

국도에서 발생하는 비점오염물질 유출특성 및 상관성

Runoff Characteristics and Relationship between Non-point Source Pollutants from Road

손현근* · 이소영** · 이은주*** · 김이형****

Son, Hyun-Geun · Lee, So-Young · Eun-Ju Lee · Kim, Lee-Hyung

Abstract

The urban is possessing of various landuses such as commercial, industrial, residential and official areas. All of these landuses is including the paved areas that are roads and parking lots. The NPS (nonpoint sources) pollutants are generally originated from pavement areas in urban by human activities. Especially the roads are stormwater intensive landuses because of high vehicle activities and high imperviousness. The main NPS pollutants from roads are particulates and metals from vehicles and pavements. The Korea MOE (Ministry of Environment) is developing the NPS control program to reduce the NPS pollutants from the basins. However, it is not easy to control the NPS because it has high uncertainty by characteristics of rainfalls and watersheds. Therefore, this research was conducted on characterizing the runoff and providing mean EMC from roads. The monitoring were performed for total 16 rainfall events from a road in Youngin City since 2006. The results show that the TSS is highly correlated with other pollutant parameters. The statistical regression models using TSS EMC have been developed to easily determine the EMC of other pollutant parameters.

Key words : Road, Particle matters, Nonpoint sources, Heavy metals

요 지

포장지역 중 도로는 많은 차량의 운행으로 건조시 각종 오염물질의 축적된 높은 토지이용이며, 불투수율이 높아 강우시 고농도의 비점오염물질의 유출이 발생한다. 특히 도로 노면에서 유출되는 강우유출수는 입자상 물질 및 각종 중금속 등의 함량이 높아 인근 수계 유입시 수질악화 및 수생태계 파괴의 원인으로 작용한다. 도로에 침착되는 오염물질의 원인으로서는 차량 통행으로 수반되는 유휴계통의 오일류 누출 및 타이어 마모 등이 주요 원인이다. 이러한 비점오염물질의 유출을 저감하고 관리하기 위하여 환경부는 2006년 수질 및 수생태계보전에 관한 법률을 개정하여 비점오염원 관리를 환경부의 중요 정책으로 확립하였다. 또한 수질오염총량관리제도의 도입으로 그 중요성이 높은 토지계의 오염원단위 개정을 위하여 환경기초조사사업을 통해 2015년까지 수행되는 장기모니터링을 수립하여 시행하고 있다. 그러나 오염총량제의 조기정착과 효율적 비점오염원 관리를 위해서는 토지이용별 비점오염물질의 특성파악, 부하량 산정, 처리 메커니즘 규명 및 원단위 산정이 시급하다. 따라서 본 연구에서는 차량의 운행이 많은 국도에서의 모니터링 결과를 활용하여 유출 특성파악과 EMC 산정 등을 통하여 비점오염원 관리에 중요한 기본 자료를 제공하고자 한다. 본 연구를 위한 모니터링 지점은 경기도 용인시에 위치하고 있으며, 모니터링은 2006년부터 최근까지 총 16회의 강우사상에 대하여 수행되었다. 국도는 많은 차량으로 인하여 비점오염물질의 유출이 높은 토지이용 지역이다. 따라서 본 연구에서는 경기도 용인시에 위치하고 있는 국도에서의 비점오염 모니터링을 통하여 유출특성 파악, 초기 강우현상 파악, EMC 산정 및 오염물질간의 상관성을 분석하였다. 오염물질간의 상관분석결과, 오염물질 중 TSS항목이 다른 오염물질과의 상관관계가 높은 것으로 분석되었고, TSS농도로부터 다른 오염물질의 농도의 산정이 가능하며, 향후 효율적 비점오염 모니터링 수행과 비점오염저감시설 선정시 중요한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 국도, 유량가중 평균농도, 비점오염원, 중금속

1. 서 론

인간에 의한 토지이용의 고도화는 다양한 비점오염물질을 인근 수계로 유출시켜 수질악화 및 수생태계 파괴를 초래하

고 있다. 환경부가 비점오염원에 의한 수계의 영향을 파악한 결과 4대강 수계의 비점오염원 기여율이 22~37%(BOD 기준)를 차지하는 것으로 나타났으며, 그 중에서 도시지역으로부터 유출된 비점오염물질의 기여율은 BOD 기준으로 전체 유출

****공주대학교 건설환경공학부 석사과정 (E-mail: hgson@kongju.ac.kr)

****공주대학교 건설환경공학부 박사과정

****공주대학교 건설환경공학부 BK21 계약교수

****정회원 · 공주대학교 건설환경공학과 교수 (교신저자)

부하량의 52%로 차지하고 있는 것으로 나타났다. 또한 이러한 비점오염원에 의한 4대강 수계 오염 기여율은 향후 2020년에는 65%까지 높아질 것으로 예측하였다(환경부, 2004). 이러한 다양한 비점오염원에 의한 환경에의 영향을 저감시키기 위하여 환경부는 2006년 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률을 개정하여 다양한 정책적 및 제도적 장치(비점오염저감시설 설치신고제도, 비점오염원 관리지역 지정제도 등)를 마련하여 시행중에 있다.

일반적으로 비점오염원은 강우 및 유역특성에 영향을 받는 오염물질로 다양한 토지이용에서 발생한다. 다양한 토지이용은 도시지역(상업용지, 산업단지, 주거지역, 공공지역, 나대지, 공원, 도로, 주차장 등), 농업지역(논, 밭 등), 산림지역, 건설현장, 골프장 등으로 분류할 수 있다. 이 중에서 도시지역은 인간과 많은 차량의 활동을 유발하는 세부 토지이용을 가지고 있으며, 발생하는 오염물질도 특성이 다양하다. 도시내의 모든 토지이용에서 발생하는 비점오염물질은 강우시 인근 도로 및 주차장과 같은 포장지역으로 유출되어 우수관을 통해 인근 수계로 배출되게 된다. 따라서 도시지역의 도로, 교량 및 주차장과 같은 포장지역은 도시 비점오염원 관리에서 매우 중요한 부분이다. 특히 도로는 높은 포장율로 인하여 강우시 유출율이 매우 높은 지역이며, 많은 차량의 운행으로 인하여 다양한 비점오염물질을 유출시키는 토지이용이다. 도로로부터 유출되는 비점오염물질은 대부분 차량 유회유 계통의 유류 누출, 타이어 및 브레이크 패드의 마모로 발생하며, 입지성 물질과 유기물질, 중금속 및 기타 유해 화학물질을 포함하고 있다(Barrett et al, 1998; Becher et al, 2000; Charbeneau와 Barrett, 1998). 이와 더불어 도로와 같은 포장지역은 높은 포장율에 의하여 강우 초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 나타내는 전형적인 토지이용으로 초기강우 기준을 도입함으로써 비용경제적인 비점오염원을 관리할 수 있는 지역이기도 하다(Kim et al, 2004, 2005; 김이형 등, 2004a). 그러나 초기강우 기준은 현재 도시지역 비점오염원 관리를 위한 BMPs(Best Management Practices) 설계에 거의 이용되지 못하고 있는데, 그 이유는 비점오염원의 다양한 불확실성에 근거하여 초기강우 기준을 산정하기에 어려움이 있기 때문이다. 이러한 초기강우 기준의 선정을 어렵게 하는 주요 원인은 모니터링을 통한 기초자료 확보의 부족에 기인하고 있다. 일반적으로 비점오염원 관리를 위해서는 비점오염물질 유출특성 파악, 저감대상 오염물질 선정, EMC(Event Mean Concentration)를 이용한 유출부하량 산정, 저감대상 오염물질을 저감하기 위한 제거메커니즘의 선정과 이러한 기작을 가진 BMP의 선정 과정이 요구된다. 그러나 불확실성이 높은 비점오염원의 특성을 몇 번의 모니터링을 통해 파악한다는 것은 불가능하다. 이러한 결과가 비점오염물질을 저감하기 위한 BMP 선정에 있어서 가장 중요한 제거 기작 및 시설의 용량 산정에 어려움을 주고 있는 것이다.

따라서 본 연구에서는 모니터링을 통해 도시지역 비점오염물질의 주요 원인으로 지목되는 도로에서의 비점오염물질 유출특성 파악, EMC 선정 및 오염물질간 상관성을 규명함으로써 향후 비점오염원관리에 요구되는 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 모니터링 지점 현황 및 방법

도로에서의 강우유출수 유출 특성 파악을 위하여 2006년부터 경기도 용인시 포곡면에 위치하고 있는 45번 국도를 선정하여 모니터링을 수행하였다. 같은 지점에 대해 장기간 진행된 모니터링결과는 대상지역과 유사한 지점의 강우유출특성을 파악하는데 있어서 아주 좋은 자료로 활용될 수 있다.

모니터링 대상지점의 45번 국도의 지역적 특성을 살펴보면, 남쪽으로는 용인IC가 인접해 있으며, 북쪽으로는 경안천이 위치하고 있다. 본 국도는 경기도를 관통하여 서울외곽으로 이어지기에 많은 차량의 통행이 빈번한 도로이다. 표 1은 모니터링 지점의 현황을 나타내고 있는데, 유역면적은 5,000 m²이며 4차선을 가진 국도지역이다.

일반적으로 비점오염물질의 유출은 유역 및 강우특성에 영향을 받기에 본 연구에서는 이러한 불확실성을 줄이기 위하여 자동유량측정기(Automatic Flow Meter, Sigma 950)와 자동 강우계(Automatic Rainfall Gauge)를 현장에 설치하여 1분 단위로 모니터링을 수행하였다(Deletic and Mahsimivic, 1998; Ujevic et al, 2000). 수질시료 채취는 초기강우 현상을 고려하기위해 강우유출이 시작된 직후 첫 번째 시료를 채취하였으며, 이후 15분까지는 5분 단위로, 30분까지는 15분, 1시간까지는 30분 단위로 모니터링을 실시하였다. 또한 1시간 이후에는 매 시간마다 시료를 채취하였으며, 강우유출수의 유출이 끝날 때 까지 모니터링을 수행하였다. 이와 더불어 모니터링 결과를 활용하여 표 2와 같이 강우 전 전기일수(Antecedent Dry Days, ADDs), 총 강우량(Total Rainfall), 강우지속시간(Rainfall Duration), 평균강우강도(Average Rainfall Intensity)를 산정하였다. 채취된 시료의 분석은 Standard Methods(APHA)와 수질오염공정시험방법에 준하여 수행하였다.

2.2 강우 유출수의 EMC 선정 및 통계분석

비점오염물질의 유출은 강우특성에 영향을 크게 받기에 일반적으로 평균 농도 산정이 매우 어렵다. 따라서 최소 간격으로 수행된 유량측정과 채취된 시료농도를 활용하여 유량가중 평균농도, 즉 EMC로 표현하게 된다. 식 1은 비점오염원의 EMC 산정을 위하여 사용되는 식으로 t 는 강우지속시간, $C(t)$ 는 t 시간에서의 오염물질 농도, $q_{run}(t)$ 는 강우 유출율을 나타낸다. 그러나 EMC는 초기강우 현상을 대변하지 못하기에 초기강우 현상을 파악하기 위해서는 수리수문 및 농도곡선의 작성이 필수적이다.

표 1. 모니터링 지점 현황

Locations	Pavement Type	No. of Lanes	Area(m ²)	Imperviousness Rate(%)
Road #45(Youngin)	Asphalt	4	5,000	100

표 2. 강우사상별 모니터링 현황

Event No.	Event Date (YY/MM/DD)	ADD (day)	Total Rainfall Volume (mm)	Rainfall Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity (mm/hr)
E-1	06/06/29	2	11.5	5.0	2.3
E-2	06/08/17	18	6.5	1.5	4.3
E-3	06/08/26	3	48.5	3.2	15.2
E-4	06/10/22	33	6.0	4.2	1.4
E-5	06/11/05	13	7.0	1.3	5.4
E-6	07/02/13	4	13.0	7.8	1.7
E-7	07/03/04	1.4	9.0	7.7	1.2
E-8	07/04/13	1	5.0	2.5	2.0
E-9	07/04/30	10	13.5	10.8	1.3
E-10	07/05/16	4	50.5	11.0	4.6
E-11	07/05/24	5	43.0	8.7	4.9
E-12	07/06/21	6	16.0	14.0	1.1
E-13	07/06/28	3	4.0	2.7	1.5
E-14	07/07/19	2	55.5	12.8	4.3
E-15	07/09/14	4	84.0	10.8	7.8
E-16	07/11/23	2	1.5	6.8	0.2

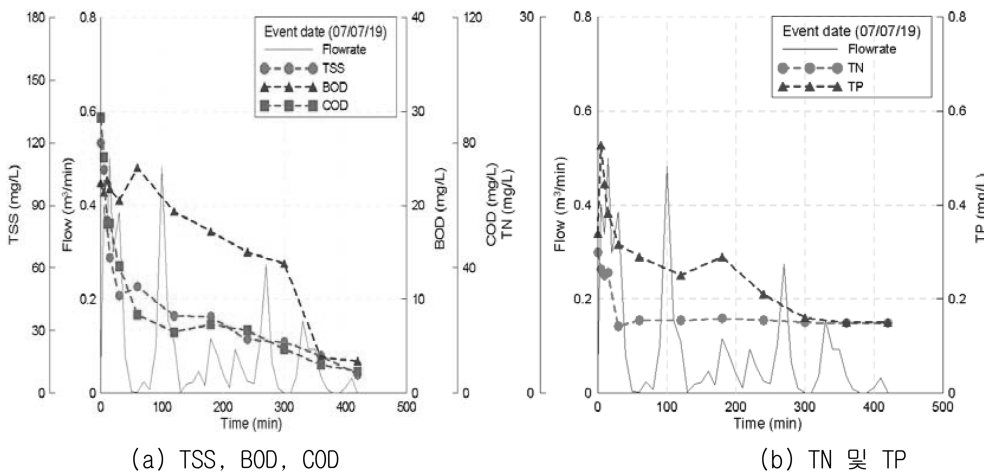


그림 1. E-14의 수리-수문 농도 그래프(2007년 7월 19일 강우사상)

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

비점오염원에서는 산정된 EMC의 일반화를 위해서는 통계분석을 필수적으로 요구하며, 향후 비점오염원의 효율적 모니터링 수행을 위해서는 오염물질간 상관성 분석을 요구한다. 따라서 이러한 통계분석을 위하여 SYSTAT(Vision 9.0)을 이용하였으며, 분석항목은 기초통계분석과 피어슨 상관계수 및 본페로니 확률을 수행하였다. 기초 통계 항목에서는 오염물질들에 대한 평균값, 95% 신뢰구간, 최소값, 최대값, 중간값, 분산, 이상점(outliers)에 대하여 분석을 수행하였다. 오염물질간의 상관성 분석을 위해서는 유의수준(P value, confidence values)과 상관계수(R, Correlation coefficients)의 분석을 수행하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 모니터링 결과

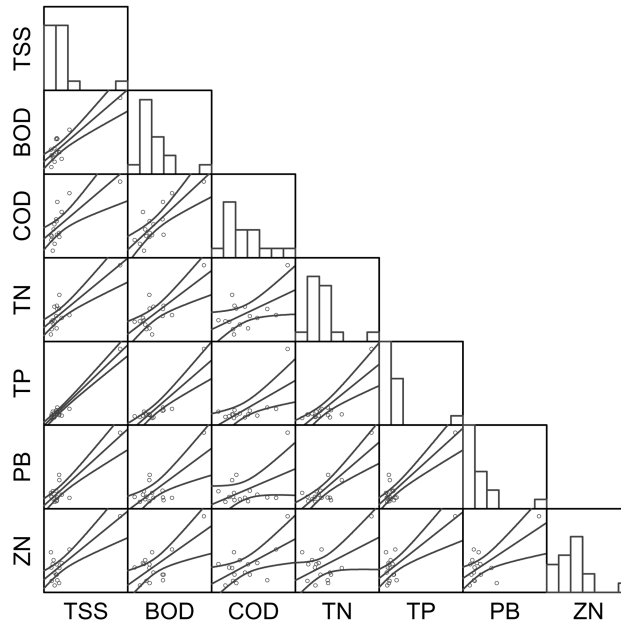
표 2는 모니터링을 통해 획득된 강우사상별 현황을 보여주고 있다. 모니터링은 2006~2007년 기간 동안 총 16회의 강우사상에 대하여 수행되었으며, 강우 전 건기일수의 범위는 1~33일, 총강우량은 1.5~84.0 mm, 강우지속시간이 1.3~14.0 hr, 평균 강우강도는 0.2~15.2 mm/hr의 범위로 나타났다. 모니터링이 수행된 전체 16회의 강우사상 중에서 10 mm 이상의 강우량이 9회 이상 수행되었다.

3.2 수리-수문 농도 그래프

그림 1은 대상지점에 대해 모니터링 한 강우사상 중 2007년 07월 19일에 발생한 강우사상에 대한 수리수문농도곡선을 보여주고 있다. 그림에서 x축은 강우지속시간, y축은 유출수

표 3. 오염물질들의 기초통계 분석

Parameters	TSS	BOD	COD _{Mn}	TN	TP	Total Zn
N of cases	16	16	16	16	16	16
Min. (mg/L)	20.7	4.8	13.1	0.60	0.19	0.037
Max. (mg/L)	459.9	50.9	58.0	15.30	9.88	1.236
Median (mg/L)	56.0	14.8	25.9	4.30	0.71	0.344
Mean (mg/L)	81.1	18.0	30.1	5.01	1.38	0.373
95% CI Upper (mg/L)	137.1	23.9	36.7	6.87	2.61	0.529
95% CI Lower (mg/L)	25.0	12.2	23.5	3.14	0.15	0.217
Standard Dev	105.2	10.9	12.4	3.49	2.31	0.293



R \ P	TSS	BOD	COD _{Mn}	TN	TP	Total Pb	Total Zn
TSS	1	0	0.022	0.001	0	0	0.004
BOD	0.87	1	0.003	0.014	0	0.04	0.068
COD _{Mn}	0.74	0.81	1	0.601	0.095	1	0.264
TN	0.83	0.76	0.55	1	0.003	0.002	1
TP	0.97	0.87	0.67	0.81	1	0	0.009
Total Pb	0.89	0.71	0.48	0.83	0.88	1	0.092
Total Zn	0.80	0.69	0.61	0.50	0.77	0.67	1

그림 2. TSS와 기타 오염물질들의 상관관계

율(m³/min)과 오염물질의 농도(mg/L)를 나타낸다. 수리수문농도곡선은 본 연구대상지점과 같은 포장지역에서 강우특성인 초기강우현상을 쉽게 알 수 있는 자료로서, 강우지속시간에 따라 초기에 고농도의 오염물질이 유출되고 강우가 지속됨에 따라 농도가 낮아지는 특성을 확인할 수 있는 자료로 많은 연구에서도 활용되고 있다. (김이형 등, 2004a; Kim et al., 2004, 2005). 본 대상지점에 대한 초기강우현상은 대체적으로 유출시작 이후 50분 이내 끝나는 것으로 나타났다.

3.3 비점오염물질의 기초통계 분석

비점오염원은 불활실성이 매우 높은 오염원이기에 일반화된 평균농도 산정이 매우 중요하다. 이러한 일반화된 EMC는 향후 비점오염저감시설 설계부하량 산정시 중요하게 고려된

다. 표 3은 식 1을 통해 산정된 EMC값에 대하여 통계분석을 실시한 결과를 나타내고 있다. TSS의 평균 EMC는 81.1 mg/L, BOD는 18.0 mg/L 및 Total Zn은 0.373 mg/L를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 95% 확신범위를 분석한 결과 TSS EMC는 25~137.1 mg/L, BOD EMC는 12.2~23.9 mg/L, 그리고 Total Zn EMC는 0.217~0.529 mg/L의 범위로 나타났다. 국내 도로지역에 대한 오염물질의 평균 EMC결과(김 등, 2005; 이 등 2006) 중 TSS EMC는 114.4 mg/L로 평균적인 농도보다 낮게 산정되었다. 또한 국내에서 수행된 도시지역에 대해 EMC 통계분석(김이형 등, 2006a, 2006b, 2007) 값과 비교해본 결과 도시지역 평균값인 88.7 mg/L보다 다소 낮은 값을 보이고 있으며, TSS의 95% 신뢰수준 또한 41.5~136 mg/L인 도시지역보다 낮은 값을 보

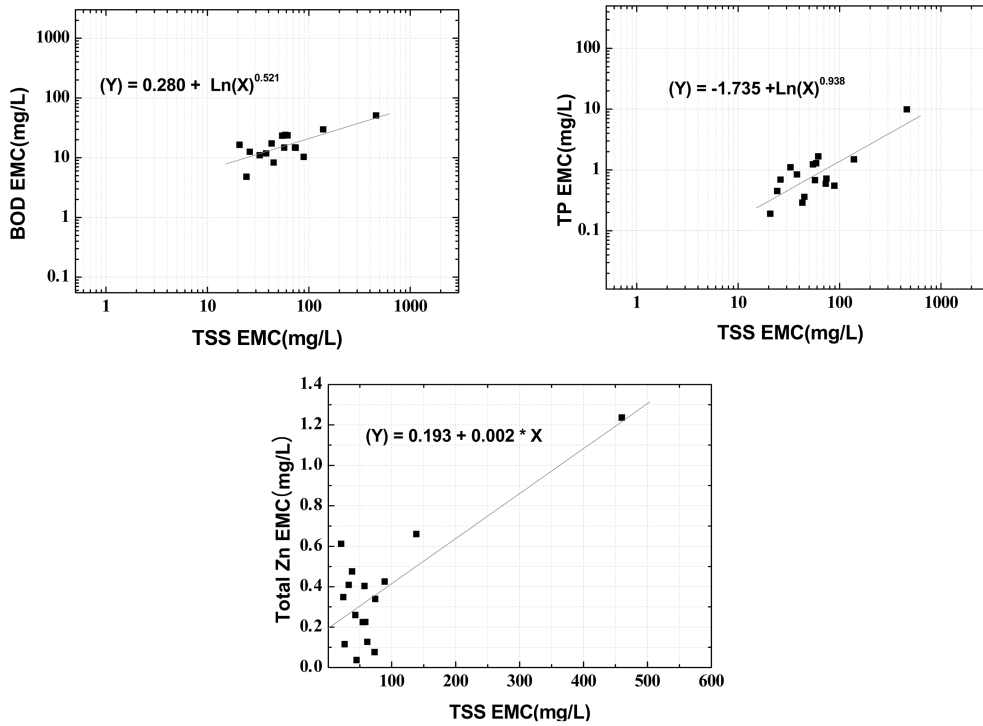


그림 3. 오염물질들에 대한 일차방정식

이는 것으로 분석되었다.

3.4 TSS와 기타 오염물질과의 상관관계

도로는 입자상 물질과 중금속의 유출이 높은 토지이용 지역이다. 일반적으로 중금속의 경우 입자상 물질에 흡착되어 유출되는 경향을 나타내고 있다(김이형 등, 2004b). 입자상 물질과 기타 오염물질간의 상관성 분석은 향후 비용효율적 모니터링 수행과 비점오염저감시설의 부하량 산정 예측시 매우 중요하다. 이러한 오염물질간 EMC 상관성 분석을 위하여 통계프로그램을 활용하였으며, 그림 2와 같이 피어슨 상관관계와 본페로니 확률을 수행하였다. 대각선을 기준으로 아래쪽은 상관계수(R)를 의미하며, 위쪽으로는 유의수준(P)을 나타낸다. 통계분석 결과, 오염물질간의 상관관계는 TSS항목의 경우 모든 오염물질과의 상관성이 매우 높은 것으로 분석되었고, 오염물질간의 상관성은 COD를 제외한 모든 항목이 80% 이상의 높은 상관성(Pearson correlation coefficient)을 나타내었다. 이는 고속도로 강우유출수에 대한 오염물질간의 상관관계를 분석한 결과(김 등, 2004)와 비교시 높은 값을 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

또한 TSS와 다른 비점오염물질 EMC 값 사이의 P 값은 0.05 이하로 모두 유의수준을 만족하고 있기에 TSS EMC 분석을 통하여 다른 오염물질의 EMC 값이 예측 가능할 것으로 판단된다.

3.5 TSS EMC를 활용한 예측관계식

TSS EMC는 기타 오염물질에 대한 상관성이 매우 높은 것으로 분석되었기에 본 연구에서는 TSS EMC와 기타오염물질간의 예측관계식을 나타내고자 한다. 특히 TSS EMC와 높은 상관성을 보이는 오염물질 중에서 BOD EMC, TP

EMC, Total Zn EMC 항목에 대하여 로그식과 직선식을 사용하여 그 상관관계를 그림 3에 나타내었다. TSS와 오염물질간의 관계식을 활용하여 손쉽게 측정되는 TSS의 농도로부터 오염물질의 EMC를 예측하는 작업이 쉽게 진행되리라 판단 된다.

4. 결 론

국도는 많은 차량으로 인하여 비점오염물질의 유출이 높은 토지이용 지역이다. 따라서 본 연구에서는 경기도 용인시에 위치하고 있는 국도에서의 비점오염 모니터링을 통하여 유출 특성 파악, 초기강우현상 파악, EMC 산정 및 오염물질간의 상관성을 분석하였다. 본 연구결과는 향후 효율적 비점오염 모니터링 수행과 비점오염저감시설 선정 시 중요한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 본 연구를 통해 분석된 결과는 다음과 같다.

- (1) EMC 산정결과, 평균 TSS EMC는 81.1 mg/L, BOD EMC는 18.0 mg/L 및 Total Zn은 0.373 mg/L 로 나타났다. 95% 확신범위를 분석한 결과 TSS EMC는 25~137.1 mg/L, BOD EMC는 12.2~23.9 mg/L, 그리고 Total Zn EMC는 0.217~0.529 mg/L의 범위를 나타내었다.
- (2) 오염물질간의 상관성을 분석한 결과, TSS EMC는 모든 오염물질에 대하여 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 특히 COD를 제외한 모든 항목이 80% 이상의 높은 상관성(Pearson correlation coefficient)과 함께 P 값은 0.05이하로 유의수준을 매우 만족하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 TSS EMC 분석을 통하여 다른 오염물질의 EMC 값을 산정 가능할 것으로 판단 된다.

- (3) TSS EMC와 기타 오염물질간의 예측관계식을 산정한 결과, 다음과 같이 나타났다: $BOD\ EMC(mg/L) = \ln(TSS\ EMC)^{0.521} + 0.280$, $TP\ EMC(mg/L) = \ln(TSS\ EMC)^{0.938} - 1.735$, $Total\ Zn\ EMC(mg/L) = 0.002(TSS\ EMC) + 0.193$.

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 (2007) 비점오염의 현황 및 적정 처리용량 산정을 위한 초기강우 기준 산정. 한국도로학회지, 한국도로학회, 제9권, 제2호, pp. 12-21.

김이형, 강주현 (2004a) 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 일단위 산정. 한국물환경학회지, 한국물환경학회, 제20권, 제6호, pp. 631-640.

김이형, 강주현 (2004b) 강우시 발생하는 고속도로 유출수의 초기우수 특성 및 기준. 한국물환경학회지, 한국물환경학회, 제20권, 제6호, pp. 641-646.

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

김이형, 이선하 (2005) 주차장 및 교량지역의 강우유출수내 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs 산정. 한국물환경학회지, 한국물환경학회, 제21권, 제3호, pp. 248-255.

김이형, 고석오, 이병식, 김성길 (2006a) 국내 고속도로 강우 유출수의 EMCs 및 유출 부하량 산정. 대한토목학회지 논문집, 대한토목학회, 제26권, 제2B호, pp. 225-231.

김이형, 이은주, 고석오, 강희만 (2006b) 아스팔트 포장 고속도로에서의 강우지속 시간별 오염물질 유출 경향. 한국도로학회 논문집, 한국도로학회, 제8권, 제1호, pp. 99-106.

이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 이병식, 임경호, 김이형 (2006)

포장지역에서의 강우사상별 EMC 산정 및 단순 샘플농도와의 비교. 한국물환경학회지, 한국물환경학회, 제22권, 제1호, pp. 104-109.

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

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 Association*, 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. *H. of Environmental Engineering*, Vol. 124, No. 9, pp. 869-879.

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

Kim, Lee-Hyung, Kayhanian, M. and Stenstrom, M. K. (2004) Event Mean Concentration and Loading of Litter from Highways during Storms, *Science of the Total Environment*, 330, pp. 101-113.

Kim, Lee-Hyung, Kayhanian, M., Lau, S-L. and Stenstrom, M. K. (2005) A New Modeling Approach in Estimating First Flush Metal Mass Loading. *Wat. Sci. & Tech.*, Vol. 51, No. 3-4, pp. 159-167.

Ujevic, E., 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.

◎ 논문접수일 : 08년 07월 14일
 ◎ 심사의뢰일 : 08년 07월 17일
 ◎ 심사완료일 : 08년 09월 11일