



## A study on estimation of lowflow indices in ungauged basin using multiple regression

Lim, Ga Kyun<sup>a</sup> · Jeung, Se Jin<sup>b</sup> · Kim, Byung Sik<sup>c</sup> · Chae, Soo Kwon<sup>d\*</sup>

<sup>a</sup>Assistant Manager, Disaster Prevention Department, Kyongbo Engineering co.LTD, Sam Cheok, Korea

<sup>b</sup>Senior Research Engineer, Kangwon Institute of Inclusive Technology, Chuncheon, Korea

<sup>c</sup>Professor, Department of Urban and Environmental Disaster Prevention Engineering Kangwon National University, Sam Cheok, Korea

<sup>d</sup>Professor, Department of Health, Environment and Safety, Eulji University, Seongnam, Korea

Paper number: 20-104

Received: 5 November 2020; Revised: 19 November 2020; Accepted: 19 November 2020

### Abstract

This study aims to develop a regression model that estimates a low-flow index that can be applied to ungauged basins. A total of 30 mid-sized basins in South Korea use long-term runoff data provided by the National Integrated Water Management System (NIWMS) to calculate average low-flow, average minimum streamflow, and low-flow index duration and frequency. This information is used in the correlation analysis with 18 basin factors and 3 climate change factors to identify the basin area, average basin altitude, average basin slope, water system density, runoff curve number, annual evapotranspiration, and annual precipitation in the low-flow index regression model. This study evaluates the model's accuracy by using the root-mean-square error (RMSE) and the mean absolute error (MAE) for 10 ungauged, verified basins and compares them with the previous model's low-flow calculations to determine the effectiveness of the newly developed model. Comparative analysis indicates that the new regression model produces average low-flow, attributed to the consideration of varied basin and hydrologic factors during the new model's development.

**Keywords:** Low flow index, Ungauged, Multiple regression analysis, Basin characteristic factor

## 다중회귀분석을 이용한 미계측 유역의 갈수지수 산정에 관한 연구

임가균<sup>a</sup> · 정세진<sup>b</sup> · 김병식<sup>c</sup> · 채수권<sup>d\*</sup>

<sup>a</sup>경보기술단 방재과 대리, <sup>b</sup>강원대학교 강원중학기술연구원 선임연구원, <sup>c</sup>강원대학교 도시환경재난관리전공 교수, <sup>d</sup>을지대학교 보건환경안전학과 교수

### 요 지

본 논문에서는 미계측 유역에 적용할 수 있는 갈수지수 산정 회귀모형을 개발하고자 하였다. 30개의 중권역 유역을 대상으로 국가수자원종합관리시스템에서 제공하는 장기유출자료를 이용하여 평균 갈수량과 평균 저수량, 지속기간별 빈도별 갈수지수를 산정하였으며 이를 유역특성인자 18개와 기상특성인자 3개와의 상관 분석을 통하여 최종적으로 유역면적(A), 유역 평균 표고(H), 유역 평균 경사(S), 수계밀도(D), 유출곡선지수(CN), 연중발산량(ET), 연강수량(P)을 선정하여 다중회귀분석을 수행하여 갈수지수 회귀모형을 개발하였다. 개발된 회귀모형을 평가하기 위하여 10개의 검증유역을 미계측 유역으로 간주하여 평균계급근오차(RMSE)와 평균절대오차(MAE)를 이용하여 정확도를 추정하였다. 또한 기존의 평균갈수량 산정 회귀모형과의 비교를 통하여 본 논문에서 개발한 모형의 우수성을 검토하였다.

**핵심용어:** 갈수지수, 미계측, 다중회귀분석, 유역특성인자

\*Corresponding Author. Tel: +82-31-740-7146  
E-mail: cskwen74@gmail.com (S. K. Chae)

## 1. 서론

최근 우리나라는 기후변화에 따라 이상고온현상, 집중호우로 인한 강우의 몰림 현상 등이 나타나고 있다. 여러 기상현상 중에서 가뭄은 전지구적 기후변화의 영향과 밀접한 관련성이 있으며, 자연현상과 물에 대한 수요 간의 상호작용으로 인해 사회에 커다란 영향을 미친다. 우리나라의 경우 갈수량은 1년을 통하여 355일은 이보다 저하하지 않는 유량으로 제시하고 있다. 갈수량 산정을 위해서는 오랜 기간의 관측 일 유량 자료가 필요하지만 예산, 인력, 안전 등의 경제적인 문제로 인하여 모든 하천을 해마다 측정하기엔 어려움이 있다. 이로 인하여 관측 유량 자료의 기간이 짧거나 유량 관측소가 없는 미계측 유역의 하천 유출 특성은 일반적으로 회귀방정식을 사용하여 예측하여 사용하거나 장기간의 관측 일 유량 자료를 보유한 관측소의 자료를 이용하여 갈수량을 추정해야 하는 실정이다. 또한 기존의 국내 미계측 유역의 갈수량 산정방법인 비유량법이 실무에서 주로 사용되었으나 유역 면적비로 갈수량을 산정하는 비유량법의 경우 갈수량에 영향을 미치는 다양한 지형학적, 기상학적, 수문학적인 인자를 고려하지 못하므로 미계측 유역의 갈수량을 정확히 추정하기 위해서는 해당 유역의 유역특성 인자가 고려되어야 한다(Jo, 2007).

회귀분석에 관련한 많은 선행연구가 이루어졌으며 연구동향은 다음과 같다. Ryou and Chong (2008)은 소양강, 충주, 횡성댐의 과거 호우 사상을 대상 유역으로 선정하여 유역의 수문 사상들을 독립변수로 한 회귀분석을 통하여 강우에 따른 예상 유출율을 산정하여 과거 홍수기 댐 유입율과 유역 수문 사상과의 관계를 분석하였다. Choi *et al.* (2012)는 중랑천 유역을 대상으로 입력자료의 자기상관분석을 통해 독립변수의 시간 규모를 결정된 후 최소자승법, 가중 최소자승법, 단계별 선택법의 각기 다른 회귀계수 산정방법을 이용한 홍수예측 모형을 구축하고 중랑천 유역의 다양한 홍수 사상에 대해 적용하여 평균제곱근오차, Nash-Suttcliffe 효율계수, 평균절대오차, 수정 결정계수를 이용하여 구축된 다중선형회귀 모형의 회귀계수 선정 방법에 따른 홍수예측 성능을 비교·검토하였다. Jang (2013)은 신안 유역을 대상으로 38개의 소유역으로 분할한 후 임계지속시간과 영향을 미치는 지형학적 수문 인자에 대한 상관분석을 실시하였으며 분석결과를 토대로 다중회귀분석을 실시하여 대상 유역의 지형학적 특성이 반영된 임계 지속시간에 대한 일반식을 산정하였다. Lee *et al.* (2016)은 국내 12개 다목적 댐과 4개의 용수댐 유역을 대상으로 평균 갈수량, 평균 저수량, 평균 평수량과 유향곡선을 산정하여 관측치와 비교·검토를 수행하였으며 관측자료의 길이가 짧거

나 미계측 기간이 지속적으로 발생하는 유역을 선정하여 갈수량을 산정한 후 관측치와 비교·분석을 수행하였다. 또한 인위적인 유량의 조절이 발생 하는 댐 하류의 유향 변화를 평가해 다중회귀분석을 기반으로 하는 지역회귀모형의 우수성과 적용가능성을 평가하였다.

본 논문에서는 미계측 유역의 갈수지수 산정을 위한 회귀모형을 개발하기 위하여 전국의 중권역 40개 지점을 대상으로 국가수자원관리종합시스템에서 제공하는 장기유출 자료를 이용하여 종속변수인 평균 갈수량, 평균 저수량을 산정하였으며 갈수 빈도해석을 통하여 6개의 지속기간별 빈도별 갈수량을 산정하였다. 또한 독립변수인 유역인자 18개와 수문인자 13개를 수집하여 상관 분석을 수행하여 독립변수를 선정하였으며 종속변수와 선정한 독립변수를 이용하여 다중회귀분석을 이용하여 갈수지수 산정 회귀모형을 제시하고자 하였다.

## 2. 방법론 및 자료

### 2.1 방법론

#### 2.1.1 개요

본 논문에서는 미계측 유역의 갈수지수 산정을 위한 회귀모형을 개발하기 위하여 전국의 중권역 40개 지점을 대상으로 국가수자원관리 종합시스템에서 제공하는 장기유출 자료를 이용하여 종속변수인 평균 갈수량, 평균 저수량을 산정하였다. 또한 가뭄의 경우 집중적인 호우의 영향을 단기간에 받는 홍수와는 달리 가뭄은 장기간 영향을 받기 때문에 지속되는 기간이 큰 의미를 가지므로 본 연구에서는 7일, 30일, 90일의 지속기간을 사용하였으며, 갈수 빈도해석을 통하여 6개의 지속기간별로 각각 2년과 10년의 빈도를 산정하였다. 또한 독립변수인 유역특성인자 18개와 기상특성인자 13개를 수집하여 상관 분석을 수행하여 독립변수를 선정하였으며 종속변수와 선정한 독립변수를 이용하여 다중회귀분석을 이용하여 갈수지수 산정 회귀모형을 개발하였다. Fig. 1은 본 논문의 연구흐름도이다.

#### 2.1.2 갈수지수

갈수지수란 계속되는 유량 자료에서 갈수의 특성을 얻기 위해 계산된 값이며 수자원 관리 및 계획에 있어 중요한 지수이다. 본 논문에서 사용한 갈수지수는 총 8개로 기호 및 설명을 Table 1에 도시하였다.

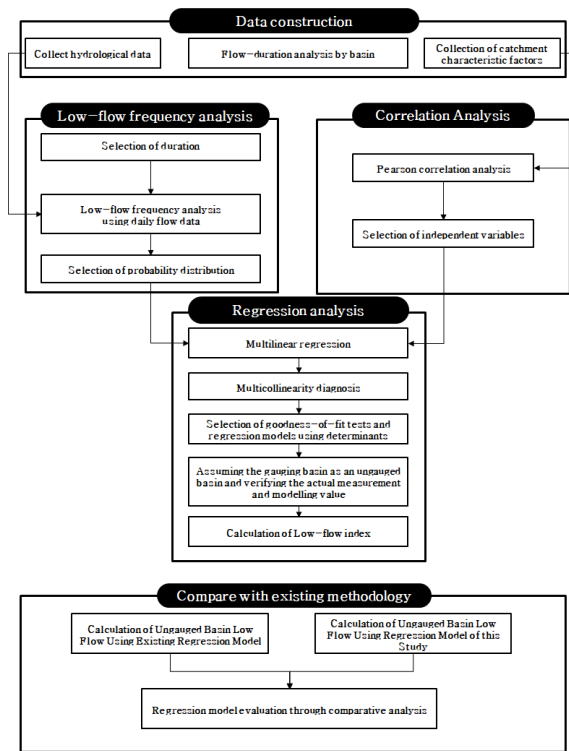


Fig. 1. Flow chart of study

Table 1. List of lowflow indices

Lowflow indices	Symbol	Description
Duration of 7 days, 2 years frequency	$Q_{7 2}$	Flow rate of 2 years frequency in 7-days period with annual lowest series
Duration of 7 days, 10 years frequency	$Q_{7 10}$	Flow rate of 10 years frequency in 7-days period with annual lowest series
Duration of 30 days, 2 years frequency	$Q_{30 2}$	Flow rate of 2 years frequency in 30-days period with annual lowest series
Duration of 30 days, 10 years frequency	$Q_{30 10}$	Flow rate of 10 years frequency in 30-days period with annual lowest series
Duration of 90 days, 2 years frequency	$Q_{90 2}$	Flow rate of 2 years frequency in 90-days period with annual lowest series
Duration of 7 days, 10 years frequency	$Q_{90 10}$	Flow rate of 10 years frequency in 90-days period with annual lowest series
Average Lowflow	$Q_{355}$	Average flow rate of 355 days guaranteed flow rate ( $Q_{355}$ ) during a year of natural state stream
Average Pondage	$Q_{275}$	Average flow rate of 275 days guaranteed flow rate ( $Q_{275}$ ) during a year of natural state stream

2.1.3 갈수빈도해석

갈수지속기간과 갈수량은 갈수의 정도를 나타내는 척도로 사용하며 갈수는 순간 유량의 영향을 받는 홍수와는 달리 가

뭍이 지속되는 기간 동안의 총유량을 중요시한다. 그러므로 갈수빈도해석에 사용되는 자료는 기본적으로 연최소치계열을 이용하여 작성하며 일 자료의 경우 1일, 3일, 5일, 7일, 10일, 15일, 30일, 60일, 90일, 120일, 150일, 183일, 273일, 284일 등의 최소치 값이 사용되고 월 자료의 경우에는 1개월, 3개월, 6개월, 9개월의 최소치 값이 사용되고 있다(Smakhtin, 2001). 본 논문에서는 7일, 30일, 90일의 지속기간을 이용하여 빈도 해석을 수행하였으며 본 논문에서 사용한 분포형은 Pearson Type-III 분포형이다.

Pearson Type-III 분포형은 3변수 Gamma 분포이며 확률 밀도 함수는 Eq. (1)과 같으며  $\alpha > 0$ 일 때,  $x_0 \leq x < \infty$ 이고  $\alpha < 0$ 일 때  $-\infty < x \leq x_0$ 이며  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각 분포의 축척 및 형상을 결정하는 매개변수이며  $x_0$ 는 0이 아닌 값을 가지는 위치매개변수이다(Yoon, 2007).

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x-x_0}{\alpha}\right) \quad (1)$$

2.1.4 Pearson 상관계수 분석

Pearson 상관계수란 두 변수 X와 Y간의 선형 상관관계를 계량화한 수치이다. Pearson 상관계수는 코시-슈바르츠 부등식에 의해 +1과 -1 사이의 값을 가지며 +1은 완벽한 양의 선형 상관관계, 0은 선형 상관관계 없음, -1은 완벽한 음의 선형 상관관계를 의미하며 상관계수가 -1.0에서 -0.7의 범위에 있다면 매우 강한 음의 상관관계를 의미하며 -0.7에서 -0.3의 범위에 있다면 강한 음의 상관관계, -0.3에서 -0.1의 범위에 있다면 약한 음의 상관관계를 가진다. -0.1에서 0.1의 범위에 존재한다면 상관관계가 존재하지 않으며 0.1에서 0.3의 범위에 존재한다면 약한 양의 상관관계를, 0.3에서 0.7 사이에 존재한다면 강한 양의 상관관계를, 0.7에서 0.1의 범위 안에 존재한다면 강한 양의 상관관계를 의미하며 식은 다음과 같다(Lee, 2017).

$$r_{XY} = \frac{\sum_i^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_i^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_i^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

2.1.5 다중선형회귀분석

회귀분석은 통계학에서 사용하는 분석 방법 중 하나로 독립변수와 종속변수 사이에 인과관계가 존재할 때 그 관계의 통계적 유의미성을 검증하고 그 관계의 정도를 분석하는 것이다. 독립변수와 종속변수의 관계는 확정적 관계와 확률적 관계가

있으며 확정적 관계는 독립변수와 종속변수의 관계를 통해 정확한 종속변수의 값이 도출되지만 확률적 관계는 통계적 내용으로 주어진 모든 변수가 확률변수로 작용하여 두 관계를 통해 정확한 값을 도출할 수 없다.

회귀분석에서 독립변수란 영향을 주는 변수이며 종속변수는 영향을 받는 변수이다. 회귀분석의 종류는 단순회귀분석과 다중회귀분석이 있으며 단순회귀분석의 경우 하나의 종속변수와 하나의 독립변수 사이의 관계를 분석할 때 사용한다. 다중회귀분석은 하나의 종속변수와 여러 독립변수 사이의 관계를 규명하고자 할 때 사용한다(Lee, 2017).

2.2 자료

2.2.1 대상유역 현황

본 논문의 대상유역 선정은 대상 유역의 선정은 상류에 인위적인 유량조절이 발생하지 않으며 장기간의 연속적인 유량 자료인 국가수자원 관리 종합시스템(Water Resources Management Information System: www.wamis.go.kr)에서 제공하는 장기유출 자료가 구축되어 있는 40곳의 중권역 유역을 선정하였다.

한강 수계에 위치하고 있는 남한강 상류, 달천, 섬강, 소양강, 충주댐, 평창강, 홍천강과 한강 동해에 위치한 강릉남대천, 양양남대천, 삼척오십천, 인북천 등 11곳을 선정하였다. 낙동강 수계에 위치한 계측 유역은 남강댐, 내성청, 안동댐, 위천, 임하댐, 합천댐, 회천, 병성천, 금호강, 밀양강, 영강과 낙동강 동해에 위치한 영덕오십천 등 13곳을 선정하였다. 금강 수계에 위치한 계측 유역은 무주남대천, 미호천, 보청천, 용담댐, 갑천, 논산천, 영동천, 초강 등 8곳을 선정하였으며 섬진강 수계에 위치한 계측 유역은 섬진강댐, 보성강, 오수천, 요천 등 4곳을 선정하였다. 또한 영산강 수계에 위치한 계측 유역은 영산강 상류, 영암천, 지석천, 황룡강 등 4곳을 선정하였다. 남강댐유역부터 영덕오십천 유역까지 30개 유역을 분석 유역으로 선정 하였으며 영동천 유역부터 황룡강 유역까지 10개의 유역을 검증 유역으로 선정하여 회귀모형의 검증을 수행하였다. 각 수계별로 선정된 대상 유역의 위치를 Fig. 2에 도시하였다.

2.2.2 종속변수 선정

본 논문에서는 평균 갈수량, 평균 저수량을 산정하기 위하여 30개의 유역의 장기유출자료(1966년~2017년)을 이용하여 유황분석을 수행하였다. 분석 방법은 우리나라에서 보편적으로 사용되고 있는 지속일수에 대한 유황분석을 수행하였으며 분석결과를 토대로 각 유역별로 평균 갈수량, 평균 저수

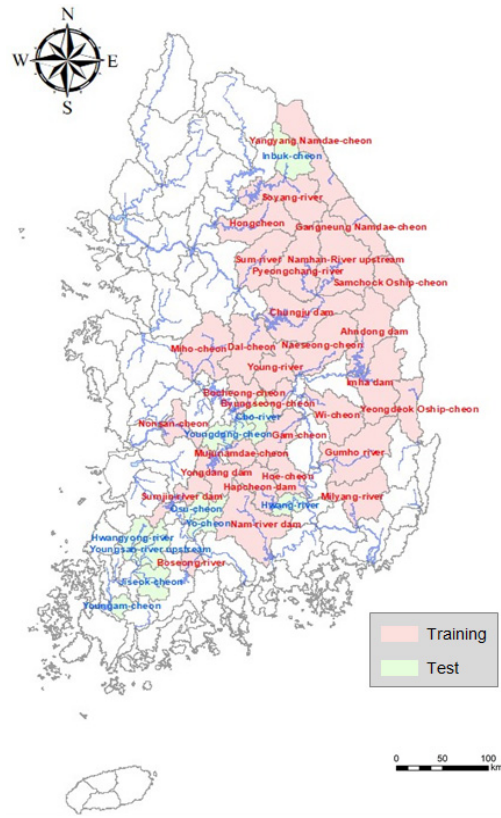


Fig. 2. Target basin

량을 산정하였다. 평균 갈수량의 최댓값은 충주댐 유역에서 12.6 CMS이며 최솟값은 병성천과 갑천에서 0.5 CMS로 분석되었으며 평균 저수량의 최댓값은 충주댐 유역에서에서 28.6 CMS, 최솟값은 보성강에서 1.3 CMS로 분석되었다. 평균 갈수량, 평균 저수량의 평균은 각각 2.4 CMS, 5.4 CMS로 분석되었다.

또한 지속기간을 선정하여 지속기간별 갈수량을 분석하였으며 지속기간의 경우 일 유량 자료를 사용하여 분석을 수행하였다. 분석에 사용한 지속기간은 7일, 30일, 90일이며 지속기간의 연 최저유량을 산정하여 연 최저치 유량계열을 대상으로 빈도해석을 수행하였다. 매개변수 추정에는 확률가중모멘트법(PWM)을 사용하였으며 적합도 검증의 경우 Chi-Square 검정과 K-S검정을 유의수준 5%로 수행하였으며 적합도 검정에서 부적합함을 보이지 않으면서 분석에 사용할 지속기간별 빈도해석의 값이 음의 값이 나오지 않은 Pearson Type III 분포형을 채택하였다. Table 2는 종속변수 선정 결과를 나타내었다.

2.2.3 독립변수 선정

본 논문에서 사용한 유역특성인자는 국가수자원 관리 중

**Table 2.** Dependent variable calculation result

No.	Basin name	$Q_{7 2}$	$Q_{7 10}$	$Q_{30 2}$	$Q_{30 10}$	$Q_{90 2}$	$Q_{90 10}$	$Q_{355}$	$Q_{275}$
1	Nam-river dam	30.3	12.5	172.2	72.9	767.3	362.6	5.2	10.3
2	Namhan-River upstream	25.4	10.4	162.9	73.4	782.8	399	5.3	12.5
3	Naeseong-cheon	3.2	1	21.3	9.8	119.1	46.6	0.6	2.3
4	Dal-cheon	8.1	2.4	52	17.8	268.4	94.3	1.6	4.0
5	Mujunamdae-cheon	6.3	2.7	36.1	15.9	168.3	77.7	1.0	2.0
6	Miho-cheon	12.2	4	90.6	38.2	495.9	242.1	2.2	5.8
7	Bocheong-cheon	3.2	0.7	21.3	6.6	106.6	35.3	0.7	1.7
8	Sum-river	25.4	10.4	60.4	28.6	271.7	144.7	1.9	4.0
9	Sumjin-river dam	3.7	1.3	27.4	10.6	185.3	61.3	0.8	2.4
10	Soyang-river	10.9	6.1	71.4	38.0	387.3	209.0	2.6	7.7
11	Ahdong dam	13.4	6.2	86.2	43	374.2	200.2	2.7	5.7
12	Yongdang dam	14.4	5.5	86.2	33.4	394.8	181.5	2.5	5.0
13	Wi-cheon	4.9	1.5	32.8	13.1	163.2	70.3	1.0	3.4
14	Imha dam	11.8	4	73.8	28.8	363.7	157	2.2	6.1
15	Chungju dam	63.3	30.6	380.8	201.8	2106.6	1298.1	12.6	28.6
16	Pyeongchang-river	16.9	8	102.4	52.6	475.2	258.1	3.4	6.8
17	Hapcheon-dam	17.4	8	103.5	48.6	389.8	205.2	3.2	5.1
18	Hongcheon	5.5	1.9	36.5	14.2	197.9	82.7	1.3	4.4
19	Hoe-cheon	3.4	1	22.8	8.7	110.2	47.9	0.7	2.2
20	Byungseong-cheon	2.7	0.8	18.2	7.7	99.6	43.5	0.5	1.5
21	Gam-cheon	2.4	0.8	19.1	7.1	135.4	47.5	0.5	1.4
22	Gangneung Namdae-cheon	13.6	5.9	79.7	37.4	375.9	178.5	2.5	4.9
23	Boseong-river	3	0.9	18.5	7.1	98	39.9	0.5	1.3
24	Gumho river	20.5	7.3	141	55.4	551.8	268.5	3.9	6.8
25	Nonsan-cheon	6.2	2.5	42.1	20.3	229.4	121.6	1.1	2.7
26	Milyang-river	12	4.8	73.7	32.9	325.6	150.2	2.3	4.7
27	Samchock Oship-cheon	7.5	1.7	45	13.4	226.1	68.3	1.5	3.7
28	Yangyang Namdae-cheon	18.8	5.2	116.7	37.4	569.8	195.8	4.1	8.4
29	Young-river	9	3.5	52.8	24	242.2	109.8	1.6	3.2
30	Yeongdeok Oship-cheon	6.2	2.5	39.2	18.6	191	92.3	1.2	3.0

**Table 3.** Independent variable

No.	Independent variable	Symbol	No.	Independent variable	Symbol	No.	Independent variable	Symbol
1	Drainage area	$A$	8	Circularity ratio	$R_c$	15	CN	$CN$
2	Basin perimeter	$L_p$	9	Elongation ratio	$R_e$	16	Basin length	$L_b$
3	Basin average width	$R_b$	10	Drainage density	$D$	17	Watershed length	$L$
4	Basin average elevation	$H$	11	Finess ratio	$R_i$	18	Total stream length	$L_t$
5	Effective basin width	$S$	12	Relief ratio	$R_h$	19	Annual evapotranspiration	$ET$
6	Form factor	$R_f$	13	Ruggendness number	$R_n$	20	Annual precipitation	$P$
7	Shape factor	$R_s$	14	peak elevation	$E_m$	21	Annual average temperature	$T$

합시스템에서 제공하고 있는 유역 면적, 유역 둘레, 유역 평균 표고, 유역 평균 경사, 형상인자, 원형비, 세장률 등 유역의 특성을 나타낼 수 있는 18개의 유역인자를 수집하였다. 또한 기상특성인자의 경우 기상자료개방포털에서 제공하는 연 강수량, 연평균 기온을 적용하였으며 연증발산량을 적용하여 대상 유역의 기상학적 특성을 반영하였다. Table 3에 독립변수의 목록을 정리하였다.

### 3. 미계측 유역의 갈수지수 산정 다중선형회귀모형 개발 및 평가

#### 3.1 다중선형회귀모형 개발

본 논문에서는 유역면적( $A$ )을 기준으로 강한 상관관계를 보이지 않는 독립변수 중(Jo, 2007), Lee (2016) 등의 선행연구에서 사용한 유역 평균 표고( $H$ ), 유역 평균 경사( $S$ ) 등 5개와 연강수량과 연증발산량을 선정하였으며 분석 결과 결정계수의 값은 최소 0.57에서 최대 0.81로 분석되었다. 유의확률 또

Table 4. Regression model selection results

Dependent variable	Optional variable	$R^2$	Standard error	Significance probability	F	Durbin-Watson
$Q_{7 2}$	A, H, CN, ET, P	0.84	5.39	< 0.00	24.94	1.94
$Q_{7 10}$	A, H, S, D, ET, P	0.89	2.80	< 0.00	32.85	1.93
$Q_{30 2}$	A, H, S, CN, ET, P	0.87	28.61	< 0.00	26.61	1.96
$Q_{30 10}$	A, S, CN, ET, P	0.86	15.20	< 0.00	29.37	2.19
$Q_{90 2}$	A, H, S, CN, ET, P	0.89	142.12	< 0.00	30.27	2.06
$Q_{90 10}$	A, CN, ET, P	0.87	90.15	< 0.00	41.29	2.29
$Q_{355}$	A, H, S, D, CN, ET, P	0.89	0.89	< 0.00	25.56	1.97
$Q_{275}$	A, H, S, D, ET, P	0.92	1.66	< 0.00	41.88	2.23

Table 5. Regression model results

Dependent variable	Selection regression model
$Q_{7 2}$	$Q_{7 2} = -69.78 + 0.01A + 0.02H + 0.28CN + 0.03ET + 0.03P$
$Q_{7 10}$	$Q_{7 10} = 0.003A + 0.013H - 0.185S - 0.833D + 0.004ET + 0.003P$
$Q_{30 2}$	$Q_{30 2} = -412.369 + 0.047A + 0.145H - 0.69S + 0.2446CN + 0.013ET + 0.179P$
$Q_{30 10}$	$Q_{30 10} = -180.295 + 0.029A + 0.384S + 0.784CN + 0.035ET + 0.083P$
$Q_{90 2}$	$Q_{90 2} = -1668.237 + 0.267A + 0.541H - 4.12S + 8.877CN + 0.231ET + 0.858P$
$Q_{90 10}$	$Q_{90 10} = -811.047 + 0.183A + 3.344CN - 0.013ET + 0.44P$
$Q_{355}$	$Q_{355} = -12.138 + 0.002A + 0.005H - 0.018S - 0.197D + 0.074CN + 0.004ET + 0.005P$
$Q_{275}$	$Q_{275} = -7.61 + 0.004A + 0.005H - 0.026S - 0.372D + 0.002ET + 0.006P$

Table 6. Dependent variable calculation result

No.	Basin name	Dependent variable							
		$Q_{7 2}$	$Q_{7 10}$	$Q_{30 2}$	$Q_{30 10}$	$Q_{90 2}$	$Q_{90 10}$	$Q_{355}$	$Q_{275}$
1	Youngdong-cheon	7.7	3.2	44.7	20.3	216.4	99.1	1.3	2.5
2	Youngsan-river upstream	7.7	2.7	56.7	23	290.9	134.9	1.4	3.4
3	Youngam-cheon	2.1	0.7	15.5	5.9	75.5	33.4	0.4	1.2
4	Osu-cheon	1.2	0.2	9.4	2.6	59.3	16.3	0.3	0.9
5	Yo-cheon	2.4	0.6	16	5.3	105.9	34.2	0.5	1.4
6	Inbuk-cheon	4.2	2	26.6	12.2	121.1	55.5	0.9	2.3
7	Jiseok-cheon	6.6	2.7	38.6	18.8	170.7	92.9	1.1	2.4
8	Cho-river	5.8	1.9	35.2	12.9	178.5	66.5	1.1	2.6
9	Hwang-river	19.3	8.7	112.8	52.7	477.4	246.1	3.5	6.3
10	Hwangyong-river	5.5	1.7	38.1	13.4	182.6	73.2	1.0	2.3

한 모든 회귀식이 유의함을 나타내었으며 Durbin-Watson 값의 경우 모든 회귀모형이 2에 근접한 값을 나타내어 잔차간의 상관관계가 없어 회귀모형이 적합함을 나타내었다. Table 4는 선정된 회귀모형에 대한 결정계수와 표준오차, 유의확률, Durbin-Watson의 값을 나타내었으며 Table 5은 선정된 회귀모형의 결과를 나타내었다.

**3.2 회귀모형을 이용한 미계측 유역의 갈수유량 산정**

본 논문에서는 30개의 분석 유역의 유역 특성인자와 수문인자를 이용하여 개발된 회귀모형의 적합도 검증과 미계측 유역의 적용 가능성을 평가하고자 수집한 유역 중 10개의 유

역을 검증 유역으로 선정하여 개발된 회귀모형을 이용하여 갈수지수를 산정하였으며 그 값을 Table 6에 도시하였다.

**3.3 기존 방법론과의 비교**

국내외의 연구자들에 의해 미계측 유역의 회귀모형의 연구가 활발히 수행되어 왔다. Jo (2007)는 유역면적, 유역평균경사, 하천 밀도, 유역평균강수량, 유출곡선지수 등의 유역특성인자를 이용하여 교차검증을 수행하였으며 검증 결과 유역면적, 유역평균경사, 하천밀도를 이용하여 회귀모형을 작성하였다.

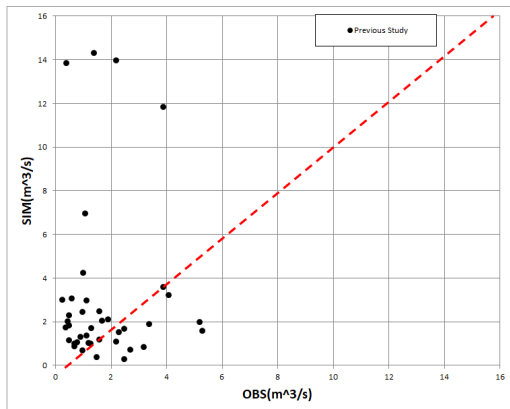
$$Q = 12831.25A^{0.67}S^{-3.46}D^{-1.07} \tag{3}$$

**Table 7.** Comparison of observations, previous study, this study

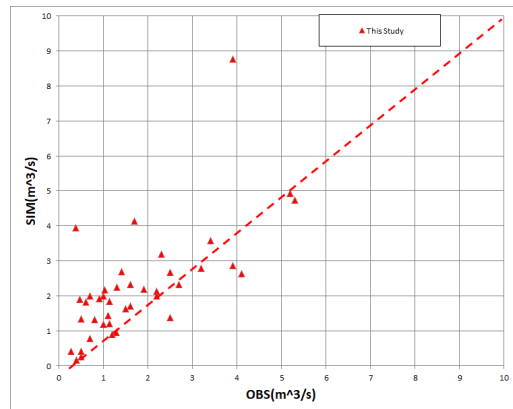
Basin name	Observation	Existing regression model	Selection regression model
Youngdong-cheon	1.28	0.99	1.0
Youngsan-river upstream	1.41	14.28	2.7
Youngam-cheon	0.40	13.80	0.2
Osu-cheon	0.27	2.97	0.4
Yo-cheon	0.46	1.99	1.9
Inbuk-cheon	0.91	1.28	1.9
Jiseok-cheon	1.13	2.95	1.8
Cho-river	1.13	1.33	1.2
Hwang-river	3.5	0.85	1.5
Hwangyong-river	1.02	4.22	2.2
MAE	-	3.78	0.8
RMSE	-	6.43	0.35
R <sup>2</sup>	-	0.05	0.89

기존의 회귀모형을 이용하여 10개의 검증 유역에 대하여 평균갈수량을 산정하였으며 분석 결과 추정치의 정확도에 있어 RMSE가 6.4, MAE가 4.03으로 산정되었다. 본 논문에서 개발한 회귀모형과 기존의 회귀모형을 이용하여 평균 갈수량을 산정한 결과를 Table 7에 비교하였으며 비교 결과 본 논문에서 개발한 회귀모형이 관측치를 더욱 잘 반영하였다. Fig. 3에는 평균 갈수량의 관측치와 추정치의 1:1 비교를 통해 정확도를 비교를 수행하였으며 비교 결과 본 논문의 회귀모형이 기존의 회귀모형보다 정확함을 확인하였다.

기존의 회귀모형을 이용하여 미계측 유역의 평균 갈수량을 산정한 결과 RMSE가 6.43, MAE가 3.78, R<sup>2</sup>가 0.05로 산정되었다. 이는 추정치의 결과가 가장 낮게 산정되었으며 그 이유는 산정방법의 개발과정에서 적은 수의 유역을 이용하였기 때문에 개발에 사용된 자료가 부족하여 낮은 정확도를 보인 것으로 판단된다. 본 논문에서 다중선형회귀모형을 이용하여 개발한 회귀모형은 30개 유역을 대상으로 유역면적(A), 유역 평균



(a) Previous study



(b) This study

**Fig. 3.** Comparison between previous study and this study



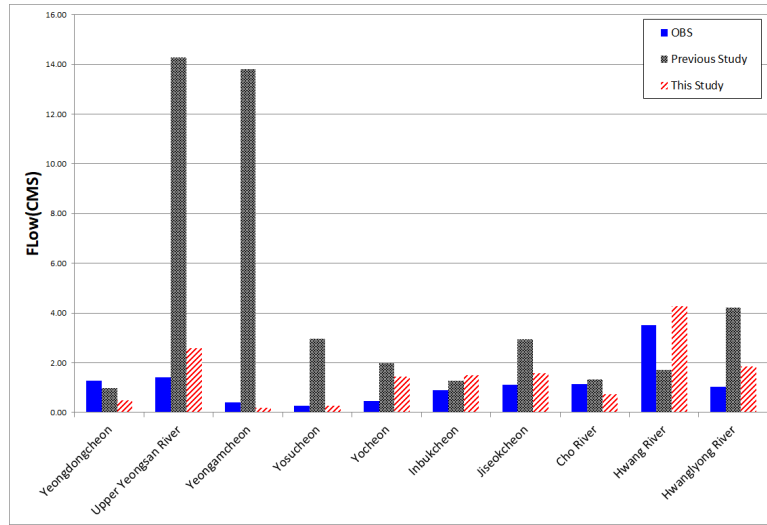


Fig. 4. Comparison of observations, previous study, this study

표고( $H$ ), 유역 평균 경사( $S$ ), 수계밀도( $D$ ), 유출 곡선지수( $CM$ ), 연 강수량( $P$ ), 연 증발산량( $ET$ )을 이용하여 회귀모형을 개발하였다. 또한, 10개의 검증유역을 대상으로 개발한 회귀모형의 정확도를 산정하였으며 그 결과 RMSE가 0.35, MAE가 0.8,  $R^2$ 이 0.89로 높은 정확도를 보였다. 통계적 정확도 추정 결과를 비교한 결과 기존 회귀모형보다 본 논문의 회귀모형이 통계적으로 우수한 결과를 나타내었다. Fig. 4에 관측치와 기존 회귀모형, 본 논문에서 개발한 회귀모형의 평균 갈수량 산정 값을 비교하였다. 기존 회귀모형의 경우 과대추정되는 경향을 보였으며 크게 차이가 나는 유역은 영산강 상류 유역과 영암천 상류 유역으로 분석되었으며 각각 12.87 CMS, 13.4 CMS의 오차를 보였다. 본 논문에서 개발한 회귀모형의 경우 비교적 관측치를 잘 반영하는 것으로 분석되었으며 가장 크게 차이가 난 유역은 영산강 상류 유역이며 1.36 CMS의 오차를 나타내었다. 기존 회귀모형과 본 논문의 회귀모형을 비교·분석한 결과 유역면적( $A$ ), 유역 평균 표고( $H$ ), 유역 평균 경사( $S$ ), 수계밀도( $D$ ), 유출 곡선지수( $CM$ ), 연 강수량( $P$ ), 연 증발산량( $ET$ )을 고려할 수 있는 본 논문의 회귀모형을 사용하는 것이 평균 갈수량 산정에 있어 정확할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 미계측 유역의 갈수지수에 관한 회귀모형을 개발하기 위하여 30개 유역의 유역특성인자와 수문인자를 이용하여 다중선형회귀분석을 수행하였다. 개발된 회귀모형은 유역특성인자와 수문인자를 이용하여 간단하고 신속

하게 미계측 유역의 갈수지수 예측이 가능하다는 장점이 있다.

- 1) 미계측 유역에 적용 가능한 인자를 선정하기 위하여 본 논문에서는 학습유역으로 선정된 30개 유역의 18개 유역특성인자와 3개의 기상특성인자에 대하여 Pearson 상관관계 분석을 통하여 미계측 유역에 적용이 가능한 인자를 선정하였다. 선행연구와 상관관계 분석결과를 바탕으로 유역면적( $A$ ), 유역 평균 표고( $H$ ), 유역 평균 경사( $S$ ), 수계밀도( $D$ ), 유출 곡선지수( $CM$ ), 연 증발산량( $ET$ ), 연 강수량( $P$ )을 미계측 유역에 적용 가능한 인자로 선정하였다.
- 2) 미계측 유역의 갈수지수별 산정 회귀모형 개발을 위하여 본 논문에서는 다중선형회귀분석을 통하여 갈수지수별 회귀모형을 개발하였다. 개발된 회귀모형의 결정계수는 최소 0.84에서 0.92로 분석되었으며 유의확률의 경우 모든 회귀모형이 0.05 이하로 분석되어 본 논문의 갈수지수별 회귀모형이 통계적으로 유의함을 확인하였다. 또한, 히스토그램을 통하여 정규성 그래프를 이용하여 잔차의 이상치에 대한 판단을 수행하였으며 P-P 도표를 이용하여 잔차의 정규성을 확인하였다. 또한, 편회귀잔차도표를 이용하여 독립변수의 데이터가 특정 분포를 띄지 않고 일정한 분포를 보이고 등분산의 가정을 만족하는 것을 확인하였다.
- 3) 갈수지수별 회귀모형의 검증을 위하여 개발된 회귀모형의 추정치와 영동천, 영산강 상류, 영암천 등의 10개의 검증유역의 관측치를 비교하였으며 추정치의 검증을 위하여 평균제곱근오차(RMSE)와 평균절대오차(MAE)를 이용하였다. 갈수지수별 선정된 회귀모형은 RMSE가 최소



0.29에서 최대 29.17로 분석되었으며 MAE의 경우 최소 0.8에서 78.5로 분석되었으며 10개의 검증유역에 대하여 회귀모형을 이용하여 산정한 추정치가 신뢰구간 95% 내에 존재함을 확인하였다.

- 4) 기존 미계측 유역의 평균 갈수량 산정방법과 비교를 위해 미계측 유역의 평균 갈수량 산정 결과를 기존의 회귀모형과 본 논문에서 개발한 회귀모형을 비교하였다. 기존의 회귀모형은 RMSE가 6.43, MAE가 3.78로 산정되었으며 본 논문의 회귀모형의 경우 RMSE가 0.35, MAE가 0.8로 산정되었다. 정확도 추정 결과를 비교한 결과 본 논문의 회귀모형이 기존의 회귀모형보다 통계적 수치에서 우수한 결과를 나타내었다.

본 논문에서 개발된 갈수지수별 회귀모형에 대하여 미계측 유역의 갈수지수를 추정 및 검증을 통하여 회귀모형에 적용 가능성을 검증하였다. 기존의 미계측 유역의 평균 갈수량 회귀모형과 비교·분석에서 더욱 우수한 결과를 나타낸 것은 기존의 회귀모형보다 다양한 유역특성인자와 수문특성인자를 고려하여 회귀모형을 개발하였기 때문으로 판단된다. 개발된 회귀모형은 국내 미계측 유역의 평균 갈수량, 평균 저수량 산정뿐만 아니라 미계측 유역의 수공구조물 설계 및 수자원장기종합계획 수립, 하천유지유량 산정 등의 이수적인 측면에서 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 추후 표준유역을 포함하여 유역의 크기별로 연구를 수행한다면 회귀모형의 추정 정확도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 행정안전부 극한재난대응기반기술개발사업의 연구비 지원(2019-MOIS31-010)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Choi, S.Y., Han, K.Y., and Kim B.H. (2012). "Comparison of different multiple linear regression models for real-time flood stage forecasting." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers B*, Vol. 32, No. 1, pp. 9-20.
- Jang, D.J. (2013). "Estimation of critical duration using the multiple regression analysis." *Journal of the Institute of Construction and Environment, Chungwoon University*, Vol. 8, No. 1, pp. 27-35.
- Jo, T.G. (2007). "Improving low flow estimation for ungauged basins in Korea." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 40, No. 175, pp. 113-124.
- Lee, S.Y. (2017). *Estimation of average low flow using base flow index for ungauged basin*. Master Thesis, Inha University.
- Lee, T.H. (2016). *Development of Regional regression model for estimating mean low flow in ungauged basins*. Ph.D dissertation, Ajou University.
- Lee, T.H., Lee, M.H., and Lee, J.U. (2016). "Development of regional regression model for estimating flow duration curves in ungauged basins." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 36, No. 3, pp. 427-437.
- Ryoo, K.S., and Chong, K.Y. (2008). "Development of multiple regression models for the prediction of reservoir inflow in the flood season." *2008 Conference of Korean Society of Civil Engineers*, pp. 3500-3503.
- Smakhtin, V.U. (2001), "Low flow hydrology: A review." *Journal of Hydrology*, Vol. 240, pp. 147-186.
- Yoon, Y.N. (2007). *Hydrology*. Cheongmungak.