

## 환경일반-P8 극초단파를 이용한 유류 오염 토양의 정화

이기환, 이태호<sup>1</sup>, 전기석<sup>\*</sup>, 김종혁<sup>2</sup>, 이승구, 한기석<sup>3</sup>  
공주대학교 화학과, <sup>1</sup>(주)한생화학제품, <sup>2</sup>한국화학연구원,  
<sup>3</sup>한국지질자원연구원

### 1. 서론

2000년 3월 21일 환경부는 전국 9,786개소 석유류 저장 시설에 대한 토양 오염도를 조사한 결과 23.4 %에서 기름유출이 감지되었으며, 이중 64개소 유류저장소에서는 토양 오염우려기준 (80 mg/kg)을 초과하였다고 밝혔다. 또한 토양오염우려기준을 초과한 대부분의 유류저장시설은 주유소로 39개소에 달하였으며 나머지 24개소는 산업시설로 밝혀졌다. 이러한 오염 토양의 복원기술은 용매를 이용하는 방법과 계면활성제를 이용하는 방법 등이 있으며, 그 외에 생물처리법이나 증기 추출법, 저온 열처리 및 고온 열처리 방법 등이 있다. 하지만 처리시간이나 효율성 및 응용성에 있어 여러 가지 문제점들을 안고 있어 보다 경제적이면서 신속하고 실용적인 오염물질 제거방법의 개발이 요구되고 있다. 석유 화학제품으로 인한 토양 오염을 분석하는데 있어서 일반적인 방법으로는 TPH (total petroleum hydrocarbon)성분을 검출하는 것이며, 토양에서 석유화학제품을 분석하는 가장 일반적인 표준 검사 방법으로는 EPA법 SW 846 3540과 9071 등에 규정된 soxhlet 추출법과 3550의 sonication 방법 등이 잘 알려져 있다.

본 연구에서는 유류에 오염된 토양을 극초단파와 용매를 사용하여 복원하는 것에 관한 기초 조사를 위한 실험을 수행하였다.

### 2. 재료 및 실험 방법

토양은 채취 10일 전부터 비가 오지 않는 것을 확인 한 후 2000년 4월 초순 경 충남 공주시 인근의 야산에서 지표면의 유기물인 낙엽 등과 표층 (지표에서 심도 10 cm)을 제거한 후 심토를 채취하였다. 이 토양의 함수율과 작열감량 시험을 실시하여 유기탄소함량과 유기물 함량을 계산하였다. 또한, 토양오염공정시험법에 준하여 ICP-AES (JY-38Plus, Jobin Yvon, France)를 이용한 중금속 시험을 실시하였으며, XRD (PW1710, PHILIPS, NETHERLANDS)와 XRF (PW1400, PHILIPS, NETHERLANDS)를 이용하여 주요 구성 광물과 화학성분을 분석하였다.

오염 토양은 토양 20 g에 국내 S사의 kerosene (등유) 10 mL씩을 첨가하여 잘 섞은 후 마개를 막고 para film과 teflon tape으로 밀봉하여 토양 매트릭스와 kerosene의 충분한 상호작용을 위하여 96 시간 동안 실온에서 방치하였다. 방치 종료 후 soxhlet 추출법과 극초단파를 이용한 추출법으로 acetone (99.5 %, DUKSAN Pure Chemical Co., Ltd., Korea)과 hexane (95 %, Oriental Chemical Industries, Korea), 그리고 acetone과 hexane을 일정 비율로 섞은 혼합 용액을 사용하여 유류를 추출하였다. 그리고 유류의 회수율을

GC (HP-5890 series II GC, Hewlett Packard, USA)와 GC-MS (HP-5890 series II GC/HP 5972 MSD, Hewlett Packard, USA)를 사용하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

토양의 수분 함량은 약 16 %, 결정수분은 1.30 %, 유기 탄소 함량은 0.91 %로 각각 관찰되었으며 탄소를 제외한 유기물은 0.65 %로 나타났다. 토양의 중금속 용출 시험 및 전체 함량 시험 결과는 유해 중금속의 함량이 낮은 청정한 토양으로 판단할 수 있었다. 또한 토양의 화학성분은  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 주성분인 점토질 토양으로 확인되었으며, Quartz ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ), Albite ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ), Orthoclase ( $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ), Muscovite ( $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )와 Kaolinite ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )가 주요 광물로 조사되었다.

토양 입자의 크기에 따른 soxhlet 추출법과 극초단파 추출법은 각각 다른 특성을 보였는데, soxhlet 추출법의 경우는 토양의 입자 크기에 크게 의존하지 않지만, 극초단파 추출법의 경우 토양의 입자 크기가 증가할수록 회수율이 증가하는 의존성을 가지는 것으로 관찰되었다. 그리고, 극초단파 추출법이 soxhlet 추출법에 비하여 약 1/3 정도의 용매로 추출이 가능하며, 1분 내·외의 추출 시간으로 soxhlet 추출법에 의한 kerosene의 회수율과 유사하거나 또는 그 이상의 회수율을 얻을 수 있는 것으로 조사되었다. 이는 극초단파 에너지를 흡수하는 용매와 토양속에 존재하는 수분과 같은 성분들이, 토양과 kerosene간의 흡착을 손쉽게 용리시키는 작용을 하여 빠른 시간에 적은 용매를 사용하여 오염 토양으로부터 kerosene을 효율적으로 제거하는 것으로 추정된다.

### 4. 요약

현재 오염 토양의 복원기술은 여러 가지 문제점들을 안고 있어 보다 경제적이면서 신속하고 실용적인 오염물질 제거방법의 개발이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 유류에 오염된 토양을 극초단파와 용매를 사용하여 복원하는 것에 관한 기초 조사를 위한 실험을 수행하였다. 그 결과 유류에 오염된 토양을 극초단파를 이용하여 정화를 할 경우 토양 입자의 크기도 고려를 하여야 할 것으로 사료된다. 그리고, soxhlet 추출법과 극초단파 추출법을 비교하였을 경우 soxhlet 추출법에 비하여 약 1/3 정도의 용매로 추출이 가능하며, 1분 내·외의 추출 시간으로 soxhlet 추출법에 의한 kerosene의 회수율과 유사하거나 또는 그 이상의 회수율을 얻을 수 있는 것으로 조사되었다.

### 감사의 글

본 연구는 한국생산기술연구원에서 시행한 청정생산기술사업의 위탁기술개발사업 결과이며 이에 깊은 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

- Keith, L. H., 1998, *Compilation of EPA's -Sampling and Analysis Methods-* 2nd ed., CRC press, Inc.
- Alvarez, P. J. J. and T. M. Vogel, 1991, *Appl. Environ. Microbiol.*, 57(10), 2981.