S-RAT 모형을 이용한 홍수유출모의 적용성 검토

Validation of Flood Runoff Simulation Using Distributed Hydrologic Models

남동호* · 하현중** · 김병식***

Nam, Dong Ho*, Ha, Hern Joong**, and Kim, Byung Sik***

Abstract

Due to climate change, the average temperature of the Earth continues to increase, while abnormal climate patterns (such as El Niño and La Niña) occur frequently, causing numerous instances of flooding and drought damages. Thus, sophisticated analyses of rainfall-runoff phenomena are needed to reduce the damage caused by these weather disasters. Furthermore, analyzing the impact of extreme rainfall events occurring in a short period of time is essential for flood management. In this study, the Nakdong River, located in Yangsan, Gyeongsangnam-do, which is prone to localized heavy rainfall and flash floods, was selected as the target basin to conduct flood-runoff simulation. We used distributed runoff models such as spatial runoff assessment tool (S-RAT) and VfloTM for this simulation, and compared and analyzed their results. Furthermore, using the same events, the validity and applicability of the S-RAT model has been verified through calibration. The errors of both models were calculated using statistical analysis to examine the domestic basin applicability of the S-RAT model.

Key words : Flash Flood, Flood Runoff Simulation, Distributed Runoff Model, S-RAT, VfloTM

요 지

전 세계적으로 기후변화로 인하여 지구의 평균기온이 상승하고 엘니뇨, 라니냐와 같은 이상기후가 빈번하게 발생하며 이로 인한 홍수나 가뭄 등의 피해 또한 잦아지고 있다. 이러한 기상재해에 따른 피해를 줄이기 위해 강우-유출 현상에 관한 정교한 해석이 필요하며, 단기간에 발생하는 호우사상에 대한 유출해석은 홍수관리 측면에서 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 국지성 집중호우 및 돌발홍수가 잦은 낙동강수계인 경상남도 양산에 위치한 양산천을 대상유역으로 선정하여 홍수유출모의를 실시하였다. 홍수유출모의에는 분포형모형인 S-RAT모형과 VfloTM모형을 사용하였다. 또한 S-RAT모형의 검증에 대해 동일한 사상을 이용하여 보정 및 검증을 하였으며, 통계학적 분석을 통하여 두 모형의 오차를 계산하여 S-RAT모형의 적용성을 검토하였다.

핵심용어 : 돌발홍수, 홍수유출모의, 분포형모형, S-RAT, VfloTM

1. 서 론

최근 들어 전 세계적으로 극심한 기후변화와 그에 따른 기상이변으로 국지성 집중호우로 인한 홍수피해가 급증하고 있으며, 그의 피해규모 또한 대형화되고 있는 추세이다. 국내의 경우 1990년 중반부터 매년 국지성 집중호우나 이상호우로 인한 피해가 반복되고 있고, 그밖에 경우 7월과 8월

여름철에 강우가 집중되며 일정한 패턴이 사라지고 있다. 98년의 집중호우, 99년의 경기북부의 침수피해, 2002년 태풍 루사로 인한 인명피해 246명, 재산피해 5조억 원, 2003년 태풍 매미로 인한 인명피해 175명, 재산피해 4조7천억 원, 또한 2006년 태풍 에위니아, 2013년 태풍 불라벤 등으로 인한 피해가 빈번하게 발생하고 있다. 최근 홍수피해와 관련하여 소방방재청에 의하면 2004년에서 2013년까지 최근

*정회원, 강원대학교 방재전문대학원 도시환경&재난관리전공 박사과정(E-mail: skaehdghkk@kangwon.ac.kr)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Urban environment & Disaster management, Kangwon National University

**정회원, 주식회사 세원이앤이 전무이사(E-mail: insugolf@naver.com)

Member, Senior Managing Director, SEWON ENE Co., Ltd.

***교신저자, 정회원, 강원대학교 방재전문대학원 도시환경&재난관리전공 부교수(Tel: +82-33-570-6819, Fax: +82-33-570-6458, E-mail: hydrokbs@kangwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Urban environment & Disaster management, Kangwon National University

10년간 연 평균 인명피해가 28명, 재산피해 8,329억 원이라고 집계했다(NEMA, 2014). 또한 서울시정개발연구원의 『서울형 도시안전 가이드라인에 관한 연구』보고서에 따르면, 서울은 일강우량 100 mm 또는 200 mm 이상 및 시강우량 50 mm 또는 80 mm 이상의 발생빈도가 증가하고 있으며, 100년 빈도 확률강수량(1시간 기준)은 1980년에 약 95 mm 였으나 2009년에는 약 110 mm로 증가하였다.

이러한 기상재해에 따른 피해를 줄이기 위해 강우-유출 현상에 관한 정교한 해석이 필요하며, 단기간에 발생하는 호우사상에 대한 유출해석은 홍수관리 측면에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 또한 홍수시 다목적댐의 운영은 댐의 홍수조절효과를 높이기 위해 실시간 자료의 취득과 더불어 유입량 예측을 위한 수문분석 및 의사결정의 과정이 신속하고 정확하게 이루어져야 한다. 홍수조절을 위한 댐방류량의 결정은 상류 유입량을 산정하여 수위를 예측하고, 저수지 운영수위별 댐하류 지류유입에 따른 댐 수계 본류의 수위변화 등을 고려하여 이루어지기 때문에 정보를 취득하기 위해서는 강우-유출모형이 필요하다.

Choi (1996)는 GIS를 이용한 장기유출모형을 개발하여 동일유역에 적용한 바 있다. Kim et al. (1998)은 격자 물수지 기법(Grid-based water balance technique)을 이용하여 지표 흐름과 지표하 흐름을 모두 고려한 분포형 강우-유출모형(KIMSTORM)을 개발하고, 래스터 GIS 소프트웨어인 GRASS를 이용하여 모형의 입력자료를 추출하는 모형의 전처리과정과 모형의 결과를 시·공간적으로 표현해 주는 후처리 과정을 개발하여 임진강 수계의 연천댐 유역에 적용한 바 있다.

Hong et al. (2006)은 물리적 기반의 완전분포형모형인 VfloTM모형을 사용하여 중랑천 유역의 유출량모의를 실시하였고, Park et al. (2007)은 VfloTM모형을 사용하여 HEC-1, SWMM과 비교하였으며, Kim et al. (2010)은 개념적 분포형 수문모형인 S-RAT모형을 개발하여 모형의 적용성을 검토하기 위해 내린천 유역을 대상으로 유출해석을 실시하였으며, Park (2013)은 분포형모형의 적용성 검토를 위하여 분포형모형인 VfloTM를 사용하여 홍수범람해석을 하였다. Jung et al. (2014)은 정확한 홍수유출량을 산정하기 위해 강우-유출모형을 이용한 입력자료의 해상도에 따른 불확실성을 감소시키기 위해 강우격자해상도와 지형인자 격자 해상도에 따라 강우-유출이 어떻게 반응하는지 분석하였고, Jin et al. (2014)은 무심천 유역을 대상으로 분포형 수문모형을 이용하여 빈도별 홍수량 산정 및 침수범람 모의를 수행하였다.

본 논문에서 사용한 분포형 강우-유출모형인 S-RAT 모형은 기존의 상용모형과는 달리 입력 자료가 간소화 되어있으며, ASCII 파일형식의 레이더 강우자료를 이용하여 홍수량 산정이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 S-RAT 모형의 적용성을 검토하기 위하여 상용모형인 VfloTM모형을 이용하여 대상유역인 경상남도 양산천 유역을 대상으로 홍수량을 산정하였으며, 매개변수 보정 전과 후를 비교하였다. 또한

산정된 홍수량을 이용하여 통계학적 비교방법을 이용하여 정확도를 비교하였다.

2. 이론적 배경

2.1 S-RAT (Spatial Runoff Assessment Tool) 모형

개념적 분포형 유출모형 Spatial Runoff Assessment Tool (S-RAT)은 GUI 환경을 구현하기 위해 C++언어 기반으로 개발되었다. GIS자료를 이용하여 대상유역을 일정한 크기의 격자로 구성하고 각각의 격자마다 시간간격별 개념적 물수지를 계산함으로써 유역의 시·공간적 유출량 변화를 모의하도록 설계되었다. 또한 S-RAT모형의 가장 큰 특징은 기존 대부분의 분포형 수문모형들이 모형에 입력될 지형학적 매개변수들을 추출하기 위해 Arc 관련 소프트웨어 또는 IDRISH 등과 같은 GIS 관련 상용패키지에 의존하여 전처리 과정이 필요하다는 번거로움이 있으나 S-RAT은 자체적으로 GIS관련 지형매개변수를 추출할 수 있는 기능을 가지며, 격자기반의 레이더 강우자료를 GIS격자와 동일하게 입력할 수 있다는 점이 특징이다. Fig. 1은 S-RAT 모형의 개념도를 나타냈다.

- 기상학적 입력자료: 강우자료(지점 또는 격자기반 레이더강우) / 온도자료
- 지형학적 입력자료: 수치고도(DEM) / 토양도(Soil) / 토지이용도(Landuse)

2.2 VfloTM 모형

VfloTM 모형은 2002년 레이더강우를 이용한 홍수예측분야의 세계적인 권위자인 미국 Oklahoma 대학의 Vieux에 의해서 개발된 물리적 기반의 분포형모형으로 호우사상기반의 유출모의 및 연속유출모의가 모두 가능하며, 강력한 사용자 인터페이스와 레이더 지상관측 자료를 이용한 초단시간 강우예측 모듈 등의 전처리과정 등을 갖추고 있다. Fig. 2는 VfloTM 모형의 기본 개념을 나타내고 있다. 현재 수치예보 및 현재 미국 여러 주와 대만 기상청 등에서 현업모형으로 실무에서 활용되고 있다(Park et al., 2007). VfloTM 모형은 환경사에서 부정류의 흐름을 고려하기 위해 하도요소에서 고리형 수위-유량관계 곡선식을 이용한다. 특히, 유속의 상승과 하강은 수문곡선에서의 상승부 또는 하강부에 의해 유도되기 때문에 Jones 공식에 의해 고려된다. 환경사에서의 수리적 조건, 고리형 수위-유량곡선은 최대 유출이 최대 수위에서 발생할 때 매우 중요한 영향을 미치는 요인이다.

VfloTM 모형의 적용분야는 강우레이더 자료와 연계한 실시간 홍수예측 분야뿐만 아니라 설계홍수량 산정을 위한 강우유출모의나 사전재해 영향성 평가, 하천정비기본계획 수립, 유역종합치수계획 수립 등 다양한 분야에서 적용이 가능하며, 특히 유역의 개발 등 유역 특성의 변화에 따른 수문변화 모의하는 것이 적합하다고 사료된다.

Fig. 1. Conceptual of S-RAT Model (Kim et al., 2010)

Fig. 2. Conceptual of Vflo™ Model (Vieux, 2004)

2.3 통계학적 오차산정

본 논문에서는 분포형모형 S-RAT모형과 Vflo™모형의 홍수유출결과를 통계학적으로 비교하기 위해 각각의 결과에 대하여 평균오차(Mean Error)분석, 절대평균오차(Mean Absolut Error)분석, 표준편차오차(Root Mean Square Error)분석, 첨두홍수량오차(Nomalized Peak Error)분석을 하여 두 모형을 비교하였다. 각각의 계산식은 다음과 같다.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{\alpha i} - Q_{\beta i}) \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_{\alpha i} - Q_{\beta i}| \quad (2)$$

$$R\ MSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Q_{\alpha i} - Q_{\beta i})^2 \right]^{0.5} \quad (3)$$

$$NPE = \frac{Q_c^{\max} - Q_o^{\max}}{Q_o^{\max}} \quad (4)$$

Q_{oi} 는 관측유량, $Q_{\alpha i}$ 는 모의유출량, n 은 시간간격개수,

$Q_o^{\max}$ 는 관측침두유출량, $Q_c^{\max}$ 는 모의침두유출량, Q_{oav} 은 관측유출량 평균값이다.

3. 연구 방법 및 절차

본 논문의 방법 및 절차를 요약하여 Fig. 3에 나타내었다. 국가수자원관리종합정보 시스템(WAMIS)에서 제공하는 지형자료를 이용하여 분포형모형인 S-RAT모형과 Vflo™모형에 적용하였으며, 낙동강홍수통제소에서 제공하는 강우자료, 유량자료를 홍수유출모의에 사용하였다. 강우사상으로는 2010년 ~ 2014년 총 5개의 강우사상으로 모의를 하였으며, 2014년의 자료를 보정하여 2010년, 2011년, 2012년, 2013년의 사상에 검증하였다. 또한 모형간의 통계학적 오차

를 비교하기 위하여 평균오차, 절대평균오차, 표준편차오차, 침두홍수량오차를 산정하여 비교하였다.

4. 모형의 적용 및 분석

4.1 대상유역 및 관측소현황

본 연구에서는 국지성 집중호우, 돌발홍수가 잦으며, 최근 2014년부터 하천기본계획에 따른 정비가 되고 있는 양산천 유역을 대상유역으로 선정하였다. 양산천은 낙동강 수계에 속하며 국가하천이다. 유역면적 243.22 km²이고, 유로연장 32.3 km이며 국토교통부가 관리하는 강우관측소 1개소와 수위관측소 1개소가 위치하고 있다. 본 연구의 대상유역 및 관측소현황을 Fig. 4와 Table 1에 나타내었다.

Fig. 3. Flow Chart

Fig. 4. Basin and Station of Yangsan River

Table 1. Station of Yangsan River

Rainfall Station	Sangbuk		
	TM_X	TM_Y	El (m)
	387424.9113	215524.7363	52.50
	Address		
	1287-47 Sangbuk-myeon, Yangsan-si, South Gyeongsang Do		
Observation Station	Soto		
	TM_X	TM_Y	El (m)
	385720.8577	211264.8762	-
	Address		
	1287-47 Sotori, Sangbuk-myeon, Yangsan, South Gyeongsang Do		

4.2 입력자료 구축

S-RAT모형과 VfloTM모형을 이용하여 모의를 하기 위해서는 유역의 특성과 관련된 Digital Elevation Model (DEM), 토지이용도(Landuse), 토양도(Soil)의 3가지 기본자료와 유역으로 입력되는 변수로 볼 수 있는 강우자료가 반드시 필요하다.

본 논문에서는 200 m × 200 m의 격자크기로 동일하게 모의하였다. DEM, 토지이용도, 토양도와 같은 지형자료들은 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 자료를 사용하였으며, 강우자료 및 수위자료는 낙동강홍

수통제소에서 제공하는 자료를 받아 사용하였다. Fig. 5는 분포형모형의 기초자료를 나타냈다.

4.2.1 S-RAT모형 입력자료 구축

S-RAT모형은 VfloTM모형과 달리 자체적으로 GIS관련 지형 매개변수를 추출할 수 있는 기능을 가지고 있어 입력자료가 매우 간소하다. 양산천 유역의 DEM, 토지이용도, 토양도자료를 사용하여 입력자료를 구축하고 모형에 입력하였으며 Flow Direction과 Roughness, Curve Number를 산출하여 사용하였다. Fig. 6은 S-RAT모형의 입력자료를 나타냈다.

Fig. 5. Basic Data of Distribution Model

Fig. 6. Input Data for S-RAT Model

4.2.2 Vflo™ 입력자료 구축

Vflo™ 모형은 많은 지형자료를 필요로 한다. 앞서 구축한 DEM자료의 전처리 과정을 통해 흐름방향도(Flow Direction), 경사도(Slope)를 구축하였으며, 조도계수(Roughness) 및 불투수율(Impervious)는 Distributed Hydrological Modeling using GIS (Vieux, 2004)에서 제시된 기준에 따라 산정하였다. 구축된 입력자료는 Figs. 7~9와 같다.

4.3 적용 및 결과

양산천은 2010년대부터 하천기본계획이 정립되어 있지 않으며, 최근 2014년부터 하천기본계획이 정립되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 하천기본계획이 정립된 기준의 자료

를 이용하여 2014년의 7월 ~ 8월 여름철 강우자료를 이용하여 두 모형에 적용하였다. 적용결과 Fig. 10의 S-RAT모형의 모의결과 관측값 보다 모의값이 과대 추정된 것을 볼 수 있으며, 그에 비해 강우의 패턴을 보면 모의값이 관측값의 패턴을 잘 따라가는 것을 확인할 수 있었다. 그와 달리 Vflo™ 모형은 관측값과 모의치가 비교적 잘 맞음을 볼 수 있다. 매개변수 보정전의 결과는 Vflo™모형이 관측값과 유사한 결과를 나타내는 것을 볼 수 있다.

매개변수 보정은 2014년의 강우사상에서 침투값이 가장 큰 강우사상 8월 23일 ~ 8월 29일을 선정하여 보정하였으며 2010년, 2011년, 2012년, 2013년의 강우사상에 적용하여 검증하였다. Fig. 11은 매개변수 보정결과를 나타냈으며,

Fig. 7. Flow Direction and Slope

Fig. 8. Roughness and Impervious

Fig. 9. Input Soil Data

Fig. 10. Modeling Result of S-RAT and VfloTM (July ~ August)

Fig. 11. Calibration Result of S-RAT and Vflo™ (August 23rd ~ August 29th)

전체적으로 관측값과 매우 흡사하게 모의 되었지만, S-RAT 모형의 결과가 Vflo™ 모형보다 더 잘 맞음을 보여준다. Figs. 12~14는 검증결과를 나타냈다. Fig. 12는 S-RAT 모형 및 Vflo™ 모형 모두 과대추정 되었으나 패턴을 보면 S-RAT 모형이 패턴을 잘 따라가는 것으로 보이며, Fig. 13은 S-RAT 모형의 모의값이 관측값 보다 과대추정 되었으나, Vflo™ 모형의 경우 관측값 보다 과소추정 되었음을 볼 수 있다. 또한 Fig. 14의 경우 S-RAT 모형은 관측값과 모의값의 첨두값을 잘 반영하는 것을 볼 수 있으나, Vflo™ 모형은 과소추정 됨을 볼 수 있었다. Tables 2, 3은 모형별 매개변수 보정전과 보정후 값을 나타냈다. 두 모형의 보정과 검증결과 S-RAT 모형은 Vflo™ 모형에 비해 보정전의 모의값이 과대 추정되는 것을 볼 수 있으며, Vflo™ 모형의 경우 모의값과 관측값의 첨두값이 매우 흡사한

반면에, 첨두시간이 지연됨을 볼 수 있다.

4.4 통계학적 비교

분포형모형 S-RAT 모형과 Vflo™ 모형의 홍수유출결과를 통계학적으로 오차를 산정하여 비교하였다. Figs. 15~18과 Table 4의 평균오차 산정결과 오차의 값은 S-RAT 모형에 비해 Vflo™ 모형의 오차가 컸으며, S-RAT 모형은 과대추정, Vflo™ 모형은 과소추정 됨을 보여준다. 절대평균오차의 경우 전반적으로 S-RAT 모형이 Vflo™ 모형보다 오차가 적음을 보여주며, 표준편차오차도 S-RAT 모형이 Vflo™ 모형보다 오차가 적음을 보여준다. 반면에 첨두홍수량오차는 S-RAT 모형보다 Vflo™ 모형이 오차는 적었으나, 모의값이 다소 과소추정 되는 경향을 보였다.

Fig. 12. Verification Result of S-RAT and Vflo™ (August 8th ~ August 10th)

Fig. 13. Verification Result of S-RAT and VfloTM (July 14th~ July 17th)

Fig. 14. Verification Result of S-RAT and VfloTM (July 6th~ July 9th)

Table 2. Parameter of S-RAT Model

Class	Before Calibration	After Calibration
Hyd. Conductivity	0.0024	0.85
River Width	0.5000	0.5000
Minimum Roughness	6.6700	6.6700
Maximum Imfiltration	400000	400000
Variable (Water Blocking Layer)	0.6500	0.6500
Variable (Water Permeation Layer)	0.0800	0.0800

Table 3. Parameter of Vflo™ Model

Class	Before Calibration	After Calibration
Roughness	1	1.61
Hyd. conductivity	1	1
Wetting Front	1	1
Soil Depth	1	1
Initial Saturation	1	1
Abstraction	1	1
Channal Width	1	0.20
Channal Side Slope	1	1.50
Channal Baseflow	1	1
Rainfall	1	1
Impervious	1	1

Fig. 15. Result of Mean Error (S-RAT vs Vflo™)

Fig. 16. Result of Mean Absolut Error (S-RAT vs Vflo™)

Fig. 17. Result of Root Mean Square Error (S-RAT vs VfloTM)

Fig. 18. Result of Peak Flood Error (S-RAT vs VfloTM)

Table 4. Statistic Analysis Results by Model

Year	Class									
	S-RAT					Vflo TM				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
Mean Error	25.3	4.6	2.7	15.2	9.0	5.3	-9.3	-21.2	-15.2	-10.7
Mean Absolut Error	26.0	11.0	11.8	15.4	9.2	19.4	23.8	21.2	18.1	16.4
Root Mean Square Error	43.6	23.0	17.8	16.6	15.4	30.3	35.8	28.6	20.3	23.0
Peak Flood Error	0.3	0.2	0.1	0.4	0.1	-0.1	0.3	-0.4	0.3	-0.1

5. 결 론

본 논문에서는 낙동강수계인 양산천 유역을 대상유역으로 선정하여 GIS자료를 이용하여 입력자료를 구축하였으며, 분포형모형인 S-RAT모형과 VfloTM모형을 이용하여 홍

수유출모의를 실시하였다. 또한 사상을 선정하여 매개변수를 보정하고 검증하였고, 통계학적으로 오차를 비교하였으며, 국내 유역의 적용성을 검토하고자 하였다. 본 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 매개변수 보정 후 다른 사상에 대하여 검증한 결과 S-RAT모형은 모의값이 관측값의 침투값이나 침투시간이 잘 맞음을 확인하였고, Vflo™모형은 2013년 사상을 보면 침투량은 잘 맞는 반면에 침투시간은 지연되고 있음을 확인할 수 있었고, 전체적으로 Vflo™모형은 침투값이 과소추정되는 것을 볼 수 있었다.
- (2) S-RAT모형과 Vflo™모형의 통계학적 오차 결과를 보면 평균오차는 2010년 사상의 오차는 S-RAT모형이 매우 컸으나, 2011년, 2012년 사상을 보면 S-RAT모형의 오차가 매우 적음을 알 수 있다. 절대평균오차는 S-RAT모형이 2010년 사상을 제외한 다른 사상의 오차는 Vflo™모형보다 적었고, 표준편차오차의 경우는 매우 근소한 차이로 S-RAT모형의 오차가 더 적었으며, 침투홍수량오차는 S-RAT모형에 비해 Vflo™모형의 오차가 더 적음을 알 수 있다.
- (3) 일반적인 홍수 사상의 경우 침투 홍수량과 그 도달시간이 매우 중요하게 작용한다. S-RAT모형은 Vflo™모형의 비해 매개변수의 검증과정에서 S-RAT모형이 우수함을 볼 수 있었으며, 두 모형의 정확성 및 사용성에 대한 정확한 평가를 위해서는 다양한 유역에 대한 적용이 더 필요할 것이라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2018년 행정안전부 재난안전산업 육성지원사업(2018-MOIS32-003-01010000-2018)으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 행정안전부에 감사드립니다.

본 연구는 행정안전부 재난예측및저감연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(MOIS-재난-2015-05).

References

Choi, J.Y. (1996). *Development of a cell-based long-term hydrologic model using geographic information system*. Ph.D. dissertation, Seoul National University, Korea.

Hong, J.B., Kim, B.S., and Yoon, S.Y. (2006). Evaluation of accuracy of the physics based distributed hydrologic

model using Vflo™ model. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 26, No. 6B, pp. 613-622.

Jin, K.H., Yu, I.S., Kim, H.Y., and Jeong, S.M. (2014). Analysis of flood discharge and flood inundation using distributed model: Focused on Musim Stream. *Proceedings of 2014 Annual Conference*, Korean Society of Hazard Mitigation, p. 231.

Jung, C.G., Moon, J.W., and Lee, D.R. (2014). Study on runoff variation by spatial resolution of input GIS data by using distributed rainfall-runoff model. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 9, pp. 767-776.

Kim, B.S., Yoon, S.K., Yang, D.M., and Kwon, H.H. (2010). Development of grid-based conceptual hydrological model. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 7, pp. 667-679.

Kim, S.J., Chae, H.S., and Shin, S.C. (1998). Grid-based kinematic wave STorm runoff model (II): Application (applied to Yoncheon Dam watershed. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 31, No. 3, pp. 309-315.

National Emergency Management Agency (NEMA). (2014). *Statistical yearbook of national disaster*.

Park, J.H., Kang, B.S., Lee, G.S., and Lee, E.R. (2007). Flood runoff analysis using radar rainfall and Vflo Model for Namgang Dam Watershed. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 10, No. 3, pp. 13-21.

Park, M.G. (2013). Flood analysis of using the distributed model. *Water for Future*, Vol. 46, No. 3, pp. 36-41.

Vieux, B.E. (2004). *Distributed hydrologic modeling using GIS* (2nd ed.). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Received	October 10, 2019
Revised	October 23, 2019
Accepted	November 14, 2019