

분포형 수문모형(GSSHA)을 이용한 산지사면에서의 토양수분 모의

Simulation of soil moisture in Hill-slope area using GSSHA model

장철희*, 김현준**, 김상현***노성진****

Cheol Hee Jang, Hyeon Jun Kim, Seong Jin Noh

요 지

분포형 수문모형은 유역을 격자단위로 세분화하여 매개변수를 부여하고, 증발산, 침투, 지표면유출, 중간유출, 지하수유출, 하도흐름 등 여러 가지 수문요소를 해석하는 종합적인 수문모형이다. 지표면에 내린 강우의 증발 및 침투, 유출은 토양수분의 함량에 크게 의존하게 된다. 따라서 토양수분에 대한 적절한 모의가 분포형 수문모형의 정확도를 좌우하는 핵심이라 할 수 있다.

토양수분은 식물의 생장 및 가용수자원 산정 등에 있어서 중요한 요소로서 토양층 상부의 수 미터 내에 존재하는 수분의 양을 일컫는다. 토양수분의 공간적·시간적 특성들은 증발, 침투, 지하수 재충전, 토양침식, 식생분포 등을 지배하는 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 강우로 인한 지면과 지표하에서의 순간적인 포화공간의 형성 및 유출의 생성을 포함하는 과정과 증발산 등은 모두 비포화대(vadose zone) 혹은 토양층에서의 토양수분의 함량에 크게 의존하게 된다(이가영 등, 2005)

본 연구에서는 토양수분에 대한 정밀측정 자료가 있는 설마천 유역 범륜사 사면에 대하여 분포형 수문모형의 토양수분 해석 능력을 평가하고자 하였다. 토양수분 모의에 사용된 격자기반의 분포형 수문모형은 미국 공병단에서 개발한 GSSHA(USACE, 2006) 모형이다. 모형의 입력자료는 정밀토양도와 현장측정에 의한 토양매개변수를 반영하여 구축하였고, 강우 및 기상자료는 2003년 1월 1일 ~ 2004년 12월 31일의 1시간 자료를 이용하였다. 모의기간 중 2003년은 초기 토양수분값 등 초기조건의 영향을 줄이기 위한 웜업(Warm-up) 기간으로 설정하였고, 2004년의 모의결과를 토양수분 관측값과 비교하였다.

핵심용어 : 분포형 수문모형, GSSHA, 토양수분, 산지사면, 정밀토양도, 투수계수

1. 서 론

유역의 물순환을 평가하기 위해서는 유역내의 수문성분의 기작에 대한 정확한 모의가 선행되어야 한다. 유출모형은 이러한 유역내의 수문순환을 모의해주는 도구로서, 최근에는 분포형 유출모형의 개발 및 적용에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(김성준, 2001). 분포형 유출모형은 유역을 수문학적으로 균일한 소유역 또는 격자망으로 구분하여 적용하는 것으로, 도시화 등 토지이용의 변화나 기타 유역내의 물리적인 특성의 변화가 수문기작에 미치는 영향을 잘 모의할 수 있다. 또한, 모형의 매개변수를 유역의 물리적 특성이나 실측된 자료로부터 구하기 때문에 미계측 유역에도 적용할 수 있는 반면에 입력자료의 구축에 많은 시간과 노력이 필요하며, 모형의 구동에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다(박종민, 2003).

GSSHA(Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis) 모형은 미국 공병단 연구개발센터(USACE ERDC; US Army Corps of Engineers Engineering Research and Development Center)에서 개발된 물리적인 개념의 공간 분포형(PBSD; Physically Based Spatially Distributed) 수문모형으로, CASC2D 모형(Ogden 와 Julien, 2002; Downter 등, 2002)을 개선, 확장한 모형이다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : hjkim@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : chjang@kict.re.kr

*** 정회원 · 부산대학교 환경공학과 교수 · 공학박사 · E-mail : kimsangh@pusan.ac.kr

**** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : sjnoh@kict.re.kr

CASC2D 모형이 건조 지역 및 준건조 지역의 표면 유출 해석을 위해 개발되어 hortonian 유출에 대해서만 해석이 가능하지만, GSSHA 모형은 hortonian과 비 hortonian 유출에 대한 해석이 모두 가능하여 다양한 기후의 유역에 대해 적용이 가능하다. 또한, 비포화 흐름 및 포화 지하 대수층 해석에 대한 모듈이 추가되었고 이 외에도 모형의 안정성과 효율성이 현저하게 개선되었다.(Downer와 Ogden, 2002).

2. 모형의 개요

2.1 GSSHA 모형의 개요

GSSHA 모형은 유역을 한 유한 차분 격자로 나누어 각각의 격자를 기본 단위로 모의한다. 모형의 주요 모의 모듈은 강우 분포, 용설, 차단, 침투, 증발산, 지표면 저류, 2차원 표면류 추적, 1차원 하도 추적, 불포화 층 모의, 2차원 포화 지하 대수층 흐름, 지표면 유사 침식, 하천 유사 추적 등이 포함된다.

GSSHA 모형은 전체 모형과 개별 수문 모듈의 모의 시간간격을 별도로 설정하며, 전체 모형의 시간간격으로 계산을 진행하다가 개별 모듈의 시간간격 마다 계산을 업데이트하고 그 결과를 다른 연관된 모듈로 전달한다. 이러한 방법은 표면류 흐름, 증발산, 지하수 흐름 등 서로 다른 반응시간을 가진 수문과정을 모의하는데 있어 계산효율을 향상시킨다. 일반적으로 시간간격은 전체 모형은 1초 ~ 5분, 증발산 모듈은 1시간, 강우 / 차단은 1분 ~ 1일, 침투는 1초 ~ 5분 정도의 값이 권장된다.

2.2 GSSHA 모형의 토양수분 매개변수

WEP 모형에서는 표층 토양에서 지하수위까지를 수분전달층으로 설정하여 침투를 모의한다. 침투는 호우 시와 비호우시로 구분하여 비호우시에는 Richard 식을, 호우시에는 Green-Ampt 식을 적용한다. 다음의 식과 같이 강우강도가 투수계수보다 작을 때는 비호우시로, 강우강도가 투수계수보다 클 때는 호우시로 간주된다. 이와 같은 차별적 적용을 통해 모의시 시간 효율을 높일 수 있다.

$$I \leq K_s \Rightarrow Rechard's Eq. \quad (1)$$

$$I > K_s \Rightarrow Green-Ampt method \quad (2)$$

여기서, I : 강우강도, K_s : 포화투수계수이다.

침투 관련 방정식에서 토양수분과 흡인압 관계 및 토양수분과 불포화투수계수의 관계는 다음의 Havercamp 식 (식 (3))을 통해 계산된다.

$$\theta = \frac{\alpha(\theta_s - \theta_r)}{\alpha + (\ln(\phi))^{\beta}} + \theta_r \quad (3)$$

여기서, θ : 체적함수율 [cm^3/cm^3], θ_s : 포화수분율 [cm^3/cm^3], θ_r : 잔류수분율 [cm^3/cm^3], ϕ : 흡인압 [$\text{cm}/\text{H}_2\text{O}$], α , β : 상수이다.

3. 대상지점 및 입력자료 구축

3.1 대상지점

대상지점은 설마천 유역(유역면적: 8.5 km^2 , 하도길이: 9 km)의 중앙에 위치한 범륜사 부근 사면으로 하였다(그림 1, 2 참조). 이 지점을 선택한 이유는 부산대학교 연구팀(김상현 교수)에 의해 측정된 토양수분 현장 관측자료가 있고(관측지점 그림 3 참조), 설마천 시험유역의 기상 관측자료, 1 m간격의 정밀 DEM 자료 등 기초 수문자료가 비교적 충분하기 때문이었다. 설마천 유역은 토지이용은 99%가 산림이며, 모의지점인 범륜사 사면은 침엽수 지대이다. 경사도는 30° 정도로 비교적 가파른 사면이다.

3.2 입력자료 구축

지형자료는 기축정된 자료를 바탕으로 가로, 세로 1 m 간격을 기본격자로 하여 총 6,726 개(= 가로 57 × 세로 118)의 격자망을 구축하였다(그림 4 참조). 토양매개변수는 정밀토양도의 토양통 정보로부터 구축하였다. 모의지점의 토양종류는 정밀토양도상 덕산통(DEOGSAN SERIES)이며, 이 토양통은 USDA(United States Department of Agriculture) 분류상 사양토(Loamy sand)이며, 조성은 모래(Sand) 49.8%, 미사(Silt) 44.7%, 점토(Clay) 5.5%로 이루어져 있다(농업토양정보시스템). 이 조성으로부터 표 1의 토양매개변수를 계산하고 포장용수량(Field capacity), 작물성장한계점(Wilting point)은 사양토의 일반적인 값의 범위에서 사용하였다. 토양깊이는 전 격자에 대하여 50 cm로 동일하게 적용하였다. 강우자료는 설마천 시험유역의 범륜사지점 관측자료를 사용하였고, 기상자료는 동두천 기상관측소 자료를 사용하였다.

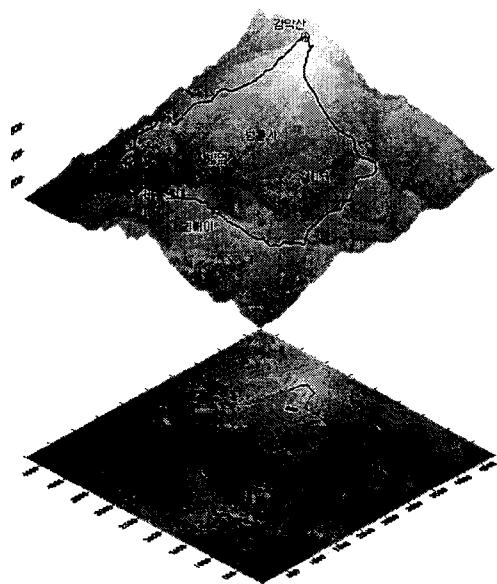


그림 1. 설마천 유역도



그림 2. 범륜사 전경

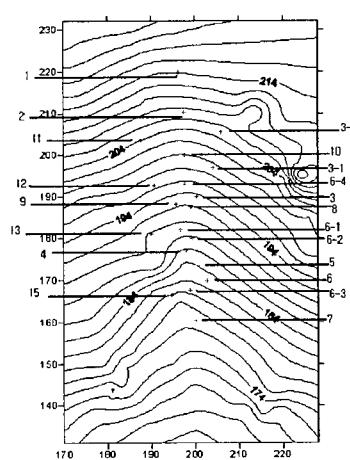


그림 3 대상지점

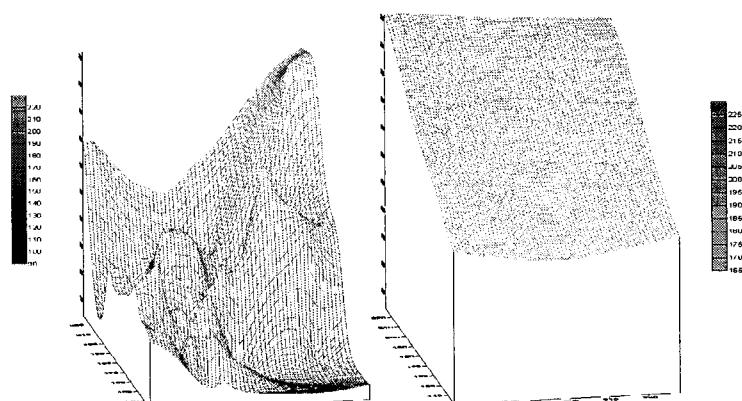


그림 4 구축된 정밀 DEM(우) 각 지점 별 심도(좌)

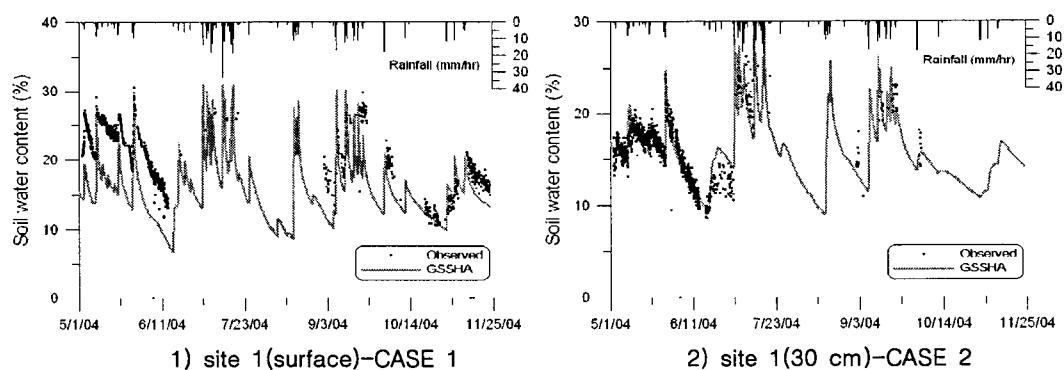
4. 모형 적용결과

모의는 2003년 1월 1일 01:00부터 2004년 12월 31일 24:00까지 2년을 1시간 간격으로 모의하였다. 모의기간 중 2003년은 초기 토양수분값 등 초기조건의 영향을 줄이기 위한 웜업(Warm-up) 기간으로 설정하였고, 2004년의 모의결과를 토양수분 관측값과 비교하였다.

토양수분을 모의하기 위하여 일반적으로 사용되고 있는 정밀토양도(혹은 개략토양도)로부터 토양 매개변수를 추정하는 방법 (CASE 1)과 현장에서 토양 매개변수를 실측하는 방법 (CASE 2)에 의하여 입력자료를 구축하고, 모의하여 기존 모의방법에 의한 토양수분 모의 결과의 정확성 및 한계를 분석하고, 실측 입력자료에 의한 산지사면 토양수분의 해석능력을 평가하였다.

정밀토양도에 의해 추정된 매개변수를 적용한 경우(CASE 1), 표층에서의 관측 토양수분은 상부에서 하부로 내려갈수록 갈수시 토양수분의 감수곡선의 기울기가 급하고 토양수분이 낮게 측정되었는데, 모의 결과에서는 격자의 상, 하부 위치와 관계없이 비슷한 양상과 크기의 토양수분이 모의되었다. 이는 CASE 1의 입력자료중 투수계수와 토양깊이가 격자별로 동일하게 설정된 것이 한 원인으로 판단된다. 정밀토양도로부터 토양관련 매개변수를 추정하여 모의한 경우, 산지 사면의 토양수분 변화 특성을 효과적으로 모의하기에는 다소 한계가 있으나, 토양수분 변화의 대략적인 경향은 충분히 모의 가능한 것으로 판단된다. 현장 실측에 의한 토양매개변수를 적용한 경우(CASE 2), 현장 측정된 투수계수가 CASE 1의 투수계수에 비해 10~100배 정도 크기 때문에 모의된 갈수시 토양수분이 급격하게 감소하는 것으로 모의되었다.

그럼 5에서 1지점에서의 토양수분 모의 및 관측결과를 비교할 것이다. 표층에서의 토양수분은 모의와 관측 결과가 비슷한 양상을 보였다. 하지만 토양깊이 30 cm에서의 모의값은 관측값과 다소 상이한 거동을 보였다. 토양깊이 30 cm에서의 토양수분 관측값은 표층에서보다 작았다. 반면 모의결과에서는 표층에서 토양수분이 강우시 급격히 상승하였다가 하강하고 이후 기간에는 토양깊이 30 cm에서의 토양수분이 표층보다 크게 모의되었다. 또한 관측값은 지점별, 심도별 토양수분 그래프의 거동이 상이한 데 비해 모의값은 모든 지점에서 거의 비슷한 거동이 모의되었다. 이는 실제 사면에서는 지점별로 토양깊이가 다르고, 비교적 경사가 급하여 토양수분의 횡방향 이동이 예상되는데 반해 모형에서는 입력자료 구축시 격자별 토양깊이를 동일하게 가정하고 침투모의시 토양수분을 1차원 연직방향으로 해석하기 때문인 것으로 판단된다.



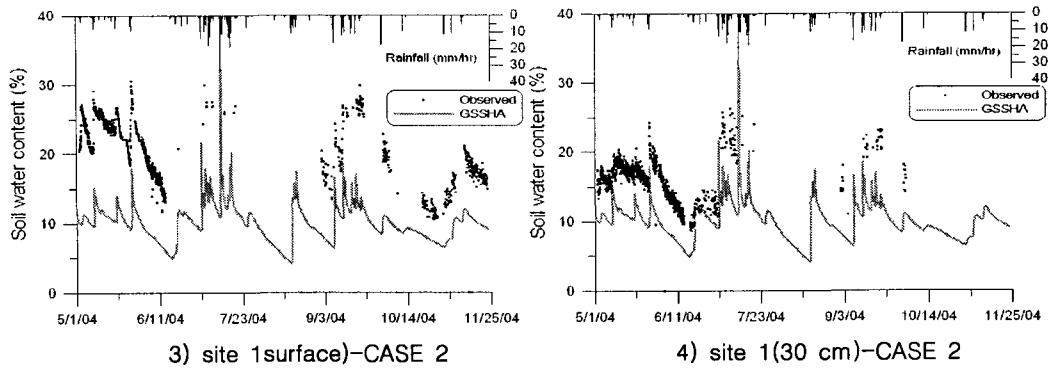


그림 5. 토양수분 관측 및 모의결과 비교

5. 결론 및 향후 연구과제

분포형 수분모형인 WEP 모형을 이용하여 범륜사 사면의 토양수분 거동을 모의하였다. 입력자료로는 1 m × 1 m의 정밀격자를 사용하였으며, 정밀토양도의 토양통 자료로부터 토양관련 매개변수를 추정하였다.

모의결과, 표층에서의 토양수분은 관측과 모의 결과가 비교적 거동 양상을 보였으나, 하단부인 지점 5의 표층과 대부분 지점에서 토양깊이 30 cm의 토양수분은 관측과 모의 결과가 다소 상이하였다. 이는 입력자료 구축시 격자별 토양깊이를 동일하게 가정하고 모형의 토양수분 모의시 1차원 연직방향만 고려하기 때문인 것으로 판단된다. 향후 격자별 토양깊이 입력자료를 구축하고 토양수분의 횡방향 거동을 감안하도록 모의방법의 개선하여야 실제 사면에서 토양수분의 물리적 거동에 가깝게 모의할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유연구사업 '건강한 물순환체계구축을 위한 유역진단기법 개발연구(2007-00007-1-1)'의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이가영, 김기훈, 오경준, 김상현(2005). "설마천 유역 범륜사사면의 토양수분 시공간 집중변화양상의 측정." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 38권, 제 5호, pp. 345-354
2. 농업토양정보시스템. <http://asis.rda.go.kr/>
3. 한국건설기술연구원 (2003). 설마천시험유역의 운영, 한국건설기술연구원
4. 한국건설기술연구원 (2006). 건강한 물순환 체계 구축을 위한 유역진단기법개발연구, 한국건설기술연구원.
5. 허승오, 정강호, 하상건, 김정규 (2006). Tension Infiltrometer를 이용한 불포화수리전도도의 추정, 2006 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 180-188.
6. 김성준, 2001, 분포형 수분·수질 모델링의 최근 동향과 활용방안, 한국수자원학회지, 제36권, 6호, pp. 33-45.
7. 김철겸, 김현준, 2003, SWAT 모형을 이용한 경안천 유역의 유출 및 유사량 추정, 한국농공학회 학술발표논문집, 제주, pp. 527-530.
8. 임상준, 김현준, 장철희, 2003, 경안천 유역에 대한 Mike SHE 모형의 적용, 한국농공학회 학술발표논문집, 제주, pp. 463-466.
9. Downer, C. W., and F. L. Ogden. 2002. GSSHA user's manual, Gridded Surface subsurface hydrologic analysis version 1.43 for WMS 6.1. ERDC Technical Report, Engineering Research and Development Center, Vicksburg, MS.