금강유역 비점오염원 모니터링을 통한 토지이용별 강우-EMC 상관성 분석

Correlation Analysis between Rainfall and EMC by Land Use Types based on Monitoring of Nonpoint Source Pollution in Geum River Basin

이정호* · 박수영** · 김동호*** · 이영준**** · 박무종*****

Lee, Jung Ho · Park, Suyoung · Kim, Dongho · Lee, Young Joon · Park, Moo Jong

Abstract

During the dry periods, many types of pollutants are being accumulated on the land surface and the accumulated various pollutants are inflowing in the near watershed areas for the rainfall periods. Then, the monitoring study needs to analysis of the pollutant loads and an establishment of a management plan for nonpoint source. In this study, a field monitoring was conducted in order to find out the discharge characteristics of nonpoint source pollutants in Geum river basin. Event Mean Concentration (EMC) of BOD₅, SS was calculated based on the monitoring data of 56 rainfall events at 7 monitoring points. The land use of the studied basins were divided into forested land and grassland. As the results, a significant relationship was observed from the correlation between EMCs and rainfall characteristics. The present study is achieved to provide the correlation between rainfall events and nonpoint source pollutants. And the data which were build up in this study will contribute to establish the management policy for the nonpoint source pollutants.

Key words : Nonpoint Souce, Monitoring, Land use, correlation

요 지

건기시 다양한 오염물질들은 지표에 축적되며, 축적된 오염물질들은 강우 발생 시 유역 수계를 거쳐 유출로 발생하게 된다. 이러한 비점오염물질의 분석 및 이에 대한 관리 계획의 수립을 위해서는 모니터링에 관한 연구가 반드시 필요하다. 본 연구에서는 금강유역에서의 비점오염원 유출특성을 분석하기 위하여 모니터링을 실시하였으며, 총 7개 지점에서 56회의 강우 사상에 따른 BOD₅ 및 SS의 EMC(Event Mean Concentration)를 산정하였다. 이때 조사 대상 유역의 토지이용상태는 산림지역과 초지지역으로 구분되었으며, 모니터링 결과 각 비점오염물질별 EMC와 강우특성 간의 상관성이 분석되었다. 본 연구를 통하여 축적된 이상의 데이터는 향후 비점오염원에 관한 관리 정책 수립에 기여할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 비점오염원, 유출특성, 모니터링, 상관성

1. 서 론

환경부는 유역으로부터 유입되는 오염물질의 총량을 규제하는 오염총량관리제(Total Pollution Load Management System, TPLMS)를 도입하였다. 이 제도는 기존의 방류수 수질기준 중심의 수계관리에서 하천에서의 유량을 고려한 오

염물질 총량 개념으로 수계를 관리하겠다는 내용이다(이은주 등, 2006a). 오염총량관리제는 도시하수나 산업폐수 및 축산폐수 등의 점오염원 뿐만 아니라 비점오염원 관리의 중요성을 부각시켰다(이은주 등, 2006b). 현재 국내 4대강의 오염총량 목표수질은 BOD 기준으로 1~6 mg/L 범위이며, 4대강의 비점오염원에 의한 오염 부하량 기여율은 개략적으로

*정회원. 국립한밭대학교 건설환경공학과 조교수(E-mail: leejh@hanbat.ac.kr)

Member. Assistant Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

**국립환경과학원 금강물환경연구소 환경연구사

Researcher, Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

***국립환경과학원 금강물환경연구소 환경연구관

Senior researcher, Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

****국립환경과학원 금강물환경연구소 소장

Director, Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

*****교신저자. 정회원. 한서대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-41-660-1051, Fax: +82-41-688-0183, E-mail: mjpark@hanseo.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

22~37% 정도 범위를 차지하고 있다(김이형 등, 2006a, 2006b). 따라서 환경부는 2002년도에 ‘비점오염원 관리대책 수립계획’을 마련하였으며, 2004년 6월에 관계기관 합동으로 ‘물관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원 관리 종합대책’을 발표하였다. 그러나 비점오염원 관리에 있어서 가장 어려운 점은 장기적인 유출 특성과 수질 관측을 바탕으로 하는 오염 원단위의 산정에 있어서 현재까지 축적된 데이터가 매우 제한적이라는 데 있다. 특히 비점오염물질은 강우 초기에 일시에 배출되는 초기강우 현상(first flush effect)이 두드러져, 우수 피크유출에 앞서 최대 오염유출이 발생하는 특징을 가지고 있다(이현동과 배철호, 2002).

따라서 본 연구에서는 금강유역에서의 비점오염물질 유출 특성과 이에 대한 관리대책 수립의 기초자료로 활용될 수 있도록 총 7개 지점에 대한 비점오염원 모니터링을 수행하였으며, 이를 통하여 비점오염물질의 EMC(Event Mean Concentration)와 강우 특성간의 상관관계를 분석하였다. 이때, 선정된 모니터링 지점들의 토지이용 상태는 크게 산림지역과 초지지역으로 구분되며, 이를 통한 토지이용상태별 비점오염원 유출특성을 추가적으로 분석하였다. 따라서 본 연구는 향후 지속적인 비점오염원 모니터링을 바탕으로 관련 연구 및 관리 정책 수립에 있어서 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 모니터링 대상 지점 현황

현재까지 국내의 수질관리 정책은 점오염원 관리를 우선시하고 있다. 그러나 계속되는 점오염원의 관리에도 불구하고

호소수의 수질은 악화되고 있다. 비점오염원은 강우 시 발생하는 오염원으로 토지이용에 따라 발생하는 오염물질의 종류와 양이 달라 불확실성이 큰 오염원이므로 점오염원과 함께 비점오염원의 관리가 필요한 실정이다. 다양한 토지이용 중에서 인공초지(공원·묘지) 지점이 차지하는 비율이 낮기 때문에 원단위를 산정하는데 필요한 기초 데이터에 대한 연구가 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 산림지역과 함께 인공초지(골프장·공원묘지) 지점으로부터 강우 시 유출수와 함께 발생하는 비점오염물질의 유출특성 및 상관성을 파악하였다. 본 연구에서 모니터링 대상 지역으로 선정된 지점은 총 7개 지점이며, 각 지점별 자동채수기, 수위계, 유량계 그리고 강우량계 등을 설치하였다. 다음의 Table 1 및 Fig. 1은 모니터링 대상 지점에 대한 현황을 나타내고 있다.

산림 1은 세종시 충남산림환경연구소 내에 위치하는 활엽수 지대로, Fig. 1(a)와 같이 유출구에 사방댐과 저류조 및 V-notch 위어를 시설하였다. 산림 2는 전북 진안군 국립산림과학원 내 침엽수림 지대로 Fig. 1(b)와 같이 사방댐과 전폭 위어가 설치되었다. 산림 3은 청원군 충북산림환경연구소 내에 위치하는 혼효림 지대로 Fig. 1(c)와 같이 저류조 및 V-notch 위어가 시설되었다. 초지 1은 청원군 골프장 내에 Fig. 1(d)와 같이 콘크리트배수관과 V-notch 위어를 설치하였으며, 초지 2는 보은군의 골프장 내에 Fig. 1(e)와 같이 배수관 및 V-notch를 설치하였다. 초지 3은 대전시 국립현충원 내 지점으로 Fig. 1(f)와 같이 배수로를 따라 유량계와 자동시료채취기를 설치하였으며, 초지 4는 청주시 목련공원 내에 Fig. 1(g)와 같이 배출구 지점에 전각위어를 설치하여 유량을 관측하였다.

Table 1. Characteristics of monitoring points

Division		Point	Area	Monitoring count	Measuring instrument
Forest	Broad leaved tree	Forest 1	169,900m ²	10	Auto sampler Water gauge Rainfall gauge
	Planting conifer	Forest 2	354,000m ²	8	
	Mixed forest	Forest 3	142,600m ²	10	
Grassland	Golf course	Grassland 1	68,400m ²	3	Auto sampler Current meter Rainfall gauge
		Grassland 2	3,100m ²	9	
	Cemetery park	Grassland 3	3,764m ²	11	
		Grassland 4	252,200m ²	5

Fig. 1. Monitoring points

3. 강우 통계특성 분석 및 EMCs 산정

본 연구에서는 수질 관측을 통하여 산정된 EMC의 통계적 특징을 분석하고, 강우-EMC 간의 상관관계를 분석하였다. 강우인자는 모니터링지점 인근 관측소에서의 분단위 강우기록을 사용하였으며, 인근에 2개소 이상의 관측소가 있을 경우 가까운 관측소를 선택하였다(Table 2).

강우유출수의 경우 강우의 강도와 지속시간에 따라 시간대별로 급격히 변화하기 때문에 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 산정한다. 사용된 EMC 산정방법은 다음의 식과 같다.

$$EMC(\text{mg/L}) = \frac{\int_0^n Q(i) \times C(i) di}{\int_0^n Q(i) di} \quad (1)$$

Table 2. Rain gauging stations for each monitoring point

Monitoring point	Rain gauge station	Watershed area
Forest 1	Gemnam, Daejeon, Gongju	16.99 ha
Forest 2	Jinahn, Junju	35.40 ha
Forest 3	Chungwon, Chungju	14.26 ha
Grassland 1	Chungju	6.84 ha
Grassland 2	Boen	0.31 ha
Grassland 3	Daejeon	0.40 ha
Grassland 4	Chungju	25.25 ha

여기서, $Q(i)$ 는 구간별 유량(m^3), $C(i)$ 는 구간별 수질농도(mg/L), n 은 각 강우사상별 분석시료 개수이다. 본 연구에서는 강우사상마다 유량과 수질농도 값을 산정하고, 일 오염부하를 산정하였다. Miller *et al.*(2001)은 오염부하의 정확성을 위해 연속적인 유량 및 농도분석이 필요하다고 하였으며, 본 연구에서는 각 강우사상별 연속적인 유량 및 수질 관측과 오염부하를 정량화하였다. 산정된 오염부하를 이용하여 각 임상별 발생 원단위를 식 (2) 및 식 (3)을 이용하여 산정하였다. 또한 이를 통한 EMC 산정을 위하여 각 모니터링 지점별 관측된 유출 및 오염물 농도곡선의 일부를 Fig. 2에 나타내었다.

$$\text{Pollutant load (g)} = EMC(\text{mg/L}) \times Q(\text{m}^3) \quad (2)$$

$$\text{Unit Loading (kg/ha/year)}$$

$$= \text{pollutant load}(\text{kg}) \times \frac{365 \times 24}{A(\text{ha}) \times \text{runoff duration (hr)}} \quad (3)$$

강우는 연속적인 기록이므로 통계적 특징을 결정하기 위해서는 장기간의 강우사상들을 각각의 일반적인 강우사상으로 분리하여야 한다. 연속되거나 불연속적인 펄스 형태로 기록되는 관측 강우에서 독립강우사상을 추출하는 것은 매우 주관적인 일이다. 따라서 공정한 통계분석을 위해서는 강우를 구분할 수 있는 특정한 기준이 필요하다. 이러한 기준으로 사용되는 것이 IETD(Inter-Event Time Definition)이다. IETD는 독립강우사상 사이의 최소 무강우시간으로 정의된다. 일반적인

Fig. 2. Curves of runoff and pollutant loads

Table 3. Observed rainfall events (forest 1)

No.	Date	Total rainfall (mm)	Rainfall duration (min)	Intensity (mm/hr)		Dry days	EMC(mg/L)	
				Mean	Max		BOD ₅	SS
1	4.3	44.0	840	3.14	5.5	3.6	0.8	23.7
2	4.21	40.5	1,440	1.69	4.0	4.0	1.3	9.3
3	7.5	83.0	720	6.92	10.0	3.0	2.7	20.3
4	7.11	13.0	600	1.30	3.5	0	2.7	9.9
5	7.14	101.0	900	6.73	23.5	0	3.0	32.7
6	8.15	146.0	1,560	5.62	47.5	1.0	1.2	41.7
7	8.21	89.5	2,640	2.03	12.5	0	2.6	8.4
8	8.30	137.0	1,080	7.61	19.0	1.0	1.1	140.2
9	9.4	22.5	720	1.88	12.5	0	2.5	15.1
10	9.7	23.0	300	4.60	7.5	0	2.1	10.4

Table 4. Observed rainfall events (forest 2)

No.	Date	Total rainfall (mm)	Rainfall duration (min)	Intensity (mm/hr)		Dry days	EMC(mg/L)	
				Mean	Max		BOD ₅	SS
1	3.30	11.0	360	1.83	3.0	7.0	0.5	3.0
2	4.21	27.5	840	1.96	4.0	10.0	1.2	1.9
3	5.14	11.5	720	0.96	3.5	14.0	0.9	1.2
4	6.30	43.5	780	3.35	10.5	16.0	2.5	3.9
5	7.5	74.0	1,980	2.24	12.0	0	2.3	4.9
6	7.11	34.5	480	4.31	11.5	0	2.3	3.5
7	7.14	74.5	900	4.97	15.0	0	2.3	29.6
8	7.17	45.5	780	3.50	19.5	0	2.4	5.4

Table 5. Observed rainfall events (forest 3)

No.	Date	Total rainfall (mm)	Rainfall duration (min)	Intensity (mm/hr)		Dry days	EMC(mg/L)	
				Mean	Max		BOD ₅	SS
1	3.23	15.5	840	1.11	3.0	18.0	0.8	2.6
2	3.30	33.5	540	3.72	7.0	5.6	0.5	12.0
3	4.3	24.0	600	2.40	6.5	3.3	0.9	3.8
4	5.14	18.5	540	2.06	3.5	18.7	0.9	2.0
5	6.30	46.0	600	4.60	13.5	21.1	2.5	6.0
6	7.5	114.0	2,100	3.26	24.5	4.5	2.0	30.8
7	7.14	65.5	720	5.46	13.5	3.3	1.7	15.5
8	8.22	68.0	540	7.56	12.5	0.4	1.8	7.0
9	8.30	122.0	840	8.71	33.0	1.6	0.6	20.9
10	9.4	73.0	1140	3.84	18.0	4.5	1.6	7.2

Table 6. Observed rainfall events (grassland 1)

No.	Date	Total rainfall (mm)	Rainfall duration (min)	Intensity (mm/hr)		Dry days	EMC(mg/L)	
				Mean	Max		BOD ₅	SS
1	7.6	37.5	2,220	1.01	18.5	0.1	3.8	18.6
2	7.22	31.5	300	6.30	11.5	2.8	3.4	18.2
3	8.22	65.5	2,820	1.39	15.5	0.6	2.9	3.8

로 IETD를 길게 결정할수록 총강우량, 평균무강우일수는 증가하며, 평균강우강도는 감소하는 경향을 나타낸다. 본 연구에서는 권재호(2003)의 연구결과를 바탕으로 국내 자연유역에서 주로 사용되는 IETD=10 hr를 사용하여 통계분석을 수행하였

Table 7. Observed rainfall events (grassland 2)

No.	Date	Total rainfall (mm)	Rainfall duration (min)	Intensity (mm/hr)		Dry days	EMC(mg/L)	
				Mean	Max		BOD ₅	SS
1	3.24	25.0	1,140	1.32	2.5	16.5	2.7	3.5
2	4.3	16.0	780	1.23	4.0	4.0	1.8	15.9
3	4.21	39.0	1,560	1.50	4.0	17.3	4.2	9.6
4	7.11	12.5	540	1.39	6.5	4.8	2.9	9.1
5	7.14	60.5	1,500	2.42	9.5	3.0	3.0	6.8
6	8.30	109.0	1,380	4.74	23.5	1.3	1.3	10.3
7	9.4	74.5	1,440	3.10	11.5	2.8	3.2	7.9
8	9.7	55.5	1,260	2.64	22.0	2.7	3.3	6.7
9	9.16	59.5	2,340	1.53	6.0	3.3	2.0	14.2

Table 8. Observed rainfall events (grassland 3)

No.	Date	Total rainfall (mm)	Rainfall duration (min)	Intensity (mm/hr)		Dry days	EMC(mg/L)	
				Mean	Max		BOD ₅	SS
1	6.30	30.7	840	2.19	4.8	21.3	3.8	38.8
2	7.6	2.9	180	0.97	1.3	0.2	3.4	11.8
3	7.11	21.0	540	2.33	8.8	4.3	3.3	23.6
4	7.19	27.1	480	3.39	12.3	0.6	4.2	28.9
5	8.15	116.8	1,020	6.87	50.4	2.3	1.8	154.9
6	8.21	35.1	540	3.90	12.1	1.1	3.4	15.2
7	8.24	2.1	360	0.35	0.6	1.3	2.5	32.1
8	8.30	119.1	960	7.44	20.9	1.0	0.8	11.0
9	9.4	118.8	840	8.49	36.6	4.5	3.4	12.7
10	9.8	31.9	300	6.38	11.9	2.7	2.5	10.6
11	9.13	6.3	300	1.26	1.4	5.1	3.8	4.2

Table 9. Observed rainfall events (grassland 4)

No.	Date	Total rainfall (mm)	Rainfall duration (min)	Intensity (mm/hr)		Dry days	EMC(mg/L)	
				Mean	Max		BOD ₅	SS
1	4.2	53.0	600	5.30	11.0	124.1	4.0	119.1
2	4.21	26.0	540	2.89	3.5	17.9	2.6	61.6
3	8.15	165.0	540	18.33	48.5	2.0	1.4	118.7
4	8.30	47.5	480	5.94	10.0	7.4	0.6	5.0
5	9.13	8.5	240	2.13	3.5	5.3	2.7	6.0

다. Table 3~Table 9는 각 관측지점에 대한 관측호우사상의 통계특성 및 각 관측 회차별 수집 데이터를 바탕으로 계산된 BOD₅ 및 SS에 대한 EMC 산정값을 나타내고 있다.

4. 강우통계치와 EMC 간의 상관성 분석

본 연구에서는 각 강우통계치와 EMC 간의 상관성을 분석하기 위하여 단일 선형회귀분석과 함께 다변수 회귀분석을 수행하였다. 또한 산림지역과 초지지역의 관측값을 통합하여 각각의 토지이용별 강우특성과 EMC 간의 상관관계를 분석하였다.

4.1 단일회귀분석

단변수 회귀분석 결과 각 강우 통계치와 EMC 간의 상관성은 다변수회귀분석 적용에 따른 상관성 값에 비해 대체적

Table 10. Results of linear regression analysis (forest points)

Division		Total rainfall (mm)	Rainfall intensity (mm/hr)		Dry days
			Mean	Max	
<Forest 1>					
BOD	Gradient	-14.990	-0.197	-3.048	-1.092
	Y-intercept	99.771	4.544	20.613	3.432
	R^2	0.064	0.004	0.035	0.296
SS	Gradient	0.793	0.039	0.115	-0.001
	Y-intercept	45.239	2.924	10.951	1.319
	R^2	0.428	0.415	0.120	0.002
<Forest 2>					
BOD	Gradient	24.206	0.448	0.115	-3.661
	Y-intercept	-3.363	0.505	0.662	12.471
	R^2	0.617	0.589	0.742	0.183
SS	Gradient	1.712	0.099	0.296	-0.316
	Y-intercept	28.839	2.226	7.899	7.981
	R^2	0.426	0.466	0.217	0.189
<Forest 3>					
BOD	Gradient	0.004	0.550	2.940	1.220
	Y-intercept	1.053	3.537	9.578	6.472
	R^2	0.074	0.023	0.042	0.010
SS	Gradient	0.207	0.097	0.804	-0.420
	Y-intercept	-1.242	3.217	4.820	12.637
	R^2	0.719	0.141	0.605	0.243

으로 낮게 나타났다. 산정된 결과를 살펴보면 대표적으로 산림 2에서는 총강우량과 평균강우강도의 상관계수가 높게 나타났으며, 초지 1에서는 총강우량의 상관계수가 높게 나타났다. 그 이외의 구역에서는 특정한 경향성을 찾기가 어려웠다. Fig. 3 및 Fig. 4는 각 지역별 BOD와 SS의 EMC 회귀식중 평균강우강도에 대해 대표적으로 나타내었다.

Table 11. Results of linear regression analysis (grassland points)

Division		Total rainfall (mm)	Rainfall intensity (mm/hr)		Dry days
			Mean	Max	
<Grassland 1>					
BOD	Gradient	-0.020	0.519	2.406	-0.113
	Y-intercept	4.290	1.143	7.035	1.551
	R^2	0.727	0.005	0.087	0.001
SS	Gradient	-2.110	0.147	-0.024	0.054
	Y-intercept	73.410	0.900	15.502	0.429
	R^2	0.964	0.178	0.003	0.102
<Grassland 2>					
BOD	Gradient	-0.008	-0.444	-0.026	0.073
	Y-intercept	3.153	3.418	2.984	2.269
	R^2	0.094	0.110	0.056	0.268
SS	Gradient	-0.006	-0.466	-0.071	-0.222
	Y-intercept	9.628	10.356	10.043	10.704
	R^2	0.002	0.020	0.021	0.129
<Grassland 3>					
BOD	Gradient	-28.012	-1.465	-6.741	1.836
	Y-intercept	130.647	8.361	34.888	-1.479
	R^2	0.356	0.267	0.186	0.097
SS	Gradient	0.467	0.015	0.254	0.005
	Y-intercept	31.924	3.464	6.693	3.876
	R^2	0.173	0.054	0.464	0.001
<Grassland 4>					
BOD	Gradient	-17.855	-2.221	-5.618	31.101
	Y-intercept	100.324	11.933	27.989	-38.898
	R^2	0.139	0.188	0.146	0.586
SS	Gradient	0.713	0.068	0.202	0.502
	Y-intercept	15.725	2.665	2.716	0.133
	R^2	0.434	0.348	0.369	0.297

Fig. 3. Regression analysis between EMC-mean rainfall intensity (forest points)

Fig. 4. Regression analysis between EMC-mean rainfall intensity (grassland points)

4.2 다변수 회귀분석

4개의 강우특성인자 중 2개 이상의 변수를 선택하여 EMC와의 회귀분석을 수행하였으며, 결과를 Table 12~Table 17에

나타내었다. 대부분의 유역에서 단변수일 때보다 상관계수 값이 높게 산정되었으나, 산림 2와 초지 4 유역을 제외하고는 유의한 결과를 얻기 힘들었다. 또한 초지 1의 경우 모니터링

Table 12. Regression analysis using total rainfall depth and mean rainfall intensity

Division		Forest1	Forest2	Forest3	Grassland1	Grassland2	Grassland3	Grassland4
BOD	Gradient1	0.081	0.267	-0.016	-0.094	-0.236	0.042	-1.308
	Gradient2	-0.007	0.016	0.005	-0.029	-0.0004	-0.015	0.131
	Intercept	2.157	0.368	1.082	4.965	3.265	3.535	3.400
	R^2	0.009	0.748	0.076	1	0.110	0.359	0.552
SS	Gradient1	5.876	3.106	-1.451	-0.662	-2.018	-11.301	-61.683
	Gradient2	0.325	0.143	0.270	-0.520	0.063	0.988	7.193
	Intercept	-16.045	-8.077	1.313	38.773	10.586	30.036	57.190
	R^2	0.490	0.554	0.795	1	0.062	0.282	0.904

Table 13. Regression analysis using total rainfall depth and maximum rainfall intensity

Division		Forest1	Forest2	Forest3	Grassland1	Grassland2	Grassland3	Grassland4
BOD	Gradient1	0.002	0.082	-0.069	0.066	-0.001	0.032	-0.043
	Gradient2	-0.004	0.010	0.021	-0.023	-0.008	-0.022	0.005
	Intercept	2.289	0.548	1.002	3.426	3.154	3.569	2.598
	R^2	0.064	0.794	0.133	1	0.094	0.408	0.147
SS	Gradient1	-1.416	-0.038	-0.731	0.465	-0.124	4.117	-7.542
	Gradient2	0.848	0.255	0.386	-0.479	0.017	-0.853	2.911
	Intercept	-7.608	-3.259	-1.776	27.961	9.682	10.680	2.778
	R^2	0.509	0.426	0.753	1	0.030	0.648	0.547

Table 14. Regression analysis using total rainfall depth and antecedent dry days

Division		Forest1	Forest2	Forest3	Grassland1	Grassland2	Grassland3	Grassland4
BOD	Gradient1	-0.277	0.005	0.033	-0.180	0.067	0.045	0.017
	Gradient2	-0.004	0.026	0.008	-0.027	-0.002	-0.012	-0.005
	Intercept	2.664	0.710	0.546	4.815	2.422	3.392	2.048
	R^2	0.372	0.619	0.177	1	0.273	0.427	0.663
SS	Gradient1	-0.489	-0.113	-0.003	-1.267	-0.301	0.494	0.695
	Gradient2	0.539	0.230	0.207	-0.506	-0.033	0.376	0.684
	Intercept	-5.953	-1.960	-1.185	37.720	12.894	11.731	-0.766
	R^2	0.428	0.431	0.719	1	0.188	0.178	0.837

Table 15. Regression analysis using mean rainfall intensity and antecedent dry days

Division		Forest1	Forest2	Forest3	Grassland1	Grassland2	Grassland3	Grassland4
BOD	Gradient1	-0.272	-2.2×10^{-5}	0.023	-2.720	0.066	0.039	0.017
	Gradient2	-0.023	0.448	0.085	1.327	-0.066	-0.169	-0.056
	Intercept	2.429	0.505	0.780	2.703	2.456	3.511	2.103
	R^2	0.301	0.589	0.075	1	0.274	0.321	0.665
SS	Gradient1	-1.023	-0.107	-0.483	-48.311	-0.363	0.535	0.756
	Gradient2	10.538	4.388	0.568	24.585	-1.453	3.639	6.323
	Intercept	-11.313	-5.390	12.274	-1.397	14.787	14.684	-5.363
	R^2	0.417	0.470	0.258	1	0.274	0.060	0.813

Table 16. Regression analysis using mean and maximum rainfall intensities

Division		Forest1	Forest2	Forest3	Grassland1	Grassland2	Grassland3	Grassland4
BOD	Gradient1	-0.012	0.087	0.013	0.333	0.023	-0.001	0.471
	Gradient2	0.012	0.162	0.006	0.380	-0.382	-0.176	-1.432
	Intercept	2.121	0.469	1.126	-2.780	3.334	3.721	4.965
	R^2	0.036	0.775	0.042	1	0.120	0.267	0.536
SS	Gradient1	0.091	-0.167	0.951	5.921	-0.046	4.056	8.237
	Gradient2	10.293	5.236	-1.154	7.762	-0.193	-14.933	-18.490
	Intercept	-12.912	-6.813	2.875	-98.776	10.220	31.008	63.974
	R^2	0.416	0.471	0.652	1	0.022	0.794	0.403

Table 17. Regression analysis using maximum rainfall intensity and antecedent dry days

Division		Forest1	Forest2	Forest3	Grassland1	Grassland2	Grassland3	Grassland4
BOD	Gradient1	-0.318	0.027	0.023	1.091	0.081	0.042	0.017
	Gradient2	-0.021	0.136	0.023	0.467	0.011	-0.025	-0.016
	Intercept	2.708	0.296	0.825	-4.981	2.100	3.199	1.954
	R^2	0.414	0.774	0.098	1	0.275	0.247	0.641
SS	Gradient1	1.159	-0.312	-0.170	22.292	-0.423	1.041	0.752
	Gradient2	1.084	0.499	0.683	8.653	-0.268	1.887	2.235
	Intercept	13.907	3.572	2.949	-143.709	14.620	-0.587	4.303
	R^2	0.123	0.246	0.621	1	0.327	0.485	0.831

관측치수가 상대적으로 적어 이에 따른 상관성이 대단히 높게 나왔다.

4.3 토지이용별 상관성 분석

토지이용에 따라 EMC 결과를 확인하기 위하여, 산림과 초지의 관측값을 통합한 후 선형회귀분석을 수행하여 Table 18 및 Table 19에 나타내었다. 토지이용별로 통합된 자료를 사용하여도 강우특성과 EMC 간의 회귀분석을 통한 상관계수는 매우 낮게 산정되었다.

통합된 자료와 4개 강우특성인자를 모두 사용하여 다변수 선형회귀분석을 수행하였으며, 이때의 회귀식 및 상관계수는 다음과 같다.

$$EMC(BOD)_{Forest} = -0.033A - 0.0001B + 0.010C - 0.0002D + 1.848 \quad (R^2 = 0.081) \quad (4)$$

$$EMC(SS)_{Forest} = -0.106A - 1.364B + 1.427C + 0.666D - 8.659 \quad (R^2 = 0.500) \quad (5)$$

$$EMC(BOD)_{Grassland} = 0.013A + 0.044B - 0.081C - 0.017D$$

Table 18. Univariate linear regression analysis (about entire forest points)

Division		Total rainfall (mm)	Rainfall intensity (mm/hr)		Dry days
			Mean	Max	
BOD	Gradient	5.997	0.325	1.338	-2.351
	Y-intercept	46.990	3.281	10.562	9.022
	R^2	0.014	0.013	0.011	0.080
SS	Gradient	0.962	0.042	0.153	-0.070
	Y-intercept	40.942	3.124	10.252	6.215
	R^2	0.417	0.260	0.161	0.082

$$+ 3.296 \quad (R^2 = 0.368) \quad (6)$$

$$EMC(SS)_{Grassland} = 0.896A + 2.945B + 1.898C - 0.509D - 1.059 \quad (R^2 = 0.676) \quad (7)$$

여기서 A: 총강우량(mm), B: 평균강우강도(mm/hr), C: 최대강우강도(mm/hr), D: 선행무강우일수(day)를 나타낸다.

이상의 결과에서와 같이 강우특성인자와 비점오염원의 유

Table 19. Univariate linear regression analysis (about entire grassland points)

Division		Total rainfall (mm)	Rainfall intensity (mm/hr)		Dry days
			Mean	Max	
BOD	Gradient	-20.142	-1.552	-4.383	6.213
	Y-intercept	106.717	8.188	25.667	-8.224
	R^2	0.228	0.176	0.109	0.069
SS	Gradient	0.465	0.049	0.196	0.268
	Y-intercept	36.968	2.429	7.843	1.834
	R^2	0.189	0.281	0.342	0.201

출특성이 매우 밀접한 연관이 있는 도시유역과 달리 본 연구에서는 전반적으로 EMC와 강우특성인자와의 상관성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 두 가지 측면에서 원인을 분석할 수 있다.

첫 째는 자연유역 자체의 유출 특성이다. 대상지역은 산림과 초지로 100% 투수지역으로 구성되어 있어, 우수유출 및 비점오염원 유출특성이 도시유역과는 매우 다르다. 도시유역은 우수가 신속하게 우수받이 등으로 빠져 관에서의 흐름이 주로 이루어지는데 반해, 대상유역과 같은 자연유역에서는 강우의 상당량이 침투 손실로 이어지며, 따라서 강우에 따른 유출 응답 속도가 상대적으로 느리게 나타난다. 따라서 비점오염원 유출특성이 강우의 영향을 적게 받을 수 있는 것으로 판단된다. 대상유역 중 비교적 면적이 작은 초지 2 유역에서 강우와의 상관성이 크게 나타나는 것은 이러한 원인으로 생각해 볼 수 있다. 두 번째는 측정 직상류의 저류공간에 따른 영향이다. 유량관측을 위하여 설치된 위어의 뒤쪽에 저류공간이 있을 경우, 관측 유량이 매우 작기 때문에 비교적 작은 저류공간만으로도 우수 유출의 지체현상이 나타날 수 있다. 강우-유출 그래프 상에서 종종 강우에 따른 유출반응이 일반적인 형태를 따르지 않는 이유를 이러한 것에서 생각해볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 금강 유역에서의 대표적 산림 및 초지지역에 대한 7개의 관측 지점을 선정하여 장기간의 비점오염원 유출 특성을 모니터링 하였으며, 이를 통한 기초적인 수문 및 수질 분석을 수행하였다. 총 56회차의 모니터링 데이터 수집을 통하여 유출 분석과 BOD 및 SS에 대한 EMC를 산정하였다. 또한 산정 결과를 바탕으로 강우특성과 EMC간의 상관성 분석을 수행하였으나, 대체적으로 그 상관성이 비교적 낮게 나타나는 것으로 분석되었다. 이것은 곧 도시유역과는 달리 자연유역의 경우 비점오염원의 유출 특성이 강우의 영

향을 적게 받을 수 있는 것으로 생각되며, 자연유역의 다양한 유출 특성이 도시지역에 비하여 비교적 긴 도달시간과 이로 인한 지표 유출의 저류에 따라 비점오염물의 유출 현상이 지연되는 것에 그 원인을 둘 수 있다. 따라서 본 연구 결과 일반적인 자연유역에서는 강우의 특성에 따른 비점오염원 유출 경향을 예측하는 것이 부적절한 것으로 생각된다. 다만, 본 연구에서는 장기적인 유출 및 오염부하량 모니터링을 통한 관련 데이터의 축적과 다양한 통계적 특성 분석에 따른 결과를 제시함으로써 관련 분야 연구에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각되며, 향후 비점오염원 관리 정책의 수립 및 시행에 필요한 기초 자료의 제공 측면에서 의의가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 국립환경과학원 금강물환경연구소의 「금강수계 환경기초조사사업」의 「주요 비점오염원 유출 장기모니터링」 연구를 통하여 도출된 결과물임.

References

- Kwon, J.-H. (2003) *Rainfall Analysis to Estimate the Amount of Non-point Source Pollution*, Master's Thesis, Korea University, pp. 45-66.
- Kim, L.-H., Ko, S.-O., Lee, B.-S. and Kim, S.g. (2006a) Estimation of Pollutant EMCs and Loadings in Highway Runoff, *Journal of Korea Society of Civil Engineering*, Vol. 26, No. 2, pp. 225-231.
- Kim, L.-H., Lee, E. J., Ko, S. O. and Kang, H. M. (2006b) Characteristics of Pollutant Washed-off from Highways with Storm Runoff Duration, *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol. 8, No. 1, pp. 99-106.
- Lee, H.-D. and Bae, C.-H. (2002) Runoff Characteristics and Strategies for Nonpoint Source Reduction, *Journal of Korea Society on Water Quality*, Vol. 18, No. 6, pp. 569-576.
- Lee, E.-J., Ko, S.-O., Kang, H.-M., Lee, J.-K., Lee, B.-S., Lim, K.-H. and Kim, L.-H. (2006a) Washoff Characteristics of Metal Pollutants in Highways, *Journal of Korea Society on Water Quality*, Vol. 22, No. 1, pp. 128-133.
- Lee, E.-J., Ko, S.-O., Kang, H.-M., Lee, J.-K., Lee, B.-S., Lim, K.-H. and Kim, L.-H. (2006b) Determination of EMCs and Comparison with Sampled Concentrations in Paved Areas, *Journal of Korea Society on Water Quality*, Vol. 22, No. 1, pp. 104-109.
- Miller, P. S., Engel, R. H., Mohtar, R. H. and Mitchell, J. K. (2001) Statistical assessment of historical water quality data and mass load tome evolution, *ASAE Paper No.012247*. St. Joseph, Mich: ASAE.

© 논문접수일 : 2012년 11월 27일
 © 심사회의일 : 2012년 11월 29일
 © 심사완료일 : 2012년 12월 10일