

섬진강 유역 농촌지역의 비점오염원 배출특성에 관한 연구

박 성 천 · 오 창 열 · 진 영 훈 · 김 동 수*
동신대학교 토목공학과, *광주광역시 보건환경연구원
(2005년 9월 9일 접수; 2005년 11월 28일 채택)

Study on Runoff Characteristics of Non-point Source in Rural Area of Seomjin Watershed

Sung-Chun Park, Chang-Ryol Oh, Young-Hoon Jin and Dong-Soo Kim*

Department of Civil Engineering, Dongshin University, Naju 520-714, Korea

*Health & Environment Institute of Kwangju, kwangju 502-240, Korea

(Manuscript received 9 September, 2005; accepted 28 November, 2005)

The present study investigated runoff characteristics of non-point pollutants and discharge load amount according to the land utilization in Yeinam river basin. The land utilization of target basin was divided into paddy field, dry field, forest, residential area and composition area.

The study on the runoff characteristics of non-point pollutants by rainfall-runoff process showed that COD, SS and T-P had the first-flushing effect with relatively high concentration in early-stage of the rainfall-runoff process, but the T-P revealed similar runoff characteristics.

Event Mean Concentration(EMC) of BOD and COD according to the land utilization revealed the range of 3.11~15.50mg/L and 3.37~33.42mg/L, and the highest concentration of EMC corresponding to BOD and COD was detected in the paddy field. The EMC of SS showed 1.7~305.02mg/L and it's highest concentration was found in the dry field. The EMC of T-N and T-P represented the highest concentration in the paddy field and dry field with range of 0.91~8.76mg/L and 0.02~0.44mg/L.

Key Words : Non-point pollutant, EMC(Event Mean Concentration), Rainfall-runoff

1. 서 론

지금까지 하천의 수질을 개선하기 위한 수질보전 정책은 도시하수종말처리장, 산업폐수처리장 등 점오염원 시설을 대상으로 추진하고, 수질 측정망을 운영하여 지속적으로 수질을 관리하여 왔으나, 하천마다 수질환경기준을 달성하지 못하고 있다.

오히려 해마다 강우와 함께 대량 배출된 비점오염물질로 인하여 수용하천의 자정능력이 저하되고 이로 인해 하천과 호소의 수질이 악화되고 있는 실정이다. 또한 농경지, 산지, 도로 및 주차장 등 각종 개발 사업에 있어서 비점오염을 고려하지 않고 시

행하기 때문에 비점오염의 영향이 지속적으로 증가되고 있다¹⁾.

비점오염물질의 배출농도는 강우초기에 매우 높기 때문에 유출량과 오염물질을 동시에 연속 측정하지 않으면 비점오염물질의 발생량과 이화학적 특성을 파악하거나 수계에 유입된 오염물질의 복잡한 반응 기작을 정량화하는 데 많은 어려움이 있다^{2~4)}.

우리나라에서 비점오염물질 및 성상 등에 관한 연구는 최근에 활발히 이루어지고 있으며, 낙동강 지천 소매수 구역의 경지를 대상으로 한 비점오염원의 오염발생특성 및 배출특성의 연구⁵⁾, 팔당상수원 유역 산림/리조트, 논/밭 및 도시지역의 비점오염물질 배출특성 조사연구⁶⁾, 농촌지역 및 도시지역의 다양한 토지이용 특성에 따른 비점오염물질의 배출에 관한 연구⁷⁾ 등이 있다.

본 연구에서는 농촌지역 토지이용 특성을 갖는

Corresponding Author : Sung-Chun Park, Department of Civil Engineering, Dongshin University, Naju 520-714, Korea
Phone: +82-61-330-3135
E-mail: psc@dsu.ac.kr

섬진강 수계의 외남천 유역에 대한 토지이용별 강우사상에 따른 수질분석 및 유량측정 자료를 바탕으로 부하량을 산정하고 섬진강 수계의 농촌지역에 대한 비점오염원의 배출특성을 규명하고자 한다.

2. 연구내용 및 연구방법

2.1. 대상유역 현황 및 토지이용 특성

본 연구의 대상지역은 섬진강 수계의 외남천 유역이며, 행정 구역상 전라남도 화순군 남면과 한천면에 위치하고 외남천은 주암호에 직접 유입되는 지천이다. 대상지역의 토지이용별 측정지점 및 유역 도는 Fig. 1과 같다.

외남천은 섬진강유역의 전형적인 농촌지역 토지이용 특성을 갖고 있는 유역으로서 유역면적은 60.82Km², 유로연장은 15.65Km이다. 유역 내에 농경지 및 농촌 소규모 마을 외에는 특별한 오염원이 없으며, 다양한 토지이용(임야, 답, 전, 농촌주거지역, 복합지역)특성을 갖고 있다.

이러한 농촌지역의 토지이용 특성에 따른 부하량을 산정하기 위하여 2차례의 사전 현장조사를 실시하였다. 1차 현장조사에서는 접근성 및 토지이용의 다양성을 검토하여 대표 소유역을 2~3배수 물색하고, 2차 현장조사에서는 측정가능 여부 및 선정기준의 대표성을 고려하여 토지이용별 대표지점을 선정하였으며, Table 1에 나타내었다.

2.2. 시료채취 및 분석방법

시료의 채취는 기저부하량을 산정하기 위하여 강우 발생 직전에 유출량 및 시료를 채취하였으며, 강우 시에는 비점오염원 배출특성인 초기 오염물질 유출(first flush) 현상을 관찰하기 위하여 강우강도에 따라 15분 ~ 30분 간격으로 시료를 채취하다가 강우 종료에 따른 침투유출량 발생 후 부터는 1~2 시간 간격으로 강우 발생 전의 수위로 되돌아 올 때까지 시료를 채취하였다. 또한, 채취한 시료는 아이

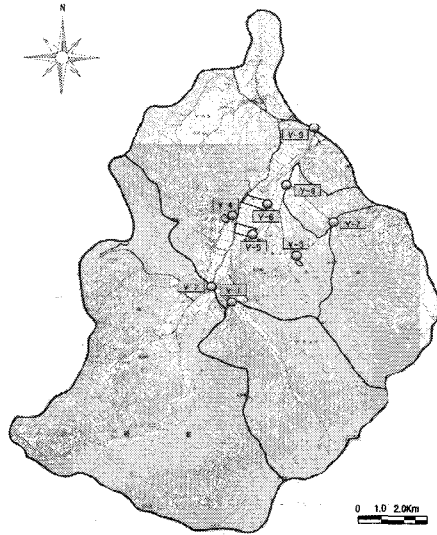


Fig. 1. Location of the study area.

스박스에 4℃이하로 보관하여 24시간 이내에 실험실로 운반한 후 수질오염공정시험법⁸⁾과 Standard Methods⁹⁾에 의하여 실험하였다.

본 연구에서는 우수유출수의 비점오염물질 배출특성을 파악하기 위해 토지이용별 유량가중평균농도(EMC: Event Mean Concentration) 및 지역평균농도(SMC: Site Mean Concentration)를 산정하였으며, 그 식은 식(1) 및 (2)와 같다.

유량가중평균농도

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{강우사상별총오염물질발생량(kg)}}{\text{강우사상별총강우유출량(m}^3\text{)}} \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^n \text{오염물질농도}_i \times \text{유출량}_i}{\sum_{i=1}^n \text{유출량}_i} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Table 1. An each object station land usage characteristic and selection purpose

조사지점	토지이용	선정목적
Y-1	산지	산지 배출특성분석
Y-2	소유역 중간지점	산지/농경지 소유역 배출특성분석
Y-3	밭지역	밭지역 배출특성분석
Y-4	농촌주거지역	농촌 소규모 마을 배출특성분석
Y-5	논지역	논 배수로 배출특성분석
Y-6	논지역	논 배수로 배출특성분석
Y-7	산지	하류 논지역 배출특성분석, 산지 배출특성분석
Y-8	논지역(산지+논지역)	논지역 배출특성분석, 산지/농경지 소유역 배출특성분석
Y-9	소유역 유출구	농촌 소유역 배출특성분석, Y-2지점과 비교를 통해 유출특성분석

지역평균농도 = 특정지역 EMC 값의 평균
(산술확률분포에서)
또는 중앙값(log-normal
분포에서) (2)

원단위(kg/ha/year) = $P \times P_j \times C \times EMC$ (3)

여기서, n = 측정회수
P = 연간평균강수량
 P_j = 우수유출이 없는 강우에 대한 보정치
C = 유출계수(유출량(mm)/강우량(mm))
= $0.858i^3 - 0.78i^2 + 0.774i + 0.04$
(i = 유역의 불투수율)

3. 조사결과 및 고찰

3.1. 토지이용별 비점오염원 배출부하 특성

농촌지역의 강우유출에 의한 비점오염물질의 배출 특성 및 배출부하량을 조사하기 위하여 섬진강권역의 외남천 유역을 대상으로 4회에 걸쳐 조사하였다. 각 강우 사상에 따른 특성을 Table 2. 강우사상에 따른 대상지점별 유출곡선을 Fig. 2에 나타내었다.

Event 1, 2 및 3에서는 강우량이 29.5, 35.5 및 53.0mm로 비교적 유사하게 기록되었으나, Event 4에서는 강우량 163.5mm, 강우지속시간은 52시간으로 큰 강우 현상이 기록되었다. Fig. 2로부터 Event 1, 2에서 비교적 유사한 강우량을 기록한 것에 비하여 Event 2는 Event 1보다 2배 이상의 첨두유출량

Table 2. Rainfall characteristic for respective events

구분	강우 발생일자		구분	강우 발생일자	
Event 1	2004. 04. 26 01시~2004. 04. 26 11시		Event 2	2004. 06. 17 04시~2004. 06. 17 16시	
	총강우량 (mm)	29.5		총강우량 (mm)	35.3
	강우지속시간 (hr)	11		강우지속시간 (hr)	12
	선행무강우일수(day)	8		선행무강우일수(day)	7
Event 3	2004. 07. 07 02시~2004. 07. 07 13시		Event 4	2004. 09. 10 20시~2004. 09. 12 23시	
	총강우량 (mm)	53.0		총강우량 (mm)	163.5
	강우지속시간 (hr)	11		강우지속시간 (hr)	52
	선행무강우일수(day)	2		선행무강우일수(day)	2

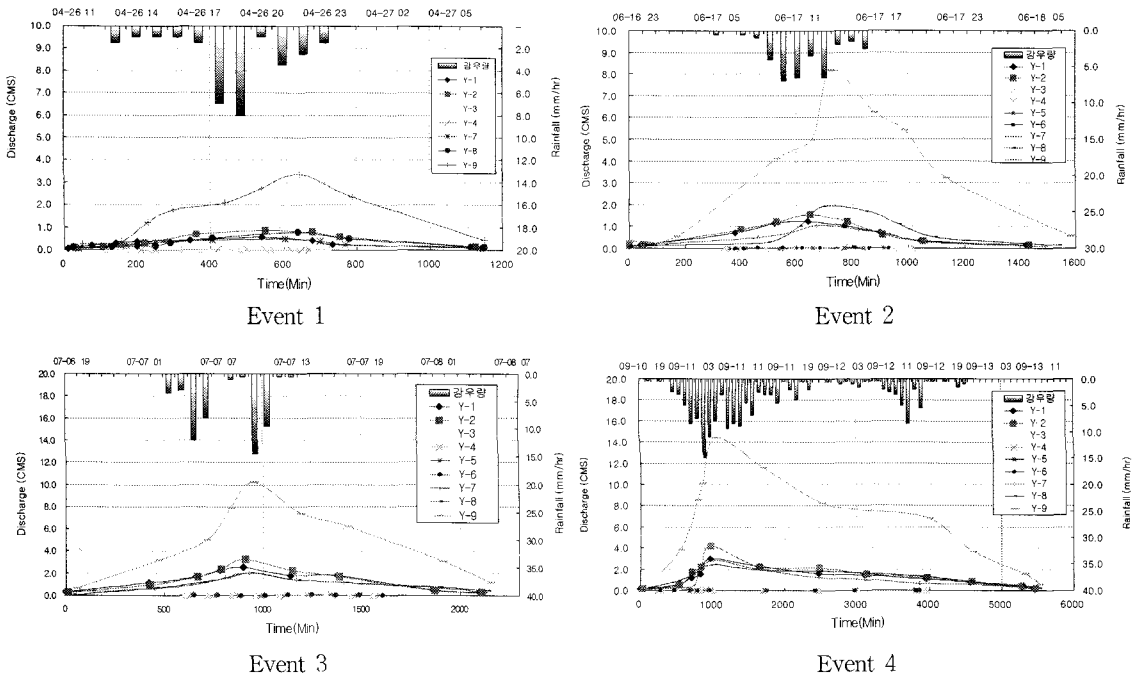


Fig. 2. Each station flow curve according to rainfall events.

이 발생되고 있음을 알 수 있다. 이는 두 사상 간의 선행무강우일수와 계절적 특성에 기인한 것으로 판단된다.

강우사상에 따른 토지이용별 비점오염원 배출특성을 규명하기 위하여 4회 조사, 연구하여 산출한 각각의 EMC 및 SMC 값을 Table 3에 나타내었다.

Table 1에 나타낸 바와 같이 산지의 토지이용 특성을 갖는 상류부 Y-1 지점과 중하류부 Y-7지점의 BOD 및 COD의 EMC는 3.11~5.74mg/L 및 3.37~12.65mg/L이고, SS의 EMC는 2.05~29.97 mg/L이었다. 또한, 영양물질에 대한 EMC는 T-N은 0.94~2.91mg/L, T-P는 0.02~0.13mg/L의 분포를 갖는 것으로 나타났다.

외남천 유역의 전형적인 받지역의 토지이용 특성을 갖는 Y-3지점의 BOD 및 COD의 EMC는 각각 4.61~11.84mg/L 및 6.70~17.64mg/L의 범위이고, T-N은 2.29~3.70mg/L, T-P는 0.03~0.44mg/L의 분포를 갖는 것으로 나타났다. 또한 해당지점에서 Event 4 조사 때의 SS는 305.02mg/L로 가장 높은 농도를 보였으며 이는 큰 강우에 의해 유출되는 물

의 흐름에 의하여 받의 부유물질 및 침식토사 이동의 영향으로 판단된다.

전형적인 논외 토지이용 특성을 갖는 중류부인 Y-5, Y-6지점의 Event 1에서는 농작물의 시비법(모내기)에 의하여 유출이 발생하지 않았으며, Event 2~4 조사에서는 BOD 및 COD의 EMC는 각각 8.21~15.50 및 15.56~33.42mg/L이고, T-N의 EMC는 3.20~7.23, T-P는 0.21~0.42mg/L의 분포를 나타내었다. 이는 선행연구로서 정용준 등(2004)이 보고한 논지역의 오염물질 배출량이 강우량에 의한 영향보다 농작물 경작에 따른 화학 비료사용과 시비법에 의하여 부하량이 증가하였다는 결과와 일치한다.

외남천이 주암호에 직접 유입되는 지천임을 고려하여 농경지에서 유출되는 비점오염물질의 배출량을 보다 적극적으로 저감하기 위해서는 농경지에 투입하는 비료의 시비량, 시비시기 및 관개특성 등이 비점오염원 배출에 미치는 영향을 연구할 필요가 있을 것으로 판단된다.

농촌주거지역 토지이용 특성을 갖는 Y-4지점의

Table 3. EMC and SMC on land usage type (mg/L)

구분	강우	BOD	COD	SS	T-N	T-P	구분	강우	BOD	COD	SS	T-N	T-P	
E M C	Y-1	Event 1	4.55	5.54	2.05	0.970	Y-2	Event 1	4.37	5.77	5.02	3.100	0.030	
		Event 2	4.84	5.66	5.02	1.980		Event 2	4.51	8.46	1.70	4.710	0.040	
		Event 3	3.66	4.72	12.60	1.240		Event 3	6.20	10.45	12.57	3.680	0.100	
		Event 4	3.11	3.37	19.01	0.940		Event 4	5.81	8.67	80.44	1.740	0.100	
	SMC		4.04	4.82	9.67	1.283	0.065	SMC		5.22	8.34	24.93	3.308	0.068
E M C	Y-3	Event 1	11.84	17.64	65.02	2.620	0.440	Y-4	Event 1	6.23	7.33	13.03	0.910	0.120
		Event 2	5.88	9.06	188.90	3.700	0.240		Event 2	7.91	11.09	21.86	5.410	0.250
		Event 3	5.80	8.67	25.66	2.290	0.030		Event 3	11.13	13.02	15.03	8.760	0.380
		Event 4	4.61	6.70	305.02	2.590	0.060		Event 4	7.24	11.23	32.73	4.780	0.230
	SMC		7.03	10.52	146.15	2.800	0.193	SMC		8.13	10.67	20.66	4.965	0.245
E M C	Y-5	Event 1	-	-	-	-	Y-6	Event 1	-	-	-	-	-	
		Event 2	10.26	16.31	26.67	7.230		0.320	Event 2	9.92	15.56	17.71	4.810	0.240
		Event 3	15.50	33.42	35.65	6.430		0.420	Event 3	13.77	26.87	20.84	3.200	0.230
		Event 4	8.48	26.82	12.60	5.080		0.220	Event 4	8.21	24.98	13.82	4.450	0.210
	SMC		11.41	25.52	24.97	6.247	0.320	SMC		10.63	22.47	17.46	4.153	0.227
E M C	Y-7	Event 1	4.94	11.15	28.43	1.080	0.120	Y-8	Event 1	5.19	7.92	22.01	0.990	0.110
		Event 2	5.74	6.55	21.54	2.030	0.100		Event 2	4.75	7.33	62.31	2.690	0.100
		Event 3	4.57	12.65	9.35	2.910	0.060		Event 3	5.62	14.36	13.68	3.130	0.050
		Event 4	3.66	6.91	29.97	1.410	0.030		Event 4	4.39	5.63	28.89	2.270	0.070
	SMC		4.73	9.32	22.32	1.858	0.078	SMC		4.99	8.81	31.72	2.270	0.083
E M C	Y-9	Event 1	6.52	9.24	18.37	1.450	0.090							
		Event 2	5.97	11.28	15.45	2.900	0.080							
		Event 3	10.12	17.24	12.35	3.020	0.080							
		Event 4	7.01	8.56	50.35	1.000	0.190							
	SMC		7.41	11.58	24.13	2.093	0.110							

BOD 및 COD의 EMC는 각각 6.23~11.23 및 7.33~13.02mg/L이고, T-N의 EMC는 0.91~8.76mg/L, T-P는 0.12~0.38mg/L의 분포를 나타내었다. Event 4 조사 시점의 강우량은 Event 3 때보다 강우량이 163.5mm 많았으나, SS를 제외한 다른 수질지표의 농도는 높게 나타나지 않았다. 따라서 강우 시 SS를 제외한 BOD, COD 및 T-N의 배출은 강우량 크기에 비례해서 부하량이 증가하지 않음을 알 수 있다.

외남천의 유출구로서 가장 많은 유출량을 보이고 있는 하류부인 Y-9지점에서의 BOD 및 COD의 EMC는 각각 5.97~10.12, 8.56~17.24mg/L의 분포를 보였으며, 영양물질에 대한 수질농도를 나타내는 T-N, T-P의 EMC는 각각 1.00~3.02, 0.08~0.19 mg/L의 분포를 갖는 것으로 나타났다. 전반적으로 상류지역과 유사한 EMC를 가지고 있는데 이는 큰 하폭에 의한 작은 유속과 조사지점 직상류의 보에 의하여 부하량이 작게 나온 것으로 판단된다.

본 연구에서 최종적으로 계산된 EMC를 이용하여 산정한 원단위를 환경부(1995)에서 시행중인 원단위와 비교하기 위하여 대상수계와 유사한 토지이

용 특성을 갖는 영산강권역의 각 토지이용별 원단위와 함께 Table 4에 나타내었다.

본 연구에서 산정한 원단위가 환경부(1995)¹⁰⁾에서 시행중인 원단위보다 유기물 오염지표인 BOD 및 COD는 각각 1.7~3.6배 및 1.4~2.1배 높게 나타나고, 영양염류인 T-N은 0.4~1.6배 높고 T-P는 0.5~3.8배 낮게 나타났다 SS의 원단위는 임야지역이 약 4.9배 높고 논지역은 3.5배 높으며, 밭지역은 약 23배 높게 나타났는데, 이는 Event 4 조사 시기의 큰 강우에 의한 영향으로 판단된다.

3.2. 토지이용별 비점오염 배출특성

농촌지역의 토지이용별 초기오염물질 배출현상을 관찰하기 위하여 누적배출량에 따른 누적오염부하량 비를 도시하였으며, 누적오염물질 부하량 곡선이 누적배출량 곡선을 초과할 경우 초기오염물질 배출 특성을 지니고 있는 것으로 판단할 수 있다.

외남천 유역의 출구점인 Y-9지점에 대한 누적배출량에 따른 누적오염부하량을 Fig. 3에 도시하였다. BOD 및 T-N의 경우 전반적으로 균일한 배출

Table 4. Unit load on land usage (Kg/ha/year)

		BOD	COD	SS	T-N	T-P
임야	금 회	11.48	18.50	44.03	4.09	0.19
	환경부	3.20	8.80	8.90	2.48	0.05
밭	금 회	19.70	29.53	529.89	8.80	0.30
	환경부	7.10	18.90	23.00	20.03	0.31
논	금 회	31.32	64.40	126.46	16.36	0.75
	환경부	17.70	45.50	36.60	16.67	1.50
농촌도시	금 회	66.27	87.40	170.61	41.80	2.02

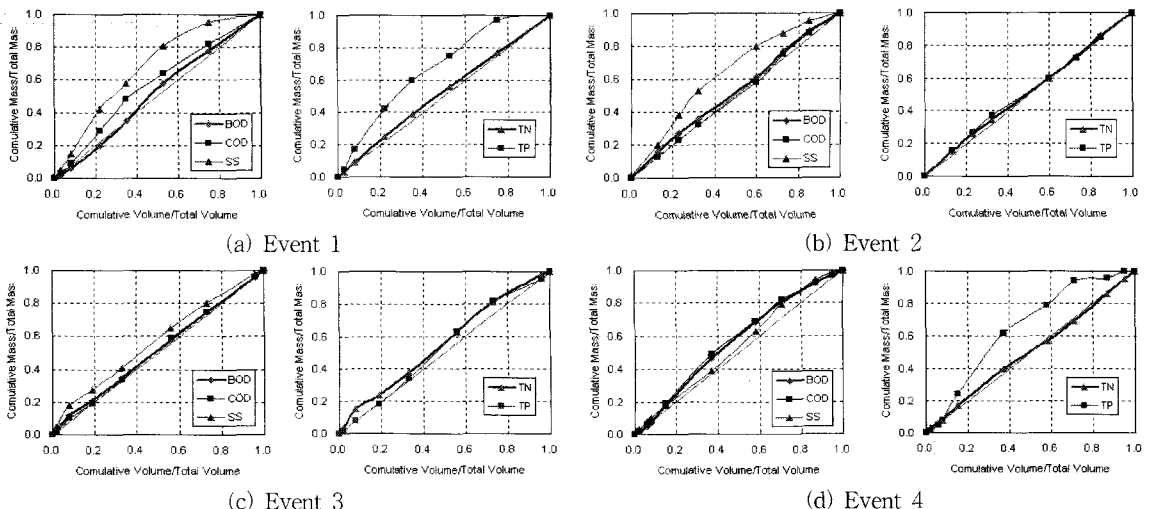


Fig. 3. Runoff characteristics of non-point pollutants.

특성을 갖는 것으로 조사되었으며, Event 2 및 3 역시 균일한 배출특성을 나타내었다. 그러나 Event 1 및 4에서 COD의 양상은 초기 오염물질 배출 특성이 강한 것으로 나타났다.

SS농도의 배출 특성은 Event 1~4 모두 초기오염물질 배출 특성이 강하게 나타나고 있으며 이는 전술한 바와 같이 강우에 의해 유출되는 물의 흐름에 의하여 발의 부유물질 및 침식토사의 이송에 의한 것으로 판단된다.

4. 결 론

농촌지역 토지이용 특성을 갖는 외남천 유역의 토지이용별 강우사상에 따른 수질분석 및 유량측정으로 비점오염원 부하량을 산정한 결과는 다음과 같다.

토지이용별 비점오염원의 논 지역에서 EMC는 BOD 8.21~15.50mg/L, COD 15.56~33.42mg/L, SS 12.60~35.65mg/L, T-N 3.20~7.23mg/L 및 T-P 0.21~0.42mg/L의 범위이고, 밭 지역은 BOD 4.61~11.84mg/L, COD 6.70~17.64mg/L, SS 25.66~305.02mg/L, T-N 2.29~3.70mg/L 및 T-P 0.03~0.44mg/L의 범위이며, 산지 지역은 BOD 3.11~5.74mg/L, COD 3.37~12.65mg/L, SS 2.05~29.97mg/L, T-N 0.94~2.91mg/L 및 T-P 0.02~0.13mg/L의 범위로 나타났다.

최종적으로 계산된 EMC를 이용하여 산정한 원단위를 환경부(1995)에서 시행중인 원단위와 비교할 때, 유기물 오염지표인 BOD 및 COD는 각각 1.7~3.6배 및 1.4~2.1배 높게 나타났다. 또한, 영양염류인 T-N은 0.4~1.6배 높고 T-P는 0.5~3.8배 낮게 나타났다.

농촌지역의 토지이용별 강우 시 오염물질 배출현상은 BOD 및 T-N은 전반적으로 균일하고, SS는

초기오염물질 배출농도가 높게 나타났다.

본 연구 대상지점인 외남천이 주암호에 직접 유입되는 지천임을 고려하여 농경지에서 유출되는 비점오염물질의 배출량을 보다 적극적으로 저감하기 위해서는 농경지에 투입하는 비료의 시비량, 시비시기 및 관개특성 등이 비점오염원 배출에 미치는 영향을 연구할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 나은혜, 박석순, 2001, 유역 및 하천모델의 결합 적용을 통한 시기별 오염부하량 산정, 대한환경 공학회지, 23(9), 1561-1573.
- 2) 최지용, 신은성, 1998, 농촌지역 비점오염원 관리방안연구, 한국환경정책·평가연구원.
- 3) 황순진, 이정임, 1997, 팔당상수원 수질개선 방안에 관한 연구, 경기개발연구원.
- 4) Ichiki, A. and K. Yamada, 1999, Study on characteristics of pollutant runoff into lake Biwa Japan, Wat. Sci Technol., 39(12), 17-25.
- 5) 정용준, 남광현, 민경석, 2004, 낙동강 소유역 경지에서의 비점오염원 물질 발생 및 배출특성, 한국물환경학회지, 20(4), 333-338.
- 6) 이현동, 안재환, 김운지, 배철호, 2001, 토지이용별 강우시 비점오염원 물질의 유출 특성, 한국물환경학회지, 17(2), 147-156.
- 7) 최지용, 신창민, 2002, 비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안, 한국환경정책·평가연구원.
- 8) 환경부, 1995, 수질오염공정시험법.
- 9) APHA, WEF and AWWA, 1998, Standard Method for Examination of Water and Wastewater, APHA-AWWA-WEF.
- 10) 환경부, 1995, 비점오염원 조사연구사업 보고서.