

펜톤과 오존산화공정을 이용한 디젤오염토양의 복원

최희철¹ · 이관용² · 최상일¹ · 이태진^{2*}

¹광운대학교 환경공학과, ²서울산업대학교 환경공학과

Remediation of Diesel-Contaminated Soil by Fenton and Ozone Oxidation Process

Heechul Choi¹ · Kwanyong Lee² · Sangil Choi¹ · Taejin Lee^{2*}

¹Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

²Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Technology

ABSTRACT

In this study, the remediation of diesel contaminated soil was attempted with ozone treatment and Fenton reaction. About 10% of initial diesel concentration was removed by the ozone saturated solution. The pseudo-first order decomposition constant of diesel contaminated soil in the presence of 5% of hydrogen peroxide with 1.82, 2.82, 4.82, 6.82, and 11.82% of iron contents was 0.0228, 0.0308, 0.0482, 0.0471, and 0.0592 min⁻¹ respectively. The decomposition constant of the diesel was 0.0064 min⁻¹ with the addition of ozone saturated solution only. On the addition of ozone saturated solution in the presence of 5% hydrogen peroxide and 5% iron, the decomposition constant of the diesel was 0.0850 min⁻¹. These results indicated that the decomposition rate was 190% faster than without the addition of ozone saturated solution. Thus, the application of both ozone and the fenton reaction is promising for the remediation of the diesel contaminated soil.

Key words : Diesel degradation, Fenton, Ozone oxidation

1. 서 론

우리나라에는 2006년 현재 11,749개의 주유소가 있으며 (김지영 · 조경숙, 2006), 주유소를 포함하여 지하에 유류를 저장하고 있는 유류저장업체에서 보유하고 있는 지하 유류저장탱크 대부분이 탱크 외부에 콘크리트가 많아 심각한 토양 및 지하수 오염을 야기 시키고 있다(김지영 · 조경숙, 2006, 박용하 · 이승희, 1995). 2001년 개정 토양환경보전법 시행이후 2004년 현재 시도지사에 신고된 토양오염유발시설 설치 업소 22,078개소 가운데 주유소와 석유류 설치 산업시설은 18,491개소이고, 이 중 11,152개 시설을 검사한 결과, 198개 업소가 토양오염우려기준을 초과하였으며 초과율은 1.8%였다(윤상희, 2005).

오염된 토양을 정화하는 방법으로 크게 물리 · 화학적 방법과 열적 처리기술, 생물학적처리 방법으로 나눌 수 있

는데, 물리 · 화학적처리 방법에는 토양증기추출법, 토양 세척법, 고형화 안정법이 있으며, 열적 처리방법에는 소각, 열분해, 열탈착법 등이 있고, 생물학적처리방법에는 토양 경작법(Landfarming), Biopile 등이 있다(이종득 외, 2007). 일반적으로 유류로 오염된 토양에 대해서는 토양증기추출(soil vapor extraction: SVE), 토양세척법(soil washing), 토양세정법(soil flushing) 기술이 효과적으로 적용될 수 있다. 이러한 기술들은 유류 오염 토양복원에 적용이 가능한 기술들로 알려져 있다(박준석, 2006). 200여종의 유기화합물로 구성되어 있는 디젤의 경우 70% 이상이 파라핀계 물질들로 생물학적 처리가 가능한 성분들이지만 PAHs와 같은 성분은 토양미생물에 독성을 미칠 수 있고, 생물학적처리 시간이 오래 걸리는 단점이 있다(김광수 외, 1998). 이러한 생물학적 처리의 시간적인 단점을 보완하기 위해 비교적 반응시간이 빠른 화학적처리 기술이 연구

*Corresponding author : leetj@snut.ac.kr

원고접수일 : 2010. 3. 3 심사일 : 2010. 4. 12 게재승인일 : 2010. 4. 27

질의 및 토의 : 2010. 6. 30 까지

되고 있는데 특히, 고도산화공정(Advanced Oxidation Processes: AOPs)을 이용한 토양오염복원 기술들이 최근 많이 연구되고 있다. 그 중 과산화수소(Hydrogen peroxide: H₂O₂)와 2가 철이온(Fe²⁺)을 이용한 펜톤반응이 대표적이라 할 수 있으며, 그 밖에 UV, Ultrasonic, Electron beam, Oxalic acid 등 다양한 산화제와 촉매의 적절한 조합을 통해 처리물질과 환경에 맞게 고도산화공정의 처리기술이 연구 되고 있다(Tsai et al., 2009).

과산화수소와 철이온의 화학반응을 이용하여 Hydroxyl radical(OH·)을 생성시키는 펜톤반응은 저온에서도 유기 화합물질을 산화시킬 수 있는 장점이 있으며, 반응 후 오염물의 산화를 지속 시킬 수 있는 것으로 알려진다(Bentran et al., 1998; Gates and Siegrist, 1995; Mader et al., 1997). 이러한 펜톤 반응을 응용하여 Watts and Dilly(1996) 등은 과산화수소의 촉매로 토양 내 철광석 성분을 사용한 펜톤 유사반응을 제시한 바 있다. 그러나 기존의 펜톤 유사반응은 토양 내 존재하는 금속이온의 함량이 토양성분에 국한되어 있어 그 처리효율이 낮아 현장 적용이 제한적이었으며 오염토양복원에 있어서 수질처리 분야에서 많은 연구 성과를 보았던 오존과 펜톤의 조합과 같은 복합적 고도처리공법의 적용은 더더욱 미미하였다.

따라서 본 연구에서는 토양 내 유류 오염 정화를 위한 펜톤 유사반응의 현장 적용성을 확대하기 위해 과산화수소와 더불어 토양 내 최적 철 함량 조건을 확보하고자 하였다. 이를 위해 인위적으로 철이온의 농도를 조절하여 토양을 개질함으로써 펜톤유사반응의 최적 조건을 도출하고자 하였고 또한 오존반응을 펜톤 유사반응과 조합하여 동시에 오염토양에 적용함으로써 복합적 고도산화 공법의 적용 가능성을 시험하고자 하였다. 본 연구결과는 토양오염 복원을 위하여 개선된 복합적 고도산화기법의 적용 가능성을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 연구에 사용된 토양은 증류수로 세척한 사양토를 사용하였다. 사양토는 실험목적에 맞게 계획된 농도로 인위적으로 오염시킨 후 사용하였으며, 일정하게 오염시키기 위하여 디젤 정량을 헥산에 용해시킨 후 토양에 부어 충분히 혼합을 하였다. 인공오염토양을 제조 할 때 풍화된 토양을 모사하기 위해 3주 이상 자연 환경에 노출하여 헥산과 비교적 낮은 분자량의 탄화수소를 배제하고 실험을 실시하였다(최희철 외, 1997). 실험에 사용된 2가철(Fe²⁺)

Table 1. Physicochemical properties of the soil examined this study

Characteristic	Value
Sand (0.02 ~ 2 mm: %)	77.9
Silt (0.002 ~ 0.02 mm: %)	8.7
Clay (< 0.002 mm: %)	13.4
CEC (meq/100 g)	3.82
pH	7.7
Fe (wt%)	1.82
Organic contents	Non Detected

은 FeSO₄(Junsei Chemical, Japan)을 이용하였고 과산화수소(30 wt%, Junsei Chemical, Japan)는 농도별로 희석하여 사용하였으며 사용된 모래의 특성은 Table 1에 나타난 바와 같다.

2.2. 실험 방법

토양은 1%(w/w), 3%(w/w), 5%(w/w)의 디젤로 오염시켜 사용하였고, 오존은 오존발생기(Lab 020, Ozone-engineering, Korea)를 이용하여 순산소 유량을 2 L/min으로 조절하여 약 3.5 g/h로 발생시킨 오존을 증류수에 포기하여 포화된 오존수를 토양에 주입하는 방법으로 실험하였다. 과산화수소의 주입농도는 기 연구된 최적농도 5%(v/v)를 이용하였다(최석중 외, 2004). 오존의 자산화, 오존에 의한 토양 내 디젤제거 효율, 2가철과 과산화수소 그리고 오존수 주입에 따른 토양 내 디젤 제거 효율 등은 Eq. 1과 같이 Pseudo-first order equation(가 일차 반응 속도식)을 이용하여 해석하였다.

$$C_t = C_0 \cdot \text{EXP}(-k \cdot t) \tag{Eq. 1}$$

여기서, C_t: 시간에 따른 잔류 TPH농도, C₀: 초기 TPH의 농도, k: 분해속도상수, t: 단위시간을 나타낸다. 시료 중 유류의 추출 및 분석은 토양오염공정시험법(환경부, 2001)에 준하여 실시하였다. 유류의 분석은 Gas Chromatography(Shimazu 17A-GC, Japan)를 사용하였으며 분석 조건은 Table 2에 나타내었다. 오존의 측정에는 Indigo solution에 포집시켜 측정하는 Indigo colormetric method (APWA, 2005)를 이용하여 오존의 잔류농도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 오존의 생성 및 자기분해

오존의 산화력은 수처리분야에 다양하고 광범위하게 사용되고 있으며, 수중에서 오존의 자기분해에 대한 연구가

Table 2. The condition of gas chromatography for diesel analysis

Item	Condition
Model	Shmazu-17A
Column	HP-5
Injection Temp.	300°C
Detector Temp.	320°C
Oven Temp.	50 ~ 320°C
Initial Temp.	50°C (2 min)
Slope	8°C/min
Final Temp.	320°C (10 min)
Carrier Gas	N ₂
Flow Rate	2 mL/min
Detector	FID (Flame Ionization Detector)
Injection Volume	1 µL

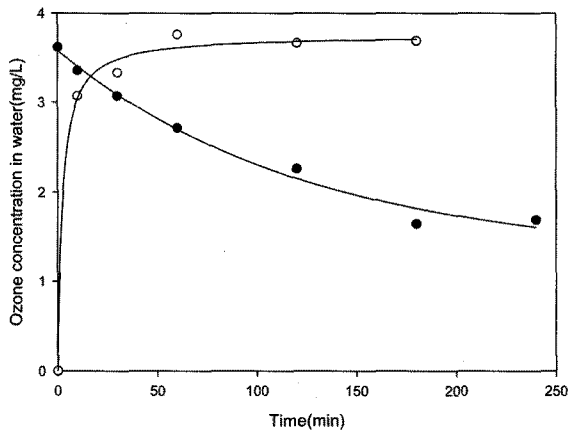


Fig. 1. Saturation and self-decomposition of ozone in the distilled water.

비교적 많이 이루어져 있다. Kuo et al.(1977)에 의하면 오존자가분해에 의한 평균 반감기는 약 40분 정도로 보고하고 있으나 실험장비 및 조건에 따라 실제 오존의 용해율(solubility)과 반감기 등은 차이가 있으므로 실제 오존자가 분해율을 측정하여 Fig. 1에 나타내었다. 본 실험에 사용된 오존발생기의 순산소 유량은 2 L/min으로 본 오존 발생기의 성능으로 평균 오존의 발생량은 약 3.5 g/h이다. 증류수에 오존이 포기되어 포화농도를 이룰 때와 자가분해율을 동시에 측정한 결과 Kuo et al.(1977)의 보고에 비하여 반감기 시간이 약 4.5배정도 늘어난 약 182분으로 본 실험에서 수중의 오존의 반감기 시간이 더 길게 나타났다. 오존의 포화농도에 이르는 시간은 약 1시간 정도 소요되었으며 3시간 이상 계속되는 오존의 포기에도 수중의 오존 농도의 변화는 없었다. 본 실험조건에서의 포화 오존농도는 약 3.5 mg/L로 나타나는 것을 Fig. 1을 통해 확인 할 수 있었다.

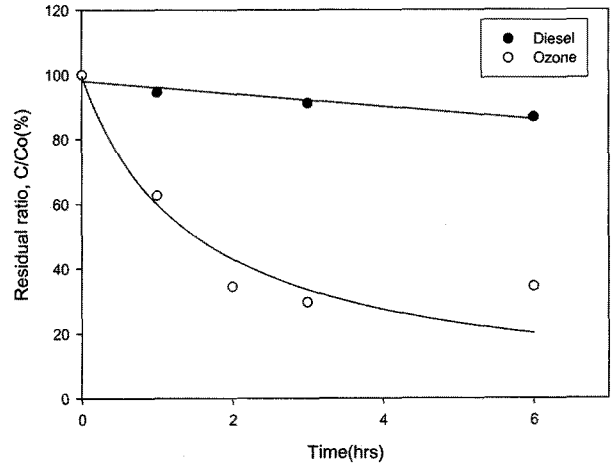


Fig. 2. Diesel and ozone concentration with Initial diesel concentration was 1%.

3.2. 오존의 디젤분해

3.5 mg/L의 농도를 가지는 오존수에 의한 디젤 1%(w/v)의 분해율과 시간 별 오존의 농도변화를 Fig. 2에 나타내었다. 실험결과, 6시간동안 약 10%의 디젤농도 감소가 있었으며, 초기농도 3.5 mg/L인 오존수의 반감기는 약 92분으로 나타났고, 2시간 이후 오존의 농도 변화는 미미하게 나타났다. 오존수에 의한 디젤 제거능력은 반응시간 6시간 동안 약 10% 정도로 이론적으로 알려진 강한 오존의 산화력($E^0 = 2.07 V$)을 고려하였을 때 예상보다 낮은 산화력을 보였다. 이는 용액 내 포화오존농도가 3.5 mg/L로 한정된 오존의 용존성으로 인해 디젤의 분해를 위한 충분한 오존의 공급이 제한적이었기 때문일 것으로 판단되었다. 따라서 용존성 오존만으로 디젤로 오염된 토양을 복원하는 것을 어려울 것으로 판단하였으며 추가적으로 오존의 공급을 위해서는 기존의 연구발표된 최희철 외(2000)의 결과에서와 같이 기상으로서 오존의 추가공급과 같은 방법이 고려되어야 한다고 보여진다. 단, 기상으로서 오존의 공급은 인근 환경으로 오존가스의 유출 등으로 인한 민원 발생의 소지 등을 고려하여 본 연구에서는 액상으로서의 공급만으로 실험을 실시하였다.

3.3. 토양개질을 이용한 펜톤 유사반응의 적용가능성

펜톤 산화반응은 과산화수소와 2가철(Fe^{2+})의 반응을 이용하는 것으로 유기물의 분해에 매우 효과적이라고 알려져 있다(Watts and Dilly, 1996). 2가철은 토양 또는 지하수에 자연적으로 존재하거나 또는 과산화수소와 함께 지중으로 유입되어 $OH \cdot$ (hydroxyl radical; 수산화 라디칼)을 형성하여 유기화합물질을 산화 시킨다. 따라서 기

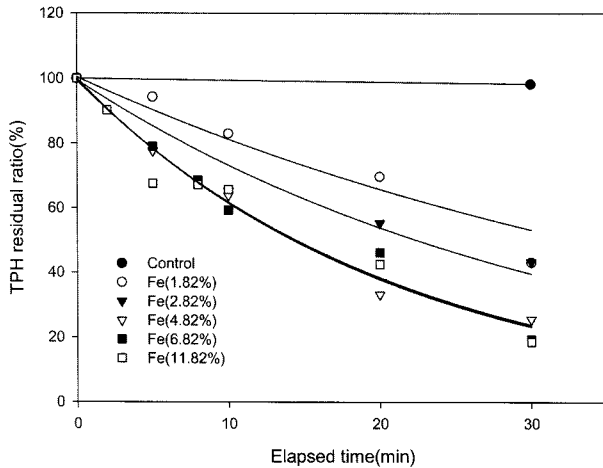


Fig. 3. Diesel concentration according to various iron concentration of the soil in the presence of 5% hydrogen peroxide. Initial diesel concentration was 1%.

보고된 최석중 외(2004)는 펜톤유사반응에서 과산화수소의 최적농도 5%를 이용하고 다양한 농도의 2가철을 토양에 주입하여 토양을 개질하고자 하였고 이때 디젤의 분해양상을 분석함으로써 최적의 철 주입농도를 산출하고자 하였다. 2가철은 황산철용액의 형태로 토양 내 고르게 주입하였으며, 초기 토양 내 철의 농도가 1.82%의 함량을 가지고 있는 것을 감안할 때 실제 토양 내 철의 농도는 1.82, 2.82, 4.82, 6.82, 11.82%(w/w)이다. 각 조건에서 디젤의 분해양상을 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3의 실험결과를 Eq. 1에 제시된 1차반응식으로 회귀분석하였으며 이 때 산출된 분해속도 상수를 Table 3에 나타내었다. 과산화수소만이 존재할 때 디젤의 분해는 없었으며 과산화수소와 철이 있을 때 펜톤유사반응이 나타나며 디젤의 분해가 시작되었다. 토양 내 철의 농도가 6.82% 이상일 때 디젤의 제거효율 증가는 미미하였다. 이러한 결과는 한정된 과산화수소농도(5%) 때문에 많은 양의 2가철이 과산화수소와 반응하지 못하고 펜톤반응의 연쇄종료반응(Chain termination)으로 진행되었다고 보고된 기존의 연구결과와 유사한 양상을 나타낸다(Neyens and Baeyens, 2003).

Fig. 4는 Table 3에 정리된 펜톤유사반응에서 토양 내 철의 함유농도에 따른 디젤 제거 분해속도 상수(k) 값의 상관관계를 나타낸 것이다. 앞서 기술한 바와 같이 토양 내 철의 농도의 증가에 비하여 반응속도 상수는 일정농도 이후 증가가 미미함을 볼 수 있는데, 이러한 상관성을 이용하여 과산화수소 5%를 주입하여 디젤 제거 시 최적의 철 주입농도를 산출한 결과 약 5%가 됨을 확인할 수 있었다.

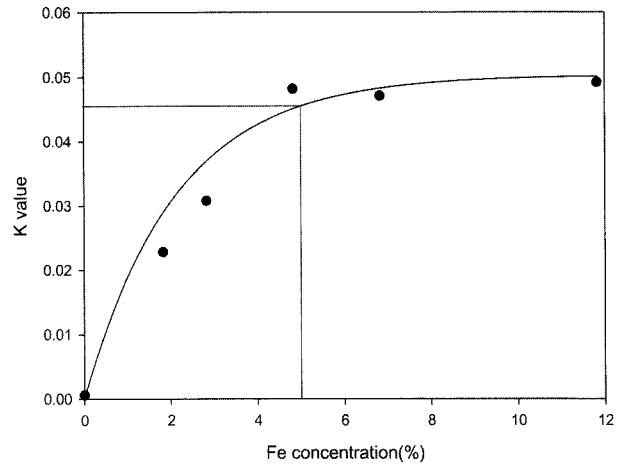


Fig. 4. Relation between pseudo-first order decomposition rate constant (k) and Fe concentration in the presence of 5% hydrogen peroxide.

Table 3. Coefficients of various Fe⁺⁺ concentration

Concentration of Fe ⁺⁺ (%)	Coefficient (κ)	R value
0.00	0.0006	0.9624
1.82	0.0228	0.9821
2.82	0.0308	0.9916
4.82	0.0482	0.9988
6.82	0.0471	0.9949
11.82	0.0492	0.9901

3.4. 펜톤유사반응과 오존을 첨가한 디젤의 분해속도

복합적 처리공정의 일환으로 펜톤유사 반응에서 산출된 과산화수소농도 5%와 철의 최적농도 5%를 적용하고 이와 더불어 오존의 첨가한 상태에서 토양에서 디젤의 분해양상을 살펴보았다. 1%의 디젤로 오염된 토양에 3.5 mg/L의 포화오존수만을 이용하여 토양 내 디젤 제거효율을 나타낸 결과와 포화오존수와 5% 과산화수소를 동시에 주입하여 철함량 1.82%와 5%에서 토양 내 디젤 제거양상을 비교하여 보았다(Fig. 5). 오존이 첨가되었을 때 디젤의 제거효율은 펜톤유사반응을 유도한 과산화수소와 철을 이용한 조건보다 빠른 디젤의 분해양상을 관찰할 수 있었으며 각 조건에서 상관관계를 살펴보기 위해 1차반응식을 이용하여 분해속도 상수값을 비교하여 보았다. Eq. 1을 이용하여 회귀분석 한 결과를 Table 4에 요약하였다.

1.82%의 철함량을 가지는 디젤오염 토양에 포화오존수를 주입한 경우 분해상수 값이 0.0064 min⁻¹로 분석된 반면 포화오존수를 5%의 과산화수소와 함께 주입한 경우 0.0228 min⁻¹의 분해속도 상수 값을 나타내었다. 그러나

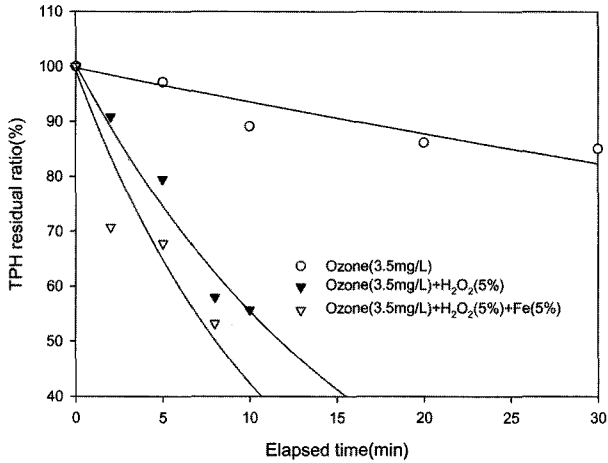


Fig. 5. Diesel residual ratio in the soil with H₂O₂ (5%), various Fe²⁺ concentration and ozone treatment, Initial diesel concentration was 1%.

Table 4. Comparison of pseudo-first order reaction constant under various oxidation conditions

Consist of oxidant and catalyst	K-value	R value
O ₃ + Fe ⁺⁺ (1.82%)	0.0064	0.9609
O ₃ + H ₂ O ₂ (5%) + Fe ⁺⁺ (1.82%)	0.0592	0.9925
O ₃ + H ₂ O ₂ (5%) + Fe ⁺⁺ (5%)	0.0850	0.9688

5% 과산화수소와 5%의 철 함량을 가지는 디젤오염토양에서 디젤의 분해상수 값은 0.0850 min⁻¹으로 더욱 빠른 디젤의 분해가 진행되고 있음을 알 수 있다. 이는 포화오존수가 첨가되지 않고 5% 과산화수소와 5%의 철 함량을 가지는 디젤오염토양에서 산출된 분해속도 상수 값인 0.0450 min⁻¹보다 약 190% 빠른 디젤의 분해를 기대할 수 있다는 것이다. 따라서 본 실험결과에 나타난 결과를 보면 철염을 추가 주입하고 과산화수소를 주입하였을 때의 디젤 분해반응은 촉진 되지만 과산화수소와 철염을 주입한 상태에서 오존을 추가로 주입하였을 때의 디젤의 분해는 더욱 가속된다는 결론을 얻을 수 있었다.

Neyens and Baeyens(2003)에 의하면 적절한 과산화수소의 공급은 라디칼의 생성을 촉진하지만 과잉의 과산화수소 공급은 오히려 OH·의 scavenger역할을 하여 산화력을 감소시킨다고 보고되었다. 따라서 본 실험은 포화오존수의 추가 공급에 있어서 OH· scavenger의 작용을 염려했으나 실험결과 오존수의 공급은 반응효율을 향상시키는 것으로 나타났다. 본 연구에서 주입된 오존은 오존수의 형태로 평균 포화농도가 3.5 mg/L인 점을 감안할 때 Rosenfeldt et al.(2006)이 사용한 오존농도(1 mM)에 비하여 약 1/14배의 농도로 주입되어 OH·의 생성량이 많지

않아 과산화수소의 scavenging 영향을 크게 받지 않았을 것으로 사료되나, 현재 실험에서 사용된 농도를 초과하는 과포화오존수를 이용할 경우 오존농도별 실험을 통해 오존농도에 의한 라디칼의 생성 및 소멸에 관한 보다 정확한 실험이 더 진행되어야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

디젤에 오염된 토양을 처리하는 방안으로 복합적 고도산화공정(AOPs)을 적용하는 연구를 수행하였다. 복합적 고도산화공정(AOPs)으로는 과산화수소와 철을 사용하는 펜톤반응과 오존(Ozone)을 이용하였으며, 디젤 제거의 평가는 오존자체의 토양내 디젤제거 효율, 펜톤반응과 오존을 혼합한 방법으로 효율을 검토하였다. 토양 내 디젤제거를 위한 결과들을 종합하여 다음과 같이 요약하였다.

1. 본 실험에 사용된 오존발생기의 평균 오존 발생량(3.5 g/hr)으로 오존의 포화농도와 자기분해율을 조사한 결과, 오존의 재포기 1시간 이후부터 약 3.5 mg/L의 평형오존농도를 유지하는 것을 알 수 있었으며, 오존의 자기분해율의 반감기는 약 180분 정도로 측정되었다.

2. 오존의 디젤제거 효율을 검토하기 위해 수중에 디젤을 1%를 오염시키고, 3.5 mg/L의 오존수를 주입하여 디젤의 농도변화를 모니터링한 결과 최종반응 시간(6시간)까지 디젤의 제거율은 약 10% 정도 였으며, 오존의 잔류율은 약 2시간 정도에 30% 정도의 잔류율을 보였다.

3. 토양 내 디젤제거를 위한 펜톤유사반응을 향상시키기 위해 황산철(FeSO₄) 수용액으로 1.82%에서 11.28%의 토양의 철함량을 높인 상태에서 디젤의 분해속도 상수(k) 값을 측정해 본 결과 5%의 2가철을 추가 주입할 때가 5%의 과산화수소가 있는 상태에서 약 5% 이상 2가철 농도가 첨가 되었을 때 최대 분해속도가 나타났으며 이를 통하여 적정 철의 주입농도는 5%이라고 판단하였다.

4. 과산화수소와 철염이 존재하는 상태에서 포화오존수를 공급하였을 때 디젤의 분해속도가 가장 빠르게 나타났으며 5%의 과산화수소와 5%의 철염을 공급한 상태에서 포화오존수가 공급되지 않은 상태보다 포화오존수가 공급되었을 때 처리속도가 약 190% 향상되었다.

사 사

본 연구는 2008년 서울지역환경기술개발센터의 산학연 기술개발과제 지원으로 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김광수, 유도윤, 최희철, 정문경, 1998, 유류오염토양 현장복원기술 개발, 건설기술연구원.

김지영, 조정숙, 2006, 근권세균과 식물을 이용한 유류 오염 토양의 생물복원, 한국미생물생명공학회지, **34**(3), 185-195.

박용하, 이승희, 1995, 토양환경보전을 위한 오염방지기준 및 관리대책, 한국환경기술개발원.

박준석, 2006, 펜톤산화공정을 이용한 난분해성 오염토양의 처리, 한국지반환경공학회, **7**(2), 28-33.

윤상희, 2005, 2004년 특정토양오염유발시설 설치 및 관리현황 보고, 환경부.

이종득, 박정구, 서창일, 최석준, 정현석, 인병훈, 박정익, 김락현, 고병익, 이창환, 윤선정, 여영도, 주완호, 윤여민, 박인선, 손정은, 2007, 토양오염정화방법 가이드라인, 환경부, 2-11.

최석중, 최현진, 박진희, 이태진, 2004, 펜톤 유사반응을 이용한 디젤 오염토양의 처리와 잔류 과산화수소가 생물학적 처리에 미치는 영향, 대한환경공학회지, **26**(3), 334-339.

최희철, 유도윤, 임형남, 김광수, 2000, Ozone에 의한 유류오염토양 복원 연구(II): 토양 킬립상에서의 오존산화, 대한환경공학회지, **22**(10), 1825-1832.

최희철, 지재성, 유도윤, 1997, 탄화수소화합물로 오염된 지반환경복원기술 개발연구, 한국건설기술연구원.

APWA, AWWA, WPCF., 2005, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 21th ed.

Bentran, F.J., Gonlez, M., Rias, F.J., and Alvarez, P., 1998, Fenton reagent advanced oxidation of polynuclear aromatic hydrocarbons in water, *Wat. Air. Soil Pollution*, **105**(3-4), 685-700.

Gates D.D. and Siegrist R.L., 1995, In situ chemical oxidation of polychloroethylene using hydrogen peroxide, *J. Envir. Eng.* **121**(9), 639-644.

Kuo. C.H., Li. K.Y., Wen. C.P, and Weeks. J.L.Jr., 1977, Absorption and decomposition of ozone in aqueous solutions. *Am. Inst. Chem. Sym. Ser.* **73**(166), 230-241.

Mader, B.T., Uwe-Goss, K., and Eisenreich, S.J., 1997, Sorption of nonionic, hydrophobic organic chemicals to mineral surface, *Envir. Sci. Tech.* **31**(4), 1079-1086.

Neyens, E. and Baeyens, J., 2003, A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique, *J. Haza. Mat.* **B98**, 33-50.

Rosenfeldt, E.J., Linden, K.G., Canonica, S., and Gunten, U.V., 2006, Comparison of the efficiency of OH radical formation during ozonation and the advanced oxidation processes O₃/H₂O₂ and UV/H₂O₂, *Wat. Res.* **40**, 3695-3704.

Tsai, T.T., Sah, J., and Kao, C.M., 2009, Application of iron electrode corrosion enhanced electrokinetic-Fenton oxidation to remediate diesel contaminated soils: a laboratory feasibility study, *J. Hydro.* **380**(1-2), 4-13.

Watts, R.J. and Dilly, S.E, 1996, Evaluation of iron catalysts for the Fenton-like remediation of diesel-cotaminated soils, *J. haz. mat.* **51**(1-3), 209-224.