

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2020.53.4.558>  
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Identification of Automobile-Derived Heavy Metal(loid)s Possibly Loaded to Soils Through Air Dust Deposit

Mina Lee<sup>1</sup>, Nam-Kyung Kim<sup>2\*</sup>, and Kwon-Rae Kim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Research Professor, Department of Agronomy and Medicinal Plant Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of automotive engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

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

\*Corresponding author: Kwon-Rae Kim, kimkr419@gntech.ac.kr

\*Co-corresponding author: Nam-Kyung Kim, nkkim@gntech.ac.kr

### ABSTRACT

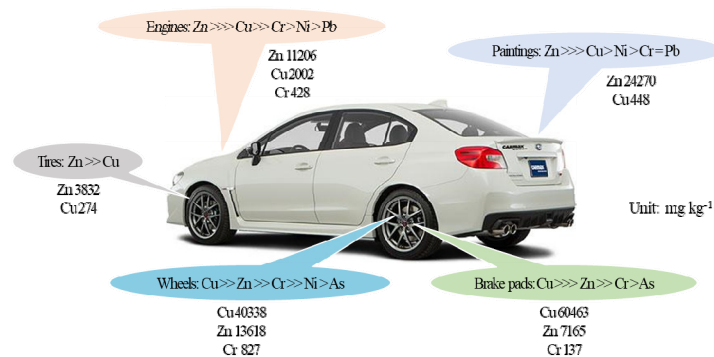
**Received:** October 28, 2020

**Revised:** November 12, 2020

**Accepted:** November 13, 2020

Recently, soil heavy metal(loid) contamination has become a big issue. Literature showed that roadside soils had a higher level of heavy metal(loid)s because of contaminated air dust. This study aims to investigate which heavy metal(loid)s are related to automobile and to understand the degree of automobile impact on soil contamination. Samples were collected from each part of the automobile, floors, and windows of four auto repair shops. Soils near the auto repair shops were also collected and analyzed. The levels of Zn, Cu, and Cr were higher in the metallic alloy-related parts, such as wheels, brake pads, and internal combustion engines. Paintings and tires were mainly related to Zn and Cu discharge. Cd, Ni, and Pb were detected from the samples although they were not primary. The air dust from the floors, windows, and the soils near auto repair shops also showed high levels of these heavy metals. This supports that the elements derived from automobile discharge to the air and become a source of roadside soil contamination. Cr and Ni were reported to have a high correlation in contaminated soils, which would because they were the materials of automobile alloy, so discharged together.

**Keywords:** Automobile, Heavy metals, Roadside soils, Soil contamination



Heavy metal(loid) contents in wheels, brake pads, internal combustion engines, paintings, and tires.



## Introduction

토양 중 중금속은 모암의 풍화에 의해서 자연적으로 토양에 존재하게 되며 분포 농도는 중금속의 종류에 따라 다르다. 일부 중금속은 식물에게 필요한 필수영양원소 (Cu, Zn 등)로써 농학적으로 중요한 자원으로 여겨지는 반면에 일부 중금속은 인체 위해성이 높아 그 자체로 오염물질 (Cd, Pb 등)로 규정된다. 우리나라 토양 중금속 관련 법령인 ‘토양환경보전법’에서는 As, Cd, Cr<sup>6+</sup>, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, 이상 8개 중금속을 오염물질로 규정하고 관리를 위한 규제 농도를 공시하고 있다. 최근에는 이들 중금속이 인간 활동에 의해서 대기, 수계, 토양으로 유출되어 우리 생활 환경의 중금속 오염 부하가 증가하며 위해성이 커지고 있다 (Jarup, 2003; Mishra et al., 2019). 농경지에서는 지속적인 비료와 살충제 사용으로 이들 물질에 함유된 중금속이 토양에 축적되는 사례가 보고되고 있으며 (Chen et al., 2020; Mirzaei et al., 2020), 산업단지 주변 토양의 중금속 함량도 높은 것으로 나타났다 (Zhou and Wang, 2019). 도시지역에서는 각종 오염물질을 함유한 대기가 비나 눈이 올 때 대기 강하물 형태로 토양과 수계로 유입되어 (Takeda et al., 2000) 옥상 텃밭과 같은 도시 토양의 중금속 함량을 증가시키고 있다 (Kim et al., 2015). 도로 인근 토양은 도시지역, 폐기물 처리 지역과 함께 토양 중 중금속이 축적되는 주요 장소로 꼽힌다 (Kheir et al., 2014). 대기 중 중금속은 대부분 입자상으로 존재하게 되는데, 도로변 중금속 분진의 주요 배출원 중 하나는 자동차로 알려졌다 (Hwang et al., 2016). 자동차에서 배출되는 배기가스는 Pb, Cu, Zn을 함유하며 (Omar et al., 2007) 자동차가 달리는 중 브레이크, 타이어, 공해방지 장치 등이 마모되고 떨어져 나가면서도 중금속이 유출된다 (Zereini et al., 2012). Yang et al. (2017)은 도로변 토양의 중금속 농도를 조사한 연구에서 자동차로부터 Pb, Cu, Zn, Fe 등의 중금속이 유출되어 토양에 축적되는 것으로 설명하였다. Wang et al. (2018)도 도로변 토양의 Cu, Pb, Cd, Cr, Zn 함량이 상대적으로 높다고 보고하였고 자동차 배기가스를 원인으로 지목하였다.

이와 같은 연구들은 자동차의 내연기관, 브레이크 패드, 타이어 마모, 도장제 등에 사용되는 중금속의 유출 가능성을 분진 시료 및 토양 시료 내 중금속의 농도를 측정하여 간접적으로 유추한 것이다. 따라서 본 연구는 도시 및 도로변 토양의 중금속 부하량 증가가 자동차로부터 유입된다는 보다 직접적인 설명을 위한 자료를 구축하고 관련된 중금속의 종류를 명확하게 하기 위해서 실시하였다.

## Materials and Methods

자동차에서 유출될 수 있는 중금속을 조사하기 위해서 자동차 각 부위에서 분석용 시료를 확보하여 중금속을 분석하였다. 시료는 경상남도 진주시와 사천시에 위치한 자동차정비소 4곳에서 확보를 하였으며, 자동차 부위별로 채취한 시료는 Table 1에 나타낸 바와 같이 휠, 브레이크 패드, 배기통, 도장칠, 타이어를 포함하였다. 각 시료 1개는 자동차 3-5대에서 모은 시료로 약 2-3 g을 확보하여 분석에 이용하였다. 휠과 브레이크 패드, 타이어는 마모에 의한 중금속 유출을 알아보기 위해서 부위별로 마모된 가루를 확보하였고, 배기통 시료는 내연기관 마모 및 연소에 의한 유출 중금속을 알아보기 위한 시료로 배기통 내 침적된 검은색 물질을 채취하였다. 또한 도장제에 의한 유출 중금속을 알아보기 위해서 벗겨진 도장칠을 시료로 확보하였다. 그리고 종합적으로 자동차에서 분진 형태로 유출될 수 있는 중금속의 종류를 알아보기 위해서 정비소 내 바닥과 창틀 및 장비 위에서 먼지를 채취하였고 정비소 입구에 있는 가로수 토양도 채취하여 중금속 농도를 분석하였다.

**Table 1.** Information of samples collected from four auto repair shops.

	Repair shop A	Repair shop B	Repair shop C	Repair shop D	Number of samples
Wheels	1	1	1	1	4
Brakes	1	1	1	1	4
Internal combustion engines	4	3	3	1	11
Paintings	2	3	3	1	9
Tires	1	1	1	1	4
Dust from window	3	3	3	0	9
Dust from floor	3	3	3	1	10
Soil nearby	2	1	1	1	5
Number of samples	17	16	16	7	56

**시료 전처리 및 분석** 채취한 시료는 72시간 동안 자연 건조 시킨 후, 도장칠 시료를 제외한 자동차 부위별 시료와 창틀 및 바닥 먼지 시료는 이미 미세입자로 되어 있어서 그대로 분석용 시료로 사용하였다. 도장칠 시료는 가정용 소형믹서기를 이용하여 최대한 작은 분말로 만들어 분석에 이용하였다. 정비소 인근 토양 시료는 2 mm 체로 체 거름하여 막자사발로 간 후에 분석에 이용하였다. 테플론 분해관에 시료 2 g과 왕수 (질산 : 염산 = 3 : 1) 9 ml를 넣은 후, 흑연 블럭 분해기 (OD-98-001, ODLAB, Korea)에서 1시간 30분 동안 분해하였다 (160°C). 분해한 용액은 100 ml volumetric Flask에서 증류수로 희석하고, 0.45  $\mu\text{m}$  주사기 필터로 거른 뒤 ICP-OES (8300DV, Perkin Elmer, USA)로 As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 농도를 측정하였다. 시료를 분해할 때 표준인증시료 (BAM-U112a)와 Blank 시료를 함께 분해하여 회수율을 점검하였다.

**데이터 처리** 분석한 중금속의 농도는 각 시료 종류별로 산술평균, 최고, 최저 수치를 비교, 분석하였다. 데이터 비교를 위해 토양 중 각 중금속 배경농도를 Yoon et al. (2009)에서 인용하였다. 시료 중 중금속 종류 별 상관관계를 알아보기 위해서 분석 수치를 로그함수로 변환시켜 상관분석 및 직선회귀분석을 실시하였다.

## Results and Discussion

본 연구에서 분석한 항목 7개 중금속은 모두 자동차로부터 유출되어 토양 중 중금속 부하를 높일 수 있는 것으로 나타났다. 모든 자동차 부위별 시료의 중금속 평균 농도 혹은 일부 시료의 농도는 기본적으로 우리나라 각 중금속의 토양 중 배경농도보다 높게 나타났다 (Table 2). 토양 배경농도보다 높은 농도의 중금속이 유입되면 토양 중금속 부하량은 증가한다. 분석한 7개 중금속 모두 우리나라 토양 중 중금속 우려기준보다 높았고, 특히 시료 중 Cu, Pb, Zn 농도는 토양 중 중금속 대책기준보다도 훨씬 높아 토양으로 유입되면 오염부하량을 크게 증가시킬 것으로 보인다. Cr의 경우, 우리나라에는 Cr<sup>6+</sup>에 대한 규제만 있기 때문에 규제 농도를 직접 비교할 수는 없다. 하지만 유럽의 토양 중 Cr 규제 기준 100 mg kg<sup>-1</sup>과 비교해 볼 때 자동차에서는 상당히 높은 농도의 Cr이 유출되고 있어 토양 중 Cr 함량을 크게 증가시킬 것으로 예상된다.

**Table 2.** Heavy metal (loid) concentrations in the collected samples at four auto repair shops.

Samples		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
		----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
Wheels	Ave.	29.4	1.0	826.9	40337.6	272.4	683.5	13618.0
	Max.	53.6	2.6	3112.5	156165.0	913.7	2625.4	30622.9
	Min.	8.6	0.1	41.6	143.2	48.8	3.8	68.7
Brake pads	Ave.	13.5	1.3	137.3	60463.3	33.6	49.6	7165.0
	Max.	49.8	4.9	360.4	150899.0	83.1	98.2	27635.9
	Min.	0.9	0.1	11.4	1607.3	10.8	1.3	111.9
Internal combustion engines	Ave.	4.4	0.7	427.5	2001.9	254.1	111.6	11206.3
	Max.	9.7	1.2	1452.0	4026.7	559.0	220.5	33313.1
	Min.	0.2	0.1	44.2	272.1	22.8	5.2	510.6
Paintings	Ave.	3.8	0.5	49.7	447.7	89.4	50.4	24270.2
	Max.	19.5	2.6	197.7	1726.3	255.0	368.8	84979.7
	Min.	0.8	0.1	4.9	45.4	3.8	1.4	400.1
Tires	Ave.	0.6	0.9	38.5	274.4	23.5	38.1	3832.2
	Max.	1.5	3.2	143.4	943.9	86.2	111.4	4505.4
	Min.	0.1	0.0	1.2	5.9	1.4	5.1	2959.4
Dust from window	Ave.	5.2	2.3	213.0	879.5	82.8	547.6	2936.6
	Max.	8.8	10.7	457.9	1760.2	121.7	1107.6	5103.0
	Min.	1.9	0.2	117.7	325.8	31.4	110.2	1169.3
Dust from floor	Ave.	2.9	1.7	151.3	641.7	74.7	250.7	1593.4
	Max.	7.8	10.7	230.0	1735.3	154.9	1476.2	3481.0
	Min.	0.6	0.1	28.7	144.9	16.3	22.2	294.3
Soils nearby	Ave.	4.2	0.1	36.0	53.7	15.6	57.9	203.3
	Max.	16.7	0.2	60.0	104.8	22.0	142.8	377.0
	Min.	0.3	0.0	23.4	20.2	9.3	6.7	79.4
Background levels in soils (Yoon et al., 2009)		6.8	0.29	25.4	15.3	17.7	18.4	54.3
Soil	Conservation levels	25.0	4.0		150.0	100.0	200.0	300.0
	Action levels	75.0	12.0		450.0	300.0	600.0	900.0

우리나라 ‘토양환경보전법’의 중금속 우려기준 수치와 자동차의 부위별 중금속 농도를 비교하여 살펴볼 때 휠의 마모를 통해서 토양으로 유입될 수 있는 중금속의 종류 및 부하 정도는 Cu >> Zn >> Cr >> Ni > As로 나타났으며 브레이크 마모에 의해서는 Cu >>> Zn >> Cr > As로 나타났다. 이는 휠과 브레이크 패드를 제작할 때 사용되는 합금 원료로 이들 중금속이 사용되기 때문으로 볼 수 있다. 이는 앞선 연구와 비슷한 결과이다. Sternbeck et al. (2002)은 브레이크 마모로 인해 Cu, Ba, Sb가 공기 중으로 배출된다고 보고하였으며, Davis et al. (2001)도 브레이크에서 Cu와 Zn이 배출되어 도로변 유거수를 오염시킨다고 하였다.

배기통을 통해서 유출되는 중금속의 종류 및 농도는 Zn >>> Cu >> Cr > Ni > Pb 이었다. 배기통 내 침적된 매연은 엔진 연소 과정에서 내연기관이 마모된 물질과 연료에서 방출된 물질이 쌓인 것이다. 그러므로 배기통 시료의 중금속

은 자동차 엔진의 합금원료로 사용된 중금속이 마모 과정에서 유출된 것으로 볼 수 있다. Naser et al. (2012)의 연구에서도 자동차 배기가스에서 Pb, Cd, Zn, Ni 등의 중금속이 검출되었다. Mayer et al. (2010)에 의하면, 자동차 엔진의 피스톤링과 실린더 라이너 부위가 마찰로 마모될 때 Fe, Cr, Ni이 발생하며, Cu와 Pb는 베어링(축받이)에서 유래한다. 또한, 자동차에는 엔진의 마찰을 줄이고 부식을 방지하기 위해 윤활유가 사용되는데, Zn과 Ca 화합물이 윤활유 첨가제로 들어가 엔진 연소 과정 중 배출된다 (Mayer et al., 2010).

도장칠 시료에서 검출된 중금속의 농도는  $Zn \gg Cu > Ni > Cr = Pb$  순서로 나타났다. 페인트는 Pb를 많이 함유하는 것으로 알려져 있다 (Nduka et al., 2015). 많은 연구에서 페인트 공장 주변 토양의 Zn과 Pb 농도가 높게 나타나 도장칠과 이들 중금속이 깊은 관련이 있는 것으로 보인다 (Yan et al., 2008; Hu et al., 2012; Florent et al., 2019).

타이어 마모로 유출될 수 있는 중금속은  $Zn \gg Cu$ 로 나타났다. 타이어의 충전재로 Zn 화합물이 쓰이기 때문에 (Sadiq et al., 1989) 많은 연구에서 타이어 마모와 Zn이 높은 관련이 있다고 보고하고 있다 (Muschack, 1990; Adachi and Tainosho, 2004; Kadi, 2009). 그뿐만 아니라 타이어자국에서도 Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb이 검출되며 이는 공기 중 먼지를 오염시킬 수 있다 (Fukuzaki et al., 1986).

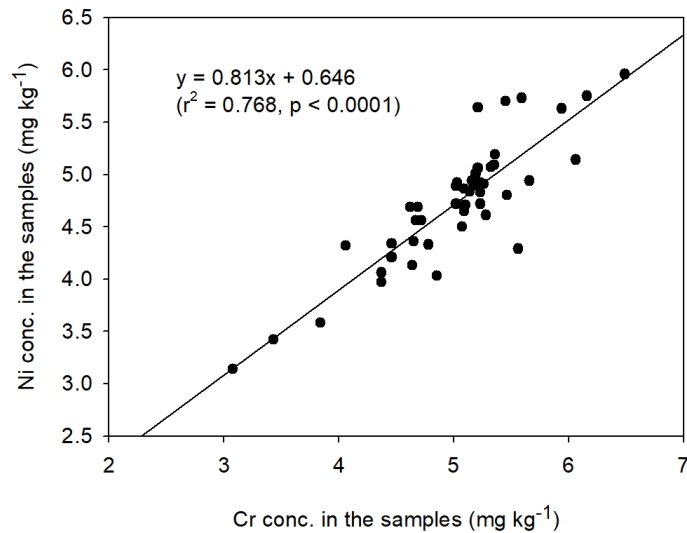
이와 같은 자동차 부위별 시료의 중금속 농도를 살펴볼 때 자동차에서 유출되어 토양 중 중금속 부하를 가장 크게 높일 수 있는 중금속은 Zn과 Cu로 나타났으며, 이어서 Cr, Ni, Pb 등이 토양 부하량을 상당히 가중할 수 있는 것으로 보인다.

자동차 정비소에는 이들 자동차 각 부위로부터 유출된 중금속이 분진의 형태로 사업장 내 침적될 수 있다. 따라서, 분진 (창틀 먼지, 바닥 먼지)의 중금속 농도는 자동차에서 유출되는 중금속의 종류를 전체적으로 대변한다고 가정할 수 있다. 창틀 먼지 및 바닥 먼지는 비소를 제외하고 모든 중금속의 농도가 각 자동차 부위별 시료의 최고 농도보다는 낮은 농도였으나 토양우려기준보다는 상당히 높은 농도로 분포하였으며 자동차 정비과정에서 마모 등에 의해서 유출된 것으로 추정할 수 있다. 특히 창틀 먼지 내 농도가 바닥 먼지 내 농도보다 높게 나타났는데, 이는 대기강하물에 의해서 침적되는 분진의 순도가 바닥먼지보다 창틀 먼지가 높기 때문으로 해석할 수 있다. 바닥 먼지는 바닥 콘크리트 마모 등에 의한 물질의 혼입으로 대기 강하에 의한 창틀 먼지에 비해서 중금속의 농도가 다소 희석될 수 있는 개연성이 있다. 창틀 및 바닥 먼지 내 중금속의 농도를 통해 살펴본 환경 부하를 증가시키는 자동차 유래 중금속의 종류 및 크기는  $Zn \gg Cu > Pb > Cr > Ni > Cd$  순이었다. 이 결과는 정비소 입구 가까운 곳의 토양(가로수 토양)에 영향을 미쳤고 그 결과 가로수 토양 중금속의 농도가 배경농도 대비  $Zn \gg Cu > Pb = Cr > Ni$ 의 순서로 높아진 것으로 나타났다.

자동차 부위별로 하나의 중금속이 유출되기보다는 사용되는 합금 등에 따라 마모가 일어날 경우 동시에 중금속의 대기 중으로 유출될 수 있다. 이처럼 동시 유출이 가능한 중금속 쌍을 알아보기 위해서 모든 시료를 대상으로 직선회귀분석을 실시하였다 (Table 3). 가장 높은 상관관계를 보인 중금속은 Ni과 Cr이었다. 이들 중금속은 주로 합금 제조에 공동으로 쓰이는 것으로 알려져 있으며, 그 결과 문헌에서도 토양 중에 이들 중금속의 상관관계가 높은 것으로 나타났다 (Kim et al., 2015). 특히 금속 계열이 포함되지 않은 타이어 시료를 제외할 경우  $R^2$ 값이 0.584에서 0.768로 높아져 자동차의 금속 계열에서 이들의 상관관계가 굉장히 높다는 것을 알 수 있다 (Fig. 1). 이 외에도 Cr-Cu, Cr-Pb의 상관관계가 높았고, Ni-Pb, Ni-Zn의 상관관계도 높게 나타나 Cr과 Ni이 자동차 각 부위의 원료로 두루 사용되는 것으로 추정할 수 있다.

**Table 3.** Coefficients of determination among heavy metal (loid) concentrations in the collected samples (\* $p < 0.5$ , \*\* $p < 0.1$ , \*\*\* $p < 0.001$ ).

	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
As		0.023	0.178**	0.197***	0.143**	0.037	0.002
Cd			0.058	0.23***	0.071*	0.302***	0.207***
Cr				0.309***	0.584***	0.413***	0.029
Cu					0.25***	0.152**	0.136**
Ni						0.206***	0.272***
Pb							0.056

**Fig. 1.** Linear relationship between Ni and Cr concentrations in the collected samples (without tires data).

## Conclusions

본 연구는 우리 주변 토양의 중금속 농도 부하량을 증가시키는 자동차 유래 중금속의 종류 및 그 정도를 알아보고자 실시하였다. 본 연구에서는 자동차로부터 여러 중금속이 유출될 수 있으며 그 종류는 부위별로 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 금속성 합금이 사용되는 부위 (휠, 브레이크 패드, 내연기관 등)에서는 Zn, Cu, Cr이 높은 농도로 유출될 수 있고, 도장칠과 타이어와 관련해서는 주로 Zn과 Cu의 유출 부하량이 높은 것으로 나타났다. 이 이외에도 정도는 작으나 Cd, Ni, Pb도 자동차로부터 주변 환경으로 유출될 수 있다. 이렇게 유출된 중금속은 대기강하물로 주변 토양의 중금속 농도 부하를 높일 것으로 보인다. 본 연구에서 정비소 창틀 및 바닥 먼지, 정비소 인근 토양에서 해당 중금속의 농도가 높게 검출되어 이를 뒷받침하였다. 특히 자동차에 사용되는 합금 원료인 Cr과 Ni은 동시에 유출되어 토양 환경 중 이들이 높은 상관관계를 보이는 원인인 것으로 생각된다.

## Acknowledgement

This work was supported by Gyeongnam National University of Science and Technology Grant in 2020-2021.

## References

- Adachi, K. and Y. Tainosho. 2004. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environ. Int.* 30:1009-1017.
- Chen, X.X., Y.M. Liu, Q.Y. Zhar, W.Q. Cao, X.P. Chen, and C.Q. Zou. 2020. Health risk assessment associated with heavy metal accumulation in wheat after long-term phosphorus fertilizer application. *Environ. Pollut.* 262(114348):1-9.
- Davis, A.P., M. Shokouhian, and S. Ni. 2001. Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere.* 44:997-1009.
- Florent, D., M. Armela, M. Ilirjan, D. Krenar, and M. Faton. 2019. Determination of heavy metals in the “ExtraColors” paint factory. *Eur. J. Engin. Technol.* 7:28-33.
- Fukuzake, J.E., T. Yanaka, and Y. Urushiyama. 1986. Effects of studded tires on roadside airborne dust pollution in Niigata, Japan. *Atmos. Environ.* 20:377-386.
- Hu, H., Y.Z. Feng, Y. Yang, S.G. Wang, and C.L. Li. (2012). Vertical distribution and pollution characteristics of soil heavy metals in a relocation paint factory. *Adv. Mater. Res.* 610-613:1718-1721.
- Hwang, H.M., M.J. Fiala, D. Park, and T.L. Wade. 2016. Review of pollutants in urban road dust and stormwater runoff: part 1. Heavy metals released from vehicles. *Int. J. Urban Sci.* 20:334-360.
- Jarup, L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. *Br. Med. Bull.* 68:167-182.
- Kadi, M.W. 2009. “Soil pollution hazardous to environment”: a case study on the chemical composition and correlation to automobile traffic of the roadside soil of Jeddah city, Saudi Arabia. *J. Hazard. Mater.* 168:1280-1283.
- Kheir, R.B., B. Shomar, M.B. Greve, and M.H. Greve. 2014. On the quantitative relationships between environmental parameters and heavy metals pollution in Mediterranean soils using GIS regression-trees: the case study of Lebanon. *J. Geochem. Explor.* 147:250-259.
- 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.
- Mayer, A.C., A. Ulrich, J. Czerwinski, and J.J. Mooney. 2010. Metal-oxide particles in combustion engine exhaust. SAE International. doi.10.4271/2010-01-0792.
- Mishra, S., R.N. Bharagava, N. More, A. Yadav, S. Zainith, S. Mani, and P. Chowdhary. 2019. Heavy metal contamination: an alarming threat to environment and human health. p.103-125. In R.C. Sobti, N.K. Arora, R. Kothari. *Environmental biotechnology: for sustainable future.* Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Muschack, W.R. 1990. Pollution of street run-off traffic and local condition. *Sci. Total Environ.* 93:419-424.
- Naser, H.M., S. sultana, R. Gomes, and S. Noor. 2012. Heavy metal pollution of soil and vegetable grown near roadside at Gazipur. *Bangladesh J. Agril. Res.* 37:9-17.
- Nduka, J.K., J.O. Amuka, and J.F. Sale. 2015. Health risk assessment of environmental lead exposures through scrapped car paint dusts from fairly used car painting workshops in Nigeria. *Int. J. Med. Biol. Front.* 21:163-187.
- Omar, N., M. Abas, N. Rahman, N. Tahir, A. Rushdi, and B. Simoneit. 2007. Levels and distributions of organic source tracers in air and roadside dust particles of Kuala Lumpur, Malaysia. *Environ. Geol.* 52:1485-1500.
- Sadiq, M., I. Alam, A. El-Mubarek, and H.M. Al-Mohdhar. 1989. Preliminary evaluation of metal pollution from wear of auto tires. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 42:743-748.
- Sternbeck, J., A. Sjodin, and K. Andreasson. 2002. Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension-results from two tunnel studies. *Atmos. Environ.* 36:4735-4744.
- Takeda, K., K. Marumoto, T. Minamikawa, H. Sukugawa, and K. Fujiwara. 2000. Three-year determination of trace

- metals and lead isotope ratio in rain and snow depositions collected in Higashi-Hiroshima, Japan. *Atmos. Environ.* 34:4525-4535.
- Wang, M. and H. Zhang. 2018. Accumulation of heavy metals in roadside soil in urban area and the related impacting factors. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 15(1064):1-11.
- Yan, F., J. Yan, Y. Wang, and D. Chen. 2008. Site environmental assessment to an old paint factory in China. *Environ. Monit. Assess.* 139:93-106.
- Yang, P., J. Ge, and M. Yang. 2017. Identification of heavy metal pollution derived from traffic in roadside soil using magnetic susceptibility. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 98:837-844.
- 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.
- Zereini, F., H. Alsenz, C.L.S. Wiseman, W. Puttmann, E. Reimer, R. Schleyer, E. Bieber, and M. Wallasch. 2012. Platinum group elements (Pt, Pd, Rh) in airborne particulate matter in rural vs. urban areas of Germany: concentrations and spatial patterns of distribution. *Sci. Total Environ.* 416:261-268.
- Zhou, X.Y. and X.R. Wang. 2019. Impact of industrial activities on heavy metal contamination in soils in three major urban agglomerations of China. *J. Clean. Prod.* 230:1-10.