

## 인공오염토양과 자연오염토양의 카드뮴 용출 특성 비교

서형석 · 신현철 · 김범석 · 유영석

한국건설기술연구원(KICT) 건설환경연구부  
(e-mail : hyungsuk@kict.re.kr)

### 요 약 문

각기 다른 경로로 카드뮴에 오염된 두 토양에서 카드뮴을 중성인 물과 황산 수용액으로 용출하여 보았다. 토양은 자연에서 오랫동안 오염된 금속 폐 광산 토양과 한편으로는 오염되지 않은 토양을 인공적으로 오염시킨 것 두 가지를 재료로 사용하였다. 실험결과, 높은 카드뮴 농도에도 불구하고 자연오염 토양의 경우 추출용매가 물인 경우에는 카드뮴이 거의 용출되지 않았고 산 용액에서는 상대적으로 낮은 농도의 카드뮴이 꾸준히 용출되었다. 이에 반하여 인공오염토양의 경우 카드뮴의 용출량이 많아, 현실적으로 공장부지 등지에서 급격히 오염된 토양에는 산성비가 내릴 경우 카드뮴이 지하수를 오염시킬 위험성이 금속 폐광산등 자연적으로 오염된 토양에서보다 상대적으로 더 큰 것으로 나타났다. 특히 중성인 물에서도 인공오염토양 내 카드뮴의 초기 용출량이 크게 나타났는데, 이것은 공장부지 등에서 상대적으로 토양의 카드뮴 오염이 빠르게 진행된 지역의 지하수 등이 카드뮴 오염에 상대적으로 크게 노출되어 있음을 의미한다.

주제어 : Cadmium, Acid rain, Polluted soil, Contaminated soil, Soil elution

### 1. 서론

산업혁명 이후 가속화된 산업화와 대량생산을 통하여 많은 중금속, 농약원료 등 화학물질들과 자동차 등의 화학물질 배출원은 많은 물질적인 풍요를 가져다주었지만 이제는 늘어나고 있는 환경오염 문제로 점점 경계의 대상이 되고 있다(Zakrzewski, 1997; Luckey et al., 1975). 카드뮴의 경우, 도금, 합금, 전지, 색소, 플라스틱 안정제, 살균제 등으로 지난 40년간 전 세계적으로 생산된 양이 이제까지 통틀어 생산된 양의 50 %를 넘고 있다(Francis, 1994). 이로 인하여 지표의 평균 카드뮴 농도는 0.1 ppm이지만 몇몇 오염지역의 농도는 500 ppm을 넘어 위험수위에 이르고 있다. 중금속들은 유기성 유해물질과는 달리 토양 미생물에 의해 분해가 되지 않아 토양을 이루는 무기질이나 유기질에 결국 쌓이게 되는데 그 양이 많아지게 되면 식물이나 미생물의 효소활동을 방해하는 등 위험요소로 등장하게 된다. 특히 카드뮴은 유해 중금속으로 생물체 내의 단백질이나 효소에 있는 아연과 같은 필수 영양소를 대신하여 축적되는데 인체에 대한 독성으로는 신장, 간의 손상과 골격의 축소(이타이이타이병)를 들 수 있다(Ensslin, 2000).

토양 내에서 카드뮴 이온은 무기물질이나 유기물질과 결합하여 존재하는데 이들은 식물로 흡수될 수 있다.

대부분의 토양들은 자신이 지니고 있는 완충능력을 소진할 때까지 많은 양의 산을 중화시킬 수 있다. 그러나 계속되는 산성비로 토양이 산성화되면, 토양에서 양이온교환능을 책임지고 있는, 점토와 부식질의 기능성 그룹에 점점 수소이온이 첨가되어 중금속 이온과의 결합이 약화되고 결국 알루미늄 이온과 함께 중금속 이온이 떨어져 이동하게 된다(Ensslin, 2000). 본 실험은 각각 인공적, 자연적으로 카드뮴에 오염된 토양시료에 물과 산 용액을 가하여 카드뮴을 용출하여 오염경로에 따르는 카드뮴의 용출량을 알아보았고 또 토양 특성에 따르는 양이온교환능, 즉 완충 능력도 측정하였다.

## 2. 실험방법 및 결과

시료 중 하나인 인공오염토양을 제조하기 위해, 먼저 오염되지 않은 토양을 2 mm 분체로 걸러 큰 알갱이를 분리하고 다시 0.5 mm 분체를 사용하여 크기가 작은 입자들을 분리해냈다. 이는 산을 통한 용출실험 시 토양 압축에 의한 용출의 어려움을 극복하기 위함이다. 이렇게 분체로 거른 토양 30 g을 둥근 플라스크에 넣고 농도 1000 ppm의 카드뮴 표준용액 3 ml를 가한 후 회전농축기로 균일상이 되도록 잘 교반시켰다. 이렇게 인공 오염된 토양은 플라스틱 용기에서 일주일간 보관되었다. 또 다른 하나의 토양재료로는 자연에서 오염된 금속 폐광산 토양을 준비하였는데 재료 내 카드뮴 농도는 500 ppm이었다. 표 1에 토양시료와 추출용매에 관한 자료를 정리하였다.

표 1. Experimental conditions of the leaching experiment

시료번호	토양오염경로	토양 내 카드뮴 농도	토양 pH	추출용매
A	인공오염	100 ppm	6.9	H <sub>2</sub> O
B	인공오염	100 ppm	6.9	0,01 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
C	자연오염	500 ppm	7.5	H <sub>2</sub> O
D	자연오염	500 ppm	7.5	0,01 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

실험은 일회용 주사기에 유리섬유필터와 모래를 넣어 주사액이 나오는 끝부분을 막고, 토양시료를 채운 후 용출액을 가하는 것으로 진행되었다. 주사기의 끝은 튜빙으로 펌프 디스펜서에 연결하여 일정시간동안 용출되어 나오는 용액을 시험관(번호 1-10)에 받고, 용출액 내부의 카드뮴 농도를 AAS로 측정하였다.

실험결과, 자연오염토양의 경우 추출용매가 물인 경우 그림 2에서와 같이 카드뮴이 거의 용출되지 않았고 산 용액에서는 완충작용이 끝난 2번 시험관부터 0.9 ppm 정도가 꾸준히 용출되었다. 이에 반하여 인공오염토양의 경우 그림 1에서와 같이 물에 의한 첫 용출액 시험관에 2.5 ppm 정도가 용출되어 대조를 이루었다. 산에 의한 용출실험에서는 처음에는 물 용출에서와 같은 농도의 결합하지 못한 카드뮴이 용출되었고(시험관 1), 완충작용에 따라 카드뮴 용출량이 줄어들다가(시험관 2, 3) 완충범위를 벗어나면 증가하여(시험관 4-7) 나중에는 1.6 ppm 정도의 농도가 일정하게 용출되었다(시험관 8-10).

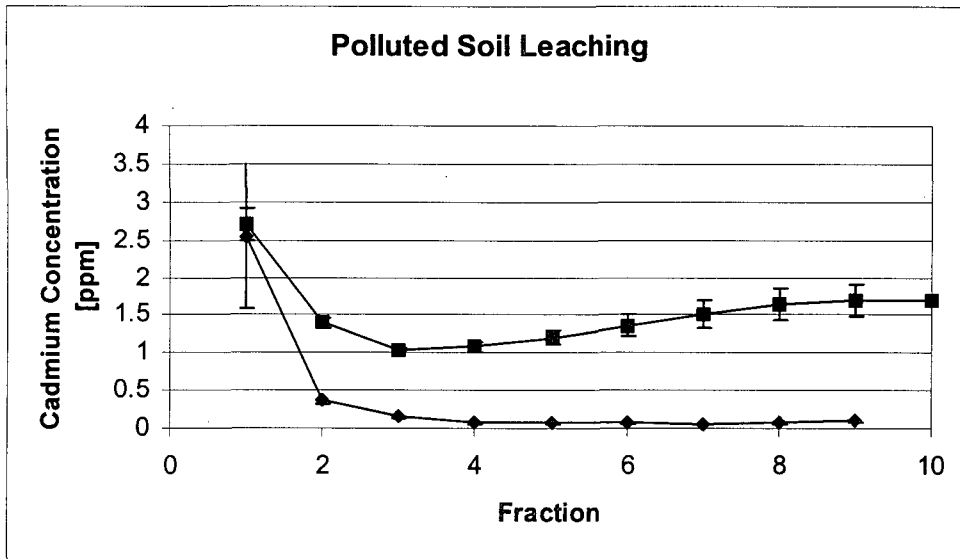


그림 1. 인공오염토양의 카드뮴 용출 특성 (네모점: 0,01 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 마름모점: H<sub>2</sub>O)

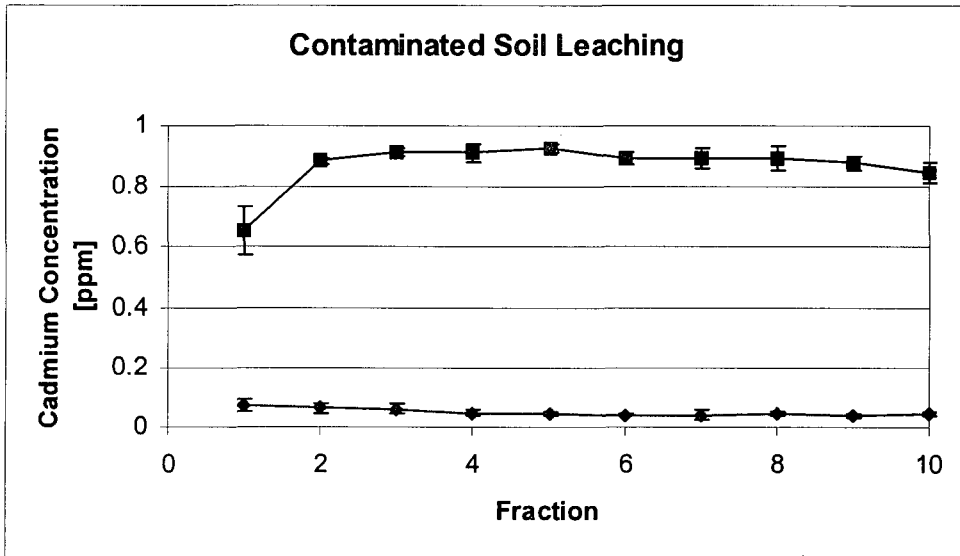


그림 2. 자연오염토양의 카드뮴 용출 특성 (네모점: 0,01 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 마름모점: H<sub>2</sub>O)

### 3. 결론

본 연구에서는 인공오염토양과 자연오염토양을 시료로 하여 카드뮴의 용출특성을 비교하여 보았다. 실험결과, 카드뮴과 토양입자 사이의 결합력에 따라 카드뮴의 초기 용출농도에서 현격한 차이를 보였다. 그래서 인공오염토양보다 더 높은 전체 카드뮴 농도에도 불구하고 자연오염토양에서는 물에 의하여 카드뮴이 용출되지 않았다. 산에 의한 용출에서는 전체적으로 인공오염토양에서의 카드뮴 용출량이 자연오염토양보다 많았다. 그리고 pH가 비슷한 두 토양에서, 일정한 카드뮴 용출량에 이르기까지의 시간은 인공오염토양이 더 길었는데 이것은 산을 완충시키는 카보네이트가 인공토양에 더 많이 들어 있음을 뜻한다. 이로써 자연오염토양과 인공오염토양 내에 있는 카드뮴의 유동성에는 많은 차이가 있음을 확인할 수 있었고 인공오염토양을 시료로 한 실험을 자연오염토양에 적용하기에는 무리가 있음을 알았다.

다. 또한 토양의 pH, 카보네이트 함량 등 여러 요소가 카드뮴의 유동성에 관여하는 것도 알 수 있었다. 그럼에도 불구하고, 인공적으로 갑자기 오염된 토양은 꼭 산성비가 아니라도 쉽게 카드뮴이 용출되어 지하수를 오염시킬 수 있어 주의가 요구된다.

## 참고문헌

- [1] Zakrzewski, S. F., (정명규, 나규환, 이장훈, 이종화, 감사규, 황갑수, 안혜원 공역), 환경독성학, 1997, 동화기술, ACS Washington DC, p. 205-217.
- [2] Luckey, T. D., Venugopal, B., Hutcheson, D., Heavy Metal Toxicity, Safty and Hormology 1975, Academic Press New York, San Francisco, London, Georg Thieme Publishers Stuttgart, p. 1-3.
- [3] Francis, B. M., Toxic Substances in the Environment, 1994, New York, Chichester Brisbane, Toronto, Singapore, John Wiley & Sons Inc, p. 139-140.
- [4] Ensslin W., Boeden untersuchen, 2000, Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim, p. 67-70 217-220.