

**홍수유출해석을 위한 운동파기반의 분포형모형 개발 및 적용****Development of Kinematic Wave-based Distributed Model  
for Flood Discharge Analysis****박진혁\* / 허영택\*\***

Park, Jin-Hyeog / Hur, Young-Teck

**Abstract**

In this research, a distributed rainfall-runoff model based on physical kinematic wave was developed to simulate temporal and spatial distribution of flood discharge considering grid rainfall and grid based hydrological information. The developed model can simulate temporal change and spatial distribution of surface flow and sub-surface flow during flood period, and input parameters of ASCII format as pre-process can be extracted using GIS such as ArcGIS and ArcView. Output results of ASCII format as post-process can be created to express distribution of discharge in the watershed using GIS. The Namgang Dam Watershed was divided into square grids of 500m resolution and calculated by kinematic wave into an outlet through channel networks to review capability of the developed model. The model displayed precise results to be compared to the hydrograph.

**keywords** : flood discharge, kinematic wave, distributed model, GIS, grid

**요 지**

본 연구에서는 격자강우량과 격자기반의 수문정보와 연계하여 홍수기 유출량의 시공간적 분포를 파악할 수 있도록 물리적인 운동파(kinematic wave)이론에 근거한 분포형 강우-유출모형을 개발하였다. 이 모형은 홍수기동안의 지표흐름과 지표하 흐름의 시간적 변화와 공간적 분포를 모의할 수 있으며, 전처리과정으로서 ArcGIS 혹은 ArcView등의 GIS 프로그램을 이용하여 모형에 필요한 ASCII형태의 입력 매개변수 자료들을 가공하였다. 또한 후처리과정으로서 모형의 수행결과인 유역내의 유출량 분포 등을 GIS상에서 나타낼 수 있도록 ASCII형태로 출력하도록 구성하였다. 개발된 모형의 적용가능성을 검토하기 위하여 남강댐유역을 대상으로 유역을 500m의 정방형 격자로 분할하고 수계망을 통하여 유역 출구까지 운동파이론에 의해 추적 계산하였으며, 수문곡선 비교결과 재현성 높은 결과를 보여주었다.

**핵심용어** : 홍수유출, 운동파, 분포형모형, GIS, 격자

\* 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 대우

Principal Researcher, Korea Institute of Water and Environment, K-Water, Daejeon 306-711, Korea  
(e-mail: park5103@kwater.or.kr)

\*\* 한국수자원공사 물관리센터 공동연구원

Co-researcher, Water Resources Operations Center, K-Water, Daejeon 306-711, Korea  
(e-mail: korcivil@hanmail.net)

## 1. 서론

수문모형은 유역의 유출현상을 물리적으로 표현하는 수학적 모형으로서, 공간적인 변화의 고려 유무에 따라서 집중형모형 (lumped model)과 분포형모형(distributed model)으로 구분된다(김성준, 1998). 유출현상의 해석에 있어서 입력인자인 강우량의 시간적, 공간적 분포와 변환계인 유역 사면의 수문특성의 공간분포는 대단히 중요한 인자이다. 유역사면의 수문특성이 비교적 단기간에 있어서 크게 변화하는 등 공간적인 분포를 무시할 수 없을 경우에 있어서, 종래의 강우와 유역사면을 평균적으로 취급하는 방법으로는 유출현상의 표현이 곤란하게 된다(신사철, 1996). 집중형 수문모형의 경우 물리기반의 분포형 모형에 비해 매개변수가 개념적 그리고 경험적 의미가 크기 때문에 수문모형 구축시의 초기 매개변수에 의한 모의 정확도가 상당히 떨어지며, 이를 위해 시행착오 또는 유전자 등과 같은 최적화 기법을 통해 매개변수를 보정한다. 그러나, 물리적 기반의 분포형 수문모형의 가장 큰 장점은 분포형 지형자료와 강우자료로부터 추정된 초기 매개변수의 값에 의한 유출모의가 집중형 모형에 비해 비교적 정확하기 때문에 미세한 매개변수의 조정만으로도 유역의 유출량을 모의할 수 있다는 점이다(홍준범 등, 2006).

지금까지 분포형 모형 개발에 대한 많은 노력이 있음에도 불구하고 여러 제약사항들에 의해 잠재력을 보여주는 정도로 활용되어 왔으나, 최근 급속도로 발전하는 컴퓨터의 계산능력, DEM(Digital Elevation Model) 등 디지털정보의 구축이 진행되어 오고 있고, GIS 및 인공위성 영상기법의 발달로 유역에 대한 정확하고 상세한 각종 수문매개변수의 수집이 가능하여 유출과정의 공간적인 분포나 변동을 유역 혹은 소유역단위로 평균화해서 취급하는 개념적기반의 집중형 수문모형 보다 공간적인 비균질성을 고려하여 유출과정에서 운동역학적인 이론을 기반으로 물의 흐름을 수리학적으로 추적해 나가는 물리적 기반의 분포형 유출모형의 활용도가 높아지고 있다(朴珍赫, 2003).

분포형 유출모형과 관련된 최근의 연구동향을 살펴보면, 홍수기모형으로 격자기반의 레이더 강우와 연계한 연구와, 유역의 복잡한 지형특성이나 인위적인 영향을 충분히 고려할 수 있도록 물순환적인 측면에서 접근하여 모형이 보다 복잡화되고 있고 각종 물리적 수문매개변수 추출에 GIS를 도입하는 경우가 증가하고 있다.

본 연구에서는 격자강우량과 GIS와 연계한 격자기반의 공간수문자료들을 모형의 입력매개변수로 활용하고, 수계망을 통하여 유역 출구까지 운동파(kinematic

wave)이론에 의해 유출량을 물리적으로 추적해 나가는 격자기반의 분포형 강우-유출모형을 개발하였고, 이를 남강댐유역(2,293 km<sup>2</sup>)에 적용해 봄으로써 모형의 적용성을 검토해 보고자 하였다.

## 2. 모형의 개요 및 이론

### 2.1 개요

본 모형개발에 있어 이론적 배경이 된 모형은 1998년부터 일본 교토대학 방재연구소 코지리 연구실에서 개발 중인 Hydro-BEAM(Hydrological Basin Environmental Assessment Model)으로서 유역 물순환의 건전성을 평가하기 위하여 장기간의 유역내 유량, 수질을 시계열 및 공간적으로 파악하여 장래 토지이용의 변화나 인공적인 변화에 의한 유역의 영향평가를 하기 위해 개발된 물리적 기반의 격자구조를 가진 분포형 장기유출 모형이다(朴珍赫 등, 2003). 본 연구에서는 모형의 각종 수문매개변수들을 GIS와 연계하여 직접 입력할 수 있도록 하였으며, 물리적기반의 침투과정을 모의할 수 있도록 Green & Ampt모듈을 추가하고, 향후 레이더 강우 및 수치예보강우의 홍수유출예측을 염두에 두고 격자강우량을 활용할 수 있도록 하였고 모형의 구동시간을 최대한 단축하는 등 실시간 홍수유출해석을 위한 분포형 강우-유출모형으로 개발하였다.

### 2.2 모형의 구성 및 이론

유역내 수평 유출량산정 모듈로서 평면 분포형의 격자형을, 연직분포형으로 다층모형을 이용해서 격자기반 다층유출모형을 적용한다. 연직구조는 A~B층의 수평 유출량은 하천으로 유입하고, C층은 하천유량에 영향을 미치지 않는 지하수층으로 가정하였다(Fig. 1). 동일한 유출특성 및 부하발생특성을 가지는 토지피복을 하나로 묶어서 산림지역, 논지역, 밭지역, 도시지역, 수역으로 5종류로 재분류하여 격자마다 모자이크법을 적용하여 토지피복의 영향을 상세하게 파악할 수 있도록 고려하였다.

본 모형은 단순화된 조건하에서 사용하기 적합한 해석해가 존재하여 검증이 용이하고 넓은 범위의 조건하에서 적용성이 우수하며 강우-유출로 인한 지표흐름을 추적하기 위하여 보편적으로 적용하고 있는 운동파 해석법(kinematic wave)을 이용하였다.

지표 흐름 및 A층(얕은면 흐름)은 중간유출을 고려한 운동파법을 적용하였고, B층(지표하 흐름)과 C층(지하수 흐름)은 선형저류법을 적용하였다. 각층에서의 유출해석을 위한 지배방정식과 각각의 변수에 대한 내용

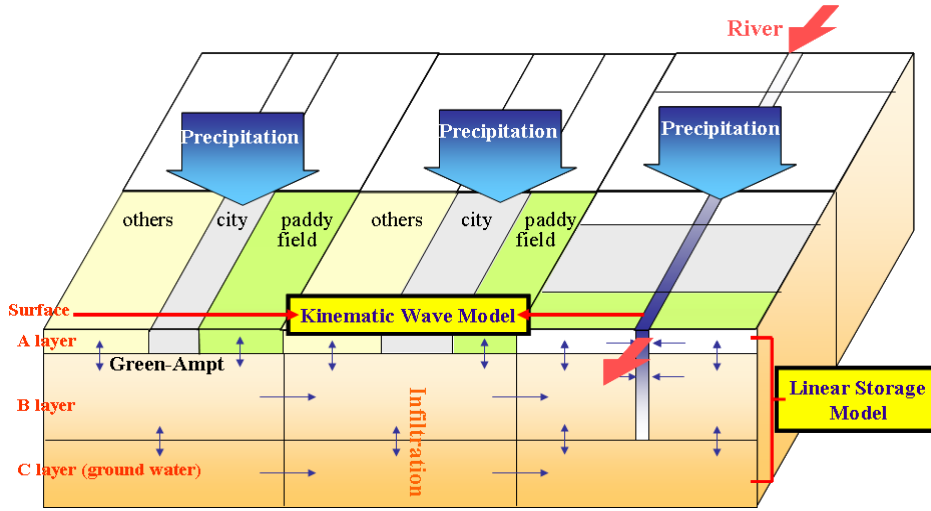


Fig. 1. Basic Structure of the Model

은 다음과 같다(Beven, 1979).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r, \quad r = R + U_B - f \quad (1)$$

$$q = \left( \frac{\alpha(h - d_A)^m + \beta h}{\alpha h} \right), \quad (2)$$

$$\text{when } \begin{cases} h \geq d_A \\ h < d_A \end{cases}, \quad d_A = \lambda_A D_A, \quad m = \frac{5}{3}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{\sin \theta}}{n} \text{ (Manning type)}, \quad (3)$$

$$\beta = \frac{k_A \sin \theta}{\lambda_A} \text{ (Darcy type)}$$

$$U_B = \begin{pmatrix} S_B - d_B \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$\text{when } \begin{cases} S_B - d_B \geq 0 \\ S_B - d_B < 0 \end{cases}, \quad d_B = \lambda_B D_B$$

$$\frac{dS_B}{dt} = I_B - O_B, \quad I_B = f_A + U_C, \quad (5)$$

$$O_B = O_{h_B} + O_{v_B}, \quad O_{h_B} = k_{h_B} S_B, \quad O_{v_B} = k_{v_B} S_B$$

$$U_C = \begin{pmatrix} S_C - d_C \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\text{when } \begin{cases} S_C - d_C \geq 0 \\ S_C - d_C < 0 \end{cases}, \quad d_C = \lambda_C D_C$$

$$\frac{dS_C}{dt} = I_C - O_C, \quad I \quad (7)$$

$$C = O_{v_B} + O_{C_{VP}}, \quad O_C = O_{h_C}, \quad O_{h_C} = k_{h_C} S_C$$

여기서,  $h$ : 수심(m),  $q$ : 단위폭당 유량( $\text{m}^3/\text{sec}$ ),  $R$ : 강우 강도( $\text{m}/\text{sec}$ ),  $f$ : Green-Ampt식으로 산출한 침투강도( $\text{m}/\text{sec}$ ),  $\theta$ : 사면경사각,  $n$ : Manning의 조도계수,  $k_A$ : A층의 투수계수( $\text{m}/\text{sec}$ ),  $\lambda_A, \lambda_B, \lambda_C$ : A, B, C층의 공극율,  $D_A, D_B, D_C$ : A, B, C층의 유효토심(m),  $d_A, d_B, d_C$ : A, B, C층의 포화저류가능량(m),  $U_B$ : B층에서 A층으로 복귀하는 유량강도( $\text{m}/\text{sec}$ ),  $U_C$ : C층에서 B층으로 복귀하는 유량강도( $\text{m}/\text{sec}$ ),  $S_B, S_C$ : B, C층의 저류량(m),  $I_B, I_C$ : B, C층의 유입강도( $\text{m}/\text{sec}$ ),  $O_B, O_C$ : B, C층의 유출강도( $\text{m}/\text{sec}$ ),  $O_{h_B}, O_{h_C}$ : B, C층에서의 횡방향 유출강도( $\text{m}/\text{sec}$ ),  $O_{v_B}$ : B층에서의 종방향 유출강도( $\text{m}/\text{sec}$ ),  $k_{h_B}, k_{h_C}$ : B, C층에서의 횡방향 투수계수( $\text{m}/\text{sec}$ ),  $k_{v_B}$ : B층에서의 종방향 투수계수( $\text{m}/\text{sec}$ ),  $O_{C_{VP}}$ : C층의 상류경계로 유입하는 유입유량강도( $\text{m}/\text{sec}$ )

강우발생시 토양 내부로의 침투강도를 계산하기 위하여 Mein and Larson(1973)이 제안한 Green-Ampt식을 이용하였고 수식은 다음과 같다.

$$F_t = k_s \Delta t + \psi(\theta_s - \theta_0) \ln \left( 1.0 + \frac{F_t}{\psi(\theta_s - \theta_0)} \right),$$

$$f_t = k_s \left( 1.0 + \frac{\psi(\theta_s - \theta_0)}{F_t} \right) \quad (8)$$

여기서,  $F_t$ :  $t$ 시간에서의 누가침투량(m),  $k_s$ : 유효투수

계수(m/sec),  $\Delta t$ : 계산시간 간격(sec),  $\psi$ : 습윤선 흡입 수두(m),  $\theta_s$ : 포화 함수비,  $\theta_0$ : 초기 함수비,  $f_t$ :  $t$ 시간에서의 침투강도(m/sec)

$t$ 시간에서의 누가침투량은 비선형식이기 때문에 Newton-Raphson법을 이용하였고 초기조건으로 전 시간단계에서의 누가침투량을 이용하였다.

하도에서의 유출을 계산하기 위한 지배방정식과 각각의 변수에 대한 내용은 다음과 같다(Beven, 1979).

$$\frac{\partial A_r}{\partial t} + \frac{\partial Q_r}{\partial x} = q_r, \quad Q_r = \alpha_r A_r^{m_r}, \quad (9)$$

$$\alpha_r = \left( \frac{\sqrt{I}}{n} \right) \left( \frac{m}{(2\sqrt{1+m^3})^2} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad m_r = \frac{4}{3}$$

여기서,  $A_r$ : 하도의 유하단면적(m<sup>2</sup>),  $Q_r$ : 유량(m<sup>3</sup>/sec),  $q_r$ : 횡유입량(m<sup>2</sup>/sec),  $I$ : 하도경사,  $n$ : 하도의 조도계수,  $m$ : 하도의 범면경사

각각의 격자에 적용한 초기조건 및 상류단 경계조건은 다음과 같다.

$$A(0, x) = A_0(x), \quad 0 \leq x \leq L$$

$$A(t, 0) = A_B(t), \quad 0 \leq t$$

여기서,  $A$ : 유하단면적(m<sup>2</sup>),  $L$ : 하도 및 사면의 길이(m),  $A_0$ : 시간  $t=0$ 에서의 유하단면적(m<sup>2</sup>),  $A_B$ : 격자의 상류단 유하단면적(m<sup>2</sup>)

지표흐름 및 하도흐름에 대한 지배방정식에 초기조건 및 경계조건을 이용하여 수치해를 얻기 위하여 본 모형에서 사용한 유한차분 근사기법은 각종 수치기법 중에서 비교적 안정적으로 계산이 수행되는 Beven

(1979)의 차분스킴을 적용하였다. Eqs. (1) and (9)와 같은 형태의 편미분 방정식을 시간과 공간 평면상에서 적절한 차분간격에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{q_i^{t+1} - q_i^t}{\Delta t} + \gamma c_{i-1/2}^{t+1/2} \left( \frac{q_{i+1}^{t+1} - q_i^{t+1}}{\Delta x} - r \right) + (1 - \gamma) c_{i+1/2}^t \left( \frac{Q_{i+1}^t - q_i^t}{\Delta x} - r \right) = 0 \quad (11)$$

$$c_{i-1/2} = 0.5(c_i + c_{i-1}), \quad c = \frac{dq}{dA}$$

여기서,  $\Delta x$ : 공간차분간격(m),  $\Delta t$ : 시간차분간격(sec),  $q_i^t$ : 위치  $i$ 와 시간  $t$ 에서의 유량(m<sup>3</sup>/sec),  $\gamma$ : 시간가중계수,  $c$ : 운동과 속도(m/sec)

위 식은 미지의 값  $q_{i+1}^{t+1}$ 에 대하여 비선형식이기 때문에 Newton-Raphson법을 이용하여 반복 수렴계산을 하여  $q_{i+1}^{t+1}$ 을 구한다.

### 3. 대상유역 및 GIS수문매개변수 구축

#### 3.1 대상유역

본 연구에서는 실제유역에서의 적용가능성을 평가하기 위해 남강댐유역을 대상 유역으로 선정하였다. 남강댐유역은 낙동강 합류지점으로부터 약 80km 상류지점에 위치하며, 유역면적은 2,293 km<sup>2</sup>로 낙동강 전체 유역면적의 9.6%를 차지하고 있다. 연평균 기온은 13°C이며 여름철에 몬순기후와 남해안의 난류가 어우러져 집중호우나 태풍을 동반하는 다우지역으로서 연평균 강우량이 1,416 mm나 된다. 남강유역의 행정구역은 3도 1시 11군 68개 읍면동에 달하며 주된 산업은 농업과 임업이며 진주시 일원에 일부 공업이 발달되어 있다(한국대

Table 1. Main Hydrological Parameters

Original data	Hydrological parameters	Remark
DEM	Basin slope	ArcView (Spatial Analysis)
	Riverbed slope	ArcView (Spatial Analysis)
	Flow direction	HEC-GeoHMS
Land Cover	Roughness coefficient of land covers	Reclassify as 5 types
Soil Map	Efficient soil depth	Green & Ampt infiltration process
	Saturated conductivity	
	Wetting front suction	
	Effective porosity	
Grid resolution		500 m

담회, 2006). 남강댐유역의 지형지세 및 하도, 강우 및 수위관측소 등 기본현황은 Fig. 2에 나타나 있다(한국수자원공사, 2006).



Fig. 2. Namgang Dam Watershed

### 3.2 GIS수문매개변수 구축

유역의 수문학적인 특성은 지형, 토지피복, 토양 등에 의해 크게 좌우된다. 본 연구에서는 HEC-GeoHMS를 ArcView에 탑재하여 DEM, 토양도, 토지피복도 등

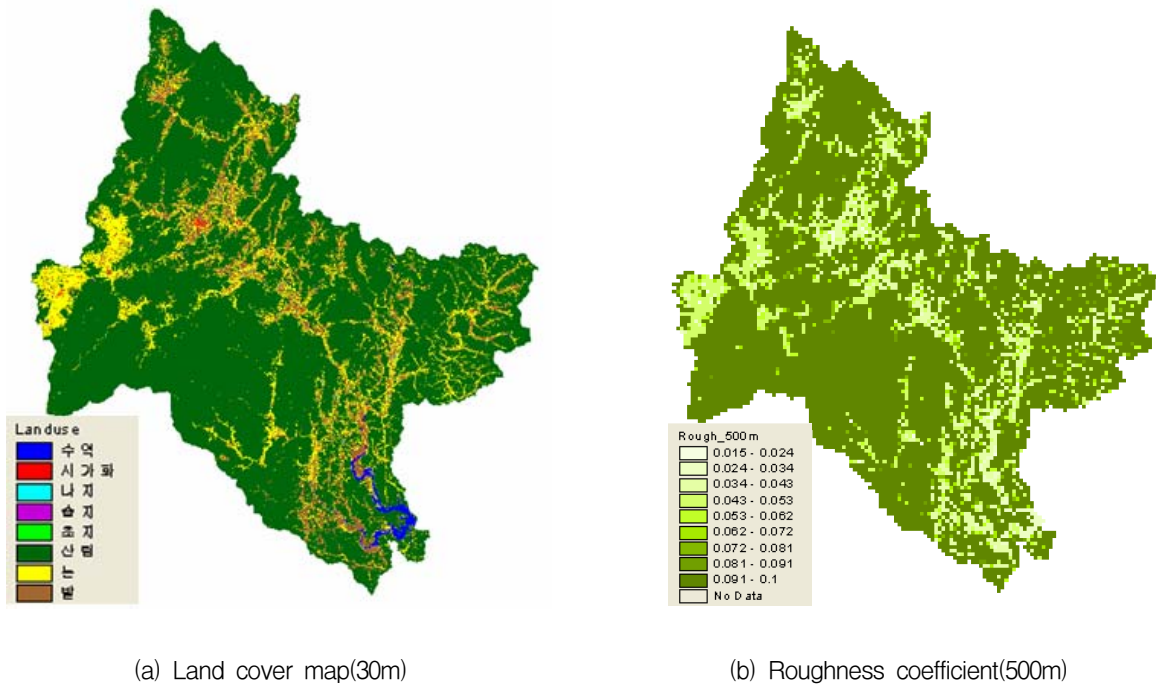
을 이용하여 아래와 같이 물리적기반의 분포형 모형의 입력인자로서 공간분포형 수문매개변수들을 추출하였다(박진혁 등, 2007).

#### 3.2.1 지형 매개변수

남강댐유역 30 m DEM을 ArcView에서 GIS 각 주체도의 투영과 해상도가 동일한 해상도를 갖도록 조정 후 500 m 로 리샘플(Resample) 하였다. 유하방향도는 ArcView에서 HEC-GeoHMS extension을 사용하여 유도하였다. 유역의 가로흐름을 막고 수계망을 향하여 유하방향도를 작성하기 위하여 Charleux-Demarge and Peuch(2000)가 제안한 방법을 이용하여 30 m DEM과 전체 유역도로부터 유도된 수계망을 500 m DEM에 중첩시켰다. 30 m DEM에서 유도된 수계망은 500 m 분포형모형 격자내에서 배수방향을 결정하는데 사용되었다.

#### 3.2.2 토지피복 매개변수

토지피복은 지표면 조도 및 불투수층의 분포를 좌우하며 이에 따른 유역의 수문응답 반응시간과 유출용적의 변화에 직접적인 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 환경부에서 제작한 30m 해상도의 토지피복도를 이용하여 동일한 유출부하 특성을 보이는 항목을 묶어서 5가지로 재분류하여 격자마다 조도계수를 계산하였다(Fig. 3). 각각의 토지피복분류에 대한 전형적인 조도계수 값은 초기치로 문헌에 나온 값(Vieux, 2004)을 참고로 하였다.



(a) Land cover map(30m)

(b) Roughness coefficient(500m)

Fig. 3. Land Cover Map and Roughness Coefficient of the Namgang Dam Watershed

### 3.2.3 토양 매개변수

토양은 초기 함유수분, 토심, 입도분포 등에 따라 강우의 침투능에 직접적인 영향을 미치게 된다. 토양도와 토양깊이, 점토와 모래비율 등의 정보가 포함된 GIS 토양주제도는 농업과학기술원에서 제공받아 ArcView를 이용하여 토심 및 토양수분의 시간변화량 추정을 위한 Green-Ampt 침투 매개변수를 구하였다.

Green-Ampt식은 토양 수분에 따른 시간변화 영향을 물리적으로 설명하기 위해 Darcy법칙의 이론적인 근거에서 유도되어 흙의 성질로부터 계산될 수 있는 물리적인 의미를 갖고 다양한 토양조건에서 좋은 결과를 보여 주었다. 남강댐 유역 30 m해상도의 토양자료를 모형의 격자해상도(500 m)에 맞게 리샘플링한 후 문헌에 나온 값(Vieux, 2004)을 초기치로 토심 및 Green-Ampt 매개변수인 습윤전선(wetting front suction), 포화 투수계수 그리고 유효공극율과 같은 침투 매개변수를 산정하여 모형의 입력포맷인 ASCII파일로 변환하여 출력하였다.

## 4. 적용 및 결과

### 4.1 격자 강우자료 처리

본 연구에서는 유역에서의 분포형 강우-유출모형을 적용함에 있어 모형의 중요 입력 자료인 강우에 대하여 시공간적인 강우분포를 유출계산에 모의하기 위해 남강댐 유역에 위치한 서하, 아영, 안의, 운봉, 함양, 산내, 마천, 임천, 삼장, 산천, 차황, 시천, 청암, 태수, 신안, 삼가, 창촌, 수곡의 총 18개 관측소의 시강우자료를 사용하였다. 분포형 강우는 모형의 해상도와 같은 크기의 500 m격자로 유역내의 강우관측소와 주위의 관측소로부터 역거리가중법을 이용하여 각 격자로부터 관측소까지의 거리에 따라 관측치를 가중 평균한 값을 그 격자에서의 강우량으로 산정하였다. 산정된 격자 강우량은 ASCII포맷의 형식으로 변환하여 분포형모형의 입력자료로 사용하였다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i R_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (12)$$

$$W_i = \frac{1}{L_i^2} \quad (13)$$

여기서  $r$ 은 격자 점에서의 강우량,  $N$ 은 대상관측소수,  $W_i$ 는 관측소  $i$ 의 거리에 의한 가중계수,  $R_i$ 는 관측소  $i$ 의 관측강우량,  $L_i$ 는 산정할 점으로부터 관측소까지의

거리이다.

### 4.2 유출계산 결과

본 모형의 적용을 위한 강우사상은 최근 남강댐 유역에 큰 영향을 준 태풍 루사 (2002년 8월 31일 01시~9월1일 23시), 태풍 매미 (2003년 9월 12일 01시~9월13일 23시) 및 태풍 에위니아 (2006년 7월 8일 18시~7월 11일 12시) 의 총 3개의 사상에 대하여 유출량 모의를 실시하였다. 남강댐 유역에는 9개의 수위관측소 지점이 있으며 그 중 대표적으로 3개의 지점(신안, 창촌, 산천)과 최종 유출지점(남강댐)에 대하여 수문곡선을 관측치와 비교하였다.

모형의 수문매개변수들은 GIS와 연계하여 수치지형, 토지피복도, 토양도로부터 물리적인 공간분포형 매개변수를 추출함으로써 초기 매개변수에 의한 모의 정확도가 비교적 정확하였으며, 남강댐 유역내 4개 수위관측소(신안, 창촌, 산천, 남강댐)로부터 수위-유량 관계곡선에 의해 유량자료로 환산한 관측치와 비교해 본 결과, 대부분의 지점에서 매개변수의 별다른 보정없이도 유량의 크기와 침투시간 모두 관측치와 비교적 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다. Figs. 4 ~ 6은 앞에서 언급한 3개의 강우사상(태풍 루사, 매미, 에위니아)에 대하여 최종 유출지점인 남강댐지점의 유출 모의 곡선 결과예로 매개변수 보정 전·후 및 관측치와 비교하여 나타내고 있다.

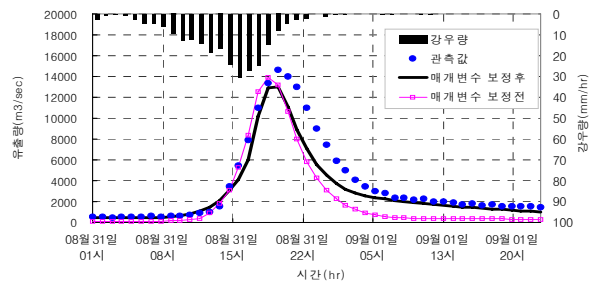


Fig. 4. Runoff Analysis Result at Namgang at Namgang Point (typhoon Rusa, 2002)

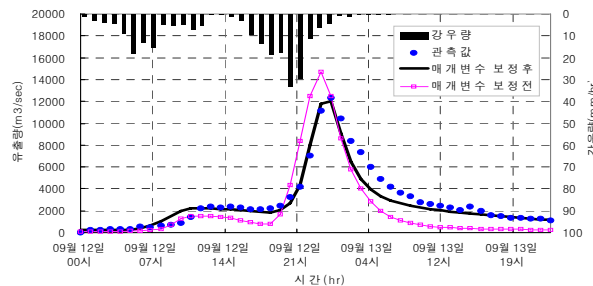


Fig. 5. Runoff Analysis Result at Namgang at Namgang Point (typhoon Maemi, 2003)

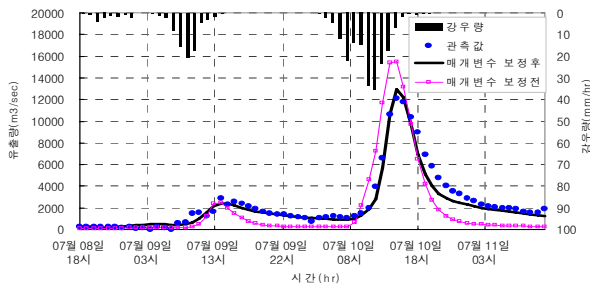


Fig. 6. Runoff Analysis Result at Namgang at Namgang Point (typhoon Ewiniar, 2006)

Fig. 7은 태풍 에위니아의 침투유량시 하천유출량을 분포형모형의 주된 장점중 하나인 전유역에 대하여 유역 내 임의의 지점에 대한 유출량을 파악하기 위하여 분포형 유출모형의 계산 결과값을 이용하여 시·공간적 분포를 나타내고 있다. 또한 한 개의 강우사상 이후에 발생하는 추가적인 강우사상에 대한 계산을 할 경우에 입력 자료로써 요구되는 각종 토양의 물리적 특성 값을 파일로 저장함으로써 보다 자연 상태에 가까운 초기 입력 데이터를 확보할 수 있게 된다.

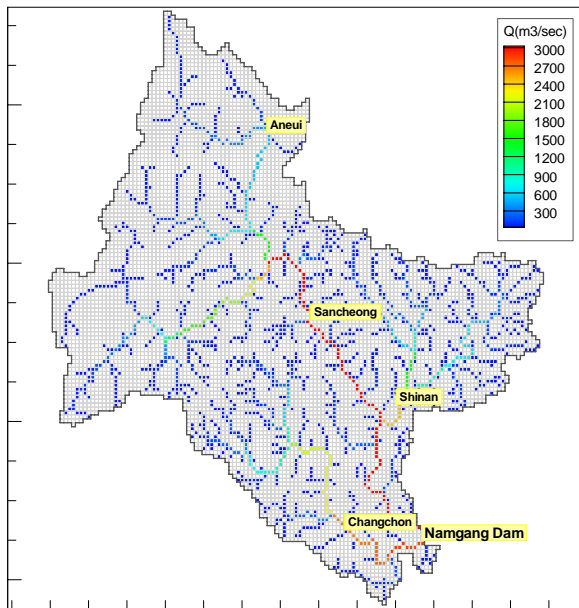


Fig. 7. Distribution Map of the River Discharge (typhoon Ewiniar peak time, 2006)

#### 4.3 매개변수 보정 및 적합성 평가

매개변수의 보정절차는 유출량의 총량 및 침투유량과 관련해서는 주로 기저유량 및 침투계수를 조정함으로써 보정하였고, 변동의 횡폭은 조도계수를 시행착오법에 의해 조정함으로써 수문곡선을 보정하였다.

모형의 계산시간 간격은 20분으로 하였고, 출력은 1시간 간격으로 자동 생성시키는 상태에서 모의시간(100시간)에 대한 컴퓨터 수행시간은 약 2분정도 소요되었다.

강우유출해석의 결과로부터 모형의 적합성을 평가하기 위하여 체적오차의 백분율(VER)과 침투유량 오차의 백분율(QER)을 산정하였다. 각각의 계산식은 다음과 같다.

$$VER = \left| \frac{\sum(Q_{obs} - Q_{cal})}{\sum Q_{obs}} \right| \times 100 \quad (13)$$

$$QER = \left| \frac{Q_{pobs} - Q_{pcal}}{Q_{pobs}} \right| \times 100 \quad (14)$$

여기에서,  $Q_{obs}$ : 관측유량(CMS),  $Q_{cal}$ : 계산유량(CMS),  $Q_{pobs}$ : 관측침투유량,  $Q_{pcal}$ : 계산침투유량 이다.

Table 2는 남강댐유역의 3개 강우사상에 대하여 VER, QER, 추가로 계산유량의 합계와 관측유량의 합계를 나눈 총유출량오차를 비교하여 나타낸 것이다. 적합성 평가 결과 3개의 강우사상에 대하여 QER은 3.33으로 침투유량의 크기를 매우 정확하게 재현하였고, VER 및 총유출량오차 지표의 평균 오차도 20%미만으로 나타나 본 모형의 정확성 및 현업에서의 적용가능성은 충분하다고 판단된다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 홍수기동안 격자강우량과 GIS와 연계하여 격자기반의 수문정보에 대응할 수 있도록 물리적

Table 2. Reliability Assessment of the Distributed Model

Event	VER(%)	QER(%)	Total Error(%)
Typhoon Rusa, 2002	19.26	0.87	12.85
Typhoon Maemi, 2003	17.27	2.47	10.20
Typhoon Ewiniar, 2006	17.39	6.65	11.54
Average	17.97	3.33	11.53

인 운동파(kinematic wave)이론에 근거한 분포형 강우-유출모형을 개발하였다. 이 모형은 홍수기동안의 지표 흐름과 지표하 흐름의 시간적 변화와 공간적 분포를 모의할 수 있으며, 전처리과정으로서 ArcGIS 혹은 ArcView등의 GIS 프로그램을 이용하여 모형에 필요한 ASCII형태의 입력 매개변수 자료들을 가공하고 후처리 과정으로서 모형의 수행결과인 유역내의 유출량 분포 등을 GIS상에서 나타낼 수 있도록 ASCII형태로 출력하도록 구성하였다. 개발된 모형의 적용가능성을 검토하기 위하여 남강댐유역(2,293 km<sup>2</sup>)을 대상으로 유역을 500 m의 정방형 격자로 분할하고 수계망을 통하여 유역 출구까지 운동파이론에 의해 추적 계산하였다. 남강댐 유역내 4개 수위관측소(신안, 창촌, 산청, 남강댐)로부터 수위-유량 관계곡선에 의해 유량자료로 환산한 관측치와 비교해 본 결과, 대부분의 지점에서 매개변수의 별다른 보정없이도 유량의 크기와 침투시간 모두 관측값과 대체적으로 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 격자강우와 함께 모든 수문매개변수들을 격자마다 달리 함으로써 공간적인 비균질성을 고려할 수 있고, 격자마다 유출량을 산정함으로써 유역내 임의의 지점에서도 상세한 유출량 모의가 가능하도록 시간별 지표유출 분포도를 GIS와 연계하여 공간적으로 파악할 수 있었다.

본 연구에서는 모형의 개발과 적합도의 검증은 위한 초기 단계로서, 남강댐유역에 대한 결과에 대하여 논하고 있으나, 모형의 정확성 및 사용성에 대한 정확한 평가를 위해서는 보다 다양한 강우 사상 혹은 다양한 크기의 유역에 대한 유출량의 재현성 및 매개변수 등에 검증이 추후 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

김성준 (1998). “격자기반의 운동과 강우유출모형 개발 (I).” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제31권, 제3호, pp. 303-308.

박진혁, 강부식, 이근상, 이을래 (2007). “레이더강우와 Vflo모형을 이용한 남강댐유역 홍수유출해석.” **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제10권, 제3호, pp. 13-31.

신사철 (1996). “분포형 강우-유출모형에 의한 유출 해석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제29권, 제6호, pp. 131- 139.

한국대댐회 홈페이지 (2006). [http://www.kncold.or.kr/korean/dam/k\\_dam9.html](http://www.kncold.or.kr/korean/dam/k_dam9.html).

한국수자원공사 (2006). “레이더 강수를 이용한 단기 강수 및 유출예측시스템 개발(3차년도).” 연구보고서.

홍준범, 김병식, 윤석영 (2006). “Vflo<sup>TM</sup> 모형을 이용한 물리기반의 분포형 수문모형의 정확성 평가.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권, 제6호, pp. 613-622.

Beven, K., (1979). “On the generalized kinematic routing method.” *Water Resources Research*, Vol. 15, pp. 1238-1242.

Charleux-Demargne, J. and Puech, C., (2000). “Quality assessment for drainage networks and watershed boundaries extraction from a Digital Elevation Model(DEM).” *Eighth ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems in Washington D.C.*, November 10-11, pp. 89-94.

Mein, R. G. and Larson, C. L., (1971). “Modeling the infiltration component of the rainfall-runoff process.” *Water Resources Research*, Bull. 43, p. 72.

Vieux, B.E., (2001). *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*, Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts, *Wat. Sci. Tech. Series*, Vol. 38, p. 293.

Vieux, B.E. (2004). *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*, Second Edition, ISBN: 1-4020-2459-2, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

Vieux, B.E., Cui, Z., Gaur, A. (2004). “Evaluation of a physics-based distributed hydrologic model for flood forecasting.” *Journal of Hydrology*, Vol. 298, pp. 154-155.

Vieux, B.E., Vieux, J.E. (2002). “Vflo: a real-time distributed hydrologic model.” *Proceedings of the Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference*, July 28-August 1.

朴珍赫, 小尻利治, 友杉邦雄 (2003). “流域環境評価のためのGISベース分布型 流出モデルの展開.” *日本水文・水資源學會論文集*, 16(5), pp. 541- 555.

朴珍赫 (2003). “GISベースの分布型流出モデルを用いた比較水文学の提案.” *京都大學工学博士學位論文*, pp. 39-60.

(논문번호:08-10/접수:2008.01.16/심사완료:2008.03.17)