

교통관련 토지이용에서의 강우계급별 EMC 산정

이 소 영* / Marla C. Maniquiz* / 최 지 연** / 김 이 형***

Determination of EMCs for Rainfall Ranges from Transportation Landuses

Lee, So Young* / Marla C. Maniquiz* / Choi, Ji Yeon** / Kim, Lee-Hyung***

요약 : 비점오염원에 의한 4대강의 오염부하율은 2004년 기준으로 22~37 %로 나타났으며, 2020년에는 60 % 이상으로 증가할 것으로 예상되고 있다. 이는 토지이용의 고도화에 따른 비점오염물질의 유출이 증가하기 때문이며, 지속적인 점오염원 관리와 더불어 비점오염원 관리가 이루어지지 않을 시에는 하천의 수질개선을 기대할 수 없다. 따라서 환경부는 수질오염총량관리제를 도입하여 수생태계의 입장에서 수질개선 정책을 펼치고 있으며, 비점오염원 관리에 관심을 쏟고 있다. 이러한 비점오염원은 강우시 발생되어 유역의 특성 및 다양한 강우인자들의 영향을 받아 불확실성이 매우 크기에 오염물질별 EMC 및 부하량 산정이 매우 어렵다. 따라서 본 연구는 모니터링 지점으로 국도와 주차장을 선정하여 최근 3년 동안 모니터링을 수행하였으며, 오염물질별 EMC산정과 함께 모니터링 지점에 대한 강우특성을 파악하였다. 또한 산정된 EMC를 강우계급별로 나누어 EMC를 재 산정하였다. 그 결과, TSS의 평균 EMC는 강우계급이 높아질수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 대부분 10 mm 이하의 강우에서 유출되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 국내의 강우특성이 반영된 EMC를 산정하여 제시함으로써 비점오염저감시설의 효율적 규모 산정에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 비점오염원, 교통관련 토지이용, EMC, 강우계급

Abstract : The contribution of pollutant loadings from non-point source (NPS) to the four major rivers in Korea exceeded 22~37 % of the total loadings in 2004 and is expected to reach 60 % in 2020. Most of NPS loadings are coming from urban areas, especially from paved areas. Because of high imperviousness rate, many types of NPS pollutant are accumulating on the surface during dry periods. The accumulated pollutants are wash-off during a storm and highly degrading the water quality of receiving water bodies. For this reason, the Korean Ministry of Environment (MOE) developed the Total Maximum Daily Load (TMDL) program to protect the water quality by managing the point source and NPS loadings. NPS has high uncertainties during a storm because of the characteristics of rainfall and watershed areas. The rainfall characteristics can affect on event mean concentrations (EMCs), mass loadings, flow rate, etc. Therefore, this research was performed to determine EMCs for rainfall ranges from transportation landuses such as road and parking lot. Two sites were monitored over 45 storm events during the 2006/06 through 2008/10 storm seasons. Mean TSS EMCs decrease as rainfall ranges increase and highest at less than 10mm rainfall. The results of this study can be used to determine the efficient scale of BMP facility considering specific rainfall range.

Keywords : Nonpoint sources, Transportation land-uses, EMC(Event Mean Concentration), Rainfall ranges

1. 서 론

환경부는 2000년대에 들어 수질오염총량관리

제의 도입 및 방류수 규제 강화 등의 정책을 도입하여 하천과 호소의 수질개선에 노력을 기울이고 있다. 그러나 이러한 환경부의 노력에도 불구하고

+ Corresponding author : leehyung@kongju.ac.kr

* 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 박사과정

** 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 석사과정

*** 정회원 · 교신저자 · 공주대학교 건설환경공학부 교수

하고 개발사업 등으로 인한 유역에서의 토지이용 고도화는 하천의 생태계 자정능력을 파괴하는 비점오염물질의 유입을 가속화 시키고 있어 수질개선에 큰 어려움을 겪고 있다(김이형과 이선하, 2005; 김이형 등, 2006). 토지이용의 고도화로 인해 수계로 유입되는 비점오염물질은 주로 난분해성 물질과 유해물질인 것으로 보고되고 있으며, 생물분해 불가능한 유기물이 갈수록 증가하는 것으로 나타났다(환경부, 2006). 비점오염원에서 발생하는 비점오염물질은 다양한 토지이용에서 발생하는 불특정 오염물질로 건기시 차량의 운행과 인간의 활동에 의하여 다량의 입자상 물질, 중금속, 각종 유해화학물질 등이 축적되어 있다가 강우시 강우유출수와 함께 유출되어 수생태계에 위해를 끼치게 된다. 특히 도시지역의 비점오염원은 불투수층이 매우 높은 다양한 토지이용의 집합체로 높은 포장율로 인하여 높은 강우유출율과 최대유출율을 증가시키며, 최대유출율이 발생하는 침투시간을 앞당기게 되어 집중호우시 도시홍수의 원인으로 작용하기도 한다(Becher et al., 2000; Charbeneau와 Barrett, 1998). 따라서 강우시 발생하는 비점오염원에 의한 주변의 수계 및 토양의 환경피해에 관한 관심이 대두되고 있으며, 토지이용의 지목변경을 가져오는 모든 개발사업은 비점오염원의 관리를 명시하고 있다. 국토해양부, 농림수산부, 산림청 등의 정부부처는 비점오염원 관리를 위하여 법령, 편람, 지침, 시행령, 시행규칙 등의 개정과 더불어 고시 등을 통해 개발사업과 관련된 비점오염원 관리를 시급히 요구하고 있다(환경부, 1999; 환경부, 2004). 또한 환경부는 4대강 유역에 비점오염저감시설을 설치하여 2005년부터 시범사업을 진행중에 있으며, 토지계의 오염원단위 개정을 위하여 환경기초조사사업을 통해 2015년까지 수행되는 장기모니터링을 수립하여 시행하고 있다.

비점오염원은 강우시 발생되어 강우 및 유역의 특성에 영향을 받아 불확실성이 크기에 오염물질별 부하량 및 원단위 산정이 매우 어렵다. 따라서 불확실성을 줄이기 위해서는 무엇보다도 장기간에

걸친 모니터링을 통해 기초자료를 확보하여야 하며, 다양한 강우인자들의 영향을 받는 비점오염원의 특성을 고려하여 비점오염물질 유출특성 파악, 저감대상 오염물질 선정, EMC를 이용한 유출부하량 산정 등의 연구와 더불어 국내의 강우특성연구가 이루어져야 한다. 따라서 본 연구는 강우특성에 따른 오염물질별 EMC를 산정하기 위하여 교통과 관련된 토지이용인 국도와 주차장 지점을 대상으로 최근 3년 동안 모니터링을 수행하였으며, EMC 산정에 앞서 모니터링 대상지점의 강우특성을 파악하였다. 또한 산정된 EMC를 활용하여 강우량에 대하여 계급별로 나누어 EMC를 재산정하였다. 이러한 연구 결과는 교통관련 토지이용지역에서 유출되는 비점오염물질의 저감 정책 마련시 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 국내의 강우특성이 반영된 EMC를 산정하여 제시함으로써 비점오염저감시설의 효율적 규모 산정에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구방법

2.1 모니터링

모니터링은 교통관련 토지이용에 따른 강우유출수 특성을 평가하기 위하여 2006년 6월부터 2008년 10월까지 수행되었다. 모니터링 수행에 앞서 노면에서 유출되는 강우유출수가 차질될 수 있도록 각 지점의 배수로에 웨어(Weir)를 설치하였으며, 이러한 웨어를 통해 효율적인 유량측정과 수질채취가 이루어지도록 하였다. 모니터링 계획은 모니터링의 불확실성을 줄이기 위하여 환경부 비점오염원관리 업무편람(2006)의 모니터링 방안을 도입하여 수립하였으며, 각 지점별로 자동유량계(Automatic Flow Meter, Sigma 950)와 자동강우량계(Automatic Rainfall Gauge)를 현장에 설치하여 1분 단위로 모니터링 하였다. 또한 강우유출수의 수질 특성을 파악하기 위해 강우가 시작된 직후 첫 번째 수질샘플을 채취하였으며, 15분까지 5분 간격으로, 15분 이후 30분에 시료를 채취하였고, 1시간 이후에는 1시간 간격으로 유출이

Table 1. Monitoring sites

Monitoring Site	Location	Landuse	Area(m ²)	Pavement Type
Site 1	Road # 43, Yongin City, Kyunggido	Road	5,000	Asphalt
Site 2	Parking Lot, Yongin City, Kyunggido	Parking Lot	10,700	Asphalt

끝날 때까지 시료를 채취하였다(김이형과 강주현, 2004a, 2004b). 모든 수질시료는 웨어에서 채취되었으며, 입자상 물질, 유기물질, 영양염류 및 중금속 등의 수질분석을 실시하였다. 이외에도 유역면적, 강우 전 건기일수(Antecedent Dry Day, ADD), 총 강우량, 강우 지속시간, 강우강도, 평균 강우강도, 총 유출량을 조사하였으며, 포곡관측소의 강우자료를 이용하여 모니터링 대상 지점에 대한 강우특성을 분석하였다.

모니터링 지점은 경기도 용인시에 위치한 43번 국도와 용인시 삼가동 차량등록사업소내에 위치한 주차장을 선정하였으며, 모니터링 지점에 대한 자세한 현황은 Table 1에 정리하여 나타내었다. Site 1의 유역면적은 5,000 m²로, Site 2는 10,700 m²로 조사되었으며, 모니터링 지점의 위치는 Fig. 1에 나타내었다. 또한 두 지점의 포장 형태는 모두 아스팔트인 것으로 나타났으며, 노면의 상태는 모두 양호한 것으로 나타났다.

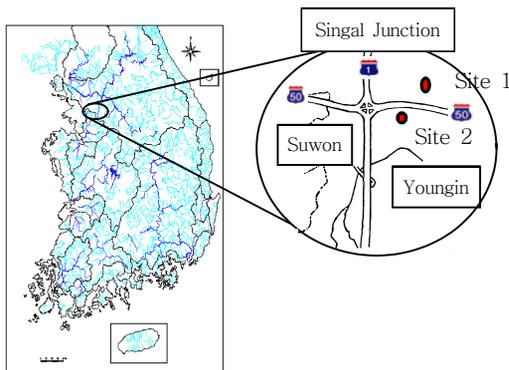


Fig. 1. Monitoring locations

2.2 EMC 산정

비점오염원은 점오염원과 다른 유출수의 농도 및 강우 유출율을 가지고 있기 때문에 정확한

부하량 산정을 위해서는 강우시 많은 모니터링 자료(강우량, 유출율 및 농도 등)를 이용하여 유량 가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 산정해야 한다(Irish et al, 1998; Marsalek, J. 1978). 또한 교통관련 토지이용에서 유출되는 오염물질의 평균농도는 다양한 토지이용에 의해 결과가 다르게 나오기 때문에 오염물질 부하량 산정에 있어 중요하면서도 필수적인 연구항목이다(Kim, 2003). 따라서 본 연구에서는 식 (1)을 이용하여 각 지점별로 EMC를 산정하였으며, 산정된 EMC에 대한 통계적 대표성을 찾기 위하여 SYSTAT 버전 9.0을 이용하여 통계분석을 실시하였다. 또한 강우사상별로 산정된 EMC를 강우량에 대하여 계급별(10 mm 이하, 10 mm 초과 20 mm이하, 20 mm 초과 30 mm이하, 30 mm 초과)로 분류하여 통계분석을 실시하였다. 여기서 $C(t)$ 와 $Q_{TRu}(t)$ 는 강우 지속시간 t 에 대한 오염물질의 농도와 유출율을 의미한다.

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

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

3. 연구결과 및 고찰

3.1 모니터링 지점의 강우사상 분석

비점오염원은 다양한 강우인자들의 영향을 받아 유출되는 오염물질의 양과 농도에 많은 차이를 나타내고 있기에 비점오염원저감을 위한 기술개발은 국내의 강우특성연구가 선행되어야한다. 따라서 본 연구는 최근 30년간 일강우량 자료를 이용

하여 모니터링 지점인 용인시의 연간 강우량을 분석하였다. 그 결과, Fig. 2에 나타난 것과 같이 년 평균 강우량은 1,323.1 mm로 나타났으며, 년 강우량은 대체적으로 1,000~1,500 mm 사이의 범위를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 3년 동안 모니터링 지점에서 발생된 전체 강우량과 모니터링 강우사상에 대한 강우량 확률분포를 분석하여 Fig. 3에 나타내었다. 그 결과 Site 1과 2는 최근 3년 동안 대부분 10 mm 이하의 강우가 발생된

것으로 나타났으며, 전체 강우사상의 약 68 %를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 두 지점 모두 1~80 mm의 강우사상을 대상으로 모니터링이 수행되었으며, Site 1은 대부분 10~20 mm와 50 mm의 강우량이 발생되었을 때 모니터링이 수행되었으며, Site 2는 주로 10~20 mm의 강우가 발생되었을 때 모니터링이 수행된 것으로 조사되었다.

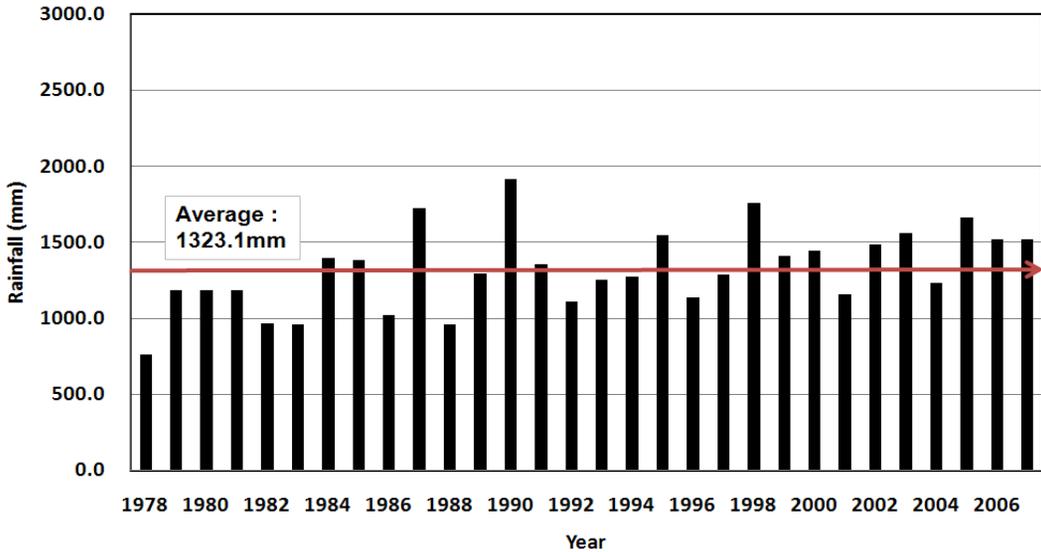


Fig. 2. Yearly rainfall during last 30 years at monitoring site

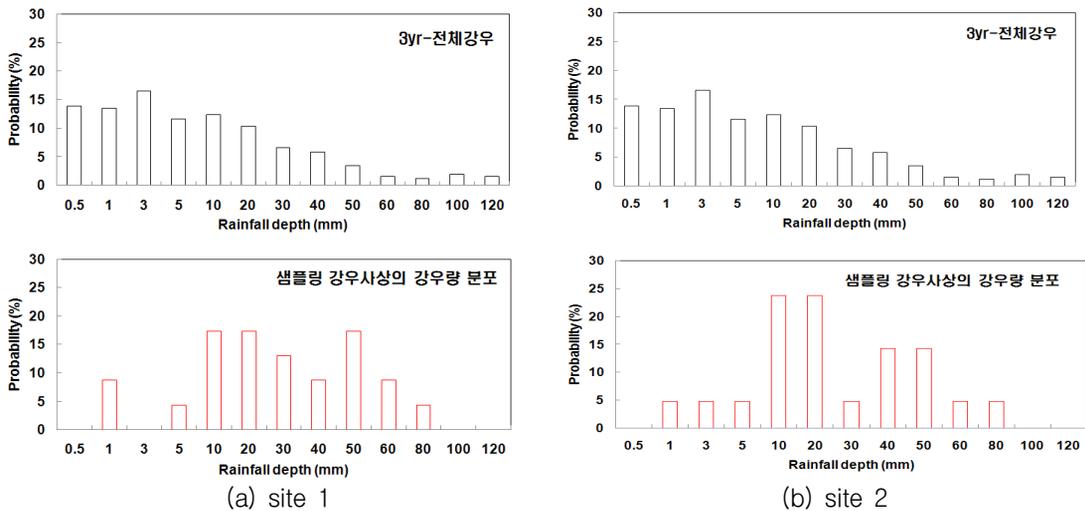


Fig. 3. Occurrence frequency of rainfall ranges at monitoring site

3.2 모니터링 결과 및 유출특성

모니터링은 Site 1의 경우 총 23회의 모니터링이 실시되었으며, Site 2는 총 22회의 모니터링이 수행되었다. Table 2는 각 지점별로 강우사상에 대한 모니터링 결과를 나타낸 것으로 강우 전 건기일수의 범위는 1~33일, 전체 강우량은 1.5~84.0 mm, 평균 강우강도는 0.21~16.17 mm/hr로 다양한 범위를 나타내는 것으로 분석되었다. Fig. 4는 Site 1 지점에서 2008년 6월 2일에 유출된 강우유출수의 유출경향을 나타낸 수리수문농도곡선으로 입자상 물질, Oil & Grease 및 유기물질에 대하여 나타낸 것이다. 두 지점 모두 교통과 관련된 토지이용으로 강우초기에 고농도의 입자상 물질과 유기물질이 유출되었으며, 포장지역에서 나타나는 초기강우 현상을 나타내는 것으로 분석되었다(김이형과 강주현, 2004a).

3.3 지점별 EMC 산정

각 지점별 모니터링 결과를 이용하여 강우사상별 EMC를 산정하였으며, Fig. 5는 산정된 EMC를 통계 분석하여 나타낸 것이다. 그 결과, Site 1의 경우, TSS의 평균 EMC는 90.9 mg/L를 나타내었으며, COD_{Mn}의 경우 35.0 mg/L를 나타내었다. 또한 TSS의 95% 신뢰구간은 42.7~139.1

mg/L를 나타내었으며, COD_{Mn}는 26.6~43.4 mg/L의 범위를 나타내었다. Site 2 지점의 TSS 평균 EMC는 49.8 mg/L를 나타내었으며, COD_{Mn}의 경우 29.2 mg/L를 나타내었다. TSS의 95% 신뢰구간은 30.6~69.0 mg/L를 나타내었으며, COD_{Mn}는 23.5~35.0 mg/L의 범위를 나타내었다. 두 지점의 평균 EMC를 비교한 결과, 모든 항목에서 Site 1의 EMC가 Site 2 보다 높은 것으로 나타났는데 이는 Site 1이 Site 2에 비해 유역면적이 작지만 차량이동이 높은 토지이용(국도)이기에 Site 2보다 많은 양의 오염물질이 유출된 것으로 판단된다. 이렇게 두 지점 모두 포장지역으로 분류되는 토지이용에도 불구하고 토지이용의 특성에 따라 농도차를 나타내고 있어 효율적인 비점오염원관리를 위해 세부적인 토지이용의 분류가 필요한 것으로 판단된다.

3.4 강우계급별 EMC 산정

Table 3과 4는 3.3절에서 산정된 EMC를 강우계급별로 분류하여 통계분석을 실시하여 나타낸 것이다. 그 결과, Site 1에서 산정된 강우계급별 TSS의 평균 EMC는 10 mm 이하의 강우계급에서 142.30 mg/L를 나타내었으며, 10~20 mm의 강우계급은 83.48 mg/L, 20~30 mm은 29.02 mg/L, 그리고 30 mm 이상의 강우계급에서는

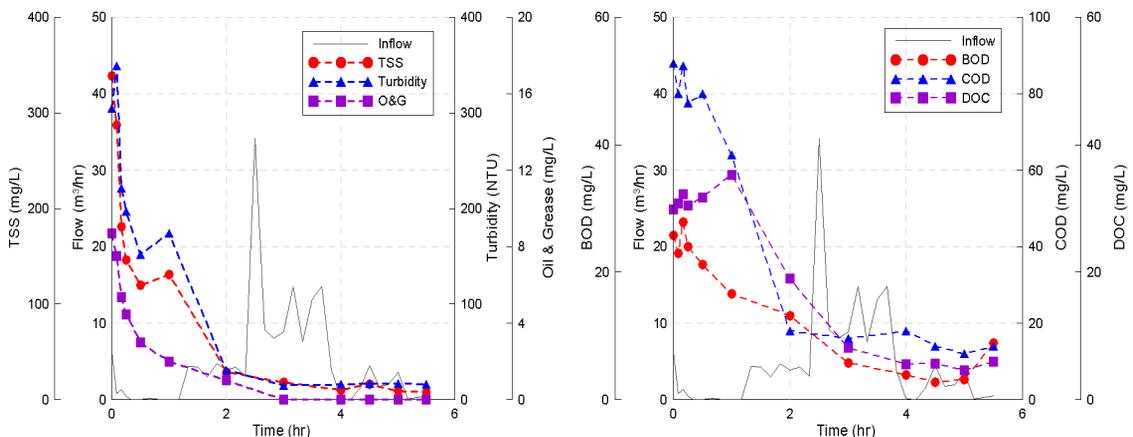
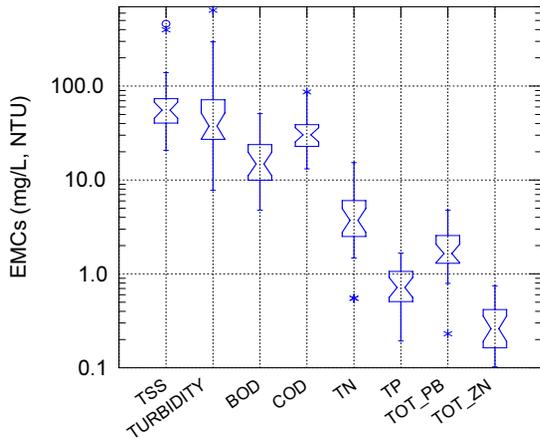


Fig. 4. Hydro- and polluto-graphs at site 1 (June 2, 2008)

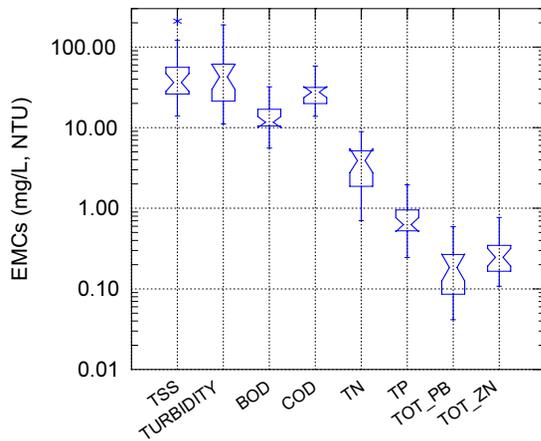
Table 2. Event tables for monitored events

Site	Site	ADD (day)	Total Rainfall (mm)	Runoff Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity (mm/hr)
Site 1	2006-06-29	2	11.5	5	2.30
	2006-08-17	18	6.5	2	3.25
	2006-08-26	3	48.5	3	16.17
	2006-10-22	33	6.0	4	1.50
	2006-11-05	13	7.0	1	7.00
	2007-02-13	4	13.0	8	1.63
	2007-03-04	1	9.0	8	1.13
	2007-04-13	1	5.0	3	1.67
	2007-04-30	10	13.5	11	1.23
	2007-05-16	4	50.5	11	4.59
	2007-05-24	5	43.0	9	4.78
	2007-06-21	6	16.0	14	1.14
	2007-06-28	3	4.0	3	1.33
	2007-07-19	2	55.5	13	4.27
	2007-09-14	4	84.0	11	7.64
	2007-11-23	2	1.5	7	0.21
	2008-04-06	3	2.0	2	1.11
	2008-04-09	3	16.0	14	1.12
	2008-05-18	13	50.5	11	4.59
	2008-06-02	4	27.0	6	4.50
2008-06-18	4	33.0	7	4.71	
2008-09-01	8	19.0	8	2.35	
2008-10-22	11	3.5	3	1.06	
Site 2	2006-06-21	5	7.5	4	1.88
	2006-06-29	2	11.5	5	2.30
	2006-08-17	18	6.5	2	4.33
	2006-08-26	3	48.5	3	15.16
	2006-10-22	33	6.0	4	1.43
	2006-11-05	13	7.0	1	5.38
	2007-02-13	4	13.0	8	1.67
	2007-03-04	1	9.0	8	1.17
	2007-04-13	1	5.0	3	2.00
	2007-04-30	10	13.5	11	1.25
	2007-05-16	4	50.5	11	4.59
	2007-06-21	6	16.0	14	1.14
	2007-07-09	5	9.5	6	1.64
	2007-07-19	2	55.5	13	4.34
	2007-11-23	2	1.5	7	0.22
	2008-03-13	7	2.0	1	3.33
	2008-04-06	3	2.0	2	1.11
	2008-04-09	3	16.0	14	1.12
	2008-05-18	13	50.5	11	4.59
	2008-05-28	6	41.0	7	5.69
2008-09-01	8	19.0	8	2.35	
2008-10-22	11	3.5	3	1.06	



Parameter (mg/L, NTU)	No. of Cases	Mean	95% CI Upper	95% CI Lower
TSS	23	90.9	139.1	42.7
Turbidity	23	90.6	150.9	30.2
BOD ₅	23	18.0	23.4	12.7
COD _{Mn}	23	35.0	43.4	26.6
TN	23	4.53	5.93	3.14
TP	23	0.80	0.97	0.63
Total Pb	23	1.99	2.47	1.52
Total Zn	23	0.32	0.40	0.23

(a) Site 1



Parameter (mg/L, NTU)	No. of Cases	Mean	95% CI Upper	95% CI Lower
TSS	22	49.8	69.0	30.6
Turbidity	22	55.9	77.7	34.1
BOD ₅	22	14.4	17.4	11.3
COD _{Mn}	22	29.2	35.0	23.5
TN	22	3.97	4.95	2.99
TP	22	0.76	0.94	0.57
Total Pb	22	0.21	0.28	0.15
Total Zn	22	0.29	0.38	0.20

(b) Site 2

Fig. 5. EMC statistics for each site

40.01 mg/L를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 COD_{Mn}의 평균 EMC는 10 mm 이하의 강우계급에서 46.25 mg/L, 10~20 mm는 32.24 mg/L, 20~30 mm은 20.01 mg/L, 그리고 30 mm 이상의 강우계급에서는 24.96 mg/L를 나타내는 것으로 분석되었다. 대부분의 강우계급은 6~9회의 모니터링 결과가 반영되었으나, 20~30 mm 강우계급의 경우 1회의 모니터링 결과만 반영되었기에 다른 강우계급과 비교하기에 다소 무리가 있을 것으로 판단된다. 따라서 20~30 mm 강우계급을 제외하고 강우계급별로 평균 EMC를 비교한 결과, 대부분의 오염물질은 강우계급이 높아질수록 평균 EMC가 감소하는 경향을 나타내고 있으며,

다른 강우계급에 비해 10 mm 이하의 강우에서 많은 양의 오염물질이 유출되는 것으로 분석되었다. 또한 Site 2에서 산정된 강우계급별 TSS의 평균 EMC는 10 mm 이하의 강우계급에서 66.61 mg/L를 나타내는 것으로 분석되었으며, 10~20 mm의 강우계급은 34.0 mg/L, 그리고 30 mm 이상의 강우계급에서는 31.80 mg/L를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 COD_{Mn}의 평균 EMC는 10 mm 이하의 강우계급에서 34.54 mg/L, 10~20 mm은 22.38 mg/L, 30 mm 이상의 강우계급에서 25.73 mg/L를 나타내는 것으로 분석되었다. Site 2도 Site 1의 결과와 마찬가지로 오염물질의 평균 EMC는 강우계급이 높아질수록 감소하는 경향

을 나타내었으며, 대부분 10 mm 이하의 강우에서 많은 양의 오염물질이 유출되는 것으로 나타났다. 강우계급별 EMC는 국내 강우의 특성에 따라 오염물질별 유출경향을 파악할 수 있다는 장점이

있으며, 이를 통해 향후 비점오염저감시설의 규모 산정시 오염물질별 특정 강우계급을 활용할 수 있는 방안을 제시할 수 있어 효율적 규모 산정에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Statistics of EMCs for each rainfall ranges at site 1

Rainfall Ranges	Parameters (mg/L, NTU)	No. of Cases	Minimum	Maximum	Mean	95% CI Upper	95% CI Lower	S.D.
≤ 10 mm	TSS	9	32.83	459.90	142.30	268.32	16.28	163.94
	Turbidity	9	7.76	642.56	138.51	298.20	-	207.76
	BOD ₅	9	10.29	50.93	26.73	38.11	15.35	14.80
	COD _{Mn}	9	13.13	86.76	46.25	66.22	26.28	25.98
	TN	9	1.86	15.32	5.83	8.88	2.78	3.97
	TP	9	0.55	1.67	1.02	1.29	0.74	0.36
	Total Pb	9	0.23	4.75	2.03	3.08	0.98	1.37
	Total Zn	9	0.10	0.75	0.32	0.47	0.17	0.20
10~20 mm	TSS	6	20.73	139.35	83.48	132.89	34.07	47.08
	Turbidity	6	13.54	211.71	96.68	183.47	9.89	82.71
	BOD ₅	6	7.21	29.68	15.55	23.76	7.35	7.82
	COD _{Mn}	6	21.95	50.53	32.24	44.06	20.42	11.26
	TN	6	0.55	9.02	3.87	7.40	0.34	3.37
	TP	6	0.19	1.49	0.71	1.17	0.25	0.44
	Total Pb	6	0.79	3.59	2.12	3.20	1.04	1.03
	Total Zn	6	0.11	0.66	0.37	0.60	0.14	0.22
20~30 mm	TSS	1	29.02	29.02	29.02	29.02	29.02	-
	Turbidity	1	31.26	31.26	31.26	31.26	31.26	-
	BOD ₅	1	7.90	7.90	7.90	7.90	7.90	-
	COD _{Mn}	1	20.01	20.01	20.01	20.01	20.01	-
	TN	1	5.91	5.91	5.91	5.91	5.91	-
	TP	1	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	-
	Total Pb	1	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	-
	Total Zn	1	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	-
30 mm ≤	TSS	7	24.35	55.52	40.01	50.64	29.38	11.49
	Turbidity	7	17.31	57.66	32.19	44.37	20.01	13.17
	BOD ₅	7	4.78	17.34	10.48	14.23	6.73	4.06
	COD _{Mn}	7	17.61	31.00	24.96	29.65	20.26	5.08
	TN	7	1.48	6.48	3.24	4.78	1.71	1.66
	TP	7	0.30	1.10	0.59	0.86	0.31	0.30
	Total Pb	7	1.06	4.00	1.90	2.81	0.98	0.99
	Total Zn	7	0.11	0.62	0.29	0.47	0.11	0.20

Table 4. Statistics of EMCs for each rainfall ranges at site 2

Rainfall Ranges	Parameters (mg/L, NTU)	No. of Cases	Minimum	Maximum	Mean	95% CI Upper	95% CI Lower	S.D.
≤ 10 mm	TSS	11	22.27	209.72	66.61	103.86	29.36	55.45
	Turbidity	11	16.17	188.28	70.55	110.55	30.56	59.53
	BOD ₅	11	10.54	32.08	18.14	23.23	13.05	7.57
	COD _{Mn}	11	16.87	58.17	34.54	45.13	23.95	15.77
	TN	11	1.23	8.92	4.04	5.61	2.46	2.35
	TP	11	0.27	1.95	0.85	1.17	0.52	0.48
	Total Pb	11	0.04	0.59	0.22	0.32	0.11	0.16
	Total Zn	11	0.14	0.77	0.30	0.43	0.17	0.19
10~20 mm	TSS	6	13.93	52.42	34.00	51.13	16.88	16.32
	Turbidity	6	11.18	119.96	47.34	92.78	1.90	43.30
	BOD ₅	6	5.58	15.84	10.97	14.57	7.38	3.43
	COD _{Mn}	6	13.85	30.08	22.38	28.52	16.24	5.85
	TN	6	0.70	7.19	4.01	6.53	1.49	2.40
	TP	6	0.52	0.77	0.61	0.72	0.50	0.11
	Total Pb	6	0.06	0.45	0.21	0.35	0.06	0.14
	Total Zn	6	0.01	0.75	0.28	0.56	0.00	0.27
30 mm ≤	TSS	5	16.14	57.13	31.80	51.54	12.06	15.90
	Turbidity	5	15.32	48.97	33.90	50.16	17.63	13.10
	BOD ₅	5	7.66	13.70	10.15	13.38	6.92	2.60
	COD _{Mn}	5	16.69	37.05	25.73	35.47	15.98	7.85
	TN	5	1.36	6.53	3.78	6.44	1.12	2.14
	TP	5	0.25	1.48	0.74	1.35	0.13	0.49
	Total Pb	5	0.07	0.44	0.21	0.41	0.02	0.16
	Total Zn	5	0.13	0.44	0.28	0.44	0.12	0.13

4. 결 론

본 연구는 교통과 관련된 토지이용을 대상으로 모니터링 대상지점의 강우특성을 파악하였고, 강우사상별로 산정된 EMC 결과를 활용하여 강우계급별 EMC를 재산정하고자 하였으며, 이러한 목적으로 수행된 연구결과는 다음과 같다.

1) 모니터링 지점인 용인시의 30년간 강우량을 분석한 결과, 년평균 강우량은 1,323.1 mm로 나타났으며, 최근 3년 동안 대부분 10 mm 이하의 강우가 발생되었고 전체강우량의 약 68 %를 차지하는 것으로 나타났다.

2) 모니터링은 두 지점 모두 1~80 mm 강우사상을 대상으로 수행되었으며, Site 1은 대부분 10~20 mm와 50 mm, Site 2는 주로 10~20 mm의 강우가 발생되었을 때 모니터링이 수행된 것으로 조사되었다.

3) 강우사상별 EMC 산정결과, 두 지점의 평균 EMC는 차량의 이동이 높은 Site 1이 Site 2 보다 높은 것으로 나타났다. 두 지점 모두 포장지역으로 분류되는 토지이용에도 불구하고 토지이용의 특성에 따라 농도차를 나타내고 있어 효율적인 비점오염원관리를 위해 세부적인 토지이용의 분류가 필요한

것으로 판단된다.

- 4) 강우계급별 EMC를 산정한 결과, 두 지점 모두 TSS의 평균 EMC는 강우계급이 높아 질수록 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 대부분 10 mm 이하의 강우에서 유출되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 국내의 강우특성이 반영된 EMC를 산정하여 제시함으로써 비점오염저감시설의 효율적 규모 산정에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

김이형, 강주현 (2004a) 강우 시 발생하는 고속도로 유출수의 초기우수 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. 대한토목학회지, 26(2B), pp. 225-231.

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

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

환경부 (2006) 비점오염원관리 업무편람.

Becher, K.D., Schnoebelen, D.J., and Akers, K.K.B. (2000) Nutrients discharged to the Mississippi River from Eastern Iowa watershed, 1996-1997, J. of The American Water Resources Associa., 36(1), pp. 161-173.

Charbeneau, R.J., and Barrett, M.E. (1998) Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads, J. of Water Environmental Research, 70(7), pp. 1295-1302.

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.

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

- 논문접수일 : 09년 06월 07일
- 심사의뢰일 : 09년 06월 09일
- 심사완료일 : 09년 08월 18일