

초임계 이산화탄소를 이용한 토양의 크기에 따른 토양 내 중금속 제거 효율 비교

이정근, 유재룡, 성진현, 박익범*, 나경호*, 박광현
경희대학교, 경기도 용인시 기흥구

*경기도 보건환경연구원, 경기도 수원시 장안구

whoisaoi@khu.ac.kr

1. 서론

토양 오염은 수질 오염이나 대기 오염과 달리 오염에 의한 피해가 나타나기까지 많은 시간이 걸리는 것으로 알려져 있다. 또한 토성에 많은 영향을 받기 때문에 토양이 같은 물질로 오염 되었더라도 지역에 따라 오염의 결합이 크게 다르다. 따라서 다양한 오염의 결합을 제염하기 위해서는 다양한 제염법이 개발되어야 한다. 현재 사용되고 있는 오염토양의 제염법에는 전기분해를 이용한 전기동력학적인 방법과 고압의 물로 오염토양을 씻어내는 Soil Washing이 있다. 그러나 전기동력학적 방법은 중금속 제거 후 수소 이온의 증가로 토양의 산성화가 진행되며 다량의 전기 에너지가 필요한 단점이 있다. 또한 Soil Washing은 많은 물을 사용하고 필요에 따라 첨가되는 EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) 등의 추출제가 새로운 오염물질이 되기 때문에 다량의 2차 폐기물이 발생하는 단점이 있다. 초임계 유체는 2차 폐기물을 적게 발생시키는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 독성이 없고 다루기 쉬운 초임계 이산화탄소를 이용하여 모의 시료에 흡착되어 있는 중금속을 제거하였다. 본 연구의 최종 목적은 토양의 크기에 따른 중금속 제거 효율을 비교하고 최적의 제염 조건을 확인하는데 있다.

2. 실험 및 결과

실험에 앞서 제염하고자 하는 금속이온을 선정하였다. 원자력발전소 주변의 토양과 중금속이 많이 쓰이는 공장 주변의 토양을 모두 효과적으로 제거하기 위해 4가지 금속 이온(코발트, 납, 아연, 카드뮴)을 선정하였다. 위의 4가지 금속 이온 중에서 코발트는 원자력발전소의 주변 토양에서 흔하게 발견되는 중금속이고 카드뮴과 납, 아연은 공장 지대 또는 광산 주변에서 많이 발견되는 중금속이다. 실험에 쓰이는 각 금속 이온은 표준 용액(1M 질산) 속에 1000 ppm의 농도로 포함되어 있다. 따라서 각 중금속 이온이 녹아있는 표준 용액을 10 mL씩 취하여 vial에 넣은 다음(총 표준용액의 양은 40 mL) 초음파 세척기를 사용하여(30 분) 각 금속 이온이 균일하게 섞일 수 있도록 해준다. 토양은 일반토양을 체로 걸러서 크기별로 세 가지(0.5mm 이상 1.0mm 이하, 0.2mm 이상 0.5mm 이하, 0.2mm 이하)로 구분한다. 또한 크기가 가장 큰 seasand (JUNSEI, 20-30 mesh, chemical pure)도 준비한다. 토양에 균일하게 금속이온을 흡착시키기 위하여 준비된 네 개의 비커에 크기별로 준비된 토양 세 가지와 seasand를 20 g씩 넣고 금속이온을 2,000 μ L(금속이온 100 μ L / 토양 1 g)씩 넣어준다. 이렇게 준비된 Mock-up 시편을 Fig 1에 나타내었다. 토양 내에 금속이온만을 남기고 1M 질산을 증발시키기 위하여 비커를 24시간 동안 실온에 놓아두고 1M 질산을 완전히 증발시키기 위해 진공펌프(50 $^{\circ}$ C, 40 Torr)에 다시 24시간 이상 넣어둔다. 1M 질산이 모두 증발되었음이 확인되

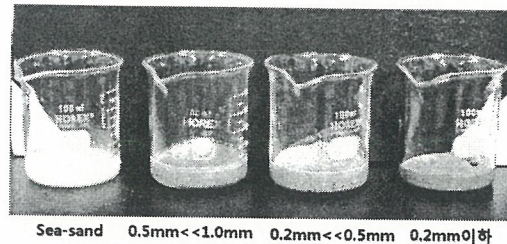


Fig 1. 준비된 토양 시편
(토양 20g + Metal-Ions Solution 2000 μ L)

면 길이 5 cm, 지름 0.7 cm의 유리관에 준비된 토양 0.7 g을 넣고 실험과정에서 토양이 유리관 속에서 빠지지 않도록 하기 위해 유리솜을 유리관 양쪽에 끼운다.

추출 실험을 위한 추출제는 Cyanex-272(Diisooctylphosphinic acid, 290.43 g/mole)와 DEA(Di Ethyl Amine, 73 g/mole)를 선정하였다. 위 두 가지 추출제는 특히 코발트와 납, 아연, 카드뮴의 제거에 효과가 뛰어난 것으로 알려져 있다. 실험 장치는 Fig 2에 나타내었다. 준비된 토양 시료는 원통형 실험 용기(5)에 넣고 추출제(Cyanex-272: 1860 μ L, DEA: 20 μ L)는 교반 용기(3)에 넣는다. 그리고 실린지 펌프와 항온조를 이용해서 압력과 온도를 각각 200bar, 60 $^{\circ}$ C로 유지하면서 30분간 교반 한 후 30분간 동적 추출 실험을 수행한다.

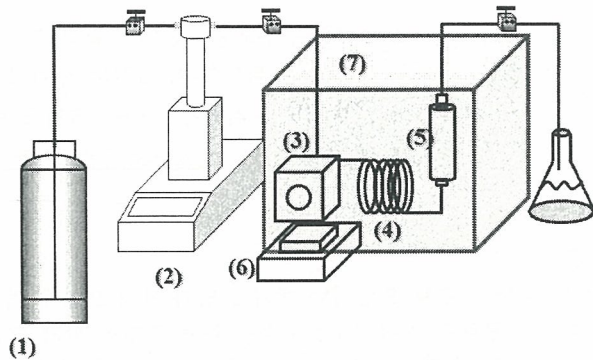


Fig 2. 추출 실험을 위한 실험 장치 구성
 (1) CO₂ 실린더 (2) 실린지 펌프 (3) 교반 용기
 (4) 예열 용기 (5) 원통형 실험 용기
 (6) 교반기 (7) 항온조

실험이 종료되면 실험결과는 ICP (Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy, Perkin-Elmer, US/OPTIMA 4300DV)를 이용하여 분석한다. 추출 실험과의 결과를 비교하기 위하여 금속이온을 흡착시킨 뒤 추출 실험을 수행하지 않은 표준 시편도 ICP로 함께 분석한다. ICP에 의해서 분석된 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 토양의 표면에 공극이 없고 매끄러운 seasand의 추출 효율은 평균 90%로 가장 우수하게 나왔으며 토양의 크기가 줄어들수록 추출 효율이 떨어지는 경향을 보여 0.2mm 이하 크기에서는 평균 50% 정도의 추출 효율을 보였다.

3. 결론

본 연구에서는 토양의 크기에 따라 같은 실험 조건을 수행하여 Seasand에서는 모든 핵종에 대해 80% 이상의 효율을 얻었으며 토양의 크기가 작아질수록 추출 효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 특히 0.2mm 이하의 토양에서 추출율이 현저하게 떨어지는 것으로 나타나 여러 크기의 토양이 섞여 있는 실제 시료를 제염하기 위해서는 더 효과적인 추출제의 연구가 필요함을 확인하였다.

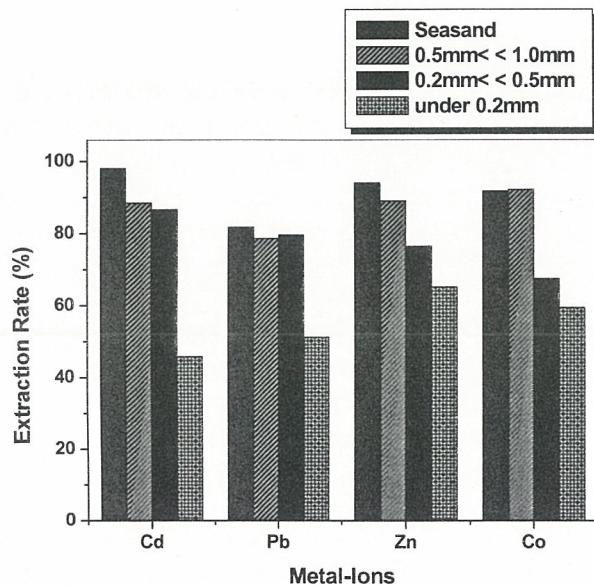


Fig 3. 토양의 크기에 따른 중금속 추출 효율