韓國水資源學會論文集
第47卷 第9號·2014年 9月
pp. 767~776

J. KOREA WATER RESOURCES ASSOCIATION
Vol. 47, No. 9:767-776, September 2014
http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2014.47.9.767
pISSN 1226-6280 • eISSN 2287-6138

분포형 강우-유출 모형의 입력자료 해상도에 따른 유출변동 연구

Study on Runoff Variation by Spatial Resolution of Input GIS Data by using Distributed Rainfall-Runoff Model

정 충 길* / 문 장 원** / 이 동 률***
Jung, Chung Gil / Moon, Jang Won / Lee, Dong Ryul

Abstract

Changes in climate have largely increased concentrated heavy rainfall, which in turn is causing enormous damages to humans and properties. Floods are one of the most deadly and damaging natural disasters known to mankind. The flood forecasting and warning system concentrates on reducing injuries, deaths, and property damage caused by floods. Therefore, the exact relationship and the spatial variability analysis of hydrometeorological elements and characteristic factors is critical elements to reduce the uncertainty in rainfall-runoff model. In this study, grid resolution depending on the topographic factor in rainfall-runoff models presents how to respond. semi-distribution of rainfall-runoff model using the model GRM simulated and calibrated rainfall-runoff in the Gamcheon and Naeseongcheon watershed. To run the GRM model, input grid data used rainfall (two event), DEM, landuse and soil. This study selected cell size of 500 m (basic), 1 km, 2 km, 5 km, 10 km and 12 km. According to the resolution of each grid, in order to compare simulation results, the runoff hydrograph has been made and the runoff has also been simulated. As a result, runoff volume and peak discharge which simulated cell size of DEM 500 m~12 km were continuously reduced. that results showed decrease tendency. However, input grid data except for DEM have not contributed increase or decrease runoff tendency. These results showed that the more increased cell size of DEM make the more decreased slope value because of the increased horizontal distance.

keywords : GRM model, distributed rainfall-runoff model, DEM, landuse, soil

요 지

최근 기후변화에 의한 기상이변이 발생하고 국지적 집중호우로 인한 홍수피해가 심각하게 증가하고 있다. 이러한 피해를 경감하기 위한 방법으로 정확한 홍수유출량 예측을 통한 홍수예경보 구축이 필요시 된다. 정확한 홍수유출량 예측을 위해 수문기상학적 요소와 특성인자들의 정확한 상호 연관성 규명과 공간적 변동성 해석은 강우-유출 모형에서 발생하는 불확실성을 감소시키는데 중요한 요소로 작용하게 된다. 본 연구에서는 정확한 홍수유출량을 산정하기 위한 강우-유출모형을 이용한 입력자료의 해상도에 따른 불확실성을 감소시키기 위해 강우격자 해상도와 지형인자 격자 해상도에 따라 강우-유출모형이 어떻게 반응하는지 분석하였다. 분포형 강우-유출 모형인 GRM 모형을 이용하여 내성천 및 감천 유역을 대상으로 이벤트를 산정하여 홍수유출 모의 및 검증을 실시하였다. GRM 모형 구성을 위한 입력자료(강우, DEM, 토지이용도, 토양도)의 해상도 격자크기는 500m 격자크기를 기본으로 각각 1 km, 2 km, 5 km, 10 km, 12 km 격자크기의 지형자료를 사용하여 유출모의를 실시하고 유출량 변화를 모의하였다. 입력자료별 모의결과로 DEM의 분석결과는 모든 시험유역에서 공통적으로 DEM의 격자크기가 증가할수록 첨두유량과 총유출량이 일정하게 감소하는 경향을 나타내고 있다. 나머지 입력자료로 토지이용 및 토양도에 격자크기에 따른 모의결과는 DEM과는 상반되게 일정한 경향성을 나타나지 않는 것으로 분석되었다. 특히 일정한 경향성이 나타나는 DEM의 분석결과는 DEM의 격자크기가 증가할수록 수평거리가 증가하여 경사도는 감소하는 특징으로 인해 나타나는 결과인 것으로 판단된다.

핵심용어 : GRM 모형, 분포형 강우-유출 모형, DEM, 토지이용, 토양도

* 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 (e-mail: wjd0823@konkuk.ac.kr)
Ph.D. Course Student, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Konkuk Univ., Seoul 143-701, Korea
** 교신저자, 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수자원연구실 수석연구원 (e-mail: jwmoon@kict.re.kr, Tel: 82-31-910-0591)
Corresponding Author, Senior Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
*** 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수자원연구실 선임연구위원 (e-mail: dryi@kict.re.kr)
Senior Research Fellow, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

1. 서 론

최근 몇 년간 이상기상에 따른 집중호우로 인해 홍수 피해가 심각한 수준으로 발생하고 있으며, 이에 효과적으로 대응하기 위해서는 수문기상학적 요소와 특성인자들의 상호 연관성에 대한 정확한 규명과 공간적 변동성 해석을 통한 홍수량 산정이 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 이러한 강우-유출 관계를 표현할 수 있는 모형은 최근 들어 집중형 모형에서 분포형 모형으로의 발전이 이루어지고 있으며, 분포형 모형에 시공간적으로 분포된 레이더 강우를 이용한 강우-유출 분석 등의 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

강우를 통해 지표면에 도달한 물은 다양한 경로를 통해 하천으로 유입된다(Maidment, 1993). 이와 같이 강우에 따른 유출은 지표면의 습윤상태 및 지형에 따라 다양하게 나타나며, 특히 식생의 종류 및 성장상태, 토양, 그리고 기복변화에 영향을 받게 된다. 물의 흐름과 관련된 분포형 모델을 효과적으로 활용하기 위해서는 지형, 배수망, 토지피복, 그리고 토양정보 등을 정의하기 위한 GIS 자료가 필요하다(Vieux, 1994; Finnerty et al., 1997; ASCE, 1999; Vieux and Bedient, 2004). 분포형 모델에 GIS 자료를 활용하는 과정에서 가장 신중하게 고려해야 하는 문제는 대상지역에 대한 현상을 정확하게 모의하기에 적합한 공간해상도를 결정하는 일이다.

본 연구는 레이더 강우 및 분포형 모형을 이용하여 유출량 모의 과정에서 발생하는 불확실성을 감소시키는데 있어 도움이 될 수 있도록 적정 격자 해상도를 찾는데 목적이 있다. Zhang and Montgomery (1994)는 미국 서부의 두 개 유역에 대한 수치고도자료를 이용하여 DEM의 격자크기에 따른 수문학적 모의를 수행한 바 있다. 공간 분포된 강우 및 기상 레이더 강우자료를 이용한 강우-유출 해석에 관한 연구로는 Johnson et al. (1999)이 미국 서부 지역을 대상으로 지상 강우관측소 자료 및 티센 다각형법과 NEXRAD 기상레이더 자료를 이용하여 유역의 평균 강우량을 산정한 후 월별 유출량을 모의하고 관측치와의 편차가 5% 이내의 안정된 결과를 도출한 바 있다. Sun et al. (2000)은 Australia Darwin 지방을 대상으로 지상 강우관측소 자료에 크리깅 기법을 적용하여 산정된 강우량과 레이더 강우량 자료를 RORB 유출모형에 적용하여 Darwin 지방의 유출특성을 분석하였다. Ahn and Yoon (2005)은 크리깅 방법을 이용하여 지점우량을 격자강우로 생성한 후 격자크기에 따른 유출 사항을 모의하였으며, Kim et al. (2009)과 Bae et al. (2010)은 광덕산 레이더 자료와 지상 강우자료를 이용하여 분포형 홍수유출 모의를 수행하였다. Cho (2000)는 강우-유출모의에 있어 분포형 모형을 적용하고 이에 따른 격자 규모 결정에 대하여 검토한 바 있으며, Kim et al. (2010)은 신경망에 의해 레이더 강우를 보정하고 이를 분포형 모형에 적용하여 유출해석을 수행하였다. Moon et al. (2006)은 TOPMODEL을 이용하여 격자 크기가 유역의 유출특성에 미치는 영향을 분석하였으며, Kim et al. (2010)은 레이더 강우와 분포형 모형을 이용하여 섬진강 유역 내의 홍수예보 지원에 대한 적용성을 검토하였다. 이와 같이 최근 국내에서도 분포형 강우-유출모형을 이용한 유출모의 및 레이더 관측 강우자료를 이용한 분석이 활발하게 이루어지고 있으나, 유출모의에 있어 중요한 요소로 작용하는 입력 자료의 격자 해상도에 대한 기준은 명확하게 제시되어 있지 못한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 분포형 모형의 강우-유출모의에 있어 모형에 입력되는 강우 및 지형 등 입력 자료의 격자 크기를 세분화한 후 다양한 규모의 격자 정보를 적용하여 유출모의를 수행하고 실제 관측치와 비교하였다. 이러한 분석을 통해 도출된 결과는 분포형 강우-유출모형을 이용한 유출모의 과정에서 불확실성을 감소시키기 위해 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구방법 및 이용자료

2.1 GRM 모형

본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 개발한 GRM (Grid based Rainfall-runoff Model) 모형을 이용하여 유출해석을 수행하였다. GRM 모형은 격자 기반의 물리적 분포형 강우-유출모형으로 GIS 기반의 모델링 시스템인 HyGIS-GRM을 제공한다. GRM에서는 지표면 흐름과 하도 흐름의 홍수추적을 위해 1차원 운동파 방정식을 이용하고 있으며, 각각에 대한 연속방정식은 Eqs. (1) and (2)와 같다. 운동량 방정식은 Eq. (3)을 이용하고 있으며, Eq. (4)와 같이 표현되는 Manning의 식을 통해 유속을 계산한다(KICT, 2011).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r - f + \frac{q_r}{\triangle y} \tag{1}$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = r\triangle y + q_{ol} + q_{ss} + q_b \tag{2}$$

$$S_0 = S_f \tag{3}$$

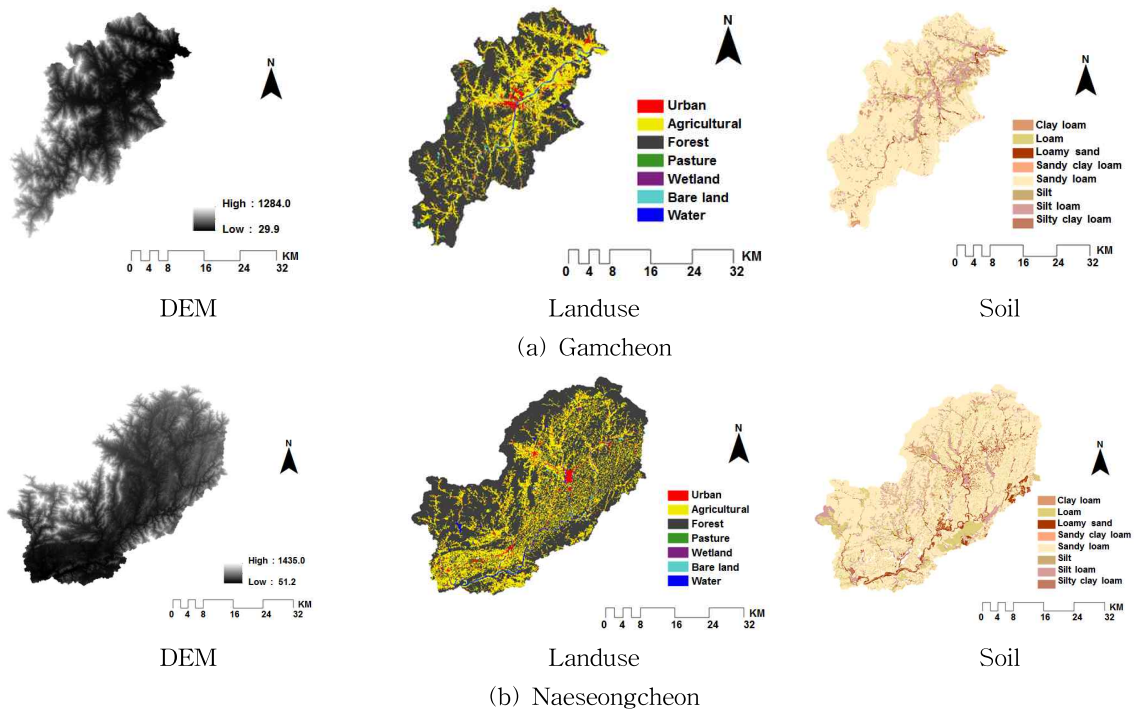
$$u = \frac{R^{2/3} S_0^{1/2}}{n} \tag{4}$$

여기서, q는 단위 폭 당 유량($q = uh$), u는 x 방향 유속, r은 강우강도, f는 침투율, A는 하도 단면적, q_r은 복귀류, Q는 유량, h는 수심, q_{ol}은 지표면 흐름에 의한 측방유입, q_{ss}는 하도로 유입되는 지표하 유출, q_b는 기저유출, t는 시간, n은 조도계수, R은 동수반경, Δy는 검사체적의 y 방향 크기를 의미한다.

2.2 대상유역 및 이용자료

분포형 모형의 입력자료 해상도가 유출모의 결과에 미치는 영향을 평가하기 위한 대상유역으로 감천 및 내성천 유역을 선정하였다. 감천 유역의 유역면적은 1,005.3 km^2로 산림 및 농경지가 전체 유역면적의 64.5% 및 28.0%를 차지하고 있으며, 토양의 토성은 Sandy loam이 77.2%로 대부분을 차지하고 있다. 내성천 유역의 유역면적은 1,816.1 km^2로 유역 내 토지이용현황은 산림과 농경지가 각각 62.5%와 30.8%를 차지하고 있으며, 토양의 토성은 감천유역과 마찬가지로 Sandy loam이 70.4%로 대부분을 차지하고 있다.

GRM 모형을 이용한 강우-유출모의를 위해 각각의 유역에서 2개의 강우 사상을 선정한 후 AWS 지점 강우자료를 수집하였으며, 수집된 자료에 IDW 보간기법을 적용하여 500 m 해상도의 격자 강우자료를 구축하였다. 먼저 감천 유역의 경우에는 선산 지점의 관측유량 자료를 검토하여 2010년 8월 11일 강우 사상과 2011년 7월 9일 강우 사상을 선정하였으며, 내성천 유역에서는 향석 지점의 관측유량 검토 결과를 바탕으로 2008년 8월 15일 및 2011년 7월 10일 강우 사상을 선정하여 분석에 이용하였다. 강우 사상을 선정한 후 감천 및 내성천 유역과 주변에 위치한 기상청 AWS 관측소의 시간 강우자료를 수집하여 IDW 공간보간 기법에 의한 격자 단위 강우 자료를 생성하였다. 구축된 500 m 공간 해상도 강우자료와 감천 및 내성천 유역 내 관측유량 자료(감천 유역은 선산지점, 내성천 유역은 향석 지점)를 이용하여 모형의 매개변수 보정을 수행하였다. 모형의 매개변수에 대한 보정을 수행한 후 강우, DEM, 토지이용도 및 토양도 등 4가지 입력 자료에 대해 6가지 공간해상도(500 m, 1 km, 2 km, 5 km, 10 km 및 12 km)로 자료를 재구축하였다. 재구축된 6가지 공간해상도의 입력 자료를 이용하여 4가지 입력 인자(강우, DEM, 토지이용도 및 토양도)의 공간해상도가 유출모의 결과에 미치는 영향을 분석하였다. 예를 들어 강우의 공간해상도 영향을 평가하기 위해 나머지 3가지 인자(DEM, 토지이용도, 토양도)는 500 m 공간해상도 정보로 고정한 후 강우에 대해서만 공간해상도에 따라 격자자료를 구축하였으며, 구축된 자료를 GRM 모형에 적용한 후 모의된 유출량과 관측유량과의 비교를 통해 유출모의 결과에 미치는 영향을 평가하였다. Fig. 1은 감천 및 내성천 유역에



DEM Landuse Soil

(a) Gamcheon

DEM Landuse Soil

(b) Naeseongcheon

Fig. 1. Spatial Input Data (500 m resolution)

대해 500 m 공간해상도로 구축된 DEM, 토지이용도 및 토양도를 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 GRM 모형의 보정 및 검증

연구 대상유역의 실측 유량자료를 바탕으로 GRM 모형의 매개변수 보정 및 검증을 수행하였으며, 실측 및 모의 유량 값을 이용하여 결정계수(R^2)를 산정한 후 매개변수의 적합성을 판단하였다. 보정 및 검증을 수행하기 위해 격자별 모의에 있어 기준 해상도라 할 수 있는 500 m 해상도를 기준으로 유출에 대한 검·보정을 실시하였다. 실측 유출량과 모의 유출량에 대한 시행착오법을 통해 최적 매개변수를 선정한 결과, 조도계수는 0.05~0.1의 범위를 나타냈으며, 포화 투수계수의 결과 값은 0.01~0.1의 결과를 보였다. 보정 결과 값을 토대로 모형에 대한 검증을 수행하였으며, 그 결과를 Table 1에 정리하여 나타내었다. 검증을 위한 지표로 동일 기간에 대한 관측 수문곡선 및 모의 수문곡선의 유출용적을 비교하였으며, 관측 및 모의 수문곡선의 경향성을 판단하기 위해 R^2를 이용하였다. 유출용적에 대한 비교 결과, 실측 수문곡선의 유출용적을 비교적 잘 모의하고 있음을 알 수 있으며, R^2는 0.92~0.99로 나타나 관측 수문곡선의 증가 및 감소 패턴을 매우 잘 반영하고 있음을 확인하였다.

3.2 격자별 유출 분석

본 연구에서는 분포형 강우-유출모형인 GRM 모형을 이용하여 감천과 내성천유역을 대상으로 유출분석을 수행하였다. 실측 유출량 값을 기준으로 500 m 격자 해상도를 이용하여 입력 자료를 구성한 후 매개변수 보정을 수행하였으며, 강우, DEM, 토지이용 및 토양도에 대해 각각의 인자에 대해 5가지 공간해상도(1 km, 2 km, 5 km, 10 km, 12 km)로 입력 자료를 구축하여 강우-유출모의를 수행한 후 입력 자료의 격자 크기가 유출모의 결과에 미치는 영향을 검토하였다. 입력 자료별 격자 해상도에 따른 강우-유출모의 결과를 이용하여 첨두홍수량 및 유출체적에 대해 실제 관측된 값과의 차이를 비교하였으며, 그 결과를 Tables 2 and 3에 정리하였다. Tables 2 and 3에서 입력 자료의 격자 크기에 따른 유출모의 결과를 비교하기 위해 먼저 관측자료에 의한 첨두홍수량 및 유출체적과 입력 자료 해상도별 모의 결과의 차이를 산정하여 제시하였으며, 격자 크기의 변동에 따른 유출모의 결과의 변동을 판단하기 위해 500 m 해상도 결과를 기준으로 나머지 해상도별 모의 결과와의 차이를 산정하였다.

유역별로 결과를 살펴보면, 먼저 감천 유역에서는 DEM 격자 크기에 따른 모의 결과에서 격자 크기가 증가할수록 첨두유출량 및 유출체적이 감소하는 경향이 명확하게 나타났으며, 격자 크기 2 km까지의 변화율이 상대적으로 크게 나타났고 이후로는 2 km까지의 변화율에 비해 작은 값을 나타내고 있었다. 또한, 강우 및 토지이용의 경우에는 첨두유출량에 있어 변화량이 비교적 일정한 결과를 나타내고 있었으며, 토양도의 경우 2 km 격자 크기에서만 비교적 뚜렷한 증가 경향을 보였고 나머지 격자 크기에서는 비교적 일정한 결과를 나타냈다. 내성천 유역에서는 DEM 격자 크기에 따라 뚜렷하게 감소하는 결과를 나타내어 감천 유역과 유사한 결과를 확인할 수 있었다. 그 외 나머지 입력 자료에서는 격자 크기에 비례하여 증가하거나 감소하는 일정한 경향성을 확인할 수 없었다. Fig. 2는 500 m 격자 크기에 대한 모의 결과를 기준으로 입력 자료의 해상도 변화에 따른 첨두유출량 및 유출체적의 변동을 그림으로 나타낸 것이다.

Fig. 2의 결과를 통해 강우사상에 따라 차이는 있으나 4가지 입력 자료 중 DEM의 공간 해상도 변동에 따른 영향이 상대적으로 가장 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. DEM의 변동에 비해 강우, 토지이용, 토양도 등 다른 인자의 해상도 변화에 의한 영향은 상대적으로 작게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 이러한 결과를 통해 분포형 강우-유출모형을 이용한 유출모의를 수행하고자 할 경우 DEM에

Table 1. The GRM Results of Streamflow During Simulated Periods

Watershed	Event	Duration (hr)	Rainfall (mm)	Streamflow		R^2
				Observed (1,000 m^3)	Simulated (1,000 m^3)	
Gamcheon	2010/08/11	33	79.7	69,702.4	63,604.0	0.99
	2011/07/09	53	201.7	109,414.9	111,572.6	0.98
Naeseongcheon	2008/08/15	53	77.0	50,408.9	57,168.3	0.93
	2011/07/10	25	57.4	366,685.7	364,680.5	0.92

Table 2. Comparison of GIS Data Grid Resolution in Gamcheon Watershed

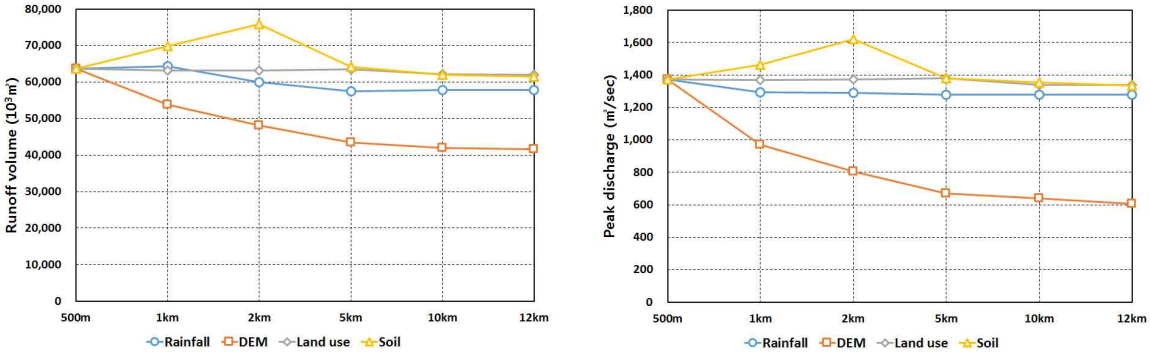
Input data		Cell size (㎞)	Peak discharge (㎥/sec)	(A)	(B)	Total volume of outflow (10^3 ㎥)	(C)	(D)
Event1 (2010/08/11)	Observed	-	1,361.2	-	-	69,702.4	-	-
	Rainfall	0.5	1,372.4	+11.2	-	63,604.0	-6,098.4	-
		1.0	1,293.1	-68.1	-79.3	64,397.2	-5,305.2	+793.2
		2.0	1,291.5	-69.7	-80.9	60,001.5	-9,700.9	-3,602.5
		5.0	1,278.9	-82.3	-93.5	57,454.9	-12,247.5	-6,149.1
		10.0	1,279.4	-81.8	-93.0	57,771.5	-11,930.9	-5,832.5
		12.0	1,279.4	-81.8	-93.0	57,771.5	-11,930.9	-5,832.5
	DEM	0.5	1,372.4	+11.2	-	63,604.0	-6,098.4	-
		1.0	968.9	-392.3	-403.5	53,772.9	-15,929.5	-9,831.1
		2.0	805.0	-556.2	-567.4	48,054.1	-21,648.3	-15,549.9
		5.0	669.8	-691.4	-702.6	43,437.6	-26,264.8	-20,166.4
		10.0	638.9	-722.3	-733.5	41,948.2	-27,754.2	-21,655.8
		12.0	606.2	-755.0	-766.2	41,634.2	-28,068.2	-21,969.8
	Land use	0.5	1,372.4	+11.2	-	63,604.0	-6,098.4	-
		1.0	1,369.8	+8.6	-2.6	63,089.7	-6,612.7	-514.3
		2.0	1,372.9	+11.7	+0.5	63,139.9	-6,562.5	-464.1
		5.0	1,379.9	+18.7	+7.5	63,534.1	-6,168.3	-69.9
		10.0	1,338.4	-22.8	-34.0	62,212.3	-7,490.1	-1,391.7
		12.0	1,337.5	-23.7	-34.9	61,952.8	-7,749.6	-1,651.2
	Soil	0.5	1,372.4	+11.2	-	63,604.0	-6,098.4	-
		1.0	1,462.9	+101.7	+90.5	69,810.0	+107.6	+6,206.0
		2.0	1,621.9	+260.7	+249.5	75,822.5	+6,120.1	+12,218.5
		5.0	1,379.2	+18.0	+6.8	64,213.7	-5,488.7	+609.7
		10.0	1,352.1	-9.1	-20.3	62,061.2	-7,641.2	-1,542.8
		12.0	1,333.9	-27.3	-38.5	61,491.6	-8,210.8	-21,12.4
Event2 (2011/07/09)	Observed	-	1,814.7	-	-	109,414.9	-	-
	Rainfall	0.5	1,919.0	+104.3	-	111,572.6	+2,157.7	-
		1.0	1,630.7	-184.0	-288.3	99,906.9	-9,508.0	-11,665.7
		2.0	1,624.8	-189.9	-294.2	99,751.3	-9,663.6	-11,821.3
		5.0	1,626.0	-188.7	-293.0	99,710.1	-9,704.8	-11,862.5
		10.0	1,659.0	-155.7	-260.0	102,730.7	-6,684.2	-8,841.9
		12.0	1,621.2	-193.5	-297.8	99,794.1	-9,620.8	-11,778.5
	DEM	0.5	1,919.0	+104.3	-	111,572.6	+2,157.7	-
		1.0	1,479.6	-335.1	-439.4	102,172.4	-7,242.5	-9,400.2
		2.0	1,271.2	-543.5	-647.8	98,784.2	-10,630.7	-12,788.4
		5.0	1,129.4	-685.3	-789.6	97,719.2	-11,695.7	-13,853.4
		10.0	1,083.9	-730.8	-835.1	97,183.5	-12,231.4	-14,389.1
		12.0	1,075.8	-738.9	-843.2	96,008.9	-13,406.0	-15,563.7
	Land use	0.5	1,919.0	+104.3	-	111,572.6	+2,157.7	-
		1.0	1,881.9	+67.2	-37.1	110,177.8	+762.9	-1,394.8
		2.0	1,878.7	+64.0	-40.3	110,068.2	+653.3	-1,504.4
		5.0	1,897.9	+83.2	-21.1	110,448.0	+1,033.1	-1,124.6
		10.0	1,840.8	+26.1	-78.2	109,309.4	-105.5	-2,263.2
		12.0	1,834.0	+19.3	-85.0	108,466.7	-948.2	-3,105.9
	Soil	0.5	1,919.0	+104.3	-	111,572.6	+2,157.7	-
		1.0	1,843.0	+28.3	-76.0	103,695.4	-5,719.5	-7,877.2
		2.0	1,913.9	+99.2	-5.1	106,929.0	-2,485.9	-4,643.6
		5.0	1,813.4	-1.3	-105.6	98,547.3	-10,867.6	-13,025.3
		10.0	1,792.6	-22.1	-126.4	96,129.9	-13,285.0	-15,442.7
		12.0	1,796.5	-18.2	-122.5	95,926.2	-13,488.7	-15,646.4

(A): simulated peak discharge - observed peak discharge, (B): Peak discharge by other cell size-Peak discharge (500 m)
(C): Simulated volume of outflow - Observed volume of outflow, (D): Volume of outflow by other cell size-Volume of outflow (500 m)

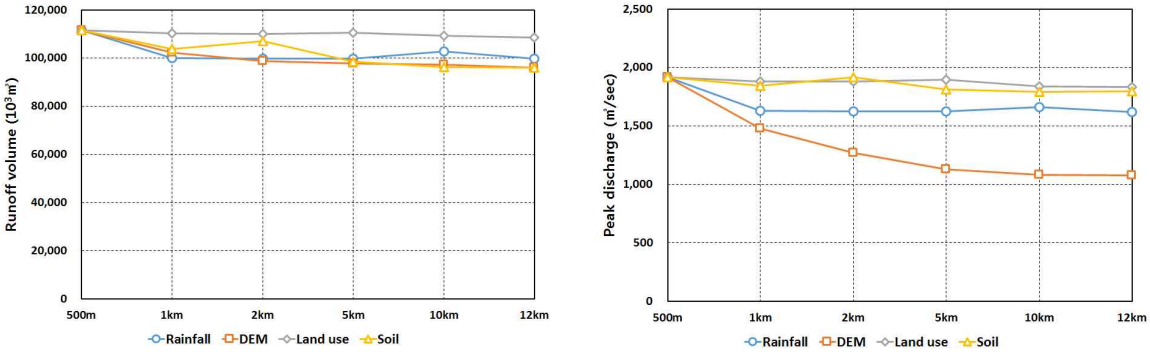
Table 3. Comparison of GIS Data Grid Resolution in Naeseongcheon Watershed

Input data		Cell size (㎞)	Peak discharge (㎥/sec)	(A)	(B)	Total volume of outflow (10^3㎥)	(C)	(D)
Event1 (2008/08/15)	Observed	-	551.3	-	-	50,408.9	-	-
	Rainfall	0.5	551.7	+0.4	-	57,168.3	+6759.4	-
		1.0	548.4	-2.9	-3.3	55,891.5	+5482.6	-1276.8
		2.0	546.5	-4.8	-5.2	55,617.2	+5208.3	-1551.1
		5.0	543.2	-8.1	-8.5	54,401.3	+3992.4	-2767.0
		10.0	543.2	-8.1	-8.5	54,401.3	+3992.4	-2767.0
		12.0	543.2	-8.1	-8.5	54,401.3	+3992.4	-2767.0
	DEM	0.5	551.7	+0.4	-	57,168.3	+6759.4	-
		1.0	545.5	-5.8	-6.2	55,793.3	+5384.4	-1375.0
		2.0	526.9	-24.4	-24.8	53,798.7	+3389.8	-3369.6
		5.0	513.5	-37.8	-38.2	52,143.8	+1734.9	-5024.5
		10.0	500.7	-50.6	-51.0	50,634.4	+225.5	-6533.9
		12.0	487.7	-63.6	-64.0	49,158.9	-1250.0	-8009.4
	Land use	0.5	551.7	+0.4	-	57,168.3	+6759.4	-
		1.0	547.8	-3.5	-3.9	56,386.8	+5977.9	-781.5
		2.0	548.5	-2.8	-3.2	56,391.5	+5982.6	-776.8
		5.0	547.8	-3.5	-3.9	56,560.7	+6151.8	-607.6
		10.0	546.5	-4.8	-5.2	56,071.0	+5662.1	-1097.3
		12.0	548.3	-3.0	-3.4	56,462.2	+6053.3	-706.1
	Soil	0.5	551.7	+0.4	-	57,168.3	+6759.4	-
		1.0	540.1	-11.2	-11.6	56,194.7	+5785.8	-973.6
		2.0	552.8	+1.5	+1.1	56,947.9	+6539.0	-220.4
		5.0	535.9	-15.4	-15.8	55,702.4	+5293.5	-1465.9
		10.0	505.3	-46.0	-46.4	51,967.4	+1558.5	-5200.9
		12.0	521.2	-30.1	-30.5	54,010.7	+3601.8	-3157.6
Event2 (2011/07/10)	Observed	-	846.1	-	-	366,685.7	-	-
	Rainfall	0.5	971.6	+125.5	-	364,680.5	-2,005.2	-
		1.0	954.2	+108.1	-17.4	357,892.1	-8,793.6	-6,788.4
		2.0	953.6	+107.5	-18.0	357,825.9	-8,859.8	-6,854.6
		5.0	952.8	+106.7	-18.8	357,756.7	-8,929.0	-6,923.8
		10.0	946.3	+100.2	-25.3	356,653.7	-10,032.0	-8,026.8
		12.0	953.9	+107.8	-17.7	359,368.1	-7,317.6	-5,312.4
	DEM	0.5	971.6	+125.5	-	364,680.5	-2,005.2	-
		1.0	951.4	+105.3	-20.2	358,986.8	-7,698.9	-5,693.7
		2.0	778.4	-67.7	-193.2	314,352.7	-52,333.0	-50,327.8
		5.0	624.7	-221.4	-346.9	270,189.4	-96,496.3	-94,491.1
		10.0	542.4	-303.7	-429.2	241,525.3	-125,160.0	-123,155.0
		12.0	521.3	-324.8	-450.3	233,236.4	-133,449.0	-131,444.0
	Land use	0.5	971.6	+125.5	-	364,680.5	-2,005.2	-
		1.0	913.9	+67.8	-57.7	353,283.2	-13,402.5	-11,397.3
		2.0	919.5	+73.4	-52.1	353,691.2	-12,994.5	-10,989.3
		5.0	907.4	+61.3	-64.2	351,636.7	-15,049.0	-13,043.8
		10.0	882.4	+36.3	-89.2	352,269.8	-14,415.9	-12,410.7
		12.0	948.7	+102.6	-22.9	353,852.4	-12,833.3	-10,828.1
	Soil	0.5	971.6	+125.5	-	364,680.5	-2,005.2	-
		1.0	957.1	+111.0	-14.5	358,627.9	-8,057.8	-6,052.6
		2.0	956.7	+110.6	-14.9	358,552.8	-8,132.9	-6,127.7
		5.0	956.7	+110.6	-14.9	358,544.2	-8,141.5	-6,136.3
		10.0	956.7	+110.6	-14.9	358,577.3	-8,108.4	-6,103.2
		12.0	956.7	+110.6	-14.9	358,592.3	-8,093.4	-6,088.2

(A): simulated peak discharge-observed peak discharge, (B): Peak discharge by other cell size-Peak discharge (500 m)
(C): Simulated volume of outflow-Observed volume of outflow, (D): Volume of outflow by other cell size-Volume of outflow (500 m)

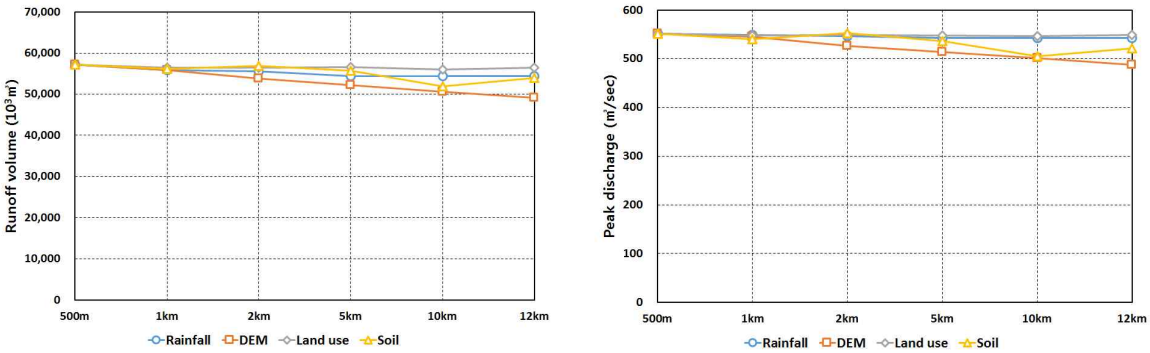


[Event1]

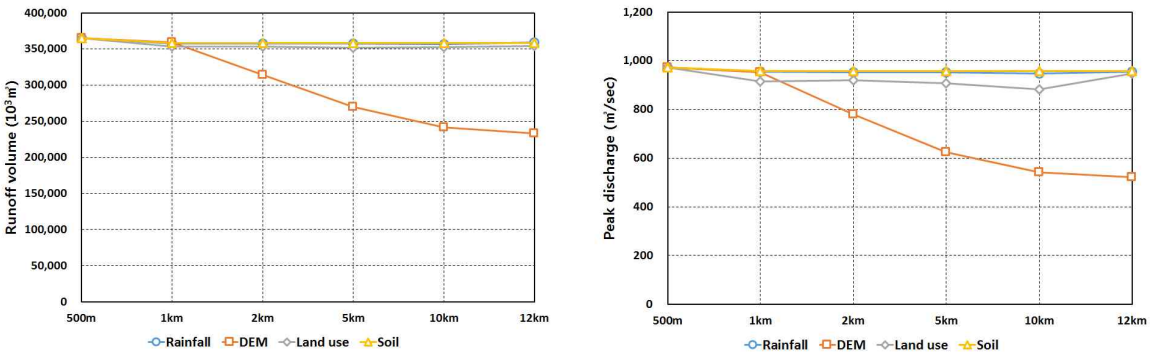


[Event2]

(a) Gamcheon



[Event1]



[Event2]

(b) Naeseongcheon

Fig. 2. Differences in Runoff Volume and Peak Discharge on the Input Data Sizes

대한 공간해상도 결정이 매우 중요한 인자임을 확인할 수 있다.

분포형 강우-유출모형을 적용함에 있어 입력 자료의 공간 해상도가 유출모의 결과에 미치는 영향을 검토한 결과, DEM이 상대적으로 큰 영향을 미치는 인자인 것으로 나타났다. DEM의 영향이 크게 나타나는 원인을 판단하기 위해 DEM 자료의 공간 해상도에 따라 유역 전체 평균 경사(slope) 산정 결과의 변동이 어떻게 나타나는 가를 검토하였다. Fig. 3은 감천 유역 및 내성천 유역에 대해 DEM 공간 해상도에 따라 산정된 유역 평균 경사의 분포를 도시한 것이다. Fig. 3의 결과에서와 같이 일반적으로 DEM의 공간 해상도가 낮아질수록 유역 평균 경사가 작아지는 특성을 보이게 됨을 알 수 있으며, 해상도의 차이에 따라 분포형 모델의 모의 결과 및 정확도에 영향을 주게 되는 것으로 판단된다. 즉, 낮은 해상도로 DEM 자료를 구축할 경우 단위 셀의 크기가 커지게 되며, DEM 자료의 셀 크기가 증가할수록 복잡한 지형 지점들의 평균값을 취하게 되는 관계로 높은 해상도에 비해 실제 지형의 모습을 효과적으로 표현하는 데 어려움을 겪게 된다(Lee et al., 2006). 이는 DEM 자료에서 해상도가 낮아질수록 수평거리가 증가하게 되며, 이로 인해 경사도가 감소하는 결과를 나타내는 것으로 판단된다.

4. 결 론

유역의 물리적인 특성을 고려하여 강우-유출모의를 수행하기 위해 최근 분포형 모형을 이용하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 분포형 강우-유출모형을 이용한 유출모의를 위해서는 강우, DEM, 토지이용, 토양도 등 입력 자료를 적절한 공간 해상도를 갖는 격자로 구성하여야 한다. 그러나 아직까지 분포형 강우-유출모형을 적용함에 있어 적절한 공간 해상도에 대한 기준과 입력 자료의 격자 크기가 유출모의 결과에 미치는 영향을 검토한 연구는 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 분포형 강우-유출모형인 GRM 모형을 이용하여 강우, DEM, 토지이용, 토양도 등 4가지 입력 자료의 격자 크기가 유출모의 결과에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 낙동강의 주요 지류인 감천 및 내성천 유역을 대상유역으로 선정하였으며, 각 유역별로 2개의 강우사상을 선정하여 분석을 수행하였다. 강우 등 4가지 입력 자료별로 6가지 공간 해상도(500 m, 1 km, 2 km, 5 km, 10 km, 12 km)에 대한 자료를 구축하였으며, 한 가지 입력 자료에 대한 격자 크기를 변동시키고 나머지 인자들을 고정시킬 경우 유출모의 결과에 대한 영향을 평가하였다. 유출모의 결과에 대한 평가를 위해 첨두유출량과 총 유출체적 등 2가지 인자에 대해 상호비교 검토를 수행하여 입력 자료별 격자 크기가 유출모의 결과에 미치는 영향을 정량적으로 제시하였다.

분석 결과, 강우 등 4가지 입력 자료 중 DEM의 격자 크기 변화가 유출모의 결과에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났으며, 격자 크기가 증가함에 따라 첨두유출량 및 유출체적 산정 결과가 500 m 공간 해상도에 대한 결과보다 크게 감소하는 것으로 나타났다. DEM의 영향은 대상유역 및 강우사상에 따라 정도의 차이는 있으나 비교적 일정한 경향성을 나타내고 있음을 확인하였다. DEM을 제외한 나머지 3가지 입력 자료의 영향은 일정한 패턴을 찾기 어려웠으며, 대상유역 및 강우사상에 따라 강우의 영향이 크게 나타나거나 토지이용 또는 토양도의 영향이 크게 나타나는 결과를 확인할 수 있었다. 그러나 DEM을 제외한 나머지 3가지 인자의 영향은 DEM의 영향에 비해 상대적으로 작게 나타나고 있음을 확인하였으며, 이를 통

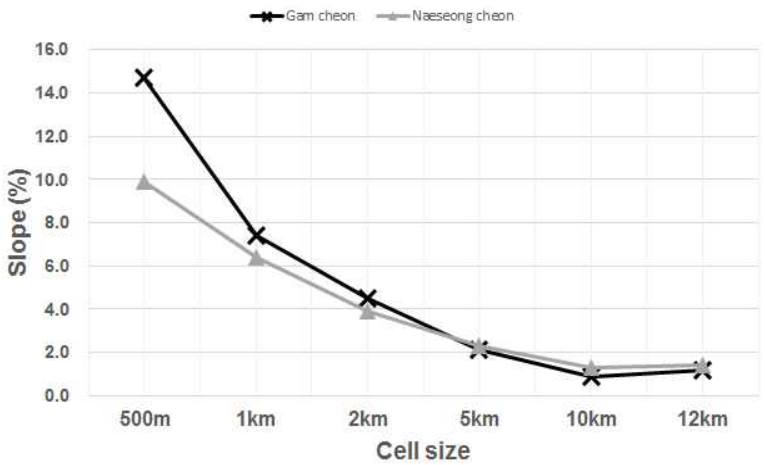


Fig. 3. Differences in Slope (%) on the DEM Cell Sizes

해 분포형 강우-유출모형을 적용하고자 할 경우 DEM에 대한 적정 해상도를 고려하는 것이 가장 중요한 요소임을 알 수 있었다. 또한 DEM의 격자 크기가 유출에 영향을 미치는 원인을 개략적으로 파악하기 위해 DEM 격자 크기에 따라 유역의 평균 경사의 변동 양상을 검토하였다. 그 결과 500 m에서 1 km 공간 해상도로 변화할 경우 평균 경사의 완화 정도가 상대적으로 크게 나타났으며, 그 이후에는 변화 정도가 감소하고 있음을 확인하였다. DEM의 격자 크기가 증가함에 따라 유역의 평균 경사가 작아진다는 점은 복잡한 지형특성을 정확하게 반영하기 어려워짐을 의미하는 것으로 분포형 강우-유출모형에 유역의 지형적인 특성을 정확하게 입력하기 어려워 정확한 유출모의 결과를 얻기 힘들다는 점을 의미하는 결과라 할 수 있다.

이와 같은 본 연구의 결과를 통해 분포형 강우-유출모형의 입력 자료별로 격자 크기의 변화가 유출모의 결과에 미치는 영향을 제한적이지만 정량적으로 파악할 수 있었으며, 격자 크기가 1 km 이상으로 증가할 경우 일정한 경향성보다는 모의 결과의 불확실성이 보다 크게 나타나는 것으로 판단된다. 최근 들어 강우-유출모형에 의한 유출해석은 지점 강우를 유역 평균 강우로 환산하고 이를 집중형 모형에 적용하는 방법에서 레이더 강우 및 수치지도를 이용한 분포형 모형으로 이루어지고 있는 추세를 보이고 있다. 따라서 분포형 모형을 이용한 유출모의를 위해 입력 자료별 격자 크기에 따른 영향 분석 결과는 유역의 물리적인 특성을 반영한 강우-유출모형 적용 과정에서 적정 공간 해상도의 결정을 위한 참고자료로서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구는 제한적인 강우 사상과 대상유역에 대해 수행된 연구라는 한계가 있으므로 보다 정확한 연구 결과의 제시를 위해서는 입력 자료에 대한 격자별 상관성 분석 및 보다 많은 강우 사상에 대한 분석을 수행함으로써 분포형 모형 적용을 위한 최적 격자 결정에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(수문레이더 운영 및 웹·모바일 경보 플랫폼 개발) 및 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원강화사업(CATER 2012-3090)의 지원으로 수행되었습니다.

References

Ahn, S.J., and Yoon, S.H. (2005). "Runoff analysis using ModClark model." *Journal of the Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 38, No. 3, pp. 245-257.

ASCE (1997). *GIS modules and distributed models of the watershed*. ASCE, Virginia, USA.

Bae, Y.H., Kim, B.S., and Kim, H.S. (2010). "The study on flood runoff simulation using runoff model with gauge-adjusted radar data." *Journal of the Korean Wetlands Society*, KWS, Vol. 12, No. 1, pp. 51-61.

Cho, H. S. (2000). *The determination of grid size on the distributed rainfall-runoff model*. Ph. D. dissertation, Chungnam National University, Daejeon, Korea.

Finnerty, D., Smith, M., Seo, D., Koren, V., and Molglen, E. (1997). "Space-time scale sensitivity of the Sacramento model to radar-gage precipitation inputs." *Journal of Hydrology*, Vol. 203, pp. 21-38.

Johnson, D., Smith, M., Koren, V., and Finnerty, B. (1999). "Comparing mean areal precipitation estimates from NEXRAD and rain gauge networks." *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, pp. 117-124.

KICT(Korea Institute of Civil engineering and building Techonolgy). (2011). HyGIS-GRM User's Manual.

Kim, B.S., Hong, S.J., and Bae, Y.H. (2009). "Simulation of distributed flood using the KMA-Radar rainfall data and rain gauge data." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, Yongpyong, pp. 1021-1026.

Kim, S.J., Kwon, Y.S., Lee, K.H., and Kim, H.S. (2010). "Radar rainfall adjustment by artificial neural network and runoff analysis." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 30, No. 2B, pp. 159-167.

Kim, Y.S., Kim, S.J., Jang, D.W., and Kim, H.S. (2010). "Support of flood forecasting system using radar rainfall and distributed runoff model in Sumjin River basin." *Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers Conference*, KSCE, Incheon, p. 2715.

Lee, G.S., Choi, Y.W., and Cho, G.S. (2006). "Suggestion of slope evaluation by DEM-based aggregation method." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 26, No. 6D, pp. 1019-1023.

Maidment, R. (1993). Handbook of hydrology. McGraw Hill, Inc., New York, USA.

Moon, Y.I., Choi, B.H., Ahn, J.H., and Oh, T.S. (2006).

"The study of rainfall-runoff analysis according to DEM grid-size by using distributed rainfall runoff model." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, Jeju, pp. 1787-1791.

Sun, S., Mein, R.G., Keenan, T.D., and Elliott, J.F. (2000). "Flood estimation using radar and raingage data." *Journal of Hydrology*, Vol. 239, pp. 4-18.

Vieux, B.E. (1994). Distributed hydrologic modeling using GIS. Kulwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Vieux, B.E., and Bedient, P.B. (2004). "Assessing urban hydrologic prediction accuracy through event reconstruction." *Journal of Hydrology*, Vol. 299, pp. 217-236.

Zhang, W., and Montgomery, D.R. (1994). "Digital elevation model grid size, landscape representaion, and hydrologic simulation." *Water Resources Reasearch*, Vol. 30, No. 4, pp. 1019-1028.

논문번호: 14-066	접수: 2014.07.24
수정일자: 2014.08.12	심사완료: 2014.08.12