

## 논토양 중금속 함량의 장기변동 모니터링

김원일\* · 김명숙 · 노기안 · 이종식 · 윤순강 · 박병준 · 정구복<sup>1</sup> · 강창성<sup>2</sup> · 조광래<sup>2</sup> · 안문섭<sup>3</sup> · 최승출<sup>3</sup> · 김현주<sup>4</sup> · 김영상<sup>4</sup> · 남윤규<sup>5</sup> · 최문태<sup>5</sup> · 문영훈<sup>6</sup> · 안병구<sup>6</sup> · 김희권<sup>7</sup> · 김현우<sup>7</sup> · 서영진<sup>8</sup> · 김종수<sup>8</sup> · 최용조<sup>9</sup> · 이영한<sup>9</sup> · 이신찬<sup>10</sup> · 황재종<sup>10</sup>

농업과학기술원, <sup>1</sup>농촌진흥청, <sup>2</sup>경기농업기술원, <sup>3</sup>강원농업기술원, <sup>4</sup>충북농업기술원, <sup>5</sup>충남농업기술원, <sup>6</sup>전북농업기술원, <sup>7</sup>전남농업기술원, <sup>8</sup>경북농업기술원, <sup>9</sup>경남농업기술원, <sup>10</sup>제주농업기술원

## Long-term monitoring of heavy metal contents in paddy soils

W. I. Kim\*, M. S. Kim, K. A. Roh, J. S. Lee, S. G. Yun, B. J. Park, G. B. Jung<sup>1</sup>, C. S. Kang<sup>2</sup>, K. R. Cho<sup>2</sup>, M. S. Ahn<sup>3</sup>, S. C. Choi<sup>3</sup>, H. J. Kim<sup>4</sup>, Y. S. Kim<sup>4</sup>, Y. K. Nam<sup>5</sup>, M. T. Choi<sup>5</sup>, Y. H. Moon<sup>6</sup>, B. K. Ahn<sup>6</sup>, H. K. Kim<sup>7</sup>, H. W. Kim<sup>7</sup>, Y. J. Seo<sup>8</sup>, J. S. Kim<sup>8</sup>, Y. J. Choi<sup>9</sup>, Y. H. Lee<sup>9</sup>, S. C. Lee<sup>10</sup>, and J. J. Hwang<sup>10</sup>

National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Republic of Korea,

<sup>1</sup>Rural Development Administration,

<sup>2</sup>Gyeonggido Agricultural Research & Extension Service(ARES),

<sup>3</sup>Gangwondo ARES,

<sup>4</sup>Chungbuk ARES,

<sup>5</sup>Chungnam ARES,

<sup>6</sup>Jeonbuk ARES,

<sup>7</sup>Jeonnam ARES,

<sup>8</sup>Gyeongbuk ARES,

<sup>9</sup>Gyeongnam ARES,

<sup>10</sup>Jeju ARES

There is an increasing concern over heavy metal contamination of paddy soils and the subsequent translocation of heavy metals to rice. Objective is to monitor the status and long-term trend of heavy metal contamination in paddy soils, periodically. In 2007 survey, the average concentrations of As(arsenic), Cd(cadmium), Cu(copper), Ni(nickel), Pb(lead), and Zn(zinc) in 2,010 paddy soils nationwide were 0.87, 0.08, 3.33, 1.19, 4.95 and 4.67 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. Few sites, which were contaminated by As in 2003 and 2007 survey and by Ni in 1999 and 2007 survey, were over the threshold level for soil contamination designated by the Soil Environmental Conservation Act in Korea. Long-term change was shown that As, Ni, and Zn were gradually increased whereas Cd and Cu were decreased. In the distribution of extractable heavy metal contents, the modes of each heavy metal content were similar with the average contents of each heavy metals. Mean value of heavy metals except copper in paddy soils was higher than median value. It means that the downward distribution of heavy metal content in paddy rice was shown against normal distribution.

**Key words:** Heavy metals, Contamination, Paddy soils, Long-term change

## 서 언

농업환경에서 오염물질의 증가는 공공의 건강과 관련하여 세계적으로 사회적 관심사로 되고 있으며, 세계식량기구(FAO) 및 세계보건기구(WHO) 등 국제

기구를 비롯하여 각국은 토양, 수질 및 농산물에 대한 이들 오염물질의 허용기준 강화하고 있는 추세이다 (Lee, 1993; RDA, 1999). 이에 우리나라도 1996년 토양환경보전법에 의해 농경지의 중금속 함량에 대한 토양오염 우려 및 대책기준을 설정하였고, 2000년 식품의약품안전청 고시에 따른 쌀의 카드뮴 함량의 허용기준을 0.2 mg kg<sup>-1</sup>으로 설정하였으며 추가적으로

접수 : 2008. 4. 14 수리 : 2008. 5. 3

\*연락처 : Phone: +82312900525,

E-mail: wikim@rda.go.kr

농산물 중 중금속의 기준을 강화하고 있는 실정이다.

우리나라의 농경지에 대한 중금속 오염도 조사는 농촌진흥청에서 1980년 이후 농경지의 자연함량 개념으로 중금속 오염도를 조사하였고, 환경부에서 토양 측정망을 운영하여 매년 중금속 오염도를 조사하고 있고 이들 결과는 연구동향 분석보고서에 정리되어 있다. 또한 농산물에 대한 중금속함량 조사는 1967년 농촌진흥청의 백미중 수은함량 조사를 시작으로 농산물 뿐 아니라 수산물, 식품 등에 대하여 많은 조사가 이루어 졌다(Lee, 1993; RDA, 1999). 그러나 이들 결과는 지점 선정 및 분석방법 등의 차이로 인하여 오염도의 장기적인 변화 추이를 평가하기에는 미흡하다. 따라서 본 연구는 '80~'81년, 1995년도에 조사한 논토양의 중금속함량 조사(Kim et al., 1982, Kim et al., 1995)에 이어 1999년부터 4년 1주기로 2007년 까지 총 3회에 걸쳐 농촌진흥청에서 전국 도 농업기술원과 공동으로 전국 논토양의 중금속 함량의 현황과 장기적인 변화양상을 파악하여 안전한 농산물 생산의 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

**공시재료** 우리나라 논토양의 중금속 함량을 조사하기 위하여 광산이나 공단 등 오염원의 영향이 직접 미치지 않는 논토양을 대상으로 각도별, 농업기후지대별 및 지형별 분포 면적비율을 고려하여 정점을 선정하여 Table 1과 같이 1999년에는 4,047지점, 2003년과 2007년에는 2,010지점에서 3~5월에 토양을 채취하여 중금속 농도를 분석하였다.

**시료조제 및 분석** 토양의 일반성분 분석은 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양의 중금속 분석은 풍건 마쇄 후 유발에서 미세하게 갈아 시료로 사용하였고, 토양오염 공정시험법(MOE, 1999)에 의거 시료 10 g을 125 ml 삼각플라

스크에 취하여 카드뮴, 구리, 니켈, 납 및 아연은 0.1M-HCl, 비소는 1M-HCl 용액 각각 50 ml를 가하고 30°C에서 각각 60분, 30분간 진탕한 후 여지 No. 2로 여과하여 그 여액을 유도결합 플라즈마 발광광도 분석기(ICP-OES, GBC Integra XMP)로 측정하였다.

## 결과 및 고찰

2007년도에 조사한 우리나라 전국 논토양 2,010지점의 중금속 평균 함량과 범위는 각각 비소 0.87(tr~7.02), 카드뮴 0.08(tr~1.25), 구리 3.33(tr~25.0), 니켈 1.19(tr~83.1), 납 4.95(tr~52.2), 아연 4.67(tr~131.2) mg kg<sup>-1</sup>이었다(Table 2). 이 결과는 '99년, '03년 및 '80~'81년과 '95년 조사된 우리나라 논토양의 중금속 함량과 비교하여 함량범위에서는 큰 변화를 보이지 않았다. 그러나, 개별 원소의 평균함량에서 구리와 카드뮴은 감소하는 경향을 나타냈으며, 비소, 니켈, 납, 아연은 평균함량이 약간씩 증가함을 나타냈다(Kim, et al., 1982; Kim, et al., 1995). 카드뮴의 경우 '07년도의 논토양 평균함량은 0.08 mg kg<sup>-1</sup>으로 '03년도 평균함량과 유사하였으나 '80~'81년과 '95년 조사된 결과인 0.13 mg kg<sup>-1</sup>보다 다소 낮게 나타났다. 조사 논토양의 몇 지점을 제외하고는 토양오염 우려기준을 초과하지 않았다. 비소의 경우 '03년 및 '07년 조사에서, 니켈의 경우 '99년과 '07년 조사에서 토양오염 우려기준 초과지점을 확인할 수 있었다. 논토양의 오염 정도는 토양환경보전법에서 정한 유해물질 토양오염 우려기준에 대비하여 평균함량이 비소, 카드뮴, 구리, 니켈, 납, 아연이 각각 1/7, 1/19, 1/15, 1/34, 1/20, 1/64 수준이며 이는 99 percentile 함량이 토양오염 우려기준보다 현저히 낮음을 보여 매우 안전한 수준임을 확인할 수 있었다. Nakai(2007)는 일본의 대표 논토양 232지점 조사에서의 침출성 중금속 농도를 비소 1.42, 카드뮴 0.30, 구리 6.39, 니켈 1.27, 납 3.92, 아연 9.40 mg kg<sup>-1</sup>으로 보고하였는데 니켈과 납 함량은 우

**Table 1. Sampling sites of paddy soils in Korea.**

Province	Year		
	1999	2003	2007
Gyeonggi	438	240	240
Gangwon	247	150	150
Chungbuk	341	220	220
Chungnam	534	260	260
Jeonbuk	762	300	300
Jeonnam	617	280	280
Gyeongbuk	525	260	260
Gyeongnam	543	260	260
Jeju	40	40	40
Total	4,047	2,010	2,010

리나라 논토양과 유사하였으나 비소 등 기타 원소에서는 우리나라 농도의 2~4배 수준으로 높은 함량을 보였다. 그러나 다른 국가의 논토양의 중금속 함량에 대한 비교는 대부분 국가들의 토양의 중금속 함량을 전함량 개념으로 분석하고 있어 비교가 곤란하다.

Table 2에서 논토양의 중금속 함량의 평균값과 중간값을 비교해 볼 때 구리를 제외하고 카드뮴 등 5종의 중금속의 평균 함량이 중간값보다 높음을 보이고 있는데, 이는 일부 환경이 취약한 농경지의 높은 농도의 중금속 오염이 평균치를 높이는 결과를 보였다. 이 결과는 토양의 중금속 분포는 정규분포를 보이지 않고 하향으로 편중된 분포를 보이고 이에 따라 평균값이 중간값보다 높게 나온다는 Kim et al.(1995)의 결과와 일치한다.

Fig. 1은 토양내 침출성 중금속의 함량별 분포양상을 나타내는데 중금속별로 최빈수가 토양내 평균함량과 유사하였으며 조사년도와 조사자간에 다소 차이는 보이나 최빈수가 유사함을 나타냄으로서 매우 정밀도가 높은 값으로 추정된다.

중금속의 식물학적 유효도는 토양의 유효태 중금속 함량과 더불어 토양내의 다른 특성, 즉 토양 pH, 점토 함량, 유기물함량 및 지형들의 영향에 기인한다고 할 수 있다. 더불어 토양중 중금속에 대한 식물의 유효도에 영향을 미치는 요인으로 Fe/Mn oxides, CEC, 토양온도, 다른 원소의 량, 인산비료 사용 등의 연구가 보고되었다(Adriano, 1986; Adriano, 2001). Table 2에

서 얻어진 논토양의 중금속 함량을 토양 pH 및 유기물 함량에 따라 세분하여 이들 특성별로 논토양의 중금속의 농도분포를 비교하였다(Fig. 2, Fig. 3). Fig. 2에서와 같이 pH가 감소함에 따라 구리와 납의 유효태 함량이 약간 증가함을 보이고, 아연의 유효태 함량을 오히려 감소함을 보였다.

일반적으로, 토양 pH가 낮아지면 토양중 중금속의 형태가 유효태로 전환하여 식물의 흡수를 증가를 유도한다(Nicholson, et al. 1997; Page et al, 1981). Adriano(1986)는 토양의 특성 가운데 pH와 Eh가 중금속 종류에 따라 반응은 다르지만 유효도에 크게 영향을 미친다고 보고하였다. 우리나라에서도 Lee et al.(1984)과 Kim et al.(1986)은 수도에서 소석회의 사용이 토양중 pH를 증가시키고 이에 따른 카드뮴 및 납의 흡수를 경감시킨다고 보고하여 앞의 구리와 납의 결과와 일치하였다. 그러나, Nicholson et al.(1997)은 토양 pH가 낮아지면 추출성 아연, 니켈, 카드뮴 농도가 증가하고 결국 작물에의 중금속 함량이 증가함을 보고하였는데 이는 앞의 유효태 아연의 감소하는 결과와는 상이함을 보였다. 이들 근거를 바탕으로 우리나라 토양환경보전법에서 토양의 개량을 통한 작물의 중금속 함량을 경감시키는 방법으로 석회 사용을 추진하고 있다.

Fig. 3은 토양중 유기물 함량이 증가함으로써 중금속중 비소를 제외한 다른 5종의 중금속의 작물 유효태 함량이 증가함을 보여 점토와 같이 음하전된 유기

**Table 2. Average contents and range of extractable heavy metal in paddy soils.**

Year	Samples	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
2007	2,010	0.87 (tr-7.02)	0.08 (tr-1.25)	3.33 (tr-25.0)	1.19 (tr-83.1)	4.95 (tr-52.2)	4.67 (tr-131.2)
2003	2,010	0.66 (tr-6.52)	0.08 (tr-1.38)	3.83 (tr-22.4)	0.59 (tr-8.00)	4.82 (tr-33.4)	4.33 (tr-48.2)
1999	4,047	0.59 (tr-5.62)	0.11 (tr-1.10)	4.70 (tr-41.6)	0.67 (tr-60.2)	4.84 (tr-66.2)	4.47 (tr-96.7)
Median (99-'07)		0.47	0.067	3.52	0.51	4.17	3.33
99% P (99-'07)		3.64	0.63	16.31	3.71	26.55	23.26
1982 data †	407	-	0.13 (0.02-0.38)	4.15 (0.76-13.98)	-	4.67 (0.4-25.0)	3.95 (0.36-59.3)
1995 data †	1,196	-	0.13 (tr-0.9)	4.52 (tr-60.8)	1.38 (tr-4.14)	4.62 (tr-18.3)	3.90 (tr-43.3)
Concern level		6	1.5	50	40 <sup>†</sup>	100	300 <sup>†</sup>
Action level		15	4	125	100 <sup>†</sup>	300	700 <sup>†</sup>

† Total content basis (MOE, 2003) after acid digestion with aqua regia

‡ 1982 and 1995 data were collected by National Institute of Agricultural Science and Technology.

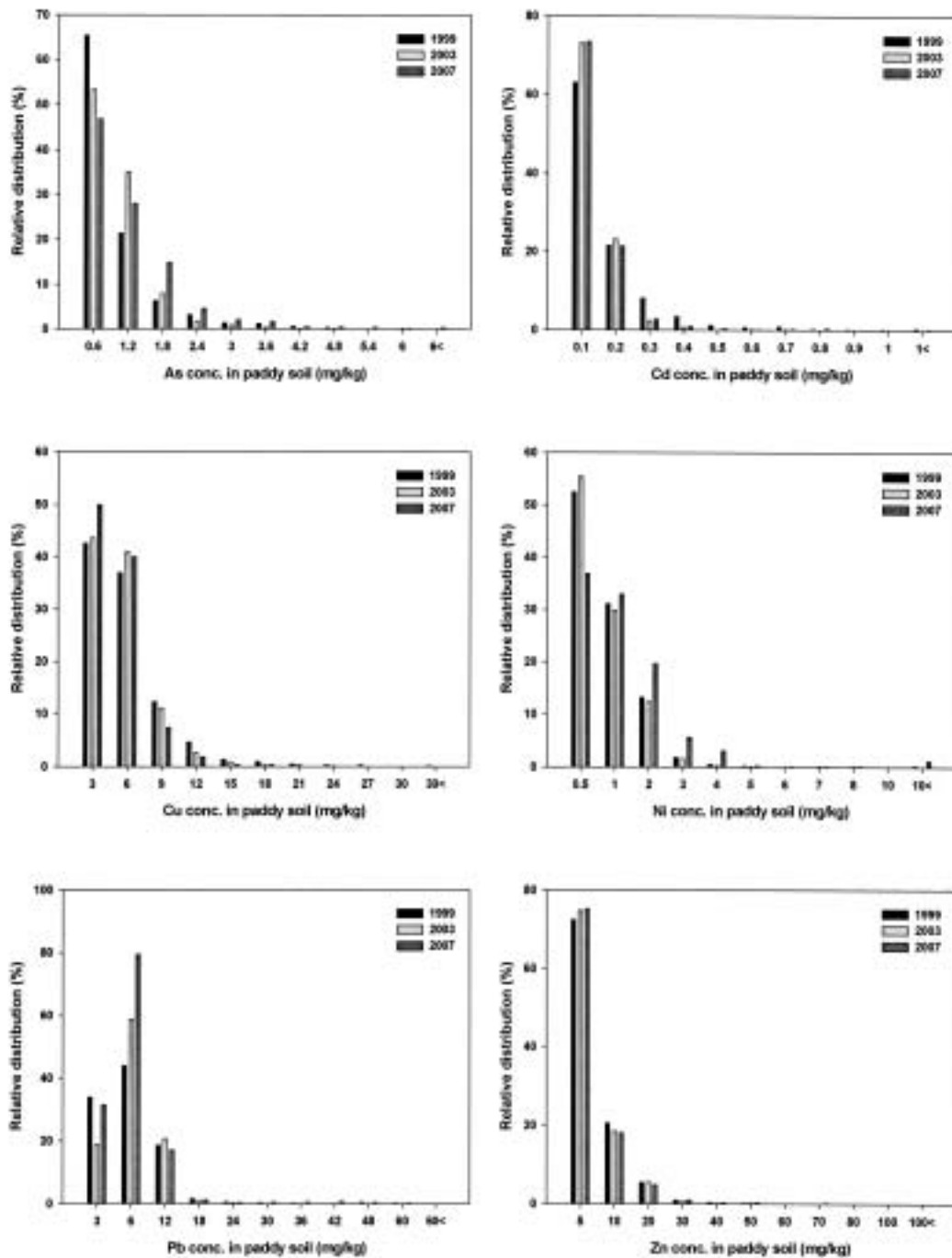


Fig. 1. Long-term change of 1M HCl extractable As and 0.1M HCl extractable other heavy metal contents in paddy soils collected nationwide in 1999, 2003, and 2007.

물 표면에 중금속이 치환가능한 형태로 존재함을 추정할 수 있다. Jones and Johnstone(1989)은 퇴비 사용에 따른 토양 중 유기물 함량 증가는 토양내 카드뮴의 용출 및 작물흡수를 줄이는 효과를 보고하였고, 이들 유기물은 고분자의 리간드인 humic-및 fulvic-acid로서 외부에 COOH나 phenolic-OH기와 같은 양이온 흡착능이 강한 작용기를 가지고 있어 중금속과의 복합체를 형성 작물로의 흡수를 경감시킬 수 있다 (Stevenson, 1994). 그러나 비소의 경우 토양의 유기

물 함량 증가에 따른 뚜렷한 토양내의 유효태 비소의 증가를 확인할 수 없었다.

논토양 중금속의 평균농도 및 범위를 토성별로 비교한 결과는 Table 3과 같다. 토성별로 함유된 각각의 중금속 농도분포는 일정한 경향을 보이지 않았으나, 비소는 미사질식양토에서, 카드뮴은 식양토에서, 구리, 니켈, 납 및 아연은 미사질 양토에서 각각 가장 높았고 양질사토에서는 조사된 전체 중금속의 농도가 가장 낮게 나타났다. 일반적으로 사질토양보다 양질이

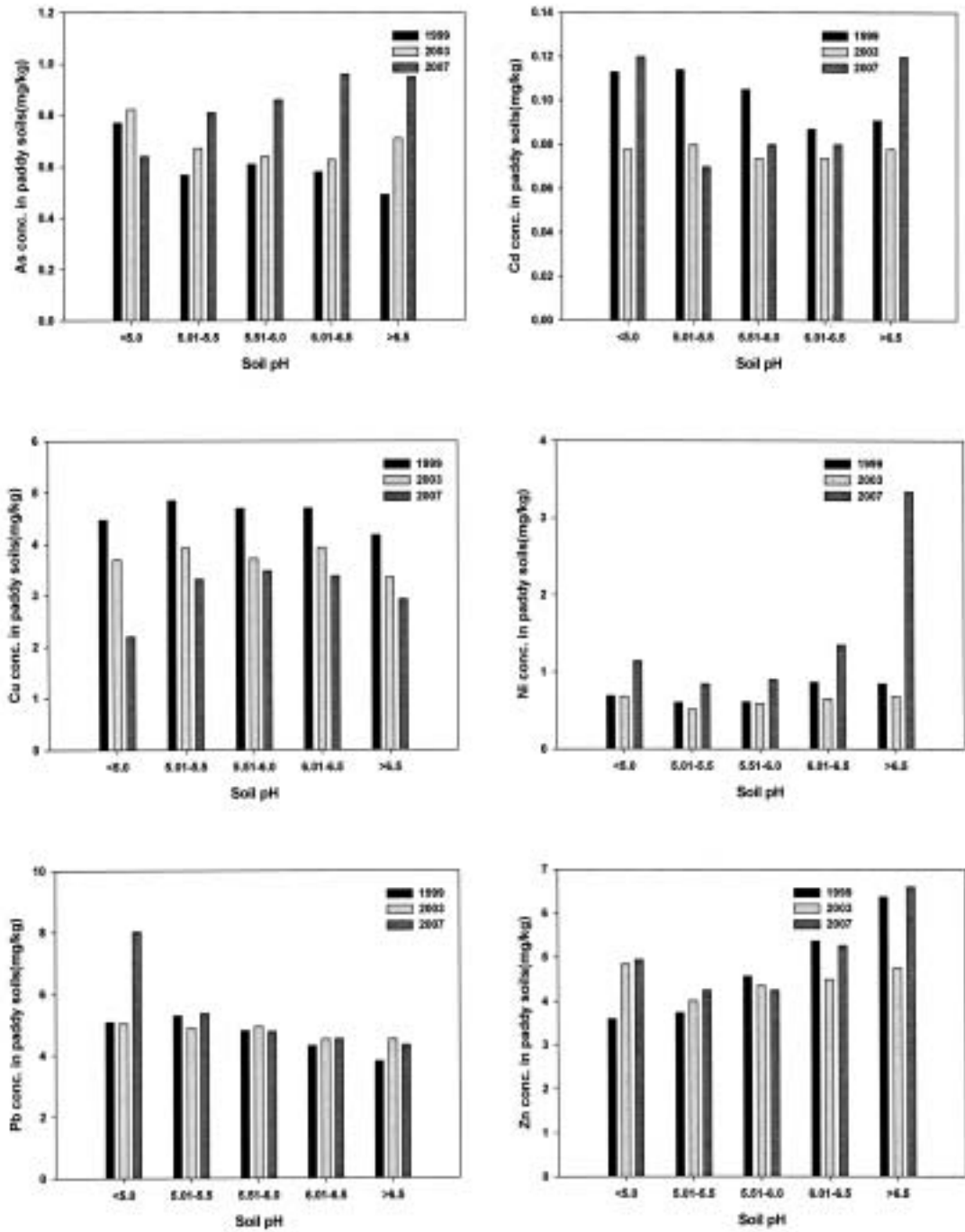


Fig. 2. Distribution of the extractable heavy metals in paddy soil with the different soil pH.

나 식질토양의 중금속 농도가 높은 경향을 보였는데, 이는 약용작물 재배지에서 양질토양에 비해 양질사토의 중금속 농도가 낮은 함량을 보인 Jung et al(1996) 보고와 일치하였다. 따라서 이러한 결과는 점토함량이 증가할수록 중금속의 농도가 증가한다는 Holmgren et al.(1993)의 결과와도 동일한 것으로 추정된다.

Table 4는 논토양의 중금속 함량을 지형별로 세분하여 지형특성에 따른 논토양 중금속의 농도분포를 비교하였다. 지형별 중금속 농도분포에서는 비소 및

니켈의 농도가 용암류대지(Lava terrace)에서 타 지형 특성보다 가장 높게 나타났으며 카드뮴, 구리, 아연은 하해혼성평탄지(Flovia-marine plain)에서, 낮은 하성 평탄지(Alluvial plain)에서 각각 가장 높은 농도를 보였다. 이러한 결과는 화산회토지역인 용암류대지의 니켈 함량이 비화산회토지역에 비해 높은 농도를 보인 결과(unpublished data)와 일치하였다. 또한, 토양 중 중금속의 가장 낮은 농도를 보인 지형특성으로는 비소 및 카드뮴이 산록경사지(Mountain foot sloped)에서, 구리, 납, 아연은 용암류대지에서 가장 낮은 농



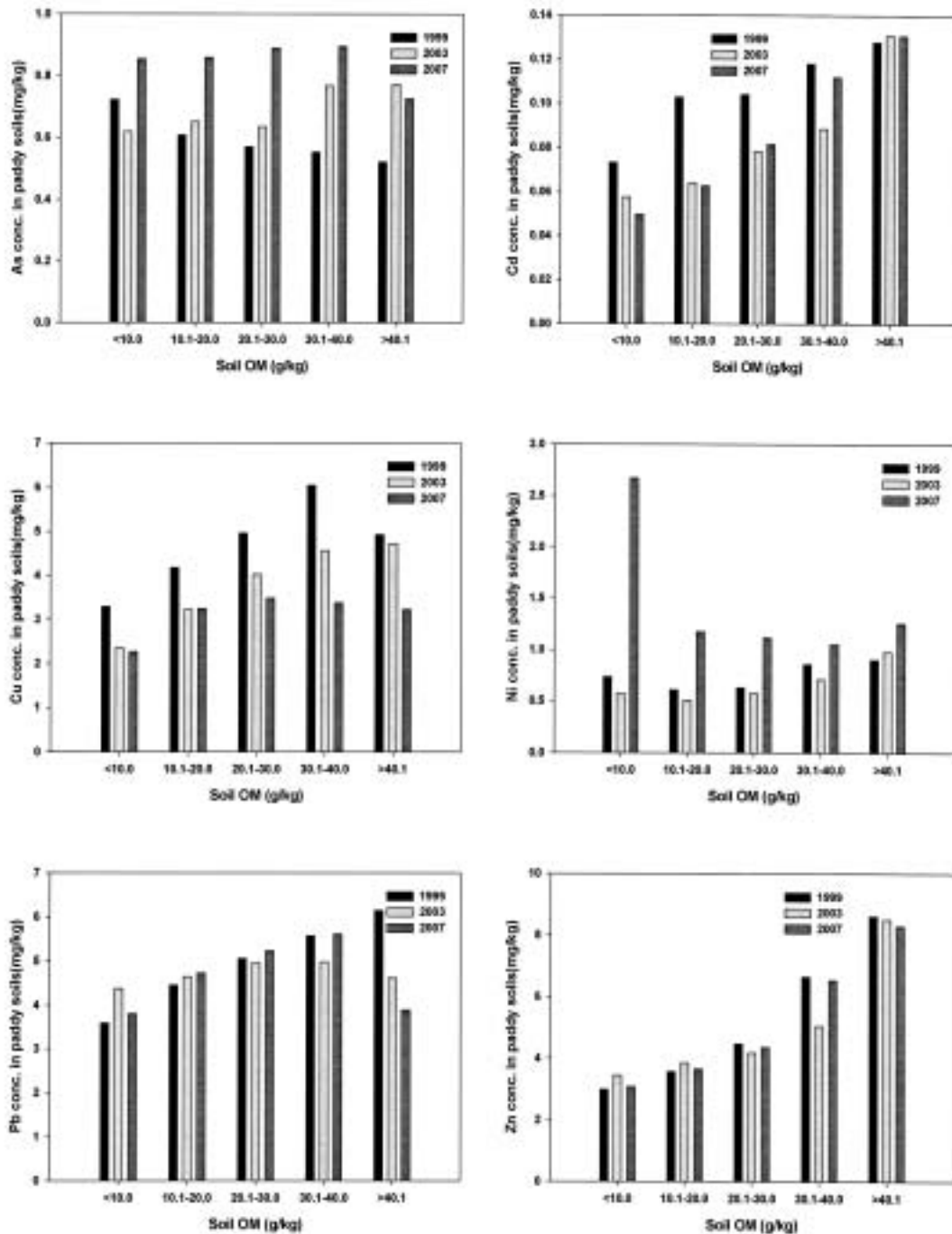


Fig. 3. Distribution of the extractable heavy metals in paddy soil with the different soil organic matter contents.

도를 보였다. 이러한 결과는 토양침식이나 물질의 용탈에 의해 산록경사지 등의 낮은 중금속 농도와 물에 의해 운반, 퇴적된 층적 모재로서 하성평탄지나 하해혼성평탄지의 높은 중금속 농도를 추정할 수 있으나 이에 대한 보다 면밀한 검토가 필요하다.

Table 5는 논토양의 중금속 함량을 유형별로 세분하여 농도분포를 비교하였다. 유형별 중금속 농도분포에서는 카드뮴, 구리, 납의 농도가 미숙답(Newly reclaimed) 및 보통답(Well adapted)에서 높게 나타났으며, 아연과 니켈은 특이산성답(Acid sulfate)에서 가

장 높은 농도를 보였다. 토양중 중금속의 가장 낮은 농도를 보인 유형특성으로는 비소, 구리 및 납이 특이산성답에서, 카드뮴과 아연은 습답(Poorly drained)에서 가장 낮은 농도를 보였다. 특히산성답과 습답의 경우 침출성 중금속의 낮은 농도는 이들 토양의 환원상태에 따른 토양 Eh의 저하와 sulfide 화합물로의 전환으로 중금속의 용해도가 크게 저하되는 요인으로 설명된다(Jung et al., 1999; Iimura, 1981).

이상의 결과를 종합하여 보면 조사기간내의 논토양 중금속 함량은 전체 평균에서의 변동사항은 크지 않

**Table 3. Average contents and range of extractable heavy metals in paddy soils with different soil textures.**

Soil texture <sup>†</sup>	Sample	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
SiCL	354	0.962 (tr-5.69)	0.077 (tr-0.88)	4.45 (tr-31.7)	0.720 (tr-83.1)	4.91 (0.09-16.1)	4.92 (0.04-48.6)
CL	467	0.522 (tr-2.48)	0.282 (tr-1.06)	4.34 (0.26-31.2)	0.605 (tr-60.2)	2.67 (tr-17.0)	3.39 (0.17-36.5)
SiL	2,452	0.696 (tr-6.92)	0.089 (tr-1.10)	4.47 (tr-41.6)	0.910 (tr-17.2)	5.38 (tr-65.9)	5.15 (tr-96.7)
L	2,558	0.612 (tr-7.02)	0.068 (tr-1.38)	4.05 (tr-27.7)	0.679 (tr-39.4)	5.09 (tr-66.4)	4.59 (tr-131.2)
SL	2,168	0.724 (tr-6.62)	0.084 (tr-1.10)	3.79 (tr-31.3)	0.800 (tr-83.1)	4.56 (tr-51.1)	3.83 (tr-54.8)
LS	38	0.391 (tr-2.92)	0.033 (tr-0.34)	2.43 (0.1-11.1)	0.533 (0.02-4.74)	1.63 (0.02-9.60)	2.65 (0.03-22.2)

<sup>†</sup> SiCL : Silty clay loam, SiL : Silty loam, SL : Sandy loam, CL : Clay loam, LS : Loamy sand, L : Loamy soil.

**Table 4. Average contents and range of extractable heavy metals in paddy soils with different soil topography.**

Topo graphy <sup>†</sup>	Sample	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
LVF	4,195	0.652 (tr-7.02)	0.095 (tr-1.38)	4.02 (tr-41.6)	0.684 (tr-60.2)	4.82 (tr-50.9)	4.34 (tr-67.8)
MFS	68	0.479 (tr-3.32)	0.047 (tr-0.25)	4.45 (0.47-25.2)	0.822 (tr-15.3)	4.73 (0.84-14.0)	4.06 (0.29-12.8)
LTP	141	1.086 (0.06-4.36)	0.097 (tr-0.30)	3.08 (0.36-9.84)	1.266 (0.04-3.51)	2.34 (tr-15.5)	3.15 (0.92-18.7)
APP	1,956	0.690 (tr-2.48)	0.083 (tr-1.06)	4.20 (tr-31.2)	0.678 (tr-60.2)	5.24 (tr-17.0)	4.73 (tr-131.2)
FMP	1,343	0.691 (tr-6.62)	0.101 (tr-0.98)	4.47 (tr-24.9)	1.227 (tr-93.1)	4.80 (tr-46.5)	4.89 (tr-48.6)
OAP	364	0.709 (tr-5.29)	0.078 (tr-1.00)	4.19 (tr-26.1)	0.552 (tr-3.59)	4.57 (0.09-48.3)	4.00 (0.13-31.7)

<sup>†</sup> LVF : Local valley and fan paddy, MFS : Mountain foot sloped paddy, LTP : Lava terrace paddy, APP : Alluvial plain paddy, FMP : Flovio-marine plain paddy, OAP : Old alluvium paddy.

지만, 농경지 내의 중금속 오염이 증가되는 요인을 파악하여 오염원의 관리 및 이에 대한 정책수립 등이 수반되어야 하며, 또한 극소수의 지점에서 토양오염 우려기준을 초과하고 있고 이에 따라 토양개량 등 적절한 조치를 취하여야 한다. 또한 농경지의 건전한 유지 보전과 안전 농산물 생산을 위하여 지속적인 모니터링을 추진하여야 할 것으로 생각된다.

## 요 약

토양환경보전법(1996)에 의해 농경지의 중금속 함량에 대한 토양오염 우려 및 대책기준과 2000년 식품의약품안전청 고시에 따른 쌀의 카드뮴 함량의 허용기

준 0.2 mg/kg의 설정으로 인하여 우리나라 논토양과 이들 포장에서 생산되는 쌀의 중금속 함량에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 농촌진흥청은 전국 농업기술원과 공동으로 전국 논토양의 중금속 함량의 현황과 장기적인 변화양상을 파악하기 위하여 1999년부터 4년 1주기로 모니터링 사업을 수행하고 있으며 3주기의 조사 결과를 검토하였다. 2007년에 조사한 전국 논토양 2,010 지점의 비소, 카드뮴, 구리, 니켈, 납, 아연의 평균함량은 각각 0.87, 0.08, 3.33, 1.19, 4.95 and 4.67 mg kg<sup>-1</sup>이었고, 조사 논토양의 몇 지점을 제외하고는 토양오염 우려기준을 초과하지 않았다. 비소의 경우 2003년 및 2007년 조사에서 니켈의 경우 1999년과 2007년 조사에서 토양오염 우려기준 초과지

**Table 5. Average contents and range of extractable heavy metals in paddy soils with different soil pattern.**

Soil pattern <sup>†</sup>	Sample	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
NRP	1,762	0.635 (tr-6.09)	0.102 (tr-1.06)	4.15 (tr-31.3)	0.644 (tr-17.7)	5.20 (tr-65.9)	4.90 (tr-64.7)
WAP	2,552	0.678 (tr-3.32)	0.102 (tr-1.38)	4.49 (tr-41.6)	0.885 (tr-60.2)	4.93 (tr-52.6)	4.83 (tr-131.2)
STP	2,627	0.728 (tr-6.29)	0.083 (tr-1.10)	4.04 (tr-29.9)	0.756 (tr-83.1)	4.81 (tr-66.4)	4.03 (tr-96.7)
PDP	791	0.609 (tr-5.20)	0.072 (tr-0.96)	3.51 (tr-20.3)	0.742 (tr-30.2)	4.40 (tr-46.1)	3.96 (tr-37.5)
SP	326	0.643 (tr-3.82)	0.082 (tr-0.98)	3.43 (tr-24.9)	0.911 (tr-12.0)	4.11 (tr-19.6)	4.43 (0.25-36.8)
ASP	9	0.192 (0.05-0.39)	0.088 (0.1-0.13)	3.10 (0.11-5.9)	1.232 (0.05-2.07)	3.47 (0.1-6.08)	9.72 (0.06-22.7)

<sup>†</sup> NRP : Newly reclaimed paddy, WAP : Well adapted paddy, STP : Sandy textured paddy, PDP : Poorly drained paddy, SP : Saline paddy, ASP : Acid sulfate paddy.

점을 확인할 수 있었다. 장기적인 변화에서는 비소, 니켈, 아연이 증가하는 경향이었으나, 카드뮴과 구리의 함량은 다소 감소하는 경향을 보였다. 납의 함량은 큰 변화를 보이지 않았다. 또한, 토양내 침출성 중금속의 함량별 분포양상은 중금속별로 최빈수가 토양내 평균함량과 유사하였다. 구리를 제외한 모든 농토양의 중금속 함량의 평균값이 중간값보다 높음으로 농토양의 중금속이 정규분포보다 하향으로 편중된 분포를 보였다.

## 참 고 문 헌

- Adriano, D. C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag
- Adriano, D. C. 2001. Trace elements in the terrestrial environment. Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of metals. Springer Verlag.
- Holmgren, G. G. S., Meyer, M. W., Chaney, R. L., and Daniels, R. B. 1993. Cadmium, lead, zinc and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J. Environ. Qual.* 22:335-348.
- Iimura, K. 1981. Heavy metal problems in paddy soils. In *Heavy metal pollution in soils of Japan* edited by Kitagishi K., and Yamane, I. Japan Scientific Societies Press, Tokyo.
- Jones, K. C., and Johnstone A. E. 1989. Cadmium in cereal grain and herbage from long term experimental plot at Rothamsted. *Environ. Pollut.*, 57:199-216.
- Jung, G. B., Kim, B. Y., Kim, K. S., Lee, J. S., and Ryu, I. S. 1996. Distribution of heavy metals contents in medicinal plants and soils with soil texture. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.*, 29(2):158-164.
- Jung, G. B., Lee, J. S., Kim, W. I., and Kim, B. Y. 1999. The effect of irrigation control and the application of soil ameliorators on cadmium uptake in paddy rice. *Korean J. Environ. Agri.*, 18(4):355-360.
- Kim, B. Y., Kim, K. S., and Cho, J. K. 1982. Survey on heavy metals in paddy soil and brown rice in Korea. *Ann. Report of Agr. Exp. Research*, 24:51-57.
- Kim, B. Y., and Kim, K. S. 1986. Studies on uptake by crops of lead and reduction of its damage, III. Effect of water management and lime application on lead uptake in paddy rice. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.*, 19(2):147-151.
- Kim, B. Y., Jung, B. K., Choi, J. W., Yun, E. S., and Choi, S. 1995. Heavy metals in paddy soil of Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.*, 28(4):295-300.
- Lee, M. H., Kim, K. S., Kim, B. Y., and Han, K. H. 1984. Effect of lime application on growth and Cd uptake of paddy rice. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.*, 17(3):258-264.
- Lee, S. R. 1993. Research of food safety. Ewha Women Univ. Press.
- MOE(Minister of Environment). 1996. Soil Environment Conservation Act.
- MOE(Minister of Environment). 1996. Standard test method for soil pollution.
- Nakai, M. 2007. Development of soil-crop inventory on heavy metals in Japan. International Workshop Draft Proceedings of East Southeast Asian Federation of Soil Science Societies(ESAFS) 8.
- NIAST(National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant.
- NIAST(National Institute of Agricultural Science and Technology). 2003. Monitoring project on Agri-environment quality in Korea. Rural Development Administration.
- Nicholson, F. A., B. J. Chambers, and B. J. Alloway. 1997. Effect of soil pH on heavy metal bioavailability. *Proceedings of 4th Int. Conf. on the Biogeochemistry of Trace Elements*.
- Page, A. L., Bingham, F. T., and Chang, A. C. 1981. Cadmium. In Lepp, N. W. (ed) *Effect of heavy metal pollution on plants*. Vol 1, Effects of trace metals on plant function. Applied Science, London.
- RDA(Rural Development Administration) 1998. A counter



- measuring studies to the changes of agricultural environment.  
RDA(Rural Development Administration) 1999. Improvement of agricultural product safety: Analysis of research trends and direction of future research.
- Stevenson, F. J. 1994. Humus chemistry. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.