

외남천 유역의 토지이용도에 따른 비점오염원 유출특성

Characteristics of Non-Point Pollution Discharge According to Land Use in Yeinam Watershed

박 성 천*, 김 용 구**, 노 문 수***, 이 한 민****

Sung Chun Park, Yong Gu Kim, Mun Soo Rho, Han Min Lee

요 지

우리나라의 수질오염에 대한 규제는 주로 호소 및 하천의 수질을 향상시키기 위하여 하수 및 공장폐수 등 점오염원을 중심으로 관리되어 왔으나 강우와 함께 대량 유출된 비점오염원은 수용하천의 자정능력을 감소시키고 있고 이로 인해 하천과 호소의 수질은 향상되지 못하고 있다. 또한, 농촌지역에서 배출되는 비점오염원은 정확한 기작의 분석이 안 되고 있으며, 비료·농약의 사용 증가에 따라 영양염 및 유해물질에 의한 수질오염의 영향이 증가되고 있는 실정이다.

본 연구는 농촌지역의 강우-유출로 인한 비점오염물질의 유출특성 및 배출부하량을 조사하기 위하여 영산강권역의 외남천을 대상으로 조사하였다. 대상 유역의 토지용도 구분은 ① 논지역, ② 밭지역, ③ 산지지역, ④ 농촌주거지역, ⑤ 복합지역(논, 산지)으로 구분하였다. 시료의 채취는 강우시 5회에 걸쳐 조사하였으며, 2L 용량의 무균채수병에 채취한 후, 아이스박스에 4℃이하로 보관하여 24시간 이내로 실험실에 운반하여 실험하였으며, 매회 시료 채취 주기는 강우유출이 발생하기 전부터 강우 종료 후 유출량 변화가 없을 때까지 9~12단계로 세분하여 유출량과 pH, DO, BOD, COD, SS, T-N, T-P의 농도를 측정하였다.

본 연구에서 조사한 결과 토지이용별 비점오염원의 SMC를 살펴보면 BOD의 SMC는 4.38 ~ 11.02mg/l, COD의 SMC는 7.07 ~ 23.99mg/l, T-N은 1.57 ~ 5.20mg/l, T-P는 0.11 ~ 0.274mg/l의 범위를 갖는 것으로 나타났으며, 전반적으로 논 지역에서 비교적 높게 나타났는데 이는 농작물의 경작에 따른 시비법의 영향으로 판단된다. 또한, 비점오염원의 유출특성을 보면 전반적으로 초기 오염물질 유출특성 갖는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 비점오염원, 유량가중평균농도, 강우유출

1. 서 론

수질개선을 위한 수질보전정책은 도시하수종말처리장, 산업폐수처리장 등의 점오염원 관리시설 위주로 추진할 뿐만 아니라 수질 측정망을 운영하여 수질관리를 지속적으로 하고 있으나 강우와 함께 대량 유출된 비점오염원은 수용하천의 자정능력을 감소시키고 있고 이로 인해 하천과 호소의 수질은 향상되지 못하고 있다. 또한 비점오염물질의 발생이 많은 농경지관리, 산지관리, 도로 및 주차장건설 등 각종 개발 사업이 비점오염에 대한 인식과 고려가 부족한 채로 진행됨에 따라 개발 확대에 의한 비점오염원의 영향은 지속적으로 증가하게 되었다.

* 정회원·동신대학교 토목공학과 부교수 · E-Mail : psc@dsu.ac.kr
** 정회원·동신대학교 대학원 토목공학과 박사수료 · E-Mail : kyg8987@paran.com
*** 정회원·영산강 유역환경청 · E-Mail : rms001@me.go.kr
**** 정회원·광주광역시 지하철건설본부 · E-Mail : inseo@hotmail.com

따라서 본 연구에서는 농촌지역 토지이용 특성을 갖는 외남천 유역에 대하여 토지이용별 강우 사상에 따른 수질분석 및 유량측정으로 비점오염원의 부하량을 산정하고 비점오염원의 최적 관리 방안 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 대상유역 현황

외남천 유역은 행정구역상 전라남도 화순군 한천면에 위치하고 있으며, 토지이용별 측정지점 및 유역도는 **그림 1**과 같다. 상류에는 산지 특성을 나타내고 분류 및 지류 따라 중규모 농경지, 농촌 소규모 마을이 위치해 다양한 토지이용의 특성을 갖고 있을 뿐만 아니라 심진 강유역의 대표적인 토지이용 특성을 갖고 있는 배수구역으로써 주암호 직접 유입하고 있으며, 대상유역의 토지 이용현황은 다음의 **표 1**과 같다.

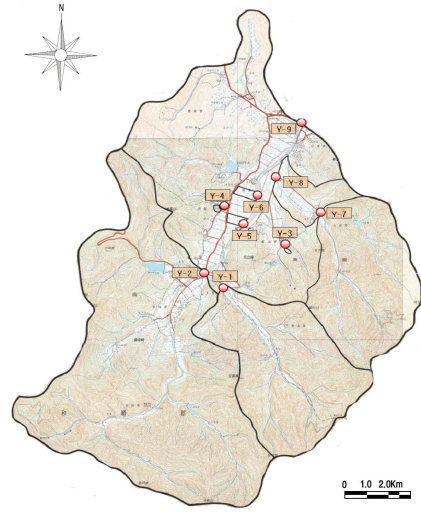


그림 1. 외남천 유역도 및 측정지점

표 1. 외남천의 토지이용 현황

(단위 : km², %)

구 분	총 계	전	답	임 야	농촌주거지역	기 타
외남천	58,504	2,011	5,272	47,706	1,170	2,345
	(100.0)	(3.4)	(9.0)	(81.6)	(2.0)	(4.0)

2.2 대상유역의 선정 및 특성

외남천 유역에서 토지이용 특성상 임야, 답, 전, 농촌주거지역의 특성을 갖는 지점을 선택하기 위하여 2차례의 사전 현장조사를 실시하였다. 1차 현장조사에서는 접근성 및 토지이용의 다양성을 검토하여 2~3배수의 대표 소유역을 구분하여 선택하였으며, 2차 현장조사에서는 측정가능 여부 및 선정기준의 대표성을 고려하여 토지이용별 대표지점을 선정하였다.

본 연구에서 최종 선택한 토지이용별 대표지점은 다음의 **표 2**와 같다.

표 2. 수질 및 유출량 조사 대표지점 및 선정목적

조사지점	토지이용	선정목적
Y-1 (정산마을교량)	산지	산지 유출특성분석
Y-2 (원동교)	소유역 중간지점	산지/농경지 소유역 유출특성분석
Y-3 (검산리밭지역)	밭지역	밭지역 유출특성분석
Y-4 (평리마을수로)	농촌주거지역	농촌 소규모 마을 유출특성분석
Y-5 (농배수로)	논지역(100%)	논 배수로 유출특성분석
Y-6 (농배수로)	논지역(100%)	논 배수로 유출특성분석
Y-7 (대곡마을교량)	산지	하류 논지역 유출특성분석, 산지 유출특성분석
Y-8 (검산교)	논지역(산지+논지역)	논지역 유출특성분석, 산지/농경지 소유역 유출특성분석
Y-9 (사평교)	소유역 유출구	농촌 소유역 유출특성분석, Y-2지점과 비교를 통해 유출특성분석

2.3 시료채취 및 분석방법

시료의 채취는 강우의 발생 직전에 유출량 및 시료를 채취하여 기저부하량을 산정하였고, 강우 시에는 도시지역의 비점오염원 배출특성인 초기유출(first flush) 현상을 관찰하기 위하여 강우강도에 따라 15분 ~ 30분 간격으로 시료를 채취하다가 강우 종료에 따른 침투유출량 발생 후 부터는 1~2시간 간격으로 강우 발생 전의 수위로 되돌아 올 때까지 시료를 채취하였다. 또한, 채취한 시료는 아이스박스에 4℃이하로 보관하고 있다가 24시간 이내로 실험실에 운반하여 수질오염공정시험법과 Standard Method(US APHA, 18th)에 의하여 실험하였다. 강우자료는 외남천에 인접한 화순북 강우관측소 자료를 사용하였다.

본 연구에서는 우수유출수의 비점오염물질 유출특성을 파악하기 위해, 각 토지이용별로 유량가중평균농도(EMC : event mean concentration) 및 지역평균농도(SMC : site mean concentration)를 산정하였으며 그 식은 식(1)과, 식(2)와 같다.

$$\text{유량가중평균농도} = \frac{\text{강우사상별총오염물질발생량(kg)}}{\text{강우사상별총강우유출량(m}^3\text{)}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{오염물질농도}_i \times \text{유출량}_i}{\sum_{i=1}^n \text{유출량}_i} \quad \text{--- 식(1)}$$

$$\begin{aligned} \text{지역평균농도} &= \text{특정지역 EMC 값의 평균(산술확률분포에서)} & \text{---} & \text{식(2)} \\ &\text{또는 중앙값(log-normal 분포에서)} \end{aligned}$$

$$\text{원단위(kg/ha/day)} = P \times P_j \times C \times \text{EMC} \quad \text{---} \quad \text{식(3)}$$

여기서, P = 연간평균강수량(본 연구에서는 수원의 1971~2000년 연간평균강수량 자료를 이용)

P_j = 우수유출이 없는 강우에 대한 보정치

C = 유출계수(유출량(mm)/강우량(mm))

= 0.858i³ - 0.78i² + 0.774i + 0.04 (i = 유역의 불투수율)

3. 조사결과 및 고찰

3.1 토지이용별 비점오염원 유출부하 특성

본 연구에서는 농촌지역의 강우-유출로 인한 비점오염물질의 유출특성 및 배출부하량을 조사하기 위하여 영산강권역의 외남천을 대상으로 4회에 걸쳐 조사를 실시하였으며 각 강우별 특성치는 표 3과 같다.

표 3. 각 강우사상별 특성치

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

총 4회의 강우사상에 대한 토지이용별 비점오염원 유출특성을 파악하기 위하여 조사한 결과는 다음의 표 4와 같다.

산지 토지이용 특성을 갖는 상류부인 Y-1 지점과 중하류부인 Y-7지점에서의 BOD 및 COD의 EMC는 3.11~5.74mg/l, 3.37~12.65mg/l의 범위를 보였고, SS의 EMC는 2.05~29.97mg/l의 범위를 보였다. 또한, 영양물질에 대한 EMC는 T-N 0.94~2.91mg/l, T-P 0.02~0.13mg/l의 분

포를 갖는 것으로 나타났다.

표 4. 토지이용별 비점오염원 유출특성

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								

전형적인 논외 토지이용 특성을 갖는 중류부인 Y-5, Y-6지점에서의 BOD 및 COD의 EMC는 각각 8.21 ~ 15.50, 15.56 ~ 33.42mg/l의 분포를 보였으며, T-N의 EMC는 3.20 ~ 7.23, T-P는 0.21 ~ 0.42로 조사되었다. 또한, 선행연구 중 정용준 외(2004)의 연구결과와 같이 논지역의 오염물질 배출량은 강우량에 의한 영향보다는 농작물 경작에 따른 화학 비료사용과 시비법에 의하여 부하량이 증가한 것으로 나타났다.

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 ~ 0.19mg/l의 분포를 갖는 것으로 나타났다. 전반적으로 상류지역과 유사한 EMC를 가지고 있는데 이는 큰 하폭에 의한 작은 유속과 조사지점 직상류의 보와 자연형 하천공사로 인하여 유기·영양물질에 부하량이 작게 나온 것으로 판단된다.

3.2 토지이용별 비점오염 유출특성

농촌지역의 토지이용별 초기오염물질 유출현상을 관찰하기 위하여 외남천은 COD의 경우 Event 1, Event 2에서 초기 유출 특성이 강하게 나타났으며, SS의 경우 비교적 균일한 유출 특성을 나타내었다. TN, TP의 경우 Event 2·3에서는 비교적 균일한 유출 특성을 나타냈으며, TP의 경우 Event 1·4에서 초기 유출특성이 강하게 나타났으며, 그림 2와 같다.

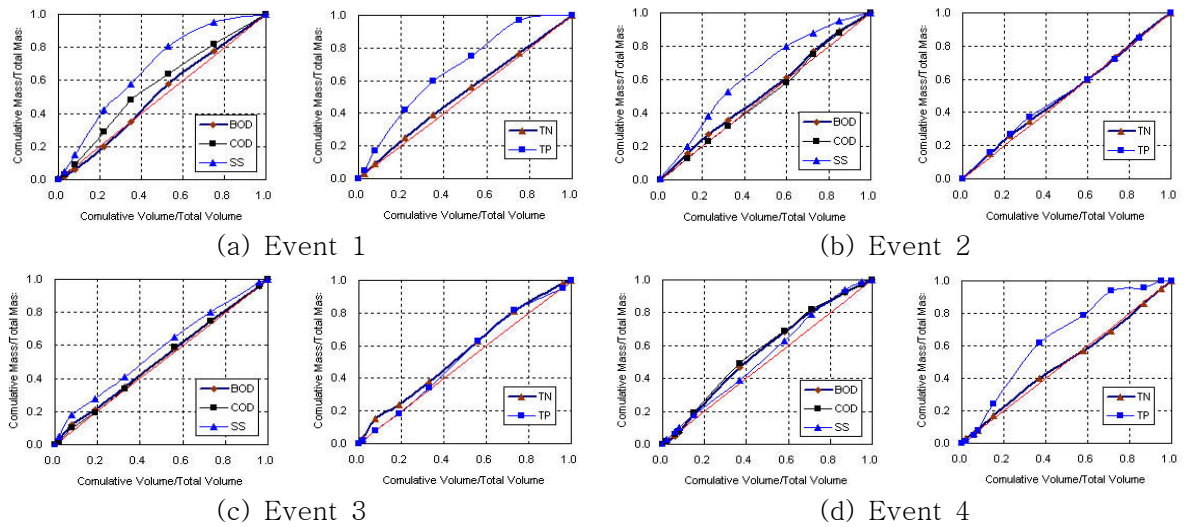


그림 2. 비점오염원 유출부하 특성

4. 결론

본 연구에서 농촌지역 토지이용 특성을 갖는 외남천 유역에 대하여 토지이용별 강우사상에 따른 수질분석 및 유량측정으로 비점오염원의 부하량을 산정한 결과 다음과 같다.

토지이용별 비점오염원의 SMC를 살펴보면 BOD의 SMC는 4.38 ~ 11.02mg/l, COD의 SMC는 7.07 ~ 23.99mg/l, T-N은 1.57 ~ 5.20mg/l, T-P는 0.11 ~ 0.274mg/l의 범위를 갖는 것으로 나타났으며, 전반적으로 논 지역에서 비교적 높게 나타났는데 이는 농작물의 경작에 따른 시비법의 영향으로 판단된다. 또한, 비점오염원의 유출특성을 보면 전반적으로 초기 오염물질 유출특성 갖는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 정용준, 남광현, 민경석(2004), 낙동강 소유역 경계에서의 비점오염원 물질 발생 및 배출특성, **한국물환경학회지**, 제20권, 제4호, pp 333 ~ 338
2. 나은혜, 박석순(2001), 유역 및 하천모델의 결합적용을 통한 시기별 오염부하량 산정, **대한환경공학회지**, 제23권, 제9호, pp 1561 ~ 1573
3. 최지용, 신창민(2002), 비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안, **한국환경정책·평가**
4. 이재수, 김영철(2001), 소규모 농업용 저수지 유역으로부터 비점원 오염물질 유출특성 및 오염물질 제거를 위한 체류지 용량분석, **대한토목학회논문집**, 제21권 제5-B호, pp 575 ~ 588
5. 환경부(1999), 수질오염공정시험법
6. 이현동, 안재환, 김운지, 배철호(2001), 토지이용별 강우시 비점오염원 물질의 유출 특성, **한국물환경학회지**, 제17권, 제2호, 147 ~ 156