강원영동지역 소하천유역의 설계홍수량 산정에 대한 고찰

A Consideration of the Estimation of the Design Flood for Small Basin in Gangwon Yeongdong Region

김영준* · 강동호** · 김병식***

Kim, Young Jun*, Kang, Dong Ho**, and Kim, Byung Sik***

Abstract

Due to the recent increase in heavy localized rain caused by climate change, the risk of flooding in mountainous areas and small streams is growing daily. To prevent damage to human life and property, it is necessary to accurately estimate the amount of design flood in the small river basin. Recently, the Standard Guidelines for Flood Estimation (Ministry of Environment, 2019) have been proposed to reduce uncertainties such as the subjective interpretations of engineers, which differ in the flood discharge estimation, and to ensure a certain level of uniformity. However, in the case of Gangwon region, where the watershed area is small and the channel slope is steep, it is necessary to carefully approach the application of Clark's watershed tracking method, suggested in the standard guidelines. As Gangwon-Yeongdong region is expected to be more sensitive to localized heavy rainfall due to the influence of the Taebaek Mountains and has a relatively steeper watershed mean slope and euro slope than other regions, this study compares and analyzes the results of Clark's basin tracking method and the "rational method", to derive a more reasonable flood calculation method. Additionally, it suggests an appropriate flood discharge estimation method for the small river in Gangwon-Yeongdong region. Consequently, the flood amount can reasonably be calculated by applying a rational formula rather than Clark's basin tracking method, in which the flood volume is underestimated, when calculating the flood volume of a small river in Yeongdong, Gangwon Province, which has a low flow effect of less than 5 km².

Key words : Small River Basin, Discharge, CLARK, Rational Method

요 지

최근 기후변화에 따른 국지성 집중호우의 증가로 인해 산지 및 소하천의 홍수위험이 날로 증가하고 있는 상황에서 인명과 재산피해의 방지를 위해서 소하천유역에 대한 정확한 설계홍수량의 산정이 필요하다. 홍수량 산정에 있어 홍수량 산정 표준지침(ME, 2019)이 제시되어 기술자마다 다른 주관적 해석 등 불확실성을 저감하고 일정수준 이상의 통일성을 확보하고 있다. 그러나 유역면적이 작고 유로경사가 매우 급한 산지부 소하천이 많은 강원지역의 경우 표준지침에서 제시하는 CLARK 유역추적방법 적용에 대하여 신중하게 접근 할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 태백산맥 영향으로 타 지역 보다 유역평균경사 및 유로경사가 상대적으로 급해 국지성 집중호우에 더욱 민감할 것으로 예상되는 강원영동지역의 소하천유역에 대하여 보다 합리적인 홍수량 산정 방안을 모색하기 위하여 CLARK 유역추적방법과 합리식에 의한 홍수량산정 결과를 비교분석하였으며 강원영동지역 소하천유역에 대한 홍수량 산정방법에 대한 적절한 방안을 제시하였다. 분석결과 유역의 저류효과가 크지 않은 유역면적 5 km² 이하의 강원영동지역 소하천의 홍수량을 산정할 시에는 홍수량이 과소추정되는 CLARK 유역추적방법보다 합리식을 적용하여 홍수량을 산정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 소하천유역, 홍수량, CLARK, 합리식

*정회원, 강원대학교 방재전문대학원 도시·환경방재 석사(E-mail: yj2004@kecc.co.kr)

Member, Master's Degree, Department of Urban environment & Disaster management School of Disaster Prevention, Kangwon National University

**정회원, 강원대학교 방재전문대학원 도시환경 & 재난관리전공 박사과정(E-mail: kdh@kangwon.ac.kr)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Urban environment & Disaster management School of Disaster Prevention, Kangwon National University

***교신저자, 정회원, 강원대학교 방재전문대학원 도시환경 & 재난관리전공 부교수(Tel: +82-33-570-6819, Fax: +82-33-570-6458, E-mail: hydrokbs@kangwon.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Urban environment & Disaster management School of Disaster Prevention, Kangwon National University

1. 서론

최근 기후변화에 따른 국지성 집중호우와 하천에 인접한 제내지의 도시화 등에 따라 홍수피해로 인한 자연재해가 날로 증가하고 있으며 유역면적이 협소한 산지 및 소하천유역은 그 위험도가 더욱 커지고 있다. 이러한 상황에서 설계홍수량은 하천계획 수립시 유역 내 구조물에 대한 통수능력을 검토하거나 수공구조물의 적정규모를 결정하고, 소하천 개발과정의 홍수량 증가를 평가하여 방재시설의 용량을 결정하는데 있어 기준이 되므로 매우 정확한 설계홍수량의 산정이 필요하다. 그러나 국내의 경우 현재까지 기준상의 미흡한 부분이 많아 설계홍수량 산정 결과의 신뢰도가 매우 낮은 실정이며, 거의 모든 분석이 미계측 유역내에서 이루어지고 있어 보다 체계화된 분석과정이 절실하다고 판단된다.

국가하천, 지방하천의 경우 중앙부처, 연구기관 등에서 지속적인 연구를 통하여 어느 정도의 설계홍수량 산정 가이드 라인이 제시된 상황이다. 대표적인 예로 한시적 적용했던 설계홍수량 산정요령(MLTM, 2012)에 이어 최근 홍수량 산정 표준지침(ME, 2019)이 제시되었으며, 현재 진행되는 하천사업은 대부분 이를 토대로 설계홍수량 산정을 진행하고 있는 추세이다. 이를 통하여 사업을 진행하는 기술자마다 다른 주관적 해석 등 불확실성을 저감하고 일정수준 이상의 통일성을 확보하고 있다.

그러나 홍수량 산정 표준지침(ME, 2019)에서는 CLARK 유역추적법을 홍수량산정의 표준방법으로 제시하고 있어 유역면적이 5 km² 내외이거나 하도의 저류 효과를 기대할 수 없는 소하천과 같은 소규모 유역의 경우는 이를 그대로 적용시 문제점이 발생하는 경우가 있다. 특히, 태백산맥의 영향으로 타 지역에 비해 유역이 협소하고 유로 경사가 매우 급한 강원영동지역의 소하천 유역에 대한 홍수량을 산정할 경우 유역추적방법의 적용에 대하여 신중하게 접근 할 필요가 있다.

유출해석에 있어 국·내외의 많은 연구가 진행되나 있으나 최근에는 Geographical Information System (GIS)의 발달로 하천유역의 공간적 특성자료를 이용한 유출해석이 활발히 진행되고 있는 실정이다. 강우-유출해석에서 GIS를 이용하는 경우에는 과거에 비해 많은 노력을 들이지 않고도 수치고도자료(Digital Elevation Model)를 이용하여 유역을 자유롭게 분리하고 해당 소유역의 지형인자를 산정하여 모형의 매개변수를 결정할 수 있다. 유역을 여러 개의 소유역으로 분리함으로써 유역의 공간적 변화특성을 반영할 수 있다는 것이다. Band (1986)는 DEM자료로부터 유역분할과 하천망도를 추출하는 방법을 제시하였으며, Mayer et al. (1993)은 Arc/Info의 Tin Module을 이용하여 HEC-1 모형의 공간 및 지형인자를 산정하였으며, Hellweger and Maidment (1999)는 Arc/Info를 이용하여 유역분할에 관한 연구를 수행하였다. Cho (1986)는 유역분할에 따른 형상계수의 변화를 비교·분석함으로써, 우리나

라 유역의 형태학적 특성에 대한 연구를 통해 유역의 형상계수는 유역분할에 따라 거의 유사한 값을 나타내었으며 이는 서로 유사한 유출특성을 가지는 것이라고 기술한 바 있다. Kim and Choi (2003)는 유역의 분할 개수가 증가함에 따라 침투유량은 증가하고 침투시간은 짧아진다는 연구결과를 도출한 바 있다. Choi and Kang (2005)은 수치지도로부터 전체유역을 하천차수를 고려한 소유역으로 세분하여 수문모형에 필요한 유출인자를 도출, 소유역별 유출 모형의 집중화를 통하여 강우-유출량의 정량적 산정을 하였다. Lee and Lee (1997)는 도시 내 약 10 km² 이내의 면적을 가지는 유역을 대상으로 유역분할이 유출특성에 미치는 영향에 대하여 분석하여, 유역분할이 유출해석에 미치는 영향이 유역의 지형학적 특성에 따라 다양하며, 유역경사가 완만할 경우 급경사의 유역보다 그 영향이 민감하게 나타나고 있음을 보여주고 있다. 또한 소유역의 면적비가 전체 유역의 약 35% 이내(유역분할 개수 3개 이상)가 되게 분할하는 것을 제안한 바 있다. Lee and Yoon (2007)은 Watershed Modeling System (WMS)을 이용하여 소유역 분할에 따른 수문지형 정보의 변화와 강우-유출모의를 통한 효과적인 분할방법에 대해서 제시하였고, Lee et al. (2013)은 강우-유출 모형을 이용하여 소유역 분할에 따른 유출 변화특성을 파악한 후 다수의 시험유역에 대해 적합한 소유역 분할개수를 제시하고, 강우-유출과정을 모의하기 위하여 HEC-HMS 내의 집중형 모형인 CLARK 방법과 준분포형 모형인 ModCLARK 방법을 시험유역인 안동댐, 인하댐 및 평창강의 3개 유역에 적용하였다.

또한, 수자원 관리 및 개발, 수공구조물의 설계 등을 위한 강우-유출 해석은 유역에서 발생한 강우 및 유출에 대해 실측된 신뢰성 있는 장기간의 자료를 필요로 한다. 그러나 우리나라의 경우 자료의 신뢰성 문제나 아울러 자료 관측의 기간 모두에서 문제점이 있으며, 궁극적으로 관측자료의 관찰을 통해 필요한 유출특성을 유의한 수준으로 파악하는데 큰 어려움이 발생한다. 새로운 수공구조물이 계획되는 장소에는 유량 기록이 없을 가능성이 크다. 이런 경우에 일반적으로 적용되는 방법은 유역 내 다른 지점 또는 유사한 유역에서 얻은 성과를 토대로 단위도를 합성하거나 아니면 다른 방법으로 유출해석하고 이를 대상 지점에 대한 근사값으로 사용하는 것이다. 특히 전자의 경우에는 합성단위도를 주로 이용하게 되며, 현재 실무에서 사용하는 방법은 나카야쓰의 종합 단위도법, CLARK 단위도법, Synder 합성단위도법, 가자야마 공식, 합리식 등이 있다. 특히, CLARK 단위도법이 실무에서 가장 많이 사용되는 방법이다. Clark (1945)는 유출의 거동을 저류와 전이효과로 구분하여 유역출구에 가상의 단일 선형저수지가 존재한다고 가정하고, 등시간도로 구성되는 집중시간-집수면적도의 저수지 추적을 실시하여, 순간단위도를 유도하였다. 그러나 CLARK 단위도법의 매개변수인 집중시간과 저류상수를 정확히 추정하는 것은 단순한 일이 아니다. 먼저, 미계측 유역에서의 저류상수를 추정하기 위해 유도된 식들은 실무자가 자연유역에서 결정하

기 어려운 수리학적 인자와 지형도에서 추출하기 어려운 지형학적 인자로 유도된 것이 대부분이다(Yoon et al., 2000). 따라서 매개변수 추정 시 주관적인 판단이 개입되어 분석자마다 일치되지 않은 해석을 하는 등 높은 불확실성을 내포하고 있는 것도 사실이다(Seong, 2003).

한편 정부에서 각종 수자원의 계획 및 설계시 홍수량 산정의 일관성을 유지하기 위해 ‘설계홍수량 산정요령(MLTM, 2012)’을 제시하였고, 최근 ‘홍수량 산정 표준지침(ME, 2019)’을 발표하여 지방하천 이상의 홍수량산정시 지침에 의한 홍수량을 산정토록 하였다.

그동안 소유역의 홍수량 산정에 대한 연구는 Park et al. (2010)이 경기도 중·소하천의 계획홍수량 변화 분석에서 경기도의 중·소하천에 대해 유역별, 지형, 기상, 수문수리학적 특성변화를 검토하여 계획홍수량의 채택을 위한 연구를 수행하였고, Kim et al. (2017)이 소유역 침투홍수량 산정의 실무적 조정방안에서 강우강도식에서 강우지속 기간을 임의로 연장하여 설계 강우강도를 낮추는 방식을 통해 소유역에서 홍수량이 과다 산정되는 문제를 해결하는 연구를 진행하여 왔다. 그러나 소하천 유역에서의 합리적인 홍수량 산정방식에 대한 연구는 미진한 상태이며 타 지역에 비해 유역이 협소하고 유로 경사가 매우 급한 강원영동지역에 대한 홍수량 산정방식의 적정성에 관한 연구는 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 강원영동지역 소하천 유역의 홍수량 산정에 대한 보다 적합한 방안을 모색하기 위하여 CLARK 유역추적방법과 합리식 적용방안에 대해 비교분석하여, 강원영동지역 소하천 유역에 대한 적절한 홍수량 산정 방법을 제안하고자 한다. Fig. 1은 본 연구의 연구흐름도이다.

Fig. 1. Flow Chart

2. 이론적 배경

2.1 CLARK 유역추적법

홍수 도달시간이 동일한 점을 연결하는 등시간선(Isochrone)을 그려 전체 유역을 몇 개의 소유역으로 분할한 뒤, 유역출구점의 유출량에 기여하는 시간구간별 누가면적을 표현하는 시간-면적주상도를 작성한다.

유역출구 선형저수지로의 매시간 구간별 유입량은 도달 시간 구간별 면적상에 내린 단위유효우량(1 cm)을 유량으로 환산한 값으로, 단위유효우량이 유역전반에 걸쳐 순간적으로 내린다면 선형저수지로 등시간 구간 동안의 유입수문곡선 증거는 Eq. (1)과 같이 계산된다.

$$I_i = \frac{A_i \times 10^6}{\Delta t \times 3,600 \times 1,000} = 2.778 \frac{A_i}{\Delta t} \quad (1)$$

여기서, I_i 는 i 번째 시간구간의 유입량(m^3/s), A_i 는 i 번째 시간구간에 포함되는 유역면적(km^2)이다.

유역출구에 위치한 선형저수지의 저류량-유출량의 관계를 선형가정($S = KO$)에 따라 저류방정식을 변형하면 Eq. (2)와 같이 표시된다.

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2} \Delta t = K(O_2 - O_1) \quad (2)$$

변형된 저류방정식을 O_2 에 관해 풀면 Eq. (3)과 같이 정리되며, 계수 m_0 , m_1 , m_2 는 저류상수 K 와 시간간격 Δt 를 결정하면 산정 가능하다.

$$O_2 = m_0 I_2 + m_1 I_1 + m_2 O_1 \quad (3)$$

$$\text{여기서, } m_0 = m_1 = \frac{0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t}, m_2 = \frac{K - 0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t} \text{ 이다.}$$

상기 저류방정식의 적용에 있어서 도달시간-누가면적곡선으로부터 작성되는 시간-면적주상도의 경우에는 추적기간 Δt 의 시점 및 종점 유입량이 동일($I_1 = I_2$)하므로 Eq. (4)와 같이 재정리되며, 이를 이용하여 유입수문곡선을 추적기간별로 축차하여 추적함으로써 유역출구점의 순간단위도(IUH)의 증거를 결정할 수 있다.

$$O_2 = (m_0 + m_1) I + m_2 O_1 \quad (4)$$

순간단위도(IUH)를 이용하여 필요한 지속기간의 단위도를 작성하기 위해서는 t 시간만큼 오른쪽으로 지체시켜 2개의 IUH의 t 시간 간격 증거를 매 시각 평균하여 지속기간 t 시간 단위도를 작성하는 정수배방법에 의한 단위도의 지속

기간 변환 방법을 주로 적용한다.

2.2 합리식

합리식은 유역 내에 발생한 호우의 강도(Rainfall Intensity)와 첨두유출량간의 관계를 나타내는 가장 대표적인 경험공식으로 이 방법은 유역의 형상을 하도에 대하여 대칭인 장방형으로 가정하고 빗물이 유역의 사면을 일정한 속도로 유하하여 하도로 유입하는 것으로 본다.

일정한 강도의 강우가 불투수면에 강하하면 유출률이 점점 증가하다가 결국 강우강도와 동일하게 되어 평형상태에 도달하게 된다. 평형상태에 도달하는데 소요되는 시간은 유역 내 가장 먼 지점으로부터 유역출구까지 도달하는데 소요되는 시간과 같으며, 이러한 시간이 집중시간(Time of Concentration) 또는 도달시간(T_c)이다. 따라서 합리식은 도달시간을 강우지속기간을 결정하는 최적시간 또는 임계지속기간(Critical Duration)으로 설정하고 있음을 알 수 있다.

일반 자연유역의 합리식 적용에 있어서는 침투에 의한 강우량 손실이 필연적이므로 이를 고려하기 위하여 유출계수를 곱하여 첨두홍수량을 산정한다. 이에 따라 유출계수는 유역의 형상, 지표면 피복상태, 식생 피복상태 및 개발상황 등을 감안하여 결정하는 것으로 하나, 자연소하천 유역 및 토지이용에 따른 유출계수를 산정한다.

$$Q_{MAX} = \frac{1}{3.6} \cdot C \cdot I \cdot A \quad (5)$$

여기서, Q_{MAX} : 첨두홍수량(m^3/s), C : 유출계수, A : 유역면적(km^2), I : 지속시간이 T_c 인 강우강도(mm/hr)이다.

한편, 합리식이라 부르게 된 이유는 단지 합리식 좌·우변의 단위가 서로 일치하기 때문이며, 합리식은 강우강도를 유출계수를 이용하여 첨두홍수량으로 바꾸는 일종의 강우-유출 모형이라고 할 수 있다.

이상과 같은 합리식은 다음과 같은 가정이 전제되는데, 이는 수문학적 소유역으로 볼 수 있는 유역에서는 거의 성립하며 마지막 가정은 모든 강우-유출 관계에서 전제되는 가정이다. 첫째, 강우강도 I 는 도달시간(또는 집중시간) 내에는 변하지 않고 일정하다. 둘째, 도달시간은 유역 내의 가장 먼 지점에서 유역출구까지 물이 유하하는데 소요되는 시간이다. 셋째, 유출계수 C 는 강우지속기간 동안 일정하다. 넷째, 첨두홍수량의 재현기간은 일정한 강우강도의 재현기간과 같다.

3. 대상유역 및 분석자료 수집

3.1 대상유역

본 연구에서는 강원영동 소하천유역의 홍수특성을 검토하기 위해 Fig. 2와 같이 강원영동 지역을 대표 할 수

Fig. 2. Study Area

있는 2개 시군(삼척시, 속초시) 115개소 소하천의 총 357개소 홍수량 산정지점을 금회 논문의 대상유역으로 선정하였다.

삼척시 관내 소하천은 3개 읍·면(원덕읍, 근덕면, 하장면)에 위치한 소하천으로 총 79개소이고, 소하천의 총 연장인 164.70 km 구간으로 이루어져 있으며 속초시 관내 소하천은 6개 동(노학동, 조양동, 장사동, 대포동, 도문동, 설악동)에 위치한 소하천으로 총 36개소이고, 소하천의 총 연장인 54.81 km 구간으로 이루어져 있다.

3.2 유역의 지형특성 인자 추출

고도별 면적분포는 고도에 따라 변하는 강우, 증발, 식생 등의 수문순환에 영향을 미치는 요인으로 지형의 특성을 분석하는 방법의 하나로 이용되고 있다. 본 연구에서는 대상 소하천 유역에 대해 GIS기법을 이용하여 고도분석을 수행하였다. DEM의 경우 1:5,000 수치지도를 이용하였으며 각 격자의 고도값은 등고선 및 표고점의 고도값으로부터 보간법을 이용하여 계산하며, 보간법에는 거리반비례평균법, Spline법, Kriging법, 다항식 추세법 등 여러 가지가 있으며 본 연구에서는 거리반비례평균법을 이용하여 분석을 실시하였다. 표고별 누가면적 분포는 유역 지표면의 특성이나 지형에 따라 변하는 유출, 지형 침식 등에 대한 사항을 총괄적으로 파악하고 고도에 따라서 변하는 강우, 증발, 식생 등에 영향을 미치는 인자로서, 본 연구대상인 삼척시 및 속초시에 위치한 소하천의 표고분석도는 Fig. 3과 같다.

경사별 면적 분포는 유역 지표면의 특성이나 지형에 따라 변하는 유출, 지형 침식 등에 대한 사항을 총괄적으로 파악하고 경사에 따라서 변하는 강우, 증발, 식생 등에 영향을 미치는 인자로서, 본 연구대상인 삼척시 및 속초시에 위치한 소하천의 경사분석도는 Figs. 3~4와 같다.

Fig. 3. Digital Elevation Model of Small Basins

Fig. 4. Slope Analysis of Small Basins

Fig. 5. Landuse of Small Basins

유역 내의 토지이용현황은 설계 수문량을 결정하는데 매우 밀접한 관계를 가지며 특히 직접유출에 큰 영향을 미치는 인자이다. 토지이용 현황은 환경부(<http://www.egis.me.go.kr>)에서 발행한 토지피복도를 이용하여 조사하였으며 토지이용 현황을 살펴보면 대분류는 시가지/건조지역,

농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 7가지로 구분되고, 중분류는 23가지, 소분류는 48가지의 분류체계를 가지고 있으며 토지이용 현황도는 Fig. 5와 같다.

유역의 토양특성은 강우로 인한 유출과정에 직접적인 영향을 미치는 인자로, 토양의 성질에 따라 침투능이 상이하

Fig. 6. Soil of Small Bains

여 총 강우량 중 직접유출에 기여하는 유효우량의 크기에 영향을 주는 중요한 인자이다. 본 연구에서는 국립농업과학원(NAS, 2007)의 토양 분류 방법을 적용하였으며 그에 따른 토양도는 Fig. 6과 같다.

3.3 강우관측소 선정

홍수량 산정에 있어 침투홍수량이 최대가 되는 강우지속기간인 임계지속기간(Critical Duration)을 고려하여야 하며, 이를 위해서는 빈도해석에 충분한 시간강우량의 자료 확보가 필수적이다. 이에 본 연구에서는 지형·지리적 여건, 자료보유기간, 자료의 신뢰성, 기준관측소와의 수문특성을 고려하여 관측소를 선정하였다. 위 기준에 부합하는 관측소로 Fig. 7과 같이 동해, 태백, 속초 관측소로 선정하였다.

Fig. 7. Location of Rainfall Station

3.4 확률 강우량 산정 및 시간분포

확률강우량은 동해(삼척)관측소와 태백관측소, 속초관측소의 지속시간별 연최대치 계열을 추출하여 확률강우량을 산정하였다. 분석에 사용한 확률분포형으로는 우리나라 대표분포인 Gumbel 분포를 채택하였으며, 선정된 기상청 관할의 동해(삼척), 태백, 속초관측소의 지속시간별 확률강우량은 Table 1과 같다.

3.5 유효우량 산정

유효우량은 단위도를 이용해서 직접유출수문곡선을 계산하기 위해 강우량의 시간적 분포에서 침투에 의한 손실우량을 제외하는 방식으로 산정한다. 유효우량 산정은 Natural Resource Conservation Service (NRCS) 방법을 채택하고, 우리나라 적용을 위해 조정된(논, 산림 등) 유출곡선지수 기준(AMC-II 조건)을 적용한다. 선행토양함수조건은 설계 안전을 고려하여 유출률이 가장 높은 AMC-III 조건을 적용하여 CN III를 채택하였으며 산정 결과는 Fig. 8과 같다.

3.6 도달시간 및 저류상수 산정

CLARK 방법은 도달시간과 저류상수를 입력인자로 하는 합성단위도 방법이며, 도달시간은 Kraven (II)의 불연속성을 보완한 연속형 Kraven 공식을 이용하였으며 저류상수의 경우 Sabol 공식을 적용하여 분석하였다. Kraven 공식은 Eqs. (1)~(2)와 같으며 Sabol 공식은 Eq. (3)과 같다. Figs. 9와 10은 도달시간과 저류상수 분석결과를 나타낸다.

$$\text{급경사부}(S > 3/400): V = 4.592 - \frac{0.01194}{S}, V_{\max} = 4.5m/s$$

$$\text{완경사부}(S \leq 3/400): V = 35,151.51S^2 - 79.39S + 1.618, V_{\min} = 1.6m/s$$

$$K = \frac{T_c}{1.46 - 0.0864 \frac{L^2}{A}}$$

여기서, T_c 는 도달시간(hr), L 은 유로연장(km), A 는 유역면적(km²)이다.

Table 1. Probability Rainfall by Rainfall Duration and Return Period

Name	Return Period (year)	Rainfall Duration (mm)										Probability Distribution Type
		10 min	60 min	120 min	180 min	240 min	300 min	360 min	720 min	1,080 min	1,440 min	
Donghae (Samcheok)	10	14.5	45.6	72.7	91.8	106.8	118.6	129.7	179.1	222.6	253.3	Gumbel
	20	16.3	52.1	84.0	106.1	123.6	136.9	149.8	206.2	256.6	292.8	
	30	17.3	55.8	90.5	114.4	133.2	147.5	161.3	221.8	276.1	315.4	
	50	18.7	60.4	98.6	124.7	145.2	160.7	175.7	241.3	300.6	343.8	
	80	19.9	64.6	106.1	134.1	156.2	172.8	188.9	259.2	322.9	369.7	
	100	20.4	66.6	109.6	138.6	161.5	178.5	195.2	267.6	333.5	382.0	
Taebaek	10	18.4	51.5	70.7	87.5	98.6	111.5	123.1	170.0	197.3	228.0	Gumbel
	20	20.8	58.1	79.9	99.8	112.3	126.9	140.1	193.0	222.9	259.0	
	30	22.2	61.9	85.1	106.9	120.2	135.8	149.9	206.2	237.6	276.8	
	50	23.9	66.6	91.7	115.7	130.0	146.9	162.1	222.7	256.0	299.1	
	80	25.5	71.0	97.8	123.8	139.0	157.0	173.3	237.9	272.8	319.5	
	100	26.2	73.0	100.6	127.7	143.3	161.8	178.6	245.0	280.8	329.2	
Sokcho	10	16.1	48.5	74.8	93.2	108.5	124.3	137.8	190.0	230.4	261.6	Gumbel
	20	18.4	55.2	85.0	105.5	122.7	140.8	156.3	215.1	262.2	300.0	
	30	19.7	59.1	90.8	112.5	130.9	150.2	167.0	229.6	280.4	322.0	
	50	21.2	63.9	98.2	121.3	141.1	162.1	180.3	247.7	303.2	349.6	
	80	22.7	68.4	104.9	129.4	150.4	173.0	192.5	264.2	324.1	374.9	
	100	23.4	70.5	108.1	133.2	154.8	178.1	198.2	272.0	334.0	386.9

Fig. 8. Calculation Results of CN III

Fig. 9. Calculation Results of Concentration Time

Fig. 10. Calculation Results of Storage Coefficient

4. 적용 및 분석

4.1 산정방법별 홍수량 비교

강원영동지역 소하천인 삼척시 및 속초시 소하천의 총 357개 홍수량 산정지점에 대해 CLARK 유역추적법과 합리식을 이용하여 홍수량을 산정하고 유역면적별로 비교한 결과 Fig. 11에 나타난 바와 같이 합리식에 의한 홍수량이 CLARK 유역추적법에 의한 홍수량에 비해 크게 나타났으며 유역면적이 클수록 차이는 더욱 크게 벌어지는 것으로 나타났다.

일반적으로 합리식의 적용은 유역면적 5 km^2 이하의 유역에 적용하는 것으로 제시되고 있는 점을 감안하여 5 km^2 이하의 산정지점 278개소에 대해 유역면적별 비교한 결과는

Fig. 11과 같으며 이후의 검토는 유역면적 5 km^2 이하 산정지점에 대해 분석하였다.

4.2 만제유량 및 홍수량 산정방법별 홍수량 비교

삼척시 및 속초시 소하천 홍수량 산정지점중 유역면적 5 km^2 이하의 산정지점 278개소에 대해 산정된 만제유량을 CLARK 유역추적법과 합리식에 의한 50년빈도 홍수량과 비교하였다. 비교 결과 Fig. 12와 같이 분석되었으며 소하천 계획단면의 만제유량은 합리식에 의한 홍수량 산정결과와의 차이비율이 11.56%~0.17% 수준인데 비해, CLARK 유역추적법의 홍수량은 만제유량과의 차이비율이 124.25%~15.27%로 그 차이가 비교수준을 벗어나는 것으로 나타났다.

Fig. 11. Comparison of Discharge by Catchment Area (CLARK, Rational Equation)

Fig. 12. Distribution Chart of Discharge by Bankfull Discharge, CLARK, and Rational Equation

(a) Comparison of Bankfull Discharge and Rational Equation

(b) Comparison of Bankfull Discharge and CLARK

Fig. 13. Comparison of the Bankfull Discharge and Discharge according to the Method of Calculating the Flow Rate

Fig. 13과 같이 X축에 합리식 및 CLARK 유역추적법에 의한 홍수량을 배열하고 Y축에 만제유량을 배열토록 하는 Q-Q Plot을 각각 작성한 결과 합리식의 경우 중심선형으로 밀집 분포하여 만제유량과 유사한 것으로 나타난 반면 CLARK 유역추적법은 Y축으로 기울고 산개되어 있어 만제

유량에 비해 홍수량이 과소하면서 현격한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구대상 소하천의 정비계획 수립에 있어 계획단면을 통해 만제유량이 안전하게 소통되어져야 함을 고려할 때, 합리식의 적용이 적절할 것으로 판단된다.

4.3 방법별 홍수량 결과에 대한 유역인자별 추이 분석

강원지역 소하천중 유역면적 5 km^2 이하에서는 합리식을 이용하여 홍수량을 산정하는 것이 바람직한 것으로 나타났으나, 합리식과 CLARK 유역추적법에 의한 홍수량 차이가 나타나는 원인을 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다. 이를 위해 합리식 및 CLARK 유역추적법에 의한 홍수량 결과를 유역인자별(유역면적, 형상계수, 유로경사)로 분석하여 홍수량 차이의 원인을 도출하고 합리식 적용의 적합성을 제시하도록 하였다.

유역면적에 따른 홍수량 검토 결과 Fig. 14와 같이 CLARK 유역추적법에 의한 홍수량은 합리식 홍수량에 비해 과소하게 산정되어 소하천의 치수안정성 확보가 어려울 것으로 분석되었다.

형상계수에 따른 비홍수량 검토결과 Fig. 15와 같이 합리식의 비홍수량은 형상계수가 증가할수록 커지는 것으로 분석되었다. CLARK 유역추적법에 의한 비홍수량은 형상계수가 증가하더라도 일정한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 형상계수가 클수록 유출의 집중성향이 커져 비홍수량이 증가함을 고려할 때, 합리식에 의한 비홍수량 변화가 더욱 타당한 것으로 판단된다.

유로경사에 따른 비홍수량 검토 결과 Fig. 16과 같이 합리식의 비홍수량은 유로경사가 증가할수록 커지는 반면, CLARK 유역추적법에 의한 비홍수량은 유로경사가 증가하더라도

일정한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 동일한 유역면적에서 유로경사가 급할수록 홍수도달이 빨라지므로 침투홍수량은 커지는 것을 고려할 때, 본 연구 대상처럼 유로경사가 급한 소규모 유역에서는 합리식에 의한 비홍수량 변화가 더욱 타당한 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서 강원영동지역의 소규모유역에서의 홍수량 산정시 보다 적절한 방법을 모색하기 위하여 홍수량 산정 표준지침에서 제시하는 CLARK 유역추적방법과 소규모 유역에서 홍수량 산정이 비교적 합리적으로 판단되는 합리식에 의한 홍수량산정방법 적용방안에 대해 비교분석하여, 강원영동지역 소유역에 대한 홍수량 산정방법을 검토하였다. 강원영동지역 소하천인 삼척시 및 속초시 소하천의 총 357개 홍수량 산정지점에 대해 CLARK 유역추적법과 합리식을 이용하여 홍수량을 산정하고 유역면적별로 비교한 결과 합리식에 의한 홍수량이 CLARK 유역추적법에 의한 홍수량에 비해 크게 나타났으며 유역면적이 클수록 차이는 더욱 크게 벌어지는 것으로 나타났다.

일반적으로 합리식의 적용은 유역면적 5 km^2 이하의 유역에 적용하는 것으로 제시되고 있는 점을 감안하여 5 km^2 이하의 산정지점 278개소에 대해 각 산정지점별 계획하폭을 적용한 소하천 계획단면에서의 만제유량과 각 방법별로

Fig. 14. Comparison of Discharge by Basin Area of 5 km^2 or Less (CLARK, Rational Equation)

Fig. 15. Non-flooding Capacity Comparison by Shape Factor (CALRK, Rational Equation)

Fig. 16. Non-flooding Capacity Comparison by Slope (CALRK, Rational Equation)

산정된 홍수량 결과를 비교함으로써 본 연구대상의 소하천 유역에서 홍수량 산정방법의 적정성에 대한 검증은 수행한 결과 계획단면의 만제유량은 합리식에 의한 홍수량 산정결과와의 차이비율이 11.56%~0.17% 수준인데 비해, CLARK 유역추적법의 홍수량은 만제유량과의 차이비율이 124.25~15.27%로 그 차이가 비교수준을 벗어나는 것으로 나타났으며 X축에 합리식 및 CLARK 유역추적법에 의한 홍수량을 배열하고 Y축에 만제유량을 배열토록 하는 Q-Q Plot을 통해 검토한 결과에서도 합리식의 경우 중심선형으로 밀집 분포하여 만제유량과 유사한 것으로 나타난 반면 CLARK 유역추적법은 Y축으로 기울고 산개되어 있어 만제유량에 비해 홍수량이 과소하면서 현격한 차이를 보이는 것으로 나타나 본 연구대상의 강원영동지역 소하천의 홍수량 산정은 합리식의 적용이 적정할 것으로 판단된다.

본 연구 대상인 강원영동지역 소하천 중 유역면적 5 km² 이하에서는 합리식을 이용하여 홍수량을 산정하는 것이 바람직한 것으로 나타났으나, 합리식과 CLARK 유역추적법에 의한 홍수량 차이가 나타나는 원인을 분석하고 원인에 따른 합리식을 적용해야하는 근거 제시를 위해 합리식 및 CLARK 유역추적법에 의한 홍수량에 대해 유역면적별로 비교하고 형상계수 및 유로경사별 비홍수량을 분석하였다. 유역면적별 비교에서 CLARK 유역추적법에 의한 홍수량은 합리식 홍수량에 비해 과소하게 산정되어 소하천의 치수안정성 확보가 미비될 우려를 확인하였다. 치수안정성 측면에서 과소산정된 CLARK 유역추적법을 이용하여 수공시설물을 설치하였을 때 낮은 홍수량에 대한 시설물의 설치로 재해적 관점에서 위험을 줄일 수 없을것이라 판단된다. 형상계수 및 유로경사별 분석에서 합리식의 비홍수량은 형상계수의 증가 및 유로경사가 증가할수록 커지는 반면, CLARK 유역추적법에 의한 비홍수량은 형상계수와 유로경사 변화에도 일정하게 나타났다. 동일한 유역면적에서 형상계수가 크면 방사형상의 유역으로 유출의 집중도가 높아지며 유로경사가 급해지면 홍수도달이 빨라지므로 각각 첨두홍수량의 증가를 유도하여 비홍수량은 증가하여야 함을 고려할 때 본 연구 대상의 강원영동지역의 소규모 유역에서는 합리식에 의한 비홍수량 변화가 더욱 타당한 것으로 판단된다. 이는 CLARK 유역추적법의 적용시 유역저류상수 산정의 한계성으로 추정될 수 있으며 유역의 저류효과가 크지 않은 유역면적 5 km² 이하의 강원영동지역 소하천의 홍수량을 산정할 시에는 합리식을 적용하여 홍수량을 산정하는 것이 바람직하다.

따라서 본 연구를 통해 강원영동지역의 소하천의 경우 유역면적 5 km² 이하에서 합리식 및 CLARK 유역추적법에 의한 비홍수량의 추세선이 교차되는 유로경사 0.0339 이상에서는 합리식에 의한 홍수량을 적용하는 것이 소하천의 치수안정성 확보에 타당한 것으로 판단된다.

한편, 본 연구는 양질의 강우자료의 입수가 가능한 강원영동지역 2개 지역에 대해 소하천 유역의 합리적인 홍수량

산정방안이 필요함을 확인하고 합리식 적용의 적정성 및 개략적인 적용 기준을 제시하였으며 이를 통해 강원영동지역 소하천의 홍수량 산정시 합리식 적용이 필요한 세부적인 유역특성별 기준을 모색하기 위한 보다 확장된 연구를 위한 기초자료로서의 의미가 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(18CTAP-C143007-01-000000)에 의해 수행되었습니다.

References

- Band, L.E. (1986). Topographic partition of watersheds with digital elevation models. *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 1, pp. 15-24.
- Cho, H.J. (1986). Runoff analysing considering the distribution of concentration time and slope length for a small basin. *Journal of Korean Association of Hydrological Sciences*, Vol. 19, No. 2, pp. 139-148.
- Choi, J.I., and Kang, S.H. (2005). Study on the runoff estimation considering stream order. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 5, No. 4, pp. 17-27.
- Clark, C.O. (1945). Storage and the unit hydrograph. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 110, pp. 1419-1446.
- Hellweger, F.L., and Maidment, D.R. (1999). Definition and connection of hydrologic elements using geographic data. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 10-18.
- Kim, J.C., Ryu, G.H., and Jeong, J.H. (2017). A practical method to prevent an overestimation of peak discharge in a small watershed. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 4, pp. 295-305.
- Kim, K.T., and Choi, Y.S. (2003). A study on runoff response according to dividing watershed. *Journal of Korea Water Resource Association*, Vol. 36, No. 6, pp. 911-924.
- Lee, D.H., Choi, J.I., Shin, S.H., and Yi, J.E. (2013). A study on proper number of subbasin division for runoff analysis using Clark and ModClark methods in midsize basins. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 1, pp. 157-170.
- Lee, J.H., and Yoon, S.H. (2007). Runoff estimation

- considering dividing watershed. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 7, No. 1, pp. 57-66.
- Lee, J.T., and Lee, S.T. (1997). The effects on the characteristics of urban storm runoff due to the space allocation of design rainfall and the partition of the subbasin. *Journal of Korea Water Resource Association*, Vol. 30, No. 2, pp. 177-191.
- Mayer, S.P., Salem, T.H., and Labadie, J.W. (1993). Geographic information system in urban storm water management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 119, No. 2, pp. 206-228.
- Ministry of Environment (ME). (2019). *Standard guidelines for calculating flood volume*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). (2012). *Guidelines for calculating design floods*.
- National Institute of Agricultural Sciences (NAS). (2007). *(For hydrological interpretation) Soil hydrological characteristics and application of soil electronic map*. NAS, Rural Development Administration (RDA), pp. 73-93
- Park, S.H., Won, J.Y., Song, J.I., and Yoon, S.E. (2010). Analysis of design flood change for the small to medium size rivers in Gyeonggi-do. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 10, No. 2, pp. 143-149.
- Seong, K.W. (2003). An indirect approach determining parameters of Clark's model based on model fitting to the gamma distribution function. *Journal of Korea Water Resource Association*, Vol. 36, No. 2, pp. 223-235.
- Yoon, T.H., Lee, J.W., and Jegal, S.D. (2000). Evaluation of parameters in hydrodynamic model. *Journal of Korea Water Resource Association*, Vol. 33, No. 1, pp. 39-50.

Received	■ June 10, 2020
Revised	■ June 12, 2020
Accepted	■ July 22, 2020