

## 강우유출모형을 활용한 교통지역 비점오염원 EMCs 산정 연구

권헌각<sup>†</sup>·임태호·이재운·정현기·이춘식\*·천세억

국립환경과학원 낙동강물환경연구소  
\*경남과학기술대학교

### A Study on the Calculation of Nonpoint Source EMCs using SWMM in Transportation Area

Heongak Kwon<sup>†</sup>·Toehyo Im·Jaewoon Lee·Hyungi Jeong·Chunsik Lee\*·Seuk Cheon

*Nakdonggang Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 717-873, Korea*

*\*Department of Environmental Engineering, Kyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea*

(Received: 27 March 2015, Revised: 13 May 2015, Accepted: 13 May 2015)

#### 요약

본 연구에서는 토지피복 중 교통지역을 대상으로 장기 모니터링된 비점오염원 부하유출 결과를 감·보정 자료로 적용하여 SWMM 모형을 지점별로 구축하였다. SWMM을 통해 모의된 EMCs값의 변동범위는 BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P 농도가 각각 5.7~14.4 mg/L, 12.9~59.6 mg/L, 13.74~46.20 mg/L, 2.03~5.21 mg/L, 그리고 0.117~0.415 mg/L이었다. 또 이 결과를 현장 실측치와 비교한 결과, 실측치에 대한 모의치 오차(%)가 각각 4.2%, 4.8%, 2.3%, 5.7%, 14.4%으로 총인의 14.4%를 제외하고 오차범위가 10% 이하이었다. 문헌조사 결과와의 비교에서도, BOD, T-P의 경우는 문헌조사 농도변화 범위 내에 포함되었으며, COD<sub>Mn</sub>, SS의 경우 범위보다 낮게 산정되었다. 그러나 T-N의 경우 범위보다 높았다. 이러한 차이는 기존 문헌이 조사된 시기와 토지이용형태가 달라진 최근의 비점오염원 유출 농도를 장기 모니터링하고, 이 결과를 바탕으로 구축, 모의된 EMCs의 경우 실측값을 잘 대변하였다. 따라서 문헌 결과와의 일부 차이는 조사 시기별 토지이용 형태에 의한 차이로 보이며, 향후 좀 더 다양한 강우사상 및 지점에 대한 모니터링을 통해 국내 대푯값으로 적용할 수 있는 EMCs를 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 비점오염원, SWMM, EMCs, 강우 유출

#### Abstract

In this study, a long term monitoring of nonpoint source pollution runoff is conducted at the area of transportation related and EMCs(Event Mean Concentrations) in terms of water quality items, such as BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N and T-P are determined for each not only runoff event and but also observation site. On the other hands, SWMM(Storm Water Management Model) model is constructed using the data collected in the transportation areas selected. Model calibration and verification of SWMM is carried out based on the data collected. And simulated EMCs was compared with observed EMCs by monitoring and prior studies. SWMM applicability estimation was Using the compared result. The results of simulation showed that BOD 5.787 ~ 14.475 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 12.946 ~ 59.611 mg/L, SS 13.742 ~ 46.208 mg/L, T-N 2.037 ~ 5.213 mg/L, T-P 0.117 ~ 0.415 mg/L. And a differential between simulated EMCs and observed EMCs is too low so comparing result show high fit(BOD 4.27 %, COD<sub>Mn</sub> 4.87%, SS 2.31%, T-N 5.78%, T-P 14.45%). A results of compared with the prior studies, BOD and T-P are included range of prior studies, COD<sub>Mn</sub> and SS are lower than range of prior studies, T-N is higher than range of prior studies. Differential between simulated EMCs and prior studies EMCs was showing for survey seasonal and changing land-use, so from now on, EMCs of using the internal representatives value will be calculated by more monitoring toward various precipitation events.

Key words : Nonpoint source, SWMM, EMCs, Precipitation runoff

## 1. 서론

토지이용 형태 중 불투수층의 경우 강우에 의한 씻김 현

상이 가장 높게 발생되어, 비점오염원에 가장 큰 영향을 끼치고 있으며, 그러한 토지이용 형태를 가장 많이 나타내는 곳이 도시지역이다. 특히 도시지역 중에서도 많은 차량의 운행이 일어나고 있는 도로 및 주차장 지역 등이 대표적인 불투수 지역으로 볼 수 있으며, 이러한 불투수층의 증가는 강우 시 수량 증가와 함께 수질의 악화를 초래한다(Kim and Lee, 2005;

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
Nakdonggang Water Environment Research Center, Goryeong, Korea, 717-873  
E-mail: hun7082@korea.kr

Deletic and Mahsimovic, 1998). 한편, Yoon et al.(2010)은 도로 형태별 비점오염원의 유출 특성을 분석하였으며, 그 결과 고속도로 및 간선도로 등 형태에 따른 강우 시 비점오염원의 유출 양상 및 농도가 다르게 나타남을 확인하였다.

SWMM 모형은 1971년 미국 EPA의 지원 아래 Metcalf & Eddy 사가 도시유역 하수시스템 내의 유량과 수질을 모의할 수 있도록 개발한 모형으로 계속적인 기능향상을 통해서 현재까지 널리 이용되고 있다. Kwon et al.(2011)은 소규모 단일피복 배수구역에서 실측 EMCs 및 해당 배수구역 SWMM 모형을 구축한 후에 그 모형에 과거 강우자료를 입력하여 모의 EMCs 값을 산출하였고, 이를 활용하여 오염부하 초기 유출비, 즉 MFFn(Mass First Flush ratio)을 산정한 후 현장 실측치와 비교한 결과 모의된 EMCs 값이 실측된 EMCs 간의 적합도는 높은 것으로 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 토지피복 중 교통지역에 해당하는 배수구역을 대상으로 강우-비점오염원 유출관계를 장기 모니터링하고, 실측결과를 기반으로 SWMM 모형을 구축하였다. 구축된 모형을 통해 해당 지점에 대한 EMCs를 모의 산정하여 기존 연구에서 산정된 EMCs 및 실측 EMCs와의 비교 검토를 통해 활용 가능성을 평가해 보았다.

## 2. 연구방법

### 2.1 조사 대상 지점

중분류 토지피복 중 교통지역에 대한 비점오염원 모니터링 및 모형구축을 위해 세부 도로 형태를 고속도로, 국도, 도심간선도로 및 철도의 4가지 유형으로 구분하였다. 각각의 도로 형태별 조사지점을 선정하여 모니터링을 실시하였으며, 도로 형태별 지점 현황은 다음과 같다.

고속도로 지점의 강우 시 노면 유출수는 남강으로 유입되는 소하천인 독산천으로 배출되며, 중부 내륙고속도로 대전-통영 간 왕복 4차선인 도로의 상행선 중앙분리대 및 노선 주변의 갓길을 포함하는 총 집수면적은 2,000 m<sup>2</sup>이다. 강우 시 우수 관거로 차집 되는 노면은 V자형 노면 형상을 따라 경사도 5% 내외의 노면 측벽을 따라 위치한다.

국도 지점은 강우 시 노면 유출수가 남강으로 유입되는 소하천인 가좌천으로 배출되는 지점으로, 왕복4차선국도 2호선 상행선 중앙분리대 및 노선주변의 갓길을 포함하며, 총 집수면적은 12,400 m<sup>2</sup>이다. 차집 되는 노면은 경사도 5%내외의 완만한 내리막 지형에 존재한다.

도심 간선도로 지점은 강우 시 노면 유출수가 창원천으로 배출되며, 왕복4차선 상행선에 위치한다. 조사지점이 포함된 지역의 하수배제 방식은 분류식 하수도이며, 우수 관경은 500 mm, 총 집수면적은 1,200 m<sup>2</sup>이다. 대상지역의 상단부에서 하단부까지의 경사도는 5%내외이며 우수관거는 4개, 우수받이는 8개로 조사 되었다.

철도 지점은 경전선 노선 중 진주역으로서 왕복 선로가 있는 철로이며 선로에는 자갈이 선로에 도포되어 있으며, 하부에는 성토선로 양옆으로 우수차집 관로가 설치되어있다.

**Table 1.** Information of the land at transportation area

Sites	Area (ha)	Width (m)	Impervious rate	Slope (m/m)
Highway	0.20	45	0.90	0.005
National road	1.24	39	0.95	0.005
Trunk road	0.12	35	0.95	0.005
Rail road	1.01	30	0.90	0.005

진주역사 및 이동로 일부가 불투수지역으로서 우수관로를 통하여 본 조사지점에 유달 되고 있다. 해당 우수관로는 600 mm이고 집수면적은 10,140 m<sup>2</sup>(선로길이 338 m, 선로폭 30 m)이다. 집수되는 선로의 경사도는 0~1% 내외로 선로 내부의 소형 콘크리트 우수관로에 차집 되어 지고 있다.

모형의 입력 자료로 사용된 각각의 조사지점에 대한 지형 정보는 Table 1과 같다. 본 연구에서 사용된 지점의 경우 면적이 작고, 하나의 토지이용형태만 나타내는 곳으로, 일부 투수층이 포함된 단일 피복 지형이다. 지점에 대한 정보는 관할시 하수 관망도를 기준으로 하였고, 면적은 관망도를 기준으로 집수구역을 대상으로 현장에서 실측하였다.

### 2.2 강우유출수 유량가중평균농도

#### 2.2.1 강우사상별 유량가중평균농도(EMC<sub>x</sub>)

개별 강우유출사상에 대한 유량가중평균농도는 동일한 시각에 측정된 강우유출수의 유량 및 수질 자료를 이용하여 다음 식으로 산정한다.

$$EMC_x = \frac{\sum_{n=1}^N (Q_n \times \Delta t_n \times C_n)}{\sum_{n=1}^N (Q_n \times \Delta t_n)} \quad (1)$$

여기서 EMC<sub>x</sub>는 강우유출사상(x)별 유량가중평균농도(mg/L), Q는 유출량(m<sup>3</sup>/sec), C는 특정 오염물질에 대한 농도(mg/L), Δt는 측정시간 간격, N은 총 측정횟수다. 유출이 발생하지 않을 경우 EMC<sub>x</sub> 등은 0으로 처리하되, 강우계급별 조사 횟수에는 포함시킨다.

#### 2.2.2 강우계급별 유량가중평균농도(EMC<sub>y</sub>)

강우계급별 유량가중평균농도는 해당 강우계급에 속하는 강우유출사상별 유량가중평균농도를 이용하여 다음 식으로 산정한다.

$$EMC_y = \frac{\sum_{m=1}^M (EMC_{x,m})}{M} \quad (2)$$

여기서 EMC<sub>y</sub>는 강우계급(y)별 유량가중평균농도(mg/L), EMC<sub>x</sub>는 해당 강우계급(y)에 속하는 강우유출사상(x)별 유량가중평균농도(mg/L)이며, M은 강우계급(y)의 총 측정횟수이다.

**2.2.3 토지피복분류별 유량가중평균농도(EMCz)**

토지피복분류별 유량가중평균농도는 강우계급별 유량가중평균농도를 이용하여 다음의 식으로 산정한다.

$$EMC_z = \sum_{m=1}^M (EMC_{y,m} \times f_{y,m}) \quad (3)$$

여기서 EMCz는 토지피복분류(z)별 유량가중평균농도(mg/L), EMCy는 강우계급(y)별 유량가중평균농도(mg/L)이며, M은 강우계급의 수, fy는 최근 10년간 강우자료로부터 산정한 강우계급(y)별 총강우량의 비율이다. 최근 10년간 강우자료를 이용한 fy는 다음과 같이 산정한다. 조사지점에 인접한 기상청 등에서 운영하는 기상관측소의 최근 10년간 일강우 자료를 수집하여 이용하며, 강우자료가 10년 미만인 경우 가용한 자료 전체를 이용할 수 있다. 10년간 발생한 강우자료로부터 강우사상을 분리하고 강우사상별 총강우량을 산정하여 강우계급으로 분류한다. fy는 10년간 발생한 강우사상의 총강우량에 대한 강우계급별 총강우량의 비율로 산정한다.

**3. 연구결과**

**3.1 교통지역 강우사상별 비점오염원 모니터링**

2007년부터 2013년까지의 교통지역에서 수행된 비점오염원 모니터링 현황을 Table 2에 나타내었다. 고속도로에

대해 강우사상별 산정된 EMCs 평균의 경우 BOD 5.3 mg/L, CODMn 16.0 mg/L, T-N 2.31 mg/L, T-P 0.183 mg/L, SS 20.9 mg/L로 조사 되었다. 유기오염물질의 지표로 사용 될 수 있는 SS의 경우 EMCs의 범위가 89.0 ~ 3.0 mg/L로 넓게 조사 되어, 유출량에 따른 농도 변화가 가장 큰 것으로 나타났으며, 강우 시 하천으로의 직접 유출이 발생할 경우 유출량 조건 등에 따라 다른 특성을 보이겠지만 산술적인 유출부하량 값을 기준으로 살펴보면 하천수의 수질에 대한 영향이 타 항목에 비해 높게 나타날 것으로 판단된다.

국도로부터 산정된 EMCs의 경우 BOD 5.6 mg/L, CODMn 12.8 mg/L, T-N 3.26 mg/L, T-P 0.083 mg/L, SS 3.3 mg/L로 조사 되었으며, 도심간선도로 의 경우 BOD 13.7 mg/L, CODMn 55.9 mg/L, T-N 5.21 mg/L, T-P 0.403 mg/L, SS 48.6 mg/L, 철도 BOD 8.2 mg/L, CODMn 27.2 mg/L, T-N 3.47 mg/L, T-P 0.305 mg/L, SS 19.2 mg/L로 조사 되었다. 세부지목별 EMCs 산정 결과, SS의 경우 전 지점에서 최대/최소비가 높게 산정되어 다양한 형태의 유출을 보여줌을 알 수 있었다.

**3.2 조사지점별 SWMM 구축**

비점오염원의 유출특성을 파악하기 위하여 2007년부터 모니터링 지점에 대하여 강우사상에 따른 유출수 수질 변동 및 단일지목에 적용 가능한 SWMM 모형을 구축하였다. 구축된 모형은 지목별 토지특성을 반영할 수 있으며,

**Table 2.** Summary of monitoring results about Nonpoint source in transportation area

sites	a grade of precipitation	2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		total	
		monito ring	runoff	monito ring	runoff	monito ring	runoff	monito ring	runoff	monito ring	runoff	monito ring	runoff	monito ring	runoff	monito ring	runoff
Highway	0-10	0	0	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0	4	3	7	6
	10-30	0	0	4	4	5	5	2	2	3	3	3	3	0	0	17	17
	30-50	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	3
	50	1	1	1	1	2	2	1	1	0	0	3	3	0	0	8	8
	total	2	2	5	5	8	8	5	5	3	3	7	7	5	4	35	34
National road	0-10	0	0	0	0	2	2	0	0	2	2	4	4			8	8
	10-30	0	0	4	4	2	2	0	0	2	2	3	3			11	11
	30-50	1	1	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2			8	8
	50	1	1	1	1	2	2	0	0	1	1	0	0			5	5
	total	2	2	5	5	7	7	2	2	7	7	9	9			25	13
Trunk road	0-10	2	2	2	2	2	2	0	0	1	1	4	4			11	11
	10-30	3	3	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1			18	18
	30-50	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			5	5
	50	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1			7	7
	total	5	5	8	8	9	9	6	6	6	6	7	7			41	41
Rail road	0-10					1	0	0	0	0	0	0	0	5	3	6	3
	10-30					3	0	4	0	2	2	2	2	0	0	11	4
	30-50					1	0	0	0	0	0	2	2	1	1	4	3
	50					1	0	0	0	0	0	1	1	2	2	4	3
	total					5	0	4	0	2	2	5	5	8	7	32	32

**Table 3.** EMCs range of monitoring sites

Sites	Items	Prec. (mm)	Runoff (m <sup>3</sup> )	EMCs(mg/L)				
				BOD	COD <sub>Mn</sub>	SS	T-N	T-P
Highway	Average	29.7	36.1	5.3	16.0	20.9	2.31	0.183
	Max	102.5	169.1	21.3	37.4	89.0	6.20	0.550
	Min	1.1	5.3	1.1	2.8	3.0	0.20	0.024
National road	Average	30.7	117.6	5.6	12.8	3.3	3.26	0.083
	Max	117.8	835.6	25.1	42.4	87.3	17.20	0.377
	Min	1.8	7.2	0.5	2.2	0.3	0.98	0.019
Trunk road	Average	29.8	44.1	13.7	55.9	48.6	5.21	0.403
	Max	168.4	212.5	90.6	761.0	149.2	23.66	1.668
	Min	1.1	1.4	2.2	4.4	5.0	0.92	0.069
Rail road	Average	25.8	49.8	8.3	27.2	19.2	3.47	0.305
	Max	69.2	121.7	15.3	44.8	27.1	5.23	0.435
	Min	1.1	17.7	4.1	20.6	12.9	2.33	0.004

※ Prec. : Precipitation

**Table 4.** Number of modeling in transportation area studied

Sites	2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		Total	
	monit oring	mode ling	monit oring	mode ling	monit oring	mode ling	monit oring	mode ling	monit oring	mode ling	monit oring	mode ling	monit oring	mode ling	monit oring	mode ling
Highway	2	2	5	4	8	7	5	5	3	2	7	7	5	4	35	31
National road	2	2	5	4	7	7	2	2	7	6	9	7	-	-	32	28
Trunk road	-	-	8	5	9	9	6	6	6	6	7	5	-	-	36	31
Rail road	-	-	-	-	6	-	4	-	2	-	5	3	8	4	25	7

단기 및 장기 강우 사상에 대한 모의가 가능한 유출 모형이다. 모형은 모니터링 자료를 기반으로 구축되기 때문에 실측한 자료를 바탕으로 검·보정 과정을 거치며 추가되는 모니터링 자료를 통하여 재 보정 작업을 통해 신뢰성 높은 모형을 구축하였다.

교통지역의 경우 고속도로, 국도, 도심간선도로, 철도의 4개 지역에 대하여 2007년부터 비점오염원에 대한 모니터링이 수행되었다. 고속도로 지역의 경우 총 35회의 모니터링 중 31개의 모형이 구축되었으며, 국도지역의 경우 총 32회의 모니터링 중 28개의 모형이 구축되어 있다. 도심간선도로의 경우 총 36회의 모니터링 중 31개의 모형이 구축되었으며 철도지역의 경우 2009년부터 총 25회의 모니터링 중 7개의 모형이 구축되었다. 모형의 검·보정을 위해 현장 모니터링을 적용하기 위해서는 강우 시작부터 유출 종료 시 까지 전반적인 모니터링이 수행되어야 하고, 더불어 유출지속 시간 및 샘플링 개수 등 다양한 조건을 만족하여야 한다. 본 연구에서는 전체 모니터링 중 이러한 조건을 만족하는 강우사상을 분리하여, 총 모니터링 횟수에 비해 적은 모형 검·보정이 수행 되었다.

**3.2.1 유출량 검·보정**

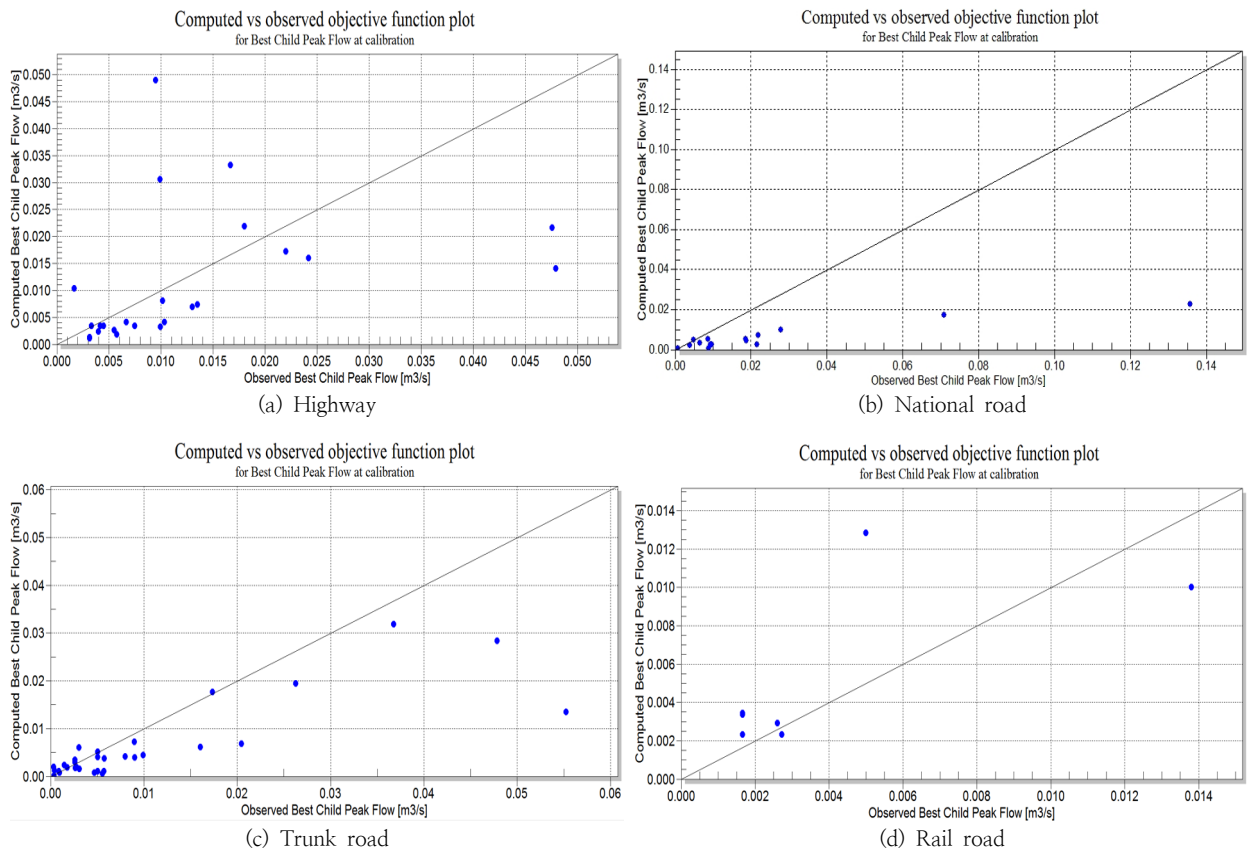
SWMM 모형을 이용하여 유출에 영향을 미치는 매개변수에 대한 보정을 실시하였다. 유출에 적용되는 매개변수로

는 유역폭, 불투수면적비, 소유역 경사, 투수지역 조도계수, 투수지역 저류량, 초기 침투능, 종기 침투능, 저감계수가 그에 해당되며 보정과정을 통하여 적정 모형이 구축되도록 한다.

고속도로지역의 보정 전·후에 대한 적합도 평가결과를 살펴보면, 보정 전 표준오차(RMSE)가 0.0339에서 보정 후 0.0034로 향상 되었다. 매개변수에 대한 검·보정 결과, 처음 모형을 구축하기 위하여 적용된 매개변수의 증감률 중 최대 침투율, 경사도가 각각 96.40%, 95.44% 순으로 크게 나타났다. 국도지역은 보정 전 평가함수 RMSE가 0.0322에서 보정 후 RMSE가 0.0045 조정되었다. 매개변수를 검·보정한 결과, 매개변수의 증감률 중 최대 침투율과 경사도가 각각 331.80%, 60.00% 순으로 크게 나타났다. 도심간선도로 지역은 보정 전 평가함수 RMSE가 0.0312에서 보정 후 RMSE가 0.0016으로 조정되었다. 매개변수의 증감률 중 경사도와 불투수율이 각각 79.14%, 25.00% 순으로 크게 나타났다. 철도지역은 보정 전 평가함수 RMSE가 0.01395에서 보정 후 RMSE가 0.002로 조정되었다. 매개변수의 증감률 중 조도계수와 불투수율이 각각 764.50%, 35.67% 순으로 크게 나타났다. 전체 지점에 대한 보정 결과, 평가함수 범위를 0.15이하로 설정함으로써 보정이 적절하게 이루어진 것으로 판단된다.

**Table 5.** Calibrated parameters range of SWMM

	Items	initial value	calibration value	variation(%)
Highway	drainage area(ha)	0.2	0.21	5.00
	impervious rate(%)	90	100	11.11
	slope(m/m)	0.005	0.009772	95.44
	roughness coefficient(n)	0.02	0.0157	-21.50
	maximum infiltration rate(%)	10	19.64	96.40
National road	drainage area(ha)	1.24	1.15	-7.26
	impervious rate(%)	95	100	5.26
	slope(m/m)	0.005	0.008	60.00
	roughness coefficient(n)	0.02	0.018	-10.00
	maximum infiltration rate(%)	10	43.18	331.80
Trunk road	drainage area(ha)	0.124	0.130	4.84
	impervious rate(%)	80	100	25.00
	slope(m/m)	0.005	0.008957	79.14
	roughness coefficient(n)	0.02	0.01718	-14.10
	maximum infiltration rate(%)	25	28.59	14.36
Rail road	drainage area(ha)	0.2	0.21	5.00
	impervious rate(%)	90	122.1	35.67
	slope(m/m)	0.005	0.003688	-26.24
	roughness coefficient(n)	0.02	0.1729	764.50
	maximum infiltration rate(%)	10	5.887	-41.13



**Fig. 1.** RMSE estimation of calibrated results in Transportation area.

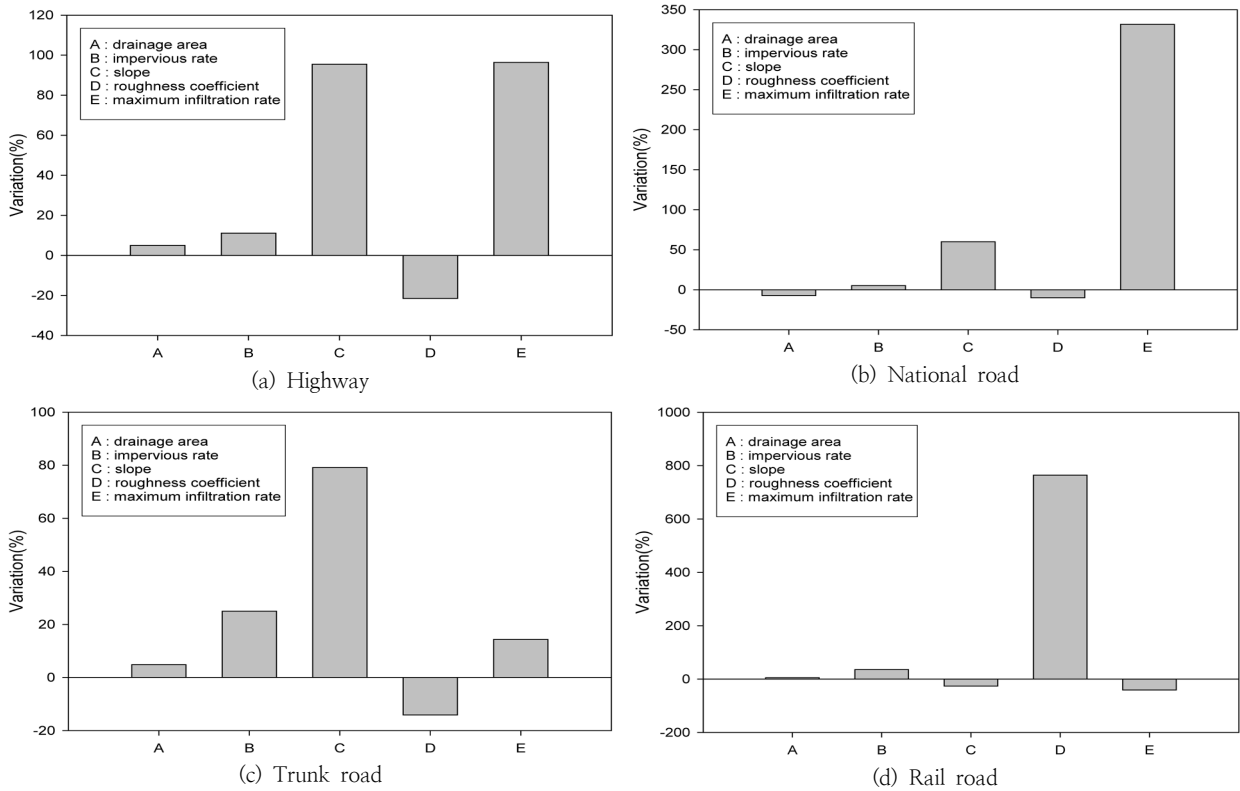


Fig. 2. A percentage change of calibrated parameter ((a) High way, (b) National road, (c) Trunk road, (d) Rail road).

Table 6. A comparison simulated EMCs and observed EMCs in transportation area (Unit : mg/l)

Site	items	simulated value	observed value	increase and decrease rate(%)
Highway	BOD	5.787	5.512	4.757
	COD <sub>Mn</sub>	14.104	14.644	-3.827
	SS	20.471	20.312	0.775
	T-N	2.037	2.116	-3.891
	T-P	0.163	0.162	0.074
National road	BOD	6.421	5.538	15.960
	COD <sub>Mn</sub>	12.946	12.656	2.290
	SS	13.742	13.875	-0.960
	T-N	2.938	3.405	-13.720
	T-P	0.117	0.080	46.190
Trunk road	BOD	14.475	14.968	-3.408
	COD <sub>Mn</sub>	59.611	62.536	-4.907
	SS	46.208	47.083	-1.894
	T-N	5.213	5.082	2.515
	T-P	0.415	0.435	-4.922
Rail road	BOD	5.804	5.800	-0.665
	COD <sub>Mn</sub>	22.774	24.131	-5.958
	SS	17.803	18.804	-5.623
	T-N	3.686	3.575	3.008
	T-P	0.344	0.321	6.642

### 3.3 모의 결과를 활용한 EMCs 산정

실측 및 구축된 모형을 이용하여 각 지점별 최대, 최소 및 평균 EMCs를 산정하여 Table 6에 나타내었다. 비교 결과를 살펴보면, 고속도로 지역의 경우 비점오염물질 항목별 모형으로 산정된 EMCs 값과 실측값이 0.074% ~ 4.757% 차이가 나

타났다. 국도지역의 경우 0.960% ~ 46.190% 차이가 나타났다. 도심간선도로 지역의 경우 1.894% ~ 4.922% 차이가 나타났다. 철도 지역의 경우 0.665% ~ 6.642% 차이가 나타났다. 고속도로의 경우 T-P 항목이 실측치에 대한 모의치의 적합도가 가장 높게 조사되었고, 다음으로 SS > COD<sub>Mn</sub> >

T-N > BOD 순으로 조사되었다. 국도의 경우 SS 항목의 적합도가 높게 조사되었으며, COD<sub>Mn</sub> > T-N > BOD > T-P 순으로 조사되었다. 국도의 경우 타 지점에 비해 실측치에 대한 모의치 적합도가 낮게 산정되었으며, 국도의 경우 고속도로와 간선도로와는 다른 교통량 및 주행 형태를 나타내고, 도로 및 주변 오염물질에 대한 관리 정도의 차이에 영향을 받은 것으로 판단된다. 간선도로의 경우 SS > T-N > BOD > COD<sub>Mn</sub> > T-P 순으로 조사되었으며, 철도의 경우 BOD > T-N > SS > COD<sub>Mn</sub> > T-P 순으로 조사되었다.

**3.4 문헌(기존연구 결과)을 활용한 EMCs 검증**

기존 연구자들에 의해 산정된 비점오염원 EMCs를 검토하여 본 연구에서 모니터링을 통해 산정된 EMCs와 강우유출모형을 활용하여 모의 산정된 EMCs를 비교해 보았다. 기존 문헌연구 결과의 경우, 중분류 기준에 속하는 교통지역에 대한 기존 조사결과가 많지 않아 교통지역 또는 대분류군에 속하는 도심지역 모니터링 결과도 포함하였다. 기존 연구결과를 저자별로 정리하여 Table 7에 나타내었으며, Tble 8에는 수집된 EMCs의 값을 Max, Min, 25%, 50%, 75%로 구분하여 정리하였다. 정리된 구간별 EMCs를 도시하여 Fig. 3에

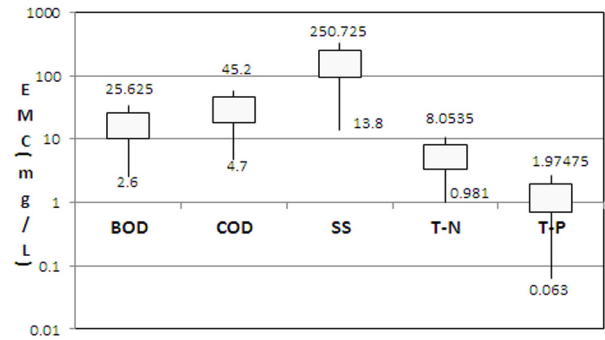


Fig. 3. Comparison of the EMCs ranges from prior studies EMCs.

나타내었다. 각 연구결과별 산정된 EMCs의 범위를 제시하고, 기존 연구결과에 대한 본 연구결과의 차이를 비교 분석하였다.

**3.4.1 토지이용 세분류 형태별 검증**

교통지역에 대하여 모형 모의 결과 및 실측을 통해 산정한 EMCs값과 문헌에서 제시하고 있는 범위와 비교하여 Table 9-12에 나타내었다. 비교결과, 모형을 통해 모의 산정된 EMCs와 실측 모니터링을 통해 산정된 EMCs 간선도

**Table 7. A nonpoint sources EMCs in Urban Area**

(Unit : mg/l)

prior study results	BOD	COD <sub>Mn</sub>	SS	T-N	T-P
Lee et al.(2008)	2.6 - 33.3	4.7 - 44.6	20.9 - 329.7	2.19 - 6.89	0.14 - 0.81
Jin et al.(2006)	6.9 - 26.1	11.3 - 47.1	107.1 - 252.1	1.82 - 5.90	0.08 - 0.39
Son et al.(2008)	18.0	30.1	81.1	5.01	1.38
Lee et al.(2001)	6.7 - 8.5	9.2 - 36.9	20.7 - 273.9	3.66 - 4.96	0.09 - 0.17
Hwang(2005)	14.8 - 29.4	28.2 - 58.7	13.8 - 42.6	4.30 - 10.41	0.81 - 2.63

**Table 8. A nonpoint sources EMCs range of prior studies**

(Unit : mg/l)

value	BOD	COD <sub>Mn</sub>	SS	T-N	T-P
Min	2.6	4.7	13.8	0.981	0.063
25%	10.3	18.2	92.8	3.339	0.700
50%	17.9	31.7	171.8	5.696	1.338
75%	25.6	45.2	250.7	8.054	1.975
Max	33.3	58.7	329.7	10.411	2.612

**Table 9. A results of comparison simulated EMCs and observed EMCs toward EMCs range of prior studies in Highway**

(Unit : mg/l)

items	a range of prior studies		EMC(mg/L)	comparison of the EMCs	
	min	max			
BOD	simulated	2.6	33.3	5.787	in prior studies range
	observed			5.512	in prior studies range
COD <sub>Mn</sub>	simulated	4.7	58.7	14.104	in prior studies range
	observed			14.644	in prior studies range
SS	simulated	13.8	329.7	20.471	in prior studies range
	observed			20.312	in prior studies range
T-N	simulated	0.981	10.411	2.037	in prior studies range
	observed			2.116	in prior studies range
T-P	simulated	0.063	2.612	0.163	in prior studies range
	observed			0.163	in prior studies range

**Table 10.** A results of comparison simulated EMCs and observed EMCs toward EMCs range of prior studies in National road (Unit : mg/l)

items		a range of prior studies		EMC(mg/L)	comparison of the EMCs
		min	max		
BOD	simulated	2.6	33.3	6.421	in prior studies range
	observed			5.538	in prior studies range
COD <sub>Mn</sub>	simulated	4.7	58.7	12.946	in prior studies range
	observed			12.656	in prior studies range
SS	simulated	13.8	329.7	13.742	in prior studies range
	observed			13.875	in prior studies range
T-N	simulated	0.981	10.411	2.938	in prior studies range
	observed			3.405	in prior studies range
T-P	simulated	0.063	2.612	0.117	in prior studies range
	observed			0.080	in prior studies range

**Table 11.** A results of comparison simulated EMCs and observed EMCs toward EMCs range of prior studies in Trunk road (Unit : mg/l)

items		a range of prior studies		EMC(mg/L)	comparison of the EMCs
		min	max		
BOD	simulated	2.6	33.3	14.475	in prior studies range
	observed			14.968	in prior studies range
COD <sub>Mn</sub>	simulated	4.7	58.7	59.611	out of prior studies range
	observed			62.536	out of prior studies range
SS	simulated	13.8	329.7	46.208	in prior studies range
	observed			47.083	in prior studies range
T-N	simulated	0.981	10.411	5.213	in prior studies range
	observed			5.082	in prior studies range
T-P	simulated	0.063	2.612	0.415	in prior studies range
	observed			0.435	in prior studies range

**Table 12.** A results of comparison simulated EMCs and observed EMCs toward EMCs range of prior studies in Rail road (Unit : mg/l)

items		a range of prior studies		EMC(mg/L)	comparison of the EMCs
		min	max		
BOD	simulated	2.6	33.3	5.804	in prior studies range
	observed			5.800	in prior studies range
COD <sub>Mn</sub>	simulated	4.7	58.7	22.774	in prior studies range
	observed			24.131	in prior studies range
SS	simulated	13.8	329.7	17.803	in prior studies range
	observed			18.804	in prior studies range
T-N	simulated	0.981	10.411	3.686	in prior studies range
	observed			3.575	in prior studies range
T-P	simulated	0.063	2.612	0.344	in prior studies range
	observed			0.321	in prior studies range

로를 제외한 조사 지점 모두 기존 연구결과의 범위 내에 포함되었다. 고속도로에 대해 산정된 BOD EMCs의 경우 기존 연구결과의 10% 범위에 속하였으며, COD<sub>Mn</sub>의 경우 약 20% 범위에 속하였다. SS의 경우 모의치 및 실측치 모두 타 항목에 비해 낮게 조사되어 최저 범위에 속하는 것으로 조사되었다. T-N의 경우 25% 수준에 속하였으며, T-P의 경우도 최저 범위에 속하는 것으로 조사되었다. 국도의 경우 고속도로와 유사한 결과 양상을 나타내었다. 간선도로

에 대해 산정된 BOD EMCs의 경우 기존 연구결과의 30% 범위에 속하였으며, COD<sub>Mn</sub>의 기존 연구결과 범위의 최대치 보다 일부 높게 조사되었고, SS의 경우 10% 범위에 속하는 것으로 조사되어 타지점에 비해 높은 EMCs를 나타내었다. T-N의 경우도 50% 범위로 SS와 동일하게 타 조사 지점에 비해 높은 EMCs를 나타내었다. T-P의 경우 10% 범위에 속하는 것으로 조사되었다. 철도의 경우 고속도로 및 국도와 유사한 범위군에 속하는 것으로 조사되었으며,



**Table 13.** A results of comparison simulated EMCs toward EMCs range of prior studies in Transportation area

items	a range of prior studies		EMC(mg/L)	comparison of the EMCs
	min	max		
BOD	2.6	33.3	8.122	in prior studies range
COD <sub>Mn</sub>	4.7	58.7	27.359	in prior studies range
SS	13.8	329.7	24.556	in prior studies range
T-N	0.981	10.411	3.469	in prior studies range
T-P	0.063	2.612	0.260	in prior studies range

그 결과를 살펴보면 BOD EMCs의 경우 기존 연구결과의 10% 범위에 속하였으며, COD<sub>Mn</sub>의 경우 약 30% 범위에 속하였다. SS의 경우 모의치 및 실측치 모두 타 항목에 비해 낮게 조사되어 최저 범위에 속하는 것으로 조사되었다. T-N의 경우 25% 수준에 속하였으며, T-P의 경우도 최저 범위에 속하는 것으로 조사되었다.

**3.4.2 토지이용 중분류 형태별 검증**

Table 7의 기존 연구결과에서 제시하고 있는 각 수질 범위와 SWMM 모형으로 모의된 결과값을 대분류 토지이용 형태로 변형하여 EMC값을 비교·검토하였다. 대분류 토지이용 형태의 경우 현재 수질오염총량제에 활용되고 있으며, 과거 토지이용형태를 세분화 하지 않은 형태이다.

SWMM 모형을 통해 산정된 교통지역의 EMCs값은 BOD 8.122 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 27.359 mg/L, SS 24.556 mg/L, T-N 3.469 mg/L, T-P 0.260 mg/L이다. 교통지역에 대해 산정된 EMCs의 경우 전항목이 기존 연구결과의 범위에 포함되는 것으로 조사되었으며, 이는 앞서 비교된 세분류군 EMCs와는 다른 양상을 나타내었다. 세분류군 형태의 EMCs 비교에서는 간선도로에서 조사된 SS항목이 기존 연구결과에 비해 일부 높게 조사되었으나, 중분류군 형태로 구분하여 EMCs를 산정할 시 24.556 mg/L로 산정되어 기존 연구결과의 10% 범위 내에 속하는 것으로 조사되었다.

**4. 결 론**

본 연구에서는 2007년 ~ 2013년까지의 비점오염원에 대한 모니터링 자료를 이용하여, 중분류 토지이용 형태 중 교통지역에 대하여 강우유출모형을 구축하였다. 구축 모형에 대한 유출량 및 수질 검·보정은 세부지점별 강우 시 실측자료를 바탕으로 하였으며, 검·보정 완료 후 비점오염원별 EMCs를 산정하였다. 산정된 EMCs는 기존 문헌자료 및 실측결과와 비교하여 적용성을 평가하였으며, 그 결과는 아래와 같다.

1) 2007년부터 2013년까지의 교통지역에서 수행된 비점오염원 모니터링 결과, 고속도로에 대해 강우사상별 산정된 EMCs 평균의 경우 BOD 5.3 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 16.0 mg/L, T-N 2.319 mg/L, T-P 0.183 mg/L, SS 20.9 mg/L로 조사 되었다. 국도의 경우 BOD 5.6 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 12.8 mg/L,

T-N 3.262 mg/L, T-P 0.083 mg/L, 도심간선도로 BOD 13.7 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 55.9 mg/L, T-N 5.215 mg/L, T-P 0.403 mg/L, 철도 BOD 8.26 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 27.2 mg/L, T-N 3.477 mg/L, T-P 0.305 mg/L로 조사 되었다.

2) 구축된 모형을 이용하여 각 지점별 EMCs를 산정한 결과, 고속도로 지역의 경우 BOD 5.787 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 14.104 mg/L, SS 20.471 mg/L, T-N 2.037 mg/L, T-P 0.163 mg/L, 국도지역 BOD 6.69 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 12.93 mg/L, SS 13.9 mg/L, T-N 2.98 mg/L, T-P 0.12 mg/L, 도심간선도로 BOD 14.475 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 59.611 mg/L, SS 46.208 mg/L, T-N 5.213 mg/L, T-P 0.415 mg/L, 철도 지역 BOD 5.804 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 22.774 mg/L, SS 17.803 mg/L, T-N 3.686 mg/L, T-P 0.344 mg/L로 산정되었다.

3) 실측 및 모의 EMCs의 비교 결과, 고속도로 지역은 BOD 4.757%, COD<sub>Mn</sub> -3.827%, SS 0.775%, T-N -3.891%, T-P 0.074%의 차이를 나타내었다. 국도의 경우 BOD 15.96%, COD<sub>Mn</sub> 2.29%, SS -0.96%, T-N 13.72%, T-P 46.19%의 차이를 나타내었으며, 도심간선도로의 경우 BOD -3.408%, COD<sub>Mn</sub> -4.907%, SS -1.894%, T-N 2.515%, T-P -4.922%, 철도의 경우 BOD -0.665%, COD<sub>Mn</sub> -5.958%, SS -5.623%, T-N 3.008%, T-P 6.642%의 차이를 나타내었다.

4) 교통지역에 대해 세분류 및 중분류 형태별 비점오염원 EMCs를 산정하여 기존 연구결과와 비교 결과, 세분류 형태에서는 간선도로의 SS 항목을 제외한 나머지 모든 항목이 기존연구결과 범위에 포함되는 것으로 조사되었으며, 중분류 형태로 구분하여 산정된 비점오염원별 EMCs의 경우 기존 연구결과의 범위에 모두 포함되어 모형을 통해 산정된 결과의 신뢰도를 확보할 수 있었다.

5) 토지피복지도 분류 형태에 따라 산정되는 EMCs의 차이를 통해 수질오염총량제 및 기타 물환경관리 계획 수립 시 향후에는 비점오염원 원단위 활용 시 현재 사용되고 있는 대분류 형태의 원단위가 아닌 세분화된 형태의 분류군으로 구분하여 부하량을 산정하여야 할 것으로 판단된다.

**References**

National Institute of Environmental Research, (2012). *Guideline for Survey of Storm Runoff*.  
Kwon, HG, Lee, JW, Yi, YJ, Yoon, YS, Lee, CS and Lee, JK

- (2011). The Applicability for Estimating MFFn by SWMM in The Trunk Road, *J. of Korean Society on Water Quality*, 27(5), pp. 605–616.[Korean Literature]
- Kim, LH and Lee, SH (2005). Characteristics of Washed-off Pollutants and Dynamic EMCs in a Parking Lot and a Bridge during Storms, *J. of Korean Society on Water Quality*, 21(3), pp. 248–255.[Korean Literature]
- Yoon, YS, Kwon, HG, Yi, YJ, Yu, JJ, Lee, CS and Lee, JK (2010). Analysis of Nonpoint Sources Runoff Characteristic by Road Types, *J. of the Environmental Sciences*, 19(11), pp. 1375–1384.[Korean Literature]
- Lee, BS, Jung, YJ, Park, MJ and Gil, KI (2008). A Study on the Discharge Characteristics of Non-point Pollutant Source in Agricultural Area of the Kyongan Watershed, *J. of Korean Society on Water Quality*, 24(2), pp. 169–173.[Korean Literature]
- Jin, YH and Park, SC (2006). Study on the Discharge Characteristics of Non-Point Pollutant Source in the Urban Area of the Youngsan-River Basin, *J. of Korean Society on Water Quality*, 22(4), pp. 605–613.[Korean Literature]
- Son, HG, Lee, SY, Lee, EJ and Kim, LH (2008). Runoff Characteristics and Relationship between Non-point Source Pollutants from Road, *J. of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 8(5), pp. 59–64.[Korean Literature]
- Lee, HD, Ahn, JH, BAE, CH and Kim, WJ (2001). Estimation of the Unit Loading and Total Loading of Nonpoint Source in Paldang Watershed by Runoff Loading during the Rainfall, *J. of Korean Society on Water Environment*, 17(3), pp. 313–326.[Korean Literature]
- Hwang, BG (2005). Analyzing Runoff Characteristics of Nonpoint Sources During Rainfall in Urban Area, *J. of Korean Society of Environmental Impact Assessment*, 14(2), pp. 75–85.[Korean Literature]
- Deletic, A. B., Mahsimivic, C. T., 1998, Evaluation of water quality factors in storm runoff from paved areas, *Journal of Environment Engineering*, 123(9), pp. 869–879.