

SWAT-K와 HSPF를 이용한 충주댐 유역의 수문성분 특성비교

A Comparison of SWAT-K and HSPF for Hydrologic Component Analysis in Chungju Dam Watershed

김남원*, 신아현**, 김철겸***

Nam Won Kim, Ah Hyun Shin, Chul Gyum Kim

요 지

본 연구에서는 대표적인 준분포 장기유출모형으로 널리 쓰이는 SWAT-K와 HSPF를 이용하여 충주댐유역을 대상으로 2000년부터 2006년까지의 총유출량 산정을 산정하고, 두 모형간의 총 유출량 차이를 분석하기 위해 증발산량, 지표유출량, 중간유출량, 기저유출량 등 각 수문성분별 모의결과를 비교하고, 모형별 유출특성을 분석하였다. 모의기간 연평균 유출량은 SWAT-K는 관측치에 비해 약 2%과다, HSPF는 약 3%과소하게 모의되었고 모형의 적용 타당성을 가늠할 수 있는 결정계수는 SWAT-K가 0.78, HSPF가 0.88로 나타났다. 수문성분별로 모의치를 비교한 결과 중간 유출은 SWAT-K가, 지하수유출은 HSPF가 크게 산정되는 등 수문성분별 크기에 차이를 드러냄에 따라, 각 모형에서 수문성분을 도출하는 구조의 차이와 계산과정 등의 상세한 비교분석이 필요한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 준분포 장기유출모형, SWAT-K, HSPF, 수문성분

1. 서 론

수자원의 보존 및 효율적 관리와 오염총량관리체제의 목표수질 달성을 위해 유역의 장기적인 유출분석은 매우 중요하다. 장기유출분석은 장기적인 조사를 바탕으로 정량화 되어야하지만 시간과 비용의 경제성을 고려하였을 때 유출모형을 이용하는 것이 효율적이다. 국내에서 대표적으로 사용되고 있는 장기유출모형은 TANK, PRMS, SWAT, HSPF 등이 있다. 이 중에서 특히 SWAT과 HSPF는 준분포 유역유출모형으로서 널리 사용되고 있다.

SWAT (Soil and Water Assessment Tool)모형은 미국 농무성 (U.S. Department of Agriculture)에서 미계측 지역의 비점오염원을 추정하기 위하여 개발된 모형으로써 SWAT-K (Korea)는 기존의 모형을 국내 실정에 적합하도록 인위적, 자연적인 물순환 구조변화와 지표수-지하수 연계 해석 등을 개선하여, 강우·증발산·토양수분·지표수·지하수의 시공간적 분포를 정량적으로 산정 가능한 특징이 있다 (한국건설기술연구원, 2007). HSPF (Hydrological Simulation Program-FORTRAN)는 강우로 인한 비점오염물질의 유출과정을 하천 내에서의 수리학적 현상, 퇴적물, 화학물질의 상호작용과 결합시켜 모의할 수 있는 유역모형과 수질모형이 결합된 형태를 취하고 있다. 두 모형은 모두 GIS 프로그램과 연계되어 유역의 분석시간을 줄이고 다양한 정보를

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수문연구실 책임연구원 · E-mail : nwkim@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 수문연구실 연구원 · E-mail : znsin48@kict.re.kr

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수문연구실 선임연구원 · E-mail : cgkim@kict.re.kr

손쉽게 획득할 수 있으며, 일반적으로 SWAT은 농촌이나 산지에 주로 적용되는 농촌모형이며, HSPF는 도시 및 농촌 산지에 모두 적합한 혼합모형으로 알려져 있다. 본 연구에서는 충주댐 상류유역에 대해 HSPF와 SWAT-K모형을 비교하기 위한 기초 연구로서 각 수문성분별 모의결과를 비교분석하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상유역

본 연구의 대상지역인 충주댐 상류유역은 유역면적 약 6,648 km²로 남한강 유역의 약 50%를 차지하고 있으며, 유로연장 375 km, 평균표고 EL.607 m로 전형적인 산림지역으로 분류된다. 행정구역상으로 강원도, 충청북도, 경상도의 3개도, 13개 시·군으로 구성되어 있으며 동강, 평창강, 주천강, 서강과 골지천, 지장천, 옥동천 등을 포함하고 있다(그림 1).

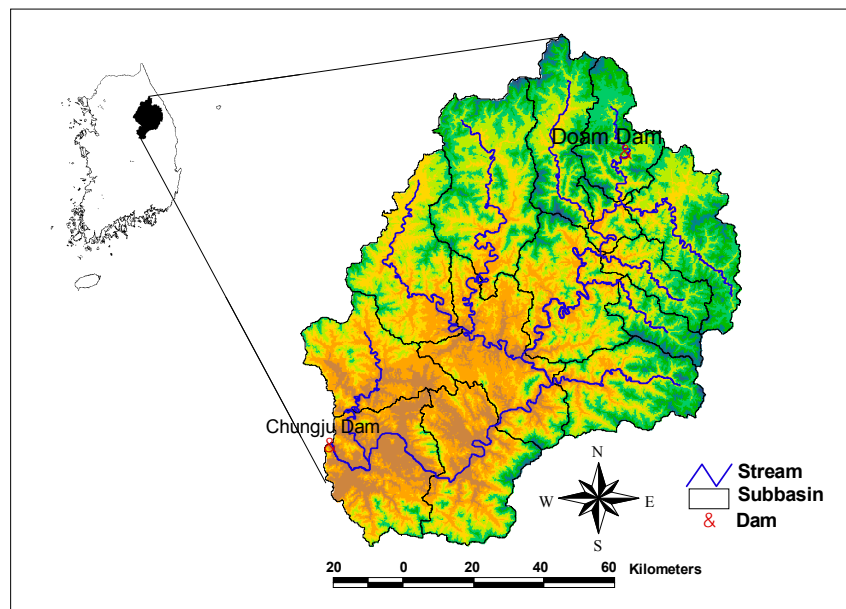


그림 1. 연구대상지역

2.2 입력자료구축

본 연구에서 SWAT-K와 HSPF를 적용하기 앞서 하천도, 유역도, 토지이용도, 수치고도모형 (DEM), 토양도 등의 GIS자료를 구축하였다. 환경부 수질측정망과 건교부 수위관측소, 수치고도모형(DEM)을 기준으로 유역을 14개 소유역으로 분할하였고, 토지이용도는 각 모형의 특성에 맞게 SWAT-K는 15개, HSPF는 7개로 분류하였다. SWAT-K의 경우 HRU 생성을 위한 토지이용과 토양특성 임계면적 비율은 3%로 설정하여 총 406개의 HRU를 생성하였다. 기상자료는 대관령, 동해, 원주, 영월, 충주, 제천, 태백, 제천, 영주 등 8개의 기상관측소의 1990-2006년 자료를 기상청으로부터 제공받았다. 이 기상자료를 Thiessen법에 의하여 분할하여 각 모형의 입력형식에 맞게 변환하여 입력하였다. 본 연구에 사용한 모든 입력자료는 비교의 정확도를 높이기 위해 모형의 특성에 따라 입력방식의 차이는 있지만, 두 모형 모두 같은 기간, 동일한 자료를 사용하였다.

3. 적용결과 및 분석

3.1. 유출량 분석

유출량 분석을 위한 모의기간은 2000-2006년으로 초기 모의시 발생하는 결과값의 불안정화를 배제하기 위하여 1998년부터 2년 동안의 warming up 기간을 고려하여 모의를 수행하였다. 유역의 최종 출구점인 충주댐 지점의 한강홍수통제소 수문조사연보의 일단위 유량자료를 이용하여 관측치와의 비교가 이루어졌고, 각 모형의 매개변수 보정은 유출량에 비교적 큰 영향을 주는 인자를 중심으로 총유출량과 침투유량에 변위가 큰 변수부터 수정하였다. 모의 결과 전체 기간 연평균 유출량은 SWAT-K가 838 mm, HSPF가 771 mm로 평균관측치 811 mm에 비하여 SWAT-K는 약 2%과다하게 모의되었고, HSPF는 약 3%과소하게 모의되었다 (그림 2). 모형의 적용 타당성을 가늠할 수 있는 결정계수는 SWAT-K가 0.78, HSPF가 0.88로 계산되어 모의치가 관측치에 높은 적합성을 보이는 것으로 분석되었다 (그림 3).

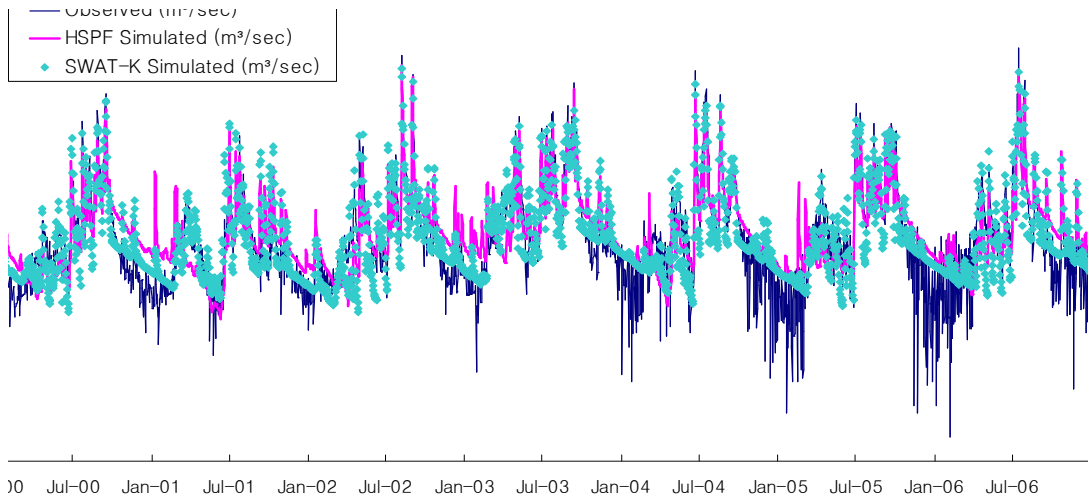
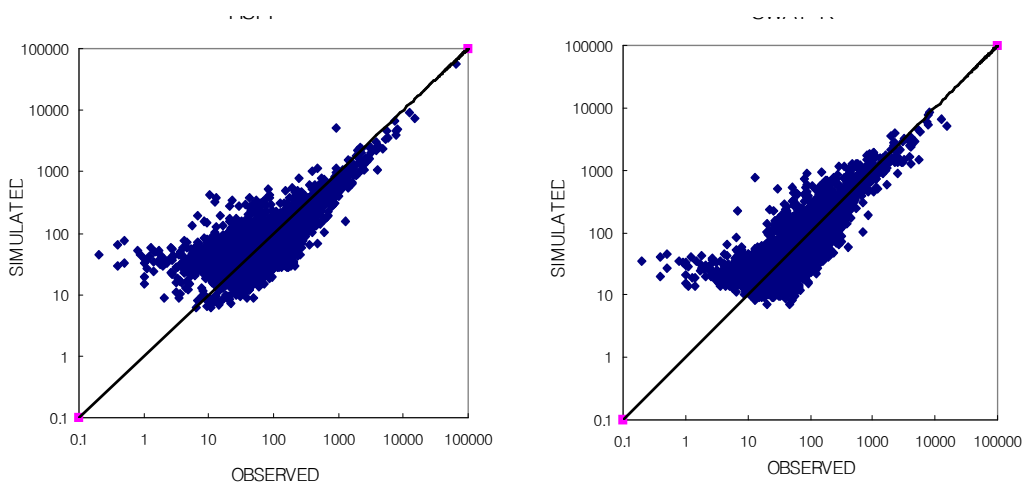


그림 2. SWAT-K와 HSPF의 총유출량 비교



(a) HSPF ($R^2=0.88$)

(b) SWAT-K ($R^2=0.78$)

그림 3. SWAT-K와 HSPF의 총유출량 1:1 비교

3.2. 수문성분별 분석

총 유출량의 모의 결과 두 모형 모두 모의치가 관측치를 근사하게 재현하였다. SWAT-K의 경우 침투 유량에 비하여 기저유출 모의 능력이 우수하였고, HSPF의 경우 기저유출 모의 능력이 다소 부족한 데 비하여 침투유량 모의 능력이 높은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 이와 같은 두 모형의 유출해석능력 차이의 원인을 규명하기 위하여 수문성분별 (증발산량, 지표유출량, 중간유출량, 지하유출량) 모의치를 비교하였다 (그림 4).

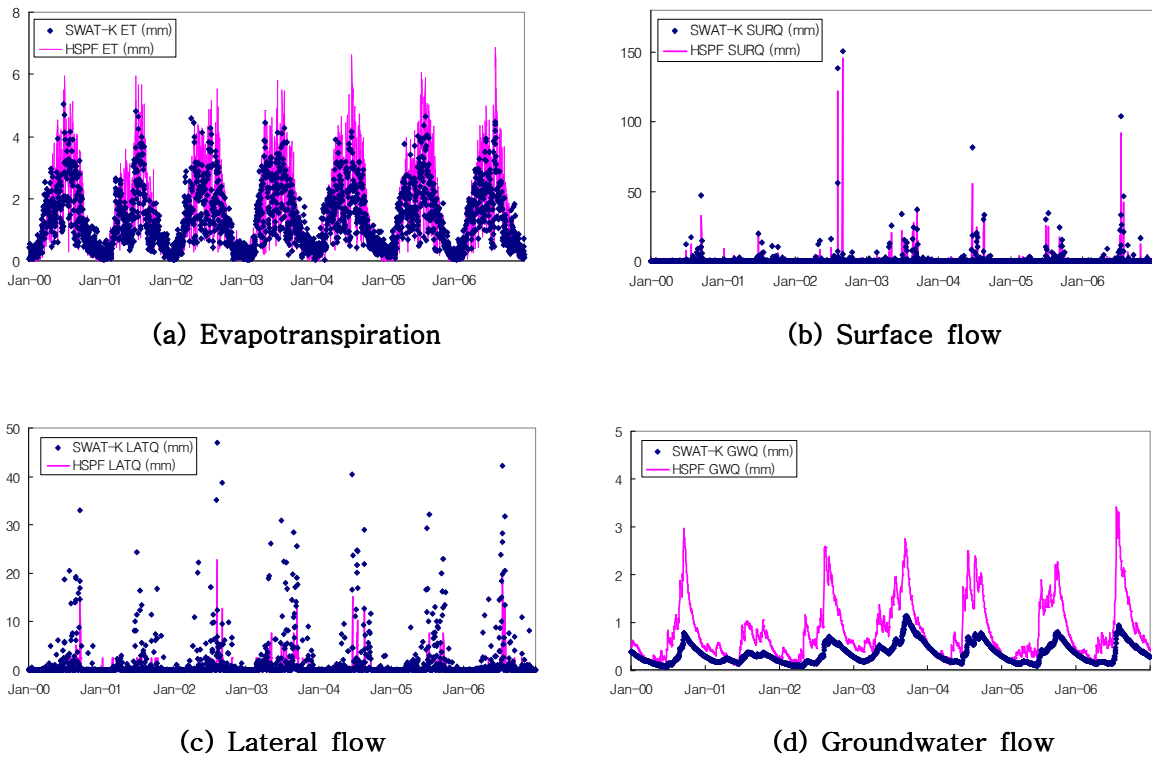


그림 4. 수문성분별 모의결과 비교

수문성분별 모의에서 증발산량은 비교적 근사한 값을 보였으나 실제증발산량의 산정을 위해 선행되어야 하는 잠재증발산량의 산정에 있어서 SWAT-K는 Penman-Monteith식을 사용하고, 국내 실정에 맞게 식생의 영향과 침엽수의 특성을 고려하는 반면, HSPF는 온도만을 변수로 하는 Jensen-Haise식을 사용하기 때문에 여름철 고온에 의해 증발산량이 다소 높게 산정되고, 겨울철에는 증발산량이 낮게 산정되어 겨울철 유출이 높아지는 것으로 판단된다. 중간 유출은 HSPF가 SWAT-K에 비해 매우 과다한 산정결과를 보인 반면, 지하수유출은 HSPF의 경우 더 크게 산정되었다 (그림 5).

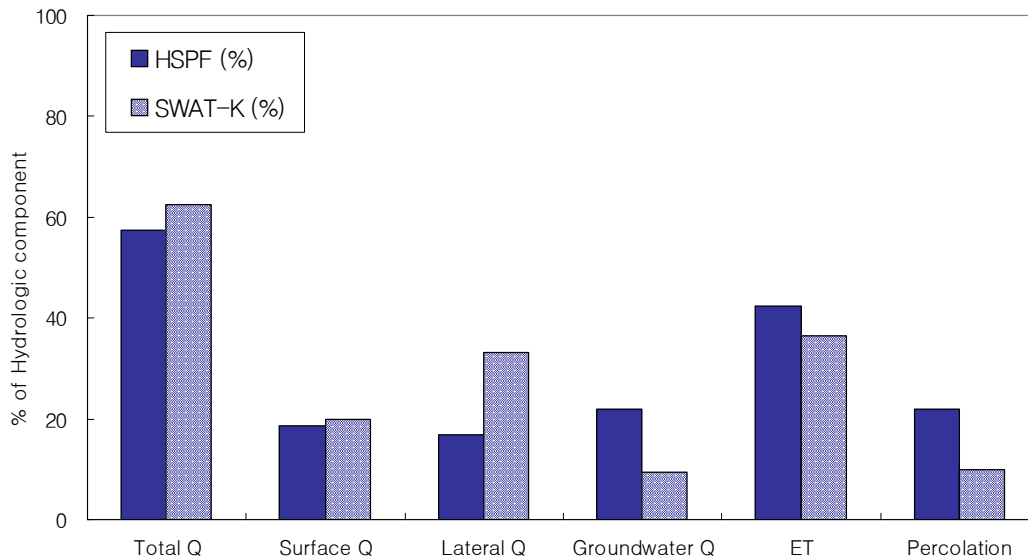


그림 5. 수문성분별 분석 결과

4. 결론

본 연구에서는 충주댐 유역을 대상으로 대표적인 준분포형 장기유출모형인 SWAT-K와 HSPF 모형의 유출량 모의 능력을 비교하였다. 두 모형 모두 관측치와 비교할 때 총유출량은 매우 근사하게 모의하였으나 침투 유량과 기저 유량 모의결과는 다소 큰 차이를 나타냈다. 모의 결과 전체 기간 연평균 유출량은 SWAT-K는 관측치에 비해 약 2%과다, HSPF는 약 3%과소하게 모의되었고 모형의 적용 타당성을 가늠할 수 있는 결정계수는 SWAT-K가 0.78, HSPF가 0.88로 나타났다. 수문성분별로 모의치를 비교한 결과 중간 유출은 SWAT-K가, 지하수유출은 HSPF가 크게 산정되는 것으로 나타나 두 모형의 구조적 차이를 드러냄으로써, 각 모형에서 수문성분을 도출하는 구조의 차이와 계산과정 등의 상세한 비교분석이 필요한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 김철겸, 이정은, 김남원, (2007). 충주댐 상류유역의 유사 발생에 대한 시공간적인 특성, 한국수자원학회 논문집 40: 887-898.
2. 한국건설기술연구원 (2007) 지표수 수문성분 해석 시스템 개발, 2단계 연구보고서.
3. Singh, J., Knapp, H. V., Arnold, J. G., Demissie, M. (2004), Hydrological Modeling of the Iroquois River Watershed Using HSPF and SWAT, *Journal of the American Water Resources Association*, 41(2), pp.343-360.