

강우-유출모형을 활용한 소규모 산지 유역의 유출특성 분석_충북 단양1교

Analysis of the Runoff Characteristics of Small Mountain Basins Using Rainfall-Runoff Model_Danyang1gyo in Chungbuk

장형준¹⁾ · 이호진[†] · 박기순²⁾ · 김성구³⁾

Hyungjoon Chang · Hojin Lee · Kisoong Park · Seonggoo Kim

Received: November 8th, 2023; Revised: November 13th, 2023; Accepted: November 27th, 2023

ABSTRACT : In this study, runoff characteristics analysis was conducted as a basic research to establish a forecasting and warning system for flood risk areas in small mountainous basins in South Korea. The Danyang 1 Bridge basin located in Danyang-gun, Chungcheongbuk-do was selected as the study basin, and the watershed characteristic factors were calculated using Q-GIS based on the digital elevation model (DEM) of the basin. In addition, nine heavy rainfall events were selected from 2020 to 2023 using hydrometeorological data provided by the National Water Resources Management Comprehensive Information System. HEC-HMS rainfall-runoff model was used to analyze the runoff characteristics of small mountainous basins, and rainfall-runoff model simulation was performed by reflecting 9 heavy rainfall events and calculated basin characteristic factors. Based on the rainfall-runoff model, parameter optimization was performed for six heavy rain events with large error rates among the simulated events, and the appropriate parameter range for the Danyang 1 Bridge basin, a small mountainous basin, was calculated to be 0.8 to 3.4. The results of this study will be utilized as foundational data for establishing flood forecasting and warning systems in small mountainous basin, and further research will be conducted to derive the range of parameters according to basin characteristics.

Keywords : Mountainous basin, Discharge, Catchment characteristics, Rainfall-Runoff model, Optimization

요지 : 본 연구에서는 국내 소규모 산지유역을 대상으로 홍수 위험지역에 대한 예·경보 시스템을 구축하기 위한 기초연구로 유출 특성 분석을 수행하였다. 연구 유역은 충청북도 단양군에 위치한 단양1교 유역을 선정하였으며, 연구유역의 수치표고 모형(DEM)을 바탕으로 Q-GIS를 활용하여 유역특성인자를 산정하였다. 또한, 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하는 수문기상자료를 활용하여 2020년부터 2023년 기간 동안 9개의 호우사상을 선정하였다. 소규모 산지유역의 유출특성을 분석하기 위하여 HEC-HMS 강우-유출모형을 활용하였으며, 9개의 호우사상과 산정된 유역특성인자를 반영하여 강우-유출 모형 모의를 수행하였다. 강우-유출 모형을 바탕으로 모의된 사상 중 오차율이 크게 발생한 6개의 호우사상을 대상으로 하여 매개변수 최적화를 수행 후, 소규모 산지 유역인 단양1교 유역에 적합한 매개변수 범위를 0.8~3.4로 산정하였다. 본 연구의 결과는 소규모 산지유역에 대한 홍수 예·경보 시스템 구축의 기초자료로 활용될 것이며, 추가적인 연구를 통하여 유역특성에 따른 매개변수 범위를 도출하고자 한다.

주요어 : 산지유역, 유출량, 유역특성인자, 강우-유출모형, 최적화

1. 서론

우리나라는 최근 이상기후의 영향으로 인하여 과거보다 집중호우의 발생빈도가 증가하고 있으며, 강우강도 또한 급격하게 증가하고 있다. 2019년은 한반도에 태풍이 7건 발생하여 최다 태풍이 발생하였으며, 2020년은 54일 동안 장마가 지속되어 최장기간 장마를 기록하였다. 또한, 2022년 8월에 시간당 141.5mm라는 최고 강우강도를 기록하였으며, 2023년 7월 14일에는 483mm/day라는 강우량이 내리며 지역별 일 최대 강우량을 기록하는 등 2019년부터 최근 5년

동안 강우에 대한 모든 기록이 경신되었다(Water Journal, 2023).

우리나라는 국토 전체 면적의 70% 이상이 산지로 구성되어 있으며, 동쪽이 높고 서쪽이 낮은 지형으로 이루어져 있다. 따라서 국토의 많은 면적이 산지 유역으로 이루어져 있으므로 효과적인 치수대책을 마련하기 위해서는 지역적 특성을 고려한 신뢰도 높은 수문분석이 필요하다. 신뢰도 높은 수문분석을 위해서는 강수량, 유출량, 증발산량 등과 같은 관측자료가 필요하지만 대부분의 중·소규모 유역에 대하여 관측 시설이 구축되어 있지 않아 관측자료의 확보가

1) Representative, Management, Hyeopseong Company

† Professor, School of Civil Engineering, Chungbuk National University (Corresponding Author : hojinlee@cbnu.ac.kr)

2) Assistant Manager, Dept. of R&D, Hyeopseong Company

3) Manager, Dept. of R&D, Hyeopseong Company

어려움이 있다. 이에 산지 유역을 대상으로 국지성 집중호우 발생 시 발생할 수 있는 돌발홍수로 인한 재해 대비에 많은 어려움을 겪고 있다.

이와 같은 물과 관련된 재해는 피할 수 없지만, 재해의 원인을 정확하게 파악하고 이에 대한 방재계획을 정확하게 수립한다면 피해 정도를 경감시킬 수 있다. 이에 국지성 집중호우로 발생할 수 있는 산지 유역의 돌발홍수에 대비하기 위하여 산지 유역 돌발홍수 대응체계 조사 분석 연구(NDMI, 2009)가 이루어졌으며, 국립재난연구원에서는 2016년에 돌발홍수 예·경보 시스템 고도화를 위한 기획연구를 통하여 AWS 및 RADAR를 활용하여 관측된 빅데이터를 활용하여 예·경보체계의 신뢰할 수 있는 개선 방향을 제시하였다. 또한, 홍수대응 골든타임 확보 연구단은 도심 저지대, 친수공간 등에서 발생할 수 있는 돌발홍수, 침수, 하수도 및 도시하천의 범람 등과 같은 다양한 홍수피해에 대하여 예보시스템과 돌발홍수예보시스템 개선 등에 관한 연구를 수행하였으며, 통합홍수예보 플랫폼을 개발하였다.

Kim et al.(2019)은 한강을 대상으로 산지 소하천 유역을 연구유역으로 선정하여 돌발홍수 재현기간 분석을 바탕으로 돌발홍수의 발생 주기를 정량적으로 제시하였다. Yoon et al.(2020)은 수도권 지역을 연구유역으로 선정 후 X밴드 이 중 편파 레이더를 활용하여 돌발홍수 감시를 위한 기반 및 적용성을 평가하여 레이더를 활용한 강수량 산정결과 강우강도가 높은 경우 강우가 과소 추정되는 경향이 있으나, 정확도 부분에서는 우수한 결과를 나타내어 활용 가능성이 있는 것으로 분석하였다.

위와 같은 노력에도 불구하고 국지성 집중호우 발생 시 도심지 산지 유역 및 소규모 산지 유역에서 발생하는 돌발홍수는 여전히 해결하는데 어려움이 있으며, 재해에 대한 사전 대비 역시 어려운 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 소규모 산지유역인 단양 1교 유역을 대상으로 하여 소규모 산지 유역의 유출특성 분석을 수행하였다. 유출특성 분석을 위하여 강우-유출모형 분석은 미 육군 공병단에서 개발된 HEC-HMS를 활용하였으며, 관측 강우량을 바탕으로 홍수량 산정 표준지침에서 제시하고 있는 서경대 공식을 적용 후 모의 유출량을 산정하였다. 산정한 모의 유출량은 단양 1교 유역의 수위유량관계곡선식을 바탕으로 계산된 관측 유량자료와 비교·분석을 통하여 유출모의 능력 평가를 시행하였다. 또한, 관측 강우량 자료와 관측 유량자료를 바탕으로 연구유역인 단양 1교 유역에 대하여 최적화 매개변수를 산출하였으며, 이를 바탕으로 소규모 산지유역인 단양 1교 유역의 유역특성에 적합한 유출량 산정방법을 제시하였다.

2. 연구유역

2.1 연구대상 유역 선정

본 연구에서는 국내 소규모 산지 유역의 홍수량 산정 시 활용되는 매개변수의 정확도를 확인하고, 홍수 위험지역에 대한 예·경보 시스템을 구축하기 위하여 기초연구를 수행하였다.

연구유역으로 선정한 단양 1교 유역은 한강수계 상류로 충청북도 단양군 단성면 북하리에 위치한 단양 1교를 중심으로 유역면적은 129.16km², 유역길이는 11.7km이다. 지역적 위치로는 소백산 국립공원과 월악산 국립공원 일부에 속해있고, 유역 평균경사도가 3.72%인 산지유역이며, 2011년부터 2020년까지 연평균 기온은 12.8°C, 연평균 강수량은 1,156mm으로 온대 기후의 특징을 나타내고 있다(KMA, 2023). 2023년 7월 15일 연구유역에서 189mm의 강우량이 발생하였으며, 이는 2010년 이후 발생한 일 최대 강우량으로 나타나 국지성 집중호우의 위험성이 높은 지역으로 분석되었으며, Fig. 1에 연구유역인 단양 1교 유역도를 나타내었다.

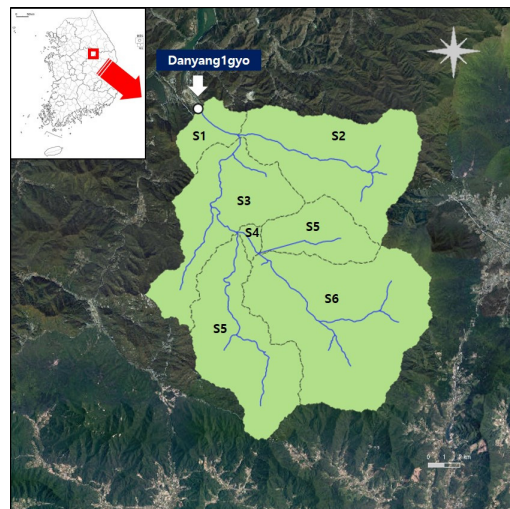


Fig. 1. Study catchments in danyang1gyo

2.2 유역 특성인자

유역의 유출규모를 파악함에 있어서 유역면적, 유로연장, 유역평균폭, 형상계수, 유역경사 등 유역 특성인자는 유역유출에 직접적인 영향을 미치는 인자들이다. 강우-유출모형 해석을 수행하기 위해 필요한 유역 특성인자는 Q-GIS(Quantum GIS)를 활용하여 수치표고모형(DEM)을 바탕으로 분석 및 산출하였다(Kang et al., 2001; Kim et al., 2006).

단양 1교 전체유역에 대하여 하천 지류와 차수를 고려하여 S1~S7까지 7개의 소유역으로 분할하였으며, 유역의

공간적 변화 특성을 반영하기 위하여, 각각의 소유역별 특성인자를 산출하였다. 본 연구에서 활용한 유역 특성인자는 유역면적(Area), 최원유로연장(L), 유역평균넓이(Mean width of catchment), 형상계수(Form Factor, FF), 미국 토양보존국 유출곡선 번호(Soil conservation service-curve number, SCS-CN)이다. 단양 1교는 전체유역에 대하여 유역 특성인자를 분석한 결과 유역면적은 129.16km², 최원유로연장은 11.7km, 유역평균넓이는 11.04km, 형상계수는 0.94, SCS-CN은 86.4로 산출되었다. 또한, 각 소유역을 기준으로 하여 산정한 유역 특성인자는 Table 1과 같다. 홍수량 산정방법에서 활용되는 합성단위도 방법은 홍수량 산정 표준지침(ME, 2019)에서 제시하고 있는 Clark 단위도법을 적용하였으며, 도달시간인 Tc는 Eq. (1), 저류상수인 K는 Eq. (2)와 같이 홍수량 산정 표준지침에서 권장하고 있는 서경대 공식을 활용하였다.

$$T_c = 0.214LH^{-0.144} \quad (1)$$

여기서, Tc는 도달시간(hr), L은 유로연장(km), H는 고도차(m, 유역 최원점 표고와 홍수량 산정지점 표고의 고도차)이다.

Table 1. Catchment characteristics in danyang1gyo

Catchments	Area [km ²]	L [km]	Mean width of catchment [km]	FF [-]	SCS-CN (AMC-III) [-]	TC [hr]	SC [hr]
S1	5.12	2.88	1.78	0.62	86.4	0.39	0.46
S2	27.34	8.1	3.38	0.42	86.4	0.7	0.83
S3	21.59	8.85	2.44	0.28	86.7	0.82	0.96
S4	1.15	1.42	0.81	0.57	86.8	0.19	0.23
S5	23.54	9.16	2.57	0.28	86.9	0.81	0.95
S6	9.71	5.34	1.82	0.34	87.1	0.48	0.56
S7	40.71	8.59	4.74	0.55	85.7	0.79	0.94

Table 3. Rating curve equation in danyang1gyo

Year	Application level (m)	Rating curve equation	Materials used year/ Number of data	Note
2020	0.30 ≤ h ≤ 1.01	Q=24.749*(h-0.300) ^{2.082}	2020/34	0.43m Below extrapolation
	1.01 < h ≤ 1.75	Q=27.871*(h-0.350) ^{2.002}		20.01.01 00:10
	1.75 < h ≤ 2.54	Q=65.373*(h-0.820) ^{2.465}		~
	2.54 < h ≤ 6.65	Q=92.790*(h-0.700) ^{1.618}		21.01.01 00:00
2022	0.18 ≤ h ≤ 0.58	Q=21.862*(h-0.180) ^{2.263}	2020/25 2022/17	0.33m Below extrapolation
	0.58 < h ≤ 1.77	Q=17.944*(h-0.130) ^{2.350}		22.01.01 00:10
	1.77 < h ≤ 2.54	Q=65.120*(h-0.820) ^{2.465}		~
	2.54 < h ≤ 6.61	Q=92.431*(h-0.700) ^{1.618}		23.01.01 00:00
				3.05m Above extrapolation

$$K = \alpha \left(\frac{A}{L^2} \right)^{0.02} T_c \quad (2)$$

여기서, K는 저류상수(hr), α는 일반적인 하천유역은 1.45(기준값), 산지 등 하천경사가 급하고 저류능력이 적은 유역면적이 지배적인 유역은 1.20, 평지 등 하천경사가 완만하고 저류능력이 큰 유역면적이 지배적인 유역은 1.70을 적용하는 계수, A는 유역면적(km²), L은 유로연장(km), Tc는 도달시간(hr)이다.

2.3 수문자료구축

2.3.1 수위 및 유량자료

연구유역에서 활용한 수위관측소는 충북 단양군 단성면 북하리에 위치하고 있는 단양 1교를 활용하였으며, 1환경부 한강홍수통제소에서 관리하고 있다. 단양 1교 수위관측소의 제월은 Table 2와 같다.

단양 1교 수위 관측소에서 관측된 수위 자료를 유량자료로 환산하기 위하여 2020년과 2022년에 개발된 수위-유량 관계 곡선식을 활용하였다(ME, 2020, 2022).

소규모 산지유역은 관측소의 부재로 인하여 대부분 미세 측 유역으로 분리되어 있어 하천관리에 많은 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서는 수위-유량관계곡선식이 존재하는 유역을 대상으로 강우-유출모형의 모의결과와 실측유량의 비교·분석을 수행하였으며, 신뢰도 높은 분석을 위하여 수위-유량관계곡선식이 개발된 2020년부터 2023년까지 관측 시단위 수위 자료를 바탕으로 유량자료로 환산하여 유량자료를 획득하였다. 본 연구에서 활용한 수위-유량 관계곡선식은 Table 3과 같다.

Table 2. Water-level observatory in danyang1gyo

Catchments	L[km]		Observation start date	Competent authority
	Latitude	Longitude		
Danyang1gyo	36-55-52	128-20-08	2016-11-07	Meteorological Administration

2.3.2 강우자료

강우관측소는 산지 유역의 특성을 반영하여 유역에 위치한 단양군(올산리)로 선정하였다. 단양군(올산리) 강우관측소는 충청북도 단양군 대강면 올산리 159-2번지에 위치하고 있으며, 1990년 11월 5일부터 계측을 시작하였으며, 환경부에서 관리하고 있다. 강우관측소의 제원은 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Rainfall station in sanyanggun (olsanri)

Rainfall station	L[km]		Observation start date	Competent authority
	Latitude	Longitude		
Danyanggun (olsanri)	36-50-24	128-22-20	1984.03.05	Meteorological administration

신뢰성 있는 강우-유출모형을 활용한 유출량 산정을 위해서는 유역의 특성을 나타낼 수 있는 단기 호우사상을 선정하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 수위-유량관계 곡선식이 개발된 2020년부터 2023년에 발생한 호우사상 중 9개를 Table 5와 같이 선정하였다. 선정한 강우사상 중 강우 지속시간이 가장 짧은 사상은 24시간으로 E1, E2, E6이며, 강우지속시간이 가장 긴 사상은 72시간으로 E7 및 E9으로 분석되었다. 그러나 E1 같은 경우 강우지속시간은 24시간이지만, 총 강우량이 123mm로 짧은 강우지속시간 동안 높은 강도로 강우가 발생한 것을 확인하였다.

Table 5. Rainfall characteristics for storm events of danyang1gyo

Events	Period	Duration (hr)	Rainfall (mm)
E1	2020.07.30	24	123
E2	2020.09.30	24	87
E3	2021.07.08 ~ 07.09	28	69
E4	2021.08.25 ~ 08.26	48	65
E5	2021.09.01 ~ 09.02	48	63
E6	2022.08.20	24	64
E7	2022.09.05 ~ 09.07	72	106
E8	2023.06.29 ~ 06.30	48	174
E9	2023.08.09 ~ 08.11	72	207

3. 연구방법

3.1 HEC-HMS 모형 이론

본 연구에서 활용한 HEC-HMS 모형은 미 육군 공병단에서 개발한 모형으로 수문학적 요소를 고려한 유역모형(Basin

model), 기상학적 데이터를 처리하는 기상모형(Meteorologic model), 시간적 요소를 조정하는 제어지정모형(Control specification model)으로 구성되어 있다. HEC-HMS 강우-유출모형은 강우가 발생 시 손실을 산정하여 유효우량으로 변환 후 기저유출을 합하여 유역의 각 소유역별 유출량을 구하고, 각 소유역의 총 유출량을 합류점에서 합한 후에 하도추적을 통해 대상유역의 출구점에서 강우-유출수문곡선을 모의할 수 있도록 개발된 모형이다(Hwang & Yang, 2018).

3.2 HEC-HMS 모형 구축

본 연구에서는 단양 1교 유역을 종점으로 총 7개의 소유역으로 분할하여, 4개의 합류점(Junction)과 3개의 하도 추적구간(Reach)으로 HEC-HMS 모형을 구축하였다. 모형 구축 개략도는 Fig. 2와 같다.

유효우량 산정은 미국자연자원보호청(Natural resources conservation service, NRCS)의 방법의 유출곡선지수(Curve number, CN) 값을 구하기 위해 환경부의 수치토지피복도와 국립농업과학원의 수치정밀토양도를 활용해 Q-GIS(Quantum GIS) 소프트웨어로 수문학적 토양군으로 분류하였다.

소유역에서 직접유출 산정은 강우-유출 관계를 이용한 합성단위도 방법 중 홍수량 산정 표준지침(ME, 2019)에서 권장되고 있는 Clark 단위도법을 채택하였다. Clark 단위도법은 순간단위도 원리를 이용한 유역추적방법으로 도달시간과 저류상수 등 2개의 매개변수로 단위도를 합성할 수 있으며, 지역성이 없는 객관적 방법이다. 하도 홍수추적은 Muskingum 방법을 사용했고, 매개변수인 하도저류상수 K값은 추적구간

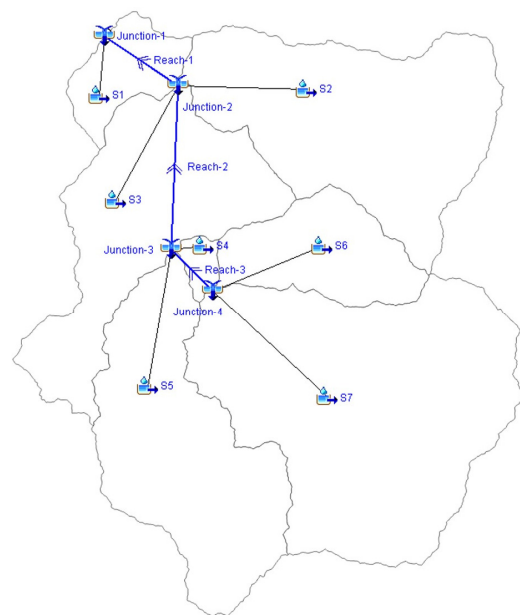


Fig. 2. HEC-HMS Model construction in Danyang1gyo

의 홍수파 통과시간을 사용해 산정하였으며, 홍수파의 저류 효과 정도를 결정하는 무차원 상수인 X값은 민감도가 낮아 [0.1-0.5]의 범위를 가는 값 중 홍수량 산정 표준지침에서 권장하는 0.2를 채택하였다(ME, 2019).

3.3 HEC-HMS 최적화

본 연구에서는 HEC-HMS는 관측된 강우자료와 유출자료로 모의를 위한 매개변수를 자동적 추정할 수 있는 기능을 가졌다. 매개변수 추정은 특정 지점의 관측자료와 모의된 값 사이의 최적화를 통해 원하는 매개변수의 자동보정을 수행하며 진행된다(Shi & Song, 2009).

추정되는 매개변수는 손실, 단위도, 기저유량, 하도추적에 관련된 매개변수 등이다(Yoon et al., 2009). 최적화의 양적인 정도는 목적함수의 값으로 대표되며, 목적함수의 값은 계산된 값과 관측자료 사이의 편차의 정도에 기초한다. 관측자료와 계산된 값이 일치한다면 목적함수 값은 0이 된다. 자동적인 매개변수의 추정에서 가장 중요한 사항 중 하나는 매개변수를 최적화시키기 위해 즉, 목적함수 값의 최소화를 위해 수행되는 탐색 절차이다. 제약조건은 논리적으로 타당하지 않은 매개변수값이 선택되지 않게 하기 위하여 설정되는 조건이다.

강우-유출모형의 보정을 위해 유역 출구점인 단양 1교 수위 관측소지점을 대상으로 HEC-HMS의 최적화 기법을 활용하여 매개변수를 산정하였다. 최적화 모듈에서 침투-가중치 평균 제곱근 오차(Peak-Weighted Root Mean Square Error) 방법을 이용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3)$$

4. 결 과

4.1 단양 1교 유역의 단기 유출 특성

단양 1교 유역의 단기 호우사상으로 HEC-HMS 모형을 활용한 홍수량과 관측유량의 홍수량 산정결과는 Table 6에 나타내었고, 수문곡선은 Fig. 3에 나타냈다.

분석결과 E3, E5, E7의 침투홍수량의 경우 관측치에 비해 시뮬레이션 결과의 오차율이 0.24~12.53%로 관측 침투유량값을 비슷하게 모의하고 있는 것을 확인할 수 있다.

그러나 E1, E2, E4, E6, E8, E9의 경우 관측 침투유량값과 오차율이 52.28%~144.91% 범위로 모의된 것을 확인하

Table 6. Results of flood calculation

Events	Observational flow		Simulation		
	Peak (m ³ /s)	Peak Occurrence	Peak (m ³ /s)	Peak Occurrence	Peak-weighted rmse (%)
E1	540.03	2020.07.30 7:00	721.5	2020.07.30 6:00	33.60
E2	296.43	2020.09.03 5:00	472.8	2020.09.03 5:00	59.50
E3	363.99	2021.07.09 2:00	318.4	2021.07.09 3:00	12.53
E4	126.7	2021.08.25 18:00	229.8	2021.08.25 19:00	81.37
E5	266.05	2022.09.01 10:00	266.7	2022.09.01 10:00	0.24
E6	151.89	2022.08.20 8:00	372	2022.08.20 8:00	144.91
E7	237.39	2022.09.06 8:00	258.2	2022.09.06 7:00	8.77
E8	276.86	2023.06.29 23:00	421.6	2023.06.30 4:00	52.28
E9	353.21	2023.08.10 15:00	817.4	2023.08.10 15:00	131.42

였으며, 오차의 범위가 매우 크게 산정되어 서경대 공식을 활용한 강우-유출 모의에는 한계점이 있는 것을 확인하여 매개변수 최적화를 통한 강우-유출 모의가 필요하다고 판단되었다.

4.2 매개변수 최적화

비교적 오차율이 적었던 E3, E5, E7은 제외하고, 오차율이 크게 산정되었던 E1, E2, E4, E6, E8, E9은 별도의 그룹으로 구분하여 Clark 단위도법의 주요 매개변수인 도달시간과 저류상수 매개변수를 최적화 과정을 거친 후, 유출량을 산출하였다. E1, E2, E4, E6, E8, E9의 관측자료를 바탕으로 분석한 결과 도달시간보다 저류상수의 영향이 더 크게 미치는 것으로 확인되었으며, 서경대 공식으로 산정된 저류상수 값의 약 3.5배 정도의 값이 최적화 저류상수 매개변수로 산정되었고, 연구유역인 단양 1교의 소유역별 최적화 매개변수는 Table 7과 같다.

최적화 모의 후, 강우-유출모형 모의 결과는 Table 8과 Fig. 4와 같으며, 오차율의 범위는 6.12%~72.93%로 산정되었다. 서경대 공식을 이용한 모의 결과와 비교를 하였을 때, 침투 유출량을 기준으로 오차율의 범위가 작아지는 것을 확인하였다.

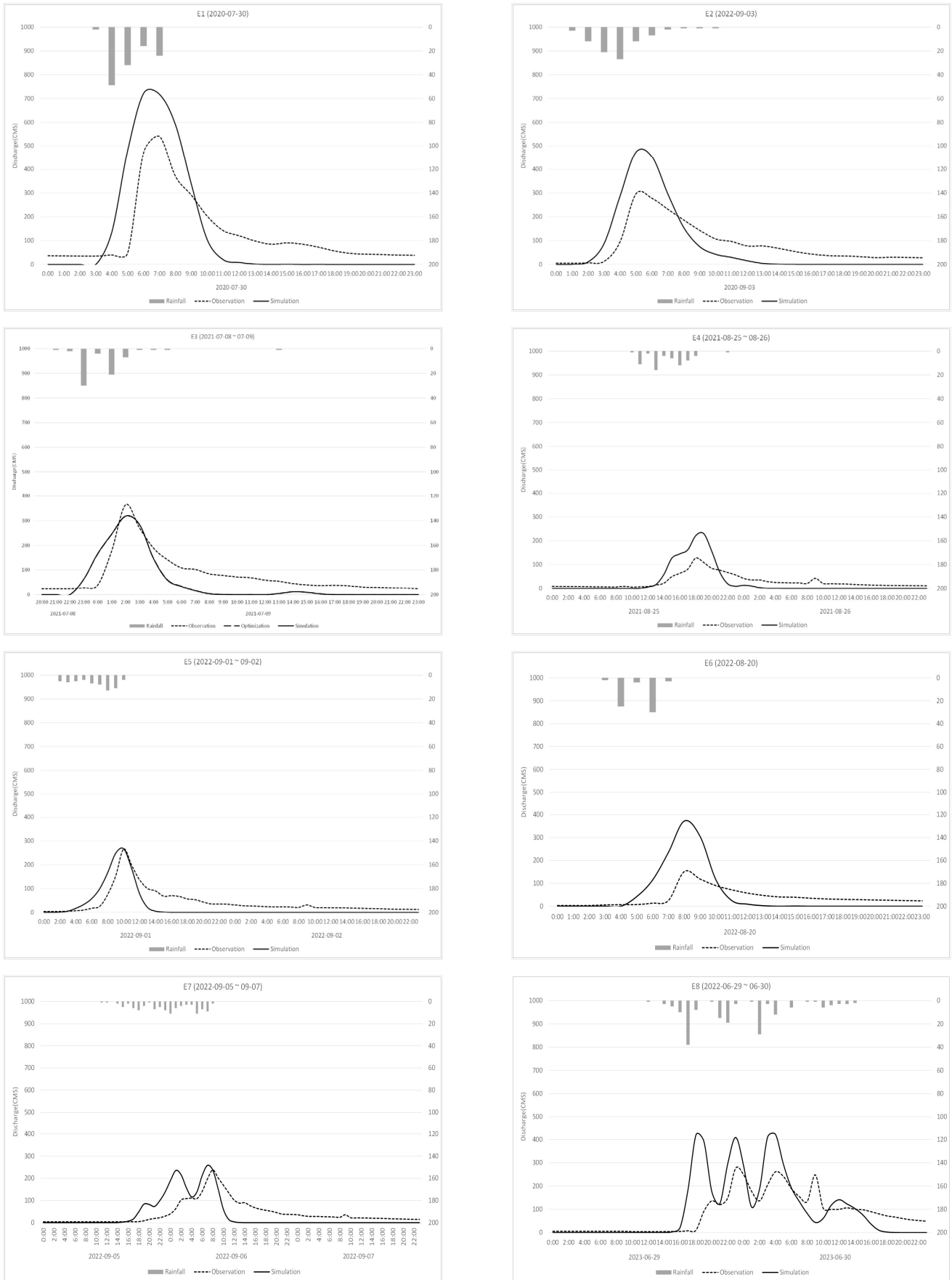


Fig. 3. Comparison of calculated and observed results for storm E1~E9

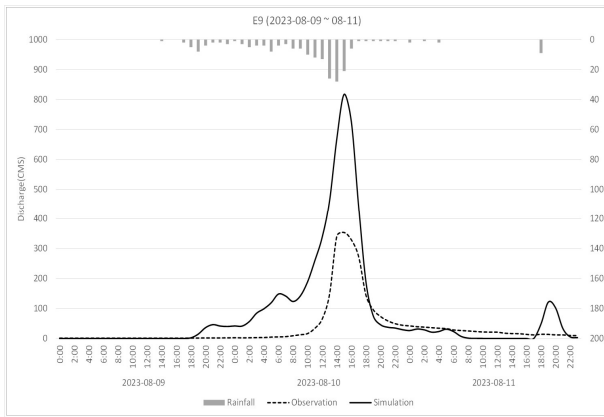


Fig. 3. Comparison of calculated and observed results for storm E1~E9 (Continued)

Table 7. Optimization parameters of storage coefficient in danyang1gyo

Catchments	SC [hr]
S1	1.61
S2	2.91
S3	3.36
S4	3.33
S5	1.96
S6	3.29
S7	3.40

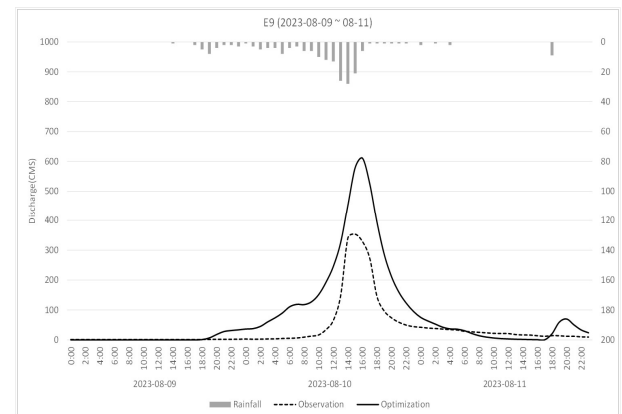
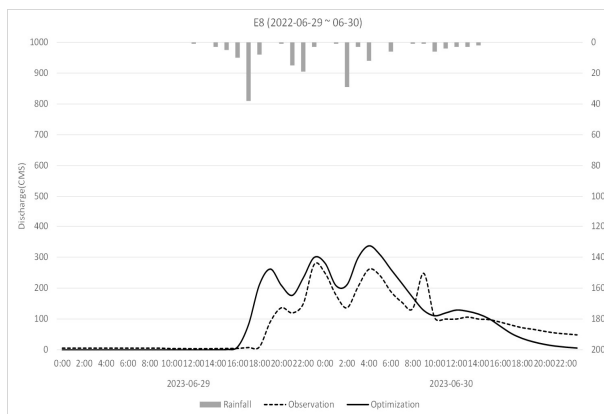
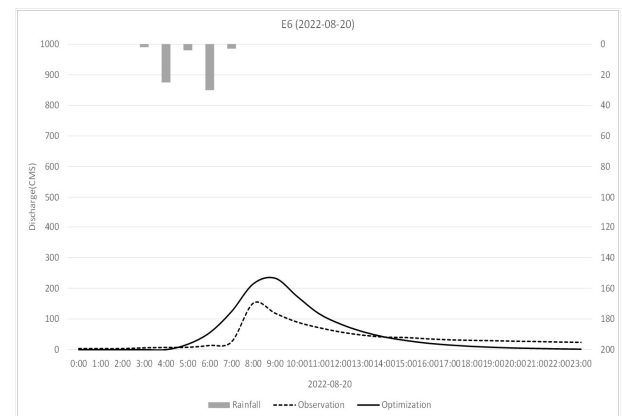
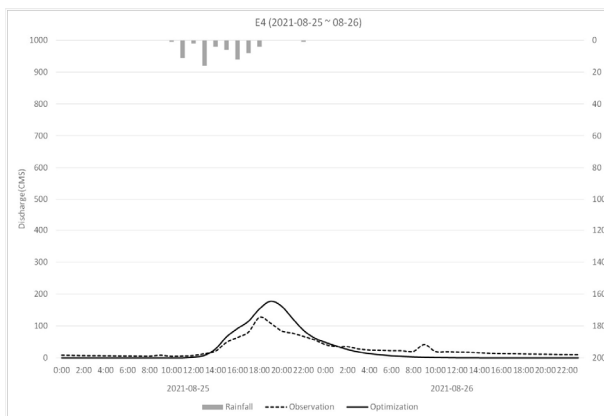
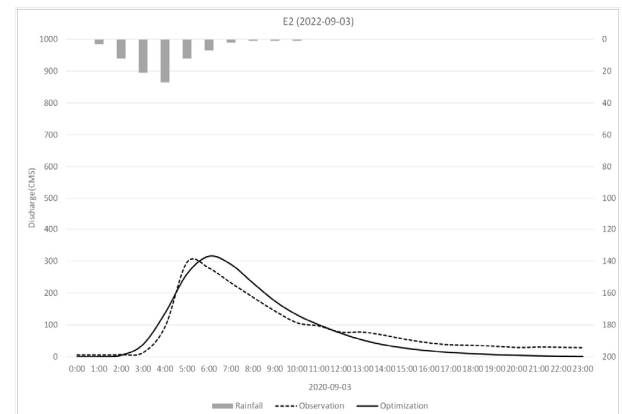
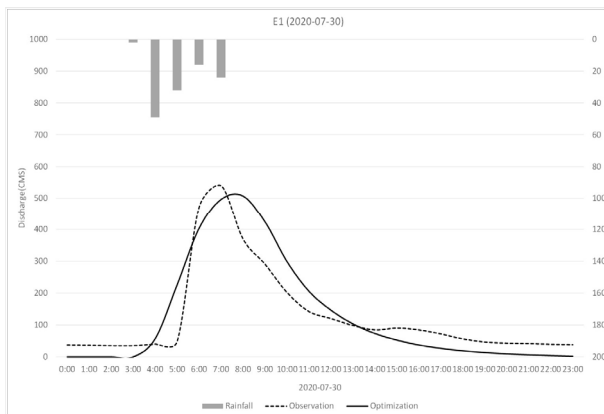


Fig. 4. Comparison of optimized and observed results for storm event (E1, E2, E4, E6, E8, E9)

Table 8. Parameter change(Sc*3.5) Optimization

Events	Observational flow		Simulation (Optimization)		
	Peak (m ³ /s)	Peak Occurrence	Peak (m ³ /s)	Peak Occurrence	Peak-weighted rmse (%)
E1	540.03	2020.07.30 7:00	507	2020.07.30 8:00	6.12
E2	296.43	2020.09.03 5:00	315.5	2020.09.03 6:00	6.43
E4	126.7	2021.08.25 18:00	177.2	2021.08.25 19:00	39.86
E6	151.89	2022.08.20 8:00	232.8	2022.08.20 9:00	53.27
E8	276.86	2023.06.29 23:00	336.8	2023.06.30 4:00	21.65
E9	353.21	2023.08.10 15:00	610.8	2023.08.10 16:00	72.93

5. 결 론

본 연구에서는 국내 소규모 산지유역의 홍수량 산정 시 활용되는 매개변수의 정확도를 확인하고, 홍수 위험지역에 대한 예-경보 시스템을 구축하고자 연구유역으로 단양 1교 유역을 선정하여 2020년부터 2023년까지 9개의 호우사상을 대상으로 홍수량을 산정하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 단양 1교 유역의 단기 호우사상으로 HEC-HMS 모형을 활용한 관측유량과 모의유량 비교 결과 E3, E5, E7의 침투 유출량의 경우 관측치에 비해 모의 결과의 오차율이 0.24~12.53%로 비교적 정확도 있는 결과가 산출되었다. E1, E2, E4, E6, E8, E9의 경우 오차율이 52.28~144.91%로 오차의 범위가 크기 때문에 최적화를 통한 홍수량 산정이 필요한 것으로 나타났다.

둘째, 관측 유량과 모의 유량의 차가 높았던 E1, E2, E4, E6, E8, E9은 별도의 그룹으로 구분하여 Clark 단위도법의 주요 매개변수인 도달시간과 저류상수를 최적화하여 유출량을 모의한 결과, 도달시간보다 저수상수의 영향이 더 크게 미치는 것으로 확인되었으며, 서경대 공식의 저류상수 값의 약 3.5배 정도로 매개변수가 산정되는 것을 확인하였다.

셋째, 최적화 매개변수를 반영하여 유출량 산정 결과 오차율의 범위는 6.12% ~ 72.93%로 산정되었는 것을 확인하여, 소규모 산지유역을 대상으로 유출량 산정 시, 유역의 특성을 반영하여 매개변수를 산출 후, 적용이 필요한 것을 확인하였다.

소규모 산지유역인 단양 1교 유역을 대상으로 홍수량을 산정한 결과 홍수량 산정 표준지침의 공식을 반영해서 신뢰도 높은 결과를 얻지 못하였다. 이는 산지유역의 특성이 기존 홍수량 산정 표준지침의 공식을 일괄적으로 적용하기에는 어려움이 있다고 보여진다. 본 연구는 소규모 산지유역

에 적용할 수 있는 매개변수 산정기법을 개발할 수 있는 기초연구로써 의미가 있으며, 추가적인 연구를 통하여 소규모 산지 유역의 매개변수 산정기법을 개발하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 충북대학교 국립대학육성사업(2023)지원을 받아 작성되었음.

References

- Hwang, B. G. and Yang, S. B. (2018), Analysis of stormwater and runoff characteristics in Anseongcun basin using HEC-HMS, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 19, No. 4, pp. 17~24.
- Jeong, C. S. (2023), 2023 Flooding Status and Countermeasures, Water Journal, 2023. 09. 08., <https://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=70313>
- Kang, I. J., Choi, H. and Lee, B. G. (2001), The analysis of basin parameters using digital map, Korean Society Of Subveying Geodecy, Photogrammetry And Cartography, Vol. 19, No. 3, pp. 229~236.
- Kim, H. Y., Kim, J. B. and Bae, D. H. (2019), Estimation and evaluation on the return period of flash flood for small mountainous watersheds in the Han River basin, Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 52, No. 4, pp. 245~253.
- Kim, S. H., Park, M. J., Kang, S. M. and Kim, S. J. (2006), Modeling Rainfall-Runoff Simulation System of JinWie Watershed using GIS based HEC-HMS Model, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, Vol. 9, No. 4, pp. 119~129.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2023), Meteorological Data Opening Portal, <https://data.kma.go.kr>.
- Ministry of Environment (ME) (2019), Standard Guidelines for the Flood, pp. 38~42.
- Ministry of Environment (ME) (2020), Korea Annual Hydrological Report, pp. 355.
- Ministry of Environment (ME) (2022), Korea Annual Hydrological Report, pp. 284.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI) (2009), A Study on Flash Flood Warning System in Small Mountainous Catchments, pp. 1~135.
- Shi, Q. and Song, K. H. (2009), Floods analysis to decision of parameters in rainfall-runoff model, Journal of Korean Association for Crisis and Emergency Management, Vol. 1, pp. 140~148.
- Yoon, G. H., Park, M. K., Choi, B. M. and Kim, Y. J. (2009), Study on Parameter Optimization in Daegok · Sayun Dam Basins Using HEC-HMS, Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, pp. 1103~1107.
- Yoon, J. S., Hwang, S. H., Lee, D. R. and Kang, N. R. (2020), Operation techniques and hydrological applications of X-band dual-polarization radar for monitoring flash flood in metropolitan area, Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 20, No. 2, pp. 25~33.