

# 강우시 포장지역의 비점오염물질 유출 및 저감특성

손 현 근\* / 이 소 영\*\* / Marla C. Maniquiz\*\* / 김 이 형\*\*\*<sup>+</sup>

## Characteristics of NPS Pollutants and Treatment of Stormwater Runoff in Paved Area during a Storm

Son, Hyun-Geun\* / Lee, So Young\*\* / Marla C. Maniquiz\*\* / Kim, Lee-Hyung\*\*\*<sup>+</sup>

**요약** : 비점오염원에 의한 4대강의 오염부하증가율이 점점 증가하고 있어 비점오염원 관리의 필요성이 증대되고 있다. 따라서 환경부는 수질오염총량관리제를 도입하여 수생태계 입장에서 수질개선 정책을 펼치고 있으며, 한강 수계를 비롯한 4대강 유역에 비점저감시설을 설치하여 시범사업을 실시하고 있다. 그러나 현재 적용되어 운영되고 있는 비점오염저감시설은 대부분 외국의 기술을 그대로 이용한 것으로 처리성능 및 효율의 불확실성과 기후 및 유역특성을 반영하고 있지 않는 등 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 본 연구는 고속도로내 톨게이트와 주차장지점에 비점오염저감시설을 설치하여 2~3년 동안 운전하였으며, 비점오염물질의 유출특성과 저감시설의 오염물질별 제거형태를 파악하였다. 이러한 결과는 비점오염물질 관리를 위한 토지이용별 비점저감시설의 적용, 운영 및 유지관리에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 비점오염원, EMC, 비점저감시설

**Abstract** : The increase of pollutant loadings from nonpoint sources affect the water quality of the major rivers in Korea. Consequently, the need for managing the nonpoint source (NPS) pollution becomes the main concern of the Korean Ministry of Environment (MOE). Recently, the policy was changed from pollutant concentration-restricting approach to the total maximum daily load (TMDL) approach to improve the water quality and protect the aquatic ecosystem. Part of the program is the construction of Best Management Practice (BMP) pilot facilities basically to control NPS. Most of the BMPs adopted were foreign technologies which could not be properly employed in the country due to some limitations such as climate, watershed characteristics, etc. In other words, to be able to apply the BMPs, research on its applicability is necessary. In this study, a three-year monitoring has been conducted to assess the treatment performance of the BMP installed in highway toll plaza and parking lot. The data gathered aid in the characterization of NPS pollutants in runoff and estimation of the pollutant removal efficiency of the BMP. The results will be used for the future implementation of BMP in different land uses as well as for the determination of optimum operation and maintenance

**Keywords** : Non-point source, EMC(Event Mean Concentration), BMP(Best Management Practice)

### 1. 서 론

과거 30년 동안 환경기술의 발달과 환경기초 시설의 보급으로 점오염원의 관리가 집중적으로

이루어져 많은 부분 수질이 개선되었지만, 이러한 점오염원 관리에도 불구하고 여전히 수질은 개선되지 않고 있다. 이러한 이유는 다양한 토지이용에서 발생하는 비점오염원물질 때문인 것으로 밝

+ Corresponding author : leehyung@kongju.ac.kr  
\* 정회원 · 국립환경과학원 한강물환경연구소 환경기초조사팀  
\*\* 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 박사과정  
\*\*\* 정회원 · 교신저자 · 공주대학교 건설환경공학과 교수

혀졌으며, 도시화로 인한 불투수층의 급격한 증가로 인해 발생하는 비점오염원이 점점 더 증가될 것으로 예측되고 있다. 비점오염원은 도시지역, 농지 및 건설현장 등 인간의 활동이 이루어지는 다양한 토지이용에서 발생하며, 강우 시 강우유출수와 함께 유출되는 특성을 가지고 있다. 도로나 고속도로, 주차장 및 교량 등의 포장율이 높은 토지이용은 차량의 운행으로 인한 타이어 및 브레이크 패드의 마모, 각종 유탄계통 오일류 누유 등의 비점오염물질의 축적이 높은 토지이용지역이며, 이러한 토지이용으로부터 유출되는 비점오염물질은 강우 시 강우유출수와 함께 인근수계로 유출되어 수생태계 교란 및 수질환경에 위대한 영향을 주고 있다(Bannerman, 1984; Barrett 등, 1998; Becher 등, 2000; Charbeneau 와 Barrett, 1998; Kim et al, 2003).

비점오염원에 의한 4대강의 오염부하 기여율은 2006년 기준으로 22~40 %를 나타내고 있으며, 2020년에는 60 % 이상 증가될 것으로 예상하고 있다(환경부, 2004). 따라서 환경부는 수질 및 수생태계보전에 관한 법률에 근거하여 수질오염총량관리제(Total Maximum Daily Load, TMDL)를 실시하고 있으며, 개발 사업에 대하여 기존 사업장과 신규 사업장에 대하여 비점오염저감시설 설치 및 신고 제도를 시행하고 있다. 또한 도시개발 및 산업단지 조성을 포함한 환경교통재해영향평가 대상사업에 대하여 비점오염저감시설 설치 의무화를 시행하여 비점오염물질의 사전관리를 수행하고 있으며, 토지계의 원단위 개정을 위해 환경기초조사사업을 통해 2015년까지 다양한 토지이용에 대하여 장기모니터링 방안을 수립하여 시행하고 있다. 이러한 제도적인 노력과 더불어 환경부는 4대강 유역에 시범적으로 비점오염원저감시설을 설치하여 운영하고 있으며, 2005년 한강수계를 시작으로 2007년과 2008년에 금강, 영산강 및 낙동강 수계에서도 시범사업이 진행중에 있다.

2005년 이후 비점오염원의 법제화를 시작으로 많은 비점오염저감기술들이 개발되고 소개되고 있으나, 대부분 외국에서 개발된 비점오염원 관련기

술로써 기초적 및 과학적 조사가 미비한 상태에 개발되어 처리성능 및 효율의 불확실성과 기후 및 유역특성을 반영하고 있지 않는 등 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 국내에서의 적용성이 매우 낮은 상태이며, 국내 강우 및 유역특성을 반영한 저감기술의 개발이 시급히 요구되고 있다. 본 연구는 포장지역에 비점오염저감시설을 설치하여 약 2~3년 동안 운전하였으며, 비점오염물질의 유출특성과 저감시설의 오염물질별 제거형태를 파악하였다. 이러한 연구는 비점오염물질 관리를 위한 토지이용별 비점저감시설의 적용, 운영 및 유지관리에 활용될 수 있을 것이며, 향후 저감시설의 효율적인 운영을 위해서는 지속적인 모니터링 및 유지관리가 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 2. 연구방법

### 2.1 모니터링 지점 및 방법

비점오염물질의 유출특성 및 저감시설의 저감특성을 알아보기 위해 고속도로내 톨게이트와 주차장을 모니터링 지점으로 선정하였으며, 선정된 지점의 위치를 Fig. 1에 나타냈다. Site 1은 대전계룡시의 계룡 톨게이트 지점으로 차량이 톨게이트로 진입 후 가속이 이루어지는 구간으로 타이어 및 브레이크 패드 등의 마모가 많이 발생하는 지역이다. Site 2는 경기도 용인시에 위치해 있는 차량등록사업소 주차장으로 차량등록 업무를 위해 많은 차량의 출입이 이루어지는 공간이며, 주차를 위해 한 지점에 대해 머무르는 시간이 많아져 오염물질의 축적이 높은 지점이다. Site 1과 Site 2의 유역면적은 각각 311.2 m<sup>2</sup>와 10,700 m<sup>2</sup>로 조사되었으며, 포장형태는 모두 아스팔트로 높은 불투수율을 나타내고 있다. Table 1은 모니터링 지점의 자세한 현황을 나타낸 것으로 유역면적과 포장형태, 불투수율에 대하여 정리되어 있다.

저감시설로 유입되는 강우유출수와 저감시설 통과 후 유출되는 수질의 특성을 파악하기 위해 강우가 시작된 직후 첫 번째 수질시료를 채취하였으며, 이후 15분까지는 5분 간격으로, 30분까지는

Table 1. Characteristics of site

Monitoring Site	Location	Area (m <sup>2</sup> )	Pavement Type	Imperviousness Rate (%)
Site 1	Toll Gates on Honam- Highway	311.2	Asphalt	100
Site 2	Parking Lot in Yongin- Kyeonggido (vehicle registration station)	10,700	Asphalt	100

15분, 1시간까지는 30분 간격으로 시료를 채취하였고, 1시간 이후로는 강우가 끝날 때까지 1시간 간격으로 시료를 채취하였다(김이형과 강주현, 2004a, 2004b). 효율적인 유량 측정과 강우량을 측정하기 위해, 자동유량계(Automatic Flow Meter, Sigma 950) 및 자동강우계(Automatic Rainfall Gauge)를 현장에 설치하여 1분 단위로 강우량과 유출율을 측정하였다.



Fig. 1. Monitoring location

## 2.2 분석방법

모니터링지점에서 채취된 시료들은 모니터링이 끝나자마자 실험실로 운반되어 수질오염공정시험법(2004)에 준하여 수질분석이 이루어졌다. 실험항목은 입자상 물질, 유기물질, 무기물질, 중금속

등이며, 각각의 강우사상에 대하여 강우전 건기일수, 총강우량, 강우지속시간, 강우강도 등을 추가적으로 조사하였다. 또한 EPM(Effluent Probability Methods, EPM) 방법을 활용하여 비점오염 저감시설내에서 저감되는 오염물질의 제거 형태를 알아보았으며, SYSTAT 버전 9.0을 이용하여 분석하였다. 이러한 방법은 저감시설내 유입된 EMC와 유출된 EMC 자료를 활용한 방법으로 저감시설의 효율과는 다르게 오염물질의 농도 변화에 따라 제거 형태의 변화를 알 수 있는 장점이 있다.

## 2.3 EMC 산정

비점오염물질의 평균농도를 산정할 시에 단순 산술평균농도로 오염물질 농도를 산정할 경우에는 수십배의 농도차를 나타낼 수 있기에 정확한 부하량 산정을 위해서는 유출유량을 고려한 유량가중 평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 산정하여야 한다(Deletic과 Mahsimivic, 1998; Ujevic et al., 2000). EMC는 총 강우지속시간 T 시간 동안 유출된 전체 누적 오염물질의 양을 전체 누적 유출량으로 나누어 산정된다(Irish et al., 1998; Wu et al., 1998). 본 연구에서는 저감시설의 유입수 및 유출수의 EMC를 산정하기 위하여

Table 2. Methods of analysis (Standard Methods, 2004)

Pollutants	Constituents
Solids(particulates)	TSS (Total Suspended Solid), Turbidity
Organic Matters	BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), DOC (Dissolved Organic Carbon)
Nutrient	T-N (Total Nitrogen), T-P (Total Phosphorus)
Heavy Metals	Copper, Lead, Zinc, Cadmium, Chromium, Iron, Nickel
Etc	pH (potential of Hydrogen)

식 (1)을 이용하였으며, 여기서  $t$ 는 강우지속시간,  $C(t)$ 는  $t$  시간에서의 오염물질 농도를 나타내며,  $q_{run}(t)$ 는 유출율을 나타낸다.

$$EMC(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \cdot q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} q_{run}(t)} \quad (1)$$

## 2.4 모니터링 지점별 저감시설 운영

### 2.4.1 저류+여과형 저감시설

Site 1에 설치된 저감시설은 Fig. 2와 같이 침전조와 여과조로 구성되어 있다. 1차 공정인 침전조에서는 조 내에 설치된 단계별 격막에 의해서 무거운 퇴적물 및 입자성 물질들이 1차적으로 제거되며, 이후 2차 공정인 여과조로 유입되어 용존성 유기물질, 무기물질 및 중금속 등이 제거된다. 침전조의 용량은 약  $1 \text{ m}^3$ 로서 매우 적은 양의 강우유출수를 저감하도록 설계되어 있기에 Overflow 되지 않도록 유입수의 유량을 조절하였으며, 여과조는  $0.1 \text{ m}^3$ 의 용량으로 약 40 kg의 제올라이트를 충전하였다.

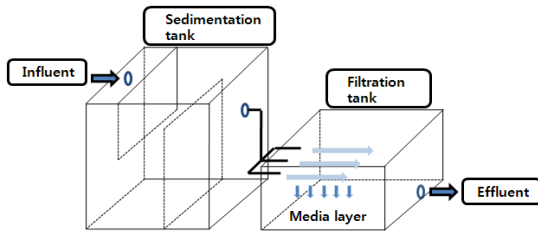


Fig. 2. BMP diagram of retention + filtration constructed in Site 1

### 2.4.2 와류+여과형 저감시설

Site 2에 설치된 저감시설은 1차 공정인 선회류식 침사탱크와 2차 공정인 여과조로 구성되어 있다. Fig. 3은 저감시설의 공정도를 나타낸 것으로 유입수가 선회류식 침사탱크로 유입되면 침전물 및 부유물 등이 1차 제거되고, 이후 배플 하단

부를 통과하여 여과조로 유입된 후 용존성 유기물질, 무기물질, 중금속 등의 오염물질들이 제거된다. 시설용량은 약  $7,800 \text{ m}^3$ 의 강우유출수를 처리할 수 있도록 설계되었으며, 여과조에는 일정량의 펄라이트를 충전하여 저감시설을 운전하였다.

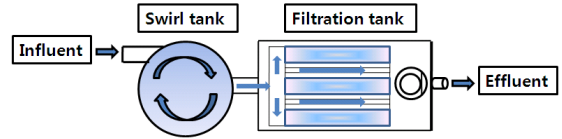


Fig. 3. BMP diagram of swirl + filtration constructed in site 2

## 3. 연구결과 및 고찰

### 3.1 모니터링 결과

모니터링은 Site 1의 경우 총 6회의 모니터링이 이루어졌으며, Site 2는 총 19회의 모니터링이 수행되었다. Table 3은 모니터링 결과를 정리한 것으로 모니터링 지점과 강우사상별 강우전 건기일수, 총 강우량, 강우지속시간 및 평균 강우강도를 나타내고 있다. 모니터링 결과 Site 1은 강우전 건기일수가 2~10일, 총 강우량은 8~19 mm, 강우지속시간은 2~8 hr, 평균 강우강도가 2~5 mm/hr의 범위를 나타내는 것으로 분석되었으며, Site 2는 강우전 건기일수가 1~33일, 총 강우량은 2~56 mm, 강우지속시간은 1~14 hr, 평균 강우강도는 0.2~15 mm/hr의 범위를 나타내는 것으로 조사되었다.

### 3.2 Polluto-and Hydro-graphs

Fig. 4는 Site 1의 E-4와 Site 2의 E-10에 대하여 Polluto-and Hydro-graphs를 나타낸 것으로 입자상물질, 유기물질, 무기물질 및 중금속에 대하여 시간에 따른 유출유량 및 오염물질의 농도를 나타낸 것이다. 여기서 수평축은 강우유출수의 유출지속시간을 나타내며, 수직축은 강우유출수의 유출유량 및 오염물질의 농도를 나타낸다. 두 지점 모두 대체적으로 강우초기에 고농도의 오염물

Table 3. Event table in site 1 and 2

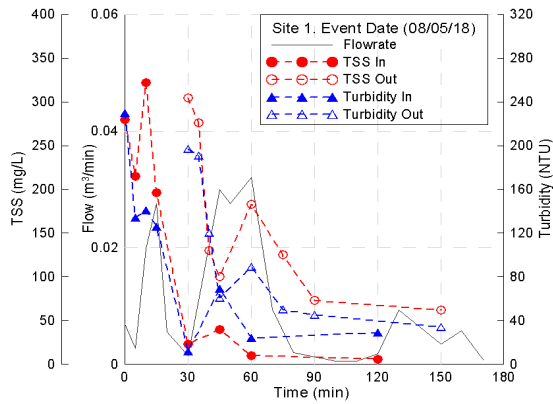
Landuses	Site No	Event No	Event Date (YYYY-MM-DD)	ADD (day)	Total Rainfall (mm)	Runoff Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity (mm/hr)
Toll-Gate	Site 1	E-1	2007-07-19	2	8.0	1.7	4.7
		E-2	2007-09-14	8	9.5	2.2	4.3
		E-3	2007-11-24	3	10.0	3.3	3.0
		E-4	2008-05-18	5	15.5	3.4	4.6
		E-5	2008-06-17	10	19.0	7.9	2.4
		E-6	2008-06-28	7	9.0	5.9	1.5
Parking Lot	Site 2	E-1	2006-08-17	18	6.5	1.5	4.3
		E-2	2006-08-26	3	48.5	3.2	15.2
		E-3	2006-10-22	33	6.0	4.2	1.4
		E-4	2006-11-05	13	7.0	1.3	5.4
		E-5	2007-02-13	4	13.0	7.8	1.7
		E-6	2007-03-04	1	9.0	7.7	1.2
		E-7	2007-04-13	1	5.0	2.5	2.0
		E-8	2007-04-30	10	13.5	10.8	1.3
		E-9	2007-05-16	4	50.5	11.0	4.6
		E-10	2007-06-21	6	16.0	14.0	1.1
		E-11	2007-07-09	5	9.5	5.8	1.6
		E-12	2007-07-19	2	55.5	12.8	4.3
		E-13	2007-11-23	2	1.5	6.8	0.2
		E-14	2008-03-13	7	2.0	0.6	3.3
		E-15	2008-04-06	3	2.0	1.8	1.1
		E-16	2008-04-09	3	16.0	14.3	1.1
		E-17	2008-05-18	13	50.5	11.0	4.6
		E-18	2008-05-28	6	41.0	7.2	5.7
		E-19	2008-09-01	8	19.0	8.1	2.3

질들이 유출되는 초기강우현상이 나타나는 것으로 분석되었다(김이형과 강주현, 2004a). 그러나, Site 1의 경우 유출수의 농도가 유입수 농도보다 높게 나타나는 것으로 분석되었는데 이러한 이유는 유입수가 저감시설로 통과시 여재에 흡착되어 있던 오염물질들이 유출수에 포함되어 유출된 것으로 판단되어지며, 이러한 시기는 여재의 교체주기를 알려주는 시점이라 할 수 있다.

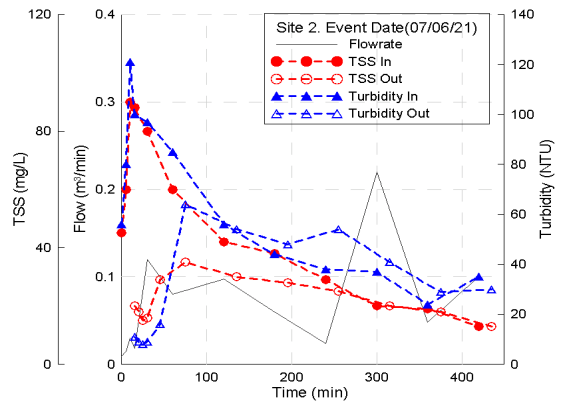
### 3.3 유입수 및 유출수의 EMC 산정

저감시설의 유입수 및 유출수에 대하여 식 (1)

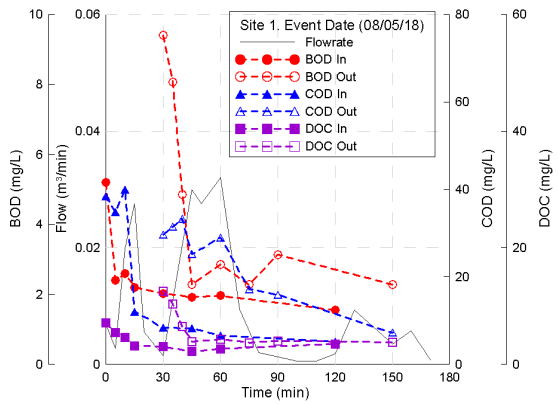
을 이용하여 EMC를 산정하였으며, Table 4는 산정된 유입수 및 유출수 EMC를 통계 분석하여 정리한 것이다. 그 결과, Site 1의 TSS 평균 EMC는 유입수가 46.2 mg/L, 유출수가 44.4 mg/L인 것으로 분석되었으며. COD의 평균 EMC는 유입수가 15.3 mg/L, 유출수가 13.4 mg/L인 것으로 분석되었다. 또한 Site 2의 TSS 평균 EMC는 유입수가 49.0 mg/L, 유출수가 24.4 mg/L인 것으로 나타났으며, COD의 평균 EMC는 유입수가 28.1 mg/L, 유출수가 15.4 mg/L인 것으로 분석되었다. 두 지점에 대한 유입수 및 유출수의 평균



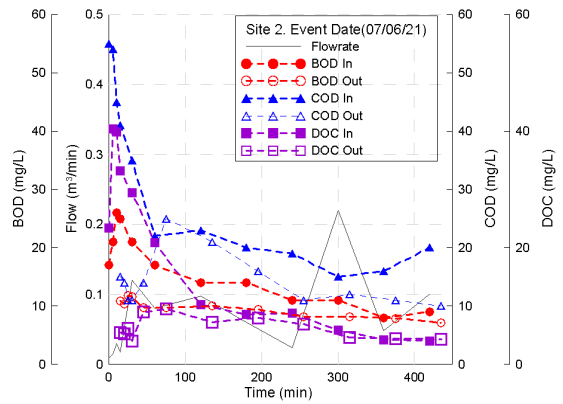
(a-1) TSS and Turbidity in site 1



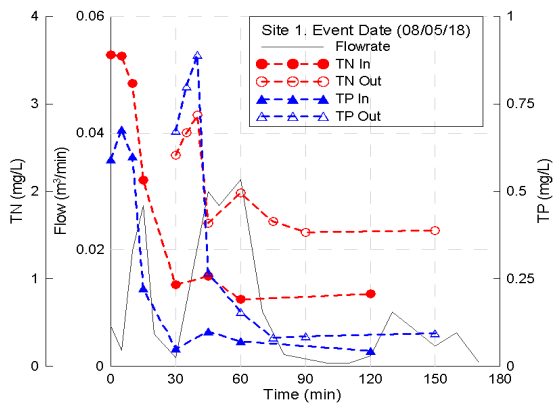
(b-1) TSS and Turbidity in site 2



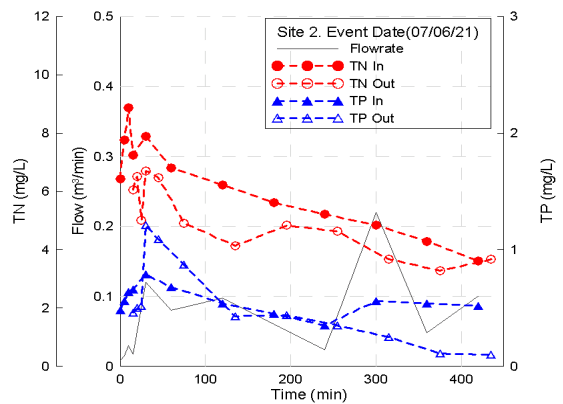
(a-2) BOD, COD<sub>Mn</sub> and DOC in site 1



(b-2) BOD, COD<sub>Mn</sub> and DOC in site 2

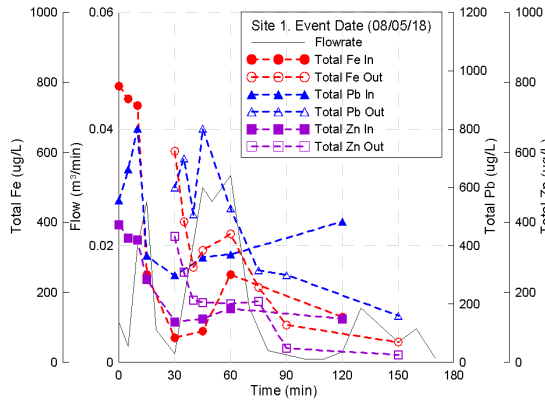


(a-3) TN and TP in site 1

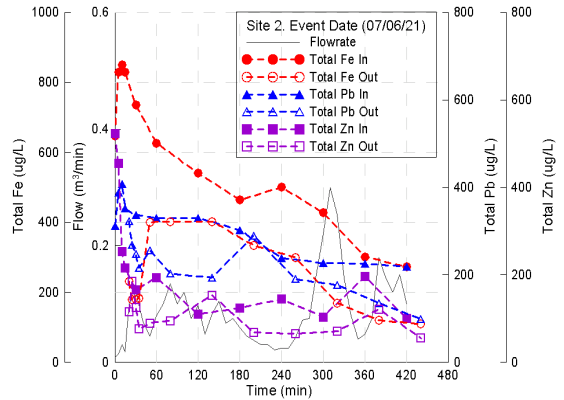


(b-3) TN and TP in site 2

Fig. 4. Polluto- and hydro-graphs in site 1 and 2



(a-4) Total Fe, Pb and Zn in site 1



(b-4) Total Fe, Pb and Zn in site 2

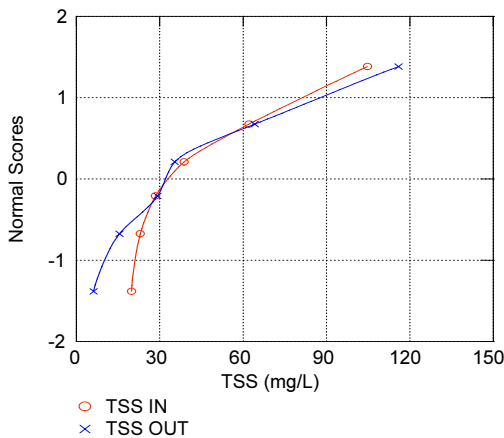
Fig. 4. Polluto-and hydro-graphs in site 1 and 2(continued)

EMC를 비교해본 결과, 대체적으로 Site 2로 유입되는 강우유출수의 농도가 Site 1에 비해 높은 것으로 나타났으며, Site 2에 설치된 저감시설의 오염물질별 저감효율이 Site 1 보다 높은 것으로 분석되었다.

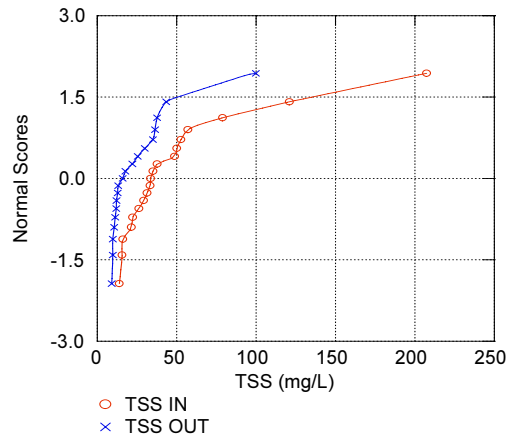
### 3.4 비점오염물질 저감특성

Fig. 5는 EPM 방법을 이용하여 비점오염 저감시설내에서 저감되는 오염물질의 제거 형태를 나타낸 것으로 그림에서 나타난 수평축은 오염물질 농도를 나타내며, 수직축은 확률분포의 기대값을

나타낸다. Site 1의 오염물질별 제거 형태를 살펴본 결과, 대체적으로 유입수의 처리가 좋지 않은 것으로 나타났으며, TSS와 Total Pb의 경우 유입수의 농도가 높아질수록 저감시설내 처리가 잘 되지 않는 것으로 나타났다. 그러나 Site 2의 경우 Site 1에 비해 모든 항목에서 저감시설내 유입수의 처리가 매우 좋은 것으로 나타났으며, 대부분 유입수의 농도가 높아질수록 낮은 농도의 유출수를 기대할 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 Site 1에서 운전된 저감시설의 경우 현 토지이용에서 발생하는 비점오염물질을 저감하기 위해서는

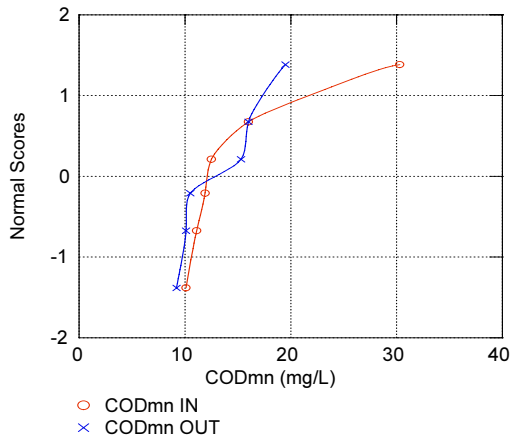


(a-1) TSS at site 1

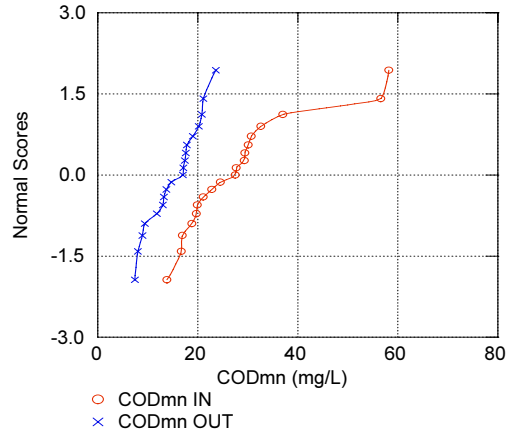


(b-1) TSS at site 2

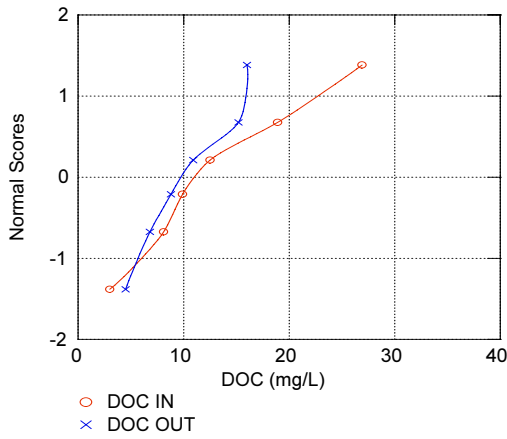
Fig. 5 Removal characteristic with probability plot curve



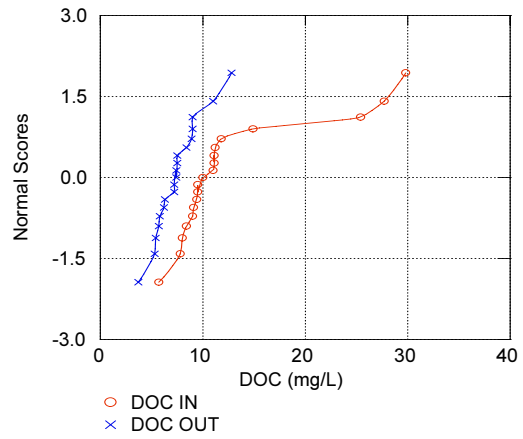
(a-2) COD<sub>Mn</sub> at site 1



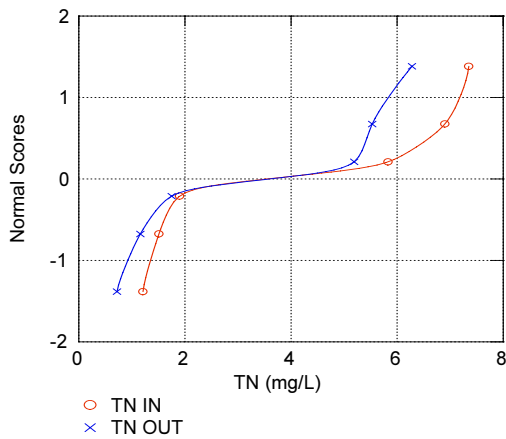
(b-2) COD<sub>Mn</sub> at site 2



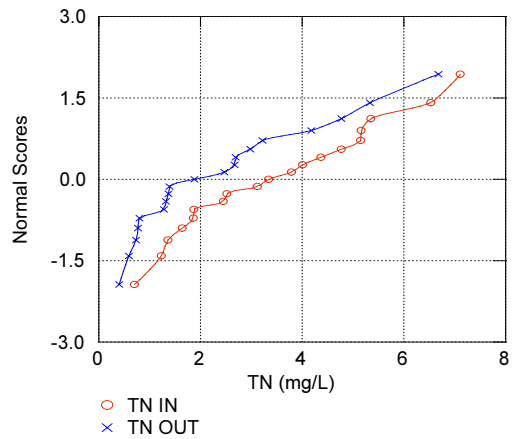
(a-3) DOC at site 1



(b-3) DOC at site 2



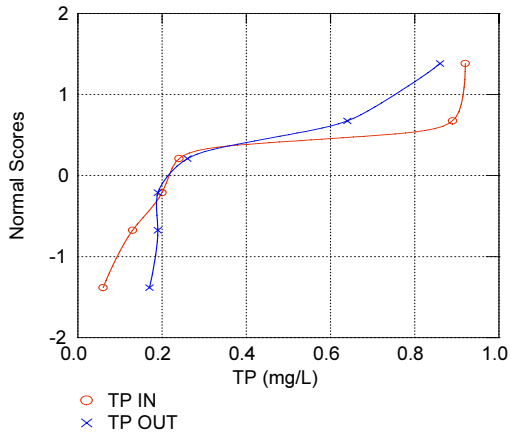
(a-4) TN at site 1



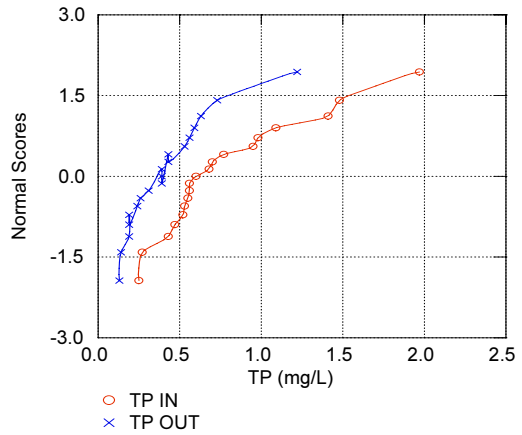
(b-4) TN at site 2

Fig. 5. Removal characteristic with probability plot curve(continued)

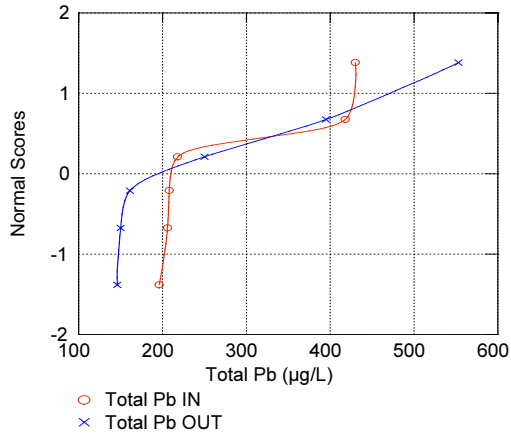




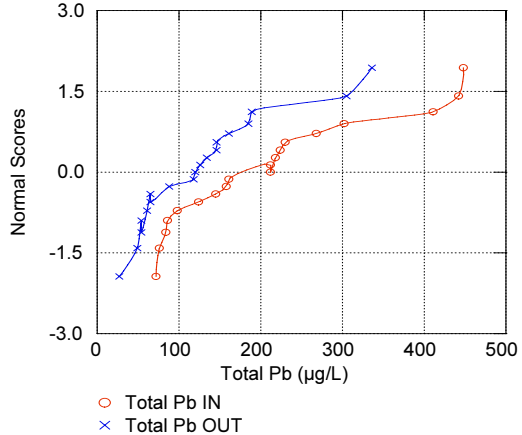
(a-5) TP at site 1



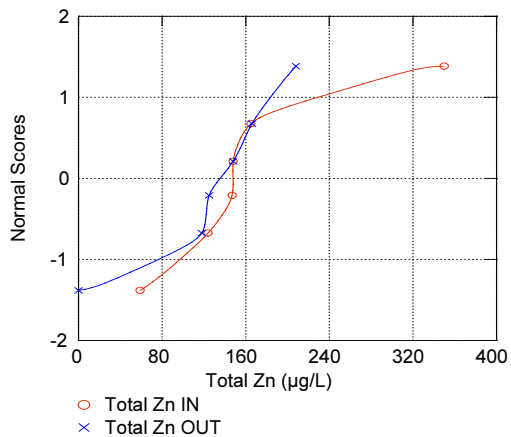
(b-5) TP at site 2



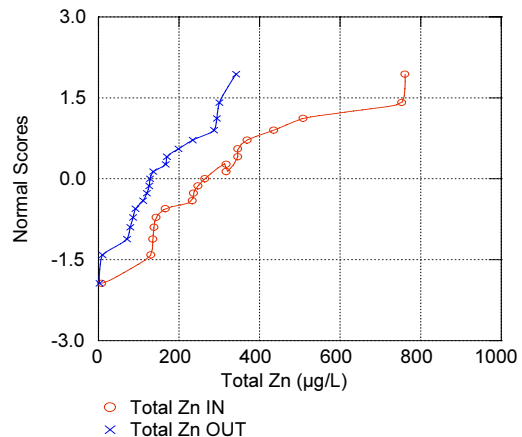
(a-6) Total Pb at site 1



(b-6) Total Pb at site 2



(a-7) Total Zn at site 1



(b-7) Total Zn at site 2

Fig. 5. Removal characteristic with probability plot curve(continued)

Table 4. Statistics of inflow/outflow EMCs for each site

Site	Inflow/ Outflow	Parameters (mg/L, µg/L)	No. of Samples	Minimum	Maximum	Mean	95% CI Upper	95% CI Lower	S.D.
Site 1	Inflow	TSS	6	19.9	104.8	46.2	80.3	12.1	32.5
		COD	6	10.1	30.3	15.3	23.3	7.3	7.6
		DOC	6	3.0	26.9	13.2	22.1	4.3	8.5
		TN	6	1.20	7.40	4.12	7.15	1.09	2.89
		TP	6	0.10	0.90	0.40	0.81	-0.01	0.39
		Total Pb	6	196.0	430.0	279.3	397.2	161.4	112.3
		Total Zn	6	59.0	350.0	165.5	268.1	62.9	97.7
	Outflow	TSS	6	6.2	115.9	44.4	86.7	2.1	40.3
		COD	6	9.2	19.5	13.4	17.7	9.1	4.1
		DOC	6	4.5	16.0	10.4	15.2	5.6	4.6
		TN	6	0.70	6.30	3.45	6.05	0.85	2.48
		TP	6	0.20	0.90	0.40	0.70	0.10	0.29
		Total Pb	6	146.0	553.0	275.8	449.9	101.8	165.9
		Total Zn	6	0.0	208.0	127.5	201.3	53.7	70.3
Site 2	Inflow	TSS	19	13.9	207.4	49.0	71.2	26.8	46.1
		COD	19	13.8	58.2	28.1	33.9	22.3	12.0
		DOC	19	5.7	29.8	12.7	16.0	9.3	7.0
		TN	19	0.70	7.10	3.50	4.40	2.60	1.87
		TP	19	0.30	2.00	0.80	1.01	0.58	0.45
		Total Pb	19	72.0	448.0	209.0	267.0	151.0	120.4
		Total Zn	19	8.0	761.0	308.0	403.8	212.2	198.7
	Outflow	TSS	19	9.1	99.9	24.4	34.8	14.1	21.4
		COD	19	7.4	23.6	15.4	17.7	13.1	4.8
		DOC	19	3.7	12.8	7.5	8.5	6.4	2.1
		TN	19	0.40	6.70	2.41	3.26	1.55	1.78
		TP	19	0.10	1.20	0.41	0.54	0.29	0.26
		Total Pb	19	27.0	336.0	127.8	168.0	87.7	83.3
		Total Zn	19	3.0	342.0	155.5	202.7	108.4	97.8

저감시설의 용량 확대나 여재교체 등 저감효율을 높이기 위한 방안이 필요한 것으로 판단되며, Site 2의 저감시설은 여재교체주기, 퇴적물 준설 작업 등의 유지관리가 잘 이루어진다면 고속도로, 교량 등의 토지이용으로 확대 적용하여도 별 무리가 없을 것으로 판단된다. 이러한 결과는 다양한 토지이용에서의 비점오염저감 시설 선정시 저감시설의 효율 자료와 함께 중요한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

본 연구는 고속도로내 톨게이트와 주차장에 비점오염원 저감시설을 설치하여 비점오염물질의 유출특성과 함께 저감시설의 오염물질별 제거형태 알아보기 위해 수행되었으며, 이러한 목적으로 수행된 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 모니터링 지점인 고속도로내 톨게이트와 주차장에서 강우초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우현상을 확인할 수 있었다.

- 2) 저감시설의 유입수 및 유출수에 대한 EMC 산정 후 각 시설에 대한 평균 EMC를 비교 해본 결과, 대체적으로 Site 2로 유입되는 강우유출수의 농도가 Site 1에 비해 높은 것으로 나타났으며, Site 2에 설치된 저감시설의 오염물질별 저감효율이 Site 1 보다 높은 것으로 분석되었다.
- 3) EPM 방법을 이용하여 오염물질별 제거 형태를 살펴본 결과, Site 1의 경우 대체적으로 유입수의 처리가 좋지 않은 것으로 나타났으나, Site 2의 경우 모든 항목에서 저감시설내 유입수 처리가 매우 좋은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 다양한 토지이용에서의 비점오염저감 시설 선정시 저감시설의 효율 자료와 함께 중요한 자료로 활용될 것으로 기대된다.
- 4) 고속도로내 톨게이트와 주차장지역에 비점오염저감시설을 설치·운영해본 결과, Site 1에서 운전된 저감시설은 현 토지이용에 적용하기 위해서는 저감시설의 용량 확대나 여재교체 등 저감효율을 높이기 위한 방안이 필요한 것으로 판단되며, Site 2의 저감시설은 여재교체주기, 퇴적물 준설작업 등의 유지관리가 잘 이루어진다면 고속도로, 교량 등의 토지이용으로 확대 적용하여도 별 무리가 없을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

김이형, 강주현 (2004a), 강우 시 발생하는 고속도로 유출수의 초기우수 특성 및 기준, 한국물환경학회지, 20(6), pp. 641-646.

김이형, 강주현 (2004b), 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정, 한국물환경학회지, 20(6), pp. 631-640.

환경부 (2004), 관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책.

환경부 (2004), 수질오염공정시험법.

Bannerman, R. (1984), Evaluation of urban nonpoint source pollution management in Milwaukee County, Wisc. US EPA-Region V, Madison, WI.

Barrett, M.E., Irish, Jr. L.B., Malina, Jr. J.F. and Charbeneau, R.J. (1998), Characterization of highway runoff in austin, texas, area, J. of Environmental Engineering, Vol. 124, No. 2, pp. 131-137.

Becher, K.D., Schnoebelen, D.J. and Akers. K.K.B. (2000), Nutrients discharged to the mississippi river from eastern iowa watershed, 1996-1997, J. of The American Water Resources Associa., Vol. 36, No. 1, pp. 161-173.

Charbeneau, R.J. and Barrett, M.E. (1998), Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads, J. of Water Environmental Research, Vol. 70, No. 7, pp. 1295-1302.

Deletic, A.B. and Mahsimivic, C.T. (1998), Evaluation of water quality factors in storm runoff from paved areas, J. of water Environmental Engineering, Vol. 124, No. 9, pp. 869-879.

Irish, Jr. L.B., Barrett, M.E., Malina, Jr. J.F. and Charbeneau, R.J. (1998), Use of regression models for analyzing highway stormwater loads, J. of Environment ntal Engineering, 124(10), pp. 987-993.

Kim, L.-H., Kayhanian, K., Lau, S.-L. and Stenstrom, M.K. (2003), A new modeling approach in estimating first flush metal mass loading, proceedings of 7th Int. Conf. on Diffuse Pollution, August, Dublin, Ireland.

Ujevic, I., Odzak, N. and Baric, A. (2000), Trace metal accumulation in different grain

size fractions of the sediments from a semi-enclosed bay heavily contaminated by urban and industrial wastewaters, *Water Res.*, Vol. 34, pp. 3055-3061.

Wu, J.S., Allan, C.J., Saunders, W.L. and Evett, J.B. (1998), Characterization and pollutant loading estimation for highway runoff, *J. of*

*Environmental Engineering*, 124(7), pp. 584-592.

- 논문접수일 : 09년 06월 07일
- 심사의뢰일 : 09년 06월 09일
- 심사완료일 : 09년 08월 20일