

금강유역 논토양과 현미의 중금속 함량에 관한 연구

전북대학교 의과대학 예방의학교실

김영오 · 유형렬 · 이재형 · 기노석 · 황인담

= Abstract =

A Study on the Heavy Metal Contents of Soil and Rice in the Kum River Basin

Young Oh Kim, Hyung Yul Yoo, Jae Hyung Lee,
No Suk Ki, In Dam Hwang

*Department of Preventive Medicine and Public Health,
College of Medicine, Chonbuk National University*

This study was carried out to investigate the heavy metal contents and their correlation between paddy soil and brown rice near the Kum-River area.

In this study, eighty soil samples and forty brown rice samples were taken from the paddy soil. The contents of heavy metals were measured by flame atomic absorption spectrophotometry.

The results were as follows:

1. The average contents of soluble heavy metals in surface soil were Cd 0.19, Cu 15.31, Zn 18.10 and Pb 9.08 ppm. The average contents of soluble heavy metals in subsurface soil were Cd 0.19, Cu 14.52, Zn 17.75 and Pb 8.11 ppm. There was no statistically significant difference between the two layers.

2. The contents of Cu, Zn and Pb of Taejeon(S6) and Cd of Sinbyung(S5) in surface soil were higher than those of other areas. The contents of Cd and Cu of Taejeon(S6) and Zn and Pb of Kumnam(S3) in brown rice were higher than those of other areas and four heavy metals in soil and brown rice of Simchon(S7) were lower than those of other areas.

3. The ratio of soluble contents(Cd : Cu : Zn : Pb) in surface soil was 1 : 79 : 93 : 47, that of soluble contents in subsurface soil was 1 : 76 : 94 : 43, and that of total contents in brown rice was 1 : 84 : 294 : 12.

4. The correlation of the content between soluble heavy metals in surface(0-15 cm depth) soil and total heavy metals in brown rice was found to be order of Cd>Cu>Zn>Pb. The correlation of the content between soluble heavy metals in subsurface(20-30 cm depth) soil and total heavy metals in brown rice was found to be order of Cu>Cd>Zn>Pb.

I. 서 론

토양은 지구생태계에서 가장 중요한 자연자원으로서 구성성분에 있어서는 환경조건과 평형을 이루고 모든 생

물의 생활 근거지가 되고 있으나(Edward, 1981), 급속한 산업화와 인구증가로 인하여 직접 또는 간접적으로 여러가지 형태의 오염물질에 의해 영향을 받으며 이중 일부 중금속으로 인한 오염은 생물과 인체에 직접적인 영향을 미치고 있다(Casarett과 Doull, 1980).

일본 神通川 유역에서 발생한 Itai-Itai 병이 카드뮴에 의한 것으로 밝혀진 이후 토양에 있어서 중금속 오염 정도에 관한 관심이 커지기 시작하였고(Vlomis, 1978 ; 花田政, 1971), 농작물에 대한 중금속의 이행경로나 축적 정도에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(MacLean과 Dekker, 1978 ; Williams 등, 1984).

국내에서도 유순호 등(1983)이 아연광산에서 토양과 현미의 중금속 함량에 대하여 이미 보고한 바 있으며, 토양과 현미종의 중금속 상관관계를 나타내는 연구들(김재봉 등, 1980 ; 김학엽, 1985)도 있다.

우리나라 주요 하천의 수질 및 저질토의 중금속오염에 대한 조사보고(국립환경연구소, 1983)에 의하면 허용치를 초과하지는 않으나 상당량의 유해 중금속이 포함되어 있다고 하였고, 하천은 산업폐수, 도시하수, 광산폐수등에 오염될 수 있으며 오염된 물을 농업용수로 사용할 경우 중금속이 벼에 축적되고 다시 food-chain에 의해 인간과 가축에 피해를 줄 수 있다(Eward, 1981). 그러나 현재까지 보고된 연구의 대부분이 공업단지 지역이나 특정한 광산지역에 대한 조사이고 하천 유역에서는 토양과 현미에 관한 조사는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 하천수의 영향을 최대를 받을 만한 금강유역의 논 토양과 현미종의 중금속 함량을 조사하고 논 토양에 있어서 표토(0-15 cm)와 심토(20-30 cm) 간의 중금속 함량을 비교하고, 토양에서 현미로의 각 중금속 이행상태의 상관관계를 조사하고자 한다.

II. 조사대상 및 방법

1. 조사대상

금강유역에 위치하는 경작지로 도로에서 100-300m 사이의 지점중 하천수의 영향을 최대를 받을 만한 논 토양 10개 지점(표 1, 그림 1)을 선정하여 1987. 7. 22-7. 30일 사이에 0-15cm의 표토와 20-30cm의 심토를 1개 지점당 각 4개소에서 총 80개의 검체를 취하였고 벼는 1987. 10. 9-10. 15일 사이에 동일지점에서 총 40개의 검체를 채집하였다. 채집된 시료중 토양에서는 가용성 중금속을, 현미에서는 중금속 전함량을 조사하기 위해 유해중금속인 카드뮴과 납 및 이들과 유사한 화학적 성질을 지니고 있으며 자연상태에서 함께 존재하거나 영향을 주고 있는 구리 및 아연을 각 2회씩 측정하였다.

Table 1. Sampling Sites and Locations in the Kum River

지역번호	지점	위 치	비고
S1	백제교	충남 부여군 규암면 외리	본류
S2	금강교	충남 공주군 공주읍 금성동	본류
S3	금남교	충남 연기군 금남면	본류
S4	미호천교	충북 청원군 강내면 탑운리	지류
S5	신병교	충남 대덕군 구척면	지류
S6	대전공단	충남 대전시 동구 대화동	지류
S7	심천교	충북 영동군 심천면	본류
S8	유숙교	전북 무주군 무주읍 유숙리	지류
S9	군하교	전북 진안군 진안읍 군하리	지류
S9	봉강교	전북 장수군 장수읍 노하리	지류

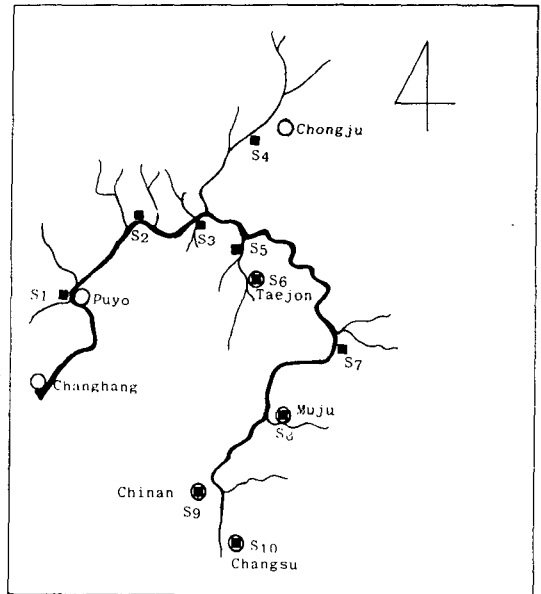


Figure 1. Sampling sites along the Kum River

2. 시료제조

1) 토 양

환경오염 공정시험법(환경청, 1983)에 준하여 비닐봉 지속에 약 2주간 실온으로 건조시킨 후, 나무절구로 가볍게 분쇄하여 비금속성 100 mesh의 체에 통과된 것을 시료로 사용하였다.

2) 현 미

채집된 벼를 토양과 같은 방법으로 건조시킨 후, 나무 절구에서 현미로 만들어 시료로 사용하였다.

3. 분석방법

1) 시료액 제조

가. 토양

시료 10g을 flask에 취하여 0.1N HCl 50ml를 가한 다음 수속진탕기를 사용하여 30°C를 유지하면서 1시간 진탕시킨 후, 여과지(Toyo No. 6)로 여과한 용액을 측정용 시료로 사용하였다.

나. 현미

시료 10g을 flask에 취하여 250°C sand bath에서 황산-질산-과염소산을 가하여 시료가 무색이 될 때까지 유기물을 분해한다. 분해된 시료에 증류수 50ml와 ammonium citrate용액(25 w/v %) 10ml를 넣고 B. T. B. 용액 3방울을 떨어뜨린 다음 ammonium sulfate용액(40 w/v %)을 첨가하였다. 여기에 암모니아수로 pH 9.5에 고정시키고 5% DDTC(sodium diethyl dithio carbamate) 10 ml를 가해 금속-킬레이트화물을 만든 후 MIBK(methyl isobutyl ketone) 25ml를 넣어 진탕시킨 후 분리된 MIBK층을 측정용 시료액으로 사용하였다.

2) 측 정

시료액을 표 2의 조건하에서 원자흡광분석기(Atomic Absorption Spectrophotometer, IL 551)를 사용하여 flame법으로 측정하였으며, 사용가스는 air-acetylene이었다. 사용가스 유속비는 air 18 SCFH, acetylene 4 SCFH였고, 시약은 유해 금속측정용과 원자흡광분석용(日本和光)을 사용하였다.

III. 성 적

1. 토양 및 현미중의 중금속함량

가용성 중금속 농도의 평균치는 표 3에서와 같이 표토의 경우에 Cd 0.194 ± 0.083 ppm, Cu 15.310 ± 5.526 ppm, Zn 18.104 ± 11.210 ppm 및 Pb 9.083 ± 2.320 ppm을 보였다.

심토의 평균치는 Cd 0.189 ± 0.091 ppm, Cu 14.518 ± 0.42 ppm, Zn 17.747 ± 9.079 ppm 및 Pb 8.112 ± 2.747 ppm을 보였다(표 3).

현미의 평균치는 Cd 0.039 ± 0.029 ppm, Cu 3.277 ± 0.905 ppm, Zn 11.364 ± 4.418 ppm 및 Pb 0.478 ± 0.381 ppm으로 나타났다(표 3).

2. 지역별 중금속 함량

지역별 표토의 가용성 Cd 농도는 백제교(S5)에서 0.279 ± 0.064 ppm으로 최고 함량을 보였고, 유속교(S8)에서 0.129 ± 0.015 ppm으로 최저함량을 보였다. Cu, Zn, Pb는 대전공단(S6)에서 각각 2.917 ± 2.552 ppm, 31.089 ± 12.690 ppm, 11.110 ± 2.361 ppm으로 최고 함량을 보였으며, 최저 함량을 보인 지점은 Cu, Zn의 경우 심천교(S7)로 각각 9.375 ± 2.329 ppm, 6.842 ± 1.003 ppm, Pb의 경우는

Table 2. Analytical Conditions of Atomic Absorption Spectrophotometer

Metal	Wave length (nm)	Lamp current (mA)	Bandpass (nm)	Concentrations of Standard solution (ppm)
Cd	228.8	3	1.0	0.1, 0.2, 0.3
Cu	324.7	5	1.0	0.5, 1.0, 1.5, 2.0
Zn	213.9	3	1.0	3, 6, 9, 12
Pb	217.0	5	1.0	1.0, 2.0, 3.0, 4.0

Table 3. Heavy Metal Contents in Soil and Brown Rice

Sample	Cadmium	Copper	Zinc	Lead
Surface soil	0.194 ± 0.083^a (0.095 - 0.441)	15.310 ± 5.526 (2.778 - 27.084)	18.104 ± 11.210 (5.028 - 44.613)	9.083 ± 2.320 (3.056 - 15.554)
Subsurface Soil	0.189 ± 0.091 (0.075 - 0.531)	14.518 ± 6.432 (2.556 - 31.249)	17.747 ± 9.079 (4.098 - 56.250)	8.112 ± 2.747 (1.667 - 12.778)
Brown Rice	0.039 ± 0.029 (0.007 - 0.104)	3.277 ± 0.905 (1.052 - 7.180)	11.364 ± 4.418 (4.350 - 34.120)	0.478 ± 0.381 (0.092 - 1.568)

a Mean \pm S. D. (ppm)

유속교(S8)로 4.178 ± 0.446 ppm이었다(표 4, 그림 2, 3, 4, 5).

심토의 가용성 Cd 함량은 금강교(S2)에서 $0.305 \pm 0.$

147 ppm으로 가장 높았으며, Cu, Zn, Pb은 대전공단(S6)에서 각각 22.395 ± 5.181 ppm, 31.035 ± 13.269 ppm, 9.181 ± 1.600 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 최저 함량을

Table 4. Heavy Metal Contents of Surface Soil

Site	Cadmium	Copper	Zinc	Lead
S1	0.130 ± 0.009^a	12.061 ± 1.854	12.913 ± 2.743	9.097 ± 1.366
S2	0.196 ± 0.078	11.458 ± 1.042	13.578 ± 1.683	9.167 ± 3.197
S3	0.138 ± 0.014	10.937 ± 0.902	21.714 ± 5.242	9.819 ± 2.318
S4	0.141 ± 0.016	15.104 ± 2.270	11.961 ± 2.799	8.125 ± 1.624
S5	0.279 ± 0.064	22.396 ± 0.902	18.669 ± 14.497	9.653 ± 1.168
S6	0.258 ± 0.051	22.917 ± 2.552	31.089 ± 12.690	11.110 ± 2.361
S7	0.137 ± 0.026	9.375 ± 2.329	6.842 ± 1.003	6.250 ± 0.694
S8	0.129 ± 0.015	10.274 ± 1.718	9.434 ± 3.762	4.178 ± 0.446
S9	0.211 ± 0.032	16.184 ± 1.925	18.637 ± 2.116	9.065 ± 1.177
S10	0.176 ± 0.027	14.214 ± 0.784	12.247 ± 4.107	5.279 ± 0.782

a Mean \pm S. D. (ppm)

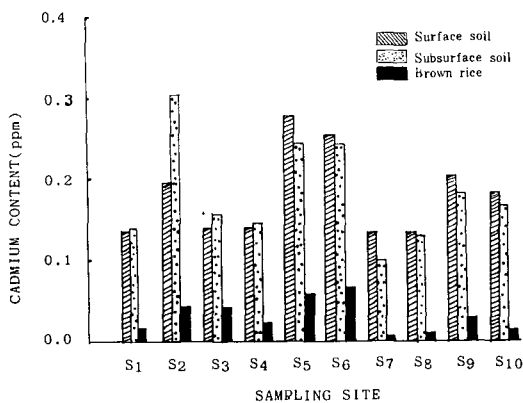


Figure 2. Mean distribution of Cd contents in soil and brown rice

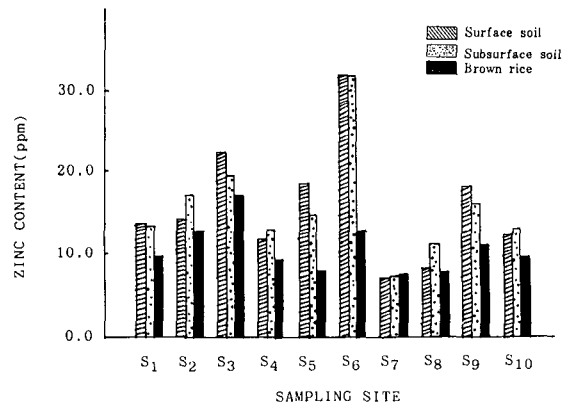


Figure 4. Mean distribution of Zn content in soil and brown rice

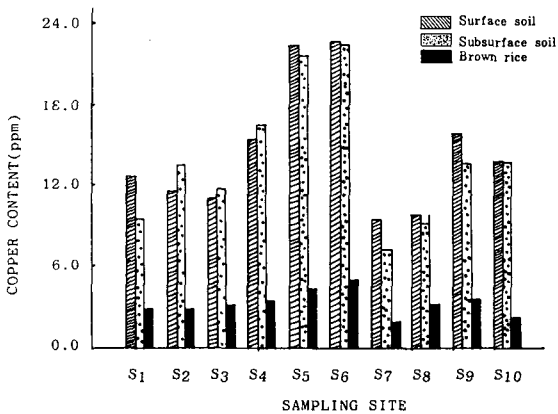


Figure 3. Mean distribution of Cu contents in soil and brown rice

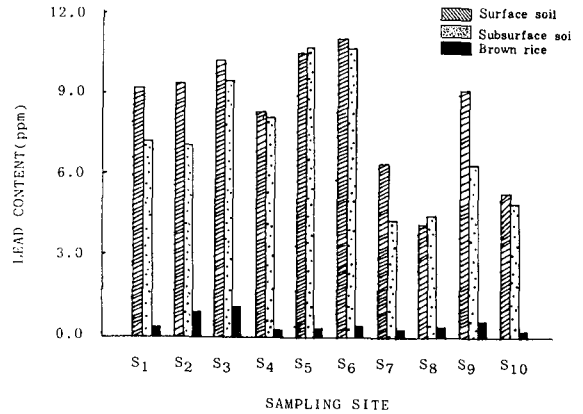


Figure 5. Mean distribution of Pb content in soil and brown rice

Table 5. Heavy Metal Contents of Subsurface Soil

Site	Cadmium	Copper	Zinc	Lead
S1	0.134±0.026 ^a	9.375±2.329	12.285±3.279	6.935±0.833
S2	0.305±0.147	13.020±1.728	16.811±2.709	6.806±3.624
S3	0.155±0.002	11.457±1.042	19.050±4.013	9.203±2.895
S4	0.149±0.041	16.146±5.586	12.931±2.495	7.986±1.083
S5	0.243±0.040	21.875±5.412	14.817±2.824	9.931±0.865
S6	0.242±0.040	22.395±5.181	31.035±13.269	9.981±1.600
S7	0.105±0.021	7.292±2.315	7.219±0.107	4.236±1.938
S8	0.132±0.026	9.125±2.248	11.247±4.762	4.517±0.628
S9	0.175±0.035	13.717±3.218	15.948±4.215	6.215±1.207
S10	0.172±0.031	14.218±12.710	12.710±3.773	4.964±0.912

a Mean±S. D. (ppm)

Table 6. Heavy Metal Contents of Brown Rice

Site	Cadmium	Copper	Zinc	Lead
S1	0.012±0.002 ^a	2.550±0.333	9.305±0.912	0.309±0.152
S2	0.043±0.027	2.878±1.296	12.253±3.045	0.823±0.617
S3	0.039±0.030	3.123±0.658	16.640±2.050	0.929±0.355
S4	0.024±0.005	3.300±0.473	9.385±1.482	0.309±0.079
S5	0.060±0.030	3.478±0.561	15.720±3.005	0.696±0.171
S6	0.069±0.018	5.168±1.164	12.163±7.948	0.309±0.339
S7	0.012±0.008	2.763±0.483	7.468±0.546	0.186±0.076
S8	0.017±0.015	3.156±0.519	7.574±2.419	0.331±0.154
S9	0.034±0.021	3.728±1.002	11.248±1.722	0.477±0.193
S10	0.020±0.004	2.648±0.723	9.857±2.077	0.271±0.084

a Mean±S. D. (ppm)

보인 지점은 심천교(S7)으로 Cd, Cu, Zn Pb에서 각각 0.105±0.021 ppm, 7.292±2.315 ppm, 7.219±0.107 ppm, 4.236±1.938 ppm의 함량을 보였다(표 5, 그림 2, 3, 4, 5).

현미의 Cd, Cu 함량은 대전공단(S6)에서 0.069±0.018 ppm, 5.168±1.164 ppm으로 가장 높았고, Zn, Pb 함량은 금남교(S3)에서 16.640±2.050 ppm, 0.929±0.355 ppm으로 가장 높았다. 최저 함량을 보인 지점은 Cd, Cu, Pb의 경우 심천교(S7)로 각각 0.012±0.008 ppm, 7.468±0.546 ppm, 0.186±0.076 ppm이었고, Cu의 경우 봉강교(S10)로 2.648±0.723 ppm이었다(표 6, 그림 2, 3, 4, 5)

3. 토양과 현미중의 중금속 상관관계

표토와 현미중의 상관관계는 Cd($r=0.6834$), Cu($r=0.6288$), Zn($r=0.5144$)에서, 심토와 현미중의 상관관계 역시 Cd($r=0.4251$), Cu($r=0.6909$), Zn($r=0.4010$)에서 각각 유의한 상관관계를 보였으나 Pb는 표토와 현미의 상관계수 $r=0.1974$, 심토와 현미의 상관계수 $r=0.1334$

로서 통계학적 유의성은 없었다(표 7, 그림 6, 7, 8).

Table 7. Correlation coefficients between the total heavy metal content in brown rice and 0.1 NHCl-extractable heavy metal content in soil

Element	Brown rice			
	Cadmium	Copper	Zinc	Lead
Surface soil	0.6834**	0.6288**	0.5154**	0.1974 ^{n.s.}
Subsurface soil	0.4521**	0.6909**	0.4010*	0.1334 ^{n.s.}

n.s.=not significant

***=significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively

surface soil=0~15cm depth soil

subsurface soil=20~30cm depth soil

Table 8. The Ratios of Heavy Metal Contents

Sample	Cd:Cu	Cd:Zn	Cd:Pb
Surface soil	1:79	1:93	1:47
Subsurface soil	1:76	1:94	1:43
Brown rice	1:84	1:294	1:12

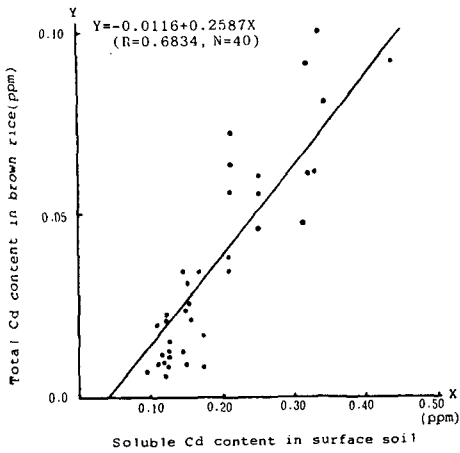


Figure 6. Relationship between cadmium contents in brown rice and surface soil

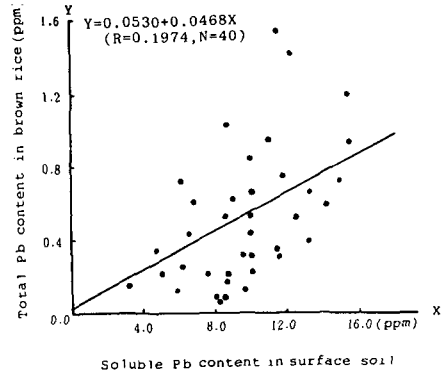


Figure 9. Relationship between lead contents in brown rice and surface soil

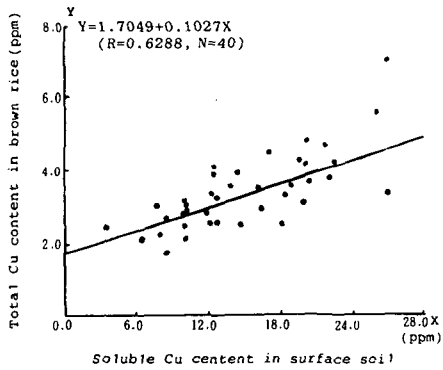


Figure 7. Relationship between copper contents in brown rice and surface soil

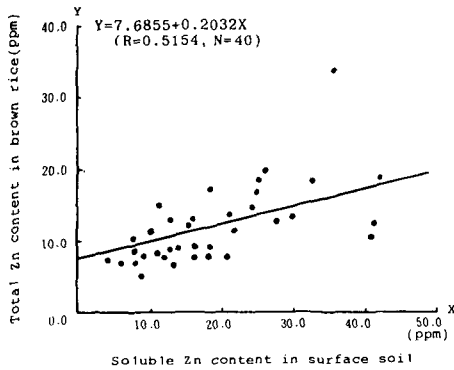


Figure 8. Relationship between zinc contents in brown rice and surface soil

IV. 고 찰

자연상태에서 카드뮴, 구리, 아연 및 납 등의 2가 중금속은 함께 존재하거나 중금속간에 영향을 미치고 있으나 환경오염에 의해 중금속 농도가 증가할 때 유기물의 분해나 소화에 의해 토양이나 수질의 그 오염도가 쉽게 감소하지 않는다(和田攻, 1971).

특히 토양에 유입된 중금속은 이동성이 적고 장기간 동안 잔류하며 유해 중금속의 경우에는 소량에 의해서도 이들이 의한 독성이 커서 주의를 기울여야 할 물질이다.

토양내 카드뮴은 수질 및 대기 상태에서 뿐만 아니라 인간의 생활환경에서도 납, 구리, 아연 등의 금속과 함께 존재하는 유해중금속으로서 일반 토양중의 자연함량은 0.06-0.40 ppm 정도이나(유홍일 등, 1983), 아연 광산이나 제련소 주변 또는 살충제 및 인산질 비료의 과다 사용지역에서 높은 함량을 보일 수 있다(Waldron, 1980).

가용성 중금속에서 카드뮴의 경우 표토의 평균은 0.194 ppm, 심토의 평균은 0.188 ppm으로 김복영 등(1982)이 조사한 한국 논 토양중 천연 부존량에서의 카드뮴 평균 0.127 ppm, 유홍일 등(1983)이 조사한 공단주변 농경지에서의 0.10 ppm, 김재봉 등(1980)이 조사한 한강변 경작지에서의 0.06 ppm보다는 높았고, 국립환경연구소(1983)에서 조사한 금강유역 저질토의 0.263 ppm, 서봉수 등(1982)이 조사한 광산지역 농경지에서의 0.78 ppm, 유순호와 이춘녕(1980)이 아연 광산지역에서 조사한 표토에서 2.68 ppm, 심토에서 1.17 ppm보다는 낮게 나타났다.

현미에서의 카드뮴 평균은 0.039 ppm으로 양재승 등(1979)이 조사한 전국 평균 0.021 ppm보다는 높았으나 김복영등(1982)이 조사한 0.052 ppm, 유순호와 이춘녕(1980)이 아연 광산지역에서 조사한 0.546 ppm 보다는 낮았다. 또한 Itai-Itai병이 유행했던 일본 神通川 유역(福島匡昭 등, 1973)의 값이 농작물의 허용기준 1.0 ppm을 초과한 것에 비교하면 본 조사의 현미중 카드뮴 함량 0.039 ppm은 비교적 낮은 함량이라 할 수 있다.

구리는 동, 식물 조직에 있어서 철대사와 골수의 세포형성에 관여하는 필수 미량금속으로 밝혀져 있으나 인체내에서의 생리적 작용에 대해서는 충분히 규명되지 못한 실정이다(Underwood, 1971). 우리나라 토양중 구리의 자연함량은 15.71 ppm 정도로 알려져 있으나 동광산, 석유공장, 피혁, 사진, 조형, 도금등의 공장폐수에 의한 영향을 받은 지역에서는 높은 함량을 보일 수 있다(김재봉 등, 1980).

본 조사에서 구리의 표토평균은 15.31 ppm, 심토평균은 14.52 ppm 으로, 김복영 등(1982)이 조사한 천연 부존량에서의 구리 평균 4.15 ppm, 유흥일 등(1983)이 조사한 공단 주변 농경지에서의 7.55 ppm, 김재봉 등(1980)이 조사한 한강변 경작지에서의 7.63 ppm보다는 높았으나 국립환경연구소(1983)이 조사한 금강유역 저질토의 21.16 ppm, 서봉수 등(1982)이 조사한 광산지역 경작지 평균 59.13 ppm보다는 낮았다.

현미에서 구리 평균은 3.28 ppm으로 염용태 등(1980)이 조사한 전국 평균 1.46 ppm보다는 높았고 김복영 등(1982)이 조사한 현미경 천연부존량에서의 평균 3.31 ppm과 池導克彦(1972)이 조사한 2.5-4.6 ppm과는 비슷한 함량을 보였다.

아연은 필수 미량금속으로 체내 여러 효소의 구성원소 및 조효소로 작용하며 과량섭취에 의한 독성은 다른 중금속에 비해 적은 금속으로 알려져 있으며, 오염되지 않은 논 토양의 일반적인 함량은 3.01-21.19 ppm 정도이나(유흥일 등, 1983), 아연 광산, 제련소, 도금, 연료, 살충제 제조 공장의 폐수가 배출되는 지역에서는 높은 함량을 보이기도 한다(유춘호와 이춘녕, 1980). 본 조사에서 아연의 표토평균은 18.10ppm, 심토의 평균은 17.75 ppm보다는 낮았다. 현미에서의 아연 평균은 11.36ppm으로 김복영 등(1982)의 논 토양중 천연부존량에서의 3.95 ppm으로 김복영 등(1982)의 논 토양중 천연부존량에서의 3.95 ppm, 유흥일 등(1983)이 조사한 공단주변 농경지의

14.0 ppm, 김재봉 등(1980)이 조사한 한강변 경작지의 14.48 ppm보다는 높았고, 국립환경연구소(1983)에서 조사한 금강유역 저질토 52.07 ppm, 서봉수 등(1983)이 조사한 광산지역 농경지 68.81 ppm, 유순호와 이춘녕(1980)이 아연광산 지역에서 조사한 표토 245.41 ppm, 심토 56.83 ppm보다 낮았다. 현미에서의 아연 평균은 11.36ppm으로 김복영 등(1982)의 현미중 천연부존량 20.55 ppm보다는 낮고 염용태 등(1980)의 전국평균 5.86 ppm보다는 높았다.

납은 인간에게 알려진 가장 오래된 중금속의 하나로 생물체내에서 조혈기능의 장애로 각종 질병을 일으키는 유해중금속으로 알려져 있으며, 오염되지 않은 논토양의 일반적인 함량은 5.60-11.8 ppm 정도이나(유흥일 등, 1983) 자동차 배기가스 이외에 화학제조공장, 축전지, 인쇄공장, 비산연을 사용하는 살충제, 인산질 비료, metal-smelting으로부터 배출되는 폐수에 의해 오염된다(Waldron, 1980). 납의 경우 표토의 평균은 9.08 ppm, 심토의 평균은 8.11 ppm으로 김복영 등(1982)의 논 토양중 천연부존량에서의 4.67 ppm, 김재봉 등(1980)의 한강변 경작지에서의 0.3 ppm 보다는 높고, 유흥일 등(1983)의 공단주변 농경지에서의 8.27 ppm 과는 유사한 함량을 보였다. 그러나 국립환경연구소(1983)에서 조사한 금강유역 저질토의 27.27 ppm, 서봉수 등(1982)이 조사한 광산지역 농경지 평균 42.89 ppm 보다는 낮았다. 현미에서의 납 평균은 0.478 ppm으로 염용태 등(1980)의 전국 평균 0.85 ppm보다는 낮고 김복영 등(1982)이 조사한 현미중 천연부존량의 0.443 ppm과는 유사한 함량을 보였다.

본 조사에서 나타난 토양중 가용성 중금속이 우리나라 논토양중 천연부존량에서의 가용성 중금속보다 높게 나타난 것은 조사지역이 대부분 교통량이 빈번한 다리 부근였기 때문에 천연부존량 보다는 배기가스와 수질오염 정도에 의한 영향을 더 많이 받은 것으로 여겨지며 이는 Lagerweff와 Specht(1970)의 보고와 같이 토양내 중금속 함량은 도로에서 가까운 수록, 토양층이 표면층에 가까울 수록 증가한다는 내용과 일치하고 있다.

조사지역의 토양중 가용성 중금속 함량은 Zn>Cu>Pb >Cd의 순위를 보였으며, 표토가 심토의 중금속함량보다 약간 높았으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 이는 오염원이 표토에서 심토로 스며들었기 때문일 것이라는 Williams(1984)와 이철 등(1984)의 연구와 일치하고 있다.

토양에서 현미로의 중금속 이행상태를 보기 위하여 카드뮴의 평균 함유량을 1로 하였을 때 각 중금속간의 함량비는 표 6과 같이 표토층 Cd : Cu : Zn : Pb의 비는 1 : 79 : 93 : 47이었으나 현미층의 비는 1 : 84 : 294 : 12로 나타나 아연이 식물의 여러 신진대사를 통제하는 효소에 필수원소로 작용하기 때문에 선택적으로 흡수되었다고 본다(Hanly, 1984).

지역별 중금속 함량을 비교하여 보면 카드 과 구리의 함량은 표토, 심토, 현미에서 모두 신병교(S5)와 대전공단(S6)에서 약간 높은 함량을 보였으나 조사과정에서 1회에 한하였기 때문에 토양의 카드뮴 함량이 수질 오염의 영향을 받았는지는 보다 광범위한 조사가 이루어져야 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

주요 공단지역의 수질 총량규제에 관한 연구(국립환경연구원, 1985)에 의하면 신병교(S5), 대전공단(S6)을 포함하는 갑천유역은 폐수량 증가가 예상되므로 수질오염, 토양의 특성등을 고려한 카드뮴과 구리의 오염정도의 측정이 이루어져야 하겠다. 아연의 농도는 대전공단(S6)과 금남교(S3)에서 높게 나타나 아연 역시 수질오염의 영향을 받는 것으로 생각된다. 그러나 현미에서의 아연 함량은 토양의 아연 함량에 큰 영향없이 전 조사지점에서 높은 함량을 보여(그림 4) 아연은 다른 중금속보다 작물에서의 흡수가 높다는 김재봉 등(1980), 국립환경연구원(1983), 김학엽(1985)등의 조사와 일치하고 있다. 납의 함량은 조사지역의 토양에서 4.18-11.11 ppm의 함량으로 김복영 등(1982)이 조사한 한국 논 토양중 천연부존량에서의 납 평균 4.67 ppm보다 훨씬 높은 함량을 보인 것은 본 조사지역이 주로 도로를 끼고 있어 자동차에서 배출되는 납의 영향으로 사료된다.

표토와 현미의 함량간의 상관관계는 Cd>Cu>Zn>Pb의 순위이며, 심토와 현미의 중금속 함량간의 상관관계는 Cu>Cd>Zn>Pb의 순으로 납의 상관성이 가장 낮게 나타났다. 이는 납은 식물에서 다른 중금속보다 낮은 흡수율을 보이고 있다는 보고(和田攻, 1971)와 일치하며 다른 조사자(염용태, 1980; 김복영 등, 1982)의 현미중 납 함량과 유사한 성적을 보여 토양의 납 함량이 현미에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

V. 결 론

금강유역 논의 표토와 심토 및 현미층의 중금속 함량을

조사하고 표토에서 현미로의 각 중금속 이행상태를 파악하고자 1987년 7월에 표토와 심토를 10개 지점에서 각 40개 표본씩 총 80개 표본을 채취하고 10월에 같은 장소에서 현미 40개 표본을 채취하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 표토(0-15cm)중 가용성 중금속의 평균함량은 Cd 0.194 ppm, Cu 15.310 ppm, Zn 18.104 ppm, Pb 9.083 ppm 이었으며, 20-30cm의 심토(20-30 cm)에서는 Cd 0.189 ppm, Cu 14.518 ppm, Zn 17.747 ppm, Pb 8.112 ppm으로 토양의 가용성 중금속 함량은 Zn>Cu>Pb>Cd의 순으로 나타났다. 현미중 중금속 함량은 Cd 0.0387 ppm, Cu 3.277 ppm, Zn 11.364 ppm, Pb 0.478 ppm이었다.

2. 표토의 Cu, Zn, Pb 함량은 대전공단(S6)에서, Cd 함량은 갑천(S5)에서 최고 함량을 보였으며, 4가지 중금속 모두 심천(S7)과 무주(S8)에서 최저의 함량을 보였다.

3. 표토의 가용성 중금속 함량비(Cd : Cu : Zn : Pb)는 1 : 79 : 93 : 47이었으나 현미에서는 1 : 84 : 294 : 12로 아연이 가장 높은비를 보였다.

4. 표토의 함량과 현미의 함량에 있어서 중금속간의 상관관계는 Cd>Cu>Zn>Pb의 순위를 보였고, 심토의 함량과 현미의 함량에 있어서 중금속간의 상관관계는 Cu>Cd>Zn>Pb의 순위를 보였다.

참 고 문 헌

- 국립환경연구원. 전국주요하천기초조사. 1983, 쪽. 172-177
- 국립환경연구원. 주요공단지역의 수질총량규제에 관한 연구. 국립환경연구소보 1985 ; 7 : 217-252
- 김복영, 김재규, 이민효. 한국 논 토양 및 현미중 중금속의 천연부존량에 관한 조사. 농사시험연구보고 1982 ; 24 : 51-57
- 김재봉, 김동한, 정연보, 오재기, 최광수, 강덕희. 중금속에 의한 토양오염과 농작물내 함량의 상관관계에 관한 연구. 국립환경연구소보 1980 ; 2 : 203-211
- 김학엽. 토양중 중금속함량과 현미중 중금속함량과의 상관에 관한 연구. 서울대 보전대학원 논문집 1985 ; 1-23
- 서봉수, 문화회, 김인기, 김학엽, 김성환. 동광산지역 농경지의 중금속실태 조사. 국립환경연구소보 1982 ; 4 : 201
- 양재승, 이서래, 노재식. 국내산 현미중 수은 및 카드뮴의 농도. Korean J Food Sci Technol 1979 ; 11 : 176-189

- 염용태, 배은상, 윤배중. 농작물중 중금속오염도와 1일 섭취량 및 허용기준설정에 관한 연구. 예방의학회지 1980 ; 13 : 3-12
- 유순호, 박무연, 노희명. 아연광산 인근담의 토양중 중금속 함량과 현미중 함량과의 관계. 한국환경농학회지 1983 ; 2 : 8-23
- 유순호, 이춘녕. 아연광산지역의 논 토양과 현미중의 카드뮴 및 아연함량. 학술원 논문집 자연과학편 1980 ; 19 : 255-266
- 유홍일, 김인기, 김학엽, 김성환. 공단주변 농경지의 중금속 오염도 조사. 국립환경소보 1983 ; 5
- 이철, 권오천, 홍순영, 주충열, 최영길. 안양천 고수부지 토양의 화학적 연구. 한양대학교 자연과학학술지 1984 ; 5 : 13-22
- 福島匡昭 外. 神通川流域の 農家保有米 カドミウム 濃度について. 日衛誌. 28 : 406, 1973.
- 池導克彦 外. 原子吸光分析法 による 玄米中のマンガン, 銅, 亞鉛およびカドミウムの同時定量. 食衛誌 13 : 195, 1972.
- 和田攻. 公害による疾患. 南江堂 : 81~90, 1971.
- Casarett LJ, Doull J. *Toxicology, The basic science of poisons*. 3rd ed. New York, Macmillan Publishing Co., 1980, pp. 582-586
- Edward JC. *Nutrition and environmental health*. New York, Willey-Interscience, 1981, pp. 65-200
- Henry DF. *Fundamentals of soil science*. Michigan State University, 1984, pp. 287-317
- Lagerweff JV, Specht AW. *Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc*. Environ Sci Tech 1970 ; 4 : 583-588
- MacLean AJ, Dekker AJ. *Availability of zinc, copper and nickel to plants grown in sewage-treated soil*. Soil Sci 1978 ; 58 : 381-389
- Vlamis J, Williams DE, Corey JE. *Metal uptake by barley from field plots fertilized with sludge*. Soil Sci 1978 ; 126 : 49-55
- Waldron HA. *Metal in the environment*. London, Academic Press, 1980, pp. 155-157
- Williams DE, Vlamis J, Pukite AH, Korey JE. *Metal movement in sludge treated soil after six years of sludge addition*. Soil Sci 1984 ; 137 : 351-359