

# 강우시 주택 및 공단지역의 비점오염원 유출특성

김 강 석\* / 박 종 석\*\* / 홍 현 승\*\*\* / 이 경 훈\*\*\*\*

## Characteristics of Non-point Source Runoff in Housing and Industrial Area during Rainfall

Kang Suk Kim\* / Jong Seok Park\*\* / Hyeon Seung Hong\*\*\* / Kyoung Hoon Rhee\*\*\*\*

**요지** : 비점오염원은 유역 및 지역의 토지이용 형태별로 강우유출수의 유출특성이 다양하고, 강우시 지표면의 각종 오염물질들이 도시하천으로 유입되어 수질에 심각한 영향을 미치고 있다. 본 연구에서는 도시지역을 주택 및 공단지역으로 구분하여 강우유출수의 유출특성을 파악하고자 오염물질별 EMC를 산정하였다. 분석 결과 강우시 주택 및 공단지역의 비점오염원은 강우초기에 유출수의 농도가 급격히 증가한 후 서서히 감소하는 초기세척현상이 발생하였으며, 초기우수의 제어는 필요하였다. 향후 장기적인 강우사상 및 수질조사 자료의 축적, GIS를 이용한 토지이용형태, 지형 및 지질특성의 자료 축적 등 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 유출특성, 비점오염원, 초기세척, EMC

**Abstract** : Non-point source pollutant is exerting a serious influence on the water quality, since the characteristics of stormwater runoff is varied by the land usage pattern of an area and a basin, and all sorts of pollutants on the earth in rainfall flow into the urban stream. This study estimated EMC of each pollutant to investigate the characteristics of stormwater runoff by separating the urban area as the housing area and industrial area. As a result of the analysis, the first flush effect occurred in the non-point source pollutant of housing area and industrial area, as the runoff concentration gradually reduces after it rapidly increases in the initial rainfall, and in case of the non-point source pollutant the control of first stage rain-water. It is considered to require the continuous follow-up study such as the scale of long-term rainfall event and water quality data, land usage pattern by GIS method, database of topography and geological features, and so forth.

**Keywords** : *Runoff characteristic, Non-point source, First flush, EMC(Event Mean Concentration)*

### 1. 서 론

산업화와 인구의 증가로 인한 환경오염은 현재 시급히 해결해야 할 과제로 대두되고 있는 실정이며, 산업이 발전되면서 배출되는 하·폐수의 특성이 다양해져 기존 처리장에서 효율적으로 처리하는데 많은 어려움이 있다. 이렇게 미처리된 오염물질이 하천으로 유입됨에 따라 효율적인 수질

관리에 많은 문제점을 야기하고 있다.

우리나라의 수질정책은 주로 점오염원을 대상으로 도시지역에 하수처리장의 설치, 산업 단지내 폐수종말처리장의 설치 등으로 4대강 수질이 개선된 것을 긍정적으로 평가할 수 있다. 점오염원에 대한 관리가 지속됨에도 불구하고 수질이 더 이상 개선되지 않은 것은 비점오염원에 대한 투자 및 개선이 아직까지는 미흡하기 때문인 것으로 판

+ Corresponding author : victorypjs@jnu.ac.kr

\* 정회원 · 전남대학교 토목공학과 강사 · E-mail : diamond8661@hanmail.net

\*\* 정회원 · 전남대학교 토목공학과 강사 · E-mail : victorypjs@jnu.ac.kr

\*\*\* 정회원 · 고구려학교 토목조경학부 교수 · E-mail : hshong@kgrc.ac.kr

\*\*\*\* 정회원 · 전남대학교 토목공학과 교수 · E-mail : water@jnu.ac.kr

단된다. 공공수역으로 유입되는 오염물질의 발생원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있으며, 제도적으로 관리되고 규제되는 점오염원은 효과적으로 통제되고 있으나, 비점오염원은 계절적, 지역적 편차가 크게 나타나기 때문에 오염물질의 발생량과 부하량의 관리가 현실적으로 어려워 하천수질 악화에 심각한 원인이 되고 있다 (Ichiki, Yamada, 1999; Ritter, Shirmohammadi, 2001; 김성수 등, 2002). 일반적으로 비점오염원은 배출지역에 따라 도시지역, 농촌지역, 자연지역, 수계지역으로 구분할 수 있다. 도시지역은 주택, 상업, 공업지역으로 다시 세분화되며, 농촌지역은 논, 밭, 과수원으로, 자연지역은 산림, 초원 지역으로 세분된다(이인선 등, 1993). 이와 같은 비점오염원은 유역 및 지역의 토지이용 형태별로 강우유출수의 유출특성이 다양하고, 특히 강우시 지표면에 쌓여있던 각종 오염물질들이 강우와 함께 단시간 내에 방류선 수체로 유입되어 도시하천의 수질에 심각한 영향을 미치고 있다.

우리나라 4대강 물 관리 종합대책에 따르면, 수계 전체 오염원 중 비점오염원이 차지하는 오염부하가 42-69%에 달하는 것으로 추정하고 2015년에는 65-70%이상 증가할 것으로 예상하고 있다. 이에 다양한 토지이용형태에 따른 비점오염물질 저감을 통한 수질개선을 위해 국내·외에서는 최근 비점오염물질 유출특성 연구, 유량가중평균농도 산정 연구, 유출부하량 산정연구 등 다양한 유역을 대상으로 활발한 연구가 진행되고 있다(이재용 등, 2008; 정시몬 등, 2008; zhang et al, 2008; 김세원 등, 2009; 정성민 등, 2009; 이정용 등, 2009; 이홍신, 이승환, 2009; Kato et al, 2009). 하지만 다양한 토지이용형태에 따른 비점오염물질의 유출특성에 대한 기초자료는 부족한 실정이다.

본 연구는 국내에서 시행되고 있는 오염총량관리제에 부합하는 조사 자료를 제공하기 위해 광주광역시(이하 광주시) 도시지역을 주택구역과 공단구역으로 세분하였다. 그리고 강우시 발생하는 비점오염원의 유출특성을 분석하기 위하여 시간별 연속조사, EMC 산정 및 유출부하량을 조사하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 대상유역 현황

광주시 지역은 광주천이 도심지 한 가운데를 가로 지르고 있으며, 이를 중심으로 각각의 토지이용 특성에 따른 강우 시 비점오염원이 발생하여 하천으로 유출되는 특성을 지니고 있다. 현재 강우 시 비점오염원 유출은 광주천의 지류인 극락천, 용봉천, 서방천 그리고 동계천 등의 복개하천이 위치한 주택지역인 합류식 지역에서 강우시 우수토실을 통하여 하천으로 SSOs와 CSOs가 다량 유출됨으로서 광주천 및 영산강의 하천 수질을 악화시키고 있다. 광주천변은 구도심, 천변도로, 양동시장 및 남광주 시장이 위치하고 있어 도로에 누적된 오염원과 시장내 오수와 폐기물이 강우시 하천으로 유출됨으로서 오염을 가속화시킬 수 있다. 광주시 주변에 첨단산업단지, 하남산업단지 및 평동산업단지 등을 끼고 있어 강우 시 산업단지 내 도로 및 단지에서 발생하는 오염원이 풍영정천 및 영산강으로 직·간접적으로 유출됨으로써 하천 수질에 영향을 미칠 수 있다.

본 연구에서는 유역 및 토지이용특성을 고려하여 각각의 특성을 대표하여 나타낼 수 있는 지점인 주택구역(K\_1, K\_2)과 공단구역(K\_3, K\_4) 4 곳을 선정하였다. 선정된 대상지점은 Fig.1에 나타난 바와 같으며, Table 1에 대상지점의 특성을 정리하여 나타내었다.

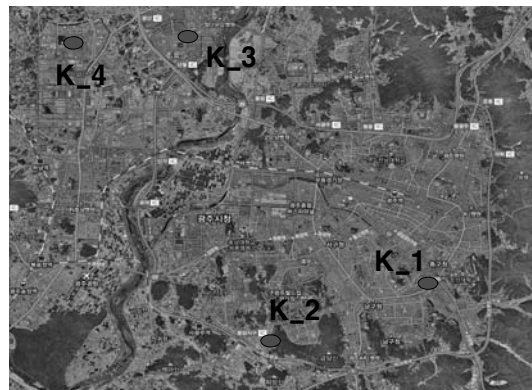


Fig. 1. Study Area

Table 1. Characteristics of site

Monitoring Site	Location	Area (ha)	Characteristic
K_1	Nam Kwang Bridge	18.9	Housing Area
K_2	Poong Am APT	86.6	
K_3	Chum Dan Industrial	152.9	Industrial Area
K_4	Ha Nam Industrial	152.7	

2.2 조사 및 분석 방법

강우시 비점오염원에 의한 오염물질의 유출부하특성을 산정하기 위하여 광주시 주택구역과 공단지역의 하수관거에서 2008년 9월부터 2009년 4월까지 강우시와 비강우시로 나누어 유량 및 수질 조사를 실시하였다. 미국 NPDES에서는 현장 조사 기준이 일일 강우량이 최소 2.54mm 이상이 되어야 하고, 강우 이전의 건기일수(ADD)가 최소한 3일 이상 될 것을 제안하고 있다(Whipple, Hunter, 1981). 본 연구에서는 대상지점의 비점 강우시 수질측정을 위하여 일정시간에 유량을 채수하여 기저유량과 농도를 사용하였다. 그리고 강우시에는 강우 개시 직전부터 시작하여 강우 초반부에는 높은 빈도로 측정하였으며, 중반부와 후반부로 갈수록 시료 채취 간격을 낮은 빈도로 조정하였다. 채취된 수질시료는 BOD, SS, TN, TP 총 4가지 항목을 선정하여, 실험실로 운반한 다음 즉시 분석하거나 냉장보관 하면서 분석하였다. 즉시 분석을 실시하지 않은 경우 수질오염공정시험법에 준하여 시료를 보존처리하여 분석하였다.

유출부하량은 환경부에서 제시한 원단위와는 차별되는 것으로 연구기간동안의 수질 및 유량분석 자료를 통하여 광주시의 토지이용 특성에 따른 유출량의 결과값을 유출부하량으로 산정하였다.

그리고 비점오염원 유출특성을 파악하기 위하여 유출수의 평균농도를 가장 잘 반영하여 나타내는 것으로 알려진 유량가중평균농도(event mean concentration, EMC)를 산정하였다(Charbeneau and Barretti, 1998; Sansalone and Buchberger, 1997). EMC는 강우 시 발생한 총오염물질량을

총유출량으로 나눈 유량가중평균값으로 그 수학적 표현은 식 (1)과 같다.

EMC는 대상지역으로부터 유출되는 비점오염물질의 부하량 산정에 이용되며, 비점오염원부하량은 수질오염총량관리제의 시행을 위하여 매우 긴요한 기초자료로 활용되고 있다.

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

여기에서, EMC : 유량가중평균농도(mg/L), M : 총오염물질량, V : 총유출량. Ct : 시간 t에서의 오염농도, Qt : 시간 t에서의 유출유량, Δt : 이산시간을 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

3.1 강우사상 특성

강우 시 비점오염물질 유출특성 분석을 위하여 강우량, 강우사상(Event)별 선행무강우일수(ADD), 유출계수 등 강우특성을 Table 2에 나타내었다. 유출계수는 유역에 일정기간동안 내리는 강우량으로 인해 발생하여 그 유역의 출구를 통과하는 유출량을 총강우량에 대한 비율로 나타낸 것으로 유역에서의 강우-유출과의 관계를 보여주는 인자로서 해당지역의 토지이용도와 식생계수 그리고 강우강도와 강우량 등의 강우사상의 영향을 받는다(황병기 2005).

Table 2. Description of rainfall events survey

Land uses	Site No	Event Date	Sampling Count	Total Rainfall(mm)	ADD (day)	Runoff Rate
Housing Area	K_1	2009. 02. 19	7	6.5	5	0.73
		2009. 04. 20	13	22.5	35	0.16
	K_2	2008. 09. 20~ 2008. 09. 21	8	12	5	0.92
		2008. 10. 22	6	10.8	32	0.96
		2009. 02. 19	7	6.5	5	0.34
Industrial Area	K_3	2008. 09. 20~ 2008. 09. 21	8	11.5	5	0.59
		2008. 10. 22	10	10.5	32	0.47
		2009. 02. 19	9	5.5	5	0.16
	K_4	2009. 04. 20~ 2009. 04. 21	11	20.1	5	0.50
		2008. 10. 22	10	10.5	32	0.37
		2009. 02. 19	7	4.5	5	0.03
		2009. 04. 20~ 2009. 04. 21	11	28.1	5	0.23

조사기간 동안 주택지역인 남광교 주택지역(K\_1)의 총 강우량은 6.5~20.0 mm의 범위였으며, 선행무강우일수는 2차 강우사상의 35일이 가장 길었다. 유출계수는 0.16~0.73 범위로 나타났다. 그리고 풍암 아파트지역(K\_2)의 총 강우량은 6.6~10.8 mm의 범위였으며, 선행무강우일수는 2차 강우사상의 32일이 가장 길었다. 유출계수는 0.34~0.96 범위로 유역면적 및 강우량 등을 고려할 때 높은 값을 나타냈다. 공단지역인 첨단 산단 지역(K\_3)의 총 강우량은 5.5~20.1 mm의 범위였으며, 선행무강우일수는 1차 강우사상의 32일이 가장 길었다. 유출계수는 0.16~0.59 범위로 나타났다. 그리고 하남 산단지역(K\_4)의 총 강우량은 4.5~28.1 mm의 범위였으며, 선행무강우일수는 1차 강우사상의 32일이 가장 길었다. 유출계수는 0.03~0.37 범위로 유역면적 및 강우량 등을 고려할 때 낮은 값을 나타냈다. 불투수성 포장비율이 높은 지역은 유출계수가 크고 강우 시 오염물질 유출량도 증가한다. 따라서 유출계수가 높게 나타

난 K\_1과 K\_2에서 강우 시 많은 양의 오염물질이 유출될 것으로 판단된다.

### 3.2 비점오염물질 유출

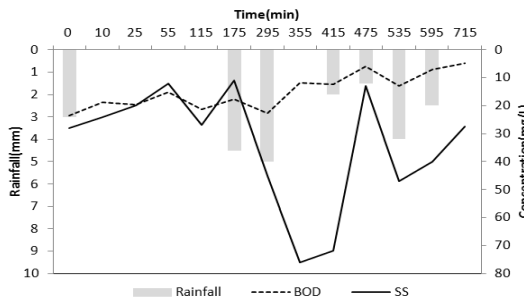
Fig. 2는 주택지역의 비점오염원 특성을 나타내고 있으며, Fig. 2(a)는 K\_1 지점의 합류식 주택지역 우수토실로 강우량 및 수질변화 양상을 나타낸 것이다.

BOD는 큰 변화가 없으며, SS는 초기 강우 시 농도의 변화가 나타나지 않았지만 175분 후 4.5mm 강우 시 급격히 증가하는 경향을 보였다. T-N과 T-P는 초기 강우 이후 다소 증가하였으나 곧바로 희석되는 것으로 나타났다. Fig. 2(b)는 K\_2 지점의 우수 유출수 토구에서의 강우량 및 수질변화 양상을 나타낸 것이다. 이 지역은 분류식 지역으로서 산능선을 따라 둘러진 사이에 아파트가 위치함으로써 아파트 지역에서 발생하는 우수는 곧바로 인근 풍암저수지로 유입되고 있다.

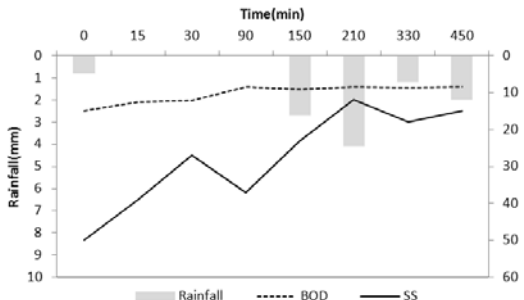
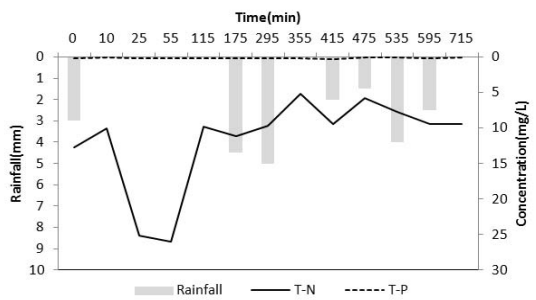
Fig. 2(b)에 나타난 것처럼 강우량의 증가에 따라 유출되는 농도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 하지만 이러한 결과는 10월 21일 발생한 강우에 의한 초기세척현상으로 판단된다. 초기세척 현상은 강우초기에 유출수의 농도가 급격히 증가한 후 서서히 감소하는 특성을 말하며, 강우강도가 강할 경우와 강우사상이 빈번하게 발생할 때 그 특성이 잘 나타난다.

Fig. 3은 공단지역의 비점오염원 특성을 나타내고 있으며, Fig. 3(a)은 K\_3 지점의 우수 유출

토구에서의 강우량 및 수질변화 양상을 나타낸 것이다. 초기 강우 시 BOD와 SS의 농도가 최대치를 보였으며, 강우가 지속되면서 오염물질의 농도는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 노면의 각종 부유물과 관거내에 퇴적되어 있는 퇴적층이 초기 세척현상에 의해 순간적으로 유출되기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 3(b)는 K\_4 지점인 우수 유출 토구의 수질변화를 나타낸 것이다. K\_4 지점은 K\_3 지점과 위치가 크게 떨어지지 않은 곳으로 강우사상 또한 큰 차이가 없었다.



(a) K\_1 (20. Apr, 2009, 8:30)



(b) K\_2 (22. Oct, 2008, 7:20)

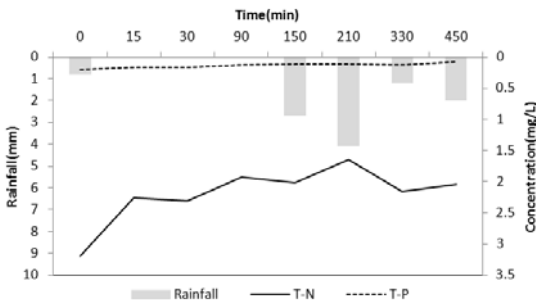
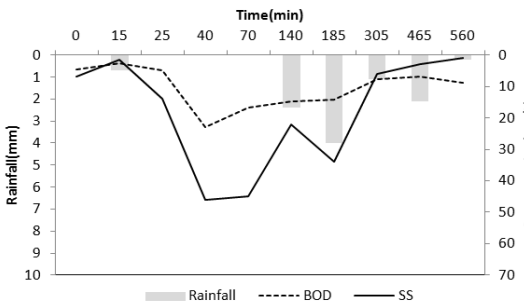


Fig. 2. Variation of pollutant concentration according to rainfall event for Housing area



(a) K\_3 (22. Oct, 2008, 1:00)

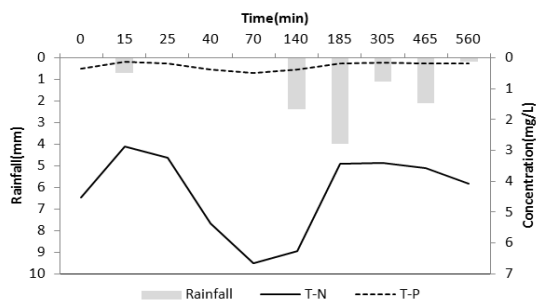
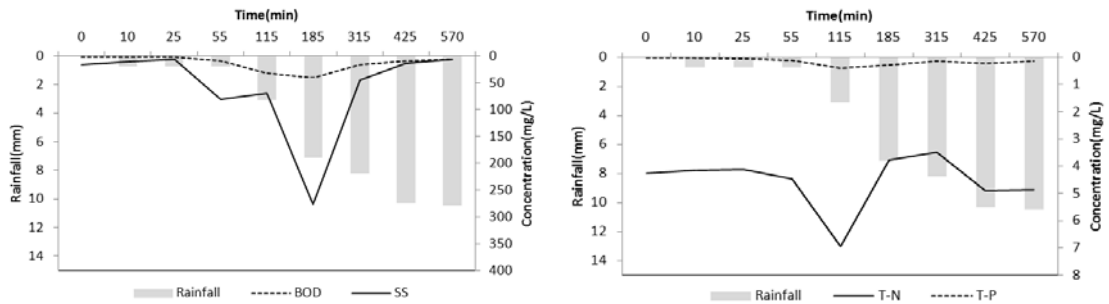


Fig. 3. Variation of pollutant concentration according to rainfall event for Industrial area



(b) K\_4 (22. Oct, 2008, 1:30)

Fig. 3. Variation of pollutant concentration according to rainfall event for Industrial area (계속)

그러나 BOD의 최대 농도는 K\_4에서 31.7 mg/L를 나타내어 K\_3의 23.05 mg/L 보다는 크게 나타났으며, 이는 기존 일반산업단지가 첨단산업단지의 유출 농도보다는 크게 나타날 수 있음을 단적으로 보여주는 것이라 할 수 있다. 특히, SS의 최고 농도는 K\_3 지점 46 mg/L, K\_4 지점 277 mg/L로 약 6배 높은 수치가 나타나 K\_4 지점의 초기우수의 제어가 필요함을 알 수 있다.

그러나 T-N 및 T-P는 일반도시의 유출농도보다는 낮게 나타나 영양염류로 인한 유출 농도는 다소 낮은 것으로 나타났다. 또한 공단지역은 주택지역에 비해 적은 강우시에도 오염물질 유출이 빠르게 나타나는 유출특성을 보였으며, 초기 강우 시작 후 오염물질 농도는 급격히 상승하고 유량증가로 인한 희석작용으로 인하여 빠르게 감소하는 경향을 보였다.

### 3.3 유출부하량 및 EMC

#### 3.3.1 유출부하량

Table 3은 각 지점별 유출부하량을 나타낸 것으로 유역의 특성에 따라 많은 차이가 나타났다. 주택지역의 유출부하량은 K\_1 지점의 BOD 57.0 kg/ha/yr, SS 140.0 kg/ha/yr, T-N 24.4 kg/ha/yr, T-P 1.0 kg/ha/yr으로 나타났으며, K\_2 지점의 BOD 192.8 kg/ha/yr, SS 1,053.1 kg/ha/yr, T-N 40.1 kg/ha/yr, T-P 4.7 kg/ha/yr으로 나타났다. 또한, 공단지역인 K\_3과

K\_4 지점의 BOD 유출부하량은 각각 85.3 kg/ha/yr과 60.9 kg/ha/yr으로 나타나 주택지역에서 발생하는 유출부하량보다는 상대적으로 낮게 나타났다.

전체적으로 BOD와 SS 유출부하량이 가장 높은 지역은 주택지역인 K\_2 지점이며, T-N 유출부하량이 가장 높은 지역은 공단지역인 K\_3 지점이고, T-P 유출 부하량이 가장 높은 지역은 BOD와 SS 유출부하량이 가장 높았던 K\_2지점으로 나타났다. 반면, 유출계수가 높게 나타나 유출부하량이 가장 높을 것으로 판단되었던 K\_1 지점의 유출부하량은 다른 지역에 비해 전 항목에서 다소 낮은 결과를 나타내었으며 특히, BOD와 SS 유출부하량은 상대적으로 낮은 결과를 나타냈다.

분석 결과 전체 유출부하량을 기존 유출부하량 및 원단위와 비교하면 도시지역임을 감안할 때 적절한 범위임을 알 수 있으나 다소 낮은 결과를 나타냈다(방기웅 등, 2000; 김세원 등, 2009; 이홍신·이승환, 2009). 이러한 결과는 향후 광주시 유역내 비점오염원 원단위를 산정하고자 할 때 기초 자료로서 신뢰성을 가질 수 있을 것으로 판단되며 유출부하량 산정은 향후 지속적으로 도출함으로써 광주시 유역의 통일된 오염원단위를 설정할 수 있어야 할 것이다.

#### 3.3.2 EMC

강우 시 월류수가 수체에 미치는 영향을 파악

하기 위하여 부하량 개념의 EMC를 제시하는 것이 바람직하다고 판단되는데, 이는 유출수가 수체에 미치는 영향을 부하량 개념으로 나타낸 것이다 (최성현 등, 2002). 산술평균농도는 건기시 작은 변동의 유량과 농도 발생시에는 사용이 간편하지

만, 강우시 유출되는 유량과 오염물질 농도의 폭이 클 때에는 유량과 이산시간을 고려하지 않기 때문에 수체가 실제로 받아들이는 영향을 평가하기엔 부족하기 때문이다.

Table 3. Annual unit loads of pollutants in each site (unit : kg/ha/yr)

Site No	Location	Area (ha)	BOD	SS	T-N	T-P
K_1	Nam Kwang Bridge (CSOs)	18.9	57.0	140.0	24.4	1.0
K_2	Poong Am APT (SSOs)	86.6	192.8	1,053.1	40.1	4.7
K_3	Chum Dan Industrial (SSOs)	152.9	85.3	553.7	82.9	2.8
K_4	Ha Nam Industrial (SSOs)	152.7	60.9	531.2	27.2	1.4

Table 4. Runoff Coefficient and EMC in each site

Land uses	Site No	Area (ha)	Runoff Coefficient (average)	EMC (mg/L)			
				BOD	SS	T-N	T-P
Housing Area	K_1 (CSOs)	18.9	0.45	11.1	28.8	5.7	0.2
	K_2 (SSOs)	86.6	0.74	13.1	82.3	3.0	0.4
Industrial Area	K_3 (SSOs)	152.9	0.49	8.8	25.5	4.5	0.2
	K_4 (SSOs)	152.7	0.31	12.1	64.4	5.2	0.2

Table 4는 각 조사지점별 EMC을 나타낸 것으로 주택지역인 K\_2 지점이 전반적으로 높게 나타나 BOD 13.1 mg/L, SS 82.3 mg/L로 나타났으며, 공단지역인 K\_4 지점이 K\_3 지점보다 상대적으로 낮게 나타났다. 그리고 T-N 및 T-P는 주택지역 및 공단지역 모두 비슷한 농도를 나타내었다. 김세원 등(2009)은 공단유역 하천에서는 강우시 공단유역으로부터 고농도의 오염물질 유출현상이

나타나 유기물 및 영양염류 EMC 산정결과가 높다고 하였는데 본 연구에서는 공단지역보다 주택 지역에서 높게 나타났다. 이러한 이유는 공단유역의 경우 강우량, 강우강도 및 선행무강우일수 등 강우특성 인자와 상관성이 크게 나타나지 않는 특성 때문이라고 판단된다(Charbeneau and Barrett, 1998; Gupta and Saul, 1996; 김세원 등, 2009).

## 4. 결 론

본 연구는 오염총량관리제에 부합하는 조사 자료를 제공하기 위해 도시지역을 주택 및 공단구역으로 구분하여 강우유출수의 유출특성을 파악하고자 강우 사상 특성, 비점오염물질 유출 특성 및 오염물질별 EMC를 산정하였으며, 분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유출계수의 범위는 주택지역은 0.16~0.96으로 나타났으며, 공장지역은 0.03~0.59로 나타났으며, 유역면적 및 강우량 등을 고려할 때 주택지역은 공단지역보다 높게 나타났다.
2. 비점오염원 특성에서 주택지역은 강우초기에 유출수의 농도가 급격히 증가한 후 서서히 감소하는 초기세척현상이 발생하였다. 공단지역은 초기 강우시 BOD와 SS의 농도가 최대치를 보였으며, 강우가 지속되면서 오염물질의 농도는 감소하는 것으로 나타났다.
3. 공단지역의 BOD 유출부하량은 주택지역에서 발생하는 유출부하량보다 상대적으로 낮게 나타났지만, 분석 결과 전체 유출부하량을 기존 유출부하량 및 원단위와 비교하면 도시지역임을 감안할 때 다소 낮은 결과값을 나타냈다.
4. 조사지점별 EMC는 주택지역인 K<sub>2</sub> 지점이 전반적으로 높게 나타났으며, 공단지역인 K<sub>4</sub> 지점이 K<sub>3</sub> 지점보다 상대적으로 낮게 나타났다. 그리고 T-N 및 T-P는 주택지역 및 공단지역 모두 비슷한 농도를 나타내었다.
5. 광주시 지역의 강우시 오염물질 유출특성 조사를 통하여 주택 및 공단지역의 유출특성을 파악하였으며, 오염원에 대한 유출부하량 산정을 통해서 오염기여율 예측 및 수질 개선효과에 기여하고 향후 비점오염저감시설 대상지의 선정, 오염원 관리를 위한 기술 및 제도적 관리방안 마련 등을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정옥진. 2002. 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사. 대한환경공학회지 24(11): 2019-2027.
- 김세원, 최광순, 김동섭, 이미경. 2009. 강우시 시화호 농촌 및 공단유역의 비점오염물질 유출 특성. Journal of Korean Society on water Quality 25(5): 768-777.
- 방기웅, 이준호, 최종수. 2000. 강우시 산업단지에서의 오염물질 유출특성. 대한환경공학회지 22(2): 341-353.
- 이인선, 신상철, 정동일. 1993. 비점오염원 배출 원단위 산정방법에 관한 연구. 1993년 환경종합 학술대회 pp 281-288.
- 이정용, Marla C. Maniquiz, 최지연, 이재운, 김이형. 2009. 강우시 인공 초지의 비점오염물질 유출특성 및 상관성. 한국습지학회지 11(3): 145-151.
- 이재용, 장성호, 박진식. 2008. 도시 강우시 도시지역의 비점오염원 유출 오염 부하 특성 분석 -포항시를 중심으로. 한국수처리학회지 16(1): 35-44.
- 이홍신, 이승환. 2009. 국내 중소 도시지역 강우 유출수의 유출특성. 대한환경공학회지 31(3): 193-202.
- 정성민, 장창원, 김재구, 김범철. 2009. 한강상류 고령지 농업지역에서의 강우시 비점오염 유출 특성. 한국물환경학회지 25(1): 102-111.
- 정시문, 박인혁, 하성룡. 2008. 강우시 도시배수 구역의 유출특성 지배인자 분석. 한국습지학회지 10(2): 105-114.
- 최성현, 최승철, 박은영, 임재명. 2002. 강우시 합류식 하수관거의 유출특성 분석. 산업기술연구 22(B): 95-101.
- 황병기. 2005. 강우시 도시지역 비점오염원 유출 특성 분석. 환경영향평가 14(2): 75-85.
- Charbeneau, R. J. and Barrett, M. E. 1998.



- Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads. *Water Environment Research* 70(7): 1295-1302.
- Gupta, K. and Saul, A. J. 1996. Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows. *Water Research* 30(5): 1244-1252.
- Sansalone, J. J. and Buchberger, S. G. 1997. Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water. *Journal of Environmental Engineering ASCE* 123(2): 134-143.
- Kato, T., Kuroda, H., and Nakasone, H. 2009. Runoff characteristics of nutrients from an agricultural watershed with intensive livestock production. *Journal of Hydrology* 358: 79-87.
- Ichiki, A. and Yamada, A. 1999. Study on characteristics of pollutant runoff into lake Biwa Japan. *Wat. Sci. Tech* 39(12): 17-25.
- Whipple W., Hunter J. V. 1981, Settleability of urban runoff pollution. *Journal of Water Pollution Control Federation* 53(12): 1726-1731.
- Ritter, W. F. and Shirmohammadi, A. 2001. *Agricultural non-point source pollution*, Lewis Publishers pp. 149-154.
- Zhang, Z., Fukushima, T., and Onda, Y. 2008. Characteristics of diffuse pollutions from forested watersheds in Japan during storm events-Its association with rainfall and watershed features. *Science of the Total Environment* 290: 215-226.
- 논문접수일 : 2012년 09월 01일
- 심사의뢰일 : 2012년 09월 03일
- 심사완료일 : 2012년 11월 04일