

## 임계지속시간 추정을 위한 지형 인자의 중요도에 관한 연구

### A Study on the Importance of Topography Elements for Critical Duration Estimation

김민환\*, 나기복\*\*, 전일권\*\*\*

Minhwan Kim, Gibok Na, Irkweon Ceon

#### 요 지

안전한 수공구조물의 설계를 위하여 가장 큰 홍수량이 유발되는 지속시간 즉, 임계지속시간을 적용할 필요가 있다. 임계지속시간은 유역의 지형 인자 특성에 따라 상이 하다. 다양한 연구자들에 의하여 임계지속시간은 유역의 지형 인자를 고려하여 추정할 수 있고, 이의 추정에 지형 인자를 고려하는 것이 합리적인 것으로 제안하였다. 본 연구에서는 기존에 발표된 임계지속시간 추정에 관련된 연구 성과를 분석하고, 이를 토대로 다양한 지형특성을 포함하고 있는 유역의 하천에 대하여 지형 인자가 임계지속시간을 추정에 기여하는 중요도를 분석하였다. 각 지형 인자의 중요도 판단 지표로는 베타계수를 활용하였다. 형상계수의 크기에 따라 지형 인자의 중요도는 상이 하였다. 임계지속시간을 지형 인자를 활용하여 회귀모형으로 추정할 때 각 인자의 중요도를 고려하여 변수를 선택하면 상관성이 향상될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어 : 임계지속시간, 지형 인자, 첨두홍수량, 베타계수**

#### 1. 서론

임의 유역의 설계강우량이 적합한 방법으로 결정되었다 하더라도 이를 활용하여 추정되는 유역의 첨두홍수량은 그 유역의 지형 인자 특성에 따라 달라진다. 유역에 안전한 수공구조물의 설계를 위해서는 가장 큰 첨두홍수량을 활용하여야 하며 이를 발생시키는 지속시간을 적용하여야 한다. 이 지속시간을 임계지속시간(CD; Critical Duration)이라 한다. 유출수문곡선은 설계강우량, 유역의 강우 분포 그리고 강우 지속기간에 따라 다르다. 안전한 수공구조물을 설계하기 위하여 설계강우량을 시간에 따른 분포와 가장 큰 유출량을 발생시키는 임계지속시간을 결정해야 한다. 즉, 수공구조물의 안전을 확보하기 위하여 임계지속시간에 해당하는 강우를 토대로 평가한 유출량을 적용한다. 특히 배수시설은 홍수로 인해 최대의 부하가 걸리는 상황에서 안전이 보장되도록 설계해야 한다.

CD에 관한 연구는 William 등(1976), Chen and Wong(1994), Bernhard(1997), Lee et al.(1993) 다양한 연구자들에 의하여 수행되었다. 이들은 순간 단위 유량도, 침투율의 시간에 변화를 고려한 운동과 이론, 유출 현상의 비선형적 해석 등으로 임계지속시간을 산정하고자 하였다.

Sim et al.(1998), Ahn et al.(2000), Jung et al.(2005) 그리고 Park et al.(2008)은 유역의 지형 인자를 고려하여 CD를 추정하는 방안을 제시하였다. 이들의 연구 성과를 살펴보면 CD 개념을 토대로 유출수문곡선을 산정하는 것이 합리적이라 제안하였다. 아울러 최적 설계 수문량 산정을 위

\* 정회원 · 호남대학교 공과대학 토목환경과 교수 · E-mail : kimmh@hanam.ac.kr  
 \*\* 호남대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : koya6@naver.com  
 \*\*\* 정회원 · 전남도립대학교 토목환경과 교수 · E-mail : cikks@dorip.ac.kr

하여 CD의 추정에 유역의 지형학적 인자를 활용하는 것이 유용하다고 제시하였다.

본 연구에서는 기존에 발표된 CD 추정에 관련된 연구 성과를 분석하고, 이를 토대로 다양한 지형특성을 포함하고 있는 유역의 하천에 대하여 지형 인자가 CD를 추정에 기여 하는 중요도를 분석하고 이를 향후 CD를 추정하는데 기초자료로 활용하는 토대를 구축하고자 한다. 각 지형학적 인자의 중요도 판단 지표로는 베타계수를 활용한다(Lee et al., 2006).

## 2. 기존 연구

Ahn et al.(2000)은 지형 인자를 활용하여 CD를 추정하였다(연구 1). 이 연구에서 활용한 자료를 살펴보면 포항시 인근의 8개 하천에서 지형 인자의 유역면적의 범위는 1.11~10.06km<sup>2</sup>, 유로 연장의 범위는 2.27~7.83km이다(표 1). 그들은 CD에 관한 상관성은 도달시간, 유역면적, 유로연장 순으로 높고, 유역의 형상계수와 유출곡선지수(CN; Curve Number)와는 낮은 것으로 제시하였다(표 2).

표 1. 각 연구자료의 유역 인자 특성

구분	하천수	유역면적 (km <sup>2</sup> )	하천길이 (km)	유역평균고도 (EL. m)	유출곡선지수	형상계수	임계지속시간 (hr)	빈도년 (year)
연구 1	8	1.11~10.06	2.27~7.83	32.75~180.50	-	0.126~0.273	-	-
연구 2	26	0.72~35	1.47~10.82	674.96~912.42	69.70~88.63*	0.16~0.65	5~13	30
							5~13	50
연구 3	38	1.10~66.55	0.03~41.16	98.87~460.57	70.00~77.00**	0.039~0.351***	6~9	30
							6~10	50

주) \* : CN III, \*\* : CN II, \*\*\* : 본 연구

Jung et al.(2005)은 강원도 홍천군의 산지 소하천의 유역 인자를 고려한 임계지속시간을 추정하는 회귀식을 제시하였다(연구 2). 그들은 CD와 지형 인자와의 상관분석을 30년과 50년 빈도의 강수량으로 구분하여 수행하고 그 상관성 높다고 주장하였다(표 2). 각 하천의 지형 요소인 유역면적과 유로 연장은 각각 0.72~35km<sup>2</sup>, 1.47~10.82km 범위이다. 아울러 CD와의 상관성이 유역면적과 하천연장 순서로 높다고 제시하였다.

표 2. 임계지속시간과 유역 인자 간의 상관계수

빈도년 (year)	구분	유역면적 (km <sup>2</sup> )	하천길이 (km)	유역평균고도 (EL. m)	형상 계수	평균하도경사	CN
-	연구 1	0.794	0.888	-	-0.547	0.321	0.116
30		0.897	0.878	0.337	-0.262	-0.449	-
50	연구 2	0.901	0.890	0.346	-0.330	-0.464	-
30		0.882	0.893	0.104	-0.5403*	-0.541	-0.221
50	연구 3	0.916	0.911	0.302	-0.5717*	-0.438	-0.234

주) \* : 본 연구

Park et al.(2008)은 남강댐 유역의 38개 지방하천에 대해 CD와 유역 인자와의 상관분석을 수행하였다[연구 3]. 그들은 CD를 추정하기 위해 연구 2와 다르게 지형 인자를 유역면적, 하천연장, 하천 경사, CN, 유역 평균 고도로 구성하였다. 이들이 연구한 하천의 유역면적은 1.102~66.546km<sup>2</sup>, 유로 연장은 0.031~41.156km로 범위가 연구 2에서보다 크다. CD와 유역 인자와의 상관성은 유역면적과 하천연장 등의 순으로 높고, 유역 평균 고도와 CN은 낮다고 제시하였다.

상기 연구를 분석해 보면 CD를 추정하기 위해 연구 3에서 제시된 지형 인자는 5개이며 이들 인자를 모두 포함하여 회귀분석한 결과를 살펴보면 다양한 하천의 자료임에도 불구하고 2개의 지형 인자를 활용한 연구 2보다 상관성이 양호하다(표 3). 이 결과로 볼 때 지형 인자의 활용에 관한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

표 3. 각 연구의 회귀식과 상관계수

구분	회귀식	상관계수	빈도 년
연구 1	$Y_i = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \epsilon_i$	0.966	-
연구 2	$CD = aA^{b_1} \cdot L^{b_2}$	0.882	30
		0.847	50
연구 3	$CD = a_0 + a_1 A + a_2 L + a_3 S + a_4 CN + a_5 H$	0.954	30
		0.938	50

### 3. 중요도 평가

유역 인자의 중요도 평가를 위하여 대상 유역은 전남 장성군의 147개 하천을 선택하였다. 이들 하천의 유역 인자는 장성군 소하천정비종합계획(2017)자료를 활용하였다. 각 인자의 특성을 간략하게 기술하면 유역면적 0.34~6.84km<sup>2</sup>, 유로연장 0.84~5.04km, 형상계수 0.094~0.849, 평균하도경사 8.93~27.69, CN III 76~91 그리고 CD는 100~150분 범위에 있다.

장성군 소하천 146개 하천을 대상으로 50년 빈도 홍수량에 대한 임계지속시간(CD)과 유역특성 인자 간의 상관관계를 분석하여 표 4에 기술하였다.

표 4. 대상하천의 유역 인자와 임계지속시간과의 상관계수

구분	유역면적 (A)	하천길이 (L)	유역평균고도 (H)	형상계수 (F)	평균하도경사 (S)	CN III (CN)
상관계수	0.095	0.292	-0.143	-0.264	-0.084	-0.450

표 5를 분석해 보면, CD와 각 유역특성 인자 간의 상관성은 CN과 하천길이, 형상계수 순으로 크고, 평균하도경사와 유역면적은 작다. 이는 대상 연구 하천의 유역면적과 평균하도경사가 매우 다양한 형태로 구성되어 있음을 알 수 있다.

유역 인자와 CD 간의 상관성이 향상된 회귀모형을 구성하는 방안을 찾고자 각 인자의 중요도를 파악한다. 이 방법은 각 인자의 중요도를 파악하여 회귀모형에 그 중요도에 따라 반영하는 것이다. 각 인자의 상대적인 중요도를 판단하는 방법으로 베타계수(Beta Coefficient)를 평가한다. 이 방법은 모든 변수를 표준화하여 회귀식을 추정하면 변수의 단위가 기울기에 미치는 영향을 통제할 수 있는 것으로 알려져 있다. 분석에 사용되는 모든 변수를 표준화하기 위해 종속변수와 독립

변수는 변환하여 사용한다. 본 연구에서 독립변수는 유역면적( $A$ ), 하천길이( $L$ ), 평균하도경사( $S$ ), 유출곡선지수( $CN$ ), 유역평균고도( $H$ )이다.

베타계수는 식(1)과 같이 회귀식의 기울기와 표준편차에 의해 평가 한다(Lee et al, 2006). 이 식으로 추정된 독립변수의 기울기가 베타계수이며 이의 절대값으로 상대적 중요도를 판단한다.

$$\beta_k = b_k \frac{s_{X_k}}{s_Y} \tag{1}$$

여기서  $\beta_k$ 는  $k$ 번째 독립변수의 베타계수,  $b_k$ 는  $k$ 번째 독립변수의 기울기,  $s_Y$ 는 종속변수의 표준편차,  $s_{X_k}$ 는  $k$ 번째 독립변수의 표준편차이다.

임계지속시간은 유역형상이 장방형 또는 원형이 가까운 형상이 되면 시간이 짧거나 길어지는 상반된 결과를 갖는다. 이를 나타내는 지표가 형상계수이므로 본 연구에서는 형상계수의 평균값을 기준으로 두 그룹으로 나누어 중요도를 평가한다. I 그룹과 II 그룹의 형상계수 범위는 각각 0.094~0.239과 0.240~0.610이며 소하천의 수는 각각 66개 및 79개이다. 종속 및 독립변수의 표준편차, 베타계수 그리고 중요도를 추정하여 표 5에 기술하였다.

표 5. I 그룹과 II 그룹 각 변수의 베타계수와 중요도

구분		CD	$A$	$L$	$S$	$CN$	$H$
I 그룹	표준편차	0.097241	0.255427	0.12797	0.168695	0.022448	0.258896
	베타계수	-	-0.88415	1.125193	-0.00956	-0.60831	-0.22055
	중요도	-	2	1	5	3	4
II 그룹	표준편차	0.081162	0.300274	0.146856	0.19882	0.028677	0.280931
	베타계수	-	0.007181	0.283569	0.10552	-0.53913	-0.15882
	중요도	-	5	2	4	1	3

#### 4. 결 론

본 연구에서 임계지속시간과 지형 인자와의 중요도를 분석하여 상관도가 높은 임계지속시간을 추정하는 회귀식을 도출하는 기초자료로 활용하는 토대를 구축하고자 하였다. 기존의 연구 성과 분석과 장성균의 소하천을 대상으로 지형 인자의 중요도를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

임계지속시간과 추정 회귀식의 상관성은 지형 인자를 유역면적과 하천길이만을 사용한 경우보다 평균하천경사, 유출곡선지수, 유역평균고도를 포함하는 것이 양호한 것으로 나타났다.

지형 인자의 중요도는 형상계수가 0.094~0.239 범위에 있을 때 하천길이, 유역면적, 유출곡선지수, 유역평균고도 그리고 평균하천경사 순이고, 형상계수가 0.240~0.610 범위에 있을 때는 유출곡선지수, 하천길이, 유역평균고도, 평균하천경사 그리고 유역면적 순이다. 이는 유역면적에 비해 하천길이가 긴 경우 하천길이와 유역면적이 미치는 영향이 크고 이와 반대인 경우는 유출곡선지수와 하천길이가 미치는 영향이 큰 것으로 판단된다.

전술한 내용으로 볼 때 임계지속시간을 지형 인자를 활용하여 회귀모형으로 추정할 때 다양한 독립변수를 포함하고 각 유역 인자의 중요도를 고려하여 변수를 선택하면 상관성이 향상될 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- Ahn K. S., Han K. D., Kim I. S. and Cho K. M.(2000). A Study Decision of Optimal Design Hydrologic Data by Considering Critical Duration, Korean Society of Civil Engineers Conference Collection of Dissertations, No. 3, pp. 491-494.
- Bernhard, H. Schmid(1997). Critical Rainfall Duration for Overland Flow from an Infiltration Plane Surface, Journal of Hydrology, pp. 45-60.
- Chen C. N. and Wong. T.S.W.(1994). Critical Rainfall Duration for Maximum Discharge from Overland Plane : Closure. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 12, pp. 1484-1486.
- Lee D. W. and Kim S. H.(2006), Statistics, Seoul Economic Management Press, pp. 286-288.
- Lee J. J., Lee J. S., Jun B. H. and Lee J. T.(1993). Critical Duration of Design Rainfall for the Design of Storm Sewer in Seoul, Journal of Korea Association of Hydrological Sciences, Vol. 26, No. 2 pp. 49-57.
- Jung J. W., Hong S. H. and Cha Y. K.(2005). Critical Duration Estimation considering Drainage basin characteristics of Small Rivers in Mountaineous Areas, Korean Society of Civil Engineers Conference Collection of Dissertations, pp. 1339-1342.
- Park J. H., Park J. I., Ham G. U., Jang D. J., Yoon S. M. and Kang M. J.(2008). Critical Duration Estimation Considering Landform Characteristics, Korean Society of Civil Engineers Conference Collection of Dissertations, pp. 1595-1598.
- Sim J. H. and Cho W. C.(1998). Concept Comparison With Flood Arrival Time And Critical Duration(I), Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 31, No. 5, pp. 115-130.
- Sim J. H. and Cho W. C.(1998). Concept Comparison With Flood Arrival Time And Critical Duration(II), Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 31, No. 6, pp. 60-67.
- Sim J. H. and Cho W. C.(1998). Concept Comparison With Flood Arrival Time And Critical Duration(III), Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 32, No. 1, pp. 127-132.
- William, J.C. Meylink(1976). Critical Duration of Rainfall for Flood Estimation, J. of the Water Resources Research, Vol. 12, No. 6, pp. 1209-1214.