

SWAT과 HSPF 모형을 이용한 유출특성 비교분석

A Comparative Analysis on the Runoff Characteristics Using SWAT and HSPF Model

김학관*, 김상민**, 박승우***

Hak Kwan Kim, Sang Min Kim, Seung Woo Park

요 지

본 연구에서는 소유역에서의 오염총량을 추정하기 위한 오염총량 추정모형인 SWAT 모형과 HSPF 모형의 유출특성을 비교분석하기 위해 발안유역의 HP#6 소유역을 시험유역으로 선정하고 유역 수문모니터링을 수행하였으며, 시험유역의 도형자료를 구축하여 SWAT 모형과 HSPF 모형을 적용하였다. 유출량에 대하여 모형의 보정과 검정결과 유출량은 HSPF 모형의 모의유출량이 SWAT 모형보다 실측치에 더 유사한 값을 보였다. 통계적인 변량을 이용하여 실측치와 SWAT 모형과 HSPF 모형의 모의치를 비교하여 평가한 결과 RMSE는 각각 5.19mm/day, 6.03mm/day, RMAE는 0.48mm/day, 0.49mm/day, 결정계수(R^2)는 0.86, 0.84로 모의 되었다.

핵심용어: SWAT, HSPF, 유출

1. 서 론

최근 세계적으로 농업비점오염원으로 인한 수질오염문제를 해결하기 위한 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 우리나라에서도 농업유역에서 발생하는 수질오염의 원인과 현황을 정량적으로 구명하고 수질오염을 저감하기 위한 최적관리방안을 마련하기 위해 농업유역, 댐저수지 유역 등을 대상으로 시험유역의 운영을 통해 얻어진 수문, 수질 모니터링 자료로부터 유역단위 오염부하량을 측정하고 오염총량 추정모형을 적용하여 모형의 적용성을 평가하는 연구들이 많은 분야에서 이루어지고 있다.

오염총량 추정 모형에는 크게 포장단위 모형과 유역 단위 모형으로 나눌 수 있다. 포장단위 모형은 하나의 수문학적 특징을 갖는 포장에서의 비점오염을 모의하기 위한 것으로 CREAMS, EPIC, GLEAMS 등이 있으며, 유역 단위 모형은 AGNPS, ANSWERS, SWRRB, MIKE SHE, SWAT, HSPF 등이 있다. 이들 모형 중에서 오염총량추정에 사용되는 대표적인 것이 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형과 HSPF(Hydrological Simulation Program - Fortran) 모형이다. SWAT 모형은 미농무성(U.S. Department of Agriculture)에서 개발된 것으로 미계측 지역의 비점원오염을 추정하기 위해 개발된 모형으로 다양한 토양, 토지이용 및 관리조건에 따른 대유역 및 복합토지이용을 갖는 유역에서의 수문, 유사량 및 농업화학성분량 등을 장기간 모의할 수 있는 분포형 모형이며 일별로 모의가 가능하다(Arnold et al., 1998). HSPF 모형은 미국 환경청(U.S. Environmental Protection Agency, USEPA)에서 개발된 모형으로 준분포형, 개념적 모형으로 차단, 토양수분, 지표유출, 기저유출, 하천홍수추적, 저수지홍수추적, 대장균, 플랑크톤 등을 모의한다(Bicknell et al., 2001).

본 연구에서는 소유역에서의 오염총량을 추정하기 위한 오염총량 추정모형인 SWAT 모형과 HSPF 모형 각각의 유출특성을 비교분석하기 위해 발안유역의 HP#6 소유역을 시험유역으로 선정하고, 수문모니터링을 수문자료를 수집하고, GIS를 이용하여 시험유역에 대한 도형자료를 구축한다. 획득된 자료를 이용하여

* 정회원 · 서울대학교 대학원 · E-mail : kwans2@snu.ac.kr
** 정회원 · 서울대학교 농업생명과학연구원 연구원 · E-mail : smkim97@plaza1.snu.ac.kr
*** 정회원 · 서울대학교 생물자원공학부 교수 · E-mail : swpark@snu.ac.kr

SWAT 모형과 HSPF 모형을 시험유역에 적용하고 유출량에 대하여 실측자료와 모형결과 자료를 통해 모형의 보정 및 검정을 실시하여 각 모형의 유출특성을 비교분석한다.

2. 시험유역 및 자료구축

2.1 시험유역

SWAT 모형과 HSPF 모형의 적용을 위한 시험유역은 발안저수지 유역의 HP#6 소유역으로 선정하였다. 발안저수지 유역은 경기도 화성시 봉담읍과 팔탄면에 위치하고 있으며, 1996년부터 서울대학교 농공학과에서 수문/수질 모니터링을 실시하고 있다(그림 1).

발안유역의 HP#6 소유역에 대한 유역특성인자로 유역면적, 형상계수, 유로장, 최대기복량 및 기복량비, 유역경사 등을 조사하였다. 발안유역의 HP#6 소유역은 유역면적이 385ha이고 유로장이 3.1km이며, 형상계수는 1.56으로 정방형이며, 기복량비는 0.09, 유역경사는 1.5m/km이다. 시험유역의 토지이용은 산림이 전체 유역 면적의 51%를 차지하고 있으며, 주거지가 20%, 논이 19%, 밭이 10%로 구성되어 있다.

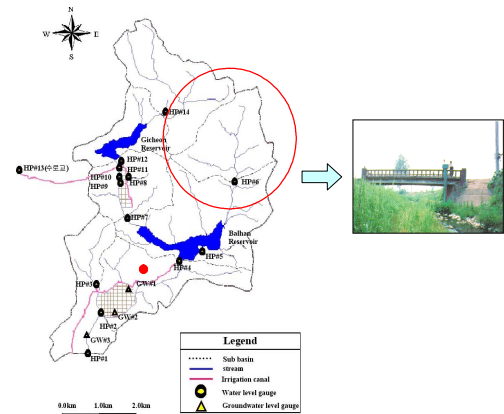


그림 1. 발안시험유역 현황

2.2 입력자료의 구성

2.2.1 기상자료

기상자료와 강우자료는 발안 유역으로부터 약 10km에 위치한 수원기상대의 자료를 이용하였다. 발안유역과 수원측후소 간의 공간적인 차이가 존재하므로 보다 정확한 강수량 자료를 얻기 위해 발안저수지 유역내에 강수측정소를 설치하였으며, 이를 수원측후소 강수량자료와 비교하였다. 이는 자료의 결측시 결측구간에 대한 자료의 보정에 이용하였다. 또한 강수량, 최저온도, 최고온도, 상대습도, 태양복사량, 그리고 풍속 등의 일별 기상자료는 수원 측후소의 자료를 이용하였다.

2.2.2 수문자료

HP#6 측정점의 하천수위자료는 수위계를 설치하여 수위를 관측하였고, 하천 수위측정점에 대한 수위-유량관계를 결정하기 위해, 수위별로 유량을 조사하였다. 현장 출장을 통해 폭우시 고수위 유량 측정과 평상시 저수위 유량 측정을 실시하여 수위-유량관계를 결정하고 유량자료를 수집하였다.

2.2.3 도형자료 구축

시험유역의 기본도는 지형자료의 구축을 위해 국립지리원의 1/5,000 NGIS 수치지도를, 토양자료의 구축을 위해 농촌진흥청의 1/25,000 정밀토양도를, 토지피복을 분류하기 위해 Landsat-5 TM 영상자료를 이용하였다. 시험유역의 주제도는 지형도, 토양도, 토지이용도 등의 기본도로부터 하천도, 소유역 경계도, 경사방향도, 경사도 등을 구축하였고, 1/25,000 정밀토양도로부터, 수문학적토양군도, 토성, 토양침식성인자도 등을 구축하였다.

3. 모형의 적용

3.1 모형의 보정

SWAT 모형과 HSPF모형의 유출량 보정은 시험유역인 HP#6 소유역에 대하여 1996년~1997년의 자료를

사용하였다. 모형의 보정은 단순시행착오법을 이용하였고 모형의 보정을 위한 목적함수는 RMSE와 RMAE를 이용하여 최적 매개변수를 추출하였다. 또한 총유출량과 침투유출에 비교적 큰 영향을 주는 매개변수부터 보정하였다. SWAT 모형의 경우는 CN(Curve Number), SOL_AWC(Soil available water capacity), ESCO(Soil evaporation compensation factor) 등을 중심으로 보정을 하였고, HSPF모형의 경우는 LZSN(Lower zone nominal storage), INFILT(Mean sil infiltration rate), AGWRC(Groundwater recession rate), UZSN(Normal upper zone soil moisture) 등을 중심으로 보정을 하였다. 표 1은 모형의 보정기간 동안의 연도별 모의결과를 나타내고 있다. 1996년에는 SWAT 모형의 모의발생 유출량이 HSPF 모형의 모의치보다 80mm정도 큰 값을 보였으며, 1997년에는 반대로 HSPF 모형이 30mm정도 큰 값을 보였다.

표 1. 모형의 보정기간 동안의 연도별 모의결과

연도	강우량 (mm)	모의발생 유출량 (mm)		유출율	
		SWAT	HSPF	SWAT	HSPF
1996	883	482.0	403.6	0.546	0.457
1997	1,204	733.8	762.9	0.609	0.633
합 계	2,087	1,215.8	1,166.5	0.583	0.559

표 2는 통계적인 변량을 이용하여 실측치와 모의치를 비교하여 평가한 결과를 나타내고 있다. 결측기간을 제외한 모형의 보정기간에 대해서 모의한 결과, 유출량은 HSPF 모형의 모의유출량이 SWAT 모형의 모의값보다 실측값과 유사한 값을 보였다. RMSE, RMAE, 그리고 결정계수(R^2)는 두 모형간에 큰 차이는 없었으며, 결정계수(R^2)는 두 모형 모두 0.92로 비교적 모의치와 실측치가 유사한 경향을 보였다.

표 2. 모형의 보정기간 동안의 실측치와 모의치의 비교

연도	관측일수 (day)	강우량 (mm)	유출량 (mm)			RMSE (mm/day)		RMAE (mm/day)		R^2	
			실측치	모의치 (SWAT)	모의치 (HSPF)	SWAT	HSPF	SWAT	HSPF	SWAT	HSPF
1996	273	737.5	337.0	422.9	370.5	2.14	2.10	0.43	0.40	0.92	0.92
1997	348	1,204.0	787.8	727.4	753.0						
Total	621	1,941.5	1,124.8	1,150.3	1,123.5						

그림 2와 그림3은 보정기간인 1996년과 1997년에 대하여 강우량에 따른 유출량의 실측치와 모의치의 변화를 보여주고 있다.

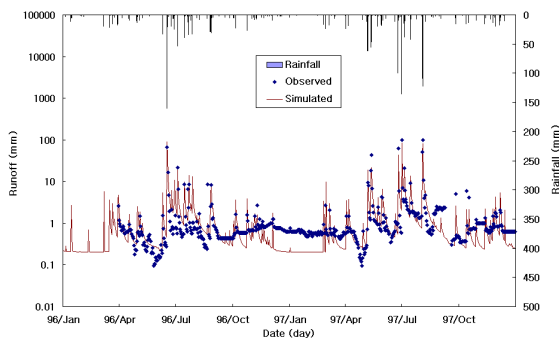


그림 2. 보정기간 동안의 강우량에 따른 유출량의 실측치와 모의치변화-SWAT모형

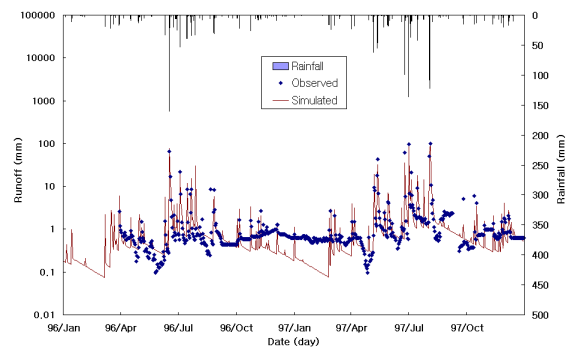


그림 3. 보정기간 동안의 강우량에 따른 유출량의 실측치와 모의치변화-HSPF모형

3.2 모형의 검정

SWAT 모형과 HSPF 모형에 대한 매개변수의 보정 후, 모형의 검정은 발안구역의 HP#6 소유역에 대하여 모형의 보정에 이용하지 않은 1999년과 2000년 자료에 대해 수행하였다. 표 3은 모형의 검정기간동안의 연도별 모의결과를 나타내고 있다. 1999년, 2000년 모두 모의발생 유출량이 SWAT 모형에서 30mm 정도 큰 값을 보였다.

표 3. 모형의 검정기간 동안의 연도별 모의결과

연도	강우량 (mm)	모의발생 유출량 (mm)		유출율	
		SWAT	HSPF	SWAT	HSPF
1999	1,515.2	952.8	923.5	0.629	0.609
2000	1,257.0	842.9	818.8	0.671	0.651
합 계	2,772.2	1,795.7	1,742.3	0.648	0.528

표 4는 통계적인 변량을 이용하여 실측치와 모의치를 비교하여 평가한 결과를 나타내고 있다. 결측기간을 제외한 모형의 검정기간에 대해서 모의한 결과, 유출량은 HSPF 모형의 모의유출량이 SWAT 모형의 모의값보다 실측치와 유사한 값을 보였다. RMSE는 SWAT 모형이 HSPF 모형보다 작은 값을 보였으며, RMAE, 결정계수(R^2)는 두 모형에서 서로 유사한 값을 보였다. 결정계수(R^2)는 SWAT 모형과 HSPF모형에서 각각 0.86, 0.84로 모형의 적용성이 있는 것으로 평가되었다.

표 4. 모형의 검정기간 동안의 실측치와 모의치의 비교

연도	관측일수 (day)	강우량 (mm)	유출량 (mm)			RMSE (mm/day)		RMAE (mm/day)		R^2	
			실측치	모의치 (SWAT)	모의치 (HSPF)	SWAT	HSPF	SWAT	HSPF	SWAT	HSPF
1999	299	1,238.4	654.3	820.3	768.3	5.19	6.03	0.48	0.49	0.86	0.84
2000	151	1,249.8	708.3	765.7	679.4						
Total	450	2,488.2	1,362.6	1,586	1,447.7						

그림 4와 그림 5는 검정기간인 1999년과 2000년에 대하여 강우량에 따른 유출량의 실측치와 모의치의 변화를 보여주고 있다.

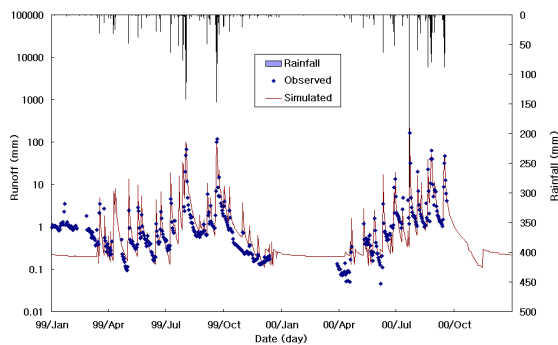


그림 4. 검정기간 동안의 강우량에 따른 유출량의 실측치와 모의치변화-SWAT모형

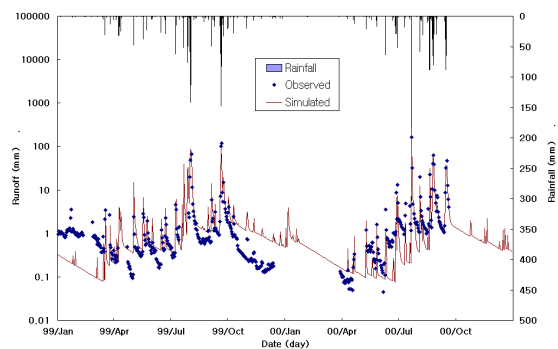


그림 5. 검정기간 동안의 강우량에 따른 유출량의 실측치와 모의치변화-HSPF모형

4. 결 론

오염총량 추정모형인 SWAT 모형과 HSPF 모형 각각의 유출특성을 비교분석하기 위하여 시험유역인 발안유역의 HP#6 소유역을 대상으로 수문 모니터링을 실시하였으며, GIS를 이용하여 시험유역에 대한 도형자료를 구축하였다. 획득된 자료를 이용하여 SWAT 모형과 HSPF 모형을 시험유역에 적용하고 유출량에 대하여 실측자료와 모형결과 자료를 통해 모형의 보정 및 검정을 실시하여 각 모형의 유출특성을 비교분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. NGIS 수치지도와 정밀토양도 등을 이용하여 소유역 하천도, 소유역경계도, 경사방향도, 토양도 등을 구축하였고, Landsat-5 TM 영상을 이용하여 토지이용도를 작성하였다.
2. SWAT 모형과 HSPF 모형을 1996년과 1997년 자료에 대하여 유출량에 대하여 보정한 결과 유출량은 HSPF 모형의 모의유출량이 SWAT 모형보다 실측치에 더 유사한 값을 보였으며, RMSE는 각각 2.14mm/day, 2.10mm/day였으며, RMAE는 0.43mm/day, 0.40mm/day, 결정계수(R^2)는 두 모형 모두 0.92로 비교적 모의치와 실측치가 유사한 경향을 보였다.
3. SWAT 모형과 HSPD 모형을 1999년과 2000년 자료에 대해 유출량에 대하여 검정한 결과 유출량은 HSPF 모형의 모의유출량이 SWAT 모형보다 실측치에 더 유사한 값을 보였으며, RMSE는 각각 5.19mm/day, 6.03mm/day였으며, RMAE는 0.48mm/day, 0.49mm/day, 결정계수(R^2)는 0.86, 0.84로 두 모형 모두 적용성이 있는 것으로 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술사업단의 연구비지원(과제번호 4-5-1)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 강문성, 2002. 인공신경망 원격 탐사기법과 비점오염모형을 이용한 오염총량 모의 시스템 개발, 서울대학교 박사학위논문.
2. 김상민, 2004. 비점오염 모형을 이용한 하수처리수 재이용에 따른 하수처리수 재이용에 따른 유역 오염총량 영향분석, 서울대학교 박사학위 논문.
3. 황하선, 윤춘경, 2002. SWAT과 HSPF의 유출특성 비교, 2002 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.457-460
4. Arnold, J. G. R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams, 1998. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment. Part I : Model Development, Journal of American Water Resources Association, 34(1), pp. 73-89.
5. Bicknell, B. R., J. C. Imhoff, J. L. Kittle, Jr, T. H. Jobses, and A. S. Donigan, Jr., 2001, Hydrologic Simulation Program -Fortran (HSPF) User's Manual for Version 12, U.S. Environment Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Athens, GA