

# 도로 포장방법에 따른 비점오염물질 유출특성 비교

김철민\* · 최지연\* · 이정민\*\* · 조혜진\*\*\* · 김이형\*\*

\* 공주대학교 건설환경공학부

\*\* 한국토지주택공사 토지주택연구원 도시환경연구실

\*\*\* 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로교통연구실

## Characteristics of Stormwater Runoff with respect to Pavement Types

Cheolmin Kim\* · Jiyeon Choi\* · Jung Min Lee\*\* · Hyejin Cho\*\*\* · Lee-Hyung Kim\*\*

\* Dept. of Civil & Environ. Engg., Kongju National University

\*\* Dept. of Urban Environ. Research, Korea Land & Housing Institute, Korea Land & Housing Corporation

\*\*\* Highway & Transportation Research Division SOC Research Institute, Korea Institute of Construction Technology

### 요 약

도로는 높은 포장율과 자동차 운행으로 인하여 건기시 다양한 오염물질이 축적되며, 강우시 유출되어 수계에 환경수리학적 영향을 끼친다. 특히 도로노면은 아스팔트 또는 콘크리트로 포장되면서 거친 정도에 의한 오염물질의 축적과 유출정도가 다르다. 따라서 본 연구는 포장 재료에 따른 강우시 비점오염물질 유출특성을 분석하기 위하여 2012년도에 신규 개통한 구간에서 모니터링이 수행되었다. 강우 초기에 비점오염물질이 집중적으로 유출되는 초기강우현상은 포장재료와 관계없이 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 노면과 자동차 타이어와의 마찰력이 큰 콘크리트 포장에서는 모든 수질오염항목에서 침투농도가 높게 나타났다. 이러한 영향으로 인하여 TSS, 유기물과 영양염류의 유량기중평균농도(EMC, Event Mean Concentration)도 콘크리트 포장에서 높게 나타났다. 본 연구결과는 도로 포장방법이 수문학적 유출특성, 도로의 물리적 디자인 및 자동차의 운행대수 등과 함께 오염물질 유출에 크게 영향을 끼치는 중요한 인자라는 것을 보여준다.

**핵심용어** : 아스팔트, 콘크리트, 포장방법, 비점오염원, 유출특성

### Abstract

Due to high imperviousness rates of the roads, various pollutants originated from vehicle activities and air depositions are accumulated on the road surfaces. The washed-off pollutants can deteriorate the water quality and destroy the aqua-ecosystems with their toxicity. Usually the roads are paved with asphalt and concrete, which can affect on the pollutant concentrations with different frictional forces. Therefore, this research is performed to evaluate the influences of different pavement type on discharged concentrations of pollutant. The results shows the first flush phenomenon was occurred on both pavement types. However, peak concentrations are higher in concrete pavement areas than asphalt pavement because concrete pavement has high contact area with vehicles. The EMCs(Event Mean Concentration) also shows high values in concrete paved roads. As a result of this research, it can be concluded the pavement type is also one of the important affecting factors on pollutant emissions from the roads.

**Keywords** : Asphalt, Concrete, Pavement type, Nonpoint sources, runoff characteristics

## 1. 서 론

도로는 환경영향평가대상 개발사업 중에서 불투수율이 가장 높은 개발사업이다. 도로의 높은 불투수율은 강우시 유출유량과 침투유량의 증가와 침투유량 초기 발생 등과 같은 수리수문학적 변화에 영향을 준다. 또한 높은 불투수율은 건기시 다양한 오염물질(입자상물질, 중금속, 기름류 등)의 축적을 초래하며, 강우시 변화된 수문학적 원인에 의하여 다양으로 유

출되어 수계의 환경생태학적 기작에 영향을 끼친다. 이러한 높은 불투수율에 의한 수계에의 영향은 홍수 빈도 증가, 하천의 건천화, 하천 수온증가, 독성물질 유출로 물고기 폐사, 용존산소 고갈, 부영양화, 수계의 자정작용능력 감소 등이다 (Kim and Kang, 2004; Lee et al, 2006). 다양한 개발사업 중에서 불투수율이 가장 높은 개발사업은 도로개발이다. 따라서 환경부는 수질 및 수생태계보전에 관한법률 제53조 1항에서 환경영향평가대상에 포함되는 신규 도로개발사업

+ Corresponding author : leehyung@kongju.ac.kr

에 대해 비점오염저감시설 설치신고를 의무화하였으며, 2013년도에는 53조 2항을 신설하여 기존도로라 할지라도 수질 및 수생태계에 영향을 끼치는 경우 비점오염저감시설 설치를 의무화하도록 하였다(MOE, 2013). 이렇게 비점오염저감시설 설치를 기존도로에 까지 확대하였다는 것은 그만큼 도로에서의 비점오염물질 유출이 수질과 수생태계에 큰 영향을 준다는 것을 의미한다. 또한 2012년 관계기관 합동으로 발표한 “제2차 비점오염원관리 종합대책”에서도 도로 비점오염원에 대한 관리를 중요하게 다루고 있으며, 저영향개발과 그린빗물인프라 시설을 적용할 것을 권고하고 있다(MOE, 2012, 2013). 일반적으로 도로는 중분류 토지이용 중에서 불투수율이 가장 높은 토지이용이기에 타 토지이용보다 불확실성이 낮지만 여전히 강우와 포장면의 특성 및 자동차의 운행 특성의 차이에 의하여 유량가중평균농도(Event Mean Concentrations, EMC)는 큰 값의 차이를 보인다. 문헌(Helsel et al, 1979; Kim and Lee, 2005)에 의하면 도로 유출 오염물질의 수질 농도와 유출량에 영향을 주는 인자는 매우 다양한 것으로 보고된다. 그 중에서 선행 무강우일수, 자동차 통행량, 주변 토지이용, 강우강도, 강우

지속시간, 운전특성, 도로 유지관리 특성, 포장률, 경사도 등이 중요한 불확실성의 원인으로 알려져 있다. 그러나 포장방법이 비점오염물질 유출에 어떠한 영향을 끼치는지에 대한 연구는 매우 미흡하다. 따라서 본 연구에서는 도로 포장방법에 따른 오염물질의 유출특성을 분석하여 향후 도로 관리에 이용가능한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 대상지역 및 모니터링 지점

본 연구를 위한 대상지역은 충남의 아산과 세종시를 연결하는 왕복 4차선의 43번 국도이며 2012년도에 개통하였다. 도로포장별 모니터링은 2013년도에 수행되었으며, 모니터링 지점은 Fig. 1과 같이 6개 지점으로 선정되었다. 6개 지점 중에서 교량구간인 Site 3과 4는 콘크리트 포장지역이고, 나머지 4개 지점은 아스팔트 포장지역이다. Table 1은 모니터링 지점의 유역면적 및 포장형태 등을 나타내고 있다.

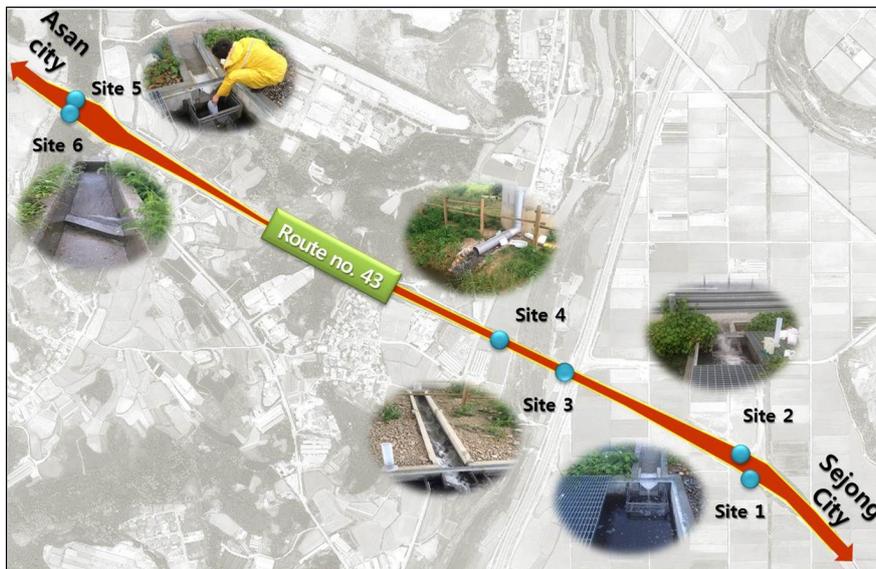


Fig.1. Location of monitoring sites

Table 1. Descriptions of monitoring sites

Characteristics	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6
Catchment area(m2)	1,620	2,340	3,600	3,200	1,020	950
Land use	road	road	bridge	bridge	road	road
Pavement type	asphalt	asphalt	concrete	concrete	asphalt	asphalt

## 2.2 모니터링 및 EMC 산정

유량과 수질시료 채취를 위한 모니터링은 포장지역의 초기강우 특성을 반영할 수 있는 Kim 과 Kang (2004)의 방식을 채택하였다. 수질 시료채취는 강우가 시작된 이후 15분까지는 5분 간격으로, 30분까지는 15분, 1시간까지는 30분 간격으로 채취하였으며, 이후에는 강우 종료시까지 1시간 간격으로 채취하였다.

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

본 연구에서 산정된 EMC 값은 국내 연구자료(Lee et al, 2006; Kim and Lee, 2005)와 독일(Stotz, 1987)과 영국(Hamilton et al., 1987), 미국(Kayhanian et al., 2007), 프랑스(Bardin et al., 1996), EU(Bruen et al., 2006)의 값과 비교하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 포장방법별 유출특성 비교

모니터링 기간 동안 총 24번의 강우사상에 대한 모니터링이 수행되었으며, Table 2는 강우사상별 특성을 정리한 것이다. 모니터링 강우사상의 강우량 분포는 1~60mm 범위에서 수행되었으며, 강우지속시간은 0.4~12.5hr의 범위로 수행되었다. 모니터링이 수행된 6개 지점의 평균 유출율은 0.17~0.63의 범위로 나타났다.

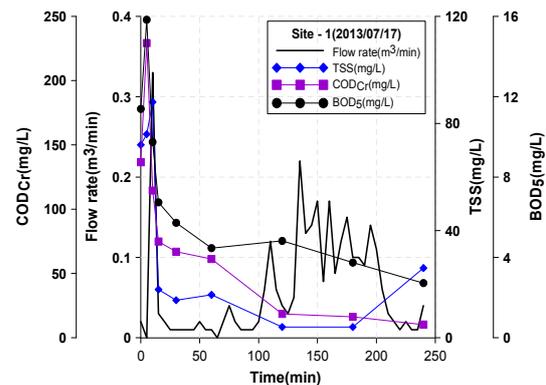
Table 2. Summary of monitored events

Parameters	ADD (days)	Total rainfall (mm)	Total rainfall duration (hr)	Total runoff duration (hr)	Total runoff (m <sup>3</sup> )
No. of cases	24	24	24	24	24
Min.	0.9	1.0	0.4	0.3	0.1
Max.	4.3	60.0	12.5	13.4	78.8
Mean	2.5	16.7	5.2	4.6	10.0
95% CI Lower	1.9	7.5	3.6	3.1	1.4
95% CI Upper	3.1	25.9	6.8	6.2	18.6

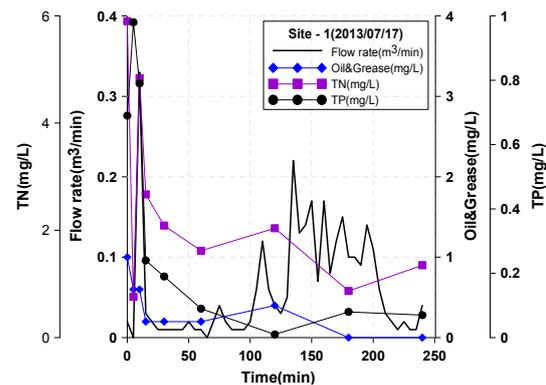
Note) ADD(Antecedent Dry Days, day). CI(Confidence Interval)

시료의 수질 농도분석은 입자상물질(TSS), 중금속(Cu, Pb, Zn), 유기물(BOD, COD), 영양염류(N, P), Oil & Grease 등에 대하여 수질오염공정시험법에 근거하여 수행되었다. EMC는 식 (1)을 이용하여 산정하였으며,  $C(t)$ 와  $Q_{run}(t)$ 는 시간  $t$ 에서의 유출농도와 유출유량을 나타내고 있다.

콘크리트 포장에서 발생하는 비점오염물질의 수리수문 농도곡선을 나타내고 있다. 아스팔트와 콘크리트 포장 모두에서 강우 초기 오염물질들이 집중적으로 유출되는 초기강우현상을 보였다. 그러나 동일 강우 사상에서 콘크리트 포장에서 높은 침투유량을 나타냈는데 이는 유역면적의 차이도 있지만 콘크리트 포장의 거친 정도가 아스팔트 포장에 비해 낮아 더 높은 유출유량이 발생했기 때문이다.

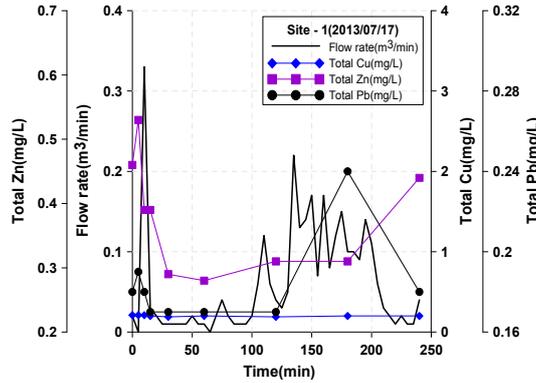


(a) TSS and BOD, COD



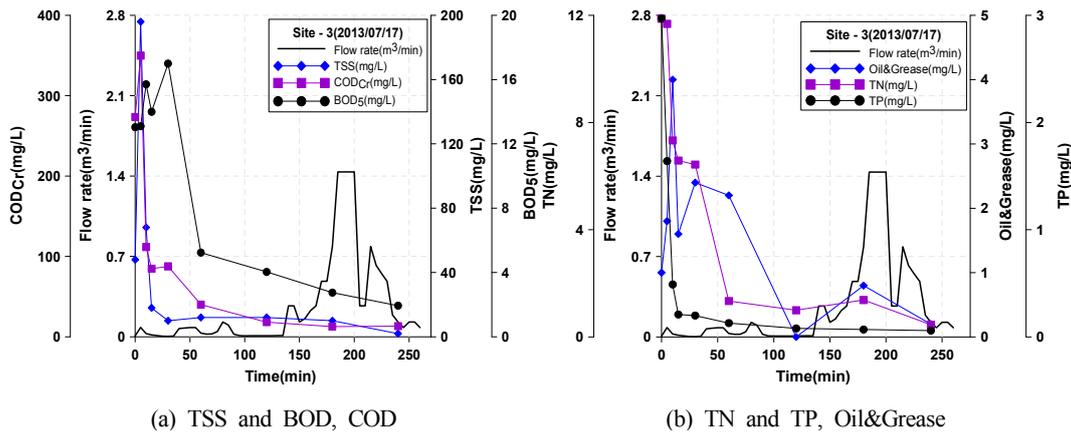
(b) TN and TP, Oil&Grease

Fig. 2와 3은 동일 강우사상에서 아스팔트 포장과



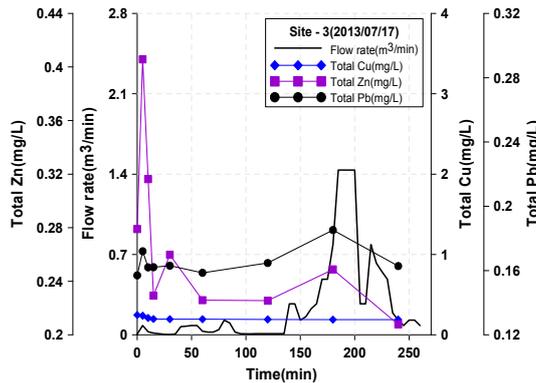
(c) Total Zn and Cu, Pb

Fig. 2. Hydro-polluto graph of site 1 at asphalt pavement



(a) TSS and BOD, COD

(b) TN and TP, Oil&Grease



(c) Total Zn and Cu, Pb

Fig. 3. Hydro-polluto graph of site 3 at concrete pavement

### 3.2 포장방법별 EMC 비교

도로와 같은 포장지역에서 유출되는 비점오염물질의 농도에 영향을 끼치는 인자는 수문학적 특성, 자동차의 운행대수, 도로의 물리적 구조 등으로 매우 다양하다. 그러나 본 연구결과 포장방법도 도로에서 유출되는 오염물질의 성상과 양에 크게 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 포장방법에 따른 비점오염물질

의 유출 EMC가 Fig. 4와 같이 나타나 있다.

강우시 입자상 물질(TSS), 유기물질(COD, BOD) 및 영양염류(N, P)의 침투유출농도를 살펴보면 콘크리트 포장에서 아스팔트 포장보다 높게 나타났다. 이는 콘크리트 노면과 자동차의 마찰면적이 넓어 타이어의 마모에 영향을 주었으며, 부드러운 콘크리트 표면에 의하여 건기시에 많은 오염물질이 축적되었다가 강우

시 유출되었기 때문이다. 이러한 결과는 Crawford와 Linsley(1966)가 수행한 포장면과 자동차의 마찰에 대한 조도계수 연구와 유사한 결과이다. 그 연구에서는 아스팔트 포장의 조도계수를 0.012 그리고 콘크리트 포장의 조도계수는 0.014로 도출하였고 콘크리트 포

장이 자동차 운행 시 많은 오염물질을 발생한다고 보고하였다. 그러나 중금속의 경우 아스팔트와 콘크리트 포장에서 유사한 값을 보였는데 그 이유는 낮게 유출되는 중금속의 농도와 중금속의 근원이 자동차 부품의 마모가 원인이기 때문이다.

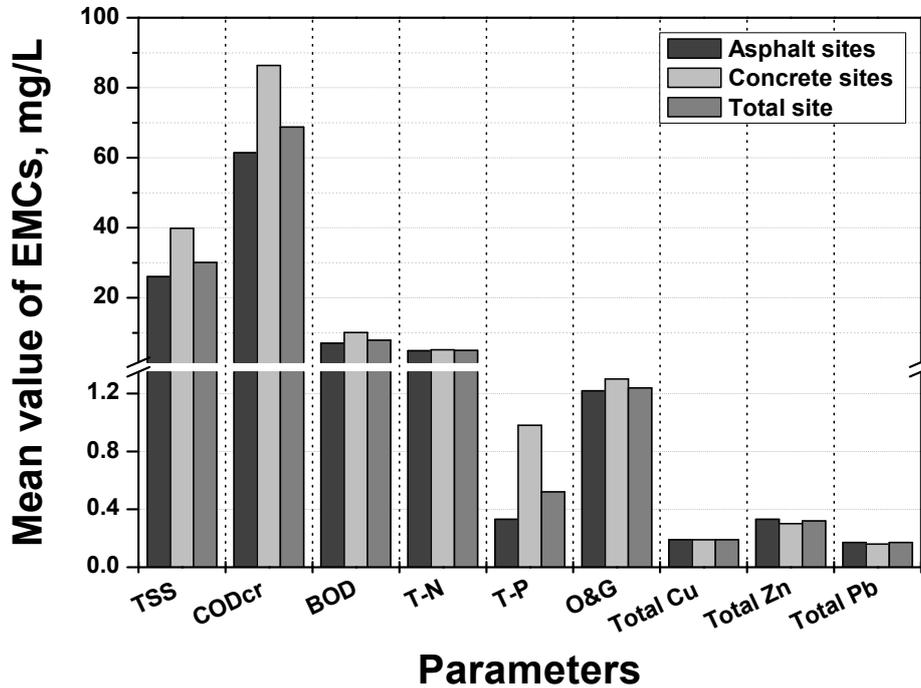


Fig. 4. Comparison of EMCs for asphalt and concrete pavements

### 3.3 타 연구결과와 본 연구의 EMCs 비교

Table 3은 EMCs 중에서 주요 도로 유출오염물질인 TSS와 Total Pb, Total Zn의 EMC를 국내외 다른 연구결과(Maniquiz et al., 2012; Kang et al., 2011; Mercado et al., 2012; Lee et al., 2009; Son et al, 2009)와 비교한 것이다. 본 연구의 TSS EMC 값이 기존 연구보다 낮게 나타났는데 그 이유는 자동차의 운행대수, 운행 행위 및 도로의 관리상태 때문이다. 일반적으로 TSS는 자동차의 적재화물, 타이어 유출 입

자물질 또는 조경공간에서 유출된다. 그러나 본 연구 지점에서는 입자상 물질을 운반하는 트럭의 운행대수가 낮고, 조경공간에서의 흐름이 도로 바깥쪽으로 유출되는 구조로 되어 있기 때문에 낮은 농도를 보이는 것으로 나타났다. 일반적으로 중금속의 경우에는 자동차의 마모, 도로의 난간과 노면 도색 등(Davis and Shokouhian, 2001)에 의하여 유출된다. 본 연구의 중금속 EMC는 타 연구결과에 비하여 다소 높은 농도를 나타내는데 그 이유는 도로의 노면 도색과 중앙분리대 및 자동차의 마모가 주요 원인으로 분석된다.

Table 3. Comparison of the EMCs with other studies (Maniquiz et al., 2012; Kang et al., 2011; Mercado et al., 2012; Lee et al., 2009; Son et al, 2009)

Parameters (Unit: mg/L)	This study			Other studies in Korea		
	Total	Asphalt	Concrete	Total	Asphalt	Concrete
TSS	30.04	26.01	39.82	79.39	77.55	88.82
Total Pb	0.17	0.17	0.16	0.43	0.17	1.72
Total Zn	0.32	0.33	0.30	0.23	0.21	0.37

Fig. 5는 본 연구결과와 미국을 비롯한 선진국에서의 도로 유출 EMC와의 비교를 나타낸 것이다. TSS EMC의 평균값이 약 20~180mg/L로 국가별로 광범위하게 나타났는데, 이는 불투수율이 거의 100% 도달하는 도로마저도 불확실성이 매우 높다는 것을 보여주고 있다. 또한 Total Pb와 Total Zn을 비교하여도 큰

범위를 나타내고 있는데 역시 불확실성이 크다는 것을 보여주고 있다. 이러한 불확실성은 유역의 특성과 강우특성에 의하여 발생하기에 장기 모니터링을 통한 지속적 자료 축적과 통계적 접근만이 비점오염물질 유출 특성의 정확성을 향상시킬 수 있는 방안이다.

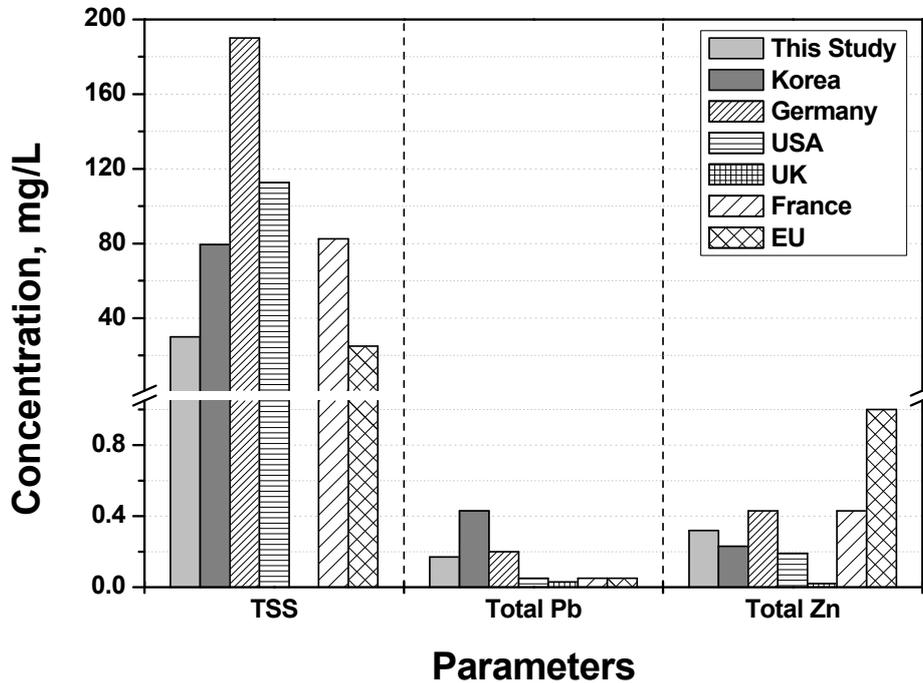


Fig. 5. Comparison of total EMCs of this study and other countries

#### 4. 결론

도로는 높은 불투수율과 자동차의 운행으로 인하여 입자상 물질, 중금속 등의 비점오염물질의 축적과 유출이 높은 토지이용이다. 따라서 환경부는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에 신규도로와 수질에 영향을 끼치는 기존도로에 비점오염저감시설의 설치를 의무화하였다. 본 연구는 도로의 포장방법, 즉 아스팔트와 콘크리트 포장 방법에 따른 비점오염물질 유출 특성 분석 및 EMC 산정을 위하여 수행되었으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 도로 포장방법은 유출 특성과 EMC에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 콘크리트 포장은 아스팔트 포장에 비해 타이어와의 접촉면적이 넓고 마찰력이 크게 작용하여 침투 유출량과 침투 유출농도 및 EMC를 증가시키는 것으로 평가되었다.
- 2) 일반적인 도로에서 유출되는 중금속의 원인은

타이어와 자동차 부품의 마모 등으로 나타났으나, 신설도로의 경우에는 도색, 난간, 중앙분리대 등도 중금속의 원인으로 나타났다.

- 3) 도로에서의 유출 EMC를 분석한 결과 도로가 타 토지이용에 비해 균질성이 높은 토지임에도 불구하고 여전히 오염물질 유출에 큰 편차를 보였다. 그 이유는 유역특성 뿐 아니라 강우의 특성도 유출오염물질에 영향을 끼치기 때문이다. 따라서 불확실성이 높은 비점오염원 연구에서는 장기 모니터링이 필수적인 것으로 평가되었다.

#### References

Bardin, JP, Cres, FN, Touzo, A, and Verjat, JL (1996). Pollution measurements in a stormwater settling and infiltration basin, The 7th International Conference on Urban Storm Drainage, Hanover, Germany, Vol. III, pp. 1611-1616.

- Bruen, M, Johnston, P, Quinn, MK, Desta, M, Higgins, N, Bradley, C, and Burns, S (2006). Impact assessment of highway drainage on surface water quality, Environmental Protection Agency, Wexford, Ireland.
- Crawford, NH and Linsley, RK (1966). Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV. Technical Report No. 39, Department of Civil Engineering, Stanford University, pp. 210.
- Davis, AP, Shokouhian, MN. (2001). Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources, *Chemosphere*, 44, pp. 997-1009.
- Hamilton, RS, Revitt, DM, Warren, RS, and Duggan, MJ (1987). Metal mass balance studies within a small highway dominated catchment, *Sci. Total Environ.*, 59, pp. 365-368.
- Helsel, D, Kim, J, Grizzard, T, Randall, C, and Hoehn, R (1979). Land use Influences on metals in storm drainage, *J. of Water Pollution Control Fed.*, 51(4), pp. 709-717.
- Kang, C, Maniquiz, MC, Son, Y, Cho, HJ, and Kim, LH (2011). Development of small constructed wetland for urban and roadside areas, *J. of Wetlands Research*, 13(2), pp. 231-242. [Korean Literature]
- Kayhanian, M, Suverkropp, C, Ruby, A, and Tsay, K (2007). Characterization and prediction of highway runoff constituent event mean concentration, *J. of Environmental Management*, 85(2), 279-295.
- Kim, LH, and Kang, JH (2004). Determination of event mean concentrations and pollutant loadings in highway storm runoff, *J. of Korean Society on Water Quality*, 20(6), pp. 631-340. [Korean Literature]
- Kim, LH, and Lee, SH (2005). Characteristics of Metal pollutants and dynamic EMCs in a parking lot and a bridge during storms, *J. of Korean Society on Water Quality*, 21, pp. 385-392. [Korean Literature]
- Lee, E, Ko, S, Kang, H, Lee, J, Lim, K, Lee, B, and Kim, LH (2006). Washoff characteristics of metal pollutants in highways, *J. of Korean Society on Water Quality*, 22(1), pp. 128-133. [Korean Literature]
- Lee, S, Maniquiz, MC, Choi, J, and Kim, LH (2009). Determination of EMCs for rainfall ranges from transportation landuses, *J. of Wetlands Research*, 11(2), pp. 67-76. [Korean Literature]
- Maniquiz, MC, Choi, C, Lee, S, and Kim, LH (2012). Performance comparison between infiltration and non-infiltration type of structural stormwater treatment systems, *Wat. Sci. & Tec.*, 66(2), pp. 363-369.
- Mercado, JMR, Geronimo, FK, Choi, J, Song, Y, and Kim, LH (2012). Characteristics of stormwater runoff from urbanized areas, *J. of Wetlands Research*, 14(2), pp. 159-168.
- MOE (Ministry of Environment) (2013). Water Quality and Aqua-Ecosystem Protection Act. [Korean Literature]
- MOE (Ministry of Environment) (2012). The 2<sup>nd</sup> Measures of NPS Management, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Son, H, Lee, S, Maniquiz, MC, and Kim, LH (2009). Characteristics of NPS pollutants and treatment of stormwater runoff in paved area during a storm, *J. of Wetlands Research*, 11(2), pp. 55-66. [Korean Literature]
- Stotz, G. (1987) Investigations of the properties of the surface water run-off from federal highways in the FRG, *Sci. Total Environ.*, 59, pp. 359-373.

- 논문접수일 : 2014년 06월 05일
- 심사의뢰일 : 2014년 06월 09일
- 심사완료일 : 2014년 07월 28일