

ORIGINAL ARTICLE

## SCS-CN 대표 매개변수가 분포형과 집중형 강우-유출 모형에서 유출 손실에 미치는 영향 비교

이형근 · 최영선 · 이길하\*

대구대학교 토목공학과

### Impact of Representative SCS-CN on Simulated Rainfall Runoff

Hyeong-keun Lee, Yeong-seon choi, Khil-Ha Lee\*

Department of Civil Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

#### Abstract

The determination of soil parameters is important in predicting the simulated surface runoff using either a distributed or a lumped rainfall-runoff model. Soil characteristics can be collected using remote sensing techniques and represented as a digital map. There is no universal agreement with respect to the determination of a representative parameter from a gridded digital map. Two representative methods, i.e., arithmetic and predominant, are introduced and applied to both FLO-2D and HEC-HMS to improve the model's accuracy. Both methods are implemented in the Yongdam catchment, and the results show that the former seems to be more accurate than the latter in the test site. This is attributed to the high conductivity of the dominant soil class, which is A type.

**Key words** : Rainfall-runoff, FLO-2D, HEC-HMS, SCS-CN, Scaling effect

#### 1. 서론

인간의 생존을 위해 필요한 물은 강우를 통하여 얻게 된다. 강우를 통해 지표에 도달한 물의 일부는 증발과 증산을 거쳐 대기중으로 이동하고 일부는 지하로 침투하여 지하수를 형성하여 이 중 일부가 기저유출로 전환된다. 나머지가 지표 유출로 형성된다(Maidment, 1993). 기저 유출과 지표유출이 만나 하천을 형성하여 사용 가능한 수자원이 된다. 토양의 공극이 포화 상태에 이르러 물 수용력이 한계에 도달할 때 포화 초과가 발생한다(Johnson et al., 2003). 강우강도가 한계 침투율(maximum

infiltration rate)을 넘는 경우 침투 초과가 발생하며 유출은 이 두 초과에 조합에 의하여 발생한다(Yang et al., 2015). 이때 초과된 강우가 지표면을 따라 흘러가면서 토사(debris)에 포함된 오염 물질이 수질을 오염시키고 수환경 생태계와 생물학적 환경에 영향을 미친다(Jensen, 1995; Kokkonen et al., 2001; Huffman et al., 2011). 따라서 수자원 분석에서 직접유출량을 정확하게 산정하는 것은 수량, 수질, 생태계, 농업, 보건 등의 여러 측면에서 중요하다.

현대 수문학에서 특정 구역에서의 유출량을 추정하기 위하여 개발된 강우-유출 모형은 수십 개이고 일반적으로

Received 31 July, 2019; Revised 22 August, 2019;

Accepted 3 September, 2019

\*Corresponding author: Khil-Ha Lee, Department of Civil Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea  
Phone: +82-53-850-6522  
E-mail: khil\_ha@yahoo.com

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

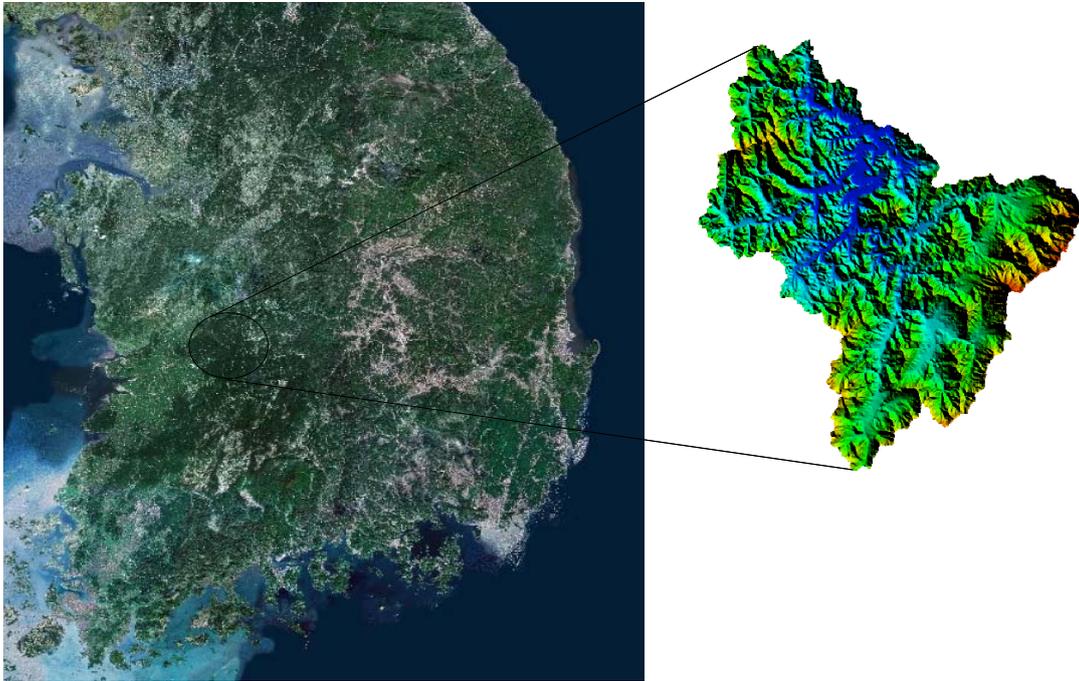


Fig. 1. Location of Yongdam catchment excerpted and re-edited from <http://map.ngii.go.kr>.

수치지도 형태의 기상자료와 지표면자료를 입력자료로 사용한다. 이 중 토양도는 침투 손실과 연계하고, 토지 피복도는 유속과 관련이 있으며, DEM (Digital Elevation Model, 수치표고모델)은 유속과 흐름의 방향을 지배한다. 지표면 특성 자료가 수치모형에 작동하기 위해서는 사전에 매개변수 형태로 전환하여 결정할 필요가 있다. 이 매개변수는 모형내의 지배 방정식과 경계조건에 의해 모형의 정확도를 좌우한다(Singh, 1995; Hopmans and Simunek, 1999).

강우-유출 모형은 대상유역의 공간 해상도에 따라 집중형(lumped), 반분포형(semi-distributed), 분포형(distributed)으로 분류한다. 모형의 선정은 일반적으로 유량의 시간적 주기나 수자원의 관리 목적을 따져보고 결정하지만(Vaze, 2010), 국내의 경우 집중형 HEC-HMS가 실무에 사용되고 있다. 집중형 모형은 위성자료의 해상도가 높다 하더라도 전체의 평균값 하나만을 대표로 사용하기 때문에 정보의 손실이 크다(kabat et al., 1997). 이 연구에서는 높은 해상도의 토양도를 이용하여 집중형 모형을 시뮬레이션 할 경우 유출 결과에 미치는

영향을 알아보기 위하여 분포형 FLO-2D모형에 적용할 유출곡선지수에 두 가지 방법을 적용하여 강우 손실에 미치는 영향과 그 정확성을 비교 분석 하였다.

## 2. 연구대상지역

수자원공사에서 연구 및 관리 목적으로 2003년부터 시험지역으로 지정하여 기상과 수문 자료를 수집해 오고 있는 용담댐 유역은 매년 홍수기 유량조사를 포함하고 있으며 2008년부터 토양함수량을 수집하고 2011년부터는 개방형 에디공분산 시스템(open-type eddy correlation system)을 설치하여 실시간 실제증발산 자료를 수집하고 있다(K-water, 2013). 금강 유역의 최상류인 용담댐 유역은 북위 36°00' ~ 35°35', 동경 127° 20' ~ 127° 45'에 위치한다. 유역 면적은 약 930 km<sup>2</sup>으로 3개군 2개 읍 12개면으로 구성된 산악지대이다. 수계에 따라 농지가 있고 이 농지에서의 농약을 제외하면 특별한 토양오염이 없고 인적이 드물고 교란이 적기 때문에 연구 활용도가 높다(Fig.1).

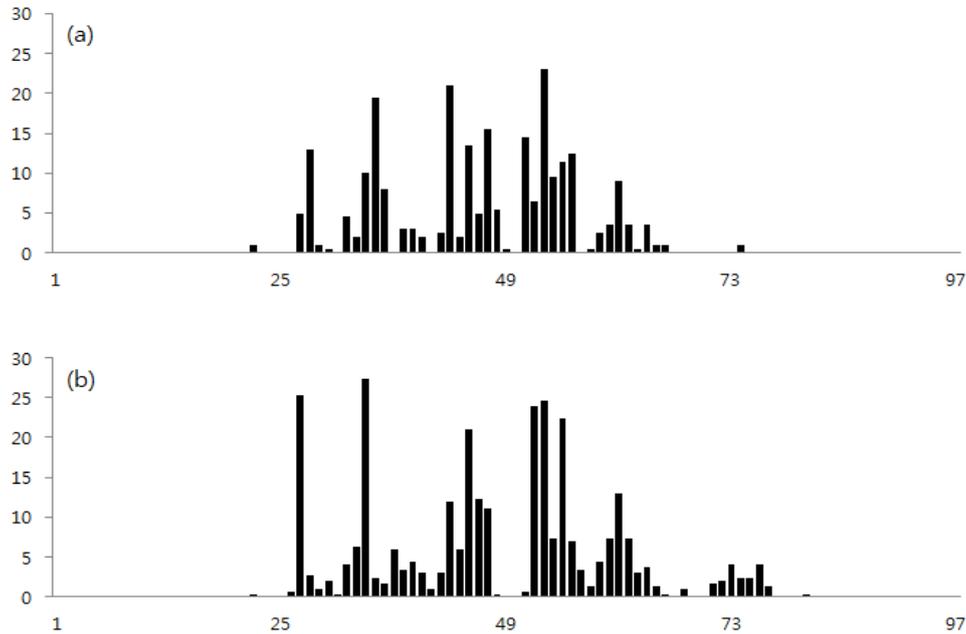


Fig. 2. Time series of rainfall: (a) Donghyang, (b) Cheoncheon.

용담댐 유역에서는 기본적인 기상자료를 함께 수집하고 있어 수문환경인자의 과학적인 측정과 높은 신뢰도를 목적으로한 수자원 기초조사에 적합하다. 따라서 본 연구에서는 용담댐유역에 위치하는 6개의 수위관측소 중 천천유역과 동향유역을 연구 대상으로 선정하였다. 용담댐유역 전체 13개의 강우관측소 중에서 동향 소유역과 천천 소유역에 각각 3개의 강우관측소가 설치되어있다. 이중 상대적으로 강우량이 많고 자료의 일관성이 있는 2018년 8월 25일 ~ 8월 28일 4일간 금강 홍수통제소에 관측한 강우자료를 사용하였다. 강우의 관측은 10분 단위로 구축되어 있으며 이를 1시간 단위 강우자료로 평균 변환하여 사용하였다(Fig.2).

지표면 특성을 나타내기 위하여 수치표고자료(DEM), 토지피복도, 토양도를 바탕으로 필요한 지표면 매개변수를 결정하였다. 수치표고자료는 국토교통부 국토지리정보원에서 제작한 5 m 해상도의 DEM을 이용하였다. 또한 환경부에서 제작한 중분류 토지피복도를 사용하여 대상 유역에서의 매닝계수를 산정하고 토지피복코드를 결정하였다. 토양도는 건설교통부 농업과학 기술원에서 제작한 중분류 정밀토양도의 자료를 사용하여 토양도의 토

양종류에 따른 수문학적 토양군을 결정하였다.

### 3. 강우-유출 모형 FLO-2D

FLO-2D는 미국 연방재난관리청에 의하여 공인된 모형으로 신뢰성이 높으며 기본적으로 홍수 추적을 재현하는 모형이다. 홍수 유량, 홍수 지역 예측, 홍수 피해 저감 관리 등에 광범위하게 이용할 수 있다. FLO-2D는 지표면 자료와 기상자료를 바탕으로 건물, 교량, 도로, 제방 등의 요소를 추가하여 유역 추적, 하도 추적의 기능을 구현해 낼 수 있다. 또한 GDS, MAPPER ++ 와 같은 그래픽 기능을 내포하고 있어 모의된 지역을 디지털화된 지도로 가시화하여 출력할 수 있다. 모의지역의 면적만이 아닌 시간에 따른 침수 범위와 수위, 유속, 최대 침수지역, 시간별 유속의 변화 등을 출력할 수 있어 부정류 흐름 분석이 가능하다. 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + U \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_{bc}}{\rho H} = 0 \quad (2)$$

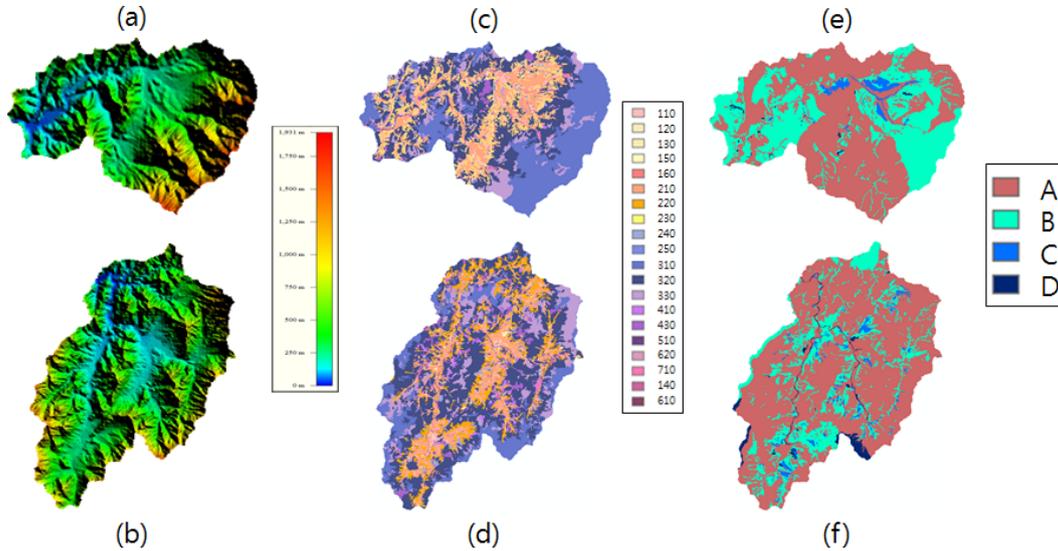


Fig. 3. Surface characteristics of study site; (a)-(b) digital elevation model, (c)-(d) land cover classification, and (e)-(f) hydrologic soil group.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_{by}}{\rho H} = 0 \quad (3)$$

여기서  $U$ 와  $V$ 는  $x$ ,  $y$  방향의 속도,  $\partial$ 는 표면 수위,  $H$ 는 수위,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $\eta$ 는 동점성계수(dynamic viscosity),  $g$ 는 중력가속도,  $\tau_{bx}$ 와  $\tau_{by}$ 는  $x$ ,  $y$  방향의 전단응력을 나타낸다.

#### 4. 연구 방법

강우-유출 모의 시 유효강우를 계산하기 위한 방법으로 SCS-CN (Soil Conservation Service Curve Number, 유출곡선지수) 방법을 사용하였다. FLO-2D 모형에서 유효강우의 계산은 매개변수가 지배하며 얼마나 정확한 매개변수를 사용하느냐에 따라서 유출 모의 결과의 신뢰성이 달라진다. 이 연구에서는 정밀토양도를 바탕으로 A, B, C, D로 분류한 수문학적 토양군과 토지피복도를 가지고 두 가지의 서로 다른 유출곡선지수(SCS-CN)를 산정하였다(Fig.3). 두 가지 방법으로는 유역 전체에서 하나의 유출곡선지수로 단순 산술평균하는 산술평균법과 유역 전체에서 가장 높은 비율을 차지하는 유출곡선지수를 하나의 대표값으로 지정하는 대표토양도법을 사용하

였다(Fig.4). 이 연구의 목표는 국내에서 지배적으로 많이 사용되는 강우-유출 모형의 하나인 HEC-HMS와 같은 집중형 모형에서의 유효강우에 대한 정확도와 역할에 대하여 가이드라인을 찾아내는 것이다. 그래서 산술평균법과 대표토양도법을 바탕으로 HEC-HMS모형과 FLO-2D모형을 모의하여 그 결과를 간접적으로 비교해 보았다(Hydrologic Engineering Center, 2014a, 2014b).

#### 5. 분석 결과

Fig. 5(a)-6(a)는 두 가지 연구방법을 FLO-2D에 적용하여 도출된 결과로써 전반적으로 유량이 상승-감소하는 추세는 잘 재현해 내는 것으로 나타났다. 그러나 동향과 천천 두 지역 모두 방법에 따라서 유량이 발생하는 데에 따른 지체시간과 첨두유량은 다르게 산정하는 것으로 나타났다. 유량의 발생은 산술평균법이 대표토양도법보다 빠르게 나타났다. Fig. 3에서 보듯이 용담댐 유역에서 가장 널리 분포하는 토양군은 A type으로 침투가 가장 많이 발생하는 토양군으로 앞서 나온 결과는 이로 인한 것으로 사료된다. Fig. 5(b)-6(b)는 두 가지 연구방법을 HEC-HMS에 적용하여 도출된 결과이다. 전반적으로 유량의 상승-감소 추세는 잘 재현하나 유량의 발생은 산

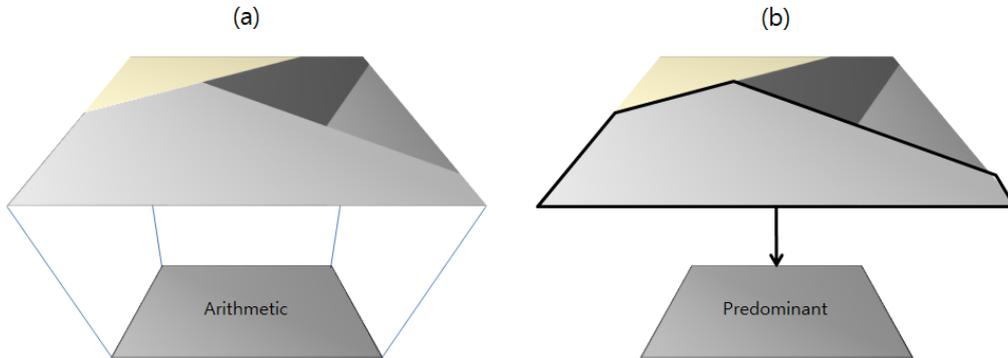


Fig. 4. Averaging methods for calculating SCS-CN parameters. The territory with thick line in (b) is determined as a representative of the entire catchment.

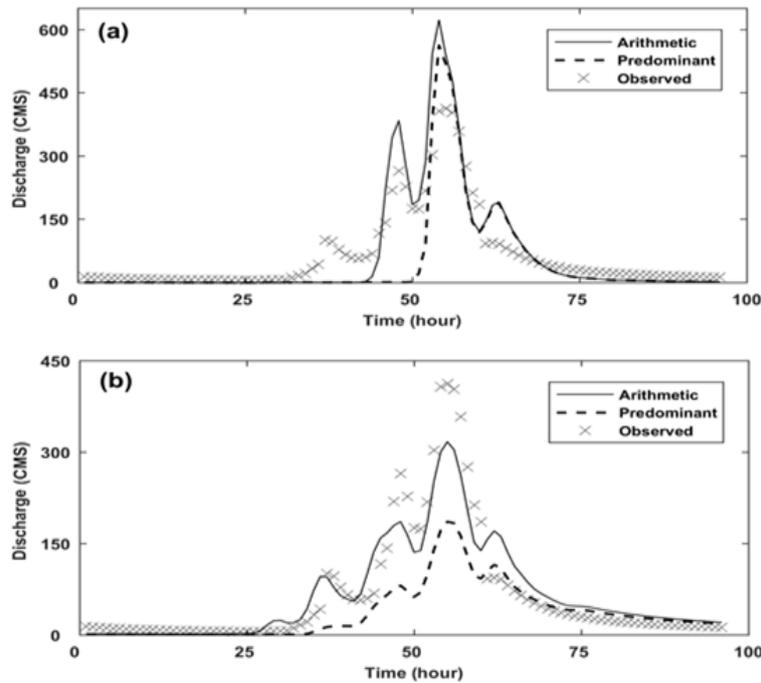


Fig. 5. Estimated vs. observed as a function of time at Donghyang; (a) FLO-2D, (b) HEC-HMS.

숯평균법에서 약 3시간 정도 이르게 발생하고 대표토양도법에서는 약 5시간 정도 지체되는 것으로 나타났다. 침투유량을 과대평가하는 FLO-2D 모의 결과와는 달리 HEC-HMS 모의 결과에서는 과소평가하는 것으로 나타났다.

산숯평균법을 적용하였을 때 동향 지역에서의 FLO-2D 모의 결과는 결정계수, NSC, RMSE가 각각 0.895,

0.837, 53.972 m<sup>3</sup>/s 이고 HEC-HMS 모의결과는 각각 0.948, 0.829, 31.462 m<sup>3</sup>/s 이다. 천천 지역에서의 FLO-2D 모의 결과는 각각 0.815, 0.661, 131.714 m<sup>3</sup>/s 이고 HEC-HMS 모의 결과는 0.840, 0.830, 55.697 m<sup>3</sup>/s 이다.

대표토양도법을 적용하였을 때 동향 지역에서의 FLO-2D 모의 결과는 결정계수, NSC, RMSE가 각각

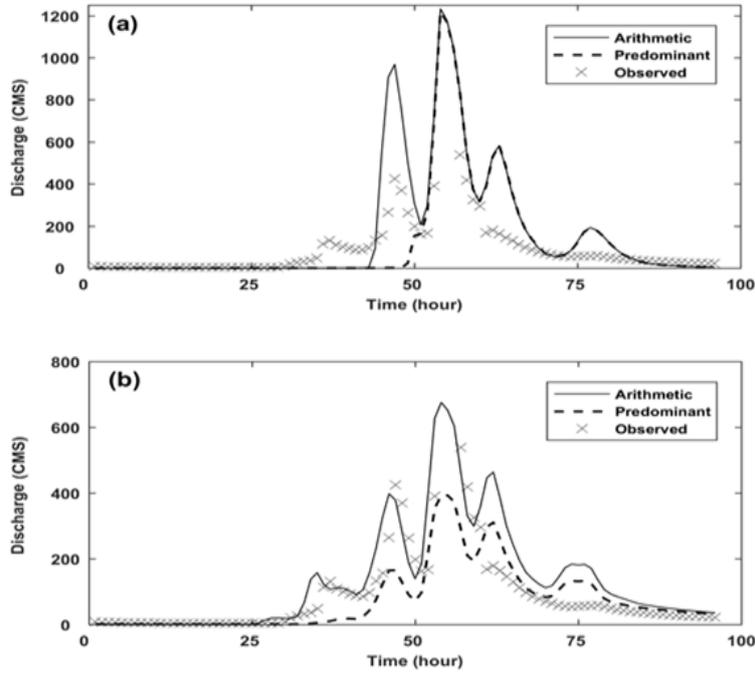


Fig. 6. Estimated vs. observed as a function of time at Cheoncheon; (a) FLO-2D, (b) HEC-HMS.

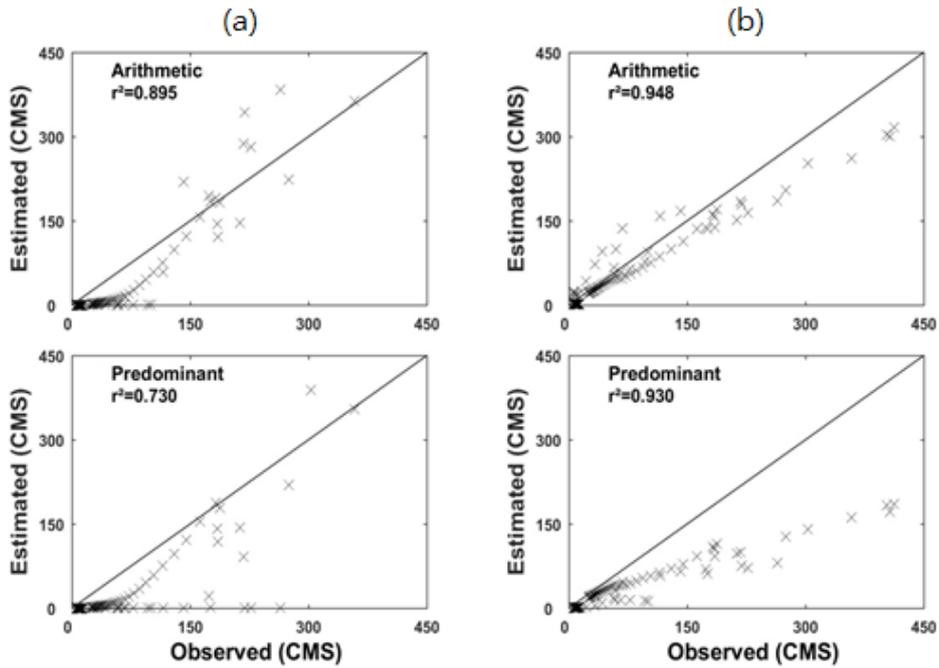


Fig. 7. A Scatter plot of estimated vs. observed at Donghyang; (a) FLO-2D, (b) HEC-HMS.

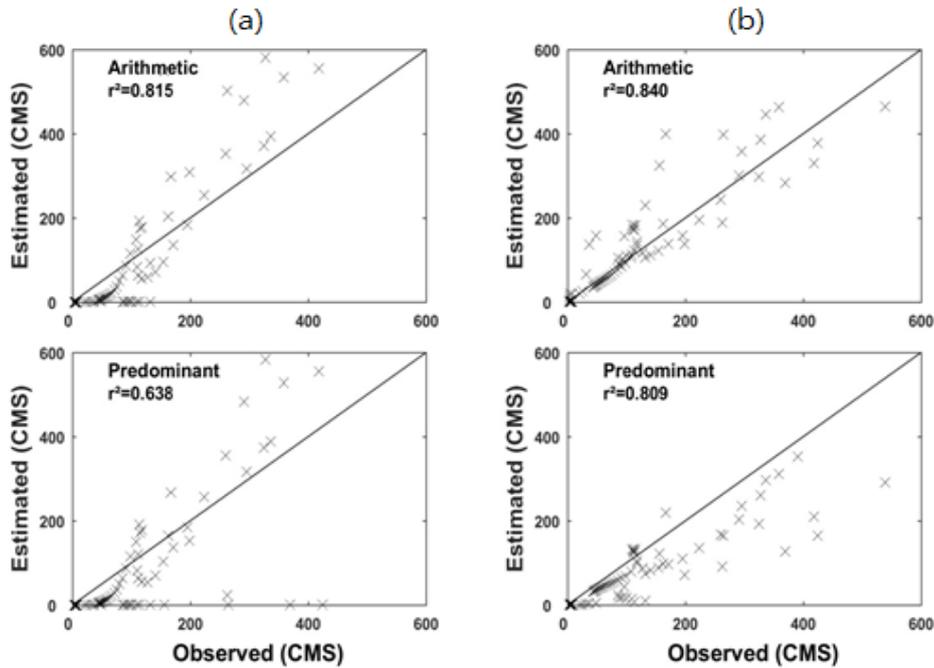


Fig. 8. A Scatter plot of estimated vs. observed at Cheoncheon; (a) FLO-2D, (b) HEC-HMS.

0.730, 0.624, 66.760 m<sup>3</sup>/s 이고 HEC-HMS 모의 결과는 각각 0.930, -1.435, 69.387 m<sup>3</sup>/s 이다. 천천 지역에서의 FLO-2D 모의 결과는 각각 0.638, 0.618, 103.267 m<sup>3</sup>/s 이고 HEC-HMS 모의 결과는 0.809, 0.192, 69.415 m<sup>3</sup>/s 이다.

토양도를 바탕으로 하는 매개변수의 산정에 있어 지표면 특성의 정밀도에 따라 유출의 결과에 중대한 영향을 미치는 것을 알 수 있으며 강우-유출 모의 시 주의가 필요하다.

### 6. 결론 및 고찰

산술평균법과 대표토양도법으로 대표하는 두 가지 방법으로 산정한 SCS-CN 유출곡선지수를 매개변수로 하여 용담댐 유역에서 FLO-2D와 HEC-HMS로 유출을 모의하였다(Table 1). FLO-2D와 HEC-HMS 수치모의 결과의 정확도를 나타내기 위한 결정계수, NSC, RMSE를 비교한 결과 동향지역의 경우 산술평균법의 결정계수, NSC, RMSE가 각각 0.895, 0.837, 53.972 m<sup>3</sup>/s, 대표

Table 1. Error assessment of simulation result against observed

Model	Numerical	Donghyang area		Cheoncheon area	
		Arithmetic	Predominant	Arithmetic	Predominant
FLO-2D	r <sup>2</sup>	0.895	0.730	0.815	0.638
	NSC	0.837	0.624	0.661	0.618
	RMSE(m <sup>3</sup> /s)	53.972	66.760	131.714	103.267
HEC-HMS	r <sup>2</sup>	0.948	0.930	0.840	0.809
	NSC	0.829	-1.435	0.830	0.192
	RMSE(m <sup>3</sup> /s)	31.462	69.387	55.697	69.415

토양도법의 결정계수, NSC, RMSE가 0.730, 0.624, 66.760 m<sup>3</sup>/s로 전반적으로 산술평균법이 더 나은 결과를 보였다. 그러나 천천지역에서는 FLO-2D 수치모의결과 산술평균법과 대표토양도법의 결정계수와 NSC는 산술평균법이 더 정확하나 RMSE가 각각 131.714, 103.267로 대표토양도법이 상대적으로 더 나은 결과를 보였다. 이는 가장 널리 분포하는 토양군이 침투성이 강한 A type의 토양으로써 대표토양도법으로 모의한 결과가 과다침투 되었음을 보여준다. 천천지역의 경우 침투유량에 해당하는 시기가 결측이므로 확고한 결론을 내리기는 어려워 보인다.

강우유출 모의에서 유출곡선지수를 대표하는 매개변수를 산정할 시에 산술평균법과 대표토양도법의 정확도는 해당 유역을 지배하는 토양군이 무엇이나에 따라 달라지며 보다 정확한 매개변수를 결정함에 있어서 공학적인 판단이 필요하다. 따라서 현장 실무에서 주의가 필요하다.

### 감사의 글

이 논문은 2017년 한국연구재단 이공분야기초연구사업 중견연구자사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (한국연구재단-2017년도-2017001809).

### REFERENCES

- Hopmans, J. H., Simunek, J., 1999, Review of inverse estimation of soil hydraulic properties, in: van Genuchten, M. T., Leij, F. J., Wu, L., (Eds), Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media, University of California, Riverside, CA., 643-659.
- Huffman, R., Fangmeier, D., Elliot, W., Workman, S., Schwab, G., 2011, Infiltration and Runoff, Soil and Water Conservation Engineering, 81-111.
- Hydrologic Engineering Center, 2014, HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, CPD-69. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 609 Second Street, Davis, CA.
- Hydrologic Engineering Center, 2014, HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, CPD-68. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 609 Second Street, Davis, CA.
- Jensen, M. E., 1995, Irrigated agriculture at the crossroads, In: Pereira, L. S., Feddes, R. A., Gilley, J. R., Lesaffre, B., (Eds.), Sustainability of Irrigated Agriculture, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 19-33.
- Johnson, M. S., Coon, W. F., Mehta, V. K., Steenhuis, T. S., Brooks, E. S., Boll, J., 2003, Application of two hydrologic models with different runoff mechanisms to a hillslope dominated watershed in the northeastern US: a comparison of HSPF and SMR, Journal of Hydrology, 284, 57-76.
- Kabat, P., Hutjes, R. W. A., Feddes, R. A., 1997, The scaling characteristics of soil parameters: from plot scale heterogeneity to subgrid parameterization, J. Hydrol., 190: 363-396.
- Kokkonen, T., Koivusalo, H., Karvonen, T., 2001, A Semi-distributed approach to rainfallrunoff modelling - a case study in a snow affected catchment, Environmental Modelling & Software, 16, 481-493.
- K-water Institute, 2013, Yongdam experimental catchment manage white book, KIWE-WRRC-14-01, Daejeon, S.Korea.
- Maidment, D. R., 1993, Handbook of hydrology, McGraw-Hill, New York.
- Singh, V. P., 1995, Computer Models of Watershed Hydrology Highlands Ranch, CO: Water Resources Publications.
- Vaze, J., Jordan, P., Beecham, R., Frost, A., Summerell, G., 2012, Guidelines for RainfallRunoff Modelling: Towards best practice model application, 47.
- Yang, W. Y., Li, D., Sun, T., Ni, G. H., 2015, Saturation-excess and infiltration-excess runoff on green roofs, Ecological Engineering, 74, 327-336.

- 
- Undergraduate. Hyeong-Keun Lee  
Department of Civil Engineering, Daegu University  
dung12321@naver.com
  - Master's course. Yeong-Seon Choi  
Department of Civil Engineering, Daegu University  
mindcontrol0@nate.com
  - Professor. Khil-Ha Lee  
Department of Civil Engineering, Daegu University  
khil\_ha@yahoo.com