

## 미나리 (*Oenanthe javanica*(Blume) DC)를 이용한 水質淨化에 관한 연구

권성환 · 나규환 · 류재근\* · 김종택\*\*

연세대학교 환경과학과, 국립환경연구원\*, 한강수질검사소\*\*

## Studies on the Water Purification Using Water Parsley

Seong Hwan Kwon, Kyu Hwan Ra, Jae Keun Ryu\* and Jong Taek Kim\*\*

Dept. of Environmental Science, Yonsei University

\* National Institute of Environmental Research

\*\* Han Gang Water Resource Inspection Center

### ABSTRACT

The results of the water purification studies using water parsley (*Oenanthe javanica*) were obtained as follows.

The removal rate of nutrient salts increased with longer plant growth periods. The results of this study use the assumption,  $\log(T+1) = K(C_0 - C)^A$ , based on Prakash's Theory. The initial concentration was calculated from experimental data. A and K are closely related to the initial concentration. It is possible to model the concentration of residual salts, as time goes by, if concentration is constant.

It was observed that water parsley neutralizes acid and alkali substances promptly. The maximum suitable neutralization period is 48 hours. But water parsley withered up in strong acid and alkali solutions within a week.

The removal efficiency of Cd progresses in 2 steps, which are unrelated to the initial concentration of Cd. The first part of the curve shows the concentration rapid rate of Cd removal, followed by a levelling off.

The removal rate of  $\text{NO}_x\text{-N}$  in the sample water tank containing 0.5 ppm Cd was between 50~80% but the removal rate was less than 20% for the higher concentration. On the other hand, increased amounts of  $\text{PO}_4\text{-P}$  in the sample water tank from the third day on suspected that  $\text{PO}_4\text{-P}$  was desorbed from the water parsley. The accumulation efficiency of Cd in plant was increased in proportion to the initial concentration of Cd. The accumulation phenomenon was observed in the tanks more than 50~100 times.

**Keywords :** water parsley, nutrient salts, neutralization, cadmium

### I. 서 론

근래에 들어 환경오염중 큰 문제가 되고 있는 것은 무엇보다도 우리일상 가정 생활에서 부터 유래되고 있는 水環境 악화를 들 수 있다. 수환경오염의 원인 물질로서는 생활환경에서 유래되는 유기물질과 각종 산업장 및 농경지, 골프장 기타 폐광지에서 유출되는 각종 화학물질과 중금속 등 다양하다. 특히 최근에는 생활양식의 변화로 인한 육류소비량의 증가로 기업화된 축산단지의 가축폐수도 문제시되고 있다.

한편 우리나라의 상수원은 대부분 하천과 강을 막

은 인공호이므로 인근 유역으로부터 오염물질의 유입 가능성이 높다. 또한 폐쇄성 수역에 있어서는 부영양화 현상이 발생되어 플랑크톤의 이상 발생으로 인한 건강피해, 상수시설에의 악영향 및 어패류 양식 등 어업에 직접적인 피해도 일으킨다. 이들 오염하수의 처리방법에는 일반적으로 이화학적 방법과 미생물을 이용하는 방법 및 특수 처리공법에 의해 유기물 및 미량 유해물질까지도 처리하고 있으나 경제적이거나 기술적 어려움이 따르고 있다.

이러한 관점에서 생태계 구성원인 水生植物을 이용한 수질정화법이 국내외적으로 활발히 진행되고

있다. 이에 著者들은 우리나라에서 재배 또는 하천변에 자생하는 미나리를 이용하여 수질정화의 일환으로 계속적인 연구를 하고 있는 바 몇가지 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

## II. 실험방법

### 1. 식물재배 및 성분분석

미나리는 강원도 원주시 학성동 재배지에서 채취하여 교내 인공재배지에서 상시 재배하면서 수시로 분취하였으며 전체를 증류수로 씻은 후 잎을 자르고 수조에서 재배하였다.<sup>1)</sup> 재배수조는 perspex로 일정 크기로 제조(20×20×18 cm)하였으며 배양액으로는 Table 1의 조성과 같은 인공배양액을 사용하였다.

실험기간은 1993년 11월과 1994년 8월중에 실시하였으며 실험장소는 1일 조사시간이 14시간으로 일정하게 유지하도록 하였으며 대조군을 제외한 각 수조에는 미나리 생육 밀도를 7.5 kg/m<sup>2</sup>으로 일정하게 하였다.<sup>1)</sup> 배양액중의 NO<sub>x</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P는 ion chromatography법,<sup>2)</sup> 온도 및 pH는 Orion pH/ion meter(model 720A)로 측정하였다. 미나리 성분측정은 24시간 105°C에서 완전 건조후 분쇄하여 Kjeldahl법으로 질소함량을 측정하였으며<sup>3)</sup> K과 Cd 및 기타 중금속 함량은 atomic absorption spectroscopy

**Table 1.** Composition of synthetic nutrient solution.

Ingredient	Concentration(mg/L)
KNO <sub>3</sub>	41.48
NaNO <sub>3</sub>	25.80
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	5.63
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2.53
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1.33
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	1.60
HOOC(CHOH) <sub>2</sub> COOH	1.20
FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.24
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.21
NaMoO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.19

**Table 2.** Initial condition of solution

Tank NO.	Solution	pH	Temp(°C)
2-1	Tartaric acid	4.0	8.2
2-2(control)	"	4.0	8.2
2-3	Nitric acid	4.0	8.2
2-4(control)	"	4.0	8.2
2-5	Sodium hydroxide	9.0	8.9
2-6(control)	"	9.0	8.9

(PERKIN ELMER 2380)로 측정하였다.

### 2. 액성 중화능 실험

산성용액은 유기산으로는 주석산과 무기산으로는 질산을 사용하여 일정농도의 액성으로 조제하였으며 알칼리용액은 NaOH로 조제하였다. 각 수조에 미나리 생육밀도를 7.5 kg/m<sup>2</sup>로 일정하게 한 후 pH를 24시간 마다 5일간 재배하면서 측정하였다.

### 3. Cd제거 실험

미나리의 영양염류 흡수가 가장 적합한 생육밀도인 7.5 kg/m<sup>2</sup>에서 실험하였으며<sup>1)</sup> Cd농도는 CdCl<sub>2</sub>를 사용하여 Table 3의 조건으로 하였다. 한편 실험에 사용하기전 미나리 체내에 함유된 영양염류 및 중금속 등의 함량조성은 Table 4와 같다.

재배기간은 중금속의 흡수경향이 비교적 단기간 내에 이루어지므로 5일간으로 하였으며 24시간마다 배양액중의 함량을 측정하였다. 미나리 생체중 함량은 실험 1에서와 같은 방법으로 측정하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 미나리 생장에 따른 영양염류의 제거

前報<sup>1)</sup>를 기초로 하여 Table 5와 같은 조건으로 생육에 따른 영양염류인 NO<sub>x</sub>-N과 PO<sub>4</sub>-P의 제거율을 조사하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 시간경과에 따른 NO<sub>x</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P의 제거경향은 전반적으로 S자 형태의 곡선을 보이고 있다. 이는 영양염류와 생장율과의 관계에서 일반적인 식물체 생장곡선과 일치한다. 즉 영양염류는 식물체의 생장에 영양분으로 이용되므로 그 제거경향은 곧 식물체의 생장을 의미한다고 할 수 있다. 이를 기초로 하여 시간경과에 따른 영양염류의 잔류량을 계산적 예측 여부에 대해 가능성을 조사하였다. Fig.1에서 각 수조의 초기 각 농도별 영양염류의 시간 경과에 따른 제거를 기초로 하여 Prakash등의 연구결과를 토대로 하여 다음의 실험 수학적 관계식을 가정 할 수 있다.<sup>4)</sup>

$$\log(T+1) = K(C_0 - C) \quad 1)$$

T : 재배후 경과시간(일)

C<sub>0</sub> : 재배초기 배양액의 영양염류농도

C : T일에서의 영양염류 잔류농도

K, A : 식물체의 생육밀도, 생장속도, 크기, 수질평형 및 기타 환경요인에 따른 실험상수

**Table 3.** Initial condition of each tank

Cultivated & experimental periods		1994. 8(I)									
Tank No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Density $S_0$ (wet $kg/m^3$ )		7.5			control			7.5		control	
Cd(ppm)	0.156	0.272	0.601	5.379	0.833	0.238	0.340	0.718	4.819	0.786	
$NO_x$ -P(ppm)	37.35	37.13	38.25	37.01	37.38	36.88	36.83	37.01	35.96	37.18	
$PO_4$ -P(ppm)	3.32	3.29	3.30	3.49	3.62	3.13	3.53	3.50	3.41	3.60	
pH	5.84	5.69	5.72	5.60	5.90	5.83	5.83	5.64	5.66	5.17	
Mean temp( $^{\circ}C$ )	21.18	21.04	20.96	20.66	20.72	21.24	24.16	20.96	21.16	21.00	

Cultivated & experimental periods		1994. 8(II)									
Tank No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Density $S_0$ (wet $kg/m^3$ )		7.5			control			7.5		control	
Cd(ppm)	0.307	0.436	0.650	7.650	0.393	0.135	0.178	3.140	8.940	0	
$NO_x$ -P(ppm)	32.60	32.13	30.05	33.71	32.54	32.16	32.56	31.32	32.88	31.70	
$PO_4$ -P(ppm)	5.45	5.27	5.07	5.61	5.30	5.52	5.59	5.30	5.38	35.38	
pH	6.31	6.41	6.54	6.29	5.50	6.24	5.26	6.57	6.22	6.47	
Mean temp( $^{\circ}C$ )	18.46	18.40	18.50	18.58	15.12	18.44	18.26	18.32	18.56	18.94	

**Table 4.** Composition of aquatic macrophytes

%	constituents	Moisture	N	P	K	Zn	Cd	Pb
		88.19 $\pm$ 2.25	1.32 $\pm$ 0.18	0.12 $\pm$ 0.02	5.50 $\pm$ 0.39	0.05 $\pm$ 0.02	-	-

**Table 5.** Initial conditions of each tank.

Cultivated & experimental periods		93. 11				
Tank No.	1	2	3	4	5	
Density(wet. $kg/m^3$ )		7.5			control	
$NO_x$ -N(ppm)	100.2	50	33.3	10	33.3	
$PO_4$ -P(ppm)	17.85	8.53	5.95	1.79	5.95	
pH	5.32	5.33	5.27	5.70	5.25	
Mean temp.( $^{\circ}C$ )	8.65	8.54	9.01	8.78	8.77	

식1)을 기초로 각 수조에서 영양염류의 제거량과 시간과의 관계는 Fig. 2 및 3에서 보는바와 같다.  
( $C_0-C$ )와  $\log(T+1)$ 을 plot한 경우 식 1)에서 유

도하여 얻은 값과 실험치가  $NO_x$ -N 및  $PO_4$ -P에서 공통적으로 초기농도가 비교적 높은 수조에서는 상관성이 약간 떨어지나 농도가 낮은 경우에는 비교적

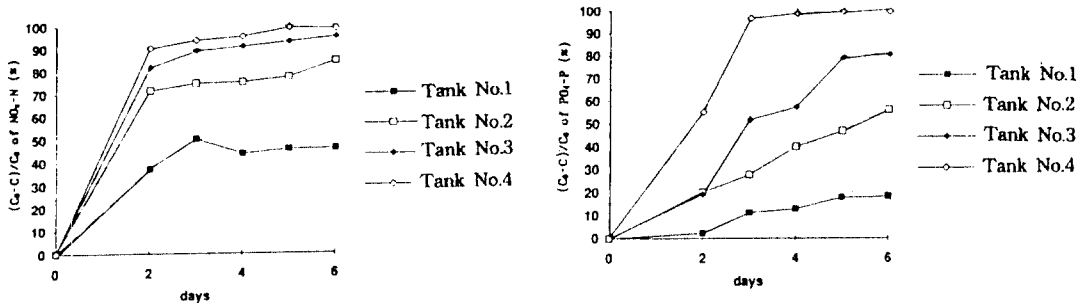


Fig. 1 Effects of time on removal rate of NO<sub>x</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P C<sub>0</sub>: initial concentration, C: residual concentration

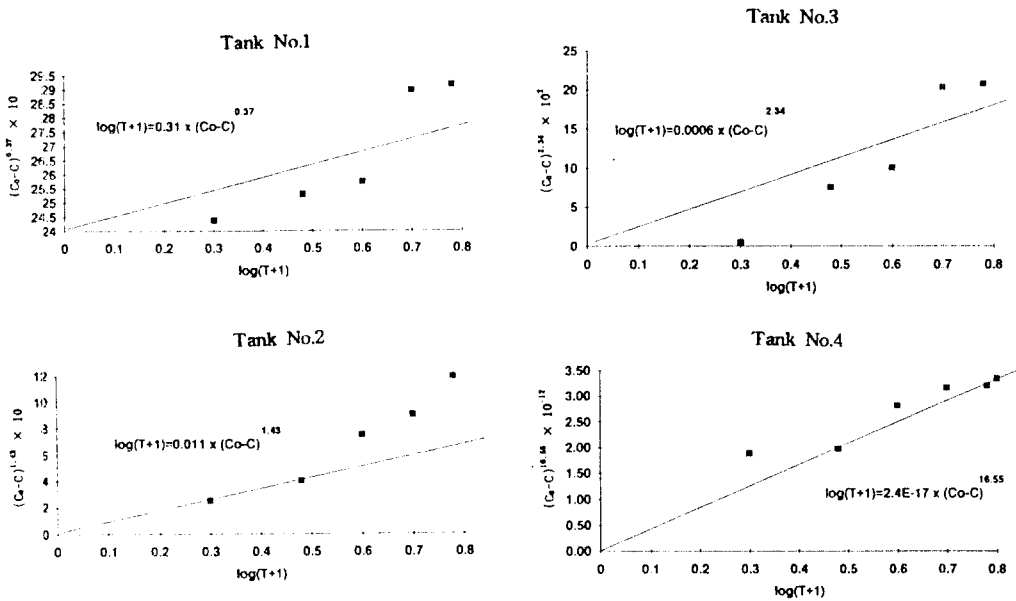


Fig. 2. Relationship between residual concentrations of NO<sub>x</sub>-N and cultivation periods C<sub>0</sub>: initial concentration, C: residual concentration

높은 상관성을 보임을 알 수 있다. Fig상의 직선은 식 1)에서 산출한 실험 수학적식에 대한 값이며 그 관계식은 다음과 같다.

NO<sub>x</sub>-N의 경우는

- 수조 1;  $\log(T+1) = 0.31(C_0-C)^{0.37}$
- 수조 2;  $\log(T+1) = 0.011(C_0-C)^{1.43}$
- 수조 3;  $\log(T+1) = 0.0006(C_0-C)^{2.34}$
- 수조 4;  $\log(T+1) = 2.4 \times 10^{-17}(C_0-C)^{16.55}$

PO<sub>4</sub>-P의 경우는

- 수조 1;  $\log(T+1) = 3.6 \times 10^{-35}(C_0-C)^{47.63}$
- 수조 2;  $\log(T+1) = 5.3 \times 10^{-20}(C_0-C)^{24.26}$

- 수조 3;  $\log(T+1) = 4.84 \times 10^{-19}(C_0-C)^{11.04}$
- 수조 4;  $\log(T+1) = 0.04(C_0-C)^{3.0}$ 이었다.

식 1)의 상수인 A와 K의 상관성에 대한 조사결과 는 Fig 4 및 5에서 보는 바와 같다. 즉 A와 K는 NO<sub>x</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P의 관계식 모두에서 각 수조의 초기 농도와 밀접한 상관성이 있음을 알 수 있다. 초기 농도와 A 및 K와의 관계식은 다음과 같다.

NO<sub>x</sub>-N의 경우는

- $\log A = 1.07 \log C_0 - 0.45, R^2 = 0.965,$
- $\log K = -1.05 C_0 + 7.45, R^2 = 0.915$

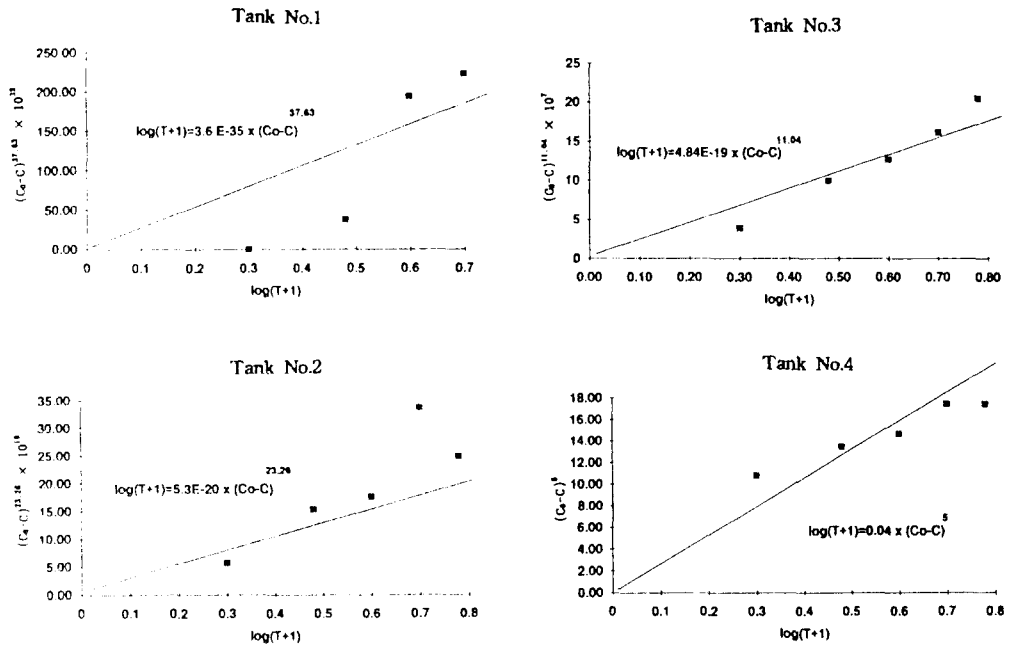


Fig. 3. Relationship between residual concentration of  $\text{PO}_4\text{-P}$  and cultivation periods  
 $C_o$  : initial concentration, C : residual concentration

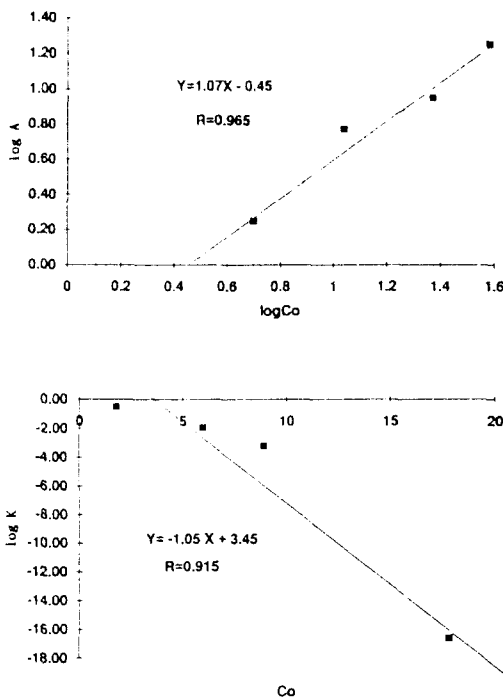


Fig. 4. Relationship between  $C_o$ (initial concentration) of A, K at the formula about of  $\text{NO}_x\text{-N}$

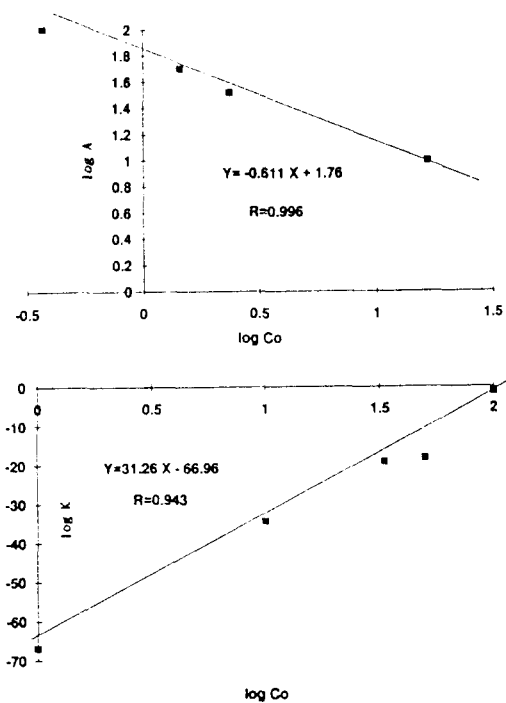


Fig. 5. Relationship between  $C_o$ (initial concentration) of A, K at the formula about of  $\text{PO}_4\text{-P}$

PO<sub>4</sub>-P의 경우는

$$\log A = 0.611 \log C_0 - 1.76, R^2 = 0.996$$

$$\log K = 31.26 \log C_0 - 66.96, R^2 = 0.943 \text{이었다.}$$

따라서 미나리 등 수생식물을 이용한 수처리에서 영양염류의 잔류량을 어느정도 예측이 가능하다고 사료된다. 즉 생육밀도 및 주위환경등 식1)의 A 및 K에 영향을 미칠 수 있는 요인을 일정하게 유지해 준다면 A와 K는 초기농도와 밀접한 상관성이 있으므로 초기농도를 알면 T일후의 영양염류 잔류량과 오염도를 예측 할 수 있으나 보다 많은 자료와 연구가 필요하다고 사료된다.

### 2. 산, 알칼리성 합성폐수의 중화능

영양염류의 초기농도와 미나리의 생육밀도를 일정하게 한후 산성 및 알칼리성 인공폐수에 대한 각각 pH중화능을 조사하였다. Table 2와 같이 액성을 산성(무기산 및 유기산)과 알칼리성으로 하여 재배 5일

간의 pH를 측정된 결과는 Fig. 6에서 보는바와 같다. 산성 또는 알칼리성에서 모두 공통적으로 재배초기부터 상당한 중화능을 보임을 알 수 있다. 무기 및 유기산의 산성용액의 경우 초기 pH가 4.0에서 2일후에 5.38~5.52로 높아졌으며 5일후에는 pH 6.2~6.56로 중성에 가깝게 높은 중화능을 나타내었다.

이는 부레옥잠의 경우와 유사하였으며 이같은 수생식물의 중화능은 뿌리부분에 함유하는 탈수소효소에 의해 수소를 제거하고 전자수용체로 작용하여 기질을 중화하는 기능 때문이라고 한다.<sup>3)</sup> 알칼리성에서는 특이적으로 pH 9.001가 2일후 pH 6.1로 급격히 낮아진후 점차 서서히 중성쪽으로 변하는 경향을 나타내었다. 이는 미나리등 수생식물이 재배환경에 신속하게 대처함을 보여주어 주고 있다고 할 수 있다. 다만 pH 3.5 이하의 강산성이나 pH 10.0 이상의 강알칼리성에서는 식물형태학적 이상을 일으켜 1주일 이내에 고사하는 결과를 초래하였다.

### 3. Cd의 흡수제거

Table 3과 같이 배양액에 Cd를 일정농도별로 한후 5일간 재배 실험하였다. 형태학적으로 Cd 농도가 0.6 ppm이상되는 수조 I-3, 4, 8, 9 및 수조 II-3, 4, 8, 9에서 황엽 또는 잎이 마르는 현상을 관찰 할 수 있으며 재배 5일 경에는 거의 모든 수조에서 황엽현상이 관찰되었다. 대부분의 실험결과 수생식물에 의한 중금속의 제거경향은 단순한 흡착이 아니라 뿌리를 통해 체내에 흡수 축적 되는 것이라고 밝히고 있다.<sup>1,2)</sup> 그리고 Cd등 중금속은 뿌리를 통해 서서히 식물체로 이동되며 식물 조직내에 축적된다고 보고하고 있다.<sup>8)</sup> 이러한 chlorosis현상은 특히 Cd이 뿌리부분에 집중적으로 흡수축적되어 뿌리 기능을 약화시킴으로써 영양염류의

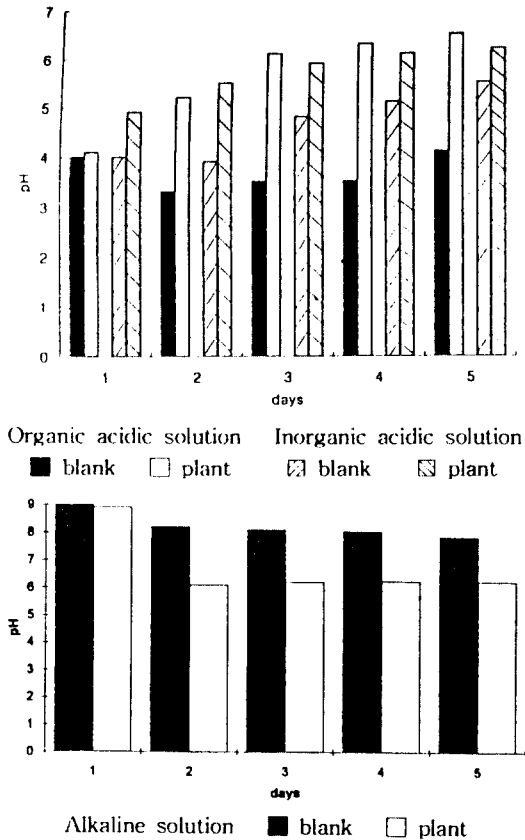


Fig. 6. Daily variation of pH

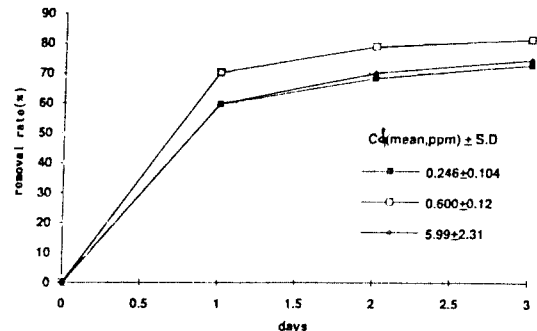


Fig. 7. Effect of initial concentration of Cd on removal rates of Cd with cultivation periods

흡수방해로 인한 영양결핍 현상이라고 사료된다.<sup>9)</sup>

배양액중의 Cd제거는 농도의 범위가 비교적 컸으나 5일간의 재배기간중 거의 전 수조에서 80.31~94.42%의 높은 제거율을 보였다. 그리고 0.5 ppm이하에서는 3일 이후부터 측정기기의 검출한계인 Cd 농도 0.025 ppm이하로 되어 3일까지의 결과를 토대로 제거율의 경향을 조사하였으며 Fig. 7에서 보는 바와 같다. 재배 1일후의 평균제거율은 62.27%로 급격한 제거경향을 보이다가 그 이후부터는 거의 일정하게 완만한 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 대부분 수생식물에 의한 중금속 제거실험에서 나타나는 2 phase의 제거경향을 보인다는 결과와 유사하였다.<sup>9,10)</sup> 한편 초기 Cd 농도에 따른 Cd의 제거경향은 chlorosis가 빠르게 나타나는 비교적 높은 농도에서도 독성과는 무관하게 높은 제거경향을 나타내는 것은 더욱 연구가 필요하다고 사료된다.

#### 4. Cd이 영양염류 흡수제거 및 Cd의 식물체 흡수에 미치는 영향

Cd의 각 농도에 따른 영양염류의 제거율은 4일간 재배하면서 측정된 결과는 Fig.8 및 9와 같다. NO<sub>x</sub>-N의 경우 실험조건중 가장 낮은 농도인 Cd 0.246 ppm에서 4일후 약 80%의 제거율을 보였으며 0.600 ppm에서는 약 50%의 제거율을 나타냈으나 5.99 ppm의 높은 농도에서는 약 12%로 낮은 제거율을 나타내었다. 이는 뿌리부분에 흡수된 Cd의 독성으로 인한 영양염류의 흡수 장애라고 사료된다. 또한 Cd이 0.5 ppm이하에서는 부레옥잠의 생장율에는 지장이 없으나 0.5~1.0 ppm에서는 50%정도의 감소추세를 보인다는 보고와 일치함을 알 수 있다.<sup>11)</sup> Cd의 초기농도별 PO<sub>4</sub>-P의 시간경과에 따른 제거율은 NO<sub>x</sub>-N와는 다른 경향성을 나타내었다. 초기농도와는 상관없이 재배 2~3일까지는 제거율이 10%미만이라는 하나 제거경향성을 보이다가 그 이후에는 오히려 초기 농도보다 증가하는 경향성을 나타내었다. 이는 Cd의 독성이 발현된 후 황엽 또는 뿌리부분 중 손상된 부분에서 인이 용출된 결과가 아닌가 사료된다.

Cd의 미나리 체내 흡수 축적 경향은 각 수조에서 Cd의 초기농도별 미나리 건중량 중의 Cd함량( $\mu\text{g/g}$ )로 표시하여 Fig. 10에 나타내었다. 초기농도에 따른 함량은 차이는 있으나 Cd농도가 높을수록 체내의 Cd함량도 뚜렷한 증가 경향을 나타내었다. 이는 수생식물의 중금속 흡수축적 경향은 수중의 농도보다 최고 2000~4000배 정도의 많은 양을 축적한다

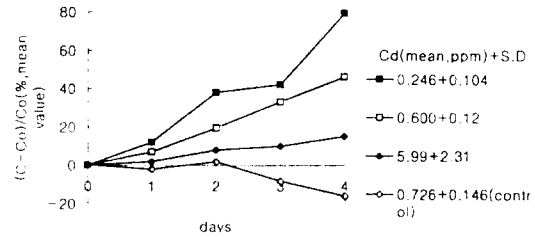


Fig. 8. Effect of initial concentration of Cd on removal rates of NO<sub>x</sub>-N  
C<sub>0</sub>: initial concentration  
C: residual concentration

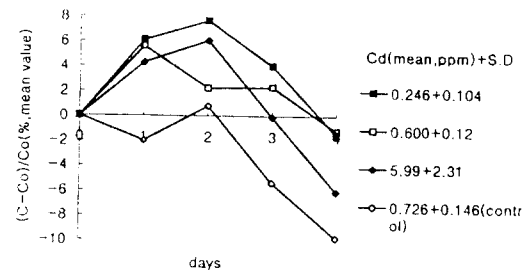


Fig. 9. Effect of initial concentration of Cd on removal rates of PO<sub>4</sub>-P  
C<sub>0</sub>: initial concentration  
C: residual concentration

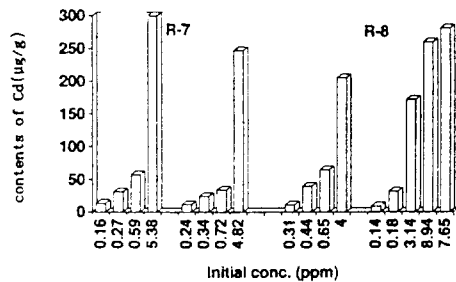


Fig. 10. Initial concentration of Cd versus uptake of Cd in *Oenanthe javanica*  
C<sub>0</sub>: initial concentration  
C: residual concentration

는 사실과 유사한 결과라고 사료된다.<sup>11)</sup>

## IV. 결 론

미나리를 이용한 수질정화에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 영양염류(nutrient salts)의 제거율은 식물의 재배시간에 따라 증가하였으며 Prakash 등의 연구 결과를 토대로 하여  $\log(T+1) = K(C_0 - C)^A$  로 가정되었다. 초기농도와 실험상수 B는 실험을 통하여 계산이 가능하며 A 및 K는 초기농도와 밀접한 상관성이 있으며 농도가 일정하면 시간 경과에 따른 잔존량을 modeling 할 수 있다.

2. 미나리에 의한 산성 및 알칼리성 합성폐수의 中和能은 두 액성에서 모두 나타났으며 비교적 신속하게 적응하였고 최대 적응기간은 48시간 정도 이었다. 그러나 강산 및 강알칼리성에서는 1주일내에 枯死 하였다.

3. Cd의 제거경향은 Cd의 초기농도와는 큰 상관없이 2 step으로 제거 되었으며 초기에 급격한 제거 경향을 보인 후 점차 일정한 수준으로 완만한 경향을 나타내었다.

4. 영양염류의 흡수에 미치는 Cd의 영향은  $\text{NO}_x\text{-N}$ 는 Cd 0.5 ppm에서는 50~80% 이상의 제거율을 보였으나 그 이상 농도에서는 Cd 독성으로 20% 이하를 보였다. 반면에  $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 경우는 3일째 부터는 오히려 증가 추세를 나타내었다.

5. 미나리 체내의 Cd 축적경향은 Cd의 초기농도가 높을수록 비례적으로 증가하였으며 수중 농도보다 약 50~100배 정도 높은 양의 축적 현상을 나타내었다.

## 참고문헌

- 1) K. H. Ra, S. H. Kwon and J. H. Lee : Aquatic plants for wastewater treatment. J. Korean Environ. Health Society, 22(3), 1~, 1996.
- 2) Anold, E. G., S. C. Lenore, & D. E. Andrew : Standard method for the water and wastewater, 18th edition. APHA AWWA WEF 4-1-4-8, 1992.
- 3) 農業技術研究所 : 土壤化學分析法, 農村振興廳, 57~60, 1988.
- 4) Prakash, O., I. Mehrotra, & P. Kumar : Removal of cadmium from water by water hyacinth, J. Environ. Engineering, 113 : 2, paper No 21401, 81, 107~110, 1987.
- 5) 金俊鎬譯 : 生態學概論, 教門社, 70~78, 1989.
- 6) Debusk, W. F. and K. R. Reddy : Growth characteristic of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water ; I. water hyacinth, water lettuce, and pennywort, Environ. Bot. 38, 229~239, 1984.
- 7) Blake, G., B. Kaigate., A. Fourcy., and C. Boutin : Incorporation of cadmium by water hyacinth. Water Sci. Tech. 29(10), 123~128, 1987.
- 8) Tatsuyama, K., H. Egawa., and T. Yamagishi : Sorption of heavy metals from metal solutions by water hyacinth, Zassokenkyo, 22, 151~156, 1977.
- 9) Hardy, J. K., and D. H. O'Keeffe : Cadmium uptake by the water hyacinth ; Effects of root mass, solution volume, complexers and other metal ions, Chemosphere, 14, 417~426, 1985.
- 10) O'Keeffe, D. H. and J. K. Hardy : Cadmium uptake by the water hyacinth ; Effects of solution factors, Environ. Pollut., Ser. A, 34, 133~137, 1984.
- 11) Wolverton, D. C., and R. C. McDonald. : Water hyacinth for removing chemical and photographic pollutants from laboratory wastewaters. NASA Technical Memo. TM-X-73731, 1976.

1) K. H. Ra, S. H. Kwon and J. H. Lee : Aquatic plants for wastewater treatment. J. Korean En-