

# 자동유량측정시설의 유량산정방법 개선

## Improvement to the Methods of Discharge Computation for the Automated Real-time Discharge Measurement System

송재현<sup>1)</sup>, 김대영<sup>2)</sup>, 진환석<sup>3)</sup>, 노영신<sup>4)</sup>, 김치영<sup>5)</sup>

Jae Hyun Song, Dae Young Kim, Suk Hwan Jin, Young Sin Roh, Chi Young Kim

### 요 지

자동유량측정시설은 연속적인 유량자료를 측정하기 위해 운영되는 실시간-무인화 유량측정 시스템이다. 현재 국내·외에서 유량측정을 위해 설치 및 운영되고 있는 자동유량측정시설은 대부분 초음파유속계를 이용하고 있는데, 초음파유속계는 유속을 측정하는 방식에 따라 크게 도플러방식 초음파유속계(ADVM, Acoustic Doppler Velocity Meter)와 이동시간차방식 초음파유속계(UVM, Ultrasonic Velocity Meter)로 분류된다.

본 연구에서는 각 방식별로 유량산정방법을 개선하기 위해 설치·운영 중인 자동유량측정시설 중 고령교 지점의 ADVM 방식과 여주, 적성 지점의 UVM 방식을 대상으로 측정성장에 대한 문제점을 분석하고 통계적인 방법을 통해 오측유속을 제거하거나 방식별 또는 지점별 특성을 고려하여 적절한 유량산정방법을 적용하였다. 그 결과 3개 지점에 대한 검증유량과의 평균 상대오차율은 모두 10% 이내로 나타났다.

**핵심용어** : 자동유량측정시설, ADVM, UVM, 유속 필터, 유속지수

## 1. 서 론

자동유량측정시설은 측정시간을 단축하고 무인측정을 통해 측정 효율성을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라, 연속된 유량자료의 실시간 확보를 통해 기존 수위-유량관계곡선법의 한계를 해결함으로써 하천 유출량의 정확한 산정이 가능하다. 또한 기존의 전통적인 유량측정 방법으로는 측정이 곤란한 배수 영향이나 조위영향을 받는 지점의 유량을 정확히 측정할 수 있기 때문에 기존의 측정방법의 한계를 해결할 수 있다. 현재 구축되어 있는 자동유량측정시설은 대부분 초음파 유속계를 이용한 실시간 유량 측정시스템으로써, ‘한강유역 수자원 시험장비의 설치 및 운영(건설교통부, 2006)’의 5단계 사업 등의 사업과 2007년부터 일원화되어 추진된 ‘자동유량측정시설 구축 및 운영’을 통해 설치가 진행되어 2010년 현재까지 총 13개 지점에서 운영이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 현재 설치되어 운영 중인 자동유량측정시설 중 ADVM 방식으로 적용되어 있는 고령교 지점과 UVM 방식으로 적용되어 있는 여주, 중랑교 그리고 적성 지점을 대상으로 측정성장에 대한 문제점을 분석하고 개선방안을 적용하였으며, 적용결과를 검증측정유량과 비교하였다.

## 2. 방식별 문제점 분석 및 개선

- 1) 정회원·유량조사사업단 유량조사실 연구원 · E-mail : k6zero@hsc.re.kr
- 2) 정회원·유량조사사업단 유량조사실 연구원 · E-mail : solangi3142@hsc.re.kr
- 3) 정회원·유량조사사업단 유량조사실 연구조원 · E-mail : hsjin@hsc.re.kr
- 4) 정회원·유량조사사업단 유량조사실 그룹장 · E-mail : rohys@hsc.re.kr
- 5) 정회원·유량조사사업단 유량조사실 실장 · E-mail : cy\_kim@hsc.re.kr

## 2.1 고령교 지점

고령교 지점은 고령교 수위관측소 상류의 성산대교 교각에 설치된 자동유량측정시설로써, 고정식 ADVM 방식이 적용되었다. 초음파 센서의 측정방향은 교각의 영향을 고려하여 그림 1에서 보는 바와 같이 4번 교각에서 흐름방향과 약 27°로 측정되고 있으며, 유량산정방법은 Chiu의 무차원 단면유속분포법을 이용하고 있다. 고령교 지점의 경우 그림 2에서 보는 바와 같이 H-Q 관계곡선식의 환산유량과 비교하였을때 과대하게 산정되는 것으로 나타났다.

이는 유속분포의 동질성을 결정하는 Chiu의 무차원 유속분포법에서 사용되는 수리학적 매개변수  $M$ 이 실제 하천의 유속분포와 일치하지 않거나, 초음파유속계를 통해 측정되는 영역이 전체 단면에 비해 과소하여 ADVM 유속과 무차원 단면유속분포를 회귀분석하여 산정되는 최대유속이 과대하게 산정되어 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

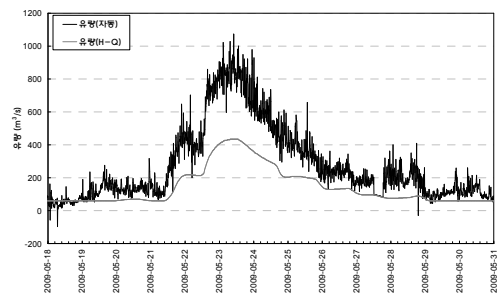
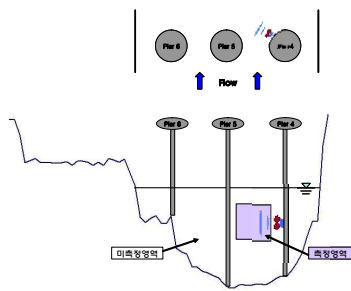


그림 1. 고령교 지점 ADVM 설치 현황

그림 2. 고령교 지점 유량 과대산정 문제

따라서 과대산정되는 유량을 개선하기 위해서 측정된 ADVM 셀 평균유속을 유속지수로 하여 유속지수와 평균유속과의 일정관계를 통해 유속을 산정하는 유속지수법을 적용하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 ADVM 센서의 셀별 신호강도와 유속값 분석을 통해 셀 1~40번 중 정상적인 유속범위라고 판단되는 셀 번호 3~30번으로 선정하고, 그 중 최대 및 최소 유속을 제거한 절사평균 값으로 셀 평균 유속을 산정하였다. 그림 4는 이와 같은 방법으로 산정된 유속지수와 실측값에 대한 평균유속의 관계식을 산정한 것이며, 실측된 평균유속과의 관계식으로 산정된 유속의 상관계수( $R^2$ )는 0.991로 나타났다.

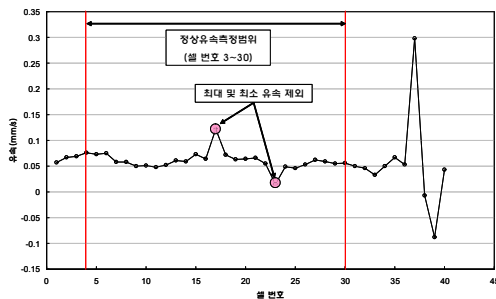


그림 3. ADVM 셀 평균유속 산정 범위

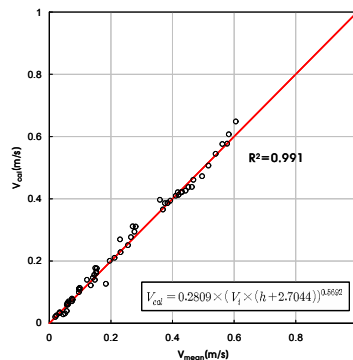


그림 4. 고령교 지점 유속지수 관계

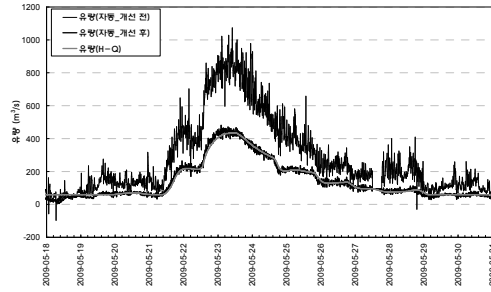


그림 5. 고령교 지점 개선 전·후 비교

그림 5는 유속지수법을 적용한 개선방법을 통해 산정된 결과를 개선 전과 비교한 것이다. 그림에서는 보는 바와 같이 H-Q 관계식에 의한 환산유량과 비교하였을때 과대하게 산정된 유량이 크게 개선된 것으로 나타났다.

## 2.2 적성 지점

다층 단일회선 UVM 방식으로 설치된 적성 지점은 그림 6에서 보는 바와 같이 1개의 회선이 총 3개의 층으로 구성되어 있으며, 유량산정방법은 ISO 6416에서 제시하고 있는 측정유속과 평균유속의 관계를 나타내는 보정계수  $k$ 를 이용한 평균단면적법을 이용하고 있다. 적성 지점은 그림 7에서 보는 바와 같이 H-Q 관계식에 의한 환산유량보다 과대하게 산정되며, 이러한 오차는 특히 침두에서 더욱 증가하는 것으로 나타났다.

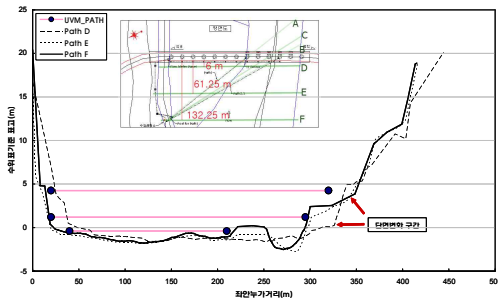


그림 5. 적성 지점 UVM 설치 현황

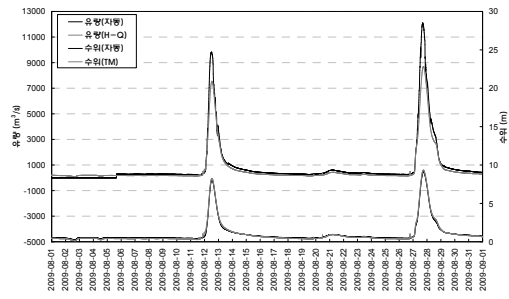


그림 6. 적성 지점 유량 과대산정 문제

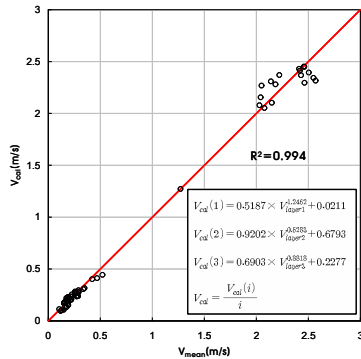


그림 7. 적성 지점 유속지수 관계

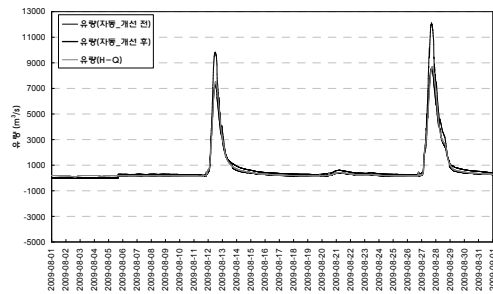


그림 8. 적성 지점 개선 전·후 비교

이는 흐름방향이 저수위에서는 좌안부로 편중되다가 수위가 상승함에 따라 중앙부로 변화하는 적성지점의 흐름특성 때문이며, 적성지점의 경우 수위변화에 따라 보정계수  $k$ 가 산정되어야 하지만 수위별 보정계수  $k$ 를 산정하여 적용하기가 매우 어렵고 복잡하다. 적성지점의 경우, 이와 같은 문제를 개선하기 위해 그림 7에서 보는 바와 같이 UVM 회선유속을 유속지수로 하는 유속지수법을 적용하였다. 실측된 평균유속과의 관계식으로 산정된 유속의 상관계수( $R^2$ )는 0.994로 나타났다.

### 2.3 여주 지점

다층 다회선 UVM 방식으로 설치된 여주 지점은 그림 9에서 보는 바와 같이 총 5층 16개 회선으로 구성되어 있으며, 유량산정방법은 Chiu의 무차원 단면유속분포법을 이용하고 있다. 여주 지점은 그림 10에서 보는 바와 같이 각 층별 경계구간인 수위 2.0m, 4.0m 5.5m 부근에서 수위변화에 따라 불안정한 유량변화가 발생하였다.

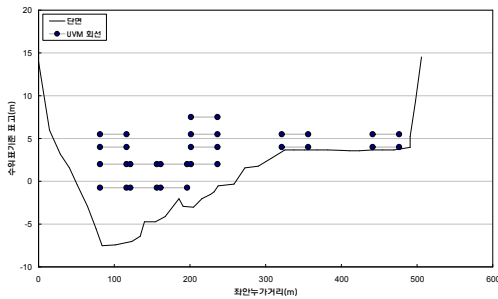


그림 9. 여주 지점 UVM 센서 설치

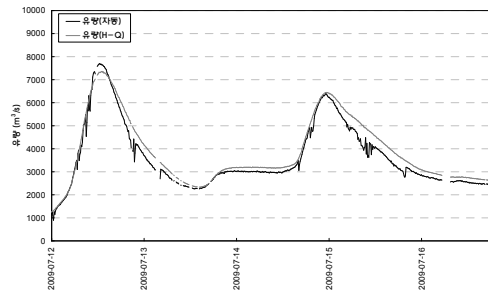


그림 10. 여주 지점 층별 경계구간 유량 불안정 문제

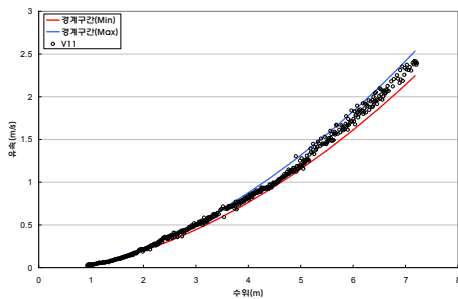


그림 11. 여주 지점 1층 1회선 수위별 최대 및 최소 경계유속 설정

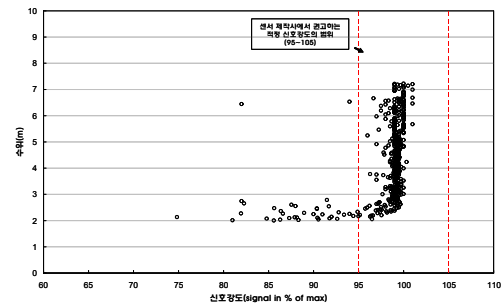


그림 12. 여주 지점 2층 1회선 수위별 신호강도 분석

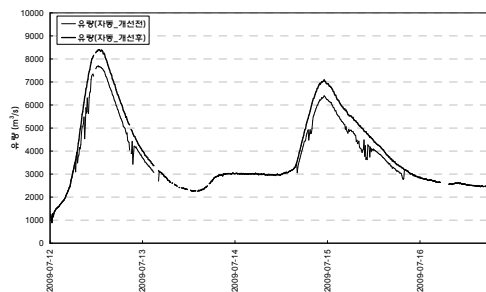


그림 13. 여주 지점 개선 전 · 후 비교

이것은 UVM 센서의 적정 잠김깊이 문제로서 충분히 잠기지 못한 경우 불안정한 시그널로 인하여

오측되는 유속이 포함되어 발생한 것이다. 2008년 회선별 유속과 신호강도를 분석하여 최소 잠김깊이는 설치높이의 0.25m 이상, 적정 신호강도는 60 이상으로 설정하여 개선하였으나, 2008년은 고수위가 크게 발생하지 않았고, 어떤 특정한 기준 없이 시행착오법으로 최소 잠김깊이와 적정 신호강도의 범위를 설정하여 적용함에 있어 다소 무리가 있었다. 따라서, 2009년 발생한 회선별 유속과 신호강도를 재 분석하여 회선별 오측유속을 필터하고, 회선별 최소 잠김깊이를 설정하였다.

2009년 여주 지점은 1~2층 총 7개 회선은 정상적으로 측정이 되었으나, 3층 이상의 회선들은 교각 주변 기포 발생 및 부유물 걸림 등으로 정상적인 측정에 장애가 발생된 것으로 판단되어, 1~2층 회선만을 대상으로 하였다. 그림 11에서 보는 바와 같이 1층 1회선의 수위별 최대 및 최소 경계유속을 설정하여 오측유속을 필터하였으며, 나머지 6개의 회선에 대해서도 동일한 방법으로 적용하였다. 수위별 최대 및 최소 경계유속은 수위별 측정유속들의 정규분포 95% 신뢰구간 범위로 산정하였다.

그림 12에서 보는 바와 같이 2층의 4개 회선들의 경우 일정 수위 이상에서 센서 제작사에서 권고하는 신호강도 범위(95~105)로 나타났다. 1층의 3개 회선들의 경우 최저수위에서도 항상 1.0m 이상 잠김깊이가 확보되기 때문에 대부분 센서 제작사에서 권고하는 신호강도 범위로 나타났다. 회선별 최소 잠김깊이는 센서 제작사에서 권고하는 ①  $\alpha\sqrt{L}$  ( $\alpha$ : 센서 주파수에 따른 계수;  $L$ : 회선의 길이, m), ② ISO 6416에서 제시하는 회선 길이에 따른 최소 잠김깊이 범위 그리고 ③ 수위별 신호강도 분석을 바탕으로 3가지 중 최대값으로 설정하였다.

### 3. 지점별 개선 결과 분석

앞에서 각 지점별 개선사항을 적용한 결과를 분석하기 위하여 그림 20과 21에서 보는 바와 같이 각 지점별 검증유량과 자동유량을 비교하였다.

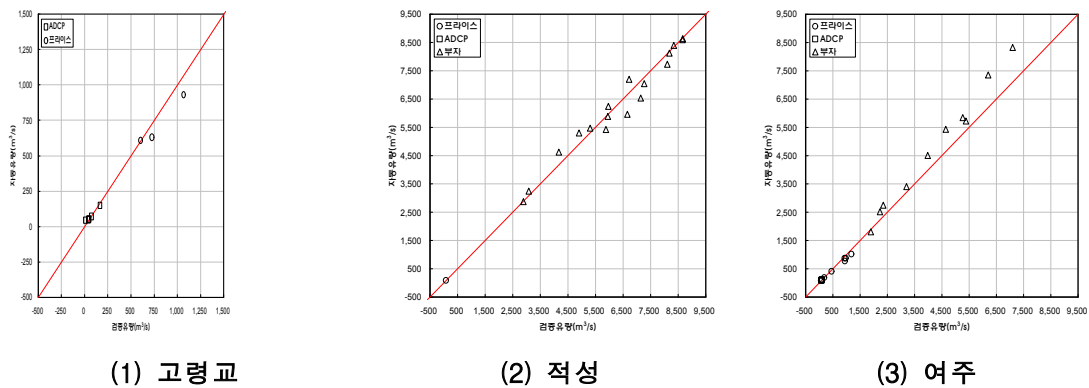
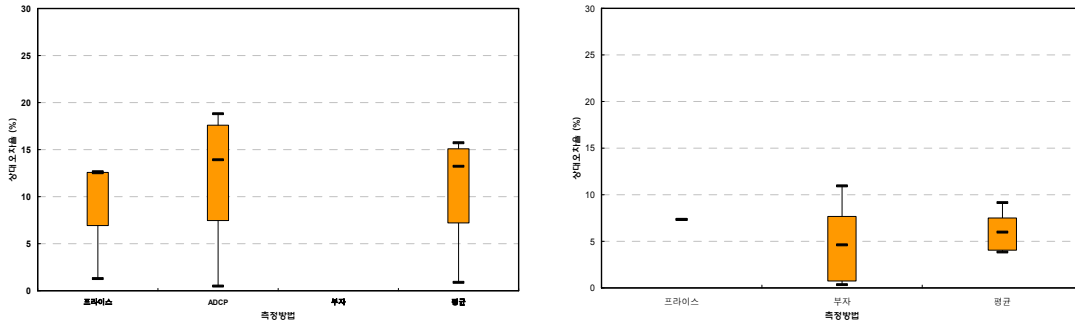


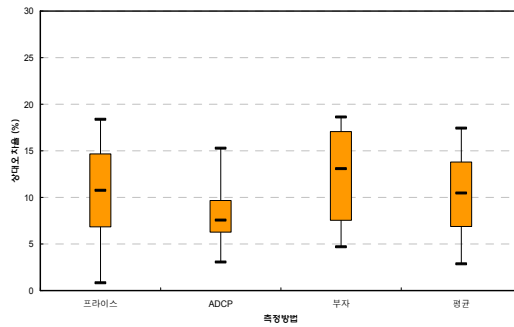
그림 20. 각 지점별 검증유량과 자동유량 비교

고령교 지점은 프라이스 유속계 및 이동 ADCP 모두 평균 10% 내외의 상대오차율을 나타냈으며, 전체 검증측정에 대한 평균 상대오차율에서는 최대 15.7%, 최소 0.9%, 평균 10.4%로 나타났다. 적성 지점은 프라이스 유속계와 부자 모두 평균 10% 이내의 상대오차율을 나타냈으며, 전체 검증측정에 대한 평균 상대오차율에서는 최대 9.1%, 최소 3.8%, 평균 5.9%로 나타났다. 여주 지점은 프라이스 유속계, 이동 ADCP 및 부자 모두 평균 10% 내외의 상대오차율을 나타냈으며, 전체 검증측정에 대한 평균 상대오차율에서는 최대 17.4%, 최소 2.9%, 평균 10.4%로 나타났다. 여주 지점의 경우 수위 4.0m 이상의 우안 고수부지로 단면이 확대되는 구간에서 오차가 증가하고 있다. 이것은 우안 고수부지의 3, 4층 센서가 부유물 등으로 오측이 발생되어 우안 고수부지의 저유속들이 고려되지 않고 주 흐름부 영역에서 측정된 유속으로만 유량이 산정되었기 때문이다.



(1) 고령교

(2) 적성



(3) 여주

그림 21. 각 지점별 측정방법별 검증유량과 자동유량 상대오차율

#### 4. 결론

본 연구에서는 현재 설치되어 운영 중인 자동유량측정시설 중 ADVM과 UVM 방식으로 적용되어 있는 3개 지점에 대하여 2009년 유량산정시 발생된 문제점을 분석하고 개선하였다. 또한, 각 지점별 개선사항을 적용하여 산정된 자동유량을 검증유량과 비교하기 위하여 상대오차율을 분석하였고, 그 결과 3개 지점 모두 평균 상대오차율이 10% 이내로 개선되었다.

#### 참고 문헌

1. 국토해양부(2009). 2009년도 자동유량측정시설 구축 및 운영 보고서
2. 김치영, 김원, 이찬주, 김동구(2006). 유속지수법을 이용한 자동유량측정. 2006년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp.242-246.
3. 김창완, 이민호, 유동훈, 정성원(2008). 자연하천에서 Chiu의 유속분포와 최대유속 추정을 이용한 유량산정, 한국수자원학회, 한국수자원학회 논문집, No.41, Vol. 6, pp.575-585.
4. Chiu, C. -L.(1987). Entropy and probability concepts in hadraulics. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 5, pp. 583-600.