

## 수계 Microcosm을 이용한 도금폐수의 독성평가

위성옥\* · 稻森悠平 · 조 경<sup>1</sup> · 나명석<sup>2</sup> · 이종빈<sup>3</sup>

일본국립환경연구소, <sup>1</sup>서강정보대학 소방안전관리과,  
<sup>2</sup>광주여자대학교 식품·환경보건학부, <sup>3</sup>전남대학교 생명과학부

### A Study on the Toxicity Assessment of Plating Wastewater using Aquatic Microcosm

Seong Uk Wui\*, Yuhei Inamori, Kyung Cho<sup>1</sup>, Myung Suk Ra<sup>2</sup> and Jong Bin Lee<sup>3</sup>

National Institute for Environmental Studies, Japan,

<sup>1</sup>Department of Fire and Security Management Seokang College, Gwangju 500-742, Korea

<sup>2</sup>Department of Food and Environmental Health, Kwangju Women's University, Gwangju 506-713, Korea

<sup>3</sup>Department of Biology, College of National Sciences, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

**Abstract** - This research investigated experimentally on the population growth in the aquatic microcosm with the wastewater of plating factory. The purpose of this study was to evaluate the effect of culture conditions of the characteristic growth pattern of the examined species. Population of the system is consists of three organisms; *Chlorella vulgaris* as a producer, *Cyclidium glaucoma* as a consumer and *Pseudomonas putida* as a decomposer. The different growth patterns of each population are followed by surfactant type; Especially *C. glaucoma* was sensitive, *Ch. vulgaris* was maintained population size stably even at high level of surfactant and *P. putida* was not significantly affected. After treatment of waste water from plating factory, it began to be affected at 1.0% solution treatment to *Ch. vulgaris* which the cell number was decreased prominently after 2 days, and *C. glaucoma* was disappeared at 2.5% solution treatment. *P. putida* was showed increasing pattern according to treatment concentration, at 2.5% solution and population size grew double. The result from current microcosm study indicates that this model system can be applied to environmental assessment method for various pollutants.

**Key words** : Microcosm, *Chlorella vulgaris*, *Cyclidium glaucoma*, *Pseudomonas putida*.

### 서 론

도금 폐수에 보편적으로 함유되어 있는 오염물질은 CN, Cu, Cd, Ni, Zn 등의 중금속들로(Cho *et al.* 1995) 이

러한 중금속이 환경으로 유출되면 수중 생물의 오염물질 분해를 저해시키고 수중의 자정작용을 감소시키는 등 수생태계에 미치는 영향이 크다. 특히 도금 폐수중에 함유되어 있는 Cr<sup>6+</sup>와 CN화합물은 독성이 커서 인체 및 생태계에 커다란 영향을 미친다. 이러한 중금속이나 유해 화학물질이 수 환경에 미치는 영향에 대한 평가법으로 현재 사용되고 있는 방법은 특정 생물종의 독성

\* Corresponding author: Seong Uk Wui, Tel. 062-530-3395, Fax. 062-530-0306, E-mail: suwui@hanmail.net

평가법을 이용하여 EC<sub>50</sub>, LC<sub>50</sub>값으로 나타내고 있다 (APHA 1992). 그러나 자연 생태계는 생물적 구성요소가 생산자, 소비자, 분해자로 구성되어 있으며 (Odum 1971), 생물종의 구성에 따라 다양하고 복잡한 양상을 나타내므로 (Margalef 1969) 특정 생물종이나 단일종을 이용한 독성평가법으로는 수환경에 대한 종합적인 평가가 불충분하기 때문에 이에 대한 보완대책으로 다중생물계를 이용할 필요가 있다 (Hill and Weigert 1980; Abrams *et al.* 1994; Forster *et al.* 1995). 즉 자연생태계의 영향을 평가하는데 있어서 중요한 요소인 에너지 흐름이나 물질순환, 생물간 상호작용을 포함한 다중생물계를 이용한 평가가 필요한데 그 시험법의 하나로 microcosm을 들 수 있다 (Matthews *et al.* 1996).

Microcosm은 제어된 환경조건 하에서 개체군 또는 군집을 특정용기에서 배양시킨 모델 생태계로서 생물간 상호작용을 연구할 수 있는 system이다 (Kurihara 1978; 川端善一郎 1987). Microcosm은 종구성을 알고 있고, 각종의 개체수의 계측이 가능하고, 실험재현성이 우수한 특성을 갖추어야 한다 (田中 1994). 즉 모델로서의 생태계를 이루고 외부의 여러 가지 오염요인들의 유입에 따른 영향을 평가 (高木博夫 등 1994; 稻森悠平 등 1994, 1995)함으로써 자연생태계에 대한 외부교란을 어느 정도는 예측하고 평가할 수 있다.

본 실험에 사용된 flask 규모의 microcosm은 하천이나 늪 등에 존재하는 bacteria, algae, protozoa 등으로 구성된 소규모 수권모델 생태계로 여기에 도금 폐수를 농도별로 첨가하여 각 개체군의 동태변화를 조사함으로써 수권 생태계의 모델 계 (model system)를 이용하여 오염물질의 영향을 평가할 수 있는 하나의 방법으로 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. Microcosm의 구성종

Microcosm의 구성종은 생산자인 algae, 소비자인 protozoa, 분해자인 bacteria로 이루어져있는데 이들 종은 하천, 연못 등에서 비교적 쉽게 찾아볼 수 있는 종류들이다 (水野와 高橋 1991; 廣瀬와 山岸 1979). 여러 수역에서 발견되는 각 종류의 종을 선별하여 다양한 조합으로 배양한 결과 가장 간단한 종구성으로서 안정된 microcosm을 유지하는 체계중 하나를 선택하였다 (田中 1995). 제한된 조건의 용기에서 배양한 종은

Algae (Producer): *Chlorella vulgaris*

Protozoa (Consumer): *Cyclidium glaucoma*

**Table 1.** Composition of Taub's basal nutrient salt medium

Stock Solution	Composition	Amount (g l <sup>-1</sup> D.W)
A Soln.	MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	24.65
B Soln.	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	13.60
	NaOH	2.80
C Soln.	CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	14.70
D Soln.	NaCl	5.84
E Soln.	FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	24.90
	Na <sub>2</sub> EDTA	13.60
F Soln.	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1.85
	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.28
	MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	1.98
	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.02
	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0.05
	Co (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.29

**Table 2.** Composition of TP 50 medium

Stock Solution	Amount (ml l <sup>-1</sup> D.W)
A	1
B	1
C	20
D	30
E	0.125
F	0.5
Polypeptone	50 mg l <sup>-1</sup>
pH	7.0

Bacteria (Decomposer): *Pseudomonas putida*  
 로 이루어진 3종계 microcosm system이다.

### 2. 배지 및 배양조건

Microcosm을 배양하기 위한 배지로는 Taub의 기초영양염배지 (Table 1)에 polypeptone 50 mg l<sup>-1</sup>를 첨가한 TP 50배지 (Table 2)를 사용하여 300 ml 삼각플라스크에 배양액을 200 ml를 넣고 121°C에서 15분간 멸균하여 사용하였다. 앞서 배양한 microcosm 5ml를 취하여 새로운 배지에 접종하는 방식으로 30일 간격으로 계대 배양하였다. Microcosm 배양조건은 25°C, 2,800 lux의 조도로 12시간 light/12시간 dark를 유지하여 배양하였다.

### 3. Microcosm 내의 각 개체군 계측 방법

배양하고 있는 microcosm의 시료를 약 2~3 ml를 시험관에 취하여 초음파로 약 10초간 처리한 후 멸균수에 10<sup>-1</sup>, 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-6</sup>배로 희석한 후 각 개체군별로 다음과 같은 방법으로 개체수를 측정하였다.

1) *Chlorella vulgaris*

10<sup>-1</sup>배로 희석된 시료 1 ml를 취하여 hemacytometer

**Table 3.** Composition of PY medium

Composition	Amount (g l <sup>-1</sup> D.W)
Polypeptone	5.0
NaCl	4.0
Yeast Extract	3.0
Agar	20

를 이용하여 *Ch. vulgaris*의 개체수를 측정하였다. 개체수는 No. ml<sup>-1</sup>로 나타내었다.

### 2) *Cyclidium glaucoma*

Microcosm 시료의 원액이나 10<sup>-1</sup>배로 희석된 시료를 1 ml 취하여 Sedwick-Rafer Counting Chamber (NO. 2515C; # 1.0 mm)를 이용하여 개체수를 측정하였으며, 개체수는 No. ml<sup>-1</sup>로 나타내었다.

### 3) *Pseudomonas putida*

10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-6</sup>배로 희석된 시료 1 ml를 Petridish에 취한후, 여기에 PY배지 (Table 3)를 붓고 30°C에서 5일간 배양하여 형성된 colony를 세어 개체수를 측정하였다.

## 4. 도금 폐수

실험에 사용된 도금폐수는 광주광역시 광산구 내의 도금 공장에서 채취하여 사용하였고 도금 폐수의 성상을 조사하기 위해 중금속과 시안 분석을 실시하였다. 도금폐수를 0.5, 1.0, 2.5% 농도별로 microcosm에 첨가하였다. 첨가시기는 microcosm이 계대 배양 후 system이 안정상태로 접어드는 2주째로 하였다. 도금 폐수 첨가 후, 2, 4, 7, 14, 21, 28일째에 도금폐수가 농도별로 처리된 microcosm시료를 취하여 계대의 각 개체군의 동태를 조사하였다.

## 결과 및 고찰

일반적으로 도금 폐수는 시안을 비롯한 크롬, 구리, 아연 등의 중금속들이 포함되어 있는데 본 실험에 사용된 도금폐수의 이화학적 성상은 Table 4와 같다.

도금폐수 내 CN은 42.9 mg l<sup>-1</sup>, 중금속인 Cr은 2,234.8 mg l<sup>-1</sup>, Zn이 521.3 mg l<sup>-1</sup>, Cu는 3.1 mg l<sup>-1</sup>이었으며 도금폐수의 microcosm내 처리농도는 0.5, 1.0, 2.5%로 희석하여 처리하였다.

田中(1995)은 microcosm내의 각각 구성 종의 증식 특성을 살펴보기 위해 단독 배양과 2종 혼합배양을 실시하였다. 그 결과 단독 배양에서 *Ch. vulgaris*를 TP50

**Table 4.** The result of Physico-chemical analysis of plating wastewater

Unit Item	Cr	Cu	Zn	CN
mg L <sup>-1</sup>	2,234.8	3.1	521.3	42.9

배지에 접종한 후 3일간 단독 배양을 실시한 후의 증식 특성을 보면 *Ch. vulgaris*의 초기 개체수 밀도는 1.7 × 10<sup>5</sup> cells ml<sup>-1</sup>이었고 4일째는 9.8 × 10<sup>5</sup> cells ml<sup>-1</sup>까지 증식하여, 14일째는 1.5 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>, 35일째는 2.9 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 나타나 지속적인 증가 추세를 보였는데 이는 3종계 microcosm 내의 *Ch. vulgaris*의 성장 곡선과 유사한 양상을 나타낸다. *P. putida*의 증식 특성은 *P. putida*를 TP50 배지에 접종한 후 35일간 단독 배양을 행한 결과 *P. putida*의 초기 개체수 밀도는 3.0 × 10<sup>3</sup> cells ml<sup>-1</sup>이었고 2일째는 2.5 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>까지 빠르게 증식하였다. 7일째는 3.0 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 나타났고 그 후로는 먹이 부족으로 인해 지속적으로 감소하다가 35일째는 4.1 × 10<sup>5</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 전형적인 미생물 성장 곡선을 나타냈다.

배양액의 유입 유출이 이루어지지 않는 batch culture에서 microcosm내의 *P. putida*와 *Ch. vulgaris*는 polypeptone을 기질로 섭취하여 증식하나 기질이 감소한 후에는 각 미생물간의 상호 작용이 군집 동태에 크게 관여할 것으로 보고 microcosm내 각 구성종의 혼합 배양을 실시하였다. *Ch. vulgaris*와 *P. putida*의 2종 혼합배양에서 *P. putida*는 초기 개체수 밀도 3.0 × 10<sup>3</sup> cells ml<sup>-1</sup>이었으나 2일째는 2.8 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 큰 폭으로 증가하다가 그 후는 실험 종료 시까지 지속적인 감소를 보였으며, 35일째는 7.1 × 10<sup>5</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 나타났다.

*Ch. vulgaris*의 초기 개체수 밀도는 1.7 × 10<sup>5</sup> cells ml<sup>-1</sup>이었고, 4일째는 지속적으로 증가하여 1.6 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 되었고, 그 후 14일째는 4.3 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>, 35일째는 7.7 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>로서 단독배양에서의 성장곡선과 큰 변화를 보이지 않았다. *P. putida*와 *C. glaucoma*의 2종 혼합 배양에서는 *P. putida*와 *C. glaucoma*를 TP50 배지에서 혼합 배양한 결과 *P. putida*의 초기 개체수 밀도는 3.0 × 10<sup>3</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 나타났으나 polypeptone에 의해 증식하여 2일째 1.8 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>까지 급격히 증식하였고, 4일째는 2.4 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>까지 감소하였다. 7일째는 4.5 × 10<sup>5</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 단독 배양 결과에 비해 급격한 감소를 보였고 그 후 완만하게 감소하여 35일째는 1.9 × 10<sup>5</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 나타났다. *C. glaucoma*는 초기 개체수 밀도 5.0 cells ml<sup>-1</sup>이었고 지속적으로 증가하여 4일 후에는 7.7 × 10<sup>3</sup> cells ml<sup>-1</sup>에 도달한 후 7일째는 1.7 × 10<sup>3</sup>

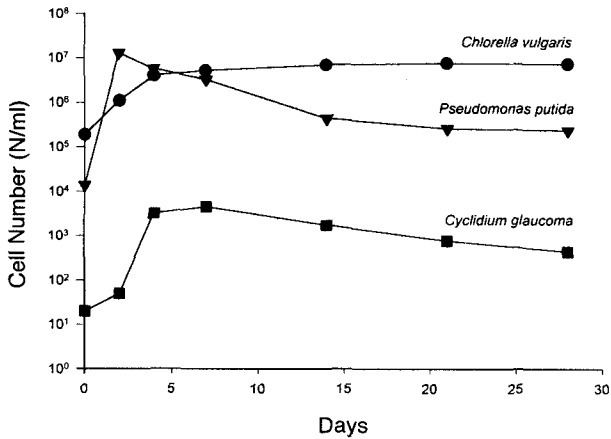


Fig. 1. Growth patterns of each population in the microcosm.

cells ml<sup>-1</sup>로 감소하였다. 21일째는 8.2 × 10<sup>2</sup> cells ml<sup>-1</sup>, 35일째는 1.8 cells ml<sup>-1</sup>로 나타나 *C. glaucoma*의 먹이원으로 *P. putida*의 개체수 밀도가 변하여 *P. putida*와 *C. glaucoma*의 혼합 배양에서는 먹이와 포식자의 관계가 이루어지는 것으로 보였으며, *P. putida*의 성장 곡선은 *C. glaucoma*의 증가와 관련되어 감소되는 경향을 나타내었다.

Fig. 1은 microcosm내 구성 종의 단독 배양과 2종 혼합 배양 때의 증식 특성의 결과를 토대로 조합한 3종계 microcosm의 전형적인 개체군 성장 곡선으로 계대 배양 때마다 동일한 성장 곡선을 나타내었다. *Ch. vulgaris*는 배양 후 초기 4일까지는 급격한 증식이 이루어졌고 그 이후로는 개체수가 0.7~1.0 × 10<sup>7</sup> cells ml<sup>-1</sup>의 범위 안에서 안정된 개체수를 유지되었다. 원생동물인 *C. glaucoma*의 개체수는 2일째는 초기 접종 때와 비교할 때 개체수가 약간 증가하다가 4일째는 3,200 cells ml<sup>-1</sup>로 급속히 증가되었으며, 배양 7일째까지는 4,550 cells ml<sup>-1</sup>로 지속적으로 증가되는 양상을 보이다가 2주째부터는 1,750 cells ml<sup>-1</sup>로 서서히 감소하는 경향을 나타내었다. *P. putida*의 경우 개체수는 2일째 1.3 × 10<sup>7</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 급격한 증가를 보인 후 4일째부터 점차 줄어드는 경향을 나타내었다. 배양 2주째부터 각 개체군의 개체수가 거의 비슷한 수준으로 유지되는 것을 볼 수 있었는데 이는 microcosm이 안정기에 접어든 시기로 볼 수 있다.

Microcosm내에 도금 폐수를 농도별로 첨가하여 각 개체군의 동태를 살펴본 결과 *Ch. vulgaris*는 도금 폐수 0.5% 처리구 (Fig. 2)에서는 전체 배양 기간 동안 대조구와 거의 유사한 개체수를 나타내었으나 1.0% 처리구 (Fig. 3)에서는 첨가 2일째 대조구 7.5 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>에

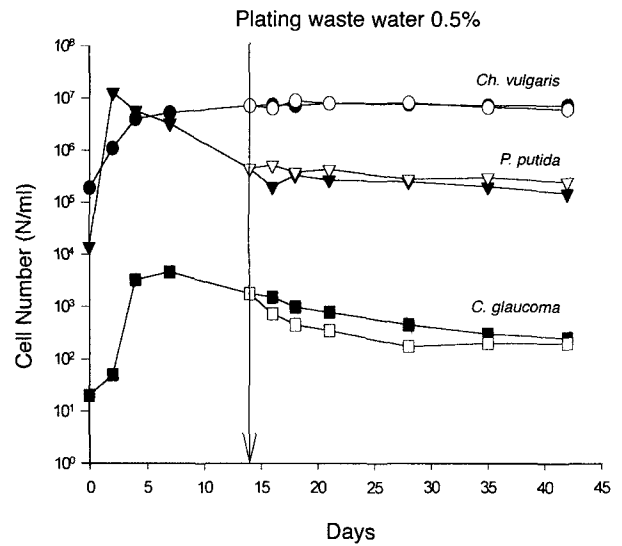


Fig. 2. Growth patterns of each population in the microcosm with the treatment of plating wastewater 0.5%. (solid symbol: control; open symbol: plating wastewater treated).

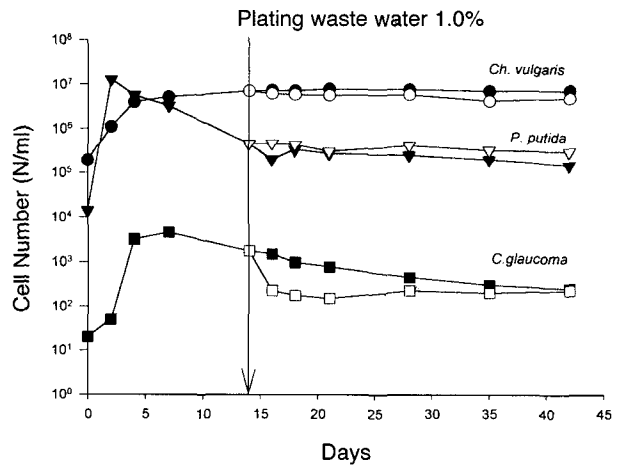
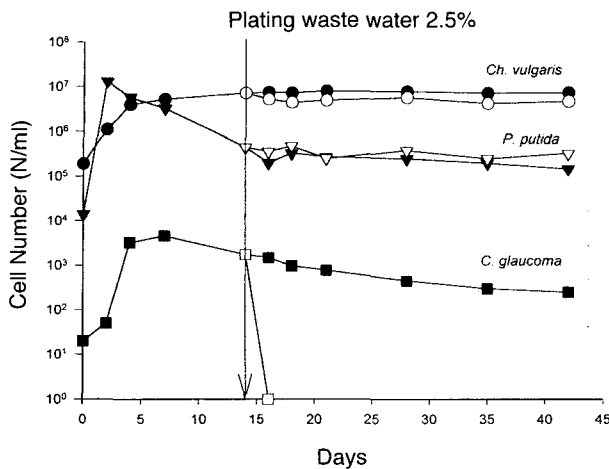


Fig. 3. Growth patterns of each population in the microcosm with the treatment of plating wastewater 1.0%. (solid symbol: control; open symbol: plating wastewater treated).

비해 6.3 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 1.2 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>의 개체수 감소를 보이기 시작하였고 28일째까지 대조구보다 낮은 개체수를 나타내었다.

2.5% 처리구 (Fig. 4)에서는 2일째 5.3 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup> 이었고 28일째는 4.8 × 10<sup>6</sup> cells ml<sup>-1</sup>로 나타나 대조구에 비해 전배양 기간 동안 감소하는 경향을 나타내었다.

*C. glaucoma*는 도금 폐수 첨가 후 2일째 대조구 개체수는 1,500 cells ml<sup>-1</sup>로 나타난 반면 폐수 0.5% 처리구



**Fig. 4.** Growth patterns of each population in the microcosm with the treatment of plating wastewater 2.5%. (solid symbol: control; open symbol: plating wastewater treated).

에서는  $725 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 대조구의 약 1/2 수준으로 감소하였으나 28일째는 대조구  $250 \text{ cells ml}^{-1}$ 와 거의 유사한 수준인  $200 \text{ cells ml}^{-1}$ 을 보였다. 도금 폐수 1.0% 처리구에서 2, 4, 7일째에 *C. glaucoma*의 대조구 개체수 밀도는  $1,500 \text{ cells ml}^{-1}$ ,  $975 \text{ cells ml}^{-1}$ ,  $775 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 나타났다. 1.0% 처리구에서는 2, 4, 7일째 개체수 밀도는 각각 225, 175, 150  $\text{cells ml}^{-1}$ 로 나타나 대조구에 비해 큰 폭으로 감소한 후 14일째부터 개체군이 서서히 회복되기 시작하여 28일째는 대조구와 유사한 수준을 유지하였다. 이는 microcosm이 첨가 초기에 외부에서 유입되는 도금 폐수 내에 함유되어 있는 교란물질 등의 영향으로 인하여 *C. glaucoma*의 개체수가 감소하였으나 14일 이후 계가 어느 정도 외부 교란 물질에 대해 적응하기 시작한 안정기에 도달하면서 계가 어느 정도 수복되고 있음을 보여주고 있다. 그러나 도금 폐수 2.5% 이상 처리구에서는 *C. glaucoma*의 개체수가 폐수 첨가 2일째부터 계 내에서 사멸되어 microcosm내의 *C. glaucoma*가 성장 한계 농도에 도달한 것으로 나타났다.

*P. putida*는 *Ch. vulgaris*와 *C. glaucoma*와는 달리 2일째 대조구가  $2.0 \times 10^5 \text{ cells ml}^{-1}$ 을 나타내었으나 0.5% 처리구에서는  $5.2 \times 10^5 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 나타나 대조구에 비해 약 2배 이상의 증식을 나타내었다. 1.0% 처리구는  $4.6 \times 10^5 \text{ cells ml}^{-1}$ 의 개체수를 보였고 2.5% 처리구는  $3.6 \times 10^5 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 나타났다. 도금 폐수 첨가 28일째는 대조구 개체수가  $1.5 \times 10^5 \text{ cells ml}^{-1}$ , 0.5% 처리구  $2.5 \times 10^5 \text{ cells ml}^{-1}$ , 1.0% 처리구  $3.0 \times 10^5 \text{ cells ml}^{-1}$ 의 증식을 나타냈으며 2.5% 처리구는  $3.3 \times 10^5 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 나

타나 전체 처리구에서 대조구에 비해 개체수가 증가하는 경향을 보였다.

도금 공장은 유해 중금속이 함유된 폐수를 배출하는 업종 중 대표적인 업종으로 이들 공장에서 배출되는 폐수량은 날로 증가하고 있다. 특히 도금 폐수에 보편적으로 함유되어 있는 오염 물질은 시안과 크롬을 비롯한 구리, 카드뮴, 니켈, 아연 등의 중금속들로  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  및  $\text{Cr}^{6+}$  등의 농도가 10,000 ppm 이상으로 보고된 바 있다(Cho *et al.* 1995; Neubecker and Allen 1983).  $\text{Cr}^{6+}$ 과 시안 화합물은 맹독성 물질로서 생물체에 미치는 독성정도가 커서 인체 및 생태계에 큰 영향을 미친다. Mearns 등(1976)은 크롬의 성상에 따라 용해성 크롬과 입자상 크롬으로 나누어 독성을 조사하였고 Mangi (1978), Bookhout (1982)과 Van der Putte (1982)는 먹이 연쇄에 따른 생물의 생체축적문제를 보고하였다. 카드뮴은 다량 섭취하면 급성 중독을 일으키며 소량일지라도 장기간 섭취되어 체내에 축적되면 치명적인 만성 중독을 일으킨다(Bert and Ulmer 1972). 1950년대 일본의 미나마타에서 발생한 유기 수은에 대한 미나마타병과 카드뮴으로 인한 Itai-Itai병은 현대의 대표적인 공해병이며, 이로 인해 막대한 인명 피해를 야기시켰고 그 결과 중금속 중독에 대한 경각심이 크게 부각되기 시작하였다(Hammond and Beliles 1980). 카드뮴, 크롬, 아연, 니켈 등은 산업체의 직업병 원인 물질로서 중독시 생리 기능적 장애를 초래할 뿐만 아니라 형태적 생화학적 변화까지 유발하며, 수중 생물의 오염 물질 분해를 저해시킴으로써 수중의 자정 작용을 감소시키는 등 수 생태계에 미치는 영향이 크다. 이러한 중금속은 산업이 발달됨에 따라 광범위하게 환경 중으로 확산되어 거의 대부분의 생물들에 대해 독성 물질로 작용한다. 또한 인간에 있어서는 간에 축적되어 치사 요인으로 작용하는 등 그 피해 상황이 날로 증가되고 있으며, 어느 한계까지는 생명 현상에 피해가 없을지라도 기준치 이상의 축적 또는 결핍은 생명체에 상당한 스트레스로 작용되어 정상적인 생리 현상의 변화를 유발시킨다(Bert and Ulmer 1972; Welch and Suhan 1985; Cousins and Lee-Ambrose 1992). 폐기물과 함께 배출되어 버려진 중금속은 토양 및 지하수를 오염시키는 등 생태계에 큰 문제를 증가시키고 있다(Leonard *et al.* 1981; Leonard and Lauwery 1980; Warren *et al.* 1981; Stokinger 1981; Bollag and Barabasz 1979).

따라서 이러한 물질이 유입되는 생태계를 하나의 단위로 구성하여 평가 방법이 절실히 필요하다고 본다. 이에 따라 본 실험은 생산자, 분해자, 소비자로 구성된 생태계를 실험실 조건하에서 적용시키기 위해 제어된 생

물환경 생태계로 구성된 microcom을 이용하여 도금 폐수를 평가하였다. 그 결과 microcosm이 실험 재현성이 비교적 우수하고, 안정된 미소 생태계를 유지할 수 있어 산업 폐수 및 오폐수에 대한 새로운 독성평가 방법으로 적용이 가능할 것으로 본다.

적 요

생태계를 평가하기 위한 평가법으로 주로 사용되는 이화학적 측정 평가법은 객관적인 측정치를 제시하는데는 용이하다. 그러나 단지 측정치의 단순한 평균이나 최고치 만으로는 타 인자와의 복합 효과 또는 지속 시간에 의한 가중 효과 때문에 실상을 나타낼 수 없는 경우가 많다. 이에 따라 이화학적 측정치들을 객관적으로 종합하여 생태계의 상태를 파악할 필요성이 보다 중요하다. 즉 key factor나 trigger factor와 같은 생물체의 내성과 관련이 있는 인자들로 종이나 생태계의 조절 기구와의 관계를 평가해야 한다. 또한 생물을 이용하여 생태계를 평가하는 방법으로 지표종을 이용한 평가방법이 있으나 오염원에 대한 누적 효과나 종합적인 평가를 판단하는데는 한계성이 있다. 따라서 생태계를 하나의 단위로 하는 평가 방법이 필요하다.

이에 따라 본 실험은 생산자, 분해자, 소비자로 구성된 microcosm 이용하여 대표적인 산업폐수인 도금공장 폐수에 대한 독성을 평가하였다. 그 결과 도금 폐수의 이화학적 성상은 크롬 2,234.8 mg l<sup>-1</sup>, 구리 3.1 mg l<sup>-1</sup>, 아연 521.3 mg l<sup>-1</sup>로 크롬이 다량 함유되어 있었으며, 시안은 42.9 mg l<sup>-1</sup>이었다. 도금 폐수를 농도별로 microcosm 내에 첨가한 후 각 개체군들의 동태 변화를 조사한 결과 *Ch. vulgaris*는 모든 처리구에서 대조구보다 감소하는 경향을 나타내었고, *P. putida*는 대조구에 비해 증가하였으며, *C. glaucoma*는 농도가 증가함에 따라 개체수가 감소하기 시작하였으며, 2.5% 이상의 처리구에서는 모든 개체수가 사멸하였다.

본 연구 결과 제어된 생물환경 조건하에서 구성된 microcosm이 실험 재현성이 비교적 우수하고, 안정된 미소 생태계를 유지할 수 있어 산업 폐수 및 오폐수에 대한 새로운 독성평가 방법으로 적용이 가능할 것으로 본다.

사 사

이 논문은 한국학술진흥재단의 연구비(KRF-1999-

037-DA0033)에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

Abrams PA and JD Roth. 1994. The effects of enrichment of three species food chains with nonlinear functional responses. *Ecology* 75(4):1118-1130.

APHA-AWWA-WPCF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18<sup>th</sup> ed., APHA-AWWA-WPCF. Washington D.C.

Bert LV and DD Ulmer. 1972. Biochemical effects of mercury, cadmium and lead. *Ann. Rev. Biochem.* 41:91-128.

Bollag JM and W Barabasz. 1979. Effect of heavy metals on the denitrification process in soil. *J. Environ. Qual.* 8(2):196-201.

Bookhout CG. 1982. Effect of soluble fractions of use dilution-weight lignosulfate type mud and hexavalent chromium on the complete larval development of the crabs. EPA-600/3-82-018 U.S. EPA.

Cho SH, JC Lee and YC Chung. 1995. Treatment of Metal Plating Wastewater by Polysulfide. *J. Kor. Environ. Engineers.* 17(9):845-853.

Cousins RJ and LM Lee-Ambrose. 1992. Nuclear zinc uptake and interactions and metallothionein gene expression are influenced by dietary zinc in rats. *J. Nutr.* 122:56-64.

Forster B, J Rombke, T Knacker and E Morgan. 1995. Microcosm study of the interactions between microorganisms and enchytraeid worms in grassland soil and litter. *Eur. J. Soil Biol.* 31(1):21-27.

Hammond PB and RP Beliles. 1980. Metals. In J. Doull, C.D. Klaasen and M.O. Amdur (ed.) *Casarett and Doll's toxicology*. 2nd edition. Macimilian Publishing Co. Inc., New York. pp. 421-435.

Hill J and RG Wiegert. 1980. microcosms in Ecological Research (ed. J.P. Giesy), DOE Symposium series 52: 138-163.

Kurihara Y. 1978. Studies of the interaction in a microcosm. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Fourth Ser. (Biol.)* 37:161-177.

Leonard A and RR Lauwerys. 1980. Carcinogenicity, teratogenicity and mutagenicity of arsenic. *Mutation Res.* 75:49-62.

Leonard A, GB Gerber and P Jacquet. 1981. Carcinogenicity, mutagenicity and teratogenicity of nickel. *Mutation Res.* 87:1-15.

Mangi J. 1978. Effect of chromium on some aquatic plants. *Environ. Poll.* 16:285.

- Margalef R. 1969. Diversity and Stability: A Practical Proposal and a Model of Independence. Brookhaven. Symp. Biol. 22:25-27
- Matthews RA, WG Landis and GB Matthews. 1996. The community conditioning hypothesis and its application to Environmental toxicology. Environ. Toxicol. Chem. 15(4):597-603.
- Mearns AJ, PS Oshida, MJ Sherwood, R Young and DJ Reish. 1976. Chromium effects on coastal organisms. J. Water. Pollut. Control. Fed. 48(8):1929-1939.
- Neubecker TA and HE Allen. 1983. The measurement of complexation capacity and conditional stability constants for ligands in natural water. Water Res. 17:1-14.
- Odum EP. 1971. Fundamentals of Ecology, Sanders Philadelphia. 3rd ed., pp. 574.
- Stokinger HE. 1981. The metals. In G.D. Clayton and F.E. Clayton (ed.). Patty's industrial hygiene and toxicology. Vol. IIA. John Wiley and Sons. New York. pp. 1687-1724.
- Van der Putte, Z. 1982. Effect of hexavalent chromium in rainbow trout and prolonged exposure at two different pH levels. Ecotoxicol. Safety. 6:246.
- Warren G, P Schultz, D Bancroft, K Bennett, EH Abbott, and S Rogers. 1981. Mutagenicity of a series of hexacoordinate chromium (III) Compounds. World Neurology. 90:111-118.
- Welch WJ and JP Suhan. 1985. Morphological study of the mammalian stress response: Characterization of changes in cytoplasmic organelles, cytoskeleton, and nucleoli, and appearance of intracellular actin filaments In rat fibroblasts after heat shock treatment. J. Cell Biol. 101: 1198-1211.
- 高木博夫, 高松良江, 稻森悠平. 1994. マイクロコズムを用いた除草剤の水圏生態系に及ぼす影響と評価. 水環境學會誌 17(10):650-660.
- 廣瀬弘幸, 山岸高旺. 1979. 日本淡水藻類圖鑑. 内田老鶴園. pp.353-354.
- 稻森悠平, 高木博夫, 高松良江, 須藤隆一. 1994. 界面活性剤の水圏微生物生態系モデルシステムを用いた影響評価, 第28回 日本水環境學會年會講演集. pp. 740-741.
- 稻森悠平, 田中伸幸, 川端善一郎, 森忠洋, 須藤隆一. 1995. マイクロコズムにおける代謝産物を考慮した微生物間相互作用のシミュレーション解析. 水環境學會誌. 18(2): 109-120.
- 水野壽彦, 高橋永治. 1991. 日本淡水動物プランクトン検索圖説. 東海大學出版會. pp. 310-311
- 田中伸幸, 森忠洋, 稻森悠平, 川端善一郎. 1994. マイクロコズムにおける非土着細菌の動態に関する數理的解析. 第28回 日本水環境學會年會講演集. pp. 440-441.
- 田中伸幸. 1995. 水系マイクログルズムを用いた構成種の個體群動態の解析と生態系影響評価に関する研究. 鳥取大學大學院連合農學研究科 生物資源科學專攻. 博士學位論文. pp. 125.
- 川端善一郎. 1987. マイクロコズムを用いたプランクトン群集構造變化の解析 日本微生物生態學會編 微生物の生態 15 各種モデルとその利用學會出版センター, 東京. pp. 37-52.

(Received 11 December 2001, accepted 12 August 2002)