

전자부자 시스템을 이용한 유속과 유량의 측정

Velocity and discharge measurement by the electronic float system

이찬주*, 김동구**, 김용전***, 김원****

Chan Joo Lee, Dong Gu Kim, Yong Jeon Kim, Won Kim

요 지

홍수 유량 측정에 주로 활용되는 봉부자법은 신속하고 간편하게 유량을 측정할 수 있지만, 부자의 유하 경로를 정확하게 알 수 없으므로 가정된 직선을 따라 유하하지 않을 경우 유속과 단면적 계산에 불확실성이 다소 크게 발생하는 단점이 있다. 또한 측정에 소요되는 시간이 짧지만, 대개 현장에서 유량 계산이 바로 이루어지지 못하므로 측정 유량의 적절성을 충분히 평가하지 못한다. 본 연구에서는 봉부자법의 장점을 살리고 단점을 개선할 수 있는 전자부자 시스템을 개발하고 이를 이용하여 유량을 산정하였다. 개발된 전자부자 시스템은 GPS에 의해 유하경로를 획득하여 RF 통신을 통해 실시간으로 기지국에 정보를 전송한다. 기지국은 3개 RF 채널을 통해 최대 15개의 전자부자의 위치 정보를 동시에 수집하며, 각 전자부자의 유하경로와 미리 측량한 단면 자료를 결합하여 측정과 동시에 자동으로 유속을 계산한다. 이렇게 계산된 유속은 지리정보와 결합되어 있으므로 하천의 평면 2차원적 흐름 특성을 나타내는데 활용될 수 있으며, 나아가 미리 측량된 단면 자료와 결합하여 측정과 동시에 즉각 유량이 얻어질 수 있다. 이러한 점에서 본 연구는 전자부자를 이용하여 현장에서 유속과 유량을 실측한 사례를 제시하고자 한다.

핵심어 : 전자부자 시스템, 유속, 유량, 측정

1. 서론

홍수시 유량 측정은 일반적으로 봉부자법에 의해 이루어져 왔다. 하지만, 부자 유량측정법은 그 안전성과 편의성에 비해 유량 측정의 불확실도가 크다는 단점을 가지고 있는데(황석환 등, 2006), 이는 무엇보다 부자의 경로에 대한 정보가 없는데 기인한다. 그럼에도 불구하고 방법상의 편리성이나 신속성으로 인해 봉부자법은 다른 방법으로 측정하기 어려운 약천후 속에서의 홍수량 측정에 활용될 가능성이 높다. 이러한 점에 착안하여 한국건설기술연구원에서는 기존 봉부자법에 정보통신기술을 결합하여 전자부자 시스템을 개발하였다(김치영 등, 2007).

전자부자는 기존 부자에 GPS 기반 위치정보를 수신하고 이를 RF(Radio Frequency) 무선통신을 통해 수신국으로 전달할 수 있는 전자 모듈을 부착한 것이다. 이렇게 함으로써 부자의 궤적을 측정과 동시에 획득하여, 이를 통해 유속의 공간적인 분포와 벡터를 계산하고, 미리 측량된 단면자료와 결합하여 유량을 계산한다. 전자부자 시스템은 측정자가 현장에서 유속과 유량을 즉시 계산할 수 있도록 개별 전자부자와 수신국 및 선후처리 소프트웨어가 결합된 솔루션을 제공한다. 본 연구에서는 2005년부터 개발하여 꾸준히 성능 개선이 이루어진 전자부자 시스템을 활용하여

* 정회원 · 한국건설기술연구원 하천해안항만연구실 연구원 · E-mail : c0gnitum@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 하천해안항만연구실 연구원 · E-mail : kimdg@kict.re.kr

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 하천해안항만연구실 연구원 · E-mail : wasu3ri@kict.re.kr

**** 정회원 · 한국건설기술연구원 하천해안항만연구실 책임연구원 · E-mail : wonkim@kict.re.kr

현장에서의 유속과 유량 측정에 적용한 결과를 분석하고 그 활용성을 살펴보는데 그 목적이 있다.

2. 현장 실험

전자부자를 이용한 유속과 유량 측정 실험은 달천 괴산지점, 북한강 화천담 하류의 구만교, 북한강 강촌지점, 임진강 적성지점 등 총 4개 지점에서 실시되었다(표 1). 현장 실측은 다양한 흐름 조건에서의 적용성을 살펴보기 위해 평저수시에 2회, 홍수시에 3회 실시되었다.

표 1. 현장 실험 지점

하천	지점	위치 (경위도)	측정일자	흐름 조건
달천	괴산	127-50-40, 36-45-51	2007.08.31	홍수
북한강	강촌	127-38-08, 37-48-53	2008.04.15	평수
	구만교	127-47-00, 38-07-00	2008.05.03	평수
임진강	적성	126-55-15, 37-58-56	2008.07.21	홍수
한강	여주	127-38-58, 37-17-33	2008.07.24	홍수

그림 1은 현장 실측 지점과 전자부자로 측정된 초기 유하 궤적을 보여준다. 전자부자는 각 지점의 상류 교량에서 투하되었으며, 4개 측정단면(0~3단면)을 거쳐 하류 방향으로 이동한다. 그림 1은 전자부자의 궤적이 대체로 하류 방향을 따르지만 완전한 직선형이 아님을 보여준다.

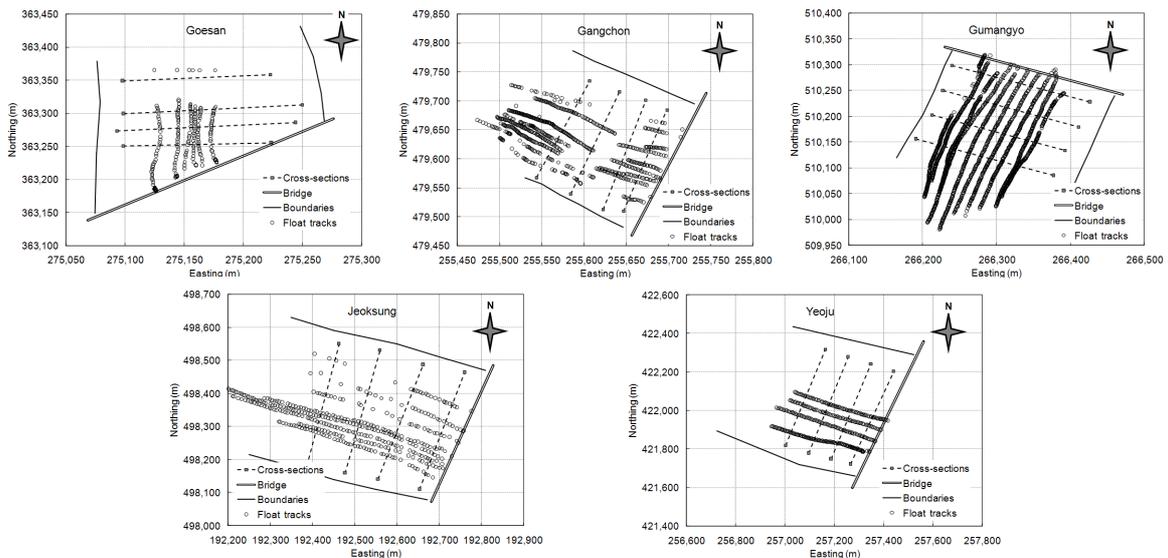


그림 1. 현장 실측 지점과 실측된 전자부자의 궤적

3. 유속 측정

3.1 유속 측정

부자가 하천의 흐름과 동일하게 유하한다는 기본적인 가정에 의하면, 부자의 유하속도에 흐름에 따라 연직유속분포를 고려하는 보정계수를 곱하면 하천의 연직평균유속과 같으며 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = k \frac{l}{t} \quad (1)$$

여기서 v 는 유속, k 는 수심 대비 부자의 잠김 비율(immersed ratio)을 나타내는 보정계수로

(WMO, 1994), 흔히 우리나라에서는 흘수에 따라 0.85~0.96사이에서 사용한다. l_i 는 상하류 단면에 직각인 유하거리, t_i 는 시간이다.

전자부자는 GPS에 의한 절대 측위와 시간을 통해 부자의 유속을 계산하며, 이에 따라 식 (1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$v_i = k \frac{l_i}{\Delta t} = k \frac{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}{t_i - t_{i-1}} \quad (2)$$

여기서 v_i 는 i 시간의 유속, l_i 는 i 시각의 위치(x_i, y_i)에서 $i-1$ 시각의 위치(x_{i-1}, y_{i-1}) 간의 변위, Δt 는 i 시각과 $i-1$ 시각의 시간차이다. 이렇게 하면 두 측위점을 이동하는 짧은 시간동안의 유속이 얻어진다. 전자부자는 이렇게 얻어진 순간적인 점의 위치와 시간을 이용하여 유속을 계산하며, 필요에 따라 몇 개의 순간유속을 평균하여 시공간 평균 유속으로 활용할 수도 있고, 부자법 유량 측정과 동일한 방식으로 상하류의 구간 사이를 통과하는 점들을 연속적으로 계산하거나 또는 상하류 두 점만을 이용하여 구간 유속을 계산하고 여기서 측량 단면을 기준으로 직각인 유속성분을 추출하여 유량계산에도 활용할 수 있다.

그림 2는 구만교와 적성 지점에서 전자부자와 일반 부자로 측정한 횡방향 유속 분포를 비교한 것이다. 두 지점 모두 유속 측정 구간이 직선형이지만, 구만교의 경우 상하류 단면의 위치가 양안에서 거의 정확하여 일반부자와 전자부자로 측정한 유속이 거의 같게 나타나고 있는 반면에, 적성 지점의 경우 상하류의 단면간 거리가 좌우안에서 달라(그림 1 참조) 기준 거리 차이로 인해 일반부자와 전자부자의 유속차이가 좌안쪽에서 크게 벌어지고 있다. 이 결과는 전자부자는 부정확한 측량단면의 위치 및 구간 거리와 무관하게 유속을 정확하게 측정할 수 있음을 의미한다.

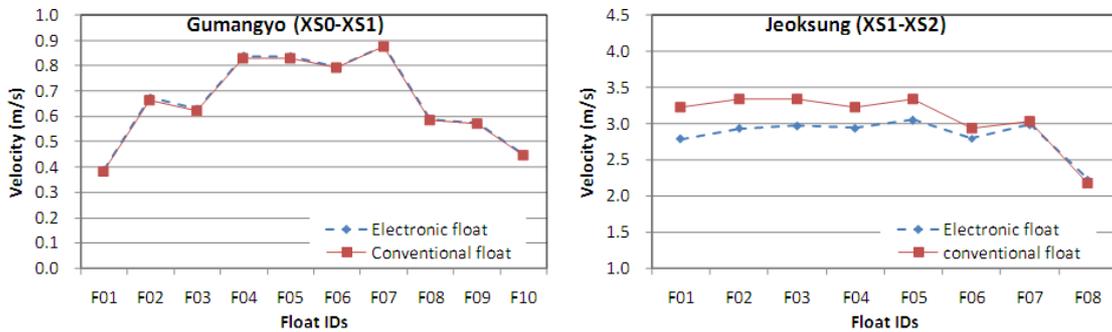


그림 2. 구만교와 적성 지점에서 주유속의 횡방향 분포

3.2 2차원 유속 분포

전자부자는 유량 측정을 위한 유속뿐만 아니라 하천에서의 흐름 특성을 가시화하는데도 활용될 수 있다. 특히 평면적인 2차원 유속 분포의 표현이 가능하며, 이를 쉽게 지도화할 수 있다. 따라서 2차원 수치 모형 결과에 대한 검증이나 흐름 구조를 확인하는데도 활용될 수 있다. 그림 3은 강촌과 구만교 지점에서 측정한 자료를 이용하여 유속장을 나타낸 사례이다.

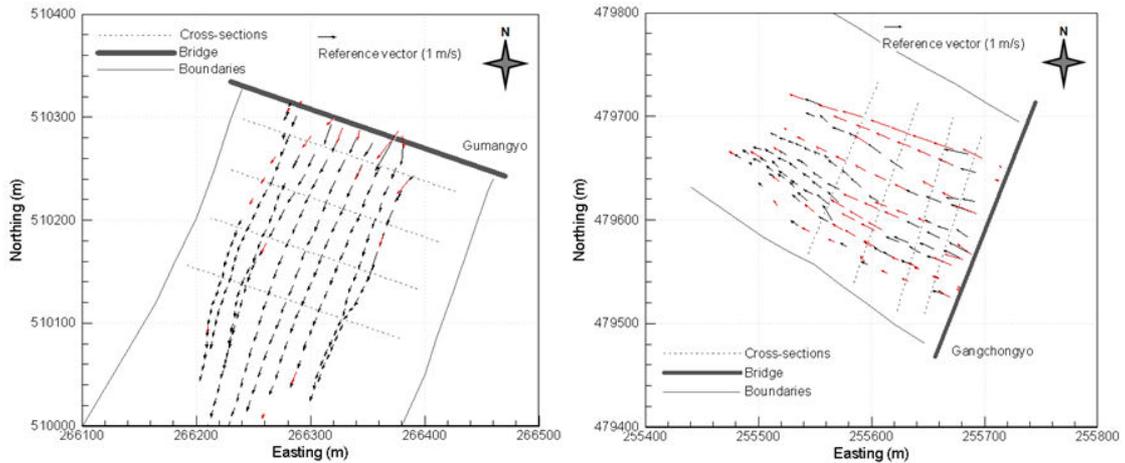


그림 3. 전자부자 위치 정보를 이용하여 구현한 구만교와 강촌 지점의 2차원 유속장

4. 유량 측정

4.1 단면적 산정

일반 부자법에서 유량계산에 활용되는 측량 단면은 하천을 따라 직선의 부자 경로를 가정하여 개별 소단면으로 분할된다. 즉, 투하 지점인 교량에서 부자의 위치와 인접 부자와의 거리가 일률적으로 하류의 측정 단면에 반영되는 것이다. 이에 비해 전자부자는 실측되는 유향경로를 기준으로 소단면이 분할된다. 그림 4는 구만교 지점에서 1단면(누가거리 80m)에 대해 일반부자법에 의해 분할된 소단면과 전자부자의 통과 위치에 의해 분할된 소단면의 공간적 차이를 나타낸다. 전체 단면적은 같지만, 개별 부자에 적용되는 단면적의 경우 약 $\pm 70\%$ 의 차이가 발생하였으며, 이러한 차이는 일반부자의 궤적이 직선에서 더 많이 이탈할수록 커지고 있다.

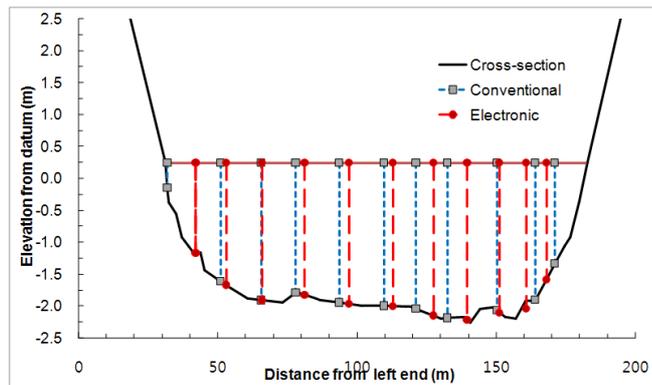


그림 4. 전자부자와 일반부자법의 소단면 배치 차이

4.2 유량 측정

상하류 단면간의 구간 거리가 정확하게 측정되었을 경우 일반 부자법과 전자부자로 측정한 유속 차이는 크게 발생하지 않을 수도 있다. 하지만, 그림 4는 개별 부자의 소단면이 크게 차이가 발생한다는 것을 보여주고 있는 바, 단면적의 차이가 유량의 차이를 크게 초래할 수도 있다. 표 2는 여주를 제외한 4개 지점에서 동일한 단면에 대해 전자부자와 일반 부자로 측정한 유량을 비교하여 보여준다. 이 때 비교의 기준 유량은 댐 방류량이나 수위-유량관계에 의한 유량을 사용하였다. 괴산 지점과 강촌 지점에서는 전자부자로 측정한 유량이 일반 부자법에 비해 댐 방류량 대비

상대오차가 작은 것으로 나타났으며, 이는 전자부자 활용시 유량 측정의 정확도가 개선될 수 있음을 나타낸다. 구만교와 적성 지점의 경우 두 방법의 유량 측정 결과가 거의 같았는데, 이는 이 두 지점은 괴산과 강촌 지점에 비해 단면이 균일하고 하도가 직선형이므로 유속의 차이가 거의 없을 뿐만 아니라 인접한 단면적 역시 비슷하였기 때문으로 풀이된다. 다만, 유량 측정 지점 중에 불가피하게 만곡이 있거나 흐름의 쓸림이 발생하는 조건이 있는 현장에서 전자부자를 적용한다면, 유하경로의 추적을 통해 유량을 보다 정확하게 산정할 수도 있을 것으로 예상된다.

표 2. 전자부자와 일반부자법에 의해 측정된 유량의 비교

날짜	지점	측정유량 (m ³ /s)		차이 (%)		비교	
		전자부자	일반부자	전자부자	일반부자	유량	유형
2007. 8. 31.	괴산	64.8	68.1	2.86	8.10	63.0	댐 방류량
2008. 4. 15.	강촌	317.8	332.7	15.10	20.50	276.1	댐 방류량
2008. 5. 3.	구만교	155.1	155.7	0.71	1.10	154.0	댐 방류량
2008. 7. 21.	적성	2,702.6	2,698.8	1.76	1.61	2,656.0	레이팅 유량

5. 요약 및 결론

이 글에서는 GPS와 RF 통신을 기반으로 개발된 전자부자 시스템을 이용하여 현장에서 유속과 유량을 측정한 결과를 분석하였으며, 그 활용성을 검토하였다.

1) 전자부자는 일반 부자법에서 가정되는 직선 유하경로와는 달리 GPS에 의해 실제 유하경로는 측정할 수 있으므로 보다 정확한 유속 측정이 가능하며, 이는 측량 단면이 부정확할 때 뚜렷하게 나타났다.

2) 전자부자로 측정한 측위 정보를 이용할 경우 2차원 평면 유속장도 구현할 수 있었다.

3) 유량 계산시 적용되는 소단면의 면적은 부자의 경로를 실측 여부에 따라 크게 달라져서 그 차이가 ±70% 정도에 달하는 것으로 나타났다.

4) 전자부자는 부자의 유하경로가 굽고 단면 배치가 다소 불규칙한 지점에서 유량 측정의 개선 효과가 있었음을 보여주었다.

전자부자는 일반 부자법이 제공할 수 없는 측위 정보를 제공함으로써 보다 정확한 유속 측정이 가능하고 2차원 평면유속분포로 얻을 수 있다. 또한 부자의 유하 경로를 정확하게 얻을 수 있으므로 단면적 및 유량의 정확한 계산이 가능하다. 나아가 현장의 여건과 관계없이 적은 인력만으로 측정과 유하경로 정보의 수집 및 분석을 즉각적으로 수행할 수 있기에 효율적인 유량 측정이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다(과제번호 2-1-3).

참고문헌

김치영, 김원, 김동구, 이찬주(2007) "전자부자 개발," 2007년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 508-512
 황석환, 김치영, 정성원, 김원(2006) "부자측정에 의한 유량산정방법 개선", 2006년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 852-857

World Meteorological Organization(1994) *Guide to hydrological practices*, WMO-No. 168