

전력 송전소내 PCP 오염토양 복원에 관한 연구

강구영*·D.K. Stevens*

한국외국어 대학교 환경학과

* Dept. of Civil and Environmental Engineering
Utah State University

요약문

미국 워싱턴주 Vancouver 시에 있는 Bonneville 전력 송전소내 1987년 11월과 1988년 4월 2회의 PCP 유출사고로 약 91톤 PCP 오염토양을 55 gallon 드럼에 보관 후 효과적인 처리 기술개발을 유타주립대학과 미전력연구소 (EPRI)와 1991년부터 공동 연구 착수 하여 1995년에 PCP 오염토양을 heme과 과산화수소 촉매 반응 기작을 이용하여 오염토양을 복원 하였다.

Heme과 과산화수소 촉매반응에 의한 PCP 오염토양 처리시 8 시간내 85% PCP가 분해 되고, 33일후 95% PCP가 분해 되었다. 또한 오염토양내 PCP 이외 존재하고 있는 염소화 합물도 간접적으로 분해가 이루어 지고 있음을 확인 하였다. 그러므로 heme에 의한 처리 기술은 전 세계적으로 광범위하게 분산된 PCP 오염토양, PCP 유출사고로 오염된 토양 복원 기술로 제시 할수 있다고 사료된다.

I. 서론

Pentachlorophenol (이하 PCP)는 전 세계적으로 목재 저장시 많이 사용되는 유기성 염소 화합물로 1978년 미국내 목재 산업에서는 총 23,000톤 중 약 80%를 목재보호를 위하여 사용 하였다¹⁾. 또한 PCP는 목재 보호에 사용할 뿐만 아니라, 약 578종 fungicides, bactericides, herbicides, algicide 및 insecticides 제조시 포함된 물질로 미국 환경청은 PCP의 독성과 발암성 때문에 특정 오염물질로 규정되어 있다.^{2,3,4,5)}

PCP 오염토양은 자원보전 및 재생법 (RCRA) F027 폐기물로 분류되며, 현재 법령에서 허가된 처리 기술은 소각처리 기술이 허가되어 있다^{6,7)}. 그러나 현재 소각 기술로 PCP 오염토양 소각시 허가과정이 매우 어려운 실정 이다. 미국 워싱턴주 Vancouver 시에 있는 Bonneville 전력 송전소는 1987년 11월과 1988년 4월 2회의 PCP 유출사고가 발생되었고, 위의 RCRA 법의 규제에 소각허가의 어려움으로 약 91톤 PCP 오염토양을 55 gallon 드럼에 보관 후 효과적인 처리 기술개발을 유타주립대학과 미전력연구소 (EPRI)와 1991년부터 공

동 연구 착수 하여 1995년에 PCP 오염토양 복원을 완료 하였다.

본 논문은 Bonneville 전력 송전소내 보관된 PCP 오염토양을 미 전력 연구소에서 공급 받아 heme과 과산화수소를 이용하여 복원한 복원기술을 제시 하고자 한다.

II. 이론

Heme은 prophyrin 구조 중심부에 3가 철을 지닌 화합물이고, 과산화 수소와 반응하여 유기성 물질을 유기성 라디칼로 전환후 연속적으로 촉매 분해되어 완전산화 되고 있다. Heme과 과산화수소 촉매 반응기작은 다음 식 1, 2, 3과 같다^{8,9)}.



이 촉매 기작에서 과산화 수소는 전자 수용체로 분해기작에 있어서 제한 되고, 연속 체인 반응에 의하여 유기성 물질이 완전산화 되고 있다. 강구영외 3인⁸⁾은 heme 촉매 기작에 의하여 방사선 동위원소인 ¹⁴C PCP, 및 B[a]P 난분해성 유해오염물질이 각각 20% 와 7% 완전 산화되어 반응 24시간에 ¹⁴CO₂로 전환되고 있음을 확인 하였다. 또한 Stevens외 3인¹⁰⁾은 PCP 오염토양은 heme과 과산화수소와 반응후 약 8시간내 80% 이상 오염토양에서 제거 되고 있음을 확인 하였다.

III. 재료 및 방법

미국 워싱턴주 Vancouver시 Bonneville 전력 송전소내 보관된 PCP 오염토양은 미국전 력연구소에서 공급받아 대기중에서 건조 시키 뒤 0.177 mm sieve로 체걸름 후 균일한 오염 토양 준비하였다. 대기 건조 및 체걸름을 한 PCP 오염토양 500 g을 3개의 스테인레스 팬 에 넣고 대조구 실험은 토양에 수분 함량 50%로 조절하여 분해능을 조사 하였고, heme 과 과산화수소에 의한 PCP 분해는 2개 스테인레스 팬을 이용하여 heme 과 과산화 수소 투여 량 변화하여 균일 혼합 뒤 33일동안 분해능을 조사 하였다.

시료는 약 2 g을 채취후 즉시 catalase 1 mL를 첨가하여 오염토양내 잔류하고 있는 과 산화수소를 완전 분해하여 heme 촉매 반응을 중지하였다. 반응이 중지된 오염토양은 대기 건조한 뒤 정확한 중량을 측정하고, U.S. EPA Method 3550A 방법에 따라 오염토양내 잔류 PCP를 추출하여 분석 시료로 사용 하였다. 분석 시료는 GC (HP 5880A)와 electron capture detector (ECD)로 분석 하였고, 이때 사용한 칼럼은 Rtx-5 칼럼을 사용 하였다.

IV. 결과 및 고찰

본 연구전에 PCP 오염토양 처리를 위한 최적 heme과 과산화수소 투입량을 조사한 결과 최적 분해 효율을 나타낸 heme과 과산화수소 투입량은 오염토양 kg당 각각 8.75 g heme과 26.3 g 과산화수소가 요구되었고, 최적 분해 효율보다 약 10% 작은 분해효율에 필요한 heme과 과산화수소량은 오염토양 kg당 각각 4.4 g과 23.8 g이었다. 초기 PCP 오염토양 농도는 kg 토양당 987 ± 152 mg PCP 이었고, 위에서 조사된 heme과 과산화수소를 투입후 균일하게 혼합한 뒤 33일 동안 오염토양내 잔류 PCP를 분석한 결과는 Fig. 1과 같다.

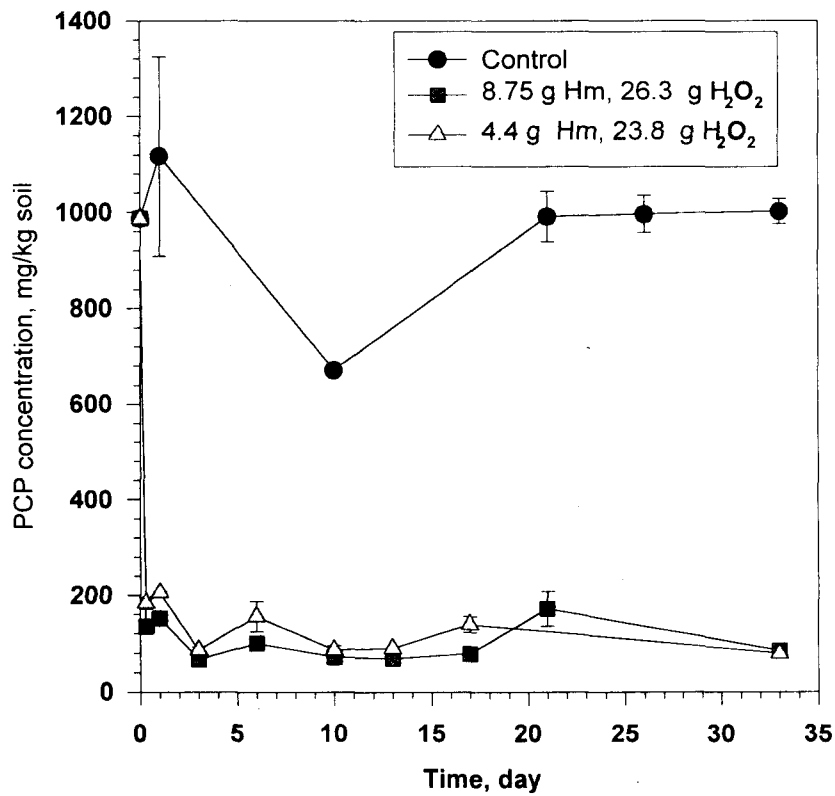


Fig. 1. PCP degradation by the addition of heme and hydrogen peroxide in the pan study

PCP 오염토양을 heme과 과산화 수소에 의한 분해는 매우 빠르게 진행되고 있음을 보여 주고 있다. 특히 8.75 g heme과 26.3 g 과산화수소로 처리시 8시간에 오염토양내 초기 PCP 농도 보다 약 86%가 제거 되었고, 4.4 g heme과 23.8 g 과산화 수소에 의한 처리 효율은 약 83% 정도로 8.75 g heme 투여량 보다 3% 정도 분해율이 작으나, 95% 신뢰구역 내 통계적 차이가 없었다. 이 결과 작은양 heme 농도로 PCP 오염토양 처리 효율이 고농도 heme 사용할 때와 같은 처리 효율이므로 경제성에 있어서 중요성을 보여주고 있다. Heme과 과산화수소에 의한 PCP 오염토양은 33일 반응후 95% 분해효율로 PCP 유출사고 또는 고농도 PCP 오염토양 처리에 효과적인 기술로 평가 할수 있다.

또한 고농도 heme과 과산화수소에 의한 PCP 오염토양에 대한 토양분석을 한 결과 초기 오염토양과 33일 분해후 최종 오염토양에 대한 특성은 Table 1 과 같다. Heme과 과산화수소로 오염토양을 처리후, 처리전 PCP 오염토양내 1.8% 유기물 함량 (Organic content) 은 0.9%로 감소 하였다. 이 결과는 오염토양에서 PCP 뿐만 아니라 heme 촉매반응에 의하여 분해가능한 유기물 분해도 일어나고 있음을 간접적으로 알수 있다. 또한 heme 처리전 오염토양내 염소 농도는 4.1 meq/kg에서 heme 촉매 처리후 33.3 meq/kg으로 증가 되었고, PCP 초기 농도는 987 에서 35 mg/kg로 95% 가 분해 되었음을 알수 있다. 만약 오염토양 초기 PCP 987 mg/kg가 완전히 광물화가 되었다면, 이론적으로 오염토양은 촉매반응 후 19 meq/kg 염소가 잔류 되어야 한다. 그러나 본 연구 결과에서는 잔류염소는 33 meq/kg로 조사 되었다. 이 결과는 heme과 과산화수소 촉매반응에 의한 PCP 오염토양 처리시 토양 내 존재하고 있는 다른 염소화합물이 분해되어 염소 농도가 증가 하였다.

Table 1. Soil properties for the PCP contaminated soil by the soil testing laboratory at Utah State University

오염토양 특성	단위	처리전 오염토양	처리후 오염토양
PCP	mg/kg	987	35
pH		6.6	6.2
OC	%	1.8	0.9
Cl	meq/kg	4.1	33.3
Sand	%중량비	13	14
Silt		74	69
Clay		13	17
Texture		Silty Loam	

V. 결론

Heme과 과산화수소 축매반응에 의한 PCP 오염토양 처리시 8 시간내 85% PCP가 분해되었고, 서서히 분해가 진행되어 33일후 95% PCP가 분해되었다. 또한 오염토양내 PCP 이외 존재하고 있는 염소화합물도 간접적으로 분해가 이루어 지고 있음을 확인 하였다. 그러므로 heme에 의한 처리 기술은 전 세계적으로 광범위하게 분산된 PCP 오염토양, PCP 유출 사고로 오염된 토양 복원 기술로 제시 할수 있다.

참고문헌

1. Mikesell, M.D. and Boyd, S.A. Complete reductive dechlorination and mineralization of pentachlorophenol by anaerobic microorganisms, *App. and Environ. Microbiol.*, 52:861-865 (1986).
2. Crosby, D.G., Environmental chemistry of pentachlorophenol, *Pure and Appl. Chem.*, 53:1051-1080 (1981).
3. Saber, D.L. and Crawford, R.L., Isolation and characterization of *Flavobacterium* strains that degrade pentachlorophenol, *Appl. and Environ. Microbiol.*, 50:1512-1518 (1985).
4. Keith, L.H. and Telliard, W.A., Priority pollutants. A perspective view., *Environ. Sci. and Technol.*, 13:416-423 (1979).
5. Bauchinger, M/J., Dresp, E., and Hauf, R., Chromosome changes in lymphocytes after occupational exposure to pentachlorophenol (PCP), *Mutation Res.*, 102:83-88 (1982).
6. Bureau of National Affairs, Current developments, *Environ. reporter.*, pp. 1553 (1990).
7. Code of Federal Regulation, "40 CFR Paragraph 261.31", May 8 (1992).
8. Kang, G., Jung, J, Park, K, and Stevens, D.K., Mineralization of hazardous chemicals by heme reaction, *Emerging Technologies in hazardous waste management VII*, American Chemistry Society, pp. 407-413 (1995).
9. 강구영·박갑성, Heme 과 과산화수소의 축매 반응기작과 유해오염물질의 완전산화능, *대한환경공학회지*, 18(4):399-405 (1996).
10. Stevens, D.K., Chen, S., and Kang, G., "Pentachlorophenol (PCP) degradation using heme and hydrogen peroxide", *Chemical Oxidation Technology*, 89-119 (1993).