

생물학적 처리 침출수의 응집 및 펜톤산화 처리

원종철 · 남궁완* · 박기혁 · 조준호 · 윤조희**

환경관리공단 수도권사업본부

*건국대학교 환경공학과

**경남대학교 정밀화학공학부

(1999년 8월 23일 접수, 2000년 2월 18일 채택)

Effective Coagulation and Fenton Reagent Oxidation of Effluent from Biological Landfill Leachate Treatment

Jong-Choul Won · Wan Namkoong* · Ki-Hyuk Park · Joon-Ho Cho · Cho-Hee Yoon**

The Metropolitan Area Landfill Department, Environmental Management Corporation

**Department of Environmental Engineering, Kunkuk University*

***Division of Fine Chemistry and Chemical Engineering, Kyungnam University*

ABSTRACT

The objectives of this study are to determine optimal operation condition of chemical coagulation with ferric chloride(FeCl_3) and fenton reagent oxidation for effluents of a biological denitrification treatment and an existing lagoon treatment of landfill leachate, and to investigate the effect of alkalinity on fenton oxidation. In jar-tester, optimum dosage of ferric chloride for removal of COD was $1,500 \text{ mgFe}^{3+}/\text{L}$, removal efficiencies of COD_C and COD_M under this condition were about 55% and 64%, respectively. After chemical precipitation($1,500 \text{ mgFe}^{3+}/\text{L}$) of biological treatment effluent, optimum $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ratio of fenton oxidation was 1.5, the maximum removal efficiency of COD was about 80%, and optimum dosages of ferrous sulfate and hydrogen peroxide were $600 \text{ mgFe}^{2+}/\text{L}$ and $400 \text{ mgH}_2\text{O}_2/\text{L}$, respectively. The removal efficiency of COD was decreased as alkalinity was increased.

Key Words : Landfill Leachate, Chemical Coagulation, Fenton Reagent Oxidation, Alkalinity

요약문

본 연구에서는 생물학적으로 질산화/탈질 처리한 침출수와 기존 라군 처리한 침출수를 대상으로 응집과 펜톤산화시 최적 처리조건을 탐색하고, 펜톤산화시 알칼리도가 COD 처리효율에 미치는 영향을 조사하였다. Jar-Tester를 이용한 응집처리시 염화제이철(FeCl_3)의 적정 투입농도는 약 $1500 \text{ mgFe}^{3+}/\text{L}$ 로 조사되었으며, 이때 COD_{Cr} 은 약 55%, COD_{Mn} 은 약 64%의 처리효율을 나타냈다. 응집처리후($1500 \text{ mgFe}^{3+}/\text{L}$) 펜톤처리시 약품투입비는 $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ 의 비 1.5에서 COD 처리효율은 약 80%로 최대 처리효율을 나타냈으며, 이때 최적 약품투입농도는 철염 $600 \text{ mgFe}^{2+}/\text{L}$, 과산화수소수 $400 \text{ mgH}_2\text{O}_2/\text{L}$ 이었다. 펜톤 산화시 유입수의 알칼리도가 증가됨에 따라 COD 처리효율이 저하되었다.

주제어 : 매립지 침출수, 응집, 펜톤산화, 알칼리도

1. 서론

쓰레기 매립장에서 발생하는 침출수의 수질특성은 매립되는 폐기물의 종류와 매립량, 매립년한, 매립지형, 매립방법, 강수량, 기후조건, 다짐정도 등에 따라 수질특성이 다양하게 변한다.¹⁻⁴⁾ 일반적인 수질특성은 유기물과 질소성분, 무기성염 등을 다량 함유하고 있으며, 인 및 중금속 함량은 비교적 낮은 것으로 나타나고 있다.^{2,5-7)} 매립경과시간이 오래 지난 매립지에서 발생하는 침출수에 함유된 유기성분은 주로 방향족 탄화수소로 구성된 휴믹산이나 펠릭산 등과 같은 난분해성 유기물질로 구성되어 있다.⁸⁾ 이러한 물질은 생물학적 처리과정에서 분해되지 않고 대부분 잔류되어 이후에 물리화학적 후처리를 필요로 한다.⁹⁾

현재, 국내 매립지에서 발생하는 침출수의 적정처리를 위하여 생물학적 처리와 함께 사용하고 있는 물리화학적 처리방법은 응집과 펜톤산화 공정으로 수도권매립지등에서 이 방법을 이용하여 침출수를 처리하고 있으며,¹⁰⁾ 응집처리에 사용되는 응집제로는 주로 철염(FeCl_3)과 명반(Alum)을 사용하며, 펜톤산화처리에는 철염($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)과 과산화수소수(H_2O_2)를 주로 이용하고 있다.^{11,12)}

침출수의 펜톤산화 처리시 유입수질에 따라 처리정도가 달리 나타나는데, 특히, 생물학적 질산화/탈질과정에서 불완전 질산화에 의해 생성되는 아질산성질소이온(NO_2^- -N)이 다량 함유된 침출수가 펜톤

산화조로 유입될 경우 아질산성질소이온 1 mole당 약 0.74 mole의 과산화수소수와 함께 철염 사용량이 증가되기 때문에 처리비용이 상승될 뿐만 아니라 철염슬러지($\text{Fe}(\text{OH})_3$)의 발생량 증가 및 침강성 저하로 인한 처리수의 SS 증가 등의 문제점이 발생되므로,¹⁰⁾ 이러한 문제점을 해결하기 위한 적절한 응집제 및 펜톤시약의 투입량, 반응조건 등을 검토할 필요가 있다. 또한, 그동안 사용된 응집 및 펜톤산화 공정은 생물학적 처리시 주로 생물분해 가능한 유기물만 제거된 침출수처리에 사용되어 왔기 때문에 질산화/탈질된 침출수처리를 위한 적절한 응집 및 펜톤산화 처리조건은 설정되어 있지 않은 실정이다.

따라서, 본 논문은 생물학적 질산화/탈질 처리된 침출수의 응집과 펜톤산화 처리시에 적절한 운전조건을 조사하고자 하였으며, 기존 라군(Lagoon)처리수와 질산화/탈질 처리수의 특징적인 차이점인 알칼리도가 펜톤산화 처리시 유기물(COD) 처리효율에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 응집실험

응집실험은 Jar-Tester를 이용하여 생물학적 질산화/탈질 처리수를 대상으로 최적 응집제 투입량을 탐색하고자 염화제이철(FeCl_3 , 43w/v%)을 1.000

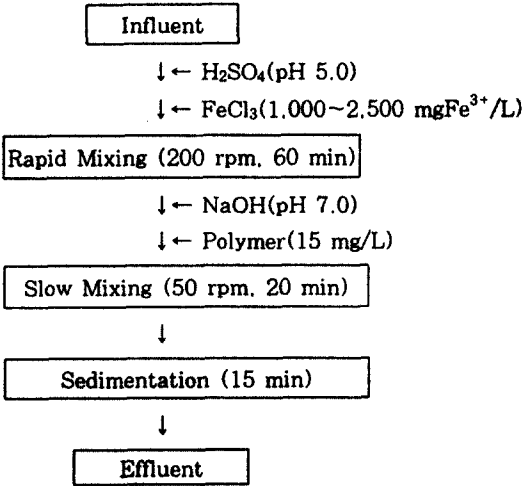


Fig. 1. Flowsheet for chemical precipitation experiment.

~2,500 mgFe³⁺/L 범위로 투입하여 COD 처리효율을 검토하였다. Fig. 1에 응집실험 흐름도를 나타내었다.

2.2. 펜톤산화 실험

대상 침출수는 pilot 규모의 생물학적 질산화/탈질 처리수(A)와 기존 수도권매립지 포기식 라군 처리수(B)로 하였으며, 펜톤 실험조건은 COD 처리효율 70% 이상을 얻기 위하여 반응 pH 3.5, 반응시간 3 hr, Fe²⁺/H₂O₂ 투입농도비 1.5를 기준으로 Fe²⁺ 농도를 200~1,000 mg/L 범위로 투입하였고, 중화 pH는 7.0으로 하였다.¹³⁾ 실험장치는 응집실험과 같이 Jar-Tester를 이용하였고, 각각 1L의 침출수에 NaHCO₃를 5~30 g까지 변화시켜 알카리도가 펜톤산화 처리시 COD 처리효율에 미치는 영향을 조사하였다.

2.3. 유입 수질성상 및 분석방법

응집 및 펜톤산화에 사용된 유입 침출수질은 질산화/탈질된 pilot규모 시설의 처리수(A)와 기존 라군 시설의 처리수(B)로 구분하여 Table 1에 나타냈다. COD_{Mn}을 제외한 분석항목은 Standard Methods¹⁴⁾에 따라 분석하였다.

Table 1. Characteristics of influent used in this study

Components	A (mg/L)	B (mg/L)
COD _{Cr}	900~1,100(867)*	1,000~1,300(1,200)*
COD _{Mn}	450~550(453)	500~600(550)
T-N	250~350(290)	1,300~1,500(1,400)
NH ₄ ⁺ -N	10~30(20)	1,200~1,400(1,300)
Alkalinity	800~1,500(1,200)	5,000~6,000(5,500)
pH	7.2~7.6(7.4)	8.3~8.5(8.4)

A : Biological denitrification effluent(pilot scale plant)
B : Lagoon effluent(existing facility)

* Values in parentheses indicate average values

3. 실험결과

3.1. 응집 실험

침출수(A)에 FeCl₃를 1,000~2,500 mgFe³⁺/L로 변화시켜 응집실험한 결과를 Fig. 2에 나타냈다. COD_{Cr}과 COD_{Mn} 평균농도가 각각 867 mg/L, 453 mg/L인 침출수(A)에 FeCl₃를 1,500 mgFe³⁺/L 투입하였을 때 처리수의 COD_{Cr}이 390 mg/L, COD_{Mn}이 163 mg/L까지 감소하여 변화폭이 컸으나, 그 이후 FeCl₃를 2,500 mgFe³⁺/L 투입하였을 때 COD_{Cr}이 315 mg/L, COD_{Mn}이 125 mg/L로 변화폭이 미미하였다.

한편, FeCl₃ 투입시에 철이온 단위무게당 제거되는 COD량은 COD_{Cr}의 경우 철이온 농도가 1,000 mgFe³⁺/L일 때 가장 높아 0.320 kgCOD_{Cr}/kg

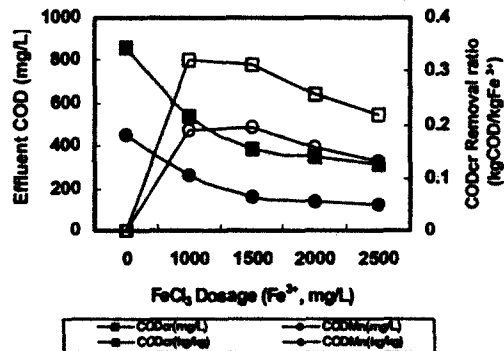


Fig. 2. Change of effluent COD concentration and the ratio of removal COD to FeCl₃ dosage.

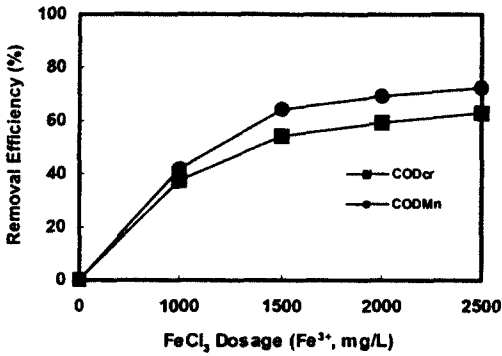


Fig. 3. Change of COD removal efficiency with FeCl₃ dosage.

Fe³⁺이고 1,500 mgFe³⁺/L일 때 0.313 kgCOD_{Cr}/kgFe³⁺, COD_{Mn}의 경우는 철이온 농도가 1,500 mgFe³⁺/L일 때 가장 높아 0.195 kgCOD_{Mn}/kg Fe³⁺로 나타났으나 이에 대한 원인은 알 수 없었다.

Fig. 3은 FeCl₃를 투입하였을 때에 COD 처리효율을 나타낸 것으로, FeCl₃ 투입량을 증가함에 따라 처리효율이 증가하며, COD_{Mn}이 COD_{Cr}보다 처리효율이 다소 양호하였다. FeCl₃를 1,500 mgFe³⁺/L 투입하였을 때에 COD의 평균처리효율은 COD_{Cr}은 약 55%, COD_{Mn}은 약 64%까지 증가하였으나, 2,500 mgFe³⁺/L까지 투입농도를 증가하였을 때는 COD 처리효율이 Cr 및 Mn법에서 각각 63%와 73%로 다소 상승되는 경향을 보였지만, 투입농도에 비하여 처리효율의 증가는 미미하였다. 따라서, 잔류 COD 농도로 볼 때, FeCl₃를 1,500~2,000 mgFe³⁺/L 정도 투입하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

3.2. 펜톤산화 실험

침출수(A)를 응집처리한 후 펜톤산화 처리할 때, 반응 pH 3.5, 반응시간 3시간에서 최적의 약품 투입농도비를 설정하기 위하여 과산화수소 400 mg H₂O₂/L를 기준으로 철염투입농도를 변화시켜 펜톤산화 처리한 결과를 Fig. 4(a)와 (b)에 나타냈다.

Fe²⁺/H₂O₂ 투입 농도비가 증가함에 따라 COD 제거비가 Cr법 및 Mn법 모두 증가하였다. 투입농도비가 1.3에서 COD_{Cr}의 경우 0.275이고 2.0에서 0.375로 증가하였으나 COD_{Mn}의 경우는 0.193에

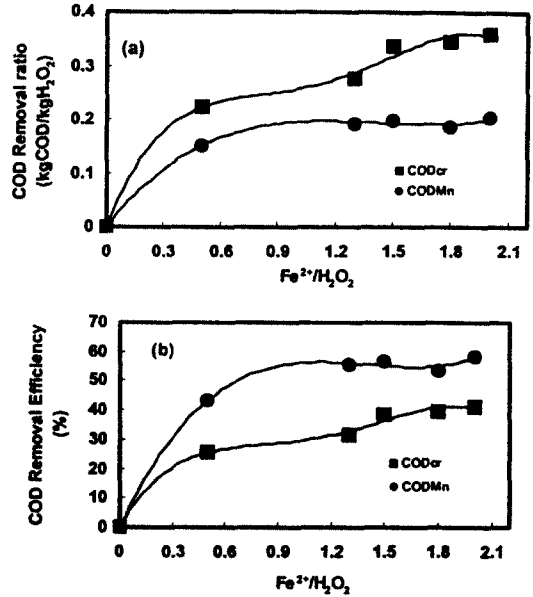


Fig. 4. Change of COD removal ratio and efficiency with Fe²⁺/H₂O₂ ratio (a) COD removal ratio, (b) COD removal efficiency.

서 0.203로 거의 변화가 없었다. 또한, Fe²⁺/H₂O₂ 투입 농도비에 따른 COD 처리효율도 COD_{Mn}의 경우 1.3에서 55%이고 2.0에서 58%로 3%의 미미한 증가를 보인 반면, COD_{Cr}의 경우는 32%에서 43% 정도로 약 11%의 증가를 나타냈다. 이러한 현상으로 볼 때에 펜톤산화 처리는 난분해성 유기물의 처리에 유효함을 나타내고 있다.

Fe²⁺/H₂O₂ 투입 농도비를 1.5에서 1.8이상으로 증가할 경우 COD 처리효율은 거의 변화가 없었으며, 투입농도비를 1.8 이상으로 증가시킬 경우 투입농도비가 1.5일 때보다 침전조 상정수의 편플럭 현상 등으로 SS가 약 10 mg/L에서 60 mg/L로 50 mg/L 정도 증가하여 처리수질이 악화되는데, 이러한 현상은 H₂O₂ 투입량에 비하여 과도하게 FeSO₄가 투입되어 H₂O₂와 정량적으로 반응하여 Fe(OH)₃로 침전되고 남은 FeSO₄가 Fe³⁺로 산화된 상태로 침전되므로써 슬러지의 응집성 및 침전성이 저하되기 때문인 것으로 판단된다.¹⁰⁾

Fe²⁺/H₂O₂ 투입농도비 1.5를 기준으로 염화제이철 투입농도에 따른 응집처리 수질별로 황산제이철 투입농도를 200~1,000 mgFe²⁺/L 범위로 투입하

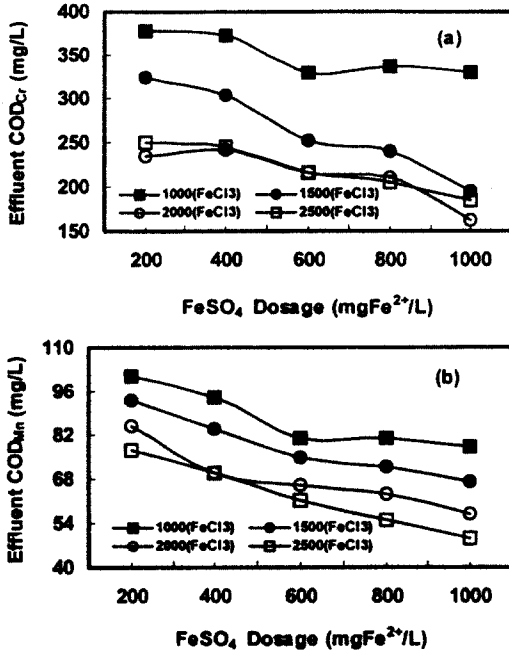


Fig. 5. Change of effluent COD_{Cr} and COD_{Mn} with FeSO₄ dosage (a) effluent of COD_{Cr}, (b) effluent of COD_{Mn}.

여 펜톤산화 처리를 실시한 후 COD 변화율 Fig. 5 (a)와 (b)에 나타내었다. Fig. 5에서와 같이 FeSO₄의 투입농도가 증가할수록 처리수의 COD 농도는 감소하였다. FeCl₃ 투입농도를 1,000에서 2,500 mg/L로 증가시키에 따라 펜톤처리수질이 양호하게 나타났는데, 동일한 FeSO₄ 투입농도를 기준으로 할 경우 COD_{Cr}은 FeCl₃ 투입농도 2,000 mg/L에서 가장 양호한 처리수질을 나타냈으며, 2,500 mg/L까지 FeCl₃ 투입농도를 증가한 경우에도 처리수질은 별다른 차이를 보이지 않았다.

그러나, COD_{Mn}은 FeCl₃ 투입농도가 증가할수록 양호한 처리수질을 나타내어 투입농도가 2,500 mg/L일 때 가장 양호한 처리수질을 나타냈다. FeCl₃에 의한 응집처리시 COD_{Cr}과 COD_{Mn}의 최대 처리효율을 얻기 위한 FeCl₃ 투입농도 범위가 다른 원인에 대해서는 알 수 없었다.

FeSO₄ 투입량당 제거되는 COD량을 Fig. 6(a)와 (b)에 나타내었다. FeCl₃의 투입농도에 따라 COD_{Cr} 제거량은 변화가 있으나 COD_{Mn} 제거량은 거의 변화가 없었으며, 유입수질에 따른 제거량 변화는 COD_{Cr}

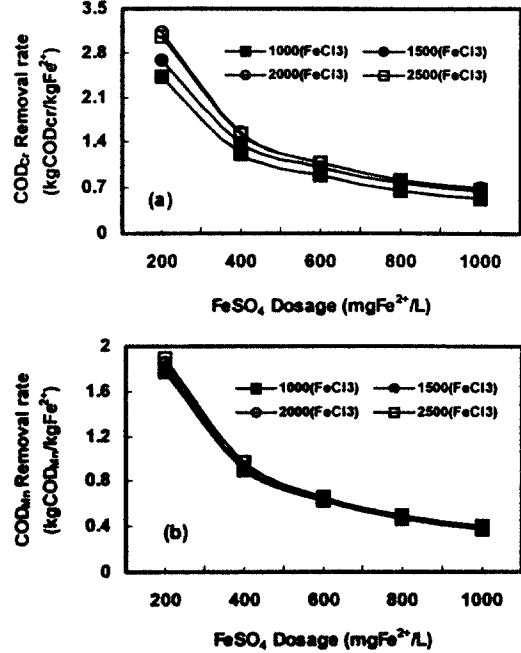


Fig. 6. Change of COD_{Cr} and COD_{Mn} removal rate to FeSO₄ dosage (a) COD_{Cr} removal rate, (b) COD_{Mn} removal rate.

이 COD_{Mn}보다 컸다.

COD_{Cr} 제거량은 FeSO₄ 투입농도가 200 mgFe²⁺/L일 때에 FeCl₃의 농도에 따라 2.4 kgCOD_{Cr}/kgFe²⁺에서 3.2 kgCOD_{Cr}/kgFe²⁺까지 변화하였다. FeSO₄ 투입농도가 400 mgFe²⁺/L인 경우에는 FeSO₄ 투입농도당 COD 제거량이 급격히 저하하고, 600 mgFe²⁺/L이상에서는 서서히 저하하였다. 응집처리시 COD_{Cr}의 경우는 FeCl₃ 2,000 mgFe³⁺/L가 적정 투입농도로 판단되며, COD_{Mn}의 경우도 응집제 투입농도가 증가할수록 양호한 처리수질을 얻었지만 처리효율과 경제성 등을 고려할 경우 COD_{Cr}과 동일하게 약 2,000 mgFe³⁺/L 정도가 적당할 것으로 판단되었다.

한편, 응집처리한 유출수에 FeSO₄를 600 mgFe²⁺/L 이상으로 투입하여 펜톤처리하여도 COD 제거량의 증가폭이 극히 적은 것으로 나타나, 침출수를 대상으로 FeCl₃ 2,000 mgFe³⁺/L정도로 응집처리한 이후 펜톤산화처리할 경우 적절한 FeSO₄ 투입농도는 약 600 mgFe²⁺/L 정도인 것으로 판단된다.

이상의 펜톤산화 실험결과, 본 침출수 처리에서

효과적이고 안정적인 처리수질을 얻기 위한 운전조건은 약품투입농도비(Fe^{2+}/H_2O_2) 1.5, 반응 pH 3.5, 반응시간 3시간에서 황산제일철 600 mg Fe^{2+}/L , 과산화수소 400 mg H_2O_2/L 정도인 것으로 판단되었다.

3.3. 펜톤산화시 알칼리도 영향

침출수(A)와 침출수(B)에 각각 $NaHCO_3$ 를 5~30 g 정도 투입하여 알칼리도를 변화시켜 펜톤산화 처리한 결과를 Fig. 7(a)와 (b)에 나타내었다. 질산화/탈질 처리된 침출수(A)의 경우 Fig. 7(a)에 나타낸 바와 같이 알칼리도를 증가시켜 펜톤처리를 할 때 COD_{Cr} , COD_{Mn} 모두 제거량이 급격히 감소되었는데 알칼리도가 약 120 mg/L에서 약 16,000 mg/L까지 증가될 경우 COD_{Cr} 제거량은 약 0.07 kg COD_{Cr}/kgH_2O_2 정도 감소되었으며, COD_{Mn} 제거량은 약 0.05 kg COD_{Mn}/kgH_2O_2 정도 감소되는 것으로 나타나 펜톤산화 처리시 유입수의 알칼리도가 방해영향 물질로 작용하는 것으로 판단되었다.^{3,15)}

한편, Fig. 7(b)에 나타낸 바와 같이 라군 처리된

침출수(B)의 경우는 알칼리도가 초기 6,200 mg/L에서 약 10,000 mg/L까지 증가되었을 때 COD_{Cr} 제거량은 0.33 kg COD_{Cr}/kgH_2O_2 에서 0.276 kg COD_{Cr}/kgH_2O_2 로 약 0.06 kg COD_{Cr}/kgH_2O_2 정도 감소되었으나, COD_{Mn} 은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 그러나, 알칼리도가 약 16,600 mg/L까지 증가되었을 때에는 COD_{Cr} 제거량은 거의 변화가 없었으나, COD_{Mn} 제거량은 약 0.15 kg COD_{Mn}/kgH_2O_2 에서 0.11 kg COD_{Mn}/kgH_2O_2 로 약 0.04 kg COD_{Mn}/kgH_2O_2 정도 저하되는 것으로 나타났다. 이와 같이 알칼리도가 증가할수록 COD 제거량이 저하되는 것은 펜톤산화시 생성된 OH-radical이 알칼리도의 주요 구성성분인 bicarbonate(HCO_3^-)를 carbonate(H_2CO_3)로 전환하는데 소비되므로서 상대적으로 COD 제거량이 저하되는 것으로 판단된다.¹⁵⁾

주로 유기물만 제거된 라군 처리수(B)의 경우 펜톤처리시 알칼리도가 증가함에 따라 전반적으로 COD 제거량이 저하되었지만, COD 제거량과 알칼리도와의 뚜렷한 상관성을 나타내지는 않았다. 생물학적 질산화/탈질 처리된 침출수(A)의 경우는 처리된 COD 제거비와 투입된 알칼리도가 비교적 양호한 상관성을 가지고 있었으며, 얻어진 관계식은 다음과 같다.

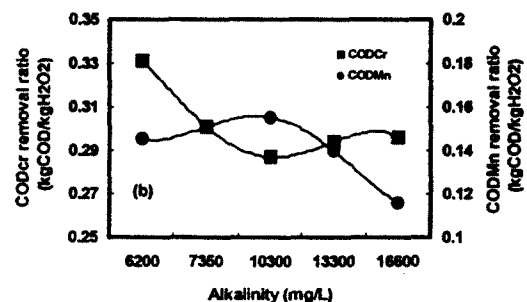
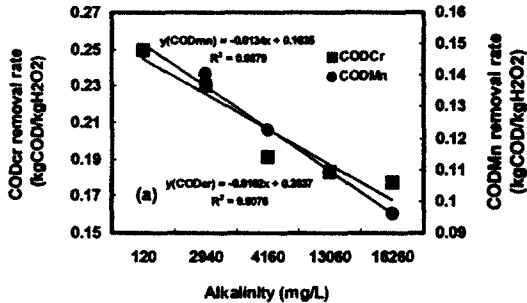


Fig. 7. Change of COD removal ratio to increase alkalinity (a) leachate(A), (b) leachate(B).

$$\begin{aligned}
 &COD_{Cr} \text{ removal ratio (kg/kgH}_2\text{O}_2) \\
 &= -0.0192(\text{Alkalinity, mg/L}) + 0.2637 \\
 &R^2 = 0.91 \\
 &COD_{Mn} \text{ removal ratio (kg/kgH}_2\text{O}_2) \\
 &= -0.0134(\text{Alkalinity, mg/L}) + 0.1635 \\
 &R^2 = 0.99
 \end{aligned}$$

4. 결론

생물학적 처리 침출수를 이용하여 용집 및 펜톤산화 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 생물학적 질산화/탈질 처리수의 용집처리시 적정한 염화제일철 투입농도는 약 1,500 mg Fe^{3+}/L 이었다.
- 2) 용집처리된 생물학적 질산화/탈질 처리수의 펜톤처리시 최대 COD 처리효율과 제거량을

나타내는 약품투입비(Fe^{2+}/H_2O_2)는 약 1.5 정도이었으며, 1.5 이상 증가될 경우 COD의 제거량과 처리효율이 오히려 감소되었다.

- 3) 염화제이철 2,000 mg/L를 투입하여 응집처리된 침출수의 펜톤처리시 반응 pH 3.5, 반응 시간 3시간에서 적정한 약품투입 농도는 철염 600 mg Fe^{2+} /L, 과산화수소수 400 mg H_2O_2 /L이었다.
- 4) 펜톤산화시 알칼리도에 의한 영향을 조사한 결과, 생물학적 질산화/탈질 처리수나 포기식라군 처리수 모두 알칼리도가 증가될수록 동일한 펜톤시약 투입농도에서 COD 제거량이 동시에 감소되는 것으로 나타났다.
- 5) 포기식 라군 처리수의 경우는 알칼리도와 COD 제거량과의 상관성은 거의 없었으나, 생물학적 질산화/탈질 처리수의 경우는 다음과 같은 상관성을 보였다.

$$\begin{aligned} \text{COD}_{Cr} \text{ removal ratio (kg/kgH}_2\text{O}_2) \\ = -0.0192(\text{Alkalinity, mg/L}) + 0.2637 \\ R^2=0.91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD}_{Mn} \text{ removal ratio (kg/kgH}_2\text{O}_2) \\ = -0.0134(\text{Alkalinity, mg/L}) + 0.1635 \\ R^2=0.99 \end{aligned}$$

참 고 문 헌

1. Robinson, H. D., "Generation and treatment of leachate from domestic wastes in landfills," *Wat. Pollut. Control*, 465~478(1982).
2. Anderson, P. R., "Characteristics and environmental significance of colloids in landfill leachate," *Environ. Sci. Tech.*, 27(7), 1381~1387(1993).
3. Christensen, T. H., Cossu, R., and Stegmann, R., *Landfilling of waste: Leachate*, Elsevier science publishers Ltd.(1992).
4. U. S. EPA, *Ground-water and leachate treatment systems-manual*, EPA/625/R-94/005(1995).
5. 花鳥正孝, 松藤康司, "準好氣性 埋立と 浸出汚水 處理," *都市と廢棄物*, 8(2), 1~15(1978).
6. Farquhar, G. J., "Leachate production and characterization," *CAN. J. ENG.*, 16, 317~325(1989).
7. Iwami, N., "Treatment of a landfill leachate containing refractory organics and ammonium nitrogen by the microorganism-attached activated carbon fluidized bed process," *Wat. Sci. Tech.*, 26(9-11), 1999~2002 (1992).
8. Keenan, P. J. and Michael, J. L., "Inorganic solid development in a pilot-scale anaerobic reactor treating municipal solid waste landfill leachate," *Water Environment Research*, 65(2), 181~188(1993).
9. Huang, S., "Ozonation of leachate from aged domestic landfills," *Ozone Science and Engineering*, 15, 433~444(1993).
10. 환경관리공단, 수도권매립지 침출수처리장 운영현황 및 적정처리 방안 연구 보고서, (1997).
11. Keenan, J. D. and Steiner, R. L., "Landfill Leachate Treatment," *JWPCF.*, 56(1), 27~33(1984).
12. Christensen, T. H., *Sanitary landfilling : Process, technology and environmental impact*, Academic Press, pp. 186~187(1989).
13. 환경관리공단, 고농도 NH_4^+ -N 함유 침출수의 pilot plant를 이용한 적정 처리방안 검토 실험 보고서(1999).
14. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th edit. AWWA, Washington DC, USA(1995).
15. Cossu, R., Polcaro, A. M., Lavagnolo, M. C., and Palmas, S., "Treatment of MSW Landfill Leachate by Electrochemical Oxidation," *Leachate and Landfill Gas Management, Sixth International Landfill Symposium, SARDINIA 97, Proceeding, II*, pp. 463~474(1997).