

고속도로변 토양과 퇴적물의 중금속 장기 오염 특성

이주광^{1*}, 이의상²

Long-term Characteristics of Heavy Metal Contamination in Highway Roadside Soil and Sediment

Ju-Goang Lee^{1*} and Eui-Sang Lee²

요약 본 연구는 고속도로변 토양과 퇴적물의 중금속 농도 조사를 위해 7개 지점의 고속도로 본선 주변 토양, 5곳의 IC 주변 토양, 2 지점의 배수로 퇴적물에 대하여 6년간의 장기 조사를 실시하였다. 고속도로 본선 주변 토양에서 아연, 니켈, 구리 농도는 연도별로 점차 증가 추세를 나타내고 있으며, 조사된 중금속중 검출농도가 가장 높게 나타나고 있어 토양오염을 증가 시킬 수 있는 대표적 물질로 나타났다. 누적교통량과 고속도로 본선토양의 아연, 니켈, 구리 농도가 높은 선형관계를 나타내는 것으로 조사되어, 연평균 누적 교통량 예측을 통해 고속도로 본선 토양의 단기적인 중금속 오염 농도를 예측 할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract To study long-term characteristics of the heavy metal contamination, soil and sediment samples were collected at 14 sites in highway roadside during 6 years. The total concentrations of metals including Zn, Ni, Cu, Pb, Cr, Cd, and As in those samples were investigated. The results indicate that concentrations of Zn, Ni, and Cu in highway roadside soils are much higher than the metal concentrations in background soils and appear to be increased gradually. Strong linear relationships between the cumulative traffic and the contents of the metals in highway roadside soils were obtained. Therefore, they might be used to predict the heavy metal concentrations in the future highway roadside soils for establishing the countermeasure of soil and sediment contamination.

Key words : Roadside soil, Sediment, Long-term characteristics, Heavy metal, Cumulative traffic

1. 서론

고속도로를 이용하는 차량이 매년 증가 추세를 보이고 있어 차량으로부터 배출되는 중금속이 고속도로 주변 토양 및 퇴적물의 오염도를 증가시킬 것으로 예상되고 있다 [1]. 차량으로부터 발생하는 중금속은 주로 포장면과 타이어의 마찰, 브레이크 패드 마모 등에 의해 미세한 중금속 입자를 고속도로 포장면에 배출하게 된다. 고속도로 포장면에 축적된 중금속 입자들은 걷기 중에 바람 등에 의해 고속도로 턱을 넘어 주변 토양에 축적되거나 우기 중에 빗물을 타고 배수로를 통해 수계 및 배수로 주변 퇴적물을 오염시킬 수 있다[2-5]. 토양 및 퇴적물에 축적된 중금속은 일반적으로 이동속도가 느리기 때문에 차량으

로부터 지속적으로 배출되는 중금속에 의해 토양의 중금속 오염도가 증가될 우려가 있다. 중금속으로 인한 토양 오염은 인간에게 직접적인 위해를 끼치지는 않지만, 토양 생물의 증식에 직접적인 영향을 주거나 농작물 등 식물의 생육을 저해시키고, 오염된 농작물을 섭취하는 인간에게 커다란 위해를 끼치는 간접오염이라는 점과 한번 오염된 토양은 자연적으로 제거가 어려우며 점차적으로 오염이 가중되는 특징이 있다. 환경부에서는 토양오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 토양을 적절하게 관리·보전하기 위해 토양환경보전법에 의거하여 유해 중금속 항목에 대한 법적 규제를 실시하고 있으며, 니켈과 아연과 같은 중금속 항목을 추가하여 토양오염에 대한 감시를 해마다 강화하고 있는 실정이다[6]. 또한 강우시 노면유출수에 의한 도로주변 토양 및 수계의 오염을 방지하기 위해 건설교통부와 합동으로 “환경친화적 도로유지관리 잠정지침”을 마련하여 종합적인 관리대책을 수립하고

¹ 한국도로공사 도로교통기술원 재료환경연구그룹

² 상명대학교 토목환경공학부

*교신저자: 이주광(jugoang@ex.co.kr)

있는 실정이다[7]. 외국의 경우 도로변 토양의 중금속 오염에 대한 장기적인 조사가 이루어져 도로주변 토양의 중금속 오염 추이에 대한 연구가 이루어지고 있으나 국내에서는 주로 도로주변에 대한 단기적인 조사와 연구만이 이루어지고 있어 도로주변 토양의 중금속 축적에 대한 예측이 어려운 실정이다[8-12].

본 연구에서는 고속도로변 토양 및 퇴적물에 축적되는 중금속 농도의 장기 변화 추이를 조사하고, 중금속 오염 특성 및 중금속 축적정도를 파악하여 추후 발생될 수 있는 고속도로변 토양오염에 대한 중장기적 관리방안 수립에 적용하고자 한다.

2. 시료채취 및 실험 방법

고속도로변 토양 및 퇴적물의 장기 변화추이를 조사하기 위해서, 2001년도에 조사한 “고속도로 주변 대기 및 토양 환경 현황조사”를 바탕으로 경부고속도로(서울-대전 구간)와 영동고속도로(신갈분기점-원주 구간) 2개 노선을 선정 후 본선 주변토양 7지점, IC 주변토양 5지점, 배수로 퇴적물 2지점을 거리 및 고속도로 노선에 따라 선정하여 토양 및 퇴적물을 채취하였다(표 1). 본선 주변토양의 중금속 오염도와 교통량과의 관계를 파악하기 위하여 통행료 징수 시스템(TCS ; Toll Collection System)을 이용하여 고속도로 본선 시료 채취 지점을 통과하는 차량의 구간별 연간 교통량을 표 2에 나타내었다.

표 1. 시료채취 지점

대상 지명	노선명	위 치	비 고
A1	경부 고속도로	386.5km(부산방향)	고속도로 본선 주변 토양
A2		345km(부산방향)	
A3		331.6km(서울방향)	
A4		391km(서울방향)	
A5		378.5km(서울방향)	
A6	영동 고속도로	58.8km(인천방향)	IC 주변 토양
A7		47.8km(인천방향)	
B1	경부 고속도로	362.5km(안성IC)	
B2		307.8km(청주IC)	
B3		390.1km(기흥IC)	
B4	영동 고속도로	80.6km(이천IC)	
B5		60.5km(양지IC)	
C1	경부 고속도로	327km(부산방향)	배수로 퇴적물
C2		387.6km(부산방향)	

토양오염분석 항목으로는 “고속도로 주변 대기 및 토양 환경 현황조사” 조사결과를 바탕으로, 가솔린, 자동차 부품, 엔진오일, 소각로 방출, 기타 산업 등으로 인한 토양오염의 좋은 지시자로 알려진 Zn, Ni, Cu, Pb, Cr, Cd, As 와 토양의 중금속 농도에 영향을 미칠 수 있는 pH를 조사하였다. 조사기간은 2001년부터 매년 10월중에 실시하였으며, 고속도로변 토양은 본선 주변토양과 IC 주변 토양으로 구분하여 깊이가 15cm 이내의 표층토를 채취하였다. 배수로 퇴적물은 배수로 주변에서 모종삽으로 표층에 있는 이물질을 제거한 후 채취하였다. 채취된 시료는 70℃에서 3일간 건조한 후 원자흡광광도계(Varian, 220FS)를 사용하여 토양오염공정시험법에 따라 실험하였다[6].

표 2. 구간별 연간 교통량

대상 지명	구간	년 도(대/년)				
		2002	2003	2004	2005	2006
A1	기흥IC ~오산IC	30,841,346	32,602,043	32,749,382	29,471,192	29,436,523
A2	안성IC ~천안IC	24,190,945	26,089,823	26,497,727	23,184,852	24,042,638
A3	목천IC ~천안JC	592,378	18,276,084	17,678,110	13,958,566	13,628,299
A4	기흥IC ~수원IC	31,430,656	35,043,903	35,634,424	32,734,438	32,225,515
A5	오산IC ~기흥IC	28,599,176	32,058,917	32,186,145	28,972,750	28,678,898
A6	양지IC ~용인IC	13,162,933	14,990,850	15,560,678	18,115,856	17,259,228
A7	마성IC ~신갈JC	18,501,993	20,523,380	21,174,075	23,559,333	22,279,149

* IC : 인터체인지, JC : 분기점

3. 결과 및 고찰

3.1 고속도로변 토양과 배수로 퇴적물의 연도별 pH 특성

대부분의 중금속 원소들은 강한 산성 환경에서는 이동성이 활발한 반면, 알칼리 환원환경에서는 이동성이 급격히 제한되어 광물 상태로 침전하거나 음이온들과 착물을 형성하여 침전되므로 pH는 중금속 원소들의 흡착흡수되는 능력에 영향을 미치게 된다. 따라서 토양 및 퇴적물중의 pH 측정은 중금속 원소들의 존재 형태 및 거동에 대한 예측을 가능하게 하는 좋은 지침이 된다. 그림 1은 고속

도로 본선, IC 주변토양과 배수로 퇴적물의 연도별 pH를 비교하기 위해 나타내었다. 고속도로 본선 주변토양의 연도별 평균 pH는 배경토, 2001년, 2002년, 2003년, 2004년, 2005년, 2006년도에서 각각 5.4 ± 0.7 , 6.7 ± 0.7 , 6.3 ± 0.6 , 6.1 ± 0.3 , 5.7 ± 0.3 , 6.7 ± 0.3 , 6.3 ± 0.5 로 조사되었다. IC 주변토양의 연도별 평균 pH는 각각 6.0 ± 0.5 , 6.6 ± 0.6 , 6.5 ± 0.2 , 6.3 ± 0.3 , 6.2 ± 0.5 , 6.2 ± 0.9 , 6.3 ± 0.4 로 나타났다. 배수로 퇴적물의 2001년도 평균 pH는 6.7 ± 0.1 이고 2002년부터 2006년까지 각각 5.9 ± 0.1 , 6.4 ± 0.3 , 5.8 ± 0.0 , 7.1 ± 0.0 , 6.5 ± 0.5 로 나타났다. 고속도로 본선 및 주변 토양과 배수로 퇴적물의 pH 범위는 약산성 수준으로 나타나고 있으며, 연도 별로 큰 차이를 보이지 않았다.

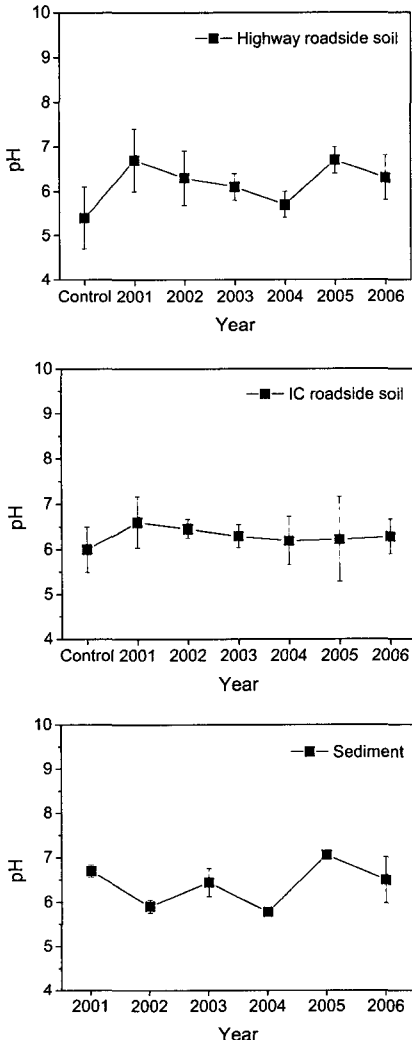


그림 1. 연도별 pH 비교

3.2 고속도로변 토양과 배수로 퇴적물의 연도별 평균농도 특성

고속도로변 토양과 배수로 퇴적물의 연도별 중금속 평균농도를 그림 2~8에 나타내었다. 고속도로 본선 주변 토양에서의 중금속 농도는 2006년도를 기준으로 $Zn > Ni > Cu > Pb > Cr \approx As > Cd$ 순으로 나타나고 있다. 2002년에 조사된 고속도로 주변 토양에서는 $Zn > Ni > Pb > Cu > Cr \approx As > Cd$ 순으로 조사되어 2002년에 비해 상대적으로 2006년에 구리 오염도가 높아진 것을 알 수 있었다. IC 주변토양은 2002년부터 2006년까지 $Zn > Ni > Pb > Cu > Cr \approx As > Cd$ 순으로 나타나 오염물질간의 평균 오염농도의 순위 변동은 없었다. 2002년에 조사된 배수로 퇴적물에서는 $Zn > Cu > Ni \approx Pb > Cr > As \approx Cd$ 순으로 나타났으나, 2006년에는 $Zn > Cu > Ni > Pb > Cr \approx As > Cd$ 순으로 조사되어 2002년에 비해 상대적으로 니켈의 오염도가 높아진 것을 알 수 있었다.

3.2.1 아연(Zn)

고속도로변 토양과 퇴적물의 아연 오염도 증가는 주로 노면과 자동차 타이어 마찰로 인해 발생하는 것으로 추정되고 있다[13-14]. 대부분의 타이어 제조업체에서는 타이어 제조시 경화작용을 위해 1.3% ~ 3%까지 산화아연을 첨가하는 것으로 알려져 있다[8]. 아연이 도로주변 토양과 퇴적물의 주요 오염원으로 추정되고 있으나 2001년까지는 토양환경보전법에 아연에 대한 조사 항목이 포함되어 있지 않아 토양층의 아연에 대한 조사가 법규에 명시된 다른 중금속류에 비해 상대적으로 소홀히 다루어지는 경향이 있었다. 환경부에서는 토양층의 아연 오염도가 점차 증가하고 있다는 국/내외 연구를 바탕으로 2002년부터 법규에 아연항목을 추가하여 조사 하도록 하고 있다. 본 연구에서도 법규에 명시된 아연항목을 2002년부터 조사하여 2006년까지의 추세를 그림 2에 도시하였다. 고속도로 본선 주변 토양의 아연농도는 2002년에 $344.3 \pm 72.1 \text{mg/kg}$ 으로 나타났으며, 해마다 점차 증가하여 2006년에는 $474.7 \pm 146.74 \text{mg/kg}$ 으로 1.4배 증가한 것으로 조사되었다. IC 주변 토양의 아연농도는 본선 주변 토양과 유사한 경향을 나타내고 있으며, 2002년에 $152.2 \pm 66.1 \text{mg/kg}$ 에서 2006년에 $224.0 \pm 60.17 \text{mg/kg}$ 로 1.5배 증가한 것으로 나타났다. 배수로 퇴적물은 2004년을 제외하고는 전반적으로 고속도로변 토양과 유사하게 나타났으나, 고속도로변 토양에 비해 아연 축적율이 상대적으로 적은 것으로 조사되었다. 토양 형태별 아연의 농도는 배수로 퇴적물이 가장 높았으며, 다음으로 고속도로 본선 주변 토양, IC 주변 토양 순으로 나타났다. 고속도로

로변 토양의 아연 오염 주요 원인이 타이어 미세분진이라고 추정하면, 고속도로 본선 주변 토양이 IC 주변 토양보다 타이어 마찰에 의한 아연 오염에 더 심하게 노출될 수 있을 것으로 보인다. 포장 면에 축적된 타이어 분진은 강우 시 배수로를 통해 배수로 끝단의 토양부에 축적될 가능성이 높으며, 기상상태에 따라 고속도로 주변토양에 축적되는 아연 오염과 달리 강우에 포함되어 다량의 아연 물질이 배수로 퇴적물에 축적되기 때문에 고속도로 주변 토양보다 높은 농도를 나타낸 것으로 판단된다.

3.2.2 니켈(Ni)

자동차 브레이크 마모 시 구리 뿐 만 아니라 미량의 니켈도 동시에 방출하게 된다. 고속도로변 토양과 배수로 퇴적물에 대한 니켈 농도 조사는 아연과 같이 2002년부터 토양환경보전법에 니켈 항목이 추가되면서 시작되었다. 고속도로 본선 주변 토양과 IC 주변 토양에서는 2002년부터 2006년까지 니켈 농도가 꾸준히 증가 되고 있는 것을 알 수 있었다(그림 3). 고속도로변 토양의 니켈 농도는 앞에서 나타난 아연과 유사한 경향을 보여주고 있다. 2002년부터 2006년까지의 고속도로 본선 주변 토양 니켈 농도는 각각 $28.3 \pm 7.37 \text{mg/kg}$, $30.2 \pm 8.01 \text{mg/kg}$, $33.5 \pm 8.82 \text{mg/kg}$, $36.1 \pm 4.37 \text{mg/kg}$, $38.2 \pm 6.38 \text{mg/kg}$ 으로 나타났으며, IC 주변 토양에서는 각각 $17.7 \pm 4.14 \text{mg/kg}$, $20.1 \pm 3.62 \text{mg/kg}$, $19.9 \pm 3.49 \text{mg/kg}$, $21.3 \pm 4.56 \text{mg/kg}$, $24.4 \pm 4.30 \text{mg/kg}$ 으로 조사되었다. 배수로 퇴적물에서는 2002년부터 각각 $45.5 \pm 7.99 \text{mg/kg}$, $48.3 \pm 5.87 \text{mg/kg}$, $46 \pm 10.78 \text{mg/kg}$, $50.2 \pm 12.3 \text{mg/kg}$, $52.5 \pm 14.14 \text{mg/kg}$ 으로 조사되어 연도별로 조금씩 토양오염도가 증가하는 경향을 나타냈으나, 표준편차 폭이 커 통계적으로 니켈의 토양오염도가 증가한다고 설명하기에는 무리가 있다.

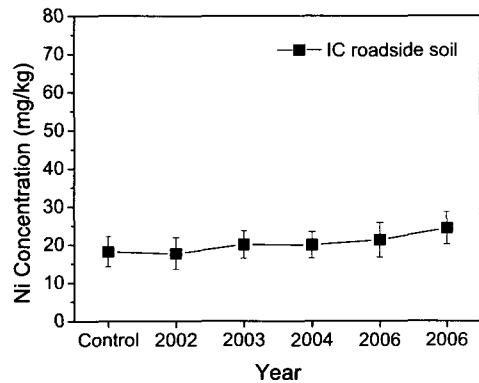
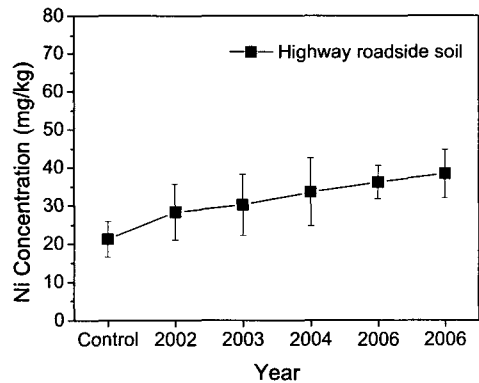
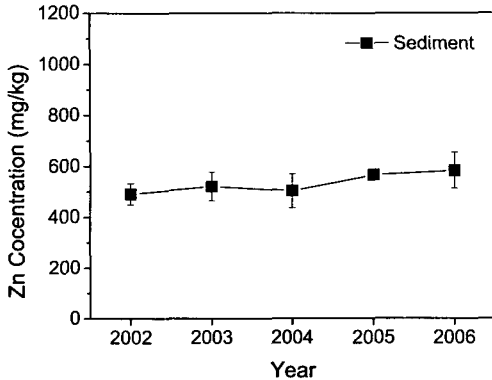
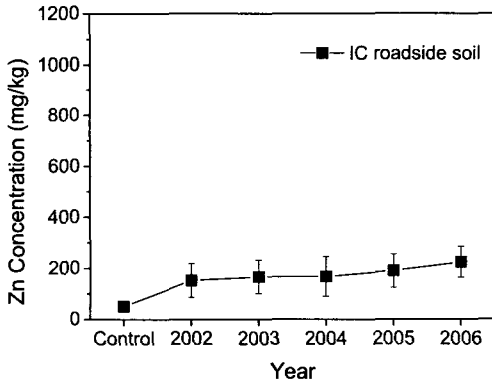
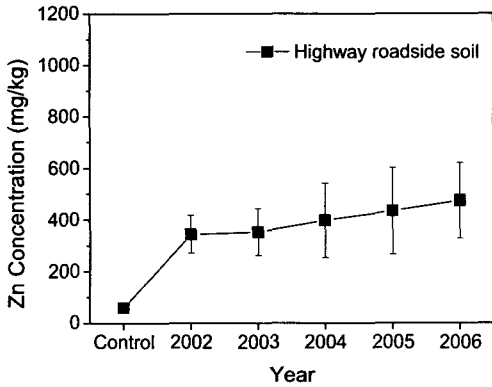


그림 2. 연도별 Zn 농도 비교

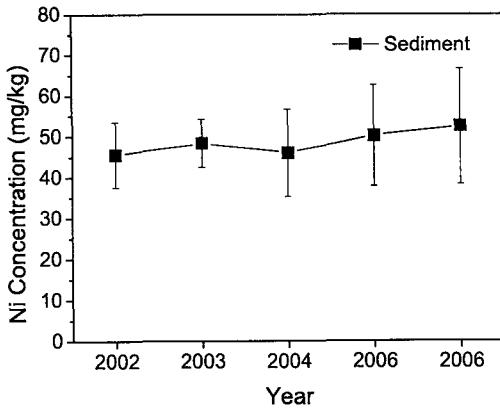


그림 3. 연도별 Ni 농도 비교

3.2.3 구리(Cu)

고속도로변 토양에서의 구리 농도 증가 형태는 앞서 설명한 아연, 니켈과 유사한 경향을 나타내고 있다(그림 4). 구리의 연도별 토양함유량 증가율을 보면 고속도로 본선 주변 토양이 IC 주변 토양보다 토양오염 증가율이 높은 것으로 나타나고 있다. 이는, 구리가 주로 자동차의 브레이크 마모로 인해 발생하는 것으로 알려져 있는데 브레이크 마모율이 저속 주행을 하는 IC 주변 고속도로보다 고속으로 주행하는 고속도로 본선에서 더 크기 때문으로 예상된다[2, 15-16]. 구리의 고속도로 본선 주변 토양 오염도는 2001년부터 2006년까지 각각, $9.6 \pm 2.87 \text{ mg/kg}$, $9.8 \pm 4.49 \text{ mg/kg}$, $12.7 \pm 6.9 \text{ mg/kg}$, $16.5 \pm 7.32 \text{ mg/kg}$, $23.7 \pm 10.15 \text{ mg/kg}$, $25 \pm 8.6 \text{ mg/kg}$ 으로 나타났으며, IC 주변 토양은 각각, $7.1 \pm 1.52 \text{ mg/kg}$, $7.3 \pm 2.51 \text{ mg/kg}$, $8.6 \pm 2.72 \text{ mg/kg}$, $11.8 \pm 2.3 \text{ mg/kg}$, $12.8 \pm 3.3 \text{ mg/kg}$, $13.5 \pm 3.48 \text{ mg/kg}$ 으로 조사되었다. 배수로 퇴적물의 구리 농도는 전반적으로 고속도로변 토양에 비해 높게 나타났으나, 연도별로 특징적인 경향을 나타내진 않았다.

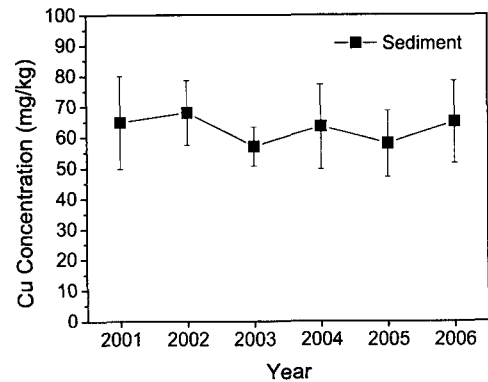
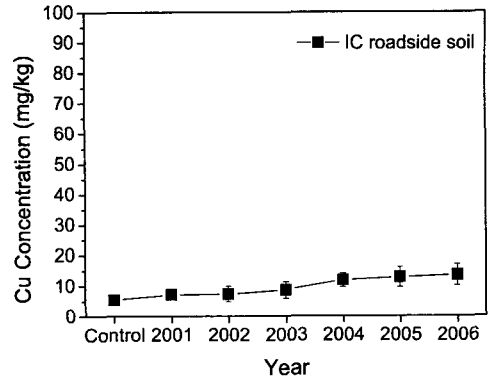
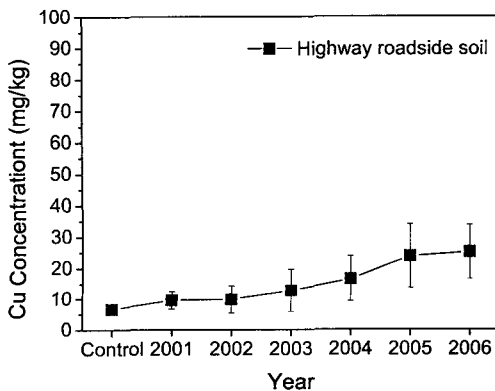


그림 4. 연도별 Cu 농도 비교

3.2.4 납(Pb)

1980년대 후반부터 우리나라에서는 유연휘발유의 사용을 금지하고 있기 때문에 고속도로변 토양과 퇴적물의 납 오염은 자동차가 아닌 다른 오염원(산업단지 및 도로의 사용)에 기인할 것으로 사료된다. 그림 5는 연도별 고속도로변 토양과 배수로 퇴적물의 납 농도를 나타내고 있다. 고속도로변 토양에서의 연도별 납 농도는 아연, 니켈, 구리와 달리 연도별로 일정방향을 증가하지 않고 일정한 수준을 유지하고 있으며, 고속도로 본선 주변 토양과 IC 주변 토양의 연도별 납 농도 범위는 각각 $12.8 \pm 4.24 \text{ mg/kg} \sim 16 \pm 7.32 \text{ mg/kg}$ 과 $13.5 \pm 4.63 \text{ mg/kg} \sim 17 \pm 7.02 \text{ mg/kg}$ 으로 나타나 고속도로 본선 주변토양과 IC 주변 토양의 납농도 차이가 크지 않음을 알 수 있었다. 고속도로변 토양간의 납 농도 범위가 크지 않은 것은 아연, 니켈, 구리와 달리 자동차 주행속도와 관련이 적다는 것을 증명해 주고 있다. 배수로 퇴적물에서의 납 농도는 전반적으로 고속도로변 토양보다는 높았으나, 연도별로 특별한 경향을 나타내지 않고 있다.



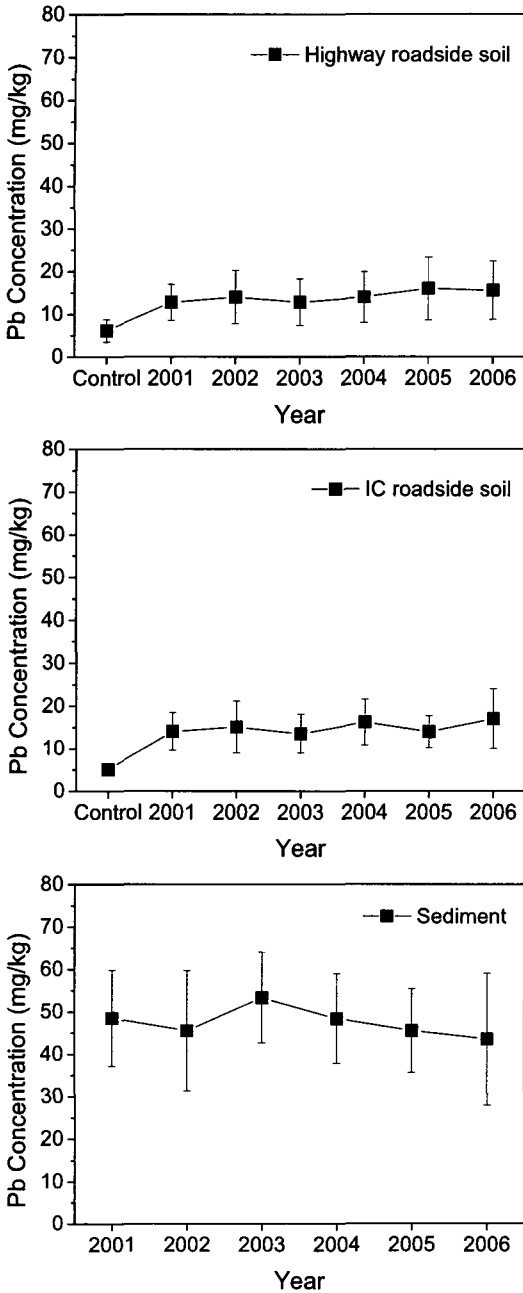


그림 5. 연도별 Pb 농도 비교

3.2.5 미량 중금속류(Cr, As, Cd)

미량 중금속류는 타이어나 브레이크 마모 또는 차량의 금속 부품 부식으로 발생한다. 그림 6 ~ 8은 조사된 중금속류 중 고속도로변 토양과 배수로 퇴적물에서 미량 검출된 항목을 도시하였다. 크롬과 카드뮴의 고속도로 본선 주변토양, IC 주변토양, 배수로 퇴적물의 연도별 범위는

각각 $1.19 \pm 0.400 \text{mg/kg} \sim 2.34 \pm 1.100 \text{mg/kg}$, $1.35 \pm 0.126 \text{mg/kg} \sim 1.78 \pm 1.293 \text{mg/kg}$, $2.78 \pm 0.608 \text{mg/kg} \sim 4.48 \pm 1.796 \text{mg/kg}$ 과 $0.06 \pm 0.023 \text{mg/kg} \sim 0.16 \pm 0.029 \text{mg/kg}$, $0.07 \pm 0.029 \text{mg/kg} \sim 0.12 \pm 0.057 \text{mg/kg}$, $0.10 \pm 0.09 \text{mg/kg} \sim 0.97 \pm 0.304 \text{mg/kg}$ 으로 나타났으며, 연도별로 증가나 감소와 같은 일방향의 추세는 나타나지 않고 있다.

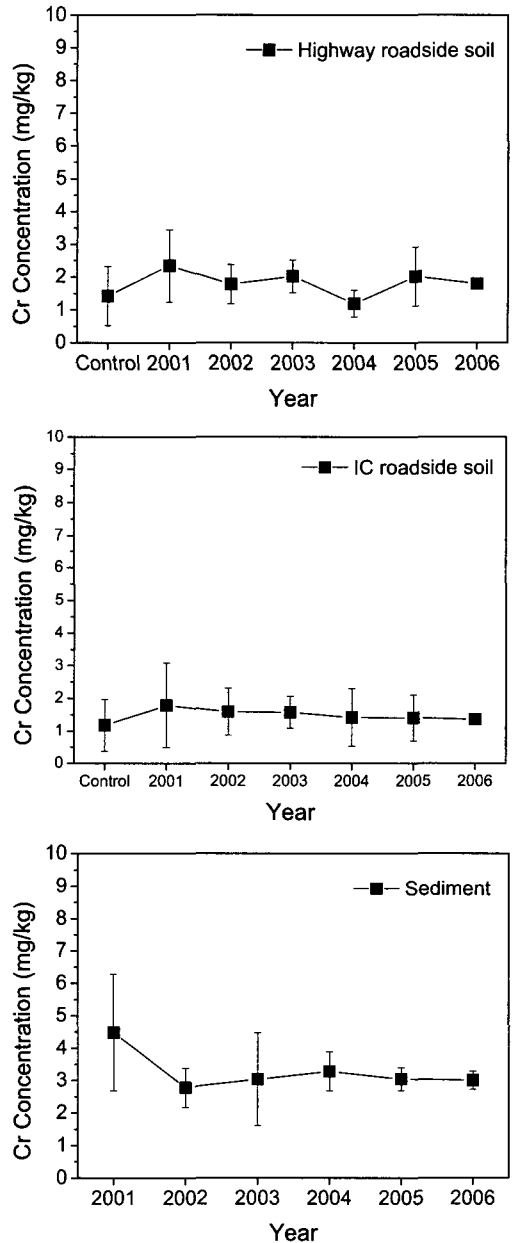


그림 6. 연도별 Cr 농도 비교

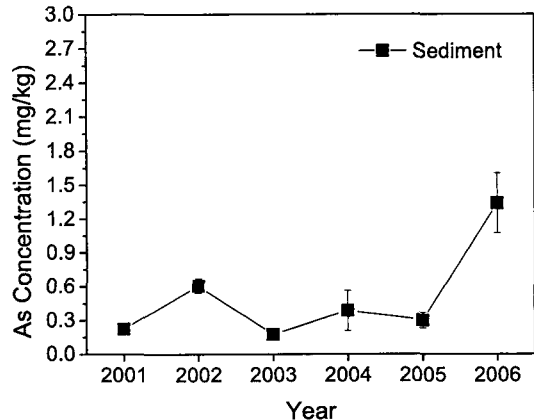
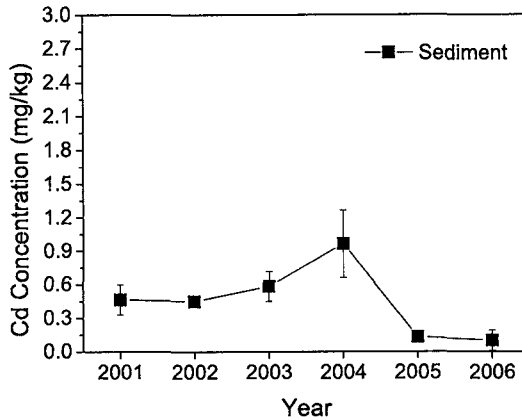
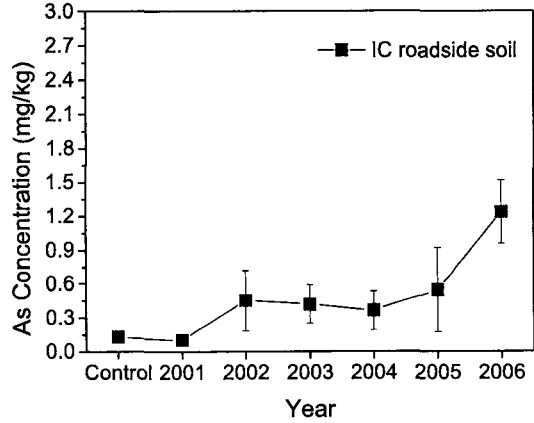
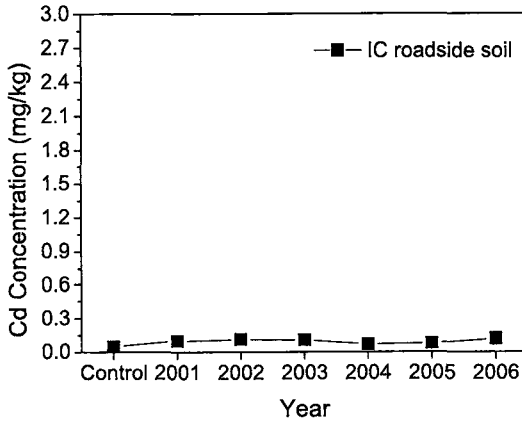
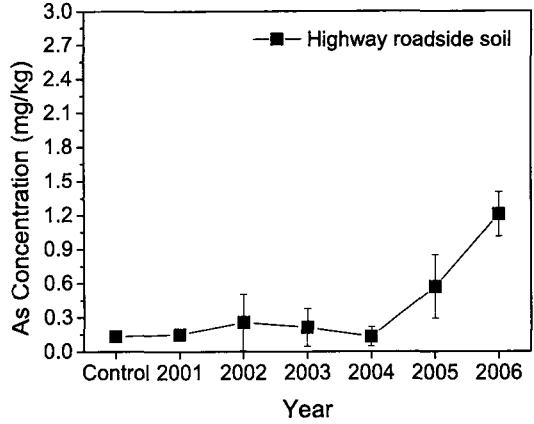
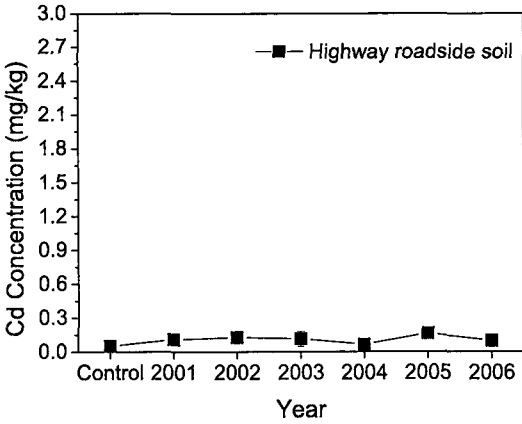


그림 7. 년도별 Cd 농도 비교

그림 8. 년도별 As 농도 비교

비소의 경우, 고속도로변 토양에서는 2004년 이후부터 증가하는 형태를 나타내고 있으며, 배수로 퇴적물에서도 2005년 이후 증가하는 경향을 보이고 있으나, 검출된 양이 미량이기 때문에 시료채취 및 분석상의 오차를 감안하면 더 장기적인 조사를 통해서만 비소함유량 증가를 확인 할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 교통량에 따른 고속도로 본선 토양의 중금속 농도 변화

그림 9 ~ 12는 조사된 중금속류 중 미량성분을 제외한 고속도로 본선 주변토양의 4가지 중금속류 농도(Zn, Ni, Cu, Pb)와 2002년부터 2006년까지의 고속도로 본선

시료 채취 구간에 대한 연평균 누적 교통량과의 상관관계를 나타내었다. 연평균 누적 교통량은 2002년을 기준으로 각 시료 채취 지점을 통과하는 구간의 연간 교통량을 연도별로 누적시킨 후 연도별로 고속도로 본선 시료 채취 지점을 통과하는 구간들의 누적 교통량 평균을 산출하여 작성하였다. 도로공사 통행료 징수 시스템에서 시료 채취 지점의 일부 구간에 대한 2001년 교통량 자료를 얻을 수 없어서 2002년을 기준으로 연평균 누적 교통량을 산출하였다. 고속도로 본선 주변 토양 중 연도별로 중금속 농도 증가가 뚜렷한 아연, 니켈, 구리는 연평균 누적 교통량과 선형관계가 높은 것으로 나타나고 있으나, 연도별 중금속 농도 증가가 보이지 않은 납은 연평균 누적 교통량과의 선형관계가 약한 것으로 조사되었다. 아연, 니켈, 구리와 연평균 누적 교통량과의 선형관계를 표현하는 결정계수와 유의확률이 각각, 0.969, 0.994, 0.962와 0.002,

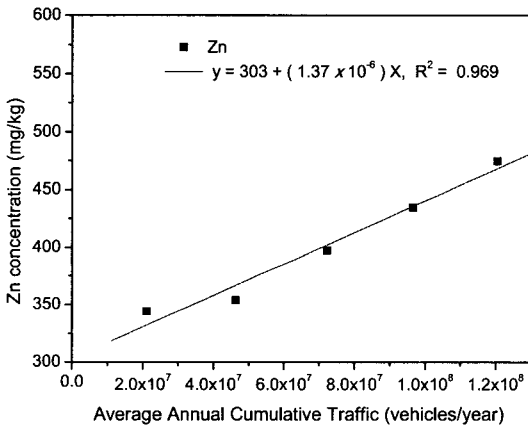


그림 9. 연평균 누적교통량과 고속도로 본선 아연 농도와의 선형관계 비교

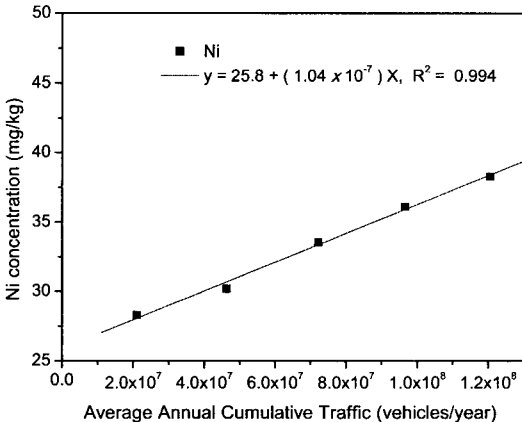


그림 10. 연평균 누적교통량과 고속도로 본선 니켈 농도와의 선형관계 비교

1.85×10^{-4} , 0.003로 나타나고 있어 아연, 니켈, 구리 농도와 연평균 누적 교통량과는 통계적으로 상당히 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 고속도로 본선 주변 토양 중 크롬, 카드뮴, 비소 및 배수로 퇴적물의 중금속류에 대한 연평균 누적 교통량과의 선형관계를 표현하는 결정계수 값이 낮거나 유의확률 값이 높아서 선형관계를 증명할 수 없다고 판단하여 본 연구에서는 나타내지 않았으며 추후 보다 장기적인 조사가 필요한 것으로 사료된다.

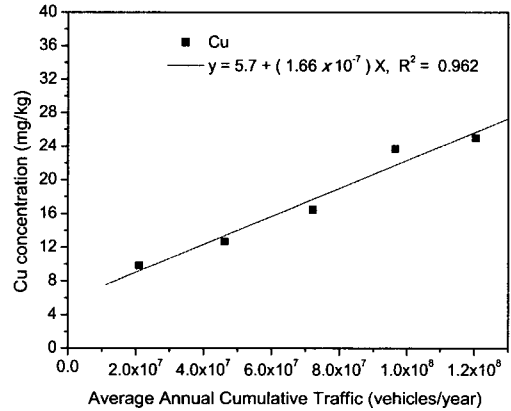


그림 11. 연평균 누적교통량과 고속도로 본선 구리 농도와의 선형관계 비교

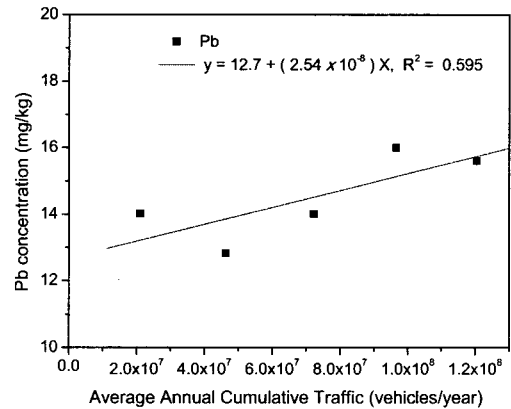


그림 12. 연평균 누적교통량과 고속도로 본선 납 농도와의 선형관계 비교

4. 결론

본 연구에서는 고속도로 주변 토양과 배수로 퇴적물에 포함된 중금속에 대하여 장기적인 농도변화를 조사하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 고속도로변 토양과 배수로 퇴적물의 중금속 농도는 토양오염유려 기준을 초과하지는 않는 것으로 나타났다으나, 고속도로 본선 주변 토양의 아연 농도가 증가하는 추세를 보이고 있어 아연항목에 대한 조사가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 보인다.
- 2) 고속도로변 토양 중 아연, 니켈, 구리 농도가 연도별로 점차 증가하고 있으며, 조사된 중금속 항목 중 검출 농도가 가장 높게 나타나고 있어, 토양오염 저감 대책 수립을 위한 고속도로변 오염 토양 조사 시 아연, 니켈, 구리 항목을 필수 항목으로 선정하여야 할 것으로 보인다.
- 3) 고속도로 본선의 연평균 누적교통량과 선형관계가 높은 아연, 니켈, 구리항목에 대해서는 연평균 누적교통량 예측을 통해 영동고속도로(신갈~원주)와 경부고속도로(서울~대전) 구간의 단기적인 중금속 오염농도를 예측 할 수 있을 것으로 판단되며, 예측된 토양의 중금속 오염농도와 오염기간에 따라 토양 오염을 저감 시킬 대책 수립에 적용 할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 이주광, 강혜진, 권혁, “고속도로 주변 대기 및 토양 환경 현황조사”, 한국도로공사 2001년도 연구보고서, 도로연 01-39, 2001.
- [2] Harrison, R. M., Laxen, D. P. and Wilson, S. J., "Chemical associations of lead, Cadmium, copper, and zinc in street dusts and roadside soils", Environmental Science and Technology, Vol. 15, pp.1378-1383, 1981.
- [3] Hewitt, C. N. and Rashed, M. B., "An integrated budget for selected pollutants for a major rural highway", The Science of Total Environment, Vol. 93, pp.375-384, 1990.
- [4] Lee, P. K., Touray, J. C., Baillif, P. and Ildefonse, J. P., "Heavy metal contamination of setting particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France", The Science of the Total Environment, Vol. 201, pp.1-15, 1997.
- [5] Lee, P. K. and Touray, J. C., "Characteristics of polluted artificial on the leaching behavior of heavy metals(Pb, Zn, Cd)". Water Research, Vol. 32, pp. 3425-3435, 1998.
- [6] 환경부, “토양오염공정시험법”, 2002.
- [7] 건설교통부, “환경친화적 도로유지관리 잠정지침”,

- 11-1500000-001851-01, 2006.
- [8] 염승준, 이평구, 연구훈, 강인주, “부산시 회동저수지 집수분지 내 주요 도로변 퇴적물의 중금속 오염 평가”, 자원환경지질, 제 38권 제3호, pp.247-260, 2005.
- [9] 이의상, “고속도로변 퇴적물의 중금속 오염에 관한 연구”, 서울시연구, 제5권 제 4호, pp.61-72, 2004.
- [10] 조규성, “전주시 도로변 퇴적물의 중금속 오염 특성”, Jour, Korean Earth Science Society, Vol. 24, No. 8, pp.711-720, 2003.
- [11] Cuncell, T. B., Duckenfield, K, U.,Landa, E. R. and Callender, E., "Tire-wear particles as a source of zinc to the environment", Environmental Science and Technology, Vol. 38, pp.4206-4214, 2004.
- [12] Preciado, H. F., "An evaluation of metal transport from shoulder highway sections into roadside soils due to atmospheric and runoff processes", Ph. D. thesis. department of civil engineering. university of british columabia, vancouver, canada, 2005.
- [13] Friedlander, S. K., "Chemical element balances and identification of air pollution sources", Environmental Science and Technology, Vol. 7, pp.236-240, 1973.
- [14] Stigliani, W. M. and Anderberg, S., "Industrial metabolism and the Rhine basin", Options, pp.4-8, 1991.
- [15] Ellis, J. B. and Revitt, D. M., "Incidence of heavy metals in street surface sediments : Solubility and grain size studies", Water, Air, and Soil Pollution, Vol. 17, pp.87-100, 1982.
- [16] Harrison, R. M. and Wilson, S. J., "The chemical composition of highway drainage water : II. chemical associations of metals in the suspended sediment", The Science of Total Environment, Vol. 43, pp.79-87, 1985.

이 의 상(Eui-Sang Lee)

[중신회원]



- 1982년 2월 : 한양대학교 화학공학과(공학사)
- 1989년 5월 : Oregon State University(공학석사)
- 1996년 3월 : Kansas State University(공학박사)
- 1996년 ~ 1999년 : 도로교통기술원 책임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 토목환경공학부 부교수

<관심분야>

폐기물관리, 토양지하수오염처리, 폐기물자원화

이 주 광(Ju-Goang Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 관동대학교 환경공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 관동대학교 환경공학과(공학석사)
- 2007년 4월 : 상명대학교 박사과정
- 1997년 ~ 2005년 : 도로교통기술원 연구원

- 2006년 ~ 현재 : 도로교통기술원 전임연구원

<관심분야>

폐기물관리, 토양오염, 비점오염원관리, 하폐수처리