ORIGINAL ARTICLE

수원시 비점오염물질의 유출 특성

지흥진 · 이상은^{1)*} · 이재동²⁾

수원시청 물관리과, ¹⁾아주대학교 환경공학과, ²⁾가천대학교 환경에너지공학과

Runoff Characteristics of Non-point Pollutants Source in Suwon City

Hong-Jin Chi, Sang-Eun Lee^{1)*}, Jae-Dong Lee²⁾

Water Management Division, City of Suwon, Suwon 442-701, Korea

¹⁾Environmental, Civil and Transportation Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

²⁾Environmental and Energy Engineering, Gachon University, Seongnam 461-701, Korea

Abstract

This study was to investigate the runoff characteristics of non-point pollutants source at the urban area in Suwon city. The highest T-N and T-P concentration of rainfall runoff observed in agricultural area. In residential area, the highest BOD₅ and SS concentration of rainfall runoff was investigated. During rainfall events, the peak concentrations of SS and BOD₅ were observed after 1~2 hours of rainfall in urban area. Whereas, the peak concentrations occurred within 1~2 hours after rainfall and then the highest concentrations of SS and BOD₅ sharply decreased, showing strong first flush effect in urban area. The EMC results indicated that the highest value of T-N and T-P in agricultural area was observed. While residential area was shown the lowest EMC value as T-N and T-P. Non-point pollutant loads on the land use types in urban area were investigated in the order of residential>industrial>agricultural>highway. BOD₅ and SS loads on urban watershed were investigated in the order of Suwon>Hwangguji>Seoho>Wonchunri. Whereas, T-N and T-P loads on urban watershed were investigated in the order of Hwangguji>Suwon>Wonchunri>Seho.

Key words : Non-point pollutants source, EMC, First flush effect, Land use types, Loads

1. 서 론

도시지역의 도로면으로 강우시 하천으로 유입되는 오염물질의 유출은 정량화하기 어렵고 관리 또한 쉽지 않은 비점오염원의 특징을 갖고 있다. 이러한 오염물질의 유출은 점 오염과 달리 처리시설에서 처리가 곤란하고 80 % 이상이 여름철 기간에 하천 등으로 유출된다(Kang, 1995; Kang 등, 1996). 도시지역의 오염물질은 인간과 산업 활동에 기인하고 있어 하천으

로의 유입지점을 인지하기 어렵고, 강우 시 인근 수계로의 유입 간격이 무작위적이고 유입량과 수질에 있어서 변화의 폭이 크기 때문에 강우의 영향이 가장 큰 영향을 미치게 된다. 강우는 오염물질이 수계로 유입되는 즉, 영양물질의 유입이라는 매개체로 작용도 한다. 강우 시 도시지역의 도로상태, 지형 및 강우강도 등의 특성으로 하천으로 유입성분이 달라질 수 있다. 토지이용별 발생하는 오염물질을 살펴보면, 포장지역의 경우 주로 자동차로 인한 중금속, 입자성 물질 및

Received 26 February, 2013; Revised 8 April, 2013;

Accepted 25 April, 2013

*Corresponding author : Sang-Eun Lee, Environmental, Civil and Transportation Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea
Phone: +82-31-219-2401
E-mail: leese@ajou.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

탄화수소 등의 유출이 높은 반면, 임야지역은 자연적 유기질의 유출이 높게 나타나고 있으며, 농업지역의 경우 비료성분의 유출이 높은 특징이 있다(Irish 등, 1998; Kim 등, 2005).

호수나 저수지 등은 오염물질의 축적이 가능하여 오염물질의 총량이 문제가 될 수 있으나, 하천의 경우 강우 초기나 지역적으로 오염물질의 함유량이 매우 중요한 문제가 된다(Choi 등, 1994; Jung, 1994).

오염물질의 하천 유입은 강우-유출 현상과 밀접한 관계가 있어 관리가 어렵다. 지금까지는 대부분 수량에 대한 즉, 홍수를 대비한 것이 사실이다. 이러한 오염원의 발생 및 유출특성을 조사한다면 도시지역의 하천의 오염을 억제할 수 있으며, 나아가 처리시설의 설치를 위한 기본자료로 활용할 수 있다. 또한, 오염물질의 유입으로 오염이 가중되고 있는 하천의 정화시설을 설치하는 데도 기초자료로 활용이 크다 하겠다.

도시지역의 강우 유출수에 의한 비점오염원의 형태 및 오염물질은 주민 거주지, 산업단지, 도로 및 농경지 등 토지이용현황별로 차이가 나며, 이러한 오염물질이 도심 내에 흐르는 하천으로 유입됨에 따라 하천 및 호소에 대한 환경적 악영향을 줄 수 있다.

본 연구에서는 수원시 4대 하천인 황구지천, 서호천, 수원천 및 원천리천으로 유입되는 강우유출수 중의 오염물질의 농도를 토지이용현황 및 면적 등으로 평가하여, 향후 수원시의 비점오염물질의 효율적인 관리를 위한 저감시설 선정에 필요한 기초 설계 자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구재료

2.1.1. 조사대상지역의 개요

본 연구는 강우 시 도시지역에서 강우유출수와 함께 하천으로 유입되는 비점오염물질의 유출특성을 확인하기 위해 수행되었다. Fig. 1에 조사지역을 나타내었다. 조사지역은 경기도 수원시의 도시하천인 황구지천, 서호천, 수원천 및 원천리천으로 강우 중에 비점오염원이 유입되는 S-1에서 S-12 지점이다. 황구지천(H)으로 유입되는 지점은 S-1, S-2, S-8 및 S-9이고, 서호천(Se)으로 유입되는 지점은 S-3 및 S-10이며, 수원천(Su)으로 유입되는 지점은 S-4, S-5, S-6 및 S-11이고, 원천리천(W)으로 유입되는 지점은 S-7 및 S-12

Fig. 1. Location of sampling sites in the watershed of the Suwon city.

Table 1. Rainfall characteristics of watershed in Suwon city

Watershed		Land use type	Area (ha)	Event no.	Event date (y/m/d)	Rainfall (mm)	Rainfall duration (hr)	Ave. rainfall intensity (mm/hr)				
S-1	H	Agricultural	28.7	1	2009/03/12~13	16.5	12	1.4				
				2	2009/04/20~21	29.5	20	1.5				
				3	2009/09/21	13.0	15	0.9				
				4	2009/10/13	10.5	10.5	1.0				
S-2		Mountainous	3.5	No outflow								
S-3	Se	Industrial	3.1	1	2009/03/12~13	16.5	12	1.4				
				2	2009/04/20~21	29.5	20	1.5				
				3	2009/09/21	13.0	15	0.9				
				4	2009/10/13	10.5	10.5	1.0				
S-4	Su	Residential	0.05	1	2009/03/12~13	16.5	12	1.4				
2				2009/04/20~21	29.5	20	1.5					
S-5			108.0	1	2009/03/12~13	16.5	12	1.4				
S-6				2	2009/04/20~21	29.5	20	1.0				
S-7	W	Highway	5.9	No outflow								
				1	2009/03/12~13	16.5	12	1.4				
				2	2009/04/20~21	29.5	20	1.5				
				3	2009/09/21	13.0	15	0.9				
				4	2009/10/13	10.5	10.5	1.0				
				S-8	H	Agricultural	12,106.6	1	2009/03/12~13	16.5	12	1.4
								2	2009/04/20~21	29.5	20	1.5
								3	2009/09/21	13.0	15	0.9
4	2009/10/13	10.5	10.5					1.0				
S-9			2,117.4	3	2009/09/21		13.0	15	0.9			
				4	2009/10/13		10.5	10.5	1.0			
S-10	Se		3,091.9	3	2009/09/21		13.0	15	0.9			
				4	2009/10/13		10.5	10.5	1.0			
S-11	Su		1,691.9	3	2009/09/21		13.0	15	0.9			
				4	2009/10/13		10.5	10.5	1.0			
S-12	W		2,682.7	Under construction								

지점이다. Table 1에 지점별 유입되는 하천과 유역면적 및 토지이용형태를 나타내었다. 조사지역은 농경지(agricultural), 산지(mountainous), 거주지(residential) 및 고속도로(highway)로 도시지역의 다양한 토지이용형태에 따라 발생하는 비점오염원의 유출 특성을 평가할 수 있는 특징을 보이고 있다.

2.1.2. 각 지점의 이벤트 동안의 강우사상

본 연구는 강우 시 강우유출수의 유출특성을 조사하기 위해 2009년 3월(1차 이벤트), 4월(2차 이벤트), 9월(3차 이벤트) 및 10월(4차 이벤트)에 걸쳐 1일 또는 2일의 강우사상에 대하여 모니터링 하였으며, Table 1에 나타내었다. 모니터링 기간 동안에 총 강우량은

10.5~29.5 mm의 범위였고, 강우강도는 0.9~1.5 mm/hr의 범위를 나타내었다. S-4 및 S-5는 1, 2차 이벤트를 모니터링하였고, S-9, S-10 및 S-11은 3, 4차 이벤트를 모니터링 하였다. 지점인 S-2 및 S-6은 유량 및 수질측정을 위한 강우를 확보할 수 가 없었다. 그리고 S-12는 광교지구 택지 개발에 의한 토사 등의 유출로 인하여 데이터를 확보하지 못하였다.

2.2. 연구방법

모니터링 지점에서의 유량조사는 프로펠라형 유속계(Model 2100)를 이용하였으며, 유속면적법(Velocity-Area Method)에 의해 30분 간격으로 연속 측정하였다. 기상관측자료(수원 관측소)는 기상청의 강우자료

를 이용하였다. 비점오염물질의 유출특성을 파악하기 위해 1~2시간 간격으로 채수를 실시하였으며, 오염물질 분석항목은 BOD₅, SS, T-N 및 T-P로 수질오염 공정시험법에 의하여 분석하였다. 분석된 결과를 바탕으로 강우시 대상지역에서 발생한 오염물질의 총량을 강우유출수의 양으로 나눈 값인 Event Mean Concentration(EMC, 유량가중농도)을 산정하였으며, 이는 식 (1)에 제시하였다(Novotny, 1995).

$$EMC = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C_{(t)} \times Q_{(t)}}{\sum_{t=0}^{t=T} Q_{(t)}} \quad (1)$$

여기서 t는 강우지속시간 (hr), C는 오염물질 농도 (mg/L) 그리고 Q는 유량 (m³/s)을 나타낸다.

$$Pollutant Load = \frac{EMC \times Q}{Area} \quad (2)$$

식 (2)는 대상지역 면적 대비 오염물질 부하량 (kg/ha/yr)을 나타내고 있으며, 이러한 부하량 산정식은 EMC와 유출량 및 유역면적을 고려하여 산정되어진다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우유출수의 유량 및 수질 결과

2009년 4회에 걸쳐 모니터링을 실시한 유량과 오염물질 농도는 Table 2에 정리되어 있고 유량에 따른 오염물질의 시간별 농도변화는 Fig. 2에 나타내었다. 모니터링 결과 전체 지점의 유량의 범위는 최소 0.0055에서 최대 2.87 m³/s로 조사되었다. 모니터링 모든 지역에서 강우량, 강우강도 및 강우지속시간의 차이에도 불구하고 4회의 모니터링 결과 최소유량 및 최대유량이 매우 유사하였다. 이것은 강우량과 강우지속시간의 비인 강우강도 값이 유사한 것에 기인하는 것으로 판단된다. 또한, 30 mm이하의 낮은 강수량에 의하여 이벤트 별 특징과 강우지속시간의 차이에도 불구하고 최소 및 최대 유량이 유사하고 유량변동 폭이 크지 않게 된 것으로 보인다. Lee 등(2012)의 연구에서는 강우량이 유사할 때 최대유량이 지속시간에 비례하지 않고 유사했으며, 강우량이 높고 지속시간

이 유사하면 강우량에 비례하여 최대유량을 나타내었다. 이것은 강우시 유량변동 폭에 기여하는 정도는 강우량이 지속시간 보다 높다는 것을 나타내며, 총 유량 또한 강우량에 비례한다는 것을 나타낸다. Lee 등 (2012)의 연구에서도 강우량이 낮고 강우 지속시간이 상대적으로 길어도 강우량이 높은 이벤트에서 총 강수량이 높게 조사된 것 또한 강우량의 기여도가 가장 높다는 것을 의미한다.

토지이용별로 강우 이벤트 시에 유출 유량을 보면, 농경지인 S-1, S-8, S-9, S-10 및 S-11에서 0.028~2.87 m³/s의 범위로 유출되었다. 산업단지인 S-3은 0.0018~0.007 m³/s의 범위였고, 고속도로인 S-7은 0.0015~0.005 m³/s로 유출되었다. 주민 거주지역인 S-4 및 S-5는 0.00055~0.68 m³/s로 유출되었다. 농경지의 경우 토양으로 침투 및 흡수되는 양을 정확하게 측정할 수는 없으나, 타 토지이용형태보다 높게 조사된 것은 농경지의 구조가 강우를 하천으로 효과적으로 배수가 이루어지는 지역으로 판단된다. 산업단지 및 고속도로 지역은 배수를 위한 장치가 다수 설치되어있어 강우가 하천으로 다양한 경로로 유입됨에 따라 측정된 지점의 유량이 낮게 조사된 것으로 판단된다. 주민 거주지의 경우는 최소 유량은 낮으나 최대유량이 높은 것은 강우가 배수시설을 통과하고 하천으로 유입되기 전에 통합된 유출 통로를 거치게 됨으로서 높은 유량을 나타내었다. 다양한 토지이용형태와 강우사상 특성의 변화에 따른 비점오염원을 포함한 도시지역의 강우 유출량은 향후 비점오염원 관리 시 강우량에 대한 처리시설의 규모에 기초자료로 활용이 가능하다고 판단된다. 강우 유출수의 모니터링 지역은 수원시의 4대 하천으로 유입되는 지점이다. 조사된 지점을 기준으로 최대 유입량은 황구지천>수원천>서호천>원천리천 순으로 조사되었다.

오염물질의 농도는 강우량이 높은 이벤트에서 높게 나타났으며, T-N 및 T-P에 비해서 BOD₅ 및 SS는 강우량에 의해서 최소농도와 최대농도차이가 매우 크게 증가하는 것이 관찰되었다. BOD₅, SS, T-N 및 T-P등 오염물질의 농도의 범위는 각각 1.2~61.2, 2.3~92.4, 0.7~9.8 및 0.1~3.8 mg/L로 나타났다. 오염물질 수질 분석 결과를 살펴보면, SS>BOD₅>T-N>T-P 순으로 강우량 변동에 따라 오염물질의 최소 및 최대의 변동이 관찰되었다. 오염물질의 농도는 강우량이 많은 이

Table 2. Continue

Parameter		S-8				S-9		S-10		S-11	
		Event 1	Event 2	Event 3	Event 4	Event 3	Event 4	Event 3	Event 4	Event 3	Event 4
Event date (y/m/d) Rainfall (mm) Ave. rainfall intensity (mm/hr)		09/03/12~13 16.5 1.4	09/04/20~21 29.5 1.5	09/09/21 13.0 0.9	09/10/13 10.5 1.0	09/09/21 13.0 0.9	09/10/13 10.5 1.0	09/09/21 13.0 0.9	09/10/13 10.5 1.0	09/09/21 13.0 0.9	09/10/13 10.5 1.0
		Minimum Maximum (Peak flow)	2.52 2.86	2.02 2.43	2.03 2.41	1.21 1.32	0.18 0.26	0.14 0.28	0.16 0.26	2.08 2.43	2.13 2.31
		Flow rate (m ³ /s)									
BOD ₅ (mg/L)	Minimum Maximum	9.8 12.6	9.2 14.6	8.7 13.2	9.8 14.4	8.2 11.7	8.7 11.5	9.8 12.6	9.9 12.8	7.2 13.5	9.2 13.6
SS (mg/L)	Minimum Maximum	11.4 25.6	12.6 25.2	8.8 18.3	9.7 14.2	12.1 21.8	13.8 19.2	12.4 22.6	15.3 22.7	7.1 17.4	9.1 15.2
T-N (mg/L)	Minimum Maximum	3.2 3.8	2.5 4.3	2.1 3.6	2.2 3.5	2.3 3.8	2.7 3.9	2.4 3.8	2.9 3.3	2.2 3.8	2.6 3.4
T-P (mg/L)	Minimum Maximum	0.7 1.1	0.8 1.1	0.6 1.1	0.8 0.9	0.8 1.2	1.1 1.3	1.4 1.6	1.5 1.6	0.4 0.7	0.6 0.8

Fig. 2. Variations of BOD₅, SS, T-P and T-N concentration during the various events and sampling sites.

Fig. 2. Continue

(i) S-11

Fig. 2. Continue

벤트 1차 및 2차에서 강우량이 낮은 3차 및 4차 이벤트 보다 높은 경향을 보였으며, BOD₅ 및 SS의 경우 유량에 의해서 토지에 존재하는 유기물 및 입자성 물질의 유입에 의한 것으로 판단된다.

토지이용형태별 오염물질의 발생현황을 보면, 농경지인 S-1, S-8, S-9, S-10 및 S-11에서는 T-N 및 T-P의 농도가 높게 나타났다. 산업단지인 S-3에서는 SS와 T-N이 높게 나왔으며, 주민 거주지역은 BOD₅의 농도가 가장 높게 측정되었다. 고속도로인 S-7은 다른 지역보다 모든 오염물질의 농도보다 낮게 조사되었다. 농경지의 특성상 비료성분의 영향으로 질소 및 인의 유출을 예상할 수 있으며, 나머지 지역은 대부분 불투성도로면의 축적된 유기물 및 부유물질이 강우에 의해서 유출된 것으로 판단된다.

4대 하천으로 유입된 강우유출수의 오염물질의 농도를 보면, 농경지를 전부 포함하는 황구지천의 경우 T-N 및 T-P의 유입이 가장 높게 나타났다. 서호천은 농경지와 산업단지의 강우유출수가 유입되면서 SS 성분이 다량 유입되는 것을 알 수 있다. 수원천은 주민 거주지와 농경지를 포함하는 지역으로 SS, BOD₅ 및 T-N이 높게 유입되는 것을 알 수 있다. 원천리천으로 유입되는 고속도로 강우유출수는 SS 및 BOD₅가 높게 유입되고 있다. BOD₅의 경우 수원천>황구지천>서호천>원천리천 순으로 높게 유입되며, SS의 경우 수원천>서호천>황구지천>원천리천 순으로 높게 유입되고 있다. T-N의 경우 황구지천>수원천>서호천>원천리천 순으로 높게 유입되며, T-P의 경우 황구지천>수원천>서호천>원천리천 순으로 높게 유입되고 있다. BOD₅ 및 SS에 의한 수원천의 오염과 T-N 및 T-P에 의한 황구지천

의 부영양화가 예상되고 있다.

3.2. 강우사상별 강우 유출수 최대유량 및 오염물질 최고농도

강우량 및 강우유출 곡선과 강우유출수에 포함된 BOD₅, SS, T-N 및 T-P의 유출특성을 나타낸 그래프를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2를 보면, 침투유량(최대유량)에 도달한 후 1~2시간이 경과한 후 BOD₅ 및 SS가 침투치를 나타내었다. 모든 모니터링지점에서 BOD₅ 및 SS 농도가 초기 1~2시간 이내에 변동 폭이 발생하였으며 강우강도에 상관없이 빠르게 오염물질이 유출되는 것을 알 수 있었다. 초기강우가 시작한 후에 오염물질 농도는 매우 빠르게 증가하고 이후 유량 증가와 더불어 빠르게 감소하는 경향을 나타내었다. 강우시작 부터 오염물질의 유출이 초기강우 시작과 동시에 발생하며, 토지이용에 상관없이 축적된 오염물질이 강우 초기 일시적으로 유출되는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 초기세척 효과로 설명할 수 있으며, Lee 등(2010) 및 Choi 등(2011)의 연구결과와도 거의 일치하였다. T-N 및 T-P의 경우는 침투유량에 의한 세척 효과가 미비하여 강우량 등에 민감하지 않은 것으로 나타났으며, Lee 등(2010)의 연구에서도 T-N이 유사한 결과를 나타내었다. T-N의 경우는 침투유량과 관계없이 변동 폭 다수 발생하며 유출 농도가 상승과 하강을 반복하는 경향을 보였으며, T-P의 경우는 유출 농도의 변동 폭이 작고 농도 변화가 크지 않고 완만한 경향을 보였다. 따라서, 토지이용형태와 강우량에 관계없이 BOD₅ 및 SS는 초기세척 효과에 민감하나, 반면에 T-N 및 T-P의 경우는 낮은 민감도

를 나타내었다.

3.3. 유량가중 평균농도(EMC) 결과

강우시 오염배출물질에 대한 4차에 걸쳐 강우유출수 모니터링을 통해 각 수질항목 별 EMC 값을 산정하여 Table 3에 나타내었다. 강우유출수의 EMC 농도를

확인해 보면 BOD₅, SS, T-N 및 T-P의 농도는 각각 3.49~21.00, 6.19~31.22, 1.19~4.21 및 0.19~1.30 mg/L이 범위로 나타났다. BOD₅의 EMC 농도에서 최소 값은 주민 거주지역 이었으며 최대 값은 농경지로 나타났다. SS의 EMC 값은 주민 거주지에서 최소 값을

Table 3. EMC on the rainfall events

Watershed points	Event no.	BOD ₅	SS	T-N	T-P
		mg/L			
S-1	1	21.00	17.08	2.33	1.40
	2	12.23	19.23	3.81	0.74
	3	12.40	18.65	3.18	0.77
	4	15.89	21.55	3.04	0.83
	Average	15.38	19.13	3.09	0.93
S-3	1	10.71	15.78	1.97	0.78
	2	16.53	20.43	1.66	0.67
	3	15.03	19.42	1.70	0.58
	4	19.48	31.22	2.53	0.95
	Average	15.44	21.71	1.97	0.75
S-4	1	14.45	21.09	1.52	0.99
	2	15.16	17.97	2.91	0.92
	Average	14.81	19.53	2.21	0.96
S-5	1	3.49	6.19	1.19	0.31
	2	4.28	7.34	1.21	0.19
	Average	3.89	6.76	1.20	0.25
S-7	1	11.37	12.70	2.79	1.11
	2	14.53	22.33	2.99	1.15
	3	14.90	23.88	2.95	1.09
	4	17.35	24.20	2.93	1.11
	Average	14.54	20.78	2.91	1.12
S-8	1	9.57	22.41	3.08	0.86
	2	10.79	16.95	3.55	0.67
	3	9.97	12.22	2.90	0.50
	4	11.68	12.53	3.14	0.62
	Average	10.50	16.03	3.17	0.66
S-9	3	9.70	15.87	3.18	1.05
	4	10.28	16.41	3.41	1.14
	Average	9.99	16.14	3.29	1.10
S-10	3	10.83	17.24	3.32	1.25
	4	11.76	19.14	3.20	1.32
	Average	11.30	18.19	3.26	1.29
S-11	3	11.97	20.22	4.08	1.18
	4	12.03	23.51	4.21	1.30
	Average	12.00	21.86	4.14	1.24

산업단지에서 최대 값을 나타내었다. T-N과 T-P의 EMC는 농경지에서 최대 값을 주된 거주지역에서 최소 값을 동일하게 나타내었다. 하천 별로 유입되는 EMC를 보면, 수원천으로 T-N과 T-P의 높은 EMC 농도가 유입되고 있으며, 서호천으로는 BOD₅와 SS의 높은 EMC 농도가 유입되고 있음을 알 수 있다.

기존의 연구에서 일반적으로 강우량 및 강우강도에 비례하여 EMC 값이 높아지는 경향을 보이는데, 본 연구 결과 강우량과 강우강도가 높은 2차 이벤트의 EMC 값이 강우량과 강우강도가 가장 낮은 4차 이벤트 보다 조금 낮게 나타났다. 이러한 결과는 4차의 모든 이벤트를 모니터링한 결과와 1차 및 2차 그리고 3차 및 4차 이벤트만을 모니터링한 결과에서도 유사한 경향을 보였다. 1차 및 2차만을 모니터링한 S-4 및 S-5와 3차 및 4차만을 모니터링한 S-9, S-10 및 S-11의 경우는 강우량이 많은 이벤트에서 EMC 값이 기존 연구들과 같이 높게 나타났다. 본 연구에서는 기존의 연구자들(Yoon 등, 2011; Lee 등, 2011; Lee 등, 2012)의 강우사상보다 매우 낮은 강우량과 강우강도의 범위에서 도출된 결과에 기인하는 것으로 판단되며, 향후 보다 높은 강우량과 강우강도에서 모니터링하여 본 결과와 비교해야 할 것으로 사료된다.

3.4. 배출부하량 산정

도시지역의 강우사상에 의한 오염물질 유출 부하량을 산정하여 Table 4에 나타내었다. S-7 지점을 기준으로 강우면적이 낮은 지역에서 BOD₅ 및 SS 유출 부하량이 높게 나타났다. 이는 좁은 지역에 집중적으로 강우가 오염물질을 씻어냈으며 넓은 지역에서의 희석효과가 매우 낮았기 때문으로 판단된다. 특히 농경지의 경우 면적이 작은 S-1 지역의 경우 면적이 매우 넓은 S-8, S-9, S-10 및 S-11의 경우 보다 BOD₅ 및 SS의 유출 부하량 뿐만 아니라 T-N 및 T-P의 농도가 각각 최대 3배 및 2배 이상 높게 나타났다. 이것은 농지에 대한 비료성분의 영향을 가장 크게 받는 경우 강우가 내리는 지역의 면적이 오염물질 부하량에 크게 영향을 주는 것으로 사료된다. 동일한 토지이용을 나타내는 주민거주지인 S-4와 S-5는 지역면적의 차이가 매우 크며, 이것은 오염물질의 유출 부하량으로 이어져 지역면적이 넓은 S-5 지점의 모든 오염물질 유출부하량이 낮게

조사되었다. 면적이 매우 넓은 S-8, S-9, S-10 및 S-11은 고속도로인 S-7을 제외하고는 오염물질 유출 부하량이 면적이 낮은 S-1, S-3, S-4 및 S-5 보다 낮게 나타났다. 또한 농경지인 지역적 특징에도 T-N 및 T-P의 유출 부하량이 낮게 나타났다. 이것은 넓은 지역에 내린 강우가 농경지를 통과하면서 비료 성분의 씻김과 유출을 위한 충분한 유속을 가지기 힘든 강우량과 큰 면적이 영향을 주었을 것으로 판단된다.

모니터링 지점의 오염물질의 항목별 평균을 통하여 유출부하량을 토지이용별로 구분하여 비교하였다. BOD₅, SS, T-N 및 T-P의 모든 항목에서 주민거주지>산업단지>농경지>고속도로 순으로 나타났다. 비점오염원이 도시나 도심 속의 공업단지 내에 도로에 많이 존재하는 것을 나타내며, 이러한 오염 물질이 강우에 의하여 유출되어 하천의 오염을 예상할 수 있다. 오염물질 항목별 지점의 평균을 통하여 유출부하량을 유입 하천 별로 구분하여 비교하였다. BOD₅ 및 SS는 수원천>황구지천>서호천>원천리천 순으로 나타났다. 반면에 T-N 및 T-P는 황구지천>수원천>원천리천>서호천 순으로 나타났다. 이것은 지역적으로 황구지천 지역이 대부분 농경지의 토지이용특성을 나타낸 것으로 판단된다. 향후 각 하천의 비점오염물질 저감시설을 고려할 때, 황구지천과 수원천은 BOD₅ 및 SS와 더불어 영양물질의 제거를 위한 사항을 고려해야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 강우시 수원시 4대 하천으로 유입되는 비점오염원의 유출특성을 파악하기 위해 수행되었다. 농경지를 포함하는 황구지천에서 T-N 및 T-P의 유입이 가장 높게 조사되었고, 주민거주지와 농경지를 포함하는 수원천은 BOD₅ 및 SS가 높게 유입되었다. 침투유량(최대유량) 도달 후 1~2시간이 경과한 지점에서 초기세척 효과에 의하여 BOD₅ 및 SS는 침투치를 나타내었으나, T-N 및 T-P의 경우는 영향이 낮은 것으로 보였다. EMC 결과에서, T-N과 T-P는 농경지에서 최대 값을 주된 거주지역에서 최소 값을 나타내었다. 수원천으로 T-N과 T-P의 높은 EMC 농도가 유입되고 있으며, 서호천으로는 BOD₅와 SS의 높은 EMC 농도가 유입

Table 4. Non-point pollutant loads on watershed area

Watershed points	Event no.	BOD ₅	SS	T-N	T-P
		kg/ha/yr			
S-1	1	137.47	111.75	15.23	9.15
	2	85.00	133.72	26.52	5.17
	3	165.06	248.25	42.26	10.25
	4	41.40	56.15	7.92	2.15
	Average	107.23	137.47	22.98	6.68
S-3	1	54.87	80.86	10.10	4.01
	2	77.04	95.22	7.76	3.12
	3	124.01	160.29	14.06	4.80
	4	35.65	57.14	4.63	1.74
	Average	72.89	98.38	9.14	3.42
S-4	1	89.50	130.62	9.40	6.13
	2	113.82	134.92	21.81	6.93
	Average	101.66	132.77	15.60	6.53
S-5	1	52.43	3.93	1.34	0.07
	2	82.52	141.31	23.29	3.74
	Average	67.47	72.62	12.32	1.90
S-7	1	21.60	24.14	5.30	2.10
	2	26.26	40.33	5.40	2.08
	3	52.67	84.45	10.42	3.85
	4	14.16	19.74	2.39	0.91
	Average	28.67	42.17	5.88	2.24
S-8	1	9.02	21.12	2.90	0.81
	2	9.44	14.83	3.11	0.58
	3	17.66	21.65	5.14	0.89
	4	4.71	5.05	1.27	0.25
	Average	10.21	15.66	3.10	0.63
S-9	3	52.17	85.33	17.12	5.65
	4	2.53	4.05	0.84	0.28
	Average	27.35	44.69	8.98	2.96
S-10	3	7.21	11.48	2.21	0.83
	4	1.85	3.02	0.50	0.21
	Average	4.53	7.25	1.36	0.52
S-11	3	21.18	35.76	7.22	2.09
	4	5.91	11.54	2.06	0.64
	Average	13.54	23.65	4.64	1.36

되었다. 토지이용별로 BOD₅, SS, T-N 및 T-P의 배출 부하량은 주민 거주지>산업단지>농경지>고속도로 순서로 나타났다. 하천별로 BOD₅ 및 SS는 수원천>황구지천>서호천>원천리천 순서로 나타났으며, T-N 및 T-P는 황구지천>수원천>원천리천>서호천 순으로 나

타났다. 향후 각 하천의 비점오염물질 저감시설을 고려할 때, 황구지천과 수원천은 BOD₅ 및 SS와 더불어 영양물질의 제거를 위한 사항을 고려해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- Bang, K. W., Lee, J. H., Choi, J. S., 2000, Characterization of Stormwater Pollutants Runoff in Industrial Complex, *Kor. J. Environ. Eco.*, 22(2), 341-253.
- Cho, S. I., Lee, J. T., 1994, A study on runoff characteristics in city area and determination of drainage area width, *Inst. of Ind. Tech. Journal*, Kyonggi University, 10, 1-14.
- Choi, Y. Y., Jung, S. Y., Choi, J. W., 2011, Nonpoint Pollutants Sources Characteristics of Initial Surface Runoff on the Land Use Types, *J. Environ. Sci.*, 20(3), 417-426.
- Irish, Jr. L. B. et al., 1998, Use of regression models for analyzing highway storm-water loads, *J. of Environ. Eng.*, 124(10), 987-993.
- Jang, S. H., Park, J. S., 2005, A Study on the Runoff Characteristics of Non-point Source in Urban Watershed-Case Study on the Dalseo and Daemyung Watershed, *J. Environ. Sci.*, 14(12), 1171-1176.
- Jung, J. Y., 1994, A Study on Scale and Characteristics of Nonpoint Pollution Using SWIMM Model, Seoul National University Master Thesis.
- Kang, K. S., 1995, SWMM Intergrated with Geographic Information System, Seoul National University Master Thesis.
- Kang, T. H., Lee, J. T., Yoon, S. U., 1996, A study on the runoff pollutant roading characteristics of non-point source in urban area, *Inst. of Ind. Tech. Journal*, Kyonggi University, 12, 25-39.
- Kim, L. H., Lee, S. H., 2005, Comparison of washed-off nonpoint pollutants from streets and bridges and its running EMCs, *J. Kor. Soc. Water Environ.*, 21(3), 248-255.
- Lee, G. J., Seong, J. U., Park, J. H., Joe, G. S., Park, J. C., 2010, Runoff Characteristics of Nonpoint Pollutants Source in Urban Area, *J. Environ. Sci.*, 19(7), 819-827.
- Lee, J. W., Yi, Y. J., Kwon, H. G., Yoon, J. S., Lee, C. S., Cheon, S. U., 2012, Estimation of Runoff Characteristics of Non-point Pollutant Source by Land Cover Characteristics, *J. Environ. Sci.*, 21(8), 977-988.
- Novotny, V., 1995, Nonpoint pollution and urban stormwater management, TECHNOMIC Publ. Co., Lancaster, PA.
- Paik, D. H., Lim, Y. H., Choi, J. K., Jung, P. G., Kwak, D. H., 2005, Study on the Runoff Characteristics of Non-point Source Pollution in Municipal Area Using SWMM Model-A Case Study in Jeonju City SWMM, *J. Environ. Sci.*, 14(12), 1185-1194.
- Shin, C. M., Choi, J. Y., Park, C. H., 2004, Characteristics of Non-Point Pollution Discharge with Land Use in Urban Area, *J. Environ. Eco.*, 26(7), 729-735.
- Yi, Y. J., Lee, J. W., Kwon, H. G., Yoon, Y. S., Lee, J. K., 2011, Runoff Characteristics of NPS in Agricultural Area, *J. Environ. Sci.*, 20(10), 1285-1295.
- Yoon, Y. S., Lee, S. H., Yu, J. J., Lee, J. K., 2011, Analysis of Nonpoint Sources Runoff Characteristic for the Vineyard Areas, *J. Environ. Sci.*, 20(3), 361-372.