

응집공정을 이용한 위생매립지
침출수의 전처리

박정옥

수 질 보 전 과

응집공정을 이용한 위생매립지 침출수의 전처리

수 질 보 전 과

박정옥

Pretreatment of Sanitary Landfill Leachate by using Coagulation Process

Water Preservation Division

Jenong-Ok Park

Abstract

Sanitary Landfill Leachate contains heavy metals and toxic substances so that these decrease, the efficiencies of biological treatments. This study is the result of the chemical treatment test with the use of three coagulants (LAS, PAC, FeCl₃) for the increase of biological treatment efficiency on leachate in Slandfill.

The results in this study are as follows :

1. At the selection test of coagulants for the chemical treatment of leachate PAC was more effective than LAS, FeCl_3
2. At the coagulants injection dosage test - with use of PAC - the most adequate injection dosage is $125\text{mg}/\ell$. At this test the removal efficiency of UV_{254} was 39.5% and that of turbidity was 89.6%, And also it was shown that COD_c was 42%, BOD was 20% and the average removal ratio of heavymetals was 32%.
3. As a result of variation of the optimum velocity gradient from 110 sec^{-1} to 580 sec^{-1} the maximum efficiency of LAS, PAC, FeCl_3 was at $G=580\text{ sec}^{-1}$ (300 rpm). In the case of optimum mixing time, LAS, PAC, FeCl_3 showed maximum efficiency at 30 sec, 120 sec, 60 sec respectively. And the treatment efficiency of UV_{254} was 30.0%, 39.5%, 13.0%, of these coagulants respectively. And the turbidity was 70.4%, 89.5%, 42.3% respectively.
4. As a result of particle distribution analysis of leachate and chemically treated water most particles bigger than $10\mu\text{m}$ were removed.
5. As a result of biodegradability test of leachate and chemically treated water with the use of BOD manometer method, it was found that the some removal of nonbiodegradable material by chemical treatment accelerated the biodegradable velocity by microorganisms.
6. In this study, PAC was considered the most effective coagulants in treating the landfill leachate. But applying to the spot, it requires more serious study on the quantity of sludges and treating cost, etc..

keywords : Leachate, Coagulation process, LAS, PAC, FeCl_3

I. 서 론

매립지에서 발생하는 침출수의 처리 공정 중에서 일반적인 유형은 매립지 내에서 여러 물리·화학·생물학적 방법을 이용한 현장 처리, 도시 하수나 공장 폐수와의 병합 처리, 그리고 매립지내 재순환이 있다(Christensen, 1992; Mcardle, 1988).

이중 매립지내 현장 처리는 매립지내 새로운 처리 시설에 따른 비용 부담이 문제시되나 최근 환경 규제의 강화와 새로운 처리 기술의 개발에 따라 많은 연구가 진행되고 있다. 또한, 하수와의 합병 처리는 처리장의 운전에 지장을 줄 가능성이 있으므로 주의가 요구되고 있으며, 매립지 재순환은 매립지의 분해 과정이 촉진되어 매립지를 안정화시키는데 시간이 단축되나, 이 방법은 침출수를 제거하기 위한 방법이 아니므로 결국 잔류되는 침출수를 처리하여야만 한다. (조, 1990; 이, 1994)

쓰레기 매립장에서 발생하는 침출수는 각종 중금속 및 유해 물질 등 난분해성 물질이 다량 함유되어 있어 생물학적 처리시 그 효율을 감소시키는 중요한 원인이 되고 있다.

이에 대해 Cameron과 Koch 등(1980)은 침출수의 독성에 관한 실험 연구에서 침출수는 매립지 부근의 하천에 배출되어 하천수에 희석되어도 여전히 강한 독성을 띠며, 침출수의 처리에 있어서는 물리적 처리와 화학적 처리를 병행하는 것이 효과적이라고 하였다. 또한 침출수를 생물학적으로 처리할 경우에는 SS, T-N과 중금속 등에 대한 적응성이 적거나 적용이 어렵다고 알려져 있으므로 전처리공정으로서의 물리화학적 처리가 필요하다(도, 1993)

본 연구에서는 침출수의 화학적 전처리 처리수의 최대 처리 효율 인자를 산출하기 위하여 Jar test를 수행하여 처리 효율이 높고 보편적을 이용 가능한 $FeCl_3$, PAC(Poly Aluminium Chloride)와 S쓰레기 매립지에서 현재 사용하고 있는 LAS(Liquid Aluminium Sulfate)를 응집 조건과 약품주입량, 교반속도 등을 비교 분석하여 화학적 처리의 최적조건을 산출하였다. 그러므로 본 연구는 S폐기물 매립지의 침출수의 생물학적 공정에 영향을 미치는 중금속 및 난분해성 유기물질의 제거가 어느 정도 가능한가를 규명하며, 생물학적 처리 공정에서의 효율을 증대시키는 기초 자료를 제공하는 데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

일반적으로 많이 사용하는 응집제이고 사용이 간편하고 경제적인 FeCl_3 와 효율이 뛰어난 PAC 그리고 S쓰레기 매립장에서 현재 사용하고 있는 응집제인 LAS를 사용하였다.

유기물질과 탁도의 제거 효율을 평가하기 위하여 Jar-test 실험을 반복 수행 하였고, 처리 대상 침출수의 성상과 각 조건에서 처리수의 유기물 제거 효율을 알아보기 위해 UV_{254} 를, 부유물 제거를 위해서는 탁도를 중심으로 약품주입량을 산정하였다.

본 실험에서 사용된 응집제의 규격은 아래와 같다. 이때, LAS와 PAC는 시중에 유통되는 공업용 시약을 사용하였으며, FeCl_3 는 순도 99%이상의 특급 고체 시약을 조제하여 사용하였다.

$$\text{LAS} - \text{Al}_2\text{O}_3 = 8.5\%$$

$$\text{PAC} - \text{Al}_2\text{O}_3 = 10.3\%$$

$$\text{FeCl}_3 - \text{Fe} = 10\%$$

원수의 수질과 화학적 처리 후의 처리수에 대한 성상 실험방법은 수질오염공정시험법 및 Standard methods에 준하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 적정 응집제량 산정

LAS, PAC, FeCl_3 에 의해서 쓰레기 침출수 처리시 최적의 응집제량을 산정하기 위해 응집제 농도를 100~200 ppm까지 변화시킨 후 가장 최적의 농도를 산정하였다. 본 실험은 먼저 pH 조절 없이 COD는 UV_{254} 와 SS는 탁도와 비례하고 있음을 고려하여 이를 기준으로 최적 투입 농도를 결정하였는데, 각각의 응집제에 대해 여러 차례의 반복 실험을 통한 평균치를 나타내었다.

유입수의 pH는 5.7~5.8 정도로 나타났으며, 응집제 주입에 따른 pH 변화는 LAS, PAC 200ppm 주입시 pH 5.4 FeCl₃ 200ppm 주입시 pH 5.5로 거의 일어나지 않아 pH의 영향은 고려하지 않아도 될 것으로 판단하여 알칼리도에 관한 영향을 배제하였다.

Figure 3.1은 응집제 주입 농도에 따른 UV₂₅₄ 농도를 나타낸 것으로 응집제 주입 없이 교반만으로도 4% 정도의 제거 효율을 보이고 있는데, 이는 침출수내 여러 입자들의 충돌에 따른 제타전위 감소로 인한 침전으로 설명 가능하다. 응집제 농도 증가에 따라 제거 효율도 점차 증가함을 알 수 있으나, LAS, PAC 두 응집제는 125 ppm 이상에서는 효율에 큰 변화를 보이지 않고 각각 24%와 31% 정도의 효율을 보였으며, FeCl₃는 150 ppm에서 13%의 제거 효율을 보였는데, 그 이상의 응집제량에서는 다시 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 과도한 응집제량으로 제안정화가 일어났을 것으로 사료된다.

Figure 3.2는 응집제 주입 농도에 따른 탁도를 나타낸 것으로 응집제 주입 없이 교반만으로도 10% 정도의 제거 효율을 보이고 있는데, 이는 침출수내 여러 입자들의 충돌에 따라 flocc이 형성되어 침전한 것으로 보여진다. 탁도가 UV₂₅₄와 비슷한 경향을 보이지만 UV₂₅₄는 응집제 농도가 증가함에 따라 감소하는 것에 반해 탁도는 응집제 농도 증가에 따라 어느 정도까지 감소하다가 다시 증가함을 알 수 있는데, 이는 침전되지 않은 응집제가 탁도로 작용한다고 보여진다. LAS, PAC 두 응집제는 125 ppm 부근에서 각각 67%와 89%의 효율을 보여 최적으로 나타났으며, FeCl₃는 150 ppm에서 45% 제거 효율을 최적으로 나타냈다.

본 실험에서 PAC는 탁도 제거에서 매우 우수한 것으로 나타났다.

따라서, Figure 3.1과 3.2를 통해 UV₂₅₄와 탁도 제거 효율을 기준으로 하고 경제성 등을 고려하여 LAS와 PAC는 각각 125ppm, FeCl₃는 150ppm으로 최적 응집제량을 산정하였다.

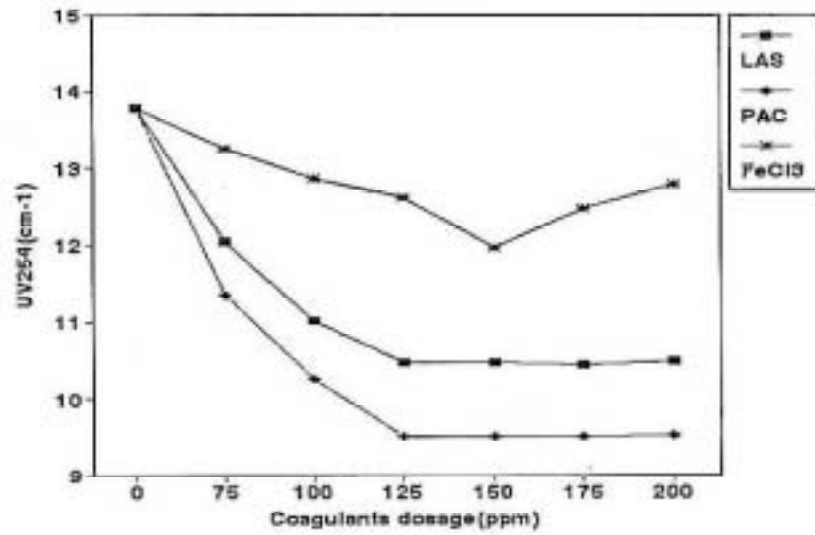


Figure 3.1 UV₂₅₄ with Changes in Coagulants dosage.

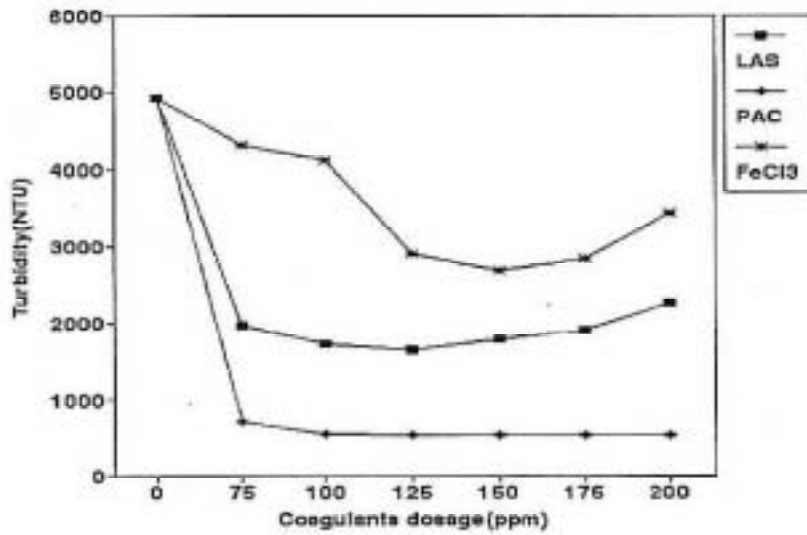


Figure 3.2 Turbidity with Changes in Coagulants dosage.

2. 교반속도 및 시간에 따른 실험(GT값 산정)

적정 응집제량 산정 결과에 따라 LAS와 PAC는 125ppm, FeCl₃는 150 ppm으로 하여 Jar-test 실험을 급속 교반강도 100($G=110 \text{ sec}^{-1}$), 200($G=300 \text{ sec}^{-1}$), 300($G=580 \text{ sec}^{-1}$), rpm에 대해 향하였다. 또, 각 평균 속도 경사값에 대하여 교반 시간을 30~180 sec까지 변화시켜 실험하였는데, 이 때 각각의 급속교반 후 15분간 완속 교반하여 1시간 침강시킨후, 상정액의 수질에 대해 UV₂₅₄와 분석하여 그 결과에 따라 최적 교반속도와 교반시간을 산정하였다.

Figure 3.3, 3.4 는 $G=110 \text{ sec}^{-1}$ 일때의 UV₂₅₄와 탁도를 각 응집제 별로 나타낸 것으로 교반시간이 길수록 제거효율이 좋게 나타났는데, 이는 교반속도가 낮아 응집형성이 늦게 이루어짐으로 판단된다. 이때 LAS의 경우, UV₂₅₄는 180 sec일때 탁도는 120 sec일때 각각 24.4%, 59.7%의 제거효율을 보였으며, PAC와 FeCl₃의 경우 교반시간이 길수록 좋은 효율을 보였는데 이때의 효율은 UV₂₅₄ 각각 36.0%, 9.6%로 나타났으며, 탁도는 84.0%, 21.4%로 나타났다. Figure 3.5, 3.6은 $G=300 \text{ sec}^{-1}$ 일때의 UV₂₅₄와 탁도 변화를 나타낸 것이다. LAS의 경우, 120sec일때 UV₂₅₄ 29.2%, 탁도 59.7%의 제거효율을 보였으며, PAC는 180 sec일때 UV₂₅₄ 38.5%, 탁도 84.2%의 제거효율을 보였다. FeCl₃의 경우 UV₂₅₄, 탁도 12.4%, 16.9%로 각각 나타났는데 이때의 최적 교반시간은 60 sec였다.

Figure 3.7, 3.8은 $G=580 \text{ sec}^{-1}$ 일때의 UV₂₅₄와 탁도 변화를 나타낸 것으로, LAS의 경우, UV₂₅₄는 30 sec일때 30.0%, 탁도는 60 sec일때 71.4%의 제거효율을 보였으며, PAC는 120 sec일때 UV₂₅₄ 39.5%, 탁도는 180 sec일때 89.6%의 제거효율을 보였다. FeCl₃는 UV₂₅₄, 탁도 모두 60 sec일때 13%, 42.3%로 효율이 가장 높았다.

Figure 3.3~3.8의 결과로 볼때 세 응집제 모두 $G=580 \text{ sec}^{-1}$ 일때 가장 높은 제거효율을 보였고, LAS는 교반시간 30sec, PAC는 120 sec, FeCl₃는 60 sec일때 UV₂₅₄의 제거효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 탁도의 경우는 LAS는 교반시간 60 sec, PAC는 180 sec, FeCl₃는 60 sec일때 가장 높은 효율을 보였는데, PAC는 floc형성이 빠르고 형성된 floc이 안정한 것으로 나타나 탁도 제거에 우수한 것으로 나타났다.

Figure 3.9, 3.10은 교반강도, GT값 변화에 따른 UV₂₅₄와 탁도 변화를 나타낸 것

으로, LAS와 PAC는 GT값 증가에 따라 점차 감소하는 경향을 보였으나 FeCl₃는 감소하다가 다시 조금씩 증가하는 것으로 나타났다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 PAC가 가장 효율이 좋고 침출수 처리에 적합한 응집제로 나타났다.

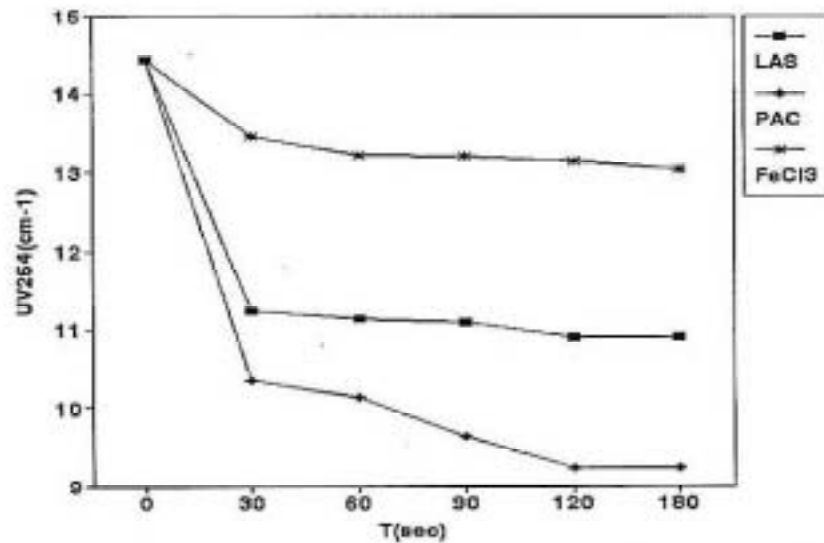


Figure 3.3 Variations of UV₂₅₄ with the Mixing time (G=110 sec⁻¹)

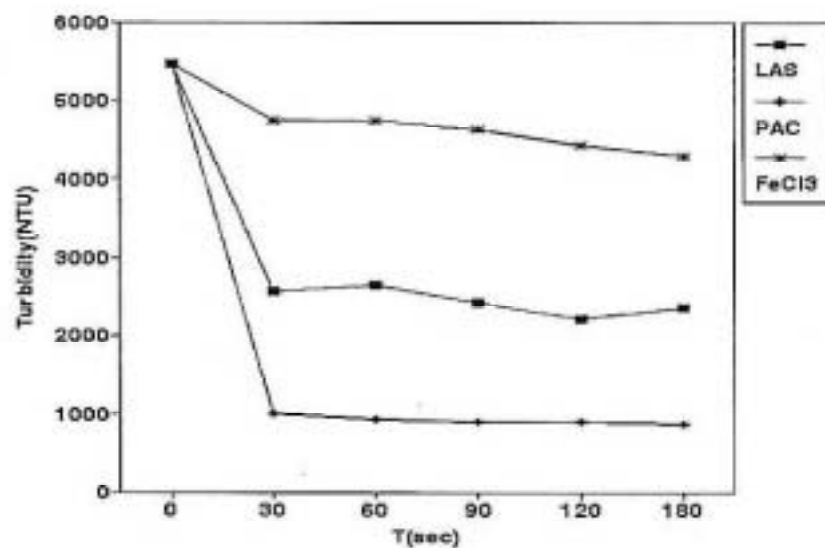


Figure 3.4 Variations of Turbidity with the Mixing time (G=110 sec⁻¹)

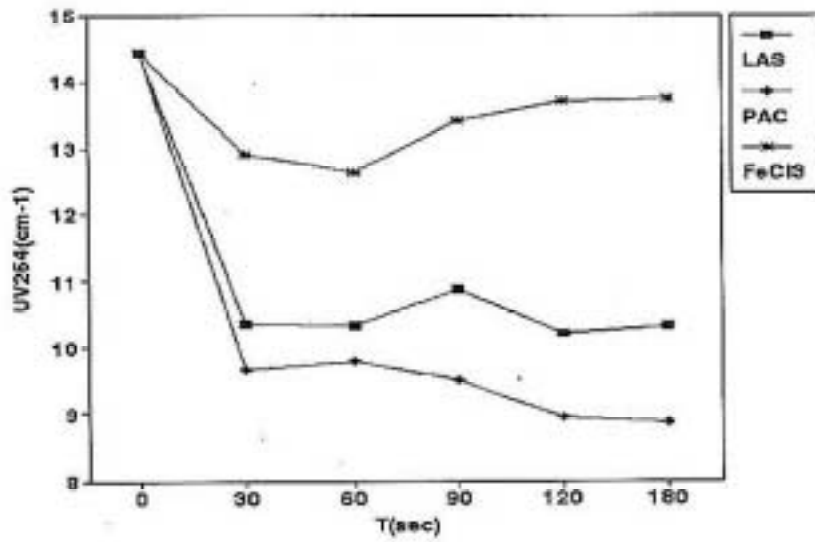


Figure 3.5 Variations of UV₂₅₄ with the Mixing time ($G=300 \text{ sec}^{-1}$)

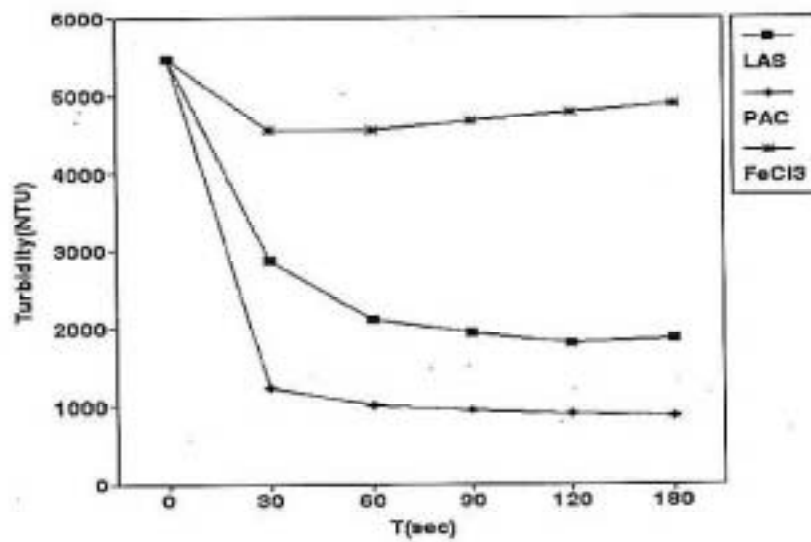


Figure 3.6 Variations of Turbidity with the Mixing time ($G=300 \text{ sec}^{-1}$)

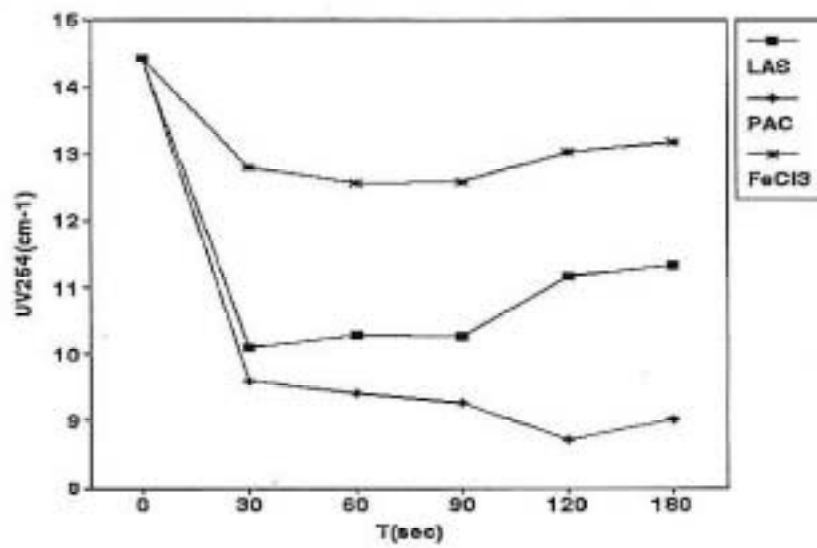


Figure 3.7 Variations of UV₂₅₄ with the Mixing time ($G=580 \text{ sec}^{-1}$)

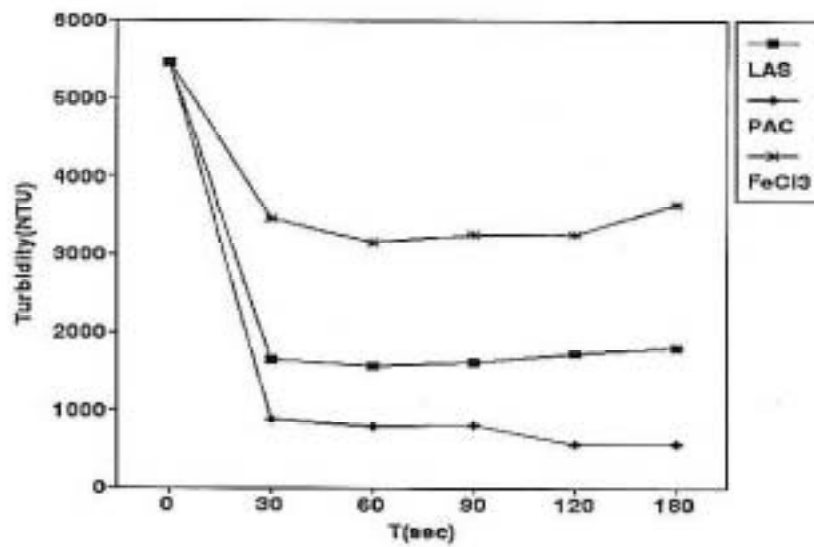


Figure 3.8 Variations of Turbidity with the Mixing time ($G=580 \text{ sec}^{-1}$)

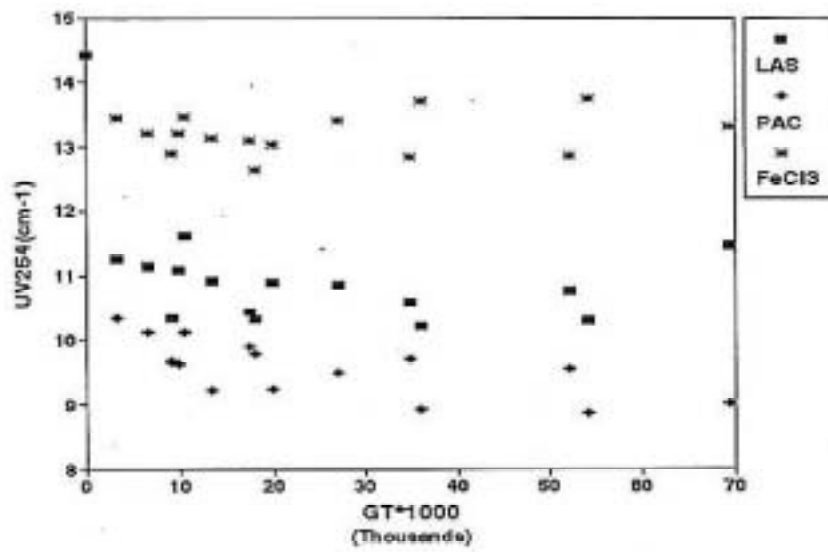


Figure 3.9 UV₂₅₄ with Changes in GT.

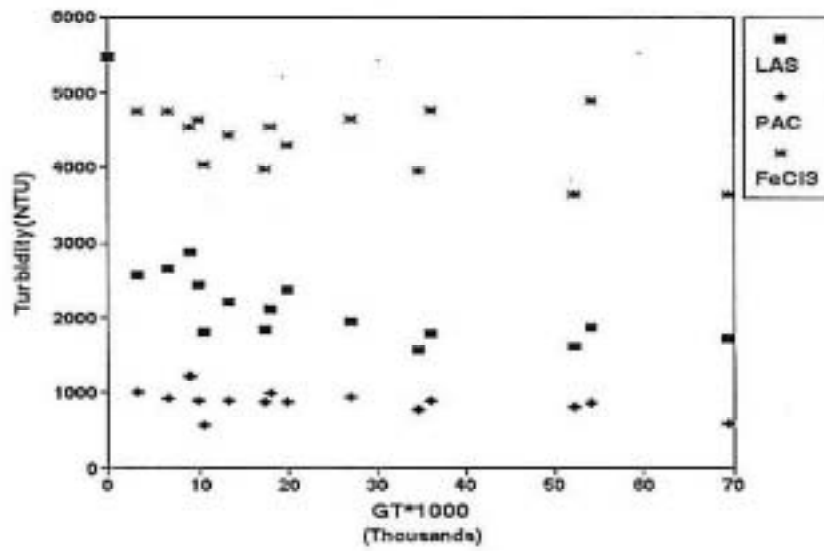


Figure 3.10 Turbidity with Changes in GT.

3. 원수와 화학적 처리수 입도 분석

쓰레기 침출수와 LAS, PAC, FeCl₃ 세 가지 응집제의 최적 응집조건을 산정하여 처리한 처리수의 입도 분포를 조사한 결과는 Figure 3.11~3.14와 같다. 입도 분석은 응집제 실험을 행할 시 응집 효율을 어느 정도 파악할 수 있는 것으로 응집에 의해 제거된 입자 크기의 분포를 알 수 있는 것이다. Figure 3.11~3.14에서 알 수 있는 바와 같이 원수는 10 μ m 이상 되는 비교적 큰 입자들이 많은 반면, 응집제로 처리한 처리수에는 큰 입자가 많이 제거되었음을 알 수 있다.

원수는 입자의 평균 크기가 14.26 μ m였으나, PAC로 처리한 처리수중 입자 크기 평균은 7.85 μ m로 가장 작았으며, LAS와 FeCl₃는 각각 8.39 μ m, 8.93 μ m로 나타났다.

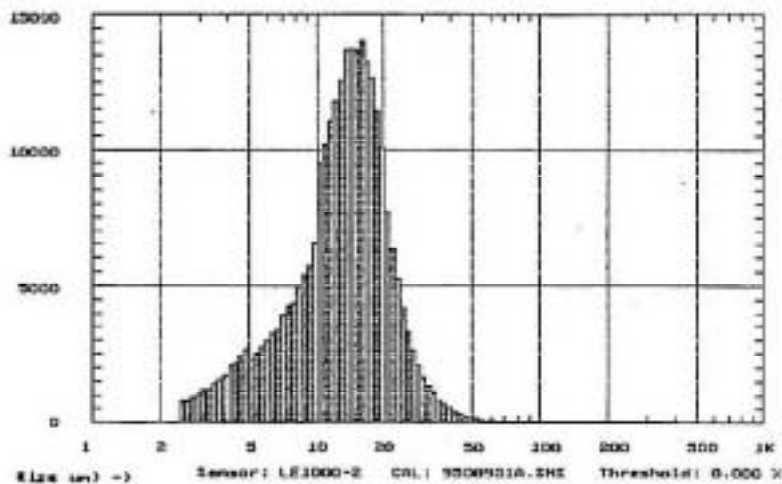


Figure 3.11 Particle Distribution of Leachate.

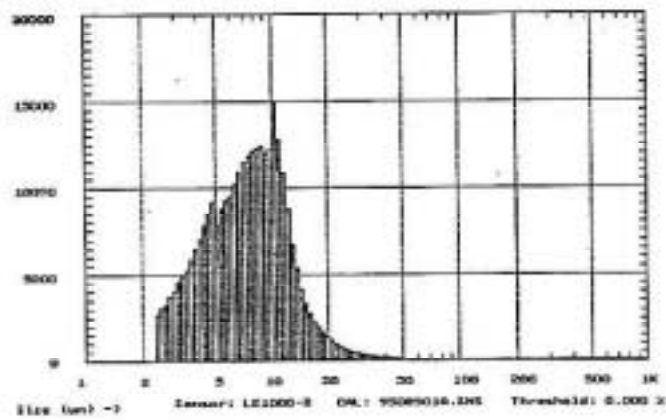


Figure 3.12 Particle Distribution of Treatment water with LAS.

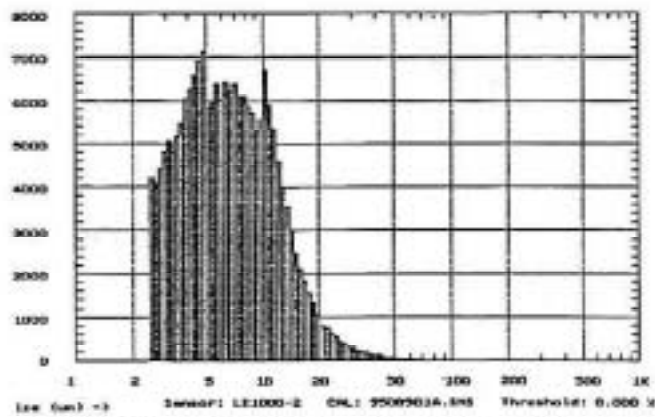


Figure 3.13 Particle Distribution of Treatment water with PAC.

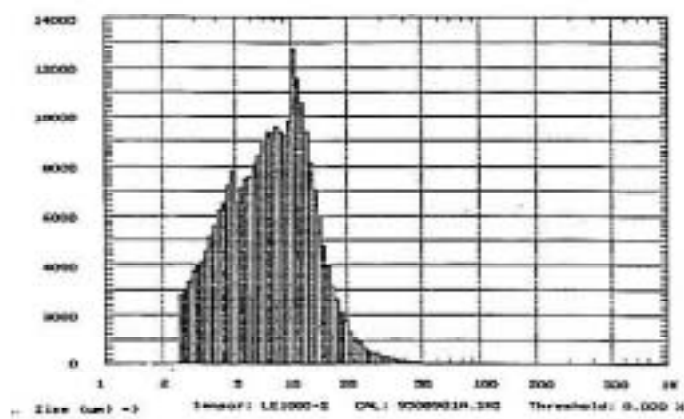


Figure 3.14 Particle Distribution of Treatment water with FeCl₃.

4. 화학적 처리수 성상분석

쓰레기 침출수와 LAS, PAC, FeCl₃ 각각에서의 최적 응집 조건에서 처리한 화학적 처리수를 비교 분석하여 처리 효율을 나타내었다.

Figure 3.15에서 COD_{Cr} 경우 각 응집제 LAS, PAC, FeCl₃ 에 대해 각각 36%, 43%, 36%의 처리 효율을 나타내고 있어 PAC를 사용하였을 때 처리 효율이 가장 양호한 것으로 나타났다. COD_{Mn}의 경우에도 각각 17%, 8%, 17%의 처리를 나타내었는데 이때, COD_{Cr}, COD_{Mn}의 값에서 비교적 큰 차이를 나타내었다. 이러한 현상은 유입수중의 난분해성 물질의 제거가 비교적 많이 이루어졌으며, 분해가 쉬운 물질로 전환된 것으로 사료된다. 암모니아와 BOD의 경우에도 큰 처리 효율을 나타내지 못했으나, PAC를 사용할때 비교적 처리 효율이 좋은 것으로 나타났다.

중금속의 경우, 세 응집제 모두 비소(As), 망간(Mn), 아연(Zn)은 30%이상의 제거효율을 보였고, 철(Fe)의 경우, LAS와 PAC는 30%정도의 제거 효율을 보였지만 FeCl₃는 수중에서 응집하지 않고 해리되어 오히려 원수보다 높은 결과치를 나타내었다. 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 마그네슘(Mg), 니켈(Ni)은 10%이하의 낮은 제거 효율을 보였다. LAS의 평균 중금속 제거 효율은 25.7%, PAC 31.7%, FeCl₃ 21.8% (철(Fe) 제외)로 각각 나타났다. 활성슬러지법에 요구되는 역치농도보다 원수에서 높게 나타난 망간(Mn)과 납(Pb), 니켈(Ni)은 역치농도 이하로는 제거되지 않았지만 망간(Mn)의 경우 50% 넘게 제거되어 다소 부하를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

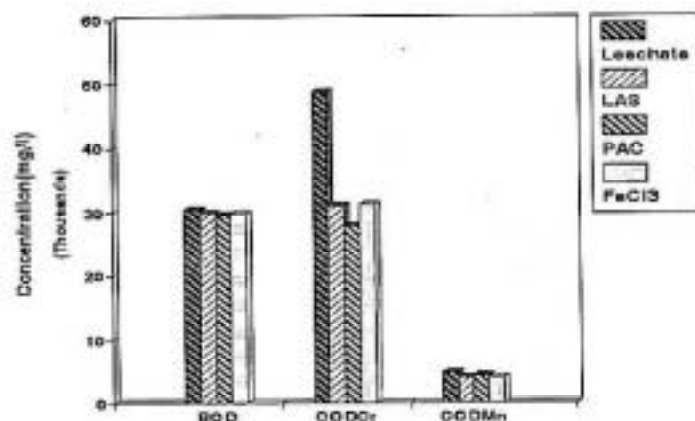


Figure 3.15 Organic Compounds Concentrations with Coagulants and Leachate.

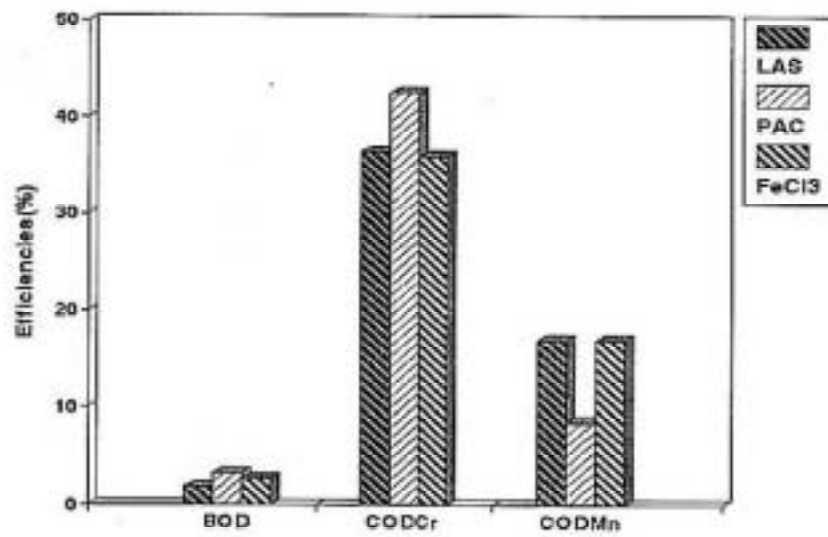


Figure 3.16 Removal Efficiencies of Organic Compounds.

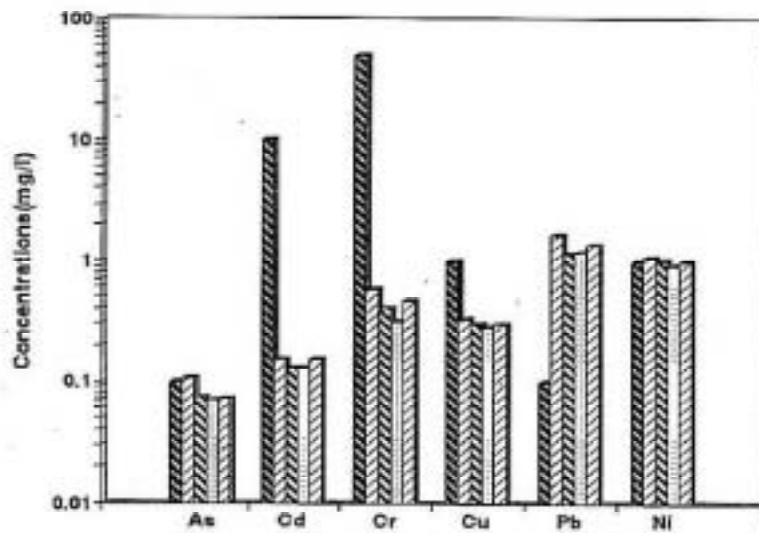


Figure 3.17-1. Heavy metal Concentrations with Coagulants and Leachate.

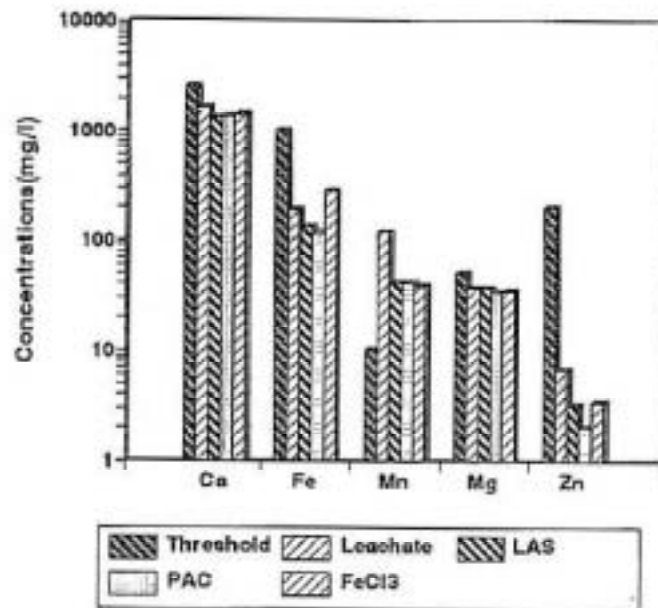


Figure 3.17-2. Heavy metal Concentrations with Coagulants and Leachate.

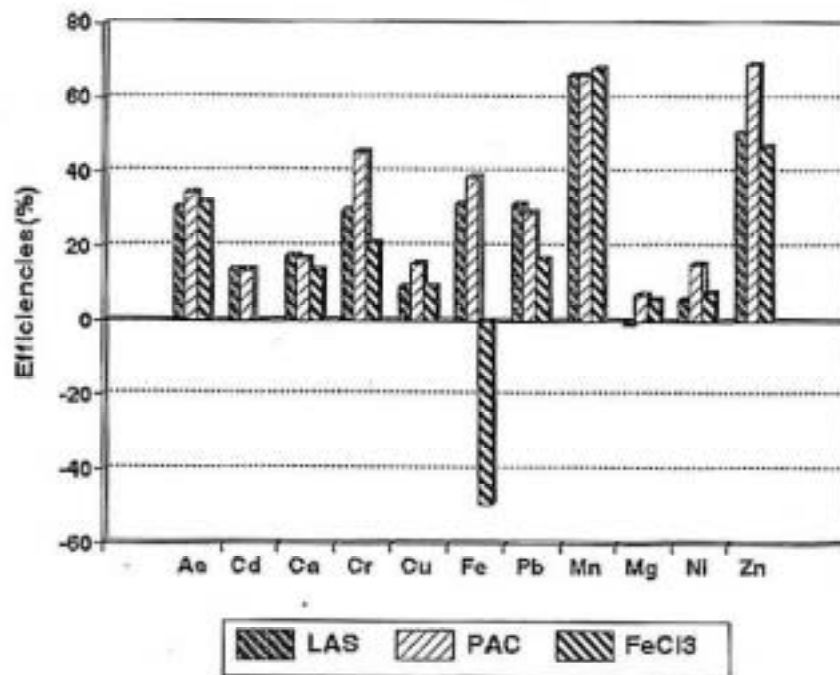


Figure 3.18 Removal Efficiencies of Heavy metals.

Table 3.1 Results of Chemical Treatment Water.

Items (mg/l, except pH)	LAS	PAC	FeCl ₃
pH	5.4	5.5	5.5
BOD	29500	29750	29970
COD _{Cr}	30919	27952	31186
COD _{Mn}	3933	4333	3933
SS	1684	1068	1868
NH ₃ -N	9859	9577	9904
SO ₄ ²⁻	1040	450	465
As	0.073	0.069	0.072
Cd	0.13	0.13	0.15
Ca	1357	1366	1420
Cr ⁶⁺	0.00	0.00	0.00
Cr	0.41	0.32	0.46
Cu	0.30	0.28	0.30
Fe	130.2	116.7	283.7
Pb	1.14	1.17	1.38
Mn	40.06	40.11	38.16
Mg	36.52	33.71	34.20
Hg	0.000	0.000	0.000
Ni	1.04	0.92	1.00
Zn	3.19	2.01	3.43
CN	0.00	0.00	0.00
Phenol	7.35	7.02	7.28

5. 생분해도 실험

마노메타를 이용한 방법은 급성 독성 반응을 측정하는데 아주 효과적이며 특정 폐수의 상대적인 강도(relative strength)와 희석의 필요 여부를 평가하는데 이용된다. 이러한 기술은 또한 폐수의 독성 여부를 판별하는데 효과적이며, 생물학적 시스템에서 소비되는 산소를 측정하기 위해 마노메타를 이용한다. 산소 소모율, 유기물 제거율 또는 효소 활성을 주기적으로 측정함으로써 여러 환경 조건에 대한 생물학적 반응을 알 수 있다.

쓰레기 침출수의 화학적 처리시, 응집제 각각에 대한 생분해 경향을 파악하기 위하여 BOD 마노메타법을 이용한 실험을 수행하였다.

Figure 3.19는 침출수 원수와 LAS, PAC, FeCl₃로 각각 처리한 화학적 처리수의 BOD manometer법의 이용한 생분해도 결과를 나타낸 것이다. PAC로 처리한 경우에는 생분해 속도가 미소하게 빨라짐을 알 수 있었으나, LAS와 FeCl₃로 처리한 경우에는 별 차이를 보이지 않았다. 이 실험 결과에서 알 수 있는 바와 같이 화학적 처리를 한 경우에 생물학적 처리로 후속 처리를 한다 해도 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 따라서, 화학적 처리를 함으로써 화학물질이 미생물에 별 영향을 끼치지 않는 것을 알 수 있고, 오히려 PAC를 사용한 경우는 난분해성 물질을 제거함으로써 분해 정도가 더 빠른 것으로 사료된다.

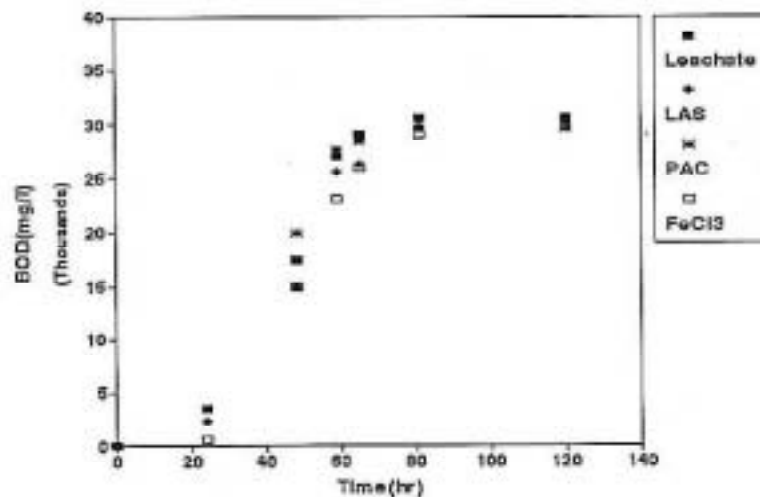


Figure 3.19 Result of BOD manometric test.

V. 결 론

S매립장 쓰레기 침출수의 생물학적 처리 효율 증대를 위한 LAS, PAC, FeCl₃ 세 가지의 응집제를 이용한 화학적 처리 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 쓰레기 침출수의 화학적 처리를 위한 응집제 선택의 실험에서 PAC가 LAS와 FeCl₃ 보다 효과적으로 나타났다.
2. PAC를 이용한 응집제 주입량 실험에서 최적 주입량은 125mg/l로서 이때의 UV₂₅₄는 39.5%, 탁도는 89.6%의 제거효율을 나타내었다.
또한 PAC의 경우, COD_C, 42% BOD 20%, 평균 중금속의 제거율은 32%로 나타났다.
3. 최적 속도 경사(G)를 110~580 sec⁻¹로 변화시킨 결과 LAS, PAC, FeCl₃ G=580 sec⁻¹ (300 rpm)에서 최대 효율을 보였으며, 최적 혼합 시간의 경우 LAS는 30 sec, PAC는 120 sec, FeCl₃는 60 sec에서 최대 효율을 보였는데, 이때의 처리 효율은 UV₂₅₄ 각각 30.0%, 39.5%, 13.0%의 효율을 보였고, 탁도 각각 70.4%, 89.5%, 42.3%의 제거효율을 보였다.
4. 원수 및 화학적 처리수의 입도 분석 결과, 10μm이상의 입자는 대부분 제거되는 것으로 나타났다.
5. BOD manometer법을 이용한 원수와 화학적 처리수의 생분해도 실험 결과, PAC로 처리한 경우, 화학적 처리를 통해 난분해성 물질을 어느 정도 제거함으로써 인해 미생물에 의한 생분해속도가 미세하게 빨라짐을 알 수 있었다.
6. 본 연구에서 쓰레기 침출수를 처리시 PAC가 적절한 응집제로 파악되며 이에 대한 현장 적용시 구체적인 슬러지 발생량, 경제성 등에 관한 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김영주, 과산화수소수를 산소원으로 이용한 Loop Reactor에서의 생물학적 처리와 UV를 촉매로 이용한 습식산화를 조하시킨 일반 폐기물의 침출수의 처리에 관한 연구(요약), 대한환경공학회 추계학술 연구 발표회 논문 초록집, 1995, pp 532-533
2. 배병욱 외, "침출수 유기물의 분자량 분포 특성 및 휴믹물질 함량", 대한환경공학회지, 1996, Vol. 18, No. 9
3. 박승현 외 7인, 최신상수도공학, 1995. 1
4. 신정래, "수처리약품", 1995.
5. 이성호, 1994, 도시쓰레기 침출수의 성상분석 및 처리에 관한 연구, 한국폐기물학회, 11(2), 262-272
6. 조광명, 1990, 도시쓰레기 매립지 침출수의 처리에 관한 연구, 한국환경과학 연구 협의회, 22pp
7. 최해경, "질소·인계거를 위한 기존 하수처리장의 개선방안에 관한 연구", 부산수산대학교 석사학위논문, 1996, 2
8. 하준수, "화학적 방법에 의한 도시하수의 고도처리". 고려대, 1983.
9. Andrew Eaton, Measuring UV absorbing organics; a standard method, AWWA, 1995, 2
10. Boyle W. C. and R. K. Ham, 1974, Biological treatability of landfill leachate, *JWPCF*, 46(5), 860-872
11. Christensen, T. H., 1992, Landfilling of waste : Leachate, Elsevier applied science, 520pp
12. Cornwell, D.A.&Bishop, M.M, 1983, *Determining Velocity Gradients in Laboratory*

and Full-Scale Systems, AWWA, 75 : 9 : 470-475

13. Eckenfelder, W. W. and Furd, D. L., Water pollution Control ; Experimental Procedures for process Design, Jenkins Publishing Co. Austin and New York, (1970)
14. J. D. Keenan, R. L. Steiner, and A. A. Fungaroli, "Chemical-Physical Leachate Treatment", *journal of the Environmental Engineering Division, ASCE*, Vol. 109, No.6, 1984, pp. 1371-1384
15. Junkins et al. "*Water Chemistry*" pp 243~315
16. John T. Pfeffer, Solid waste management Engineering, 1992, pp. 258-265
17. Mcardle, J. L., M. M. Arozarena, and W. E. Gallagher, 1988, Treatment of hazardous waste leachate, Noyes Data Corp., 111pp.
18. Mogens Henze et al. "Wastewater treatment" pp 337~350
19. Water Res vol 10, pp903~907 Pergam Press 1976, Printed "Comparision of Iron(III) and Aluminum in Precipitation of Phosphate rom solution"
20. EPA handbook 1987, 9. "Retrofitting POTWs for phosphorus Removal in the Cheasepeake Bay Drainage Basin pp 5~22
21. WPCF. Wastewater Treatment Plant Design. 1977. pp. 226~227
22. 資源環境對策 "凝集劑 添加 回分式 活成オニ法による高度處理 根本對策". 1993, 9