



## The development of design-width prediction equation by using 12 local governments data collected from small stream of Korea

Choi, Changwon<sup>a</sup> · Cheong, Tae Sung<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>Research Officer, Disaster Prevention Research Division, National Disaster Management Research Institute, Ulsan, Korea

<sup>b</sup>Senior Research Officer, Disaster Prevention Research Division, National Disaster Management Research Institute, Ulsan, Korea

Paper number: 22-116

Received: 21 November 2022; Revised: 24 January 2023; Accepted: 30 January 2023

### Abstract

There are more than 22,300 small streams distributed nationwide in Korea, and they have various runoff characteristics depending on basin area, topography and land use. For small stream disaster management, establishing detailed design standards suitable for the small streams is important, but most of the formulas currently proposed in the small stream design standard are based on the river design standard aimed at national and local rivers or foreign river design standards. The design-width is an important factor in determining the size of the stream. It is determined by using design-flood discharges or more variables such as design-flood discharges, basin area, slope, etc in the small stream design standard. This study collected various characteristics information such as the design-flood discharges, basin area, river length and river slope, and design-width values from 4,073 small streams distributed in 12 cities and provinces in Korea to suggest the appropriated design-width formula. This study developed two design-width formulas by using the regression analysis which one is using the design-flood discharges and the other is using various variables such as the design-flood discharges, basin area, river length and river slope collected from the small streams. It is expected that both equations developed in here can be used for small stream disaster management, such as improving small stream design standard or establishing a comprehensive small stream maintenance plan.

**Keywords:** Small stream design standard, Design-width formula, Design-flood discharges, Comprehensive small stream maintenance plan, River design standard

## 국내 12개 시도 자료를 이용한 소하천 계획하폭 산정식 개발

최창원<sup>a</sup> · 정태성<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>국립재난안전연구원 방재연구실 시설연구사, <sup>b</sup>국립재난안전연구원 방재연구실 시설연구관

### 요 지

국내에는 22,300개 이상의 소하천이 전국에 분포하고 있으며, 이들은 위치한 지역, 지형 및 토지 이용 상태에 따라 다양한 유출 특성을 갖는다. 소하천의 재난관리를 위해서는 소하천 특성에 적합한 세부 설계기준을 수립하는 것이 중요하다. 현재 국내 소하천설계기준에서 제시하는 개별 산정식들은 국내 중·대규모 하천이나, 외국 하천의 설계기준을 준용하고 있어 국내 소하천에 적합한 산정식 개발이 필요하다. 그 중 계획하폭은 하천의 규모를 결정하는 기준 중 하나로 현재 계획홍수량과 유역면적 등에 기반하여 결정하고 있다. 본 연구에서는 국내 소하천의 특성정보를 바탕으로 적정 계획하폭을 산정하기 위해, 국내 12개 시도 4,073개 소하천의 다양한 특성정보와 계획하폭 정보를 수집하고 이들을 이용하여 회귀분석을 수행하였다. 이를 바탕으로 계획홍수량에 대한 1변수 계획하폭 산정식과 소하천의 계획홍수량, 유역면적, 하천연장, 하상경사에 따른 다변수 계획하폭 산정식을 도출하였다. 이렇게 산정된 소하천 계획하폭 산정식들은 소하천 설계기준 개선이나 소하천정비 종합계획 수립 등 소하천 재난관리에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어:** 소하천 설계기준, 계획하폭 산정식, 계획홍수량, 소하천정비 종합계획, 하천 설계기준

\*Corresponding Author. Tel: +82-52-928-8230  
E-mail: tscheong@gmail.com (Cheong, Tae Sung)

# 1. 서론

## 1.1 연구배경

우리나라는 하천의 효율적 관리를 위해 하천을 국가하천, 지방하천, 소하천, 세천으로 분류하고 있다. 이중 국가하천과 지방하천은 「하천법」에 의거하여 환경부장관 및 지자체장(시·도지사)이 그 관리를 담당하고 있으며, 소하천은 「소하천 정비법」에 의거하여 특별자치시장·시장·군수 또는 구청장이 관리하고 있다. 그리고 세천은 「소규모 공공시설 안전관리 등에 관한 법률」에 의거하여 시장·군수 또는 구청장이 관리하고 있다. 우리나라의 하천관리는 1961년 제정된 하천법에 근거하여 주로 중대규모 하천 즉, 국가하천과 지방하천을 중심으로 이루어졌으며, 비교적 최근인 1995년에 이르러서야 소하천 정비법 제정을 통해 소하천 관리를 시작하였다. 국내 5개 대하천 권역을 기준으로 국가지방소하천의 개소수 및 면적을 비교하면, 소하천은 개소수로는 국가하천과 지방하천의 약 5.8배에 달하며, 면적으로는 전체하천의 54.2%(국가하천과 지방하천을 합한 면적의 약 119%)에 해당하는 큰 면적을 차지하고 있다(Table 1).

2020년 재해연보(MOIS, 2021)에 따르면, 최근 10년(2011~2020년)간 국내 자연재난의 약 93%가 풍수해(태풍, 호우)로 인한 피해이며, 풍수해로 인한 인명피해 183명 중 22.4%(41명), 하천에서 발생한 피해액 총 9,284억 원 중 41.6%(3,858억 원)가 소하천에서 발생하였다. 국내 소하천이 전체하천에서 차지하는 면적과 수, 피해 발생 규모 등을 고려했을 때 그 중요도가 상당히 높음에도 불구하고, 소하천 정비율은 45.7%로 국가하천 99.8%, 지방하천 92.2%에 비해 상당히 낮은 편으로 재난관리를 위한 예산 편성 및 집행이 미흡한 상황이다. 또한, 전국의 수위·유량 관측소는 국가하천과 지방하천에 1,350여 개가 설치된 반면, 소하천에 설치된 관측소는 10여 개에 불과할 정도로 소하천 재난관리를 위한 기반시설이 부족한 현실이다. 소하천 설계기준 관련 연구에 있어서도 계측자료의 부족으로 세부 항목들은 국내 중대규모 하천에 적합하게 개발된 하천 설계기준을 따르거나, 국외에서 개발된 소하천 공식을 그대로 적용하는 경우가 많다.

국립재난안전연구원은 소하천정비법 제4조의4 및 소하천 정비법 시행령 제2조의2에 의거하여 소하천 설계기준의 작성 및 보급 업무를 담당하고 있다. 이를 위해 2016년부터 소하천 재난관리를 위해 CCTV기반 자동유량계측기술을 개발하여 전국 소하천의 10%(2,200여 개소) 계측을 목표로 시범유역을 확대·구축하고 있다. 또한, 지자체에서 수립하는 소하천 정비 종합계획의 유역 및 하천 특성정보를 DB로 구축하여, 국내 소하천에 적합한 재난관리 기술을 개발하고 있다. 더불어 연구원에서는 구축된 자료를 바탕으로 국내 소하천에 적합한 설계기준을 제시하기 위한 연구를 진행하고 있다. 그 중 하나로, 하천의 규모 등을 결정하는데 기준이 되는 중요한 값인 국내소하천에 적합한 계획하폭 산정식을 제시하고자 한다. 계획하폭 산정식을 개발하기 위하여 본 연구에서는 2021년까지 수집된 국내 12개 시·도의 소하천 특성정보 분석을 통해 계획홍수량과 하폭의 상관관계와 계획홍수량, 유역면적, 유로연장, 하상경사에 대한 소하천 하폭의 상관관계 분석결과를 제시하고자 한다.

소하천의 적정 계획하폭 산정을 위한 연구는 국내·외에서 지속적으로 수행되고 있다. 국외에서는 Andrews (1984)가 자갈(gravel bed)로 구성된 하천에 대해 제방 상태가 밀도가 낮은 초목 상태인 것과 무성한 수풀 상태인 하천에 대한 연구를 수행하였고, Hey and Thorne (1986)은 자갈 하상 하천의 제방에 나무가 차지하는 비율에 따른 계획하폭 산정식 개발 연구를 수행하였다. Charlton *et al.* (1978)은 자갈로 구성된 하상에서 제방에 식재된 풀과 나무의 구성형태에 따른 계획하폭 산정식 개발 연구를 수행하였으며, Huang and Nanson (1997)은 자갈 하상 하천 제방에 심어진 나무의 수를 10m 간격으로 집계하여 계획하폭 산정식을 제시하였다. 또한, Soar (2000)는 모래 하상 하천의 제방에 나무가 심어진 비율에 따른 계획하폭 산정식을 제시하였다. 이처럼 국외의 경우 하상재료와 제방에 식재된 식생의 종류와 밀도 등에 따른 적정 계획하폭 산정식을 제시하는 연구가 주로 수행되었다.

국내 하천 설계기준(KWRA, 2009)에 따르면 중소하천의 계획하폭은 Eqs. (1) and (2)와 같이 유역면적과 하상경사만을 고려하여 산정하고 있다.

Table 1. Number and area of basin of river classification

Classification	Number (EA)	Number Ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	Area Ratio (%)
National River	62	0.2	2,995	4.6
Local River	3,773	14.4	26,789	41.2
Small Stream	22,300	85.4	35,300	54.2
Total	26,135	100.0	65,084	100.0

$$W = 1.698 \times \frac{A^{0.318}}{S^{0.5}} \text{ 남부지방(전라도, 경상도)} \quad (1)$$

$$W = 1.303 \times \frac{A^{0.318}}{S^{0.5}} \text{ 중부지방(경기, 강원, 충청도)} \quad (2)$$

여기서,  $W$ 는 계획하폭(m),  $A$ 는 유역면적(km<sup>2</sup>),  $S$ 는 하도경사이다. 소하천 설계기준(MOIS, 2020)에서는 하상경사와 계획홍수량에 따른 계획하폭 산정식을 하천 설계기준에서 중소하천을 위해 제시하고 있는 것과 동일하게 제시하는 한편, 계획홍수량 300 m<sup>3</sup>/sec 이하일 때 계획홍수량에 따른 계획하폭 산정식과 유역면적이 10 km<sup>2</sup> 이하인 경우에 적용 가능한 유역면적에 따른 계획하폭 산정식을 함께 제시하고 있다(Eqs. (3) and (4)).

$$W = 1.235 \times Q^{0.6376} \quad (3)$$

$$W = 8.794 \times A^{0.5603} \quad (4)$$

여기서,  $Q$ 는 설계홍수량(m<sup>3</sup>/sec)을 나타낸다. 개인 연구는 대부분 지역별 하천을 대상으로 연구가 수행되었는데, Ahn and Kwon (1996)은 우리나라 중부지방에 위치한 미호천 유역, Jeon *et al.* (1998)은 한강유역에 위치한 중소하천의 계획하폭 산정식 개발 연구를 수행하였다. Lee (2004)는 서남부지역, Nam (2004)은 충남지역, Sin (2007)은 중부지역의 달천유역, Yoon *et al.* (2009)은 영월군에 위치한 소하천을 대상으로 계획하폭 산정에 관한 연구를 수행하였다. Myeng *et al.* (2007)은 금강유역내 중소규모 하천을 대상으로한 연구를 수행하였으며, Yun (2012)은 HEC-RAS 모형을 사용하여 흑천 수계에 위치한 지평천을 대상으로 적정 계획하폭 산정연구를 수행하였다. 또, Lee *et al.* (2016)은 의령군을 중심으로 기존 계획하폭 산정식의 적정성을 검토하였고, Bang (2017)은 강원 영서 지역, Lee (2019)는 충남 아산 지역을 대상으로 계획하폭 산정에 관한 연구를 수행하였다. 소하천 계획하폭 산정을 위한 설계 기준 및 관련 연구에서는 설계홍수량을 사용한 1변수 산정식을 주로 제시하고 있으며(Ahn and Kwon, 1996; Jeon *et al.*, 1998; Lee, 2004; Lee, 2019; Nam, 2004; Sin, 2007; Yun, 2012; Bang,

2017), 추가적으로 유역면적을 사용한 1변수 산정식이나 설계홍수량, 유역면적, 유로연장, 하도경사를 조합한 다변수 산정식을 제시하는 연구도 수행된 것으로 조사되었다(Lee, 2004; Lee, 2019; Myeng *et al.*, 2007; Sin, 2007; Bang, 2017).

## 1.2 특성자료 수집 및 분석

전국 194개 지자체에서는 소하천정비법에 따라 매 10년을 주기로 관할 소하천에 대한 소하천정비 종합계획을 수립하고 있으나, 수립된 보고서는 종이보고서와 파일형태로 해당 지자체에서 관리하고 있을 뿐 통합관리 되지 못하는 실정이다. 국립재난안전연구원에서는 전국 소하천의 특성자료 수집관리 분석을 위한 통합 플랫폼 개발과 함께, 현재까지 수립된 종합계획 보고서를 직접 수집하여 DB를 구축하고 있다. 본 연구에서는 2021년 수집한 8,686개 소하천의 기본정보를 바탕으로 자료를 분석(Fig. 1.①)하여 관할 소하천의 정보가 입력된 서울특별시, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산(이상 광역시), 세종특별자치시, 경기도, 강원도, 충청북도, 충청남도의 소하천을 연구 대상으로 선정하였다. 수집된 기본 소하천 정보 중 기점과 종점의 홍수량, 하폭 정보, 유로연장, 유역면적, 하상경사 자료에 오류가 있거나 누락된 소하천 3,869개(수집자료 기준 44.5%)를 제외하고, 4,817개 소하천 자료만 산정식 개발에 사용하였다(Fig. 1.②).

소하천정비 종합계획 보고서에서는 하천의 기점(하류)과 종점(상류)의 설계홍수량과 하폭값을 각각 제시하고 있으나, 전 구간 자료를 분석한 결과 기점과 종점의 정보가 잘못 입력된 것으로 판단되는 경우가 다수 발견되었다. 본 연구에서는 입력된 두 개 지점의 설계홍수량과 하폭을 각각 비교하여 설계홍수량이 큰 지점을 기점으로 판단하였다. 이를 기준으로 소하천정비 종합계획 보고서 자료를 분석한 결과, 기점을 하류로 판단한 경우(제대로 입력된 경우는 1,593건(32.5%)), 종점을 하류로 판단한 경우(반대로 입력된 경우는 2,497건(50.9%))이었으며, 기점과 종점의 설계홍수량과 하폭이 모두 동일한 경우도 90건(1.8%) 있었다. 본 연구에서는 상류보다 하류의 하폭이 작은 경우(727개, 14.8%)는 주변조건으로 인해 하폭이 조정된 것으로 판단하여 제외하였다. 두 개 지점의 설계홍수량이 동일한 경우는 하폭이 큰 곳이 하류(기점)인 것으로 간주하였다(Fig. 1.③). 기점과 종점이 판단가능한 소하천 4,090개소의 평

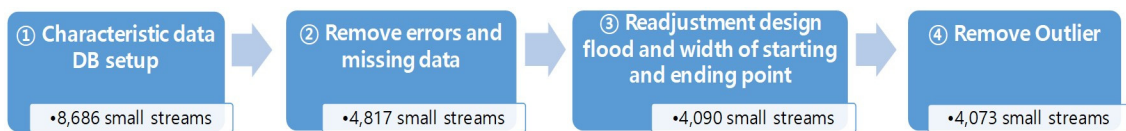


Fig. 1. Small stream characteristics data gathering and readjustment process

균 유로연장은 2.59 km, 유역면적은 3.01 km<sup>2</sup>였으며, 가-중점의 설계홍수량과 하폭이 동일한 경우는 평균 유로연장 1.63 km, 유역면적 1.06 km<sup>2</sup>로 비교적 크기가 작은 유역이었다.

소하천 특성값의 정규화를 통한 특성값의 분포 검토를 통해 이상치(Outlier)로 판단되는 17개 소하천을 제외하고 최종 4,073개(전체 소하천의 18.2%) 소하천을 대상으로 본 연구를 진행하였다(Fig. 1.④). 특성값의 분포를 검토한 결과 입력 오류 등으로 인한 각 특성값의 이상치 17건(하폭3, 설계홍수량 2, 유로연장 1, 유역면적 10, 하상경사 5 중복 포함)을 제외하였으며, 이상치 제외 전후 특성값의 정규화 분포는 Figs. 2 and 3

과 같다. 2021년 기준 전국 지자체별 지정 소하천 전체 수와 수집된 자료의 수, 본 연구의 분석에 사용된 자료의 수를 Table 2에 정리하였다. 현재까지 보고서를 수집하지 못하였거나 수집하였더라도 DB 구축이 완료되지 않은 전라도와 경상도, 제주도의 소하천은 제외하고 분석을 수행하였다. 부산, 대구, 인천 등 일부 지자체의 경우, 지정 해지된 소하천 자료를 포함하는 등의 이유로 수집 자료의 수가 전체 자료의 수보다 많은 경우가 있었으나, 전처리 과정을 통해 오류를 제거한 소하천 자료만을 사용하였다.

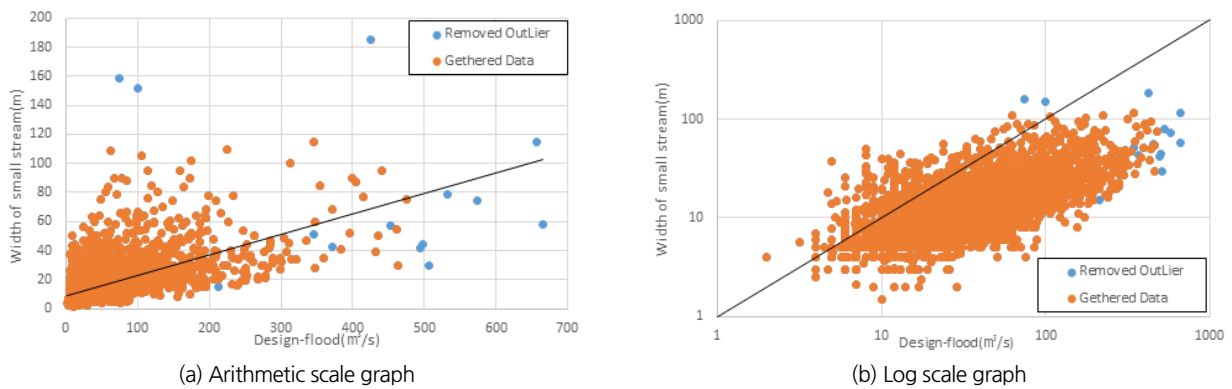


Fig. 2. Characteristic data Distribution of before and after remove outlier

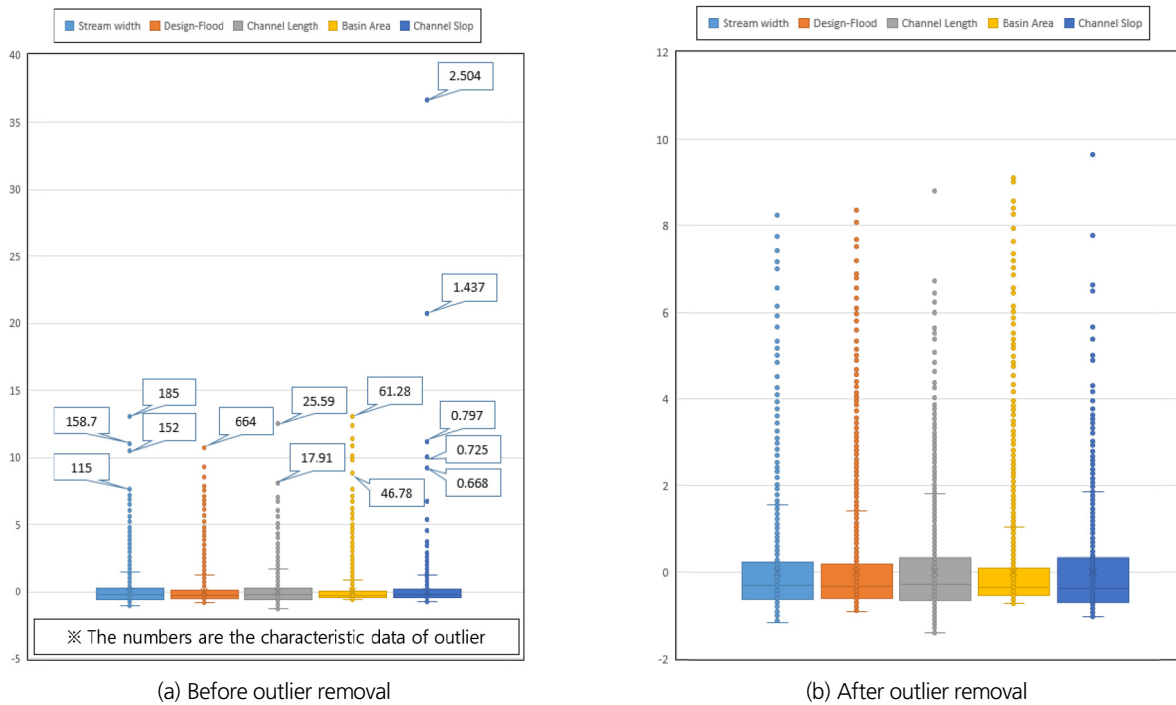


Fig. 3. Standardize of each characteristic data

**Table 2.** Comparisons of collection and selection characteristics data collected by local governments

Local Gov.	Total	Collection	Selection	Province	Total	Collection	Selection
Total	22,330	8,686	4,073	Gyeonggi-do	2,033	1,266	30
Seoul	17	17	10	Gangwon-do	2,371	2,575	1,109
Pusan	35	62	9	Chungcheongbuk-do	2,047	2,088	1,619
Daegu	127	130	86	Chungcheongnam-do	1,965	2,028	919
Incheon	113	118	55	Jeollabuk-do	2,554	-	-
Gwangju	23	24	9	Jeollanam-do	3,875	-	-
Daejeon	86	88	45	Gyeongsangbuk-do	3,731	-	-
Ulsan	135	135	121	Gyeongsangnam-do	2,975	-	-
Sejong	154	155	61	Jeju-do	89	89	-

**Table 3.** Comparisons of small stream characteristic variables

	Stream width	Design-flood	Basin area	Stream length	Channel slope
Maximum	115.0 m	475.0 m <sup>3</sup> /s	17.91 km <sup>2</sup>	37.55 km	0.4124
Median	12.0 m	32.0 m <sup>3</sup> /s	2.42 km <sup>2</sup>	1.59 km	0.0313
Minimum	1.5 m	2.0 m <sup>3</sup> /s	0.50 km <sup>2</sup>	0.12 km	0.0002
Average	15.5 m	48.7 m <sup>3</sup> /s	2.88 km <sup>2</sup>	2.89 km	0.0484

**Table 4.** Correlation coefficient determined by using width and other characteristic variables

Characteristic Variables	Correlation Coefficient	Characteristic Variables	Correlation Coefficient
Design-Flood	0.618	Basin Area	0.609
Stream Length	0.604	Channel Slope	-0.111

### 1.3 계획하폭 산정식 개발

국내 소하천 계획하폭 산정식에서 주로 사용되는 특성변수인 하폭, 설계홍수량, 유로연장, 유역면적, 하상경사의 분포 특성 및 하폭과 기타 특성변수와의 상관성 분석을 수행한 결과는 각각 Tables 3 and 4와 같다. 본 연구에서는 설계홍수량을 사용한 1변수 계획하폭 산정식과 설계홍수량, 유로연장, 유역면적, 하상경사를 사용한 4변수 계획하폭 산정식을 개발하였다. 본 연구에서는 선형회귀분석과 비선형회귀분석을 통해 Eqs. (5)~(9)와 같은 형태의 계획하폭 산정식을 도출하였다. 여기서,  $W$ 는 하폭(단위: m),  $Q$ 는 설계홍수량(단위: m<sup>3</sup>/s),  $L$ 은 유로연장(단위: km),  $A$ 는 유역면적(단위: km<sup>2</sup>),  $S$ 는 하상경사이다. Eqs. (5) and (6)은 설계홍수량을 사용한 1변수 계획하폭 산정식이며, Eqs. (7) and (8)은 설계홍수량, 유로연장, 유역면적, 하상경사를 사용한 4변수 계획하폭 산정식, Eq. (9)는 하상경사를 제외한 3변수 계획하폭 산정식이다. Eqs. (6) and (7)은 선형회귀분석을 Eqs. (6), (8) and (9)는 비선형회귀분석을 사용한 계획하폭 산정식이다.

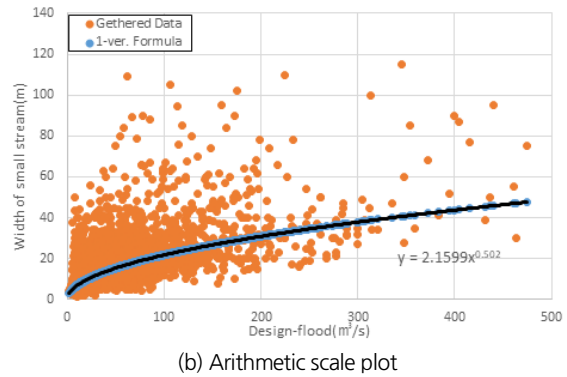
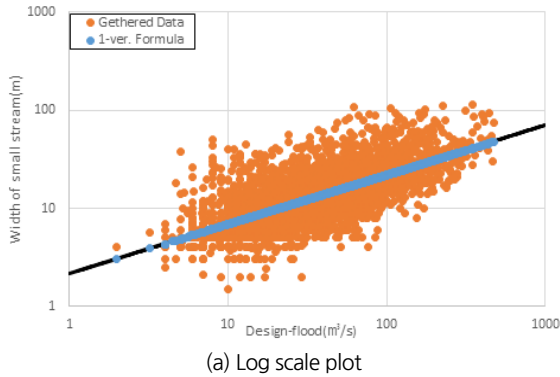
각 산정식의 결정계수 및 표준편차를 Table 5에 정리하여 수록하였다. 비교 결과 전반적으로 비선형회귀분석을 사용하는

경우가 선형회귀분석에 비해 상관계수와 결정계수가 높고, 표준편차가 낮은 것으로 나타났다. 또, 하상경사의 경우 계획하폭과의 상관성이 낮게 나타났으나(Table 4), 하상경사의 고려여부에 따른 결정계수 비교 결과에서는 0.002 차이로 하상경사를 사용하는 식이 미세하게 좋은 결과를 보이는 것으로 나타났다. 또한, 하상경사 사용여부에 따라 계획하폭은 최대 2.03 m (표준편차 15.33 m)의 편차를 보였으며, 다변량 계획하폭 산정식을 사용할 경우에 대해서는 하상경사를 포함한 식을 사용하는 것이 필요한 것으로 판단되어, 본 연구에서는 Eqs. (6) and (8)을 국내 소하천의 계획하폭 산정식으로 결정하였다.

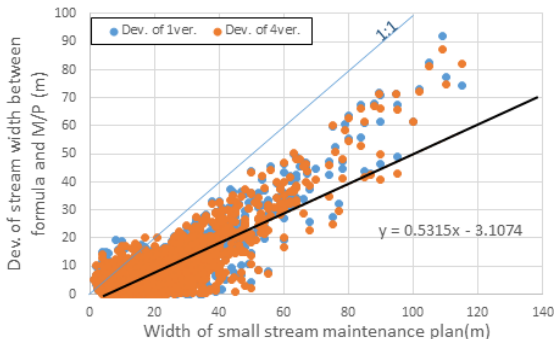
본 연구에서는 4,073개 소하천의 계획홍수량 대비 하폭 분포 결과를 이용하여 1변수 계획하폭 산정식 Eq. (6)을 개발하고 Fig. 4에 도시하였다. 개발결과 산정식은 계획하폭을 비교적 잘 대표하는 것으로 나타났다. 다만, 계획홍수량에 대한 하폭의 분포가 많이 산포되어 있으며, Arithmetic scale 그래프 (Fig. 4(b))에서 나타나는 것처럼 하폭을 과대 산정하는 홍수량 구간이 존재하는 등 경향성을 벗어난 소하천이 많은 것으로 나타났다. 특히 하폭이 클수록 종합계획의 하폭과 계획하폭 산정식을 통한 계획하폭은 편차가 증가하고 하폭 증가대

**Table 5.** Decision coefficient and standard error determined by using each regression method

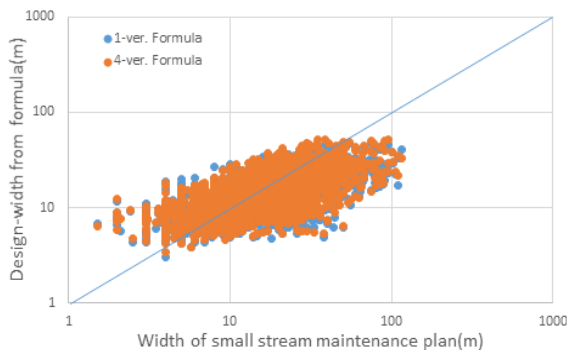
Regression Equation		Correlation Coefficient	Decision Coefficient	Standard Deviation	RMSE
$W = 8.381 + 0.146 Q$	(5)	0.618	0.383	9.485	9.483
$W = 2.160 Q^{0.502}$	(6)	0.629	0.396	9.465	9.612
$W = 5.484 + 0.089 Q + 2.062 L - 0.005 A - 5.613 S$	(7)	0.642	0.412	9.251	9.250
$W = 4.838 Q^{0.184} L^{0.129} A^{0.236} S^{-0.018}$	(8)	0.654	0.427	9.196	9.326
$W = 5.188 Q^{0.18} L^{0.132} A^{0.241}$	(9)	0.652	0.425	9.209	9.339



**Fig. 4.** Compariaons results of predicted design width with measured values collected from 4,073 small streams



**Fig. 5.** Comparisons of stream width between the formula and the measured values



**Fig. 6.** Comparisons of predicted design width by using developed formula and measured values

비 편차의 증가 비율은 약 0.53배로 나타났다(Fig. 5). 즉, 하폭이 큰 하천일수록 하폭을 더 크게 산정하고 있는 것으로 나타났다. Table 5의 1변수 산정식(Eq. (6))과 4변수 산정식(Eq. (8))의 비교에서는 4변수 산정식의 상관계수(0.654)가 조금 높은 것으로 나타났으나, 두 식 모두 Fig. 6에서와 같이 유사한 결과를 나타내는 것으로 나타났다.

## 2. 계획하폭 산정식 검증

본 연구에서 개발한 계획하폭 산정식을 검증하기 위해 K-fold 교차검증 방법을 사용하였다. 교차검증 방법 적용을 위해 4,073개의 자료를 임의의 5개 그룹으로 분할 후 4개 그룹의 자료를 산정식 개발에 사용하고, 나머지 한 개 그룹의 자료를 산정식의 검증에 사용하였다(Fig. 7). 산정식 개발과 검증에 사용하는 자료의 구성을 변경하여 총 5개의 산정식을 개발하고, 학습검증자료의 상관계수, 검증자료의 표준편차 및 RMSE를 비교하였다(Tables 6 and 7). 1변수 산정식(Table 6)과 4변수 산정식(Table 7)에서 각 그룹별 산정식(Eqs. (10)~(14), Eqs. (16)~(20))은 4,073개 전체 자료를 사용한 산정식(Eqs. (6) and (8))과 일부 차이가 있었으나, 각 그룹별 산정식을 평균한 계획하폭 산정식(Eqs. (15) and (21))은 전체자료를 사용한 산정식과 매개변수의 소숫점 2째 자리까지 일치하였다. 각 그

그룹별 학습자료의 상관계수는 전체자료를 사용한 경우와 비교하여 0.31~1.43%의 편차를 보였으나 그룹별 상관계수의 평균값은 전체자료를 사용한 경우와 0.06% 이내로 일치하였고, 검증자료의 상관계수는 학습자료의 상관계수와 1% 정도의 차이를 보였다. 단, K-fold 교차검증을 한 경우 검증자료에서 표준편차는 전체자료에 비해 66.9~74.3% 개선되는 것으로 나타났으며, RMSE는 유사하게 나타났다.

이와 같이 5개의 그룹으로 분할한 K-fold 교차검증 방법을 사용하여 4,073개의 소하천 자료를 사용한 계획하폭 산정식

을 검토한 결과, 5개 그룹별 상관계수, 표준편차, RMSE의 결과는 전체 자료를 사용한 계획하폭 산정식과 거의 일치하였으며 일부 지표에서는 미세한 차이가 있었다. 그러나, 그룹별 결과의 평균값은 전체 자료를 사용한 계획하폭 산정식과 표준편차를 제외한 회귀식, 상관계수, RMSE 비교에서 일치하였다. 즉, 4,073개 소하천 자료를 사용하여 개발한 계획하폭 산정식 (Eqs. (6) and (8))은 적절한 것으로 판단된다.

### 3. 기존 계획하폭 산정식과의 비교

기존의 국내 계획하폭 산정식 관련 연구는 일부 특정 지역 및 유역에 대한 소하천 자료를 분석하거나 선형·비선형 계획하폭 산정식을 제시하는데 그쳤다. 본 연구는 기존 연구와의 차별화를 위해 사용 가능한 전국 단위 소하천 특성자료를 이용하였으며, 분석 방법 또한 기존의 방법들을 포함한 다양한 방법들을 사용하기 위해 노력하였다. 본 연구에서는 기존에 개발된 산정식과의 비교를 통해 개발한 산정식의 적정성을 검증하였다. 기존 연구에서 개발된 계획하폭 산정식은 Eqs. (22) and

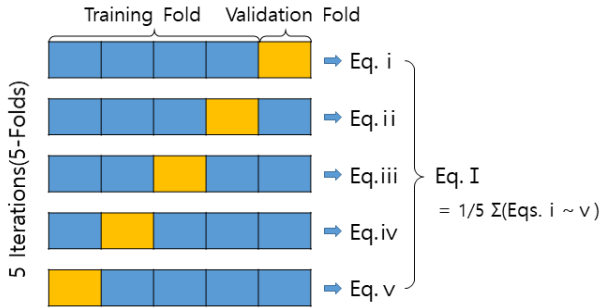


Fig. 7. Conceptual diagram of the k-fold cross validation at this study

Table 6. Comparisons of one-variable design width formulas for cross validation

	Regression Equation	Correlation Coefficient		Standard Deviation	RMSE
		Training Data	Validation Data		
1-Fold	$W = 2.098 Q^{0.509}$ (10)	0.638	0.593	6.248	9.709
2-Fold	$W = 2.151 Q^{0.503}$ (11)	0.625	0.644	6.492	9.615
3-Fold	$W = 2.154 Q^{0.503}$ (12)	0.636	0.605	6.416	9.749
4-Fold	$W = 2.168 Q^{0.503}$ (13)	0.626	0.644	6.634	9.303
5-Fold	$W = 2.228 Q^{0.502}$ (14)	0.622	0.663	5.859	9.701
Average	$W = 2.160 Q^{0.502}$ (15)	0.629	0.630	6.330	9.616
Whole Data	$W = 2.160 Q^{0.502}$ (6)	0.629	-	9.460	9.612

Table 7. Comparisons of multi-variable design width formulas for cross validation

	Regression Equation	Correlation Coefficient		Standard Deviation	RMSE
		Training Data	Validation Data		
1-Fold	$W = 4.492 Q^{0.204} L^{0.131} A^{0.223} S^{-0.019}$ (16)	0.660	0.626	6.792	9.398
2-Fold	$W = 5.136 Q^{0.163} L^{0.131} A^{0.255} S^{-0.018}$ (17)	0.652	0.660	7.007	9.375
3-Fold	$W = 4.985 Q^{0.180} L^{0.132} A^{0.239} S^{-0.012}$ (18)	0.661	0.623	6.927	9.547
4-Fold	$W = 4.758 Q^{0.190} L^{0.117} A^{0.235} S^{-0.022}$ (19)	0.650	0.668	6.943	9.036
5-Fold	$W = 4.856 Q^{0.180} L^{0.135} A^{0.229} S^{-0.020}$ (20)	0.645	0.690	6.479	9.036
Average	$W = 4.841 Q^{0.184} L^{0.129} A^{0.236} S^{-0.018}$ (21)	0.654	0.653	6.830	9.279
Whole Data	$W = 4.838 Q^{0.184} L^{0.129} A^{0.236} S^{-0.018}$ (8)	0.654	-	9.190	9.326

(23)의 형태이며, 각 연구에서 적용한 대상유역과 계획하폭 산정식의 매개변수 값은 각각 Tables 8 and 9와 같다.

$$W = \alpha Q^\beta \tag{22}$$

$$W = \alpha Q^\beta L^\gamma A^\delta S^\epsilon \tag{23}$$

여기서,  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ 은 각 특성변수의 매개변수이다.

본 연구에서 개발한 소하천 계획하폭 산정식과 소하천정

비 종합계획 보고서에서 수집한 계획하폭의 편차를 비교한 결과는 Figs. 8 and 9와 같다. Tables 10 and 11에는 분포 특성 값 중 비교적 우수한 결과를 진하게 표시하였다. 1변수 산정식의 경우 Ahn and Kwon (1996)의 산정식이 하폭을 과대 산정하였고, 나머지 산정식들은 하폭을 비교적 적절히 재현하는 것으로 나타났다(Fig. 8과 Table 8). 다변수 산정식의 경우, Myeng *et al.* (2007)과 Lee (2019)-1(설계홍수량, 하상경사 사용)의 산정식이 하폭을 과소 산정하고, 나머지 산정식들은 하폭을 비교적 적절히 재현하는 것으로 나타났다(Fig. 9와

Table 8. Comparisons of one-variable design width formulas developed in Korea

Author	Applied Stream Region	$\alpha$	$\beta$
Small Stream Design Standard	Small Stream in Korea	1.235	0.638
Ahn and Kwon (1996)	Mihocheon Basin	1.523	0.644
Lee (2004)	West-Southern Region of Korea	2.017	0.502
Sin (2007)	Dalcheon Basin	0.943	0.699
Bang (2017)	West Side Area of Gangwon-do	2.113	0.478
Lee (2019)	Asan City Area of Chungcheongnam-do	1.655	0.582

Table 9. Comparisons of multi-variable design-width formulas developed in Korea

Author	Applied Stream Region	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\epsilon$
Lee (2004)	West-Southern Region of Korea	1.469	0.442	-	-	-0.116
		6.506	-	0.422	-	-0.071
Sin (2007)	Dalcheon Basin	0.727	0.516	-	-	-0.258
Myeng <i>et al.</i> (2007)	Geum River Basin	1.40	0.219	0.261	0.457	-0.03
Bang (2017)	West Side Area of Gangwon-do	5.816	0.176	0.315	-	0.042
Lee (2019)	Asan City Area of Chungcheongnam-do	1.550	0.545	-	-	-0.053
		7.456	-	-	0.520	-0.066

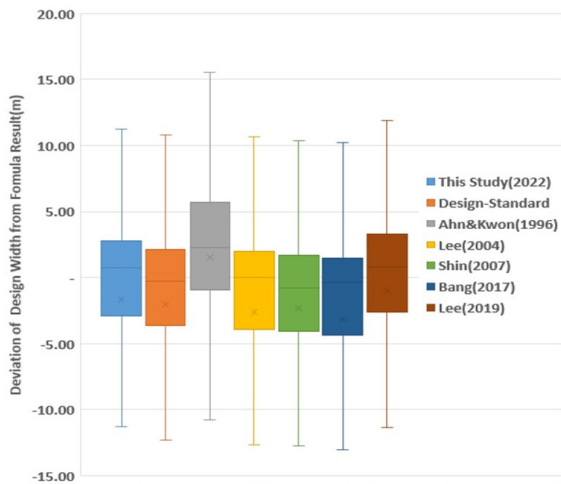


Fig. 8. Deviation of design-width predicted by using one variable formulas compared with measured values

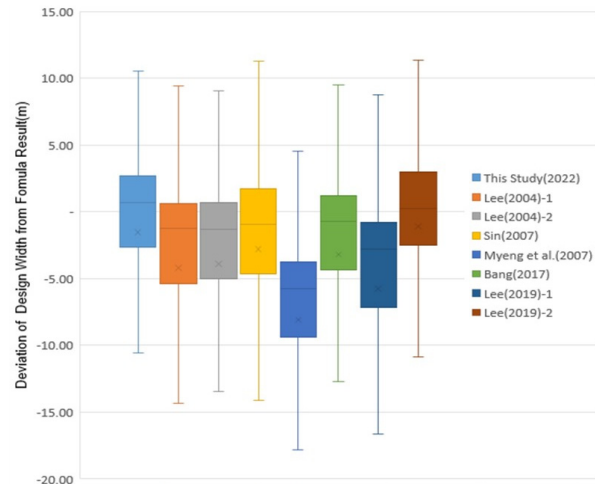


Fig. 9. Deviation of design-width predicted by using multi variable formulas compared with measured values



**Table 10.** Comparisons statistical characteristics determined by using one-variable formulas

	Corr. Coef.	Aver.	Std. Dev.	4th Q. (Max.)	3rd Q.	2nd Q. (Med.)	1st Q.	Min.	Max-Min Dev.	1~3Q. Dev.
This Study (2022)	0.629	-1.69	9.46	19.16	2.78	0.76	-2.87	-91.85	111.02	5.64
Design Standard	<b>0.631</b>	-2.03	9.37	31.84	2.14	-0.27	-3.64	-91.84	123.69	5.78
Ahn and Kwon (1996)	<b>0.631</b>	1.54	9.75	49.32	5.68	2.28	<b>-0.91</b>	<b>-87.27</b>	136.60	6.58
Lee (2004)	0.629	-2.60	9.53	17.36	1.96	<b>0.04</b>	-3.89	-92.99	110.35	5.85
Sin (2007)	0.631	-2.31	9.44	39.05	1.72	-0.80	-4.06	-92.08	131.13	5.78
Bang (2017)	0.629	-3.17	9.65	<b>15.60</b>	<b>1.49</b>	-0.34	-4.36	-93.78	<b>109.37</b>	5.84
Lee (2019)	0.631	<b>-1.02</b>	<b>9.36</b>	28.91	3.27	0.79	-2.59	-90.72	119.63	5.85

**Table 11.** Comparisons statistical characteristics determined by using multi-variable formulas

	Corr. Coef.	Aver.	Std. Dev.	4th Q. (Max.)	3rd Q.	2nd Q. (Med.)	1st Q.	Min.	Max-Min Dev.	1~3Q. Dev.
This Study (2022)	<b>0.654</b>	-1.56	<b>9.19</b>	20.30	2.64	0.64	-2.63	-87.15	107.44	<b>5.27</b>
Lee (2004)-1	0.622	-4.21	9.79	14.08	<b>0.64</b>	-1.27	-5.36	-91.95	<b>106.02</b>	6.00
Lee (2004)-2	0.644	-3.93	9.52	17.24	0.65	-1.29	-5.04	-93.64	110.88	5.68
Sin (2007)	0.583	-2.81	9.83	32.94	1.73	-0.96	-4.64	<b>-84.24</b>	117.17	6.38
Myeng <i>et al.</i> (2007)	0.641	-8.11	9.30	27.61	-3.78	-5.76	-9.39	-94.36	121.97	5.61
Bang (2017)	0.642	-3.22	9.41	19.09	1.21	-0.70	-4.36	-92.12	111.21	5.56
Lee (2019)-1	0.617	-5.78	9.85	<b>12.19</b>	-0.79	-2.80	-7.13	-97.98	110.17	6.34
Lee (2019)-2	0.646	<b>-1.10</b>	9.23	32.15	3.00	<b>0.27</b>	<b>-2.54</b>	-85.11	117.26	5.54

Table 9). 한편, 기존 국내 소하천 계획하폭 산정식 연구는 특정 지역에 위치한 소하천을 대상으로 회귀분석을 수행했음에도 급회 12개 시도 소하천을 대상으로 한 연구 결과와 비교적 유사한 결과를 나타내었다.

#### 4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 국내 소하천에 적합한 계획하폭 산정식 개발을 위해 국내 소하천의 특성정보를 분석하여 계획하폭 산정식을 유도하였다. 소하천 특성정보는 국립재난안전연구원서 수집한 소하천정비 종합계획 보고서로부터 소하천 가중점 하폭 및 계획홍수량, 유로연장, 유역면적, 하상경사 등의 정보를 추출하여 DB를 구축하였다. DB를 구축한 8,686개 소하천(전국 소하천의 약 40%) 정보로부터 전국 12개 시도 4,073개 소하천(전체의 약 18%)에 대한 계획하폭 산정식을 유도하고, 교차검증을 통해 계획하폭 산정식의 적절성을 검토하였다. 또한 기존의 계획하폭 공식과 비교-검토를 수행하였다. 계획하폭 산정 결과와 분석 과정에서 도출한 문제점을 정리하면 다음과 같다. 소하천 설계기준에서 제시하고 있는 소하천 계

획하폭 결정공식은 계획홍수량 또는 유역면적의 크기에 따라 결정되는 형태로 되어있어, 하천의 수리-수문학적 특성을 모두 반영할 수 없는 한계를 지니고 있다. 또한, 국내 소하천에 대한 연구 및 특성정보 DB구축이 미흡하여 설계기준에서 제시하는 계획하폭 산정식의 국내소하천에 대한 적정성 검토가 불가능한 실정이다.

본 연구에서는 국내 전체 소하천의 약 18%에 해당하는 4,073개 소하천의 특성정보를 기반으로 계획하폭 산정식을 개발하였다. 설계홍수량을 사용한 1변수 비선형회귀 식(Eq. (6))의 상관계수는 0.629, 설계홍수량, 유역면적, 유로연장, 하상경사를 사용한 4변수 비선형회귀 식(Eq. (8))의 상관계수는 0.654로 대상 소하천의 하폭을 비교적 잘 나타내는 것으로 판단된다. 소하천 설계기준 및 기존 연구에서 제시하는 계획하폭 산정식의 결과와 비교했을 때에도 전반적으로 유사한 결과를 보이는 것을 확인하였다. 단, 소하천의 수리-수문학적 특성 대비 하폭의 분포가 넓게 산포되어 있으며, 특히, 소하천의 규모(하폭, 설계홍수량, 면적 등)가 클수록 하폭을 크게 설계하는 경향이 있어, 향후 추가적인 분석을 통한 개선이 필요하다.

향후 전국 22,300여개 소하천 전체에 대한 적용성 검증이 필요하며, 유역면적의 크기, 지역분포, 토지 이용 특성 등에 따

른 분류별 하폭 특성에 대한 연구가 필요하다. 특히, 기존의 연구들이 특정 지역에 위치한 소하천을 대상으로 수행된 연구임에도 불구하고 서로 유사한 결과를 나타내고 있음을 고려할 때, 다양한 유역 및 하도 특성을 고려한 연구가 필요하다. 이를 위해서는 전국 지자체에서 관리 중인 소하천 관련 정보의 체계적인 통합관리가 이루어져야 하며, 소하천정비 종합계획의 수립 주기에 따른 지속적인 업데이트가 동반되어야 한다. 또한, 국외 연구에서와 같이 소하천 유로 내의 식생 및 하상재료(조도) 등을 고려한 계획하폭 산정연구를 수행할 필요가 있으며, 이를 위해서는 기초자료 수집에서부터 관련 연구를 위한 기반이 조성되어야 할 것이다. 추가적으로 국내 소하천에 적합한 유출량 산정 방법 개발을 위해서는 소하천 계측 지점 확대를 통해 최소 전체 소하천 10%에 대한 유출량 정보 구축이 반드시 필요하다고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국립재난안전연구원 주요연구과제(NDMI-주요-2022-07-04)를 통해 수행되었습니다.

## Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

## References

- Ahn, S.J., and Kwon, B.H. (1996). "Determination of design-width for medium rivers of central area in Korea." *Water for Future*, pp. 139-147.
- Andrews, E.D. (1984). "Bed-Material entrainment and hydraulic geometry of gravel-bed rivers in Colorado." *Bulletin of the Geological Society of America*, Vol. 95, No. 3, pp. 371-378.
- Bang, Y.H. (2017). *A study on the estimation of initial design-width for small stream in the west side area of Gangwon Province*. Master Thesis, Sangji University.
- Charlton, F., Brown, P.M., and Benson, R.W. (1978). *The hydraulic geometry of some gravel rivers in Britain*. Report IT 180, Hydraulics Research Station, Wallingford, UK.
- Hey, R.D., and Thorne, C.R. (1986). "Stable channels with mobile gravel beds." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 112, No. 6, pp. 671-689.
- Huang, H.Q., and Nanson, G.C. (1997). "Vegetation and channel variation: A case study of four small streams in Southeastern Australia." *Geomorphology*, Vol. 18, pp. 237-249.
- Jeon, S.J., An, T.J., and Park, J.E. (1998). "Determination of design width for medium streams in the Han River basin." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 31, No. 6, pp. 675-684.
- Korea Water Resources Association (KWRA) (2009). *River Design Standards*.
- Lee, C.Y. (2004). *A study on the determination of design-width for small rivers in the southwest area of Korea*. Master Thesis, Chosun University.
- Lee, I.K. (2019). *A study on the estimation of design-width for small river: Focused on the Asan city area of Chungnam*. Master Thesis, Kyonggi University.
- Lee, T., Park, J., and Jeong, C. (2016). "Assessing the adequacy of the existing formula for the design channel width of local small streams - A case study on the Uiryeong Province." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 4, pp. 269-276.
- Ministry of Interior and Safety (MOIS) (2020). *Small stream design standards*.
- Ministry of Interior and Safety (MOIS) (2021). *2020 Disaster annual report*.
- Myeng, B.J., Lee, J.S., and Cha, Y.K. (2007). "Determination of design channel width for from medium rivers in Geum-River Basin." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 7, No. 1, pp. 47-56.
- Nam, K.H. (2004). *A study on the determination of design-width for small rivers in Chung-Nam area*, Master Thesis, Hanbat National University.
- Sin, Y.J. (2007). *Estimation of design river width in Dalchun Basin*. Master Thesis, Chungbuk National University.
- Soar, P. (2000). *Channel restoration design for meandering rivers*. Ph.D. Dissertation, University of Nottingham, UK.
- Yoon, M.H., Ahn, J.H., and Cho, W.C. (2009). "Determination of design channel width for small stream in Youngwol." *In Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, pp. 874-878.
- Yun, C. (2012) *A study on the determination of design-width for medium-scale river using HEC-RAS Model - For Jipyeongcheon in the Heukcheon Watershed -*. Master Thesis, Kyung Hee University.