

SWAT 모형을 이용한 증발산 및 유출 성분의 해석

-설마천 유역을 대상으로-

Analysis of Evapotranspiration and Runoff Component

by Using SWAT Model

-for Seolma-cheon Watershed-

조형경*, 이지완**, 신형진***, 정인균****, 김성준*****

Hyung Kyung Joh, Ji wan Lee, Hyung Jin Shin, In kyun Jung, Seong Joon Kim

요 지

본 연구는 설마천 유역(8.54km²)을 대상으로 준분포형 장기강우유출모형인 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형을 이용하여 유역의 수문학적 거동 특성을 규명하고자 하였다. SWAT모형의 적용을 위하여 지형자료(DEM, 토지이용도, 토양도)와 수문 및 기상관측자료를 이용하였다. 유출량, 증발산량에 대하여 각각 보정 및 검증을 통해 모형의 적용성 평가를 실시하였으며 그 결과 유출 및 증발산의 경향은 실측치의 경향과 비교적 비슷하였으나, 통계적인 상관성은 불안정한 경향을 보였으며, 특히 가을에 발생한 증발산량을 모형이 구현해 내지 못하는 결과를 보였다.

핵심용어 : 증발산, 유출, SWAT 모형, 설마천

1. 서 론

우리나라는 국토의 대부분이 급한 산지가 많고 하천의 유속이 빠르며 홍수유출로 인하여 평상시 유출이 총 수자원의 양의 18%밖에 되지 않으므로 하천수 이용률이 매우 낮은 불리한 자연적 여건을 가지고 있다. 이러한 산지유역에 대한 수문성분의 정확한 해석은 매우 어려운 일이며, 수문성분 해석을 위해서는 정확한 관측 자료의 축적이 매우 중요하다(김남원 등, 2008).

따라서 본 연구에서는 현재 한국건설기술연구원의 시험 유역으로 운영(1995 ~ 현재)되고 있어 양질의 자료가 구축되어 있는 설마천 유역을 대상으로 수문성분을 해석 해 보고자 하였으며, 증발산량은 신뢰할 만한 실측자료가 2007년 9월부터 2008년 12월까지 구축되었으므로 그 기간 동안의 자료를 수집하였고, 유출량은 2002년부터 2008년까지의 자료를 수집하여 준분포형 장기강우유출모형인 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 모형을 선정하여 적용성 평가를 실시하였다.

* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : jawbreak@konkuk.ac.kr
** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : closer01@konkuk.ac.kr
*** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : shjin@konkuk.ac.kr
**** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사후과정 · E-mail : nemoik@konkuk.ac.kr
***** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

2. 유역모형 및 대상유역의 선정

본 연구의 대상 유역은 설마천 유역으로, 임진강 하구에서 약 46km 상류인 경기도 파주시 적성면의 마지리와 설마리에 설마천 중류부에 위치한 전적비교 상류지역이며 임진강 하구에서 약 46km 떨어진 임진강의 제 1 지류인 지방 2급 하천으로 그 면적은 대략 8.54km² 유로연장 5.8km 유로경사 2% 로 전형적인 급경사 산지 사행하천이며 곡류하천 유역이다. 하천의 형태는 수지상에 직각상이 결합된 형태이며 유역의 지질은 경기편마암 복합체로 구성 단층과 엽리가 잘 발달되어 있으며 이러한 지질구조의 특성상 초기강우 시 소량의 우량에는 하천의 수위에 큰 변화가 없고, 파쇄대를 채우고 난 이후에 하천의 수위가 급격히 증가하는 현상을 보인다. 유역의 90% 이상은 주로 20~30년 수령의 침엽수와 활엽수로 구성되어 있고, 표토는 얇은 편으로 함양능력이 대단히 낮으며, 산지 사면에 산재한 다량의 돌과 자갈은 집중호우 시 토석류를 유발한다. 본 연구에서는 증발산량 및 유출량을 모의하기 위하여 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형을 적용하였다. 이 모형은 물리적 기반의 준분포형 장기 강우-유출 모형으로서, 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 유출의 영향을 예측하기 위해 개발되었으며 물수지 방정식에 근거를 두고 강수, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수, 토양수분 등에 대한 모의를 각 수문반응단위 별로 계산 할 수 있다 (Arnold 등, 1998).

3. 유역의 기초자료 수집 및 모형의 입력자료 구축

SWAT 모형의 적용을 위해서는 수문기상자료(강수량, 일사량, 풍속, 상대습도, 기온)와 공간자료(수치지형도(DEM), 토지이용도, 토양도)가 필요하다. 현재 한국건설기술연구원의 시험 유역으로 운영(1995 ~ 현재)되고 있는 설마천 유역에는 우량관측소 5개소(유역밀도 1.7km²/개소), 수위관측소 2 개소, 기상관측소 1개소가 설치되어 양질의 수문자료를 얻을 수 있으며(그림 1), 이 중 모형의 신뢰성을 높이기 위하여 최근 자료인 2002년부터 2008년까지의 수문기상자료를 이용하여 입력자료를 구축하였다. 결측치가 많은 일사량은 직접 이용할 수 없으므로 일조시간과 위도 등을 이용하여 일사량을 계산한 값을 이용하였다. 공간자료는 환경부에서 제공하는 30m DEM(그림 2), 가장 최근에 제공한 Landsat 위성영상을 수집 및 분석하여 작성한 1:25,000 토지이용도(그림 3), 한국농어촌공사에서 제공한 1:25,000 정밀토양도(그림 4) 등을 이용하였다.



그림 1. 유역 경계 및 수문계측 망

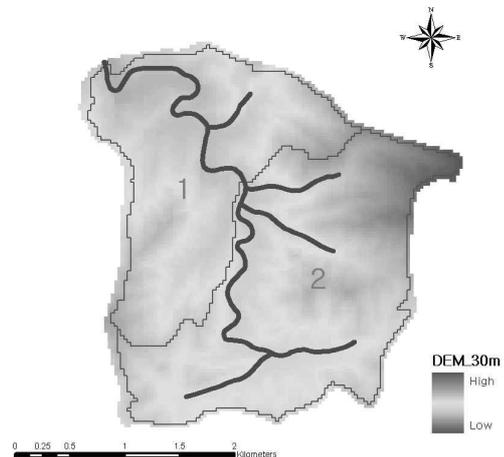


그림 2. 수치지고도모형 (DEM)

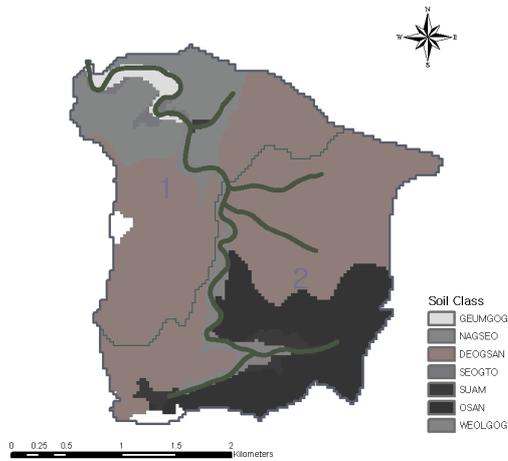


그림 3. 토양도

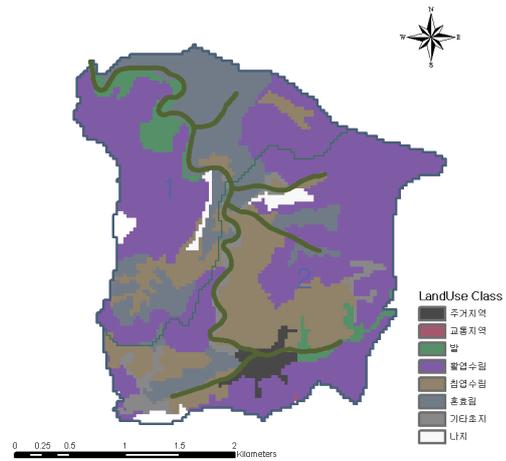


그림 4. 토지이용현황

4. 모형의 검·보정에 의한 적용성 검토

4.1 유역모형의 매개변수 선정 및 민감도 분석

SWAT 모형의 보정 및 검증을 위하여 증발산 및 유출에 관련된 대표 매개변수 중 총 23개의 매개변수를 선정하여 유출 출구점에 대한 민감도분석을 실시하였다. LH-OAT방법을 이용하여 민감도 등급을 결정하였으며, 분석 결과 증발산과 관련된 매개변수에서는 GSI, ESCO, EPCO, CANMX가, 유출과 관련된 매개변수에서는 CN2, Surlag, ALPHA_BF, GW_Revap, GW_Delay, ESCO가 가장 민감한 것으로 나타났다.

4.2 유역모형의 검·보정

각 수문성분 별로 민감하다고 파악된 매개변수를 이용하여 증발산에 대한 검·보정은 유역의 혼효림을 기준으로, 유출량에 대한 검·보정은 유역의 출구점을 기준으로 실시하였다. 증발산량은 신뢰할 만한 실측자료가 2007년 9월부터 2008년 12월까지 수집되었으므로 그 기간 동안의 실측값과 모의값을 비교, 분석하였고, 유출량은 2002년을 초기구동기간(warm-up period)으로 설정하고 2003년부터 2008년까지의 실측값과 모의값을 비교, 분석한 뒤 전체적인 검·보정을 통해 모형의 적용성 평가를 실시하였다. 그림 5와 그림 6은 각각 증발산량과 유출량에 대한 실측치와 모의치의 수문곡선의 비교를 나타낸 것이다.

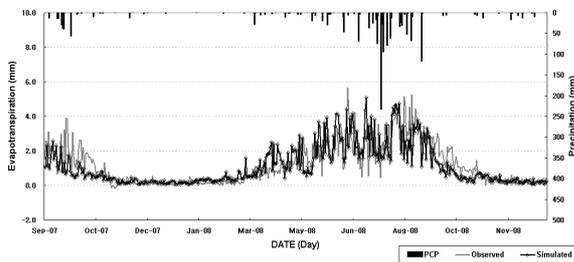


그림 5. 증발산에 대한 실측치와 모의치의 수문곡선 비교

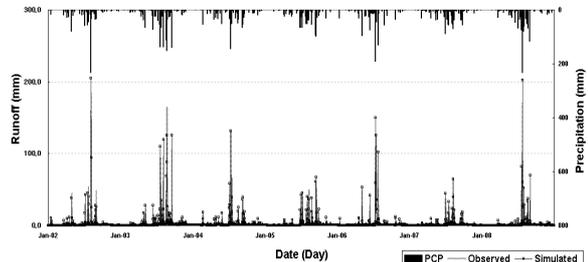


그림 6. 유출량에 대한 실측치와 모의치의 수문곡선 비교

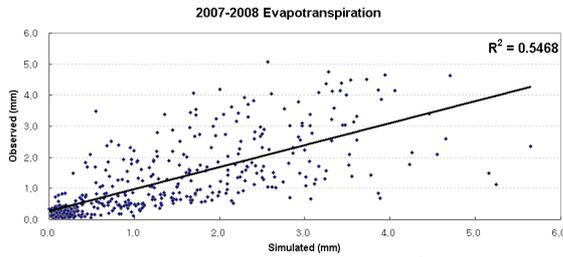


그림 7. 증발산에 대한 R^2

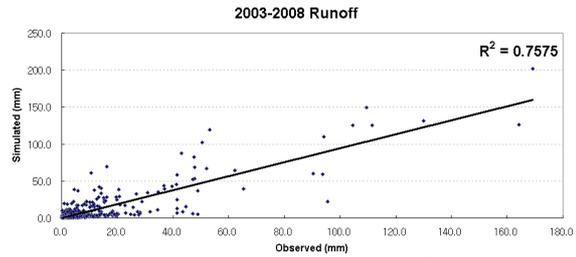


그림 8. 유출량에 대한 R^2

검·보정 결과를 종합적으로 살펴본 결과 증발산량에서 R^2 (그림 7)는 0.55, ME 는 0.48, $RMSE$ 는 0.8mm/day로 나타났으며, 유출량에서 R^2 (그림 8)는 0.76, ME 는 0.68, $RMSE$ 는 5.14mm/day로 나타나, 유출 및 증발산의 모의경향은 실측치의 경향과 비교적 비슷하지만 증발산량의 통계적인 상관성의 결과는 불안정한 경향을 보였다. 증발산과 유출이 서로 연관 되어있으므로 어느 한 수문 성분만을 조절할 경우 다른 수문성분에 영향을 주게 되어 전체적인 조율에 어려움이 있었으며, 특히 그림 5에서, 증발산량 실측치와 모의치를 비교해보면 가을시기의 증발산량을 모형이 구현해 내지 못하는 것을 알 수 있다.

5. 요약 및 결론

본 연구는 전형적인 급경사 산지 사행하천이며 곡류하천 유역인 설마천 유역을 대상으로 준분포형 장기강우유출모형인 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형을 적용하여 수문성분 중 증발산량 및 유출량의 특성을 살펴보았다. 현지 계측 자료인 수문기상자료 및 공간 자료를 이용하여 모형을 적용하였다. 각 수문성분에 관련된 매개변수를 보정한 후, 증발산량은 신뢰할 만한 실측자료가 2007년 9월부터 2008년 12월까지 수집되었으므로 그 기간 동안의 실측값과 모의값을 비교 및 분석하였고, 유출량은 2002년을 초기구동기간(warm-up period)으로 설정하고 2003년부터 2008년까지의 실측값과 모의값을 비교, 분석한 뒤 전체적인 검증을 통해 모형의 적용성 평가를 실시하였다. 증발산에 대한 보정 및 검정은 유역의 혼효립을 기준으로, 유출량에 대한 보정 및 검정은 유역의 출구점을 기준으로 실시하였다. 그 결과 유출 및 증발산의 모의경향은 실측치의 경향과 비교적 비슷하지만 증발산량의 통계적인 상관성의 결과는 불안정한 경향을 보였다. 특히 가을시기의 증발산량을 모형이 구현해 내지 못하는 것을 알 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 물수지에 가장 큰 영향을 미치는 수문성분인 토양수분에 대한 모의 및 검·보정을 실시하여 토양수분과 증발산 및 유출량에 대한 관계를 분석 할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 : 2-2-3, 50%) 및 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2009-0080745, 50%)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김남원, 이지은, 정일문, 김동필(2008). SWAT-K 모형을 이용한 설마천 유역의 수문성분 해

- 석, 한국환경과학회지, 제17권, 제12호, pp. 1363-1372.
2. 김병식, 김형수, 서병하, 김남원(2004). 기후변화가 용담댐 유역의 유출에 미치는 영향. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제2호, pp. 185-193.
 3. 박종윤(2009). SWAT 모형을 이용한 미래 기후변화가 수문학적 거동 및 하천수질에 미치는 영향 평가. 석사학위논문, 건국대학교.
 4. 안소라, 이용준, 박근애, 김성준(2008). 미래토지이용 및 기후변화에 따른 하천유역의 유출특성 분석, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제28권, 제2B호, pp. 215-224.
 5. 유철상, 이동률(2000). 기후변화와 수자원: 국내의 연구동향. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제33권, 제3호, pp. 42-47.
 6. 임혁진, 권형중, 배덕효, 김성준(2006). CA-Markov 기법을 이용한 기후변화에 따른 소양강댐 유역의 수문분석, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제39권, 제5호, pp. 453-466.