

토양측정망에 의한 충청지역 토양오염도

김재용 · 박선희*

충북대학교 환경공학과 · 충청북도 보건환경연구원*

A Study on Soil Pollution Quality of Chungbuk Province by Soil Network

Jae-Yong Kim · Sun-Hee Park*

*Dept. Environmental Engineering, Chungbuk National University
Institute of Health & Environmt, Chungbuk Province**

Abstract

The research is intended to evaluate the soil pollution quality of Chungbuk province with Soil Network which is executed every year.

The survey executed with Soil Network in 1999 represented that the soil quality of Chungbuk province was relatively good as the average concentrations of contaminants in soil were Cd: 0.146 mg/kg, Cu: 3.143 mg/kg, As: 0.636 mg/kg, Hg: 0.012 mg/kg, Pb: 4.505 mg/kg, Cr⁶⁺: not detected, and the average pH was 6.1.

The reckoned soil pollution score (SPS) of Chungbuk province has been shown much low SPS distribution in the range from 1.6 to 141.7, average 31.0. However, it has been represented relatively high SPS distribution at Chungju, Tanyang, and Chinchon, respectively, It also has represented high SPS distribution not only at agricultural area and waste area for the pollution sources but at a paddy field and dry field for land use. The classification of soil pollution class(SPC) based on soil pollution score(SPS) was SPC 1 under 100 of SPS at 212 areas which were 98.6% of total 215 areas, and SPC 2 over 100 of SPS at only three areas left.

There was no area exceeding soil pollution value among the whole Soil Network areas investigated, and the whole average for each items was much lower level than soil pollution value was.

When the average concentration of heavy metals and the average pH in soil of Chungbuk province are compared with the natural contents of that in Korea, the research is concluded that the average concentration of heavy metals is relatively similar to the natural contents of that and the average pH in soil of Chungbuk province is a little higher than the natural contents of that.

From this method, soil quality of most of the Soil Network area was estimated to be healthy.

I. 서 론

토양은 인간을 포함한 지구상의 생물이 그 삶을 영위하는 생존의 터전이다. 또한 토양은 각종 오염 물질을 분해하여 생태계의 순환체계를 유지시키는 기능을 수행하고 있다.

그러나 토양은 인간의 행위인 산업과 농업의 발달에 따라 오염되기 시작하였다. 농작물 생산을 목적으로 사용되고 있는 화학비료와 농약등이 토양 오염을 가중시키고 있다. 이러한 직접적인 요인의 외도 수질오염과 대기오염등을 통하여 토양오염이 발생하고 있다.

토양이 오염물질에 의하여 일단 오염되면 생물의 존재기반으로서 본래 기능이 훼손되게 된다. 더욱이 이러한 오염물질은 장기간에 걸쳐 다양한 경로를 통해 작물 및 지하수 오염등을 서서히 유발시켜 사람의 건강과 자연생태계에 악영향을 미치게 된다. 이러한 토양오염의 특성으로 인하여 우리나라에는 아직 이에 대한 문제가 심각하게 인식되지 못하고 있는 실정이다¹⁾.

우리나라에서는 토양오염문제가 1970년 이후 간헐적인 사회문제로 제기되어 왔다. 1910년대 이후 다수 개발되었던 금속광산, 특히 휴·폐광된 금속광산 인근지역에서의 토양오염, 불량매립지 인근지역의 토양오염, 유류누출에 의한 토양오염등 다양한 경로를 통해 토양이 오염되고 있음이 밝혀지고 있다^{2~4)}.

본 연구는 1999년도 토양측정망 운영결과를 토대로 충북지역의 토양산도(pH) 및 중금속에 의한 토양오염현황을 파악하고, 오염물질에 의한 토양의 상태를 종합적으로 판단할 수 있도록 토양오염지표를 고안하여 오염물질을 동등하게 비교할 수 있는 수치를 토양오염 판단기준으로부터 산출하고 수치를 가산함으로써 토양의 상태에 대한 종합점수인 토양오염점수로 나타내었다. 또한 점수에 따라 토양오염등급으로 분류하고자 한다. 이를 이용하여 지역별, 오염원별, 용도별로 구분하여 비교하고, 토양오염기준 및 자연함유량과의 비교를 통하여 향후 충북지역의 토양오염진행을 예측하는 기초자료로 활용하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 토양측정망

토양질의 상태를 파악하기 위하여 국가에서는 1987년 이후 토양측정망⁵⁾을 운영하고 있다. 이는 환경정책기본법 제15조(환경오염의 조사)에 법적근거를 두고 있으며, 토양측정망은 전국망과 더불어 1996년 이후부터는 환경부의 주관아래 각 시·도별로 지역망 운영을 실시하고 있다.

전국망의 기본적인 측정항목은 중금속 6개 항목(Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr⁶⁺)과 PCB, CN, 유기인, Phenol, 유류, pH 등 토양환경보전법에 제시되어 있는 토양오염물질은 총 12개 항목이다. 이들 물질은 토양의 용도(지적법상 분류)별로 전·답·과수원등 농경지와 공장용지, 잡종지 등으로 구분하여 오염물질의 조사항목이 일부 달리 선정된다.

지역망의 경우 전국망과 같이 12개 항목의 분석을 대상으로 하되 오염물(오염경로)별로 영농오염물, 기타 생활오염원등과 수질, 대기, 폐기물 오염물 등으로 구분하여 조사항목을 달리 선정하고 있다. 유류, PCB의 조사는 공장, 산업지역(잡종지, 공장용지)의 측정지점에만 조사대상이다.

충북의 경우 토양측정망운영을 충북지역을 대상으로 1997년부터 실시해 왔으며 측정지역수는 1997년부터 1998년까지 140개 지점, 1999년부터는 215개 지점으로 확대하여 운영 실시되고 있다⁶⁾.

2. 토양오염지표

토양중의 6개 중금속(As, Cd, Cu, Hg, Pb, Cr⁶⁺)농도에 의한 토양의 상태를 종합적으로 판단할 수 있는 토양오염지표를 개발하기 위하여 측정지점의 토양오염점수(Soil Pollution Score : SPS) 및 토양오염등급(Soil Pollution Class : SPC)을 산출하였다.

1995년 박용하^{7,8)}에 의해 개발된 토양오염지표가 있으나 그 사이 토양측정망 분석항목 및 기준등이 많이 변경되어 현재에 맞는 토양오염지표를 개발하고자 일부 수정하였다.

Tab. 2. Soil pollution class(SPC) based on the soil pollution score(SPS).

Soil Pollution Score : SPS	Soil Pollution Class : SPC
>300	4
300 - 200	3
200 - 100	2
<100	1

2.1 토양오염점수

토양오염점수의 산출 방법으로 각 중금속별로 100/토양오염기준⁹⁾(Tab. 1.)을 곱하고 6종류 중금속 점수를 합산하여 측정지점별 토양오염점수를 다음과 같이 산출하였다.

Soil Pollution Score(SPS) =

$$\sum_i \frac{Conci}{SPVi} \times 100 \quad (1)$$

i : As, Cd, Cu, Hg, Pb, and Cr⁺⁶

SPVi : Soil Pollution Value of *i* (Table 1)

Conci : Concentration of As, Cd, Cu, Hg, Pb, and Cr⁺⁶ in soil

토양의 다기능성에 따라 토양의 이용 용도에 근거한 토양오염지표를 산출하기 위하여 토양측정망의 측정지점을 토양환경보전법에 제시되어 있는 농경지역, 공장 산업지역 두가지로 분류 하였다.

토지이용용도별 구분은 토양환경보전법 시행규칙 제19조에 의거 지적법에 의한 토지 용도에 따라 조사항목을 구분하여 실시하였다. 즉 지적법에

Tab. 1. Soil pollution value used for designing the soil pollution indices.

(unit: mg/kg. dry soil)

Contaminants	Agricultural area	Factorial/Industrial area
Cd	1.5	12
Cu	50	200
As	6	20
Hg	4	16
Pb	100	400
Cr ⁺⁶	4	12

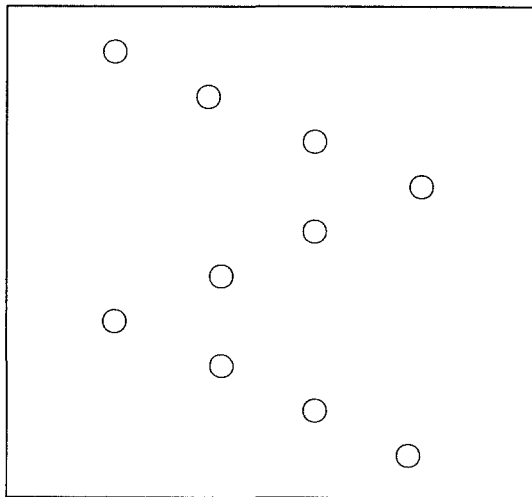
서의 전, 담, 과수원, 목장용지, 임야, 공원, 유원지, 체육용지, 골프장, 학교용지등을 농경지역으로 공장용지, 철도용지, 잡종지, 도로, 대지등을 공장·산업지역으로 분류하였다.

2.2 토양오염등급

토양오염점수를 이용한 토양질을 판단하기 위하여 토양을 토양오염점수에 따라 토양을 등급화 (Soil Pollution Class : SPC)하여 Tab. 2에 나타냈다. 토양오염점수가 300점 이상은 4등급, 300-200점 사이는 3등급, 200-100점 사이는 2등급, 100점 미만은 1등급으로 분류하였다.

3. 시료채취 및 분석방법

대상지역을 대표할 수 있는 토양시료를 채취하기 위해 농경지의 경우는 Fig. 1과 같이 대상지역 내에서 지그재그형으로 5-10개 지점을 선정하였다. 또한 공장지역, 매립지역, 시가지지역 등 농경지가 아닌 기타지역의 경우는 대상지역의 중심이 되는 1개 지점과 주변 4방위의 5-10m거리에 있고 1개 지점씩 총 5개 지점을 선정하되 대상지역에 시설물등이있어 각 지점간의 간격이 불충분할 경우 간격을 적절히 조절하였다⁶⁾.



(Agricultural area)

Fig. 1. Soil Sampling point.

3.1 시료의 분석방법

각각의 채취지점에서 채취한 토양시료를 폴리에틸렌제 바트(vat)위에 균일한 두께로 하여 직사광선이 닿지 않는 장소에서 통풍이 잘되게 해쳐놓고 풍건시킨 다음 나무망치로 분쇄하여 눈금간격 2 mm의 표준체(10 mesh)로 체걸음한 시료를 각각 균등량(약 200 g씩) 취하여 사분법에 의하여 균일하게 혼합하여 분석용 시료로 하였다. 그러나 각각의 채취지점에서 채취한 토양시료의 입자 차이가 크거나 밀도 차이가 있는 입자의 혼입으로 인하여 시료 채취량에 오차가 발생할 우려가 있을 경우에는, 토양시료 전부를 막자와 막자사발을 사용하여 분쇄한 다음 눈금간격 0.15 mm의 표준체(100 mesh)로 체걸음한 것을 분석용 시료로 한다.¹⁰⁾

3.1.1. pH

시료 5 g을 달아 50 ml 비이커에 취하고 증류수 25 ml를 넣어 때때로 유리막대로 저어주면서 1시간 방치 후 pH meter로 측정하였다.

3.1.2. Cd, As, Pb, Hg, Cu

시료 10 g을 정밀히 취하여 100 ml 삼각플라스크에 넣고 염산용액(0.1 N) 50 ml를 넣은 다음 항온수평진탕기(100 회/분, 진폭 10 cm)를 사용하여 30°C를 유지하면서 1시간 진탕한 다음 거름종이 5B 여과지를 사용하여 여과한 후 ICP(JY-38Plus)로 분석하였다.

3.1.3. Cr⁶⁺

전처리 방법은 위 5개 중금속과 동일하며 흡광광도법(디페닐카바지드법)에 의해 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1999년도 토양측정망에서 측정된 충북지역 오염물질의 농도는 Cd 0.017~1.163 mg/kg(평균 0.146 mg/kg), Cu 0.308~14.825 mg/kg(평균 3.143 mg/kg), As 0.154~3.802 mg/kg(평균 0.636 mg/kg), Hg 0.000~0.046 mg/kg(평균 0.012 mg/kg), Pb 0.000~40.985 mg/kg(평균 4.505 mg/kg), Cr⁶⁺은 불검출이었으며, pH 4.4~8.1(평균 6.1)로 충북지역의

토양질은 상당히 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

Tab. 3은 215개의 시료채취지점을 12개 시·군으로 구분하여 각 지역별로 오염물질의 농도와 토양오염점수를 표로 나타낸 것이다. Tab. 4는 215개의 시료채취지점을 영농, 수질, 대기, 폐기물, 기타 생활등 5개의 오염원별로 구분하여 나타낸 것이며, Tab. 5는 지적법상 분류되어 있는 토지용도를 전(dry field), 답(paddy field), 과수원(orchard), 잡종지(miscellaneous land), 임야(forestry), 대지(housing site), 도로(road), 하천(river), 체육용지(athletic field), 유원지(public pleasure)등으로 시료채취지점을 구분하여 오염물질의 농도와 토양오염점수를 표로 나타낸 것이다.

1. 오염물질의 기본성질과 지역별 농도분포

1.1. 비 소

비소는 석탄, 석유, 윤활유 등의 연소 등에 의해 발생하는데, 대부분 As₂O₃의 형태로 산화하여 토양에 유입된다. 토양으로 유입된 비소는 Al, Fe, Ca등과 결합하여 불용성 화합물을 형성하게 된다. 특히 철산화물과 잘 결합하기 때문에 Fe₂O₃의 토양중 함량이 비소축적량에 많은 영향을 준다. 또 비소의 축적량은 비소와 화합하는 Al, Fe, Ca 등의 용해도에 따라 영향을 받기 때문에 토양의 조건에 따라 토양내에 존재하는 결합형태의 비율도 달라진다. 산성토양에서는 일반적으로 용해도가 높은 Ca₃(AsO₄)₂보다 용해도가 낮은 Fe_x(AsO₄)_x, Al_x(AsO₄)_x가 토양내 비소를 고착시키는 힘이 크다.

충북지역의 비소는 토양오염우려기준 6 mg/kg에 비해 대체적으로 낮은 0.154~3.802 mg/kg(평균 0.636 mg/kg)으로 조사되었고, 자연함유량 0.560 mg/kg보다 약간 높은 수준으로 나타났다.

비소가 가장 높게 나타난 지역은 과채류 주생산지인 충주시 칠금동으로 토양오염기준에는 못 미치지만 비교적 높은 3.802 mg/kg으로 나타났고, 그 외의 다른 지역은 비교적 낮고 고른 분포를 보였다. 지역별 비소농도분포는 Fig. 2에 나타났다.

Tab. 3. Regional classification of soil pollution score(SPS) and pollutant concentrations.

(unit: mg/kg, dry soil)

Region		SPS	Cd	Cu	As	Hg	Pb	pH
Chongju	MIN	1.6	0.025	0.466	0.169	0.000	0.964	5.3
	MAX	51.0	0.305	5.575	1.128	0.034	7.963	6.9
	MEAN	33.1	0.156	2.950	0.784	0.013	4.486	6.0
Chungju	MIN	3.5	0.045	1.493	0.257	0.000	0.801	5.2
	MAX	105.4	0.487	14.825	1.407	0.027	8.923	7.6
	MEAN	34.2	0.160	3.655	0.563	0.014	4.235	6.1
Chechon	MIN	5.3	0.034	0.528	0.257	0.000	0.000	5.2
	MAX	52.6	0.295	6.271	1.407	0.027	6.864	8.1
	MEAN	20.9	0.101	1.531	0.563	0.012	2.345	6.2
Koesan	MIN	21.0	0.069	1.356	0.514	0.000	1.922	4.6
	MAX	51.5	0.251	5.795	1.116	0.028	8.903	6.8
	MEAN	33.5	0.137	3.324	0.746	0.011	4.978	5.8
Tanyang	MIN	2.1	0.017	0.308	0.154	0.000	0.000	5.3
	MAX	121.9	0.828	7.786	1.383	0.013	40.985	7.8
	MEAN	27.9	0.179	2.029	0.459	0.006	4.737	6.9
Poun	MIN	11.1	0.037	0.454	0.342	0.000	1.953	4.9
	MAX	82.4	0.819	6.661	0.736	0.018	7.489	6.8
	MEAN	31.0	0.172	2.674	0.560	0.007	4.698	5.7
Yongdong	MIN	9.0	0.018	0.456	0.212	0.000	0.000	4.4
	MAX	35.8	0.161	7.506	0.885	0.026	6.884	6.5
	MEAN	25.4	0.101	2.996	0.505	0.011	4.019	5.7
Okchon	MIN	4.2	0.045	0.588	0.384	0.000	0.800	5.2
	MAX	68.0	0.491	7.611	0.897	0.046	9.089	7.2
	MEAN	28.4	0.126	3.101	0.567	0.014	3.875	6.1
Umsung	MIN	8.2	0.019	1.126	0.181	0.000	1.363	4.7
	MAX	46.8	0.157	7.631	0.962	0.029	9.284	6.8
	MEAN	26.3	0.100	3.152	0.541	0.016	3.934	6.1
Chinchon	MIN	8.6	0.066	0.962	0.304	0.000	1.453	4.8
	MAX	141.7	1.163	8.140	1.132	0.030	31.789	7.1
	MEAN	40.9	0.159	4.570	0.731	0.012	4.688	6.1
Chongwon	MIN	21.1	0.060	1.735	0.306	0.000	2.072	5.1
	MAX	48.8	0.210	6.375	1.335	0.037	8.433	6.6
	MEAN	30.9	0.131	3.562	0.597	0.014	4.829	5.9
Chungpyong	MIN	40.9	0.185	2.859	0.912	0.000	4.259	5.7
	MAX	61.0	0.290	5.375	1.279	0.030	10.563	6.6
	MEAN	48.8	0.239	4.176	1.069	0.008	6.499	6.0

* Cr⁶⁺: ND(Not detected)

Tab. 4. Classification of pollution sources of soil pollution score(SPS) and pollutant concentrations.

(unit: mg/kg, dry soil)

Pollution sources		SPS	Cd	Cu	As	Hg	Pb	pH
Agriculture	MIN	4.6	0.017	0.308	0.154	0.000	0.000	5.1
	MAX	121.9	0.828	8.335	3.802	0.046	40.985	8.1
	MEAN	32.4	0.140	3.580	0.775	0.016	3.592	6.3
Water	MIN	2.1	0.019	0.351	0.174	0.000	0.000	5.1
	MAX	52.6	0.295	7.460	1.059	0.037	10.574	7.7
	MEAN	28.2	0.133	3.056	0.570	0.011	4.218	6.1
Air	MIN	5.3	0.069	1.715	0.471	0.000	1.142	5.2
	MAX	47.5	0.236	3.769	1.189	0.027	5.258	6.7
	MEAN	29.2	0.135	3.087	0.748	0.010	3.617	6.0
Wastes	MIN	5.8	0.619	0.343	0.224	0.000	0.000	4.7
	MAX	141.7	1.163	14.825	1.335	0.030	31.789	7.8
	MEAN	35.8	0.165	3.330	0.685	0.013	4.938	6.0
The others living	MIN	1.6	0.025	0.311	0.154	0.000	0.000	4.4
	MAX	47.2	0.225	6.356	1.407	0.018	5.579	6.5
	MEAN	19.2	0.079	1.546	0.479	0.011	2.569	5.6

Tab. 5. Usable classification of soil pollution score(SPS) and pollutant concentrations.

(unit: mg/kg, dry soil)

Land use		SPS	Cd	Cu	As	Hg	Pb	pH
Dry field	MIN	8.5	0.049	0.351	0.174	0.000	0.000	4.7
	MAX	105.4	0.487	14.825	3.802	0.034	8.923	7.6
	MEAN	31.4	0.143	3.132	0.720	0.012	3.391	6.0
Paddy field	MIN	4.6	0.017	0.308	0.154	0.000	0.000	4.4
	MAX	141.7	1.163	8.335	1.383	0.046	40.985	8.1
	MEAN	32.6	0.154	3.256	0.636	0.012	4.943	6.1
Orchard	MIN	14.6	0.051	0.760	0.497	0.019	0.919	6.7
	MAX	37.4	0.112	7.631	0.722	0.026	1.995	6.8
	MEAN	26.0	0.081	4.195	0.610	0.022	1.457	6.8
Miscellaneous land	MIN	2.1	0.074	0.485	0.219	0.006	0.000	5.9
	MAX	8.6	0.210	4.481	0.612	0.010	5.953	6.8
	MEAN	5.0	0.123	2.114	0.405	0.007	3.165	6.4
Forestry	MIN	25.3	0.085	1.580	0.647	0.008	2.525	4.6
	MAX	33.6	0.128	3.339	1.031	0.017	4.126	6.1
	MEAN	28.5	0.101	2.327	0.803	0.012	3.409	5.3
Housing site	MIN	1.6	0.025	0.466	0.169	0.006	0.964	4.4
	MAX	3.7	0.045	1.518	0.492	0.016	3.336	6.3
	MEAN	2.9	0.033	0.955	0.319	0.013	1.977	5.6
Road	MIN	5.3	0.078	1.715	0.659	0.027	1.142	5.3
	MAX	5.3	0.078	1.715	0.659	0.027	1.142	5.3
	MEAN	5.3	0.078	1.715	0.659	0.027	1.142	5.3
River	MIN	8.2	0.019	1.102	0.181	0.007	1.531	5.3
	MAX	46.8	0.168	7.460	1.059	0.023	2.446	6.4
	MEAN	23.7	0.087	3.229	0.546	0.013	1.985	6.0
Athletic field	MIN	11.5	0.032	0.962	0.304	0.000	2.061	4.8
	MAX	24.5	0.099	1.938	0.694	0.018	2.925	6.1
	MEAN	18.9	0.076	1.547	0.480	0.011	2.475	5.4
Public pleasure	MIN	10.3	0.040	0.528	0.301	0.003	1.557	6.3
	MAX	10.3	0.040	0.528	0.301	0.003	1.557	6.3
	MEAN	10.3	0.040	0.528	0.301	0.003	1.557	6.3

※ Cr⁺⁶ : ND(Not detected)

1.2. 카드뮴

카드뮴은 토양환경에 따라 매우 다양한 형태로 존재한다. 혼한 형태로는 CdS가 있는데, 수산화물을 형성하거나 암모니아($\text{Cd}(\text{NH}_3)_6^{4+}$)와 결합하기도 한다. 또 탄산염이나 유기물, Fe/Mn산화물, 점토광물 격자와 결합하기도 한다.

카드뮴은 다른 중금속에 비해 유기물과의 결합력이 작으며, 산도변화에 의해 토양내 존재 형태가 크게 영향을 받는다. 특히 산성토양에서는 수용성이나 치환성의 비율이 크게 높아져 토양내 이동이 자유로워진다.

충북지역의 카드뮴은 토양오염우려기준 1.5 mg/kg에 비해 대체적으로 낮은 0.017~1.163 mg/kg(평균 0.146 mg/kg)으로 조사되었고, 자연함유량 0.135 mg/kg보다 약간 높게 나타났다.

카드뮴이 가장 높게 나타난 지역은 금속광산지역인 진천군 문백면 구곡리로 토양오염기준보다 조금 낮은 1.163 mg/kg으로 나타났고, 그 외 단양, 보은지역에서 비교적 높은 농도를 나타내었는데 대체적으로 금속광산지역에서 카드뮴농도가 높은 것으로 조사되었다. 지역별 카드뮴 농도분포는 Fig. 2에 나타났다.

1.3. 구 리

충북지역의 구리는 토양오염우려기준 50 mg/kg에 비해 매우 낮은 0.308~14.825 mg/kg(평균 3.143 mg/kg)으로 조사되었고, 자연함유량 3.995 mg/kg보다 약간 낮은 수준으로 나타났다.

구리가 가장 높게 나타난 지역은 금속광산지역인 충주시 양성면 능암리로 토양오염기준보다는 훨씬 낮은 14.825 mg/kg으로 나타났으며, 그 외 지역은 비교적 낮고 고른 분포를 보였다. 지역별 구리의 농도분포는 Fig. 2에 나타났다.

1.4. 납

토양중의 납은 토양내에 존재하는 음이온, 즉 SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} 등과 결합하여 불용성의 염을 형성한다. 또 납은 유기물이나 점토에 흡착되거나 Fe/Mn산화물과 결합하여 토양내 이동이 크게 억제된다.

충북지역의 납은 토양오염우려기준 100 mg/kg

에 비해 낮은 0.000~40.985 mg/kg(평균 4.505 mg/kg)으로 조사되었고, 자연함유량 5.375 mg/kg보다 낮은 수준으로 나타났다.

납이 가장 높게 나타난 지역은 전용농업용수 사용지역인 단양군 어상천면 임현리로 토양오염기준보다는 낮은 40.985 mg/kg으로 나타났으며, 그 외 진천지역에서 높은 농도를 보였으며, 다른 지역은 비교적 낮고 고른 분포를 보였다. 지역별 납의 농도분포는 Fig. 2에 나타났다.

1.5. 6가크롬

토양내에서 크롬은 네가지의 주된 형태로 존재한다. 즉, 3가크롬으로는 Cr^{+3} 과 CrO^{2-} 의 형태, 그리고 6가크롬으로는 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, CrO_4^{2-} 와 같은 형태가 있다.

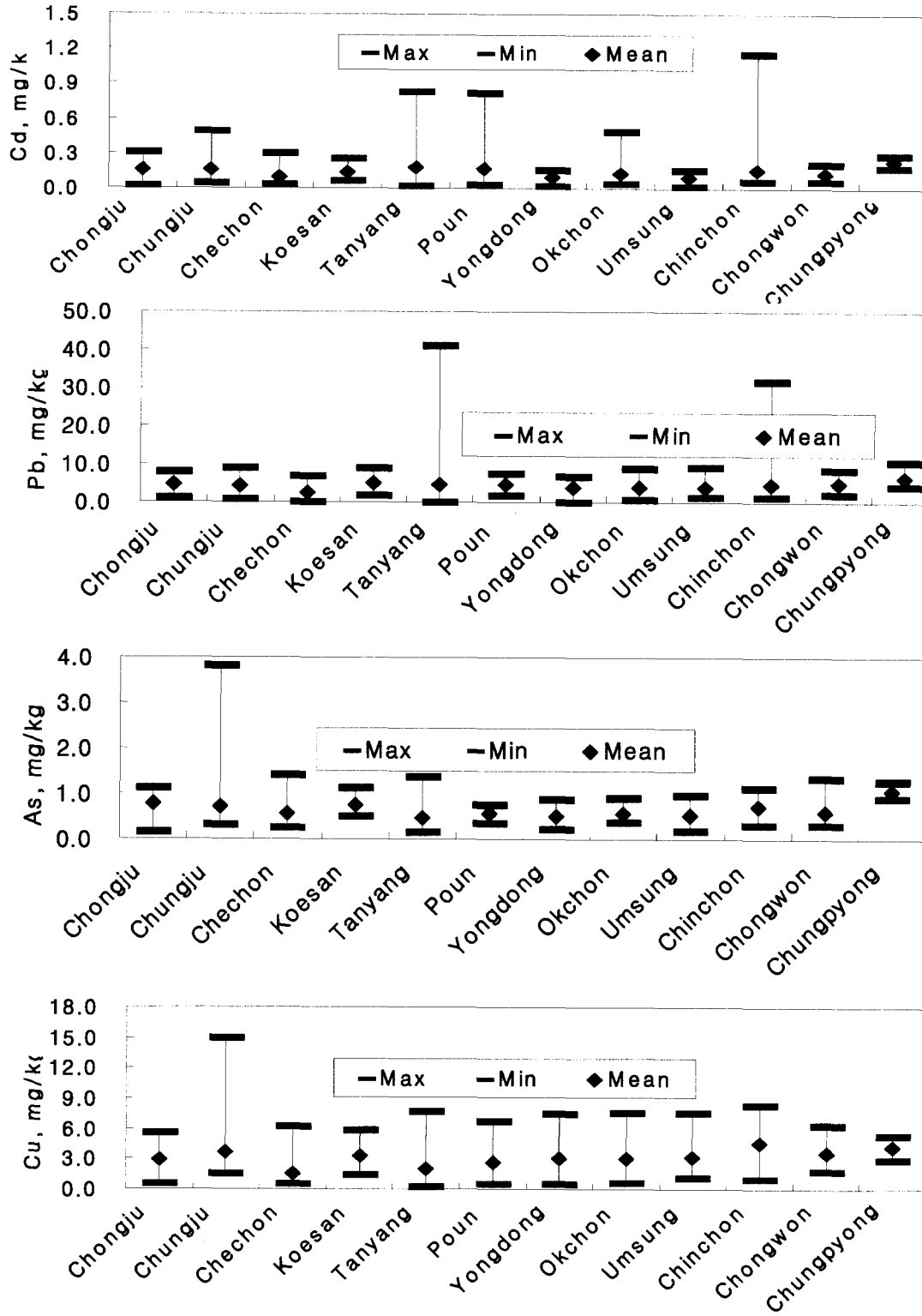
토양내의 크롬은 주로 가용성인 Cr^{+6} 의 형태로 식물에 흡수되는데, Cr^{+6} 은 Cr^{+3} 에 비해 독성이 더 크다고 알려져 있다. 그러나 토양내의 크롬은 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 과 같은 불용성의 3가형태로 환원되기 때문에, 산성토양에서 식물이 이용할 수 있는 크롬의 양은 많지 않다고 볼 수 있다.

충북지역에서의 6가크롬은 불검출로 나타났으며, 자연함유량도 조사된 바가 없어 비교할 수가 없었다.

1.6. 수 은

수은 역시 다른 중금속과 같이 몇가지 화학적 형태로 토양에 존재하는데, 유기적 결합을 통해 안정된 복합체를 형성하기도 한다. 토양중 해리되어 있는 이온은 대부분 Hg^{2+} 이며, 토양내의 음이온(OH^- , Cl^- 등)과 합하여 여러종류의 착화합물을 형성한다. pH가 7이상일 때에는 중성의 $\text{Hg}(\text{OH})_2$ 가 우세한 반면, 산성토양에서는 HgCl_2 가 우세하다.

토양중 수은은 토양 유기물과 미생물에 의한 Hg의 알킬화반응을 나타내기도 하다. 충북지역의 수은은 토양오염우려기준 4 mg/kg에 비해 상당히 낮은 0.000~0.046 mg/kg(평균 0.012 mg/kg)으로 조사되었고, 자연함유량 0.085 mg/kg보다도 훨씬 낮은 수준으로 나타났으며 지역적 농도분포도 전체적으로 매우 낮고 고른 분포를 보였다. 지역별 수은의 농도분포는 Fig. 2에 나타났다.



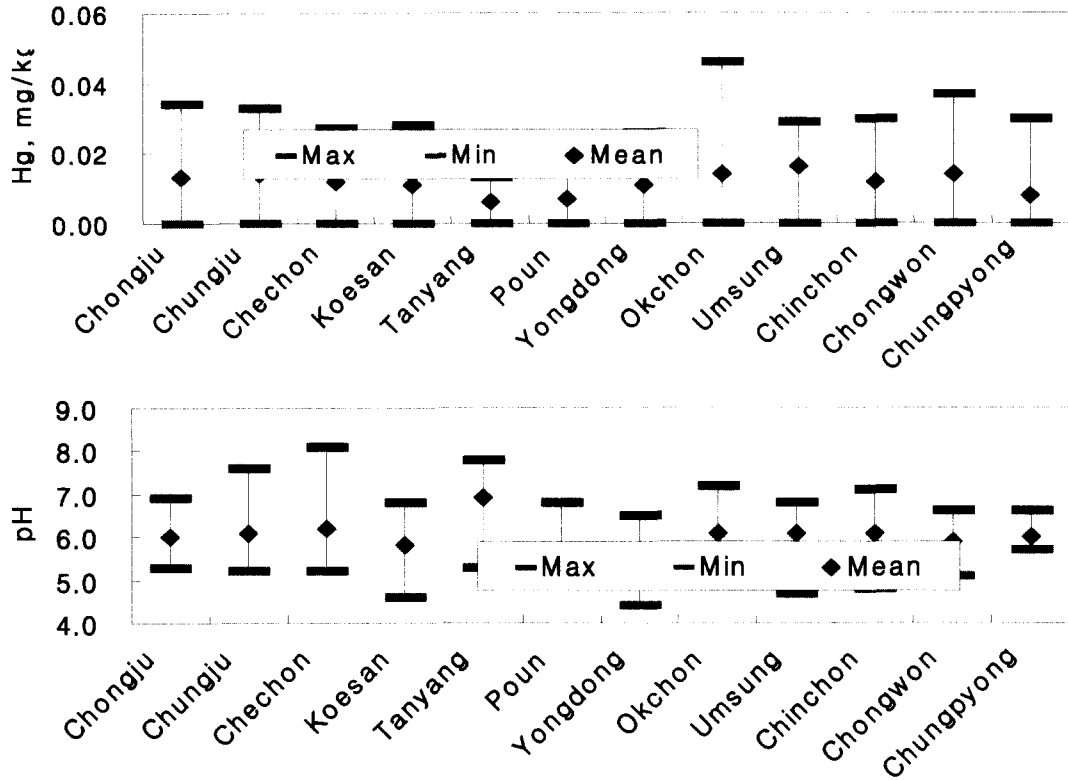


Fig. 2. Regional concentration distributions Cd, Cu, Pb, Hg, As, pH.

1.7. pH

pH는 토양내 이온의 이동을 크게 제약하는 요인인데, pH가 높아질수록 이온의 이동은 느려진다. 따라서 중금속 이온의 토양내 이동도 pH에 의해 크게 영향을 받는다. 즉, pH가 높아지면 토양내 중금속의 이동은 제약되어 토양에 흡착되는 이온의 양이 많아지게 된다. 반대로 pH가 낮아질수록 중금속의 용해도가 높아져 토양내 이동이 자유로와진다¹¹⁾.

충북지역의 pH는 4.4~8.1(평균 pH 6.1)로 조사되었고, 자연함유량 pH 5.7보다는 약간 높은 것으로 조사되었다.

pH가 가장 낮게 나타난 지역은 전용농업용수사용지역인 영동군 양산면 누교리로 pH 4.4를 나타냈고, 반면 가장 높게 나타난 지역은 마찬가지로 전용농업용수사용지역인 제천시 두학동으로 pH 8.1의 약알칼리성을 나타냈으며, 그 외 충주, 단양

지역에서 비교적 높은 pH를 나타내었는데 pH가 높은 지역에서 중금속의 농도도 대체적으로 높은 경향을 보였다. 지역별 pH의 농도분포는 Fig. 2에 나타냈다.

2. 토양오염지표(토양오염점수 및 토양오염등급)

수식(1)의 토양오염점수 산출방법에 의한 충북지역의 토양오염점수는 최소 1.6점에서 최대 141.7점, 평균 31.0점으로 상당히 낮은 점수를 보여주었다.

본 연구에서 조사된 전체 215개소에 대한 점수 분포는 Fig. 3에 나타냈으며 토양오염점수 분류는 Tab. 6과 같다.

Tab. 6, Fig. 3을 살펴보면 전체 215개 지점수의 92.1%인 198개 지점의 점수가 50점 이하로 충북지

Tab. 6. Classification of soil pollution score.

Soil pollution score(SPS)	No. of sampling points	Ratio(%)
0 ~ 25	75	34.9
25 ~ 50	123	57.2
50 ~ 75	12	5.6
75 ~ 100	2	0.9
100 ~ 125	2	0.9
125 ~ 150	1	0.5

역 토양오염점수는 매우 낮게 산출이 되었으며 이는 대부분의 토양이 아직 오염이 되지 않은 상당히 깨끗한 상태를 말해준다.

지역별 점수를 보여준 Tab. 3, Fig. 4을 살펴보면 충주, 단양, 진천에서 높은 점수분포를 나타내었다. 최고 점수를 나타낸 지역은 금속광산지역인 진천군 문백면 구곡리로 토양오염점수 141.7점이었으며, 중금속 농도를 살펴보면 Cd 1.163 mg/kg, Cu 8.140 mg/kg, As 1.132 mg/kg, Hg 0.030 mg/kg, Pb 31.789 mg/kg, Cr⁶⁺은 불검출로 카드뮴, 납에서 비교적 높은 농도를 나타냈다.

그 다음은 전용농업용수 사용지역인 단양군 어상천면 임현리로 토양오염점수 121.9점이었으며, 중금속 농도는 Cd 0.828 mg/kg, Cu 7.786 mg/kg, As 1.383 mg/kg, Hg 0.013 mg/kg, Pb 40.985 mg/kg, Cr⁶⁺은 불검출로 카드뮴, 납에서 다른 항목에 비해 높은 농도를 나타냈다.

세 번째로 높은 점수를 나타낸 지역은 과채류 주생산지인 충주시 칠금동으로 토양오염점수 105.4점이었으며, 중금속 농도는 Cd 0.487 mg/kg, Cu 14.825 mg/kg, As 3.802 mg/kg, Hg 0.025 mg/kg, Pb 1.421 mg/kg, Cr⁶⁺은 불검출로 비소에서 특히 높은 농도를 나타냈다.

Tab. 4는 오염원별로 토양측정망 지점의 점수 및 오염도를 분류한 것이며, Fig. 5는 오염원별로 토양오염점수분포를 나타낸 것으로 전용농업용수 지역, 과채류 주생산지가 포함된 영농지역과 금속광산지역, 분뇨처리장 인근지역, 일반폐기물적치·매립지역이 포함된 폐기물지역에서 토양오염점수 분포가 높게 나타났으며 수질, 대기, 기타생활지역

에서는 토양오염점수가 매우 낮게 조사되었다.

본 연구에서는 토양의 다기능성에 따라 토양의 이용 용도에 근거하여 토양측정망의 측정지점을 토양환경보전법에 제시되어 있는 농경지역, 공장산업지역 두 가지로 분류하여 토양오염점수 및 토양오염등급을 산출하였다. 즉, Tab. 5에서 전, 답, 과수원, 임야, 하천, 유원지, 체육용지가 농경지역으로 잡종지, 도로, 대지가 공장·산업지역으로 분류되며 이것에 의하여 토양오염기준이 틀리게 적용되었기 때문에 잡종지, 도로, 대지의 토양오염점수가 상대적으로 낮게 나왔다.

용도별로 전체 지점의 대부분을 차지하는 전, 답 지역에서 토양오염점수분포가 높게 나왔으며 그 외 다른 지역에서는 낮은 분포를 보였으며, Fig. 6에 그 분포를 나타냈다.

토양오염등급(SPC)은 전체 조사대상 215개 지역에서 98.6%인 212개 지역에서 토양오염점수 100점 미만인 1등급으로 조사되었고, 나머지 1.4%에 해당하는 3개 지역에서만 토양오염점수 100점을 초과한 2등급을 나타내었으며 3등급이상의 지역은 한군데도 없었다. 이를 Fig. 7에 나타내었다. 토양오염점수 100점 이상을 초과한 3개 지점은 토양환경이 토양오염기준을 초과하지 않은 비교적 건전한 환경을 유지하고 있다고 할 수 있으나 이 3개 지역은 앞으로 토양의 상태에 대한 검증이 지속적으로 필요한 곳이라고 본다.

본 연구에서 적용한 토양오염지표는 토양에 축적된 중금속 6종류의 농도에 따라 토양오염점수와

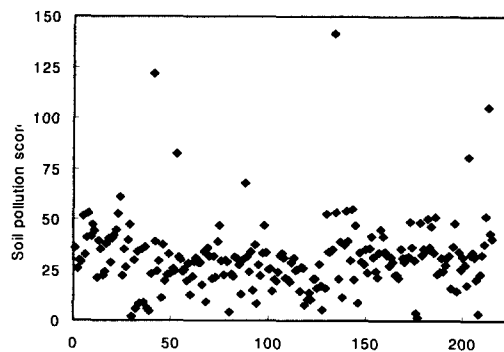


Fig. 3. Distribution of soil pollution score of total soil sampling points in Chungbuk Province.

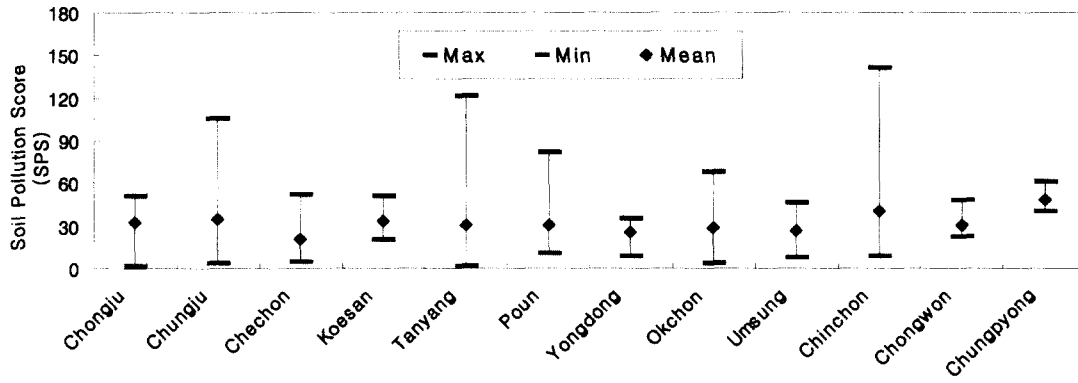


Fig. 4. Regional comparison of soil pollution score.

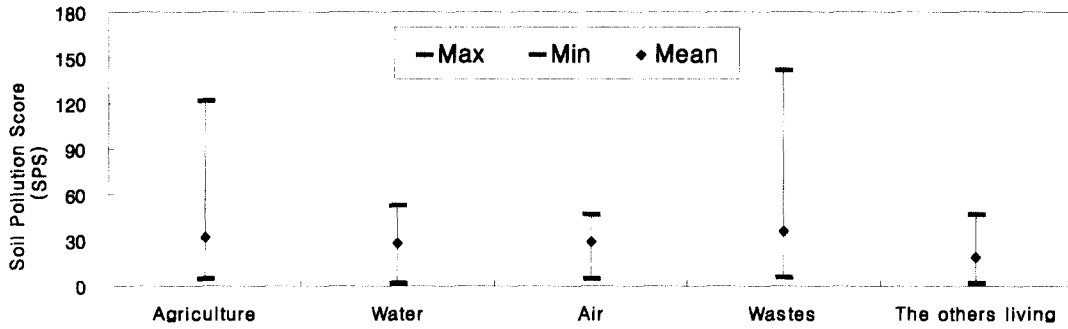


Fig. 5. Comparison of pollution sources of soil pollution score.

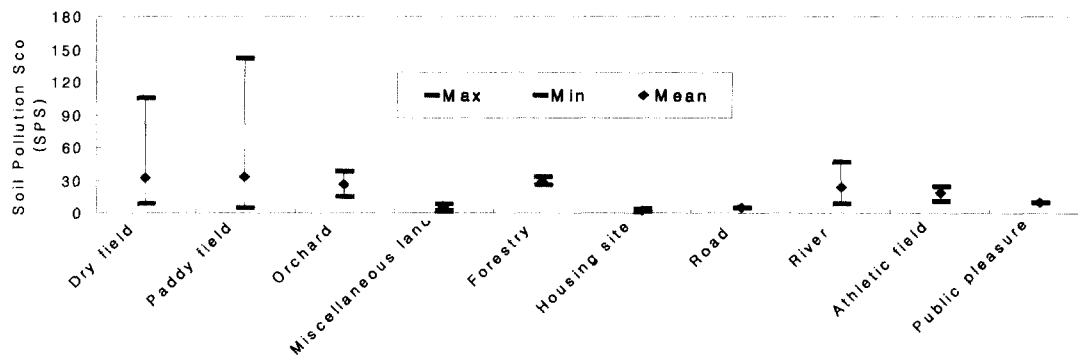


Fig. 6. Usable comparison of soil pollution score.

토양오염등급으로 분류한 것이다. 하지만 토양은 이들 중금속 이외에 점점 더 다양한 경로를 통해 합성유기농약, 유기 및 무기독성물질등 여러종류의 물질들에 의해 토양오염이 유발될 수 있으므로 이에 대한 토양오염상태를 개관적이고 종합적으로 판단할 수 있는 보강된 토양오염지표를 마련해야

할 것이다.

3. 토양오염기준 및 자연함유량과의 비교

Fig. 8은 충북지역의 토양중 중금속농도를 농경

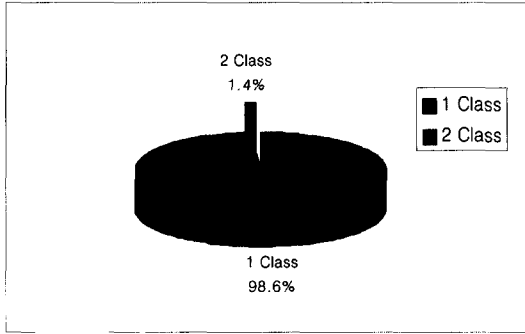


Fig. 7. Classification of soil pollution class.

지 토양오염기준과 비교한 것이다. 전체 215개 지점중 토양오염기준을 초과한 지점은 한군데도 없었으며 각 항목별 전체평균은 토양오염기준에 훨씬 못미치는 수준이었다.

항목별로 살펴보면 Cd의 농도는 분석대상 215개 중 최고치가 1.163 mg/kg으로 토양오염기준 1.5 mg/kg에 약간 못미쳤으며, Cu는 최고치가 14.825 mg/kg으로 토양오염기준 50 mg/kg보다 많이 낮았으며, As는 최고치가 3.802 mg/kg으로 토양오염기준 6 mg/kg보다 낮았으며, Hg은 최고치가 0.046 mg/kg으로 토양오염기준 4 mg/kg에 훨씬 못미치는 수준이었고, Pb은 최고치가 40.985 mg/kg으로 토양오염기준 100 mg/kg보다 많이 낮았으며, Cr⁺⁶은 토양오염기준 4 mg/kg이나 이 항목은 충북지역에서는 한군데에서도 검출되지 않았다. 지금까지 조사된 우리나라 논토양중 pH 및 중금속 자연함유량^{12,13)}은 다음 Tab. 7과 같다.

1999년도 토양측정망에서 조사된 충북지역 토양중 중금속 농도의 평균은 앞서서도 언급했지만 Cd 0.146 mg/kg, Cu 3.143 mg/kg, As 0.636 mg/kg, Hg 0.012 mg/kg, Pb 4.505 mg/kg, Cr⁺⁶ 불검출이었으며, 평균 pH는 6.1이었다.

이것을 토양중 자연함유량을 나타낸 Tab. 7과 비교하여 보면 중금속오염농도는 자연함유량과 거

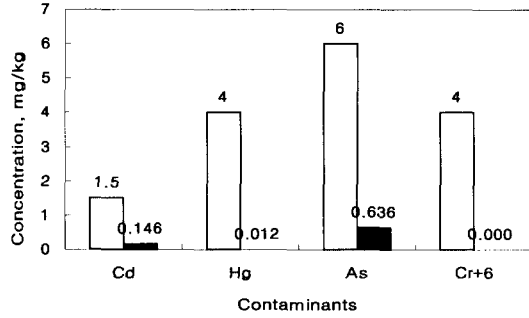


Fig. 8. Comparison of soil pollution value(agricultural area) and average concentrations of contaminants in soil.

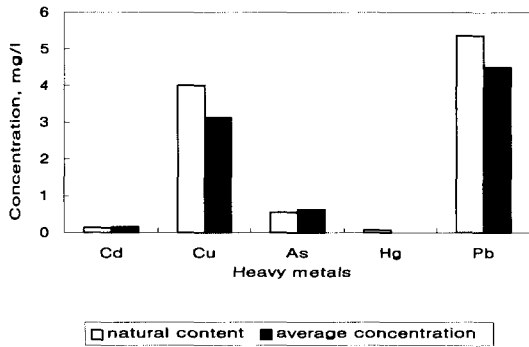


Fig. 9. Comparison of natural content and average concentrations of contaminants in soil.

의 유사하던지 아니면 자연함유량에 못미치는 수준으로 조사되었고, pH는 충북지역이 자연함유량보다 약간 높은 것으로 조사되었으며 이를 Fig. 9에 나타내었다.

감사의 글

본 연구수행에 있어 많은 도움을 주신 충청북도 보건환경연구원 관계자님께 감사를 드립니다.

Tab. 7. Natural content in soil.

(unit : mg/kg , except pH)

Item	pH	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr ⁺⁶
Natural content	5.7	0.135	3.995	0.560	0.085	5.375	-

참고문헌

1. 배우근, 이창수 : 토양오염문제와 그 특성, 한국 토양환경학회, 1998.
2. 오종기 : 폐광산 광미의 환경친화적인 안정적 복구방안, 한국토양환경학회, 1999.
3. 박준범 : 불량매립지 현황 및 문제점, 국회환경포럼 토양환경문제 워크샵, 1999.
4. 신호상 : 유류오염문제와 대책방안, 한국토양환경학회, 1999.
5. 환경부 : 효율적인 토양오염조사체계 구축방안 연구, 1999.
6. 환경부 : 토양측정망 운영, 행정간행물 등록번호 38000-67630-66-60, 1999.
7. 박용하 : 중금속 및 비소오염 토양질 평가를 위한 토양오염지표 고안과 응용가능성, 한국토양환경학회지, 1996.
8. 박용하 : 토양오염지표에 의한 국내 토양의 중금속과 비소오염도 및 향후전망, 한국토양환경학회지, 1996.
9. 환경부 : 토양환경보전업무 편람, 1996.
10. 환경부 : 토양오염공정시험법, 1997.
11. 현해남 : pH 및 Eh가 담토양중 중금속의 형태 변화 및 수도 흡수에 미치는 영향, 서울대학교 대학원 농화학과 박사학위논문, 1989.
12. 김복영 등 : 한국 토양 및 현미중 중금속의 천연부존량에 관한 연구, 농시연보, 제24호, pp.51~53, 1982.
13. 유홍일 등 : 우리나라 논토양 및 현미중 중금속 자연함유량에 관한 조사연구, 국립환경연구원, 1998.