

ORIGINAL ARTICLE

도금폐수처리공정 중 BPC 단위공정 내 NaOCl 반응시간에 따른 도금폐수의 COD, Ni 및 P 제거특성

정병길 · 이승원 · 윤권감 · 최영익^{1)*}

동의대학교 환경공학과, ¹⁾동아대학교 환경공학과

COD, Ni and P Removal Characteristics for Plating Wastewater According to Different NaOCl Reaction Times in BPC Unit Process

Byung-Gil Jung, Seung-Won Lee, Kwon-Gam Yun, Young-Ik Choi^{1)*}

Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University, Busan 47340, Korea

¹⁾Department of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 49315, Korea

Abstract

The purposes of this study were to evaluate the removal characteristics of COD, Ni, and P and to derive appropriate operating conditions for the plating wastewater according to NaOCl reaction time and pH operating conditions in the BPC unit process during the plating wastewater treatment process. As a results of evaluating the removal characteristics for raw wastewater by each BPC unit process, the removal efficiencies of COD, Ni and P in BPC 1-1 unit process were 72.8%, 99.1%, and 100.0%. Therefore, the proper reaction time of NaOCl was derived as 21.1 minutes. In order to maintain the +800 mV ORP and the reaction time of 20 minutes, the temporary injection and continuous injection of NaOCl in the BPC unit process were 13.7 mL and 18.7 mL, respectively. It was found that the temporary injection method of NaOCl reduced the chemical cost by 36.5% compared to the continuous injection method. Also, Ni showed the highest removal efficiency of 97.8% at pH 10.5. On the other hand, P showed a removal efficiency of 57.4% at pH 10.0.

Key words : Plating wastewater, BPC unit process, Jar-test, Reaction time, NaOCl, ORP, pH

1. 서론

도금공정은 특정 제품의 표면상태를 부식이나 마모로부터 보호하고 물리화학적 성능을 더욱 향상시키거나 미관을 아름답게 하기 위해 표면에 다른 금속 재료를 덧입히는 공정을 말한다. 도금 시설은 전국 산업체 발생

량의 4% 정도인 약 48,000 m³/day로 발생되고 있으며 (Ministry of environment, 2019), 다른 산업체에 비해 도금 시설에 배출되는 폐수량은 적은 양이라 할 수 있으나, 폐수 내에는 인체에 축적되면 건강장애 및 암을 유발할 수 있는 구리, 니켈, 아연, 크롬 등과 같은 유해 중금속이 다량 포함되어 있다(Barakat, 2011).

Received 25 November, 2020; Revised 14 December, 2020;

Accepted 29 December, 2020

*Corresponding author: Young-Ik Choi, Department of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 49315, Korea
Phone: +82-51-200-7675
E-mail: youngik@dau.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Characteristics of raw wastewater

Items	Units	Concentrations	
		Range	Average
Water temperature	°C	21.6 ~ 23.6	22.8
pH	-	9.2 ~ 9.7	9.3
ORP	mV	-1.2 ~ 198.7	106.9
EC	ms/cm	12.64	12.64
TDS	mg/L	8,686	8,686
Salinity	ppt	6.8	6.8
COD	mg/L	240 ~ 382	307
Ni	mg/L	50.62 ~ 74.11	61.01
P	mg/L	13.3 ~ 54.71	29.14

도금산업에서 폐수를 처리할 때는 여러 도금업체에서 배출되는 도금 폐수를 한 폐수처리장이나 위탁처리 업체에 모아 관리하여 처리하고 있으며(Kong, 2011), 일반적으로 알려진 도금폐수 처리방법은 화학적 처리방법으로 응집제를 이용하여 pH를 조정한 후 응집침전시키는 방법, 저 농도의 경우 살수여상이나 활성슬러지법 같은 생물학적 방법 등으로 처리하고 있다(Kim et al., 2016).

본 연구대상인 B시 도금폐수처리시설 역시 BPC공정(고도산화-응집)에 의한 폐수처리공법으로 폐수의 종류는 크게 CN계 폐수, 산알칼리 폐수 및 경질 Cr계 폐수 등으로 나눌 수 있다. 시안계 폐수에는 시안화수소(HCN), 유리시안(CN⁻) 또는 중금속과 리간드를 형성하여 금속-시안 착화물(Metal-cyanide Complexes) 형태로 존재한다. pH 7 이하에서는 대부분 HCN으로 존재하고, pH 11 이상에서는 대부분 CN⁻로 존재한다. 도금폐수 내의 시안은 반응성이 높고 쉽게 안정적이며 도금폐수의 성상에 따라 시안 착화합물을 형성하며 보통 Weak Acid Dissociable Cyanide (WAD cyanide), Strong Acid Dissociable Cyanide (SAD cyanide)로 구분한다(Johnson, 2015). 크롬계 폐수는 금속제품의 보호용 피막을 형성시키기 위해 사용되는 크롬용액으로 도금할 때 발생하는 폐수로서 산성 조건에서 고농도(1,000 mg/L 이상)의 경우에는 CrO₇²⁻로 존재하고 저농도(1,000 mg/L 이하)에서 HCrO₄⁻로 존재하게 되며, 크롬계 도금폐수는 일반적으로 6가크롬(Cr⁶⁺)으로 존재하게 되며 3가크롬(Cr³⁺)보다 독성이 강하다. 또한, 산알칼리계 도금폐수는 산처리 공정에서 발생하는 산계 도금폐수와 알칼리처리 공정에서

발생하는 알칼리계 도금폐수로 구성되며 두 도금 폐수가 혼합되어 폐수처리장으로 유입되는 경우가 많다. 도금폐수는 금속류 뿐 아니라 세정제로 사용되는 시안산나트륨(NaCN), 질산(HNO₃), 염화암모늄(NH₄Cl) 등으로 인하여 폐수 중 시안과 질소가 고농도로 존재하며 기존의 약품산화방법을 사용할 경우 경제성이 매우 낮아지는 문제점이 있다(Qin et al., 2008; Kim, 2013).

현재 도금폐수처리공정 중 약품처리비용 및 중금속 제거효율 등 가장 중요성이 높은 단위공정은 염소산화공정(BPC; Breakpoint Chlorination)으로, NaOCl 투입 방법 및 운전조건 개선을 통한 경제성 확보 및 처리효율 향상이 우선되어야 한다.

본 연구에서는 B시 소재 도금폐수처리공정 중 BPC 단위공정 내 NaOCl 반응시간 및 pH 운전조건별 도금폐수 내 COD, Ni 및 P 제거특성을 평가하였으며, 이에 따른 적정 운전조건을 도출하는데 그 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1. 실험재료

2.1.1. 도금폐수

본 연구에서는 B시에서 운영되고 있는 도금폐수처리 공정 중 BPC 단위공정 내 NaOCl 반응시간에 따른 COD, Ni 및 P 제거특성을 평가하였다. 이때 실험대상 원수는 AA 침전조 유출수(BPC 반응조 유입수)를 샘플링하여 응집실험을 실시하였으며, 본 실험기간동안 원수의 수질분석결과를 Table 1에 나타내다. 수질분석결과

수온은 평균 22.8(21.6~23.6)℃, pH는 평균 9.3(9.2~9.7), ORP는 평균 +106.9(-1.2~+198.7) mV, COD는 평균 307(240~382) mg/L, Ni은 평균 61.01(50.62~74.11) mg/L, P는 평균 29.14(13.3~54.71) mg/L를 각각 나타내었다.

2.1.2. 사용약품

도금폐수에는 보통 유기물 및 부유물질 등을 함유하고 있어 탁하거나 색상을 띠고 있는 경우가 있을 뿐 아니라 목적성분들이 흡착되어 있거나 난분해성의 착화합물(Complex Compound) 또는 착이온 상태로 존재하는 경우가 있기 때문에 산화제(NaOCl)를 이용하여 착화합물을 형성하고 있던 중금속류를 이온 상태로 분해하여 수중에 존재하게 된다. 본 연구에서는 도금폐수 중에 함유된 Ni 착화합물을 이온상태로 분해시키기 위해 NaOCl을 주입하였다. 본 연구에서 산화제로 사용된 차아염소산나트륨(5% NaOCl; Sodium Hypochlorite)은 LG화학에서 생산된 제품을 사용하였다. 본 연구에 사용된 도금폐수의 경우 질소 농도가 저농도로 존재하고 있어 질소 제거특성은 평가하지 않았으며, 처리하기 어려운 Ni 및 P 항목을 중심으로 실험을 실시하였다. 다만, 도금폐수 내 NaOCl이 주입되면 먼저 질소 성분을 제거하고 난 후 착화합물을 산화분해시키는 것으로 보인다. 도금폐수는 금속류 뿐 아니라 세정제로 사용되는 시안산나트륨(NaCN), 질산(HNO₃), 염화암모늄(NH₄Cl) 등으로 인하여 폐수 중 시안과 질소가 고농도로 존재하며 기존의 차아염소산 나트륨을 투입하는 약품산화방법을 사용할 경우 경제성이 매우 낮아지는 문제점이 있다(Bae et al., 2009; Kim et al., 2010).

2.2. 실험장치 및 방법

2.2.1. 실험장치

본 연구에서는 B사에서 운영되고 있는 도금폐수 처리 공정 중 BPC 단위공정 내 NaOCl 반응시간에 따른 COD, Ni 및 P 제거특성을 평가하였다. 또한, AA 침전조 유출수(BPC 반응조 유입수)를 대상으로 Jar tester (Model JT-M6C, DAIHAN SCIENTIFIC Co., Ltd, Korea) 장치로 응집실험을 추가로 진행하였다. 응집실험 후 상등수를 대상으로 여과지(Model TY5A -110, ADVANTEC No.5A(7 μm), Japan)로 여과한 시료를 ICP-OES 분석 장비(Model I CAP 6300, Thermo

fisher scientific, Co. Ltd., USA)를 이용하여 수질분석을 실시하였다.

2.2.2. 실험방법

본 연구에서는 먼저 B시 도금폐수처리시설에서 운영하고 있는 실제 BPC 단위공정 내 NaOCl을 주입 후 반응조(BPC 1-1, BPC 1-2 및 BPC 1-3)별 반응시간(BPC 1-1 : 21.1분, BPC 1-2 : 21.1분, BPC 1-3 : 7.8분)에 따른 COD, Ni 및 P 제거효율을 평가하였다. 이후 선행 연구결과에서 도출된 중금속 제거를 위한 적정 ORP 조건인 +800 mV 및 반응시간 21.1분을 기준으로 반응시간(5분, 10분, 15분 및 20분)에 따른 COD, Ni 및 P를 분석하여 적정 반응시간을 도출하였다. 또한 적정 반응시간에서 pH 조건(9.5, 10.0, 10.5 및 11.0)에 따른 Ni 및 P 제거특성을 평가하였다. 실제 도금폐수처리공정 중 BPC 단위공정에 대한 약품주입방법 및 시료채취지점을 Fig. 2에 나타내었다. 또한, 다양한 ORP 반응시간 및 pH에 따른 실험조건을 종합적으로 정리하여 Table 2에 나타내었다.

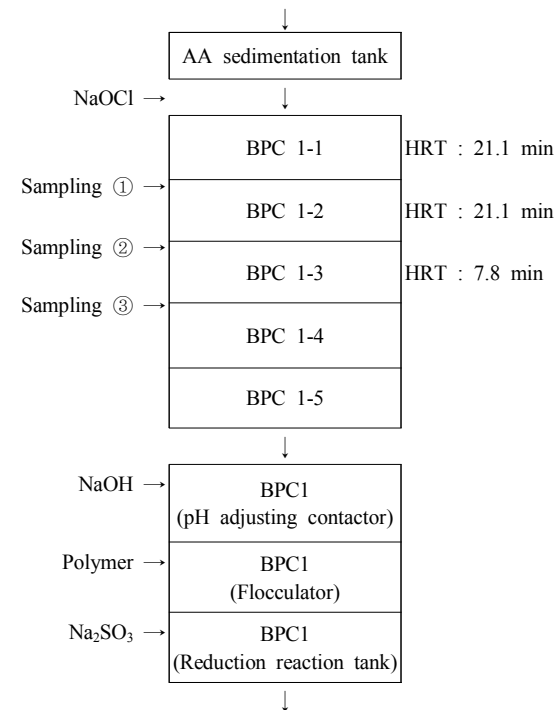


Fig. 1. NaOCl reaction time and sampling points in the full-scale BPC unit process.

Table 2. Experimental conditions

Items	Experimental methods	Analytical items
Experimental condition 1	<ul style="list-style-type: none"> · Ni and P removal characteristics for plating wastewater according to different NaOCl reaction times in the full-scale BPC unit process - NaOCl reaction time <ul style="list-style-type: none"> · AA sedimentation tank → BPC 1-1 : 21.1 min · BPC 1-1 → BPC 1-2 : 21.1 min · BPC 1-2 → BPC 1-3 : 7.8 min - Adjustment of pH 10.0 - Polymer injection - Analysis by ICP-OES after filtering with filter paper(5B) 	COD, Ni, T-P
Experimental condition 2	<ul style="list-style-type: none"> · COD, Ni and P removal characteristics for plating wastewater according to different NaOCl reaction times in the BPC unit process - Sample volume : 1 L - Stirring speed : 120 rpm - ORP condition : +800 mV - Reaction time : 5 min, 10 min, 15 min, 20 min - Adjustment of pH 10.0 - Polymer : 1 mL - Analysis by ICP-OES after filtering with filter paper(5B) 	COD, Ni, T-P
Experimental condition 3	<ul style="list-style-type: none"> · Ni and P removal characteristics for plating wastewater according to different pH conditions in the BPC unit process - Sample volume : 1 L - Stirring speed : 120 rpm - ORP condition : +800 mV - Reaction time : 20 min - pH adjustment with NaOH after 1 mL polymer dosage : 9.5, 10.0, 10.5, 11.0 - Analysis by ICP-OES after filtering with filter paper(5B) 	Ni, T-P

3. 결과 및 고찰

3.1. 현장 BPC 단위공정별 NaOCl 반응시간에 따른 도금폐수의 처리특성

도금폐수처리공정 중 BPC 단위공정은 실험대상 원수(AA 침전조 유출수)를 대상으로 NaOCl 약품을 BPC 1-1 반응조 유입부에 한꺼번에 일시 주입하는 방법으로 운전되고 있다. NaOCl 반응시간에 따른 BPC 단위공정별(BPC 1-1 : 21.1분, BPC 1-2 : 21.1분 및 BPC 1-3 : 7.8분) 유출수를 대상으로 시료채취를 채취하였으며, 단위공정별 유출수를 각각 1 L 비이커에 채운 후 120 rpm으로 교반시키면서 NaOH로 pH를 10.0으로 조절한 후 Polymer 1 mL를 주입하여 응집침전된 상등수를 대상으로 COD, Ni 및 P 제거특성을 평가하였다. 이를 Table 3에 정리하여 제시하였다. 실험결과 NaOCl이 주입되는

BPC 1-1 반응조의 경우 ORP가 +1,000 mV 이상을 나타내었으며, BPC 1-2 및 1-3 역시 +890 mV 및 +876.6 mV로 높은 값을 나타내었다. 또한 반응시간에 따른 산화작용에 의해 수온 역시 증가하는 경향을 나타내었다. NaOCl 일시주입방법의 경우 실제 도금폐수처리공정에서 설정된 ORP 값을 맞추기가 어려울 뿐만 아니라 다량의 NaOCl 주입이 이루어질 수 있으므로 NaOCl 연속주입방법에 의한 도금폐수 처리방안에 관한 검토가 이루어져야 할 것으로 보인다. Jung et al.(2020)은 도금폐수처리 시 ORP 변화는 산화제인 NaOCl 주입 후 일정 반응 시간동안 지속적으로 증가하다가 점차적으로 낮아지는 경향을 나타내었다고 보고하였다. BPC 단위공정별 도금폐수 처리특성을 평가한 결과 BPC 1-1(반응시간 21.1분)에서 COD, Ni 및 P의 제거효율이 각각 72.8%, 99.1% 및 100.0%로 분석되었다. 이후 반응

Table 3. COD, Ni and P removal characteristics according to different NaOCl reaction times in the full-scale BPC unit process

Items	ORP (mV)	pH	COD (mg/L)	Ni (mg/L)	P (mg/L)	Removal efficiency (%)		
						COD	Ni	P
Raw wastewater (Average)	-100.4	9.6	382	74.11	54.71	-	-	-
BPC unit process								
BPC 1-1 (Effluent)	+1,000	7.4	104	0.70	N.D.	72.8	99.1	100.0
BPC 1-2 (Effluent)	+890	6.3	132	0.61	N.D.	65.4	99.2	100.0
BPC 1-3 (Effluent)	+877	6.3	124	0.61	N.D.	67.5	99.2	100.0

Note) N.D : Not detected.

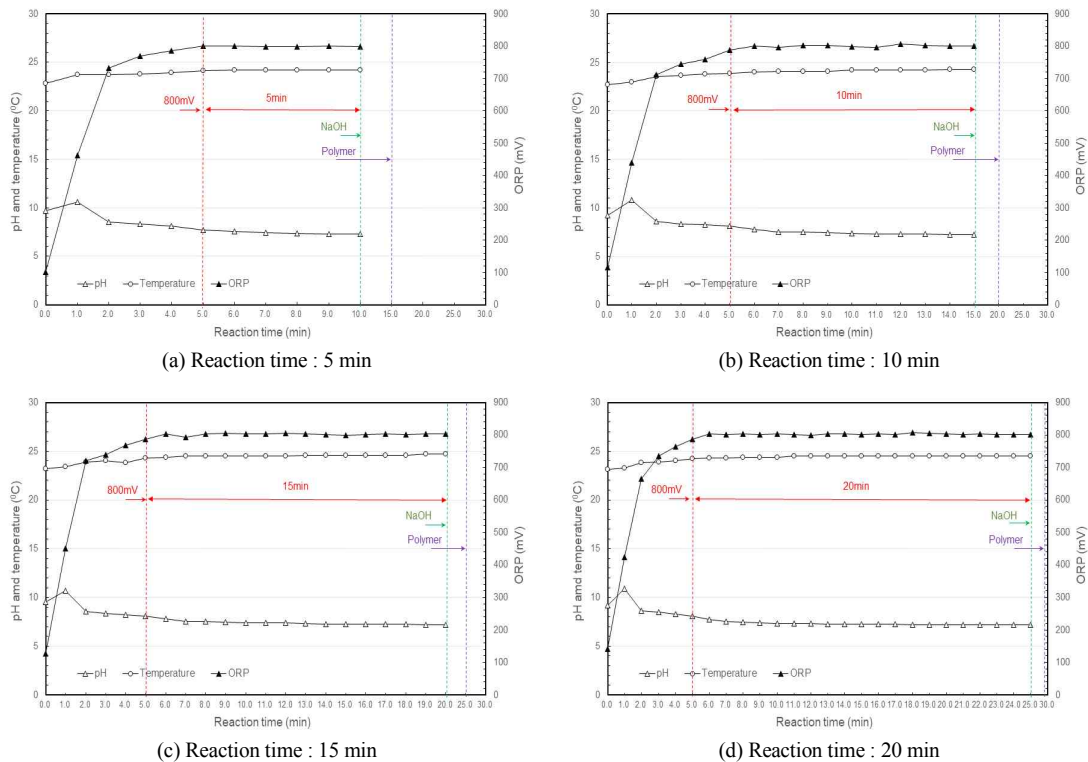


Fig. 2. Variations of pH, water temperature and ORP of raw wastewater according to different NaOCl reaction times by Jar-test.

시간이 길어질수록(BPC 1-2 및 1-3) Ni 및 P는 제거 효율은 유지되었으나, COD 제거효율은 각각 65.4% 및 67.5%로 낮아지는 경향을 나타내었다. 일반적으로 산화-응집 공정에서 도금폐수의 COD 처리효율은

20~25%로 저효율을 나타내어 방류수의 배출허용기준을 준수하기 위해서는 COD를 처리할 수 있는 공정이 마련되어야 한다. 따라서, 현장 도금폐수처리공정에서 BPC 단위공정 내 유입수와 NaOCl과의 적정 반응시

Table 4. COD, Ni and P removal characteristics of raw wastewater according to different NaOCl reaction times at +800 mV ORP by Jar-test

Items	pH	COD (mg/L)	Ni (mg/L)	P (mg/L)	NaOCl (mL)
Raw wastewater	9.4(9.2~9.7)	240	55.85	13.30	-
NaOCl reaction time	5 min	148	5.12	5.42	11.7
	10 min	172	4.64	4.64	11.9
	15 min	184	3.21	3.88	13.0
	20 min	112	2.46	3.12	13.0

Table 5. Ni and P removal characteristics of raw wastewater according to different pH conditions in the BPC unit process by Jar-test

Items	Ni (mg/L)	P (mg/L)	Removal efficiency (%)		NaOCl dosage (mL)
			Ni	P	
Raw wastewater	74.11	54.71	-	-	-
pH 9.5	5.62	24.71	92.4	54.8	13.6
pH 10.0	2.44	23.31	96.7	57.4	13.0
pH 10.5	1.67	24.2	97.8	55.7	13.0
pH 11.0	1.83	27.29	97.5	50.1	12.8

간은 Table 3의 BPC 1-1에서의 Ni 및 P 제거효율 결과와 같이 21.1분으로 도출되었다. Park(Park, 2014)은 도금폐수를 Jar-test한 후 상등수의 COD를 분석하여 보면 20% 정도인 현장에서의 응집침전 처리효율보다 조금 낮은 10~15% 정도의 제거효율을 나타내어 COD 제거를 위한 생물처리 시스템을 적용하였으나, 도금폐수의 계면 활성 성분으로 인한 심한 거품의 발생으로 미생물이 증식하지 못하고 기존에 존재하던 미생물도 다 죽어 버리는 문제점이 발생하여 도금폐수 처리를 생물학적 처리에 적용하기가 쉽지 않다고 보고하였다.

3.2. NaOCl 반응시간에 따른 도금폐수의 처리특성

실제 BPC 단위공정별 적정 반응시간인 21.1분을 고려하여 최적 ORP +800 mV에서의 반응시간별(5분, 10분, 15분 및 20분) 도금폐수의 처리특성을 평가하였다. 본 실험은 Jar-tester를 이용하여 BPC 반응조 유입수 1 L를 비이커에 채운 후 120 rpm으로 교반시키면서 NaOCl을 연속적으로 주입하여 +800 mV를 각 반응시간까지 유지시켰으며, 이후 NaOH로 pH를 각각 10.0으로 조절한 후 Polymer 1 mL를 주입하여 응집침전된 상등수를

대상으로 COD, Ni 및 P의 농도를 분석하였다.

NaOCl 반응시간별 도금폐수의 pH, 수온 및 ORP 변화를 측정하여 Fig. 3에, NaOCl 반응시간별 도금폐수 중 COD, Ni 및 P의 농도를 분석하여 Table 4에 각각 나타내었다. Table 4 및 Fig. 3에서 보는 바와 같이 NaOCl 반응시간 20분에서 Ni 및 P 제거효율이 가장 높은 것으로 나타나, 현장에서의 BPC 단위공정의 적정 반응시간인 21.1분과 유사하게 나타났다.

본 연구에서 NaOCl 연속주입을 통한 ORP +800 mV를 유지시켜 반응시간 20분을 유지시켜 준 결과 13.7 mL의 NaOCl이 주입되었으나, 13.7 mL를 한꺼번에 일시 주입하여 ORP값의 변화를 살펴본 결과 반응시간 동안 최고 +720 mV에서 다시 낮아지는 경향을 보였으며, 이후 +800 mV에 도달하는데 5 mL의 NaOCl이 추가로 주입되어 연속주입에 비해 일시주입이 36.5% 정도 과다하게 주입되는 것으로 나타났다.

3.3. BPC 단위공정 내 pH 조건에 따른 도금폐수의 처리특성

AA 침전조 유출수(원수)를 대상으로 ORP 기준 +800 mV를 유지하여(NaOCl 연속주입) 반응시간 20분

후 polymer 주입 전 pH(9.5, 10.0, 10.50 및 11.0) 변화에 따른 실험결과를 Table 5에 정리하여 제시하였다. 본 실험에서는 적정 반응시간 20분 후 NaOH를 이용하여 pH를 변화시켰으며, 이후 Polymer 주입 후 응집침전된 상등수를 분석하였다. 추가적으로, ORP +850 mV의 경우 별도로 NaOH로 pH를 10.0으로 조절 및 Polymer를 주입한 후 3분간 정지한 상등수를 수질분석을 실시하였다. 실험결과 Ni은 pH 10.5에서의 97.8%로 가장 높은 제거효율을 나타내었으며, 이는 산화제(NaOCl)의 주입량과 무관하게 NaOCl 주입량이 가장 많은 pH 9.5의 경우 92.4%로 가장 낮은 Ni 제거효율을 나타내었다. 반면 P는 pH 10.0에서 57.4%의 제거효율을 나타내었다. 다만 본 실험에서 원수의 P 농도가 매우 높아 제거효율이 낮은 경향을 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 B시 소재 도금폐수처리공정 중 BPC 단위공정 내 NaOCl 반응시간 및 pH 운전조건별 도금폐수 내 COD, Ni 및 P 제거특성 및 적정 운전조건을 도출한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 현장 BPC 단위공정별 도금폐수 처리특성을 평가한 결과 BPC 1-1(반응시간 21.1분)에서 COD, Ni 및 P의 제거효율이 각각 72.8%, 99.1% 및 100.0%로 가장 높은 제거효율 나타내어, 적정 반응시간은 21.1분으로 도출되었다.

(2) 상기 적정 반응시간인 21.1분을 고려하여 최적 ORP +800 mV에서의 반응시간별(5분, 10분, 15분 및 20분) 도금폐수의 처리특성을 평가한 결과 NaOCl 반응시간 20분에서 Ni 및 P 제거효율이 가장 높은 것으로 나타나, 현장에서의 BPC 단위공정의 적정 반응시간인 21.1분과 유사한 수준을 나타내었다. 또한, NaOCl 연속 주입을 통한 ORP +800 mV를 유지시켜 반응시간 20분을 유지시켜 준 결과 13.7 mL의 NaOCl이 주입되었으나, 13.7 mL를 한꺼번에 일시 주입하여 ORP값의 변화를 살펴본 결과 반응시간 동안 최고 +720 mV에서 다시 낮아지는 경향을 보였으며, 이후 +800 mV에 도달하는데 5 mL의 NaOCl이 추가로 주입되어 연속주입에 비해 일시주입이 36.5% 정도 과다하게 주입되는 것으로 나타났다.

(3) ORP 기준 +800 mV를 유지하여(NaOCl 연속주입) 반응시간 20분 후 pH(9.5, 10.0, 10.50 및 11.0) 변화에 따른 도금폐수의 처리특성을 평가한 결과 Ni은 pH 10.5에서의 97.8%로 가장 높은 제거효율을 나타낸 반면에, P는 pH 10.0에서 57.4%의 제거효율을 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 2020년 부산녹색환경지원센터의 지원을 받아 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Bae, W. K., Lee, Y. M., 2009, Effects of phenolic compounds on the microbial growth in wastewater treatment and biogas production, *J. Korea Soc. Waste Manag.*, 26(2), 175-182.
- Barakat, M. A., 2011, New trends in removing heavy metals from industrial wastewater, *Arabian journal of chemistry*, 4(4), 361-377.
- Johnson, C. A., 2015, The fate of cyanide in leach wastes at gold mines, An environmental perspective, *Applied geochemistry*, 57, 194-205.
- Jung, B. G., Lee, S. W., Yun, K. G., Jeong, J. H., Kim, J. W., Choi, Y. I., 2020, The break point chlorination characteristics metal removal in plating wastewater, *J. Environ. Sci. Int.*, 29(11).
- Kim, C. Y., 2013, A Study on pollutants removal for wastewater from electroless plating process, Master's Thesis, Urban Sciences the University, Korea.
- Kim, J. S., Cho, H. Y., 2016, The removal of high concentration organics and heavy metals from composite plating wastewater by advanced oxidation processes with coagulation, *Journal of Water Treatment*, 24(6), 75-84.
- Kim, N. C., Song, J. H., 2010, Removal of CN⁻ and NH₃ from wastewater using electrochemical oxidation method (I) - Laboratory scale study, *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis*, 13(4), 204-208.
- Kong, S. H., 2011, Development of high-efficiency nanocomposite advanced oxidation treatment process for plating wastewater treatment, Ministry of

- Environment.
Ministry of environment., 2019, Generation and treatment of industrial wastewater.
- Park, J. W., 2014, Treatment of non biodegradable COD by combination processes with Fenton's oxidation for plating wastewater, Master's Thesis, Korea national open University, Korea.
- Qin, X. Y., Chai, M. R., Ju D. Y., Hamamoto, 2008, Investigation of plating wastewater treatment technology for chromium nickel and copper, The 4th International Conference on Water Resource and Environment (WRE 2018), IOPConf. Series: Earth and Environmental Science, 191, 1-8.

-
- Associated Professor. Byung-Gil Jung
Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University
bgjung@deu.ac.kr
 - Assistant Professor. Seung-Won Lee
Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University
12967@deu.ac.kr
 - Assistant Professor. Kwon-Gam Yun
Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University
yun880317@deu.ac.kr
 - Professor. Young-Ik Choi
Department of Environmental Engineering, Dong-A University
youngik@dau.ac.kr