

# 경안천 현장실험조에서 식물체를 이용한 조류 증식억제

임 병 진 · 정 원 화 · 전 선 옥

(국립환경연구원 한강수질검사소)

Enclosure Experiments on the Effects of Various Plants on Algae. *Lim, Byung-Jin, Weon-Hwa Jheong and Sun-Ok Jun (NIER, Han River Water Quality Research Laboratory, Yangpyung 476-820, Korea)*

Enclosure experiments to reduce the growth of Cyanophyceae were carried out using plants in Kyongan stream. Wet plants put into the enclosure at a rate of 2.5 g wet wt/l and at that time, the average concentration of chlorophyll *a* was ranged from 30 to 50  $\mu\text{g/l}$ . The dominant species was *Microcystis aeruginosa*. Ginkgo, big cone pine and pine needles significantly inhibited the growth of *Microcystis* from the early days to the stages of log-phase. Waterchestnut was the most inhibitory to the growth of *Microcystis*. Pine needles inhibited in 85% of the algal growth; ginkgo in 80%; big cone pine in 75%; waterchestnut in 78%; wildrice in 59%; and iris in 30%. At the treatment with 0.25 g dried plants/l, algae was declined at a rate of 90% by waterchestnut; 53% by pine needles. Phenolic compounds were purified from decomposing big cone pine and waterchestnut.

**Key words : Blue-green algae, Enclosure, Growth inhibition, Plants**

## 서 론

팔당호를 비롯하여 호소에서 조류대발생에 의한 문제는 국내외를 막론하고 증가 추세에 있다. 오염물질이 호소 내로 지속적으로 유입될 경우 조류 등의 일차생산자의 증식이 촉진되어 부영양화가 진행될 수 있다. 부영양화가 진행되면 유해플랑크톤의 발생가능성이 높고 냄새 발생, 정수장에서 여과장애 등의 문제가 발생할 수 있다. 일반적으로 조류는 계절에 따라 종 조성이 변화하는 천이를 보이며, 연중 환경 변화를 고려할 때, 계절적 변화 양상이 상당히 비슷하여 그 경향을 예측할 수 있다.

팔당호는 영양상태가 부영양호의 조건이므로 조류발생의 물리적, 생물학적인 조건이 적합한 시기에는 급속하게 조류가 대발생 하고 있다(김, 1996). 특히 남조류(*Microcystis*)가 대발생 할 경우 가축과 인간에 해를 끼

칠 수 있는 간 독소(Sivonen *et al.*, 1990)를 생성하기 때문에 이러한 조류의 물꽃 현상을 예방하고 억제하는 기술이 중요하다.

조류대발생을 제어하는 방법은 살조제 살포 등의 화학적 방법이 신속하게 처리할 수 있어 효과적인 방법으로 제기되어 왔으나 환경오염물질 증가에 의한 수환경 생태계 교란 등의 문제점, 즉 물고기와 무척추동물에 대한 독성과 지방내로 잔류성 증가로 인하여 규제하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제를 환경친화적으로 대체할 수 있는 생물학적 방법이 관심을 끌고 있는데 최근의 국내연구로 Kang (1999)에 의해 솔잎, 잣잎, 짚, 쑥, 부들 등 식물체 분해산물에 의한 조류 증식억제에 관한 연구가 진행된 바 있고, 임 (2000) 등이 팔당호 주변에서 자생하고 있는 은행잎 등 9종의 식물체를 대상으로 습체, 전체, 추출물 등으로 분류하여 실험실내에서 조류증식 억제 실험을 수행한 바 있다. 한편 외국에서는 호소

\* Corresponding author: Tel: 031) 772-7896, Fax: 031) 773-2268, E-mail: limnolim@hanmail.net

현장실험에서 분해되고 있는 보리짚이 조류성장제어에 효과가 있다고 보고하였다(Welch *et al.*, 1990; Ridge and Barrett, 1992; Everall and Lees, 1996; Barrett *et al.*, 1996; Everall and Lees, 1997). 따라서 본 연구에서는 팔당호 주위에 자생하는 애기마름, 갈대 등의 수생식물과, 은행잎, 잣잎 등의 육상식물을 이용해 실험실에서 조류 제어효과를 비교 분석한 자료(임 등, 2000)를 토대로 하여 팔당호 지천인 경안천 만입부 현장에서 현장실험조를 설치하여 현장에서 식물체에 의한 조류제어 적용가능성을 검토하고자 하였다.

## 재료 및 방법

팔당호에서 남조류 발생 빈도 및 세포현존량이 가장 많은 경안천 만입부에서 60×60×90 cm 아크릴재질의 현장실험조 10개를 바지선에 부착하여 '99년 7월 15일~7월 29일(15일간)과, 9월 13일~9월 30일(18일간) 두 차례에 걸쳐 실험을 진행하였다. 조류제어 적용식물은 임 등(2000)이 실험실에서 조류제어실험에 적용한 바 있고 팔당호 주변에서 자생하고 있는 식물체(수생식물: 애기마름-Water chestnut, 줄-Wild rice, 갈대-Water reed, 꽃창포-Iris, 육상식물: 잣나무-Big cone pine, 소나무-Pine needles, 은행나무-Ginkgo, 벼-Ricestraw) 잎들을 대상으로 하였다. 식물체는 잘게 부수어 망에 넣어 현장실험 수조 안으로 물의 흐름에 맞추어 걸쳐놓고 아주 약하게 폭기를 시켜주었다.

1차 실험은 습체식물 2.5 g/l을 투입하였고, 2차 실험에서는 조류제어 효율성이 높게 나타난 솔잎, 잣잎, 은행잎 및 애기마름을 대상으로 하여 건조시킨 후(건체식물) 0.25 g/l와 1 g/l를 투입하였다. 실험기간 동안 각 수조의 물 일부를 취해 Chl a 농도와 환경요인을 측정하였다. 실험실에서 식물처리 한 마지막 시료를 동결건조병에 넣어 냉동 보관한 후 전처리 하여 HPLC를 이용해 각 시료의 microcystin을 분석하였고(Harada, 1996), GC-Mass를 이용하여 식물체중 애기마름과 잣잎을 대상으로 유기화합물을 정성분석 하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 경안천 만입부에서 현장실험조 (Enclosure)를 이용한 조류제어

팔당호에서 남조류가 가장 먼저 증식하는 경안천 만입부에서 남조류인 *Microcystis aeruginosa*가 우점하고

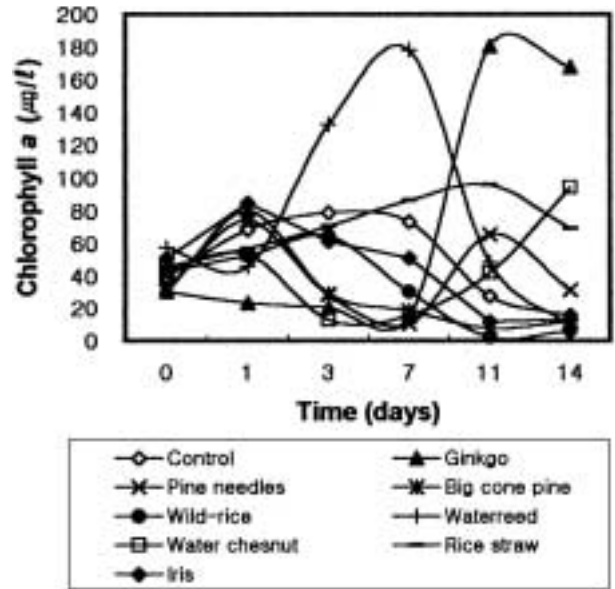


Fig. 1. Effect of wet plant leaves on algal growth (2.5 g/l). Algal growth quantified by chlorophyll a estimation.

있는 7월 15일~7월 29일 사이에 1차 실험을 수행하고, 2차 실험은 9월 13일~9월 30일 사이에 수행하였다.

### 1) 습체식물 (wet plants)에 의한 조류제어

*Microcystis*가 우점하는 7월 15일~7월 29일 사이에 습체식물 2.5 g/l 투입량으로 조류 증식 억제 실험을 하였다(Fig. 1). 대조구는 초기 Chl a값이 39.8 µg/l로서 비교적 높은 값을 나타냈지만 실험실에서의 단일 배양과는 달리 7일째까지 지수 성장을 하다가 7일 이후 계속 감소하여 실험 21일째는 Chl a값이 3.5 µg/l까지 자체적으로 감소하였다. 처리구의 Chl a 농도는 투입 1일째부터 조류 증식 억제 효과를 보이는 은행잎과 더불어 잣잎, 솔잎은 7일째까지 높은 증식 억제 효과를 보이다가 이후에는 효과가 없었다. 벚짚 투입조는 실험실 실험 경향과 비슷하게 실험초기에 약간의 억제 효과가 있을 뿐 시간이 경과함에 따라 효과가 없었다(임 등, 2000). 수생식물은 갈대 투입조를 제외한 애기마름, 줄, 창포 모두 조류 증식 억제를 보였는데 창포와 줄 투입조는 대조구와 비슷한 성장 경향을 보였고 애기마름은 가장 높은 조류 밀도를 보이는 7일째까지는 조류성장을 억제하였는데 11일째 이후부터 다시 증식하였다.

대조구에 따른 Chl a 농도의 효율을 살펴보면 대조구의 농도가 73.5 µg/l인 7일째에 은행잎 80%, 솔잎 85%, 잣잎 75%로 최대 조류증식 억제 효과를 보였고, 대조구

**Table 1.** Effect of plant treatment on algal growth in enclosure (%).

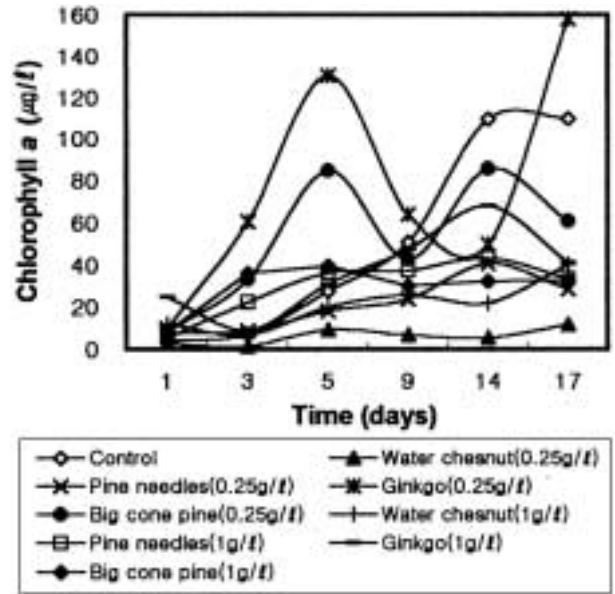
Amount	Materials	Time (days)			
		1	3	7	11
Wet plants 2.5 g/l	Pine needles	0	64	85	0
	Big cone pine	0	63	75	71
	Ginkgo	66	74	80	0
	Rice straw	17	11	0	0
	Wild rice	23	18	59	92
	Water reed	33	0	0	0
	Water chestnut	22	83	78	0
	Iris	0	22	30	57

의 농도가 27.7 µg/l인 11일째는 잣잎만 71%의 효과를 보였다. 수생식물은 7일째에 애기마름 78%, 줄 59%, 창포 30%순으로 효과가 좋았으나 육상식물에 비해서는 효율이 낮게 나타났다. 단 3일째는 애기마름이 83%로 육상식물에 비해 높은 억제 효율을 보였다 (Table 1).

**2) 견체식물 (dried plants)에 의한 조류제어**

*Microcystis*가 우점하는 9월 13일~9월 30일 사이에 50°C에서 3일 동안 건조시킨 잣잎, 솔잎, 은행잎, 애기마름을 가지고 0.25 g/l와 1 g/l 투여량으로 조류 증식 억제 실험을 하였다. 임 등 (2000)이 실험실에서 견체식물을 이용하여 조류제어 실험을 한 결과 초기에 억제 효과가 나타난 반면 금번 현장실험에서는 투여 후 5일이 지난 후에야 효과가 있었다. Barrett and Newman (1992)은 각각의 다른 조류종은 식물 억제 화학물질에 반응하는 시간이 다르게 나타난다고 하였다. 따라서 현장은 단일 조류 배양이 아닌 여러 가지 조류종이 존재하기 때문에 이러한 차이점이 있는 것으로 추측된다. 솔잎을 제외한 잣잎, 은행잎은 0.25 g/l 투여량에 비해 1 g/l 투여량에서 더 높은 효과를 나타냈고 잣잎, 은행잎 투여조는 적은 투여량에서는 오히려 조류가 더 증식하였다. 견체식물을 이용한 2차 현장실험에 있어 조류는 기존의 조류 성장 경향과 다르게 9일째에 지수 성장기를 보이고 있는 것으로 이때부터 억제 효과가 나타났다. 수생식물 중 가장 효과가 좋은 애기마름을 투여한 결과 실험 전반에 걸쳐 0.25 g/l, 1 g/l 투여량 모두 비슷한 경향으로 높은 증식 억제 효과를 나타냈고 오히려 0.25 g/l의 적은 투여량에서 더 효과가 좋았다 (Fig. 2).

대조구에 따른 각각의 억제 효율을 살펴보면, 솔잎 투여조는 1 g/l 투여량 보다 0.25 g/l 투여량에서 9일째 53%, 14일째 63%, 17일째 74%의 더 높은 효율을 보였고, 잣잎 투여조는 1 g/l 투여량에서 9일째 40%, 14일째 70%, 17일째 69%로 효율이 더 높았다. 실험실 실험에서



**Fig. 2.** Effect of dried plant leaves on algal growth (0.25 g and 1 g/l). Algal growth quantified by chlorophyll a estimation.

**Table 2.** Effect of plant treatment on algal growth in enclosure (%).

Amount	Materials	Time (days)					
		1	3	5	9	14	17
Dried plants 0.25 g/l	Pine needles	0	0	34	53	62	73
	Ginkgo	0	0	0	0	54	62
	Big cone pine	0	0	0	16	21	44
	Water chestnut	29	77	65	86	94	89
Dried plants 1 g/l	Pine needles	0	0	0	26	60	69
	Ginkgo	0	0	0	7	37	0
	Big cone pine	0	0	0	40	70	69
	Water chestnut	0	2	27	49	80	63

0.5 g/l 투여량에서 전혀 효과를 나타내지 않았던 결과와는 달리 적은 투여량임에도 불구하고 효과를 나타낸 것은 초기 대조구의 Chl a 값이 1차 현장 실험 대조구 값에 비해 4.1 µg/l로 10배 정도 낮은 농도를 보이고 있었던 이유인 것 같다. 따라서 조류 증식 억제에 있어서는 무엇보다도 조류 밀도를 정확하게 파악한 후 적절한 식물 투여량을 결정하는 것이 중요하다고 본다. 애기마름 투여조는 0.25 g/l 투여량에서 1일째 29%, 3일째 77%, 5일째 65%로 초기에도 억제 효율을 나타냈으나 실험 9일째부터 17일째까지 거의 90% 이상의 최대 억제 효과를 보였다 (Table 2).

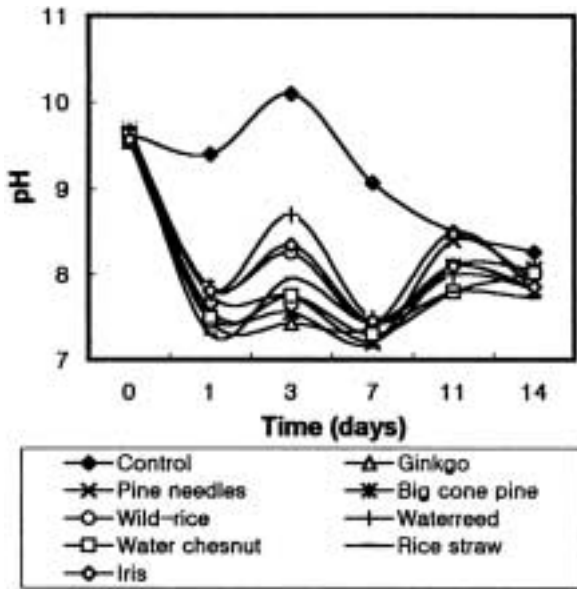


Fig. 3. pH of enclosure from 15 July to 29 July 1999.

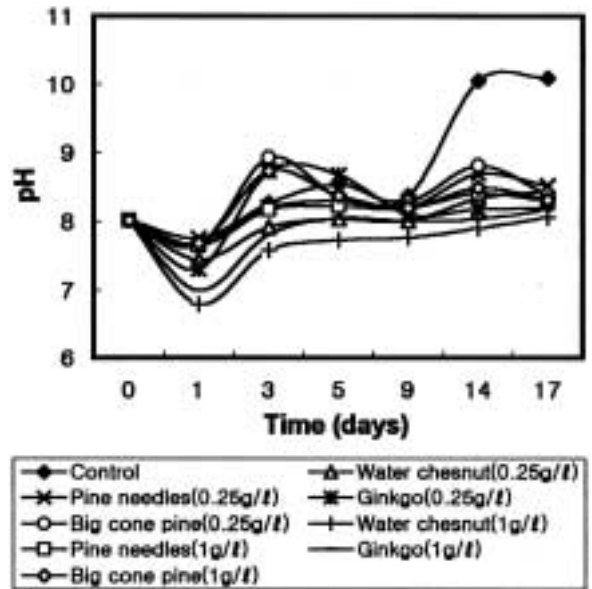


Fig. 4. pH of enclosure from 13 September to 30 September 1999.

2. 현장실험조의 이화학적 요인 변화

1) 수소이온농도 (pH)

Fig. 3은 1차 실험 결과로 초기 pH 농도(9.4~9.7)에 비해 실험 1일째부터 큰 폭으로 감소하기 시작하여 실험 7일째까지 감소하였고 이후 20일째까지도 솔잎조, 잣잎조를 제외한 나머지 투여조는 초기농도보다 낮아졌다. 그러나 전체적으로는 1일째 대폭 감소 후 3일째 다시 증가하고 7일째 재차 감소하였다. 이후 11일째부터는 그다지 증감 폭이 크지 않은 경향을 보였다. 이는 7일째 조류 증식억제 효과가 높은 것과 관련이 있다고 볼 수 있다.

Fig. 4는 2차 현장실험의 pH 변화를 나타낸 것인데 대조구에서는 초기 농도가 pH 8.02에서 실험 1일째만 다소 감소하고 이후 3일째부터는 다소 증가하다가 14일째에 pH 10.1로 크게 증가하였다. 실험 3일째에는 잣잎, 은행잎 0.25 g/l 투여조가 대조구 보다 pH가 0.5와 0.7씩 상승하였으나 나머지 투여조는 감소하였다. 전체적으로 대조구에 비해 pH가 낮았고 5일째부터는 증가폭이 둔화되었다.

2) 용존산소 (DO)

Fig. 5는 1차 현장실험의 용존산소의 일변화를 나타낸 것으로 초기농도에 비해 7일째까지는 감소하고 이후 11일째부터는 증가하고 있다. 초기 용존산소 농도의 범위는 9.3~9.9 mg/l로 다소 높게 나타났으나 식물체를 투여한 1일째부터 평균 1~2 mg/l씩 감소하는 경향을 보

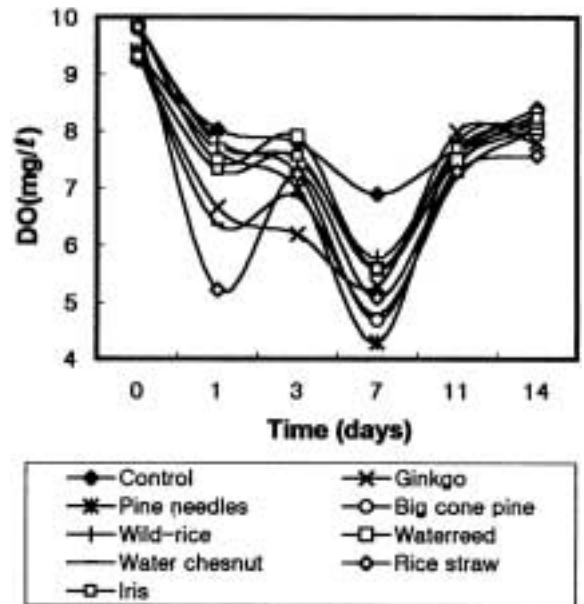


Fig. 5. Dissolved oxygen concentration of enclosure from 15 July to 29 July 1999.

이다가 조류 증식억제 효과가 좋았던 7일째에는 4.3~6.9 mg/l까지 감소하였다. 따라서 7일째에 미생물에 의한 유기물 분해작용이 최대로 활발해진 것 같고 조류증식억제효과가 좋은 것과도 관련이 있다고 추정된다. 11일째 이후부터 실험 20일째까지 실험 초기 농도에는 미치지 못했지만 증가하였고 종료일인 29일째에는 거의 초

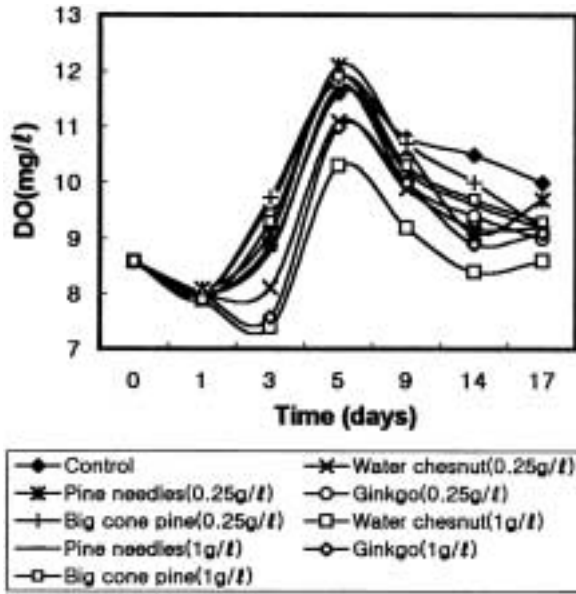


Fig. 6. Dissolved oxygen concentration of enclosure from 13 September to 30 September 1999.

기능도까지 회복하였다.

Fig. 6은 2차 현장실험의 용존산소의 일변화를 나타낸 것으로 1차 현장 실험 때와는 다르게 실험 초기 농도가 8.6mg/l에서 실험 1일째에 부터 다소 감소하다가 5일째에 가장 큰 폭으로 증가하였다가 실험 시작한 지 9일째부터 감소하였다. 1, 2차 실험 때와는 용존산소의 증감 변화가 다르게 나타났지만 실험 9일째와 17일째 Chl a 농도 감소에 의한 조류억제 현상이 나타난 시기와는 일치하였다.

### 3) 화학적산소요구량 (COD)

Fig. 7은 1차 현장 실험의 COD 변화를 나타낸 것인데 대부분의 실험조에서 대조구에 비해 유기물농도가 높게 나타났다. 특히 조류 증식억제 효과가 좋은 애기마름, 은행잎, 솔잎, 잣잎 등이 비교적 높게 나타났는데 이는 이들 식물체가 분해되면서 나오는 물질의 양이 증가한데서 기인한 것 같다. 그러나 조류 증식효과가 좋은 시점인 7일째에는 대조구의 농도가 26.8 mg/l일 때 잣잎 투여조는 18.2 mg/l, 창포 투여조는 18.8 mg/l로 낮아지는 경향도 있어 이들 식물체 투여량을 적절하게 조절하면 유기물의 양도 감소시킬 수 있다고 본다. 또한 시료 채수 시 잘 혼합하여 채수하지 못한 것도 실험상에 오차를 나타낼 수 있다고 사료된다.

2차 현장 실험은 1차 현장 실험 중 비교적 조류증식 억제 효과가 좋은 옥상식물의 잣잎, 은행잎, 솔잎, 수생식

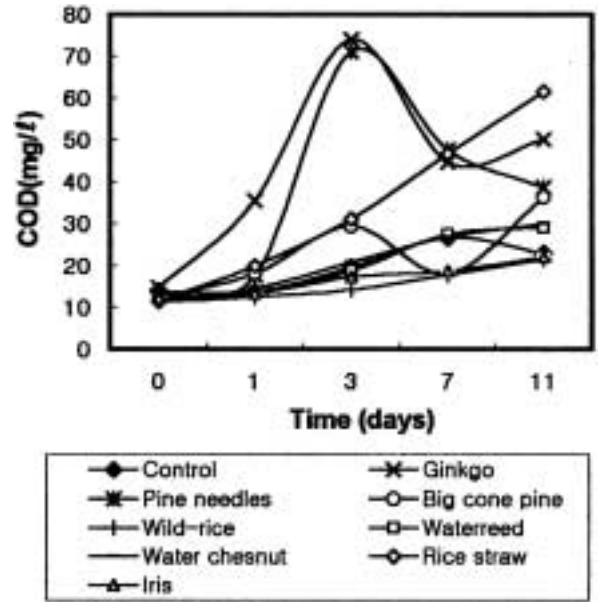


Fig. 7. Chemical oxygen demand concentration of enclosure from 15 July to 26 July 1999.

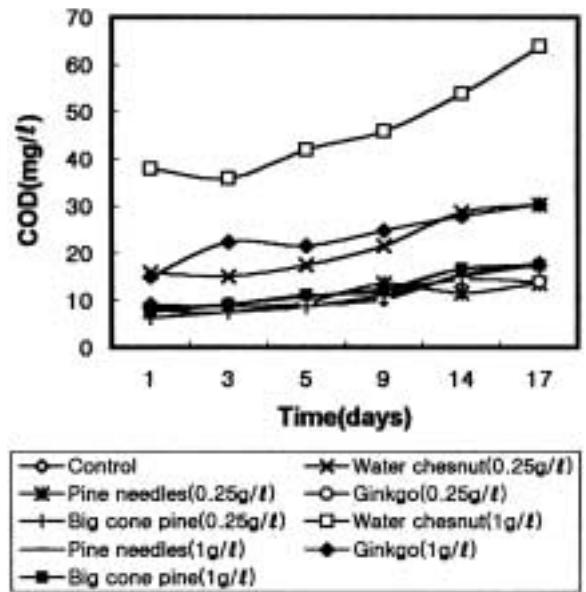


Fig. 8. Chemical oxygen demand concentration of enclosure from 13 September to 30 September 1999.

물의 애기마름 등을 각각 0.25 g/l와 1 g/l을 투여하였고 Fig. 8은 COD의 일변화를 나타낸 것이다. 1차 실험과 마찬가지로 시간이 경과함에 따라 COD의 농도가 증가하였다. 애기마름 1 g/l 투여조는 대조구 대비 평균 30~40 mg/l의 차이를 보이며 상승하여 식물체를 너무 많이 투여하였다고 생각된다. 실제로 애기마름 0.25 g/l 투여조

가 1 g/l에 비해 조류 증식억제 효과가 좋게 나타났고 COD 농도도 7~10 mg/l로 1 g/l보다 차이가 훨씬 작게 나타났다. 이는 애기마름의 양을 0.25 g/l보다 적게 투여하게 되면 COD 농도도 감소시킬 수 있고 조류 증식제어에도 효과가 있을 것으로 사료된다. 결과적으로 보면 식물체 0.25 g/l 투여조가 대부분 대조구와 비슷한 경향을 보이고 있으므로 식물체 분해에 따른 유기물에 의한 2차 오염을 감소시키기 위해서는 0.25 g/l 이하 수준으로 식물체를 투여하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 실제로 실험결과 COD 농도가 증가하는 식물체일수록 조류 증식억제 효과는 좋았으나 COD 농도가 조류를 대량으로 재발생시킬 정도로 심각하다고 보지는 않는다(Welch *et al.*, 1990).

### 3. 남조류 독소 저감효과

실험실에서 *Microcystis*를 일정기간 배양하여 증식시킨 후 식물체(습체, 건체)를 투여하여 처리한 후 최종 잔량 시료를 대상으로 남조류 독성 분석을 하여 독소 저감 효과를 조사하였다(Table 3).

*Microcystis aeruginosa*는 독소를 생성하는 남조류 중에서 가장 먼저 알려진 종으로서 그 독소는 microcystin이라는 고리 형태의 펩타이드 구조를 가지는 간독성물질이다(Bishop *et al.*, 1959). 펩타이드 구조적 차이에 따라 크게 microcystin-RR, microcystin-YR, microcystin-LR로 구분이 되며 성분에 따라 독성정도도 다르다 MC-LR과 MC-YR의 LD<sub>50</sub>이 70 µg/kg 전후였고 MC-RR은 600 µg/kg이었다(Watanabe, 1989). 국내 호수에서의 남조류 독소에 관한 연구에서도 MC-LR이 검출된 시료만이 쥐에서 치사효과를 나타낸 것으로 알려졌다(김 등, 1995). 금번 습체와 건체실험 결과는 MC-LR은 모두 대조구 값에 비해 감소하였는데 습체실험에서는 대조구의 독소량이 31.9 µg/g에 비해 애기마름 88%, 잣잎 85%, 솔잎 66%, 은행잎 32%순으로 감소효과가 있었고, 건체실험에서는 대조구의 독소량(185.8 µg/g) 대비 애기마름과 은행잎이 각각 95%, 솔잎 91%, 잣잎 9%의 감소효과를 보였다. 총 독소량도 실험시 모두 애기마름이 87% 이상의 높은 효율을 보였다. 이와 반면에 건체실험에서 솔잎과 잣잎의 투여조가 대조구에 비해 독소량이 월등히 증가한 것은 시간이 경과함에 따라 조류가 재 증식한 것으로 추정되나 정확한 이유는 실험을 더 수행한 후에야 결론지을 수 있다고 본다. 이에 따라 식물을 이용한 조류 증식 억제에 있어서는 무엇보다도 일정기간 식물 처리 후 다시 회수하여 다른 식물체로 주기적으로 교체하는 것이 조류제어에 효과가 있을 것으

**Table 3.** The contents of microcystin variants of the bloom samples dominated with *Microcystis* after treatment with various plants in laboratory.

	Materials	Microcystin variants (µg/g)			Total
		MC-RR	MC-YR	MC-LR	
Wet Plants	Control	440.6	0.0	31.9	472.5
	Pine needles	426.1	0.0	10.9	437.0
	Ginkgo	85.3	0.0	21.6	106.9
	Big cone pine	94.1	5.4	4.8	104.3
	Water chestnut	55.9	0.0	3.7	59.6
Dried Plants	Control	256.1	24.9	185.8	466.8
	Pine needles	1071.4	34.6	16.4	1122.4
	Ginkgo	232.9	0.0	8.8	241.4
	Big cone pine	1106.0	67.5	168.2	1341.7
	Water chestnut	44.8	0.0	8.5	53.6

로 본다.

### 4. 식물체내 유기 화합물 분석

질량크로마토그래피(GC/Mass model SHIMADZU GC-14A)를 이용하여 애기마름과 잣잎의 유기화합물을 분석하였다. 솔잎의 추출물에서 phenolic과 benzoic acids가 조류 성장에 있어 증식 억제 화합물질로 알려졌다(Olmsted and Rice, 1970; Rasmussen and Einhellung, 1977; Rice *et al.*, 1980). 수생식물 또한 조류 성장을 억제하는 화합물질을 방출하고(Houzuki *et al.*, 1960), 부들은 phenolic acids를 생성한다고 한다(Aliotta *et al.*, 1996). 본 실험에서는 임 등(2000)이 조류증식 억제에 효과가 좋았다고 보고한 식물체 중에서 애기마름과 잣잎을 대상으로 식물체내 유기화합물을 분석하여 보았다. 분석결과 애기마름에서는 4-(4-hydroxyphenyl)-2-butanone과 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-phenol, P-CYMEN-8-OL이 검출되었고, 잣잎은 애기마름에서 검출된 것과 동일하게 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-phenol이 검출되었다.

Pillinger(1993)에 의하면 리그닌 속의 페놀 그룹이 물 속에서 썩고 있는 짙으로부터 용해되어 우러나오고, 이러한 리그닌이 물 속으로 용존 될 때나 후에 phenolic hydroxyl groups은 비생물적으로 썩는 형태로 산화, 그런 화학 물질은 많이 시판되는 썩는과 같이 고유의 항조류 활성을 가진다고 하였다(Pillinger *et al.*, 1994). 따라서 본 실험에서의 조류 증식 억제 효과는 식물에서 용출되어 나오는 화합물질에 의해 일부 영향을 받는다고 추정할 수 있었다. 그러나 본 유기화합물 분석은 물질확인을 거치기 위한 예비실험이므로 금번 실험에서 항조류 활성물질이 검출되었다고 하더라도 정확한 검증

이 없기 때문에 향후 지속적으로 더 많은 실험을 통해서 입증할 수 있다고 사료된다.

## 적 요

팔당호 지류인 경안천 만입부에서 현장실험조를 이용하여 조류증식 억제 효율을 조사하였다. *Microcystis*가 우점하고 평균 Chl *a* 농도가 30~50 µg/l를 나타내는 경안천 만입부 현장실험조에서 습체식물 2.5 g/l 투여 결과, 은행잎, 잣잎, 솔잎 투여조는 초기부터 조류증식억제 효과를 보이면서 조류가 최고 성장기에 이를 때까지 높은 효과를 나타내었다. 수생식물중 애기마름 투여조가 다른 식물 투여조에 비해 가장 효과가 좋았다. 7일째에 조류 증식 억제율은 솔잎 85%, 은행잎 80%, 잣잎 75%, 애기마름 78%, 줄 59% 창포 투여조 30%순이었고, 갈대 투여조는 효과가 없었다. 솔잎, 잣잎, 은행잎, 애기마름을 건조시켜 0.25 g/l와 1 g/l로 투여한 결과, 솔잎과 애기마름은 0.25 g/l에서 각각 53%, 90%로 좋은 효과를 나타낸 반면, 잣잎과 은행잎은 1 g/l 투여량에서 효과가 좋았다. 조류증식억제 효과 원인을 찾기 위해 식물체내 유기화합물을 분석해 본 결과 애기마름에서는 4-(4-hydroxyphenyl)-2-butanone과 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-phenol, p-CYMEN-8-OL이 검출되었고, 잣잎은 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-phenol이 검출되었다.

## 인 용 문 헌

- 김범철, 김은경, 표동진, 박호동, 허우명. 1995. 국내 호수에서의 남조류 독소발생. 한국수질보전학회지 **11**: 231-237.
- 김용재. 1996. 팔당호의 식물플랑크톤 군집의 생태학적 고찰과 지표종을 이용한 영양단계 평가. 한국육수학회지 **29**: 323-345.
- 임병진, 정원화, 변명섭, 전선옥. 2000. 식물체를 이용한 조류 증식억제 효과. 한국육수학회지 **33**: 136-144.
- Aliotta, G., M.D. Greca, P. Monaco, G. Pinto, A. Pollio and L. Previtiera, 1996. Potential allelochemicals from aquatic weeds: Their action on microalgae. In Allelopathy: Field observations and methodology. Eds. S. S. Narwal and P. Tauro, Scientific Publishres, Jodhpur pp. 243-254.
- Barrett, P.R.F., J.C. Curnow and J.W. Littlejohn. 1996. The control of diatom and cyanobacterial blooms in reservoirs using barley straw. *Hydrobiologia* **340**: 307-311.
- Bishop, C.T., E.F.L. Anet and P.R. Gorham. 1959. Isolation and identification of the fast death factor in *Microcystis aeruginosa* NRC-1. *Can. J. Biochem. Physiol.* **37**: 453-471.
- Everall, N.C. and D.R. Lees. 1997. The identification and significance of chemicals released from decomposing barley straw during reservoir algal control. *Wat. Res.* **31**: 614-620.
- Harada, K.-I. 1996. Chemistry and detection of microcystins. pp. 103-148. *In: Toxic Microcystis* (Watanabe MF, Harada KI, Carmichael WW and Fujiki H, eds.). CRC Press, Tokyo.
- Hozuki, K., R. Okanishi and H. Sugawara. 1960. Studies on the antagonistic relationship between phytoplankton and rooted aquatic plants. *Jap. J. Limnol.* **21**: 124-130.
- Kang, P.G. 1999. Effects of the leachates from Decaying plants on the algal growth. M.S. Thesis. Kangweon National University, 88pp.
- Newman, J.R. and P.R.F. Barrett. 1993. Control of *Microcystis aeruginosa* by decomposing barley straw. *J. Aquat. Plant Mgmt.* **31**: 203-206.
- Olmsted, C.E. and E.L. Rice. 1970. Relative effects of known plant inhibitors or species from first two stages of old-field succession. *Southwestern Nat.* **15**: 165-173.
- Pillinger, J.M. 1993. Algal control by barley straw. Ph D Thesis, Department of Applied Biology, The Open University, Milton Keynes. U.K. cited in 'The control of diatom and cyanobacterial blooms in reservoirs using barley straw. Barrett, P.R.F., J.C. Curnow and J.W. Littlejohn, 1996. *Hydrobiologia* **340**: 307-311'.
- Pillinger, J.M., J.A. Cooper and I. Ridge. 1994. Role of phenolic compounds in the antialgal activity of barley straw. *J. Chem. Ecol.* **20**: 1557-1569.
- Rasmussen, J.A. and F.A. Einhellig. 1977. Synergistic inhibitory effects of *p*-coumaric and ferulic acids on germination and growth of grain sorghum. *J. Chem. Ecol.* **3**: 197-205.
- Rice, E.L., C.H. Lin and C.Y. Huang. 1980. Effects of decaying rice straw on growth and nitrogen fixation of a bluegreen alga. *Bot. bull. Acad. Sinica* **21**: 111-117.
- Ridge, I. and P.R.F. Barrett. 1992. Algal control with barley straw. *Aspects of Applied Biology.* **29**: 457-462.
- Sivonen, K., S.I. Niemela, R.M. Niemi, L. Lepisto, T.H. Luoma and L.A. Rasanen. 1990. Toxic cyanobacteria (blue-green algae) in Finnish fresh and Coastal waters. *Hydrobiologia* **190**: 267-275.
- Watanabe, M.F., K. Harada, K. Matsuura, S. Oishi, Y. Watanabe and M. Suzuki. 1989. Heptapeptide toxins contained in natural samples of *Microcystis* species. *Toxicity Assessment.* **4**: 487-497.
- Welch, I.M., P.R.F. Barrett and I. Ridge. 1990. Barley straw as an inhibitor of algal growth I: studies in the Chesterfield Canal. *J. Appl. Phycol.* **2**: 231-239.