

## 교통 관련 토지이용에서의 중금속 오염원단위 산정

### Determination of Heavy Metal Unit Load from Transportation Landuses during a Storm

김철민\* · 이소영\*\* · 이은주\*\*\* · 김이형\*\*\*\*

Kim, Cheolmin · Lee, So-Young · Lee, Eun-Ju · Kim, Lee-Hyung

#### Abstract

The urban areas have various landuses such as residential, commercial, industrial and official purposes that are highly concerned with human activities. The other landuses are relating to vehicle activities, which are roads, parking lots, bridges, parks etc. The mainly using landuses by human activities are possessing three different areas that are buildings, parking lots/roads and landscapes. Of these areas, the buildings and landscapes can be classified as non-pollution areas. However, the parking lots or roads are classifying as the main pollution areas because of vehicle activities. Therefore, the landuses arising the nonpoint pollution during a storm in urban areas are roads and parking lots. The vehicles are emitting lots of nonpoint pollutants such as metals and particulate matters and it is impacting on water qualities and aqua-ecosystems nearby the city areas. Therefore, this research was conducted for characterizing the pollutant types and determining the EMCs (Event Mean Concentrations) and unit pollutant loads during a storm. The monitoring was performed on 9 locations such as highways, service area, tollgates, parking lot and bridges. All of the landuses selected for monitoring are concerned with transportation. The results can be effectively used to predict the pollutant loading before urban planning and to select the BMPs (Best Management Practices) for reducing the pollution.

**Key word :** Metals, Transportation, Unit load, EMC

#### 요 지

도시화는 토지이용의 고도화 및 오염물질의 극대화를 초래한다. 일반적으로 도시지역은 상업, 주거, 산업, 공공지역 등과 복합적 토지이용지역과 도로, 주차장, 교량 및 공원과 같은 단일 토지이용 지역으로 형성된다. 이러한 지역에서의 인간과 차량의 활동은 도시지역의 모든 공간을 인근 수계 및 수생태계에 심각한 영향을 끼치게 하는 비점오염원으로 나타나게 한다. 도시지역의 다양한 토지이용은 건축물, 주차장 또는 도로 및 조경공간으로 세분류 될 수 있으나, 강우시 유출되는 비점오염원은 도로와 주차장으로 유출되기에 이러한 토지이용 지역을 관리함으로써 도시 비점오염물질의 효율적 저감이 이루어 질 수 있다. 도로와 주차장은 많은 차량의 운행과 인간의 활동으로 인하여 다양한 비점오염물질의 축적과 유출이 발생하고 있으며, 그 중에서 중금속과 입자상 물질이 주요 오염원으로 나타나고 있다. 이러한 비점오염원은 비점오염저감시설을 통하여 저감할 수 있으나, 강우의 특성에 영향을 크게 받고 있으며 유출특성의 불확실성이 높아 관리에 어려움을 겪고 있다. 특히 모니터링을 통한 기초자료의 부족은 부하량 예측, 저감메커니즘 및 저감시설 선정을 어렵게 하고 있다. 현재 토지이용에서의 부하량 예측에는 7개의 세분류 토지이용으로 형성된 토지이용별 오염원단위를 사용하고 있으나, 정확성이 낮아 새로운 원단위 산정을 위한 다양한 연구가 수행 중이다. 따라서 본 연구에서는 교통과 관련된 토지이용 지역에서의 모니터링을 수행하여 원단위를 제시함으로써 효율적 포장지역 원단위 산정에 기여하고자 한다. 본 논문에서는 고속도로, 휴게소, 영업소, 주차장 및 교량을 포함하는 9개 지점에서의 모니터링 결과를 해석하고자 하며, 최종적으로 오염물질 원단위를 제시할 것이다.

**핵심용어 :** 중금속, 교통관련토지이용, 원단위, EMC

#### 1. 서 론

환경부는 그동안 도시하수, 산업폐수 및 축산폐수의 관리를 통해 하천수질을 개선하기 위하여 다양한 정책 및 기술을 개발하였으며, 이러한 노력으로 인하여 하천 수질은 많은 부분

개선이 이루어졌다. 그러나 생활수준 및 국민의식의 향상은 하천을 새로운 관점에서 평가를 하고 있으며, 수질개선과 더불어 수생태계의 확대를 요구하고 있다. 따라서 환경부는 수질 및 수생태계의 보전과 확대를 위하여 2006년 법령을 정비하였으며, 그 결과로 수질환경보전법이 수질 및 수생태계

\*공주대학교 건설환경공학과 BK21 비점오염방재전문인력양성사업팀 석사과정 (E-mail:cjals@kongju.ac.kr)

\*\*공주대학교 건설환경공학과 BK21 비점오염방재전문인력양성사업팀 박사과정

\*\*\*공주대학교 건설환경공학과 BK21 비점오염방재전문인력양성사업팀 계약교수

\*\*\*\*정희원 · 공주대학교 건설환경공학과 교수 (교신저자)

보전에 관한 법률로의 개정이 이루어졌다. 이에 근거하여 새로운 환경정책이 개발되고 적용되고 있는데, 그 중에서 중요한 제도가 수질오염총량관리제와 비점오염저감시설 설치신고제도 및 비점오염원 관리지역 지정제도 등이다.

이러한 정책의 주요 내용은 개발로 인한 유역의 변화를 수질 및 수생태계의 관점에서 접근하여 저 오염 개발을 유도하고자 한다는 것이다. 일반적으로 지속적인 도시화는 불투수층의 증가를 초래하였으며, 이러한 불투수층의 증가는 환경·수리학적으론 유량의 증가, 침투유량의 증가, 침투유량 기간 증가, 기저유량 감소, 오염물질 부하량 변화, 홍수유발, 하천침식, 수로확장 및 수로바닥의 변화 등에 영향을 끼친다. 또한 건기시 다양한 형태로 존재하고 있는 비점오염물질들은 강우시 인근 수계로 유출되어 수질악화 및 수생태계 파괴를 유발하고 있다(김이형 등, 2004). 비점오염원에 의한 수계 및 수생태계의 영향을 살펴보면, 미국의 경우 21,000여개의 오염수계 중 약 80% 이상이 비점오염원과 관련되어 있는 것으로 나타나고 있으며(EPA, 1994), 국내의 경우 4대강의 비점오염원에 의한 부하량 기여율이 BOD 기준으로 22~40%를 차지하고 있는 것으로 나타났다(환경부, 2004). 그러나 수계에 있어서 비점오염원의 기여율은 유역의 환경기초시설 확대에 인하여 점차 증가하고 있는 추세이다. 비점오염원은 다양한 토지이용에서 발생하고 있기에, 환경부는 1999년도에 수질오염총량관리제도의 도입과 동시에 개발사업 이전에 토지이용에서 발생하는 오염물질의 원단위 예측을 위하여 토지계의 원단위를 제정 공포하였다(환경부, 1999). 그러나 토지계의 원단위는 다양한 지목의 현황을 반영하지 못하고 7개의 세분류로 나타나 있기에 수질오염총량관리제 시행 과정에 많은 도전과 불신을 받아왔다. 특히 수계 오염의 주요 원인인 도시지역의 다양한 토지이용을 대지라고 하는 단일 항목으로 분류한 것은 가장 큰 문제점으로 지적되어 왔다. 따라서 환경부는 2007년도부터 환경기초조사사업을 통하여 장기모니터링을 수행하고 있으며, 이를 통하여 2015에 현행 7개의 지목으로 산정되어 있는 토지계의 원단위를 세분류로 분류하여 재 산정 할 계획이다. 그러나 장기모니터링 역시 모든 토지이용을 반영하지 못하기에 새로운 도전에 직면할 것으로 판단된다. 특히 도시지역을 형성하는 다양한 토지이용은 포장지역으로 모든 오염물질이 유출되기에 이에 관한 고려가 절실히 요구된다. 도시지역의 다양한 토지이용이라 할지라도 각 토지이용은 건축물, 도로/주차장 및 조경공간으로 형성되어 있기에 도시 비점오염원 관리는 도로 및 주차장 비점오염원 관리를 통하여 성공적으로 수행될 수 있을 것이다.

일반적으로 포장지역은 교통과 관련된 토지이용으로 차량의 운행으로 인한 오염물질의 축적과 높은 포장율에 의한 유출율이 높은 지역이다(Driscoll 등, 1990). 교통관련 토지이용은 도로, 주차장, 고속도로, 교량, 휴게소, 영업소 등으로 다양하기에 이에 관한 기초연구는 향후 포장지역 전체를 대표할 수 있는 비점오염물질의 유출부하량 원단위 산정에 매우 중요하다. 미국 밀워키의 경우, 대표적 포장지역인 고속도로, 산업지역 및 상업지역의 TSS와 Pb의 원단위가 주거지역 및 공원의 유출량보다 약 2배 이상 많이 유출되는 것으로 나타

표 1. 국가별 고속도로에서의 중금속 평균 EMC (Brune 등, 2006)

National	Total Cu (µg/L)	Total Zn (µg/L)	Total Cd (µg/L)	Total Pb (µg/L)
England	55	213	2	51
Sweden-1	17	9.6	0.36	9
Sweden-2	8	24	0.16	6.2
Sweden-3	22	446	0.17	6.6
Portugal	10.7	172		10.8
France	45	356	1	58
USA-1	46.5	173.9	1.73	207.3
USA-2	22.3	129.8	0.7	21.9
Japan	66	648	1.75	34
Europe	103	410	40	96

났다(Bannerman 등, 1993; Hvitved-Jacobsen 등, 1994). 표 1은 국가별 대표적 포장지역인 고속도로에서의 중금속 평균 EMC를 나타내고 있는데, 이러한 중금속과 더불어 입자상 물질의 유출이 높은 토지이용으로 보고되고 있다 (U.S. EPA, 1995, 김이형 등, 2005; Ellis 등, 2006; Livingston 등, 1997).

따라서 포장지역은 토지계의 오염물질 원단위의 대지로부터 가장 먼저 분리되어야 할 중요한 항목이기에, 본 연구에서는 교통과 관련 깊은 주차장, 고속도로, 톨게이트, 고속도로 내 휴게소지점, 교량지점을 선정하여 3년간의 모니터링 결과를 중금속 물질에 대하여 평균 EMC와 원단위를 산정하고자 한다.

## 2. 모니터링 지점 및 연구방법

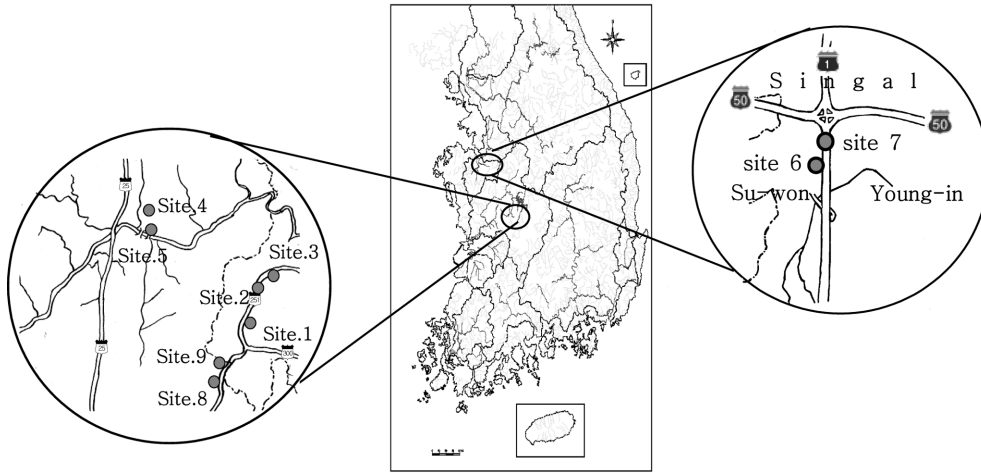
### 2.1 모니터링 지점 및 방법

본 연구는 차량과 밀접한 관련 있는 포장지역의 토지이용별 EMC와 원단위 산정을 위해 수행되었으며, 기초자료 확보를 위한 모니터링의 대상지점 위치 및 현황은 그림 1과 같다. 모니터링 지점은 그림 1과 같이 고속도로 3개 지점, 영업소 3개 지점, 휴게소 1개 지점, 주차장과 교량이 각 1개 지점씩 선정하여 총 9개 지점에 대하여 모니터링을 수행하였다.

강우시 수질시료 채취는 최소 간격을 원칙으로 하나 최소 시료는 강우가 시작하여 유입구로 유입됨과 동시에 채취하였으며, 유입 후 15분까지는 5분 간격, 30분에서 1시간까지는 15분 간격, 이후로는 한 시간간격으로 유입이 끝날 때까지 채취하였다. 또한 유량측정은 Auto flow meter를 이용하여 1분 단위로 유량을 측정하였다(김이형 등, 2005, 2006; 이은주 등, 2006). 채취된 수질시료는 입자상 물질, 유기물질, 영양염류 및 중금속 등의 수질분석을 실시하였다. 본 논문에서는 중금속에 대한 결과를 해석하여 정리하고자 하며, 시료내의 중금속 분석은 질산-염산 분해법에 의한 전처리 후 유도 결합플라즈마 질량분석기를 이용하여 측정하였다.

### 2.2 EMC 및 발생부하량 산정

강우에 의해 유출되는 오염물질 부하량 산정을 위해서는 유량기중 평균농도인 EMC에 대한 정확한 산정이 필수적이다. 따라서 본 연구에서 분석된 강우 유출수 시료에 대하여 식 1



Monitoring site		Location	Area (m <sup>2</sup> )	Pavement Type
Highway	Site 1	Highway 251 (North Bound 1)	1,120	Asphalt
	Site 2	Highway 251 (North Bound)	1,170	Asphalt
	Site 3	Highway 251 (North Bound 2)	936	Asphalt
Parking Lot	Site 4	Parking Lots in Kongju National University	172	Asphalt
Bridge	Site 5	Kongju Daekyo	632	Asphalt
Service Areas	Site 6	Gihung Service Areas (Highway 1, North Bound)	9,522	Brick
Toll-gate	Site 7	Suwon Toll-gate (Highway 1)	82	Asphalt
	Site 8	Gaeryong Toll-gate 1 (Highway 251)	662	Asphalt
	Site 9	Gaeryong Toll-gate 2 (Highway 251)	311	Asphalt

그림 1. 모니터링 위치 및 현황

을 이용하여 각 지점별 강우사상에 대한 EMC를 산정하였다.

$$EMC(mg/L) = \frac{\text{Discharged mass during an event}}{\text{Discharged volume}} = \frac{\int_0^T C(t) \cdot Q_{TR_u}(t) dt}{\int_0^T Q_{TR_u}(t) dt} \quad (1)$$

또한 각 지점별 오염물질 발생 원단위 산정은 식 2와 같이 계산할 수 있으며, 식 1에서 산정된 EMC를 이용하여 평균 EMC를 산정하고, 총 강우량(mm/yr)과 곱한 후, 유역면적(km<sup>2</sup>)으로 나누어 산정하였다.

$$\text{Unit Load}(kg/km^2 \cdot yr) = \frac{EMC(mg/L) \times \text{Total Yearly Rainfall}(mm/yr)}{\text{Area of Catchbasin}(km^2)} \quad (2)$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 강우사상 분석

모니터링은 2004년 5월부터 2006년 11월 까지 수행하였으며, 모니터링 강우사상에 대한 자세한 현황은 표 2와 같다. 강우 전 건기 일수(Antecedent Dry Days, ADD)는 1.8~18일로 나타났으며, 평균 강우 강도(Average Rainfall Intensity)는 0.3~11.3 mm/hr의 범위를 나타내었다. 모니터링된 강우사상에 대한 유출율을 산정한 결과 0.23~0.99의 범위로 나타났다.

#### 3.2 교통관련 토지이용에서의 평균 EMC 산정

지점별 모니터링은 3~11회에 걸쳐 약 3년간 수행되었으며, 본 논문에서는 총 56회의 강우사상에 대하여 교통관련 토지이용별 중금속 평균 EMC 값을 산정하였다. 표 3은 교통관련 토지이용별 중금속의 평균 EMC 값을 나타내고 있는데, 휴게소지점과 영업소지점에서의 중금속 EMC 값이 높게 나타났다. 휴게소와 영업소 지점에서의 EMC 값이 높은 이유는 이미 선행 연구(김이형 등, 2005) 결과에 잘 나타나 있으며, 차량의 급정거와 급출발에 의한 타이어 마모 및 브레이크 관련 차량 부품품 마모와 관련이 높은 것으로 알려졌다 (U.S. EPA, 1995).

또한 고속도로 EMC의 값을 표 1에 나타난 각 국가별 평균 EMC와 비교하면, Total Cu의 경우 타 국가에 비하여 국내에서 조사된 값이 매우 높은 것으로 나타났으며, Total Cd의 경우 본 연구에서의 값이 유럽보다는 상당히 낮았지만 기타 국가들에 비해서는 다소 높은 것으로 분석되었다. 그러나 Total Zn과 Total Pb의 경우 중간 또는 다소 낮은 값을 나타내는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 국가마다 사용되고 있는 차량의 종류와 운전자의 습관에 따라 달라지는 것으로 판단된다(Louis, 1994). 그림 2는 고속도로에서의 평균 EMC 값 비교결과를 나타내고 있다.

#### 3.3 교통관련 토지이용에서의 중금속 발생 원단위 산정

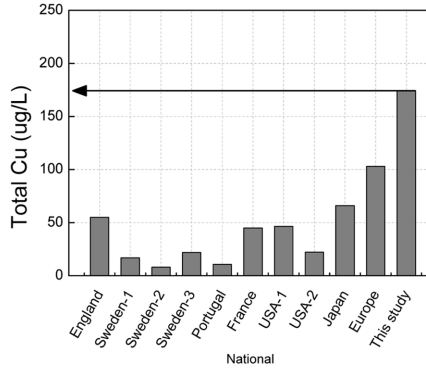
표 4는 교통관련 토지이용별 중금속 평균 원단위를 나타내고 있다. Total Cu의 경우 휴게소 지점에서 가장 낮게 산정(3.41 kg/km<sup>2</sup>·yr)되었으며, 고속도로 지점에서 가장 높은 원단

표 2. 모니터링 강우사상 현황

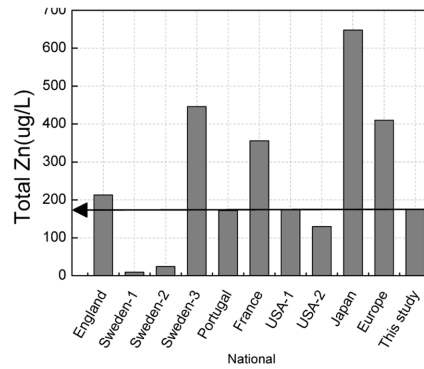
Site	Event Date	ADD (day)	Total Rainfall (mm)	Runoff Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity (mm/hr)	Runoff Coefficient
Site 1	2004-05-28	13	17.5	3.7	4.8	0.87
	2004-06-17	18	50.5	8.7	5.8	0.85
	2004-07-03	2	30.7	6.2	5.0	0.93
	2004-07-11	3	6.9	6.3	1.1	0.62
	2004-08-16	8	19.5	1.7	11.3	0.57
	2004-08-22	2	8.2	1.5	5.4	0.84
	2004-09-11	3	20.6	6.4	3.2	0.79
Site 2	2004-05-28	13	17.5	3.3	5.3	0.87
	2004-06-17	18	50.5	8.3	6.1	0.85
	2004-07-03	2	30.7	6.4	4.8	0.93
	2004-07-11	3	6.9	7.2	1.0	0.62
	2004-08-14	8	19.5	1.5	13.0	0.58
	2004-08-22	2	7.1	1.0	7.1	0.84
	2004-09-11	3	20.6	6.1	3.4	0.85
	2005-05-11	4	12.9	6.1	2.1	0.74
	2005-06-01	13	28.5	7.3	3.9	0.81
	2005-06-10	7	68.1	9.3	7.3	0.85
	2005-06-26	7	17.8	2.0	8.9	0.78
Site 3	2004-05-28	13	18.5	3.5	5.3	0.73
	2004-06-17	18	50.3	7.6	6.6	0.90
	2004-07-03	2	32.8	7.2	4.6	0.88
	2004-07-11	3	6.9	7.3	0.9	0.68
	2004-08-16	2	10.7	4.4	2.4	0.60
	2004-08-22	2	9.1	2.1	4.3	0.89
	2004-09-11	3	21.4	6.0	3.6	0.90
Site 4	2004-05-28	13	20.5	4.6	4.5	0.88
	2004-06-17	18	45.3	9.7	4.7	0.90
	2004-07-03	2	36.4	9.2	4.0	0.94
	2004-07-11	3	9.0	7.0	1.3	0.64
	2004-08-16	2	29.4	7.3	4.0	0.81
	2004-08-22	2	8.1	5.6	1.5	0.85
	2004-09-11	3	36.2	6.5	5.6	0.88
Site 5	2004-05-28	13	20.5	4.8	4.3	0.87
	2004-06-17	18	45.3	10.8	4.2	0.92
	2004-07-03	2	36.4	9.2	3.9	0.71
	2004-07-11	3	6.9	8.7	0.8	0.68
	2004-08-16	2	29.4	5.7	5.2	0.79
	2004-08-22	2	7.1	6.2	1.1	0.83
	2004-09-11	3	36.2	5.1	7.2	0.80
Site 6	2006-05-22	15	36.5	7.0	5.2	0.90
	2006-05-27	4	32.0	12.0	2.7	0.23
	2006-06-14	3	77.5	18.0	4.3	0.79
	2006-09-17	8	1.5	5.0	0.3	0.76
	2006-11-06	13	26.0	12.0	2.2	0.77
Site 7	2006-05-05	14	62.0	20.0	3.1	0.95
	2006-05-22	15	36.5	7.0	5.2	0.99
	2006-05-27	4	32.0	12.0	2.7	0.47
	2006-06-14	3	77.5	18.0	4.3	0.84
Site 8	2006-06-29	3	15.5	1.7	9.1	0.68
	2006-07-25	3	9.0	6.5	1.4	0.75
	2006-08-16	10	3.0	0.8	3.8	0.66
	2006-09-05	5	18.0	11.2	1.6	0.70
	2006-11-09	2	4.5	0.5	9.0	0.70
Site 9	2006-07-25	3	9.0	6.5	1.4	0.89
	2006-08-16	10	3.0	0.8	3.8	0.73
	2006-09-05	5	18.0	11.2	1.6	0.85

표 3. 교통 관련 토지이용별 중금속 평균 EMC 산정

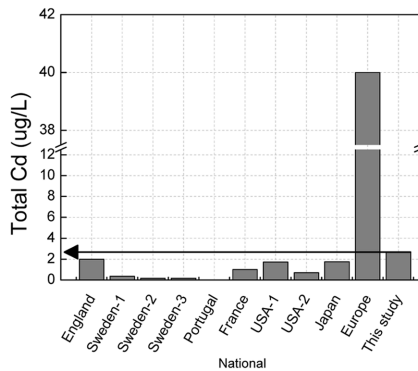
Site	Total Cd ( $\mu\text{g/L}$ )	Total Cr ( $\mu\text{g/L}$ )	Total Cu ( $\mu\text{g/L}$ )	Total Fe ( $\mu\text{g/L}$ )	Total Ni ( $\mu\text{g/L}$ )	Total Pb ( $\mu\text{g/L}$ )	Total Zn ( $\mu\text{g/L}$ )
고속도로	2.66	5.39	174.30	95.32	20.35	17.33	175.64
주차장	0.61	1.94	82.14	64.49	6.50	3.47	84.69
교량	0.67	2.64	111.27	63.28	14.79	5.04	105.05
휴게소	1.87	4.09	135.39	77.49	15.73	12.26	135.50
영업소	0.34	24.73	41.67	655.60	8.47	5038.90	95.76
평균	1.23	7.758	108.954	191.236	13.168	1015.4	119.328



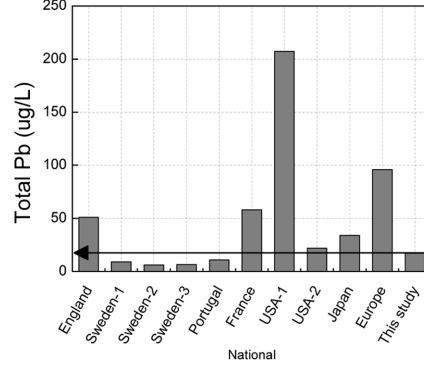
(a) Total Cu ( $\mu\text{g/L}$ )



(b) Total Zn ( $\mu\text{g/L}$ )



(c) Total Cd ( $\mu\text{g/L}$ )



(d) Total Pb ( $\mu\text{g/L}$ )

그림 2. 고속도로에서의 평균 EMC 비교

위 값(263.70  $\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{yr}$ )을 나타냈다. Total Fe의 경우 영업소 지점에서 가장 높은 값을 보이고 있는 것으로 산정되었으며, Total Ni의 경우 고속도로 지점에서 가장 높은 값으로 발생되는 것으로 나타났다. Total Pb의 경우 영업소 지점에서 가장 높은 값을 나타내는 것으로 산정되었으며, 가장 낮은 토지이용지역은 주차장 지역으로 분석되었다. 교통관련 토지이용에서의 중금속 평균 발생부하원단위를 산정한 결과, Total Cu는  $129.31 \text{ kg}/\text{km}^2\cdot\text{yr}$ , Total Pb는  $1,306.94 \text{ kg}/\text{km}^2\cdot\text{yr}$ , Total Zn는  $141.85 \text{ kg}/\text{km}^2\cdot\text{yr}$ 로 산정되었다. 또한 고속도로의 경우 그림 2와 같이 국가별 값과 비교하였을때 국내 고속도로에서의 Total Cu 원단위 값이 다소 높은 것으로 분석되었

고, Pb는 매우 낮은 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

다양한 비점오염원 중에서 교통 관련 토지이용은 많은 차량의 운행과 높은 포장율에 의해 타 토지이용보다 높은 중금속 발생량을 보이고 있다. 그러나 현재 환경부의 토지계 오염원단위에서는 일반적인 대지와 같이 묶어 관리함으로써 수질오염 개선 및 저감시설 선정에 애로사항으로 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 교통 관련 토지이용을 대표하는 고속도로, 주차장, 교량, 휴게소 및 영업소 지점에 대하여 3

표 4. 교통 관련 토지이용별 중금속 평균 원단위

Site	Total Cu ( $\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{yr}$ )	Total Fe ( $\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{yr}$ )	Total Ni ( $\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{yr}$ )	Total Pb ( $\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{yr}$ )	Total Zn ( $\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{yr}$ )
고속도로	263.70	143.98	30.62	26.07	265.64
주차장	138.29	108.56	10.94	5.83	142.58
교량	187.32	106.54	24.89	8.48	176.86
휴게소	3.41	4.84	2.26	6.35	0.81
영업소	53.84	844.72	11.03	6,487.96	123.36
평균	129.31	241.73	15.95	1,306.94	141.85

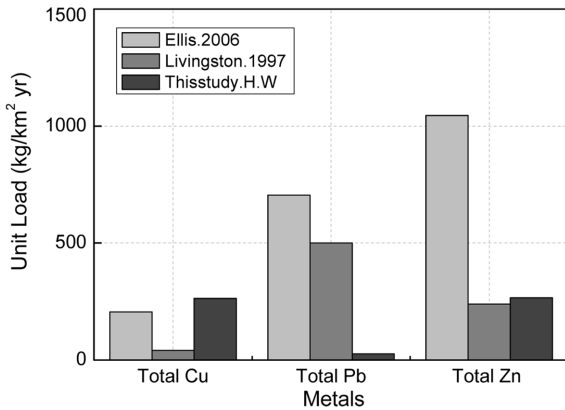


그림 3. 고속도로지점에서의 중금속 발생원단위비교

년간 수행된 모니터링 결과를 활용하여 평균 EMC 및 원단위 값을 산정하였다. 본 연구결과는 향후 개발사업 이전에 포장지역으로부터 오염물질의 효율적 산정에 기여할 것이며, 비점오염저감시설의 설치시 예상되는 삭감량 산정에도 중요한 기초자료로 활용될 것이다. 본 연구결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- (1) 휴게소지점과 영업소지점에서의 중금속 EMC 값이 고속도로를 제외한 다른 토지이용에서보다 높게 나타났는데, 그 이유는 차량의 급정거와 급출발에 의한 타이어 마모 및 브레이크 관련 차량 부속품 마모와 관련이 높은 것으로 알려졌다.
- (2) 고속도로 EMC의 값을 각 국가별 평균 EMC와 비교할 경우 Total Cu의 경우 타 국가에 비하여 국내에서 조사된 값이 매우 높은 것으로 나타났으며, Total Cd의 경우 본 연구에서의 값이 유럽보다는 상당히 낮았지만 기타 국가들에 비해서는 다소 높은 것으로 나타났다. 그러나 Total Zn과 Total Pb의 경우 중간 또는 다소 낮은 값을 나타내는 것으로 나타났다.
- (3) 교통관련 토지이용별 중금속 평균 원단위를 산정한 결과, Total Cu가 휴게소 지점에서 가장 낮은 3.41 kg/km<sup>2</sup>·yr을 나타내었고, 고속도로 지점에서 가장 높은 263.70kg/km<sup>2</sup>·yr을 나타냈다.
- (4) 교통관련 토지이용에서의 중금속 평균 발생부하원단위를 산정한 결과, Total Cu는 129.31kg/km<sup>2</sup>·yr, Total Pb는 1,306.94kg/km<sup>2</sup>·yr, Total Zn는 141.85 kg/km<sup>2</sup>·yr로 산정되었다.
- (5) 고속도로에서의 원단위 값을 타 국가별 값과 비교하였을 때 국내 고속도로에서의 Total Cu 원단위 값이 다소 높은 것으로 분석되었고, Pb는 매우 낮은 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 환경부 수생태복원사업단의 [도시 및 포장지역의 효율적 비점오염원관리기술 개발] 과제 및 한국도로공사 도로교통기술연구원의 [고속도로 비점오염 유출특성연구]의 지원으로 수행되었기에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 김이형, 강주현 (2004) 강우시 발생하는 고속도로 유출수의 초기 우수 특성 및 기준. **한국물환경학회논문집** 한국물환경학회, Vol. 20, No. 6, pp. 641-646.
- 김이형, 이선하 (2005) 주차장 및 교량지역의 강우유출수내 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs. **한국물환경학회논문집** 한국물환경학회, Vol. 21, No. 3, pp. 248-255.
- 김이형, 이은주, 고석오, 김성길, 이병식, 이주광, 강희만 (2006) 동적 EMC를 이용한 고속도로 초기우수 처리 기준 산정. **한국물환경학회논문집** 한국물환경학회, Vol. 22, No. 2, pp. 2994-2999.
- 이은주, 고석오, 강희만, 임경호, 이병식, 김이형 (2006) 고속도로 노면유출수의 중금속 유출 특성 및 상관성. **한국물환경학회논문집** 한국물환경학회, Vol. 22, No. 1, pp. 128-133.
- 환경부 (1999) 수질오염총량관리계획수립지침. 환경부 고시 제 1999-143호.
- 환경부 (2004) 관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원 관리 종합대책.
- Bannererman, R.T., Owens, D. W., and Dobbs, R. B (1993). Source of pollution in Wisconsin stormwater. *Water Sci. Technol.* Vol. 28, No. 3/5, pp. 241-259.
- Driscoll, E., Shelley, P., and Strecker, E (1990) *Pollutant loadings and impacts from highway stormwater runoff volume III: Analytical investigation and research report.*, Report No. FHWA/RD-88-008, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Ellis J. B and Mitchell. G (2006) Urban diffuse pollution: key data information approaches for the Water Framework, *Directive Water and Environment Journal*, Vol. 20, No. 1, pp. 19-26.
- Hvitved-Jacobsen, T. Johansen, N.B. and Yousef Y.A.(1994), Treatment systems for urban and highway runoff in Denmark. *Sci. Tot. Environ.*, Vol. 146, No. 47, pp. 499-506.
- Livingston E.H. (1997) *Water quality considerations in the design and use of wet detention and wetland stormwater management systems*, In: *Stormwater BMPs: The Good, the Bad, the Ugly*. Florida Department of Environmental Protection and Watershed Management Institute, Inc, 7.41p.
- Louis J. A (1994) *Contribution of heavy metals to storm water from automotive disc brake pad wear*. CA 94607-4014.
- U.S. EPA, (1994) *Nonpoint sources pollution control program*. U.S EPA Report 841-F-94-005, Washington, DC.
- U.S. EPA (1995) *Controlling nonpoint source runoff pollution from roads, highways and bridges*. U.S. EPA Report EPA-841-F-95-008a, Washington, DC.

- ◎ 논문접수일 : 08년 07월 14일
- ◎ 심사의뢰일 : 08년 07월 17일
- ◎ 심사완료일 : 08년 11월 28일