

중금속에 의한 토양오염과 그 작물내함량에 관한 연구

김명미 · 고영수

한양대학교 가정대학 식품영양학과

A Study on the heavy metal contents in the soils and vegetables

Myong-Mi Kim and Young-Su Ko

Department of Food and Nutrition, College of Home Economics
Hanyang University, 133 Seoul, Korea

ABSTRACT-In the particular area the heavy metal concentrations in the soil were determined and compared to the contents in vegetables which were grown on the soil. Simultaneously the degree of contamination was examined. Samples were collected from Chinese cabbage, radish and Altari-mu, together with the soil on which the three kinds of vegetables have grown. The sites of samples collection were Jinguan-sa(non-polluted area) and Sangaedong(polluted area). The contents of cadmium, copper, lead and zinc were determined by means of atomic absorption spectro-photometer.

The results obtained were as follows;

1. In soils, the average contents of heavy metal in Jinguan-sa area(Cd; 0.15ppm, Cu; 0.15ppm, Zn; 11.5ppm) were lower than those in sangye-dong(Cd; 0.26ppm, Cu; 13.0ppm, Zn; 17.1ppm).

2. In vegetables, the average have metalcontents in Jinguan-sa were cadmium; 0.11 ppm, copper; 5.29ppm, zinc; 18.75ppm and the average contents in Sangye-dong were cadmium; 0.16ppm, copper; 6.64ppm, lead; 0.14ppm, zinc; 15.01ppm.

3. The contents of lead showed zero ppm in Jinguan-sa area(soil and vegetables).

In vegetables difference in concentration of heavy metals was not observed between reclaimed area and non reclaimed area. Statistical analysis showed that no correlation in the heavy metal concentrations between those in soils and in vegetables.

Keywords □ Heavy metal contamination, Soil, Vegetables

최근의 식품산업은 인구의 도시집중과 중화학공업화의 진전으로 인해서 환경오염문제가 대두되어 국민의 건강 또는 생활환경에 피해를 주는 가능성이 높다¹⁻⁵⁾ 환경오염의 원인은 대기의 오염, 수질의 오염, 토양의 오염, 소음, 진동, 地盤의 沈下 그리고 약취 등이며⁶⁻¹¹⁾ 특히 하천유역의 경작지 토

양은 오염된 물로 인해서 그 오염도가 더욱 높아질 것이며¹²⁾ 오염물질중에서는 생활하수에서 연유되는 염류의 토양중 集積과 인체 및 수중생태계에 유해하다고 알려진 중금속류의 축적은 경작토의 이 화학적인 성질을 나쁘게 하며 그 중금속류가 재배 중인 농작물로 이행됨³⁻¹⁴⁾으로써 발생하는 二次的인 오염문제들도 문제시된다. 중금속에 의한 토양 오염과의 관계는 서울과 고속도로 주변의 공기, 토양 및 농산물 중에 있는 납의 오염¹⁵⁾ 경작토중의 자연함유량¹⁶⁻¹⁸⁾, 일반경작지¹⁹⁻²⁰⁾, 河川數

Received for publication: 2 October 1986 ; accepted 30 October 1986
Reprint requests: Dr. Young-Su Ko, at the above address

地²¹⁻²², 광산지역의 경작지토양²³, 한강高水數地의 토양²⁴⁻²⁵, 특수환경인근의 경작지²⁶⁻²⁷ 및 기타의 연구²⁸⁻⁴⁰가 보고 되어있다. 본 연구에서는 농지를 대상으로 실제로 토양이 얼마나 중금속을 함유하고 있는가를 밝히고 그 토양에서 재배되는 작물에 어느정도 영향을 미치는가를 밝히고저 농지로는 비교적 오염이 적게 되었으리라고 사료되는 은평구 진관외동 진관사입구의 밭토양과 매립지로서 오염이 많이 되었으리라고 생각되는 도봉구 상계동의 밭을 선택하였다. 조사대상 중금속으로는 구리, 아연, 카드뮴과 납 등이며 대상작물로는 배추, 무우, 알타리무우를 택하여 작물이 성장한 토양과 함께 채취하여 일부분과 뿌리부분으로 나누어 부위별로 중금속의 함량을 조사하여 토양의 함량과 비교검토 한 것을 보고 하는 바이다.

실험재료 및 방법

토양시료의 채취—그 지역을 대표할 수 있는 면적에서 무작위적으로 채취점을 정해 작토깊이 15cm 정도의 토양을 1kg 정도를 떠서 고무 섞어서 사분법에 의해 $\frac{1}{4}$ 의 양을 취하고 식물의 뿌리 등을 제거하여 1 주간 그늘에서 風乾해서 sieve(2mm)로 풍건세포로 만들어 약 100g을 취해서 토양시료로 사용 하였다.

작물시료의 채취⁴²—작물은 토양을 채취한 동일지역에서 葉部와 根部로 나누어서 채취를 하여 可食部를 취해 방사상으로 $\frac{1}{8}$ 등분하여서 대칭위치로 8씩을 취해서 stainless 칼로 잘게 다져서 잘 혼합하여 분석용 시료로 하였다.

수분의 정량⁴³—1) 토양은 건조된 토양시료 10g을 정확하게 취해서 150°C oven에서 48시간 동안 건조시킨 후에 desiccator에서 放冷하여 건조된 감량을 측정하였다. 2) 작물은 원시료에서 10g을 정확하게 평량하여 60°C에서 2일간 건조시킨후 105°C에서 항량이 될때까지 건조하여 그 감량에 의해 수분을 정량 하였다.

실험용액의 조제—1) 토양⁴⁴은 건조량으로 10g을 정확하게 평량하여서 Kjeldahl flask에 넣고 c-H₂SO₄ 1ml, c-HNO₃ 5ml 및 HClO₄ 용액을 20ml를 가하여 sand bath 상에서 3~4시간동안 가열분해 하였다. 내용물이 거의 백색

또는 담황색으로 분해가 완료된 후에 방냉시키고 1N-HNO₃ 30ml로 가열한 증류수 20ml를 넣어서 여과지(Whatmann NO 5-B)로 여과하여서 전체량을 정확하게 100ml로 만들어서 시험용액으로 하였으며 별도로 동일한 조작으로 blank test를 하였다. 2) 작물은 원시료에서 50g을 정확하게 평량하여 Kjeldahl flask에 넣고 c-HNO₃ 400ml를 넣어서 통풍실에서 서서히 가열하여 적갈색의 gas가 발생하지 않게 되면 c-H₂SO₄ 20ml를 넣고 가열 분해하여서 흑갈색이되면 c-HNO₃ 5ml씩을 넣어서 가열을 계속 하였다. 액이 거의 무색 또는 담황색이 되면 분해가 완료된 것으로 보고 放冷하여서 전체량을 증류수로 정확히 100ml로 하여 시험용액으로 하였으며 별도로 동일한 조작에 의해서 blank test를 하였다.

표준용액의 조제—각 중금속의 표준 용액은 공해공정시험법에 따라서 증류수 1ml에 0.01mg의 중금속이 함유하도록 하였다.

정량조작—각 표준용액을 농도별로 희석하여 흡광도를 측정하여 농도와 흡광도로부터 검량선을 작성하였다. 각 시료의 용액은 흡광도를 측정하여 표준용액의 검량선으로부터 시료용액 중의 각 성분별로 함량을 산출하였다.

사용기기—원자흡광 광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer, Perkin-Elmer Model 50A)를 사용하여서 중금속의 함량을 측정하였다.

실험결과 및 고찰

시료의 수분함량—진관사와 상계동에서 채취한 배추, 무우 그리고 알타리무우의 수분함량은 다음 Table 1와 같다.

중금속의 함량—토양과 작물중의 중금속의 함량결과는 Table 2과 같으며 배추와 토양의 중금속의 함량을 도표로 나타낸것은 Fig.1와 같고, 무우와 토양의 중금속함량을 도표로 나타낸것은 Fig.2와 같으며 알타리무우와 토양의 중금속의 함량을 도표로 나타낸 결과는 Fig.3과 같다. 1)카드뮴 함량은 상계동 매립지의 밭토양이 평균 0.26ppm으로 진관사 입구의 토

Table 1. Moisture contents of samples.

Site	Sample	Moisture (%)
Jin guan-sa	Chinese cabbage	94.5
	Radish	92.5
	Radish (Altari-mu)	90.7
Sangye-dong	Chinese cabbage	94.2
	Radish	92.8
	Radish (Altari-mu)	90.2

양속의 함량인 0.15ppm 보다도 0.11ppm 이 높게 나타났으나, 작물에 있어서 중금속의 함량은 진관사입구가 평균 0.11ppm, 그리고 상계동의 매립지가 평균 0.19ppm 으로 0.08ppm의 근소한 차이를 나타 내었다. 일반적으로 토양중의 Cd 함량은 배추속의 Cd 함량과 완전히 비례하지는 않지만, 배추속의 Cd의 함량에 약간의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고

Table 2. Heavy metal contents of soils and vegetables. Unit(ppm)

Site	Sampls	Cd	Cu	Pb	Zn
Jin guan-sa	Chinese Cabbage Leaf	0.09	5.18	n. d.	15.84
	Chinese Cabbage Soil	0.12	4.24	n. d.	5.92
	Radish Leaf	0.12	4.62	n. d.	14.21
	Radish Root	0.08	6.21	n. d.	22.62
	Radish Soil	0.14	6.52	n. d.	16.24
	Altari-mu Leaf	0.18	5.14	n. d.	15.62
Sangye-dong	Chinese Cabbage Leaf	0.16	4.35	0.03	18.27
	Chinese Cabbage Soil	0.26	12.26	n. d.	12.64
	Radish Leaf	0.24	6.62	0.28	10.51
	Radish Root	0.12	7.12	n. d.	19.28
	Radish Soil	0.28	14.18	n. d.	26.41
	Altari-mu Leaf	0.22	5.94	0.11	14.27
Altari-mu	Root	0.09	11.46	0.04	18.92
	Soil	0.24	12.57	n. d.	12.26

n. d. : not detected

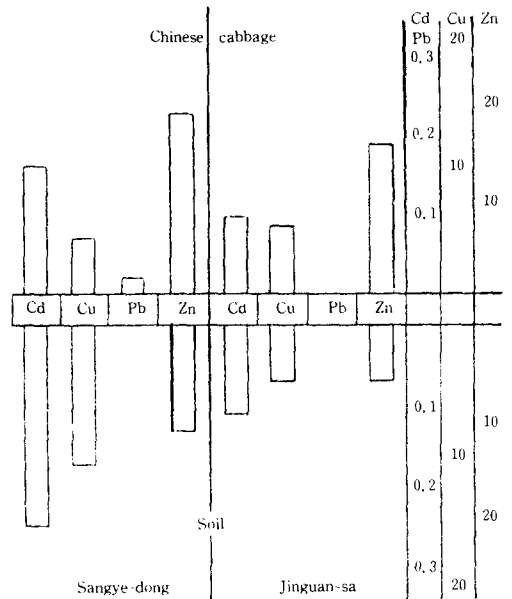


Fig.1 Heavy metal contents of chinese cabbage and soil.

무우잎이 배추잎보다 높은 함량을 나타내고 있는데 이는 작물의 경우에 可食부분을 취해서 배추의 외엽을 모두 제거하여서 시료로 하였으나 무우의 경우에 배추와 같이 가식부분을 택 하였어도 대기중에 배추에 비해서 노출부분이

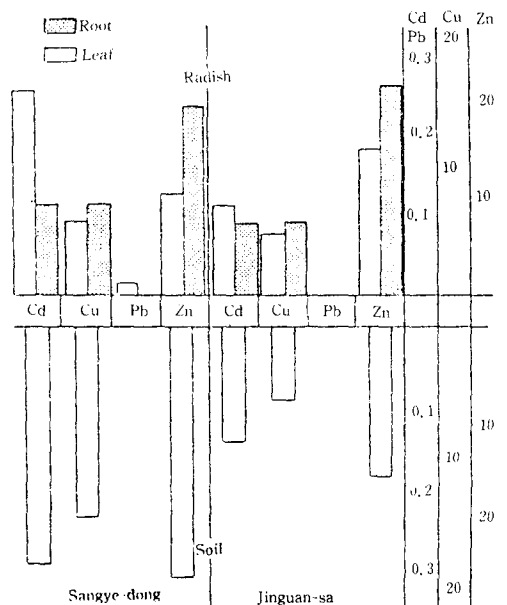


Fig.2 Heavy metal contents of radish and soil.

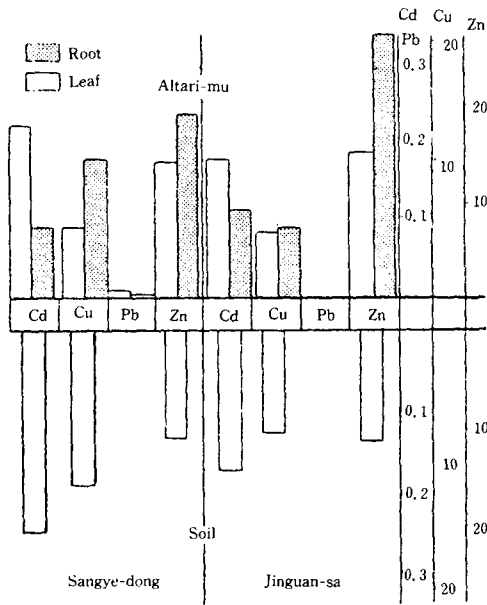


Fig. 3. Heavy metal contents of altari-mu and soil.

많기 때문으로 사료된다. 또한 상계동의 무우 잎이 뿌리보다도 높은 함량을 나타내는 것은 뿌리가 토양에서 흡수하는 양보다 대기오염에 의해 잎으로 축적되어 흡수되는 양이 더 많기 때문이라고 사료된다. 대체적으로 토양의 중금속의 함량은 작물보다 더 높는데 이는 토양에 비해 작물의 중금속의 축적기간이 짧으며 강우 등에 의해서 작물의 표면에 축적된 중금속이 용해 沈下되어 토양으로 흘러내리기 때문이라고 생각된다. 2) 구리 함량은 진관사입구의 토양이 평균 6.15ppm 으로 상계동의 13.0ppm 보다는 낮은 값이었고 작물중의 함량은 진관사입구의 작물이 평균 5.3ppm, 상계동 매립지의 작물이 평균 6.64ppm 으로 상계동 매립지의 함량이 역시 높게 나타났다. 그리고 진관사입구의 배추만을 제외하고는 모두 작물보다 토양의 함량이 높게 나타났다. 3) 납 함량은 진관사입구의 발토양과 작물에서는 검출되지 않았고 상계동매립지의 토양에서도 전혀 검출되지 않았으며 단지 배추에서 0.03ppm 그리고 무우의 엽부에서 0.28ppm, 알타리무우의 엽부에서 0.11ppm 으로 미량이 검출되었다. 이는 납의

오염원으로서 자동차가 큰 비중을 차지한다는 Wheeler 등의 보고⁴⁵⁾를 감안하면 이해 될 수 있다.

우리나라의 비오염 토양의 Pb 자연함유량은 17.29(5.06~78.8)ppm 이며 일본의 비오염 토양의 Pb 자연함유량은 24.43(6.0~72.0)ppm 으로 보도된¹⁸⁾ 바 있으며 우리나라에서는 심하게 오염된 공업지역에서 최고 592.0ppm 까지 검출되었다는 보고¹⁹⁾가 있다. 4) 아연은 Table 3에서 보는 바와같이 토양중에서 다른 중금속에 비해 함량이 높고 작물의 함량은 토양의 함량보다 높게 나타났음을 알수가 있다. 그리고 엽부와 근부의 함량은 뿌리의 2 배 정도의 많은 량이 엽부에서 검출되었다. 또한 본 실험결과에서 알 수 있듯이 Zn의 경우에 토양에 있어서 최저 5.92ppm 에서 최고 26.4ppm 까지 검출이 되었는데, 이것은 Zn이 토양등의 환경조건에 상당한 지배를 받고있는 것으로 사료된다. 우리나라 비오염토양의 Zn와 자연함유량은 40.41(12.0~91.56)ppm. 일본의 경우 98.55(30.0~228.0)ppm 으로 보고된¹⁸⁾ 바가 있다. Zn은 Cu와 함께 동·식물에 필수적인 미량금속으로 식품에 있어서 75ppm 까지는 生育阻害가 일어나지 않으나 100ppm에서 阻害가 일어나기 시작하여 225ppm 이상에서는 현저한 생육저해가 나타나나 Zn이 없을때보다는 25ppm 정도일때에 가장 생육이 좋다고⁴⁶⁾ 한다.

결론

본 연구에서는 농지를 대상으로해서 실제로 토양속에 구리, 카드뮴, 납과 아연등의 중금속이 함유되고 있는가를 밝히고 그 토양에서 재배되는 작물에 어느정도의 영향을 미치는가를 밝히기 위해서 조사를 하였다. 농지로는 비교적 오염이 많이 되었으리라고 생각되는 도봉구 상계동의 쓰레기매립지의 발토양과 비오염지역으로 은평구 진관외동의 진관사입구의 발토양의 두 지역을 택해서 토양과 함께 작물을 채취하였고 대상작물로는 배추, 무우 그리고 알타리무우를 채취하여서 부위별로 분류를 하여 질산-황산으로 분해를 하고 토양은 질산·황산과 과염소산으로 분해를 하였으며 분석

은 Atomic Absorption Spectrophotometer (PerKin Elmer Model 50A) 로 분석을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 토양중의 평균 중금속의 함량은 상계동매립지의 경우에 Cd가 0.26ppm, Cu가 13.0ppm, 그리고 Zn이 17.1ppm이었으며 진관사입구의 토양의 경우에는 Cd가 0.15ppm, Cu가 6.15ppm, 그리고 Zn이 11.5ppm으로서 상계동매립지의 중금속함량보다 높았다.

2. 작물중의 평균 중금속의 함량은 진관사입구의 경우 Cd가 0.11ppm, Cu가 5.29ppm, 그리고 Zn이 18.75ppm이며 상계동매립지의 경우에는 Cd가 0.16ppm, Cu가 6.64ppm, Pb가 0.14ppm, 그리고 Zn이 15.01ppm을 나타내었다.

3. 남의 경우에는 진관사입구의 작물과 토양에서는 전혀 검출되지 않았다.

본 실험의 결과에서 작물중의 중금속의 함량은 매립지일지라도 비매립지와 거의 차이가 없게 나타났는데, 그 원인은 대상작물인 배추나 무우등은 배수성이 좋은 토양에서 재배되는 작물로 강우등에 의해서 작물의 표면과 토양에 쌓인 중금속이 용해·침하되어서 축적이 되지 않고 흘러내리기 때문이라고 사료된다.

참고문헌

- Lagerwerff, J.V. and A.W. Specht: *Environ. Sci. & Tech.* 4(7), 583(1970).
- Baumhardt, C.R. and L.F. Welch: *J. Environ. Quality* 1(1), 92(1972).
- Sawyer and MacCarty: *Chemistry for Environmental Engineering*, 3rd ed. 216(1978).
- Alexander, E.B.: *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 40, 961(1976).
- Ravina, I., and E. Gurovich: *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41, 319(1977).
- 藤卷正生·三浦洋·大塚謙一·何端俊治·木材進編集: *食料工業*, 恒星社厚生閣, 1216(1985).
- Dixon, J.B. and S.V. Weed: *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41, 285(1977).
- Lindsay, W.J.: *Chemical equilibria in soils*, John Wiley and Sons, 35(1979).
- Hopke, P.K., R.E. Lamb and D.F.S. Natusch: *Environ. Sci. Technol.* 14, 164(1980).
- Biggins, P.D.E. and R.M. Harrison: *Environ. Sci. Technol.* 14, 336(1980).
- 何端俊治編: *新訂加工食品と食品衛生*, 新思潮社, 592(1984).
- Kim M.K. and K.S. Lee: *Korean J. Environ. Agric.* 2(2), 78(1983).
- 柳順昊, 朴武彥, 盧熙明: *韓國環境農學會誌* 2(1), 18(1983).
- 金福翼, 金圭植, 金福鎭, 韓基碩: *農事試驗研究報告(農事技術編)*, 20, 1(1978).
- 金炳洙, 尹惠禎, 高英秀: *韓國生活科學研究院 論叢* 11, 89(1973).
- Jeong Y.H.: *J. Korean Sol. Soil Sci. Fert.* 10(4), 205(1978).
- 서윤수, 문화회, 김인기, 김학엽, 전성환, 지달현, *국립환경연구소보*, 3, 1(1981).
- Suh Y.S., Moon H.H., Kim I.K., Kim H.Y., Jeon S.H., and Chi D.H.: *Report of NEPI, Korea* 4(2), 189(1982).
- 李敏熙, 金旻永, 朴相賢: *서울特別市 保健研究所報*, 15, 143(1979).
- 李靜子, 金旻永, 韓商運, 金榮振, 韓仙禧, 朴相賢: *서울特別市 保健研究所報*, 13, 153(1977).
- Suh Y.S., H.H. Moon, I.K. Kim, H.Y. Kim and Jeon S.H.: *Report of NEPI, Korea* 4(2), 199(1982).
- 洪思澳, 朴贊普: *韓國 陸水學會誌* 17(1-2), 33(1984).
- 문화회, 김인기, 전성환, 김학엽, 이홍재: *국립환경연구소보* 3, 175(1981).
- 李圭男, 趙南俊, 李光國, 金珍坤, 蔡伶周, 吉龍煥: *서울 綜合技術研究所報* 17, 264(1981).
- 中根周步, 洪思澳: *韓國陸水學會誌* 16(3~4), 53(1983).
- 朴勝熙: *韓國 植物 保護學會誌* 18(1), 49(1979).
- 朴勝熙: *韓國 植物 保護學會誌* 18(1), 43(1979).
- Lee D.G., G.T. Lim G.T.: *J. Korean Soc.*

- Food Nutr. **6** (1), 3(1977).
29. Hong S.U., Park S.H. *Kor. J. Env. Health Soc.* **10**(1), 33(1984).
 30. 朴權瑞, 黃善九, 金永植: 韓國環境農學會誌, **2**(1), 13(1983).
 31. 金明燦, 成洛發, 沈奇煥, 李敏孝, 李在仁: 韓國食品科學會誌 **13**(4), 299(1981).
 32. Paik N.H., Park M.K. and Cho Y.H.: *Seoul Unviersity Journal of Pharmaceutical Sciences* **3**, 23(1978).
 33. Oh W.K.: *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* **14**(4), 242(1981).
 34. Lim H.S., Kwang P.J. and Kim H.J.: *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* **17**(2), 114(1984).
 35. Narwal, R.P., B.R. Singh and A.R. Pan-
awar: *J. Environ. Quality* **12**(3), 358(1983).
 36. Baxter, J.C., M. Aguilar and K. Brown: *J. Environ. Quality*, **12**(3), 311(1983).
 37. Mulla, D.J., A.L. Page and T.J. Ganje: *J. Environ. Quality*, **9**(3), 408(1980).
 38. Miller, W.P. and W.W. Mcfee: *J. Environ. Quality*, **12**(1), 29(1983).
 39. 金炳宇: 尙法大 論文集 上, 195(1980).
 40. Kim B.W.: *Korean J. Ecology* **5**(4), 176(1982).
 41. 日本藥學會: 衛生試驗法 註解, 金原出版. 東京, 392(1980).
 42. 小原哲二郎: 食品分析ハンドブック, 建帛社, (1977).
 43. William Horwitz: Official Methods of Analysis of the AOAC, 1st supplement thirteenth edition, 364(1980).
 44. 李萬正: 食品分析, 東明社, 52(1982).
 45. Wheeler, G.L. and G.L. Rolfe: *Environ. Pollut.* **18**(4), 265(1979).
 46. 日本地學會 譯編: 環境·疾病, 丸善株式會社, 26(1974).