

부산 일부지역 토양과 채소의 중금속 함량 연구

정 갑 섭

동명대학교 식품공학과

(2007년 2월 14일 접수; 2007년 5월 28일 채택)

Heavy Metal Contents in Soil and Vegetables Collected from Busan District

Kap-Seop Jeong

Department of Food Science & Technology, Tongmyong University, Busan 608-711, Korea

(Manuscript received 14 February, 2006; accepted 28 May, 2007)

The contents of five heavy metals such as lead, cadmium, zinc, copper and manganese in soil and vegetables collected from four sites in Busan district with composite sampling method were determined with ICP emission spectrometer. The ranges of their contents in soil were lead, 1.65~4.36 ppm; cadmium, 0.05~0.09 ppm; zinc, 6.33~11.09 ppm; copper, 0.44~1.35 ppm; manganese, 8.40~19.39 ppm, respectively. These contents were lower than the Clarke number. The range of heavy metal contents in four vegetables such as lettuce, radish and its roots, spinach and cabbage were lead, 0.09~0.48 ppm; cadmium, 0.01~0.08 ppm; zinc, 1.81~14.62 ppm; copper, 0.14~1.87 ppm; manganese, 0.71~14.5 ppm with the order of Zn(7.30 ppm)>Mn(4.35 ppm)>Cu(0.53 ppm)>Pb(0.19 ppm)>Cd(0.04 ppm) in average contents. The average transfer ratio of metals from soil to vegetables was order of Zn(77.8 %)> Cd(37.5 %)>Cu(34.5 %)>Mn(18.6 %)>Pb(6.7 %). In case of the same cultivating soil, the transfer ratio could be expected to the order of spinach<radish<cabbage<lettuce for copper, lettuce≈cabbage<radish<spinach for manganese, respectively.

Key Words : Heavy metals, Soil and vegetable, Busan area, Clarke number, Transfer ratio

1. 서 론

다양한 종류의 유기물질과 무기물질로 구성되어 있는 토양은 동식물 생명의 원천으로서 생명을 유지할 수 있도록 하지만 오늘날 산업의 발전과 공업화 및 소비의 증가 등에 따른 부작용으로 인해 유해물질의 유입이 급증하고, 경우에 따라서는 토양자체의 자연정화능력을 초과함으로써 그 폐해가 심각해지고 있다¹⁻²⁾. 이러한 토양오염은 살충성분을 포함한 농약의 살포나 유해성분을 함유한 대기 중의 분진, 중금속을 함유한 폐수 및 폐기물의 유입 등 다양한 경로를 통하여 오염되며, 이들 1차적 오염물질의 직접적 위해와 장기축적 및 지하수 유입, 토양의 지력저하 등에 따른 2차적 오염에 의해 반영구적인

오염이 우려되어 농경지로부터 생산되는 농산물의 안전성 확보에 큰 저해요소가 되고 있다¹⁻²⁾.

토양의 오염원 중 중금속 성분은 유기물이나 영양염류와는 달리 분해가 어렵고 토양중의 각종 유기물과 결합하거나 중금속간 또는 무기물과 상호작용하여 토양에 축적되고, 장기간 잔류함으로써 작물에 전이되어 작물의 생육을 저해하고, 또한 먹이사슬을 통하여 이들 작물을 섭취하는 동물이나 인간에게 직접 또는 간접적으로 이행되어 각종 질병을 야기하는 등 심각한 위협이 되고 있다. 물론 극미량으로 존재하여 인체의 생리적 기능을 조절하는 필수금속도 몇몇 있으나 대부분 인체의 기능을 장애하는 유독성 금속과 유전적 영향을 미치는 유전독성 금속이 인체에 유입될 경우 쉽게 배출되지 않는 특성으로 인해 심각한 영향이 우려되고 있다¹⁻³⁾. 특히 최근 폐광 인근지역에서 생산된 쌀, 배추 등의 농산물에서 납과 카드뮴 등 중금속이 허용기준치를

Corresponding Author : Kap-Seop Jeong, Department of Food Science & Technology, Tongmyong University, Busan 608-711, Korea
Phone: +82-51-620-3424
E-mail:ks0903@tu.ac.kr

초과하여 검출되고, 감자, 고구마 등 7개 농산물에서도 허용기준치를 2~38 % 초과하여 검출되면서 농산물의 중금속 오염의 심각성이 사회문제로 부상하였고, 더욱이 농산물 유통과정에서 중금속 및 유해물질에 대한 안전성 검사가 문제되어 사회적 파장을 야기시킨 바 있다⁴⁾.

그러나 토양오염 기준대책⁵⁾과 쌀, 고구마, 감자 등 몇몇을 제외하고는 대부분의 농산물에 대한 중금속 오염 기준치⁶⁾가 아직 완전히 구비되어 있지 못하고 현재 검토단계에 있다. 따라서 안전하고 건강한 생활을 유지하기 위해서는 안전성이 확보된 건강한 농산물의 섭취가 필요하고, 이를 위해서는 농작물과 재배 토양의 안전성이 보장되어야 하며, 그에 앞서 농작물과 토양의 성질 및 오염상태가 정확히 구명되고 오염 기준치의 명확한 설정 및 오염 방지대책이 시급히 마련되어야 할 것이다.

본 연구에서는 부산지역의 농작물 재배 토양환경과 토양의 성질에 따른 몇 가지 농작물의 중금속 함량상태를 분석하고자 하였다. 토양을 채취하여 토양 중의 중금속 함량을 측정하고 이를 Clarke수와 비교함으로써 토양의 오염상태를 비교·파악하고, 재배 토양에 따른 농작물의 중금속 함량측정 및 작물 기관별 중금속 함량분포를 측정·비교함으로써 토양으로부터 농산물로의 이행정도를 파악하고, 타지역의 토양 및 작물의 중금속 함량 자료 등과 비교함으로써 부산지역 토양 및 농작물의 중금속 오염상태 파악과 방지대책 수립을 위한 기초자료로 활용코자 하였다.

2. 재료 및 실험 방법

2.1. 대상 지역

주거지역, 공단지역, 원예 및 농지, 임해지역 등 다양한 형태로 구성된 부산의 토양과 이들 토양에서 재배되는 농작물의 중금속 오염을 조사하기 위한 연구의 일환으로 본 연구에서는 우선 부산시내에서 공단으로 인한 오염이 비교적 심하지 않을 것으로 예상되는 지역으로서 해발고도가 가장 높은 지역, 상수원 보호구역, 해풍에 노출된 임해지역 및 낙동강 고수부지 등 4개소를 대상지역으로 선정하고, 이들 지역에서 상업적 목적으로 재배되는 농작물 중 상추, 배추 등 4종의 작물을 대상으로 하여 토양 및 농작물의 중금속 함량을 측정, 비교분석하였다. 대상지역의 입지조건별 중금속 함량 비교와 토양의 화학적 조성에 따라 농작물로의 전이에 의한 중금속 함량 등을 측정·비교하였다.

2.2. 시료채취 및 처리

본 연구에 사용한 시료는 2006년 9월과 11월 사

이에 채취하였으며, 토양시료는 대상지역의 농작물을 재배하는 토양으로서 그 구역을 대표하는 네 지점에서 약 15 cm 깊이를 기준으로 표토 및 심토를 composite sampling method^{7,8)}로 총량 약 500 g이 되도록 유리병에 채취하여, 통풍이 잘되고 직사광선이 닿지 않으며, 건조시 추가적 오염의 우려가 없는 장소에서 약 1주일간 자연풍건한 후 체목 20 mesh체를 통과시키고, 원추사분법에 의하여 약 100 g을 취하여 분석용 시료로 하였다^{9,10)}.

작물시료는 토양 채취지점에서 고른 분포를 갖도록 넓은 범위에서 채취하여 먼저 수세하여 이물질을 제거하고, 분석부위(또는 가식부위)를 선별하여 증류수로 세척한 후 토양시료와 동일하게 풍건시킨 다음 다시 80℃의 건조기로 2시간 건조하고, 막자사발로 분쇄하여 균질화한 후 20 mesh체를 통과한 건조분말을 원추사분법으로 약 50 g을 취하여 분석용 시료로 사용하였다⁷⁾.

2.3. 분해 및 정량분석

채취된 토양시료 10 g을 삼각플라스크에 취하고, 0.1 N 염산용액 50 ml를 가하여 실온에서 1시간 동안 수평왕복진탕기로 분당 100회의 속도로 진탕한 다음 Whatman GF/C여과지로 흡인여과하고 그 여액을 ICP 측정용 시료용액으로 하였다^{9,11)}. 분석대상 중금속으로는 Pb, Cd, Cu, Zn 및 Mn 등 5종으로 하였고, ICP(TJA, Polyscan 61E)에 의한 측정조건은 Table 1에 나타내었다.

토양의 pH는 시료토양 10 g에 증류수 50 ml를 가한 후 1시간 진탕하고, 흡인여과하여 여액의 pH를 측정하였다^{11,12)}. 그리고 작물시료는 다음 Fig. 1과 같이 질산-황산에 의한 분해법으로 분해하였다^{3,13)}. 즉 채질된 시료 3 g을 200 ml 용량의 분해플라스크에 주입하고, 증류수 50 ml와 질산 20 ml를 가하여 시계접시로 뚜껑을 한 다음 hot plate상에서 80℃로 가열분해하다가 다시 황산 10 ml를 첨가한 다음 용액의 색깔이 미황색이 될 때까지 소량의 질산을 첨가하면서 가열분해하였다. 분해가 끝나면 방냉하여 냉각한 후 Whatman GF/C 여과지로 흡인여과하고,

Table 1. Operating condition of ICP emission spectrometer

Condition \ Metal	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn
Wave length(nm)	220.3	228.8	213.8	324.7	257.6
Model	TJA(USA) Polyscan 61E				
Gas flow(ℓ /min)	0.5				
Pump rpm	140				
Rf. power(W)	950				
Nebulizer pressure(psi)	30				

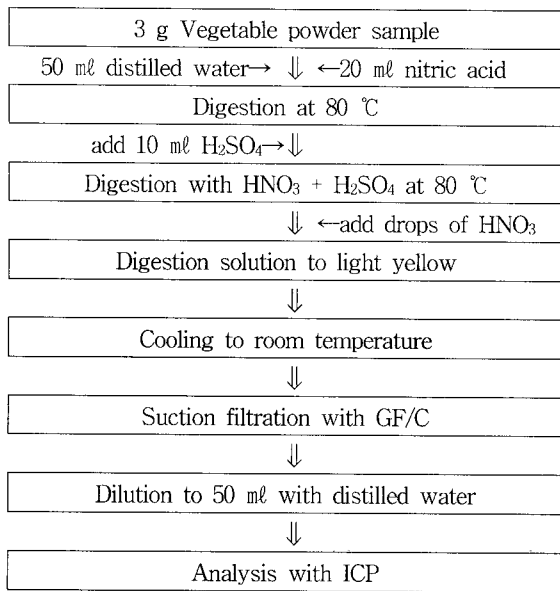


Fig. 1. Digestion procedure of vegetable samples with HNO₃ and H₂SO₄.

여액에 증류수를 가하여 50 ml로 정용한 다음 ICP 측정용 시료용액으로 하였으며, 표준액에 의한 검량선과 비교하여 함량을 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양 중의 중금속 함량

Fig. 2와 같이 부산지역 4개소를 조사대상으로 하여 토양의 pH와 중금속 함량을 측정된 결과 Table 2와 Fig. 3으로 나타났다. A지점은 부산에서 해발고도가 가장 높은 곳으로 도로와 인접한 지역이고, B지역은 낙동강 강변 퇴적지 중심의 농경지이며, C지역은 상수원 보호구역 내의 농경지, 그리고 D지점은 해풍에 노출된 경작지로 조성된 곳이었다. 이들 4개소 지점에서의 토양의 pH 측정값은 5.62~6.71의

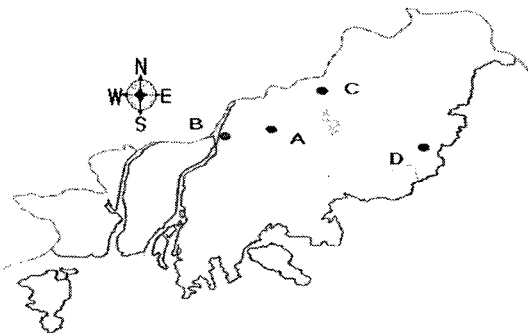


Fig. 2. Sampling sites in Busan area.

Table 2. Contents of heavy metals in soil extracted with 0.1N HCl unit : ppm

Metal	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	pH (1:5)
Site A(F)	4.36	0.05	6.33	0.91	8.40	5.82
Site B(G.H.)	2.17	0.09	11.09	1.35	12.47	5.62
Site C(G.H.)	1.65	0.09	7.61	0.44	15.04	6.71
Site D(F)	3.37	0.07	8.30	1.26	19.39	6.19
Average	2.89	0.07	8.33	0.99	13.82	6.09

*F:Field, G.H.:Green house

분포로서 평균 pH는 6.09였다. 이는 경북 상주와 풍기지역 토양의 pH값⁹⁾ 4.3과 5.5보다는 다소 높았고, 경기 시흥지역 토양의 값⁷⁾인 5.6~6.9의 값과는 거의 유사한 화학성을 나타내었다.

조사지점에서의 금속 함량분포는 Table 2에 나타나듯이 Pb는 1.65~4.36(평균 2.89) ppm, Cd는 0.05~0.09(평균 0.07) ppm, Cu는 0.44~1.35(평균 0.99) ppm, Zn은 6.33~11.09(평균 8.33) ppm, 그리고 Mn은 8.40~19.39(평균 13.82) ppm의 범위를 보이고 있고, 각 지점에서 토양 중의 중금속 함량분포는 Mn>Zn>Pb>Cu>Cd의 순으로 감소하는 분포였다. 이 분포는 하우스 토양인 B, C지점의 함량과 로지인 A, D지점과의 함량 비교에서도 동일한 분포를 보였다.

Pb의 함량이 가장 높은 곳은 A지점이었고, Cd함량은 B와 C지점에서, Cu는 B지점에서, Zn은 B지점에서 그리고 Mn은 D지점에서 가장 함량이 높은 것으로 조사되었다. 토양의 pH와 금속함량의 관계로는 pH가 5.62로서 가장 낮은 B지점에서 Cd, Zn 및 Cu의 함량이 가장 높고, pH가 6.71로서 가장 높은 C지점에서 Pb와 Cu의 함량이 다른 지점에 비하여 낮으며, Cd, Zn 및 Mn은 높은 경향을 보였다.

측정 4개 지점의 토양에 대한 이들 측정값들의 평균치는 Pb 2.89, Cd 0.07, Cu 0.99, Zn 8.33, Mn 13.82 ppm으로서 타지역 중금속 함량과 비교하면, 중량천 고수부지의 Pb 함량 38.4 ppm의 7.5 %, Zn은 270.8 ppm의 3.08 %, Cd는 0.54 ppm의 13.0 % 그리고 Cu는 58.6 ppm의 1.7 %에 지나지 않고, 매일적인 난지도의 중금속 함량과 비교하면 Pb는 93.4 ppm의 3.1 %, Cd는 0.74 ppm의 11.4 %, Zn은 164.7 ppm의 5.1 %, Cu는 502.1 ppm의 0.2 %에 지나지 않으며, 또한 비오염지로 예상된 한강상류 지역인 미사리 토양의 측정 결과에 비교하여도 Cd의 경우에만 부산지역이 과함량을 보일 뿐 Pb는 미사리 16.6 ppm의 17.4 %, Cu는 16.9 ppm의 5.86 %, Zn은 58.8 ppm의 14.2 %로서¹⁰⁾ 본 연구에서의 4개소의

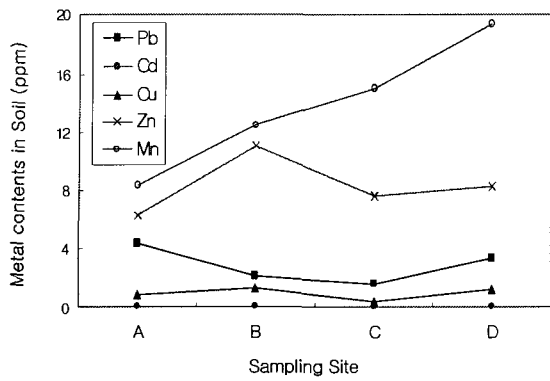


Fig. 3. Contents distribution of heavy metals with sampling site.

토양은 상당히 오염도가 낮은 상태인 것으로 판단된다.

이것은 본 연구에서 선정한 지점들이 다른 연구자들이 대상으로 한 지점에 비해 상대적으로 오염에 노출될 기회가 적은 지역을 대상으로 하였기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 Cd의 경우 본 연구에서의 측정값이 0.07 ppm으로서, 중량천이나 난지도에 비해서는 훨씬 낮지만 0.01 ppm인 미사리에 비해 7배의 함량을 가지는 것으로 나타나 그 기원이나 실태에 대한 정밀한 조사가 필요한 것으로 생각된다.

이들 측정함량을 지각 중의 금속의 함량지표인

Clarke수^{10,14)}와 비교하면 Fig. 4에서와 같이 Cd의 경우 B지점과 C지점에서 Clarke수의 최고 45 %의 수준에서부터, Cu의 경우 C지점에서 최소 0.8 %까지의 수준을 보이고 있어 상당히 낮은 함량으로 나타나 중금속 오염도가 극히 적은 토양으로 볼 수 있었다. 이는 미사리 토양에 비하여 Cd함량이 7배에 달하여도 지각 평균함량 이하의 범위로서 오염도가 낮음을 나타내는 것이다.

3.2. 농작물 중의 중금속 함량

작물의 중금속 함유량은 대기오염의 정도, 비료나 농약의 살포, 유해성분의 유입 및 작물의 중금속 흡착특성 등 여러 요인에 영향을 받지만 일반적으로 토양으로부터 작물로의 이행이 가장 큰 영향을 미친다^{1,2)}. 따라서 작물의 중금속 함량 및 토양으로부터 작물로의 이행 정도를 고찰하기 위하여 4개 지점에서 채취된 상추, 배추, 시금치, 무 및 무뿌리 등 4가지의 근채류 및 엽채류 시료를 대상으로 작물시료를 채취한 각 지점에서 작물의 종류에 따른 중금속 함량을 측정하고, 그 결과를 Table 3에 나타내었으며, Fig. 5에 중금속을 기준한 채취지점 및 작물간의 비교를 도시하였다. 이 값들과 앞서 Table 2에 나타낸 토양중의 중금속 함량측정 결과를 이용하여 토양으로부터 작물로의 이행률(transfer ratio)⁷⁾을 환산하여 Table 3에 동시에 나타내었으며, 중금속별

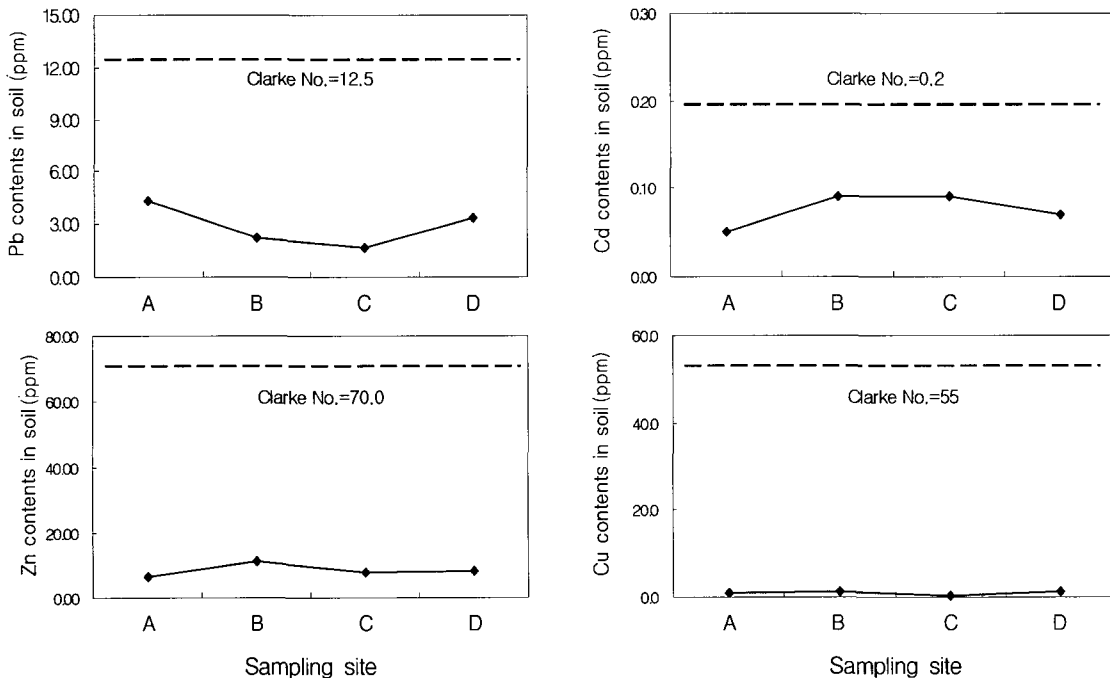


Fig. 4. Distribution of metal contents in the soil of four sampling sites.

부산 일부지역 토양과 채소의 중금속 함량 연구

Table 3. Contents and transfer ratio(TR) of metals in vegetables

Sampling site	Vegetable	Pb		Cd		Zn		Cu		Mn	
		contents (ppm)	TR (%)	contents (ppm)	TR (%)	contents (ppm)	TR (%)	contents (ppm)	TR (%)	contents (ppm)	TR (%)
Site A	lettuce	0.48	11.0	0.08	160	9.47	150	1.87	205	14.55	136
	radish	0.12	5.5	0.01	11.1	7.70	69.4	0.93	68.9	1.00	8.0
Site B	radish roots	0.09	4.1	0.01	11.1	10.33	93.1	0.20	14.8	0.71	5.7
	spinach	0.18	8.3	0.04	44.4	14.62	132	0.27	20.0	1.22	9.8
Site C	cabbage	0.18	10.9	0.06	66.7	2.09	27.5	0.31	70.5	2.23	14.8
	lettuce	0.12	7.3	0.03	33.3	1.81	23.8	0.37	84.1	2.23	14.8
Site D	cabbage	0.21	6.2	0.05	71.4	2.80	33.7	0.22	17.5	4.00	20.6
	radish	0.21	6.2	0.04	57.1	9.65	116	0.14	11.1	8.88	45.8

로 토양 및 작물에서의 평균함량을 Table 4에 나타내었다.

Table 3과 Fig. 5에 도시된 작물 중의 각 금속 함량을 비교하면 Zn의 평균함량이 최대이고 Cd함량이 최소로서, Zn(7.30 ppm)>Mn(4.35 ppm)>Cu(0.53 ppm)>Pb(0.19 ppm)>Cd(0.04 ppm)의 순으로 함량 분포를 나타내었다. 앞서 Table 2에 나타낸 토양의 중금속 함량분포는 Mn(13.82 ppm)>Zn(8.33 ppm)>Pb(2.89 ppm)>Cu(0.99 ppm)>Cd(0.03 ppm)의 순으로, 이들 결과 토양과 작물 중의 중금속 함량관계가 정비례하지는 않는 것으로 나타났다. 또한 Table 3에서 토양으로부터 작물로의 평균 이행률을 계산하여 Table 4에 나타낸 결과 그 크기는 Zn>Cd>Cu>Mn>Pb의 순서로서, 이행률 역시 토양 및 작물 중의 중금속 함량간에 정비례하지는 않았다. 이것은 시료채취 지점간 비교 작물의 종류가 다르고, 각 작물이 흡수하는 중금속의 정도가 다르며, 각 지점의 상태가 노지이거나 비닐하우스인 점 등 다양한 요인에 기인하는 것으로 생각된다.

3.2.1. Pb의 함유량

작물의 Pb 함량은 Table 3과 Fig. 5에서와 같이 B지점의 무뿌리의 경우가 최소인 0.09 ppm에서부터 A지점의 상추의 경우가 최대인 0.48 ppm까지의 분포로서 평균 2.89 ppm을 나타내었으며, 토양 중의 Pb 함량이 A지점(4.36 ppm)>D지점(3.37 ppm)>B지

점(2.17 ppm)>C지점(1.65 ppm)의 순서를 보였는데 작물의 평균 Pb함량은 A지점(0.48 ppm)>D지점(0.21 ppm)>C지점(0.15 ppm)>B지점(0.13 ppm)의 순서로서 토양과 작물간의 Pb함량은 대체로 비례하고 있다. 이들 함량은 진주지방의 작물에 대한 김 등¹⁵⁾의 결과인 0.825 ppm이나 박 등¹⁶⁾의 국내산 소금중의 Pb함량 결과인 1.04 ppm에 비하면 적은 값이나 인삼 중의 Pb 평균함량인 박 등⁹⁾의 결과인 0.023 ppm보다는 상당히 높은 값이었다.

토양으로부터 작물로의 Pb의 이행률을 살펴보면 B지점에서 무뿌리로의 Pb의 이행률이 4.1 %로서 최소값을, A지점에서 상추로의 Pb의 이행률이 11 %로서 최대값을 각각 나타내고 있다. A지점 상추에 해당하는 이 최대값은 토양의 Pb함량이 높은 만큼 작물로의 이행도 비례하여 높음을 보여주고 있다. 또 동일 작물인 상추를 기준으로 C지점의 상추 이행률 7.3 %에 비하여 A지점의 경우가 다소 큰 값으로서 얻어졌는데, 이는 A지점이 차량통행이 빈번한 도로변에 인접한데 비해 C지점은 상수원보호구역으로서 외적 오염원의 영향이 적고, A지점이 노지상태인데 비해 C지점은 하우스상태인 등 두 지점간의 입지차이에 기인하는 것으로 생각된다.

배추의 경우 비닐하우스 상태인 C지점에서의 토양중의 Pb함유량이 노지상태인 D지점의 토양중의 Pb함유량보다 적음에도 불구하고 배추로의 이행률은 C지점에서 높게 나타났다.

무의 Pb 이행률은 B지점에서 5.5 %, D지점에서 6.2 %로서, B지점이 하우스이고 D지점이 노지인데도 불구하고 두 지점간 차이는 그다지 크지 않았다. 그런데 B지점에서의 무와 무뿌리의 Pb의 이행율을 비교하면 무뿌리는 4.1 %이나 무잎은 5.5 %로서 뿌리보다 잎으로의 이행률이 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 무의 경우 토양으로부터 뿌리로의 Pb의 이

Table 4. Distribution of metals in soil and vegetable

Contents	Metal				
	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn
Soil(ppm)	2.40	0.08	9.00	1.02	15.63
Vegetable(ppm)	0.16	0.03	7.00	0.35	2.90
Transfer ratio(%)	6.7	37.5	77.8	34.3	18.6

* Sampling site A is not included.

정 겅 섭

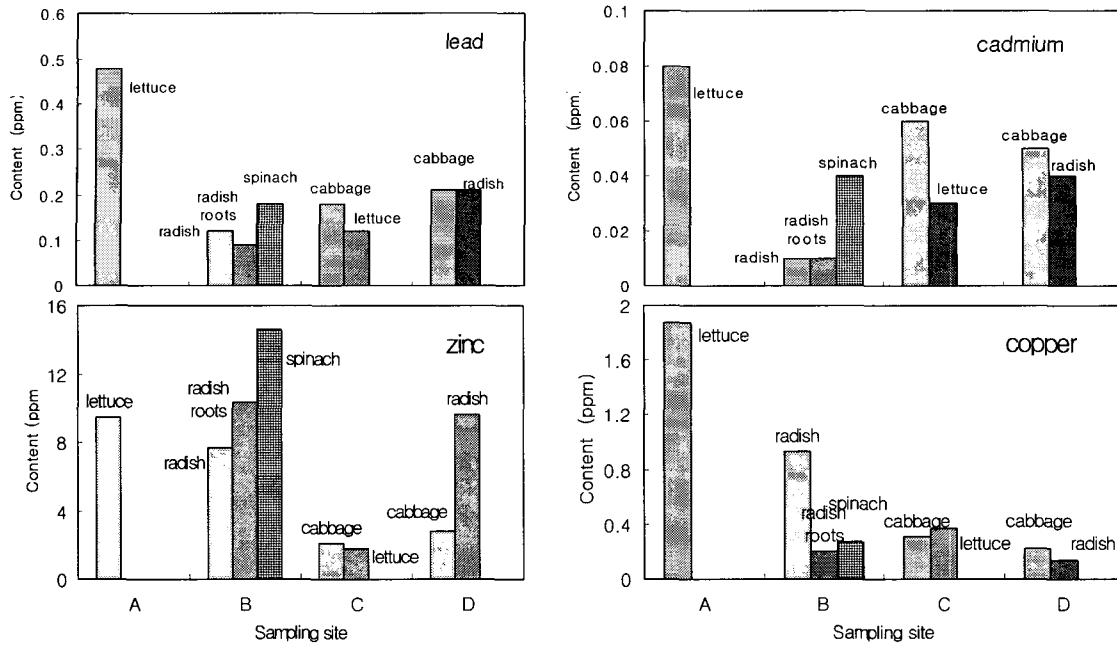


Fig. 5. Distribution of metal contents in vegetable at each sampling site.

행 후 다시 앞으로의 이행 및 잎에서의 축적이 크기 때문으로 생각된다.

작물의 채취지점으로 노지와 비닐 하우스간에 차이는 C지점의 상추를 제외하고는 대체적으로 노지의 작물이 비닐 하우스 작물보다 Pb의 함량이 높았다. 즉 작물의 Pb의 평균 이행률은 A지점 11.0 % > C지점 9.1 % > D지점 6.2 % > B지점 5.96 %로서 상수원 보호구역인 C지점의 작물 평균 Pb이행률이 낙동강변 퇴적층 지점인 B지점의 작물의 평균 Pb이행률보다 낮고, 비닐하우스에서 재배된 작물의 경우가 Pb이행률이 더 낮아 함량이 낮은 것으로 보여진다.

3.2.2. Cd의 함유량

Table 3에서 A지점에서의 상추의 Pb 이행률이 11 %정도이지만 Cd, Zn, Cu 및 Mn의 이행률은 136 ~ 205 %의 범위로서, C지점에서의 동일 작물인 상추나 타지점의 각종 작물에 비해 이행률이 지나치게 높다. 이것은 A지점이 차량통행이 빈번한 도로변에 접한 밭에서 생육된 형태로서, 차량의 매연이나 대기오염, 생육중에 시비한 비료나 농약 등에 의해 중금속 성분이 상추의 엽상에 축적된 때문이 아닌가 추측된다. 그러나 정확한 기전을 규명하기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것이다. 따라서 이후 중금속의 이행률은 그 값이 지나치게 높은 A지점을 제외하고 비교 검토하였다.

Table 3과 Fig. 5에서 보듯이 토양중의 Cd함량은

하우스인 B와 C지점에서 높고, 노지인 D지점이 낮으나 작물의 Cd평균함량은 D지점(0.045 ppm) > C지점(0.04 ppm) > B지점(0.02 ppm) 순으로서 토양과 작물간 Cd함량에 비례관계가 성립하지는 않았다. 이들 함량값은 양 등¹⁶⁾의 국내산 현미중 Cd의 평균농도인 0.021 ppm에 비하면 본 연구에서 B지점의 무와 무뿌리를 제외하면 모두 높은 함량이지만 진주지방의 원예작물에 대한 김 등¹⁵⁾의 결과인 0.049 ppm과는 비슷한 함량이었으며, 천일염 중의 Cd함량 0.14 ppm인 박 등¹⁷⁾의 결과보다는 훨씬 낮은 함량이었다.

B, C 및 D 지점의 작물에 대한 Cd의 이행률 값들을 비교하면 B지점의 무가 최소인 11.1 %로부터 D지점의 배추가 최대치인 71.4 %까지 상당히 폭넓은 분포를 보이고 있다.

작물별로 Cd 이행률을 비교하면 B지점에서 Cd의 이행률이 11.1 %로서 Pb의 이행률 분포와 같이 다른 작물에 비교해서 최소인 무와 무뿌리는 타지점에 비하여 토양중의 Cd 함량이 더 높음에도 불구하고 이행률이 가장 낮다. 이것은 B지점의 작물에 대한 외적 영향이 가장 작기 때문이 아닌가 추측된다. C, D지점에서 배추의 경우 Cd 이행률이 상추나 무에 비해 높고, B지점에서는 시금치의 Cd이행률이 무보다 4배나 높게 나타났다. 또한 D지점의 배추의 경우 Pb에 비해 Cd의 이행률이 약 10배 이상의 값으로서 높게 나타났다.

그리고 각 지점별 작물의 Cd 평균이행률은 노지만으로 구성된 D지점이 64.3 %로 가장 높고, 비닐하우스만으로 구성된 B지점이 22.2 %로서 가장 낮게 나타났으며, B지점과 D지점의 무간 비교 및 C지점과 D지점의 배추간 비교에도 알 수 있듯이 토양중의 Cd함량이 낮아도 노지 재배시 Cd의 작물 이행이 높은 것으로 나타났다.

3.2.3. Zn의 함유량

Zn은 지각중의 평균 함유량인 Clarke수¹⁴⁾가 Fig. 4에서 보듯이 Pb나 Cd보다 높고, 조사대상 지점 4개소의 토양중의 함유량도 Table 1에 나타나듯이 Pb와 Cd 함유량보다 월등히 높으며, 또한 Table 3과 4에서 작물로의 평균 이행률도 Cd이나 Cu에 비해 약 2배, Pb에 비해서는 약 12배로서 타 금속에 비해 상당히 높게 나타났다. 그러나 진주지방의 원예작물에 대해 김 등¹⁵⁾이 조사한 배추의 평균치 4.79, 시금치 8.59, 상추 3.33, 무 10.25 ppm의 결과에 비하면 본 연구에서의 부산지방 작물의 Zn함량이 적은 것으로 나타났다.

작물의 Zn 함량은 C지점의 상추의 경우가 최소인 1.81 ppm에서부터 B지점의 시금치의 경우가 최대인 14.62 ppm까지의 분포를 나타내었으며, 토양중의 Zn 함유량은 앞서 Pb의 경우에서와 같이 A지점을 제외하면 B지점>D지점>C지점의 순으로 측정되어 B지점이 가장 높고, 작물의 평균 Zn함량도 B지점>D지점>C지점의 순으로서 Zn은 Pb의 경우와 같이 토양과 작물간에 함량이 비례함을 알 수 있다.

토양으로부터 작물로의 Zn의 이행률은 C지점에서 상추로의 이행률이 23.8 %로서 최소값을, B지점에서 시금치로의 이행률이 132 %로서 최대값을 각각 나타내고 있다. 이 최대값은 B지점에서 토양의 Zn함량이 높은 만큼 작물로의 이행률도 비례하여 높을 뿐 아니라 시금치의 경우 Zn의 축적률이 상당히 높아 많은 양을 함유함을 보여주고 있다.

또한 엽채류와 근채류간 이행률의 명확한 차이는 나타나지 않았으며, 배추의 경우는 D와 C지점의 토양 중 Zn의 함량이 각각 8.30 ppm과 7.61 ppm이고, 두 지점에서의 배추로의 Zn의 이행률이 각각 33.7 %와 27.5 %로서 작물로의 이행률이 토양중 함량과 비례하였으나, 상추의 경우 A, C지점 모두 노지상태의 작물로서 C지점의 토양중의 Zn 함유량이 A지점보다는 높지만 상추로의 이행률은 A지점에서 월등히 높은 등 일정한 비례관계를 볼 수 없었다. 그러나 무의 경우를 비교하면 B지점에서 토양중 Zn의 함유량이 D지점보다 높으나 작물로의 이행률은 B지점 69.4 %, D지점 116 %로서 D지점에서 월등히 높았다. 이것은 B지점이 하우스 상태인 것에 비해

D지점이 로지의 상태로서 자연환경의 요인에 기인하는 것으로 생각된다.

3.2.4. Cu의 함유량

Cu는 토양의 Clarke수가 Fig. 4에 도시되었듯이 55.0 ppm¹⁴⁾으로서 Zn의 Clarke수보다 작고, Table 2에서 토양중 함량도 Cd보다는 높지만 Zn이나 Pb보다 훨씬 낮았다. 또한 작물 중 Cu의 함유량도 Table 3과 Fig. 5에서 보듯이 측정치가 0.14 ppm(D지점의 무)~1.87 ppm(A지점의 상추)의 분포로서, 진주지방의 작물에 대한 김 등¹⁵⁾의 결과인 상추 0.72 ppm보다는 높으나 배추, 1.40, 시금치 1.43, 무 0.82 ppm보다는 낮은 함량으로 나타났다.

앞서 Cd의 경우에서와 같이 A지점의 경우를 제외하고, 3개소간 작물의 평균함량과 토양으로부터 작물로의 이행률을 비교하면 B지점(평균 0.47 ppm)>C지점(평균 0.34 ppm)>D지점(평균 0.18 ppm)의 순서로 Cu의 평균함량을 보였으나, 작물로의 평균 이행률은 Table 3에서 알 수 있듯이 11.1~205 %의 범위로 편차가 가장 심한 금속에 해당하였으며, C지점(평균 77.3 %)>B지점(평균 34.6 %)>D지점(평균 14.3 %)의 순서로 평균 이행률을 보였으며, 작물의 함량과 이행률간 비례관계가 성립하지는 않았다. 또한 토양중의 Cu의 함유량인 B지점(1.35 ppm)>D지점(1.26 ppm)>C지점(0.44 ppm)의 순서와도 부합하지 않고 있다. 이것은 하우스 상태인 B지점에서 토양으로부터 작물로의 이행량은 많아 평균함량은 높지만 이행률은 토양중의 함량이 높은 만큼 타지점에 비해 상대적으로 낮은 것으로 볼 수 있다.

지점간 동일작물에 대한 Cu의 함량 및 이행률을 비교하면 Table 3에서 나타나듯이 B지점의 무는 D지점의 무에 비해 Cu의 함량과 이행률이 아주 높고, C지점의 배추는 D지점에 비해 Cu함량과 이행률이 아주 높았다.

동일지점에서의 작물간 이행률을 비교하면 B지점에서는 시금치보다 무로의 이행률이 높고, D지점에서는 무보다 배추로의 이행률이 더 높으며, C지점에서 배추보다 상추로의 이행률이 더 높게 나타났다. 이 결과로부터 만약 동일지점에서 이들 작물을 동시 재배할 경우 토양으로부터의 Cu의 이행률은 시금치<무<배추<상추의 순서일 것으로 예상할 수 있었다.

3.2.5. Mn의 함유량

Mn은 Clarke수가 950 ppm¹⁴⁾으로서 본 연구에서 대상으로 한 원소 중에서 지각 중 함량이 가장 높은 원소이고, 토양중의 함량 측정치도 Table 2와 Fig 3에서 나타나듯이 A지점에서 최소치 8.40 ppm, D지

점에서 최대치 19.39 ppm의 함량분포로서 지점간 Mn함량 분포는 D지점>C지점>B지점>A지점>의 순으로 나타났다.

작물 중의 Mn 평균함량은 A지점을 제외하면 Table 3에서 B지점의 무뿌리의 경우가 최소인 0.71 ppm에서부터 D지점의 무의 경우가 최대인 8.88 ppm의 범위를 보여 평균 2.90 ppm이었으며, 이 값은 박 등¹⁷⁾의 식염중의 Mn함량 2.53 ppm보다 높은 함량이었다. 그리고 지점간 작물의 Mn평균함량이 D지점(6.44 ppm)>C지점(2.23 ppm)>B지점(0.98 ppm)의 순으로서 Table 2에 나타난 3개소 토양중의 Mn 함량 순서와 일치하고 있다.

또 토양으로부터 작물로의 Mn의 평균 이행률을 비교하면 채취장소가 로지상태인 D지점에서 평균 33.2 %로 가장 높고, 그 다음 C지점이 평균 14.8 %이며, 하우스만으로 구성된 B지점의 평균 이행률이 7.8 %로 나타나 역시 토양중의 Mn 함량 존재비 순서와 같음을 알 수 있다. 이것은 Mn이 토양중의 함량에 따라 비례하여 작물로 이행된다는 김⁷⁾의 결과와도 일치하는 결과이다.

작물간 이행률을 비교하면 B지점에서 시금치>무의 순이고, D지점에서 무>배추의 순으로 나타났으며, C지점에서 배추와 상추의 Mn 이행률이 같은 것을 알 수 있다. 따라서 동일 지점에서 이들 작물을 재배할 경우 토양으로부터 Mn 이행률은 시금치>무>배추≈상추의 순서일 것으로 예상된다.

4. 결 론

부산지역 토양의 중금속 함량과 농작물로의 전이에 의한 중금속 오염을 측정하고자 2006년 9월~10월 사이에 부산지역 4개 지점의 토양과 농작물을 채취하여 납, 카드뮴, 아연, 구리 및 망간 등 중금속의 함량을 측정하였다. 대상지점 토양의 pH는 5.62~6.71의 범위였으며, 납 1.65~4.36 ppm, 카드뮴 0.05~0.09 ppm, 아연 6.33~11.09 ppm, 구리 0.44~1.35 ppm, 망간 8.40~19.39 ppm의 범위로서 평균함량은 Mn(13.82 ppm)>Zn(8.33 ppm)>Pb(2.89 ppm)>Cu(0.99 ppm)>Cd (0.07 ppm)의 분포로 나타났고, 조사대상 중금속의 토양중의 함량은 모두 Clarke수보다 작은 값으로 측정되었다.

상추, 무 및 무뿌리, 시금치 및 배추 등 농작물에는 납 0.09~0.48 ppm, 카드뮴 0.01~0.08 ppm, 아연 1.81~14.62 ppm, 구리 0.14~1.87 ppm 그리고 망간 0.71~14.55 ppm 범위의 함량분포가 측정되었고, 평균함량은 Cd(0.04 ppm)<Pb(0.19 ppm)<Cu(0.53 ppm)<Mn(4.35 ppm)<Zn(7.30 ppm)의 순으로 나타났으며, 토양으로부터 작물로의 중금속 평균이행률

은 Zn(77.8 %)>Cd(37.5 %)>Cu(34.5 %)>Mn(18.6 %)>Pb(6.7 %)의 순이었고, 동일지점에 동시 재배할 경우 구리는 시금치<무<배추<상추의 순으로, 망간은 상추≈배추<무<시금치의 순으로 이행률이 예상되었다.

참 고 문 헌

- 1) Park M. K., Lee H. J., Kim K. J., Moon Y. S., 2005, The correlation of heavy metal contents in herbal medicines and their soils at north Gyeongbuk Area, Journal of the Environmental Sciences, 14(2), 185-192.
- 2) Han S. B., 1998, Heavy metal concentrations of herbal medicines produced in Korea, China and other countries, Thesis, Sangji Univ.
- 3) Kim H. K., Lee C. S., Jun G. I., 1998, The study of heavy metal contamination on topsoil and deposited dust in the Chin-ju City, J. Ind. Tech. Res. Inst., Chinju Univ., 5, 223-229.
- 4) 서울신문, 2006, <http://www.seoul.co.kr>.
- 5) 환경부, 2002, 우리나라의 토양오염기준, <http://www.me.go.kr>.
- 6) 식품의약품안전청, 2006, 국가별 식품오염물질 기준·규격 모음집, <http://www.kfda.go.kr>.
- 7) Kim B. Y., 1995, Effect of heavy metal contents in upland soil on the uptake by green onion and lettuce and their growth, Korean J. Environ. Agric., 14(3), 253-262.
- 8) Yoo S. H., Park M. E., 1985, Comparison of soil extractants for estimation of cadmium, zinc, lead in brown rice growth at paddy soils near old zinc-mining sites, Korean J. Environ. Agric., 4(1), 25-30.
- 9) Park M. K., Kim J. H., 2006, Residues of heavy metals in culture environment of ginseng at Gyeongbuk, Korea, Journal of the Environmental Sciences, 15(2), 163-167.
- 10) Jang M. H., Chun J. Y., Kim M. S., 1994, A study on the heavy metals contents in soil, Bulletin of Environmental Sciences, Hanyang University, 15, 171-180.
- 11) Koh S. D., Shin C. N., 1981, Atomic absorption spectrophotometric analysis of heavy metals accumulated in river bed soils and plants in Seoul area, Biology Section Chungnam Journal of Sciences, 8, 109-117.
- 12) 원예마을, 2006, 토양화학성 진단방법과 기준2,

- <http://www.wonye.net>.
- 13) Heo N. C., Kim C. M., Park S., Na H. S., 2000, Investigation on contents of heavy metals and parasites of the dropwort cultivated in Chollanamdo, Korean J. Food Sci. Technol, 32(4), 970-973.
- 14) 김병희, 1993, 이화학사전, 교육서관, 1601pp.
- 15) Kim M. C., Sung N. K., Shim K. H., Lee M. H., Lee J. I., 1981, The contents of heavy metal in fruits and vegetables collected from Jinju district, Korean J. Food Sci. Technol., 13(4), 299-306.
- 16) Park J. W., Kim S. J., Kim S. H., Kim B. H., Kang S. G., Nam S. H., Jung S. T., 2000, Determination of mineral and heavy metal contents of various salts, Korean J. Food Sci. Technol, 32(6), 1442-1445.
- 17) Yang J. S., Lee S. R., Rho J. S., 1979, Mercury and cadmium concentrations of brown rice produced in Korea, Korean J. Food Sci. Technol, 11(3), 176-181.