

## 서울 한강이남 지역의 용도별 토양 중금속 및 불소 오염 평가

오현정<sup>1\*</sup> · 이재영<sup>2</sup>

서울시보건환경연구원, 서울시립대학교 환경공학부

### A Study on the Characteristical Evaluation of Metals and Fluorine Concentrations in the Southern Part of Seoul

Hyun-Jung Oh<sup>1\*</sup> · Jae-Young Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Seoul Metropolitan Government Health and Environmental research Institute

<sup>2</sup>Department of Environmental Engineering the university of Seoul

#### ABSTRACT

This study performed from 2002. October to 2003 April. The samples were taken at 66 sites, divided into the 6 sections functionally in the southern part of Seoul such as Yangchon-gu, Kangseo-gu, Kuro-gu, Yeongdengpo-gu, Kwanak-gu, Dongjak-gu, Seocho-gu, Kangnam-gu, Songpa-gu, and Kangdong-gu. The result of research showed that each property soil was pH 4.7~9.5, Cd; 0.391 mg/kg (0.011~1.081 mg/kg), Cu; 12.35 mg/kg (0.061~73.62 mg/kg), Pb; 13.04 mg/kg (N.D.~61.85 mg/kg), Hg; 0.0866 mg/kg (N.D.~1.353 mg/kg), F; 206.8 mg/kg(47.1~561.1mg/kg). The minimum and maximum of the concentration with functional soils were Cd; 0.632 mg/kg for multi-purposed soil, 0.079 mg/kg for schools, Cu; 21.35 mg/kg for roadside, 2.159 mg/kg for schools, Pb; 24.70 mg/kg for roadside, 1.030 mg/kg for schools, Hg; 0.1780 mg/kg for multi purposed, 0.0087 mg/kg for schools. Especially F was the high concentration at the hills. Also the concentration of Cd, Cu, Pb, Hg and F at school Zone was detected such as low. area of schools area was detected the low concentrations as the items of Cd, Cu, Pb, Hg, and F. The average concentrations of metals and fluorine in the survey area were below the Preliminary Standard of the Soil Preservation Acts in Korea. To evaluate the soil quality of these area showed as a good qualified results. The results of SQPI (Soil Quality Pollution Index the qualified results as much as 86.4%.

**Key words :** property soil, southern part of Seoul, Soil Preservation Act, SQPI, Preliminary Standard

#### 요 약 문

본 연구는 용도별 토양에 대한 중금속 및 불소 오염 조사를 하기 위하여 한강 남쪽에 위치한 11개 구청(양천구, 강서구, 구로구, 영등포구, 관악구, 동작구, 강남구, 강동구, 서초구)에서 비교적 오염 개연성이 구분될 것으로 판단되는 도로, 공장, 학교운동장, 적환장, 공원, 약수터 주변 등, 그동안 비교적 조사 자료가 부족하였던 토양을 대상으로, 6개의 용도별 시료를 채취하여 pH, Cd, Cu, Pb, Hg, F 항목을 분석하였다. 조사 결과 용도별 토양의 pH는 4.7~9.5의 범위로 나타났으며, 중금속 및 불소 평균 농도는 Cd 0.391 mg/kg(0.011~1.081 mg/kg), Cu 12.35 mg/kg(0.061~73.62 mg/kg), Pb 13.04 mg/kg(N.D.~61.85 mg/kg), Hg 0.0866 mg/kg(N.D.~1.3530 mg/kg), F 206 mg/kg(47.1~561 mg/kg)이었다. 용도별 토양에 대한 최대, 최저 농도는 Cd이 잡종지 0.632 mg/kg, 학교용지 0.079 mg/kg, Cu는 도로용지 21.35 mg/kg, 학교용지 2.159 mg/kg, Pb은 도로용지 24.70 mg/kg, 학교용지 1.030 mg/kg, Hg은 잡종지 0.1780 mg/kg, 학교용지 0.0087 mg/kg, F의 경우 임야 282 mg/kg, 학교용지 164 mg/kg로 나타나서 전체적으로 Cd, Cu, Hg은 대부분 적환장으로 이용되고 있는 잡종지가, Pb은 도로용지에서 각각 높은 농도를 나타내었고, F는 임야 지역을 대상으로 한 토양에서 높은 농도를 보였다. 그러나 학교용지는 Cd, Cu Pb, Hg, F등에서 상대적으로 다른 용도별 토양보다 낮은 농도를 나타내었다. 한편 조사대상 지역의 토양은 우리나라 토양 환경 우려 기준에는 대체로 적합하였으며 SQPI는 17.0~211.1로 조사 대상 토양의 86.4%가 100미만으로 대체로 1등급에 해당하는 양호한 토양질을 유지하고 있는 것으로 조사되었다.

**주제어 :** 용도별 토양, 서울 한강이남지역, 토양환경보전법, 토양질 오염지표, 우려기준

\*Corresponding author : ohhyunj@empal.com

원고접수일 : 2003. 12. 03 게재승인일 : 2003. 12. 08

질의 및 토의 : 2004. 3. 30 까지

### 1. 서론

토양은 공기·물과 함께 생태계의 중요한 구성요소이다. 장구한 세월 동안 지구 표면 지각은 물리화학적 풍화 및 생물학적 작용을 거쳐 다양한 역할과 구성물을 함유하는 토양의 형태를 갖추게 되었다. 한편 산업의 발달과 인구의 증가는 다양한 오염물질의 생성을 불러왔고, 이들에 의해 환경 오염문제는 시작되었다. 특히 20세기 후반 들어 경제와 산업의 급속한 성장은 대기와 수권을 오염시키고, 다시 토양 오염으로 이어졌다. 토양 오염은 토양내로 유입된 오염물질이 토양 표면에 흡착되어 제거하기가 쉽지 않으며, 장기간의 토양 체류를 통한 농도 축적과 함께 토양을 매체로 한 관계수, 지하수, 하천, 해양으로 이동함으로써 수환경을 오염시키고, 토양을 근간으로 살아가는 사람과 생태계에 악영향을 미치게 된다. 우리나라의 토양 오염에 대한 관심은 농경지 토양 오염방지법이 제정된 70년대 초반 이후이며, 단순히 휴·폐광산과 농경지의 오염을 중심으로 다루던 것이, 1995년 토양 환경 보전법을 계기로 점차로 전국적인 규모의 토양 오염 조사와 더불어 폐기물 매립지, 군시설, 산업단지를 위주로 한 주변 오염토양에 대한 관리 등도 이루어졌다. 또한 근래에는 시민의 건강과 위락시설로 이용되고 보건 위생학적 측면의 토양오염에 대한 관심도 증대되어가고 있다. 그러나 이와 같은 조사는 토양 오염 물질 및 정화를 적극적으로 유인할 수 있는 효과적인 수단을 제공하지는 못하였다. 이에 현실에 맞는 토양 오염관리를 위해 토양환경 평가제를 도입하고, 오염물질 및 오염원인자 범위를 확대하는 등 보다 현실적이고 적극적인 차원에서 실시하여야 한다는 필요성이 대두되었다. 그래서 2002년에는 토양 환경 보전법을 개정공포 하였다. 그러나 아직도 외국에 비하면 오염물질 종류나 개연성 그리고 인력 부분에서 턱없이 부족한 실정이고, 지점별 선정도 용도별보다는 오염가능성을 기준으로 “가”와 “나” 지역으로 단순 구분·설정하고 있는 등 여러 가지 문제를 안고 있다. 우리나라의 메카 도시인 서울만 하여도 토지의 기능이 매우 다양하게 사용목적이 변모되고 있고 이러한 사용목적의 변화는 그 목적에 따라 오염물질 농도 또한 구별될 것으로 판단된다<sup>1,5)</sup>. 본 연구는 서울 한강이남 지역을 대상으로 6개의 용도별 토양에 대한 중금속(구리, 납, 카드뮴, 수은)과 불소 농도를 조사하여 조사된 농도를 중심으로 전국 농도와 토양 환경 우려기준 및 SQPI를 적용, 토양질을 평가하여 봄으로써 용도별 토양에 대한 중금속 및 불소 오염 특성에 관한 기초 자료를 제공하고자 한다

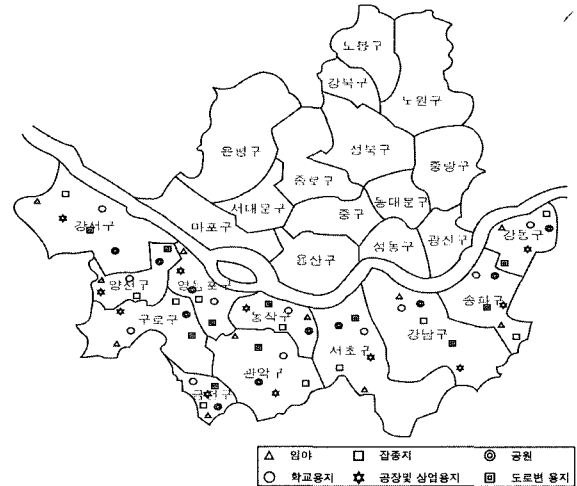


Fig. 1. A map of sampling points in Seoul.

### 2. 실험 방법

시료채취는 2002년 10월부터 2003년 3월에 걸쳐서 한강이남 지역을 대상으로 11개구청에서 6개의 용도별 토양을 선정하여 총66개 지점의 시료를 채취하였다. 자세한 시료채취지점은 Fig 1에 나타내었다.

전처리 및 분석은 토양 오염 공정 시험방법에 의하여 실험하였으며, 농도 정량은 유효측정농도 이상을 검출 농도로 하였다. 중금속은 ICP OES(Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry)와 FAAS(Flame Atomic Absorption Spectrometry)를 이용하여 분석하였고, 불소는 전처리 과정을 거쳐 흡광광도계를 이용하여 정량하였다<sup>6,7)</sup>.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 연구 대상 지역의 농도 특성

##### 3.1.1 pH

본 조사 대상 지역의 pH는 Fig. 2에 제시한 바와 같이 4.5~9.2로 나타났고 용도별로는 학교용지가 pH 7.8~9.8로 중성에서 약알칼리성을, 공장용지는 pH 6.8~9.8로 중성에서 약 알칼리성을 나타내는 것으로 조사 되었다. 용도별 토양의 pH 4.5~9.2는 2002년 전국 토양 pH 3.6~9.2와 같은 해 서울 오염실태 지점 pH 4.6~9.4<sup>8,9)</sup>와 비슷한 수준으로 나타났다. G. W. Thomas<sup>10)</sup>는 pH가 나타내는 단순한 산성 혹은 알칼리성은 토양의 다른 많은 인자에 대한 토양의 주된 특성을 결정하는 데 많은 도움을 준다고 하였고, 최<sup>11,12)</sup>는 인공강우 상태의 pH 2~3에서 중금속

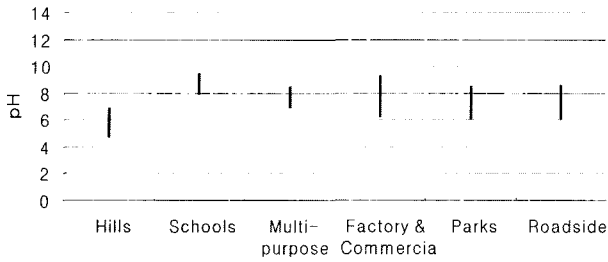


Fig. 2. Variations of pH at various property areas (n=4).

용출이 가장 많은 양이 이루어지고 점차로 pH 범위가 강산에서 중성이나 알칼리성으로 진행할수록 그 용출율이 적어지나 실제로 자연상태의 토양에서는 토양 완충능력과 같은 매우 복합적인 요소의 작용으로 pH가 강산성의 범위라고 하더라도 중금속 용출율이 낮다고 한다. 위와 같은 이론적 배경으로 살펴 볼 때 본 조사 대상지역의 용도별 토양에서 나타난 우리나라 전국 토양의 토성과 비슷하고 아울러 어느 정도 이상의 중금속 농도에 노출된다고 하더라도 많은 양의 중금속이 환경 중으로 용출 되지 않을 것으로 추측된다.

3.1.2. 중금속(Cd, Cu, Pb, Hg)

연구 대상 지역 용도별 토양에 대한 중금속 농도 분포는 Cd는 Fig. 3, Cu는 Fig. 4에 Pb는 Fig. 5, Hg는 Fig. 6에 각각 제시하였다.

평균 농도로 살펴본 중금속은 Cd는 0.391 mg/kg(0.011~1.081 mg/kg)로, 용도별로는 대체로 적환장을 대상으로 한 잡종지가 0.650 mg/kg으로 가장 높았고, 학교 운동장을 대상으로 한 학교용지가 0.079 mg/kg로 가장 낮은 농도를 나타내었다.

구리는 12.35 mg/kg(0.049 mg/kg~73.62 mg/kg)로, 용도별로는 양천구의 공장용지가 73.62 mg/kg로 최고 농도를, 서초구 학교용지가 0.112 mg/kg로 가장 낮은 농도를 각각

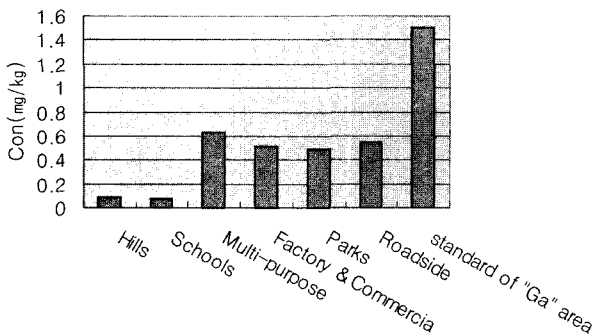


Fig. 3. The average Cd-concentrations at various property areas (n=4).

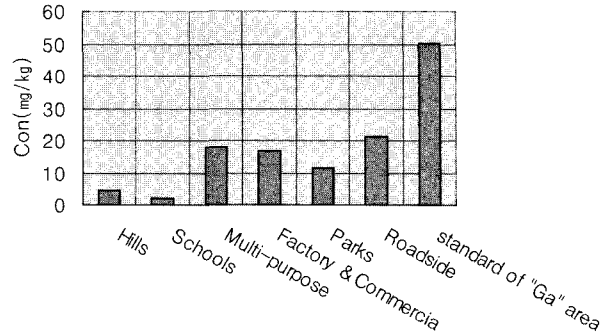


Fig. 4. The average Cu-concentrations at various property areas (n=4)

나타내었다.

Pb는 13.04 mg/kg(N.D.~61.85 mg/kg)로 용도별로는 영등포구의 도로용지가 61.85 mg/kg으로 최대 농도로 나타났고, 학교용지가 3.0 mg/kg이하의 낮은 농도로 조사되었다.

Hg 농도는 0.087 mg/kg(N.D.~1.353 mg/kg)로 용도별 토양은 학교용지가 ND~0.028 mg/kg로 최저농도를 나타내었고, 잡종지와 공장 및 상업 용지의 Hg 농도가 0.178 mg/kg, 0.172 mg/kg로 각각 나타나 최대 농도로 조사되었다.

한편 연구 대상 지역에 대한 중금속 평균 농도 Cd 0.391 mg/kg, Cu 12.35 mg/kg, Pb 13.04 mg/kg, Hg 0.087 mg/kg

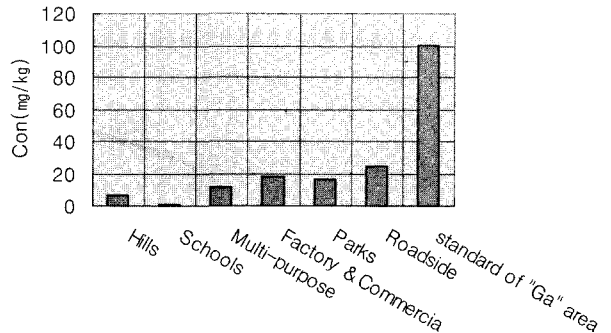


Fig. 5. The average Pb-concentrations at various property areas (n=4).

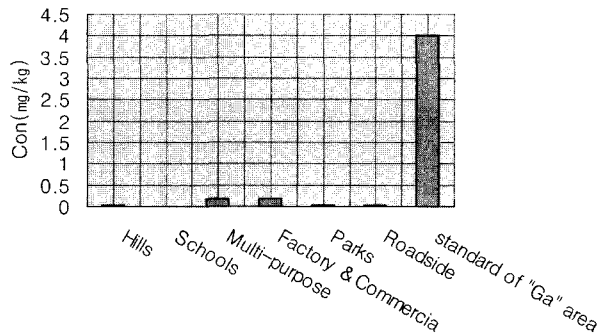


Fig. 6. The average Hg-concentrations at various property areas (n=4).

은 2002년 같은 해 전국적인 토양을 대상으로 조사 실시된 평균 농도 Cd 0.118 mg/kg, Cu 7.327 mg/kg, Pb 9.11 mg/kg, Hg 0.550 mg/kg<sup>8)</sup>와는 Cd 300%, Cu 170%, Pb 120%, Hg 160%의 농도 대비 높은 수준으로 조사되었고, 2002년 서울 전체 지역을 대상으로 한 오염실태 지점농도 Cd 0.164 mg/kg, Cu 10.17 mg/kg, Pb 10.98 mg/kg, Hg 0.071 mg/kg<sup>9)</sup>과는 농도 대비 Cd 200%, Cu 120%, Pb 130%, Hg 120%로 각각 전국 농도나 서울 오염 실태 지점보다 높게 나타났다.

토성과 오염원이 비교적 일치할 것으로 예상되는 서울 오염 실태 지점과 본 연구 대상 지역과의 조사 지점수를 비교하여 보면 서울 오염 실태 지점은 총 120개 지점이었고, 이중 오염 우려 지역별 지점 수는 어린이 놀이터나 토지 개발 등 지역이 70개로 가장 많은 지점을 차지하고 있다 또한 공장이나 폐기물과 관련된 지점은 30개 지점이었는데<sup>8,9,13)</sup> 반해 본 연구 대상 지점은 총 66개 지점으로 이중 공장 및 도로변, 폐기물 집하장이 차지하는 지점수가 33개 지점으로 전체 지점 수의 1/2을 차지하고 있으나 2002년 서울 오염실태 지점은 전체 지점수의 1/4수준이었다. 위의 경우에서 살펴본 바와 같이 조사 대상 지점의 중금속 농도가 서울 오염 실태 지점보다 비교적 높은 것은 오염 개연 성면에서 연구 대상 지역이 서울 실태지점보다 높은 것이 원인으로 사료되고 이로 미루어 살펴 볼 때 전국 토양 농도와도 같은 원인으로 사료된다. 일반적으로 토양의 중금속 중 Cu, Hg은 광물의 모암물질, 유기물 함량 그리고 지각 함량에 따라 거의 지구 화학적인 미량원소에 의해 다양하게 분포 된다고 한다<sup>14-17)</sup>. 그 이외에는 환경오염이나 토양 시비와 같은 인위적 요인에 의해 존재하게 되는 경우이고<sup>18,19)</sup> Pb과 Cd은 인위적인 오염에 의해 토양에 존재하게 되는 경우라 하더라도 본 연구 대상 지역의 중금속 농도는 대체로 토양 환경 우려 기준에 대체로 적합한 농도 수준으로 나타났다.

3.1.3. 불소(F)

연구 대상 지역의 불소 평균 농도는 206 mg/kg(164~282 mg/kg)로 나타났다. 불소 평균 농도 206 mg/kg은, 이<sup>20)</sup>등의 토양 0-3인치 깊이 불소 함량은 190 mg/kg, 보다는 높은 수준이나 2002년 전국 측정망 평균치 196 mg/kg와는 실태 지점 평균농도 211 mg/kg과 비슷한 농도 수준이었고<sup>8,9)</sup>, Fleischer & Robinson<sup>21)</sup>의 토양 평균농도 285 mg/kg과는 75%의 이었다.

용도별 토양 불소 농도는 임야가 282 mg/kg로 최고 농도를, 학교용지가 164 mg/kg로 최저 농도로 각각 조사되었다.

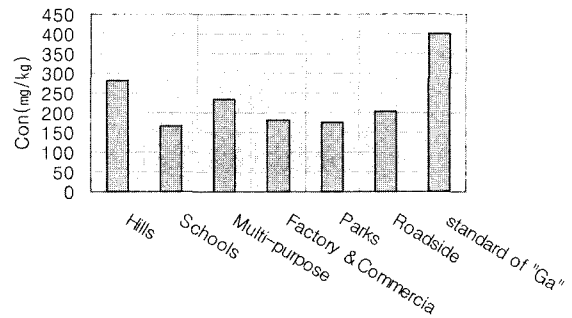


Fig. 7. The fluorine concentrations at various property areas.

특히 용도별 토양 중 동작구 임야 불소 473 mg/kg와 금천구의 임야 불소 농도 561 mg/kg, 송파구의 임야불소 395 mg/kg등 토양 오염 우려기준 “가” 지역 기준 400 mg/kg을 상회하는 높은 농도지점이 있었다. 손<sup>22)</sup>은 토양 중에 존재하는 불소는 암석의 형성과정에서 생성되는 암석의 일부분으로 암석의 풍화에 과정에서 토양에 존재하는 토양의 구성 성분 이라고 한다. Fleischer & Robinson<sup>21)</sup> 화강암 류와 화강 편마암의 불소 평균농도를 대략 810 mg/kg이라고 하였는데, 동작구와 금천구 임야 지역은 화강 편마암이, 송파구는 화강암류의 분포가 주류를 이루고 있다고 한다<sup>23)</sup>. Steinkonig<sup>24)</sup>는 토양 불소는 토양환경이 종종 다양한 종류의 인지질 비료 특히 과인산염(과인산 석회)에 의해 노출됨으로서 불소 축적의 가장 중요한 원인이 되고, 이러한 인산들의 반복 사용은 토양 불소의 농도를 상승시킨다고 하였다. 또한 Larsen & Widdoson<sup>25)</sup>은 토양이나 식물, 인지질 비료에 들어있는 불소 농도를 대략 3~30000 ppm정도라고 하고 있다.

2002년 전국토양 불소 평균 농도는 255 mg/kg이었다. 또한 오의 서울 둔치 지역의 평균 불소 농도는 221 mg/kg이었다. 국내에서 미국토양화학회가 인용하고 있는 토양 불소 평균값 285 mg/kg을 적용해 본다고 하더라도, 토양 환경보전법 “가”지역 기준이 400 mg/kg임을 감안할 때, 일부 약수터 주변 토양의 토양 환경 우려 “가”지역 기준을 상회한 높은 농도는 원인 규명을 통한 원인규명과 함께 대책이 강구되어져야 할 것으로 사료된다.

3.2 연구 대상지역의 토양 질 평가

조사 대상 지역에 대한 토양 오염도를 두 가지 방법을 적용하여 평가하여 보았다. 첫째 조사 대상 지역의 오염물질 농도에 대한 토양질 평가를 위해 토양 오염지표<sup>26-30)</sup>를 응용한 SQPI(Soil Quality Pollution Index: 토양질 오염 강도)를 사용하여 보았다.

**Table 1.** The value of SQPI (Soil Quality Pollution Index)

SQPI purpose	<100	100~200	200~300	>300
Hills	8	3	0	0
Schools	11	0	0	0
Multi-purpose	11	0	0	0
factory & Commercial	11	0	0	0
Parks	5	5	1	0
Roadside	11	0	0	0
Total	57	8	1	

SQPI는 토양 오염 지표 SPI(Soil Pollution Index)를 응용 오염물질 기준값에 토양환경보전법상의 우려기준을 적용한  $SQPI = \sum C_i / RAV_i \times 100$ (수식 ①)를 사용하여 조사대상 지역의 토양질 오염 등급 점수를 산출하였다.

#### ① Soil Quality Pollution Index

Con<sub>i</sub>: Concentration of Cd, Cu, Pb Hg, F

RAV<sub>i</sub>: Aim Value of Reference: reference value indicating the soil quality of preliminary standard of "Ga" and "Na" area

Table 1에 나타난 바와 같이 조사대상 지역의 SQPI(토양질 오염점수)는 6개의 용도별 토양에서 86.4%가 100점 미만에 해당하여 1등급으로 분류 되었다.

둘째 국내 토양 환경보전법을 적용하여 조사 대상 지역의 토양질을 평가 하여 보았다. 국내 토양 환경 보전법 우려 기준에 적용하여 본 결과 조사 대상 지역의 6개 용도별 토양은 대체로 적합하였으나, 영등포구 공원용지의 Cu농도와 일부 임야 지역의 불소(F)농도가 토양 환경 보전법 우려 "가"기준을 초과 하였다.

위에서 살펴본 바와 같이 연구 대상 지역이 용도별 토양에 대한 중금속 및 불소에 대한 토양 오염은 SQPI가 86.4%로 1등급, 우려 기준에 대체로 적합한 것으로 조사 되었으나 우리나라 토양 환경보전법의 용도별 토양 오염 물질 기준은 유럽연합(EU), 네델란드, 캐나다등 용도별 토양에 대한 다양한 기준을 가진 나라와 비교하면 용도별 토양에 대한 다양한 기준은 매우 부족하다. 우리나라 토양 환경 보전법의 용도별 토양 오염 물질 기준은 pH의 기준은 없으며, 건전한 상태의 토양 즉 토양 보전을 위한 지구화학적 인 배경농도 및 물리적 자료는 부족하고 생물학적인 판단 기준은 마련되어 있지 않다.

따라서 현재의 지적법에 적용을 하는 단순한 "가"와 "나"지역의 단순한 기준을 탈피한 다양하게 변화되어 가는 토양 용도에 알맞은 평가 기준이 모색되어야 할 것으로 사료된다<sup>31-34)</sup>.

## 4. 결 론

한강이남 서울지역 양천구, 강서구, 구로구, 영등포구, 관악구, 동작구, 서초구, 강남구, 송파구, 강동구에서 6개의 용도별로 나누어서 66개 지점 시료를 채취하여 pH, 중금속류 및 F농도에 대하여 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 조사 대상 지역의 pH는 4.7~9.5의 범위로 나타났으며 일부 임야 지역 토양을 제외한 전 지역에서 중성에서 약알칼리 범위를 나타내었다.

2. 조사 대상 전 지점의 각 항목별 평균 농도는 Cd은 0.391 mg/kg(0.011~1.081 mg/kg), Cu 12.35 mg/kg(0.061~73.62 mg/kg), Pb 13.04 mg/kg(N.D.~61.85 mg/kg), Hg 0.087 mg/kg(N.D.~1.353 mg/kg), F 206.8 mg/kg(47.1~561 mg/kg)이었다.

3. 용도별 토양에 대한 최대, 최저 농도는 Cd의 경우 잡종지 0.632 mg/kg, 학교용지 0.079 mg/kg, Cu의 경우 도로용지 21.35 mg/kg, 학교용지 2.16 mg/kg, Pb의 경우 도로용지 24.70 mg/kg, 학교용지 1.03 mg/kg, Hg의 경우 잡종지 0.178 mg/kg, 학교용지 0.009 mg/kg, F의 경우 임야 282 mg/kg, 학교용지 164 mg/kg로 나타났다. 전체적으로 Cd, Cu, Hg은 대부분 적환장으로 이용되고 있는 잡종지가, Pb는 도로용지 토양이 각각 높은 농도를 나타내고, F는 임야 지역을 대상으로 한 토양에서 높은 농도를 보였다. 학교용지는 Cd, Cu Pb, Hg, F항목에서 상대적으로 다른 용도별 토양보다 낮은 농도를 나타냈다.

4. 서울 전지역 오염실태농도와 조사 대상 지역의 농도를 비교하면 Cd 200%, Cu 120%, Pb 120%, Hg 120%의 농도 수준으로 나타나서 오염 개연성 면에서 본 조사 대상 지역이 서울 오염실태 전지점보다 높은 것으로 나타났다.

5. 조사 대상 지역의 오염물질의 평균 농도는 토양환경 우려 기준이내 이었으나 영등포구 공원용지의 경우 Cu와 일부 임야 지역의 F농도가 초과하는 것으로 조사 되었다.

6. 조사 대상 지역의 토양 질을 평가하기 위해 국내 토양환경보전법과 SQPI와 비교하여 본 결과 국내 토양 환경 보전법, SQPI에 대체로 양호한 결과를 얻었다.

그러나 위와 같은 결론에도 불구하고 건전한 자연 상태의 토양 보전을 위해서 지속적인 조사와 분석을 통한 자료 축적과 함께 지구화학적인 자연함유량 자료 및 물리적, 생물학적 법적인 판단 기준이 마련되어야 할 것으로 생각되었고, 아울러 오염물질 규제 기준 또한 지적법에 기초한 "가" 지역과 "나" 지역 기준의 단순성을 탈피한 다양하게 변화되어 가는 토양 용도에 알맞은 다양한 평가기준이 모색되어야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 서울특별시, 서울의 환경(2002).
2. 이민효, “짚의 카드뮴 분석 방법에 관한 연구”, 경상대학교 (1980).
3. Harrison, R. M., Laxen, D. P., and Wilson, S. J. “Chemical association of Lead, Cadmium, Copper, and Zinc in the Street Dusts and Roadside soil”, *Environ. Sci. Technol.*, **15**, pp. 1378-1383 (1981).
4. 이평구, “프랑스 A-71 고속도로변 토양과 부유퇴적물의 중금속 및 거동 및 오염에 관한 연구”, 한국토양환경학회지, **2**(1), pp. 21-34 (1997).
5. 최병순, 국순환, 이동훈, 박철휘, 김진한. 토양오염개론, 동화기술(2003).
6. 배재근 오중민, 환경인을 위한 토양 오염 측정 분석, 신광문화사(2002).
7. 환경부, 토양 오염공정 시험방법(2002).
8. 환경부, 토양환경 보전법 시행규칙, 토양 오염 기준물질, 토양 오염실태조사(2002).
9. 서울시 보건환경연구원, 서울시 토양 오염실태조사 보고 (2002).
10. Thomas, G. W. “Methods of soil analysis. Parts 3. chemical methods- Soil pH and Acidity”, SSSA Book Series, **5**, pp. 475-490 (1996).
11. 최용석, 오현정, 이윤국, 이진, 정종흡, 한규문, 엄석원, “서울시 약수터 주변 토양의 중금속에 관한 연구” Report of S.I.H.E., **37**, (2000)
12. 최용석, 정종흡, 이제승, 오현정, 엄석원, 김민영, “토양에서 인성 산성우에 의한 중금속 용출에 관한 연구”, 한국분석학회, **5**, pp. 18-19 (2001).
13. 환경부, 2002년도 토양 측정망 및 실태조사 결과(2003).
14. Liang, J. W. B. Stewart, and Karamanos, R. E. “Distribution and plant of soil coper fractions in Saskatchewan”. *Can. J. Sci.* **71**, pp. 89-99 (1991).
15. Sposito, G. “The perational definition of the zero point of charge in soils”, *Sci. Soc. Am. J.* **45**, pp. 292-297 (1981)
16. Rose, A.W. Hawkes, and J.S. Webb. Geochemistry in mineral-exploration. 2nd ed. Acid. Press, New York (1979).
17. Stout, P. R., Meager, W.R., Pearson, G.A. and Johnson, C.M. Molybdenum nutrition of crop plants, *plant soil*, pp. 51-87 (1951).
18. 조성진 엄대익, 삼정 토양학, 향문사(1997).
19. 山本義和 : 水生生物と重金屬, 銅. 사이엔테이스트社 (1979).
20. 이영환, 정문호, 금속과 사람, 신광출판사(1993).
21. Fleischer, M., and Robinson, W.O. Some problems of the geochemistry of fluorine. *R. Soc. Can. Spec. Publ.* **6**, pp. 1553-1554 (1993).
22. 손치무, 윤석규, 광물학개론, 전영사(1987).
23. 서울 남천점 지질 도폭 설명서, 한국자원연구소 (KR-99(S)-1) (1999).
24. Steinkonig, L.A. “The relation of fluorine in soil, Plants and animals”. *J. Indus. Eng. Chem.*, **11**, pp. 463-465 (1919).
25. Larsen, S., and Widdoson, A.E. “Soil Fluorine”. *J. Soil Sci.*, **59**, pp. 105-109.
26. Kloke, A., Content of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury, and nickel in plants grown on contaminated soil, paper presented soil, proceedings of the *United Nations-ECE Symp.* (1979).
27. 전효택, “토양시료 채취 방법의 문제점 및 해결방안”, 오염 토양분석 Workshop, 한국 토양환경학회, **6**, pp. 113-123, (1998).
28. 박용하, “중금속 및 비소오염 토양질 평가를 위한 토양오염 지표의 고안과 응용 가능성”, 지하수 토양환경학회지 **1**(1), (1998).
29. 박용하, 윤정호, 이승희, 김강석, “토양오염지표에 의한 국내 토양의 중금속과 비소오염도 및 향후 전망”, 한국 토양환경학회, **1**(1) pp. 55-65 (1996).
30. 장인성, 정창모, 임계규, “토양오염지표에 의한 천안 시 토양 환경평가”, 한국 토양환경학회지, **4**(2), pp.185-192 (1999).
31. 환경부, 토양환경보전, 중장기, 정책방향 및 대책(2002).
32. 환경부, 토양환경 보전법(2002. 3월 개정본).
33. 환경부, 환경백서, **259**, (1998).
34. CCME,(Canadian Council of Ministers of the Environment, Interim Canadian Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites. Reports No CCME EPC-CS34 (1991).
35. CCME, Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines, 2002.