Ecology and Resilient Infrastructure (2023) 10(4): 116-124
https://doi.org/10.17820/eri.2023.10.4.116

http://www.kseie.or.kr/
Online ISSN: 2288-8527

ORIGINAL ARTICLE

계측자료 기반 Nomograph를 이용한 실시간 소하천 홍수량 산정 연구

Real-Time Flood Forecasting by Using a Measured Data Based Nomograph for Small Streams

정태성[1] · 최창원[2] · 예성제[3] · 구강민[4*]

[1]행정안전부 국립재난안전연구원 연구관, [2]행정안전부 국립재난안전연구원 연구사, [3]행정안전부 국립재난안전연구원 연구원, [4]주식회사 하이드로셈 차장

Tae Sung Cheong[1], Changwon Choi[2], Sung Je Yei[3] and Kang Min Koo[4*]

[1]Senior Researcher, National Disaster Management Institute, Ministry of Interior and Safety, Ulsan 44538, Korea
[2]Senior Research Officer, National Disaster Management Institute, Ministry of Interior and Safety, Ulsan 44538, Korea
[3]Research Officer, National Disaster Management Institute, Ministry of Interior and Safety, Ulsan 44538, Korea
[4]Deputy General Manager, Corp. HydroSEM, Yongin 16976, Korea

Received 11 December 2023, revised 12 December 2023, accepted 12 December 2023, published online 31 December 2023

ABSTRACT: As the flood damage on small streams increase due to the increase in frequency of extreme climate events, the need to measure hydraulic data of them has increased for disaster risk management. National Disaster Management Institute, Ministry of Interior and Safety develops CADMT, a CCTV-based automatic discharge measurement technology, and operates pilot small streams to verify its performance and develop disaster risk management technology. The research selects two small streams such as the Neungmac and the Jungsunpil streams to develop the Nomograph by using the 4-Parameter Logistic method using only the observed rainfall data from the Automatic Weather System operated by the Korea Meteorological Agency closest to the small streams and discharge data collected by using the CADMT. To evaluate developed Nomograph, the research forecasts floods discharges in each small stream and compares the result with the observed discharges. As a result of the evaluations, the forecasted value is found to represent the observed value well, so if more accurate observed data are collected and the Nomograph based on it is developed in the future, the high-accuracy flood prediction and warning will be possible.

KEYWORDS: CADMT, Flood early warning, Nomograph, Small streams

요 약: 극한호우 발생빈도 증가로 소하천 홍수 피해가 증가하고 있어 소하천 리스크 관리를 위해 유량 계측 요구가 증가하고 있다. 이에 행정안전부 (MOIS) 소속 국립재난안전연구원 (NDMI)은 CCTV 기반 자동유량계측기술 (CCTV based Automatic Discharge Measurement Technology, CADMT)을 개발하고 성능 검증과 재난 리스크 관리기술 개발을 위해 시범소하천을 운영하고 있다. 본 연구는 CADMT가 설치된 능막천과 중선필천 2개 소하천을 선정하고 소하천에 가장 가까운 기상청 Automatic Weather System 강우량 자료와 유량 계측자료를 이용해 4-Parameter Logistic 방법으로 Nomograph를 개발한다. 개발한 Nomograph를 검증하기 위하여 본 연구는 각 소하천에서 홍수량을 예측하고 그 결과를 계측 유량과 비교한다. 검증 결과 예측치는 계측치를 잘 재현하는 것으로 나타나 향후, 보다 정확도 높은 계측자료가 수집되고 이에 기반한 Nomograph가 개발된다면 정확도 높은 홍수 예·경보가 가능할 것으로 판단된다.

핵심어: CCTV 기반 자동유량계측기술, 홍수 예·경보, Nomograph, 소하천

***Corresponding author:** koo00v@hydrosem.co.kr, ORCID 0000-0001-6733-6316

ⓒ Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. 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.

1. 서 론

지구온난화로 인한 기후변화로 뜨거워진 대기는 더 많은 수증기를 품게 되어 극단적 강우 현상이 가속화되고 있다 (NIMS 2018). ME (2020)에 따르면 기후변화에 의해 국내 연평균 강수량이 지난 100년 동안 약 108 mm 증가했는데, 2100년까지 약 2배인 216 mm로 늘어날 것이라 전망했다. 또한 Ombadi et al. (2023)는 지구 평균 기온이 1˚C 상승할 때마다 높은 고도에서 평균 약 15% 더 많은 비가 내리며, 3˚C가 오를 경우 강수량이 약 45%까지 증가할 것으로 예측했다. 이에 대한민국 정부는 1시간 누적 강우량이 50 mm 이상이면서 3시간 누적 강수량이 90 mm 이상을 충족하거나 1시간 누적 강수량이 72 mm 이상이면 극한호우로 새롭게 명명했는데, 시간당 50 mm의 강수일수가 50년 사이에 약 75% 급증했다 (Kim 2023). 극한호우 빈도가 증가함에 따라 전세계적으로 1980년부터 2010년 사이 발생한 자연재해 중 약 88%가 폭우, 태풍과 같은 수재해인데 (Cho et al. 2023, Kim 2022), 근래 10년간 (2004~2013년) 국내 하천에서 발생한 전체 수재해 피해의 약 47.3%가 소하천에서 발생해 홍수 피해 저감을 위한 대책 마련이 시급하다 (Cheong et al. 2016). 국내에는 총 22,823개의 소하천이 존재하는데 하천 총 연장 65,295 km의 약 54%에 달할 만큼 큰 비중을 차지하고 있으나 체계적인 관리가 이뤄지지 않고 있다. 소하천은 강우 발생시간으로부터 약 1시간 내외의 짧은 유출시간을 갖고 있어 홍수 피해를 저감하기 위해서는 홍수량과 홍수위를 사전에 빠르게 예측하고 주민 공유를 통해 접근 차단과 적시 대피를 유도해야 한다 (Cheong et al. 2018, Jeong 1995). 이때 홍수량을 보다 정확하게 예측하기 위해서는 하천 유량 계측이 필수적으로 요구되는데, 전통적인 유량계측 방법은 많은 인력과 비용이 소요되고, 인명사고 위험이 크다. MOIS 소속 NDMI는 기존 계측의 문제점을 극복하고, 지속 가능하며 효율적인 소하천 관리를 위해 2016년 CCTV 기반 자동유량계측기술 (CCTV based Automatic Discharge Measurement Technology, CADMT)을 개발했다. 그리고 시범소하천을 선정해 그 성능을 검증했는데, 그 결과 CADMT는 실시간으로 유량과 수위를 계측할 수 있는 등 소하천 홍수 저감에 도움을 줄 것으로 기대되며, 2025년까지 약 2,200개 소하천으로 확대 설치될 예정이다 (Cheong et al. 2023; Cheong et al. 2016).

홍수 예측을 위한 하천 지형 및 흐름의 물리적 특성을 반영하는 가장 일반적인 방법은 Saint-Venant 방정식을 지배방정식으로 하는 동역학적 부정류 모형을 사용하는 것이다 (Holly et al. 1990). 그러나 하폭이 좁고 하천 하상경사가 비교적 큰 중·소하천의 경우 해의 안정성 문제를 수반하기 때문에 실시간 홍수 예·경보 목적으로 사용되기에 항상 적합하지 않다 (Koo and Jun 2014). 따라서 수문학적 홍수 예측 모형이 주로 사용되는데, 여기에는 저수지 역추적법, 합리식, 그리고 몇 개의 큰 홍수에 대한 정확한 실측 유출량 자료와 강우자료가 있을 때 대상빈도 강우량을 대표단위도에 적용시켜 홍수량을 구하는 강우-유출해석법 등이 있다. 현장 적용에 있어서는 소하천 계측자료가 불충분해 Clark, NRCS, Snyder, 그리고 Nakayasu 등의 합성단위도 방법을 주로 사용하고 있다. 그러나 앞서 열거한 수문학적 방법들은 수위를 고려하지 않으며 소하천 유역특성 매개변수를 추정하는데 어려움이 있다. 이에 MOIS (2016)는 기상청에서 제공하는 McGill Algorithm for Precipitation-Nowcast by Lagrangian Extrapolation (MAPLE) 자료와 국내 실정에 맞게 개발된 수치 모의를 통해 산출한 Nomograph를 이용해 소하천 홍수량을 예측하는 시스템을 개발했다. 그러나 수치모의 결과는 적정한 유역 면적비가 산정되지 않으면 유량을 과소 또는 과대 산정할 수 있다 (Cheong et al. 2018). 따라서 Cheong et al. (2023)은 유역 면적비를 사용하지 않고 CADMT으로 계측한 유량자료와 기상청 자동기상관측시스템 (Automatic Weather System, AWS) 강우량을 이용해 선행토양함수조건 (Antecedent Moisture Condition, AMC) 하에서 Nomograph를 개발했다. 이때 Robust Constrained Nonlinear Equation Solver (RCNES)를 이용해 Nomograph를 작성했는데 홍수량 예측에 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 Nomograph의 저유량과 고유량 구간 기울기가 다르기 때문에 본 연구에서는 4 Parameter Logistic (4PL) 사용을 제안했는데 코로나 확산 등 최근 선형 회귀분석으로 어려운 분야에 적용되고 있는 방법이다(Gallant, 1987). 본 연구는 4PL을 이용해 과거 계측된 자료들로 강우사상을 추출 후 Nomograph를 작성하고 이를 이용해 홍수량 예측을 수행해 그 성능을 평가했다.

2. 연구 방법

2.1 Nomograph 개발

Nomograph는 소하천 유량과 수위를 측정하는 하천 지점에 홍수를 유발하는 첨두누적강우량과 첨두홍수량 관계를 도식화한 것으로, 첨두누적강우량으로부터 첨두홍수량과 첨두홍수위를 예측하는 방법이다. 즉 홍수가 발생하면 하천 관측지점 수위가 주의 단계 이상으로 상승할 것을 사전에 예측하고 예·경보를 통해 하천으로 주민 접근 차단 및 대피 유도를 목적으로 하고 있다. 따라서 강우 발생 시점부터 실시간으로 홍수량과 홍수위를 계산해 주의 단계에 해당하는 수위 도달시간을 적정하게 제시해야 한다.

본 연구는 Fig. 1과 같이 Nomograph를 이용한 홍수 예·경보 절차를 제시했는데, 이 방법은 MAPLE 예측강우 자료만으로도 홍수량과 홍수위를 예측해 예·경보할 수 있는 장점이 있다. 이때 과거에 계측된 AWS 강우량을 60분누적강우량으로 변환하고 무릎 기준에 해당되는 누적강우량을 기준으로 홍수사상을 판별하며, 각 홍수사상으로부터 첨두60분누적강우량과 첨두홍수량을 찾아 4PL로 Nomograph를 생성한다. 생성된 Nomograph는 MAPLE 예측강우를 이용해 주의 단계 이상 홍수위가 발생할지 판별하고 Nomograph를 갱신하게 된다. 60분누적강우량은 소하천 유출시간을 고려한 시간으로 소하천에 따라 조정이 가능하나 본 연구에서는 60분으로 고정했을 때 강우와 유량의 형상이 가장 유사해 60분으로 고정하여 사용했다 (Fig. 2).

2.1.1 홍수사상 분리

홍수사상이란 유역에서 발생하는 시간상으로 독립된 강우사상이며 홍수 발생 시 수반하는 하천의 모든 수리·수문학적 현상을 통틀어 말한다. 이때 첨두홍수량의 크기와 발생 시간을 결정하는 것은 강우강도와 지속시간이다. 최근 계측기술과 통신기술의 발달은 과거보다 보다 정밀한 강우 자료를 실시간으로 수집 받을 수 있는 계기가 되었고, 강우량만으로부터 유출량 결정을 위한 Nomograph 작성을 위해 홍수사상 분리 필요성을 갖게 되었다. 최근 Fischer et al. (2021)은 과거 계측된 강우량 자료로부터 홍수사상을 분리하기 위해 강우자료의 이동평균 분산을 계산하고 유역 크기에 따라 가중치를 부여해 각각의 홍수사상을 분리하는 방법을 제시했는데 강우량 뿐만 아니라 유출량 자료를 동시에 이용

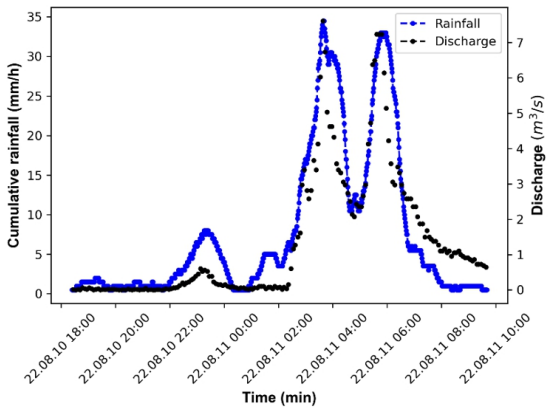


Fig. 2. Example of 60 minutes cumulative rainfall and discharge.

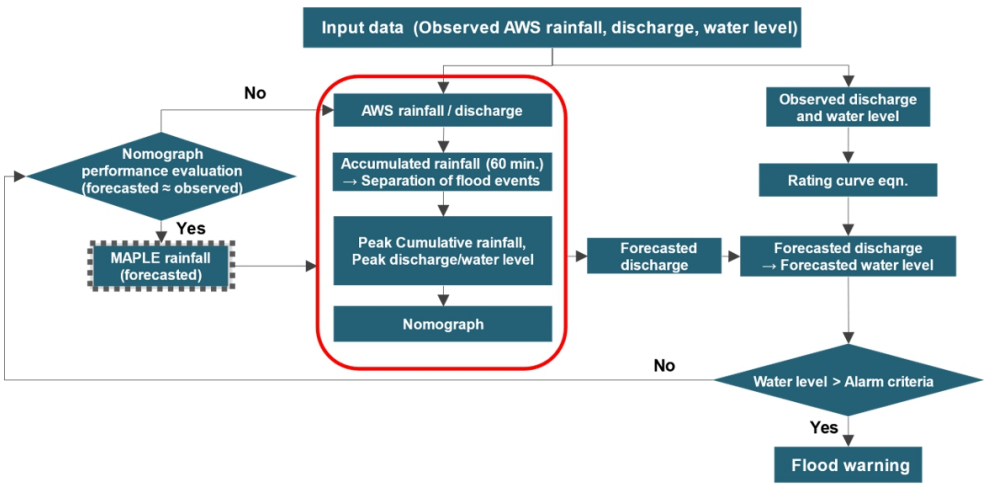


Fig. 1. Procedure for flood early warning by using the Nomograph.

해 분리하기 때문에 다소 계산이 번거로운 단점이 있다. 따라서 본 연구는 강우량 만을 고려하기 위하여 다음과 같은 방법을 제안했다.

먼저 시간 t부터 N까지 계측된 AWS 강우량 자료 $\{R_t \mid t = 1,2,3, \cdots, N\}$를 Eq. 1과 같이 60누적강우량($R_{60t}$)으로 변환한다.

$$R_{60t} = \begin{cases} t \le 60, \ \sum_{t}^{k}(R_t + R_{t+1} + \cdots R_k), \ k = \Delta t, \ 2\Delta t, \ 3\Delta t, \cdots, \ 60 \\ t > 60, \ \sum_{t}^{N}(R_t + R_{t+1} + \cdots R_{t+59}), \ t = 60 + \Delta t, \ 60 + 2\Delta t, \cdots, N \end{cases} \quad \text{(Eq. 1)}$$

$$T_t = \{t \mid R_{60t} > 0\} \quad \text{(Eq. 2)}$$

$$I_t = \{t \mid T_t - T_{T-1} > \Delta t\}, \ I_1 = 1 \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$I_{start_t} = \{I_t, t_{t+2}, \ldots, I_{K-1}\}, \quad I_{end_t} = \{I_{t+1}, t_{t+3}, \ldots, I_K\}, \quad \text{(Eq. 4)}$$

Eq. 2부터 Eq. 4와 같이 60분 누적강우량 자료 중 0보다 큰 값을 가진 시간 T_t를 찾아, 시간 T_t에서 직전 시간 T_{t-1}의 차를 구하고 그 값이 시간 증분(Δt) 보다 큰 값의 집합을 I_t하고 그 개수가 K 개까지 있을 때 홍수사상의 시점(I_{start_t})과 종점(I_{end_t}) 으로 정의할 수 있다. 이때 앞서 구해진 I_{start_t} 부터 I_{end_t}까지, 누적 강우량 기간을 하나의 홍수사상이라 정의할 수 있다.

여기서, R_{60t}은 시간 t 일 때 60분누적강우량(mm/h), k는 강우량 관측 시간 Δt 부터 60분까지 순차 증분(Δt) 된 집합, N은 전체 시계열 길이(min), K는 홍수사상 개수다. 또한 T_t와 I_t는 각각 홍수사상의 시점과 종점을 찾기 위해 60분 누적 강우량이 0보다 큰 값을 필터링한 결과와 그 값들 전후 차를 구해 증분보다 큰 시간들을 구한 것이다. 이때 각 홍수사상의 첨두60분누적강우량과 첨두홍수량을 구하면 Fig. 3과 같다.

2.1.2 이상치 제거 및 4 Parameter Logistic

추출된 첨두60분누적강우량과 첨두홍수량에는 통신이상, 계측오류 등에 의해 이상치가 포함될 수 있기 때문에 이를 판단, 검증하기 위한 방법이 필요하다. 본 연구는 계측자료 잔차의 표준편차로 잔차를 나눠 스튜던트화 잔차 (Studentized Deleted Residual, SDR)를 계산한 후 이상치를 제거하고 Eq. 5와 같이 4PL을 이용해 회귀분석을 수행했다.

$$Q_{obs} = m_1 + (m_2 - m_1)/(1 + R_{obs60} * m_3)^{m_4} \quad \text{(Eq. 5)}$$

여기서, Q_{obs}는 계측유량, R_{obs60}는 60분첨두누적강우, m_1, m_2, m_3, m_4는 각각 회귀계수를 의미한다. 4PL로 회귀분석해 Nomograph를 개발한 결과는 일반적으로 Fig. 4와 같은데 소하천 유출 특성이 반영되어 저유량 구간에서 완만한 기울기를 갖는 형상을 보이는데, 이는 초기 토양함수가 낮기 때문에 발생된 결과로 보인다. 이때 피어슨 결정 계수 (Coefficient of determination, r^2)가 약 0.29로 낮게 나타난 것은 AMC 영향에 민감한 저유량 구간에 계측 값들이 집중되어 있기 때문이다. 따라서 SDR을 이용해 AMC 영향을 최소화할 수 있는 Nomograph 작성이 필요하다.

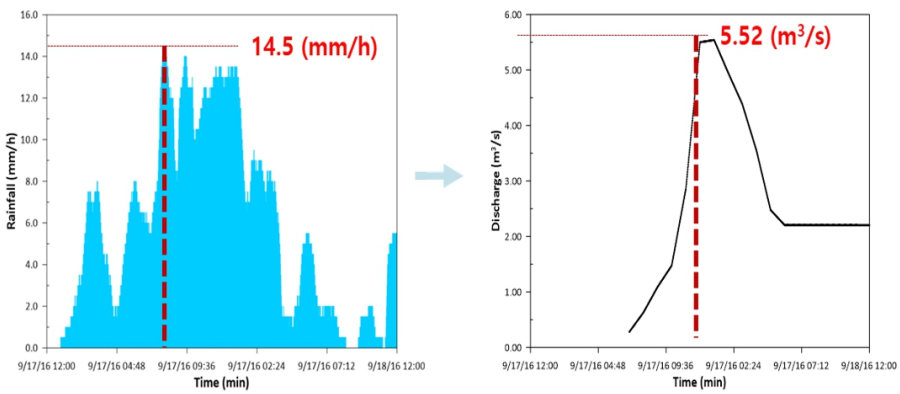


Fig. 3. Example of finding the peak cumulative rainfall and peak discharge.

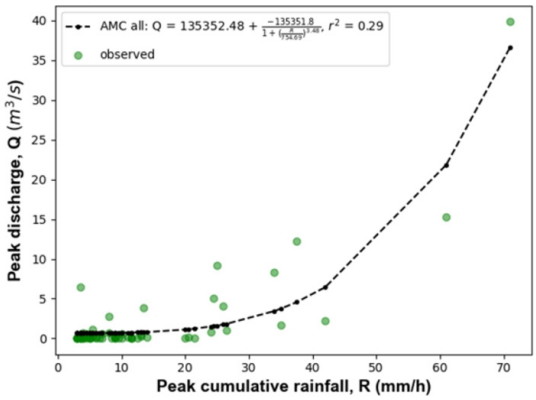


Fig. 4. Example of the rainfall-discharge Nomograph without outlier detection.

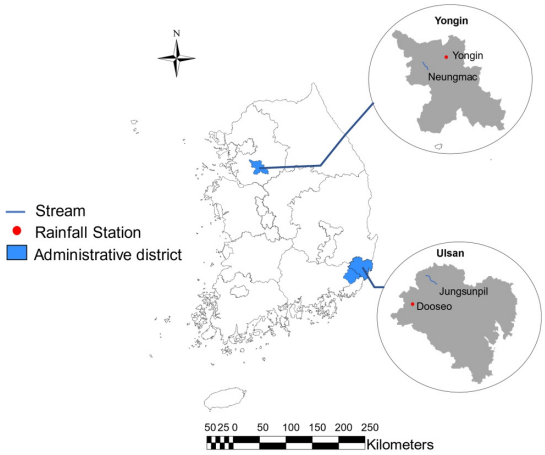


Fig. 5. Location map of the small streams and the rainfall gauging stations.

2.2 결과 평가

본 연구는 Nomograph를 이용한 홍수량 예측에 관한 연구로 NDMI에서 현재 운영중인 시범소하천을 대상유역으로 선정했다. 이때 계측된 유량자료와 시범소하천에 가장 근접한 AWS 강우자료를 이용해 Nomograph를 생성하고 홍수 예측 성능을 검증하기 위해 계산된 홍수량에 대해 관측치와 비교해 평균제곱근편차 (Root Mean Square Error, RMSE), 정규화 된 RMSE (Normalized Root Mean Square Error, NRMSE), r^2, 첨두홍수량차, 그리고 첨두홍수량 발생시간차를 비교해 소하천 홍수 예·경보 적용 가능성을 평가했다.

3. 사례연구

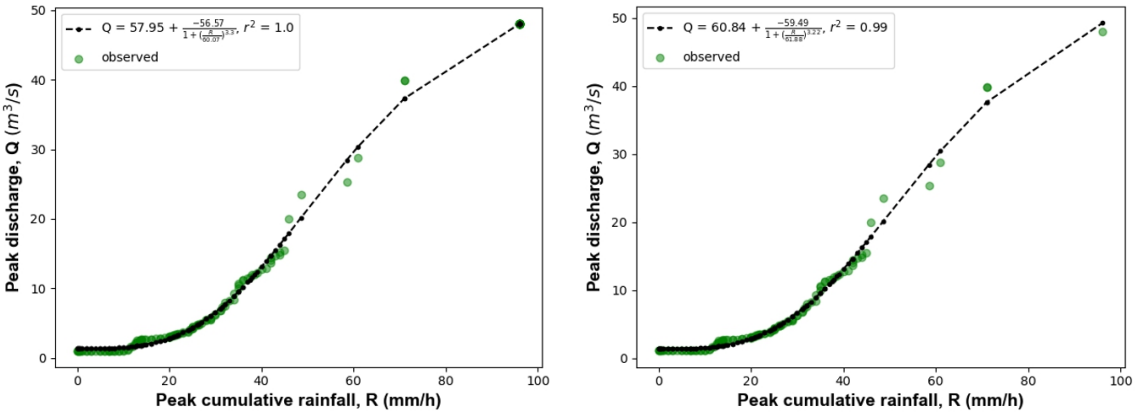
3.1 시범 소하천 선정

NDMI는 CADMT 개발 후 기술 평가를 위해 4개 소하천을 선정해 계측자료 신뢰성 확보와 안정성을 검증했다 (NDMRI 2022). 해당 소하천은 각각 경기도 용인시 능막천 (Neungmac), 울산광역시 울주군 중선필천 (Jungsunpil), 경상남도 양산시 선장천 (Sunjang), 그리고 경기도 여주시 운촌천 (Unchon)이다. 이 중 본 연구에서는 비교적 계측자료가 풍부한 능막천과 중선필천을 선정해 Nomograph를 적용했다 (Fig. 5).

능막천은 경기도 용인시 처인구 역북동 205-2에서 시작하는 소하천으로써 유역면적은 2.41 km^2, 유역 평균 경사는 0.183, 그리고 하천 연장은 1.9 km이다. CADMT가 설치된 곳은 능막천 상류로부터 1.3 km 떨어진 지점으로 평균 조도계수는 0.035, 최심하상고는 92.87 El.m이다 (Yongin-si 2017). 중선필천은 울주군 두서면 인보리 산31-1에서 시작해 울주군 두서면 인보리 마병천으로 합류하는 소하천으로써 유역면적은 2.44 km^2, 유역 평균 경사는 0.399, 그리고 하천 연장은 1.63 km이다. CADMT가 설치된 지점은 중선필천 상류로부터 430 m 떨어져 있는데 평균 조도계수는 0.033, 최심하상고는 246.0 El.m이다 (Ulsan-si 2001). 이때 능막천과 중선필천에서 가장 가까운 AWS 강우관측소는 각각 기상청 용인관측소 (Yongin)와 두서관측소 (Dooseo)로 2020년부터 2022년 강우자료를 수집하고 홍수사상을 추출해 Nomograph를 작성했다.

3.2 적용결과 및 고찰

용인관측소와 능막관측소에서 수집한 능막천과 중선필천의 2020년부터 2022년까지 AWS 강우자료 (R)와 각각 소하천에서 계측된 동기간 유량자료 (Q)로부터 60분첨두누적강우량과 첨두홍수량을 추출하고 4PL을 이용해 Nomograph를 생성하면 Fig. 6와 같다. 두 소하천은 유역면적이 비슷하고 하천연장도 큰 차이가 없어 비교적 유사한 경향을 보여준다. 특히 저유량과 고유량 구간의 기울기가 비교적 완만하고, 중유량 구간에서 급격히 기울기가 증가하는 경향이 있다. 다만 능막천은 저유량과 중유량 구간에서 중선필천과 비교해 미세하게 Nomograph 기울기가 크고, 중유량 구간에서 작다.



(a) Neungmac stream (b) Jungsunpil stream

Fig. 6. Rainfall-discharge Nomographs constructed by using the 4-parameter logistics with observed data.

Table 1. Comparison results of calculated and observed discharge using Nomograph of Neungmak and Jungseonpil streams

Stream	Period	RMSE (m^3/s)	NRMSE (%)	r^2	Peak discharge diff. (m^3/s)	Peak time diff. (min)
Neungmac 1	2020/08/05 –2020/08/06	2.853	14.13	0.797	5.945	2
Neungmac 2	2020/08/09 –2020/08/09	1.684	9.179	0.556	1.710	1
Neungmac 3	2022/08/10 –2022/08/10	1.226	7.613	0.735	1.587	2
Neungmac 4	2022/08/23 –2022/08/24	3.141	11.97	0.503	7.258	2
Jungsunpil 1	2020/07/23 –2020/07/23	1.287	8.288	0.645	0.614	4
Jungsunpil 2	2020/09/07 –2020/09/07	2.932	12.28	0.606	1.038	0
Jungsunpil 3	2021/08/23 –2021/08/24	6.135	15.28	0.528	15.13	2
Jungsunpil 4	2022/09/05 –2022/09/06	4.240	39.85	0.723	2.274	0
Avg.		2.937	14.82	0.637	4.445	1.625

작성된 Nomograph로 예측 성능을 평가하기 위해 Table 1과 같이 능막천과 중선필천의 홍수사상을 각각 4개씩 임의로 선정해 Nomograph로 계산된 유량과 계측된 유량을 비교하고 Fig. 7과 같이 도시했다.

그 결과 평균 RMSE는 능막천 2.226 m^3/s, 중선필천 3.648 m^3/s로 나타났으며, 두 소하천의 평균은 2.937 m^3/s로 나타나 능막천 예측결과가 더 좋게 나타났다. 이와 마찬가지로 평균 NRMSE도 능막천 10.72%, 중선필천 18.92%로 나타났으며, 능막천 예측결과가 더 좋은 것으로 나타났다. r^2는 1에 가까울수록 상관관계가 높은데, 두 하천 평균 r^2은 0.637로 나타났으며, 가장 높은 r^2는 능막천 1번 홍수사상으로써 0.797로 나타나 유의미한 수준이지만 예측성능으로 다소 부족한 것으로 판단된다. 첨두홍수량차는 평균이 2.274 m^3/s였고 중선필천 1번 홍수사상이 0.614 m^3/s로 가장 차이가 작은 것으로 나타났다. 다만 중선필천 4번 홍수사상과 3번 홍수사상이 15.13 m^3/s로 그 차가 가장 커 추가적인 원인분석이 요구된다. 첨두홍수량 발생시간차는 평균

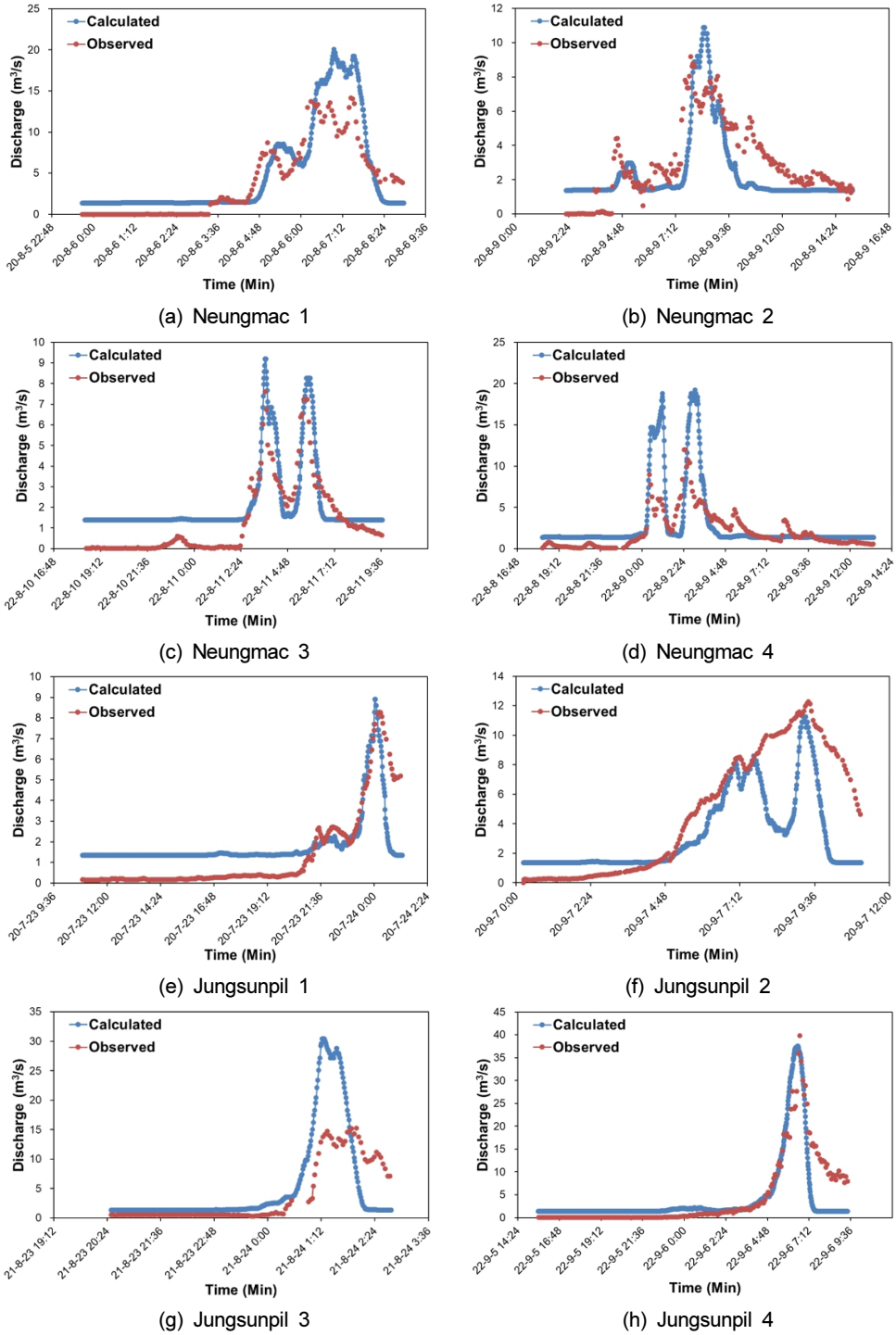


Fig. 7. Comparison of calculated discharge by using Nomograph and observed data in Neungmac and Jungsunpil streams.

1.625 분으로 차이가 매우 작기 때문에 60분첨두누적강우로 Nomograph 생성하는 것이 홍수 예·경보에 적정한 강우 누적시간으로 생각된다.

개발된 Nomograph로 홍수 예·경보를 하기 위해서는 소하천에서 홍수가 하천 계측 지점 무릎 기준(0.5 m) 수위에 언제쯤 도달할지 정확히 예측할 수 있어야 한다.

본 연구에서 고정한 60분첨두누적강우량으로 예측한 첨두홍수량 발생차는 평균 2분이 되지 않기 때문에 주민 공유를 통해 소하천으로 진입을 통제하기에 부족함이 없다. 이때 예측된 홍수량에 대해 RMSE, NRMSE, 그리고 r^2 계산 결과 계측자료만을 활용한 Nomograph를 이용한 홍수 예·경보가 가능함을 보여줬다. 다만 AMC 정도에 따라 침투나 침루를 통해 지하로 유입되는 유량의 영향 또는 계측된 자료의 오류로 인해 적정한 Nomograph가 작성되지 않을 수 있다. 따라서 홍수 발생시 시간에 따른 Nomograph 계수를 갱신하는 방법이 고려된다. 또한 3개년 자료만으로 Nomograph를 작성했기 때문에 보다 계측된 자료가 많으면 예측 Nomograph에 예측 오차를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론 및 제언

온난화의 영향으로 기후변화 폭이 커지면서 극한호우와 같은 극단적 기상현상이 증가하고 있다. 특히 근래 국내 하천에서 발생한 전체 수재해 피해의 약 47.3%가 소하천에서 발생해 홍수피해 저감을 위한 대책이 필요하다. 그 일환으로 지속 가능하며 효율적인 소하천 관리를 위해 NDMI는 CADMT를 개발해 성능을 검증하고 소하천 유량과 수위를 실시간으로 계측할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 CADMT가 설치된 소하천인 용인시 능막천과 울산광역시 울주군 중선필천을 대상으로 2020년부터 2022년까지 계측된 유량자료를 수집했다. 또한 각각의 소하천에서 가장 가까운 기상청 AWS 강우관측소에서 동기간에 해당하는 1분 단위 강우자료를 60분누적강우량으로 변환 후 홍수사상을 분리했다. 그리고 분리된 홍수사상으로부터 60분첨두누적강우량과 첨두홍수량을 찾아 4PL로 Nomograph를 작성했다. Nomograph의 예측 정확도를 평가하기 위해 능막천과 중선필천에서 2020년부터 2022년까지 발생한 홍수사상들 중 임으로 각각 4개씩 선정해 예측유량을 계산하고 계측유량과 비교했다. 그 결과 첨두홍수량 발생시간은 60분누적강우를 이용했을 때 실제 첨두홍수가 발생한 시간과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 RMSE와 NRMSE, 결정계수 계산 결과 계측자료만을 활용한 Nomograph로 홍수 예·경보에 적용 가능함을 보여줬다. 그러나 계측자료의 오류 또는 불충분한 자료(3개년)로 Nomograph가 생성되었기 때문에 향후 CADMT를 이용해 보다 정확도 높은 계측자료 수집이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 국립재난안전연구원의 연구비지원(NDMI-PR-2023-07-04-02)에 의해 수행되었습니다.

References

Cheong, T.S., Choi, H., and Joo, J. (2016). Development of guideline to select the artistic and safe small stream. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation 16(4): 259-267.

Cheong, T.S., Choi, H., and Joo, J. (2018). Establishment of a measured data-based nomograph for enhancing the small stream flood warning system. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation 18(6): 369-376.

Cheong, T.S., Choi, C., Ye, S.-J., Shin, J., Kim, S., and Koo, K.M. (2023). Development of Flood Early Warning Frameworks for Small Streams in Korea. Water 15(10): 1808.

Cho, M., Park, J., Kim, S., and Jung, H. (2023). Design and implementation of flood management system using water level prediction model. Journal of Information and Communication Convergence Engineering 27(2): 266-273.

Fischer, S., Schumann, A., and Bühler, P. (2021). A statistics- based automated flood event separation. Journal of Hydrology X, 10, 100070.

Gallant, A.R. (1987). Nonlinear statistical models. John Wiley & Sons.

Holly, F., Yang, J., Schwarz, P., Schaefer, J., Hsu, S., and Einhellig, R. (1990). Numerical simulation of unsteady water and sediment movement in multiply connected networks of mobile-bed channels. IIHR Report(343).

Jeong, S.M. (1995). The definition of small rivers and the decision of the design width, Water for Future 28: 102-103.

Kim, J. (2023). The evil drought turns into a flood... 'Extreme climate' disasters have become a daily occurrence. Yonhap News Agency.

Kim, S. (2022). Empirical study on the impact of climate change physical risks on the soundness of the financial industry: Focusing on commercial banks and the non-life insurance industry.

Koo, K.M. and Jun, K.S. (2014). Estimation of flood water level for small to medium streams. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation 14(3): 319-328.

ME. (2020). 2020 White Paper on Flood Defense Measures in Response to Climate Crisis.

MOIS. (2016). The integration model of flood forecasting for medium and small streams. NDMRI.

NDMRI. (2022). Development of platform for establishing and analyzing measured and characteristics information of small streams (Ⅰ).

NIMS. (2018). 100 years of climate change on the Korean Peninsula.

Ombadi, M., Risser, M.D., Rhoades, A.M., and Varadharajan, C. (2023). A warming-induced reduction in snow fraction amplifies rainfall extremes. Nature 619(7969): 305-310.

Ulsan-si. (2001). Small stream maintenance comprehensive plan for Ulju-gun, Ulsan Metropolitan city in 2001.

Yongin-si. (2017). Small stream maintenance comprehensive plan (reorganization) in 2017.