

전기산화를 이용한 Cyanide의 처리

김홍태 · 이영도 · 김규철 · 김학석* · 전봉준* · 구봉현*

경북대학교 토목공학과, *주식회사 씨티아이
(2007년 1월 16일 접수; 2008년 3월 12일 채택)

The Treatment of Cyanide by Electro-Oxidation

Hong-Tae Kim, Young-Do Lee, Kyu-Choul Kim, Hak-Seok Kim*,
Bong-Jun Chun* and Bong-Hun Ku*

Department of Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
*CTI Co., Ltd., Daegu 704-947, Korea

(Manuscript received 16, January, 2007; accepted 12, March, 2008)

Abstract

This study based on electro-coagulation & oxidation reaction is applied to wastewater treatment. Electro-oxidation reaction is used to remove cyanide(CN) which is contained in plating wastewater. Cyanide is transferred by gases such as NH_3 , NO_x , CO_2 . Analysis result and removal efficiency of Cyanide which is contained in heavy metal wastewater of plating plant, are shown as following paragraph. In electrode arrangement experiment, removal efficiency of carbon electrode(-)/STS316L electrode(+) arrangement method is superior to carbon electrode(-)/carbon electrode(+) arrangement method. Removal efficiencies of cyanide in different HRT such as 30 min, 45 min, 60 min, 75 min and 90 min are 85.5%, 93.1%, 98.0%, 98.7% and 99.4% respectively in carbon electrode(-)/STS316L electrode(+) arrangement method. Finally we can estimate the critical point at HRT of 60 min which the variation of removal efficiency is decreased and HRT to obtain removal efficiency of less than 1 mg/LCN is minimum 90 min.

Key Words : Electro-coagulation, Cyanide, Electro-oxidation, Plating wastewater

1. 서 론

살아있는 유기체에 대해 심각한 독성을 나타내는 시안화물(cyanides)이나 시안화물과 금속의 착화합물이 포함되어 배출되는 산업폐수는 매우 심각한 환경문제를 유발시킨다.

시안화물은 전기도금에서 시안화금, 시안화은, 시안화동, 시안화아연 등의 도금 뿐만 아니라 탈지

및 활성화공정을 포함하는 전처리 공정과, 변색방지를 위한 후처리 공정에도 널리 사용되고 있다. 따라서, 도금공장에서 배출되는 폐수 중에는 다량의 시안화물이 함유되어 있고, 이들은 맹독성이어서 폐수가 배출되기 전에 충분히 제거되어야 할 필요가 있다.

시안(CN)함유 폐수 처리방법 중 일반적인 처리방법으로는 산성으로 폭기하는 방법으로 pH를 3이하로 조절한 상태에서 폭기를 하여 HCN가스를 대기중으로 발산시켜 처리하는 방법이 있다. 폭기시간은 통상 6~16시간이 안전하며, 유독한 시안가스가

발생되므로 폭기조는 완전 밀폐식으로 하고 높은 배기통을 설치하여야만 한다.

또, 시안착화합물로 변화시키는 방법은 시안함유 폐수에 황산 제1철을 과량 투입하여 페로시안화합물(ferrocyanide)를 만들고 다시 공존하는 제2철이온과 반응시켜 페로시안블루를 형성하여 침전시키는 방식으로 주로 Cr이 혼합된 폐수에 적용한다.

이 방법은 슬러지의 발생량이 많고 시안을 10 ppm이하로의 처리하기가 어렵다는 단점이 있다.

가장 많이 이용하는 방법중 하나로는 알칼리성으로 하여 염소화하는 방법이 있는데, 이 방법은 시안이 산화에 의해 분해되어 비독성의 화합물이 되는 것이며, 반응속도도 빨리 진행되며, 조정하기도 쉬우며, 안전한 방법이므로 많이 적용되어진다.

하지만, 알칼리염소법에서는 코발트, 구리, 니켈의 착염은 산화분해에 시간을 필요로 하므로 시안을 함유하는 착염이 존재할 경우에는 주의하여야 하며, 염소를 일부 과잉으로 투입하여야만 완전산화반응이 가능하다.

한편, 전기산화 처리방법은 전극반응을 이용하여 시안이온을 산화시키는 방법으로서, 화학적 처리방법에 비해 소요부지, 비용 및 제거효율 측면에서 모두 우수하다. 전기응집 및 산화공정을 통해 수중 중금속을 제거할 경우 아주 효과적으로 제거할 수 있으며, 약품 응집에 비해 수중에 용존해 있는 중금속 입자의 전하를 효과적으로 변화시켜 인력을 증가시키고 수중으로 용출된 전극의 금속입자로 인해 floc 형성이 용이하다. 또한 전기응집에 의해 생성된 sludge의 경우 결합력이 약품응집의 수백배에 달함으로 인해 중금속의 재용출을 방지할 수 있다. 전기산화 처리방법은 또한, 시안이온과 중금속을 동시에 처리할 수 있고 2차적인 오염의 염려가 없다. 그러나, 이러한 전기산화 방법에서는 제거하고자 하는 물질이 전극면으로 이동하는 물질이동 속도가 전체 반응의 율속단계가 되기 때문에 폐수처리효율을 증대시키기 위해서는 전류효율을 상승시켜야만 한다. 본 연구에서는 시안화물을 함유하는 도금폐수를 전기산화로 처리함에 있어서, 상기와 같은 문제점을 보완하여 2차 오염원을 발생시킬 염려가 적은 전극의 종류 및 배치, 또한 그에 따른 최적 HRT를 찾아 그 효율을 향상시킴으로써 폐수처리 효율

을 월등히 향상시킬 수 있는 시안 폐수 처리장치를 개발하는데 있다. 또한 현장 적용시 실험실 결과와 비교하여 실제 현장 적용조건에 대해서도 분석해보았다.

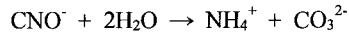
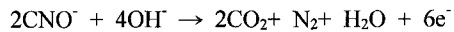
2. 이론적 고찰

전기반응에 사용되는 전극은 크게 용성전극과 불용성 전극으로 나눌수 있는데, 용성 전극은 전기응집 반응시 주로 사용하고 불용성 전극은 전기적 산화반응을 위하여 주로 사용한다. 용성 전극에는 Al, Fe, Cu 등이 있으며, 불용성 전극에는 carbon판(C), STS316L판(Stainless Steel - Item No. 316L), Rt, Au, Ti 등의 금속 또는 비금속 전극과 DSA(Dimensionally Stable Anode - Ru/Ti), SPR(Sn/Pd/Ti) 등의 코팅 전극이 있다.

양극(anode) 영역에서는 음이온의 산화반응, 음극(cathode) 영역에서는 양이온의 환원반응이 동시에 진행된다.

침전반응은 폐수 중에 존재하는 반대전하를 가진 오염물질이 서로 반응하여 불용성의 물질이 형성하게 되어 침전하는 것이 대체적인 이론이며 중금속 처리에 있어서도 유용하게 이용될 수 있다.

또한, 폐수의 전기분해시 시안은 양극에서 다음과 같이 산화 분해된다.



시안을 함유한 폐수를 전기산화에 의해 처리할 경우 알칼리 염소주입법으로 처리할 때보다 처리비용이 절반이상 적게 들고 CNO^- 발생량이 없어 안정성이 높으며 최종 슬러지 발생량이 적어 여러 면에서 많은 장점이 있다. 반면에, 사용되는 전극의 종류나 배치방법에 따라 전기산화 처리방법에서 이러한 물질이동 속도가 느리고 전극반응의 유효면적이 적을 수도 있다는 문제점이 있다.

3. 재료 및 방법

3.1. 시 료

본 연구에서 사용된 시료는 K 도금공장의 폐수로

현재 K 도금공장에서는 전기응집을 이용하여 중금속 폐수를 처리하는 CTI-ECO (Electro-Coagulation Oxidation) System을 이용하여 공정에서 발생하는 시안과 아연 등이 포함된 중금속 폐수를 처리하고 있다.

실험에 사용된 원수의 성상은 Table 1과 같다.

3.2. 실험장치

본 실험에서 사용되는 장치로는 크게 전기발생장치인 정류기와 전기산화장치인 반응조 및 전극으로 이루어져 있다. 전기반응을 위하여 사용되어진 정류기는 가변형 직류전원 장치로 최대전압 220 V, 최대전류 30 A까지 조정이 가능한 장비를 사용하였다. 또한 이때 사용되어진 lab-test용 반응조는 가로 100 mm × 세로 100 mm × 높이 200 mm의 규격인 것으로 사용하였고 1회 실험시 1.5 L의 시료를 반응시킬 수 있다. 현장에 적용된 상용화 규모의 pilot은 전단의 전기응집공정(총 4 m³규모)과 후단의 CN 제거용 전기 산화-분해 장치(1 m³규모)로 구성되어 있다. 그리고 전기방응에 사용되는 전극은 크게 용성 전극과 불용성 전극으로 나눌수 있는데 용성 전극은 전기응집 반응시 주로 사용하고 불용성 전극은 전기적 산화반응을 위하여 주로 사용한다. 용성 전극에는 Al, Fe, Cu 등이 있으며, 불용성 전극에는 carbon판(C), STS316L판(Stainless Steel - Item No. 316L), Rt, Au, Ti 등의 금속 또는 비금속 전극과 DSA(Dimensionally Stable Anode - Ru/Ti), SPR (Sn/Pd/Ti) 등의 코팅 전극이 있다.

이 중 본 실험에서 사용되어진 불용성 전극으로는 일반적으로 구매가 쉽고 저렴하며 현장 적용성이 뛰어난 carbon판 및 STS316L판을 사용하였다. 이때 사용되어진 전극의 크기는 carbon판이 가로 60

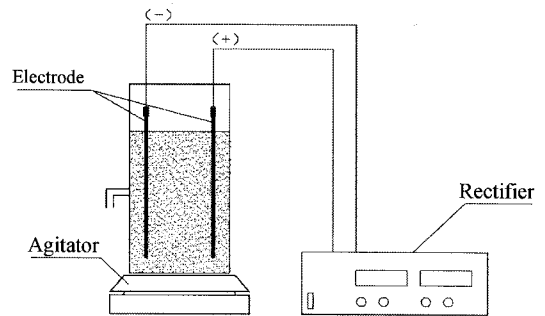


Fig. 1. Schematic diagram of reactor.

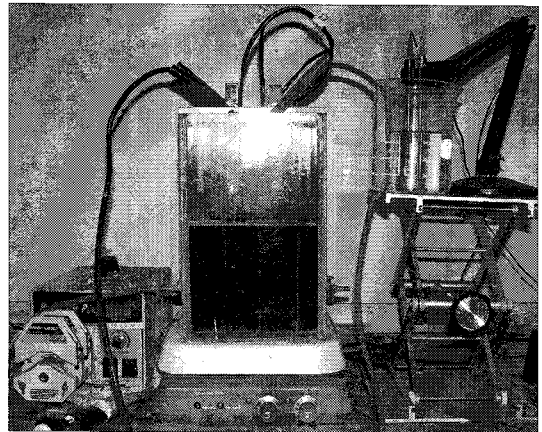


Fig. 2. Schematic diagram of reactor(Lab-test).

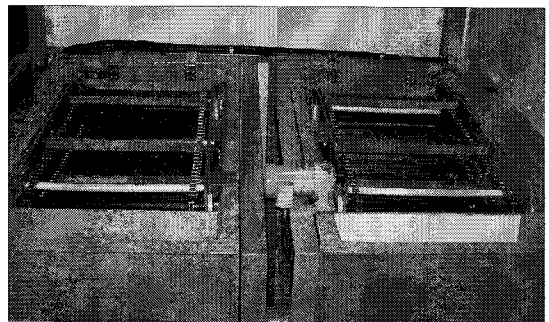


Fig. 3. Schematic diagram of reactor(Pilot-test).

mm, 세로 130 mm, 두께 5 mm 이었으며, STS 316L 판은 carbon판과 크기는 같으나 두께는 5 mm인 것으로 사용하였다.

3.3. 실험방법

본 실험에서는 우선적으로 전극배치 방법에 따른

Table 1. Characteristics of raw water (K plating factory)

Item	Concentrations (mg/L)	Item	Concentrations (mg/L)
CN	172.00	Ni	582.65
Cd	-	Pb	1.99
Cr	1.97	Zn	2,275.00
Cu	37.49	Mn	0.60
Fe	27.88	Mg	9.60

Table 2. Operating condition(lab-test & pilot-test)

Phase 1	Factor						
	Electrode	STS+ / C-			C+ / C-		
	HRT	30	50	60	30	50	60
Phase 2	STS+ / C-						
	HRT	30	45	60	75	90	

처리효율을 연구하였다. 그리고 전극배치 방법 결정 후 그 결과를 토대로 HRT(Hydraulic Retention Time)에 따른 처리효율을 분석하였다.

전극의 배치방법에 따른 시안의 제거효율을 알아보기 위한 실험으로 음극에 carbon판, 양극에는 STS316L판을 설치한 경우와 음극 및 양극 모두 carbon판을 설치한 상태에서 HRT를 각각 30 min, 50 min, 60 min 으로 하였다. 상기의 조건으로 시안처리 효율을 분석한 후 전극 배치방법을 결정하였다.

또한 전극 배치를 결정한 후, 적정 처리시간을 알아보기 위하여 최초 30 min 반응시부터 15 min 간격으로 90 min 동안 반응하여 HRT에 따른 시안 제거율을 분석하였다. 따라서 본 실험으로 최적의 전극 배치 방법과 그에 따른 적정 처리시간을 알기 위하여 실험을 수행하였으며, 실험은 실험실내 실험(lab-test)과 현장실험(pilot-plant)으로 구분하여 lab-test를 통해 얻어진 자료를 바탕으로 pilot-plant를 설계하였으며 제거효율 및 안정성 등을 현장에서 직접 실험하여 그 결과를 도출하고 실험실 자료와 비교 분석하였다.

또한, 실험에 사용된 폐수는 공장에서 현재 배출되고 있는 현장 폐수를 바로 적용하여 CN이 다른 물질과 공존할 때의 제거율을 분석하였다. 실험결과는 수질오염공정시험법에 따라 각 공정당 7회 평균값으로 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. Carbon plate/STS 판 전극과 carbon plate/carbon 판 전극 비교

본 연구는 lab-test와 현장 상용화 시스템인 pilot-plant 실험으로 구분 할 수 있으며, lab-test의 경우 2005년 6월~2006년 6월까지 약 1년간 수행하였으며, 현장실험은 2006년 7월~현재까지 계속 진행 중에 있다.

이에 현재 실험을 정리하여 본 연구에 대한 결과는 Table 3과 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 전극 배치에 따른 실험에서 carbon판(-)/STS 316L판(+)으로 배치하여 반응시킨 결과와 carbon판(-)/carbon판(+)으로 배치하여 반응시킨 결과를 비교하였다.

이에 30 min, 50 min, 60 min으로 구분하여 채수하였을 때 시안 농도 및 제거효율을 분석한 결과 carbon판(-)/STS316L판(+)으로 배치하였을 때 반응 시작 후 30 min, 50 min 및 60 min에서 각각 23 mg/L, 10 mg/L 및 3 mg/L으로 측정되었다. 이때 시안 제거율은 각각 85.8%, 93.7% 및 98.1%로 HRT 60 min에서 가장 높은 제거율을 나타냈다.

한편 carbon판(-)/carbon판(+)으로 배치하여 반응시킨 경우, 30 min, 50 min 및 60 min에서 각각 60 mg/L, 33 mg/L 및 20 mg/L으로 측정되었다. 이때 시안 제거율은 각각 62.3%, 79.2% 및 87.4%로 전극 배치와 상관없이 60 min에서 가장 높은 제거율을 나타냈

Table 3. The removal efficiencies of CN by HRT and electrode configuration (lab-test)

HRT (min)	carbon plateb - STS316L plate		carbon plate -carbon plate		Remarks
	CN (mg/L)	Removal efficiencies (%)	CN (mg/L)	Removal efficiencies (%)	
Start	159	-	159	-	Raw water
30	23	85.8	60	62.3	
50	10	93.7	33	79.2	
60	3	98.1	20	87.4	

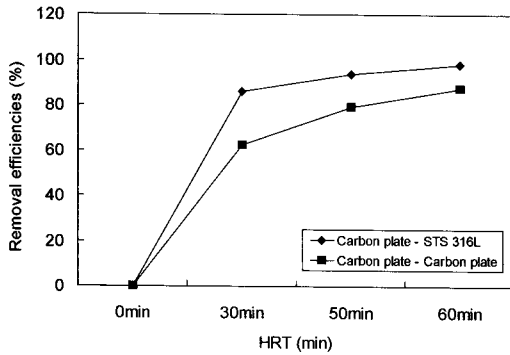


Fig. 4. The removal efficiencies of CN by HRT and electrode configuration(lab-test).

으나, carbon판(-)/STS316L판(+) 배열이 carbon판(-)/carbon판(+) 배열보다 11% 정도 높게 나타났다. 또한 최소 반응시간이 30 min에서도 carbon판(-)/STS316L판(+) 약 23.5% 정도 높게 나타났다.

또한 전기적 산화를 이용하여 CN 제거시 발생하는 가스를 분석하기 위해 양극에는 STS판을 설치하였고 음극에는 carbon판을 설치하여 전기적 산화시 발생하는 가스를 대기오염공정시험방법에 의해 CO, CO₂, NO_x, NH₃, HCN을 분석해 본 결과는 Table 4와 같다.

가장 많이 발생하는 기체는 CO₂로 2,246.0 mg/L이 발생되었고 NH₃는 101.7 mg/L이 발생되었다. NO_x는 6.0 mg/L이 발생되었으며 그 외의 HCN이나 CO는 발생되지 않거나 발생되더라도 그 양이 미미하여 측정이 되지 않았다.

4.2. 최적 HRT 결정

한편 HRT에 따른 시안의 제거 특성을 분석하기 위하여 시안 제거에 효과적인 전극배치방법인 car-

bon판(-)/STS316L판(+)으로 전극을 배치하여 30 min, 45 min, 60 min, 75 min 및 90 min 반응에 따른 시안제거효율을 분석한 결과 Table 5 및 Fig. 5와 같다.

HRT에 따른 시안의 농도 변화는 30 min, 45 min, 60 min, 75 min 및 90 min에서 각각 23 mg/L, 11 mg/L, 3 mg/L, 2 mg/L 및 1 mg/L의 농도로 나타났고, 시안제거효율은 각각 85.5%, 93.1%, 98.1%, 98.7% 및 99.4%로 나타났다.

HRT가 증가함에 따라 시안의 제거효율은 증가하는 것으로 나타났으나, HRT 60 min 이상에서는 제거효율의 증가율이 둔화되는 것으로 분석되었다. 이에 시안을 제거할 수 있는 최대 임계 HRT는 60 min으로 조사되었다. 그러나 시안의 현재 배출허용기준은 1 mg/L이하로 HRT 90 min 이상으로 반응하는 것이 적합한 것으로 조사되었다. 그러나 HRT가 길어질수록 경제성은 감소함으로 임계 HRT 60 min 이하에서 제거효율을 높일 수 있는 방안에 대해 추후 연구를 지속해야 할 것으로 판단된다.

4.3. 현장 적용의 가능성

Table 6과 Fig. 6을 보면 lab-test 결과를 바탕으로 pilot-test를 실시한 결과를 나타낸 것으로 전체적인 변화 양상과 결과는 lab-test와 동일한 결과를 얻을 수 있었지만 현장에서 실시한 연속테스트가 약간의 제거율 저하문제가 발생되었으나 전반적인 실험결과에 영향을 줄 정도는 아니었다.

그러나 carbon판(-)/carbon판(+)배열의 경우 lab-test와 pilot-test의 차이가 크게 나타났다. 이는 carbon판의 특성과 관계된 것으로 carbon 판이 STS316L 판보다 제거효율이 현저하게 감소하는 이유는 CN의

Table 4. The composition of gas occurred by cyanide treatment

Item	Concentrations (mg/L)
CO ₂	2,246.0
CO	N.D
NO _x	6.0
NH ₃	101.7
HCN	N.D

N.D : Not detected

Table 5. The removal efficiencies of CN by HRT(lab-test)

HRT (min)	Carbon plate - STS316L plate		Etc.
	CN (mg/L)	Removal efficiency (%)	
Start	159	-	Raw water
30	23.0	85.8	
45	11.0	93.1	
60	3.0	98.1	
75	2.0	98.7	
90	1.0	99.4	

Table 6. The removal efficiencies of CN by HRT and electrode configuration (pilot-test)

HRT (min)	Carbon plate - STS316L plate		Carbon plate -carbon plate		Etc.
	CN (mg/L)	Removal efficiencies (%)	CN (mg/L)	Removal efficiencies (%)	
Start	166	-	166	-	Raw water
30	32	80.7	82	50.6	
50	14	91.6	55	66.9	
60	4	97.8	52	68.7	

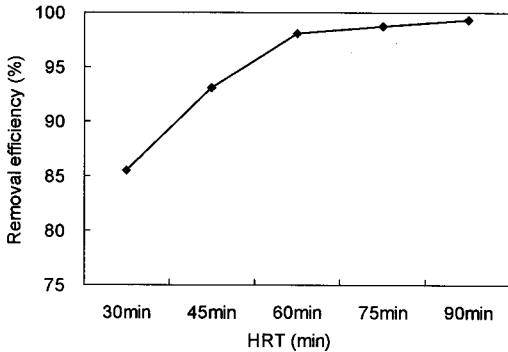


Fig. 5. The removal efficiencies of CN by HRT(lab-test).

경우 전기적 산화에 의해 대부분 제거가 이루어지므로, STS316L 판의 경우 전극표면의 직접 산화와 OCl₂와 HOCl 등과 같은 산화제의 생성이 carbon 판보다 우수하다. 양극으로 사용된 carbon의 경우 순수 탄소성분을 고온 고압에서 불순물을 제거한 graphite라는 물질로 양극으로 사용시 전류의 이동에 의해 탈리현상이 발생하며, 이로 인한 전극 표면의 직접산화와 간접산화 작용을 저해하고, 용출된 carbon 입자로 인해 전기적 응집작용이 촉진됨으로 carbon plate의 경우 금속성 재질과 같이 판상의 재질이지만 날개의 탄소입자가 고온 고압에 의해 임의로 결합된 것으로 그 강도와 굳기가 금속성 재질에 미치지 못한다. 이로 인해 lab-test 보다 대용량인 pilot-test의 carbon plate에서 입자의 탈리작용이 촉진되고 산화반응이 현저히 낮아진 원인으로 판단된다.

Table 7과 Fig. 7은 현장 실험으로 전체적인 실험 결과는 실험실 실험 결과와 유사하다. 그러나 90 min 전의 결과는 전반적으로 현장실험이 제거율이 낮게 나타났다. 이는 연속실험에 의한 것으로 일반적으로 연속실험의 경우 회분식 실험에 비해 10%정도 낮은 결과가 나타날 수 있으나 본 실험의 경우 3% 이내로 나타났다.

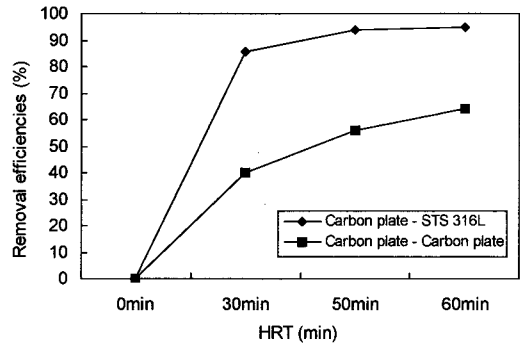


Fig. 6. The removal efficiencies of CN by HRT and electrode configuration (pilot-test).

Table 7. The removal efficiencies of CN by HRT (pilot-test)

HRT (min)	Carbon plate - STS316L plate		Etc.
	CN (mg/L)	Removal efficiency (%)	
Start	137	-	Raw water
30	38.0	72.3	
45	14.0	89.8	
60	10.0	92.7	
75	4.0	97.1	
90	1.0	99.3	

회분식 및 연속식 실험결과 현장에서 시안의 안정적인 처리를 위해서는 실험실 결과보다 다소 긴 90 min의 HRT가 안정적인 것으로 나타났다.

이외 현장 실험을 통해 CN과 함께 공존하고 있는 중금속 성분을 분석하고 CN 제거에 영향을 주지 않기 위해 전처리 단계에서 전기응집 공법과 산화 공법을 적용하여 중금속을 제거하였으며 그 효과는 다음 Table 8과 같다.

Table 8에 나타난 것과 같이 전기응집 및 산화

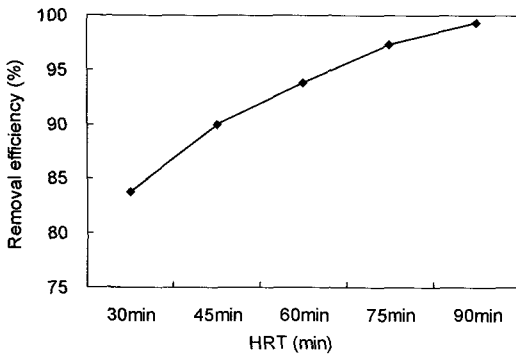


Fig. 7. The removal efficiencies of CN by HRT (pilot-test).

공정을 통해 수중 중금속을 제거할 경우 아주 효과적으로 제거할 수 있으며, 약품 응집에 비해 수중에 용존해 있는 중금속 입자의 전하를 효과적으로 변화시켜 인력을 증가시키고 수중으로 용출된 전극의

금속입자로 인해 flocc형성이 용이하였다. 또한 전기 응집에 의해 생성된 sludge의 경우 결합력이 약품응집의 수백배에 달함으로 인해 중금속의 재용출을 방지할 수 있다. 이는 미국 폐기물관리법상의 TCLP (Toxic Classification Leaching Procedure, 침출수 유해구분) test에 의해 무해한 sludge로 판명되어 미국 현지에서는 일반매립이 가능하다고 보고되고 있다.

5. 결론

전기적 산화를 이용하여 도금공장의 중금속 폐수 중 시안의 처리효율을 알아보기 위한 실험 결과는 다음과 같다.

(1) 전극 배치에 따른 실험에서 carbon판(-)/STS316L 판(+)으로 배치하는 방식이 carbon판(-)/carbon판(+)으로 배치하는 방법보다 시안의 처리효율이 약 10%

Table 8. Concentrations of treated heavy metal

Item	Raw water (mg/L)	Concentrations of heavy metal by electro-oxidation (2006. 7 ~ present time) (mg/L)						
		2006.07	2006.09	2006.11	2006.12	2007.2	2007.04	2007.06
AS	N.D	0.07	N.D	0.05	N.D	0.02	0.09	0.05
Be	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cd	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Co	1.05	0.87	0.96	0.16	0.08	0.72	0.46	0.11
Cr	1.97	0.87	1.73	0.28	N.D	0.11	0.12	N.D
Cu	37.49	1.79	3.74	2.07	0.16	9.74	5.38	N.D
Fe	27.88	2.21	0.48	0.03	0.05	0.04	0.10	N.D
Li	0.03	0.04	0.04	0.04	0.07	0.04	0.08	0.03
Mn	0.60	0.87	1.74	0.72	0.59	1.74	1.72	0.71
Mo	0.02	0.01	0.04	N.D	0.03	0.00	0.00	0.03
Ni	582.65	0.41	5.93	6.09	0.18	1.73	0.17	0.70
Pb	1.99	0.29	0.16	0.08	0.09	0.15	0.11	0.06
Sb	N.D	N.D	0.07	0.08	0.05	0.07	0.07	0.04
Se	0.09	0.11	0.09	0.06	0.08	0.06	0.12	0.11
Sr	0.12	1.08	0.92	3.01	4.52	0.95	7.33	3.62
Ti	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	N.D	N.D	0.00
V	0.01	N.D	0.00	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Zn	2,275.00	1.02	2.02	0.50	0.65	1.11	0.47	1.50

N.D : Not detected

정도 더 높은 결과로 나타났다.

(2) 최적 전극배치방식인 carbon판(-)/STS316L판(+)에서 HRT에 따른 시안 제거효율을 분석한 결과 30 min, 45 min, 60 min, 75 min 및 90 min에서 각각 23 mg/L, 11 mg/L, 3 mg/L, 2 mg/L 및 1 mg/L의 농도로 나타났고, 시안제거효율은 각각 85.5%, 93.1%, 98.1%, 98.7% 및 99.4%로 나타나 현장적용을 위한 적정 HRT는 60 min으로 조사되었으나, 배출허용 기준 1 mg/L 이하를 만족하기 위한 HRT는 최소 90 min으로 나타났다.

(3) 전반적으로 lab-test와 pilot-test의 결과가 유사하게 나타났으나, pilot-test의 결과가 lab-test와 동일한 결과를 얻기 위해서는 다소 긴 HRT가 필요한 것으로 나타났다.

시안과 공존하는 중금속제거 효과도 매우 뛰어났으며, 기존의 시안 제거 공법과 비교한 결과 전기산화-분해 공법을 적용한 처리공정이 간단하고 효율이 높은 방법을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) 구봉헌, 2005, 수처리를 위한 고도전기응집산화 시스템 개발에 관한 연구, 박사학위논문, 토목공학과, 계명대학, 대구.
- 2) 김광남, 전종남, 전범용, 윤용수, 1998, 크롬과 CN이 공존하는 폐수의 전해처리 특성, *Applide Chemistry*, 2(1), 270-273.
- 3) 김학준, 박인수, 1996, CN이온의 전기화학적 폐수 처리, *경남대학교 환경문제연구소 환경연구*, 18, 95-106.
- 4) 한성호, 2003, 석사학위논문, 백동 전압 전해산화에 의한 CN도금 폐수 중의 Ag/Cu CN착이온에 관한 연구, 화학공학과, 광운대학교, 서울.
- 5) 제원목, 1998, 금속도금공장 폐수중의 구리 및 CN 화물의 효과적인 처리방법, *Bulletin of Environmental Sciences*, 53:259-266.
- 6) Padiyal V., Mishra V. S., 1995, Cyanide detoxification a review, *Trans IChem E*, 73(B), 541-545.
- 7) *Applied Catalysis*, 2004, B: Environmental, (51)203-211.
- 8) 법제처, 2007, 수질환경보전법, 대기환경보전법.
- 9) 김복현, 2003, 수처리 실험을 위한 수질오염방지 기술, 신광문화사. 280pp.
- 10) Barolo P., 1995, Pollution control of solid and liquid wastes arising from heat treatment of steel in molten salt bath, *Rass Chim*, vol 26, no.3, pp.159-164.
- 11) Kanezashi H., 1998, Treatment of solutions containing cyanide and cyanide complexes of metals, *Japanese Kokai*, 78,118,290.
- 12) 환경부, 2007, 수질오염공정시험법, 대기오염공정시험법.