

ORIGINAL ARTICLE

## 에폭시수지 공정에서 발생하는 고염 폐수로부터 황산알루미늄과 PAC 응집제를 이용한 응집/고액분리 조건 최적화

이창한 · 김유진<sup>1)</sup> · 문성현<sup>2)</sup> · 권성현<sup>3)</sup> · 안갑환\*

부산가톨릭대학교 환경행정학과, <sup>1)</sup>(주)처용환경기술, <sup>2)</sup>(주)제일화성, <sup>3)</sup>(주)선진환경

### Optimizing of Coagulation and Solid-Liquid Separation Conditions Using Aluminum Sulfate and Poly-Aluminum Chloride Coagulants from Brine Wastewater Discharged by the Epoxy-resin Process

Chang-Han Lee, Yu-Jin Kim<sup>1)</sup>, Sung-Hyun Moon<sup>2)</sup>, Sung-Hun Kwon<sup>3)</sup>, Kab-Hwan Ahn\*

Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan, Busan 46252, Korea

<sup>1)</sup>CheoYong Environmental Technique Co. Ltd., Ulsan 44776, Korea

<sup>2)</sup>Jeil Chemical Co. Ltd., Ulsan 44992, Korea

<sup>3)</sup>Sunjin Environment Co. Ltd., Ulsan 46729, Korea

#### Abstract

In this study, solid-liquid separation conditions for coagulation and sedimentation experiments using inorganic coagulant (aluminum sulfate and Poly-Aluminum Chloride (PAC)) were optimized with brine wastewater discharged by the epoxy-resin process. When the turbidity and suspended solid (SS) concentration in raw wastewater were 74 NTU and 4.1 mg/L, respectively, their values decreased the lowest in a coagulant dosage of 135.0 - 270.0 mg Al<sup>3+</sup>/L. The epoxy resin was re-dispersed in the upper part of wastewater treated above 405.0 mg Al<sup>3+</sup>/L. The removal efficiencies of turbidity and SS via dosing with aluminum sulfate and PAC were evaluated at initial turbidity and SS of 74 - 630 NTU and 4.1 - 38.5 mg/L, respectively. They increased most in the range from 135.0 - 270.0 mg Al<sup>3+</sup>/L. The solid-liquid separation condition was quantitatively compared to the correlation of SS removal efficiency between the coagulant dosage and SS concentration based on the concentration of aluminum ions. The empirical formula,  $R = be^{aD}$ , shows the relationship between SS removal efficiency (R) and coagulant dosage (D) at 38.5 mg/L; it produced high correlation coefficients ( $r^2$ ) of 0.9871 for aluminum sulfate and 0.9751 for PAC.

**Key words** : Epoxy-resin, Coagulation, Brine, Separation, Wastewater

#### 1. 서론

에폭시 수지는 비스페놀-A(bisphenol-A : BPA), 페놀 및 포름알데히드, 불소화 BPA, 기타 변형한 에폭시수지 등으로 구분되며, 열경화성 수지로 분류되는 이 수지

는 기계적 물성이 우수하고, 내약품성, 치수안정성, 가공의 미세구조 특성으로 인하여 고강도(high strength), 고탄성(high modulus) 및 높은 유리 전이온도를 보여 가전 제품에서 우주 공간의 인공위성에까지 응용 범위가 광범위하여 거의 모든 산업분야에서 사용되고 있다(Ah,

Received 25 June, 2021; Revised 28 December, 2021;

Accepted 29 December, 2021

\*Corresponding author: Kab-Hwan Ahn, Department of Environmental Administration, Catholic University of Pusan, Busan 46252, Korea  
Phone : +82-51-510-0623  
E-mail : khahn@cup.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 epoxy-resin wastewater

Type	Chemical composition				pH
	NaCl (%)	Isopropyl alcohol (%)	Epoxy resin (%)	MIBK (%)	
Raw wastewater	4	2	1~2	3~5	9.7

1996; Harada, 2018). BPA를 주원료로 하는 에폭시 액상수지 생산 공정은 batch 공정을 근간으로 이루어져 있으며 액상수지 공정 중 일부 brine stripping과 톨루엔 제거 공정이 연속으로 운전된다. 이 액상수지는 비스페놀-A와 에피클로로하이드린(epichlorohydrin : ECH)에 존재하는 아민기와 무수 카르복산과 반응을 이용하여 고분자화시킨 선상축합물로서 제조되며, ECH와 가성소다를 촉매, 탈염 소재로 사용하는 과정에서 고농도 NaCl을 포함하는 고염폐수(brine wastewater)가 발생된다(Cho et al., 2005).

에폭시 수지가 포함된 고염폐수는 고부하, 독성 및 내화성 유기 화합물이 포함되어 있어 기존 폐수처리 공정에 적용하기에 어려움이 있다. 저농도 폐수는 제한적으로 생물학적 폐수처리를 적용하고 있지만, 고농도 폐수(COD > 100,000 mg/L)는 응집/침전(coagulation/sedimentation), 펜톤산화(fenton oxidation), 오존산화(ozone oxidation), 습식 공기산화(wet air oxidation) 등 물리화학적 방법으로 처리하는 것이 효과적이다(Cho et al., 2005; Yang et al., 2010; Umar et al., 2013; Adar et al., 2021). 또한, 응집과 응결 공정을 이용한 화학폐수 처리는 고농도 폐수, 제강폐수, 고염폐수 등 다양한 공정에서 적용되고 있다. Park and Jung(2018)은 고농도 폐수의 효율적 처리를 위해 응집제(무기응집제, 고분자응집제)를 pH, TDS 및 탁도 조건에 따라 응집제 주입방법 및 적정 응집제 주입량을 제시한 바 있다. Cho et al.(2005)은 철염과 고분자 응집제를 이용하여 응집/침전을 거치게 되면, 처리수의 COD, 슬러지 함수율, 그리고 에폭시수지 공정의 부산물이 flocc 침전 효율을 향상 된다고 하였다.

기존의 연구결과에서는 고염폐수 중의 Al계 무기응집제의 주입시 응집제 주입량과 고액분리효율에 대한 정량적으로 비교한 사례는 미미하였다. 따라서, 본 연구에서는 에폭시수지 공정에서 발생하는 고염 폐수를 이용하여 무기계 응집제(황산알루미늄과 PAC) 주입량에 따른 응

집/응결/침전 처리 후 고액분리 조건을 최적화하였다. 이 고액분리 조건에 기초하여 응집제 주입량과 부유물질(SS : Suspended Solid) 농도의 상관관계를 경험식 형태로 체계화하고, 이 경험식으로부터 주입된 알루미늄이온 농도에 따른 고형물 제거효율을 정량적으로 비교하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 원수

에폭시 공정에서 발생하는 고염폐수는 에폭시 제조 후 스트리핑, 전처리 증발농축 공정을 거친 후 발생되며, 단위공정들을 거친 후 발생하는 폐수를 채취하여 사용하였다. 고염폐수를 이용한 응집/응결/침전 처리에 의한 고액분리 실험은 Table 1과 같은 성상을 가지는 시료를 이용하여 진행하였다.

### 2.2. 응집제 종류 및 주입량

에폭시폐수 응집을 위해 사용된 무기응집제는 황산알루미늄(alum :  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 \sim 18H_2O$ , Samchun Pure Chemical)과 공업용 PAC (Al 함량 8% : EFT(주))를 사용하였으며, 두 종류의 응집제가 동일한 양의 Al 농도로 주입될 수 있도록 각 응집제를 0.32 ~ 0.33 g/mL 농도로 표준용액을 제조하였다. Alum과 PAC의 주입량은 제조된 표준용액을 기준으로 각각 0 ~ 40 mL/L(0 ~ 1080 mg  $Al^{3+}$ /L)과 0 ~ 12.5 mL/L(0 ~ 337.5 mg  $Al^{3+}$ /L)로 주입하였다.

### 2.3. 응집 실험 및 분석 조건

본 실험은 응집제 종류와 주입량에 최적 주입조건을 나타내었다. 응집 실험은 6개의 1,000 mL 비이커에 응집제를 주입하고 Jar-tester(FC6S : VELP Co., Ltd)를 이용하여 응집/응결/침전 실험을 하였다. 응집과 응결 실험 조건은 급속교반을 250 rpm에서 응집제를 주입하고 5분간 교반한 후 완속교반을 30 rpm에서 20분간 실시

**Table 2.** Removal of turbidity and suspended solid from alum dosage

Contents		Dosage and concentration									
Coagulant dosage	mL/L	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15	20	25	40
	mg Al <sup>3+</sup> /L	0	67.5	135.0	202.5	270.0	337.5	405.0	540.0	675.0	1080.0
Turbidity	NTU	73.5	45.8	25.5	19.8	23.4	63.7	73.7	97.5	114.0	-
SS conc.	mg/L	4.1	1.8	1.4	1.6	2.1	2.3	2.7	6.3	6.4	-

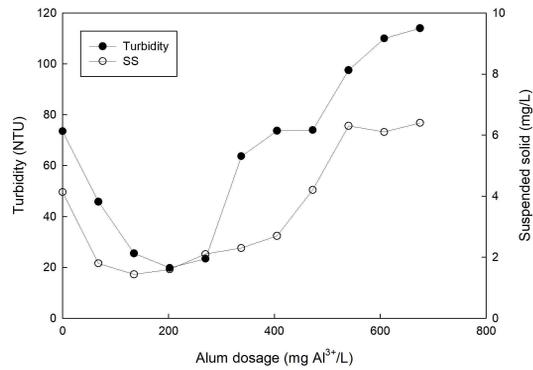
하였다. 응집과 응결 실험이 종료된 후 30분간 정치하여 응집된 고형물을 침전시킨 후 상등액을 채취하여 탁도, 고형물 농도, 그리고 화학적산소요구량(COD<sub>Cr</sub>)을 분석하였다. 원수와 처리수는 pH-Meter(AJ-7724, Istek)와 탁도측정계(2100N IS Turbidimeter, HACH)를 이용하여 측정하였다. COD<sub>Cr</sub>과 고형물 농도 항목은 응집제 최적 주입량으로 선정된 시료의 상등액을 수질오염공정시험기준(Ministry of Environment, 2017)에 준하여 분석하였다. 최적 응집제 주입량은 각 응집/응결/침전 실험으로부터 처리수의 탁도와 고형물 농도 기준으로 산정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 응집제(alum) 주입량에 따른 원수의 처리 특성

고염폐수를 이용하여 alum 주입량에 따른 응집/응결/침전 후 처리수의 탁도와 고형물농도(SS) 변화를 Table 2 및 Fig. 1에 나타내었다. 응집제 주입량은 표준용액으로 제조된 alum을 0 ~ 1080.0 mg Al<sup>3+</sup>/L(0 ~ 40 mL/L)의 범위로 주입하면서 하여 응집/응결/침전 실험을 진행하였다. 응집제가 투입되지 않고 30분간 정치 후 부상되는 에폭시 원료를 제거한 원수의 초기 탁도와 SS는 각각 73.5 NTU와 4.1 mg/L이었다. Fig. 1의 (a)와 (b)에 나타난 것과 같이 alum 주입량이 135.0 ~ 270.0 mg Al<sup>3+</sup>/L(5.0 ~ 10.0 mL/L)로 주입되는 조건에서 처리수의 탁도가 낮게 유지되었다. 그러나 alum 주입량이 337.5 mg Al<sup>3+</sup>/L(12.5 mL/L)로 증가하게 되면, 처리수의 탁도가 63.7 NTU로 원수에 가까운 탁도로 높아지는 경향을 보였다. Alum 주입량이 405.0 mg Al<sup>3+</sup>/L(15.0 mL/L)이상에서는 원수의 탁도보다 높은 탁도를 나타내면서 상부에 부상되어 있는 에폭시 원료가 Fig. 2의 (h)와 같이 일부 재분산 된다는 것을 확인할 수 있었다. 1080.0 mg Al<sup>3+</sup>/L(40.0 mL/L)이상으로 alum을 주입하

면, 상부에 있는 에폭시 원료가 대부분 재분산되어 고액분리가 거의 이루어지지 않았다. 처리수의 SS 농도는 탁도 변화와 유사한 경향을 보이며, 응집제 주입량이 135.0 ~ 270.0 mg Al<sup>3+</sup>/L(5.0 ~ 10.0 mL/L)의 범위에서 처리수의 탁도와 고형물 농도는 각각 19.8 ~ 25.5 NTU와 1.4 ~ 2.1 mg/L로서 낮게 유지되었다.



**Fig. 1.** Variation of turbidity and suspended solid in treated water by coagulation, flocculation, and sedimentation according to coagulant (alum) dosage.

#### 3.2. 응집제(alum과 PAC) 주입량에 따른 원수 농도별 탁도와 SS 제거 특성

고염폐수의 원수 농도를 변화시키면서 alum과 PAC 주입량에 따른 응집/응결/침전 후 처리수의 탁도와 고형물 농도 변화를 Table 3 및 Fig. 2에 나타내었다. 고염폐수의 원수 농도는 초기 탁도와 고형물 농도를 기준으로 74, 254, 그리고 630 NTU와 4.1, 14.2, 38.5 mg/L이었다. 응집제 주입량은 alum과 PAC 표준용액 기준으로 0 ~ 337.5 mg Al<sup>3+</sup>/L(0 ~ 12.5 mL/L)의 범위에서 주입하였다. Fig. 2의 (a)와 (b)에서 고농도 초기 탁도(고형물 농도)가 630 NTU(38.5 mg/L)일 때, alum과 PAC 주입량 67.5 mg Al<sup>3+</sup>/L(2.5 mL/L)에서 탁도(고형물 농도)는

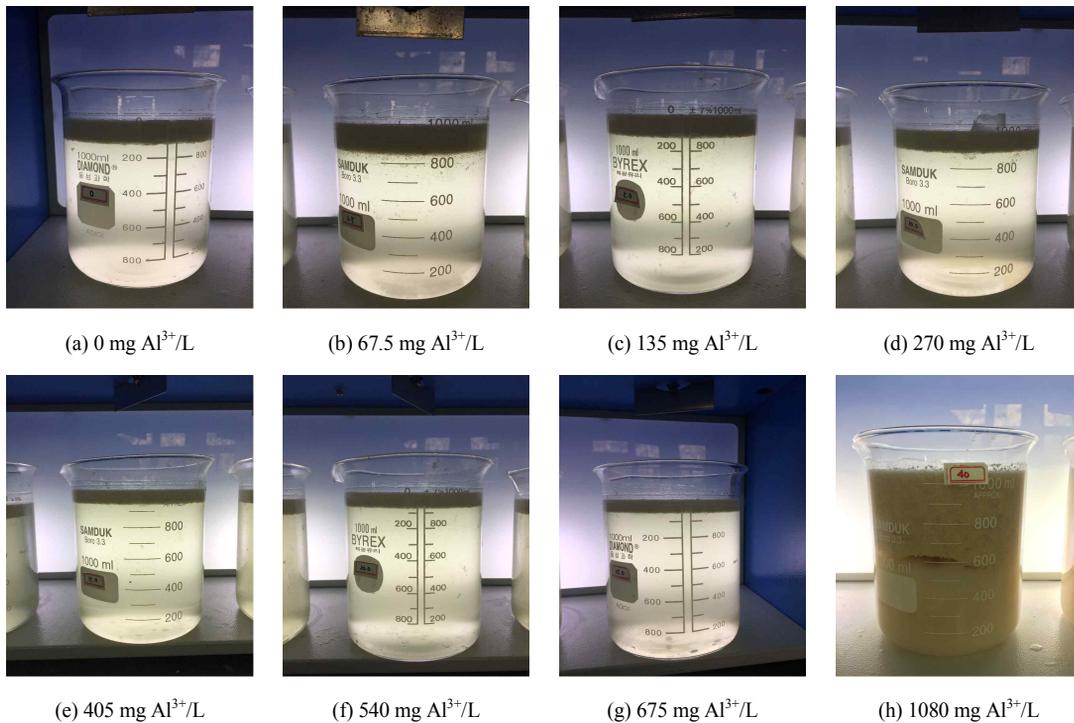


Fig. 2. Photographical images of treated water by coagulation, flocculation, and sedimentation according to coagulant (alum) dosage.

각각 363 NTU(22.2 mg/L)와 345 NTU(21.5 mg/L)로 낮아졌지만, 응집제 주입량이 증가하더라도 응집 후 탁도(고형물 농도)가 더 이상 감소하지 않았다. 초기 탁도(고형물 농도)가 254 ~ 257 NTU(14.2 mg/L)에서는 alum과 PAC 주입량 135 mg Al<sup>3+</sup>/L(5 mL/L) 이상 주입되었을 때 처리수의 탁도(고형물 농도)가 각각 143 NTU에서 69 NTU(4.7 ~ 8.2 mL/L)와 163 NTU에서 92 NTU(5.1 ~ 8.8 mL/L)로 점차 감소하는 경향을 보였다. 또한, 초기 탁도(고형물 농도)가 74 NTU(4.1 mg/L)에서는 alum과 PAC 주입량이 135 ~ 270 mg Al<sup>3+</sup>/L(5 ~ 10 mL/L)의 범위에서 처리수의 탁도와 고형물 농도는 각각 23 ~ 26 NTU(1.3 ~ 1.4 mL/L)와 22 ~ 25 NTU(1.3 ~ 1.4 mL/L)로 낮게 유지되는 경향을 보였다. 본 실험 결과와 유사하게 Cho et al.(2005)은 에폭시 생산과정에서 발생하는 고염폐수를 철염(FeCl<sub>3</sub>)을 주입하여 처리할 경우, 2 mL(40 mg/L)를 주입한 조건에서 최적의 고형물 제거효율을 나타내며 COD<sub>Cr</sub>이 19,700

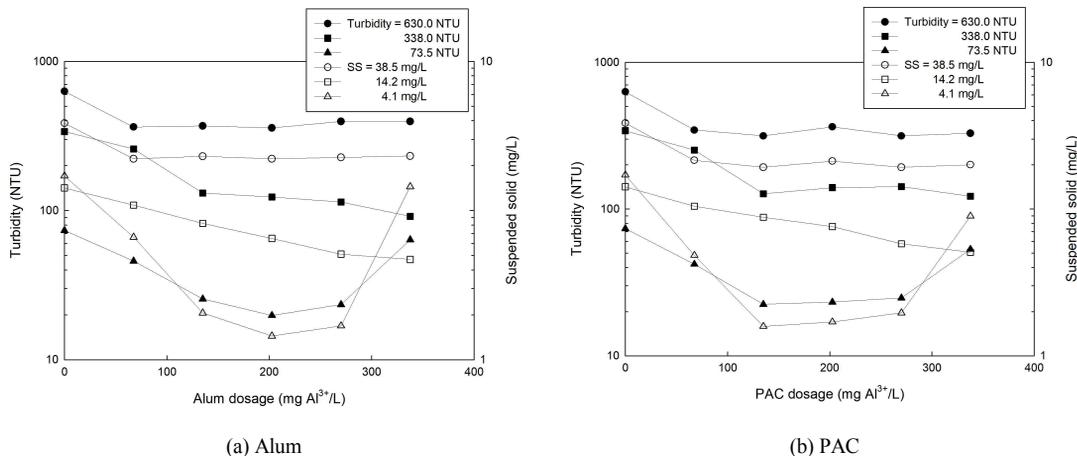
mg/L에서 14,200 mg/L로 감소한다고 하였다. 또한, Park and Jung(2018)은 철염계 무기응집제(Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>)와 고분자 응집제를 이용한 산업폐수의 응집/침전 처리시 탁도 및 TDS 제거효율은 응집제 종류 및 주입 방식에 따라 탁도 및 TDS 제거효율의 차이를 보이며, 무기응집제와 고분자응집제를 동시에 주입하는 것이 효율적이라고 하였다.

### 3.3. 원수 농도에 따른 응집제(alum과 PAC) 최적 주입량 산정

고염폐수의 원수 농도에 따른 응집제(alum과 PAC)의 최적 주입량을 산정하기 위해 응집제 주입량에 따른 SS 제거효율을 비교하여 Fig. 3에 나타내었다. 응집제 주입량이 증가함에 따라 Al<sup>3+</sup> 이온당 고형물 제거 효율(g SS/g Al<sup>3+</sup>)은 점차 감소하는 경향을 보였다. 응집제 주입량에서 따른 Al<sup>3+</sup> 이온당 고형물 제거 효율은 Kim et al.(2001)이 제시한 바와 같이 SS 제거효율과 응집제 주입량의 상관관계는 식(1)과 같이 지수식의 관계로서 나타낼

**Table 3.** Removal of turbidity and suspended solid from coagulant (alum and PAC) dosage

Contents			Dosage and concentration						
Coagulant	Vol.	mL/L	0	2.5	5	7.5	10	12.5	
	Mass	mg Al <sup>3+</sup> /L	0	67.5	135	202.5	270	337.5	
1 <sup>st</sup> test	Alum	Turbidity	NTU	630	363	369	358	395	395
		SS	mg/L	38.5	22.2	23.1	22.2	22.7	23.2
	PAC	Turbidity	NTU	630	345	315	363	315	328
		SS	mg/L	38.5	21.5	19.3	21.2	19.3	20.0
2 <sup>nd</sup> test	Alum	Turbidity	NTU	254	194	143	123	86	69
		SS	mg/L	14.2	10.9	8.2	6.5	5.1	4.7
	PAC	Turbidity	NTU	257	189	163	135	107	92
		SS	mg/L	14.2	10.5	8.8	7.6	5.8	5.1
3 <sup>rd</sup> test	Alum	Turbidity	NTU	74	46	26	20	23	64
		SS	mg/L	4.1	2.6	1.4	1.2	1.3	3.8
	PAC	Turbidity	NTU	74	42	22	23	25	53
		SS	mg/L	4.1	2.2	1.3	1.3	1.4	3.0



**Fig. 3.** Variation of turbidity and suspended solid in treated water by coagulation, flocculation, and sedimentation according to coagulant (alum and PAC) dosage.

수 있다.

$$R = be^{aD} \quad (1)$$

여기에서 R(g SS/g Al<sup>3+</sup>)은 주입된 응집제에 포함된 Al<sup>3+</sup> 이온당 고형물 제거량으로 나타낸 고형물 제거효율이고, D는 응집제 주입량(mg Al<sup>3+</sup>/L)이다. a와 b는 경험

식의 상수이다.

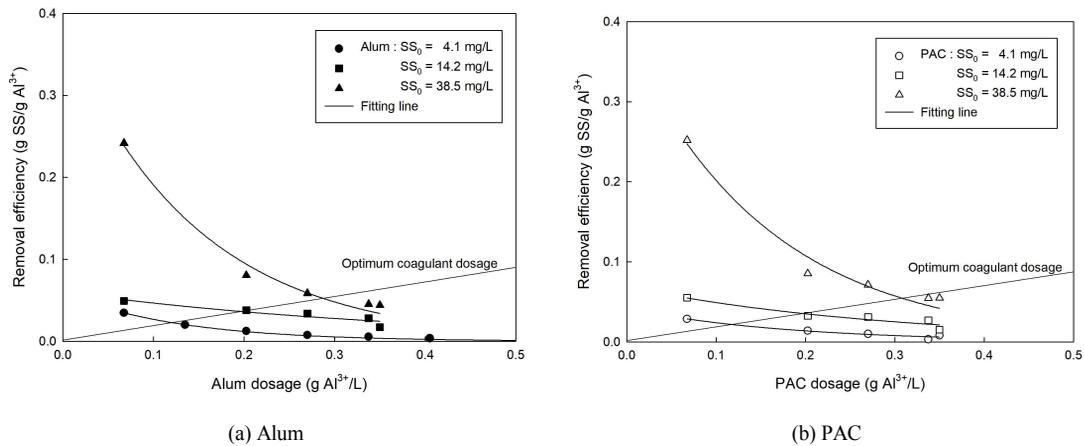
식 (1)을 양변에 자연로그(ln)를 취하여 선형화하면 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln(R) = \ln(b) + aD \quad (2)$$

식 (2)는 반로그좌표에서 선형화가 가능하며, 선형화된 직선의 기울기(a)와 절편(ln(b))로부터 a와 b를 구할 수 있다. 이 R과 D의 상관관계에 대한 a, b, 그리고 r<sup>2</sup>을

**Table 4.** Correlation between R (removal efficiency of SS) and D (coagulant dosage)

SS conc.	Regression parameter	Alum			PAC		
		a	b	$r^2$	a	b	$r^2$
	4.1	0.0597	8.0014	0.9530	0.0417	5.4998	0.9597
SS <sub>0</sub> (mg/L)	14.2	0.0604	0.0079	0.8563	0.0688	3.3483	0.9115
	38.5	0.3808	6.9023	0.9871	0.3783	6.2799	0.9751

**Fig. 4.** Estimation for the optimal dosage of coagulants (alum and PAC) using an empirical model.**Table 5.** Concentration of COD<sub>Cr</sub> in raw and treated waters

Sample name	COD <sub>Cr</sub>	Dilution rate	COD <sub>Cr</sub> (ppm)
Raw water		4,000,000	124,878,049
Treated water		2,000,000	78,048,780

Table 4에 나타내었다. Alum과 PAC에서 R과 D가 상관계수( $r^2$ )가 각각 0.8563 ~ 0.9871과 0.9115 ~ 0.9751로서 높은 상관관계를 보인다는 것을 알 수 있었다. Fig. 4의 (a) alum 주입량에 있어 초기 고형물 농도(SS<sub>0</sub>)가 4.1, 14.2, 그리고 38.5 mg/L에서 식 (1)과 식 (2)로 모사한 곡선과 최적 응집제 주입량 직선이 교차하는 지점을 기준으로 산정할 수 있으며, 이때 Al<sup>3+</sup> 주입량(g)당 응집되는 고형물 농도(SS)는 각각 0.0202, 0.0378, 0.0531 g SS/g Al<sup>3+</sup>이었다. Fig. 4의 (b) PAC 주입량에 있어 SS<sub>0</sub>가 4.1, 14.2, 그리고 38.5 mg/L에서 Al<sup>3+</sup> 이온 주입량(g)당 응집되는 고형물 농도는 각각 0.0202, 0.0357, 그리고 0.0567 g SS/g Al<sup>3+</sup>이었다. 본 연구에서는 Al<sup>3+</sup> 주

입량(g)당 응집되는 고형물 농도의 상관관계를 최적화하여 도출한 것과 유사하게 Adar et al.(2021)은 철염(FeSO<sub>4</sub>)을 주입한 후 응집/응결/침전에 의한 에폭시 페인트 폐수를 처리시 철염 주입량, pH, 그리고 COD<sub>Cr</sub> 제거효율에 대한 상관관계를 반응표면 분석법을 이용하여 최적화하였다. Jeong et al.(2014)은 응집-혼화 공정에 의한 터널에서 발생하는 폐수의 고형물 제거 조건에 대해 반응표면분석법으로부터 응집제 주입량, pH, 온도, 고형물 제거효율 등의 상관관계의 최적화 결과를 보고하였다.

### 3.4. 원수 및 처리수에 대한 COD<sub>Cr</sub> 농도

Alum과 PAC를 이용한 최적 주입량 실험에서 최적

조건의 범위인 alum 주입량 202.5 mg Al<sup>3+</sup>/L(7.5 mL)를 주입한 조건에서 원수와 처리수의 COD<sub>Cr</sub>를 측정하여 Table 5에 나타내었다. Table 5에 제시한 결과에서는 측정된 결과에 따르면 원수와 처리수의 COD<sub>Cr</sub>는 각각 124,878,049 ppm과 78,048,780 ppm으로 정량적으로 유의한 범위를 넘어서는 결과를 보였다. 하지만, alum 주입 후 응집/응결/침전 공정을 거칠 경우, 고염폐수 중에 잔류하고 있는 에폭시 원료가 응집되어 고액분리 되어 처리수 중에 존재하는 유기물이 감소한 부분이 COD<sub>Cr</sub> 제거 효율(37.5%)에 반영된 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

에폭시수지 공정에서 발생하는 고염 폐수를 이용하여 무기계 응집제(황산알루미늄과 PAC) 주입량에 따른 고액분리 조건을 최적화를 위한 응집/응결/침전 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) Alum 주입량은 에폭시 폐수의 탁도와 고형물 농도가 각각 73.5 NTU와 4.1 mg/L일 때 alum 주입량이 135.0 ~ 270.0 mg Al<sup>3+</sup>/L 범위에서 탁도와 고형물 농도가 낮아지는 경향을 보였다. Alum 주입량이 405.0 mg Al<sup>3+</sup>/L 이상에서는 원수의 탁도보다 높아지면서 에폭시 수지의 원료가 처리수 상부로 재분산 되었다.

2) Alum과 PAC 주입량에 따른 에폭시 폐수의 응집/응결/침전 성능은 원수의 탁도와 고형물 농도가 각각 74 ~ 630 NTU와 4.1 ~ 38.5 mg/L인 조건에서 135.0 ~ 270.0 mg Al<sup>3+</sup>/L의 alum과 PAC 주입량이 처리수의 탁도와 고형물 농도를 낮추기 위한 최적조건이었다. Al<sup>3+</sup> 이온을 기준으로 한 alum과 PAC 주입량에 따른 원수 탁도와 고형물 제거 특성은 두 응집제가 거의 유사한 경향을 보였으며, 두 응집제 간의 탁도와 고형물 제거 성능은 큰 차이를 보이지 않았다.

3) 본 연구에서 제시한  $R = be^{aD}$ 의 경험식으로부터 alum과 PAC에서 R과 D가 상관계수( $r^2$ )가 각각 0.8563 ~ 0.9871과 0.9115 ~ 0.9751로서 높은 상관성을 얻을 수 있었다.

#### 감사의 글

본 논문은 2020년 공정품질기술개발사업(중소기업기술정보진흥원, S2939348)의 재원으로 지원을 받아 수행

된 연구사업 지원에 의하여 수행되었습니다.

#### REFERENCES

- Adar, E., Ilhan, F., Aygun, A., 2021, Different methods applied to remove pollutants from real epoxy paint wastewater: modeling using the response surface method, *Sepa. Sci. Technol.*, 57(3), 492-507.
- Ah, C. G., 1996, *Chemistry, synthesis and applications of epoxy resin, Elastomers and Composites*, 31, 130-147.
- Cho, W. S., Lee, E. Y., Kang, S. W., Lee, J. S., Jin, S. I., 2005, A study on the optimization of pre-treatment for the brine wastewater from the epoxy-resin process by the coagulation and sedimentation reactions, *Clean Technol.*, 11, 57-67.
- Harada, M., 2018, Development trend of epoxy resin, *J. Adhesion Interface*, 19, 44-49.
- Jeong, S. U., Lee, J. H., Park, T. W., Kim, Y. M., 2014, Utilization of response surface methodology to optimize a coagulation-flocculation process for tunnel wastewater treatment, *J. Korean Soc. Wat. Waste.*, 28, 6016-608.
- Kim, Y. K., Jeong, Y. H., Ra, D. G., 2001, Fluoride removal in steel work wastewater by coagulation, *J. Korean Soc. Environ. Technol.*, 2, 357-363.
- Ministry of Environment, Standard methods for the examination of water pollution, 2016-65, 2017.
- Park, S. J., Jung, B. K., 2018, Determination of the coagulation injection methods for effluent treatment of industrial wastewater, *J. Korean Soc. Environ. Technol.*, 19, 570-575.
- Umar, M., Roddick, F., Fan, L., Aziz, H. A., 2013, Application of ozone for the removal of bisphenol A from water and wastewater - A review, *Chemosphere*, 90, 2197-2207.
- Yang, S., Liu, Z., Huang, X., Zhang, B., 2010, Wet air oxidation of epoxy acrylate monomer industrial wastewater, *J. Hazard. Mater.*, 187, 786-791.

- 
- Professor. Chang-Han Lee  
Department of Environmental Administration,  
Catholic University of Pusan  
chlee@cup.ac.kr
  - Team manager. Yu-Jin Kim  
CheoYong Environmental Technique  
yj.kim@cyet.co.kr

- 
- Plant manager. Sung-Hyun Moon  
Jeil Chemical Co. Ltd.,  
shmoon@jeil.co
  - Vice president. Sung-Hun Kwon  
Sunjin Environment Co. Ltd.,  
shkwon@sunjin-env.com

- 
- Professor. Kab-Hwan Ahn  
Department of Environmental Administration,  
Catholic University of Pusan  
khahn@cup.ac.kr