

## 토지이용별에 따른 초기강우 유출량의 비점오염물 특성 분석

최윤영\* · 정세영 · 최정우

경북대학교 건축도시환경공학부

(2011년 2월 21일 접수; 2011년 3월 4일 수정; 2011년 3월 11일 채택)

### Nonpoint Pollutants Sources Characteristics of Initial Surface Runoff on the Land Use Types

Yun-Yeong Choi\*, Se-Young Jung, Jeong-Woo Choi

*School of Architecture Urban Environmental Engineering, Kyungpook National University, Kyeongbuk 742-711, Korea*

(Manuscript received 21 February, 2011; revised 4 March, 2011; accepted 11 March, 2011)

#### Abstract

This study was conducted to investigate runoff characteristics of non-point pollutants source at the urban and rural zones in sangju area. The monitoring was conducted with seven events for ten months and Event mean Concentration(EMC) and First Flush Effect(FFE) of SS and BOD were calculated on the result of the water quality parameters. During rainfall event, the peak concentrations of SS and BOD were observed after 3~4 hours of rainfall in rural areas. Whereas, the peak concentrations occurred within 1~2 hours after rainfall and then the highest concentration of NPS pollutants sharply decreased, showing strong first flush effect in urban areas. The cumulative load curves for NPS pollutants showed above the 45° straight line, indicating that first flush effect occurred in urban areas. The mean SS EMC values of rural areas ranged from 0.9~3.3mg/L, it was higher value when compare to urban areas. While the mean BOD values of urban areas were shown the highest values.

**Key Words** : Nonpoint pollutants, Event mean Concentration(EMC), First flush effect

#### 1. 서론

경제발전과 더불어 인구의 증가, 도시화, 산업화에 따라 공공수역으로 유입되는 오염물질의 양은 점차적으로 자정능력을 초과하게 되면서 심각한 수질오염을 야기시키고 있다. 공공수역으로 유입되는 오염물질은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있는데, 이 중 점오염원은 환경 기초시설의 설치로 크게 감소

하고 있으나 비점오염원은 오염 발생량 및 배출특성의 파악이 매우 어렵고, 발생량이 매우 불규칙하여 저감대책이 미흡한 실정이다.

비점오염원은 시간에 따른 부하량의 변동폭이 크며, 강우초기에 오염물질의 농도가 매우 높게 나타난다(Bedient 등, 1980). 특히 질소와 인 등의 영양물질이 많이 포함되어 있어 하천이나 호소의 부영양화를 일으키는 원인으로 알려져 있다(최 등, 1999; Ichiki와 Yamada, 1999). 강우유출수내 오염물질의 농도는 기상조건, 수리조건, 지형·지질조건과 토지이용특성에 따라 영향을 받으며, 배출량에 영향을 미치는 요소들은 강우강도와 강우지속시간, 토지이용형태 및 오염물질 투입상태 등에 따라 변동된다(최 등, 2008; 안 등

\*Corresponding author : Yun-Yeong Choi, School of Architecture Urban Environmental Engineering, Kyungpook National University, Kyeongbuk 742-711, Korea  
Phone: +82-54-530-1443  
E-mail: yunchoi@knu.ac.kr

2002). 토지이용은 도시지역(산업용지, 산업단지, 주거지역, 공공지역, 나대지, 공원 도로, 주차장 등), 농업지역(논, 밭 등), 산림지역, 건설현장 및 골프장 등으로 분류되며, 토지이용의 특성에 따라 유출되는 오염물질의 종류와 양은 각각 다르게 나타난다. 이러한 토지이용 중에서 도시지역의 비점오염원에 관한 관심이 큰 이유는 작은 유역면적에 비해 높은 불투수율에 의하여 다른 토지이용특성과는 다르게 상대적으로 강우 유출수 양 및 오염물질 유출량이 크기 때문이다. 특히, 강우 발생시 도시지역의 불투수율의 증가로 인해 다양한 환경적 및 수문학적 문제들이 야기되는데, 일반적으로 불투수층 중에서 비점오염원에 가장 큰 영향을 미치는 지역은 도시지역이다.

최근 비점오염원에 대한 중요성과 문제점을 인식하고 다양한 저감방안을 모색하는 연구들이 다양하게 진행되고 있다. 최근에는 비점오염원 부하량을 추정하기 위해 주로 토지이용에 따른 원단위를 사용하였으나 강우시 비점오염부하량은 유역의 토지이용형태, 지표퇴적물량, 강우량 및 강우강도 등에 따라 상당한 차이가 발생하기 때문에 실측하지 않으면 오차는 상당히 커질 가능성이 있다(이 등, 2001; 이 등, 2008; 이 등 2010).

이와 같이 초기강우 유출량의 특성은 도시화가 진행되고 있는 지역과 이미 도시화가 진행된 지역에서는 기존의 자연 상태였을 때와는 상당한 차이가 있다. 즉, 자연상태의 지역에 주택단지조성 등과 같은 도시화의 진행으로 불투수면이 증가하여 강우발생시 유출량의 증가, 침투홍수량의 증가, 홍수도달시간의 단축 등과 같은 양적인 측면에서의 문제를 야기시키고, 인간활동으로 인하여 도시화유역의 지표면에 농축된 영양염류, 중금속, 기름, 병원균 등과 같은 각종 오염물질이 초기강우 유출량에 의해 하류부로 이송되어 하류하천과 각종 수역에서 심각한 수질오염을 발생시킨다(최 등, 2010).

따라서, 본 연구에서는 초기강우에 의해 발생하는 비점오염물질 유출량은 강우량, 총유출고, 평균시간당 강우량, 평균시간당 유출량, 선행강우지수 및 강우지속시간 등 다양한 수리수문 인자들과 복합적으로 연관되어 있다는 가정하에, 비점오염물질의 유출현상을 토지이용 특성별로 구분하여 실제유역에서 초기강

우 유출량에 대한 시간적 변화를 고려한 수질분석을 실시하여 초기강우 유출량에 의한 오염물질 유출량의 변동에 관한 기초자료 및 기술을 제공하고자 하는데 그 목적이 있다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1. 초기강우 특성

토지이용상태의 변화는 수질변동에 상당한 영향을 미치고 있으며 미개발된 지역에서 초기강우에 포함된 오염물질은 자연적, 물리적, 화학적 그리고 생태학적 상호작용에 의해 재순환(recycle)된다. 인간의 활동에 의해 토지이용이 과밀화됨에 따라 이러한 자연생태적 순환과정은 파괴되고 모든 인간활동으로 생긴 오염물질은 지표면에 축적된다. 초기강우의 수질과 더불어 초기강우에 의한 지표상태도 초기강우 오염량의 많은 부분에 영향을 미치고 있는데 특히, 중금속, 비료성분, 농약 등 오염물질은 우수로 인하여 하류부의 호수, 강, 하구로 운송되며 이러한 오염물질은 상당한 하천 오염부하량을 증가시키는 원인이 되고 있다.

초기강우는 실제 총강우량에 있어 상대적으로 높은 오염도를 지니고 있으므로 이에 대한 분석과 관리방안의 필요성이 제기되고 있다. 또한, 유역의 도시화는 도로, 보도, 주차장 및 건물 등으로 인하여 자연상태였던 지표면은 포장율이 점차 증가시킴으로서 자연적인 피복식생물을 감소시키고 토양을 더욱 압밀시킴으로서 도시화 이전보다 지표면을 통한 우수의 지하 침투율을 크게 감소시키는 원인이 되고 있다. 강우로 인한 초기강우 유출량은 침투손실과 지면저류 등의 손실량을 감한 양으로 산출될 수 있으며 이러한 손실량은 기후, 토양, 지형, 지질, 식생피복과 가장 중요한 토지이용상태의 함수로 표시될 수 있다(Hwajns와 Hjelmfelt, 1979).

미국의 플로리다주에서 실시한 Florida(1988), Christensen 등(1995) 및 Eric 등(1995)의 연구결과에 의하면, 일반적으로 초기강우(강우량의 초기 1 inch에 해당)에 의해 지표면에 축적된 오염물질의 약 90% 정도가 운송되어지는 것으로 연구 보고되고 있다. 초기강우의 처리문제는 적절한 우수관리의 핵심부분이며, 유역으로부터의 초기강우 중 1인치 부분은 적절한 수

질개선을 위해 반드시 처리해야 할 최소한의 양으로 규정하고 있다.

## 2.2. 조사 및 분석방법

본 연구에서는 토지이용별 유역특성에 따른 초기 유출수의 비점오염 특성분석을 위해 상주지역에 위치한 함창 및 가장, 성동동을 중심으로 유량 및 수질관측을 실시하였다. 조사지점 선정은 각 토지이용별 특성을 대표할 수 있는 수리·수문학적 조건과 더불어 유량계, 수위계 및 웨어를 설치할 수 있어 초기강우시에 수질과 수위 및 유량 등 다양한 정보를 제공받을 수 있는 지점을 선정하였다. 수질분석을 위한 시료채수는 직접 채수하는 것을 원칙으로 하였으며, 강우시 유량 증가로 인해 직접 채수가 어려운 지점은 자동채수기(Sigma 900)를 이용하였다. 채수된 시료는 4 ℃ 이하로 보관하여 24시간 이내로 실험실로 즉시 운반하여 실험을 실시하였고, 강우시 채수방법은 각 토지이용 현황 및 불투수율 등을 고려하여 채수하였으며, 농촌 지역에서는 10 mm 이하 강우사상에 대해서는 수질변화가 거의 나타나지 않아 최소 15 mm 이상 강우시 시간별 연속조사를 실시하였다. 도시지역에서는 10 mm 이하 강우에도 비점오염물질의 유출현상이 발생하고 침투유량에 도달하기 전 수질의 침투치가 발생하는 농도곡선이 나타났다. 이와 같은 수리·수문학적 특성을 고려하여 시료채취도 초기강우 시작 후에는 30 분~1시간 간격으로 조밀하게 조사하였고, 침투치 발생 후부터는 1~2시간 간격으로 조사하였다. 초기 강우시 비점오염물의 수질특성분석을 위한 분석항목은 SS 및 BOD로 수질오염공정시험법(환경부, 2004)과 Standard method(APHA, 1999)에 따라 분석하였다. 강우유출수의 수질농도는 강우사상 동안 변화폭이 매우 크기 때문에 오염부하량 산정을 위해서 산술평균농도 이외에 유량의 평균농도를 가장 잘 반영하는 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 산정하였으며 그 수학적 표현은 식(1)과 같다.

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^t C_t Q_t dt}{\int_0^t Q_t dt} \cong \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (1)$$

여기서, EMC : 유량가중평균농도(mg/L), M : 총유출오염부하량, V : 총유출부피, C<sub>t</sub> : 시간 t에서의 오염농도, Q<sub>t</sub> : 시간 t에서의 유출유량, Δ<sub>t</sub> : 이산시간을 나타낸다(Chardeneau와 Barretti, 1998; Kato 등, 2009).

강우에 의한 초기세척효과(First flush effect) 분석을 위해서 무차원의 누적 유출량과 누적 부하량과의 비율에 의한 방법이 가장 많이 이용되고 있어, 본 연구에서도 이 방법을 이용하여 초기세척효과 분석을 실시하였으며 다음의 식(2)~(4)와 같다.

$$M(V) = \frac{L(t)/\sum L(t)}{Q(t)/\sum Q(t)} \quad (2)$$

$$\frac{L(t)/\sum L(t)}{Q(t)/\sum Q(t)} > 1 : \text{Flushing} \quad (3)$$

$$\frac{L(t)/\sum L(t)}{Q(t)/\sum Q(t)} \leq 1 : \text{No flushing} \quad (4)$$

여기서, 강우시간 중 이산시간 동안의 유량 Q(t)에 대한 누적유량 ΣQ(t)비인 Q(t)/ΣQ(t)를 x축, 이산시간 동안의 유량 L(t)에 대한 누적유량 ΣL(t)비인 L(t)/ΣL(t)을 y축에 도시하였다.

누적유량-부하량비 곡선은 각 강우사상의 유출특성을 잘 보여주는데, 값이 1보다 큰 경우는 관측치가 이등분선 위쪽에 위치하고, 초기세척효과가 발생한다는 것을 의미한다. 값이 1보다 작은 경우에는 관측치가 이등분선 아래쪽에 위치하게 되며, 초기세척효과가 없고 강우 후기에 오염물질 유출이 일어나는 것을 나타낸다.(Bedient 등, 1978; Gupta와 Saul, 1996; 김 등, 2009).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 수문특성 분석

본 연구유역인 상주유역(Fig. 1)은 경상북도 상주시 함창읍 및 가장동 등에 위치하고 있으며, 위도상으로는 동경 127° 51' 04"~128° 13' 20", 북위 36° 25' 42"~36° 50' 02"에 위치하고 있다. 분석유역은 토지이용특성을 고려하여 농업유역인 HC1 및 SJ1지점과 도시유역인 HC2 및 SJ2지점으로 분류한 후 4지점에 대한 초기강우 유출량의 오염도를 측정하기 위하여

Table 1. Results of land use analysis in study area

Unit : km<sup>2</sup>

sta.	Land use	Permeable area(Ratio %)		Impermeable area(Ratio %)		Soil type	Area
		Forest or Paddy	Residential	Commercial or Industrial			
HC1		0.277(58.56)	0.114(24.10)	0.082(17.34)	A, B	0.473	
HC2		0.187(36.81)	0.184(36.22)	0.137(26.97)	B, C	0.508	
SJ1		0.301(55.54)	0.122(22.51)	0.119(21.96)	A, B	0.542	
SJ2		0.415(18.48)	1.218(54.23)	0.613(27.29)	B, C	2.246	

시료를 채취한 후 수질성분을 분석하였다(Table 1). 시료채취기간은 2009년 7월 19일부터 2010년 5월 17일까지 발생한 20.0 mm 이상의 강우사상에 대하여 실시하였으며, 각 조사지점별로 분석한 강우발생 계절 및 발생 강우량 규모는 Table 2와 같다. 여기서, 계절별 측정횟수는 총 7회에 걸쳐서 채취·분석하였으며, 그 중 3~5월이 2회, 6~8월이 2회, 9~11월이 1회 및 12~2월이 2회이며, 이 때 발생한 강우규모별 측정 횟수에서는 30 mm 이하 2회, 30~50 mm 2회 및 50~70 mm 3회이다.

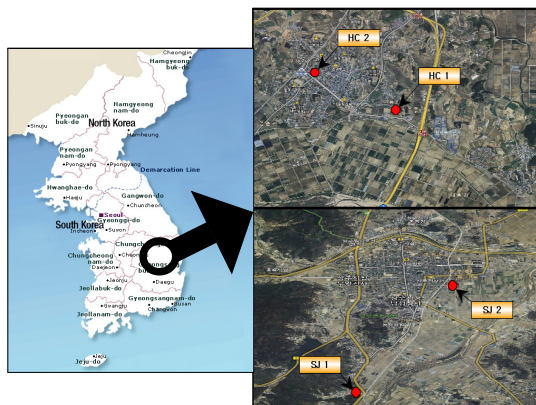


Fig. 1. Study Area.

### 3.2. 토지이용별 특성분석

비점오염원의 유출특성 분석에서 대상유역에 일정 기간동안 발생하는 강우량으로 인해 유역출구를 통과 하는 유출량에 대한 총강우량의 비율을 나타내는 유출계수 값은 오염물질 유출량과 밀접한 관계를 가지고 있다(김 등, 2006). 조사기간(2009~2010년)동안 7개 호우사상에 따른 유출계수 산정결과는 농촌지역인 SJ1 지점이 평균 0.62로 가장 낮게 나타났고 도시지역인 SJ2 지점에서 평균 0.85의 범위로 가장 높게 분석되었다. 이러한 이유는 분석유역의 토지이용 특성인 불투수층 비율, 경사 및 강우강도 등 수문학적 영향 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로, 불투수성 포장비율이 높은 지역은 유출계수가 크고 강우시 오염물질 유출량도 일시에 증가하는데, 분석유역에서 유출계수의 지점별 차이는 약 0.23%로 나타나 초기강우시 발생하는 오염물질 변동량의 차이가 발생할 것으로 판단된다.

7개 호우사상에 따른 지점별 수문관측 자료를 보면, 유량범위는 HC1 지점의 경우에 7.1~533.3 m<sup>3</sup>/day이고 SJ1 지점은 127.7~480.8 m<sup>3</sup>/day로서 HC1 지점이 SJ1 지점보다 다소 많은 유출이 이루어지는 것으로 나타났다. 그리고 수질범위는 HC1 지점의 경우에 BOD가 1.7~47.8 mg/l, SS는 1.6~42.1 mg/l 이고 SJ1 지점은 BOD가 4.3~46.6 mg/l, SS는 0.8~90.3 mg/l으

Table 2. Hydrological characteristics on the each rainfall event

Basin	Rainfall event	Date (y/m/d)		Rainfall (mm)	Rainfall type(AMC)	Remark
		Start	End			
Sangju	1	2009.07.19	2009.07.21	32.5	II	
	2	2009.08.11	2009.08.13	68.0	III	Max.
	3	2009.09.27	2009.09.28	54.5	II	
	4	2010.02.08	2010.02.13	41.9	II	
	5	2010.02.25	2010.02.27	26.0	II	Min.
	6	2010.04.26	2010.04.30	28.0	II	
	7	2010.05.17	2010.05.19	53.0	II	

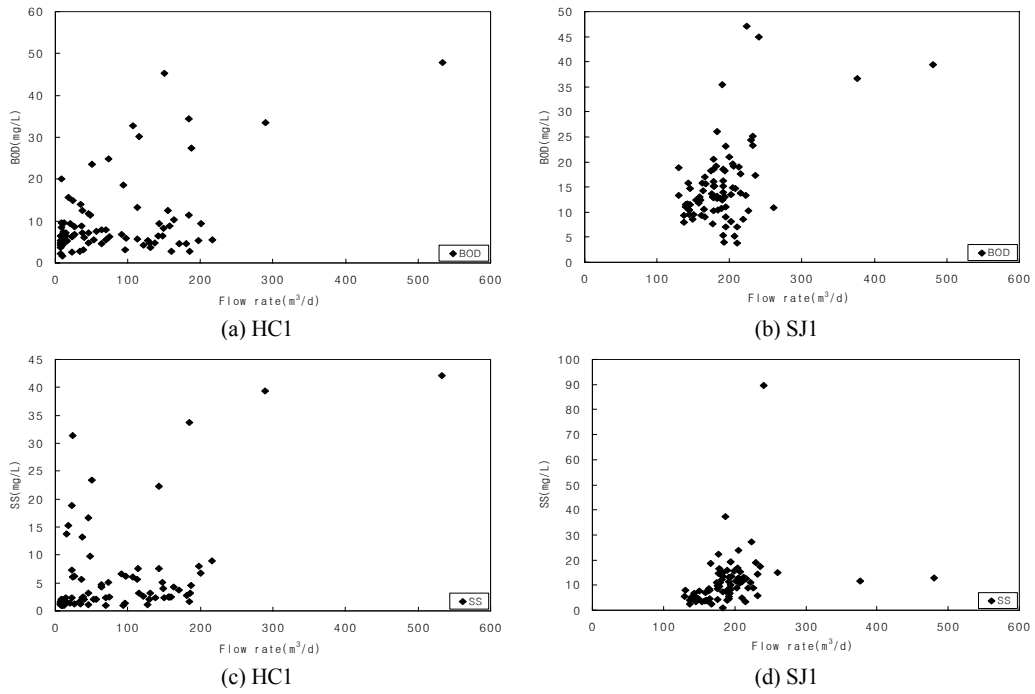


Fig. 2. Variation of pollutant concentration according to rainfall event(Rural area).

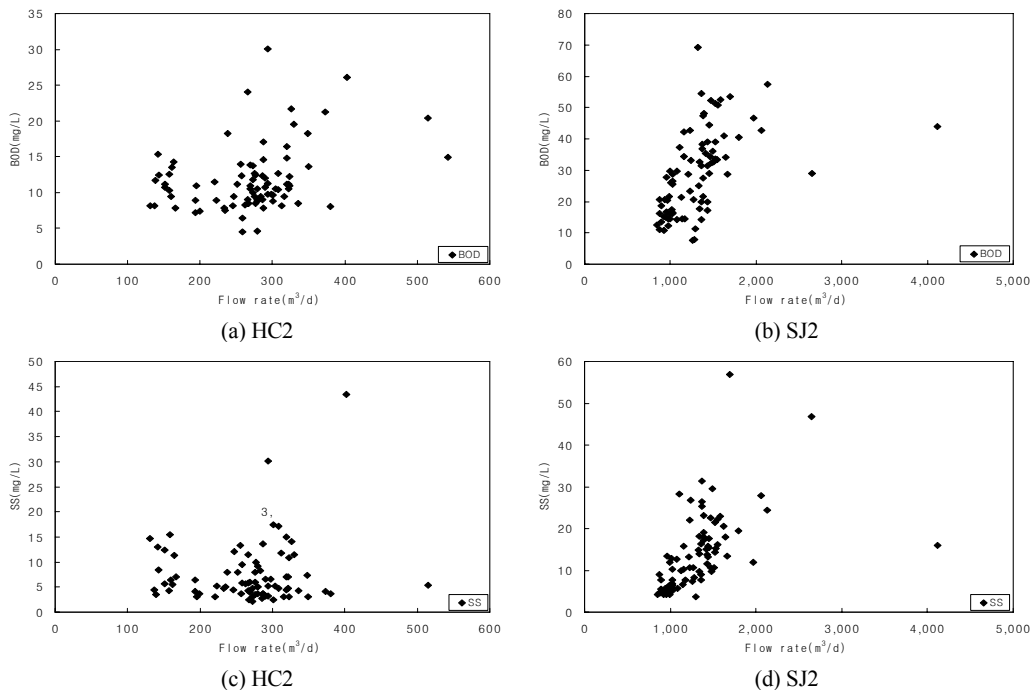


Fig. 3. Variation of pollutant concentration according to rainfall event(Urban area).

로서 SJ1지점이 상대적으로 최대 2배 정도가 많은 것으로 나타났다.

한편, 유량과 수질분포의 상관성을 살펴보면, BOD 및 SS의 변동폭은 HC1지점과 SJ1지점이 거의 유사한 것으로 나타나 농경지나 밭경작의 분포양상을 잘 반영하고 있으며, 전체적으로 BOD보다 SS의 변동폭이 안정적인 것으로 분석되었다. 다음의 Fig. 2~3은 7개 호우사상에 대한 토지이용(농촌 및 도시지역)별에 따른 유량과 수질간의 분포특성을 도시한 것이다.

3.3. 비점오염물질 유출특성

7개 호우사상에 대한 초기강우시 시계열 조사분석를 통하여 강우사상 및 토지이용 특성에 따른 지점별 유입하천의 비점오염물에 대한 유출특성을 분석하였다.

먼저, 농촌유역(HC1, SJ1)인 HC1 지점의 경우에 초기강우 시점으로부터 평균 3~4시간 이후로 누적강우량이 약 15~30 mm인 시점에서 SS 및 BOD가 침투치를 나타내었는데, 평균 SS는 약 40 mg/l까지 급격히 상승하는 유출특성을 보였고, 평균 BOD는 약 45

mg/l로 오염물질 농도곡선이 수문곡선 형태와 유사한 경향을 나타내고 있으나 오염물질 침투치가 수문곡선보다 선행하는 특성을 보였다. SJ1지점의 경우에도 강우가 발생한 후, 평균 3~4시간이 경과한 시점에서 SS 및 BOD가 침투치를 나타내었는데 SS 및 BOD의 경우에 침투유량에 선행하여 농도 침투치를 형성하고 있으나 전체적으로 침투유량의 수문곡선과 유사하게 분석되었다.

다음으로, 도시유역(HC2, SJ2)인 HC2지점의 경우에 초기강우 시점으로부터 평균 1~2시간 이후로 누적강우량이 약 10~15 mm인 시점에서 SS 및 BOD가 침투치를 나타내었는데, 평균 SS는 약 45 mg/l까지 급격히 상승하는 유출특성을 보였고, 평균 BOD는 약 25 mg/l로 오염물질 농도곡선이 수문곡선 형태와 유사한 경향을 나타내었다. SJ2지점도 경우에 강우가 발생한 후, 평균 1~2시간이 경과한 시점에서 SS 및 BOD가 침투치를 나타내었는데 BOD와 SS의 경우에 HC2 지점과 유사하게 침투유량에 선행하여 침투치가 발생

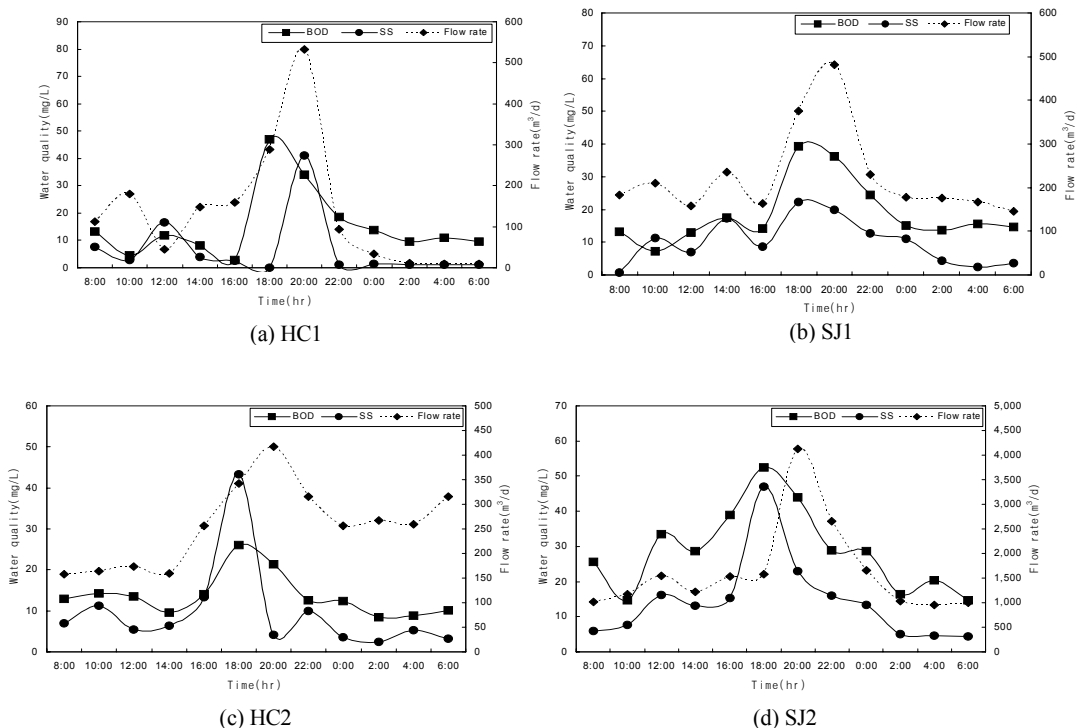


Fig. 4. Time series distribution of each parameter (Event : 2009. 8. 11).

하였다.

모든 지점에서, SS 및 BOD의 오염물질 농도가 초기강우 시작 후 평균 30분~1시간 내에 변동폭이 발생하였으며 도시구역은 적은 강우시에도 오염물질 유출이 빠르게 나타나는 유출특성을 보였다. 초기강우 시작 후, 오염물질 농도는 급격히 상승하고 유량 증가로 인한 희석작용으로 인하여 빠르게 감소하는 경향을 나타내었으며, SJ2지점의 경우에는 평균 5 mm 내외의 강우시부터 오염물질 유출이 초기강우 시작과 거의 동시에 나타났고, 토구 안에 축적된 오염물질과 불투수면에 적재되어 있던 오염물이 강우 초기 일시적으로 유입되어 전체적으로 다른 지점보다 높은 농도로 유출되는 경향을 나타내었다. 다음의 Fig. 4는 2009년 8월 11일에 발생한 호우로부터 유량과 SS 및 BOD의 시계열자료를 도시한 것이다.

### 3.4. 토지이용별 유량가중평균농도(EMC)

초기강우시 비점오염원 유출량의 유출특성을 가장 잘 반영하는 것으로 알려진 유량가중평균농도(EMC)를 이용하여 2009년 8월 11일에 발생한 호우사상을 대상으로 농촌 및 도시지점별 비점오염물질에 대한 EMC 산정결과를 Table 3(a)~(b)에 나타내었다. 4개 지점(HC1, HC2, SJ1 및 SJ2)에서 시간별 평균 EMC를 산정한 결과, HC1 지점에서 BOD의 경우 0.1~15.6 mg/l, SS가 0.1~22.2 mg/L, HC2 지점에서 BOD의 경우 0.5~3.3 mg/l, SS가 0.2~5.5 mg/l, SJ1 지점에서

BOD의 경우 0.6~7.0 mg/l, SS가 0.1~2.3 mg/l 및 SJ2지점에서 BOD의 경우 0.8~9.6 mg/l, SS가 0.2~6.4 mg/l의 범위로 나타났다. 전반적인 평균농도의 크기는 BOD의 경우 SJ2, HC1, SJ1 및 HC2지점, SS는 HC1, SJ2, HC2 및 SJ2지점의 순으로 나타났는데 일부 과도한 증가치를 제외하면 도시지역이 농촌지역보다 높고 안정된 농도분포로 분석되었다.

본 분석결과에서, 농촌지역의 일부 높은 수질관측치의 경우는 토지이용 특성상 강수가 일정기간 지속된 후 급격한 유량증가와 더불어 농경지 등으로부터 오염물질 유입이 일시에 증가한 영향이고, 도시지역은 강우시 불투수지표면 등으로부터 오염물질 유입현상이 초기부터 일정기간 동안 지속적으로 이루어져 전체적으로 높게 나타난 것으로 판단된다. 그리고 강우특성 인자와 오염물질별 EMC와의 상관성을 분석한 결과에서 SS 및 BOD는 강우량(rainfall) 및 강우강도(rainfall intensity)와 일정부분 상관성을 보이는 것으로 나타났으나, 선형강우지수(API)와는 상관성이 거의 없는 것으로 분석되었으며 이러한 결과는 도시지역의 경우에 더욱 근접하는 경향을 나타내었고 기존에 보고된 연구와도 거의 일치하였다(Charbeneau와 Barrett, 1998; Gupta와 Saul, 1996; 김 등, 2009).

### 3.5. 초기세척효과(First flush effect)

침투유출량 발생시점과 동일한 시점에 침투농도값이 발생하거나 유역의 형상, 토지이용상태 및 강우조

Table 3(a). Runoff loads and EMC according to monitoring time for study area(Rural area)

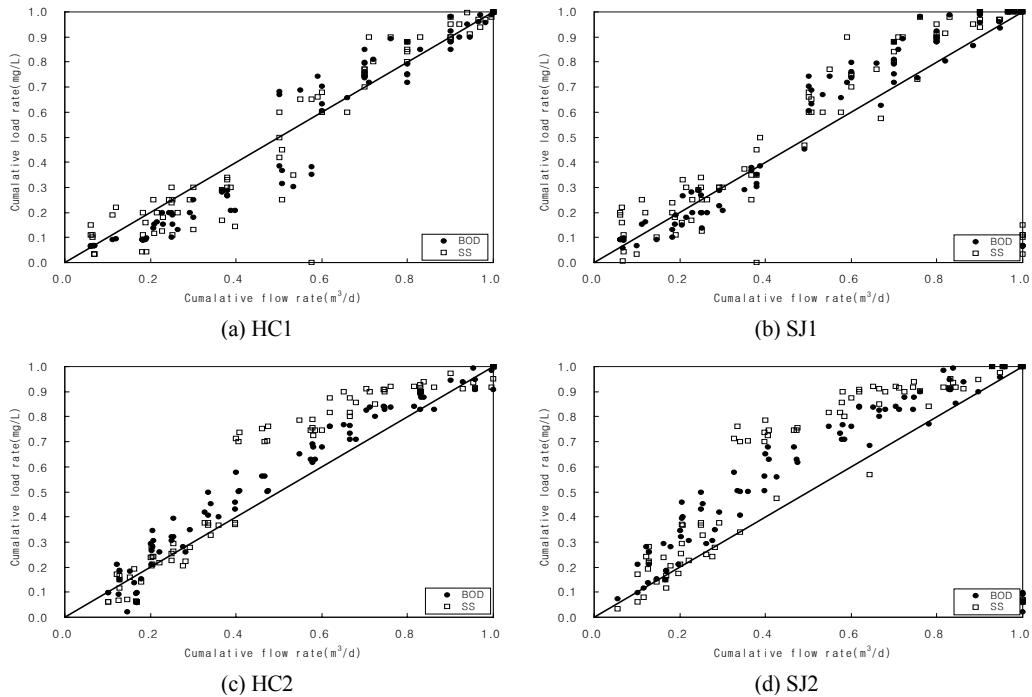
Date	Time	Runoff ( $m^3/d$ )		EMC(BOD) ( $mg/L$ )		EMC(SS) ( $mg/L$ )		Pollu.load(BOD) ( $kg/d$ )	
		HC1	SJ1	HC1	SJ1	HC1	SJ1	HC1	SJ1
Rural area (2009. 8. 11)	8:00	113.4	182.9	0.9	0.9	0.5	0.1	1.5	2.4
	10:00	180.6	210.5	0.5	0.6	0.3	0.9	0.8	1.5
	12:00	45.9	158.6	0.3	0.8	0.5	0.4	0.5	2.1
	14:00	148.8	235.3	0.7	1.5	0.4	1.5	1.2	4.1
	16:00	160.1	163.7	0.3	0.9	2.5	0.5	0.4	2.3
	18:00	289.5	376.0	15.6	7.0	8.1	2.3	20.5	15.6
	20:00	533.3	480.8	6.0	5.1	22.2	1.6	16.4	13.8
	22:00	94.1	229.3	1.1	2.1	5.1	1.2	1.7	5.6
	0:00	34.3	177.5	0.3	1.0	1.6	1.1	0.5	2.7
	2:00	11.8	175.6	0.1	0.9	0.2	0.3	0.1	2.4
	4:00	8.5	167.3	0.1	1.0	0.1	0.1	0.2	2.6
	6:00	9.0	144.9	0.1	0.8	0.1	0.2	0.1	2.1
	Average		135.8	225.2	2.2	1.9	3.5	0.9	3.7
Sum		1,629.3	2,702.4	26.0	22.6	41.6	10.2	43.9	57.2

**Table 3(b).** Runoff loads and EMC according to monitoring time for study area(Urban area)

Date	Time	Runoff ( $m^3/d$ )		EMC(BOD) ( $mg/L$ )		EMC(SS) ( $mg/L$ )		Pollu.load(BOD) ( $kg/d$ )		
		HC2	SJ2	HC2	SJ2	HC2	SJ2	HC2	SJ2	
Urban area (2009. 8. 11)	8:00	319.7	1,023.4	1.7	1.4	0.7	0.3	5.2	26.1	
	10:00	163.8	1,172.6	0.7	0.9	0.6	0.5	2.3	17.1	
	12:00	161.7	1,548.5	0.7	2.7	0.3	1.3	2.2	51.7	
	14:00	159.7	1,214.2	0.5	1.8	0.3	0.8	1.5	34.7	
	16:00	255.6	1,527.1	1.1	3.1	1.1	1.2	3.6	59.4	
	18:00	372.6	1,583.4	3.3	9.6	5.5	6.4	10.5	158.3	
	20:00	402.3	4,120.5	2.5	4.4	0.5	3.4	7.9	131.3	
	22:00	276.8	2,650.4	1.1	4.0	0.9	1.9	3.5	76.6	
	0:00	257.0	1,662.7	1.0	1.8	0.3	1.1	3.2	33.3	
	2:00	267.5	1,023.5	0.7	0.9	0.2	0.3	2.3	16.8	
	4:00	222.9	960.7	0.6	1.0	0.4	0.2	2.0	19.5	
	6:00	315.7	993.6	0.9	0.8	0.3	0.2	3.0	14.5	
	Average		264.6	1,623.4	1.2	2.7	0.9	1.5	3.9	53.3
	Sum		3,175.3	19,480.6	14.8	32.4	11.1	17.6	47.2	639.3

건 등에 따라 침투유출량 발생시점 전·후에서 오염 물질의 침투농도치가 나타난다. 초기세척효과에 대한 발생유무는 유역면적, 토지이용상태, 강우강도, 강우 지속시간, 불투수층면적 및 선행강우지수(API) 등에 영향을 받으며 수질항목에 따라 다른 경향을 나타내

기도 한다(Deletic, 1998). 본 연구에서는 강우초기에 오염물질 농도가 급격하게 증가한 후 서서히 감소해 지는 초기세척효과를 평가하는 방법으로 누적유출량 비에 대한 누적오염부하량비인 Cumulative load curve ratio를 이용하여 평가하였으며, 다음의 Fig. 5에 결과



**Fig. 5.** Cumulative mass and volume curves for each parameter.



를 나타내었다.

HC1지점은 전형적인 농촌유역 특성을 갖고 있고 지세가 완만한 지형학적 특성을 보이고 있다. 초기에는 관측치인 SS 및 BOD의 대부분이 이등분선상에 또는 아래에 위치하는 것으로 나타나, 세척효과가 미미한 것으로 분석되었으나, 후기에는 이등분선상이나 위에 거의 위치함으로써 시간이 경과할수록 세척효과는 잘 발생하는 것으로 분석되었다.

SJ1지점은 SS 및 BOD의 약 50%가 이등분선 상에 존재하고 나머지는 이등분선 위와 아래에 분산되어 있는 특성을 보여 HC1지점보다는 상대적으로 초기세척효과가 큰 것으로 분석되었다, 이러한 이유는 두 지점 중에 상대적으로 불투수면적이 SJ1지점이 다소 많기 때문인 것으로 판단된다.

도시지역은 농촌지역과 달리 상대적으로 불투수층 면적 비율이 높아 강우의 도달시간이 짧고, 유출율이 큰 특징이 갖고 있다. 분석에서 유역면적이 작을 경우에는 초기 강우강도가 클수록 유량 및 비점오염물이 일시적으로 다량 유출되는 초기세척효과가 강하게 나타나는 경향을 가지는 것으로 분석되었다. HC2 및 SJ2지점은 SS 및 BOD의 초기세척효과에 대한 분석 결과, 관측치 대부분이 이등분선 상부에 위치하고 있거나 간격이 상당히 떨어져 있는 결과를 나타내고 있다. 이러한 결과는 오염물질 유출이 강우초기에 많이 일어나고 시간이 경과할수록 유출부하량은 감소함을 의미하는 것으로서 초기세척효과가 비교적 명확하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 한편, 초기세척효과 분석에 대한 수질항목의 경우 SS가 BOD보다 변동폭이 훨씬 크게 나타나고 있어 SS가 강우에 더욱 민감한 것으로 분석되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 토지이용 특성에 따른 초기강우시의 비점오염물질 유출특성 분석을 위해 강우시 시간별 수문학적 자료조사, EMC산정 및 First flush effect 분석 등을 실시하였으며 이에 대한 결과는 다음과 같다.

1) 유량증가에 따른 수질분포양상을 보면, BOD 및 SS의 변동폭은 HC1지점이 SJ1지점보다 큰 것으로 나

타났는데 이는 상대적으로 HC1지점이 농경지나 밭경작이 많은 이유에 기인된 것으로 판단되며, 전체적으로 BOD보다는 SS의 변동폭이 안정적인 것으로 분석되었다.

2) 7개 호우사상을 분석한 결과에서 HC1지점의 경우에는 초기강우 시점으로부터 평균 3~4시간 이후로서 누적강우량이 약 15~30 mm인 시점에 SS 및 BOD가 침투치를 나타내었는데, 평균 SS는 40 mg/l까지 급격히 상승하는 유출특성을 보였고, 평균 BOD는 45 mg/l로 오염물질 농도곡선이 수문곡선 형태와 유사한 경향을 나타내고 있으나 오염물질 침투치가 수문곡선보다 선행하는 특성을 보였다.

SJ2지점의 경우에 강우가 발생한 후, 평균 1~2시간이 경과한 시점에서 SS 및 BOD가 침투치를 나타내었는데 BOD와 SS의 경우에 HC2지점과 유사하게 침투유량에 선행하여 침투치가 발생하였다. 모든 지점에서, 평균 SS 및 BOD의 오염물질 농도가 초기강우 시작 후 약 30분~1시간 내에 변동폭이 발생하였으며 도시유역은 적은 강우시에도 오염물질 유출이 빠르게 나타나는 유출특성을 보였다.

3) 강우특성 인자와 오염물질별 EMC와의 상관성을 분석한 결과에서 SS 및 BOD는 강우량(rainfall) 및 강우강도(rainfall intensity)와 일정부분 상관성을 보이는 것으로 나타났으나, 선행강우지수(API)와는 비교적 상관성이 없는 것으로 분석되었으며 이러한 결과는 도시지역의 경우에 더욱 근접하는 경향을 나타내었다.

4) 도시지역은 농촌지역과 달리 상대적으로 불투수층 면적 비율이 높아 농촌지역과 달리 유량 및 비점오염물이 일시적으로 다량 유출되는 초기세척효과가 강하게 나타났으며, 초기세척효과 분석에 대한 수질항목의 경우 SS가 BOD보다 변동폭이 훨씬 크게 나타나고 있어 SS가 강우에 더욱 민감한 것으로 분석되었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2009년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 김세원, 최관순, 김동섭, 이미경, 2009, 강우시 시화호 농촌 및 공단유역의 비점오염물질 유출특성, 한국물환경학회지, 25(5), 768-777.
- 김진호, 한국현, 이종식, 2006, 농촌유역의 강우사상별 농업비점원오염물질 유출특성, 한국물환경학회지, 22(1), 69-77.
- 안승섭, 최윤영, 이수식, 2002, 수공구조물이 하천환경에 미치는 영향에 관한 연구, 한국환경과학회지, 11(4), 309-317.
- 이건직, 성진욱, 박주현, 조규수, 박제철, 2010, 중소도시 지역 비점오염물질의 유출 특성, 한국환경과학회지, 19(7), 819-827.
- 이병수, 정용준, 박무중, 길경익, 2008, 경안천 유역 농촌 지역의 비점오염원 배출 특성에 관한 연구, 한국물환경학회지, 24(2), 169-173.
- 이현동, 안재환, 배철호, 김운지, 2001, 강우시 유출부하량을 이용한 팔당상수원 유역의 비점오염원 원단위와 발생량 추정, 한국물환경학회지, 17(3), 313-326.
- 환경부, 2004b, 수질오염공정시험방법, 32-88.
- 최윤영, 최정우, 현길수, 1999, 분포형모형을 이용한 실제 및 확률강우량에 따른 농업유역의 비점원 오염 예측, 수처리기술, 7(3), 93-106.
- 최윤영, 최정우, 2008, 영양염류 부하량 산정을 위한 모형간의 적용성 평가, 한국수처리학회지, 16(1), 73-85.
- 최윤영, 최정우, 2010, 배수유역 분할에 따른 유량-수질 변동특성 분석, 한국수처리학회, 18(2), 69-83.
- APHA, 1998, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th edition Washington D.C., USA, 658-711.
- Bedient, P. B., Hamed, D. A., Charackis, W. G., 1978, Stormwater analysis and prediction in Houston, Journal of the Environmental Engineering, ASCE, 104(EE6), 1087-1100.
- Bedient, P. B., Lambert, J. L., Springer, N. K., 1980, Stormwater pollution load-runoff relationship, J. WPCF, 52(9), 2396-2404.
- Chardeneau, R. J., Barrett, M. E., 1998, Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads, Water Environment Research, 32(8), 1295-1302.
- Christensen, B. A., Ralph, D. E., Jr. Gary, L. B., 1995, Environmental Best Management Practices for Stormwater Management and Design, University of Florida, 212-236.
- Deletic, A., 1998, The first flush load of urban surface runoff, Water Research, 32(8), 2462-2470.
- Eric, H. L., Ellen, M., 1995, Stormwater Management : A Guide for Floridians, Florida Department of Environmental Regulation, 302-331.
- Florida Department of Environmental Regulation, 1988, Florida Development Manual : A Guide to Sound Land and Water Management, 216-219.
- Gupta, K., Saul, A. J., 1996, Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows, Water Research, 30(5), 1244-1252.
- Hawkins, R. H., Hjelmfelt, A. R., 1979, Runoff probability, storm depth, and curve numbers, J. of Irrig. and Drain, 111(2), ASCM, 330-340.
- Ichiki, A., Yamada, K., 1999, Study on characteristics of pollutant runoff into lake biwa japan, Water Sci. Technol., 39(12), 17-25.
- Kato, T., Kuroda, H., Nakasone, H., 2009, Runoff characteristics of nutrients from an agricultural watershed with intensive livestock production, Journal of Hydrology, 368, 79-87.