

# 고속도로 영업소 토지이용에서의 비점오염원 원단위 산정

손 현근\* / 이 은 주\*\* / 이 소 영\*\*\* / 김 이 형\*\*\*\*<sup>+</sup>

## Determination of Nonpoint pollutant Unit Loads in Toll-gate of Highway

Hyun-Geun Son\* / Eun-Ju Lee\*\* / So-Young Lee\*\*\* / Lee-Hyung Kim\*\*\*\*<sup>+</sup>

**요약** : 토지이용의 고도화는 다양한 비점오염물질의 축적을 야기하며 강우 시 유역에 존재하는 수계로 유출되어 수생태계에 악영향을 끼치게 된다. 현재 환경부는 이러한 비점오염물질의 유출을 저감하기 위하여 다양한 토지이용별 비점오염물질 유출원단위를 제정하여 유역관리에 적용하고 있다. 그러나, 현재 적용되고 있는 토지이용별 원단위는 논, 밭, 대지, 목장, 임야, 골프장 및 기타와 같이 7개로 분류하고 있다. 이러한 원인으로 인하여 실제로 비점오염물질의 유출이 매우 높은 상업지역, 주거지역, 도로, 고속도로, 주차장, 산업지역, 공공지역 등과 같은 토지이용에 대하여 명확한 토지이용별 유출원단위를 제시하지 못하여 수질오염총량관리제 시행에 큰 애로사항으로 남아있다. 따라서 본 연구에서는 포장지역중 불투수율이 높은 고속도로 영업소 지역의 토지 이용에 대하여 2006년부터 2007년까지 약 2년에 걸친 모니터링 자료를 활용하여, 비점오염 저감시설 설치와 계획수립 시 적합한 원단위를 제시하고자 한다.

**핵심용어** : 고속도로, 영업소, 비점오염원, 원단위

**Abstract** : Toll-gate in highways often received the pollution impact from transportation/vehicular activities. Thus, concentrated pollutants carried by stormwater runoff are directed to nearby streams affecting the water quality and ecosystem. In order to determine the environmental impact on nearby waterbodies and predict the future impact by stormwater runoff, the unit pollutant loads from various landuses are really important. This research was performed to characterize the stormwater runoff and to provide the unit loads from Toll-gate landuses in Korea. The monitoring was conducted at toll gate locating in Gaeryoung City during 2006-2007. The water quality parameters including TSS, COD, DOC, TN, and TP were analyzed and also the flow rates were measured during the monitoring. In this paper, EMCs will be calculated by using the monitored water quality concentrations and flow rates, which will be used to determine the unit pollutant loads from the toll-gate of highway.

**Keywords** : Highways, Toll-gate, Nonpoint sources, Unit pollutant loads

### 1. 서 론

고속도로 및 도로 등 각종 포장지역은 불투수율이 높고 유역면적이 좁은 포장지역으로 차량의 급감속과 급정지로 오염물질의 축적량이 높고, 담배꽂초와 각종쓰레기의 투기가 높은 지역이다. 도

로 및 고속도로 등 포장지역의 가장 큰 특징은 초기 강우현상으로, 강우가 발생하고 유출 시간동안 고농도의 오염물질이 유출되는 현상을 보인다(Bertrand-Krajewski et al., 1998; Wu et al., 1998). 도로 및 포장지역은 대부분이 수계와 연관되어 강우 시 강우유출수와 함께 오염물질들이

+ Corresponding author : leehyung@kongju.ac.kr  
\* 정희원-공주대학교 건설환경공학부 석사과정  
\*\* 정희원-공주대학교 건설환경공학부 BK21 계약교수  
\*\*\* 정희원-공주대학교 건설환경공학부 박사과정  
\*\*\*\* 정희원-교신전자공주대학교 건설환경공학과 교수

수계로 유입되어 수생태계에 심각한 영향을 끼치고 있다. 또한 도시지역 도로 및 고속도로의 토지이용에서 발생하는 비점오염물질은 다른 토지이용과 비교해 볼 때, 많은 차량의 통행량으로 오염물질 축적이 높은 토지이용 지역이다(김이형 등, 2004a, 2004b, 2006).

현재 비점오염원의 중요성으로 환경부는 4대강 수질오염관리를 위해 수질오염총량관리제를 도입 및 실시하고 있으며, 개정된 ‘수질및수생태계보전에관한법률’에서는 비점오염원 관리를 위하여 개발 사업으로부터 발생하는 비점오염물질의 관리를 요구하고 있다. 이는 일정규모이상의 도시개발이나 산업단지 조성 및 그밖에 비점오염원을 유발시키는 사업으로 대통령령이 정하는 사업에 대하여 비점오염원 저감을 위한 처리시설 설치가 권고되고 있으며, 대규모 개발사업의 경우에는 계획수립 단계에서부터 비점오염물질 정화시설을 갖추도록 하고 있다. 또한 건설교통부(2006)에 의하면 도로 건설의 경우 도로 및 교량 건설에 앞서 저감시설 설치를 의무화 할 것으로 명시하여 비점오염물질 사전 저감을 할 것을 요구하고 있다.

비점오염물질은 논, 밭, 산, 임야, 대지와 같은 다양한 토지이용으로부터 강우시 발생하는 오염물질을 의미하며, 오염물질 부하량 산정에 있어 각종 토지이용에 따른 발생원단위를 적용할 것을 권하고 있다. 국외의 포장지역 토지이용에 따른 비점오염원 원단위는 인간이 활동하는 포장지역을 상업지역, 주거지역, 도로, 고속도로, 주차장, 공공지역으로 세분화하여 적합한 오염원단위 산정이 제시 되어 있다(한국도로공사, 2007). 그러나 국내의 경우, 환경부(1999)가 제시하고 있는 토지이용별 원단위는 7가지(논, 밭, 임야, 대지, 목장, 골프장, 기타)로 분류하고 있기에 외국과 같은 다양한 토지이용의 특성을 반영하지 못하고 있다. 즉, 인간이 활동하는 모든 토지이용(주거지역, 상업지역, 도로, 산업지역, 공공지역 등)을 대지로 묶어 관리하기에 특정 토지이용에서는 실제보다 높은 오염물질의 유출로 산정될 가능성이 있으며, 특정 토지이용에서는 낮은 오염물질의 유출을 산정케

할 가능성이 매우 높다. 이러한 문제점은 수질오염총량관리제 도입과 더불어 비점오염원 관리의 중요성이 대두되면서 많은 논란의 중심에 있다. 특히, 도로와 같이 포장율이 높은 토지이용의 경우, 별도 비점오염원 발생 부하량 원단위가 제정되어 있지 않고 대지(대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도, 유원지 포함)에 포함되어 적용하고 있기에 비점오염물질 발생 부하량 산정시 과대 혹은 과소 산정될 가능성이 매우 높다 하겠다. 따라서 본 연구에서는 포장지역중 불투수율이 높고, 차량의 운행으로 인하여 오염물질의 축적이 높으며, 유역면적이 좁은 고속도로 영업소 지역을 대상으로 비점오염물질의 유출 원단위를 모니터링 결과를 통하여 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 지점 현황 및 모니터링 방법

본 연구는 강우유출수의 특성을 평가하기 위해 사전현장조사를 실시하여, 호남고속도로 계룡 영업소에 위치한 톨게이트 지역을 모니터링 지점으로 선정하였다. 지점은 톨게이트 입구로서 차량이 진입하기위해 급 감속 및 가속의 반복이 이루어지는 구간으로써 차량의 통행에 의한 오염물질들이 축적되는 토지이용 지역이라 할 수 있다(표 1). 강우 시 발생하는 강우량과 유출량을 측정하기 위하여 수질과 유량에 대하여 모니터링을 수행하였다. 유출되는 유출수의 수질 특성을 파악하기 위하여 수질시료를 채취하였으며, 강우가 시작된 직후 첫 번째 수질샘플을 채취하였고, 향후 15분까지 5분 간격으로 수질시료의 채취가 이루어졌다. 이후 30분까지는 15분 단위로, 이후 1시간 동안은 30분 간격으로 시료채취가 수행되었으며, 1시간 이후에는 강우 유출이 끝날 때까지 1시간 간격으로 수질 모니터링이 수행되었다. 이와 더불어 모니터링을 통해 획득된 자료를 활용하여 평균강우강도, 총 유출량, 총 강우량, 평균 강우강도, 강우 지속시간, 강우 전 건기일수, 유역면적 등의

표 1. 모니터링 지점 현황

Site	Locations	Land use	Area(m <sup>2</sup> )	Imperviousness Rate(%)
T	Highway #251-Honam Highway (Gaeryoung T/G)	Toll-gate	661.5	100

산정이 수행되었다. 채취된 시료는 입자상 물질, 유기물질, 영양물질, 중금속들에 대한 분석을 실시하였으며, 본 논문에서는 입자상 물질과 유기물질의 결과만을 나타내고자 한다.

### 2.2 모니터링 자료의 해석

본 연구에서는 모니터링 강우사상별 산정된 EMC와 유역면적 및 전체 강우유출량을 이용하여 원단위를 산정하였다. 또한 산정된 원단위는 환경부 ‘수질오염총량관리계획수립지침(1999)’에 근거하여 고시되어 있는 오염물질별 발생원단위와 비교검토 될 것이다. 일반적으로 EMC는 식 (1)과 같이 산정되며, 원단위는 식 (2)와 같이 산정된다 (Irish et al., 1998; Kim et al., 2005a, 2005b; Wu et al., 1998).

## 3. 연구결과 및 고찰

### 3.1 모니터링 결과

고속도로 영업소 지역의 모니터링은 2006년 6월부터 2007년 11월까지 총 10회 강우사상에 대하여 수행되었으며, 강우사상에 대한 모니터링 결과가 표 2에 나타나있다. 표에서는 강우 전 건기 일수(Antecedent Dry Days, ADD), 총강우량

(Total Rainfall Volume), 강우지속시간(Storm Duration), 평균 강우강도(Average Rainfall Intensity)를 나타내고 있다. 모니터링 결과 강우 전 건기일수는 2~10일, 총강우량은 3~35.5mm, 강우지속시간은 0.5~11.2hr, 평균 강우강도는 1.4~9.1mm/hr의 범위로 나타났다.

### 3.2 수리-수문 농도 그래프

영업소 지역에서 강우시 유출되는 비점오염물질의 유출특성을 파악하기 위하여 수리수문-농도 그래프 (Polluto-and Hydro-graphs)를 나타낸 결과 그림 1과 같이 나타났다. 그림은 2007년 6월 21에 발생한 강우사상(E-6)에 대하여 나타낸 것으로 x축은 강우지속시간을 나타내며 3개 또는 4개의 y축은 강우 지속시간에 따른 유출수율 (m<sup>3</sup>/min)과 유출오염물질의 농도변화를 보여주고 있다.

전체적인 강우사상에 대한 수리수문-농도 그래프를 검토한 결과, 모든 강우사상에서 초기강우 현상이 나타났으며, 대부분의 강우사상에서 강우가 시작되고 유출이 시작된 이후 초기 30분 이내 오염물질의 농도가 급격히 줄어드는 것으로 나타났다. 이러한 초기강우 현상은 일반적으로 포장지역에서 나타나는 현상이며, 강우초기에 고농도의 오염물질이 강우유출수와 함께 유출되는 현상을

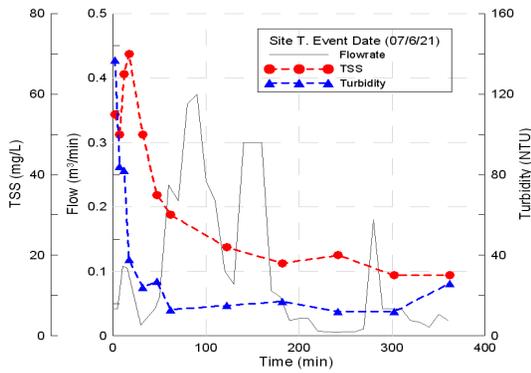
$$EMC(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \cdot q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} q_{run}(t)} \tag{1}$$

$$Unit\ Pollutant\ Load(kg/km^2 \cdot day) = \frac{EMC(mg/L)}{Yearly\ Total\ Runoff\ Volume(m^3/year) \times Catchment\ Area(km^2)} \tag{2}$$

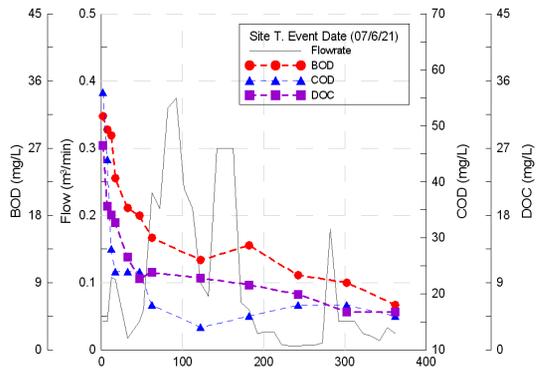
여기서, t는 강우지속시간을 의미하며, C(t)는 t 시간에서의 유출오염물질의 농도를 의미하고 q<sub>run</sub>(t)는 유출률을 나타내고 있다.

표 2. 강우사상별 모니터링 현황

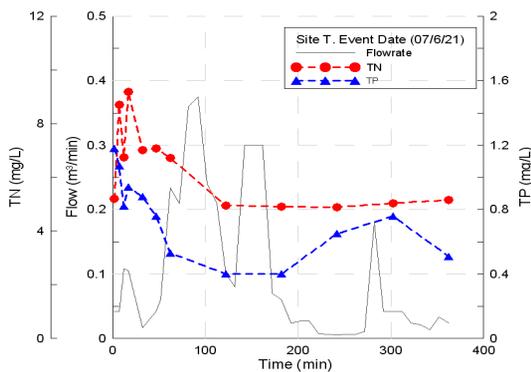
Event No.	Event Date (YY/MM/DD)	ADD (day)	Total Rainfall Volume (mm)	Rainfall Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity (mm/hr)
E-1	06/06/29	3	15.5	1.7	9.1
E-2	06/07/25	3	9	6.5	1.4
E-3	06/08/16	10	3	0.8	3.8
E-4	06/09/05	5	18	11.2	1.6
E-5	06/11/09	2	4.5	0.5	9.0
E-6	07/06/21	7	35.5	6.8	5.2
E-7	07/07/09	5	32.5	7	4.6
E-8	07/07/19	2	8	1.7	4.7
E-9	07/09/14	8	9.5	2.2	4.3
E-10	07/11/24	3	10	3.3	3.0



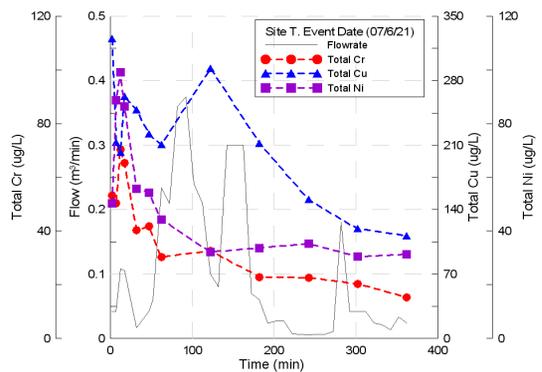
(a) TSS 및 Turbidity



(b) BOD, COD 및 DOC



(c) TN 및 TP



(d) Total Cr, Cu 및 Ni

그림 1. E-6의 수리-수문 농도 그래프(2007년 6월 21일 강우사상에 대하여)

의미한다. 초기강우는 고농도의 오염물질을 함유하고 있기에 수계유입시 수질악화 및 수생태계에

심각한 피해를 주는 것으로 알려져 비점오염 저감 시설 설치시 주요한 설계인자로 활용되고 있다.

### 3.3 고속도로 영업소지역의 EMC 산정

영업소에서 발생하는 비점오염물질의 발생원단위 산정을 위해 강우시 유출되는 유출수의 시료채취와 더불어 유출율 조사가 이루어졌으며, 그 결과를 이용하여 강우사상별 EMC를 식 (1)을 이용하여 산정하였다. 표 3은 모니터링을 통해 산정된 EMC 결과를 나타내고 있다. TSS EMC는 23.82~70.51mg/L의 범위를 나타내고 있으며, COD는 12.39~64.36mg/L, DOC는 6.47~32.35mg/L,

TN과 TP는 각각 0.61~7.28mg/L와 0.18~0.76mg/L의 범위로 산정되었다.

### 3.4 고속도로 영업소지역의 원단위 산정

산정된 EMC값을 이용하여 식 2를 이용하여 영업소 지역에서의 강우시 비점오염물질 유출원단위를 산정하였으며, 표 4는 그 결과를 나타내고 있다. TSS의 평균 원단위 값은 138.38 kg/km<sup>2</sup>/d, TN은 14.17 kg/km<sup>2</sup>/d, TP는 1.56 kg/km<sup>2</sup>/d

표 3. 고속도로 영업소 지역의 강우 사상별 EMC

Event No.	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	DOC (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
E-1	66.39	64.36	7.64	5.37	0.76
E-2	28.57	23.93	17.71	1.50	0.57
E-3	26.15	35.33	8.44	0.71	0.60
E-4	29.87	34.97	7.76	0.61	0.50
E-5	29.70	35.95	6.47	0.73	0.57
E-6	25.40	16.99	9.58	5.67	0.51
E-7	23.82	12.39	10.04	5.68	0.30
E-8	48.70	22.65	17.91	6.74	0.23
E-9	43.18	37.04	13.07	7.28	0.18
E-10	70.51	18.69	32.35	5.87	0.19
평균	32.23	30.23	13.10	4.02	0.44

표 4. 고속도로 영업소 지역의 강우사상별 원단위

Event No	면적 (m <sup>2</sup> )	강우량 (mm/yr)	TSS (kg/km <sup>2</sup> /d)	COD (kg/km <sup>2</sup> /d)	DOC (kg/km <sup>2</sup> /d)	TN (kg/km <sup>2</sup> /d)	TP (kg/km <sup>2</sup> /d)
E-1	662	1287.5	234.18	227.02	26.95	18.94	2.68
E-2	662	1287.5	100.78	84.52	62.47	5.29	2.01
E-3	662	1287.5	92.24	124.62	29.77	2.50	2.12
E-4	662	1287.5	105.36	123.35	27.37	2.15	1.76
E-5	662	1287.5	104.76	126.81	22.82	2.58	2.01
E-6	662	1,288	89.60	59.93	33.79	20.00	1.80
E-7	662	1,288	84.02	43.70	35.42	20.04	1.06
E-8	662	1,288	171.78	79.90	63.18	23.77	0.81
E-9	662	1,288	152.31	79.86	46.10	25.68	0.63
E-10	662	1,288	248.72	65.93	114.11	20.71	0.67
평균			138.38	101.56	46.20	14.17	1.56

로 산정되었다. 이렇게 산정된 원단위를 환경부에서 제시하고 있는 대지의 원단위 값인 TN 13.69 kg/km<sup>2</sup>/d, TP 2.10 kg/km<sup>2</sup>/d와 비교하면, 본 연구를 통해 산정된 TN 원단위 값이 약간 높은 값을 보이는 것으로 나타났으며, TP는 다소 낮은 값으로 산정되었다. 그러나 환경부에서 제시하고 있는 토지이용별 원단위에는 TSS와 COD 및 DOC의 자료가 없기에 국외의 유사 토지이용과 비교하였다. 그 결과 SS는 고밀도 거주지역에서 133.42 kg/km<sup>2</sup>/d로 나타나 있기에 이는 본 연구와 매우 유사한 값을 보였다. 이러한 원단위 결과는 향후 수질오염총량관리제의 비점오염원 부하량 산정을 위한 토지이용별 오염물질 원단위의 지목 분류시 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

국내 토지이용별 오염원단위는 크게 7가지 항목으로 나누어져 있으며, 그중 인간이 활동하는 모든 토지이용(상업지역, 주거지역, 도로, 고속도로, 주차장, 산업지역, 공공지역 등)은 대지로 묶여있어 정확한 부하량 산정시 큰 문제점으로 남아 있다. 이러한 영향으로 인하여 수질오염총량관리제 시행에 있어 많은 논란을 야기시키고 있기에 다양한 토지이용에 대한 원단위 값의 제시가 시급한 실정이다. 따라서 본 연구는 이러한 토지이용 중 고속도로 영업소의 토지이용에서 유출되는 비점오염물질에 대한 원단위를 제시하여 향후 대지 부분의 지목별 원단위 세분류시 중요한 자료를 제공하기 위하여 수행되었으며 본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 고속도로 영업소 지역은 높은 포장율과 작은 유역면적에 의하여 전형적인 초기강우 현상을 나타내고 있는 것으로 조사되었으며, 이러한 초기강우 현상은 대체적으로 강우시 작후 30분 이내 발생하는 것으로 나타났다.
- 2) 수질오염 항목별 평균 EMC를 산정한 결과,

TSS EMC는 32.23mg/L, COD EMC는 30.23mg/L, T-N EMC는 4.02mg/L 및 T-P의의 EMC는 0.44mg/L로 산정되었다.

- 3) 모니터링 자료를 이용하여 오염물질 항목별 평균 원단위를 산정한 결과, TSS는 138.38 kg/km<sup>2</sup>/d, TN은 14.17 kg/km<sup>2</sup>/d, TP는 1.56 kg/km<sup>2</sup>/d로 산정되었다. 이러한 값을 환경부의 대지 원단위 값과 비교할시, 본 연구를 통해 산정된 TN 원단위 값이 약간 높은 값을 보이는 반면 TP는 다소 낮은 값을 보이는 것으로 나타났다.
- 4) 이러한 원단위 결과는 향후 수질오염총량관리제의 비점오염원 부하량 산정을 위한 토지이용별 오염물질 원단위의 지목 분류시 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- 건설교통부 (2006). 비점오염원 발생억제 및 저감방안 개발, 건설교통부.
- 한국도로공사 (2007). 고속도로 비점오염원 오염원 단위 조사 연구, 한국도로공사.
- 환경부 (1999). 수질오염총량관리계획수립지침, 환경부 고시 제 1999-143호, 환경부.
- 김이형, 강주현 (2004a). 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정, *한국물환경학회지*, 20(6), pp. 631-640.
- 김이형, 강주현 (2004b). 강우시 발생하는 고속도로 유출수의 초기우수 특성 및 기준, *한국물환경학회지*, 20(6), pp. 641-646.
- 김이형, 이은주, 고석오, 김성길, 이병식, 이주광, 강희만 (2006). 동적 EMC를 이용한 고속도로 초기우수 처리 기준 산정, *한국물환경학회지*, 22(2), pp. 294-299.
- Bertrand-Krajewski, J., Chebbo, G. and Saget, A. (1998). Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the

- first flush phenomenon, *Wat. Res.*, 32(8), pp. 2341-2356.
- Irish, Jr. L. B., Barrett, M. E., Malina, Jr. J. J. and Charbeneau, R. J. (1998). Use of regression models for analyzing highway storm-water loads, *J. of Environmental Engineering*, 124(10), pp. 987-993.
- Kim, L.-H., Kim, K.-B., Lim, K.-H., Kang, H.-M., Lim, J.-H. and Ko, S.-O. (2005a). Dynamic EMCs and first flush criteria in highway storm runoff in Korea, *The 9th IWA Specialized Conference on Diffuse pollution*, Johannesburg, South Africa.
- Kim, L.-H., Kim, K.-B., Lim, K.-H., and Ko, S.-O. (2005b). Characteristics of Washed-off Pollutants and dynamic EMCs in a parking lot and a bridge during storm, *The 10th International Conference on Urban Drainage*, Copenhagen, Denmark.
- 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.