Investigation of Soil Cr and Ni Contamination in Different Land Uses and Tracing the Source of Contamination

Minju Jo¹, Mina Lee², and Kwon-Rae Kim^{3*}

¹Assistant Researcher, Department of Agronomy and Medicinal Plant Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

²Research Professor, Department of Agronomy and Medicinal Plant Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

³Professor, Department of Agronomy and Medicinal Plant Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

*Corresponding author: kimkr419@gntech.ac.kr

ABSTRACT

Received: October 21, 2020

Revised: November 10, 2020

Accepted: November 13, 2020

Chromium (Cr) and nickel (Ni) are commonly used heavy metals in alloy manufacture. In Korea, most research on heavy metal(loid)s focused on As, Cd, Cu, Pb, and Zn, and little attention has been paid to Cr and Ni. However, recent studies showed that they were gradually increasing in the soils, especially when the soils were influenced by human activities. Thus, this study aims to investigate soil Cr and Ni concentrations in different land uses and trace the source of Cr and Ni contamination. Cr and Ni concentrations in different use of soil were obtained from literature and soil analysis. Also, to identify the impact of dust deposition on the soil Cr and Ni, Cr and Ni levels in air dust from various areas were studied by literature review and air dust analysis. Soil Cr and Ni concentrations were higher near roadsides and industrial complexes, and their concentrations had a strong linear correlation. This indicates that Cr and Ni could have a common source of contamination such as vehicles. Similarly, Cr and Ni concentrations in air dust were also higher near roadsides, urban areas, and industrial areas. Therefore, Cr and Ni loads on soils are highly related to traffic and industrial activities.

Keywords: Air dust, Chromium, Nickel, Soil contamination, Vehicle

Averaged Cr and Ni concentrations in different soil uses compared to Korean natural background levels.

Introduction

인구가 증가하고 산업화와 도시화의 진행속도가 빨라지면서 중금속 사용량이 늘어나고 있다. 중금속은 비중 4.0 이상의 무거운 금속원소로 As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn 등이 포함되며 이 중금속들은 각종 기계 산업의 소재, 건축자재 및 일상 생활용품 등에 사용되고 있다. 우리나라에서는 1995년 ‘토양환경보전법’이 제정되어 토양 중 8개 중금속(As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) 전함량에 대해 우려기준 및 대책기준이 마련되어 있다. 이를 토대로 국내 주요 산업단지 주변 토양을 주기적으로 채취하여 중금속 오염상태를 모니터링하고 있으며, 안전한 농산물을 위하여 농산물의 중금속 잔류량을 검사하는 농산물안전성평가도 실시하고 있다. 지금까지 우리나라 중금속 연구는 As, Cd, Cu, Pb, Zn에 편중되어 있었다. 농산물안전성평가 결과에서도 Cr과 Ni의 위험도가 낮아 이들 중금속에 대한 연구는 활발하지 않다. 하지만 최근 연구에 의하면 토양 중 Cr, Ni 농도는 계속 증가하고 있다. 특정 산업단지 주변 토양에서 Cr과 Ni의 농도가 높게 나타났으며 (Jeong et al., 2015), 인간 활동이 많은 서울시 옥상텃밭에서도 토양 중 Cr과 Ni의 부하량이 증가하는 것으로 보고되었다 (Kim et al., 2015).

환경 중 Cr과 Ni의 부하량은 자연적으로 높을 수 있는데, 이는 사문암과 관련이 있다. 사문암 풍화토는 사문암 자체의 화학조성 때문에 Cr과 Ni 농도가 높게 나타난다. 우리나라 사문암 지역은 충남 홍성, 백동, 광천 및 울산, 안동 지역 등이다. Min et al. (1999)에 따르면, 경북 안동지역 변성암 풍화토의 Cr과 Ni 농도는 Cr 179 mg kg^{-1} , Ni 91 mg kg^{-1} 인 반면, 사문암 풍화토는 Cr 220 mg kg^{-1} , Ni $1,326 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 큰 차이를 보였다. 그래서 사문암 지역은 토양중 Cr과 Ni이 식물체에 독성을 나타내어 식생 생장이 저조하고 생물군의 빈도가 매우 낮은 특성이 있다 (Min et al., 1999).

사문암 지대가 아닌 곳에서 Cr과 Ni의 토양부하량이 증가하는 것은 인간의 각종 활동에 의해 인위적으로 Cr과 Ni이 토양에 유입된 것으로 볼 수 있다. Cr은 기름과 석탄 연소, 철 생산, 1차 금속 생산, 크롬 도금, 냉각탑 사용 과정에서 대기 중으로 유출되기 쉽고 공장 폐수와 함께 수계로 배출된다 (Park, 2003). 니켈(Ni)은 시멘트 제조, 석면 채광 및 제분 등 니켈화합물을 만들고 사용하는 과정에서 대기로 유출되어 공기 중의 분진에 흡착한 형태로 비나 눈이 올 때 토양으로 강하한다 (ATSDR, 2005). 환경으로 유출된 Cr과 Ni은 생물에 흡수되고, 먹이사슬을 통해 인간에게 영향을 미칠 수 있다. 인체가 Cr에 노출되면 구토, 위장관 출혈, 간 손상, 급성 신부전 등이 나타나고 (Jung et al., 2012), Ni은 만성기관지염과 폐기능 손상, 비강암을 일으킨다고 보고되었다 (ATSDR, 2005). 그러므로 우리나라 토양 중 Cr, Ni 농도 현황을 파악하고 증가 원인을 분석하여 이들 중금속의 위해성에 미리 대비할 필요가 있다. 본 연구는 다양한 용도로 이용되고 있는 토양에서 Cr과 Ni 농도를 조사하여 두 원소의 구체적인 오염원을 추적하고자 하였다.

Materials and Methods

토지 용도 별 Cr과 Ni의 부하량을 비교하기 위하여 문헌 자료를 수집하고 경남 공단 인근 농경지와 간척농지의 토양을 직접 채취 및 분석하였다. 자연적 요인에 의한 토양 중 Cr과 Ni 부하량 증가 영향을 제외하기 위해 우리나라의 사문암 지역은 연구지역에서 제외하였다. 본 연구에서 조사한 경남, 전남, 서울시, 남양주시 등은 사문암 지대가 아니므로 토양 내 Cr과 Ni의 오염부하량은 자연적 요인이 아닌, 인간 활동에 의한 인위적인 요인 때문인 것으로 판단할 수 있다. 인위적 요인에 의한 Cr과 Ni의 토양 부하 오염원을 유추하기 위해 인간 활동에 의해 대기로 배출된 Cr과 Ni에 대한 연구를 수행하였다. 대기강하물이 토양에 미치는 영향을 파악하기 위해서 도시와 도로변 대기 중 Cr, Ni 농도에 관한 자료를 수집하고 직접 도로변 분진을 채취 및 분석하였다.

문헌 수집 토지 이용 형태별 Cr, Ni의 농도 분포를 비교하기 위하여 도로변, 공단, 농경지 토양의 중금속 농도를 조사한 자료를 수집하였다 (Table 1). 전주시 도로변 퇴적물을 제외한 토양 시료는 모두 왕수분해 후 ICP (Inductively coupled plasma) 분석을 진행한 자료를 이용하였다. 분진에 관한 자료는 도시와 공단 지역을 대상으로 한 문헌을 이용하였으며 (Table 2), 마이크로산분해파와 왕수분해로 전처리한 시료를 ICP 분석한 자료를 수집하였다.

토양 조사지점 선정 및 시료 채취 토양시료 채취 및 분석은 간척농지와 산업단지 인근 농경지를 대상으로 실시하였다. 간척농지는 충남, 전남에 위치한 간척농지 7개 지구의 666지점에서 채취하였다. 7개 지구는 시화, 석문, 남포, 삼산, 고흥, 영산강 마산 1, 2공구이다. 간척농지의 토양 종류별로 대표지점을 선정하여 표토 (0 - 30 cm) 약 1 kg의 시료를 채취하였다. 산업단지 인근 농경지는 규모가 크거나 총 업체수가 많은 산업단지 혹은 중금속이 유출될 수 있는 업종을 포함하고 있는 산업단지 중 인근에 농경지가 있는 곳으로 선정하였다 (경남 15개 산업단지). 각 산업단지의 외곽 기준으로 0 - 500 m 내 5개 농경지, 500 - 1000 m 내 5개 농경지를 선택하여 토양 시료를 채취하였다. 각 농경지에 대한 채취 시료의 대표성을 확보하기 위하여 대상 필지를 균등하게 3등분한 뒤, 각 지점에서 오거를 이용하여 표토 (0 - 20 cm)를 채취하였다. 이후, 3개의 시료를 섞어 한 농경지의 대표 토양 시료로 이용하였다.

분진 조사지점 선정 및 시료 채취 분진은 도시 지역의 교통량이 많은 도로변에서 4월 - 6월 사이에 채취하였다. 서울에서 4지점, 진주에서 6지점, 그리고 대조구로 사람이 많이 살지 않거나 교통량이 적은 경남의 시골에서 6지점의 시료를 채취하였다. 서울시에서는 이수역 2번출구 앞, 도로 옆 건물 틈, 서울시립대 주차장 옆 오토바이 안장, 에어컨 실외기에서 채취하였다. 진주시에서는 진주시 시외버스 정류장, 교통신호기 위, 도로변 신문 가판대, 고속버스 터미널에서 채취하였다. 대조구는 하동의 교회 창틀, 거창의 정자 지붕, 함양의 폐가, 창녕의 폐가, 트랙터 위와 트랙

Table 1. Literature about the soil Cr and Ni concentrations in different types of lands.

Land type	Area	Method	Analysis instrument	Reference
Roadside	Roadside, Jeonju-si	Tessier et al., 1979	AAS	Cho, 2003
	Rooftop garden, Seoul	Aqua regia	ICP	Kim et al., 2015
	Roadside garden, Namyangju-si	Aqua regia	ICP	Kim et al., 2017
	Roadside, Seoul	Aqua regia	ICP	Seo et al., 2011
Industrial area	National industrial complex	Aqua regia	ICP	Jeong et al., 2015
Farmland	Orchard	Aqua regia	ICP	NAS, 2014
	Field	Aqua regia	ICP	NAS, 2015
	Green house, Gyeongnam	Aqua regia	ICP	Son et al., 2017

Table 2. Literature about air dust Cr and Ni concentrations in urban and industrial areas.

Land type	Area	Method	Analysis instrument	Reference
Urban area	Roadside, capital area	Microwave acid digestion	ICP	NIER, 2010
	Seoul	Microwave acid digestion	ICP	Lee et al., 2008
	Busan	-	-	BPHER, 2017
	Industrial area, Gyeongbuk	-	-	Shin et al., 2010
	Incheon	Microwave acid digestion	-	Yoo et al., 2009
Industrial area	National industrial complex	Diluted aqua regia	ICP	Kang et al., 2018

터 기름통 위에서 채취하였다. 조사지점에 내려앉은 분진 시료를 붓으로 모아 폴리에틸렌백에 담아 밀봉하였고, 각 지점 당 약 5 g 정도의 시료를 수집하였다.

토양 및 분진 시료의 중금속 함량 분석 채취한 토양 시료는 직사광선이 닿지 않고 통풍이 잘 되는 장소에서 풍건시킨 후, 고무망치로 분쇄하여 2 mm 표준체로 체거름하였다. 체거름한 풍건토를 막자사발로 곱게 갈아준 후 시료 2 g을 분해관에 넣고 왕수(질산: 염산=3:1) 9 ml을 주입하였다. 흑연블럭 분해기 (OD-98-001, ODLAB, Korea)를 이용하여 160°C에서 1시간 30분 동안 시료를 분해한 후, 분해 용액을 100 ml Vol-Flask에 넣어 증류수로 눈금을 채운 뒤 0.45 µm syringe filter로 희석 용액을 걸렀다. 거른 용액의 중금속 함량은 ICP-OES (8300DV, Perkin Elmer, USA)를 이용하여 분석하였다. 흑연블럭분해기 한 세트 당 표준인증시료 (Contaminated Soil BAM-U112a, Sample No.; 194, BAM)와 Blank 시료를 하나 씩 포함시켜 표준인증시료 분석치의 정확도를 통하여 분해 및 기기분석 과정을 점검하였다.

분진 시료의 총 중금속 함량 분석 방법은 2 g 분진 시료를 분해관에 넣고 왕수 9 ml를 투입한 뒤, 토양 분석과 같은 방법으로 진행하였다.

데이터 처리 및 비교 방법 문헌 조사를 통해서 확보한 국내 토양 Cr, Ni 농도와 직접 분석한 간척농지, 경남 공단 인근 농경지의 Cr, Ni의 평균 농도를 우리나라의 Cr, Ni 배경농도와 비교하였다. 토양 용도별 Cr과 Ni의 평균 농도는 인간의 활동의 영향을 많이 받은 산업단지, 도로변 그리고 상대적으로 인간의 활동이 적은 주거 및 농경 지역으로 구분하였다. 국가산업단지와 경남 공단 인근 농경지는 산업단지로, 서울시 간선도로변, 전주시 도로변, 남양주시 도로변 텃밭, 서울시 옥상텃밭은 도로변 지역으로 분류하였다. 또한, 2014년 과수원 토양 조사, 2013년 밭 토양 조사, 경남지역 시설하우스토양 조사는 주거 및 농경 지역으로 구분하였다. 우리나라의 Cr, Ni 배경농도는 Yoon et al. (2009)이 국내 산림토양의 Cr, Ni 농도를 조사한 데이터와 Kwon et al. (2013)이 우리나라 모암별 Cr, Ni 자연배경농도를 조사한 것을 이용하였다. Yoon et al. (2009)이 조사한 우리나라의 자연배경농도1은 Cr 25.37 mg kg⁻¹, Ni 17.68 mg kg⁻¹이고 Kwon et al. (2013)이 조사한 우리나라의 모암 별 자연배경농도2는 Cr 36.4 mg kg⁻¹, Ni 19.8 mg kg⁻¹이다.

토양 내 Cr과 Ni의 오염원 추정을 위하여 직선헌귀분석을 통해 토양 중 Cr, Ni 농도 간 상관관계를 구하였다. 또한, 대기강하물이 토양 중 Cr, Ni의 오염원인지 알아보기 위하여 문헌 수집 및 직접 분석한 분진의 Cr, Ni 농도와 그 상관관계를 분석하여 토양 내 Cr, Ni 농도 사이의 상관관계와 비교하였다. 상관관계를 구할 때는 토양과 분진의 Cr, Ni 농도에 대한 로그값을 취하여 이용하였다.

Results and Discussion

토지 용도별 토양 중 Cr, Ni 농도 비교 토양 중 Cr, Ni 농도와 우리나라의 자연배경농도를 비교한 결과를 Fig. 1에 나타냈다. 토양 중 Cr 농도는 서울시 간선도로변, 전주시 도로변, 서울시 옥상텃밭 2013년, 2012년, 국가산업단지, 경남공단농경지, 과수원에서 자연배경농도 1, 2 보다 모두 높은 값을 나타냈다. 토양 중 Ni 농도는 전주시 도로변, 서울시 간선도로변, 국가산업단지, 경남공단농경지, 과수원에서 자연배경농도 1, 2보다 높았다.

도로변 토양과 산업단지 토양은 Cr과 Ni의 농도가 모두 자연배경농도보다 높았다. 이는 선행 연구결과들과도 일치한다. Lee et al. (2016)은 국내 농경지와 공장용지 토양 중 중금속 농도를 조사하였는데 Cr과 Ni의 토양 중 농도는 농

경지보다 공장용지에서 더 높았다. 특히, 공장용지의 표토에서 중금속 농도가 더 높은 경향을 나타냈는데, 이는 Seo et al. (2011)의 서울시 간선도로변 토양의 깊이별 중금속 분포 특성 조사에서도 비슷하였다. 토양 중 Cr과 Ni 농도는 표토에서 가장 높았고 깊이가 깊어짐에 따라 농도가 낮아졌는데, Cr, Ni의 부하량이 산업단지 및 도로변 차량의 영향으로 증가하고 있다는 것을 추정할 수 있다. Cho (2003) 또한 산업지역 도로변의 Cr 농도와 오염지수가 상업지역과 주거지역보다 높다고 보고하였다. 하지만 산업지역이 아니더라도 금속가공 또는 자동차정비 관련 업체가 입주한 곳은 토양 중 Cr, Ni 오염도가 높아 이들 중금속이 차량과 밀접한 관련이 있을 것으로 추정된다. Lee and Lee (2007a)은 고속도로변 토양의 Ni 농도가 연도별로 증가하고 있다고 보고하였다. 기존 연구들을 종합해 볼 때 산업단지와 도로변에서 배출되는 Cr, Ni이 토양에 축적되어 토양오염을 유발시킨다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서도 서울시 간선도로변과 전주시 도로변 토양에서 Cr, Ni 함량이 특히 높았는데, 이 결과로 차량의 영향을 많이 받는 지역에서 Cr과 Ni의 부하량이 증가한다는 것을 추정할 수 있다.

Fig. 1. Averaged Cr and Ni concentrations in different land use types of soil, compared with natural background values of Cr and Ni (Background 1: Yoon et al., 2009, Background 2: Kwon et al., 2013).

Fig. 2. Linear relationship between the concentrations of Cr and Ni in soils ($R^2 = 0.5001$).

토양 용도 별 Cr, Ni 상관관계와 비율 Cr과 Ni이 같은 오염원에서 유출되는지 알아보기 위하여 토양 중 Cr과 Ni 농도 사이의 상관관계를 분석하였다(Fig. 2). 분석 결과, Cr과 Ni은 유의적인 정의 상관관계를 ($R^2 = 0.5001$) 보이는 것으로 나타났다. 앞서 서울시 옥상텃밭 토양에서도 Cr과 Ni 두 원소 사이에 상관관계가 높은 것으로 보고된 바 있다(Kim et al., 2015). 그러므로 인간 활동이 많은 지역에서는 Cr과 Ni이 같은 오염원에서 토양으로 유출되어 토양 내 부하량이 증가하는 것으로 판단할 수 있다.

토지 용도별 분진의 Cr, Ni 평균 농도 비교 도로변의 대기 강하물(분진)이 토양 중 Cr과 Ni의 부하량 증가에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위하여 대기 중 분진의 Cr, Ni 평균 농도를 비교하였다(Fig. 3). 문헌 조사에서 분진의 Cr 함량은 국내 주요 산업단지 주변에서 48.90 ng m^{-3} 으로 가장 높았고, 이어서 서울시 대기 중 미세먼지 8.79 ng m^{-3} , 경상북도 대기질 조사 8.40 ng m^{-3} , 부산시 대기 5.78 ng m^{-3} , 인천시 미세먼지 4.00 ng m^{-3} 순이었다. 분진의 Ni 농도는 국내 주요 산업단지 주변 30.40 ng m^{-3} , 서울시 대기 중 미세먼지 8.79 ng m^{-3} , 서울시 PM 2.5 생성과정 조사 5.98

Fig. 3. Concentrations of Cr and Ni in air dust in different areas. Red lines are arithmetic means and black lines are median values.

Fig. 4. Concentration of Cr and Ni in air dust collected from roadside in Seoul and Jinju, and agricultural areas in Gyeongnam.

Fig. 5. Linear relationship between the concentrations of Cr and Ni in air dust ($R^2 = 0.7521$).

ng m^{-3} , 인천시 미세먼지 6.00 ng m^{-3} , 부산시 대기 5.42 ng m^{-3} , 경상북도 대기 5.30 ng m^{-3} 순이었다. 분진의 Cr, Ni의 평균 농도 또한 토양과 같이 모두 인구가 많은 서울시에서 가장 높았다. 직접 채취한 도로 인근 분진의 중금속 함량을 분석한 결과도 문헌조사 결과와 같이 교통량이 적은 경남 농가 인근보다 서울시와 진주시의 도로변에서 Cr과 Ni의 농도가 더 높았다 (Fig. 4). 도시에서 수집한 시료의 특성상 변이가 크게 나타나 통계적으로 유의한 차이가 없지만 평균 비료의 결과, Cr과 Ni은 차량에서 유출될 수 있고, 유출된 도로변 분진이 토양에 축적되어 주변 토양의 Cr, Ni 오염부하량을 증가시키는 것으로 판단된다.

분진 내 Cr, Ni 상관관계와 비율 토양과 마찬가지로 분진 역시 Cr과 Ni 농도 사이의 상관관계를 분석한 결과, 분진의 Cr과 Ni 함량 또한 고도의 유의한 정의 상관관계를 ($R^2 = 0.7521$, $p < 0.01$) 나타냈다 (Fig. 5). 이는 분진과 토양의 Cr, Ni 오염원이 같을 수 있다는 해석을 뒷받침한다. Lee et al. (2007b)은 광주광역시 도로변 분진의 중금속 함량을 조사한 결과, 도로변 퇴적물에서 Cr, Ni 함량이 높고 두 원소 사이에 높은 상관관계가 있음을 보고하였다. 분진의 Cr과 Ni 상관관계보다 토양의 Cr과 Ni의 상관관계가 낮는데, 이는 분진이 대기에서 토양으로 강하하면서 Cr과 Ni의 농도가 희석되고 토양의 영향으로 토양 내 상관관계가 낮아지기 때문으로 볼 수 있다.

Conclusions

본 연구에서는 토양 내 Cr과 Ni의 오염부하량이 증가하는 원인을 규명하기 위하여 문헌을 조사함과 동시에 경남공단 농경지, 간척농지의 토양, 그리고 교통량이 다른 도로변의 분진을 채취하여 Cr과 Ni 농도를 비교, 분석하였다. 산업단지 지역과 도로변 지역의 토양 중 Cr, Ni 농도가 다른 지역보다 높아 차량과 같은 인위적인 오염원으로 Cr, Ni의 오염부하량이 증가하였다는 것을 알 수 있었다. 조사 토양의 Cr과 Ni 사이에 정의 관계가 나타나 같은 오염원에서 Cr과 Ni이 유출됨을 추정하였다. 이에 도로변 분진의 Cr, Ni 농도를 조사한 결과, 교통량이 더 많은 곳의 도로변 분진에서 Cr, Ni 농도가 더 높았고 두 원소 사이의 상관관계도 높았다. 그러므로 도로변 분진의 Cr과 Ni 또한 같은 오염원에서 유출되어 토양의 오염부하량을 높이는 것으로 판단된다.

Acknowledgement

이 논문은 2020년도 경남과학기술대학교 교원연구활성화 지원사업의 예산 지원으로 수행되었음.

References

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2005. Toxicological profiles for Nickel. Atlanta, Georgia.
- BIPHER (Busan Public Health and Environment Research Institute). 2017. Report of Busan Public Health and Environment Research Institute. p.203~207
- Cho, K.S. 2003. Characteristics of heavy metal pollutant in contaminated roadside sediments in Jeonju city, Korea. *J. Korean Earth Sci. Soc.* 24:711-720.
- Jeong, T.U., E.J. Cho, J.E. Jeong, H.S. Ji, K.S. Lee, P.J. Yoo, G.G. Kim, J.Y. Choi, J.H. Park, S.H. Kim, J.S. Heo, and D.C. Seo. 2015. Soil contamination of heavy metals in national industrial complexes, Korea. *Korean J. Environ. Agric.* 34:69-76.
- Jung, H.M., H.M. Eun, J.H. Paik, J.H. Kim, J.S. Kim, and S.B. Han. 2012. A case of multi-organ failure due to acute chromic acid poisoning. *J. Korean Soc. Clin. Toxicol.* 10:118-121.
- Kang, B.W., M.J. Kim, K.M. Baek, Y.K. Seo, H.S. Lee, J.H. Kim, J.S. Han, and S.O. Baek. 2018. A Study on the concentration distribution of airborne heavy metals in major industrial complexes in Korea. *J. Korean Soc. Atmos. Environ.* 34:269-280.
- Kim, H.S., K.R. Kim, G.H. Lim, J.W. Kim, and K.H. Kim. 2015. Influence of airborne dust on the metal concentrations in crop plants cultivated in a rooftop garden in Seoul. *Soil Sci. Plant Nutr.* 61:88-97.
- Kim, H.S., K.R. Kim, W.I. Kim, G. Owens, and K.H. Kim. 2017. Influence of Road Proximity on the Concentrations of Heavy Metals in Korean Urban Agricultural Soils and Crops. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 72:260-268.
- Kwon, S.I., G.B. Jung, W.I. Kim, S.C. Hong, M.K. Kim, M.J. Chae, and K.H. So. 2013. Background metal concentrations of the soil by parent rocks in Korea. *Proceeding of Korean J. Environ. Agric.* p.309.
- Lee, H.G., J.I. Kim, H.J. Noh, J.E. Park, T.S. Kim, and J.K. Yoon. 2016. Correlation estimation between geochemical metal-fraction and soil properties in agricultural and industrial soils. *J. Soil Groundw. Environ.* 21:1-10.
- Lee, J.G., and E.S. Lee. 2007a. Long-term characteristics of heavy metal contamination in highway roadside soil and sediment. *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.* 8:385-394.
- Lee, J.J., Y.S. Park, J.K. Kim, and M.S. Han. 2007b. Pollution characteristics of hazardous elements for roadside dust in Gwangju city, Korea. *Econ. Environ. Geol.* 40:263-275.
- Lee, Y.M., C.H. Park, S.H. Song, W.J. Heo, D.S. Kim, and Y.H. Jung. 2008. The distribution of trace metal concentration bounded in fine particles in Seoul. *Proceeding of the 46th Meeting of KOSAE. J. Korean Soc. Atmos. Environ.* p.326-327.
- Min, E.S., S.H. Song, and M.H. Kim. 1999. Heavy metal concentrations of rocks, soils and plants from the serpentine area in Andong, Kyungsangbuk-do. *Korean J. Environ. Ecol.* 13:288-294
- NAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2014. Annual report 2013 the monitoring project on agro-environmental quality: the 15th report. Korea.
- NAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2015. Annual report 2014 the monitoring project on agro-environmental quality : the 16th report. Korea..
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2010. Study on the generation of PM_{2.5} in urban areas. Korea.

- Park, H.S. 2003. Reduction of chromium(VI) and carcinogenesis. *J. Environ. Toxicol.* 18:165-174.
- Seo, K.S., J.Y. Kim, K.T. Ha, N.G. Choi, H.R. Jung, G.S. Kim, K.M. Han, M.G. Lee, and Y.Z. Chae. 2011. Distribution characteristics of heavy metals in the soil of roadside in Seoul. Report of Seoul Public Health and Environment Research Institute. 47:211-222.
- Shin, S.C., Y.L. Kim, J.H. Song, I.J. Yoon, T.B. Kim, Y.J. Lee, C.W. Lee, and K.S. Park. 2010. Investigation of Gyeongsangbuk-do air quality in 2010. Report of Gyeongsangbuk-do Public Health and Environment Research Institute. 23:209-228.
- Son, D., H.J. Cho, J.Y. Heo, B.J. Lee, K.P. Hong, and Y.H. Lee. 2017. Assessment of Heavy Metal Concentrations in Greenhouse Soils of Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50:383-390.
- Yoo, H.J., H.J. Kim, Y.J. Song, C.D. Lee, and H.S. Ha. 2009. Assesment of PM-10 generation characteristics in Incheon. Incheon, Korea.
- Yoon, J.K., D.H. Kim, T.S. Kim, J.G. Park, I.R. Chung, J.H. Kim, and H. Kim. 2009. Evaluation on Natural Background of the Soil Heavy Metals in Korea. *J. Soil Groundw. Environ.* 14:32-39.