

오염총량관리를 위한 HSPF 모형의 보정과 검증

Calibration and Verification of HSPF Model for Total Maximum Daily Loads

김상민*, 박승우**

Sang Min Kim, Seung Woo Park

요 지

본 연구에서는 미국 환경청에서 개발하여 유역 오염총량관리를 위한 수질모형으로 이용되고 있는 HSPF 모형을 선정하여 발안 HP#6 시험유역을 대상으로 모형의 적용성을 분석하였다. HSPF 모형을 이용하여 HP#6 시험유역에서 모형의 보정기간인 1996년부터 1997년까지 유출량을 모의한 결과, RMSE는 2.1mm, RMAE는 0.4mm, R^2 는 0.92로 모의되었으며, 모형의 검증기간인 1999년부터 2000년의 모의 결과 RMSE는 6.03mm, RMAE는 0.49mm, R^2 는 0.84로 모의되었다. 총질소에 대한 모형의 보정결과 RMSE는 0.086kg/ha/day, RMAE는 0.534kg/ha/day, R^2 는 0.812로 나타났으며, 모형의 검증결과 RMSE는 0.326kg/ha/day, RMAE는 0.708kg/ha/day, R^2 는 0.427로 분석되었다. 총인에 대한 모형의 보정결과 RMSE는 0.0117 kg/ha/day, RMAE는 0.622kg/ha/day, R^2 는 0.70으로 모의되었으며, 모형의 검증결과 RMSE는 0.063kg/ha/day, RMAE는 2.269kg/ha/day, R^2 는 0.756으로 분석되었다.

핵심용어 : HSPF, 오염총량관리

1. 서 론

수질모형(water quality model)은 오염물질이 물로 유입되어 하천, 호소, 또는 바다로 운송되는 중 생성, 소멸되는 물리적, 화학적, 생물학적 제반 과정과 상호작용, 환경과의 관계 등을 수학적으로 추정하기 위한 도구이다. 유역단위 수질모형으로는 ANSWERS(Beasley et al., 1981), SWRRB(Williams et al., 1985), HSPF(Johanson et al., 1984), AGNPS(Young et al., 1986), SWAT(Arnold et al., 1993) 등이 있다. 유역의 오염총량관리 위한 모형으로 미국 농무성(U.S. Department of Agriculture)에서 개발한 SWAT(Soil and Water Assessment Toll) 모형과 미국 환경청(U.S. Environmental Protection Agency, USEPA)에서 개발한 HSPF(Hydrological Simulation Program - Fortran) 모형이 각각의 목적에 따라 이용되고 있다.

유역의 오염총량관리를 위한 모형으로 미국 농무성(U.S. Department of Agriculture)에서 개발한 SWAT(Soil and Water Assessment Toll) 모형과 미국 환경청(U.S. Environmental Protection Agency, USEPA)에서 개발한 HSPF(Hydrological Simulation Program - Fortran) 모형이 각각의 목적에 따라 이용되고 있다. SWAT 모형은 미계측 지역의 비점원오염을 추정하기 위해 개발된 모형으로 다양한 토양, 토지이용 및 관리조건에 따른 대유역 및 복합토지이용을 갖는 유역에서의 수문, 유사량 및 농업화학적 성분량 등을 장기간 모의할 수 있는 분포형 모형이며 일별로 모의가 가능하다(Arnold et al., 1998). HSPF 모형은 준분포형, 개념적 모형으로 차단, 토양수분, 지표유출, 중간유출, 기저유출, 적설심, 수분함량, 융설, 증발산, 지하수 충전, 용존산소, 생물학적 산소 요구량, 온도, 농약, 대장균, 유사운송, 토립자 크기, 하천 홍수추적, 저수지 홍수추적, pH, 질소, 인, 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤 등을 모의한다(Bicknell et al., 2001).

본 연구의 대상유역으로는 1996년부터 현재까지 수문관측을 실시하고 있는 경기도 화성시 봉담읍과 팔탄면에 위치한 발안저수지 유역으로 선정하였다. 발안저수지 유역은 비교적 장기간의 수문자료와 강우자료를 보유하고 있어 다년간의 토지이용변화에 따른 수문환경변화를 분석하는 데 적절할 것으로 추정된다.

본 연구에서는 농촌유역의 오염총량 관리를 위해 시험유역을 대상으로 HSPF 모형의 보정과 검정을 통해 모형의 적용성을 검토한다.

*정회원 · 서울대학교 농업생명과학연구원, 공학박사 · E-mail : smkim97@plaza1.snu.ac.kr

**정회원 · 서울대학교 농공학과 교수 · E-mail : swpark@snulac.kr

2. HSPF 모형의 개요

HSPF(Hydrological Simulation Program - Fortran) 모형은 1960년대 초반 스탠포드 유역 모형(Stanford Watershed Model)으로 처음 개발되었다. 1970년대에는 수질 기작이 추가되었으며, 1970년대 후반에는 소프트웨어 공학 설계를 이용하여 몇 개의 모형을 연계하여 포트란(Fortran) 프로그램으로 개발하였다. 1980년대에는 전후처리 소프트웨어가 추가되었으며, USGS(U.S. Geological Survey)의 WDM(Watershed Data Management) 시스템이 USGS와 USEPA에 의해 공동으로 개발되었다. 1990년대에는 HSPF 모형의 매개변수를 추정하는 전문가 프로그램인 HSPEXP, 입출력 자료관리 시스템 WDMUtil, 사용자 편의 시스템을 이용하여 HSPF 모형을 손쉽게 구동하도록 개발된 HSPF 호환모형인 WinHSPF, HSPF 모형의 결과를 시각적으로 보여주기 위한 GenScn 모형 등이 개발되었다.

미국 환경청(USEPA)에서 개발된 HSPF 모형은 준분포형, 개념적 모형으로 차단, 토양수분, 지표유출, 중간유출, 기저유출, 적설심, 수분함량, 융설, 증발산, 지하수 충전, 용존산소, 생물학적 산소 요구량, 온도, 농약, 대장균, 유사운송, 토립자 크기, 하천 홍수추적, 저수지 홍수추적, pH, 질소, 인, 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤 등을 모의할 수 있다(Bicknell et al., 2001). HSPF 모형은 토지이용 변화, 저수지 운영, 점원 또는 비점원 오염 처리 대안 등에 대한 평가를 위해 이용되고 있다.

HSPF 모형은 WDM을 이용하여 입출력 자료의 전후처리 및 통계분석, 그래픽 지원 등을 제공하고 있다. 계산 시간 간격은 1분부터 1일까지 가능하며, 수분에서 수백년까지 기간에 대한 모의가 가능하며, 현재까지 수 ha 크기의 시험포장 단위에서 160,000km²의 Chesapeake만에 이르기까지 다양한 유역에 적용되었다(USGS, 2000).

3. 시험유역

HSPF 모형의 적용성을 평가하기 위하여 경기도 화성시 발안면과 팔탄면에 위치한 발안저수지 유역을 시험유역으로 선정하였다. 유역면적 29.79km²의 발안저수지 유역은 농업용 저수지인 기천저수지와 발안저수지를 포함하고 있다. 발안저수지 유역은 토지이용과 저수지 위치를 고려하여 7개의 소유역으로 구분되며, 소유역 구분과 소유역별 수문관측 지점의 위치는 그림 1에서 보는 바와 같다. 시험유역을 대상으로 1996년부터 서울대학교 농공학과에서 수문/수질 모니터링을 실시하고 있다. 본 연구에서는 모형의 적용성을 평가하기 위해 발안저수지 상단에 위치한 HP#6 소유역을 대상유역으로 하였으며, 유역 오염총량 수질모의를 위해 유역특성과 오염원을 조사하였다.

본 연구의 시험유역으로 선정된 발안저수지 유역의 HP#6 소유역의 유역면적은 385ha, 유로장은 3.088km, 유역면적을 본류의 유로장으로 나눈 형상계수는 1.562로써 다소 정방형이며, 최대기복량을 유로장으로

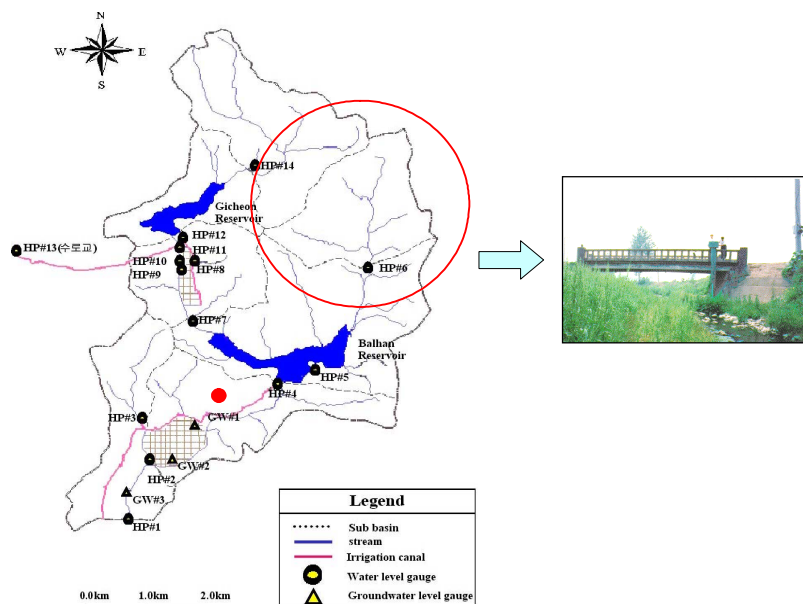


그림 1. 발안저수지 시험유역 개요도

로 나눈 기복량비는 0.0895, 유역경사는 0.0149m/m으로 조사되었다.

오염원 자료는 시험유역의 오염부하량을 예측하기 위하여 시험유역 내의 생활계, 축산계, 산업계 등으로 구분하여 해당 기관의 소장 자료와 현지답사를 통해서 기초 자료를 수집하여 정리하였다. 시험유역의 오염원은 2002년 봉담면 면사무소의 소장 자료와 현장 방문조사를 이용하여 인구, 축산, 산업계를 조사한 결과, 유역에 거주하는 인구는 2,237명, 한우 45두, 육우 24두, 유우 615두, 공장 38개소로 조사되었다.

4. 모형의 보정과 검정

4.1 유출

본 연구에서는 모형의 보정을 위해 1996년부터 1997년까지의 자료를, 모형의 검정을 위해 1999년부터 2000년까지의 자료를 이용하였다. 다음의 그림 2는 자료의 보정기간에 대한 유출량의 모의결과를 실측치와 비교하여 보여주고 있다. 다음의 그림 3과 그림 4는 유출에 대한 모형의 보정과 검정 결과를 보여주고 있다. 유출에 대한 모형의 보정결과 RMSE는 2.1mm/day, RMAE는 0.40mm/day, R^2 는 0.92로 나타났으며, 모형의 검정결과 RMSE는 6.03mm/day, RMAE는 0.49mm/day, R^2 는 0.84로 나타났다.

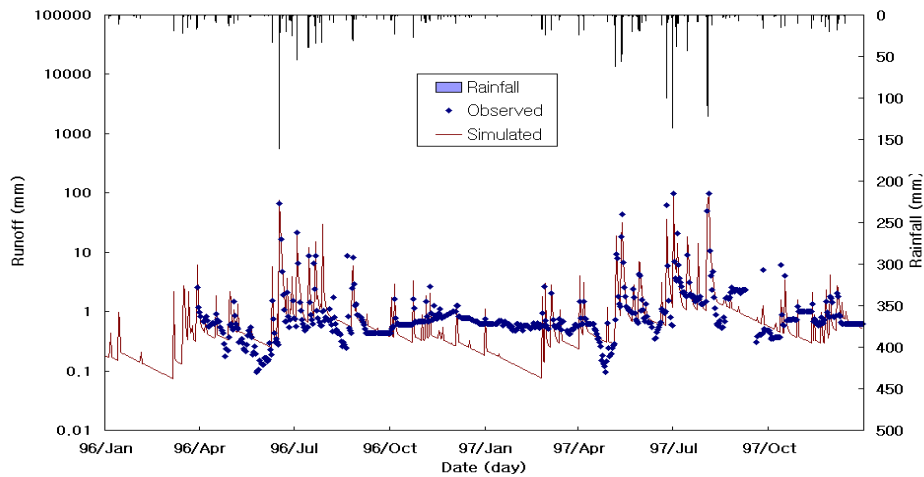


그림 2. 모형의 보정기간에 대한 유출량 비교

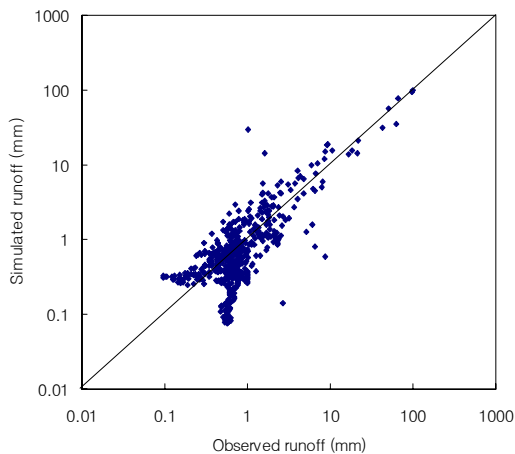


그림 3. 유출 보정결과

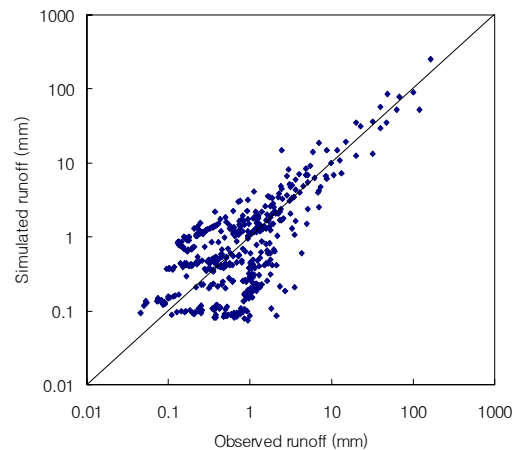


그림 4. 유출 검정결과

4.2 영양물질

영양물질에 대한 모형의 보정과 검정은 총질소와 총인에 대하여 유출과 같은 자료기간에 대해 실시하였다.

4.2.1 총질소

다음의 그림 5와 그림 6은 총질소에 대한 모형의 보정과 검정 결과를 보여주고 있다. 총질소에 대한 모형의 보정결과 RMSE는 0.086kg/ha/day, RMAE는 0.534kg/ha/day, R^2 는 0.812로 나타났으며, 모형의 검정결과 RMSE는 0.326kg/ha/day, RMAE는 0.708kg/ha/day, R^2 는 0.427로 분석되었다.

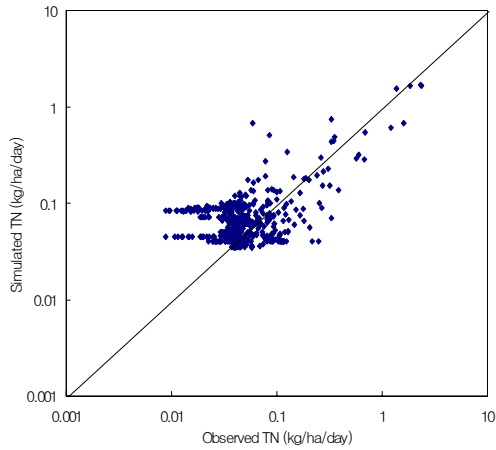


그림 5. 총질소 보정결과

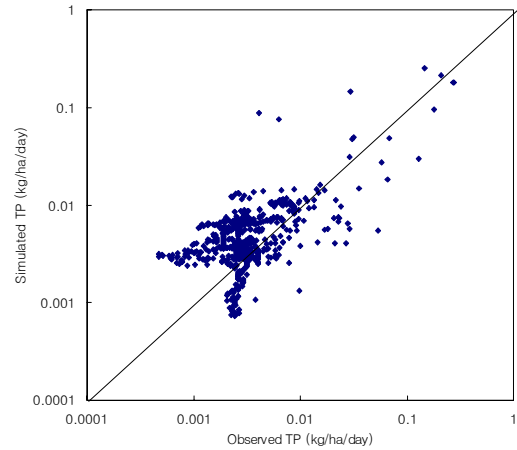


그림 6. 총질소 검정결과

4.2.2 총인

다음의 그림 7과 그림 8은 총인에 대한 모형의 보정과 검정 결과를 보여주고 있다. 총인에 대한 모형의 보정결과 RMSE는 0.0117 kg/ha/day, RMAE는 0.622kg/ha/day, R^2 는 0.70으로 모의되었으며, 모형의 검정결과 RMSE는 0.063kg/ha/day, RMAE는 2.269kg/ha/day, R^2 는 0.756으로 분석되었다.

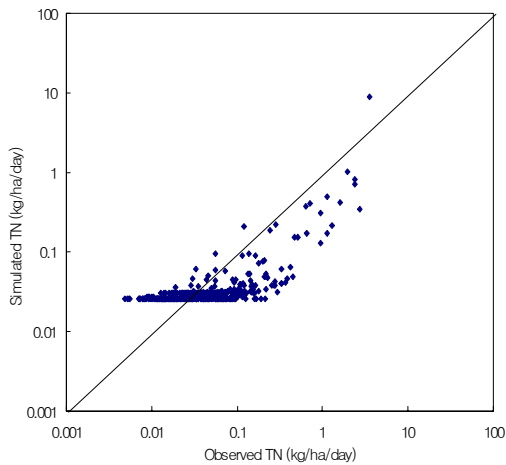


그림 7. 총인 보정결과

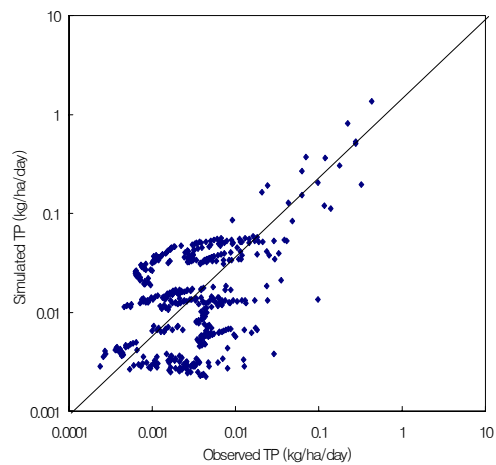


그림 8. 총인 검정결과

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 유역 오염총량관리를 위한 수질모형으로 이용되고 있는 HSPF 모형을 이용하여 시험유역을 대상으로 모형의 적용성을 검토하였다. 본 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

① 미국 환경청에서 개발하여 유역 오염총량관리를 위한 수질모형으로 이용되고 있는 HSPF 모형을 선정하여 발안 HP#6 시험유역을 대상으로 모형의 적용성을 분석하였다.

② 시험유역을 대상으로 수문, 수질 자료를 수집하였다. 또한, 1/5000 NGIS 자료, Landsat-5 TM 영상자료, 1/25,000 정밀토양도를 이용하여 모형의 구동을 위한 지형자료를 구축하였다.

③ HSPF 모형을 이용하여 HP#6 시험유역에서 모형의 보정기간인 1996년부터 1997년까지 유출량을 모의한 결과, RMSE는 2.1mm, RMAE는 0.4mm, R^2 는 0.92로 모의되었으며, 모형의 검정기간인 1999년부터 2000년의 모의 결과 RMSE는 6.03mm, RMAE는 0.49mm, R^2 는 0.84로 모의되었다.

④ 총질소에 대한 모형의 보정결과 RMSE는 0.086kg/ha/day, RMAE는 0.534kg/ha/day, R^2 는 0.812로 나타났다. 모형의 검정결과 RMSE는 0.326kg/ha/day, RMAE는 0.708kg/ha/day, R^2 는 0.427로 분석되었다.

⑤ 총인에 대한 모형의 보정결과 RMSE는 0.0117 kg/ha/day, RMAE는 0.622kg/ha/day, R^2 는 0.70으로 모의되었으며, 모형의 검정결과 RMSE는 0.063kg/ha/day, RMAE는 2.269kg/ha/day, R^2 는 0.756으로 분석되었다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 김상민, 2004. 비점오염 모형을 이용한 하수처리수 재이용에 따른 유역 오염총량 분석, 서울대학교 박사 학위 논문
2. 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.
3. Beasley, D. B., and L. F. Huggins, 1981. ANSWERS Users Manual, EPA 905/9-82-001, U.S. Environmental Protection Agency, Chicago, IL.
4. Bicknell, B. R., J. C. Imhoff, J. L. Kittle, Jr., T. H. Jobes, and A. S. Donigan, Jr., 2001. Hydrologic Simulation Program - FOTRAN (HSPF) User's Manual for Version 12, U.S. Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Athens, GA
5. Johanson, R. C., J. C. Imhoff, J. L. Kittle, and A. S. Donigan, 1984. Hydrologic Simulation Program - FOTRAN (HSPF): User's Manual, Release 8, EPA 600/3-84-006, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.
6. Williams, J. R., A. D. Nicks, and J. G. Arnold, 1985. Simulator for Water Resources in Rural Basins, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 111(6), pp. 970-986.
7. Young, R. A., et al., 1986. Agricultural Nonpoint Source Pollution Model: A Watershed Analysis Tool, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Morris, MN.
8. U.S. Geological Survey (USGS), 2000. Water Resources Applications Software: HSPF, <<http://water.usgs.gov/software/hspf.html>>