

萬頃江 流域의 土壤 및 水稻體中 重金屬 含量

金 成 朝* · 梁 桓 承**

(1985년 11월 4일 접수)

Heavy Metals in Paddy Rice and Soils in Mangyeong River Area

Seong-Jo Kim* and Hwan-Seung Ryang**

Abstract

Soils and rice plants in wastewater irrigated area of the Mangyeong River receiving waster from the Jeonju Industrial Complex and municipal sewage were sampled at two depths to assess the nature and content of Cd, Cu, Pb and Zn, particularly with respect to distance from wastewater source.

For metal levels of soils in these area, no difference in the heavy metal contents between the surface and the subsurface soils was found. Total contents of Cu, Pb and Zn in soils were negatively correlated with distance from the source.

A positive correlation was found between contents of total and 0.1N-HCl extractable or 1N-CH₃COONH₄ extractable heavy metals in surface soils of these area. Total contents of heavy metals in soils were positively correlated with clay, soil organic matter and cation exchange capacity.

Heavy metal contents of brown rice sampled at the Jeon-ju Industrial Complex area ranged from 0.15 to 0.91 ppm for Cd, from 1.13 to 5.68 ppm for Cu, from 0.22 to 7.16 ppm for Pb and from 11.74 to 38.66 ppm for Zn.

Negative correlation was found between the contents of Cd, Cu, Pb, and Zn in the brown rice and the distance from the source. The contents of Cd, Cu and Zn in rice straw were positively correlated with those in the brown rice.

緒 論

活潑한 産業活動과 都市化에 따른 水質의 汚濁, 大氣의 汚染, 土壤汚染等에 의한 環境公害는 最近 深刻한 問題로 되어 있다. 特히 Cd와 같은 重金屬元素들이 土壤에 蓄積되면 자연 農畜產物에도 이들의 含量이

높아질 것이며, 이로 因하여 사람의 健康을 害칠 憂慮와 함께 農作物에 對한 生育溫害로 收量 減收의 原因이 된다.

土壤中에 이와 같은 重金屬元素들이 問題가 되는 것은 低濃度라 해도 生物體에 有毒하다는 點, 또 이들 汚染源의 分布가 넓다는 點, 한편 一旦 土壤에 蓄積되면 그 除去가 容易하지 않아, 즉 化學的내지 生化學的으

* 圓光大學校 農科大學(College of Agriculture, Won Kwang University, Iri, Korea)

** 全北大學校 農科大學(College of Agriculture, Jeonbuk National Univerisity, Jeonju, Korea)

로 安定하다는 點이다. 따라서 空氣, 물, 土壤中에서의 濃度보다 훨씬 높은 水準의 濃度로 植物體內에 濃蓄될 수도 있어서 나아가, 食品連鎖를 통하여 動物 및 人間體內의 腎臟等に 蓄積되는 傾向이 있기 때문이다. (1-3)

耕作農地 土壤에 含有된 重金屬元素에 對한 關心은 1887年 日本 渡良川 流域 農耕地에서 土壤中の Cu含量이 지나치게 높아 植物의 生育障害를 일으켜 결국 農作物의 收量を 減少케 한 것 (4,5)이 그 發端이 되었으며 또 1961年 日本에서 發生한 Itai Itai病이 哺乳動物에 有害한 重金屬으로 알려진 Cd에 의해 생긴 慢性中毒 症狀임이 밝혀지자 (6-8) 다른 重金屬元素 특히 Hg, As, Pb, Zn, Cr, Cu, Ni 등의 毒性, (9,10) 土壤中 動態 및 植物吸收과의 關係, (11) 污染源에 對한 研究가 活發하게 되었다. (12-16)

重金屬元素의 土壤污染發生源으로는 粉塵 및 煤煙等에 의한 大氣汚染物質들의 降下에 따르는 境遇와 都市下水 또는 産業廢水의 農耕地에 流入이라든가, 都市쓰레기 및 産業廢棄物 등의 肥料로 의 使用等을 들 수 있다. 특히 水稻栽培에 있어서는 灌溉水와 함께 이들 物質들이 流入되어 土壤에 蓄積될 機會가 많아질 것이며, 實際로 鑛山, 製鍊所, 工團 및 都市周邊 土壤에서 重金屬元素의 含量이 높다는 調查報告가 많이 發表된 바 있다.

1973年 Lee等 (14)은 이와 같은 重金屬에 의한 污染源은 그 大部分이 工業生産工場에서 放出되는 有害重金屬에 의하며 이들은 工業廢水, 內燃機關等에 의한 燃燒排氣物로 大氣中에 放出되는 工場排氣中에 含有되어 있는 것들이라 하였다. Leland 등 (17)도 鑛山, 製鍊所, 發電所, 自動車 등의 排出物에는 Pb, Cu, Zn, Cd, Cr, Co, Ni, Ti, Cs, Ag, Mn, Fe, Mo, Hg 등이 含有되어 있고 이들은 降雨, 降雪等에 의하여 水質汚染源이 된다고 하였다. 또 鎌田 등 (18)에 의하면 下水處理場에서 採取한 高分子 汚泥 7點, 石灰汚泥 14點을 分析한 結果 Zn이 397~1932, Cu이 67~289, Ni이 9.8~68.3, Pb은 26.7~110.0 ppm이라는 高濃度의 重金屬이 含有되어 있다고 하였다. 한편 若月 (19)는 非污染 田土壤의 天然賦存量은 Cu이 30~37, Zn이 108~122, Ni이 20~26, Pb이 16~21 ppm이었다고 한다.

都市 및 工業團地에서 排出되는 污水에 의한 重金屬類의 土壤污染은 多樣하여, 工業團地內 産業의 種類, 工程 및 廢水量, 그리고 都市의 規模, 生活水準等에 따라 各種 汚染物質의 種類와 量은 調査者에 따라 各各 相異하게 報告하고 있다. (14,17)

우리나라에서는 1970年代 以後 急速한 産業發展과 都市人口의 膨脹으로 인한 重金屬元素에 의한 土壤汚

染이 增加一路에 있다. 그런데도 이에 對한 調查研究는 그리 많지는 않다. 柳 (15,16) 등 韓 (20) 등은 亞鉛鑛山 附近의 畚土壤中の Cd, Zn 및 Pb의 含有量과 玄米中の 濃度와의 關係를 밝혔고, 또 韓, (20) 金 (21) 등은 非污染米 作地를 中心으로 調查分析한 0.1N-HCl 可溶性 重金屬 天然賦存量의 平均含量이 Cd이 0.127, Cu가 4.15, Zn이 3.952, Pb이 4.673 ppm이며 이러한 耕作地에서 耕作된 玄米中の 含量은 Cd이 0.052, Cu가 3.30, Zn이 20.553 Pb이 0.433 ppm임을 報告한 바 있다. 그러나 汚染地 土壤의 重金屬 含量에 미치는 汚染源 및 植物體內의 蓄積等에 關한 研究는 많지 않은 實情이다.

本 研究는 1970年代 부터 工團發達 및 人口增加에 의한 全州市 工團廢水 및 都市下水가 萬頃江에 流入되어 灌溉水로의 利用 및 이들 污水에 浸水되는 土壤 및 水稻體中 重金屬元素의 污染實態를 把握하고자 하였다. 아울러 污染範圍와 要因을 보다 多面的으로 追究하기 위하여 土層, 距離等에 따른 污染程度의 差異, 土壤中 重金屬含量과 土壤의 理化學的 性質 및 水稻體가 吸收한 重金屬含量과의 相關研究 등의 結果를 報告한 것이다.

材料 및 方法

萬頃江 流域의 全州工業團地로부터 排出되는 廢水路와 全州川이 連結되는 地點을 基點으로 하여 下流方向으로 萬頃江流域의 堤防內에서 1 km間隔으로 그릴 1과 같이 30個 地點에서 1982年 4月 30日부터 2週間에 걸쳐 水稻移秧前에 層位別로 表土(0~15 cm)와 心土(15~30 cm)로 區分 採取하였으며 風乾後 2 mm체로 通過시켜 vinyl封紙에 保管하였다가 土壤分析試料로 하였다.

水稻體試料는 收穫直前에 土壤試料를 採取한 同一地點에서 1982年 10月 16日부터 2週間에 걸쳐 水稻體 地上部位를 採取하였다. 水稻體의 試料 調製는 90°C에서 2時間동안 再乾燥하여 莖葉은 20 mesh, 玄米는 60 mesh에 通過되도록 粉碎한 것을 植物體 分析試料로 하였다.

供試土壤의 一般的 理化學的 性質分析은 農村振興廳 農業技術研究所의 土壤分析法 (22)에 準하였고, 土壤中 0.1N-HCl 및 1N-CH₃COONH₄ (pH 4.5)溶液 可溶性 重金屬含量은 風乾細土 10g에 各 浸出液 50 ml를 加하여 30°C 恒溫條件下에서 1時間振盪한 後 濾過하고 그 濾液을, (23) 土壤中 重金屬含量은 風乾細土 5g을 conc-H₂SO₄ 1 ml, conc-HNO₃ 5 ml 및 conc-HClO₄ 20 ml로 分解(過鹽素酸分解法) (24)시켜 Syrup狀으로 濃縮하여 1N-HCl으로 溶出시킨 後 그 濾液을 各各 原子吸光法(Perkin-Elmer 2380 AAS) (25,26)으로 分析하였다.

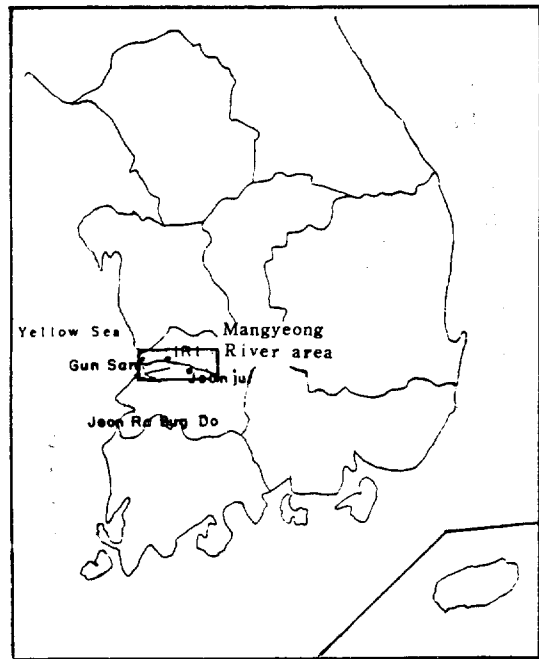
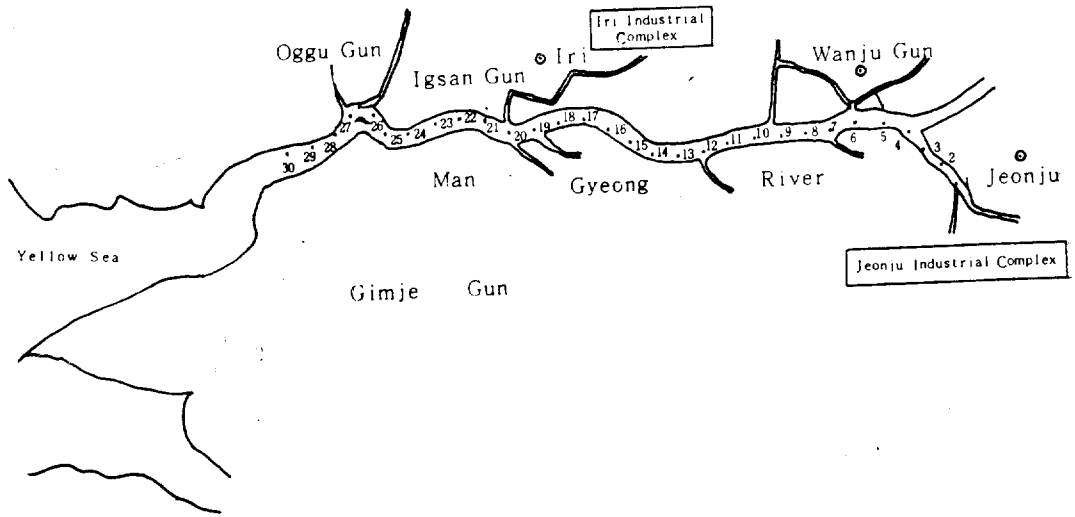


Fig. 1. Sampling sites along Mangyeong River area

植物體中 重金屬含量은 莖葉 및 玄米 各 5g을 conc-HNO₃ 20 ml, conc-HClO₄ 8 ml 및 conc-H₂SO₄ 2 ml 에 의해 分解(濕式灰化法)⁽²⁷⁾하여 蒸發乾固한 後 6N-HCl로 溶出시킨 後 그 濾液을 原子吸光法(Varian 875 AAS)에 의하여 測定하였다.⁽²⁸⁾

단, 試料採取 基點으로부터 20 km地點 附近에 裡里 工業團地의 排水의 一部가 合流되는 點이 있었다.

結果 및 考察

1. 土壤中的 重金屬含量

工團廢水 및 都市下水가 農業用水로 利用되고 또 集中降雨時에는 이들 汚濁水에 의해 浸水가 자주 일어나는 萬頃江 堤防內의 土壤에 對하여, 工團廢水와 全州

Table 1. Some physico-chemical properties of surface soils in Mangyeong River area

Sampling site No.	Texture (U.S.D.A.)	Clay (%)	pH (1:5)	Organic matter (%)	Available P ₂ O ₅ (ppm)	Available SiO ₂ (ppm)	C.E.C. (me/100g)
M* 1	sandy loam	16.0	5.2	1.56	89.8	69.0	5.8
M 2	sandy loam	17.5	4.7	1.47	89.8	63.0	7.8
M 3	sandy loam	18.5	4.7	4.17	143.7	69.0	9.7
M 4	sandy clay loam	26.0	5.3	1.83	182.9	87.0	8.8
M 5	sandy loam	13.0	4.8	1.05	130.6	46.0	5.3
M 6	sandy clay loam	20.0	4.7	1.56	119.2	61.0	10.6
M 7	loam	19.5	6.2	1.01	52.3	69.0	11.1
M 8	loam	20.0	4.1	1.56	102.9	49.0	12.1
M 9	sandy loam	16.5	4.9	1.74	73.6	47.0	10.1
M 10	loam	18.5	5.7	1.33	155.1	63.0	10.1
M 11	sandy loam	12.0	4.8	0.73	109.4	45.0	7.0
M 12	silt loam	15.5	4.5	1.33	84.9	45.0	8.7
M 13	sandy loam	8.5	4.7	0.60	62.1	36.0	4.3
M 14	silt loam	16.0	4.8	1.74	65.3	44.0	9.3
M 15	silt loam	13.5	4.5	0.92	49.0	49.0	7.3
M 16	loam	13.0	4.9	0.82	45.7	63.0	7.2
M 17	silt loam	13.0	4.8	0.37	40.8	56.0	7.0
M 18	loam	11.0	4.8	0.78	60.4	46.0	3.6
M 19	silt loam	13.0	4.7	0.50	65.3	46.0	4.2
M 20	silt loam	11.0	5.7	0.60	65.3	71.0	4.5
M 21	silt loam	11.5	4.7	0.73	171.5	42.0	8.2
M 22	silt loam	21.5	4.5	0.82	79.9	39.0	4.3
M 23	silty clay loam	27.0	5.2	0.41	53.6	09.4	4.5
M 24	silt loam	13.0	4.9	0.82	98.9	47.0	5.6
M 25	loam	13.0	5.2	0.60	45.3	55.0	5.1
M 26	silt loam	15.0	4.6	1.05	78.3	44.0	5.6
M 27	silt loam	13.0	4.3	0.64	49.0	40.0	3.6
M 28	silt loam	19.0	5.4	1.05	60.4	59.0	4.1
M 29	silt loam	20.0	7.1	0.55	65.3	93.0	5.9
M 30	silt loam	22.5	5.9	0.73	81.7	87.0	5.2

* : M=Mangyeong River.

川과 合流되는 地點을 汚濁源의 基點으로 하여 下流쪽으로 1 km間隔으로 表土와 心土를 採取한 表土의 몇가지 理化學的 性質을 보던 表 1과 같다.

이들 土壤中 表土의 重金屬全含量을 距離別 差異를 보던 그림 2와 같으며, 이들 各 元素의 最高含量을 보던 Cd은 1.78, Cu는 30.07, Pb은 34.32, Zn은 137.85 ppm이었다. 土壤中 重金屬全含量의 距離別 變化를 보던 Cd을 除外한 Pb, Cu 및 Zn은 15 km까지 汚濁水의 影響을 받았음을 나타내었고 汚濁源에 가까울수록 土壤中 重金屬含量도 높아진 것으로 보아 이들 土壤에 工

團廢水 및 都市下水에 의하여 汚染되었음을 알 수 있었다.

또한 20 km 이상되는 地點에서 이들 重金屬含量이 높아진 理由는 또다른 汚染源 即 裡里工團 및 都市下水의 影響을 받았음을 알 수 있었다. 그러나 前述한 淺見⁽¹²⁾와 Cannon等⁽²⁹⁾의 非汚染地 土壤의 限界値와 對比할때 Pb 및 Zn의 最高含量을 除外하고는 모두 낮은 含量을 보이므로 그 汚染度가 甚하지 않은 것을 알 수 있었다.

한편 本地域의 土壤中 重金屬全含有量은 表土와 心

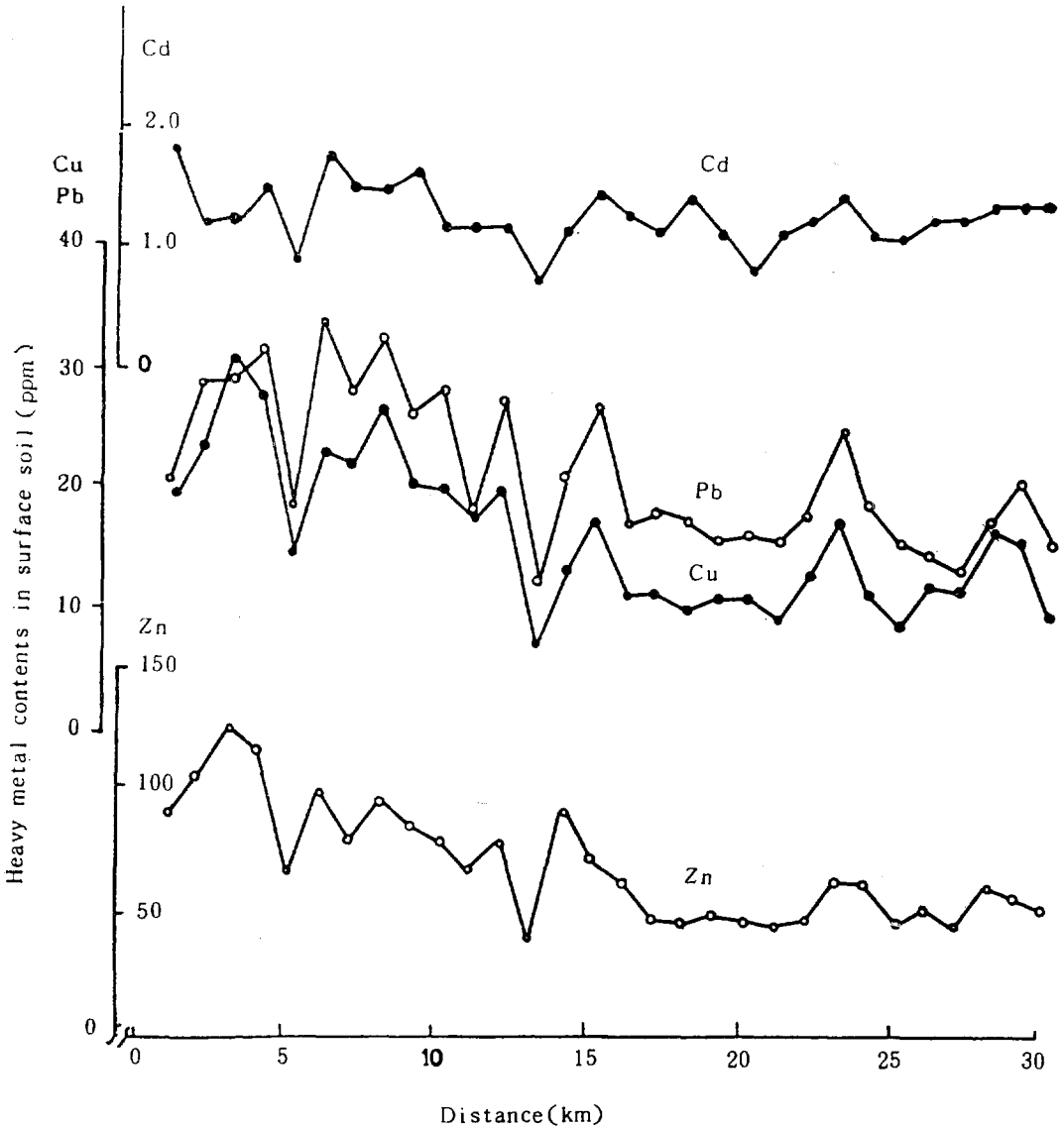


Fig. 2. Total Heavy metal contents in surface soil with references to distance from Jeonju Industrial Complex

土(表 2참조) 共히 Zn, Pb, Cu, Cd의 順으로 낮아졌으며 表土 및 心土中 重金屬全含量間에 현저한 差異가 없었는데 이는 日向⁽³⁰⁾가 Column에 의한 $CuSO_4$ 溶液의 浸透速度를 土壤의 種類에 따라 調査한 結果, 洪積土 및 火山灰土에서는 15 cm 以內에 大部分 吸着되었으나 沖積土의 境遇는 25 cm程度까지 浸透되었고 自然狀態의 沖積土에서는 80 cm程度까지 移動할 수 있었다는 報告와 같이, 萬頃江流域의 土壤은 沖積土로서 汚染된 이들 重金屬이 쉽게 地下로 移動된 때문이거나, 廢水 및 下水에 含有된 豊富한 有機物質과의 可溶性

chelate를 形成, 이것이 浸透水와 함께 下層部로 垂直 移動하게 된 때문이 아닌가 생각된다. (31,32,33)

土壤中 重金屬全含量과 汚染源으로부터 距離와의 相關關係를 보면 表 2와 같이 Cd를 除外하고는 Cu, Pb, Zn 등 모두 表土와 心土 共히 基點에서 멀어질수록 減少되는 高度의 有意性 있는 負의 相關關係를 나타냈고 이것은 汚染源으로부터 遠距離가 될수록 汚染度가 낮아진다는 結果였으며 Cd와 相關이 없었던 것은 Cd의 汚染度는 이들 元素보다 낮았기 때문에 생각된다.

또한 工團廢水 및 都市下水의 汚染源으로부터 30 km

Table 2. Relationship between content of total heavy metals in soils and distance from Jeonju Industrial Complex

Soil depth	Heavy metal	Equation of linear regression	Simple correlation coefficients
Surface (0~15 cm)	Cd	$Y = -0.001X + 1.332$	$r = -0.051ns$
	Cu	$Y = -0.610X + 26.000$	$r = -0.9120^{**}$
	Pb	$Y = -0.425X + 28.570$	$r = -0.6158^{**}$
	Zn	$Y = -1.870X + 101.150$	$r = -0.7395^{**}$
Subsurface (15~30 cm)	Cd	$Y = -0.005X + 1.186$	$r = -0.2086ns$
	Cu	$Y = -0.470X + 23.270$	$r = -0.6936^{**}$
	Pb	$Y = -0.355X + 25.516$	$r = -0.4994^{**}$
	Zn	$Y = -1.630X + 92.700$	$r = -0.6239^{**}$

ns=not significant, *p=0.05, **p=0.01

以內的土壤에 對하여 過鹽素酸分解法에 의한 土壤中 重金屬全含量과 0.1N-HCl 및 N-NH₄AC 抽出法에 의한 可溶性 重金屬含量을 調査한 바 表 3과 같이 抽出 方法에 따른 各重金屬 平均含量으로 볼 때 表土가 心土보다 그 含量이 各元素 共히 若干 높은 傾向이었다. 汚染源으로부터 距離別 重金屬全含量과 可溶性 重金屬含量과의 相關關係를 調査해 본 바 그 結果는 表 4

및 表 5와 같다.

重金屬全含量과 0.1N-HCl에 의한 可溶性 重金屬含量과의 關係를 보면 Cu, Zn은 表, 心土에서 共히 高度의 有意性 있는 正의 相關을 보였으나 Pb은 表土에서 만 높은 有意의 相關關係를 보였으며 Cd은 表, 心土에서 共히 有意性이 認定되지 않았다.

또한 重金屬全含量과 N-NH₄AC에 의한 可溶性 重金

Table 3. The average content of heavy metals extracted by different methods in soils of Mangyeong River area (ppm)

Heavy metal	Surface soil			Subsurface soil		
	Total*	0.1N-HCl	N-NH ₄ AC	Total	0.1N-HCl	N-NH ₄ AC
Cd	1.31(100)**	0.14(10.7)	0.05 (3.8)	1.12(100)	0.14(12.5)	0.05 (4.5)
Cu	16.59(100)	4.41(26.6)	1.17 (7.1)	15.9 (100)	3.80(23.8)	1.11 (6.9)
Pb	21.59(100)	6.18(28.6)	4.40(20.4)	20.02(100)	4.77(23.8)	3.35 (6.7)
Zn	72.16(100)	12.52(17.4)	5.22 (7.2)	67.45(100)	9.26(13.7)	6.72 (9.9)

*Total : perchlorate extractable

** () : extractability ratio

Table 4. Relationship between 0.1N-HCl extractable and total heavy metals in soils of Mangyeong River area

Soil depth	Heavy metal	Equation of linear regression	Simple correlation coefficients
Surface (0~15 cm)	Cd	$Y = 0.127X - 0.030$	$r = 0.2584ns$
	Cu	$Y = 0.338X - 1.247$	$r = 0.8139^{**}$
	Pb	$Y = 0.284X - 0.114$	$r = 0.7277^{**}$
	Zn	$Y = 0.343X - 2.600$	$r = 0.6884^{**}$
Subsurface (15~30 cm)	Cd	$Y = 0.269X + 0.005$	$r = 0.2930ns$
	Cu	$Y = 0.598X - 5.613$	$r = 0.9841^{**}$
	Pb	$Y = 0.126X + 2.335$	$r = 0.3391ns$
	Zn	$Y = 0.300X - 11.000$	$r = 0.8328^{**}$

ns=not significant, *p=0.05, **p=0.01

Table 5. Relationship between N-NH₄ AC extractable and total heavy metals in soils of Mangyeong River area

Soil depth	Heavy metal	Equation of linear regression	Simple correlation coefficients
Surface (0~15 cm)	Cd	Y = -0.030X + 0.088	r = -0.0543ns
	Cu	Y = 0.073X + 0.001	r = 0.5761**
	Pb	Y = 0.180X + 0.380	r = 0.5643**
	Zn	Y = 0.214X - 10.194	r = 0.8709**
Subsurface (15~30 cm)	Cd	Y = 0.009X + 0.062	r = 0.0248ns
	Cu	Y = 0.174X - 1.673	r = 0.8225**
	Pb	Y = 0.090X + 1.477	r = 0.2642ns
	Zn	Y = 0.063X + 2.100	r = 0.3519ns

ns=not significant, *p=0.05, **p=0.01

屬含量과의 關係를 보면 Cu는 表, 心土 共히 有意性 있는 正의 相關關係를 보였으나 Pb, Zn는 表土에서만 높은 有意性의 正相關關係를 보였으며 그 外 重金屬元素는 有意性 있는 關係가 認定되지 않았다. 그러나 土壤中 可溶性 重金屬含量은 抽出方法에 따른 溶出程度는 元素의 種類에 따라 相異하여 0.1N-HCl 溶出에 의한 可溶性 重金屬 含量이 높았다. (23,24) 이는 2.5%-CH₃COOH 및 0.005M-EDTA法에 의한 土壤中 重金屬의 溶出量을 調査한 東等(35)의 結果와 類似하였고, 이들 元素가 土壤中에서 各種 不溶性 鹽類로 存在하여 抽出方法에 따른 溶解度差異가 생긴 것으로 생각되나 이들 變動要因에 對한 研究가 要望된다.

工團廢水 및 都市下水의 流入에 의한 畚土壤의 重金屬含量과 土壤理化學性과의 相關을 알아보기 위해 土壤中 重金屬含量과 粘土, 有機物含量 그리고 陽ion置換容量(C.E.C.)의 相關을 보면 表 6과 같이 土壤中 重金屬全含量과 粘土含量, 有機物含量 및 C.E.C 등 모두 높은 有意性 있는 正의 相關을 나타냈다.

특히 粘土含量과의 關係에서 重金屬의 種類에 關係 없이 높은 有意性 있는 正의 相關關係를 보였는데, 이

Table 6. Simple correlation coefficients between some characteristics and total content of heavy metals in surface soils of Mangyeong River area

Heavy metal	Clay	Organic matter content	Cation exchange capacity
Cd	0.5752**	0.1958ns	0.0810ns
Cu	0.6310**	0.7313**	0.06622**
Pb	0.6213**	0.4313*	0.7308**
Zn	0.5186**	0.9240**	0.9229**

ns=not significant, *p=0.05, **p=0.01

는 土壤中 粘土含量과 Cu, Zn, Mn 등의 含量과 높은 相關이 있음을 報告한 Banin等(36)의 結果와 一致되었다. 그러나 Cd과 有機物, C.E.C와의 相關을 보이지 않았던 것은 林等(37)의 結果와는 相反된 結果였는데 그 理由는 土壤中 Cd의 含量이 낮았던 關係라 생각된다.

2. 水稻體 部位別 重金屬含量

工團廢水와 都市下水의 流入 地域 畚土壤에서 栽培된 水稻體를 汚染源으로부터 距離別로 採取 莖葉部와 玄米로 區分 Cd, Cu, Pb 및 Zn의 含量을 分析한 結果는 表 7과 같다.

工團廢水 및 都市下水에 依한 汚染地에서 栽培된 水稻의 莖葉部 重金屬含量은 그림 2의 土壤中 重金屬全含量과 같이 汚染源으로부터의 距離에 따라 一部 例外는 있지만 적어지는 傾向을 나타냈으며, 玄米中에서의 重金屬含量이 汚染源으로부터의 距離에 따라 減少하는 傾向이 더욱 뚜렷하였다. 莖葉과 玄米中의 含量은 各 重金屬 共히 莖葉中의 含量이 玄米보다 높은 傾向을 나타내고 있는 바 이는 다른 研究家들의 水稻體의 部位別 重金屬類의 研究結果(38,39)에서도 水稻體中의 重金屬 分布는 根, 莖葉, 玄米의 順으로 重金屬 含量이 낮아지는 結果와도 一致되는 傾向이었다.

한편 그림 3의 玄米中 重金屬 含量의 變化는 Cd과 Pb는 汚染源으로부터의 距離에 따라 土壤中 重金屬含量의 變化와 類似하기는 하나 Cd, Pb와 같은 樣相은 아니었다. 또한 그림 3의 20 km지점에서 부터 Cd, Pb, Cu의 玄米中 含量이 若干 增加되는 傾向을 나타냈는데 이는 土壤中 各 元素의 行動 및 土壤管理에 따른 水稻 吸收等은 많은 條件에 따라 달라지겠지만, 裡里工團의 廢水가 合流되는 地點 20 km附近부터 다른 汚染源이 混入되었음을 짐작할 수 있을 것 같다. 即 裡里工團의 排水中에는 아마도 Cd, Pb 또는 Cu의 汚染을 豫想할

Table 7. Heavy metal contents in pants sampled with 1km intervals from the industrial complex along Mangyeong River(ppm)

Distance (km)	Cd		Cu		Pb		Zn	
	Stem leaf	& Brown rice	Stem leaf	& Brown rice	Stem leaf	& Brown rice	Stem leaf	& Brown rice
1	1.35	0.83	8.24	3.52	11.40	5.86	48.10	29.83
2	1.53	0.75	4.55	3.64	11.90	5.27	77.20	23.98
3	2.11	0.80	9.09	5.68	12.20	5.37	169.80	31.56
4	1.80	0.85	5.97	5.45	13.20	7.16	117.50	38.66
5	1.63	0.85	6.53	4.55	11.90	6.48	81.80	28.13
6	1.33	0.44	3.13	2.84	10.10	1.97	32.80	18.81
7	1.06	0.24	4.83	4.55	11.50	0.30	20.70	18.72
8	1.92	0.30	5.97	3.30	10.40	0.36	49.40	22.24
9	1.54	0.43	3.41	2.61	10.80	1.44	32.00	20.36
10	1.14	0.91	4.83	3.86	11.70	5.72	35.20	22.93
11	1.10	0.27	3.98	3.52	12.10	0.64	36.60	22.07
12	1.28	0.37	3.13	2.50	11.30	2.05	31.60	22.51
13	0.89	0.31	2.27	1.71	12.50	1.81	24.30	21.63
14	1.27	0.23	7.39	3.98	11.10	0.77	35.30	24.12
15	1.18	0.24	4.83	4.09	11.70	0.81	38.90	17.07
16	1.09	0.26	3.98	2.61	12.20	0.59	38.90	20.30
17	1.09	0.24	6.25	2.73	14.30	0.27	29.90	19.42
18	0.95	0.19	3.13	1.82	12.00	0.78	30.30	17.20
19	1.30	0.27	4.26	3.50	12.80	0.83	26.70	20.66
20	0.97	0.47	1.99	1.13	13.40	0.97	18.20	26.13
21	1.12	0.31	4.55	3.64	12.00	0.33	25.80	23.17
22	1.18	0.27	7.10	3.07	14.00	0.52	32.00	17.38
23	1.11	0.42	5.11	4.43	10.90	0.83	34.90	18.66
24	1.06	0.85	4.83	3.07	14.20	5.99	20.40	21.56
25	1.14	0.15	3.69	2.61	13.40	0.57	24.10	14.63
26	1.29	0.77	4.83	3.75	13.00	5.13	23.70	21.79
27	0.94	0.21	4.26	2.61	13.10	0.45	19.70	11.74
28	1.41	0.23	3.98	3.75	12.30	0.22	23.50	19.42
29	0.95	0.26	4.55	3.18	12.60	1.03	21.60	14.11
30	1.54	0.24	4.83	3.30	14.10	1.61	24.40	20.79

수 있으나 Zn의 染汚源은 認定할 수 없을 것 같다.

이렇듯 廢水에 의한 重金屬汚染型은 汚染時期, 汚染濃度, 灌水量, 土壤條件, 다른 汚染混入等 複雜한 影響을 받으므로 一定한 傾向은 찾기는 어려운 것 같다. 한편, 이와같은 汚染源으로부터의 距離와 植物體中の 重金屬含量과의 統計的 相關關係를 分析한 結果는 表 8과 같이 植物體中 重金屬은 莖葉中 Pb와 Cu를 除外하고는 汚染源으로부터 멀어질수록 莖葉 및 玄米中 含量이 적어지는 負의 有意性 있는 相關을 나타냈으며

이는 다른 研究者들^(13,16,40)의 結果와 同一하였으며 表 2의 土壤中 含量과 汚染源의 距離와의 相關에서 보여준 바와 같았다. 한편 莖葉中 Cu는 汚染源으로부터의 距離와 有意性이 없는 相關이었으나 距離가 멀어질수록 減少하는 傾向은 보이고 있다(그림 3). 또한 莖葉中 Pb는 오히려 正의 有意性 있는 相關關係를 보이는 것은 前述한 바와 같이 汚染源으로부터 20 km地點에서는 또 다른 工團廢水가 合流되었고 이 廢水中에는 Cu나 Pb의 汚染源이 있는 것이 아닌가 생각된다.

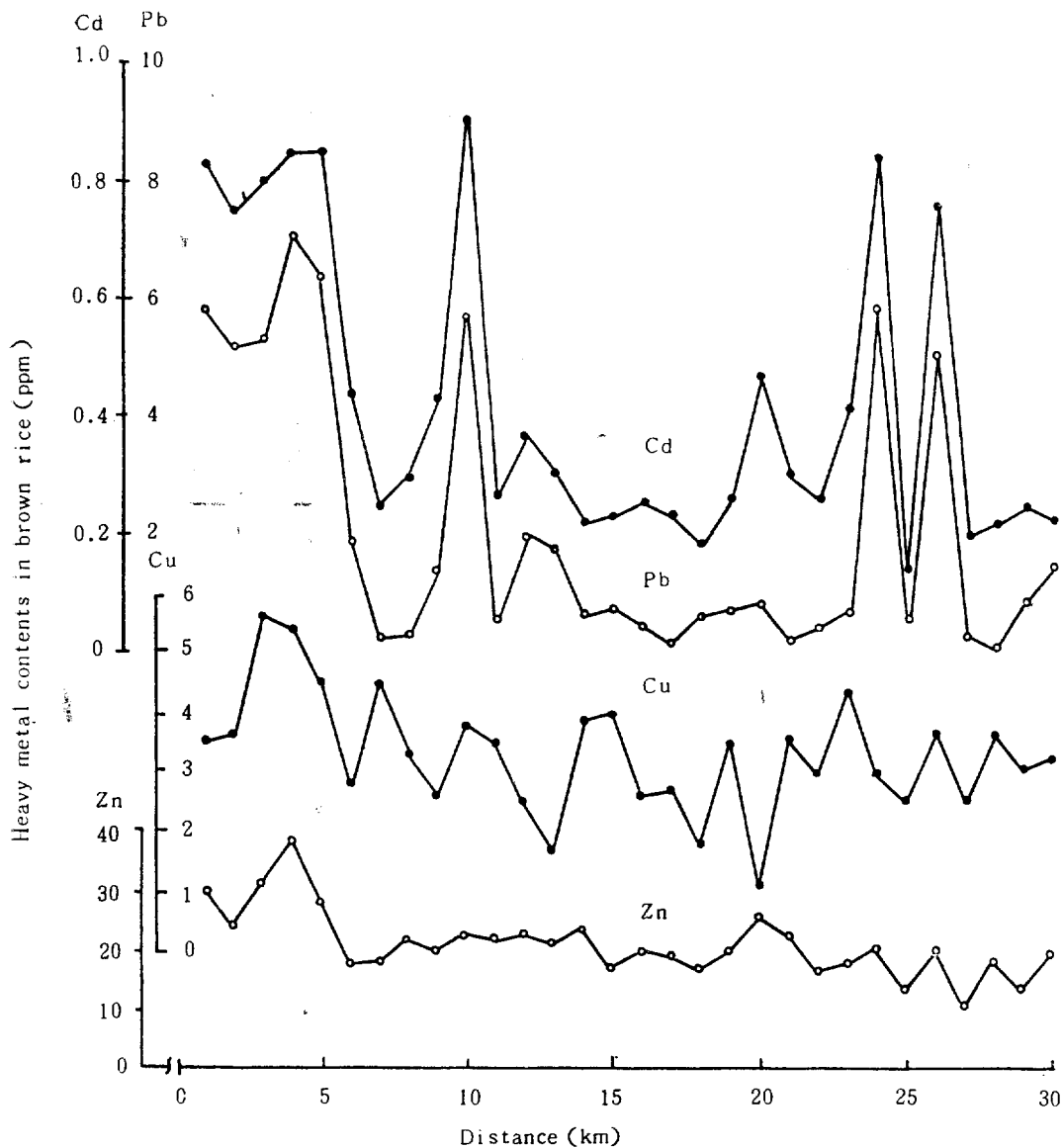


Fig. 3. Heavy metal contents in brown rice with references to distance from Jeonju Industrial Complex

Table 8. Relationship between heavy metal contents in rice plants and distance from Jeonju Industrial Complex

Part of plant	Heavy metal	Equation of linear regression	Simple correlation coefficients	Part of plant	Heavy metal	Equation of linear regression	Simple correlation coefficients
Leaf and stem	Cd	$Y = -0.018X + 1.550$	$r = -0.5211^{**}$	Brown rice	Cd	$Y = -0.014X + 0.646$	$r = -0.4810^{**}$
	Cu	$Y = -0.060X + 5.778$	$r = -0.3199ns$		Cu	$Y = -0.410X + 4.014$	$r = -0.3659^*$
	Pb	$Y = 0.069X + 11.200$	$r = 0.5450^{**}$		Pb	$Y = -0.297X + 5.589$	$r = -0.4510^*$
	Zn	$Y = -2.223X + 75.301$	$r = -0.6055^{**}$		Zn	$Y = -0.381X + 27.559$	$r = -0.6250^{**}$

ns=not significant, *p=0.05, **p=0.01

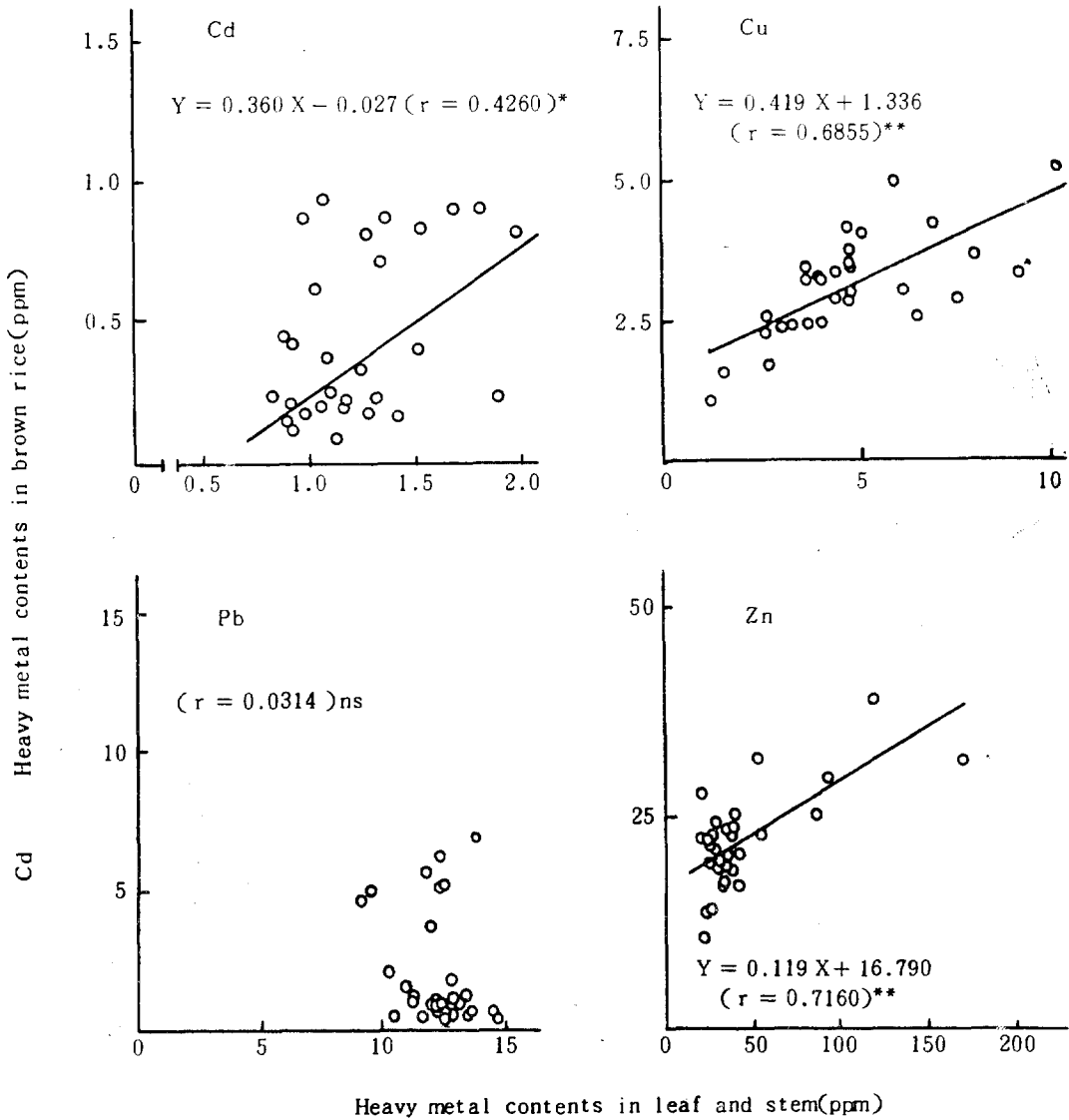


Fig. 4. Relationship between heavy metal contents in brown rice and leaf-stem of rice plant (Mangyeong River area)

莖葉中の 重金屬含量과 玄米中 重金屬含量과의 關係를 보면 그림 4와 같이 Cu, Zn은 高度의 有意性 있는 正의 相關을 보였으며 Cd는 5% 有意性 있는 相關을 보였으나 Pb는 相關關係가 認定되지 않았다. 이는 Pb의 行動이 植物體內에서 다른 重金屬의 行動과 다르다는 것을 意味한다고 하겠다.

3. 土壤中 重金屬含量과 水稻體中 含量과의 關係

工團廢水와 都市下水의 影響을 받는 地域 土壤中 重

金屬全含量과 水稻體中の 分布와의 關係를 보면 表 9와 같이 土壤中의 이들 含量이 높으면 莖葉에서 Zn, Cu, Pb의 含量이 높아지는 有意性 있는 相關關係를 보였고, 玄米中 濃度와 土壤中 含量과의 關係에서는 Cu와 Zn이 高度의 有意性 있는 相關을 나타냈으며, Cd와 Pb에서는 有意性을 認定할 수 없었다.

특히 玄米中の 重金屬含量에 미치는 土壤中 重金屬含量的 影響이 莖葉部에서 보다 적었다. 이것은 土壤中 Cd含量과 玄米中 重金屬含量과의 關係는 栽培條件

Table 9. Relationship between heavy metal contents in rice plants and soils extractable in perchlorate(Mangyeong River area)

Part of plant	Heavy metal	Equation of linear regression	Simple correlation coefficients
Leaf and stem	Cd	$Y = 0.243X + 0.957$	$r = 0.1952ns$
	Cu	$Y = 0.110X + 3.027$	$r = 0.3868^*$
	Pb	$Y = 0.110X + 14.686$	$r = -0.5934^{**}$
	Zn	$Y = 1.043X - 34.458$	$r = 0.7178^{**}$
Brown rice	Cd	$Y = -0.078X + 0.535$	$r = -0.0627ns$
	Cu	$Y = 0.100X + 1.636$	$r = 0.6013^{**}$
	Pb	$Y = 0.129X - 0.676$	$r = 0.3343ns$
	Zn	$Y = 0.142X + 11.384$	$r = 0.5890^{**}$

ns=not significant, *p=0.05, **p=0.01

Table 10. Relationship between heavy metal contents in rice plants and 0.1N-HCl extractable content in soils(Mangyeong River area)

Part of plant	Heavy metal	Equation of linear regression	Simple correlation coefficients
Leaf and stem	Cd	$Y = 0.029X + 1.263$	$r = 0.0369ns$
	Cu	$Y = 0.346X + 3.319$	$r = 0.4985^{**}$
	Pb	$Y = -0.246X + 13.753$	$r = -0.5524^{**}$
	Zn	$Y = 1.595 + 20.799$	$r = 0.5420^{**}$
Brown rice	Cd	$Y = 0.004X + 0.432$	$r = 0.0020ns$
	Cu	$Y = 0.211X + 2.434$	$r = 0.4969^{**}$
	Pb	$Y = 0.355X + 0.033$	$r = 0.3807^*$
	Zn	$Y = 0.224X + 18.845$	$r = 0.4584^{**}$

ns=not significant, *p=0.005, **=0.01

等에 따라 달라져 一定한 關係를 認定하기 어려웠다는 報告等과 同一한 傾向이었다⁽¹¹⁾.

0.1N-HCl法에 의한 可溶性 重金屬含量과 水稻體中 重金屬含量과의 關係를 보면 表 10과 같이 Cu, Zn은 莖葉 및 玄米에서 Pb은 玄米에서, 土壤의 0.1N-HCl 可溶性 重金屬含量이 增加할수록 增加되는 關係를 나타내었다. 그러나 이 現象은 渡邊等⁽²³⁾이 土壤中 0.1N-HCl 과 N-NH₄AC等의 酸·鹽抽出에 의한 土壤中 可給態 量과 水稻中の Zn含量과 높은 正의 相關關係를 報告 하였던 結果와는 多少差異를 나타냈다. 또한 表土中 重金屬全含量(表 3)에 對한 玄米中 重金屬含量(表 7)은 Cd은 32.82, Cu은 20.03 Pb는 9.87 Zn은 30.00%를 나타내 共通의으로 玄米中 含量이 적었는데 이는 土壤條件等 栽培環境의 差異에서 온 結果가 아닌가 생각된다.

要 約

全州市 工團廢水 및 都市下水의 影響을 받는 地域의

土壤과 水稻를 對象으로 Cd, Cu, Pb 및 Zn등 重金屬 含量을 調査分析한 結果를 要約하면 다음과 같다.

- 1) 土壤中の 重金屬含量은 表土와 心土의 差가 거의 없었다.
- 2) 土壤中の Cu, Pb 및 Zn의 全含量은 汚染源으로부터 距離가 멀어질수록 負의 相關을 나타냈다.
- 3) 表土中 Cu, Pb, Zn 含量과 0.1N-HCl 및 N-CH₃COONH₄에 의한 溶出量間에 正의 相關을 나타냈다.
- 4) 土壤中 粘土, 有機物含量 및 陽离子置換容量과 重金屬含量間에는 正의 有意性 있는 相關을 나타냈다.
- 5) 工團廢水 및 都市下水에 의해서 汚染된 查土壤에서 生産된 玄米中 重金屬含量은 Cd은 0.15~0.91, Cu은 1.13~5.68, Pb은 0.22~7.16, Zn은 11.74~38.66 ppm이었다.
- 6) 玄米中 重金屬의 含量은 汚染源으로부터 멀어질수록 減少하는 負의 相關을 나타냈다.
- 7) 地上部 水稻의 莖葉中 Cd, Cu, 및 Zn의 含量은

玄米中 이들의 含量과 有意性 있는 正의 相關을 나타냈다.

및 美湖川周邊地域의 環境汚染實態와 이의 防止對策에 관한 研究, 農村振興廳 79 : 16p.

參 考 文 獻

1. Bremner, I. (1974) : Heavy metal toxicities. *Quarterly Rev. Biophysics*, **7**, 75.
2. Chaney, R.L., Stoewsand, G.S., Bache, C.A. and Lisk, D.J. (1978) : Cadmium deposition and hepatic microsomal induction in mice fed lettuce grown on municipal sludge-amended soil. *J. Agric. Food Chem.* **24**(4), 992.
3. 李光雨(1975) : 微量元素와 環境保護問題. 光復 30 周年紀念, 綜合學術會議論文集, 學術院發行 : 685.
4. 石塚喜明(1940) : 植物に對する銅イオン有害作用の起因に就て(第 1 報) 根系の全部が銅イオンに接觸せる場合と然らざる場合に於ける銅イオンの有害作用に就て日本土肥誌 **14**(4) : 248.
5. 齊藤喜亮(1961) : 鑛害地産植物成分に 關する研究 (第 5 報) 作物中の銅含量について. 日本土肥誌 **32**(4) : 145.
6. Bowen, H.J. M. (1966) : *Trace element in biochemistry*. Academic Press, London and N.Y. 115 p.
7. Flick, D.F., Kraybill, H.F., and Dimitroff, J.M. (1971) : Toxic effects of cadmium. *A Review Environmental Research* **4**(2) : 71.
8. 小林純(1969) : イタイタイ病の原因の追究. I, II, III. カドミウムをめぐる生物, 地球化學と科學 **39** : 286, 369, 424.
9. Petering, H.G., Murthy, L. and O'Flaherty, E. (1977) : Influence of dietary copper and zinc on rat lipid metabolism. *J. Agricultural Food Chem.*, **25**(5) : 1105.
10. Schroeder, J.A., Vinton W.H. Jr. and Balassa J.J. (1963) : Effect of chromium, cadmium, cadmium and other trace metals on the growth and survival of mice. *J. Nutr.*, **80** : 39.
11. Bingham, F.T., Page, A.L., Mahler, R.J. and Ganje, T.J. (1976) : Cadmium availability to rice sludge-amended soil under "flood" and "nonflood" culture. *Soil Sci. A.J.* **40** : 715.
12. 淺見輝男. (1972) : 日曹金屬株式會社會律製鍊所の排煙排水に含まれるカドミウム, 亞鉛, 鉛および銅による水田土壤汚染, 日本土肥誌 **43**(9) : 339.
13. 趙成鎮, 李載球, 金昌漢, 李圭烈(1976) : 無心川 및 美湖川周邊地域의 環境汚染實態와 이의 防止對策에 관한 研究, 農村振興廳 79 : 16p.
14. Lee, R.E. and van Lehinden, D.J. (1973) : Trace metal pollution in the environmental, *J. Air Pollution Control Assoc.*, **23**(10) : 863.
15. 柳順昊, 李春寧(1980) : 亞鉛鑛山地域의 畚土壤斗 玄米中, 카드뮴 및 亞鉛含量, 學術院論文集(自然科學) **19** : 255.
16. 柳順昊, 朴武彥, 盧熙明 (1983) : 亞鉛鑛山 隣近畚의 土壤中 重金屬含量과 玄米中 含量과의 關係. 韓國環境農學會誌, **2**(1) : 18.
17. Leland, H.V., Copenhaver E.D. and Corrill, L. S. (1974) : Heavy metals and other trace elements. *J. Water Poll. Control Fed.* **46** : 1452.
18. 鎌田賢一, 南松雄(1981) : 下水汚泥中の重金屬の形態. 日本土肥誌 **52**(5) : 385.
19. 若月利之, 松尾嘉郎, 久馬一剛(1978) : 土壤中 諸元素の天然賦存量(第 1 報). 本邦水田作土中の Pb, Zn, Cu, Ni, Cr およびの天然賦存量, 日本土肥誌 **49**(6) : 507.
20. 韓基碩. (1981) : 農業公害研究 現況과 今後方向. 韓國農化學會二十年, (二十年史 및 紀念 Symposium), 韓國農化學會, 124.
21. 金福榮, 金奎植, 趙在規, 李敏孝, 金善實, 朴英善, 金福鎮(1982) : 韓國本土壤 및 玄米中 重金屬(Cd, Cu, Zn, Pb)의 天然賦存量에 關한 調查研究. 農試報告 24(土肥, 作保, 菌茸, 農加) : 51.
22. 農村振興廳, 農業技術研究所 (1973) : 土壤調査便覽 第二卷(土壤分析編)
23. 渡邊和彥, 田中平議, 日下昭二 (1974) : 土壤分析における抽出溶液量對土壤量比と元素抽出量間の規則性(第一報) 酢安, 鹽酸による土壤中亞鉛の抽出. 日本土肥誌 **45**(10) : 453.
24. 農林水産技術會議事務局 (1972) : 土壤および作物體中の重金屬の分析法(1) 日本土肥誌 **43**(7) : 264.
25. Jackson, M.L. (1958) : *Soil chemical analysis*. Prentice Hall, Inc. N. J. 402.
26. Jones, J.B. Jr. and Issac, R.A. (1969) : Comparative elemental analysis of plant tissue by spack emission and atomic absorption spectroscopy, *Agron. J.* **61** : 393.
27. 農林水産技術會議事務局 (1972) : 土壤および作物體中の重金屬の分析法(3) 日本土肥誌, **43**(9) : 349.
28. Amos, M.D., et al. (1975) : *Basic atomic absorption spectroscopy*, A morden introduction. Varian Techtron Pty Ltd. Springvale, Australia.

29. Cannon, H.L. and B.M. Anderson. (1974): 地球化學と環境汚染. 日本化學會譯編, 環境と疾病丸善: p. 161~180.
30. 日向進 (1981): 土壤における銅の行動と形態について, 日本土肥誌 52(4): 356.
31. Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. (1969): Equilibrium relationships of Zn^{2+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} , and H^+ with EDTA and DTPA in soils, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33: 62.
32. Schnitzer, M. (1969): Reactions between fulvic acid, a soil humic compound and inorganic soil constituents, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33: 75.
33. Sommers, L.E. and Lindsay, W.L. (1979): Effect of pH and redox on predicted heavy metal-chelate equilibria in soils, *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43: 39.
34. 農林水産技術會議事務局 (1972): 土壤および作物體中の重金屬の分析法(2) 日本土肥誌 43(8): 305.
35. 東俊雄, 野地五十郎彦田降幸 (1974): マンカン, コバルト, 銅および亞鉛の溶解性におよぼす土壤加熱の影響. 日本土肥誌 45(7): 362.
36. Banin, A. and J.Navrot. (1976): Comparison of modified montmorillonite to salts and chelates as carrier for micronutrients for plants, I. Supply of copper, zinc, and manganese. *Agron. J.* 68: 353.
37. 林善旭, 金善寬 (1983): 畚土壤中 Cd의 形態別分布과 玄米中 Cd含量과의 關係研究. 韓國土肥誌 16(1): 28.
38. 田中明, 但野利秋, 武藤和夫, (1975): 重金屬適應性の作物種間差(第2報) 亞鉛, カドミウム, 水銀適應性, 一比較植物榮養に関する研究一 日本土肥誌 46(10): 431.
39. 田中明, 但野利秋, 三浦周 (1978): 重金屬適應性の作物種間差(第4報) 銅適應性 一比較植物榮養に関する研究一. 日本土肥誌 49(5): 361.
40. 金在鳳, 金東漢, 鄭淵善, 吳在基, 張聖基, 崔光洙, 姜德姬 (1980): 重金屬에 의한 土壤汚染과 農作物內含量의 相關關係에 관한 研究. 國立環境研究所報 2: 203.