

우리나라 토양의 중금속 자연배경농도 평가

윤정기 · 김동호 · 김태승* · 박종겸 · 정일록 · 김종하 · 김 혁

국립환경과학원

Evaluation on Natural Background of the Soil Heavy Metals in Korea

Jeong Ki Yoon · Dong Ho Kim · Tae Seung Kim* · Jong Gyum Park

Il Rok Chung · Jong Ha Kim · Hyuk Kim

National Institute of Environmental Research

ABSTRACT

This study was conducted in order to get the scientific background for soil pollution criteria. The 92 soil samples derived from various geological units were taken and analyzed to survey natural heavy metal background levels using aqua regia digestion method and 0.1N HCl extraction method. From these results, the average natural contents of metals were 0.287 mg/kg for Cd, 15.26 mg/kg for Cu, 18.43 mg/kg for Pb, 25.36 mg/kg for Cr, 54.27 mg/kg for Zn, 17.68 mg/kg for Ni, 6.83 mg/kg for As by the aqua regia method, and 0.040 mg/kg for Cd, 0.48 mg/kg for Cu, 3.06 mg/kg for Pb, 0.09 mg/kg for Cr, 1.54 mg/kg for Zn, 0.27 mg/kg for Ni, 0.089 mg/kg for As by the 0.1N HCl extraction method. Ratios of soluble contents and total contents were Cd 0.14, Cu 0.03, Pb 0.17, Cr 0.004, Zn 0.03, Ni 0.02, As 0.013 and the correlation coefficients of soluble contents and total contents were 0.24(As), 0.88(Cd), 0.43(Cr), 0.65(Cu), 0.70(Pb), 0.61(Ni), 0.24(Zn). The correlation factor decreased in the order of Cd > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn ≈ As.

Key word : Heavy metals, Natural background, Aqua regia, Correlation, Criteria

요 약 문

우리나라 토양 중 중금속 자연배경농도를 비교·평가함으로써 토양오염기준 설정을 위한 과학적 근거를 마련하고자 전국 주요 지질단위인 대동층군, 백악기화강암, 옥천층군, 조선누층군, 평안층군, 경상누층군, 슈라기화강암, 화산암, 변성암 등 산림지역 총 92개 지점에 대한 표토를 0.1N 염산 가용성 시험방법 및 왕수 시험방법으로 분석한 결과, 왕수시험방법에 의한 자연함유량 평균값(mg/kg)은 Cd 0.287, Cu 15.26, Pb 18.43, Cr 25.36, Zn 54.27, Ni 17.68, As 6.83으로 조사되었으며, 가용성 시험결과 평균농도(mg/kg)는 Cd 0.040, Cu 0.48, Pb 3.06, Cr 0.09, Zn 1.54, Ni 0.27, As 0.089로 나타났다. 이들 시료의 가용성 평균 농도는 왕수 시험방법의 평균농도에 비하여 각각 Cd 13.9%, Cu 3.1%, Pb 16.6%, Cr 0.4%, Zn 2.8%, Ni 1.5%, As 1.3% 수준으로 낮게 평가되었다. 또한 가용성 시험방법과 왕수 시험방법에 의한 중금속 측정값 간의 상관계수는 0.24~0.88의 범위로 나타났으며 Cd > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn ≈ As의 순으로 감소하였다.

주제어 : 중금속, 자연배경농도, 왕수, 상관계수, 토양오염기준

1. 서 론

토양은 오염물질의 존재형태 및 거동의 다양성, 자연배경 농도 등 매체의 복잡성으로 수질, 대기 및 폐기물과

달리 토양질을 관리하는 기준은 각 국가마다 매우 다양하다. 따라서 WHO/FAO의 먹는물 기준과 같은 국제적으로 통용되는 기준을 제안하기 곤란하다. 이중 토양 중의 자연적인 중금속 농도는 지질학 및 지리학적 조건이 모두

*Corresponding author : tskim99@me.go.kr

원고접수일 : 2008. 5. 28 심사일 : 2008. 6. 17 게재승인일 : 2009. 6. 23
질의 및 토의 : 2009. 8. 31 까지

Table 1. Distribution of soil sample based on geological units

Class	Sampling sites (number)
Geological units	Daedong Supergroup(5), Cretaceous Granite(12), Okcheon Supergroup(8), Joseon Supergroup(8), Pyeong-an Supergroup(4), Gyeongsang Supergroup(12), Jurassic Granite (14), Volcanic Rock(14), Metamorphic rock(15)
Administrative district	Gyeonggi-do(8), Gangwon-do(14), Chungcheongbuk-do(12), Chungcheongnam-do(7), Gyeongsangbuk-do(16), Gyeongsangnam-do(7), Jeollabuk-do(13), Jeollanam-do(11), Incheon Metropolitan City(1), Daegu Metropolitan City(1), Jeju-do(2)

관계되며, 지구화학적 측면에서 자연적으로도 상당한 수준의 중금속에 노출될 수 있다(신성천 외, 2000). 또한 토양 중 중금속에 대한 기준값은 대부분 시험방법에 크게 의존하는 특성이 있다. 즉, 토양 중 중금속의 함량을 결정하기 위해 사용된 전처리 방법에 의해 중금속별로 용출 특성이 매우 다르게 나타날 수 있다(김태승 외, 2004; 日本環境廳, 1984; 정구복 외, 2005).

우리나라는 1996년 개별법으로서 토양환경보전법이 제정·시행된 이후 카드뮴 등 8개 중금속 항목을 포함하여 현재 토양오염물질로서 17개 항목이 설정되어 있으며, 중금속의 경우 현행 토양오염공정시험방법에서 As, Cd, Cu, Cr(VI), Pb은 0.1N 또는 1N 염산에 의한 가용성함량 시험방법인 반면, Ni, Zn, Hg은 왕수 및 질산에 의한 전함량 시험방법으로 제시되어 있다. 이처럼 다원화되어 있는 토양 중 중금속의 시험방법을 운영의 효율성 및 위해성 평가에의 활용 등을 고려하여 전함량 시험방법으로 일원화해야 한다는 필요성이 대두되고 있다(환경부, 2003, 2005). 이러한 관점에서 가용성 함량과 전함량 시험방법을 이용한 토양중 중금속의 자연배경 농도 등에 대한 비교·평가는 새로운 토양오염기준을 설정하는데 중요한 요인이 될 수 있으며, 각국에서도 기준 설정 및 복원목표 설정을 위해 배경농도를 조사하고 있다(Ferguson et al., 1998). 일본의 경우 다양한 시험방법을 이용하여 전국적인 배경농도를 조사를 수행한 바 있으며(日本環境廳, 1984), 우리나라도 토양 중 자연배경농도에 대하여 일부 조사된 바 있으나 가용성 함량 등 제한적인 중금속 시험방법을 채택하고 있다(유홍일 외, 1988).

따라서 본 연구에서는 우리나라 주요 지질단위별로 토양 중 중금속의 가용성 및 전함량 등 시험방법에 따른 자연배경농도를 조사하고, 비교·평가함으로써 새로운 토양오염기준 설정을 위한 과학적 근거를 마련하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 조사지점 선정 및 시료채취

토양 중 중금속 자연배경농도 조사를 위한 표본조사지

점의 선정은 위하여 한국지질도 및 지구화학도 자료와 우리나라 토양통 현황자료, 측정망 운영자료 등을 참고로 하여 최종 92개 지점을 선정하였다. 시료채취지점은 우리나라 주요 지질단위를 고려하여 전국을 대상으로 주로 인위적인 간섭이 없어 자연배경농도를 대표할 수 있는 산림토양을 대상으로 선정하였다. Table 1은 지질단위별 행정구역별 전국 배경농도 조사지점수를 나타내었다.

2.2. 토양 분석

2.2.1. 대상항목

대상항목은 토양환경보전법에서 토양오염물질로 지정된 중금속 항목인 비소(As), 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn) 이외에 크롬(Cr)을 추가하여 모두 7개 항목으로 하였다.

2.2.2. 시험방법

토양시료의 조제 및 분석은 토양오염공정시험방법(환경부, 2002)에 준하여 실시하였다. 토양중 중금속의 가용성 함량은 토양시료 10 g을 100 mL 삼각플라스크에 취하여 0.1N-HCl 50 mL(단, 비소는 1N-HCl)를 가한 다음 실온에서 1시간(단, 비소는 30분) 진탕하고 No. 5B로 여과하여 As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn 및 Cr 함량을 측정하였다. 토양의 중금속함량 분석은 원자흡광광도계(AAS)를 이용하였다(환경부, 2002). 토양중 중금속의 전함량은 왕수(Aqua regia)를 이용하여 전처리한 후 원자흡광광도계(AAS)로 분석하였다(환경부, 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1. 중금속 자연배경농도 조사

3.1.1. 전함량

Table 2에 우리나라 남한의 9개 지질단위를 고려한 92개 지점 산림토양의 중금속 자연함유량에 대한 전함량 조사결과를 나타내었다. Table 2에서와 같이 중금속별 전함량 평균값과 그 범위는 각각 Cd 0.287(0.033~0.700) mg/kg, Cu 15.26(2.80~50.00) mg/kg, Pb 18.43(4.07~78.33)

Table 2. Ranges in concentration and summary statistics of elements in forest soils (Total, Aqua regia)

Parameter	(Unit:mg/kg)						
	Cd (n = 13)	Cu (n = 88)	Pb (n = 88)	Cr (n = 88)	Zn (n = 88)	Ni (n = 88)	As (n = 88)
Mean	0.287	15.26	18.43	25.37	54.27	17.68	6.83
Standard Deviation	0.234	9.02	11.90	17.92	18.87	14.30	4.27
Standard error	0.065	0.96	1.27	1.91	2.01	1.52	0.46
Coefficient of Variation (CV)(%)	81.6	59.1	64.6	70.6	34.8	80.9	62.5
Geometric Mean	0.190	12.98	16.04	21.29	51.04	14.31	5.72
Minimum	0.033	2.80	4.07	4.87	21.34	1.11	0.56
Median	0.233	13.00	15.73	20.48	52.00	14.44	5.99
Maximum	0.700	50.00	78.33	106.00	103.40	114.43	20.58

Table 3. Ranges in concentration and summary statistics of elements in forest soils (0.1N HCl Extractable)

Parameter	(Unit:mg/kg)						
	Cd (n = 15)	Cu (n = 87)	Pb (n = 86)	Cr (n = 48)	Zn (n = 88)	Ni (n = 87)	As (n = 82)
Mean	0.040	0.48	3.06	0.09	1.55	0.27	0.089
Standard Deviation	0.037	0.52	1.72	0.11	5.14	0.30	0.078
Standard error	0.009	0.06	0.19	0.02	0.55	0.03	0.009
Coefficient of Variation (CV)(%)	92.3	108.5	56.4	128.4	333.0	112.0	87.6
Geometric Mean	0.025	0.30	2.64	0.05	0.62	0.21	0.059
Minimum	0.005	0.01	0.20	0.01	0.06	0.04	0.003
Median	0.030	0.32	2.98	0.05	0.59	0.22	0.071
Maximum	0.125	3.69	13.25	0.64	46.93	2.48	0.530

As : 1N HCl Extractable

mg/kg, Cr 25.37(4.87~106.00) mg/kg, Zn 54.27(21.34~103.40) mg/kg, Ni 17.68(1.11~114.43) mg/kg, As 6.83(0.56~20.58) mg/kg이었다. 평균값과 농도범위는 검출된 시료를 대상으로 계산하였다.

각 중금속별 분포빈도를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에 서와 같이 각 중금속별 분포빈도가 높은 함유량 범위는 각각 Cu 5~10, Pb 10~20, Cr 10~20, Zn 30~50, Ni 10~20, As 5~7.5 mg/kg이었다.

한편 표준오차는 Cd 0.065, Cu 0.96, Pb 1.27, Cr 1.91, Zn 2.01, Ni 1.52, As 0.46로 Cd이 평균값에 대한 정확도가 가장 높은 것으로 나타났다. 또한, 변이계수(CV)는 Cd이 81.6%로 조사지점간 전함량값들의 변동폭이 가장 컸고, Zn이 34.8%로 가장 작았다.

본 연구의 중금속 전함량 평균값은 한국지질자원연구원 에서 2000년(신성천 외, 2000)과 2003년(신성천 외, 2003)에 조사한 남한의 지질단위별 하천퇴적물의 중금속 자연함유량 평균값인 Cd 1.12 mg/kg, Cu 29.54 mg/kg, Pb 28.50 mg/kg, Zn 118.30 mg/kg, Cr 71.67 mg/kg, Ni 24.24 mg/kg에 비하여 약 25~73% 수준으로 낮았는데, 이

는 산림토양과 하천퇴적물이라는 시료의 형태적인 차이뿐만 아니라 신성천 외(2003)이 사용한 질산, 과염소산, 불산, 염산을 이용한 산분해방법과 본 연구에서 사용한 왕수시험방법과의 전처리방법의 차이점 때문으로 판단된다.

한편, 본 조사결과를 Kabata-Pendias(2001)가 조사한 전세계 토양의 평균 중금속 함유량인 Cd 0.53 mg/kg, Cu 20 mg/kg, Pb 25 mg/kg, Zn 64 mg/kg, Cr 54 mg/kg, Ni 22 mg/kg, As 7.7 mg/kg에 비교하면 47~89% 수준으로 나타났다. 또한, Bradford(1996) 등이 조사한 미국 캘리포니아 대표적인 농경지 토양의 중금속 자연함유량 평균값인 Cd 0.36 mg/kg, Cu 28.7 mg/kg, Pb 23.9 mg/kg, Cr 122 mg/kg, Zn 149 mg/kg, Ni 57 mg/kg, As 3.5 mg/kg에 비교하면 약 20~80% 수준이었으며, 일본에서 농경지 및 임야를 모두 포함한 687개 토양시료를 대상으로 중금속 자연부존량 조사(日本環境廳, 1984)를 위한 산분해법에 의한 각 원소의 평균 함유량인 Cd 0.413 mg/kg, Cu 36.97 mg/kg, Pb 20.43 mg/kg, Cr 41.34 mg/kg, Zn 63.83 mg/kg, Ni 23.7 mg/kg, As 9.02 mg/kg과 비교하면 41~90% 수준인 것으로 나타났다. 이러한 전함량값의 차

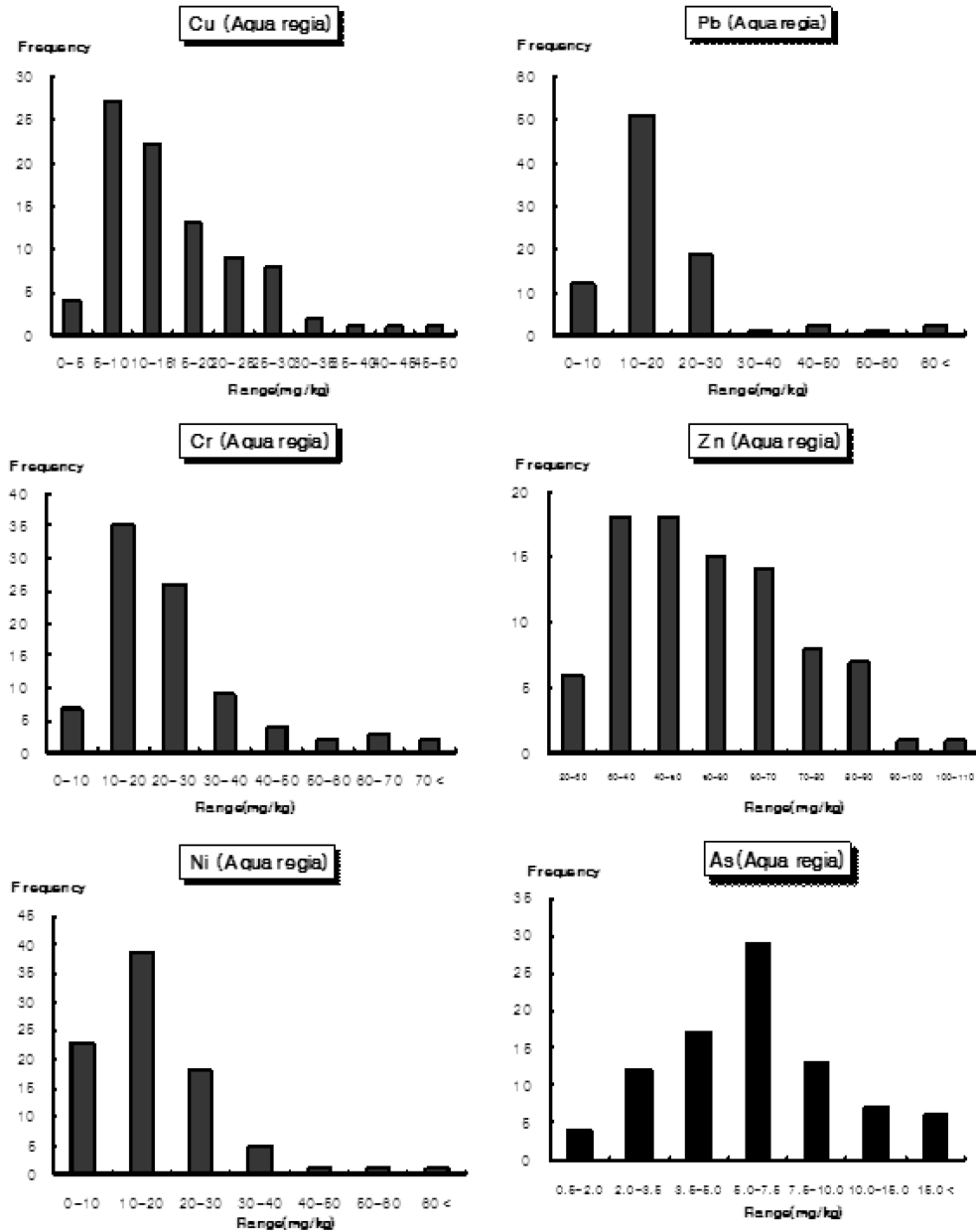


Fig. 1. Distribution of heavy metal contents in forest soil (Aqua regia extraction).

이는 각 나라별 지질학적 특성과 시험방법 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

3.1.2 가용성함량

우리나라 남한의 9개 지질단위를 고려한 92개 산림토양의 0.1N HCl 가용성 함량에 대한 조사결과를 Table 3에 나타내었다. Table 3에서와 같이 중금속별 가용성 함량 평균값과 그 범위는 각각 Cd 0.040(0.005~0.125) mg/kg, Cu 0.48(0.01~3.69) mg/kg, Pb 3.06(0.20~13.25) mg/

kg, Cr 0.09(0.01~0.64) mg/kg, Zn 1.55(0.06~46.93) mg/kg, Ni 0.27(0.04~2.48) mg/kg, As 0.089(0.003~0.530) mg/kg이었다. 평균값과 농도범위는 검출된 시료를 대상으로 계산하였다.

표준오차는 Cd과 As가 0.009, Cr 0.02, Ni 0.03, Cu 0.06, Pb 0.19, Zn 0.55로 Cd과 As가 평균값에 대한 정확도가 가장 높은 것으로 나타났다. 또한, 변이계수(CV)는 전함량과는 달리 Zn이 333.0%로 조사지점간 가용성함량값들의 변동폭이 가장 컸고, Pb이 56.4%로 가장 작았다.

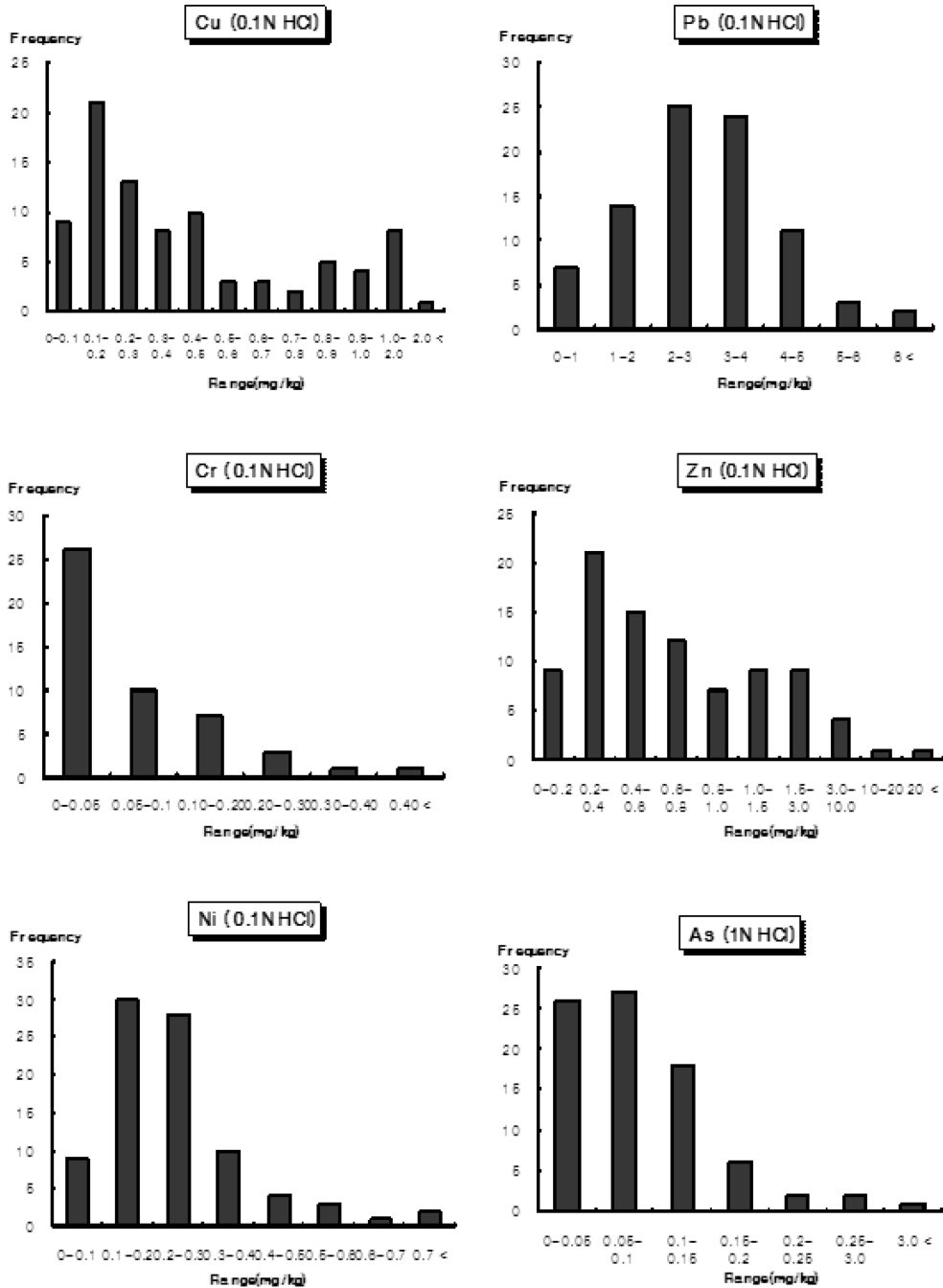


Fig. 2. Distribution of heavy metal contents in forest soil (0.1N HCl extraction, but As is 1N HCl).

각 중금속별 분포빈도를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에 서와 같이 각 중금속별 분포빈도가 높은 함유량 범위는 각각 Cu 0.1~0.2, Pb 2~3, Cr 0~0.05, Zn 0.2~0.4, Ni 0.1~0.3, As 0.05~0.1 mg/kg이었다.

한편, 정구복 외(2000)의 모암이 화강암, 퇴적암, 변성 암인 산림토양중 중금속 자연함유량 조사결과는 평균값이 Cd 0.035 mg/kg, Cu 0.63 mg/kg, Pb 4.17 mg/kg, Zn 1.38

mg/kg으로 Cd과 Zn은 본 조사결과가 약간 높았고, Cu와 Pb은 정구복 외(2000)의 조사결과가 약간 높았지만 큰 차 이는 나타나지 않았다.

또한 일본에서 농경지 및 임야를 모두 포함한 687개 토양시료를 대상으로 중금속 자연부존량 조사(日本 環境廳, 1984)를 위한 0.1N-HCl 가용성함량(단, Ni은 0.2M 초산암모늄 침출)에 의한 각 원소의 평균 함유량인 Cd

Table 4. Correlation between two analytical methods (Total and 0.1N HCl Extractable)

Heavy Metal (number)	Correlation Coefficient
Cd(10)	0.88**
Cu(87)	0.65**
Pb(86)	0.70**
Cr(48)	0.43*
Zn(88)	0.24**
Ni(87)	0.61**
As(82)	0.24*

(): Sample number, ** = p < 0.01, * = p < 0.05.

0.23 mg/kg, Cu 4.09 mg/kg, Pb 3.34 mg/kg, Cr 0.31 mg/kg, Zn 9.03 mg/kg, Ni 0.86 mg/kg, As 1.13 mg/kg 과 비교하면 8~92% 수준으로 편차가 크게 나타났으며, As가 8%로 가장 큰 차이를 나타내었다. 이러한 배경농도의 차이는 모암과 토지이용도 및 본래부터 토양이 가지고 있는 불균일성 등에 따른 용출특성의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

3.2. 전함량과 가용성함량과의 관계

우리나라 남한의 9개 지질단위를 고려한 92개 지점 산림토양의 중금속 전함량과 가용성함량과의 상관계수를 Table 4에 나타내었다.

각 중금속별 상관계수는 Cd 0.88, Cu 0.65, Pb 0.70, Cr 0.43, Zn 0.24, Ni 0.61, As 0.24로 Cd > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn ≈ As의 순으로 감소하였으며, 이들 중금속 중 Cr 및 As는 5% 수준이었고, 나머지 중금속은 1% 수준의 유의성 있는 정의 상관관계를 나타내었다. 각 중금속 원소별 결정계수(r²)는 Cu, 0.4175, Pb 0.4835, Cr 0.183, Zn 0.1245, Ni 0.3762, As 0.0558이었다.

왕수로 분해한 전함량과 0.1N HCl 가용성함량을 비교하여 Fig. 3에 나타내었다. 전함량에 대한 가용성함량의 비율값은 Cr 0.004, Ni 0.02, Cu와 Zn 0.03, Cd 0.14, Pb 0.17로 Cr이 가장 작고, Pb이 가장 큰 값을 나타내었다. 특히, 총 Cr의 경우는 매우 낮은 용출율을 보여주고 있다.

이들 비율값을 일본의 조사결과(日本環境廳, 1984)인 Cr 0.01, Ni 0.04, Cu 0.14, Zn 0.16, Pb 0.18, Cd 0.60과 비교해 보면 유사한 경향을 보이는 Pb을 제외한 Cd 등 다른 중금속들은 일본토양에 비해 용출되는 정도가 2~4.5배 정도 낮은 것으로 나타났다.

이러한 결과는 주요 모암이 화강암인 우리나라와 주요 모암이 현무암인 일본의 지질특성 및 토지이용도와 시험

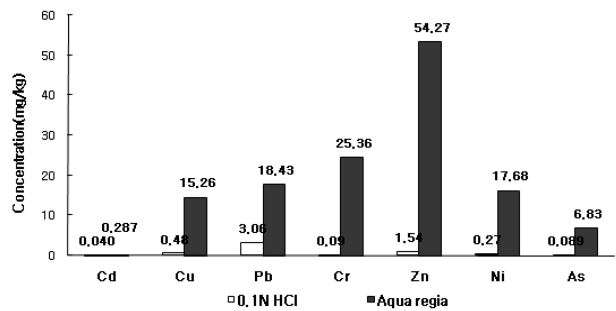


Fig. 3. Comparison between analytical methods (0.1N HCl/Aqua regia).

방법에 따른 차이인 것으로 판단된다.

3.3. 지질단위별 중금속 함량 비교

본 조사대상인 9개 지질 단위별, 중금속별, 분석방법별 중금속 함유량을 Fig. 4에 각각 나타내었다. 단, Cd의 경우 검출율이 낮아 지질단위별 비교가 불가능하여 제외하였다.

Cu 전함량은 조선누층군이 20.43 mg/kg으로 최대, 대동층군이 9.74 mg/kg으로 최소인 반면, 가용성함량은 평안층군과 변성암이 0.58 mg/kg으로 최대, 유라기 화강암이 0.33 mg/kg으로 최소로 분석방법간에 다른 양상을 보였다.

Pb 전함량은 평안층군이 27.55 mg/kg으로 최대, 옥천층군이 9.23 mg/kg으로 최소인 반면, 가용성함량은 백악기 화강암이 4.35 mg/kg으로 최대, 경상층군이 2.02 mg/kg으로 최소로 분석방법간에 다른 양상을 보였다.

Cr 전함량은 변성암이 42.48 mg/kg으로 최대, 평안층군이 13.67 mg/kg으로 최소인 반면, 가용성함량은 유라기 화강암이 0.12 mg/kg으로 최대, 백악기 화강암이 0.02 mg/kg으로 최소로 분석방법간에 다른 양상을 보였다.

Zn 전함량은 변성암이 68.40 mg/kg으로 최대, 화산암이 40.29 mg/kg으로 최소인 반면, 가용성함량은 평안층군이 4.77 mg/kg으로 최대, 대동층군이 0.27 mg/kg으로 최소로 분석방법간에 다른 양상을 보였다.

Ni 전함량은 변성암이 23.99 mg/kg으로 최대, 백악기 화강암이 9.39 mg/kg으로 최소인 반면, 가용성함량은 변성암이 0.28 mg/kg으로 최대, 백악기 화강암이 0.15 mg/kg으로 최소로 분석방법간에 다른 양상을 보였다.

As 전함량은 조선누층군이 12.41 mg/kg으로 최대, 경상누층군이 3.87 mg/kg으로 최소인 반면, 가용성함량(1N HCl)은 변성암이 0.13 mg/kg으로 최대, 옥천층군이 0.06 mg/kg으로 가장 낮게 나타났다.

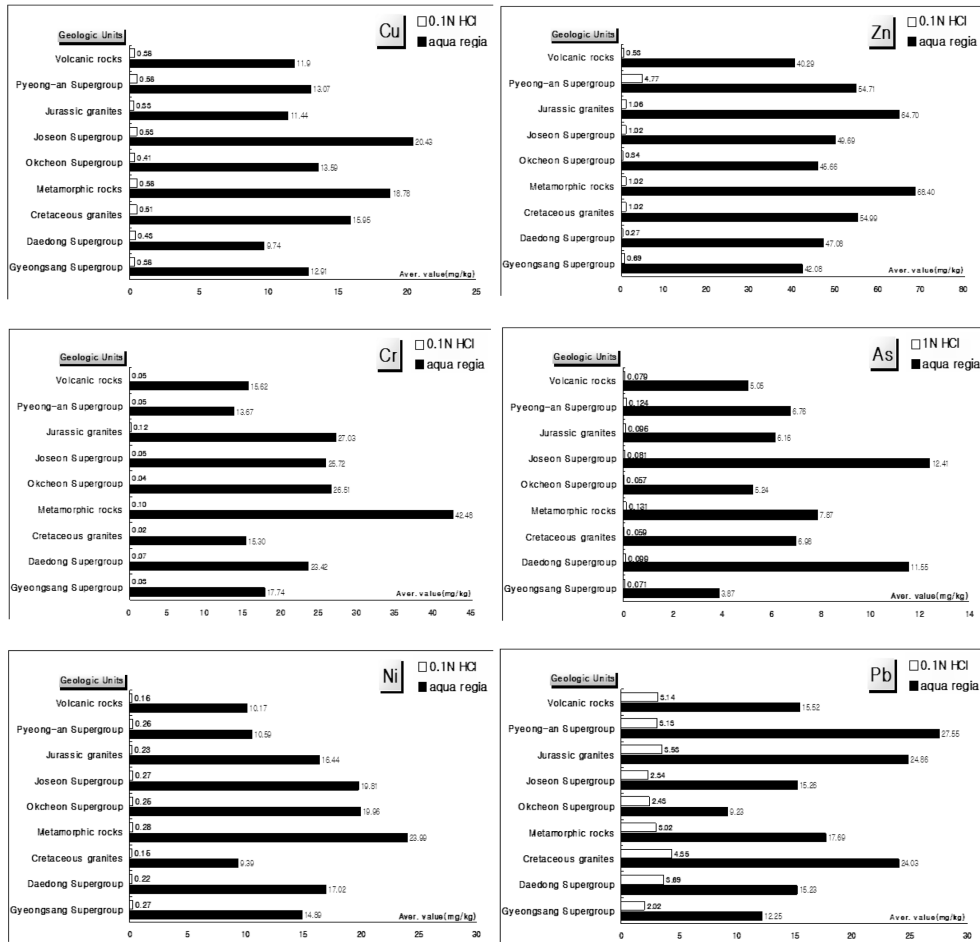


Fig. 4. Heavy metal contents in forest soils by geologic units and methods.

4. 결 론

우리나라 토양중 중금속 자연배경농도를 비교·평가함으로써 토양오염기준 설정을 위한 과학적 근거를 마련하고자 전국 주요 지질단위인 대동충군, 백악기화강암, 옥천충군, 조선누층군, 평안충군, 경상누층군, 쥐라기화강암, 화산암, 변성암 등 산림지역 총 88개 지점에 대한 표토를 0.1N 염산 가용성 시험방법 및 왕수 시험방법으로 분석한 결과, 왕수시험방법에 의한 자연함유량 평균값(mg/kg)은 Cd 0.287, Cu 15.26, Pb 18.43, Cr 25.36, Zn 54.27, Ni 17.68로 조사되었으며, 가용성 시험결과 평균농도(mg/kg)는 Cd 0.040, Cu 0.48, Pb 3.06, Cr 0.09, Zn 1.54, Ni 0.27로 나타났다. 이들 시료의 가용성 평균 농도는 왕수 시험방법의 평균농도에 비하여 각각 Cd 13.9%, Cu 3.1%, Pb 16.6%, Cr 0.4%, Zn 2.8%, Ni 1.5%, As 1.3% 수준으로 낮게 평가되었다. 또한 가용성 시험방법과 왕수 시험방법에 의한 중금속 측정값 간의 상관계수는

0.24~0.88의 범위로 나타났으며 Cd > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn ≈ As의 순으로 감소하였다.

참 고 문 헌

김태승, 윤정기, 김동호, 전성환, 정일록, 김 혁, 김종하, 2004, 토양오염기준 평가 및 확립에 관한 연구(I), 국립환경연구원.
 신성천, 염승준, 황상기, 2000, 지구화학적 재해평가를 위한 지구화학도 작성 및 기준치 설정, 지질재해 관측 및 방지기술 심포지엄, 2000년도 지질재해방재기술개발사업단·대한지질공학회 공동학술발표회 논문집, p. 215-233.
 신성천, 42인, 2003, 전국 지구화학적 재해 평가기준도 작성, 한국지질자원연구원, 과학기술부, p. 97-99.
 유홍일, 서윤수, 전성환, 이민효, 유순주, 허성남, 김수연, 1988, 우리나라 농토양 및 현미중 중금속 자연함유량에 관한 조사연구, 국립환경연구원보, 10, 155-163.
 정구복, 김원일, 이종식, 신중두, 김진호, 윤순강, 2005, 토양특성별 중금속 유효도와 토양오염 평가방법의 개선점, 한국농학회지,

24(2), 1-11.

정구복, 현근수, 김원일, 2000, 우리나라 토양의 중금속 자연함량 및 특성조사, 농업과학기술원.

환경부, 2002, 토양오염공정시험방법.

환경부, 2003, 토지이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구.

환경부, 2005, 토양환경보전법.

Bradford, G.R., Chang, A.C., Page, A.L., Bakhtar, D., Framp-ton, J.A., and Wright, H., 1996, Background Concentrations of Trace and Major Elements in California Soils, Kearney Founda-

tion of Soil Science Division of Agriculture and Natural Resources University of California, Kearney Foundation Special Report, p. 24-28.

Ferguson, C., Darmendrail, D., Freier, K., Jensn, B.K., Jensen, J., Kasamas, H., Urzelai, A. and Veter, J. (editors), 1998, Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe. Vol. 1 Scientific Basis, LQM Press, Nottingham.

Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 2001, Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press, Boca Raton, Fla.

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).