

화학 응집과 전기 응집의 수처리 이용

Water Treatment by Chemical Coagulation and Electro-Coagulation System

김 형 태*
Kim, Hyung-Tae

1. 서언

인간이 생활하므로써 발생하는 부엌 음식물을 포함한 생활 오수나 인간의 식생활에서 배설되는 분뇨, 그리고 기본 생활 내지 문화 생활을 영유하는 과정에서 생기는 생활 하수를 비롯하여 사업장에서 발생하는 각종 산업 폐수, SERVICE 산업 등 사회 간접 산업에서 발생하는 폐수, 공공 산업 시설에서 발생하는 폐수 등 생활 하수 및 산업폐수의 발생원은 다양하며 그의 유해성의 정도에 따라서 처리 공법도 다양하다. 이와 같은 다종 다양한 폐수 중에는 오염 물질도 다양하게 함유되어 있다.

그러나 이들 오염 물질을 제거시킬 수 있는 건지에서 대별하여 보면 질적으로 무기물질과 유기 물질, 그리고 중금속류로 분류시킬 수 있고, 상적으로 용해성, COLLOID성, ION성, 침강성으로 분류시킬 수 있다.

따라서 오염 물질 제거 기술을 선택할 때는 상기 폐수 특성을 파악하여 침전 분리법, 응집 분리법(부상, 침전), 산화 분해법, 생물학 분리법, 막 분리법, 여과법, 흡착법, 증발법, ION 수지 교환법, 전기 투석법 등을 단독 또는 병용 응용하되 전처리(1차)+생물학 처리(2차)+고도 처리(3차)의 순서를 밟는다.

주로 많이 사용되는 각 처리별 공법을 살펴보면 1차 처리인 전처리에는 단위 공정으로써 완벽하게 마치는 폐수도 있으나, 통상 2차 처리 공정의 오염 물질 부하 저감 목적 내지 2차 처리 공정의 방해

및 독성물질을 제거시키거나 난분해성을 이분해성으로 전환시키는 역할을 하게 된다. 따라서 침강 분리법, 화학 응집 분리법(부상, 침전)을 주로 사용하되 때로는 산화분리법(O₃ 산화, FENTON 산화), AIR STRIPPING을 사용한다.

2차 처리인 생물학 처리 공법으로는 활성 오니법, 생물막법(RBC, HBC, 접촉산화)을 사용하며, 3차 처리인 고도 처리 공정으로는 여과 및 흡착법(SAND+GAC, 접촉산화)을 사용하며, 3차 처리인 고도 처리 공정으로는 여과 및 흡착법(SAND+GAC FILTER), 응집 여과 부상법, ION 교환 수지법, 막분리법(MF, UF, NanonF, R/O=TUBULAR, MEMBRANE, DISK), 전기 투석법(EDR), 증발법 등을 사용한다.

필자가 보고하고자 하는 처리 공법은 1차 전처리에 많이 응용되고 있는 응집분리 공정으로서, 그 응집 방법을 화학적 응집과 전기적 응집 방법으로 나누어 효율면, 운전성, 유지 관리면과 응용면 등을 비교 검토하고자 한다.

2. 응집의 정의

앞에서도 말한 바와 같이 폐수의 입자상 분포 상태는 용해성(0.001 μ 이하 SIZE), COLLOID류(0.001~0.1 μ 사이의 SIZE), SS성(0.1~5 μ), 침강성(5 μ 이상 SIZE)으로 되어 있다. 이들의 처리 방법은 용해성은 SEED에 의한 산화 작용으로 입자화시켜 처리(생물학 분해 혹은 응집 분리)하고 SS성

*수질관리 기술사, 자원처리 기술사, (주) 대호종합환경 회장

은 생분해 내지 응집 처리시키며 침강성은 침전 분해시킨다.

그러나, COLLOID상은 유기성은 생분해 산화시켜 제거시킬 수도 있으나 이를 사전에 제거시키므로써 다음 공정의 오염부하량을 저감시킴은 물론 처리 효율 증대에도 효과가 크므로 사전에 제거시킴이 그만큼 유리하다.

그런데, 문제는 COLLOID 상 입자는 Van der Waal's Force에 의한 입자의 인력, Zeta Potential에 의한 반발력, Gravity에 의한 침강력 등의 3자가 동일한 힘을 유지하고 있어 가라앉지도 않고 뜨지도 않는 상태에서 안정화(Stabilization)하고 있다.

일찍이 1882년, Van der Waal는 이러한 Colloid(유기 물질, 무기 물질)나 Ion성(중금속류)는 반대의 ION(+ION)을 CHARGE시키면 큰 덩어리로 응집되는 것을 발견하였다. 따라서 폐수 처리 공정에서는 오래전부터 Al^{+++} , Fe^{+++} 을 투입시켜 응집 효과를 활용하고 있다. 응집은 화학 약품($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, $FeSO_4$, $FeCl_3$, Lime 등)에 의한 방법과 전기적 흐름에 의한 방식이 있다.

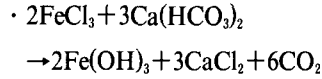
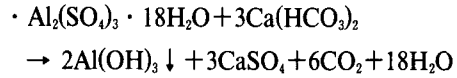
가. 화학 약품에 의한 화학 응집

화학 약품을 첨가하여 Zeta Potential를 전기적 중화에 의하여 반발력을 저감시킴과 동시에 Ion성 내지 Colloid상 Tiny Particle을 Coarser size로 Aggregation시키므로써 입자의 평형 상태를 Destabilization시킨다. 이때 사용하는 약품을 응집제라 하고 Aggregation을 floc이라고 부른다.

1) 무기응집제

- Alum($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$)
- PAC($Al(OH)_mCl_{6-m}$)
- $FeSO \cdot 7H_2O$
- $FeCl_3$
- 생석회(CaO)

2) $Al(OH)_3 \cdot Fe(OH)_3$ 의 응집 반응식



· 특징

$Al(OH)_3$ 혹은 $Fe(OH)_3$ 뿐만아니라 $CaSO_4$ 나 $CaCl_2$ 의 Sludge도 생성한다.

3) 응집 효과 인자

(1) AGITATION : $G = \sqrt{(P/(\mu \cdot V))}$

여기서, G: 속도경사(/SEC)

P: 동력(Watt)

μ : 점성계수(kg/m · sec)

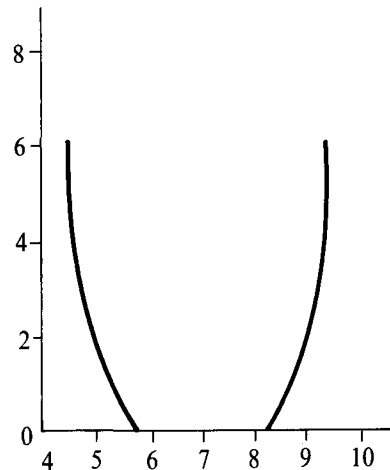
V: 반응 TANK(m^3)

t: 체류시간(sec)

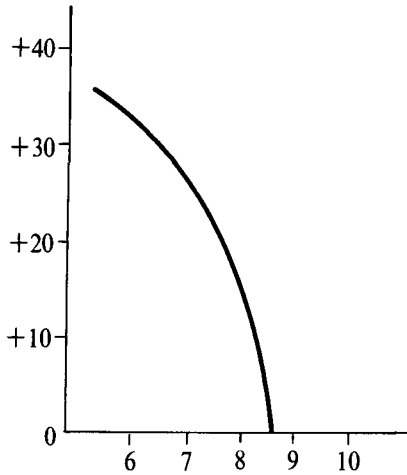
① Rapid 교반시: $G=100$

② Slow 교반시: $G=10$

(2) pH



<그림 1> $Al(OH)_3$ 용해도



〈그림 2〉 Al(OH)₃의 전기 영동도

- ① pH7~8에서 Floc 형성이 빠르다.
- ② Al(OH)₃의 용해도(Ksp)는 Zero.
- ③ Al(OH)₃의 등전점(Iso Electro Point =Zero)이 pH=8부근임.
즉, pH=8인 경우가 최상의 응집효과를 나타냄 (Alum 사용 경우).

나. 전기 응집(EC=Electro Coagulation)

전기 반응실에 전기 반응봉(Fe, Al, titanium, Graphite)을 설치하여 AC전기를 DC로 Rectify시켜 전기 분해에 의하여 Al⁺⁺⁺ 혹은 Fe⁺⁺⁺ Ion을 발생시킨다.

발생원, 산화 분해 속도 및 세기는 Ampere, Voltage, 온도, 압력을 조정한다.

EC의 전기 화학적 반응 작용을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 식중(Seeding) 작용

음 Ion의 환원 작용에 의하여 용해성 Ion 입자의 확대, 안전 및 불용성 침전물로 되어 금속 산화물로 된다.

(2) Emulzon 파쇄 작용

수중의 산소와 수소 Ion이 기름 분자와 결합하여 유분, 물감, Ink, 황토를 불용성 물질로 만들어 분리시킨다.

(3) Halogen 혼합물 작용

염소가 염화탄화수소 분자로 되어 이것이 살충제, 제초제 및 PCB등의 불용성 입자의 혼합물로 되어 분리된다.

(4) 산소에 의한 표백 작용

물감, CN, Bacteria, Virus, 유해 미생물을 산화 분해시킨다.

(5) 전자 활력 작용

물의 삼투압을 증가시키므로써 Bacteria, Virus 및 포낭을 파쇄시킨다.

(6) 산화 및 중화 작용

3. 화학 응집(CC)와 전기 응집(EC)의 장 단점

가. 전기 응집 방법의 장점

- 1) 화학 약품을 사용치 않으므로써 약품비 절감.
- 2) 화학 약품 사용에 따르는 생성 Sludge의 양이 그만큼 적게 발생되므로써 Sludge 처리비 절감(약품을 사용치 않으므로써 생기는 발생 Sludge)의 압밀성이 커서 Sludge 중의 수분 함량이 적음).

3) 화학 약품 응집 결과 생길 수 있는 유해 Sludge(폐기물)가 EC의 경우 일반 폐기물로 취급될 수 있다는 이점 등이다.

이를 수치적으로 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

- 폐수의 조건(가정)
- Q=1,000m³/D
- SS 농도=250mg/ℓ의 일반공장 발생 폐수

· 응집 부상법(화학 및 전기)을 채택하여 오염 물질 제거율을 다음과 같이 정한다고 할 때 약품비와 Sludge 발생량 및 Sludge 감소율을 산정하면 다음과 같다. 단,

· 오염물질 제거율

SS=98%

· CHEMICAL 사용량

ALUM($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$): 150mg/ℓ (Al:

33mg/ℓ)

Lime(CaO) : pH=7~8

POLYMER(고분자) : 3mg/ℓ

해)

1) 약품비

(1) 약품 사용량

$$\text{Alum} : 1,000m^3/d \times 150g/m^3 \times 10^{-3}kg/g = 150kg/d$$

$$\text{Polymer} : 1,000m^3/d \times 3g/m^3 \times 10^{-3}kg/g = 3kg/d$$

(2) 약품비

$$\text{Alum} : 150kg/d \times 180\text{원/kg} = 27,000\text{원/d}$$

$$\text{Polymer} : 3kg/d \times 4,500\text{원/kg} = 13,500\text{원/d}$$

2) Sludge 발생량

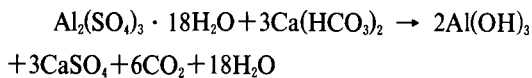
(1) 화학응집의 경우

① SS에 의한 Sludge량

$$1,000m^3/d \times 250g/m^3 \times 10^{-3}kg/g \times 0.$$

98=245kg/d

② $Al(OH)_3 + CaSO_4$ Sludge량



$$\frac{666}{150g/m^3} \times \frac{2 \times 78}{3 \times 136}$$

②-1. $Al(OH)_3$ 량

$$1,000m^3/d \times 150g/m^3 \times 10^{-3}kg/g \times \frac{2 \times 78}{666} = 35.$$

1kg/d

②-2. $CaSO_4$ 량

$$1,000m^3/d \times 150g/m^3 \times 10^{-3}kg/g \times \frac{3 \times 136}{666}$$

=91.9kg/d

③ Sludge 량

$$245kg/d + 35.1kg/d + 91.9kg/d = 372kg/d$$

$$372kg/d \times \frac{100}{100-85} \times 10^{-3}m^3/kg = 2.48m^3/d$$

(수분 85%)

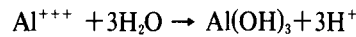
(2) 전기 응집의 경우

① SS에 의한 Sludge량

$$1,000m^3/d \times 250g/m^3 \times 10^{-3}kg/g \times 0.$$

98=245kg/d

② $Al(OH)_3$ 에 의한 Sludge량



$$\frac{27}{12.23g/m^3} \times \frac{78}{\times}$$

③ 전체 Sludge 량

$$245kg/d + 35.6kg/d = 280.6kg/d$$

$$280.6kg/d \times \frac{100}{100-65} \times 10^{-3}m^3/kg = 0.8m^3/d$$

(수분 65%)

(3) Sludge량 감소율

$$\frac{2.48 - 0.8}{2.48} = 67.7\%$$

나. 전기 응집 방법의 단점

1) 초기 투자비가 화학 응집 방법보다 크다.

2) 폐수의 질적, 양적 변동시 조건 조정이 어렵다.

4. 응집의 수처리 이용

1) 증기 및 압력수 청소수

· Bus, Truck, Engine, 바닥, 주차장, 기계 참고 등의 증기 및 압력수 청소중 발생 폐수

· 오염물질: 유분, SS, Grease, 때로는 Pb, Zn, Cr

2) 섬유 및 염색 공장 폐수

· 오염물질: SS, 물감(색), 난분해성 COD

3) 금속 가공 및 도금 공장 폐수

· 오염물질: SS, 중금속류(특히 EC법은 CN 산화)

4) 축산, 양계, 육류 가공 공장 폐수

· 오염물질: 단백질, 유분(동물), 대장균

5) 세탁 폐수 및 폐광산 배출 폐수

· 오염물질: SS, Clay, 중금속류

처리가능 오염 물질을 살펴보면 중금속류, SS 및 Colloid, Emulsion Oil, 유분, 지방, Grease, 유기 화합물, Bacteria, Virus 등 다양하며 System Unit의 응용 부분은,

· 지하수 청결, 세척수, 생활 오수, 냉각수, 원자 발전수

· 막분리법(R/O, UF, N)의 전처리수, 공장 재이용수

· 산업 폐수, 금속 가공수 등을 예로 들 수 있다.

5. 결론

응집(화학, 전기)은 수처리에 광범위하게 응용될 뿐만 아니라 전처리 공정에서는 거의 필수적인 공정중의 하나이다. 응집이 수처리에 많이 적용되는 이유는,

- 1) 어느 타법보다 초기 투자가 저렴하다.
- 2) 운전의 용이 및 운전 비용이 싸다.(특히 EC)
- 3) 동력 소모가 적다.
- 4) 타법보다 전문 기술이 필요치 않다.
- 5) 응용도가 타법보다 광범위하다.
- 6) 오염 물질의 제거 종류가 다양하다.
- 7) 처리 효율이 비교적 양호하다.

특히, 전기 응집 방식은 화학 응집 방식보다 이점이 많아 초기 투자비만 줄일 수 있다면 향후 수처리에 널리 적용되리라 사료된다.