

LSIV를 이용한 하천 합류부 수리 모형 실험

Application of LSIV to Hydraulic Model Experiment on River Confluence

고 석 현* / 류 권 규** / 윤 병 만***

Koh, Seok Hyun / Yu, Kwon Kyu / Yoon, Byung Man

Abstract

LSIV (Large Scale Image Velocimetry), a technique of image analysis on velocity measurement, was applied to a hydraulic model experiment of river confluence. The surface velocities measured by using LSIV showed similar results with the mean velocities by using a traditional velocimeter. While a general velocimeter can measure only local point velocity, LSIV can measure whole velocity field with one shot. When it is applied to river confluence or around a bridge pier where local flow is dominant, LSIV may be a powerful tool to measure velocity field.

key words : image analysis, velocity measurement, model experiment, velocity field

요 지

영상 해석을 이용한 유속 측정 방법인 LSIV를 합류점의 수리 모형 실험에 적용하였다. LSIV에 의해 측정된 표면 유속은 유속계에 의해 측정된 평균 유속과 상당히 유사한 결과를 나타내었다. 일반적인 유속계는 순간적인 지점 유속만을 나타내기 때문에 전체적인 유속장을 살피는 데 어려움이 있으나, LSIV는 전체적인 흐름장의 양상을 한 눈에 살펴 볼 수 있는 좋은 도구이다. 특히 합류점이나 교각 주변부와 같이 흐름이 국부적으로 변화가 심한 경우 LSIV는 적절한 실험 도구가 될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 영상해석, 유속측정, 모형실험, 유속장,

1. 서 론

수리 모형 실험은 하천의 수리 문제를 해결하는 데 널리 이용되는 주요한 도구이다. 특히 수치 모형에 필요한 주요 자료가 없거나 수치 모형화가 어려운 문제일 경우, 하천의 유속장을 알기 위해 수리 모형 실험은 필수 불가결하다. 수리 모형 실험을 통하여 수치 모형이 커버하기 어려운 문제들, 예를 들면 유사 문제나 국부적 흐름 등의 양상을 쉽게 파악할 수 있다.

다만, 수리 모형 실험을 통해 세부적인 유속장을 얻고자 할 경우 수없이 많은 측정점이 필요하며, 이에 많은 노력과 시간이 소요된다. 이때 LSIV는 유속장 전체를 측정하는 매우 훌륭한 도구가 될 수 있다. LSIV

는 영상 해석을 이용하기 때문에 한 쌍의 영상 분석을 통하여 유속장 전체를 한꺼번에 측정할 수 있기 때문이다. 특히 하천 합류점이나 교각 주위와 같이 흐름장이 복잡한 구조를 가질 때 LSIV는 매우 유용한 도구가 될 수 있다.

2. LSIV의 기본 원리

2.1 LSIV란?

LSIV (Large Scale Image Velocimetry)는 실험실에서 유속측정을 하기 위해 개발된 입자영상유속계(PIV, Particle Image Velocimetry)를 실제 하천과 같은 대규모 영역에 적용하여 표면유속을 측정하기 위한 영상측정기법의 하나이다. 하천에서의 유량 측정이 많은 시간

* 명지대학교 토목환경공학과 석사과정 (e-mail : serky1@hanmail.net)

** 명지대학교 토목환경공학과 연구원

*** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 교수

과 경비가 소요되며. 위험을 동반하기 때문에, 이러한 어려움을 해결하려는 목적으로 1990년대 들어 새로 등장한 것이 하천 표면 영상의 해석에 의한 홍수량 추정 방법이다. 이것은 실험 수로에서 유속장의 측정을 위해 이용하는 입자 영상 유속계(PIV, Particle Image Velocimetry)의 원리를 응용한 것이다. 이 때문에 이러한 기법을 통상 대규모 영상 유속계(LSIV, Large Scale Image Velocimetry) 또는 LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry)라 부른다(노영신, 2004).

LSIV에 의한 유량측정방법은 촬영된 영상을 이용하여 유속장 전체를 동시에 분석할 수 있어 기존 측정방법에 비해 측정과정이 단순하다. 측정에 소요되는 시간도 1초 동안 30프레임의 정지영상이 저장되기 때문에 최소 30초에서 1~2분의 측정만으로도 분석이 가능하여 기존 측정방법에 비해 측정시간을 약 1/10로 단축할 수 있다. 따라서 홍수 측정시 유량이 급격하게 변화하여 신속한 측정이 필요한 경우에 적합하다. LSIV는 사용되는 측정 장비가 캠코더와 같은 간단한 촬영장치 뿐이므로 측정인원도 기존의 3~4명에서 최소 1인으로 줄어 측정 작업을 더욱 효과적으로 수행할 수 있을 뿐만 아니라 측정비용을 절감할 수 있다. 또한 LSIV는 촬영된 대상영역의 영상을 분석하여 유속장 전체를 측정할 수 있기 때문에 전체 흐름장의 파악은 물론 교각 또는 수제와 같은 구조물 주변의 국부적인 흐름변화를 파악하기가 용이하다. 따라서 유량측정의 활용뿐만 아니라 수리모형실험 및 하천의 주요 관심영역에 대한 흐름장을 파악하는데도 편리하게 활용될 수 있다.

2.2 LSIV에 대한 연구

영상을 이용한 하천의 표면 유속 측정은 1980년대 중반에 일본에서 최초로 시도되었다. Kinoshita (1984)는 한 쌍의 항공사진을 이용하여 하천의 유속측정을 시도하여 봄으로써 영상해석 기법을 실제 하천에 적용하기 시작했다. 그러나 항공사진에 의한 분석은 많은 비용이 소모되고, 홍수사상 전체의 시간적 분포를 측정하기가 불가능할 뿐만 아니라 기상조건 등에 의한 제

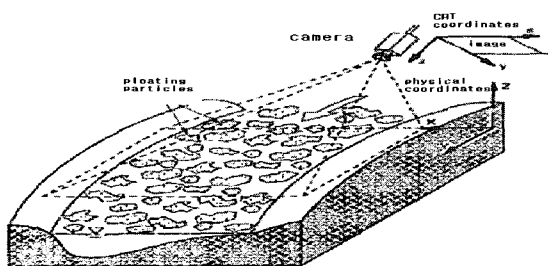


그림 1. LSIV에 의한 표면 유속 측정 원리

약을 받는 단점이 있다. 그 후 비스듬한 각도로 촬영된 비디오 영상을 분석하기 위한 기법을 개발하여 강둑에서 카메라를 사용하여 이미지를 획득하여 유동장을 분석하는 방법이 개발되었다(Fujita 와 Komura, 1994). 이 때 영상 해석을 위한 표적물은 하천표면을 떠나려 가는 나뭇조각과 외류에 의해 생성되는 기포 등이다. LSIV 기법은 실험실에서 대규모 모형 실험을 할 때도 유용하게 적용될 수 있다. 예를 들어, Ettema 등 (1997)은 Mississippi강과 Missouri강 합류부에 대한 수평방향 1:500, 수직방향 1:100의 왜곡모형 실험의 유속측정에 LSIV를 이용하였으며, 이밖에도 여러 가지 형태의 대규모 대상영역에 성공적으로 적용하였다.

국내에서는 노영신 등(2002)이 LSIV에 의한 표면 유속의 측정에 관한 연구를 국내 최초로 수행하였다. 이들은 실험 수로에서 활차를 이용하여 LSIV의 표면 유속 측정결과를 검증하였으며, 경안천 지류인 끈지암천의 유속장 측정에 LSIV를 이용하였다. 그 결과 LSIV가 표면 유속 측정에 적합함을 입증한 바 있다(노영신, 2004).

본고에서는 LSIV를 합류부의 수리 모형 실험에 적용하여 그 적용성을 검토하고자 한다.

3. LSIV의 적용

3.1 중심사천 상황

대상구간은 광주천의 지방 1급 구간과 지방 2급 구간, 지방 2급 하천인 중심사천이 합류되는 지점이다. 행정구역으로는 광주시 북구 원지동, 학동 부근이다(광주광역시, 2004). 중심사천과 광주천 합류점 지점의 평면 형태는 그림 3과 같다. 이 구간의 하폭은 광주천은 약 50~70 m, 중심사천은 약 20~30 m 정도이다. 합류부에 인접한 중심사천에는 그림 4, 그림 5와 같이 원지교와 원지2교, 두 개의 교량과 한 개의 송수관로가 위치하고 있다. 각 교량에는 3개씩의 교각이 설치되어 도합 9개의 교각이 있으며, 이러한 일련의 교각군은 하천의 홍수위를 상승시키고 이 지점의 유속을 증대시켜 국부적인 세굴을 심화시킬 우려가 있다.

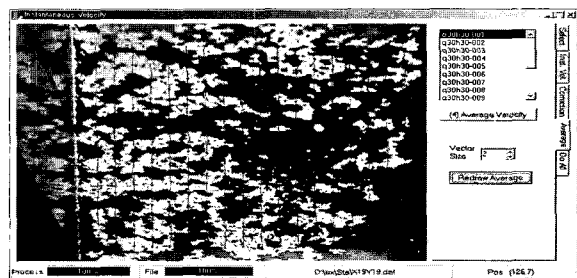


그림 2. LSIV 소프트웨어

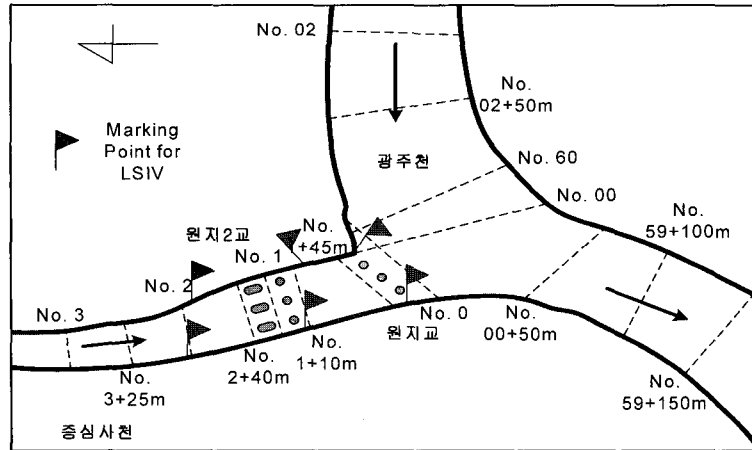


그림 3. 증심사천-광주천 합류 구간

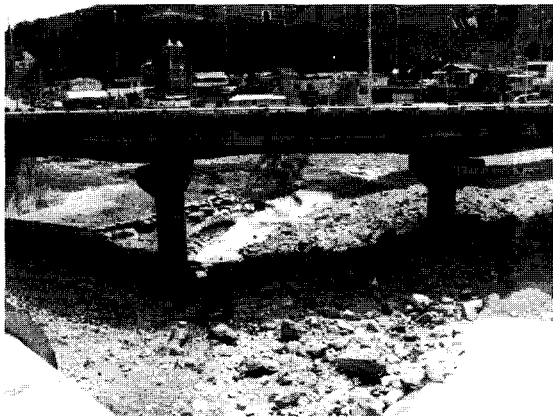


그림 4. 상류에서 본 원지교



그림 5. 하류에서 본 원지교와 송수관로

실제 증심사천 합류부의 상황은 그림 4~그림 5와 같다. 이 구간은 하상의 자갈이나 호박돌들이 노출되어 있으며, 국부적인 세굴이 상당히 심한 지점으로 판단된다. 이것은 이 지점에 인접한 합류점 하류의 하상이 모래와 같은 비교적 작은 입경의 하상 재료로 이루어진 것에 비교해 보면 교량이 설치된 지점들의 세굴이 얼마나 심각한지 알 수 있다.

이러한 국부 세굴 효과는 이 지점에 위치한 3개의 구조물의 교각들이 밀집되어 생기는 단면 축소와 그에 따른 홍수위 상승, 또는 홍수 유속 증대 등의 영향인 것으로 보인다. 따라서 이들 교각에 의한 홍수위 상승 효과를 모의하기 위해 일련의 수리 모형 실험을 수행하였다.

3.2 수리 모형 실험 개요

수리 모형 실험은 수평 방향 축척 1/100, 연직 방향 축척 1/50의 왜곡 모형을 이용하여 수행하였다. 콘크리트로 하천의 틀을 만들고, 대상 구간에 있는 교각은 플라스틱으로 축척에 맞게 제작하였다.

광주천-증심사천 합류부 구간의 수리모형 실험은 표 1과 같이 100년 빈도 홍수량에 대하여 유속 및 수위를 측정 하였다. 유속측정은 그림 6과 같은 3차원 유속계 (ACM300-A)와 일반적인 캠퍼터를 사용하여 측정하였고, 수위는 그림 7과와 같이 포인트 게이지를 이용하였다.

표 1. 증심사천 수리 모형 실험의 유량 조건

유량빈도	광주천		증심사천	
	실험	모형	실험	모형
100년 빈도	256 m ³ /s	25.595 l/s	155 m ³ /s	15.317 l/s

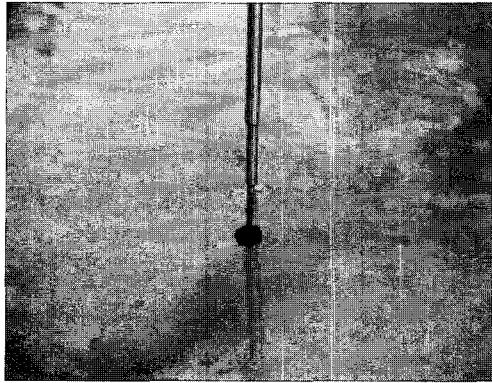


그림 6. 3차원 유속계를 이용한 유속측정



그림 7. 포인트 게이지를 이용한 수위측정

3.3 유속 실험 결과

3.3.1 합류점의 유속 분포

LSIV에 의한 표면 유속 측정은 일반적인 캠코더와 LSIV 프로그램을 이용하여 이루어졌다. 이용한 추적 입자는 비누 거품이었다. 먼저 추적입자를 산포한 뒤 약 1분간 캠코더로 영상을 촬영하였다. 촬영된 영상을 그랩 카드를 이용하여 디지털화한 뒤 이를 프레임별로 분할하고, 5프레임 간격별로 영상 분석으로 하여 표면 유속을 산정하였다. LSIV 프로그램과 영상의 처리 과정에 대해서는 노영신 (2004)의 논문에 자세히 소개된 바 있다.

그림 8은 광주천 합류점의 유속 분포를 LSIV로 측정된 것이다. 측정된 유속 분포는 광주천과 증심사천 합류점에서 유속장이 어떻게 형성되는지 국부적인 양상을 확실하게 보여주고 있다. 광주천에 비해 증심사천의 하상 경사가 매우 급하나, 둘 사이의 유량 차이가 크기 때문에 증심사천의 배출수는 광주천의 배출수에 밀려서 광주천 상류쪽으로 오히려 역진을 하는 양상을 보인다. 또한 유속의 크기도 현저히 작은 것을 알

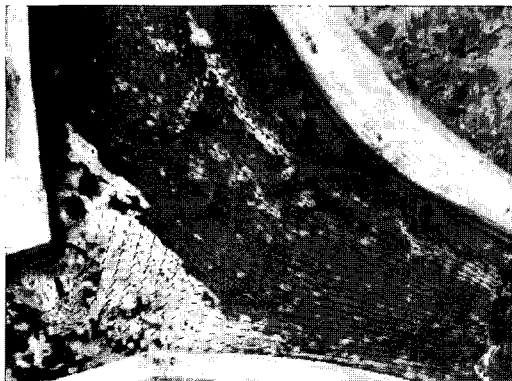


그림 8. 광주천-증심사천 합류점의 유속 분포

수 있다. 실제 상황에서도 합류점의 돌출부인 이 지역은 (그림 8에서 왼쪽 아래 부분 흰 거품이 몰려 있는 곳)은 유사가 상당량 퇴적되어 있는 곳이다. 이 때 LSIV의 측정에 소요된 시간은 촬영 5분 내외, 분석 10분 내외로 약 15분 이내였다. 한편, 유속계에 의한 측정에는 총 50개 정도의 측정점을 측정하는데 수시간 이상이 소요되었다.

유속계로 측정된 결과와 LSIV로 측정된 결과를 비교해 보면 그림 9와 같다. 여기서 LSIV에 의한 결과는 표면 유속이고, 유속계로 측정된 것은 평균 유속이다. 일반적으로 평균 유속이 표면 유속보다 작은 것 (0.85~0.95)으로 알려져 있으나, 본 실험에서는 거의 비슷한 결과를 보였다. 그것은 본 실험에서 수심이 그리 깊지 않아 평균 유속과 표면 유속의 차이가 거의 없기 때문으로 보인다. 두 경우 최대 오차는 5% 이내이며, 평균 오차는 3% 정도이다.

3.3.2 교각 주위의 유속 분포

또한, LSIV를 이용하여 증심사천의 교각 주위의 유속장도 측정하였다. 증심사천은 하상 경사가 매우 급

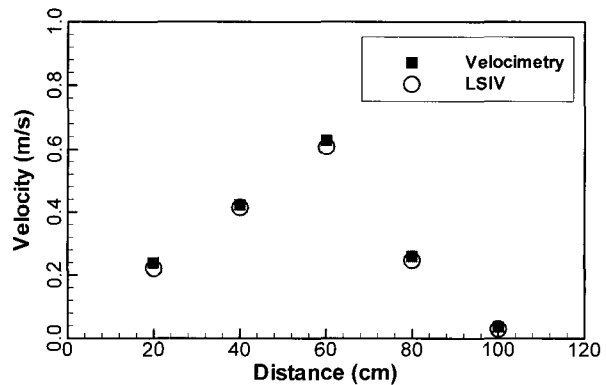


그림 9. 광주천-증심사천 합류점 60.0 단면의 유속 측정 결과

하여 일부 구간에서는 사류가 발생하기도 하는 구간이다. 그림 10은 증심사천에 위치한 원지2교와 송수관로 하류의 흐름 상황을 보여 주고 있다. 그림 11은 이러한 유속장을 LSIV를 이용하여 측정된 결과이다. 다만, 이 지역은 유속이 매우 빠르고 흐름은 비정상 흐름과 비슷한 양상을 띠는 지역이다. 따라서 유속계에 의한 측정이나 LSIV에 의한 측정 모두 정밀한 측정을 하는 데 한계가 있는 지역이다. 그림 11은 LSIV에 의해 측정된 결과인데 그림 11 위쪽의 유속 벡터의 방향이 오른쪽이 아닌 위쪽으로 향하는 것처럼 보이는 것은 이 지점이 이차류가 매우 강하게 발생하는 것을 보여주고 있다.

또한, 유속계에 의한 유속 측정 결과와 LSIV에 의한 측정 결과를 비교하면 그림 12와 같다. 여기서도 앞의 합류점과 마찬가지로 LSIV에 의한 측정 결과가 유속계에 의한 결과와 상당히 일치함을 보여주고 있다. 이 경우는 앞의 합류점 경우보다 오차가 약간 더 크게 발생하여 최대 오차가 10% 정도에 이르고 있다. 이것은 이 지점이 거의 사류에 가까울 정도로 유속이 빠르고 시간적으로 유속 변화가 극심하기 때문인 것으로 보인다.

다. 이런 점도 좀 더 가까이 촬영하여 분석을 한다면 충분한 정밀도로 측정이 가능할 것으로 보인다.

이런 점에서 볼 때 LSIV에 의한 표면 유속 측정은 적절한 추적 입자와 적절한 축척, 그리고 표면 유속을 평균 유속으로 환산하기 위한 적절한 방법이 구비된다면 수리 모형 실험에서 매우 효율적인 도구가 될 수 있을 것으로 보인다.

4. 요약 및 결론

- (1) 영상 분석 기법을 활용하여 수리 모형 실험때에 표면 유속장을 측정하였다. 이 방법을 광주천과 증심사천 합류부와 증심사천의 교각군 유속장 측정에 활용한 결과 전체적인 유속장을 매우 빠르고 쉽게 얻을 수 있었다. 국부 흐름이 강한 합류부나 교각 주위의 흐름에 LSIV를 적용할 경우, 일반 유속계에 의해 측정하기 어려운 전체 유속장을 손쉽게 측정할 수 있다.
- (2) LSIV는 수리 실험 측정에 활용하는 데 충분한 정밀도가 있음을 입증하였다. LSIV로 측정된 표면 유속을 유속계에 의한 평균 유속과 비교한

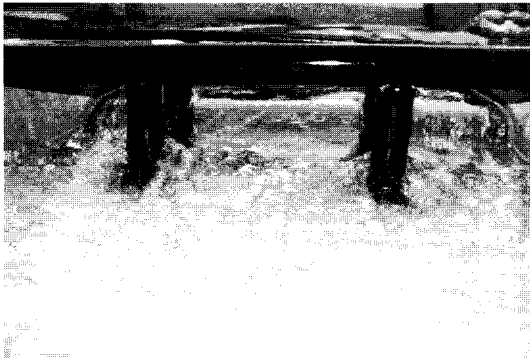


그림 10. 증심사천 교각 모형 하류부의 흐름

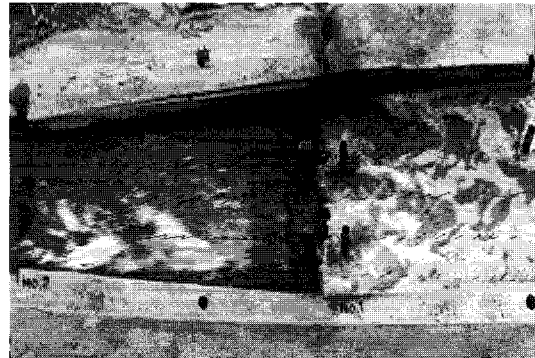


그림 11. LSIV에 의한 증심사천 교각 모형 주위의 유속장

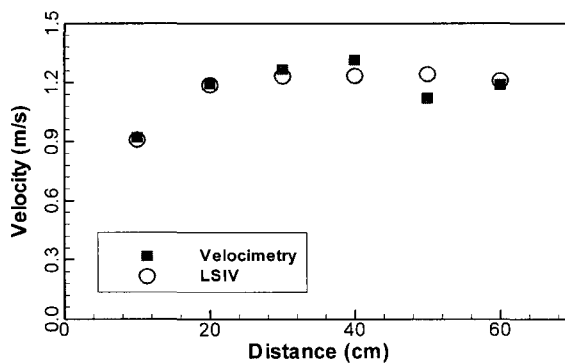


그림 12. 증심사천 교각 주위 (1.0 단면)의 유속 측정 결과 비교

결과 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 일반적으로 평균 유속과 표면 유속 간에는 차이가 있으나 본 실험의 경우 수심이 비교적 얇아 평균 유속과 표면 유속의 차이가 적었던 것으로 보인다.

- (3) 영상 분석의 정밀도를 높이기 위하여 고해상도 영상을 활용하면 좀더 자세한 유속장을 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

- 광주광역시 (2004). “광주천 (지방2급) 하천정비기본계획(재정비)”.
- 노영신 (2004). “영상해석 기술을 이용한 하천 유량 측정 기법 개발”, 박사학위논문, 명지대학교 토목공학과.

노영신, 윤병만, 김영근, 유권규 (2002). “개수로 실험장치를 이용한 LSPIV기법의 검증”, 한국수자원학회 학술발표회, pp. 982-988.

Ettema, R., Fujita, I., Muste, M., and Kruger, A. (1997). “Particle image velocimetry for whole-field measurement of ice velocities.” Cold Regions Science and Technology Journal, 26(2). pp. 97-112.

Fujita, I., and Komura, S. (1994). “Application of video image analysis for measurements of river surface flows.” Proceedings of Hydraulic Engineering, JSCE, 38, pp. 733-738. (in Japanese).

Kinoshita, R. (1984). “Present status and future prospects of river flow analysis by aerial photography.” Proceedings of JSCE, NO. 345/II-1, pp. 1-19. (in Japanese)

- © 논문접수일 : 2005년 03월 17일
© 심사의뢰일 : 2005년 03월 17일
© 심사완료일 : 2005년 03월 28일