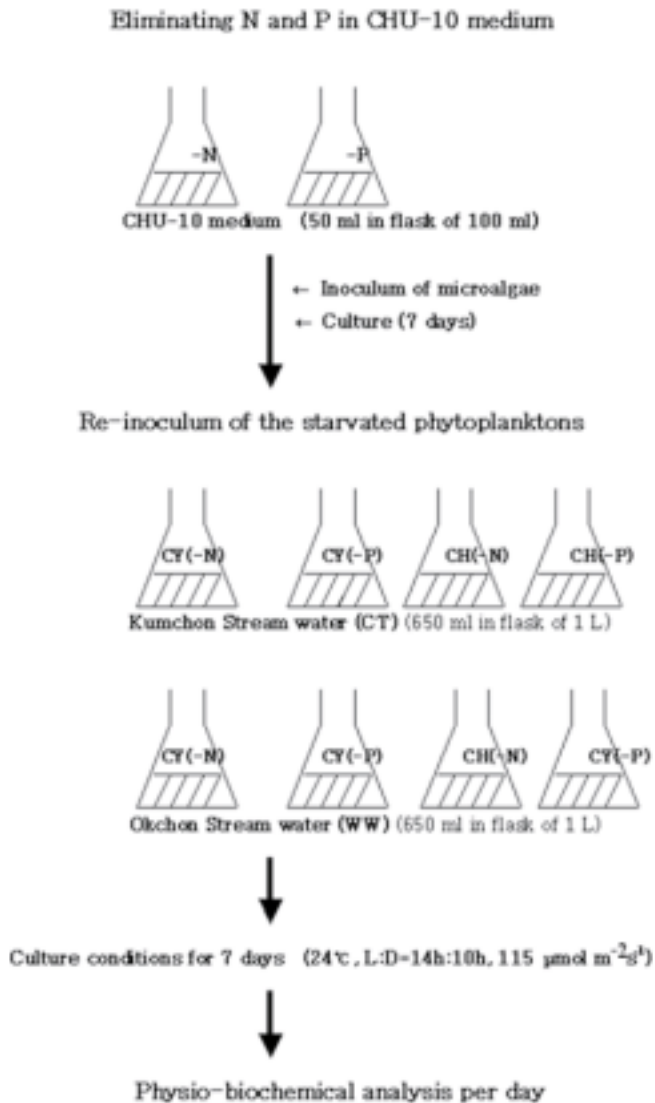
Fig. 1. Map showing the sampling stations in the Kumchon Stream (CT) and in the Okchon Stream (WW).

여 합병처리하는 방식을 사용하고 있다(옥천군 2002). 옥천천에서 하수처리수의 배출지점 하류는 8-9월에 단기간 완전 수몰되고, 이듬 해까지 대청호의 수위변동에 따라 하천과 저수지의 비율이 조절된다. 이 수역에는 하수 처리수의 영향으로 부패취를 느낄 수 있을 정도로 악취가 심했다(신 등 2003a, b).

### 실험 방법

본 연구는 기초 수환경 인자, 수중 영양염(N·P·Si)과 수괴의 비옥도 실험을 위해 유수지역인 금천천을 대조구(CT)로 하고, 옥천천의 만곡 부위의 정체수역을 실험구(WW)를 설정하였다. 2002년 7월, 8월과 9월에 각각 1회씩 채수하였으나, 비옥도 실험을 위해 영양염의 농도가 가장 높게 나타난 8월의 정체수역을 이용하여 미세조류 배양액으로 사용하였고, 배양된 미세조류의 생리·생화학 실험은 각각 3회 반복하여 실시하였다.

하천수의 수온, DO, pH, TDS와 탁도는 매번 보정한 YSI 6000 UPG meter로 현장에서 측정하였고, 형광농도는 Tuner 10AU meter로 채수 후 측정하였다. 수환경 요인 중 무기영양염은 시료를 Whatman GF/F filter로 여과한 후 사용하였다.  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , SRP와 SRSi 영양염은 Rump and Krist



**Fig. 2.** Culture tools of microalgae (CY, *Oscillatoria agardhii*; CH, *Coelastrum reticulatum*) by AGPT in CT (Kumchon Stream) and WW (Okchon Stream).

(1988)와 APHA(1995)의 방법에 따라 분석하였다. 총무기질소(TIN)는  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ 의 합으로 계산하였다. Chl-a 농도는 90% ethanol로 Nusch(1980)의 방법에 의해 분석하였고, TSS는 전처리된 GF/F에 시료를 여과하고 105°C에서 완전 건조 전후의 무게 차이로 계산하였고, AFDM(ash-free dry matter)은 550°C에서 1-2시간 동안 태운 전후의 무게 차이로 계산하였다(APHA 1995). 성장률 측정에는 Haemocytometer와 Coulter Counter(Mutisizer 3, Beckman-Coulter)를 동시에 이용하여 세포수를 비교한 후, 성장률( $\text{k, day}^{-1}$ )을 측정하였다(Guillard 1973). 미세조류 일정량 접종하여 3회 반복하여 세포수를 계산하여 성장률을 비교하고, 광합성 효율을 측정하기 위해 Chlorophyll Fluorometer인 Phyto-PAM Phytoplankton Analyzer(Walz, Germany)를 이용하였다. 미세조류의 명반응이 일어나는 엽록체의 틸라코이드 내의 광

계 II에서 620 nm으로 유도된 형광을 측정하여 이들의 역치인 최대양자수율(quantum yield)을 최대광합성효율( $F_v/F_m$ )로 환산하여 측정하였다(Kim 2004).

#### 조류배양조건과 방법

하계인 8월의 하천수를 이용하여 수역의 비옥도를 생물검정법으로 측정하고자 하였다. 정체수역에서 발생하는 수화현상을 발생시키는 하천수의 비옥도를 평가하기 위해 대청호로 유입되는 정체수역인 옥천천 하천수(WW)를 실험구로 하고, 청정지역이고 흐르는 하천(유수)인 금천수(CT)를 대조구로 하여 이들 하천수를 배양액으로 이용하여 원핵세포인 남조류인 *Oscillatoria agardhii*(CY, 배양주번호: P-F-41, KPPCI)와 진핵세포인 녹조류인 *Coelastrum reticulatum*(CH, 배양주번호: P-F-60, KPPCI)를 실내 배양하였다. 두 조류는 영남대 한국산업플랑크톤 소재은행(KPCCI)에서 보관 중인 배양주를 이용하였다. 배양 방법은 CHU-10 배지(Nichol 1973)에서 질소나 인을 제거시킨 배양액에 7일간, 24°C에 광주기는 14L:10D, 광량은  $115 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 였고, magnetic stirrer를 이용하여 공기 발생을 유도했다. 배양하여 두 조류를 질소-결핍(N-starvation)과 인-결핍(P-starvation) 상태의 strain으로 적응시켜 각각의 조류를 대조구인 금천천 현장 시료(CT)와 실험구인 옥천천 현장 시료(WW)에 다시 접종하여 7일간 두 조류의 성장률을 측정하였다(Fig. 2). ATP 분석은 Promega kit(ENLITEN Luciferase/Luciferin Reagent catlog# FF2021)를 이용하여 luminometer(TD-20/20, Turner, USA)로 측정하였다.

#### 결과와 고찰

유수인 금천수(CT)는 수온이 25.2°C인 반면에 정체수역인 옥천천(WW)의 수온은 31°C였다. 용존산소는 CT가  $8.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 높은 반면에 WW는  $7.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 낮았으나 pH는 CT가 7.75로 낮았고, WW는 9.17로 높게 나타났다(Table 1). 용존물질의 총량(TDS)도 정체수역인 WW에서  $394.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 아주 높았으나, CT는  $87.9 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 낮게 나타났다. 그 외 탁도와 총부유물질(TSS)도 각각 WW에서 높았다. 수중 영양염 중 총무기질소(TIN)의 함량은 CT와 WW에서 평균값은 각각  $725.0 \mu\text{g N}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $2,861.6 \mu\text{g N}\cdot\text{L}^{-1}$ 이었다(Table 1).  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 CT에서 높게 나타났다. 이는 외부에서 유입된 오염원인 암모니아성 질소가 WW에서 다량( $2,105.4 \mu\text{g N}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 유입되었으나, CT에서는 암니아성 질소( $27.5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )보다 질산성 질소( $688.1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )가 높아 수질이 산화되어 자정작용이 일어나고 있음을 반증해 준다. SRSi는 WW가 높았는데 이는 부착성 조류의 번무로 SRSi가 하천수 내로 용해되었기 때문인 것으로 사료된다. 부유성 조류(planktonic alga)의 chl-a는

**Table 1.** Natural raw-water quality of the CT and WW in August 2002. TIN, total inorganic nitrogen ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$ ); SRP, soluble reactive phosphorus; SRSi, soluble reactive silicon; Chl-a, chlorophyll-a; AGPT, algal growth potential test by dry weight

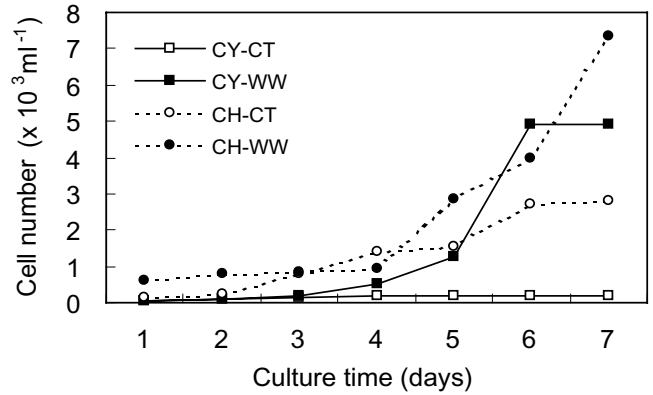
Factors \ Samplings	Kumchon Stream (CT)	Okchon Stream (WW)
Water temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	25.2	31
Dissolved oxygen ( $\text{mg O}_2 \cdot \text{I}^{-1}$ )	8.1	7.1
pH	7.75	9.17
Total dissolved solids ( $\text{mg} \cdot \text{I}^{-1}$ )	87.9	394.5
Turbidity (NTU)	1.94	12.78
Total suspended solids ( $\text{mg} \cdot \text{I}^{-1}$ )	4.0	30.5
TIN ( $\mu\text{g N} \cdot \text{I}^{-1}$ )	725.0	2,861.6
Ammonium ( $\mu\text{g N} \cdot \text{I}^{-1}$ )	27.5	2,105.4
Nitrate ( $\mu\text{g N} \cdot \text{I}^{-1}$ )	688.1	643.7
Nitrite ( $\mu\text{g N} \cdot \text{I}^{-1}$ )	9.4	112.5
SRP ( $\mu\text{g P} \cdot \text{I}^{-1}$ )	8.7	919.3
SRSi ( $\mu\text{g Si} \cdot \text{I}^{-1}$ )	2,337.2	3,715.3
Planktonic chl-a ( $\mu\text{g} \cdot \text{I}^{-1}$ )	3.1	3.5
Periphytic chl-a ( $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ )	9.2	77.0
Dry wt ( $\text{mg} \cdot \text{dw} \cdot \text{I}^{-1}$ )	2.3	91.3

**Table 2.** Growth rates ( $k$ ) of phytoplanktons that were starved from N and P, re-inoculated and cultured in CT and WW for 7 days.  $k = \log_2(N_1/N_0)/t_1 - t_0$  (N: cell number;  $t$ : culture time) (Guillard 1973). CY, *Oscillatoria agardhii*; CH, *Coelastrum reticulatum*

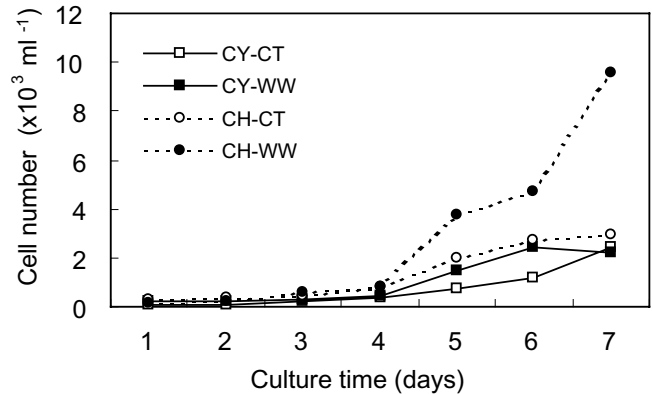
	N Starvation	P Starvation
CY-CT	0.15	1.31
CY-WW	7.50	0.54
CH-CT	0.94	0.47
CH-WW	0.61	2.97

CT에서 평균값이  $3.1 \mu\text{g} \cdot \text{I}^{-1}$ 이었고, WW에서  $3.5 \mu\text{g} \cdot \text{I}^{-1}$ 로써 근소한 차이를 보였다. 반면에 부착성 조류(periphytic alga)의 chl-a는 CT와 WW에서 각각  $9.2 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 와  $77.0 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로써 유수와 정수 하천의 유형에 따른 부착조류의 분포가 큰 차이가 있었다.

수질분석된 두 종류(CT, WW)의 하천수를 이용하여 남조류인 *Oscillatoria agardhii*(CY)와 녹조류인 *Coelastrum reticulatum*(CH)을 실내 배양한 결과, 각 조류의 성장률( $k$ )(Guillard 1973)은 남조류인 *O. agardhii*는 질소 결핍 후에 실험구인 정체수역(WW)에서 가장 높았다( $k = 7.50$ ). 반면에 *C. reticulatum*는 인 결핍 시에 WW에서 가장 높은 성장률을 보였다( $k = 2.97$ ). 이는 *O. agardhii*는 P보다 N의 흡수로 생장이 촉진되었고, P가 제한 인자로 작용하였다고 볼 수 있다( $k = 0.54$ ). *C. reticulatum*는 N보다 P의 흡수로 생장에 직접적인 영향을 받고, N제한인자가 생장에 영향을 받는 것이 입증



**Fig. 3.** Cell growth of algae cultured after nitrogen starvation for 7 days.



**Fig. 4.** Cell growth of algae cultured after phosphorus starvation for 7 days.

되었다. 반면에 *O. agardhii*는 P 결핍 상태에서는 WW( $k = 0.54$ )보다 우수지역인 CT( $k = 1.31$ )의 하천수에서 성장률이 높았으나, *C. reticulatum*는 질소 결핍 상태에서 정체하천수인 WW( $k = 0.61$ )보다 우수 하천수인 CT( $k = 0.94$ )에서 성장률이 높았다(Table 2). 이는 WW에서 N:P 비율이 상대적으로 높아 P가 제한인자로 작용하기 때문에 CT에서 오히려 성장률이 높은 것으로 사료된다.

최고 세포수는 *C. reticulatum*이 N 결핍상태( $7.3 \times 10^4 \text{ cell ml}^{-1}$ )와 P 결핍상태( $9.6 \times 10^4 \text{ cell ml}^{-1}$ ) 이후, 정체수역에 7일 동안 배양 시에 가장 높게 나타났다(Figs 3, 4). 또한 최대 광합성효율도 측정은 *C. reticulatum*가 질소 결핍 상태 이후에 CT와 WW에서 배양 시에 각각 최고 0.73과 0.77이었고, 인 결핍 상태에서 각각 0.57과 0.78로 가장 높게 나타났다(Figs 5, 6). 반면에 *O. agardhii*의 최대 광합성효율은 질소 결핍 상태 이후에 CT와 WW에서 배양 시에 0.28과 0.31였고, 인 결핍 상태 이후에 CT와 WW에서 각각 0.41과 0.34로 *C. reticulatum*의 최대 광합성효율에 비해 낮게 나타났다. 이들 조류들의 N 혹은 P 결핍인자에 따라 배양 4일과 5일을 전환점을 중심으로 우수 혹은 정체수역에 따라 조류의 생리활성

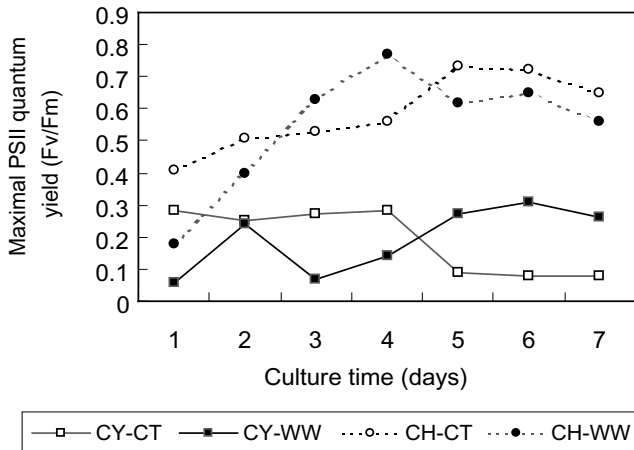


Fig. 5. Maximal PSII quantum yield (Fv/Fm) of algae cultured after nitrogen starvation for 7 days.

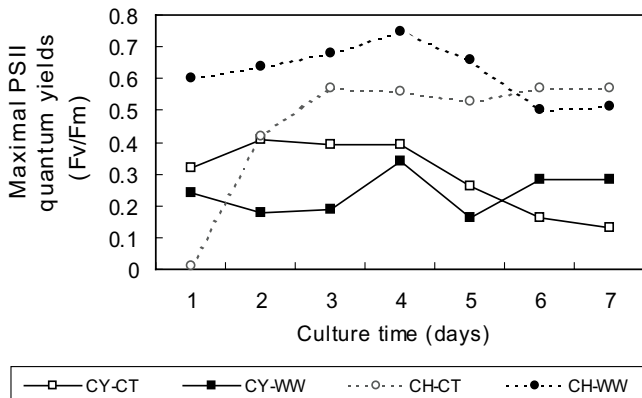


Fig. 6. Maximal PSII quantum yield (Fv/Fm) of algae cultured after phosphorus starvation for 7 days.

도가 달라졌다. 즉 질소결핍 배양 4일 후에 *C. reticulatum*은 CT에서 성장한 세포가 WW에서 성장한 세포보다 광합성효율이 증가했으나, *O. agardhii*는 배양 5일 후에 WW에서 성장한 세포가 CT에서 성장한 세포보다 광합성효율이 증가했다. 반면에 인 결핍 *C. reticulatum*은 배양 5일 후에 CT에서 성장한 세포가 WW에서 성장한 세포보다 광합성효율이 증가했으나, *O. agardhii*는 배양 5일 후에 WW에서 성장한 세포가 CT에서 성장한 세포보다 광합성효율이 증가했다.

두 조류 중 하천수의 영양염의 농도에 따라 성장률이 더욱 더 민감하게 반응하는 종은 녹조류인 *C. reticulatum*보다 남조류인 *O. agardhii*라고 할 수 있다.

1차 생산력 측정 방법으로 이용되는 ATP는 배양 6일째에 질소 결핍 상태에서 WW에서 농도가 가장 높게 나타났고 (CY-WW,  $1.42 \times 10^{-12} \text{ g} \cdot \mu\text{l}^{-1}$ ; CH-WW,  $4.28 \times 10^{-13} \text{ g} \cdot \mu\text{l}^{-1}$ ), 인 결핍 상태에서는 배양 7일째 *O. agardhii*는  $2.62 \times 10^{-12} \text{ g} \cdot \mu\text{l}^{-1}$ , *C. reticulatum*은 배양 6일째  $1.41 \times 10^{-13} \text{ g} \cdot \mu\text{l}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다(Figs 7, 8). 이는 *C. reticulatum*의 광합

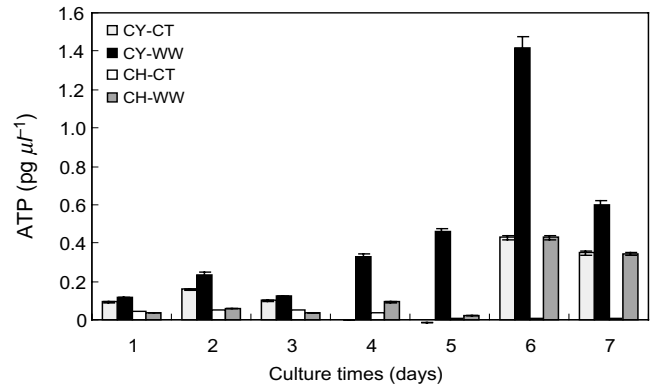


Fig. 7. ATP amounts of algae cultured after nitrogen starvation for 7 days.

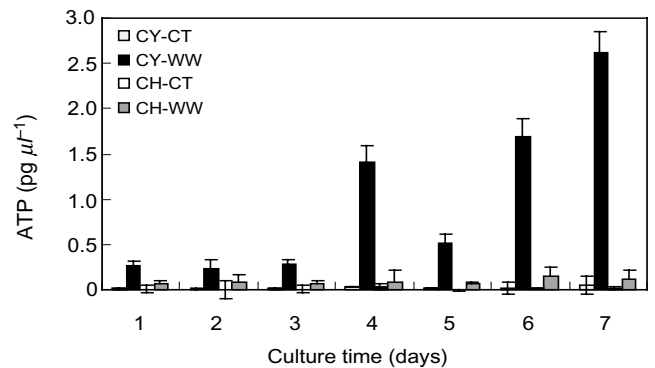


Fig. 8. ATP amounts of algae cultured after phosphorus starvation for 7 days.

성효율은 우수 및 정체수역에서 *O. agardhii*보다 높게 나타난 반면에 (Fig 5, 6), ATP의 농도는 *O. agardhii*에서 높은 농도를 나타냈다. 이는 *C. reticulatum*이 광합성효율에 필요한 생체에너지인 ATP의 농도가 *O. agardhii*에 비해 상대적으로 더 많이 소모되었기 때문인 것으로 사료된다.

따라서 조류의 성장률, 광합성효율과 ATP 농도에 따른 상관관계에 의한 하천수의 비옥도 잠재력의 측정은 미세조류의 종류, N:P 비와 우수 혹은 정체수역에 따라 성장률이 달리 나타나는 양상에 주의할 필요가 있다. 조류의 성장률, ATP의 농도와 광합성효율 측정 결과를 종합하여 볼 때, 정체수역(WW)의 비옥도가 우수 하천수(CT)에 비해 훨씬 비옥도가 높다는 일반적인 현상과 일치했다. 기존의 건조중량에 의한 비옥도 연구(신 등 2003a)와 유사한 결과를 나타냈으나, 생리·생화학적 접근방법이 추가되므로 미세조류의 종류, 하천수의 N:P 비와 우수 혹은 정체수역에 따라 수화발생에 따른 조류의 생리활성도를 정밀하게 파악할 수 있는 실험방법이라 사료된다. 본 연구의 실험 결과, 기존의 조류발생 잠재력 측정(신 등 2003a, b, c)은 단순히 조류의 건조중량의 측정만으로 하천과 호수의 하수처리 영향, 하수처리 수준과 수환경의 종합적인 평가를 내리기 위한 실험방법이라

판단하기에 그 효용성과 신뢰성은 낮다고 본다.

따라서 본 연구의 생리·생화학적 분석방법을 이용하여 정체수괴의 비옥도를 측정하는 실험방법(tool)은 하천수의 수화발생의 잠재력을 미리 파악함으로써 하천수가 바다로 유입되어 향후, 적조발생의 원인이 됨을 사전에 예측할 수 있는 모니터링 혹은 경보 시스템에 응용이 될 수 있는 기법이 라 사료된다.

## 참고문헌

- 공동수, 1992. 팔당호의 육수생태학적 연구. 고려대학교 박사 학위 논문.
- 김미경, 2005. 운문댐의 조류발생원인 및 예방대책. 경북지역환경기술개발센터 보고서.
- 김미경, 박정원, 이영옥, 2003. 남매지의 수환경 요인과 식물플랑크톤의 계절적인 변동. 한국육수학회지 **36**: 48-56.
- 신재기, 조경제, 2000a. 금강 중하류에서 AGP에 의한 수질평가. 한국육수학회지 **33**: 244-250.
- 신재기, 조경제, 2000b. 생물검정에 의한 남조류 *Microcystis*가 수질에 미치는 영향. 한국환경과학회지 **9**: 267-273.
- 신재기, 김동섭, 이혜근, 맹승진, 황순진, 2003a. 옥천천 유역의 하천과 만곡부에서 조류 성장 잠재력 측정. *Algae* **18**: 169-176.
- 신재기, 김동섭, 이혜근, 맹승진, 황순진, 2003b. 옥천천(만) 유역 하천과 만입부의 수환경 평가. 한국육수학회지 **36**: 181-190.
- 신재기, 이옥희, 조경제, 2003c. 진양호와 남강의 수질에 대한 algal growth potential test(AGPT) 적용. 한국육수학회지 **36**: 57-65.
- 신재기, 황순진, 조경제, 2003d. 평택호와 유역 주요 하천의 수환경 및 오염도 평가. 한국육수학회지 **36**: 38-47.
- 옥천군, 2002. <http://www.okcheon.chungbuk.kr>, 옥천군정 일반현황 자료편.
- APHA, AWWA, WEF, 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Claesson A. and Forsberg A. 1978. Algal assay procedure with one or five species. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **21**: 21-30.
- EPA. 1971. *Algal Assay Procedure: Bottle Test*. National Eutrophication Research Program, Corvallis EPA1972-795-146/1, Region 10.
- Guillard R.R.L. 1973. Division rates. In: Stein J.R.(ed.), *Handbook of Phycological Methods-Culture Methods and Growth Measurements*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 289-311.
- Kim M.K. and Smith R.E.H. 2001. Effect of ionic copper toxicity on the growth of green alga, *Selenastrum capricornutum*. *J. Microbiol. Biotechnol.* **11**: 211-216.
- Kim M.K. 2004. Vertical stratification and maximal PS II quantum yields as revealed by phytoplankton analyzer (Phyto-PAM) in the Dam Unmun, Korea during spring and summer. Proc. 10th International Culture Collection Congress, Japan p. 561.
- Lehmusluoto P.O. 1978. Some aspects on the classification of natural waters by algal assays (AGP), prelude. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **21**: 413-436.
- Lorenzen C.J. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: Spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* **12**: 343-346.
- Miller W.E., Maloney T.E. and Greene J.C. 1974. Algal productivity in 49 lake waters as determined by algal assays. *Wat. Res.* **8**: 667-679.
- Nichol H.W. 1973. Growth media -freshwater. In: Stein J.R.(ed.), *Handbook of Phycological Methods-Culture Methods and Growth Measurements*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 7-24.
- 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 Krist H. 1988. Laboratory manual for the examination of water, wastewater and soil. VCH Verlagsgesellschaft, Publ. New York.
- Sudo R. 1980. Studies on the water-blooms in lake Kasumigaura. *Jpn. J. Limnol.* **41**: 124-131.
- Watanabe M. 1996. Isolation, cultivation and classification of bloom-forming *Microcystis* in Japan. In: Watanabe M.F., Harada K., Carmichael W.W. and Fujiki H. (eds), *Toxic Microcystis*. CRC Press, Boca Raton, London. pp. 13-34.

Received 16 March 2005

Accepted 10 June 2005