

중금속 오염 폐수처리에서의 미생물 이용 전망

許鍾秀 · 曹周植

Utilization of Microorganisms for Treating Wastewater Polluted with Heavy Metals

Jong-Soo Heo and Ju-Sik Cho

Abstract

As a basic research on applying the microbial strains which had been isolated and proved to remove heavy metals, such as Pb, Cd, Zn, and Cu in This laboratory to actual wastewater treatment, optimum condition of the treatment system with addition of single or multiple species of pollutants and microorganisms were investigated at small scale.

Concentration of the bacterial inoculum was 3000mg/L and 1500mg/L of MLSS for treatment with single and multiple species, respectively. Removal rates of heavy metals were expressed at HRT's (Hydraulic Retention Time) of 12, 24, and 48 hr.

Removal rates of Pb, Cd, Zn, and Cu after 12 days at HRT of 24hr with addition of single and multiple species were 93%, 90%, 80%, and 39%, and 75%, 90%, 74%, and 48%, respectively.

Judging from these results, treatment capability of the isolated strains is excellent. Hence, the microorganisms are expected to be applicable to actual wastewater treatment.

서 언

각종 산업폐수중 함유되어 있는 중금속과 같은 독성오염물질들은 하천수 뿐만 아니라 인근 지하수 및 토양을 오염시키는 등 큰 문제가 아닐 수 없다.

외국의 경우 도금공장폐수중 Cr^{6+} 및 Cd^{2+} 이 각각 27,000mg/l 및 23,000mg/l 함유된 폐수가 발생되고 있으며¹⁾, 우라늄광의 경우 15% 정도만 최종산물로 되고 나머지는 거의 폐기방출되고 있는 실정이다^{2,3)}. 그리고 일반 하수슬러지중에도 건조량으로 0.5-2.0

%의 중금속이 함유되어 있으며⁴⁾, 해수중에도 여러 종류의 중금속이 상당량 용해되어 있는 것으로 알려져 있다. 이와같은 중금속들은 직접 혹은 간접적으로 인체에 피해를 줄 뿐만 아니라 수중생물의 오염물질분해를 저해시킴으로써 수질의 자정작용을 감소시키는 등 생태계에 큰 영향을 미치므로 이들 독성오염물질의 효과적인 처리를 위한 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

미국이나 유럽의 환경보전기술은 지금까지의 오염물질의 사후처리 차원에서 벗어나 근본적으로 오염물질의 발생을 극소화시키는 클린텍 연구개발 방향으로 점차적으로 전환되고 있으며^{5,6,7)}, 따라서 기존 중금속의 처리방법인 물리화학적 처리방법을 대체할 수 있는 생물학적 처리방법에 의한 고효율의 중금속의 처리 및 회수기술개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 미생물을 이용한 생물학적 처리방법은 저렴한 비용으로 다량의 biomass를 얻을 수 있고^{8,9)}, 미생물에 의한 중금속의 흡수와 탈착반응이 단시간내에 이루어지며^{10,11)}, 고정화된 미생물은 재이용할 수 있을 뿐만 아니라^{12,13)} 미생물 군체의 폐기처리가 크게 문제되지 않으므로¹⁴⁾ 기존의 물리화학적 처리방법보다 훨씬 더 효과적인 방법이라 할 수 있으며, 실제 하수슬러지중의 중금속처리시 화학적 처리방법에 비하여 생물학적 처리방법은 비용을 80% 절감한다는 보고도 있다⁴⁾.

따라서 본 연구는 중금속오염폐수처리에서의 미생물 이용 가능성을 검토하기 위하여 본인들이 이미 분리한 중금속처리 능력이 있는 미생물 균주들을

활성슬러지 공법의 소형폐수처리조를 이용하여 각 중금속 단독처리능력과 복합처리능력을 조사함으로써 중금속오염폐수처리의 생물학적처리 가능성 및 그 전망을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 공시 중금속 처리균주

공시 중금속 처리균주는 Table 1과 같다.

2. 공시폐수

공시폐수는 Table 2와 같은 조성의 기질을 수돗물에 첨가하여 BOD : N : P를 100 : 5 : 1이 되게 조절한 다음 각 중금속들을 각각 10, 50, 100mg/ℓ 되게 농도별로 첨가하여 사용하였다.

Table 2. Composition of the influent wastewater.

| Composition | Concentration(mg/ℓ) |
|---------------------------------------|---------------------|
| Glucose | 1000 |
| Monosodium glutamate | 150 |
| (NH ₂) ₂ CO | 50 |
| NaCl | 150 |
| CaCl ₂ | 8 |
| MgSO ₄ · 7H ₂ O | 5 |
| KH ₂ PO ₄ | 22 |
| K ₂ HPO ₄ | 56 |

3. 소형 폐수처리조 설치 및 운전

본 실험에 사용한 폐수처리조는 Fig. 1과 같이 제작 설치하였다.

공시폐수는 5°C 이하의 침수조에 저장하여 정량 펌프로써 일정량씩 연속적으로 폭기조에 주입시켰으며, 폭기조내에 2개의 air pump를 설치하여 충분히 포기시켜 폭기조내 DO를 최소한 2mg/ℓ 이상되게 유지시켰다. 그리고 폭기조내에 자동온도조절장치를 설치하여 실온(20°C)과 항온(30°C)으로 각각

Table 1. Heavy metal tolerant microorganisms used.

| Heavy metal | Microorganisms | Isolated source |
|-------------|------------------------|-----------------------|
| Pb | <i>P. aeruginosa</i> | Industrial wastewater |
| Cd | <i>P. putida</i> | Mine wastewater |
| Zn | <i>P. chlororaphis</i> | Industrial wastewater |
| Cu | <i>P. strutzeri</i> | Mine wastewater |

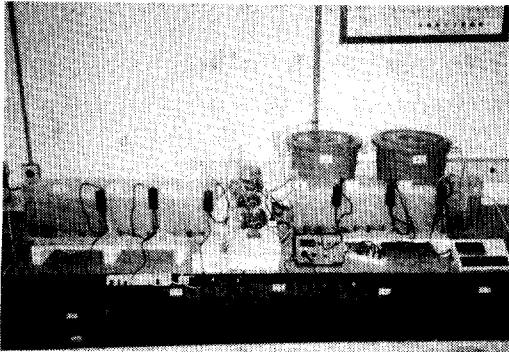


Fig. 1. Operation system of activated sludge process.

조절시켰으며, 이때의 온도변화는 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 였다.

폭기조내 각 중금속 처리균주의 접종은 액체영양 배지에서 대량으로 배양한 균체를 원심분리기로 회수하여 접종하였으며, 접종량은 MLSS 농도로서 각 중금속 단독 처리능력시험에서는 MLSS 2500-3500mg/l 되게 접종하였으며, 여러가지 중금속 복합 처리(Pb+Cd+Zn+Cu) 능력시험에서는 MLSS 500-6000mg/l 되게 접종하였다.

폭기조내 각 MLSS 농도를 일정하게 유지시키기 위하여 폭기조내 MLSS를 시간별로 측정하여 일정량의 슬러지를 침전조 하부로부터 인출하여 폭기조에 반송하였다.

4. 중금속 단독처리 능력시험

소형폐수처리조의 연속적처리 과정에서의 각 중금속처리균주들과 각 중금속들을 각각 단독으로 처리하였을 경우 중금속 단독처리능력 시험은 각 공시균주들을 MLSS 3000mg/l 되게 각 폭기조에 접종한 다음 각 중금속(Pb, Cd, Zn, Cu)들을 각각 100mg/l 되게 처리한 폐수를 정량펌프로써 일정량씩 연속적으로 폭기조에 주입시키면서 30°C 항온에서 HRT(Hydraulic Retention Time)를 12hr, 24hr 및 48hr로 각각 달리하여 운전시간에 따른 각 중금속 처리율을 조사하였다.

5. 중금속 복합처리 능력시험

소형폐수처리조의 연속적처리 과정에서의 여러가지 공시균주들과 여러가지 중금속을 복합처리하였을 경우의 중금속복합처리 능력시험은 중금속 내성균주(Pb 내성균주, 1500mg/l MLSS + Cd 내성균주, 1500mg/l MLSS + Zn 내성균주, 1500mg/l MLSS + Cu 내성균주, 1500mg/l MLSS)를 혼합하여 총 MLSS 농도로서 6000mg/l 되게 폭기조에 접종한 다음 중금속(Pb+Cd+Zn+Cu)을 각각 100mg/l의 농도가 되게 동시에 복합처리한 공시폐수를 정량펌프로써 일정량씩 연속적으로 폭기조에 주입하면서 30°C 항온하에서 HRT를 12hr, 24hr 및 48hr로 달리하면서 운전시간별 각 중금속의 처리율을 조사하였다.

6. 수질분석방법

유입폐수, 폭기조 및 유출수의 중금속, DO, SV, SVI 및 MLSS의 분석은 APHA의 Standard Method¹⁵⁾에 준하였다.

결과 및 고찰

1. 중금속 단독처리능력

소형폐수처리 system의 연속적인 처리과정에서의 각 중금속들과 각 중금속 처리균주들을 각각 단독으로 처리할 경우의 각 중금속 처리율을 조사하기 위하여 각 균주들을 MLSS 3000mg/l 되게 소형폐수처리조의 폭기조에 접종한후 각 공시폐수(pH 7.0)중 각 중금속 농도가 각각 Pb=Cd=Zn=Cu=100mg/l인 공시폐수를 각각 정량펌프를 이용하여 30°C 항온에서 일정량씩 연속적으로 폭기조에 주입시키면서 운전시간에 따른 각 중금속 처리율을 조사한 결과는 다음과 같다.

(I) Pb 단독처리 능력

폐수중 Pb 내성균주만 접종하여 Pb만 100mg/l

Table 3. Result of operating in an activated sludge reactor treated with 100mg/ℓ of Pb.

| Operating factor | HRT (hr.) | Days after treatment | | | | | | |
|------------------|-----------|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| pH | 12 | 7.00 | 7.42 | 7.26 | 7.55 | 7.58 | 7.67 | 7.35 |
| | 24 | 7.00 | 7.36 | 7.68 | 7.52 | 7.54 | 7.75 | 8.27 |
| | 48 | 7.00 | 7.25 | 8.25 | 8.01 | 7.68 | 7.86 | 8.01 |
| MLSS (mg/ℓ) | 12 | 2980 | 2700 | 3220 | 3090 | 2970 | 2850 | 2630 |
| | 24 | 3150 | 3040 | 3250 | 3600 | 3650 | 3300 | 3160 |
| | 48 | 3100 | 3380 | 3400 | 3270 | 2718 | 2540 | 2310 |
| SV | 12 | 120 | 80 | 80 | 70 | 100 | 80 | 60 |
| | 24 | 150 | 160 | 160 | 170 | 170 | 180 | 180 |
| | 48 | 130 | 140 | 90 | 110 | 90 | 100 | 80 |
| SVI | 12 | 40.3 | 29.6 | 24.9 | 22.7 | 33.7 | 28.1 | 22.8 |
| | 24 | 47.6 | 52.6 | 49.2 | 47.2 | 46.6 | 54.5 | 57.0 |
| | 48 | 41.9 | 41.4 | 26.5 | 33.6 | 33.1 | 39.4 | 34.6 |

되게 단독 처리했을 경우 폭기조내 수질의 pH, MLSS, SV 및 SVI 변화를 폭기조내 HRT별 및 처리시간별로 조사한 결과는 Table 3에서 보는 바와 같이 pH는 처리시간이 경과할수록 약간씩 증가되었으며, 전반적으로 pH는 7.0-8.0 범위였으며, MLSS 농도는 2500-3500mg/ℓ 범위였고, SVI는 30-50 범위였다.

그리고 폐수중 Pb 내성균주만 단독접종하여 Pb만 100mg/ℓ 되게 단독 처리했을 경우 처리수(유출수) 중 Pb의 잔존량과 처리율을 HRT별 및 처리시간별로 조사한 결과는 Fig. 2와 같다.

처리수중 Pb 처리율은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 처리 4일 후 점차적으로 안정화되기 시작하였으며 처리 12일 후 HRT를 12시간으로 조절하였을 경우 약 60%의 Pb 처리율을 보였고, HRT를 24 및 48 시간으로 조절하였을 경우에는 각각 약 93% 및 90%의 처리율을 나타내어 HRT 12시간에 비하여 매우 높은 Pb 처리효율을 보였다.

(2) Cd 단독처리능력

폐수중 Cd 내성균주만 접종하여 Cd만 100mg/ℓ 되게 단독 처리했을 경우 폭기조내 수질의 pH, MLSS, SV 및 SVI 변화를 폭기조내 HRT별 및 처리시간별로 조사한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같이 폭기조내 pH 변화는 처리시간이 경과할수록 점차적으로 증가되었으며, 전반적으로 pH는 7.2-8.0 범위를 유지하였으며, MLSS 농도는 2500-3500 mg/ℓ 범위였고, SVI는 25-55 범위였다.

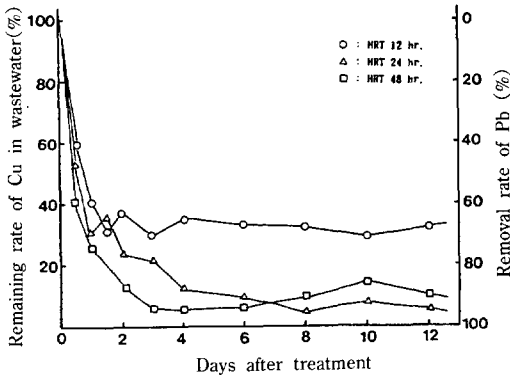


Fig. 2. Removal rate of Pb in wastewater treated with 100mg/ℓ of Pb at 30°C.

Table 4. Result of operating in an activated sludge reactor treated with 100mg/l of Cd.

| Operating factor | HRT (hr.) | Days after treatment | | | | | | | |
|------------------|-----------|----------------------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | |
| pH | 12 | 7.20 | 7.65 | 7.61 | 7.63 | 7.87 | 7.73 | 8.11 | |
| | 24 | 7.20 | 7.04 | 7.08 | 7.28 | 7.38 | 7.87 | 7.89 | |
| | 48 | 7.20 | 7.77 | 7.74 | 7.87 | 7.83 | 8.17 | 8.02 | |
| MLSS (mg/l) | 12 | 3133 | 3246 | 3326 | 3423 | 2954 | 2760 | 2504 | |
| | 24 | 3104 | 3184 | 3208 | 3574 | 3648 | 3427 | 3351 | |
| | 48 | 3298 | 2926 | 2932 | 2754 | 2530 | 2230 | 2118 | |
| SV | 12 | 100 | 120 | 110 | 90 | 80 | 70 | 80 | |
| | 24 | 120 | 160 | 180 | 200 | 160 | 180 | 180 | |
| | 48 | 120 | 80 | 80 | 65 | 80 | 60 | 60 | |
| SVI | 12 | 31.9 | 37.0 | 33.0 | 26.3 | 27.1 | 26.2 | 32.0 | |
| | 24 | 38.7 | 50.3 | 56.1 | 56.0 | 43.9 | 52.5 | 53.7 | |
| | 48 | 36.4 | 27.3 | 27.3 | 23.6 | 31.6 | 26.9 | 28.3 | |

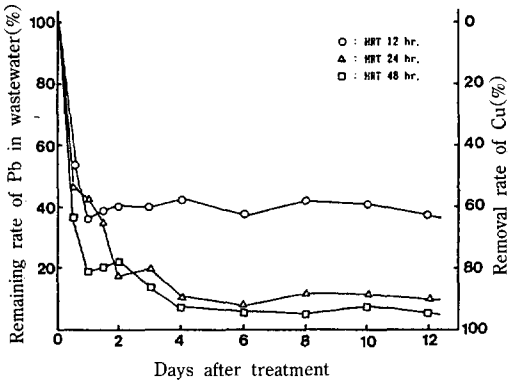


Fig. 3. Removal rate of Cd in wastewater treated with 100mg/l of Cd at 30°C.

처리수중 Cd 처리율은 Fig. 3과 같이 처리 6일 후 안정화되어 처리 12일 후 폐수중 Cd 처리율은 HRT를 12시간으로 조절했을 경우 약 62%였으며, HRT를 24 및 48시간으로 조절 했을 경우에는 각각 90% 및 94%로서 HRT 12시간에 비하여 매우 높은 Cd 처리효율을 보였다.

(3) Zn 단독처리능력

폐수중 Zn 내성균주만 단독접종하여 Zn만 100

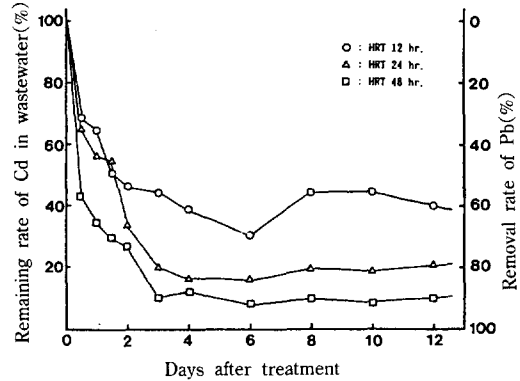


Fig. 4. Removal rate of Zn in wastewater treated with 100mg/l of Zn at 30°C.

mg/l 되게 단독처리했을 경우 폭기조내 수질의 pH, MLSS, SV 및 SVI 변화를 폭기조내 HRT별 및 처리시간별로 조사한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같이 폭기조내 pH는 6.9-7.8 범위였고, MLSS 농도는 2500-3600mg/l 범위였으며, SVI는 25-46 범위였다.

처리수중 Zn 처리율은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 HRT 12시간일 경우 처리 12일 후 약 60%의 처리율을 보였으나 처리 시간별 처리상태가 다소 불안

Table 5. Result of operating in an activated sludge reactor treated with 100mg/ℓ of Zn.

| Operating factor | HRT (hr.) | Days after treatment | | | | | | |
|------------------|-----------|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| pH | 12 | 6.81 | 6.99 | 7.07 | 7.14 | 7.38 | 7.50 | 7.70 |
| | 24 | 6.81 | 6.91 | 7.16 | 7.36 | 7.40 | 7.56 | 7.84 |
| | 48 | 6.81 | 6.86 | 6.91 | 6.88 | 6.84 | 7.13 | 7.60 |
| MLSS (mg/ℓ) | 12 | 3104 | 3169 | 2840 | 2728 | 2514 | 2607 | 2498 |
| | 24 | 2988 | 3366 | 3276 | 3463 | 3392 | 3265 | 3300 |
| | 48 | 3162 | 3180 | 3580 | 2928 | 2977 | 2592 | 2614 |
| SV | 12 | 90 | 80 | 80 | 70 | 60 | 70 | 80 |
| | 24 | 100 | 150 | 140 | 160 | 140 | 150 | 120 |
| | 48 | 100 | 120 | 120 | 120 | 100 | 100 | 80 |
| SVI | 12 | 29.0 | 25.2 | 28.2 | 25.7 | 23.9 | 26.9 | 32.0 |
| | 24 | 33.5 | 44.6 | 42.7 | 46.2 | 41.3 | 45.9 | 36.4 |
| | 48 | 31.6 | 37.7 | 34.2 | 41.0 | 33.6 | 38.6 | 30.6 |

Table 6. Result of operating in an activated sludge reactor treated with 100mg/ℓ of Cu.

| Operating factor | HRT (hr.) | Days after treatment | | | | | | |
|------------------|-----------|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| pH | 12 | 6.87 | 6.90 | 7.22 | 7.30 | 7.40 | 7.61 | 7.92 |
| | 24 | 6.87 | 7.16 | 7.32 | 7.65 | 7.55 | 7.85 | 8.02 |
| | 48 | 6.87 | 6.86 | 7.03 | 7.10 | 7.37 | 7.60 | 7.66 |
| MLSS (mg/ℓ) | 12 | 3114 | 2912 | 2610 | 2718 | 2600 | 2632 | 2324 |
| | 24 | 3096 | 3238 | 3324 | 3360 | 3366 | 3291 | 3327 |
| | 48 | 3218 | 3214 | 2956 | 2706 | 2754 | 2580 | 2346 |
| SV | 12 | 100 | 100 | 80 | 80 | 70 | 40 | 40 |
| | 24 | 120 | 120 | 110 | 130 | 120 | 110 | 130 |
| | 48 | 90 | 100 | 90 | 90 | 70 | 60 | 40 |
| SVI | 12 | 32.1 | 34.3 | 30.7 | 29.4 | 26.9 | 15.2 | 17.2 |
| | 24 | 32.3 | 37.1 | 33.1 | 38.7 | 35.7 | 33.4 | 39.1 |
| | 48 | 28.0 | 31.1 | 30.5 | 33.3 | 25.4 | 23.3 | 17.1 |

정하였으며, HRT 24 및 48시간일 경우에는 처리 12 일 후 각각 80% 및 90%로서 HRT 48시간으로 조절하여 처리하였을 경우에 가장 좋은 처리 효율을 나타냈다.

(4) Cu 단독처리능력

폐수중 Cu만 100mg/ℓ 되게 단독처리하여 Cu 내성균주만 단독접종하였을 경우 폭기조내 수질의 pH, MLSS, SV 및 SVI 변화를 폭기조내 HRT별 및

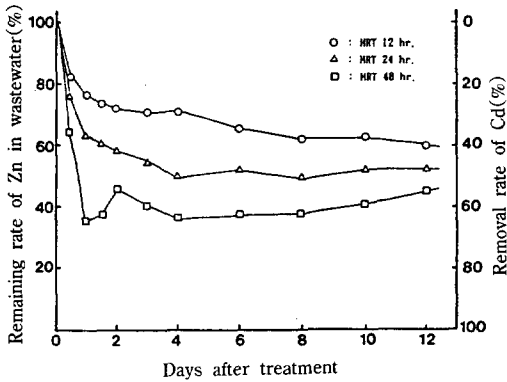


Fig. 5. Removal rate of Cu in wastewater treated with 100mg/l of Cu at 30°C.

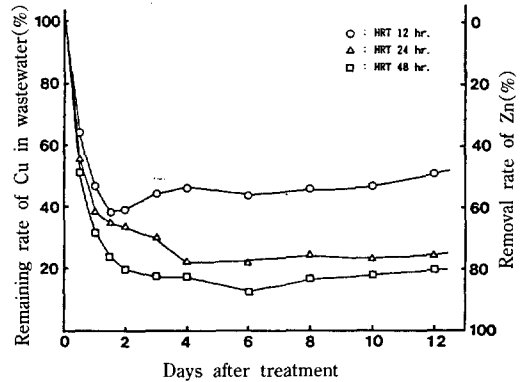


Fig. 6. Removal rate of Pb in wastewater treated with mixed heavy metals at 30°C.

처리시간별로 조사한 결과는 Table 6에서 보는 바와 같이 폭기조내 pH는 6.9-8.0 범위를 유지하였으며, MLSS 농도는 2300-3300mg/l 범위였고, SVI는 17-38 범위였다.

처리수중 Cu 처리율은 Fig. 5와 같이 HRT를 12시간으로 조절하였을 경우 처리 12일 후 약 40%의 Cu 처리율을 나타내었고 HRT를 24 및 48시간으로

조절하였을 경우에는 각각 약 39% 및 57%의 처리율을 나타내어 Pb, Cd 및 Zn과 같은 다른 중금속 처리 균주에 비하여 그 처리율이 매우 저조하였다. 이러한 결과는 Cu 내성균주의 생장속도가 매우 불안정하고 폭기조내 각 인자간의 평행이 잘 이루어지지 않았던 결과인 것으로 사료되었다.

Table 7. Result of operating in an activated sludge reactor treated with mixed heavy metals.

| Operating factor | HRT (hr.) | Days after treatment | | | | | | |
|------------------|-----------|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| pH | 12 | 7.00 | 7.04 | 7.20 | 7.30 | 7.30 | 7.47 | 7.58 |
| | 24 | 7.00 | 7.20 | 7.38 | 7.59 | 7.55 | 7.78 | 8.02 |
| | 48 | 7.00 | 7.10 | 7.22 | 7.37 | 7.50 | 7.55 | 7.91 |
| MLSS (mg/l) | 12 | 5983 | 6122 | 5872 | 5666 | 5427 | 5122 | 4873 |
| | 24 | 6100 | 6432 | 6654 | 6524 | 6322 | 6426 | 6432 |
| | 48 | 6010 | 6127 | 5938 | 5872 | 5727 | 5633 | 5572 |
| SV | 12 | 300 | 240 | 200 | 180 | 160 | 170 | 150 |
| | 24 | 350 | 360 | 360 | 370 | 350 | 340 | 370 |
| | 48 | 320 | 310 | 330 | 290 | 280 | 250 | 230 |
| SVI | 12 | 50.1 | 39.2 | 34.0 | 31.8 | 29.5 | 33.2 | 30.8 |
| | 24 | 57.4 | 56.0 | 54.1 | 56.7 | 52.9 | 53.7 | 57.5 |
| | 48 | 53.2 | 50.6 | 56.1 | 49.4 | 48.9 | 44.4 | 41.3 |

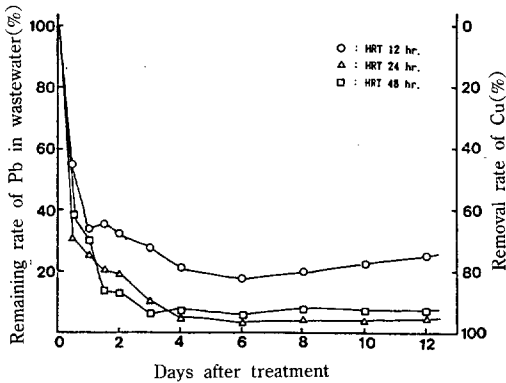


Fig. 7. Removal rate of Cd in wastewater treated with mixed heavy metals at 30 °C.

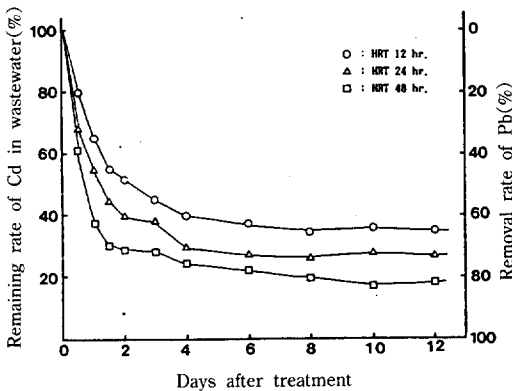


Fig. 8. Removal rate of Zn in wastewater treated with mixed heavy metals at 30 °C.

2. 중금속 복합처리(Pb+Cd+Zn+Cu) 능력

폐수중 중금속 Pb, Cd, Zn 및 Cu 농도를 각각 100mg/l 되게 중금속을 복합 처리하고 중금속 내성 균주인 Pb 내성균주, Cd 내성균주, Zn 내성균주 및 Cu 내성균주를 각각 1500mg/l의 MLSS가 되도록, 총 6000mg/l의 MLSS가 되도록 복합 접종하여 소형폐수 처리조에서 연속적으로 처리할 경우 폭기조 내 수질의 pH, MLSS, SV 및 SVI 변화를 HRT 별 및 처리시간별로 조사한 결과는 Table 7에서 보는

바와 같이 전반적으로 pH는 7.0-8.0 범위였으며, MLSS 농도는 4800-6600mg/l 범위였고, SVI는 30-57 범위였다.

그리고 처리수중 각 중금속의 잔존량과 처리율을 조사한 결과는 Fig. 6, 7, 8 및 9와 같다.

처리수중 Pb 처리율은 Fig. 6과 같이 처리 6일 후 점차적으로 안정화되었으며 처리 12일 후 폐수중 Pb 처리율은 HRT를 12시간으로 조절하였을 경우 약 49%였으며 HRT를 24 및 48시간으로 조절하였을 경우에는 각각 약 75% 및 80%로서 HRT 48시간일 경우 가장 좋은 처리율을 나타내었으나 Pb만 단독처리했을 경우에 비하여 처리효율이 감소되었다.

처리수중 Cd 처리율은 Fig. 7과 같이 HRT를 12시간으로 하였을 경우 처리 6일 후 약 83% 였으나 처리시간이 경과할수록 점차적으로 Cd 처리율이 점점 감소하여 처리 12일 후 약 76%의 Cd 처리율을 나타내었고 HRT 24 및 48시간에서는 처리 6일 후 안정화되어 처리 12일 후 약 90% 이상의 높은 처리율을 나타내어 Cd만 단독처리했을 경우에 비하여 처리율이 증가되었다.

처리수중 Zn 처리율은 Fig. 8과 같이 6일 후 점차적으로 안정화되어 처리 12일 후 Zn처리율은

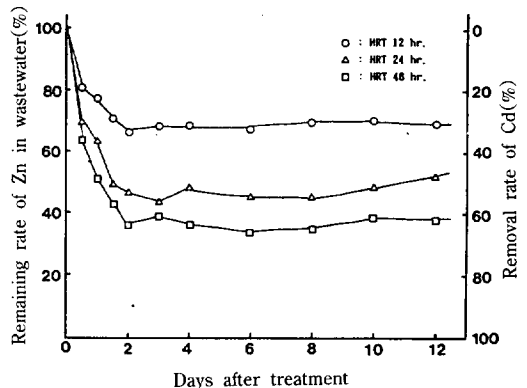


Fig. 9. Removal rate of Cu in wastewater treated with mixed heavy metals at 30 °C.

HRT를 12시간으로 조절하였을 경우 약 65%, 그리고 HRT를 24 및 48시간 조절하였을 경우 각각 약 74% 및 82% 였으며 따라서 HRT를 48시간으로 했을 경우에 가장 좋은 처리율을 나타내었으나 Zn 단독처리에 비하여 처리율이 다소 낮았다.

그리고 처리수중 Cu 처리율은 Fig. 9와 같이 처리 12일 후 HRT를 12시간으로 하였을 경우 약 30% 였고 HRT를 24 및 48시간 하였을 경우 각각 약 48% 및 61%로서 HRT를 48시간으로 조절하였을 경우에 가장 좋은 Cu 처리율을 보였으나 전반적으로 처리상태가 불안정 하였으며 Cu만 단독처리 하였을 경우와 비슷한 처리율을 보였다.

이상 각 중금속을 단독처리하였을 경우와 복합처리하였을 경우의 처리결과를 종합해 볼 때 각 중금속 단독처리에서는 대부분 높은 처리율을 나타내었으며, 복합처리하였을 경우에 Pb와 Zn의 처리율은 감소되었다. 이러한 결과는 여러가지 중금속 복합처리구에서 Pb 내성균주와 Zn 내성균주는 그들 생육에 저해를 받아 시간이 경과할수록 다른 중금속내성균주에 비하여 상대적으로 이들 두 균주의 분포율이 감소되었기 때문인 것으로 생각되며, Cu의 처리율은 Cu 단독처리구에서와 비슷하였다. 그러나 Cd의 처리율은 Cd 단독처리구에 비하여 여러가지 중금속을 복합처리하였을 경우 상당히 증가되었으며, 이러한 결과는 Cd 내성균주는 다른 중금속에 대해서도 강한 내성을 지니고 있어 생육에 저해를 받지 않는 것으로 생각되며, 특히 Cd와 물리화학적 성질이 비슷한 Zn의 첨가로 인하여 균체내 Cd 축적이 촉진되었기 때문인 것으로 생각되었다.

따라서 각 균주들을 여러가지 중금속이 복합오염되어 있는 실제폐수처리에 적용하기 위해서는 각 균주들의 성장율을 일정하게 유지시킬 수 있는 방법과 여러가지 오염물질의 처리효율을 동시에 증진시키기 위한 방법이 검토되어야 할 것으로 사료되었으며 이러한 제 문제점을 보완하여 실제 폐수처리에 적용할 경우 매우 좋은 처리효과를 기대할 수 있을 것으로 생각되었다.

적 요

산업폐수 및 광산폐수 등으로부터 분리한 중금속 처리능력이 있는 미생물 균주들을 실제폐수처리에 적용시키기 위한 기초실험으로서 생물학적 활성슬러지공법의 소형폐수처리조를 이용한 각 중금속의 단독처리능력 및 여러가지 중금속의 동시 복합처리능력을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

소형폐수처리조의 연속적인 처리과정에서의 각 중금속 처리균주들과 각 중금속들을 각각 단독으로 처리하여 HRT를 24시간으로 조절하였을 경우, 처리 12일 후 각 중금속 처리율은 Pb 처리균과 Pb만 100 mg/l 되게 단독처리 했을 때 처리수중 Pb 처리율은 약 93%였으며, Cd처리균과 Cd만 100mg/l 되게 단독처리하였을 경우 처리 12일 후 Cd 처리율은 약 90%였다. 그리고 Zn 처리균과 Zn만 100mg/l 되게 처리하였을 경우 처리 12일 후의 처리수중의 Zn 처리율은 약 80%였으며, Cu 처리균과 Cu만 단독으로 처리했을 경우에는 처리 12일 후 약 39%의 Cu 처리율을 나타내었다.

생물학적 활성슬러지공법의 소형폐수처리조를 이용한 연속처리과정에서의 여러가지 중금속과 여러가지 중금속처리균주들을 동시에 복합적으로 처리했을 경우의 여러가지 중금속의 동시 처리율을 조사한 결과는 다음과 같다.

폐수중 중금속 Pb, Cd, Zn 및 Cu 농도를 각각 100mg/l 되게 중금속을 복합 처리하고 각 중금속 내성균주(Pb, Cd, Zn 및 Cu 내성균주)를 각각 1500 mg/l의 MLSS가 되도록 복합 접종하여 소형폐수처리조에서 연속적으로 처리할 경우 HRT를 24시간으로 조절하였을 때 처리 12일 후 Pb, Cd, Zn 및 Cu의 처리율은 각각 75%, 90%, 74% 및 48%였다.

인용문헌

1. Sag, Y. and Kutsal, T. (1989). The use of *Zoogloea ramigera* in wastewater treatment co-

- ntaining Cr(VI) and Cd(II) ions. *BioGechnol. Lett.* **11**(2): 145~151.
2. Tsezos, M. and Volesky, B. (1982). The mechanism of uranium biosorption by *Rhizopus arrhizus*. *Biotechnol. Bioeng.* **24**: 385~401.
 3. Tsezos, M. and Volesky, B. (1982). The mechanism of thorium biosorption by *Rhizopus arrhizus*. *Biotechnol. Bioeng.* **24**: 955~969.
 4. Jain, D. K. and Tyagi, R. D. (1992). Leaching of heavy metals from anaerobic sewage sludge by sulfur-oxidizing bacteria. *Enzyme Microb. Technol.* **14**: 376~381.
 5. 이상은 외. 폐수처리시스템 개발 현황 조사연구. (1985). 한국건설기술연구원.
 6. 정윤철 외. 응집제 생산을 위한 생물공정기술 개발(I). (1989). 과기처보고서.
 7. 최의소. 폐기물 처리와 자원화. (1985). 청문각.
 8. Norberg, A. B. and Persson, H. (1984). Accumulation of heavy metal ions by *Zoogloea ramigera*. *Biotechnol. Bioeng.* **26**: 239~246.
 9. Kuyucak, N. and Volesky, B. (1989). Accumulation of cobalt by marine alga. *Biotechnol. Bioeng.* **33**: 809~814.
 10. Tsezos, M. (1984). Recovery of uranium from biological adsorbents - desorption equilibrium. *biotechnol. Bioeng.* **26**: 973~981.
 11. Flemming, C. A., Ferris, F. G., Beveridge, T. J. and Bailey, G. W. (1990). Remobilization of toxic heavy metals adsorbed to bacterial wall - clay composites. *Appl. Environ. Microbiol.* **56**(10): 3191~3203.
 12. Treen-sears, M. E., Volesky B. and Neufeid, R. J. (1984). Ion exchange/complexation of the uranyl ion by *Rhizopus* biosorbents. *Biotechnol. Bioeng.* **26**: 1323~1329.
 13. Michel, L. J., Makaskie, L. E. and Dean, A. C. R. (1986). Cadmium accumulation by immobilized cells of a *Citrobacter* sp. using various phosphate donors. *Biotechnol. Bioeng.* **28**: 1358~1965.
 14. Nakajima, A., Horikoshi, T. and kaguchi, T. (1981). Studies on the accumulation of heavy metal element in biological systems. XVII. Selective accumulation of heavy metal ions by *Chlorella regularis*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **12**: 76~83.
 15. APHA-AWWA-WPCF. (1989). Standard Methods for the Examination of Water and waste Water, 17th, Washington, DC.