

# SWAT-K 모형을 이용한 설마천 유역의 수문성분 해석

김남원 · 이지은\* · 정일문 · 김동필

한국건설기술연구원 수문연구실 \*연세대학교 토목환경공학과  
(2008년 9월 10일 접수; 2008년 12월 15일 수정; 2008년 12월 19일 채택)

## Hydrologic Component Analysis of the Seolma-Cheon Watershed by Using SWAT-K Model

Nam Won Kim, Jieun Lee\*, Il Moon Chung and Dong Pil Kim

*Korea Institute of Construction Technology, Goyang, Gyeonggi-do 411-712, Korea*

*Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea*

(Manuscript received 10 September, 2008; revised 15 December, 2008; accepted 19 December, 2008)

### Abstract

In this study, long term semi distributed hydrologic model SWAT-K(Korea) is applied to the Seolma-Cheon watershed to analyze the hydrological components. Seolma-Cheon watershed has been operated as the test watershed of Korea Institute of Construction Technology for 13 years. Therefore it has an enough hydrologic data to analyze the hydrologic characteristics of small watershed. Especially, for the proper runoff analysis of steep watershed, calibration is performed reflecting the regression equation of slope and slope length. The simulated discharge shows good agreement with the observed one and the simulated evapotranspiration and groundwater discharge also show satisfactory results. Finally we presents the ratio of major hydrologic components for 3 years with those observed ones. This study is the basic research for future analyses such as relationship between hydrologic components and vegetation, watershed sediment nonpoint sources discharge etc.

**Key Words :** SWAT-K, Seolma-Cheon watershed, Hydrologic components, Evapotranspiration, Runoff

### 1. 서 론

우리나라는 국토의 대부분이 급한 산지가 많으며 평야부는 적고 하천의 유속은 빠른 편이며, 연평균 강우량의 절반이상이 6월~9월에 편재하여 집중 강하하는 기상특성으로 수해 등 재해를 입기 쉬우며, 강우량은 대부분 홍수로 유출되어 평상시

유출이 총 수자원의 양의 18%밖에 되지 않으므로 하천수 이용율이 매우 낮은 불리한 자연적 여건을 가지고 있다<sup>1)</sup>. 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 순환구조 변화로 인

Corresponding Author : Il Moon Chung, Hydrology Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea  
Phone: +82-31-910-0334  
E-mail: imchung@kict.re.kr

하여 발생하는 수문특성의 거동을 해석한 것이다<sup>2)</sup>. 따라서 자연적, 인위적인 물순환 해석을 수행할 수 있는 모형의 필요성이 절실하며 이를 위해 개발된 것이 SWAT-K모형이다<sup>3)</sup>. 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 조사·연구가 있었다. 설마천 유역은 한국 건설기술연구원이 1995년부터 시험유역으로 선정하여 13년간의 장기간의 수문자료를 축적하고 있고, 그중 최근 7년간은 신뢰할 만한 양질의 수문자료를 구축하였다<sup>4)</sup>. 설마천 유역의 수문성분해석에 관한 연구로는 이 등<sup>5)</sup>이 설마천 유역의 범륜사 사면에 TDR을 설치하고 시공간적, 계절적 특성을 파악하고자 지형분석을 통한 흐름특성과 토양수분의 실측치의 유의성을 논의하였으며, 상부, 완충대, 수리지점으로 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. 재료 및 방법

### 2.1. 설마천 유역개황

설마천은 임진강 하구에서 약 46 km 상류인 경기도 파주시 적성면 두지리 지점에서 좌안측으로 유입하는 임진강의 제1지류로서 동경 126° 52' 44" ~ 126° 58' 40", 북위 37° 55' 00" ~ 37° 58' 05" 에 위치하며, 유역면적 18.56 km<sup>2</sup>, 유로연장 10.77 km로서 임진강 전체 유역면적(A=8,117.5 km<sup>2</sup>, L=254.6 km)의 약 0.2%를 점하고 있고 수계형상은 대체로 수지상의 모양을 보여주고 있으며 유역형상은 수엽상에 흡사하다. 이 중에서 이 연구의 시험유역은 설마천 유역의 중류부에 위치한 영국군 전적비교를 출구점으로 하는 상류 유역이다.

설마천 시험유역은 동경 126° 55' 54" ~ 126° 54' 57", 북위 37° 54' 57" ~ 37° 56' 23" 에 위치한 유역으로 유역면적 8.54 km<sup>2</sup>, 유로연장 5.59 km인 전형적인 산지 하천이다. 유역내의 인문사회 현황은 유역의 상류에는 21가구가 분포하고, 마을을 중심으로 일부 논과 밭을 경작하고 가축을 사육하고 있으며, 하천을 따라 휴게소와 유역이 중류부에 범륜사가 위치하고 있고, 유역의 상류와 하류부에는 3개 군부대가 위치하고 있다(2008년 기준)<sup>6)</sup>. 이러한 특성상 전반적으로 개발이 많이 이루어지지 않은 유역으로, 앞으로도 자연 상태의 산지 하천의 특성을 유지할 것으로 판단된다. 이 유역의 대부분은 산악지형으로 이루어져 있으며, 유역의 동쪽엔 시험유역에서 가장 높은 감악산(EL. 675 m)이 위치하고 있다. 도로를 따라 위치하는 주하천은 전형적인 곡류하천의 형태를 보인다.

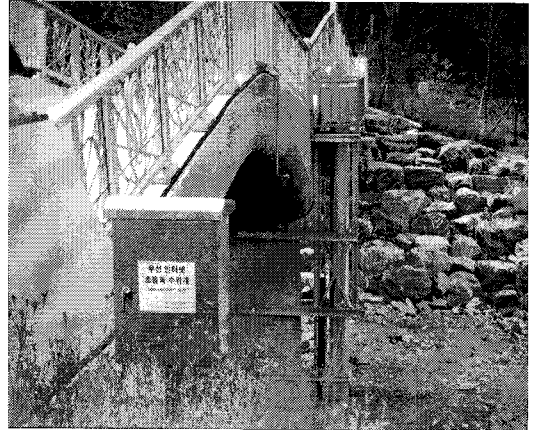
### 2.2. 관측소 현황

시험유역 출구인 전적비교(Fig. 1)는 설마천 시험유역의 대표적인 수위관측 지점으로 음파식, 기포식, 부자식, 실시간 초음파식 수위계 등 네 가지 종류의 수위계가 설치되어 동시에 운영되고 있다. 한 지점에서 여러 종류의 수위계를 운영함으로써 동일 조건에서 수위계의 종류에 따른 특성과 운영상 문제점 등을 비교 검토할 수 있으며, 부가적으로 관측기기의 이상으로 자료 결측이나 이상치가 발생하였을 때 다른 관측종의 자료와 비교 검토하여 결측을 최소화하거나 이상치의 처리가 가능하여 수위자료의 정확도를 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한 실시간 초음파식 수위계는 시험유역에서 멀리 떨어진 지역에서도 인터넷이나 핸드폰으로 시험유역의 유출 상황을 실시간으로 파악하여 관측기기의 신속한 유지관리와 홍수기의 유량측정을 위한 신속한 대비할 수 있어 수문관측과 유량측정을 용이하게 수행할 수 있다는 장점이 있다.

설마천 시험유역의 대표적인 기상자료를 확보하기 위하여 비룡포대 우량관측소에 자동기상관측소(AWS: Automatic Weather Station)를 설치하여 운영하고 있다(Fig. 2). 자동기상관측장비를 이용해 측정하는 기상자료는 Table 2와 같이 기온, 지중온도, 이

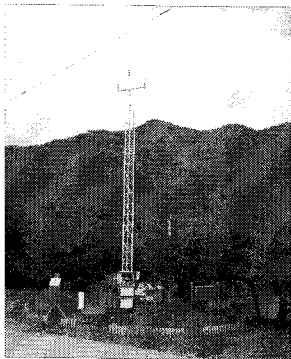


(a) A full view of the observatory at downstream

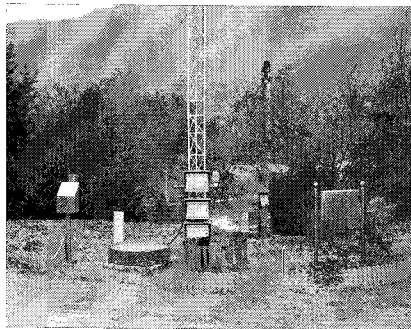


(b) A side view of the observatory at downstream

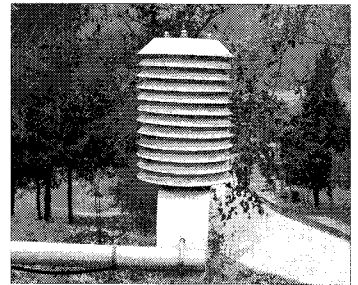
**Fig. 1.** The Water Level Station of Jeonjeokbigyo (KICT, 2006).



(a) The observation tower



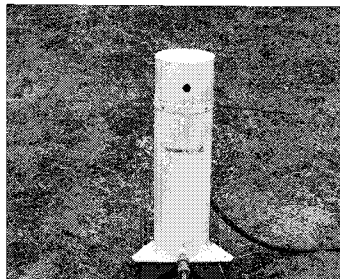
(b) The observation tower and the atmospheric sensor



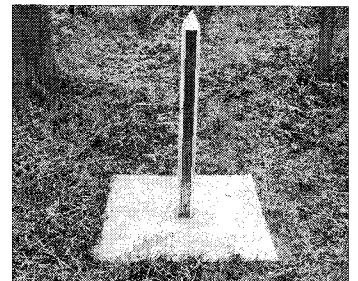
(c) The atmospheric thermometer



(d) The soil moisture meter



(e) The atmometer



(f) The snow-depth gauge

**Fig. 2.** The Automatic weather station of Biryongpodae (KICT, 2006).

슬점 온도, 풍향, 풍속, 상대습도, 일사량, 일조시수, 증발량, 토양수분 6종, 포화수증기압, 수증기압 등 총 11개 종류 17개 항목이며, 측정시간 간격은 10분으로 설정되어 있다.

**2.3. 연구 방법**

SWAT모형을 적용하기 위해서는 크게 강수량, 일사량, 풍속, 상대습도, 기온 등의 수문기상자료와 수치고도모형(DEM), 토지이용도, 토양도 등의 공간 특성자료가 필요하다. 설마천 유역에는 현재 우량 관측소 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. 특히 일사량은 많은 결측으로 인해 일조시간 등을 이용하여 일사량값을 산정하여 값을 적용하였다. 이 연구에서는 2003년부터 2006년까지 4년간의 실측된 자료를 가지고 SWAT-K모형을 적용하여 각각의 수문성분에 대해서 매개변수를 보정한 후, 2003년을 초기 구동기간(warm-up period)으로 설정하고 2004년부터 2006년까지 3년간의 실측값과 모의값을 비교· 분석하였다.

**2.4. 자료수집 및 입력자료 구축**

설마천 유역의 DEM은 환경부에서 구축한 수치 지도를 이용하여 1" 간격(약 30 m)공간 해상도를 가지는 DEM을 사용하였다(Fig. 3). 토지피복을 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(Fig. 4). 또한 1:25,000 정밀토양도를 사용하여 토양통을 총 7가지로 구분하였는데 덕산통, 오산통, 낙서통이 57.92%, 18.47%, 13.47%로 대부분을 차지하고 있다(Fig. 5). 설마천 유역의 수문계측망을 Fig. 6에 나타내었고, 토지이용항목별 면적과 토양 분류도, 유역별 수문지점을 Table 1~3에 나타냈다.

**3. SWAT-K 모형의 개요**

장기 강우-유출의 모형은 수자원계획과 효율적 물관리를 위하여 중요하다. 수문성분 해석기술의 상당 부분이 선진국에서 오래된 연구를 통해서 개발되었고 개선되고 있기 때문에 기존의 모형들 중에서 활발하게 이용되고 있는 모형을 비교· 평가하고, 적정모형을 선정하여 유역에 대한 적용성을 해석하였다. 이를 위해 장기 강우-유출 모형 중 SWAT-K 모형을 적용하여 유역물수지 분석을 수행

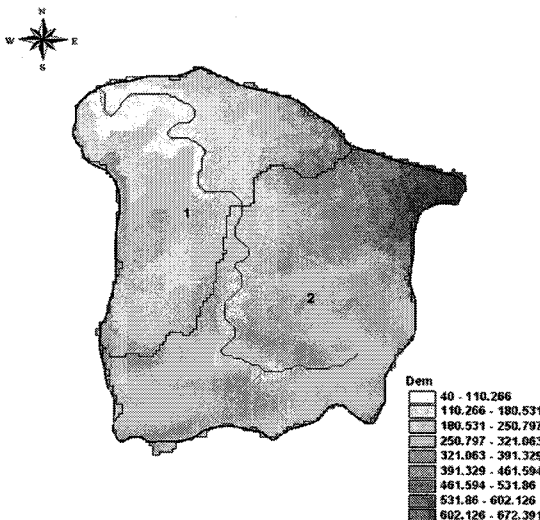


Fig. 3. The DEM for Seolma-Cheon watershed.

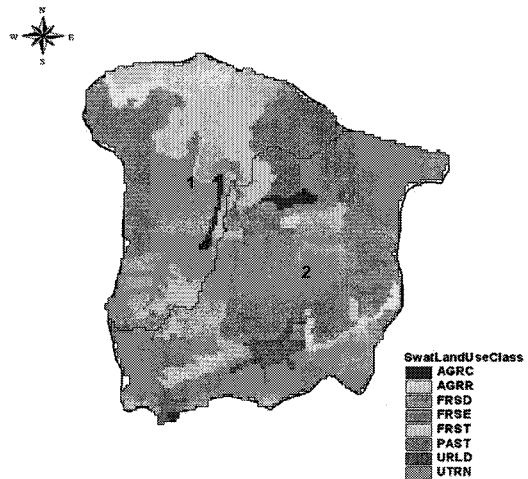


Fig. 4. The land use class for Seolma-Cheon watershed.

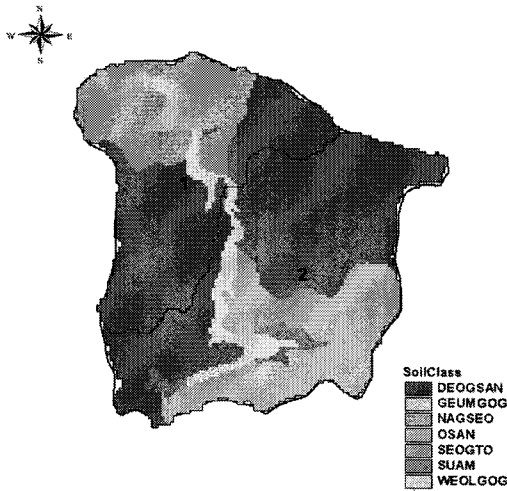


Fig. 5. The soil class for Seolma-Cheon watershed.

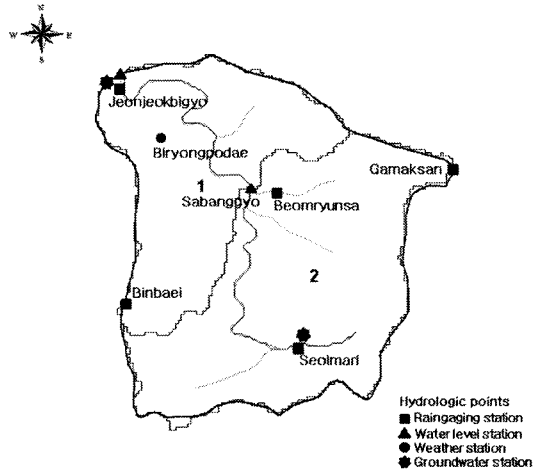


Fig. 6. The hydrologic measuring net for Seolma-Cheon watershed.

Table 1. Acreages of each land use classes in the catchment

SWAT code	Description	Area (km <sup>2</sup> )	Area (%)
AGRC	Agricultural Land-Close-grown	0.11	1.25
AGRR	Agricultural Land-Row Crop	0.38	4.50
FRSD	Forest-Deciduous	4.34	50.79
FRSE	Forest-Evergreen	1.56	18.27
FRST	Forest-Mixed	1.63	19.11
PAST	Pasture	0.35	4.15
URLD	Residential-Low Density	0.16	1.90
UTRN	Transportation	0.01	0.03

Table 2. Soil classes data of detailed soil in the catchment

Soil code	Area (km <sup>2</sup> )	Area (%)
DEOSAN	4.95	57.92
GEUMGOG	0.17	1.98
NAGSEO	1.15	13.47
OSAN	1.58	18.47
SEOGTO	0.08	0.98
SUAM	0.17	2.06
WELGOG	0.44	5.11

하였다. 우리나라의 대부분이 산지로 이루어져 있으며 소하천을 가진 유역이 많은 것을 감안했을 때 이 모형을 통한 유역물수지 분석과 그 적용가능성의 평가는 중요할 것이다. 본 연구에서 활용하고자 하는 SWAT-K(Korea)모형은 미국농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)

의 Arnold 등<sup>7)</sup>에 의해 개발된 준 분포형 장기 유역 수문모형 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)을 우리나라 특성에 맞도록 인위적, 자연적인 불순환 구조변화와 지표수-지하수 연계 해석 등을 개선하여, 강우·증발산·토양수분·지표수·지하수의 시공간적 분포를 정량적으로 산정하는 장기유출 해석 모형이다. 특히 국내 토양통 DB를 자체적으로 구축하고 유출 구조를 개선한 한국형 모형이라고 할 수 있다.

### 3.1. SWAT-K 모형의 구조

SWAT에서 모의되는 수문순환은 다음과 같은 불수지 방정식에 근거하여 일별로 모의된다<sup>8)</sup>.

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

여기서,  $SW_t$ 와  $SW_o$ 는 각각 주어진 날의 최종

Table 3. Hydrologic points in the catchment

Station	Observed point	Station	Observed point
Raingaging Station	Jeonjeokbigyo (010220)	Water Level Station	Jeonjeokbigyo (010220)
	Biryongpodae (010230)		Sabanggyo (010235)
	Seolmari (010240)	Weather Station	Biryongpodae (010230)
	Beomryunsa (010245)		Jeonjeokbigyo (010220)
	Gamaksan (010250)	Groundwater Level Station	Jeonjeokbigyo (010220)
	Binbaei (010237)		Seolmari (010240)

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. SWAT 모형에서는 지표유출량 산정을 위해 SCS 유출곡선법과 Green & Ampt 침투법의 두 가지 방법을 제공하고 있으며, 증발산량 산정을 위해서는 Penman-Monteith 방법, Priestley-Taylor 방법, Hargreaves 방법의 세 가지 방법이 제시되고 있다<sup>9)</sup>. 본 연구에서는 이 중에서 SCS 유출곡선법과 Penman-Monteith 방법을 이용해서 각각의 지표유출량과 증발산량을 계산하였다. 이외에도 SWAT 모형에는 토지 피복/식물 성장, 침식, 영양물질 및 살충제의 거동, 영농관리의 영향, 주 하천 및 하도, 저수지 추적 등이 포함되어 있다.

### 3.2. SWAT-K 모형의 수문성분

SWAT모형에서 모의되는 수문성분들은 물이 이동하는 경로에 따른 요소이다. 강수가 내리면, 식생에 의해 차단되고 부착되거나 지표면에 떨어진다. 지표면의 물은 토양층으로 침투되거나 지표면을 따라 흘러 상대적으로 빠르게 하도를 따라 유동한다. 침투된 물은 토양내에서 머물면서 증발산에 의해 이동하거나 지하 매질을 통해 하천으로 천천히 움직인다. 이러한 각각의 수문성분들은 차단저류, 침투, 재배분, 증발산, 잠재증발산, 측방지표하흐름, 지표유출, 침투, 지하수 함양 등으로 나눌 수 있다. 이들은 물의 이동에 관한 전반적인 경로로써 SWAT 모형은 수문성분 이동경로를 계산하는 모형이라고 할 수 있다.

SWAT 모형은 토지이용상태, 토양상태, 경사, 방

향에 따라 수문학적 반응단위를 가지는 동질 유역으로 정의되는 HRU(Hydrological Response Unit)라는 분할개념을 이용하고 있다<sup>10)</sup>. 이와 같은 단위로 유역이 구분되면 여러 종류의 작물과 토양에 의한 다양한 증발산, 토양수분, 지하수 함양 등을 반영할 수 있다. 이러한 특징이 준 분포형 모형의 장점으로 각 HRU에서 수문성분의 발생량이 계산되고 유역의 총 유출량을 얻기 위하여 소유역별 하도로 유입된다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1. SWAT-K 모형의 적용

설마천 시험유역을 대상으로 2003년부터 2006년까지 총 4년간 모의를 수행하였다. 2003년을 초기 구동기간(warm-up peroid)으로 설정하고 2004년부터 2006년까지 3년간의 모의를 수행하였다. 설마천 전체 유역면적은 8.54 km<sup>2</sup>이고, 총 2개의 소유역으로 구분하였다. 모형적용을 위한 소유역의 구분은 하천망의 임계값을 조정하여 분할된다. 전적비교 지점을 유역출구점으로 소유역분할을 실시한 결과 Fig. 7과 같이 소유역을 분할할 수 있었다. 이렇게 분할된 소유역을 기준으로 각 토지이용에 따른 토양 종류별로 총 45개의 수문성분단위(HRU)가 생성되었다.

### 4.2. 모형의 보정 및 결과

모형의 보정은 유역의 최종 출구지점인 전적비교 지점의 유출량 자료를 이용하였고 급경사 산지에서 적절한 유출해석을 위해 경사와 경사장간의 회귀식을 반영하여 HRU별로 보정을 수행하였다. 모형의 보정순서는 먼저 유역 출구 지점에서의 총 유출량을 보정한 후 기저유출량을 보정하였다. 또한 SWAT-K 모형에서는 생물생장을 모의하기 위한 수

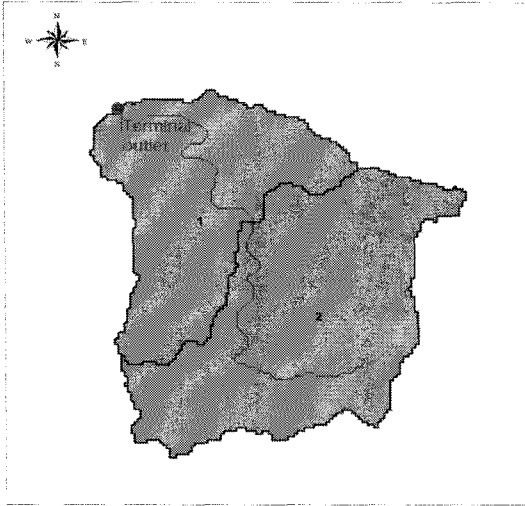


Fig. 7. The sectional map of Seolma-Cheon watershed.

단으로서, 열단위(Heat Unit)를 이용하고 있다. 열단위의 개념은 식물이 성장하는데 필요한 온도 단위를 나타낸다<sup>11)</sup>. 김 등<sup>12)</sup>은 인공침엽수, 천연활엽수 그리고 혼효사방림과 같이 임상이 다른 산림소유역에서의 장기증발산량과 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. Fig. 8은 보정 후, 2004년 ~ 2006년에 대한 대상유역의 최종 출구점에서의 모의유량-관측유량을 일별로 나

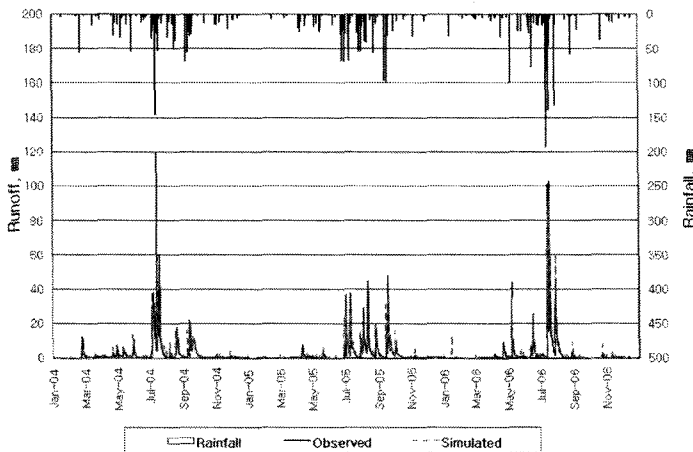


Fig. 8. Performance of model calibration on total runoff.

타낸 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 Fig. 9에서 나타낸 바와 같이 결정계수( $R^2$ )는 0.859로 비교적 높게 나타나 모형이 실측치를 양호하게 모의하는 것으로 판단된다.

총 유출량의 경향과 기수기 등이 잘 적합되면 유역 전반에 걸친 질량보존이 잘 성립되는지를 살펴 보아야 하며 이때 확인해야 하는 것이 Fig. 10에 나타낸 누가유량(cumulative flowrate)이다.

설마천 시험유역은 산림이 대부분을 차지하고 있어 증발산이 활발하게 이루어진다고 보았으며, 같

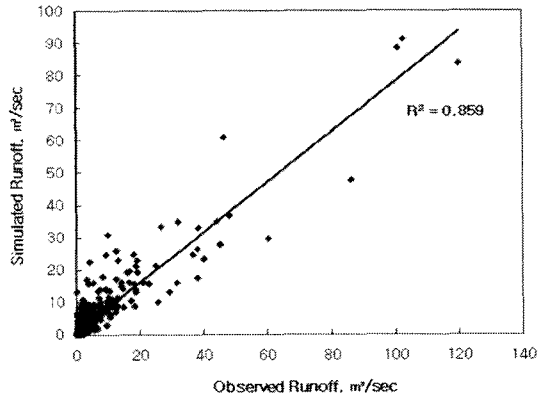


Fig. 9. Correlation of observed and simulated runoffs (2004-2006).

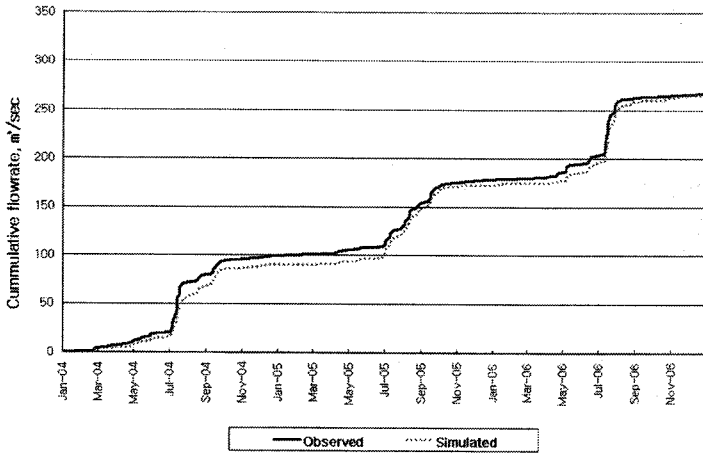


Fig. 10. Comparison of total observed and simulated cumulative flowrates (2004-2006).

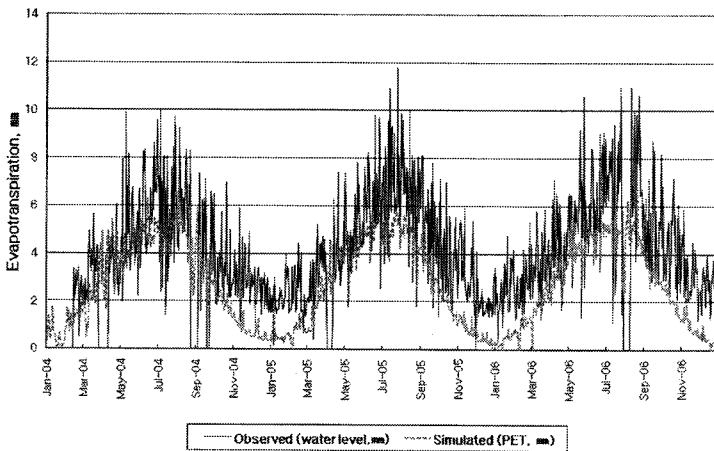


Fig. 11. Comparison of total observed and simulated evapotranspirations (2004-2006).

수시의 하천 유출량 측정시 6.0 mm미만의 일강우량은 하천 유출량에 기여하지 못하고 있음을 보았을 때 연간 발생한 강우량 중 일강우량 6.0 mm미만의 합을 총 증발산량으로 추정하여 분석하였다<sup>4)</sup>. 본 연구에서는 이렇게 측정된 값을 잠재증발산의 실측치로 보았으며, SWAT-K 모형에서 Penman-Monteith 방법을 이용하여 계산된 값을 모의치로 산정해 Fig. 11과 같이 비교하였다.

### 4.3. 물수지분석

본 연구에서는 SWAT-K를 이용한 물수지 분석을 통해 설마천 유역의 각 수문성분량을 연도별, 소유역별로 구할 수가 있었으며, Table 4에는 주요 수문성분인 강수(PREC), 총 유출량(RUNOFF), 증발산량(ET)을 나타냈다. 이는 각 소유역별 수문성분 발생

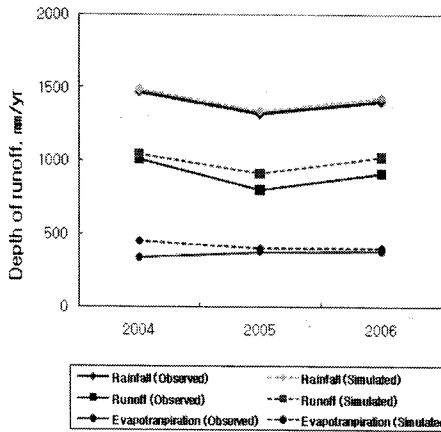
량으로서 HRU기반의 물수지 계산을 수행하는 준분포형 모형의 특징을 보여준다. Fig. 12에는 연도별 주요 수문성분의 관측치와 계산치의 비교를 나타냈다.

모형 검정의 2단계는 기저유출량(지하수 유출량)의 적정성을 평가하는 것으로 장기간의 기저유출량이 함양량과 같다는 가정 하에 관측유출량으로부터 해석적인 방법인 디지털 필터 기법을 이용하여 기저유출량을 추정하는 BFLOW<sup>13)</sup>에 의한 결과와 SWAT-K의 지하수 유출량을 비교하였다. 2004년 ~ 2006년까지의 관측 유출수문곡선에 대해서 BFLOW 모형을 이용하여 직접유출과 기저유출을 분리하였다. Table 5는 BFLOW에 의한 연도별 기저유출량을 계산한 것으로 필터링 매개변수  $\beta$ 에 따라 연평균



**Table 4.** Major hydrologic components of Seolma's sub basins for 3 years (2004-2006)

YEAR	SUB BASIN	AREA (km <sup>2</sup> )	PREC. (mm)	RUNOFF (mm)	ET (mm)	RUNOFF (%)	GWQ (mm)	GWQ (%)
2004	1	3.52	648.60	467.21	185.74	72.03	149.30	23.02
	2	5.02	837.12	578.53	267.27	69.11	135.62	16.20
	Total	8.54	1485.72	1045.73	453.01	70.57	284.91	19.61
2005	1	3.52	587.44	411.30	161.54	70.02	124.73	21.23
	2	5.02	752.00	500.82	241.71	66.60	105.81	14.07
	Total	8.54	1339.43	912.12	403.25	68.31	230.55	17.65
2006	1	3.52	611.38	448.89	163.95	73.42	126.73	20.73
	2	5.02	820.83	574.33	241.68	69.97	117.02	14.26
	Total	8.54	1432.22	1023.21	405.63	71.70	243.75	17.49

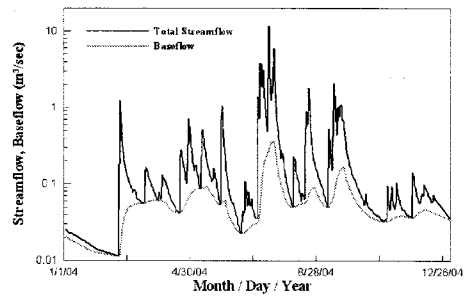


**Fig. 12.** The annual average of water balance for 3 years (2004-2006)

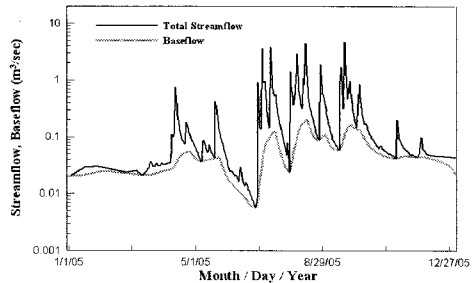
**Table 5.** Estimation of baseflow using the Digital Filter Method

Year	Observed value (mm)		Baseflow (mm)	
	PREC.	RUNOFF	Filtering parameter ( $\beta=0.9$ )	
2004	1472	1007	242 (16%)	
2005	1321	800	208 (16%)	
2006	1408	895	164 (12%)	

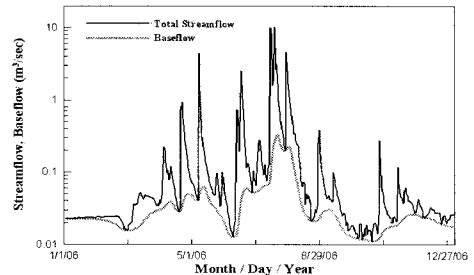
기저유출량이 164~242 mm의 값을 나타냈다. 연평균 기저유출량은 12~16%로 SWAT-K에 의한 연평균 기저유출량(16.2~17.7%)에 비해 3~5%의 차이를 나타냈으나 연간 증감양상은 유사한 것으로 파악되었다. Fig. 13은 연도별 기저유출량의 변화를 나타낸 것이다.



(a) 2004



(b) 2005



(c) 2006

**Fig. 13.** Baseflow hydrograph for 3 years (2004-2006).

## 5. 결 론

본 연구는 국내 대표적인 산지 소하천 유역인 설마천 유역을 대상으로 한국형 준분포형 장기유출모형인 SWAT-K를 이용하여 각 수문성분별 특성을 살펴본 것이다. 강수와 증발산 등 수문기상자료는 현지 계측자료로 이용하였고, 특히 기상자료 중 결측된 부분에 대해서는 최인집 기상관측소인 동두천 관측소의 자료를 활용하여 보정하였다. 급경사 산지에서의 적절한 유출해석을 위해 경사와 경사장간의 회귀식을 반영하여 HRU별로 보정을 수행한 결과, 전적비교의 관측유량자료를 이용한 검증결과는 매우 양호하였으며, 증발산 관측치와 모의치, 지하수 유출량 등을 비교하여 계산된 수문성분비의 적정성을 검토한 바, 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, 유역 유사량 및 비점오염원 유출부하량 추정, 수문성분간의 상호관계, 식생과 수문성분과의 연계 등 복합적인 분석을 수행할 계획이다.

## 감사의 글

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

## 참 고 문 헌

1) 유동훈, 이재용, 2004, 기초수리수문학, 새론출판

- 사, 12pp.
- 2) 한국건설기술연구원, 2004, 지표수 수문성분 해석 시스템 개발, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업 1단계 연구보고서(2-2-1).
  - 3) 한국건설기술연구원, 2007, 지표수 수문성분 해석 시스템 개발, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업 2단계 연구보고서(2-2-2).
  - 4) 한국건설기술연구원, 2006, 시험유역의 운영 및 수문특성조사 보고서.
  - 5) 이가영, 김기훈, 오경준, 김상현, 2005, 설마천유역 범류사면의 토양수분 시공간 집중변화양상의 측정, 한국수자원학회논문집, 38(5), 345-354.
  - 6) <http://www.paju.go.kr/main/main.tdf?a=user.index.IndexApp&c=1001>
  - 7) Arnold J. G., Allen P. M., Bernhardt G., 1993, A comprehensive surface-groundwater flow model, *Journal of Hydrology*, 142, 47-69.
  - 8) Soil Conservation Service, 1972, Section 4: Hydrology *In National Engineering Handbook*, SCS.
  - 9) Neitsch S. L., Arnold J. G., Kiniry J. R., Willams J. R., 2001, Soil and Water Assessment Tool: the theoretical documentation (version 2000), U.S. Agricultural Reasearch Service.
  - 10) Leavesley G. H., Lichty R. W., Troutman B. M., Saindon L. G., 1983, Precipitation- runoff modeling system: user's manual. US Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 83-4238, 207pp.
  - 11) 김철겸, 김남원, 2004, 산림식생에 따른 유역 물수지 영향 평가, 한국수자원학회논문집, 37(9), 737-744.
  - 12) 김경하, 정용호, 2006, 임상이 다른 3개 산림소유역의 장기 증발산과 유출량의 변화, 농림기상학회지, 8(3), 174-182.
  - 13) Nathan R. J., McMahon T. A., 1990, Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis, *Water Resources Research* 26(7), 1465-1473.