

LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry)기법의 개요 및 응용분야

윤병만[†] · 노영신^{*}

Outlines of Large Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) and its Applications

Byungman Yoon · Youngshin Noh

Abstract. LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry) is widely used in the field of civil and environmental engineering. General aspects of LSPIV are introduced and several applications are introduced in this paper. The difference of LSPIV from the conventional PIV techniques is not to use models for experiments but to use the flow fields in nature. For LSPIV a converting process for the captured images is necessary.

Key Words: LSPIV(대규모 입자영상유속계), River Surface Visualization(강 표면류 가시화)

1. 서 론

LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry)기법은 최근 컴퓨터 성능과 디지털 영상처리 기술의 급속한 발전으로 활용범위가 다양한 유속측정기법인 PIV(Particle Image Velocimetry)기법을 실제 하천 등보다 넓은 영역에 적용하여 표면유속을 측정하기 위한 새로운 영상측정기법의 하나이다. 이러한 영상분석을 통한 실제하천에서의 유동장 측정은 한쌍의 항공사진을 이용하여 하천의 유속을 측정하는 연구(Kinoshita, Fujita 등)⁽¹⁾⁽²⁾로부터 시작되었다고 할 수 있다. 그러나 항공사진에 의한 분석은 많은 비용이 소요되고, 홍수사상 전체의 시간적 분포를 측정하기가 불가능할 뿐만 아니라 기상조건 등에 의한 제약을 받기 때문에 널리 이용되지는 못하였다. Fujita 등⁽³⁾, Aya 등⁽⁴⁾은 비스듬한 각도로 촬영된 비디오 영상을 분석하기 위해 영상의 왜곡을 보정하기 위한 기법을 개발하였다. 이러한 연구는 90년대 후반에 들어서는 Muste 등⁽⁵⁾에 의해 여러 가지 하천과 모형실험에 적

용되었다. 이러한 LSPIV 기법은 경제적이고 적용이 간편하면서도 충분한 정확도를 유지할 수 있기 때문에 토목분야, 특히 수자원분야에서의 활용 가능성이 점차 증가하고 있을 뿐만 아니라, 이를 응용한 다양한 연구가 진행되고 있다.

2. LSPIV기법의 기본원리

PIV기법은 레이저와 같은 광원을 이용하여 추적입자의 궤적을 촬영한 후 일련의 영상처리 과정을 거친 후 영상내의 추적입자 이동거리를 정지영상의 일정한 시간간격으로 나누어 최종적으로 유속장의 속도분포를 계산하는 유속측정기법이다. 따라서 PIV 기법은 레이저 발생장치, 촬영장치 및 레이저의 펄스와 촬영장치의 프레임 간격을 동기화시키는 synchronizer 등의 기기로 구성되며 레이저의 특성에 따라 실내 실험실내 개수로에서의 비교적 작은 영역에 대한 유동장 측정을 가능하다. 이와는 달리 LSPIV는 자연광을 이용하며, Fig. 1에서 보는 바와 같이 대상영역내 수표면상에 유하하는 부유물질 또는 유송잡물의 이동을 촬영하여 표면유속을 측정하는 기법으로 캠코더 또는 CCD 카메라 등과 같은 촬영장치가 사용되며, 실제 하천이나 대규모 수리모형실험과 같은 넓은 영역에

[†]명지대학교 토목환경공학과

E-mail: bmyoon@mju.ac.kr

^{*}명지대학교 대학원

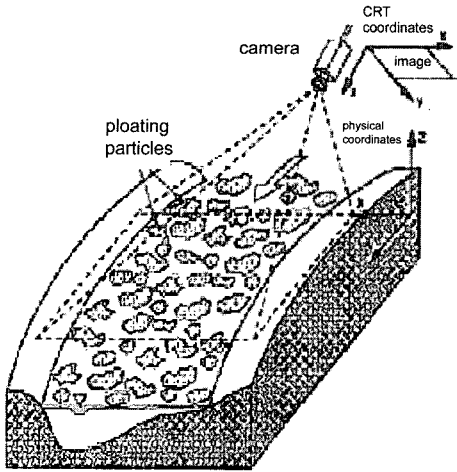


Fig. 1. LSPIV system and image acquisitions.

대해 비교적 간단하게 유동장을 측정할 수 있다.

LSPIV기법은 넓은 영역에 적용되기 때문에 촬영위치 및 촬영각에 따라 영상왜곡이 발생하게 되며, 따라서 대상영역에 대한 유속장을 계산하기 위해서는 일반적인 영상처리과정과 더불어 영상왜곡에 대한 보정을 수행하여야 한다. 따라서 LSPIV의 분석과정은 크게 영상의 획득, 획득된 영상의 처리 및 왜곡보정 과정 그리고 PIV분석을 통한 유속산정과정으로 나눌 수 있으며 PIV기법과의 비교는 Table 1에서 보는 바와 같다.

3. LSPIV기법의 분석과정

LSPIV기법을 이용한 하천에서의 유속장 측정시 영상획득과정은 영상왜곡의 보정을 위한 기준점(marking point)표시 및 측량, 추적입자 투여 및 촬영으로 나눌 수 있다. 왜곡보정을 수행하기 위해 측량을 통해 좌표를 알고 있는 최소 4개 이상의 기준점(marking point)이 영상에 포함되도록 촬영한다.

획득된 영상은 PC에서 인식할 수 있도록 디지털 처

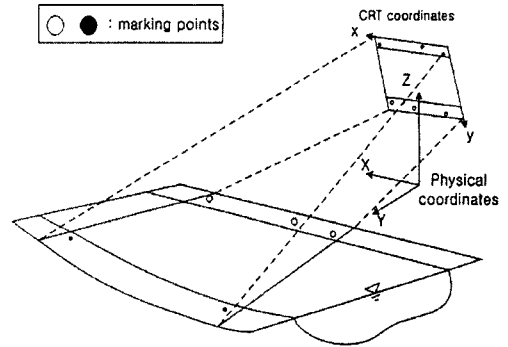


Fig. 2. Principle of distorted image(Fujita 등(6))

리를 거치며, 분석을 위해 grey scale로 변환된다. 디지털화된 정지영상은 RGB 컬러의 형태로 구성되며, 이는 빛의 삼원색인 빨강(red), 초록(green), 파랑(blue)로 구성된다. 이러한 세 컬러의 분광 요소들이 부가적으로 복합되어 결과적인 컬러를 만들어낸다. LSPIV 기법에서는 이러한 컬러영상을 해석하는데 있어서 많은 시간이 소요되고 고용량의 저장장치가 필요하기 때문에 효율적인 분석을 위해서 이러한 컬러 시스템을 gray-scale level로 변환하여 분석한다.

LSPIV 기법은 하천을 2차원 평면 형태로 가정하고 영상을 기록하므로 이에 대한 왜곡은 카메라의 촬영각도에 의한 원근상의 왜곡이라 할 수 있다.

이것은 실제로는 동일한 거리라 할지라도 촬영영상 내에서는 촬영각도 및 촬영위치에 따라 원거리의 지점은 짧게, 근거리의 지점은 더 길게 나타나는 것을 알 수 있다. LSPIV 왜곡보정 및 기준점에 대한 개론적인 원리를 살펴보면 Fig. 2와 같다.

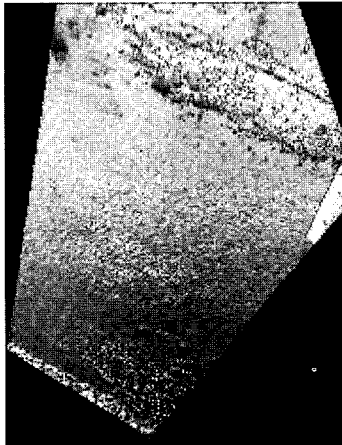
2차원 평면에 대한 왜곡보정 방법으로는 4개 이상의 기준점을 이용하여 8개의 mapping계수를 산정하는 2차원 투영좌표 변환법(2-D projective coordinate transformation or 8-parameter transformation)이 이용되며, 이러한 과정을 거쳐 영상왜곡이 보정된 예는 Fig. 3에서 보는 바와 같다.

Table 1. Comparisons of LSPIV with PIV

	PIV기법	LSPIV기법
광 원	레이저광	자연광 및 일반조명
대 상 영 역	소규모의 실내유동실험	4 m ² ~45,000 m ² 범위의 넓은 영역
영상왜곡발생	소규모 영역이므로 왜곡 발생하지 않음	촬영위치에 따른 왜곡 보정 필요
시스템 구성	레이저, synchronizer, 촬영 및 저장장치, 반사경, cylindrical lens, PC	촬영장치 및 PC
분 석 간 격	촬영장치의 성능에 따라 1/500~1/30초	대상유동장의 속도에 따라 1/5~1 초



(a) before compensation



(b) after compensation

Fig. 3. Compensation of the distorted images.

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 등)⁽⁷⁾으로부터 cross-correlation 계수의 최대값을 갖는 interrogation area를 동일한 입자군으로 인식하고 유속을 계산한다. 실제하천을 대상으로 PIV 분석을 통해 산정된 유속장은 Fig. 4에서 보는 바와 같다.

4. LSPIV 기법의 활용

PIV의 응용분야인 LSPIV는 그 적용대상이 실제

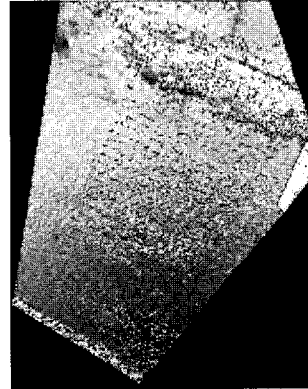
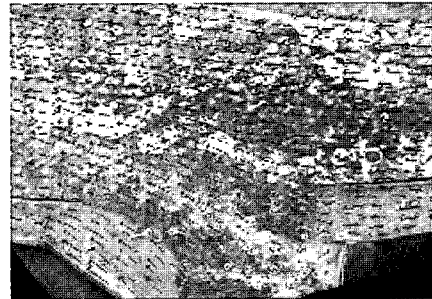


Fig. 4. LSPIV measurement results.



(a) water flows in the dam storage tank



(b) co-flowing section of the downstream

Fig. 5. LSPIV experiment for a hydraulic model.

하천 또는 호수, 해안 등과 같은 넓은 영역에 걸쳐 수 표면의 거동을 회상으로 분석하는 기법이다. LSPIV는 실제 대상지역을 다루기 때문에 회상에 나타나는 왜곡을 보정함으로써 넓은 영역에 대한 분석이 가능하게 된다. 따라서 LSPIV는 호수나 해안에서의 표면 유속을 계측하여 유황분석에 이용될 수 있고, 수제, 교각, 보 등의 수리구조물 주변에서의 흐름특성을 파악함으로써 구조물의 기능 및 안정성 검토에도 활용될 수 있다. 또한 Fig. 5에서 보는 바와 같이 대규모

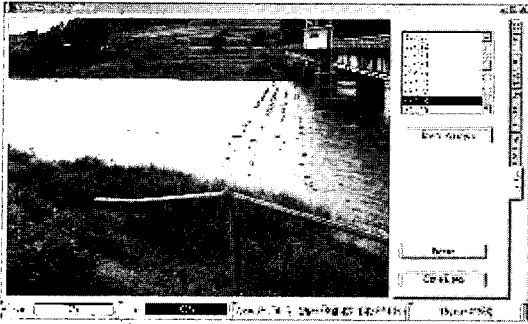


Fig. 6. Measurement of flow rate with LSPIV.

수리모형 적용시 LSPIV 기법을 이용하여 표면유속을 측정함으로써 전체 유동장 파악이 용이하기 때문에 기존의 측정방식과 병행하여 응용될 수 있다.

하천의 경우 기존의 관측자료를 이용하여 표면유속과 평균유속과의 관계를 유도함으로써 유량을 계측하는데 이용할 수 있다. Fig. 6은 괴산댐 하류의 괴산댐 수위표 지점에서의 유량산정을 위해 표면유속을 측정 한 결과이다.

기존의 측정방법은 대상지역이 지니고 있는 지형적 특성에 따라 많은 제약을 받기 때문에 정확한 측정이 불가능할 뿐만 아니라 많은 비용과 인원이 필요하다. LSPIV를 이용한 측정방법은 설치된 영상기록장치로부터 읽어 들인 화상데이터를 분석하는 방법이기 때문에 기존의 방법에 비해 과정이 비교적 단순하고 좀 더 정확한 결과를 획득할 수 있어 기존의 방법이 안고 있는 여러 가지 문제점들을 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

기록된 영상 자료는 측정자료로써의 활용뿐만 아니라 대상지역의 수리 수문특성과 관련된 영상 기록자료로도 활용할 수 있다. 기존의 방법은 측정된 관측값만 활용할 수 있는 반면, 영상기법을 이용하여 촬영된 영상자료는 관측이후에도 대상지역에 대한 수리 수문 연구에 귀중한 자료로도 활용될 수 있다.

5. 향후 전망

LSPIV 기법은 비접촉식 유속측정 방법으로 비교적 간편하게 일정 영역의 유속장 파악이 가능할 뿐만 아

니라 일반적인 촬영장치 이외의 다른 부수적인 장비가 필요하지 않아 매우 경제적인 측정방법이라 할 수 있다. 따라서 LSPIV기법은 수자원분야에의 활용뿐만 아니라 해안에서의 해수유동 파악 및 도로교통 분야에서의 교통현황 파악과 제어에도 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 현재 급속도로 발전하고 있는 이동통신을 이용한 무선 데이터 송수신 기술과 접목되면 영상자료 획득 부분에서 획기적인 효율성을 기대할 수 있어 앞으로의 활용범위는 더욱 확대될 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) Kinoshita, R., 1984, "Present status and future prospects of river flow analysis by aerial photograph", *Proc. of JSCE*, No. 345/-1, pp.1-19.
- 2) Fujita, I. and Komura, S., 1990, "Computation of two dimensional velocity profiles during floods by the correlation method", *Proc. of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol. 35, pp.293.
- 3) Fujita, I. and Komura, S., 1994, "Application of video image analysis for measurement of river-surface flows", *Proc. of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol. 38, pp.733-738.
- 4) Aya, S., Fujita, I. and Yagyū, M., 1995, "Field-observation of flood in a river by video image analysis", *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol. 39, pp.447-452.
- 5) Muste, M., Fujita, I. and Kruger, A., 1998, Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications, *Jr. of Hydraulic Research*, Vol. 36, No. 3 pp.397-414.
- 6) Fujita, I., Aya, S., and Deguchi, T. 1997, "Surface Velocimetry Measurement of River Flow Using Video Images of an Oblique Angle", *Proceedings th IAHR Conference, Theme B*, Vol. I, San Francisco, CA, pp.227-232.
- 7) Stevens, C. and Coates, M., 1994, "Application of a maximised cross-correlation technique for resolving velocity fields in laboratory experiments", *Jr. of Hydraulic Research*, Vol. 32, NO. 2, pp.195-212.