

SWMM을 이용한 황구지천유역의 비점원오염부하량 평가

조재현 · 조남흥

관동대학교 건설환경시스템공학부

(2003년 11월 13일 접수, 2003년 12월 13일 승인)

Estimation of Nonpoint Pollutant Loads in the Hwanggujichoen Basin using SWMM

Cho, Jae-heon · Cho, Nam-heung

Division of Construction & Environmental System Engineering, Kwandong University

(Manuscript received 13 November 2003; accepted 13 December 2003)

Abstract

Water pollution of Hwanggujicheon stream is severe because urban area of Suwon City is included in the basin. A countermeasure for water quality prevention of the stream is necessary. In this study, nonpoint pollutant load of BOD, SS, TN and TP are estimated using SWMM. The result indicates that BOD, SS, TN and TP loads during 3 months from July to September are 67.0%, 60.8%, 54.7% and 74.5% of the annual total load, respectively. We can see that most of nonpoint pollutant loads are generated in the rainy season. Annual nonpoint pollutant loads of BOD, SS, TN and TP in the Hwanggujicheon stream are 342 ton, 1,500 ton, 480 ton and 12.6 ton, respectively.

Key words : SWMM, Nonpoint Pollutant Load, Hwanggujicheon

I. 서론

안성천수계의 황구지천은 유역 내에 수원 도심 지역이 포함되어 있어서 수질오염이 심화되어 있고 수질보전 대책이 시급한 하천이다. 이와 같은

황구지천의 수질악화는 점원오염부하 외에도 강우시 유출되는 비점원오염부하량에 의한 영향도 상당할 것으로 판단된다.

하천이나 호수에 대한 수질관리계획 수립이나 수질영향평가지 오염부하량 산정에 있어서 원단

위를 적용해서 점원오염부하량과 비점원오염부하량을 평가하는 것이 일반적이다. 특히 비점원오염부하량 평가에 있어서는 원단위법의 정확도에 논란이 많아서 본 연구에서는 유역모델을 적용해서 황구지천의 BOD, SS, TN, TP 등의 비점원오염부하량을 평가한다. 이를 위해서 유역내 4개 지점을 대상으로 2차의 강우유출조사를 하여 SWMM모델을 보정하였다. 유역전체와 각 배수구역에 대해서 월별 그리고 년간의 강우유출에 의한 비점원오염부하량을 산정하고, 이 결과는 후속되는 연구인 황구지천 유역의 오염부하량 할당에 활용된다.

II. SWMM모형의 개요

본 연구에서 적용하는 유역모델은 주로 도시유역에서 수질과 수문현상을 모의할 수 있는 SWMM(Stormwater Management Model)모델 (Huber and Dickinson, 1988)을 적용한다. 국립환경연구원(1997)은 서울시 행당동지역의 소규모 주거지역을 대상으로 SWMM의 Runoff Block, Transport Block 그리고 Extran Block을 적용해서 유출량과 오염부하량을 평가한 바 있다. 이범희 등(1998)은 Runoff Block을 도시지역이 상당부분 포함된 안양천유역에 적용하고, 전문가시스템을 활용하여 모델의 매개변수를 추정한 바 있다. Tshrintzis 등(1998)은 주된 토지이용 특성이 상이한 Florida의 4개 소매수구역에 Runoff Block을 적용해서 토지이용특성별로 매개변수를 추정하였다.

SWMM은 단일 강우사상은 물론 연속적인 모의도 가능하다. 이 모델은 다양한 토지이용상태를 고려해서 유역의 출구와 하수관거 혹은 수로에서의 유출량과 수질을 예측할 수 있다. SWMM모델의 유출은 강우와 눈에 의해 발생하는 것으로 계산하고, 지표면유출은 비선형저류방정식을 이용해서 계산하고, 침투량산정은 Horton 또는 Green-Ampt식을 사용한다. 수로와 관로의

수리계산은 RUNOFF 블록의 경우 비선형저류방정식을 이용하고, Transport Block은 Kinematic 방정식, Extran Block은 Dynamic 방정식을 이용한다. SWMM모형의 구성은 Fig. 1과 같다.

Runoff Block의 전체적인 입력 자료는 일반적인 입력 및 제어자료, 기상자료, 지표면유출 자료, 지표면수질 자료 그리고 출력제어자료로 구분할 수 있다.

이들 중 유출 계산결과에 영향을 줄 수 있는 매개변수들로서는 유역면적, 유역 평균경사, 불투수지역의 면적, 수로 관련 매개변수, 투수 및 불투수유역의 Manning계수와 하도 및 관망의 Manning계수, 요지저류량(depression storage), 침투관련 매개변수들, 그리고 유역폭(characteristic width) 등이다.

유출수질에 큰 영향을 주는 것은 각 유역의 토지이용에 따른 오염물질의 축적과 쓸림과정이다. SWMM에서는 Power-linear function, Exponential function, Michaelis-Menton function 등의 3가지 방법으로 축적과정을 계산할 수 있다. 이 때의 매개변수들로서는 오염물질 축적 한계량, 축적계수, 축적지수이다. 오염물질 축적과정을 나타내는 3가지 식은 다음과 같다(이종태, 강태호, 1997:

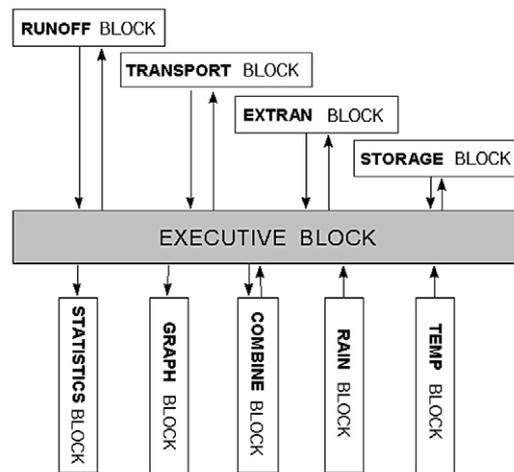


Fig. 1. SWMM 모형의 구성

Huber and Dickinson, 1988).

Power-Linear 형 :

$$PSHED(t) = QFACT(3) \times t^{QFACT(2)}$$

$$PSHED(t) \leq QFACT(1)$$

Exponential 형 :

$$PSHED(t) = QFACT(1) \times (1 - e^{-QFACT(2) \cdot t})$$

Micgaelis-Menton 형 :

$$PSHED(t) = (QFACT(1) \times t) / (QFACT(3) + t)$$

여기서 PSHED(t)는 오염물 축적량, QFACT(1)는 한계 오염물 축적량, QFACT(2)는 축적지수, QFACT(3)는 축적계수이며, t는 선행 무강우 일수이다.

오염물질의 쓸림 과정을 계산하는 방법은 먼저 유출율과 잔존 오염물양에 의하여 누가 오염물질 쓸림량을 구하는 관계식을 구성하고, 쓸림계수와 쓸림지수의 매개변수를 이용해서 쓸림을 계산하는 방법과 유출율과 누가 오염물 쓸림양과의 관계를 회귀 분석하여 회귀계수들을 구하는 방법이 있다.

Transport Block에서는 수로나 관거에서의 물흐름과 오염물질을 추적한다. 유량과 수질자료는 Runoff Block에 의해 생성되어 이 Block에 입력된다. 또한 건기의 기저유량과 하수의 유입도 고려할 수 있다. 각 수로나 관거를 완전혼합반응조로 취급하여 1차반응식에 의해 오염물질이 감소되는 것으로 수질을 계산한다(Huber and Dickinson, 1988).

III. SWMM모형의 적용

1. 대상지역

본 연구의 대상지역은 안성천수계의 황구지천 유역으로서 유역면적은 260.94km²이다. 행정구역 상으로 수원시와 화성시 그리고 군포시, 의왕시, 용인시, 오산시, 평택시일부가 포함되어 있다. 환

경부 조사에 의하면 황구지천 2지점의 2002년 평균수질이 BOD 27.1mg/L, SS 21.5mg/L, TN 17.37mg/L, TP 1.524mg/L로 수질이 악화 되어있다. 황구지천유역의 공간분석을 위해서 1:25,000의 수치지도와 Arc/View GIS를 이용해서 TIN (Triangulated Irregular Network)을 형성하였다. 이 TIN을 Arc/View Spatial analyst를 이용해서 레스터정보의 DEM으로 전환하고, Flow direction과 Flow accumulation을 실행하고, Watershed를 실행시킨 결과 가장 이상적인 유역의 경계를 설정할 수 있었다. 이와 같은 방법으로 황구지천유역을 18개의 배수구역으로 분할하고 수계도를 작성하였다. 이렇게 작성된 황구지천유역의 배수구역도는 Fig. 2와 같다.

2. 강우유출조사

유출모델의 보정과 황구지천유역의 강우시 유출과 수질패턴을 조사하기 위해서 황구지천유역의 4개 지점을 대상으로 강우유출조사를 하였다. 대상지점은 황구지천본류의 화산교, 서호천 상류의 괴목정교와 서호천하류의 평고교, 갈천의 정남2교이다. 이 중 서호천상류는 임야지역의 유출 특성을 조사하고, 서호천하류는 주거지역의 유출 특성을, 갈천은 농경지역의 유출특성을 조사하기에 적합하다. 강우초기와 강우강도가 높은 시점은 15분 간격으로 그 외의 시점은 30분 간격으로 유량측정과 수질 sampling을 하였다. 2003년 7월 9일~7월 10일에 42.3mm 강우사상을 대상으로 서호천하류의 평고교, 갈천의 정남2교, 황구지천 본류의 화산교지점에 대해서 유출량과 수질을 실측 조사하였고, 8월 22일~8월 26일에 서호천 상류의 괴목정교와 서호천하류의 평고교, 갈천의 정남2교에 대해서 총강우량 68.5mm를 대상으로 유출량과 수질을 실측 조사하였다.

1차 조사시 각 지점별 강우유출량과 수질의 범위는 Table 1에 제시하였고, 2차 조사시 각 지점



Fig. 2. SWMM 적용을 위한 황구지천 배수구역도

별 강우유출량과 수질의 범위는 Table 2에 나타내었다. Table에서 상단은 측정치의 평균값, 하단은 측정치의 범위를 나타낸다.

3. SWMM모형의 적용

본 연구에서는 SWMM모형을 적용해서 강우 유출에 의한 hydrograph와 pollutograph를 도출하고 황구지천 전체 유역의 월별 비점원오염부하량 및 세분화된 소배수구역별로 년 평균 비점원오염 부하량의 특성을 평가한다. 각 배수구역의 강우 유출은 SWMM모형의 Runoff Block으로 모의한다. 또한 도시지역에서 배출되는 하수가 본류와 각 지천에 유입되는 부분의 흐름을 모의하기 위해서 Transport Block까지 적용한다.

각 배수구역의 % 불투수율을 산정하기 위해 환경부의 1:25,000 토지피복도를 이용하였고, 이 토지피복도로부터 황구지천유역의 투수층과 불투수층을 구분하였다. Horton식으로 침투능을 산정하기 위해 농업과학기술원의 1:25,000 정밀토양도를 이용하여 토양을 SCS방법으로 분류하였다. 유역내 토지이용을 고려하여 배수구역을 세분화하였고, SWMM의 수로의 network형성에는 각 하천 구간의 수리적 특성이 감안되었다. 이와 같은 SWMM의 적용을 위한 수로의 network는 Fig. 3과 같다.

1, 2차 조사결과로 Runoff Block과 Transport Block을 보정 및 검증하였다. 강우자료는 수원기상대의 시간 강우량 자료를 사용하였다. Runoff 블록의 유출량 보정을 위해 요지저류량, 수로와 지표의 조도계수, 침투능의 계수를 조정하였고,

Table 1. 1차 조사시 강우유출량 및 수질

구분	서호천하류(평고교)	황구지천 본류(화산교)	갈천(정남2교)
유량(m ³ /sec)	3,977*(0.238~17.193)**	45,142(7,604~131,301)	0,995(0,095~3,085)
BOD(mg/L)	142(5.4~42.9)	11.2(3.4~39.9)	7.6(1.8~19.0)
SS(mg/L)	67.1(10.0~426.0)	117.3(8.0~546.0)	63.2(9.0~220.0)
T-N(mg/L)	6.79(1.94~27.87)	13.45(8.58~26.51)	6.34(2.36~25.93)
T-P(mg/L)	0.575(0.132~4.630)	0.522(0.166~1.452)	0.396(0.172~1.980)

* 관측치 평균
** 관측치 범위

Table 2. 2차 조사시 강우유출량 및 수질

구분	서호천상류(괴목정교)	서호천하류(평고교)	갈천(정남2교)
유량(m ³ /sec)	0.179*(0.031~0.834)**	3.322(0.059~17.102)	1.741(0.292~8.033)
BOD(mg/L)	41(1.21~141)	21.1(8.5~53.2)	9.0(2.4~22.7)
SS(mg/L)	40.1(0.5~321.5)	46.9(7.0~456.0)	121.0(3.5~939.0)
T-N(mg/L)	3.73(0.87~16.54)	8.35(3.16~39.70)	4.94(2.37~22.38)
T-P(mg/L)	0.098(0.014~0.434)	0.780(0.284~5.500)	0.413(0.149~1.740)

* 관측치 평균
** 관측치 범위

수질보정을 통해 축적계수와 지수, 쓸림계수와 지수를 조정하였다.

1차 조사시의 황구지천분류 화산교 유출량의 보정결과는 Fig. 4와 같고, BOD, SS, TN, TP의 보정결과는 Fig. 5~Fig. 8과 같다. 2차 조사시의 서호천 상류 괴목정교 유출량의 검증결과는

Fig. 9와 같고, BOD, SS, TN, TP의 보정결과는 Fig. 10~Fig. 13과 같다.

괴목정교지점은 유출과 수질의 모의 결과가 실측치의 첨두치나 총유출량, 총부하량과 잘 일치하고 있다. 화산교지점의 경우는 실측치와 계산치의 총유출량과 총부하량은 잘 일치하고 있으나 첨두치의 시간차가 나타나는데 이것은 화산교 지점이 수원기상대와 거리차가 있어서 정확한 강수

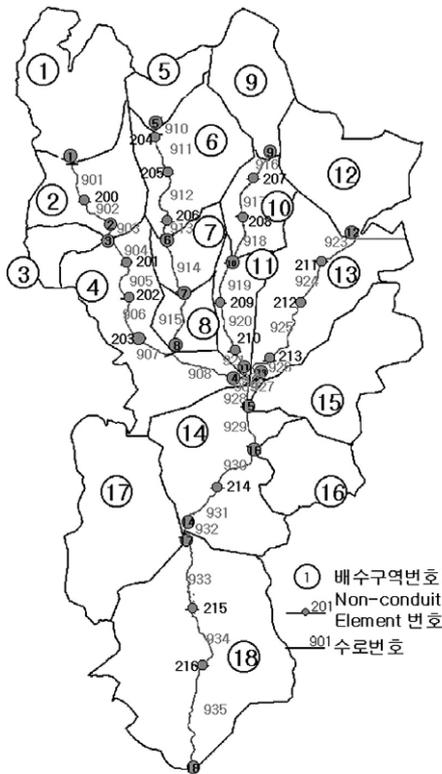


Fig. 3. SWMM 적용을 위한 수로의 network

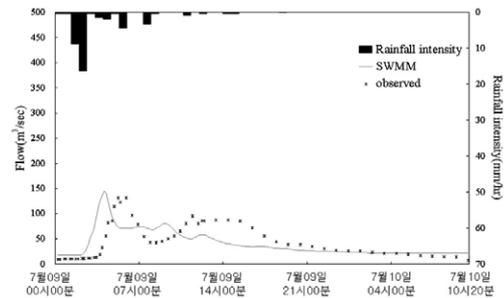


Fig. 4. 황구지천 분류 화산교의 유출량 보정결과

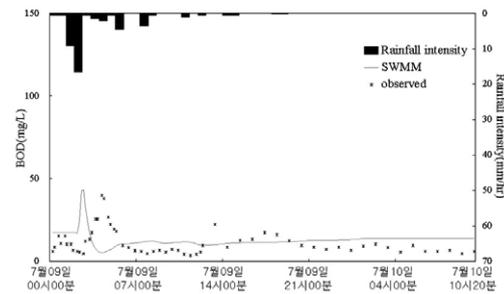


Fig. 5. 황구지천 분류 화산교의 BOD 보정결과

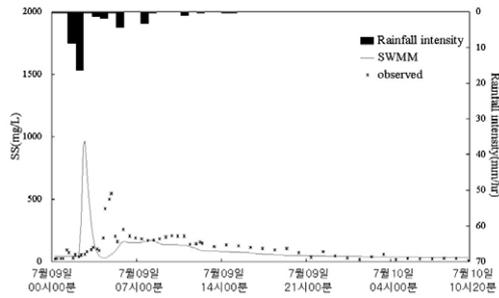


Fig. 6. 황구지천 본류 화산교의 SS 보정결과

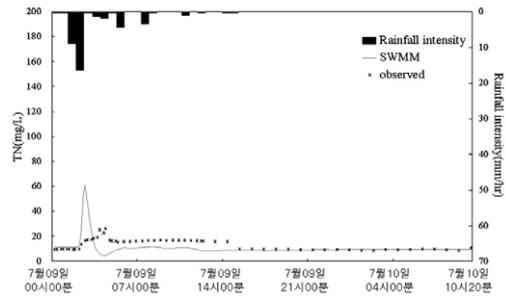


Fig. 7. 황구지천 본류 화산교의 TN 보정결과

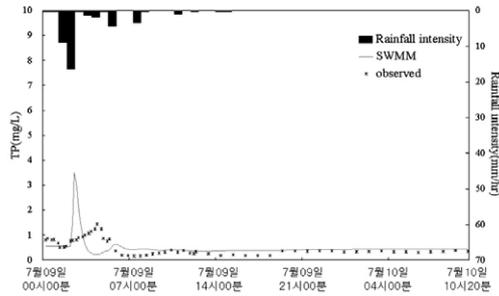


Fig. 8. 황구지천 본류 화산교의 TP 보정결과

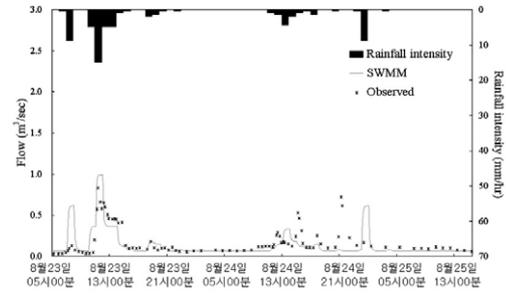


Fig. 9. 서호천상류 괴목정교의 유출량 검증결과

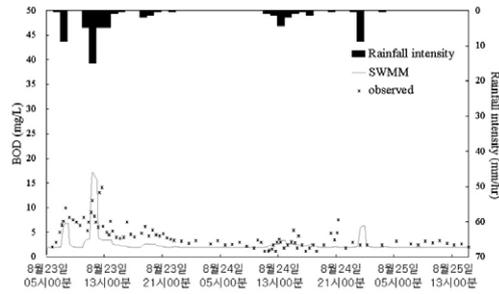


Fig. 10. 서호천상류 괴목정교의 BOD 검증결과

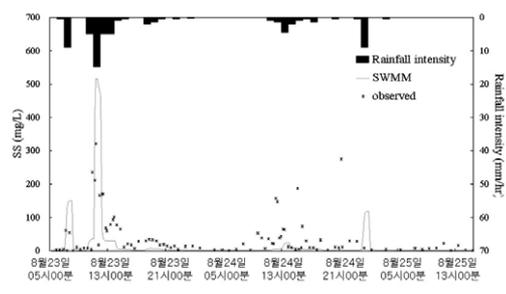


Fig. 11. 서호천상류 괴목정교의 SS 검증결과

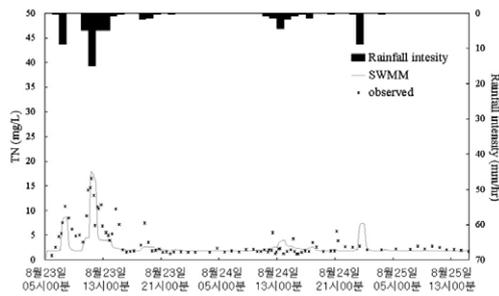


Fig. 12. 서호천상류 괴목정교의 TN 검증결과

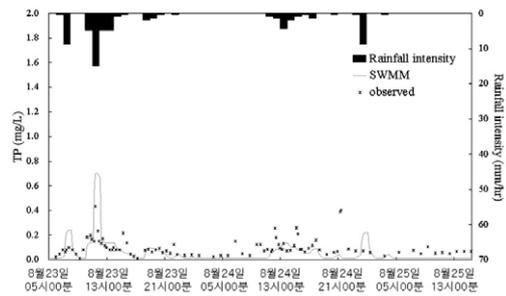


Fig. 13. 서호천상류 괴목정교의 TP 검증결과

Table 3. 검증결과에서 실측치에 대한 계산치의 비(%)

지점	유출량	BOD부하	SS부하	TN부하	TP부하
서호천상류 (괴목정교)	97	100	142	108	129
서호천하류 (평고교)	111	69	123	103	65
갈천 (정남2교)	104	97	91	125	82

량 자료가 입력되지 않은 때문으로 판단된다.

검증결과로부터 2차조사시의 강우사상에 대한 총유출량부피와 BOD, SS, TN, TP의 부하량의 실측치와 계산치의 비값은 Table 3에 제시하였다. 이 결과에서 총유출량은 실측치와 계산치가 잘 일치하였고, 계산된 SS부하량이 실측치보다 높게 나타났다.

수원기상대의 1998년부터 2002년까지의 5년간 자료를 사용하여 SWMM모형으로 연속모의 하였고, 그 결과로 황구지천 유역 전체의 월별 평균 유출수량과 BOD, SS, TN, TP의 비점원오염부하량을 산정하였다. 또 황구지천유역의 18개 소배수구역별로 유출수량과 비점원오염부하량을 산정하였다.

IV. 결과토의

1. 민감도분석

수질 매개변수들이 모의치에 미치는 영향을 살펴보기 위해 민감도 분석을 하였다(서규우, 조원철, 1998; 이종태, 강태호, 1997). 대상 매개변수는 오염물의 축적계수, 축적지수, 쓸림지수와 쓸림계수의 4가지이다. 민감도 분석 결과는 Fig. 14~Fig. 17과 같다. 총오염부하량에 대해 민감도 분석 결과를 보면, 축적계수와 쓸림계수는 대부분의 수질 항목에 있어서 선형적으로 증가하는 경향을 보여주고 BOD, SS, TN의 축적지수는 지수곡선의 형태로 증가하는 경향을 보여주고 있다.

TP의 경우 축적지수의 영향이 적은 것은 보정 결과 축적지수의 매개변수값이 다른 수질항목에 비해 적게 추정되었기 때문이다. 쓸림지수는 지수곡선의 형태로 감소하는 경향을 나타내었다.

이와 같은 결과로부터 서호천상류의 오염부하량에 큰 영향을 주는 매개변수는 축적지수, 축적계수, 쓸림계수의 순서인 것으로 판단된다. 반면 이종태 등(1997)이 남가좌, 산본 등의 도시지역 배수구역에 SWMM을 적용한 결과에서는 수질에 대한 매개변수 중 축적계수, 쓸림지수, 쓸림계수의 순으로 중요한 것으로 조사되었다. 한편 유출에 큰 영향을 주는 매개변수는 불투수면적비, 유역폭, 지표면 조도계수 등의 인자이다.

2. 비점원오염부하량 산정

SWMM모형을 이용한 황구지천 전체 유역의 월별 평균 유출수량 및 비점원오염부하량 산정 결과는 Table 4에 제시하였고, 각 배수구역별 년평균

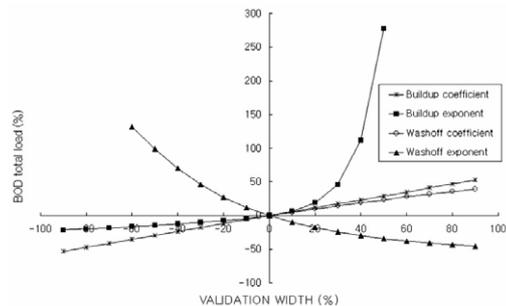


Fig. 14. 서호천상류의 BOD 총오염부하량 민감도 분석

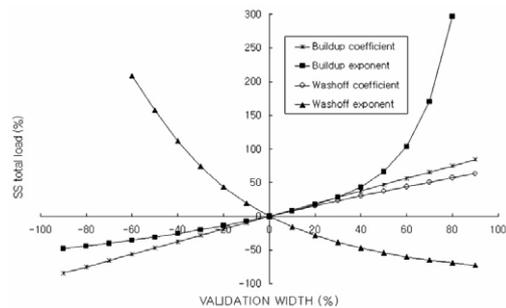


Fig. 15. 서호천상류의 SS 총오염부하량 민감도 분석

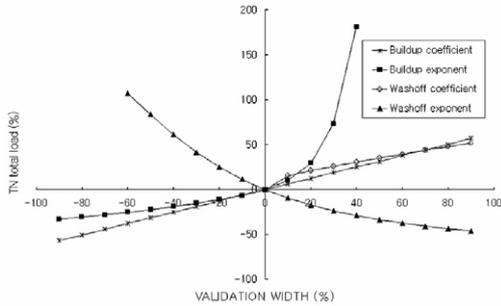


Fig. 16. 서호천상류의 TN 총오염부하량 민감도 분석

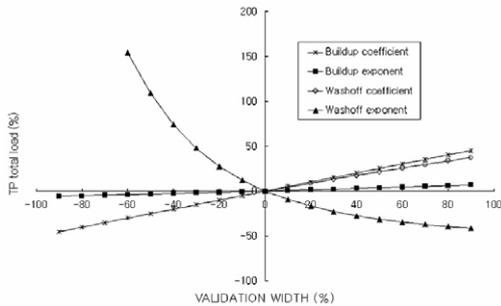


Fig. 17. 서호천상류의 TP 총오염부하량 민감도 분석

유출량 및 비점원오염부하량 산정결과는 Table 5에 나타내었다. 황구지천 유역의 월별 평균유출수량 및 비점원오염부하량은 장마와 태풍의 영향권에 있는 7월, 8월, 9월의 유출량과 부하량이 높게 나타났다. 7월에 유출량이 25,837,481m³으로 전체유출량의 31%를 차지했고, BOD 부하량 110.5ton, SS 부하량 433.0ton, TN 부하량 107.1ton, TP 부하량 3.9ton으로 가장 높은 결과가 나타났다. 그리고 7월, 8월, 9월의 유출수량의 합은 연간 평균유출량의 74.4%, BOD는 67.0%, SS 60.8%, TN 54.7%, TP 74.5%로 산정되어 이 시기에 다량의 비점원 오염물질이 유출되는 것을 알 수 있다.

5년간 계산결과를 바탕으로 황구지천 전체유역에서 연간 유출되는 평균 비점원오염부하량을 산정한 결과 BOD 342ton, SS 1,500ton, TN 480ton, TP 12.6ton으로 계산되었다.

또한 배수구역별로 연간 유출되는 평균 비점원오염부하량은 원천리천02 배수구역, 황구지천04 배수구역, 서호천02 배수구역, 수원천02 배수구역의 부하량이 많았다. 단위면적당 비점원오염부하량 산정 결과는 Table 6에 나타내었다. 각 배수구

Table 4. 월별 평균유출량 및 비점원오염부하량

월	유출수량(m ³)	비점원오염부하량(kg)			
		BOD	SS	TN	TP
1월	422,000	1,305	4,773	2,340	64
2월	562,625	2,223	10,118	10,880	88
3월	627,020	2,907	12,778	12,346	95
4월	4,970,941	20,216	85,688	25,997	747
5월	1,976,533	9,557	68,035	34,359	297
6월	8,030,612	53,509	290,164	82,931	1,205
7월	25,837,481	110,480	432,989	107,085	3,876
8월	23,797,680	77,584	323,963	104,662	3,570
9월	12,896,829	41,125	155,114	50,923	1,935
10월	3,083,760	11,089	45,253	23,264	463
11월	1,647,561	11,534	67,954	22,350	247
12월	227,286	728	2,498	2,781	34
총 계	8.41E+07	3.42E+05	1.50E+06	4.80E+05	1.26E+04

Table 5. 각 배수구역별 년평균 유출량 및 비점원오염부하량

배수구역	유출수량(m ³ /year)	비점원오염부하량(kg/year)			
		BOD	SS	TN	TP
황구지천01	6.68E+06	2.63E+04	1.10E+05	3.45E+04	1.00E+03
황구지천02	4.48E+06	1.63E+04	8.65E+04	2.40E+04	6.72E+02
황구지천03	8.34E+05	3.71E+03	1.79E+04	4.82E+03	1.25E+02
황구지천04	7.51E+06	2.73E+04	1.46E+05	4.16E+04	1.13E+03
황구지천05	3.20E+06	1.47E+04	6.55E+04	1.60E+04	4.80E+02
황구지천06	5.57E+06	2.76E+04	1.72E+05	2.33E+04	8.35E+02
서호천01	1.92E+05	1.44E+04	1.72E+04	4.54E+03	2.90E+01
서호천02	6.66E+06	2.41E+04	9.32E+04	5.02E+04	1.00E+03
서호천03	2.62E+06	8.45E+03	3.85E+04	2.45E+04	3.94E+02
서호천04	1.76E+06	6.63E+03	3.15E+04	1.03E+04	2.65E+02
수원천01	1.84E+06	1.11E+04	2.88E+04	8.13E+03	2.76E+02
수원천02	6.76E+06	2.17E+04	9.63E+04	4.52E+04	1.01E+03
수원천03	6.11E+06	1.94E+04	8.78E+04	4.07E+04	9.17E+02
원천리천01	5.61E+06	2.68E+04	8.78E+04	2.58E+04	8.41E+02
원천리천02	1.64E+07	5.33E+04	2.27E+05	8.31E+04	2.46E+03
반정천	4.17E+06	1.59E+04	8.92E+04	2.04E+04	6.25E+02
삼미천	1.61E+06	6.40E+03	3.23E+04	8.37E+03	2.41E+02
갈천	2.09E+06	1.81E+04	7.16E+04	1.44E+04	3.14E+02
총 계	8.41E+07	3.42E+05	1.50E+06	4.80E+05	1.26E+04

역별 단위면적당 비점원오염원부하량 산정 결과 수원천03 배수구역이 가장 높게 계산되었고, 수원천02 배수구역, 원천리천02 배수구역 순으로 높게 나타났다. 이는 수원천03 배수구역과 수원천02 배수구역, 원천리천02 배수구역이 수원 도심지역이기 때문에 지표면 축적 영양물질량이 많기 때문이고, 이들 배수구역의 토지이용은 대부분이 주거지역과 공업지역, 상업지역이 밀집되어 있고 배수구역의 대부분이 불투수면적이다.

V. 결론

1. 5년간의 강우자료를 이용해서 SWMM을 실행한 결과 황구지천 전체 유역의 월별 유출량 및

비점원 오염부하량은 7월에 유출되는 양이 가장 많고 7월, 8월, 9월의 유출수량의 합은 연간 평균 유출량의 74.4%, BOD는 67.0%, SS 60.8%, TN 54.7%, TP 74.5%로 산정되어 이 시기에 다량의 비점원 오염물질이 유출된다.

2. 황구지천 전체유역의 강우에 유출되는 평균 연간 비점원오염부하량은 BOD 342ton, SS 1,500ton, TN 480ton, TP 12.6ton으로 계산되었다.

3. 각 배수구역에서 유출되는 평균 연간 비점원오염부하량 산정결과, 유역면적이 넓은 원천리천02 배수구역, 황구지천04 배수구역과 주거지역이 많이 분포된 서호천02 배수구역, 수원천02 배수구역의 부하량이 많았다.

4. 배수구역별 단위면적당 비점원오염원부하량

Table 6. 각 배수구역별 단위면적당 년평균 유출량 및 비점원오염부하량

배수구역	유출수량(m ³ /ha-year)	비점원오염부하량(kg/ha-year)			
		BOD	SS	TN	TP
황구지천01	3,812.2	15.0	62.9	19,689	0.572
황구지천02	3,760.5	13.7	72.6	20,103	0.564
황구지천03	2,118.2	9.4	45.4	12,234	0.318
황구지천04	3,646.5	13.3	70.8	20,190	0.547
황구지천05	1,418.7	6.5	29.0	7,082	0.213
황구지천06	1,365.7	6.8	42.2	5,720	0.205
서호천01	385.9	28.9	34.6	9,124	0.058
서호천02	4,208.3	15.2	58.9	31,717	0.632
서호천03	4,676.5	15.1	68.8	43,836	0.703
서호천04	3,202.4	12.0	57.2	18,692	0.480
수원천01	1,663.8	10.0	26.0	7,340	0.250
수원천02	8,817.7	28.3	125.6	58,950	1.323
수원천03	8,878.0	28.2	127.5	59,099	1.332
원천리천01	3,379.9	16.2	52.9	15,543	0.507
원천리천02	8,012.7	26.1	111.0	40,631	1.203
반정천	2,415.3	9.2	51.7	11,845	0.362
삼미천	1,742.8	6.9	35.0	9,081	0.262
갈천	925.4	8.0	31.7	6,369	0.139

산정 결과 수원천03 배수구역, 수원천02 배수구역, 원천리천02 배수구역의 부하량이 높았다. 이는 수원천03 배수구역과 수원천02 배수구역, 원천리천02 배수구역이 주거지역, 상업지역이 밀집된 도심지에 위치하고 있기 때문이다.

5. 본 연구에서 SWMM을 이용해 산정된 배수구역별 비점원오염부하량은 원단위에 의한 비점원오염부하량 대신에 이 유역의 오염부하량 할당에 적용될 수 있다.

참고문헌

국립환경연구원, 1997, 하수도시설 개축 및 기능 개선 전략 연구.
서규우, 조원철, 1998, 유역특성 변화에 따른 도시

유출모형의 매개변수 민감도 분석(1), 한국수자원학회, 31(3), 243-252.
이범희, 이길성, 1998, 매개변수 추정방법의 개선을 위한 전문가 시스템의 개발, 한국수자원학회논문집, 31(6), 641-655.
이종태, 강태호, 1997, 도시배수유역의 유출-수질 특성 인자의 민감도 분석, 한국수자원학회, 30(1), 83-93.
Huber, W.C., and Dickinson, R.E., 1988, Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual. U.S. EPA.
Tsihrintzis, V.A., and Hamid, R., 1998, Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM, Hydrological Processes, 12, 311-329.