

# LSPIV(large scale particle velocimetry)기법의 검증 및 현지적용

노영신, 김영근, 윤병만, 유권규

## 1. 서론

최근 유체의 유속측정을 측정하기 위한 기법으로 영상처리기술을 이용한 PIV 및 PTV에 대한 관심이 높아지고 기존의 방식으로는 측정이 곤란한 흐름특성을 파악하기 위해 영상기법을 적용한 연구가 점차 증가하고 있다. LSPIV는 이러한 고도의 영상 유속측정기법의 원리를 실제하천과 같은 넓은 영역에 적용할 수 있도록 확대 응용한 유속측정기법으로 기록된 영상의 왜곡도 처리 등과 같은 영상처리 과정은 차이가 있지만 입자의 이동을 추적하여 유속을 측정하는 분석원리는 동일하다. 영상분석을 통한 실제하천에서의 적용은 한쌍의 항공사진을 이용하여 하천의 유속을 측정하는 연구가 Kinoshita(1984), Fujita 등(1990)에 시도되었으나 항공사진에 의한 분석은 많은 비용이 소모되고, 홍수사상 전체의 시간적 분포를 측정하기가 불가능할 뿐만 아니라 기상조건 등에 의한 제약을 받기 때문에 Fujita 등(1994), Aya 등(1995)은 비스듬한 각도로 촬영된 비디오 영상을 분석하기 위해 영상의 왜곡을 보정하기 위한 기법을 개발하였다. 본 연구에서는 새로운 영상측정 기술인 LSPIV기법 분석 소프트웨어를 개발하여 수리실험을 통해 검증하고 실제하천에 적용하여 표면유속장을 산정하였다.

## 2. LSPIV의 원리 및 분석방법

PIV는 영상기법을 이용하여 유체 흐름내 입자의 이동을 촬영하여 입자의 이동거리를 촬영시간 간격으로 나누어 유속을 측정하는 기법이다. 이와는 달리 LSPIV는 실제 하천내 유하하는 부유물질 또는 유송잡물의 이동을 촬영하여 유속을 측정하는 기법으로 비스듬한 촬영각에 따른 영상왜곡을 보정해 주어야 한다. 따라서 LSPIV의 분석과정은 크게 영상의 획득, 획득된 영상의 처리 및 왜곡보정과정 그리고 분석을 통한 유속산정과정으로 나눌 수 있다.

### 2.1 영상의 획득 및 영상처리

LSPIV기법은 유속장을 산정하기 위해 홍수시 유하하는 부유물질과 같은 추적입자가 필요하다. 본 연구에서는 평수시 측정에 적용하였기 때문에 추적입자를 투여하여 영상을 촬영하였다. 왜곡보정을 수행하기 위해서는 marking point에 대한 좌표를 측정이 필요하며 획득된 영상은 PC에서 인식할 수 있도록 디지털 처리를 거치며, 분석을 위해 gray scale로 변환된다.

### 2.2 영상왜곡의 보정

LSPIV기법은 영상기법을 이용하여 유속을 측정하는 PIV 기법을 실제 하천에서의 유속측정을 위해 확대 응용한 유속측정방법으로, PIV 기법과의 차이는 카메라의 촬영각도 등에 의한 영상의

왜곡이 발생하기 때문에 추출된 정지영상에 대한 분석을 수행하기 전에 영상의 왜곡에 대한 보정을 해주어야 한다. 2차원 평면에 대한 왜곡보정 방법으로는 4개 이상의 marking point를 이용하여 8개의 mapping 계수를 산정하는 2차원 투영좌표 변환법(2-D projective coordinate transformation or 8-parameter transformation)을 이용하였으며, 실제좌표계(physical coordinate)와 CRT(cathode ray tube)좌표계 즉 영상내 좌표계간의 관계식은 식(1)과 같다.

$$X = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{b_4x + b_5y + 1}, \quad Y = \frac{b_6x + b_7y + b_8}{b_4x + b_5y + 1} \quad (1)$$

여기서  $b_i (i=1 \sim 8)$ 는 mapping 계수이며, 기지의 marking point로부터 8개의 mapping 계수를 계산하고, mapping 계수로부터 식(1)을 이용, 나머지 좌표에 대한 반복적인 계산을 통해 실제 좌표로의 변환을 계산할 수 있다.

### 2.3 유속산정과정

LSPIV의 유속산정과정은 연속되는 두 영상간의 입자군에 대해 흐름형태가 가장 흡사한 입자군을 선별하여 유속을 산정하는 PIV기법과 동일하다. 영상내의 입자의 밀도가 큰 경우 일정한 영역(interrogation area)내의 입자군의 grey-level intensity를 비교하여 cross-correlation 기법(Stevens and Coates, 1994)으로부터 식(2)로 정의되는 cross-correlation 계수  $R_{ab}$ 의 최대값을 갖는 interrogation area를 동일한 입자군으로 인식하고 유속을 계산한다.

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

여기서  $MX$ 와  $MY$ 는 interrogation area의 크기를 나타내며,  $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$ 는 각각  $dt$ 시간간격의 연속되는 두 영상내 interrogation area의 gray scale intensity를 나타낸다.

## 3. LSPIV 기법의 검증

### 3.1 검증방법

LSPIV기법을 이용한 표면유속 측정값을 검증하기 위해 기본적인 측정원리와 반대되는 개념을 이용하였다. 즉 입자를 수로의 바닥에 투여하여 고정시키고 촬영장치가 설치된 전동차를 일정한 속도로 이동시켜 촬영한 후 획득된 영상을 분석하여 산정된 유속값과 촬영장치의 이동속도와 비교하여 검증을 수행하였다. 전동차의 이동속도는 초기 이동시 구동력에 의한 속도차가 발생할 우려가 있기 때문에 구동시점으로부터 4m 간격을 두고 촬영을 수행하였으며, 전동차의 이동거리 6m에 대해 시간 평균하여 전동차의 이동속도를 산정하였다.

### 3.2 검증결과

검증은 전동차의 이동속도를 0.123~1.282m/s 범위로 변화시켜 수행하였으며 LSPIV로 측정된 유속은 영상내 분석영역에 걸쳐 평균하여 산정하였다. 전동차의 이동속도와 LSPIV 분석결과와의 비교는 그림 1 및 표 1과 같다. 실험결과를 통해서 알 수 있듯이 LSPIV기법을 이용하여 산정된 유속값은 비교적 정확한 것으로 나타났으며, 발생된 미소한 오차도 전동차 이동시 발생하는 진동에 의해 촬영된 영상의 흔들림에 의한 것으로 판단된다.

표 1 LSPIV 검증결과

	전동기계(m/s)	LSPIV(m/s)	error(%)
case 1	0.123	0.121	1.6
case 2	0.260	0.259	0.4
case 3	0.343	0.335	2.3
case 4	0.421	0.419	0.5
case 5	0.529	0.502	5.3
case 6	0.639	0.590	7.1
case 7	0.719	0.696	3.1
case 8	0.817	0.794	2.9
case 9	0.867	0.870	0.3
case10	0.974	0.968	6.2
case11	1.048	1.010	3.6
case12	1.142	1.128	0.9
case13	1.282	1.250	2.5

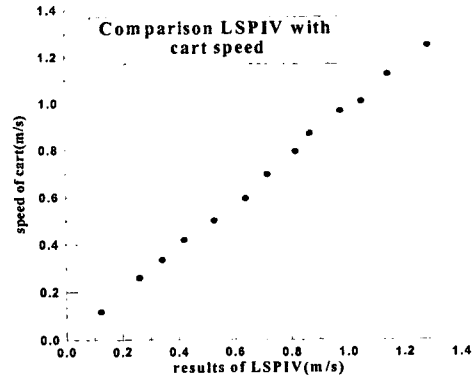


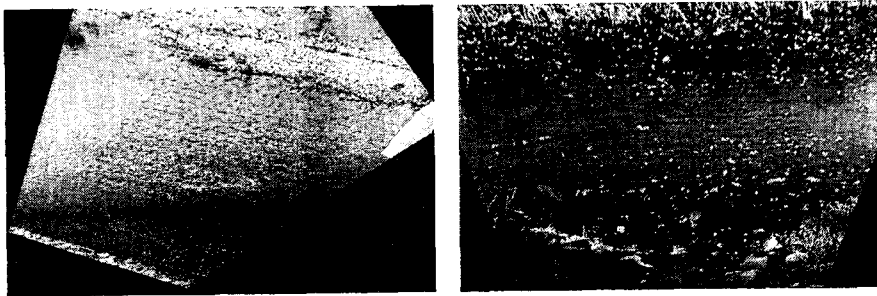
그림 1 LSPIV 검증 결과

#### 4. 현장적용

LSPIV 기법을 현장에 적용하기 위해 경안천 지류인 곤지암천과 능원천의 경안천 합류지점을 대상지점으로 선정하였다. 영상획득은 곤지암천은 지월교와 능원천은 우안 고수부지에서 촬영을 실시하였고 좌우 저수호안 부근에 marking point를 설치 및 측량하여 왜곡보정의 입력자료로 이용하였다.

##### 4.1 기법의 적용방법 및 분석과정

촬영된 영상은 PC에서 인식할 수 있도록 디지털 처리를 거치며 동일 입자군의 인식을 위해 grey-scale level로 변화한 후 왜곡의 보정을 수행하여 본래의 영상으로 수정한다. grey-level scale로의 변환과 왜곡보정이 완료되면 유속산정 분석을 위한 영역의 설정과 격자구성 및 분석조건을 입력하여 유속산정을 위한 분석을 수행한다. grid가 구성되면 interrogation area와 searching area 등 분석입력조건을 선정하여 입력해야 한다. interrogation area는 식(2)로 정의되는 두 영상 간의 상관계수  $R_{ab}$ 의 값을 비교하기 위한 영역을 의미하고 searching area는 이러한 interrogation area간의 탐색영역을 의미한다. 입력조건은 대상영역의 유속값과 입자의 분포에 따라 적절한 pixel값을 고려하여 입력해야 한다.



(a) 곤지암천 표면유속 분포

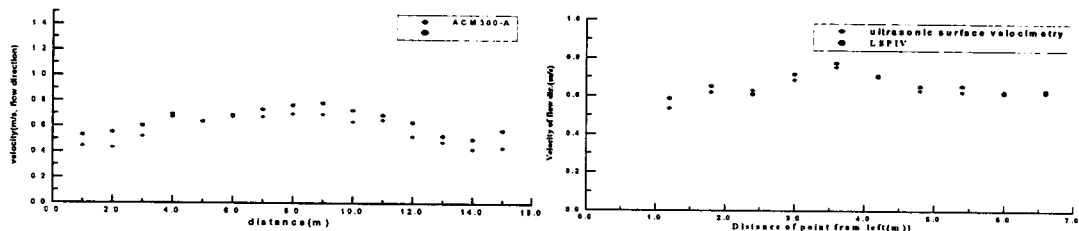
(b) 능원천 표면유속 분포

그림 2 LSPIV 분석결과

##### 4.2 현장적용결과

LSPIV기법을 적용하여 각 대상지점의 표면유속을 산정한 결과는 그림 2에서 보는 바와 같다. 곤지암천의 측정결과(그림 2(a))를 살펴보면 우안측 흐름에서 신뢰성이 의심되는 유속벡터가 발생

하는 것으로 나타났는데, 이는 투여입자의 분포가 고르지 못해 발생하는 것으로 판단되며 입자의 투여가 고른 곤지암천 중앙부 및 우안과 능원천 지점의 분석결과(그림 2(b))는 비교적 표면유속의 분포를 잘 나타내고 있는 것으로 판단된다. LSPIV기법을 적용한 표면유속측정결과를 비교하기 위해 곤지암천지점은 ACM-300A 3차원 유속계, 능원천지점은 전자파 표면유속계를 이용하여 영상 촬영과 동시에 측정을 수행하였다. 기존 유속계와 LSPIV 분석결과의 비교는 그림 3과 같다. 그림 3에서 보는 바와 같이 곤지암천의 경우 ACM-300A의 센서를 정확히 수표면에 위치하기가 곤란하기 때문에 LSPIV 분석결과와는 일정한 오차를 보이는 것으로 나타났으며, 능원천의 경우 전자파 표면유속계의 측정결과와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.



(a) 곤지암천 ACM300-A 비교결과 (b) 능원천 전자파 표면유속계 비교결과  
그림 3 기존 유속계와의 비교

#### 4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 하천에서의 표면유속을 산출을 위해 개발된 LSPIV 분석 소프트웨어를 검증하고 이를 실제하천에 적용하여 표면유속을 측정하였다. 전동차를 이용한 검증결과 LSPIV를 이용하여 표면의 유속분포를 정확하게 측정할 수 있을 것으로 나타났다. 실제 하천에서의 적용은 소규모 하천에 적용하였으며 기존의 유속계와의 비교한 결과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났으나, 기존 유속계의 표면유속 측정에 따른 어느 정도의 오차가 발생한 것으로 판단된다. 따라서 실제하천에서의 측정결과 검증은 다양한 조건하에서 좀더 정확한 표면유속 측정이 가능한 유속계와의 비교를 통해 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

1. Aya, S., Fujita, I. and Yagy, M., 1995, Field-observation of flood in a river by video image analysis, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.39, pp. 447-452.
2. Fujita, I., and Komura, S. 1994, "Application of Video Image Analysis for Measurements of River-Surface Flow," Proc. of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol38, 733-738
3. Kinoshita, R., 1984, Present status and future prospects of river flow analysis by aerial photograph, Proc. of JSCE, No.345/II-1, pp.1-19,
4. Stevens, C. and Coates, M., 1994, "Application of a maximized cross-correlation technique for resolving velocity fields in laboratory experiments", Jr. of Hydraulic research, 32(2), 195-212