

# 표면영상유속계(SIV)를 이용한 현장유량측정

## Field Measurement of Water Discharge by using Surface Image Velocimetry

김서준\* · 주용우\*\* · 류권규\*\*\* · 윤병만\*\*\*\*

Kim, Seo Joon · Joo, Yong Woo · Yu, Kwonkyu · Yoon, Byungman

### Abstract

Surface Image Velocity (SIV) is a technique which measures the surface velocity of river by using the principle of Particle Image Velocimetry (PIV). The technique is economical and efficient way to measure velocity in rivers. The present paper aims to apply the technique to three rivers in Korea. It uses pairs of river surface images taken with two digital-cameras and reference points and cross section data which were acquired through plane survey. The performance of SIV was verified with automatic cart on an experimental flume. The test revealed that average error was less than 10 %, which assures that SIV can be used to measure velocity accurately. When it was applied to rivers with low water levels or rough weather condition, however, it showed the error about 20 %. If the problems of SIV technique are settled down, it can be one of the most convenient and economical ways to measure water discharge anytime and anywhere. And then it would be helpful to river management as developing a real-time river information system.

**key words** : Surface Image Velocimetry(SIV), water discharge measurement, image analysis

### 요 약

표면영상유속계(SIV)는 기존의 입자영상유속계(PIV)의 원리를 이용하여 하천의 표면유속을 측정하는 방법이다. 본 연구에서는 경제적이고 효율적인 유속측정 기법인 SIV 기법을 이용하여 국내 3개 하천에 대하여 현장 유량측정에 적용하였다. 현장 영상분석은 다중카메라 방식을 이용하였고 영상분석과정에 필요한 참조점과 횡단면 자료는 측량을 통하여 획득하였다. SIV로 측정된 유속을 검증하는 수로 실험의 결과, 평균오차 10% 이내의 정확도를 보여 정확한 유속측정이 가능함을 확인하였다. 그러나, 실제 하천에의 적용에서는 저수위시와 악천후시에 대해서는 20% 이내의 오차를 보이는 것으로 나타났다. 향후 SIV 기법의 문제점들을 해결한다면 언제 어디서나 효율적이고 경제적인 유량측정을 할 수 있을 것이다. 그리고 이를 활용하여 실시간 하천정보시스템으로 발전시킴으로써 하천 관리에 큰 도움이 될 것이라 판단된다.

## 1. 서 론

최근 기상이변 등으로 인한 하천의 홍수 재해에 대비하기 위한 예방 차원의 연구들이 많이 이루어지고 있다. 이는 친환경 도시개발을 목적으로 하천 주변이 개발됨에 따라 과거와 비교하여 홍수로 인한 인명과 재산 피해가 크게 발생되기 때문이다. 이에 따라 수자원 관련 계획의 기초자료인 하천의 유량측정에 많은 관심이 집중되고 있다. 하지만 기존의 하천유량측정 기법인 유속계측정법과 봉부자를 이용한 측정법은 유량측정시 하천에 직접 나가야하는 어려움이 있었다. 이를 보완하고자 본 연구에서는 SIV를 현장에 설치하여 유량측정을 실시하였다. SIV는 기존의 입자영상유속계(Particle Image Velocimetry, PIV)를 응용한 방법으로 수표면의 움직임을 이용하여 유속을 측정하는 방법이다(Yu, 2004; Fujita et al., 2005). SIV 기법은 영상분석을 수행하는 과정만으로 유량측정이 가능하기 때문에 기존 유량측정 방법과 비교하여 측정 시간과 인력이 대폭 감

\* 명지대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail: seojuny@paran.com

\*\* 명지대학교 토목환경공학과 석사과정

\*\*\* 동의대학교 토목환경공학과 교수

\*\*\*\* 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 교수

소되는 효과를 볼 수 있다(노영신, 2005). 뿐만 아니라 언제 어디서나 원하는 시간대의 유량측정이 가능하기 때문에 기존 방법들과 비교하여 자유로운 측정이 가능하였다. 이에 본 연구에서는 3개 하천에 SIV기법을 적용하여 유량측정 성과의 정확도 분석을 수행하고 향후 활용 방안을 검토하였다.

## 2. 표면영상유속계(SIV)를 이용한 유속 및 유량측정

### 2.1 표면영상유속계(SIV)의 소개

표면영상분석은 일정 시간 간격의 한 쌍의 영상들을 분석하여 표면의 움직임에서 변위를 구하고, 여기에 각 영상들의 시간 간격을 곱하여 표면 유속을 구하는 것으로 눈으로 보이지 않는 물의 흐름을 가시화함으로써 유속을 구하는 과정이다. 여기에 표면 유속과 평균 유속의 관계(노영신, 2005)를 이용하고, 하천 횡단면을 적용하여 유량을 산정한다. 표면영상분석을 위한 분석 과정은 Fig 2.1와 같다.

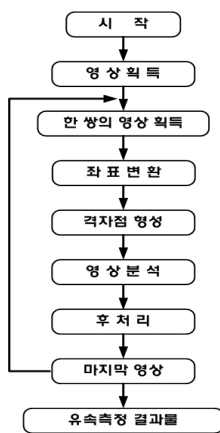
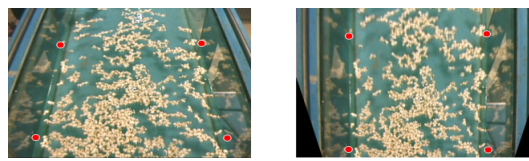


Fig 2.1 분석과정



(a) 왜곡영상 (b) 보정영상

Fig 2.2 영상의 좌표변환

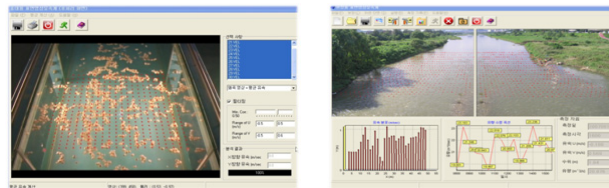


Fig 2.3 MSIV와 FSIV

유량측정을 위해 카메라를 이용하여 촬영된 영상에서 발생하는 왜곡은 평행하지 않은 두 좌표계간에 발생하는 왜곡이기 때문에 2차원 투영좌표변환법을 이용하여 좌표변환을 하여야 한다. 좌표변환 결과는 Fig 2.2와 같다. 그리고 보정된 영상을 이용한 SIV 분석에서는 연속되는 두 영상의 검색영역(searching area) 내에서 각 입자군의 상관계수를 계산하여 최대 상관계수를 갖는 입자군을 동일 입자군으로 판별하고, 입자군간 도심의 이동거리를 두 영상의 시간간격으로 나누어 유속벡터를 계산한다. 마지막으로 후처리 과정을 통하여 시간 평균과정에서 상관계수의 기준범위를 0.70~0.99로 설정하여 이 범위를 벗어나는 유속벡터에 대해서는 시간평균에 포함되지 않도록 하였다. 그리고 SIV는 Fig 2.3과 같이 사용상 분류를 하여 실험실에서 사용하는 휴대용 표면영상유속계(MSIV, Mobile Surface Image Velocity)와 넓은 하천의 유량측정을 위한 고정식 표면영상유속계(FSIV, Fixed Surface Image Velocity)로 나누었다.

### 2.2 다중카메라 방식을 이용한 SIV 유량측정

현장 유량측정은 현장에 카메라를 고정시키는 방법으로 촬영위치의 선정이 무엇보다 중요하다. 영상분석을 통한 현장의 흐름 상태를 정확하게 분석하기 위해서는 정사영에 가까운 영상을 획득하여 분석하는 것이 정확도 높은 결과를 얻을 수 있다. 하지만 폭이 넓은 하천의 경우에는 현장 상황에 따른 제약이 있으므로 촬영장비를 높게 설치하지 못하는 경우가 있어 정확도 높은 분석이 어려웠다. 이에 본 연구에서는 하천의 횡단면을 동일한 각도에서 바라볼 수 있는 다중카메라 방식의 영상분석 기법을 제시하였다. 다중카메라 방식은 하천의 폭에 상관없이 카메라의 수를 늘려가면서 하천의 흐름 상태를 촬영하는 것이다. 예를 들어, 카메라 두대를 교량 가운데에 설치하여 하나는 좌안 쪽을 촬영하고, 다른 하나는 우안 쪽을 촬영하는 방식이다. 따라서 다중카메라를 이용한 영상분석의 정확도분석을 위해서 기존의 현장 유량측정 방법과 다중카메라를 이용한 방법을 비교하였으며, 유속계측정법 결과와 비교 검토하였다. Fig 2.4은 측면영상을 이용한 유속측정방법이고, Fig 2.5는 다중카메라 방식을 이용한 유속측정 방법이다. Fig 2.6는 유속측정 결과를 비교한 그래프이다.

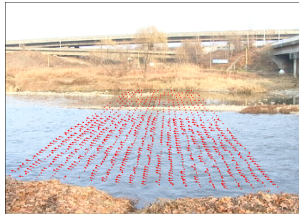


Fig 2.4 측면영상을 이용한 방법

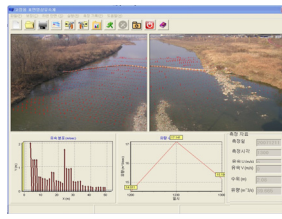


Fig 2.5 다중카메라 방법

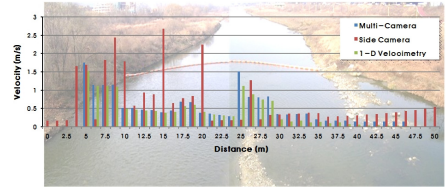


Fig 2.6 유속측정 결과 비교

비교 결과 측면에서 촬영한 영상을 분석한 결과는 다중카메라로 촬영한 영상을 분석한 결과와 많은 차이를 보였다. 특히 측면에서 촬영한 영상을 분석한 결과는 근거리에서는 유속이 크게 나오는 반면 원거리에서는 작게 산정되는 경향을 보였다. 위와 같은 결과를 보였다. 그리고 다중카메라를 이용할 경우 유속계를 이용한 측정 결과와 10% 이내의 오차를 보였다. 이는 기존의 다른 유량측정 방법들과 비교 하였을 때 우수한 오차 범위를 보이는 결과로 판단된다.

### 3. 표면영상유속계(SIV)를 이용한 현장유량측정

SIV를 이용하여 현장의 유량측정을 실시하였다. 현장 자료는 10분 단위로 2쌍의 영상(각 카메라 별로 한 쌍의 영상)을 획득하였으며, 영상사이의 시간간격은 0.5초로 설정하였다.

#### 3.1 달천 수전교

영상 촬영은 괴산댐으로부터 500m 하류에 위치한 수전교 부근에서 수행하였다. 그리고 직상류에 위치한 괴산댐의 방류량과 표면영상유속계를 이용한 유량측정 결과를 비교하여 정확도를 분석하였다. Fig 3.1~3.2는 현장 영상획득시스템과 참조점 측량성과, Fig 3.3은 유량측정성과이다.



Fig 3.1 영상획득시스템

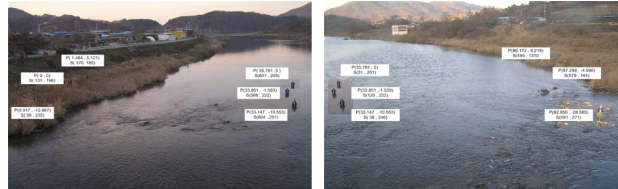


Fig 3.2 참조점 측량성과

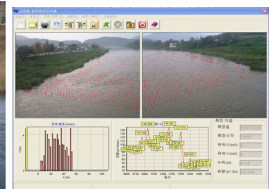


Fig 3.3 유량측정성과

Fig 3.4는 괴산댐 방류량과 SIV 유량측정성과를 비교한 그래프이다. 비교 결과 고유량시 우안의 고수부지가 영상에 포함되지 못하여 분석이 이루어지지 못한 이유로 유량측정 성과가 약 20% 오차를 보였으나, 대부분 약 10%이내의 오차로 비교적 정확한 유량측정성과를 보였다. SIV 기법의 적용 결과 야간에는 영상획득이 어렵기 때문에 유량측정을 하지 못하였고, 저수위시와 악천후시에는 바위에 부딪혀 수표면이 튀는 현상,강우로 인해 영상이 뭉개지는 현상 및 바람에 따른 수표면의 왜곡 등으로 인하여 오차가 20%까지 발생함을 확인하였다.

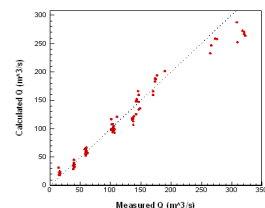
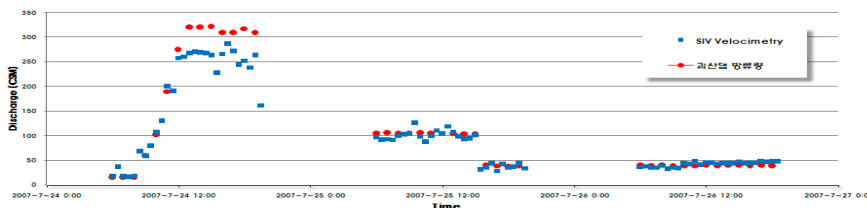


Fig 3.4 SIV를 이용한 유량측정 결과와 괴산댐 방류량과의 비교

### 3.2 탄천의 대곡교

탄천의 대곡교 지점은 현장 유량측정을 위해서 표면영상유속계를 이용하여 2006년 6월부터 현재까지 유량측정을 수행하고 있는 지점이다. Fig 3.5는 현장 영상획득시스템이고, Fig 3.6은 유량측정성과이다.



Fig 3.5 영상획득시스템

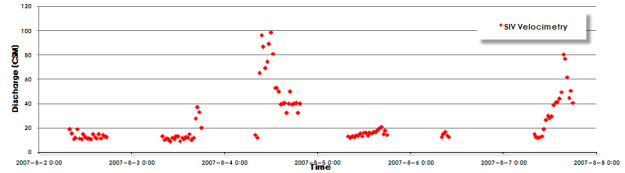
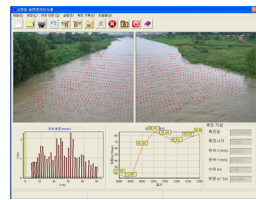


Fig 3.6 유량측정성과

### 3.3 중랑천의 중랑교

중랑천의 중랑교 지점은 현장 유량측정을 위해서 표면영상유속계를 이용하여 2007년 11월부터 현재까지 유량측정을 수행하고 있는 지점이다. Fig 3.7는 현장 영상획득시스템이고, Fig 3.8은 유량측정성과이다.



Fig 3.7 영상획득시스템

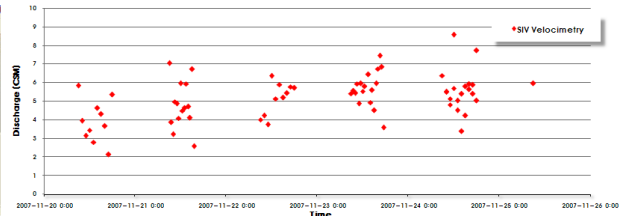
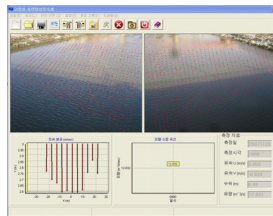


Fig 3.8 유량측정성과

## 4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 SIV 기법을 이용하여 현장 유량측정을 수행하여 유량측정성과를 검토하였다. 검토 결과 기존 유량측정 방법에 비하여 매우 간단하고 신속하게 결과를 도출할 수 있었다. 뿐만 아니라 정확도도 10%이내의 오차를 보이고 있어서 신뢰할 수 있는 유량측정성과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 SIV는 하천의 유속장을 측정하기 때문에 하천의 흐름 특성을 가시화하여 분석할 수 있다는 장점도 있다. 따라서 향후 다양한 하천에 SIV 기법을 적용한 후 하천정보시스템을 구축할 경우 유량자료를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 실시간 획득되는 하천의 연속된 영상을 통하여 홍수 피해 상황 등을 정확하게 파악할 수 있기 때문에 홍수 재해에 대한 예경보시스템으로 활용할 수 있고, 유량 변화에 따른 장기간 하천의 변화를 살펴볼 수 있는 하천모니터링시스템으로 발전시킬 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 현재 야간의 영상획득과 악천후시 표면유속을 평균유속으로 환산하는 과정등과 같은 현황 문제점들에 대한 연구가 좀 더 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

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

### 참고문헌

1. Yu, K. (2004). "Particle tracking of suspended-sediment velocities in open-channel flow." Ph.D thesis, Univ. of Iowa, Iowa city, IOWA.
2. 노영신 (2005). "영상분석 기법을 이용한 하천유량측정 기법 개발," 명지대학교 토목환경공학과 박사학위논문.
3. Fujita, I., Watanabe, H., and Tsubaki, R. (2005). "Efficient analysis method for river flow measurement using space-time images," 31th Congress, Sep. 11~16, Seoul, Korea