

도금폐수내 유리시안과 착염시안 및 중금속의 처리특성 (I)

정연훈[†] · 이수구^{*}

서울산업대학교 에너지환경대학원 에너지환경공학과

^{*}서울산업대학교 환경공학과

Treatment Characteristics of Plating Wastewater Containing Freecyanide, Cyanide Complexes and Heavy Metals (I)

Yeon-Hoon Jung[†] · Soo-Koo Lee^{*}

Department of Energy and Environmental Engineering, The Graduate School of Energy and Environment Seoul National University of Technology

Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Technology

(Received 15 October 2009, Revised 20 November 2009, Accepted 23 November 2009)

Abstract

The mean pH of wastewater discharged from the plating process is 2, so a less amount of alkali is required to raise pH 2 to 5. In addition, if sodium sulfite is used to raise pH 5 to 9 in the secondary treatment, caustic soda or slaked lime is not necessary or only a small amount is necessary because sodium sulfite is alkali. Thus, it is considered desirable to use only $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ in the primary treatment. At that time, the free cyanide removal rate was highest as around 99.3%, and among heavy metals, Ni showed the highest removal rate as around 92%, but zinc and chrome showed a low removal rate. In addition, the optimal amount of $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ was 0.3g/L, at which the cyanide removal rate was highest. Besides, the free cyanide removal rate was highest when pH value was 5. Of cyanide removed in the primary treatment, the largest part was removed through the precipitation of ferric ferrocyanide: $[\text{Fe}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)_3]$, and the rest was precipitated and removed through the production of $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, $\text{Ni}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, CuCN , etc. Furthermore, it appeared more effective in removing residual cyanide in wastewater to mix Na_2SO_3 and $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ at an optimal ratio and put the mixture than to put them separately, and the optimal weight ratio of Na_2SO_3 to $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ was 1:2, at which the oxidative decomposition of residual cyanide was the most active. However, further research is required on the simultaneous removal of heavy metals such as chrome and zinc.

keywords : Cyanides, Fe(II), Heavy metals, Ni, Plating wastewater

1. 서론

도금폐수는 공업용 금속부품, 장식구등을 제조 시 도금할 물체에 묻어 있는 오염 물질을 제거하기 위하여 시안화물질을 사용함으로써 발생하는 폐수와 도금 시 세척수의 발생에 의한 폐수 등이 있으며 유리시안(HCN, CN⁻), 시안화 금속착염 및 중금속 등 다양한 오염물질이 포함되어 배출된다. 시안이 함유된 폐수의 처리는 도금 공업 등에서 가장 중요한 현안으로 인식되고 있으며, 아주 적은 양(즉 시안, 크롬, 동 등의 농도가 1.0 mg/L) 이라도 물에 포함되어 있을 경우 독성이 강하여 무단 방류할 경우 수생식물과 동물에 치명적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(김효진 등, 2005; 엄경숙 등, 1987; 이현준 등, 2007; Torphy, 1979).

그러므로 시안 및 중금속을 포함하고 있는 폐수를 적당한 약품과 방법을 사용하여 제거한 후에 회수하여 재사용하거나 또는 자연으로 방류하여도 무방할 정도의 수준으로

물로 희석시켜 배출시키는 것은 공공의 안전과 자연 환경 보호차원에서 매우 중요하다.

현재 시안화합물의 처리방법으로는 염소나 차아염소산소다(NaOCl)에 의한 산화 처리법(이찬기와 류재근, 1985; Patterson, 1985), 과산화수소에 의한 산화처리법(최원석과 박기학, 1997; Sarla et al., 2004), 황화물 침전법(Torphy and Runke, 1978), 전기분해법(한만석 등, 1998; Lin et al., 2000), 미생물분해법(Dash et al., 2008), 오존처리법(Barriga-Ordonez et al., 2006) 등이 있으나 가장 보편적으로 사용되고 있는 처리법은 알칼리염소법으로 이 방법은 염소와의 초기 반응 단계에서 유독한 CNCl 이 발생될 우려가 있으므로 이 반응을 빠르게 진행시키기 위해 과량의 염소나 차아염소산소다를 투입하여야 하는 문제점이 있다(김광진, 1985).

유리시안, 착염시안과 중금속 이온과 같은 오염물질을 폐수에서 거의 완전히 제거할 수 있는 경제적으로 타당성 있는 방법을 찾고 있으며 이러한 오염물질을 효과적으로 제거하면서도 약품 비용이 낮으며 빠른 반응 속도를 갖고 적은 자본을 투자하여 간단한 장비로 운영할 수 있고 낮은 에너지가 요구되는 방법이 절실히 요구되고 있다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
muheun@gg.go.kr

따라서 본 연구에서는 국내의 도금공정에서 배출된 폐수의 특성을 조사하고 기존의 처리방법을 개선하여 도금폐수의 처리공정을 최적화할 수 있는 기초자료를 도출하고자 하였다. 본 논문에서는 1차 및 2차 처리방법에 대하여 검토하였으며, 또한 도금폐수 내 고농도로 함유되어 있는 중금속에 대한 제거효율도 조사하였다.

2. 연구방법

2.1. 실험재료

도금산업체에서 배출되는 폐수특성을 조사하기 위하여 경기도 남양주시에 있는 3개소의 도금 단지(D, T, S단지)를 선정하였다. D도금단지의 경우는 아연도금, 다이캐스팅도금, 상패도금, 액세서리 도금, 크롬도금을 하는 산업체이며, T도금단지는 액세서리, 가방장식, 구두장식, 바렐 등을 도금하는 산업체이고, S 도금단지는 아연 도금, 가방 및 구두장식 도금, 액세서리 도금 등을 하고 있는 산업체이다. 각 단지에서 배출되는 폐수를 채취하여 시안화합물과 중금속의 농도를 측정하였다. Table 1에 나타낸 바와 같이 총 시안의 농도는 약 290~420 mg/L로 S단지가 가장 높게 배출되고 있었으며, 아연의 경우는 D와 T도금단지, Cu의 경우는 도금단지 모두에서 높게 배출되고 있었다.

그러나 도금폐수의 경우 공정의 변화에 따라 농도가 변화되므로 본 연구에서는 농도의 균일화를 위하여 Table 1과 같이 3개소의 도금단지에서 배출되는 폐수특성을 조사하여 이를 바탕으로 증류수 1 L에 CuSO₄·5H₂O 0.6 g, CuCN 0.03 g, ZnCl₂ 0.28 g, NiCl₂·6H₂O 0.05 g, NiSO₄·7H₂O 0.3 g, NaCN 0.6 g, K₂Cr₂O₇ 0.06 g를 투입하여 인공폐수를 제조하여 사용하였다. 인공폐수의 특성은 Table 2와 같다. 인공도금폐수내 총 시안농도는 327 mg/L이 되도록 제조하였으며, 이 중에서 일부는 폐수 중에 있는 중금속과 결합하여 시안화 중금속 착염이 197 mg/L이 되고 나머지 130 mg/L만이 유리시안으로 남아 있게 된다. 그러나 폐수 중에 있는 시안은 pH가 9 이하이면 HCN의 형태로 대기중으로 방출되는 경우가 있어서 본 연구에서는 폐수를 제조함과 동시에 pH를 11로 조절한 후 냉장보관하면서 실험하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 시안의 1차 처리

먼저 폐수 중에 있는 유리시안 130 mg/L를 2가철과 반응시켜 물에 불용성인 물질 Ferric Ferrocyanide염을 만들고 또 다른 금속과 시안을 반응시켜 불용성 침전물[Fe₂(CN)₆]

Table 2. Characteristics of synthetic wastewater

Items	Concentrations (mg/L)
pH	2.0
Cu	164.9
Zn	134.3
Ni	57.1
Total Cr	21.2
COD	150
Free CN	130
Complex CN	197
Total CN	327

이 되게 함으로서 이 두 종류의 침전물을 침전 여과시켜 간단히 폐수 중에 포함 되어 있는 시안을 일부 제거한다.

Ferric Ferrocyanide 생성 화학방정식은 다음과 같다(환경부, 1997).



폐수 1 L 중에 있는 유리시안이 130 mg/L일 경우 상기의 화학식에서 Ferric Ferrocyanide로 만드는데 필요한 FeSO₄·7H₂O의 이론 양은 0.35 g이다. 그러나 실제로 경제적이고 효율적인 최적의 조건을 선정하고자 Table 3에 나타낸 바와 같이 7가지 다른 방법으로 처리하여 성능을 비교하였다.

실험방법은 폐수 1 L를 10% 황산용액을 이용하여 pH를 3으로 조절한 다음 시안제거를 촉진시키기 위하여 HSO₃:CN⁻의 몰비가 1:2가 되도록 Na₂S₂O₅을 0.1 g를 투입하고 15분간 반응시켰다. 그리고 20% 가성소다를 이용하여 pH를 5로 조절하고 이 폐수에 FeSO₄·7H₂O 0.3 g를 투입한 다음 15분간 반응시킨 후, pH 5에서 FeCl₃·6H₂O를 0.25 g를 투입하고 15분간 반응시킨 다음 30분 후에 침전이 완료되면 반응 후의 pH를 측정하였으며, 상등액은 여과하여 여액 중에 있는 잔류시안을 CN자동분석기(AA3, BRAN+LUBBE, 독일)를 이용하여 측정하였다. 이때 pH 5에서 응집침전시에는 침전상태가 불량하여 여과의 어려움이 있어 현장에서 사용하고 있는 4급 양이온 계면활성제(SUNQAT-SN75; Distearyl-dimethyl ammonium chloride, 선진화학)를 처리대상폐수 L당 5%첨가하여 침전이 잘 이루어지게 하였다. 이 양이온계면활성제를 5%정도 사용하였을 때 10%미만의 중금속 및 시안물질 일부분을 흡수 제거하는 것으로 실험 중 확인할 수 있었다.

또한 Table 3의 최적실험조건을 도출한 후 FeSO₄·7H₂O의 최적 투입량을 결정하고자 도금폐수 1 L를 pH 5로 하고 이 폐수에 FeSO₄·7H₂O의 투입 양을 0.1~0.5 g/L의 범

Table 1. Characteristics of heavy metal and total cyanide discharged from plating complex

Items (mg/L)	D plating complex	T plating complex	S plating complex
Cu	216.8	383	311.3
Zn	204.1	146.4	50.2
Ni	40.6	79.5	97.9
Total CN	291.6	290.8	422.6
Cr ⁺⁶	22.4	30.1	25.5

Table 3. Experimental conditions for removal of the heavy metal and CN

Experimental conditions	A	B	C	D	E	F	G
Initial pH	5	5	5	5	5	5	5
Na ₂ S ₂ O ₅ (g)	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-
FeSO ₄ ·7H ₂ O (g)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
FeCl ₃ ·6H ₂ O (g)	-	0.25	0.25	-	-	0.25	0.25
Settling pH	5	5	9.5	9.5	5	5	9.5

위로 변화시키면서 실험하였으며, 15분간 반응시킨 후에 응집침전 시킨 다음 이 처리수를 여과하여 상등수중에 있는 시안을 측정하였다. 그리고 인공도금폐수 1 L를 pH 5로 하고 FeSO₄·7H₂O 0.3 g을 투여한 후 15분간 반응시키고 응집 침전시킬 때의 pH를 5에서 9.0까지 변경시켜 침전시킨 다음 처리수중의 잔류시안농도를 측정하였다.

2.2.2. 시안의 2차처리

1 단계 처리한 폐수 중에 아직 남아있는 착염화된 시안과 크롬 등의 중금속을 제거하기 위하여 SO₂계 환원제인 아황산소다(Na₂SO₃), 중아황산소다(NaHSO₃) 또는 아황산소다와 중아황산소다의 두 혼합물을 적당한 비율로 혼합 투여하였으며, 폐수 중에 있는 시안을 산소를 이용하여 시안을 산화 제거하는 방법(Yazichi et al., 2009)으로서 화학반응식은 아래와 같다.



실험방법은 1차 처리한 인공폐수 1 L속에 잔류되어 있는 시안을 아황산소다(Na₂SO₃)와 중아황산소다(NaHSO₃)의 혼합물들을 각각 공기 중의 산소와 반응시켰으며, 시안을 제거하기 위하여 황산소다화합물의 양을 변화시켜 검토하였다. 또한 시안을 산화 제거하는데 있어서 착염화된 시안을 산성조건에서 aldehyde류를 첨가하면 시안착염이 쉽게 시안과 금속으로 분리하여 시안분해가 잘 되는 것으로 보고되어 있다(Shen and Nordquist, 1974). 따라서 본 연구에서는 인공폐수의 pH를 9로 조절한 다음 반응 촉진제로 FeCl₃은 0.1 g/L를 주입하였으며, formaldehyde:CN⁻의 몰비가 1이 되도록 formaldehyde(37%)를 0.1 mL 주입하고 공기의 양은 산기관을 이용하여 6 L/min으로 공급하며 60분간 반응시켰다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 도금폐수의 1차 처리

Table 2와 같이 인공폐수를 조제하여 각 조건별 실험한 결과를 Table 4에 나타내었다. 실험조건 A 방법으로 처리한 것은 폐수 중에 있는 유리시안 130 mg/L 중 125.5 mg/L이 물에 불용성인 Ferric ferrocyanide로 되어 침전제거 된 것으로 판단된다. 그러나 제거율은 98.3%로 우수하나 아연과 총 크롬의 제거는 거의 되지 않았다. B 방법은 유리시안 제거율이 99.2%로 A방법보다 시안 제거율은 높으나 아연과 총 크롬은 전혀 제거가 되지 않았다. C 방법은 잔류시안 제거율이 96.5%로서 제거율은 A와 B 방법에 비하여 약간 낮으나 니켈, 아연, 총 크롬의 제거율이 99.12%, 99.4%, 99.95%로서 높게 나타났다. D 방법의 경우 크롬 제거효율은 방법 C와 함께 우수하나 시안 제거율은 88.8%로 저조하였으며, 니켈과 아연의 제거효율도 저조한 것으로 나타났다. E 방법은 시안의 제거효율은 99.3%로 B와 거의 유사한 결과를 나타내었으며, Ni의 경우 초기원수농도 57.1 mg/L에서 처리수가 4.0 mg/L까지 감소하였으며, 제거효율은 93%를 나타내었고, 아연 및 크롬의 제거에 있어서는 효율이 전혀 없는 것으로 나타났다. 방법 G의 경우는 중금속 제거효율은 아주 양호하였으나, 타 방법에 비해 시안제거효율은 77.8%로 가장 저조하였다. 실험조건 C, D, G와 같이 크롬제거율이 높고 응집침전 후 pH가 9.5인 것은 황화철에 의해 6가 크롬이 3가 크롬으로 환원되어 침전되는 양이 증가하고 OH⁻기의 생성량이 증가하였기 때문인 것으로 판단된다.

인공폐수 1 L를 pH 5로 하고 인공폐수에 FeSO₄·7H₂O의 최적주입량을 결정하기 위하여 0.1-0.5 g/L의 범위로 변화시키면서 실험한 결과를 Fig. 1(a)에 나타내었다. 잔류시안을 측정 비교 한 것을 보면 폐수 1 L 중에 있는 유리시안 130 mg/L을 제거하는 데 필요한 FeSO₄·7H₂O의 주입량 0.3 g/L일 때 시안 제거율이 가장 우수함을 알 수 있었다. 또한 2가철을 300 mg/L로 일정하게 주입하고 pH변화에 따

Table 4. Removal characteristics of cyanide and heavy metal with operating conditions

Items	A	B	C	D	E	F	G
Residual total CN (mg/L)	170	253	191.5	172	170	190	175
Residual free cyanide (mg/L)	2.17	1.1	4.5	14.5	0.95	15	28.8
Removal eff. of free CN (%)	98.3	99.2	96.5	88.8	99.3	88.5	77.8
Total Cr (mg/L)	21	21	0.01	0.01	21	21	0.01
Cu (mg/L)	58.3	59.3	76.25	62.8	48.3	42	79.5
Ni (mg/L)	5.0	4.0	0.5	5.0	4.0	4.0	0
Zn (mg/L)	134	134	0.8	122	134	105	16

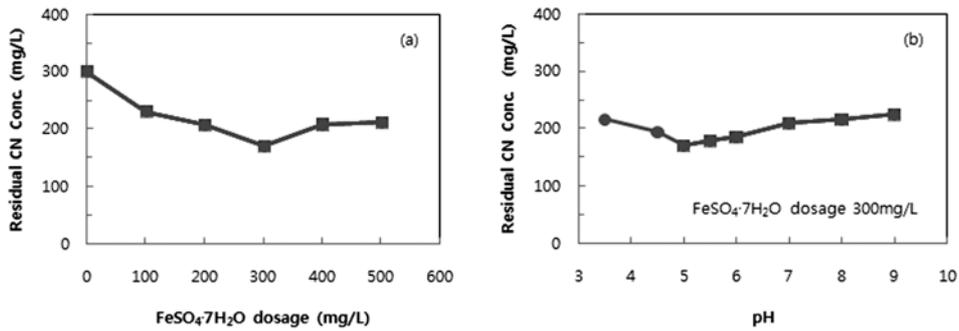
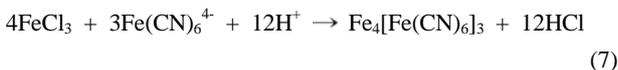


Fig. 1. Change of residual CN concentration with FeSO₄ dosage (a) and settling pH (b).

른 시안제거를 검토한 결과, Fig. 1(b)에 나타난 바와 같이 pH 5일 때 유리시안의 처리효율이 가장 좋은 것으로 나타났다.

E방법으로 1차 처리후 폐수의 특성을 검토한 결과 초기 시안농도는 327 mg/L에서 잔류된 시안농도는 170 mg/L 이었으며, 제거율은 약 48%이었다. 유리시안의 제거는 인공폐수 중에 있는 유리시안이 130 mg/L에서 0.95 mg/L로 감소되었으며, 제거율은 99.3%로서 거의 완전히 제거되었다.

아래의 화학반응식에 나타난 바와 같이 1차 처리에서 제거된 시안은 157 mg/L인데 이 중에서 129.05 mg/L은 Ferric ferrocyanide: [Fe₄(Fe(CN)₆)₃]의 침전으로 제거된 것이고 나머지 27.95 mg/L은 Cu₂[Fe(CN)₆], Ni₂[Fe(CN)₆], CuCN과 같은 물질이 생성되어 침전 제거된 것으로 판단된다(이종철과 강익중, 2007).



또한 폐수중의 중금속중 Cu과 Ni는 각각 초기농도가 165 mg/L와 57 mg/L에서 처리 후 각각 48.3 mg/L와 4.0 mg/L로 감소하였으나, 크롬과 아연은 전혀 제거되지 않았다. 따라서 시안뿐 아니라 중금속까지 완전히 제거하기 위해서는 2차 처리를 해야 할 필요가 있는 것으로 나타났다.

3.2. 도금폐수의 2차 처리

1차 처리에서 유리시안은 ferric ferrocyanide로 거의 제거되었으나 착염으로 형성된 중금속 시안화착염 물질은 제거되지 않고 잔류하는 것으로 나타났다. 따라서 잔류 시안을 완전히 제거하기 위하여 2차 처리로 아황산소다, 중아황산소다 또는 아황산소다와 중아황산소다의 혼합물을 폐수에 투입하고 공기 중의 산소를 이용하여 시안을 산화 제거하는 방법을 선정하였으며, 반응을 촉진시키기 위하여 formaldehyde(정원중과 조순행, 1999)를 주입하여 시안의 제거효율을 비교 검토하여 Table 5에 나타내었다. Formaldehyde와 3가 철의 주입유무에 따른 영향을 검토한 결과, 두 화학약품을 주입하지 않은 것보다 주입하는 것이 시안제거효율이 95% 이상으로 양호한 것으로 나타났으며, 그 중에서도 formaldehyde와 3가 철을 모두 주입하는 것이 시안 뿐 아니라 Ni이나 6가 크롬의 경우는 검출한계 이하로 제거효율이 우수하였다. 그러나 Cu의 경우는 약 50%정도 제거되었으며, Zn의 경우는 약 81.8%이상 제거되는 것으로 나타났다.

철 이외의 다른 전위 금속과의 시안착염의 산화에 대한 화학 방정식은 아래와 같다.



위 반응식에서 필요한 Na₂SO₃의 양은 CN⁻ 1g 당 4.85g의 Na₂SO₃가 필요한 것으로 나타났으며, 또한 반응 시 계속해서 H₂SO₄가 생성되므로 pH 9를 유지하기 위해서는 가성소다를 계속 주입해주어야 할 필요가 있다.

SO₂계열 환원제를 이용한 시안의 제거에 있어서는 Table 6에 나타난 바와 같이, Na₂SO₃와 Na₂S₂O₅를 각각 단독으로 주입하는 것보다는 적당한 비율로 혼합하여 주입하는 것이

Table 5. Removals of heavy metals and CN with and without formaldehyde and Fe³⁺

Dosage (g/L)			Results (mg/L)					
Formaldehyde	FeCl ₃	Na ₂ SO ₃	CNT	Zn	Ni	Cr ⁺⁶	Cu	COD
Primary treated water			197	143	4.0	21.2	48.3	150
-	0.1	1.5	9.6	20.5	< 1	<0.02	20.8	15
0.1	-	1.5	9.4	26.0	< 1	<0.02	25.4	15
-	-	1.5	15.1	20.0	< 1	<0.02	23.0	15
0.1	0.1	1.5	4.7	23.0	< 1	<0.02	21.4	15

잔류시안의 처리 효과가 좋은 것으로 나타났다. 이때 Na₂SO₃와 Na₂S₂O₅의 혼합 비율은 무게로 1:2일 때 잔류시안의 산화 분해가 가장 우수한 것으로 나타났다. 그러나 크롬 등의 중금속제거효율에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 6. Residual cyanide concentration after secondary treatment

Na ₂ SO ₃ dosage (g/L)	Na ₂ S ₂ O ₅ dosage (g/L)	Residual cyanide conc. (mg/L)
1.5	-	4.2
-	1.5	14.45
1.0	0.5	2.50
0.5	1.0	0.62
0.75	0.75	0.94

4. 결론

본 연구에서는 고농도의 시안과 중금속을 함유한 도금폐수를 대상으로 시안제거효율 향상을 위하여 기존공정의 1, 2단계 처리방법을 개선하여 중금속과 시안의 제거효율을 검토하였다.

- 1) 단일로 FeSO₄·7H₂O만 주입하는 것을 1차 처리방법으로 선정하는 것이 효율적인 것으로 판단되었다. 이때 유리시안의 제거효율은 약 99.3%로 가장 우수하였으며, 중금속중에서는 Ni의 제거효율이 약 93%로 가장 좋았으나, 아연 및 크롬의 제거율은 저조한 것으로 나타났다.
- 2) 인공폐수 1 L를 pH 5로 하고, FeSO₄·7H₂O의 최적주입량을 결정하기 위하여 0.1~0.5 g/L의 범위로 변화 시키면서 실험한 결과, FeSO₄·7H₂O의 주입량 0.3 g/L일 때 시안 제거율이 가장 우수함을 알 수 있었으며, pH 5일 때 유리시안의 처리효율이 가장 좋은 것으로 나타났다.
- 3) 잔류시안의 2차 처리에 있어서는 Na₂SO₃와 Na₂S₂O₅를 각각 단독으로 주입하는 것보다는 적당한 비율로 혼합하여 주입하는 것이 잔류시안의 처리 효과가 좋은 것으로 나타났다. 이때 Na₂SO₃와 Na₂S₂O₅의 혼합 비율은 무게로 1:2일 때 잔류시안의 산화 분해가 가장 우수한 것으로 나타났다.

참고문헌

김광진(1985). 산화환원제에 의한 도금폐수의 처리효과에 관한연구. 환경과학대학원 석사학위논문, 한양대학교.
 김효진, 조훈제, 박은주, 정진호(2005). 도금폐수의 독성원인

물질 확인. *추계 학술발표회 논문집*, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회, pp. 312-315.
 엄경숙, 송민영, 정재춘, 정용(1987). 수은, 납, 카드뮴, 크롬이온이 송사리(*Apiochilus latipes*)에 미치는 독성에 관한 연구. *J. KS WPRC.*, **3**(2), pp. 53-62.
 이종철, 강익중(2007). 아연백법 및 공침공정을 이용한 복합 중금속-시안착염 폐수의 현장처리(I). *대한환경공학회지*, **29**(12), pp. 13981-1389.
 이찬기, 류재근(1985). 유해중금속 산업폐수처리의 기술개발에 관한 연구. *J. KOR. AT. OLLUT. ES. ONTR.*, **1**(1), pp. 67-74.
 이현준, 김효진, 오현주, 조기종, 김정규, 정진호(2007). 폐광산 배수와 퇴적물의 중금속 오염과 생물독성 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **23**(2), pp. 287-293.
 정원중, 조순행(1999). 중금속-시안 착염을 함유한 도금폐수의 처리. *대한환경공학회지*, **21**(6), pp. 1095-1107.
 최원석, 박기학(1997). 과산화수소를 이용한 시안화나트륨 및 시안화합물을 함유한 도금폐수의 처리. *환경관리학회지*, **3**, pp. 35-47.
 한만석, 탁용석, 이충영, 남종우(1998). 전해공정에 의한 도금폐수내의 시안분해. *대한환경공학회지*, **20**(6), pp. 875-884.
 환경부(1997). *수질관리교재*, 환경보전협회
 Barriga-Ordóñez, F., Nava-Alonso, F., and Uribe-Salas, A. (2006). Cyanide oxidation by ozone in a steady-state flow bubble column. *Minerals Engineering*, **19**, pp. 117-122.
 Dash, R. R., Balomajumder, C., and Kumar, A. (2008). Treatment of metal cyanide bearing wastewater by simultaneous adsorption and biodegradation (SAB). *J. Hazard. Mater.*, **152**, pp. 387-396.
 Lin Niu, 노병호, 정철, 이용일(2000). 도금폐수 중의 시안착이온의 전기화학적 분해 및 아연회수에 관한연구. *한국분석과학회지*, **13**(6), pp. 699-704.
 Patterson, J. W. (1985). *Industrial Wastewater Treatment Technology*, 2nd Ed., Butterworth Publishers, Boston.
 Sarla, M., Pandit, M., Tyagi, D. K., and Kapoor, J. C. (2004). Oxidation of cyanide in aqueous solution by chemical and photochemical process. *J. of Hazardous Materials*, B116, pp. 49-56.
 Shen, C. Y. and Nordquist, P. E. R. Jr. (1974). Cyanide removal from aqueous waste by polymerization. *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, **13**(1), pp. 70-75.
 Torphy, M. F. (1979). Electroplating and cyanide wastes. *J. of WPCF*, **51**(6), pp. 1399-1401.
 Torphy, M. F. and Runke, H. M. (1978). Electroplating and cyanide wastes. *J. of WPCF, Literature Review*, **50**(6), pp. 1270-1277.
 Yazich, E. Y., Deveci, H., and Alp, I. (2009). Treatment of cyanide effluents by oxidation and adsorption in batch and column studies. *J. Hazard. Mater.*, **166**, pp. 1362-1366.