

경안천지역의 도로 및 주차장에 대한 강우유출수의 특성분석과 원단위 산정

고성훈 · 쉬라즈 아메드 메몬 · 이창희[†]

명지대학교 환경생명공학과

Characterization of Stormwater Pollutants and Estimation of Unit Loads for Road and Parking Lot in Gyeongan Stream Watershed

Sung-Hun Go · Sheeraz Amed Memon · Chang-Hee Lee[†]

Department of Environmental Engineering & Biotechnology, Myongji University

(Received 9 April 2009, Revised 25 June 2009, Accepted 30 June 2009)

Abstract

Unit load approach has been used to estimate the non-point pollutant load in Total Water Pollution Load Management System (TWPLMS). In this study, locally applicable unit loads for road and parking lot were developed based on the measurements of 9 rainfall events from 2007 to 2008 in Yongin city of Gyeongan stream watershed. Observations showed that stormwater runoff began at low precipitation (>1 mm) and peak pollutant concentration occurred at the beginning of the runoff because of impervious nature of the sites. Averaged event mean concentrations (EMCs) of road (parking lot) were estimated as COD 105.36(62.69) mg/L, BOD 15.94(13.20) mg/L, TSS 183.45(66.52) mg/L, T-N 4.63(3.28) mg/L, T-P 0.45(0.39) mg/L. Higher EMCs at the road than parking lot may reflect heavier traffic. Unit loads Estimated from the EMCs and 10 year average rainfall data were COD 331.17 kg/km² · day, BOD 50.20 kg/km² · day, TSS 580.13 kg/km² · day, T-N 14.68 kg/km² · day, T-P 1.43 kg/km² · day in the road and COD 186.59 kg/km² · day, BOD 39.22 kg/km² · day, TSS 199.15 kg/km² · day, T-N 9.70 kg/km² · day, T-P 1.16 kg/km² · day in the parking lot. The estimated unit loads are not so comparable to the ones listed in TWPLMS technical guideline and published data that locally developed unit loads should be used to estimate non-point pollutant loads.

keywords : Event mean concentration, Nonpoint sources, Total water pollution load management system, Unit loads

1. 서론

우리나라는 급속한 경제성장과 이로 인한 오염물질들의 배출 등으로 인해 많은 하천 및 호소가 오염되어 왔으며, 이를 개선하기 위해 하수처리장의 건설 등 점오염원 관리에 치중해와 하수도 보급률이 전국평균 85%를 상회하고 있다(환경부, 2008b). 하지만 4대강 유역의 전체 오염부하량 중 BOD 항목에서 22~37%, 팔당상수원 유역으로 배출되는 부하량 중 44.5%를 비점오염원이 차지하고 있고 2020년에는 54.3%까지 증가될 것으로 예측되고 있어 점오염원의 관리만으로는 향후 수질개선에 한계가 있다는 지적이 제기되어 왔다(환경부, 2004).

이에 따라 최근 비점오염원 관리를 위한 다양한 정책수단과 관리방법이 도입·시행되고 있는데, 특히 4대강 수계의 하천, 호소 등 공공수역으로 유입되는 오염물질의 양을 농도 규제가 아닌, 부하량 관리를 통해 제어하고자 하는 수질오염총량관리제(Total Water Pollution Load Management System, TWPLMS)의 시행은 상대적으로 소홀했던

비점오염원 관리 강화를 위한 강력한 동인이 되고 있다. 그러나 2010년에 종료되는 1단계 수질오염총량관리계획의 수립과정에서 비점오염원의 부하량은 예외 없이 수계수질오염총량관리기술지침에 제시된 토지계 지목별 원단위에 근거하여 추정되었는데(Table 1), 이는 적용이 매우 간단한 장점이 있지만 다음과 같은 근본적인 한계를 가지고 있다.

첫째, 기술지침의 토지계 지목별 오염부하 발생원단위는 전국적으로 적용되는 단일 수치만을 제공하고 있다. 따라서 각 지역별로 지역의 강우 및 유출특성을 반영하는 원단위를 개발하여 사용하지 않으면 부하량 추정에 불확실성이 존재하게 된다.

둘째, 기술지침에는 전, 담, 임야, 대지, 기타의 총 5개의 대표적인 지목에 대한 원단위만을 제공한다. 이 경우 가장 원단위가 큰 대지의 경우 실제 지목 상의 대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도용지, 주차장, 주유소용지, 창고용지, 체육용지, 유원지, 종교용지, 사적지 등을 모두 포함하고 있어 각 지목별로 상세한 원단위가 개발되지 않으면 하나의 대표적 원단위로 전체 지목의 유출특성을 반영하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 경안천 유역의 용인시 도심지역에서 원단위가 가장 큰 대지에 포함된 도로 및 주차장의 세부적인 지목에 대해 실측을 통해 강우유출수의 특성을 파

[†] To whom correspondence should be addressed. changhee@mju.ac.kr

악하고 이 지역에서 적용 가능한 비점오염원 발생부하원단위를 제시하고자 한다.

Table 1. Unit loads for estimating nonpoint pollutant loads in TWPLMS (ME, 2008a)

	BOD (kg/km ² · day)	T-N (kg/km ² · day)	T-P (kg/km ² · day)
Dry field	1.59	9.44	0.24
Paddy field	2.30	6.56	0.61
Forest	0.93	2.20	0.14
Urban	85.90	13.69	2.10
Others	0.960	0.759	0.027

2. 연구방법

2.1. 연구지역 선정

본 연구를 위해 비점오염원 유출이 크게 일어나는 용인시 도심지의 도로 및 주차장 중 거리가 가깝고, 강우 시 접근이 용이하며, 장기적인 유출특성 모니터링이 가능한 여건을 가지고 있고, 교통량이 큰 지역을 연구 대상지역으로

선정하였다.

일반도로의 경우 강우 시 유출수의 시료채취가 용이하지 않고 접근 시 안정상의 문제가 있기 때문에, 용인 시가지를 관통하여 양지방향으로 향하는 중앙로 구간 중 경안천 교차 지점인 마평교를 대상으로 하였으며 유출면적은 약 340 m²이었다. 이 지역은 강우 시 교량하부로 접근이 가능하고, 교량에 설치된 배수관을 연결하여 정확한 유량측정과 수질시료의 채취가 용이하고, 장기간 유량측정을 위한 구조물 설치가 가능하다는 장점이 있었다. 주차장은 용인시가지 내에 위치한 처인구청을 대상으로 하였다. 이 지역의 유출면적은 약 3600 m²이고, 중간지점에 배수구가 설치되어 있어 강우 시 유출수가 한곳으로 모여 배출되기 때문에 유출지점에서 유량측정 및 시료채취가 용이하였다.

2.2. 현장조사 및 분석방법

2007년 9월부터 2008년 6월까지 강우 시 도로 및 주차장에서 각각 8회 및 9회의 유량과 수질을 측정하였으며 강우자료는 기상청의 용인 강우량 관측소자료를 사용하였다. 유량은 수질오염공정시험법의 용기법 및 데이터 저장이 가능한 유속계(Sontek/YSI Flowtracker v.1.40)를 이용하여 강

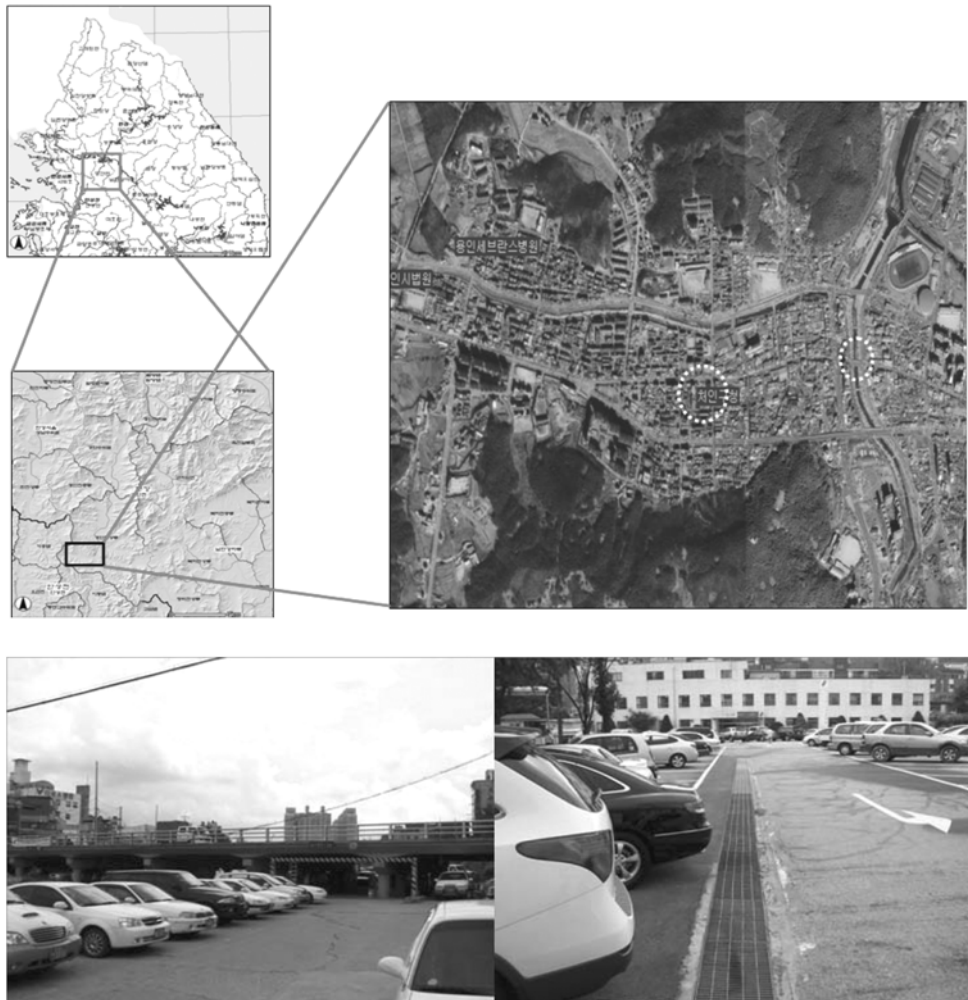


Fig. 1. Monitoring locations in Yongin city.

우 시작부터 종료 시까지 1~5분 단위로 최대한 정밀하게 측정하였다.

도로의 유량측정을 위해서 하천으로 직유입 하는 우수배출관을 PVC 파이프로 연결하여 한 지점으로 모이게 한 다음, 미리 용량을 표시해 둔 집수용기(5, 20, 100 L)와 초시계를 이용하여 유량을 측정하였다. 주차장 지점의 경우, 주차장 말단 유출부에 단면적이 고정된 아크릴 재질의 수로를 설치하여 유속과 수심을 동시 측정하여 유속-단면적법으로 유량을 산정하였으며, 유속측정이 어려운 소량 유출의 경우 용기법을 사용하였다.

수질측정을 위한 시료는 도시지역의 유출특성을 고려하여 강우 시 유출이 시작되는 시점부터 강우가 종료되는 시점까지 하나의 강우사상에 대하여 2 L 채수병에 담았으며, 강우 초기 1시간 동안은 5, 15, 30분단위로, 이후 샘플의 결보기 농도에 따라 30분에서 1시간 간격으로 강우 종료 시까지 채취하였다. 시료채취 시 유량을 함께 측정하였으며, 채취된 시료는 4°C 이하의 아이스박스에 보관하였고, 채취 후 실험실로 바로 이동한 후 수질오염공정시험법에 따라 COD_{cr}(이하 COD), TSS, BOD₅(이하 BOD), T-N, T-P 등을 분석하였다.

2.3. 강우량 분석

연구지역의 연평균강우량은 용인시 역북동에 위치한 용인 T/M 강우량 관측소 자료를 이용하였다. 과거 10년 일강우자료를 이용하여 최근 10년 연평균일강우량을 분석하고 강우량 패턴을 파악하였다. 대상지역의 불투수 특성으로 인해 1 mm 이상의 누적강우량에서도 유출이 관측되었으므로 1 mm 이상의 누적강우량 뿐만 아니라, 과거의 원단위 산정방법과 비교하기 위해 10 mm 이상의 누적강우량에 대한 분석도 실시하였다. 용인지역의 연평균일강우량은 1,425 mm이며, 1 mm 이상과 10 mm 이상의 누적강우량에 대한 연평균일강우량은 각각 1,408 mm와 1,244 mm이었다. 과거 10년간 월별 강우량을 살펴보면 우리나라의 전형적인

강우패턴과 마찬가지로 여름에 강우가 집중되며 특히, 7월과 8월에 많은 강우량을 나타내고 1, 2, 12월에 적은 강우량을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

2.4. 강우유출수의 유량기중평균농도 및 원단위 산정

강우유출수는 시간에 따라 유출유량과 오염물질 농도가 크게 변하므로, 아래와 같이 강우사상에 대한 평균농도는 유량기중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 사용하였다(Charbeneau and Barretti, 1998; Sansalone and Buchberger, 1997).

$$EMC(mg/L) = \frac{\text{Discharged mass during an event}}{\text{Discharged volume}} \quad (1)$$

$$= \frac{\int_0^t C(t) \cdot Q_{TRu}(t) dt}{\int_0^t Q_{TRu}(t) dt}$$

여기서, $C(t)$ 는 시간에 따른 오염물질의 농도를 나타내며 $Q_{TRu}(t)$ 는 강우로 인해 유출되는 유출유량을 의미한다.

본 연구에서는 여러 가지 원단위 산정방법 중 아래와 같이 강우 시 각 토지이용에 따른 강우유출수를 실측하여 원단위를 추정하는 방법을 사용하였다.

$$\text{Unitload}(kg/km^2 \cdot \text{day}) = \frac{P \times C \times EMC}{365} \quad (2)$$

$$\text{Runoff coefficient}(C) = \frac{\text{Event runoff volume}}{\text{Event rainfall volume}}$$

$$= \frac{\int_0^T Q_{TRu}(t) dt}{\int_0^T Q_{TR}(t) dt}$$

Table 2. Event table for the road and parking lot sites

Site	Date	ADD (days)	Total rainfall (mm)	Runoff duration (min)	Average runoff intensity (mm/hr)	Runoff rate
Road	2007.09.14	4	36	240	9.0	0.86
	2007.09.27	2	7	286	1.5	0.75
	2007.10.19	11	6	110	3.3	0.73
	2007.11.23	2	25.5	303	5.0	0.85
	2008.05.18	17	50.5	682	4.4	0.79
	2008.06.02	5	27	381	4.3	0.88
	2008.06.08	3	21.5	190	6.8	0.80
	2008.06.18	9	26	262	6.0	0.80
Parking lot	2007.09.27	2	7	252	1.7	0.77
	2007.10.19	11	6	97	3.7	0.71
	2007.11.23	2	25.5	304	5.0	0.81
	2008.04.09	2	15	581	1.5	0.68
	2008.04.22	8	9.5	281	2.0	0.75
	2008.05.18	17	50.5	676	4.5	0.88
	2008.06.02	5	27	384	4.2	0.86
	2008.06.08	3	21.5	196	6.6	0.65
2008.06.18	9	26	274	5.7	0.68	

여기서, P 는 연평균 강우량(mm), C 는 유출계수, EMC는 각 토지이용별 유량가중평균농도(mg/L), $Q_{TR}(t)$ 는 강우의 양(m^3), $Q_{TRu}(t)$ 은 유출된 유량(m^3)이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우유출수 수질 및 특성 분석

강우 시 비점오염원의 유출 및 수질특성을 파악하기 위해 강우일, 선행건기일수(Antecedent Dry Days, ADD), 총강우량(Total Rainfall), 강우지속시간(Runoff Duration), 평균 강우강도(Average Runoff Intensity), 유출율(Runoff rate) 등을 산정하였다. 도로지역과 주차장지역에서 각 강우사상의 ADD는 2~17일의 범위를 보였고, 총강우량은 6~50.5 mm, 강우지속시간은 97~682분으로 조사되었다. 평균강우강도는 1.5~9 mm, 유출율은 0.65~0.88로 나타났다(Table 2).

강우 시 발생하는 유출수의 오염물질의 농도는 도로의 경우 COD는 6.5~828 mg/L, BOD는 2.1~278.5 mg/L, 그리고 TSS의 경우는 4~2,097 mg/L의 범위를 보였다. 주차장의 오염물질 농도는 COD가 2~585 mg/L, BOD가 1.3~

207.6 mg/L, 그리고 TSS는 2~547 mg/L의 범위를 보여 도로보다 전반적으로 낮은 것으로 나타났다.

강우사상 별 시간에 따른 농도변화를 보면 초기에 높은 농도를 보이다가 30~60분 사이에 급격히 감소하는 것을 볼 수 있는데(Fig. 2), 이는 도시지역에서 일반적으로 관찰되는 초기 유출현상으로 볼 수 있다(Kim et al., 2007). 가장 높은 농도를 나타내는 침투농도는 강우초기에 나타나는 반면 침투유량은 강우강도에 직접적인 영향을 받기 때문에 침투농도와 침투유량은 크게 관계가 없었다. 도로는 주차장에 비해 모든 항목에서 초기 오염물질 농도가 대부분 높게 나타났는데 이는 차량 통행량이 주차장에 비해 도로에서 많은 것을 반영하는 것으로 보인다. 또한 오염물질 농도의 변화를 보면 강우 후반에 주차장에 비해 도로에서 오염물질 농도가 높은 값을 보인다. 이는 주차장과는 달리 도로의 유출면적이 상대적으로 작은 반면 빈번한 차량 통행으로 오염물질의 축적이 빠르게 일어나기 때문으로 판단된다.

Fig. 3은 도로와 주차장에서 초기 60분 동안 오염물질에 대한 농도변화를 보여준다. 도로지역의 초기 COD평균농도는 577 mg/L이지만 초기에 급격하게 줄어 60분 이후에는 168 mg/L로 3.4배 이상 줄어들었으며, TSS평균농도는 682

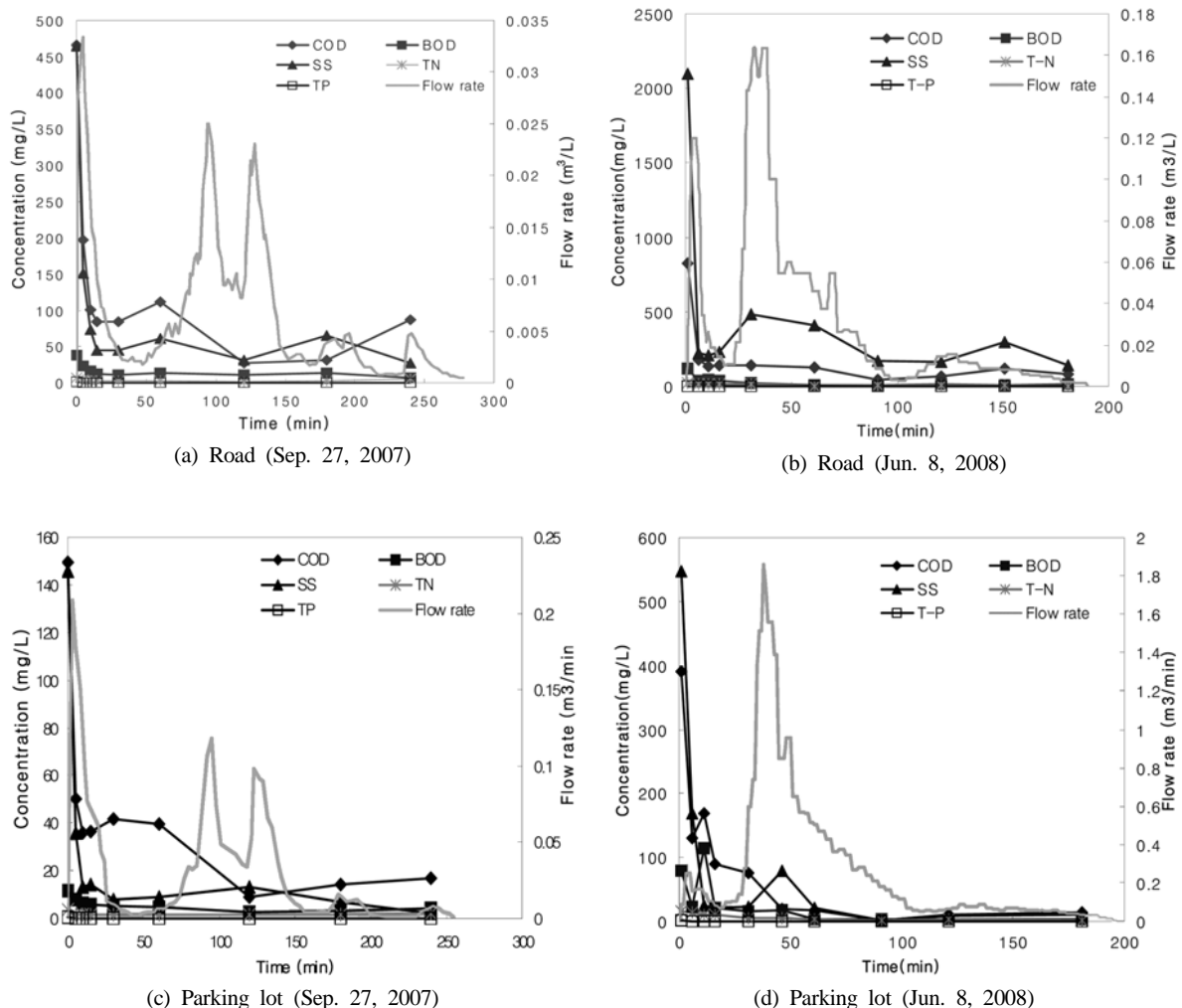


Fig. 2. Hydro-pollutographs at road and parking lot sites.

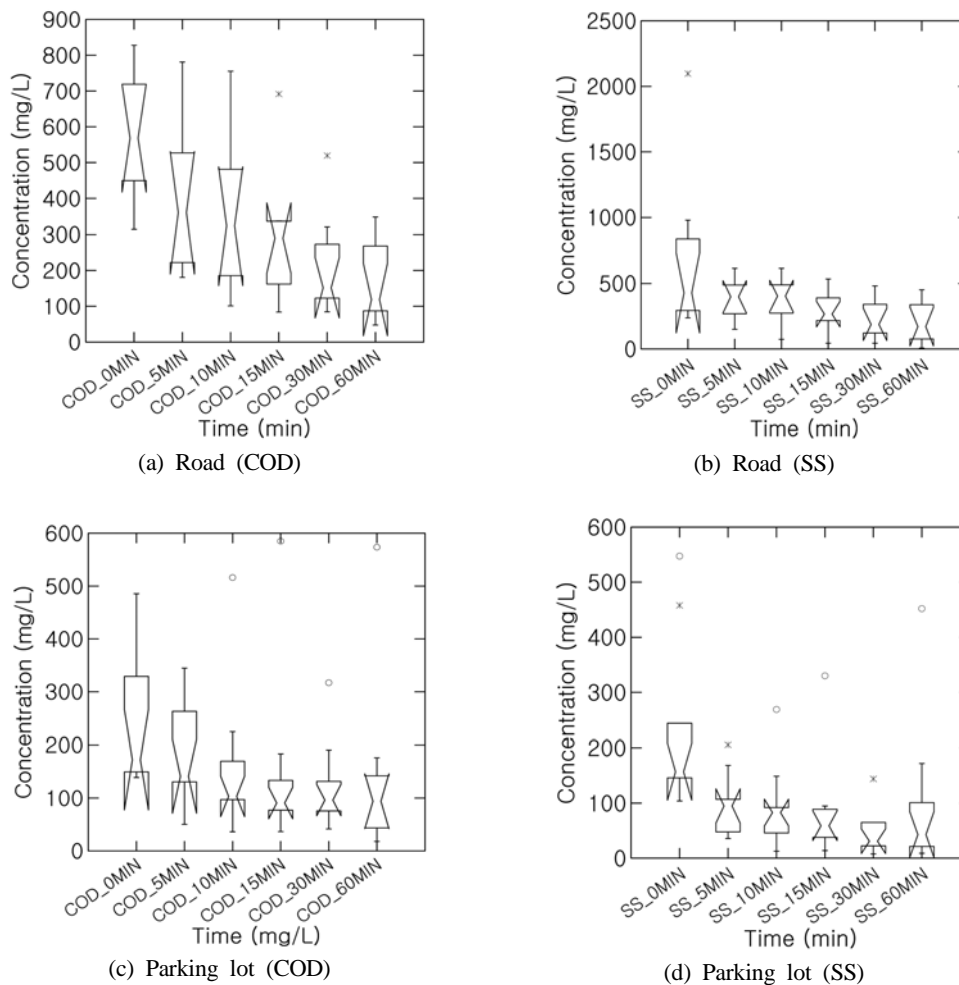


Fig. 3. Variation of COD and TSS concentration during early 60 minutes.

mg/L에서 204 mg/L로 약 3.3배 감소한 것으로 나타났다. 주차장지역도 마찬가지로 두 항목에 대해서 약 2배 감소하였으나 감소율은 도로지역이 큰 것으로 나타났다. 각 강우사상별로 차이를 보였지만 평균적으로 유출초기 60분까지 1.5~4.2배의 오염물질 농도가 감소하였으며, 강우종류 시는 이보다 더 큰 감소를 보였다. 이는 초기유출현상과 희석작용에 의한 불투수지역의 특성으로 판단되며, 비점오염원 중 불투성 토지이용에서 초기유출수 관리의 중요성을 나타낸다.

3.2. 유량가중평균농도(Event Mean Concentrations, EMCs)

Table 3에 도로 및 주차장에 대한 EMC를 각 오염물질 항목에 대해서 요약하여 나타내었다. 도로지역의 오염물질 항목 중 COD EMC는 36.79~213.57 mg/L의 범위를 나타내었고, BOD는 6.14~21.47 mg/L, TSS 65.09~443.43 mg/L, T-N 2.48~9.11 mg/L, T-P 0.05~0.85 mg/L의 오염물질 농도 범위로 산정되었다. 평균값으로 TSS가 194.19 mg/L로 가장 높은 값을 나타내었으며 COD 112.91 mg/L, BOD 16.62 mg/L, T-N 4.97 mg/L, T-P 0.49 mg/L의 순으로 나타났다. 주차장의 EMC는 COD 27.97~116.96 mg/L, BOD 4.84~29.29 mg/L, TSS 25.58~141.02 mg/L, T-N 1.80~4.42 mg/L, T-P 0.07~1.00 mg/L의 오염물질 농도범위로 산정되

었고, 평균값은 COD 63.96 mg/L, TSS 61.29 mg/L, BOD 13.46 mg/L, T-N 3.41 mg/L, T-P 0.42 mg/L의 순으로 나타났다.

산정된 도로와 주차장의 EMC를 비교하면 모든 오염물질에 대해 주차장보다 도로지역의 EMC가 높은 것으로 산정되었으며, 특히 COD와 TSS의 EMC 차이가 큰 것으로 분석되었다(Fig. 4). 이는 도로지역에서 자동차 운행량이 주차장지역보다 지속적이고 많기 때문에 단위면적당 오염물질의 축적량이 더 많고 축적시간이 더 빨라 EMC가 높게 산정되는 것으로 판단된다.

3.3. 비점오염원 발생부하원단위

본 연구에서는 연평균 강우량 자료에 조사지점의 과거 10년간 일평균강우자료를 이용하였으며 유출계수는 강우시 유출된 양을 실측하여 각 강우사상별로 산정된 유출율을 사용하였다. 기본오염물질 항목으로 원단위를 산정하였으며, 이는 각 토지이용과 지역적 특성을 고려하기 위해 국내 및 국외 원단위와 비교분석 하였다.

Table 4에 도로와 주차장지점의 각 오염물질 항목에 대한 강우분석을 통해 산정한 10년평균일강우량, 1 mm이상 10년평균일강우량, 10 mm이상 10년평균일강우량을 고려하여

Table 3. Estimated EMCs for the rainfall events

(Unit : mg/L)

	Event date	COD	BOD	TSS	TN	TP
Road	2007.09.14	36.79	6.14	65.09	3.54	0.20
	2007.09.27	85.82	13.86	73.67	2.48	0.05
	2007.10.19	155.95	18.62	190.95	4.12	0.51
	2007.11.23	213.57	21.47	356.86	7.79	0.70
	2008.05.18	58.48	16.49	111.47	4.57	0.72
	2008.06.02	84.47	18.71	117.86	3.19	0.42
	2008.06.08	155.27	21.03	443.43	9.11	0.85
	2008.06.18	52.50	11.18	108.24	2.24	0.17
Parking lot	2007.09.27	34.97	4.84	25.58	1.80	0.07
	2007.10.19	63.59	14.34	41.56	2.86	0.20
	2007.11.23	116.96	11.70	141.02	2.77	0.64
	2008.04.09	69.60	18.86	40.74	3.19	0.57
	2008.04.22	78.86	9.43	57.38	4.10	1.00
	2008.05.18	83.17	29.29	102.67	4.21	0.32
	2008.06.02	27.97	5.69	36.71	3.88	0.33
	2008.06.08	36.58	13.52	44.77	4.42	0.22
	2008.06.18	52.50	11.18	108.24	2.24	0.17

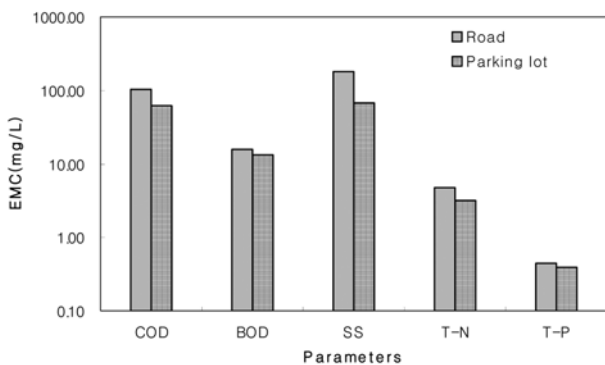


Fig. 4. Averaged EMCs at road and parking lot sites.

평균 비점오염원 발생부하원단위를 나타내었다. 10년평균 강우량을 사용하여 산정한 오염물질의 원단위는 도로지역의 경우 COD 331.17 kg/km²·day, BOD 50.20 kg/km²·day, TSS 580.13 kg/km²·day, T-N 14.68 kg/km²·day, T-P 1.43 kg/km²·day으로 산정되었으며 주차장지역은 COD 186.59 kg/km²·day, BOD 39.22 kg/km²·day, TSS 199.15 kg/km²·day, T-N 9.70 kg/km²·day, T-P 1.16 kg/km²·day으로 산정되었다.

오염물질 항목 중 유기물에 대한 원단위의 경우 COD/BOD가 도로지역이 평균 6.6, 주차장지역이 4.8로 COD가 상대적으로 매우 크다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 도로나 주차장으로부터 유입되는 유기물이 난분해성 비율이

높다는 특성을 나타낸다.

본 연구에서 산정된 원단위를 비교해 보면 도로지역이 주차장지역보다 크며, 특히 TSS의 경우 약 3배정도의 차이를 나타내었다. 이는 같은 도시지역에서 유사한 불투수 특성을 갖는다 하더라도 이용목적, 대상 오염물질에 따라 원단위에서 큰 차이를 보일 수 있음을 나타낸다.

또한 본 연구를 통해 산정된 원단위를 환경부 수계총량관리기술지침에 제시된 원단위(Table 1)와 비교해 보면 도로의 BOD, T-P 원단위는 상대적으로 작게, T-N은 크게 산정되었고 주차장의 원단위는 모든 항목에서 작은 것으로 나타났다. 미국과 일본 도시지역의 평균원단위 중 TSS 원단위만 본 연구의 주차장 원단위와 비슷하거나 높게 산정되었을 뿐 모든 항목에서 낮은 값을 나타내었다. 특히 도로의 TSS 원단위는 미국과 일본 지역의 원단위에 비해 약 2배 이상 높게 산정되었다(Table 5, Table 6).

이와 같이 각 지역에 따라 같은 토지이용을 나타내더라도 그 원단위 값은 큰 차이를 나타내는 것을 알 수 있으며, 같은 도시지역의 경우에 도로 및 주차장같이 이용 목적이 다른 지역에 대해서도 원단위가 크게 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 산정방법 역시 원단위 산정에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 과거 환경부의 원단위 산정 시 10 mm 이상 누적강우량에 대해서 원단위 산정을 하였으나, 본 연구지역인 도시지역 중 높은 불투수율을 가지는 도로와 주차장의 경우 적은 양의 강우에도 유출이 되는 것

Table 4. Variations of unit loads according to the rainfall

(Unit : kg/km²·day)

	Rainfall	COD	BOD	TSS	TN	TP
Road	10 years average rainfall	331.17	50.20	580.13	14.68	1.43
	10 years average rainfall above 1 mm	327.27	49.61	573.30	14.51	1.41
	10 years average rainfall above 10 mm	289.18	43.84	506.57	12.82	1.25
Parking lot	10 years average rainfall	186.59	39.22	199.15	9.70	1.16
	10 years average rainfall above 1 mm	184.40	38.76	196.81	9.59	1.14
	10 years average rainfall above 10 mm	162.93	34.25	173.90	8.47	1.01

Table 5. Nonpoint pollutant unit loads in USA (NFWMD, 1994; Novotny and Olem, 1997)

Location	Land use (kg/km ² · day)	BOD	TSS	TN	TP	Lead
Florida	Low density residential	2.71	8.60	1.36	0.14	-
	Multi-family residential	12.93	105.67	2.17	0.60	-
	Commercial	16.55	180.11	2.91	0.63	-
	Highway	26.84	301.22	1.92	0.77	-
	Industrial	14.37	213.73	3.05	1.46	-
	Open land	0.95	5.96	0.71	0.05	-
	Wetlands	4.27	7.46	1.50	0.07	-
	Pasture	4.56	181.53	1.72	0.15	-
	Agriculture	4.92	613.26	4.81	0.29	-
Wisconsin, Milwaukee-urban land use	Woodland	1.38	17.63	0.85	0.04	-
	Freeways	-	268.27	-	0.29	1.36
	Industrial	-	262.25	-	0.41	0.74
	Commercial	-	262.25	-	0.41	0.74
	Parking lots	-	124.14	-	0.21	0.26
	High density residential	-	133.45	-	0.31	0.25
	Medium density residential	-	59.19	-	0.16	0.06
	Low density residential	-	3.02	-	0.01	0.00
	Parks	-	0.82	-	0.01	0.00

Table 6. Nonpoint pollutant unit loads in Japan (Yoshida and Tamoto, 2006)

Research organization	Research area	COD _{Mn}	BOD	TSS	T-N	T-P
Saito and Okazawa	Middle-size city	9.32	52.33	201.37	1.23	0.44
	Large-size city	27.95	45.48	153.97	3.86	0.36
Environment agency	Kitakyushu city	103.56	165.75	654.79	9.18	1.78
	Kobe city	56.99	46.03	357.26	9.37	1.59
	Yamagata city	24.66	27.95	247.67	4.82	0.82
	Chiba city	15.07	16.16	28.77	5.23	0.25
Public works research institute	Kobe city	43.56	45.75	310.68	6.33	0.52
		27.67	11.23	206.85	3.04	0.25
Japan institute of wastewater engineering technology	Shiga town	14.52	10.68	41.37	2.33	0.52
	Otsu city	9.32	6.58	57.53	1.75	0.19
	Chino city	60.82	43.01	119.18	10.85	0.82
	Okaya city	34.52	23.84	386.30	3.04	0.74
	Abiko city	12.33	9.86	50.14	3.18	0.25
	Ushiku city	11.78	7.67	86.03	1.37	0.16
	Tsukuba city	19.45	14.52	126.85	2.14	0.22
Average		31.43	35.12	201.92	4.51	0.59

을 현장조사 결과 확인할 수 있었다. 0.5 mm 단위로 측정이 이루어진 강우량계의 값과 실제 유출현상을 비교해본 결과 강우패턴에 따라 차이를 보이지만 일반적으로 1 mm 정도의 누적강우량이 측정될 때 대부분의 경우 도로 및 주차장에서 유출이 발생하는 것을 알 수 있었다. 따라서 도로 및 주차장지역에 대한 비점오염원 발생부하원단위 산정 시 연평균강우량 혹은 1 mm 이상 누적강우량을 사용하여 원단위를 산정하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

한 지역을 대표하는 원단위를 산정하기 위해서는 조사기간 강우의 각 강우계급별 분포를 고려하여 다량의 실측자료를 확보해야 원단위를 도출할 수 있다. 본 연구는 각 강우계급별로 조사를 실시하였으나 총 조사 횟수가 8~9회로 통계적 원단위산정에는 다소 한계가 있다. 현재 정부에서는 환경기초조사사업으로 2007년부터 토지피복분류별 비점오

염원 장기모니터링을 실시하고 있으며, 이를 토대로 토지피복별 원단위 산정이 이루어질 계획이다. 향후 이 결과와 더불어 본 연구지역에서의 추가적인 자료를 이용하여 보다 신뢰성 있는 원단위를 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 용인시 도로 및 주차장에서 강우에 따른 오염물질의 EMC 추정을 통해 배출부하량을 산정하고, 해당 토지이용에 대한 비점오염부하량 원단위를 제시할 목적으로 수행되었으며 그 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 용인시 도시지역의 도로 및 주차장지역에 대한 강우유출수의 농도를 분석한 결과 강우초기에는 대부분의 오염물질의 농도가 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있었

다. 강우유출 후 30~60분까지 오염물질의 농도가 급격히 감소하여 강우초기 60분 내에 오염물질의 농도가 초기농도에 비해 약 1.5~4.2배 감소되었으며, 도로지역이 주차장지역보다 감소율이 큰 것으로 나타났다.

- 2) EMC는 강우사상에 따라 큰 차이를 보이지만 도로지역은 평균적으로 COD 105.36 mg/L, BOD 15.94 mg/L, TSS 183.45 mg/L, T-N 4.63 mg/L, T-P 0.45 mg/L, 주차장지역은 COD 62.69 mg/L, BOD 13.20 mg/L, TSS 66.52 mg/L, T-N 3.28 mg/L, T-P 0.39 mg/L로 모든 항목에 대해서 도로지역이 주차장지역에 비해서 EMC가 높게 산정되었다. 또한 유기물의 경우 분해가 어려운 COD가 BOD에 비해 평균적으로 도로에서 6.6배, 주차장에서 4.8배 더 큰 것으로 산정되었다.
- 3) 10년 연평균강우량을 사용한 원단위는 도로지역의 경우 COD 331.17 kg/km²·day, BOD 50.20 kg/km²·day, TSS 580.13 kg/km²·day, T-N 14.68 kg/km²·day, T-P 1.43 kg/km²·day로 산정되었으며, 주차장지역은 COD 186.59 kg/km²·day, BOD 39.22 kg/km²·day, TSS 199.15 kg/km²·day, T-N 9.70 kg/km²·day, T-P 1.16 kg/km²·day로 산정되었다. 본 연구의 원단위는 도로에서 주차장보다 더 크게 산정되었으며, 국내 원단위보다는 낮고 대부분의 국외 원단위보다 높게 나타났는데, 이는 토지이용 및 지역특성을 반영한 원단위 설정이 필수적임을 나타낸다.
- 4) 도로나 주차장과 같은 불투수 지역에서는 누적강우량이 1 mm 정도에서도 유출이 일어나는 것으로 관측되었다. 따라서 적어도 지역의 비점오염원 원단위를 설정하는데 있어 일률적으로 과거 10년 연평균강우량 10 mm 이상의 조건을 사용하는 것보다는, 강우의 유출특성에 따라 실제 유출이 일어나는 강우량을 사용하는 방법도 고려해 볼 필요가 있다.

사 사

본 연구는 경기지역환경기술개발센터의 2007년도 연구개발사업(07-1-30-74) 지원에 의해 이루어진 것이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 환경부(2004). 4대강 비점오염원관리종합대책.
- 환경부(2008a). 제2단계 수계오염총량관리기술지침.
- 환경부(2008b). 2007 하수도통계.
- Charbeneau, R. J. and Barrett, M. E. (1998). Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads. *J. of Water Environ. Research*, **36**(1), pp. 1295-1302.
- Kim, L. H., Ko, S. O., Jeong, S., and Yoon, J. (2007). Characteristics of washed-off pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm. *Sci Total Environ.*, **376**, pp. 178-184.
- Northeast Florida Water Management District (1994). *St. Marks and Wakulla Rivers Resource Assessment and Greenway Protection Plan*. Appendix 4.
- Novotny, V. and Olem, H. (1997). *Water Quality: Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution*, John Wiley, New York.
- Sansalone, J. J. and Buchberger, S. G. (1997). Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water. *J. of Environ. Eng.*, **123**(2), pp. 134-143.
- Yoshida, T. and Tamoto, N. (2006). Present status and estimation method of pollutant load in wet weather flow from urban areas. *Proc. of the 10th Japanese-German Workshop on Waste Water and Sludge Treatment*, Berlin, Germany, pp. 345-353.