

# 에폭시수지 생산 공정에서 발생하는 brine 폐수의 전처리를 위한 응집 및 침전 반응의 최적화 연구

조옥상, 이은영, 강성욱, 이장수, 진수익\*

수원대학교 환경공학과, 금호피엔비화학(주)\*

(접수일자 : 2005. 4. 2 / 채택일자 : 2005. 5. 12)

## A Study on The Optimization of Pre-treatment for the Brine Wastewater from the Epoxy-resin Process by the Coagulation and Sedimentation Reactions

Wook Sang Cho, Eun Young Lee, Seong Wook Kang, Jang Su Lee, Su Ik Jin\*

Department of Environment Engineering, The University of Suwon

Kumho P&B Co.\*

### 요 약

에폭시 수지는 ECH(Epichlorohydrin)와 BPA(Bisphenol-A)를 원료로 가성소다 존재 하에 탈수응축 반응을 통해 생성되며 반응 부산물로 소금물이 폐수로 발생되는데 이를 Brine이라 부르며 글리시돌과 같은 에멀전 상태의 ECH 유도체와 수지성 폴리머를 함유하는 알칼리성 폐수이다. 이러한 폐수는 폐수처리 과정에서 반응기 내부와 배관 내벽에 폴리머 입자가 침적 및 응고되어 plugging 을 일으키는 등 전체적으로 후처리 공정에서 fouling 현상이 발생되고 있는데 이는 미생물의 분해 활성도를 급격히 떨어뜨려 폐수처리 효율이 낮아지는 문제점을 야기 시키고 있다. 본 연구에서는 무기 응집제와 유기 고분자 응집제를 이용하여 에폭시 수지 생산 공정에서 발생하는 brine 폐수에 존재하는 ECH 유도체와 수지성 폴리머를 반고상 슬러지 형태로 응집 및 침전시킴으로써 fouling 현상을 일으키는 요인을 제거하고자 최적의 응집반응 조건을 도출하였고 경제성 분석 등 이를 실제 공정에 적용할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

**키워드** : 에폭시 레진, 소금물, 응집제, 침전 실험

**ABSTRACT** : Epoxy resins are produced by the dehydro condensated reaction with ECH (Epichlorohydrin) and BPA(Bisphenol-A) as raw reactants under sodium hydroxide(NaOH) as a catalyst, and from this reaction, salted water named of brine, which contains ECH derivatives in condition of emulsion as likely as glycidol and polymer resins, is produced as an undesired side product. This brine water is alkaline wastewater and causes process fouling problems by plugging and chemically depositing polymer particles on the surface of inner wall of reactors and pipes, and decreases the biodegradable efficiency in the wastewater process.

In this study, the optimization of coagulation and sediment reactions, using inorganic and organic polymer coagulants, were performed to remove the causes occurring the process fouling phenomena. And also, based on this study, the methodologies applicable to the commercial processes including economical analysis were presented.

**Key words** : Epoxy resin, Brine water, Coagulation, Sedimentation Reactions

## 1. 서 론

에폭시 수지는 비스페놀A(BPA)를 주원료로 하는 에폭시 수지, 페놀 및 포름알데히드를 주원료로 하는 비스페놀F(BPF)형 에폭시 수지, 불소화 BPA를 주원료로 하는 브롬형 에폭시 수지, 기타 여러 에폭시 수지를 변형한 변성 에폭시수지로 구별되며 BPA형 에폭시 수지는 경화성 및 작업성이 우수해 가장 일반적으로 사용되며 본 연구의 공동참여 기업도 BPA형 에폭시 수지를 생산하고 있다.

에폭시 액상수지 생산 공정은 batch 공정을 근간으로 이루어져 있으며 액상수지 공정 중 일부 brine stripping 공정과 톨루엔 제거공정은 연속공정으로 운전한다. 일반적으로 액상수지는 ECH(Epichlorohydrin)를 주원료로 가성소다를 촉매, 탈염소제로 사용하므로 brine이 발생되고, brine에 포함된 일부 유기화학 물질은 연속공정인 brine stripping 공정에서 회수되고 나머지는 폐수처리 공정으로 이송되어 처리된다.

발생된 brine으로 인하여 제품 회수시 수지와 소금과의 분리가 필수적인 공정이 되었으며, 최종적으로 ECH의 유도체(글리시돌, 글리세린, 폴리글리세린), 원료 모노머, 올리고머, 수지 및 용제를 포함한 유기계 폐수가 분리공정에서 배출된다. 이 폐수는 직접 고온 소각법으로 처리하나 미생물 처리법에 적용 가능한 BOD농도까지 희석해 산수로상(trickle filter)과 표준활성오니법을 혼합한 시스템에서 처리된다.

이 과정에서 폐수처리 탱크의 용기 내부에 폴리머가 형성되어 주기적으로 세척을 실시하여야 하며, 폴리머를 제거하기 위해 cartridge filter를 사용하나 그 효과가 미미할 뿐만 아니라 폐기물의 다량 발생으로 인한 환경적 문제가 되고 있다. 또한 폐수 플랜트에 정체된 폴리머는 가동 정지 등을 유발하여 엄청난 손실을 초래하게 된다. 소각시 유해화학물질은

포함되지 않고 수질이 양호해지나 다이옥신 억제를 위해 고온에서 처리해야 하기 때문에 에너지 대량소비가 문제된다.

이와 같은 문제로 인해 폐수처리시 미생물에 영향을 주는 화합물의 제거와 원료 모노머 중에 농도가 처리한계를 넘으면 처리효율이 저하되므로 폐수의 pH와 brine농도에 따른 전처리 시설이 필요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 ECH의 유도체가 포함된 유기계 폐수에서 폴리머를 제거하기 위하여 여러 종류의 응집제를 적용하여 응집반응 결과에 따른 최적의 응집제 선정, 발생된 슬러지 침적물의 성분분석과 슬러지 처리에 따른 경제성 분석 등에 초점을 두고 응집반응 실험을 수행하였으며, 그 결과를 토대로 실제 공정에 적용하였을 시, 응집반응을 통한 brine water의 전 처리 비용과 발생된 슬러지의 농축 및 탈수비용 등을 산출하여 현재의 처리비용과 비교분석을 통해 본 연구결과의 적용 가능성을 경제성 제고 측면에서 평가하고자 하였다. 또한 응집반응 후 생성된 슬러지로 인해 증가한 폐기물의 양을 유동판식 농축탈수장치를 통하여 저감시키는 방안도 본 논문에서 제시하고 있다.

## 2. 실험

### 가. 실험장치의 구성

#### 가) Jar-tester

시료를 용이하게 관찰 할 수 있도록 후면에 조명이 설치되어있으며 한번에 6개의 시료를 동시에 교반할 수 있도록 교반기가 6개가 있고 교반속도의 범위(0~400rpm)가 넓고 시간 조절이 가능하다.

#### 나) pH Meter

모델 290A는 pH와 이온의 농도 측정이 가능한

휴대형 pH미터이며 내장된 버퍼/온도 표를 사용하여 5개 까지 pH 자동보정이 가능하고 전극 기울기를 자동으로 계산하여 화면에 표시하며 5개 까지 농도 보정이 가능하고 유효 숫자를 선택할 수 있다. 자동 blank 보정은 최저농도 이하의 시료 측정에 사용이 가능하다. Blank는 표준 용액을 기준으로 자동 계산되고 측정한다.

#### 다) SS 여과장치

##### ① 측정원리 - 유리섬유 여지법

황산데시케이터에 넣어 건조시켜 미리 무게(여과전의 무게, a)를 단 유리섬유 여지(GF/C)를 여과기에 부착하여 일정량의 시료를 여과시킨 다음 건조기에 무게(여과후의 무게, b)를 달아 여과 전·후의 유리섬유 여지의 무게차를 산출하여 부유물질의 양을 구하는 방법이다. 정량범위는 5mg이상이다.

##### ② SS 결과계산

$$SS(\text{mg}/\ell) = (b-a) \times 1000/V$$

a : 시료 여과전의 유리섬유여지 무게(mg)

b : 시료 여과후의 유리섬유여지 무게(mg)

V : 시료의 양(ml)

#### 라) Drying oven

SS여과장치 실험 단계를 거친 GF/C를 2시간 이상 건조시켜 황산데시케이터에 넣어 방냉한다. 온도는 105~110℃이며 본 실험에 사용된 건조기는 열과 동시에 열풍이 나오는 것을 사용하였다.

#### 마) DR-4000

실험자가 구하고자하는 시료의 종류에 따른 reagent시약을 사용하여 간편하고 빠른 시간 안에 시료의 농도를 구할 수가 있다. 시료의 종류에 따라 본체 안에 내장된 소프트웨어에는 각각의 method에 맞는 UV-VIS파장이 셋팅되어 있어서 구하고자하는 시료의 파장을 측정할 수가 있다. 본 실험에서는 DR-4000으로 CODcr, Cl-을 측정하였다. 파장의 범위 190nm~1100nm, 파장의 재현성 ±0.1nm이며 크기는 42W×29D×16Hcm, 무게는 9kg이다.

#### 바) COD Reactor

시료를 reagent시약과 혼합하여 150℃로 가열하여 시료를 전처리하는 반응기로써 COD를 구할 때 필요한 장치이다. 또한 25개의 시료를 한꺼번에 가열할 수가 있어 빠른 시간 안에 많은 수의 시료의 농도를 구할 수가 있다.

사) 그 밖에 정확한 실험을 위하여 전동교반기, 오토피펫, 3차 증류수 등을 사용하였다.

#### 나. 응집제의 선택

본 연구에는 철염 계통의 무기 응집제와 9개의 유기 고분자 응집제를 선정하여 이를 실험 적용하였다.

유기 고분자 응집제만을 주입한 brine water 시료의 Jar-test는 상등수의 SS, CODcr 농도가 높게 분석되었으며, 응집된 flocc의 크기가 작고 양도 적었다. 이는 유기 고분자 응집제와 콜로이드성 미세입자의 응집메카니즘이 전기적인 중화보다는 고분자 사슬에 의한 가교작용이기 때문에 유기 고분자 응집제와 미세 부유물질을 응집시키는데 한계가 있었다. 또한 무기 응집제만을 주입한 brine water 시료의 Jar-test는 상등수의 CODcr, SS, Cl- 농도가 유기 고분자 응집제만을 주입한 경우보다는 낮게 분석되었으나, 응집된 flocc의 크기가 상대적으로 작았으며 침전상태가 층을 이루어 응집 결과가 저조하게 분석되었다. 무기 응집제의 단독 사용은 flocc을 키우는데 한계가 있었으며 유기 고분자 응집제의 단독 사용은 콜로이드성 미세 부유물질의 제거율이 낮게 분석되었다. 따라서 무기 응집제와 유기 고분자 응집제를 연계하여 사용함으로써 응집효율의 향상을 도모하였다.

무기 응집제는 brine water의 강알칼리성을 중화시키고, 유기 고분자 응집제의 주입을 통하여 flocc의 크기와 강도를 증가시켜 고·액 분리를 실시하였다. Table 1은 유기 고분자 응집제의 성상을 보여주고 있다.

Table 1. Properties of organic polymer flocculants

Group	Grade	Ionic Character	Viscosity(Cps) (0.1% Aqueous Solution)	pH	Superficial Specific Gravity	Molecular Weight ( $\times 10^3$ )
Anionic	A	Medium	190 ~ 250	6~8	0.60 ~ 0.80	14,000
	B	Weak	70 ~ 120	6~8	0.60 ~ 0.80	13,000
	C	Strong	200 ~ 270	6~8	0.70 ~ 0.90	15,000
Nonionic	D	-	40 ~ 80	6~8	0.60 ~ 0.70	12,000
Group	Grade	Ionic Character	Viscosity(Cps) (0.2% Aqueous Solution)	pH	Superficial Specific Gravity	Molecular Weight ( $\times 10^3$ )
Cationic	E	Medium	120 ~ 190	4~7	0.60 ~ 0.80	5,000
	F	Strong	200 ~ 280	4~7	0.60 ~ 0.80	6,000
	G	Strong	170 ~ 240	4~7	0.60 ~ 0.80	4,000
	H	Medium	150 ~ 220	4~7	0.60 ~ 0.80	5,000
	I	Weak	120 ~ 180	4~7	0.60 ~ 0.80	4,000

#### 다. 무기 응집제의 적정 주입량 결정

Brine water 시료는 pH 12.0~12.5의 강알칼리성이므로 철염 계통의 무기 응집제를 주입한 Jar-test를 통하여 pH 6~7 사이로 중화하였다. 철염 계통의 무기 응집제는 pH를 낮춰 줄 뿐만 아니라 Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>와 Cl<sup>-</sup>의 반응으로 염을 제거하고 콜로이드 상태의 미세 부유물질을 응결시켜 응집작용을 보조해 주는 역할을 한다.

Jar-Test 방법은 Brine Water 시료 200 ml를 취한 다음 교반 속도를 200 rpm, 교반 시간을 15분으로 하였다. 또한 실험의 결과를 정량적으로 표현하기 위하여 10분간 침전시킨 후 무기 응집제 주입량에 따른 상등수의 pH 변화를 나타냈으며 또한 brine water 시료 원액의 SS 농도와 Jar-Test 후의 상등수의 SS 농도를 비교 분석하였다. SS 농도 변화를 통하여 철염 계통의 무기 응집제와 미세 부유물질의 응결반응에 대한 효율을 검증하고자 하였다. SS 농도는 공정시험방법으로 측정하였다.

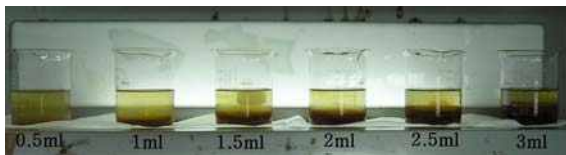


Fig. 1. The shape of a sediment with variation of inorganic polymer flocculant injections

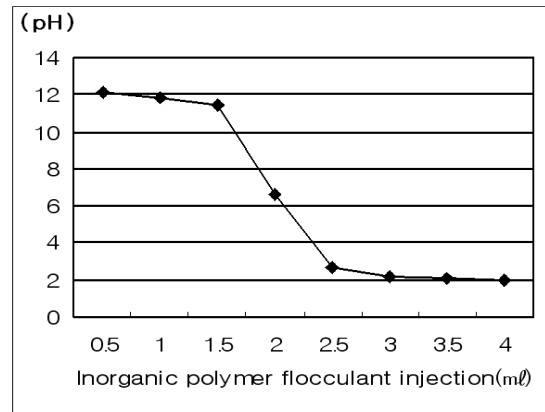


Fig. 2. Variation of pH with inorganic polymer flocculant injections

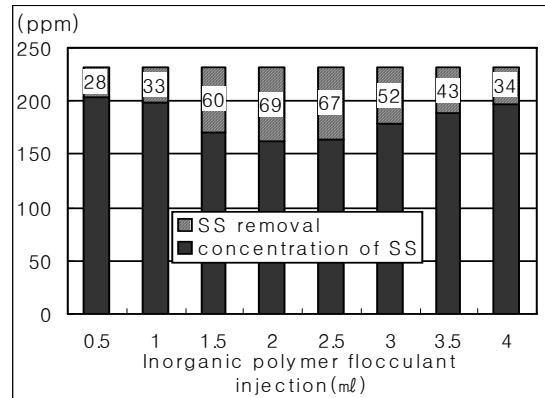


Fig. 3. Concentration of SS with variation of inorganic polymer flocculant injections

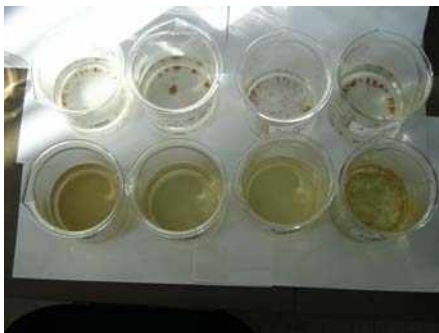
Fig. 1은 brine water 시료에 무기 응집제를 0.5씩 증가시키면서 3ml까지 넣었을 경우 flocc의 침전 모습을 보여주고 있다. Flocc의 양은 무기응집제의 양에 비례했으며 상등수를 육안으로 보았을 경우 무기 응집제 2ml를 넣은 시료가 가장 맑게 관찰되었다. Fig. 2과 Fig. 3의 실험결과를 통하여 무기 응집제의 적정 주입량은 2ml로 분석되었다. Fig. 2을 보면 무기 응집제의 주입량이 2ml일 경우 pH 6.5~6.8로 목적인 수치에 근접하게 도달하였으며 Fig. 3에서 무기 응집제의 주입량이 2ml일 경우 SS 제거율이 가장 높게 분석되었다. 무기 응집제만을 넣었을 경우에도 COD<sub>Cr</sub>이 19700ppm에서 14200ppm 정도로 낮아졌으나 Fig. 1과 같이 flocc의 크기가 작은 문제점이 도출되었다.

**다. 유기 고분자 응집제 선정 및 적정 주입량 결정**

유기 고분자 응집제만을 넣었을 경우 Fig. 4와 같이 생성되는 flocc의 크기와 양이 적었다. Fig. 1의 사진과 비교했을 때 flocc의 양이 현저하게 차이가 날 수 있다. 유기 응집제만을 넣었을 경우 응집에 있어서 가장 중요한 것이 pH인데 pH가 강알칼리성에서 떨어지지 않은 것이 가장 큰 문제점으로 분석되었다. 따라서 본 실험에서는 무기 응집제를 주입하여 pH를 중화시킨 후 유기 고분자 응집제를 주입하여 flocc의 크기를 증가시키기로 하였다.



The front view



The top view

Fig. 4. The shape of a sediment with variation of organic polymer flocculant injections.

최적화된 유기 고분자 응집제 주입량을 찾기 위해 다음과 같은 실험을 반복하였다.

무기 응집제를 2ml 주입하여 Jar-test를 수행한 후에 9개의 유기 고분자 응집제를 각각 1ml, 2ml, 3ml, 4ml 씩 주입하여 응집반응의 효율을 분석하였다. 교반 속도는 200 rpm, 교반 시간은 20초로 하였으며

교반 후 5분간 침전시켰다. 실험 결과의 정량 표현을 위하여 상등수의 SS, CODcr, Cl- 을 분석하였다. SS 농도는 공정시험방법으로 측정하였으며 CODcr, Cl- 은 HACH社의 Dr-4000기기로 분석하였다.

Table 2. Concentration of SS, CODcr, Cl-with variation of organic polymer flocculant injections.

Group	SS (PPM)	CODcr (PPM)	Cl <sup>-</sup> (PPM)	Group	SS (PPM)	CODcr (PPM)	Cl <sup>-</sup> (PPM)
A (4 ml)	78	19,350	86,300	F (4 ml)	28	16,980	83,400
B (4 ml)	114	15,750	96,200	G (1 ml)	54	20,580	97,000
C (4 ml)	172	18,725	87,700	H (1 ml)	190	16,440	96,500
D (4 ml)	68	17,450	88,900	I (3 ml)	48	20,340	88,200
E (4 ml)	20	16,380	82,450				

Table 2는 위의 실험 결과 SS, CODcr, Cl- 농도의 감소량이 높은 시료를 선택하여 비교 분석한 결과이다. 또한 Fig. 5은 SS 농도 감소량을 목적 수치값 80%에 적용하여 분석한 결과이다. SS 농도를 분석한 결과 전체적으로 brine water 시료의 SS 농도 보다는 낮게 분석되었으나 침전시간이 상이하게 분석되었다. 유기 고분자 응집제 C(4ml)와 H(1ml)를 주입한 경우 flocc의 크기가 작아 침전 반응 시간이 길었다. 하지만 유기 고분자 응집제 E(4ml)와 F(4ml)를 주입한 경우 flocc의 크기가 5mm 정도로 다른 유기물 고분자 응집제의 Flocc보다는 상대적으로 크게 응집되었으며, 침전시간이 다른 유기 고분자응집제를 주입했을 때보다 빠르고 고·액 분리가 뚜렷하게 나타나 상등수의 SS 농도가 낮았으며 SS 제거율이 목적 수치값 80% 범위에 포함되어 응집 효율이 상대적으로 높게 분석되었다.

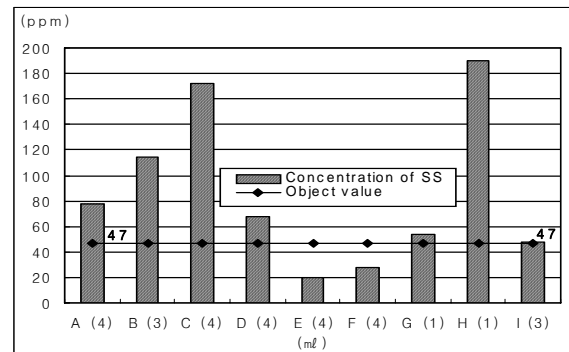


Fig 5. Concentration of SS with variation of organic polymer flocculant injections

Fig. 6은 COD<sub>Cr</sub> 농도 감소량을 목적 수치값 10%에 적용하여 분석한 결과이며 그에 따른 육안 관찰 결과 및 특이사항은 Table 3에 서술하였다.

Fig. 7은 Cl<sup>-</sup> 농도 감소량을 목적 수치값 10%에 적용하여 분석한 결과이다. 유기 고분자 응집제 A(4 ml), E(4ml)와 F(4ml)를 주입했을 때 brine water의 Cl<sup>-</sup> 농도보다 약 10~15% 감소되었다. 그러나 유기 고분자 응집제 B(4ml), G(1ml), H(1ml)를 주입하여 Jar-test한 경우 응집 반응 후 상등수의 Cl<sup>-</sup> 농도가 brine water 시료의 Cl<sup>-</sup> 농도보다 높게 나왔다. 이는 유기 고분자 응집제 주입 후 응집반응이 완전하게 이루어지지 못하고 시료속의 잔류 중인 응집제가 Cl<sup>-</sup> 농도에 포함되기 때문인 것으로 분석되었다.

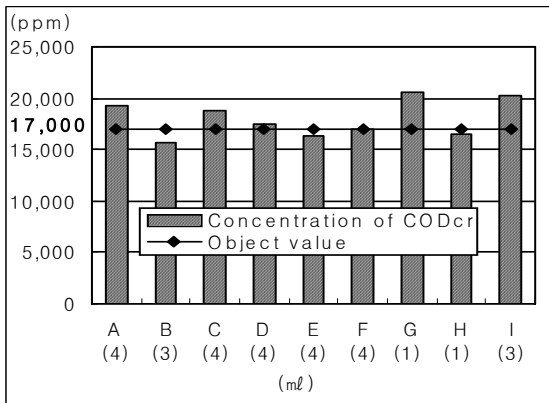


Fig. 6. Concentration of COD<sub>Cr</sub> with variation of organic polymer flocculant injections.

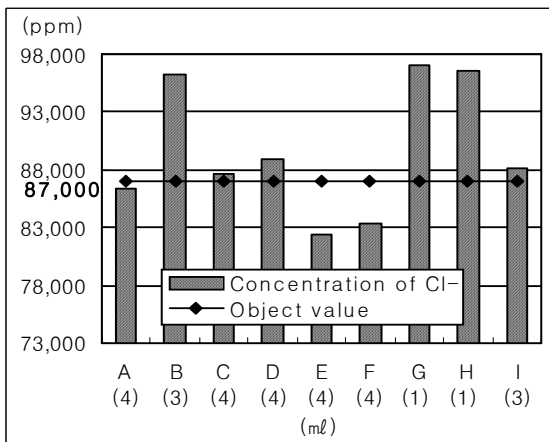


Fig. 7. Concentration of Cl<sup>-</sup> with variation of organic polymer flocculant injections

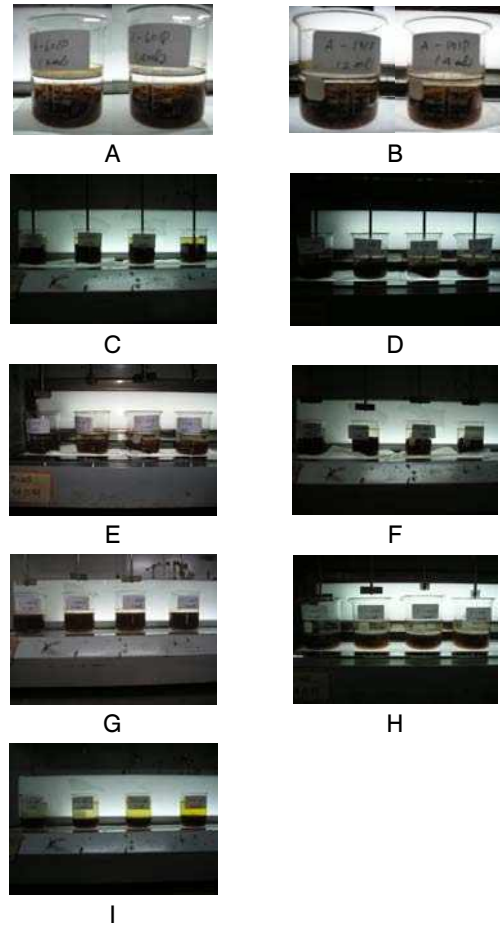


Fig. 8. The shape of a sediment with variation of organic polymer flocculant injections after inject inorganic polymer flocculant 2ml.

Table 3. Results of COD<sub>Cr</sub> experimentation

Group	Results Of COD <sub>Cr</sub> Experimentation
A (4ml)	Floc의 모양이 작고 미세 물질이 상등수에 부유하고 있어 COD <sub>Cr</sub> 값이 높게 나왔다.
B (3ml)	Object Value 10%에 포함되는 COD <sub>Cr</sub> 감소량을 보였으나 Floc이 작아 침전 반응에 소요되는 시간이 길었으며 고·액 분리가 뚜렷하게 나타나지 않았다.
C (4ml)	Floc의 모양이 작아 침전 반응에 소요되는 시간이 길었으며 미세 물질이 상등수에 부유하고 있어 COD <sub>Cr</sub> 값이 높게 나왔다.
D (4ml)	Floc의 모양이 작아 침전 반응에 소요되는 시간이 길었으며 미세 물질이 상등수에 부유하고 있어 COD <sub>Cr</sub> 값이 높게 나왔다.
E (4ml)	Brine Water의 COD <sub>Cr</sub> 농도보다 14% 감소되었고 육안 관찰 결과 Floc의 크기가 크고 고·액 분리가 뚜렷하게 나타났다.
F (4ml)	Brine Water의 COD <sub>Cr</sub> 농도보다 17% 감소되었고 육안 관찰 결과 Floc의 크기가 크고 고·액 분리가 뚜렷하게 나타났다.
G (1ml)	응집 반응 후 상등수의 COD <sub>Cr</sub> 농도가 Brine Water 시료의 COD <sub>Cr</sub> 농도보다 높게 나왔다. 이는 유기 고분자 응집제 주입 후 응집반응이 완전하게 이루어지지 못하고 응집제가 COD <sub>Cr</sub> 농도에 포함되기 때문인 것으로 분석되었다.
H (1ml)	주입량이 증가함에 따라 COD <sub>Cr</sub> 값이 낮게 분석 되었으나 Floc의 크기가 작아 침전반응 소요시간이 길었으며 많은 양의 미세 물질이 상등수에 부유하고 있었다.
I (3ml)	응집 반응 후 상등수의 COD <sub>Cr</sub> 농도가 Brine Water 시료의 COD <sub>Cr</sub> 농도보다 높게 나왔다. 이는 유기 고분자 응집제 주입 후 응집반응이 완전하게 이루어지지 못하고 응집제가 COD <sub>Cr</sub> 농도에 포함되기 때문인 것으로 분석되었다.

**라. Floc의 함수율 측정**

에폭시수지 공정 부산물이 함유된 brine water의 처리효율 향상을 위한 전처리의 일환으로 응집제를 이용하여 floc을 형성시켜 고·액 분리를 하였다. 상등수의 SS, CODcr, Cl- 농도를 목적 수치값 보다 낮게 하였으나 floc의 양이 많이 생성되었다. 따라서 공정상에서 floc의 양을 감소시키는 방안으로서는 별도의 탈수 장치를 이용하여 처리하는 것이 효율적이라는 판단아래 floc의 함수율을 측정하였다. Floc의 함수율 측정은 탈수 장치를 이용했을 경우에 슬러지 처리 효율의 기초 자료로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 슬러지 함수율을 알아보기 위해 총고형물(TS) 실험을 하였다. 총고형물(TS)은 105~110℃에서 완전 건조시킨 후의 잔류물이며 함수율은 증발된 수분량으로 산정하였다. 수분량과 고형물은 식(1)과 식(2)와 같이 구하였다.

$$\text{Moisture Contents (\%)} = \frac{(W2 - W3)}{(W2 - W1)} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Solid (\%)} = \frac{(W3 - W1)}{(W2 - W1)} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

- W1 : Weight Of A Plate (G)
- W2 : Weight Of A Plate (G) + Weight Of Sludge Before Drying (G)
- W3 : Weight Of A Plate (G) + Weight Of Sludge After Drying (G)

Table 4. Moisture contents of sludge after settlement

Group	Moisture Contents Of Sludge (%)
A (4 ml)	93.32
B (3 ml)	93.38
C (4 ml)	90.48
D (4 ml)	90.48
E (4 ml)	86.25
F (4 ml)	84.85
G (1 ml)	86.60
H (1 ml)	89.42
I (3 ml)	87.88

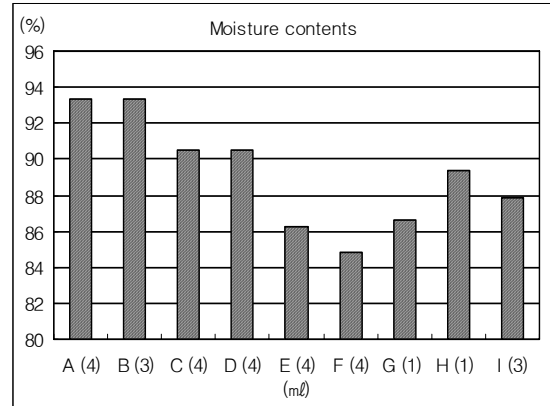


Fig. 9. Moisture contents of sludge after settlement

Floc의 함수율을 보면 약 84~93% 정도로 높게 분석되었다. 유기 고분자응집제 E(4ml)와 F(4ml)를 주입한 경우 함수율이 다른 시료보다 낮게 분석되었다. 응집반응의 효율이 높은 시료의 floc일 수록 함수율이 낮게 나타났다.

**마. 응집제의 선정**

Table 5는 각각의 유기 고분자 응집제의 응집반응 전·후에 SS, CODcr, Cl- 농도의 기준치를 두어 가장 처리 효율이 우수한 유기 고분자 응집제 두 종류를 보여주고 있다.

Table 5. Comparison of brine water quality between before and after organic polymer coagulation

Group	pH	SS (PPM)	CODcr (PPM)	Cl (PPM)	Moisture Contents(%)
Brine Water	12.09	231	19,700	98,000	79.99
E (4 ml)	6.56	20	16,380	82,450	86.25
F (4 ml)	6.56	28	16,980	83,400	84.85

**바. 경제성 평가**

경제성 평가는 본 연구의 실험결과를 실제의 에폭시수지 생산공정을 대상으로 적용하여 공정조건 또는 설비를 개선시에 경제성 효과를 분석하였다.

Tank A의 처리용량은 100ton/day으로서 연간 실질적인 처리용량은 2003년 기준 31,101ton/year로 산정되었다. 중화 및 세척 공정으로부터 Tank A로

2003년 기준 11,863ton/year의 폐수가 유입되었고, brine strip 공정에서 2003년 기준 19,238ton/year의 폐수가 유입되었다. 이러한 폐수를 처리하는데 1,400,596,000won/year의 처리비용이 지출되었다. 이 폐수처리비용은 변동비와 고정비로 나뉘어 지는데 변동비는 다시 utility와 폐수처리비용 고정비는 인건비와 감가 상각비로 세분되어진다. 변동비 중 utility는 전기 사용비용, 스팀 사용비용, 용수 사용비용을 합계한 비용이고 폐수처리비용은 지정 폐기물 처리비용, 일반 폐기물 처리비용, 연료비용, 약품 및 기타비용을 합계한 비용이다. 고정비 중 인건비는 노무비, 복리후생비, 법정복리비 등을 합계한 비용이다.

본 장의 경제성 평가는 Tank A의 plant 구성을 Fig. 10의 Tank A 부분만을 Fig. 11로 변경하였을 경우 정확한 설비비용은 산정하기 힘들기 때문에 설비비를 제외한 설비를 설치한 후 발생하는 경제적인 효과와 환경적 효과를 위주로 수행하였다.

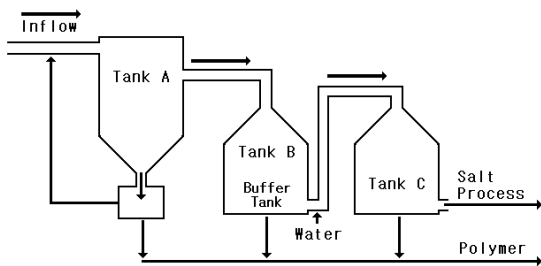


Fig. 10. The present process flow in the part of brine wastewater treatment plant.

Fig. 10의 기존 공정은 LER 공정에서 유입되는 폐수에 polymer가 함유되어 있어 Tank A 내에서 polymer를 중력 침전 시키고 침전된 polymer는 분리하여 폐기물 처리를 하지만 침전되지 않고 예멸전 상태의 polymer는 후속 공정에 악 영향을 끼친다. 따라서 이렇게 예멸전 상태의 polymer를 제거하기 위해 cartridge filter를 사용하고 있으나 polymer를 완전하게 제거하지는 못하고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 Fig. 9에서와 같이 응집제 사용을 통한 polymer 응집 처리 장치를 구성(폐수 전처리 과정)하여 적용할 경우를 가정하여 경제성 평가를 수행하

였다.

Fig. 10의 Tank B와 Tank C를 그대로 두고 Tank A 부분을 Fig. 11와 같이 구성하면 기존의 설비에 교반기와 교반탱크가 추가된다. 따라서 탱크가 기존의 3개에서 4개로 늘어나고 응집슬러지를 처리하기 위한 탈수기가 추가로 구성된다.

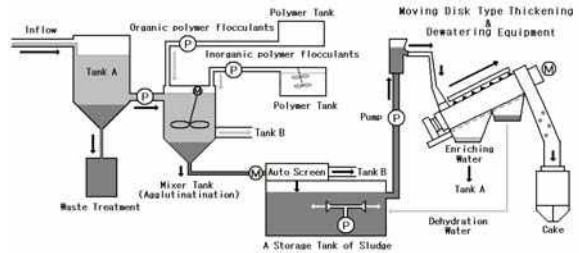


Fig. 11. The modified process flow in the part of brine wastewater treatment plant..

1) 무기 응집제 사용량 및 비용 산정

Tank A로 유입되는 폐수의 유량은 100ton/day이며 무기 응집제의 사용량은 100ton/day을 기준하여 산정하였다. 또한 무기 응집제는 비중이 1.52로서 1ton 당 약 658ℓ의 부피를 가지고 있다. 이는 사용량 및 비용 산정에 중요한 인자로 반영된다. 2003년 기준은 2003년의 실질적인 처리용량인 31,101ton/year을 기준으로 산정하였다

Table 6. Amount of inorganic polymer flocculant and cost estimation.

Classification	Inorganic polymer flocculant	
	Amount used	amount used per a liter
Amount used	amount used per day	10 ℓ / ton, 1000 ℓ / 100ton 1.52(ton/m <sup>3</sup> )×1000 ℓ = 1.52ton
	amount used in the year	1.52ton/day×365day/year = 554.8ton/year
	amount used in the year	472.7352ton/year, 311.01m <sup>3</sup> /year (31,101m <sup>3</sup> /year)
Cost estimation	cost per a kg and a liter	90Won/kg, 141.3Won/ ℓ (Specific gravity 1.52)
	cost per day	90,000Won/ton×1.52ton/day = 136,800Won/day
	cost in the year	136,800Won×365day = 49,932,000Won/year
	cost in the year (2003)	311.01m <sup>3</sup> /year×136,800Won = 42,546,168Won/year

※36,500ton/year는 Tank A로 하루 동안 유입되는 폐수량 100ton/day에 365day/year를 곱하여 연간 유입폐수량을 산정한 값이다.

※31,101ton/year는 2003년에 Tank A로 유입된 실측 폐수량이다.



2) 유기 고분자 응집제 사용량 및 비용 산정

무기 응집제와 마찬가지로 유기 고분자 응집제의 사용량은 100ton/day을 기준하여 산정하였다. 유기 고분자 응집제는 증류수 100ml에 응집제 0.2g을 용해시켜서 사용한다. 이는 폐수 5ℓ 당 0.2g의 유기 고분자 응집제를 사용하는 것과 같다. 아래 Table 7은 고체 분말 상태의 순수 유기 고분자 응집제 사용량 및 비용을 산정한 결과이다.

Table 7. Amount of organic polymer flocculant and cost estimation.

Classification	Inorganic polymer flocculant	
	Amount used	amount used per a liter
	amount used per day	0.04g/ℓ · day×1000ℓ = 4kg/day
	amount used in the year	4kg/day×365day/year = 1,460kg/year
	amount used in the year	1,244.04kg/year (31,101ton/year (2003))
Cost estimation	cost per a kg	5,000Won/kg
	cost per day	4kg/day : 20,000Won/day
	cost in the year	20,000Won×365day = 7,300,000Won/year
	cost in the year (2003)	1,244.04kg×5,000Won = 6,220,200Won/year

※36,500ton/year는 Tank A로 하루 동안 유입되는 폐수량 100ton/day에 365day/year를 곱하여 연간 유입폐수량을 산정한 값이다.

※31,101ton/year는 2003년에 Tank A로 유입된 실측 폐수량이다.

3) 응집슬러지 처리 비용 산정

가) 함수율 89%~93%의 슬러지량 산정

Tank A에 무기 응집제와 유기 고분자 응집제를 넣은 후 발생하는 응집슬러지를 산정하면 다음과 같다.

200ml의 시료 중 평균 17g의 슬러지가 생성되었다. 이 중 여지의 평균 무게 3.7g을 빼면 순수한 슬러지(함수율이 89%~93%)의 무게는 13.3g이다.

Table 8. The amount of moisture sludge.

Waste water	1ℓ	1m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup> /day	36,500m <sup>3</sup> /year	31,101m <sup>3</sup> /year
Sludge	66.5g	66.5kg	6,650kg/day	2,427,250kg/year	2,068,216.5kg/year

※ 36,500ton/year는 Tank A로 하루 동안 유입되는 폐수량 100ton/day에 365day/year를 곱하여 연간 유입폐수량을 산정한 값이다.

※ 31,101ton/year는 2003년에 Tank A로 유입된 실측 폐수량이다.

나) 건조 슬러지량 산정

슬러지의 건조중량은 200ml의 시료 중 평균 1.5g이 측정되었다.

Table 9. The amount of dried sludge.

Wastewater	1ℓ	1m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup> /day	36,500m <sup>3</sup> /year	31,101m <sup>3</sup> /year
Sludge	7.5g	7.5kg	750kg/day	273,750kg/year	233,257.5kg/year

※36,500ton/year는 Tank A로 하루 동안 유입되는 폐수량 100ton/day에 365day/year를 곱하여 연간 유입폐수량을 산정한 값이다.

※31,101ton/year는 2003년에 Tank A로 유입된 실측 폐수량이다.

다) 건조 슬러지 처리 비용 산정

폐기물 처리비용을 200원/kg으로 산정하면 건조 슬러지의 처리 비용은 Table 10과 같다.

Table 10. Estimation of treatment cost for dried sludge

Wastewater	750kg/day	273,750kg/year (36,500m <sup>3</sup> /year)	233,257.5kg/year (31,101m <sup>3</sup> /year)
Sludge	150,000Won/day	54,750,000Won/year (36,500m <sup>3</sup> /year)	46,651,400Won/year (31,101m <sup>3</sup> /year)

※36,500ton/year는 Tank A로 하루 동안 유입되는 폐수량 100ton/day에 365day/year를 곱하여 연간 유입폐수량을 산정한 값이다.

※31,101ton/year는 2003년에 Tank A로 유입된 실측 폐수량이다.

4) 응집제 투여 후 COD부하량(kg·COD)당 처리 비용 산정

가) 2003년 기준 COD부하량(kg·COD/year) 산정  
2003년도 유입유량 31,101m<sup>3</sup>/year과 황산은으로 전처리한 후 실험한 COD값을 바탕으로 부하량(kg·COD/year)을 산정하였다.

$$\text{COD loading} = 31,101\text{m}^3/\text{year} \times 19,700\text{mg/L} = 612,689.7 \text{ kg-COD/year}$$

나) 2003년 기준 COD부하량(kg·COD/year)당 처리 비용 산정

2003년도 고정비를 제외한 변동비의 사용금액은 913,003,981원이다. 따라서 913,003,981원 ÷ 612,689.7

kg · COD/year = 1,490.16원/kg · COD 이므로

Treatment cost per COD loading is 1,490.16Won/kg · COD

이다.

다) 응집제 투여 후 COD부하량(kg · COD) 산정  
무기 응집제와 유기 고분자 응집제를 투여 한 실험을 수행한 후 COD농도를 측정된 결과 16,380ppm이 측정되었다. 실험한 값과 2003년도 유입유량 31,101m<sup>3</sup>/year을 바탕으로 응집제 투여 후 COD부하량을 산정하면 다음과 같다.

$$31,101 \text{ m}^3/\text{year} \times 16,380 \text{ mg}/\ell \\ = 509,434.38 \text{ kg} \cdot \text{COD}/\text{year}$$

이는 기존의 612,689.7kg · COD/year보다 약 17%의 COD부하량 제거율을 보여주고 있다.

이렇게 산정된 COD부하량에 2003년 기준 COD부하량 당 처리 비용 1,490.16원/kg · COD를 반영하면 고정비를 제외한 변동비의 사용금액이 759,138,735.7원/year으로 산출된다. 이는 2003년의 폐수처리비용의 변동비 보다 153,865,245.3원/year(913,003,981원/year - 759,138,735.7원/year)이 낮은 결과를 보여주고 있다. 따라서

Cost savings effect : Total 153,865,245.3Won/year

으로 분석되었다.

### 5) 경제성 평가 종합

Table 11. Comprehensive economic evaluation.

(unit : Won/year)

Classification		The amount used	Cost	Economic evaluation
Amount used flocculant and cost	Inorganic polymer flocculants	472.7352ton	42,546,168Won	-42,546,168Won
	Organic polymer flocculants	1,244.04kg	6,220,200Won	-6,220,200Won
Classification		The amount of sludge produced	Cost	Economic evaluation
The amount of sludge produced and treatment cost		233,257.5kg	46,651,400Won	-46,651,400Won
Classification		COD loading	Cost	Economic evaluation
Treatment cost per COD loading		509,434.38 kg·COD	759,138,735.7W on	+153,865,245.3W on
Comprehensive economic evaluation.			<b>+58,447,477.3Won</b>	

경제성 평가를 종합할 때 약 58,447,477.3원의 경제적 비용 저감 효과가 있는 것으로 분석되었다. COD 부하량 저감에 따른 경제적 효과 외에도 cartridge filter의 사용 불필요로 인한 비용 저감 효과와 소각로로 유입되는 유량 감소로 인한 소각로 연료비 저감, 또한 소금 발생량 감소에 따른 소각로 내화벽돌의 수명 연장, polymer의 제거로 인한 공정내 파이프라인의 수명 연장 등 부수적인 저감 효과가 예상된다. 응집제 투입을 통한 brine water 전처리 공정은 충분한 경제성이 있을 것으로 사료된다.

## 3. 결 론

무기 응집제 주입을 통하여 pH 6.56이 되었으며 유기 고분자 응집제의 주입으로 SS 는 85% 이상의 처리 효율을 나타내었다. CODcr 과 Cl- 은 10~15%의 우수한 처리 효율을 보여주고 있다. CODcr, Cl- 농도가 약 10~15% 정도 감소하면서 이에 따른 폐수처리 비용도 절감할 수 있으며 활성 미생물에 독성 물질로 작용할 수 있는 여러 가지 에폭시수지 공정의 부산물이 flocc 침전되어 상당량 처리되기 때문에 폐수처리장의 성능 향상에도 크게 기여할 수 있을 것으로 분석되었으며, Floc의 처리 방안으로는 탈수장치를 추가하여 처리하는 방법이 더 경제적인을 확인할 수 있었다. 처리 flocc의 함수율을 낮추면 처분하여야 할 Floc의 양이 감소되고 취급이 용이해진다. 이는 flocc의 최종처분비용이나 수송비용이 절감되며, 최종처분으로 소각시 에너지 함량이 증가되어 보조 연료비가 절감될 뿐만 아니라 단순 매립시 발생하는 침출수가 감소되는 장점이 있다. 향후 탈수 장치를 선별하여 지속적으로 연구를 하고 또한 탈수 장치를 이용하는 방법 외에 열병합발전소에서 나오는 스팀을 이용하여 슬러지를 건조시켜 폐기물을 처리하는 방안 등의 연구도 가능할 것으로 보여진다.

## 감사의 글

본 연구는 청정생산이전확산사업의 일환으로서 수행된 연구로서 함께 참여한 금호 P&B(주)에 깊은 감사를 드리며 연구비를 지원해 주신 수원대학교

RRC와 한국생산기술연구원에도 감사를 드립니다.

### 참고문헌

- [1] 윤태일외, "수처리에서 응집에 미치는 고분자응집제 주입지점의 영향", J. of KESS, Vol. 13, No. 4, pp 207-216, 1991
- [2] Stefan J. Langer, Rudolf Klute and hermann H. Hahn, "Mechanisms of Flocculation in Sludge Conditioning with polymer", Wat. Sci. Tech, Vol. 36, No. 8, pp 129-138, 1994
- [3] 서정원외, "고분자 응집제 첨가에 따른 슬러지의 탈수성 및 점도 특성", J. of KSEE, Vol. 18, No. 12, pp 1609-1618, 1996
- [4] 홍상현, "농축·탈수공법을 이용한 슬러지 처리", 첨단환경기술, 2000.
- [5] 박건진, "유동판 농축·탈수장치의 하수슬러지 처리최적화에 관한 연구"
- [6] 남양원, "유동판을 이용한 틸새막힘방지 농축·탈수장치 개발 연구" (주)오에치케이, 2002