

LSPIV기법의 수리모형실험 적용성 검토

Study on Applicability of LSPIV in Hydraulic Model Experiments

류시완*, 박재현**, 이남주***, 이종진****

Siwan Lyu, Jae Hyeon Park, Namjoo Lee, Jon Jin Lee

요 지

본 연구에서는 다양한 유량 조건 하에서 수로의 만곡이 존재하고 하중도가 존재하는 비교적 복잡한 지형에 대한 수리모형실험에 LSPIV기법과 기존 점유속계(2차원 전자기유속계)를 함께 적용하고 그 결과를 비교하여 복잡한 흐름에 대한 LSPIV의 적용성을 검토하였다. LSPIV를 이용한 표면유속장과 2차원 전자기유속계를 이용하여 1점법으로 측정된 유속장을 비교할 때, 수로 만곡과 같은 지형적 특성으로 인한 유속분포의 특성이 유사하게 관측되었으며, 홍수시의 주변고수부지 및 하중도 침수로 인해 복잡한 흐름구조가 발생하는 경우에는 LSPIV를 이용한 표면유속장 측정을 통하여 흐름특성을 더욱 명확하게 관찰할 수 있었다. 측정된 유속자료 및 하도단면자료를 이용하여 홍수량을 산정해 본 결과, 하도횡단면이 비교적 단순한 경우에는 표면유속과 점유속을 이용해 계산한 홍수량 간의 차가 크지 않았으나 하도단면이 복잡한 경우에는 계산된 홍수량 사이의 차가 크게 나타났다.

핵심용어: LSPIV, 수리모형실험, 표면유속

1. 서론

자연하천과 인공수로 등의 개수로 흐름을 수리학적으로 조사·분석하여 구명(究明)하기 위해서는 수위, 유속, 유량 등의 각종 수리량(水理量)을 정량적으로 정확히 측정할 필요가 있다. 특히 유속은 압력과 함께 흐름의 운동학적 상태를 분석하는데 필수적인 수리량으로 일반적으로 특정 지점에서의 수심평균유속들이 주로 이용된다. 실제 개수로 흐름에서는 수로의 단면형과 불규칙성, 경계면의 조도(組度), 물의 점성, 표면장력 등에 의하여 수심방향으로 2차곡선이나 대수곡선으로 표현 가능한 불균일한 유속분포를 가지게 되므로, 수심평균유속을 구하기 위해서는 수심방향으로 다양한 지점에서의 유속을 측정하여 그 값의 가중평균을 이용한다. 그러나 실제 하천에서 수심방향으로 다양한 지점에서 유속을 측정하는 것은 시간적으로나 물리적으로 어려움이 있기에, 표면유속을 측정하고 적절한 보정계수를 고려하여 수심평균유속을 유추하는 방법이 사용되기도 한다.

일반적으로 표면유속 측정을 위해 부자(浮子)나 초음파유속계를 이용한다. 그러나 이러한 표면유속계측방법들은 모두 특정 지점에서의 점유속 자료만을 제공하므로 유속장(流速場) 자료를 구하기 위해서는 계측기기를 이동해가면서 측정을 반복해야했고, 특히 순간유속장 측정이 불가능하다는 문제점을 지니고 있다. 이러한 문제점들을 극복할 수 있는 표면유속계측방법으로 적절한 시간간격을 두고 취득된 두 개의 영상을 비교하여 수면에 부유하는 입자들의 변위를 영상처리기법

* 정회원, 창원대학교 토목공학과 전임강사 · E-mail: minilite@changwon.ac.kr

** 정회원, 인제대학교 토목공학과 조교수 · E-mail: jh-park@inje.ac.kr

*** 정회원, 경성대학교 토목공학과 부교수 · E-mail: njlee@ks.ac.kr

**** 정회원, 인제대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: jongjinlee@yahoo.co.kr

(image processing technique)을 통해 측정하는 LSPIV기법(Large Scale Particle Image Velocimetry technique)이 있다. 일반적으로 PIV는 영상처리기법을 이용한 입자추적을 통한 유속장 측정방법과 측정장치 모두를 지칭하는 표현이다.

본 연구에서는 실제 자연하도에 대한 수리모형실험에서 기존의 점유속계(2차원 전자기유속계) 및 LSPIV를 통한 유속측정을 수행하고 그 결과를 비교하여 LSPIV를 이용한 표면유속측정기법의 수리모형실험 및 자연하천에 대한 적용성을 검토하고자 하였다.

2. LSPIV 이론

LSPIV는 PIV(Particle Image Velocimetry)의 응용기법으로 간단한 장치구성과 영상처리 및 분석을 위한 소프트웨어만으로 대규모 실험이나 현장에 적용이 가능한 유속계측방법이다. 일반적으로 PIV는 유동장 내에 LASER를 얇은 막(sheet) 형태로 조사(照射)하여 LASER sheet 상에 존재하는 부유입자에 의해 산란되는 빛을 LASER sheet와 직각으로 설치된 카메라를 통하여 영상을 취득한 후, 영상처리기법을 이용하여 영상 내의 입자들의 변위를 계산해 유속장을 제공하게 된다. 따라서, PIV는 많은 장비들이 요구되며, 그에 따른 공간적 제한, LASER 조사범위의 한계, 시스템 구성에 있어서의 복잡성 및 경제성 등의 제한으로 인하여 소규모 실내실험에 제한적으로 이용된다. 반면, 표면유속 측정에 이용되는 LSPIV기법은 간단한 장치구성과 영상처리 및 분석을 위한 소프트웨어만으로 대규모의 실험이나 현장에 적용이 가능하다. LASER 조사장치와 같은 하드웨어 구성 그리고 하드웨어 배치에 대한 차이를 제외하면 시간간격을 가지고 취득된 두 개의 영상에 대한 입자들의 변위계산과정은 LSPIV와 PIV가 동일한 알고리즘에 의해 수행된다.

LSPIV는 PIV와 비교하여 자연하천이나 대규모 수로와 같이 상대적으로 넓은 영역의 유속장을 측정하는데 주로 적용되어 수에서 수백미터에 이르는 넓은 영역을 대상으로 영상을 취득하게 되므로, 실제 지형이 왜곡되어 영상으로 저장된다. 따라서, 영상을 촬영한 후, 왜곡된 영상을 실제 지형좌표에 맞도록 보정하여야 하며, 이를 위해 좌표보정을 위한 기준점(marking point)을 지정한 후 촬영을 하도록 한다. LSPIV기법에 있어서 왜곡된 영상의 보정 및 marking point에 대한 개론적인 원리를 살펴보면 그림 1과 같다. 2차원 평면에 대한 왜곡보정 방법으로 실제좌표계(physical coordinate)와 CRT(cathode ray tube)좌표계 간의 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 marking point로부터 계산되는 mapping계수로 이를 통해 실제 좌표로의 변환을 수행할 수 있다.

LSPIV는 PIV와 동일한 입자추적과정을 수행하기에 앞서 왜곡된 영상의 보정이 요구되며, 보정된 영상에 대하여 입자추적과정을 수행하게 된다. 그림 2는 PIV와 LSPIV에서 이용되는 영상처리과정을 설명하고 있다. PIV와 LSPIV의 입자추적과정은 적절한 시간간격을 가지고 취득된 두 영상에 존재하는 입자들의 위치를 비교하여 각 입자들 혹은 입자군들의 변위를 추정함으로써 이루어진다. 유동장 내에는 수많은 입자들이 존재하게 되며, 각각의 입자나 입자군들을 정확하게 추적하는 것은 거의 불가능하다. 따라서, 그림 2에서 보여지는 바와 같이 전체 영상을 적절한 크기의 소영역(interrogation region)으로 구분한 후, Frame 1과 Frame 2의 대응하는 소영역에서의 각 입자 혹은 입자군들 간의 변위에 대한 cross-correlation을 구하여 소영역의 대표변위를 찾는 과정을 모든 소영역에 대해 반복수행하여 전체 영상에 대응하는 유속장을 구한다(Stevens and

Coates, 1994).

3. 실험시설 및 방법

본 실험은 인제대학교에 제작한 모형수로(폭 12 m, 길이 20 m)에서 수행되었다. 실험모형은 낙동강 중류부에 위치한 판섬을 포함하며 삼랑진철교를 하류경계로 약 3000m 구간에 대해 수평 및 연직축척을 각각 1/200과 1/40로 왜곡모형을 제작되었으며, 지형자료는 2004년 하천지형측량자료(미발표)를 바탕으로 본 과업을 위해 실시한 측량자료를 이용하여 보완하였다. 실험유량은 낙동강하천정비 기본계획(건설교통부, 1991)에 제시된 낙동강 본류 모의대상지역의 50년, 80년 및 100년 빈도 홍수량에 대하여 실험을 수행하였다. 50년, 80년 및 100년 빈도별 원형에서의 유량은 각각 14,860, 16,200, 16,840 m³/s이다.

수리모형실험에서는 2차원 전자기유속계를 사용하여 그림 4에서 보여지는 바와 같은 측정망에서 1점법으로 유속을 측정하고 LSPIV를 사용하여 표면유속을 측정하였다. LSPIV측정에 있어서 전체 실험구간을 하나의 영상으로 취득되는 경우, 촬영장치 해상도와 부유입자의 크기 선정에 문제가 있어 전체 모의구간을 4개의 영역으로 구분하여 LSPIV기법을 적용하였다. LSPIV기법을 위한 부유입자는 비중이 0.92인 LDPE(Low Density Poly Ethylene) 조각(2 cm x 2 cm x 0.5 cm)을 이용하였다. 영상촬영장치로 디지털 비디오카메라(Sony HandyCam PC-330)를 이용하여 초당 30 프레임의 영상을 지표로부터 5 m 높이의 유량공급용 고수조탑에서 촬영하였다. 촬영된 영상은 PC에서 인식하여 입자추적이 가능하도록 greyscale로 변환되었으며, 미리 측정된 marking point를 기준으로 왜곡된 영상을 보정하였다. 그림 3은 촬영된 원영상, greyscale로 변환된 영상 및 왜곡보정된 영상을 보여준다. 그림 3(c)는 그림 3(a), (b)에서 흰색 가이드라인 내부의 영역만을 추출하여 보정한 영상이다.

본 연구에서는 Matlab의 image processing toolbox를 이용하여 왜곡영상의 보정을 수행하였고, PIV기법을 위한 공개 Matlab toolbox인 MPIV(Mori & Chang, 2003)를 이용하여 입자추적과정을 수행하였다. 입자추적과정에서 소영역의 크기는 64 x 64 pixel로 하였으며, 최종 유속벡터자료의 해상도를 높이기 위하여 recursive알고리즘을 도입하여 최종적으로 32 x 32 pixel의 세분화된 소영역에 대한 유속벡터를 구하도록 하였다. 입자추적과정 결과 입자의 불균등한 분포로 인해 발생하는 결측치나 이상치(outlier)로 판단되는 값들은 제거되고 주변값들을 이용하여 Kriging기법으로 내삽하였다.

4. 결과 및 분석

50년 빈도 유량(14,860 m³/s)에서의 2차원 전자기유속계를 이용한 1점법 유속과 LSPIV를 이용하여 측정한 표면유속 측정 결과를 그림 5와 6에 도시하였다. 그림 5와 6을 비교할 때, 수로만곡과 같은 지형적 특성으로 인한 유속분포의 개략적 특성이 표면유속과 2차원전자기 유속계를 이용하여 1점법으로 측정한 경우에 유사하게 관측되었다. 그림으로 도시되자 않은 80년과 100년 빈도 홍수량에 대해서도 LSPIV를 이용한 표면유속장과 2차원 전자기유속계를 이용한 1점법 측정결과 사이에 유사한 유속분포를 관찰할 수 있었다.

특정 측정단면에서의 1점법으로 측정한 유속분포와 LSPIV를 이용한 표면유속분포를 측선에서의 수심분포와 함께 그림 7에 도시하였다. 그림 7에서 선택적으로 도시된 단면들은 그림 4에서 보여지는 바와 같이 판섬 상류(No. 15)와 판섬 부분(No. 21, 27, 33)에 걸친 측선들로서, 그림 7에 도시된 수심분포를 통하여 하천단면이 서로 상이함을 알 수 있다. 그림 7 a)에 도시된 No. 15의 경우, 판섬 상류 지역으로 비교적 하천단면이 단순하나 그림 7 b)~d)에 도시된 단면들의 경우 판섬의 양안으로 수로가 분리되어 상대적으로 하천단면이 복잡한 형태를 나타냄을 알 수 있다. 그림 7

에 도시된 하천단면과 유속분포를 함께 고려할 때, 표면유속과 1점법 측정유속 간의 차이가 하천 단면과 상관관계가 있음을 알 수 있다. 비교적 단순한 단면형상을 가지는 No. 15의 경우 표면유속과 1점법 측정유속 사이에 분포형태가 유사하고 측정값들 간에 큰 차이가 나타나지 않으나, 단면형상이 상대적으로 복잡한 No. 21, 27 및 33에서는 유속 분포형태와 측정값들 사이에 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 하천단면의 복잡화에 의하여 주흐름 방향 유속성분 뿐 아니라 2차류의 영향이 나타나 표면유속과 흐름 내부 유속 간의 차이가 심화됨에 기인하는 것으로 사료된다. 이러한 하천단면형상에 다른 표면유속과 흐름내부 유속분포의 차이 및 측정값의 차이는 그림 7에 도시된 50년 빈도 유량조건 뿐 아니라 80년 및 100년 빈도 유량조건에서도 동일하게 관찰할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 실제 하천에 대한 수리모형실험에서 LSPIV기법을 적용하여 표면유속을 측정하고, 2차원 전자기유속계를 이용하여 측정된 흐름 내부 유속을 비교하여 실제 자연하천 및 수리모형실험에서의 LSPIV의 적용성을 검토하였다. 본 연구를 통하여 비교적 단순한 형상을 가지는 단면에서는 LSPIV를 이용하여 측정된 표면유속이 전체 흐름특성을 제대로 나타낼 수 있으나, 단면형상이 복잡한 경우에는 표면유속과 실제 흐름특성과 차이가 있음을 관찰할 수 있었다. LSPIV기법을 이용함으로써 개수로 표면유속측정에서 측정시간 및 노력의 절감과 동일한 시각에서의 전체 유속장 정보의 취득이라는 장점, 그리고 국부적인 와의 발생과 같은 복잡한 흐름구조까지도 측정할 수 있다는 장점을 얻을 수 있으나, 흐름단면이 복잡한 형상을 가지는 경우에는 3차원적인 흐름구조 특성을 제대로 고려할 수 없기에 그 적용에 어려움이 있는 것으로 사료된다. 따라서, LSPIV를 실제 하천 및 수리모형실험에 적용하는 경우 하천단면의 형상을 고려하여야 할 것이며, 표면유속과 평균유속과의 상관관계에 대해서 향후 연구가 요구되는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부 (1997). 낙동강 하천정비 기본계획 보고서
2. Fujita, I., Aya, S. and Deguchi, T. (1997). "Surface velocity measurement of river flow using video images of an oblique angle." Proceedings XXVII IAHR Conference, Theme B. Vol. 1, 227
3. Mori, N and Chang, K. (2003) Introduction to MPIV-PIV toolbox in Matlab
4. Stevens, C and Coated, M. (1994). "Application of a maximized cross-correlation technique for resolving velocity fields in laboratory experiments." *Journal of Hydraulic Research*, 32(2), 195-212.

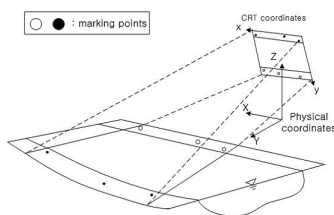


그림 1 영상 보정원리(Fujita et al., 1997)

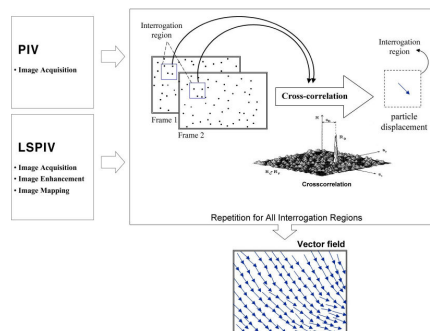
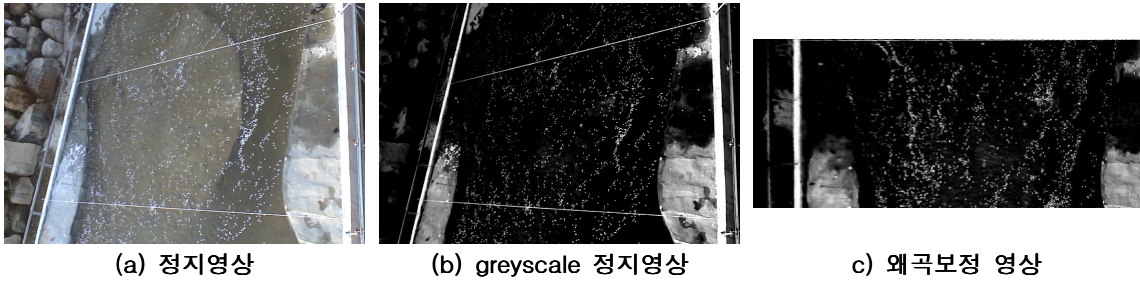


그림 1 LSPIV와 PIV의 입자추적과정



(a) 정지영상

(b) greyscale 정지영상

(c) 왜곡보정 영상

그림 3 LSPIV기법을 위한 영상의 변환과정(80년 빈도-3번단면)

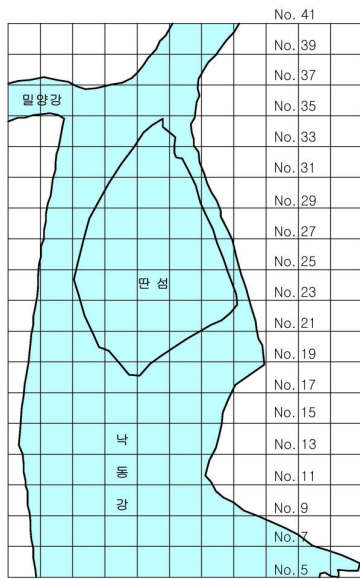


그림 4 유속측정지점

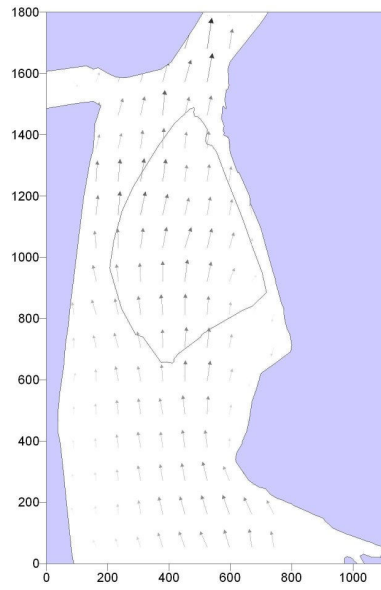


그림 5 1점법 유속장(50년)

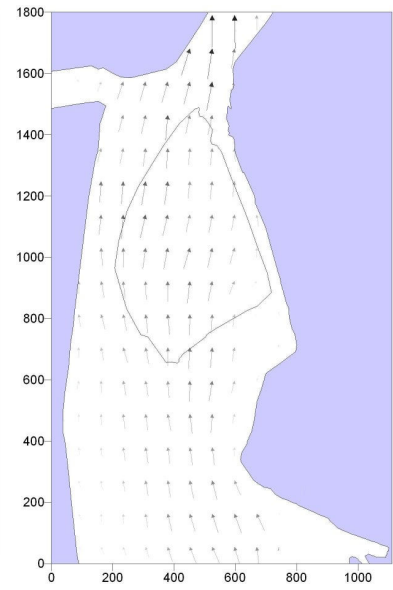
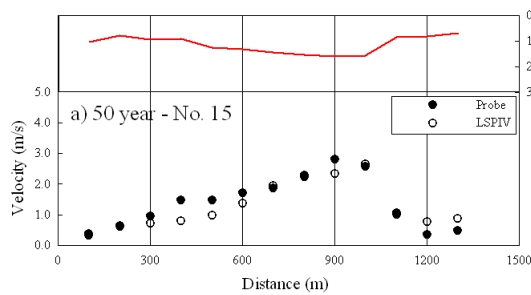
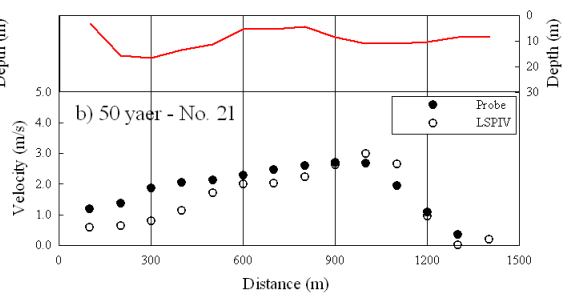


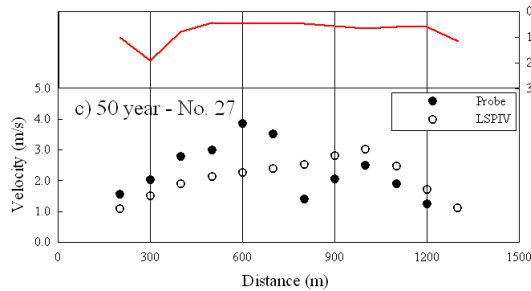
그림 6 표면유속장-LSPIV(50년)



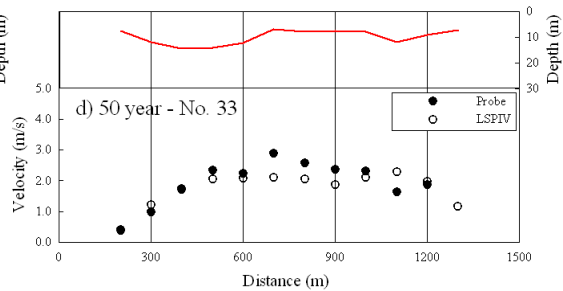
a) 50 year - No. 15



b) 50 year - No. 21



c) 50 year - No. 27



d) 50 year - No. 33

그림 7 표면유속과 1점법 측정유속 비교(50년 빈도)