한 국 방 재 학 회 논 문 집
제9권 4호 2009년 8월
pp. 129 ~ 134

산림지역의 비점오염물질 유출특성 및 EMC 산정

Wash-off Characteristics of NPS Pollutants from Forest Landuse

최지연* · 이소영* · 김이형**
Choi, Ji Yeon · Lee, So young · Kim, Lee- Hyung

Abstract

As a result of improved wastewater treatment facilities, the point source pollution emitted from human and municipal wastes is greatly decreasing. Conversely, the non-point source (NPS) pollution emanated from city streets, rural homes, suburban development, animal feedlot, croplands, and forestry is rapidly increasing. Practically, the main concern of the government is to control NPS pollutants by means of establishing a long term plan in order to protect the aqua-ecosystem. Studies have been conducted to assess the intensity of NPS from various landuses. In Korea, the data on NPS pollutant loadings are limited to few and broadly categorized landuses unlike in USA wherein specific landuses are available. This research aims to characterize the wash-off characteristics of NPS pollutants from forest landuse. Two sites were monitored during 15 storm events from 04/2008 to 10/2008. Mean BOD_5 EMCs are 1.13 mg/L and 0.91 mg/L for the two sites, respectively. The results of this research will be a helpful contribution for the assessment of total NPS pollutant loadings.

Key words : Nonpoint source, forest land use, washoff, EMC

요 지

수질오염총량관리제에서는 다양한 토지에서 발생하는 비점오염물질의 부하량 산정을 요구하고 있다. 현재 수질오염총량관리제에서 사용되고 있는 토지이용별 오염물질 원단위는 1999년도에 제정된 7가지 지목별 원단위를 사용하고 있으나, 강우량의 고려없이 산정된 값이기에 적용과정에서 과다설계 등의 문제를 나타내고 있다. 따라서 환경부는 다양한 강우사상에서 수행된 모니터링 결과를 이용하여 토지이용별 원단위를 분리하기 위한 장기모니터링을 수행하고 있으며, 본 연구는 이러한 장기모니터링 결과의 일환으로 수행되고 있다. 특히 산림지역의 경우 자연초지와 함께 자연 상태 하천의 배경농도를 형성하는 오염원으로 인위적인 오염배출영향을 평가하기 위해서는 기본적인 유출특성 분석이 요구되고 있으나, 현재까지 연구가 미흡한 상황이다. 본 연구는 산림지역 중 활엽수림과 침엽수림을 대상으로 강우시 모니터링을 실시하여 비점오염물질의 유출특성을 파악하고 EMC를 산정하였으며, 향후 그 결과는 산림지역으로부터 유출되는 비점오염물질의 부하량 및 원단위 산정에 기초자료로 활용될 것이다.

핵심용어 : 비점오염원, 토지이용, 산림지역, 강우유출수, EMC

1. 서 론

그 동안 우리나라의 수질에 대한 규제는 주로 하수, 공장폐수 등 점오염원을 중심으로 관리되어 하천 및 호소의 수질은 많이 개선되었으나, 강우시 비점오염원에서 유출되는 비점오염물질로 인하여 더 이상 크게 개선되지 않고 있는 것으로 보고되고 있다. 환경부가 비점오염원에 의한 수계의 영향을 파악한 결과 4대강 수계의 비점오염원 기여율이 2006년 기준으로 22~40%를 차지하는 것으로 나타났으며, 향후 2020년에서는 65%까지 높아질 것으로 예측하였다(환경부, 2004). 이러한 다양한 비점오염원을 저감하기 위해 환경부는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률을 개정하여 다양한 정책적 및 제도적 장치 (비점오염저감시설 설치신고제도, 비점오염원 관리지역 지정제도 등)를 마련하여 시행중에 있다. 비점오염원은 강우에 의해 유출되는 오염원으로 다양한 토지이용에 따라 발생되며, 강우 및 유역의 특성에 따라 유출되는 오염물질의 종류와 양이 달라 불확실성이 큰 오염원이다(김이형 등, 2004, 2005). 외국의 경우, 다양한 비점오염원으로부터 유출되는 비점오염물질을 관리하기 위하여, 토지이용을 세부적으로 분류하여 유출특성을 파악하고 최적관리방안을 도출하여 관리하고 있다. 그러나 국내의 경우 모니터링 자료의 부족으로 인하여 다양한 토지이용에서 발생하는 비점오염물질의 관

*공주대학교 건설환경공학부 (E-mail:yeonji choi@kongju.ac.kr)
**정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 교수 (교신저자)

리에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 현재 환경부에서는 현행 토지계의 원단위를 세부적으로 분류하여 재 산정하기 위하여 지목별로 장기 모니터링이 수행되고 있다. 그러나 산림지역의 경우 기존의 조사연구가 어느 정도 진행된 다른 지목과 비교하면, 원단위 산정에 필요한 기초 데이터가 매우 부족하여 이에 관한 모니터링 및 연구가 진행될 필요가 있다. Salvia-Castellvi 등(2005)에 의하면 순수한 산림지역에서의 인과 질소의 유출경향을 분석한 결과, 다른 토지이용보다 상대적으로 적은 양이 나오는 것으로 조사되었다. 그러나 인의 경우 배출량이 0.8 kg/ha/year으로 현재 국내에서 수질오염총량제도에 사용되는 각 수계의 대표 원단위(낙동강 0.05 kg/ha/year, 금강 0.12 kg/ha/year, 영산강 0.05 kg/ha/year)와 비교시 훨씬 높은 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 반면 한강의 원단위 값인 1.84 kg/ha/year와 비교하면 매우 낮은 값으로 타 수계 값들과는 일관성이 없는 것으로 나타났다(환경부, 1995). 이는 국내에서 통용되는 산림지역 원단위 값에 대한 정확한 재검토가 필요함을 시사한다. 또한 산림지역은 자연초지와 함께 자연 상태 하천의 배경농도를 형성하는 오염원으로 배경농도는 인위적인 오염배출 활동으로 인한 영향을 평가하기 위해 선행적으로 알아야할 중요한 정보이다. 따라서 산림지역의 배출량과 패턴에 대한 조사연구가 중요하며, 이러한 미진한 지목에 대한 연구가 필요하다. 본 연구는 활엽수림과 침엽수림의 산림지역을 대상으로 모니터링을 실시하였으며, 강우시 비점오염물질의 유출 특성을 파악하고 수행된 모니터링 결과를 활용하여 EMCs(Event Mean Concentrations, EMCs)를 산정하였으며, 이러한 결과는 향후 신뢰할 수 있는 부하량과 원단위 산정에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

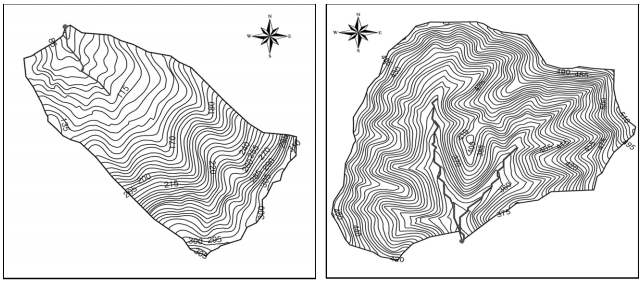
2. 연구방법

2.1 모니터링

본 연구는 활엽수림지역과 침엽수림지역을 대상으로 2008년 4월부터 10월까지 모니터링이 수행되었으며, 현재에도 진행 중에 있다. 선정된 모니터링 지점은 국립산림과학원이 운영중인 산림수문관측 지역으로 현황은 Table 1에 나타내었으며, Fig. 1은 각 지점의 지형도를 나타내었다. 지형도는 국가지리정보유통망의 1:5000 디지털 지도로부터 추출하였다. Site 1은 충남 공주시 반포면 도남리에 위치하고 있으며 유역면적은 290,000 m^2로 활엽수가 지배적이며 3영급 천연림에 속한다. 유역의 표고는 40 m에서 310 m이며 유역 형상은 북서와 남동쪽으로 약간 긴듯한 모양이다. 토성은 사양토가 주되며 모암은 화강암과 편마암으로 구성되어 있다. 경사는 5~36° 분포로 북서쪽으로 낮고 완만한 지대와 동남쪽으로 높고 가파른 지대가 존재한다. Site 2의 경우 전북 진안군 진안읍 연장리에 위치하고 리기다 소나무가 주종인 침엽수림이며 3영급 인공림에 해당한다. 유역의 표고는 340~550 m이며 넓은 나뭇잎모양의 유역 형상을 하고 있다. 두 개의 작은 산지하천이 측정지점 바로 앞에서 만난다. 유역의 면적은 530,000 m^2이고 유역의 경사는 15~40° 분포하고 있지만 유역 전체적으로 경사의 변화가 적다. 토성은 사양토이며 모암은 주로 사암과 혈암으로 구성되어있다. 모니터링은 현장에 자동유량계와 강우계가 설치되어 1분단위로 측정하였으며, 시료의 성분 변화를 막기 위해 냉장기능이 있는 자동채수기(ISCO 6712FR)를 이용하여 시료를 채취하였다. 시료 채취 간격은 유출이 일어난 후 첫 번째 시료를 채취하였으며, 이후 3시간동안 15분 간격으로, 3시간 이 후에는 30분 간격으로 수질 모니터링을 실시하였다. 수질분석항목은 BOD_5, $TCOD_{Mn}$, DOC, SS, TN, TP로 총 6가지 항목을 분석하였으며, 강우 전 건기일수(Antecedent Dry Day, ADD), 총 강우량, 강우지속시간, 평균 강우강도, 총 유출량 등을 조사하였다.

Table 1. Characteristics of monitored sites

Site	임 상	유역면적 (m^2)	표 고 (m)	경 사	모 암	토 성	비 고
Site 1	활엽수림	290,000	40~310	5~36°	화 강 편마암	사양토	3영급 천연림
Site 2	침엽수림	530,000	340~550	15~40°	사 암 혈 암	사양토	3영급 인공림



(a) Site 1 (b) Site 2

Fig. 1. Topography of watershed areas (1:5000)

2.2 EMC 산정

강우에 의해 유출되는 비점오염물질의 부하량 산정을 위해서는 유량가중 평균농도인 EMC의 정밀한 산정이 필수적이다. 비점오염원은 점오염원과는 다른 유출수의 농도 및 강우유출율을 가지고 있기 때문에 정확한 부하량 산정을 위해서는 강우시 많은 모니터링 자료(강우량, 유출율 및 농도 등)를 이용하여 유량가중평균농도(EMC)를 통해 평균농도를 산정해야 한다(Irish *et al*, 1998; Marsalek, J. 1978). 따라서 본 연구에서는 식 (1)을 이용하여 강우사상별 EMC를 산정하였으며, EMC는 전체 강우지속시간 T시간 동안 유출된 전체 누적 오염물질의 양을 전체 누적 유출량으로 나누어 계산할 수 있다. 여기서 $C(t)$는 t시간에 따른 유출 오염물질의 농도를 말하며, $q_{run}(t)$는 강우 유출율을 나타낸다.

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

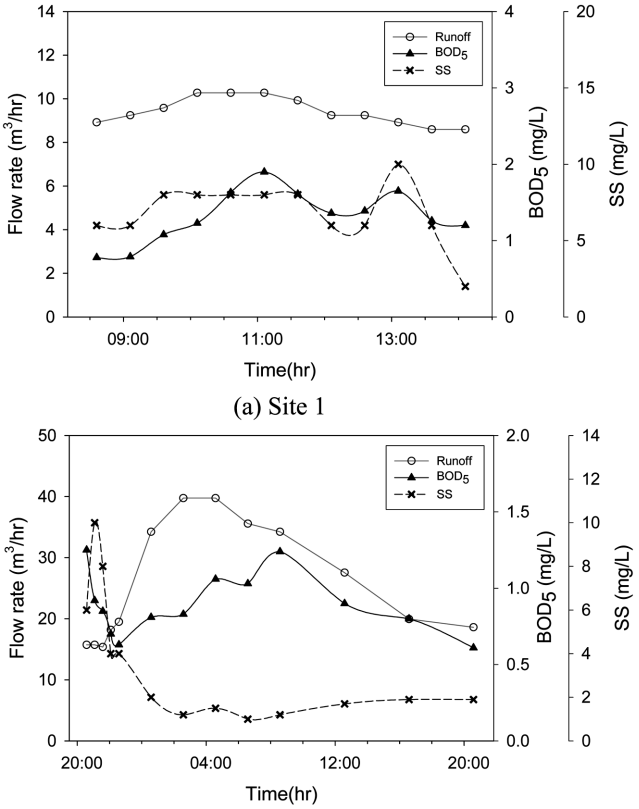
3. 결과 및 고찰

3.1 모니터링 결과

모니터링은 Site 1 지점의 경우 총 8회가 수행되었으며, Site 2 지점은 총 7회의 모니터링이 수행되었다. Table 2는 각 지점별 강우사상에 대한 모니터링 결과를 나타낸 것으로 Site 1 지점의 강우 전 건기일수는 1~12일, 총강우량은 2.0~22.0 mm, 강우지속시간은 5.6~29.2 hr, 평균 강우강도는 0.3~2.7 mm/hr의 범위를 보이고 있으며, Site 2 지점의 경우 강우 전 건기일수는 3~12일, 총강우량은 1.0~65.5 mm, 강우지속시간은 1.8~19.0 hr, 평균 강우강도는 0.6~4.9 mm/hr의 범위를 나타내고 있다.

3.2 비점오염물질의 유출경향

Fig. 2는 모니터링을 통해 채취된 시료의 농도 변화 및 유출경향을 나타낸 것으로 오염물질중 BOD_5와 SS에 대하여 나타내었다. Site 1 지점은 2008년 9월 1일의 모니터링 결과를 이용한 것으로 유량이 증가함에 따라 농도도 점점 증가하여 첨두유량이 발생된 후 감소하는 특성을 나타내었다. 또한 Site 2 지점은 2008년 5월 18일에 수행된 모니터링 결과를 이용한 것으로 SS의 경우 시간이 지남에 따라 농도가 점점 감소하는 특성을 나타내었으며, BOD_5의 경우 첨두유량이 발생하기 전 농도가 점점 감소한 후 유량이 증가함에 따라 농도가 점점 증가하는 경향을 나타내는 것으로 분석되었다.



(a) Site 1

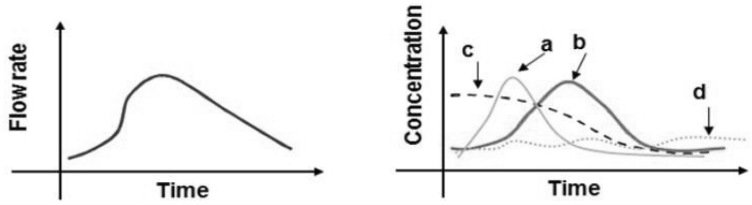
(b) Site 2

Fig. 2. Hydro- and polluto-graphs for each site

산림지역에서 발생된 오염물질의 유출특성을 파악하기 위해 시간에 따른 유입수의 농도 변화를 Fig. 3에 나타난 바와 같이 a와 b형, c형, d형의 3가지 유형으로 나누어 분석하였다. a와 b형은 강우 초기에 농도가 점점 증가하다가 감소하는 특성을 나타낸 곡선이고, c형은 초기강우현상을 나타내며, d형은 농도가 일정하지 않은 특성을 나타낸다. 이러한 3가지 형태에 따라 오염물질 항목별로 유입수의 농도곡선 특성을 분석한 결과 Site 1의 경우 대부분의 오염물질은 a와 b형에 분포하는 것으로 나타났으며, Site 2의 경우 매우 다양한 농도곡선을 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

Table 2. Summary of monitored event at each site

Site	Event No.	Event Date	ADD (day)	Total Rainfall (mm)	Runoff Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity (mm/hr)
Site 1	E-1	2008-04-09	2	21.2	21.2	1.0
	E-2	2008-04-22	12	9.0	11.7	0.8
	E-3	2008-06-28	7	18.7	7.0	2.7
	E-4	2008-08-13	1	2.0	11.9	0.2
	E-5	2008-09-01	9	6.5	29.2	1.3
	E-6	2008-09-20	4	22.0	13.6	1.6
	E-7	2008-09-25	4	5.5	5.6	1.0
	E-8	2008-10-22	11	6.5	22.3	0.3
Site 2	E-1	2008-04-09	3	14.0	19.0	0.7
	E-2	2008-04-22	5	11.6	13.2	0.9
	E-3	2008-05-18	5	35.4	7.8	4.5
	E-4	2008-05-23	5	1.6	1.8	0.9
	E-5	2008-05-27	4	65.5	13.5	4.9
	E-6	2008-06-28	8	3.5	4.9	0.7
	E-7	2008-10-22	12	1.0	1.8	0.6



Site	Parameters	Type c: Wash-out (number of event)	Type a, b: Increase (number of event)	Type d: Random (number of event)	Sum
Site 1	SS	2	5	1	8
	$TCOD_{Mn}$	1	4	3	8
	BOD_5	0	5	3	8
	DOC	1	5	2	8
	TN	1	5	2	8
	TP	2	3	3	8
Site 2	SS	3	1	3	7
	$TCOD_{Mn}$	2	3	2	7
	BOD_5	2	3	2	7
	DOC	1	1	5	7
	TN	0	4	3	7
	TP	1	4	2	7

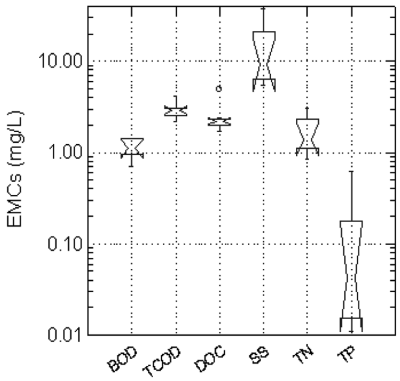
Fig. 3. The types of polluto-graphs for each site

3.3 지점별 EMCs 산정

각 지점별 강우사상에 대한 모니터링 결과는 식(1)을 이용하여 비점오염물질의 EMC 산정이 이루어졌으며, 그 결과를 Table 3에 정리하여 나타내었다. Site 1 지점의 경우 BOD_5는 0.7~1.4 mg/L의 범위를 나타내었으며, $TCOD_{Mn}$는 2.2~4.1 mg/L, SS는 5.4~38.0 mg/L의 범위를 나타내었다. 또한 Site 2 지점의 BOD_5는 0.5~1.4 mg/L의 범위를 나타내었으며, $TCOD_{Mn}$는 0.7~2.7 mg/L, SS는 0.3~5.4 mg/L의 범위를 나타내는 것으로 분석되었다. 본 연구결과와 국내에서 진행된 연구자료에 대해서 유역특성에 따라 도시지역, 즉 주거지역, 상업지역, 공업지역, 도로 및 주차장 등의 EMC 결과와 비교한 결과, 두 지점 모두 모든 오염물질의 EMC는 매우 낮은 값을 나타내는 것으로 분석되었다(김미리 등, 2007). 또한 여중현(2005) 등의 연구결과에서 나타난 임야유역으로부터 배출되는 오염물질의 EMC와 비교시 모든 오염물질은 비슷한 농도를 나타내는 것으로 분석되었다. 대부분의 오염물질은 강우사상별로 큰 차를 나타내지 않는 것으로 분석되었으나, Site 1 지점의 SS는 강우사상별 EMC 농도의 차가 큰 것으로 나타났다. 특정유역에서 발생되는 강우유출수는 토지이용, 유역면적, 유역경사 등과 같은 유역특성 이외에 건기일수, 강우지속시간, 강우량 및 강우강도 등의 강우특성의 영향을 받는다(여중현 등, 2005). 따라서 강우강도가 셀수록 토양의 오염물질을 이탈시

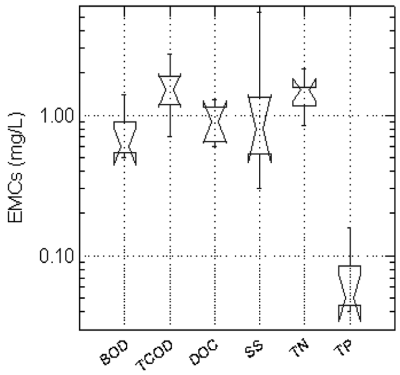
Table 3. EMCs for each rainfall event

Site	Event Date	BOD_5 (mg/L)	$TCOD_{Mn}$ (mg/L)	DOC (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Site 1	2008-04-09	1.4	3.0	2.2	5.7	3.04	0.06
	2008-04-22	1.1	4.1	2.3	9.1	3.00	0.03
	2008-06-28	0.9	2.4	4.9	28.8	0.94	0.62
	2008-08-13	1.4	2.8	2.0	38.0	1.42	0.10
	2008-09-01	1.4	2.2	1.7	7.1	1.80	0.33
	2008-09-20	1.0	3.2	2.4	14.9	0.85	0.02
	2008-09-25	0.7	3.0	2.0	9.0	1.38	0.01
	2008-10-22	1.1	2.7	2.2	5.4	1.31	0.01
Site 2	2008-04-09	1.4	1.5	1.1	0.4	1.32	0.04
	2008-04-22	0.9	2.7	1.3	0.8	1.51	0.05
	2008-05-18	0.5	1.1	0.6	1.2	1.53	0.05
	2008-05-23	0.5	0.7	0.6	0.3	2.15	0.09
	2008-05-27	0.6	1.3	0.7	0.7	0.85	0.08
	2008-06-28	0.6	1.8	0.9	1.5	1.61	0.16
	2008-10-22	0.9	2.0	1.2	5.4	1.03	0.04



Parameter	No of cases	Min.	Max.	Mean	95% CI Upper	95% CI Lower
BOD	8	0.7	1.4	1.1	1.3	0.9
TCOD	8	2.2	4.1	2.9	3.4	2.4
DOC	8	1.7	4.90	2.5	3.3	1.6
SS	8	5.4	38.0	14.8	24.9	4.6
TN	8	0.8	3.0	1.7	2.4	1.0
TP	8	0.0	0.6	0.1	0.3	0.0

(a) Site 1



Parameter	No of cases	Min.	Max.	Mean	95% CI Upper	95% CI Lower
BOD	7	0.5	1.4	0.8	1.1	0.5
TCOD	7	0.7	2.7	1.6	2.2	1.0
DOC	7	0.6	1.3	0.9	1.2	0.6
SS	7	0.3	5.4	1.5	3.1	0.2
TN	7	0.9	2.2	1.4	1.8	1.0
TP	7	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0

(b) Site 2

Fig. 4. Statistical summary of EMCs

켜 유출될 수 있게 하므로 순간강우강도가 높은 경우 다량의 토사가 유입될 수 있기에 SS가 높게 나타날 수 있다. 또한 SS는 산림밀집도와 연관성이 있을 수 있으므로 향후 오염물질의 유출특성과 산림밀집도간의 연관성에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.4 EMCs 통계분석

각 지점별 강우사상에 대한 EMC를 산정한 후, 산정된 EMC에 대한 통계학적 대표성을 찾기 위하여 SYSTAT ver. 9.0을 이용하여 통계분석을 실시하였다. Fig. 4는 오염물질별 평균값 및 95% 신뢰구간을 나타낸 것으로 Site 1 지점의 경우 BOD_5의 평균 EMC는 1.13 mg/L, $TCOD_{Mn}$는 2.93 mg/L, SS의 경우 14.75 mg/L로 나타났으며, Site 2의 경우 BOD_5는 0.77 mg/L, $TCOD_{Mn}$는 1.59 mg/L, SS는 1.47 mg/L의 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 두 지점의 평균 EMC를 비교한 결과, 모든 항목에서 Site 1의 EMC가 Site 2 지점 보다 높은 것으로 나타났으며, SS를 제외하고 지점별 오염물질의 농도 차이는 미미한 것으로 분석되었다. 본 연구결과는 각 지점별로 7~8회의 모니터링 결과를 이용하여 통계분석을 실시하였기에 향후 추가적인 모니터링을 실시하여 각 지점별 오염물질의 유출특성을 파악할 예정이며, 산림지역에서 발생된 비점오염물질과 다양한 강우인자들과의 상관관계에 대한 추가 연구를 진행할 예정이다.

4. 결 론

본 연구는 산림지역 중에서 활엽수림과 침엽수림 지점을 대상으로 모니터링을 실시하였으며, 강우시 발생되는 비점오염물질의 유출특성을 파악하고, 향후 산림지역의 부하량과 원단위 산정을 위하여 EMC를 산정하였으며, 연구결과는 다음과 같다.

1) 각 지점별 강우사상에 대한 모니터링 결과 Site 1 지점의 강우 전 건기일수는 1~12일, 총강우량은 2.0~22.0 mm, 강우지속시간은 5.6~29.2 hr, 평균 강우강도는 0.3~2.7 mm/hr의 범위를 보이고 있으며, Site 2 지점의 경우 강우 전 건기일수는 3~12일, 총강우량은 1.0~65.5 mm, 강우지속시간은 1.8~19.0 hr, 평균 강우강도는 0.6~4.9 mm/hr의 범위를 나타내고 있다.
2) 유입수의 오염물질별 농도 곡선을 분석한 결과 Site 1의 경우 강우 초기에 오염물질의 농도가 증가하다가 감소하는 경향을 나타내었으며, Site 2 지점의 경우 매우 다양한 농도 곡선을 나타내는 것으로 분석되었다.
3) EMC 산정결과를 도시지역, 즉 주거지역, 상업지역, 공업지역, 도로 및 주차장 등의 EMC 결과와 비교한 결과, 모든 오염물질의 EMC는 두 지점 모두 매우 낮은 값을 나타내는 것으로 분석되었으며, 임야유역으로부터 배출되는 오염물질의 EMC와 비교시 모든 오염물질은

비슷한 농도를 나타내는 것으로 분석되었다.

4) 산정된 EMC에 대한 통계분석을 실시한 결과, Site 1 지점의 경우 BOD_5의 평균 EMC는 1.13 mg/L, $TCOD_{Mn}$는 2.93 mg/L, SS의 경우 14.75 mg/L로 나타났으며, Site 2의 경우 BOD_5는 0.91 mg/L, $TCOD_{Mn}$는 1.59 mg/L, SS는 1.47 mg/L의 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 두 지점의 평균 EMC를 비교한 결과, 모든 항목에서 Site 1의 EMC가 Site 2 지점 보다 높은 것으로 나타났으나 SS를 제외하고 농도의 차이는 미미한 것으로 분석되었다

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원 금강물환경연구소의 과제로 수행된 결과를 정리한 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

금강수계관리위원회 (2007) **주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구**.

김미리, 신동석, 강형석, 류덕희 (2007) 비점오염부하량 평가기법 연구(I)- 도로 및 대지 원단위(안)을 중심으로-. **한국물환경학회 공동춘계학술발표회 논문집**, 한국물환경학회, pp. 848-853.

김이형, 강주현 (2004) 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정. **한국물환경학회 논문집**, 한국물환경학회, 제20권, 제6호, pp. 631-640.

김이형, 이선하 (2005) 주차장 및 교량 강우유출수의 중금속 오염물질 특성과 동적 EMCs. **한국물환경학회 논문집**, 한국물환경학회, 제21권, 제4호, pp. 385-392.

여중현, 김건하 (2005) 도시, 농촌 및 임야유역으로부터 배출되는 비점원 오염부하의 특성비교. **한국물환경학회 논문집**, 한국물환경학회, 제21호, 제2권, pp. 184-189.

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

환경부 (2006) **비점오염원관리 업무편람**.

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.*, Vol. 124, No. 10, pp. 987-993.

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

Salvia-Castellvi, M., J.F. Iffly, P.V. Borght, and L. Hoffmann (2005) Dissolved and particulate nutrient export from rural catchments: A case study from Luxembourg. *Science of the Total Environment*, Vol. 344, pp. 51-65.

◎ 논문접수일 : 09년 06월 10일
◎ 심사의뢰일 : 09년 06월 10일
◎ 심사완료일 : 09년 06월 16일