

# 분포형 강우-유출 모형을 이용한 미계측 중소유역의 유량 추정

## Discharge Estimation at Ungauged Catchment Using Distributed Rainfall-Runoff Model

최 윤 석\* / 김 경 탁\*\* / 심 명 필\*\*\*

Choi, Yun Seok / Kim, Kyung Tak / Shim, Myung Pil

### Abstract

Generally, river discharge is measured at flood forecasting points, upstream dam points, large rivers, and important points over a basin, and it is hard to estimate discharge of medium or small stream and small catchment. Physically based rainfall-runoff model with geographical parameters can simulate discharge at all the points within a basin with optimized parameters for a point in the basin. In this study, GRM (Grid based Rainfall-runoff Model) calibrated at the outlet is applied. The discharge at upstream point is estimated and the possibility of model regionalisation is examined for ungauged catchment of small or medium stream within a river system. Wicheon and Boksu watershed in Nakdonggang (Riv.) and Yudeungcheon (Riv.) respectively are selected. The discharge at Miseong and Sindae station is simulated with the parameters estimated at Museong and Boksu station. The results of Miseong and Sindae station show good agreement with observed hydrographs in peak discharge and peak time and consistently linear relationships with high correlations in discharge volume, peak discharge, and peak time. And it shows GRM could be applied to estimate discharge at ungauged catchments along a river system.

**Keywords** : GRM, ungauged catchment, distributed rainfall-runoff model, regionalisation

### 요 지

하천의 유량 측정은 대부분 홍수 예보지역, 댐 상류지역, 대하천 및 유역내 주요 지점을 위주로 수행되고 있으며, 이에 따라서 중소하천과 소유역에 대한 유량 산정에 어려움이 있다. 물리적 기반의 분포형 모형에서는 유역의 지형학적 매개변수를 기반으로 강우-유출 현상을 해석하고 있으며, 특정 지점에 대해서 최적화된 매개변수를 이용하여 유역 내 모든 지점에 대한 유량을 모의할 수 있다. 본 연구에서는 물리적 기반의 분포형 모형인 GRM(Grid based Rainfall-runoff Model)을 이용하여 유출구 지점에 대해서 모형을 보정하고, 이를 통해서 상류의 하천지점에 대한 유량을 추정함으로써 동일 수계에서 유량 측정이 이루어지지 않는 중소하천의 소유역에 대한 모형의 지역화 가능성을 평가하고자 한다. 대상 유역은 낙동강의 위천 유역과 유등천의 복수 유역을 선정하였으며, 무성과 복수 수위관측소에 대해서 추정된 매개변수를 이용하여 미성 및 신대 수위관측소의 유량을 모의하였다. 연구결과 미성 및 신대 수위관측소의 모의결과는 첨두유량 및 첨두시간에 대해서 관측 수문곡선을 잘 재현하였으며, 총유출량과 첨두유량 및 첨두시간에 대해서 관측값과 선형의 높은 상관성을 일관되게 보이고 있다. 따라서 동일 수계에 있는 상류 미계측 중소유역의 유량 추정시 GRM은 충분히 적용성이

\* 교신저자, 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

Researcher, Water Resources Research Div., Korea Institute of Construction Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do 411-712, Korea (e-mail: yschoi51@kict.re.kr)

\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구실 책임연구원

Research Fellow, Water Resources Research Div., Korea Institute of Construction Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do 411-712, Korea (e-mail: ktkim1@kict.re.kr)

\*\*\* 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수

Prof., Dept. of Civil Engineering, Inha Univ., Incheon 402-751, Korea (e-mail: shim@inha.ac.kr)

있는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : GRM, 미계측 유역, 분포형 강우-유출 모형, 지역화

---

## 1. 서 론

강우로 인해서 발생하는 하천의 유출을 추정하는 것은 수문학에서 가장 중요한 부분 중 하나라고 할 수 있다 (Nash and Sutcliffe, 1970). 이를 위해서 수문학자들은 강우-유출 현상을 해석하기 위한 다양한 모형을 개발해 왔으며, 이러한 모형에는 물리적, 경험적, 통계적 모형이 포함되어 있다. 강우-유출을 해석하기 위한 많은 모형들은 서로 다른 이론과 해석방법이 적용되고 있으나, 모든 모형은 반드시 과거의 자료를 이용해서 보정 및 검증하는 과정을 거쳐야 하며, 이를 기반으로 특정 상황에 대한 예측이 가능하여야 한다 (Blöschl and Sivapalan, 1995).

하천의 유량 측정은 대부분 홍수 예보지역, 댐 상류지역, 대하천 및 유역내 주요 지점을 위주로 수행되고 있다. 유량 측정이 이루어지는 지점에 대해서 유출모의를 수행할 경우에는 과거의 기록 자료를 이용해서 모형을 정밀하게 보정 및 검증할 수 있으며, 이러한 과정은 해당 지점에 대한 유출모의 결과를 향상시킬 수 있다. 그러나 일부 주요 지점을 제외한 대부분의 중소유역에서는 유량 관측이 이루어지지 않고 있으며, 관측자료가 없는 미계측 유역에 대한 유출모의 및 모의결과의 검증은 사실상 불가능하다. 이와 같은 미계측 유역에 대한 유량과 설계 홍수량을 추정하기 위한 다양한 연구가 과거로부터 진행되어 왔으나 (Nash and Sutcliffe, 1970; 심순보와 안보훈, 1976; Aron and Miller, 1978; 행정자치부, 1998; Young, 2006), 모의결과의 검증과 스케일 문제 (Blöschl and Sivapalan, 1995)와 같은 많은 해결과제가 여전히 남아 있다 (이효상과 문영일, 2007).

미계측 유역의 수문현상을 예측하기 위한 모형의 지역화는 대상 지역과 유사한 수문학적 특성을 가지는 계측 유역을 기반으로 수행될 때 좀 더 만족스러운 결과를 도출할 수 있으며 (Pilgrim, 1983; Dawson et al., 2006), 수문모형의 매개변수와 유역의 물리적 및 수문 기상학적 특성의 관계를 규명하는 것을 주요한 주제로 하고 있다. 이때 이러한 관계는 많은 수의 다양한 유역으로부터 획득된 자료의 통계분석을 통해 얻어질 수 있으나, 동일한 중소유역에 포함된 공간적으로 가까운 지류의 유역 및 상하류가 직접 연결된 유역에서는 인접한 계측 유역에서 검증된 매개변수의 적용을 통해서 양호한 모의결과를 도출할 수

있다 (Ajami et al., 2004; Merz, R. and Blöschl, 2004; Young, 2006).

분포형 수문모형의 가장 큰 장점 중 하나는 집중형 모형 (lumped model)에서와 같은 소유역 분할과정을 거치지 않고도 유역내 임의의 지점에 대한 유출을 모의할 수 있다는 것이며 (Ajami et al., 2004), 집중형 모형을 적용하는 경우에 비해서 공간적 스케일 문제에서 발생하는 오차를 감소시킬 수 있다 (Young, 2006). 특히 물리적 기반의 분포형 모형에서는 유역의 지형, 토양, 토지피복과 같은 인자로부터 생성된 매개변수를 이용하여 유역의 유출현상을 물리적으로 해석함으로써 사용자에게 의한 매개변수 추정 과정을 최소화 할 수 있으며, 이때 사용되는 모형의 물리적 매개변수는 강우사상에 무관하게 최적화됨으로써 단일 매개변수군을 이용해서 다양한 강우사상을 모의할 수 있다 (오경두, 2009). 이와 같은 물리적 기반의 분포형 모형의 특징은 계측된 지점에 대해서 보정된 하천의 유량을 이용해서 이 지점의 유량 발생에 기여한 상류 미계측 지점의 유량을 추정할 수 있는 장점을 가지게 한다 (Bandaragoda et al., 2004).

본 연구에서는 물리적 기반의 분포형 모형인 GRM (Grid based Rainfall-runoff Model) (최윤석 등, 2008)을 이용하여 유역의 임의의 지점에 대해서 모형을 보정한 후 유출모의를 수행하고, 이를 통해서 상류의 하천지점에 대한 유량을 추정함으로써 유량 측정이 이루어지지 않는 중소 하천의 소유역에 대한 유량 추정의 가능성을 평가하고자 한다.

## 2. GRM 모형의 개요

GRM 모형은 단기간의 강우-유출 사상을 모의하기 위한 물리적 기반의 분포형 모형으로 강우에 의한 지표면 유출, 하도 유출, 침투, 지표하 유출을 모의하고 있으며, 유역에서의 저수지 효과, 댐 운영에 의한 유량 조절 및 직접유출량의 추가 혹은 배제 등을 모의할 수 있다 (최윤석 등, 2009). GRM 모형은 격자 기반의 분포형 모형으로, 그리드 형식의 지형공간 자료를 이용하여 유역을 모형화하고, 유역의 평균강우 혹은 격자 형태의 분포형 강우자료를 이용하여 유출모의를 수행한다 (박정술 등, 2009a; 박정술 등, 2009b).

GRM은 운동과 방정식을 이용해서 지표면 유출(Eq. (1))과 하도 유출(Eq. (2))을 해석하고 있으며, 유한체적법을 이용해서 지배방정식을 이산화하고 격자로 모형화된 유역내 각 검사체적 요소에 대해서 유출을 모의한다(최윤석, 2010).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r - f + \frac{q_r}{\Delta y} \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = r\Delta y + q_L + q_{ss} \quad (2)$$

여기서  $q$ : 단위 폭당 유량(=uh),  $h$ : 수심,  $u$ : 유속,  $A$ : 하도 단면적,  $Q$ : 유량,  $q_L$ : 측방유입량,  $r$ : 강우강도,  $f$ : 침투율,  $q_r$ : 복귀류,  $q_{ss}$ : 하도로 유입되는 지표하 유출량,  $\Delta y$ : 흐름방향( $x$  방향)에 직각이며 수평인 검사체적의 길이

GRM에서는 직접유출량의 산정을 위해서 침투초과유출과 포화초과유출을 모의하고 있으며, 이때 침투과정의 모의를 위해서 Green-Ampt 모형을 적용한다. Green-Ampt 모형에서는 Eq. (3)과 같이 누가침투량을 계산하고 침투율은 누가침투량을 이용해서 Eq. (4)로 계산된다(Chow et al., 1988).

$$F(t) = Kt + \Delta\theta\psi \ln\left(1 + \frac{F(t)}{\Delta\theta\psi}\right) \quad (3)$$

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

여기서  $F(t)$ :  $t$  시간에서의 누가침투량,  $f(t)$ :  $t$  시간에서의 침투율,  $\Delta\theta$ : 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( $\theta_r = \eta - \theta_e$ ),  $\eta$ : 공극율,  $\theta_e$ : 유효공극율,  $K$ : 수리전도도

### 3. 대상 유역의 선정 및 공간자료 구축

#### 3.1 대상 유역의 선정

이론적으로는 물리적 기반의 모형에서는 실측 혹은 실험에 의해서 얻어진 값을 모형의 매개변수로 직접 활용할 수 있으나, 계측과 모형사이의 스케일 문제와 모형의 지배방정식과 실험상의 제약 등으로 인해서 일반적으로 모형의 보정 과정을 거치게 된다(Abbott et al., 1986; Blöschl and Sivapalan, 1995; Refsgaard, 1997). 특히 물리적 기반의 분포형 모형의 지역화에서는 침식에 의해 급격한 굴곡을 보이는 지형이나 인공적인 정비에 의해서 자연유역의 특성을 나타내지 않는 경우 혹은 유량이 조절되는

유역에서는 계측에 의한 물리적 매개변수 설정 및 유출모의가 매우 어렵게 된다(Göttinger and Bárdossy, 2007). 이와 같은 물리적 기반의 분포형 모형의 지역화에 대한 특징을 바탕으로 본 연구에서 적용한 대상 유역의 선정 기준은 다음과 같다(최윤석, 2010).

- 1) 하천정비 및 도시화 등의 원인에 의해서 자연유역의 특징이 크게 상쇄되지 않은 유역
- 2) 댐, 저수지 혹은 인공적인 유량의 변경 등에 의해서 하천에서의 자연유량이 크게 영향을 받지 않으며, 하류에서 배수의 영향을 받지 않는 유역
- 3) 모형의 보정을 위한 수위관측소와 이 수위관측소의 상류에 연구결과를 검증할 수 있는 수위관측소가 하나 이상 있는 유역

우리나라에서는 하천정비사업과 도시화에 의해서 유역이 정비되거나 댐과 저수지에 의해서 하천의 흐름이 조절되는 구간이 많으나, 주요 하천의 상류 및 지류의 중소유역에서는 대부분 자연하천의 특성을 유지하고 있다. 그러나 이러한 유역에서는 수위관측소가 충분히 분포되어 있지 않은 경우가 많다(이효상과 문영일, 2007). 이와 같은 국내의 특성을 고려하여 본 연구에서는 갑천의 지류인 유등천 상류의 복수 수위관측소 유역과 위천의 무성 수위관측소 유역을 연구대상 유역으로 선정하였다.

복수 유역과 위천 유역은 유역 내부에 크게 발달된 도시가 없는 자연유역의 특성을 보이고 있다. 하도 단면은 대체로 고수부지가 없는 사다리꼴 형태의 단단면의 특징을 나타내고 있으며, 댐과 저수지에 의한 유량 조절의 영향이 없으므로 호우 시에는 강우에 의한 직접유출이 지배적이다. 또한 복수 수위관측소와 무성 수위관측소 상류에는 각각 신대 수위관측소와 미성 수위관측소가 있으며, 이를 이용하여 복수 및 무성 수위관측소에 대해서 보정된 모형을 이용하여 신대 및 미성 수위관측소의 유량을 추정하였을 때의 모의결과를 검증할 수 있다. Fig. 1 and Table 1은 대상 유역의 개략적 위치와 특징을 나타낸 것이며, Table 1에서 유역의 평균경사(basin slope)는 본 연구에서 적용한 100×100 m 크기의 DEM을 이용해서 산정된 값을 나타낸 것이다.

#### 3.2 공간자료 구축

GRM 모형은 격자 기반의 분포형 모형으로 모든 지형 자료를 그리드 형식의 레이어로 사용한다. 본 연구에서는 복수와 위천 유역의 1/25,000 수치지도의 고도 자료를 기반으로 생성한 100×100 m 크기의 DEM을 바탕으로 HyGIS (Hydro Geographic Information System) (한국건설기술연구원, 2007)를 이용하여 흐름방향, 흐름누적수, 하천망, 경사, 유역 영역 레이어를 생성하였다. 이때 DEM을 이용한 하천망의 추출은 하천망 추출시 적용하는 흐름

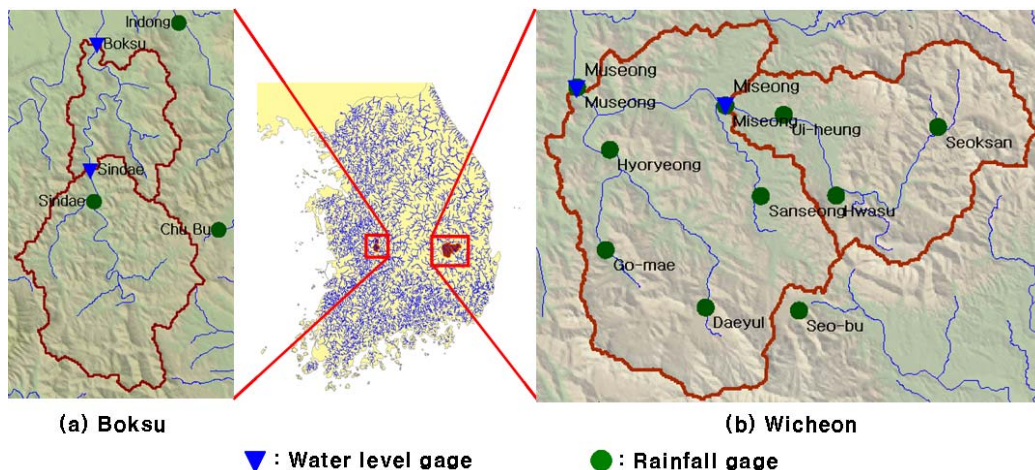


Fig. 1. Study Area

Table 1. Characteristics of Study Area

Watershed	Outlet (Water level station)	Area (MLTM, 2007; MOC, 1994)[km <sup>2</sup> ]	Basin slope [m/m]	Upstream Water Level Station			
				Name	Area (MLTM, 2007; MOC, 1994)[km <sup>2</sup> ]	Basin slope [m/m]	Stream length to outlet (1/25,000 digital map)[m]
Boksu	Boksu	162	0.24	Sindae	112	0.25	12,451
Wicheon	Museong	472	0.22	Miseong	171	0.25	12,165

MLTM: Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.  
MOC: Ministry of Construction.

Table 2. Land Cover and Soil Features

Watershed	Boksu		Wicheon	
	Value	Coverage[%]	Value	Coverage[%]
Land cover	Water	0.1	Water	0.2
	Urban	1.5	Urban	0.7
	Bare	0.2	Bare	0.1
	Grass	2.2	Grass	0.8
	Forest	80.7	Forest	89.8
	Agricultural Area	15.3	Agricultural Area	8.4
Soil texture	Loam	54.5	Loam	33.5
	Sandy Loam	31.8	Sandy Loam	23.8
	Silt Loam	11.2	Silt Loam	39.4
	Sand	0.5	Sand	1.5
	Clay	1.8	Clay	0.6
	Sandy Clay Loam	0.2	Loamy Sand	1.2
Soil depth	Deep	6.9	Deep	13.6
	Moderately Deep or Moderately Shallow	19.3	Moderately Deep or Moderately Shallow	28.4
	Shallow	69.1	Shallow	42.7
	Very Shallow	4.7	Very Shallow	15.3

누적수 (flow accumulation)에 의해서 그 형태와 길이가 가변적이다. 본 연구에서는 1/25,000 수치지도에서 추출한 하천망과 가장 유사한 총하천길이를 가지도록 하천망을 추출하였으며 (김경탁, 1998; 최윤석 등, 2008), 이를 위해서 흐름 누적수로 16을 적용하였다. 토지피복도는 환경부의 대분류 토지피복도를 이용하였으며, 침투과정 모의를 위한 토성과 토양심 레이어는 국립농업과학원의 정밀토양도를 이용하여

100×100m 크기의 그리드 레이어를 생성하였다. 이때 정밀 토양도의 토성과 Green-Ampt 매개변수(Chow et al., 1988)의 “Soil class”의 대응 및 토양심 계급별 깊이 값은 한국토양총설 (농업기술연구소, 1992)을 참고로 하였다. Table 2는 위천 유역과 복수 유역의 토지피복, 토성 및 토양심의 속성별 분포 면적을 나타낸 것이며, 본 연구에서 적용된 각 속성별 GRM 모형의 매개변수는 Tables 3~5와 같다 (최윤석, 2010).

**Table 3. GRM Parameters for Soil Texture**

Soil texture	Porosity	Effective Porosity	Residual Moisture Content	Wetting Front Soil Suction Head[cm]	Hydraulic Conductivity[cm/hr]
Sand	0.437	0.417	0.020	4.95	11.78
Loamy Sand	0.437	0.401	0.036	6.13	2.99
Sandy Loam	0.453	0.412	0.0410	11.01	1.09
Loam	0.463	0.434	0.029	8.89	0.34
Silt Loam	0.501	0.486	0.015	16.68	0.65
Sandy Clay Loam	0.398	0.330	0.068	21.85	0.15
Clay	0.475	0.385	0.090	31.63	0.03

**Table 4. GRM Parameters for Soil Depth**

Soil Depth Class	Depth[cm]
Deep	125
Moderately Deep or Moderately Shallow	75
Shallow	25
Very Shallow	10

**Table 5. GRM Parameters for Land Cover Attribute**

Land Cover	Roughness Coefficient	Impervious Ratio[%]
Water	0.030	1.000
Urban	0.015	0.853
Bare	0.020	0.442
Grass	0.150	0.440
Forest	0.100	0.050
Agricultural Area	0.035	0.391

#### 4. 수문자료 선정

본 연구에서는 대상 유역에 대한 강우-유출 사상을 모의하기 위해서 위천 유역의 무성, 미성 수위관측소의 유량과 10개 강우관측소(무성, 고매, 효령, 대울, 산성, 화수, 석산, 의흥, 미성, 서부)의 강우량 자료를 이용하였다. 또한 복수 유역에서는 복수 및 신대 수위관측소의 유량과 3개 강우관측소(인동, 신대, 추부)의 강우량 자료를 이용하였다.

위천 유역에서는 무성과 미성 수위관측소에 대해서 낙동강홍수통제소 (<http://www.nakdongriver.go.kr/>)에서 제공되는 실시간 수문자료인 2007~2009년의 3년간의 자료를 이용하였다. 위천 유역의 경우 IHP (International Hydrological Program) 보고서를 통해서 1980년대부터 조사된 자료를 활용할 수 있으나, 실시간 전송에 의해 구축된 3년간의 자료를 이용함으로써 적용 자료에 대한 특성을 객

관화하였다. 복수 유역에서는 하도정비로 인해서 2007년 이후에 지형자료가 크게 바뀌었으며, 따라서 복수 및 신대 수위관측소에 대해 금강홍수통제소 (<http://www.geumriver.go.kr/>)에서 제공되는 실시간 수문자료 중 2007년 이후의 자료를 제외하고, 2004~2006년의 3년간의 자료를 이용하였다. 이와 같이 각 유역에 대해서 3년 동안 관측된 수문 사상 중 위천 유역의 경우 미성 수위관측소에서 100 m<sup>3</sup>/s 이상의 유량을 가진 수문사상으로 5개를 추출하였다. 복수 유역에서는 신대 수위관측소에서 150 m<sup>3</sup>/s 이상의 유량을 가진 수문사상 중 사상의 구분이 명확한 11개의 수문사상을 추출하였으며, 이 중 무강우 기간에 큰 유량을 나타내거나, 수문곡선의 첨두 부분에서 변화가 없는 직선 구간을 나타내는 4개의 사상을 제외한 7개의 수문사상을 선정하였다. Table 6은 본 연구에서 적용한 각 유역의 수문사상을 나타낸 것이다.

복수 유역에서는 본 연구에서 적용된 3개의 강우관측소에 대한 티센 폴리곤을 생성하고, 각 폴리곤의 지배영역에 대해서 해당 관측소로부터 측정된 강우를 분포시킨 후 이를 시계열 그리드 레이어로 생성하여 유출모의를 수행하였다. 또한 위천 유역에 대해서는 10개의 강우관측소에 대해서 티센 가중법을 적용하여 계산된 유역평균 강우량을 이용하여 유출모의를 수행하였다.

수문자료와 마찬가지로 유역의 공간자료는 시간에 따라서 그 특성이 변화하며, 이는 유역의 수문순환에 영향을 미치게 된다. 따라서 장기적인 수문순환을 모의하는 연속모형에서는 시간에 따라서 변화하는 공간적 특성을 반영할 수 있어야 한다. 그러나 홍수사상의 경우 대체로 장기적인 수문순환에 비해서 짧은 기간에 발생되며, 이러한 강우-유출 사상을 모의하기 위한 모형에서는 일반적으로 공간자료의 변화를 고려하지 않고 있다. 물리적 기반의 분포형 모형에서는 가능한 현장 혹은 실험실에서 측정된 값을 모형의 매개변수로 활용하여야 하지만 (Refsgaard, 1997; Andersen et al., 2001), 유출에 큰 영향을 미치지 않는

Table 6. Hydrologic Events

Watershed	Event	Rainfall Period	Total Rainfall[mm]	Time Interval[min]	Peak Discharge[m <sup>3</sup> /s]
Boksu	Event 1	2004/06/22/20:00 - 06/23/05:00	76.5	30	274.7
	Event 2	2004/07/16/01:00 - 07/16/14:30	78.4	30	419.6
	Event 3	2004/07/17/05:00 - 07/17/19:00	81.0	30	359.4
	Event 4	2004/08/18/08:00 - 08/19/13:00	130.7	30	224.8
	Event 5	2005/07/11/01:00 - 07/12/01:00	120.7	30	432.4
	Event 6	2005/08/19/21:00 - 08/20/09:00	82.2	30	233.5
	Event 7	2006/07/09/06:00 - 07/09/13:30	57.4	30	271.7
Wicheon	Event 1	2007/08/31/20:00 - 09/02/21:00	99.6	60	980.9
	Event 2	2007/09/04/10:00 - 09/08/03:00	100.8	60	735.3
	Event 3	2007/09/15/05:00 - 09/18/02:00	127.0	60	1080.5
	Event 4	2008/08/15/14:00 - 08/17/06:00	108.4	60	585.0
	Event 5	2009/07/15/00:00 - 07/15/08:00	60.0	60	266.0

범위에서의 공간자료의 변화는 공간자료에 관련된 모형 매개변수의 변경을 필요로 하지 않게 된다.

따라서 단일 매개변수군을 이용한 물리적 기반의 분포형 모형의 지역화에서는 장기간에 걸쳐서 얻어진 수문자료에 대해서 검증할 경우 적용된 단일 매개변수군에 의한 모의결과와 관측유량의 오차가 커지는 원인이 될 수 있다. 그러나 공간자료의 변화가 홍수사상의 모의에 미치는 영향은 유역 및 변경된 공간자료의 특성 등을 포함하여 복합적으로 고려되어야 하며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 홍수사상에 대한 유출을 모의하고 있으며, 공간자료의 변화에 의한 매개변수의 변경을 고려하지 않고 있다. 이에 각 유역의 3년간의 수문자료에 대해서 단일 매개변수군을 이용하여 유출모의를 수행하였을 때 모든 사상에 대해서 유사한 유출모의결과를 도출하였으며, 따라서 본 연구에서 적용된 3년간의 자료는 단일 매개변수군을 이용한 모형의 검증에 적용 가능한 것으로 판단된다.

### 5. 미계측 유역의 유량 추정절차

본 연구에서는 계측된 유량 정보가 있는 지점에 대해서 기저유출을 분리하지 않은 실측 수문곡선을 이용하여 모형을 보정하고, 이를 이용하여 상류에 있는 계측 지점의 유량을 추정한 후 이를 관측 수문곡선과 비교 검토하는 과정을 거친다. 이때 기저유출을 분리하지 않은 관측 수문곡선을 이용하여 모형을 보정하는 것은 상류의 미계측 지점에서의 기저유출이 미지의 성분인 경우를 모의하기 위함이며, 따라서 기저유출 성분을 모의하지 않는 GRM 모형의 적용결과 분석에서는 첨두유량과 첨두시간의 재현을 위주로 검토하고자 한다. 이와 같은 미계측 유역의 유량 추정 과정을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 복수 및 위천 유역에 대해서 모형 보정을 위한 수문사상을 선정하고, GRM 모형을 이용하여 복수 및

무성 수위관측소에 대해서 추정된 단일 매개변수군을 설정한다. 이때 적용하는 수문사상은 관측 수문곡선에서 기저유출을 분리하지 않으며, 모형의 보정은 첨두유량과 첨두시간의 재현을 중심으로 수행한다.

- 2) 1)에서 추정된 각 유역의 단일 매개변수군을 이용하여 선정된 모든 강우사상에 대해서 유출모의를 수행하고, 복수 및 무성 수위관측소의 관측 유량을 이용해서 매개변수를 검증한다.
- 3) 추정 및 검증된 각 유역의 단일 매개변수군을 이용한 유출모의 결과에서 신대 및 미성 수위관측소의 모의결과를 출력하고, 각 지점의 관측 수문곡선과 비교 평가한다.
- 4) 1)~3)의 과정을 통해서 하천상 특정 지점에 대해서 보정된 GRM 모형을 이용하여 상류 하천의 임의 지점에 대한 유량 추정의 가능성을 검토한다.

GRM 모형에서 최소 모의단위는 검사체적으로 표현되는 격자요소이다. 그러므로 유역내 모든 격자에 대한 유출모의가 수행되며, 모의결과 또한 모든 격자에 대해서 출력할 수 있다. GRM에서는 시계열로 표현되는 임의 격자에서의 모의결과를 효과적으로 조회 및 출력하기 위해서 'Watch point'를 지정한다. 본 연구에서는 모형의 보정을 위한 복수 및 무성 수위관측소 지점의 격자와 각 격자의 상류에 있는 연구대상 격자인 신대 및 미성 수위관측소 지점의 격자를 'Watch point'로 지정하고, 이에 대한 모의결과를 분석하였다.

### 6. 모형의 적용 및 결과

#### 6.1 매개변수 추정

본 연구에서는 GRM 모형의 보정을 위해서 복수 유역의 'Event 1'과 위천 유역의 'Event 1'을 이용하여 매개변수를 추정하였다. GRM은 레이어로 입력되는 지형, 토양

및 토지피복 자료를 이용하여 대부분의 매개변수를 자동으로 설정한다. 그러나 선행강우 의해서 결정되는 토양의 초기포화도는 수문사상별로 사용자에게 의해 추정되어야 하는 중요 매개변수이며, GRM에서는 홍수시의 유출모의를 주요 대상으로 하고 있으므로 초기포화도의 기본값으로 1을 제안하고 있다. 침투유량의 발생시간은 하도의 조도계수와 경사의 영향을 크게 받고 있으며, GRM에서는 하도의 조도계수는 Chow (1959)와 Chaudhry (1993)에 의해서 제안된 하도에서의 조도계수 범위인 0.04~0.05의 평균값인 0.045를 기본값으로 제안하고 있다. 또한 DEM 보정 과정 중 flat area 처리 과정에서 생성되는 매우 작은 경사는 운동과 모형에 의한 유량계산시 오차의 원인이 될 수 있으며, GRM에서는 하도의 최소경사로 0.008을 기본값으로 제안하고 필요에 따라서 추정할 수 있도록 설정되어 있다(최윤석 등, 2008; 한국건설기술연구원 등, 2009).

Figs. 2 and 3과 Table 7은 각각 복수 및 위천 유역에 대한 보정 전과 보정 후의 유출모의 결과를 나타낸 것이다. Fig. 2에서 복수 유역의 'Event 1'에 대해 GRM을 보정하지 않고 모의한 결과 총유출량과 침투유량은 관측 수문곡선에 비해서 크게 산정되었으며, 침투시간은 1시간 빠르게 모의되었다. 따라서 총유출량과 침투유량에 관여하는 초기포화도를 0.55로 낮게 추정하고, 이에 따라서 침투시간이 길어지는 영향을 반영하여 하도의 최소경사를 0.01로 크게 조정하였다. 이와 같이 추정된 매개변수를 이

용하여 복수 유역의 'Event 1'을 모의한 결과 총유출량은 다소 작게 산정되었으나, 침투유량과 침투시간은 각각 3.4%와 0.0%의 상대오차로 실측수문곡선을 잘 재현하였다. 따라서 복수 유역의 다른 수문사상에 대해서도 하도의 최소경사를 0.01로 적용하였으며, 초기포화도는 강우사상에 따라서 달라지는 매개변수로서 각 수문사상 별로 추정하였다.

Fig. 3에서는 위천 유역의 'Event 1'에 대해서 보정 전과 보정 후의 GRM의 모의결과를 나타내고 있다. Table 7에서 위천 유역의 'Event 1'은 모형을 보정하기 전의 모의결과에서도 관측 수문곡선에 대한 총유출량, 침투유량 및 침투시간의 상대오차가 각각 4.0%, 1.1% 및 0.0%를 나타냄으로써 관측 수문곡선을 잘 재현하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 3의 보정 전의 모의결과에서는 수문곡선의 상승부에서 관측 수문곡선 보다 높은 값을 나타내고 있다. 따라서 초기포화도를 하향 조정하였으며, 이로 인한 침투시간의 적합을 위해서 하도의 최소경사를 0.009로 추정하였다. Fig. 3 and Table 7에서 위천 유역의 'Event 1'의 매개변수 추정결과는 관측 수문곡선을 잘 재현하는 것으로 나타났다. 따라서 위천 유역의 나머지 4개의 수문사상에 대해서도 하도의 최소경사를 0.009로 적용하였으며, 각 수문사상별로 초기포화도를 추정하여 유출모의를 수행하였다. 본 연구에서 적용된 각 유역에 대한 GRM 모형의 매개변수는 Table 8과 같다.

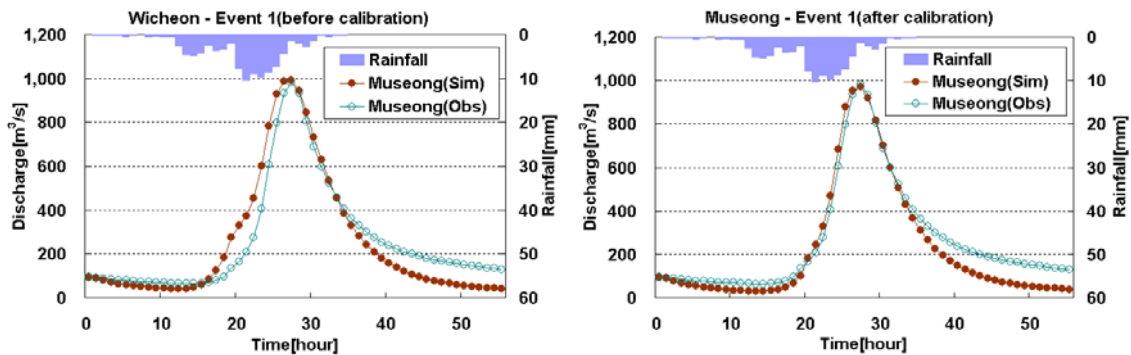


Fig. 2. Model Calibration (Museong)

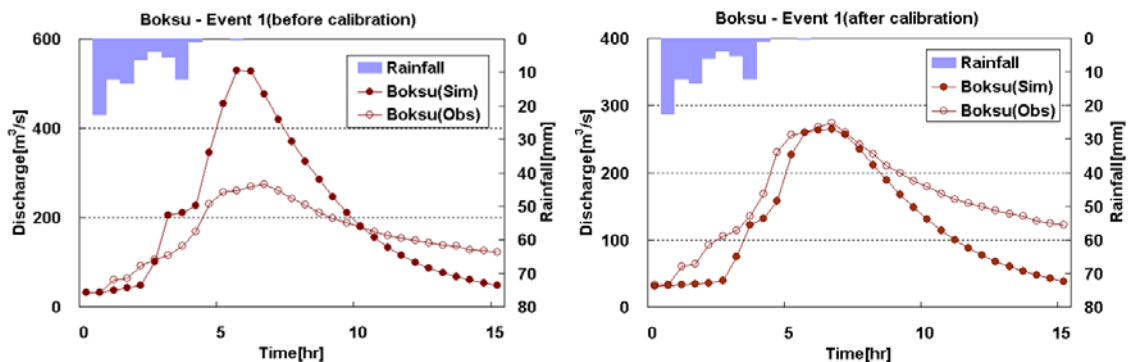


Fig. 3. Model Calibration (Boksu)



**Table 7. Simulation Results for Model Calibration**

Watershed (Event)		Ini. Saturation	Min. Channel Slope[m/m]	Total Volume			Peak Discharge			Peak Time		
				Obs. [m <sup>3</sup> ]	Sim. [m <sup>3</sup> ]	Rel. Error [%]	Obs. [m <sup>3</sup> /s]	Sim. [m <sup>3</sup> /s]	Rel. Error [%]	Obs. [hr]	Sim. [hr]	Rel. Error [%]
Boksu (Event 1)	Before Calibration	1.00	0.008	5,028	6,207	23.4	274.7	529.9	92.9	6.5	5.5	15.4
	After Calibration	0.55	0.010	5,028	3,735	25.8	274.7	265.3	3.4	6.5	6.5	0.0
Wicheon (Event 1)	Before Calibration	1.00	0.008	14,633	14,047	4.0	980.9	991.6	1.1	27	27	0.0
	After Calibration	0.94	0.009	14,633	12,431	15.0	980.9	971.3	1.0	27	27	0.0

**Table 8. GRM Parameters for Each Watershed**

Parameter	Boksu		Wicheon	
	Applied Value	Selection Method	Applied Value	Selection Method
Initial Saturation	Estimate for Each Hydrologic Event	Estimation	Estimate for Each Hydrologic Event	Estimation
Minimum Channel Bed Slope	0.01	Estimation	0.009	Estimation
Channel Roughness Coefficient	0.045	GRM Default	0.045	GRM Default
Channel Width	Using Channel Width Equation (MOCT, 2005)	User Selected Option	Using Channel Width Equation (MOCT, 2005)	User Selected Option
Dry Stream Order	0	GRM Default	0	GRM Default
Parameter Calibration Coefficient	1	GRM Default	1	GRM Default
Soil Parameter	Table 3 and 4	GRM Default	Table 3 and 4	GRM Default
Land Cover Parameter	Table 5	GRM Default	Table 5	GRM Default

MOCT: Ministry of Construction and Transportation.

## 6.2 매개변수의 검증

모형의 보정을 위해서 적용된 복수 및 위천 유역의 'Event 1' 사상을 제외한 복수 유역의 6개 사상과 위천 유역의 4개 사상에 해서 Table 8과 같이 설정된 단일 매개변수군을 이용하여 유출모의를 수행함으로써 매개변수를 검증하였다. 즉, 초기포화도는 각 유역에 대해서 수문사상별로 추정하였으며, 하도 최소경사는 복수 유역에서는 0.01을 적용하고 위천 유역에서는 0.009를 일괄적으로 적용하였다.

### 6.2.1 복수 유역

Table 9 and Fig. 4는 복수 유역에서의 모형 보정에 적용된 'Event 1'을 포함한 7개 수문사상에 대한 복수 수위 관측소의 유출모의 결과를 나타낸 것이다. Table 9에서

첨두유량은 1.3~7.4%, 첨두시간은 0.0~11.8%의 상대오차를 보임으로써 관측값을 잘 모의하는 것으로 나타났으나, 총유출량은 21.2~34.7% 범위에서 작게 모의되는 것으로 나타났다.

Table 9에서의 각 항목별 관측값과 모의값을 그래프로 나타내고, 선형의 추세선과 결정계수를 표시하면 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서의 추세선은 y 절편을 0으로 설정한 것이며, 따라서 기울기가 1에 가까울수록 관측값을 잘 재현하는 것을 의미한다. 또한 추세선의 기울기가 1보다 작을 경우에는 관측값에 비해서 모의값이 작게 산정되는 경향을 나타내고, 1보다 클 경우에는 모의값이 크게 산정되는 경향을 나타내게 된다. Fig. 4에서 첨두유량과 첨두시간에 대한 추세선의 기울기는 각각 0.99와 1.04를 나타냄으로써 관측값을 잘 재현하는 것으로 나타났으며, 총유출량에 대한 추세선의 기울기는 0.71로서 관측값보다 작은



Table 9. Simulation Results (Boksu)

Event	Initial Saturation	Min. Channel Slope[m/m]	Total Volume			Peak Discharge			Peak Time		
			Obs. [m <sup>3</sup> ]	Sim. [m <sup>3</sup> ]	Rel. Error [%]	Obs. [m <sup>3</sup> /s]	Sim. [m <sup>3</sup> /s]	Rel. Error [%]	Obs. [hr]	Sim. [hr]	Rel. Error [%]
Event 1	0.55	0.01	5,028	3,732	25.8	274.7	265.3	3.4	6.5	6.5	0.0
Event 2	0.85	0.01	6,544	4,550	30.5	419.6	428.8	2.2	8.0	8.0	0.0
Event 3	0.65	0.01	5,409	4,044	25.2	359.4	371.2	3.3	9.5	10.5	10.5
Event 4	0.10	0.01	6,018	3,929	34.7	224.8	227.6	1.3	14.0	13.5	3.6
Event 5	0.60	0.01	8,708	6,028	30.8	432.4	400.5	7.4	11.0	12.0	9.1
Event 6	0.45	0.01	4,933	3,806	22.8	233.5	225.2	3.6	8.5	9.5	11.8
Event 7	0.87	0.01	4,099	3,231	21.2	271.7	282.8	4.1	10.0	10.5	5.0

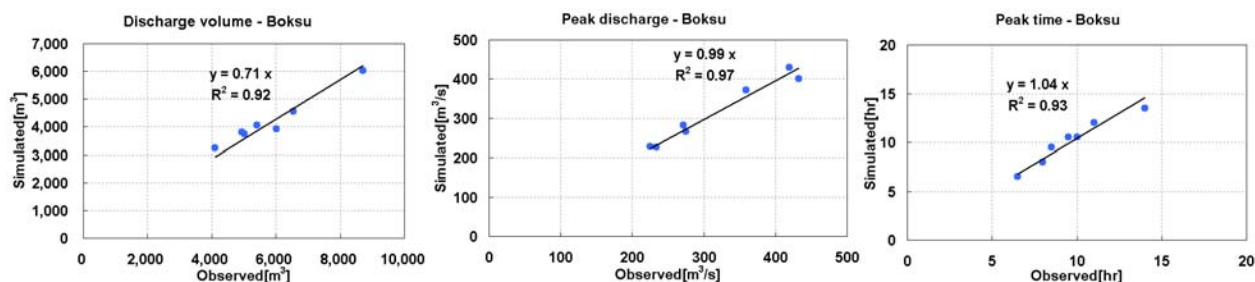


Fig. 4. Validation Results (Boksu)

모의결과를 나타내는 경향을 보이고 있다. 그러나 총유출량, 첨두유량, 첨두시간에 대한 결정계수는 각각 0.92, 0.97 및 0.93을 나타내고 있으며, 따라서 본 연구에서 적용된 복수 유역의 매개변수군은 복수 유역의 강우-유출 현상을 일관되게 모의하고 있는 것으로 나타났다.

### 6.2.2 위천 유역

Table 10 and Fig. 5는 위천 유역에서의 모형 보정에 적용된 'Event 1'을 포함한 5개 수문사상에 대한 무성 수위관측소의 유출모의 결과를 나타낸 것이다. Table 10에서 총유출량과 첨두유량은 각각 13.8~18.7% 및 0.7~5.2%를 나타내고 있으며, 첨두시간은 모든 사상에 대해서 관측값을 정확히 재현함으로써 관측 수문곡선을 잘 재현하는 것으로 나타났다.

Table 10에서의 각 항목별 관측값과 모의값을 그래프로 나타내고, 선형의 추세선과 결정계수를 표시하면 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서의 추세선은 Fig. 4에서와 같이 y 절

편을 0으로 설정한 것으로서, 첨두유량과 첨두시간에 대한 추세선의 기울기는 0.96과 1.00을 나타냄으로써 관측값을 잘 재현하는 것으로 나타났으며, 총유출량에 대한 추세선의 기울기는 약 0.83이어서 관측값보다 작은 모의결과를 나타내는 경향을 보이고 있다. 그러나 총유출량, 첨두유량 및 첨두시간에 대한 결정계수는 모두 1.00을 나타내고 있으며, 따라서 본 연구에서 적용된 위천 유역의 매개변수군 또한 위천 유역의 강우-유출 현상을 일관되게 모의하고 있는 것으로 나타났다.

### 6.3 상류 지점의 유량 추정

복수 유역과 위천 유역에 대해서 추정 및 검증된 단일 매개변수군을 이용해서 GRM을 구동하고, 신대 수위관측소 및 미성 수위관측소 지점의 모의결과를 출력한 후 각각의 관측 수문곡선과 비교검토 함으로써 유역내 임의 지점에 대해서 보정된 GRM을 이용한 상류 유역의 유량 추정에 대한 가능성을 평가하고자 한다.

Table 10. Simulation Results (Museong)

Event	Initial Saturation	Min. Channel Slope[m/m]	Total Volume			Peak Discharge			Peak Time		
			Obs. [m <sup>3</sup> ]	Sim. [m <sup>3</sup> ]	Rel. Error [%]	Obs. [m <sup>3</sup> /s]	Sim. [m <sup>3</sup> /s]	Rel. Error [%]	Obs. [hr]	Sim. [hr]	Rel. Error [%]
Event 1	0.92	0.009	14,633	12,431	15.0	980.9	934.8	4.7	27	27	0.0
Event 2	0.93	0.009	10,890	9,124	16.2	735.3	696.8	5.2	26	26	0.0
Event 3	0.90	0.009	17,154	13,945	18.7	1080.5	1037.9	3.9	45	45	0.0
Event 4	0.60	0.009	10,668	8,739	18.1	585.0	589.1	0.7	15	15	0.0
Event 5	0.40	0.009	3,282	2,830	13.8	266.0	253.8	4.6	9	9	0.0

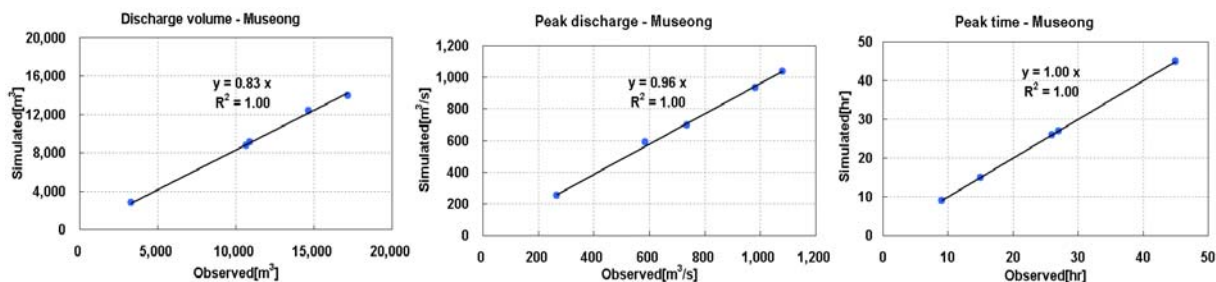


Fig. 5. Validation Results (Museong)

### 6.3.1 신대 수위관측소

Table 11 and Fig. 6은 복수 수위관측소 지점에 대해서 검보정된 단일 매개변수군을 이용한 신대 수위관측소 지점의 모의결과를 나타낸 것이다. Table 11에서 첨두유량은 0.7~12.2%, 첨두시간은 0.0~14.3%의 상대오차를 보임으로써 신대 수위관측소의 관측값을 잘 모의하는 것으로 나타났다. 그러나 총유출량은 27.7~37.7%의 오차를 보이고 있으며, 이는 복수 수위관측소 지점의 모의결과와 유사한 경향으로서 신대 수위관측소의 모의결과는 적용된 매개변수에 대해서 복수 수위관측소와 유사한 반응을 하는 것으로 나타났다.

Table 11에서의 각 항목별 관측값과 모의값을 그래프

로 나타내고, y 절편이 0인 선형의 추세선과 결정계수를 표시하면 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 첨두유량과 첨두시간에 대한 추세선의 기울기는 각각 0.99와 0.95를 나타냄으로써 관측값을 잘 재현하는 것으로 나타났다. 총유출량에 대한 추세선의 기울기는 0.67로서 관측값보다 작은 모의결과를 나타내는 경향을 보이고 있으며, 이러한 모의결과는 복수 수위관측소에서의 모의결과와 같은 경향을 보이고 있다. 또한 총유출량, 첨두유량, 첨두시간에 대한 결정계수는 각각 0.91, 0.94 및 0.96을 나타내고 있다. 따라서 복수 수위관측소에 대해서 검보정된 단일 매개변수군을 이용하였을 때에도 신대 수위관측소의 강우-유출 현상을 일관되게 모의하고 있는 것으로 나타났다.

Table 11. Simulation Results (Sindae)

Event	Initial Saturation	Min. channel Slope[m/m]	Total Volume			Peak Discharge			Peak Time		
			Obs. [m <sup>3</sup> ]	Sim. [m <sup>3</sup> ]	Rel. Error [%]	Obs. [m <sup>3</sup> /s]	Sim. [m <sup>3</sup> /s]	Rel. Error [%]	Obs. [hr]	Sim. [hr]	Rel. Error [%]
Event 1	0.55	0.01	3,863	2,718	29.6	229.5	239.6	4.4	5.0	4.5	10.0
Event 2	0.85	0.01	5,440	3,551	34.7	380.9	383.6	0.7	7.0	6.0	14.3
Event 3	0.65	0.01	5,087	3,222	36.7	356.0	350.9	1.4	8.5	8.5	0.0
Event 4	0.10	0.01	4,558	2,889	36.6	186.7	177.7	4.8	12.5	11.5	8.0
Event 5	0.60	0.01	5,807	4,201	27.7	298.2	317.7	6.6	10.5	10.5	0.0
Event 6	0.45	0.01	3,262	2,318	29.0	177.3	187.5	5.7	7.5	7.0	6.7
Event 7	0.87	0.01	4,068	2,569	36.9	315.6	277.0	12.2	8.5	8.5	0.0

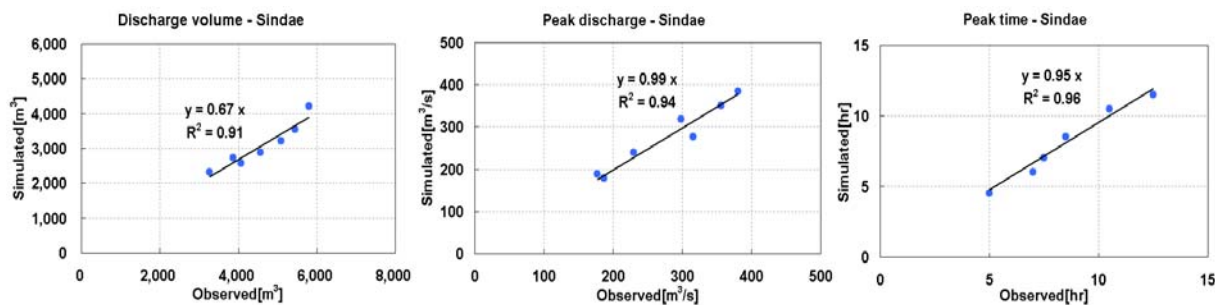


Fig. 6. Simulation Results (Sindae)

### 6.3.2 미성 수위관측소

Table 12 and Fig. 7은 무성 수위관측소 지점에 대해서 검토정된 단일 매개변수군을 이용한 미성 수위관측소 지점의 모의결과를 나타낸 것이다. Table 12에서 총유출량의 상대오차는 1.4~19.0%를 나타내고 있으며, 침투유량은 8.0~40.7%, 침투시간은 0.0~25.0%의 상대오차를 보임으로써 대체적으로 관측값을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

Table 12의 관측값과 모의값을 그래프로 나타내고, y 절편이 0인 선형의 추세선과 결정계수를 표시하면 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 총유출량, 침투유량 및 침투시간에 대한 추세선의 기울기는 각각 1.10, 1.15 및 1.02를 나타냄으로써 관측값을 잘 재현하는 것으로 나타났다. 또한 총유출량, 침투유량, 침투시간에 대한 결정계수는 각각 0.97, 0.95 및 0.99를 나타내고 있다. 따라서 무성 수위관측소에 대해서 검토정된 단일 매개변수군을 이용하였을 때에도 미성 수위관측소의 강우-유출 현상을 일관되게 모의하고 있는 것으로 나타났다.

## 7. 결론

본 연구에서는 유량 관측자료가 있는 유역내 임의의 지점에 대해서 보정된 모형의 단일 매개변수군을 이용하여 이 지점의 상류에 있는 또 다른 계측 지점의 유량을 모의하고, 그 결과를 관측 수문곡선과 비교 검토함으로써 물리

적 기반의 분포형 모형의 지역화를 통한 미세측 지점에서의 유량 추정 가능성을 평가하였다. 이를 위해서 중소 규모의 자연유역의 특성을 가지는 유역인 유등천의 복수 유역과 낙동강의 위천 유역에 대해서 물리적 분포형 모형인 GRM을 적용하였다.

매개변수의 검증결과 복수 수위관측소와 무성 수위관측소 지점에 대해서 추정된 각 유역의 단일 매개변수군은 위천 유역의 경우 침투유량과 총유출량에서 0.7~5.2%와 13.8~18.7%의 상대오차를 나타내고, 침투시간은 관측치를 정확하게 모의함으로써 관측 수문곡선을 잘 재현하는 것으로 나타났다. 복수 유역에서는 침투유량과 침투시간은 각각 1.3~7.4%와 0.0~11.8%의 상대오차를 보임으로써 관측값을 잘 모의하는 것으로 나타났으나, 총유출량은 21.2~34.7%의 오차를 보이고 있다. 이와 같이 위천 유역과 복수 유역의 모의결과에서는 침투유량과 침투시간에 비해 총유출량에서 큰 오차를 나타내고 있으며, 이는 GRM 모형에서 기저유출을 모의하지 않음으로 인해서 수문곡선의 하강부에서 관측값보다 작은 모의결과를 나타내기 때문인 것으로 판단된다. 매개변수 검증결과 위천 및 복수 유역의 모든 수문사상에 대해서 총유출량, 침투유량 및 침투시간에 대한 관측치와 모의결과의 결정계수는 0.92~1.00으로 높게 나타났으며, 따라서 각 유역에서 적용된 단일 매개변수군을 이용한 유출모의결과는 관측 수문곡선을 잘 재현하고 있을 뿐만 아니라 모의결과 또한 일관된 경향을 보이는 것으로 나타났다.

Table 12. Simulation Results (Miseong)

Event	Initial Saturation	Min. Channel Slope[m/m]	Total Volume			Peak Discharge			Peak Time		
			Obs. [m <sup>3</sup> ]	Sim. [m <sup>3</sup> ]	Rel. Error [%]	Obs. [m <sup>3</sup> /s]	Sim. [m <sup>3</sup> /s]	Rel. Error [%]	Obs. [hr]	Sim. [hr]	Rel. Error [%]
Event 1	0.92	0.009	3,957	4,547	14.9	333.1	367.0	10.2	26	27	3.8
Event 2	0.93	0.009	2,866	3,410	19.0	199.1	280.1	40.7	25	26	4.0
Event 3	0.90	0.009	4,726	5,223	10.5	410.0	474.8	15.8	46	46	0.0
Event 4	0.60	0.009	3,606	3,556	1.4	233.2	251.7	8.0	13	13	0.0
Event 5	0.40	0.009	1,198	1,163	2.9	125.0	135.5	8.4	8	10	25.0

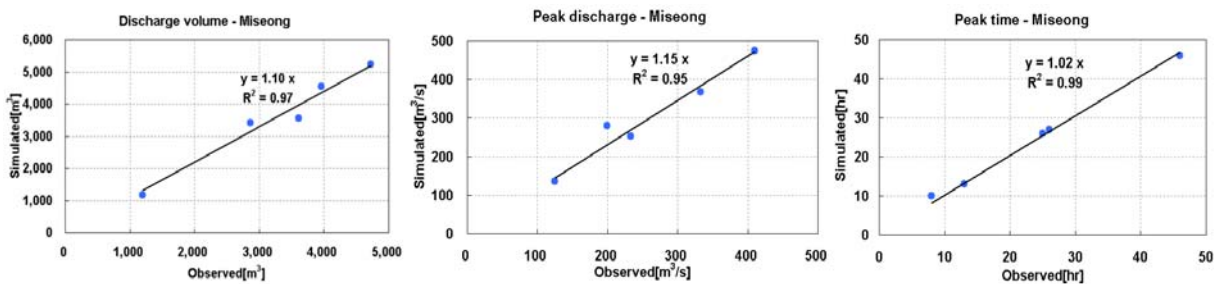


Fig. 7. Simulation Results (Miseong)

복수 및 무성 수위관측소에 대해서 검토정된 각 구역의 단일 매개변수군을 이용해서 모의된 신대 및 미성 수위관측소 지점의 유출모의 결과를 각 지점의 관측 수문곡선과 비교 검토하였다. 신대 수위관측소 지점에서는 침투유량과 침투시간에 대해서 0.7~12.2% 및 0.0~14.3%의 상대오차를 보임으로써 관측값을 잘 모의하는 것으로 나타났으나, 총유출량의 상대오차는 27.7~37.7%로서 침투유량과 침투시간에 비해서 큰 상대오차를 보이고 있다. 이는 복수 수위관측소의 모의결과와 유사한 경향을 보이는 것으로서, 적용된 매개변수군은 복수 및 신대 수위관측소 지점에 대해 유사한 유출반응을 나타내었다. 미성 수위관측소 지점에서는 총유출량의 상대오차는 1.4~19.0%를 나타내고 있으며, 침투유량은 8.0~40.7%, 침투시간은 0.0~25.0%의 상대오차를 보임으로써 대체적으로 관측값을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 복수 및 무성 수위관측소에 대해서 추정된 각 구역의 단일 매개변수군을 이용하여 신대 및 미성 수위관측소의 유량을 추정한 결과 관측 수문곡선을 잘 재현하고 있을 뿐만 아니라, 총유출량, 침투유량, 침투시간에 대해서 결정계수 0.91~0.99를 가지는 직선형의 상관식을 얻을 수 있었다. 따라서 중소구역의 단기간의 강우-유출 모의에서 유역 내 임의 지점에 대해서 보정된 모형을 이용하여 이 지점의 상류에 있는 임의 유역에 대한 유량 추정시 GRM 모형은 충분히 적용성이 있는 것으로 나타났다. 또한 기존에 적용되었던 통계적 모형 혹은 경험적 모형에 의한 모형의 지역화를 위해서는 과거에 구축된 장기간의 수문자료가 필요로 하지만, GRM 모형에서는 유역의 물리적 매개변수를 이용함으로써 인해서 장기간의 관측자료가 없는 미계측 유역에 대해서도 유량 추정에 적용할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 유역의 공간자료를 기반으로 하는 매개변수를 사용하고 있기 때문에 유역의 물리적 상황이 변경될 경우 이를 반영하기 위해서는 추가적인 모형의 보정과정이 필요할 것이다.

본 연구에서 적용된 지형자료와 수문자료 및 유역 선정의 기준은 매우 제한적일 수 있으며, 본 연구에서 검토되지 않은 다양한 자료와 유역에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 유역에서의 공간적 다형성을 반영할 수 있는 지형자료 및 분포형 강우의 적용과 시간적 스케일 문제를 충분히 반영할 수 있는 수문자료를 활용할 경우 좀 더 나은 연구결과를 얻을 수 있을 것으로 사료되며, 이에 대한 추가연구가 필요할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단(과제번호:1-2-3)과 국토해

양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신 사업과제(과제번호:07국토정보C03)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- 건설부 (1994). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
- 건설교통부 (2005). 하천설계기준·해설, pp. 262-265.
- 국토해양부 (2007). **한국수문조사연보**.
- 김경탁 (1998). GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구. 박사학위논문, 인하대학교, pp. 94-98.
- 농업기술연구소(1992). 증보 한국토양총설. 토양조사자료 13, 농촌진흥청, pp. 283-290.
- 박정술, 김경탁, 최윤석 (2009a). “레이더 강우와 GRM을 이용한 임진강 유역의 홍수 유출모의.” **2009년 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 1047-1051.
- 박정술, 최윤석, 김경탁, 이승기 (2009b). “기상레이더와 분포형 수문모형을 이용한 내린천 유역의 강우-유출 분석.” **2009년 대한원격탐사학회 춘계학술대회 논문집**, 대한원격탐사학회, pp. 291-295.
- 심순보, 안보훈 (1976). “미계측 중소유역의 설계홍수량 산정에 관한 연구.” **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제9권, 제2호, pp. 101-114.
- 오경두 (2009). “분포형 모형 Vflo<sup>TM</sup>에 의한 수문해석.” **제 20회 수공학 워킹 교재**, 한국수자원학회, pp. 32-41.
- 이효상, 문영일 (2007). “미계측 지역의 강우 유출 모델의 적용.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, pp. 489-498.
- 최윤석 (2010). 지리정보시스템 기반의 물리적 분포형 강우-유출 모형 개발 및 평가. 박사학위논문, 인하대학교, pp. 21-212.
- 최윤석, 김경탁, 이진희 (2008). “유한체적법을 이용한 격자기반의 분포형 강우-유출 모형 개발.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제9호, pp. 895-905.
- 최윤석, 김경탁, 심명필 (2009). “댐 하류 지점에 대한 분포형 모형의 적용성 평가.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제42권, 제9호, pp. 703-713.
- 한국건설기술연구원 (2007). HyGIS 개발, 과학기술부.
- 한국건설기술연구원, (주)지오매니아, (주)로커스솔루션 (2009). HyGIS Tutorial-제5·6회 HyGIS Workshop 실습, pp. 184-194.
- 행정자치부 (1998). **위성자료를 이용한 미계측 특정지역의 하천재해 분석을 위한 기초연구**, NIDP-97-07, pp. 105-292.

- Abbott, M.B., Bathurst, J.C, Cunge, J.A., O'Connell, P.E., and Rasmussen, J. (1986). "An introduction to the European Hydrological System—Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system." *Journal of Hydrology*, Vol. 87, pp. 45-59.
- Andersen, J., Refsgaard, J.C., and Jensen, K.H. (2001). "Distributed hydrological modelling of the Senegal River Basin—model construction and validation." *Journal of Hydrology*, Vol. 247, pp. 200-214.
- Ajami, N.K., Gupta, H., Wagener, T., and Sorooshian, S. (2004). "Calibration of a semi-distributed hydrologic model for streamflow estimation along a river system." *Journal of Hydrology*, Vol. 298, pp. 112-135.
- Aron, G. and Miller, A. (1978). "Adaptation of flood peaks and design hydrographs from gaged to nearby ungauged watershed." *Water Resources Bulletin*, Vol. 14, No. 2, pp. 313-321.
- Bandaragoda, C., Tarboton, D.G., and Woods, R. (2004). "Application of TOPNET in the distributed model intercomparison project." *Journal of Hydrology*, Vol. 298, pp. 178-201.
- Blöschl, G. and Sivapalan, M. (1995). "Scale issues in hydrological modelling: a review." *Hydrological Processes*, Vol. 9, pp. 251-290.
- Chaudhry, M.H. (1993). *Open-channel Flow*. Prentice-Hall, pp. 82-86.
- Chow, V.T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill, pp. 101-123.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill, pp. 110-147.
- Dawson, C.W., Abrahart, R.J., Shamseldin, A.Y., and Wilby, R.L. (2006). "Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks." *Journal of Hydrology*, Vol. 319, pp. 391-409.
- Götzinger, J., and Bárdossy, A. (2007). "Comparison of four regionalisation methods for a distributed hydrological model." *Journal of Hydrology*, Vol. 333, pp. 374-384.
- Merz, R., and Blöschl, G. (2004). "Regionalisation of catchment model parameters." *Journal of Hydrology*, Vol. 287, pp. 95-123.
- Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. (1970). "Flow forecasting through conceptual models part I - a discussion of principles." *Journal of Hydrology*, Vol. 10, pp. 282-290.
- Pilgrim, D.H. (1983). "Some problems in transferring hydrological relationships between small and large drainage basins and between regions." *Journal of Hydrology*, Vol. 65, pp. 49-72.
- Refsgaard, J.C. (1997). "Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models." *Journal of Hydrology*, Vol. 198, pp. 69-97.
- Young, A. (2006). "Stream flow simulation within UK Ungauged catchments using a daily rainfall-runoff model." *Journal of Hydrology*, Vol. 320, pp. 155-172.
- <http://www.geumriver.go.kr/>
- <http://www.nakdongriver.go.kr/>

논문번호: 09-108	접수: 2009.09.14
수정일자: 2009.10.07/2010.03.04	심사완료: 2010.03.04