

도금폐수의 공동처리를 위한 공정개선에 관한 연구 A Study of Improvement on Collaboration Treatment Method of Electroplating Wastewater

이 내 우* · 최 재 옥* · 안 병 환**
N.W. Lee · J.W. Choi · B.H. An
(1997년 9월 4일 접수, 1997년 12월 12일 채택)

ABSTRACT

A modified procedure for electroplating wastewater treatment using formaldehyde and hydrogen peroxide can destroy free cyanide. The representative diagram which is quite sensitive on reaction temperature is showed for this kinds of treatment. Principally free cyanide and some kinds of cyanide complex should be treated first, and then toxic heavy metals can be removed because cyanide component will be inhibited to remove other pollutants, if it is not destroyed perfectly.

Formaldehyde and hydrogen peroxide are added in controlled amounts to cyanide treatment tank. Reasonable amounts of these chemicals are $(HCHO/CN)=0.9$ and $(H_2O_2/CN)=1.1$ in molar ratios, it is also variable on reaction temperature.

Of course, actual treatment processes depending on plating material and chemical are good applicable, also to systematize operation manual for treating electroplating wastewater process, further works are desirable.

1. 서 론

도금공업에서는 공해발생의 원인이 되는 독극물을 사용하여 제품을 생산하고 있는 관계로

엄중한 배수관리를 하지 않으면 이들의 약품류가 미처리되거나 불완전하게 처리된 상태로 배수에 침입하여 방류될 가능성이 있다.

도금폐수에는 크게 시안계폐수, 크롬계폐수

* 부경대학교 안전공학과

** 부경대학교 산업대학원

및 산·알칼리폐수로 분류되며, 시안계폐수에 함유하는 시안 및 여러가지 시안착화합물은 현재까지 알칼리성에서 염소를 사용하여 분해하는 알칼리염소법으로 처리한다. 가장 넓게 쓰이는 도금폐수 처리방법은 약 50년전에 Dodge와 Zabban¹⁾에 의해 발표된 이론에 기초하고 있는데, 이것은 pH 및 ORP에 의존하는 반응으로 차아염소산이 시안화물을 시안산염으로 산화시킨다.

이 방법은 상온상압하에서 시안기의 탄소와 질소원자간의 결합을 직접 분리하는 것은 불가능하기 때문에 한쪽의 끝을 결합에너지가 낮은 상태로 변화시켜 중간물질로 만든 다음에 CN간의 분해를 가능하게 한 2단계 산화처리방법이다. 1단계 반응에서 시안산기가 바로 시안산나트륨으로 되는 것이 아니고 반응의 중간생성물인 염화시아노겐(CNCl)이라고 하는 독성물질이 생성되기 때문에 안전상의 문제가 있다. 또 알칼리 염소법은 저농도의 시안폐수에는 효과적인 방법으로 알려져 있으나 고농도일 경우에는 대단히 어렵고, 저농도일지라도 철, 니켈 및 구리와 같이 중금속성분이 다량 혼입되면 배출허용기준치이하로 처리하기는 사실상 불가능하다²⁾. 이와 같이 도금폐수는 처리대상이 되는 유해성분의 종류가 많고, 그 성분에 따라서 처리방법이 완전히 다르다. 특히 시안과 6가크롬의 처리방법을 비교하면 시안은 산화분해처리방식이고, 6가크롬은 환원처리방식이므로 완전히 정반대이기 때문에 연속식 처리방법으로는 대단히 어렵다. 즉 시안계폐수중에 6가크롬을 함유한 폐수가 혼입한다든지, 역으로 6가크롬폐수중에 시안폐수가 혼입한다면 혼입된 6가크롬 및 시안의 처리는 더욱 복잡하다. 또 산·알칼리폐수중에 시안이나 6가크롬이 혼입된 경우도 시안이나 6가크롬은 처리되지 않고 잔류하여 검출된다. 특히 다량의 시안성분이 공존하면 시안자체의 분해처리가 어려운 것이 이 방법의 결점이라고 할 수 있다.

따라서 시안폐수가 완벽하게 처리되어야 할 뿐만 아니라 처리후에 유해물질이 발생하지 않고 처리비용을 절감할 수 있는 폐수처리방법으로 공정개선을 시도하고자 한다.

일반적으로 포름알데히드(Formaldehyde)는 중

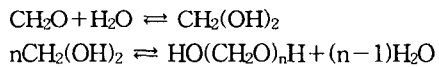
기상태로 피부에 접촉하면 자극성이 있고 발암가능성이 있는 것으로 알려져 있으나,³⁾ 수용액중에서의 포름알데히드는 수화물을 형성하여 수화단량체인 Methylene glycol과 Polyoxymethylene glycol로 공존하므로 독성물질이 아닐뿐만 아니라, 양성적인 성질이 있으므로 산성영역과 알칼리영역에서도 시안과의 반응성이 아주 우수하다고 하는 점⁴⁾과, 과산화수소(H₂O₂)와 중금속이 공존하면 강력한 산화력을 가진다고 하는 Fenton 산화법⁵⁻⁷⁾을 혼용하여 효율적인 폐수처리공정으로 개선시키고자 함이 본 연구의 목적이다.

2. 배경 이론

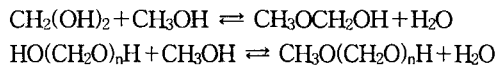
2.1 포름알데히드 수용액의 상태와 반응성⁴⁾

2.1.1 수용액의 상태

수용액중에서의 포름알데히드는 수화물을 형성하여 수화단량체인 CH₂(OH)₂ (Methylene glycol)과 (CH₂O)_nH₂O (Polyoxymethylene glycol)로 표시되는 수화중합물과 평형상태로 존재하는 것이 아래와 같이 명백해 졌다.



포름알데히드 수용액에 메틸알콜을 첨가하면 Methylene glycol 및 Polyoxymethylene glycol은 메틸알콜과 반응하여 다음과 같이 평형을 유지한다.

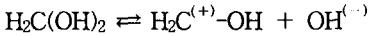


메틸알콜의 첨가에 의한 침전석출에 대한 억제작용은 윗식과 같이 초기의 포름알데히드 수용액의 평형조성에 영향을 주고 물에 대한 용해성이 낮은 Polyoxymethylene glycol의 농도를 감소시키기 위한 것으로 설명된다.

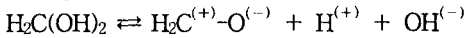
포름알데히드는 양성적인 성질이 있고 반응은 주로 전리한 분자에 의해서 행하여지고 있으므로, 반응속도는 전리분자의 농도 즉, 수소 및 수산이온농도에 의해 영향을 받는다. 산성측에서는 음이온은 소멸되고 양이온이 존재하며, 알칼리성측에서는 역으로 음이온이 존재하는데 비해 중앙부는 양성이온이 존재한다. 따라서 희석된 포름알데히드 수용액에서는 (I)~(III)의 평

형이고, 진한 용액중에서는 이외에 (IV)~(VI)의 존재가 제시되고 있다.

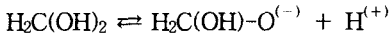
< I pH 2.6이하 >



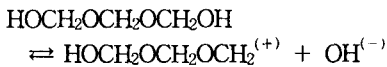
< II pH 2.6~4.5 >



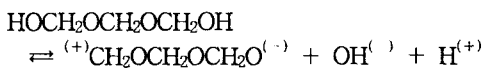
< III pH 4.5이상 >



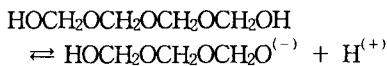
< IV 강산성용액하 >



< V 약산성용액하 >

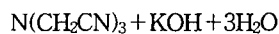
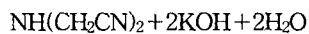
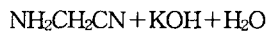
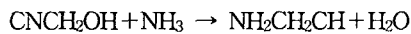
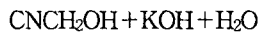
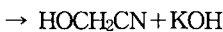
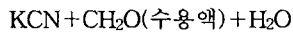
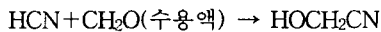


< VI 중성,알칼리 >



2.1.2 시안화합물과의 반응

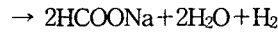
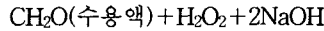
포름알데히드와 알칼리 시안화합물과의 초기 생성물은 Cyanohydrin이 생기고, 반응은 묽은 용액에서도 정량적으로 진행된다. 반응혼합물을 실온에 보관하면 가수분해를 하여 암모니아를 생성하고, 생성된 암모니아는 Cyanohydrin과 반응하여 아래와 같은 반응을 일으킨다.



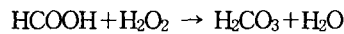
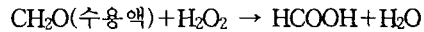
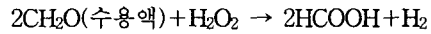
2.1.3 과산화수소와의 반응

알칼리 조건하에서의 포름알데히드는 과산화수소에 의해 정량적으로 급속히 산화되어 포름

산나트륨과 수소가 발생한다.



이 반응은 산성조건하에서도 같은 결과를 나타낸다. 알칼리성이 아닌 상태에 있어서도 과산화수소와 포름알데히드와의 반응은 본질적으로 알칼리가 존재하는 경우와 동일하며 반응은 다음과 같다.



3. 실험

3.1 합성폐수의 조제

실험에 사용된 시약은 純正化學(株)의 1급을 사용하였다. 합성폐수는 B지역의 도금폐수처리장에 유입되는 연평균농도의 약 10배인 고농도로 조제하여 원액으로 사용하였으며, 조제한 합성폐수는 시안계폐수로서 Table 1에 나타낸 바와 같다.

위와 같이 조제한 인공폐수의 원액을 10배로 희석하여 실험용액으로 사용하였으며 희석한 용액의 pH는 1.50 정도이고 전도도는 34,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 인 악성폐수이다. 실제 실험시에는 조제한 원액을 희석하여 그대로 사용하거나, 필요에 따라 시안농도와 각각의 중금속 농도만을 혼합하여 사용하였다.

3.2 실험방법

조제한 합성폐수 20ml를 취하여 200 ml로 희석시켜 Jar tester(영지과학, Model: D3-S1416)에 의해 150 RPM으로 교반하면서 실험하였고, 실험용액의 pH조정은 N/10 H_2SO_4 와 NaOH를 사용하였다. 산화제로서는 액상의 12% 차아염소산나트륨(NaClO)과 환원제로는 5% 중아황산소다(NaHSO_3)를 사용하였다.

실험한 상등액의 시안농도측정을 위하여는 이온메타(TOA Model: IM-20E 및 DMS Model: DP-880M)를 이용하였고, 이온메타의 사용시에는 2점교정법을 측정시마다 시행하였다. 필요시

에는 증류법도 함께 활용하여 흡광광도법으로 분석하였다. 이 분석법은 산성에서 에틸렌디아민테트라아세트산나트륨을 넣고 증류하여 시안화물 및 시안착화합물의 대부분을 시안화수소로 유출시켜, 수산화나트륨의 용액에 포집한 후 일부를 취하여 중화하고 클로라민 T를 넣어 염화시안으로 하며 피리딘-피라졸론 혼액을 넣었을 때 나타나는 정색반응이다.

Table 1. Preparation of artificial cyanized wastewater

Mixed compound	Atomic weight	Molecular weight	Conc. (ppm)	Solvent	
KCN	CN	26.0	55.1	5,000	Distilled water
CuSO ₄ · 5H ₂ O	Cu	63.5	249.6	2,000	Nitric acid
FeSO ₄ (NH ₄) ₂ SO ₄	Fe	55.5	391.6	1,500	Hydrochloric acid(1:1)
(NH ₄) ₂ Ni(SO ₄) ₂ · 6H ₂ O	Ni	58.7	394.8	500	Nitric acid
Zn	Zn	65.3	65.3	2,500	Nitric acid
K ₂ Cr ₂ O ₇	Cr	52.0	294.2	200	Distilled water

금속성분의 농도측정은 원자흡광광도계(Jarrel-ash Model: AA855)를 사용하였고, 검량선을 작성하기 위한 표준용액은 1000PPM(純正化學製)를 활용하였다. 합성폐액과 실제 폐액의 대표적인 수질을 측정하기 위해서는 전도도(Conductivity TOA: Model CM-30V)를 측정하여 수질을 파악하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 시안성분의 제거

4.1.1 비염소계 처리제를 이용한 시안제거

알칼리염소법에 의한 시안처리시의 여러가지 문제점 때문에 시안의 처리가능성을 과산화수소, 포름알데히드 및 두가지 성분의 혼합물에 대하여 검토하였다. 그 효과를 비교하기 위하여 시안농도 500 ppm과 다른 중금속 성분을 함유한 인공폐수에 과산화수소, 포름알데히드 및 두

가지 성분의 혼합첨가 상태로 처리한 결과에서 시안의 제거상태를 Fig. 1에 나타내었다. 이때 첨가하는 과산화수소와 포름알데히드의 양은 (H₂O₂/CN)=2.0, (HCHO/CN)=1.0 및 두가지 성분을 동시에 첨가하는 경우의 세가지를 비교하였다. 과산화수소 및 포름알데히드의 단독처리에서는 과산화수소의 반응성이 포름알데히드의 반응성보다 다소 좋은 편이지만, 두가지 모두 미흡하고 두가지의 혼합성분에 의한 처리결과는 단독처리의 경우보다 매우 큰 상승효과(synergy effect)가 있음을 보여준다. 그러나 시안성분이 중금속물질과 착염상태로 존재할 경우에는 제거에 어려움이 있으므로 이를 제거하기 위하여는 불용성착화합물의 형태나 pH를 조절하여 침전시켜 제거하여야 한다. 그리고 과산화수소의 존재시에 동이나 철이온이 공존할 때에는 이들 중금속이 촉매로 작용하여 반응을 촉진할 뿐만 아니라 잔류하는 산화수소는 산소와 물로 분해되기 때문에 최종 방류수의 부하를 감소시키는 장점이 있다¹⁰⁻¹²⁾

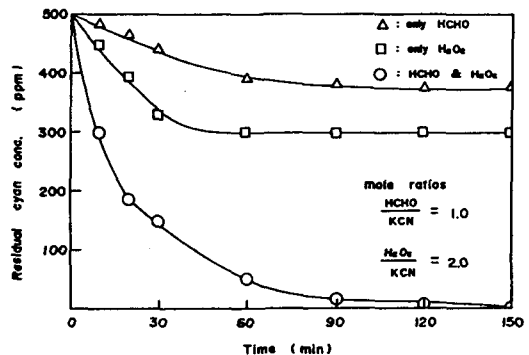
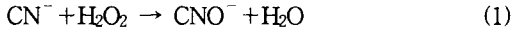


Fig. 1 Comparison of peroxygen, formaldehyde and two combination treatment for destroying cyanide (pH: 9.0, Temp: 20°C)

과산화물과 포름알데히드로 파괴되는 시안은 유리시안을 의미하며, 도금폐수중에 존재하는 시안은 주로 유리시안 CN⁻이나 CN⁻과 불안정한 평형을 이루고 있는 Zn(CN)₄등과 같은 착화합물들이고, 불용성 철착화합물인 Ferricyanide: [Fe(CN)₆]⁻³나 Ferrocyanide: [Fe(CN)₆]⁻⁴, ZnFe(CN)₆OH, 니켈 등으로 존재하는 이들 착화합물은 유리시안을 측정하는 방법으로 측정되지

않는다. 유리시안을 파괴하는 과정은 간단한 화학반응으로 표시하기는 대단히 어렵다. 그 이유는 파괴과정이 여러가지의 연계반응을 나타내고 있기 때문이고, 아래의 방정식(1) 내지 (3)은 과산화수소만으로 처리되는 분해 반응식을 나타내고 있다.



4.1.2 과산화수소의 영향

시안농도 500 ppm의 인공폐수에 첨가하는 포름알데히드의 양을 일정하게 하고 과산화수소의 변화량에 대한 영향과 제거효과 등을 검토하기 위하여, (HCHO/CN)의 몰비율을 0.8로 일정하게 유지시키고 (H₂O₂/CN)의 몰비율을 변화시키면서 실험한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 실제적으로 과산화수소만으로도 약간의 시안성분이 제거되기는 하지만 처리효과는 미흡하고, 일정량의 포름알데히드 존재하에서 과산화수소의 증감에 따른 시안성분의 제거효과에 아주 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있으며, 이 경우에는 1시간 이내에 모든 시안의 제거가 가능하다는 것을 알 수 있다. 따라서 포름알데히드를 첨가하지 않으면 20몰의 과산화수소를 사용하여도 1시간 이내에 제거반응이 완결되지 않음을 알 수 있다.

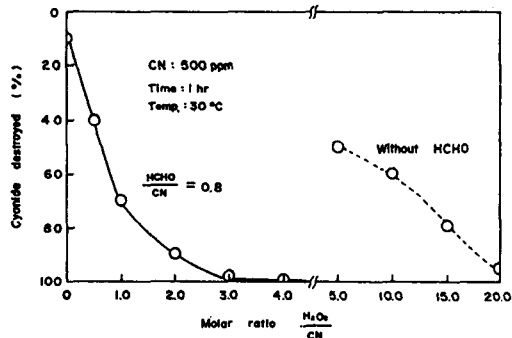


Fig. 2 Effect of increasing peroxygen content at keeping formaldehyde constant (pH=9.0, Temp. 30°C)

4.1.3 포름알데히드의 영향

포름알데히드의 첨가량변화에 대한 영향과 최적조건을 검토하기 위하여 (H₂O₂/CN)의 몰비율을 0.9로 일정하게 유지시키고, 포름알데히드의 첨가량 즉, (HCHO/CN)의 몰비율을 변화시키면서 실험한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 역시 포름알데히드만으로는 효과가 아주 미흡하고, 포름알데히드의 첨가량을 0.9~1.1몰로서 완전한 시안제거 효과를 발생시킬 수 있으나, 포름알데히드의 양을 과량으로 첨가하였을 때에는 시안의 제거효과가 다소 감소하였다. 이것은 일정한 과산화수소의 존재하에서 포름알데히드의 증가는 pH를 상승시켜 적정 pH 범위를 벗어났기 때문인 것으로 사료된다.

그러나 포름알데히드의 양을 일정하게 유지하여, 과량의 과산화수소를 첨가할 경우에는 아주 대조적인 결과가 나타났다. 이것은 충분한 포름알데히드의 존재하에서 과산화수소를 증가시키므로써 시안성분의 제거효과는 가속시킬 수 있다는 것을 의미한다.

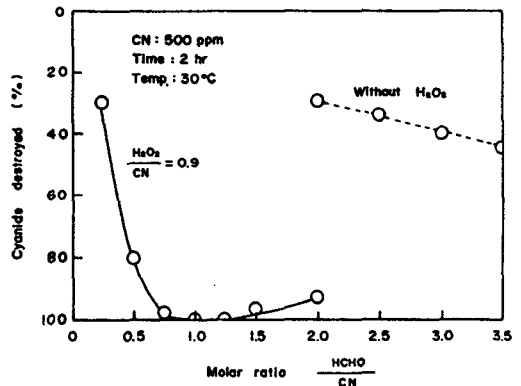


Fig. 3 Effect of formaldehyde content at keeping peroxygen constant (pH: 9.0 Temp. 30°C)

4.1.4 pH의 영향

pH변화에 대한 최적의 처리조건을 검토하기 위하여, 시안농도에 대한 포름알데히드 첨가농도 [(HCHO/CN)=0.9]와 과산화수소의 첨가농도 [(H₂O₂/CN)=1.1]를 일정하게 유지하고 pH를 변화시키면서 실험한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 이 때 사용된 폐수의 시안농도는 500 ppm 이었고 완전처리가 가능한 pH범위는 9.5~11.0 이었다. 그리고 Fig. 5에는 시안성분의 제거속도

를 몇가지 pH조건에서 실험한 결과를 나타내었다. 이때 시안성분의 제거효과는 pH 10~11에서 가장 좋고 아주 빠르게 일어났다. Fig. 5에서 pH 10~11범위의 반응이 매우 빠르게 진행됨을 나타내고 있으나, 이러한 pH 범위만이 완전한 시안성분의 제거영역이라는 의미는 아니다. 즉, pH 8~9의 범위에서 반응시간을 연장시킴으로써라도 완전한 제거가 가능하고, pH가 12 이상인 경우도 정상적인 반응물농도로써 역시 반응시간을 조절하면 제거가 가능하다

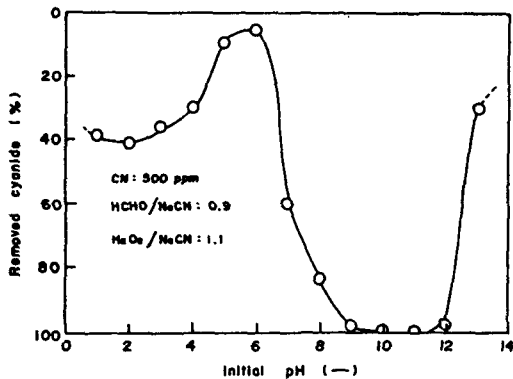


Fig. 4 Effect of pH for destroying cyanide after 1 hour

4.1.5 온도의 영향

반응온도는 처리공정의 효율에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 온도변화에 대한 최적의 처리조건을 검토하기 위하여 10°C, 20°C, 30°C에 대한 실험한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 이때의 처리조건은 포름알데이드의 첨가율(HCHO/CN = 0.9)과 과산화수소의 첨가율(H₂O₂/CN = 1.1)을 고정하였을때 처리경향을 나타내고 있다. 특히 이러한 시안제거방법은 고농도처리에 효과적일 뿐만 아니라 상당히 높은 온도의 반응조건이 요구됨을 나타내고 있기 때문에, 가능하면 폐수의 농도를 희석시키지 않고 고농도로 처리하는 것이 효과적이라는 것을 암시하고 있다.

4.2 실제폐수의 처리 및 공정개선

이미 언급한 바와 같이 도금폐수중에는 단일 금속만이 존재하는 경우는 거의 없다. 이것은 도금방법이나 사용되는 소재에 따라 그 폐수에 함유된 중금속의 종류는 다양하게 된다. 특히

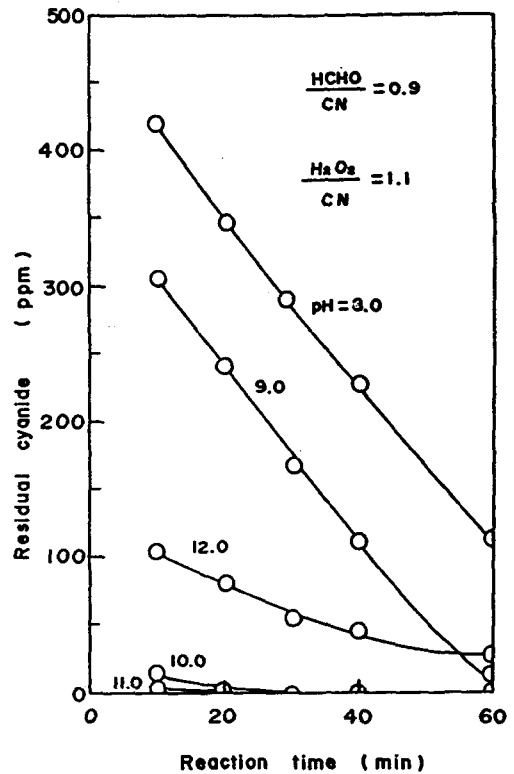


Fig. 5 Effect of pH on cyanide removal rate

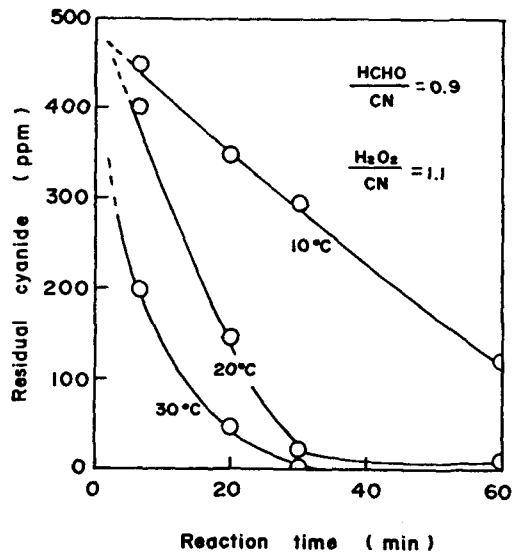


Fig. 6 Effect of temperature for destroying cyanide

본 공정에서와 같이 단일 금속이 아니고 많은

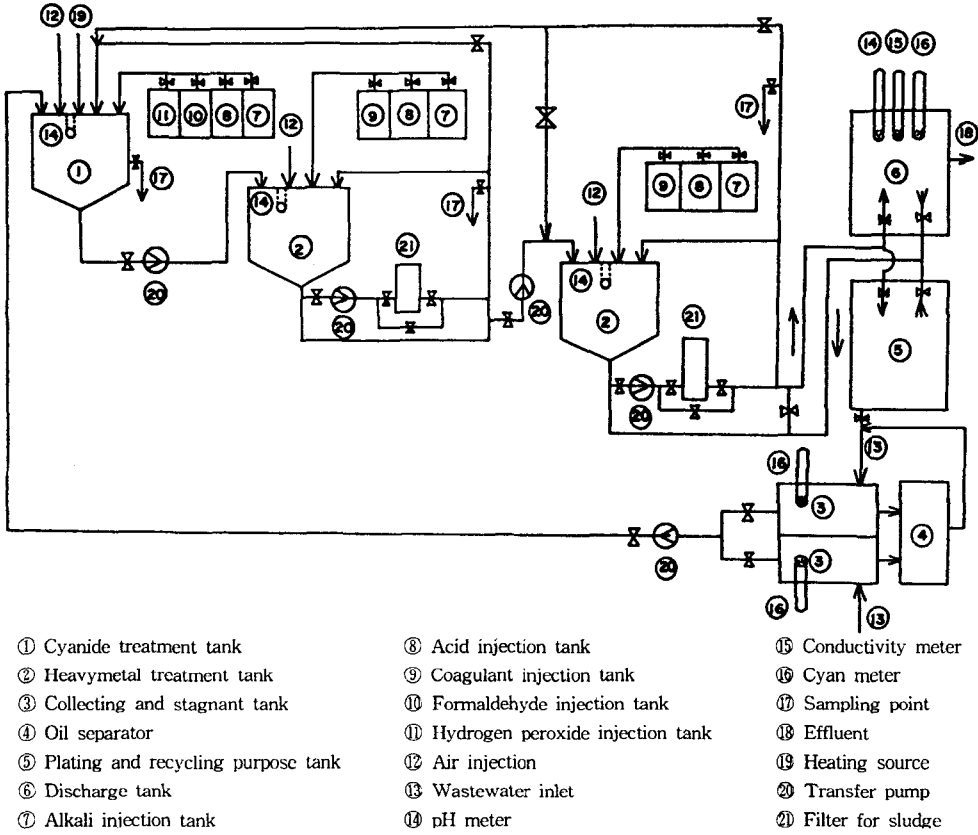


Fig. 7 Layout of electroplating wastewater treatment and recycling system

Table 2. Comparison of test results between synthetic and actual wastewater treatment (at 30~35°C)

Sample	Conc.	pH	Cont'y (μ S/cm)	CN (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cr (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Chemical	
										HCHO/CN	H ₂ O ₂ /CN
Discharge limit		5.8~8.6	—	<1	<10	<5	<2	—	<3	—	—
Synthetic wastewater	Before	1.5	34,000	503	155	245	198	500	206	0.9	1.1
	After	10.5	32	trace	6	3	1	5	1	—	—
Actual Waste. A	Before	8.2	30,200	548	134	267	24	55	202	0.9	1.1
	After	10.0	28	trace	8	4	1	4	1	—	—
Actual Waste. B	Before	10.8	61,400	32	310	280	105	40	276	0.9	1.1
	After	10.3	74	trace	8	4	1	3	2	—	—

사업장에서 배출된 여러가지의 금속성분이 시안 성분과 같이 혼합된 경우는 시안성분을 제거하지 않으면 다른 중금속성분이 제거되지 않기 때문에 시안성분의 제거가 가장 중요하다. 본 처리공정은 온도에 민감한 처리방법이므로 가열원을 필요로 하는 것이 특징이다.

Fig. 7에 도금폐수의 처리를 위한 전체적인 공정의 개선도면을 나타내었다.

유입폐수의 수집 및 정지를 위한 탱크가 2개로 설계되어 있으며 그 크기는 폐수배출량을 24시간이상 수용가능한 크기로 설계할 것을 추천한다. 그 이유는 모든 공정의 화학적 반응 및

기계적 처리를 완결시키는데는 2시간이면 가능하지만, 사업장에는 충분한 여유시간이 필요하기 때문이다. 그리고 폐수의 처리 및 저장탱크는 재질부식을 고려하여 SUS 316으로 하고, 수송관은 방호조치가 충분하다면 PVC관으로 대체하여도 무방할 것으로 사료된다. 과산화수소와 포름알데이드는 구입시에 보관된 용기로부터 분액이 가능하고 계량을 할 수 있으면 충분하다. 그러나 약품이송에 사용하는 펌프는 내산, 내알칼리용 펌프이어야 할 것이며 유지관리에 특별한 관리가 필요하다.

Table 2는 본 실험에서 사용하였던 인공폐수와 기존의 공동처리장 폐수A 및 도금사업장의 도금폐수 B를 수집하여 적용가능성을 비교 검토한 것이다. 아래와 같이 실제폐수에 있어서도 포름알데이드와 과산화수소를 혼용한 시안성분의 처리효과는 매우 양호한 것으로 나타났다. 공존하는 중금속성분은 소재의 종류와 도금방법에 따라 많은 차이가 있을 수는 있지만, 실험에 사용된 실제 폐수의 처리에는 문제점 없이 처리가 되는 것으로 나타났다. 폐수를 방출하거나 재활용의 목적에 사용하기 전의 pH는 대체적으로 알칼리영역에 있다. 따라서 방출을 위하여는 pH를 적절히 조절하여야 한다.

본 처리법은 반응온도에 대단히 민감하기 때문에 반응조의 수온유지에 많은 주의를 할 필요가 있으며, 가열방법은 반응조의 수량이 증가하지 않도록 하며 이를 위하여는 재질의 내식성이 강한 침적식(Immersion heater)으로 가열하는 것이 바람직 한 것으로 사료된다.

도금폐수중에는 착화제, 계면활성제, 광택제 및 소재에 부착하고 있는 유분 등 많은 것이 COD의 원인물질로 생각되어진다. 따라서 도금폐수의 COD는 사용약품의 종류 또는 사용방법에 의해 많이 변화한다. 본 공정에서는 처리수의 재활용을 목적으로 공정개선이 될 것이기 때문에 사용수량이 감소되어 COD의 값은 오히려 증가하고 악화될 가능성이 있다. 따라서 이러한 처리법을 적용하기 위하여는 COD가 증가되지 않게 처리수를 바로 방출한다는 가정하에서는 별문제가 없으나 재순환하여 활용하기 위하여는 COD 처리문제에 대한 연구가 계속되어야 할

것이다.

5. 결 론

독극물을 사용하는 도금사업장의 폐수처리방법에 대한 문제점을 해결하고 보다 효율적인 처리공정으로 개선하기 위하여, 포름알데이드와 과산화수소를 이용한 폐수중의 시안성분 처리에 대한 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 시안성분의 제거시에 포름알데이드와 과산화수소의 단독성분으로는 제거효과가 미흡하나, 두가지의 혼용시에는 처리의 상승효과(synergy effect)가 있기 때문에, 포름알데이드의 첨가량을 $HCHO/CN=0.9$, 과산화수소의 양을 $H_2O_2/CN=1.1$ 의 몰비율로서 완전한 제거가 가능하다.
- 2) 시안폐수의 최적처리온도는 30℃ 이상인 것으로 판명되었기에 폐수처리장에는 가온장치가 필요하며, 따라서 이 방법은 저농도 다량 처리보다 고농도 소량처리에 더욱 효과적인 방법이다.
- 3) 충분한 과산화수소의 첨가는 제거효과를 가속시키고 잔류분은 물과 산소로 분해되기 때문에 문제가 없으나, 포름알데이드의 과량첨과는 적정 pH영역을 변화시켜 처리효과를 감소시키는 결과를 가져오기 때문에 적정량을 사용하여야 한다.

이 논문은 1996년도 부경대학교 산·학·연 협동연구센터의 연구비 지원에 의해서 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) B. F. Dodge and W. Zabban, See also AES Research Reports Serial No. 2(Research Project No. 10) and Serial No. 33, A State of the Art Review of Metal Finishing Treatment, U.S Dept. of the Interior, Federal Water Quality Administration 16, 13/4, 12010 EiE 11/68.
- 2) 今井雄一, 金屬表面工業全書 ムツキ排水處理

- 技術, 振書店, pp. 44~208, 1976.
- 3) Michael D. Lebowitz, James J. Quackenboss, Formaldehyde, Exposure Effects on Human Health, Handbook of Hazardous Materials, Academic Press, pp. 285~291, 1993.
 - 4) 井本 捨, 恒内 弘, 黄 慶雲, ホルムアルデヒド, 朝倉 書店, pp. 17~43, 354~355, 1970.
 - 5) A. R. Bowers, P. Gaddipati, W. W. Eckenfelder and R. M. Monson, Treatment of Toxic or Refractory Wastewaters with Hydrogen Peroxide, Water Science Technology, Vol. 21, pp. 477~486, 1989.
 - 6) Sims, A. F. E., Phenol Oxidation with Hydrogen Peroxide, Effluent and Water Treatment Journal, Vol. 21, No. 3, pp. 109~112, 1981.
 - 7) Harber, F., and Weiss, J., The Catalytic Decomposition of Hydrogen peroxide by Iron Salts, Proc. Roy. Soc. (London), A 147, pp. 332~352, 1934.
 - 8) 韓國鍍金工業協同組合, 韓國鍍金工業便覽, pp. 30~31, 1994.
 - 9) 환경부, 환경보존협회, 환경관계법령집, 동시행령, 동시행규칙, 1995.
 - 10) D. F. Bishop, G. Stem, M. Fleischman and L. S. Marshall, Hydrogen peroxide catalytic oxidation of refractory organics in municipal wastewaters, Ind. Eng. Chem. Process Design Devel., Vol. 7, pp. 110~117, 1968.
 - 11) Kang, J. W., A Kinetic Model of the Ozone-Hydrogen peroxide process for treatment of ground water, University of California, Los Angeles, Ph. D. Dissertation, 1989.
 - 12) G. W. Ayling and H. M. Castrantas, Waste treatment with hydrogen peroxide, FMC Corp. p. 236, 1988.
 - 13) Metal plating Corp, Connersville, Ind., Zinc Sludge Recycling After Kastone Treatment of Cyanide Bearing Rinse Water, Industrial Environmental Research Lab-Cincinnati, Ohio Commerce National Technical Information Service, pp. 266~929, 1977.