

ORIGINAL ARTICLE

한천유역의 수문학적 특성을 고려한 관측자료 기반 홍수량 산정

양성기* · 김민철 · 강보성 · 김용석 · 강명수
제주대학교 토목공학과

Estimation of Flood Discharge Based on Observation Data Considering the Hydrological Characteristics of the Han Stream Basin in Jeju Island

Sung-Kee Yang, Min-Chul Kim, Bo-Seong Kang, Yong-Seok Kim, Myung-Soo Kang
Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

Abstract

This study reviewed the applicability of the existing flood discharge calculation method on Jeju Island Han Stream and compared this method with observation results by improving the mediating variables for the Han Stream. The results were as follows. First, when the rain-discharge status of the Han Stream was analyzed using the flood discharge calculation method of the existing design (2012), the result was smaller than the observed flood discharge and the flood hydrograph differed. The result of the flood discharge calculation corrected for the curve number based on the terrain gradient showed an improvement of 1.47 - 6.47% from the existing flood discharge, and flood discharge was improved by 4.39 - 16.67% after applying the new reached time. In addition, the sub-basin was set separately to calculate the flood discharge, which yielded an improvement of 9.92 - 32.96% from the existing method. In particular, the steepness and rainfall-discharge characteristics of Han Stream were considered in the reaching time, and the sub-basin was separated to calculate the flood discharge, which resulted in an error rate of -8.77 to 8.71%, showing a large improvement of 7.31 - 28.79% from the existing method. The flood hydrograph also showed a similar tendency.

Key-Words : Flood discharge, Parameter correction (CN, Tc, Sub-basin)

1. 서론

제주도는 연평균 강수량이 전국의 약 1.5배인 2,061 mm에 달하는 우리나라 최다우지역이지만 양호한 투수성 지질특성으로 인해 대부분의 하천은 평상

시 건천 상태를 유지하고 있다. 이러한 특성은 강우에 의해 점진적으로 하천유량이 증가하는 내륙지역과는 달리 하천 표층이 포화된 후 갑작스럽게 하천유출이 발생한다(Jung and Yang, 2009). 제주지역은 지구온난화에 의한 기후변화의 영향으로 태풍 및 집중호우의

Received 14 October 2017; Revised 13 December, 2017;
Accepted 15 December, 2017

*Corresponding author: Sung-Kee Yang, Professor, Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea
Phone : +82-64-754-3451
E-mail : skyang@jejunu.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.

Table 1. Characteristics of Han stream basin

Stream	Area (km ²)	Length (km)	Shape of factor	Average slope (%)
Han stream	37.39	20.18	0.09	22.88

Table 2. Altitude and slope characteristics of Han stream

Altitude (m)	Area (km ²)	Ratio (%)	Slope (°)	Area (km ²)	Ratio (%)
Blow 200	5.37	14.36	Blow 5	9.22	24.66
200 ~ 600	13.39	35.81	5 ~ 10	10.91	29.18
600 ~ 1,000	8.51	22.76	10 ~ 30	14.80	39.57
Over 1,000	10.12	27.07	Over 30	2.46	6.58
Total	37.39	100.00	Total	37.39	100.00

발생빈도가 증가하고 규모가 대형화되고 있어 자연재해로 인한 피해가 사회적 문제로 대두되고 있다(Kang et al., 2014).

제주도는 2007년 발생한 태풍 ‘나리’ 이후 유역종합치수계획 및 하천기본계획에서 홍수설계빈도를 50년에서 100년으로 상향조정하여 설계홍수량을 산정하고 있으나 기후변화로 인한 강우빈도의 증가로 수공구조물 안전성이 문제되고 있다(Kang et al., 2015).

제주도의 하천은 내륙지역과 매우 상이한 수문지질학적 특성을 지니고 있으나 유역의 홍수 피해를 경감시키기 위하여 수립하는 하천기본계획에서의 설계홍수량 산정은 내륙지역에서 적용하는 방법을 그대로 적용하고 있다. 수공구조물 등 치수구조물의 규모 결정 시 설계홍수량은 매우 중요하지만 설계홍수량 산정요령(국토부, 2012)을 제주도 하천에 적용시킬 경우 많은 오차가 발생할 수 있다. 제주도 하천에 적합한 설계홍수량을 산정하기 위해서는 제주도 수문지질학적 특수성을 고려해야 하며 실제 하천 현장에서 관측한 유량자료와 비교·검정을 실시하여 최적 매개변수를 산정해야만 한다.

Kim and Lee(2006)는 우리나라의 설계홍수량 산정기법에 대한 일반적인 관행과 문제점을 분석하여 체계적이고 합리적인 가이드라인이 필요하다고 제시하였으며, An and Jeong(2014)는 국내 약 50여개 지점의 세밀한 강우-유출자료의 검증 및 최적 매개변수

검정을 실시한다면 국내유역의 특성이 현실적으로 반영된 홍수량 산정 방안이 마련될 것이라고 하였다.

Kanak et al.(2015)은 제주 한천유역을 대상으로 도달시간에 대한 연구를 진행하였으며 Clark 단위도법을 활용한 결과 실제 관측자료와 많은 오차가 발생하였다. Choi et al.(2015)은 상대적으로 유역면적이 작은 지역에서는 강우-유출 해석 후 연 최대 침투홍수량 빈도해석방법이 좋은 결과를 나타내며 유역의 형상, 경사 등 홍수량 산정에 영향을 주는 인자들에 대하여 추가연구로 보다 합리적인 홍수량 산정방법을 제안할 수 있다고 하였다.

본 연구에서는 하천현장의 관측자료를 기반으로 홍수량을 산정하기 위해 제주도 한천유역에서 2012년부터 2016년까지 표면영상유속 관측기법을 적용하여 유출량을 관측하였으며 14개 사상에 대한 자료를 획득하였다. 표면영상유속기법을 활용한 제주도 하천의 현장관측은 많은 연구 및 논문을 통하여 검증되었다(Kim, 2013; Kim et al., 2013). 실무에서 활용되고 있는 설계홍수량 산정방법으로 한천유역의 호우사상별 홍수량을 산정한 후 실제 유출수문곡선과 비교·검토하여 홍수량 산정요령의 적용성을 분석하였다. 또한 한천유역 특성에 따른 매개변수들을 수정하고 각각 산정된 결과를 실제 관측결과와 비교·분석하여 제주지역에 적합한 홍수량 산정 방법의 개선방안을 도출하였다. 14개 사상에 대하여 검증을 실시하였으며

그 중 강우-유출사상이 가장 크게 발생된 3개 사상(볼라벤, 산바(2012), 차바(2016))의 결과를 제시하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상지역

제주도는 대부분의 하천이 남북사면에 급경사지로 형성되어 있고 도심을 가로지르는 하천이 많아 홍수 유출 시 천변에서 큰 피해가 발생하고 있다. 특히 하천 하류부인 해안지역에 도심이 위치하고 인구가 밀집되어 더욱 큰 피해가 있다. 본 연구에서는 도심을 가로지르는 하천 중 과거 하천범람에 의해 가장 큰 피해가 발생했던 제주도 한천유역을 연구대상 유역으로 선정하였다(Fig. 1).

한천의 유역특성을 파악하기 위해서 제주도 수치지형도(1/5,000)를 이용하여 유역면적 및 연장, 형상계수 등을 GIS로 분석하였다. 한천유역은 한라산 북쪽 정상부에서 발원하여 해안으로 유하하는 하천으로 유역면적은 37.39 km², 유로연장은 20.18 km이다. 특히, 하천유역의 폭은 1.75 km로 연장에 비해 매우 작은 특성을 보이고 있으며 형상계수는 0.09로 국내 평균인 0.2 보다 매우 작게 나타났다(Table 1).

한천유역의 표고를 분석한 결과 표고 200 m이하의 지역은 유역전체의 14.36%(5.37 km²), 200 ~ 600 m 지역은 35.81%(13.39 km²), 600 ~ 1,000 m 지역은 22.76%(8.51 km²), 1,000m이상 지역은 27.07%(10.12 km²)로 분

석되었다. 또한 한천유역의 경사 분포는 5° 이하의 평탄 및 완경사지가 전체면적의 24.66%(9.22 km²)였으며, 5 ~ 10° 경사지역은 29.18%(10.91 km²), 10 ~ 30° 경사지역은 39.57%(14.80 km²), 30° 이상 경사지역은 6.58%(2.46 km²)로 분석되었다(Table 2).

2.2. 적용 호우사상

홍수기의 하천유량 관측 자료는 홍수량 분석 시 강우-유출모델의 검·보정에 활용되기 때문에 매우 중요하나 홍수유출 발생 시 기상악화 및 빠른 유속 등 악조건으로 인하여 실제 현장관측을 통한 자료 확보는 매우 어렵다(Yang et al., 2012). 특히 제주도 하천은 집중호우 발생 시 짧은 기간(1~2일) 동안 돌발유출이 발생하고 연평균 유출횟수는 12.5회로 매우 적기 때문에 유량관측이 매우 힘든 지역이다(Park and Moon, 2010).

한천유역에서는 평균적으로 유효강수량 66 mm 이상, 유출지속시간 14.1시간 이상 지속될 경우 하천유출이 발생한다(Seo et al., 2014). 2012년부터 2016년까지 현장관측을 통해 확인한 유역의 유출발생 빈도는 2012년 7회, 2013년 1회, 2014년 4회, 2015년 1회, 2016년 1회로 총 14회였으며 풍수기인 7월~9월 경 많이 발생되었다. 14건의 유출사상 중 첨두유출량이 100 cms 이하인 사상은 4건, 100 ~ 400 cms 사상은 7건, 400 cms 이상은 3건으로 분석되었다(Table 3). 그 중 본 연구에서 홍수량 검증자료로 활용한 사상은

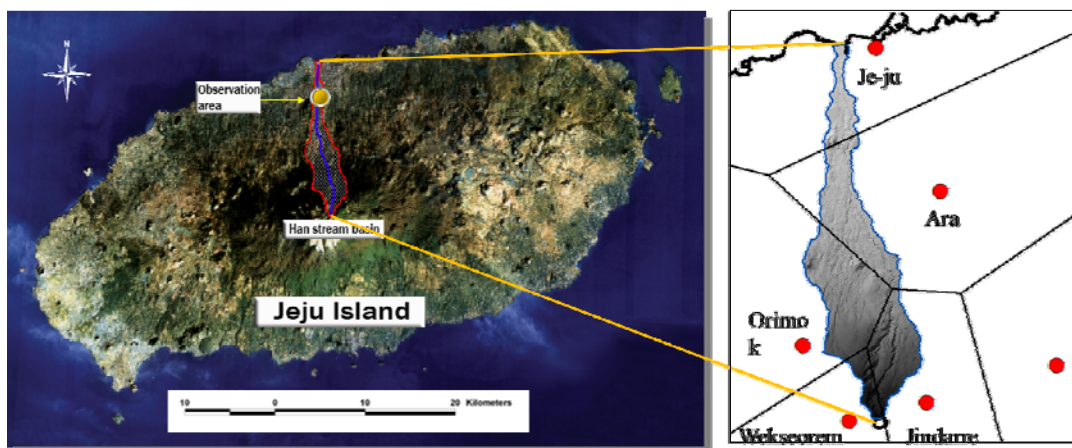


Fig. 1. Research basin.

Table 3. Peak flow by heavy rainfall history observed in Han stream for the last 5 years

NO.	Time of occurrence	Rainfall event	Peak flow (cms)
1	2012.04.21	Severe rainfall	162.36
2	2012.04.25	Severe rainfall	54.42
3	2012.07.18	Typhoon 'Khanun'	167.36
4	2012.08.23	Severe rainfall	128.25
5	2012.08.28	Typhoon 'Bolaven'	431.82
6	2012.08.30	Typhoon 'Tembin'	139.70
7	2012.09.17	Typhoon 'Sanba'	544.69
8	2013.05.27	Severe rainfall	106.74
9	2014.07.06	Severe rainfall	58.20
10	2014.07.09	Severe rainfall	45.77
11	2014.08.02	Typhoon 'Nakri'	331.55
12	2014.09.24	Typhoon 'Fungwong'	32.84
13	2015.07.11	Typhoon 'Chanhom'	289.63
14	2016.10.05	Typhoon 'Chaba'	846.33

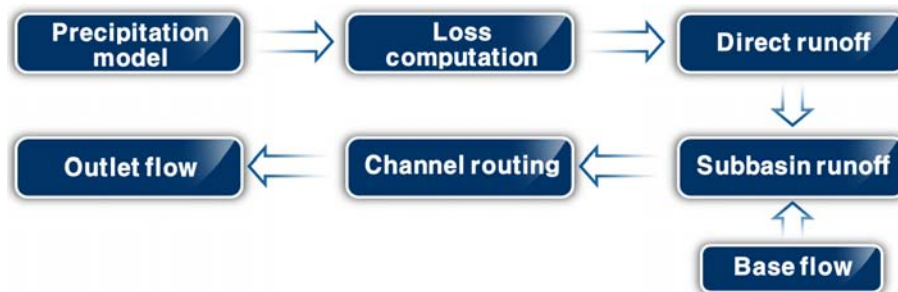
첨두유출량이 400 cms 이상으로 가장 큰 홍수유출이 발생했던 2012년 태풍 '볼라벤', '산바', 2016년 태풍 '차바' 사상에 대한 분석결과를 제시하였다.

2.3. 홍수량 산정방법

유역별 홍수량 산정을 위하여 일반적으로 활용되는 설계홍수량 산정요령(국토부, 2012)을 참고하였으며 HEC-HMS 모형을 이용하여 실제 강우사상에 따른 홍수량 검증을 수행하였다. HEC-HMS는 유역 내 홍수유출 해석을 위해 개발된 모형으로 강우로 인한 유역의 지표면 유출을 해석하는 단일사상(single event) 유출모형이다(Fig. 2). 홍수량 검증 및 본 논문에서 제시한 사상들의 강우자료는 AWS 및 기상관측

지점(제주, 아라, 어리목, 진달래밭, 윗세오름)의 시강우 자료를 이용하였다(Fig. 1).

설계홍수량 산정요령(국토부, 2012)에서 유역면적이 250 km² 이하인 경우 1개의 단일유역으로 판단하는 기준에 따라 연구대상 유역인 한천을 단일유역으로 적용하여 홍수량을 산정하였다. 홍수량 산정을 위한 매개변수 중 강우 손실은 SCS 유출곡선지수를 적용하였으며 유효우량은 지역성을 띄지 않고 객관적 방법인 Clark 단위도법을 적용하였다. Clark 방법은 순간단위도의 개념을 이용하여 유역당 하나의 단위도를 유도하며 도달시간과 저류상수가 적용된다. 도달시간과 저류상수는 설계홍수량 산정요령에서 제시한 바와

**Fig. 2.** Flow chart of rainfall-runoff simulation process in HEC-HMS.

같이 경험공식 중 각각 연속형 Kraven 공식과 Sabol 공식(Sabol, 1988)을 채택하여 산정하였다.

2.4. 유역특성에 따른 매개변수 보정

2.4.1. 지형 및 경사를 통한 CN보정

홍수량 산정을 위한 유효우량 산정 시 미국에서 개발된 SCS 방법을 채택하여 국내 실정에 적합하도록 개선한 방법을 적용하고 있다.

설계홍수량 산정요령(국토부, 2012)에서 토지이용 형태 및 토양군을 국내 토지이용분류 기준에 맞춰 유출곡선지수를 제시하고 있으나 경사도에 따른 적용성 검토는 이뤄지지 않았다. 유효우량 산정을 위한 SCS 방법은 미국 중서부 지역(경사도 5% 미만)을 기준으로 개발된 방법으로 연구대상 유역인 한천유역(평균 경사가 22%, 산간지역은 40% 이상의 급경사)에 적용 시 상당한 오차가 발생하였다. 이에 본 연구에서는 기존 SCS의 유효우량 산정방법에 지형경사를 고려할 수 있는 CN 보정식을 적용하여 유효우량을 산정하였다.

지형경사를 고려한 CN 보정식에 대한 많은 연구가 이루어졌으며 대표 경험식으로 Sharpley and Williams (1990), Huang et al.(2006)에 의한 식이 있다. Huang et al.(2006)에 의한 보정식은 Sharpley and Williams (1990) 식에 비해 경사에 따른 CN 값의 차이가 크지 않고 CN II와 CN III를 이용한 보정이 가능하여 국내 및 도내 연구사례에서 활용도가 높은 Sharpley-

Williams(1990) 방법을 적용하였다.

$$CN_{II\,slp} = \frac{(CN_{III} - CN_{II})}{3} \cdot [1 - 2 \cdot \exp(-13.86 \cdot slp) + CN_{II}] \quad (1)$$

$$CN_{II} = \frac{25,400}{S+254}, \quad CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10+0.13CN_{II}} \quad (2)$$

여기서, $CN_{II\,slp}$ 는 경사를 고려한 CN_{II} 이며, slp 는 경사, S 는 최대잠재보유수량, CN_{II} , CN_{III} 는 선행토양함수조건을 띤 유출곡선을 의미한다.

2.4.2. 관측자료를 기반으로 한 도달시간 산정

도달시간 산정 시 경험공식 중 가장 적합한 연속형 Kraven 공식을 활용할 경우 최대 유속은 4.5 m/s 이내로 제한되어 있다. 반면, 제주도 하천은 홍수유출 발생 시 최대 유속이 7 m/s를 상회하고 있어 경험공식의 적용이 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

Kim and Ahn(2016)은 제주도 한천을 연구대상유역으로 선정하고 8년(2008~2015) 동안의 강우 및 유출 자료를 활용하여 한천 특성에 맞는 도달시간 산정 연구를 수행하였다. 관측 수문사상에 대하여 홍수수문곡선을 유도한 후 산정된 도달시간을 유로연장, 경사 등의 지형인자와 회귀분석을 실시하여 도달시간 (T_c)을 산정하였다.

$$T_c = 0.323 * L^{1.538} * S^{-0.299} \quad (3)$$

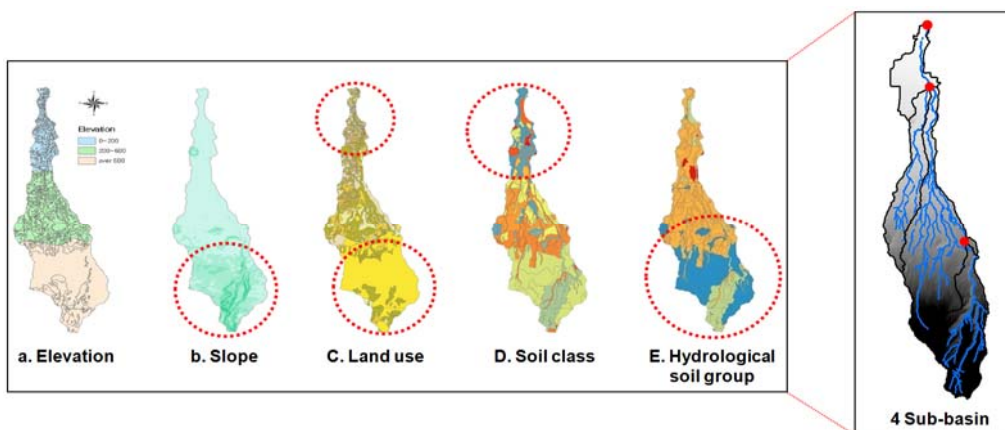
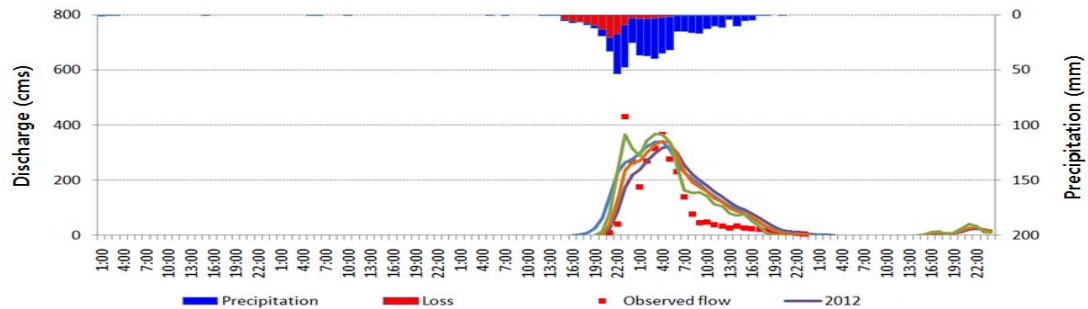


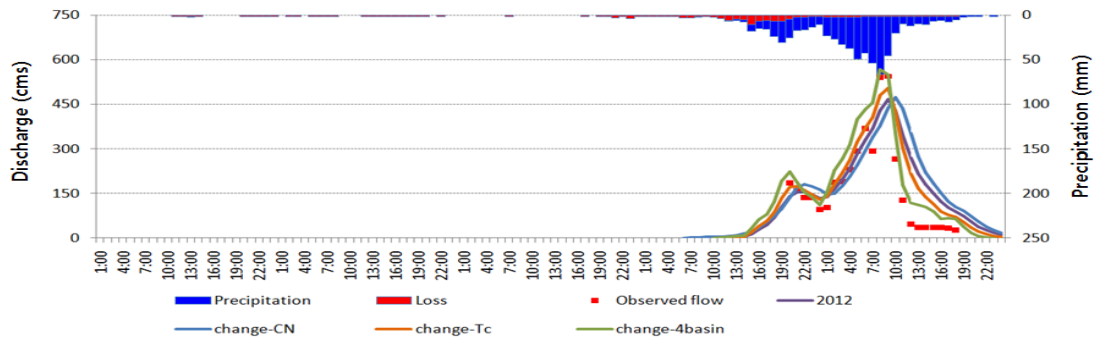
Fig. 3. Basin characteristics and division of sub basin of Han stream.

Table 4. Comparison of flood discharge calculation and error by simulation flood discharge estimate method

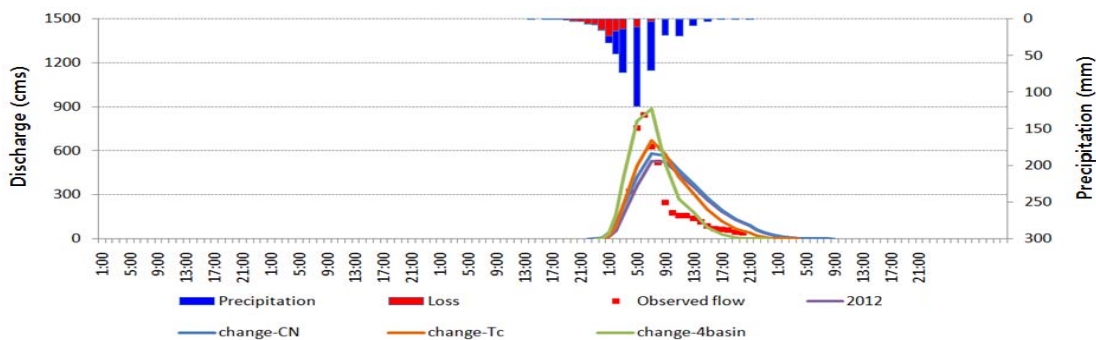
Evnet	Peak flow by observation (cms)	Peak flow by simulation flood (cms)	Error (cms)	Error rate (%)
Bolaven	431.82	322.86	108.96	25.23
Sanba	544.69	466.53	78.16	14.35
Chaba	846.33	528.46	317.87	37.56



(A) Typhoon Bolaven (25-29 August, 2012)

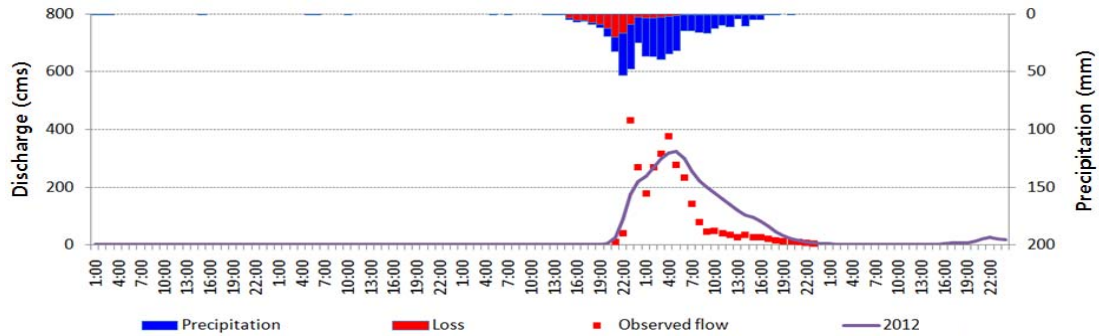


(B) Typhoon Sanba (13-17 September, 2012)

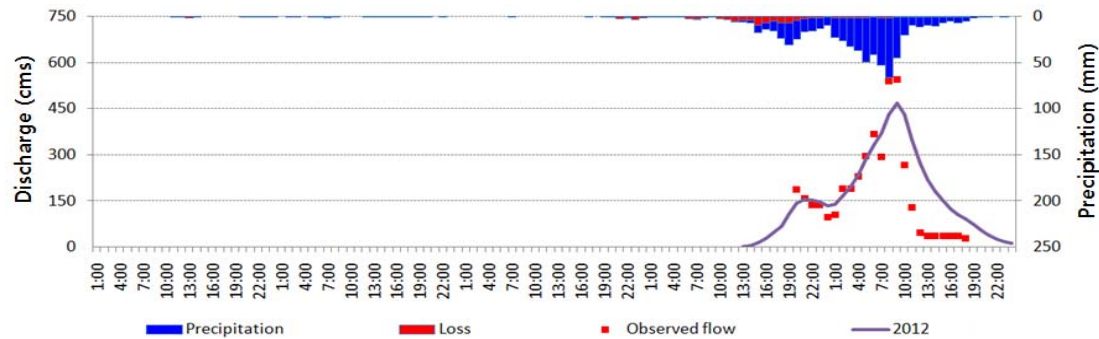


(C) Typhoon Chaba (02-06 October, 2016)

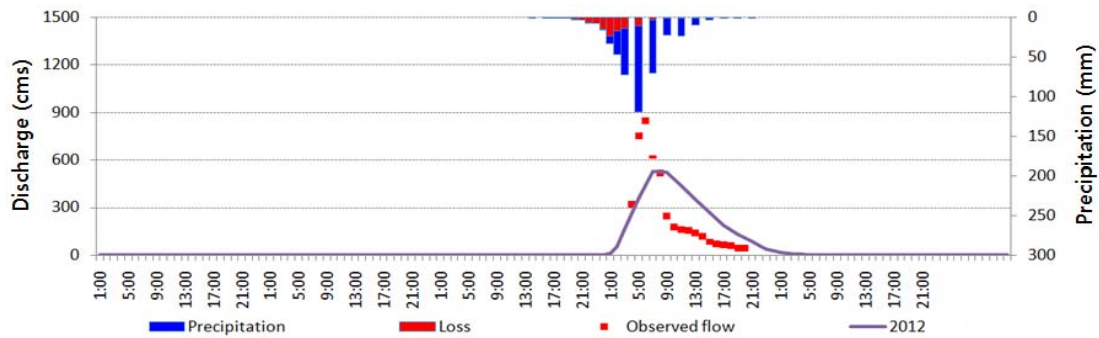
Fig. 4. Comparison of flood discharge calculation based on mediating variable correction.



(A) Typhoon Bolaven (25-29 August, 2012)



(B) Typhoon Sanba (13-17 September, 2012)



(C) Typhoon Chaba (02-06 October, 2016)

Fig. 5. Comparison of flood discharge calculation by simulation flood discharge estimate method.

여기서 T_c 는 유역의 출구지점까지 도달하는 시간인 도달시간이며 L 은 유로연장(km), S 는 하상경사를 의미한다. 한천유역의 지형인자와 강우-유출 자료 간 상관분석을 통하여 도달시간 공식을 유도하였으며, 본 연구에서는 신규 개발된 도달시간 공식을 적용하

였다.

2.4.3. 토지피복 및 토양도 특성에 의한 소유역 구분 설계홍수량 산정요령(국토부, 2012)에서는 소유역 분할로 인한 하도추적을 포함할 경우 홍수량이 크게 산정되므로 유역면적이 250 km^2 이하인 경우 단일유역

Table 5. Comparison of flood discharge calculation and error based on mediating variable correction

Evnet	Peak flow by observation (cms)	Peak flow by simulation flood (cms)		Error of flood discharge by parameter calibration					
		Error (cms)	Error rate (%)	CN		Tc		Sub basin	
				Error (cms)	Error rate (%)	Error (cms)	Error rate (%)	Error (cms)	Error rate (%)
Bolaven	431.82	108.96	25.23	91.99	21.30	89.99	20.84	64.59	14.96
Sanba	544.69	78.17	14.35	70.17	12.88	38.31	7.03	-24.16	-4.44
Chaba	846.33	317.87	37.56	263.28	31.11	176.82	20.89	-38.89	-4.60

으로 산정하도록 제시하고 있다. 반면, Park(2015)은 유역의 형상계수가 극히 작을 경우 홍수량이 과소 산정됨에 따라 유역 형상계수가 0.2 이하인 경우 적절한 소유역 구분이 필요하다고 제시하고 있다. 연구대상 유역인 한천은 형상계수가 0.09로 극히 작은 값을 나타내고 있어 단일유역으로 적용 시 홍수량이 과소 산정될 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 유역경사 및 토지이용, 토양군 등 유역특성인자들을 분석하고 대표 관측지점 및 소하천 합류지점 등을 고려하여 4개의 소유역으로 구분하였다(Fig. 3).

3. 결과 및 고찰

3.1. 기존 홍수량 산정요령에 의한 분석결과

제주도 한천을 대상으로 홍수량 산정 시 국토부에서 제시한 홍수량 산정요령(2012)의 적용 가능성 확인을 위하여 관측 14개의 사상 중 3개의 사상 볼라벤(2012), 산바(2012), 차바(2016)에 대한 검증 결과를 제시하였다. 산정요령에 의한 홍수량 산정 결과(2012 : Simulated flow in 2012) 태풍 볼라벤은 322.86 cms로 현장관측 자료(Observed flow)와 108.96 cms의 오차가 발생하였고, 태풍 산바는 466.53 cms로 78.16 cms의 오차가 발생하였다. 또한 태풍 차바의 홍수량 모의결과 528.46 cms로 317.87 cms의 오차가 발생하여 실제 관측홍수량 대비 작게 모의되었다(Table 4). 관측 홍수량 자료는 강우가 줄어들어 따라 홍수량도 급격하게 작아지는 반면, 본 연구에서 산정된 홍수량은 완만하게 줄어드는 경향을 보였다(Fig. 4).

3.2. 매개변수 보정에 의한 홍수량 결과

한천유역의 CN 산정 시 소유역 구분에 따른 CN값

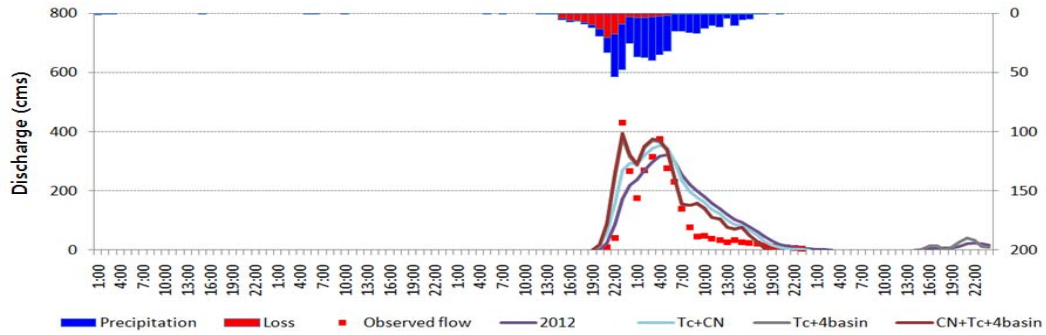
을 각각 산정하였으며 소유역별 경사를 고려한 CN값(상류지역부터 Sub-1 73.07, Sub-2 72.95, Sub-3 73.73, Sub-4 81.15)은 기존 70.15 대비 상승하였다. HEC-HMS를 활용한 홍수량 모의 결과 설계홍수량 산정방법 대비 CN이 상승함에 따라 8.00 ~ 54.59 cms의 홍수량이 상승하였으며(change-CN) 1.47 ~ 6.45% 오차율이 개선되었다(Table 5). 그러나 CN 보정에 따른 홍수량 모의 결과(change-CN)는 관측유량과 12.88 ~ 31.11%의 오차가 발생하고 있어 수문곡선이 상이한 결과를 보였다(Fig. 5).

한천유역의 도달시간 산정 시 기존 경험공식이 아닌 신규 도달시간 공식으로 산정한 결과(change-Tc) 0.87 시간으로 연속형 Kraven 공식 결과인 1.28 시간보다 0.41 시간 단축되었다. 이로 인한 홍수량은 기존 방법 대비 18.97 ~ 141.05 cms 상승하였으며, 4.39 ~ 16.67% 오차율이 개선되었다(Table 5). 그러나 신규 도달시간 공식에 따른 홍수량 모의 결과(change-Tc)는 관측유량과 7.03 ~ 20.89%의 오차가 발생하고 있어 수문곡선이 상이한 결과를 보였다(Fig. 5).

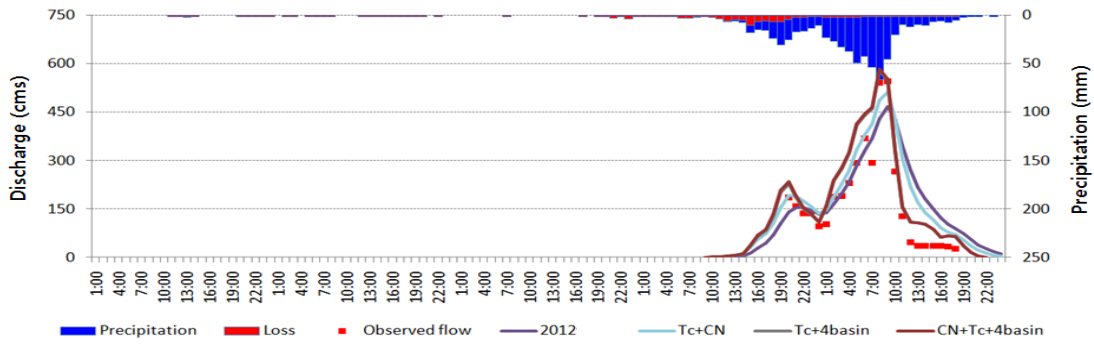
한천유역의 토지피복 및 토양도 특성에 따라 소유역을 구분하여 홍수량을 산정한 결과(change-4basin) 44.37 ~ 356.76 cms 상승하였으며 9.92 ~ 32.96% 오차율이 개선되었다(Table 5). 소유역 구분에 따른 홍수량 모의결과(change-4basin)는 관측유량과 -4.60 ~ 14.96%의 오차가 발생하고 있으나 많은 오차율이 개선되어 수문곡선이 유사한 경향성을 보였다(Fig. 5).

3.3. 보정 매개변수 조합에 따른 홍수량 산정

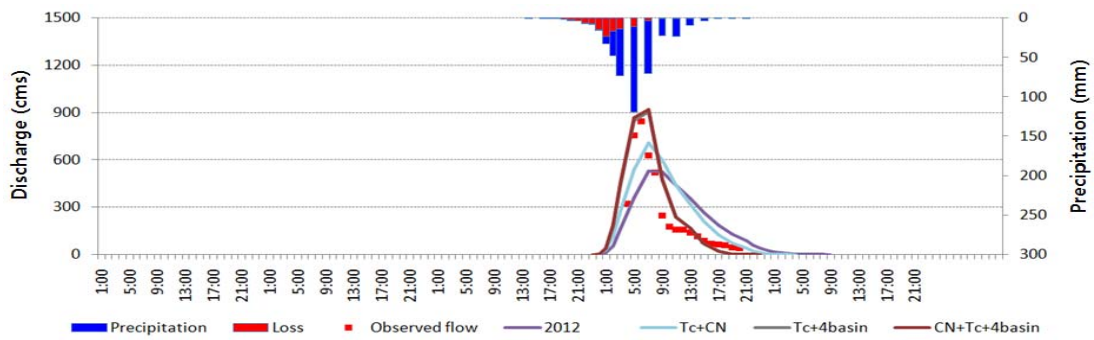
설계홍수량 산정요령(국토부, 2012)은 소유역 분할 시 유역면적이 작아짐에 따라 홍수도달시간이 짧아지고



(A) Typhoon Bolaven (25-29 August, 2012)



(B) Typhoon Sanba (13-17 September, 2012)



(C) Typhoon Chaba (02-06 October, 2016)

Fig. 6. Comparison of flood discharge calculation based on the combination of correction mediating variables.

단위도 종거의 침투치가 증가하여 침투홍수량이 크게 증가될 뿐만 아니라 저류효과로 인한 홍수량 감소가 매우 작기 때문에 250 km² 이하의 유역은 단일유역으로 적용하는 것이 바람직하다고 제시하고 있다.

제주도 하천유역은 대부분 가파른 경사 특성을 띄

고 있으며 내륙지역의 유역특성과는 달리 유역의 형상계수가 매우 작고 홍수 유출 발생 시 7 m/s 이상의 빠른 유속으로 급격한 유출이 발생한다. 이에 따라 제주도 하천을 대상으로 홍수량 산정 시 제주형 특성이 반영된 매개변수 산정 및 조합을 통한 홍수량 산정이

Table 6. Comparison of flood discharge calculation and error based on the combination of correction mediating variables

Evnnet	Peak flow by observation (cms)	Peak flow by simulation flood (cms)		Error of flood discharge with combination by parameter calibration					
		Error (cms)	Error rate (%)	CN, Tc		Tc, Sub basin		Tc, CN, Sub basin	
				Error (cms)	Error rate (%)	Error (cms)	Error rate (%)	Error (cms)	Error rate (%)
Bolaven	431.82	108.96	25.23	77.48	17.94	50.49	11.69	37.62	8.71
Sanba	544.69	78.17	14.35	31.78	5.83	-35.11	-6.45	-38.35	-7.04
Chaba	846.33	317.87	37.56	139.91	16.53	-61.30	-7.24	-74.19	-8.77

필요하다.

한천 유역의 경사를 고려한 CN과 신규 도달시간을 적용하여 홍수량을 산정한 결과(Tc+CN) 5.83 ~ 17.94%의 오차율을 보였으며, 기존 홍수량 대비 7.28 ~ 21.03% 개선되었다. 신규도달시간과 소유역을 구분하여 홍수량을 산정한 결과(Tc+4basin) -7.24 ~ 11.69%의 오차율을 보이고, 기존 대비 7.91 ~ 30.32% 개선되었다. 수정된 3개의 매개변수를 조합하여 홍수량을 산정한 결과(CN+Tc+4basin) 7.31 ~ 28.79% 오차가 개선되어 -8.77 ~ 8.71%의 오차율을 보였으며 수문 곡선 또한 유사한 경향을 나타냈다(Fig. 6, Table 6).

4. 결론

제주도 한천유역을 대상으로 기존의 홍수량 산정 방법의 적용성을 검토하고, 한천유역의 유역특성에 따라 매개변수를 개선하여 실제 관측결과와 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

설계홍수량 산정요령(국토부, 2012)의 방법으로 한천유역의 실제 강우-유출사상을 분석한 결과 관측 홍수량 대비 전체적으로 작게 산정되었으며, 홍수수문 곡선 또한 상이한 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 급격한 지형조건과 상대적으로 빠른 유출시간에 대한 지역특성이 명확히 적용되지 못하고 유역의 형상계수 대비 비교적 큰 유역면적에 따라 증가되는 도달시간으로 인해 실제 관측결과와 큰 오차를 나타내는 것으로 분석되었다.

소유역별 경사를 고려한 CN값(상류지역부터 Sub-1 73.07, Sub-2 72.95, Sub-3 73.73, Sub-4 81.15)은 기존 대비 상승하였으며, 지형경사에 따라 CN을

보정하여 홍수량을 산정한 결과 기존 홍수량 대비 1.47 ~ 6.45% 개선되었다. 한천유역의 도달시간 산정 시 기존 경험공식이 아닌 신규 도달시간 공식으로 산정한 결과 0.87 시간으로 기존 도달시간보다 0.41 시간 단축되었으며 신규도달시간을 적용하여 홍수량을 산정한 결과 4.39 ~ 16.67% 개선되었다. 또한 소유역을 구분하여 홍수량을 산정한 결과 기존방법 대비 9.92 ~ 32.96% 개선되어 각각에 대한 보정 방법이 적합하다는 결과를 나타내었다. 특히, 한천유역의 경사 특성, 강우-유출특성을 고려한 도달시간, 소유역 분을 통해 홍수량을 산정한 결과 오차율은 -8.77 ~ 8.71%으로 기존대비 7.31 ~ 28.79% 대폭 개선된 결과가 산출되었으며 홍수수문곡선 또한 유사한 경향성을 나타내었다.

따라서 기존 설계홍수량 산정요령(국토부, 2012)을 제주지역에 반영 시 실제 관측 자료를 통한 적용성 검토가 필요하며, 제주도 하천유역의 홍수량을 명확히 산정하기 위해서는 지형적 특성 및 유출특성 등을 고려할 수 있는 보정방법과 도달시간 적용, 소유역 분할 방법 등이 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(17RDRP-B076272-04)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Ahn, J. H., Jeong, H. Y., 2014, The standardization plan of

- design flood discharge estimate method, *Water for Future*, 47, 34-39
- Choi, J. I., Ji, J. W., Yi, J. Y., 2015, A Study on rainfall-runoff frequency analysis for estimating design flood, *Journal Water Resources Association*, 48, 605-612.
- Huang, M., Gallichand, J., Wang, Z., Goulet, M., 2006, A Modification to the soil conservation service curve number method for steep slopes in the loess plateau of China. *Hydrological processes*, 20, 579-589.
- Jeju special self-governing province, 2005, Basin plan for river maintenance(Establishing the change)_Han river.
- Jung, W. Y., Yang, S. K., 2009, Simulation of runoff of rivers in Jeju island using SWAT model, *J. Environ. Sci.*, 18, 1045-1055.
- Kim, N. W., Lee, K. Y., 2006, The Study on Guideline of Design Flood Estimation in Korea, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 271-274.
- Kim, Y. S., 2013, Flood runoff measurements using Surface Image Velocimetry(SIV) in Han stream, Master's Dissertation, Jeju National University, Korea.
- Kim, Y. S., Yang, S. K., Yu, K. K., Kim, D. S., 2013, Flood runoff measurements using surface image velocimetry, *J. Environ. Sci.*, 22, 581-589.
- Kang, B. S., Yang, S. K., Jung, W. Y., Kim, Y. S., 2014, Calculation of the flood runoff of the river with imaging equipments, *J. Environ. Sci.*, 23, 585-594.
- Kang, B. S., Yang, S. K., Jung, W. Y., 2015, Analysis of flooding variation and flood inundation according to increasing rainfall, *J. Environ. Sci.*, 24, 415-424.
- Kanak Kanti Kar, Yang, S. K., Lee, J. H., 2015, Assessing unit hydrograph parameters and peak runoff responses from storm rainfall events: A Case study in Hancheon basin of Jeju Island, *J. Environ. Sci.*, 24, 437-447.
- Kim, S. M., Ahn, S. H., 2016, A Study on time of concentration of the Han stream of Jeju, *J. Environ. Sci.*, 25, 173.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012, Guideline of design flood estimation, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Korea (in Korean).
- 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.
- Sabol, G. V., 1988, Clark unit hydrograph and r-parameter estimation, *J. Hydraulic Eng.*, 114, 103-111.
- Seo, J. A., Kim, Y. C., Moon, D. C., Koh, G. W., Kim, Y. J., 2014, Evaluation of surface infiltration rate in Hancheon reservoir, Jeju Island, Korea, *Journal of the Geological Society*, 50, 419-430.
- Sharpley, A. N., Williams, J. R., 1990, EPIC-erosion/productivity impact calculator: 1. Model documentation. Technical Bulletin-United States Department of Agriculture, 1768 Pt 1.
- Yang, S. K., Kim, D. S., Yu, K. K., Kang, M. S., Jung, W. Y., Lee, J. H., Kim, Y. S., You, H. J., 2012, Comparison of flood discharge and velocity measurements in a mountain stream using electromagnetic wave and surface image, *J. Environ. Sci.*, 21, 739-747.
- Yun, Y. N., Jeong, J. H., Ryu, J. H., 2013, Design flood discharge estimate method, *Water for future*, 46, 55-69.