Journal of Environmental Impact Assessment, Vol. 23, No. 2(2014) pp.88~100
http://dx.doi.org/10.14249/eia.2014.23.2.88
ISSN 1225-7184

연구논문

BASINS/WinHSPF 모형을 이용한 비점오염물질 유출특성 분석과 최적관리기법 적용

김민주* · 김태근**
청주대학교 대학원 환경공학과*, 청주대학교 환경공학과**

Analysis of Runoff Characteristics of Non-point Sources Pollutant and Application of BMP Using BASINS/WinHSPF Model

Kim Min Joo·Kim Tae Geun
Department of Environmental Engineering, Graduate school, Cheongju University, Chungbuk, 360-764, Korea*
Department of Environmental Engineering, Cheongju University, Chungbuk, 360-764, Korea**

Abstract

This study analyzed runoff characteristics of non-point sources pollutant and evaluated removal of pollution by BMP(Best Management Practice) using BASINS/WinHSPF model. Hourly meterological data including input data was provided from 2010 to 2011 year to run HSPF model in Miho stream watershed. As the results of calibration and validation of the model, the model could be successfully performed to simulate the flow and water quality parameters. The apprehensive area of non-point source pollution was chosen by non-point source pollution per area of a tributary to the Miho stream and applied constructed wetland in area chosen. Three scenarios were based on installation area of an constructed wetland and HSPF model would be applied to estimate the pollutant removals through the constructed wetland. The removal rates of pollutants through the constructed wetland were estimated with the runoff and water quality parameters by the comparisons of before and after the constructed wetland application.

Keywords : BASINS/WinHSPF model, non-point sources, BMP, constructed wetland

Corresponding Author: Kim Tae Geun, Dept. of Environmental Engineering, Cheongju University, 36 Naeduk-dong, Cheongju, Chungbuk 360-764, Korea Tel: 82-43-229-8575 Fax: 82-43-229-8575 E-mail: ktkenv@cju.ac.kr
Received : 26 December, 2013. Revised : 11 February, 2014. Accepted : 17 February, 2014.

www.kci.go.kr

I. 서 론

우리나라에서 수질오염총량제도가 도입된 이후 목표수질 설정 및 할당부하량 산정에 있어 수질모델링은 반드시 필요한 과정으로 자리하게 되었고, 최근에는 비점오염원의 중요성이 강조되어 유역 내에서의 유출과 비점오염물질의 거동을 모의할 수 있는 유역모형의 활용도가 높아지고 있다. 비점오염원이 수계에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 강우시 현지에서 유량과 수질을 동시에 실측해야 가장 정확한 자료를 얻을 수 있으나 강우시의 실측은 작업여건이 힘들고, 많은 경비와 인력이 필요하기 때문에 효율성을 높이기 위해 유역모형을 적용하고 있다. 유역모형은 기상상태나 토지이용 혹은 유역관리상태와 같은 모형의 변수나 계수를 변화시킴으로서 향후 발생될 수 있는 결과를 모의할 수 있고, 최적관리기법(Best Management Practice, BMP)과 같은 비점오염물질 삭감시설의 처리효율 산정에도 적용할 수 있다.

비점오염원은 점오염원과 달리 강우시 불특정한 지역으로부터 오염물질이 배출되기 때문에 포집 및 처리가 어려운 오염원이다. 비점오염원의 적정한 관리를 위해서는 강우시 유출되는 비점오염물질의 정량화가 선행되어야 하고, 이후 해당 지역에 적절한 최적관리기법을 적용하여야 한다. 비점오염원에 대한 정량적인 평가를 위해 유역모형을 이용한 사례가 다수의 연구자들(이재운 등, 2012; 한정윤, 2007)에 의해 수행되어 왔으며, 또한 국내외에서 유역모형인 SWAT과 HSPF에 최적관리기법을 적용하여 저감시설의 오염물질 삭감효과를 분석하기도 하였다(장재호 등, 2009; 배대해 등, 2010; Narasimhan *et al.*, 2007; Hashim, 2002; Y. S. Yang *et al.*, 2010).

본 연구는 금강수계의 미호천 유역을 대상으로 미국환경청에서 개발한 유역모형인 HSPF(Hydrological Simulation Program-Fortran)를 이용하여 대상유역 내 비점오염물질의 유출특성을 파악하고 비점오염물질의 저감을 위한 최적관리기법을 적용하여 저감효과를 평가하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지역

본 연구에서는 금강수계의 지류 중 규모가 가장 큰 미호천 유역을 대상으로 하였다. 미호천의 유역면적은 1,860.9 km^2로서 충청북도 음성군, 괴산군, 증평군, 진천군, 청원군, 청주시, 세종특별자치시, 충청

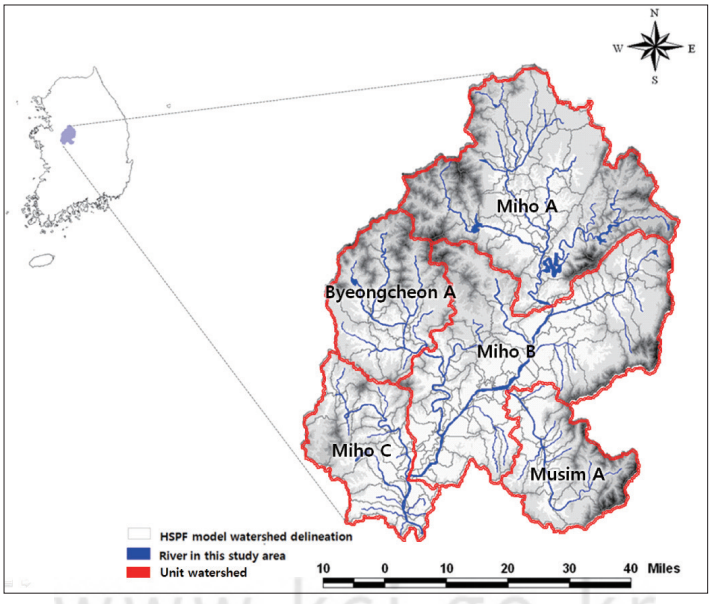

Figure 1. Location of the study area

www.kci.go.kr

남도 천안시, 경기도 안성시를 포함하고 있으며, 미호천의 주요 지류는 백곡천, 초평천, 보강천, 무심천, 병천, 조천 등이 있다. 미호천 주변에는 산업단지와 하수종말처리장이 위치하고 있고, 중류에 있는 청주시 하수종말처리장이 미호천의 중 · 하류 수질에 많은 영향을 미치고 있으며, 미호천 유역은 미호A, 무심A, 병천A, 미호B, 미호C 등 5개의 수질오염총량 단위유역으로 구분되어 있다.

2. HSPF 모형의 구축

본 연구에서 사용한 HSPF 모형은 유역에서의 수문해석과 비점오염물질의 거동해석 및 수질개선을 위한 유역차원의 관리대책에 널리 이용되고 있는 통합유역모형으로서 전 세계적으로 유역관리에 많이 적용하고 있다.

본 연구에서 HSPF 모형의 구축에 필요한 입력파일은 미국 환경청에서 개발한 통합유역관리시스템인 BASINS를 이용하여 생성하였다. 먼저 30×30 m 해상도의 수치고도모델(DEM)로부터 하천망을 생성한 후 유역의 최종 출구지점을 outlet으로 지정하여 소유역을 분할하고, 모형내 Landuse and Soil Definition Utility를 이용하여 분할된 소유역에 대한 각각의 토지이용 정보를 추출하였으며, 환경부에서 2007년도에 제작한 23개 중분류 토지피복도를 5개 항목으로 재분류하여 입력하였다. 또한 모형에 입력한 기상자료는 2009년부터 2011년까지 미호천 유역에 위치한 청주와 천안 기상관측소에서 관측한 시간단위 자료로서 평균기온, 강수량, 이슬점온도, 풍속, 일사량, 운량, 증발산량 등을 WDM 파일로 구축하였다.

3. 유량 · 수질의 보정 및 검증

HSPF 모형의 보정 및 검증은 유량 다음에 수질 순으로 이루어졌다. 유량의 보정과 검증에 사용한 관측자료는 미호천과 지류에 있는 수위관측소 자료이고, 수질의 경우 금강물환경연구소에서 8일 간격으로 수질오염총량관리 단위유역 말단에서 측정한 SS, BOD, T-N 및 T-P 자료를 이용하였다. 유량과 수질의 보정은 2011년, 검증은 2010년으로 하였고, 보정과 검증결과에 대한 정확도는 Donigian(2000)이 제안한 Table 1의 기준을 이용하여 평가하였는데 유량은 결정계수(R^2), 수질은 % difference를 기준으로 하였다.

III. 연구결과

1. 유량·수질의 보정 및 검증 결과

(1) 유량의 보정 및 검증 결과

본 연구에서 유량의 보정과 검증에 사용한 자료는 미호천 본류에 위치한 북일, 석화, 합강수위관측소와 지류인 무심천의 청주수위관측소, 병천의 옥산수위관측소 자료이며, 유량의 보정 및 검증 결과는 Table 2와 같이 모두 "Very good"으로 평가되었다.

Table 2. Results of calibration and validation for daily stream flow

		R^2	Performance
Bukil gaging station	Calibration	0.82	Very good
	Validation	0.82	Very good
Cheongju gaging station	Calibration	0.82	Very good
	Validation	0.84	Very good
Oksan gaging station	Calibration	0.84	Very good
	Validation	0.87	Very good
Seokhwa gaging station	Calibration	0.87	Very good
	Validation	0.90	Very good
Hapgang gaging station	Calibration	0.87	Very good
	Validation	0.89	Very good

Table 1. General calibration and validation targets or tolerances for HSPF application

		Very good	Good	Fair	Poor
Water flow	R^2	> 0.8	0.7 ~ 0.8	0.7 ~ 0.6	<0.6
Sediment	% difference	< 20	20 ~ 30	30 ~ 45	-
Water Quality	% difference	< 15	15 ~ 25	25 ~ 35	-

Source: Donigian(2000)

www.kci.go.kr

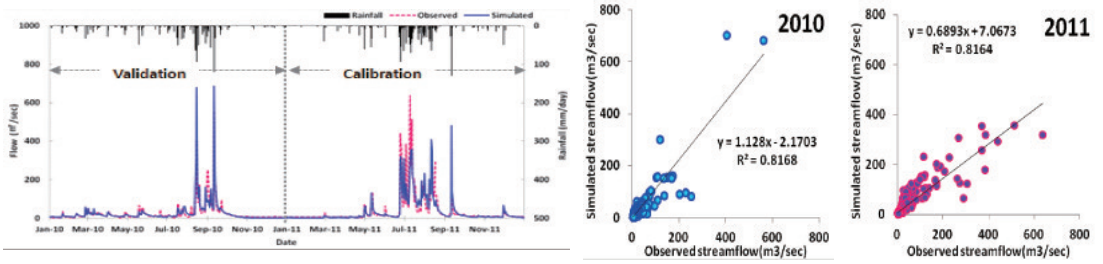

Figure 2. Hydrological calibration and validation at the site of Bukil

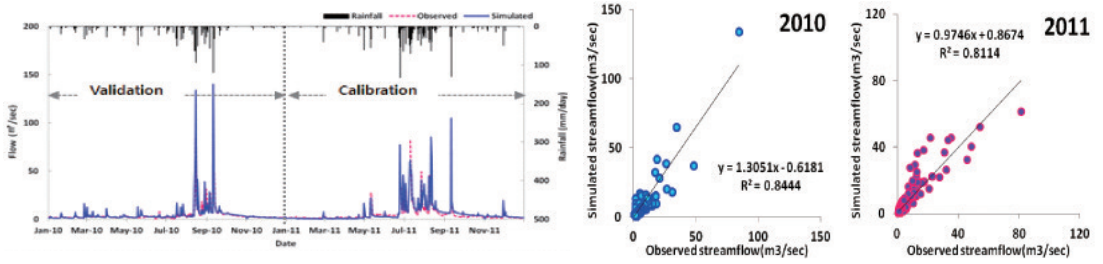

Figure 3. Hydrological calibration and validation at the site of Cheongju

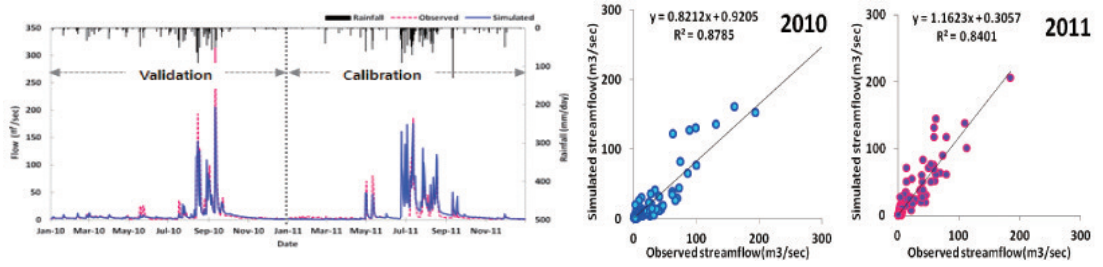

Figure 4. Hydrological calibration and validation at the site of Oksan

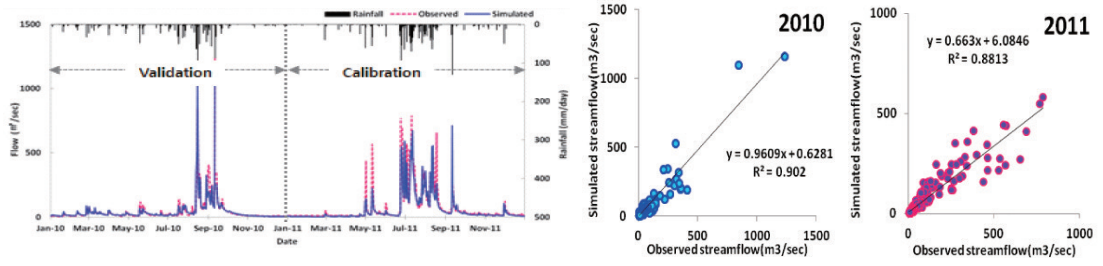

Figure 5. Hydrological calibration and validation at the site of Seokhwa

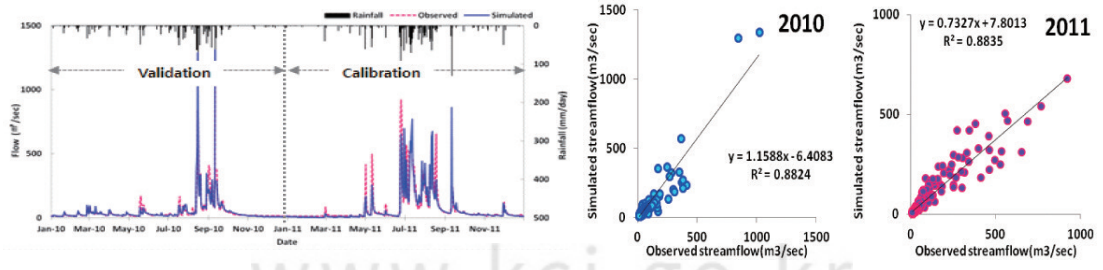

Figure 6. Hydrological calibration and validation at the site of Hapgang

www.kci.go.kr

Table 3. Results of calibration and validation for water quality in Miho A

		SS	BOD	T-N	T-P
Calibration	% difference	1.30	11.38	8.33	3.58
	Performance	Very good	Very good	Very good	Very good
Validation	% difference	11.41	9.01	6.14	5.19
	Performance	Very good	Very good	Very good	Very good

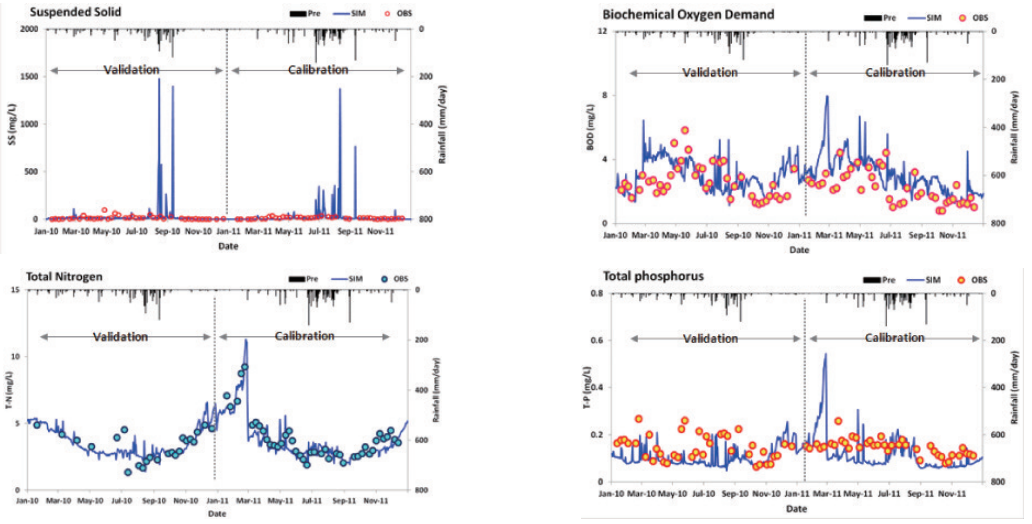

Figure 7. Water quality calibration and validation in Miho A

Table 4. Results of calibration and validation for water quality in Musim A

		SS	BOD	T-N	T-P
Calibration	% difference	1.32	8.63	8.57	7.93
	Performance	Very good	Very good	Very good	Very good
Validation	% difference	9.26	8.89	5.45	6.85
	Performance	Very good	Very good	Very good	Very good

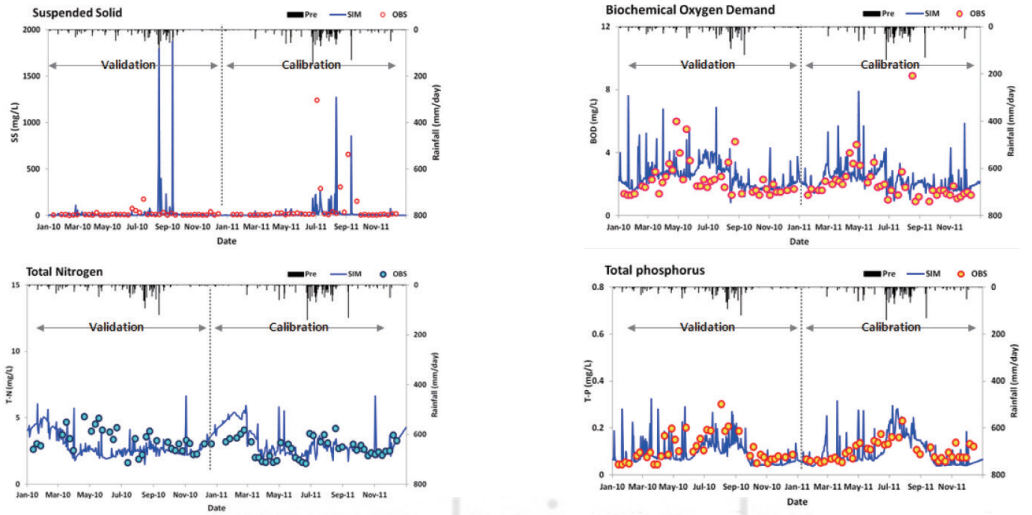

Figure 8. Water quality calibration and validation in Musim A

www.kci.go.kr

Table 5. Results of calibration and validation for water quality in Byeongcheon A

		SS	BOD	T-N	T-P
Calibration	% difference	4.14	5.57	8.52	7.22
	Performance	Very good	Very good	Very good	Very good
Validation	% difference	9.45	7.55	6.72	5.15
	Performance	Very good	Very good	Very good	Very good

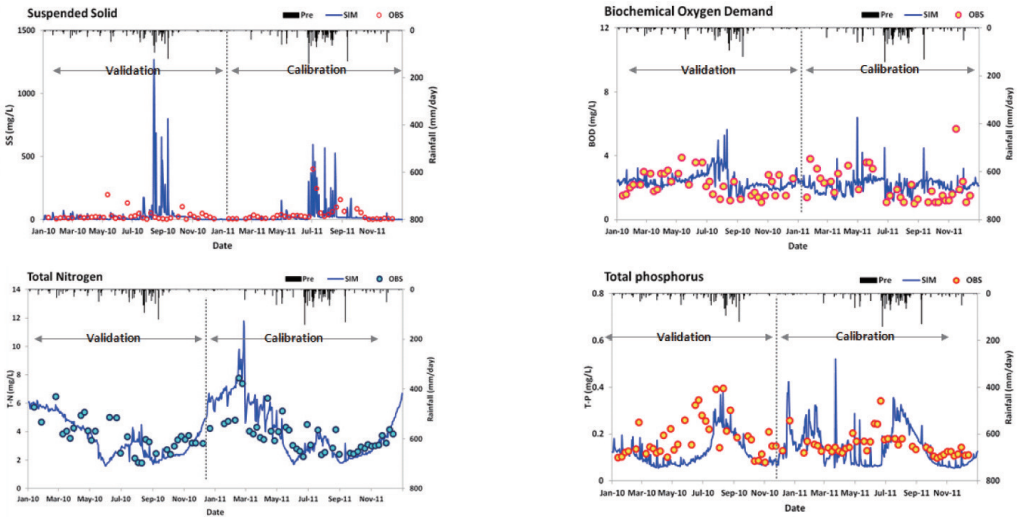

Figure 9. Water quality calibration and validation in Byeongcheon A

Table 6. Results of calibration and validation for water quality in Miho B

		SS	BOD	T-N	T-P
Calibration	% difference	6.75	6.81	7.37	6.11
	Performance	Very good	Very good	Very good	Very good
Validation	% difference	14.73	6.95	5.40	5.40
	Performance	Very good	Very good	Very good	Very good

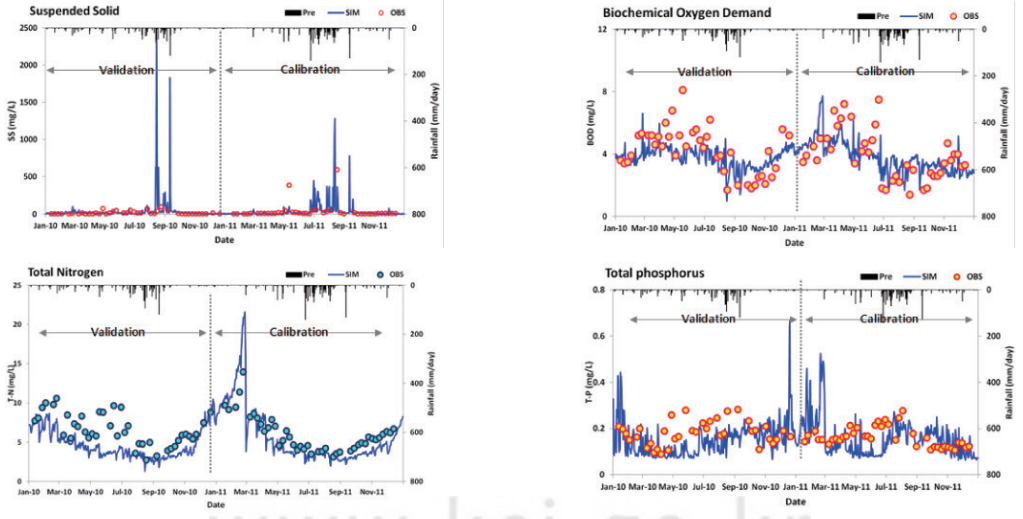

Figure 10. Water quality calibration and validation in Miho B

www.kci.go.kr

Table 7. Results of calibration and validation for water quality in Miho C

		SS	BOD	T-N	T-P
Calibration	% difference	6.80	5.67	7.78	5.15
	Performance	Very good	Very good	Very good	Very good
Validation	% difference	8.35	6.30	5.60	4.52
	Performance	Very good	Very good	Very good	Very good

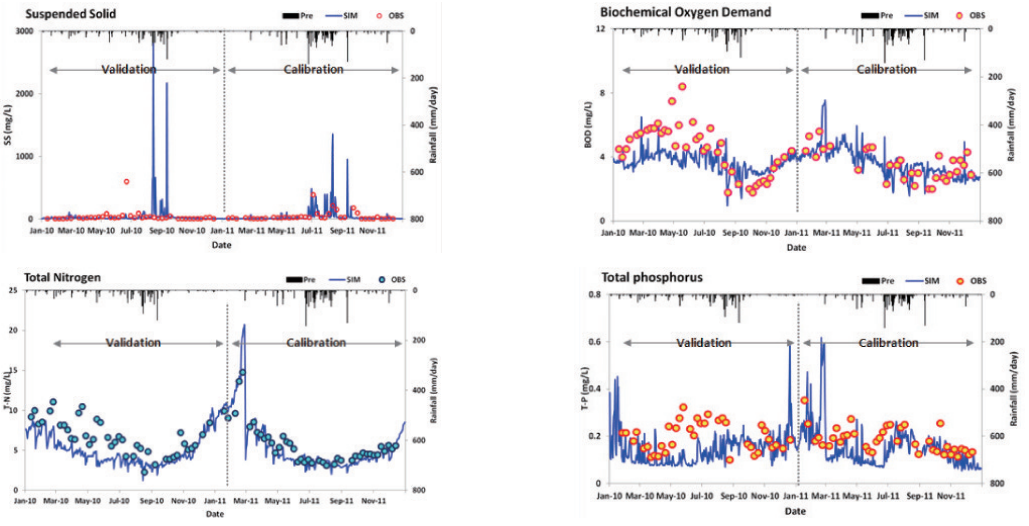

Figure 11. Water quality calibration and validation in Miho C

(2) 수질의 보정 및 검증 결과

본 연구에서 수질의 보정과 검증에 사용한 자료는 금강물환경연구소가 2010~2011년도에 8일 간격으로 미호천 수계에 있는 미호A, 무심A, 병천A, 미호B, 미호C 등 5개의 총량단위유역 말단에서 측정한 SS, BOD, T-N 및 T-P 자료를 이용하였다. 수질항목의 보정 순서는 SS를 먼저 보정한 후 BOD, T-N, T-P 순으로 하였으며, 보정은 2011년도를 대상으로 실시하였고, 2010년 수질 자료를 기준으로 검증을 하였다. 수질의 보정 및 검증 결과는 Fig. 7~11에 도시하였고, 정확도는 Table 3 ~ 7과 같이 "Very good"으로 평가되어 모의치가 실측치를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

2. 비점오염물질 유출특성 분석

본 연구에서는 HSPF 모형으로 각 단위유역 출구에 도달하는 오염물질 부하량을 점오염원과 비점오염원으로 구분하여 BOD, T-N, T-P에 대한 비점오염물질의 유출특성을 분석하였다. 이를 위해 먼저 비점오염물질의 부하량을 산정하였고, 산정 방법은 보정 및 검증을 완료한 HSPF 모형에서 점오염원의 부하량을 "0"으로 입력한 후 모형을 재구동하여 계산하였으며, 5개 단위유역 중 미호A의 모의 결과만을 대표로 Fig. 12에 도시하였다.

모의 결과를 이용하여 미호천 수계에 있는 5개 단위유역의 총부하량과 비점부하량을 산정한 결과 BOD, T-N, T-P 모두 강수량이 집중되는 7~9월에 총부하량이 가장 높았고, 갈수기인 11월에서 다음 해 2월까지는 감소하는 결과를 얻었다. 강우시 발생되는 비점부하량 역시 총부하량과 동일한 월별 경향을 보였으며, 특히 T-P의 변화가 가장 크게 나타났다.

Fig. 13은 단위유역별로 총부하량에 대한 비점부하량의 점유율을 나타낸 그림으로서 무심A 유역이 모든 수질항목에서 85% 이상으로 가장 높았고, 미호B 유역이 가장 낮았으며, 미호A, 미호C 및 병천A 유역은 대부분 70% 초반의 점유율을 보였다. 청주시를 주 유역으로 하는 무심A의 비점오염 점유율이 가장 높은 이유는 청주시의 점오염원 중 많은 비중을 차지

www.kci.go.kr

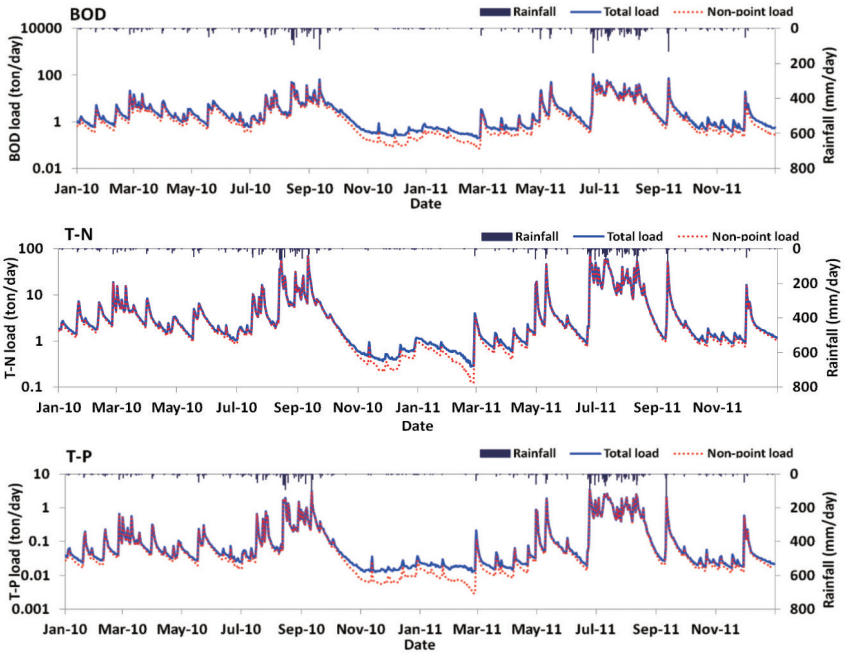

Figure 12. Total load and non-point source load of water parameters in Miho A

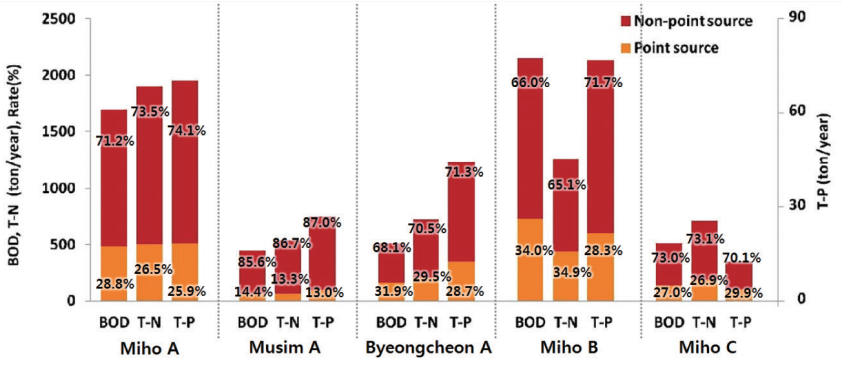

Figure 13. Total load and non-point source load at each watershed

하고 있는 생활계와 산업계의 오 · 폐수가 무심천으로 직접 유입되지 않고, 하수처리장과 석남천을 통하여 미호B 유역으로 유입되기 때문에 무심A 유역의 경우 점오염원에 의한 영향은 작고 상대적으로 비점오염원의 영향이 크게 나타난 것으로 판단된다.

3. 최적관리기법 적용

(1) 최적관리기법 적용지역 선정

본 연구에서는 미호천 유역에서 유출되는 비점오염물질을 제거하기 위해 최적관리기법 중 인공습지를 선택하여 적용하였다. 인공습지는 설치비와 유지관리비가 저렴하고, 처리효율이 높으며, 유기물 제거에 중점을 둔 종래의 처리 방식에 비하여 유기물은 물론 부영양화의 원인물질인 인, 질소 등에 대한 정화기능까지 갖고 있어 매우 유용한 처리시설로 평가받고 있다(Stowell *et al.*, 1981).

인공습지는 처리대상 수량이 많을수록 넓은 부지가 필요하기 때문에 미호천 본류에 설치하는 것은 현실적으로 불가능하여, 본 연구에서는 미호천 수질에 미치는 영향이 비교적 큰 1차 지류 중 유역면적이 40

Table 8. Non-point source loads and non-point source loads per area

Watershed	Stream	Area (km^2)	Non-point source loads (ton/year)			Non-point source loads per area (ton/km^2/year)		
			BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
Miho A	Han stream	89.5	186.5	215.6	8.1	2.0	2.4	0.09
	Baekgok stream	123.6	231.3	267.4	10.0	1.9	2.2	0.08
	Chopyung stream	132.3	330.3	381.8	14.3	2.5	2.9	0.11
Musim A	Musim stream	197.3	383.6	464.1	23.5	1.9	2.3	0.12
Byeongcheon A	Byeongstream	366.6	345.8	507.4	31.4	1.4	2.1	0.13
Miho B	Bogang stream	155.5	356.6	205.7	13.8	2.3	1.3	0.09
	Seongam stream	51.5	141.5	81.6	5.5	2.8	1.6	0.11
	Seokhwa stream	88.8	182.9	105.5	7.1	2.1	1.2	0.08
Miho C	Jo stream	136.2	264.1	439.4	6.3	1.9	3.2	0.05
	Wolha stream	40.0	64.7	107.7	1.5	1.6	2.7	0.04

km^2 이상의 지류를 대상으로 하였다. 지류를 선정하는 기준은 단위유역별로 단위면적당 비점부하량이 가장 큰 지류를 1개씩 선정하였다. 이와 같은 기준으로 선정한 지류는 Table 8과 같이 미호A의 초평천, 미호B의 성암천, 미호C의 조천이고, 단일 수계인 무심A의 무심천과 병천A의 병천을 포함하여 총 5개 하천으로서 단위유역 말단 또는 지류의 하구에 인공습지를 조성하는 것으로 하였다.

(2) 최적관리기법 적용

미호천 유역 내에서 최적관리기법을 적용하기 위해 선정된 5개 지류에 대하여 HSPF 모형에 BMPRAC 모듈을 추가한 후 비점오염저감시설별 제거율을 입력하여 최적관리기법 설치에 따른 제거효과를 모의하였다.

이를 위해 본 연구에서는 3가지 시나리오를 작성하였다. 첫번째 시나리오(SC-1)는 각 지류의 유역면

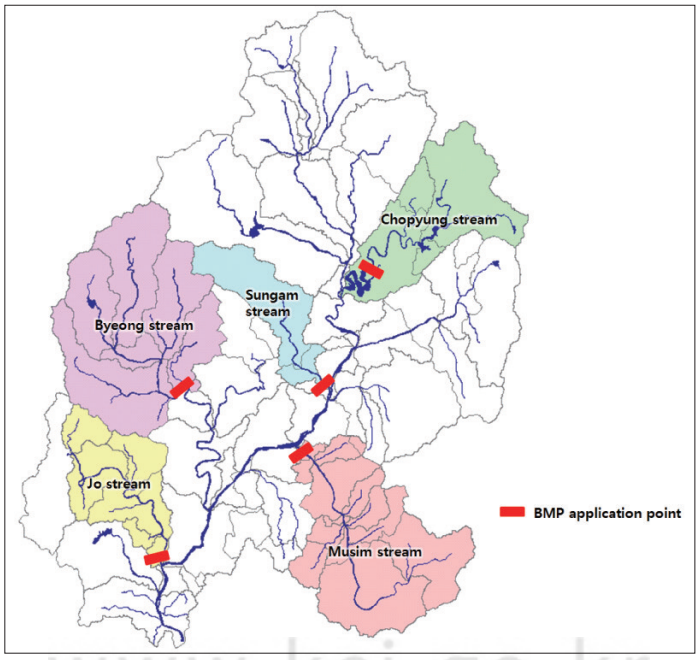

Figure 14. Location map of constructed wetland at each tributary

www.kci.go.kr

적 2%에 해당하는 인공습지 1지 설치, 두번째 시나리오(SC-2)는 유역면적의 5%에 해당하는 인공습지 1지 설치, 세번째 시나리오(SC-3)는 유역면적의 10%에 해당하는 인공습지 1지를 설치하는 것으로 하였으며, 인공습지의 수심은 동일하게 하였다. 인공습지의 위치는 Fig. 14에서와 같이 병천A는 단위유역 말단, 나머지 4개 지류는 하천의 출구 부근에 설치하는 것으로 하였으나, 초평천 출구는 초평저수지가 위치하고 있기 때문에 저수지 유입부에 인공습지를 설치하는 것으로 하였다.

시나리오 작성시 인공습지의 면적은 "수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리지침"(국립환경과학원, 2010)에 인공습지의 부지면적을 배수면적의 1~1.5% 이상으로 설치하도록 명시되어 있어 이를 기준으로 최소면적을 배수면적의 2%로 하였다. 또한 인공습지의 오염물질 저감효율은 "수계오염총량관리 기술지침"(국립환경과학원, 2012)에 명시된 BOD 53%, T-N 37%, T-P 60%를 각각 적용하였다.

(3) 최적관리기법 적용 결과

인공습지의 면적을 각 지류 배수면적의 2%, 5% 및 10%로 조성하는 시나리오를 HSPF 모형에 적용하여 오염물질의 제거율을 산정한 결과 Table 9와 같이 인

Table 9. Removal rate of pollutants according to three scenarios

			Chopyung stream	Musim stream	Byeong stream	Sungam stream	Jo stream	Aver-age
SS	Before BMP	Loads(ton/year)	27,190.3	42,201.7	33,543.1	15,520.5	34,249.6	-
	SC-1	Loads(ton/year)	21,697.9	34,225.6	25,190.9	11,935.2	26,440.7	-
		Removal rate (%)	20.2	18.9	24.9	23.1	22.8	22.0
	SC-2	Loads(ton/year)	21,262.8	34,056.8	24,721.3	11,686.9	25,995.5	-
		Removal rate (%)	21.8	19.3	26.3	24.7	24.1	23.2
	SC-3	Loads(ton/year)	20,909.4	33,465.9	23,580.8	11,329.9	25,379.0	-
		Removal rate (%)	23.1	20.7	29.7	27.0	25.9	25.3
BOD	Before BMP	Loads(ton/year)	330.3	383.6	345.8	141.5	264.1	-
	SC-1	Loads(ton/year)	278.1	333.6	277.4	116.7	218.1	-
		Removal rate (%)	15.8	13.0	19.8	17.5	17.4	16.7
	SC-2	Loads(ton/year)	265.9	319	265.2	111.6	208.5	-
		Removal rate (%)	19.5	16.8	23.3	21.1	21.1	20.4
	SC-3	Loads(ton/year)	257.7	309.2	257.3	108.1	202.3	-
		Removal rate (%)	22.0	19.4	25.6	23.6	23.4	22.8
T-N	Before BMP	Loads(ton/year)	381.8	464.1	507.4	81.6	439.4	-
	SC-1	Loads(ton/year)	313.9	398.3	391.6	65.6	344.9	-
		Removal rate (%)	17.8	14.2	22.8	19.6	21.5	19.2
	SC-2	Loads(ton/year)	300.1	381.1	374.7	62.7	329.8	-
		Removal rate (%)	21.4	17.9	26.2	23.2	24.9	22.7
	SC-3	Loads(ton/year)	291	369.2	363.1	60.8	319.8	-
		Removal rate (%)	23.8	20.4	28.4	25.5	27.2	25.1
T-P	Before BMP	Loads(ton/year)	14.3	23.5	31.4	5.5	6.3	-
	SC-1	Loads(ton/year)	11.8	20.3	24.7	4.4	5.1	-
		Removal rate (%)	17.5	13.6	21.3	20.0	19.0	18.3
	SC-2	Loads(ton/year)	11.2	19.4	23.6	4.2	4.9	-
		Removal rate (%)	21.7	17.4	24.8	23.6	22.2	21.9
	SC-3	Loads(ton/year)	10.9	18.8	22.9	4.1	4.7	-
		Removal rate (%)	23.8	20.0	27.1	25.5	25.4	24.4

www.kci.go.kr

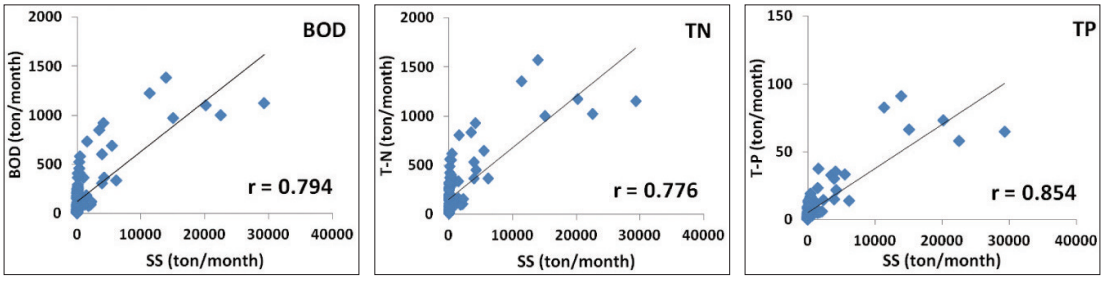

Figure 15. Relationship between SS and water quality parameters

공습지의 면적이 넓을수록 오염물질의 제거율도 증가하였다.

표에 의하면 3가지 시나리오별 오염물질의 평균 제거율은 SS의 경우 22.0%, 23.2%, 25.3%이고, BOD는 16.7%, 20.4%, 22.8%, T-N은 19.2%, 22.7%, 25.1%이며, T-P는 18.3%, 21.9%, 24.4%로 증가하였다. 이는 인공습지의 면적이 넓을수록 체류시간이 길어져 제거율도 증가한 것으로 판단되지만 인공습지의 면적 증가율과 오염물질 제거율은 선형관계를 보이지 않았다.

일반적으로 인공습지에서의 오염물질 저감 기작은 강우시 유실된 토사입자가 습지로 유입된 후 일시적으로 저류할 때 침강 제거됨에 따라 토사에 흡착된 오염물질도 함께 제거되고, 습지 내의 미생물에 의해 유기물이나 영양물질이 흡수·분해되며 또한 습지내의 수생식물에 의해 영양물질이 흡수되는 등 습지의 다양한 정화작용 때문인 것으로 판단된다.

본 연구에서는 위와 같은 다양한 오염물질 저감 기작 중 HSPF 모형으로 모의가 가능한 토사(부유물질)의 제거율이 BOD, T-N, T-P의 제거율에 미치는 영향을 알아보기 위해 부유물질과 BOD, T-N, T-P의 상관성 분석을 실시하였다. Fig. 15는 5개 지류에

Table 10. Removal load per unit aera according to three scenarios at each tributary (units : km^2, ton/year/km^2)

		Area	Constructed wetland area	SS	BOD	T-N	T-P
SC-1	Chopyung stream	132.3	2.6	2,112.5	20.1	26.1	0.96
	Musim stream	202.2	4.0	1,994.0	12.5	16.5	0.80
	Byeong stream	241.3	4.8	1,740.0	14.3	24.1	1.40
	Sungam stream	51.5	1.0	3,585.2	24.8	16.0	1.10
	Jo stream	136.2	2.7	2,892.2	17.0	35.0	0.44
	Average			2,464.8	17.7	23.5	0.94
SC-2	Chopyung stream	132.3	6.6	898.1	9.8	12.4	0.47
	Musim stream	202.2	10.1	806.4	6.4	8.2	0.41
	Byeong stream	241.3	12.1	729.1	6.7	11.0	0.64
	Sungam stream	51.5	2.6	1,474.4	11.5	7.3	0.50
	Jo stream	136.2	6.8	1,213.8	8.2	16.1	0.21
	Average			1,024.4	8.5	11.0	0.45
SC-3	Chopyung stream	132.3	13.2	475.8	5.5	6.9	0.26
	Musim stream	202.2	20.2	432.5	3.7	4.7	0.23
	Byeong stream	241.3	24.1	413.4	3.7	6.0	0.35
	Sungam stream	51.5	5.2	805.9	6.4	4.0	0.27
	Jo stream	136.2	13.6	652.3	4.5	8.8	0.12
	Average			556.0	4.8	6.1	0.25

www.kci.go.kr

서 인공습지를 설치한 지점의 월별 SS 부하량과 월별 BOD, T-N, T-P 부하량과의 산포도를 작성한 후 SS와 각 수질항목간의 상관계수를 산정한 그림이다. 산정 결과 SS와 BOD의 상관계수는 0.794, T-N 0.779 그리고 T-P는 0.854로서 모든 항목에 걸쳐 상관성이 비교적 높게 나타났으며, 수질항목 중 SS와 T-P의 상관성이 가장 높게 나타났는데 이는 T-P의 경우 강우시 토양과 결합하여 유출되는 특징에 인한 것으로 판단된다(이지헌, 2007). 이러한 결과로부터 인공습지를 설치할 경우 강우시 유역으로부터 유실된 토사입자가 습지 내에서 침강되면 유기물질과 영양물질도 동시에 수체로부터 제거됨을 알 수 있었다.

또한 본 연구에서는 인공습지의 단위면적당 오염물질의 제거량을 계산하여 시나리오 중 가장 적정한 인공습지의 면적비를 평가해 보았다. 5개 지류에서 인공습지 설치 전 · 후의 오염부하량으로부터 삭감량을 구하고, 이를 인공습지 면적으로 나누어 산정한 결과는 Table 10과 같다. 표를 보면 시나리오 1, 2, 3 순으로 단위면적당 오염물질의 제거량이 높게 산정되었는데, 이러한 이유는 인공습지에 유입되는 오염물질의 양이 많지 않은 상태에서 습지의 면적이 과도하게 클 경우에는 습지의 유입부나 중간부에서 오염물질이 대부분 제거되고 유출부에서는 제거할 잔여 오염물질이 없기 때문에 단위면적당 오염물질 제거량에 영향을 미친 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 인공습지의 면적과 오염물질의 제거량은 선형으로 비례하지 않는다는 것을 알 수 있었으며, 인공습지를 설치할 경우 현실적으로 설치가능한 면적과 습지 면적에 따른 제거량을 정량화한 후 경제성 및 효율성 등을 평가하여 적정한 크기를 결정해야 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

미호천 유역을 대상으로 HSPF 모형을 이용하여 비점오염물질의 유출특성을 파악하고, 5개 총량단위유역별로 단위면적당 비점오염부하량이 가장 큰 지류를 선정하여 최적관리기법 중의 하나인 인공습지를 조성하는 것으로 모의하여 비점오염저감 효과를 평가하였다. 보정과 검증이 완료된 모형에서 점오염원의 부하량을 삭제한 후 재구동하여 비점오염부하량을 산정하여 시기별, 유역별 유출특성을 분석한 결과 미호천 유역에서는 무심A 단위유역이 점오염원의 영향이 상대적으로 적어 비점오염원에 의한 영향을 가장 많이 받는 것으로 나타났다.

각 단위유역의 수질에 많은 영향을 미치는 40 km^2 이상의 지류를 대상으로 단위면적당 비점오염부하량을 산정한 후 5개 지류를 선정하여 하구에 인공습지를 면적비에 따라 설치하는 3가지 시나리오를 설정하여 모의하였다. 모의 결과 인공습지의 면적이 넓을수록 오염물질의 제거율도 증가하였으나 인공습지의 면적 증가율과 오염물질 제거율은 선형관계를 보이지 않았고, 인공습지의 단위면적당 오염물질 제거량은 습지 면적이 작을수록 더 크게 산정되었다. 따라서 비점오염원 관리방안의 일환으로 인공습지를 설치할 경우 현지 여건과 제반 설계인자를 고려하여 경제성 및 효율성 등을 평가한 후 적정한 규모를 결정해야 할 것으로 판단되었다.

감사의 글

이 논문은 2012~2013학년도 청주대학교 연구장학 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

국립환경과학원, 2010, 수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리 지침.

국립환경과학원, 2012, 수계오염총량관리 기술지침.

배다해, 하성룡, 2011, HSPF를 이용한 비점오염원 삭감에 따른 효과 분석, 환경영향평가, 20(1), 71-78.

이재운, 권헌각, 이윤정, 윤종수, 한건연, 천세억, 2012, BASIN/HSPF 모형을 활용한 비점오염부하의 정량적 평가, 한국환경과학회지, 21(8), 965-975.

www.kci.go.kr

이지헌, 2007, HSPF 모형을 이용한 농경활동이 미호천 수질오염부하 배출특성에 미친 영향 분석, 충북대학교 석사학위논문.

장재호, 윤춘경, 정광욱, 손영권, 2009, BASINS-SWAT모델을 이용한 경안천 유역의 비점원 오염배출 정점관리 대상지역 결정, 한국농공학회논문집, 51(5), 69-78.

한정윤, 2007, BASINS/WinHSPF를 이용한 소양강댐 유역관리방안 연구, 건국대학교 석사학위 논문.

Donigian A. S., 2000, HSPF Training Workshop Handbook and CD, Lecture #19, Calibration and Verification Issues, Slide #L19-22, EPA Headquarters, Washington Information Center, Presented and prepared for U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology.

Hashim, N. B., 2002, Watershed, Hydrodynamac and Water Quality Models for Total Maximum Daily Load. Ph.D. diss. Mississipi State, Mississippe, Ind.: Mississippi State University.

Narasimgan, B., P. M. Allen, R. Srinivasan, S. T. Bednarz, J. Arnold and J. A. Dunbar, 2007, Streambank erosion and best management practice simulation using SWAT, In: Proceedings of 4th conference on 'Watershed management to meet water quality standards and TMDL' San Antonio ASABE publication #701P207, 10-14 March 2007.

Stowell, R. M., Ludwig, R., Colt, R. and Tchobanoglous, G., 1981, Concepts in aquatic treatment design, Journal of environment engineering, ASCE, Vol. 112, 885-894.

Y. S. Yang., L. Wang, 2010, A Review of Modelling Tools for Implementation of the EU Water Framework Directive in Handling Diffuse Water Pollution, Water Resour Manage, Vol. 24, 1819-1843.

www.kci.go.kr