

# SWAT-K 모형을 이용한 설마천 유역의 수문성분 해석

## Hydrologic component analysis of the Seolma-Cheon Watershed by using SWAT-K model

김남원\*, 이지은\*\*, 정일문\*\*\*, 김동필\*\*\*\*

Nam Won Kim, Jieun Lee, Il Moon Chung, Dong Pil Kim

### 요 지

본 연구는 국내 대표적인 산지 소하천 유역인 설마천 유역을 대상으로 한국형 준분포형 장기유출모형인 SWAT-K를 이용하여 각 수문성분별 특성을 살펴본 것이다. 설마천 유역은 현재 한국건설기술연구원의 시험 유역으로 운영되고 있으며 다년간의 수문성분 관측값을 보유하고 있어 소규모 산지 유역의 수문특성을 분석하기 위한 적지로 판단된다. 분석기간은 2004년 ~ 2006년까지로 정하였으며, 강수와 증발산은 현지 계측자료를, 기상자료는 최인접 기상관측소인 동두천 관측소의 자료를 활용하였다. 특히 급경사 산지에서의 적절한 유출해석을 위해 경사와 경사장간의 회귀식을 반영하여 HRU별로 보정을 수행하였다. 전적비교의 관측유량자료를 이용한 검증결과는 매우 양호하였으며, 증발산 관측치와 모의치를 비교하여 계산된 수문성분비의 적정성을 검토하였다.

**핵심용어 : SWAT-K 모형, 설마천 유역, 수문성분, 증발산, 유출**

### 1. 서 론

우리나라는 강우량의 절반이상이 6~9월에 편재하며 산지가 많아 하천의 유속이 빠른 편이며, 강우량은 대부분 홍수로 유출되어 평상시 유출이 총 수자원의 양의 18%밖에 되지 않는 자연적 여건을 가지고 있다. 한편 산지유역에 대한 수문성분의 정확한 해석은 용이한 일이 아니며 이와 같은 분석을 위해서는 정확한 관측자료의 축적이 매우 중요하다. 수문성분의 해석은 자연적인 수문성분 해석과 인위적인 물순환구조 변화 해석기술로 구분할 수 있는데 전자의 경우는 강우, 증발산, 유출, 토양수분, 지하수 등으로 나누어 각 성분별로 나누어 해석하며 후자는 인위적인 물 순환 구조 변화로 인하여 발생하는 수문특성의 거동을 해석한 것이다(한국건설기술연구원, 2004). 따라서 자연적, 인위적인 물순환 해석을 수행할 수 있는 모형의 필요성이 절실하며 이를 위해 개발된 것이 SWAT-K모형(한국건설기술연구원, 2007)이다. 산지 소하천 유역을 대상으로 수문성분을 분석하기 위해서는 신뢰도와 정확성에 근거한 자료의 확보가 중요하다. 그간 설마천 유역에 대해 신뢰성 있는 수문자료를 지속적으로 수집하여 정확한 수문순환과정을 파악하기 위한 많은 조사연구가 있었다. 설마천 유역은 한국건설기술연구원이 1995년부터 시험유역으로 선정하여 12년간의 장기간의 수문자료를 축적하고 있고, 그중 최근 7년간은 신뢰할 만한 양질의 수문자료를 구축하였

\* 정회원·한국건설기술연구원 책임연구원·E-mail : [nwkim@kict.re.kr](mailto:nwkim@kict.re.kr)  
\*\* 정회원·한국건설기술연구원 연구원·E-mail : [jelee@kict.re.kr](mailto:jelee@kict.re.kr)  
\*\*\* 정회원·한국건설기술연구원 선임연구원·E-mail : [imchung@kict.re.kr](mailto:imchung@kict.re.kr)  
\*\*\*\* 정회원·한국건설기술연구원 선임연구원·E-mail : [dpkim@kict.re.kr](mailto:dpkim@kict.re.kr)

다(김동필, 2007). 설마천 유역의 수문성분분석에 관한 연구로는 이가영 등(2004)이 토양수분의 시공간적 분포 특성을 파악에 용이한 TDR(Time Domain Reflectometry)을 이용하여 설마천 유역의 장기 모니터링을 실시하였고, 이가영 등(2005)이 이 토양수분의 거동을 파악하기 위해서 설마천 유역의 범륜사 사면에 TDR을 설치하고 시공간적, 계절적 특성을 파악하고자 지형분석을 통한 흐름특성과 토양수분의 실측치의 유의성을 논의하였으며, 상부, 완충대, 수로지점으로 구분하여 수평, 수직적으로 분석하여 각 사면에서의 시간과 계절에 따른 토양수분의 공간적 분포 특성을 조사하였다.

본 연구는 산지 소하천의 대표 유역인 설마천 유역을 대상으로 강우, 증발산, 유출, 토양 수분, 지하수 등의 각 수문성분의 특성을 반영할 수 있는 장기 유출모의 모형인 SWAT-K를 적용한 것으로 신뢰성 있는 실측치와 주요 수문성분을 비교·검토하는 것을 목적으로 한다.

## 2. SWAT-K 모형의 개요

SWAT-K모형은 미 농무성에서 개발한 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)모형에 인위적, 자연적인 물순환 구조변화와 지표수-지하수 연계 해석 등을 개선하여, 강우·증발산·토양수분·지표수-지하수의 시공간적 분포를 정량적으로 산정하는 장기유출 해석 모형이다(한국건설기술연구원, 2007). 수문순환은 다음과 같은 물수지 방정식에 근거하여 일별로 모의 된다(Neitsch 등, 2001).

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

여기서,  $SW_t$ 와  $SW_o$ 는 각각 주어진 날의 최종 및 초기 토양 수분량(mm H<sub>2</sub>O),  $t$ 는 시간(일),  $R_{day}$ 는 강수량(mm H<sub>2</sub>O),  $Q_{surf}$ 는 지표유출량(mm H<sub>2</sub>O),  $E_a$ 는 증발산량(mm H<sub>2</sub>O),  $W_{seep}$ 는 토양면으로부터 투수층으로의 투수되는 총량(mm H<sub>2</sub>O),  $Q_{gw}$ 는 회귀수량(mm H<sub>2</sub>O)이다.

## 3. 연구방법

설마천 유역에는 현재 우량관측소 6개소, 수위관측소 2개소, 기상관측소 1개소 및 지하수위관측소 2개소가 설치되어있다. 신뢰성이 높은 최근 7년간의 자료 중에서 2003년~2006년까지의 수문기상자료로 구축하였으며, 결측된 자료는 대상유역과 가장 인접한 동두천기상대(098)의 자료를 이용하여 기상자료를 보정하였다. SWAT모형을 적용하기 위해서는 크게 강수량, 일사량, 풍속, 상대습도, 기온 등의 기상자료가 필요한데, 특히 일사량은 많은 결측으로 인해 일조시간 등을 이용하여 일사량값을 산정하여 값을 적용하였다. 이 연구에서는 2003년부터 2006년까지 4년간의 실측된 자료를 가지고 SWAT모형을 적용하여 각각의 수문성분에 대해서 매개변수를 보정한 후, 2003년을 초기 구동기간(warm-up period)으로 설정하고 2004년부터 2006년까지 3년간의 실측값과 모의값을 비교·분석하였다.

### 3.1 자료의 수집 및 입력자료 구축

설마천 유역의 DEM은 환경부에서 구축한 수치지도를 이용하여 1°간격(약 30m)공간 해상도를 가지는 DEM을 사용하였다(그림 1). 토지이용을 반영하기 위해 1:25,000 토지이용현황도를 사용하였으며, 전형적인 산지지형으로 활엽수림, 침엽수림, 혼효림이 50.79%, 18.27%, 19.11%로 대부분을 차지하고 있는 것을 알 수 있었다(그림 2). 또한 1:25,000 정밀토양도와 1:50,000 개략토양도를 사

용하였으며, 설마천 유역의 토양통은 총 7가지로 구분되었고, 덕산통, 오산통, 낙서통이 57.92%, 18.47%, 13.47%로 대부분을 차지하고 있다(그림 3). 설마천 유역의 수문계측망과 유역출구점을 그림 4에 나타냈다.

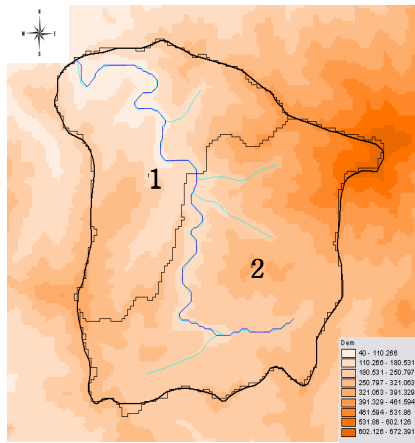


그림 1. 수치고도모형(DEM)

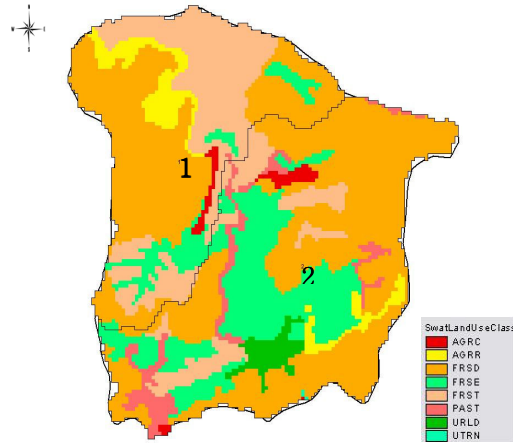


그림 2. 토지이용현황

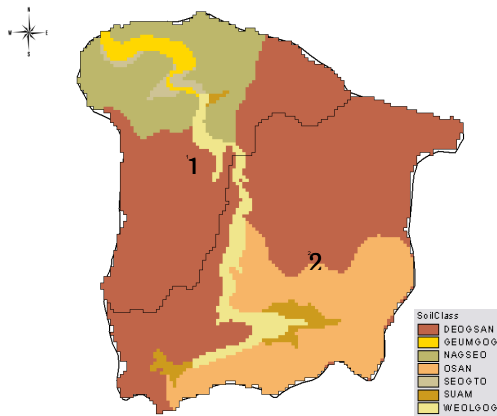


그림 3. 토양도

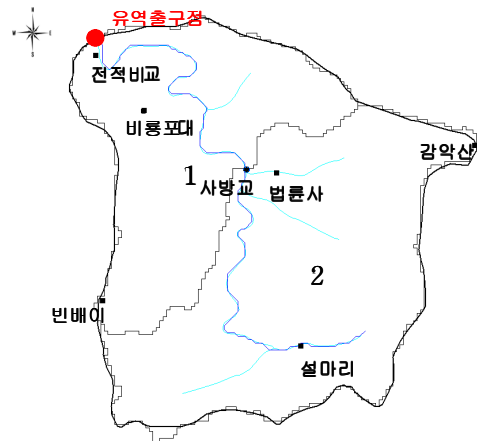


그림 4. 수문계측망 및 유역출구점

### 3.2 SWAT 모형의 적용

#### 3.2.1 소유역 및 수문반응단위의 구분

설마천 전체 유역면적은 8.54km<sup>2</sup>이고, 총 2개의 소유역으로 구분하였다. 모형적용을 위한 소유역의 구분은 하천망의 임계값을 조정하여 분할되며, 전적비교 지점을 유역출구점으로 소유역분할을 실시하였다. 이렇게 분할 된 소유역을 기준으로 각 토지이용에 따른 토양종류별로 총 45개의 수문 성분단위(HRU)가 생성되었다.

#### 3.2.2 모형의 보정 및 결과

모형의 보정은 유역의 최종 출구지점인 전적비교 지점의 유출량 자료를 이용하였다. 모형의 보정순서는 먼저 유역 출구지점에서의 총 유출량을 보정한 후 기저유출량을 보정하였다. 또한 SWAT-K모형에서는 생물생장을 모의하기 위한 수단으로서, 열단위(Heat Unit)를 이용하고 있다. 열단위의 개념은 식물이 성장하는데 필요한 온도 단위를 나타낸다(김철겸 등, 2004). 김경하 등

(2006)은 인공침엽수, 천연활엽수 그리고 혼효사방림과 같이 임상이 다른 산림소유역에서의 장기 증발산량과 유출량의 변화를 분석하여 증발산량, 침투유출량 및 유출량에 미치는 장기 임상변화의 효과를 밝혔다. 따라서 본 연구에서는 산지소하천에서의 수문성분의 분석 중 증발산 변화의 보정을 위해 열단위(Heat Unit)를 보정하였다. 그림 5는 보정 후, 2004년~2006년에 대한 대상유역의 최종 출구점에서의 모의유량-관측유량을 일별로 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 모의기간의 일부 구간을 제외하면 전반적으로 관측값과 적합이 잘 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 보정을 위한 모형평가 기준으로는 결정계수( $R^2$ )를 이용하였는데 그림 6에서 나타낸 바와 같이 결정계수( $R^2$ )는 0.859으로 비교적 높게 나타나 모형이 실측치를 양호하게 모의하는 것으로 판단된다.

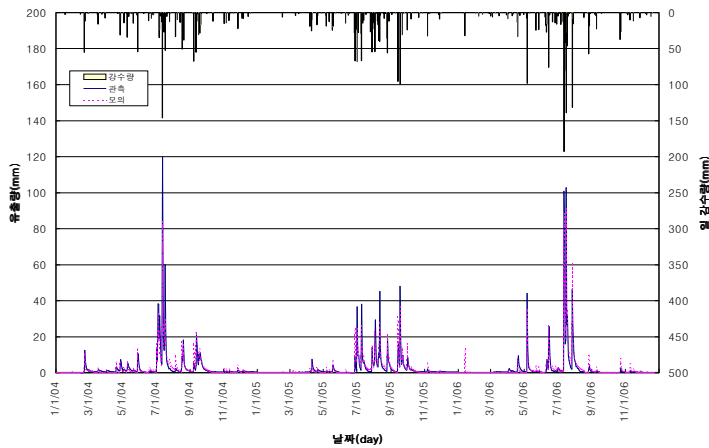


그림 5. 총 유출량의 모형 보정 결과

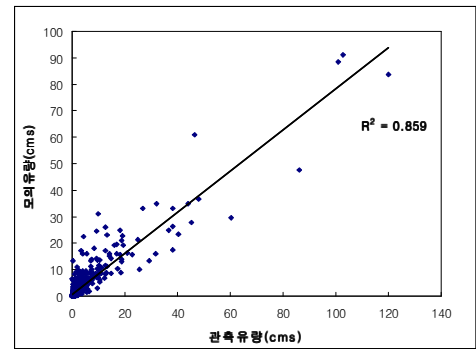


그림 6. 관측치와 모의치의 상관성

설마천 시험유역은 산림이 대부분을 차지하고 있어 증발산이 활발하게 이루어진다고 가정할 수 있으며, 갈수시의 하천 유출량 측정시 6.0mm미만의 일강우량은 하천 유출량에 기여하지 못하고 있음을 감안할 때 연간 발생한 강우량 중 일강우량 6.0mm미만의 합을 총 증발산량으로 추정하여 분석하였다(김동필, 2007). 본 연구에서는 이렇게 측정된 값을 잠재증발산의 실측치로 보았으며, SWAT-K모형에서 Penman-Monteith 방법을 이용하여 계산된 값을 모의치로 산정해 그림 7과 같이 비교하였다.

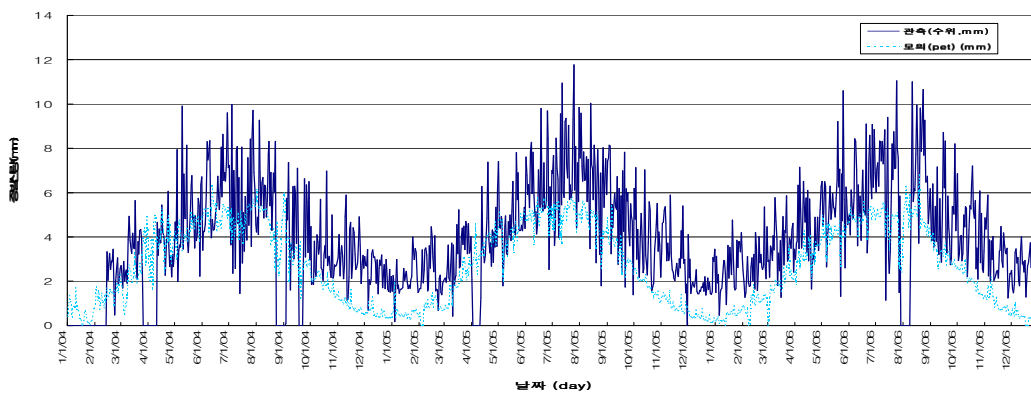


그림 7. 총 증발산량의 비교

## 5. 결 론

본 연구에서는 산지 소하천의 대표적인 유역인 설마천 시범유역을 대상으로 SWAT-K모형을 이용하여 각 수문성분별 특성을 살펴보았다. 그림 8과 같이 증발산량, 유출률 등을 표현한 결과 모의치와 실측치의 상관성이 인정되는 것을 알 수 있었다. 본 연구는 기본적인 수문성분 모의를 통한 모형의 적용 타당성을 확인한 것으로 이 결과를 바탕으로 보다 세부적인 수문성분의 변동, 수문성분간의 상호관계, 식생과 수문성분과의 연계 등 복합적인 분석을 수행할 계획이다.

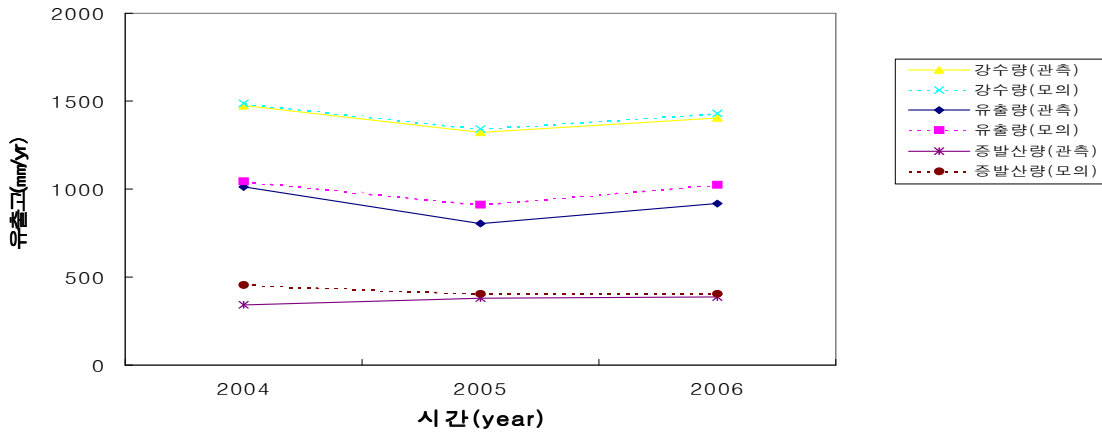


그림 8. 2004-2006년간 모의된 연평균 수문성분량

## 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호: 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. 김경하, 정용호 (2006). 임상이 다른 3개 산림소유역의 장기 증발산과 유출량의 변화, 농림기상학회지 제8권 제3호, pp. 174-182.
2. 김동필, 정성원, 김성훈 (2006). 시험유역의 운영 및 수문특성조사, 한국건설기술연구원.
3. 김철겸, 김남원 (2004). 산림식생에 따른 유역 물수지 영향 평가, 한국수자원학회논문집 제37권 제9호, pp. 737-744.
4. 이가영, 김기훈, 김상현 (2004). 설마천 유역의 토양수분 장기 모니터링을 통한 토양수분 시공간 변화양상의 특성화, pp. 1-6.
5. 이가영, 김기훈, 오경준, 김상현 (2005). 설마천유역 범륜사면의 토양수분 시공간 집중변화양상의 측정, 한국수자원학회논문집 제38권 제5호, pp. 345-354.
6. 한국건설기술연구원 (2004). 지표수 수문성분 해석시스템 개발, 21세기 프론티어 연구사업 수자원의 지속적 확보기술개발 사업 1단계 연구보고서(2-2-1).
7. 한국건설기술연구원 (2007). 지표수 수문성분 해석시스템 개발, 21세기 프론티어 연구사업 수자원의 지속적 확보기술개발 사업 2단계 연구보고서(2-2-2).
8. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., and Willams, J.R. (2001). Soil and Water Assessment Tool: the theoretical documentation (version 2000), U.S. Agricultural Research Service.