

영산강 유역 도시지역의 비점오염원 배출특성에 관한 연구

진영훈[†] · 박성천

동신대학교 토목공학과

Study on the Discharge Characteristics of Non-point Pollutant Source in the Urban Area of the Youngsan-River Basin

Young-Hoon Jin[†] · Sung-Chun Park

Department of Civil Engineering Dongshin University

(Received 5 November 2005, Accepted 5 April 2006)

Abstract

Discharge characteristics of non-point source pollutant and load amount of the discharge in the urban area were investigated in the Pungyeongjeong-stream basin and the Yongbong-stream basin in this present study. The land use of the studied basins were divided into paddy field, industrial complex area, combined sewage system, separate sewer system and point sources discharge. The descriptive statistics on the event mean concentrations (EMCs) of non-point pollutants by the the land use showed in the range of 4.43~32.28 mg/L for BOD and 8.27~56.17 mg/L for COD. The highest concentration was shown from the combined sewage system. The EMC of SS at the paddy field in the Pungyeongjeong-stream basin showed the highest range with the values from 35.76 to 358.86 mg/L, which might have been influenced by a levee construction in the adjacent of the area. The relatively high concentration values of 4.43~32.28 mg/L and 1.61~7.13 mg/L emerged from TN and TP, respectively, at the discharge points of the both stream basins.

keywords : Combined sewer system, Event mean concentration (EMC), Land use, Non-point pollutant, Separate sewer system

1. 서론

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.

도시지역에서의 배출되는 비점오염물질은 단위면적당 오염부하가 다른 토지이용 특성에 비해 고농도이고, 유기물과 영양염류뿐만 아니라 각종 중금속 및 유독성물질도 포함하고 있다. 일반적으로 비점오염 물질의 배출은 개발 전 산지에 비해 BOD와 SS는 각각 92배, 24배 이상 유출된다고 보고되고 있으며, 특히 도시화로 인한 불투수성 면적의 증가로 인하여 강우 시에는 일시에 대량의 비점오염원이 공공수역으로 유출되어 수질오염문제를 증대시키고 있다. 또한, 우리나라의 수질오염에 대한 규제는 주로 점오염원 중심으로 관리됨에 따라 강우시에 배출되는 비점오염물질로 인하여 하천 및 호소의 수질은 크게 개선되지 않고 있다 (최, 1998; 환경부, 1995b; 한국환경정책평가연구원, 1997).

외국의 경우 초기우수에 의한 수질오염을 저감시키기 위

해 다양한 법적 규제 및 제어대책을 마련하고 있다. 미국의 경우 청정수법(Clean Water Act : CWA)에서는 국가오염물배출감소제도(National Pollutant Discharge Elimination System : NPDES)에 의해 공업활동에 따른 배출수, 대규모 및 중간규모 도시지역 분류식 하수거에서의 배출수에 관하여 허가를 받도록 하고 있다. 또한, 일본은 비점오염원에 대해 수질관계법이나 정부의 지침으로 관리방안에 대한 국가적 차원에서 제도화하지 못하고 있으나 그 중요성을 인식하여 다양한 관리기법이 도입되고 있다. 영국은 다른 EU 국가와 마찬가지로 살충제와 무기비료사용량을 감소시켜 농업에서의 비점오염원 유출을 경감시키고 야생동물의 서식처를 개선시킬 수 있도록 하는 농업관리에 노력을 하고 있다. 이와 같이 세계적으로 대량의 오염발생원인 점오염원에 의한 수질오염뿐만 아니라 도시강우 유출수, 농업지역 유출수 등으로부터 배출되는 다량의 저농도 비점오염원 저감의 필요성에 관심이 세계적으로 높아지고 있는 실정이다.

도시지역의 토지이용특성에 따른 비점오염물질 유출특성에 관한 연구로는 이 등(2001)은 팔당상수원 유역의 다양한 토지이용 특성에 대한 비점오염물질의 유출특성, 김 등(2002)은 경안천 유역의 4개 지천에 따른 비점오염물질의 유출특성, 신 등(2004)은 도시지역인 분당신시가지의 유기물질, 영양물질 및 중금속 물질의 유출특성에 관한 연구를

[†] To whom correspondence should be addressed.
yhjin@dsu.ac.kr

진행하였고, 박 등(2004)은 남한강 유역에 대하여 강우량에 따른 단위면적당 부하량 산정을 위한 회귀식을 유도하였으며, 노 등(2004)은 도로상의 비점오염물질에 저감을 위한 실험연구를 하였다.

비점오염물질의 유출은 토지이용 특성 및 유역의 특성에 따라 다양한 특성을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 영산강권역의 도시지역을 관통하는 풍영정천 및 도시지역 합류식 하수관거를 갖는 용봉천을 대상으로 토지이용별 비점오염원 유출부하량을 산정하고, 그에 대한 배출원인 및 배출경로를 파악함으로써 향후 비점오염부하 저감을 위한 유역관리 및 소유역별 우수유출처리 시설의 설계시에 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 연구내용 및 연구방법

2.1. 대상유역 현황

본 연구의 대상지점인 영산강 수계의 풍영정천은 행정구역상 상류는 장성군, 중·하류는 광주광역시 광산구에 걸쳐 위치하고 있으며 유역면적은 69,595 km²으로 다양한 토지이용 특성을 갖고 있다. 용봉천은 광주광역시 북구를 관류하는 지천으로서 상류지역과 중류 지역까지 복개되어 합류식 하수관거가 설치되어 있다. 따라서 생활하수가 하천에 직투입 유하한 후 용봉천 하류지점에서 광주하수종말처리장으로 전량 차집되고 있으며 본 연구의 대상지점에 따른 토지이용별 측정지점 및 유역도는 Fig. 1과 같다.

풍영정천의 토지이용 특성을 살펴보면 상류지역의 대부분은 농경지로 이용되고 있다. 반면에 중·하류 지역에서는 공업단지, 도시주거지역 및 농경지 등 복합적인 토지이

용 특성을 갖고 있으며 분류식 하수관거가 설치되어 강우시 비점오염 물질 유출 가능성이 높다.

용봉천은 상류 일부지역에서는 입야지역 특성을 보이고 있으나 중하류 대부분이 도시지역으로서 합류식 하수관거가 설치되어 있으며, 하수월류수 특성(CSOs)을 갖고 있다. 이러한 도시지역의 토지이용 특성에 따른 부하량을 산정하기 위하여 접근성 및 토지이용의 다양성을 검토한 후 측정 가능 여부 및 선정기준의 대표성을 고려하여 토지이용별 대표지점을 선정하였다. 토지이용별 대표지점의 토지이용 특성 현황 및 유역면적은 Table 1에 나타내었다.

2.2. 시료의 채취 및 조사방법

시료의 채취는 기저부하량을 산정하기 위하여 강우 발생 직전의 유출량을 산정하였으며 그와 동시에 해당 현장에서 시료를 채취하였다. 유속측정 및 유량계산 방법은 점유속 측정에 의한 중간단면법을 이용하여 유출량을 산정하였다. 강우시에는 비점오염원 배출특성인 초기 오염물질 유출(first flush) 현상을 관찰하기 위하여 강우 강도에 따라 15~30분 간격으로 시료를 채취하였으며, 강우 종료에 따른 침투유출량 발생 후 부터는 1~2시간 간격으로 강우 발생 전의 수위로 되돌아 올 때까지 시료를 채취·수집하였다. 또한, 채취한 시료는 얼음을 이용한 용기에 4°C 이하로 보관하여 24시간 이내에 실험실로 운반한 후 수질오염공정시험법과 Standard Methods에 의하여 BOD(Biochemical Oxygen Demand), COD(Chemical Oxygen Demand), SS(Suspended Solids), TN(Total Nitrogen), TP(Total Phosphorus) 수질농도에 대하여 실험을 수행하였다(환경부, 1995a; APHA, 1998).

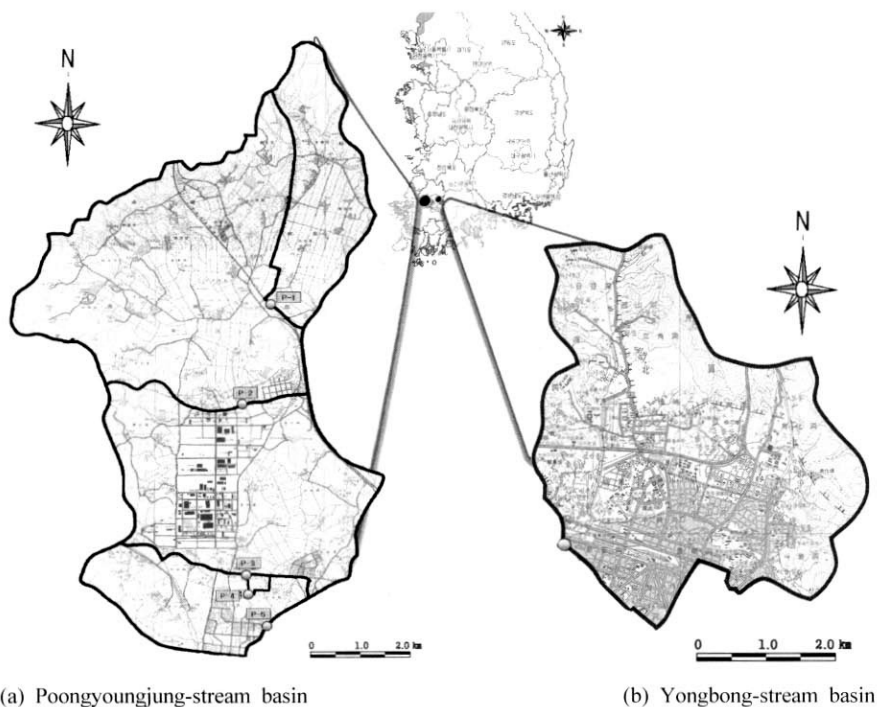


Fig. 1. Location of the study area.

Table 1. Land use and sampling program for monitoring points

Station	Land use	Sampling program	Area (10 ³ m ²)	
Poongyoung jung-stream	P-1	Paddy field	Discharge characteristics in the paddy field	9,568
	P-2	Midstream in subbasin	Discharge characteristics in the downstream and subbasins including the paddy field and mountain area	29,990
	P-3	Industrial complex	Discharge characteristics in the industrial complex	21,775
	P-4	Metropolis with seperate sewer system	Discharge characteristics in the metropolis with the seperate sewer system	189
	P-5	Discharge point in subbasin	Discharge characteristics in the subbasin of the industrial complex	8,262
Yongbong-stream	① Discharge point in subbasin ② Metropolis with combined sewer system	Discharge characteristics of rainwater in the metropolis (Analysis of CSOs)	29,713	

본 연구에서는 우수유출수의 비점오염물질 유출특성을 파악하기 위해 각 토지이용별로 유량가중평균농도(EMC : event mean concentration, 이하 EMC) 및 지역평균농도(SMC : site mean concentration, 이하 SMC)를 산정하였으며 그 수학적 표현은 각각 다음의 식 (1) 및 식 (2)와 같다. 또한 이를 바탕으로 도시지역의 토지이용별로 비점오염물질 발생원단위를 산정하였으며, 그 계산식은 식 (3)에 나타내었다. 또한 EMC · SMC 산정 및 원단위산정을 위한 강우자료는 광주지방기상청 광주지점(광주광역시 북구 운암동)의 강우자료를 이용하였다.

유량가중평균농도

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

지역평균농도

$$= \text{특정지역 EMC 값의 평균} = \text{중앙값(log-normal 분포에서)} \quad (2)$$

원단위(kg/ha/day)

$$= P \times P_j \times C \times \text{EMC} \quad (3)$$

여기서, P는 연간평균강수량, P_j는 우수유출이 없는 강우에 대한 보정치, C는 유출계수(유출량(mm)/강우량(mm))이다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 토지이용별 비점오염원 배출부하 특성

영산강 수계의 풍영정천 및 용봉천을 대상으로 도시지역의 강우유출에 의한 비점오염물질의 배출특성 및 배출부하량을 연구하기 위하여 4회에 걸쳐 실시하였으며 각 강우사상에 대한 발생기간을 포함한 기초자료를 Table 2(좌측)에 기술하였다. 또한 대상지점별 유출곡선을 강우주상도와 함께 Table 2(우측)와 도시하였다.

Event 1, 2 및 3에서는 강우량이 31.5, 28.5 및 33.5 mm로 비교적 유사하게 기록되었으나, Event 4에서는 강우량 143.5 mm, 강우지속시간은 57시간으로 비교적 큰 강우량을 기록되었다. 풍영정천은 계절적 특성에 의하여 비슷한 강우특성을 보인 Event 3 조사에서는 Event 1에 비하여 약 3배 이상의 큰 침투유출량을 기록하였으나 용봉천은 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이는 용봉천이 합류식 하수관거가 설치되어 있고 상류 일부를 제외한 대부분의 지역이 불투수지역 특성에 기인한 것으로 판단된다.

강우사상에 따른 토지이용별 비점오염원 배출특성을 규명하기 위하여 4회에 걸쳐 수질 및 유출량 조사를 실시하였다. 그에 따른 수질농도곡선은 본고의 지면 관계상 Event 4에 대하여 도시하였으며 Fig. 2~3과 같다. 또한 최종산정된 유출량 및 수질농도와 강우량에 의하여 산정된 각각의 EMC 및 SMC 값은 Table 3과 같다.

풍영정천 및 용봉천의 유기물질에 대한 EMC를 살펴보면, BOD는 각각 4.43~14.22 mg/L, 20.24~32.28 mg/L, COD는 각각 8.27~18.81 mg/L, 38.96~56.17 mg/L의 범위를 나타내었다. 풍영정천의 유역 중 가장 작은 면적을 차지하는 P-4지점에서 가장 큰 농도를 나타내었는데 이는 토지이용특성상 불투수지역이 대부분이고 분류식 하수관거가 설치된 지점이라는 배수구역의 특성에 기인한 것으로 판단된다. 용봉천은 풍영정천에 비하여 약 3배 이상의 큰 농도를 보이고 있는데 이는 앞서 기술한 바와 같이 생활하수가 하천에 직투입되는 합류식 하수관거로 인하여 비교적 높은 농도를 보인 것으로 판단된다.

풍영정천 및 용봉천의 SS EMC는 각각 35.76~358.86 mg/L, 65.87~202.78 mg/L의 분포를 보였다. 풍영정천의 유역 중 가장 큰 농도를 P-2지점은 소유역의 중간지점이면서 논·산지·공단지역의 복합적 토지이용 특성을 갖는 지점으로서 조사기간(Event 1, Event 2)동안 상류의 자연형하천 제방공사로 인한 토사유출로 다소 높게 나타난 것으로 판단된다. 또한 대상유역 전반적으로 초기 오염물질 유출현상을 보였으며, BOD와 COD 수질농도의 분포양상과는 다르게 SS의 수질농도는 강우량 및 강우강도에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 용봉천으로부터의 결과는 풍영정천과 비교하여 최대농도는 낮고 최소농도는 다소 크게 나타나고 있는데 이는 용봉천 상류 일부지역을 제외한 나머

Table 2. Rainfall characteristics the selected events, and the corresponding hyetographs and hydrographs

	Rainfall characteristics for respective events		The corresponding hyetographs and hydrographs
Event 1	2004. 04. 26 13:00 ~ 2004. 04. 27 00:00		
	Precipitation (mm)	31.5	
	Days since last storm (day)	8.0	
	Duration of rainfall (hr)	12.0	
	Runoff coefficient (P/Y)	0.07 / 0.38	
Peak discharge (P/Y) (m ³ /sec)	6.20 / 15.01		
Event 2	2004. 06. 17 05:00 ~ 2004. 06. 17 16:00		
	Precipitation (mm)	28.5	
	Days since last storm (day)	7.0	
	Duration of rainfall (hr)	12.0	
	Runoff coefficient (P/Y)	0.37 / 0.49	
Peak discharge (P/Y) (m ³ /sec)	12.38 / 19.52		
Event 3	2004. 07. 07 02:00 ~ 2004. 07. 07 12:00		
	Precipitation (mm)	33.5	
	Days since last storm (day)	2.0	
	Duration of rainfall (hr)	10.0	
	Runoff coefficient (P/Y)	0.42 / 0.60	
Peak discharge (P/Y) (m ³ /sec)	19.23 / 21.09		
Event 4	2004. 09. 10 21:00 ~ 2004. 09. 13 05:00		
	Precipitation (mm)	143.5	
	Days since last storm (day)	2.0	
	Duration of rainfall (hr)	57.0	
	Runoff coefficient (P/Y)	0.40 / 0.68	
Peak discharge (P/Y) (m ³ /sec)	32.70 / 27.63		

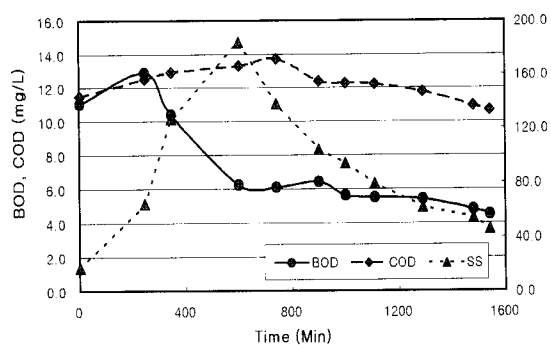
Note) P : Poongyoungjung Stream; Y : Yongbong Stream

지 배수구역이 전반적으로 불투수층이라는 토지이용의 특성에 기인한 것으로 판단된다. 풍영정천 및 용봉천의 영양염류에 대한 EMC를 살펴보면, TN은 각각 1.61~7.13 mg/L, 5.50~6.59 mg/L, TP는 각각 0.03~0.46 mg/L, 0.3~0.46 mg/L의 분포를 나타내었으며 풍영정천의 출구지점인 P-5지점에서 가장 큰 농도를 보였다. 또한 각 조사지점에 따른 TN 농도는 Event2 조사 때 가장 큰 농도를 보이고 있는데 이는 선행무강우일수가 7일로서 비교적 긴 기간 동안 오염물질의 축적에 기인한 것으로 판단된다. 반면에 Event1 조사 때 역시 선행무강우일수가 8일을 기록하였으나, 계절적 요인으로 인하여 Event 2에 비하여 유출이 작게 발생함에 따라 비교적 작은 농도를 보인 것으로 판단된다.

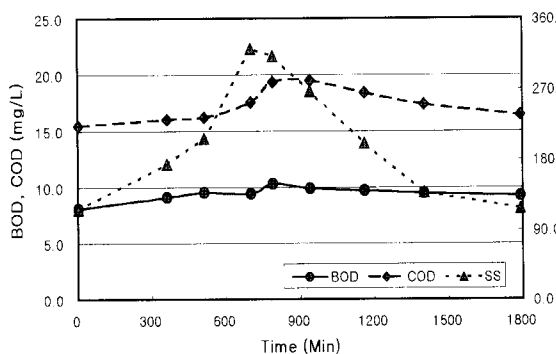
3.2. 토지이용별 비점오염 유출특성

본 연구에서는 도시지역의 강우에 의한 비점오염물질 유출 특성을 파악하기 위해 누적오염 부하량 비를 이용하였으며, 풍영정천의 출구지점인 P-5 지점과 용봉천에 대하여 누적 우수유출량에 따른 누적 비점오염물질 유출특성을 Fig. 2~3에 나타내었다.

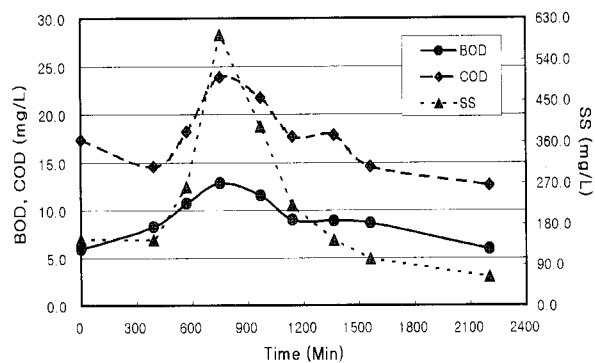
누적오염 부하량비를 표현하는 방법은 강우기간 중 이산 시간 동안의 유량 Q(t)에 대한 누적유량 $\sum Q(t)$ 비인 $Q(t)/\sum Q(t)$ 를 x축으로 하고, 이산시간 동안의 오염부하량 L(t)에 대한 누적오염부하량 $\sum L(t)$ 비인 $L(t)/\sum L(t)$ 를 y축에 도시하여 그래프의 기울기가 1보다 크면 초기유출 현상이 강한 것이며, 기울기가 1보다 작은 경우는 그 반대의 양상이 발



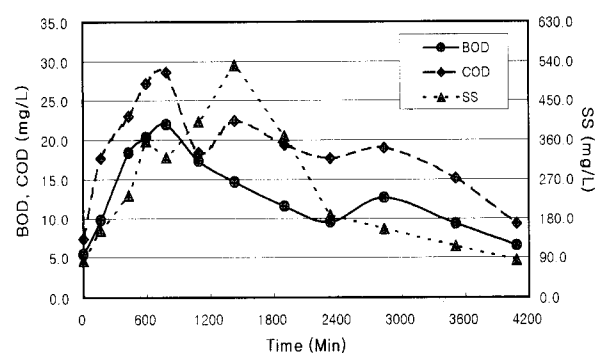
(a) Event 1



(b) Event 2

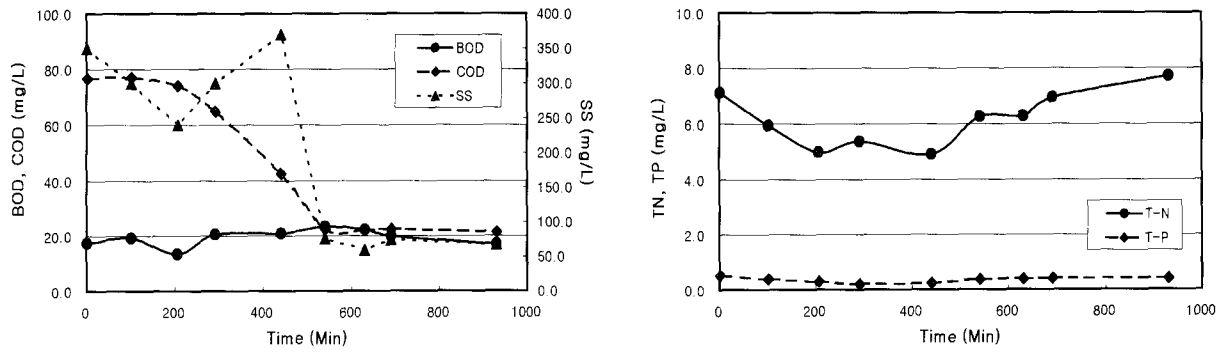


(c) Event 3

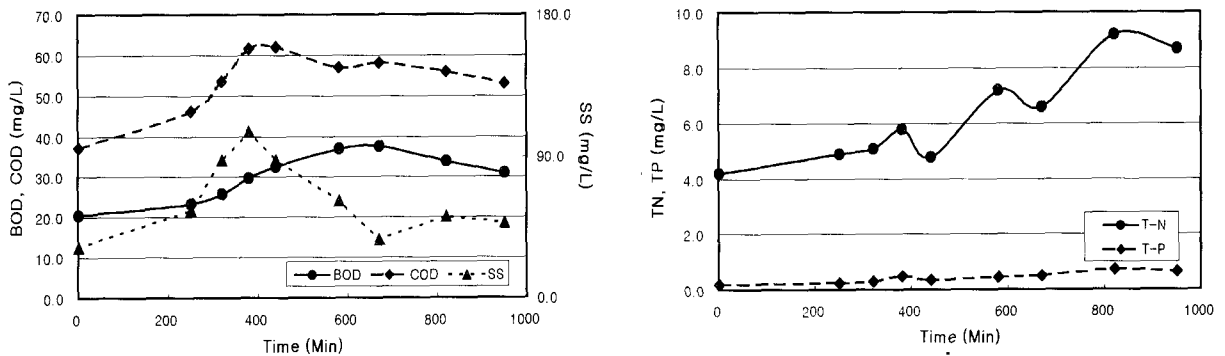


(d) Event 4

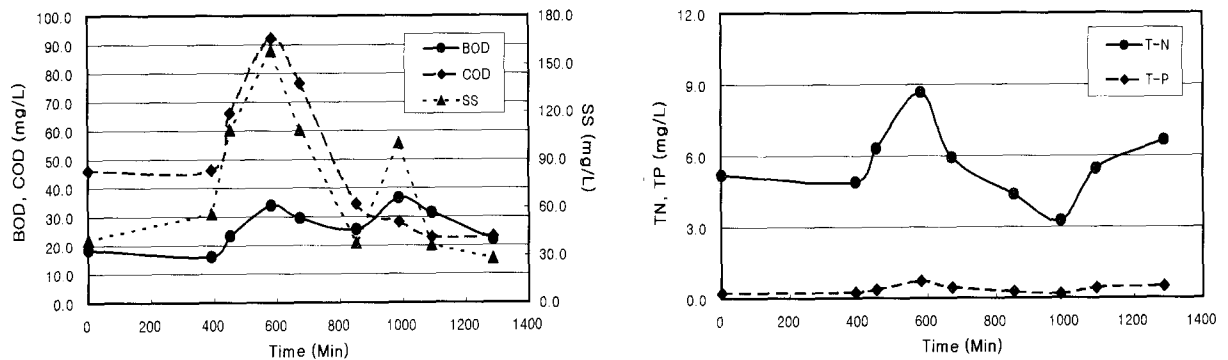
Fig. 2. Variation of pollutant concentration according to rainfall events (Poongyoungjung stream, P-5).



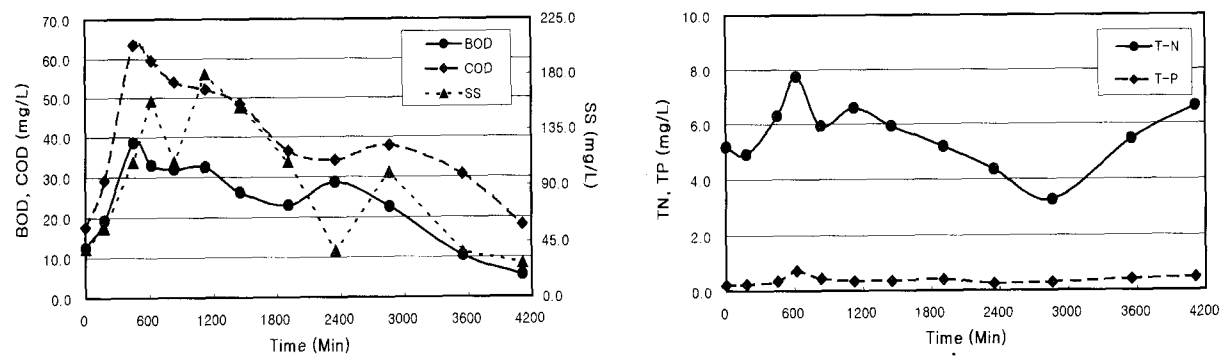
(a) Event 1



(b) Event 2

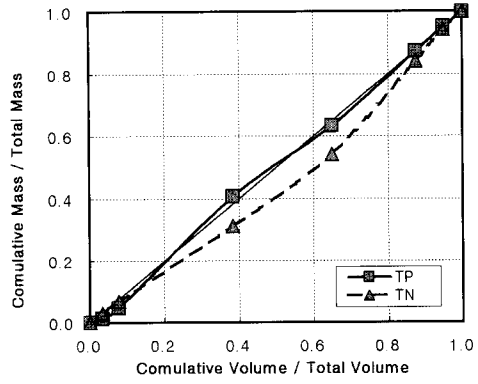
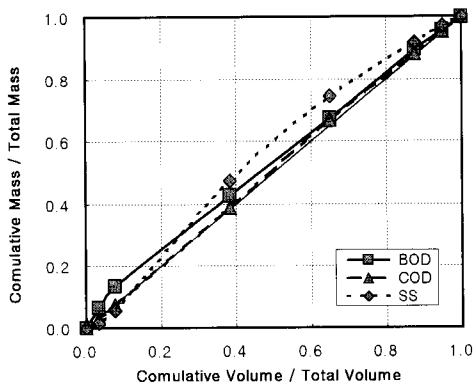


(c) Event 3

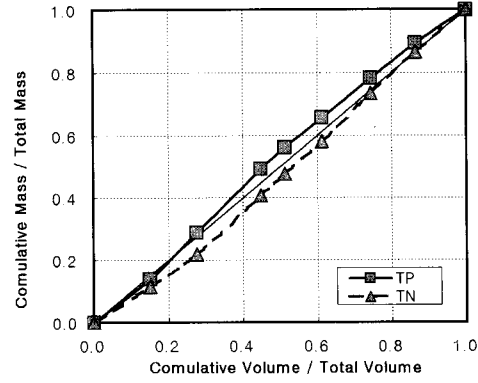
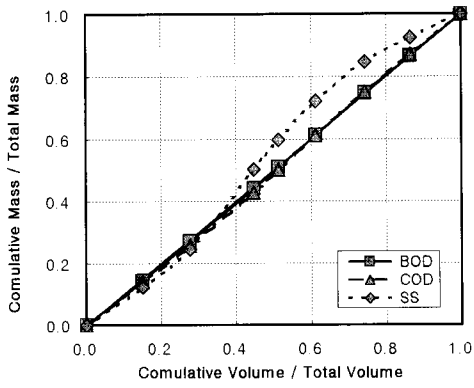


(d) Event 4

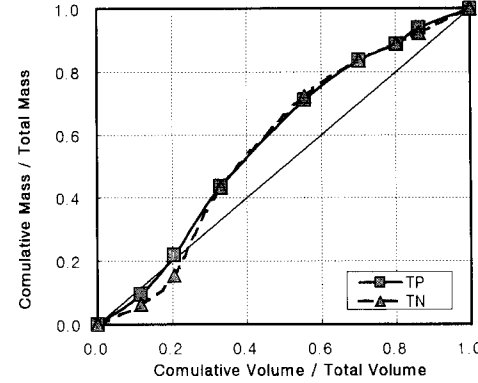
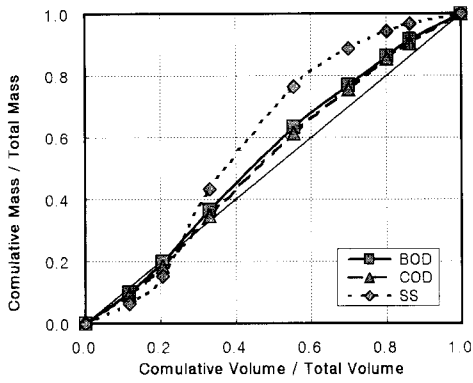
Fig. 3. Variation of pollutant concentration according to rainfall events (Yongbong stream).



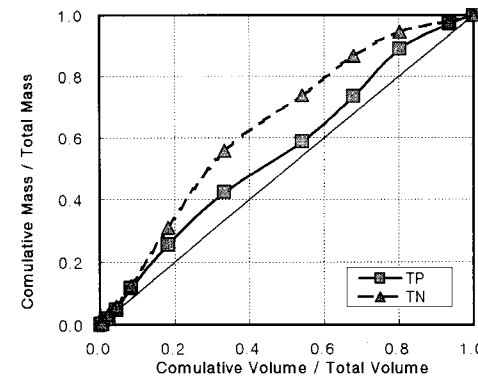
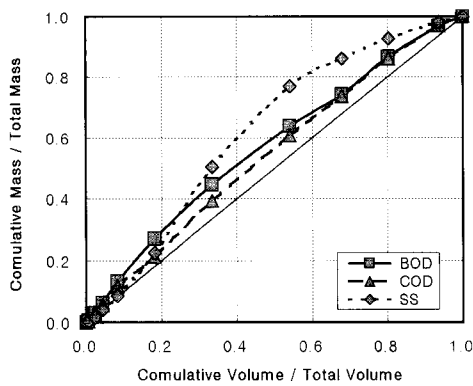
(a) Event 1



(b) Event 2

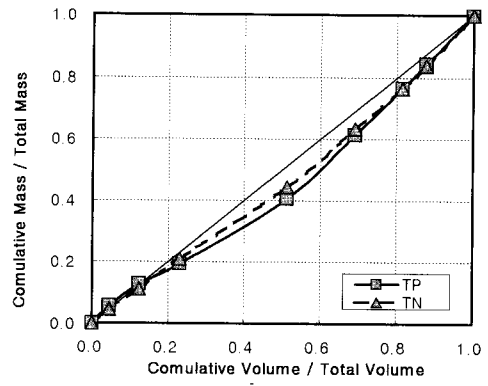
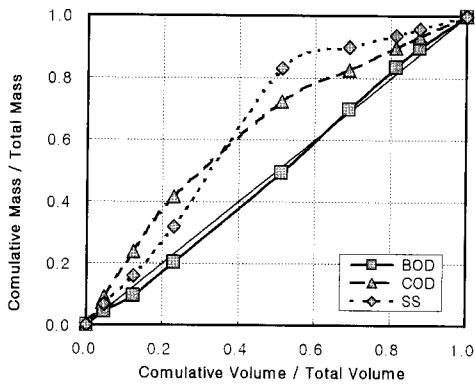


(c) Event 3

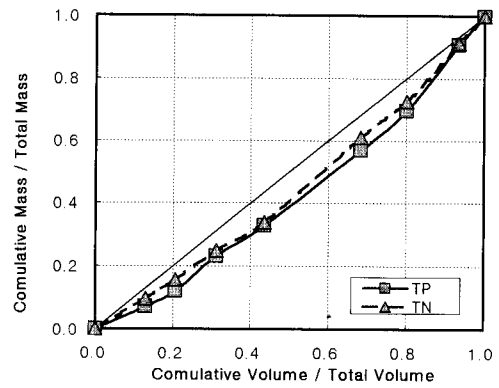
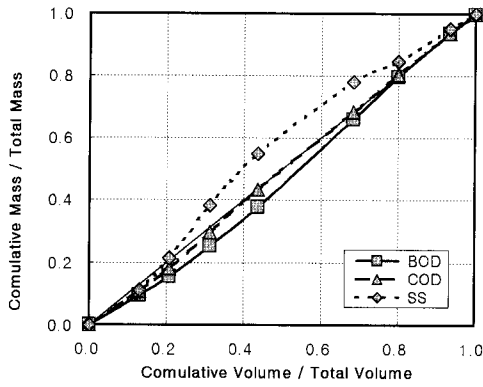


(d) Event 4

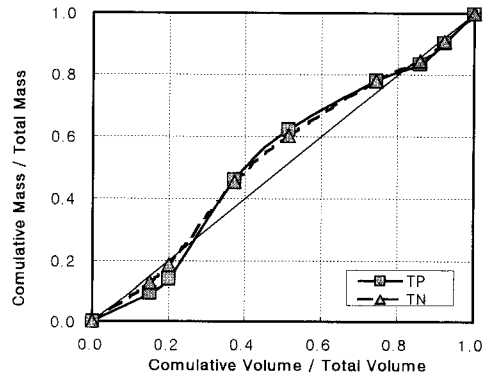
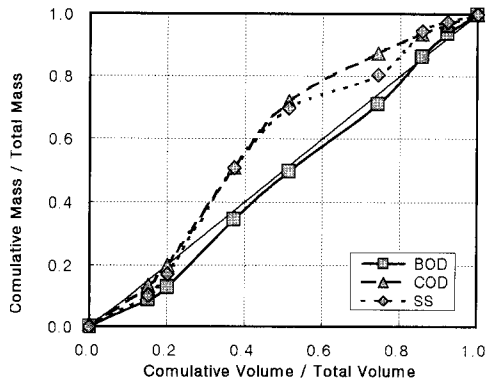
Fig. 4. Discharge characteristics of non-point pollutants - Poonyoungjung-stream basin.



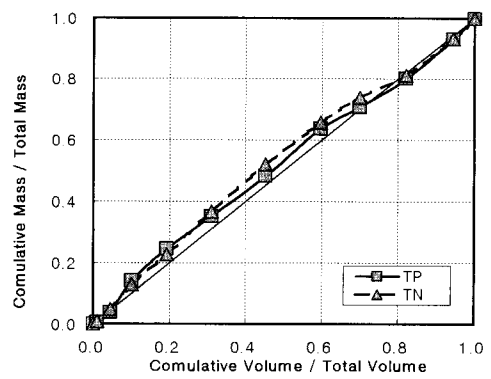
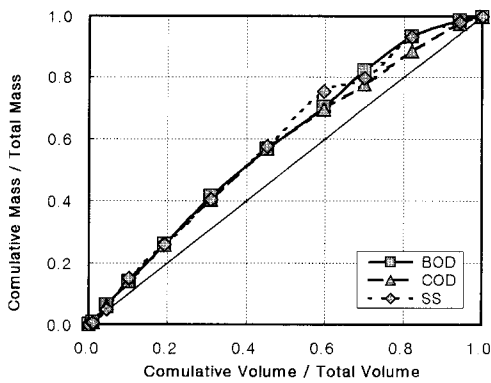
(a) Event 1



(b) Event 2



(c) Event 3



(d) Event 4

Fig. 5. Discharge characteristics of non-point pollutants - Yongbong-stream basin.

Table 3. EMC and SMC results of each sampling site

(unit : mg/L)

Case	Rain-fall	BOD	COD	SS	TN	TP	Case	Rain-fall	BOD	COD	SS	TN	TP	
EMC	P-1	Event 1	5.73	16.60	80.04	4.54	0.12	P-2	Event 1	6.17	18.48	336.03	3.04	0.16
		Event 2	4.87	8.54	91.89	6.33	0.20		Event 2	6.72	10.25	356.86	5.46	0.28
		Event 3	7.16	8.27	73.69	4.41	0.18		Event 3	7.65	11.32	119.86	4.98	0.44
		Event 4	9.67	11.80	182.89	4.04	0.23		Event 4	11.40	13.56	195.69	5.22	0.24
SMC		6.86	11.30	107.13	4.83	0.18	SMC		7.99	13.40	252.11	4.68	0.28	
EMC	P-3	Event 1	6.25	13.41	177.38	2.66	0.11	P-4	Event 1	4.43	9.47	126.20	1.79	0.04
		Event 2	9.47	12.86	216.91	4.90	0.22		Event 2	12.63	15.69	35.76	1.93	0.08
		Event 3	9.42	11.32	215.94	3.41	0.21		Event 3	14.22	18.81	40.01	1.61	0.08
		Event 4	12.59	17.07	226.04	5.23	0.35		Event 4	11.55	17.60	276.79	1.94	0.10
SMC		9.43	13.67	209.07	4.05	0.22	SMC		10.71	15.73	119.69	1.82	0.08	
EMC	P-5	Event 1	6.65	13.01	132.69	2.68	0.11	YB	Event 1	20.24	38.96	202.78	5.90	0.33
		Event 2	9.52	17.40	213.00	7.13	0.33		Event 2	32.28	56.17	65.87	6.59	0.46
		Event 3	9.67	18.20	264.37	4.68	0.26		Event 3	27.32	51.35	80.98	5.62	0.39
		Event 4	12.53	18.72	287.80	6.46	0.36		Event 4	24.43	41.97	103.84	5.50	0.39
SMC		9.59	16.28	224.47	5.24	0.27	SMC		26.07	47.11	113.37	5.90	0.39	

생하는 것으로 판단할 수 있다. 일반적으로 입자상 물질의 경우 강우초기에 유출되는 정도가 커 기울기가 1보다 크며 용존성 물질은 강우지속시간 동안 일정하게 유출되는 경향이 있기 때문에 기울기가 1에 접근한다.

풍영정천의 BOD 및 COD, SS 수질농도는 비교적 큰 강우가 발생한 Event 3·4차 조사에서는 초기 오염물질 유출 특성이 강하게 나타났으나 Event 1·2차 조사에서는 비교적 균일한 유출 특성을 나타내었다. TN 및 TP 수질농도 역시 Event 3·4차 조사에서는 초기 유출현상을 보였으나 Event 1·2차 조사에서는 비교적 균일한 유출 특성을 나타내었다. 또한 도시지역 분류식하수관거가 매설된 불투수층의 토지 특성을 갖는 P-4지점은 타 조사지점에 비하여 두드러지게 초기 오염물질 유출 현상을 나타내었다.

용봉천은 도시를 관통하는 합류하수관거로서 상류의 일부지점을 제외한 나머지 유역이 불투수층으로 구성되어 있음에 따라 풍영정천 수계와는 달리 BOD, COD, SS 수질농도에서 초기 오염물질 유출특성이 두드러지게 나타나고 있다. 반면에 TN 및 TP의 수질농도는 비교적 균일한 유출특성을 갖는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 영산강권역의 도시지역을 관통하는 풍영정천과 도시지역 합류식 하수관거의 배수구역 특성을 갖는 용봉천을 대상으로 토지이용별 비점오염원 유출부하량을 산정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

풍영정천 및 용봉천의 BOD EMC는 각각 4.43~14.22 mg/L, 20.24~32.28 mg/L, COD는 각각 8.27~18.81 mg/L, 38.96~56.17 mg/L의 분포를 나타내었으며, SS의 EMC는 각각 35.76~358.86 mg/L, 65.87~202.78 mg/L의 범위를 보였다. 또한, TN은 각각 1.61~7.13 mg/L, 5.50~6.59 mg/L, TP는 각각 0.03~0.46 mg/L, 0.33~0.46 mg/L의 분포를 갖는 것으로 나타났다.

비교적 큰 강우가 발생한 Event 3·4차 조사에서는 초기 오염물질 유출 특성이 강하게 나타났으나 Event 1·2차 조사에서는 비교적 균일한 유출 특성을 나타내었으며 도시지역 분류식하수관거가 매설된 불투수층의 토지 특성을 갖는 P-4지점은 타 조사지점에 비하여 두드러지게 초기 오염물질 유출 현상을 나타내었다.

이처럼 도시지역의 비점오염원 관리시 초기 우수 유출수 관리가 중요하다고 판단되므로 영산강 유역의 다양한 토지이용에 따른 비점오염원 배출특성 및 효율적인 관리방안에 관한 심화연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

김성수, 김종석, 방가연, 권은미, 정옥진, 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위조사, *대한환경공학회지*, 24(11), pp. 2019-2027 (2002).

노성덕, 이대근, 전양근, 도로상의 비점오염물질 저감을 위한 초기 우수유출수 처리에 관한 연구, *한국물환경학회지*, 20(5), pp. 525-533 (2004).

박연희, 박석순, 강우강도에 따른 토지이용별 비점오염원 부하량 산정 함수 연구, *대한환경공학회지*, 26(10), pp. 1070-1078 (2004).

신장민, 최지용, 박철휘, 도시지역에서의 토지이용별 비점오염물질 유출특성, *대한환경공학회지*, 26(7), pp. 729-735 (2004).

이현동, 안재환, 김운지, 배철호, 토지이용별 강우시 비점오염 물질의 유출특성, *한국물환경학회지*, 17(2), pp. 147-156 (2001).

최지용, *비점오염원 제도적 관리방안 연구*, 한국환경정책·평가연구원 (1998).

한국환경정책평가연구원, *도시지역 비점오염원 관리방안연구* (1997).

환경부, *수질오염공정시험법* (1995a).

환경부, *비점오염원 조사연구사업 보고서* (1995b).

APHA, *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*, 20th edition, Washington D.C., U.S.A. (1998).