

# LSPIV를 적용시 오차발생 요인 분석

## Analysys on Factors Affecting Velocity Errors On the Application of LSPIV

김영성\*

Youngsung Kim

### 요 지

영상해석을 통한 흐름해석의 방법인 Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV)는 실험실내의 소규모 흐름해석에 이용하던 Particle Image Velocimetry (PIV)를 자연하천이나 실험실에서 넓은 영역(4m<sup>2</sup>~45,000m<sup>2</sup>)에 적용할 수 있도록 확장시킨 것으로 지난 10여년전부터 세계적으로 널리 이에 대한 연구가 진행되고 있다. PIV는 seeding, illumination, recording 그리고 image processing으로 구성된다. LSPIV(Large Scale PIV)는 PIV의 기본원리를 근거로 하여 기존의 PIV에 비하여 실험실 내에서의 수리모형실험이나 일반하천에서의 유속측정과 같은 큰 규모의 흐름해석을 할 수 있도록 seeding, illumination에 대한 조정이 필요하고, 촬영된 image에 대한 왜곡을 없애는 작업이 필요하다. LSPIV는 PIV의 네 가지 단계를 포함하여 seeding, illumination, recording, image transformation, image processing 및 post-processing의 여섯 단계로 구성되어진다 (Li, 2002).

LSPIV의 적용시 각 단계마다 유속계산시 오차를 발생시키는 27가지의 요인들이 존재하고 있는바 (Kim, 2006), 본 연구에서는 이들 중 실내의 실험실에서 파악이 가능한 인자들에 대해 그들 각각의 인자들이 유속측정에 미치는 오차의 정도를 파악하고자 하였다. 본 연구에서는 LSPIV의 적용시 이용되는 이미지의 갯수와 이미지 촬영시 적용된 이미지의 해상도에 따른 오차의 발생 정도를 조사하였다. 이미지 촬영에 있어서 비디오카메라를 이용할 경우 촬영시간에 따라 많은 수의 이미지를 취득할 수 있으나 이미지의 수에 따른 유속계산오차를 파악하고자 하였다. 또한 디지털 카메라를 이용할 경우 여러 가지 이미지 해상도를 이용할 수 있으므로 적용한 이미지 해상도에 따른 유속계산에 미치는 오차의 크기를 파악하고자 하였다.

이미지의 갯수가 유속계산시 미치는 오차의 영향의 정도를 조사하기 위해서 초당 30 frame을 촬영할 수 있는 비디오카메라를 이용하여 91초 동안 촬영된 이미지로부터 매 5번째의 이미지를 추출하여 455개의 이미지를 준비하였고 이로부터 이미지수를 10, 50, 100, 200, 300, 400의 순서로 증가시키면서 이미지 개수로부터 나타나는 유속계산 오차를 조사한 결과 이미지의 개수가 50매 이상인 경우는 이로 인한 오차가 1% 이하로 감소함을 파악하였다. 촬영된 이미지의 해상도가 유속계산시 미치는 영향을 조사하기 위해 디지털카메라를 적용하여 세가지 이미지 해상도(640\*480, 1280\*960, 2048\*1536 pixel)로 변화시키면서 유속측정 오차를 분석한 결과 저해상도의 이미지를 이용한 경우 고해상도 이미지를 이용한 경우와 비교하여 3% 가량의 차이를 나타내었다.

**핵심용어:** PIV, LSPIV, 이미지의 개수, 이미지 해상도, 유속계산 오차

### 1. 서 론

최근 30여년간 흐름의 유속측정을 위한 이미지 해석 기술이 개발되어 왔다. 이미지 해석 기술의 기본이론은 연속 촬영된 두 장의 영상에서 물에 있는 패턴의 이동에 대한 통계적 추정이다. PIV (Particle Image

\* 김영성, 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 [yskim@kwater.or.kr](mailto:yskim@kwater.or.kr)

Velocimetry)로 통칭되는 이미지 해석에 의한 유속측정기술은 다양한 실험실 규모 흐름장(flow field)에 대한 전체유속 벡터의 정량적인 측정 및 가시화를 도모하기 위해서 광학, 레이저, 전자, 비디오, 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어를 이용한 것이다 (Adrian, 1991; Raffael 등, 1998). 이러한 전통적인 PIV 기술에 기초하며 일반 하천 및 대규모 수리모형 실험장 등 규모가 큰 흐름(예: 하천, )에 적용하기 위해서 새로이 개발된 기술이 LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) 이다. LSPIV의 이미지 프로세싱과 데이터 프로세싱 알고리즘은 PIV와 거의 동일하나 LSPIV는 일반하천에서 대규모 흐름장의 해석을 하는 경우 정사투영에 의한 이미지 촬영이 불가능하므로 비정사투영에 의해 이미지를 촬영하게 되는데 이때 원근감에 의해 이미지가 왜곡되어 촬영되므로 이러한 왜곡을 제거하는 절차가 추가되며, 조명(illumination)과 입자뿌리기(seeding)의 경우 PIV 적용시에는 실험조건에서 최상의 조건으로 조정이 가능하나 LSPIV는 주어진 자연조건하에서 적용해야 하기 때문에 이에 대한 조정이 필요하다. 이 중에서도 seeding에 사용되는 물체는 물표면에 떠서 흘러가므로 바람의 영향을 직접적으로 받고 또 이러한 현상은 표면유속측정의 오차와도 밀접한 상관성이 있다.

본 연구에서는 LSPIV의 적용시 이용되는 이미지의 갯수와 이미지 촬영시 적용된 이미지의 해상도에 따른 오차의 발생 정도를 조사하였다. 이미지 촬영에 있어서 비디오카메라를 이용할 경우 촬영시간에 따라 많은 수의 이미지를 취득할 수 있으나 이미지의 수에 따른 유속계산오차를 파악하고자 하였다. 또한 디지털 카메라를 이용할 경우 여러 가지 이미지 해상도를 이용할 수 있으므로 적용한 이미지 해상도에 따른 유속계산에 미치는 오차의 크기를 파악하고자 하였다.

## 2. PIV와 LSPIV

이미지 해석에 의한 유속장 측정방법은 PIV(Particle Image Velocimetry)로 통칭되고 있으며, PIV는 seeding, illumination, recording, 및 image processing의 네 가지 요소로 구성된다. seeding을 위해서 유체를 따라 흐를수 있는 작은 입자를 유체에 첨가한다. 유체를 따라 흐르는 입자들의 선명한 이미지를 얻기 위해서 illumination이 필요하다. PIV를 이용하여 흐름을 해석하기 위한 illumination은 일반적으로 이중펄스 레이저가 이용된다. 이렇게 유속장 해석을 하려는 유체에 대하여 seeding 및 illumination이 준비되면 단일노출- 다중 프레임법 혹은 다중노출-단일 프레임법으로 흐름을 recording을 한다. image processing은 이미지를 다운로드하고, 디지털화 및 화질향상을 하는 전처리(pre-processing), 상관계수의 산정에 의한 유속 벡터의 결정 및 에러 벡터를 제거하고 유속장을 그래프화하는 후처리(post-processing) 과정으로 구성된다.

LSPIV(Large Scale PIV)는 PIV의 기본원리를 근거로 하여 기존의 PIV에 비하여 실험실 내에서의 수리 모형실험이나 일반 하천에서의 유속측정과 같은 큰 규모( $4m^2 \sim 45,000m^2$ )의 흐름해석을 할 수 있도록 Fujita 와 Komura (1994) 와 Aya et al.(1995)이 확장시킨 것이다. PIV와 비교시 LSPIV의 다른 점은 넓은 흐름 표면적을 포함하기 위하여 촬영시에 카메라의 광축과 흐름 사이의 각도가 PIV에서 이용하는 수직이 아닌 경사각을 이용하였고 이에 따라 발생하는 이미지의 왜곡을 제거하기 위하여 이미지 변환기법을 적용하여 왜곡이 없는 정사촬영 이미지로 변환시킨다. 이후부터는 PIV의 이미지 처리 방법이 적용되어 표면유속을 산정한다. 다만 이미지 변환을 PIV 이미지 처리 전에 하느냐 후에 하느냐에 따라 유속장 해석결과에 차이가 있다. PIV의 네가지 단계를 포함하여 LSPIV의 각 단계를 구분하면, seeding, illumination, recording, image transformation, image processing 및 post-processing의 여섯 단계로 나뉘어진다(Li, 2002). 이러한 6단계를 거쳐서 유속벡터를 계산하는 과정에서 발생하는 오차요소는 27가지라고 나타나고 있다(Kim, 2006). 본 연구에서는 이러한 27가지의 오차 발생 요소 중에서 이미지 촬영과 관련되는 이미지의 수에 따른 오차의 발생정도 및 이미지의 해상도에 따른 오차발생의 정도에 대하여 파악하고자 하였다.

## 3. 오차의 발생요인 분석을 위한 개수로 실험

LSPIV의 적용시 사용되는 이미지의 수와 이미지의 해상도에 따른 오차의 발생정도를 파악하기 위하여 미국 Iowa 대학교 IIHR Hydro- Science & Engineering (이하 IIHR)의 2 ft 개수로 실험장치를 이용하였다. 이미지의 촬영은 개수로 위에 설치된 비디오카메라(Sony DCR-TRV320)와 디지털카메라(Plympus Ultra

Zoom 730) 로 촬영되었으며, 카메라가 개수로의 상류측에서 하류측의 시험단면을 촬영하도록 설치하였다(그림 1).

비디오카메라는 초당 30 frame의 이미지를 얻을 수 있어 1분간 측정을 하게되면 1800 frame을 얻을 수 있다. 따라서 측정시간을 길게하면 할수록 많은 이미지를 얻을 수 있으나 그로 인해서 이미지 프로세싱의 시간 또한 증가함에 따라 신속하게 유속을 계산할 수가 없다. 이에 측정시간 (혹은 이미지 수)와 유속측정 오차 사이의 관계를 파악하고자 하였다. 개수로의 aspect ratio (=b/h)를 1.905로 하였고 수로의 평균유속을 0.224 m/s로 유지한 상태에서 초당 30 frame으로 측정된 이미지로부터 0.2초간마다 한 frame의 이미지를 추출하여 전체 455 frame의 이미지 셋을 준비하였다. 이로부터 455 이미지 프레임을 이용하여 평균유속장을 계산하였다.

이미지 해상도에 따른 유속측정 오차의 파악을 위해 여러 가지 해상도로 이미지 촬영이 가능한 디지털카메라를 이용하여 640\*480, 1280\*960, 2048\*1536 pixel의 저, 중, 고해상도 이미지를 이용하였다. 비디오카메라의 경우에는 촬영시간을 길게하면 이용가능한 이미지 개수를 늘릴수 있지만 동영상으로부터 정지화상을 추출하면 640\*480 pixel의 저해상도 이미지만 얻을 수 있기 때문에 디지털 카메라를 이용하였다. 촬영당시의 흐름조건은 aspect ratio (=b/h)는 1.905로 이었고 수로의 평균유속을 0.165 m/s 이었다.

두가지 카메라를 이용하여 촬영시 2ft \* 2ft 면적의 LSPIV 프로세싱 영역 중심은 카메라로부터 1 m 하류측에 위치되었다. 네 개의 기준점으로 둘러싸인 영역 (그림 2) 에 대해서 이미지 프로세싱을 실시하였고, 전체 유속벡터중에서 상류측 두개의 기준점으로부터 0.3556 m 하류 횡단면상의 표면유속을 추출한후 이중에서 No. 5부터 No. 9까지의 다섯 개의 유속벡터를 평균함으로써 개수로의 벽면의 아크릴판상에 반사되는 seeding 재료의 이미지로부터 유발되는 오차를 배제하고자 하였다.

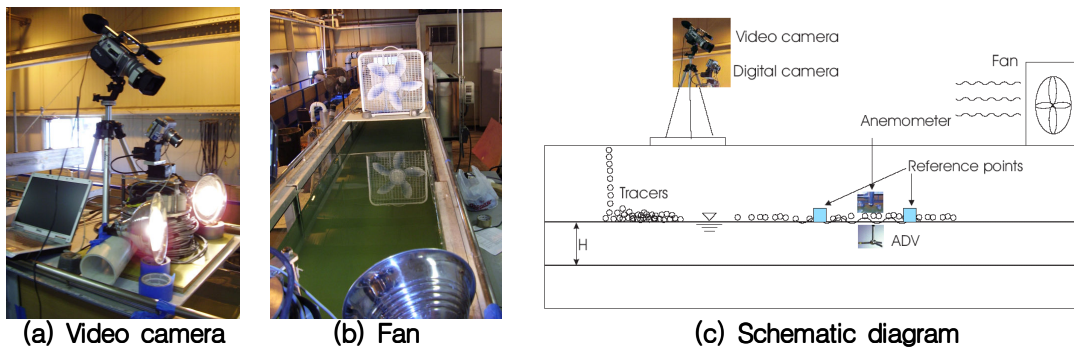


그림 1. 개수로 실험 장치 셋팅

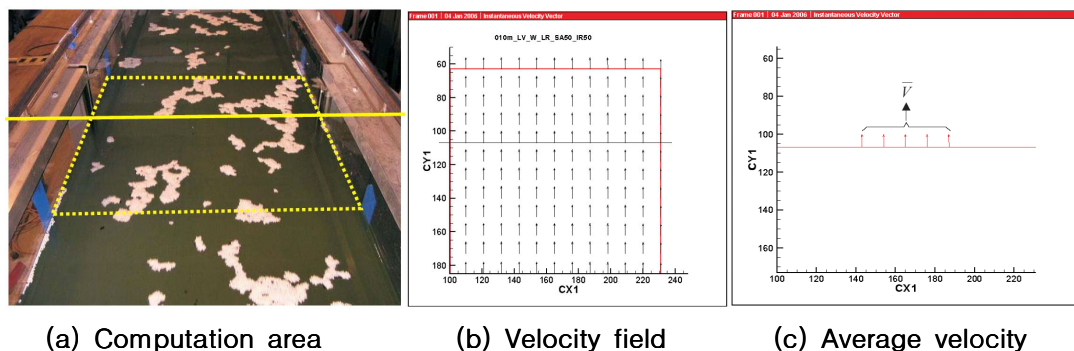
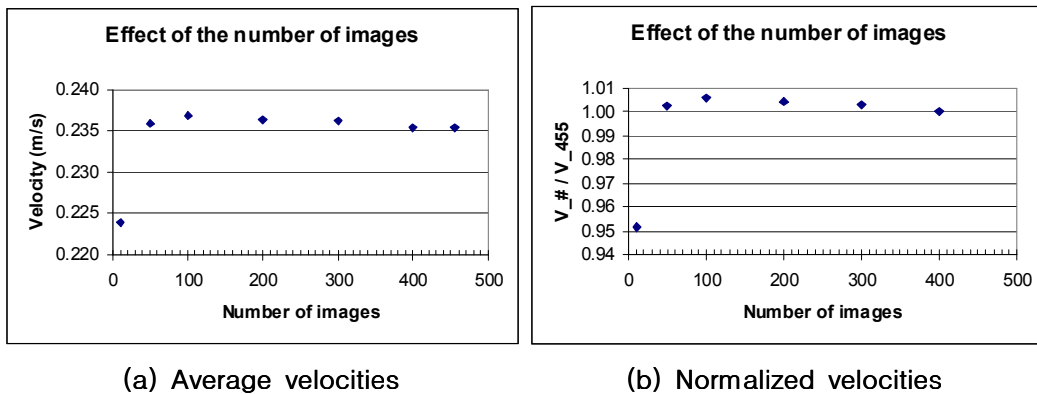


그림 2. 표면유속장에서 평균표면유속을 계산하기 위한 절차

#### 4. 개수로 실험결과

#### 4.1 이미지 개수에 따른 유속측정 오차

2 ft 폭의 개수로 aspect ratio (=b/h)를 1.905로 하였고 수로의 평균유속을 0.224 m/s로 유지한 상태에서 0.2초 간격의 455 frame의 이미지를 이용하여 표면유속을 계산한 후 이를 기준값으로 놓고, 이미지의 갯수를 10, 50, 100, 200, 300, 400으로 늘렸을 때의 표면유속의 오차를 계산하였다. 이미지의 개수가 10 frame일 경우 계산된 표면유속은 455 frame의 이미지를 이용하여 계산한 표면유속에 비하여 4.86 % 작게 계산 되었다. 하지만 그 외의 경우 즉 이미지의 개수가 50이상인 경우에는 기준 표면유속에 비하여 0.6 % 이내의 오차를 보였으며 이미지의 개수가 증가할수록 오차는 줄어들음을 보였다 (그림 3).

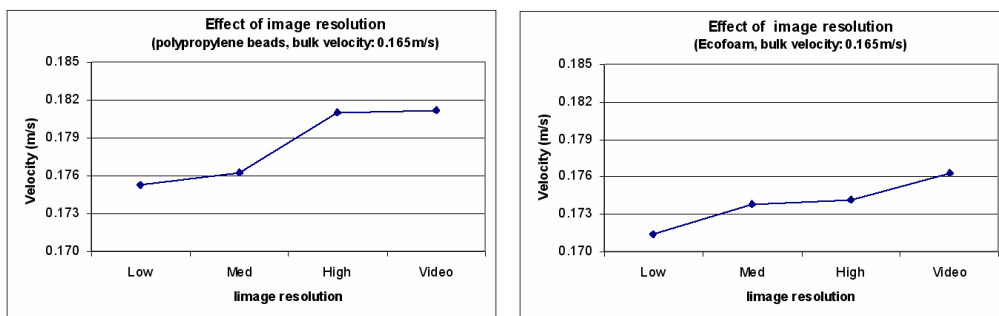


(a) Average velocities (b) Normalized velocities

그림 3. 이미지 개수에 따른 측정된 표면유속 및 유속측정 오차

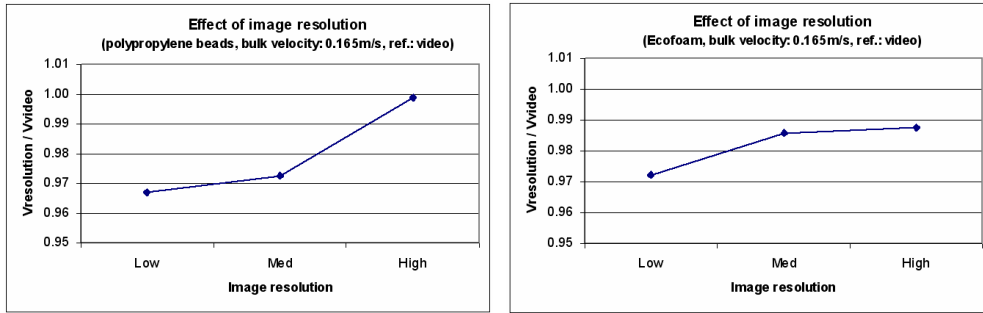
#### 4.2 이미지 해상도에 따른 유속측정 오차

이미지의 해상도가 유속측정시에 미치는 오차를 조사하기 위해서 디지털카메라로 해상도별 -640\*480, 1280\*960, 2048\*1536 pixel- 로 촬영한 11개의 이미지를 이용하였다. 11개의 이미지를 택한 이유는 촬영을 하였던 디지털 카메라가 고해상도 (2048\*1536 pixel) 이미지의 경우에는 11개의 이미지가 연속촬영으로 촬영 가능한 최대의 이미지였기 때문이다. 따라서 중해상도 및 저해상도의 경우는 연속 촬영가능한 이미지의 숫자가 약 30 매 및 약 140 매 이나, 동일한 이미지의 숫자를 이용하기 위해서 11개의 이미지를 이용하여 표면 유속장을 계산하고 이로부터 개수로 중앙부의 평균표면유속을 계산하였다. 이때 측정된 속도의 비교를 위한 기준유속으로는 이미지의 숫자의 영향을 검토하기 위해서 이용하였던 비디오카메라로부터 추출한 455 매의 저해상도의 이미지를 이용하여 계산한 유속을 이용하였다. 이미지 해상도에 따른 유속측정오차를 분석하기 위한 시험 당시의 흐름조건은 aspect ratio (=b/h)는 1.905로 이었고 수로의 평균유속을 0.165 m/s 이었다. seeding 재료로는 black polypropylene beads와 Ecoform을 이용하였다. black polypropylene beads의 경우, 디지털카메라의 이미지의 해상도가 저해상도→중해상도→고해상도로 높아짐에 따라 기준값에 대한 오차가 -3.288 → -2.725 → -0.099 %로 작아지고 있었다 (그림 4 (a)와 (c)). Ecoform을 이용하였을 경우 -2.802 → -1.441 → -1.237 %로 역시 해상도가 높아짐에 따라 기준값에 대한 오차는 줄어들고 있음을 파악하였다 (그림 4 (b) 와 (d)).



(a) Average velocity: polypropylene beads

(b) Average velocity: Ecofoam



(c) Normalized velocity: polypropylene beads (d) Normalized velocity: Ecofoam  
 그림 4. 유속측정시 이미지 해상도의 영향 (aspect ratio=1.905, bulk velocity=0.165m/s)

## 5. 결론

LSPIV 기법을 이용해서 하천에서 유속을 측정할 때 이미지 촬영상 중요한 인자는 이미지의 수와 이미지 해상도이다. 이미지 수가 많으면 많을수록 더 정확한 표면유속장을 계산할 수 있지만 이렇게 이미지가 많아지면 이미지 프로세싱에 많은 시간이 소요된다. 이에 이미지 개수에 따른 유속측정 오차의 정도를 파악하고자 하였다. 또한 이미지의 수가 같을 경우 이미지의 해상도의 고저로 인한 유속측정 오차도 검토하였다.

이미지의 갯수가 유속계산시 미치는 오차의 영향을 조사하기 위해서 초당 30 frame을 촬영할 수 있는 비디오카메라를 이용하여 91초 동안 촬영된 이미지로부터 매 5번째의 이미지를 추출하여 455개의 이미지를 준비하였고 이로부터 이미지수를 10, 50, 100, 200, 300, 400의 순서로 증가시키면서 이미지 개수로부터 나타나는 유속계산 오차를 조사한 결과 이미지의 개수가 50매 이상인 경우는 이로 인한 오차가 1% 이하로 감소함을 파악하였다. 촬영된 이미지의 해상도가 유속계산시 미치는 영향을 조사하기 위해 디지털카메라를 적용하여 세가지 이미지 해상도(640\*480, 1280\*960, 2048\*1536 pixel)로 변화시키면서 유속측정 오차를 분석한 결과 저해상도의 이미지를 이용한 경우 고해상도 이미지를 이용한 경우와 비교하여 3% 가량의 차이를 나타내었다. 비디오 카메라를 이용하여 영상을 촬영할때는 다수의 저해상도의 정지화상만 얻을 수 있는 단점이 있는 반면, 디지털 카메라는 고해상도의 이미지를 얻을 수 있고 또한 관련분야의 기술이 하루가 다르게 변화하고 있어 고해상도의 다수의 이미지 취득이 가능해지면 이로부터 유발되는 오차는 줄어들 것으로 전망한다.

## 참고문헌

1. Aya, S., Fujita, I. and Yagyu, M. (1995). "Field-Observation of Flood in a River by Video Image Analysis." Annual Journal of Hydraulic Engineering, 39, 447-452.
2. Fujita, I., and Komura, S. (1994). "Application of Video Image Analysis for Measurements of River-Surface Flows," Proc. of Hydraulic Engineering, JSCE, 38, pp. 733-738 (in Japanese).
3. Kim, Y. (2006). Uncertainty Analysis for Non-intrusive Measurement of River Discharge Using Image Velocimetry, PhD Thesis, The University of Iowa, Iowa City, IA.
4. Li, Z. (2002). Large scale image velocimetry without seeding, Master Thesis, The University of Iowa, Iowa City, IA.