

적외선 카메라를 이용한 야간유속측정 방법 개발

Development of a Velocity Measurement Method at Night Time using an Infrared Camera

김서준*, 류권규**, 윤병만***

Seojun Kim, Kwonkyu Yu, Byungman Yoon

요 지

최근 개발된 표면영상유속계(Surface Image Velocimetry, SIV)는 하천 표면의 영상을 분석하여 유속을 산정하는 매우 실용적이며 간편한 유속측정 방법이다. 그러나, 표면영상유속계는 수표면의 움직임을 계산하여 표면유속을 산정하기 때문에 야간의 경우 획득영상시 수표면의 움직임을 확인할 수 없어 유속측정이 어렵다는 단점이 있었다. 이 때문에 표면영상유속계의 간편성과 유용성에도 불구하고, 주간에만 유속측정이 가능하여 연속적인 하천유량측정을 하기 어려웠다. 과거 수표면에 야광 입자를 흘려보내면서 야간유속측정을 실시하였으나 대하천의 경우 야광 물질의 크기가 작아 영상내에서 식별이 어렵고, 측정시마다 야광 입자를 뿌려 주어야 하기 때문에 환경적인 문제가 있다.

이에 본 연구에서는 적외선 카메라를 이용하여 야간에도 영상획득이 가능하도록 시스템을 개선하였다, 야간 영상획득 장비는 최대 가시거리가 200 m까지 가능하고, 주야간 모두 영상획득이 가능하도록 시스템을 구성하였다. 적외선 카메라에서 획득된 동영상은 초당 최대 30장까지 자동 분할이 가능하여 홍수시 고유속을 분석하기에 문제가 없도록 제작하였다. 이와 같이 제작된 야간유속측정 시스템을 이용하여 동일한 유속조건에 대하여 현장에서 주간과 야간 표면유속 측정의 정확도 분석을 수행한 결과 만족스러운 결과를 얻었으며, 향후 실제 하천유량측정에 적용하게 된다면 보다 간편하게 실시간으로 주야간 유량측정이 모두 가능할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 표면영상유속계, 적외선카메라, 야간유속측정

1. 서 론

하천의 유량을 측정하는 일은 상당히 많은 인력과 경비가 소요될 뿐만 아니라 많은 위험요소들을 갖고 있다. 따라서 최근에는 표면영상유속계(SIV, Surface Image Velocimetry)와 같이 표면유속을 측정하고 이를 이용하여 유량을 산정하려는 연구가 국내외적으로 많이 진행되고 있다(Fujita, 1997, 노영신, 2005, 김서준 등, 2007). 또한 노영신 등(2002, 2004)은 활차를 이용하여 LSIV의 표면유속 측정결과를 검증하고, 현장 유량측정에 적용하였다. 또한, 여흥구 등(2006)과 같이 수리실험에서 흐름장을 분석을 위해 SIV를 이용하기도 하였고, 김서준 등(2007)과 같이 SIV를 하천 현장에 고정적으로 설치하여 표면유속을 측정하여 실시간으로 유량 측정을 하려는 시도도 있었다.

SIV에 의한 표면 유속 측정은 가장 큰 장점은 매우 경제적이며, 단시간에 유속 측정을 할 수 있다는 점이다. 측정에 소요되는 시간도 수 초 정도의 녹화된 동영상 또는 수십매 정도의 정지 영상이면 충분하므로, 기존 측정방법에 비해 측정시간을 약 1/10로 단축할 수 있다. 따라서 SIV를 이용한 유량측정 방법은 홍수 측정시 유량이 급격하게 변화하여 신속한 측정이 필요한 경우에 특히 유용한 방법이다. 또한, 사용하는 측정 장비가 캠코더와 같은 간단한 촬영장치 뿐이므로 측정인원도 기존의 3~4 명에서 1~2 명으로 줄어, 측정 작업

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

** 정희원 · 동의대학교 토목공학과 교수 · E-mail : pururumi@deu.ac.kr

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

을 더욱 효과적으로 수행할 수 있다. 또한 SIV는 하천 현장에 고정적으로 설치하면 유량 측정을 할 수 있기 때문에 언제 어디서나 현장의 유량 측정 자료를 실시간으로 측정할 수도 있다. 아울러, 전체 흐름장을 파악할 수 있어 교각 또는 수제와 같은 구조물 주변의 국부적인 흐름변화를 파악하기가 용이하다. 따라서 유량측정의 활용뿐만 아니라 수리모형실험 및 하천의 주요 관심영역에 대한 흐름장을 파악하는데도 편리하게 활용될 수 있다.

하지만 SIV는 영상을 이용하여 표면의 움직임을 계산하기 때문에 영상에 표면의 움직임이 없는 경우에는 적용할 수 없는 단점이 있다. 예를 들어 빛이 없는 야간의 경우와 저유속의 경우에는 표면의 움직임을 영상에서 찾을 수 없기 때문에 분석이 불가능했다. 특히 하천 유량조사를 위해서는 야간에 홍수가 올 경우 측정이 불가능하다는 단점이 있기 때문에 연속적인 유량측정이 어려웠다. 이에 본 연구에서는 야간에도 촬영이 가능한 적외선 카메라 시스템을 이용하여 하천의 표면유속을 측정하였다. 그리고 주간과 야간의 표면유속 측정 결과를 비교하여 정확도를 분석하였다.

2. 표면영상유속계(SIV)의 분석과정

표면영상유속계(SIV)로 유속벡터를 계산하기 위해서는 연속되는 두 영상 내에서 동일 입자군을 판별해야 한다. SIV는 동일 입자군의 판별을 위해 PIV의 영상 판별 기법으로 가장 널리 이용되고 있는 상호상관(cross-correlation) 기법을 사용하고 있다. cross-correlation 기법은 실제로 완벽하게 일치하는 동일 입자군을 판별하기 어렵기 때문에 두 영상내에서 상관계수가 가장 높은 입자군을 동일입자군으로 판별해서 이동거리를 구하는 기법이다(Fujita, 1997, 노영신, 2005). 자세한 분석절차는 그림 1에서 보는 바와 같이 상관영역(interrogation area)을 설정한 후 흐름장 유속을 개략적으로 파악하여, 동일한 입자군이 이동될 수 있는 범위 즉, 탐색영역(searching area)을 설정한다. 각 상관영역의 상관계수 R_{ab} 의 계산은 연속되는 두 번째 영상의 검색영역에서 상관영역을 pixel 단위로 이동하면서 모든 상관영역에 대해 수행된다. 두 입자군 즉, 상관영역 간의 상관계수 R_{ab} 는 연속되는 두 영상의 상관영역내 명암 등급값 a_{ij} 와 b_{ij} 로부터 계산되며, 검색영역내에서 상관계수가 최대값을 갖는 두 상관영역은 서로 동일한 입자군으로 판단한다. 이와 같은 방법으로 모든 입자군의 이동거리가 구해지고 이를 두 영상의 시간간격으로 나누면 속도분포가 구해지게 된다. 상관계수 R_{ab} 는 다음 식 (1)과 같이 정의 할 수 있다.

$$R_{ab} = \frac{\sum_{i=1}^{MX} \sum_{j=1}^{MY} [(a_{ij} - \bar{a}_{ij})(b_{ij} - \bar{b}_{ij})]}{\left[\sum_{i=1}^{MX} \sum_{j=1}^{MY} (a_{ij} - \bar{a}_{ij})^2 \sum_{i=1}^{MX} \sum_{j=1}^{MY} (b_{ij} - \bar{b}_{ij})^2 \right]^{1/2}} \times \frac{\min(\bar{a}_{ij}, \bar{b}_{ij})}{\max(\bar{a}_{ij}, \bar{b}_{ij})} \quad (1)$$

여기서, $\bar{a}_{ij} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N a_{ij}$, $\bar{b}_{ij} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N b_{ij}$ 이다.

그리고 MX와 MY는 상관영역의 크기를 나타내며, a_{ij} 와 b_{ij} 는 각각 연속되는 두 영상내 상관영역의 pixel에 대한 i 열과 j 행에 대한 명암 등급값을 나타낸다. \bar{a}_{ij} 와 \bar{b}_{ij} 는 상관영역 내의 모든 명암 등급 값의 평균이다.

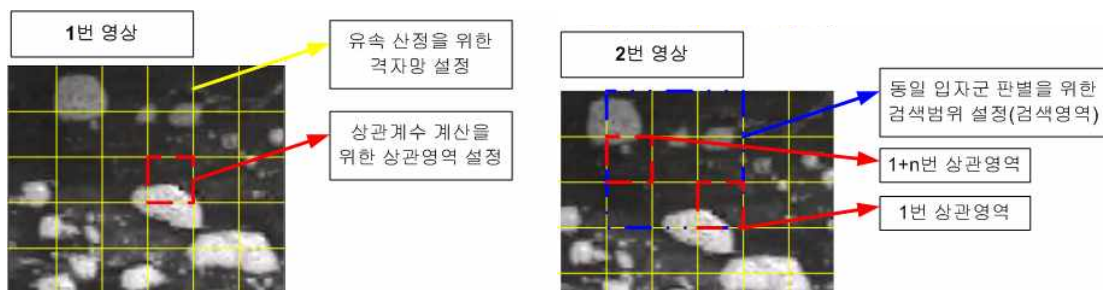


그림 1. SIV 표면유속 산정과정

3. SIV를 이용한 주간과 야간 표면유속 측정 결과 비교

본 연구에서는 적외선 카메라를 이용한 표면유속 측정 방법에 대한 정확도 분석을 수행하기 위해서 우선 실험수로에서 빛의 밝기에 따른 SIV의 정확도 분석을 수행하여 SIV의 정확도를 확보할 수 있는 빛의 밝기 범위를 분석하였다. 그리고 적외선 카메라를 현장에 적용하여 주간과 야간의 표면유속 측정 결과를 비교 분석하였다.

3.1 빛의 밝기에 따른 SIV의 정확도 분석

적외선 카메라의 현장 적용 전에 실험실에서 조명을 이용하여 빛의 밝기를 조절하면서 SIV가 정확도를 확보할 수 있는 유속측정 결과를 얻을 수 있는 빛의 범위를 분석하였다. 실험은 폭이 0.8 m이고, 높이는 0.7 m인 구형단면 실험수로에서 수행하였다. 그리고 조명을 이용하여 빛의 밝기를 조절할 수 있도록 하였으며, 빛의 밝기에 대한 기준단위로는 Lux(=광속/면적)를 사용하여 조도계를 이용하여 측정하였다. 그림 2는 실험수로, 조도계 및 유속측정 영역이다.



그림 2. 빛의 밝기에 따른 정확도 분석을 위한 실험 장치와 유속측정 영역

실험 결과 SIV를 이용한 표면유속 측정은 표 1에 보이는 바와 같이 150 Lux이상일 경우에는 측정영역의 유속장이 균일하게 분석됨을 확인할 수 있고, 빛의 밝기가 110 Lux일 때 1차원 프로펠러 유속계와 SIV를 이용하여 표면유속을 측정한 결과 약 5 % 정도의 오차를 보였다. 따라서 SIV의 현장 적용시 최소한 150 Lux 이하의 밝기에서는 일반 캠코더를 이용하여 획득한 영상은 정확도가 떨어질 것으로 판단된다.

표 1. 빛의 밝기에 따른 SIV의 정확도 분석 결과

실험 조건	보정 영상	영상분석 결과	실험 조건	보정 영상	영상분석 결과
10 Lux			30 Lux		
70 Lux			110 Lux		
150 Lux			300 Lux		

3.2 적외선 카메라를 이용한 SIV의 표면유속 측정 결과

빛이 없는 경우에도 SIV를 이용하여 표면유속을 측정하기 위해서 본 연구에서는 그림 3(a)와 같이 야간 최대 가지거리가 200 m까지 가능하고, 주간야간 모두 영상획득이 가능한 적외선 카메라를 이용하여 SIV 시스템을 구성하였다. 그리고 실제 하천에 적용하여 야간 표면유속 측정의 가능성을 확인하였다. 현장 적용은 하폭이 약 50 m 정도인 경안천 상류를 선택하였으며, 수표면의 움직임이 육안으로도 확인 가능한 낙차공 직하류를 측정영역으로 선정하였다. 촬영된 영상은 주간 및 야간 모두 초당 30프레임의 NTSC 표준 비디오 방식을 이용하여 10초간 촬영된 것이다. 영상의 각 프레임은 640 × 480 화소의 칼라 영상으로 이루어져 있다. 야간 표면유속 측정 결과의 정확도 분석은 그림 3(b),(c)와 같이 주간과 야간 표면유속 측정 결과를 비교하여 오차를 분석하였다. 주간과 야간 표면유속 측정 결과는 그림 4와 같다.



그림 3. 적외선 카메라를 이용한 SIV 측정

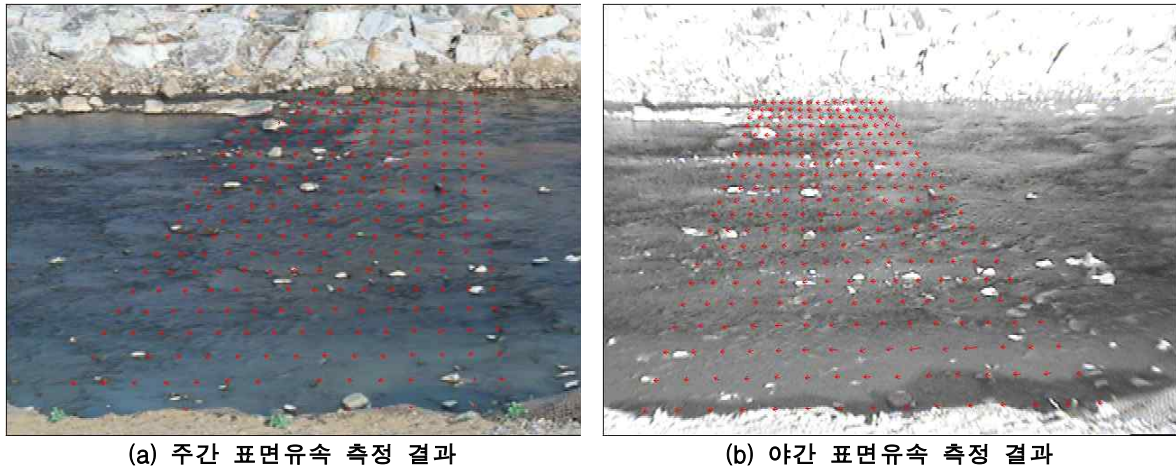


그림 4. SIV를 이용한 주·야간 표면유속 측정 결과

SIV를 이용한 주·야간 표면유속 측정 결과를 비교한 결과는 그림 5와 같이 횡방향으로 총 15개의 측선 중에 중앙에 위치한 5 ~ 9 측선에 대해 분석하였다. 주간 표면유속 측정 결과를 기준으로 야간 표면유속 측정 결과를 비교한 결과 오차율이 약 -8 ~ 22 %의 범위를 갖는 것을 확인하였다.

표면유속 측정 결과 중 흐름방향 유속을 평균하여 비교하면 주간에는 약 0.132 m/s, 야간에는 약 0.143 m/s를 보였으며, 상관계수 평균을 비교하면 주간에는 0.914, 야간에는 0.918로 거의 차이가 나지 않음을 확인하였다.

다만, 비교 영상이 같은 시간에 측정한 것이 아니기 때문에 시간에 따라 유량이 변화할 가능성이 있기는 하지만, 이러한 차이가 생기는 대부분의 원인은 야간 영상의 품질에 따른 것으로 보인다. 또한, 본 연구에서 대상으로 한 하천의 경우 유속이 작아 상대적으로 오차율이 크게 나왔고, 홍수시를 고려한다면 오차율은 감소할 것으로 판단된다.

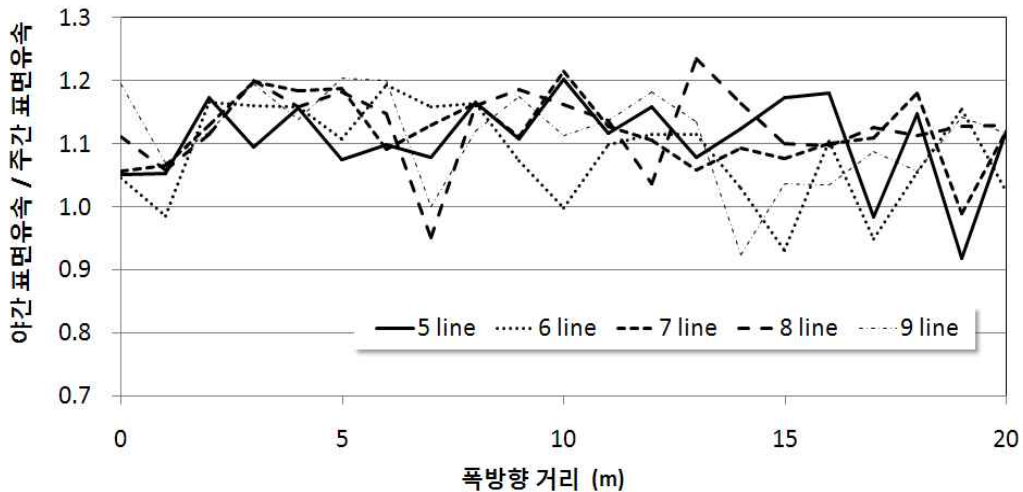


그림 5. SIV를 이용한 주간과 야간 표면유속 측정 결과 비교

4. 결 론

본 연구에서는 SIV의 적용상 한계인 빛이 없는 경우에 대해 적외선 카메라를 이용하여 야간 표면유속을 측정한 후 정확도 분석을 통해 적용성을 검토하였다.

우선 SIV의 빛의 밝기에 따른 SIV의 정확도를 분석한 결과, 약 110 Lux 에서는 부분적으로 정확도가 저하되면서 빛이 밝을 때와 비교하여 약 5 % 정도의 오차를 보였다. 이에 일반 캠코더를 이용한 영상 획득시 한계 빛의 밝기는 약 150 Lux 정도임을 확인하였다.

적외선 카메라를 이용하여 획득한 주간과 야간 영상을 이용하여 SIV로 표면유속을 산정한 결과 최대 27 % 정도의 오차를 보였다. 이는 대상하천이 유량이 작아 전반적으로 저유속을 보이는 것을 감안할 경우 실제 유속값 차이는 흐름방향으로 평균 0.012 m/s였으며, 상관계수 차이는 0.004로 거의 차이가 나지 않았다. 따라서 홍수시 적외선 카메라를 이용하여 표면유속을 구할 경우 오차율은 분명히 감소할 것으로 판단되기 때문에 신뢰할 수 있는 정확도를 갖을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호:2-1-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김서준, 윤병만, 류권규, 주용우(2007) “LSPIV기법을 이용한 탄천(대곡교) 유량측정” 한국수자원학회 학술 발표대회, p. 205
2. 노영신.(2005). 영상해석 기술을 이용한 하천 유량 측정 기법 개발, 명지대학교 박사학위논문.
3. 노영신, 윤병만, 김영근, 류권규.(2002). “LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry)를 이용한 표면유속의 측정”, 한국수자원학회 학술발표회. pp. 501-505
4. 여홍구, 노영신, 강준구, 김성중 (2006) “단일수제 설치에 따른 흐름중심선과 흐름분리영역의 변화,” 한국수자원학회논문집, 제39권 제4호, pp.313-320.
5. 주용우.(2009). “SIV 야간측정기법 개발 및 상관계수에 따른 측정오차분석”, 명지대학교 토목환경공학과, 석사학위논문
6. Fujita, I. Aya, S., and Deguchi, T. (1997) “Surface velocimetry measurement of river flow using video images of an oblique angle.” Proc. XXVII IAHR Conference, Thema B, Vol.1, San Francisco, CA., pp.227-232.