

# 격자기반의 토양수분추적에 의한 지하수함양량 추정기법 개발

## Assessment of Groundwater Recharge via Grid-based Soil Moisture Routing

김성준\* (건국대) · 채효석 (한국수자원공사)  
Kim, Seong Joon · Chae, Hyo Seok

### Abstract

A grid-based soil moisture routing model (GRISMORM) was developed to assess the information of groundwater recharge using spatial data such as Landsat TM and digital elevation model etc.. The model predicts the hydrologic components, that is, surface runoff, subsurface runoff, baseflow and evapotranspiration at each grid elements by grid-based water balance computation.

### I. 서론

지하수 함양량을 분석하기 위해서는 지하수 관측자료를 활용하는 방법, 수문곡선을 이용한 분석, 기존의 SCS 방법, 지표 구성물질의 수리특성을 분석하는 방법 및 물수지법이 주로 이용된다. 이상의 방법 중에서 지하수 관측자료를 기초로 지하수 함양량을 추정하는 경우에 가장 정확한 정보를 얻을 수 있으며, 수문곡선을 이용하는 경우에는 수문곡선에서 지하수에 대한 성분을 추출하여 지하수의 배출량을 계산함으로써 함양량을 추정하는 것으로 비교적 정확한 방법이다. 기존의 SCS 방법을 이용할 경우 계산과정에서 지면저류량으로부터 증발산량을 제외하는 방법이다.

우리나라에서는 기존의 SCS 방법을 이용하거나 지하수 함양량과 배출량이 장기간에 걸쳐 동일하다는 조건하에서 물수지법을 이용하고 있다. 그러나 관측을 이용하는 경우 많은 경제적인 부담이 따르게 되며, 기존의 물수지법을 이용하는 경우에도 유역 전체를 하나의 모의 요소로 고려하는 집중형모델(lumped model)을 이용하고 있어 유역에 대한 정확한 물리적 요소를 고려하지 못하는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 물수지법의 단점을 보완하기 위하여 원격탐사 자료와 수치고도자료 등과 같은 공간자료(spatial data)를 이용하여 지하수 함양량에 대한 정보를 얻기 위해서 물리적인 기반의 분포형 모델을 개발·이용하여 지하수 함양량에 대한 정보를 추출하고자 한다. 이를 위해서 지하수 함양량에 기여하는 유역의 유출량, 기저유출량 및 증발산량 등과 같은 인자를 계산할 수 있는 성분들을 Landsat TM 자료 및 수치고도자료로부터 얻을 수 있는 기법을 개발하고자 하였다. 또한 본 연구를 통해서 계산된 각종 인자들을 이용하여 1995년도 보청천유역에서 발생한 지하수 함양량에 대한 공간적인 분포를 파악하여 지하수 자원에 대한

정량적인 공간정보를 추출하고, 개발된 지하수 물수지법의 효용성을 입증하고자 한다. 아울러 인공위성 자료와 지리정보시스템을 이용한 지하수 자원의 관리와 분포 상태를 효과적으로 파악할 수 있는 기법을 제시하는데 본 연구의 목적이 있다.

## II. 모형의 개발

### 가. 모형의 개요

본 연구에서 제시하는 분포형 일 토양수분 추적모형은 대상유역을 일정한 크기의 격자로 구성하고 개개의 격자마다 일별 물수지를 위한 수문정보를 입력하여 격자별 물수지를 계산함으로써 유역의 시간적·공간적 수문량을 파악하도록 하는 모형이다.

### 나. 모형의 이론

격자의 흐름방향은 강우에 의하여 유출이 발생되면 해당 격자로 유입되는 양과 그 격자로부터 유출되는 양을 결정하기 위하여 필요한데, 이는 각 격자의 고도값을 이용하여 해당유역의 전반적인 흐름방향도(flow direction map)를 생성할 수 있다. 흐름방향은  $3 \times 3$  격자를 이용하여 주위의 격자 중에서 가장 낮은 고도값으로 흐르는 단방향 유출경로(single flowpath)를 채택하였다. 격자 물수지는 유역을 일정한 크기로 분할한 상태에서 각 격자의 유입·유출을 계산하므로써 일별로 유역 전체에 대한 물수지를 파악할 수 있게 된다. Figure 1은 일유출 계산시 본 연구에서 고려한 물수지인자를 도시한 것이다.

모형은 각 격자별 지표흐름, 지표하에서 불포화 토양층흐름과 포화토양층 흐름의 세가지 흐름에 대한 물수지를 모의한다. 격자마다 일단위의 토양수분의 변화를 계산하는데, 토양의 포화도에 따라 지표유출이 발생하고 지하수로의 흐름이 발생된다. 지표흐름의 유입인자는 강우, 유출인자는 지표유출이고, 지표하 불포화 토양층흐름의 유입인자는 강우에 의한 침투, 주변격자로부터의 횡유입, 유출인자는 증발산, 격자의 횡유출, 포화토양층으로의 침투이며, 포화토양층 흐름의 유입인자는 토양층으로부터의 유입, 주변격자로부터의 횡유입, 유출인자는 격자의 횡유출이다. 임의 하천지점에서의 유출은 이론적으로 유역내에서 발생된 격자별 지표유출의 합과 하천을 따라 주변격자에서 하천격자로 유입되는 지표하유출의 합으로 계산할 수 있다. 한편 본 모형은 일단위로 모의되므로 유역에서 발생된 지표유출이 계산 하천지점으로 도달하는 시간이 하루이내이어야 하며, 지표하 흐름방향은 지표흐름방향과 동일한 것으로 가정하였다.

## III. 모형의 구성

본 분포형 모형의 구조적 흐름도는 Figure 2와 같다. 모형의 입력자료로는 유역의 수치고도 모델, 흐름방향도, 하천도, 토양도, 토지이용도, 지하 자유수위분포도, 티센망도를 사용한다. 본 모형은 이들 자료를 격자기반(raster-based)의 GIS 소프트웨어(GRASS, IDRISI)를 이용하여 ASCII 형식의 파일로 불러들인다. 모형은 수행되면서 유역의 시간적·공간적 유출심, 토양수분 및 지하 자유수위 분포도 등을 주어진 시간간격으로 ASCII 파일형식의 도면으로 출력하며, 원

하는 지점에서의 유출곡선을 텍스트파일로 출력한다. 이들 결과는 격자기반 GIS 소프트웨어의 형식으로 전환시켜 그래픽으로 표현이 가능하다.

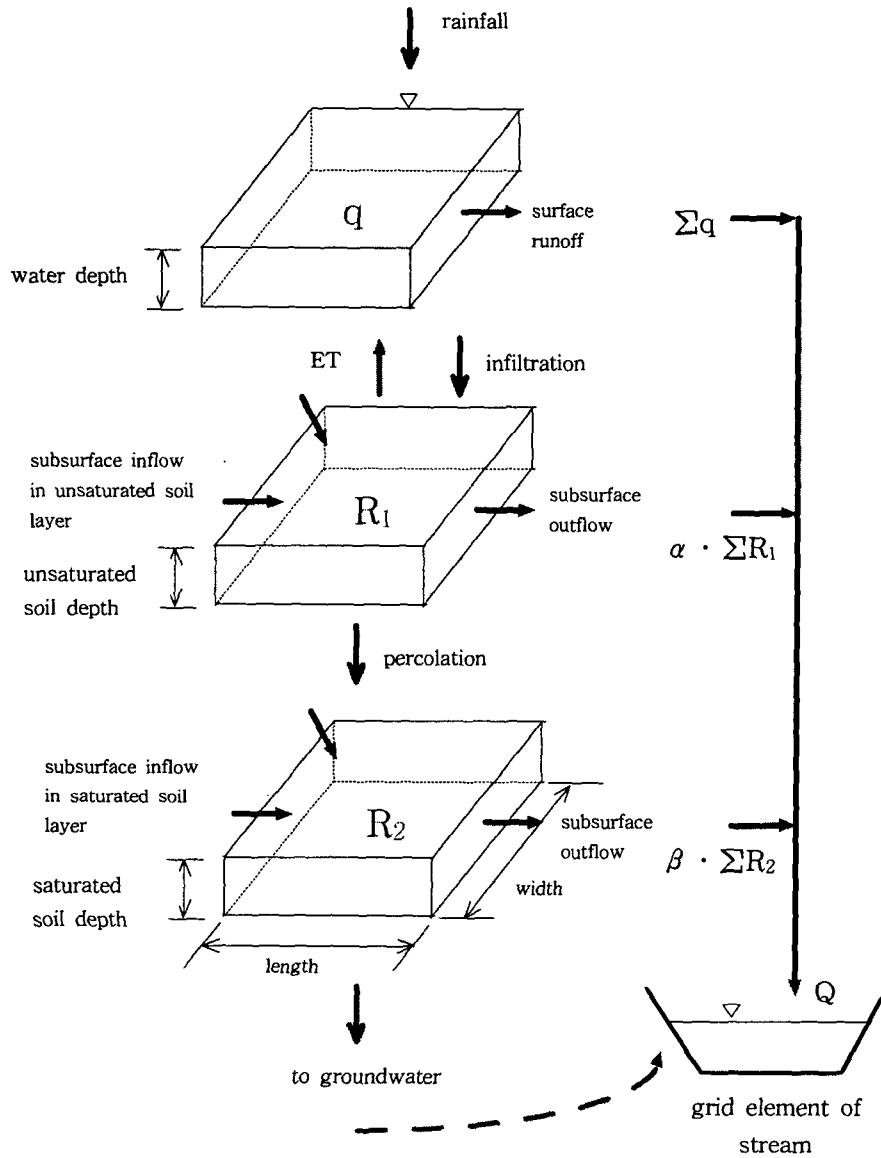


Figure 1. Grid-based water balance components

#### IV. 입력자료의 준비

본 연구에서 사용한 도형 자료는 기본도로서 수치고도모델이며, 주제도로는 유역경계도, 토양도, 토지 이용도, 지하 자유수위도, 티센망도이다. 하천도와 흐름경로도는 GRASS의 r.watershed 명령어를 이용하여 수치고도모델에서 자동생성하였다.

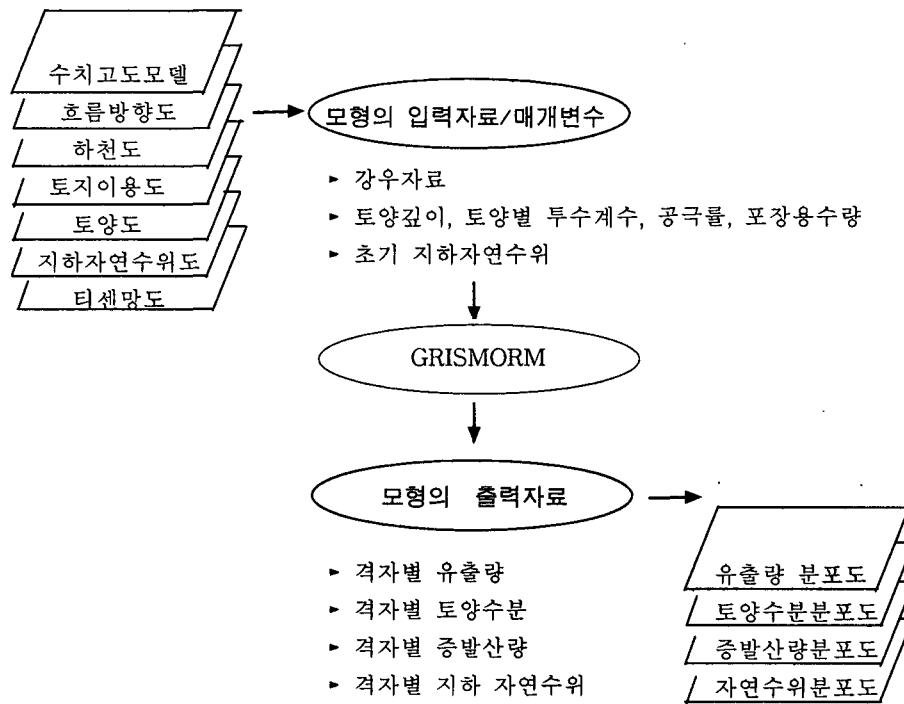


Figure 2. Schematic diagram of GRId-based Soil MOisture Routing Model (GRISMORM)

## V. 모형의 적용

모형의 적용성을 검토하기 위하여 보청천유역의 일부인 이평교유역(75.6 km<sup>2</sup>)을 대상으로 본 모형을 적용하였다. 수문자료는 '95~'96년도 IHP유역 연구보고서의 보청천유역 일수문자료를 이용하였다. 기상자료는 보은관측소의 일기상자료를 사용하였고, 강우자료는 이평교유역을 지배하는 이원, 동정, 삼산측후소의 자료를 이용하였으며, 유출량자료는 이평교지점에서 실측된 자료를 이용하였다.

### 가. 이평교지점에서의 일유출량 비교

'95년의 이평교유역 평균강수량은 843.6mm(이원 : 920mm, 동정 : 954.2mm, 삼산 : 735.8mm)였으며, IHP 보고서에 의한 이평교지점에서의 실측 총유출량은 2073.3mm로서 유출율이 245.8%로 계산되었다. 이는 실측자료에 대한 문제가 있음을 의미하지만, 수문곡선의 전반적인 형태 특히 감쇄구간에서의 기울기 등은 모형의 개발에 사용가능하다고 가정하였다. 이평교지점에서의 실측 일유출량과 모형에 의한 모의발생 일 유출량을 비교하면 Figure 3('95년) 및 Figure 4('96)와 같다.

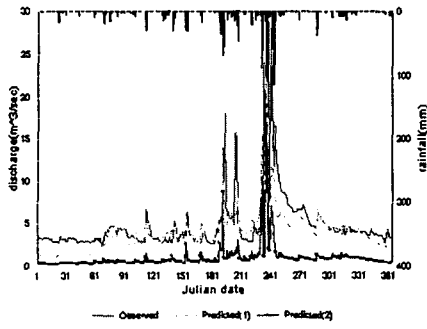


Figure 3. Predicted and observed streamflow for the GRISMORM (1995, Ipyung Bridge watershed)

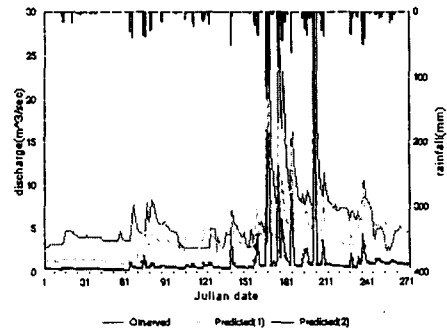


Figure 4. Predicted and observed streamflow for the GRISMORM (1996, Ipyung bridge watershed)

#### 나. 월 토양수분의 공간적 분포

분포형 모형은 임의 하천지점에서의 수문량을 모의하며, 또한 유역에서 발생하는 각종 수문 현상에 대한 정보들을 그래픽으로 표현하여 제공할 수 있다. Figure 5는 '95년 8월과 9월의 월 토양수분의 변화를 나타낸 것이다.

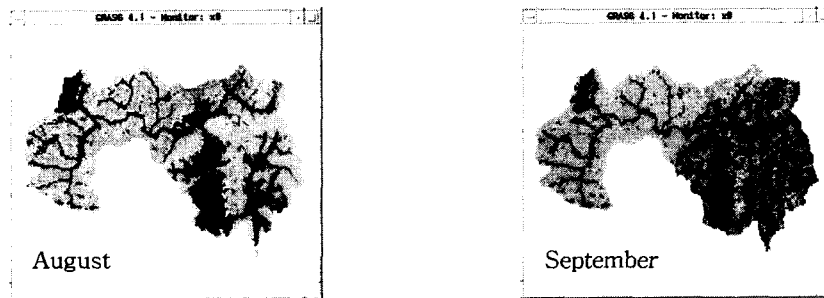


Figure 5. Soil moisture content predicted by GRISMORM (1995, Ipyung Bridge watershed)

#### 다. 지하수 함양량 계산 결과

본 연구에서의 지하수 함양량은 포화토양층에서 침층지하수로 침투되는 양으로 정의하며, 이는 하천유출에 기여하지 않는 양을 의미한다. Figure 6은 1995년도에 대한 월별 지하수 함양량을 도시한 것이다. 총 강수량 843.6mm, 유출량 407.6mm (유출률:48.3%)에 대한 총 지하수 함양량은 69.5mm(함양률:8.3%)로 모의되었다. 이 중에서 6월에서 8월까지의 함양기여율은 약 58%로서 큰 비중을 차지하며, 여기에 5월과 9월의 함양량을 합하면 약 74%로서 5개월 (5월~9월) 동안의 지하수 함양량이 년 지하수 함양량의 3/4를 차지하는 것으로 나타났다.

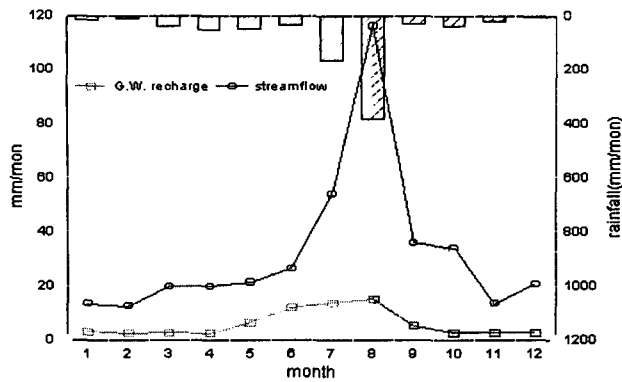


Figure 6. Estimated monthly groundwater recharge (1995, Ipyung Bridge watershed)

## VI. 요약 및 결론

격자 물수지 기법을 이용한 분포형 일 토양수분 추적모형을 개발하였다. 본 모형은 C-언어로 구성하였다. 전처리과정으로서 래스터 GIS 소프트웨어인 GRASS를 이용하여 모형에 필요한 자료(수치고도모델, 하천도, 흐름방향도, 토양도, 토지이용도, 티센망도)를 준비하고, 모형은 이들을 ASCII 형태로 받아들여 일별 수행결과(유역출구에서의 유출량, 지표유출 분포도, 토양수분 분포도)들을 ASCII 형태의 화일로 자동발생시킨 후, 후처리과정으로서 이들 결과를 GRASS상에서 도시하여 주는 형태로 구성하였다.

모형의 개발을 위하여 보청천유역의 일부인 이평교 유역(75.6 km<sup>2</sup>)을 대상으로 '95년 및 '96년도의 IHP유역 연구보고서 자료를 이용하였다. 실측 일유출자료의 전반적인 형태 특히 감쇄구간에서의 기울기 등을 모형 개발에 사용하였으며, 간단한 선형저수지 개념을 도입하여 유역출구에서의 일유출량을 모의할 수 있도록 개발하였다. 개발과정에서 일단위·월단위의 지표유출 분포도와 토양수분 분포도를 출력하여 유역전반에서 발생하는 유출기여지역과 토양수분의 변화양상을 공간적으로 확인할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 분포형 모형을 이용하여 1995년도 보청천유역의 이평교지점에 대한 지하수 함양량을 계산하였다.

## 참고문헌

- 김대식(1995). "지표배수량 산정을 위한 지리정보시스템의 응용모형 개발", 서울대학교 석사학위논문.
- 한국수자원학회(1995~1996). "국제수문개발계획(IHP) 연구보고서." 건설교통부
- 한국수자원공사(1997). "공간자료를 이용한 지하수 함양량 계산기법연구."
- 최진용(1996). "지리정보시스템을 이용한 장기유출모형에 관한 연구.", 서울대학교 박사학위논문.
- Frankenberger, J.R.(1996). "Identification of critical runoff generating areas using a variable source area model." PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- Kim, Seong J.(1997). "Grid-based variable source area storm runoff model." J. of Hydrology, submitted.
- Singh, V.P.(1996). "Computer Models of Watershed Hydrology." WRP, Colorado.
- U.S. Army CERL(1993). "GRASS 4.1 Users Manual." Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, IL.