

# 유속지수법을 이용한 자동유량측정

## Automatic Discharge Measurement Using Index-Velocity Method

김용전\*, 이찬주\*\*, 김동구\*\*\*, 김원\*\*\*\*  
Yong Jeon Kim, Chan Joo Lee, Dong Gu Kim, Won Kim

### 요 지

하천 유량자료의 중요성이 커짐에 따라 기존 유량측정 기법의 정확도를 향상시키는 기술개발이 필요하다. 자동유량측정은 기존 유량측정방법의 한계를 극복하기 위해 많은 개발이 이루어졌다. 최근 초음파 유량계와 더불어 자동 유량 측정 방법으로 널리 사용되고 있는 기법이 유속지수법(index velocity method)이다. 유속지수법은 기존의 수위-유량관계식이 수위만을 변수로 이용하여 발생하는 한계를 극복하기 위해 유속을 추가적인 지수로 이용하여 유량을 산정하는 방법이다. 본 연구에서는 유속지수법의 적용을 위해 연속적인 유속, 수위 측정이 가능한 측방형(side-looking) Acoustic Doppler Velocity Meter(ADVM)을 괴산댐 하류에 설치·운영하고 그 결과를 이용하여 유량을 산정하는 방법을 개발하였다. 2005년부터 2008년까지 유속지수법에 의해 산정된 유량 자료의 상대오차는 댐방류량에 비해 각각 평균 5.2%, 6.7%, 6.5%, 6.5%로 나타났다. 기존의 수위-유량 관계식에 의해 산정된 유량 자료가 댐 방류량에 비해 각각 평균 9.9%, 28.6%, 34.0%, 54.2%로 나타난 것과 비교한다면 상당히 높은 정확도를 보였으며, 시간에 따른 오차 발생이 적어 운영에 효율적인 것으로 판단된다. 이와 같은 유속지수법을 하천 유량 측정에 적용한다면 보다 정확한 유량을 연속적으로 자동화하여 측정할 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어:** 유속지수법, 자동유량측정, ADVM, 수위-유량관계

### 1. 서 론

자동유량관측 장비를 이용한 유량 측정은 미국, 일본, 독일, 중국 등에서 이미 감소하천이나 대하천에서 시행되어 실시간 측정과 무인 측정 등에 관한 기술 개발이 상당부분 이루어졌다. USGS에서는 이미 이러한 방법들에 관한 가이드라인 성격의 보고서를 발간하기도 했다(S. E. Rantz,1982a; S. E. Rantz,1982b). 국내에서는 김창완 등(2004), 김치영 등(2004)이 초음파 유속계(Ultrasonic Velocity Meter; UVM)를 이용한 초음파 유량계(Ultrasonic Flow Meter)를 실제 하천에 설치하여 연속적인 유량을 측정하였다. 또한 카메라 기법을 활용하여 표면 입자의 이동 속도를 측정하고 이를 유속으로 환산하여 유량을 측정하는 LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry)기법도 연구되었다(김서준 등, 2007; 노영신 등, 2005).

\* 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 연구원·E-mail : wasu3ri@kict.re.kr  
\*\* 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 연구원·E-mail : c0gnitum@kict.re.kr  
\*\*\* 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 연구원·E-mail : kimdg@kict.re.kr  
\*\*\*\* 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 책임연구원·E-mail : wonkim@kict.re.kr

그러나 국내의 경우 유속지수법(Index velocity method)을 이용한 자동유량측정 연구 사례가 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 ADVM을 충청북도 괴산댐 하류에 설치하였고, 연속적으로 측정되는 수위와 유속자료를 이용하여 유속지수법을 개발하였다. 유속지수법으로 측정된 유량 자료의 정확도 분석을 위해 댐방류량과 비교하여 상대오차를 계산하였다. 또한, 일반적으로 사용되는 수위-유량관계식을 함께 개발하였고 이를 댐방류량과 비교하여 상대오차를 분석하였다.

## 2. 유속지수법 개발

### 2.1 ADVM의 현장 설치

본 논문에서 ADVM을 설치한 하천은 괴산댐 하류 달천 일부 구간으로 괴산댐에서 ADVM 설치 지점까지 유입되는 지류가 없어 댐 방류량과 측정 자료의 비교 및 평가가 가능하다. 설치 지점의 하폭은 약 130m이고, 평상시 수면폭은 약 80m인 전형적인 국내 중소하천의 형태를 지니고 있다.

### 2.2 유속지수-평균유속 관계 수립

유속지수와 평균유속의 관계를 개발하기 위해 2005년 5월부터 7월까지 유량 측정을 실시하였다. 무방류 상태와 측정을 수행하지 못한 유량 범위에 대한 자료는 부득이하게 댐 방류량을 활용하였다. 표 1은 회귀분석에 의한 두 개의 식과 통계치를 나타낸 것으로 회귀분석 결과 통계적인 차이는 거의 없다. 하지만 추정치에 대한 표준오차가 미소하게 작은 선형 회귀 분석 결과를 선택하여 나타냈다(그림 1).

표 1. 유속지수-평균유속 간 관계식 및 통계치

No.	Equation	R <sup>2</sup>	Standard error of estimate
1	$V_m = 1.0722 \times V_i - 0.0199$	0.993	0.05086
2	$V_m = V_i \times (0.530 + 0.005 \times h) - 0.014$	0.993	0.05205

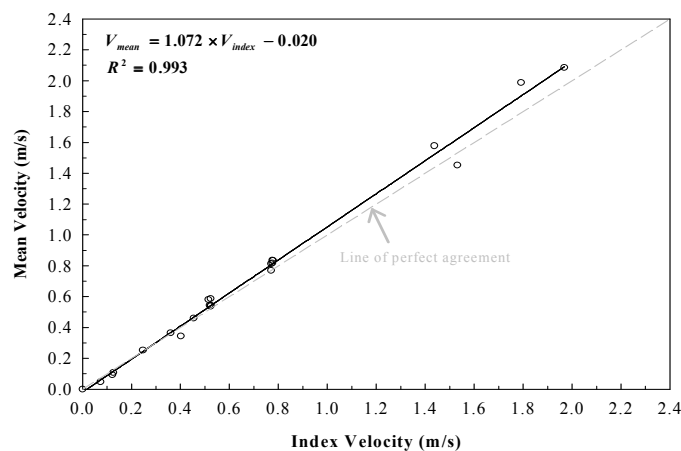


그림 1. 유속지수-평균유속 관계

## 2.3 유속지수법을 통한 유량 산정

1.5MHz ADVM으로부터 계산된 유속지수를 사용하여 유량 자료를 산정하고 이를 댐방류량과 비교하였다. 괴산댐 방류 후 일정시간이 경과 후 흐름이 안정된 시간, 수문 방류시 수문 조작 후 일정 시간이 경과한 후 흐름이 안정된 이후 시간 동안의 자료를 분석에 사용하였고, 댐 방류 후 ADVM 설치지점까지 방류수의 도달시간이 있기때문에 수문 조작에 의해 흐름이 변하는 시간의 자료와 무방류 상태의 자료는 제외하였다. 분석에 이용된 유속지수법 측정 자료는 2005년 78개 사상, 2006년 135개 사상, 2007년도 107개 사상, 2008년도 121개 사상으로 총 441개 방류 사상이다.

## 3. 유속지수법의 적용

### 3.1 유속지수법을 통한 유량 산정

그림 2에는 2005년, 2006년, 2007년, 2008년에 유속지수법으로 산정된 유량 결과와 댐 방류량 비교 결과를 나타냈다. 2005년의 경우 댐방류량  $888.1m^3/s$ 에서 유속지수법으로 산정된 유량  $926.7m^3/s$ 로  $44.2m^3/s$ 의 최대오차가 발생하였다. 상대오차 분석결과 최대 19.2%, 평균 5.2%로 조사기간 중 가장 낮은 결과를 보여 비교적 댐방류량과 산정된 유량이 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 2006년에는 방류량  $494.4m^3/s$ 일 때  $426.0m^3/s$ 로 유량이 산정되어  $68.5m^3/s$ 의 최대 유량 차이를 보였다. 상대오차는 최대 28.8%, 평균 6.7%로 나타났다. 2007년의 경우에는 방류량  $172.4m^3/s$ 에서 산정유량  $199.5m^3/s$ 로  $27.1m^3/s$ 의 차이를 보였고, 상대오차는 최대 15.7%, 평균 6.5%를 나타냈다. 2008년에는 방류량  $180.3m^3/s$ 에서 유속지수 유량  $204.2m^3/s$ 로  $23.9m^3/s$ 의 최대 유량 차이를 보였다. 상대오차는 최대 20.1%, 평균 6.5%로 나타났다.

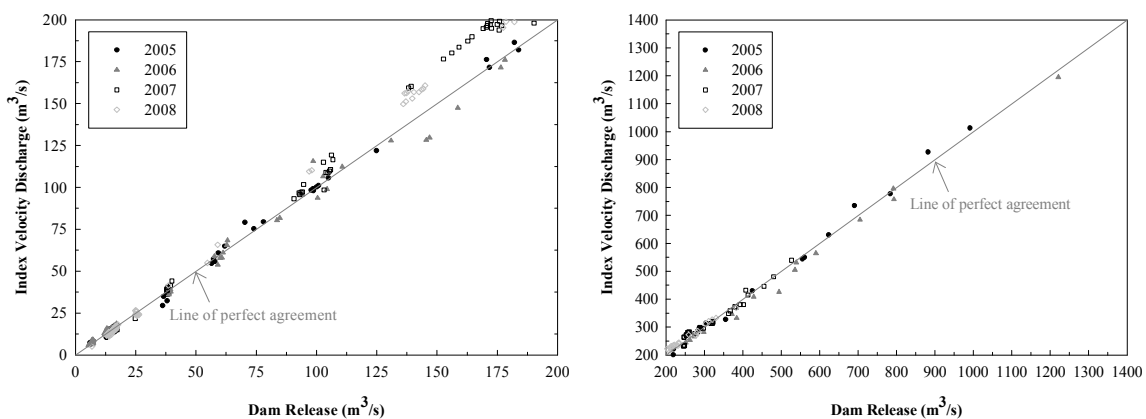


그림 2 유속지수법 유량-댐방류량 간 비교

### 3.2 수위-유량 관계 방법과 비교

본 연구에서 설치한 ADVM에 기록되는 수위자료를 이용하여 수위-유량 관계식을 개발하였다. 개발에 사용된 자료는 유속지수-평균유속 관계 개발에 사용된 자료와 동일하다. 표 2에는 개발된 수위-유량 관계 식과 그래프를 나타냈다. 수위-유량 관계 그래프는 단면 형상과 측정 자료의 분

포를 고려하여 0.86m에서 분리하였고, 측정치를 고려하여 0.29m이상, 4.50m이하 범위에서 개발하였다. 저수위 수위-유량 관계에서 영유량 수위는 하류 흐름 통제 특성을 고려하여 0.21m로 결정하였고, 고수위 수위-유량 관계에서는 자료 분포 특성을 고려하여 영유량 수위를 0.20m로 결정했다.

표 2. 수위-유량 관계 곡선

Stage-Discharge Relation	Stage Range(m)	$R^2$	Remark
$Q = 158.0 \times (h - 0.210)^{2.957}$	$0.29 \leq h < 0.86$	0.99	
$Q = 92.32 \times (h - 0.200)^{1.703}$	$0.86 \leq h < 4.50$	0.99	

그림 3에는 댐방류량, 유속지수법 유량 자료에 위의 수위-유량관계식으로 산정된 유량 값을 추가하여 상대오차를 분석하여 나타냈다. 확연히 들어나는 것처럼 유속지수법이 수위-유량 관계식에 비해 댐방류량과의 상대오차 값이 작게 나타났다. 유속지수법은 개발 초기인 2005년에 전체 자료 평균 5.2%의 상대오차로 가장 작게 나타났으며 2006, 2007, 2008년에는 각각 6.7%, 6.5%, 6.5%의 상대오차를 보였다. 이에 비해 수위-유량 관계식의 경우 2005년 9.9%, 2006년 28.6%, 2007년 34.0%, 2008년 54.2%로 매년 상대오차가 증가하였다. 4년 간의 총 441개 자료를 모두 평균하여 나타낸 상대오차의 경우에도 유속지수법은 6.4%, 수위-유량관계식은 40.0%로 나타나 유속지수법이 수위-유량관계식에 비해 댐방류량에 대한 상대오차가 작게 나타났다. 이처럼 수위-유량관계식에서 큰 상대오차가 발생하는 이유는 하상변동 등 통제 특성변화를 고려하지 못하는 것으로 판단되며, 유속지수법은 이러한 통제 특성 변화에 대해 유속이라는 변수가 고려되기 때문에 댐방류량에 대한 상대오차를 줄일 수 있는 것으로 판단된다. 그러나  $500m^3/s$  이상의 유량에 대해서는 수위-유량관계식에 의한 유량이 유속지수법에 의해 산정된 유량보다 상대오차 값이 작게 나타났다. 이는 유량이 커질수록 유속 변동이 심해져 유속지수 산정에 오차가 생기기 때문으로 판단되며 유속지수와 평균유속 사이의 관계를 수립한 그림 1에서도 고유속에서 차이가 다소 크게 발생하고 있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 저주파 센서를 사용하거나 측정 신뢰성을 확보할 수 있는 구간에 한정하는 것이 바람직하겠다.

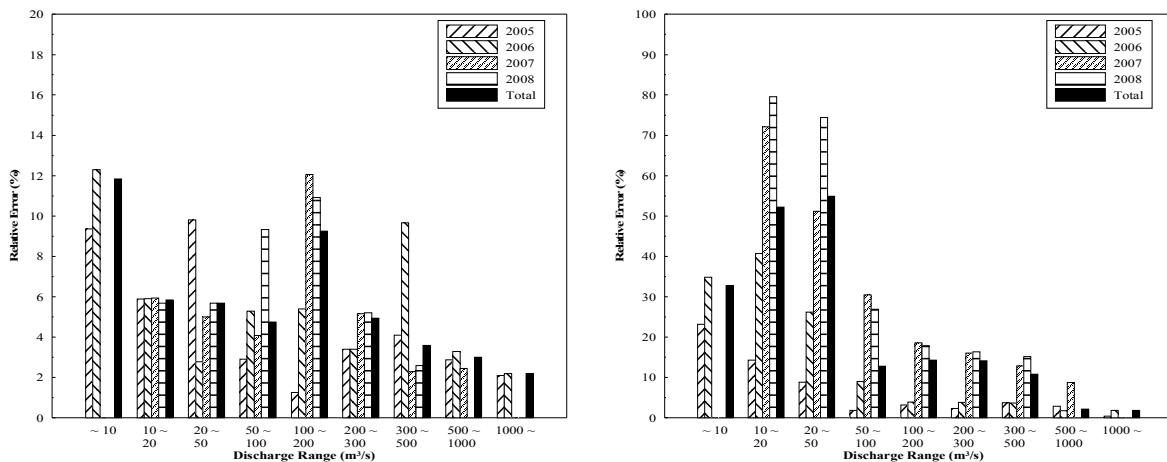


그림 3 유량 규모별 상대오차 (좌: 유속지수법, 우: 수위-유량 관계법)

#### 4. 결론

본 논문에서 괴산댐 하류에 ADVN을 설치하여 유속지수법을 적용하였고, 유속지수법으로 환산된 유량을 괴산댐 방류량과 비교하여 정확도를 분석하였다. 또한 수위-유량 관계를 통해 산정되는 유량과도 비교 분석하여 유속지수법의 특성을 분석하였다. 2005년부터 2008년까지 유속지수법에 의해 산정된 유량 자료의 상대오차는 댐방류량에 비해 각각 평균 5.2%, 6.7%, 6.5%, 6.5%로 나타났다. 기존의 수위-유량 관계식에 의해 산정된 유량 자료가 댐 방류량에 비해 각각 평균 9.9%, 28.6%, 34.0%, 54.2%로 나타난 것과 비교한다면 상당히 높은 정확도를 보였으며, 시간에 따른 오차 발생이 적어 운영에 효율적인 것으로 판단된다.

유속지수법을 적용하여 유량을 산정한 결과 수위-유량관계에 의한 유량 환산법보다 정확한 것으로 평가되었다. 또한 연속적인 수위 측정과 유속 측정이 가능하기 때문에 직선형 수위-유량 관계식을 가지지 않고 고리형(Loop) 수위-유량 관계 가지는 지점의 수위-유량 관계 수립이 가능하여 유량 환산 오차를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-1-3)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 김서준, 윤병만, 류권규, 주용우(2007). LSPIV기법을 이용한 탄천(대곡교) 유량측정. 2007년도 한국수자원학회 학술발표회, pp. 911-915.
2. 김창완, 이민호, 정상화, 민인홍(2004). “초음파유량계를 이용한 실시간 하천유량측정.” 2004년도 한국수자원학회 학술발표회, pp. 220-224.
3. 김치영, 윤광석, 김동구, 김원(2004). “초음파 유량측정 시스템에 의한 유량측정.” 2004년도 한국수자원학회 학술발표회, pp. 1198-1202.
4. 노영신, 윤병만, 류권규(2005). 표면유속을 이용한 평균유속 추정방법의 개발. 2005년도 한국수자원학회 논문집. v.38, no.11, pp.917-925.
5. Rantz, S.E., et al.(1982). Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge. *Water-Supply Paper 2175*. U.S. Geological Survey, 284 p.
6. Rantz, S.E., et al.(1982). “Measurement and Computation of Streamflow: Volume 2. Computation of Discharge” , *Water-Supply Paper 2175*, U.S. Geological Survey, 285-631 p.