

## 생물학적 폐수처리 공정에서의 미생물에 의한 중금속 제거에 관한 연구

A Study on the Removal of Heavy Metals by Microorganism  
in the Biological Wastewater Treatment

정 연 규\* · 민 병 현\*\* · 박 준 환\*\*\*  
Choung, Youn Kyoo · Min, Byeong Heon · Park, Joon Hwon

### Abstract

In this research, biological uptake of heavy metals(Cd(II), Cu(II), Zn(II)) was measured under various conditions; pH, initial heavy metal concentration, temperature, contact time and the amount of biomass through batch test.

From this research, it was found that heavy metals might be removed through adsorption and accumulation in activated sludge process. Heavy metals were highly concentrated by microbial floc in activated sludge. Also, the removal efficiency was reached up to 80~90% within and after 1 hour the increase of removal efficiency was minimal.

The order of accumulation efficiency was Cu(II) > Zn(II) > Cd(II), and the bonding strength between heavy metals and microbial floc may be expressed in order of Cu(II) > Zn(II) > Cd(II).

### 요 지

본 연구에서는 세가지 중금속 (Cd(II), Cu(II), Zn(II))에 대하여 활성슬러지 미생물 floc의 중금속 흡착 및 축적 작용에 의한 중금속 제거과정을 실험을 통해 연구하였다. 회분식 실험을 통해 pH, 중금속 농도, MLSS 농도 및 온도에 따른 반응시간별 중금속 제거율과 축적량을 측정하였다.

활성슬러지 공정에 의한 중금속제거는 흡착 및 축적에 의해 중금속이 슬러지에 고농도로 농축되어 일어났다. 회분식 실험결과 중금속의 흡착평형은 단시간내에 일어났으며, 미생물 floc과 중금속이온과의 결합세기는 Cu(II) > Zn(II) > Cd(II)의 순으로 나타났다.

### 1. 서 론

수생태계에 있어서의 중금속의 분포는 광범위하며, 계속 확산되는 추세이다. 중금속을 함유한 폐수

\*정회원 : 연세대학교 공과대학 부교수, 토목공학과

\*\*정회원 : 호서대학교 이공대학 조교수, 환경공학과

\*\*\*정회원 : 대한공전 · 전임강사, 환경학과

는 금속 처리, 도금 및 제련 등 금속을 취급하는 산업체와 여러가지 금속 화합물을 다루는 화학 공장 에서 주로 배출되며, 또한 도시에서의 금속제품 이용의 증가에 따른 금속부식과 폐금속조각 그리고 도시 대기중의 분진 침전물에 함유된 중금속도 무시할 수 없는 오염원이다.<sup>(1)</sup> 따라서 도시하수도 매우 큰 중금속 오염원으로 작용하고 있다. 수계에 유입된 중금속은 독성으로 인하여 그 처리 문제가 매우 중요하게 대두되고 있으며,<sup>(2)</sup> 생물학적 처리방법에 의해 도시하수 및 산업폐수를 처리하는 과정에서 효소의 작용을 저하시켜 유기물 제거효율을 저하시키고, 운영에 지장을 초래할 수 있다.<sup>(3)</sup>

그동안 중금속 제거에 관한 연구는 계속되어 왔는데, 그 방법들은 주로 물리 화학적인 방법으로서 처리 규모가 클 경우 막대한 경비를 요하게 된다. 따라서 하수 종말 처리장에서의 물리 화학적인 방법에 의한 중금속 처리가 현실적으로 불가능한 상황에서 활성슬러지에 의한 중금속 제거에 관한 연구는 긴요하다고 할 수 있다.<sup>(4, 5)</sup>

Stones<sup>(6)</sup>는 폐수처리 과정에 있어서의 크롬의 거동을 연구하므로써 중금속과 활성슬러지간의 양상을 연구하였으며, Belford와 Preston<sup>(7)</sup>은 Copper-Cellulose의 복합체에 대한 연구를 행하였다. Christensen<sup>(8)</sup>은 중금속을 부착하는 살아있는 세포에 대하여 연구하므로써 미생물에 의한 중금속의 제거 가능성을 제시하였다. Bender<sup>(9)</sup>등은 유기 Ligands와 금속이 킬레이트화하여 Algae의 금속한 성장의 원인으로 작용함을 밝혔다. Chosh와 Zuggar<sup>(10)</sup>는 활성슬러지에 의하여 수용액 상태의 수은을 51-58% 제거하므로써 미생물 세포의 흡착에 의한 중금속 제거 Mechanism을 제시하였다. Casey<sup>(11)</sup>는 활성슬러지 공정에 의한 Cd와 Cu의 제거에 관한 연구를 하였는데 인이 제한된 조건하에서 중금속의 흡착이 잘 일어남을 발표하였다. 최근에는 Nakajima<sup>(12)</sup>등이 우리나라를 선택적으로 잘 흡수하는 미생물에 관한 연구와 동시에 우리나라를 회수하는 연구를 하므로써 중금속제거에 미생물을 이용하는 진일보한 연구를 하였다.

본 연구에서는 폐수처리방법중 활성슬러지 공법에 대하여 중금속 흡착제거에 관한 연구를 행하여, 처리공정에서 발생하게 되는 여러 인자(pH, 중금속의 초기농도, MLSS 농도 및 온도등)들에 따른 중

금속(Cd(II), Cu(II), Zn(II))의 제거효과를 비교 분석하고, 활성슬러지에 축적된 중금속의 양을 파악하며, 중금속 제거에 효과적인 조작인자들을 파악하여, 중금속 유입에 대한 활성슬러지 공정의 탄력적인 운영조건 및 설계 조건을 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 활성슬러지에 의한 중금속 제거MECHANISM

### 2.1 슬러지 floc내에서의 침전된 중금속의 물리적 trapping

높은 중금속 농도에서는 비교적 많은 비율의 중금속이 침전된 상태로 존재하며 이들은 미생물 floc matrix와 함께 물리적으로 반응하여 entrapping되거나 부착된다.

활성슬러지 공정내에 중금속이 체류하는 동안 이온교환, 흡착, 유기, 무기 ligands와의 chelation 혹은 침전등 많은 반응이 일어날 수 있다. 또한, 침전된 중금속들은 최초 침전에 의하여 많은 비율이 제거되는 것으로 알려져 있다. Cu와 Zn의 경우 침전에 의한 제거비율이 높다.

### 2.2 미생물 외부세포 중합체에 의한 용해성 중금속의 흡착

활성슬러지내의 많은 미생물 종들은 외부세포 중합체를 형성한다. 활성슬러지내에는 floc을 형성하는 여러종류의 미생물들이 존재하며, 종별로 흡착 양에 차이가 있다. 미생물에 의해 생성되는 외부세포 중합체는 대부분이 음전하를 띠고 있으며, 이들은 활성슬러지 floc표면에 전체적으로 음전하를 띠게한다. 또한, 서로 다른 원자가 혹은 전하를 가진 중금속들은 각각 다른 sites에 흡착된다.

#### 2.2.1 중금속 이온과 미생물간의 표면결합모형과 조건흡착상수

미생물 표면에 의한 중금속 이온의 흡착은 이론적으로 표면-금속 결합의 형태로 나타낼 수 있다.



따라서 조건흡착평형상수  $K_A$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K_A = \frac{[MS]}{[M][S]} \quad (2-2)$$

M : 자유금속이온

S : 결합이전의 미생물 표면 site

MS : 금속-미생물 표면 결합

$K_A$ : 조건흡착상수(L/g)

[ ]: 농도 (mole/L)

{ }: 농도 (g/L)

주어진 미생물 표면에서, 전체 질량  $S_T$ 는 결합되기 이전의 표면 site와 결합된 표면 site의 합으로 나타낼 수 있다.

$$S_T = \{S\} + \{HS\}/y \quad (2-3)$$

$S_T$ : 전체 미생물세포의 질량(g/L)

$y$ : 미생물의 단위질량당 표면 site수.

식(2-3)을 식(2-2)에 대입하여 정리하면 Langmuir의 흡착등온식과 같은 형태의 식이 유도된다.

$$\frac{[MS]}{S_T} = \frac{y[M]}{y/K_A + [M]} \quad (2-4)$$

Langmuir 흡착등온식은 식(2-5)와 같다.

$$r = \frac{r_m[M]}{K_L + [M]} \quad (2-5)$$

$r$ : 자유금속이온의 흡착밀도 (mole/g)

$r_m$ : 자유금속이온의 최대흡착밀도 (mole/g)

$[M]$ : 자유금속이온의 평형농도

$K_L$ : Langmuir 흡착상수 (mole/L)

식(2-4)와 식(2-5)를 비교하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$r = [MS]/S_T \quad (2-6)$$

$$y = r_m \quad (2-7)$$

$$y/K_A = K_L \quad (2-8)$$

이와 같이, Langmuir 흡착상수  $K_L$ 의 역수에 비례하며, 흡착이 금속속 이온 농도에 대하여 선형으로 표현되면  $K_L$ 은 등온흡착곡선의 경사가 된다. 따라서, 등온흡착실험에 의하여 조건흡착상수  $K_A$ 를 구할 수 있다. 조건흡착상수  $K_A$ 와 Langmuir 흡착상수  $K_L$ 은 pH, 이온강도, 결합되는 무기 또는 유기 Ligands의 농도, 표면농도 및 그외의 인자의 영향을 받는 상수이다.

### 2.3 미생물 세포에 의한 용해성 중금속의 축적

미생물은 종류에 따라 각각 다른 방법으로 중금속을 축적한다. 어떤 미생물은 capsule이나 외부세포 중합체를 생성하지 않기 때문에 중금속을 cytoplasm이나 세포벽에 축적한다. Pseudomonas sp.종의 경우, 흡수된 중금속이 cytoplasm에서 적은 양이 축적되었고, 대부분의 양은 세포벽에 부착되었다.

또한, 미생물내에서 중금속 변환형태는, 주로 미생물 ligands와 중금속 부착에 의한 chelation formation, 금속 원자가의 변화, 한 중금속의 또 다른 중금속에 의한 대체 등이다. 중금속이 미생물 구성분자들과 결합되는 곳에서 이러한 분자들의 흡착은 세포내에 중금속을 축적하는 수단이 된다. 중금속은 세포벽에 부착되거나 침전이 되면 중금속의 독성이 감소하게 된다. 또한 외부세포 중합체의 산화하는 세포내의 중금속이 축적되게하는 한 요소이다.

수은, 납, 셀레늄은 몇몇 미생물에 의해 methylated되는 것으로 알려져 있는데, 미생물에 의한 중금속의 대사 변환은 중금속을 무독성으로 만들고 미생물들이 높은 중금속 농도에서도 생존할 수 있게한다.

### 2.4 대기중으로의 중금속의 휘발

수은의 경우 활성슬러지 공정에서 휘발되기도 하는데 폐수중에 존재하는 K.aerogenes는 폐수내의 수은을 대기중으로 휘발시킨다. 따라서 수은의 제거는 이러한 미생물에 의해 가능하나 그 양은 그렇게 많지않다.

## 3. 연구방법

도시하수에 많이 함유된 3종의 중금속 (Cd(II), Cu(II), Zn(II))에 대하여 활성슬러지내 미생물 floc의 중금속 흡착 및 축적작용에 의한 수용액상태의 중금속 제거과정에 대하여 회분식 실험을 통해 연구하였다.

각각의 인자 즉 pH, 중금속의 초기농도, MLSS (Mixed Liquor Suspended solids)농도 및 온도를 변화시키면서 활성슬러지와 중금속을 시간 경과에 따라 접촉시킨 후 원심분리를 통해 고액분리를 하여 각 인자에 따른 중금속의 농도변화, 슬러지에 축적된 중금속의 양등을 측정하였다.

### 3.1 실험재료

활성슬러지는 폐수의 구성성분에 따라 슬러지의 특성이 다소 상이하다.

본 실험에서는 서울특별시 소재 하수종말처리장의 2차침전지 반송슬러지를 채취하여 중금속과 활성슬러지간의 Kinetics를 연구하는데 이용하였다. 슬러지는 상징액이 매우 맑고, floc의 형성 상태가 매우 안정적이었으며, SVI는 55-96으로 침전성이 아주 양호하였다. 슬러지의 상태 변화를 줄이기 위

해 실험을 사용하기 전에는 계속 폭기를 행하였다. 광학현미경을 이용하여 미생물을 관찰한 결과 활성슬러지 공정의 운전지표 미생물인 원생동물로는 *Aspidisca*, *Vorticella*, *Opercularia*, 및 *Epistylis* 등과 같은 섬모충류가 우점종으로 나타났으며, 후생 동물로는 *Philodina*, 및 *Lecane* 등과 같은 윤충류가 관찰되었다.

또한 실험에 사용한 중금속 시료는 98% Cadmium Chloride( $\text{CdCl}_2 \cdot 5/2 \text{H}_2\text{O}$ ; M.W.=228.36), 97% Cupric Chloride( $\text{CuCl}_2$ ; M.W.=170.48), 및 90% Zinc Chloride ( $\text{ZnCl}_2$ ; M.W.=136.29)를 1,000mg/L로 조제하여 24시간 교반하였으며, 2차 증류수를 이용하여 0.5mg/l, 1mg/l, 10mg/l, 100mg/l 농도로 희석 사용하였다.

### 3.2 실험장치 및 방법

실험에는 활성슬러지와 중금속을 충분히 접촉시키기 위하여 온도조절 및 진탕횟수의 조정이 가능한 shaking water bath를 사용하였다.

실험은 pH, 중금속 초기농도, MLSS 농도 및 온도를 변화시키면서 활성슬러지와 중금속을 접촉시킨 후, 중금속의 시간에 따른 제거와 축적과정을 관찰하였다.

pH는 각각 3, 5, 7, 9 및 11로 변화시켰으며, 중금속의 초기 농도는 각각 0.5, 1, 10, 50 및 100mg/l로 하였다. MLSS농도는 1,500, 3,000, 5,000, 및 6,000mg/l로 활성슬러지 공정에서 적정 운전범위의 값을 택하여 pH를 조절한 후 shaking water bath에서 진탕하면서 각 인자에 대해 15분, 30분, 1시간, 2시간, 4시간, 6시간, 8시간 마다 시료를 채취하여 분석하였다. 온도는 10°C, 25°C 및 30°C에서 측정하였다.

등온흡착실험은 Cd(II)에 대해 20°C, pH 6.5에서 행하였다.

시료는 15mL 시험관에 채취하였으며 3,000rpm으로 10분간 원심분리하여 고액분리를 한 후, 상징액의 중금속 농도를 측정하였다. 농축슬러지는 다시 wet-digestion을 하여 축적된 중금속의 양을 측정하였다. 이때 wet-digestion은 autoclave에서 120°C, 1.05기압 하에서 2시간 동안 행하였으며, 슬러지가 완전히 분해되도록 digestion을 반복하였다.

### 3.3 분석 방법

모든 처리수의 분석은 Standard, Methods<sup>19)</sup>에

준하여 실시하였다. pH는 HI 8418 pH Meter를 이용하여 측정하였으며, 용존산소량은 YSI Oxygen Meter로 측정하였으며, 미생물의 관찰에는MEIJI사의 광학현미경(1,500X)을 이용하였다. 슬러지에 농축된 중금속의 측정을 위하여  $\text{HNO}_3$ - $\text{H}_2\text{SO}_4$  Wet-digestion을 이용하였다.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.5mL,  $\text{HNO}_3$  5mL, 및 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  2mL를 주입하고 시료량이 10-15mL가 되도록 증발시킨 후, 삼각 flask에  $\text{HNO}_3$  5mL,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10mL를 다시 주입하여 황산의 백연이 발생할 때까지 가열하였다. 이를 용량 flask에서 50mL로 희석한 후 상징액을 15mL 채취하여 중금속농도를 측정하였다. 중금속의 농도측정에는 Perkin Elmer 2380 Atomic Absorption Spectrophotometer를 이용하였다.

## 4. 결과 및 분석

### 4.1 등온 흡착

중금속의 슬러지표면 흡착량은 중금속이온의 특성과 흡착표면의 상태에 따라 달라지며, 용해성이 낮은 중금속일수록 MLSS 농도에 의해 더 영향을 받는다. 본 실험에서는 수용액 상태와 미생물 표면 흡착상태 간의 중금속 평형분포를 알기위하여 등온 흡착식을 이용하였다.

중금속 Cd(II)에 대하여 초기농도 9.09mg/L, pH 6.50, MLSS 농도 500-8,000mg/L, 온도 20°C 상태에서 등온흡착실험을 행한 결과는 그림 4.1과 같다. 표면결함모델에 의하여 등온흡착곡선의 직선 영역에 대한 조건흡착상수( $K_A$ )를 구할 수 있다. Cd(II)에 대한  $K_A$ 의 값은 5.90이었다.

### 4.2 pH의 변화에 따른 제거과정

pH는 유기물과 무기물 표면에서의 중금속 흡착에 영향을 주는 중요한 인자이다. 금속결합은 수산화물 결합과 용해성 ligands의 양전하 전위의 변화로부터 영향을 받는다. 흡착 site와 같은 미생물의 surface functional group은 pH에 의해 양전하 전위가 변한다.

pH변화에 따른 시간별 중금속 제거율은 그림 4.2, 4.3, 4.4와 같다. pH가 5인 경우 중금속 이온은 용액에 용해된 상태에서 미생물의 외부세포 중합체에 흡착되거나 미생물 세포에 축적되어 용액으로부터 제거되며 pH7-11의 범위에서는 중금속의 침전이 발생하여 중금속은 침전 및 흡착에 의하여 제거된다.

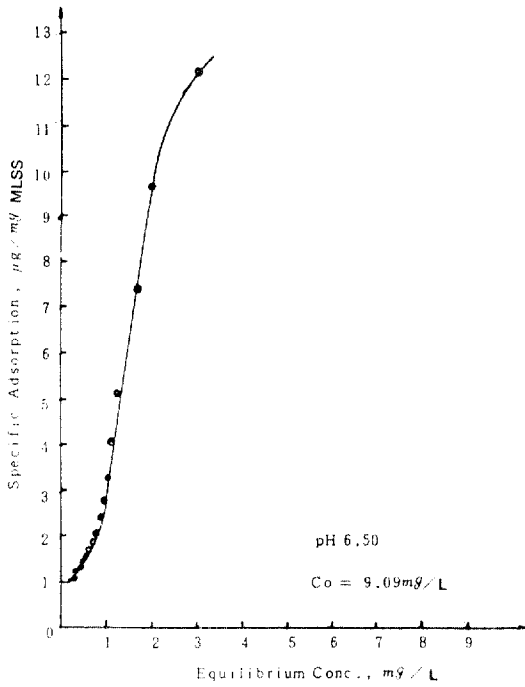


그림 4.1 Cd(II)의 등온흡착 곡선

그림 4. 2, 4. 3, 4. 4에서 중금속과 미생물의 반응은 초기 30분 내지 60분 이내에 대부분 일어나며, 그후 시간의 경과에 따라 제거율의 차이는 있으나 비교적 완만하게 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 미생물 flocc에 흡착된 중금속이 flocc과 함께 침전되어 상정액의 중금속농도가 감소한 것이다. 또한 pH가 증가함에 따라 중금속의 제거율이 증가하여 Cd(II)는 pH11에서 가장 낮은 용해도를 나타내므로 가장 높은 제거율을 보였고 pH5에서 가장 제거율이 낮았으며, Cu(II)와 Zn(II)는 pH9에서 제거율이 가장 높고, pH7과 pH11에서는 약간 낮은 제거율을 나타내었다. 이는 낮은 pH 또는 중성에서 미생물의 surface functional group이 양전하를 띠고, 높은 pH에서는 음전하를 띠므로 양이온인 중금속의 흡착은 높은 pH에서 보다 잘 일어나기 때문이다.

즉, pH는 중금속의 침전과 ligands의 양전하 전위를 변화시키므로써 중금속의 흡착에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

#### 4. 3 중금속의 초기농도 변화에 따른 제거과정

활성슬러지에 의한 중금속 제거는 초기의 속도결정 단계인 세포표면 및 세포간 생성물질에의 빠른

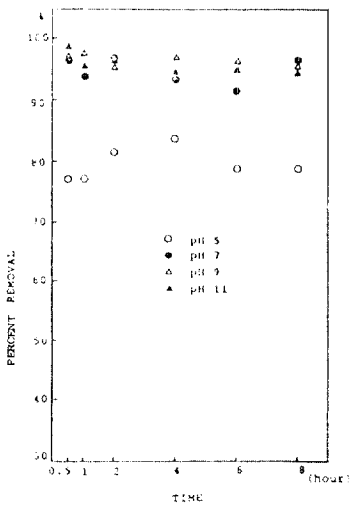


그림 4. 2 pH의 변화에 따른 Cd(II)의 제거율

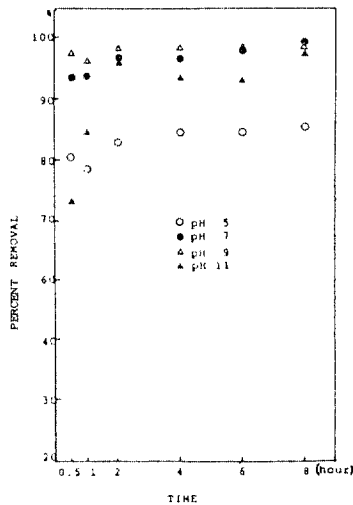


그림 4. 3 pH의 변화에 따른 Cu(II)의 제거율

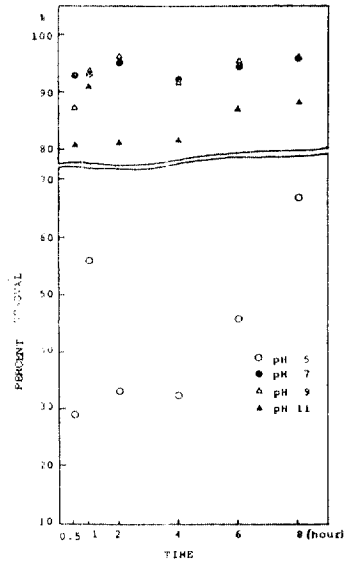


그림 4. 4 pH의 변화에 따른 Zn(II)의 제거율

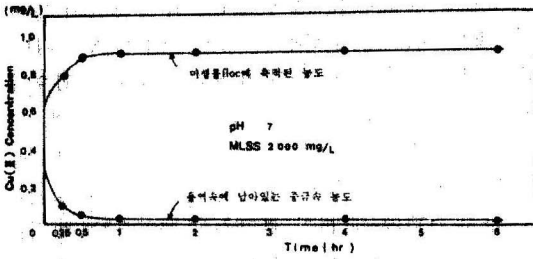


그림 4.5 Cu(II)의 시간에 따른 농도변화  
(초기농도 1mg/L)

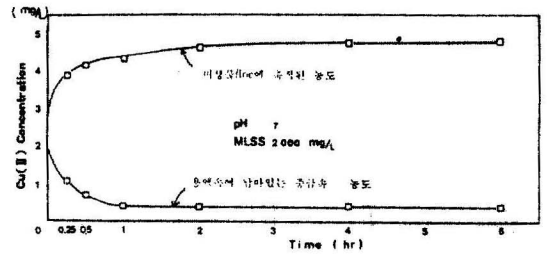


그림 4.6 Cu(II)의 시간에 따른 농도변화  
(초기농도 5mg/L)

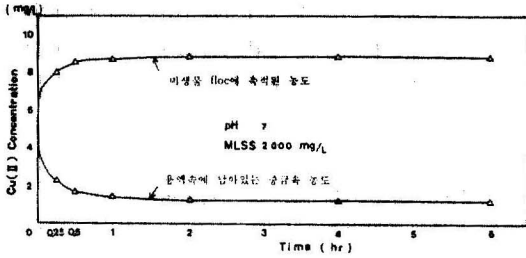


그림 4.7 Cu(II)의 시간에 따른 농도변화  
(초기농도 10mg/L)

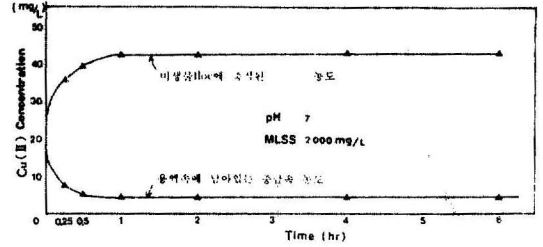


그림 4.8 Cu(II)의 시간에 따른 농도변화  
(초기농도 50mg/L)

흡착이 일어난 후 서서히 느린 흡착이 진행되는 것으로 알려져 있다.

Cu(II)에 대한 회분식 실험결과를 시간의 경과에 따라 초기농도별로 도시하면 그림 4.5, 4.6, 4.7, 4.8과 같다. 이들 결과로부터 흡착반응의 약 80%가 반응 직후로부터 15분 이내에 발생하고, 약 10%는 15분에서 1시간에 걸쳐 일어나며 그 이후의 반응은 아주 미약함을 알 수 있다.

또한, 중금속 농도에 따른 제거율의 변화를 관찰하기 위하여 중금속의 초기농도를 각각 0.45, 0.91, 9.09 및 90.9mg/L로 하여 중금속의 제거과정을 측정 한 결과는 그림 4.9와 같다. 중금속의 초기농도가 0.45mg/L일 때 각 중금속의 제거율은 80% 이상이었는 데, pH5에서는 중금속의 침전이 일어나지 않고 금속이온으로 존재하여도 흡착 site가 많기 때문에 제거가 잘된 것으로 판단된다.

높은 중금속 농도에서는 비교적 많은 양의 중금속이 침전상태로 용액중에 존재하며 중금속의 침전에 따른 미생물 flocc내에서의 물리적 trapping에 의하여 중금속은 제거된다. 90.9mg/L 농도의 중금속 용액에서는 제거율이 상당히 저하되었는데 이는

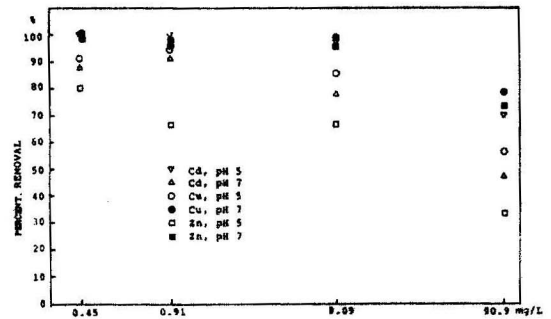


그림 4.9 초기농도의 변화에 따른 각 중금속의 제거율

높은 중금속 농도에 따른 미생물의 충격과 슬러지의 흡착용량에 한계가 있기 때문으로 판단된다. 동일한 농도에서 Cu(II)의 제거율이 가장 높았는데, 이는 Cu(II)의 용해도가 상대적으로 낮아 활성 슬러지와와의 친화도가 높았기 때문이다.

#### 4.4 MLSS 농도의 변화에 따른 제거과정

MLSS 농도의 변화에 따른 중금속의 제거율을 측정하기 위하여 중금속의 초기농도를 9.09mg/L

표 4. 1 MLSS 농도의 변화에 따른 각 중금속의 제거율 (%)

중금속	MLSS(mg/L)	1,500	3,000	5,000	6,000
	pH				
Cd(II)	5	68.0	82.2	81.1	88.5
	7	95.9	99.6	98.0	98.2
	9	95.5	97.4	97.2	97.7
Cu(II)	5	72.3	86.7	87.8	87.4
	7	94.7	97.8	99.8	99.8
	9	94.3	96.7	95.8	97.4
Zn(II)	5	46.4	74.4	85.8	96.1
	7	79.9	91.9	96.9	98.2
	9	80.4	92.5	97.9	99.0

로 하여 제거과정을 관찰하였다. MLSS 농도를 1500, 3000, 5000 및 6000mg/L로 변화시키면서 중금속의 제거율을 측정된 결과는 표 4. 1과 같다.

Langmuir의 흡착등온식은 미생물의 양이 증가할수록 중금속의 평형농도가 낮아짐을 나타내고 있다. 즉 MLSS농도가 커질수록 중금속의 제거율이 높아지는 것을 의미한다. 외부세포 중합체가 많이 존재할수록 활성슬러지 floc내에서의 침전된 중금속의 물리적 trapping과 미생물 외부세포 중합체에 용해성 중금속의 흡착이 많이 발생하므로써 중금속의 제거율은 높아진다.

실험결과 비교적 낮은 MLSS농도에서는 Cd(II)와 Cu(II)가 Zn(II)와 비교하여 더 높은 제거율을 보이고 있으며, 높은 MLSS농도에서는 Zn(II)가 Cd(II)와 Cu(II)에 비해서 더 높은 제거율을 보이고 있다. 또한 Cu(II)와 Cd(II)의 경우 낮은 MLSS농도로부터 높은 MLSS농도에 걸쳐 비교적 완만한 제거율의 변화를 나타낸 반면, Zn(II)의 경우에는 3000mg/L의 MLSS농도에서 비교적 급격한 제거율의 변화를 나타내고 있다.

또한 침전이 중금속의 제거에 주는 영향을 줄이기 위하여, 실험조건중 용해도가 가장 높은 pH 5에서 중금속의 초기농도 50mg/L, MLSS농도 2,000 mg/L와 3,000mg/L에 대하여 실험을 행하였다. 실험결과를 도시하면 그림 4. 10, 4. 11 및 4. 12와 같다. 앞의 실험결과와 비교하여, 침전의 영향이 배제된 상태에서의 MLSS농도에 중금속 제거율의 증가를 명확히 확인할 수 있다.

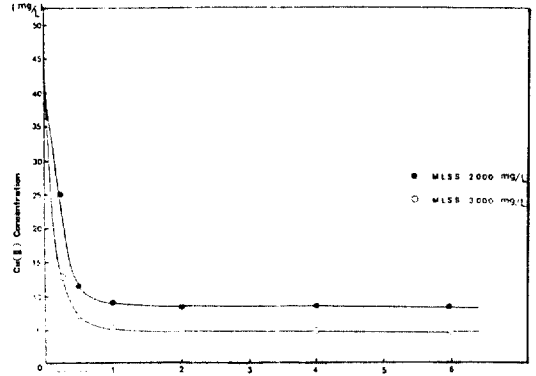


그림 4. 10 MLSS의 농도에 따른 Cd(II)의 제거

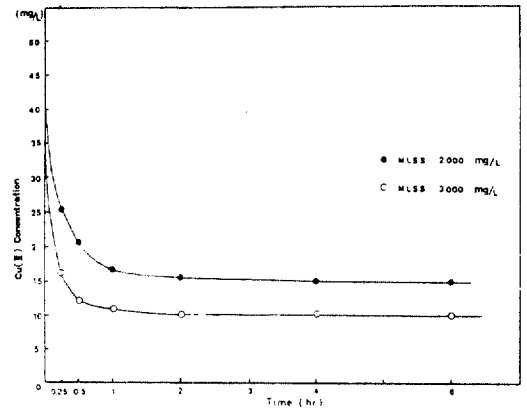


그림 4. 11 MLSS의 농도에 따른 Cu(II)의 제거

#### 4. 5 온도의 변화에 따른 제거과정

용액의 온도 10°C, 25°C, 30°C에 대하여 각각 중금속의 제거율을 측정된 결과를 그림 4. 13, 4. 14, 4. 15에 나타내었다. 각 중금속은 동일한 pH 및 MLSS농도에서 온도가 높아질수록 제거율이 증가하였다. 이는 비교적 높은 온도에서 중금속 이온의 활성이 증가하여 이온의 분자 확산을 증진시키고, 활성슬러지와 중금속 이온간의 결합을 좋게 하여 흡착이 잘 발생하기 때문이다.

또한 온도가 증가하면 미생물 floc의 surface functional group 형성이 활성화 됨으로써 중금속의 제거율은 증가하며, 반대로 온도가 낮아지면 SVI가 증가하므로 슬러지 floc의 침전성이 저하되어 중금속의 제거율 또한 감소한다. 본 실험에서는

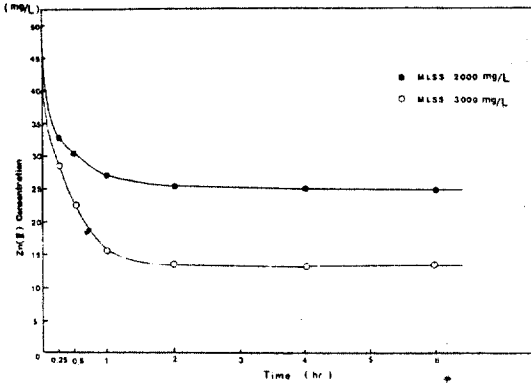


그림 4.12 MLSS농도에 따른 Zn(II)의 제거

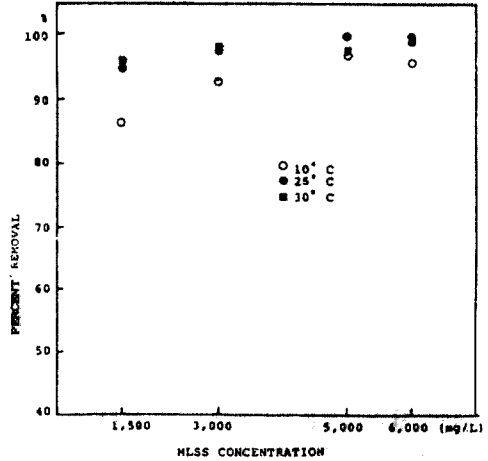


그림 4.14 온도의 변화에 따른 Cu(II)의 제거율

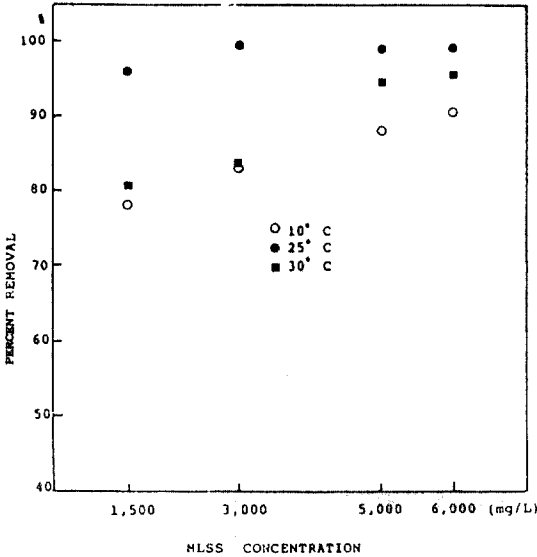


그림 4.13 온도의 변화에 따른 Cd(II)의 제거율

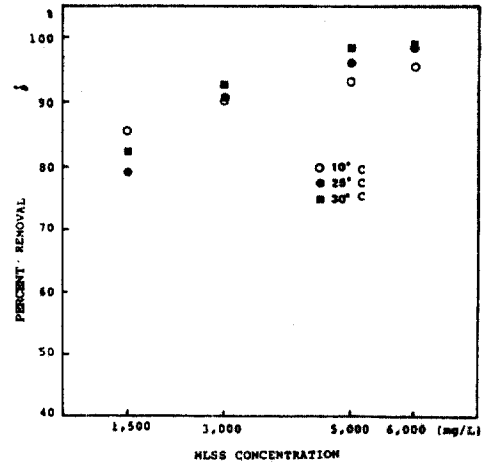


그림 4.14 온도의 변화에 따른 Cu(II)의 제거율

10°C에 비해 30°C에서, Cd(II)는 제거율이 15-20%, Cu(II)와 Zn(II)는 5%정도 높았다.

5. 결 론

본 연구는 활성슬러지 공정에서의 중금속 제거와 축적에 관한 실험적 연구로 실험을 통하여 얻은 연구 결과는 다음과 같다.

1) 활성슬러지에 의한 중금속 제거는 미생물 외부세포의 흡착 및 미생물 floc에의 축적에 의해 중금속이 고농도로 농축됨으로써 일어난다.

2) 등온흡착실험 결과 Cd(II)의 조건흡착상수 ( $K_A$ )는 5.90이었다.

3) 미생물 외부세포 중합체에 의한 중금속의 흡착은 반응 직후부터 15분만에 전체 흡착량의 80% 정도가 진행되며, 그 후 60분 정도에 걸쳐 10-15%가 일어나고, 나머지의 반응은 비교적 장시간 동안에 일어난다.

4) 회분식 실험결과 중금속의 흡착량은 Cu, Zn,



Cd의 순으로 감소하였다. 따라서 미생물 flocc과 중금속 이온간의 결합세기는 Cu(II)>Zn(II)>Cd(II)의 순으로 나타낼 수 있다.

5) 각 중금속의 제거율은 pH가 증가함에 따라 증가하였으며 pH 9에서 최대가 되었고, 중금속의 초기농도가 낮을 수록, MLSS 농도가 높을수록 증가하였다. 또한 온도 범위는 25°C-30°C일 때 중금속의 제거율이 높았다.

#### 감사의 말

본 연구는 1987-1988년 한국과학재단의 연구비지원에 의해 수행하였던 연구의 일부이며 동재단에 심심한 사의를 표한다.

#### 참 고 문 헌

1. Yoshimichi Maeda, Takatuga Azumi, "Accumulation of Heavy Metals by Activated Sludge", *J. of Fermentation Technology*, Vol. 60, No. 6, 1982, pp. 545-550.
2. Bagby, M. M., Sherrard, J. H., "Combined Effects of Cadmium and Nickel on the Activated sluge Process", *J.WPCF*, Vol. 53, No. 11, 1981, p. 1609.
3. Chang, S. Y., Huang, J. C., "Effects of Cadmuim and Copper on a Biofilm Treatment System", *Proc. 39th Ind. Waste Conf.*, Purdue Univ., 1984, pp. 305-312.
4. Stover, R. C., Sommer, L.E., and Silviera, D.J., "Evaluation of Metals in Wastewater Sludge", *J. WPCF*, Vol. 48, No.9, 1976, pp. 2165-2175.
5. Neufeld, R.D., Hermann, E.R., "Heavy Metal Removal by Acclimated Activated Sludge", *J. WPCF*, Vol. 47, No. 2, 1975, p. 310.
6. Stones, T., "The Fate of Chromium During the Treatment of Sewage", *Institute sewage Purification*, 1955, pp. 345-347.
7. Belford, D.S., and Preston, R.D., "Copper-Cellulose Complexes", *Nature*, Vol. 185, 1960, p. 911.
8. Christensen, H.N., "The Living Cell as a Metal Binding Agent", *Fedn. Am. Socs. Exp. Biol.*, Vol. 20, 1961, pp. 87-90.
9. Bender, E.M., Mastson, W.R., and Jordan, R.A., "On the Significance of Metal Complexing Agent in the Secondary Sewage Effluents", *Environ. Sci. and Technol.*, Vo.. 4, No. 6, 1970, pp. 520-521.
10. Adams, C.E., et al., "The Effect and Removal of Heavy Metals in Biological Treatment", *Heavy Metals in the Aquatic Environment*, ed. P.A. Krenkel, Pergamon Press, New York, NY., 1975.
11. Casey, J.D., "Removal of Copper and Cadmium by Metabolically Controlled Activated Sludge", *Proc. 32nd Ind. Waste Conf.*, Purdue Univ., 1977, pp. 141-151.
12. Akia Nakajima, Takashi Sakaguchi, "Selective Accumulation of Heavy Metals by Microorganisms", *Appl. Microbio. and Technol.*, Vol. 24, 1986, pp. 59-64.
13. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th ed., APHA, AWWA, WPCF, 1985.

(接受: 1990. 5. 19)