

## 제주도 화산회토양에서 Ni, Cu 및 Zn의 자연함유량 특성

임한철\* · 문경환 · 전승종 · 장공만<sup>1</sup> · 현해남<sup>1</sup>

농촌진흥청 난지농업연구소, <sup>1</sup>제주대학교 생물자원산업학부

### Characteristics of Natural Pedo-geochemical Background for Ni, Cu and Zn in Volcanic Soils of Jeju

Han-Cheol Lim,\* Kyung-Hwan Moon, Seung-Jong Jeon, Kong-Man Chang<sup>1</sup>, and Hae-Nam Hyun<sup>1</sup>

National Institute of Subtropical Agriculture, RDA, Jeju 690-150

<sup>1</sup>Faculty of Bioscience and Industry, Cheju National University, Jeju 690-756

This study was carried out to find out causes of high Ni content and characteristics of potential increase of Cu and Zn contents in the soils of Jeju area. Soil samples were collected from 4 series of Alfisols, 35 series of Andisols, 9 series of Entisols, 16 series of Inceptisols, and 1 series of Ultisols, respectively. Parent material (gravel) samples were also collected from the same sites where soil samples were taken. Both soil and parent material samples were analyzed for Ni, Cu, and Zn. The average Ni content of all the soil samples was 79.2 mg kg<sup>-1</sup>, which was exceeded warning standard for Ni against the Soil Conservation Act in Korea, whereas that of Cu and Zn contents were lower than the warning standard for Cu and Zn. The difference of Ni, Cu and Zn content was not consistent depending upon soil color. Ni content in the soil samples from Entisols was particularly high, whereas that from the other soil orders was similar to each other. Cu and Zn contents in the soil samples were similar regardless of the difference in soil order. Ni content in Seongsan Formation(SSF), Cinder cone(C) and acicular Feldspar Olivine Basalt(FOB) was high, while that in Feldspar Basalt(FB) and Trachy Andesite lava(TA) was low. Ni content in the non-agricultural land was higher compared with that in the agricultural land, whereas Cu and Zn contents in the non-agricultural land were significantly lower than that of agricultural land. The topsoil/subsoil ratios for Ni content in most of the soil samples were less than 1, while that for total contents of Cu and Zn in many of the soil samples were larger than 1 indicating potential Cu and Zn accumulation in topsoil by artificial reasons.

**Key works:** Volcanic soil, Heavy metal, Natural pedo-geochemical background, Jeju

## 서 언

토양의 중금속 함량에 대한 관리기준은 나라마다 다르며, 우리나라는 토양환경보전법 제4조의 토양오염우려기준을 친환경농산물 인증기준 및 GAP 농산물 인증기준에 적용시키고 있다. 친환경농산물의 토양함량 기준은 Ni 40 mg kg<sup>-1</sup>, Cu 50 mg kg<sup>-1</sup>, Zn 300 mg kg<sup>-1</sup>이며, 이 중에 Ni 자연함유량이 토양오염기준보다 높기 때문에 제주지역 대부분의 토양이 친환경농산물을 재배할 수 없다는 문제점이 제시되었다.

제주지역 토양에서 Ni은 자연함유량이 높은 것으로 보고되었는데 Ahn et al.(2006)은 제주도 토양 Ni의 평균함량이 183 mg kg<sup>-1</sup>으로 세계 토양 평균함량(Kabata-pendias and pendias, 2001)을 크게 초과하였

다고 보고하였으며, 이는 최근에 기준이 설정된 토양 오염우려기준을 4배 이상 초과한 것이다. 이 외에 Cu와 Zn에 대한 자연함유량도 조사된 바 있다. 이와 같은 제주지역 토양의 Ni 농도는 우리나라 중부지역 중금속 평균함량이 토양환경보전법 토양오염우려기준에 비해 1/25~1/76.9인(Jung et al., 2004) 것과 비교하면 매우 높은 농도이다. 화산회토양에서는 화산회의 모재와 토양의 중금속함량이 밀접한 관계가 있는데 화산회토지역 토양의 중금속함량은 비화산회토지역에 비해 현저히 높으며, 특히 프랑스 La Reunion 지역 화산회토양의 Ni, Cu 및 Zn 평균함량은 각각 206, 58 및 162 mg kg<sup>-1</sup>으로 보고되었다(Emmanuel et al., 2006). 이외에도 프랑스 Solofrana river 계곡 화산회토양, 이탈리아 등에서도 토양 Ni 함량이 매우 높은 것으로 보고되었다(Paola et al., 2003; Italian Ministry of the Environment, 1999).

접수 : 2008. 5. 12 수리 : 2008. 6. 2

\*연락처 : Phone: +82647412587,  
E-mail: hclim@rda.go.kr

제주지역에는 주로 화산회토 특성을 갖고 있는 Andisols, Inceptisols, Entisols 등이 주로 분포되어 있으며, Alfisols와 Ultisols가 일부 분포되어 있다. 따라서 Ni 자연함유량이 일반 육지부 토양에 비해 현저하게 높을 가능성을 배제 할 수 없다.

따라서 본 연구는 제주지역 토양에서 Ni 함량이 높은 원인이 인위적인 요인인지, 화산재의 특성인지, 모암에서 오는 것인지를 밝히고 동시에 인위적인 함량 증가가 우려되는 Cu와 Zn의 함량 특성을 구명하기 위해 수행되었다.

### 재료 및 방법

**시료채취** 토양시료는 2006년 8월부터 9월까지 제주도 전 지역을 대상으로 Fig. 1 및 Table 1과 같이 대표 토양 51개 토양통 65지점을 표토(0-20 cm)와 심토(20-40 cm)로 구분하여 채취하였다. 토양목별 토양시료는 Alfisols 4개통, Andisols 35개통, Entisols 9개통, Inceptisols 16개통, Ultisols 1개통에서 채취하였으며, 동일한 지점에서 모암(자갈) 시료도 채취하였다. 토색별로는 흑색 화산회토양 16개통, 농암갈색 화산회토양 10개통, 적황색 비화산회토양 26개통, 농암갈색 산악지토양 6개통, 흑색신더콘 7개통을 채취하였고, 경작지 토양은 38개 지점(밭 29, 과수원 7, 논 2)였으며, 비경작지는 27개 지점(초지 16, 산림지 8, 기타(잡종지) 3개)에서 채취하였다.



Fig. 1. Sampling points and numbers of representative soil series in Jeju island.

**시료조제 및 분석** 채취한 토양은 그늘에서 풍건하여 분쇄한 후에 2 mm(10 mesh) 표준체로 통과시킨 토양시료를 다시 0.15 mm(100 mesh)로 체를 통과시켜 분석용 시료로 사용하였다. 모암(자갈)은 막자사발을 이용하여 잘게 분쇄한 후 토양시료와 같은 방법으로 체를 통과시켜 분석용 시료로 사용하였다.

**토양 Ni, Cu 및 Zn 분석방법** 토양시료 및 모암(자갈)의 Ni, Cu, Zn 전함량은 시료 0.5 g(1 g 이하)을 마이크로웨이브(Model MARS 5, CEM co) Vessel에 취하여 U.S.A. EPA. Method 3051(1996)와 같이 왕수(질산 3 ml + 염산 9 ml) 12 ml를 가한 후 최적화된 전처리 조건으로 분해한 후 분해액을 여과 희석하여 ICP(Model GBC, Australia)로 정량하였다.

### 결과 및 고찰

**토양색별 Ni, Cu 및 Zn 함량 비교** 토양색별 Ni, Cu 및 Zn의 함량은 Ni 평균함량인 경우 모든 토양색 토양에서 토양환경보전법 토양오염우려기준 가지역의 기준을 초과하였다(Fig. 2). 특히 흑색신더콘토양의 Ni 평균함량은 128.1 mg kg<sup>-1</sup>으로 토양오염기준의 4 배 이상이었으며, 다른 색의 토양에 비해 높은 편이었다. Cu 및 Zn 함량은 각각 40 mg kg<sup>-1</sup> 내외, 108 mg kg<sup>-1</sup> 내외로 토양오염우려기준에 비해 낮았으며, 토양색 간 함량 차이는 크지 않았다. Ni 함량은 세계 평균함량인 22 mg kg<sup>-1</sup>에 비해 4배 이상 높은 것이었으며, Cu와 Zn 함량은 세계 평균함량과 비슷한 수준이었다(Kabata-Pendias and Pendias, 2001). 제주도와 유사한 화산회토가 분포된 일본과 하와이 토양에서도 Ni, Cu 및 Zn 함량이 높다고 보고된 바가 있다(Takeda et al., 2004; Burt et al., 2003). 제주 토양 Ni 함량이 국내 다른 지역 토양에 비해 높은 조사결과는 Ahn et al.(2006)에 의해서도 보고되었으며, Jung et al.(2004)의 국내 토양에 비해서도 매우 높았다. 따라서 제주 토양에서 Ni 함량이 높은 이유가 화산재의 혼합 등의 요인에 의한 것으로 생각된다.

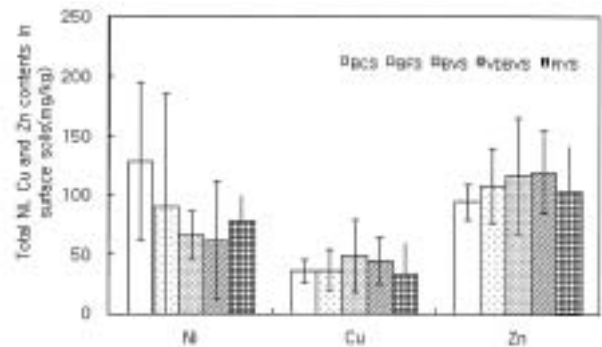


Fig. 2. Comparison of total Ni, Cu and Zn contents according to soil color in surface soils.

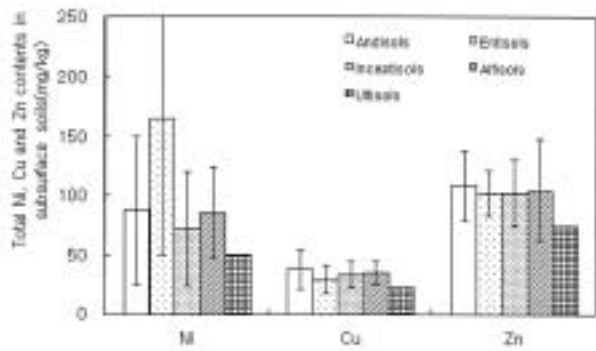
† BCS(black cindercone soil), BFS(brown forest soil), BVS(black volcanic soil), VDBVS(very dark brown volcanic soil), RYS(red yellow soil)

**Table 1. Location and main characteristics of the sampling sites.**

soil orders	soil series	soil color <sup>†</sup>	altitude(m)	latitude	longitude	No. of sample
Alfisols	Mureung series	RYS	69	33° 17'09"N	126° 13'05"E	10
	Gangjeong series	RYS	20	33° 16'46"N	126° 10'38"E	11
	Donghong series	RYS	34	33° 31'19"N	126° 36'46"E	14
	Yongheung series	RYS	58	33° 14'19"N	126° 29'01"E	30
Andisols	Hanrim series	VDBVS	11	33° 14'01"N	126° 14'05"E	20
	Inseong series	VDBVS	33	33° 14'15"N	126° 17'02"E	21
	Ara series	VDBVS	196	33° 15'46"N	126° 27'58"E	34
	Gujwa series	VDBVS	239	33° 28'50"N	126° 42'20"E	43
	Jeju series	VDBVS	347	33° 26'22"N	126° 28'29"E	44
	Jungeom series	VDBVS	352	33° 20'24"N	126° 19'54"E	45
	Jungmun series	VDBVS	431	33° 17'27"N	126° 26'04"E	46
	Sineom series	VDBVS	221	33° 17'41"N	126° 20'00"E	47
	Gimryeong series	BVS	264	33° 28'00"N	126° 44'31"E	49
	Wuimi II series	BVS	57	33° 19'05"N	126° 48'06"E	35
	Namweon series	BVS	99	33° 15'38"N	126° 35'11"E	36
	Hangyeong series	BVS	705	33° 24'10"N	126° 28'37"E	51
	Songdang series	BVS	377	33° 26'37"N	126° 43'18"E	52
	Pyeongdae I series	BVS	332	33° 25'49"N	126° 43'37"E	53
	Pyeongdae II series	BVS	425	33° 25'54"N	126° 41'03"E	54
	Minag series	BVS	187	33° 23'21"N	126° 47'28"E	55
	Hamo series	BVS	14	33° 12'46"N	126° 17'25"E	23
	Haengweon I series	BVS	174	33° 29'25"N	126° 39'58"E	24
	Haengweon II series	BVS	190	33° 29'23"N	126° 40'24"E	25
	Songdang series	BVS	157	33° 29'08"N	126° 49'25"E	26
	Pyoseon series	BVS	203	33° 27'08"N	126° 49'04"E	27
	Topyeong series	BVS	69	33° 28'37"N	126° 52'29"E	28
	Wuimi I series	BVS	65	33° 19'16"N	126° 48'00"E	29
	Nogsan series	BCS	276	33° 26'30"N	126° 45'40"E	56
	Geumag series	BCS	207	33° 29'34"N	126° 42'33"E	48
	Byeongag I series	BCS	146	33° 19'54"N	126° 15'01"E	58
	Byeongag II series	BCS	141	33° 19'49"N	126° 15'02"E	59
	Songag series	BCS	363	33° 28'03"N	126° 40'14"E	60
	Gamsan series	BCS	104	33° 18'44"N	126° 48'55"E	61
	Jeogag series	BFS	687	33° 18'14"N	126° 27'16"E	62
	Sanbang series	BFS	26	33° 18'16"N	126° 10'05"E	42
	Noro series	BFS	620	33° 21'02"N	126° 37'27"E	63
	Tosan I series	BFS	634	33° 22'01"N	126° 37'39"E	64
	Heugag series	BFS	205	33° 18'13"N	126° 37'12"E	57
Tosan II series	BFS	706	33° 23'59"N	126° 37'25"E	65	
Entisols	Sara series	RYS	30	33° 29'26"N	126° 27'28"E	1
	Jocheon I series	RYS	17	33° 29'40"N	126° 26'51"E	2
	Weolryeong series	RYS	28	33° 15'54"N	126° 11'14"E	12
	Daehul series	RYS	32	33° 31'03"N	126° 35'22"E	13
	Jocheon II series	RYS	22	33° 32'20"N	126° 38'33"E	15
	Nagcheon series	RYS	9	33° 29'20"N	126° 54'10"E	39
	Onpyeng series	BVS	14	33° 27'09"N	126° 55'45"E	40
	Gapa series	RYS	6	33° 25'36"N	126° 55'42"E	41
	Miag series	BCS	371	33° 21'43"N	126° 20'07"E	50
Inceptisols	Weolpyeong I series	RYS	11	33° 28'50"N	126° 24'22"E	3
	Yonggang series	RYS	28	33° 28'48"N	126° 23'20"E	4
	Aeweol series	RYS	36	33° 28'08"N	126° 22'36"E	5
	Ido series	RYS	22	33° 27'32"N	126° 20'13"E	6
	Donggui series	RYS	26	33° 26'41"N	126° 18'48"E	7
	Yongdang I series	RYS	24	33° 17'49"N	126° 10'39"E	8
	Yongdang II series	RYS	24	33° 17'43"N	126° 10'33"E	9
	Gueom I series	RYS	24	33° 32'08"N	126° 39'06"E	16
	Gueom II series	RYS	22	33° 32'09"N	126° 39'09"E	17
	Weolpyeong II series	RYS	13	33° 13'28"N	126° 28'26"E	19
	Gyora I series	RYS	150	33° 29'22"N	126° 35'32"E	22
	Gyora II series	RYS	129	33° 29'29"N	126° 35'41"E	31
	Weolpyeong III series	RYS	18	33° 28'27"N	126° 23'10"E	37
	Yongdang series	RYS	7	33° 13'48"N	126° 30'03"E	38
	Ora I series	VDBVS	98	33° 29'47"N	126° 36'24"E	32
	Ora II series	VDBVS	102	33° 29'52"N	126° 36'37"E	33
Ultisols	Haweon series	RYS	91	33° 16'26"N	126° 17'03"E	18

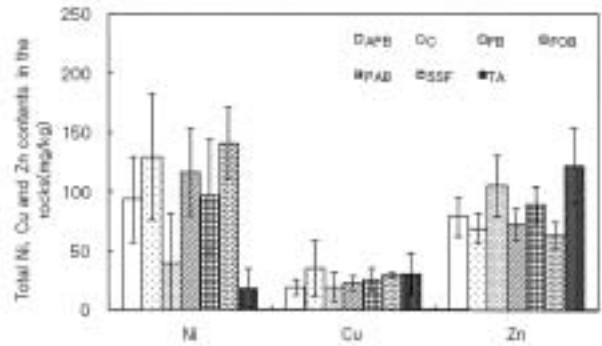
<sup>†</sup> BVS(black volcanic soil), VDBVS(very dark brown volcanic soil), RYS(red yellow soil), BFS(brown forest soil), BCS(black cindercone soil)

**토양목적별 Ni, Cu 및 Zn 함량 비교** 토양목적별 Ni 함량은 Entisols에서 특이하게 높았으며, 그 외의 토양목적에서는 비슷한 함량을 보였다. Cu와 Zn은 토양목적과 무관하게 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 3). 제주도 토양에서 가장 넓은 면적에 분포된 토양은 Andisols이 76.6%를 차지하고 있으며, 그 외에 Inceptisols, Alfisols, Entisols 및 Ultisols가 일부 분포되어 있다(NIAST, 2000). 일반적으로 화산회토양의 Ni, Cu, Zn, Cr 등의 중금속 함량이 높은 것으로 조사되었으며(Takeda et al., 2004; Burt et al., 2003), 본 연구에서도 세계 토양 Ni, Cu, Zn 평균함량 각각 22, 25, 64 mg kg<sup>-1</sup>(Kabata-pendias and pendias, 2001)에 비해 현저하게 높은 것으로 조사되었다. 또한, 이 결과는 Ahn et al.(2006)이 제주도 토양에 대해 조사한 것과 비슷한 것이었다. Ni 함량이 특이하게 Entisols에서 높은 이유에 대해서는 향후 더 연구되어야 할 것으로 생각된다.



**Fig. 3. Comparison of total Ni, Cu and Zn contents according to soil order.**

**토양채취 지점 모암(자갈)의 Ni, Cu 및 Zn 함량 비교** 토양별 Ni, Cu 및 Zn 함량 차이가 많은 이유가 지질학적인 요인에서 기인하는 지를 확인하기 위해 토양을 채취한 지점에서 모암(자갈)을 채취하여 함량을 비교하였다. Ni 함량이 많은 암석은 성산층, 신덕콘 및 침상장석 감람석현무암로서 평균함량은 각각 141.3, 130.3 및 117.3 mg kg<sup>-1</sup>으로 토양환경보전법의 토양오염우려기준을 초과하였다(Fig. 4). 반면에 장석현무암 및 조면 안산암은 40.0 및 19 mg kg<sup>-1</sup>으로 가장 낮은 편이었다. 특이하게 Ni 함량이 낮은 장석현무암 및 조면 안산암에서 Zn 함량이 높은 편이었다. 전체적으로 암석의 Zn 함량이 Cu에 비해 약 3배 정도 높았다. 화산회토양에서는 화산회 모재와 토양 중금속 함량은 밀접한 관계가 있어 높게 나타난다 하였는데, 본 연구에서도 제주 토양에서 Ni 함량이 높은 이유가 지질학적인 특성에서 기인하는 것으로 생각된다.



**Fig. 4. Comparison of total Ni, Cu and Zn contents according to kinds of parent rock materials.**

† APB(Aphanitic Basalt), C(Cinder cone), FB(Feldspar Basalt), FOB(acicular Feldspar Olivine Basalt), PAB(Porphry Augite Basalt), SSF(Seongsan Formation), TA(Trachy Andesite lava).

**모암(자갈)과 토양의 Ni, Cu 및 Zn 함량 관계** 제주도 토양에 높은 함량으로 존재하는 Ni, Cu 및 Zn의 원인을 밝히기 위해 토양과 토양시료 채취지점에서 채취한 자갈중의 함량을 비교하였다(Fig. 5). Ni은 토양과 자갈함량 사이에 정의 상관관계가 있었으나, Cu와 Zn은 상관성이 낮았다. 따라서 Ni은 함량이 높은 원인이 주로 모암에 기인했을 가능성이 큰 반면에 Cu와 Zn은 모암 외에 다른 요인이 영향을 주었을 것으로 생각된다.

**토지이용에 따른 Ni, Cu 및 Zn 함량 비교** 토양의 Ni, Cu 및 Zn 함량 증가가 인위적인 요인인지 자연적인 요인인지를 확인하기 위해 경작지와 비경작지 토양함량을 비교하였다. Fig. 6에서 보는 것과 같이 Ni은 경작지에 비해 비경작지 함량이 높았으나, Cu와 Zn 함량은 비경작지에 비해 경작지에서 높은 현상이 뚜렷하였다. 이와 같이 경작지와 비경작지의 Ni 함량이 비슷한 이유는 농자재 등의 인위적 요인에 의한 함량 증가가 아니며 자연적인 요인에 의한 것임을 뒷받침하는 것이며, 경작지 토양에서 Cu와 Zn 함량이 높은 이유는 제주지역에서 많이 사용해 온 퇴비, 석회보르도액, oxine copper, cuprous oxide, dithianone, copper hydroxide, 황산동, zineb 등에 함유된 Cu와 Zn의 집적에 의한 것으로 생각된다.

**Ni, Cu 및 Zn 함량의 표토/심토 비율** Ni, Cu 및 Zn이 토양내 이동성이 매우 느리며 인위적인 요인에 의해 집적되었을 때 표토에 함량이 높아지는 특성을 고려 표토 집적 여부를 확인하기 위하여 표토/심토 비를 Fig. 7에 나타내었다. Ni은 총 시료 중에서 표토/심토 비가 1보다 낮은 토양이 80% 이상으로 심토에서 함량이 많았으며, 평균 표토/심토 비는 0.89였다. 따라서 Ni은 인위적인 요인에 의해 표토에 집적되는

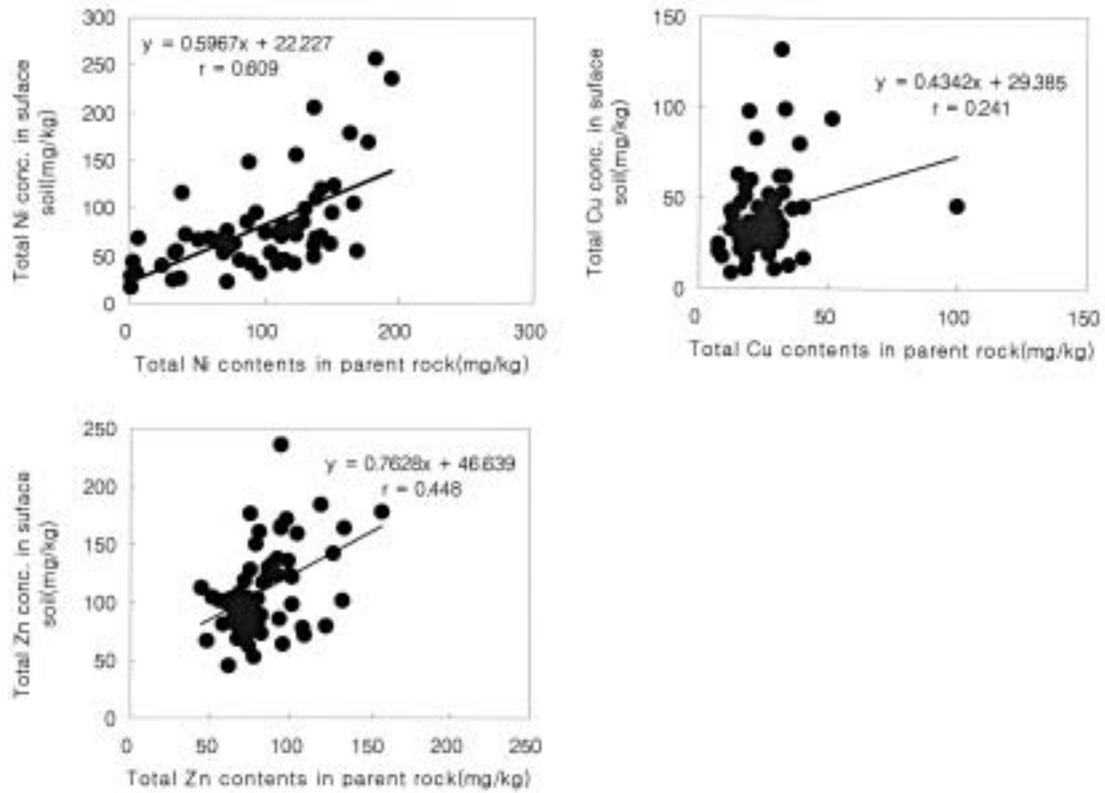


Fig. 5. Relationship between soil and parent rock for total Ni, Cu and Zn cont.

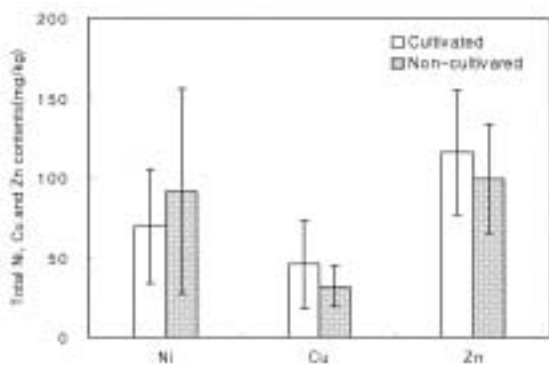


Fig. 6. Total Ni, Cu and Zn contents at cultivated and non-cultivated soils.

양보다 하향 이동하여 심토에 집적되는 양이 많아 자연적인 요인에 의해 토양에 집적된 것으로 생각된다. Cu 전함량의 표토/심토 비는 Ni과는 다르게 1보다 높은 토양이 많았다. 표토/심토 비가 1보다 큰 토양은 24개 토양으로 전체 토양의 39.3%를 차지하여 인위적인 요인에 의해 표토에 Cu가 집적되는 것으로 보인다. 특히 Cu가 제주도 화산회토의 유기물과 강하게 결합하여 이동성이 매우 낮은 것을 감안하면 농자재 등의 인위적인 요인에 의해 점차 Cu 함량이 높아질 것으로 생각된다. 토양 Zn의 표토/심토 비는 조사토양 중 47.5%인 29개 토양이 1을 초과하였으며, 평균 표토/심토 비는 1.01이었다. 따라서 Zn은 Ni에 비해서 표토에 집적되는 경향이 뚜렷하였으며, Cu에 비해서

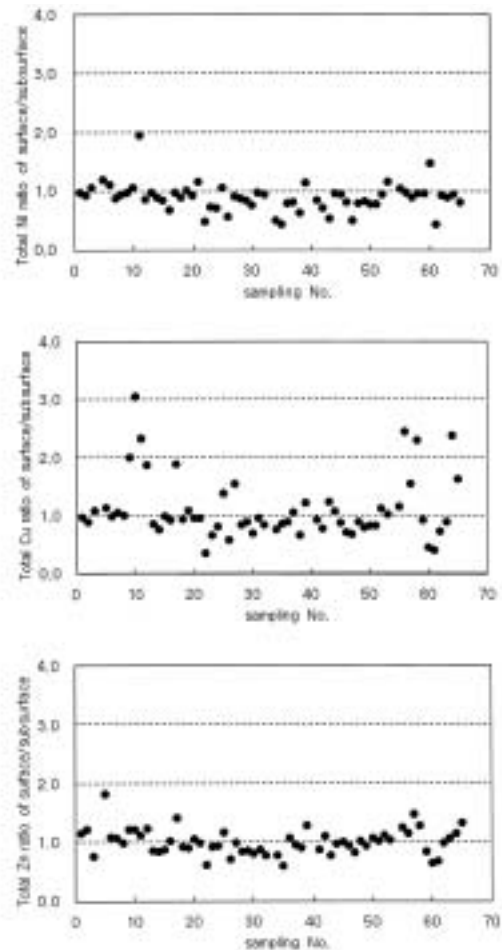


Fig. 7. Total Ni, Cu and Zn ratio of surface/subsurface soils.

표토/심토 비가 1 이상인 토양은 많으나 표토에 집적된 양은 Cu에 비해 낮은 것으로 보인다.

제주 토양에서 Ni 함량이 높은 이유는 인위적인 요인보다 지질학적인 요인에 의한 것으로 보이며, 반면에 Cu와 Zn이 표토에 집적되는 현상은 인위적인 요인에 의한 것으로 보인다. 따라서 향후 토양의 Ni, Cu 및 Zn의 식물 흡수여부와 침출액별 침출특성 등을 조사하여 친환경농산물 기준인 토양오염기준이 제주지역 적합여부를 제안하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

## 요 약

본 연구는 제주지역 토양에서 Ni 함량이 높은 원인을 밝히고 인위적인 함량증가가 우려되는 Cu와 Zn의 함량 특성을 구명하기 위해 수행되었다. 토양시료는 Alfisols 4개통, Andisols 35개통, Endisols 9개통, Inceptisols 16개통, Ultisols 1개통에서 채취하였으며, 동일한 지점에서 모암(자갈) 시료를 채취하였다.

토양색별 Ni, Cu 및 Zn의 함량은 통계적인 유의성은 보이지 않았으나 Ni 평균함량은  $79.2 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 토양색으로 분류한 토양별 평균함량이 토양오염우려기준을 초과하였다. Cu 함량은  $40 \text{ mg kg}^{-1}$  내외, Zn은  $108 \text{ mg kg}^{-1}$  내외로 토양오염우려기준에 비해 낮았으며, 토양색간 함량 차이가 크지 않았다. 토양목별 Ni 함량은 Entisols에서 특이하게 높았으며, 그 외의 토양목에서는 비슷한 함량을 보였다. Cu와 Zn은 토양목과 무관하게 비슷한 경향을 나타내었다. Ni 함량이 많은 암석은 성산층, 신더어콘 및 침상장석 감람석현무암에서 높았으며, 장석현무암 및 조면질 안산암에서 낮았다. Ni은 경작지에 비해 비경작지 함량이 높았으나, Cu와 Zn 함량은 비경작지에 비해 경작지에서 높은 현상이 뚜렷하였다. Ni은 총 시료 중에서 표토/심토 비가 1보다 낮은 토양이 대부분이었으나 Cu와 Zn은 전함량의 표토/심토 비는 1보다 높은 토양이 많아 인위적인 요인에 의해 표토에 Cu가 집적되는 것으로 보인다.

## 사 사

이 논문의 일부는 농촌진흥청 농업특정연구과제로 수행된 것임.

## 인 용 문 헌

Ahn, J. S., C. M. Chon, K. Y. Kim, K. S. Ko, and K. H. Park. 2006. Geochemical Characteristics and Heavy Metal Distribution in Selected Volcanic Ash Soils in Jeju Island. *The Korean Society for Geosystem Engineering*. 43(6) : 602-614.

Anderson, M. K., A. Refsgaard, K. Raulund-Rasmussen, B. W.

Strobel, and C. B. Hansen. 2002. Content, distribution, and solubility of cadmium in arable and forest soils. *Soil Soc. Am. J.* 66 : 1829-1835.

Burt, R., M. A. Wilson, M. D. Mays, and C.W. Lee. 2003. Major and Trace Elements of Selected Pedons in the USA. *J. Environ. Qual.*, 32 : 2109-2121.

Choi, I. S., J. Y. Park, and J. M. Oh. 2002. The Distribution Characteristics of Heavy Metals at Field and Upland Soils. *J. Korean Earth Science Society* 23 : 406-415.

Emmanuel D., H. S. Macary, and V. van de Kerchove. 2006. Sources of very high heavy metal content in soils of volcanic island(La Reunion). *J. of geochemical Exploration* 88 : p194-197.

Hea, Z. L., X. E. Yanga, and P. J. Stoffella. 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *J. of Trace Elements in Medicine and Biology* 19 : 125-140.

Italian Ministry of the Environment. 1999. Regolamento recantecriteri, procedure e modalita per la messa in sicurezza la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5/21997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* 471, 67.

Jung, K. Y., S. I. Kwon, G. B. Jung, W. I. Kim, and Y. G. Jeong. 1997. Effect of long term application of sewage sludge on distribution and availability of heavy metals in soil-plant system. *Fourth International Conference, East and Southeast Asia Fertilizer of Soil Science Societies*. 335-347.

Jung, G. B., K. Y. Jung, G. H. Cho, B. K. Jung, and K. S. Kim. 1998. Heavy metal contents in soils and vegetables in the plastic house. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert* 30 : 152-160.

Jung, G. B., W. I. Kim, and G. S. Hyeon. 2000. Studies on the distribution of background concentrations of heavy metal of soils in Korea. *Annual Report Dept. of Agro-Environment, NIAST*. p24-31.

Jung, G. B., W. I. Kim, J. S. Lee, J. D. Shin, J. H. Kim, and S. G. Yun. 2004. Assessment on the Content of Heavy Metal in Orchard Soils in Middle Part of Korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 23(1) : 15-21.

Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Raton, Fla. 413.

Ma, L. Q., F. Tan, and W. G. Harris. 1997. Concentrations and distribution of eleven metals in Florida soils. *J. Environ. Qual.* 26 : 769-775.

National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST). 1976. Detailed soil map(Chejudo).

National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST). 2000. *Taxonomical Classification of Korean Soils*. RDA. Korea.

Paola A., F. T. Laurence Denaix, and Z. Mariavittoria. 2003. Characterization of heavy metals in contaminated volcanic soils of the Solofrana river valley(southern Italy). *Geoderma*. 117 : 347-366.

Shin, J. S. and G. Stoops. 1988. Composition and Genesis of Volcanic Ash Soils in Jeju Island. I. Physico-Chemical and Macro-Micromorphological Properties. *The Mineralogical Society of Korea*(1) : 32-39.

Song, K. C., S. J. Jung, B. K. Hyun, Y. K. Sonn, and H. K. Kwak. 2005. Characteristics and classification system of Korean soils. p 35-107. in Achievement and development plan for soil survey program in Korea. RDA, Suwon, Korea.

Takeda, A., K. kimura, and S. Yamasaki. 2004. Analysis of 57

Elements in Japanese Soils, with Special Reference to Soil Group and Agriculture Use, Geoderma. 119 : 291-307.

U.S.A. EPA. 1996. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludge, soils and oils. Method 3051.