

EDTA를 사용한 납 오염 토양에서의 효율적인 납 추출

김철성

아이오와 주립대학교 토목과 환경부

Effective Method for Lead Extraction from Pb - Contaminated Soil with EDTA

Chulsung Kim

Dept. of Civil Engineering, Iowa State University, Ames, IOWA

ABSTRACT

The effects of major cations in soils, soil : extractant ratio, and EDTA : lead stoichiometric ratio on the extraction efficiency of lead using EDTA were studied for 4 different actual lead-contaminated soils and one artificially lead-contaminated soil. Extraction of lead from the lead-contaminated soil was not affected by a soil : extractant ratio as low as 1 : 3 but instead was dependent on the quantity of EDTA present. Results of the experiments showed that the extraction efficiency for each soil was different, but if sufficiently large amount of EDTA was applied, all the lead may be extracted except for a soil from lead mining area. The differences in extraction efficiencies may be due to the major cations present in soils which may compete with lead for active sites on EDTA. The total molar amount of major cations extracted was as much as 20 times more than the added molar amount of EDTA. For some of the soils tested, the extraction efficiency of lead may be affected by being occluded in the Fe and Mn oxides present in the soil. While major cations present in the soil may be one of the factors affecting lead extraction

efficiency, the type of lead species present may also play a role. When these factors affect severely, the using of EDTA to extract lead from lead-contaminated soil might be non-effective method.

Key words : lead, soil, EDTA, stoichiometric ratio

요 약 문

4종류의 서로 다른 납 처리시설 주변토양과 인위적으로 납을 오염시킨 토양에서 토양 내에 존재하는 주요 양이온과 토양 질량 대 EDTA 용액부피 비 및 납과 EDTA의 정량비(stoichiometric ratio)가 EDTA를 사용한 납 추출에 미치는 영향을 연구하였다. 납 오염토양으로부터의 납 추출은 EDTA 용액 부피 대 토양 질량 비를 3ml/g까지 감소시켜도 영향을 받지 않았으며 단지 용액 내에 존재하는 EDTA의 몰수에 의존하는 것으로 밝혀졌다. 본 연구결과에 의하면 각각의 토양에 대한 납 추출효과는 서로 다른 독립적인 경향을 보였으며 납 광산시설 주변토양을 제외하고는 다량의 EDTA가 유입되면 모든 납이 추출되었다. 이러한 결과는 Fe, Cu, Zn, Al과 같은 토양 내에 존재하는 주요 양이온이 EDTA의 ligand site에 반응하기 위하여 Pb와 경쟁하기 때문인 것으로 추정되어진다. 납 추출을 위한 EDTA의 도입은 여러 음이온 용해도의 증가를 동반하여 토양내 금속의 용해도를 증가하는 결과를 나타내었으며 용해되어진 금속의 양은 유입된 EDTA 몰수에 최대 20배에 이르는 것으로 나타났다. 납 오염된 토양에서의 EDTA를 이용한 납 추출은 토양내의 주요 양이온, 납의 종류(species) 및 납의 결합 형태와 위치에 의하여 영향을 받는 것으로 나타났으며 이러한 영향이 복합적으로 작용할 때에는 EDTA의 납 추출효과가 현저히 감소하는 것으로 밝혀졌다.

주제어 : 납, EDTA, 토양, 정량비, 양이온

1. 서 론

중금속을 포함하고 있는 쓰레기의 방치 및 부적절한 처리는 많은 중요한 자원을 오염시켜왔다. 이러한 중금속들은 대부분이 자연적으로 분해되지 않으며 오랜 시간 동안 토양내에 존재하기 때문에 토양 오염에 많은 영향을 주고 있는 것이 현실이다. 납도 이러한 중금속의 하나로서 납 광산업이나 제련산업 또는 건전지 재활용 산업을 포함한 자동차 산업과 같은 문명 발전에 대한 노력이 다른 한쪽으로는 우리 환경 오염의 주원인이 되어왔으며 토양

의 납 오염 또한 예외는 아니었다. 이외에도 국지적으로 사격장 주변의 토양이 납으로 오염되고 있는 실정이다²⁾. 자동차 건전지 재활용 시설 주변의 경우, 약 21%(w/w)가 납으로 오염되었다는³⁾ 사실만 보더라도 토양의 납 오염은 매우 심각한 것으로 여겨지고 있다. 납을 포함한 폐기물이 토양에 유출되면 납 이온은 토양의 표면에 약하게 결합되어있는 다른 금속과 치환하여 토양표면에 흡착이 일어나며 이때 많은 양의 납성분이 잔여하면 용해도 이상의 납 이온은 토양과 토양용액의 성분에 따라서 침전하여 고체형태로 존재하는 것으로 알려져

있다⁴⁾. 납 오염된 토양의 처리를 위하여 여러 방법들이 사용되고 있으며 그 중 하나는 강산이나 킬레이트 시약(chelating agent)과 같은 추출용액을 사용하는 방법이다. 강산의 경우에는 경제적인 효과가 큰 반면 낮은 pH에 의하여 (0.5~3) 추출과정에서 토양자체의 결정구조에 손상을 줄뿐 아니라 토양내의 필요성분인 대부분의 금속을 용해시키므로 처리 후 토양의 재사용 시에 많은 시간이 소요된다. 또한 취급이 매우 위험하다. 납과 결합하여 수용액에 용해되는 착화합물(coordination compound)을 형성하는 킬레이트 시약의 사용은 산에 의한 단점을 많이 보완할 수 있으나 경제적인 부담이 광범위한 사용을 제한하고 있는 실정이다. 착화합물을 형성하기 위하여 배위결합이 가능한 많은 킬레이트 시약이 연구되어졌으며 그중 EDTA(Ethylenediaminetetraacetic acid)가 가장 높은 효율성을 보이는 것으로 밝혀졌다^{5,6)}. 이러한 결과는 coordination number가 6으로 알려진 납이 6개의 리간드(ligand)를 제공하는 EDTA와 결합하게 됨으로서 매우 안정되고 쉽게 용해되는 착화합물을 형성하기 때문인 것으로 알려져 있다.

EDTA를 사용하여 중금속 오염된 토양의 처리에 관한 연구가 많이 이루어 졌으며 또한 현재에도 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다. 그러나 대부분의 연구가 고농도의 EDTA 용액을 사용하였으며 또한 EDTA 용액의 부피 대 중금속 오염된 토양 질량의 비가 15(ml/g) 이상의 고 비율로 주 연구목적이 중금속의 추출정도에 관심을 두고있었다. 그러한 까닭으로 EDTA를 사용한 토양내에서의 중금속 추출에 관한 연구가 체계적으로 이루어지지 않은 상황이다. 본 연구에서는 EDTA를 사용한 납 오염 토양의 처리를 보다 경제적으로 실시하기 위하여 토양내 오염된 납의 양과 사용된 EDTA에 대한 정량적인 비율(Stoichiometric Ratio)의 관계를 연구하여 보았다. 이외에도 EDTA용액의 부피와 토양 질량 비율의 상관 관계를 연구하여 토양

처리 후의 폐수(wastewater)인 EDTA-금속 용액의 양을 줄여보고자 시도하였다. 본 연구에서는 서로 다른 시설에 의하여 납으로 오염된 토양과 인위적으로 납 오염시킨 토양을 사용하여 토양의 특성에 따른 EDTA 용액의 효율성도 연구하였다.

2. 실험 방법 및 절차

2.1. 토양 샘플의 준비 절차 및 특성 파악

본 연구를 위하여 4종류의 서로 다른 시설에 의하여 납 오염된 토양을 구입하여 사용하였으며 본 대학교 토목과에서 oxidized glacial till 토양을 구입하여 인위적으로 납으로 오염시켜 실제로 납 오염된 토양과 EDTA 용액의 납 추출효율을 비교 분석하였다. 본 연구에 사용된 4종류의 납 오염토양은 시설의 특이성을 보장하기 위하여 본 논문에서는 토양 A, B, C, D로 명칭하겠다.

토양 A는 납 제련시설 주변의 토양이며 토양 B는 자동차 건전지 재활용시설과 제련시설이 존재하였던 지역의 토양으로 현재는 고농도의 납 오염에 의하여 폐쇄된 지역이다. 토양 C는 폐광산에서 구입한 토양이며 토양 D는 소총 사격장 주위의 토양으로 주변에서 많은 납 탄알이 발견되었다. 모든 토양은 연구에 사용되기 전에, 대기 중에서 일주일간 건조시켰으며 25번 채(0.707mm)를 사용하여 탄알이나 거대한 입자를 제거하였다.

인위적으로 납 오염된 토양을 준비하기 위하여, 25번 채를 통과한 oxidized glacial till 토양을 적절한 양의 lead nitrate 용액과 48시간 반응시켰다. 반응을 종료시킨 혼탁액(slurry)은 대기 중에서 1주일간 건조시킨 후 분쇄하여 25번 채를 통과시켰다. 준비된 토양의 납 농도가 2,500 mg/kg이 되도록 lead nitrate의 양을 조절하였다.

각각의 토양에 대한 특성을 파악하기 위하여 토양 pH, 비표면적(Specific Surface Area), 양이

은 치환용량(Cation Exchange Capacity)과 토양내 유기물질 탄소량(Soil Organic Carbon)을 측정하였다. 납 이외에도 필요시에는 토양내의 철(Fe), 알루미늄(Al), 마그네슘(Mg), 망간(Mn), 칼슘(Ca), 구리(Cu)와 아연(Zn)같은 대표적인 금속물질의 양을 Smith Hieftje 12 Atomic Absorption Spectrophotometer를 사용하여 측정하였다. 토양내의 초기 금속 농도를 측정하기 위하여 acid digestion 방법을 사용하였으며 철의 경우에는 반응성이 강한 비결정형 철을 oxalate 용액을 이용하여 측정하였다⁷⁾.

2.2. 토양내의 납 추출 절차

토양내에서 납을 추출하기 위하여 전형적인 방법을 사용하였으며 그 절차는 다음과 같다. 1g의 납 오염된 토양과 농도를 알고있는 EDTA 용액 적정량을 50ml 폴리프로필렌 재질의 원심분리기 용기에 넣은 후 필요시 희석된 HNO₃나 NaOH 용액을 사용하여 pH를 조절하였다. 혼합물 용기는 Burrel wrist - action shaker를 사용하여 최대 15일까지 진동시켜 반응시켰다. 반응을 종료한 혼합물은 원심분리기를 사용하여 3,000 rpm으로 30분 동안 상분리를 한 후 0.45 μ m membrane 여과지를 사용하여 액체를 분리하였다. 여과되어진 용액은 적절한 양의 질산과 E-Pure 정수를 사용하여

100ml volumetric flask에 보존하였으며 용액내의 금속 양을 측정하였다.

또한 필요시 EDTA를 제외한 정수만을 사용하여 위에서 언급한 납 추출 절차와 동일한 방법으로 pH에 따른 금속들의 용해도를 조사하였다.

용액내의 EDTA와 토양에 포함되어있는 납의 정량반응에 대한 조사를 하기 위하여 납 추출에 사용되는 EDTA의 농도를 최하 0.0001M에서 최고 0.2M의 농도까지 변화시켰으며 이때 납과 EDTA의 정량비는 0.1에서 300까지의 범위 내에 존재하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에 사용된 5종류 토양의 특성은 표 1에서 보여주고 있다. 표1에서 보여주듯이 토양 C를 제외한 모든 토양이 약한 염기성을 띄우고 있으며 토양 C의 경우에는 pH값이 2.68로서 매우 강한 산성을 나타내었다. 또한 토양 C는 비결정형 철분과 칼슘의 농도가 각각 31,720mg/kg과 103,900mg/kg으로서 다른 4종의 농도에 비하여 {300~500mg/kg(비결정형 철), 7,000~20,000mg/kg(칼슘)} 상대적으로 매우 높은 값을 보여주었다.

토양에 존재하는 납의 농도는 자동차 건전지 재

Table 1. Soil Properties and Major Cation Concentrations of Lead-Contaminated Soil Samples

sample	% organic carbon	CEC (meq/100g)	specific surface area (m ² /g)	pH	Pb	Fe*	Mn	Al	Ca	Mg	Cu	Zn
Soil A	2.26	17.84	37.33	8.55	4,180	544	384	25,940	19,580	6,780	129	1,860
Soil B	2.52	17.51	15.39	8.13	13,260	316	2,820	14,330	12,410	5,270	30	86
Soil C	0.10	4.32	4.41	2.68	1,247	31,720	91	707	103,900	115	557	1,078
Soil D	0.18	5.75	0.66	8.47	6,238	328	21	2,440	7,450	436	279	70
Oxidized*	0.75	11.61	9.68	8.16	2,413	—	—	—	—	—	—	—

*amorphous iron concentration**major metal cations were not measured

활용시설 주변토양인 토양 B가 13,260mg/kg으로 가장 높았으며 소총 사격장과 납 제련시설 주변토양인 토양 D와 토양 A가 각각 6,238mg/kg과 4,180mg/kg으로 높은 납 농도를 보여주었다. 토양 C의 경우는 1,247mg/kg의 농도를 나타냈으며 인위적으로 납 오염시킨 oxidized glacial till 토양은 목표 농도인 2,500mg/kg에 못 미치는 2,413mg/kg의 농도를 가지고 있는 것으로 밝혀졌다.

인위적으로 납 오염시킨 토양과 토양 D를 사용하여 토양 1g에 대한 EDTA용액 부피의 변화에 따른 납 추출 효과를 비교하였으며 그림 1과 2에서 자세히 보여주고 있다.

인위적으로 납 오염시킨 oxidized glacial till 토양의 경우 g당 사용된 EDTA 용액의 부피 비 $\left\{ \frac{\text{EDTA 용액부피(ml)}}{\text{토양(g)}} \right\}$ 를 3ml/g까지 감소시켜도 납 추출능력은 감소하지 않았으며 단지 납과 EDTA의 정량비 $\left\{ \frac{\text{EDTA 몰수}}{\text{납 몰수}} \right\}$ 가 토양에

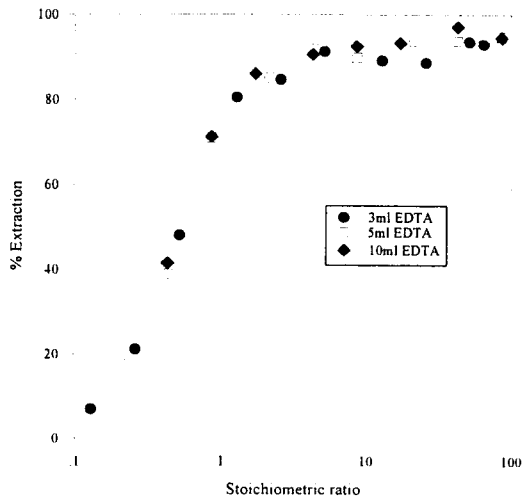


Fig. 1. Stoichiometric and volume ratio effects on lead extraction with artificially contaminated oxidized glacial till.

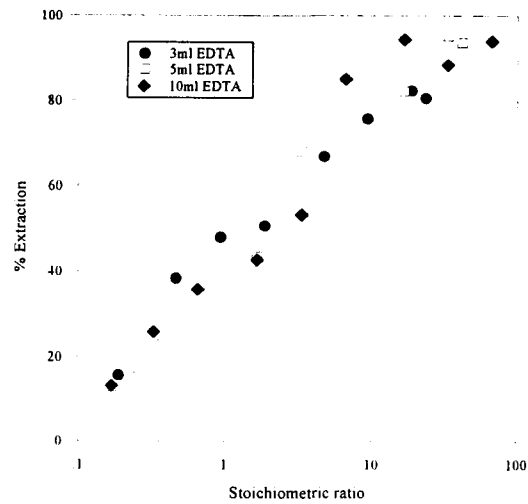


Fig. 2. Stoichiometric and volume ratio effects on lead extraction with rifle range soil.

서 납의 추출에 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 실제로 납 오염 토양(토양D)을 사용하여 실험한 결과도 유사하게 나타났으며(그림 2) 실제 오염 토양의 경우, 최대 추출 능력에 도달하기 위해서는 인위적으로 납 오염된 토양에 비하여 상대적으로 높은 납과 EDTA의 정량비가 필요한 것으로 밝혀졌다.

납 추출을 마친 폐수는 방출하기 전에 전처리를 하여야 하며 사용하는 EDTA 용액 부피의 감소는 처리하여야 할 폐수의 감소효과와 이로 인한 처리 비용의 절감효과도 얻을 수 있다. 본 연구결과에 의하면 EDTA 용액의 농도조절에 의하여 납 추출 효과의 저하 없이 납 오염된 토양 g당 10ml 이상의 EDTA용액을 사용하고 있는 현 방법에서 g당 3ml의 비율로 감소가 가능하며 그 결과 70%이상의 폐수감소 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

그림 3은 4종류의 실제 납 오염 토양과 인위적으로 납 오염시킨 토양에서 납과 EDTA 정량비에 따른 납 추출효과를 보여주고 있다.

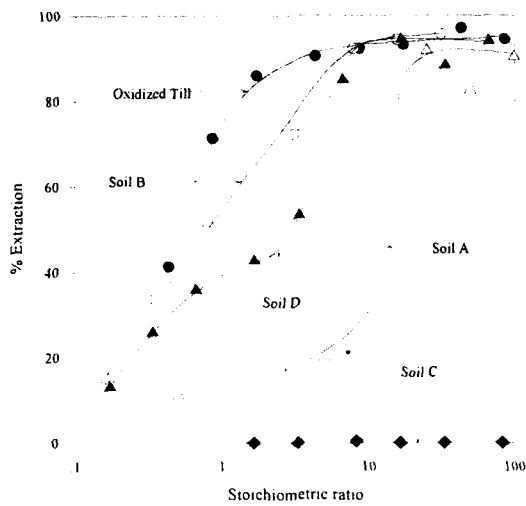


Fig. 3. Lead extraction from different lead-contaminated soil using 1 gram of soil with 10 ml of different EDTA solution.

그림 3의 결과를 얻기 위하여 1g의 토양에 10ml의 EDTA 용액을 사용하였으며 반응시간은 24시간으로 설정하였다. 여러 문헌조사에 의하면 EDTA 용액의 납 추출반응시간은 24시간 이내였으며 본 연구의 기초 실험에 의해서도 24시간은 반응이 평형을 이루기에 충분한 시간으로 밝혀졌다. 그림 3에서 보여주듯이 납 오염 토양에서의 납 추출효과는 각각의 토양에 따라서 다른 결과를 나타내고 있으며 토양 C를 제외한 모든 토양에서 납 추출효과는 납과 EDTA의 정량비에 의존하며 또한 충분한 양의 EDTA가 유입되어지면 대부분의 납이 추출되는 것으로 밝혀졌다.

토양내의 납과 EDTA의 정량비가 1:1이 되는 지점에서의 납 추출효과를 비교하여보면 인위적으로 납 오염시킨 oxidized glacial till 토양에서는 약 80%의 납이 추출된 반면 토양 B, D, A의 순으로 각각 55%, 40%, 10%로 납 추출효과가 감소하였다. 또한 토양 C의 경우에는 납이 전혀 추출되지 않았다. 이러한 결과는 토양내에 존재하는

여러 양이온의 종류 및 함유량과 같은 토양의 특성과 EDTA 용액에 의하여 추출되는 양이온 및 음이온의 영향에 의한 것으로 고려되어지며 이외에도 납 오염토양에 존재하는 납의 종류(species)도 영향을 미칠 것으로 여겨진다. 실제로 EDTA는 특정 금속과 선택적 반응을 할 수 없으며 EDTA와의 반응성은 금속의 용해도(solubility)와 안정성(stability)에 의하여 결정되어진다. 동일한 평형 pH에서 EDTA용액과 정수만에 의하여 추출된 금속의 종류와 양을 비교하여 보면 EDTA용액에 의하여 납 이외에도 구리, 아연, 철, 마그네슘과 같은 대부분의 금속이 추출되어졌으며 특이한 사항은 유입되는 EDTA의 몰수보다 추출되는 총 금속의 몰수가 최고 20배까지 크다는 사실이다. 특히 칼슘이 추가 용해금속의 약 90%를 차지하는 것으로 밝혀졌다. 이러한 결과는 EDTA가 유입되어지면서 토양내의 금속과 착화합물을 형성하여 용해되는 현상 이외에도 다른 반응이 형성되면서 금속들의 용해도를 증가시키는 것으로 추정되어지며 특정 mechanism은 토양 구조의 복잡성 때문에 밝혀지지 않았다.

이미 알려진 바와 같이 humic 이나 fulvic 산은 망간, 칼슘, 구리와 착화합물을 형성하여 금속의 용해도를 증가시키며⁸⁾ SO_4^{2-} , CN와 같은 음이온도 화학반응에 의한 용해도 감소효과를 보이는 반면 칼슘, 마그네슘, 구리와 같은 금속과 착화합물을 형성하여 용해도를 증가시키는 양면성을 가지는 것으로 밝혀졌다^{8,9)}. 그러므로 금속들이 EDTA와 착화합물을 형성하면서 토양내에서 이미 결합하고 있던 유기산이나 음이온과 분리되어지며 이때 생성되는 유기산과 음이온의 영향에 의하여 칼슘 및 여러 금속의 용해도가 증가하는 것으로 고려어진다. 또한 토양내에서 많은 금속을 흡착하고있는 Fe나 Mn oxide 및 hydroxides 물질이 EDTA와 반응하여 용해되어지면서 흡착되어있는 금속물질도 동시에 용해되어 용해도를 증가시키는

현상도 일어난 것으로 추정되어진다. 이러한 연쇄적 반응에 의하여 용해된 칼슘의 경우, 납에 비하여 상대적으로 매우 낮은 EDTA와의 반응성 때문에 납과 EDTA 반응에 경쟁하지 못하는 것으로 알려져 있다¹⁰⁾. 추가적으로 용해되는 금속의 총량은 EDTA의 농도에 비례하는 것으로 밝혀졌으며 이러한 현상은 납 처리를 한 토양의 재사용에 필요한 영양분의 손실을 가져오므로 납 추출의 효율이 감소하지 않는 범위 내에서 최소의 EDTA를 사용하여야 할 것이다.

0.005M의 EDTA 용액을 토양 C와 24시간 반응시킨 결과, 납은 전혀 추출되지 않았으며 동일한 양의 철이 추출되었다. 표1에서 보여주듯이 토양 C는 매우 높은 비결정형 철을 함유하고 있으며 이러한 철이 납과 경쟁반응을 일으키며 EDTA와 결합하였기 때문에 추정된다. 비결정형 철의 EDTA에 대한 반응은 pH가 낮을수록 증가하며¹¹⁾ 토양 C의 경우에는 낮은 pH에 의하여 철이 납과 경쟁적으로 EDTA와 반응하면서 납의 추출을 방해하는 것으로 고려되어진다. 또한 납광산의 주성분으로 알려진 Galena(PbS)¹²⁾가 존재하게되면 매우 낮은 용해도에 의하여 EDTA와 납의 반응성이 매우 낮아 추출이 어려운 것으로 알려져 있다¹³⁾. 본 연구에서는 X-Ray를 사용하여 납의 종류를 구별하기 위한 시도를 하였으나 낮은 농도와 토양의 복잡한 구조에 의하여 결과분석이 난해하였다.

매우 높은 0.2M의 EDTA 용액을 사용하여 최고 15일간 토양 C와 반응한 결과는 그림 4에서 보여주고 있다.

그림 4에서는 15일간의 반응으로 약 10% 정도의 납이 추출되었으며 13일부터 steady state에 도달한 것을 보여주고 있다. 또한 철의 추출량이 증가하면서 납의 추출량도 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이러한 결과는 납이 다량의 철에 매우 강하게 흡착되어있거나 철의 내부에 존재하여서 철이 EDTA와 결합하여 용해되면서 납이 여분의

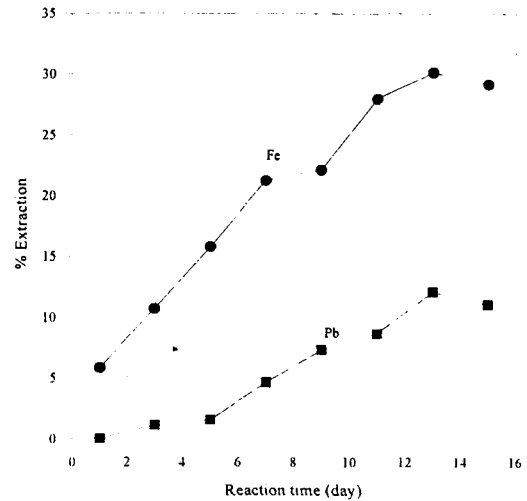


Fig. 4. Lead and amorphous iron extraction from Cleveland soil with 0.2M EDTA solution over time.

EDTA에 노출이 되어 EDTA와 착화합물을 형성하기 때문인 것으로 추정된다. 철의 용해도가 일정해지면서 납의 용해도가 동시에 변하지 않는 결과가 이러한 추정에 대한 신뢰를 더해주고 있다.

결론적으로 토양 C의 경우에는 복합적인 영향 즉 비결정형 철의 EDTA에 대한 경쟁반응과 납의 종류(species) 및 납의 위치와 결합 형태에 의하여 EDTA에 의한 납의 추출이 매우 어려운 것으로 고려되어진다.

4. 결론

본 연구결과에 의하면 납 오염된 토양 1g당 EDTA의 용액 부피 비는 3ml/g까지 줄여도 납 추출에 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며 단지 용액 내 EDTA의 몰수에 의존하는 것으로 밝혀졌다. 4종류의 서로 다른 납 시료 주변에서 구한 납 오염 토양과 인위적으로 납 오염된 토양을 사용하여 토양내의 납과 EDTA 정량비(stoichiometric

ratio)의 관계를 연구한 결과, 인위적으로 오염된 토양의 경우, 정량비가 약 7정도에 다다를 때 대부분의 납이 추출된 반면 실제 납 오염된 토양은 이보다 높은 정량비가 요구되며 토양 A의 경우에는 모든 납을 추출하기 위하여서는 최소 25의 정량비가 필요로 한 것으로 밝혀졌다. 토양 C의 경우에는 정량비가 300에 이르는 0.2M의 EDTA 용액과 반응을 하여도 24시간 안에 납이 추출되지 않았다. 이러한 연구결과에 의하면 동일한 양이 오염된 경우, 인위적으로 납 오염된 토양은 실제 납 오염된 토양에 비하여 상대적으로 적은 양의 EDTA를 사용하여 최대의 납 추출효과를 얻을 수 있으며 이로 인하여 EDTA의 납 오염된 토양에서의 납 추출능력을 과대 평가할 수 있는 오류를 범할 수 있는 것으로 나타났다.

추출용액인 EDTA의 농도가 증가할수록 추가 용해되는 금속의 양도 증가하는 것으로 나타났으며 납 처리 후 토양의 재사용에 필요한 영양분의 유출을 최소화하기 위하여서는 최소의 EDTA를 사용해야 할 것이다.

납 오염된 토양에서의 납 추출은 토양내 다른 금속들의 종류와 양, 납 자체의 종류(species) 및 납의 결합 형태와 위치에 의하여 영향을 받는 것으로 고려되어지며 자세한 mechanism은 토양의 복잡한 구조와 분석기기의 한계성에 의하여 아직 밝혀지지 않고 있다.

이와 같이 모든 납 오염토양은 각각의 특성에 따라서 필요한 EDTA의 양이 다르기 때문에 납 오염된 토양의 처리 시에는 기초 실험을 통하여 토양내 EDTA 용액 비와 정량비를 결정하여 납 추출효과가 감소하지 않는 범위 내에서 최소의 EDTA를 사용하여야 하겠다. 이러한 기초실험을 통하여 사용하는 EDTA의 양과 유발되는 폐수의 양을 최소화 할 수 있으며 이에 따른 경제적인 부담도 감소시킬 수 있을 것으로 고려되어진다.

참 고 문 헌

1. Jorgensen S. S., and Willems, M. "The fate of lead in soils : The transformation of lead pellets in shooting-range soils," *Ambio*, 16(1), pp11-15 (1987)
2. Manninen, S., and Tanskanen, N. "Transfer of lead from shotgun pellets to humus and plant species in Finnish shooting range," *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 24(4), pp410-414 (1993)
3. Elliott, H. A., and Brown, G. A. "Comparative evaluation of NTA and EDTA for extractive decontamination of Pb-polluted soils," *Water, Air, and Soil Pollutions*, 45(3-4), pp361-369, (1989)
4. Campanella, L., Ferri, T., and Petronio, B. M. "Effect of speciation in sludges on the adsorption of leached metals from soils," *The Science of the Total Environment*, 79(3), pp223-231, (1989)
5. Peters, R. W., and Shem, L. "Use of chelating agents for remediation of heavy metal contaminated soil," *American Chemical Society Symposium Series* 509, (1992)
6. Cline, S. R. Reed, B. E., Moore, R. E., and Matsumoto, M. R. "Soil washing of various forms of lead and organically contaminated soil, *Proceedings of the Water Environmental Federation, 66th Annual Conference and Exposition : 5, Hazardous Wastes and Groundwater*, (1993)"
7. McKeague, J. A., and Day, J. H. "Dithionite- and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils," *Canadian Journal of Soil Science*, 46(1), pp13-22, (1966)
8. Sparks D. L. *Environmental Soil Chemistry*.

- Academic Press, Inc., San Diego, CA, (1995)
9. Rodgers, G. E. Introduction to Coordination, Solid state and Descriptive Inorganic Chemistry, McGraw-Hill, Inc., New York, NY, (1994)
10. Sommers, L. E., and Lindsay, W. L. "Effect of pH and redox on predicted heavy metal-chelate equilibria in soils," Soil Science Society of America Journal, 43(1), pp39-47, (1979)
11. Kim, C., Ong, S. K. "The selective reaction of lead and amorphous iron with EDTA in lead sulfate-contaminated soil system," Environmental Engineering Research, 3(3), (1998) in progress
12. Davis, A., Drexler, J. W., Ruby, M. V., and Nicholson, A. "Micromineralogy of mine wastes in relation to lead bioavailability, Butte, Montana," Environmental Science and Technology, 27(7), pp1415-1425, (1991)
13. Clevenger, T. E., Salwan, C., and Koirtzohann, S. R. "Lead speciation of particles on air filters collected in the vicinity of a lead smelter," Environmental Science and Technology, 25(6), pp1128-1133, (1991)