

# 서울 시내의 도로주변에 위치한 어린이 놀이터 토양 오염도 평가 - Zn, Cu, Pb와 Cd을 중심으로 -

서울특별시보건환경연구원

김세정 · 김은숙 · 김익수 · 김교봉 · 조기찬 · 최낙경 · 엄석원 · 김민영

## Evaluation of Heavy Metal Pollution in Roadside of Children-Playground Soil

*Seoul Metropolitan Health & Environment Research Institute*

**Se-joung Kim, Eun-sook Kim, Ick-soo Kim, Ki-chan Jo,  
Nak-gyeong Choi, Kyo-bung Kim, Seok-won Eom and Min-young Kim**

### Abstract

This study was conducted to measure the heavy metal pollution of the soil at child-playgrounds. The survey areas were divided into two sectors, the residential and volume of traffic areas. The soil samples were collected from 46 different sampling sites in Seoul. The SPC(soil pollution class) was used to estimate the quality of soil polluted with heavy metals(Zn, Cu, Pb, and Cd). The results obtained were as follows.

The average heavy metals contents for the residential and industrial areas playground soils were Cd 0.0136 mg/kg, Cu 1.561 mg/kg, Pb 2.88 mg/kg and Zn 39.87 mg/kg, which were lower than the Korean soil precaution levels. The SPCs of all areas were below 100, which is 1st grade. In conclusion, the pollution level of playgrounds for children was regarded as being safe with respect to the heavy metals analyzed in the present study.

**Key words** : children's playground, soil, heavy metals, SPC(soil pollution class)

### 서론

우리나라는 자동차수의 급격한 증가로 1990년 340만대이던 자동차수가 2001년 12월 현재 1,300만대로 3.8배가 늘었다. 이런 자동차로부터

배출되는 유해물질은 수질, 대기, 토양 등에 영향을 미치고 생태계파괴를 통해 자연파괴를 일으켰고, 특히 자동차에서는 발생하는 유해물질은 지표에 침적되고 직접, 간접적으로 토양에 물리·화학적 성질을 변화시킨다(1~4).

이러한 자동차 기인성(motor vehicle-borne) 대기오염물질은 날로 증가하고 있으며, 이로 인해 영향을 받는 도로주변의 토양은 자동차에서 발생하는 유해중금속들로 인해 피해가 날로 가중되고 있다. 자동차에서 발생하는 유해물질은 호흡기, 소화기, 피부 등을 통해 인체에 농축되어 병변을 일으키는 독성물질로서 건강에 큰 해를 끼치고 있다(5, 14).

최근 어린이 놀이터 토양은 유해중금속 성분이 자연 함유량을 초과하였고 애완동물들의 배설물로 인한 개회충 등에 오염되고 있다. 특히 서울시와 같은 도심지역 놀이터의 토양은 어린이들이 놀이기구로 생각하고 직접 손으로 만지며 그 손을 입에 접촉하는 경우가 많다. 이로 인해 토양 내 오염물질은 어린이들이 쉽게 먼지의 섭취, 피부접촉 또는 호흡을 통해 섭취하기 때문에 주요 위협요소가 된다(6, 7).

또한, 어린이는 청결에 대한 개념도 부족하여 토양오염물질로 인한 노출이 크다. 특히 어린이의 토양섭취량은 평균 100 mg/day에서 최대 400 mg/day로 어른의 토양평균섭취량 50 mg/day보다 2배~4배 정도 높아 어른에 비해 어린이 건강에 위해를 미칠 우려가 있다(8).

지금까지 어린이 놀이터 토양의 오염실태를 파악하기 위해 이등(12, 17, 18)은 어린이 놀이터 토양의 중금속 농도를 조사 연구하였고 서울시는 매년 어린이 놀이터 몇 개 지점을 선정하여 토양오염실태조사를 하고 있다. 그러나 이전까지 조사는 대상지점이 단순하고 아파트 단지내 놀이터를 주거지역과 준 공업지역으로 구분하여 조사가 이뤄졌으나 도로변에 위치한 놀이터의 토양평가는 이루어지고 있지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 서울시 25개구 놀이터 중 4차선 도로 100미터 이내에 도로변에 위치한 어린이 놀이터를 대상으로 자동차로 기인한 중금속 4개항목의 오염도를 평가하여 어린이 놀이터 세부 관리 지침마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 실험방법

### 1. 조사대상 및 시험방법

서울시 관리대상인 1,750개의 놀이터 중 관할구

23개구 지역 내 어린이 놀이터 46개소를 대상으로 하였다. 한개 관할구에서 선정지역 구분은 교통량이 많은 4차선 도로 100미터 이내를 교통지역으로 이와 대조군으로 4차선 도로가 없고 비교적 차량통행이 적은 주거 단지 내를 주거지역으로 하였다. 선정지역에 해당하는 놀이터 각각 한곳을 선정하여 서울시 23개구에서 교통지역 총 23개와 주거지역 총 23개 놀이터를 지점으로 선정하였다. 교통지역과 주거지역내 어린이 놀이터 놀이시설물 아래 포장하지 않은 토양의 중금속 오염도를 분석하기 위하여 채취하였다.

### 2. 실험방법

#### 1) 시료채취

본 연구를 위하여 어린이들이 가장 많이 이용하는 놀이기구인 미끄럼틀과 그네 등 시설물 아래를 중앙 1지점으로 하고, 주변 4방위의 5~10m 거리에 있는 1개 지점의 표층 깊이 10~15cm에 해당하는 표토를 총 5개 지점에서 채취하여 혼합 후 분석시료 1건으로 하였다. 약 500g을 모종삼을 이용하여 채취하여 저온보관으로 운반하여 시료로 사용하였다(24).

#### 2) 중금속 분석

채취지점에서 채취한 토양을 폴리에틸렌 바트(Vat) 위에 균일한 두께로 직사광선이 닿지 않는 장소에서 통풍이 잘되게 헤쳐 놓고 풍건 시켰다. 약 2주간 풍건하여 Pb, Cu, Cd은 눈금 간격 2mm의 표준체(10메쉬)로 체걸음 하고 Zn은 0.15mm의 표준체(100메쉬)로 체걸음하여 균일하게 혼합 한 후 분석용 시료로 하였다.

pH와 Cd외 3개 중금속은 토양오염공정시험에 의해 분석하였다(24).

#### (1) Pb, Cu, Cd, Zn

분석용 시료 10g을 정밀히 취하여 100 mL 삼각플라스크에 넣고 염산용액(0.1N) 50 mL를 넣는다. 항온수평진탕기(100회/분, 진폭 10cm)를 사용하여 30℃를 유지하면서 1시간 진탕한 다음 거름종이 5B 또는 여지로 여과하였고 Zn은 시료 3g

을 0.001 g까지 정밀하게 취하여 250 mL 반응용기에 넣고 약 0.5~1 mL의 물로 시료를 적신 후 염산 21 mL를 첨가하면서 잘 섞은 다음 질산 7 mL를 가해 잘 저어준 후 질산을 한 방울씩 떨어뜨린다. 흡수용기에 질산(0.5 M) 15 mL를 붓고 흡수용기와 환류냉각관을 반응용기에 연결시킨 후 상온에서 2시간 이상 정치 후 반응혼합물의 온도를 서서히 올려 환류조건에 도달하도록 하고 2시간 동안 그 상태를 유지시킨다. 환류 냉각되는 부분이 냉각관 높이의 1/3보다 낮은 부분에서 이루어지도록 확인하면서 분해 냉각시킨 후 흡수용기내의 내용물을 환류냉각관을 통하여 반응용기에 첨가하고 흡수용기와 환류냉각관을 질산(0.5 M) 10 mL로 씻어 반응용기에 넣는다.

반응용기를 정치시켜 대부분의 불용성 잔류물이 현탁액에서 침전되도록 한다. 상대적으로 고형분이 없는 상청액(上淸液)을 조심스럽게 Whatman No. 40 또는 이와 동등한 여과지로 100 mL 용량 플라스크에 여과하고 물로 표선까지 채워 검액으로 사용한다. 전처리를 거친 여액을 ICP(Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy : Spectro사, 독일)로 분석하였다.

이용된 파장은 표 1와 같다

**Table 1.** The wavelength for analyzing of ICP

Element	Inst.	Source(nm)	Carrier gas
Cd	ICP	214.43	Ar
Cu	ICP	324.75	Ar
Pb	ICP	220.35	Ar
Zn	ICP	213.85	Ar

## (2) pH

분석용 시료 5 g을 달아 50 mL 비이커에 취하고 증류수 25 mL를 넣어 때때로 유리막대로 저어주면서 1시간 방치 후 pH 미터를 pH 표준액으로 잘 맞춘 다음 깨끗하게 씻어 말린 유리전극 및 표준전극을 넣고 60초 이내에 읽는다.

pH는 유리전극과 비교전극으로 구성된 pH미터

기(Expendable Ion Analyzer EA940. Orion사, 미국)로 측정하였다.

## 3. 토양오염도 평가

토양에 대한 오염도 평가를 하기 위하여 박(10)의 토양 토양오염지수(soil pollution score : SPC) 산출 공식을 이용하여 추계하였다.

$$SPC = \sum_i \frac{Ci}{TVi} \times 100$$

i : Cd, Cu, Pb, Zn

Ci : 각 중금속의 분석 농도

TVi : 각 중금속의 토양오염 우려기준

박(10)은 SPC 추계 결과, 토양오염점수가 300 점 이상이면 4등급, 300~200점이면 3등급, 200~100점이면 2등급, 100점 미만이면 1등급으로 분류하였다. 토양오염 4등급은 토양이 오염된 지역이라고 할 수 있고, 2, 3등급은 토양오염이 우려되어 이 지역에 대한 토양 상태의 재검측이 필요한 지역, 토양오염 1등급은 토양 상태가 건전한 지역으로 볼 수 있다(10).

## 4. 통계처리

본 연구의 교통지역과 주거지역의 놀이터 토양 중금속 Cd, Cu, Pb, Zn의 농도 차이에 대한 유의성과 상관성을 보기 위하여 통계 처리 프로그램인 SAS 9.1을 이용하여 분석하였다.

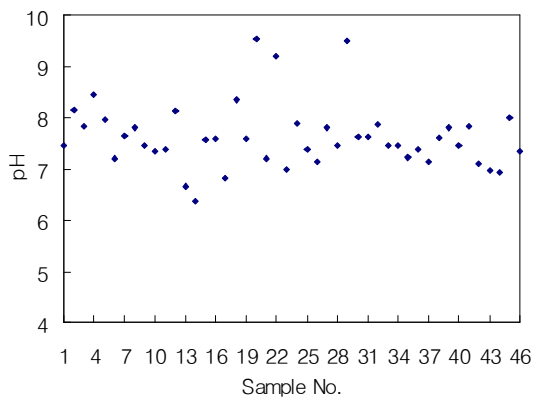
두 지역의 중금속의 농도 차이의 유의성은 independent sample t-test로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

교통지역을 선정하여 도로변에서 자동차운행으로 인한 오염을 고려하여 주거지역과 비교하였다.

### 1. 토양 pH

조사대상 지역의 토양 pH는 6.37~9.54의 범위로 중성에서 약알칼리성의 범위를 나타내었다(그림 1).



**Fig. 1.** The variation of pH.

이는 대부분의 도시림의 토양이 산성 강하물로 인하여 산성화가 가속화되고 있다는 연구결과와 다른 결과를 보였으며(19,20) 서울시 도로 주변에 위치한 건물의 화단상부 토양(10cm)를 채취하여 분석한 pH값 7.1~8.9와는 비슷한 수준을 나타내었다(16). 어린이 놀이터 위치가 도시림보다는 도로지역과 아파트 단지에 많이 위치해 있어 후자와 비슷한 수준을 보이는 것으로 판단된다. 또한 교통지역과 주거지역의 pH는 비슷한 수준으로 차이가 없었다.

## 2. 중금속 농도 분포

**Table 2.** The concentration of the children's playground (unit : mg/kg)

Classification	Avg.	95% C.I.	SD
	(Min.~Max.)	(Min.~Max.)	
Cd	0.0136 (0.100~0.100)	-0.001~0.020	0.0210
Cu	1.561 (0.420~5.197)	-0.426~1.298	1.1018
Pb	2.88 (0.48~10.24)	-1.281~1.937	2.04
Zn	39.87 (15.98~84.89)	-6.491~19.419	16.620
pH	7.649 (6.37~9.54)	-0.448~0.595	0.6356

조사대상 지역의 중금속 농도를 표 2에 나타내었다. 항목별 평균농도는 카드뮴(Cd) 0.0136 mg

/kg, 구리(Cu) 1.561 mg/kg, 납(Pb) 2.88 mg/kg, 아연(Zn) 39.87 mg/kg으로 나타났다. 이러한 수치는 토양오염우려기준 '가'지역 기준치 이내였으며 2006년도 환경부 전국토양오염평균농도 보다 낮은 것으로 나타났다(21).

교통지역과 주거지역으로 나뉘서 살펴본 중금속 농도를 표 3에 나타내었다.

자동차로부터 배출되는 유해 중금속중 Cd는 자동차 타이어의 마모, 인산비료, 각종 장식 산업 그리고 산업용·가정용 쓰레기 소각등에 의해 발생하는 오염물질이다(13).

본 연구에서는 Cd는 거주 지역이 0.013 mg/kg, 교통지역은 0.008 mg/kg로 인천시연구(6)의 거주 지역 0.101 mg/kg과 산업지역 0.096 mg/kg비해 매우 낮은 농도였다. 인천시연구의 중금속 농도는 95%신뢰구간 자료가 없어 인천시의 중금속 평균 농도와 상대 비교만 하였다.

**Table 3.** Comparison of pH and element concentrations in soils form residential and traffic area (unit : mg/kg)

Item	Seoul city children's playground		Incheon children's playground	
	Residential	Traffic area	Residential	Industrial
Cd	0.013	0.008	0.101	0.096
Cu	1.733	1.297	1.411	2.036
Pb	3.013	0.328	1.252	1.073
Zn	41.82	35.355	-	-
pH	7.60	7.65	7.90	7.80

\* 김용희, 환경폐기물학회 제24권 제4호 2007

구리(Cu)는 자동차 도로 주행 시 마찰에 의해 마모되어 도로주변으로 배출되어 특히 대기 및 토양환경을 오염시키는 물질이다(9, 10, 22).

본 연구에서 Cu는 거주지역이 1.733 mg/kg으로 교통지역 1.297 mg/kg보다 약간 높은 수준을 나타냈으며 인천시 어린이 놀이터 거주지역의 1.411 mg/kg 약간 높고 산업지역 2.035 mg/kg보다 낮은

농도를 보였다. 김 등(9)의 어린이 놀이터 모래오염도 검사 연구에 의하면 구리의 경우 거주지역이 산업공장지역보다 높았던 것과 다른 결과로, 이는 시설물 나무목재 CCA방부처리제에 포함된 구리로부터 영향을 받는 것으로 판단된다. 박(11)은 교통량과 토양중의 구리 농도는  $r=0.64\sim 0.96$ 의 상관관계를 가진다고 하였다. 그러나 정확한 교통량의 추계가 이루어질 수 없어 상관관계를 상계할 수 없었다.

납(Pb)은 거주지역이 3.013 mg/kg로 교통지역 0.328mg/kg보다 높은 농도였다. 인천시의 거주지역 1.252 mg/kg 산업지역 1.073 mg/kg에 비해 서울시 거주지역이 상대적으로 매우 높았으며 교통지역은 인천시 산업지역보다 낮은 농도를 나타냈다. Pb은 대기중에 배출되어 도로에서 15 m내에 축적되고 강하분진에 의해 토양에 축적되고 이동성이 거의 없다(14, 23). 이(12)등의 서울시 어린이놀이터 공원에 대한 연구에서 Cu의 경우 공장지역에서, Pb의 경우 대형면허시험장과 도로변의 놀이터에서 높은 수치를 보인 연구와는 다른 결과를 보이는 것으로 주거지역에서 놀이시설물 페인트 도장이 1년에 한번 이루어지고 있어 이로 인한 납의 용출로 인한 것으로 판단된다.

Cd는 자동차 타이어의 마모, 인산비료, 각종 장식 산업 그리고 산업용·가정용 쓰레기 소각등에 의해 발생하는 오염물질이다(13).

본 연구에서는 Cd는 거주 지역이 0.013 mg/kg, 교통지역은 0.008 mg/kg로 인천시 거주지역 0.10 1mg/kg과 산업지역 0.096 mg/kg비해 매우 낮은 농도였다.

아연(Zn)은 antioxidant-Zn-dichloro phosphate의 형태로 존재하며 배출가스 속에 섞여 배출되며 자동차 고무타이어는 1.5%의 아연을 함유하고 있는 물질이다(16, 17).

본 연구에서 Zn은 거주 지역은 41.82 mg/kg으로 교통지역 35.35 mg/kg에 비해 다소 높은 농도였다. 인천시의 경우 아연을 조사하지 않아 지역비교가 이루어질 수 없었다.

아연(Zn)은 거주지역이 교통지역보다 약간 높은 수준이었다. 거주 지역에서 놀이시설물 철재구조물 페인트 작업을 위해 마모작업 등으로 인한 아

연 용출이 이루어지고 있어 교통지역에 비해 높은 농도를 보이는 것으로 판단된다.

### 3. 토양오염지표를 이용한 토양 질 평가

박(10)에 의하여 개발된 토양오염지표 SPC 를 이용하여 산출한 토양오염도 점수는 표 4와 같다.

각 지역의 평균은 1등급 기준인 토양 오염점수 100의 약 20~30% 수준을 나타내었다. 이로써 서울시내 도로변 주변에 위치한 어린이 놀이터 토양상태는 건전한 것으로 판명되었다.

**Table 4.** The SPC of children's playgrounds (unit : mg/kg)

Sites	Avg.	Min.	Max.	Classification
Traffic area	21.28	1.74	55.59	1st
Residential	17.59	1.85	33.78	1st

### 4. 유의성 검정

SAS 9.1 통계프로그램을 이용하여 교통지역과 주거지역으로 나누어 두 지역의 중금속 동일 원소의 상관관계를 independent sample t-test를 통하여 조사한 결과는 표 5와 같다. 두 그룹간의 중금속의 평균농도 차이는 유의하지 않았다.

**Table 5.** The correlation of t-test (unit : mg/kg)

Sites	Cd	Cu	Pb	Zn	pH
Traffic area	0.013	1.733	3.013	41.82	7.64
Residential	0.008	1.297	2.685	35.355	7.57
p-value	0.567	0.311	0.681	0.317	0.775

## 결 론

본 연구에서 서울시내 어린이 놀이터 중 도로변에 위치한 놀이터 46개 지점에 대하여 토양 오염도를 조사·평가한 결과는 다음과 같다.

1. 토양 pH는 6.37~9.54의 범위로 대체적으로 중성에서 약알칼리성의 범위를 나타내었다.
2. 항목별 평균농도는 카드뮴(Cd) 0.0136 mg/kg, 구리(Cu) 1.561 mg/kg, 납(Pb) 2.88 mg/kg, 아연(Zn) 39.87 mg/kg로 나타났다. 이러한 수치들은 토양오염우려기준 '가' 지역 기준 이하로 2006년 환경부 토양오염실태조사 토양전국오염도 평균보다 낮은 농도 수준을 나타냈다. Cd는 자연 상태오염도 0.040 mg/kg에 비해 낮은 수준이었으며, Cu는 자연 상태오염도 0.48 mg/kg보다 3배 높은 수준을 보였다. Pb는 자연 상태오염도 3.06 mg/kg와 비교하여 비슷한 농도 수준을 나타냈다. Zn은 자연 상태오염도 평균 54.27 mg/kg보다 낮은 수준을 보였다. 전체적으로 2006년 환경부 토양오염실태조사 보다 농도가 낮았고, 자연 상태오염도와 비슷하거나 낮았으나, Cu의 경우 높게 나타났다.
3. 교통지역에 비해 거주 지역에서 Cd, Cu, Zn 농도는 약간 높거나 유사하였으며, Pb은 매우 높았다.
4. 토양오염점수(SPC)를 산출한 결과 각 지역의 평균은 100점보다 낮은 1등급의 20% 정도로 서울시내 도로변에 위치한 어린이 놀이터 토양의 질은 건전한 것으로 판단되었다. 그러나 토양오염은 지속성 및 잔류성이 있기 때문에 어린이 놀이터 토양의 세심한 관리가 필요하다.

어린이 놀이터 토양에 영향을 미칠 것으로 예상되는 시설물에 대한 도장으로 인한 영향, 놀이시설 아래의 완충제로 쓰이고 있는 모래교체시기와 대기 중 분진으로부터 어린이 놀이터 토양에 침적되는 양 등을 지속적으로 연구할 필요가 있다.

우리나라의 토양오염우려기준 설정은 인체 및 환경독성평가에 의한 농도기준이 아니라 외국의 자료를 수집·분석하여 정한 것이고, 중금속 물질

의 분석방법이 유럽, 미국등 대부분 선진국과 다르기 때문에 좀 더 정확한 평가를 위해 위해성 평가에 근거를 둔 오염물질의 기준설정이 필요하다. 특히, 대상 놀이터 주변이 주·정차 지역으로 지정되어 있어 아동이 교통사고로부터의 위험이 있고 놀이터 주변경계의 토양에 대한 자동차로 기인한 오염원에 대한 조사연구도 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. 문석기 : 생태공학, 보문당, p96~97, 2004.
2. Bowie FRS and Thomton I : In environmental geochemistry and health D.Ridel Punishing Co., Dordrecht, p140, 1985.
3. Kim DY, Ryu JH, Chae JS and Cha SH : Deposition of Atmospheric Pollutants in Forest Ecosystems and Changes in Soil Chemical Properties. J. of Korean F. Soc., 85(1):84~95, 1996.
4. Lee CK and Kim JK : Evaluation on Effects of Acid Depositions by Analysis of Rainfall in Forest. Korea J. of Ecol., 21(5-1):449~456, 1998.
5. 권숙표, 정용 : 환경과학. 형설출판사, 1985.
6. 김용희, 노재일, 강희규, 이성모, 최춘석 : 어린이놀이터 모래교체시기에 관한 연구. 환경폐기물학회지, 24(4):323~329, 2007.
7. Abraham PW : Soils ; their implications to human health. The Science of the Total Environment, 291:1~32, 2002.
8. EPA : Exposure Factors Handbook Revised. 1997.
9. 김지선, 박석환, 정문식 : 서울 일부지역의 도로변 대기중 분진 및 납 농도에 대한 조사연구. 환경위생학회, 18(1):12~21, 1992.
10. 변희옥, 김규한, 전효택 : 서울시 영등포구와 구로구에 소재한 중학교 운동장의 토양과 옥외분진의 중금속 오염. J. of Korean Earth Science Society, 17:192~204, 1996.

11. 박용하 : 중금속 및 비소오염 토양질 평가를 위한 토양오염지표의 고안과 응용 가능성. 한국토양환경학회지, 1:47~54, 1996.
12. 이준복, 김교봉, 정권, 김민영 : 서울시내 어린이 놀이터 토양오염도 평가. 환경보건학회, 32(4):249~253, 2006.
13. Hutto H, Wadg A and Millgan PJ : Environmental levels of cadmium and lead in the vicinity of a major refuse incinerator. Atmos. Environ., 22:411~416, 1988.
14. 김권래, 이현행, 정창욱, 장지영, 박순남, 김계훈 : 서울시 주요도로변 토양오염 조사Ⅱ. 강동구, 광진구, 노원구, 서대문구, 성동구 내 주요 도로변 토양. 한국농화학회지, 45(2):92~96, 2002.
15. 조준호, 박성환, 정문식 : 한국위생학회지 24(2):110~117, 1998.
16. 김주영, 전효택 : 서울지역 토양과 분진층의 Cu, Pb, Zn, Cd의 지구 화학적 분산. 한국자원공학회지, 30(2):163~176, 1993.
17. 이충대, 이윤지, 조남영 : I시 어린이 놀이터의 토양 중 중금속 오염에 관한 연구. 한국위생학회지, 27(3):57~62, 2001.
18. 이동우, 이태관, 오정민, 이신미 : 놀이터 모래오염실태조사. 환경공학회 2003 추계학술발표회 논문집, p1,052~1,055, 2003.
19. 장관순, 이수욱 : 산성우에 대한 산림 생태계의 민감도 및 자정기능(Ⅱ). 한국임학회지, 84(1):102~113, 1995.
20. 김동엽, 유정환, 채지석, 차순형 : 대기오염물질의 산림생태계 내 유입과 토양의 화학적 특성 변화. 한국임학회지, 85(1):84~95, 1996
21. 환경부. 전국토양오염실태조사. 2006.
22. Howells J : In Lead minerals in soils contaminated by mine-waste : implications for human for health. University of London, p250, 1991.
23. Lagerwerff JV and Specht AW : Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and Zinc. Environment Science & Technology, 4(7):583~586, 1970.
24. 환경부. 토양오염공정시험법. 2002.