J. Korean Soc. Environ. Eng., 37(4), 204~209, 2015
Original Paper
http://dx.doi.org/10.4491/KSEE.2015.37.4.204
ISSN 1225-5025, e-ISSN 2383-7810

희생전극을 이용한 무전해 니켈 도금 폐수의 전기분해처리 최적화

Optimization of Electrolysis Using Sacrificial Electrode for the Treatment of Electroless Nickel Plating Wastewater

김영신† · 전병한 · 조순행
Young-Shin Kim† · Byeong-Han Jeon · Soon-Haing Cho

아주대학교 환경공학과
Department of Environmental Engineering, Ajou University

(Received February 11, 2015; Revised March 16, 2015; Accepted April 17, 2015)

Abstract : The effluent limit of nickel from electroplating wastewater has been strengthened from 5 mg/L to 3 mg/L from 2014. However, currently applied treatment process for nickel plating wastewater is unable to meet the effluent limit, most of the treatment concept conducted by treatment plant is dilution with other metal bearing wastewater. This can cause very significant impact to the environment of nickel contamination. With this connection, the feasibility test has been conducted with the use of electrolysis by using sacrificial electrodes. Experiments were conducted in synthetic and electroless nickel plating wastewater. Optimal condition of current density, pH were derived from the synthetic wastewater. It was found that the removal efficiency of nickel exceeded 94% at the operation condition of at pH 9 and the current density of 1~2 mA/cm^2. At this conditions, the iron sludge was generated very low amount. However, it was unsuccessful to meet the effluent limit by applying these treatment conditions to the real electroplating wastewater. This can be explained due to the matrix effect of other metals and anions contained real electroplating wastewater. From the result of further study, the optimal conditions for the real wastewater treatment were found out to be at pH 9, current density 6~7 mA/cm^2, for 5 minutes of operating time. At these conditions, 88% removal of nickel was achieved, which results the residual nickel concentration was below 3 mg/L.
Key Words : *Sacrificial Electrode, Electrolysis, Nickel, Coprecipitation, Electroless Plating Wastewater*

요약 : 2014년을 기준으로 도금폐수에 함유한 중금속중 니켈은 5 mg/L에서 3 mg/L로 방류수 기준이 강화되었다. 그러나 현재 적용되고 있는 도금폐수 중의 니켈 처리방법으로는 방류수 기준치 이하로 처리하기 어려워 대부분의 처리 업체에서 다른 폐수와 혼합하여 단순한 희석에 의해 농도를 낮추고 있는 실정이다. 이는 환경에 지대한 영향을 미칠 수 있으며 이에 따라 본 연구에서는 희생전극을 사용한 전기분해 방법을 적용하여 실질적이며 효율적인 니켈의 처리방법을 제시하였다. 실험은 인공폐수 및 실폐수로 수행하였으며 인공폐수 실험에서는 전기분해과정에서 니켈 제거 효율에 영향을 줄 수 있는 전류밀도와 pH를 변화시키며 최적의 효율을 나타내는 조건을 도출하였다. 실험결과 니켈 제거 효율은 94%를 상회하며 잔류니켈농도는 방류수 기준치 이하로 낮추고 철 슬러지 처리로 인한 경제성까지 고려한 조건으로 전류밀도 1~2 mA/cm^{2}와 pH 9가 도출되었다. 이 처리 조건을 실폐수에 적용시켰을 때 니켈 제거 효율은 60~70%로 인공폐수 실험결과보다 제거효율이 낮게 조사되었다. 이는 실폐수에는 다른 중금속 및 음이온이 다량 함유되어 있어 처리 효율에 영향을 미친 것으로 판단된다. 실폐수의 경우 pH 9에서 전류밀도 6~7 mA/cm^2 조건으로 5분 동안 전기분해 처리를 하였을 때 니켈 제거효율 88% 이상, 처리수의 잔류 니켈 농도 3.0 mg/L 이하로 방류수 기준을 만족시킬 수 있었다.
주제어 : 희생전극, 전기분해, 니켈, 공침, 무전해 도금폐수

1. 서 론

도금공정에서는 도금의 질과 효율을 향상시키기 위해서 불순물을 제거하는 세척 과정이 수반되며 이를 위하여 산·알칼리 및 CN 화합물이 사용된다. 따라서 도금폐수는 다양한 중금속과 CN 화합물을 함유하고 있으며 pH는 강산성이다. 중금속을 비롯하여 도금폐수에 함유된 물질은 낮은 농도로도 생물농축 및 기형 등의 심각한 피해를 미칠 수 있는 물질이므로 도금공장에서 발생되는 폐수는 적합한 처리를 거친 후 방류하는 과정이 필요하다. 도금 폐수에 함유된 중금속 중 니켈은 환경부에서 발표한 수질오염물질의 배출허용농도가 2012년 기준 5.0 mg/L에서 2014년 기준 3.0 mg/L로 규제가 강화되었다. 본 연구는 이런 규제 강화에 대응하여 보다 효과적인 니켈 처리 공정을 개발하기 위함이다.

도금폐수를 처리하는 방법으로는 공정이 비교적 용이한 침전법이 대부분의 사업장에서 시행되고 있다. 이 방법은 화학약품을 투여하여 pH를 높이고 알칼리 상태에서 금속이온을 비용해성인 수산화물로 만들어 응집 및 침전시키는 처리방법이다. 침전제 이외의 별도 장비 및 설비가 필요하지 않으므로 다른 도금폐수 처리 방법보다 비교적 경제적이며 운전 조작이 쉽다는 장점이 있다. 그러나 금속에 따라서 착이온을 형성하여 수산화침전물의 형성을 어렵게 하거나 재용해되는 물질도 있으며 무전해 도금폐수는 응집방지제도 포함하고 있어 침전물을 형성을 방해한다. 그리고 안정제를 포함하고 있는 무전해 도금 폐수의 pH 1단위를 올리는 것은 다량의 약품을 투입해야 하며 적정 pH가 유지되지

† Corresponding author E-mail: pyred2005@naver.com Tel: 031-498-3390 Fax: 031-498-3394

못하면 강화된 환경규제치에 대한 배출허용농도를 만족시키지 못할 수도 있다.

이러한 경우 도금폐수 중 미량의 중금속을 처리하기 위하여 제거 효율이 우수한 이온교환, 멤브레인 등의 공정을 이용하기도 하지만 이온교환 방법은 부유물 농도가 높을 경우 이온교환수지칼럼을 막아 운전효율을 떨어뜨리므로 중금속 처리 효율을 높이기 위해 전처리를 해야 한다. 또한 용액에 존재하는 모든 이온들이 동일하게 제거되지 않고 선택적으로 제거된다. 멤브레인 방법은 콜로이드 물질이 존재할 경우 막에 Fouling 현상이 일어 날 수 있으므로 이온교환과 마찬가지로 전처리가 필요하고, 막의 flux를 복원하기 위해 규칙적인 세척이 필요하다는 단점이 있다.[1] 또한 이온교환, 멤브레인을 이용한 처리는 일정 시간 경과 후 이온교환수지 및 멤브레인 필터의 일부 및 전체 교체가 필요하여 초기 설비비용에 준하는 유지관리비용이 요구된다. 더욱 규제가 엄격해지는 방류수 수질 기준에 부합하기 위해서는 기존의 처리 공정과 비교해 효율은 향상되고, 공정 운전은 간단하며 경제성을 고려한 처리 방법이 필요하다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 희생전극을 이용한 전기분해 처리 방법을 들 수 있다. 이 방법은 전해질 수용액에 용해성전극을 사용하며 전류를 흘려주어 용액 속의 대상물질을 산화 또는 응집을 통해 오염물질을 제거하는 방법이다. 금속수산화물 생성 메카니즘은 다양하게 연구되어 왔으며 양극에 철 전극을 사용했을 때 반응 메카니즘은 다음과 같다.

[Anode]

$$Fe\ (metal) \rightarrow Fe^{2+} + 2e^- \quad (1)$$

$$Fe\ (metal) \rightarrow Fe^{3+} + 3e^- \quad (2)$$

$$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^- \quad (3)$$

$$4OH^- \rightarrow 2H_2O + O_2 + 4e^- \quad (4)$$

[Cathode]

$$H_2O \rightarrow H^+ + OH^- \quad (5)$$

$$Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 \downarrow \quad (6)$$

$$Fe(OH)^{2+} + OH^- \rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow \quad (7)$$

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \quad (8)$$

$$Fe^{3+} + 3OH^- \rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow \quad (9)$$

양극에서는 희생전극이 이온형태로 용출되고 산소기체가 발생하며(식 (1)~(4)), 음극에서는 물의 전해반응과 철 수산화물의 생성반응이 일어나고 수소기체와 OH^-이온이 생성된다(식 (5)~(8)). 그리고 양극에서 생성된 Fe^{3+}은 알칼리도와 결합하여 다음과 같은 반응단계에 의해 수산화물로 침전된다(식 (9))[2] 전기응집 및 전기산화를 통해 중금속뿐만 아니라 시안 같은 음이온도 제거가 가능한 것으로 알려져 있다.[3] 물이 전기분해 되면서 발생된 수산화이온이 양극에서 용출된 금속이온과 결합하여 발생한 콜로이드성의 수산화물은 흡착성이 높아 다른 오염물질과 함께 공침한다. 이 방법은 사용되는 전극의 종류에 따라서 중금속 제거효율이 달라진다.[3,4] 특히 철 전극을 사용하였을 때 생성되는 수산화철은 중금속에 대한 흡착능력이 우수하여 도금폐액의 중금속을 효율적으로 공침제거 시킬 수 있다.[5] 전기분해법은 pH 및 전류밀도, 반응시간에 영향을 받고, COD도 감소시키는 것으로 알려져 있다.[6-8] 그리고 슬러지 발생량이 적고, 폐수에서 회수된 중금속은 재사용이 가능하며 중금속을 미량으로 포함하는 폐수에 대해서도 적용할 수 있다는 장점이 있다. 장치 설비비용 측면에서 현재 보편적으로 사용되고 있는 침전처리공정 대비 비교적 고가이지만 운영시 추가적인 처리 비용이 들지 않는 장점이 있다.[1]

본 연구는 기존의 혼합식 도금폐수 처리방법을 지양하고 폐수에 함유된 중금속을 효율적으로 처리하고자 중금속별 단일 처리 공정으로 전기분해 방법을 연구하였다. 그리고 희생전극을 이용하여 도금 폐수에 함유된 니켈의 제거 효율을 조사하여 방류수 중의 니켈 배출허용기준치인 3.0 mg/L 이하로 처리하는 것에 목표를 두었으며 실제 공정에서 효율적으로 니켈을 제거할 수 있는 운전인자들을 도출하여 최적공정 조건을 제시하였다.

2. 실험방법

2.1. 인공폐수 및 실폐수 제조

인공폐수는 0.01 M 질산니켈($Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$)을 표준용액으로 하여 실험에 필요한 농도로 희석하였다. 제조된 인공폐수의 니켈 농도는 18 mg/L이다.

실폐수는 무전해 니켈도금을 하는 A공장의 도금욕조액을 사용하였으며, Table 1은 ICP로 폐수 중의 중금속을 분석한 결과이다. 그리고 인공폐수와 농도를 맞추기 위하여 실폐수를 희석하여 니켈의 농도를 20 mg/L로 하였다.

2.2. 실험 조건 선정

도금 폐수 처리에서 일반적으로 사용되고 있는 알칼리 조건에서의 침전 방법으로 인공폐수를 사용하여 pH에 대한 니켈 제거 효율 실험을 하였다. 니켈이 수중에서 반응하여 형성하는 화학종을 대상으로 상변화가 일어나는 optimum pH를 Solubility Diagram (Fig. 1)으로부터 유추하였다. Fig. 2는 니켈 초기농도가 18 mg/L인 인공폐수로 각기 다른 알칼리 pH에서 니켈을 침전 제거시킨 결과이다. 이 결과에 의하면 pH 10.5까지는 pH가 높아짐에 따라 처리수 중의 니켈 농도는 감소하였고 pH 값이 9.5에 이르러서야 배출허용기준치

Table 1. Constituents of electroless nickel plating waste water

	Pb	Cu	Cd	Cr	Ni	Zn	Mn	Fe	As
Conc. (mg/L)	0.04	21.79	ND	0.409	58.03	1.692	0.146	1.142	ND

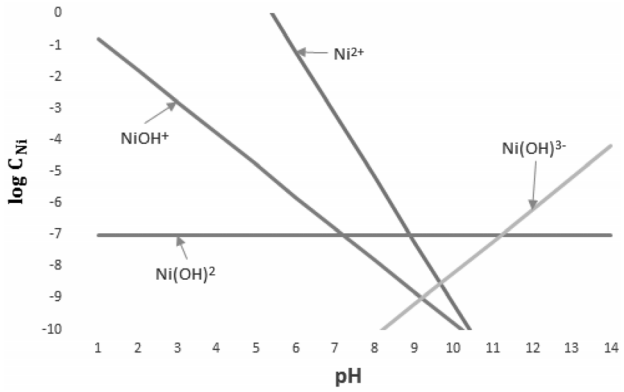

Fig. 1. Solubility diagram of nickel.

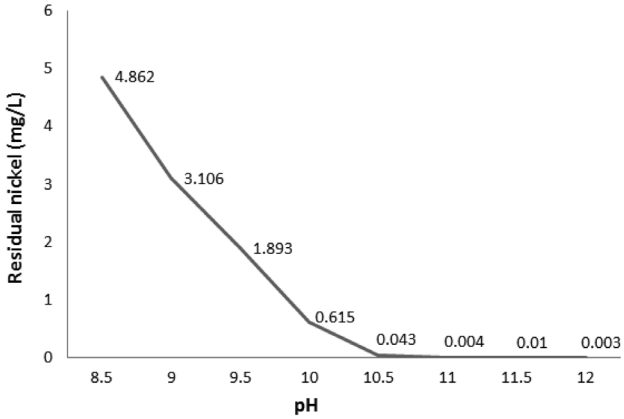

Fig. 2. The residual concentraion of nickel in synthetic waste-water at various pH.

이하의 농도로 나타났다.

pH가 높아질수록 니켈은 수산화물 형태로 침전이 많이 생성되어 제거효율이 높아진다. 그러나 응집침전 방법으로 니켈의 배출허용기준치인 3.0 mg/L를 만족시키기 위해서는 pH를 9.5 이상으로 유지시켜야하며 최종 방류 단계에서는 다시 중성 pH로 조정하여야 하는 단점이 있다. 따라서 희생전극을 이용한 전기분해 방법으로 방류수 기준치에 가장 가까운 pH에서 니켈 제거 효율을 조사하였다.

2.3. 실험장치

회분식 실험에서 사용된 전원공급기는 직류 전압 최대 30 V, 전류는 최대 5 A까지 조정 가능한 150 W 용량의 UNICORN TMI사 UP-3005T Laboratory DC Power Supply이다. 1회 실험에 시료 250 mL가 사용되었으며 전극은 가로 40 mm × 세로 120 mm × 두께 3 mm의 Fe 재질을 양극과 음극에 모두 사용하였다. Fig. 3은 실험에 사용한 처리장치로 양 전극에는 각각 한 개씩의 전극을 사용하였으며, PE 재질의 구조물에 의해 고정되었다. 전극을 고정하는 구조물은 전극의 간격을 단계적으로 조정 가능하며, 두 전극 사이로 교반 장치가 들어갈 수 있도록 설계하였다. 교반기는 최대 300 rpm까지 조정 가능한 국제사이언스사의 25-MST-60 jar-tester를 사용하였다. 교반 날개의 크기는 가로 60 mm × 세로 20 mm로 양

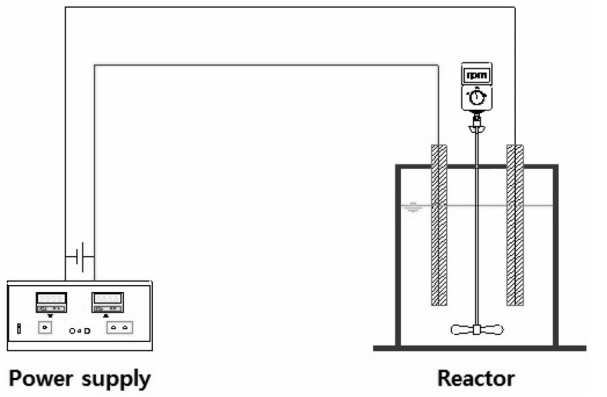

Fig. 3. Experimental system.

전극의 아래쪽에 위치하여 회전함으로써 희생전극에서 용출되는 Fe 이온을 음이온과 효과적으로 반응하도록 하였다.

2.4. 희생전극에 의한 인공폐수 처리

실폐수에 존재하는 다른 물질들의 영향을 배제하기 위해 인공폐수를 사용하여 니켈제거의 최적조건을 도출하기 위한 실험을 하였다. 전기분해과정에서 침전된 실험액을 pore size 0.45 μm 여과지를 사용하여 고액 분리하였으며 여과지를 통과한 처리수의 니켈 농도를 측정하여 제거 효율을 분석하였다.

2.4.1. 전류밀도 선정

전류밀도는 단위 면적당 흐르는 전류의 양으로써 전류의 세기가 커지면 양극에서 철 이온이 다량으로 용출되어 침전되는 수산화철의 양도 증가한다. 수산화철은 니켈 제거에 관여하므로 결국 전류밀도의 변화는 니켈 제거 효율의 변화를 초래한다. 전류밀도는 1.25~10 mA/cm^2 조건에서 인공폐수를 사용하여 분석하였다. 전해질은 0.1 M NaCl 20 mL를 주입하였으며, pH는 9, 반응시간은 5분을 적용하였다.

2.4.2. pH 선정

중금속이 수산화물을 만들어 침전되는 것은 pH에 영향을 받는다. 전기분해공정도 수산화철을 생성하는 과정을 수반하므로 pH에 따른 니켈 제거 효율을 분석하였다. 금금속수산화물은 주로 알칼리 조건에서 생성되므로 pH 조건은 중성보다 높은 8~11로 선정하였다. pH는 약품에 의한 부피변화를 최소화하기 위해 1 N, 0.5N NaOH를 주입하여 조절하였다. 전해질로써 0.1 M NaCl 20 mL를 주입하였으며, 전류밀도는 1.25~10 mA/cm^2, 반응시간은 5분을 적용하였다.

2.5. 희생전극에 의한 실폐수 처리

인공폐수 처리 실험에서 도출된 최적 실험 조건을 실폐수 처리에 적용하여 실험하였다. 전기분해과정 후 인공폐수 처리 실험과 동일한 pore size 0.45 μm 여과지를 사용하여 고액 분리하였으며 여과지를 통과한 처리수의 니켈 농도를 측정하여 제거 효율을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전류밀도 선정

전류밀도의 차이에 따라서 니켈 제거 효율의 변화를 조사하기 위하여 전류밀도 1.25, 2.5, 5, 10 mA/cm^{2}에서 전기분해 과정을 진행하였다. Fig. 4와 5는 각각의 전류밀도에서 니켈 제거 효율과 처리수에 잔류하는 니켈농도를 나타낸 결과이다. 처리수의 잔류 니켈 농도는 1.25 mA/cm^{2}에서 0.972 mg/L, 2.5 mA/cm^{2}에서 0.664 mg/L, 5 mA/cm^{2}에서 0.238 mg/L, 10 mA/cm^{2}에서 0.201 mg/L를 나타내 모두 3.0 mg/L 이하로 처리되었다. 니켈 제거 효율은 최저 94.56%에서 최고 98.88%로 모든 전류밀도 조건에서 90% 이상의 제거효율을 나타냈으며 잔류니켈농도는 배출허용기준 이하로 검출되었다. Fig. 6은 전기분해과정에서 용출된 철의 양을 분석한 결과이다. 용출된 철의 양은 전류밀도가 높아짐에 따라 증가하는 경향을 보이므로 전류밀도 크기와 용출되는 철의 양은 상관관계가 있다고 판단할 수 있다. 그러나 전류밀도가 5 mA/cm^{2}일 때 용출되는 철의 양은 5.619 mg으로 10 mA/cm^2 때 9.527 mg에 비하여 60% 수준임에도 불구하고 니켈 제거 효율은 98.67%와 98.88%로 큰 차이가 나지 않았다.

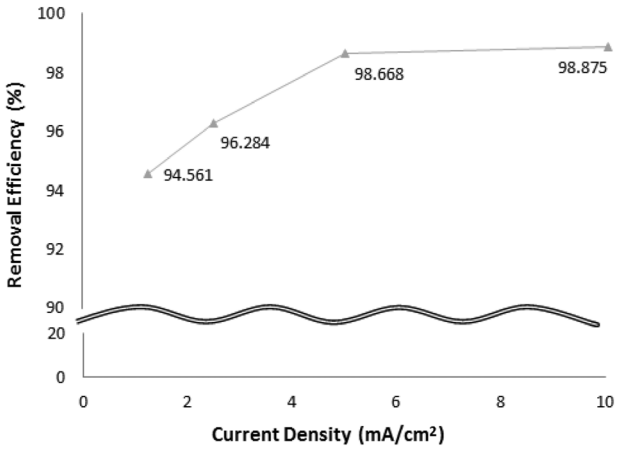

Fig. 4. Removal efficiency of nickel at various current density.

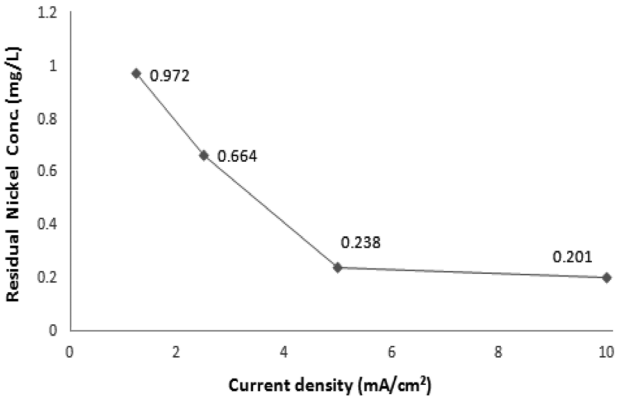

Fig. 5. Residual concentration of nickel at various current density.

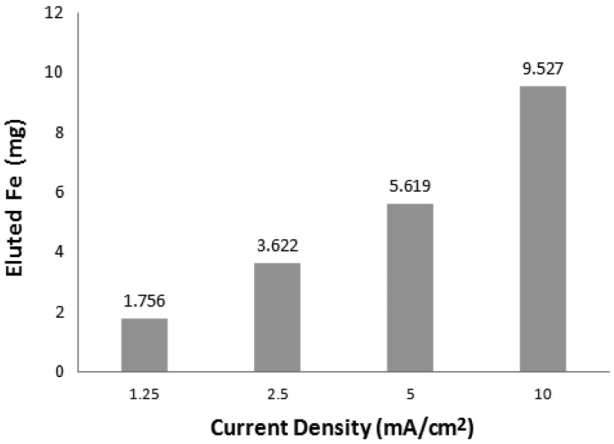

Fig. 6. Eluted amount of iron at various current density.

이 결과는 반응에 필요한 철의 양 이외에 필요 이상으로 용출된 철은 슬러지 문제를 야기시킬 수 있다고 예상할 수 있다. 용출된 철 중 처리수에 존재하는 철 농도는 최대 1.08 mg/L로 배출허용기준 10 mg/L 이하를 유지할 수 있었으며 과량으로 용출된 철의 대부분은 수산화철 상태로 침전되어 존재하는 것으로 조사되었다

3.2. pH 선정

인공폐수를 사용하여 pH를 8, 9, 10, 11로 변화시켜 알칼리 상태에서의 니켈 제거 효율을 조사하였다. Table 2는 pH의 변화에 따른 잔류니켈농도를 나타낸 결과이다. pH 8에서 전류밀도 1.25 mA/cm^2, 2.5 mA/cm^2, 5 mA/cm^2, 10 mA/cm^{2}일 때 처리수의 잔류니켈농도는 각각 10.29 mg/L, 7.449 mg/L, 6.825 mg/L, 5.459 mg/L이었으며 니켈 제거효율은 최저 42.8 % 최고 69.6%로 나타났다. pH 8 조건에서는 낮은 니켈 제거효율 보였으며 배출허용기준인 3.0 mg/L 이하로 니켈농도를 낮출 수 없었다. pH 9일 때 각각의 전류밀도에서 잔류니켈농도는 0.972 mg/L, 0.664 mg/L, 0.238 mg/L, 0.201 mg/L로 나타나 모든 조건에서 3.0 mg/L 이하로 처리되었다. 니켈 제거효율은 94.6%~98.9%로 조사되었으며, 전류밀도 1.25 mA/cm^2 만으로도 효율적으로 니켈을 제거할 수 있었다. pH 10 조건에서는 처리수의 잔류니켈농도가 0.026 mg/L, 0.021 mg/L, 0.016 mg/L, 0.012 mg/L을 나타내었고, pH 11 조건에서는 0.01 mg/L, 0.007 mg/L, 0.008 mg/L, 0.006 mg/L로 더욱 낮은 수치를 나타내었다. pH가 높아질

Table 2. Residual Concentration of nickel ion at various current density, pH (mg/L)

Current density	1.25 mA/cm^2	2.5 mA/cm^2	5 mA/cm^2	10 mA/cm^2
pH 8	10.29	7.449	6.825	5.459
pH 9	0.972	0.664	0.238	0.201
pH 10	0.026	0.021	0.016	0.012
pH 11	0.01	0.007	0.008	0.006

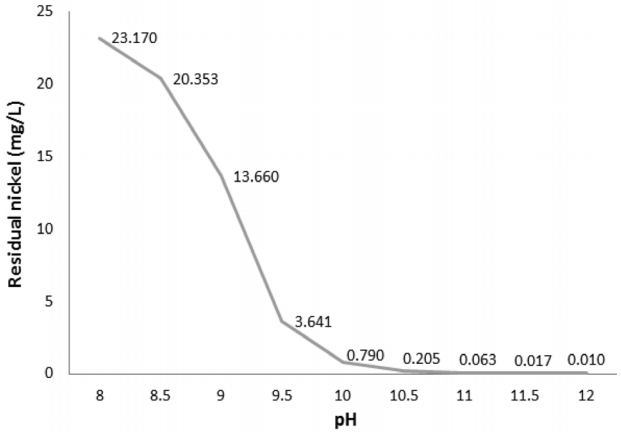

Fig. 7. Residual concentraion of nickel in electroless plating wastewater at various pH.

수록 니켈의 제거 효율도 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 무전해 도금 폐수에는 안정제 및 응집방지제 등이 포함되어 있어 pH조정이 용이하지 않으며 현장에서 높은 pH로의 조정은 약품 소모량이 증가하여 비용적 측면에서 비경제적이다. 따라서 희생금속을 이용한 전기분해 처리에서 최적 pH 조건은 니켈의 배출허용기준치 이하로 처리할 수 있고 니켈 제거 효율이 높은 pH 9로 선정하였다.

3.3. 알칼리 침전에 의한 실폐수 처리효율

실폐수 실험은 무전해 니켈도금 공정에서의 도금 욕조액을 대상으로 실험하였다. 니켈의 농도가 58.03 mg/L인 폐수를 20 mg/L로 희석하여 실험하였다. Fig. 7은 pH를 높여 알칼리 조건에서 니켈을 응집 침전 제거시킨 후 여액의 잔류 니켈농도를 나타낸 결과이다. 인공폐수 실험에서는 처리수의 니켈농도를 pH 9.5에서 배출허용기준인 3.0 mg/L 이하로 처리할 수 있었으나 실폐수 실험에서는 pH 10에 이르러서야 기준치 이하로 처리가 되었다. 그리고 pH 9에서 잔류니켈 농도는 13.66 mg/L, 니켈 제거 효율은 약 32% 나타내었다. 희생전극을 사용하였을 때 생성되는 수산화철의 우수한 중금속 흡착능력을 바탕으로 이를 적용하면 pH 9에서도 니켈폐수의 처리효율을 증가시킬 수 있다고 판단하였다.[5] 실폐수 실험에서는 인공폐수 실험에서 도출된 최적조건을 적용하여 실험하였으며, 최적 조건은 pH 9와 전류밀도 1.25 mA/cm^{2}로 결론지을 수 있었다.

3.4. 실폐수 전기분해 실험

Table 3은 pH 9, 전류밀도 1~5 mA/cm^2, 반응시간 5분의 조건으로 실폐수의 전기분해 실험 결과이다. 인공폐수실험에서는 pH 9 조건하에서 전류밀도 1~5 mA/cm^2 범위의 니켈 제거 효율이 90%를 상회하는 결과를 나타내었으나 실폐수를 이용한 실험에서는 62~84%로 나타났다. 낮은 니켈 제거 효율뿐만 아니라 처리수의 잔류니켈농도도 3.0 mg/L를 상회하여 배출허용기준을 만족시키지 못했다. 전류밀도를 단계적으로 10 mA/cm^{2}까지 높여 실험하면서 니켈 제거효율과

Table 3. Removal efficiency and residual concentration of nickel ion at various current density

Current density	Efficiency	Residual conc.
(mA/cm^2)	(%)	(mg/L)
1	62.76	7,415
2	70.74	5,826
3	75.71	4,837
4	78.65	4,250
5	84.71	3,045
6	88.77	2,230
7	89.42	2,102
8	85.89	2,803
9	88.58	2,268
10	85.98	2,785

처리수의 잔류 니켈농도 변화 추이를 관찰하였다. 실험결과 처리수의 잔류니켈농도는 전류밀도 6 mA/cm^2 이상에서부터 3.0 mg/L 이하로 유지되어 배출허용기준을 만족시켰고 니켈 제거효율은 전류밀도가 커짐에도 불구하고 큰 변화율을 나타내지 않았다.

인공폐수 실험에서 최적 효율을 나타냈던 조건을 실폐수에 적용했을 때 효율이 낮게 조사된 원인으로는 폐수에 함유되어 있는 SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, F^- 등의 음이온이 니켈과 반응하였거나 착이온을 형성하기 때문으로 추정할 수 있다. 음이온을 분석한 결과 SO_4^{2-}는 21.47 mg/L, PO_4^{3-}는 43.36 mg/L, F^-는 9.34 mg/L의 농도를 나타냈으며, 각각의 음이온은 무전해 도금과정에서 사용되는 도금액의 베이스 물질, 환원제, 촉진제로부터 유입된 것이다. 따라서 실폐수 처리에서는 도금과정에서 사용된 물질들의 영향으로 더 높은 전류밀도가 필요한 것으로 결론지을 수 있으며 이에 대한 조사는 현재 진행중에 있다.

4. 결 론

희생전극을 이용한 전기분해 방법으로 니켈 도금폐수를 처리하기 위한 최적 조건은 다음과 같이 도출되었다.

1) 실폐수를 적용하였을 때 전류밀도가 높아질수록 니켈 제거 효율도 높아지나 전류밀도 6 mA/cm^{2}에서 처리수의 잔류 니켈 농도를 배출허용기준치인 3.0 mg/L 이하로 처리할 수 있었고 6 mA/cm^2 이상의 전류밀도에서 니켈제거효율이 뚜렷하게 증가추세를 나타내지 않았다. 그리고 필요 이상으로 용출된 철은 슬러지 문제를 야기하므로 공정에 적용할 전류밀도는 6~7 mA/cm^2 범위가 적정한 것으로 조사되었다.

2) 실폐수의 경우에는 니켈농도 20 mg/L 이하의 폐수를 pH 9, 전류밀도 6~7 mA/cm^2 조건으로 반응시간 5분 동안 희생전극을 이용한 전기분해 과정이 가장 효율적인 것으로 조사되었다.

3) 무전해 니켈 도금폐수는 다량의 음이온을 함유하고 있어 착이온을 형성할 수 있고 기존의 응집침전 공정으로 처리하려면 높은 pH가 필요하다. 그러나 현장에서는 안정제가 함유된 도금폐수의 pH를 올리는 것은 다량의 약품소모를 필요로 하므로 또 다른 오염물질이 발생할 수 있고 경제적부담도 커진다. 그러나 희생금속을 이용한 전기분해 공정은 착이온의 형성을 방해하고 수산화철이 중금속을 흡착하여 공침함으로써 비교적 낮은 pH 조건하에서 효율적으로 니켈을 제거할 수 있는 것으로 조사되었다.

일반적으로 도금폐수는 침전방법으로 처리하고 있다. 또한 현재 도금폐수처리시설에서는 여러 도금폐수를 혼합하여 처리하기 때문에 총 유량이 늘어나 처리하기 어려운 니켈 같은 중금속은 처리라기보다는 다른 폐수에 희석되어 방류수 기준에 맞추는 편법을 사용하고 있는바 이는 근본적인 처리가 될 수 없으며 이로 인한 환경에 미치는 영향은 심각해질 수밖에 없다. 본 연구에서 제안한 희생전극을 이용한 전기분해방법으로 도금폐수 중 니켈이온 제거에 대한 자료는 실제 현장에 적용하는데 있어서 다른 미량 중금속 이온의 제거효율을 높이는데도 중요한 자료로 활용될 것으로 판단된다.

KSEE

References

1. Yoon, Y.-S., Choi, S.-B. and Won, S.-W., "A study current situation of heavy metal wastewater treatment and advantages and disadvantages," *DICER TechInfo Part I*, **3**(7), 68~85(2004).
2. Park, S.-G., "Decolorization of dye-stuff wastewater by electrolysis," Inha University(2001).
3. Chung, H.-J., "A study on the removal of cyanide and heavy metals in plating wastewater," *KSWST J. Water Treatment*, **21**(2), 47~57(2013).
4. Akbal, F. and Camcı, S., "Copper, chromium and nickel removal from metal plating wastewater by electrocoagulation," *Desalination*, **269**, 214~222(2011).
5. Song, Y.-J., Lee, G. S., Shin, K. H., Kim, Y.-C., Seo, B. W. and Yoon, S.-N., "Adsorption of heavy metals on sludge from the treatment process of acid mine drainage," *J. Korean Inst. Resour. Recycl.*, **21**(4), 35~43(2012).
6. Adhoum, N., Monser, L., Bellakhal, N. and Belgaied, J. E., "Treatment of electroplating wastewater containing Cu^{2+}, Zn^{2+} and Cr(VI) by electro-coagulation," *J. Hazard. Mater.*, **B112**, 207~213(2004).
7. Aji, B. A., Yavuz, Y. and Koparal, A. S., "Electrocoagulation of heavy metals containing model wasteeater using monopolar iron electrodes," *Sep. Purific. Technol.*, **86**, 248~254 (2012).
8. Shin, S.-J. and Kim, D.-H., "Electrolysis of plating waste water," *J. Korean Saf.*, **9**(1), 95~99(1994)