

교통관련 포장지역 비점오염원에서의 오염물질 유출원단위 산정

이소영 · 이은주 · Marla C. Maniquiz · 김이형[†]

공주대학교 건설환경공학부

Determination of Pollutant Unit Loads from Various Transportation Landuses

So-Young Lee · Eunju Lee · Marla C. Maniquiz · Lee-Hyung Kim[†]

Dept. of Civil & Environ. Engineering, Kongju National University

(Received 21 April 2008, Accepted 5 August 2008)

Abstract

Human activities and land-use practices are intensely widening the urban areas. High impervious surface areas cover much of urban landscapes and are the primary pollutant sources which can lead to water quality and habitat degradation in its watershed. As the urban areas expand, transportation land-use such as parking lots, roads, service areas, toll-gates in highways and bridges also increase. These land-uses are significant in urban pollution due to high imperviousness rate and vehicular activities. To regulate the environmental impacts and to improve the water quality of rivers and lakes, the Ministry of Environment (MOE) in Korea developed the Total Pollution Load Management System (TPLMS) program. The main objective is to lead the watershed for a low impact development. On a local scale, some urban land surfaces can be emitting more pollution than others. Consequently, in urban areas, the unit loads are commonly employed to estimate total pollutant loadings emitted from various land-uses including residential, commercial, industrial, transportation, open lands such as parks and golf courses, and other developed land like parking areas as a result of development. In this research, unit pollutant loads derived specifically from transportation land-uses (i.e. branched out from urban areas) will be provided. Monitoring was conducted over 56 storm events at nine monitoring locations during three years. Results for the unit pollutant loads of transportation land-use are determined to be 399.5 kg/km²-day for TSS, 12.3 kg/km²-day for TN and 2.46 kg/km²-day for TP. The values are higher than those of urban areas in Korean MOE and US highways. These results can be used by MOE to separate the pollutant unit load of transportation landuses from urban areas.

keywords : Nonpoint sources, Paved areas, Transportation land-uses, Unit pollutant loads

1. 서론

환경부는 최근 30년간 수질관리를 위하여 많은 연구, 기술개발과 투자를 점오염원 관리에 집중하였다. 이러한 집중 투자로 인하여 하천 및 호소의 수질은 많이 개선되었으나, 이제 그 한계에 도달하였다. 유역에서의 토지이용의 고도화는 새로운 오염물질의 발생과 유출을 야기시키고 있으며, 그 양은 점차 증가하고 있다(김이형과 이선하, 2005; 김이형 등, 2006). 도시화는 불투수층의 증가를 의미하며, 다양한 환경수리학적 영향을 끼친다. 이러한 불투수층의 증가는 수리학적으로 유량의 증가, 침투유량의 증가, 침투유량 유출 기간 증가, 기저유량감소, 토사 부하량 변화, 홍수유발, 하천침식, 수로확장 및 수로바닥의 변화 등을 야기시킨다. 또한 환경학적으로는 다양한 종류의 오염물질의 유입으로 인한 자정작용 위해성, 증가된 유량으로 수반되는 오염물질 부하량의 증가 등으로 인하여 심각한 수생태계 파괴와 같

은 현상이 발생한다(강주현과 김이형, 2007; Sabin et al., 2005). 따라서 미국, 유럽 및 일본을 비롯한 선진국은 이러한 도시화로 인한 각종 환경수리학적 문제를 해결하기 위하여 건설기술에 환경친화적 기술을 개발하여 점포함으로써 도시내 건전한 물순환을 도모하고 환경과 인간이 공존하는 도시를 만들기 위하여 노력중이다. 즉, 도시내 물의 저류 및 침투기술, 이용기술과 같은 다양한 LID(Low Impact Development) 기술을 건설에 접목시켜 도시내 열섬효과를 감소시키고 도시홍수를 저감시키도록 하고 있다. 또한 비점 오염물질의 유출을 저감하여 수생태계를 보전하고, 효율적인 유역관리가 이루어지도록 하고 있다(환경부, 2003). 비점오염원 관리를 위한 환경부의 각종 법령 및 규제적 행정장치를 살펴보면 Table 1과 같으며, 개발사업과 관련되는 모든 사업, 즉 토지이용의 지목변경을 가져오는 개발 사업은 비점오염원의 관리를 명시하고 있다. 이와 더불어 개발과 관련되는 정부부처(건설교통부, 농림부, 산림청 등)는 법령, 시행령, 시행규칙, 지침, 편람 등의 개정과 더불어 고시 등을 통해 개발 사업과 관련된 비점오염원 관리를 시급히 요구하고 있다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
leehyung@kongju.ac.kr

Table 1. The legal basis and the program of nonpoint source control in Korea

Related policies	Programs and comprehensive measures	Etc.
Water environment management master plan (2006-2015)	- TPLMS for major 4 rivers - NPS control in watershed areas - Erosion and sediment control (ESC)	National master plan of water and environment management
Total pollution load management system (TPLMS)	- NPS control in watershed areas	Relating with NPS control
Nonpoint source control (NPS)	- Best management practices (BMPs) permit program (Section 53 of water quality and ecosystem conservation act)	- NPS permit program for listed construction projects in environmental impact assessment (EIA) (17 relating projects) and companies (16 relating companies) - ESC permit program from listed construction projects in EIA
	- NPS priority region authorization program	Section 54 in water quality and ecosystem conservation act
	- Erosion control in highland agricultural areas	Section 59 in water quality and ecosystem conservation act
	- Other water quality control program	Section 60 in water quality and ecosystem conservation act
Rainfall retention, infiltration and use plan	- Rainfall use facility	Water circulation and use enlargement act
	- Rainfall retention and infiltration facilities	

Table 2. Unit pollutant loads from landuses in Korea (환경부, 1999)

Land uses (kg/km ² -day)	BOD ₅	TN	TP
Wet paddy fields	2.3	6.56	0.61
Dry paddy fields	1.6	9.44	0.24
Forest	1.0	2.20	0.14
Urban	85.9	13.69	2.10
Prairies	35.1	5.37	1.72
Golf courses	1.0	3.56	2.76
Others	1.0	0.06	0.03

각종 개발사업 및 수질오염총량관리제의 오염총량 산정 시 토지이용별 비점오염원저감시설 설계를 위한 토지이용별 오염물질 원단위는 매우 중요하게 이용된다. 특히 원단위는 향후 예측되는 각종 토지이용 계획의 변화에 능동적으로 대처하여 수계의 오염을 예방하는 저감시설 설계시 또는 친환경 설계를 위한 기준 제시시 매우 중요하다. 따라서 다양한 토지이용에 대한 원단위 산정은 효율적 비점오염원 관리 및 수생태계 보전을 위해서 가장 중요한 인자라고 볼 수 있다. Table 2는 국내에서 현재 적용되고 있는 토지이용별 오염물질 원단위를 나타낸 것으로 전체 7개의 지목으로 분류되어 적용되고 있다(환경부, 1999). 그러나 이는 토지이용의 고도화를 반영하지 못하여 다양한 논란의 중심에 있으며, 모든 도시지역 토지이용을 대지로 묶어 관리하기 때문에 적용에 많은 문제점을 안고 있다. 또한 BOD, TN 및 TP로 제시되어 있는 오염원단위는 비점오염원의 현실을 반영하지 않은 것으로, 도시지역의 경우 입자상 물질과 각종 중금속에 대한 원단위 산정 및 제시가 필요하다. Table 3은 미국내 토지이용에 따른 오염물질 발생 원단위를 나타낸 것으로 다양한 도시지역 비점오염원에 대한 원단위를 고속도로, 공업지역, 상업지역, 주차장, 거주지

Table 3. Unit pollutant loads from homogeneous urban watersheds in Milwaukee, USA (Bannerman et al., 1983)

Land uses (kg/km ² -day)	TSS	TP	Pb
Highways	268.22	0.28	1.36
Industrial areas	262.19	0.41	0.74
Commercials areas	262.19	0.41	0.74
Parking lots	124.11	0.21	0.26
High density residential areas	133.42	0.31	0.25
Medium density residential areas	59.18	0.16	0.07
Low density residential areas	3.01	0.01	0.00
Parks	0.82	0.01	0.00

역 및 공원 등으로 세부적으로 분류하여 제시하고 있다 (Bannerman et al., 1983).

환경부에서는 2010년 이후 2단계 수질오염총량제도 시행부터는 오염총량관리물질을 생화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD) 이외에 총인(Total Phosphorus, TP) 및 총 유기화합물(Total Organic Carbon, TOC) 등으로 변경 시행할 계획이며, 3단계 이후에는 중금속류도 포함시킬 계획에 있어, 각종 개발 사업시 환경영향 평가협의를 위한 비점오염원 원단위 산정 및 발생부하량 산정법에 대한 연구가 시급히 요구된다(환경부, 2004). 따라서 본 연구는 도시지역내 교통관련 토지이용에서의 비점오염물질 원단위를 제시함으로써 향후 수질오염총량관리제에서 적용되고 있는 대지 원단위를 효율적으로 분리하는데 도움을 주고자 수행하였으며, 도시지역 토지이용의 9개 지역에서 수행된 모니터링 결과를 이용하였다. 이러한 연구결과는 비점오염원관리뿐만 아니라, 다양한 토지이용별 비점저감시설의 규모 산정과 공법선정시 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구방법

2.1. 모니터링

토지이용에 따른 강우유출수의 특성을 평가하기 위하여 2004년 5월부터 2006년 11월까지 모니터링을 수행하였으며, 초기강우현상을 고려한 모니터링 방법을 선택하였다. 모니터링 수행에 앞서 모든 지점에 효율적인 유량측정 및 수질시료 채취를 위하여 웨어를 설치하였으며, 강우시 발생하는 강우량과 유출량에 대한 불확실성을 줄이기 위해 자동유량계(Automatic Flow Meter, Sigma 950)와 우량계(Automatic Rainfall Gauge)를 이용하여 1분 단위의 측정이 이루어지도록 모니터링을 실시하였다. 강우가 시작된 후 유출되는 첫 번째 수질샘플을 채취하였고, 향후 15분까지 5분 간격으로 수질모니터링이 이루어졌으며, 15분부터 1시간까지는 15분 단위로, 그리고 1시간 이후에는 1시간 간격으로 강우 유출이 끝날 때까지 수질 모니터링을 수행하였다(김이형과 강주현, 2004a, 2004b). 또한 유역면적, 강우 전 건기일수, 총 강우량, 강우 지속시간, 강우강도, 평균 강우강도 및 총 유출량을 조사하였다. 채취된 수질시료는 실험실로 운반되어 입자상 물질, 유기물질, 영양염류 및 중금속 등의 수질 분석을 실시하였고, 본 논문에서는 입자상 물질과 유기물질, 영양염류를 대상으로 하여 결과를 정리하였다.

Fig. 1은 모니터링 지점의 위치를 나타내고 있으며, Table 4에 모니터링 대상 지점에 대한 자세한 현황을 정리하여 나타내었다. 모니터링 지점은 도시지역내 다양한 포장지역을

대상으로 하였으며, 호남고속도로(Site 1, 2, 3), 경부고속도로와 호남고속도로 내 도로공사 영업소(Site 7, 8, 9), 기흥휴게소(Site 6), 공주대학교 주차장(Site 4) 및 공주대교 지점(Site 5)으로 총 9개 지점이 선정되었다. 유역면적은 휴게소 지점이 14,735 m²로 가장 넓은 것으로 나타났으며, 포장형태는 휴게소 지점을 제외한 모든 지점에서 아스팔트의 형태를 나타내었다.

2.2. 분석방법

다양한 포장지역에서 발생하는 강우유출수는 강우초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 보이며, 이러한 현상은 부하량 산정을 위한 평균농도 산정시에 큰 불확실성을 주고 있다(Kim, 2003; Larsen et al., 1998). 즉, 모니터링을 통한 산술적인 평균으로는 유출되는 비점오염물질의 대표성을 가진 평균농도를 산정하기 불가능하기 때문에 확률통계학적 방법을 이용하여 오염물질의 농도와 유출을 고려하여 유량가중평균농도(Event Mean Concentrations, EMC)를 산정하여 평균농도로 사용하여야 한다(Irish et al., 1998; Marsalek, 1978). EMC는 전체 강우지속시간 T시간 동안 유출된 전체 누적 오염물질의 양을 전체 누적 유출량으로 나누어 계산할 수 있으며, 강우에 의해 유출되는 오염물질의 부하량 산정을 위해서는 유량가중 평균농도인 EMC의 정밀한 산정이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 식 (1)을 이용하여 각 지점별 강우사상에 대한 EMC를 산정하였다.

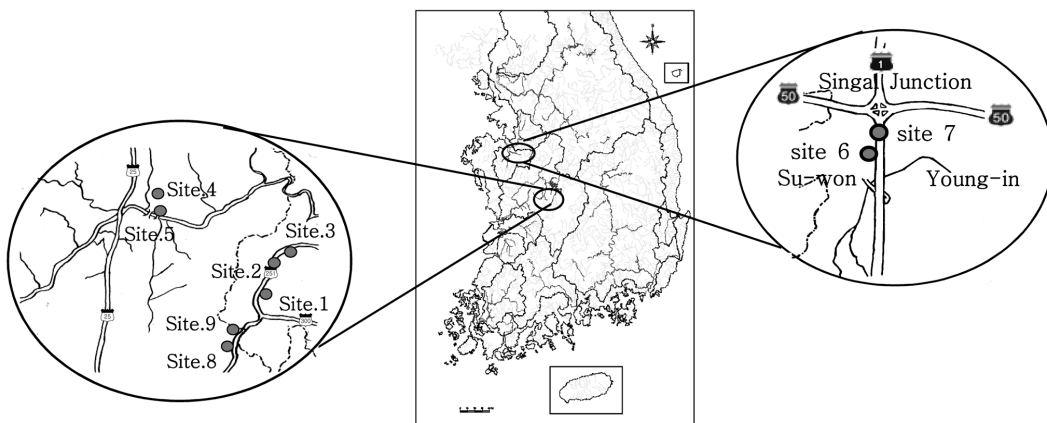


Fig. 1. Monitoring locations.

Table 4. Characteristics of monitoring location

Monitoring site	Location	Area (m ²)	Pavement type
Site 1	Highway 251 (North bound 1)	1,120	Asphalt
Site 2	Highway 251 (North bound)	1,170	Asphalt
Site 3	Highway 251 (North bound 2)	936	Asphalt
Site 4	Parking lots in kongju national university	172	Asphalt
Site 5	Kongju daekyo (Bridge)	632	Asphalt
Site 6	Gihung service areas (Highway 1, North bound)	14,735	Brick
Site 7	Suwon toll-gate (Highway 1)	82	Asphalt
Site 8	Gaeryong toll-gate 1 (Highway 251)	662	Asphalt
Site 9	Gaeryong toll-gate 2 (Highway 251)	311	Asphalt

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

여기서, $C(t)$ 는 시간에 따른 유출 오염물질의 농도를 말하며, $Q_{TRu}(t)$ 는 유역으로부터 강으로 인해 유출되는 유출 수율을 나타내고 있다.

원단위는 다양한 토지이용에 대해 발생하는 부하량 산정 시 중요한 자료로 이용될 수 있다. 각 지점별 오염물질 발생 원단위 산정은 식 (2)와 같이 계산할 수 있으며, 식 (1)에서 산정된 EMC를 이용하여 평균 EMC를 산정하고, 총 강우량(mm/day)과 곱한 후, 유역면적(km²)으로 나누어 산정하였다. 본 연구에서는 약 3년에 걸쳐 수행된 모니터링 결과를 이용하여 산정된 발생원단위와 수질오염총량관리계획수립지침(환경부, 1999)에 근거하여 고시되어 있는 발생원단위를 오염물질별로 비교하였으며, 또한 미국 내 고속도로 지점의 발생원단위(Bannerman et al., 1983)와 비교하여

보았다.

$$\text{Unit Load}(kg/km^2 - \text{day}) = \frac{EMC \times \text{Total Yearly Rainfall}}{\text{Area of Catch basin}} \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 모니터링 결과

Table 5는 모니터링 결과를 나타낸 것으로 각 토지이용 별로 3회에서 11회에 걸쳐 총 56회의 강우사상에 대한 모니터링이 수행되었다. 강우 전 건조일수(Antecedent Dry Day, ADD)는 2~18일의 범위를 보이며, 전체 강우량은 1.5~77.5 mm, 강우 지속시간은 0.8~20 hr의 범위로 나타났다. 또한 평균 강우강도는 0.3~11.3 mm/hr의 범위를 나타냈다. 이러한 넓은 값의 분포는 비점오염원의 연구가 쉽지 않다는 것을 보여주고 있으며, 지속적인 모니터링을 통하여 많은 자료의 확보가 필요하다는 것을 보여주고 있다(이은주 등, 2007).

Table 5. Event table in paved areas

Site	Event date	ADD (day)	Total rainfall (mm)	Runoff duration (hr)	Avg. rainfall intensity (mm/hr)	Runoff rate
Site 1	2004-05-28	13	17.5	3.7	4.8	0.87
	2004-06-17	18	50.5	8.7	5.8	0.85
	2004-07-03	2	30.7	6.2	5.0	0.93
	2004-07-11	3	6.9	6.3	1.1	0.62
	2004-08-16	8	19.5	1.7	11.3	0.57
	2004-08-22	2	8.2	1.5	5.4	0.84
	2004-09-11	3	20.6	6.4	3.2	0.79
Site 2	2004-05-28	13	17.5	3.3	5.3	0.87
	2004-06-17	18	50.5	8.3	6.1	0.85
	2004-07-03	2	30.7	6.4	4.8	0.93
	2004-07-11	3	6.9	7.2	1.0	0.62
	2004-08-14	8	19.5	1.5	13.0	0.58
	2004-08-22	2	7.1	1.0	7.1	0.84
	2004-09-11	3	20.6	6.1	3.4	0.85
	2005-05-11	4	12.9	6.1	2.1	0.74
	2005-06-01	13	28.5	7.3	3.9	0.81
	2005-06-10	7	68.1	9.3	7.3	0.85
2005-06-26	7	17.8	2.0	8.9	0.78	
Site 3	2004-05-28	13	18.5	3.5	5.3	0.73
	2004-06-17	18	50.3	7.6	6.6	0.90
	2004-07-03	2	32.8	7.2	4.6	0.88
	2004-07-11	3	6.9	7.3	0.9	0.68
	2004-08-16	2	10.7	4.4	2.4	0.60
	2004-08-22	2	9.1	2.1	4.3	0.89
	2004-09-11	3	21.4	6.0	3.6	0.90
Site 4	2004-05-28	13	20.5	4.6	4.5	0.88
	2004-06-17	18	45.3	9.7	4.7	0.90
	2004-07-03	2	36.4	9.2	4.0	0.94
	2004-07-11	3	9.0	7.0	1.3	0.64
	2004-08-16	2	29.4	7.3	4.0	0.81
	2004-08-22	2	8.1	5.6	1.5	0.85
	2004-09-11	3	36.2	6.5	5.6	0.88

Table 5. Event table in paved areas (Continued)

Site	Event date	ADD (day)	Total rainfall (mm)	Runoff duration (hr)	Avg. rainfall intensity (mm/hr)	Runoff rate
Site 5	2004-05-28	13	20.5	4.8	4.3	0.87
	2004-06-17	18	45.3	10.8	4.2	0.92
	2004-07-03	2	36.4	9.2	3.9	0.71
	2004-07-11	3	6.9	8.7	0.8	0.68
	2004-08-16	2	29.4	5.7	5.2	0.79
	2004-08-22	2	7.1	6.2	1.1	0.83
	2004-09-11	3	36.2	5.1	7.2	0.80
Site 6	2006-05-22	15	36.5	7.0	5.2	0.90
	2006-05-27	4	32.0	12.0	2.7	0.23
	2006-06-14	3	77.5	18.0	4.3	0.79
	2006-09-17	8	1.5	5.0	0.3	0.76
	2006-11-06	13	26.0	12.0	2.2	0.77
Site 7	2006-05-05	14	62.0	20.0	3.1	0.95
	2006-05-22	15	36.5	7.0	5.2	0.99
	2006-05-27	4	32.0	12.0	2.7	0.47
	2006-06-14	3	77.5	18.0	4.3	0.84
Site 8	2006-06-29	3	15.5	1.7	9.1	0.68
	2006-07-25	3	9.0	6.5	1.4	0.75
	2006-08-16	10	3.0	0.8	3.8	0.66
	2006-09-05	5	18.0	11.2	1.6	0.70
	2006-11-09	2	4.5	0.5	9.0	0.70
Site 9	2006-07-25	3	9.0	6.5	1.4	0.89
	2006-08-16	10	3.0	0.8	3.8	0.73
	2006-09-05	5	18.0	11.2	1.6	0.85

3.2. EMC 산정

각 토지이용의 모니터링 결과는 식 (1)을 이용하여 강우 사상별 비점오염물질의 EMC 산정이 이루어졌다. Table 6 은 원단위 산정을 위해 9개의 모니터링 지점을 고속도로, 주차장, 교량, 휴게소 및 영업소지역으로 분류하여 평균 EMC를 산정한 것이다. 그 결과 포장지역의 오염물질별 평균 EMC는 TSS의 경우 94.9 mg/L로 산정되었으며, COD는 84.8 mg/L, TN은 2.95 mg/L, TP의 경우 0.60 mg/L로 산정되었다. 토지이용별로 산정된 EMC를 살펴보면, TSS의 경우 고속도로와 휴게소 및 영업소 지점이 각각 97.6, 92.6 및 96.0 mg/L로 산정되어 포장지역의 평균 EMC와 비슷한 값을 나타내었다. 그러나 교량과 주차장의 경우 TSS가 각각 155.4 mg/L와 25.0 mg/L로 평균 EMC와 큰 농도 차이를 보이는 것으로 나타났다. 또한 COD는 교량이 137.1 mg/L로 가장 큰 값을 나타내었고, TN과 TP의 경우 휴게소가 4.60 mg/L와 1.40 mg/L로 가장 높게 나타났으며, 주차장이 1.66 mg/L와 0.15 mg/L로 가장 낮게 나타났다. 각 토

지이용별 EMC를 포장지역의 평균 EMC와 비교해 볼 때, 고속도로, 교량, 주차장 등은 포장지역으로 포함되는 토지 이용임에도 불구하고 평균 EMC와 많은 농도 차이를 나타내고 있어 효율적인 비점오염원 관리를 위해서는 포장지역 내 세부적인 토지이용의 분리가 필요할 것으로 판단된다.

3.3. 원단위 산정

비점오염원 및 비점오염물질을 관리하기 위해서는 우선 토지이용별 강우시 배출되는 오염물질의 양을 산정해야 한다(이은주 등, 2007). 특히 토지이용별 원단위는 향후 비점 오염저감시설 설계 및 규모 산정시 직접적인 관련이 있으며, 효율적인 비점오염원 관리를 위한 중요한 인자라 볼 수 있다. 따라서 비점저감시설 등의 비점오염원 최적관리기법 수립에 앞서, 비점오염원 원단위 산정 및 발생부하량 산정법에 대한 연구가 무엇보다도 우선시 되어야 한다.

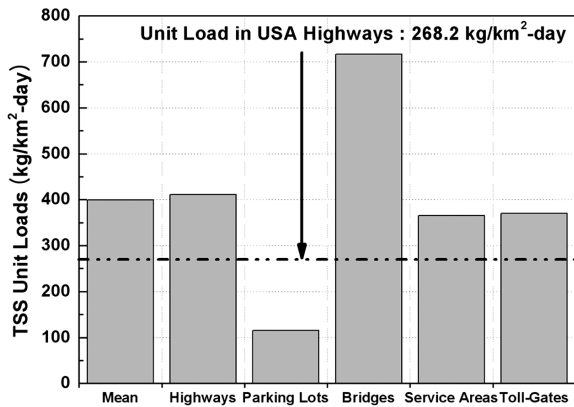
본 연구에서는 식 (2)를 이용하여 토지이용별로 오염물질별 발생원단위를 산정하였고, Table 7에 나타내었다. 또한

Table 6. Average EMCs for various land uses in paved areas

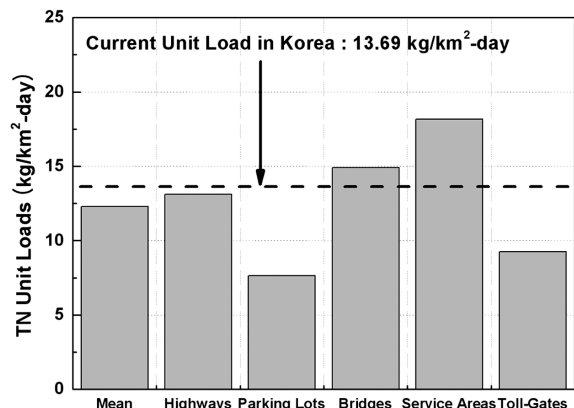
Site	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	DOC (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Highways	97.6	77.2	13.1	3.13	0.41
Parking lots	25.0	43.2	6.3	1.66	0.15
Bridges	155.4	137.1	22.7	3.23	0.65
Service areas	92.6	118.0	18.9	4.60	1.40
Toll-gates	96.0	80.6	12.5	2.45	0.92
Mean	94.9	84.8	13.8	2.95	0.60
Standard Dev.	91.0	75.5	11.5	2.09	0.60

Table 7. Representative unit loads for various land uses in paved areas

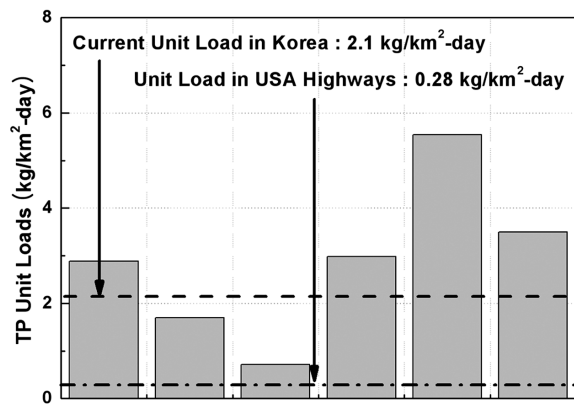
Site	TSS (kg/km ² -day)	COD (kg/km ² -day)	DOC (kg/km ² -day)	TN (kg/km ² -day)	TP (kg/km ² -day)
Highways	411.2	324.0	54.67	13.12	1.70
Parking lots	115.4	199.5	29.04	7.65	0.71
Bridges	716.7	632.2	104.6	14.90	2.98
Service areas	365.6	465.7	74.51	18.18	5.54
Toll-gates	370.0	308.3	47.10	9.26	3.50
Mean	399.5	356.3	57.86	12.29	2.46
Standard Dev.	389.7	313.3	48.73	8.55	2.38



(a) TSS



(b) TN



(c) TP

Fig. 2. Comparison of the determined unit pollutant loads with the unit load in USA.

본 연구에서 산정된 평균 발생원단위와 환경부에서 제시하고 있는 원단위(Table 2), 미국 내 고속도로 지점의 발생원단위(Table 3) 값을 비교분석하여 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 포장지역의 평균 발생부하원단위는 TSS의 경우 399.5 kg/km²-day로 산정되었으며, COD는 356.3 kg/km²-day, TN은 12.3 kg/km²-day, TP의 경우에는 2.46 kg/km²-day로 산정되었다. 이러한 평균값을 환경부에서 제시하고 있는 대지의 원단위인 TN 13.69 kg/km²-day와 TP 2.10 kg/km²-day와 비교하면, TN의 경우 약간 낮으며, TP의 경우에는 오히려 높은 값으로 산정되었다. 또한 고속도로, 주차장, 영업소 토지이용의 경우 TN은 대지의 원단위보다 오히려 낮게 산정되었고, TP의 경우에는 고속도로와 주차장에서 원단위 값이 대지의 원단위보다 낮은 것으로 분석되었다. TSS 발생원단위 분석은 환경부에서 제시하고 있는 자료가 없기에 미국의 고속도로의 원단위 값인 268.22 kg/km²-day와 비교하였다. 그 결과, 미국의 고속도로 원단위보다 포장지역의 평균 발생부하원단위가 높은 것으로 나타났으며, 토지이용별로 비교해 보았을 때, 주차장을 제외한 모든 토지이용에서 높은 것으로 분석되었다. 또한 TP의 포장지역 평균 발생부하원단위는 미국의 고속도로 원단위 0.28 kg/km²-day와 비교시 높은 것으로 분석되었으며, 모든 토지이용에서 높은 값을 나타냈다. 이러한 결과는 포장지역을 대상으로 비점오염최적관리기법 산정시 유용한 자료로 활용될 것이며, 효율적인 비점오염원 관리를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

포장지역의 다양한 토지이용 중 도로, 교량, 주차장 등에서 강우시 유출되는 비점오염물질의 발생량을 산정하는 방법은 포장지역의 특성을 반영하지 않고 있으며, 대지에 대해 제시된 발생원단위를 사용하고 있어서 토지이용에 따른 비점오염 발생 부하량 산정시 과대 혹은 과소 산정될 가능성이 높다. 현재 국내의 경우 비점오염 관리대책 수립시에 적용되는 토지이용별 원단위가 없는 실정으로 비점오염원으로부터 발생하는 비점오염물질을 관리하기 위해서는 무엇보다도 대상 토지이용에 따른 부하량 산정이 필요하다. 따라서 본 연구는 포장지역의 다양한 토지이용에서 발생하는 비점오염원 부하량 산정에 기초가 되는 비점오염물질의 원단위를 제시하고자 하였으며, 이러한 목적으로 수행된 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 총 56회의 강우사상에 대한 모니터링 결과 강우 전 건조일수는 2~18일, 전체 강우량은 1.5~77.5 mm, 강우 지속시간은 0.8~20시간의 범위로 매우 넓은 값의 분포를 보이고 있다.
- 2) 포장지역의 오염물질별 평균 EMC 결과 TSS의 경우 94.9 mg/L, COD는 84.8 mg/L, TN은 2.95 mg/L, TP의 경우 0.60 mg/L로 산정되었으며, 토지이용별 평균 EMC와 비교해 볼 때, 고속도로, 교량, 주차장 등은 포장지역으로 포함되는 토지이용임에도 불구하고 평균 EMC와 많은 농도 차이를 나타내고 있다.
- 3) 포장지역의 평균 발생부하원단위는 TSS의 경우 399.5 kg/km²-day, COD는 356.3 kg/km²-day, TN은 12.29 kg/km²-day, TP의 경우는 2.46 kg/km²-day로 산정되었으며, 환경부에서 제시하고 있는 대지의 원단위와 비교해 볼 때, TN의 경우 약간 낮으며, TP의 경우에는 오히려 높은 값으로 산정되었다.
- 4) 포장지역의 평균 발생부하원단위와 미국 내 고속도로의 원단위를 비교한 결과, TSS와 TP의 발생원단위는 포장지역의 평균원단위가 높은 것으로 분석되었으며, 이러한 결과는 포장지역을 대상으로 비점오염최적관리기법 산정시 유용한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 환경부 에코스타 사업단의 도시비점오염원 관리기술개발 과제의 일환으로 수행되었기에, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

강주현, 김이형(2007). 일차원 kinematic wave 모형을 이용한 고속도로 강우유출수의 동적 거동 예측. *한국물환경학회지*, **23**(1), pp. 38-45.

김이형, 강주현(2004a). 강우 시 발생하는 고속도로 유출수의 초기유수 특성 및 기준. *한국물환경학회지*, **20**(6), pp.

641-646.

김이형, 강주현(2004b). 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 강우 유출수의 EMCs 및 유출 부하량 산정. *대한토목학회논문집*, **26**(2B), pp. 225-231.

이은주, 손현근, 강희만, 김이형(2007). 고속도로 영업소지역에서의 비점오염물질 유출특성. *한국도로학회논문집*, **9**(4), pp. 185-192.

환경부(1999). *수질오염총량관리계획수립지침*, 환경부 고시 제 1999-143호.

환경부(2003). *유역관리기법 I*.

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

Bannerman, R., Baun, K., Hughes, P., and Graczyk, D. (1983). *Nationwide Urban Runoff Program, Milwaukee, Wisconsin: Evaluation of Urban Nonpoint Source Pollution Management in Milwaukee County, Wisconsin, Vol 1*.

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

Kim, L. H. (2003). Determination of Event Mean Concentrations and First Flush Criteria in Urban Runoff. *Environmental Engineering Research*, **8**(4), pp. 163-176.

Larsen, T., Broch, K., and Andersen, M. R. (1998). First flush effects in an urban catchment area in alborg. *Water Sci. Technol.*, **37**(1), pp. 251-257.

Marsalek, J. (1978). *Pollution Due to Urban Runoff: Unit Loads and Abatement Measures*. PLUARG, International Joint Commission, Windsor, Ontario, Canada.

Sabin, L. D., Lim, J. H., Stolzenbach, K. D., and Schiff, K. C. (2005). Contribution of trace from atmospheric deposition to stormwater runoff in a small impervious urban catchment. *Water Research*, **39**, pp. 3929-3937.