

LSPIV를 이용한 유속측정 정확도 비교

Comparison of the Accuracy of Velocity Measurement Using LSPIV

황의호*, 양재린**, 고덕구***

Eui-Ho Hwang, Jae-Rheen Yang, Deuk-Koo Koh

Abstract

Soil particles from rainfall flow into reservoir and give lots of influence in water quality because the Even though techniques related with computer and communications are growing rapidly, it is true that efforts for hydrological survey and the management of its results have not been made enough to make use of the state-of-the-art technologies. Among the water-related techniques, measurement of river discharge is the most important one because these data are basic to almost every field of the hydrological science. In this research, a large-scale particle image velocimetry (LSPIV) unit has been designed and constructed to measure river discharge effectively in field conditions. Measured data using this unit is compared with the results recorded by the microwave water surface current meter (MWSCM) at the same location. The purpose of this research is to propagate the feasibility of using the MWSCM for river discharge velocimetry.

Key words : LSPIV, Microwave Water Surface Current Meter, Self-testing, Discharge Velocimetry

요 지

과학기술의 발달과 함께 컴퓨터의 성능 개선 및 통신기술의 급진전으로 인하여 관측된 수문자료의 안정적 전송과 다양한 표출 및 무한한 저장 등에 관한 관심과 투자 등의 노력에 비하여 상대적으로 모든 수자원 업무의 기초가 되는 수문관측 및 자료관리에 대한 노력은 심히 부족한 것이 우리나라의 실정이다. 특히 수자원 관련 기술의 발달은 매년 놀라울 만큼 빠르게 선진국을 따라 잡고 있는 것이 사실이나, 유독 이를 뒷받침하는 수자원 기초자료 중 가장 중요한 유량자료를 산정하기 위한 하천의 유속측정 방법에 대한 연구는 거의 전무한 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 1999년도에 수자원연구원에서 홍수시 유속측정을 위하여 개발한 전자파표면유속계를 선진국의 최신 유량측정기법과 정확도를 비교하여 전자파표면유속계의 활용성을 검증하였다. 이를 위해 현장에서 유량측정을 위하여 LSPIV unit을 설계 및 구축하였으며, 동일지점에서 전자파표면유속계로 기록된 결과와 비교하였다.

핵심용어 : LSPIV, 전자파표면유속계, Self-testing, 유량측정

* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 연구원 · E-mail : ehhwang@kowaco.or.kr
** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 · E-mail : jyang@kowaco.or.kr
*** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원 · E-mail : dkkoh@kowaco.or.kr

1. 서론

홍수유량측정의 어려움을 극복하고자 전세계적으로 여러 가지 신기술을 이용한 유량측정 방법들이 연구되고 있다. 그 중에서 대표적인 기술이 바로 영상해석에 의한 하천유량측정 기술인 LSPIV와 레이더를 이용한 유량측정 기술이다. 레이더를 이용한 유량측정 기술의 경우에는 국내에서는 한국수자원공사에서 1993년부터 1999년까지 연구결과를 토대로 2000년에 이 기술을 토대로 전자파표면유속계를 개발 및 상용화시켰고 2000년 이후로 이 전자파표면유속계를 이용하여 홍수유량을 측정하고 있다. 하지만 국내의 경우 영상해석에 의한 유량측정 기술에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 선진국의 영상해석에 의한 하천유량측정 기술의 수준을 파악하고, 이러한 신기술을 적용할 수 있는지의 타당성을 검토하고자 하였다. 또한 전자파표면유속계와의 유량비교 측정을 통하여 두 기술의 장단점을 파악함으로써 전자파표면유속계의 보완점을 파악하고 동시에 전자파표면유속계의 유량측정에 있어서의 신속성, 간편성 및 정확성을 향상시키고자 하였다.

2. LSPIV와 전자파표면유속계를 이용한 유량측정

2.1 대상지역

LSPIV와 전자파표면유속계를 이용한 측정은 장소 및 환경조건에 따른 제약조건으로 측정결과와 정확도를 확보하기 위하여 장비특성에 맞는 측정 지점을 검토하였다. 처음 검토한 지점은 미국 Iowa주의 Iowa City를 흐르는 Iowa 강을 지나는 Burlington교의 직하류 지점으로 이 지점은 보를 넘어가면서 흐름이 교란되어 거품이 다량 발생되어 LSPIV 분석을 위한 물표면입자로서 작용을 하여 LSPIV의 적용에 아주 유리한 조건을 갖추고 있다. 이 지점에 대한 표면유속을 전자파표면유속계로 측정하고자 하면 전자파표면유속계를 Burlington교에 설치하여 하류 방향으로 전자파를 발사하여 물표면으로부터 반사되는 반사파를 수신하여야 하나 3m 높이 보의 아래에서 발생하는 강한 반사파로 인하여 표면유속측정이 불가능하였다. 다음 검토된 지점은 Burlington교로부터 약 800m 떨어진 지점에 위치한 Benton교 지점으로 전자파표면유속계를 이용한 표면유속의 측정에는 별 문제없이 적용이 가능한 지점이다. 하지만 이 지점은 거품의 발생장소로부터 800m 정도 떨어져 있어 거품이 사라져서 LSPIV의 적용에 있어서 필요한 물표면상의 입자가 없어져서 LSPIV를 이용한 유량측정 장소로서는 부적합하였다. 이러한 주변 여건으로 인하여 두 기기를 이용한 유량측정의 성과를 비교하기 위하여 대안이 필요하였다. 즉 Burlington교 직하류의 거품이 풍부한 지점에서 IIHR 빌딩에 설치되어 있는 고정식 LSPIV를 이용하여 유량측정을 실시하고 이를 Benton교에서 전자파표면유속계를 이용하여 측정한 유량과 비교하였다(그림 1, 2).



(a) 카메라의 위치 (b) Burlington교
<그림 1> Burlington교에서 고정식 LSPIV를 이용한 유량측정



<그림 2> Benton교에서의 전자파표면유속계를 이용한 유속측정

2.2 유량측정

아이오와강은 홍수기와 갈수기의 한국의 하천과는 달리 1년 내내 큰 유량의 변동이 없고 10~60 m³/s 정도의 유량이 흐르는 중소하천이다. 이렇게 큰 변동없이 유량이 흐를 수 있는 이유는 먼저 상류에 있는 댐에서 방류량을 조절하는 것이 하나의 이유이고, 또한 이곳 미국 아이오와주의 경우 한국과 같은 장마나 태풍을 동반한 집중호우와 극심한 가뭄이 거의 발생하지 않고 연중 비교적 고르게 분포하는 강우와 강설로 인하여 하천의 유량이 한국과 같이 급격하게 변하지 않는다. 따라서 전자파표면유속계의 개발 목적에 부합하는 정도의 아주 빠른 유속(유속 2m/s 이상)은 1년 내에 거의 발생하지 않고 과거에도 11년 전인 1993년에 이 지역에 큰 홍수가 있었을 정도이다. 큰 유속이 발생할 수 있는 경우는 토네이도를 동반한 강우나 폭설의 용해에 따른 지표면 유출의 증가로 인한 경우가 전부인데 이 경우도 한국에서와 같이 급격하게 수위가 증감하지는 않는다. 따라서 전자파표면유속계의 우수성을 보여 줄 수 있는 빠른 유속의 하천 상태에 대해서는 유량측정을 실시하지 못하였다. 비교적 많은 유량이 흐르는 시기를 기다리던 중 2004년 11월 25일 평소(유량 400~700cfs = 11~20 cms)와는 달리 1110cfs(31.4cms)에 이르러 이때 전자파표면유속계로 유량측정을 실시하였다. 전체 횡단면에 대한 표면유속은 0.2~0.5m/s에 이르고 있어(그림 8), 전자파표면유속계를 적용하기 위한 최저유속인 0.7m/s에도 못미치는 상황이어서 이 지점에서의 전자파표면유속계를 이용한 유량측정은 정확한 유량측정 결과를 기대하기는 힘든 상황이었다. 유속측정 결과와 횡단면 자료를 이용하여 유량을 계산한 결과, 전자파표면유속계로 측정된 유량은 19.0m³/s로 LSPIV로 측정된 유량 29.07m³/s 및 USGS 수위관측소의 수위유량관계식으로부터 구한 유량 31.4m³/s와는 차이를 보이고 있다. 반면 LSPIV로 측정된 유량은 USGS의 유량값과 거의 유사한 결과를 보이고 있다. 급변의 측정결과를 가지고 두 기기 중 어느 것이 우수한가에 대한 판단은 힘들다. 왜냐하면 두 기기의 적용가능 환경이 다르고 지속적인 유량측정 결과의 비교가 없었기 때문이다. LSPIV의 경우에는 이번 경우와 같은 저유속에서도 물표면에 거품 등과 같은 패턴으로 인식될 수 있는 것이 존재하면 정확한 유량측정이 가능한 반면 야간에는 특별한 조명효과 없이는 물표면의 부유물을 인식할 수 없어 불가능한 단점이 있다.

3. 유량측정 결과 분석

전반적으로 보면 두 기술 모두 홍수시와 같은 고유속(2~5m/s)에서 유량측정자들이 기존의 물속에 투입하여 유속을 측정하는 프로펠러 타입의 유속계로 유량측정이 불가능한 경우의 대안으로써 안전하고 신속한 유량측정을 달성할 수 있도록 고안되었다. 따라서 두 기술

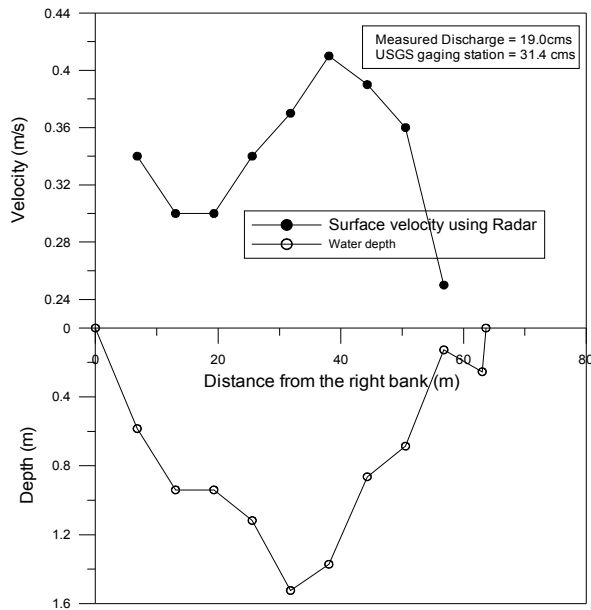
모두 물과 비접촉하여 물 표면유속 측정값을 기본적인 측정 결과물로 나타낸다. 하지만 전자과표면유속계는 물 표면에서 반사되는 전자파의 도플러효과를 이용하므로 물 표면에 패턴의 형성 여부와는 관계없이 측정이 가능하고 이 성질 때문에 야간에도 측정이 가능하다. 반면, LSPIV는 물 표면에 패턴이 없으면 상호상관계수(cross correlation coefficient)를 이용하여 유속의 크기와 방향을 구하기가 힘들어진다. 따라서 물 표면의 패턴의 존재 여부는 LSPIV의 해석에 있어서 결정적인 요소이다. 물 표면에 패턴이 없는 곳에서의 유량측정을 위해 물 표면에서의 태양 반영을 패턴으로 이용하는 연구가 미국에서 이루어지고 있다.

<표 4.2> 두 유량측정 기술의 장단점

분 류	전자과표면유속계	LSPIV
유속측정 범위	최소 0.7m/s 이상 ~ 10m/s	·0.01 m/s 이상 ·한쌍의 이미지 측정시간 간격과 이미지상에서 패턴의 이동량에 따라 설정값을 달리해야 함
야간측정 가능 여부	주야 구분없이 측정 가능	특별한 조명효과를 가하지 않고는 물표면의 패턴을 인식할 수가 없어 측정 불가
물표면 패턴 존재 유무	패턴의 존재 유무와 무관	패턴이 존재해야만 측정가능
실시간 측정 가능 여부	가능	가능
측정유속 종류	물표면의 점유속	물표면의 일정 범위내의 유속장
기준점 측량 여부	불필요	이미지상에서 확인 가능한 최소 6점의 지상기준점 필요

유량측정을 위해서 평균유속을 산정해야 하는데 이를 위한 방법들로는 먼저, 표면유속을 이용해서 단순히 이에 0.85를 곱하여 수심평균유속을 환산하는 방법, 둘째 표면유속으로부터 유속분포를 멱함수(power law) 혹은 대수함수(logarithmic law) 형태로 가정하고 이를 수심적분하는 방법, 셋째 기존의 유량측정 성과를 이용하여 각 지점의 고유한 엔트로피를 계수를 결정하여 평균유속을 구하는 확률론적 방법 등이 있다. 여기서 0.85를 곱하는 방법은 멱함수를 수심적분해서 얻은 것이므로 첫 번째 방법 역시 두 번째 방법의 일부라 할 수 있다.

기존의 유량측정 성과가 동일한 방법에 의해서 이루어졌고 또한 착실히 축적되어져 있다면 세 번째 방법의 적용이 가능하겠으나 신규유량측정 지점이거나 과거유량측정 자료가 부실한 지점의 경우는 유속분포식중의 하나를 이용하여 표면유속과 수심평균유속사이의 관계를 연결시켜야만 한다. 따라서 측정한 표면유속과 수심별 유속분포와의 연결을 위해서 어떤 유속분포식을 이용할 것인가의 문제, 그리고 하천의 바닥의 거친 정도에 대한 고려 등에 대한 연구가 필수적이다. 또한 적절한 유속분포에 대한 검토가 이루어진 후에는 전자과표면유속계와 LSPIV로 측정한 표면유속으로부터 그 지점의 수심을 예측할 수 있는 방안에 대한 검토가 필요하다. 그 지점에 대한 수심을 적정 수준의 정확도를 가지고 예측할 수 있다면 홍수전후의 횡단측량으로부터 대표횡단면을 이용하여 유량을 환산하는 방법보다 신속히 표면유속을 측정하는 즉시 그 지점의 하천유량을 구할 수 있기 때문이다. 이러한 방향에 대한 연구 역시 이곳 IIHR에서 지금 현재 이루어지고 있다.



<그림 4.8> Benton교에서의 전자파표면유속계를 이용하여 측정한 표면유속분포

4. 결론

본 연구에서는 1999년도에 수자원연구원에서 홍수시 유속측정을 위하여 개발한 전자파표면유속계를 LSPIV 기법과 정확도를 비교함으로써 이를 개선하고자 하였다. 이에 따라, PIV의 확장 개념인 LSPIV(Large Scale PIV)를 이용한 것과 전자파표면유속계에 의한 결과를 비교하기 위하여 고정식 LSPIV를 설치하여 실험하였다. 전반적으로 두 기술 모두 홍수시와 같은 고유속(2~5m/s)에서 유량측정자들이 기존의 물 속에 투입하여 유속을 측정하는 프로펠러 타입의 유속계로 유량측정이 불가능한 경우의 대안으로써 안전하고 신속한 유량측정을 달성할 수 있도록 고안되었다. 따라서 두 기술 모두 물과 비접촉하여 물 표면유속 측정값을 기본적인 측정 결과물로 나타낸다. 하지만 전자파표면유속계는 물 표면에서 반사되는 전자파의 도플러효과를 이용하므로 물 표면에 패턴의 형성 여부와는 관계없이 측정이 가능하고 이 성질 때문에 야간에도 측정이 가능하다. 반면, LSPIV는 물 표면에 패턴이 없으면 상호상관계수를 이용하여 유속의 크기와 방향을 구하기가 힘들어진다. 따라서 물 표면의 패턴의 존재 여부는 LSPIV의 해석에 있어서 결정적인 요소이다. 물 표면에 패턴이 없는 곳에서의 유량측정을 위해 물 표면에서의 태양 반영을 패턴으로 이용하는 연구가 미국에서 이루어지고 있다.

본 연구에서 실시된 두 가지 장비사용의 비교시험의 여건을 살펴보면 전체 횡단면에 대한 표면유속은 0.2~0.5m/s에 이르고 있어, 전자파표면유속계를 적용하기 위한 최저유속인 0.7m/s에도 미치지 못하는 상황이어서 이 지점에서의 전자파표면유속계를 이용한 유량측정은 정확한 유량측정 결과를 기대하기는 힘든 상황이었다. 결과적으로 두 가지에 의한 결과는 당연히 기대치에 미치지 못하였으나 이동식이 완성되는 내년 상반기에 전자파표면유속계를 사용하기에 적당한 조건을 갖춘 여건에서 비교시험을 하면 이 기기의 장점을 잘 보여줄 수 있는 결과가 나오리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. Adrian, R. J.(1993), "Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics.", Ann. REv. Fluid mech., 23, pp.261-304.
2. A. Hauet., J.D. Creutin, A. Kruger, W. F. Krajewski, A. Bradley, M.Muste, M. Wilson, and B. Miller(2004), Real-Time Estimation of Discharges of the Iowa River Using an Image-Based Method, Technical Report, IIHR-Hydroscience & Engineering, The University of Iowa, Iowa City, Iowa, USA.
3. Fujita, I. and Kaizu, T.(1995), "Correction Method of Erroneous Vectors in PIV.", J. of Flow Visualization and Image Processing, 2, pp. 173-185.
4. Fujita, I. and Komura, S.(1994), "Application of Video Image Analysis for Measurements of River-Surface Flows.", Proc. of Hydraulic Engineering, JSCE, 38, pp. 733-738.
5. J.D. Creutin, M. Muste, A.A. Bradley, S.C. Kim, and A. Kruger(2003), River Gauging Using PIV Technique: Proof of Concept Experiment on the Iowa River. Journal of Hydrology.