

횡단면 유속 분포를 이용한 표면영상유속계의 정확도 개선

Accuracy Improvement of SIV(Surface Image Velocimetry) by using Cross-Section Velocity Distribution

류권규*, 김서준**, 윤병만***
Kwonkyu Yu, Seojun Kim, Byungman Yoon

요 지

영상 분석에서는 적절한 탐색 범위를 결정하는 것이 측정의 정확도에 큰 영향을 미친다. 탐색 범위는 흐름장의 상태에 따라 달라진다. 탐색 범위를 작게 잡을 경우 분석 시간이 절약되고 정확도를 높일 수 있으나, 지나치게 작게 되는 경우는 오히려 유속 분포 추정에 큰 오류를 범할 가능성이 있다. 반면에 탐색 범위를 크게 잡을 경우에는 유속 분포 추정에 큰 오류를 범할 가능성은 줄어들지만, 분석 시간이 길게 되며 전반적인 정확도는 낮아지게 된다. 따라서, 적절한 탐색 범위의 설정은 영상 분석의 정확도 향상에서 큰 관건이 된다. 실험실 수로의 경우 유속 분포에 대해 사전에 알고 있는 경우가 많으며, 유속이나 수위가 크게 변하지 않으므로, 적절한 탐색 범위의 선정이 어렵지 않다. 그러나, 현장 적용을 위한 고정식 표면영상유속계의 경우, 수위와 유량이 급변하고 또한 수위에 따른 유속 분포의 변화가 매우 심하므로 적절한 탐색 범위의 선정이 용이하지 않다. 본 연구에서는 고정된 탐색 범위를 설정하여 일차적으로 유속 분포를 추정하고, 여기서 얻은 유속 분포에 기반하여 탐색 영역을 보다 정밀하게 설정하고 재탐색을 하는 방법을 적용하였다. 이러한 유속 분포에 기반한 탐색 영역의 설정을 통하여 유속 분포 추정의 정확성을 크게 향상시킬 수 있다. 괴산댐 하류에 위치한 수전교에서 2008년 7월 23~24일 동안의 영상 자료를 이용한 추정 결과, 추정 유량의 오차를 절반 정도 줄여서 측정의 정확도를 향상시킬 수 있었다.

핵심용어 : 표면영상유속계, 영상 분석, 탐색 영역, 측정 오차

1. 서론

홍수시 유량 측정은 많은 인력과 노력, 경비가 들며, 종종 위험이 따르는 작업이다. 따라서, 홍수시 유량 측정을 간편하게 하기 위한 방법의 하나로 등장한 것이 하천의 표면 영상 분석을 통해 유량을 산정하는 표면 영상 유속계(Surface Image Velocimetry, SIV)이다. (표면 영상 유속계를 기존에는 LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry)와 LSIV(Large Scale Image Velocimetry)로 사용하였지만, 본 연구에서는 SIV(Surface Image Velocimetry)라고 표현한다.) 표면 영상 유속계는 기계 공학 분야에서 유속 측정에 이용되는 입자 영상 유속계(PIV, Particle Image Velocimetry)의 기법을 하천의 표면 영상 분석에 응용한 것이다.

SIV에 대한 연구는 일본에서 Fujita 등(1994, 1998)에 의해 처음으로 제안되었으며, 국내에서는 명지대학교를 중심으로 (노영신 등, 2002; 노영신, 2005; 김서준, 2007) 활발한 연구가 진행되어 왔다. SIV는 측정 시간이 짧고, 인력이 절감되는 매우 간편한 방법이다(노영신, 2005). 또한 수리 실험과 같이 유속장을 알고자 할 경우에도 한 번에 전체 유속장을 측정할 수 있기 때문에 시간과 경비를 크게 절약할 수 있다.

SIV와 같이 영상을 이용한 분석에서는 적절한 탐색 범위(searching area)를 결정하는 것이 측정의 정

* 정회원 동의대학교 토목공학과 조교수 E-mail: pururumi@deu.ac.kr

** 정회원 명지대학교 토목환경공학과 박사과정 E-mail: seojuny@paran.com

*** 정회원 명지대학교 토목환경공학과 교수 E-mail: bmyoon@mju.ac.kr

확도에 큰 영향을 미친다. 탐색 범위는 흐름장의 상태에 따라 달라진다. 탐색 범위를 작게 잡을 경우 분석 시간이 절약되고 정확도를 높일 수 있으나, 지나치게 작게 되는 경우는 오히려 유속 분포 추정에 큰 오류를 범할 가능성이 있다. 반면에 탐색 범위를 크게 잡을 경우에는 유속 분포 추정에 큰 오류를 범할 가능성은 줄어들지만, 분석 시간이 길게 되며 전반적인 정확도는 낮아지게 된다. 따라서, 적절한 탐색 범위의 설정은 영상 분석의 정확도 향상에서 큰 관건이 된다.

실험실 수로의 경우 유속 분포에 대해 사전에 알고 있는 경우가 많으며, 유속이나 수위가 크게 변하지 않으므로, 적절한 탐색 범위의 선정이 어렵지 않다. 그러나, 하천 현장에 적용되는 고정식 표면 영상 유속계(Fixed-type Surface Image Velocimetry, FSIV)의 경우, 수위와 유량이 급변하고 또한 수위에 따른 유속 분포의 변화가 매우 심하므로 적절한 탐색 범위의 선정이 용이하지 않다.

따라서, 본 연구에서는 주어진 하천의 단면 정보를 활용하여 보다 적절한 탐색 범위를 설정하는 기법을 제안하고자 한다.

2. 고정식 표면 영상 유속계 시스템

2.1 시스템 개요

본 연구에서는 유량측정의 새로운 대안으로 FSIV 시스템을 2007년 6월 달천(수전교)에 설치하여 유량 측정을 수행하였다. 그 결과 FSIV 시스템을 통하여 얻은 유량측정 성과를 괴산댐 방류량과 비교하여 유량측정의 타당성을 검토하였으며, FSIV 시스템을 구축함에 따라 발생하는 문제점에 대한 분석과 개선책을 찾으려 노력하였다.

FSIV 설치 지점은 그림 1에서와 같이 충청북도 괴산군 칠성면 부근의 달천에 위치한 수전교이다. 대상 지점의 평수시 하폭은 약 60 m, 홍수시는 약 100 m 정도이다. 1 km 정도 상류에는 괴산 댐이 위치하고 있다. 괴산댐의 방류량은 유지 방류량이 약 16 m³/sec이며, 홍수 때는 1,000 m³/sec에 이르기도 한다. 2007년 여름 홍수 기간에 관측된 최대 홍수량은 530 m³/sec 이었다.

FSIV 시스템은 수전교의 중앙 부분에 위치한 교각에 설치하였으며, 두 대의 디지털 카메라(Olympus UZ-640)와 한 대의 컴퓨터, 한 대의 압력식 수위계(CDP-100S)로 구성되어 있다. 두 대의 카메라는 하천을 폭방향으로 양분하여 약 절반 정도씩을 커버하도록 하였다. 영상은 각 카메라가 0.5초 간격으로 2매씩 총 4장의 사진을 30분 간격으로 촬영한다. 획득된 영상의 해상도는 680×480 화소이다. 이보다 고해상도의 사진을 얻을 수 있으나, 분석을 위해서는 이 정도 해상도도 충분한 것으로 보인다. 또한 촬영 간격을 30분 간격으로 설정하였으나, 이것도 홍수 때와 같이 흐름이 급변할 경우 더 짧은 간격으로 촬영할 수 있다. 그림 2는 수전교 현장에 설치되어 있는 다중카메라 방식의 영상획득시스템이다. 촬영된 영상은 관측소의 컴퓨터에 저장하고, 동시에 연구실에 있는 서버컴퓨터로 전송할 수 있도록 하였다.



그림 1. 연구 대상 위치



그림 2. 수전교의 고정식 영상 유속계

2.2 유량 측정 개요

이 FSIV 시스템의 핵심은 영상을 분석하는 소프트웨어이다. 그림 3은 영상 분석 소프트웨어의 주화면이다. Fig. 3에서 윗부분은 좌우 카메라에 의한 영상을 각각 보여주고 있으며, 왼쪽 아래는 유속 분포, 중앙 부분은 유량, 오른쪽은 수치 정보를 보여 주고 있다.

분석에서는 전체 단면을 좌우 각각 41×5개의 격자망으로 분할하고, 각 지점에서 유속을 분석하였다. 이 때, 영상 분석의 탐색 범위는 수위에 따라 자동적으로 변화하도록 하였다. 즉 수위가 높아서 유속이 빠른 경우는 영상의 변위가 크므로 더 넓은 범위를 탐색하도록 하였다.

다만, 그림 3에서는 카메라가 우안 고수부지의 일부를 커버하지 못하는 것으로 보인다. 즉, 우안의 경우 측정선의 일부가 잘려서(약 20 m 정도로 추정됨), 홍수 때 우안의 일부는 유량 측정이 안될 것으로 보인다. 즉, 홍수량이 클 경우 약간 과소 추정할 가능성이 있다.

2.3 유량 측정 결과

측정된 표면 유속은 노영신(2005)이 제안한 방법을 이용하여 평균 유속으로 환산하였다. 이 평균 유속과 수심을 곱하여 전부 더하면 전체 유량을 산정할 수 있다. FSIV에 의한 유량 측정 성과를 피산댐 방류량 자료와 비교하였다. 그림 4는 2007년 7월 23일~26일의 자료와 측정된 유량을 비교한 것이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 FSIV에 의해 측정된 유량은 댐 방류량 자료와 상당히 근접한 결과를 보여주고 있다. FSIV에 의한 측정 결과는 최대 15% 정도의 오차를 보이며, 대부분 5~10 % 이내의 오차로 유량을 산정하고 있다. FSIV의 측정에 필요한 인력과 경비 등을 생각한다면, 이 정도 오차는 획기적인 것으로 보인다.

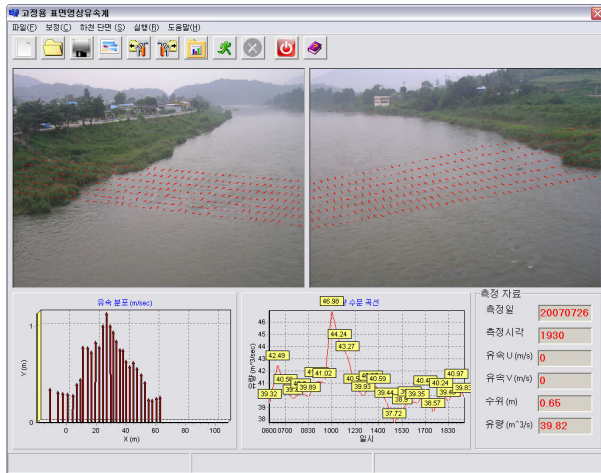


그림 3. FSIV 영상 분석 소프트웨어

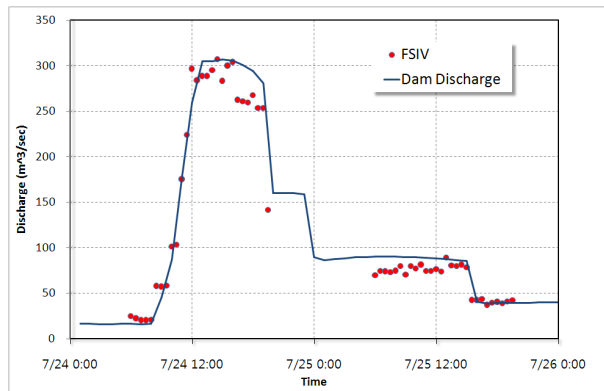


그림 4. 측정 유량과 방류량(2007/7/23-26)

2.4 시스템의 개선

현재의 FSIV 시스템에서는 흐름 상황 변화나 영상의 물리적 축척에 무관하게 일정한 탐색 범위를 설정하고 영상을 탐색하고 있다. 이 때 유속이 가장 빠른 하도 중앙부에서 탐색 거리가 모자라지 않도록 충분한 거리를 설정하며, 이 때문에 좌우 하안에 인접한 부분은 지나치게 먼 거리를 탐색하게 된다. 탐색 거리가 지나치게 클 경우 영상 분석 시간이 길어지며, 잘못된 분석에 따른 오류 백터의 발생 가능성도 그만큼 높아진다. 따라서, 하천의 유속 분포 형태에 기반하여 적절한 탐색 거리를 설정하도록 하면, 유속 분석의 시간이 줄어들고 측정 오류의 가능성도 줄어들게 된다. 탐색 거리는 각 측정선의 유속에 비례해야 하므로 각 측정선의 유속을 적절히 가정할 수 있어야 한다. 흐름을 등류로 가정하면, Manning 공식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$V_i = \frac{1}{n} R_i^{2/3} \sqrt{S} \quad (1)$$

여기서 V_i 는 측정선 i 의 평균 유속, R_i 는 측정선 i 의 동수 반경, S 는 경사이다. 폭이 넓은 수로($R_i \approx d_i$)라고 하면 다음과 같이 쓸 수 있다(Wu, 2007).

$$V_i = ad_i^r \quad (2)$$

여기서 d_i 는 측정선 i 의 수심, r 은 지수이며 $2/3$, a 는 계수이다. Manning 식을 고려한다면 $a = \sqrt{S}/n$ 으로 한 단면에서는 상수가 되어야 할 것이다. 그러나, 실제로는 수위에 따라 변하는 값이 된다. 그리고, 식 (2)는 실제 유속 분포를 정확하게 추정하는 데는 많은 문제가 있다. 그러나, 개략적인 범위를 추정하는 데는 문제가 없는 것으로 보인다. 따라서, 이를 유량에 대해 정리하면

$$Q = \sum_{i=1}^n V_i d_i b_i = \sum_{i=1}^n a d_i^{r+1} b_i \quad (3)$$

여기서 Q : 유량, b_i 는 각 측정선간의 거리이다. 만일 수위-유량 곡선이 있는 경우, a 를 쉽게 결정할 수 있

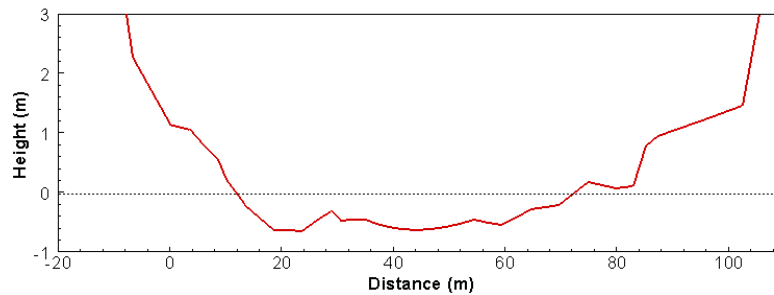


그림 5. 수전교 지점 횡단면

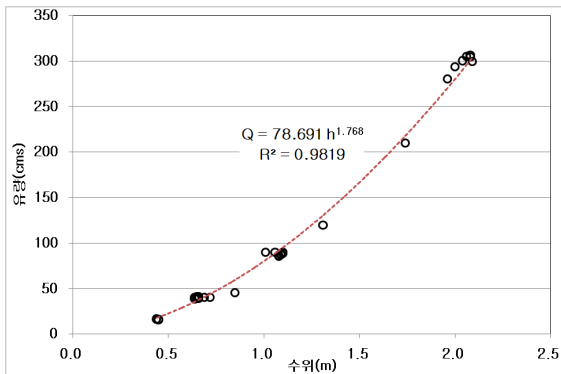


그림 6. 수전교 지점 수위-유량 곡선

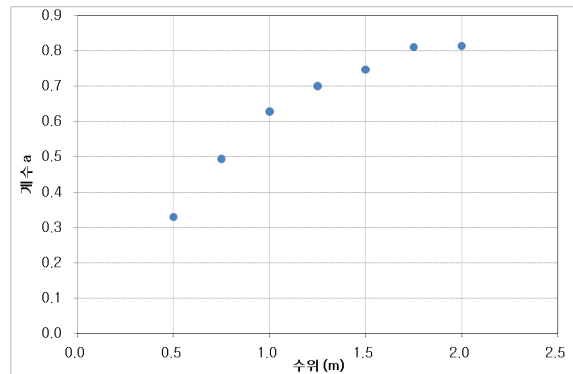


그림 7. 수전교 지점 $h-a$ 관계

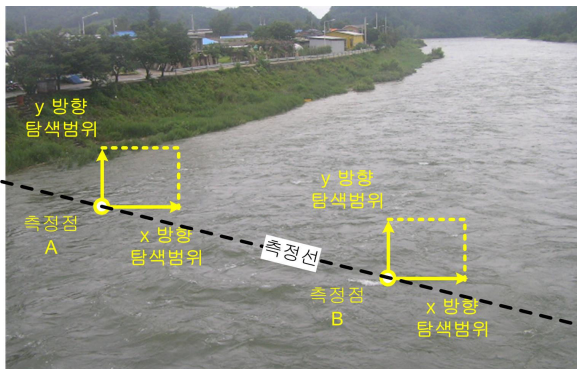


그림 8. 기존의 탐색 범위

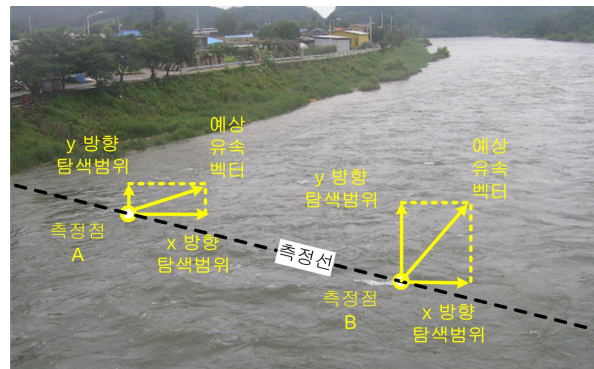


그림 9. 새 탐색 범위

다.

수전교 지점의 횡단면은 그림 5, 수위-유량 곡선은 그림 6과 같다. 또한, 위의 단면 자료와 수위-유량 곡선을 이용하여 계산하면, 수전교 지점에 대해서 계수 a 와 수위 h 의 관계는 그림 7과 같다. 그림 7과 식 (2)의 관계를 이용하면, 수위에 따라 각 지점의 유속을 추정할 수 있으며, 이 추정값을 이용하여 적절한 탐색범위를 선정할 수 있다. 이것을 탐색 범위의 형태로 나타내면, 기존의 탐색 방법은 그림 8, 새로운 탐색 방법은 그림 9와 같이 나타낼 수 있다. 이러한 새로운 탐색 방법을 채용하여 개량된 FSIV로 2007년 7월 23~24일의 홍수를 재계산하면, 그림 10과 같다. 그림 4와 그림 10을 비교하면, 새로운 방법이 훨씬 정확하게 홍수량을 추정하였음을 알 수 있다. 수치적으로는 기존 방법의 유량 측정 오차의 표준 편차가 15%인데 반하여, 새로운 방법에서는 7%로, 약 절반 정도로 현저하게 감소하였다. 다만, 이 방법은 기존의 유량 측정 자료가 있을 경우에 유효하며, 새로운 지점에서는 식 (2)의 a 를 영상에서 추정하는 데 어려움이 있을 수 있다.

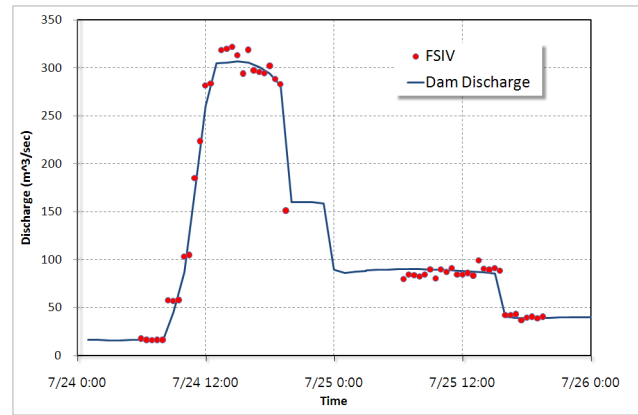


그림 10. 새 방법에 의한 측정 유량과 방류량(2007/7/23-26)

3. 결론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 수전교 지점에 설치된 고정식 영상 유속계에서 탐색 범위를 결정하기 위해, 수심을 이용하여 유속 분포를 추정하는 식을 제안하였다.
- (2) 이렇게 계산된 유속 분포식을 이용하여 탐색 범위를 결정하는 새로운 방법을 적용하였다. 그 결과 기존 방식에 비해 오차를 절반 정도로 줄일 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원지원(과제번호 2-1-1)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

김서준 (2007), 표면영상유속계를 이용한 유량측정기법의 정확도 분석, 명지대학교 토목환경공학과, 석사학위논문.

노영신, 윤병만, 김영근, 유권규 (2002). "개수로 실험장치를 이용한 LSPIV기법의 검증", 한국수자원학회 학술발표회, pp. 982-988.

노영신 (2005), 영상해석기술을 이용한 하천유량측정기법 개발, 명지대학교 토목환경공학과, 박사학위논문.

Fujita, I., and Komura, S. (1994). "Application of video image analysis for measurements of river surface flows." Proceedings of Hydraulic Engineering, JSCE, 38, pp. 733-738.(in Japanese).

Fujita, I., Muste, M. and Kruger, A. (1998), "Large-Scale Particle Image Velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering application", Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.36, No.3, 397.