

# 임하·안동 유역에서 탁수 관리를 위한 SWAT 및 HSPF 모형 적용 및 비교 분석

Application and Comparative Analysis of SWAT and HSPF for  
Developing Turbidity Management in Imha-Andong Watershed

손경호\*, 이혜숙\*\*, 김정곤\*\*\*, 김익재\*\*\*\*  
Kyongho Son, Hyi Suk Lee, Jeongkon Kim, Ikjae Kim

## 요    지

유역에서 토사유실로 인한 고농도 탁수의 발생은 현장조사와 수치모형 해석으로 평가될 수 있다. 하지만 현장조사로는 토사유실을 정량화하기에는 제한적이므로 수치모형의 적용이 요구된다. 토사유사예측을 위한 모형 적용 시, 시공간 분석을 위해서 물리적 기반 분포형 혹은 준 분포형 모형이 선호된다. 본 연구에서는 임하·안동 유역의 유출 및 토사유실 분석을 위하여 SWAT 모형 및 HSPF 모형을 적용하였다. 두 모델의 유량 검·보정은 유역 내에 수위 관측 자료(1999년~2006년)를 이용하였으며 유사농도는 2006년 하절기 현장 조사를 통해 보정되었다. SWAT 모형의 일별 유출량 변화에 대한 Nash-Sutcliffe 효율계수는 0.43~0.76의 범위로 전반적으로 측정 유량을 잘 모의하는 것으로 나타났다. HSPF 모형은 SWAT 모형과 마찬가지로 높은 효율의 일별 유출량 예측성을 보였다. 그러나 두 모델은 모두 유량을 과소산정 하였다. 두 모형의 그래픽 분석결과 측정 유사 농도를 잘 모의하였고, 특히 HSPF 모형은 강우사상에 따른 시간별 실측값의 경향을 잘 예측하였다. 두 모형의 예측성 비교 시, 유출량은 SWAT 모형이 HSPF 모형이 비해 더 잘 모의하였으며 유사 농도는 HSPF 모형이 더 높은 정확성을 보였다. 본 연구의 결과는 향후 각 소유역별로 탁수를 유발하는 토사 유실량 평가, 유역의 토사유실 저감대책 효과분석 및 저수지 모형과의 연계를 통한 유입된 탁수의 효율적인 관리대책 수립에 이용될 것으로 사료된다.

핵심용어 : 임하·안동유역, 탁수예측, SWAT, HSPF, 유출 및 부유사량 산정

## 1. 서 론

수자원 관리에서 양적 관리 뿐만 아니라 질적인 측면의 중요성도 강조되고 있다. 최근 일부 저수지에서 기상이변으로 인한 집중 호우 발생시 높은 농도의 탁수 발생으로 저수지 하류 부분의 민원 제기 및 여러 사회적 관심을 불러 일으키고 있다. 대표적인 사례로 임하 댐 하류 지역으로써, 2002년 태풍 '루사'와 2003년 태풍 '매미'로 인해 발생한 탁수가 전도현상을 거치며 저수지내 전수층에 확산됨으로써 댐방류수의 고탁도 현상이 장기화된 바 있다. 유역내에 발생한 고탁수는 저수지로 유입됨으로써 용수 공급에 지장을 초래하고, 수환경 악화 및 댐 하류 지역의 정수비용 부담을 가중시키는 등 사회, 경제적으로 여러 가지 문제를 일으키고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서, 두 가지 방법이 제시되고 있다. 첫 번째는 저수지 내의 탁수 및 하류 하천내로의 방류수 관리를 위해서는 우선적으로 댐 상류 유역에서 유입되는 유사량 저감이 요구되므로, 유사량에 대한 양적 평가 및 해당 유역의 토지이용의 최적 관리 지침 수립(한국수자원공사, 2005)과 두 번째는 댐에 유입되는 고탁수의 처리를 위해서 댐 방류부분에 설치된 취수탑을 이용한 선택 방류를 통한 탁수 문제를 경감시키려는 시도가 이루어지고 있다(이상욱, 2007).

\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 연구원 공학석사 E-mail : kkyong77@hotmail.com

\*\* 비회원·한국수자원공사 수자원연구원 연구원 공학석사 E-mail : yihs@kwater.or.kr

\*\*\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 공학박사 E-mail : jkkim@kwater.or.kr

\*\*\*\* 비회원·한국수자원공사 수자원연구원 연구원 공학박사 E-mail : ikjae.kim@gmail.com

본 연구 대상 유역인 임하·안동유역은 최근 집중강우에 의한 고타수의 발생으로 사회적으로 많은 관심과 문제를 불러일으키고 있다. 이에 대한 대책을 마련하기 위해 한국 수자원공사는 2005년부터 향후 2007년까지, 임하·안동댐 상류지역에 유역모형들(SWAT, HSPF)을 이용한 토사량 평가 및 저감·효감 분석을 실시하고, 호내 탁수 분석과 효과적인 관리를 위해 2차원 동적 모형, CE-QUAL-W2 모형을 구축하며, 댐 하류 방류 탁도 전파 양상, 방류 탁도 혼합 양상들의 분석하기 위해 동적 수질 모의를 실시하고 있다(한국 수자원공사, 2006). 본 연구에서는 이중 댐상류부에서 하천으로 통해 흘러 들어오는 부유사량을 추정하기 위해 유역 탁수예측모형(SWAT, HSPF)을 구축하여 향후 저수지로 유입되는 부유사량을 정량화하고 유역 내 침식에 취약한 지역을 판별에 필요한 시스템 개발의 기초자료를 분석하고자 하였다. 이를 위해서 임하·안동유역에 구축된 지형정보자료(토양도, 토지이용도, DEM)와 기상자료를 바탕으로 모형을 구축하였고, 모형의 보정 및 검증은 각 소유역에서 측정된 지표수 유출량과 부유사량을 이용하여 실시하였다. 유출량에 대한 모형의 검보정은 시간별(HSPF 모형), 일별(SWAT 모형) 관측값을 적절하게 모의 정확성을 평가 하였다.

## 2. 모형 및 유역현황

본 연구에서는 임하·안동 유역의 유출 및 토사유실 분석을 위하여 SWAT2000 (Luzio et al., 2002) 및 Win-HSPF (ver. 2.3) 모형(Bicknel et al., 1993)이 구축되었다. 두 모형의 기본 입력 정보 (소유역, 수치고도, 토지피복도, 유량 및 탁수 관측지점 등)는 동일한 자료가 사용되었고 수치고도 모형 간격(DEM)은 60m, 토지피복도는 대분류(1:250,000), 토양도는 개략 토양도(1:250,000)가 사용되었다. 기타 시계열 측정자료(기상, 유량, 부유사농도 샘플링자료)는 SWAT 모형에는 일별로 HSPF 모형에는 시간별자료가 사용되었다. 소유역은 유량 관측점(임하 2지점, 안동 3지점)을 중심으로 먼저 분할하여 임하 유역은 35개, 안동 유역은 19개로 나뉘었다.



Fig. 1. Survey Locations of Rainfall, Stream Flow and SS in Soyang River catchment

### 3. 결과 및 토의

모형 예측치는 1999년도를 warming-period로, 2003~2004년을 모형의 보정 기간으로, 2005~2006년도를 검증기간으로 측정 유량 변화 값과 비교 분석되었다. 봉화 지점의 경우, 2003년까지만 관측 자료가 가용하므로, 보정기간을 2000~2001년, 검증기간을 2002~2003년으로 하였다. 모형의 유출량 예측성에 대한 평가를 위해서 그래프을 통한 결과분석 외에 다음과 같이 통계적 방법인 Nash-Sutcliffe식(Nash and Sutcliffe, 1970),  $R_{eff}$ 와  $R^2$ 을 이용하였다.

$$R_{eff} = 1 - \frac{\sum_i^n (Q_{obs,i} - Q_{pred,i})^2}{\sum_i^n (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (1)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\left( \sum_i^n Q_{obs,i} \times Q_{pred,i} - n \overline{Q_{obs}} \times \overline{Q_{pred}} \right)^2}{\left( \sum_i^n Q_{obs}^2 - n \overline{Q_{obs}}^2 \right) \left( \sum_i^n Q_{pred}^2 - n \overline{Q_{pred}}^2 \right)} \quad (2)$$

여기서  $Q_{obs,i}$ 는 i일에 관찰된 유량의 값,  $Q_{pred,i}$ 은 i일에 예측된 모형 유량 값,  $\overline{Q_{obs}}$ 은 평균 관측 값,  $\overline{Q_{pred}}$ 은 평균 모형 예측 값, 그리고 n은 계산된 기간을 의미한다.

유출량 모의 결과에 대한 검·보정 후, 부유사 농도에 대한 모형의 재현성 평가를 수행하였다. 부유사 농도는 일별 최대 8회, 최소 1회 측정되었다. 모형의 예측 정확도는 통계적 계수(Nash-Sutcliffe)와 그래프 비교를 통해서 평가되었다. 두 유역 모형의 일별, 시간별 검·보정 결과, 각 유역에서 전반적으로 측정 유량 값을 잘 재현하는 것으로 나타났다. 그러나 두 모형 모두 일부 큰 강우 발생에 따른 높은 유량 모의 기간에는 모형 예측 값이 과소산정되는 것으로 나타났다. 일별 유출량에 대한 검·보정 결과에 대한 통계치를 비교해 보면, 임하유역에서  $R_{eff}$ 은 0.54 ~ 0.76,  $R^2$ 은 0.53 ~ 0.79이었고, 안동유역에서는 각각 0.45 ~ 0.64 그리고 0.50 ~ 0.80으로 분석되었다.

부유사 보정을 위한 실측자료는 3개 지점(도산-안동유역; 영양, 청송-임하유역)의 2006년 7월 총 3개 강우사상에 대한 실측값을 이용하였다. CN 유출 산정법을 따른 SWAT 모형의 모의 최소 단위는 일별 간격이므로 모형 값과 측정된 시간별 부유사 농도 값을 비교하기 위해 최대, 중간, 최소 값으로 환산하여 모형 보정에 이용하였다. SWAT 모형은 측정된 부유사 농도의 양상을 대체적으로 잘 모의한다. 시간에 따른 부유사 농도의 보정결과 HSPF 모형 예측값이 실측값의 최고 농도 및 경향을 잘 모의하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 SWAT 모형이 일별 모의만 가능하기에, 시간별 모의가 가능한 HSPF 모형과의 객관적 비교가 어려운 점과 향후 저수지 모형과의 연계를 위해서 시간별 모의가 필요할것이다. 그러므로 향후 SWAT 모델의 시간별 모의에 대한 연구와 실측치에 대한 보완이 이루어진 후에, 두 모델의 지속적인 보정을 수행하여 정확한 비교가 이루어지도록 해야 할 것이다.

두 모형의 결과를 비교분석하기 위하여 HSPF 모형의 시간별 예측결과를 일별로 환산하여 SWAT 모형의 일별 예측결과와 비교하였다. 각 지점에서 부유사 농도는 유량 가중평균치 농도로 환산하였으며 그래프 기법으로 두 모형의 재현성을 비교하였다. 분석 결과로 두 모형 모두가 전반적으로 측정값을 잘 모사하고 있는 반면, 측정지점과 시기별 차이는 있었으나, SWAT 모형이 HSPF 모형보다 측정 유량을 더 잘 모의하였고 함을 확인할 수 있었다(Fig. 2a). 반대로 부유사 농도는 HSPF 모형이 더 적절하게 측정 농도값을 잘 모의하였다(Fig. 2b).

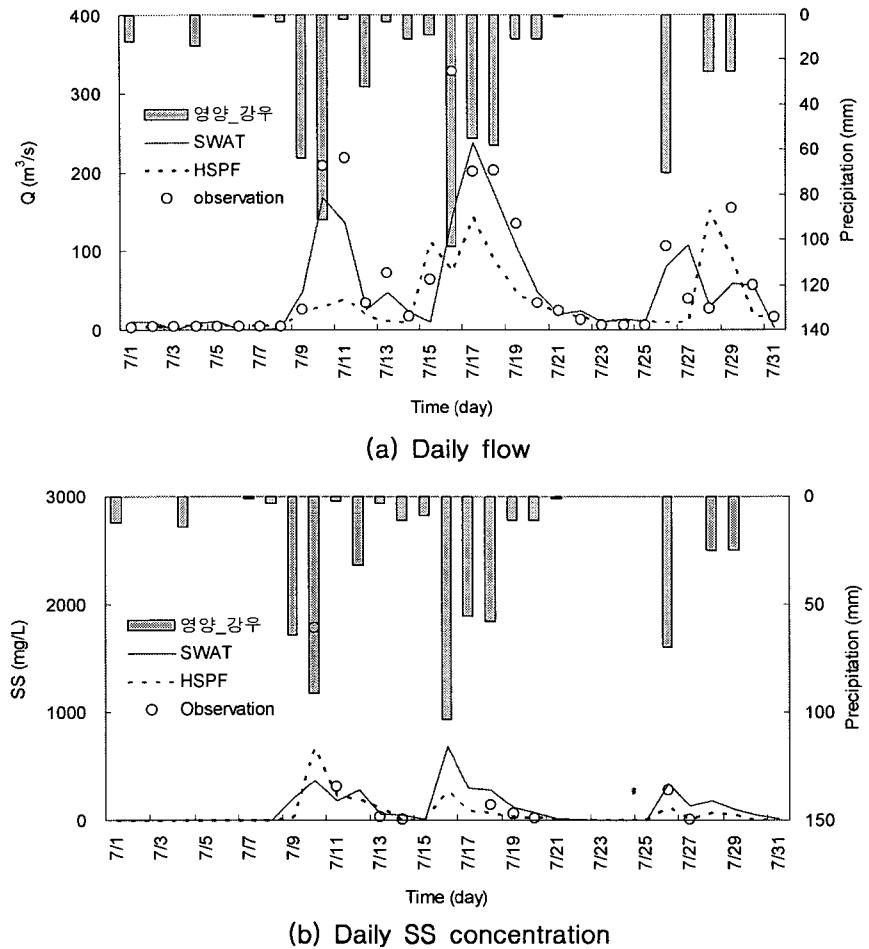


Fig. 2. Comparison of daily discharge and Suspended sediment concentration for SWAT and HSPF in Yongyang gauging station

#### 4. 결 론

본 연구에서는 임하안동유역의 유출 및 토사유실 분석을 위하여 SWAT 모형 및 HSPF 모형을 구축하였다. SWAT 모형의 적합성 평가는 통계적 계수(Nash-Sutcliffe)와 그래픽 비교를 통해서 이루어 졌다. 정확한 유역 현황 분석 및 향후 탁수관리 시스템의 유역 모형 선정을 위해서 SWAT 모형과 HSPF 모형의 비교 분석결과, 전반적으로 유출의 경우 SWAT 모형이 유출을, HSPF 모형이 부유사 농도를 더 적절히 산정하였다. 본 연구결과는 향후 유역의 토사유실 저감대책 효과분석 및 저수지 모형과의 연계를 통한 유입된 탁수의 효율적인 관리대책 수립에 이용될 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 이상욱, 김정곤, 노준우, 고익환(2007). CE-QUAL-W2 모델을 이용한 임하호 선택배제시설의 효과분석, 물환경학회, 제 23권 제 2호, pp. 228-235.
2. 한국수자원공사(2004a). 임하댐 탁수저감 방안수립 최종보고서.
3. 한국수자원공사(2006). 저수지 연계운영을 통한 탁도관리방안 연구

4. Bicknel, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J.L., Donigian, A.S., Johanson, R.C. (1993). Hydrological Simulation Program-FORTRAN User's Manual for Release 12, U.S. Environmental Protection agency, Environmental Research Laboratory, Athens, GA.
5. Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, Vol. 10, pp. 282–290.
6. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. and Williams, J. R. (2002). Soil and Water Assessment Tool User's Manual Version 2000.