Journal of Wetlands Research
Vol. 18, No. 3, August 2016, pp. 275-281

ISSN 1229-6031 (Print) / ISSN 2384-0056 (Online)
DOI http://dx.doi.org/10.17663/JWR.2016.18.3.275

고속도로 자동차 통행량에 따른 강우유출수 유출 특성 분석

최지연·홍정선*·강희만**·김이형*†

국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과
*공주대학교 건설환경공학과
**한국도로공사 도로교통연구원 환경연구실

Characteristics of stormwter runoff from highways with unit traffic volume

Jiyeon Choi·Jungsun Hong*·Heeman Kang**·Lee-Hyung Kim*†

National Institute of Environmental Research
**Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University*
***Korea Expressway Corporation Research Institute*
(Received : 23 June 2016, Revised: 01 August 2016, Accepted: 04 August 2016)

요 약

본 연구는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법 53조2항에 해당하는 고속도로에서의 효과적인 비점오염관리를 위해 자동차 운행대수에 따른 고속도로의 강우유출 특성을 분석하여 비점오염 저감시설 설치 방안을 제공하고자 수행하였다. 연구대상지점은 총 5지점으로 경부, 서해안, 호남 및 통영대전 고속도로로 지점에 따라 2006~2008년과 2015년에 총 44회의 강우사상을 대상으로 모니터링을 수행하였다. 모니터링 결과, 평균 선행건기일수(ADD)는 6.2일, 평균 강우량은 19.2 mm로 조사되었다. 단위면적당 일평균 차량 통행량(ADT/CA)의 경우 경부고속도로 지점인 H-4에서 49.4대/day·m^2으로 가장 높았으며 다른 지점의 경우 10대/day·m^2미만으로 조사되었다. 조사대상 지점에서 발생되는 비점오염물질의 농도는 평균적으로 TSS는 63.5 mg/L, BOD는 24.9 mg/L, TN은 3.35 mg/L, TP는 0.63 mg/L, Total Zn은 298 ug/L로 국내에서 발표된 고속도로 관련 강우유출수 EMC 값보다 비교적 낮게 조사되었다. 한편, 조사대상지점의 오염물질 농도와 ADT/CA간의 상관관계 분석결과, SS에서 R^2값이 0.585로 가장 높은 상관성을 나타냈다. ADT/CA와 TSS EMC 와의 상관관계식을 통하여 국내 고속도로 평균 TSS EMC가 73.7 mg/L일 때 ADT/CA는 13 대/일·m^2으로 이를 기준으로 단위면적당 차량의 통행량이 13대보다 높을 경우 입자상 물질의 발생량이 높은 지역으로 고려, 비점오염관리가 필요한 지역으로 제시할 수 있으며 본 연구에서는 선행연구에서 제시된 ADT에 단위면적을 고려하였기에 기존에 수행되었던 연구보다 일반화된 단위로 활용도 및 적용성이 높을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 강우유출수, 고속도로, 유량가중평균농도, 유역면적, 일평균 차량 통행량

Abstract

This study was conducted to analyze the runoff characteristics of the highway depending on the number of vehicles and to provide the installation proposal of an NPS pollution reduction facility. There were a total of 5 monitoring sites used for the study namely, Gyeongbu, Seohaean, Honam and Tongyeoung Dageon highway. Monitoring events started from 2006 until 2015 having a total of 44 storm events. According to monitoring statistics, the average antecedent dry days (ADD) and rainfall was 6.2 days and 19.2 mm, respectively. The Gyeongbu Highway (H-4) was recorded having the highest Average Daily Traffic and Catchment Area (ADT/CA) with 49.4 car/day·m^2 while other site were less than 10 car/day·m^2. The average concentration of the NPS pollutants generated from monitoring sites were 63.5 mg/L(TSS), 24.9 mg/L(BOD), 3.35 mg/L(TN), 0.63 mg/L(TP) and 298 ug/L(Total Zn). This exhibited lower values in comparison to the remarks of highway related runoff EMC values published in Korea. Moreover, through the results of the correlation analysis between the contaminant concentration and ADT/CA, R^2 value of SS showed the highest correlation with 585. Through the correlation equation between ADT/CA and EMC of TSS, when there is 73.7 mg/L of TSS EMC found from a domestic highway, ADT/CA ratio is normally 13 car/day·m^2. Therefore, in a case of more than 13 cars passing through a certain area, the area can be considered and present as the point of generation of nonpoint source pollutants. Also, in this study, since it considered a unit area ADT indicated in previous studies, it was determined that it has a high applicability and utilization in generalized units than conventional study which were conventionally done.

Key words : Average daily traffic(ADT), catchment area(CA), event mean concentration(EMC), highway, stormwater

† To whom correspondence should be addressed.
Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University
E-mail: leehyung@kongju.ac.kr

1. 서 론

도로는 우리나라 전 국토면적의 약 3%를 차지하고 있으며 논, 밭, 임야 면적을 제외할 경우 전 국토의 약 20%에 육박한 것으로 나타났다. 지난 30년간 우리나라의 도로는 국토이용 및 개발정책에 따라 도로 확충, 신도시 개발 등으로 121%정도 증가된 것으로 보고된다(MOLIT, 2015).

도로는 아스팔트, 콘크리트 등 불투수성 포장재를 사용하고 다양한 종류의 차량운행으로 인하여 타이어 마모, 각종 오일 누수, 자동차의 차체 부식, 적재함으로부터의 토사 유출 등으로 인하여 다양한 크기의 입자상 물질, 중금속 및 유류물질의 배출이 높은 토지이용이다. 강우시 도로에서는 다양한 비점오염물질(유기물질, 영양염류, 자동차 배기가스 침착물질, 타이어 마모물질, 기름, 윤활유, 방향족탄화수소화합물(PAHs), 병원성 미생물 등)을 포함한 강우유출수가 수계로 직접 유출되어 수질 및 수생태계에 악영향을 끼치는 것으로 많은 연구를 통해 조사되었다(Davis and Shokouhian, 2001; Kayhanian *et al.,* 2007; Kim and Kang, 2004; Lee *et al.,* 2008; Son *et al.,* 2008). 또한 강우시 도로에서 유출되는 비점오염물질의 농도는 주거지역에 비해 COD 3.0배, SS 3.0배, TN 1.9배, TP 1.8배, 구리, 아연, 카드뮴, 납 등의 중금속은 2.5배 높은 것으로 보고되고 있다(Choi and Shin, 2002).

특히 고속도로의 경우 유출계수가 높고, 배수구에 이르는 유출면적이 작으며 차량이외의 오염원 접근이 어렵기 때문에 도시지역 내 포장도로와는 다른 유출 경향을 보이는 것으로 알려져 있다. 또한 강우유출수내 포함되어있는 비점오염물질을 관리하기 위한 저감시설의 설치 가능 면적이 한정되어 있기 때문에 강우유출수 관리에 어려운 특성을 가지고 있다(Charbeneau *et al.,* 1998; Irish *et al.,* 1998; Kang *et al.,* 2012).

최근 들어 비점오염원에 관한 관심이 높아지면서 환경부에서는 법제화를 통한 강력한 비점오염원 관리를 추진하고자 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률” 제53조에서 신설 도로에 대한 비점오염저감시설 설치 신고를 의무화하고 있으며, 제53조 2의 신설을 통하여 상수원보호구역, 특별대책지역, 취수원 근처, 수변구역 등 주요 수질 영향지역에 위치하는 기존 도로에 대해서도 비점오염저감시설 설치를 요구하고 있다. 여기에서 도로는 “도로법” 제10조에 분류되어있는 도로를 말하며 이중에서 고속도로의 경우 선형구조로써 우수관망을 통해 유출경로가 명확하고 차량이외의 외부 오염원 접근이 어려운 지역으로써 강우유출 오염부하가 차량운행으로부터 발생되는 오염물질에 밀접한 연관성을 보인다. 또한 고속도로는 대부분 도시와 도시를 연결하는 농지, 산지, 대지 등 비교적 자연환경이 잘 보존되어 있는 지역에 건설되기 때문에 강우시 유출오염부하가 인근 수계나 환경에 미치는 영향이 큼으로 비점오염원 관리가 필요한 토지이용이다(Kang *et al.,* 2012).

따라서 본 연구에서는 고속도로에서의 비용효과적인 비점오염원 관리 방안을 도출하고자 자동차 운행대수에 따른 고속도로의 강우유출특성 분석을 수행하였으며 이를 바탕으로 단위면적 대비 일평균 통행량을 이용한 비점오염 관리 방안을 제시하였다. 이는 2016년부터 시행되는 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률” 법53조 2에 해당하는 기존 고속도로에서의 비점오염저감시설 설치 의무화에 대한 대책 방안에 도움이 되고자 한다.

2. 연구방법

2.1 조사지점의 현황

연구대상 지점은 경부고속도로(Highway 1), 서해안고속도로(Highway 15), 호남고속도로(Highway 251) 및 통영대전고속도로(Highway 35)내 강우유출수 특성 파악과 자동차 통행량이 조사 가능한 지점을 대상으로 5지점을 선정하였으며 Table 1에 정리하여 나타내었다. 5지점 중 3지점(H-2, H-3, H-5)의 경우 강우시 모니터링을 직접 수행하였으며 2지점(H-1, H-4)의 경우 문헌의 결과를 참조하였다(Kang *et al.,* 2012; Park *et al.*, 2010). 조사대상지점의 토지이용은 도로와 톨게이트로 유역면적은 311~6,033 m^2의 다양한 범위를 보이고 있으며 평균 1,807 m^2로 조사되었다.

Table 1. Characteristics of monitored site

Site Code	Unit	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5
Landuse	-	Highway	Toll-gate	Toll-gate	Toll-gate	Highway
Location	-	Highway 15	Highway 251	Highway 251	Highway 1	Highway 35
Catchment area (CA)	m^2	1,176	662	311	855	6,033

(a) H-2 (b) H-3 (c) H-5

Fig. 1. Photo of monitoring sites

2.2 모니터링 및 분석 방법

강우시 모니터링은 강우유출수의 유출특성을 고려하여 포장지역의 초기강우현상에 적합한 수질모니터링 방법으로 수행되었다(Kim *et al.,* 2007). 유량측정은 자동유량 측정기와 버켓법을 이용하였으며 수질시료채취는 강우가 시작된 이후 0, 5, 10, 15, 30, 60분 간격으로 채취하였으며 이후에는 강우 종료시까지 1시간 간격으로 채취하였다. 채취된 시료는 입자상물질, 유기물질, 영양염류, 중금속에 대하여 수질오염공정시험법에 준하여 분석하였다. 강우량은 현장에 우량계를 직접 설치하여 사용하거나 인근 기상청 자료를 활용하였으며 모니터링을 통해 획득한 자료를 활용하여 고속도로 강우유출수 특성 분석을 실시하였다. 연구대상 지점의 일평균 자동차 통행량(Average Daily Traffic, ADT)은 모니터링 기간 동안의 평균값으로 한국도로공사 고속도로 공공데이터 포털(http://data.ex.co.kr)에서 제공하는 교통량(대/일)을 활용하였다. 분석된 수질데이터와 유량을 고려하여 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 식(1)에 의하여 산정하였으며(Ujevic *et al.,* 2000) 여기서 C(t)와 QTRu(t)는 강우 지속시간 t에 대한 오염물질의 농도와 유출률을 의미한다.

$$EMC(mg/L) = \frac{\int_0^T C(t) \cdot Q_{TRu}(t)dt}{\int_0^T Q_{TRu}(t)dt} \quad (1)$$

3. 연구결과

3.1 모니터링 결과

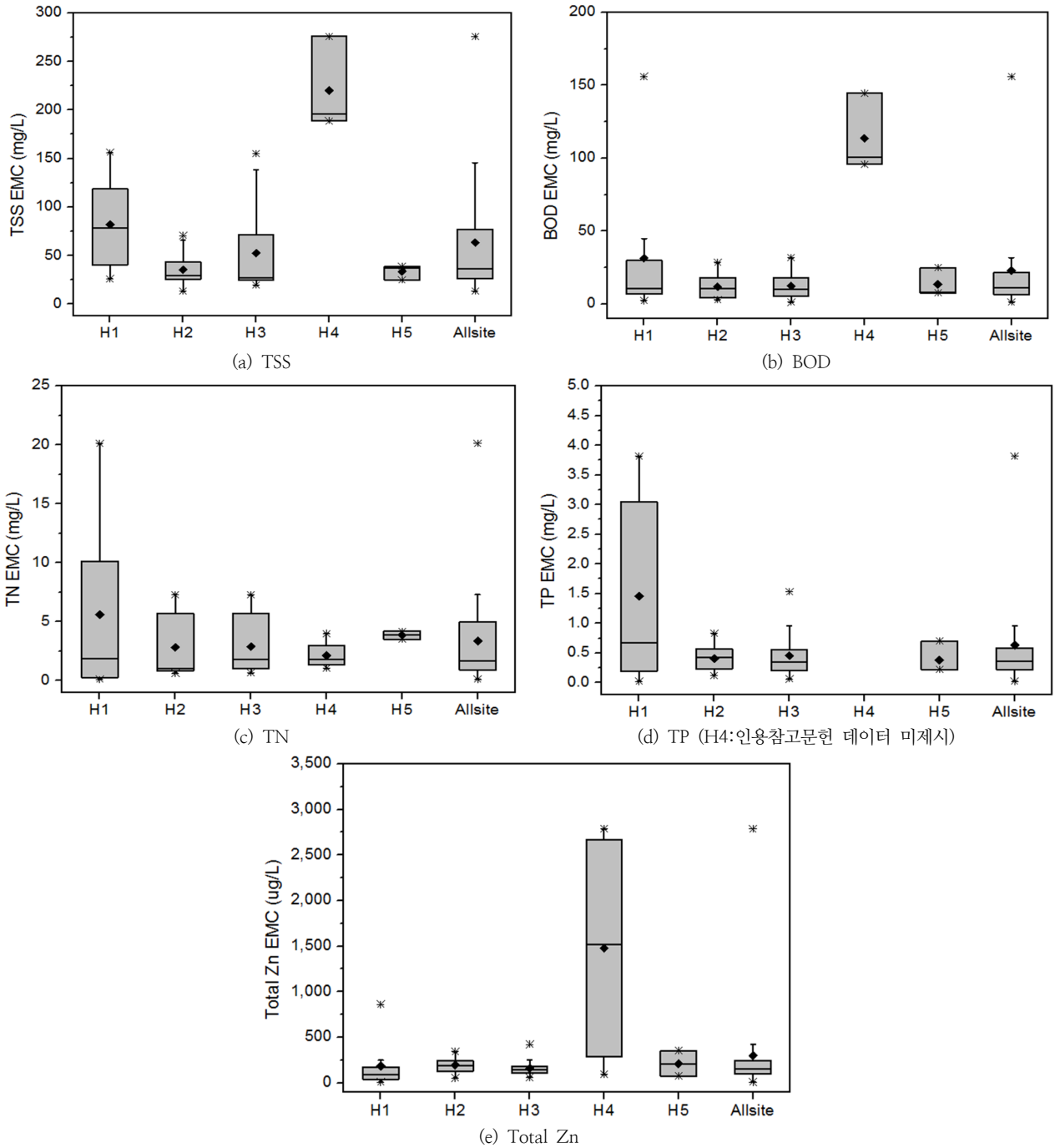
본 연구를 위하여 실시한 강우시 모니터링은 지점에 따라 2006~2008년과 2015년에 수행되었으며 총 44회의 강우사상에 대한 모니터링 결과가 도출되었다. Table 2는 지점별 모니터링 결과를 정리하여 나타낸 것으로 모든 모니터링 지점에 대한 통계분석 결과, 평균 선행건기일수(Antecedent Dry day, ADD)는 6.2일로 조사되었으며 총강우량(Total rainfall)은 평균적으로 19.2 mm, 평균 강우유출지속시간(Runoff duration)은 19.2시간으로 조사되었으며 평균 강우강도(Average rainfall intensity)는 3.2 mm/hr으로 나타났다. 모니터링 지점 중에서 H-4에서 가장 높은 강우량을 대상으로 모니터링이 수행되었으며 ADD, 강우유출지속시간도 가장 긴 것으로 조사된 반면 평균 강우강도의 경우 H-1에서 가장 높은 것으로 나타났다. ADT의 경우 3,008~42,252 대/day의 다양한 범위로 조사되었으며 H-4에서 일평균 차량 통행량이 가장 빈번한 것으로 나타났으며 H-5 〉 H-1 〉 H-3 〉 H-2 순으로 나타났다. 한편, 단위면적당 일평균 차량 통행량(ADT/CA)을 산정한 결과, H-4에서 49.4대/day·m^2으로 단위면적당 하루 평균통행량이 가장 높았으며 다른 지점의 경우 H-3 〉 H-1 〉 H-2 〉 H-5 순으로 단위면적당 하루 평균 통행량이 10대/day·m^2 미만으로 조사되었다.

3.2 유량가중평균농도(EMC) 산정

도로에서 발생되는 강우유출수는 다양한 비점오염물질을 함유하고 있으며 비점오염물질 농도에 영향을 미치는 인자는 수문학적 특성, 자동차의 운행대수, 도로의 물리적 구조 등 매우 다양한 것으로 알려져 있다(Kim *et al.,* 2014). 모니터링 지점별 비점오염물질 농도를 파악하고자 Fig. 2에 오염물질별 EMC 산정 결과를 나타내었다. 토지이용에 따른 오염물질별 EMC 산정결과, 톨게이트 지점이 도로지점보다 비교적 오염물질별 EMC 농도가 높은 것으로 나타났으며 이는 차량의 운행으로 인한 영향으로 판단된다(Kang *et al.,* 2012; Lee, 1999). 모든 지점의 오염물질별 평균 EMC를 살펴보면, TSS는 63.5 mg/L, BOD는 24.9 mg/L, TN은 3.35 mg/L, TP는 0.63 mg/L, Total Zn은 298 ug/L로 조사되었다. 국내에서 발표된 고속도로 강우유출수 EMC에 대하여 문헌(Kang *et al.,* 2012; Kim *et al.,* 2008; Lee *et al.,* 2008; Park *et al.,* 2010)을 참고하여 EMC값을 평균한 결과, TSS는 73.7±12.4 mg/L, BOD는 23.9±9.0 mg/L, TN은 4.21±1.22 mg/L, TP는 0.96±0.48 mg/L, Total Zn은 198±65 ug/L로 나타났으며 본 연구결과와 비

Table 2. Summary of monitored storm events (mean±S.D.)

Parameter	Unit	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	All Site
Monitoring duration	-	2007/09~ 2008/08	2006/07~ 2008/06	2006/07~ 2008/09	2006/05~ 2006/06	2015/06~ 2015/08	2006/05~ 2015/08
No. of event	-	8	14	15	4	3	44
Antecedent Dry day(ADD)	day	3.3±0.9	6.1±3.1	6.9±2.9	9.0±6.4	6.7±9.6	6.2±3.9
Total rainfall	mm	29.4±26.8	13.0±9.7	13.3±9.6	52±22	7.2±3.2	19.2±19.0
Runoff duration	hr	3.3±1.7	4.0±3.0	3.7±2.9	14.3±5.9	4.1±3.0	4.7±4.2
Avg. rainfall intensity	mm/hr	5.9±4.5	2.4±2.3	2.7±3.9	3.8±1.1	1.1±0.7	3.2±3.5
Average Daily Traffic(ADT)	vehicles/day	10,502±2,117	3,008±437	3,035±401	42,252±4,356	21,347±1,244	9,198±11,841
ADT/CA	vehicles/day·m^2	8.9±1.8	4.5±0.7	9.8±1.3	49.4±5.1	3.5±0.2	11.1±12.6



(a) TSS (b) BOD

(c) TN (d) TP (H4:인용참고문헌 데이터 미제시)

(e) Total Zn

Fig. 2. Comparison of pollutants EMC for all sites

교시 BOD를 제외한 모든 항목에서 EMC값이 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 고속도로의 토지이용이 다른 토지이용보다 균질성이 높은 토지이용임에도 불구하고 비점오염물질 유출에 관한 다양한 인자들에 의한 영향으로 인해 불확실성이 매우 높음을 의미하며 이러한 불확실성은 유역의 특성과 강우특성에 의하여 발생하기에 장기적인 모니터링으로 데이터 축적과 통계적 접근만이 비점오염물질 유출 특성의 정확성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 지점별 EMC 산정 결과를 살펴보면, ADT/CA가 높은 H-4 지점에서 영양염류를 제외한 대부분의 항목에서 가장 높은 EMC 값을 보이고 있는 반면 ADT/CA가 가장 적은 H-5 지점의 경우 TSS, BOD, TP 항목에서 가장 낮은 EMC 값을 나타내는 것으로 조사되어 교통량 규모와 도로 비점오염물질 유출과의 상관관계가 있는 것으로 보이고 있다.

3.3 ADT/CA와 모니터링 인자간의 상관성 분석

앞서 연구 대상 지점별 EMC 산정결과, 고속도로는 불확실성이 높은 토지이용으로써 유역에 따라 오염물질별 EMC 값은 차이가 있었으나 ADT/CA와 오염물질 농도간

Table 3. Coefficient of determination (R^2 value) between ADT/CA and monitored parameters

Parameter	Average Daily Traffic/Catchment area (ADT/CA)					
	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	All Site
ADD	0.116	0.011	0.008	0.182	**0.910**	0.095
Total rainfall	0.000	0.033	0.022	0.022	**0.510**	0.339
Runoff duration	0.001	0.335	0.058	0.389	**0.955**	0.469
Average rainfall intensity	0.123	0.005	0.014	**0.823**	0.030	0.015
TSS	0.005	0.265	0.152	0.323	**0.970**	**0.585**
BOD	0.036	0.309	0.192	0.185	0.000	**0.520**
TN	0.071	0.411	0.341	**0.615**	0.151	0.007
TP	0.056	0.024	0.021	NA	0.055	0.044
Total Zn	0.162	0.017	0.194	**0.984**	**0.964**	0.391

NA: Not Available
Bold values were considered highly correlated for R^2 greater than 0.5

의 상관관계가 보이는 것으로 나타났다. 따라서 본 절에서는 연구대상지점별 ADT/CA와 모니터링 인자간의 상관성을 분석하였으며 Table 3에 정리하여 나타내었다. 개별 지점을 대상으로 ADT/CA와 모니터링 인자간의 상관성 분석결과, H-4와 H-5 지점을 제외하고 ADT/CA와 모니터링 인자간의 유의미한 상관성을 보기는 어려웠다. 이는 지점별 강우사상이 3~15회의 범위로 한정적이기에 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 이에 전 지점을 대상으로 ADT/CA와 모니터링 인자간의 상관성 분석결과, TSS와 BOD에서 상관관계(R^2〉0.5)를 보이는 것으로 나타났다. 선행 연구에 따르면 도로 비점오염물질 유발에 영향을 미치는 인자는 강우량, 강우지속시간, 강우강도 등 강우특성이 비점오염물질 유출에 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다(Lee *et al.,* 2011; Li *et al.,* 2015). 또한 Kayhanian et al(2003)의 연구결과에 의하면 교통량 규모가 클수록 오염부하농도(EMC)가 증가되는 것으로 보고되고 있으며 Barrett *et al.,* (1995)의 경우도 ADT가 30,000 대/day 이상일 경우 TSS가 100 mg/L로 매우 높게 유출되는 것으로 분석됨에 따라 자동차 운행과 도로 비점오염물질 유출은 높은 상관성을 보여 밀접하게 연관되었음을 의미한다.

3.4 ADT/CA와 TSS EMC에 따른 고속도로 비점오염 관리 방안 도출

ADT/CA와 모니터링 인자간의 상관성 분석결과, ADT/CA와 일부 인자와의 상관성이 있음이 확인되었으며 이러한 결과를 바탕으로 특히 ADT/CA와 높은 상관성으로 보인 TSS EMC와의 관계곡선을 통한 고속도로 비점오염 관리방안을 제시하고자 분석을 수행하였다(Fig. 3). 앞서 문헌조사를 통해 국내 고속도로의 평균 TSS EMC를 살펴본 결과, 73.7 mg/L로 조사되었으며 이를 입자상 물질 발생량의 판단 기준으로 활용하였다. Fig. 3을 살펴보면, 고속도로 비점오염물질 중 주요 요염물질로 분류되는 입자상 물질인 TSS EMC와 ADT/CA는 비례관계를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이러한 관계는 이미 선행연구(Barrett *et al.,* 1995)를

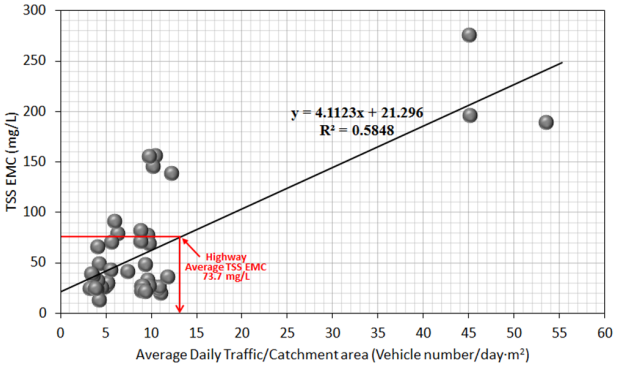


Fig. 3. Relationship of TSS EMC with Average Daily Traffic (ADT) and catchment area

통해 확인, 보고되었으며 이를 바탕으로 차량통행량과 입자상 오염물질 발생량을 기준으로 하여 고속도로 비점오염물질 관리 방안을 제시할 수 있다. 분석 결과를 이용하여 국내 고속도로 평균 TSS EMC가 73.7 mg/L일 때 ADT/CA는 13 대/일·m^2으로 이를 기준으로 단위면적당 차량의 통행량이 13대보다 높을 경우 입자상 물질의 발생량이 높은 지역으로 고려, 비점오염관리가 필요한 지역으로 판단할 수 있다. 이러한 지역에 비점오염저감시설의 설치시 여재의 폐색현상 등 시설의 구조적 문제점이 발생될 수 있기에 전처리 시설의 설치 등 시설의 적용성 및 타당성 등을 면밀히 검토 후 설치되어야 하며 시설이 설치된 후에도 지속적인 유지관리에 대하여 고려하여야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 고속도로에서의 비용효과적인 비점오염원 관리 방안을 도출하고자 자동차 운행대수에 따른 고속도로의 강우유출특성 분석을 통하여 단위면적대비 일평균 통행량을 이용한 비점오염 관리 방안에 관한 연구를 수행하였으며 본 연구를 통해 도출된 결과는 아래와 같다.

1) 대상지점의 모니터링 결과, 평균 ADD는 6.2일로 조사되었으며 총강우량은 평균적으로 19.2 mm, 평균 강우유

출지속시간은 19.2시간으로 나타남. 단위면적당 일평균 차량 통행량(ADT/CA)으로 산정한 결과, H-4에서 49.4대/일·m^2으로 단위면적당 하루 평균통행량이 가장 높았으며 다른 지점의 경우 단위면적당 하루 평균 통행량이 10대/일·m^2미만으로 조사됨.

2) 조사대상 지점에서 발생되는 비점오염물질의 농도는 평균적으로 TSS는 63.5 mg/L, BOD는 24.9 mg/L, TN은 3.35 mg/L, TP는 0.63 mg/L, Total Zn은 298 ug/L로 나타나 국내에서 발표된 고속도로 관련 강우유출수 EMC와 비교한 결과 BOD를 제외한 모든 항목에서 EMC값이 차이를 보임. 이는 비점오염물질 유출에 관한 다양한 인자들에 의한 영향으로 불확실성이 매우 높음을 의미함. 이러한 불확실성은 유역의 특성과 강우특성에 의하여 발생하기에 장기적인 모니터링으로 데이터 축적과 통계적 접근으로 비점오염물질 유출 특성의 정확성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단됨.

3) 모든 조사대상지점의 유역면적대비 차량통행량과 입자상 오염물질 EMC 관계를 분석한 결과, 국내 고속도로 평균 TSS EMC가 73.7 mg/L일 때 ADT/CA는 13 대/일·m^2으로 조사됨. 이를 바탕으로 단위면적당 차량의 통행량이 13대보다 높을 경우 입자상 물질의 발생량이 높은 지역으로 고려, 비점오염관리가 필요한 지역으로 판단할 수 있음.

4) 본 연구에서는 선행연구에서 제시된 ADT에 단위면적을 고려하여 였기에 기존에 수행되었던 연구보다 일반화된 단위로 활용도 및 적용성이 높을 것으로 예상됨. 그러나 고속도로 비점오염 유출특성은 불확실성이 높아 강우유출 오염부하와 교통량 이외에 도로형태, 차량에 의한 오염물질 교란여부, 강우 및 기상조건, 주변지형 등 다양한 인자에 의해 영향을 받기에 향후 장기적인 모니터링 수행을 통한 데이터 구축을 통해 제시 방안에 대한 지속적인 업데이트와 추가적인 고려사항에 대한 조사가 필요한 것으로 판단됨.

사 사

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

Barrett, M.E., Zuber, R.D., Collins, E.R., Malina Jr., J.F., Charbeneau, R.J. and Ward, G.H. (1995). *A Review and Evaluation of Literature Pertaining to the Quantity and Control of Pollution from Highway Runoff and Construction*, 2nd edition. CRWR, University of Texas.

Charbeneau, R.J., and Barrett, M.E. (1998). Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads, *J. of Water Environmental Research*, 70, pp.1295-1302.

Choi, J.Y. and Shin, C.M. (2002). *Management of Nonpoint Pollution by reducing storm runoff*, Korea Environmrny Institute, KEI/2002/RE-03 Report, Korea. [Korean Literature]

Davis, A.P. and Shokouhian, M.N. (2001). Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources, *Chemosphere*, 44, pp. 997-1009.

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

Kang, H. M., Lee, D. J. and Bae, W. K. (2012). Analysis of Unit Pollution Load on Highway runoff, *J. of Korean Society of Water and Wastewater*, 26(1), pp. 55-68. [Korean Literature]

Kayhanian, M., Singh, A., Suverkropp, C. and Borroum, S. (2003). Impact of Annual Average Daily Traffic on Highway Runoff Pollutant Concentrations, *J. of Environmental Engineering*, 129(11), pp. 975-990.

Kayhanian, M., Suverkropp, C., Ruby, A. and Tsay, K. (2007). Characterization and prediction of highway runoff constituent event mean concentration, *J. of Environmental Management,* 85, pp.279-295.

Kim, C.M., Choi, J.Y., Lee, J.M., Cho, H.J. and Kim, L.H. (2014). Characteristics of Stormwater Runoff with respect to Pavement Types, *J. of Wetlands Research*, 16(3), pp. 423-429. [Korean Literature]

Kim, L.H., Ko, S.O., Jeong, S.M. and Yoon, J.Y. (2007). Characteristics of washedoff pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm. *The Science of the Total Environment*, 37(1-3), pp. 178-184.

Kim, L.H. and Kang, J.H. (2004). Determination of event mean concentrations and pollutant loadings in highway storm runoff, *J. of Korean Society on Water Quality*, 20(6), pp. 631-340. [Korean Literature]

Lee E.S. (1999). *A Study on the Work Environment Improvement of Highway Tollgate Workers*, Korea Expressway and Transportation Research Institute (ETRI), Korea. [Korean Literature]

Lee J., Kim H., Kim Y. and Han M. (2011). Characteristics of the event mean concentration (EMC) from rainfall runoff on an urban highway. *Environmental Pollution*, 159(4), pp. 884-888.

Lee, S. Y., Lee, E. J., Maniquiz, M. C. and Kim, L. H. (2008). Determination of Pollutant Unit Loads from Various Transportation Landuses. *J. of Korean Society on Water Environment,* 24(5), pp. 543-549. [Korean Literature]

Li D., Wan J., Ma Y., Wang Y., Huang M. and Chen Y. (2015). Stormwater runoff pollutant Loading Distributions and Their Correlation with Rainfall and Catchment Characteristics in a Rapidly Industrialized City. *PLoS ONE,* 10(3), e0118776. doi:10.1371/ journal.pone.0118776

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT)

(2015) *Cadastral Statistical annual report*. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea. [Korean Literature]

Park, S.Y., Mo, K., Kim, L.H., Kang, H.M. and Kim, M.I. (2010). Evaluation of Basic Unit for Non-point Pollutants in Runoff of West Coast Highway-Maesong Area, *J. of the korean geo-environmental society*, 11(8), pp. 33-40. [Korean Literature]

Son H.G., Lee E.J., Lee S.Y. and Kim L.H. (2008). Determination of Nonpoint pollutant Unit Loads in Toll-gate of Highway, *J. of Korean Wetlands Society*, 10(1), pp. 69-75. [Korean Literature]

Ujevic, I., Odzak, N., and Baric, A (2000). Trace metal accumulation in different grain size fraction of the sediments from a semi-enclosed bay heavily contaminated by urban and industrial wastwaters, *Water Research*, 34, pp. 3055-3061.