

# LSIV를 위한 흔들리는 영상의 보정 알고리즘의 개발

## Development of Correction Algorithm of Swayed Images for LSIV

류권규\*, 윤병만\*\*, 김주황\*\*\*

Kwonkyu Yu, Byungman Yoon, Juwhang Kim

### 요 지

LSIV (Large Scale Image Velocimetry)는 영상 처리 기술을 이용하여 수표면의 유속을 측정하는 장비이다. 처리가 용이한 좋은 LSIV의 영상을 만들기 위해서는 높은 고도에서 내려다 보며 영상을 획득하는 것이 측정의 정밀도를 높이는 데 도움이 된다. 이를 위해 트럭에 장착된 기중기를 이용하는 이동용 LSIV를 개발하고 있다. 이 때 기중기의 흔들림에 따라 획득된 영상이 흔들리는 문제가 발생하며, 영상의 흔들림을 보정하여 유속을 측정할 수 있는 영상 처리 알고리즘이 필요하게 된다. 이 연구에서는 PTV(Particle Tracking Velocimetry)의 입자 추적 알고리즘과 LSIV의 좌표 변환 알고리즘, LSIV의 유속 산정 알고리즘을 조합하여 흔들리는 영상에서 표면 유속을 측정하는 알고리즘을 개발하였다. 입자 추적 알고리즘은 비디오 카메라로 촬영된 연속 영상의 참조점들의 움직임을 추적하여 카메라의 위치 변동을 파악한다. 영상 분석된 결과들을 이러한 참조점들을 기준으로 변환하였다. 개발된 알고리즘의 검증은 위해서 실험 수로에서 동일한 흐름에 대해 흔들리지 않은 영상과 흔들리는 영상의 두 가지 영상을 만들었다. 흔들림이 없는 영상의 처리 결과를 기준으로 삼아, 흔들림이 있는 영상의 처리 결과를 검토하였다. 그 결과, 흔들림이 지나치게 커서 참조점들의 추적이 불가능한 경우를 제외하고는 두 자료의 처리 결과는 거의 동일하였으며, 유속 측정의 최대 오차는 약 5 % 내외로 나타났다. 이 오차는 흔들림 때문에 생기는 영상의 열화 때문으로 추정된다. 이 알고리즘은 이동용 LSIV 시스템에 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어 : LSIV, 표면 영상 유속계, 영상 처리, 흔들림 보정, 유속 측정**

### 1. 서 론

하천에서 유속을 측정하는 일은 상당히 많은 인력과 경비가 소요되며, 각종 사고의 위험을 안고 있는 작업이다. 따라서 최근에는 영상 유속계 (LSIV, Large Scale Image Velocimetry)나 전자파 표면 유속계 등을 이용하여 표면유속을 측정하려는 연구가 많이 진행 중이다. 표면 유속 측정은 매우 경제적이며, 단시간에 유속측정을 할 수 있으므로, 홍수와 같이 순간적으로 변하는 유속에도 적용할 수 있다. 이 중에서 LSIV는 비디오나 디지털 카메라를 이용하여 촬영한 영상을 분석하여 하천의 표면 유속을 측정하는 장치이다. 이 때 영상을 획득하기 위해서는 가급적 촬영 각도가 높아서 정사영에 가깝게 촬영하는 것이 영상 왜곡에 따른 측정의 오차를 줄일 수 있는 장점이 있다.

\* 정회원·신우엔지니어링 이사·E-mail : pururumi@hotmail.com

\*\* 정회원·명지대학교 토목공학과 교수·E-mail : bmyoon@mju.ac.kr

\*\*\* 정회원·명지대학교 토목공학과 석사 과정·E-mail : red\_soccer@hanmail.net

## 2. 이동용 LSIV 시스템

Iowa 주립대의 IIHR (Iowa Institute of Hydraulic Research)에서는 트럭에 기중기를 장착하고, 그 끝에 카메라를 달아서 영상을 획득하는 이동용 LSPIV (Mobile Large Scale Particle Image Velocimetry) 시스템을 개발하고 있다. 이 시스템은 트럭, 디지털 카메라, PTU (Pan and Tilt Unit), 노트북으로 이루어져 있다. 이 때, 영상 분석에 이용된 분석 소프트웨어는 본 연구에서 이용한 LSIV 프로그램과 같은 것이다(Kim et al. 2005).

그림 1은 이동 LSIV의 기본적인 개념도를 보인 것이다. 기본적인 원리는 트럭에 장착된 기중기 끝에 카메라를 설치하여 이 카메라에서 잡은 영상을 분석하는 것이다. 그것은 LSIV의 영상에서 가급적 높은 고도에서 작은 왜곡 각도로 획득한 영상이 영상 분석의 정확성을 높일 수 있기 때문이다. 그림 2는 실제로 제작된 이동 LSIV 시스템과 트럭의 기중기를 세운 모습이다. 이렇게 획득된 영상을 분석하는 과정에서 몇 가지 새로운 문제점들이 드러났다.

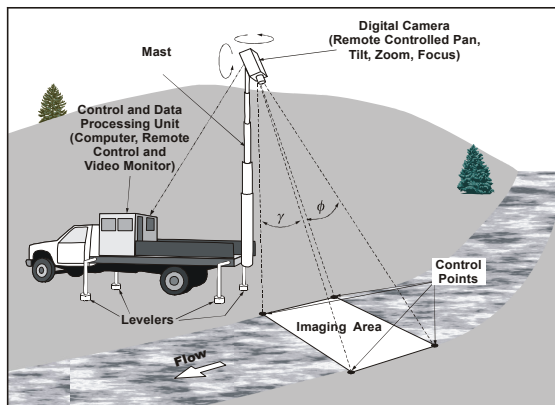


그림 1. 이동 LSIV 시스템 개요도



그림 2. 기중기를 올린 모습

가장 큰 문제는 영상의 흔들림이다. 현재까지 이 장비를 운용한 결과, 바람이 거의 없는 날은 어느 정도 분석이 가능한 영상을 얻을 수 있었으나, 조금이라도 바람이 있는 날은 그 흔들림 때문에 거의 분석이 불가능하였다. 그것은 현재 운용중인 디지털 카메라에 의한 최소 영상 획득 간격이 약 1초 내외로, 그 사이에 카메라의 흔들림에 따른 영상 변화가 지나치게 크기 때문이다. 따라서 이동 LSIV 시스템은 반드시 영상 흔들림을 보정할 수 있는 방법이 보완되어야 할 것이다.

## 3. 흔들림 보정 루틴

먼저 LSIV에서 한 쌍의 영상을 분석하는 과정을 살펴 보면 그림 3과 같다. 분석 과정은 크게 영상 획득, 영상 변환, 영상 분석의 세 단계로 나눌 수 있다. 여기서 카메라의 흔들림이 문제가 생기는 것은 2단계의 물리적 축척 계산 부분이나 3단계의 FFT에 영상 비교 과정이다. 따라서, 이동 LSIV의 개선을 위한 흔들림 보정 루틴은 다음과 같이 두 가지 대안을 생각할 수 있다. 첫째 방법은 두 번째 영상을 첫 번째 영상과 같은 좌표로 변환한 뒤 분석하는 방법이고, 다른 방법은 좌표 변환하지 않고 분석한 뒤 분석된 유속을 좌표 변환하는 방법이다.

### 3.1 좌표 변환법

영상의 좌표 변환은 주어진 4개 이상의 참조점을 이용하여 정사영을 만드는 과정으로 Fujita 등 (1997)에 의해 개발되었으며, 노영신 (2005)에 자세히 제시되어 있다. 2차원 투영좌표 변환법에 의한 실제 좌표계( $X, Y$ )와 영상 좌표계( $x, y$ )간의 관계식은 다음 식 (1)~식 (2)와 같다.

$$X = \frac{c_1x + c_2y + c_3}{c_4x + c_5y + 1} \quad (1)$$

$$Y = \frac{c_6x + c_7y + c_8}{c_4x + c_5y + 1} \quad (2)$$

여기서  $c_i$  ( $i=1,2,\dots,8$ )는 회전보정, 병진이동 보정, ( $x, y$ )좌표에 대한 직각보정과 평행하지 않은 두 좌표계간의 좌표보정을 위한 8개의 맵핑 계수이다. 식 (1)과 식 (2)로부터 왜곡된 영상의 ( $x, y$ )좌표로부터 보정된 실제좌표계의 ( $X, Y$ ) 좌표를 계산할 수 있다.

( $X, Y$ ) 좌표는 보정을 위한 지표면상의 기준점이 되고, ( $x, y$ )는 이에 해당하는 왜곡된 사진 상의 좌표가 된다. 식 (1)와 식 (2)는 기준점 각각에 대해 성립하며 8개의 미지수를 갖기 때문에 최소 4개의 기준점이 필요로 하나, 해석을 위해 4개 이상의 기준점을 두는 것이 좋다.

### 3.2 영상 분석법

LSIV의 영상 분석은 획득한 영상 위에 작은 크기의 상관 영역(interrogation window)을 설정한 후, 동일한 입자군이 이동될 수 있는 범위 즉 검색 영역(searching area)을 설정한다. 각 상관 영역의 상관계수  $R_{ab}$ 의 계산은 연속되는 두 번째 영상의 검색 영역내에서 상관영역을 화소단위로 이동하면서 모든 상관영역에 대해 수행된다. 두 입자군 즉 상관영역간의 상관계수  $R_{ab}$ 는 연속되는 두 영상의 상관영역내 명암 등급값  $a_{ij}$ 와  $b_{ij}$ 로부터 계산되며, 검색영역내에서 가장 큰  $R_{ab}$  값을 갖는 입자군을 동일한 입자군으로 판단, 두 입자군간의 이동거리를 산정하는 방식이다. 상호상관 기법에서의 상관계수  $R_{ab}$ 는 식 (3)과 같이 정의 할 수 있다.

$$R_{ab} = \frac{\sum_{i=1}^{MX} \sum_{j=1}^{MY} [(a_{ij} - \overline{a_{ij}})(b_{ij} - \overline{b_{ij}})]}{\left[ \sum_{i=1}^{MX} \sum_{j=1}^{MY} (a_{ij} - \overline{a_{ij}})^2 \sum_{i=1}^{MX} \sum_{j=1}^{MY} (b_{ij} - \overline{b_{ij}})^2 \right]^{1/2}} \quad (3)$$

여기서  $MX$ 와  $MY$ 는 상관영역의 크기를 나타내며,  $a_{ij}$ 와  $b_{ij}$ 는 각각 연속되는 두 영상내 상관영역의 픽셀에 대한  $i$ 열과  $j$ 행에 대한 명암 등급값을 나타낸다.  $\overline{a_{ij}}$ 와  $\overline{b_{ij}}$ 는 상관영역 내의 모든 명암 등급값의 평균이다.

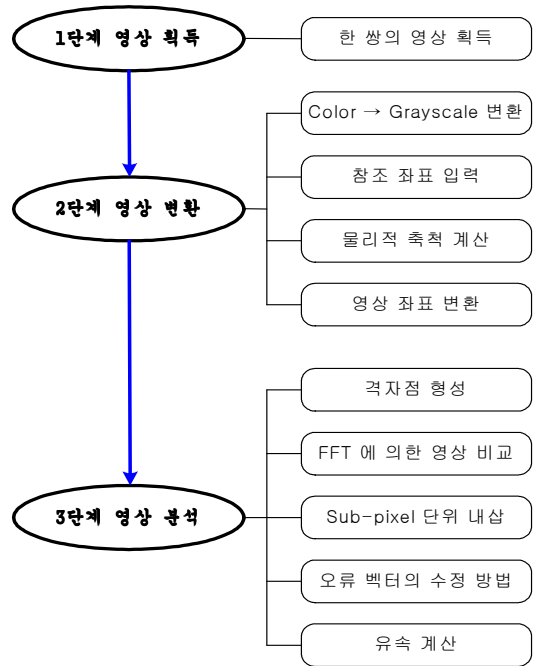


그림 3. LSIV의 분석 과정

### 3.3 좌표 변환후 영상 분석법

첫째 방법을 자세히 설명하면 다음과 같다. 먼저 가장 기본이 될 수 있는 영상을 첫째 영상으로 선정하고, 둘째 영상에서 기준점에 대한 PIV 분석을 수행하여 기준점들의 변위를 측정한다. 그 다음 LSIV의 좌표 변환 방법을 사용하여 두 영상을 공통의 물리 공간 좌표로 변환시키면 된다. 이 변환된 두 영상을 분석하면 중간에 흔들림이 있는 영상의 분석이 가능하다. 단, 이 방법에는 두 영상 사이의 시간 간격이 극히 짧아서 기준점들의 변위가 크지 않아야 한다는 근본적인 가정이 하나 들어간다. 그러나, 이것은 LSIV 분석에 문제를 초래할 위험이 있다. 즉, 일반적인 상용 비디오 카메라를 이용할 경우 각 프레임간의 변위는 너무 작아서 LSIV 분석에 오차가 크다는 것이다. 즉, 기준점의 PIV 추적에는 가급적 프레임간 시간 간격이 짧아야 하는 대신, LSIV 분석에서는 프레임간 시간 간격이 지나치게 짧아서는 안된다는 것이다.

### 3.4 영상 분석후 좌표 변환법

둘째의 영상 분석 후 좌표 변환법은 영상을 있는 그대로 분석하고 나서, 분석된 결과를 좌표 변환시키는 방법이다. 이 방법은 첫째 방법에 비해 영상의 변환시 불가피하게 발생하는 오차를 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한, 직접 영상의 좌표 변환을 하는 것이 아니라 분석된 수치를 좌표 변환 하는 것이기 때문에 계산 양을 줄일 수 있는 장점이 있다. 반면, 영상 분석 때 탐색 영역의 범위가 상대적으로 크게 되어야 하는 문제가 있다. 이 방법도 위의 좌표 변환후 영상 분석법과 마찬가지로 유체 추적자의 프레임간의 실제 변위가 지나치게 작거나 크면 문제에 봉착할 수 있다. 본 연구에서는 영상 분석후 좌표 변환법을 선택하였다. 이 방법이 좌표 변환후 영상 분석법보다 프로그램의 작성이나 응용이 간편하기 때문이다.

위의 두 가지 방법 모두, 카메라의 흔들림이 지나치게 커서 참조점의 추적에 실패할 경우 분석이 곤란해 지는 문제점이 있다. 그러나 일반적인 측정 상황, 즉 카메라의 흔들림이 작은 각도에 머물 경우 두 방법 모두 영상 분석에 큰 문제가 없는 것으로 보인다.

## 4. 적용 및 분석

### 4.1 분석 영상

개발된 두 방법을 비교하기 위해, 모형 교각의 실험 수로에서 비디오 카메라를 연직으로 하여 촬영된 영상을 이용하였다. 첫째 자료는 카메라를 완전히 고정하고 흔들림이 없게 하였으며, 둘째 자료는 인위적으로 카메라를 작은 폭으로 진동시키면서 촬영하였다. 두 자료 모두 약 6초 정도 (180 프레임)의 자료를 이용하였다. 획득된 영상을 두 부분으로 나누어 분석하였다. 첫째는 모형 교각 상류의 거의 균일한 흐름 상태(WO1)에 대한 분석이며, 둘째는 모형 교각 하류의 후류에 의한 비정상성이 있는 흐름(WO2)이다. 카메라의 흔들림이 있는 경우에 대해서도 교각 상류 흐름(WS1)과 교각 하류의 흐름(WS2)를 각각 분석하였다. 영상 분석에서 상관 영역의 크기는 31×25로 하였으며, 격자의 수는 25×35로 하였다.

### 4.2 적용 결과

위의 경우에 대한 비교 결과를 예로 보인 것이 그림 4는 흔들림이 없는 상태의 두 가지 분석 결과의 예를 보인 것이다. 그림 4에서 좌측의 벡터장이 모형 교각 하류의 흐름이고 우측의 벡터장이 모형 교각 상류의 흐름이다. 한편, 흔들림이 있는 경우의 순간 유속의 결과를 예로 보이면 그림 5와 같다. 이 경우 그림 4에 있는 4개의 참조점들의 좌표는 각각 (69,14), (530,6), (53,434),

(556,435)였으며, 이들이 움직인 위치는 각각 (68.12, 12.14), (530.17, 4.69), (52.76, 432.23), (555.90, 433.91)이었다. 그림 5의 결과에 이러한 카메라의 흔들림을 조점의 흔들림을 고려하여 좌표 변환을 하여 보정하면 그림 6과 같다. 이들 비교 결과를 쉽게 알수 있도록 모형 교각 상류 부분의 흐름 방향 유속을 흔들림이 없는 경우와 흔들림이 있는 경우에 대해 보정한 결과를 그래프로 나타내면 그림 7과 같다. 실제로 흔들림이 있는 경우와 없는 경우의 영상이 동일하지 않으므로 그 계산 결과가 같은 것은 아니다. 단, 모형 교각 상류의 흐름은 정상적이고 변함이 별로 없는 것으로 가정하면,  $\pm 10\%$  이내의 유속은 흔들림 보정 기법에 의해 정확하게 보정된 것으로 볼 수 있다. 그림 7에서  $\pm 10\%$  범위를 벗어나는 유속의 빈도는 약 5% 이내이다. 다시 말하자면 흔들림 보정 기법이 약 5% 이내의 오차로 보정이 가능하다는 의미라고 볼 수 있다.

## 5. 요약 및 결론

이 연구는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 흔들림이 있는 카메라에 의해 획득한 영상을 LSIV로 분석하기 위해 흔들림 보정 기법을 개발하였다. 이것은 참조점들을 PIV 영상 분석으로 추적하여 카메라의 흔들림을 파악하고 이것으로 이용하여 영상을 보정하거나 분석된 영상을 보정하는 방법이다.
- (2) 개발된 방법을 모형 교각 주위의 흐름에 대한 실험 영상에 적용한 결과 약 5% 이내의 오차로 보정이 가능하였다.

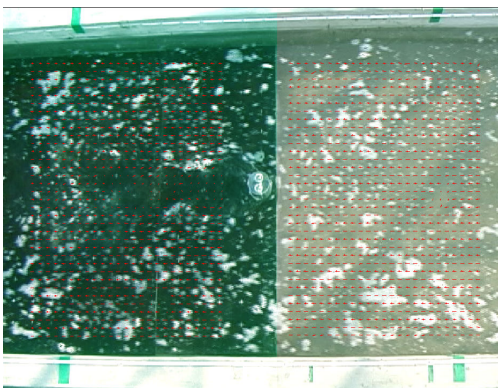


그림 4. 흔들림이 없는 경우의 벡터장

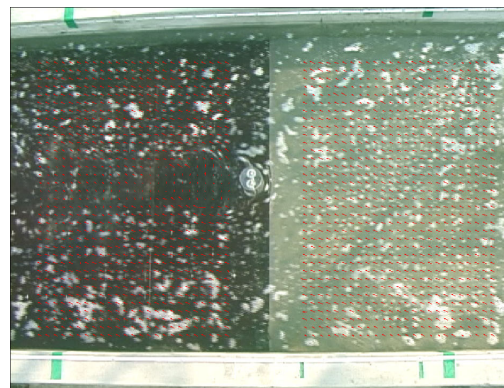


그림 5. 흔들림이 있는 경우의 벡터장

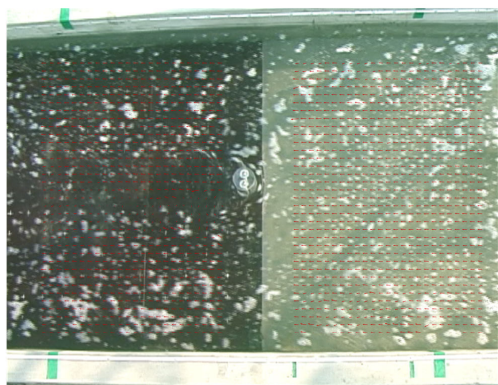


그림 6. 흔들림 보정 후의 벡터장

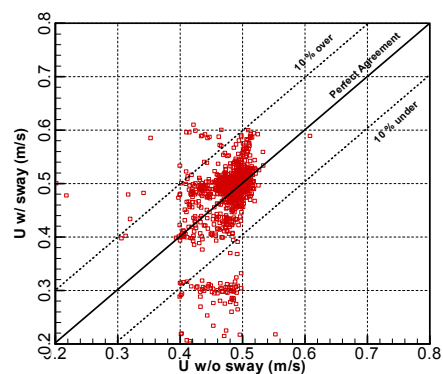


그림 7. 교각 상류 부분의 유속 비교

## 사사

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

## 참고문헌

- 노영신 (2005) 영상해석 기술을 이용한 하천 유량 측정 기법 개발, 명지대학교 박사학위논문.
- 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.