

격자기반의 개념적 수문모형의 개발

Development of Conceptually Grid Based Hydrological Model

김병식*, 윤선규**, 홍승진***, 권현한****

Byung-Sik Kim · Seonkyoo Yoon · Seung-Jin Hong · Hyun-Han Kwon

요 지

분포형 수문모형은 컴퓨터 하드웨어의 급속한 발전과 GIS를 바탕으로 한 수문지리공간정보에의 접근성 및 활용성 증가에 따라 근래에 많은 발전을 이루게 되었다. 하지만 물리기반 분포형 수문모형은 입력자료 구축 및 모형구동에 많은 시간과 노력이 필요하며 수문자료가 불충분한 미계측 유역에서는 모형의 구축이 어렵다는 한계점을 지니고 있다. 이에 본 논문에서는 개념적 격자물수지 기법을 이용하여 집중형 수문모형의 자료구축의 간편성과 분포형 수문모형의 공간적 유출 해석 능력을 동시에 만족할 수 있는 그리고 격자기반 레이더강우자료를 활용할 수 있는 개념적-분포형 수문모형을 개발하였다. 본 수문모형은 GUI 환경으로 개발되었으며, GIS 전처리과정(pre-process) 및 유역의 지형자료 추출 기능을 탑재함으로 지형분석을 위해 GIS 상용 도구에 대한 의존성이 없는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이 모형의 적용성을 검토하기 위하여 내린 천 유역을 대상으로 유출해석을 실시하였으며 그 결과 적용성이 있음을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 개념적 분포형 유역유출모형, 레이더, S-RAT

1. 서 론

수문순환의 과정을 해석하고 예측하는 것은 과거로부터 지금까지 많은 수문학자들의 가장 중요한 과제 중 하나라고 할 수 있으며 이 중 단기간에 발생하는 호우사상에 대한 유출해석은 홍수 관리 측면에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 수문모형은 물 순환 과정에서의 유역의 유출현상을 모의하는 수학 모형으로서 유출 거동 모의 방법과 유역의 공간적 특성변화를 고려하는 방법에 따라 크게 개념적 집중형 수문모형(conceptual lumped hydrological model)과 물리기반의 분포형 수문 모형(physics-based distributed hydrological model)으로 구분할 수 있다. 1960년대 중반 이후 강우-유출 관계에 대해 모의하기 위하여 컴퓨터를 이용하기 시작하였으며, 최근 들어 지형정보시스템의 등장과 컴퓨터 계산 능력의 두드러진 발달과 더불어 수문모형도 집중형 모형에서 분포형 모형으로 발전하고 있는 추세이다. 특히, 분포형 수문 모형에 관한 연구는 1990년대에 들어 인공 위성자료나 레이더 자료의 활용성이 높아지면서 활발해지기 시작하였으며, 최근에는 컴퓨터 성능의 급격한 발달과 수치해석 기법의 발달로 많은 발전을 이룩하였다.

* 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 수석연구원 ·공학박사

** 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 연구원

*** 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 연구원

**** 전북대학교 토목공학과 조교수

분포형 수문모형은 집중형 수문모형과는 달리 모형의 매개변수를 평균화하는 것이 아니라 지역의 특성을 충실히 표현할 수 있도록 입력자료를 구성한다. 이러한 이유 때문에 분포형 수문모형은 일반적으로 집중형(Lumped model) 또는 준 분포형 수문모형에 비해 많은 입력 자료와 계산시간을 필요로 하기 때문에 우리나라 산악지역의 자연유역처럼 수문자료가 불충분하거나 미계측 유역 존재하는 경우에는 실무에서 분포형 모형을 이용하여 유출해석을 하는 데 있어 많은 한계와 어려움이 있다. 이에 본 논문에서는 개념적 격자 물수지 기법을 이용하여 집중형 수문모형의 자료구축의 간편성과 분포형 수문모형의 공간적 유출해석 능력을 동시에 만족할 수 있는 그리고 격자기반 레이더 자료를 그대로 입력하여 활용할 수 있는 격자기반의 개념적-분포형 수문모형을 개발하였다. 또한 본 논문에서는 개발된 모형을 국내 산지유역에 적용하여 그 적용성을 검토하였다.

2. S-RAT (Spatial Runoff Assessment Tool)모형의 개발

2.1 모형의 개요

본 연구에서 개발한 격자기반의 개념적 분포형 유출모형(이하 Spatial Runoff Assessment Tool, S-RAT)은 GUI 환경을 구현하기 위해 C# 언어 기반으로 개발하였다. 먼저 GIS 자료를 이용하여 대상유역을 일정한 크기의 격자로 구성하고 개개의 격자마다 시간간격별 개념적 물수지를 계산함으로써 유역의 시간적·공간적 유출량변화를 모의하도록 설계되었다. 본 모형의 가장 큰 특징은 기존 대부분의 분포형 수문모형들이 모형에 입력될 지형학적 매개변수들을 추출하기 위해 Arc 관련 소프트웨어 또는 IDRIS 등과 같은 GIS 관련 상용 패키지에 의존하여 전처리 과정이 필요하다는 번거로움이 있으나 S-RAT은 자체적으로 GIS 관련 지형매개변수를 추출할 수 있는 기능을 가지고 있다는 점이다. 또한 S-RAT 모형은 격자기반 레이더 강우자료를 GIS 격자와 동일하게 입력할 수 있다는 점이 특징이다. S-RAT 모형은 다음과 같은 기본 입력 자료를 필요로 한다.

- 기상학적 입력자료: 강우 자료 (지점 또는 격자기반 레이더 강우) / 온도자료
- 지형학적 입력자료: 수치고도모형(DEM) / 토양도 / 토지이용도

본 모형의 흐름도는 그림 2와 같다. 모형의 입력자료인 유역의 수치지형도, 토양도, 토지이용도는 ESRI-ASCII 형식의 파일로 입력하게 되며 DEM으로부터 지형적 매개변수를 생성한다. 또한 토양도와 토지이용도로부터 각 격자별 CN 값 및 조도계수 격자자료를 생성한다. 이렇게 생성된 유역의 지형학적 자료와 함께 입력된 강우자료 및 온도자료로부터 유출 및 추적계산을 수행하여 최종적으로 모의지점의 유출모의자료를 생성하게 된다.

2.2 모형의 기본 이론

원시 DEM에 있는 sink와 flat area와 같은 오류를 제거하기 위해 filling 알고리즘 (Jenson & Domingue, 1988; Martz & Jong, 1988)을 사용하였다. 각 격자별 흐름방향을 계산하기 위해 D-8 방법을 사용하였고(Band, 1986; Tarboton, 1997), 이를 통해 주위의 격자 중에서 가장 낮은 고도값으로 흐르는 단방향 유출경로를 채택하였다. 각 격자의 잠재 증발산량은 radiation method (doorenbos et al., 1984)를 사용하였고, 침투 및 유출의공간적 거동을 산정하기 위해 USGS의

Curve Number 방법을 사용하였다. 이를 위해 토양도 및 토지이용도를 입력 받아 CN 값 격자자료를 생성하여 계산하게 되며, 이를 바탕으로 수행되는 각 격자별 물수지 계산 개념도는 그림 2과 같다. 유출추적은 지표 유출 및 지표하 유출 모두 유한차분법 기반의 Muskingum-Cunge 방법을 사용하였으며, 이 과정에서 필요한 조도계수 격자별 값은 입력된 토지이용도로부터 생성하여 반영하게 된다.

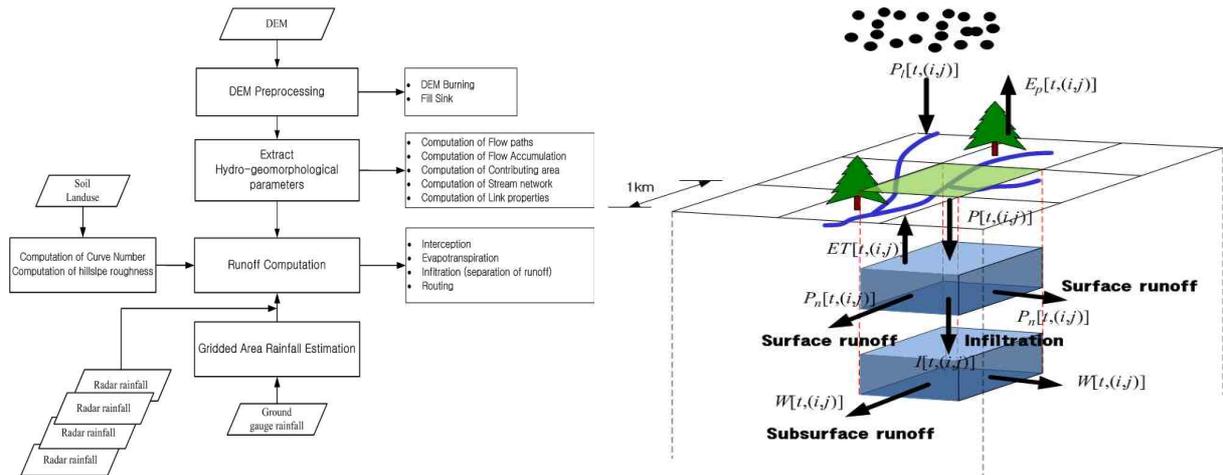


그림 1. S-RAT 수문모형 구성 흐름 개념도 그림 2. S-RAT 수문모형 격자별 물수지 개념도

3. S-RAT 모형의 적용성 검토

3.1 내린천 유역 모의

모형의 적용성을 검토하기 위하여 내린천유역을 대상으로 본 모형을 적용하였다. 내린천은 한강의 제 3지류인 지방하천 2급 구간으로 2000년 한국하천일람에 의하면 소양강 합류점에서 유역면적이 400.63km², 유로연장 41.18km이며, 유역의 위치는 동경 128°18' 00" ~ 128°35' 24", 북위 37°53' 50" ~ 37°41' 05" 사이에 내린천이 위치하고 있다.

수문자료는 기상청에서 제공하는 2006년 7월 14일 ~ 2006년 7월 17일 기간의 조건부합성기법(Kim et al., 2008)으로 보정된 레이더강우를 이용하여 홍수 유출모의 및 매개변수 검보정을 실시하였다. WAMIS에서 제공하는 토양도 및 토지피복도 자료를 사용하였으며, 내린천 유역의 하천하천망도와 각 격자에서의 경사를 구하기 위하여 250m 격자 크기의 DEM을 사용하여 모형을 구성하였다. 그림 3은 구축된 DEM, 토양도 및 토지피복도 자료를 도시한 것이다.

3.2 결과 분석

그림 5는 내린천유역 2006년 7월 14일 ~ 2006년 7월 16일 레이더 강우자료에 대해 매개변수 검보정 후 모의된 유출수문곡선 및 Q-Q plot을 도시한 것이다. 조건부합성법은 최근에 그 우수성이 검증된 레이더 강우 보정기법으로서 본 연구에서도 유출모의에서 뛰어난 결과를 보여주는 것을 확인할 수 있다(Kim et al. 2008). 유출수문곡선에서 알 수 있듯이 본 연구에서 제안하는 S-RAT 수문모형은 유출모의에 적합성을 가지고 있음을 확인하였다. 2006년 7월 14일 ~ 2006년 7월 16일 레이더 강우자료를 통해 검보정한 매개변수를 2008년 7월 23일 ~ 2006년 7월 27일 지

점강우자료에 대해 적용했을 때 모의된 유출수문곡선 및 Q-Q plot을 그림 6에 도시하였다. 본 연구에서 개발한 S-RAT모형이 사용하는 매개변수의 robustness를 확인할 수 있다.

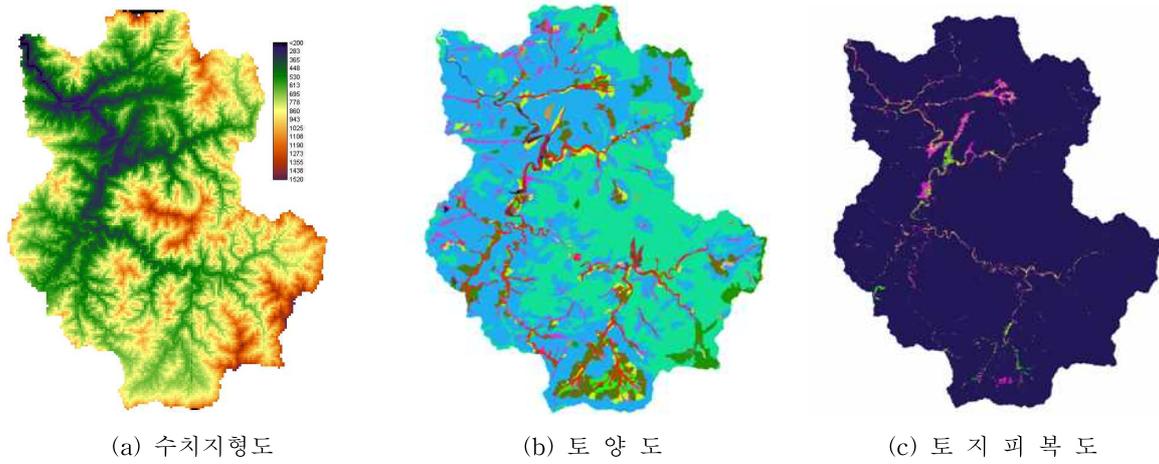


그림 3. 내린천 유역의 지형자료 입력

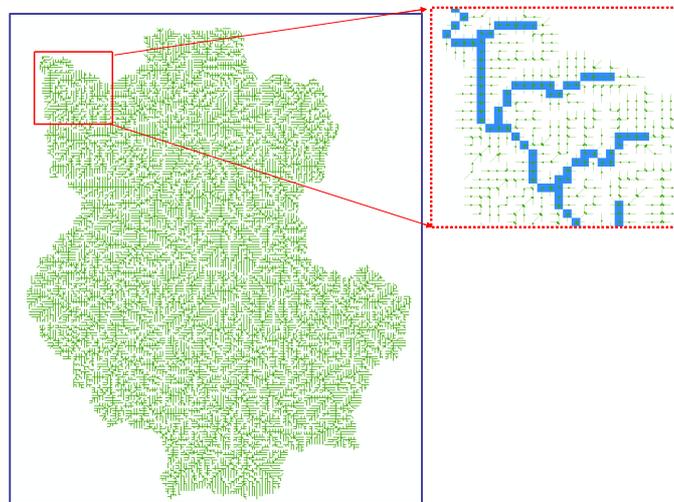


그림 4. 유출해석을 위한 내린천 유역의 격자망 구성

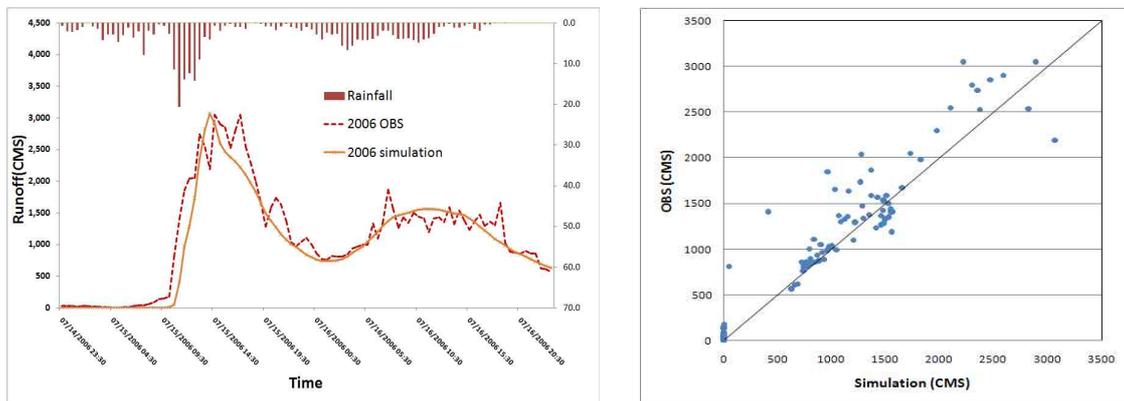


그림 5. 모의수문곡선 및 Q-Q plot (2006 레이더를 이용한 모형 매개변수 보정)

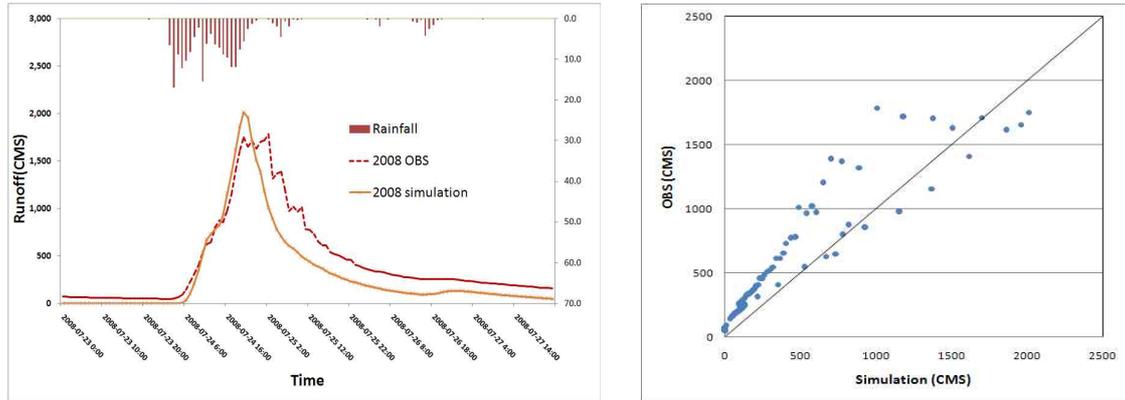


그림 6 모의수문곡선 및 Q-Q plot (2008 지점 강우자료를 이용한 모형 매개변수의 검정)

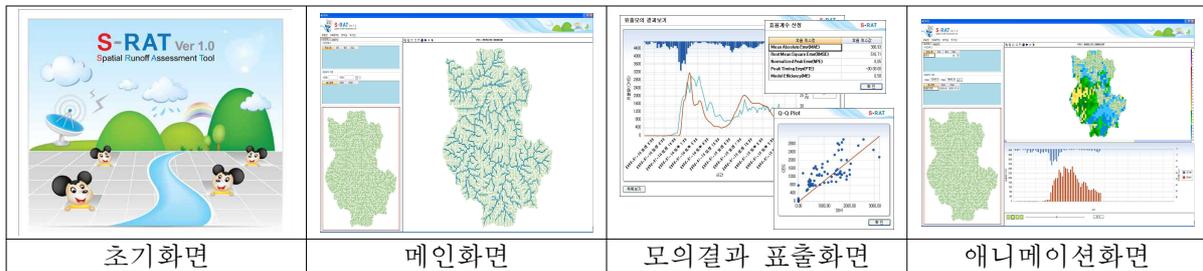


그림 7. S-RAT 모형의 화면구성 모습

4. 결 론

개념적 격자 물수지 기법을 이용한 개념적 분포형 수문모형 S-RAT을 개발하였다. 본 모형은 C# 기반 GUI 환경으로 개발하였으며, 전처리과정 및 영역의 지형자료 추출 기능을 탑재함으로 상용 전처리 과정 tool 들에 대한 의존성이 없는 장점을 가진다. 또한 기존 개념적 집중형 수문모형이 가지는 모형구성 수월성과 물리기반 분포형 수문모형이 가지는 영역의 공간적 거동 분석 용이성을 동시에 구현할 수 있으며, 최근 분포형 수문모형에의 활용이 일반화되고 있는 격자기반 레이더강우자료를 사용할 수 있게 하였다. 내린천 유역 적용결과, 본 연구에서 개발한 S-RAT은 유역 유출모의에 그 활용성이 기대되는 모형이라 판단된다.

참 고 문 헌

1. Band, L.E. (1986) Topographic partition of watersheds with digital elevation models. Water Resources Research 22, 15-24.
2. B.S. Kim, B.K. Kim, H.S. Kim (2008) Flood simulation using the gauge-adjusted radar rainfall and physics-based distributed hydrologic model. Hydrological Processes 22, 4400-4414.
3. Doorenbos, J., Pruitt, W.O., Aboukhaled, A., Damagnez, J., Dastane, N.G., Van der Berg, C., Rijtema, P.E., Ashford, O.M., Frere, M. (1984) Guidelines for predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, Rome.
4. Jenson, S.K. and Domingue, J.O. (1988) Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric engineering

and remote sensing 54 (11), 1593-1600

5. Martz, L.W. and Jong, E.D (1988) CATCH: A FORTRAN program for measuring catchment area from digital elevation models. *Computers & Geosciences* 14 (5), 627-640
6. Tarboton, D.G. (1997) A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research* 33 (2), 309, doi:10.1029/96WR03137.