



Comparison of the flow estimation methods through GIUH rainfall-runoff model for flood warning system on Banseong stream

Seong, Kiyoun^a · Ahn, Yujin^b · Lee, Taesam^{c*}

^aMaster student, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

^bMaster student, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

^cProfessor, ERI, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

Paper number: 21-016

Received: 9 March 2021; Revised: 19 March 2021; Accepted: 19 March 2021

Abstract

In the past few years, various damages have occurred in the vicinity of rivers due to flooding. In order to alleviate such flood damage, structural and non-structural measures are being established, and one of the important non-structural measures is to establish a flood warning system. In general, in order to establish a flood warning system, the water level of the flood alarm reference point is set, the critical flow corresponding thereto is calculated, and the warning precipitation amount corresponding to the critical flow is calculated through the Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) rainfall-runoff model. In particular, when calculating the critical flow, various studies have calculated the critical flow through the Manning formula. To compare the adequacy of this, in this study, the critical flow was calculated through the HEC-RAS model and compared with the value obtained from Manning's equation. As a result of the comparison, it was confirmed that the critical flow calculated by the Manning equation adopted excessive alarm precipitation values and lead a very high flow compared to the existing design precipitation. In contrast, the critical flow of HEC-RAS presented an appropriate alarm precipitation value and was found to be appropriate to the annual average alarm standard. From the results of this study, it seems more appropriate to calculate the critical flow through HEC-RAS, rather than through the existing Manning equation, in a situation where various river projects have been conducted resulting that most of the rivers have been surveyed.

Keywords: GIUH, Forecasting, Flood warning system, Rainfall-runoff model

반성천 홍수경보 시스템을 위한 GIUH기반 한계홍수량 산정기법 비교연구

성기영^a · 안유진^b · 이태삼^{c*}

^a경상국립대학교 토목공학과 석사과정, ^b경상국립대학교 토목공학과 석사과정, ^c경상국립대학교 토목공학과 교수

요 지

지난 수년간 하천 인근에서 홍수로 인하여 다양한 피해가 발생하고 있다. 이러한 홍수피해를 경감하기 위해 구조적 비구조적 대책들을 세워 홍수 경감에 노력하고 있으며, 중요한 비구조적 대책 중의 하나가 홍수경보시스템을 구축하는 것이다. 일반적으로 홍수경보시스템을 구축하기 위해서는 홍수경보 기준지점의 수위를 먼저 설정하고 이에 대응하는 한계유량을 산출한다. 그리고, 강우-유출모형(특히, GIUH)을 통하여 한계유량에 대응하는 경보강수량을 산정하는 방식을 택하고 있다. 특히 한계유량을 산출하는 경우, 다양한 연구에서 하천측량이 이루어지지 않은 점 때문에 Manning 공식을 변수로 사용하여 한계유량을 산출하여왔다. 이에 대한 적정성을 비교하기 위해 본 연구에서는 HEC-RAS 모형을 통하여 한계유량을 계산하였고 Manning 공식에서 나온 값과 비교하였다. 비교결과, 한계유량 산정공식(Manning 공식을 변수로 사용)에서 산출된 한계유량은 과도한 경보 강수량값을 채택하고 기존 설계강수량에 비해서도 매우 큰 값이 계산됨을 확인할 수 있었다. 이에 비해 HEC-RAS의 한계유량값은 적절한 경보 강수량 값을 제시하였고 연평균 알람 기준에도 적정함을 알 수 있었다. 본 연구 결과를 통해, 현재 다양한 하천사업이 이루어져 대부분의 하천의 측량이 이루어진 상황에서 기존의 Manning식에 의한 한계유량 산출보다는 강우-유출모형(GIUH)으로부터 산정된 유량 자료를 입력조건으로 하여 HEC-RAS를 통한 한계유량 및 경계 수위를 산정 해야 하는 것이 보다 적절해 보인다.

핵심용어: GIUH, 예측, 홍수예경보시스템, 강우유출모형, 반성천

*Corresponding Author. Tel: +82-55-7662-1156

E-mail: tae3lee@gnu.ac.kr (T. Lee)

1. 서론

하천 인근 지역에서는 홍수로 인하여 지난 수년간 다양한 피해가 발생하고 있으며, 우리나라에서는 이러한 홍수피해를 경감시키기 위해 구조적 및 비구조적 대책들을 세우고 있다. 중요한 비구조적 대책 중의 하나가 홍수경보시스템을 구축하는 것이다. 일반적으로 홍수경보시스템을 구축하기 위하여 홍수경보 기준지점의 수위를 설정하며 이에 대응하는 한계유량을 산출하고 강우-유출모형을 통하여 한계유량에 대응하는 경보강수량을 산정하는 방식을 택하고 있다. 홍수경보시스템을 위한 강우-유출모형을 지형학적 순간단위유량도가 일반적으로 사용되어지고 있다(Kim et al., 2018; Sahoo and Jain, 2018; Mohammadi et al., 2019; Bamufleh et al., 2020).

특히, 한계유량을 산출하는 경우, 측량성과의 부재 영향으로 다양한 과업 및 연구에서 Manning 공식을 통하여 한계유량을 산출하고 있다(Kim et al., 2003; Ahn et al., 2005; Oh et al., 2006; Kim et al., 2018). 하지만 Manning식은 하천 상류에서의 흐름에 대한 정보 없이 단순히 하천 특정지점의 정보만을 활용하여 유량의 정확한 산출에는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 Manning식에 의해서 산출되는 한계유량의 적정성을 확인하고, 보다 정확한 산출 방식을 제시하기 위해 HEC-RAS 모형을 통하여 한계유량을 계산하였고 Manning식에서 나온 값과 비교 분석하였다.

이를 위해 본 논문을 다음과 같이 구성하였다. 먼저 홍수경보를 위한 홍수위 및 강수량 산정절차를 2장에서 설명하고 본 연구에서 적용되는 모형의 이론을 3장에서 설명하며 대상 유역 및 특성을 4장에서, 결과 및 결론을 5장과 6장에 나타내었다.

2. 홍수경보를 위한 홍수위 및 강수량 산정절차

Fig. 1에서 보는 바와 같이 홍수경보를 위한 강수량 및 경보수위를 산정하기 위한 절차는 다음과 같다.

- 1) 먼저 강우-유출모형을 구축한다. 일반적으로 홍수경보를 위한 강우-유출모형은 지형학적 특성을 반영하는 것이 중요하게 다루어져 지형학적 순간단위유량도(Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph, GIUH)를 적용한다. 또한, 유효강수량 산정을 위해서 Curve Number (CN)를 이용하게 된다.
- 2) 구축된 강우-유출모형을 바탕으로 다양한 설계강수량(P , mm)별 첨두홍수량(Q_p , m^3/s)을 산정한다. 이때 사용되는

강수량은 CN값을 통하여 유효강수량을 산정하며 선행강우를 가정하여 CN (III) 상태의 값을 적용한다. 또한, 홍수에 취약한 상태를 고려하기 위해 초기손실을 무시한 상태 (i.e. $I_a=0$)로도 홍수량을 산정한다.

- 3) 다음으로, 홍수경보를 실시하는 수위관측지점에서 경보발령 수위를 설정한다. 일반적으로 경보 발령 수위는 제방의 범람 및 붕괴 상황에 대비하거나, 또는 인명의 안전 확보를 위해 하천의 수심이 50 cm 이상으로 증가할 때를 기준으로 하고 있다.
- 4) 설정된 경보발령 수위에 대응되는 한계유량(Q_a , m^3/s)을 산출한다. 한계유량을 산출하기 위해서는 수위관측지점의 경사 및 단면을 반영한 Manning 공식을 사용하거나 유량에서 수위를 구할 수 있는 수문모형(e.g. HEC-RAS)을 사용하여 경보발령 수위에 대응하는 유량을 구할 수 있다.
- 5) 마지막으로, 산정한 한계유량(Q_a , m^3/s)과 대응되는 첨두홍수량(Q_p , m^3/s)를 가지는 경보발령 강수량(P , mm)값을 구하게 된다.

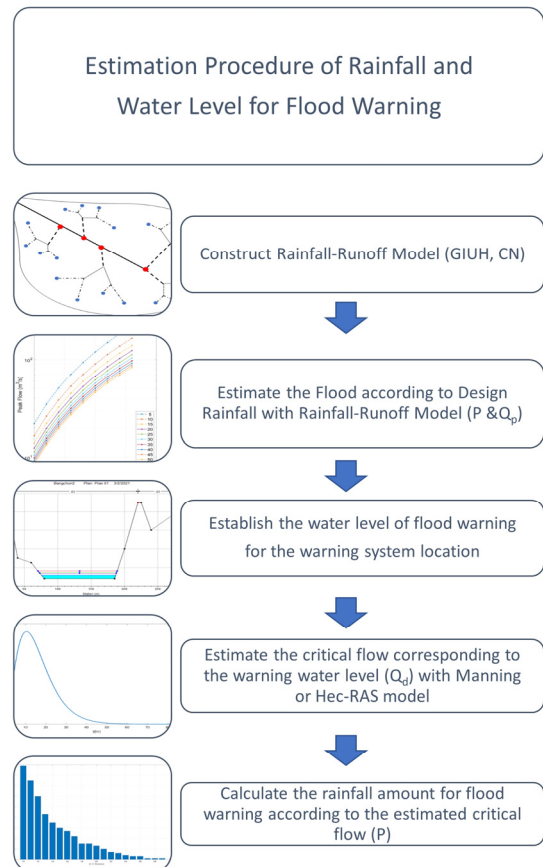


Fig. 1. Estimation procedure of rainfall and water level for flood warning

3. 모형의 기본이론

3.1 지형학적 순간단위유량도(GIUH)

지형학적 순간단위유량도를 산정하기 위해서는 하천망을 Horton이 제시한 방법에 따라 구분하여야 한다. 유역의 최대 하천차수(Q)를 가지는 하천망 구분방법은 다음의 원칙을 준수하여 분류하게 된다(Strahler, 1952).

- 1) 유역 표면상의 흐름을 통해 하천을 시작하는 하도는 일차하천망으로 정의된다.
- 2) 차수가 동일한 w 인 두 하천이 합류하게 되면 합류된 하류의 하천차수는 $w+1$ 이 된다.
- 3) 다른 차수의 두 하천이 합류하게 되면 하류의 하천차수는 합류된 두 개의 하천차수 중 큰 차수를 가진다.

GIUH에는 하천특성을 반영한 Horton의 법칙에서 기인한 변수들이 들어가게 되는데 이는 하천의 분기비(R_B), 길이비(R_L), 면적비(R_A)이며 다음과 같이 정의된다.

$$N_w = R_B^{Q-w} \quad (1)$$

$$\bar{L}_w = \bar{L}_1 R_L^{w-1} \quad (2)$$

$$\bar{A}_w = \bar{A}_1 R_A^{w-1} \quad (3)$$

여기서 N_w , \bar{L}_w , \bar{A}_w 는 w 차수에서의 하도 개수, 평균 길이 및 평균면적을 의미한다. 여기서 분기비, 길이비, 면적비의 값을 산정하기 위해서는, 로그스케일로 치환된 값을 차수별로 도시하여 경사값을 구하고, 경사값들로부터 R_B , R_L , R_A 를 구할 수 있다.

산정되어진 Horton의 계수 값을 바탕으로 홍수경보에 사용되는 첨두홍수량(Q_p , m^3/s) 및 첨두도달시간(T_p , hr)을 아래와 같이 구할 수 있다(Rodríguez-Iturbe and Valdés, 1979; Valdés *et al.*, 1979; Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1982).

$$Q_p = 2.42 \frac{i_r A_\Omega t_r}{\Pi_i^{0.4}} \left(1 - \frac{0.218 t_r}{\Pi_i^{0.4}} \right) \quad (4)$$

$$T_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} + 0.75 t_r \quad (5)$$

여기서, Π_i 은 Eq. (6)으로 나타낼 수 있으며, α_Ω 는 Eq. (7)에

의해 구할 수 있다.

$$\Pi_i = \frac{L_\Omega^{2.5}}{(i_r A_\Omega R_L \alpha_\Omega^{1.5})} \quad (6)$$

$$\alpha_\Omega = \frac{S_\Omega^{0.5}}{(n b_\Omega^{2/3})} \quad (7)$$

여기서, n 은 Manning의 조도계수를 나타내며 S_Ω , b_Ω 는 최대 차수(Q)의 경사 및 하천 폭(m)을 의미한다. i_r 및 t_r 은 유효강우강도(mm/hr) 및 지속시간(min)을 의미한다. 유효강우강도(i_r)는 설정된 강우량을 바탕으로 CN (III)방법을 가지고 유효강우량을 구하고 이를 지속시간(t_r , min)으로 나누어 유효강우강도(i_r , mm/hr)를 구하게 된다.

Eqs. (4) and (5)에 나타난 첨두홍수량 및 첨두도달시간은 균등한 유효강우강도(i_r)를 가지는 강우에 대해서 삼각형 형태의 GIUH를 가정하고 Convolution 곱을 취하여 유도한 것이며, 이는 기존의 특성속도를 이용한 GIUH 식에서 특성속도를 제외시켜 유도된 것이다(Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1982).

3.2 한계유량 산정방법

홍수경보를 발령하기 위해서는 하천 수위관측지점의 경보 발령 수위를 정하고 이에 대응하는 한계홍수량을 결정하여야 한다. 이를 위하여, 일반적으로 아래의 Manning 공식을 이용하게 된다.

$$Q_d = \frac{S_0^{0.5} B}{n} \left[\frac{Y}{m+1} \right]^{5/3} \quad (8)$$

여기서 Q_d 는 한계유량(m^3/s), Y 는 수심(m), B 는 하폭(m), m 은 형상계수(구형일 경우 0), S_0 는 경사로 표현된다.

또 다른 방법으로는 유역에 하천의 횡단면도 관측이 이루어진 상황에서 유출분석프로그램을 사용할 수 있다. 우리나라에서는 일반적으로 미공병단에서 개발한 HEC-RAS를 사용하고 있다. HEC-RAS 모형은 HEC-2 모형의 후속 프로그램으로 1995년 7월에 미공병단 수리연구소에 의해 보급된 윈도 응용 프로그램으로서 입출력 기능을 크게 향상시켰으며, 자료 저장 및 관리, 계산 결과의 그래픽처리 기능 등이 추가되었다.

계산과정은 마찰손실을 고려한 일차원 에너지방정식의 해에 근거하며 마찰손실은 Manning의 공식을 이용하여 구하게 되며, 부등류를 표준축차계산법(Standard Step Method)에

의해 계산되는 방식이다.

이는 아래의 식을 풀어 해당 수위를 계산하게 된다.

$$H_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} = H_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_e \tag{9}$$

$$h_e = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right| \tag{10}$$

여기서 H 는 기준면에서 수면까지의 높이(EL.m)를 의미하며, V 는 평균유속(m/s), h_e 는 에너지 손실수두(m)를 나타낸다. 그리고 L 은 1번 2번 단면 간의 거리, C 는 단면의 확대축소 계수, α 는 에너지 보정계수를 의미한다.

본 연구에서는 Eq. (8)의 Manning 공식과 HEC-RAS를 이용한 한계유량을 산정하고 이에 대응하는 침투홍수량을 구하고 이를 발생시킨 강우량 및 강우지속시간을 산정하여 그 적정성을 판별하였다.

4. 대상유역 및 특성

본 연구에서는 진주시의 반성천에 두 개의 지점에 대해서 홍수경보시스템을 구축하는 연구에 대해 실시하였다. 대상유역의 위치, 하천차수와 DEM 자료를 Fig. 2에 나타내었다. 진주시 반성천의 경우 지난 2019년 10월 태풍 미탁이 경남을 관통하면서 평균강수량 201 mm를 기록하며, 다양한 피해를 주었는데 특히, 반성천에는 하천이 범람하며 일가족이 고립된 후 구조된 바 있다. 특히, 사봉면 무촌리 지사로 440 m가량은 수심이 0.5 m ~ 1.5 m로 차량 및 사람의 통행이 불가능한 상태였고 수난구조보트를 이용해 주택에 접근해 주민을 구조하였다.

반성천은 경상남도 진주시 이반성면에 위치하며, 낙동강

합류점으로부터 약 48 km 상류에서 남강 우안으로 유입되는 지방하천이다. 유역면적은 125.28 km², 유로연장 20.60 km, 하천연장 17.0 km의 중소하천이다. 평균 표고는 EL.98.29 m, 평균 경사는 약 15.91도로 분석되었다.

전체적인 분석은 남강 합류부를 기준으로 반성천(Banseong) 전체와 수위관측소 및 홍수경보시설이 설치되는 방촌교(Bangchon) 및 백야교(Bakya)를 중심으로 산정되었다.

5. 결 과

5.1 GIUH 매개변수 및 침투홍수량 산정

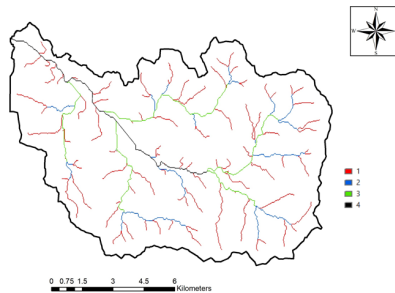
GIUH모형의 매개변수를 계산하기 위해 유역을 차수별로 구분하고 Table 1과 같이 차수별 하도개수(N_w), 하도거리(L_w), 유역면적(A_w)을 산정하였다. 이를 바탕으로 Fig. 3의 그래프에 도식하고 Eqs. (1) ~ (3)에 있는 하천의 분기비(R_B), 길이비

Table 1. Calculated geomorphologic characteristics

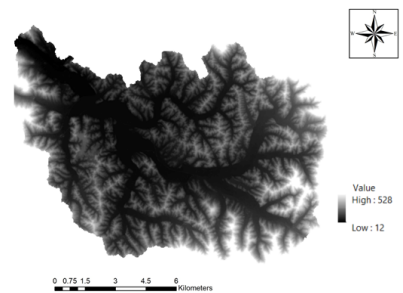
	Order	N_w	L_w (km)	A_w (km ²)	S
Banseong	1	85	0.923	0.835	0.009
	2	19	1.274	4.504	
	3	5	5.448	21.626	
	4	1	13.249	128.107	
Bangchon	1	70	0.9032	0.82	0.009
	2	16	1.322	3.035	
	3	4	5.644	21.398	
	4	1	7.817	103.284	
Bakya	1	32	0.943	0.759	0.01
	2	9	1.422	3.15	
	3	2	4.514	19.967	
	4	1	5.346	52.088	



(a) Location of Bangchon and Bakya



(b) Stream order of Banseong



(c) DEM of Banseong

Fig. 2. Information of location and GIS output

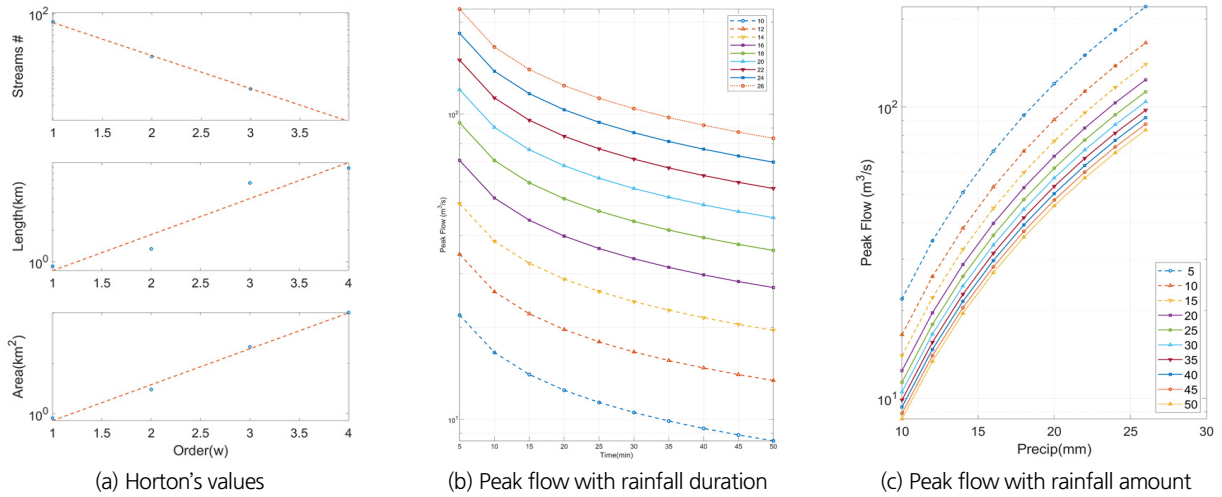


Fig. 3. Estimated Horton's values and estimated flood from GIUH

Table 2. Calculated geomorphologic characteristics for study area

	R_B	R_L	R_A	L_Q (km)	A_Q (km ²)	n	CN (III)
Banseong	4.333	2.572	5.296	13.249	128.107	0.03	85
Bangchon	4.1086	2.209	5.187	7.817	103.284		
Bakya	3.288	1.889	4.277	5.346	52.088		

(R_L), 면적비(R_A)를 산정하였다(Fig. 3(a)). 특히 R_B 는 $N_w = R_B^{\Omega-w}$ 형태로 나타나므로 $\log(N_w)$ 를 $(\Omega-w)$ 형태로 도시하여 기울기를 구하면 그 기울기 값의 역로그(antilog)값이 기울기가 되어 쉽게 구할 수 있다. 이렇게 산정된 지형학적 특성 인자들이 Table 2에 나타나 있다.

산정된 매개변수들을 바탕으로 다양한 지속시간 및 강우량을 가정하고 이에 대한 첨두홍수량 및 첨두 도달시간 값을 Eqs. (4) and (5)을 통하여 구할 수 있다. 구해진 강우지속시간 별 첨두홍수량이 Fig. 3(b)에 표시되어 있다. 사용된 강우지속시간(min)은 [5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50]이며 표현된 강우(mm)는 [10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26]이다. Fig. 3(b) and 3(c)에서 보는 바와 같이 동일 강우에서 지속시간이 짧을수록 첨두홍수량은 증가하며 동일 지속시간에서 강우량이 클수록 첨두홍수량은 증가하게 되는 경향을 볼 수가 있다.

5.2 경보수위 설정

홍수경보지점에서 하천수위 설정은 하천 내와 하천범람시 인명피해를 막고 대피시간을 주기 위하여 매우 중요한 사항이다. 일반적으로 친수활동(물놀이 및 낚시)이 발생하는 지역의 경우에는 하천 내(제외지) 활동하는 인명피해를 막기 위한 경보설정을 포함하여야 하며, 주로 하천범람시를 기준으

로 할 경우에는 홍수위를 기준으로 경보 수위를 설정하는 것이 적절하다. 본 연구대상지인 반성천의 경우 하천 내의 친수 활동이 발생하고 있어 제외지에서의 인명피해를 막기 위한 경보 수위를 산정하였다.

이를 위해서 본 연구에서는 주의(Yellow) 0.6 m, 경계(Orange) 0.75 m, 심각(Red) 1.0 m로 설정하였다. 이는 주위의 기존 영천강 하천경보시스템 구축시 사용한 0.5 m, 0.7 m, 1.0 m와 유사하게 진행되었다. 또한, 강우의 대표 지속시간 또한 기존에 10분으로 할 경우 과도한 경보가 발령되어 20분으로 조정된 것을 바탕으로 본 연구에서도 20분 지속시간을 기준으로 강우량을 산정하였다.

5.3 산정방법별 한계유량 비교

본 연구의 주요 내용인 한계유량 산정방법별 한계유량의 비교를 위해 한계유량 산정공식인(Manning 공식을 변수로 사용) Eq. (8)과 HEC-RAS (Eq. (9))을 이용하였다. 사용 단면은 직접 현장방문을 통해 GPS 측량을 통해 얻었으며 Fig. 4에 나타난 바와 같다. 보다 정확한 HEC-RAS 모형을 위해 반성천 하천기본계획(GyeongNam, 2016)에 나온 보고서를 통해 얻은 설계도를 통해 상류부 하천 단면도를 포함하여 HEC-RAS 모형을 구축하였다.

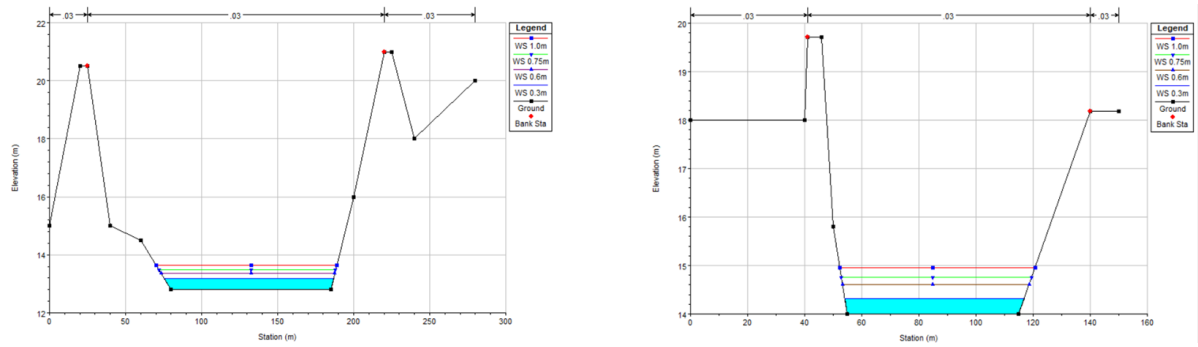


Fig. 4. HEC-RAS data and its setup water level for Bangchon (left) and Bakya (right)

Table 3. Estimated critical flow (Q_d , m^3/s)

	Manning		HEC-RAS	
	Bangchon	Bakya	Bangchon	Bakya
Yellow (0.6 m)	134	73	22	18
Orange (0.75 m)	194	105	35	30
Red (1.0 m)	312	169	55	45

Table 4. Estimated peak flow (Q_p , m^3/s) from GIUH

Rainfall (mm) (20 min)	Bangchon	Bakya
10	13	9
12	20	14
14	30	21
16	41	29
18	55	38
20	70	49
22	88	61
24	107	75
26	128	90
28	152	106
30	177	123
32	204	142
34	233	161
36	263	182
38	295	205
40	329	228
42	364	252
44	401	278
46	440	304
48	480	332
50	521	360

최종 결과는 Table 3에 나온 바와 같다. 나온 결과에서는 Manning 식이 방촌에서 134 ~ 312 m^3/s 로 HEC-RAS를 통해

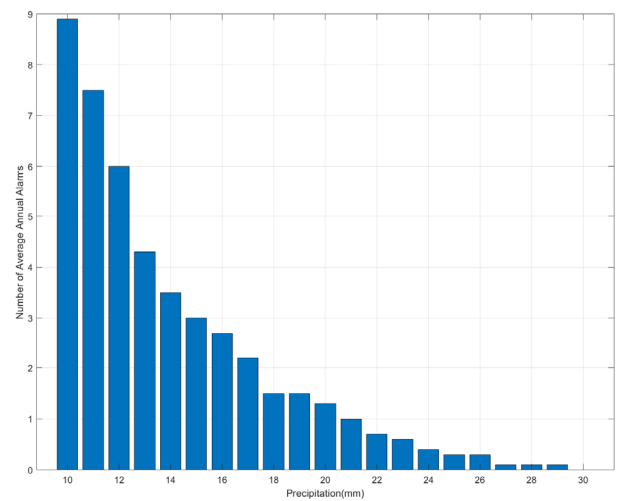


Fig. 5. Number of average annual alarms exceeding the rainfall amount (20 min duration)

산정된 값(22 ~ 55 m^3/s)에 비해 약 6배 가까이 크게 나타났다. 백야에서는 Manning 공식을 통해 나온 값이 HEC-RAS에서 계산된 값보다 약 4배 이상의 한계유량으로 계산되었다. 만일 Manning 식을 통해 산출된 값을 통해 경보강수량을 산정하게 될 경우, Table 4에 나타난 바와 같이 20분 강수량이 28 ~ 40 mm로 반성천 하천기본계획에 나타난 80년 빈도 1시간 강수량인 78 mm에 절반 이상에 해당되는 강수량으로 명백히 과도하게 산정되었다는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서 한계유량 산정공식(Manning 식을 변수로 사용)에서의 과도한 한계유량을 피하기 위해 최상위 차수의 평균 하천폭을 사용하거나 조도계수를 증가시키는 방법 등을 확인하였으나 대부분의 결과가 크게 차이를 보이지 않고 과도한 강수량 산정이 나타남을 확인하였다.

이에 비해 HEC-RAS를 통해 산정된 한계유량을 통하여 계산된 경보강수량은 방촌교에서 13, 15, 18 mm로 확인되었으며 백야교의 경우에는 15, 17, 19 mm로 확인되었다.

이를 진주관측소의 강우량 자료를 바탕으로 연평균 알람 횟수를 확인하였다(Fig. 5). 확인결과, 13~17 mm는 연 3~4회의 알람 횟수를 가지며, 18~20 mm의 경우는 연 1~2회의 알람 횟수를 가지는 것을 확인하였다.

기존의 영천강 유역에서 자동경보시스템의 경우 자주 경보시스템이 작동하여 민원 문제 및 실제 위험 상황에서 대처능력이 떨어지는 효과가 발생하는 것으로 알려져 있다. 그리고 기존의 연구(CNU, 2004)에서도 경보발령은 연 3, 4회 정도 발령되는 것으로 산정되었다. 또한, 국립재난연구원(NDMRI, 2016)에서는 일반적으로 한국의 경보횟수는 연 2회 정도로 보고하고 있으며 미국의 경우 연 1회 정도 경보하고 있는 것으로 보고 있다.

만일 Manning 식을 바탕으로 산정된 경보강우량을 보면 연 0.1회 이하가 되는 것으로 판단되어 거의 경보발령이 발생하지 않을 것(10년/1회 이하)으로 판단된다.

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 반성천 자동경보시스템을 구축하기 위하여 경보발령의 기준이 되는 수위 및 강수량 설정 시 한계유량을 산정하는 방법을 비교하였다. 일반적으로 측량성고가 없는 지역에 사용되는 한계유량 산정공식(Manning 식을 변수로 사용)과 측량이 되어있는 지역에서 사용할 수 있는 HEC-RAS를 통한 한계유량 값을 비교하였다.

비교결과 반성천의 경우 Manning 식을 통해 산정된 한계유량 값에 대응하는 경보발령 강우량 자체가 지나치게 과도하게 산정되는 것을 확인하였다. 또한, 이를 HEC-RAS로 대체할 경우 산정된 강우량은 경보발령기준(연 3~4회 발령)에 적절하게 산출되는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 자동경보시스템 구축을 위한 한계유량 산정 시, HEC-RAS를 통하여 산정하는 값이 Manning 식에 의해 산정된 값보다 더 적절함을 확인할 수 있었다. HEC-RAS 모형을 구축하기 위해서는 하천의 측량값이 필수적으로 존재하여야 한다.

지난 십여년 동안 홍수를 대비하기 위한 다양한 하천사업을 통해 대부분의 지역에서 하천측량이 이루어져 있으며, 자료는 국가수자원관리종합정보시스템(wamis.go.kr)을 통해 받아볼 수 있다. 따라서, 이제는 Manning 식에 의한 한계유량 산정보다는 HEC-RAS를 통하여, 보다 정확한 한계유량 산정을 통해 홍수경보발령 기준이 마련되어야 할 것으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 진주시 및 2021년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 중견연구사업 지원을 받아 수행되었고(2018R1A2B6001799), 이에 감사드립니다.

References

- Ahn, S.J., Kim, J.G., Park, J.H., and Lee, H.Z. (2005). "Analysis of Flood Runoff using GIUH Model." *Conference of Korea Water Resources Association 2005*, KWRA, pp. 705-709.
- Bamufleh, S., Al-Wagdany, A., Elfeki, A., and Chaabani, A. (2020). "Developing a geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH) using equivalent Horton-Strahler ratios for flash flood predictions in arid regions." *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Vol. 11, No. 1, pp. 1697-1723. doi: 10.1080/19475705.2020.1811404
- Chonnam National University (CNU) (2004). *Gok-seong gun rainfall warning criteria alarming facilities*, pp. 69-70.
- GyeongNam (2016). *River fundamental plan for banseong stream*. MOLIT.
- Kim, K.-W., Roh, J.-H., Jeon, Y.-W., and Yoo, C. (2003). "Analysis of rainfall effect on the GIUH characteristic velocity." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 35, No. 4, pp. 533-545.
- Kim, Y., Tak, W., and Jun, K. (2018). "Automated rainfall warning system standards setting using GIS." *Journal of Korea Society Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 1, pp. 179-184. doi: 10.9798/KOSHAM.2018.18.1.179
- Mohammadi, F., Fakheri Fard, A., and Ghorbani, M.A. (2019). "Application of cross-wavelet-linear programming-Kalman filter and GIUH methods in rainfall-runoff modeling." *Environmental Earth Sciences*, Vol. 78, No. 5. doi: 10.1007/s12665-019-8133-3
- National Disaster Management Research Institute (NDMRI) (2016). *Preliminary research on flash flood alert system advancement*. Ulsan, pp. 146-149.
- Oh, M.-J., Yang, I.-T., and Park, B.-S. (2006). "An analysis for goodness of fit on trigger runoff of flash flood and topographic parameters using GIS." *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 14, No. 3, pp. 87-95.
- Rodríguez-Iturbe, I., and Valdés, J.B. (1979). "The geomorphologic structure of hydrologic response." *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1409-1420. doi: 10.1029/WR015i006p01409
- Rodríguez-Iturbe, I., González-Sanabria, M., and Bras, R.L. (1982). "A geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph." *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 4, pp. 877-886. doi: 10.1029/WR018i004p0877
- Sahoo, R., and Jain, V. (2018). "Sensitivity of drainage morphometry based hydrological response (GIUH) of a river basin to the spatial resolution of DEM data." *Computers and Geosciences*,

Vol. 111, pp. 78-86. doi: 10.1016/j.cageo.2017.10.001

Strahler, A.N. (1952). "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography." *Bulletin of the Geological Society of America*, Vol. 63, No. 11, pp. 1117-1142. doi: 10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2

Valdés, J.B., Fiallo, Y., and Rodríguez-Iturbe, I. (1979). "A rainfall-runoff analysis of the geomorphologic IUH." *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1421-1434. doi: 10.1029/WR015i006p01421