



### 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



**저작자표시.** 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



**비영리.** 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



**변경금지.** 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

**저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.**

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2008년 2월  
碩士學位論文

# 鍍金廢水の 重金屬 處理에 關한 研究

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

丁 淵 聲

# 鍍金廢水的重金屬處理에 관한 研究

A Study on the Removal of Heavy metal in  
Plating Wastewater

2008년 2월 25일

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

丁 淵 聲

# 鍍金廢水の 重金屬 處理에 관한 研究

指導教授 申 大 允

이 論文을 工學碩士學位申請 論文으로 提出함

2007년 10월

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

丁 淵 聲

# 丁淵聲의 碩士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 崔 炯 一 (印)

委員 朝鮮大學校 教授 鄭 京 勳 (印)

委員 朝鮮大學校 教授 申 大 允 (印)

2007년 11월

朝鮮大學校 大學院

# 目 次

List of Tables .....	iv
List of Figures .....	vi
Abstract .....	vii
I. 서론 .....	1
II. 이론적 고찰 .....	3
A. 도금폐수의 특성 및 처리방법 .....	3
1. 성상 및 처리방법 .....	3
2. Ni-Cr 도금공정 및 폐수발생원 .....	6
3. 폐수처리 현황 .....	8
B. 응집 처리 .....	10
1. 응집 이론 .....	10
2. 응집에 미치는 물리·화학적 영향인자 .....	13
3. 알루미늄과 pH의 관계 .....	14
C. 폐수중의 중금속 제거 .....	17
1. 중금속의 특징 .....	17
2. 중금속의 유해성 .....	17
3. 중금속 제거 .....	18
III. 실험재료 및 방법 .....	23
A. 실험재료 .....	23
B. 실험방법 .....	23
1. pH에 따른 영향 .....	23
2. 알칼리제 및 응집보조제의 영향 .....	23
3. 응집제의 영향 .....	23

4. 고분자응집제의 영향 .....	24
C. 분석항목 및 방법 .....	24
IV. 결과 및 고찰 .....	25
A. 도금폐수의 수질 특성 .....	25
B. 화학적 처리 .....	26
1. 황산알루미늄을 사용한 화학적 처리 .....	26
2. 염화제이철( $\text{FeCl}_3$ )을 사용한 화학적 처리 .....	37
3. 응집제에 따른 응집효율 비교 .....	46
V. 결 론 .....	47
참고문헌 .....	48

## List of Tables

Table 1. The hazardous compounds and the sources in the plating wastewater .....	4
Table 2. Estimated concentration ratios of ion pairs as a function of pH .....	16
Table 3. The removal effect of heavy metals in wastewater treatment process ..	19
Table 4. The analytical methods .....	24
Table 5. The Characteristics of plating wastewater .....	25
Table 6. The effect of pH in coagulation using alum .....	26
Table 7. The effect of alkalinity agent in coagulation using alum .....	28
Table 8. The effect of coagulation agent in coagulation using alum .....	29
Table 9. The effect of coagulation using of alum .....	33
Table 10. The effect of polyelectrolyte in coagulation using alum .....	35
Table 11. The effect of pH in coagulation using $\text{FeCl}_3$ .....	37
Table 12. The effect of alkalinity agent in coagulation using $\text{FeCl}_3$ .....	39
Table 13. The effect of coagulation agent in coagulation using $\text{FeCl}_3$ .....	40
Table 14. The effect of coagulant in coagulation using $\text{FeCl}_3$ .....	42
Table 15. The effect of polyelectrolyte in coagulation using $\text{FeCl}_3$ .....	44
Table 16. The comparison of removal efficiency according to each coagulant	47



## List of Figures

Fig. 1. The wastewater treatment procedure of plating facility .....	9
Fig. 2. Colloids particles of electrical double layer .....	11
Fig. 3. Coagulation mechanism .....	12
Fig. 4. Fate of Al ions and their coagulating activity affecting depressing during coagulation .....	15
Fig. 5. The effect of pH in coagulation using alum .....	16
Fig. 6. A plausible scheme of activated and deactivated aluminium species ..	27
Fig. 7. The effect of alkalinity agent in coagulation using alum .....	30
Fig. 8. The effect of coagulation agent in using diatom .....	31
Fig. 9. The effect of coagulation agent in using shoot .....	32
Fig. 10. The effect of coagulation using of alum .....	34
Fig. 11. The effect of polyelectrolyte in coagulation using alum .....	36
Fig. 12. The effect of pH in coagulation using FeCl <sub>3</sub> .....	38
Fig. 13. The effect of alkalinity in coagulation using FeCl <sub>3</sub> .....	41
Fig. 14. The effect of coagulant in coagulation using FeCl <sub>3</sub> .....	43
Fig. 15. The effect of polyelectrolyte in coagulation using FeCl <sub>3</sub> .....	45

# **ABSTRACT**

## ***A Study on the Removal of Heavy metal in Plating Wastewater***

by Jung Yun - Seong

Advised : prof. Shin Dae-yewn, Ph. D.

Environmental Bio-Engineering

Graduate school of Chosun University

Current process for treating plating waste water has disadvantage of complex steps which may cause economic and occupational hazard problems.

The objects of this study is to develop the removal of heavy metals in plating wastewater by using Alum and  $\text{FeCl}_3$ .

The optimum conditions which used Alum appeared region of pH 8.0, 500mg/ℓ dosage of alkalinity, 440mg/ℓ dosage of coagulant and 9.0mg/ℓ dosage of electrolyte.

And the optimum conditions using  $\text{FeCl}_3$  was range of pH 8.0, 400mg/ℓ dosage of alkalinity, 500mg/ℓ dosage of coagulant and 8mg/ℓ of electrolyte.

The removal rate of Cr in the supernatant which produced primary coagulation reached 96.9% by using of Alum, but 95.7% by using of  $\text{FeCl}_3$ .

## I. 서론

산업이 발달함에 따라 철금속 및 비철금속의 생산량이 급속히 증가하여 관련 사업체들로부터 배출되는 오염물질의 발생량이 매년 증가하고 있다. 금속공업은 1차 금속공업과 금속제품 제조업으로 분류할 수 있는데 금속제품 제조공장으로는 전기도금, 용융도금, 알루미늄, 인산염 피막처리, 산·알카리처리 등이 있으며, 이러한 공장에서는 공해의 대상이 되는 여러 가지 약품을 사용하기 때문에 자주 공해문제를 일으키고 있다.<sup>1)</sup>

특히 도금폐수는 유기물 농도가 낮고 산성 또는 알칼리성이며, 독성물질(맹독성인 CN화합물을 위시하여 Cr, Cu, Fe, Zn, Ni, Cd, Al, Sn, Pb, Ag, Au 등)과 유지 및 분해생성물, 킬레이트제, 계면활성제, 유기환원제 등을 함유하고 있으며, 공장의 규모, 작업량 및 도금의 종류에 따라서 성분과 함량이 다르다.<sup>2)</sup>

도금폐수의 어류에 대한 영향은 종류에 따라 다르며 폐수가 유입되는 하천의 수질, 크기, 지형, 바닥의 조건등에 따라 유해도가 달라진다. 이들 폐수는 하수 계통에 유입될 경우 하수관을 침식하거나 하수종말처리장에서 생물학적 처리를 현저히 방해한다. 또한 도금폐수는 독성이 강하여 농수산업, 기타 공중위생 등에 미치는 영향이 크므로 완전한 처리장치로 무해화한 후 방류하지 않으면 안된다.

1차 금속 제조시설에서는 제조과정에서 다량의 금속분말이 발생되고, 산 세척 및 표면 처리과정에서 중금속 성분이 용출되어 배출된다. 이와 같이 1차 금속 제조시설에서 배출되는 폐수는 질적 성분상 「무기성 유해물질을 함유한 폐수」로 분류되며 중화, 산화, 환원 및 응집 등 화학적 방법으로 처리하여 왔다.

또한 1차 금속 제조시설에서 발생하는 폐수의 배출량은 우리나라 전체의 폐수 배출량중 가장 많지만, 폐수가 혼합배출 되지 않고 공정별로 배출되어 처리하기 쉽고 폐수처리 과정에서 주요오염물질인 SS 및 중금속을 양호하게 처리하여 많은 업체들이 처리수를 재이용하기 때문에 방류량은 배출량의 6%정도이다.

도금폐수에 보편적으로 함유되어 있는 오염물질은 시안과 크롬을 비롯한 아연, 구리, 카드뮴 등의 중금속과 암모니아 등으로 현재 이들 물질을 처리하기 위해서는 물질별로 각각 다른 처리공정이 필요하게 되며 이에 따른 많은 장치비와 약품비가 소요된다. 하지만, 국내의 경우 대개의 도금업체들은 영세성을 면치 못하고 있어 도금폐수를 경제적으로 처리할 수 있는 방안 개발이 시급하다고 할 수 있다.

또한 현재 발생하는 도금폐수 중 크롬 및 기타 중금속의 처리를 위해서는 폐수의 낮은 pH변화가 요구되므로 작업상 위해 요건이 발생할 수 있고 경제적 부담요소로도 작용할 수 있다. 즉, 도금폐수는 산성상태로 발생하는 경우가 대부분이며 산성 범위에서는 크롬의 환원이 용이하므로 일부 도금폐수 처리업체에서는 크롬의 환원이 용이하므로 일부 도금폐수 처리업체에서는 크롬의 환원을 우선적으로 실시하게 되고 이에 따른 시안가스의 발생을 피할 수 없게 되어 작업자에게 치명적인 영향을 미치는 경우도 배제할 수 없다.

본 연구에서는 광주시내 하남공단에 J도금공장에서 발생하는 폐수의 중금속 제거 방안을 모색하기 응집제에 따른 제거효율을 파악하고자 한다. 또한 크롬계 폐수, Ni계 폐수 및 산·알카리폐수의 세종류로 분리 수집하여 처리를 하고자 함에 있을 뿐만 아니라 궁극적으로는 모든 도금폐수처리장에 확대 적용함에 목적이 있다.

## II. 이론적 고찰

### A. 도금폐수의 특성 및 처리방법

#### 1. 성상 및 처리방법

도금은 주로 금속 및 플라스틱 등을 소재로 하는 각종 제품의 표면을 전기적 또는 화학적 방법에 따라 석출된 비철금속질로 피복·가공하여 제품의 내식, 장식효과, 내마모성, 전기특성, 광택 및 열적특성 등 많은 기능을 추가하는 것을 의미한다. 이와 같은 특수성 때문에 도금산업은 일반잡화로부터 전자공업등 첨단기술산업에 이르기까지 여러 가지 산업과 관련되어 있다.

도금산업체에서 배출되는 폐수의 성상은 도금의 종류 및 공정에 따라 다양하다. 시안화도금, 전해세정, 알칼리세정, 및 도금박리 등의 공정에서는 시안화합물이 함유된 폐수가 배출되고, 크롬도금, 전해연마, 화학연마 등에서는 6가 크롬이 포함된다. 또한 각종 금속, 즉 구리, 아연, 납, 니켈, 크롬, 카드뮴등의 중금속음이 함유된 폐수가 배출되며, 산·알칼리 세정에 의한 산·알칼리폐수, 또한 각종 탈지과정에서는 유지, 계면활성제등 유기화합물 함유폐수가 배출된다.<sup>4)</sup>

도금공정은 크게 전처리공정, 도금공정, 세척공정등 3단계 공정으로 진행된다.<sup>5)</sup> 첫 단계인 전처리공정은 도금용 금속 혹은 플라스틱등의 표면처리 단계로서, 산·알칼리 용액을 사용하여 소재의 표면에 묻어 있는 기름, 흙, 산화피막 등을 제거하여 양호한 도금피막이 형성되도록 한다. 이때 세정효과를 높이기 위하여 계면활성제가 사용되므로 폐수중에 유기성분, 침전물 및 부유물이 함유되어 배출된다. 두 번째 도금공정은 도금하고자 하는 금속을 피복시키는 단계로서, 도금액중의 금속이온들이 양극에 부착된 대상물질의 표면에서 환원되어 도금되는 공정이다. 도금하고자 하는 물질은 주철이 대부분이며, 주철은 쉽게 산화되므로 산화를 방지하기 위하여 먼저 아연도금을 한 후 크롬이나 니켈도금을 하게 된다. 세 번째 세척공정에서는 도금 후 표면에 묻어 있는 도금원액을 물로 세척한다.

Table 1에 도금폐수의 유해성분과 그 주요 발생원을 나타내었다.

Table 1. The hazardous compounds and the sources in the plating wastewater

유 해 성 분		발 생 원	
		폐 수	농후폐액
액체유기물	유지류 · 계면활성제	탈지공정	탈지액
고체무기물	연마재 · 활성탄 · 금속분	각종공정	각종폐액
시 안	시안화물 NaCN, KCN 등	알칼리세정공정 전해세정공정 배럴 연마공정 도금공정	알칼리세정액 전해세정액 배럴 연마액 도금액
	시안착화합물 Na <sub>2</sub> Zn(CN) <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> Cd(CN) <sub>4</sub> Na <sub>3</sub> Ag(CN) <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> Ni(CN) <sub>4</sub> Na <sub>3</sub> Cu(CN) <sub>4</sub> NaAu(CN) <sub>2</sub> K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	아연도금공정 카드뮴도금공정 은도금공정 동도금공정 금도금공정	아연도금액 카드뮴도금액 은도금액 니켈도금박리액 동도금액 금도금액 전해세정액
크 롬	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	도금공정 크로메이트공정 에칭공정	크롬도금액 크로메이트액 에칭액
금 속	Al Cr · Fe · Ni · Cu · Zn · Ag Cd · Sn · Au · Pb등	알루마이트공정 각종공정 에칭공정	에칭액
산	HF · HCl · HNO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 등	에칭공정 전해연마공정	에칭액
알칼리	NaOH · KOH등	탈지공정 각종공정	탈지액

도금폐수의 대표적인 오염물질은 시안과 크롬등 중금속이다. 국내 대부분의 도금 업체들은 소규모이고 가난하여 폐수를 적절하게 처리하지 못하고 있는 실정이다.

시안화합물은 생물체에 매우 유독(치사량 : KCN-0.15mg)한 것으로 알려져 있다.<sup>6)</sup> 따라서 시안이 함유된 폐수는 안전하게 처리하여 배출기준 이하로 방류하지 않으면 안된다.

크롬 화합물은 직업성 발암물질로 지정되어 있으며, 호흡기를 통하여 신장이나, 폐 등에 장애를 주며, 피부궤양, 자극성 피부염 및 폐암등을 유발한다.

또한 6가 크롬이온은 특정유해물질로 분류되며, 3가크롬이온 보다 독성이 100배 이상 강하다고 알려져 있다.<sup>6)</sup>

시안을 함유한 폐수의 처리방법은 알칼리 염소주입법, 과산화수소에 의한 산화처리법, 오존산화법, 활성탄 흡착법, 생물학적 처리법등이 있다.<sup>7~13)</sup> 이들 중에서 가장 보편적인 방법은 알칼리성 염소주입법이다. 과산화수소 산화법은 산화제가 고가이고, 오존 산화법은 시설비와 유지관리비가 많이 들기 때문에 사용되지 않으며, 생물학적 처리법은 저농도일때 살수여상법이나 활성슬러지법등이 사용되고 있으나, 실제로는 여러 가지 문제점들이 많아 활용하기 어렵다.<sup>14)</sup>

6가크롬 함유폐수의 처리방법<sup>15)</sup>에는 환원침전법, 이온교환법, 전기화학적처리법(전해 환원법), 역삼투법, 증발회수법, 이온정화법 및 흡착법 등이 있다. 이들 방법 중  $Cr^{6+}$ 을  $Cr^{3+}$ 으로 환원시킨 후 알칼리를 이용하여 수산화크롬  $[Cr(OH)_2]$ 으로 침전시키는 환원 침전법이 주로 이용되고 있으나, 이 방법은 약품비가 많이 들고 슬러지 발생량이 많다는 단점이 있고, 특히 크롬폐수가 시안과 혼합되어 있을 때는 착염을 형성하기 때문에 처리하기 어려운 문제점이 있다.<sup>3)</sup> 또한 이온교환법, 흡착법 및 증류법등은 고농도일 때는 회수라는 측면에서 효율적이거나 저농도일때는 에너지가 많이 들고 이온교환수지와 흡착제의 값이 비싸기 때문에 경제성이 적다.

## 2.Ni-Cr 도금공정 및 폐수발생원

J 도금업체의 전자부품 생산량은 ABS도금공정중 수동공에서 ABS니켈크롬도금 135톤/일, ABS대용금, 흑진주도금을 27톤/일, 니켈바렐 도금공정중 니켈도금 72톤/일, ABS도금공정중 자동공정에서 ABS도금 240톤/일을 생산하고 있다.

도금공정의 주요 작업 공정의 내용은 다음과 같다.

### a) ABS도금(수동)

- 탈 지 : 피도물의 표면에 묻어 있는 OIL, GREASE, 기타 불순물을 알카리 세척제에 침적함으로써 제거
- 수 세 : 상온의 용수에 침적하여 세척
- 산처리시설(엣칭) : 황산을 이용하여 ABS표면을 부식시켜 도금이 용이하도록 표면을 변화
- 수 세 : 상온의 용수에 침적하여 세척
- 산처리시설(활성화) : 황산 및 활성제를 투입하여 ABS표면에 전기적 극성을 띄게 하여 도금에 용이하도록 표면을 변화
- 수 세 : 상온의 용수에 침적하여 세척
- 니켈도금 : 금속표면에 얇은 금속막을 입혀서, 금속의 표면을 녹슬지 않도록 하거나, 마찰 등에 잘 견디는 내구성을 지닌 또는 미려하고 광택이 있는 표면을 위하여 니켈도금조 속에 담가서 도금
- 동도금 : 니켈크롬도금의 전단계로 니켈크롬도금전 전기적 극성을 향상
- 박도금 : 금속표면에 얇은 금속막을 입혀서, 금속의 표면을 녹슬지 않도록 하거나, 마찰 등에 잘 견디는 내구성을 지닌 표면을 위하여 니켈도금 조 속에 담가서 도금
- 크롬도금 : 중크롬산이 용해된 조 속에 침적하여 도금
- 대용금도금 : 금속표면에 얇은 금속막을 입혀서, 금속의 표면을 녹슬지 않도록 하거나, 마찰 등에 잘 견디는 내구성을 지닌 또는 미려하고 광택이 있는 표면을 위하여 대용금도금조속에 담가서 도금
- 회 수 : 고가의 대용금도금 약품을 회수한다.
- 알카리처리시설 : 도금품을 운반하는 치구부분이 도금과정 중 도금되어 전기적



통전불량으로 피도물의 도금을 불완전하게 하므로 RACK박리제를 사용하여 치구의 도금막을 박리시킨다. 박리제를 박리조 속에 첨가하고 치구를 침적하여 박리

- 수 세 : 박리한 치구를 상온의 용수에 침적하여 세척한 후 공정에 이용된다.
- 검사, 출하 : 검사후 제품으로 출하함

#### b) 니켈도금(바렐)

- 니켈도금 : 금속표면에 얇은 금속막을 입혀서, 금속의 표면을 녹슬지 않도록 하거나, 마찰 등에 잘 견디는 내구성을 지닌 또는 미려하고 광택이 있는 표면을 위하여 니켈도금조 속에 담가서 도금
- 수 세 : 상온의 용수에 침적하여 세척(3회, 2회)
- 산 처 리 : 피도금물 표면의 금속염 등을 제거
- 탕 세 : 빠른 건조를 위하여 높은 온도의 용수에 침적
- 검사, 출하 : 검사후 제품으로 출하함.

#### c) ABS도금(자동)

- 탈 지 : 피도물의 표면에 묻어 있는 OIL, GREASE, 기타 불순물을 산 세척제에 침적하여 제거
- 수 세 : 상온의 용수에 침적하여 세척
- 산처리시설(엣칭) : 황산을 이용하여 ABS표면을 부식시켜 도금이 용이하도록 표면을 변화
- 수 세 : 상온의 용수에 침적하여 세척(8회)한다.
- 산처리시설(활성화1) : 후공정을 용이하게 하기 위해 특정의 환원제 용액 중에 침적하여 표면감도를 향상시킨다.
- 수 세 : 상온의 용수에 침적하여 세척(4회)
- 산처리시설(활성화2) : Sensi처리를 행한 수지를 이러한 용액에 침적하면 먼저 흡착된  $\text{Sn}^{+2}$ 의 환원작용에 의하여 촉매 활성이 강한 금속 미립자가 표면에 같은 모양으로 분포 및 형성
- 화학니켈도금 : 금속표면에 얇은 금속막을 입혀서, 금속의 표면을 녹슬지 않도록 하거나, 마찰 등에 잘 견디는 내구성을 지닌 또는 미려하고

- 광택이 있는 표면을 위하여 니켈도금조 속에 담가서 도금
- 스트라이크 : 전기도금 직전의 화학도금 표면은 산화피막이 있으므로 이를 제거하는 것으로 이를 활성화 즉 스트라이크 도금이라 함
  - 동도금 : 니켈크롬도금의 전단계로 니켈크롬도금전 전기적 극성을 항상
  - 회 수 : 고가의 약품을 회수한다.
  - 크롬도금 : 무수크롬산, 엔바이로크롬산이 용해된 조 속에 침적하여 도금.
  - 순 수 세 : 상온의 증류수에 침적하여 세척(1회)
  - 렉크박리 : 도금품을 운반하는 치구부분이 도금과정 중 도금되어 전기적 통전 불량으로 피도물의 도금을 불완전하게 하므로 RACK박리제를 사용하여 치구의 도금막을 박리, 박리제를 박리조 속에 첨가하고 치구를 침적하여 박리
  - 수 세 : 박리한 치구를 상온의 용수에 침적하여 세척한 후 공정에 이용
  - 검사, 출하 : 검사 후 제품으로 출하함.

### 3.폐수처리 현황

대상업소의 폐수발생량은 1일 46.73m<sup>3</sup>이며, 이중 자가처리가 41.12m<sup>3</sup>/일, 위탁처리를 5.61m<sup>3</sup>/일 있다. 위탁처리폐수는 크롬3가 도금공정에서 발생한 2.59m<sup>3</sup>과 ABS 도금 공정의 활성화와 수세에서 발생되는 니켈, T-N 및 T-P 함유폐수 3.02m<sup>3</sup> 이다. Fig. 1에 폐수처리 계통도를 나타내었다. 유량조정조에서 환원시설을 거쳐 pH 조정 후 황산반토와 고분자응집제를 이용하여 처리하고 있다.

화학적 응집처리로서 중금속을 제거하고 마지막으로 흡착탑을 통해 COD성분을 제거하여 배출하고 있다. 도금시설중 Ni 및 Cr 함유 폐액은 별도로 분류하여 위탁 처리하기 때문에 보통때는 pH, 중금속 및 COD등의 관리를 목적으로 폐수처리를 하고 있다.

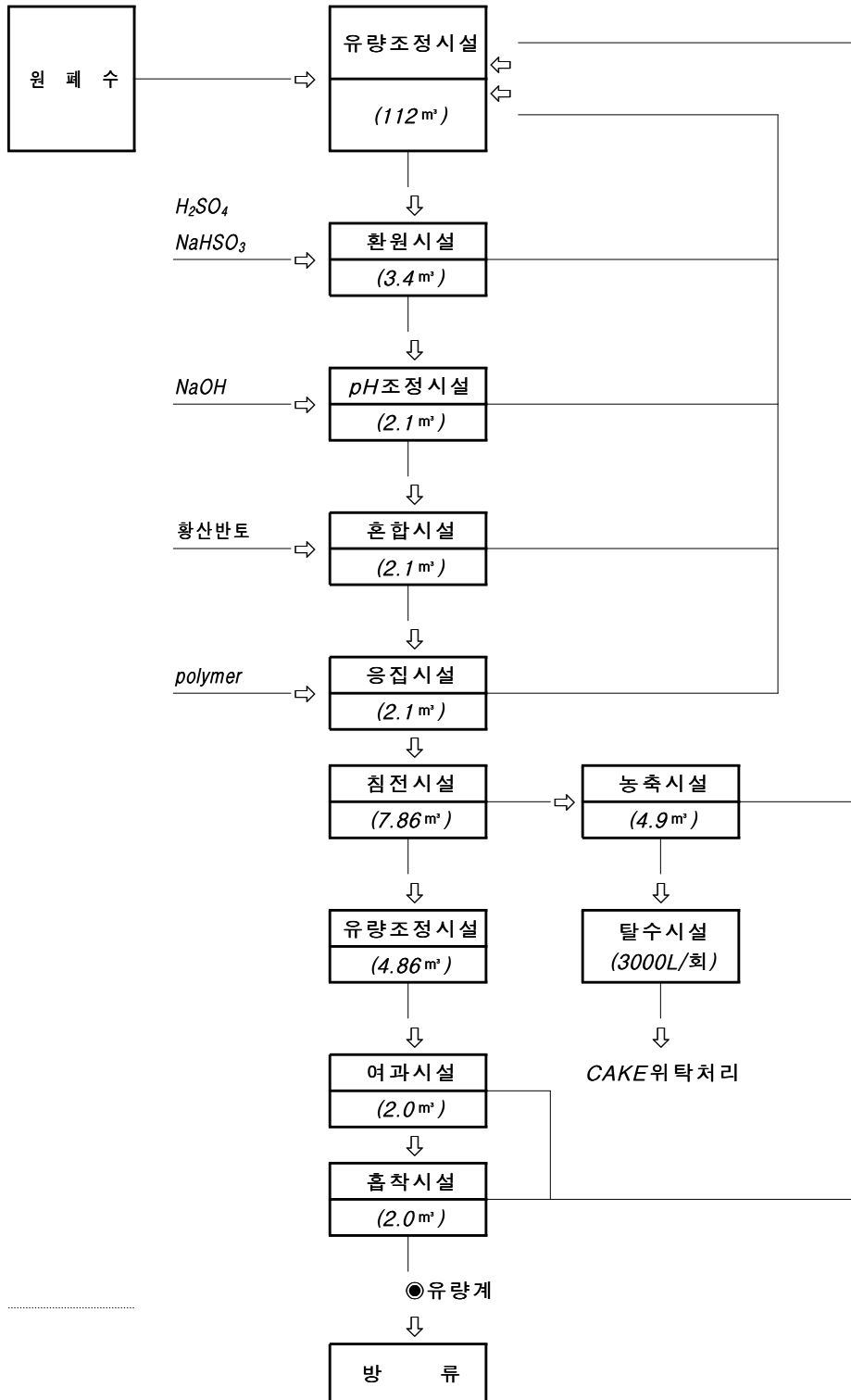


Fig. 1. The wastewater treatment procedure of plating facility.

## B. 응집 처리

### 1. 응집 이론

응집(coagulation)은 주로 현탁성 고형물이나 콜로이드 물질을 제거하기 위해 사용되는 폐수처리 방법이다. 콜로이드입자는 크기가 0.1~1.0nm이며 자연 침강하지 않기 때문에 물리적 처리로는 쉽게 제거할 수 없다.

콜로이드 물질은 물과의 친화력에 따라 소수성콜로이드와 친수성 콜로이드로 구분되는데 점토등과 같은 소수성 콜로이드는 물에 대한 친화성이 적으며 반대전하인 금속이온을 투입할 경우 불안정하게 되어 쉽게 응집된다.<sup>16)</sup> 그러나, 단백질과 같은 친수성 콜로이드는 물에 대한 친화성이 크며, 콜로이드에 흡수된 물은 flocc형성을 지연시키므로 이러한 물질을 응집처리하기 위해서는 특수한 방법이 필요하다.<sup>17)</sup>

콜로이드 입자는 보통 약한 음이온으로 하전되어 있기 때문에 용액중의 양이온과는 인력이 작용되고 음이온에 대하여는 반발력을 나타내므로 콜로이드 입자의 표면 가까이에는 양이온이 흡착되어 양이온 농도가 높고, 반대로 음이온은 바깥쪽으로 반발되어 음이온 농도가 낮게 되어 Helmholtz의 고정전기이중층(electrical double layer)이 형성된다. 한편, 수중의 이온은 열역학적 운동에 의하여 농도 분포가 균일하게 되기 위한 경향이 있음으로 콜로이드 용액중의 음이온과 양이온간의 농도 불균형은 입자의 표면으로부터 어느 정도 떨어진 곳까지 미치게 된다. 이렇게 넓어진 구조의 전기이중층을 Gouy Chapman의 확산이중층(diffused double layer) 또는 Gouy층이라고 부르고 있다.

입자의 바로 표면에는 반대이온 또는 반대 전하를 가진 미립자가 흡착되어 고정층을 형성하고 있다고 하여 이를 Stern층 이라 하고 Stern층과 확산이중층의 두가지 층이 콜로이드의 외측 부분을 형성하고 있으며, 이것을 Stern-Gouy 이중층이라 한다.

콜로이드 입자간의 전기이중층 모델을 Fig. 2에 나타냈다.

이와 같이 이중층은 전위가  $\Psi_0$  에서  $\Psi_s$  로 떨어지는 치밀층(Compact Layer, Stern)과 열역학적 교란 때문에 치밀층의 외부에 어느 정도 거리까지 반대전하이온의 농도가 높은 Gouy확산층으로 구성되어 있다.

Gouy확산층 전단면에서의 전위를 zeta potential( $\zeta$ 전위)라 하며 zeta potential은

콜로이드의 표면전하와 용액의 구성성분에 따라 변한다. 입자간의 응결이 일어나려면 zeta potential을 감소시켜야 하며, 입자의 하전과 반대하전을 가진 응집제를 용액에 첨가하여 응집을 촉진시키게 된다.

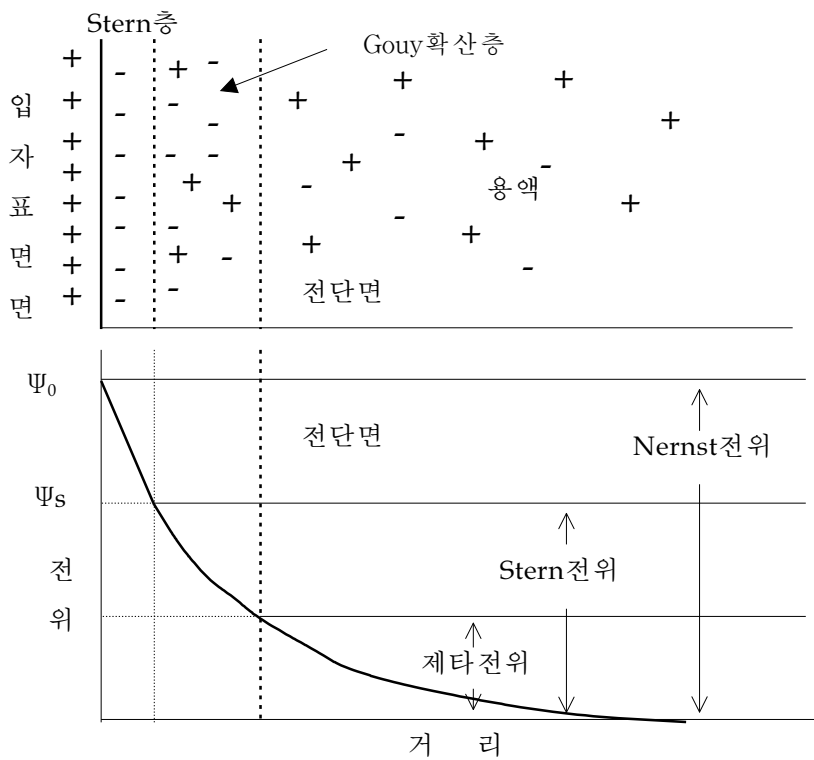


Fig. 2. Colloids particles of electrical double layer.

응집은 Fig. 3에서와 같이 두 가지 기본 mechanism으로 일어난다. 계면 동전응집 (electrokinetic coagulation)에서는 zeta potential이 반대 전하의 이온이나 콜로이드에 의하여 van der waals 인력 이하의 수준으로 감소하면서 일어난다. 정동적응집 (orthokinetic coagulation)에서는 micelle이 모여서 덩어리가 되는데, 이것이 콜로이드 입자들을 뭉치게 한다. 또한 다가 양이온은 입자 전하와 이중층의 유효 거리를 억제하며, 결과적으로 zeta potential을 감소시키게 된다.

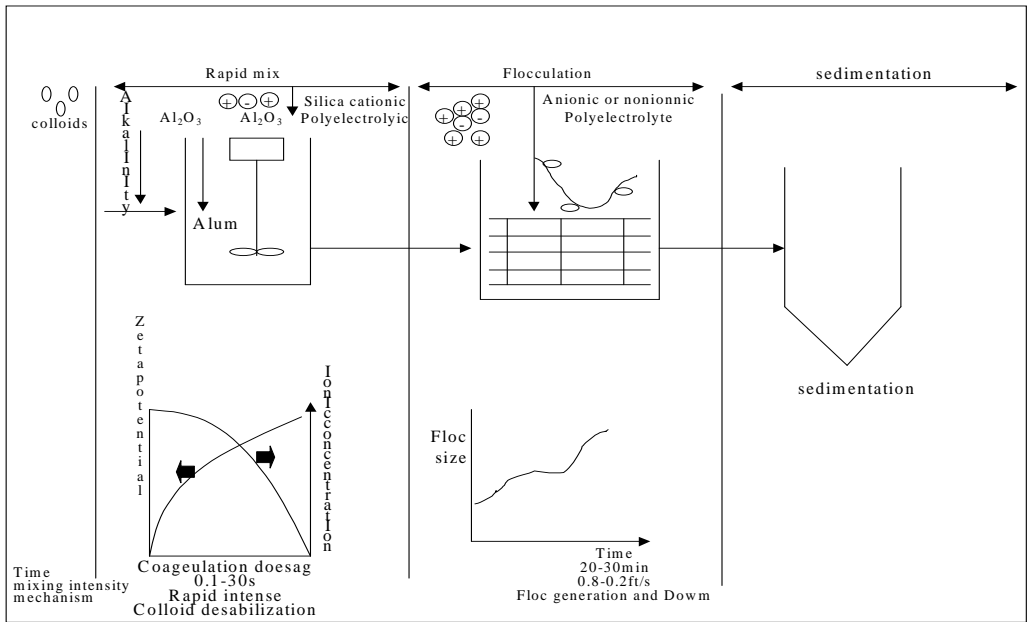


Fig. 3. Coagulation mechanism.

## 2. 응집에 미치는 물리·화학적 영향인자

응집에 미치는 물리·화학적 영향인자는 수온, pH, alkalinity, 탁도, 유기물 농도, 응집제 및 응집보조제의 첨가량, 교반속도 등이다.

현탁용액의 수온, pH는 콜로이드 입자의 표면전하를 일으키는 분자의 해리와 응집제의 해리등에 영향을 주므로 응집력에 크게 영향을 미친다. 응집제의 종류에 따라 pH범위가 다르며, 응집효과를 높이기 위해서는 응집제별로 적정 pH범위에서 응집처리를 하여야 한다.

무기응집제는 수중에서 알칼리도와 작용하여 수산화물 침전을 생성하며 응집효과를 나타내기 때문에, 투입되는 응집제와 반응할 일정량의 알칼리도가 존재하여야 한다. 따라서 수중의 알칼리도가 낮거나, 응집제의 투입량이 많을 경우에는 알칼리제를 투입하여 알칼리도를 보충해 주어야 한다.

콜로이드 입자간의 응결이나 응집이 일어나게 하려면 우선적으로 표면전하의 중화, 응집제에 의한 가교작용등이 필요하며, 콜로이드 상호간의 충돌의 기회를 많게 하기 위해 유체의 교반을 통한 난류를 형성시켜야 한다. 그러나 과도하게 교반하면 유체의 흐름에 대한 속도경사(velocity gradient)의 증가에 따라 전단력이 증가되어 응집된 floc이 붕괴된다.<sup>18)</sup>

### 3. 알루미늄과 pH의 관계

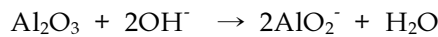
수산화 알루미늄의 실제 화학적 형태는  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{XH}_2\text{O}$ 로서, 양쪽성이므로 조건에 따라 산과 염기로 작용할 수 있다.<sup>15,19)</sup>

산성 조건에서  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의  $K_{sp}$ 는 다음과 같다.

$$[\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^3 = 1.9 \times 10^{-33}$$

$\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 용해도는 pH 4.0에서 51.3mg/ℓ이다.

알칼리성 조건에서 수산화알루미늄은 아래와 같이 해리한다.



$$[\text{AlO}_2^-][\text{H}^+] = 4 \times 10^{-13}$$

pH 9.0인 수용액중의 알루미늄 농도가 10.80 mg / ℓ이다.

$\text{Al}(\text{OH})_3$  flocc이 가장 용해되기 어려운 것은 pH 7.0 부근이다. pH 7.6 이하에서는 flocc 전하가 양(+)이고 pH 8.2 이상에서는 음(-)이며, 이 범위에서는 flocc 전하가 혼합된다.

응집보조제(coagulant aids)는 어떤 약품을 첨가할 때 flocc이 크고 단단해지며 빨리 침강할 수 있도록 도와주는 기능을 갖는다. 고분자 전해질(poly electrolyte)은 흡착성 관능기를 갖고 있으므로, 입자나 하전 flocc 사이에 가교를 형성한다.<sup>14)</sup> 따라서 고분자 전해질을 소량(1~5mg/ℓ) 첨가하면 큰 flocc(Φ0.3~1mm)이 형성된다. 양이온성 전해질은<sup>15)</sup> 음하전 콜로이드나 flocc입자에 흡착하며, 음이온성 전해질은 콜로이드 입자상의 음이온기를 대체하여 콜로이드의 고분자 사이에 수소결합이 이루어지게 한다. 비이온성 전해질은 흡착하여 고체 표면과 고분자중의 극성기 사이의 수소결합에 의하여 flocc을 형성한다.<sup>20)</sup>

Fig. 4는 응집의 핵심체인 Al이온이 물속에서 수화반응을 하는 과정에서 플럭의 생성메카니즘을 나타낸 것이다. 수화반응이 부분적으로 일어나면서 응집반응이 일어나는지 또는 수화반응이 100%일어난 후 응집반응이 일어나는가에 따라 입자의 퍼텐셜 감소에 상당한 영향이 있으며, 플럭의 생성 및 침전에도 영향을 미친다. 부분적으로 수화된 Al이온은 입자의 표면을 둘러싸면서 전하를 강하게 중화시킬 수 있는 반면, 수화반응이 완전히 일어난 Al 종( $\text{Al}(\text{OH})_3$ )은 전자에 비하여 중화능력이



상당히 떨어지는 것으로 알려져 있다.

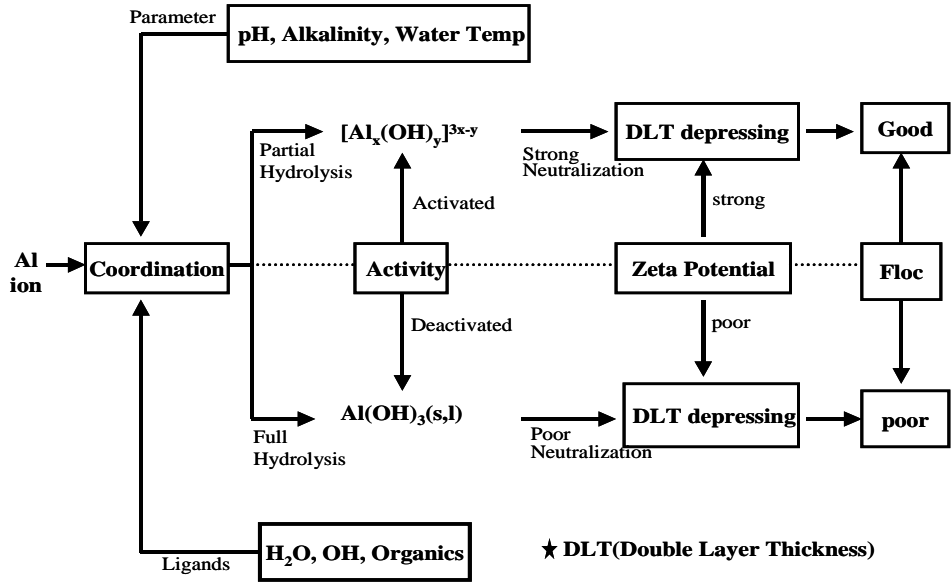


Fig. 4. Fate of Al ions and their coagulating activity affecting depressing during coagulation.



## C. 폐수중의 중금속 제거

### 1. 중금속의 특징

중금속(heavy)은 비중이 4 이상 되는 금속원소로서 인류가 금속을 이용하기 시작하면서 인체에 대한 위해인자로 대두되기 시작하였다. 특히 산업화 과정에서 공업의 급속한 발전과 인구의 도시집중, 그리고 인간 활동의 증가는 중금속에 의한 환경오염을 초래하였다. 이러한 중금속 오염은 인체에 대한 직접적인 노출과 아울러 우리들의 식품을 오염시켜 궁극적으로 국민보건을 위협하기에 이르렀다.

금속원소는 미량으로 인해 필수 불가결한 것(Fe, Zn, Cu, Co 등), 그리고 그의 생리적 특성이 알려지지 않은 것(As, Cd, Co 등), 그리고 그의 생리적 특성이 알려지지 않은 것(Ag, Ni, V, Sb 등)의 세 가지 그룹으로 나눌 수 있다. 두 번째 범주에 속하는 것들은 생물체 본래의 구성성분이 아니고 동식물의 생육과정이나 식품의 가공, 저장 중에 외부에서 오염되어 들어가는 이른바 환경오염성 유해금속(environmental toxic metal)으로서 인체에 비교적 독성이 강하기 때문에 식품안전성에서 관심이 쏠리고 있으며 이들을 흔히 유해금속 또는 중금속이라 부르고 있다.

중금속에 의한 대표적인 인명피해로는 일본에서 Hg으로 인한 미나마타병(minamata disease)과 Cd로 인한 이따이이따이병, 그리고 이란에서 중자소독용 유기수은제에 의한 집단사고 등을 들 수 있다. 국내에서 중금속에 의한 집단피해는 아직 보고되고 않고 있으나 작업장에서 중금속 중독환자가 가끔 발생되고 있고 공업단지 주변의 주민들에 의한 피해호소가 자주 일어나고 있으며 한국인의 머리카락에서 높은 농도의 중금속이 검출되고 있다. 이러한 상황은 국내에서 중금속에 의한 환경오염이 진행되고 있으며 한국인이 섭취하는 식품의 중금속 오염이 우려할 단계에 도달하고 있음을 예고해주는 것이라 생각된다.

### 2. 중금속의 유해성

중금속은 우리 몸속에 들어오면 바로 배출되지 않고 단백질에 쌓이게 된다. 단백질은 세포를 구성하는 물질이고, 세포내에서 수많은 화학반응의 촉매역할(효소)을 하고 있으며, 병원균에 대한 항체를 만든다. 그리고 그 종류는 매우 많은데, 예를

들면 케라틴이라는 단백질은 사람의 머리털이나 손톱을 구성하는 단백질이며, 헤모글로빈은 적혈구 속에 들어있는 단백질로서 산소를 운반하는 역할을 하고 콜라겐이라는 단백질은 뼈를 구성하는 칼슘을 단단하게 붙여주는 역할을 한다. 그런데 단백질의 구조상 중금속은 단백질에 잘 붙고, 단백질에 붙은 중금속은 단백질의 고유한 구조를 깨뜨려 단백질의 기능을 저하시킨다.

이런 중금속의 작용은 몸속에 아주 조금 들어 있을 때에는 병으로 나타나지 않지만, 허용기준치 이하일지라도 장기간 노출되는 경우에는 몸속에서 배출되지 않고 쌓이게 되므로 매우 위험하게 된다. 그리고 허용기준치는 성인을 기준으로 정해진 것이므로 아이들에게는 훨씬 더 위험하다.

동식물체내에 0.01% 이하로 존재하고 있는 금속원소를 통상 미량원소라고 하는데, 그 중에서도 구리, 철, 아연과 같이 정상적인 발육과 신진대사에 필요한 필수원소가 있는가 하면 생체 내에 불필요한 것으로 알려진 수은, 카드뮴, 납과 같은 금속들이 있다.

그러나 어느 원소이든지간에 생물체가 필요한 이상이 체내에 축적될 경우 생물체에 피해를 준다. 각종 중금속에 의한 대기 오염은 주로 제련소, 광산, 도금공장 등 특수 금속을 원료로 하여 가공되는 공업단지 주변에서 발생하지만, 그 입자의 크기, 지형, 기상상태에 따라 오염원 주변은 물론 먼 거리까지 확산되어 큰 피해를 준다.

### 3. 중금속 제거

폐수 처리의 일반적인 개념은 쉽게 처리되는 오염 물질로부터 처리를 시작한다. 예를 들어서 침전 가능한 물질은 우선 쉽게 침전 등을 통해 제거시키고 물에 뜨는 물질은 screen과 같은 것을 제거시킨 후에 용해상태의 오염물질을 제거시키게 된다.

독성물질이나 중금속에 있어서도 여러 가지의 오염물질이 복합된 경우가 많으므로 쉽게 제거되는 물질부터 제거시킨다. 또한 생물학적 처리가 필요한 경우에는 중금속이나 독성물질이 미생물에 영향을 주므로 이러한 문제를 먼저 제거시켜야 한다.

비교적 순도가 높은 중금속이나 독성물질은 이온 교환수지, 전기분해 등으로 처리 회수시킬 수 있으나, 순도가 매우 떨어지며 기타 오염물질등과 혼합되어 있는 경우에는 이러한 방법만에 의해서 처리되기는 힘들다.

폐수 속에 존재하는 중금속들에 대한 각 공정별 제거 효율을 보면 다음과 같다.

Table 3. The removal effect of heavy metals in wastewater treatment process  
unit : %

Kind of heavy metal	Range of conc.(mg/l)	Bio treatment	Ca(OH) <sub>2</sub> + A.C	FeCl <sub>3</sub> + A.C	Alum + A.C
cadmium	<0.008-0.142	20~45	99.6	98.6	55.2
chromium (III)	<0.020-0.700	4.0~80	98.2	99.3	99.3
copper	<0.020-3.36	0~70	90	96	98.3
mercury	<0.0002-0.044	20~75	91	99	98.3
nickel	<0.0020-8.80	15~40	99.5	37	37
lead	<0.050-1.27	50~90	99.4	99.1	96.6
zinc	0.030-8.31	35~80	76	94	28

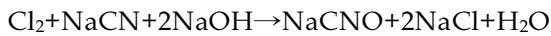
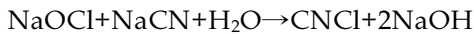
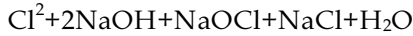
#### a) 시안(CN)

시안이 배출되는 주요 공정은 도금, 선광, 철강 열처리, 도시가스 제조공장이다. 시안은 C와 N으로 구성되어 있으므로 미생물에 독성을 끼치지 않는 범위 내에서 생물학적 처리도 가능하다. Murphy와 Nesbitt에 의하면 완전 혼합 활성슬러지 (complete mixing activated sludge)로 시간당 MLVSS(mixed liquor volatile suspended solids) 1g에 대해서 약 5mg의 CN<sup>-</sup>를 완전히 제거시켰다고 한다. MLVSS는 미생물의 양으로써 일반 하수의 생물학적 처리시에 25mg/ℓ의 시안이 제거 가능함을 말하여 준다. 일반하수와 같이 유기물질이 많고 CN의 농도가 적은 경우에 있어서 좋은 방법이다.

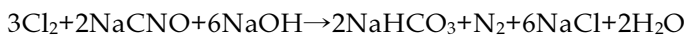
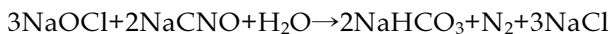
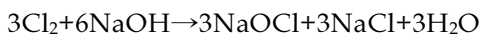
반면에 유기물질이 매우 적고 CN이 많은 경우에는 화학적인 산화방법이 흔히 사용된다. 산화제로서는 흔히 염소 가스가 사용되며 pH 10~11.5에서 산화시키는

부분적 산화 방법과 pH 8.5~9.5에서 산화시키는 완전 산화 방법이 사용된다. 부분적 산화와 완전 산화의 화학 방정식은 다음과 같다.

■ 부분적 산화(cyanides를 cyanates로 전환)



■ 완전산화(CN→N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>)



상기 산화 식에서 pH가 낮게 되면, 생성 가스는 NCl<sub>3</sub>로 된다. 1kg의 CN염을 제거하는데 6.73kg의 Cl<sub>2</sub>가 소요되며, pH조절용으로 1kg Cl<sub>2</sub>사용량에 대해 1.13kg NaOH가 소요되나 실제에 있어서는 Cl<sub>2</sub>을 소요량보다 약50%가량 더 주입시킨다. Cl<sub>2</sub>이외에도 sodium이나 calcium hypochlorite도 사용되며 NaOH 대신 CaO나 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>도 사용된다. 상기 반응에서는 열이 발산되는데 100mg/ℓ CN에 대해 약 7~8F 정도로 수온이 증가된다.

또한 소규모 공장에서는 시안 폐수에 황산을 주입시켜서 HCN 가스를 대기로 방출시키는 방법도 간혹 사용한다. 이 방법의 결점은 대기오염 문제와 유출수 내에 약 1mg/ℓ의 CN이 잔류되는 점이다.

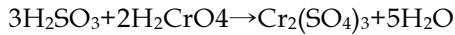
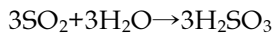
대체로 시안은 완전 산화를 위하여 처리를 하나 비교적 독성이 약한 NaCNO로 방류시켜도 되는 곳에서는 부분산화 방법을 사용한다.

b) 크롬(Chrome)

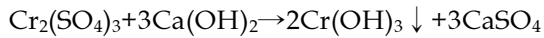
크롬은 도금 공장, 안료 공장, 피혁 공장 등에서 배출된다. 크롬은 6가가 독성이 있으므로 3가로 환원시킨 후에 수산화물로 침전시키는 방법을 흔히 사용한다.

크롬에 관한 화학 방정식을 보면 환원 과정과 수산화물로 만드는 과정으로 구성되었다.

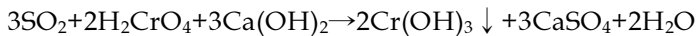
■ 환원과정



■ 수산화물



두 과정을 결합시킨 화학방정식은 다음과 같다.



크롬 6가를 3가로 환원시키는데 소요되는 시간은 pH와 관계가 깊은데 pH 2~3에 서는 약 10~30분이 소요되며 pH4에서는 60분이 소요된다. 따라서 환원은 낮은 pH에서 진행시킨다.

크롬 3가의 침전은 pH 8~11에서 이루어지며(amphoteric), 가장 좋은 pH는 약 9이다. 크롬의 환원제로서는 SO<sub>2</sub> gas, FeSO<sub>4</sub>, sodium bisulfate, sodium metabisulfate가 사용되며 이론적으로 볼때 1kg Cr<sup>+6</sup>에 대해서 1.85kg의 SO<sub>2</sub>가 소요되는데 실제로는 10~20%가량 더 가해 준다. 만약 너무 많은 양의 환원제를 주입시키면 폐수내의 용존산소를 고갈시킨다.

크롬이 함유되어 있는 폐수는 급속혼합에 의한 환원조 2개를 직렬로 연결시켜 처리시키며 각 혼합조의 체류시간은 약 45분, 그 유출수의 pH는 필요한 정도까지 증대시켜 준다. 현 환경본전법의 배출허용 pH가 8.6~9이므로 pH 8.5 정도로 조정시킨 후 여과한다.

c) 아연(Zn), 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 망간(Mn)

아연, 구리, 카드뮴, 망간의 일반적인 처리 방식은 수산화물로 침전시키는 방법이다. 금속물질의 수산화 침전법 외에도 CN과 크롬을 이온 교환법, 흡착법으로 제거시킬 수 있다. 또한 유화물을 결합시켜서 불용성 침전물로 제거시키는 방법도 사용된다.

d) 납(Pb)

총 납(total lead)을 Pb(T)라고 할 때 이것이 용해 될 때의 일반식은 다음과 같다.

$$Pb(T)=[Pb^{2+}]+[HPbO_2^-]=4.5\times 10^{12}[H^+]^2+\frac{4.6\times 10^{-16}}{[H^+]}$$

즉 pH를 증대시키면  $HPbO_2^-$ 는 증가하고  $Pb^{+2}$ 는 감소된다. 하지만 실제에 있어서는 납이 폐수내의 기타 금속 수산화물과 공침을 하여 수용성 납의 농도는 매우 작게 된다. 특히 납이온은 물에 존재하는 음이온과 결합하여 난용성 납염을 형성하므로 폐수처리에 있어서의 납은 큰 문제가 안 된다.

납을 함유하는 폐수처리에는 다음과 같은 5가지 방법이 있다.

- (a) 난용성 염으로 납을 분리 제거하는 방법
- (b) 공침흡착을 이용하는 방법
- (c) 전기분해방법
- (d) 이온교환 수지를 사용하는 방법
- (e) 추출분리방법

상기 방법중에서 난용성염으로 납을 제거하는 방법과 공침을 이용하는 방법이 흔히 사용되며 수산화물로 응집침전 시킨다. 응집제로는 소석탄, 3가 철 및 황산알루미늄이 사용된다.



### III. 실험재료 및 방법

#### A. 실험재료

본 연구 대상의 시료는 광주시 하남산단에 위치한 도금업체의 폐수를 대상으로 하였다. 폐수발생단계에서 Cr과 Ni 함유폐수만을 채수하여 다른 중금속의 영향을 배제하였다. 응집실험은 Jar - tester(model : DYS-9303)를 사용하였으며, 최고 회전수는 300rpm이고, 6개의 패들을 갖추고 있다.

#### B. 실험방법

##### 1. pH에 따른 영향

알칼리제로서 NaOH 20%용액을 사용하여 시료의 pH를 5.5~9.0로 조정하고 황산알루미늄 440mg/ℓ, 염화제이철 500mg/ℓ를 주입하여 200rpm에서 2분 급속교반 후 고분자 응집제를 6mg/ℓ 주입하고, 50rpm으로 10분 동안 완속교반 후 30분 동안 정치시켜 상징액의 수질을 분석하였다.

##### 2. 알칼리제 및 응집보조제의 영향

알칼리제인 NaOH와 Ca(OH)<sub>2</sub>의 영향을 비교하기 위하여 알칼리제의 양을 변화시키면서 실험하였다. 또한 응집보조제의 영향을 알아보기 위하여 규조토와 검댕의 양을 변화시키면서 실험하였다. 검댕은 L석유화학 정유정제공장에서 배출된 것으로 미세한 기공을 가지고 있어 흡착능을 고려하여 응집보조제로 가치를 알아보고자 하였다. NaOH 주입량을 200~700mg/ℓ, Ca(OH)<sub>2</sub> 주입량을 100~600mg/ℓ로 변화시키면서 황산알루미늄과 염화제이철용액 일정량을 주입하고 각각 2분 동안 급속교반 후 고분자응집제를 6mg/ℓ씩 주입하여 10분간 완속교반 후 30분간 정치시켜 상징액의 수질을 분석하였다.

##### 3. 응집제의 영향

응집제의 영향을 조사하기 위해 일정량의 응집보조제를 주입하고, 황산알루미늄

주입량을 320~520mg/ℓ, 염화제이철 주입량을 300~800 mg/ℓ 로 각각 변화시키면서 2분간 급속교반하고 고분자 응집제는 6mg/ℓ 씩 주입한 후 10분 동안 완속교반 후 30분 동안 정치시켜 상징액의 수질을 분석하였다.

#### 4. 고분자응집제의 영향

선정된 응집보조제의 적정량과 적정량의 황산알루미늄, 염화제이철을 주입 후 2분동안 급속교반한 후 고분자 응집제(HA-601)를 5~10mg/ℓ 로 변화시키면서 10분 동안 완속교반 후 30분간 정치시켜 상징액의 수질을 분석하였다.

#### C. 분석항목 및 방법

Cr과 Ni 등 중금속은 ICP(model : ZY70+)를 이용하였고, 그 외의 항목은 환경오염공정시험법 및 Standard methods에 따라 분석하였다.<sup>24)</sup>

Table 4에 분석항목별 측정법을 나타내었다.

Table 4. The analytical methods

Parameters	Analytical method
Water temperature	Direct measurement
pH	Electrode method (TOA, HM - 14P)
Cr, Ni	ICP(ZY70 <sup>+</sup> )

## IV. 결과 및 고찰

### A. 도금폐수의 수질 특성

도금공정에서 발생된 폐수의 수질 분석 결과를 Table 5에 나타내었다. 폐수의 역성은 pH 2.2~2.4로서 강산성이었으며, COD<sub>Cr</sub>농도는 1,449~2,200mg/ℓ, COD<sub>Mn</sub> 농도는 260~470mg/ℓ로서 난분해성 유기물을 다량 함유되어 있음을 알 수 있다. 중금속은 Ni<sup>3+</sup> 20~40mg/ℓ, Cr<sup>6+</sup> 109~124 mg/ℓ 및 Cu<sup>2+</sup> 10~20 mg/ℓ 농도로 존재하였다.

Table 5. The Characteristics of plating wastewater

Parameters	Range (mg/ℓ)
Temperature	20 ~ 24°C
pH	2.2 ~ 2.4
COD <sub>Cr</sub>	1,449 ~ 2,200
COD <sub>Mn</sub>	260 ~ 470
TSS	180 ~ 260
VSS	44 ~ 50
Alkalinity	-
Cr <sup>6+</sup>	109 ~ 124
Ni <sup>3+</sup>	20 ~ 40
Cu <sup>2+</sup>	10 ~ 20

## B. 화학적 처리

### 1. 황산알루미늄을 사용한 화학적 처리

#### a) pH에 따른 영향

Table 6에 도금폐수를 황산알루미늄으로 응집처리 할 때 pH변화에 따른 처리효율을 나타내었으며, Fig. 7은 pH변화에서 Cr과 Ni의 농도변화를 보여주고 있다.

반응 pH가 8일 때 SS와 COD 제거율이 각각 92.7%와 52.5%로서 가장 양호하게 나타났으며, 처리수중의 Cr과 Ni 은 3.4mg/ℓ 와 1.58mg/ℓ 로 높은 제거율을 보였다. 이때 응집 반응후의 pH는 7.4로 나타났다.

이러한 결과로부터 황산알루미늄을 응집제로 사용할 때 pH는 8.0이 적정하다고 판단되어 이후 실험은 pH를 8.0으로 조정하여 실험하였다.

Table 6. The effect of pH in coagulation using alum

units : mg/ℓ									
pH <sub>1</sub>	Coagulant	polyelectrolyte	initial	pH <sub>2</sub>	Alk.	SS	COD <sub>Cr</sub>	Cr	Ni
NaOH	Alum	HA-601		final	2.2	-	218	1,725	100.7
5.5	440	6	3.3		-	53.4 (75.5)	1,088.5 (36.9)	28.65 (71.5)	5.73 (71.5)
6.0			4.1		-	47.7 (78.1)	979.8 (43.2)	12.35 (87.7)	2.47 (87.7)
6.5			5.5		92.6	37.1 (83.0)	862.5 (50.0)	9.5 (90.6)	1.9 (90.6)
7.0			6.2		274.3	31.6 (85.5)	831.5 (51.8)	9.55 (90.5)	1.91 (90.5)
8.0			7.4		438.9	15.9 (92.7)	819.4 (52.5)	3.4 (96.6)	1.58 (92.2)
9.0			7.8		501.7	54.3 (75.1)	966 (44.0)	4.9 (95.1)	1.68 (91.7)

※ blank is removal rate pH<sub>1</sub> : pH조정된 폐수의 pH, pH<sub>2</sub> : 응집후 처리수의 pH

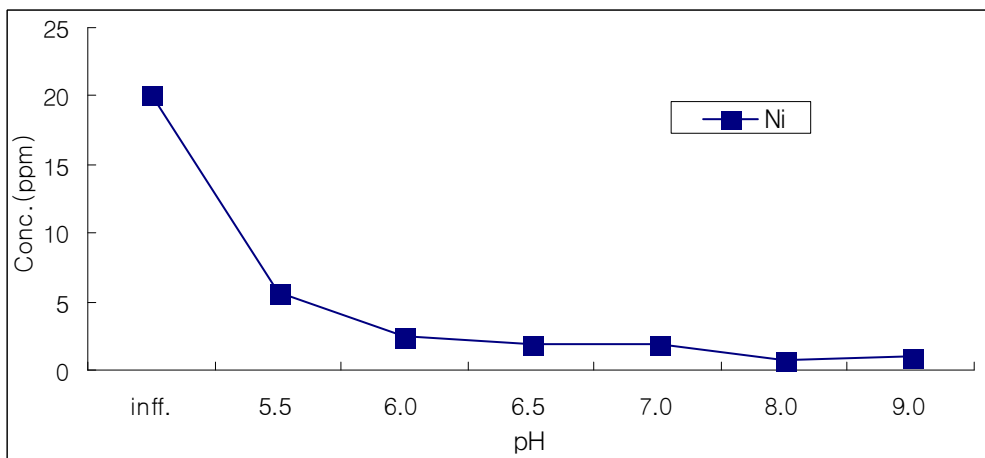
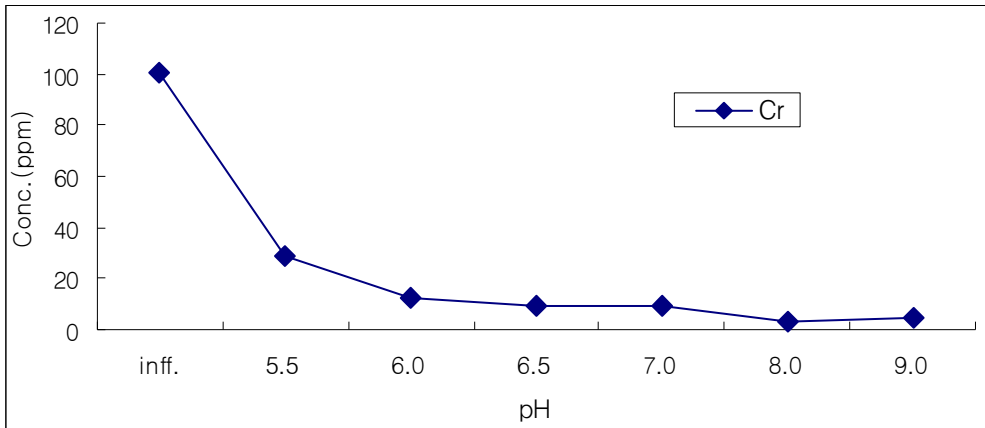


Fig. 6. The effect of pH in coagulation using alum.

b) 응집보조제의 영향

(1) NaOH의 영향

Table 7은 응집보조제와 pH 유지역할을 하는 NaOH 주입량을 200~700 mg/ℓ 로 변화시켜 응집한 결과를 나타내었다.

NaOH 500mg/ℓ 일 때 SS와 COD<sub>Cr</sub>의 제거율은 92.9%, 55.3%,로 가장 양호하고 Cr 및 Ni의 제거율은 각각 97.6% 와 79.6%이었다. 처리후의 상징액의 pH는 7.4였으며 SS 15.6mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub>, 795.7mg/ℓ, Cr 2.37mg/ℓ 및 Ni 4.3mg/ℓ로 가장 양호한 결과를 나타내었다. NaOH의 양이 증가함에 따라 일반적으로 제거효율이 증가하는 경향을 보였다.

Table 7. The effect of alkalinity agent in coagulation using alum

units : mg/ℓ									
Alkalinity aids	Coagulant	polyelectrolyte	initial	pH	Alk.	SS	COD <sub>Cr</sub>	Cr	Ni
NaOH	Alum	HA-601		final	2.2		220	1,780	100.7
200	440	6	final	6.2	178.6	71.7 (67.4)	861.5 (51.6)	5.25 (94.8)	7.5 (64.5)
300				6.7	211.9	45.1 (79.5)	854.4 (52.0)	3.57 (96.5)	5.6 (73.5)
400				7.1	368.8	31.7 (85.6)	818.8 (54.0)	2.65 (97.4)	4.9 (76.8)
500				7.4	410.0	15.6 (92.9)	795.7 (55.3)	2.37 (97.6)	4.3 (79.6)
600				8.1	510.7	25.7 (88.3)	840.2 (52.8)	2.15 (97.9)	4.2 (80.1)
700				8.7	552.8	43.6 (80.2)	852.6 (52.1)	2.05 (98.0)	5.0 (76.3)

※ blank is removal rate

(2) Ca(OH)<sub>2</sub>의 영향

Table 8에 응집보조제로 Ca(OH)<sub>2</sub>를 사용하여 응집 실험한 결과를 나타내었다.

NaOH를 주입한 경우 보다 거대플록이 형성되어 침전은 빠르게 일어났다.

Ca(OH)<sub>2</sub> 주입률이 400mg/ℓ 일때 SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni의 제거율은 87.4%, 55.6%, 97.6% 및 74.6%로 나타났다. 그러나 Ni의 제거율은 Ca(OH)<sub>2</sub>주입률이 500mg/ℓ 일 때 농도가 가장 낮게 나타나 알칼리도가 높거나, Ca(OH)<sub>2</sub>에 의한 흡착 및 플록에 의한 체결음효과로 판단된다. 침전후 상등액의 pH는 8.1이었으며, SS 27.6mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub>, 779.2mg/ℓ, Cr 2.37mg/ℓ 및 Ni 5.4mg/ℓ 이었다.

NaOH를 주입한 결과와 큰 차이는 없지만, Ca(OH)<sub>2</sub> 를 주입했을 때 중금속 제거 효율이 더 높게 나타났다.

Table 8. The effect of coagulation agent in coagulation using alum

units : mg/ℓ

Alkalinity aids	Coagulant	polyelectrolyte	initial	pH	Alk.	SS	COD <sub>Cr</sub>	Cr	Ni
				Ca(OH) <sub>2</sub>	Alum	HA-601	7.0	-	219
100	440	5	final	6.7	298.5	74.9 (65.8)	958.2 (45.4)	4.25 (95.8)	8.5 (60.0)
200				7.1	370.4	56.7 (74.1)	933.7 (46.8)	2.85 (97.2)	5.7 (73.2)
300				7.5	430.8	44 (79.9)	844.2 (51.9)	2.75 (98.3)	5.4 (74.6)
400				8.1	512.5	27.6 (87.4)	779.2 (55.6)	2.37 (97.6)	5.4 (74.6)
500				8.7	548.7	28.5 (87.0)	803.8 (54.2)	2.50 (97.5)	4.7 (77.9)
600				9.3	620.3	33.9 (84.5)	823.1 (53.1)	2.55 (97.5)	4.9 (76.9)

※ blank is removal rate

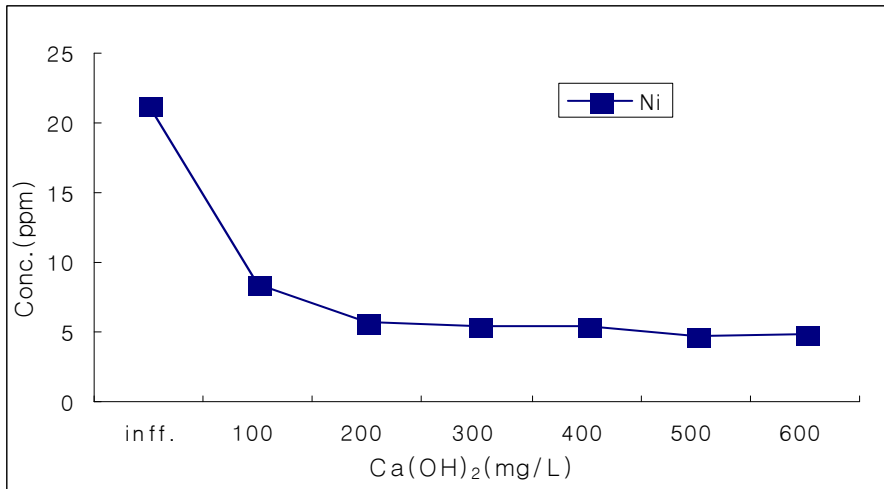
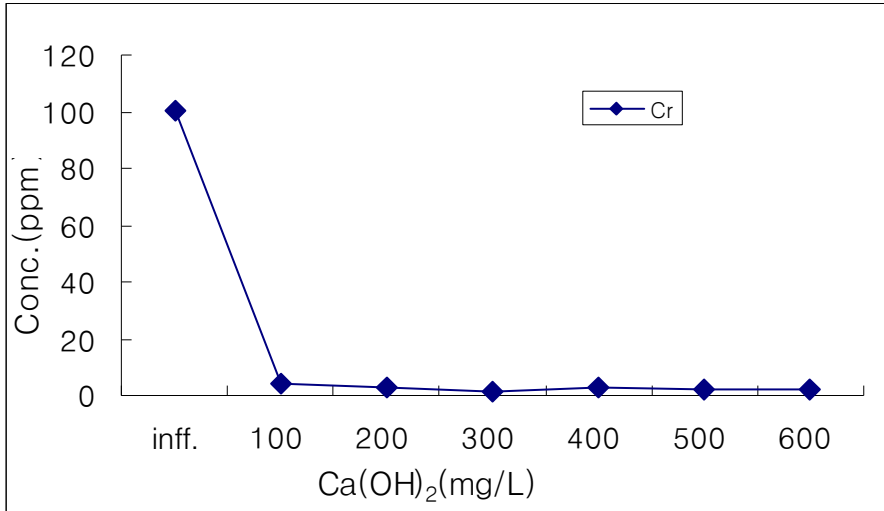


Fig. 7. The effect of alkalinity agent in coagulation using alum.



### (3) 규조토의 영향

Fig. 8에 응집보조제로 규조토를 사용하여 응집 실험한 결과를 나타내었다. 규조토는 기공이 미세하고 발달하여 흡착능력이 높아  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  를 대체하여 중금속의 효율을 상승시키고자 하였다. Cr의 제거율은 규조토 주입량 100mg/l일때 가장 양호했으나  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 주입했을 때의 98.3%보다 낮았다. Ni의 제거율은 규조토 주입량 300mg/l이상에서 제거율이 높아졌다.

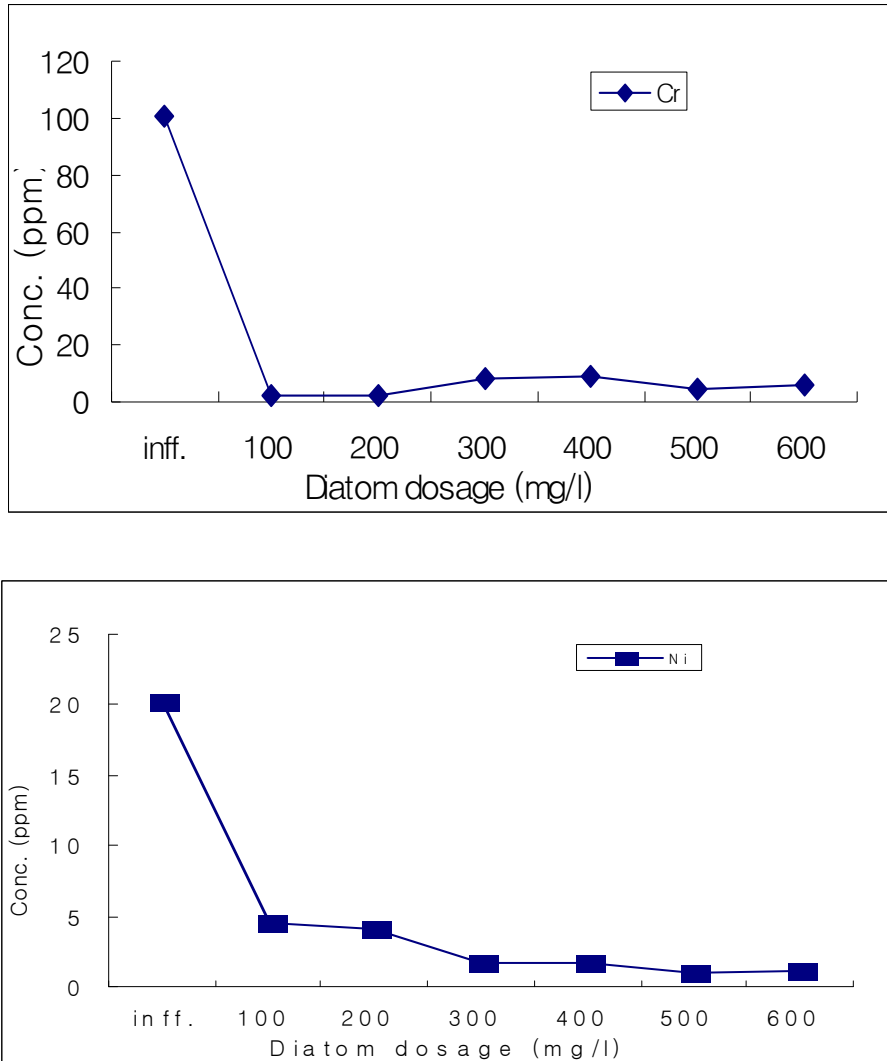


Fig. 8. The effect of coagulation agent in using diatom.

(4) 응집보조제로서의 검댕의 영향

Fig. 9는 응집보조제로 검댕을 주입하여 Cr과 Ni의 농도변화를 나타낸 것이다. pH를 8.0으로 조정하고 황산알루미늄 440mg/l, 고분자 응집제 6mg/l를 주입하여 응집한 결과 검댕 주입률 변화에 따른 일정한 경향은 보이지 않았다. 소석회나 규조토에 비해 플러컬형성 및 탁도 제거효율이 매우 낮아 응집보조제로서의 역할은 부적합하였다. 그러나 Cr 및 Ni의 제거율은 90% 정도로 나타나 미세입자에 의한 중금속흡착능력은 가지고 있는 것으로 판단되어 응집공정이 아닌 활성탄을 대체할 수 있는 흡착공정응용에 적합하다고 판단된다.

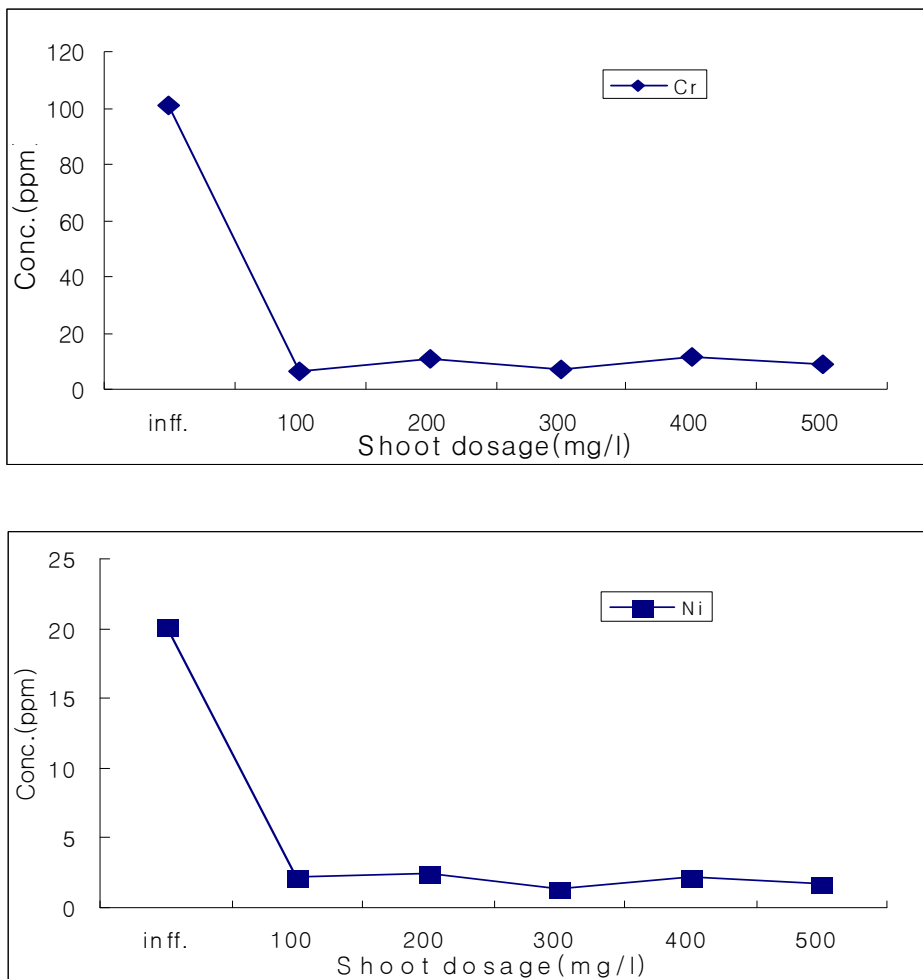


Fig. 9. The effect of coagulation agent in using shoot.

c) 응집제의 영향

Table 9에 황산알루미늄의 주입량 변화에 따른 응집 처리 결과를 나타내었다.

황산알루미늄의 주입량이 440mg/ℓ 일때 SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni의 제거율은 95.2%, 56.0%, 94.2% 및 94.0%이고 처리수의 pH는 7.4, SS 10.6mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub>, 800.8mg/ℓ, Cr 5.8mg/ℓ 및 Ni 1.2mg/ℓ 로 가장 양호한 결과를 나타내었다.

Table 9. The effect of coagulation using of alum

units : mg/ℓ									
pH	Coagulant	polyelectrolyte	initial	pH	Alk.	SS	COD <sub>Cr</sub>	Cr	Ni
	Alum	HA-601		2.2	-	221	1,820	100.7	21.20
8.0	320	6	final	7.7	486.4	47.1 (78.7)	1,033.8 (43.2)	9.05 (91.0)	3.3 (83.6)
	360			7.6	461.8	32.5 (85.3)	991.9 (45.5)	8.4 (91.7)	2.6 (87.1)
	400			7.5	450.3	21.9 (90.1)	899.1 (50.6)	7.05 (93.0)	1.5 (92.6)
	440			7.4	434.4	10.6 (95.2)	800.8 (56.0)	5.8 (94.2)	1.2 (94.0)
	480			7.2	381.5	25 (88.7)	839 (53.9)	9.85 (90.2)	1.7 (91.6)
	520			6.9	289.1	35.6 (83.9)	873.6 (52.0)	8.95 (91.1)	2.1 (89.6)

※ blank is removal rate

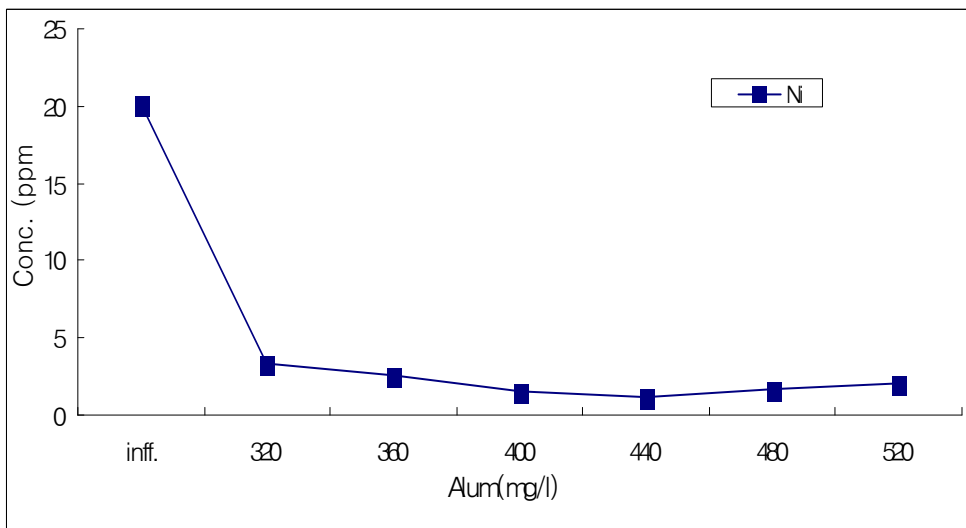
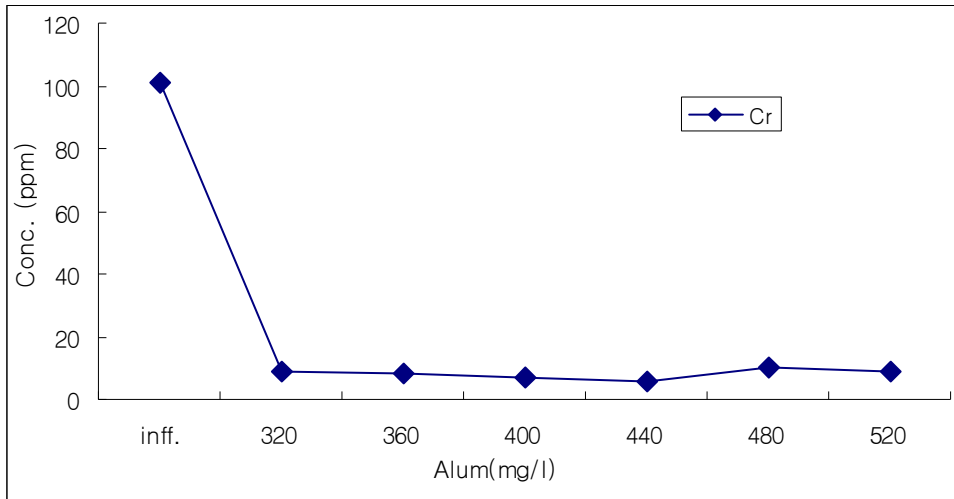


Fig. 10. The effect of coagulation using of alum.

d) 고분자응집제의 영향

Table 10에 고분자응집제의 주입량 변화에 따른 농도변화를 나타내었다. 고분자응집제의 주입량이 증가함에 따라 오염물질의 제거율이 증가하는 경향을 보였으며, 주입량이 9mg/ℓ 일 때 SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni의 제거율은 95.0%, 58.6%, 96.9% 및 95.0%이고 처리수의 pH는 7.42, SS 11mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub>, 741.1mg/ℓ, Cr 3.1mg/ℓ 및 Ni 1mg/ℓ로 양호한 결과를 나타내었다.

고분자 응집제 주입량이 10.0mg/ℓ 일때 SS, COD<sub>Cr</sub>의 제거율은 오히려 감소하였는데, 이는 응집제 주입률이 과다할 경우 전위가 불안해져 flocc이 해체되었거나 잔류 고분자 응집제의 영향으로 사료된다.

Table 10. The effect of polyelectrolyte in coagulation using alum

units : mg/ℓ								
Coagulant	polyelectrolyte	Initial	pH	Alk.	SS	COD <sub>Cr</sub>	Cr	Ni
Alum	HA-601			7.0		219	1,980	100.7
440	5	final	7.34	428.6	64.8 (70.4)	1,016.7 (43.2)	16.6 (83.5)	4.3 (78.6)
	6		7.32	442.9	44.9 (79.5)	912.9 (49.0)	11.1 (89.0)	3.3 (83.6)
	7		7.41	457.5	29.8 (86.4)	846.7 (52.7)	9.8 (90.3)	2.6 (87.1)
	8		7.38	442.2	12.3 (94.4)	773.3 (56.8)	6.2 (93.8)	0.4 (98.0)
	9		7.42	458.9	11 (95.0)	741.1 (58.6)	3.1 (96.9)	1 (95.0)
	10		7.36	422.4	24.7 (88.7)	837.7 (53.2)	6.2 (93.8)	2.8 (86.1)

※ blank is removal rate

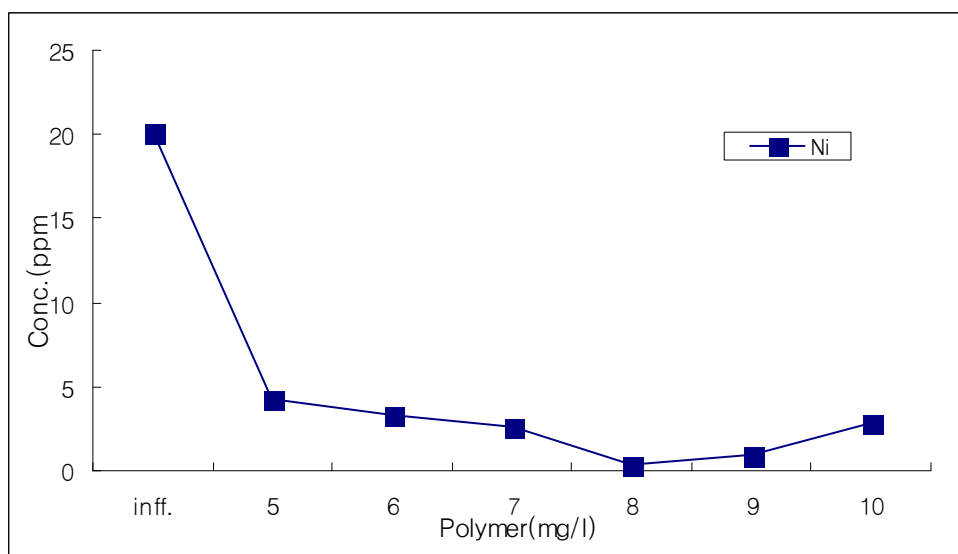
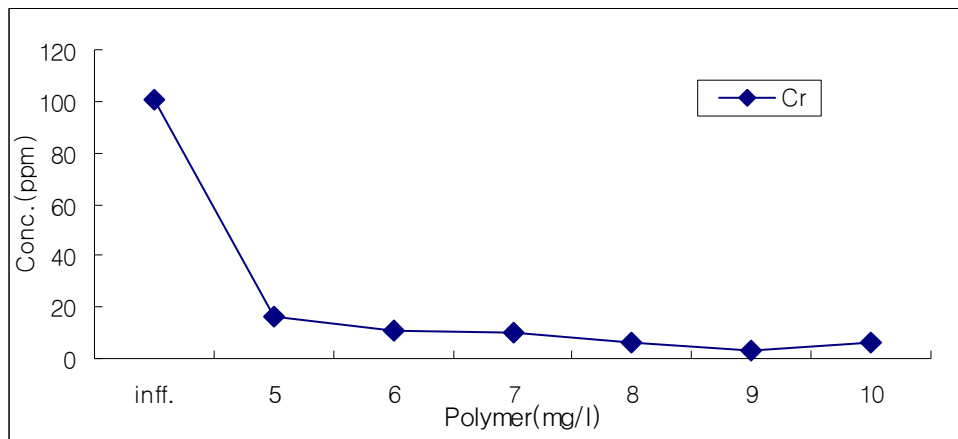


Fig. 11. The effect of polyelectrolyte in coagulation using alum.

## 2. 염화제이철(FeCl<sub>3</sub>)을 사용한 화학적 처리

### a) pH에 따른 영향

Table 11은 염화제이철을 응집제로 사용할 때 적정 pH를 조사한 결과를 나타낸 것이다. 폐수에 20% NaOH용액으로 pH를 7로 조정하여 응집처리 하였을 때 SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni의 제거율은 93.5%, 51.7%, 90.5% 및 90.5%이고 처리수의 pH는 5.5, SS 14.3mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub>, 876.6mg/ℓ, Cr 8mg/ℓ 및 Ni 1.91mg/ℓ로 가장 양호한 결과를 나타내었다.

염화제이철로 응집 처리시 pH가 증가할수록 중금속의 제거효율은 높게 나타났으며 SS의 제거율은 pH 7에서 가장 양호한 제거효율을 보였다. 본 연구는 중금속이 처리대상이므로 pH 8.0~9.0으로 조정하여 처리하고자 한다.

Table 11. The effect of pH in coagulation using FeCl<sub>3</sub>

units : mg/ℓ									
pH <sub>1</sub>	Coagulant	polyelectrolyte	Initial	pH <sub>2</sub>	Alk.	SS	COD <sub>Cr</sub>	Cr	Ni
	FeCl <sub>3</sub>	HA-601		2.2	-	220	1,815	100.7	22.10
5.5	400	6	final	3.6	0	29.9 (86.4)	929.3 (48.8)	32 (68.2)	6.85 (69.0)
6.0				4.2	0	33.4 (84.8)	911.1 (49.8)	20.96 (79.2)	3.5 (84.2)
6.5				5.2	44.6	37 (83.2)	898.4 (50.5)	12.5 (87.6)	2.8 (87.3)
7.0				6.5	120.7	14.3 (93.5)	876.6 (51.7)	8 (92.1)	1.9 (91.4)
8.0				7.6	247.5	65.8 (70.1)	1,047.3 (42.3)	5.6 (94.4)	1.2 (94.6)
9.0				8.1	412.7	81.4 (63.0)	1,183.4 (34.8)	4.9 (95.1)	1.3 (94.1)

※ blank is removal rate

※ pH<sub>1</sub> : pH조정된 폐수의 pH, pH<sub>2</sub> : 응집후 처리수의 pH

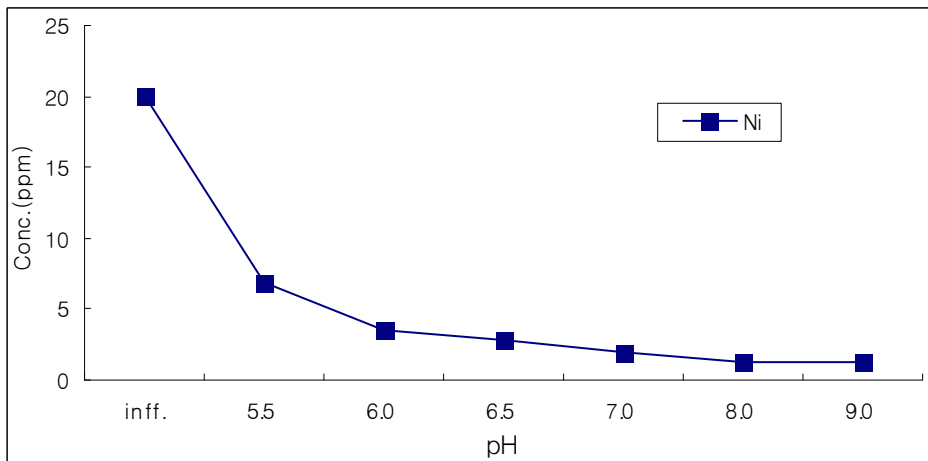
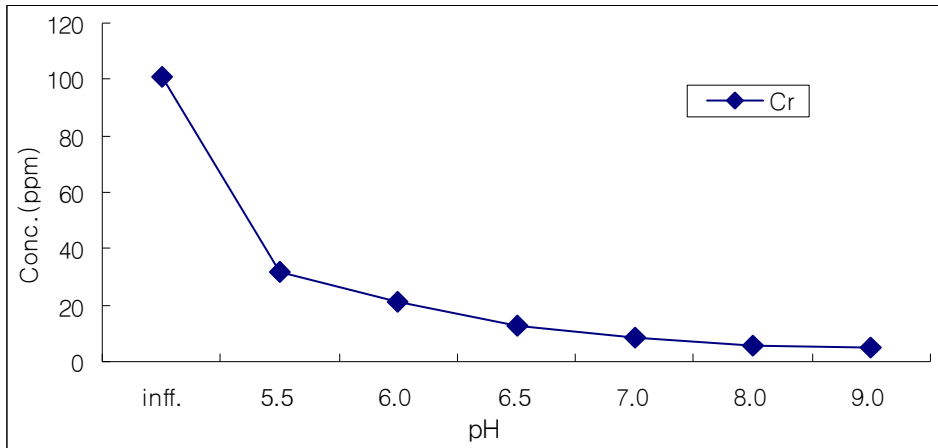


Fig. 12. The effect of pH in coagulation using  $\text{FeCl}_3$ .



b) 알칼리제의 영향

(1) NaOH의 영향

Table 12는 NaOH 주입률 변화에 따른 응집효율을 보여준다. NaOH 주입률이 500mg/ℓ일때 SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni의 제거율은 93.5%, 54.1%, 51.7%, 95.4% 및 78.8%로 가장 양호하게 나타났으며, 이는 황산알루미늄을 사용할 때의 적정량과 같은 결과이다. 처리수의 pH는 7.5, SS 14.2mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub> 814.7mg/ℓ, Cr 4.6mg/ℓ 및 Ni 4.5mg/ℓ의 농도를 나타내었다.

Table 12. The effect of alkalinity agent in coagulation using FeCl<sub>3</sub>

units : mg/ℓ										
pH <sub>1</sub>	Alkalinity acids	Coagulant	polyelectrolyte	Initial	pH <sub>2</sub>	Alk.	SS	COD <sub>Cr</sub>	Cr	Ni
	NaOH	FeCl <sub>3</sub>	HA-601			2.2	-	218	1,775	100.7
7.3	200	400	6	final	6.1	0	26.2 (88.0)	917.7 (48.3)	9.6 (90.5)	8.2 (61.4)
7.7	300				6.4	0	17.9 (91.8)	894.6 (49.6)	7.5 (92.6)	6.5 (69.4)
8.1	400				6.9	47.2	13.1 (94.0)	8218 (53.7)	5.3 (94.7)	5.3 (75.0)
8.5	500				7.5	134.3	14.2 (93.5)	814.7 (54.1)	4.6 (95.4)	4.5 (78.8)
8.8	600				7.4	240.9	15.5 (92.9)	933.7 (47.4)	4.2 (95.8)	4.2 (80.2)
9.1	700				8.3	439.2	17.9 (91.8)	994 (44.0)	4 (96.0)	5 (76.5)

※ blank is removal rate

※ pH<sub>1</sub> : pH조정된 폐수의 pH, pH<sub>2</sub> : 응집후 처리수의 pH

(2) Ca(OH)<sub>2</sub> 의 영향

Table 13에 Ca(OH)<sub>2</sub> 주입률을 100~600mg/ℓ 로 변화하여 응집실험한 결과를 나타내었다. Ca(OH)<sub>2</sub> 주입량이 300mg/ℓ 일 때, SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni의 제거율은 85.3%, 54.8%, 96.8% 및 74.2%로 농도는 각각 SS 32.5mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub> 822.6mg/ℓ, Cr 3.2mg/ℓ 및 Ni 5.2mg/ℓ 로 가장 양호한 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과를 Table 12의 NaOH 사용시와 비교하면 제거율에 큰 차이는 없었으나 모든 항목의 제거율이 Ca(OH)<sub>2</sub>를 사용했을 때 약간 높게 나타났다. 그러나 SS제거율은 NaOH를 주입한 경우가 약 10%정도 높게 나타났다. 따라서 염화제이철을 응집제로 사용할 경우 알칼리제로서 NaOH 보다 Ca(OH)<sub>2</sub>를 사용하는 것이 유리하다고 판단된다.

특히 Cr의 제거율이 Ca(OH)<sub>2</sub>를 주입한 경우 소량으로도 90%이상의 높은 제거율을 안정적으로 보였다.

Table 13. The effect of coagulation agent in coagulation using FeCl<sub>3</sub>

units : mg/ℓ									
Alkalinity aids	Coagulant	polyelectrolyte	Initial	pH	Alk.	SS	COD <sub>Cr</sub>	Cr	Ni
Ca(OH) <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>	HA-601		2.2	-	221	1,820	100.7	20.14
100	400	6	finial	3.2	0	66.1 (70.1)	937.3 (48.5)	8.6 (91.5)	6.5 (67.7)
200				4.1	0	39.6 (82.1)	910 (50.0)	6.4 (93.6)	5.9 (70.7)
300				4.1	40.5	35.8 (83.8)	879.1 (51.7)	4.5 (95.5)	5.5 (72.7)
400				5.4	134.3	32.5 (85.3)	822.6 (54.8)	3.2 (96.8)	5.2 (74.2)
500				6.2	225.5	28.1 (87.3)	900.9 (50.5)	3.5 (96.5)	5.3 (73.7)
600				7.1	416.9	54.1 (75.5)	1057 (42.8)	3.2 (96.8)	5.0 (75.2)

※ blank is removal rate

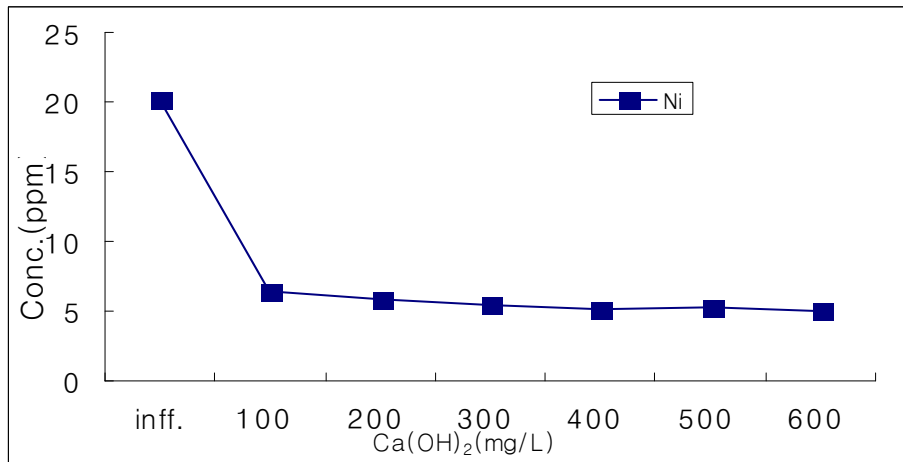
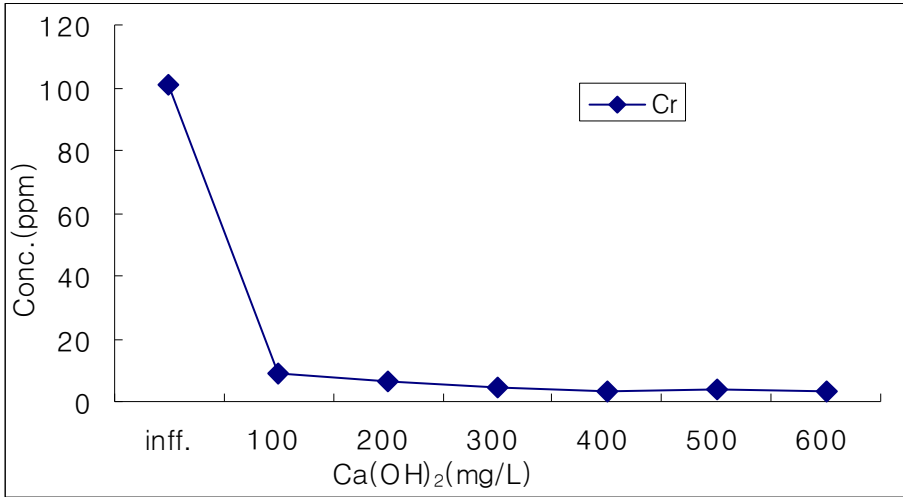


Fig. 13 .The effect of alkalinity in coagulation using FeCl<sub>3</sub>.

c) 응집제의 영향

Table 14에 염화제이철의 주입률을 200~700mg/ℓ로 변화시키고 응집 실험한 결과를 나타내었다. 염화제이철의 주입률이 500mg/ℓ일 때 SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni의 제거율은 94.6%, 56.7%, 94.4% 및 94.0%이고 처리수의 pH는 4.9, SS 11.8mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub>, 785.9/ℓ, Cr 5.6mg/ℓ 및 Ni 1.2mg/ℓ로 가장 양호한 결과를 나타내었다.

Table 14. The effect of coagulant in coagulation using FeCl<sub>3</sub>

units : mg/ℓ

Alkalinity acids	Coagulant	polyelectrolyte	Initial	pH	Alk.	SS	COD <sub>Cr</sub>	Cr	Ni
Ca(OH)	FeCl <sub>3</sub>	HA-601			2.2	-	219	1,815	100.7
400	200	6	final	8.3	628.6	15.5 (92.9)	800.4 (55.9)	12 (88.1)	2.6 (87.1)
	300			7.8	242.9	14 (93.6)	804 (55.7)	7.5 (92.6)	1.6 (92.1)
	400			7.4	147.5	12.5 (94.3)	784.1 (56.8)	7.5 (92.6)	1.1 (94.5)
	500			7.2	119.2	11.8 (94.6)	785.9 (56.7)	5.6 (94.4)	1.2 (94.0)
	600			6.9	106.4	19.1 (91.3)	829.5 (54.3)	9 (91.1)	1.5 (92.6)
	700			6.4	48.6	11.8 (94.6)	844 (53.5)	8.5 (91.6)	2 (90.1)

※ blank is removal rate

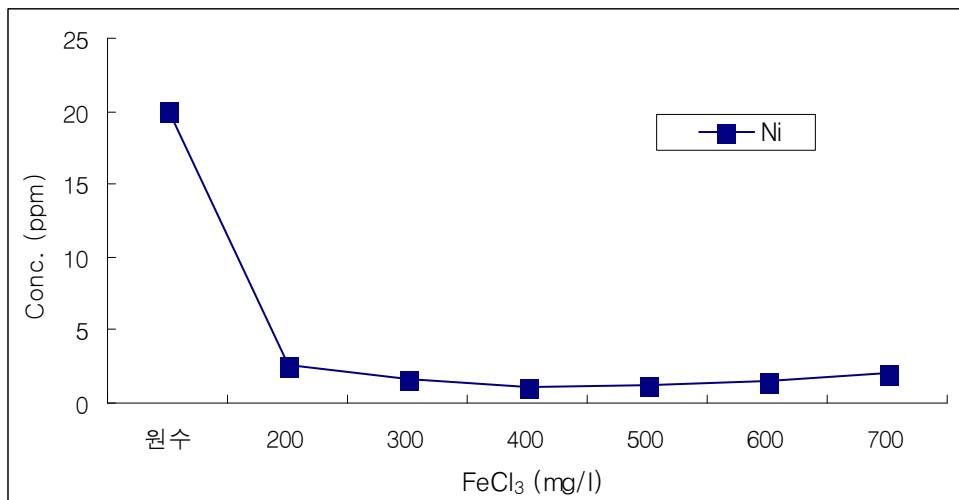
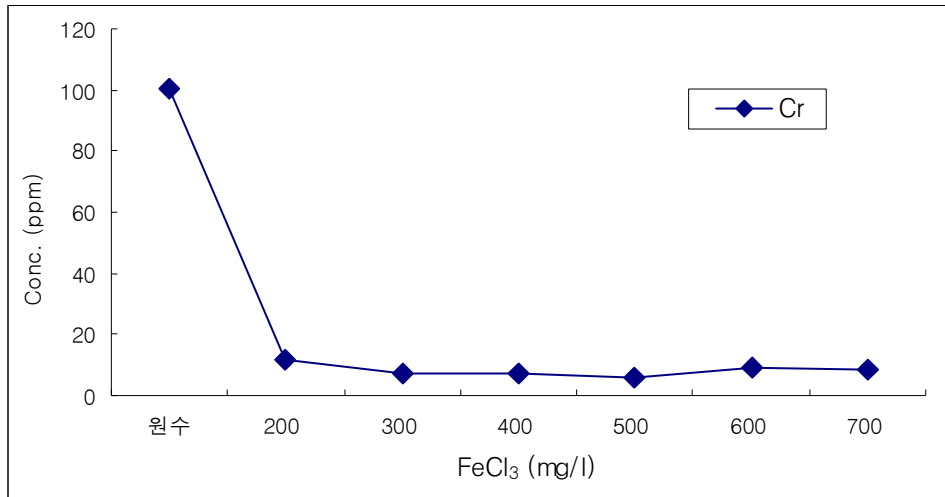


Fig. 14. The effect of coagulant in coagulation using FeCl<sub>3</sub>.

d) 고분자 응집제의 영향

Table 15에 도금폐수를 염화제이철로 처리할 때 고분자 응집제 주입률에 따른 영향을 나타내었다. 고분자 응집제량이 8mg/ℓ 일 때 SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni의 제거율은 95.5%, 56.9%, 95.7% 및 96.6%이고 처리수의 pH는 7, SS 9.8mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub>, 743.5 mg/ℓ, Cr 4.3mg/ℓ 및 Ni 0.7mg/ℓ로 가장 양호한 결과를 나타내었다.

이와 같은 결과를 황산알루미늄을 응집제로 사용할 때의 적정주입률 9mg/ℓ 보다 적은양의 고분자 응집제가 요구되는 것을 알 수 있다. 또한 적정 고분자응집제 주입률 보다 더 많은 양이 투입될 경우 COD증가 요인이 됨을 알 수 있는데 현재 많은 업체에서 응집처리를 하는 과정에서 슬러지의 침강성을 높이고 탈수성을 증진시키기 위해 이온량의 몇 배 이상으로 고분자 응집제를 주입하고 있어 처리수의 COD가 높은 원인이 되고 있다.

Table 15. The effect of polyelectrolyte in coagulation using FeCl<sub>3</sub>

units : mg/ℓ									
Alkalinity acids	Coagulant	polyelectrolyte		pH	Alk.	SS	COD <sub>Cr</sub>	Cr	Ni
Ca(OH) <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>	HA-601	Initial	2.2	-	218	1,725	100.7	20.32
400	500	5	final	7.5	268.6	1.3 (99.4)	762.5 (55.8)	11.3 (88.8)	3.1 (84.7)
		6		7.6	242.9	33.1 (84.6)	764.2 (55.7)	12.9 (87.2)	2.1 (89.7)
		7		7.6	257.5	9.8 (95.5)	753.8 (56.3)	7.5 (92.6)	2.2 (89.2)
		8		7.5	232.2	9.8 (95.5)	743.5 (56.9)	4.3 (95.7)	0.7 (96.6)
		9		7.4	216.4	17.4 (92.0)	786.6 (54.4)	4.8 (95.2)	1.1 (94.6)
		10		7.5	209.6	10.7 (95.1)	807.3 (53.2)	1.4 (98.6)	2 (90.2)

※ blank is removal rate

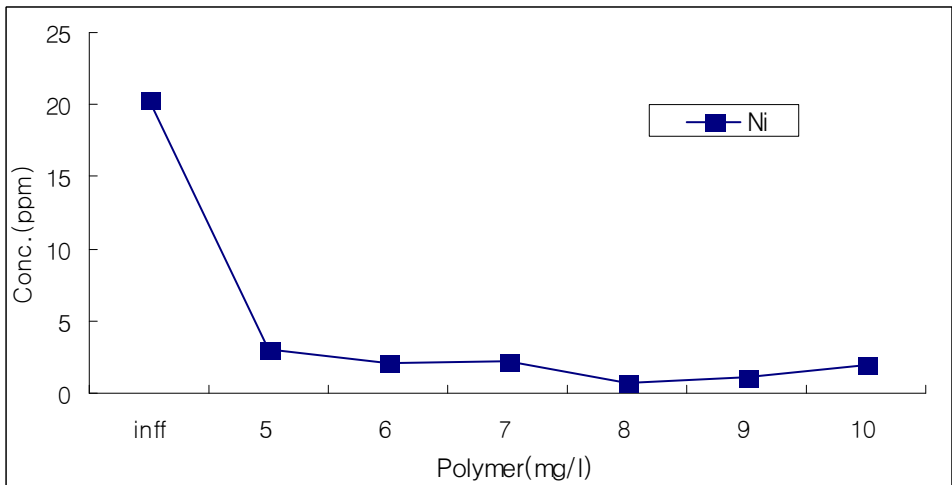
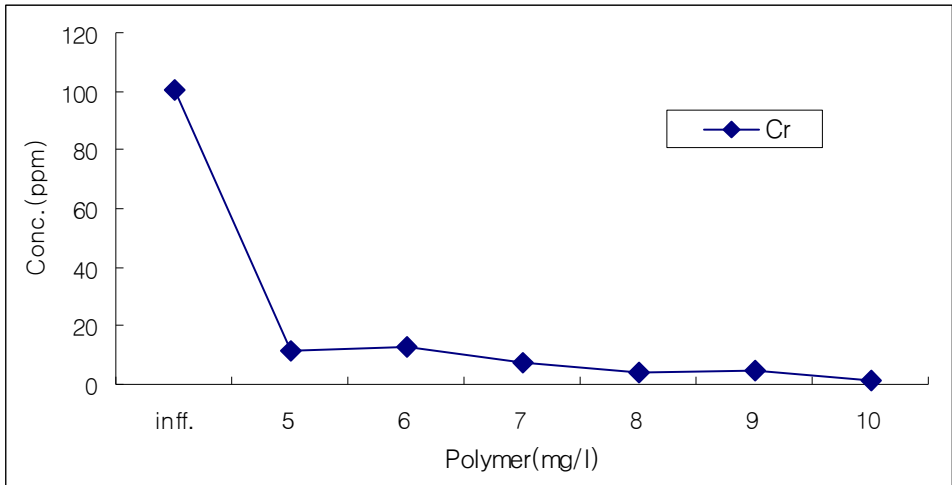


Fig. 15. The effect of polyelectrolyte in coagulation using  $\text{FeCl}_3$ .

### 3. 응집제에 따른 응집효율 비교

황산알루미늄과 염화제이철을 이용하여 도금폐수를 적정 응집 조건에서 처리하였을 때 오염물질의 제거효율을 Table 16에 나타내었다.

황산알루미늄을 이용한 적정 응집조건은 알칼리제로서 NaOH 400mg/ℓ, 응집제 440mg/ℓ, 고분자응집제 9mg/ℓ이었으며, 응집제거율은 SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni이 각각 95.0%, 58.6%, 96.9% 및 95.0%로 처리수의 수질은 pH 7.4, SS 11mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub> 741.1mg/ℓ, Cr 3.1mg/ℓ 및 Ni 1mg/ℓ로 조사되었다.

염화제이철을 이용한 적정 응집조건은 알칼리제로서 Ca(OH)<sub>2</sub> 400mg/ℓ, 응집제 500mg/ℓ, 고분자 응집제 8.0mg/ℓ이며, 응집제거율은 SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni이 각각 95.5%, 56.9%, 95.7% 및 96.6%로 처리수의 수질은 pH 7.5, SS 9.8mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub> 743.5 mg/ℓ, Cr 4.3mg/ℓ 및 Ni 0.7mg/ℓ로 조사되었다.

오염물질의 제거율을 비교하면 황산알루미늄을 사용한 경우가 SS의 제거율 이외의 다른 항목은 높은 제거율을 보였으며, 응집제 주입량도 60mg/ℓ 적게 소요되어 도금폐수의 처리에 황산알루미늄을 응집제로 선정하는것이 바람직하다고 판단된다.

그러나, 황산알루미늄을 사용할때는 고분자 응집제의 소요량은 1mg/ℓ가 더 주입되는 것을 볼 수 있다.

Table 16. The comparison of removal efficiency according to each coagulant

parameters	raw water	Alum		FeCl <sub>3</sub>	
		concentration (mg/ℓ)	rem.rate (%)	concentration (mg/ℓ)	rem.rate (%)
pH <sub>1</sub> (pH <sub>2</sub> )	2.2	8.0(7.5)	-	8.0(7.4)	-
SS	220	11	95.0	9.8	95.5
COD <sub>Cr</sub>	1,800	741.1	58.6	743.5	56.9
Cr	100.7	3.1	96.9	4.3	95.7
Ni	21	0.4	98.0	0.7	96.6



## V. 결 론

도금폐수중의 중금속을 제거하기 위하여 황산알루미늄과 염화제이철을 사용하여 응집조건을 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 황산알루미늄을 사용한 경우 도금폐수의 응집처리의 최적조건은 NaOH 500mg/ℓ, 황산알루미늄 440mg/ℓ 고분자응집제 9mg/ℓ 이었다.  
응집에 의한 제거율은 SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni이 각각 95.04%, 58.6%, 96.98% 및 95.%이고, 처리수의 수질은 pH 7.4, SS 9.2mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub> 741.1mg/ℓ, Cr 3.1mg/ℓ 및 Ni 1mg/ℓ로 조사되었다.
2. 염화제이철을 이용한 적정 응집조건은 알칼리제로서 Ca(OH)<sub>2</sub> 400mg/ℓ, 응집제 500mg/ℓ, 고분자 응집제 8.0mg/ℓ 이었다.  
응집에 의한 제거율은 SS, COD<sub>Cr</sub>, Cr 및 Ni이 각각 95.5%, 56.9%, 95.7% 및 96.6%로 처리수의 수질은 pH 7.5, SS 9.8mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub> 743.5mg/ℓ, Cr 4.3mg/ℓ 및 Ni 0.7mg/ℓ로 조사되었다.
3. 기존의 응집보조제로 사용되는 Ca(OH)<sub>2</sub>는 슬러지 발생량이 많아 규조토와 와검명을 실험한 결과 규조토는 제거율이 Ca(OH)<sub>2</sub>를 사용하여 얻은 95.7~98.26%보다 낮은 91.7~97.9%로 나타나 응집보조제 역할이 가능하다고 판단되나, 중금속 제거효율은 낮았다. 또한 검명은 88.9~93.5%로 낮은 제거율을 보였으며 응집에 장애를 주어 응집보조제로서 역할은 없는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 용수폐수 편람 下 , p. 197
2. 이종길: "Polysulfide에 의한 도금폐수 처리", 아주대학교 환경공학과 석사학위 논문, 1994, pp.1~30.
3. 김준래, 조순행, 이건모: "액상 Polysulfide를 이용한 도금폐수처리", 대한 환경 공학회지, Vol, 18, No.1 : pp.55~65, 1996.
4. 장순길 : "도금폐수의 공동처리방법 개선에 관한 연구" 부경대, 산업대학원, 1996.
5. 박상기 : "도금폐수처리 공정 개선", 경남대, 산업대학원, 1998.
6. 신필계 : "시안화 아연 도금 폐수의 효율적 처리에 관한 연구", 한양대학교, 1989.
7. 김근식 : "Chitosan을 이용한 도금폐수 처리에 관한 연구", 조선대학교, 석사학위 논문, 1995.
8. 신필수 : "시안화 아연 도금 폐수의 효율적 처리에 관한 연구", 한양대학교, 석사학위 논문, 1989.
9. 이정현 : "이온교환법을 이용한 도금폐수의 처리", 아주대학교, 석사학위 논문, 1989.
10. 김석환 : "鍍金團地에서 발생한 重金屬 廢水의 效率的 處理에 關한 研究", 한양대학교, 석사학위 논문, 1988.
11. 김광진 : "酸化環元劑에 의한 鍍金廢水의 處理效果에 關한 研究", 한양대학교, 석사학위 논문, 1984.
12. 이치중 : "오존에 의한 廢水處理에 關한 研究", 단국대학교, 석사학위 논문, 1980.
13. 신창주 : "Chitosan을 利用한 皮革 및 鍍金廢水中の 有機汚染物 및 重金屬의 除去에 關한 研究", 연세대 산업대학원, 석사학위 논문, 1992.
14. J. Edward : "Coagulation and Filtration Back to the Basics", Seminar Proceedings of AIWA, pp.132~136, 1978.
15. 신정래 : 수처리 약품, 동화기술, 1990, pp.237~243. p.113.
16. 한국수자원공사, "약품처리에 관한 연구", 1989.
17. Mysels, k. j, "Introduction to colloid chemistry, Interscience Republishers", New York, p.38, 1959.
18. 고평백, 김영관, 임봉수, 임재명, 윤주환, 이병현, 한무영 : "폐수처리공학", 동화기술, 1998.
19. G. Schuch, F. Loffler: "Chom-Ing - Techn", p.12, p.51, pp.301~302, 1979.
20. 전향배외 2인 : "응집에 의한 탁도물질 및 용존 유기물질의 동시 제거에 대한

연구”, 상하수도 '94 학술발표회세미나, pp.135~139, 1994.

21. Weber, W, F. Jr.: "Physicochemical Processes for Water Quality Control, Wiley", New York, 1972.
22. 이종길. 1994 “Polysulfide에 의한 도금폐수 처리” 아주대학교 환경공학과 석사 학위 논문 1994 pp1-30
23. EPA 1980 "Control and treatment Technology for the metal Finishing Industry. 625/8-80-003 pp140-145"
24. Greenberg AE Clesceri LS and Eaton AD 1992 Standard Methods for the examination of water and wastewater 18th Ed APHA Washington DC pp1261-1263

## 저작물 이용 허락서

학 과	환경생명공학과	학 번	20067207	과 정	석 사
성 명	한글 : 정 연 성    한문 : 정 연 성    영문 : Jung Yun - Seong				
주 소	광주광역시 북구 문흥동 금호아파트 101동 1103호				
연락처	E-MAIL : wjddustjd_jys@hanmail.net				
논문제목	(한글) 도금폐수의 중금속 처리에 관한 연구				
	(영어) A Study on the Removal of Heavy metal in Plating Waste water				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다            음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

**동의여부 : 동의( O ) 반대(    )**

2008년    2월    일

저작자 : 정 연 성 (서명 또는 인)

**조선대학교 총장 귀하**