

우리나라 토양중 토지용도 및 시험방법별 중금속 분포 특성

김태승·김동호·윤정기·박종겸·정일록·김종하·김 혁
국립환경연구원 토양지하수연구과
e-mail : tskim99@me.go.kr

Abstract

Background level of heavy metals in soils (316 points by 15 classifications of land use) was investigated by two test methods, 0.1N HCl(1N HCl for As) extraction and aqua regia extraction methods. The average concentrations of aqua regia extractable heavy metals in soil(n=316) was 6.24(As), 0.25(Cd), 37.99(Cr), 24.10(Cu), 0.04(Hg), 25.68(Pb), 22.59(Ni), 106.11(Zn) mg/kg, respectively. Also the average concentrations of 0.1N HCl extractable heavy metals was 0.06(As), 0.08(Cd), 0.27(Cr), 3.78(Cu), 4.02(Pb), 12.5(Zn), 0.58(Ni) mg/kg, respectively. The ratio of soluble contents and total contents were 2.6%(As), 32.7%(Cd), 0.7%(Cr), 15.7%(Cu), 15.7%(Pb), 2.6%(Ni), 11.8%(Zn), and the correlation coefficient of soluble contents and total contents were 0.26(As), 0.27(Cd), 0.22(Cr), 0.57(Cu), 0.42(Pb), 0.23(Ni), 0.72(Zn).

key word : heavy metal, background level, extraction method,

1. 서 론

토양환경보전의 정책목표는 궁극적으로 토양오염물질에 의한 노출로부터 인체 및 환경 위해성을 사전에 방지하고, 오염된 토양부지에서 오염물질에 의한 유해성을 인체 및 환경에 피해가 없도록 저감시키는 것이라 할 것이다. 이와 같은 관점에서 합리적인 토양오염기준의 설정은 사전에 토양오염 수준을 파악하여 오염을 예방하고, 오염된 토양의 정화 목표를 설정하는 1차적인 판단기준으로 사용되고 있음을 감안할 때 매우 중요한 요소가 아닐 수 없다.

1996년 개별법으로서 토양환경보전법이 만들어지면서 토양오염기준이 확대 제정되어 현재 토양오염물질로서 17개 항목이 설정되어 있으며, 이들 항목 중 중금속 항목은 카드뮴 등 8개 항목이다.¹⁾ 토양중 중금속에 대한 오염기준을 설정함에 있어 기준값은 시험방법에 크게 의존한다. 즉, 토양중 중금속의 함량을 결정하기 위해 사용된 전처리 방법에 의해 중금속별로 용출 특성이 매우 다르게 나타난다.^{2~4)} 현재 토양오염공정시험방법에서는 As, Cd, Cu, Cr(VI), Pb은 0.1N 또는 1N 염산에 의한 가용성 함량시험방법인 반면, Ni, Zn, Hg은 전함량 시험방법으로 제시되어 있다.⁵⁾ 선진국의 경우 토양질 기준을 설정하기 위해 대부분 산분해를 통한 전함량 시험방법을 사용하고 있으며, 이와 연계하여 배경농도 조사 및 오염토양의 위해성 평가가 이루어지고 있다.^{6~9)} 이를 감안할 때 현행 토양오염공정시험방법에서와 같이 다원화되어 있는 토양중 중금속의 시험방법은 전함량 시험방법으로 전환시켜야 한다는 필요성이 대두되고 있다.^{4,10)}

본 연구에서는 토양중 중금속 오염기준 재설정 방안을 마련하고자 토양중 중금속 시험방법에

따른 토지이용도별 배경농도 및 용출특성을 조사하였다.

2. 연구내용 및 방법

(1) 조사지점 선정 및 시료채취

토지이용도별 중금속 배경농도조사를 조사하기 위하여 현재 우리나라 토양측정망 구성에서 토지이용도별 15개 지목의 구성비율과 지역적인 분포를 고려하여 아래 Table 1과 같이 총 316개 지점을 선정하였다.¹¹⁾

Table 1. Distributions of soil sample based on soil monitoring network

Class	Sampling sites(316)
Land use	Park(17), Industry(26), Orchard(17), Paddy(21), Upland(34), Road(17), Pasture(19), Recreation(17), Forest(17), Others(18), Field(23), Railroad(15), Sports(29), Rivers(16), School(30)
Administrative district	Seoul(11), Gyonggi-do(33), Gangwon-do(28), Chungcheongbuk-do(40), Chungcheongnam-do(9), Gyongsangbuk-do(33), Gyongsangnam-do(33), Jeollabuk-do(35), Jeollanam-do(33), Incheon Metropolitan City(3), Daegu Metropolitan City(11), Pusan Metropolitan City(6), Ulsan Metropolitan City(7), Kwangju Metropolitan City(5), Daejeon Metropolitan City(2), Jeju-do(27)

(2) 시험방법 및 분석

시험방법에 따른 배경농도를 비교·분석하기 위해 토양오염공정시험방법중 0.1N 염산(As는 1N 염산) 가용성 분석법과 전함량 시험방법인 왕수추출법을 사용하였다. 단, 수은(Hg)은 토양오염공정시험방법을 사용하여 함유량을 측정하였다.⁵⁾

(3) 대상항목

대상항목은 토양환경보전법에서 토양오염물질로 지정된 중금속 항목인 비소(As), 카드뮴(Cd), 6가크롬(Cr(VI)), 구리(Cu), 수은(Hg), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn) 이외에 총크롬(Cr)을 추가하여 모두 9개 항목으로 하였다.

3 결과 및 고찰

(1) 시험방법에 따른 중금속 함량 조사

1) 전함량

토지이용도를 고려하여 선정한 316개 조사지점의 중금속별 전함량 평균값과 그 범위는 각각 As 6.24(0.57 ~ 54.0)mg/kg, Cd 0.251(ND ~ 1.800)mg/kg, Cr 37.99(4.24 ~ 444.17)mg/kg, Cu 24.10(1.88 ~ 204.67)mg/kg, Hg 0.043(ND ~ 0.811)mg/kg, Ni 22.59(0.48 ~ 228.33)mg/kg, Pb 25.68(1.68 ~ 177.98)mg/kg, Zn 106.11(25.26 ~ 593.02)mg/kg 이었다.

또한 각 중금속별 분포빈도가 높은 함유량 범위는 각각 As 2.5 ~ 5.0, Cd 0 ~ 0.1, Cr 0 ~ 20,

Cu 10~20, Hg 0~0.04, Ni 0~10, Pb 10~20, Zn 67~100mg/kg이었다.

2) 가용성 함량

우리나라 15개 토지이용도를 고려한 316개 지점 토양의 중금속 배경농도를 0.1N HCl(As는 1N HCl)로 용출한 가용성 함량 평균값과 그 범위는 각각 As 0.06(ND~1.03)mg/kg, Cd 0.082(ND~0.485)mg/kg, Cr 0.27(ND~2.88)mg/kg, Cu 3.78((ND~157.5)mg/kg, Ni 0.58(ND~5.63)mg/kg, Pb 4.02(ND~45.12)mg/kg, Zn 12.50((ND~158.66)mg/kg이었다.

3) 전함량과 가용성함량 비교

토지이용도를 고려한 316개 토양시료를 왕수로 분해한 전함량과 0.1N HCl 가용성함량을 비교한 결과를 Table 2에 나타내었다. 가용성함량에 대한 전함량의 비율값은 Cd 3.1, Cu와 Pb 6.4, Zn 8.5, Ni 38.9, As 104, Cr 140.7로 Cd가 가장 작고, Cr이 가장 큰 값을 나타냈다.

이들 비율값을 일본의 조사결과³⁾인 Cd 1.8, Pb 6.1, Zn 7.1, As 8.0, Cu 9.0, Ni 33.1, Cr 133.4과 비교해 볼때 As를 제외하고는 큰 차이를 보이지 않았다. As의 경우는 본 조사와 일본의 결과가 전함량/가용성함량이 각각 7.6/0.2mg/kg, 9.02/1.13mg/kg으로 일본이 전함량은 1.2배, 가용성함량은 5.6배 높은 수준이었다. 이러한 사실로 미루어 보면 일본 토양은 1N HCl로 용출이 용이한 형태의 As가 함유되어 있는 것으로 추정할 수 있다.

4) 전함량과 가용성함량간의 상관성

전함량과 가용성함량간의 각 중금속별 상관계수는 Zn 0.72, Cu 0.57, Pb 0.42, Cd 0.27, As 0.26, Ni 0.23, Cr 0.22 순서로 컸으며, 모두 1% 수준의 유의성 있는 정의 상관관계를 나타내었다.

Table 2. Ratio of heavy metal concentration according to test methods(n=316).

Elements	Determination range (Min. ~ Max., mg/kg)	Ratio of Mean value (Aqua regia/0.1N HCl)
As*	ND ~ 1.03	7.6/0.2=38
	0.57 ~ 54.0	
Cd	ND ~ 0.485(0.1N HCl)	0.251/0.082=3.1
	ND ~ 1.800(Aqua regia)	
Cr	ND ~ 2.88	37.99/0.27=140.7
	4.24 ~ 444.17	
Cu	ND ~ 157.50	24.10/3.78=6.4
	1.88 ~ 204.67	
Ni	ND ~ 5.63	22.59/0.58=38.9
	0.48 ~ 228.33	
Pb	ND ~ 45.12	25.68/4.02=6.4
	1.68 ~ 177.98	
Zn	ND ~ 158.66	106.11/12.5=8.5
	25.26 ~ 593.02	

* As : 1N HCl extraction

(2) 토지이용도별 중금속 함량 분포

우리나라 15개 토지이용도별, 중금속별, 분석방법별 중금속 함유량 분포를 조사한 결과 As의 경우 전함량은 목장용지가 11.05mg/kg으로 최대, 대지가 5.00mg/kg으로 최소이었고, 가용성함량은 철도용지와 하천부지가 0.13mg/kg으로 최대, 공장용지가 0.02mg/kg으로 최소였다. Cd의 경우 전함량은 도로용지가 0.695mg/kg으로 최대, 목장용지가 0.133mg/kg으로 최소이었고, 가용성함량도 도로용지가 0.122mg/kg으로 최대, 목장용지가 0.053mg/kg으로 최소였다. 또한 Cr은 전함량은 잡종지가 53.95mg/kg으로 최대, 철도용지가 27.49mg/kg으로 최소이었고, 가용성함량은 과수원이 0.61mg/kg으로 최대, 임야가 0.14mg/kg으로 최소였다.

Cu의 경우 전함량은 과수원이 40.54mg/kg으로 최대, 하천부지가 14.40mg/kg으로 최소이었고, 가용성함량은 과수원이 13.67mg/kg으로 최대, 임야가 1.74mg/kg으로 최소였다. Hg은 전함량은 대지가 0.089mg/kg으로 최대, 체육용지가 0.014mg/kg으로 최소였다. Ni의 경우 전함량은 잡종지가 41.11mg/kg으로 최대, 도로용지가 12.84mg/kg으로 최소이었고, 가용성함량은 과수원이 1.34mg/kg으로 최대, 유원지가 0.34mg/kg으로 최소였다. Pb의 경우는 전함량이 철도용지가 33.36mg/kg으로 최대, 하천부지가 17.81mg/kg으로 최소이었고, 가용성함량은 답이 5.22mg/kg으로 최대, 하천부지가 2.80mg/kg으로 최소였다. Zn은 전함량의 경우 도로용지가 157.16mg/kg으로 최대, 목장용지가 68.69mg/kg으로 최소이었고, 가용성함량은 도로용지가 26.31mg/kg으로 최대, 임야가 3.57mg/kg으로 최소였다.

이상의 결과에서 보는 바와 같이 토양중 중금속 함량 수준은 토지이용도별로 일정한 경향을 나타내지 않았으며, 중금속 성분에 따라 각각 다른 양상을 보여주었다.

4. 결론

본 연구에서는 토양중 중금속 오염기준 재설정 방안을 마련하고자 토지이용도별 배경농도 및 용출특성을 조사하여 토지이용도의 세분화 및 기준값 설정에 활용하고자 우리나라 15개 토지이용도별 316개 지점에 대한 시험방법 및 토지이용도별 중금속 분포를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

토지이용도를 고려한 316개 토양시료를 왕수로 분해한 전함량과 0.1N HCl 가용성함량을 비교한 결과 가용성함량에 대한 전함량의 비율값은 Cd 3.1, Cu와 Pb 6.4, Zn 8.5, Ni 38.9, As 104, Cr 140.7로 Cd가 가장 작고, Cr이 가장 큰 값을 나타내었으며, 전함량과 가용성함량간의 각 중금속별 상관계수는 Zn 0.72, Cu 0.57, Pb 0.42, Cd 0.27, As 0.26, Ni 0.23, Cr 0.22 순서로 컸으며, 모두 1% 수준의 유의성 있는 정의 상관관계를 나타내었다.

한편 토지이용도별 토양중 중금속 함량 수준은 토지이용도별로 일정한 경향을 나타내지 않았으며, 중금속 성분에 따라 각각 다른 양상을 보여주었다.

5. 참고문헌

- 1) 환경부, (2005a), 토양환경보전법.
- 2) 김태승 등, (2004), 토양오염기준 평가 및 확립에 관한 연구(I), 국립환경연구원.
- 3) 日本 環境廳, (1984), 土壤汚染環境基準設定調査(自然賦存量調査).
- 4) 정구복 등, (2005), 토양특성별 중금속 유효도와 토양오염 평가방법의 개선점, 한국농학회지 제24권, 제2호, 1~11.
- 5) 환경부, (2002), 토양오염공정시험방법.

- 6) US EPA SW-846 Method 3050B, Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils.
- 7) ISO 11466, (1995), Soil quality - Extraction of trace metals soluble in aqua regia.
- 8) ISO 11047, (1998), Soil quality - Determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc - Flame and electrothermal atomic absorption spectrometric
- 9) Kabata-Pendias, A., Pendias, H., (1984), Trace elements in soils and Plants, CRC press, Boca Raton, Fla.
- 10) 환경부, (2003), 토지이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구.
- 11) 환경부, (2005b), 2004년도 토양측정망 및 실태조사 결과