J. Fd Hyg. Safety 11(2), 135 - 142(1996)

일부 공업지역 주변의 토양과 곡류중에 미량금속 함량 및 상관관계에 관한 조사연구

김종욱 · 김동술† · 이용욱*
식품의약품안전본부 식품안전평가실, *서울대학교 보건대학원

A Study on Trace Metal Contents and Correlation Analysis between Cereal and Soils in the Vicinity of Industrial Area Korea

Jong-Wook Kim, Dong-Sul Kim† and Yong-Wook Lee*
Division of Nutrition, Food and Drug Administration, Seoul 122-020,
**Dep. of Envionmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul 110-799*

ABSTRACT — In order to grasp status of trace metals contained and corelation analysis between cereal and soils, the samples which have been collected from four myeons in Ulju-ku Ulsan-city were 48 for cereal and 48 for soils. The average Hg containing level of samples is 0.006 ppm for cereal and 0.062 ppm for soil, Pb is 0.302 ppm for cereal and 1.137 ppm for soil, Cd is 0.012 ppm for cereal and 0.027 ppm for soil, Cu is 2.01 ppm for cereal and 0.885 ppm for soil, and Zn is 7.853 ppm for cereal and 2.366 ppm for soil. Corelation analysis between cereal and soils showed statistical significance for Hg, Pb and Cu, but it didn't show any significance for Cd and Zn.

Key words □ trace metals, cereal, soils, Ulsan, corelation analysis

곡류중에 함유되어 있는 미량 금속의 가장 큰 오염원은 인간 활동과 산업 활동의 결과 발생하는 오염 물질이고 미량금속은 농산물이나 인간에게 이행되었을 때 자연적 또는 인위적 방법으로 쉽게 분해되지 않고 축적이 되며[1] 저농도일지라도 그 독성이 농산물에게 미치는 영향이 지대하며 사람의 건강에 위해를 끼칠 우려가 있으며, 또한 오염원의 분포가 넓다는[2-4] 점 등에 의해 전세계적으로 토양, 농업용수, 농산물등에 함유되어 있는 양의 측정과 동물이나 인체에 미치는 독성에[5,6]관해 활발히 연구되어 왔다. 토양 오염의 원인 물질로는 유기물, 무기염류, 합성화학물질, 중금속류등을 들 수 있으며, 그 중 중금속류는 다른 오염물질과는 달리 토양중에 장기간 잔류되면서 농작물에 흡수 축적되어 food-chain을 통하여 결국은 인축에 축적 되기 때문에 작물체에 의하여 토양중 중금속의 흡수 이행에 관하여 보고되어 있다.[7,8] 곡류의 미량 금속 오염은 토양에만 기인하는 것이 아니고 여러 가지 환경 인자에 영향을 받으며 특히 대기오염의 영향을 많이 받는다. 이러한 대기오염은 결국 토양을 오염시키므로 토양의 중금속 오염은 곡류의 미량 금속 오염의 중요한 지표가 될 수 있다. 즉 토양의 오염 정도를 파악함으로서 농작물의 재배 타당성을 간접적으로 판정할 수 있다.[9] 1962년 울산 공업센터가 기공되면서 울산은 우리나라 최초의 공업 전진 기지가 되었으며 중화학 공업 임해공단의 효시가 되었다. 태화강과 울산만을 사이에 두고 서쪽은 석유화학단지 그 반대편은 현대그룹 계열 공장들이 위치하고 있다. 울산에서 가장 공해가 심한 지역은 대한 알루미늄 공장등이 있는 삼산, 달동지구, 영남화학 부근의 여천동, 조선비료 주변의 야음동, 석유화학단지 주변의 상개동, 부곡동, 황성동 일대가 80년대 중반에 오염 지역으로 명명되었다. 70년대 중반에 들어서면서 우리 나라는 도시화, 공업화가 전개됨에 따라 여러 가지 문제가 발생되었다. 공업단지 건설 확장으로 인한 농어업 황폐화, 주민의 건강 위해 사태등의 발생으로, 국가는 주민들을 집단 이주시키게 되었다. 특히 1980년대에 고도 산업 사회를 지향하는 공업화의 가속화와 날로 증가하는 인구로 인하여 울산 공단 지역은 자동차, 석유화학 공업의 중심지로 발전하면서 동부 경남의 중심지로 도약하였고 앞으로는 광역시 후보로 선정

† Author to whom correspondence should be addressed.

될 정도로 거대화되면서 부수적인 환경오염이 주민들의 건강에 지대한 영향을 미치고 있으며 또한 산성우로 인하여 삼림의 황폐화가 가속되고있다.[10] 그러나 울산 외곽지역의 논밭작물과 각 토양의 함량비교는 거의 없는 상태이었다. 따라서 이 지역 주변 토양 및 농산물이 오염원으로 부터 어느 정도 영향을 받고 있으며, 토양과 재배 농산물의 미량금속 변화 양상을 조사함으로써 조사 지역의 오염정도를 파악하고 토양과 곡류중의 미량금속 함량에 대한 상관관계를 살펴보고자 한다.

실험대상 및 방법

실험대상 지역

조사대상 지역은 울산시를 중심으로 동, 서, 남, 북쪽의 인근 울주구 지역의 곡류 재배지를 선정하여 토양과 곡류(쌀, 콩)의 미량금속 함량 정도를 알아보기 위하여 울산시 울주구 강동면, 범서면, 농소면, 청량면 각 지역별로 비교 검토하고, 그 함량이 어느 정도 분포되는지 조사하고자 하였다.

시료채취 방법

쌀과 콩의 실험 대상지역은 각 면에서 3곳을 지정하여 1994년 7월에서 11월 사이에 채취하여 polyethylene 주머니에 보존하고 분석할 때 이물을 제거하고 적당한 체로 쳐서 시료로 사용하였으며 토양은 각 지역에서 곡류시료와 동일 지점에서 3곳을 선정하여 환경부 고시 수질오염 공정 시험법 토양편[11]의 시료 채취 방법에 따라 채취하였다.

미량금속 분석방법

시료조제—수집한 검체는 외피를 brush로 깨끗이 닦고 이것을 homogenizer로 갈아 균질하게 만들어 시료로 하고, 즉시 실험을 행할 수 없을 때에는 polyethylene 용기에 담아 냉동보관한 후 사용하였다. 표준용액은 각 미량금속의 원자흡광분석용(Wako Pure Chemical Industry, Ltd. 대판, Japan: Factor=1.0, (20℃) 각 1 m*l*=1000 μg)표준원액을 사용하여 Mercury(Hg)는 0.001% L-cystein용액으로, Lead (Pb), Cadmium(Cd), Copper(Cu), Zine(Zn)은 6% H_2SO_4용액으로 희석하여 표준용액으로 사용하였다. 채취한 토양 시료 약 2 kg을 공정 시험법에 따라 시료를 조제하여 분석용 시료로 하였다.

카드뮴, 구리, 납, 아연—곡류시료 약 30~50 g을 정밀히 달아 도가니, 백금접시에 취해 건조하여 탄화시킨 다음 450~550℃에서 회화하였다. 방냉후 질산(1+1)또는 50% 질산마그네슘용액 또는 질산알루미늄 40 g 및 질산칼슘 20 g을 물 100 m*l*에 녹인 액 2~5 m*l*로 적시고 건조한다. 회화가 불충분할때는 위의 조작을 1회 되풀이하고 필요하면 마지막으로 질산(1+1) 2~5 m*l*를 가하여 완전하게 회화한다. 회분을 물로 적시고 염산 2~4 m*l*를 가하여 수욕상 또는 건조장치에서 건조한 다음 염산 1~2 m*l* 또는 각 시험법에서 지정한 용매를 가하여 가온 용해하고 5B(TOYO) 여과지로 여과한 다음 최종량을 50 m*l*로 하여 분석용액으로 하였다.

분석용 토양시료는 10 g을 취하여 100 m*l*의 삼각 플라스크에 넣고 0.1 N-HCL 용액 50 m*l*을 넣고 30 shaker에서 1시간 진탕한후 5B(TOYO) 여과지로 여과한 후 공정시험법중 Cd 분석법의 방법에 준하여 분석하였다.

수은—분석용 시료(토양과 곡류) 0.5 g을 취하여 약절구로 갈아 시료로 사용했다. Mercury analyer를 사용하여 가열기화금아말감법(combustion gold amalgamation method)으로 수은 표준 용액(Hg 1 μg/m*l*)을 사용하여 20~80 μl까지 순차적으로 자제 시료 용기에 취해 수은함량을 측정하였으며 표준 검량선에 의해 시료의 농도를 측정 하였으며, 3회 반복실험을 하여 산술 평균값을 취하였다.[12]

통계처리

토양과 농산물에 대하여, 울산시 울주구 동 · 서 · 남 · 북을 비교하여 우리나라 논 · 밭 자연함유량및 본조사 지역간의 미량금속 함량의 차이를 보고, 농산물과 토양간의 상관분석을 실시하여 유의성 여부를 검정하였다. 농산물과 토양에 있어서 각 지역별로 유의성 검정(분산분석)을 실시하였고, Duncan's multiple range test에 의하여 각 그룹별 차이를 비교분석하였다.[13,14]

결과 및 고찰

토양 및 곡류(쌀, 콩)중의 미량금속 분포

수은(Hg)함량—조사지역에서 채취된 토양(48건) 농산물(쌀24건 콩24건)에 대하여 Hg, Pb, Cd, Cu, Zn의 함유량을 측정한 결과는 Table 1, 2과 같다. 논토양중의 각 면들의 함량은 범서면이 이들 지역중 평균 0.076 ppm으로 가장 높게 나타났다. 범위는 0.031~0.108 ppm였다. 이 지역의 평균 함량은 0.06 ppm였다. 유 등[15]의 조사에서 자연 함유량(전량)의 평균 함량은 0.085 ppm였다. 조 등[16]의 조사에 의하면 경기도 평균 함유량은 0.073 ppm였다. 논토양 조사에서 특히 범서면 굴화, 지목 마을의 일부에서는 조사한 지역들중 조금 높은 편이다. 굴화마을은 0.108 ppm으로 나타났다. 이 수치는 자연함유량보다 높았다. 그 원인은 공단지역인 도심과 인접하고 도로변에 접한 농경지이며 하천의 오염의 영향도 배제할 수 없었다. 밭토양중의 범위는 0.031~0.102

Table. 1. Hg, Pb, CD, Cu an Zn Contents of soils in the Ulsan area Korea **(unit: ppm)**

Region	Range	Hg		Pb		Cd		Cu		Zn	
		Paddy soil	Upland soil	Paddy soil	Upland soil	Paddy soil	Upland soil	Paddy soil	Upland soil	Paddy soil	Upland soil
K.d Ch.r.1		0.035	0.041	1.001	0.619	0.038	0.083	1.088	0.656	1.178	4.018
2		0.033	0.053	0.789	0.542	0.049	0.089	0.792	0.454	0.793	6.666
Ch.d.1		0.065	0.044	1.018	0.747	0.065	0.037	2.279	0.782	3.902	5.-12
2		0.045	0.039	1.037	0.823	0.029	0.042	0.989	0.527	1.000	2.156
D.g.1		0.031	0.041	1.571	0.968	0.023	0.052	0.756	0.473	0.935	1.148
2		0.042	0.048	0.956	0.914	0.040	0.034	0.764	0.578	0.671	1.237
	Mean±S.D	0.041±0.012	0.044±0.005	1.062±0.265	0.768±0.166	0.037±0.021	0.056±0.023	1.111±0.587	0.578±0.123	1.413±1.231	3.372±2.233
N.s. D.s.1		0.043	0.047	1.399	0.533	0.034	0.055	0.436	0.419	0.974	5.904
2		0.049	0.089	0.971	0.701	0027	0.047	0.604	0.608	1.107	5.956
Ch.j.1		0.053	0.067	1.548	1.089	0.018	0.018	0.735	0.446	1.212	0.936
2		0.091	0.102	1.717	0.942	0.022	0.011	0.624	0.592	1.509	4.402
S.a.1		0.074	0.054	1.862	1.014	0.010	0.004	1.497	0.711	1.544	1.893
2		0.050	0.091	1.532	0.778	0.015	0.016	1.137	0.579	1.316	3.514
	Mean±S.D	0.060±0.018	0.075±0.222	1.504±0.307	0.842±0.209	0.021±0.008	0.025±0.020	0.838±0.399	0.559±0.108	1.277±0.224	3.767±2.066
B.s. C.m.1		0.103	0.045	1.668	1.133	0.001	0.005	1.159	0.638	0.836	2.213
2		0.065	0.054	1.691	1.111	0.012	0.023	2.169	0.379	0.867	6.060
M.s.1		0.043	0.031	1.498	0.975	0.005	0.007	1.074	0.401	1.468	2.074
2		0.039	0.043	1.059	0.922	0.004	0.004	0.986	0.514	1.172	1.459
K.h.1		0.098	0.078	1.852	1.055	0.011	0.008	1.556	0.413	2.134	1.784
2		0.108	0.089	2.379	1.088	0.007	0.006	1.278	0.397	2.078	1.349
	Mean±S.D	0.076±0.031	0.056±0.022	1.691±0.433	1.047±0.083	0.007±0.004	0.008±0.007	1.370±0.438	0.397±0.100	1.425±0.575	2.489±1.780
Ch'.r.S.J.1		0.067	0.097	1.627	0.711	0.846	0.042	1.205	0.490	1.167	3.872
2		0.77	0.083	2.058	0.528	0.031	0.014	1.016	0.413	1.189	2.249
B.j.1		0.068	0.054	1.452	0.602	0.043	0.021	1.881	0.505	2.017	2.581
2		0.065	0.069	1.397	0.589	0.064	0.015	3.002	0.602	3.616	1.126
H.j.1		0.056	0.088	1.524	0.783	0.016	0.026	1.127	0.684	0.999	1.568
2		0.062	0.097	1.261	0.591	0.017	0.017	1.131	0.95	1.741	8.984
	Mean±S.D	0.065±0.006	0.081±0.016	1.550±0.278	0.634±0.094	0.036±0.018	0.022±0.010	1.560±0.771	0.608±0.194	1.788±0.976	3.396±2.895
Total	Mean	0.060	0.064	1.452	0.823	0.026	0.028	1.220	0.550	1.476	3.256
	S.D	0.022	0.022	0.389	0.206	0.018	0.023	0.598	0.140	0.810	2.180

*K.d=Kangdong-myeon, Ch.r=Chureom, Ch.d=Changdeung, D.g=Dalgol
N.S=Nongso-myeon, D.s.=Dongsan, Ch'j.=Ch'angjwa, S.a=Sangan
B.s.=Beomseo-myeon, C.m.=Chmog, M.s.=Mangseong, K.h=Kulhwa
Ch'r=Ch'eongryang-myeon, S.j.=Sangjeong, B.j.=Banjeong, H.j.=Hwajeong
* rice, paddy soil group (P=0.1130) and soybean, upland soil group(P<0.001).

Table. 2. Hg, Pb, CD, Cu an Zn Contents of rice and soybean in the Ulsan area Korea (unit: ppm)

Region	Range	Hg		Pb		Cd		Cu		Zn	
		Rice	Soybean	Rice	Soybean	Rice	Soybean	Rice	Soybean	Rice	Soybean
K.d Ch.r.1		0.016	0.004	0.070	0.046	0.003	0.018	1.00	4.62	4.88	18.54
2		0.005	0.005	0.045	0.051	0.026	0.015	0.856	3.73	5.99	10.04
Ch.d.1		0.005	0.004	0.037	0.060	0.103	0.029	1.15	2.91	5.80	9.62
2		0.007	0.004	0.034	0.042	0.023	0.017	1.56	3.36	5.81	8.57
D.g.1		0.007	0.003	0.204	0.356	0.001	0.011	1.23	5.52	5.30	16.52
2		0.006	0.005	0.107	0.161	0.004	0.001	0.897	0.734	7.23	10.40
	Mean±S.D	0.007±0.004	0.004±0.007	0.082±0.065	0.119±0.124	0.026±0.389	0.015±0.009	1.13±0.260	3.479±1.637	5.835±0.796	12.28±4.160
N.s. D.s.1		0.007	0.007	0.082	0.047	0.015	0.016	1.46	4.26	5.84	19.08
2		0.009	0.009	0.040	0.163	0.017	0.001	0.905	1.07	6.18	9.97
Ch.j.1		0.008	0.005	2.58	0.706	0.018	0.010	1.34	2.62	5.54	10.11
2		0.010	0.011	0.279	0.204	0.011	0.009	1.50	3.74	5.85	12.37
S.a.1		0.007	0.008	1.801	0.802	0.006	0.013	1.05	4.11	4.30	9.07
2		0.006	0.009	0.986	0.788	0.013	0.007	1.48	2.79	5.71	8.18
	Mean±S.D	0.007±0.001	0.008±0.002	0.961±1.040	0.451±0.348	0.013±0.004	0.009±0.005	1.29±0.252	3.09±1.20	5.57±0.656	11.46±3.985
B.s. C.m.1		0.009	0.003	0.081	0.062	0.001	0.010	0.938	3.64	5.27	12.60
2		0.007	0.005	0.843	0.066	0.007	0.004	0.665	0.774	5.00	8.75
M.s.1		0.004	0.002	0.054	0.088	0.010	0.002	0.887	1.39	4.12	7.67
2		0.003	0.003	0.046	0.050	0.013	0.015	1.05	3.61	5.35	5.96
K.h.1		0.009	0.008	0.102	0.094	0.011	0.010	1.36	3.97	7.28	9.87
2		0.012	0.006	1.098	0.101	0.017	0.014	1.12	3.27	4.87	10.72
	Mean±S.D	0.007±0.003	0.004±0.002	0.371±0.472	0.077±0.020	0.009±0.005	0.009±0.005	1.00±0.234	2.775±1.344	5.315±1.057	9.261±2.338
Ch'.r.S.J.1		0.005	0.018	0.081	0.104	0.021	0.002	1.76	0.965	3.28	8.49
2		0.007	0.009	0.065	0.086	0.012	0.014	1.23	1.07	2.86	7.22
B.j.1		0.011	0.007	0.040	0.052	0.001	0.009	0.563	2.28	5.37	9.84
2		0.006	0.006	0.027	0.048	0.007	0.013	0.611	3.74	4.72	7.78
H.j.1		0.007	0.009	0.040	0.039	0.003	0.007	0.801	3.01	5.03	10.06
2		0.009	0.006	0.075	0.062	0.004	0.008	1.28	2.64	5.57	8.38
	Mean±S.D	0.007±0.002	0.009±0.004	0.054±0.021	0.065±0.024	0.008±0.007	0.008±0.004	1.03±0.467	2.28±1.094	4.471±1.131	8.628±1.122
Total	Mean	0.007	0.006	0.426	0.178	0.014	0.010	1.111	2.909	5.297	10.408
	S.D	0.002	0.003	0.659	0.238	0.020	0.006	0.317	1.323	1.012	3.324

*K.d=Kangdong-myeon, Ch.r=Chureom, Ch.d=Changdeung, D.g=Dalgol

N.S=Nongso-myeon, D.s.=Dongsan, Ch'j.=Ch'angjwa, S.a=Sangan

B.s.=Beomseo-myeon, C.m.=Chimog, M.s.=Mangseong, K.h=Kulhwa

Ch'r=Ch'eongryang-myeon, S.j.=Sangjeong, B.j.=Banjeong, H.j.=Hwajeong

ppm였다. 농소면이 0.075 ppm, 청량면이 0.081 ppm이었고, 다른 지역에 비해 평균이 높은 편이다. 본조사 지역의 평균 함량은 0.064 ppm였다. 1989년 농업 기술연구소 시험연구 보고서 화학부편의 밭토양의 중금속 천연부존량에 의하여 보면 콩 재배지의 Hg 평균 함량은 0.089 ppm였다. 본 조사에서는 농소면 창좌마을이 0.102 ppm으로 다른 토양보다 다소 높게 나타났다.

쌀의 경우 총 24건의 시료중 100% 검출율을 보였으며, 범위는 0.003~0.018 ppm이였고 평균은 0.007 ppm이었다. 쌀의 경우는 4개면이 평균적으로 같았다. 1990년 조의[17]조사와 비교하면 0.003 ppm의 평균보다 본조사가 2배 정도 높았다. 1994년 김 등[18]의 조사한 경우와 비교하면 0.006 ppm의 평균보다 약간 높게 나타났다. 콩의 경우 총 24건의 시료중 100% 검출율을 보였으며, 범위는 0.002~0.018 ppm이었고 평균은 0.006 ppm였다. 콩의 경우 농소면, 청량면이 나머지 2개 면보다 2배 정도 높게 나타났다. 1990년 조[17]의 조사에서 보면 평균이 0.001 ppm였다. 1994년 김 등[18]의 조사에서 보면 범위는 0.001~0.018 ppm였고, 평균은 0.006 ppm으로 보고했다.

쌀, 논토양과 콩, 밭토양간의 상관분석에서 쌀, 논토양 그룹은 유의한 차이가 없었다. 그러나 콩, 밭토양에서 유의성이 있었다(P<0.001). 쌀에서 각 지역별로 통계적으로 유의하지 않았다(F=0.0310, P=0.9924). 콩에서 각 지역별로는 통계적으로 유의하였다(P<0.05). 이러한 차이는 강동면과 농소면의 결과에서 기인하였고, 강동면과 청량면에서도 차이가 있었다. 범서면과 농소면의 결과에서 기인된 것이고, 범서면과 청량면에서도 기인된 것으로 나타났다. 이러한 결과로 미루어 보아 이 지역의 쌀, 콩 중의 수은 함량은 자연 함유량 수준이며 위생상 위해요인이 없는 함량임을 판단할 수 있었다. 토양의 경우도 대체적으로 자연 함유량의 평균 수준에서 유의한 분포를 보여주고 있다.

납(Pb)의 함량—논토양중의 각 면들 함량은 비슷한 분포이나 범서면이 그 중 높았다. 범위는 0.789~2.379 ppm였다. 이 지역의 평균 함량은 1.452 ppm였다. 유 등[15]의 조사에서 자연함유량(전량)의 평균 함량은 5.375 ppm였다. 조 등[16]의 조사에 의하면 경기도 평균 함유량은 6.646 ppm였다. 본조사에서 특히 범서면 굴화 마을이 조사한 지역들중 조금 높았다. 그 원인은 교통량의 부하가 집중됨을 들 수 있다. 밭토양중의 범위는 0.528~1.133 ppm였고, 범서면이 다른지역보다 조금 상회하는 수치이다. 평균함량은 0.823 ppm였다. 1989년 농업 기술연구소 시험연구 보고서 화학부편의 밭토양의 중금속 천연부존량에 의하면 콩 재배지의 Pb 평균 함량은 4.16 ppm였다. 본조사에서는 범서면 지목마을의 일부 지역에서 수치가 조금 높았다.

쌀의 경우 전 시료에서 Pb이 검출되었으며, 범위는 0.027~2.58 ppm였다. 평균은 0.426 ppm였다. 쌀의 경우는 4개 면중에서 농소면이 월등히 높은 편이다. 1990년 조의[17] 조사와 비교하면 0.223 ppm의 평균보다 본조사가 조금 높게 나타났다. 1994년 김 등[18]의 조사한 경우와 비교하면 범위는 0.01~0.39 ppm였고 평균은 0.11 ppm였다. 이상과 같이 쌀의 Pb함량을 비교하면 본조사 지역은 대부분의 국도와 연계되어 있었고, 그 중 수치가 높은 농소면은 공항의 인근 지역이며 경주로 연결되는 7번 국도변으로서 차량의 영향이 큰 것으로 생각된다. 콩의 경우도 전 시료에서 Pb이 검출되었다. 범위는 0.039~0.802 ppm였고, 평균은 0.178 ppm였다. 콩의 경우에도 농소면이 타지역 보다 높게 나왔다. 1990년 조의[17] 조사에서 범위는 0.036-0.820 ppm, 평균은 0.239 ppm으로써 타조사 지역 보다, 높은 편이다. 1994년 김 등[18]의 조사에서는 보면 범위는 0.02~0.38 ppm였고 평균은 0.08 ppm였다. 위의 결과로 미루어 보아 이 지역의 쌀, 콩중의 Pb함량은 몇개 마을에서 평균치를 상회 하였으나 크게 우려할 함량은 아니었다. 토양의 중금속 함량도 대체적으로 자연 함유량의 평균 수준에서 유의한 분포를 보여주고 있다.

쌀, 논토양과 콩, 밭토양간의 상관분석에서 쌀, 논토양 그룹에서 통계적으로 거의 유의성이 있었다(P<0.05). 그러나 콩, 밭토양에서는 유의성이 없었다(P=0.124). 쌀에서 각 지역별로 통계적으로 유의한 차이가 있었다(P<0.05). 이러한 차이는 강동면과 농소면의 차이에서 기인한 것이며, 또 농소면과 청량면에서 기인된 것으로 나타났다. 콩에서 각 지역별로 유의의 차이가 있으므로(P<0.05), 이들은 농소면과 청량면의 차이에서 기인되었고, 농소면과 범서면에서도 기인하였고, 농소면과 강동면도 차이에 기인하였다.

카드뮴(Cd)함량—논토양중의 각 면들 함량은 강동면과 청량면이 0.037 ppm과 0.036 ppm으로 조사 되었다. 평균은 0.026 ppm였다. 유 등[15] 조사에서 자연 함유량(전량)의 평균 함량은 0.135 ppm였다. 조 등[16]의 조사에 의하면 경기도 지역 평균 함량은 0.148 ppm였다. 이 지역의 Cd 함량은 크게 우려할 필요가 없을 것으로 사려된다. 밭토양중의 범위는 0.014~0.089 ppm였고, 평균은 0.028 ppm였다. 이 지역에서는 강동면이 평균보다 상회하는 수치로 조사되었다. 1989년 농업 기술연구소 시험연구 보고서 화학부편의 밭토양의 중금속 천연부존량에 의하면 콩 재배지의 Cd 평균은 0.157 ppm였다. 본조사에서 Cd의 밭토양중의 함량은 크게 문제시 되지않았다.

쌀의 경우 전 시료에서 Cd이 검출되었다. 범위는 0.001~0.103 ppm이었고, 평균은 0.014 ppm이었다. 쌀의 경우는 강동면이 다른 지역보다 조금 높게 나왔으나 우려되는 함

량은 아니었다. 1990년 조의[17] 조사와 비교하면 범위는 0.014~0.022 ppm였고, 평균은 0.031 ppm였다. 본조사와 비교하면 Cd의 함량은 낮은 수준이었다. 1994년 김 등[18]의 조사와 비교하면 범위는 0.003~0.097 ppm였고, 평균은 0.023 ppm였다. 콩의 경우도 전 시료에서 Cd이 검출되었다. 범위는 0.001~0.029 ppm이고, 평균은 0.01 ppm였다. 콩의 경우 강동면이 평균보다 높게 분포하였다. 1990년 조의[17] 조사에서 보면 ND~0.030 ppm이였고, 평균은 0.006 ppm으로 보고하고 있다. 1994년 김 등[18]의 조사에 의하면 범위는 0.008~0.084 ppm였고, 평균은 0.027 ppm이었다. 콩의 경우도 타조사와 비교하면 이 지역이 낮은 편이다.

쌀, 논토양과 콩, 밭토양간의 상관분석에서 쌀, 논토양 그룹에서 유의한 차이가 없었다(P=0.582). 콩, 밭토양에서도 유의성은 나타나지 않았다(P=0.304). 쌀에서 각 지역별로 통계적 유의성은 없었다(F=1.0545, P=0.3904). 콩에서도 각 지역별 유의성은 나타나지 않았다(F=1.4065, P=0.2701).

구리(Cu)함량 — 논토양 중의 범위는 0.436~3.002 ppm였고, 평균은 1.22 ppm이었다. 유 등[15]의 조사에서 자연 함유량(전량)의 평균 함량은 4.00 ppm였다. 조 등[16]의 조사에 의하면 경기도 일원의 평균 함유량은 5.708 ppm였다. 이 지역의 함량으로 보면 오염이 되지 않은 상태이다. 밭토양 중의 범위는 0.379~0.955 ppm였고, 평균은 0.55 ppm였다. 1989년 농업 기술연구소 시험연구 보고서 화학부편의 밭토양의 중금속 천연부존량에 의하면 평균 함량은 3.06 ppm였다. 본조사 지역은 대부분 토양의 함량은 천연부존량 이하이다.

쌀의 경우 전 시료에서 Cu가 검출되었으며, 범위는 0.553~1.76 ppm이고, 평균은 1.111 ppm였다. 쌀의 경우는 4개면이 거의 평균과 비슷한 상황이었다. 1990년 조의[17] 조사와 비교하면 0.086~1.359 ppm이었고, 평균은 0.785 ppm이었다. 1994년 김 등[18]의 조사한 것과 비교하면 범위는 0.06~11.85 ppm였고, 평균은 0.07 ppm였다. 본조사와 평균을 비교하면 조[17], 김[18] 등의 조사보다 조금 높게 나왔다. 콩의 경우 전 시료에서 Cu가 검출되었다. 범위는 0.734~5.52 ppm였고, 평균은 2.909 ppm이었다. 콩의 경우는 강동면이 평균값보다 상회 하는 것으로 나타났다. 1990년 조의[17] 조사에 의하면 2.732~8.349 ppm였고, 평균은 3.934 ppm였다. 1994년 김 등[18]의 조사에서 보면 범위는 0.03~6.33 ppm였고, 평균은 2.47 ppm였다. 쌀, 논토양과 콩, 밭토양간의 상관분석에서 쌀, 논토양 그룹이 조금 유의하게 나왔다(P=0.069). 그러나 콩, 밭토양에서는 유의하지 않았다(P=0.292). 쌀에서 각 지역별 통계적 유의성은 없었다(F=0.9590, P=0.4313). 콩에서도 각 지역별 통계적 유의성은 없었다(F=1.0815, P=0.3795).

아연(Zn)함량 — 논토양의 범위는 0.671~3.902 ppm였고, 평균은 1.476 ppm였다. 유 등[15]의 조사에서 자연 함유량(전량)의 평균 함량은 4.36 ppm이었다. 조 등[16]의 조사에 의하면 경기도 평균 함유량은 4.821 ppm이었다. 밭토양 범위는 0.936~8.984 ppm이었고, 평균은 3.256 ppm이었다.

쌀의 경우는 전 시료에서 검출되었으며, 범위는 2.86~7.28 ppm였다. 평균은 5.297 ppm였고, 4개 면이 비슷한 수치이다. 1990년 조의[17] 조사와 비교하면 범위는 4.492~16.165 ppm였고, 평균은 9.711 ppm이었다. 1994년 김 등[18]의 조사에 의하면 범위는 3.50~24.15 ppm였고, 평균은 10.90 ppm이었다. 본조사와 비교하면 평균값이 조,[17] 김 등[18]의 평균값 보다 낮게 나타났다. 콩의 경우도 전 시료에서 검출되었으면, 범위는 5.96~19.08 ppm이었다. 평균값은 10.408 ppm이었고, 강동면이 조사지역 중에서 수위로 나타났다. 1990년 조의[17] 조사와 비교하면 범위는 14.770~46.770 ppm, 평균은 25.878 ppm이었다. 김 등[18]의 조사에 의하면 범위는 5.27~30.47 ppm, 평균은 12.98 ppm이었다.

쌀, 논토양과 콩, 밭토양간의 상관분석에서 쌀, 논토양 그룹은 유의성이 없었다(P=0.974). 그리고 콩, 밭토양에서도 유의성은 없었다(P=0.574). 쌀에서 각 지역별 통계적 유의성은 조금 있는것으로 나타났다(F=2.4143, P=0.0967). 이러한 차이는 강동면과 청량면에서 기인한 것같다. 콩에서 각 지역별로 유의성은 없었다(F=1.8248, P=0.1751).

토양 및 곡류(쌀, 콩)중의 미량금속 상관성의 고찰 — Hg에서 쌀, 논토양과 콩, 밭토양간의 상관분석에서 쌀, 논토양 그룹은 유의한 차이가 없었다. 그러나 콩, 밭토양에서 유의성이 있었다(P<0.001). 논토양에서 각 지역별로 통계적 유의성은 있었다(P<0.05). 이러한 차이는 강동면과 범서면의 결과치에서 기인한 것으로 나타났다. 밭토양에서 각 지역별로 통계적으로 유의성이 있었다(P<0.01). 밭토양에서 강동면과 농소면이 차이가 있었고, 강동면과 청량면의 수치에서 기인되었다. 그리고 범서면과 청량면의 차이에서도 기인된 것으로 밝혀졌다. 쌀에서 각 지역별로 통계적으로 유의하지 않았다(F=0.0310, P=0.9924). 콩에서 각 지역별로는 통계적으로 유의하였다(P<0.05). 이러한 차이는 강동면과 농소면의 결과에서 기인한 것같고, 강동면과 청량면에서도 차이가 있었다. 범서면과 농소면의 결과에서 기인된 것이고, 범서면과 청량면에서도 기인된 것으로 나타났다.

Pb에서 쌀, 논토양과 콩, 밭토양간의 상관분석에서 쌀, 논토양 그룹에서 통계적으로 거의 유의성이 있었다(P<0.05). 그러나 콩, 밭토양에서 유의성이 없었다(P=0.124). 논토양에서 각 지역별로 통계적 유의성이 나타났다(P<0.01). 이러한 결과는 강동면과 농소면에서 기인한 것이며, 강동면과 범서면에서도 기인된 것으로 보이며, 그리고 강동면과 청량면에서도 기인된 것으로 보인다. 밭토양에서 각 지역별

통계적 유의성은 유의하게 나왔다(P<0.001). 이러한 결과는 농소면과 청량면의 차이에서 기인된 것으로 보이며, 청량면과 범서면에서도 기인된 것으로 나타났다. 그리고 범서면과 강동면에서도 기인된 것으로 보이며, 범서면과 농소면에서도 기인된 것으로 나타났다. 쌀에서 각 지역별로 통계적으로 유의한 차이가 있었다(P<0.05). 이러한 차이는 강동면과 농소면의 차이에서 기인한 것이며, 또 농소면과 청량면에서 기인된 것으로 나타났다. 콩에서 각 지역별로 유의의 차이가 있으므로(P<0.05), 이들은 농소면과 청량면의 차이에서 기인되었고, 농소면과 범서면에서도 기인하였고, 농소면과 강동면도 차이에 기인하였다. Pb함량을 비교하면 본조사 지역은 대부분의 국도와 연계되어 있었고, 그 중 수치가 높은 농소면은 공항의 인근 지역이며 경주로 연결되는 7번 국도변으로서 차량의 영향이 크게 작용하였고 대기의 영향에 의하여 이 지역은 여름철의 남동풍의 영향에 의하여 인근의 공장의 영향도 배제할 수 없는 것으로 생각된다.

Cd에서 쌀, 논토양과 콩, 밭토양간의 상관분석에서 쌀, 논토양 그룹에서 유의한 차이가 없었다(P=0.582). 콩, 밭토양에서도 유의성은 나타나지 않았다(P=0.304). 논토양에서 각 지역별로 통계적 유의성은 없었다(F=1.2114, P=0.3313). 밭토양에서 각 지역별로 통계적으로 매우 유의하게 나타났다(P<0.001). 이 결과는 강동면과 범서면의 차이에 기인된 것으며, 강동면과 청량면에서도 기인된 것으로 보이며, 강동면과 농소면에서도 기인된 것으로 나타났다. 쌀에서 각 지역별로 통계적 유의성은 없었다(F=1.0545, P=0.3904). 콩에서도 각 지역별 유의성은 나타나지 않았다(F=1.4065, P=0.2701). Cu에서 쌀, 논토양과 콩, 밭토양간의 상관분석에서 쌀, 논토양그룹이 조금 유의하게 나왔다(P=0.069). 그러나 콩, 밭토양에서는 유의하지 않았다(P=0.292). 논토양에서 각 지역별로 통계적 유의성은 없었다(F=1.4103, P=0.2691). 밭토양에서 각 지역별로 통계적 유의성은 보이지 않았다(F=1.3756, P=0.2790). 쌀에서 각 지역별 통계적 유의성은 없었다(F=0.9590, P=0.4313). 콩에서도 각 지역별 통계적 유의성은 없었다(F=1.0815, P=0.3795). Zn에서 쌀, 논토양과 콩, 밭토양간의 상관분석에서 쌀, 논토양그룹은 유의성이 없었다(P=0.974). 그리고 콩, 밭토양에서도 유의성은 없었다(P=0.574). 논토양에서 각 지역별로 통계적으로 유의하지 않았다(F=0.3972, P=0.7565). 밭토양에서 각 지역별로 통계적 유의성은 없었다(F=0.3390, P=0.7973). 쌀에서 각 지역별 통계적 유의성은 조금 있는것으로 나타났다(F=2.4143, P=0.0967). 이러한 차이는 강동면과 청량면에서 기인한 것같다. 콩에서 각 지역별로 유의성은 없었다(F=1.8248, P=0.1751).

본 실험에서 납, 구리 및 수은의 경우에는 토양과 곡류중에 미량금속의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 인간의 건강 보호와 적절한 생활환경을 유지하기 위해서는 토양오염으로 인한 문제점의 인식과 토양오염에 대한 효과적인 대책을 강구하기 위해서는 토양오염에 대한 조사연구는 물론, 이로 인한 농작물의 전이에 대한 과학적인 자료의 확보가 더욱 요청된다.

국문요약

울산시 울주구의 4개 면을 선정하여 곡류 48건, 토양 48건을 대상으로 수은, 납, 구리, 카드뮴, 아연을 미량금속 함량분석법으로 실험한 결과 모든 시료에서 미량금속이 검출되었으며 그 평균함량은 수은의 경우 곡류는 0.006 ppm, 토양은 0.062 ppm, 납의 경우 곡류는 0.302 ppm, 토양은 1.137 ppm, 카드뮴의 경우 곡류는 0.012 ppm, 토양은 0.027 ppm, 구리의 경우 곡류는 2.01 ppm, 토양은 0.885 ppm, 아연의 경우 곡류는 7.853 ppm, 토양은 2.366 ppm으로 나타났다. 토양과 곡류간 미량금속의 상관관계는 수은함량에서 쌀과 논토양 그리고 콩과 밭토양간의 상관분석에서 콩과 밭토양에서 유의성이 있었다(P<0.001). 납함량에서 쌀과 논토양 그리고 콩과 밭토양간의 상관분석에서 쌀과 논토양 그룹에서 거의 유의하였다(P<0.05). 구리함량에서 쌀과 논토양 그리고 콩과 밭토양간의 상관분석에서 쌀과 논토양 그룹에서 거의 유의(P=0.069)하게 나타났으나, 카드뮴과 아연의 함량에서는 곡류와 토양간의 상관성은 유의하지 않았다.

V. 참고문헌

1. 김성도, 양한승: 제련소 인근지역의 토양 및 수도체중 중금속함량에 관한 조사연구, 한토비지, **18**, 336-347 (1985).
2. WHO: Mercury(Environmental Health Criteria 86), WHO, 9 (1989).
3. WHO: Arsenic(Environmental Health Criteria 18), WHO, 43-50 (1989).
4. WHO: Lead(Environmental Health Criteria 3), WHO, 44-

54 (1977).
5. Fribery, L., G. f. Nordbery: A toxicological and epidemiological appraisal In, Miller, M. w. & T. W. Clarkson ed., Mercury mercurials and mercaptans, springfield, C, C.Thomas, 5 (1973).
6. Conor Reilly: Metal contamination of food. Applied science publisher Ltd. (London) 119-122 (1980).
7. 김복영, 김규식: 농작물에대한 연(Pb)의 흡수 및 피해경감에 관한 연구, I. 사경용액중 연(Pb) 농도가 수도체 흡수 및 수량에 미치는 영향, 한토비지, **19**, 144-149 (1986).
8. Chu, L. M. and M. H. Wong: Heavy metal contents of vegetable crops treated with refuse compost and sewage sludge, plant and soil, **103**, 191-197 (1987).
9. 강주성: 서울시 일부지역에서 재배되는 채소류 및 토양중 중금속 함량에 관한연구, 서울대학교 보건대학원 환경보건학과, 한국환경위생학회지, **20**, 55-65 (1994).
10. 이경재, 배정오, 고강석, 우종서: 울산공단지역에서의 대기오염이 산림에 미치는 여향(I) 대기 오염에 의한 곰솔 피해, 서울시립대학교, 국립환경연구원, 한국대기보전학회지, **6**, 103-110 (1990).
11. 환경청: 환경오염공정시험법, 735~743 (1983).
12. 백덕우, 권우창, 원경풍, 김준환, 김오한, 소유섭, 김영주, 박건상, 성덕화, 서석춘, 이경진, 시도보건환경연구소: 식품중의 미량금속에 관한 조사연구, 국립보건원보 **23**, 594-595 (1986).
13. Schuyler, Huck W., William H. Cormier, William G. Bounds: Reading Statistics and Research. Haper & Row, 1-5 (1974).
14. Ronald, P. Copy, Jeffrey K. Smith: Applied Statistics and the SAS Programming Language, North-Holland, 1-59 (1991).
15. 유홍일, 서윤수, 김성환, 이민효, 유순주, 허성남, 김수아: 우리나라 논토양 및 현미중 중금속 자연함유량에 관한 조사연구. 국립환경연구원보, **10**, 155-163 (1988).
16. 조규호, 오조교, 이진경, 오문석, 김영빈, 임한수: 농작물 토양의 중금속 함유량 조사연구, 경기 도 보건환경연구원보, **6**, 219-228 (1992)
17. 조미경: 우리나라 일부 곡류중의 미량금속 함량에 관한 조사연구, 서울대학교 보건대학원 석사학위논문 (1990).
18. 김길생, 김창민, 소유섭, 서석춘, 정소영, 유순영, 송경희, 김종성, 이해빈: 식품중의 미량금속에 관한 조사연구 농산물(곡류,두류,서류)중의 미량금속 함유량에 관하여, 국립보건원보, **31**, 437-449 (1994).