

# GIS와 완전 연계된 1차원 분포형 강우-유출 모형 개발

## Development of One-dimensional Distributed Rainfall-Runoff Model fully Coupled with GIS

최윤석\*, 김경탁\*\*, 이진희\*\*\*

Yun Seok Choi, Kyung Tak Kim, Jin Hee Lee

### 요 지

도달시간이 짧은 중소유역의 홍수예측과 돌발호우에 의한 돌발홍수의 예측을 위해서는 단기 예측 강우를 활용하는 기술이 필수적이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 예측 강우를 이용한 신속하고 정확한 유출모의를 수행하는 과정으로서, 수치예보자료와 레이더 강우와 같이 격자 형태로 제공되는 강우자료를 직접 이용하여 유출모의가 가능한 1차원 분포형 강우-유출 모형을 개발하고자 한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 모형은 모형의 입출력, 유출분석 모듈 등과 같은 모든 과정을 GIS 시스템과 완전 연계하고자 하며, 이를 통해서 그리드 형태로 제공되는 강우 시계열 자료와 공간자료를 화면상에서 조회할 수 있으며, 이를 모형의 입력자료로 직접 이용하고, 모의결과 또한 유역 내에서 공간 분포된 행태로 제시할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 모형의 유출해석 과정과 이론적 검증 결과를 개략적으로 소개하고자 한다.

핵심용어 : 분포형 모형, GIS, 격자형 강우, 유출모의

## 1. 서 론

가까운 미래의 유출량을 예측하는 과정은 단기간 내의 강우량을 예측하는 과정과 이를 이용하여 유출을 모의하는 과정으로 구분될 수 있으며, 이 때 예측 강우량의 정확도를 높이고 이를 이용하여 신속하게 유출모의를 수행하는 것이 필요하다. 이를 위해서 국내에서는 단기 강우의 예측을 위한 수치모형과 강우레이더 자료를 활용하여 유출모의를 수행함으로써 신속하고 정확한 유출량 예측을 위한 다양한 연구가 진행 중이다. 본 연구에서는 수치예보자료와 레이더 강우와 같이 격자 형태로 제공되는 단기 예측 강우자료를 이용하여 유출모의가 가능한 1차원 분포형 강우-유출 모형을 개발하고자 한다. GIS 기반으로 운영 가능한 모형으로 개발하기 위해서 GDK(GEOMania Development Kit)를 이용하고 있으며, 이에 따라서 GEOMania의 벡터 공간 데이터베이스 및 그리드 자료인 gss, gcd 등을 데이터 변환과정 없이 직접 참조할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 모형의 구성과 검증 결과를 기술하고자 한다.

## 2. 지배방정식과 이산화 방정식

본 연구에서의 분포형 모형은 홍수시의 단기 강우-유출해석을 목적으로 하고 있으며, 따라서

\*정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 · E-mail : yschoi51@kict.re.kr  
\*\*정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 책임연구원 · E-mail : ktkim1@kict.re.k  
\*\*\*정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 연구교수 · E-mail : jinheelee@inha.ac.kr

홍수 유출의 주요 수문인자인 강우, 차단, 침투, 유출을 주요 컴포넌트로 포함하고 있다. 그림 1은 단위요소에서의 각 수문성분의 흐름을 나타낸 것이다. 지표면 유출해석을 위해서 1차원 운동과 모형을 적용하고 있으며, 연속방정식과 운동량방정식의 조합으로 흐름을 해석한다. 지배방정식 작성을 위한 제어체적의 설정은 그림 2와 같다.

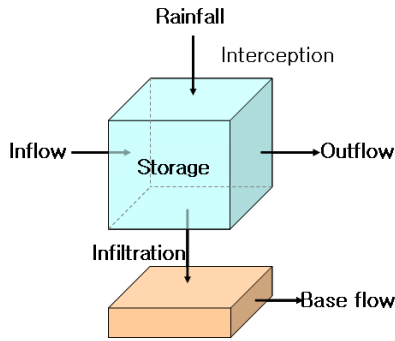


그림 1. 주요 수문성분

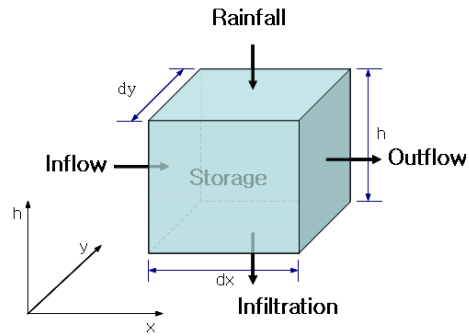


그림 2. 제어체적 설정

$$\cdot \text{연속방정식} : \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = P - IF \quad (1)$$

$$\cdot \text{운동량방정식} : g(S_b - S_f) = 0 \quad (2)$$

여기서,  $q$  : 단위폭당 유량,  $S_b$  : 바닥 경사,  $S_f$  : 마찰경사,  $P$  : 강우강도,  $IF$  : 침투율

식 (2)에서는 중력과 마찰력이 평형을 이루는 상태로서 Manning의 유속공식에서 마찰경사 대신에 바닥경사를 적용함으로써 유속을 계산할 수 있다. 수심이 작은 지표면 흐름에서는 동수반경으로 수심을 근사적으로 적용할 수 있으며, Manning의 유속공식은 다음 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$u = \frac{h^{2/3} S_0^{1/2}}{n} \quad (3)$$

여기서,  $u$  : 유속,  $n$  : 조도계수

침투량 산정을 위하여 Green-Ampt 모형을 적용하고 있다. Green-Ampt 모형에서는 식 (4)와 같이 누가 침투량을 계산하고 있으며, 침투률은 누가침투량을 이용해서 식 (5)로 계산된다.

$$F(t) = Kt + \Delta\theta\psi \ln\left(1 + \frac{F(t)}{\Delta\theta\psi}\right) \quad (4)$$

$$f(t) = K \left( \frac{\psi\Delta\theta}{F(t)} + 1 \right) \quad (5)$$

여기서,  $F(t)$  :  $t$  시간에서의 누가침투량,  $f(t)$  :  $t$  시간에서의 침투률

$\Delta\theta$  : 토양수분함량변화( $\Delta\theta = (1 - S_e)\theta_e$ ),  $S_e$  : 유효포화도

( $S_e = (\theta - \theta_r)/(\eta - \theta_r)$ )

$\theta$  : 수분함량 ( $\theta_r \leq \theta \leq \eta$ ),  $\theta_r$  : 잔류 수분함량 ( $\theta_r = \eta - \theta_e$ ),  $\eta$  : 공극률

본 연구에서는 유한체적법을 이용하여 1차원 운동과 모형의 해를 계산하며, 유한체적법 적용을 위한 제어체적의 설정은 그림 3과 같다. 그림 3에서 제어체적의 번호는 변수의 아래첨자  $i$ 로 표시하였으며, 제어체적의 중심부를  $p$ , 제어체적으로 유입이 발생하는 상류 방향( $x$  방향)의 제어체적면을  $w$ , 유출이 발생하는 하류 방향의 제어체적면을  $e$ 로 표시하고 있다.

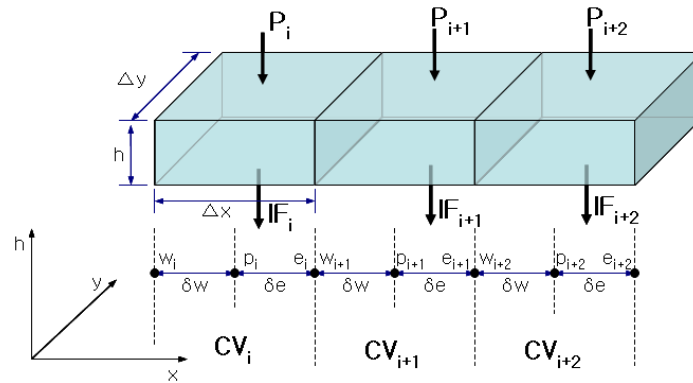


그림 3. 이산화 방정식의 제어체적 설정

이산화 방정식의 작성은 식 (1)의 연속방정식에서 출발한다. 연속방정식을 하나의 제어체적에 대해서  $x$ 와  $t$ 의 향으로 적분하기 위한 식은 식 (6)과 같다.

$$\int_{w_i}^{e_i} \int_j^{j+1} \frac{\partial h}{\partial t} dt dx + \int_j^{j+1} \int_{w_i}^{e_i} \frac{\partial (uh)}{\partial x} dx dt = \int_j^{j+1} \int_{w_i}^{e_i} (P_i - IF_i) dx dt \quad (6)$$

여기서,  $q=uh$ ,  $u$  : 유속,  $h$  : 수심

식 (6)을 적분하고, 계산하고자 하는 제어체적  $i$ 의 중심점에서의  $j+1$  시간의 수심( $h_{p_i}^{j+1}$ )으로 정리하면 식 (7)과 같은 이산식을 얻을 수 있다.

$$h_{ip}^{j+1} = h_{ip}^j - \left[ \alpha \{ (\overline{uh})_{ie}^{j+1} - (\overline{uh})_{iw}^{j+1} \} + (1-\alpha) \{ (\overline{uh})_{ie}^j - (\overline{uh})_{iw}^j \} \right] \frac{\Delta t}{\Delta x} + \{ \alpha S_i^{j+1} + (1-\alpha) S_i^j \} \Delta t \quad (7)$$

여기서,  $S_i$  : 소스 항( $S_i = P_i - IF_i$ ),  $\alpha$  : 시간 가중계수

### 3. 모형의 검증

본 연구에서 개발된 1차원 분포형 강우-유출 모형의 이론적 검증을 위해서 가상의 유역을 설정하고, 이 가상의 유역에 대해서 모의한 결과를 1차원 분포형 강우-유출모형인 Vflo 모형(Vieux, 2004)과 비교하였다. Vflo와 본 연구에서 개발한 모형의 비교를 위하여 적용한 유역과 강우에 대한 사항은 표 1과 같다. 본 연구에서는 3가지 형태의 가상유역에 대하여 10mm/h, 30mm/h, 50mm/h의 강우강도로 1시간과 3시간 동안 지속되는 강우를 적용하여 그 결과를 검토하였으며, 그림 4~ 그림 6과 같다. 본 연구에서 개발된 모형은 가상의 유역에 적용된 모든 강우에서 Vflo

모형과 유사한 유출 결과를 보여주고 있으며, 이를 통해서 각 수문성분의 해석모듈이 이론적으로 적합하게 구현된 것으로 나타났다.

표 1. 적용 유역과 수문사상

구분	격자크기	유역크기(행×열)	횡단형	종단형	경사	조도계수
유역1	100m×100m	(20×1)			0.001	0.015
유역2	100m×100m	(20×11)			0.001	0.015
유역3	100m×100m	(20×21)			0.001	0.015
강우강도	10mm/h, 30mm/h, 50mm/h					
강우지속기간	1시간, 3시간					

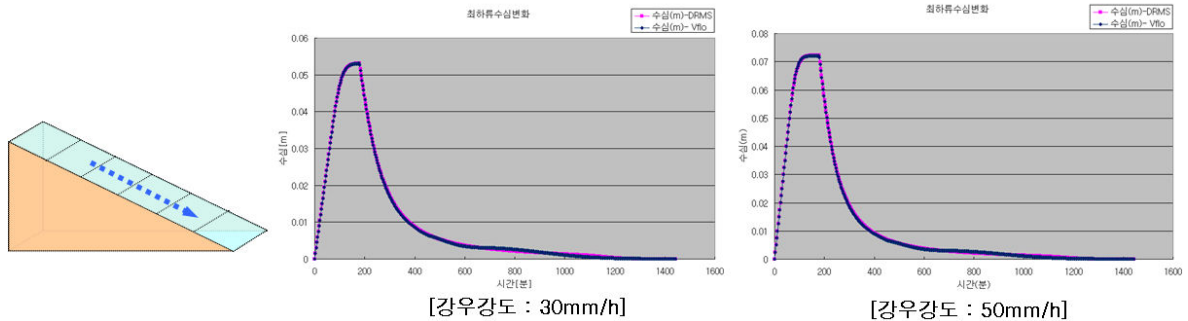


그림 4. 유역1 적용(강우지속시간 3시간)

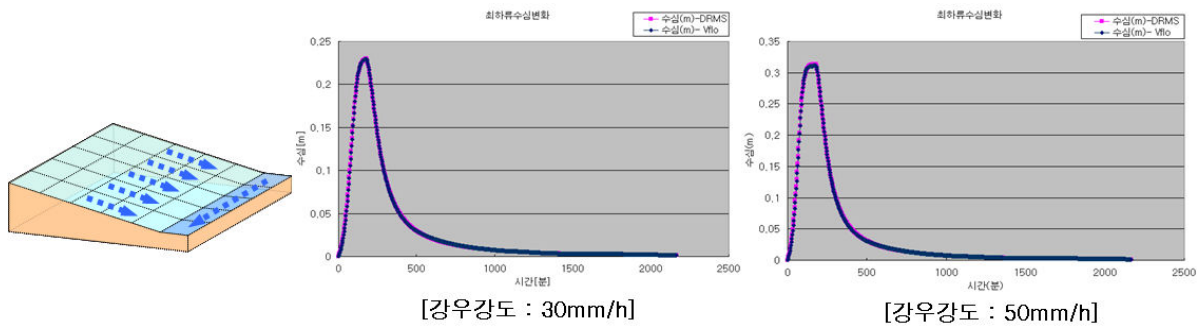


그림 5. 유역2 적용(강우지속시간 3시간)

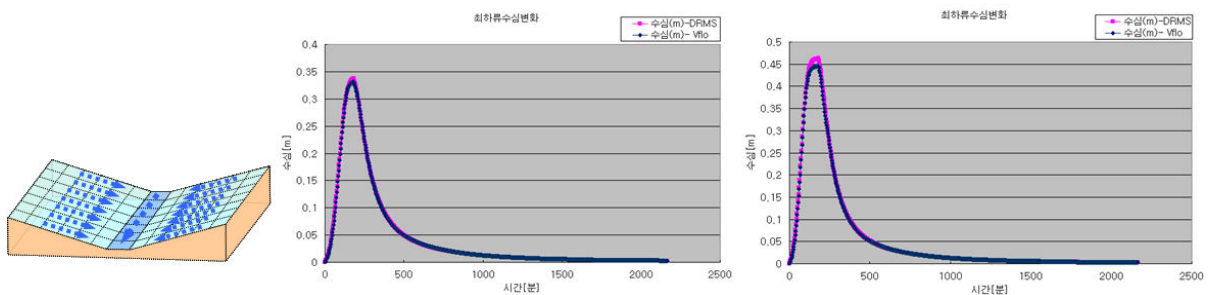


그림 6. 유역3 적용(강우지속시간 3시간)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 GIS와 완전연계가 가능한 1차원 분포형 강우-유출모형을 개발하기 위해서 GDK를 이용하고 있으며, 이에 따라서 벡터 및 그리드 자료를 변환과정 없이 직접 이용할 수 있다. 1차원 운동과 모형을 이용하여 지표흐름을 해석하고 있으며, 가상의 유역에 적용하여 그 결과를 Vflo와 비교함으로써 이론적 적합성을 검토하였다. 검토 결과 강우, 침투, 지표면 유출, 하도 유출 등이 적합하게 구현된 것으로 나타났으며, 입출력 모듈도 적절히 구성된 것으로 검토되었다.

그러나 현재까지 수행된 연구에서는 가상의 유역을 대상으로 검증된 것으로 향후 실유역 적용을 통한 모형의 적합성 및 신뢰성을 검토하고 지속적인 보완과 개선이 필요할 것이다. 또한 모형 입출력 인터페이스의 일반화 및 GUI의 개발을 통해서 일반 사용자들도 편리하게 이용할 수 있는 모형으로 개발되기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원(과제번호:1-2-3)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 이진희(1996). 유한체적법에 의한 개수로에서의 2차원 부정류 해석. 인하대학교 석사학위논문.
2. Vieux, B.E.(2004). Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. Kluwer Academic Publishers.
3. South Florida Water Management District(2005). Regional Simulation Model(RSM) - Theory manual, South Florida Water Management District Office of Modeling.
4. Patankar, S.V.(1980). Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere Publishing Corporation.
5. Chow, V.T., D.R. Maidment, and L.W. Mays(1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill.