

세천에서의 홍수량 산정 방법론 평가

Assessment on Methodology for Predicting Flood Discharges in Creeks

정태성* · 황신범** · 박종렬*** · 오국열**** · 정상만*****

Cheong, Tae Sung*, Hwang, Shinbum**, Park, Jongryul***, Oh, Kukryul****, and Jeong, Sangman*****

Abstract

As the small public facilities established in the early stages of economic development are at increased risk of disasters due to aging, the Ministry of the Interior and Safety established the “Law of Safety Management on Small Public Facilities” and provided guidelines for reducing vulnerabilities and damages. In this study, the applicability of the Clark unit hydrograph method and a rational formula, which are methods suggested in the guidelines for predicting flood discharges, are evaluated. For the evaluation, three creek basins located in urban, agricultural, and mountainous areas are selected as test watersheds, and the measured flow discharges of small streams downstream of the creeks are determined using the area ratio flow method. The evaluation results show that, for all three creeks, the peak flood discharges predicted using both the Clark unit hydrograph method and the rational formula are greater than those determined using the area ratio flow method ; therefore, the first two methods can be used to predict flood discharges in creeks to ensure safety. However, for a more precise verification of flood discharges and for selecting optimal methods, continuous investigations are required for measuring the hydrological and hydraulics data of the creek and obtaining characteristic information regarding watersheds and channels.

Key words : Discharge, Clark Unit Hydrograph Method, Rational Formula, Creek, Closed-Circuit Television Based Automatic Discharge Measuring Technology

요 지

경제개발 초기에 설치된 소규모 공공시설은 노후화로 인해 재난 리스크가 증가하고 있어 행정안전부는 이들 시설의 취약성을 해소하고 피해를 저감하기 위해 「소규모 공공시설 안전관리 등에 관한 법률」을 제정하고 설계를 위한 가이드라인을 제공하고 있다. 본 연구에서는 가이드라인에서 제시하고 있는 홍수량 산정 방법인 Clark 단위도법과 합리식의 적용성을 평가하였다. 평가를 위해 도심지, 농경지, 산지에 위치한 3개 세천 유역을 시범유역으로 선정하였으며, 세천 하류부에 위치한 소하천의 계측 유량을 면적비유량법으로 세천의 계측 유량으로 결정하였다. 각 세천에서 구한 첨두 홍수량을 결정유량과 비교한 결과, 모든 세천에서 Clark 단위도법과 합리식은 첨두 홍수량을 결정유량보다 크게 산정하는 것으로 나타나 이들 방법은 안전성 측면에서 세천의 홍수량 산정에 적용 가능한 것으로 평가되었다. 그러나 보다 정밀한 홍수량 검증 및 최적 결정방법 선정을 위해서는 세천에 대한 수리·수문학적 자료를 계측하고 유역 및 하도에 대한 특성 정보를 수집하는 등의 지속적인 연구가 필요하다.

핵심용어 : 홍수량, Clark 단위도법, 합리식, 세천, 자동유량계측기술

*정회원, 국립재난안전연구원 연구관(E-mail: bangjaeman@korea.kr)

Member, Senior Research Officer, National Disaster Management Research Institute

**정회원, (주)에스 재난안전사업본부 이사(E-mail: drifttls@nate.com)

Member, Director, Urban Safety Company

***정회원, (주)에스 재난안전사업본부 이사(E-mail: mcpark0102@naver.com)

Member, Director, Urban Safety Company

****정회원, (주)에스 재난안전사업본부 상무이사(E-mail: kroh5910@hanmail.com)

Member, Managing Director, Urban Safety Company

*****교신저자, 정회원, (재)한국재난안전기술원 원장(Tel: +82-2-780-4624, Fax: +82-2-780-4625, E-mail: smjeong@kids.re.kr)

Corresponding Author, Member, President, Korea Institute of Disaster & Safety

1. 서론

기후변화의 두드러진 특징 중 하나는 불확실성이 증가한다는 것인데 특히, 강우의 불확실성이 증가추세에 있으며, 이는 하천의 홍수피해를 유발하는 주요 리스크로 작용하고 있다. 특히, 돌발적인 이상강우는 국부적으로 발생하는 특성이 강해 소규모 유역 특히, 소하천과 세천이 더 취약한 것으로 보고되었다(Cheong et al., 2018). 2015년 7월 24일 행정안전부는 기후변화로 인해 리스크가 증가하고 있는 소규모 공공시설에 대한 안전성을 높이고 인명·재산 피해를 저감하기 위해 「소규모 공공시설 안전관리 등에 관한 법률」을 제정하고 소규모 공공시설을 개선·정비 중에 있다.

소규모 공공시설은 세천, 세천 내 시설물, 농로, 마을진입로 등으로써 이들은 주로 경제개발 성장기에 마을 단위로 설치하여 운영하던 시설로써 이상강우로 인해 시설붕괴에 따른 인명피해나 침수·범람 등의 원인이 되고 있다. 이중 세천과 세천 내 시설물은 다른 소규모 공공시설에 비해 홍수 재난에 미치는 영향이 상대적으로 커 이들 시설의 안전성 확보가 시급히 요구되고 있다. 세부적으로는 세천과 세천 내 시설물 설계에 적합한 설계 강우량 및 홍수량 산정 방법이 필요하다. 조사 결과에 따르면 기존에 국내에서 발표된 소규모 공공시설 관련 설계 강우량 및 홍수량 산정 방법은 MOLIT (1990)의 「소규모시설 설계지침」과 MOIS (2021)의 「소규모 공공시설 설계기준 가이드라인」에서 제시하는 방법 등이 있다. 이중 국토교통부가 공표한 「소규모시설 설계지침」은 소하천을 대상으로 홍수량 산정기준을 제시하고 있어 세천과 세천 내 시설물 설계에 적용하기에는 한계가 있는 것으로 보고되었다(NDMI, 2021).

행정안전부의 가이드라인에서는 소규모 공공시설 설계와 정비를 위한 강우량 및 홍수량 산정을 위해 주변 환경, 유역 및 세천 특성 등 현장 여건을 고려하도록 제시하고 있다. 특히, 시·군의 일관성 있는 설계 강우량을 결정하기 위해 시·군 전체 세천에 대하여 동일한 설계빈도를 채택하도록 제시하고 있다. 세천의 설계빈도는 10년에서 30년 빈도를 기준으로 지역 여건에 맞게 채택하도록 하고 있으며, 설계 홍수량은 비유량법, 단위도법, 합리식 등을 사용하여 산정하도록 제시하고 있다.

이렇듯 소규모 공공시설 특히, 세천과 세천내 시설물들(낙차공, 취입보 등)을 설계·정비하기 위한 강우량 및 홍수량 산정 방법은 소하천 설계를 위한 방법과 차별화되지 않는 부분이 존재하고, 제시된 방법들 또한 적용성 검토가 이루어지지 않아 국내 소규모 공공시설에 적용 가능한지에 대한 검토가 필요하다. 즉, 현장 계측자료를 이용한 산정 결과 검증 등 실증분석 연구를 통한 국내 소규모 공공시설에 적합한 강우량 및 홍수량 산정 방법 제시 연구가 필요하다.

본 연구에서는 세천과 세천 내 시설물 설계에 적합한 설계 강우량 및 홍수량 산정 방법을 제시하기 위하여 행정안

전부의 가이드라인에서 제시하고 있는 강우량 및 홍수량 산정 방법의 모의 결과와 계측치를 비교하는 방법으로 적정성을 검토한다. 이때 계측자료는 국립재난안전연구원이 소하천에서 계측한 실시간 유량 자료를 면적비유량법으로 세천에서의 홍수량으로 환산하여 사용한다.

2. 방법 및 자료

2.1 시범 세천유역 선정

세천과 세천내 소규모 공공시설에 대한 지역별 특성을 분석하기 위하여 2021년 말까지 사전 조사가 완료된 세천 및 시설물 현황 자료를 수집하여 Table 1에 수록하였다. 조사가 완료된 지자체는 모두 50개 지자체로써 광역지자체는 세종특별자치시이며, 기초지자체에 해당하는 시·군은 경기도 6개, 강원도 10개, 충청북도 6개, 충청남도 2개, 전라북도 5개, 전라남도 2개, 경상북도 11개 그리고 경상남도 7개로 조사되었다. 지역별 특성을 분석한 결과, 세천 내 시설물의 규모, 시설물 개소 수 그리고 세천 연장 등은 지자체 규모나 지리적 위치와 관련 없이 다양한 형태와 규모를 갖는 것으로 나타났다.

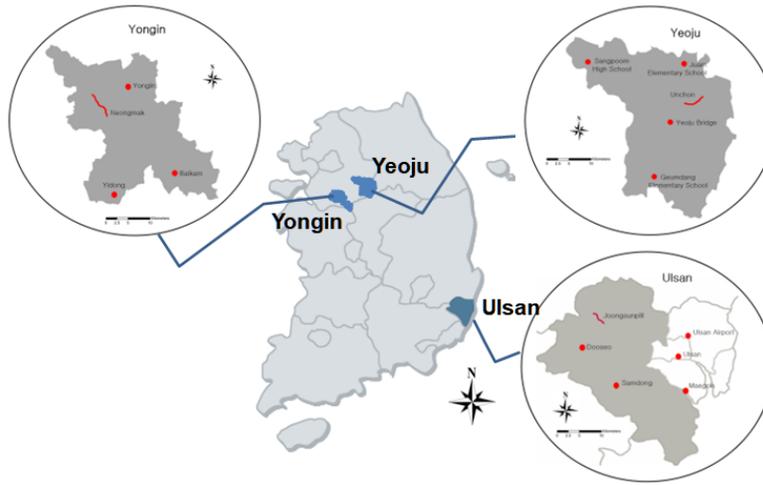
본 연구에서는 세천의 홍수량 산정 방법에 대한 적정성을 검토하기 위하여 도시, 농업, 산지 등 지역별 특성을 반영할 수 있으며, 더불어 실시간 수리량 계측자료가 존재하는 소하천 유역을 시범유역으로 선정하였다. 선정된 시범 세천유역은 Fig. 1과 같이 울주군 중선필천, 여주시 운촌천, 용인시 능막천 3개 소하천의 상류에 위치한 세천들로써 이들 소하천 유역은 국립재난안전연구원이 자동유량계측기술을 설치하고 실시간 수위, 유량 자료를 계측하고 있는 유역이기도 하다.

이들 중 용인시 능막천은 도심지에 위치한 소하천으로 도시 소하천의 특성을 반영한다고 볼 수 있으며, 여주시 운촌천은 농경지 주변에 위치한 소하천으로써 농지 지역의 특성을 대표할 수 있고 울주군의 중선필천은 산지에 위치한 소하천으로 산지의 특성을 잘 반영하는 소하천이라고 할 수 있다. 3개 소하천과 세천의 특성을 비교하여 Table 2에 수록하였으며, Table 2에서 A_s 는 소하천 유역면적, A_c 는 세천의 유역면적, L_s 는 소하천 길이 그리고 L_c 는 세천 길이이다. 유역면적은 운촌천 유역이 6.98 km²로 가장 크며, 능막천 유역이 2.41 km²로 가장 작은 것으로 나타났다.

시범유역 내 세천과 소하천의 특성을 정량적으로 비교하기 위하여 각각의 유역도를 Fig. 2에 도시하였다. 하천 길이는 중선필천이 3.18 km로 가장 길며, 운촌천이 2.88 km로 가장 짧은 것으로 나타났다. 세천과 소하천의 유역면적비는 중선필천 유역이 0.40으로 가장 크고 이어서 능막천이 0.11로 크며, 마지막으로 운촌천이 0.06으로 가장 작은 것으로 나타났다. 세천과 소하천의 길이 비는 중선필천이 0.69로 가장 크고 운촌천과 능막천은 0.15로 같은 것으로 나타났다.

Table 1. Status of Small Scaled Public Facilities by Local Governments

Year	Si · Do	Si · Gun	Creek		Bridge (Number)	Still (Number)	Weir (Number)	
			Number	Length (km)				
2019	Sejong-Si		33	1.65	488	-	5	
	Gyeonggi-Do (6)	Yeunchon-Gun	40	-	18	-	-	
		Yangju-Si	381	-	297	438	-	
		Gwangju-Si	144	-	5	15	-	
		Gwachun-Si	-	-	46	-	-	
		Gapyung-Gun	300	300.00	-	-	-	
Hwsung-Si		115	-	-	-	-		
2021								
2018	Gangwon-Do (10)	Chulwon-Gun	-	207.00	-	-	-	
2019		Pyungchang-Gun	238	210.80	618	118	16	
		Yangyang-Gun	10	-	35	-	-	
2020		Jungsun-Gun	427	-	245	299	-	
2021		Hongchun-Gun	-	580.00	-	-	-	
		Taebak-Si	97	-	503	57	-	
		Gosung-Gun	219	65.70	-	-	-	
		Injae-Gun	432	216.00	360	216	29	
		Youngwol-Gun	416	-	379	248	-	
		Gangreung-Si	263	97.09	677	6	-	
2019	Chung chung buk-Do (6)	Chungju-Si	286	85.80	-	-	-	
		Geungpyung-Gun		24.10	-	-	-	
2020		Gaesan-Gun	134	-	1414	163	59	
		Emsung-Gun	336	51.20	-	-	-	
2021		Boeun-Gun	240	116.43	-	-	-	
		Jinchun-Gun		154.00	-	-	-	
2020	Chung chungnam-Do (2)	Chunan-Si	151	-	-	-	-	
2021		Geumsan-Gun	540	270	-	-	-	
2020	Junranam-Do (2)	Hwasun-Gun	229	53.31	570	64	19	
		Jangsung-Gun	76		204	5	4	
2018	Gyungsang buk-Do (11)	Uljin-Gun	-	88.85	-	-	-	
		Sungju-Gun	-	273.00	-	-	-	
		Ulreung-Gun	32	6.63	-	-	-	
		Sangju-Si	40	-	155	3	7	
2019		Andong-Si	350	200.00	-	-	-	
		Yongchun-Si	-	336.00	-	-	-	
		Gumi-Si	472	71.00	-	-	-	
2020		Gunwe-Gun	104	41.15	5	-	-	
2021		Yongju-Si	-	213.00	-	-	-	
		Bonghwa-Gun	-	400.80	-	-	-	
		Yongduk-Gun	158	79.00	-	-	-	
2019	Gyungsang nam-Do (7)	Changwon-Si	212	126.56	264	114	4	
		Gimhae-Si	534	-	-	-	-	
		Tongyong-Si	-	-	-	-	-	
		Yangsan-Si	-	8.00	-	-	-	
		Geoje-Si	-	-	120	-	-	
		2020	Geochang-Gun	235	-	38	-	3
2021		Yeireung-Gun	-	-	-	-	-	
2019	Junrabuk- Do (5)	Gimje-Si	-	-	93	-	-	
		Namwon-Si	464	56.00	-	-	-	
		2020	Imsil-Gun	317	88.76	-	-	-
		Buan-Gun	173	259.00	-	-	-	
Muju-Gun		172	86.00	-	-	-		



— : the small stream and ● : the rainfall gauging station

Fig. 1. Location Map of the Small Streams and the Rainfall Gauging Stations

Table 2. Characteristics Information of the Small Streams and the Creeks

Watershed	Latitude	Longitude	Small Stream		Creek	
			A_s (km ²)	L_s (km)	A_c (km ²)	L_c (km)
Neungmac	37.24.31 N	127.16.81 W	2.41	3.09	0.26	0.47
Unchon	37.33.15 N	127.70.96 W	6.98	2.88	0.42	0.44
Jungseonpil	35.65.17 N	129.13.17 W	5.09	3.18	2.05	2.21



(a) Neungmac Stream, Yongin-si



(b) Unchon Stream, Yeoju-si



(c) Jungseonpil Stream, Ulju-gun

Fig. 2. Watershed Map of Selected Creeks and Small Streams with Gauging Stations

2.2 강우관측소 및 강우량 선정

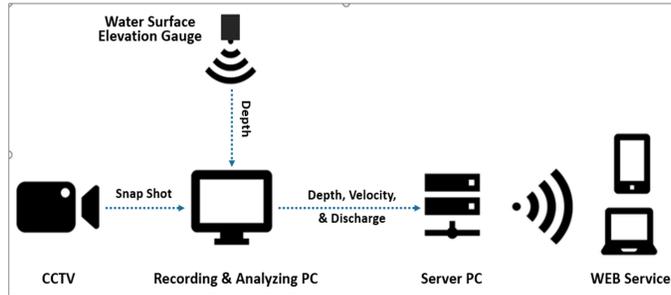
홍수량 산정에 필요한 세천 유역의 강우량을 결정하기 위하여 시범유역과 가장 가까운 거리에 위치한 관측소를 선정하였다. 농막천 내 세천 유역의 강우량은 용인 방재기상 관측소(Automatic Weather System, AWS), 운촌천 내 세천 유역의 강우량은 문막 AWS, 중선필천 내 세천 유역의 강우량은 두서 AWS에서 관측된 실시간 강우량 자료를 사용하였

다. 본 연구에서는 합리식을 이용하여 홍수량을 산정하기 위해 강우강도로 최대 시우량을 적용하였다.

본 연구에서는 홍수량 산정 방법의 적정성 검토를 위하여 유량계측이 시작된 2016년 이후 각 시범유역에서 발생했던 가장 큰 홍수사상을 선정하였다. 선정된 홍수사상에 대한 총강우량과 최대 시우량을 정리하여 Table 3에 수록하였다.

Table 3. Rainfall Information Collected from Weather Stations Nearest on Each Creek for Flood Simulation

Creek	Date	Flood Type	Total Rainfall (mm)	Maximum Rainfall (mm/hr)
Neungmac	2020.08.06.	Local Flood	160.00	47.50
Unchon	2020.08.06.	Local Flood	72.50	32.00
Jungsunpil	2018.10.06.	Typhoon Kong Rey	154.50	28.50



(a) Conceptual diagram of CADMT



(b) Establishment photo of CADMT

Fig. 3. Conceptual Diagram and Established Example of the Closed-Circuit Television-Based Automatic Discharge Measuring Technology

2.3 시범 소하천 유역 홍수량 계측 및 세천 유량 결정

소하천은 유역 규모가 작고 경사가 급한 경우가 많아 홍수량이 대부분 1~2시간 이내에 유역 출구로 유출된다. 이에 따라 계측을 위한 충분한 시간 확보가 어렵고 또한, 계측을 위한 안전한 위치 선정 그리고 계측인력 부족으로 현장계측에 어려움이 많았다. 이러한 어려움을 해소하기 위하여 국립재난안전연구원은 비접촉식으로 실시간 유속, 수위, 유량을 계측하는 CCTV 기반 자동유량계측기술(Closed-circuit television-based Automatic Discharge Measuring Technology, CADMT)을 개발하였다.

자동유량계측기술은 i) 계측 단면에서 CCTV로 촬영한 실시간 수면 영상을 LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) 기법을 활용하여 표면유속으로 산정하고 ii) 산정된 표면유속은 미지질조사국(USGS)에서 제공하는 유속변환계수로 단면 평균유속으로 변환하는 동시에 iii) 동일 단면에서 초음파 수위계로 계측한 수위를 이용하여 iv) 계측 단면의 단면적을 결정하고 v) 결정된 계측 단면적과 산정된 단면 평균유속을 곱하여 실시간 유량을 계측하는 기술이다. 개발된 자동유량계측기술의 개념도는 Fig. 3(a)와 같으며, 본 기술을 구현한 계측장비는 현재 전국의 14개 지방하천과 소하천에 설치되어 운영 중에 있다. Fig. 3(b)는 이들 중 울주군 중선필 소하천에 설치되어 운영 중인 계측장비 사례 사진이며, 국립재난안전연구원은 지자체가 소하천에서 수리량 자료를 효율적으로 계측할 수 있도록 계측을 위한 소하천 선정, 적정위치 결정 등 현장 방문을 통한 기술지원을 수행하고 있다.

자동유량계측기술의 표면유속 계측 방법은 Raffel et al. (2007) 및 Kim et al. (2013)이 제안한 표면유속 계측기술을

사용한다. 이 기술은 첫 번째 영상과 두 번째 영상에서 상관 영역이 큰 영역을 찾아 이들 영역 사이의 이동 거리를 나누어 유속을 산출한다. 이때 상관 계수 C_r 은 Eq. (1)로 계산된다.

$$C_r = \frac{\sum_{i=1}^{MY} \sum_{j=1}^{NY} E_a E_b}{\left(\sum_{i=1}^{MX} \sum_{j=1}^{NY} E_a^2 \sum_{i=1}^{MX} \sum_{j=1}^{NY} E_b^2 \right)^{1/2}} \quad (1)$$

여기서, MX 와 NY 는 상관 영역의 격자 크기, E_a 와 E_b 는 상관 면적의 잔차 값이다. 잔차 값은 각각 $a_{ij} - \bar{a}_{ij}$ 및 $b_{ij} - \bar{b}_{ij}$ 에 의해 계산되며, 여기서 \bar{a}_{ij} 및 \bar{b}_{ij} 는 범위 내 대비 값의 평균이다. 표면유속 v_s 는 Eq. (2)로 계산된다.

$$v_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \quad (2)$$

여기서, \bar{v}_i 는 탐색 영역 그리드의 첫 번째 노드에서 측정된 평균 속도이며 N 은 그리드의 총 노드 수이다. 본 연구에서는 표면유속을 측정하기 위하여 각 소하천의 계측 단면에서 10개 이상의 유속 장을 초당 20프레임으로 측정하였으며 유량은 2분 간격으로 계측하였다. 참고로 본 연구에서는 초당 30프레임을 촬영할 수 있는 수준의 CCTV를 사용하였다. 유속을 계측하기 위하여 더 많은 프레임을 사용하면 시간에 따른 변동을 최소화할 수 있으나, 이 경우 계산 시간이 늘어나므로 세심한 접근이 필요하다.

본 연구에서는 소하천의 실시간 계측 유량을 이용하여 세천의 유량을 결정하기 위하여 국내·외에서 많이 사용하

고 있는 면적비유량법을 사용하였다. 결정된 세천 유량은 소규모공공시설 가이드라인에서 제시하고 있는 단위도법과 합리식의 홍수량 산정 결과와 비교함으로써 이들 방법으로 결정된 홍수량의 안정성을 검토하였다. 더불어 대부분 계측이 이루어지지 않고 있는 세천의 유량을 결정함에 있어 면적비유량법을 사용하는 것이 적절한지에 대한 적정성도 함께 평가하였다.

3. 시범 세천유역의 설계 빈도별 홍수량 산정

3.1 산정 방법

본 연구에서는 Clark 단위도법으로 홍수량을 산정하기 위하여 미육군공병단(US Army Corps of Engineers, USACE)에서 개발한 홍수유출해석 모형인 HEC-HMS를 적용하였다. Clark 단위도법을 HEC-HMS 모형에 적용하기 위해서는 유역면적, 유출곡선지수(CN), 도달시간(T_c), 저류상수(K) 등과 같은 매개변수를 결정하여야 한다(Jeong et al., 2022). 본 연구에서는 GIS Tool을 이용하여 각 세천의 연장 및 유역면적을 산정하였으며, 토지이용 상태와 수문학적 토양군에 따라 산정된 시범 세천유역 내 유출곡선지수를 평균하여 각 세천별로 대표 유출곡선지수를 결정하였다. 도달시간은 Eq. (3)과 같은 연속형 Kraven 공식을 이용하여 산정하였다.

$$T_c = 16.667 \frac{L_c}{V} \quad (3)$$

여기서, V 는 평균유속(m/s)이다. 평균유속은 3/400의 하도경사를 기준으로 급경사부와 완경사부를 나누어 계산하였는데, 하도경사가 3/400 보다 큰 급경사부 평균유속은 Eq. (4)를 이용하여 구하였다.

$$V = 4.592 - \frac{0.01194}{S} \quad (4)$$

완경사부는 하도경사가 3/400 보다 작은 경우로써 평균유속은 Eq. (5)를 이용하여 구하였다.

$$V = 3551.515 \times S^2 - 79.393939 \times S + 1.6181818 \quad (5)$$

여기서, S 는 하도경사이며, 계산에 사용된 급경사부의 최대 유속은 4.5 m/s, 완경사부 최소 유속은 1.6 m/s이다. 하도경사는 수치표고모델(DEM)에서 세천의 시·종점에 해당하는 표고값과 세천의 연장을 이용한 단순경사법을 적용하여 결정하였다. 저류상수는 Eq. (6)과 같은 Sabol 공식을 이용하여 산정하였다.

$$K = \frac{T_c}{1.46 - 0.0867(L_c^2/A_c)} \quad (6)$$

여기서, K 는 저류상수(min)이다. 각 세천 시범유역에서 산정된 매개변수는 Table 4와 같다.

본 연구에서는 Clark 단위도법과 함께 Eq. (7)과 같은 합리식을 적용하여 첨두 홍수량을 산정하였다.

$$Q = 0.2778 CIA \quad (7)$$

여기서, Q 는 첨두유량(m^3/s), C 는 유출계수, I 는 강우강도(mm/hr), A 는 유역면적(km^2)이다.

3.2 설계 빈도별 홍수량 산정 결과 비교

Clark 단위도법을 적용한 홍수유출해석 모형으로 산정한 빈도별 첨두유량 결과는 Table 5와 같다. Table 5에서 알

Table 4. Determined Parameters for Simulating the HEC-HMS Model

Creek	L_c (km)	A_c (km^2)	CN	S	T_c (hr)	K (hr)
Neungmac	0.47	0.26	84.18	0.057	0.03	0.02
Unchon	0.44	0.42	71.78	0.072	0.03	0.02
Jungsunpil	2.21	2.05	92.29	0.223	0.14	0.11

Table 5. Determined Results of Peak Discharges from the Unit Hydrograph Method

Frequency	Peak Discharges (m^3/s)		
	Neungmac	Unchon	Jungsunpil
10-year	5.7	3.8	46.2
20-year	7.0	5.0	54.5
30-year	7.7	5.8	59.3
50-year	8.6	6.8	65.4

수 있듯이 산정된 첨두유량은 중선필천 상류 세천, 능막천 상류 세천, 운촌천 상류 세천 순으로 크게 나타났다.

합리식으로 홍수량을 산정하기 위하여 각 세천 시범유역 이 위치한 도십지, 농경지, 산지와 같은 유역 특성을 고려하여 유출계수를 결정하였다. 이때 합리식의 유출계수 범위(Ponce, 1989)에 따라 유출계수를 산정하고 이들 중 가장 큰 값을 해당 세천의 유출계수로 결정하였다. 도십지에 위치한 능막천 상류 세천의 유출계수는 0.95, 농경지에 위치한 운촌천 상류 세천의 유출계수는 0.80, 산지에 위치한 중선필천 상류 세천의 유출계수는 0.80으로 결정되었다.

합리식을 이용하여 산정한 빈도별 첨두유량 결과는 Table 6와 같다. Table 6에서 알 수 있듯이 산정된 첨두유량은 중선필천 상류 세천, 운촌천 상류 세천, 능막천 상류 세천 순으로 크게 나타났다. 합리식 결과는 HEC-HMS 홍수유출 해석 모형 결과와 다르게 운촌천 상류 세천의 첨두 홍수량을 능막천 상류 세천의 첨두 홍수량보다 크게 산정하는 것으로 나타났는데, 이는 합리식이 도십지에 위치한 세천의 홍수량을 과소 산정하기 때문인 것으로 보인다.

두 산정 방법의 적정성을 검토하기 위하여 산정된 첨두유량과 소하천 유량으로부터 결정된 세천 유량을 비교하여 Fig. 4와 Table 7에 나타내었다.

Clark 단위도법을 적용한 홍수유출해석 모형으로 산정한 유량과 합리식 모두 첨두유량을 과대 산정하는 것으로 나타났다. Clark 단위도법으로 산정한 첨두유량 결과를 정량적으로 비교하기 위하여 오차율, $(Q_U - Q_D)/Q_D$ 을 비교한 결과 능막천 상류 세천은 3.79, 운촌천 상류 세천은 1.91 그리고 중선필천 상류 세천은 0.68로 나타나 능막천 상류 세천의 오차율이 가장 큰 것으로 나타났다. 합리식으로 산정한 첨두유량 결과를 정량적으로 비교하기 위하여 오차율, $(Q_R - Q_D)/Q_D$ 을 비교한 결과 능막천 상류 세천은 0.94, 운촌천 상류 세천은 12.00 그리고 중선필천 상류 세천은 0.22로 나타나 합리식의 경우 운촌천 상류 세천의 오차율이 가장 큰 것으로 나타났다.

Clark 단위도법을 적용한 홍수유출해석 모형을 적용하여 산정한 첨두유량이 합리식을 적용하여 산정한 결과보다 오차율이 적은 것으로 나타났지만, 두 방법 모두 결정유량보다 크게 첨두유량을 산정하는 것으로 나타났다. 만약 결정유

Table 6. Determined Results of Peak Discharges from the Rational Formula

Frequency	Peak Discharges (m ³ /s)		
	Neungmac	Unchon	Jungsunpil
10-year	4.1	5.4	25.9
20-year	4.6	6.1	29.6
30-year	4.9	6.5	31.7
50-year	5.3	7.0	34.3

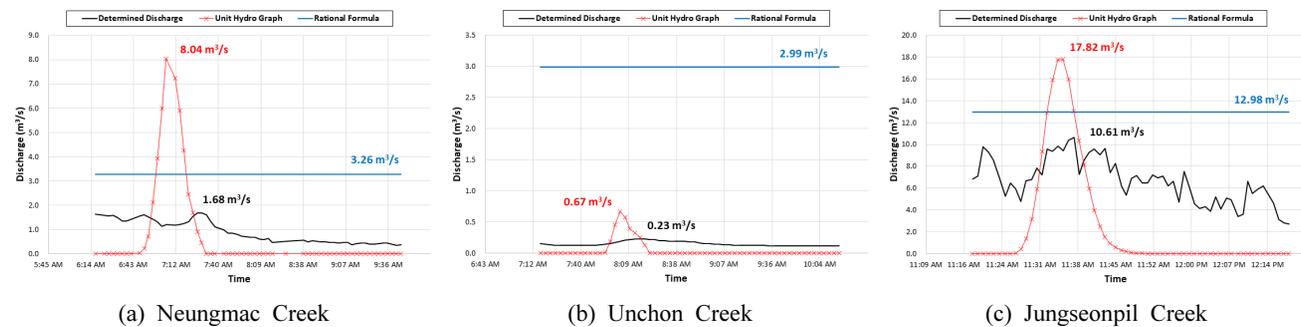


Fig. 4. Comparison of Flood Simulation Results Predicted by Using the Unit Hydrograph and the Rational Formula with Determined Discharges

Table 7. Comparison of the Simulation Peak Discharge Results with Determined Values

Creek	Peak Discharge (m ³ /s)		
	Determined Discharge, Q_D	Unit hydrograph, Q_U	Rational formula, Q_R
Neungmac	1.68	8.04	3.26
Unchon	0.23	0.67	2.99
Jungsunpil	10.62	17.82	12.98

량을 실측 유량이라고 한다면, 두 방법 모두 설계홍수량을 실측 유량보다 높게 산정한 것이므로 세천의 안정성 측면에서는 설계에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

기후변화로 인한 집중호우로 소규모 유역의 홍수피해가 증가하고 있으며 특히, 세천 등 소규모 공공시설은 그 자체가 갖는 취약성 때문에 홍수를 가중시키고 있어 소규모 공공시설에 대한 개선 요구가 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 소규모 공공시설 개선에 있어 중요한 요소 중 하나인 홍수량 산정을 위한 방법으로 소규모 공공시설 가이드라인에서 제시하고 있는 Clark 단위도법과 합리식을 선정하였다.

선정된 방법들의 적정성을 검토하기 위하여 소규모 공공시설 조사 결과와 지역 특성을 고려하여 도심지, 농경지, 산지에 위치하는 용인시의 능막천, 여주시의 운촌천, 울주군의 증선필천 상류에 위치한 세천들을 시범 세천 유역으로 선정하였다. 이들 세천에서 산정된 홍수량 결과에 대한 적정성을 검토하기 위하여 세천 하류부에 위치한 소하천의 계측 유량을 면적비유량법으로 구하여 세천 유량으로 결정하였다.

적정성 검토를 위하여 세천 유역들과 가장 가까운 위치에 설치된 방재기상관측소(AWS)의 강우량을 이용하였으며, 홍수량 산정에 필요한 매개변수는 세천유역의 특성 자료를 이용하여 산정하였다. 각 세천의 홍수량 산정 방법에 따른 첨두 홍수량을 비교한 결과, 모든 세천에서 Clark 단위도법과 합리식에 따른 첨두 홍수량이 결정유량보다 큰 것으로 나타났다. 그러나, 합리식의 경우 여주시의 운촌천 상류 세천의 첨두 홍수량을 과대하게 산정하는 결과가 나타났는데, 이는 합리식이 도심지에 위치한 세천의 홍수량을 과소 산정하기 때문인 것으로 보인다.

비록 홍수량을 비교한 세천 개수가 적긴 하지만 계측 유량을 이용하여 구한 결정유량으로 각 방법별 홍수량 산정 결과를 비교한 결과 Clark 단위도법과 합리식에 의해 산정된 첨두 홍수량이 결정유량보다 크게 산정되는 것으로 나타남에 따라 세천에서의 홍수피해를 저감하고 방지하기 위한 안전성 측면에서는 적용 가능한 방법이라는 것을 확인할 수 있었다.

소규모공공시설인 세천에서의 홍수 위험을 줄이고 지역 사회의 지속 가능한 발전을 지원하기 위해서는 세천에 대한 수리·수문학적 정보를 계속하고 유역 및 하도에 대한 특성 정보를 수집하며, 홍수량 산정 방법론 내 매개변수 최적화 기술 개발 등 세천과 관련된 지속적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국립재난안전연구원 기본 연구사업의 연구비 지원(NDMI-기본-2021-10-01 연구사업)에 의해 수행되었습니다.

References

- Cheong, T.S., Joo, J.S., Choi, H.S., and Kim, S.J. (2018). Development and evaluation of automatic discharges monitoring technology for small stream monitoring. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, pp. 347-355.
- Jeong, S.M., Hwang, S.B., Park, J.R., Oh, K.R., and Cheong, T.S. (2022). Application of rainfall-runoff method in small streams of Korea. *47th Annual Natural Hazards Research and Applications Workshop*, Natural Hazards Center.
- Kim, S.J., Yu, K., and Yoon, B.M. (2013). Error analysis of image velocimetry according to the variation. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 46, pp. 821-831.
- MOIS. (2021). *Design standards for small stream*.
- MOLIT. (1990). *Design guidelines for the small public facilities*.
- NDMI. (2021). *Enhancement of design codes for the small sized hazard infrastructures*. National Disaster Management Research Institute, Report Number: NDMI-ER-2021-10-01.
- Ponce, V.M. (1989). *Engineering hydrology principle and practices*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. pp. 119-127.
- Raffel, M., Willert, C.E., Wereley, S.T., and Kompenhans, J. (2007). *Particle image velocimetry. A Practical Guide*, Springer, N.Y.

Received	September 14, 2022
Revised	September 15, 2022
Accepted	September 26, 2022