

## 고속도로변 퇴적물의 중금속 오염에 관한 연구

이 의 상\*

### A Study on Heavy Metal Pollution of Highway Roadside Sediments

Eui-Sang Lee\*

**요약** : 고속도로를 이용하는 교통량이 매년 증가함에 따라 자동차의 매연과 미세분진 등으로부터 발생하는 중금속에 의한 도로주변 환경의 오염이 증가할 것으로 보고되고 있다. 배출된 중금속은 도로표면의 퇴적물에 축적되어, 우기중에 빗물을 타고 배수로를 통해 배출형태에 따라 주변토양에 직접 방출되거나 수계로 이동하여 주변환경을 오염시킬 수 있다. 본 연구의 목적은 고속도로변 퇴적물을 중심으로 이용차량의 증가에 따른 배출 중금속의 오염에 관한 기초자료를 수집하여 추후 발생할 수 있는 고속도로변 수질 및 토양오염에 대한 관리방안 수립에 적용하는데 있다. 본 연구에서는 고속도로변 퇴적물에 포함된 Cd, Pb, Cu에 대하여 KST, KEP, TCLP 법으로 용출시험을 실시하여 각각의 용출방법에 대한 용출특성을 살펴보았으며, 건기일수와 교통량에 따른 중금속의 농도를 측정하여 고속도로변 퇴적물의 중금속 오염특성을 조사하였다. 대상지역 퇴적물의 pH는 중성수준인 6.6~7.0 범위로 나타나고 있어, pH에 따른 중금속의 이동성에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 보이며 KEP 방법에 따른 조사지점의 Cd, Pb, Cu 농도는 각각 0.01 ppm~0.05 ppm, 0.29 ppm~1.43 ppm, 1.41 ppm~2.68 ppm 로 나타났다. 퇴적물의 중금속 농도는 허용기준을 넘지 않는 것으로 조사되었으나 구리의 경우 기준치에 근접해 있었다. 건기일수 4일 정도까지는 지속적으로 중금속 농도가 증가하였으며 건기일수와 교통량의 연구결과에서도 건기일수 4일쯤에 해당하는 차량수  $182,164 \pm 30,872$ 대 까지는 지속적으로 중금속의 농도가 증가하는 것으로 나타났다.

**주제어** : 고속도로변 퇴적물, 중금속, 교통량, 건기일수, 토양오염, 수질오염, 용출특성

**ABSTRACT** : Heavy metal contaminations of roadside sediments near highway might be increased by materials discharged from automobiles because highway traffic volume has been increased about 20 percent per year since 1969. Physical characteristics and heavy metal concentrations such as pH, Cd, Pb, and Cu of roadside sediments in highway were investigated in order to establish countermeasures against soil and water contamination. pH was mostly neutral and concentrations of Cd, Pb, and Cu were found to be 0.01 ppm~0.05 ppm, 0.29 ppm ~1.43 ppm, and 1.41 ppm ~ 2.68 ppm in 4 different places, respectively. Concentration levels of heavy metals were generally showed lower than limit values, but Cu concentration approached greatly to the legal tolerance level. Up to 4 days of dry seasons, heavy metal concentrations appeared to be increased gradually. Also they were strongly related to the increase of traffic volume during the 4-day experiment.

\* 상명대학교 토목환경공학부 조교수(Assistant Professor, Division of Civil and Environmental Engineering, Sangmyung University)

**Key Words** : highway roadside sediments, heavy metal, traffic volume, day of dry seasons, soil and water contamination, leaching characteristics

## I. 서론

고속도로를 이용하는 교통량이 매년 증가함에 따라 차량으로 인한 고속도로 주변 환경의 오염도가 앞으로 더욱 높아질 것으로 예상되며 동시에 자동차 매연, 자동차 타이어와 브레이크 패드 마모에 의한 미세분진 등으로부터 발생하는 중금속에 의한 도로주변 환경의 오염도 증가할 것으로 보고되고 있다(조강래 외, 1993; 이평구 외, 2001; 한국도로공사, 2003; 환경부, 2002; Caselles, 1998). 고속도로 주변에서 교통량에 의해 발생하는 유해 중금속으로는 Cd, Cu, Pb 등이 있으며, 이와 같은 중금속은 도로표면의 퇴적물에 축적되어, 우기 중에 빗물을 타고 배수로를 통해 배출 형태에 따라 주변 토양에 직접 방출되거나 수계로 이동하여 주변 환경을 오염시킬 수 있다(이주광 외, 2001; Salomons and Eysink, 1981). 환경부에서는 토양오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 토양을 적정하게 관리·보전하기 위해 토양환경보전법을 1996년부터 시행하고 있으며 토양에 대한 오염현황을 종합적으로 파악하여 토양오염 예방대책을 수립하기 위해 도로주변 등 주요 오염지역을 토지용도별, 토양오염원별로 나누어 조사하고 있다. 또한 비점오염원에 의한 수계의 오염을 방지하기 위해 2002년부터 다양하게 발생되는

비점오염원에 대한 종합대책을 마련하고 있으며, 강우 시 노면 유출수에 의한 도로주변 수계의 오염을 방지하기 위해 환경부와 건설교통부에서 종합적인 관리대책을 수립하고 있는 실정이다(환경부, 2004).

따라서 본 연구의 목적은 고속도로변 퇴적물을 중심으로 현황조사를 통해 용출시험방법에 대한 배출 유해 중금속의 용출특성과 건기일수, 교통량에 따른 중금속의 오염특성에 관한 기초자료를 수집하여 이를 추후 발생될 수 있는 고속도로변 수질 및 토양오염에 대한 관리방안 수립에 적용하는데 있다.

## II. 조사 및 분석방법

### 1. 조사대상 및 기간

조사대상 지점으로는 교통량이 많은 경부고속도로 중의 천안 IC와 상대적으로 교통량이 적은 천안-논산 고속도로 중의 남천안 IC를 선정하였으며, 교통량에 따른 고속도로 노면 퇴적물의 중금속 오염도를 비교하기 위해 2개 지역의 상·하행선 4개지점의 노면 퇴적물을 채취하였다(〈Table 1〉). 조사기간은 2003년 2월에서 10월까지로 총 10회에 걸쳐 시료를 채취하였으며, 또한 건기일수에 따른 노면 퇴적물의 중금속 농도 차이를 알아보기 위해 건기일

수를 다르게 하여 노면 퇴적물을 채취하였고, 4지점 모두 동일한 건기일수를 유지하여 시료를 채취하였다. 교통량 조사는 한국도로공사 New Toll Collection System을 이용하여 차량수를 산정하였으며, 조사대상 지점인 A, B 두 지점에 대해 건기일자별로 교통량을 산출하였다. 천안-논산 고속도로 구간의 C, D 지점은 고속도로 교통량 산출을 위한 장비가 조사기간 현재 설치되지 못한 관계로 교통량 조사는 이루어지지 않았다.

〈Table 1〉 Studied areas

	Cheonan IC		S-Cheonan IC	
	up	down	up	down
area	A	B	C	D

## 2. 분석방법

채취된 시료는 분쇄·혼합하여 직사광선이 닿지 않은 장소에서 통풍이 잘 되게 해쳐 놓고 풍건(48시간)시킨 다음, 2mm 표준체(10메쉬)를 통과한 시료를 표준시료로 사용하였다(환경부, 1999). 고속도로 퇴적물은 처리방법에 따라 토양 또는 폐기물로도 분류할 수 있으므로 시료의 전처리는 토양공정시험법(Korea Soil Test)과 폐기물공정시험법(Korea Extraction Procedure) 그리고 미국 TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure)법을 사용하였으며, 각 실험방법별 용출시험법을 〈Table 2〉에 나타내었다(환경부, 1999; USEPA, 1992).

중금속 분석 항목으로는 고속도로변 퇴적물 중 교통량에 의한 오염도가 높을 것으로 예상

되는 Cd, Cu, Pb 등의 유해 중금속 3개 항목을 선정하였으며, 시료의 중금속 농도는 원자흡광광도계(AA-6200 Atomic Flame Emission Spectrophotometer, Shmadzu, Japan)를 이용하여 측정하였고, pH는 pH meter(Sension3, Hach, USA)를 사용하여 측정하였다. 또한 모든 시료의 측정은 3회 반복 실시하였다.

〈Table 2〉 Leaching test methods in the study

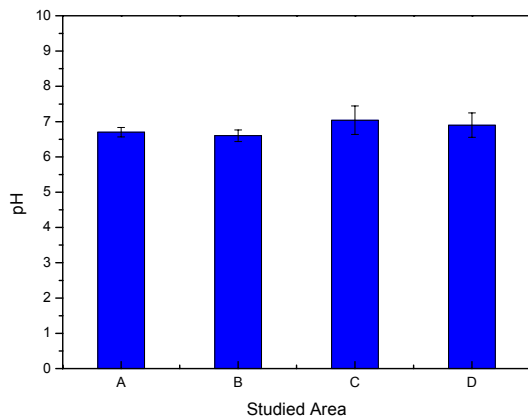
	KST	KEP	TCLP
size(mm)	≤ 2	≤ 5	≤ 9.5
shaking frequency (rpm)	100	200	30
shaking time(hr)	1	6	18
extraction fluid	0.1 N HCl	pH 5.8~6.3 HCl	pH 2.88±0.05 CH <sub>3</sub> COOH
L/S ratio(ml : g)	5 : 1	10 : 1	20 : 1
filter	5B filter paper	0.1μm GF/C membrane filter	0.6~0.8μm menbrane filter

## III. 결과 및 고찰

### 1. 조사대상지점별 퇴적물의 pH

화학원소들은 특정한 pH 범위에서 안정한 광물상으로 존재하거나 반응성이 활발한 이온 상태로 존재하므로 지구화학적 매체에서 pH는 중요한 개념이 된다. 또한, 대부분의 중금속 원소들은 강한 산성 환원환경에서는 이동성이 활발한 반면, 상대적으로 알카리 환원환경에서는 이동성이 급격히 제한되어 광물 상태로 침전하거나 음이온들과 착물을 형성하여 침전되므로 pH는 중금속원소들이 흡착·흡수되는 능력에 영향을 미치게 된다. 따라서 퇴적물 중의

pH 측정은 중금속 원소들의 종의 형태 및 거동에 대한 예측을 가능하게 하는 좋은 지침이 된다(이의상 외, 1998; 이평구 외, 2001).



〈Figure 1〉 Sediment pH of each studied area

대상지역 퇴적물의 pH는 〈Figure 1〉과 같이 중성 수준인 6.6~7.0 범위로 나타나고 있어, pH에 따른 중금속의 이동성에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다. 고속도로변 퇴적물은 우기 중에 배수로를 통해 주변 토양에 직접 방출되거나 수계로 이동하여 주변 환경을 변화시킬 우려가 있다. 퇴적물에 의한 수계의 pH는 거의 영향을 받지 않을 것으로 보이나 고속도로 주변 토양의 평균 pH가 5.5로 나타나 주변 토양 pH에는 영향을 줄 수도 있을 것으로 판단된다.

## 2. 고속도로변 퇴적물의 중금속 농도

고속도로 노면 퇴적물 중금속 농도의 평균 값을 〈Table 3〉에 나타내었다. 중금속 농도는 3가지 용출시험법에서 Cu > Pb > Cd 순으로

나타나고 있으며, 고속도로 배수로 퇴적물의 중금속 농도는 Zn > Cu > Pb > Cr<sup>6+</sup> > Cd 순서와 유사한 경향을 보이고 있다(이주광 외, 2001). 또한 서울시 우수관 퇴적물에 대한 조사결과에서도 중금속의 농도는 Zn > Cu > Pb 순으로 나타나는 것으로 보고되고 있다(이평구 외, 2001). 각 지점의 평균 중금속 농도는 대부분 지정폐기물의 유해물질 함유 기준을 초과하지 않았으나 A, B 지점의 Cu 농도가 기준치에 근접하거나 약간 상회하는 것으로 조사되었다. 고속도로 노면 퇴적물의 구리 농도가 높게 나타나는 것은 주로 자동차 브레이크 패드가 마모되면서 발생하는 것으로 사료된다(이평구 외, 2001). 각 인터체인지 상하행선 간의 중금속 농도의 차이는 거의 없는 것으로 보이며 천안과 남천안 IC의 오염농도의 차는 매우 높은 것으로 나타났다. 이는 비록 정확한 교통량 조사가 이루어지지 않았으나, 개통시기가 얼마 되지 않은 남천안 IC의 교통량이 천안 IC에 비해 상대적으로 적기 때문인 것으로 추정되어 진다.

〈Table 3〉 Heavy metal concentrations of highway roadside sediments

leaching methods area		KEP(mg/L)			TCLP(mg/L)			KST(mg/kg)		
		Cd	Pb	Cu	Cd	Pb	Cu	Cd	Pb	Cu
Cheonan IC	A	0.05	1.43	2.67	0.37	3.19	36.85	0.48	3.91	48.99
	B	0.05	1.42	2.68	0.36	3.37	40.24	0.45	3.71	52.65
S-Cheonan IC	C	0.01	0.29	1.41	0.19	0.86	17.66	0.17	0.90	21.48
	D	0.01	0.29	1.44	0.19	0.84	18.85	0.18	0.77	22.33
leaching test limit		0.3	3	3	1	5	-	1.5	100	50

\* KST leaching test limit : soil contamination concerning limit ka region

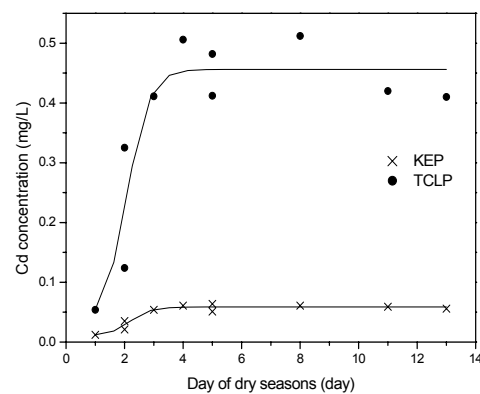
### 3. 용출시험법과 건기일수에 따른 퇴적물의 중금속 농도 변화

건기일수와 중금속 농도와의 관계를 파악하기 위해 천안 IC 부근 A, B 두 지점에 대해 건기일수에 따른 KEP와 TCLP 방법으로 Cd, Pb, Cu의 농도를 조사하였다. 건기일수 4일 정도까지는 지속적으로 중금속의 농도가 증가하는 것으로 나타났으나, 그 이후에는 변화가 없는 것으로 나타났다. 고속도로 노면 퇴적물은 주로 도로표면의 매연과 분진이 도로 턱으로 이동함으로서 발생되어지며, 어느 정도의 축적이 진행되면 바람 등에 의해 도로 턱을 넘어 주변으로 흩어지는 특성을 보여준다.

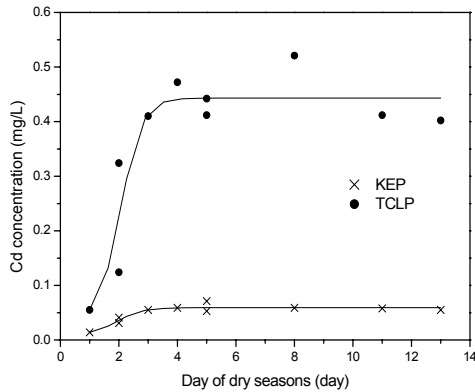
#### 1) 카드뮴

카드뮴(Cd)은 자연상태에서 아연과 함께 발견되며 도로변 퇴적물에 존재하는 카드뮴은 타이어에 함유된 아연의 불순물에서 기인된 것으로 알려져 있다(김홍수, 1992; 방극진, 1995). 용출시험법과 건기일수에 따른 A, B, C, D 지점의 Cd 농도를 Fig. 2~5에 나타내었다. <Figure 2>에서 TCLP 방법과 KEP 방법에 따른 각 Cd 농도의 평균값은 각각 0.37 mg/L, 0.05 mg/L로 조사되었다. TCLP 방법에 의한 Cd 농도가 KEP 방법에 비해 7.8배 정도 높게 나타나는 것은 용출시험방법에 따라 용매의 pH 조건이 다르기 때문인 것으로 보고되고 있다. 건기일수에 따른 Cd 농도는 3~4일 까지 지속적으로 증가하다가 앞에서 언급한 고속도로 노면 퇴적물의 축적 특성으로 인해 더 이상 농도변화가 보이지 않는 것으로 나타났다.

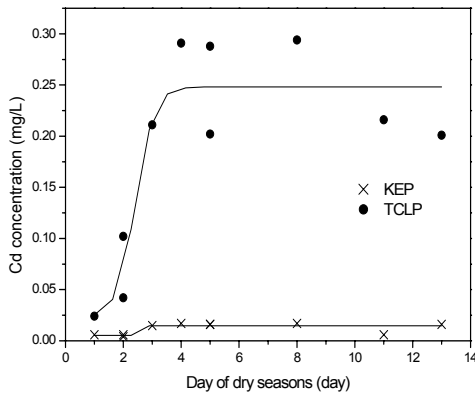
<Figure 3>의 천안 IC 하행선 지점의 경우, TCLP와 KEP 법에 따른 Cd 농도 평균값은 0.36 mg/L, 0.05 mg/L로 TCLP 방법이 KEP 방법에 비해 Cd 농도 평균값이 7.1배 높게 나타났다. 건기일수에 따른 Cd 농도도 3~4일 이후에는 더 이상 증가하지 않는 것으로 나타나 <Figure 2>와 유사한 경향을 보여주고 있다. <Figure 4>, <Figure 5>는 경부고속도로에 비해 상대적으로 교통량이 적은 천안-논산 고속도로 중의 남천안 IC 부근 상·하행선상에서 채취한 노면 퇴적물에 대한 Cd 농도를 용출시험법과 건기일수에 따라 나타낸 것이다. 천안 IC 부근에서 채취된 시료와 남천안 IC 부근에서 채취된 시료의 Cd 농도를 비교해 보면, 천안 IC 부근이 남천안 IC 부근에 비해 높은 값을 보여주고 있으며, 그 이유는 두 노선의 교통량 차이에 의한 것으로 판단된다. 남천안 IC 부근의 건기일수에 따른 Cd 농도는 천안 IC 부근에서와 같이 4일 이후에는 일정하게 유지되는 것으로 조사되었다.



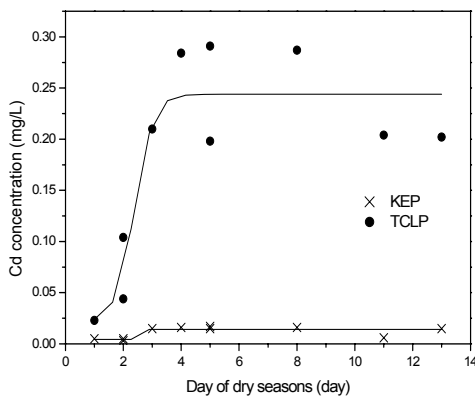
<Figure 2> Test methods and day of dry seasons vs. Cd conc.(A area)



〈Figure 3〉 Test methods and day of dry seasons vs. Cd conc.(B area)



〈Figure 4〉 Test methods and day of dry seasons vs. Cd conc.(C area)

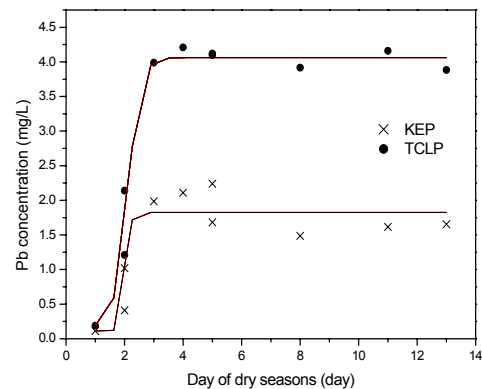


〈Figure 5〉 Test methods and day of dry seasons vs. Cd conc.(D area)

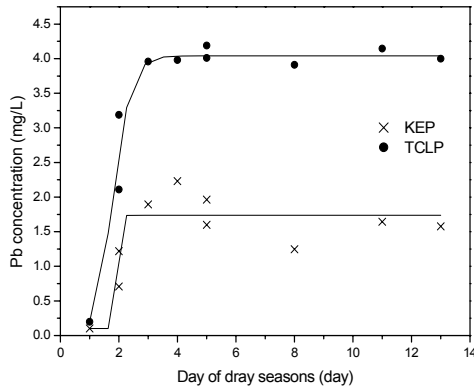
## 2) 납

기존의 연구에 의하면 Pb의 오염원은 휘발유에 함유되어 있는 tetramethyl-lead 나 tetraethyl-lead와 같은 산화제로부터 기인하는 것으로 생각되었으나, 실제로는 무연 휘발유에도 소량의 납이 포함되어 있고, 타이어의 제조과정에서 사용되는 첨가제 속에도 아연과 납 등의 각종 중금속이 포함되어 있어, 휘발유의 연소 및 타이어의 마모 시 납이 발생하는 것으로 보고되고 있다(박승희, 1983; 최금찬 외, 1996).

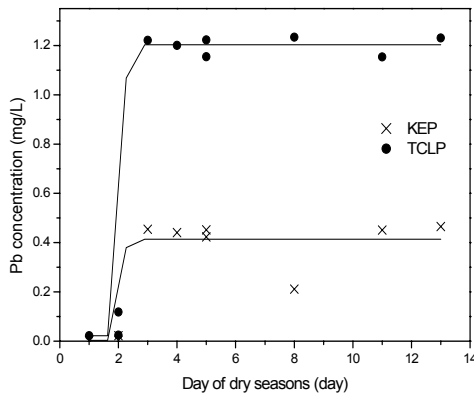
〈Figure 6〉~〈Figure 9〉는 용출시험법과 건기일수에 따른 A, B, C, D 지점의 Pb 농도를 보여주고 있다. 〈Figure 6〉, 〈Figure 7〉에서 천안 IC 상·하행선 부근의 TLCP, KEP법에 따른 Pb 농도는 각각 3.19 mg/L, 1.43 mg/L, 3.37 mg/L, 1.42 mg/L로 조사되었으며 TCLP법이 KEP법 보다 2.2~2.4배 높은 것으로 나타났다. 또한, 건기일수에 따른 Pb 농도 변화는 Cd의 경우와 유사하게 나타났다. Fig. 8~9는 교통량의 발생빈도에 따라 용출시험방법에 관계없이 천안 IC 부근의 노면퇴적물 Pb 농도가 남천안 IC 보다 높은 것으로 나타났으며, 건기일수에 따른 Pb 농도는 〈Figure 6〉, 〈Figure 7〉과 비슷한 경향을 보여주고 있다.



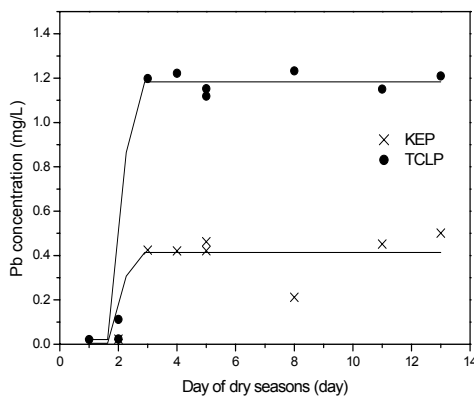
〈Figure 6〉 Test methods and day of dry seasons vs. Pb conc.(A area)



〈Figure 7〉 Test methods and day of dry seasons vs. Pb conc.(B area)



〈Figure 8〉 Test methods and day of dry seasons vs. Pb conc.(C area)

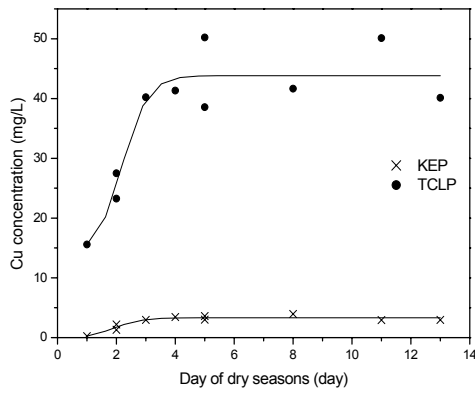


〈Figure 9〉 Test methods and day of dry seasons vs. Pb conc.(D area)

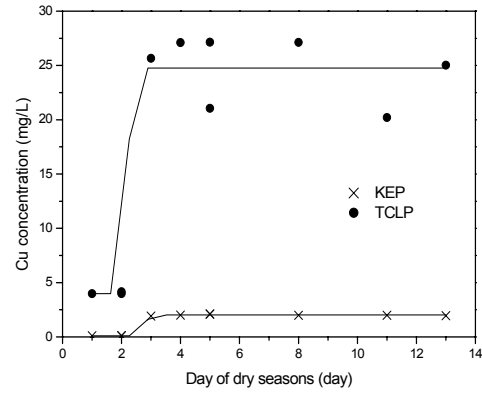
### 3) 구리

천안 IC와 남천안 IC 상·하행선 부근의 용출 시험법과 건기일수에 따른 Cu 농도를 〈Figure 10〉 ~ 〈Figure 13〉에 나타내었다. 〈Figure 10〉에서 천안 IC 상행선 지점의 TCLP와 KEP법에 따른 Cu 농도의 평균값은 각각 36.85 mg/L, 2.67 mg/L로 조사되었으며 TCLP법이 KEP법보다 Cu 농도가 13.8배 높은 것으로 나타났다. TCLP법과 KEP법의 용출농도차를 비교해 보면 Cd, Pb에 비해 Cu가 상대적으로 큰 값을 나타내는데 이는 아세트산 용매에서 Cu가 상대적으로 다른 중금속에 비해 용출이 많이 되어진다는 연구보고와 일치한다(박성규, 1998; 한국도로공사, 1998).

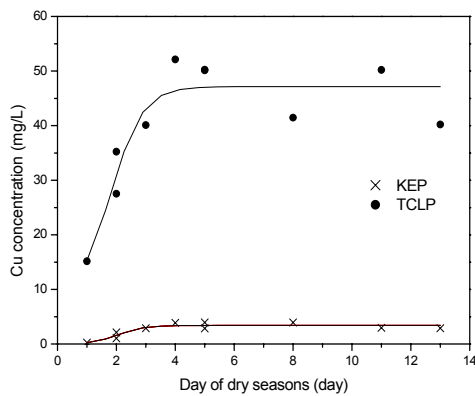
〈Figure 11〉은 하행선 지점의 Cu 농도를 나타낸 것으로, 평균값은 각각 40.24 mg/L, 2.68 mg/L로 조사되었다. TCLP 방법이 KEP 방법에 비해 Cu 농도 평균값이 15배 정도 높게 나타났다으며, KEP 방법에 의한 Cu의 농도 평균값은 기준치를 초과하지 않았으나 평균값 자체가 기준치에 근접해 있고 조사된 자료 일부에서는 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. Fig. 12~13에서 KEP와 TCLP에 따른 C지점의 Cu 농도는 각각 1.41 mg/L, 17.66 mg/L로 D지점의 농도는 각각 1.44 mg/L, 18.85 mg/L로 조사되었다. 건기일수에 따른 Cu 농도는 4일이 지나면 일정한 값을 유지하는 것으로 나타났다으며, 노면 퇴적물의 구리는 용출시험방법과 교통량에 따른 대상 지점에 관계없이 모든 지점에서 조사된 중금속 중 가장 오염 농도가 큰 값을 보여주고 있어 노면 퇴적물의 중금속 오염정도를 평가하는데 가장 유용한 중금속 항목으로 사료된다.



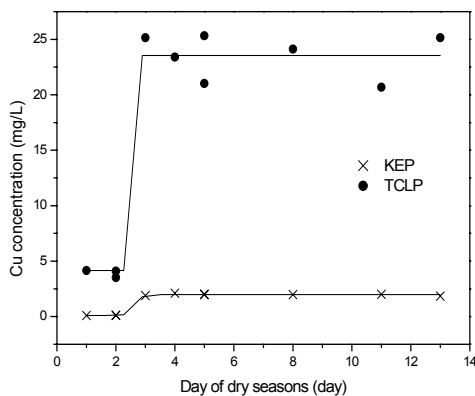
〈Figure 10〉 Test methods and day of dry seasons vs. Cu conc.(A area)



〈Figure 13〉 Test methods and day of dry seasons vs. Cu conc.(D area)



〈Figure 11〉 Test methods and day of dry seasons vs. Cu conc.(B area)



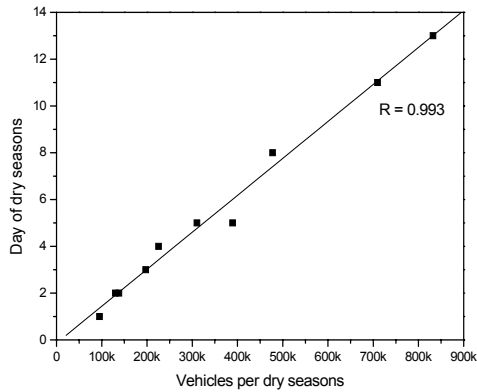
〈Figure 12〉 Test methods and day of dry seasons vs. Cu conc.(C area)

#### 4. 교통량에 따른 퇴적물의 중금속 농도 변화

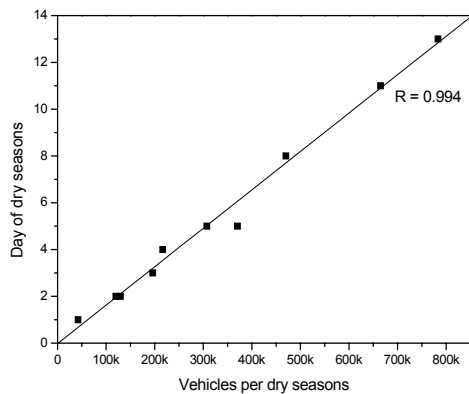
A, B지점에서의 건기일수와 교통량과의 상관관계를 〈Figure 14〉, 〈Figure 15〉에 나타내었다. 두 지점에서 상관계수가 모두 0.99이상이므로 건기일수와 교통량은 높은 상관관계를 보여 주었고 건기일수에 따른 평균 교통량은 A 지점이 350,479대, B지점이 329,885대로 큰 차이를 나타내지는 않았으며 A지점의 건기일수에 따른 교통량의 범위는 95,106대~832,194대, B지점은 42,200대~783,220대로 조사되었다.

건기일수와 교통량은 서로 비례하는 관계를 보이고 있기 때문에 건기일수에 따른 노면 퇴적물의 중금속 농도변화와 교통량에 따른 Cd, Pb, Cu의 농도변화는 유사하게 나타나는 것으로 보인다. 조사된 A, B지점의 건기일수와 교통량과의 상관관계는 천안 IC와 같은 왕복 8차선의 대표적인 고속도로를 기준으로 수행되었으며, 왕복 8차선 이하의 고속도로에서도 유의한 상관관계를 보일 것으로 추정된다.





〈Figure 14〉 Relationship between day of dry seasons and vehicles(A area)

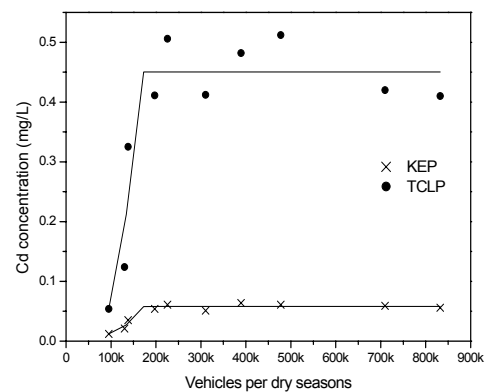


〈Figure 15〉 Relationship between day of dry seasons and vehicles(B area)

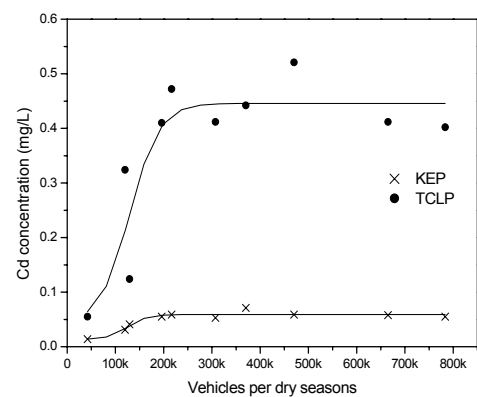
교통량과 퇴적물의 중금속 농도와와의 관계를 파악하기 위해 천안 IC 부근 두 지점에 대해 교통량에 따라 KEP와 TCLP 방법으로 3가지 중금속(Cd, Pb, Cu)의 농도를 조사하였다. 조사된 A, B 지점의 고속도로 구조를 살펴보면, 모두 4차선으로 구성되어 있으며, 포장은 아스팔트 포장으로 이루어졌다.

〈Figure 16〉~〈Figure 21〉은 지점별 교통량에 따른 Cd, Pb, Cu의 농도를 나타낸 것으로, 전체적으로 보면 건기일수에 따른 차량수가

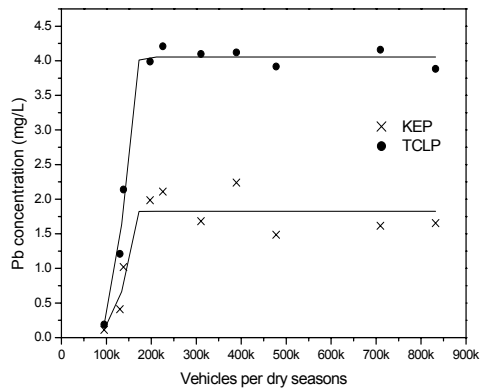
182,164±30,872대 정도 증가할 때까지는 지속적으로 중금속 농도가 증가하는 것으로 조사되었으나, 차량수가 182,164±30,872대 이상 증가하여도 중금속 농도는 더 이상 높아지지 않는 것으로 나타났다. 교통량이 182,164±30,872대에 해당하는 가장 근접한 건기일수는 〈Figure 14〉, 〈Figure 15〉에서 살펴보면 4일로 나타났고, 따라서 4일 이상부터는 노면퇴적물의 중금속농도가 더 이상 증가하지 않는 것으로 보여진다.



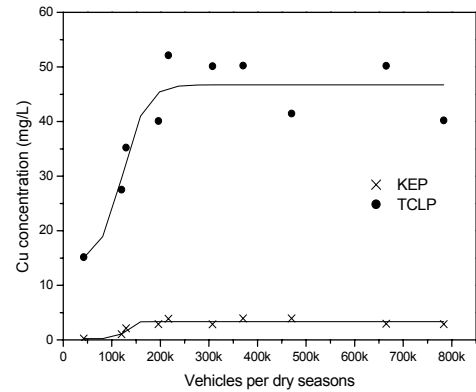
〈Figure 16〉 Cd conc. vs. vehicles(A area)



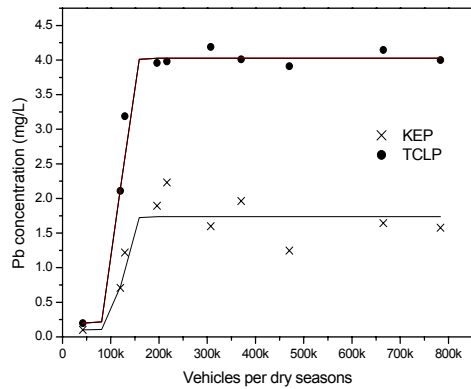
〈Figure 17〉 Cd conc. vs. vehicles(B area)



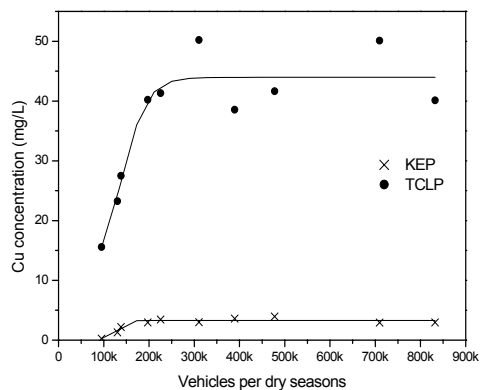
〈Figure 18〉 Pb conc. vs. vehicles(A area)



〈Figure 21〉 Cu conc. vs. vehicles(B area)



〈Figure 19〉 Pb conc. vs. vehicles(B area)



〈Figure 20〉 Cu conc. vs. vehicles(A area)

#### IV. 결 론

본 연구에서는 고속도로변 퇴적물에 포함된 Cd, Pb, Cu에 대하여 KST, KEP, TCLP 방법으로 용출시험을 실시하여 각각의 용출방법에 대한 용출특성을 살펴보았으며, 건기일수와 교통량에 따른 중금속 농도를 조사하여 고속도로변 퇴적물의 중금속 오염특성에 대한 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 대상지역 퇴적물의 pH는 중성수준인 6.6 ~7.0 범위로 나타나고 있어, pH에 따른 중금속의 이동성에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.
2. 고속도로 노면퇴적물의 Cd, Pb, Cu 용출 농도는 3가지 방법(KST, KEP, TCLP)에서  $Cu > Pb > Cd$  순으로 나타났으며, 이는 고속도로 배수로 퇴적물과 서울시 우수관 퇴적물의 이전 조사 결과와 유사하였다.
3. TCLP와 KEP 법에 따른 연구대상 지점

의 Cd 농도는 0.19~0.37 mg/L와 0.01~0.05 mg/L로, Pb는 0.84~3.37 mg/L와 0.29~1.43 mg/L로, Cu는 17.66~40.24 mg/L와 1.41~2.68 mg/L로 조사되어 Cd와 Pb는 허용기준치에 못 미치는 것으로 나타났으나 Cu의 경우는 조사된 자료 일부에서 허용기준치를 초과하는 것으로 나타나, 이 항목에 대한 중점적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

4. A, B 두 지점에서 건기일수 4일 정도까지는 지속적으로 중금속 농도가 증가하는 것으로 나타났으나, 4일 이후에는 중금속 농도변화가 거의 없었다.
5. 조사지점에서 건기일수와 교통량은 상관계수가 0.99이상으로 높게 나타나, 교통량에 의한 퇴적물의 중금속 농도가 증가하는 것으로 사료된다.
6. 건기일수에 따른 차량수가 182,164±30,872대 정도 증가할 때까지는 지속적으로 중금속 농도가 증가하는 것으로 조사되었으나, 차량수가 182,164±30,872대 이상 증가하여도 중금속 농도는 더 이상 높아지지 않는 것으로 나타났다. 따라서 고속도로변 퇴적물의 중금속 축적기간이 일정한 것으로 나타나고 있어 추후 발생할 수 있는 고속도로변 수질 및 토양오염에 대한 관리방안 수립에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 노면퇴적물의 중금속 농도에 영향을 미칠 수 있는 다른 변수들(차선수, 도로포장 유형 등)에 대한 연구도 앞으로 필요할 것으로 판단된다.

## 사사

본 연구는 2004년도 상명대학교 교내연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김홍수, 1992, “대전-천안간 고속도로변 토양과 작물체납과 카드뮴 함량분석에 관한 연구”, 청주대학교 산업 경영대학원 석사학위논문.
- 박성규, 1998, “자동차에 의한 대기오염물질이 고속도로 주변에 미치는 영향에 관한 연구”, 서울시립대학교 석사학위논문.
- 박승희, 1983, “토양 및 채소 중의 중금속 오염에 관한 연구”, 성균관대학교 석사학위논문.
- 방극진, 1995, 『환경오염 유해화학물질 편람』.
- 이의상·이주광·강희만·강혜진, 1998, 『고속도로 주변과 주유소의 토양오염에 관한 연구』, 한국도로공사 연구보고서.
- 이주광·강혜진·권혁, 2001, 『고속도로 주변 대기 및 토양 환경 현황조사』, 한국도로공사 연구보고서.
- 이평구·윤성택·이대하, 2001, 『서울시 무기환경 시스템의 환경지구화학 및 수리지질학적 연구』, 한국과학재단 연구보고서.
- 조강래·엄명도·김종춘·홍유덕·김종규·한영출, 1993, “자동차에 의한 오염물질 배출계수 및 배출량 산출에 관한 연구”, 『한국대기보전학회지』, Vol. 9, No. 1, pp. 69~77.
- 최금찬·임경택·조정구·김태형, 1996, “PIXE 분석법에 의한 도로변 분진의 원소분석”, 『한국대기보전학회지』, Vol. 12, No. 5, pp. 523~528.
- 한국도로공사, 1998, 『고속도로 요금소 근무자의 근무환경 개선에 관한 연구』.
- 한국도로공사, 2003, 『고속도로통계』.
- 환경부, 1999, 『토양오염공정시험방법』.
- 환경부, 2002, 『대기환경연보(2002)』.
- 환경부, 2004, “4대강 비점오염원관리 종합대책추진”, 『물 환경종합정보지』, Vol. 3.
- Caselles, J., 1998, “Levels of Lead and Other Metals in Citrus Alongside a Motor Road”, *Water, Air, and Pollution*, 105, 593~602.

Salomons, W. and Eysink, W.D., 1981, "Pathways of mud and particulate trace metals from rivers to the southern North Sea", International Association of Sedimentologists, Special Paper, 5, 429~450.

USEPA, 1992, *Method 1311-Toxicity Characteristic*

*Leaching Procedure*, EPA Publication SW-846.

원 고 접 수 일 : 2004년 9월 21일

1차심사완료일 : 2004년 11월 9일

2차심사완료일 : 2004년 11월 30일

최종원고채택일 : 2004년 12월 7일