상관계수에 따른 표면영상유속계의 정확도 분석

The Accuracy Analysis of SIV(Surface Image Velocimetry) Associated with Correlation Coefficient

주 용 우* / 김 서 준**/ 류 권 규 ***/ 윤 병 만****

Joo, Yongwoo /Kim, SeoJun/Yu, Kwoonkyu/Yoon, Byungman

요 지

최근 개발된 표면영상유속계(Surface Image Velocimetry)를 이용한 유량측정기법은 비교적 짧은 시간에 급변하는 홍수량을 정확도를 유지하면서도 간편하고 안전하게 측정할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 표면영상유속계는 현장 상황과 사용 방법에 따라 측정된 유속값의 오차가 얼마나 발생하는지에 대한 근거가 없으며, 그 오차 범위가 명확하게 제시된 바가 없기 때문에 표면영상유속계의 신뢰성에 대해 의구심을 갖는 경우가 많다.

표면영상유속계의 유속측정 원리는 일정 시간간격을 갖는 두 영상내의 입자군 이동을 추적하여 유속벡터를 산정하는 것이다. 즉, 두 영상의 탐색 영역(searching area)내에서 각 입자군의 상관계수를 계산하여 최대 상관계수를 갖는 입자군을 동일 입자군으로 판별하고, 동일 입자군의 도심간 거리와 두 영상의 시간간격을 이용하여 유속을 구하게 된다. 그러므로 상관계수가 높을수록 유속값이 정확하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 상관계수에 따른 유속측정 오차를 분석하여 상관계수에 따른 표면영상유속계의 오차범위를 결정하고자 한다. 분석방법은 활차의 속도와 영상분석을 통해 얻은 속도를 비교하여 상관계수에 따른 오차범위를 살펴보았고, 실제 적용을 위하여 개수로내의 표면유속를 측정하여 상관계수에 따른 오차를 분석하였다. 분석 결과 상관계수가 0.7 이상인 측정유속의 정확도는 10% 이내로 확인되었으며, 향후 표면영상유속계를 이용한 유속측정시 상관계수별 오차범위를 이용하여 현장적용시 정확도 개선을 위해 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

핵심용어 : SIV(표면영상유속계), 유량측정, 정확도분석

1. 서 론

하천의 유량을 측정하는 일은 상당히 많은 인력과 경비가 소요된다. 또한 많은 위험요소를 갖고 있다. 따라서 최근에는 표면영상유속계(SIV, Surface Image Velocimetry)와 같이 표면유속을 측정하고 이를 이용하여 유량을 산정하려는 연구가 국내외적으로 많이 진행되고 있다. 이는 표면영상유속계가 봉부자를 비롯한 기존의 유량측정방법들에 비해 측정이 간편하며 인원, 비용 및 위험요소와 측정시간을 최소화 할 수 있는 장점을 확인하였다(노영신, 2005, Fujita, 1997, 김서준 등, 2007).

표면영상유속계는 많은 장점을 가지고 있으나 실용화 과정에서 여러 문제점들이 제기되었다. 이러한 문제

* 정회원·명지대학교 토목환경공학과 박사과정·E-mail: seojuny@paran.com

** 정회원·명지대학교 토목환경공학과 석사과정·E-mail: swish48@hanmail.net(공동저자)

*** 정회원·동의대학교 토목공학과 조교수·E-mail: pururumi@deu.ac.kr

**** 정회원·명지대학교 토목환경공학과 교수·E-mail: bmyoon@mju.ac.kr

점들을 개선하기 위해 최근 다양한 연구가 진행되고 있음에도 불구하고 아직 각 과정별로 표면영상유속계의 실용화와 정확도 향상을 위해 해결해야할 과제들이 남아 있다(김서준, 2008). 이에 본 연구에서는 실용화 과정에서 제기된 여러 문제점들 중에서 표면영상유속계의 정확도 향상을 위해서 연속되는 두 영상에 존재하는 입자군의 상관계수에 따른 측정오차를 분석하였으며, 이를 토대로 상관계수에 따른 오차 범위를 제시하고자 한다.

2. 상관계수에 결정원리

표면영상유속계로 유속벡터를 계산하기 위해서는 연속되는 두 영상 내에서 동일 입자군을 판별해야한다. 표면영상유속계는 동일 입자군의 판별을 위해 PIV의 영상 판별 기법으로 가장 널리 이용되고 있는 cross-correlation 기법(Stevens and Coates, 1944)을 사용하고 있다. 즉, 동일 입자군을 판별하기 위해서는 동일한 입자가 두 영상내에 연속적으로 존재하여야 하지만 실제로 완벽하게 일치하는 동일 입자군을 만들어 주기 어렵기 때문에 두 영상내에서 가장 상관계수가 높은 입자군을 동일입자군으로 판별해서 이동거리를 구하게 된다. 자세한 분석절차는 그림. 1에서 보는 바와 같이 상관영역을 설정한 후 흐름장 유속을 개략적으로 파악하여, 동일한 입자군이 이동될 수 있는 범위 즉, 검색영역을 설정한다. 각 상관영역의 상관계수 R_{ab}의 계산은 연속되는 두 번째 영상의 검색영역에서 상관영역을 pixel 단위로 이동하면서 모든 상관영역에 대해 수행된다. 두 입자군 즉, 상관영역간의 상관계수 R_{ab}는 연속되는 두 영상의 상관영역내 명암 등급값 a_{ij}와 b_{ij}로부터 계산되며, 검색영역내에서 상관계수가 최대값을 갖는 두 상관영역은 서로 동일한 입자군으로 판단한다. 이와 같은 방법으로 모든 입자군의 이동거리가 구해지고 이를 두 영상의 시간간격으로 나누면 속도분포가 구해지게 된다. 상관계수 R_{ab}는 식 (1)과 같이 정의 할 수 있다.

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

여기서, MX와 MY는 상관영역의 크기를 나타내며, a_{ij}와 b_{ij}는 각각 연속되는 두 영상내 상관영역의 pixel에 대한 i 열과 j 행에 대한 명암 등급값을 나타낸다. $\overline{a_{ij}}$와 $\overline{b_{ij}}$는 상관영역 내의 모든 명암 등급 값의 평균이다.

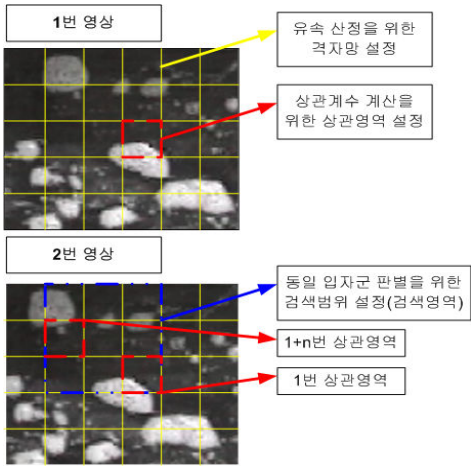

그림. 1 유속계산 흐름도

3. 상관계수에 따른 정확도 분석

본 연구에서는 연속되는 두 영상간의 순간유속들에 대한 분석을 통해 각 상관계수 값들이 가지는 측정오

차를 확인하고 사용자들이 참고할 수 있는 오차 범위를 제시하는 것이 목적이다. 실험 방법은 크게 두 가지로 구분된다. 첫째 활차를 이용하여 측정오차의 분석을 수행하였고, 둘째 확인한 측정오차를 개수로 실험을 통해 실제 적용하였다.

3.1 실험방법

첫 번째 실험은 활차를 이용하여 표면영상유속계를 검증하였다. 영상획득장치를 활차에 부착시키고, 활차를 일정속도로 이동시키면서 활차의 속도와 획득한 영상을 분석한 속도를 비교하였다. 실험은 폭이 일정한 실험수로에서 수행하였다. 실험은 그림. 2와 같이 길이 25 m, 폭이 0.8 m, 높이가 0.7 m인 구형단면 개수로에서 수행하였으며, 그림. 3과 같이 수로 바닥에 0.5 m × 0.5 m 의 입자군을 고정시킨 후 수로 위로 활차를 이동하였다. 영상획득은 그림. 4와 같이 캠코더가 부착된 활차를 일정한 속도로 이동시켜가며 촬영을 수행하였으며, 활차의 속도는 0.2 ~ 1.0 m/s 사이에 5가지 속도조건에 대해 수행하였다.

두 번째는 활차를 이용해 확인된 상관계수에 따른 측정오차를 검증하기 위해 개수로 흐름에서 적용성 여부를 검토하였다. 실험은 폭이 0.3 m이고, 높이가 0.4 m인 구형단면 개수로에서 총 4가지 유량 조건을 가지고 실험을 수행하였다. 그림. 5는 영상획득장치이고, 그림. 6은 획득영상이다.

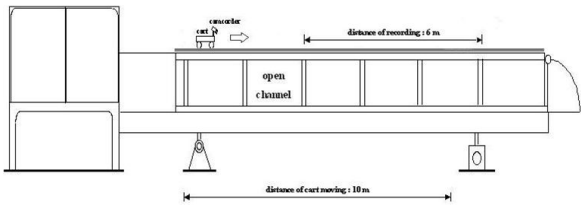

그림. 2 실험수로

그림. 3 활차

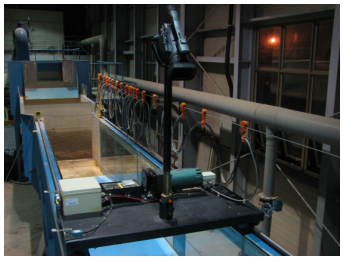

그림. 4 활차

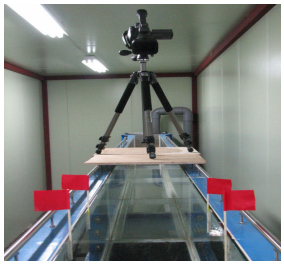

그림. 5 영상획득장치

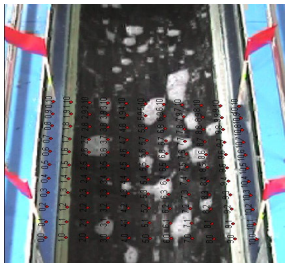

그림. 6 획득영상

3.2 실험결과

첫 번째 활차를 이용하여 측정오차의 분석은 활차 이동속도와 표면영상유속계의 측정유속 중 특정 상관계수 이상의 값들만을 선별하여 활차속도와 비교한 결과는 표. 1과 같다. 그 결과 상관계수가 0.9 이상인 유속값들의 경우 최대 3.17 %의 오차를 보였으며, 0.8이상의 경우에는 최대오차 7.57 %, 0.7인 경우 최대오차 9.57 % 상관계수 0.6이이상인 유속 값들은 최대 16.17 %의 오차를 보였다. 이를 통해 상관계수가 0.7 이상인 유속 값들을 사용할 경우 10% 이내의 신뢰할 수 있는 유속측정 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

표. 1 활차의 속도와 표면영상유속계의 속도의 비교

	활 차 (m/s)	상관계수 0.9		상관계수 0.8		상관계수 0.7		상관계수 0.6	
		유속 (m/s)	오차 (%)	유속 (m/s)	오차 (%)	유속 (m/s)	오차 (%)	유속 (m/s)	오차 (%)
case 1	0.20	0.199	0.50	-	-	-	-	-	-
case 2	0.40	0.401	0.00	-	-	-	-	-	-
case 3	0.62	0.640	2.89	0.645	0.78	0.649	1.41	-	-
case 4	0.82	0.794	3.17	0.769	3.15	0.718	9.57	0.692	12.85
case 5	0.98	0.965	1.53	0.906	7.55	1.045	8.29	1.121	16.17

두 번째 개수로 실험을 통해 실제 적용한 결과 유속 조건별로 약간의 차이는 있었으나 활자를 이용한 실험 결과와 유사한 결과를 확인하였다. 각 유량 조건별로 상관계수 0.99이상의 값들과 측정 유속들을 비교한 결과는 표. 2와 같다. 상관계수가 0.9이상인 경우 표면유속 값들은 최대 6.45 %, 0.8 이상은 최대 8.21 %, 0.7 이상은 최대 9.65 %, 0.6 이상은 최대 17.52 %의 오차를 확인하였다.

표. 2 상관계수에 따른 표면영상유속계의 유속 비교

	상관계수 0.99 (m/s)	상관계수 0.9		상관계수 0.8		상관계수 0.7		상관계수 0.6	
		유속 (m/s)	오차 (%)	유속 (m/s)	오차 (%)	유속 (m/s)	오차 (%)	유속 (m/s)	오차 (%)
case 1	0.180	0.187	3.89	0.191	6.11	-	-	-	-
case 2	0.341	0.363	6.45	0.369	8.21	-	-	-	-
case 3	0.508	0.476	6.29	0.469	7.67	0.459	9.65	0.597	17.52
case 4	0.706	0.715	0.13	0.729	3.19	0.759	7.32	0.778	10.23

4. 결론

본 연구에서는 활차의 속도와 표면영상유속계의 계산속도와 비교하여 상관계수에 따른 오차범위를 결정하였다. 상관계수가 0.9 이상인 유속 값들의 경우 최대 3.17 %의 오차를 보였으며, 0.8이상의 경우에는 최대오차 7.57 %, 0.7인 경우 최대오차 9.57 % 상관계수 0.6이이상인 유속 값들은 최대 16.17 %의 오차를 보였다. 이를 통해 상관계수가 0.7 이상인 유속 값들을 사용할 경우 10% 이내의 신뢰할 수 있는 유속측정 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

또한 개수로 실험을 통해 상관계수가 0.99인 유속과 특정 상관계수의 유속값을 비교하여 실제 적용해 보았다. 분석 결과 상관계수가 0.9이상인 경우 표면유속 값들은 최대 6.45 %, 0.8 이상은 최대 8.21 %, 0.7 이상은 최대 9.65 %, 0.6 이상은 최대 17.52 %의 오차를 확인하였다. 이는 활차를 이용한 실험 결과와 유사한 경향을 보이므로 표면영상유속계의 측정 오차범위를 결정하는 기준으로 상관계수를 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 앞으로 표면영상유속계를 이용한 유속측정시 상관계수별 오차범위를 이용하여 현장적용시 정확도 개선을 위해 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호:2-1-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

김서준, 윤병만, 류권규, 주용우(2007) “LSPIV기법을 이용한 탄천(대곡교) 유량측정” 한국수자원학회 학술발표대회, p. 205

김서준.(2008). 표면영상유속계를 이용한 유량측정기법의 정확도 분석, 명지대학교 석사학위논문.

노영신.(2005). 영상해석 기술을 이용한 하천 유량 측정 기법 개발, 명지대학교 박사학위논문.

주용우.(2009). “SIV 야간측정기법 개발 및 상관계수에 따른 측정오차분석”, 명지대학교 토목환경공학과, 석사학위논문

노영신, 윤병만, 김영근, 류권규.(2002). “LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry)를 이용한 표면유속의 측정”, 한국수자원학회 학술발표회. pp. 501-505

Fujita, I. Aya, S., and Deguchi, T. (1997) "Surface velocimetry measurement of river flow using video images of an oblique angle." Proc. XXVII IAHR Conference, Thema B, Vol.1, San Francisco, CA., pp.227-232.