



# 고속도로 영업소지역에서의 비점오염물질 유출특성

## Characteristics of Non-point Pollutant from Highway Toll Gate Landuse

이 은 주\*      손 현 근\*\*      강 희 만\*\*\*      김 이 형\*\*\*\*  
 Lee, Eun-Ju      Son, Hyun-geun      Kang, Hee-Man      Kim, Lee-Hyung

### Abstract

Newly constructed road is a requisite to be able to carry out BMPs (Best Management Practices) under TMDL (Total Maximum Daily Load) program of the Ministry of Environment. BMPs require pollutant source control during road construction and wash off reduction plan as well as maintenance practices subsequent to construction on the purpose of discharging the minimum wash off non-point source pollutants. The objective of this study is to provide supportive discharged data in evaluating the discharged non-point pollutant load from a highway toll gate area. It can be applied to manage non-point source pollutants on roads. The results validate the first flush phenomenon that it is known to be one of the wash off characteristics in paved area. In addition, the load per unit area and load per unit rainfall duration applying EMC are calculated. The mean load per unit rainfall duration is assessed to be 533.7mg/m<sup>2</sup>-hr for TSS, 396.2mg/m<sup>2</sup>-hr for COD, 17.0mg/m<sup>2</sup>-hr for TN, and 4.8mg/m<sup>2</sup>-hr for TP. These results show the unitload taken from monitoring are higher than the unit load suggested in the TMDL. It is important to adopt real pollutant unit for road to be able to perform BMP successfully.

**Keywords :** EMC, highway, pollutant load, toll gate area, TMDL

### 요 지

최근의 환경정책은 신설되는 도로에 대하여 비점오염저감시설 설치의무화를 요구하고 있다. 또한 도로건설시 및 유지관리시에는 발생가능한 비점오염물질을 예측하고 이를 저감할 수 있는 방향으로 노선의 계획 및 설계와 더불어 다양한 비점저감방안을 수립할 것을 요구하고 있다. 비점오염원 및 비점오염물질을 관리하기 위해서는 우선 유역의 토지이용도를 분석하여 강우시 배출되는 오염물질의 종류와 양을 산정해야 한다. 특히 도로의 경우, 발생하는 비점오염물질의 원단위가 별도로 존재하지 않고 대지항목의 오염발생단위를 사용하고 있기에 적용함에 있어서 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 포장지역 중 고속도로 영업소를 대상으로 강우시 유출되는 강우유출수의 특성을 파악하여, 이러한 토지이용에서의 비점오염물질 유출특성과 부하량을 산정하고자 한다. 영업소 토지이용의 경우 많은 차량이 속도를 급격히 줄이는 토지이용지역으로 브레이크 패드, 각종 오일 및 엔진파트 등으로부터 많은 양의 오염물질이 축적되고, 포장률이 높아 강우시 다량의 오염물질이 유출되는 지역이다. 본 연구를 통해서 영업소 토지이용지역에서의 초기강우현상을 수리수문 및 농도곡선을 통해 확인할 수 있었다. 또한 EMC로부터 단위면적당 부하량과 강우지속시간당 부하량을 산정하였으며, 이러한 값은 영업소 유지관리시 인근수계에의 환경적인 영향을 해석하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 강우지속시간당 유출되는 평균부하량은 TSS의 경우 533.7mg/m<sup>2</sup>-hr, COD 396.2mg/m<sup>2</sup>-hr, TN 17.0mg/m<sup>2</sup>-hr, TP 4.8mg/m<sup>2</sup>-hr로 산정되었다.

**핵심용어 :** 유량가중평균농도, 고속도로, 영업소, 오염총량관리제

\* 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 BK 계약교수 · 공학박사  
 \*\* 비희원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 석사과정  
 \*\*\* 정희원 · 한국도로공사 도로교통기술원 재료환경연구그룹 · 연구원  
 \*\*\*\* 정희원 · 공주대학교 방재연구센터 및 건설환경공학부 교수 · 공학박사



## 1. 서론

수질오염총량관리제의 실시로 인하여 최근 비점오염원에 대한 관심이 높아지면서, 환경부 및 관련기관을 중심으로 노면유출수를 포함한 비점오염원(Non point source)에 대한 현황조사 및 처리방법에 대한 관심이 증가하고 있다. 또한 2007년 7월 환경부는 비점오염원 우선관리지역 등을 지정하는 등 급격한 환경정책의 변화를 기하고 있기에 개발과 관련되는 건설분야는 건설기술에 실질적인 친환경성을 부여하여야 할 시점에 있다. 특히 2006년도 건설교통부에서 발행된 환경친화적 도로유지관리잠정지침에서는 수질오염총량관리제가 시행되는 지역 및 수질보호를 위한 토지이용 제한지역으로 지정되어 있는 지역에 신설되는 도로 및 기존도로에 있어서 비점오염저감시설 설치를 의무화할 것을 요구하고 있다. 또한 이러한 지역에서는 도로신설시 비점오염물질의 발생 및 유출저감을 고려한 노선설계를 요구하고 있으며, 완공후 유지관리시 도로로부터 발생하는 비점오염물질 등을 최소화시킬수 있는 구조적 및 비구조적 최적관리방안 수립을 요구하고 있다. 이러한 최근의 환경정책은 도로를 광역의 의미로 두고 여기에 주차장, 교량, 휴게소, 영업소 등에서 비점오염저감시설을 설치할것을 일부지역에서는 의무화하고 있으며 권고하고 있다(건설교통부, 2006). 그러나 현재 비점오염원에 대한 기초적인 자료가 미비하여 급변하는 환경정책에 기술이 따라가지 못하고 있는 실정하기에 본 연구에서는 기술에 접목가능한 기초적인 비점오염원에 대한 자료를 제공하고자 한다.

비점오염원 및 비점오염물질을 관리하기 위해서는 우선 토지이용별 강우시 배출되는 오염물질의 양을 산정해야 한다. 현재 이러한 토지이용별 오염물질의 부하량은 수질오염총량관리지침상에 제시되어 있는 토지이용별 오염물질 발생원단위가 사용되고 있다. 그러나 본 지침에서의 토지이용은 7개로 분류되어 적용에 있어 많은 난관에 봉착해 있다. 따라서 최근

들어 환경부는 토지이용 지목을 세분화하는 작업을 수행하고 있으며, 이는 향후 몇 년이 추가로 소요되어야만 해결될 전망이다. 특히 도로의 경우 많은 차량의 운행과 높은 포장률에 의해 오염물질의 부하량이 높음에도 불구하고 현재 대지의 오염발생원단위를 사용하고 있다. 대지에서 제시하고 있는 오염물질 발생원단위를 살펴보면 BOD가 85.9 kg/km<sup>2</sup>·day, TN이 13.69kg/km<sup>2</sup>·day, TP가 2.1 kg/km<sup>2</sup>·day로 광역적으로 포함되어 있어 정확한 오염물질 발생 부하량 산정에 어려움을 겪고 있다. 특히 대지항목은 대지를 비롯하여 공장용지, 학교용지, 도로, 철도용지, 체육용지(골프장 제외), 유원지, 종교용지, 사적지 등의 항목이 공통으로 묶여 적용되고 있는 실정이다(환경부, 1999). 따라서 바람직한 발생원단위 산정을 위하여 중장기적인 모니터링시 수행되어야 할 것이다. 특히 토지이용별 발생원단위는 향후 비점오염저감시설 설계 및 시공시 시설의 규모와 직접적인 관련이 있기에 원단위 산정의 신중함은 중요한 과제라 하겠다.

따라서 본 연구에서는 한국도로공사 도로교통기술원의 연구지원금을 통하여 포장지역중 고속도로 영업소를 대상으로 강우시 유출되는 강우유출수의 특성을 파악하여, 영업소지역의 비점오염물질 특성과 부하량을 산정하고자 하였다. 이러한 연구결과는 향후 비점오염원 관리뿐만 아니라, 비점오염물질을 저감하기 위한 처리시설의 규모산정에 있어서 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 연구방법

### 2.1 모니터링 지점 및 방법

고속도로에 존재하는 다양한 포장지역중에서 영업소지역은 많은 차량이 급격히 속도를 줄이는 토지이용지역이다. 이러한 지역적 특성으로 인하여 영업소지역은 자동차의 엔진파트, 브레이크 패드 및 각종



유탄유와 오일로부터 다양한 비점오염물질이 건조시 축적되는 현상을 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 토지이용지역에서 강우시 유출되는 비점오염물질의 특성 및 부하량을 산정하고자 그림 1과 같이 경부고속도로 및 호남고속도로 지점에 2개소의 모니터링 지점을 선정하였다. 차량의 운행 정도에 따른 자료비교를 위하여 많은 차량이 운행되는 지역인 경부고속도로와 상대적으로 차량의 운행이 적은 호남고속도로를 선정하여 모니터링을 수행하였다. 모니터링 지점으로 선정된 지점은 수원영업소와 계룡영업소이며, 각 지점의 토지이용에 대한 사항은 표 1에 나타나있다.

(이 등, 2006). 또한 강우초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우현상을 고려하여 강우가 시작된 직후 첫 번째 수질샘플을 채취하고 있으며, 이후 15분까지 5분 간격으로 수질모니터링을 수행하고, 60분까지는 15분 단위로 모니터링을 실시하고 있다. 1시간 이후에는 강우유출이 끝날 때까지 1시간 간격으로 수질 모니터링을 수행한다. 이외에도 강우강도, 총유출량, 총강우량, 평균강우강도, 강우지속시간, 강우전 건기일수, 유역면적 등을 조사함으로써 향후 본 자료의 활용성을 높이고자 한다. 모니터링을 통해 채취된 시료는 입상물질, 유기물질, 영양물질, 중금속들에 대한 분석을 실시하고 있다.

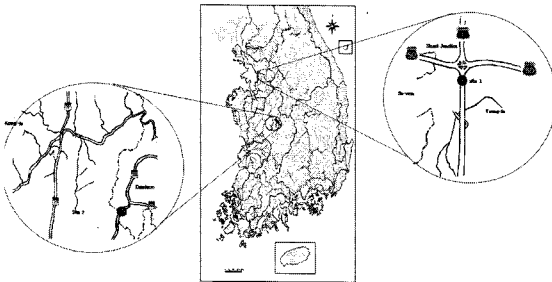


그림 1. 모니터링 지점

표 1. 모니터링 지점 현황

Site	Locations	Area (m <sup>2</sup> )	Pavement Type	ADT (vehicles/day)	Imperviousness Rate(%)
1	도로공사 영업소 (수원톨게이트 입구방향)	82.2	Asphalt	47,567	100
2	도로공사 영업소 (계룡톨게이트 입구방향)	661.5	Asphalt	2,800	100

모니터링은 2006년도부터 시행되고 있으며, 강우시 발생하는 강우량과 유출량에 대한 모니터링의 확실성을 줄이기 위한 방안으로 자동유량측정기 (Automatic Flow Meter, Sigma 950)와 자동강우계 (Automatic Rainfall Gauge)를 현장에 설치하여 1분 단위로 강우량과 유출량측정을 수행하고 있다

## 2.2 EMCs 및 부하량 산정

영업소지점에서 강우시 유출되는 비점오염물질의 부하량 산정은 모니터링을 수행하여 획득된 유출오염물질의 농도와 강우유출량을 이용하여 산정할 수 있다. 이때 이용되는 오염물질의 농도는 유량가중평균농도, 즉 EMC(Event Mean Concentrations)로 불리며 식(1)과 같이 모니터링 결과를 이용하여 산정된다(김 등, 2004). EMC는 전체 강우지속시간 T시간 동안 유출된 전체 누적오염물질의 양을 전체 누적유출량으로 나누어 계산할 수 있으며, 강우에 의해 유출되는 오염물질의 부하량 산정을 위해서는 유량가중 평균농도인 EMC의 정밀한 산정이 필수적이다.

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

여기서,  $Q_{TRu}(t)$ 와  $C(t)$ 는  $t$ 시간에서의 유출율과 오염물질의 유출농도를 나타내고 있다. 산정된 EMC를 이용하여 면적당 부하량과 강우지속시간당 부하량은 식 (2)와 (3)으로부터 산정할 수 있다.



Pollutant Loading per Watershed Area(mg/m<sup>2</sup>)

$$= \frac{EMC(mg/L) \times Q(m^3)}{Area(m^2)} \quad (2)$$

Pollutant Loading per RDT(mg/m<sup>2</sup>-hr)

$$= \frac{EMC(mg/L) \times Q(m^3)}{Area(m^2) \cdot RDT(hr)} \quad (3)$$

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 강우특성

표 2는 각 지점별 수행된 전체 8회 강우사상에 대한 모니터링 결과를 나타내고 있으며, 모니터링은 2008년 말까지 지속될 예정이다. Site 1 지점의 모니터링 결과를 보면, 강우 전 건조일수(Antecedent Dry Day, ADD)는 3-15일, 전체 강우량은 32-77.5mm, 평균 강우강도는 3.1-5.21mm/hr 범위의 다양한 분포를 보여주고 있다. Site 2의 경우, 강우 전 건조일수는 3-18일, 전체 강우량은 0.5-11.2mm, 평균강우강도는 1.4-9.1mm/hr의 범위를 나타내고

표 2. 영업소 지점의 강우사상별 모니터링 현황

Site	Event No.	Event Date	Area (m <sup>2</sup> )	ADD (days)	Total Rainfall (mm)	Runoff Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity (mm/hr)	Runoff Coeff.
1	E-1	2006/5/5	82.2	14	62	20	3.1	0.95
	E-2	2006/5/22	82.2	15	36.5	7	5.21	0.99
	E-3	2006/5/27	82.2	4	32	12	2.67	0.47
	E-4	2006/6/14	82.2	3	77.5	18	4.31	0.84
2	E-1	2006/6/29	661.5	3.1	15.5	1.7	9.1	0.68
	E-2	2006/7/25	661.5	3	9.1	6.5	1.4	0.75
	E-3	2006/8/16	661.5	10	3.0	0.8	3.8	0.66
	E-4	2006/9/5	661.5	5	17.9	11.2	1.6	0.70
	E-5	2006/11/9	661.5	2.1	4.5	0.5	9.0	0.70

있다. 이러한 넓은 값의 분포는 비점오염원의 연구가 쉽지 않다는 것을 보여주고 있으며, 지속적인 모니터링을 통하여 많은 자료의 확보가 필요하다는 것을 보여주고 있다.

#### 3.2 비점오염물질 유출경향

비점오염물질의 유출경향은 유출되는 유출수와 함유되어 있는 오염물질의 농도와의 상관성을 파악함으로써 알 수 있다. 그림 2는 비점오염물질의 유출경향을 파악하기 위하여 수행되고 있는 수리수문 및 농도곡선을 보여주고 있다. 대부분의 강우사상에서 그림 2와 같이 강우유출초기에 고농도의 오염물질이 유출되며, 유출이 계속될수록 오염물질의 농도가 급격히 줄어드는 초기강우현상을 나타내고 있었다(이 등, 2006). 이러한 결과는 포장지역에서의 강우특성이며(Ma et al., 2002; Sansalone and Cristina, 2004), 비점오염물질을 처리하기 위한 비용효율적인 규모를 산정하는데 있어서 중요한 자료로 활용되고 있다.

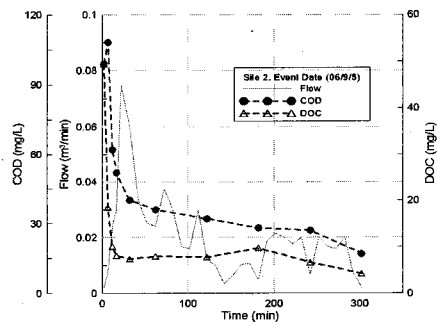
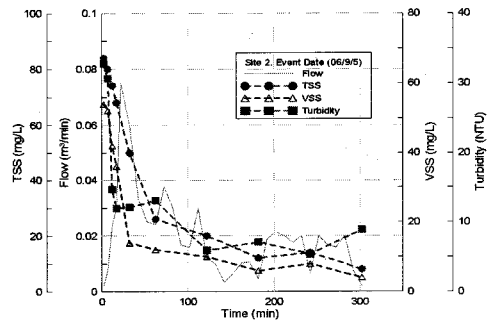


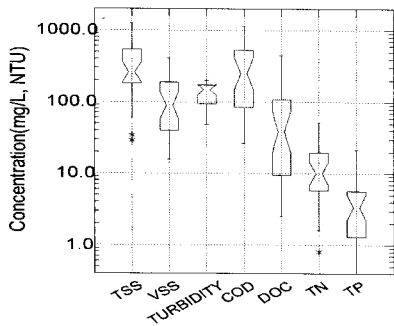
그림 2. 수리 수문 및 농도곡선



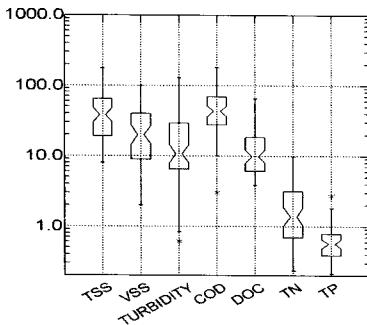
### 3.3 유출오염물질의 통계학적 분석

강우시 모니터링 지점에서 유출되는 비점오염물질에 대한 통계분석결과가 그림 3에 나타나 있다. Site 1의 경우, 오염물질별 95% 신뢰구간 범위가 TSS 263.9-466.5mg/L, COD 239.8-477.5mg/L, TN 8.0-16.3mg/L, TP 2.7-5.8mg/L를 보이고 있다. Site 2의 경우, TSS 128.2-273.4mg/L, COD

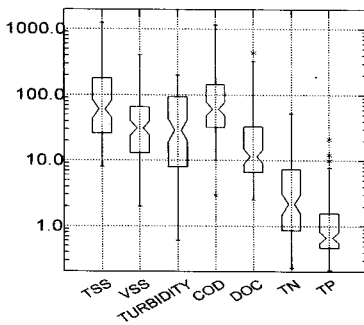
145.4mg/L-310.1mg/L, TN 6.1-8.5mg/L, TP 1.9-2.9mg/L의 범위로 산정되었다. 차량의 운행이 많은 site 1지점이 site 2에 비하여 약 2배정도 높은 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 두 지점의 자료를 활용하여 전체적으로 농도의 통계분석 결과를 산정한 결과, 오염물질별 95% 신뢰구간 범위가 TSS 142.2-264.4mg/L, COD 134.6mg/L-268.2mg/L, TN 4.9-9.5mg/L, TP 1.2-3.0mg/L이며, 평균값으로는 TSS의 경우 203.5mg/L, COD 201.4mg/L, TN 7.2mg/L, TP 2.1mg/L로 산정되었다.



(a) site 1지점



(b) site 2지점



(c) 전체지점

그림 3. 유출되는 오염물질농도의 통계범위

### 3.4 유출시간에 따른 오염물질의 평균농도 변화

포장지역에서의 오염물질의 유출특성은 강우초기 1시간 이내에 다량의 오염물질이 유출되는 것으로 알려져 있다(김 등 2006). 따라서 강우유출수 초기 1시간 내의 오염물질 유출특성을 파악할 필요가 있으며, 전체지점의 농도자료를 활용하여 통계분석을

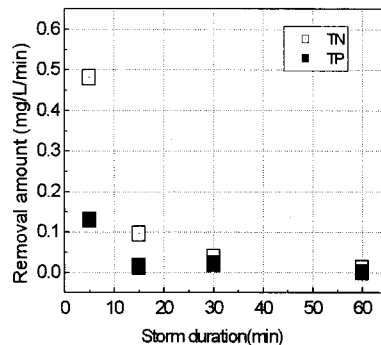
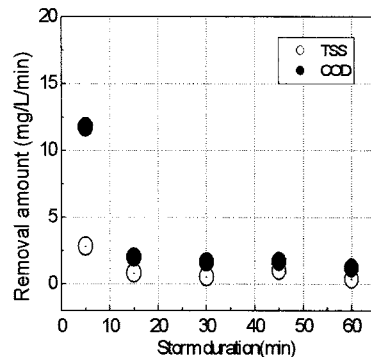


그림 4. 강우지속시간에 따른 오염물질 유출률



수행하였다. 강우지속시간에 따른 영업소 노면으로부터 세정되는 분당오염물질 저감량(mg/L/min) 분석을 행한 결과(그림 4), 강우로 인한 유출은 강우지속시간 5분에서 그 값이 가장 큰 것으로 나타났고, 강우지속시간이 길어짐에 따라 그 값이 현저히 낮아지는 것으로 나타났다. 강우지속시간에 따른 분당오염물질 저감량분석은 초기 고농도의 오염물질이 시간에 따른 저감률의 정도를 알 수 있는 자료로 수리수문농도곡선과 함께 비점오염물질의 처리용량을 산정하는데 있어서 유용한 자료로 활용되고 있다.

### 3.5 영업소지역의 비점오염물질 EMCs 및 부하량 산정

모니터링을 통해 획득된 실험결과는 식(1)을 통해 강우사상별 비점오염물질의 EMC산정이 이루어졌다. 이렇게 산정된 EMC에 대한 대표성을 찾기 위하여 SYSTAT 버전9.0을 이용하여 통계분석을 행하였다(SYSTAT version 9.0). 표 3은 고속도로 영업소 지점에 대하여 입자상 및 유기물질의 EMC결과를 나타내고 있다.

표 3. 영업소지역의 EMC 통계 분석

Parameters	Min.	Max.	Mean	95% CI upper	95% CI lower	St.Dev
TSS	26.2	365.6	120.2	209.5	30.9	116.2
COD	23.9	424.5	97.4	194.3	0.39	126.1
DOC	4.96	56.2	14.6	26.9	2.25	16.0
TN	0.61	8.52	2.92	5.05	0.80	2.76
TP	0.50	3.54	1.09	1.85	0.33	0.99

영업소지점의 TSS EMC의 범위는 26.2-365.6mg/L, COD는 23.9-424.5mg/L, DOC는 4.96-56.2mg/L, TN은 0.61-8.52mg/L, TP는 0.5-3.54mg/L의 범위를 나타내고 있다. 유출되는 오염물질의 EMC에 대한 95% 신뢰구간은 TSS 30.9-209.5mg/L, COD 0.39-194.3mg/L, DOC는

2.25-26.9mg/L, TN은 0.80-5.05mg/L, TP는 0.33-1.85mg/L의 범위를 나타내고 있다. 분석된 값을 국내 고속도로 강우유출수 EMCs(김 등, 2006)와 국외자료(Nordeide 등, 2004)와 비교하면 국내의 경우가 다소 높은 수준을 나타내고 있다.

영업소지역으로부터 강우시 발생하는 부하량 산정은 EMC와 강우지속시간 및 유역면적을 활용하여 식(2)와(3)을 이용함으로써 얻을 수 있으며 그 결과가 그림 5에 나타나 있다. 유역면적을 이용하여 발생 부하량을 산정한 결과, TSS는 109.3-7,709mg/m<sup>2</sup>, COD가 147.6-4,925mg/m<sup>2</sup>, TN이 2.97-194.2mg/m<sup>2</sup>, TP가 2.26-32.6mg/m<sup>2</sup>로 산정되었으며, 평균부하량은 TSS가 1,951mg/m<sup>2</sup>, COD는 1,189mg/m<sup>2</sup>, TN은 49.4mg/m<sup>2</sup>, TP가 13.79mg/m<sup>2</sup>로 산정되었다. 고속도로지역의 단위면적당 평균부하량(김 등, 2006)을 산출한 자료와 비교시 거의 비슷

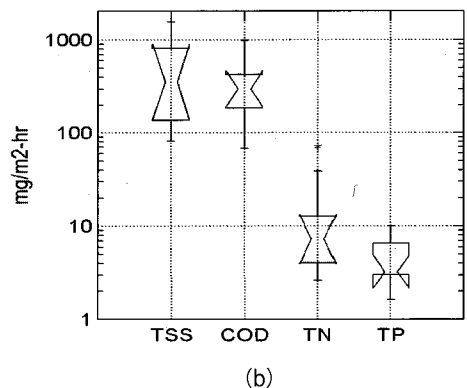
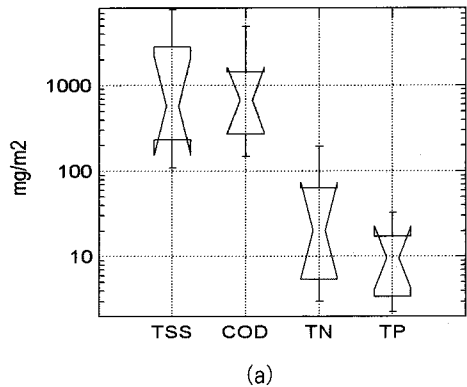


그림 5. 단위면적당 부하량(a) 및 강우지속시간당 부하량(b)



한 수준으로 산정되었다.

강우지속시간에 대한 발생부하량을 산정한 결과, TSS는 81.63-1,541mg/m<sup>2</sup>-hr, COD는 68.37-985mg/m<sup>2</sup>-hr, TN은 2.63-71.01mg/m<sup>2</sup>-hr, TP가 1.63-10.05mg/m<sup>2</sup>-hr로 산정되었으며, 평균부하량은 TSS가 533mg/m<sup>2</sup>-hr, COD가 396mg/m<sup>2</sup>-hr, TN이 17.0mg/m<sup>2</sup>-hr, TP가 4.8mg/m<sup>2</sup>-hr로 산정되었다. 이렇게 산정된 부하량은 고속도로지역에 대한 강우지속시간당 평균부하량(김 등, 2006) 값인 TSS 370mg/m<sup>2</sup>-hr, COD 294mg/m<sup>2</sup>-hr과 비교할 때 높은 수준으로 산정되었다. 이러한 값들은 고속도로 영업소지점을 대상으로 한 비점오염최적관리기법 마련 시 비점오염물질의 유입농도 등에 대한 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 고속도로 영업소지역에서 강우시 유출되는 비점오염물질의 유출특성을 파악하고 부하량 산정을 하기 위하여 수행된 모니터링 결과를 정리한 것이다. 이러한 자료는 향후 영업소지역의 비점저감 시설의 규모산정 및 공법선정시 활용될 수 있으며, 또한 인근수계에서의 환경적 영향을 해석함에 있어서 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다. 모니터링을 통하여 수행된 결과는 다음과 같다.

1. 모니터링을 통한 수리수문 및 농도곡선을 통해 강우시 영업소 토지이용에서도 뚜렷한 초기강우 현상을 확인할 수 있었다.
2. 강우지속시간에 따른 오염물질저감량은 강우지속시간 5분에서 그 값이 가장 큰 것으로 나타났고, 강우지속시간이 길어짐에 따라 그 값이 현저히 낮아지는 것으로 나타나 처리대용량을 산정하는데 있어서 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.
3. 비점오염물질의 유출 EMC에 대한 95% 신뢰구간은 TSS 30.9-209.5mg/L, COD 0.39-194.3mg/L, DOC는 2.25-26.9mg/L, TN은

0.80-5.05mg/L, TP는 0.33-1.85mg/L의 범위로 나타났다.

4. 강우지속시간에 대한 발생부하량을 산정한 결과, TSS는 81.63-1,541mg/m<sup>2</sup>-hr, COD는 68.37-985mg/m<sup>2</sup>-hr, TN은 2.63-71.01mg/m<sup>2</sup>-hr, TP가 1.63-10.05mg/m<sup>2</sup>-hr로 산정되었으며, 평균부하량은 TSS가 533mg/m<sup>2</sup>-hr, COD가 396mg/m<sup>2</sup>-hr, TN이 17.0mg/m<sup>2</sup>-hr, TP가 4.8mg/m<sup>2</sup>-hr로 산정되었다.
5. 일반적으로 차량이 정체하지 않고 지속적으로 움직이는 고속도로에 비하여 영업소가 상대적으로 높은 비점오염물질의 부하량을 나타내는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

건설교통부(2006), "환경친화적 도로유지관리잠정지침", 건설교통부.

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

김이형, 이선하(2005), "주차장 및 교량 강우유출수의 중금속 오염물질 특성과 동적 EMCs", 한국물환경학회지, 21(4), pp. 385-392.

김이형, 고석오, 이병식, 김성길(2006), "국내 고속도로 강우유출수의 EMCs 및 유출부하량 산정", 대한토목학회 논문집, 26(2B), pp.225-231.

김이형, 이은주, 고석오, 강희만(2006), "아스팔트 포장 고속도로의 강우 지속시간별 오염물질 유출경향", 한국도로학회논문집, 8(1), pp.99-106.

이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 이병식, 임경호, 김이형(2006a), "포장지역에서의 강우사상별 EMC 산정 및 단순 샘플농도와 비교", 한국물환경학회지, 22(1), pp.104-109.

이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 임경호, 이병식, 김이형(2006b), "고속도로 노면유출수의 중금속 유출 특성 및 상관성", 한국물환경학회지, 22(1), pp. 128-133

환경부(1999), "오염총량관리계획수립지침(안)".

Nordeidet, B., Nordeide, T., Astebol, S.O.,



Hvitved-Jacobsen, T. (2004), "Prioritising and planning of urban stormwater treatment in the Alna watercourse in Oslo", *Science of the Total Environment*, 334-335, pp. 231-238.

Ma, M., Khan, S., Li, S., Kim, L.-H., Ha, S., Kayhanian, M., Stenstrom, M.K. (2002), "First flush phenomena for highways: how it can be meaningfully defined". In: Proceedings of the Ninth International Conference on Urban Drainage, September, Portland, OR.

Sansalone, J.J., Cristina, C.M. (2004) "First flush concepts for suspended and dissolved solids in small impervious watersheds". *J. Environ. Eng., ASCE*, 130(1), pp. 1301-1314.

접 수 일: 2007. 10. 5

심 사 일: 2007. 10. 29

심사완료일: 2007. 11. 30