

진병준

(주)프라이텍 인터내셔널  
기술영업부장

# 효율적이고 안정 관리를 위한 산업폐수 처리기술 <1>

## 목 차

### 1. 산업폐수 처리를 위한 기초개념

- (1) 현탁 입자의 제거방법
- (2) 슬러지의 침전 부상처리
- (3) 용해성 물질의 제거방법
- (4) 저농도 유기물의 제거방법
- (5) 무기성 오염물의 제거방법

### 2. 식유와외 공장의 폐수처리

### 3. 지·철광공장의 폐수처리

### 4. 합섬·염색공장의 폐수처리

### 5. 식음공장의 폐수처리

### 6. 제철·철강공장의 폐수처리

### 7. 이수·위생처리공장의 폐수처리

### 8. 특정 오염물질의 처리기술

### 9. 폐수처리 신기술에 대한 이해

### 10. 폐수 재활용 기술과 인공호수

## 1. 산업폐수 처리를 위한 기초개념

산업폐수는 일반 도시하수 등과 같이 일정한 성분이나 농도를 표준적으로 나타내기 어렵고 각 단위 생산공정에서 발생하는 다양한 종류의 폐수가 처리대상이 되기 때문에 플랜트의 특성이나 생산제품 등을 사전에 고려하고 발생된 폐수의 주요처리 대상 물질에 적합한 처리방법을 선정해야 최대의 처리효과를 얻을 수 있으며, 동시에 운전중에 야기될 수 있는 다양한 문제발생을 최소화 할 수 있다.

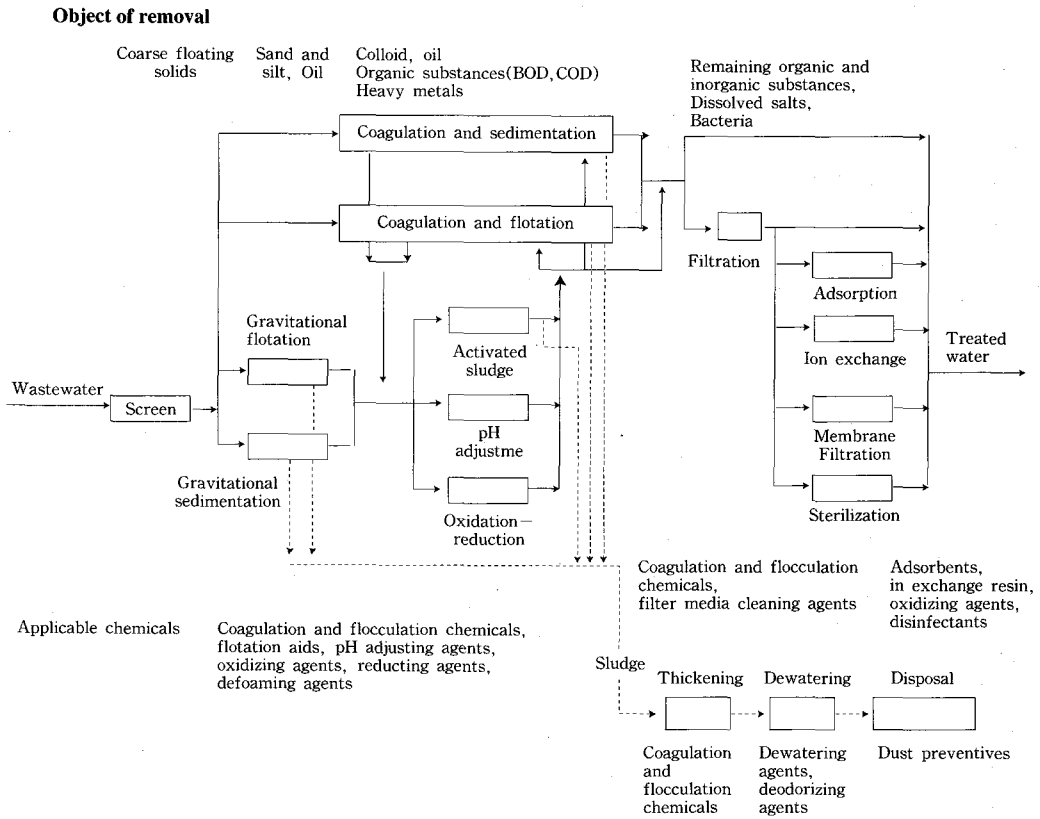
따라서 산업폐수의 처리는 주요 생산 제품과 공정을 충분히 고려하여 이를 기반으로 검토하여야 한다.

또한 산업폐수처리의 효율성과 안정관리를 위해서는 다양하게 유입되는 폐수에 대한 경향 파악과 처리기법에 따른 장기적인 Data 수집 등의 노력도 필요하리라고 판단된다.

### (1) 현탁 입자의 제거방법

산업폐수의 전형적인 처리방법은 주지의 사실과도 같이 수중의 오염물을 현탁입자와 용해성 물질로 구분하고 이들을 처리하기 위해 응집침전(또는 부상)처리와 미생물에 의한 처리를 기본으로 하고 있으며 전형적인 Flow-sheet는 하기와 같다.

그림-1. 폐수처리 Flow와 적용약품 일례



현탁입자를 제거하기 위한 기본적인 방법은 입자의 직경을 조대화시키는 방법으로서 이미 2000년전 중국과 이집트의 고대문명에서도 사용된 것으로서, 수중에 안정하게 분산되어 있는 현탁물질이나 콜로이드 같이 양이온성을 갖는 물질 등을 투입하여 입자의 크기를 증가시키는 방법이 적용되었다.

이처럼 입자의 직경을 증가시키면 침전속도가 급격히 증대되어 입자경의 제곱에 비례하는 결과를 얻게 된다. 하기 표에 입자경과 침강속도와의 관계를 예로 표시하였다.

【표-1. 입자직경과 침강속도 사이의 관계】

$$v = \frac{g \cdot D_p^2 (\rho_p - \rho_f)}{18\mu}$$

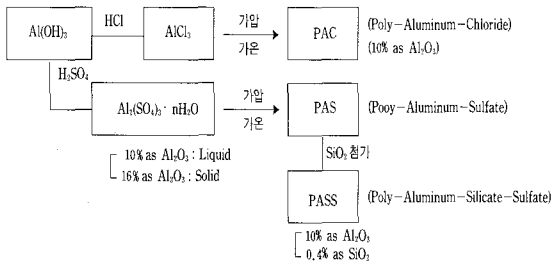
$v$ : 침강속도  
 $D_p$ : 입자의 직경  
 $(\rho_p - \rho_f)$ : 입자와 물의 밀도의 차  
 $\mu$ : 물의 점도

입 경(mm)	비중 2.00		비중 1.02	
	침강속도		침강속도	
	cm/sec	1m 침강에 필요한 시간	cm/sec	1m 침강에 필요한 시간
5 (응집플록)	-	-	20.8	4.8초
1 (응집 플록)	42	2.4초	$8.4 \times 10^{-1}$	2.0분
0.1 (응집 플록)	$4.2 \times 10^{-1}$	4.0분	$8.4 \times 10^{-3}$	3.3시간
0.01 (silt·점토)	$4.2 \times 10^{-3}$	6.6시간	$8.4 \times 10^{-5}$	13.8일
0.001 (박테리아)	$4.2 \times 10^{-5}$	28일	$8.4 \times 10^{-7}$	(3.8년)
(콜로이드)	$4.2 \times 10^{-7}$	(7.5년)	$8.4 \times 10^{-9}$	(380년)

가. 침전(부상)처리의 효율상승을 위한 방법

2000년전 백반(명반)을 이용하여 우물물을 깨끗하게 만들던 지혜는 오늘날 황산알루미늄(통상 유산반토 또는 Alum으로 호칭함)과 주성분과 기능면에서 동일하며, 수화알루미늄의 특징인 흡착성과 양이온성에 의하여 콜로이

그림-2. 알루미늄계 Coagulant의 계통도



드 입자 표면의 음전하를 중화시켜 입자간의 반발력을 감소시키고 동시에 흡착성(점성에)의한 Sweap floc을 형성함으로써 입자의 조대화를 촉진시키는 것으로 이해되고 있다. 따라서 입자의 직경이 증가되므로 입자와 물의 분리속도를 급격히 증가하는 형태가 된다.

오늘날 사용되는 알루미늄과 같은 입자의 크기를 증가시키기 위해 사용되는 약품을 응결제(Coagulant)라고 하며, 그 기능은 입자의 하전중화 이온성에 의한 정전기적 흡착 Sweap floc이 점성에 의한 흡착가교에 의한 것으로 이해되고 있다.

또한 그 효과는 콜로이드 입자를 현탁입자(Suspended

Solid)의 크기로 조대화하는 것으로 알려지고 있으며 하기표에 응결제의 종류와 특징을 요약하였다.

응결제가 불용성 수산화물을 형성할 때 현탁입자를 포집하여 1차 Floc을 형성하는 것을 Coagulation이라고 하며, 일반적인 자연침전에 비해 수십~수만배의 침전효율의 상승을 얻을 수 있다.

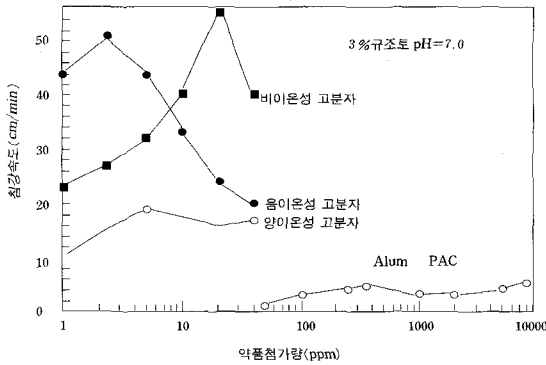
그러나 공업적으로 보다 빠른 처리 효과를 얻기 위한 노력은 1951년 이래 적용되기 시작한 고분자 응집제에 의하여 더욱 개선효과를 얻어 보편화된 상태이다.

고분자 응집제는 Acrylamide를 기본으로 하여 중합되며, 일반적으로 페수의 응집에는 음이

【 표-2. 응결제의 종류와 특징 】

종류	성상	유효 pH		특징	
		장점 영역	사용 영역	장점	단점
황산알루미늄 (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 18H <sub>2</sub> O)	고체 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 16%)	5~7.5	3.5~8.5	• 색도 발생이 없다. • 범용성이 있다.	• Floc이 가법다. • pH 8 이상에서는 효과 감소.
	액체 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 8%)				
폴리염화알루미늄 (PAC)	액체 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 10%)	5~7.5	4~8.5	• 중화제 필요량이 비교적 적다. • 유기성 폐수에 감소 효과가 있다.	• Floc이 가법다.
PASS (Poly Aluminum Sulfate Silicate)	액체 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 10%, SiO <sub>2</sub> 0.4%)	5~7.5	4~8	• SiO <sub>2</sub> 에 의한 용해도 감소효과가 있다.	• 회색사용 불가. (회색시 침전물 형성) • 기존 무기응결제와 기능 동일.
염화 제2철(FeCl <sub>3</sub> )	액체, 고체 (FeCl <sub>3</sub> 38%)	5~11.0	3.5~12	• Floc이 무겁다. • 황화를 형성가능.	• 부식성이 높다. • 색도(赤色) 발생.
황산 제1철(FeSO <sub>4</sub> )	고체	9~11.0	8~12	• 안전성이 높다. • Floc이 무겁다.	• 색도 발생. • 유효 pH 범위가 알칼리에 한정.
Cofferas	액체	5~1.0	3.5~12	• 부식성이 다소 적다. • 황화를 형성가능.	• 색도 발생. • 한정된 적용범위.
유기응결제 (Cation polymer)	액체	pH 전반에 사용		• 투입량이 적다. (응결효과 우수) • 슬러지 발생량이 적다. • 부식성이 적다. • 사용이 간편하다.	• 고가이다

그림-3. 각종 고분자응집제의 침강속도 효과 비교에



은 고분자응집제가 전형적으로 사용되고 있으며, 하기에 각종 응집제의 침강속도 효과 예를 나타내었다.

나. 응집처리의 영향인자와 대책

무기응결제와 고분자응집제는 현대적 산업폐수처리 공정에서는 필수 불가결한 인자로서 사용되는 것이 현실인 상황이므로, 적용시 최적의 효과를 얻기 위해 운전중에 영향을 미치는 제반인자와 이에 대한 대책을 검토해둘 필요가 있으며, 응결제와 응집제의 사용상 유의점과 영향인자에 대한 대책을 [표4]에 언급하였다.

이울러 고분자응집제의 구분과 응집 불량률의 원인과 대책을 [표5]에 요약하였다.

[ 표-3. 비이온 음이온성 고분자응집제의 일반적 성질 ]

Types	0.1% solution viscosity (cps)	Concentration of dissolution (%)	Effective pH					Features and applicable wastewater
			2	4	6	8	10	
Nonionic	10~100	0.1~0.3						Effective at low pH Effective for wastewater from pulp, textile dyeing and tertiary treatment of night soil Coagulation-Flocculation of wastewater from aluminum surface treatment, emulsion discharge, etc. Dewatering of aluminum sludge
Weakly anionic	50~200	0.05~0.2						Effective in neutral pH range Flocculation speed is high
Anionic	150~400	0.05~0.1						Effective in neutral to high pH range Treatment of wastewater containing inorganic SS (gravel, steel, metallic hydroxide) High Flocculation speed and good clarification of treated water Dewatering of aluminum sludge
Anionic Terpolymer	50~150	0.05~0.2						Effective in low to neutral pH range Less affected by variation of waste-water quality and stable effects are obtainable Strong Floc and a small dosage

【 표-4. 응결제 및 고분자응집제의 사용방법과 유의점 】

응 결 제 (COAGULANT)	
◆ pH 조정	응결제는 금속염으로 일정 pH영역에서 불용화 된다. 이 pH영역이 응결제의 적정 pH가 되며 응결작용은 최대가 된다. 따라서 응결제 투입후 적정 pH로 유지하는 것은 응결효과를 좌우하는 가장 중요한 인자이다.
◆ 응집교반	응결효과는 현탁입자와 응결제의 접촉빈도에 의해 좌우되므로 충분한 교반이 중요하다. 하전중화에 의해 현탁입자가 1차 Floc을 형성할 확률은 입자농도의 2승에 비례하므로 현탁입자의 농도가 낮을수록 장시간의 교반이 필요하다.
◆ 첨가순서	응결제, pH조정제, 고분자응집제의 순으로 투입한다. pH조정제가 먼저 투입되는 경우 응결제가 하전중화력을 발휘하기전에 수산화물을 형성하게 되므로 투입량이 증가할 수 있다.
응 집 제 (FLOCCULANT)	
◆ 분산용해의 유의점	FISH-EYE 현상을 막기 위하여 분산기를 이용하거나 수작업의 경우 서서히 확산시키며 투입한다.
◆ 용해교반시 유의점	350rpm에서 90분 정도 교반하는 것을 표준으로 하며, 장시간 강교반하는 경우 효과가 저하되기도 한다.
◆ 용해수질	순수나 연수의 사용이 바람직하며, 칼슘, 철 등의 금속 또는 산화제 등이 수중에 존재하는 경우 고분자의 팽창이 저해되거나 활성이 억제되어 효과가 저하된다.
◆ 첨가순서, 응집교반	응결제, pH조정제, 고분자응집제의 순으로 투입. 고분자응집제 투입후 단시간의 강교반과 장시간의 완속교반이 필요. 과도한 교반은 응집 Floc 파괴의 원인이 된다.

【 표-5. 고분자응집제에 영향을 미치는 인자 및 대책 】

	현상	대책
무기응결제	• 투입량 부족 또는 과잉 첨가시 응집효과 불량 • 투입량의 급변시 효과 급변	• 현탁입자량에 대응한 적정량을 첨가 필요(Jar-Test 등에 의한 적정량 선정)
pH	• 유효 pH범위의 운전시 응집효과 감소	• 응결제 및 응집제의 적정 pH 범위에서 운전 • 응집반응의 가장 지배적인 영향 인자
체류 시간	• 교반 부족시는 응집효과 불량 • 체류시간 부족시 고액 분리효과 감소	• 충분한 교반 필요 • 적정량 처리로써 적정 체류시간 유도 필요
운전 조건 변경	• 운전 pH의 변화 등 운전조건 변화에 의한 효과 감소	• 운전조건에 적합한 처리방안 모색 (응결제 응집제의 투입량 조정 변경 등)
폐수 조건 변동	① 고염류 폐수의 유입시 효과 감소 ② 폐수성상의 변화시 효과 변동 ③ 특정물질의 처리목적	① 응결 및 응집제 투입량 증가 또는 희석처리, 처리방법의 개선 ② Jar-Test 등을 통한 적정처리 방법의 모색 ③ 응집과 상관없는 특정물질 처리가 목적일 경우는 처리방법의 변경 또는 병용처리
설비 조건	• 급격하거나 과잉의 교반시 Floc 파괴에 의한 효과 감소 • 과도한 낙차 등에 의해 형성된 Floc 파괴	• 안정적인 처리효과를 얻기 위한 설비 개조

【 표-6. 고분자 응집제의 구분(이온성에 의한 구분) 】

구분	주용도	기능	대표적 구조
NONION	정수처리용 고분자응집제	무기 및 유기응결제에 의해 형성된 1차 Floc을 조대화시켜 침전을 촉진	$\begin{array}{c} \text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—} \\   \\ \text{C=O} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$ (Polyacrylamide)
ANION	폐수 응집용 고분자응집제	무기 및 유기응결제에 의해 형성된 1차 Floc을 조대화시켜 침전 및 부상 에 적합한 floc	$\begin{array}{c} \text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—} \\   \\ \text{C=O} \\   \\ \text{ONa} \end{array}$ (Sodium Polyacrylate)
CATION	슬러지 탈수용 고분자응집제	응집 또는 부상되어 제거된 슬러지 나 활성오니의 제거오미를 탈수하기 위한 보조제	$\begin{array}{c} \text{—CH}_2\text{—CR—} \\   \\ \text{C=O} \\   \\ \text{O—CH}_2\text{—CH}_2\text{—N}^+\text{—CH}_2 \\   \quad   \\ \text{Cl} \quad \text{CH}_2 \end{array}$ (Methacryloxyethyl tri-Methyl Ammonium Chloride)

【 표-7. 응집불량의 원인과 대책 】

현상	청등성은 양호하나 FLOC이 작아짐	청등성 불량	FLOC 및 청등성은 양호하나 COD, BOD, n-h등의 처리불량
원인 및 대책	1. POLYMER 부족 → POLYMER 증량  2. POLYMER 용액불량 → 용해수 및 용해조건 변경 (용 해액 장기사용, 과잉교반 등의 영 향 검토)  3. POLYMER 품질불량 → POLYMER 재선정	1. 응집 pH 부적합 → 적정 pH 유지 (응결제에 따른 적정 pH 참조)  2. 무기응결제 부족 → 무기응결제 증량  3. 무기응결제 불량 → 무기응결제 변경	1. 무기응결제 부족 → 무기응결제 증량  2. 기타조건 검토 → 흡착제, COD 처리제 등의 적용  3. 응집처리의 한계 → 신규처리방법 도입 → 생산 PROCESS 검토

※ 응집불량의 원인중 응집 pH가 적정하지 않은 경우에는 pH METER의 오염이 가장 흔하게 나타나는 요인이므로 pH METER는 항상 점검, 교정이 필요

상담 및 문의전화 : (02)554-6750