

## 미나리에 의한 水中 重金屬 Cd와 Pb의 除去에 關한 研究

이병설 · 鄭文鎬 · 杜玉珠  
서울대학교 보건대학원

## A Study on Removal of Cadmium and Lead from Water by *Oenanthe Stolonifera* DC.

Byeong-Seol Lee, Moon-Ho Chung and Ock-Joo Tu  
Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

### ABSTRACT

Minari(*Oenanthe stolonifera* DC.) lived in serious polluted water is able to remove chemical elements from batch system. This study attempted to compare the incorporation of cadmium and lead in batch system. Different concentrations of Cd(0.02; 0.1; 0.5; 1.00; 5.00 mg/l) and Pb(0.1; 0.5; 1.0; 5.0; 10.0 mg/l) were used. Toxic effects were obvious at Cd 1.00 mg/l and Pb 5.00 mg/l. The detrimental effects on minari were chlorosis of leaves and stunted roots and reduction in the number of lateral roots. There was reduction in growth rates exposed above Cd 1.00 mg/l and lead 5.0 mg/l.

The minari capacities to remove Cd were 34.1-74.2% and Pb were 53.0~91.5%. The removal rates by minari in Cd and Pb solution were decreased with increased exposure concentration(in Cd  $r=0.97$ , in Pb  $r=0.88$ ).

The removal rates by minari in Cd and Pb solution were increased with increased growth rate(in Cd  $r=0.93$  in Pb  $r=0.92$ ).

Recovery rates on minari are 67.3~95.2% in Cd water and 72.6~88.3% in Pb water. The rates are increased with increased growth rates and decreased initial concentrations.

**Keywords :** *Oenanthe stolonifera* DC., metal, Cd, Pb, removal

### I. 序 論

우리가 살고있는 地球의 環境은 汚染物質을 스스로 淨化시킬 수 있는 自淨能力(self purification)을 지니고 있다. 地球表面의 물, 土壤, 植物, 微生物 그리고 大氣의 相互作用은 物理的, 化學的, 生物學的인 過程을 통하여 人間活動에 의해서 또는 自然的으로 發生되는 여러가지 汚染物質을 處理하여 淨化시키고 있다. 産業革命 以後, 急速한 産業化와 都市化에 의해 多量으로 發生되는 汚染物質에 의한 人間과 動植物을 포함한 生態系 全般의 被害가 認識되면서부터 諸般 廢水, 廢棄物등의 工學的인 處理技法이 發達해 왔고, 이러한 處理法에 의해 地球 環境汚染制御에 일부 성공하고 있다.<sup>1)</sup>

이러한 人爲的인 施設에 의한 處理法과 더불어 自然의 自淨能力을 이용한 自然處理法이 함께 研究되어 왔는데, 土地를 이용한 自然處理法과 水生植物을 이용한 自然處理法이 이에 속한다. 그 중 水生處理裝置는 一般的으로 2次 또는 高次處理流出水を 더욱 淨化시키기 위한 處理에 使用되나, 一般廢水處理에도 使用이 可能하다. 自然處理法에서 使用되는 여러工程에는 沈降, 濾過, 氣體 傳達, 吸着, 이온交換, 化學 沈澱, 化學的 酸化와 還元, 生物學的 轉換과 分解 및 自然生態系의 光合成, 光酸化, 植物 攝取 등이 포함된다.

他工法에서의 여러 處理 工程은 에너지가 投入됨으로써 反應 速度가 加速化되어 別途의 反應槽에서 連續的인 工程이 일어나는 반면, 自然 處理法에서는

生態系가 하나의 反應槽가 되어 自然的인 反應 速度로 全工程이 同時에 일어나게 된다.<sup>1)</sup>

自然處理法의 種類는 土地處理法과 水生處理法으로 크게 區分되며 土地處理法은 다시 低速法, 急速浸透法, 地面關係法으로 細分되고 水生處理法은 人工濕地法, 自然濕地法, 水生植物處理法 등으로 細分된다.

水生處理法은 設計, 運轉 및 維持費가 低廉하고 高級 技術의 人力이 필요치 않으며 收穫된 水草는 土壤 添加劑, 갈래 짚개량제, 綠肥, 製紙原料로 使用하기 위한 펄프, 家畜飼料, 堆肥化 등에 직접 利用되거나 또는 加工 後에 이용되는 長點이 있다. 그러나 넓은 敷地가 필요하므로 都市보다는 江流域이나 鑛山廢水, 農村地域에 적당하다.<sup>1)</sup> 水生處理法에 이용되는 一般的인 植物로는 부들, 애기부들, 갈대, 사초 등이 있으며 water hyacinth(부레옥잠), water primrose, duckweed(부평초) 등을 이용한 浮遊植物法과 algae, pondweed 등을 이용한 潛水植物法, 부들, 애기부들, 갈대, 미나리 등을 이용한 창발성植物法 등으로 알려져왔다. 이들 水生處理法에 이용되는 水草는 水深에 따라 그 活動 範圍가 서로 다르기 때문에 각 水草의 成長 條件에 의해 浮遊, 潛水, 창발성의 세가지 形態로 區分된다.<sup>2)</sup>

미나리(Oenanthe stolonifera DC)는 濕地 또는 냇가에서 棲息하는 多年生 草本으로서 成體의 크기는 30~40 cm 정도이며 가을철 기는 줄기의 마디에서 뿌리가 내려 繁殖하고 연한 菜蔬部分은 食用으로 이용되며, 良身, 益精, 利膽, 黃疸, 帶下, 食慾增進, 解熱, 水腫, 精血, 高血壓, 神經痛 등 藥用으로도 이용되어왔다.<sup>3)</sup> 미나리(Oenanthe stolonifera DC.)는 Indo-China가 原産으로 分類學上 繖形科에 속하는 多年生 草本으로서 表土가 깊고 비옥한 濕地에 自生하는 好濕性 植物이다.

미나리의 生育에는 溫度보다는 培養液의 pH가 큰 影響을 미치는 條件으로 20~25°C, pH 7에서 가장 잘 자라며, NO<sub>3</sub>와 NH<sub>4</sub>가 각각 단독으로 存在하는 것보다 NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub>가 75:25일 때 乾燥生産量이 가장 많고, 뿌리의 形態가 잘 發達되며,<sup>4,5)</sup> 미나리는 植物體의 成長過程에서 질소, 인의 吸收가 비교적 多量 일어나게 되어 營養鹽類의 吸收에 유리하며, 主成分으로는 Coniine (C<sub>8</sub>H<sub>17</sub>N), Hyperin (C<sub>15</sub>H<sub>10</sub>O<sub>7</sub>), Apiin(C<sub>26</sub>H<sub>28</sub>O<sub>17</sub>), p-Cymene(C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>) 등이 있다.<sup>3)</sup>

本 研究의 目的은 比較的 汚染된 地域에 棲息하는 미나리를 카드뮴이 5 mg/l 이하로 投與된 培養液과 납이 10 mg/l 이하로 投與된 培養液에서 水耕 栽培하여 미나리에 單位時間, 單位重量別로 카드뮴과

납의 吸收 除去 能力을 調査하고 미나리의 生長 阻害를 일으키는 카드뮴과 납의 濃度를 調査하며 미나리에 의해 吸收된 카드뮴과 납의 回收率을 測定調査함으로써 이후 産業 廢水의 大單位 點汚染源이나 集水路에 大量으로 栽培하여 2次 또는 高次 處理 流出水를 더욱 淨化시키기 위한 處理에 使用할 수 있는지 또는 一般 廢水의 處理에도 使用할 수 있는지 알아 보는 데 있다.

## II. 研究 方法

### 1 實驗槽의 設置

미나리(Oenanthe stolonifera DC)의 카드뮴과 납에 대한 除去能力을 알아보기 위하여 키가 25 cm 내외의 單·品種(clone)으로 分讓받아 일주일간 培養液(Ahn's solution)이 든 water bath(5l)에서 1주일간 適應시킨 후 94년 9월 4일부터 12일간 實驗하였다. 本 實驗期間 동안 實驗槽의 平均 水溫은 20°C 내외였으며 pH는 6.8~7.0로 維持하였다. 미나리를 水耕栽培하는 容器는 아크릴로 된 판을 이용해서 가로 30 cm, 세로 40 cm, 높이 30 cm로 만들고 Ahn's solution을 5l씩 넣은 후에 2 cm 두께의 스티로폼 판을 준비하여 지름 2 cm의 구멍을 낸 후 水面과 1 cm 정도 떨어지게 設置하였다. 스티로폼의 技能은 容器의 물이 自然 蒸發하는 것을 줄이고 미나리가 쓰러지지 않도록 支持해주는 役割을 한다. 이 구멍을 통해서 容器別로 濕重量 65 g(5~10개체)씩 미나리를 넣어 뿌리가 水面에 잠기도록 하였다.<sup>6)</sup>

Ahn's solution은 미나리의 成長에 가장 適合한 培養液으로 NaNO<sub>3</sub> 5 mmole, NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1 mmole, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 1 mmole, MgSO<sub>4</sub> 0.5 mmole, KNO<sub>3</sub> 6 mmole을 물 1l에 넣어 製造한 것이다.<sup>7)</sup> 移植한 個體가 正常的으로 生育하기 시작하는 時點(移植 後 1週日)을 택해 Cd standard solution [CdSO<sub>4</sub>, 1,000 mg/l, 昭和化學株式會社, 日本], Pb standard solution [PbSO<sub>4</sub>, 1,000 mg/l, 昭和化學株式會社, 日本]을 Table 1과 같이 濃度別로 投與하고 0, 1, 2, 4, 6, 8, 12 day 때에 각각의 water bath로부터 100 ml의 sa-

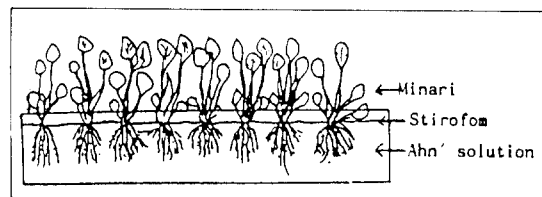


Fig. 1. Culture of minari in water bath system.

**Table 1.** Cadmium and lead concentration in water bath

Material	Water bath No.	Concentration (mg/l)
Cadmium	Control	0.00
	Cd 1	0.02
	Cd 2	0.10
	Cd 3	0.50
	Cd 4	1.00
	Cd 5	5.00
Lead	Control	0.0
	Pb 1	0.1
	Pb 2	0.5
	Pb 3	1.0
	Pb 4	5.0
	Pb 5	10.0

sample을採取하고 Ahn' solution을 채워 항상 培養液의 부피를 5l로 維持 했다.

## 2. 分析 項目 및 測定方法

### 1) 미나리에 대한 카드뮴과 납의 影響

카드뮴과 납에 의해 미나리의 生長에 대한 影響이 나타나는지 알아 보기위해 뿌리, 잎, 줄기의 模樣과 色을 觀察하고 0, 1, 2, 4, 6, 8, 12 day에 濕重量을 測定하였다.<sup>8)</sup>

$$\text{Growth rate}(\%) = \frac{(\text{Final Weight} - \text{Initial Weight})}{\text{Initial Weight}} \times 100$$

### 2) 時間의 經過에 따른 培養溶液 내의 Cd와 Pb 濃度變化

각 培養 容器로부터 미나리에 의한 重金屬의 減少를 調査하기 위해 0, 1, 2, 4, 6, 8, 12 day에 각각의 水槽로부터 培養液을 100 ml씩 採取하여 冷藏保管後 10일 以內에 질산으로 前處理하여 Atomic Absorption Spectrophotometer(A.A.S.)로 測定하였다.<sup>9)</sup>

### 3) 重金屬(Cd,Pb)의 除去率<sup>10)</sup>

$$R(\%) = (C_0 - C_t) / C_0 \times 100$$

R: 除去率

C<sub>0</sub>: 初期 濃度(initial concentration) (mg/l)

C<sub>t</sub>: 時間 t일 때의 濃度 (mg/l)

### 4) 重金屬 除去量<sup>11)</sup>

$$A = C_0 \times V_0 - C_t \times V_t$$

A: 除去量(mg)

C<sub>0</sub>: 初期濃度(mg/l)

C<sub>t</sub>: 마지막濃度(mg/l)

V<sub>t</sub>: " 培養液 부피(l)

V<sub>0</sub>: " 培養液 부피(l)

單位 除去量 (Au)

$$Au = A / Wg / t$$

Au: 單位除去量

A: 除去量 (mg)

Wg: 濕重量의 變化(g)

t: 時間(day)

## 5) 回收率의 測定

미나리가 吸收한 실제의 양을 調査하고 계산된 吸收량과 比較하기 위하여 實驗 終了後 80°C에서 12 시간 동안 乾燥시킨 미나리에 HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:HClO<sub>4</sub> = 10:1:4로 혼합한 ternary solution 10 ml를 넣고 200°C 가열판에서 溶液이 2~3 ml가 될 때까지 가열한 후 filtering(No. 7)후에 100 ml로 채우고 Atomic Absorption Spectrophotometer(A.A.S.)로 測定하여 미나리가 吸收한 重金屬 (Cd, Pb)의 양을 計算한다.<sup>11)</sup>

## III. 結果 및 考察

미나리를 이용한 水中 重金屬 Cd와 Pb의 吸收에 의한 除去能力을 調査하기 위해 카드뮴과 납의 濃度를 달리한 培養液에서 미나리를 水耕栽培하여 調査한 實驗 結果를 각 項目別로 살펴 보았다.

### 1. 미나리의 生長

#### 1) Cd 培養液에서의 生長

여러가지 濃度の Cd로 處理된 培養液에서 미나리를 12일간 水耕栽培했을 때 Cd의 濃도에 따른 미나리의 濕重量의 變化와 增加率을 Table 2에 나타냈으며, Fig. 2는 미나리의 初期 重量을 100%로 하여 濃度別로 시간에 따른 濕重量의 變化 傾向을 나타낸 것이다.

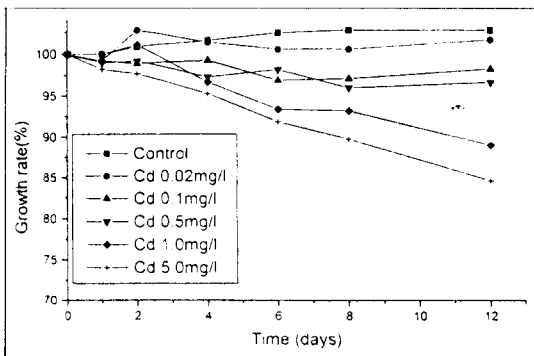
카드뮴의 濃도가 0.5 mg/l 이하의 濃度에서는 1.6~ -3.4%까지 濃도에 따른 生長의 차이가 크지 않은 데 비해 1 mg/l의 濃度에서는 生長率이 -11.0%, 5 mg/l의 濃度에서는 -15.4%의 生長率을 나타내어 Cd의 濃도 1 mg/l 이상인 경우에 카드뮴이 미나리의 生長을 減少시켰으나 統計的으로는 有意하지 않았다 (P>0.05). 이는 生育 狀態에서도 觀察되었는데 1 mg/l 이상의 培養液에서 자란 미나리는 줄기가 휘

**Table 2.** The Weight of Oenanthe by time course in various Cd water(20°C)

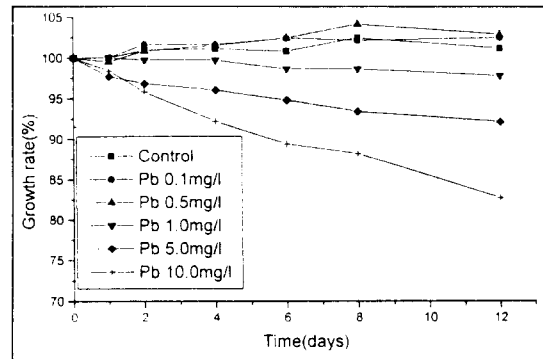
Water bath No.	Cd conc. (mg/l)	Weight by time(days)							Total growth change (%)
		0	1	2	4	6	8	12	
Control		63.5	63.5	64.1	64.5	65.1	65.3	65.2	2.7
Cd 1	0.02	64.5	64.0	66.3	65.4	64.9	64.9	65.5	1.6
Cd 2	0.10	61.5	61.0	60.8	61.1	59.6	59.7	60.4	-1.8
Cd 3	0.50	62.5	61.9	62.0	60.8	61.4	60.0	60.4	-3.4
Cd 4	1.00	66.5	66.5	67.2	64.3	62.1	62.0	59.2	-11.0
Cd 5	5.00	65.5	64.3	64.0	62.4	60.2	58.8	55.4	-15.4

**Table 3.** The weight of Oenanthe by time in various Pb water (20°C)

Water bath No.	Pd conc. (mg/l)	Weight by time(days)							Total growth change (%)
		0	1	2	4	6	8	12	
Control	0.0	63.5	63.5	64.1	64.5	65.1	65.3	65.2	2.7
Pd 1	0.1	61.5	61.5	62.5	62.5	63.0	62.8	63.0	2.4
Pd 2	0.5	61.5	61.2	62.0	62.4	53.0	62.8	63.0	2.8
Pd 3	1.0	70.0	70.0	69.8	69.8	69.0	69.0	68.4	-2.3
Pd 4	5.0	65.5	64.0	63.4	62.9	62.1	61.2	60.3	-7.9
Pd 5	10.0	69.5	68.4	66.6	64.1	62.1	61.3	57.5	-17.3



**Fig. 2.** Growth rate of Oenanthe by time in Cd water.



**Fig. 3.** Growth rate change of Oenanthe by time courses at Pb water.

어졌으며, 5 mg/l에서 자란 미나리는 뿌리털이 상당히 損傷되어 있었으며 줄기가 휘어진 程度가 컸고 시들어 죽는 個體도 나타났다. 또한 잎의 白花現象(chlorosis)이 1 mg/l, 5 mg/l의 培養溶液에서 미나리에게 나타났다. 부레옥잠의 경우 잎의 chlorosis와 함께 뿌리털이 검게 변하고 시들어 줄기로부터 떨어지고 길기도 짧아 지는 現象이 1 mg/l 이상의 濃度에서 觀察되었는데 chlorosis에 대한 記작은 자세히 알려지지는 않았지만 다음의 경우로 推測된다. 잎의 白花現象과 관련된 金屬은 Mg와 Fe로서 뿌

리에서 Cd와 競爭的으로 吸收되어 植物體內的 Mg와 Fe의 缺乏이 생겨 앞에서 葉綠素를 만드는 데 阻害할 수 있으며 Cd가 細胞內로 浸透되어 生理的, 遺傳的 損傷을 일으킬 수 있으며, Cd가 뿌리에 다량 吸收되어 retention 되는 양이 전체의 80% 정도로서 蓄積된 Cd가 뿌리에서 앞으로의 物質輸送을 妨害하는 경우로 推測된다.<sup>8,13-15)</sup>

2) Pb 培養液에서의 生長

Table 3은 납이 0.1 mg/l~10 mg/l로 處理된 培養溶液에서 미나리 65 g(5~10개체)를 水耕栽培했을

때 시간에 따른 미나리의 濕重量과 濕重量에 의한 生長率을 나타낸 것이다.

Pb 1mg/l 이하의 濃度에서 미나리의 濕重量은 2.8~2.3%로써 납의 影響을 크게 받지는 않았고 Pb 5mg/l 이상의 濃度에서는 濕重量이 -7.9~-17.3%로써 납에 의해 濕重量이 減少했으나 統計的으로는 有意하지 않았다(P>0.05). Pb 5mg/l, Pb 10mg/l의 濃度에서 자란 미나리는 카드뮴의 경우와 같이 뿌리털이 시들고 그 수가 減少했으며 줄기가 휘어져 生長했고, 잎의 白花 現象이 觀察되었으나 카드뮴에 의한 피해보다는 정도가 작았다.

**2. 미나리의 cadmium 除去**

Cd으로 處理된 培養液에서 65g 내외의 미나리를 栽培하였을 때 미나리의 吸收작용에 의해 時間의 經過에 따른 Cd의 濃度의 變化(mg/l)를 Table 4에 나타냈다.

Cd 0.1mg/l 이하의 初期濃度 條件에서 12일간의 除去 效率이 74.2%로 나타났으며 初期濃度가 1mg/l 이하인 경우에는 59.2~68.8%의 除去 效率을 나타냈고 Cd의 濃度가 5mg/l 이상의 濃度에서는 34.1%의 除去 效率을 나타냈다.

카드뮴의 初期 濃度가 높을수록 미나리가 Cd를 吸收하여 除去하는 能力이 低下됨을 알 수 있다 (r=0.97). 이는 부레옥잠의 경우 Cd 0.5mg/l에서 80.78%, 1mg/l에서는 41.93%의 吸收 除去率을 나타냈는데<sup>8)</sup> 1mg/l 이하에서는 부레옥잠의 吸收除去率이 더 높았고 1mg/l 이상에서는 미나리의 吸收 除去率이 더 높다.

Fig. 4는 水槽別로 時間에 따른 Cd 濃度 變化 傾向을 百分率(%)로 나타낸 것이다. 培養液에 Cd를 投與한 후 初期 2일간의 除去率이 가장 커서 0.1~1mg/l 이하의 培養液에서는 미나리의 濕重量 65g에 의해

서 대략 50% 이상이 吸收되었으며 2일 이후에는 미나리의 吸收로 인하여 溶液內의 카드뮴의 濃度가 낮아져 뿌리와 카드뮴에 대한 接觸이 減少하였기 때문에 除去率이 初期 2일보다 낮았다.<sup>8)</sup>

Fig. 5는 培養 水槽別로 미나리의 總 除去率을 나타낸 것이다. 미나리에 의한 培養溶液에서 카드뮴의 除去는 Fig. 6에서 나타난 것처럼 미나리의

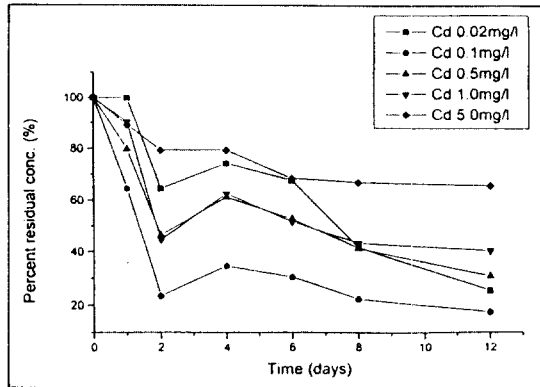


Fig. 4. Concentrations of cadmium in culture medium.

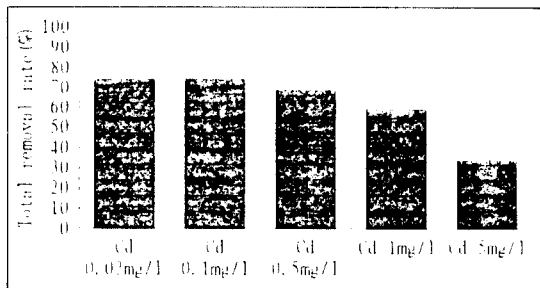


Fig. 5. Total removal rates in each culture medium.

Table 4. Cadmium concentration(mg/l) variation by time (at 20°C, 5l water bath)

Water bath No.	Cd concentration by time(days)							Final removal rate(%)
	0	1	2	4	6	8	12	
Control	0.011	0.013	0.012	0.011	0.011	0.009	0.011	
Cd 1	0.031	0.031	0.020	0.023	0.021	0.013	0.008	74.2
Cd 2	0.124	0.008	0.029	0.043	0.038	0.028	0.022	74.2
Cd 3	0.401	0.320	0.187	0.245	0.212	0.167	0.125	68.8
Cd 4	0.807	0.730	0.361	0.504	0.419	0.351	0.329	59.2
Cd 5	5.340	4.763	4.234	4.232	3.656	3.570	3.520	34.1

[Cd 1: 0.02 mg/l, Cd 2: 0.10 mg/l, Cd 3: 0.50 mg/l, Cd 4: 1.00 mg/l, Cd 5: 5.00 mg/l].

Final removal rate(%)=(Co-Ct)/Co×100.

生長率과 관계가 있는데 미나리의 生長率이 減少됨에 따라 카드뮴에 대한 吸收率도 減少하고 있음을 알 수 있다( $r=0.93$ ). 이는 培養液 내의 Cd 濃도의 增加는 미나리의 生長 減少를 誘發했고 미나리 生長의 減少는 미나리가 Cd를 吸收 除去하는 能力을 低下시켰다고 생각된다.

Table 5는 미나리의 濕重量 1g이 1일간 吸收하여 除去할 수 있는 양(mg)을 單位 吸收量으로 나타낸 것으로서 Cd의 濃도가 0.1 mg/l 이하에서는  $1.48 \times 10^{-4}$  mg~ $6.91 \times 10^{-4}$  mg을 吸收하여 除去할 수 있으며 Cd의 濃도가 0.1~1 mg/l 이하에서는  $1.84 \times 10^{-3}$  mg~ $2.99 \times 10^{-3}$  mg을 吸收하며 5 mg/l의 濃도에서는  $3.4 \times 10^{-2}$  mg을 吸收하여 除去할 수 있다.

카드뮴의 濃도가 높은 培養液일수록 뿌리와 카드뮴 이온과의 接觸이 增加하므로 單位 除去量이 커진다고 생각된다.<sup>8)</sup>

미나리에 의해서 吸收된 카드뮴은 미나리의 體內

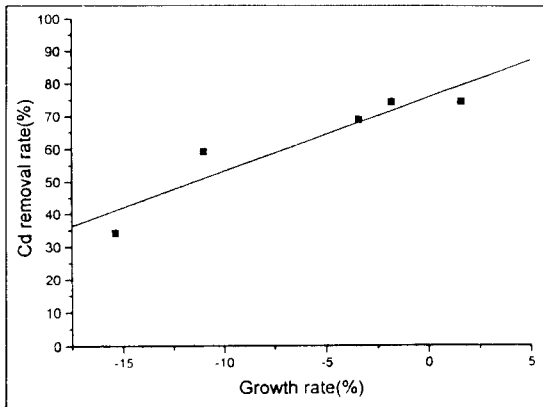


Fig. 6. Relationship of growth rates and removal rates in various Cd conc. ( $r=0.93$ ).

에 蓄積되어 있으므로 이것을 plant cation analysis method로 分析한 結果(Table 6) Cd의 濃도가 높은 5 mg/l에서 成長한 미나리의 回收率이 67.3%로써 0.02~1 mg/l의 培養液에서 성장한 미나리에서의 回收率 75.9~95.2%보다 낮았다. 回收率에서 損失된 부분은 container에 의한 吸收可能性과 沈澱 可能性 뿌리를 washing할 때 損失된 것으로<sup>9)</sup> 미나리에 의해서 吸收된 양이 많을수록 損傷된 뿌리털이 많아져 回收率이 減少하고 있음을 알 수 있었다. 부레옥잠의 경우 뿌리에서 回收되는 카드뮴의 양이 植物全體에 吸收된 양의 80%로써<sup>10)</sup> Cd 5의 경우 뿌리의 損傷이 커서 回收率이 낮은 것으로 생각된다.

### 3. 미나리의 Pb 除去

Pb로 處理된 培養液에서 65 g 내외의 미나리를 水耕栽培하여 미나리의 吸收能力에 의해 시간에 따른 溶液의 납의 濃度 變化를 Table 7에 나타냈다.

Pb 0.1~10.0 mg/l로 處理된 培養液에서 미나리의 吸收에 의한 總 除去率은 53.0%~91.5%로써 1 mg/l 이하의 濃도에서는 75% 이상의 높은 吸收率을 나타냈고 10 mg/l에서도 50% 이상의 吸收率을 나타냈다.

Table 6. Recovery rates of Oenanthe in various Cd concentration

Bath No.	Initial conc. (mg/l)	Total removal amount(mg)	Plant recovered amount(mg)	Rate of recover (%)
Cd 1	0.02	0.115	0.093	81.7
Cd 2	0.10	0.510	0.456	89.4
Cd 3	0.50	1.380	1.314	95.2
Cd 4	1.00	2.388	1.812	75.9
Cd 5	5.00	9.100	6.100	67.3

Table 5. Cadmium removal amount

Bath No.	Initial amount (mg); I	Final amount (mg); F	Removal amount (mg); I-F	Minari wet weight(g): Wg	Unit removal amount [(F-I)/Wg/day] (mg/g.day)
Cd 1	0.155	0.040	0.115	64.5	$1.48 \times 10^{-4}$
Cd 2	0.620	0.110	0.510	61.5	$6.91 \times 10^{-4}$
Cd 3	2.005	0.630	1.380	62.5	$1.84 \times 10^{-3}$
Cd 4	4.035	1.647	2.388	66.5	$2.99 \times 10^{-3}$
Cd 5	26.7	17.060	9.100	65.5	$3.40 \times 10^{-2}$

$I(\text{mg}) = \text{initial conc.}(\text{mg/l}) \times \text{initial volume}(\text{l})$ .

$F(\text{mg}) = \text{final conc.}(\text{mg/l}) \times \text{final volume}(\text{l})$ .

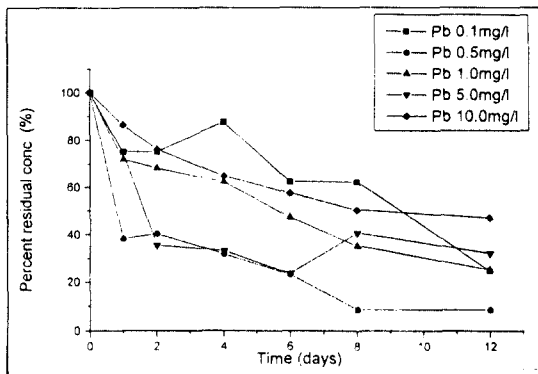
Unit removal amount(mg/g.day) =  $(F - I) / Wg / \text{day}$ .

[Cd 1: 0.02 mg/l, Cd 2: 0.10 mg/l, Cd 3: 0.50 mg/l, Cd 4: 1.00 mg/l, Cd 5: 5.00 mg/l].

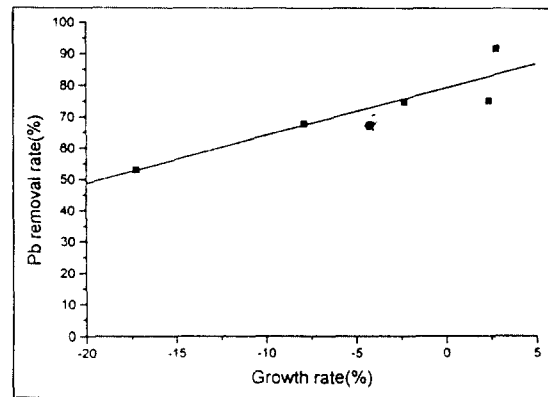
**Table 7.** Lead concentration variation by time (20°C, 5l water bath)

Water bath No.	Pd concentration by time(days)							Removal rate (%)
	0	1	2	4	6	8	12	
Control	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	
Pb 1	0.08	0.06	0.06	0.07	0.05	0.05	0.02	75.0
Pb 2	0.47	0.18	0.19	0.15	0.11	0.04	0.04	91.5
Pb 3	1.10	0.79	0.75	0.69	0.52	0.39	0.28	74.6
Pb 4	4.72	3.53	1.68	1.57	1.13	1.93	1.53	67.6
Pb 5	9.90	8.55	7.53	6.42	5.70	5.00	4.66	53.0

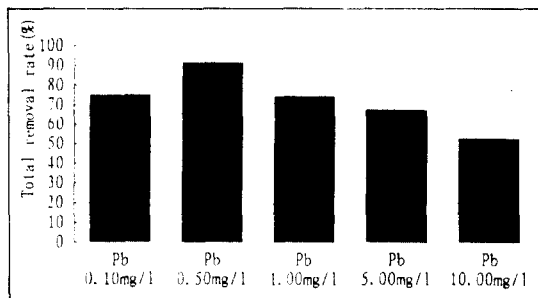
[Pb 1: 0.10 mg/l, Pb 2: 0.50 mg/l, Pb 3: 1.00 mg/l, Pb 4: 5.00 mg/l, Pb 5: 10.00 mg/l].



**Fig. 7.** Concentrations of lead in culture medium.



**Fig. 9.** Relationship of growth rates and removal rates in various Pb conc.(r=0.92).



**Fig. 8.** Total Removal rate in each lead culture medium.

培養液内の Pb濃度가 높을수록 吸收率이 낮았다 (r=0.88).

Fig. 7은 시간에 따른 培養液의 Pb 濃度 변화를 나타낸 것이다. 시간에 따른 미나리의 납에 대한 除去는 Pb 0.5 mg/l와 5 mg/l의 미나리는 初期 2일 동안 높은 效率를 나타냈다. Fig. 8은 납의 濃도에 대하여 미나리의 총 除去率을 나타낸 것으로서 납의

濃度가 增加할 수록 미나리의 除去 能力도 낮아지고 있는 傾向을 나타냈다(r=0.88).

미나리에 의한 培養溶液에서 납의 除去는 Fig. 9에서 나타난 것처럼 미나리의 生長率과 관계가 있는데 미나리의 生長이 減少됨에 따라 납에 대한 吸收率이 減少하고 있음을 알 수 있다(r=0.92). 이는 Pb의 濃度가 높은 5, 10 mg/l의 培養液에서 미나리의 生長 減少를 誘發했고 미나리 生長의 減少는 미나리가 Pb를 吸收 除去하는 能力을 低下시켰다.

Fig. 8은 납의 初期 濃도에 대하여 미나리의 총 除去率을 나타낸 것으로서 濃度가 增加할수록 미나리의 除去 能力도 낮아지고 있는 傾向을 나타냈다 (r=0.88).

Table 8은 미나리의 濕重量 1g이 1 day에 吸收 除去할 수 있는 lead의 양(mg)을 計算한 값으로서 Pb의 濃度가 0.1~1.0 mg/l 사이에서는 單位 除去量이  $3.79 \sim 10^{-1} \sim 4.86 \times 10^{-3}$  mg/Wg/day로 미나리 1g이 1일 동안 Pb를 除去했으며 Pb의 濃度가 5~10

**Table 8.** Lead removal amount

Bath No.	Initial amount (mg); I	Final amount (mg); F	Removal amount (mg); I-F	Minari wet weight(g); Wg	Unit removal amount [(F-I)/Wg/day] (mg/g day)
Pb 1	0.40	0.12	0.28	61.5	$3.79 \times 10^{-4}$
Pb 2	2.35	0.22	2.12	61.5	$2.89 \times 10^{-4}$
Pb 3	5.50	0.42	4.08	70.0	$4.86 \times 10^{-3}$
Pb 4	23.60	7.63	15.97	65.5	$2.03 \times 10^{-2}$
Pb 5	49.50	23.30	26.20	69.5	$3.14 \times 10^{-2}$

I(mg)=initial conc.(mg/l)×initial volume(l).

F(mg)=final conc.(mg/l)×final volume(l).

[Pb 1: 0.10 mg/l, Pb 2: 0.50 mg/l, Pb 3: 1.00 mg/l, Pb 4: 5.00 mg/l, Pb 5: 10.00 mg/l].

Unit removal amount(mg/g day)=(F-I)/Wg day.

**Table 9.** Recovery rates of Oenanthe in various Pb concentration

Bath No.	Initial conc. (mg/l)	Total removal amount(mg)	Plant recovered amount(mg)	Rate of recover (%)
Pb 1	0.10	0.28	0.23	81.4
Pb 2	0.50	2.14	1.80	84.3
Pb 3	1.00	4.08	3.60	88.3
Pb 4	5.00	15.98	11.60	72.6
Pb 5	10.00	26.22	18.95	72.9

mg/l의 사이에서는  $2.03 \times 10^{-2} \sim 3.14 \times 10^{-2}$  mg/Wg/day였다.

미나리에 의해서 흡수된 납은 미나리의 體内に蓄積되어 있으므로 plant anion analysis method로 분석한 結果 (Table 9) Pb의 濃度가 1 mg/l 이하의 濃度에서 흡수한 양의 81.4~88.3%을 回收할 수 있었으나, 5, 10 mg/l의 培養液에서는 73% 정도를 나타냈다. 回收率에서 損失된 부분은 카드뮴의 경우처럼 container에 의한 吸收可能性과 沈澱可能性, 뿌리를 washing할 때 損失된 것으로 생각되며 미나리에 의해서 吸收된 양이 많을수록 손상된 뿌리 年이 많아서 回收率이 減少하고 있음을 알 수 있다.

#### IV. 結 論

미나리에 의한 重金屬의 吸收 除去 能力을 調査하기 위하여 94년 9월 4일부터 16일까지 미나리의 生育條件이 잘 갖추어진 Ahn' solution 5l(pH 7, 온도 20C)에서 水耕栽培하면서 카드뮴과 납을 濃度별로 投與하여 實驗함으로써 미나리의 生育狀態를

濕重量의 增減으로 調査하고 미나리에 의한 카드뮴과 납의 吸收除去 能力을 調査하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 미나리의 生育狀態는 카드뮴의 濃度가 1 mg/l 이상 投與된 培養液에서 줄기가 휘어져 자랐으며 뿌리에 影響이 커서 뿌리가 시들고 겉게 변했으며 뿌리털의 수가 減少하였다. 또한 잎이 變色되는 白花現象(chlorosis)이 나타났다. 납에 의한 毒性效果는 납의 濃度 5 mg/l에서 줄기가 휘어지고 뿌리의 損傷이 생겼으며 白花現象이 조금씩 나타났다.

濕重量으로 調査한 生長率에서도 카드뮴의 濃度 1 mg/l, 5 mg/l에서 대조 實驗群에 비해 각각 -13.7%, -18.1%의 生長率을 보여 카드뮴 1 mg/l가 미나리의 生長에 影響을 주는 限界 濃度로 調査되었다. 납에 의한 濕重量의 減少는 납의 濃度 5 mg/l와 10 mg/l에서 각각 對照群에 비해 -10.6%, -20.0% 生長 減少를 보여 5 mg/l가 미나리에 피해를 주는 限界 濃度로 調査되었다.

2) 미나리의 카드뮴에 대한 吸收除去率은 34.1~74.2%이며 카드뮴의 濃度가 높을수록 除去率이 낮았다( $r=0.92$ ). 미나리의 生長率이 낮을 수록 除去率이 낮아졌는데( $r=0.93$ ), 이것은 높은 濃度의 카드뮴 溶液이 미나리의 生長을 阻害했고 生長의 低下가 미나리의 吸收能力을 低下시킨 것으로 여겨진다. 미나리의 生育에 지장이 없었던 0.5 mg/l 이하에서는 68.8% 이상의 除去率을 보였으며 카드뮴 投與후 2일이 經過될 때까지 50% 이상의 除去率을 나타냈다. 實驗期間 동안에 미나리의 濕重量 1g이 1일간 除去한 양은  $1.48 \times 10^{-4} \sim 3.4 \times 10^{-2}$  mg/g/day으로 濃度가 높을 수록 單位 除去量이 많았으며 生育에 지장이 없었던 0.5 mg/l의 濃度에서 單位 除去量은  $1.84 \times 10^{-3}$  mg/g/day를 나타냈다.



미나리에 흡수된 카드뮴을 회수한 결과 흡수된 양의 67.3~95.2%로써 0.5 mg/l에서 회수율이 가장 높은 95.2%를 나타냈다.

3) 미나리의 남에 대한 흡수 제거율은 53.0~91.5%이며 남의 농도가 높을수록 제거율이 낮았다 ( $r=0.88$ ). 미나리의 생육에 지장이 없었던 1 mg/l 이하에서는 74.6% 이상의 제거율을 보였으며 0.5 mg/l에서 95.1%의 제거율을 보였다. 실험 기간 동안에 미나리의 습중량 1g이 1일간 제거한 양은  $3.79 \times 10^{-4} \sim 3.14 \times 10^{-2}$  mg/g/day으로 농도가 높을수록 단위 제거량이 컸으며 생육에 지장이 없었던 1 mg/l의 농도에서 단위 제거량은  $4.86 \times 10^{-3}$  mg/g/day를 나타냈다. 미나리에 흡수된 남을 회수한 결과 흡수된 양의 63.3~88.2%로써 1 mg/l에서 회수율이 가장 높은 88.3%를 나타냈다.

4) 이상의 결과를 종합해 볼 때 미나리를 이용하여 중금속이 오염된 수질을 정화하고자 할 때 카드뮴의 경우 1 mg/l 이하, 남의 경우 5 mg/l 이하로 오염된 수질에서 미나리에 의한 독성이 없이 정화가 가능하며 이때의 제거율은 카드뮴 59.2~74.0%, 남은 67.6~91.5%이다.

5) 미나리의 중금속에 대한 흡수 제거 능력을 이용하여 산업 폐수의 대 단위 점污染源이나 集水路에 大量으로 栽培하여 2次 또는 高次處理 流出水를 더욱 정화시키기 위하여 사용할 때, 미나리가 食用으로 利用되는 점을 考慮하여 安全裝置가 꼭 必要하다고 생각된다.

## 참고문헌

- George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, Reuse, McGraw-Hill : Natural Treatment System Waste water Engineering-Treatment, disposal. 1991.
- EPA, Constructed Wetland and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, Design Manual. EPA. 625.1-88.022. September, 1988.
- 송주석 : 韓國植物大寶鑑(資源編), pp746. 韓國資源研究所 發行. 1989.
- William, S. M. and Harry, A. M., Agron. J. : Influence of  $\text{NO}_3/\text{NH}_4$  on growth, N absorption and assimilation by lima beans in solution culture. **70**, 1027-1031, 1979.
- 池田英男, 大澤孝也 : 施用窒素形態とそ采の適應性(第2報) 水耕栽培において硝酸, アンモニア, 亞硝酸を窒素源した葉の生育並びにアンモニア態及び硝酸態窒素の蓄積の差異, 日園學雜, **48(4)**, 435-442, 1980.
- 이남희 : 부레옥잠을 이용한 豚舍 廢水의 處理, 釜山 水産大學校 大學院 環境工學科, 工學碩士 學位論文, pp. 3-8, 81-82. 1993.
- 안우범 : 미나리 栽培에 適合한 良液 造成에 관한 研究, 서울大學校 大學院, 園藝學科 碩士學位 論文, pp. 10-13, 64-67. 1987.
- Blake, G. B., Kaigate, A. Fourcy and C. Boutin: Incorporation of Cadmium by Water Hyacinth. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 19, No. 10, pp. 123-128. 1987.
- 環境處 : 水質汚染工程試驗法, pp. 56-57, 58-63, 88-106, 335-338, 342-345, 1993.
- 農業振興廳, 農業技術 研究所 : 土壤化學分析法, 植物編, 226-229, 1988.
- Muramoto, S. and Oki, Y. : Removal of some heavy metals from polluted water waterhyacinth [*Eichhornia Crassipes(mart.)Solms*]. *Bull. Environ. Toxicol.* **30**, 170-177, 1980.
- Rausser, W. E. : Early Cytological Effects of Zinc Burdens of Cadmium, Cobalt, Nickel and Zinc in White Beanscan. *J. Bot.*, **56**, 1744-1749. 1978.
- Rosas, I., Carbajal, M.E., Gomez-Aproyo, Belmont, R. and Villalobes Petrini, R. : Cytogenetic Effects of Cadmium Accumulation on Water Hyacinth. *Environmental, Research*, **33**, 386-395.1984.
- Tatsuyama, K., Egawa, H., Yamagishi, T. : Sorption of Heavy Metals from Metal Solution by Water Hyacinth. *Zasso Kenkyo*, **22**, 151-156, 1977.
- 이응호 : 良液條件이 미나리의 無氣養分 吸收와 生育에 미치는 影響, 서울大學校 大學院, 園藝學科 碩士學位 論文, pp. 26-28, 44-45, 1987.
- 변중화, 김문규, 이종식 : 水生植物을 利用한 水質 汚染源 除去에 관한 研究, 제1보, 부레옥잠의 有機物 除去效果 및 生長에 미치는 諸 要시, 韓國雜草學會誌, **5(2)**, 143-148, 1985.
- 한길영, 이명환 : 미나리, 쪽파의 養液 栽培에 관한 試驗, 慶南 農振 年報, 347-350, 1987.