

이동시간차 방식 초음파유속계의 유량산정방법의 개선

Improvement of the Calculation of Discharge for UVM(Ultrasonic Velocity Meter)

박현근¹⁾ 김치영²⁾, 노영신³⁾, 정성원⁴⁾

Hyun Keun Park, Chi Young Kim, Youngsin Rho, Sung Won Jung

요 지

본 연구에서는 이동시간차 방식(UVM)의 자동유량측정시설의 유량산정방법을 개선하기 위해 수위변동시 유속과 초음파의 신호강도 변화 패턴을 검토하여 불안정한 유속을 제거하는 필터링기법을 적용하였으며, 수위변화에 따른 각 다층의 센서신호 작동에 대한 설정 값을 재조정하였다. 이러한 기법을 적용하여 유량을 재산정한 결과, 평수기 불안정한 변화를 보이던 유량측정결과가 안정화되어 실측치에 비교하였을 때 평수기 측정치는 5%이내, 홍수기 측정결과는 10% 이내로 개선되었다. 유량산정기법 개선 후 1.5m ~ 4.3m 범위의 수위대의 측정결과가 비교적 안정적으로 이루어지고 있으며, 향후 4.3m 이상의 수위의 측정결과에 대한 검토가 필요하다.

핵심용어 : 이동시간차 방식 초음파유속계, 초음파 회선, 초음파 신호강도

1. 서 론

이동시간차 방식 초음파 유속계(UVM)는 유체의 흐름과 일정한 각을 유지하도록 수로 양쪽에 센서를 설치하고 유체 흐름 방향과 역방향으로 각각 초음파를 송수신하여 유체 흐름 방향일 때가 역방향일 때보다 이동시간이 짧아지는 초음파의 이동 시간차가 유체의 유속에 비례한다는 원리를 이용하여 유속을 측정한다. UVM 시스템에서 측정된 유속을 이용한 유량산정은 UVM 회선에서 연속적으로 측정된 유속과 Chiu(1987)가 제안한 무차원 유속분포를 이용하여 최대유속을 추정된 후, 추정된 최대유속을 무차원 유속분포에 적합시켜 수로단면에서의 유량을 산출하는 방식을 이용한다(김창완 등, 2008).

여주 지점의 UVM 자동유량측정시설은 여주대교 교각 사이에 16개의 회선이 5개의 층으로 구성되어 있다(국토해양부, 2007). 그러나 이러한 다층방식의 구조는 수면밖에 노출되어 있던 센서가 하천의 수위가 상승하여 작동이 개시되는 시점과 작동중이던 센서가 하천수위가 하강하면서 수면 밖으로 노출되어 작동이 중지되는 시점에서 측정치에 오차가 발생하는 단점이 있다. 또한 홍수기 상류단과 하류단의 수면경사가 심할 경우에는 하류단에 있는 센서가 정상적인 작동이 이루어지지

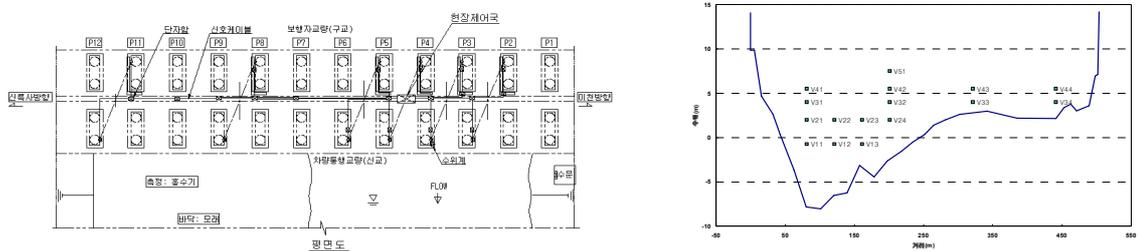
1) 정회원 · 유량조사사업단 유량조사실 연구원 · E-mail : gusroot@kict.re.kr
2) 정회원 · 유량조사사업단 연구개발실 선임연구원 · E-mail : cy_kim@kict.re.kr
3) 정회원 · 유량조사사업단 연구개발실 선임연구원 · E-mail : rohys@kict.re.kr
4) 정회원 · 유량조사사업단 단장 · E-mail : swjung@kict.re.kr

않아 불안정한 측정이 이루어지기도 한다.

여주 지점의 2008년 평수기 및 홍수기 운영결과 하천수위변화에 따라 2층과 3층의 수위변동구간에서 유량측정결과가 불안정한 현상이 발생하였으며, 고수위에서의 측정결과가 부자측정유량에 비해 20% 정도 과소산정 되는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 이러한 UVM 유량측정의 불안정한 문제를 해결하고 유량산정방법을 개선하기 위하여 유속과 초음파의 신호강도 변화 패턴을 검토하여 불안정한 유속을 제거하는 필터링기법을 적용하였다.

2. 여주지점 자동유량 측정시설 현황

여주 지점의 UVM 센서는 여주 지점 수위표를 기준으로 -0.1m, 2.0m, 4.0m, 5.5m, 7.5m의 높이에 5개의 층, 총 16개의 센서로 구성되어 있다. 시스템구성은 UVM T/T 센서, 센서하우징 및 가드로 구성되는 센서부와 수집된 자료의 처리 및 전송을 담당하는 중계기로 구성된다. 그림 1에 서와 같이 UVM T/T 센서가 여주(구)교와 여주대교의 교각 이용하여 일정한 각도로 상·하류단에 설치되었으며, 저·평수 및 홍수시 수위변화를 고려하여 5개의 레이어와 총 16개의 회선으로 구성되어 있다. 저수위에도 상시 측정이 이루어지는 1번 레이어 3개의 회선, 평수위 및 홍수시 측정이 이루어지는 2번, 3번, 4번 레이어는 각각 4개의 회선 그리고 5번 레이어는 1개의 회선으로 구성되었다. 측정된 데이터의 처리 및 전송은 그림 2의 중계시스템 신교와 구교사이의 P5-P6 점검로 상에 위치하고 있어 시스템 제어와 서버와의 통신을 하고 있다.



(a) 초음파경로의 회선 구성

(b) 초음파 경로의 층별 구성

그림 5. 여주지점 UVM 방식 자동유량측정시설의 초음파 경로 구성

3. UVM센서의 유량산정 문제점

하천의 수위가 변화하여 센서가 수중에 잠기게 되면 해당되는 수위의 센서의 측정이 개시된다. 여주 지점의 자동측정유량 측정성과를 검토한 결과, UVM 센서가 설치된 높이의 수위를 경계로 수위 상승 및 하강시 불안정한 유량변화를 보이는 것으로 파악되었다. 홍수기 수위 급변시 하천의 수면경사가 급해지면서 센서가 수중에 불안정하게 잠기게 되면서 유속측정이 불안정하게 이루어 지는데 그 원인이 있는 것으로 파악된다.

그림 1과 그림 2는 각각 2008년 7월과 8월 측정성과 중에서 센서가 설치되어있는 수위 4.0m와 2.0m를 경계로 변화하는 구간에서의 측정성과를 도시한 것이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 홍수시 수위가 상승하다가 첨두유량이 발생하는 수위 4.0m를 초과하면서 유량변화는 점차적인 상승 경향성을 잃고 불안정한 변화를 보이는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 2는 2008년 8월의 중주조정

지댐의 방류로 수위가 2.0m 이상 상승한 사상을 도시한 것으로 수위 2.0m 내외의 범위에서 최대 400m³/s 이상의 유량편차를 보이며 불안정하게 변화하는 것을 알 수 있다.

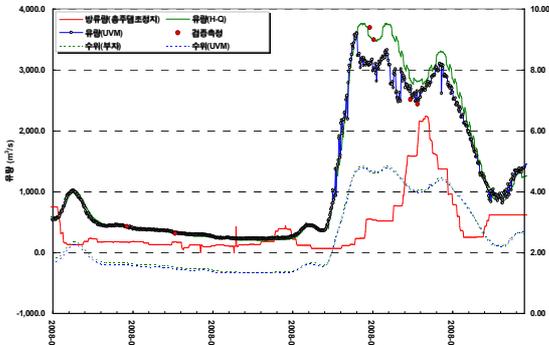


그림 3. 2008년 7월 홍수기 측정성과

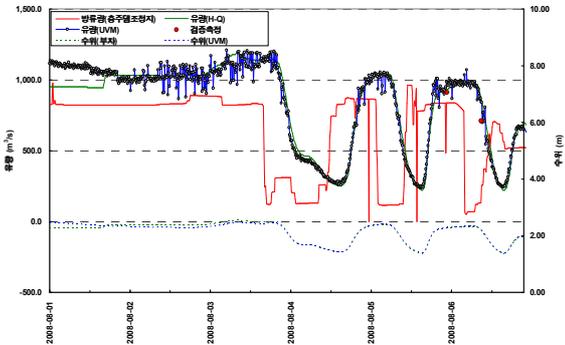


그림 4. 2008년 8월 홍수기 측정성과

4. 측정성과 개선

4.1 신호강도 필터링

UVM의 측정성과를 분석한 결과 수위의 상승 및 하강함에 따라 각 층별 센서가 작동 또는 중지되는 범위 내에서 이상치가 발생하는 것으로 판단된다. 이러한 유량측정성과의 불안정한 요인을 파악하기 위해 각 회선에서 측정된 유속분포를 검토하였다.

그림 5는 여주 지점의 7월 홍수기 유량산정이 불안정했던 7월 24일~26일 기간에 대하여 유속 자료를 분석한 것이다. 유속측정결과에 대한 오류를 확인하기 위해 각 측정치에 대한 UVM 센서의 신호강도를 분석하였다. 일반적으로 UVM 센서가 수중에 충분히 잠겨 정상적인 측정이 이루어지는 경우에는 신호의 강도가 안정적인 변화를 보이는 반면, 수중에 완전히 잠기지 못하거나 기포에 의해 방해받을 경우 불안정하게 변화하는 경향을 보인다.

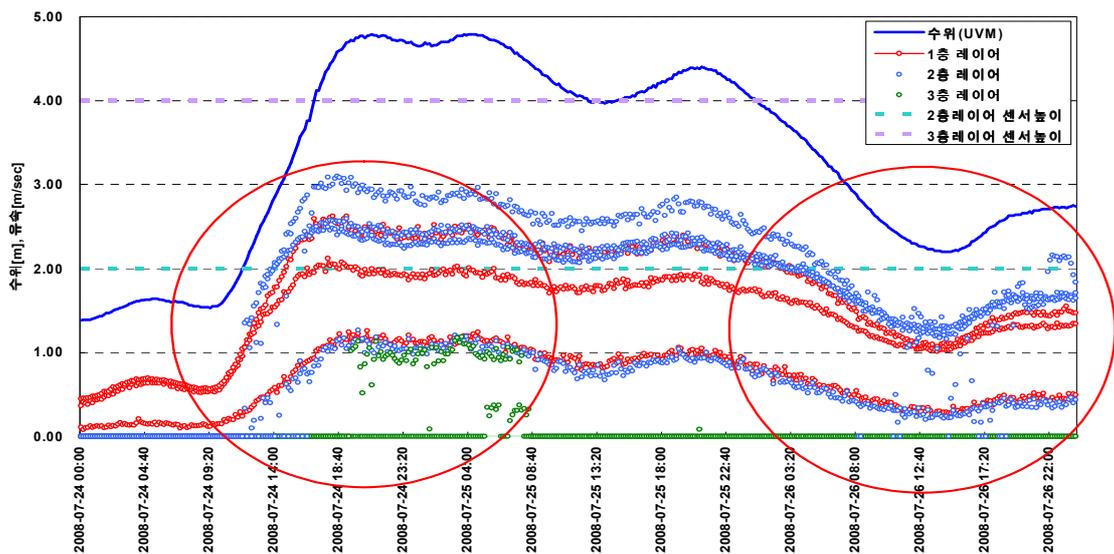


그림 5. 여주 지점 7월 홍수기 센서별 유속자료 분석

그림 6과 그림 7은 2층과 3층 레이어의 센서별 신호강도를 분석한 것으로, 정상적인 측정이 이루어지는 센서의 신호강도를 100으로 가정하였을 때, 수위가 2.0m 범위에서 신호강도가 비정상적으로 떨어지는 것을 확인할 수 있으며, 3층 레이어가 위치한 4.0m 수위범위에서도 신호강도가 비정상적으로 변동하는 것으로 나타났다. 따라서 센서가 위치한 높이의 수위 범위에서 이러한 비정상적인 신호강도를 가지는 유속자료를 유량계산과정에서 제거한다면 안정적인 유량을 산정할 수 있을 것으로 판단하였다.

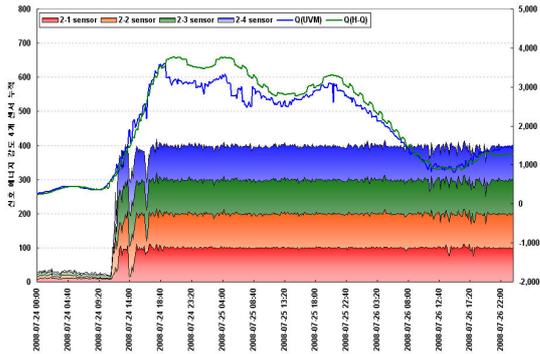


그림 6. 7월 홍수기 2층 (2m)레이어 센서
신호 에너지 강도 분석

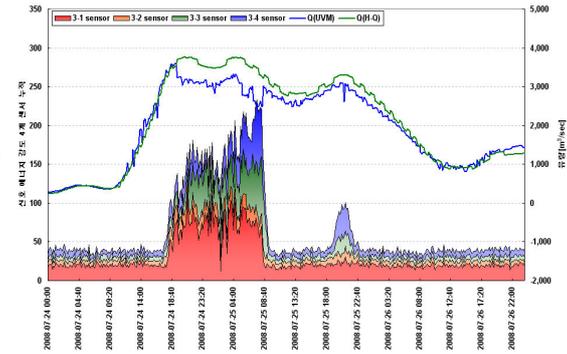


그림 7. 7월 홍수기 3층 (4m)레이어 센서
신호 에너지 강도 분석

4.2 센서 작동수위 필터링

분석결과 2층 레이어 센서가 물에 잠기는 수위 2.0m와 3층 레이어 센서가 물에 잠기는 수위 4.0m 이상 되는 부근에서 해당되는 층의 센서의 유속측정결과가 불안정한 것을 알 수 있다. 이는 홍수기 유량의 급격한 증가로 수면경사가 커지면서 상류에 위치한 센서는 수중에 잠기는 반면 하류단에 설치된 센서가 물에 잠기지 못하면서 불안정한 유속측정이 발생하는 것으로 판단된다. 또한 수위 4.0m 이상의 3층 레이어 센서의 경우 급격히 증가한 유량의 영향으로 수중에 기포가 다량 발생하면서 초음파 이동시간에 대한 정상적인 측정에 장애가 발생한 것으로 판단된다.

불안정한 유속측정요인을 해결하기 위해 일정한 기준을 설정하고 설정된 기준을 만족하지 못하는 유속측정치는 비정상적인 값으로 판단하여 이를 제거할 수 있도록 필터링설정을 하였다. 수면경사를 고려하여 상·하류단의 센서가 모두 충분히 잠길 수 있는 수위를 고려하여 그 이하에서 측정된 유속자료를 필터링 하였다.

5. 분석결과

앞서 언급한 두 가지 필터링 기법을 적용하여 유량을 재산정하였다. 그림 8과 그림 9는 각각 수위 4.0m 범위와 2.0m 범위에서의 측정성적을 재계산한 것이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 개선전 첨두유량 발생한 부근에서 유량이 과소 산정되고 불안정하게 변화했던 문제가 일부 해결된 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 7에서 보는 바와 같이 개선된 기법을 적용하여 유량을 재산정한 결과 유량의 변화가 상당부분 개선되어 안정적인 변화를 보이는 것으로 나타났다.

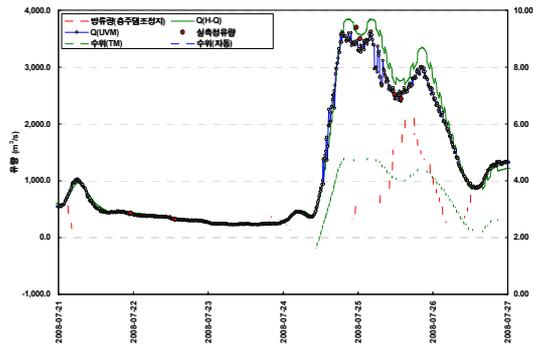


그림 8. 7월 홍수기 측정성과 개선

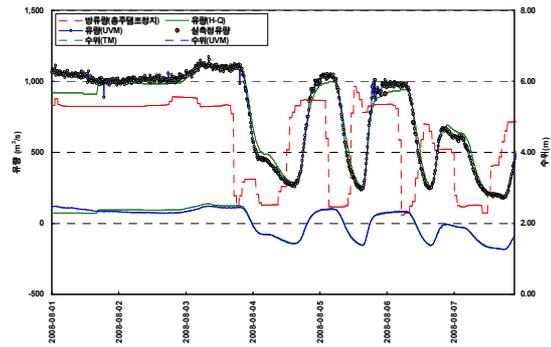


그림 9. 8월 홍수기 측정성과 개선

6. 결론

필터링 기법을 적용하여 유량을 재산정한 결과, 홍수기 불안정한 패턴을 보이던 유량측정결과가 많이 안정화되어 실측치에 비교하였을 때 평수기 측정치는 5% 이내, 홍수기 측정결과는 10% 이내로 개선되었다. 1.5m ~ 4.3m 범위의 수위 변동을 가지는 유량에 대하여 비교적 안정적으로 개선된 것을 알 수 있다.

개선된 방법의 적용 이후에도 다소 불안정한 유량의 변화를 보이고 있으며, 이러한 요인은 필터링 적용에도 불구하고 일부 불안정한 유속측정값이 제거되지 않기 때문이며, 언급한 원인 이외에도 홍수시 급격하게 증가하는 부유사 농도 또는 수중의 기포에 의한 영향으로 인해 불안정한 유속성분이 여전히 남아 있기 때문으로 판단된다. 이러한 필터링 기법은 기준치를 단순 적용하는 방법이기 때문에, 향후 필터링 기준을 좀더 세밀하게 설정할 필요가 있으며, 이를 위해 실측 가능한 수위대에서의 검증자료 확보를 통해 필터링 기법에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국토해양부 (2007). **2007년도 자동유량측정시설 구축 및 운영 보고서**
2. 김창완, 이민호, 유동훈, 정성원 (2008). 자연하천에서 Chiu의 유속분포와 최대유속 추정치를 이용한 유량산정, 한국수자원학회, **한국수자원학회 논문집**, No. 41, Vol. 6, pp. 575-585.
3. Chiu, C. -L. (1987). "Entropy and probability concepts in hydraulics." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 113, No. 5, pp. 583-600.