

요 약 문

I. 제목

부산시 토양의 안티몬 오염에 대한 조사 및 분포특성 평가

II. 연구의 목적 및 필요성

안티몬은 비소와 같이 발암물질로 분류되며, 높은 이동성을 나타내어 토양 뿐 만 아니라 지하수 오염의 가능성이 매우 높은 물질로 탄환의 강도를 높이기 위하여 약 3%(2~5%) 정도 첨가되고 있고 탄환의 주 성분인 납에 비해 높은 이동성(mobile)을 가지므로 사격장 탄환의 산화에 의해 오염된 토양으로부터 용출될 경우 지하수 및 지표수로 이동할 경우 납이나 다른 중금속 보다 인간의 건강에 대한 위해성이 더욱 클 것이다. 탄환에 포함된 Sb(III)은 산화될 경우 보다 안정된 상태인 Sb(V)로 되며, 이는 Sb(III)에 비해 약 100배 정도 높은 이동성을 가질 수 있다.

안티몬은 환경중에서 비소와 비슷한 거동을 하나, 소화기관에서 흡수율이 적고 대부분 소변으로 배출되기 때문에, 비소에 비하여 독성은 적으나, 안티몬 먼지를 흡입할 경우 비소 중독 증상과 비슷한 독성현상을 일으킨다고 보고되고 있다.

안티몬은 많은 유탄기의 효소를 억제하고 단백질 대사를 방해한다. 소량의 안티몬을 흡입할 경우 눈과 폐를 자극할 수 있고, 두통, 어지럼증, 무기력증이 나타나며, 과량은 심근 위축, 심한 구토 및 폐, 간, 신장 등을 손상 및 발암 작용을, 아주 과량일 경우 사망에 이르게 된다.

국내에서 안티몬에 대한 연구는 현재 안티몬이 수질 및 토양오염물질 항목에 포함되어있지 않은 관계로 토양 오염도에 대하여 발표된 내용이 없으며, 2004년 충남 연기군에서 발생한 안티몬으로 인한 인체질환의 의문으로 인하여 주변 토양, 식물체, 물에 대한 조사가 이루어진 적이 있으며, 2008년에는 국내에서 생산되는 폐기물을 원료로 한 시멘트에 안티몬 등 중금속이 높은 농도로 검출된 사례가 있고, 주민들의 모발에 대한 조사가 행하여 졌다. 이와 같이 우리나라에서의 안티몬에 대한 연구 사례는 매우 적으며, 부산 광역시와 같은 도심 토양에 대한 안티몬의 조사는 더욱이 이루어진 적이 없다. 따라서 도심토양에 대한 안티몬 오염에 대한 정도를 파악할 필요가 있으며, 오염지역이 밝혀질 경우, 향후 오염지역의 복

원 시 추가 비용 절감을 위해서라도 안티몬 오염 분포에 대한 연구가 필요하다.

안티몬은 다른 중금속오염지역과의 관련성이 클 것으로 판단되어 일반적으로 광범위한 농도 분포를 보이는 납의 농도 분포와의 관련성을 조사하고, 모든 연구 범위에서 납 및 안티몬을 동시에 비교 평가한다.

부산시 토양 중 안티몬에 대한 조사를 하여 자료를 비교 평가하기 위하여, 먼저 안티몬 오염의 개연성이 큰 실태조사 지점 및 일반지역을 중심으로 안티몬 농도를 평가하고, 부산시 구군 중 산업지역(사하구, 사상구), 고철 및 비철금속 야적장(강서구), 교통중심지역(부산진구), 혼합지역(금정구), 및 주거지역(해운대구)에 대하여 지역특성에 따른 납 및 안티몬 농도분포를 비교한다. 또한 자동차 브레이크 마모에 의해 발생하는 먼지에 의해 도로지역의 토양이 오염되었을 것으로 추측되므로 도로주변 토양의 안티몬 농도를 분석 비교평가 하고자 한다.

1차 조사 결과 밝혀진 우심지역의 토양에 대해서는 폐기물 용출시험법(KS) 및 미국 TCLP 용출시험법을 사용하여 용출가능성 및 위해 가능성을 평가하고자 한다.

이러한 결과를 바탕으로 부산광역시 토양의 안티몬 오염 특성을 비교 평가하고, 향후 안티몬 문제 해결을 위한 기초자료로 활용할 수 있게 하며, 특히 오염이 심한 곳에 대한 대책을 제시하고자 한다.

III. 연구의 내용 및 범위

부산광역시의 경우, 신평 장림공단을 포함하는 사하구와 같은 공단지역, 비철금속 고물상이 산재하는 강서구, 금사공단과 일반주거지역이 혼재하는 금정구, 교통의 요지인 부산진구 및 해운대 신시가지 등 주거전용지역인 해운대구 등 구 군별로 특성을 달리하고 있어, 이 들 구역에 있어서 안티몬 오염특성을 비교할 필요가 있다. 또한 토양 오염 실태조사의 결과를 토대로 현행 토양오염물질 중 특히 납오염이 심한 지역을 중심으로 안티몬 또한 오염의 개연성이 크므로 이들 지역에 대한 오염현황 및 일반지역과의 비교 평가 필요성이 있다.

안티몬은 브레이크 패드의 마모에 의한 먼지에 의한 도로 주변 토양의 오염 가능성이 예측되므로 각 다른 특성을 가진 지역의 도로변 토양에 대한 분석 및 비교 평가를 하고자 한다.

아울러 현재 우리나라 토양오염 항목에 안티몬이 포함되지 않은 관계로 공정시험법이 없기 때문에 현행 공정시험법에서 중금속 분석방법을 적용한 농도와 USEPA 방법에 따른 분석결과를 비교할 필요가 있다. 또한 분석된 납과 안티몬의 농도 상관성 평가를 통하여 납오염 지역이 안티몬 오염지역과 상관성이 있는지 검토하고자 한다.

안티몬 오염 개연성이 큰 지점의 선정은 이전 토양오염실태조사 결과(토양지하수정보시스템 입력자료)를 바탕으로 납 등의 중금속 농도가 높은 지점 및 문헌 조사를 통하여 부산지역 내 안티몬과 관련성 있는 산업체 및 오염가능 지역을 조사범위로 한다.

또한 도로변, 노후 어린이 놀이터, 폐기물 매립시설 및 소각시설 주변, 비철금속 고물상 토양 등을 중점 대상으로 한다.

오염 개연성이 높은 지역으로 문헌 조사를 통하여 결정된 지점에 대하여, 안티몬 농도를 분석하고 1차로 선정된 지역의 시료분석 결과 높은 안티몬 농도를 나타내는 지점에 대하여 용출 시험을 통한 위해성을 평가한다.

IV. 연구결과

부산시 토양에 대하여 납 농도가 상대적으로 높은 지역 및 도로변 토양을 시료채취지점으로 선정하여 납 및 안티몬농도를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 사하구 토양을 토양오염공정시험법(KS)과 US.EPA 방법으로 분석한 결과이며, KS 방법의 경우 Pb는 최대 413.23 mg/Kg, 최소 17.94 mg/Kg, 평균 119.02 mg/Kg으로 EPA 방법으로 분석한 결과의 최대 432.80 mg/Kg, 최소 18.30 mg/Kg, 평균 111.77 mg/Kg와 큰 차이를 보이고 있지 않다. 반면 Sb의 경우는 두 가지 다른 방법으로 분석된 결과가 각각 최대 9.81 mg/Kg과 3.88 mg/Kg, 최소 0.47 mg/Kg과 0.28 mg/Kg, 평균 3.51 mg/Kg과 1.48 mg/Kg로 KS 방법으로 분석된 결과가 EPA 방법 결과에 비해 최대농도는 2.53 배, 최소농도는 1.68 배, 평균 농도는 2.37 배로 높은 결과를 나타내었다.

2. 토양오염공정시험법과 EPA 3050B 방법으로 분석된 Pb 및 Sb 농도의 상관

관계를 평가한 결과 Pb의 경우 토양오염공정시험법에 의한 방법의 결과는 결정계수(r^2) = 0.9497로 매우 높은 상관관계를 나타내고 있는 반면, Sb는 0.7965로 상대적으로 낮은 상관성을 보이고 있다.

3. Pb 농도와 Sb 농도와의 상관성을 평가한 결과, 토양오염공정시험법으로 분석한 결과의 경우 Pb 농도와 Sb 농도는 결정계수(r^2) 값이 0.779로 비교적 높은 상관성을 보인 반면, US.EPA 3050B 방법에 의한 경우는 0.4652로 상대적으로 낮은 상관성을 보이고 있다.

4. 사하구, 사상구, 강서구, 금정구, 남구, 부산진구, 해운대구에 대하여 Pb와 Sb 농도를 분석하여 각각 상관관계를 평가한 결과, 두 원소 농도의 상관관계에 대한 결정계수(r^2) 값은 최저 0.3018(금정구) ~ 최고 0.944(남구)의 넓은 범위를 나타내고 있으며, 지역 특성별, Pb 농도별 상관관계의 뚜렷한 경향은 보이고 있지 않다.

5. 강서구와 남구가 Pb 및 Sb 모두 다른 구에 비하여 높은 평균 농도를 보이고 있으나, 이는 두 지역 모두 특정지점에서 높은 농도 값을 나타내어 이 들 값이 평균값에 영향을 미쳤기 때문이다. 진구, 금정구, 해운대구는 오염원이 적은 관계로 상대적으로 낮은 평균농도 분포를 보이고 있어, 공단지역과 주거지역이 뚜렷한 농도분포를 나타내었다.

6. 토양오염 실태조사 지점 주변의 경우 Pb의 최대, 최소, 평균농도는 각각 452.40 mg/kg, 52.00 mg/kg, 209.00 mg/kg이며, Sb는 각각 3.88 mg/Kg, 0.84 mg/Kg, 1.95 mg/Kg이다. 일반지점의 경우 Pb의 최대, 최소, 평균농도는 각각 295.00mg/kg, 8.1 mg/kg, 48.41 mg/kg이며, Sb는 각각 2.48 mg/Kg, 0.08 mg/Kg, 0.83 mg/Kg이다. 이러한 결과는 토양오염실태조사 지점 주변의 토양이 일반지점의 토양보다 더욱 높은 Pb 및 Sb 농도분포를 보이고 있어, 실태조사 지점 주변의 오염이 상대적으로 심화되었음을 보여주고 있다.

7. 평균농도를 비교한 결과, Pb의 경우, 실태조사 지점이 약 4.3배 이상 높은 농도를 보이고 있으며, Sb의 경우 또한 약 2.4배 더 높은 농도분포를 보이고 있어 실태조사 지점 주변의 오염관리가 필요함을 나타내고 있다.

8. 용도별 농도분포는 Pb의 경우, 고철야적장 주변> 하천변> 도로변> 산림> 밭> 공원 및 놀이터 순이며, Sb는 고철야적장 주변> 하천변> 산림> 밭> 도로변> 공원 및 놀이터 순으로 나타났다.

9. 도로변의 먼지는 일반적인 도로변 토양과는 달리 자동차 브레이크 마모에 의한 오염으로 인하여 토양에 비하여 높은 Sb 값인 최대 5.94 mg/Kg, 최소 2.66 mg/kg, 평균 4.21 mg/Kg으로 나타났다. 이러한 농도는 오염이 심한 금속 및 비철금속 취급업소 주변보다도 높은 값으로 도로변 화단에서 채취한 토양의 낮은 오염도와 크게 비교가 된다.

10. 공단지역인 사하구 도로변은 철강공장 및 고철야적장 등 주변 오염원으로부터 오염가능성도 커서 상대적으로 매우 높은 Pb와 Sb농도 분포를 나타내고 있는 반면, 주거 중심지인 해운대구 및 교통중심지인 진구의 경우 낮은 농도분포를 보이고 있다.

Pb 및 Sb의 구별 평균농도는

Pb : 사하구> 금정구> 진구> 해운대구 순이며,

Sb 또한 사하구> 금정구> 진구> 해운대구 순으로 농도 분포를 나타내었다.

11. 폐기물 공정시험법을 용출시험을 한 결과, 전 시료에서 Sb는 검출한계 미만(ND)으로 나타났으며, 사하 2(Pb 농도 200.80 mg/Kg)와 사하6(Pb 농도 432.80 mg/Kg)의 경우만 각각 0.002 mg/L와 0.027 mg/L로 용출되었으나, 용출 허용기준 3 mg/L 보다는 무시할 정도로 매우 낮은 농도를 보였다.

12. 미국 TCLP법으로 용출한 결과, 강서 2(Pb 농도 445.40 mg/Kg)의 경우 0.28 mg/L, 사하7(Pb 농도 116.44 mg/Kg)의 경우 0.001 mg/L의 농도를 나타내었으며, 그 외 시료는 모두 검출한계 미만으로 분석되었다. 이 두 시료의 경우 Pb

의 MCLG인 0 mg/L을 초과하였으며, 강서2는 TT의 action level 인 0.015 mg/L도 초과하여 위해성에 대한 주의가 필요하다.

13. 미국 TCLP법으로 용출한 Sb의 경우는 강서4(Sb 농도 2.1 mg/Kg)의 경우 0.004 mg/L, 사상6(Sb 농도 1.8 mg/Kg)은 0.007 mg/L, 사하2(Sb 농도 2.3 mg/Kg)는 0.008 mg/L, 사하6(Sb 농도 3.04 mg/Kg)은 0.015 mg/L로 강서 4를 제외하고는 Sb의 MCL인 0.006 mg/L를 초과하였으며, 사하6의 경우는 MCL의 2.5배를 초과하는 농도로 검출되었다.

V. 연구결과의 활용계획

○ 공공, 교육, 사회연구목적 활용

- 본 연구를 통하여 부산시 보건환경 연구원 및 토양전문조사기관은 안티몬 분석에 대한 방법을 확보할 수 있음
- 연구 결과는 부산지역 내 토양복원 시행 업체의 토양시장 선점을 위한 귀중한 자료가 될 수 있음
- 부산시는 본 연구결과를 활용하여 지자체 중 토양정책의 선두에 설 수 있는 계기가 될 수 있음
- 본 연구 결과는 관련된 공공기관 및 사기업의 교육자료로 활용이 가능함

○ 공업소유권(발명특허, 실용실안, 의장, 규격 등)

- 본 연구 결과를 통하여 얻은 복원방법은 특허 등록이 가능하여, 복원업체들의 시장성 확보에 기여할 것임

○ 국내외 전문학술지 게재

- 본 연구 결과는 국내 및 국제 저명 학술지에 게재 할 것이며, 국내 안티몬에 의한 환경오염 문제 연구의 주도권을 확보