

# 주차장지역의 강우유출수로부터 발생된 퇴적물 특성

이 소 영\* / 이 은 주\*\* / 손 현 근\* / 김 철 민\* / M.C. Maniquiz\* /  
손 영 규\*\*\* / 김 지 형\*\*\*\* / 김 이 형\*\*\*\*\*†

## Sediment Characteristics in Parking Lot Ditch

Lee, Soyung\* / Lee, Eun-Ju\*\* / Son, Hyungun\* / Kim, Chulmin\* / Maniquiz, M.C.\* /  
Son, Youngkyu\*\*\* / Khim, Jeehyeong\*\*\*\* / Kim, Lee-Hyung\*\*\*\*\*†

**요약** : 최근 환경부의 환경정책은 수질오염총량관리제도의 전국적인 확대를 앞두고 다양한 토지이용에서 발생하는 비점오염물질의 관리를 추진하고 있다. 특히 도로, 고속도로 및 주차장 등의 포장된 지역은 수계 인근에 존재하고 있기에 비점오염원 관리에서 우선순위로 인정되고 있다. 본 연구의 토지이용인 주차장은 많은 차량의 운행, 정차 및 주차로 인하여 다량의 입자상 물질이 포함된 비점오염물질의 축적이 높은 토지이용이다. 또한 높은 포장율로 인하여 강우 발생시 다량의 강우유출수가 비점오염물질을 함유하여 배수구로 유출되는 특성을 가지고 있다. 이러한 맨홀은 강우시 유출된 강우유출수를 짧은 기간이지만 체류시켜 입자상 물질을 처리하는 기능을 가지고 있다. 따라서 본 연구는 주차장 맨홀에서의 퇴적물을 채취하여 입자상 물질 입도별 중금속의 함량을 조사함으로써 맨홀에 의한 비점오염물질의 제거율을 분석하고자 한다. 또한 중금속으로 오염된 퇴적물의 효과적 관리방안을 제시하기 위하여 본 연구는 수행되었다. 이러한 연구를 위하여 채취된 퇴적물의 입도분석이 시행되었으며, 입도분포별 중금속의 오염도를 조사하였다. 입도분석을 수행한 결과 425-850 $\mu$ m 사이의 입도가 가장 많은 범위를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 입도 크기와 중금속의 함량을 분석한 결과 입도크기가 적을수록 높은 중금속의 함량을 나타내었다. 중금속 중에서 Cu, Pb, Zn의 함량이 전체 중금속의 30% 정도를 차지하는 것으로 나타났는데 그 이유는 이러한 오염물질이 차량의 타이어와 엔진파트에 많이 함유된 중금속이기 때문이다. 본 연구를 통해 주차장의 맨홀은 비점오염물질의 제거에 많은 기여를 한다는 것을 확인할 수 있었으며, 향후 주차장의 비점오염원 관리에 있어서 맨홀의 개량을 통해 더욱 더 높은 비점오염물질의 제거를 수행할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

**핵심용어** : 주차장, 중금속, 입도분포, 퇴적물

**Abstract** : A ditch is a facility for managing washed-off runoff from parking lot area. Washed-off runoff inflows into ditches where it is retained for a short period of time. At this point, it is assumed that a ditch is a preliminary unit for runoff treatment. This research carries out the distribution of particle size and chemical compound for sediment in parking lot ditch. This work is important to understand the amount of generated sediment from this area to be able to determine different particle size ranges for treatment. Metal concentrations for sediment according to particle size are analyzed. From the distribution of particle size, the weight ratio with the range of 425-850 $\mu$ m is the highest. Considering its weight ratio, the metal concentration of coarser particles is high, otherwise metal concentration increases as particle size decreases. Metal load of the range is higher and the ratio of total metal load in the case of Cu, Pb, Zn is nearly 30%. Moreover metal concentration associated with particle size

+ Corresponding author : leehyung@kongju.ac.kr  
\* 정회원-공주대학교 건설환경공학부방재연구센터  
\*\* 정회원-공주대학교 건설환경공학부BK21 계약교수  
\*\*\* 정회원-고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정  
\*\*\*\* 비회원-고려대학교 사회환경시스템공학과 교수  
\*\*\*\*\* 정회원-교신여자공주대학교 건설환경공학부 교수

depends on particle ratio. To manage non-point source pollution for parking lot area, these results can be used with this ditch unit.

**Keywords** : metals, parking lot ditch, particle size distribution, sediment

## 1. 서 론

최근 비점오염원에 대한 관심이 집중되면서, 다양한 토지이용으로부터 강우시 유출되는 비점오염물질을 관리하기 위한 최적관리기법들의 수립에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 다양한 토지이용으로부터 비점오염물질이 발생되며, 그 중도로, 주차장, 교량 등의 포장지역은 좁은 면적에 비해 오염물질이 고농도로 유출되는 특성이 있으며, 선진국에서는 이러한 토지이용에 대해서 우선 관리대상지역으로 지정하여 관리하고 있다.

유럽의 담수시스템에서는 농업과 침식 및 도시 강우유출수와 같은 비점오염원이 원인이 되어 중금속 부하량의 40-90%를 차지하는 것으로 나타나 있다(Scherer et al., 2003). 담수시스템내의 중금속부하에 있어서 중요한 비점오염원 중 하나는 자동차의 운행이며, 타이어의 마모로 Zn, Cd, Cu가 배출되고, 브레이크 패드로부터 Sb, Cu, 부식으로 Fe, Cd, Zn, Cu, V, Ni, 윤활유로 V, Cd, Cu, Zn, Mo, 연료첨가제로 V, Cd, Zn, Pb이 방출된다(Suthertland and Tolosa, 2000; Ward, 1990). 교통과 관련있는 중금속들은 강우후에 배수시스템으로 유출된다. 일반적으로 주차장 지역의 배수구 퇴적물은 강우시 유출되는 비점오염물질에 기인한 것이다. 특히 강우시 주차장에서 유출되는 오염물질 중 중금속, PAHS 등은 입자상 물질에 흡착되어 배출되는 특성이 있으며, 1차적으로 배수구 맨홀에 유입된 후 침전하게 되며 최종적으로는 퇴적물로 발생되게 된다. 또한 건조기간이 길어지면 배수구 맨홀에 퇴적된 퇴적물들은 건조과정을 거치게 된다. 주차장 배수구 맨홀은 우수의 배수 등을 위한 시설물이나 퇴적물이 주기적으로 축적되어 있다면, 퇴적물에 관리가 필요한 곳이다.

2000년대 들어 수질오염총량관리제도의 도입으로 인하여 다양한 토지이용에서 유출되는 비점오염물질의 특성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 환경부는 4대강 중 한강수계의 비점오염물질을 저감하기 위하여 토지이용별 저감시설을 설치하여 모니터링을 실시하고 있다. 이러한 비점저감 시설에 대한 처리특성 및 유지관리에 관한 결과들은 향후 다양한 토지이용으로부터 배출되는 비점오염물질을 관리하기 위한 최적관리방안으로 제시될 예정이다.

이러한 관점에서 볼때 주차장에 설치되어 있는 배수구 맨홀은 강우시 배출을 목적으로 설치된 시설이지만, 비점오염물질이 유입되어 일정시간의 체류시간 후 우수관거로 유입되기에 비점오염물질을 관리하기 위한 시설로 분류할 수 있다. 따라서 본 연구는 주차장 배수구를 비점오염물질의 저감 시설 중 침사지 기능을 갖고 있는 처리시설로 보고, 강우시 우수관거로 유입되기 전 하나의 침전기능을 갖는 시설의 관점에서 접근하고자 하며, 퇴적된 퇴적물에 대한 중금속농도를 분석하여 주차장지역의 비점오염물질의 저감방안 수립시에 이러한 시설물에 대한 관리를 함께 수립하도록 하기 위한 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 대상지역 및 연구방법

주차장 배수구 내 퇴적되어 있는 퇴적물의 오염도를 파악하고자, 그림 1과 같이 모니터링 지점을 K대학교 교내 주차장을 대상으로 하여, 4개 지점의 배수구에서 2005년 10월에 퇴적물을 채취하였다.

선정된 지점의 특성은 표 1과 같이 정리되며, 주차장의 면적은 686.4m<sup>2</sup>로 나타났으며 아스팔트로 포장되어 불투수율이 100%를 보이고 있는 지



그림 1. 대상 주차장(a)과 배수구(b)

표 1. 모니터링 지점의 특성

Locations	Area (m <sup>2</sup> )	Pavement Type	Imperviousness Rate(%)
주차장 (K대학교 교내)	686.4.	Asphalt	100

역이다.

주차장지역에서 채취한 퇴적물을 풍건한 후에 2mm 체로 체 가름하여 체에 통과한 시료를 이용하였다. 채취한 퇴적물은 입자의 범위를 파악하기 위하여 Sieve Test를 이용하여 입도분석을 실시하였으며, 2000, 1000, 850, 425, 250, 180, 150, 75 $\mu$ m의 순으로 시료를 통과시켰다. 입도별 중금속 분석시 분석항목으로는 강우유출수내 비교적 고농도로 존재하는 Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb 항목에 대하여 토양환경보전법의 전처리방법 (0.1N HCl)을 이용하고 여과지 (0.45 $\mu$ m)로 거른 뒤 각 입도별 중금속 농도를 분석하였다. 중금속 분석은 ICP(Inductively Coupled Plasma) 분석법을 이용하여 분석하였고, Shimadzu사의 ICP-7000을 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 주차장 퇴적물의 입도분포

그림 2는 퇴적물의 입도별 중량 퍼센트(%)를 분석한 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 외국문헌을 살펴볼 때 강우시 유출되는 강우유출수내 입자는 100 $\mu$ m보다 더 작은 입자의 범위를 나타내는

것으로 나타났다(Ball and Abustan, 1995, Drapper, 1998; Lloy and Wong, 1999). 그러나 그림 2를 살펴보면 대체적으로 퇴적물의 입경 범위가 425-850 $\mu$ m 범위로 비교적 높은 중량비율을 보이고 있다. 이러한 오염된 퇴적물의 분포는 향후 처리시설 선정 및 설계에 있어서 중요한 설계인자이다. 외국의 경우(Vaze et al, 2002), 비점오염원 저감시설의 설계에 처리대상 오염물질의 선정과 처리하고자 하는 입자의 크기를 중요한 설계인자로 이용하고 있다. 특히 주차장에 설치된

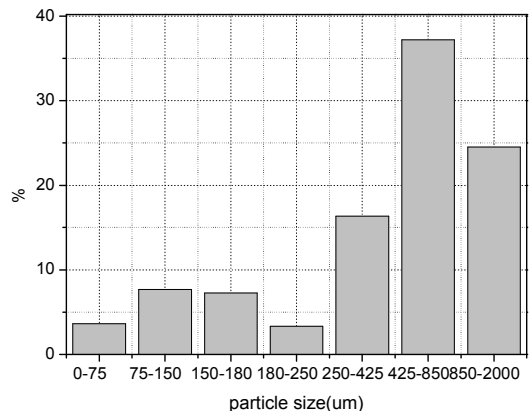


그림 2. 퇴적물의 입도분포

배수구 맨홀은 앞서 언급하였듯이 강우시 강우유출수를 배출하는 곳이며, 향후 필요시 비점저감시설로 활용될 시설이기에 맨홀 개량 기술 개발 차원에서 본 연구결과는 중요한 설계인자를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

입자의 무게는 입자의 크기와 관련 있는 것으로, 입자의 크기가 클수록 퇴적물 내 차지하는 비율이 큰 것으로 나타났다. 또한 비교적 큰 입자들은 작은 입자에 비해 침전성이 있기 때문에 퇴적물로 발생된 입자 중 비교적 큰 입자들의 함량이 큰 것으로 나타났다. 주차장퇴적물은 주차장 배수구 맨홀에서 채취한 것으로, 주차장지역에서 유출되는 강우유출수로부터 기인한 것이며, 강우유출수내 입도분포결과가 퇴적물의 입도분포결과에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 일반적으로 강우시 강우유출수 내 무거운 입자들은 침전에 의해 맨홀에 가라앉게 되고, 계속되는 유입에 의해서 강우유출수내 가벼운 입자들은 우수관거를 통해 인근의 하천으로 유출되는 과정을 거치게 된다.

### 3.2 입도별 중금속 농도

표 2는 입자크기별 평균 중금속 농도를 나타내고 있다. 입자크기가 작으면 작을수록 흡착된 중금속 농도는 더 높아지는 것으로 분석되었고, 대부분의 중금속은 250 $\mu$ m이하로 갈수록 농도가 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 도로변 우수관의 퇴적물에 대한 중금속분석결과(Lee and

Touray, 1998)중 미세한 입자일수록 중금속의 함량이 큰 입자의 퇴적물보다 수배 정도 높은 것으로 나타난 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 일반적으로 이러한 미세입자는 오염물질의 거동을 고려할 때 중요하게 고려되는데, 그 이유는 퇴적물입자가 감소함에 따라 오염물질의 중금속 농도가 증가하기 때문이다(Ellis and Revitt, 1982; Sansalone and Buchberger, 1997). 주차장지역에서 강우시 유출되는 강우유출수의 오염물질들은 배수구에 침전되어 퇴적되는데, 강우유출수내 고농도로 유출되는 중금속으로 인하여 높은 농도로 존재하는 것으로 분석되었다.

### 3.3 중량을 고려한 입도별 중금속 농도

중량을 고려한 입자크기별 중금속 농도의 통계 분석결과를 그림 3에 나타내었고, 이 결과로부터 입자크기별 평균 중금속 농도를 그림 4에 나타내었다. 또한 전체 중금속 농도에 대한 비율을 그림 5에 나타내었다. 모든 중금속에 대하여 425-850 $\mu$ m 범위의 입자에서 분석된 중금속 농도가 가장 높게 나타났으며, 앞에서 나타난 입도분포 결과와 일치하는 것으로 분석되었다.

퇴적물의 중량비율을 고려한 입도별 중금속 농도의 모든 항목에 대하여 살펴보면, 425-850 $\mu$ m 입자범위에서 가장 높은 농도를 나타내고 있으며, 전체적으로 250 $\mu$ m이상 크기의 입자에 대한 중금속 농도가 높은 것으로 분석되었다. 특히 중금속

표 2. 각 입도별 중금속 농도

Particle size( $\mu$ m) and concentrations(mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)
0 - 75	18.38	135.41	7.28	0.42	741.92	4.08	0.54
75-150	30.92	122.26	15.43	1.55	1031.98	3.98	0.55
150-180	31.85	107.57	22.30	3.70	1272.26	4.13	0.45
180-250	27.29	94.88	21.05	3.65	1220.47	3.58	0.40
250-425	25.88	73.98	17.54	2.43	1163.58	2.55	1.86
425-850	21.83	69.23	15.04	1.51	1154.63	1.90	0.98
850-2000	16.02	56.50	12.22	1.09	1163.74	1.30	1.91
whole	22.56	77.00	15.24	1.75	1144.66	1.31	1.25

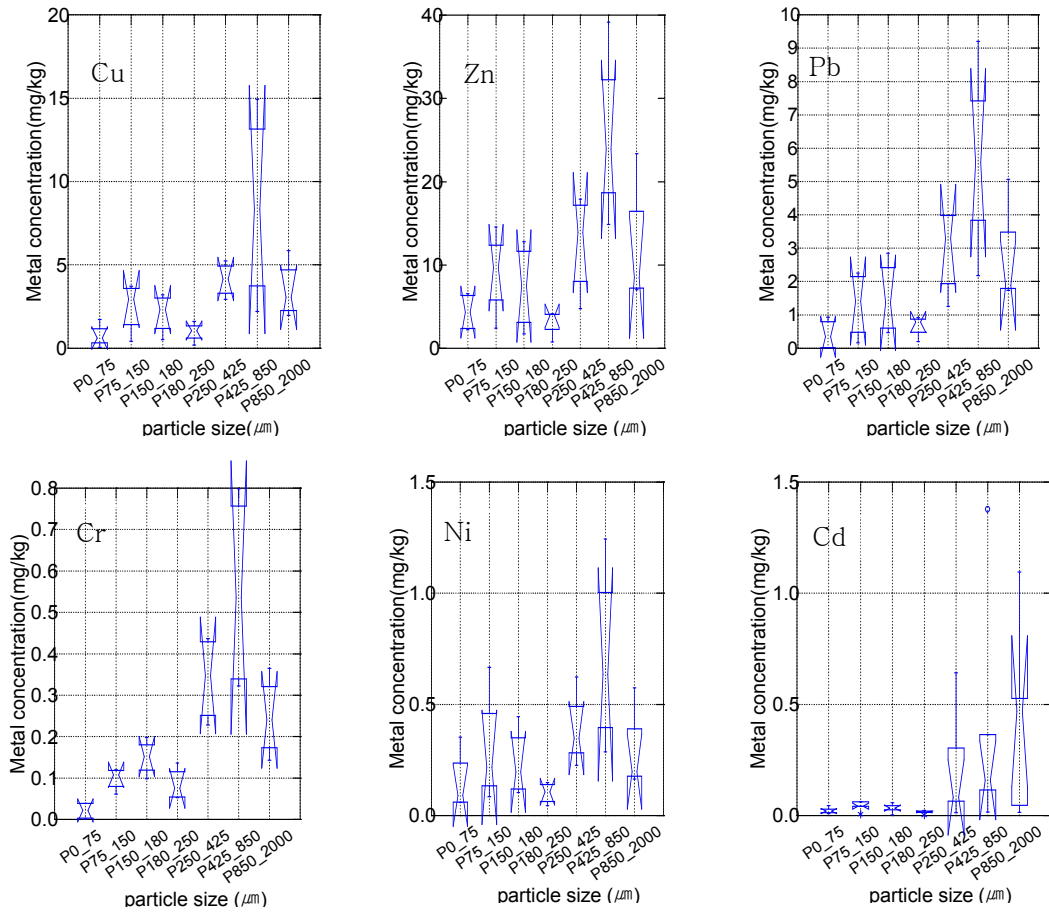
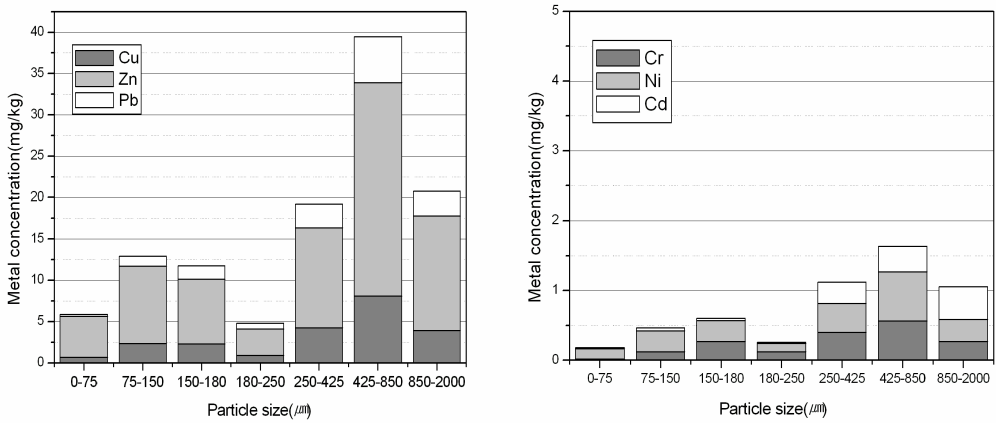


그림 3. 입도별 중금속 통계분석결과



(a) (b)  
그림 4. 중량을 고려한 입도별 평균 중금속 농도

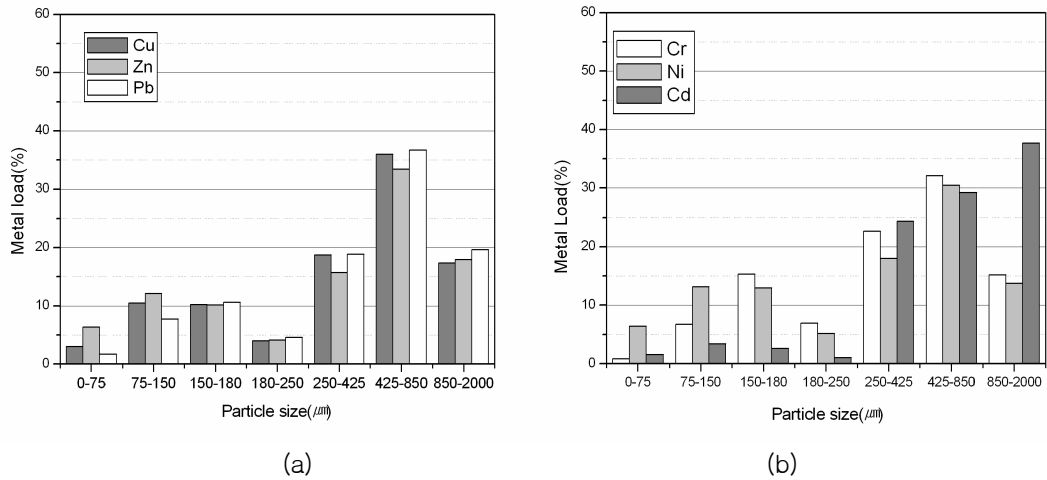


그림 5. 중량을 고려한 입도별 중금속 비율

중에서 Cu, Pb 및 Zn의 함량분포는 425-850 $\mu$ m 사이의 입자에서 30%이상을 나타내고 있지만 Cd의 농도는 850-2000 $\mu$ m 사이의 입자가 가장 큰 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 중금속의 경우 입도별 흡착선호도가 다름을 나타내고 있다. 이러한 결과는 앞서 분석한 입도분석의 결과와 일치하는 것으로, 입자크기별 중금속 농도는 단위체적당 분석된 중금속의 농도보다는 입자의 비율에 의존하는 것으로 나타났다.

퇴적물 내 존재하는 중금속은 비교적 큰 입자에서 높은 농도를 나타내는 것으로 나타났는데, 이러한 특징은 강우유출수가 배수구내에 침전하는 경우와 우수관으로 유입되는 것을 생각해볼 때, 비교적 큰 입자들이 배수구내에 침전하는 것이며, 이러한 입자들이 퇴적물 내 비교적 큰 비율을 차지하는 것으로 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

다양한 토지이용에서 발생된 비점오염물질중에서 중금속은 강우시 입자상 물질 및 부유물질에 흡착되어 수계로 유입하게 된다. 특히 중금속과 관련 있는 이러한 퇴적물은 수계의 바닥에 오랜

기간 축적될 수 있으며, 수질이 향상된 이후에 새로운 내부 오염원으로 작용할 수 있다. 본 연구는 주차장지역으로부터 강우유출수에 기인한 퇴적물에 대하여 입도 분석, 각 입도별 중금속 농도를 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다. 이러한 결과는 포장지역 중 주차장지역의 퇴적물 관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

1. 주차장 퇴적물의 입도분석 결과 425-850 $\mu$ m 범위의 입자가 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 나타났다.
2. 입자크기가 작을수록 중금속의 농도가 높으나, 중량비 고려시에는 425-850 $\mu$ m 범위입자의 중금속 농도가 높은 것으로 나타났으며, 입자크기가 클수록 전체 중금속의 비율이 높게 나타났다.
3. 중금속 부하량은 425-850 $\mu$ m의 입자에서 높게 나타나며, 이 범위에서의 중금속 부하량은 전체 중금속 함량의 30%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다.
4. 입자크기별 중금속 농도는 단위체적당 분석된 중금속의 농도보다는 입자의 비율에 의존하는 것으로 나타났다.

5. 본 연구를 통해 주차장의 맨홀은 비점오염 물질의 제거에 많은 기여를 한다는 것을 확인할 수 있었으며, 향후 주차장의 비점오염원 관리에 있어서 맨홀의 개량을 통해 더욱 더 높은 비점오염물질의 제거를 수행할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- Ball, J.E., Abustan, I. (1995). "An investigation of particle size distribution during storm events from an urban catchment." Proceedings of the Second International Symposium on Urban Stormwater Management, NCP No. 95/03(2), pp. 531-535.
- Drapper, D. (1998). "Road runoff water quality in South-East Queensland." Progress Report, July 1998, unpublished, Report for Department of Main Roads, Queensland, Australia.
- Ellis, J.B., Revitt, D.M. (1982). "Incidence of heavy metals in street surface sediments: solubility and grain size studies." *Water Air Soil Pollut.*, 17, pp. 87-100.
- Lee, P.K., Touray, J.C. (1998). "Characteristics of polluted artificial soil localized on a motorway border and effects of acidification on the leaching behavior of heavy metals (Pb, Zn, Cd)." *Water Research*, 32, pp. 3425-3435.
- Lloyd, S.D., Wong, T.H.F. (1999). "Particulates, associated pollutants and urban stormwater treatment." Proceedings of the Eighth International Conference on Urban Storm Drainage, Sydney, Australia, pp. 1833-1840.
- Sansalone, J.J., Buchberger, S.G. (1997). "Characterization of solid and metal element distributions in urban highway stormwater." *Water Sci Technol*, 36, pp. 155-160.
- Scherer, U., Fuchs, S., Behrendt, H., Hillenbrand, T. (2003). "Emissions of heavy metals into river basins of Germany." *Water Sci. Technol*, 47, pp. 251-257.
- Sutherland, R.A., Tolosa, C.A., (2000). "Multi-element analysis of road deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii." *Environ. Pollut*, 110, pp. 483-495.
- Vaze, J., Chiew Francis H.S. (2002). "Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface." *Urban Water*, 4, pp. 379-389.
- Ward, N.I. (1990). "Multielement contamination of British motorway environments." *Sci. Total Environ*, 93, pp. 393-401.