

## 미계측 유역 평균갈수량 산정을 위한 지역회귀모형의 개발

이태희\* · 이민호\*\* · 이재응\*\*\*

Lee, Tae Hee\*, Lee, Min Ho\*\*, Yi, Jaeung\*\*\*

### Development of Regional Regression Model for Estimating Mean Low Flow in Ungauged Basins

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to develop regional regression models to estimate mean low flow for ungauged basins. The unregulated streamflow data observed at 12 multipurpose dams and 4 irrigation dams were analyzed for determining mean low flows. Various types of regression models were developed using the relationship between mean low flows and various sets of watershed characteristics such as drainage area, average slope, drainage density, mean annual precipitation, runoff curve number. The performance of each regression model for estimating mean low flows was assessed by comparison with the results obtained from the observed data. It was found that a regional regression model explained by drainage area, the mean annual precipitation, and runoff curve number showed the best performance. The regression model presented in this study also gives better estimates of mean low flow than the estimates by the drainage-area ratio method and the previous regression model.

**Key words :** Ungauged basin, Mean low flow, Basin characteristics, Regional regression model

#### 초록

본 연구에서는 미계측 유역의 평균갈수량 추정을 위한 지역회귀모형을 개발하고자 하였다. 12개 다목적댐과 4개의 용수댐에서 관측된 조절되지 않은 유입량 자료로부터 평균갈수량을 산정하였고, 이를 유역면적, 유역경사, 유역밀도, 연평균강수량, 유출곡선지수 등의 유역특성인자와의 상관분석을 통해 다양한 형태의 지역회귀모형을 개발하였다. 평균갈수량의 관측값과 추정값의 비교를 통해 각 회귀모형의 성능을 평가하였고, 유역면적, 연평균강수량, 유출곡선지수를 설명변량으로 하는 회귀모형이 가장 우수한 성능을 보였다. 또한 비유량법과 기존에 개발된 기준회귀모형과의 비교를 통해서 본 연구에서 개발한 모형의 적용성이 가장 우수한 것으로 분석되었다.

**검색어 :** 미계측 유역, 평균갈수량, 유역특성인자, 지역회귀모형

## 1. 서론

갈수량은 하천수의 공급능력을 평가하고 하천수 사용 허가량을 설정하는 기준유량으로 사용되는 등 이수관리에 있어서 중요한 지표이다. 따라서 신뢰성 있는 갈수량 산정이 요구되며, 이를 위해서는 장기간의 연속적인 하천유량 자료가 확보되어야 한다. 그러나, 수문관측 지점의 한계로 미계측 유역이 대부분이고, 자료가 있는 지점도 기록년수가 짧거나 댐과 같이 인위적인 시설물로 교란되어 자연상태의 갈수량을 산정하는 것은 매우 어렵다. 이에 따라 국내에서는 주로 비유량법(drainage area ratio method)을 이용하여 미계측 유역의 갈수량을 산정하고 있다.

\* 정희원 · 유량조사사업단 낙동강조사실 선임연구원 (Hydrological Survey Center · thlee@hsc.re.kr)

\*\* 국토교통부 금강홍수통제소 예보통제과 시설연구사 (Geum River Flood Control Office · leeminho@korea.kr)

\*\*\* 종신희원 · 교신저자 · 아주대학교 건설시스템공학과 교수 (Corresponding Author · Ajou University · jeyi@ajou.ac.kr)

Received April 1, 2016/ revised April 18, 2016/ accepted April 25, 2016

비유량법은 계측 유역의 유량자료를 유역면적비에 따라 미계측 유역의 유량자료를 추정하는 방법으로 Yang et al. (2005)은 영산강 및 섬진강 지점을 대상으로 이 방법의 적용성을 검토하였다. 미국 Massachusetts주에서는 유역면적비가 0.3에서 1.5사이일 때 이 방법을 사용할 것을 권장하였다(Ries and Friesz, 2000).

지역회귀기법(regional regression method)은 세계적으로 많이 사용되는 방법(Smakhtin, 2001)이나 홍수량에 비해 갈수량에서는 제한적인 성공을 거두었다(Vogel and Kroll, 1992). Lee and Cho (1999)는 국내 미계측 산지하천 유역을 대상으로 유역면적, 평균유역경사, 기저유량 감수계수를 이용하여 평균갈수량과 기준 갈수량을 산정하는 회귀식을 제시하였으며, Cho et al. (2007)은 국내 미계측 유역의 갈수량 산정을 위해 비유량법과 지역회귀방법, 기저유량상관기법(baseflow correlation method)을 국내에 적용하여 각 방법의 적용시 지침과 국내에 적합한 갈수량 산정방법을 제시하였다.

본 연구에서는 상류에 댐이 없거나 인위적인 유량 조절이 없는 계측 유역(gauged basin)의 유황곡선으로부터 평균갈수량을 추출하고 이를 지형 및 기상학적 인자와의 상관분석을 통해 미계측 유역의 평균갈수량을 산정하는데 적용할 수 있는 지역회귀모형을 제시하고자 한다.

## 2. 기본 이론

### 2.1 갈수량(Low Flow)

#### 2.1.1 갈수량의 정의

갈수량은 장기간의 건기시에 하천에 흐르는 유량으로 정의된다(WMO, 1974). 이 정의는 갈수와 가뭄을 명백히 구별하지는 못한다. 갈수는 비가 오지 않아 하천이 가물어서 하천수가 어느 수위 이하로 줄어드는 수문학적 가뭄(hydrological drought) 현상이며, 갈수로 인한 하천유량의 감소는 하천의 수질 또는 하천의 생태계의 보존과 농업, 공업 및 생활용수의 취수와 아주 밀접한 관계를 가지고 있다.

#### 2.1.2 갈수량의 기준

국가별로 사용되는 갈수량 지표는 Table 1과 같다. 우리나라에서는 주로 평균갈수량과 기준갈수량이 사용되는데, 평균갈수량은 355일 이상 유지되는 매 년의 갈수량을 산술평균한 값이고, 기준갈수량은 355일 이상 유지되는 매 년의 갈수량 중 재현기간 10년에 해당하는 값이다(Kim et al., 1996).

## 2.2 갈수량 산정 방법

### 2.2.1 비유량법

비유량법은 미계측 유역의 단위면적당 유량이 수문학적으로 유사한 계측 유역과 같을 것이라는 가정 하에 유역면적비에 따라 미계측 유역의 평균갈수량을 추정하는 방법이다. 이 방법은 계측 유역과 미계측 유역의 근접성, 유역특성의 동질성에 기인하므로 계측 유역의 관측소와 미계측 유역이 동일한 하천에 위치할 때 결과의 정확도가 높다(Ries and Friesz, 2000).

$$Q_y = Q_x (A_y/A_x)^m \quad (1)$$

여기서,  $Q_y$ 는 미계측 유역의 평균갈수량,  $Q_x$ 는 계측 유역의 평균갈수량,  $A_y$ 와  $A_x$ 는 각각 미계측 유역과 계측 유역의 유역면적,  $m$ 은 한 쌍의 계측 유역의 갈수량 분석을 통해 얻어지는 지수이다. 이 방법의 장점은 미계측 유역의 유량자료가 전무한 상태에서 유역면적만을 가지고 갈수량을 추정할 수 있다는 점이다.

### 2.2.2 지역회귀모형

지역회귀모형은 비유량법처럼 하나의 인자(유역면적)에 비례하여 유량을 추정하는 것이 아니고 유량에 영향을 미치는 유역특성들을 다수 감안하여 회귀분석을 통해 경험식을 만들어 유량을 추정하는 방법이다(Abdulla and Lettenmaier, 1997). 지역회귀기법(Regional regression method)은 세계적으로 가장 널리 사용되는 미계측 유역의 평균갈수량 산정방법으로 가용한 지형, 지질, 기상, 수문학적 인자들을 이용하는 기법이다(Smakhtin, 2001). 가장

Table 1. Regional Low Flow Index

Country	Low Flow Index	
	Korea	Mean Low Flow Standard Low Flow
Japan		Mean annual 97%(Q97) 10-year low flow
USA		7-day 10-year low flow(7Q-10)
		7-day 2-year low flow(7Q-2)
UK		Mean annual 95% (Q95) low flow or Mean annual 7-day minimum flow(MAM7)
Russia and Eastern Europe		1-day and 30-day summer and winter low flow

일반적으로 사용되는 회귀식의 형태는 다음의 Eq. (2)와 같다.

$$Q = b_0 X_1^{b_1} X_2^{b_2} X_3^{b_3} \dots \quad (2)$$

여기서,  $Q$ 는 유역의 평균갈수량,  $X_i$ 는 유역특성인자,  $b_i$ 는 매개변수로 여러 계측 유역의 평균갈수량과 유역 특성인자를 이용하여 추정된다. 계측 유역은 상류에 댐 또는 이치수와 같은 인위적인 조절이 없는 유역을 선택한다.

Vogel and Kroll (1992)은 기존의 다중회귀방법(Parker, 1977; Vogel and Kroll, 1990; Fennessey and Vogel, 1990)이 미계측 유역의 평균갈수량 추정에 한계가 있음을 지적하고, 그 대안으로 간단한 Dupuit-Boussinesq stream-aquifer 모형을 이용하여 Eq. (3)과 같은 지역회귀식을 제안하였다.

$$Q = b_0 A^{b_1} S^{b_2} K_b^{b_3} \quad (3)$$

여기서,  $A$ 는 유역면적,  $S$ 는 유역평균경사,  $K_b$ 는 기저유량 감수상수이다.

세계적으로 많은 연구자에 의해 지역회귀모형 연구가 수행되어 개선되어 왔고 국내에서도 마찬가지로 미계측 유역의 평균갈수량 산정을 위한 지역회귀모형에 대해 연구가 수행되었다. 가장 최근에 수행된 연구로 Cho et al. (2007)은 유역면적, 유역평균경사, 하천밀도, 유출곡선지수, 평균기온, 그리고 Vogel and Kroll (1992)이

제한한 기저유량 감수상수 등 유역특성인자를 교차검증을 수행하여 가장 좋은 추정정확도를 가지는 유역면적, 유역평균경사, 하천밀도를 이용한 회귀식을 개발하였다.

$$Q = 12831A^{0.67} S^{-3.46} D^{-1.07} \quad (4)$$

여기서,  $Q$ 는 평균갈수량,  $A$ 는 유역면적,  $S$ 는 유역평균경사,  $D$ 는 하천밀도이다.

### 3. 기존 갈수량 산정 방법 적용 및 개발

#### 3.1 대상 유역 선정

본 연구에서는 새로운 평균갈수량 산정방법 개발을 위한 적용대상 유역으로 상류에 인위적인 유량조작이 발생하지 않고, 신뢰성 있는 유량자료 확보가 가능한 12개 다목적댐과 4개 용수댐 유역을 선정하였다. 갈수량 및 유량자료는 모형 개발에 직접적으로 필요한 자료로 맴운영실 무편람(K water, 2014) 및 한국수자원공사(www.kwater.or.kr)에 제시된 1974년부터 2015년까지의 자료를 이용하였다. 수집된 유량 자료는 상류에 댐이 없거나 인위적인 유량 조절이 없는 댐 유입량자료로 갈수량 분석에 있어서 적절한 유량자료로 판단된다. 자료누적 기간은 최소 13년에서 최대 41년이며 유역면적은 최소 49  $km^2$ 에서 최대 6,648  $km^2$ 으로 소유역에서 중유역 규모의 유역크기를 보이고 있다. 유역경사 및 수계밀도는 국가수자원관리종합정보시스템

Table 2. Characteristics of Study Basins

Basins	Years of record	No. of years	Basin area A (km <sup>2</sup> )	Average annual precipitation R (mm)	Curve Number	Mean slope S	Drainage density D
Soyanggang Dam	1974~2014	41	2,703.0	1,225.7	63.6	46.0	1.4
Chungju Dam	1986~2014	29	6,648.0	1,237.4	63.1	34.9	1.8
Hoengsung Dam	2001~2013	13	209.0	1,524.0	44.7	51.3	1.2
Andong Dam	1977~2013	37	1,584.0	1,151.9	55.8	42.4	3.3
Imha Dam	1993~2013	21	1,361.0	1,003.6	59.5	40.4	2.9
Hapcheon Dam	1989~2013	25	925.0	1,334.4	54.3	34.9	3.6
Namgang Dam	1976~2013	38	2,285.0	1,519.0	65.0	40.4	3.0
Miryang Dam	2001~2013	13	103.5	1,474.8	51.9	52.0	1.9
Yongdam Dam	2001~2013	13	930.0	1,426.0	59.3	43.4	2.3
Seomjingang Dam	1975~2013	39	763.0	1,324.0	65.2	37.9	1.6
Buan Dam	1997~2013	17	59.0	1,393.0	61.0	46.9	2.9
Boryeong Dam	1998~2013	16	163.6	1,431.0	62.0	40.2	1.6
Gwangdong Dam	1989~2013	25	125.0	1,290.2	68.4	47.8	2.2
Unmun Dam	1995~2013	19	301.3	1,243.3	72.2	48.6	2.2
Daeam Dam	2000~2015	16	77.0	1,379.3	57.1	36.8	3.3
Sueo Dam	1996~2015	20	49.0	1,736.4	61.2	51.2	2.4

(www.wamis.go.kr)에 제시된 자료를 활용하였다. 유출곡선지수는 농촌진흥청의 토양분류기준에 따른 수치 정밀도양도와 환경부의 토지이용 및 피복상태를 분류한 중분류 수치토지피복도를 활용하여 국토교통부에서 제시한 국내 토지이용현황 및 수문학적 토양군에 따라 산정하였다. 수집된 각 댐 유역의 자료 보유기간 및 유역특성인자 유역면적( $km^2$ ), 연평균강수량( $mm$ ), 유출곡선지수 CN, 유역경사 S, 수계밀도 D를 Table 2에 정리하였다.

각 평균갈수량 산정방법으로부터 산정된 추정치의 정확도를 평가하기 위한 분석 방법에서는 BIAS 및 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE), 결정계수(coefficient of determination,  $R^2$ ) 세 지표 통계량을 Eqs. (5)-(7)과 같이 산정하여 정확도 평가를 수행하였다.

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs}^i - Q_{est}^i)}{N} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs}^i - Q_{est}^i)^2}{N}} \quad (6)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{est.} - \overline{Q_{obs.}})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs.} - \overline{Q_{obs.}})^2} \quad (7)$$

여기서,  $N$ 은 자료의 개수,  $Q_{obs.}$ 는 관측값이며,  $Q_{est.}$ 는 모의값이다.

### 3.2 비유량법의 적용

비유량법은 국내 실무에서 가장 많이 사용되는 미계측 유역의 평균갈수량 산정방법으로 계측 유역과 미계측 유역의 유역면적비만을 이용하여 미계측 유역의 평균갈수량을 산정한다. 본 연구에서는 16개 댐 유역에 비유량법을 적용하여 평균갈수량을 산정하였다. 16개 댐 유역 중 한 개 유역을 계측 유역으로 하고 15개 유역을 미계측 유역으로 가정하여 유역면적비를 산정하였고 산정된 유역면적비로부터 각 댐 유역별 365일중 355일에 해당하는 평균갈수량을 산정하였다.

비유량법에 의한 평균갈수량 산정에 있어서 각 댐 유역을 계측 유역으로 가정하고 미계측 유역의 평균갈수량 추정시 BIAS와 RMSE를 산정하여 Table 3 and Fig. 1에 정리 및 도시하였다. 평균갈수량 추정에 있어서 계측 유역을 합천댐 유역으로 가정하였

Table 3. Estimation Accuracy of Low Flow According to Gaged Basin

Gauged Basins	Soyanggang Dam	Chungju Dam	Hoengsung Dam	Andong Dam	Imha Dam	Hapcheon Dam	Namgang Dam	Miryang Dam
BIAS	-0.582	0.476	-0.758	-0.287	-1.042	0.411	0.800	-0.883
RMSE	1.661	0.869	1.926	1.248	2.372	0.833	1.191	2.120
Gauged Basins	Yongdam Dam	Seomjingang Dam	Buan Dam	Boryeong Dam	Gwangdong Dam	Unmun Dam	Daeam Dam	Sueo Dam
BIAS	-0.029	-1.204	-1.293	-1.173	-0.769	-1.336	0.010	0.575
RMSE	0.956	2.631	2.774	2.581	1.944	2.844	0.922	0.946

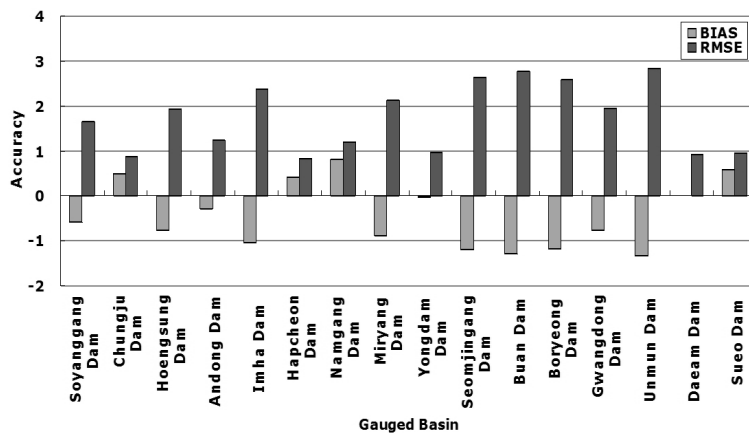


Fig. 1. Estimation Accuracy of Drainage Area Ratio Method

Table 4. Comparison of Low Flow( $Q_{355}$ ) by Drainage Area Ratio Method (unit:  $m^3/s$ )

Basins	$Q_{obs. (355)}$	$Q_{est. (355)}$
		Hapcheon Dam(gaged basin)
Soyanggang Dam	1.85	4.05
Chungju Dam	10.31	9.96
Hoengsung Dam	0.11	0.31
Andong Dam	1.47	2.37
Imha Dam	0.42	2.04
Hapcheon Dam	1.39	-
Nangang Dam	4.15	3.42
Miryang Dam	0.04	0.14
Yongdam Dam	1.06	1.39
Seomjingang Dam	0.13	1.14
Buan Dam	0.01	0.09
Boryeong Dam	0.03	0.25
Gwangdong Dam	0.07	0.19
Unmun Dam	0.02	0.45
Daeam Dam	0.32	0.12
Sueo Dam	0.25	0.07
BIAS		0.411
RMSE		0.833
$R^2$		0.891

을 경우 BIAS가 0.411, RMSE가 0.833으로 정확도가 가장 우수하게 나타났다.

합천댐 유역을 계측 유역으로 가정하고 산정된 미계측 유역의 평균갈수량 추정치와 관측치를 Table 4에 각 댐 유역별 비교하여 나타내었다. 계측 유역으로 가정한 유역과 미계측 유역이 동일한 경우에는 공란 처리하였으며 평균갈수량 산정 결과 정확도에 있어서 BIAS가 0.411, RMSE가 0.833, 결정계수  $R^2$ 의 경우 0.891로

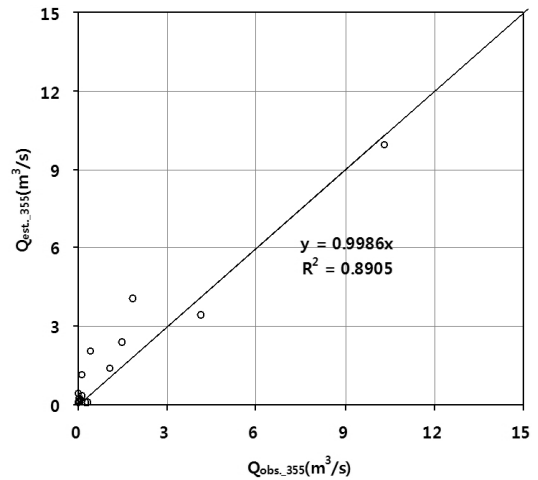


Fig. 2. Cross-Validation of Drainage Area Ratio Method: Estimated vs. Observed Values

산정되었다. Fig. 2에는 평균갈수량에 대해서 관측치와 추정치를 1:1 비교를 통해서 정확도를 그림으로 도시하여 비교하였다. Fig. 3에는 각 댐 유역별 평균갈수량에 대해 관측치와 추정치를 비교하여 도시하였다.

### 3.3 국내 지역회귀기법의 적용

국내 평균갈수량 산정방법 중 Cho et al. (2007)는 여러 가지 유역특성인자를 교차검증을 수행하여 추정정확도가 가장 우수하게 나타난 유역면적, 유역평균경사, 하천밀도를 이용한 회귀식을 사용하여 평균갈수량을 산정하였다. Table 5에 댐 유역별 관측치와 추정치를 정리하였으며 평균갈수량 산정 결과 정확도에 있어서 BIAS가 0.337, RMSE가 0.970, 결정계수  $R^2$ 의 경우 0.879로 산정되었다. Fig. 4에는 관측치와 추정치를 1:1비교를 통해 정확도를 나타내었으며 Fig. 5에는 각 댐 유역별 평균갈수량 관측치와 추정치를 비교하여 도시하였다.

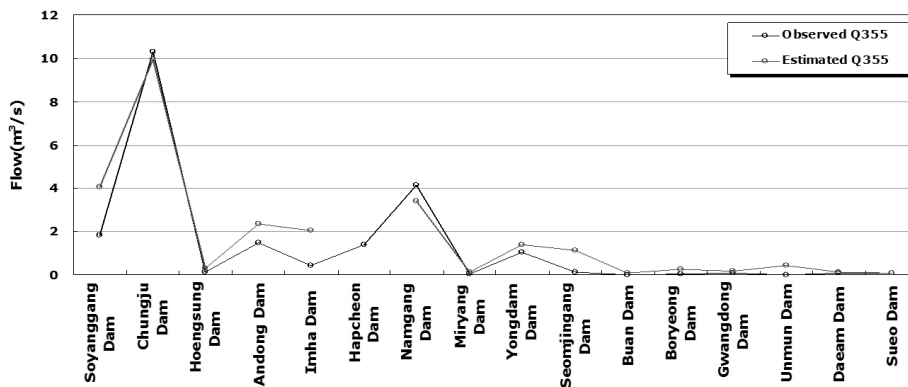


Fig. 3. Estimated and Observed Low Flow of Each Basin by Drainage Area Ratio Method

Table 5. Comparison of Low Flow( $Q_{355}$ ) by Cho et al.(2007) Method (unit:  $m^3/s$ )

Basins	$Q_{obs.}(355)$	$Q_{est.}(355)$
Soyanggang Dam	1.85	3.13
Chungju Dam	10.31	11.72
Hoengsung Dam	0.11	0.47
Andong Dam	1.47	1.17
Imha Dam	0.42	1.42
Hapcheon Dam	1.39	1.45
Namgang Dam	4.15	1.95
Miryang Dam	0.04	0.16
Yongdam Dam	1.06	1.11
Seomjingang Dam	0.13	2.30
Buan Dam	0.01	0.10
Boryeong Dam	0.03	0.69
Gwangdong Dam	0.07	0.22
Unmun Dam	0.02	0.36
Daeam Dam	0.09	0.25
Sueo Dam	0.08	0.08
BIAS		0.337
RMSE		0.970
$R^2$		0.879

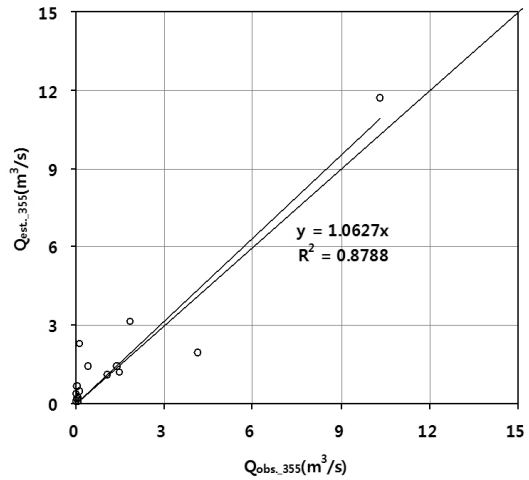


Fig. 4. Cross-Validation of Cho et al.(2007) Method: Estimated vs. Observed Values

### 3.4 새로운 지역회귀기법(Region Regression Model)의 개발

상류에 댐이 위치하지 않고 인위적인 유량조작이 발생하지 않는 국내 16개 댐 유역의 유입량자료와 유역특성인자 유역면적 A, 유역경사 S, 수계밀도 D, 유출곡선지수 CN, 전 기간연평균갈수량 R을 Eq. (8)에 적용하여 교차 검증하였다. 각 유역 특성인자와의

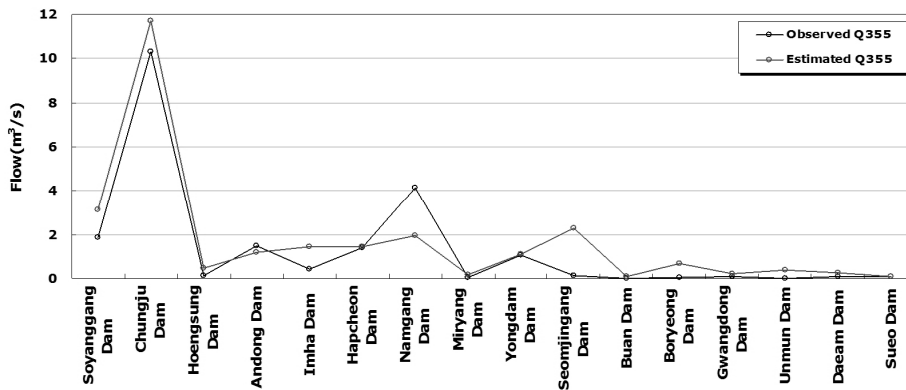


Fig. 5. Estimated and Observed Low Flow of Each Basin by Cho et al.(2007) Method

Table 6. Low Flow Equation Factors by Cross-Validation of Basin Characteristics

A	B	C	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$R^2$
A	R	CN	0.000006	1.6055	3.6176	-6.1775	0.984
A	D	CN	0.000016	1.6339	1.1055	-0.3936	0.973
A	S	CN	0.000096	1.0058	-2.0822	2.4461	0.958
A	D	R	0.000004	1.5462	1.0979	0.0554	0.974
A	S	R	0.000019	1.0426	-2.8006	1.9656	0.983
A	S	D	0.000034	1.5754	-0.5428	1.2010	0.975

관계로부터 도출된 지수식의 변수  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 를 구하면 Table 6에 제시된 바와 같으며, 상관관계는 최소 0.958부터 최대 0.984로 만족스러운 결과를 보이고 있다. 지속일수 365일중 355일에 해당하는 평균갈수량 산정에 있어서 유역특성인자 중 유역면적, 유출곡선지수, 전 기간연평균갈수량에 의해 회귀분석하여 산정된 추정치가 통계량 지표에 있어서 가장 정확도가 높은 것으로 나타났다.

$$a = \alpha A^\beta B^\gamma C^\delta \quad (8)$$

따라서 유역특성인자 유역면적, 유출곡선지수, 전 기간연평균갈수량 조합에 의한 모형을 적용하는 것이 미계측 유역의 평균갈수량을 좀 더 정확하게 산정할 수 있을 것으로 판단되며 평균갈수량 회귀식으로 나타내면 Eq. (9)와 같다.

$$Q_{355} = 0.000006A^{1.6055}R^{3.6176}CN^{-6.1775} \quad (9)$$

유역특성인자별 교차검증을 실시하여 평균갈수량 관측치와 각 유역특성인자별 추정치를 비교하여 Table 7에 정리하였다. Fig. 6에는 회귀분석인자별 16개 모든 댐 유역의 관측치와 추정치의 1:1 비교를 통하여 정확도 비교를 실시하였다. Fig. 7에는 교차검증 수행 결과 통계량 지표에 있어서 가장 정확도가 높은 것으로 나타난

유역면적, 유출곡선지수, 전 기간연평균갈수량을 적용하여 산정된 각 댐별 평균갈수량 추정치를 관측치와 비교하여 도시하였다.

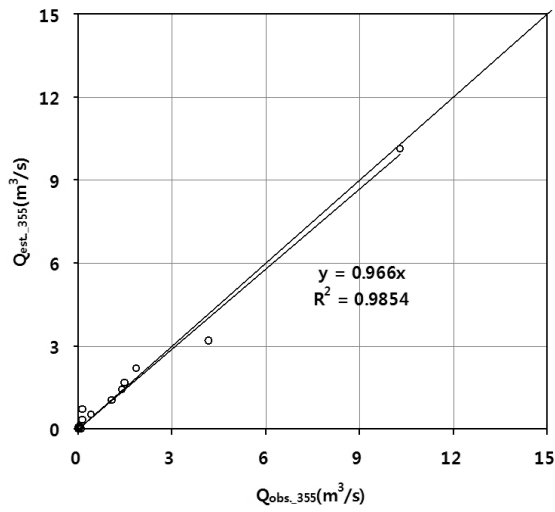
### 3.5 갈수량 산정방법별 비교

현재 국내 실무에서 가장 많이 사용되는 평균갈수량 산정방법인 비유량법의 경우 16개 유역 중 합천댐 유역을 계측 유역으로 가정하였을 경우 BIAS 0.411, RMSE 0.833, 결정계수  $R^2$  0.891로 가장 우수한 결과로 산정되었다. 국내에서 최근 개발된 Cho et al. (2007)에 의한 산정방법의 경우 추정정확도가 가장 높았던 유역면적, 유역평균경사, 하천밀도에 의한 지역회귀방법 적용 결과 BIAS 0.337, RMSE 0.970, 결정계수  $R^2$  0.879로 산정되었다. 기존 지역회귀모형의 개선을 위해 여러 유역특성인자 교차 검증에 있어 유역면적, 유출곡선지수, 전 기간연평균갈수량과의 회귀에서 BIAS -0.011, RMSE 0.312, 결정계수  $R^2$  0.985로 산정되었다. 평균갈수량 산정결과는 Table 8에 정리한 바와 같이 BIAS와 RMSE 모두 새로운 지역회귀모형이 가장 낮았으며, 결정계수  $R^2$  까지 모두 고려하였을 때 새로운 지역회귀모형이 가장 정확도가 높게 산정되었다.

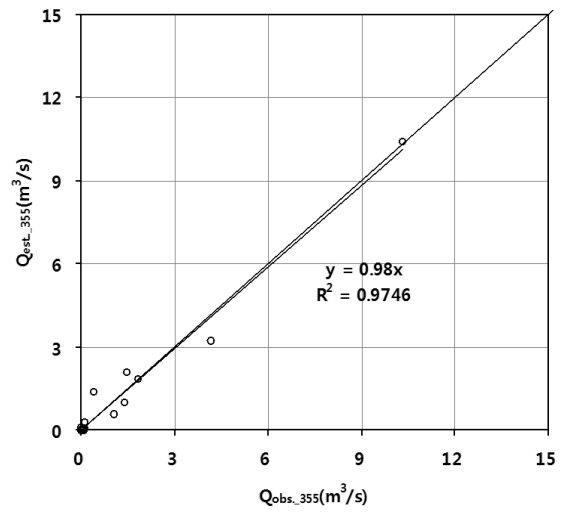
새롭게 제시한 지역회귀모형의 경우 기존 지역회귀모형보다 더 많은 계측 유역과 장기간의 관측자료의 적용으로 보다 우수한 결과가 산정된 것으로 판단된다. 따라서 국내 미계측 유역에 적용하

Table 7. Comparison of Low Flow( $Q_{355}$ ) by Regression Factor (unit:  $m^3/s$ )

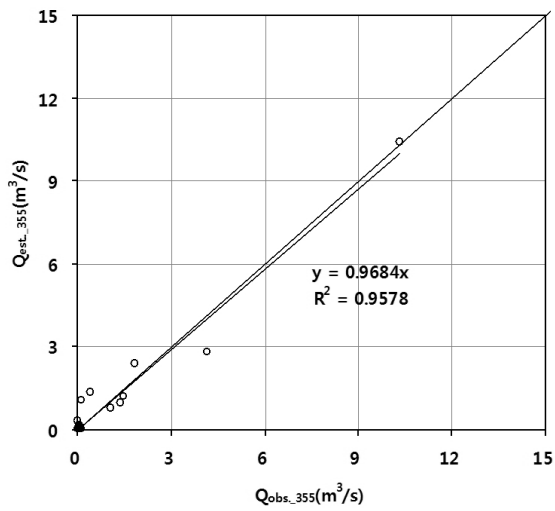
Basins	$Q_{obs(355)}$	Regression factors of New Regional Regression Method					
		A, CN, R	A, CN, D	A, CN, S	A, D, R	A, S, R	A, S, D
Soyanggang Dam	1.85	2.21	1.87	2.41	1.94	1.85	1.66
Chungju Dam	10.31	10.15	10.40	10.41	9.95	10.42	10.37
Hoengsung Dam	0.11	0.70	0.03	0.06	0.03	0.14	0.02
Andong Dam	1.47	1.68	2.09	1.21	2.14	1.18	2.06
Imha Dam	0.42	0.54	1.40	1.35	1.48	0.88	1.45
Hapcheon Dam	1.39	1.42	0.97	0.99	1.04	1.55	1.10
Namgang Dam	4.15	3.18	3.24	2.82	3.47	3.40	3.38
Miryang Dam	0.04	0.003	0.01	0.14	0.01	0.06	0.01
Yongdam Dam	1.06	1.06	0.57	0.78	0.64	0.96	0.57
Seomjingang Dam	0.13	0.33	0.27	1.08	0.31	0.99	0.29
Buan Dam	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01
Boryeong Dam	0.03	0.05	0.02	0.18	0.03	0.20	0.02
Gwangdong Dam	0.07	0.01	0.02	0.12	0.03	0.07	0.02
Unmun Dam	0.02	0.03	0.08	0.32	0.11	0.16	0.09
Daeam Dam	0.09	0.003	0.01	0.16	0.02	0.11	0.02
Sueo Dam	0.08	0.004	0.004	0.06	0.01	0.04	0.01
BIAS		-0.011	0.014	-0.058	0.000	0.052	-0.008
RMSE		0.312	0.407	0.518	0.399	0.326	0.390
$R^2$		0.985	0.975	0.957	0.976	0.983	0.977



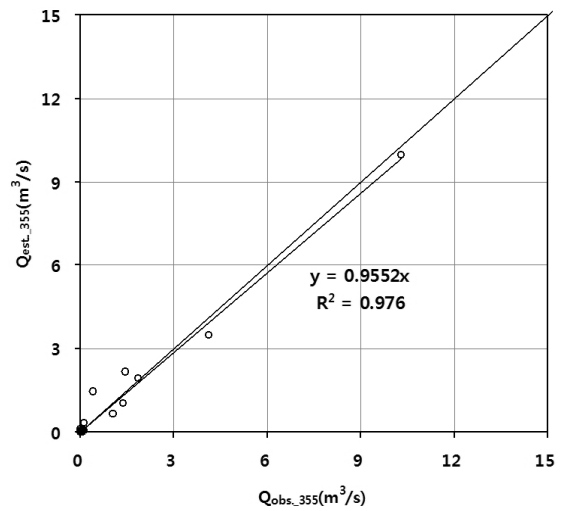
(a) A, CN, R



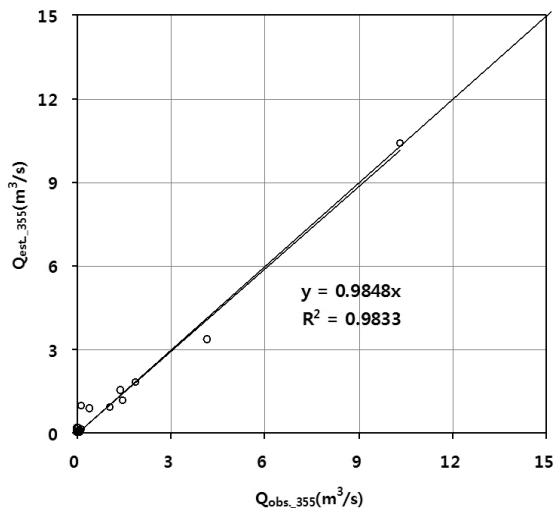
(b) A, CN, D



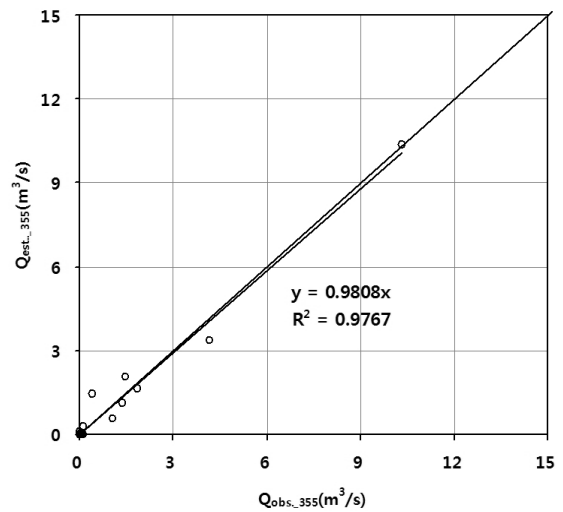
(c) A, CN, S



(d) A, D, R



(e) A, S, R



(f) A, S, D

Fig. 6. Cross-Validation of New Regional Regression Method: Estimated vs. Observed Values



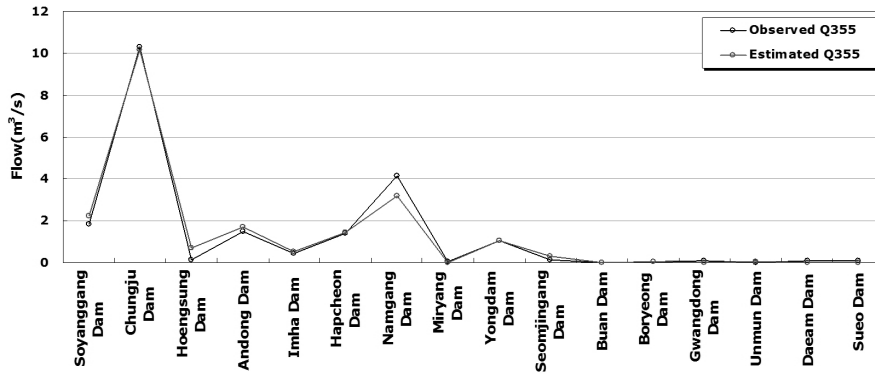


Fig. 7. Estimated and Observed Low Flow of Each Basin by Regression Factor(A, CN, R)

Table 8. Comparison of Low Flow(Q<sub>355</sub>) Estimation Methods (unit: m<sup>3</sup>/s)

Basins	Q <sub>obs (355)</sub>	Drainage area ratio method	Regional regression method Cho et al.(2007)	New Regional regression method (A, CN, R)
Soygangang Dam	1.85	4.05	3.13	2.21
Chungju Dam	10.31	9.96	11.72	10.15
Hoengsung Dam	0.11	0.31	0.47	0.70
Andong Dam	1.47	2.37	1.17	1.68
Imha Dam	0.42	2.04	1.42	0.54
Hapcheon Dam	1.39	-	1.45	1.42
Namgang Dam	4.15	3.42	1.95	3.18
Miryang Dam	0.04	0.14	0.16	0.003
Yongdam Dam	1.06	1.39	1.11	1.06
Seomjingang Dam	0.13	1.14	2.30	0.33
Buan Dam	0.01	0.09	0.10	0.01
Boryeong Dam	0.03	0.25	0.69	0.05
Gwangdong Dam	0.07	0.19	0.22	0.01
Unmun Dam	0.02	0.45	0.36	0.03
Daeam Dam	0.09	0.12	0.25	0.003
Sueo Dam	0.08	0.07	0.08	0.004
BIAS		0.411	0.337	-0.011
RMSE		0.833	0.970	0.312
R <sup>2</sup>		0.891	0.879	0.985

여 평균갈수량을 산정하는데 있어서 유역특성인자 중 유역면적, 유출곡선지수, 전 기간연평균강수량을 인자로 하는 새로운 지역회귀모형이 가장 적합하고 우수한 방법으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 우리나라 실무에서 일반적으로 사용하고 있는 비유량법과 최근 개발된 지역회귀기법을 검토하였고, 이를 보완하기 위한 지역회귀모형을 개발하여 결과를 비교·분석하였다. 16개

댐 유역의 유량자료와 유역면적, 유출곡선지수, 강우량 등의 자료를 고려하여 국내 적용이 가능한 평균갈수량 산정방법을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

비유량법은 16개 유역 중 합천댐 유역을 계측 유역으로 가정하여 평균갈수량을 산정하였을 경우 BIAS 0.411, RMSE 0.833, 결정계수 R<sup>2</sup> 0.891로 비유량법 산정 결과 중 가장 우수한 결과로 산정되었다. 16개 대상 유역의 범위가 49 km<sup>2</sup>에서 6648 km<sup>2</sup>로 유역면적비의 범위가 최소 0.007에서 최대 135.7의 큰 편차가 발생하고 위치적으로도 인접한 유역이 아니어서 정확도가 다소 떨어지는 것으로

판단된다.

기존 국내에서 개발된 지역회귀기법(Cho et al., 2007)으로 평균갈수량을 산정하였을 경우 BIAS 0.337, RMSE 0.970, 결정계수  $R^2$  0.879로 추정정확도가 산정방법 중 낮게 산정되었다. 이는 산정방법 개발에 있어서 7개 유역의 자료를 이용하여 개발하다 보니 자료의 부족으로 정확도면에서 낮게 산정된 것으로 사료된다. 추후 더 많은 유역의 자료를 확보하여 재개발시 높은 정확도를 나타낼 것으로 판단된다.

본 연구에서 새롭게 제시한 지역회귀모형은 기존 지역회귀모형과는 다르게 유역 특성인자로 유역면적, 유출곡선지수, 전 기간연평균강수량을 사용하여 개발하였다. 개발에 있어서 16개 댐 유역 자료를 이용하였으며 평균갈수량 산정결과 BIAS -0.011, RMSE 0.312, 결정계수  $R^2$  0.985로 기존 갈수량 산정방법과 추정정확도를 비교한 결과 가장 우수한 결과가 도출되었다. 따라서 국내 미계측 유역의 평균갈수량 산정에 있어서 유역면적, 유출곡선지수, 연평균강수량을 고려한 새로운 지역회귀모형을 적용하는 것이 가장 정확하고 우수한 평균갈수량 산정방법으로 판단된다.

## References

- Abdulla, A. F. and Lettenmaier, D. P. (1997). "Development of regional parameter estimation equations for macroscale hydrologic model." *Journal of Hydrology*, ASCE, Vol. 197, pp. 230-257.
- Cho, T. G., Kim, Y. O. and Lee, K. S. (2007). "Improving low flow estimation for ungauged basins in Korea." *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol. 40, No. 2, pp. 113-124 (in Korean).
- Fennessey, N. and Vogel, R. M. (1990). "Regional flow-duration curves for ungauged sites in massachusetts." *Journal Water Resour. Plan. Manag.*, Vol. 116, No. 4, pp. 530-549.
- K water (2014). *Dam Operation Manual* (in Korean).
- K water (2016). [http://www.kwater.or.kr/info/sub02/sub01/sub01/dam/hydr.do?s\\_mid=1332](http://www.kwater.or.kr/info/sub02/sub01/sub01/dam/hydr.do?s_mid=1332) (Accessed: February 4, 2016).
- Kim, K. H., Lee, J. W., Hong, I. P. and Woo, H. (1996). "Development of a Method for Determining the Instream Flow and Its Application: I. Estimation Method." *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol. 29, No. 4, pp. 161-176 (in Korean).
- Lee, J. H. and Cho, G. T. (1999). "The development of design low-flow estimation model at the ungauged mountainous watershed." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 19, No. 2, pp. 169-181 (in Korean).
- Parker, G. W. (1977). *Methods for determining selected flow characteristics for streams in Maine.*, U.S. Geological Survey Open File Report, U.S. Geological Survey.
- Ries, K. G. and Friesz, P. J. (2000). *Methods for estimating low-flow statistics for Massachusetts streams*, Water Resources investigations Report, U.S. Geological Survey, Northborough, Massachusetts.
- Smakhtin, V. U. (2001). "Low flow hydrology: A Review." *Journal of Hydrology*, Vol. 240, pp. 147-186.
- Vogel, R. M. and Kroll, C. N. (1990). "Generalised low-flow frequency relationships for ungauged sites in Massachusetts." *Water Resour. Bull.*, Vol. 26, No. 2, pp. 241-253.
- Vogel, R. M. and Kroll, C. N. (1992). "Regional geohydrologic-geomorphic relations for the estimation of low-flow statistics." *Water Resources Research*, Vol. 28, No. 9, pp. 2451-2458.
- Water Management Information System (2016). [http://www.wamis.go.kr/WKB/wkb\\_bsnsp\\_1st.aspx](http://www.wamis.go.kr/WKB/wkb_bsnsp_1st.aspx) (Accessed: February 4, 2016).
- World Meteorological Organization (1974). *International Glossary of Hydrology*.
- Yang, H. K., Choi, H. C. and Kim, J. H. (2005). "River discharge estimation by specific discharge measurement." *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 40, No. 3, pp. 274-284 (in Korean).