

포장지역내 비점오염물질의 유출특성

Washoff Characteristics of Nonpoint pollutants in Paved Areas

길경익* · 위승경** · 이상수*** · 박무종****

Gil, Kyung Ik* · Wee, Seung Kyung** · Lee, Sang Soo*** · Park, Moo Jong****

Abstract

During the dry periods, many types of pollutant are accumulating on the paved surface by vehicle activities and accumulated various pollutants are inflowing to the near watershed areas for the rainfall periods. Also, the metals, toxic chemicals and sediments originated from bridges could be strongly influenced to the watershed areas during the runoff. The result shows that the EMC ranges for 95% confidence intervals in a bridge land use are 10.12~128.09 mg/L for TSS, 6.07~21.15 mg/L for BOD, 2.10~6.70 mg/L for TN and 0.06~0.85 mg/L for TP.

key words : Event mean concentration (EMC), First flush, Nonpoint sources

1. 서 론

현재 수계에 영향을 미치는 오염원은 점오염원과 비점오염원으로 나누어 볼 수 있다. 이러한 점오염물질을 제거하기 위해 많은 연구와 기술개발이 이루어졌고 수질정책과 규제방안으로 적절히 처리 되어왔다. 그러나 강우로 인해 미처리된 상태로 인근 수계에 그대로 유출되는 비점오염물질은 수질오염에 심각한 원인이 되고 있는데도 체계적인 관리가 이루어지지 않고 있다. 이러한 비점오염물질의 중요성이 부각되면서 기존의 방류수 수질기준 중심의 수계관리에서 하천에서의 유량을 고려한 오염물질 총량 개념으로 수계를 관리하겠다는 내용의 오염총량관리제(Total Maximum Daily Load, TMDL)를 도입하였다(이 등, 2006; 김 등, 2005, 2004). 그래서, 환경부는 2002년도에 “비점오염원 관리대책 수립계획”을 마련하였으며, 2004년 6월에 관계기관 합동으로 ‘물관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책’을 발표하였다(환경부, 2004). 비점오염원 관리는 오염총량관리제의 성공적인 시행을 위하여 필수적으로 연구 및 관리해야 할 사항이다.

따라서, 본 연구는 도시 내 포장된 지역에서 유출되는 강우 유출수내 비점오염물질의 유출 특성을 파악하고자 수행되었다. 본 연구에서 산정된 유량가중평균농도(Event Mean Concentration : EMC)는 향후 포장지역의 비점오염원 연구에 있어서 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 재료 및 방법

2.1 모니터링 지점 및 방법

강우 및 유역특성에 의하여 오염물질 유출이 발생하는 비점오염원 연구는 모니터링이 중요하다. 모니터링 수행 전 효율적인 유량측정 및 수질시료의 채취를 위하여 웨어를 설치하였고, 강우 시작 전 현장에 대기하여 모니터링 준비를 완료하였다. 강우 시작 후 유량측정은 용기 포집에 의한 직접 측정법을 사용하여 집수 용기

* 정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 · 교수 · E-mail: kgil.snut.ac.kr
** 비회원 · 서울산업대학교 토목공학과 · 석사과정
*** 비회원 · 서울산업대학교 토목공학과 · 석사과정
**** 정회원 · 한서대학교 토목공학과 · 교수

(20 L)에 일정 시간동안 집수된 유출량을 10분 단위로 측정하였다. 또한 수질분석을 위한 수질 시료 채취는 강우유출수의 초기 강우현상을 파악하기 위하여 유출 발생이후 1시간 동안에는 5분에서 15분간격으로 모니터링을 수행하였고, 유출 1시간 이후부터는 1시간 간격으로 모니터링을 수행하였다. 채취된 시료는 즉시 강우 사상이 끝난 후 곧바로 실험실로 운반되어 입자상 물질, 유기물질, Oil & Grease, 영양물질 및 중금속 등의 항목으로 분류하여 실험이 수행되었으며, 각 항목별 측정 방법은 수질오염 공정시험법(환경부, 1995)과 Standard method (APHA et al., 1998)에 준하여 분석하였다. 모니터링 지점의 배수구역은 용인시 운학동 G 교량 상부지점의 아스팔트로 포장된 지역으로 면적은 1,922 m²이다.

2.2 강우 유출수의 EMC 산정

강우에 의해서 유출되는 오염물질의 부하량 산정시 이용되는 오염물질의 농도는 유량가중평균농도, 즉 EMC로 불리우며 식(1)과 같이 모니터링 결과를 이용하여 산정된다. EMC는 전체 강우 지속시간 T 시간 동안 유출된 전체 누적 오염물질의 양을 전체 유출량으로 나누어 계산할 수 있으며, 비점오염원에서의 평균 농도 산정시 중요하게 이용되고 있다. 여기서, $C(t)$ 와 $q_{run}(t)$ 는 강우지속시간 t 에 대한 오염물질의 농도와 오염물질의 농도와 유출율을 의미한다.

$$MC(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \cdot q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} q_{run}(t)} \quad (1)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 강우사상에 대한 모니터링 결과

2006년 6월부터 2007년 5월까지 총 8회의 모니터링에 대한 강우사상이 Table 1에 정리되어있다. 강우 전 건조일수(antecedent dry days, ADD)는 1~45일, 전체 강우량(total rainfall)은 6.0~60.5 mm, 강우 지속시간(runoff duration)은 3.0~11.4시간, 평균 강우강도(average rainfall intensity)는 1.2~12.1 mm/hr의 범위로 나타났다.

Table 1. Event table for monitored event

Event No.	Event date (mm/dd/yy)	ADD (days)	Total rainfall (mm)	Runoff duration (hr)	Avg. rainfall intensity (mm/hr)
E-1	06/22/06	5	7.5	5.6	1.3
E-2	06/29/06	2	13.5	6.2	2.2
E-3	08/17/06	18	6.5	3.0	2.2
E-4	09/05/06	8	11.0	4.2	2.6
E-5	10/22/06	45	6.0	5.0	1.2
E-6	03/04/07	1	33.5	11.4	2.9
E-7	04/30/07	9	16.5	3.9	4.2
E-8	05/17/07	4	60.5	5.0	12.1

3.2 유출 오염물질의 농도 특성

일반적으로 포장된 지역은 대부분 좁은 유역면적에 비해 높은 불투수율로 인하여 강우 시 다른 토지이용에 비해서 강우 유출량이 많고 지속적인 차량의 운행으로 인한 오염물질의 축적이 다른 토지이용에 비해 심각하다. Fig. 1에 나타나 있는 걸보기 농도로도 확인 할 수 있는데 강우 초기에 고농도로 유출되는 초기강우 현상(first flush effect)을 보이다가 강우가 지속되면서 저농도로 유출되는 특성을 보인다. Fig. 2는 모니터링을 통해 채취된 강우 유출수내 오염물질의 농도변화와 유출량의 관계를 수리수문 및 농도곡선으로 나타내었

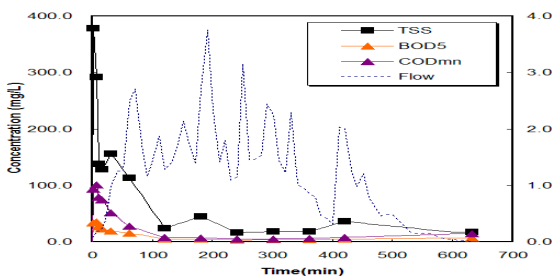
다. 그림에서 보는 바와 같이 강우 초기에 고농도의 오염물질이 유출되다가 강우가 지속됨에 따라 농도의 급격한 감소 현상을 볼 수가 있었다.



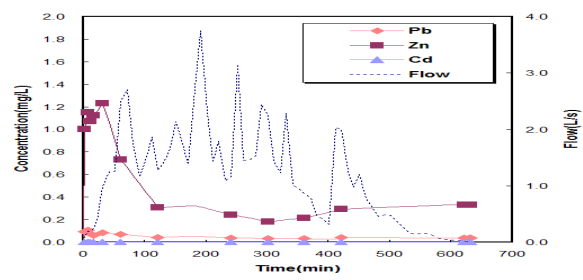
(a) E-3

(b) E-8

Fig. 1. Appearance concentration of monitoring sample.



(a) TSS, BOD₅, COD_{Mn}

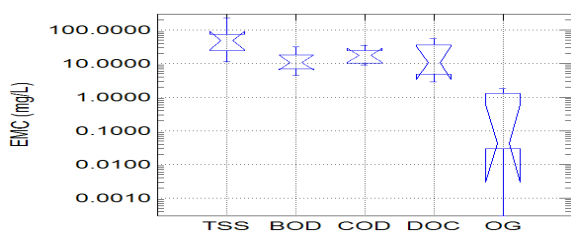


(b) Pb, Zn, Cd

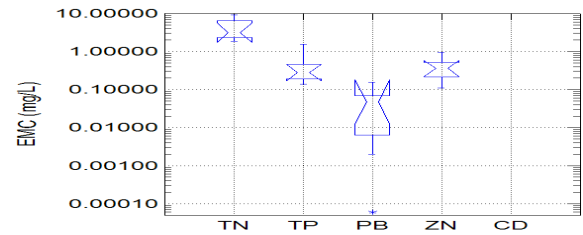
Fig. 2. Hydro- and polluto-graphs of monitoring sample(E-7).

3.3 EMC 통계분석

도로나 고속도로와 같은 포장된 지역에서 강우에 의해 유출되는 오염물질의 부하량 산정을 위해서는 유량 가중평균농도인 EMC의 정밀한 산정이 필요하다. 이러한 값의 산정을 위하여 식(1)을 이용하여 강우사상에 대한 EMC를 산정한후, 산정된 EMC에 대한 통계적 대표성을 찾기 위해 통계분석을 실시하였다. Fig. 3은 이러한 과정을 통해 취득된 각 오염물질의 EMC를 산정한 결과이다.



(a) TSS, BOD, COD, DOC, Oil & Grease



(b) TN, TP, Pb, Zn, Cd

Fig. 3. Statistical summaries of EMCs

TSS EMC의 경우 11.59~230.84 mg/L 범위, BOD EMC의 경우 4.58~31.85 mg/L 범위, TN EMC의 경우 1.86~9.21 mg/L, TP의 경우 0.14~1.55 mg/L의 범위로 나타났다. 그리고 중금속의 경우 Pb와 Zn의 EMC는 각각 0.00~0.15 mg/L와 0.11~0.96 mg/L의 범위로 나타났다. Cd의 경우는 8회의 모니터링 결과 미검출되었는데 이는 교량이 신설교량이고, 차량의 소통이 많지 않아 검출이 되지 않은 것으로 판단된다.

이 결과를 살펴보면, 넓은 범위의 EMC를 보여주고 있는데 이는 한 종류의 토지이용에서조차 EMC를 예측한다는 것이 쉽지 않음을 나타내고 있으며, 김 등(2004)의 선행연구 결과에서도 잘 나타나 있다.

유출되는 비점오염물질의 EMC에 대한 95% 신뢰구간을 살펴보면, TSS의 범위는 10.12~128.09 mg/L,

BOD는 6.07~21.15 mg/L의 범위로 나타났고, TN과 TP의 경우 각각 2.10~6.70 mg/L와 0.06~0.85 mg/L의 범위로 나타났다. 그리고 중금속의 경우 Pb는 0.01 ~ 0.09 mg/L, Zn은 0.19 ~ 0.64 mg/L로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 포장된 지역에서 강우 시 유출되는 비점오염물질의 유출 특성을 파악하고자 모니터링을 수행한 결과를 정리하였으며, 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 결보기 농도나 수리수문 및 농도곡선에서 알 수 있듯이 포장된 지역은 높은 불투수율로 인하여 강우 초기에 고농도로 유출되는 초기강우 현상(frist flush effect)을 보이다가 강우가 지속되면서 저농도로 유출되는 특성을 보인다.
- 2) 유출오염물질의 통계분석결과, TSS EMC의 경우 11.59~230.84 mg/L 범위, BOD EMC의 경우 4.58~31.85 mg/L 범위, TN EMC의 경우 1.86~9.21 mg/L, TP의 경우 0.14~1.55 mg/L의 범위로 나타났다. 그리고 중금속의 경우 Pb와 Zn의 EMC는 각각 0.00~0.15 mg/L와 0.11~0.96 mg/L의 범위로 나타났다. Cd의 경우는 검출이 되지 않았다.
- 3) 각 오염물질별 95% 신뢰구간을 살펴보면, TSS의 범위는 10.12~128.09 mg/L, BOD는 6.07~21.15 mg/L, TN과 TP의 경우 2.10~6.70 mg/L와 0.06~0.85 mg/L의 범위로 나타났다. 그리고 중금속의 경우 Pb은 0.01 ~ 0.09 mg/L, Zn은 0.19 ~ 0.64 mg/L로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 환경부 “2007년도 차세대 핵심환경기술개발사업(GIS 기반의 비점오염물질 발생량 예측 모델개발)”과 환경관리공단 “한강수계 비점오염저감시설 모니터링 및 유지관리 사업”의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김이형, 강주현 (2004). “고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정” 한국물환경학회지.
2. 이은주, 김이형, 고석오, 강희만 (2006). “아스팔트 포장 고속도로의 강우 지속시간별 유출 경향” 한국도로학회 논문집.
3. 환경부 (2004). 관계부처합동 물관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책.
4. 환경부 (1995). 수질오염공정시험법.
5. APHA, AWWA and WEF (1998). *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*, 20th edition, Washington D.C., U.S.A.
6. 김이형, 이선하 (2005). “주차장 및 교량지역의 강우유출수내 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMC” 한국물환경학회지.