

**SWMM모형을 이용한
도시지역 비점오염원의 유출특성 연구**
-전주시를 대상으로-

백도현·임영환^{*}·최진규^{**}·정팔진^{***}·곽동희^{****}
서남대학교 보건환경학과, ^{*}전북도청 환경정책과,
^{**}전북대학교 생물자원시스템공학부,
^{***}전북대학교 환경화학공학부, ^{****}서남대학교 환경공학부
(2005년 11월 28일 접수; 2005년 12월 28일 채택)

**Study on the Runoff Characteristics of Non-point Source
Pollution in Municipal Area Using SWMM Model**
-A Case Study in Jeonju City-

Do-Hyeon Paik, Young-Hwan Lim^{*}, Jin-Kyu Choi^{},
Paul-Gene Jung^{***} and Dong-Heui Kwak^{****}**

Department of Health & Environment, Seonam University, Namwon 590-711, Korea

^{}Environmental Preservation of Jeollabuk-Do, Jeonju 560-761, Korea*

*^{**}Division of Bioresource Systems Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea*

*^{***}Division of Environmental & Chemical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea*

*^{****}Division of Environmental & Chemical Engineering, Seonam University, Namwon 590-711, Korea*

(Manuscript received 28 November, 2005; accepted 28 December, 2005)

The runoff characteristics of non-point source pollutions in the municipal area of Jeonju were investigated and analyzed by using the SWMM (Storm Water Management Model). The flow rates and water qualities of runoff from two types of drainage conduits were measured respectively. One was a conventional combined sewer system and the other was a separated sewer system constructed recently. From August to November in 2004, investigations on two rainfall events were performed and flow rate, pH, BOD, COD, SS, T-N and T-P were measured. These data were also used for model calibration.

On the basis of the measured data and the simulation results by SWMM, it is reported that 80-90% of pollution load is discharged in the early-stage storm runoff. Therefore, initial 10-30 mm of rainfall should be controlled effectively for the optimal treatment of non-point source pollution in urban area. Also, it was shown that the SWMM model was suitable for the management of non-point source pollution in the urban area and for the analysis of runoff characteristics of pollutant loads.

Key Words : Non-point source pollutions, SWMM (Storm Water Management Model), Rainfall-runoff

1. 서론

비점오염물질은 특정한 오염물질을 선별하여 지

칭하는 것이 아니라 환경에 배출되는 통합적 오염물질을 칭하는 것으로, 미국 EPA에서는 비점오염원(non-point source pollution)이란 명확한 오염물질 유출경로를 가지지 않는 오염원에 의하여 오염되는 것을 의미하며 농지, 임업, 광산, 건축, 매립지, 도시 지역 등과 같은 강우 유출원의 오염물질을 포함한

Corresponding Author: Do-Hyeon Paik, Department of Health & Environment, Seonam University, Namwon 590-711, Korea
Phone: +82-63-620-0124
E-mail: pdh315@hanmail.net

다고 정의하고 있다.

우리나라 수질관리는 통상 생활하수, 공장폐수 등 점오염원을 중심으로 수질관리정책을 실시하여 왔으나, 오염물질의 상당량이 비점오염원에서 유발되고 있다. 비점오염원에서의 오염물질은 대부분이 강우시에 유출되므로, 재현성을 포함한 정량화는 많은 노력이 필요하다. 강우시 유출되는 비점오염원 부하가 수질에 끼치는 영향은 하수처리율이 향상되고 경제활동수준이 증가하고, 토지 이용이 고밀도로 이용될수록 상대적으로 높아지고 있다. 특히 오염원이 집중되어 있는 도시지역에서의 비점오염원에 대한 관리대책은 기존 생활하수, 공단폐수 그리고 축산과 같은 각종 산업폐수와 같은 점오염원에 비하여 충분히 진행되어지지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 도시구역의 유출량 산정을 위해 도시유출모형 중 기존의 연구에서 많이 이용되고 있는 SWMM 모형을 이용하였으며, 구역특성에 따라 합류식하수관 구역과 분류식하수관 구역의 대표지

점을 시범구역으로 선정하여 유량 및 수질을 측정하였다. 모형의 기본이론에 따라 유출모의 과정을 검토하고, 보정 및 검증과정을 거친 모델을 이용하여 다양한 강우사상에 대하여 모의실험을 실시하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구절차

본 연구에서는 우리나라의 도시지역의 비점오염원 관리에 하나의 모델지역으로 지방의 대-중 도시 규모인 전주시 지역 중 합류식 관거 설치지역과 분류식 관거 설치지역을 선정하여 본 연구추진 계획에 따라 일련의 조사와 측정 그리고 모의실험을 실시하였다.

본 연구에서 수행된 연구의 내용 및 추진방법 Fig. 1에 나타내었으며, 그 내용은 다음과 같다.

합류식 하수관거 및 분류식 하수관거 지역을 대별하여 수질조사와 유출량조사를 통해 비점오염원 배출특성을 조사하였다.

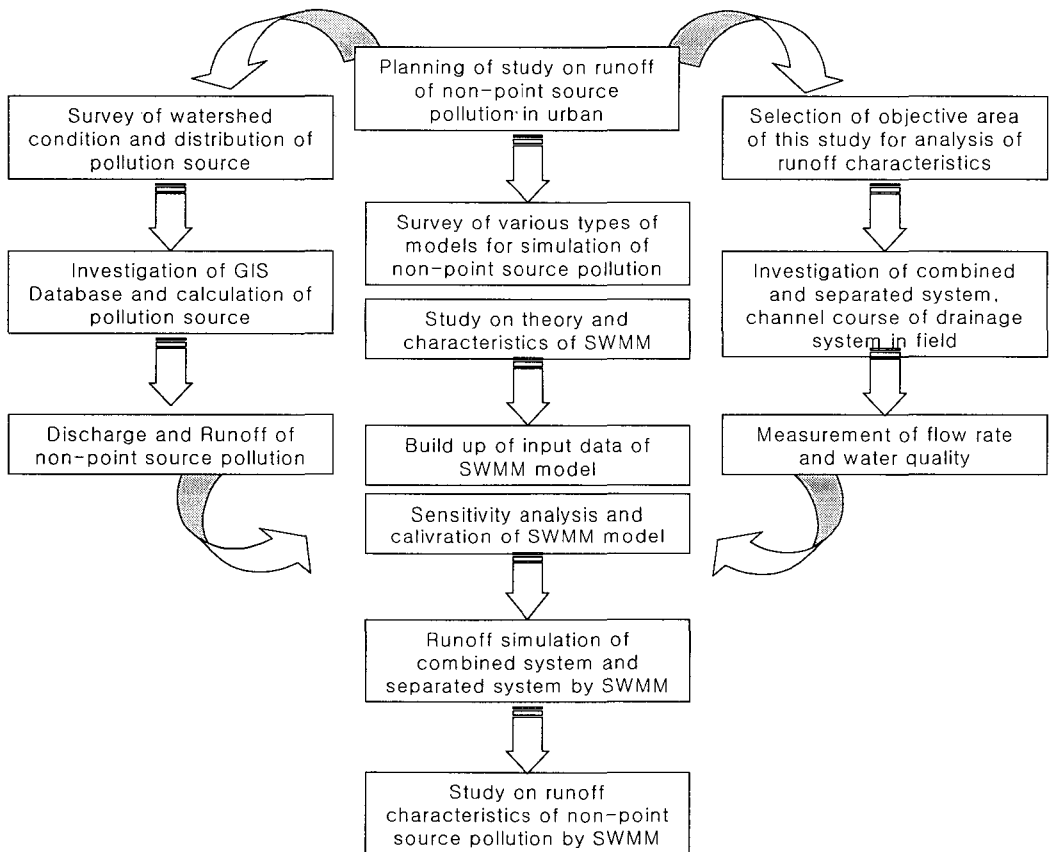


Fig. 1. Flow chart of systematic course to evaluate discharging characteristics of non point source pollution using SWMM model in this study.

비점오염원 유출량 파악을 위한 유출수의 성분조사는 연구대상구역의 말단 측정지점에서 BOD, COD, SS, T-P, T-N의 5개 항목에 대한 수질과 유출량을 조사하였다. 이를 토대로 SWMM 모델을 통하여 유역내 비점오염원 유출특성을 해석하여 비점오염 유출 부하량을 산정할 수 있는 유역의 특성인자를 도출하였다.

또한 다양한 강우사상에 대하여 보정 및 검증된 모델을 이용하여 모의실험(simulation)하여 비점오염 유출특성을 분석하고 비점오염원단위를 산정하였다.

2.2. SWMM(Storm Water Management Model)

SWMM 모델은 미국 EPA에서 개발한 것으로 1971년에 처음으로 소개되었고, version 3부터 연속모의가 가능해졌고, 현재까지 비점오염원의 유출모델로 널리 사용되고 있다¹⁾.

SWMM 모델은 도시 및 일반적인 비도시 지역에 적용하여 유출량 및 수질을 예측하는 모형으로 강우사상 별 모의 및 연속모의가 가능한 모델이다. 이 모델은 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 모델 중의 하나로 많은 적용사례가 있고 비교적 그 정확성이 높은 것으로 알려져 있다³⁾.

개발초기 SWMM 모형은 6개의 실행블록으로 구성되어 있었으나 현재 발표되어 사용되고 있는 SWMM 4.3 version은 Fig. 2에서 보는 것과 같이 서비스블록과 실행블록으로 구성되어 각 블록간에 유기적인 관계를 가지고 유량 및 수질을 동시 모의할 수 있도록 구성되어 있다.

모델의 각 각 실행블록 및 계산절차에 대한 설명은 지면관계상 생략하도록 하겠으며 EPA에서 제공하고 있는 manual³⁾을 참고 바란다.

2.3. 대상지역의 수질 및 유량조사

도시지역의 비점오염원 부하량을 산정하기 위한 대상지역은 전주시의 일부지역으로 다음의 Fig. 3과 같이 분류식하수관거지역과 합류식하수관거지역으로 구분하여 조사하였다. 또한 시료 채취 및 유출량을 동시에 측정할 수 있으며 시료 채취시 접근이 용이한 지점으로 선정하였다.

분류식에서 우수관거는 아파트 밀집지역과 상가지역이 따로 차집되어 하수종말처리장으로 보내어지고 있었고, 우수관거는 한 곳의 지점으로 집결되어 삼천천으로 유출되고 있었다.

합류식에서는 일반주거지역과 상가·종합운동장이 포함되어 있는 지역으로 구도시 및 자연발생적인 도시형성, 우수와 오수가 나누어 분리되어지지 않아 합류식 관거로 함께 유출되며 강우시 월류 토구를 통해 전주천으로 배출되는 지점이다.

시료 채취 시간간격은 밀집지역과 상가지역, 일반주거지역과 상가·종합운동장이 포함되어 있는 지역 모두 강우 초기에서 강우 2시간까지 20분 간격으로, 2시간에서 4시간까지는 30분 간격으로, 4시간에서 24시까지는 60분 간격으로 시료 채취를 실시하였다. 유출수위 및 유출량은 유량계 (AMERICA SIGMA INC 910)를 사용하여 유속 측정 및 수위를 측정하여 유량을 산정 하였다.

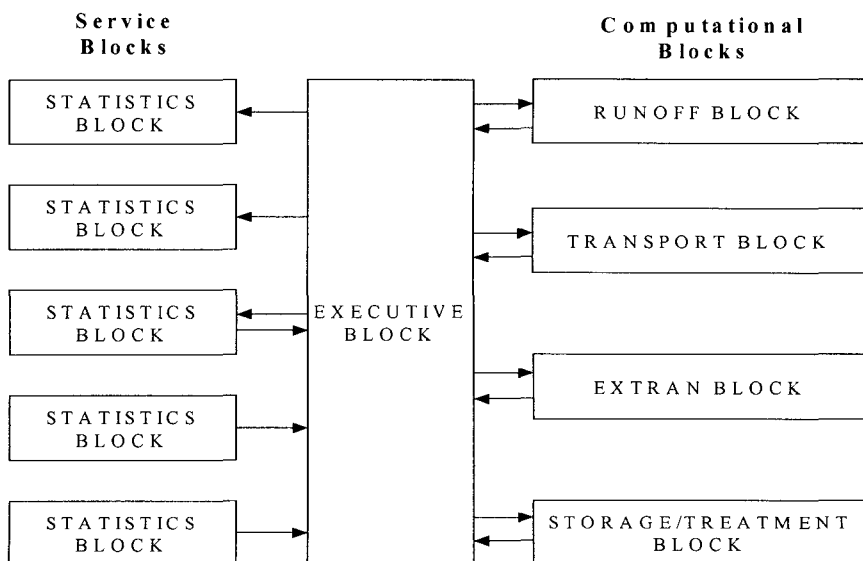


Fig. 2. Relationship of blocks for SWMM.

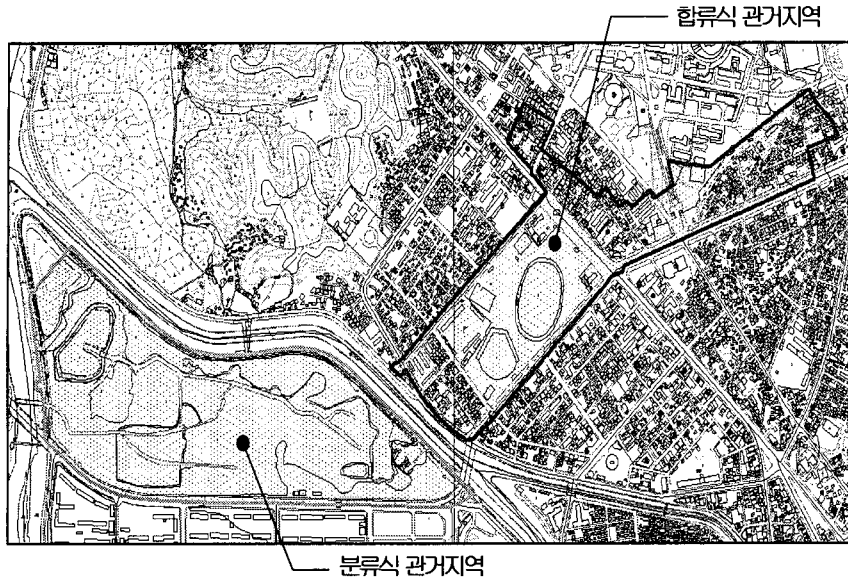


Fig. 3. Layout of Study Area.

다음은 조사 내용을 요약한 것이다.

- 조사시기 : 2004년 9월 7일, 2004년 11월 1일
- 조사지점 : 합류식 1지점, 분류식(3지점)
- 조사내용 : 유량 (AMERICA SIGMA INC 910)
수질 : BOD, COD, SS, T-N, T-P

다음 Fig. 4는 4개의 측정지점에 유량계를 설치한 모습을 보여주고 있다.

또한, 본 연구에서 분석항목인 BOD, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P에 대한 수질분석방법은 다음의 Table 1. 과 같으며, 수질분석방법은 Standard method와 환경오염공정시험방법에 의해 실시하였다.

Table 1. Analysis method and instruments

Water quality	Analysis method and instruments
BOD	5 day incubation with DO determination, 5210 (Winkler method azide modification)
SS	Gravimetric method, electric drying oven(105°C)
COD _{Mn}	Acid, Reaction during 30 min in water bath
T-N	Un-visible absorbance spectrophotometric method
T-P	Ascorbic acid reduction method

3. 결과 및 고찰

3.1. SWMM 입력자료 구축

본 연구에서는 강우시 유출유량 곡선 및 유출 수질 곡선을 모의하기 위하여 Storm Water Management Model(SWMM)의 RUNOFF Block과 TRANSPORT Block을 적용하였다.

SWMM 적용에 필요한 입력자료 중 일부는 Geographic Information System(GIS)을 사용하여 산출하였다. 예를 들면 하천도와 DEM, 그리고 전주시 우수 관망도를 바탕으로 대상지역의 유역도를 추출하고, 배수체계의 특성에 따라 이를 각각 소유역으로 구분하였다. 또한 각 소유역의 면적과 경사, 하도의 길이, 하상 경사 등의 산정을 위해 GIS 기법을 사용했다. 그리고 토지이용 분류는 현장조사를 통해 분류하였다. 이밖에 요구되는 여러 가지 매개변수들은 기존 연구 문헌을 참고하였다^{8,9,13)}.

한편, 기상 입력자료는 강우량, 강설량, 증발량의 세 가지가 있으며, 이 중에서 본 연구는 단일 강우사상시 모의를 대상으로 하였으므로 증발량과 강설량은 고려하지 않았다. 따라서 입력자료로는 강우량만을 선정하였으며, 입력강우자료는 전주기상관측소의 자료를 사용하였다. 적용 대상 강우량은 2004년 9월 7일, 11월 1일의 단우강우사상이다.

이밖에 유출수질 곡선 모의시 선행 무강우 일수가 오염물질 축적에 중요한 자료로 사용되었는데 본 연구의 강우사상에 있어서 9월 7일에는 5일, 11월 1일에는 12일의 무강우 일수를 나타냈다.

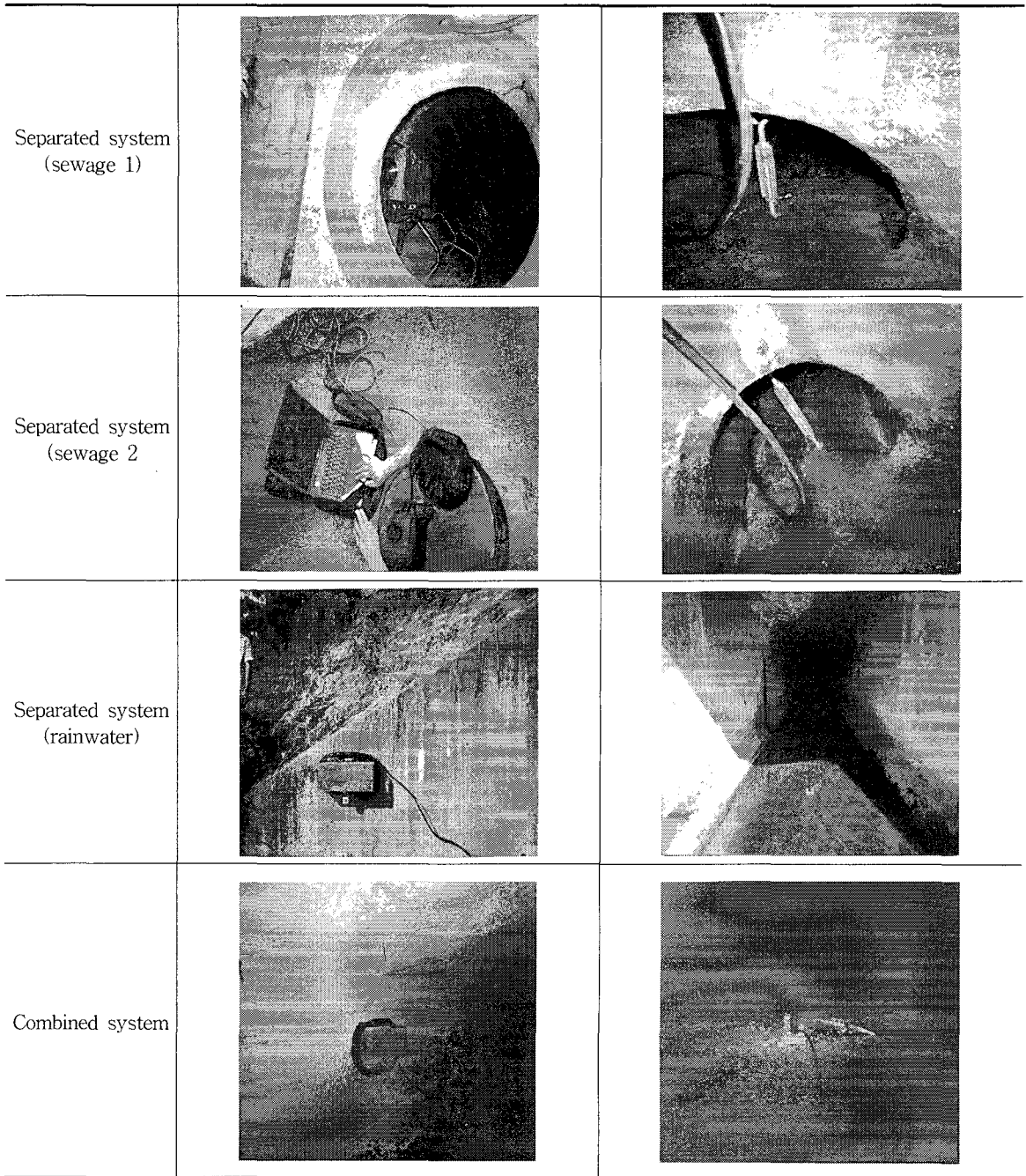


Fig. 4. Sampling points measured continuously by flow rate meters.

다음은 입력자료 구축에 필요한 유역특성인자의 목록을 나타내고 있으며 각각의 소유역별로 산정하여 적용하였다³⁾.

- 유역의 폭
- 경사도
- 하수관거 속성
- 토지이용 및 불투수층 비율
- 토양특성
- 기타매개변수 : Manning 조도계수, 지표면 저류량(depression storage), Horton 방정식의 침투관련 매개변수

3.2. 모델의 보정 및 검증

비점오염원 모형인 SWMM의 RUNOFF 블록과 TRANSPORT 블록을 이용하여 강우시 유출량 및 유출수질에 대하여 보정(calibration)과 검증(verification)을 실시하였다. 보정을 위한 자료는 2004년 9월 7일에 측정된 유출수량과 유출수질자료를 이용하였으며, 검증은 2004년 11월 1일에 측정된 자료를 이용하였다. 특히, 합류식 하수관에 대한 보정은 강우 유출이 일어나기 전의 수질과 유량을 이용하여 하수관거의 Load(Junction의 속성 중 inflow)로 입력함으로써 하수에 의한 영향이 고려되게 한 후 보정 작업을 진행하였다.

다음의 Fig. 5부터 Fig. 9는 SWMM을 이용하여 유출수량 및 유출수질을 모의한 결과와 실측자료를 비교하여 나타내고 있다(2004. 11. 1). 그림에서 보는 바와 같이 실측치와 모형에 의한 모의치가 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있으며 특히 유출 수량 모형의 검증 결과를 다음 식으로 나타낼 수 있는 상대오차 그리고 상관계수를 이용하여 평가하였으며

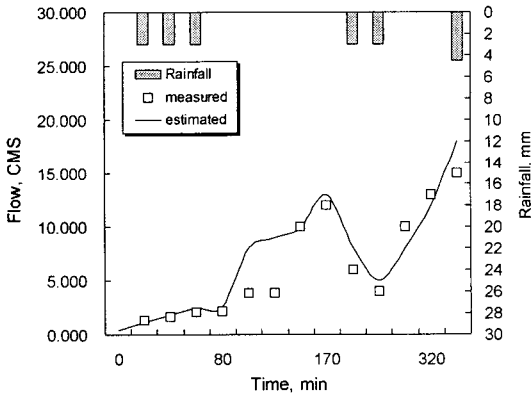


Fig. 5. Verification of runoff flow rate for simulation (2004. 11.1).

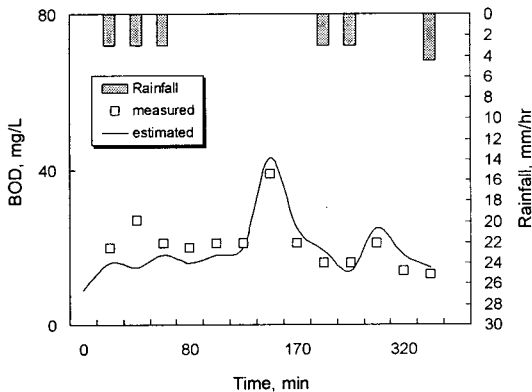


Fig. 6. Verification of BOD for simulation (2004. 11.1).

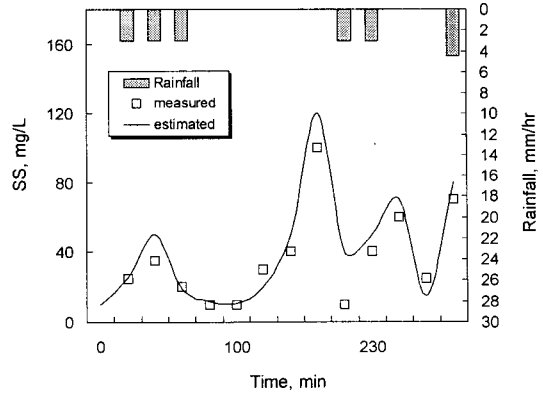


Fig. 7. Verification of SS for simulation (2004. 11.1).

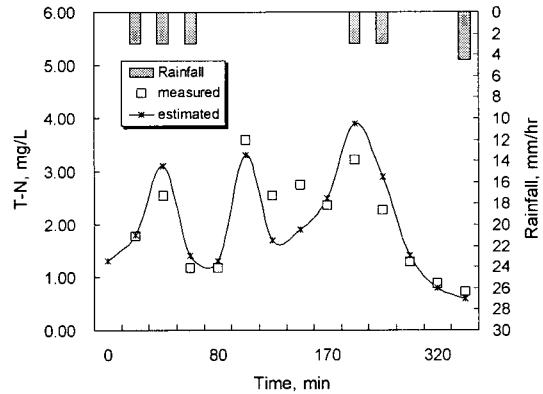


Fig. 8. Verification of T-N for simulation (2004. 11.1).

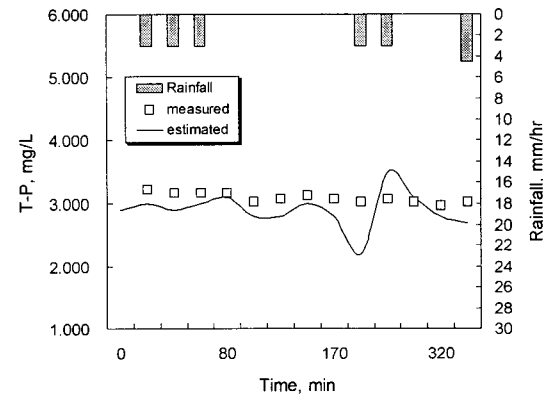


Fig. 9. Verification of T-P for simulation (2004. 11.1).

상대오차의 범위는 1.92~31.2%의 범위를 보이고 있다.

$$RE = \frac{|C_M - C_E|}{C_M} \cdot 100(\%)$$

여기서

SWMM모형을 이용한 도시지역 비점오염원의 유출특성 연구 -전주시를 대상으로-

C_M = 실측한 유출량 또는 농도의 평균값
 C_E = 예측한 유출량 또는 농도의 평균값

다음 Table 2와 3는 검증결과를 요약한 것으로써, 분류식유역에 대한 결과는 상관계수가 0.47-0.80의 값을 보이고 있고 상대오차의 범위도 5.2 - 24.2%로 산정되었고 합류식의 경우에는 상관계수가 0.41 - 0.88의 값을 보이고 있고 상대오차의 범위도 13.7 - 28.2%로 모델에 의한 예측과 실측치간의 차이가 많지 않아 유출특성을 비교적 잘 표현하고 있다고 할 수 있다.

3.3. 비점오염부하 모의 분석

보정과 검증과정에 의해 구축된 SWMM을 이용하여 2004년도 강우사상 중 다음 Table 4에 제시된 날의 강우사상에 대하여 모의를 실시하였으며 계산된 결과치를 이용하여 비점오염원의 부하특성을 분석하였다.

유출특성 분석 내용은 우수 유출에 따른 누적강우에 대한 누적오염부하량을 산정함으로써 강우의 지속에 따른 부하패턴을 조사하였다. 또한 분류식 및 합류식의 원단위 오염부하를 강우사상 평균농도(EMC)와 년강수량을 이용하여 산정하였다.

Table 4. Rainfall event for SWMM simulation

Event	Rainfall (mm)	Rainfall duration time (hr)
2004. 4. 26	24	14
2004. 6. 17	35	25
2004. 6. 20	70.5	38
2004. 7. 02	23.5	30
2004. 7. 07	37.5	32
2004. 9. 11	30	19

3.3.1. 누적강우에 대한 누적오염부하량

다음 Fig. 10은 SWMM 모델을 이용하여 6번의 강우사상에 대하여 나타나는 누적강우에 대한 BOD 누적오염부하량의 누적비율(%)을 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 6월 20일의 자료를 제외하고는 강우초기 10-30mm의 누적강우를 보이는 시점에서 오염부하의 80-90%가 유출됨을 알 수 있다. 따라서 비점오염부하를 관리하기 위하여 차단시설이나 대책을 강구할 경우, 초기강우 10-30mm를 처리대상으로 설계를 한다면 비점오염부하의 80~90%를 처리할 수 있게 됨을 알 수 있다.

Table 2. Verification of SWMM for separated conduit basin

Date	Item	BOD5		COD		SS		T-N		T-P	
		Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.
2004 11. 1	Y	0.47		0.51		0.80		0.67		0.48	
	RE	5.2		13.0		24.2		21.2		16.6	
	N	12		12		12		12		12	
	Min.	12.5	11.0	10	12	49.6	52	3.2	3.8	1.7	1.4
	Max.	21.3	29.5	32	35	284.9	248	15.5	13.9	3.9	4.1
	Avg.	16.2	20.2	19	18	119.4	116	8.1	7.9	2.3	2.4

Note) Pred. : predicted values, Meas. : Measured values.

Table 3. Verification of SWMM for combined conduit basin

Date	Item	BOD5		COD		SS		T-N		T-P	
		Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.
2004 11. 1	Y	0.53		0.71		0.88		0.7		0.41	
	RE	13.7		13.0		19.4		28.2		26.6	
	N	14		14		14		14		14	
	Min.	43.5	41.0	61	52	79.6	52	6.2	9.8	1.7	2.4
	Max.	163.4	179.4	249	256	484.9	248	23.5	25.7	9.9	8.8
	Avg.	82.7	90.6	103	109	217.3	116	16.9	16.9	4.8	5.1

Note) Pred. : predicted values, Meas. : Measured values.

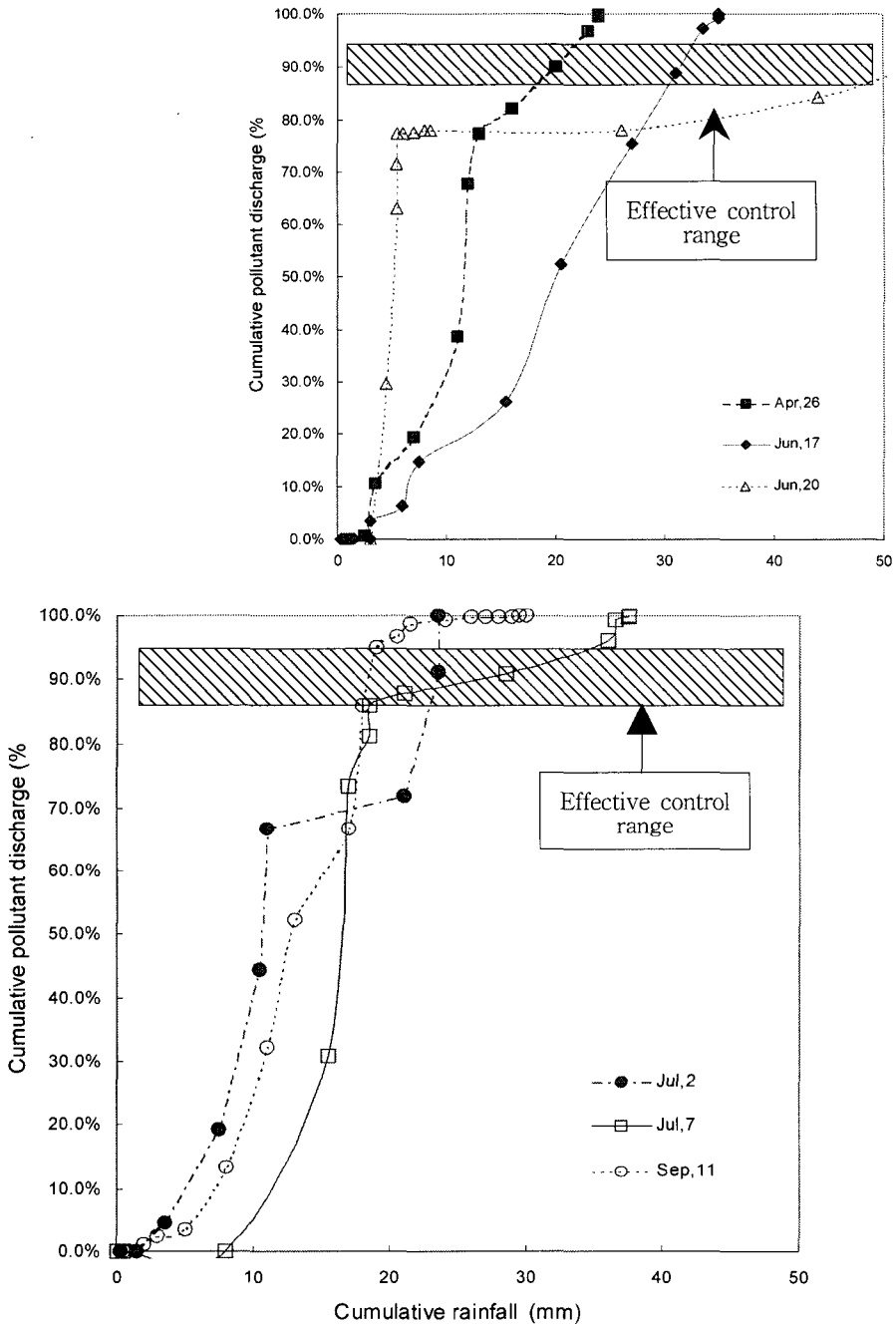


Fig. 10. Effective range of non point source pollutant to control.

3.3.2. 비점오염부하 원단위 산정

비점오염원단위는 단위시간당 단위토지면적에서 배출되는 비점오염원에 기인하는 오염물질량을 말한다. 현재 사용되고 있는 원단위 산정법으로는 경험식 등을 이용한 계산법과 유역에서 유량과 오염

부하량을 실측해서 산정하는 실측법 등 다양한 방법이 있다¹³⁾.

본 연구에서는 여러 강우사상에 대한 모의결과를 토대로 유역별 강우사상 평균농도(EMC) 및 지역평균농도(SMC)에 유역별 표면유출계수, 연간 평균 강

우량을 곱하여 산정하였다^{4,10)}. 여기서 강우사상평균농도는 강우사상별 총오염물질량을 총강우 유출량으로 나눈값을 의미하며 지역평균농도(SMC)는 특정지역 EMC값의 산술평균(또는 중위수)을 의미한다⁴⁾.

$$\text{원단위(kg/ha/yr)} = P \times P_j \times C \times \text{SMC}$$

여기서, P = 연평균 강수량

P_j = 우수유출이 없는 강우에 대한 보정치(0.9)

C = 유출계수 (유출량/강우량)

$$= 0.858 i^3 + 0.78 i^2 + 0.774 i + 0.04$$

(i= 유역의 불투수율)

분류식과 합류식에 대하여 비점오염 원단위를 산정한 결과는 다음의 Table 5와 같이 나타났으며 합류식이 분류식에 비해 2-3배 정도 높은 값을 보이고 있다. 분류식의 경우는 기존의 연구와 유사한 결과를 보이고 있으나 합류식의 경우에는 다소 높은 값을 보이고 있다^{2,10,13)}. 이는 합류식의 하수가 강우에 의해 함께 배출되기 때문에 엄밀한 의미에서 비점오염부하라 할 수 없으나 강우시에 일시적으로 하천에 유입되기 때문에 비점오염원으로 취급하여 관리하는 것이 일반적이다¹⁴⁾. 결과에서 나타난 바와 같이 도시지역을 관통하는 하천의 수질개선을 위해서는 우선 시급한 것이 합류식 하수관 월류수 문제를 해결해야 하는 것을 단적으로 보여주고 있다.

합류식하수관의 월류수(CSO)에 대한 해결방안으로는 하수관 및 하수처리장의 용량을 증설하여 초기우수를 처리할 수 있도록 하거나 초기우수를 그대로 하천으로 방류하지 않고 따로 모아 처리하는 방안을 마련해야 할 것으로 판단된다. 특히 하류에 대규모의 저수지나 하구연이 존재할 경우 하천에 유입된 CSO가 그대로 유입되어 정체하기 때문에 이 문제를 해결하지 않고서는 대도시 하류에 위치하고 있는 저수지나 하구연의 수질개선효과를 기대하기 어렵다.

본 연구는 합류식과 분류식의 대표지점을 선정하여 그 차이점을 분석하고자 하였으나 분류식하수관을 설치한 지역이 많지 않아 지역선정에 어려움이

있었으며 추후 더 많은 지역에 대한 조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 합류식하수관월류수(CSO)를 처리할 수 있는 실질적인 연구가 절실히 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 도시유역의 유출특성을 분석하기 위해 도시유출모형 중 기존의 연구에서 널리 사용되고 있는 SWMM 모형을 선정하였으며, 전주시 도시지역을 시범수역으로 선정하여 2번의 강우사상에 대하여 유량과 수질을 조사하였다. 실측된 자료를 이용하여 모델을 보정, 검정을 수행한 후, 다양한 강우사상에 대하여 모의실험을 실시하였다.

조사 및 분석결과를 기초로 하여 강우시 합류식하수관과 분류식 우수관에서 월류수 유출량 변화에 따른 오염물질 오염부하량과의 관계를 분석하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 연구대상지역에서 SS는 강우에 따라 급격한 상승을 나타내었으며 강우량과도 높은 상관관계를 나타내었다. 특히, 강우시점에서 SS의 급격한 상승은 비점오염원으로부터의 SS유입뿐 아니라 평상시 관거 바닥에 침적되어 있었던 SS가 집중강우의 강한 유속으로 인하여 유출된 이유로 판단된다.
- 2) 모델을 적용한 결과, BOD, COD, SS, TN, TP에 대한 예측 농도와 실측 농도간의 상관계수의 범위는 각각 0.54~0.91, 0.24~0.88, 0.38~0.84, 0.72~0.83, 0.12~0.66으로 산정되었다. 대체로 SWMM 모델은 유출량에 민감한 수질항목에 대해서는 상관계수가 높게 산정되었다.
- 3) 강우초기 10-30mm의 누적강우를 보이는 시점에서 오염부하의 80-90%가 유출되는 것으로 나타나 비점오염부하를 차단하기 위한 처리시설도 초기강우 10-30mm를 처리대상으로 설계를 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.
- 4) 분류식과 합류식에 대하여 비점오염 원단위를 산정한 결과, 합류식이 분류식에 비해 2-3배 정도 높은 값을 보이고 있어 합류식 하수관거 월류수(CSO)에 대한 대책 마련이 시급함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농림기술개발연구과제 “새만금 유역의 비점오염원제어와 관리기술”의 연구의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

Table 5. Non-point pollutant Unit loadings

(Unit : kg/ha/yr)

Conduit System	BOD	COD	SS	T-N	T-P
separated	103	146	305	42	3.4
combined	306	410	789	79	6.8

참고문헌

- 1) Baffaut, C. and J. W. Delleur, 1990, Calibration of SWMM Runoff Quality Model With Expert System, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 116(2).
- 2) Bedient, P. B., J. L. Lambert and N. K. Springer, 1980, Storm water Pollution load-runoff relationship, Journal of Water Poll. Control Fed., 52(9), pp. 2396-2404.
- 3) Huber, W. C. and R. E. Dickinson, 1998, Storm water management model user's manual, Version 4., Athens, GA, EPA/600/3-85/077 (NTIS PB86136041) EPA.
- 4) International Erosion Control Association, 2002, Storm water Quality specialist Review, 15-24.
- 5) Konomu, U., E. Nakamura and S. Fujita, 1997, Characteristics of stormwater runoff and its control in Japan, Water Sci. Technol., 36(8-9), pp. 141-147.
- 6) USEPA, 1990, Nonpoint Source Impact Assessment, WPCF Research Foundation Report CH2M HILL, Inc., 90-5.
- 7) USEPA, 1993, Urban runoff pollution prevention and control planning, EPA/625/R-93/004.
- 8) 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정육진, 2002, 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위조사, 대한환경공학회지, 24(11), 2019-2027.
- 9) 서규우, 허준행, 1998, 유역특성 변화에 따른 도시유출모형의 매개변수 민감도 분석II, 한국수자원학회논문집, 31(3), 253-267.
- 10) 신창민, 최지용, 박철희, 2004, 도시지역에서의 토지이용별 비점오염물질 유출특성, 대한환경공학회지 26(7), 729-735.
- 11) 신현택, 윤용남, 1993, SWMM 모형을 이용한 도시유역의 유출 및 NPS 오염물 배출 모의, 한국수자원학회지, 26(3).
- 12) 최지용, 신창민, 2002, 비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안, 한국정책평가연구원, KEI-2002-RE03.
- 13) 최지용, 1997, 도시지역 비점오염원 관리방안 연구, 한국환경정책평가연구원 기본과제 연구보고서.
- 14) 이준호, 1997, 강우시 합류식하수관 월류수 수질 특성분석 및 예측모델 개발, 서울시립대학교 대학원 박사학위 논문.