

ORIGINAL ARTICLE

한천유역의 홍수량 산정을 위한 HEC-HMS 모형의 민감도 분석

정우열 · 양성기* · 김동수¹⁾

제주대학교 토목공학과, ¹⁾단국대학교 토목환경공학과

Flood Discharge to Decision of Parameters in Han Stream Watershed

Woo-Yul Jung, Sung-Kee Yang*, Dong-Su Kim

Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

¹⁾Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University, Yongin 448-701, Korea

Abstract

The streams in Jeju Island have very distinctive hydrological and geological properties and there are a lot of limits in applying the general flood estimation method. This study presented parameters dominant in the Hancheon stream of Jeju Island by analyzing the sensitivity of parameters of HEC-HMS model regarding rainfall events in the target basin, and extracted the optimal parameter (Time of Concentration of Clark Unit Hydrograph: Kraven II method, Storage Coefficient: Sabol method) by analyzing and comparing it with the flood runoff data observed in the site and Jeju Island's observation data.

Key words : HEC-HMS, Jeju island, Time of concentration, Storage coefficient

1. 서론

해양성기후와 한라산에 의한 지형성 강우의 영향을 받는 제주도는 연 평균 2,061 mm의 강우량을 나타내는 국내 최다우 지역이지만 투수성이 좋은 다공질 화산암류 및 화산회토로 이루어져 있어 총 강우량의 48.5%에 이르는 강우량이 지하로 침투하여 평상시 대부분의 하천들은 건천을 이루고 있다(Jung과 Yang, 2009). 제주도 하천은 한라산 정상부를 중심으로 남·북사면으로 발달해 있어 경사가 매우 급하고, 각각의 하천이 독립적으로 해안으로 유출되어 유로 연장이 짧은 특성을 보인다(Yang, 2007).

제주도는 투수성이 높은 지질학적 특성과 급한 하

상 경사, 짧은 유하거리 등의 수문학적 특성으로 인하여 특정 강우이상에서만 하천의 유출이 발생한 후 1~2일 정도만 지속되어 하천 유출 관측이 매우 난해한 지역이다. 이러한 특성으로 인해 제주도민의 생활 및 산업 활동에 필요한 용수는 전적으로 지하수에 의존하고 있으며 그동안 제주도의 수자원 관련 연구는 대부분 지하수를 중심으로만 진행되어 왔다(Yang, 2007).

제주도는 연 강우량의 약 60%가 홍수기인 여름철(6월~9월)의 장마 및 태풍기간에 집중되는 특성을 보이며, 지역별 고도별 강우량의 편차가 매우 큰 지역이다. 최근 들어 제주도내 연강수량은 증가하고 있는 추세를 보이고 있으며, 일강수량 극값이 200 mm 이상

Received 14 November, 2013; Revised 28 February, 2013;

Accepted 3 April, 2014

*Corresponding author : Sung-Kee Yang, Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

Phone: +82-64-754-3451

E-mail: skyang@jeju.ac.kr

© 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.

인 해가 빈번히 발생하고 있다(Jeju special self-governing province, 2013).

유역의 홍수 피해를 경감시키고 하천의 이용도를 향상시키기 위하여 수립하는 하천정비기본계획(Jeju special self-governing province, 2005)에서의 설계홍수량은 국내 내륙지역에서 적용하는 방법을 그대로 적용하고 있으며, 과업을 수행하는 용역회사별로 홍수량을 산정하는 방법이 상이하여 일관성 있는 하천정비기본계획을 수립하지 못하고 있는 실정이다. 향후 기후변화로 강우량 및 강우강도의 증가로 인해 집중호우가 지속적으로 증가하고(Park과 Moon, 2010) 도시화 면적 확대에 의한 불투수 면적 증가로 홍수유출량의 변화가 발생할 것으로 예측되고 있다(Jung, 2013). 기후변화에 대비하여 제주도의 침수·재해 예방을 위해 하천의 신뢰성 있는 홍수유출량을 해당 유역의 강우-유출 해석 과정을 통하여 산정하는 것이 매우 중요하다.

이러한 홍수유출량의 산정은 정밀한 유량관측자료에 의하여 개발된 수위-유량 관계식으로 산정하는 방법과 강우-유출 모형에 의하여 산정하는 방법으로 구분된다. 통상적으로 강우-유출 모형에 의해 산정되는 홍수유출량은 적용 모형이나 사용자에 따라 다르게 산정되는 경우가 종종 있다. 최근에는 강우-유출 모형으로 미국공병단 수문연구소에서 개발한 HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling) 모형을 사용하여 대상유역의 강우-유출 현상을 수리·수문학적 과정을 통하여 모의함으로써 유출분석을 수행하는 경우가 대부분이다(Kim 등, 2006).

Moon 등(2005)은 제주도 주요 4개 하천(외도천, 강정천, 연외천, 용포천)을 대상으로 수위관측 및 기저유출 성분에 대한 유속측정 자료를 기초로 기저유출특성과 기저유출량을 산정하였다. Park과 Moon (2010)은 제주특별자치도 수자원본부에서 운영하고 있는 OTT Hydrometric사 Kalesto 레이더식 수위-유속계를 이용하여 한천, 화북천, 효례천을 중심으로 유출특성을 분석하였다.

본 연구에서는 강우-유출 모형을 이용하여 홍수량을 산정하기 위하여 HEC-HMS 모형의 매개변수(도달시간 T_c , 저류상수 K)에 대하여 민감도분석을 수행하고 현재 국내에서 사용되고 있는 도달시간 및 저류

상수 경험식들의 조합을 구성하여 홍수유출량을 산정하고자 한다. 또한 현장에서 관측한 홍수유량자료 및 제주도 관측자료와 매개변수 조합에 따른 홍수유량을 비교·분석하여 제주도 하천에 최적 조합의 매개변수 경험식을 도출하고자 한다.

2. 자료 및 방법

2.1. 연구방법

제주도 건천유역의 홍수유출량을 산정하기 위하여 제주시 도심부에 위치한 한천 유역을 연구대상유역으로 선정하고, 유량자료가 확보된 3개의 호우사상에 대하여 모델링을 적용하였다. 한천 유역 하류부에 위치한 한천 제2동산교 지점에서 유출이 발생한 2개 호우사상(2011년 8월 태풍 “무이파”, 2011년 11월 집중호우)에 대하여 현장 유량관측을 수행하였으며, 2012년 4월 집중호우 사상은 제주시의 고정식 수위-유속 관측자료를 사용하였다.

기상청 관할 AWS 5개소(제주, 아라, 어리목, 진달래밭, 윗세오름) 강우자료를 수집하고 등우선법을 이용하여 시간별 유역평균 강우량을 산정하였다. 침투량은 NRCS Curve Number 방법을 이용하였으며, Clark 단위도법을 적용하여 홍수유출량을 산정하였다. 제주도 하천은 평상시 하천에 물이 흐르지 않은 간헐하천이며 우기라할지라도 기저유출을 구성하는 지하수유출성분은 물론 그 크기가 매우 미약하여 하천 유출이 대부분 지표면 유출을 차지하고 있으므로 기저유출을 고려하지 않았다(Kim 등, 2013). 또한 유역의 초기손실, 하도추적 매개변수, 선행강우에 따른 유출곡선지수는 기존 연구(Jung, 2013) 결과를 이용하였다.

수문곡선의 대표적인 매개변수 중에서 민감하게 반응할 것으로 판단되는 Clark 단위도법의 매개변수에 대하여 민감도분석을 수행하였으며, 도달시간과 저류상수를 산정하는 경험식(Table 1)들을 이용하여 9개의 매개변수를 조합하였다. 조합된 매개변수를 적용하여 산정된 홍수유출량과 현장 관측자료를 비교·분석하여 제주도 건천유역의 최적 매개변수 조합을 도출하였다.

Table 1. Formula for initial value assessment of parameters

Time of concentration(Tc)		Storage coefficient(K)	
Presenter	Formula	Presenter	Formula
Kirpich	$T_C = 0.0663 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$	Clark	$K = c \frac{L}{\sqrt{S}}$
Rziha	$T_C = 0.0139 \frac{L}{S^{0.6}}$	Linsley	$K = \frac{bL\sqrt{A}}{\sqrt{S}}$
Kraven I	$T_C = 0.0074 \frac{L}{S^{0.515}}$	Russel	$K = \alpha T_C$
Kraven II	$T_C = \frac{L}{3.6V}$	Sabol	$K = \frac{T_C}{1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A}}$

T_C : Time of concentration(hr), L : Length(km), S : Slope(m/m)

K : Storage coefficient(hr), A : Area(km²), c : 0.5~1.4, b : 0.01~0.03, α : 1.1~12.0

2.2. 연구대상 유역

연구대상유역은 제주도 제주시 도심부에 위치한 한천 유역(Fig. 1)으로 설정하였으며, 유량관측지점은 유역의 하류부에 위치한 한천 제2동산교로 선정하였다. 제2동산교 지점은 한천 1지류인 토천이 합류되어 유역의 최종 출구점으로 향하는 지점에 위치하고 있어 유역전체 유량을 확보하기 좋은 위치이며, 관측지점의 하상은 현무암질 암반으로 구성되고 자갈이 다

소 분포되어 있다.

유역특성인자는 1/5000 수치지형도와 Arcview GIS 프로그램을 이용하여 계산하였으며(Table 2), 한천 유역의 면적은 한천 제2동산교 지점을 출구점으로 선정하여 33.68 km², 유로연장 19.01 km, 유역평균폭 1.77, 형상계수 0.09로 각각 분석되었다.

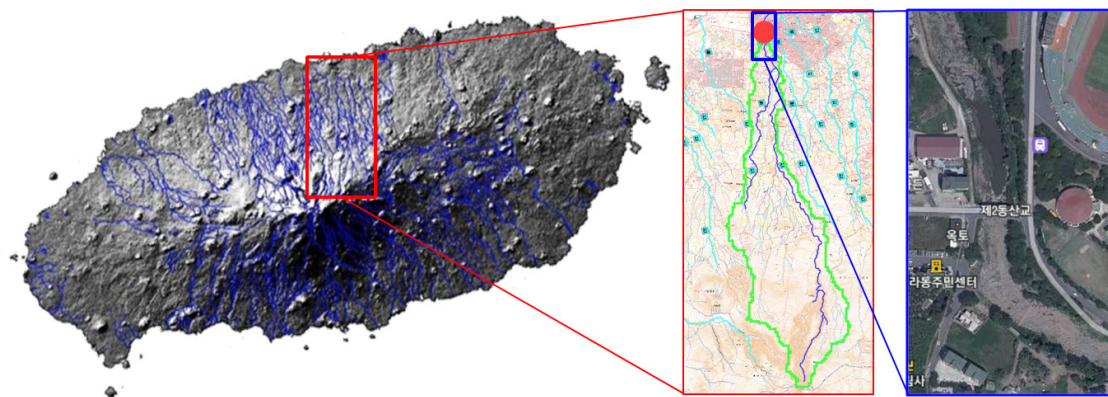


Fig. 1. Watershed for the study.

Table 2. Watershed characteristic factor

Station	Watershed Area (km ²)	Stream length (km)	Watershed mean width (km)	Watershed mean elevation (m)	Shape factor (A/L^2)
Han stream	33.68	19.01	1.77	701	0.09

2.3. 적용 호우사상 및 유량관측 결과

2.2.1. 적용 호우사상

홍수기 유량은 홍수 해석이나 방재 등에 매우 중요한 자료이고 다양한 강우-유출모델의 검보정에 활발하게 활용되어 자료의 확보 및 관측 정확도의 향상이 평수기 유량자료보다 더 중요하지만 홍수기의 기상악화 및 빠른 유속으로 현장 관측은 매우 어렵다 (Yang 등, 2012). 또한 제주도의 경우 평상시 건천 상태이며 집중 호우 시에 짧은 기간(1~2일) 동안만 유출이 발생하고 한천의 연평균 유출횟수는 12.5회 (Park과 Moon, 2010)이므로 유량관측이 매우 힘든 지역이다.

본 연구에서는 한천 제2동산교 지점에서 2개 호우 사상에 대하여 현장 유량관측을 수행하였으며, 제주 시의 고정식 수위-유속 관측자료를 확보하여 최적 매개변수를 도출하였다. 제주도 간헐천 유역에서는 선형강우가 존재하지 않거나 매우 작을 경우 특정 강우 이하에서는 유출이 발생하지 않으며, AMC-III 조건 이상의 선형강우가 발생한 경우에는 작은 강우에도 유출이 발생된다는 Jung과 Yang(2013)의 연구결과를 이용하여 장기간 무강우 상태에서 유출이 발생하는 사상과 AMC-III 조건 이상의 선형강우가 발생한

후 유출이 발생하는 사상으로 구분하여 적용하였다 (Table 3).

2.2.2. 유량관측 결과

2011년 9호 태풍 “무이파”는 8월 7일 제주도에 상륙하였으며 480 mm의 유역평균 강우량이 발생하였다. 태풍 “무이파”로 인하여 유출 발생 시에는 이동식 전자파표면유속계과 LSPIV를 활용하여 홍수 유량을 시간 단위로 관측하여 유출수문곡선을 구축하였다 (Fig. 2(a)). 유출은 8월 7일 오전 7시 경부터 시작되었으며 유출지속시간은 26시간, 첨두 유량까지 도달시간은 9시간으로 분석되었다. Fig. 2(a)의 유출수문곡선 상승기의 그래프가 하강하는 이유는 한천 상류부에 위치한 재난방지용 저류지가 가동되고 11시의 유역평균 강우량이 하강하고 다시 상승하였기 때문이다. 한천 제2저류지의 유입량을 산정한 결과 제2저류지에 약 75만톤이 유입되었으며, 수문곡선의 첨두 유량은 316.37 m³/sec으로 오후 4시경에 발생하였다.

2011년 11월 18일에는 제주 산간지역(진달래밭: 419.5 mm, 윗세오름 346.5 mm)에 많은 강우로 인하여 유출이 발생하였으며, 5일 선형강우는 무강우 상태였다. 호우기간동안 205.6 mm의 유역 평균 강우량이 발생하였으며, 유출은 25시간 진행되었으며 첨두유량

Table 3. Applied rainfall event

Station	classification	Rainfall event	5-day precedent rainfall (mm)
Han stream	rainfall-runoff events after no rainfall	heavy rainfall in November 2011	0
		heavy rainfall in April 2012	4.11
	rainfall-runoff events after antecedent rainfall	Typhoon "Muifa" in 2011	111.1

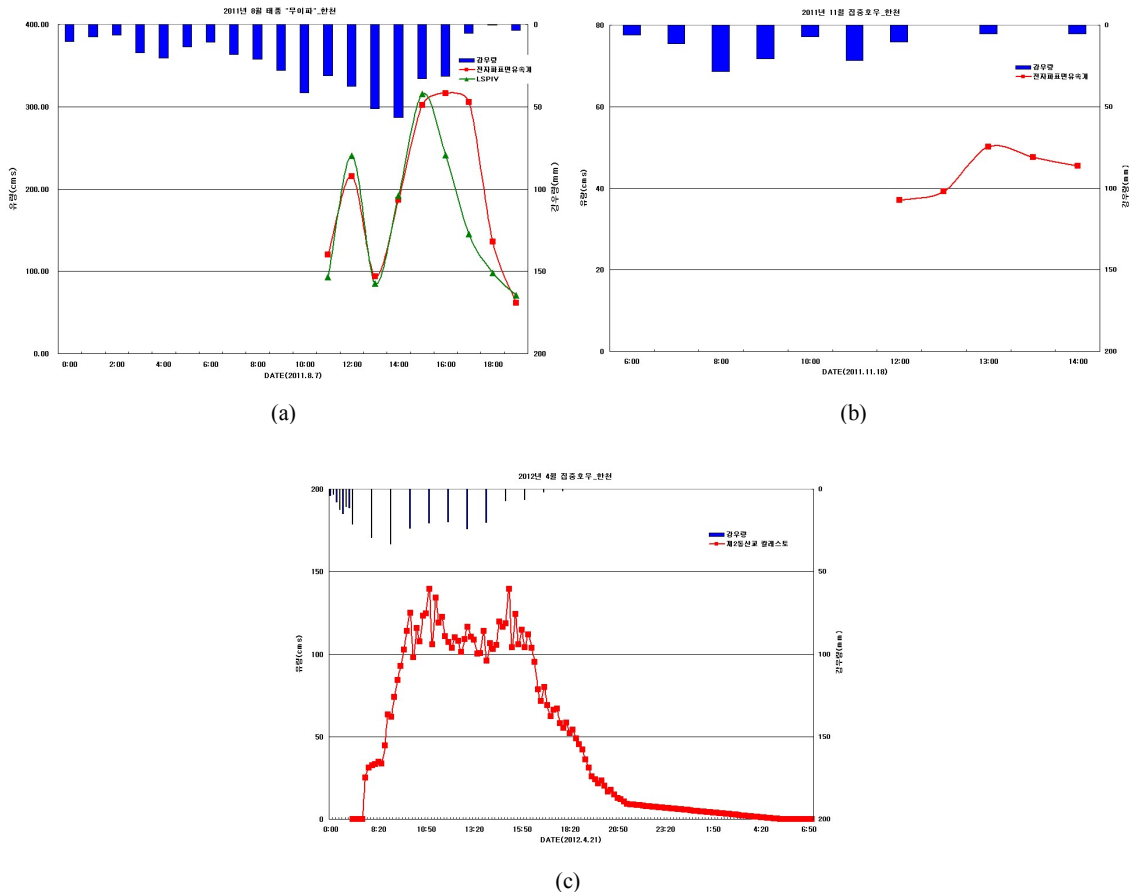


Fig. 2. Hydrograph: (a) typhoon "Muifa"; (b) heavy rainfall in November 2011; (c) heavy rainfall in April 2012.

(50.11 m³/s)까지 도달시간은 4시간으로 분석되었다 (Fig. 2(b)).

2012년 4월 21일 발생한 사상에 대하여 제주시의 관측자료를 이용하여 분석한 결과 5일 선행강우는 무강우 상태였으며 유출지속시간은 22시간, 첨두유량까지 도달시간은 4시간이었으나, 강우의 영향으로 2차 첨두유량(139.5 5 m³/s)이 발생하였다(Fig. 2(c)). 오후 2시경에 강우가 종료되면서 유출수문곡선은 하강하였으며 4월 22일 오전 5시에 유출은 종료되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 매개변수 민감도 분석

Clark 단위도법의 매개변수(도달시간 Tc, 저류상수

K)에 대하여 민감도 분석을 수행하였다. 다른 매개변수 값을 고정한 후 도달시간 및 저류상수에 대하여 1~10(hr) 범위 내에서 변화시키면서 첨두유량, 유출총량, 수문곡선, 유출발생 시간 등의 값을 산정하여 이 변수에 따른 영향을 검토하였다.

도달시간의 민감도 분석결과 1시간씩 증가할 때 마다 첨두유량이 2.4 ~ 3.07% 감소하는 것으로 나타났으며, 첨두유량 발생시간 및 기저시간이 30 ~ 40분씩 증가하는 것으로 분석되었다(Fig. 3(a)). 저류상수의 민감도 분석결과 1시간씩 증가할 때 마다 첨두유량은 12.29 ~ 2.93% 감소하였으며, 첨두유량 발생시간 10 ~ 20분씩 증가, 기저시간 230 ~ 270분씩 증가하는 것으로 분석되었다(Fig. 3(b)).

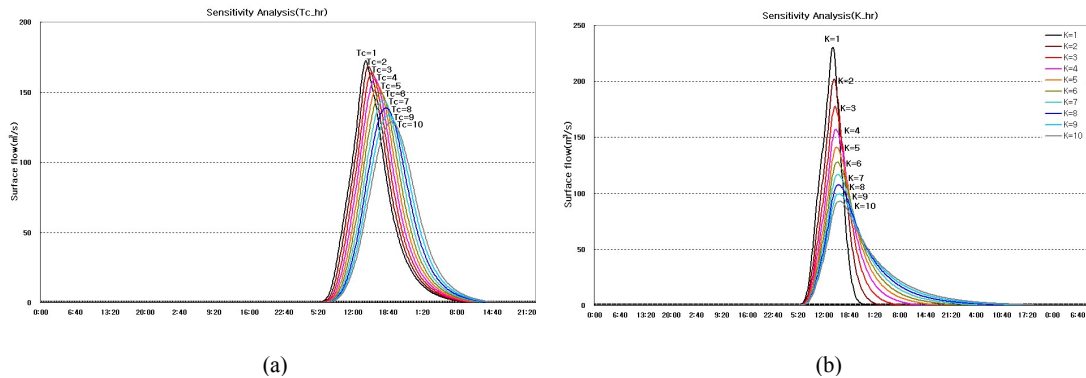


Fig. 3. Result of sensitivity analysis: (a) time of concentration; (b) storage coefficient.

3.2. 매개변수 조합에 따른 홍수유출량 산정

3.2.1. 매개변수 조합

Clark 단위도법의 매개변수인 도달시간과 저류상수에 대하여 Table 1에서 제시한 경험식을 이용하여 한천유역의 도달시간과 저류상수를 산정하였다. Kraven I 방법은 평균유속이 과다하게 산정되고, Linsley 방법은 저류시간이 과소하게 산정되어 제주도에 적합하지 않은 것으로 분석되어 제외하였다. 매개변수 조합은 Table 4와 같다.

도달시간을 산정하는 경험식 중에서 유속이 과다하게 산정되는 Kraven I 을 제외하고 Kirpich, Rziha, Kraven II 방법을 채택하였으며, 또한 저류상수를 산정하는 경험식 중에서는 Clark, Russel, Sabol 방법을 채택하여 호우사상별로 총 9개의 매개변수 조합을 적

용하였다.

매개변수 조합별로 첨두유량(Peak flow) 오차, 유출수문곡선 비교, 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error), NSE(Nash-Sutcliffe efficiency) 등을 비교하여 제주도내 최적의 조합을 선정하였다.

3.2.2. 최적 매개변수 조합 결정

9개의 매개변수 조합별로 계산된 도달시간과 저류상수 초기값을 모델에 적용하였다. Jung(2013)의 연구결과를 이용하여 장기간 무강우 상태에서 유출이 발생하는 사상은 CNII 를 적용하였으며, AMC-III 조건 이상의 선행강우가 발생한 후 유출이 발생하는 사상은 CN55를 적용하였다. 호우사상은 Table 3에서 제시한 2011년 11월 집중호우, 2012년 4월 집중호우, 2011년 태풍 “무이파”를 적용하였으며 그 결과는

Table 4. Clark decision of unit hydrograph method parameters

Time of concentration(Tc)	Storage coefficient(K)	Code
Kirpich	Clark	A1
	Russel	A2
	Sabol	A3
Rziha	Clark	B1
	Russel	B2
	Sabol	B3
Kraven II	Clark	C1
	Russel	C2
	Sabol	C3

Table 5. Optimum parameter combination

Rainfall event	Code	Peak flow		Error (%)	RMSE (m ³ /s)
		Simulated Q (m ³ /s)	Observed Q (m ³ /s)		
heavy rainfall in November 2011	A1	59.00	50.11	15.07	13.61
	A2	62.09	50.11	19.29	16.00
	A3	60.00	50.11	16.48	14.39
	B1	59.39	50.11	15.62	13.81
	B2	69.80	50.11	28.21	19.84
	B3	67.94	50.11	26.24	18.89
	C1	57.84	50.11	13.36	12.24
	C2	52.53	50.11	4.60	7.48
	C3	50.16	50.11	0.10	5.54
heavy rainfall in April 2012	A1	144.42	139.55	3.37	15.62
	A2	146.49	139.55	4.74	15.77
	A3	143.41	139.55	2.69	15.63
	B1	144.88	139.55	3.68	15.47
	B2	146.99	139.55	5.06	15.84
	B3	143.86	139.55	3.00	15.38
	C1	143.66	139.55	2.86	16.13
	C2	145.71	139.55	4.23	16.04
	C3	142.68	139.55	2.19	14.78
Typhoon "Muifa" in 2011	A1	301.65	316.37	-4.88	-
	A2	326.56	316.37	3.12	-
	A3	317.42	316.37	0.33	-
	B1	305.55	316.37	-3.54	-
	B2	346.80	316.37	8.77	-
	B3	339.72	316.37	6.87	-
	C1	302.14	316.37	-4.71	-
	C2	309.01	316.37	-2.38	-
	C3	320.86	316.37	1.40	-

Table 5와 같다.

최적 매개변수 산정 결과 유속을 도입한 도달시간 산정방법인 Kraven II, 유역형상 및 도달시간을 고려한 저류상수 산정방법인 Sabol 방법이 가장 적합한 것으로 판정되었다(Table 5). 2011년 11월 집중호우 사상의 첨두유량 도달시간은 18일 13시 30분으로 관측값과 일치하였으며, 첨두유량 오차 0.10%, RMSE 5.54로 가장 적합한 조합으로 분석되었다. 2012년 4월 집중호우 사상 첨두유량 도달시간은 21일 14시 50

분으로 관측치와 20분 차이로 가장 일치하고, 첨두유량 오차 2.19%, RMSE 14.78, NSE 0.89로 가장 적합하였다. 2011년 8월 태풍 “무이파” 사상의 첨두유량 도달시간은 8일 15시로 관측치와 1시간 차이로 가장 일치하고, 첨두유량 오차 1.49%, NSE 0.78로 가장 적합한 조합으로 분석되었다(Fig. 4). 태풍 “무이파” 사상 발생 시 저류지 효과로 인하여 관측치와 모델결과와 RMSE 검토는 고려하지 않았다.

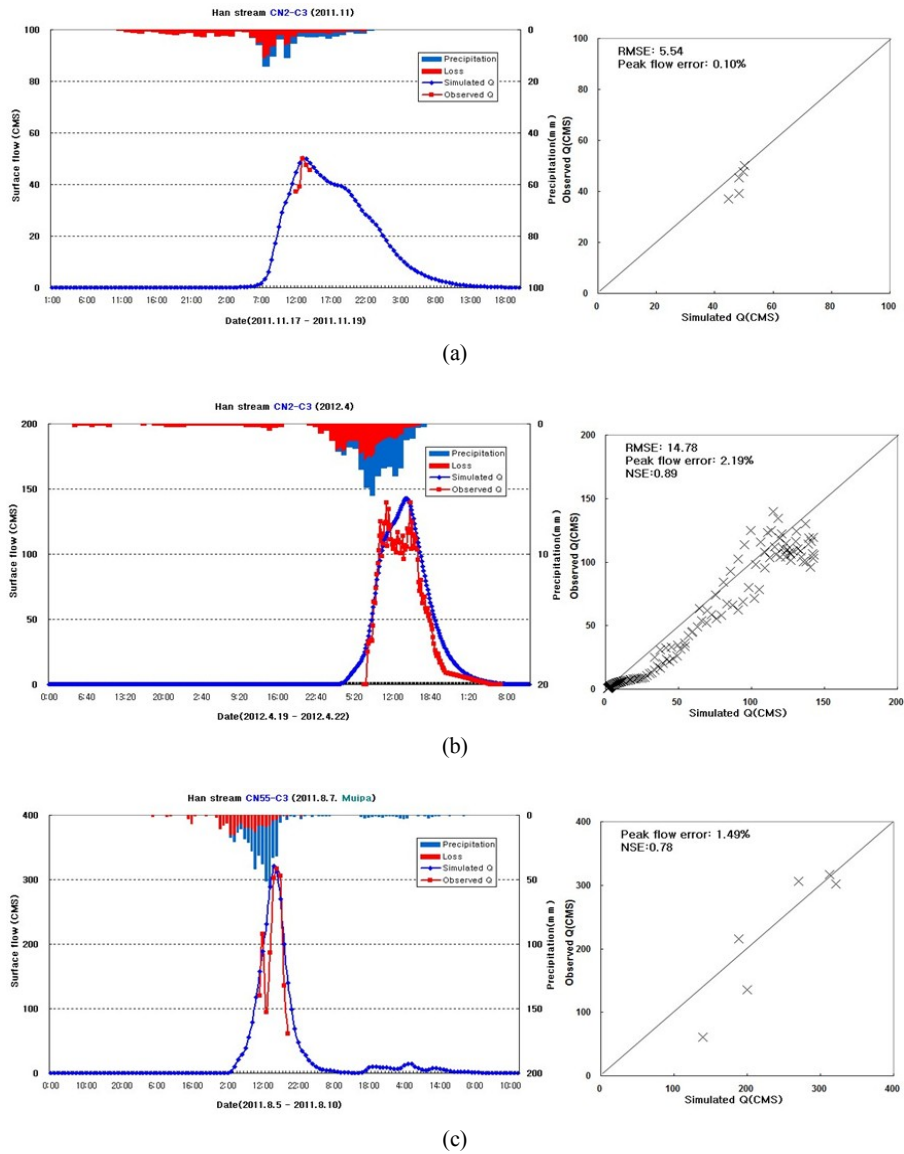


Fig. 4. Optimum parameter combination: (a) heavy rainfall in November 2011; (b) heavy rainfall in April 2012; (c) Typhoon "Muifa" in 2011.

도달시간 경험식 중에서 Kirpich 공식과 Rziha 공식은 농경지 소유역을 대상으로 유도된 공식으로 유로연장과 경사만을 매개변수로 도출하는 방법이다. 제주도 하천은 상류부 급경사 임야지역, 중·하류부 경사 도심·과수원지역 등으로 구성되어 있어 자연하천의 경사별 유속을 적용하는 Kraven II 공식이 합리

적인 값을 도출하는 것으로 나타났다. 유역의 저류상수는 유로연장과 경사를 매개변수로 도출하는 Clark 공식과 도달시간과 같은 개념으로 판단하는 Russel 공식은 제주도와 같이 유역의 형상이 직류형에 가깝고 경사가 급한 지역에는 적합하지 않으며 유역의 도달시간과 형상을 동시에 고려하여 산정하는 Sabol 방

법이 가장 적합한 것으로 분석되었다.

4. 결론

제주도 하천은 매우 특이한 수문·지질학적 특성을 보이고 있어 국내에서 적용되는 하천유출량 산정법을 그대로 적용하기에는 많은 한계가 있으나 제주도하천정비기본계획 등에서는 국내 산정법을 그대로 적용하여 있어 제주도 수문환경의 특수성을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 연구대상유역의 호우사상을 대상으로 HEC-HMS 모형의 매개변수에 대하여 민감도분석을 수행하여 제주도 하천에 지배적인 매개변수를 제시하였으며, 현장에서 관측한 홍수량자료 및 제주도 관측자료와 비교·분석하여 최적 조합 매개변수(Clark 단위도법 도달시간: Kraven II 방법, 저류상수: Sabol 방법)를 도출하였다. 향후 보다 정밀한 홍수량을 산정하기 위해서는 장기간 유량 관측자료의 구축, 강우 및 차단으로 발생하는 손실부분에 대한 정확한 관측 및 추정이 필수적이다. 제주도 하천 현장관측자료에 기반한 하천유출특성 해석(상승기, 하강기, 첨두유량), 수문지질학적인 특성을 반영한 유역추적, 도달시간, 저류상수 등 다양한 제주형 매개변수와 유도식 개발 등 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업 “제주형 물순환 해석 및 수자원 관리 기반 구축 연구(10지역기술혁신B02)”의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- Jung, W. Y., Yang, S. K., 2009, Simulation of runoff of rivers in Jeju island using SWAT model, Journal of the Environmental Science, 18(9), 1045-1055.
- Jung, W. Y., Yang, S. K., 2013, Characteristics of runoff on Urban Watershed in Jeju Island, Korea, Journal of the Environmental Science, 22(5), 555-562.
- Jung, W. Y., 2013, The Estimation of Parametric Runoff Characteristics and Flood Discharge based on Riverine In-situ Measurements in Jeju Island, doctoral thesis, Jeju national university, 74-100.
- Jeju Special Self-Governing Province, 2013, Water Resources Management Master plan, 23-30.
- Jeju Special Self-Governing Province, 2005, Basin plan for river maintenance(Establishing the change)_Han river.
- Kim, S. H., Park, M. J., Kang, S. M., 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, 9(4), 119-128.
- Kim, N. W., Chung, I. M., Na, H. N., 2013, A method simulating ephemeral stream runoff characteristics in Cheonmi-cheon watershed, Jeju Island, Journal of the Environmental Science, 22(5), 523-531.
- Moon, D. C., Yang, S. K., Koh, K. W., Park, W. B., 2005, Estimation of baseflow discharge through several streams in Jeju island, Korea, Journal of the Environmental Science, 14(4), 405-412.
- Park, W. B., Moon, D. C., 2010, Basic research of hydrologic and water quality characteristics for utilization of stream runoff, Jeju development institute, 2010-3. hydrologic and water quality characteristics
- Yang, S. K., 2007, River management and improvement measures of Jeju island, River & Culture, Korea River Association, 3(4), 104-115.
- Yang, S. K., Kim, D. S., Yu, K. K., Kang, M. S., Jung, W. Yeol., Lee, J. H., Kim, Y. S., You, H. J., Comparison of flood discharge and velocity measurements in a mountain stream using electromagnetic wave and surface image, Journal of the Environmental Science, 21(6), 739-747.