

# 수위-유량관계곡선식의 GZF 평가 시스템 개발

## Development of GZF Assessment System on Rating Curve

이연길\*, 심은중\*\*, 김형섭\*\*\*, 이진원\*\*\*\*, 정성원\*\*\*\*\*  
Yeon Kil Lee, Eun Jeung Shim, Hyoung Seop Kim, Jin Won Lee, Sung Won Jung

### 요    지

수자원 분야에서 가장 기본적이면서 중요한 과업 중의 하나는 고품질의 유량측정 자료를 확보하여 신뢰성 있는 수위-유량관계곡선식을 개발하는 것이다. 이는 수공구조물 설계, 친수 하천공간 조성, 친환경적인 하천의 설계, 하천 관리수량 산정, 홍수 예·경보 운영 등에 기본적인 자료를 제공하게 된다.

신뢰성 있는 곡선식은 계측장비의 개량과 유량관측 기준의 강화 등을 통하여 축적된 양질의 유량측정 자료로부터 개발될 수 있으며, 또한 수위관측소 지점의 하도특성과 통제구조물의 특성 등을 고려하는 것도 곡선식의 신뢰도를 높일 수 있다. 본 연구는 통제단면의 가장 낮은 부분의 수위로 정의되는 흐름이 0인 수위인 GZF(Gauge Height of Zero Flow) 평가에 관한 연구이다. 이와 같은 연구를 수행하기 위해서 GZF의 변화에 따라 곡선식의 신뢰도를 분석할 수 있는 시스템을 개발하였으며, 이 시스템은 사용자들이 쉽게 이용할 수 있는 엑셀 VBA(Visual Basic for Applications)를 이용하여 개발하였다. GZF 평가 시스템은 입력자료 구축 모듈, 수위관측소 지점의 하도 단면 입력 모듈, GZF 설정 모듈, GZF 평가 모듈의 4개 모듈로 구성되었다. 입력자료 구축 모듈은 기 개발된 곡선식의 GZF 적정성을 파악할 수 있도록 자료를 구축하는 모듈이며, 하도 단면 입력 모듈은 수위관측소 지점의 하상의 변화 유무와 구간분리, 기간분리 등의 필요성을 파악할 수 있도록 구성하였다. GZF 설정 모듈은 GZF의 변화가 곡선식의 신뢰도를 파악할 수 있도록 구성되었다. 마지막으로 GZF 평가 모듈은 기 개발된 곡선식의 GZF와 금회 개발될 곡선식의 GZF를 비교·분석할 수 있도록 구성되었다. 본 연구의 성과는 향후 수위-유량관계곡선식을 개발할 때 GZF 산정의 오류를 감소시켜 앞으로 개발될 곡선식의 신뢰도 향상에 기여를 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : GZF, 구간분리, 기간분리, 엑셀 VBA, 평가시스템

### 1. 서 론

본 연구에서는 수공구조물 설계, 친수 하천공간 조성, 친환경적인 하천의 설계, 하천 관리수량 산정, 홍수 예·경보 운영 등에 신뢰성 있는 유량자료를 제공하고자 수위-유량관계곡선식의 GZF 평가 시스템을 개발하였다.

수위-유량관계곡선식의 신뢰도를 떨어뜨리는 주요원인은 유량측정시 발생하는 측정오차와 현

\* 정희원 · 유량조사사업단 연구개발실 그룹장 · E-mail : sugawon@kict.re.kr

\*\* 정희원 · 유량조사실 연구원 · E-mail : ej\_shim@kict.re.kr

\*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · E-mail : hskim@kict.re.kr

\*\*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · E-mail : jwlee@kict.re.kr

\*\*\*\*\* 정희원 · 유량조사사업단 사업단장 · E-mail : swjung@kict.re.kr

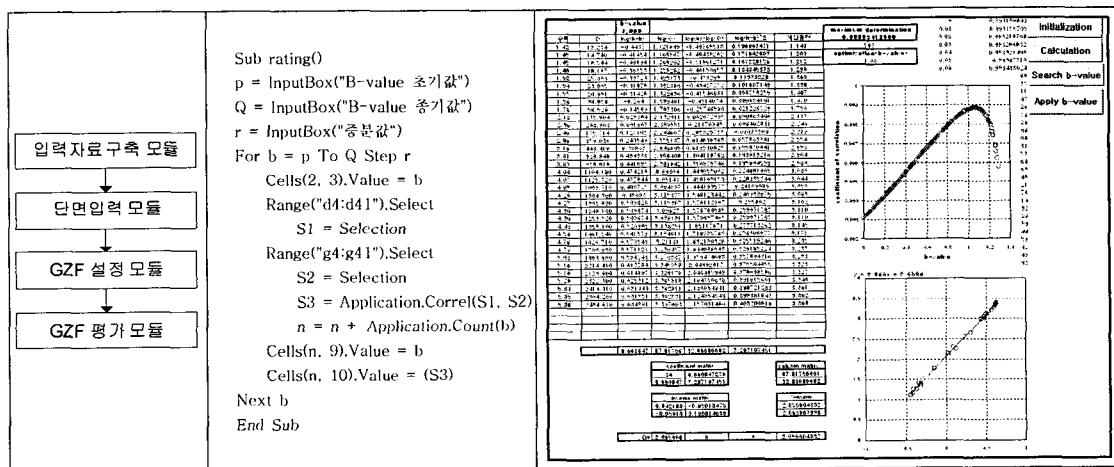
장의 열악한 사정으로 발생하는 불확실성 오차 등이 있겠으나, 또한 측정자료를 기반으로 곡선식을 개발할 때 발생하는 오차, 즉 GZF 추정에 따른 오차, 구간분리 유무로 발생하는 오차 등 여러 가지가 있다. 본 연구는 GZF 산정시 하류에 여울 등과 같은 단면통제 구간이 없어 현장 측정이 어려운 조건하에서 GZF를 간접적으로 추정하는 시스템을 개발하는 방향으로 진행되었다.

일반적으로 흐름이 0인 수위로 정의되는 GZF는 통제단면의 가장 낮은 부분의 수위를 의미하며, 여울이 있는 지점의 최심 바닥에 해당하는 목자판 수위를 측정함으로써 산정될 수 있다. 그러나 일반적으로 자연 하도에서는 GZF를 실측하기가 어려운 조건이기 때문에 보통 시행착오법이나, 도해법 등을 적용하여 산정하게 된다. GZF가 곡선식에서 중요한 의미를 가지나 아직까지도 GZF 추정을 용이하게 할 수 있는 환경이 구축되어 있지 않고, GZF 추정의 오차가 곡선식의 신뢰도에 미치는 영향을 검토하는 연구도 미진한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 곡선식 개발시 발생할 수 있는 GZF 추정의 오차를 최소화 시킬 수 있는 환경을 구축하여 이에 따른 영향을 검토하고자 섬진강 수계에 위치한 송정과 구례2지점에 적용하였다.

## 2. 시스템의 구성

수위-유량관계곡선식 개발시 GZF가 곡선식의 신뢰도에 미치는 영향을 파악하기 위한 GZF 평가 시스템 환경은 다음과 같이 구성된다. GZF 평가 시스템은 입력자료 구축 모듈, 수위관측소 지점의 하도 단면 입력 모듈, GZF 설정 모듈, GZF 평가 모듈의 4개 모듈로 구성되었다. 입력자료 구축 모듈은 기 개발된 곡선식의 GZF 적정성을 파악할 수 있도록 자료를 구축하는 모듈이며, 하도 단면 입력 모듈은 수위관측소 지점의 하상의 변화 유무와 구간분리, 기간분리 등의 필요성을 파악할 수 있도록 구성하였다. GZF 설정 모듈은 수위와 유량자료를 이용하여 GZF의 변화에 따라 곡선식의 설명력을 파악할 있도록 구성되었다. 마지막으로 GZF 평가 모듈은 기 개발된 곡선식의 GZF와 금회 개발할 곡선식의 GZF를 비교하고 분석할 수 있도록 구성되었다.

그림 1 GZF 평가 시스템의 구성



### 3. GZF 평가 시스템의 적용

본 연구의 대상지점인 송정, 구례2 지점은 단면형이 일정하지 않은 자연하천 단면으로 GZF를 직접 실측하여 적용하기가 어렵다. 또한 년중 유수의 흐름이 유지되는 하도의 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라, GZF를 실측하기 위한 통제단면도 존재하지 않는다. 송정 지점의 경우 GZF 평가 시스템을 적용한 결과는 다음과 같다. 송정 지점의 수위관측소 지점 하도 단면은 단단면형으로 구간분리 특성이 없는 것으로 분석되어 단일 수위-유량관계곡선식을 통계적인 방법으로 개발하였다.

그러나 통계적인 방법으로 추정된  $-0.08\text{m}$ 의 GZF는 하도 단면 측량성과 등을 고려하여 직접 추정한  $-0.60\text{m}$ 의 GZF와 상당한 차이를 보였다. 이와 같은 차이의 원인은 주암댐과 섬진강댐의 하천유지유량과 지하수 유출량 등이 2006년도에 상대적으로 풍부하여 GZF 산정에 필요한 수위까지 유량측정성과를 확보하지 못한데 있는 것으로 판단된다.

본 지점은 일차적으로  $-0.60\text{m}$ 의 GZF 값을 적용하여 단일 곡선식을 개발하였으나, 개발된 곡선식의 결정계수(Coefficient of Determination)가 상대적으로 낮아, 이와 같이 개발된 곡선식을 채택하지 않았다. 따라서 최저 관측수위인  $0.40\text{m}$  이하의 저수위 외삽곡선식을 별도로 개발하였다.

구례2 지점의 경우도 송정 지점과 동일하게 GZF 평가 시스템에 적용하여 다음과 같은 분석을 수행하였다. 본 수위관측소 지점도 하도 단면이 단단면형을 가지나, 저수부 부분은 불규칙적인 단면특성가지고 있다. 따라서 구간분리 특성이 없는 것으로 간주하여 단일 수위-유량관계곡선식을 통계적인 방법으로 개발하였다. 통계적인 방법으로 추정된  $+0.06\text{m}$ 의 GZF는 하도 단면 측량성과 등을 고려하여 직접 추정한  $-0.82\text{m}$ 의 GZF와 상당한 차이를 보였다. 따라서 본 지점도 송정지점과 동일하게  $-0.82\text{m}$ 의 GZF 값을 적용하여 단일 곡선식을 개발하였으나, 개발된 곡선식의 설명력을 표현하는 결정계수가 상대적으로 낮아, 이와 같이 개발된 곡선식을 채택하지 않았다. 본 지점도  $0.38\text{m}$  이하의 저수위 외삽곡선식을 상·하류 유량 등을 적절히 고려하여 송정 지점의 경우처럼 별도로 개발하였다.

표 1 수위-유량관계곡선식

지점	적용수위(m)	수위-유량관계곡선식
송정 ( $H=h+1$ )	$H \leq 1.40$	$Q = 16.874 (H - 0.40)^{2.249}$
	$1.40 < H \leq 11.46$	$Q = 62.654 (H - 0.92)^{1.777}$
구례2 ( $H=h+1$ )	$H \leq 1.38$	$Q = 6.539 (H - 0.18)^{2.712}$
	$1.38 < H \leq 5.38$	$Q = 115.317 (H - 1.06)^{2.085}$

### 4. 수위-유량관계곡선식 평가

본 연구에서는 위의 과정을 통해 개발된 수위-유량관계곡선의 신뢰도 검증을 위해 곡선식의 불확실도와 유출률을 산정하였다.

#### 4.1 수위-유량관계곡선식의 불확실도

수위-유량관계의 불확실도는 수위-유량관계에 의해 계산된 유량이 실측 유량과의 차이에서 발

생하는 불확실도( $S_{mr}$ )와 수위-유량관계곡선에 대한 실측 유량의 표준오차( $S_e$ )에 의해서 계산될 수 있다. 수위-유량관계에서 불확실도를 결정하기 위해서는 대수변환을 통해서 관계식을 선형화 하는 것이 편리하며, 일반적인 수위-유량관계식은 다음과 같다.

$$Q = p(h - e)^\beta \quad (1)$$

여기서,  $p$ 는 무차원계수,  $h$ 는 수위,  $e$ 는 흐름이 0인 수위를 나타내는 기준면 보정치, 그리고  $\beta$ 는 경험적으로 예외가 존재하지만 하천의 통제특성을 반영하는 지수.

수위-유량관계의 표준오차  $S_e$ 는 ISO규정에 의하여 산정된다.

$$S_e = \left[ \frac{\sum (\ln Q - \ln Q_c)^2}{N-2} \right]^{1/2} \quad (2)$$

여기서,  $Q$ 는 측정 유량이며,  $Q_c$ 는 수위-유량관계로 계산된 유량.

평균에 대한 불확실도  $2S_{mr}$ 은 다음 식에 의해서 계산된다.

$$2S_{mr} = \pm t S_e \left\{ \frac{1}{N} + \frac{[\ln(h-e) - \bar{\ln}(h-e)]^2}{\sum [\ln(h-e) - \bar{\ln}(h-e)]^2} \right\}^{1/2} \times 100 \quad (3)$$

여기서,  $t$ 는 수위-유량관계에 있어서의 자료 크기에 따른 검정통계량이다.

본 연구에서는 수위-유량관계곡선식의 불확실도를 산정한 결과를 표 2에 나타내었으며, 평균 0.52% ~ 1.65%로 개발된 곡선식의 불확실도가 상당히 낮음을 알 수가 있다.

표 2 수위-유량관계곡선식의 불확실도

지점	수위-유량관계곡선에 대한 실측 유량의 표준오차 ( $S_e$ , %)	수위-유량관계곡선의 불확실도 ( $2S_{mr}$ , %)		
		최대	최소	평균
송정	1.70	1.20	0.52	0.71
구례2	4.88	3.42	1.65	2.28

#### 4.2 유출 분석

본 연구에서는 위의 과정을 통하여 개발된 곡선식의 신뢰도를 평가하기 위해서 유출률을 산정하여 정량적으로 평가하였다. 연유출률은 댐 면적 및 방류량을 제외하지 않고 단순히 전체 면적에 대하여 산정한 총 유출률과 이를 고려하여 산정한 순 유출률 두 가지 경우로 산정하였다.

섬진강유역권의 중·하류부에 위치한 구례2, 송정 수위관측소 지점의 총 유출률을 산정한 결과 전체적으로 42.68% ~ 43.1%의 낮은 유출률을 보였다. 이와 같이 낮은 유출률을 보이는 이유는 섬진강 유역권에 섬진강댐과 주암댐이 상당히 큰 면적을 차지하고 있고, 이 두 개의 댐에서 다른 유역으로 발전방류와 생활·농업용수를 공급하고 있기 때문이다.

순 유출률 산정결과를 보면, 구례2지점이 64.9%, 송정지점이 61.5%로 송정지점이 다른 지점에 비해 상대적으로 낮은 유출률을 보였으나 자연하천의 경우 일반적으로 유출률이 60% ~ 70%임을 감안할 때 적정한 것으로 판단된다.

표 3 지점별 유출률 산정

지점	유역면적(km <sup>2</sup> ) (순유역면적)	유역평균 강우량(mm)	유출고(mm) (순유출고)	유출률(%) (순유출률)
구례2	3,805.0 (2,032.0)	1,469.15	627.0 (953.02)	42.68 (64.87)
송정	4,269.0 (2,496.0)	1,469.15	633.02 (902.8)	43.10 (61.45)

## 5. 결 론

본 연구에서는 통제단면이 없는 지점, 하천의 상류부에 댐이 있어 평상시 흐름이 지속되는 지점 등의 경우처럼 GZF 실측이 어려운 지점에서 최적의 GZF를 추정하기 위한 평가 시스템은 개발하였다. 개발된 시스템을 GZF 실측이 어려운 송정, 구례2 지점에 적용하여 지점의 특성을 반영한 수위-유량관계곡선식을 개발하였다. 그리고 개발된 수위-유량관계곡선의 신뢰도 검증을 위해 곡선식의 불확실도와 유출률을 산정하였다.

산정된 수위-유량관계곡선식의 불확실도는 송정지점 0.50% ~ 1.20%, 평균 0.71%, 구례2지점 1.65% ~ 3.42%, 평균 2.28%로 산정되어 낮은 불확실도를 나타내었다.

유출률의 경우 송정지점 61.45%, 구례2지점 64.87%로 산정되어 자연유역의 일반적인 유출률과 비슷한 값으로 산정되었다.

이와 같이 산정된 결과는 본 시스템이 2006년 수위-유량관계곡선식의 신뢰도 향상에 기여를 한 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 2006, 섬진강수계 유량측정용역보고서, 영산강홍수통제소
2. 건설교통부, 2004, 섬진강수계(상류부) 유량측정용역보고서, 영산강홍수통제소
3. 건설교통부, 2004, 섬진강수계(하류류부) 유량측정용역보고서, 영산강홍수통제소
4. 건설교통부, 2002, 한강유역 수자원 시험장비의 설치 및 운영 보고서, 한국건설기술연구원