

# 영상간의 시간간격에 따른 표면영상유속계의 정확도 분석

## Accuracy Analysis of SIV(Surface Image Velocimetry) according to Interval Change between Images

김서준\*, 류권규\*\*, 윤병만\*\*\*

Seojun Kim, Kwonkyu Yu, Byungman Yoon

### 요 지

최근 이상홍수 및 하천정비 등으로 인해 갈수시 또는 홍수시 하천 모니터링을 위한 기초자료로 유량측정의 필요성이 부각되고 있다. 기존 유량측정 방법은 고비용과 다수의 측정인력이 필요하기 때문에 이를 개선하기 위하여 최근 전자장비를 이용한 비접촉식 유량측정에 대한 연구가 다수 진행 중에 있다. 이 중 간편하고 측정 정확도를 유지할 수 있는 표면영상유속계(SIV, Surface Image Velocimetry)에 대한 연구가 국내외에서 다양하게 이루어지고 있다. 표면영상유속계는 일정 시간 간격을 갖는 두 영상을 분석하여 유속을 계산하기 때문에 수표면이 움직이는 시간보다 두 영상 사이의 시간 간격을 길게 할 경우 잘못된 상관영역을 찾게 되어 유속 측정의 정확도를 떨어뜨릴 수 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 영상간의 시간간격 변화에 따른 표면영상유속계의 정확도 분석을 수행하였다.

본 연구에서는 영상간의 시간간격에 따른 표면영상유속계의 정확도 분석을 위해 현장에서 수면 요철이 발생하는 근경 영상을 이용하여 영상내의 수면 움직임의 최소 지속시간을 측정하였다. 측정 결과 대부분의 수면 요철은 0.1 ~ 0.2 초 내에서 발생하였다. 측정 결과 일반 캠코더를 이용하여 초당 최대 30장의 영상을 이용하여 하천 표면유속을 측정한다면 문제가 없을 것으로 판단된다.

**핵심용어 : 표면영상유속계, 시간간격, 정확도 분석**

## 1. 서 론

표면영상유속계(SIV)는 화상을 이용하여 유속을 측정하는 방식으로 계측 대상은 어디까지나 화면내의 색상 분포(통상 0에서 255까지의 값을 갖는다)지만, 그 색상 분포의 대부분은 자연광이 수면의 요철에 의해 난반사되는 것에 의해 생긴다. 예를 들어 홍수시에는 유목잡물이나, 거품 등이 발생하므로 표면류와 함께 유하하는 상황을 쉽게 관찰할 수 있다. 하지만 이와 같은 자연 추적자는 반드시 항상 나타나는 것은 아니기 때문에, 일반적인 가시화 매체로서 이용할 수는 없다. 홍수시와 평수시의 하천 표면의 상태가 명확히 다른 것은 홍수시의 경우, 난류가 강하기 때문에, 수면이 크게 변동한다는 점이다. 이와 같은 수면 변동은 국소적으로 보면 규칙성이 없어 흐름의 상태와는 무관하게 생각되지만, 홍수류의 표면을 촬영한 비디오 화상을 확인하면 수면의 요철 전체가 흐름 방향으로 움직이고 있는 것을 쉽게 확인할 수 있을 것이다. 이와 같은 수면의 요철은 SIV 분석시 유목과 같은 개개의 추적자와 달리 평면적으로 흐름장을 가시화한 면추적자로서 이용할 수 있다. 수면의 요철은 수면과 하나가 되어 이루어지는 것은 아니고, 개개의 미소한 파가 중첩되면서 중복파의 형태로 존재하고 있다. 그리고 각각의 파는 배가 항행하면서 만드는 것과 같은 파고가 큰 항주파와는 달리 방향성이 없이 파장이나 파속도 작다. 이와 같은 작은 척도의 파의 발생 요인으로는

- ① 개수로 면의 거칠기에 따른 난류장에서의 수면 근방의 압력 변동
- ② 수면의 충돌

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

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

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

③ 교각 등 하천 구조물 배후에서 발생한 후류나 충격파의 흔적

④ 바람의 영향

등을 생각할 수 있다. 홍수시에 관측된 수면의 요철은 위와 같은 요인들이 복합적으로 영향을 준 결과 생기는 수면의 교란이다. 따라서 단순히 그 파속을 구하는 것은 어렵지만, 예를 들어 홍수시에 관측된 수면 요철의 파장이 1~10 cm 정도인 것에 대해서 수심이 수 m 규모의 값을 가지기 때문에, 결국 침수파의 파속을 다음 식(1)에서와 같이 계산해 보면 그 값은 최대 40 cm/s 정도가 된다.

$$c^2 = \left(\frac{gL}{2\pi}\right) \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (1)$$

여기서,  $h$ 는 수심,  $g$ 는 중력가속도,  $L$ 은 파장이다.

하지만 현실적으로 이와 같은 파가 발생한다 하더라도 단일파로서는 존재하지 않고, 각각의 파의 파향이 불규칙하여 서로 중첩되고 소거될 것이기 때문에, 비디오 화상에 이동 매체로서 인식되는 미소 수면 교란에는 방향성이 없기 때문에, 미소 파속의 영향은 평균 처리에 의해 제거될 수 있다. 단, 강한 바람에 의해 방향성이 강한 중력파가 연속적으로 발생하고 있는 경우에는, 그 영향은 무시할 수 없어 중력파의 파속에 가까운 형태가 될 수도 있다(藤田와 椿, 2003). 따라서 SIV를 이용한 표면유속 산정시 수면의 교란이 표면유속 산정에 영향을 주느냐 보다는 수면의 요철이 얼마나 빨리 사라지느냐가 중요한 요인이 된다. 왜냐하면 영상과 영상 사이의 시간간격을 어느 정도로 결정하느냐에 따라 동일 명암비를 갖는 상관영역(interrogation)을 추적할 수 있기 때문이다. 이에 본 연구에서는 초고속카메라를 이용하여 210 fps 영상을 획득하여 수면의 움직임을 영상의 명암값으로 나타내어 영상간의 시간간격 결정을 위한 기준을 제시하고자 한다.

## 2. SIV의 영상 표현 및 분석 방법

디지털 영상은 2 차원에 대한 명암 등급값(gray-scale intensity 또는 gray-scale level)에 대한 정보를 가지고 있다. 영상은 그림 1과 같이 점  $(x, y)$ 위치에서  $f$ 의 값은 그 지점에서의 명암 등급값을 나타내는 함수이다. 디지털 영상은 이러한 명암 등급값 뿐만 아니라 공간좌표에 대한 디지털화된 정보를 포함하고 있다. 디지털 영상은 그림 1과 같이 행렬구조로 구성되며, 행렬의 행과 열의 값으로 영상에서 한 점을 표시한다. 그리고 행렬 내 한 요소의 값은 그 지점의 명암 등급값을 나타낸다. 이러한 디지털 배열의 요소들을 화소(pixel) 또는 펠(pel)이라고 부른다(Gonzalez와 Woods, 1992).

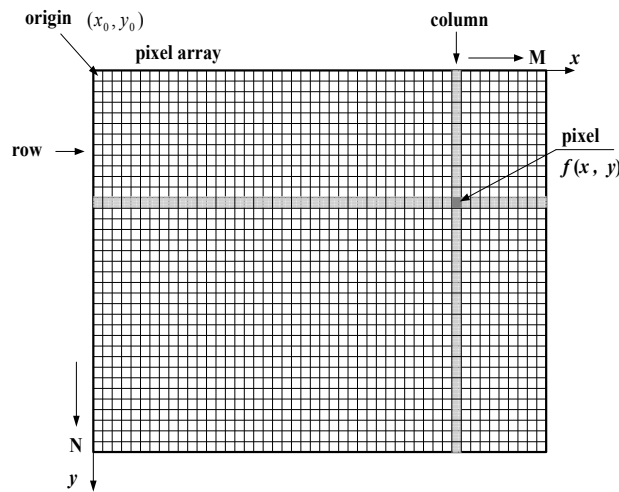


그림 1. 디지털 영상의 좌표(노영신, 2005)

일반적으로 디지털 영상은  $N$  행과  $M$  열의 화소를 가진 2 차원 배열로 표시되며, 각 화소는 명암 등급값을 표현하기 위해 0과 1의 이진(binary) 값이 사용된다. 이러한 경우 각 화소에 8 비트를 할당할 경우  $2^8(256)$  단계의 명암 등급값을 가지며, 이는 0에서 255까지의 값을 표현한다는 의미이다. 색상 영상의 경우 세 가지 기본 색인 적색(red), 녹색(green), 청색(blue)에 대해 각각 하나의  $N \times M$ 의 배열을 필요로 하며, 각

화소는 적색, 녹색, 청색 성분의 강도를 나타내는 명암 등급값의 정보를 가지고 있다. 따라서 red, green, black 색상정보에 8 비트를 부여하면  $2^8 \times 2^8 \times 2^8 = 256^3$  약 1,680만 색상의 표현이 가능하며 red, green, black 가 각각 8 비트를 차지하므로 24 비트 색상 영상이 된다. 디지털화된 정지영상은 색상으로 구성되어 있으며, 일반적으로 컴퓨터 그래픽 시스템들은 적색, 녹색, 청색의 RGB 색상 모형을 사용한다. 이러한 세 색상의 분광 요소들이 부가적으로 복합되어 결과적인 색상을 만들어낸다. 따라서 디지털화된 화소의 명암 등급값은 8 비트당 0~255의 값을 갖게 되므로 RGB 색상을 표현하기 위해서 영상은 24 비트 색상 시스템으로 표현된다. Fig. 2.8에서 보는 바와 같이 적색, 녹색 그리고 청색에 대한 화소의 명암 등급값은 각각 (255, 0, 0), (0, 255, 0), (0, 0, 255)의 값을 갖게 된다.

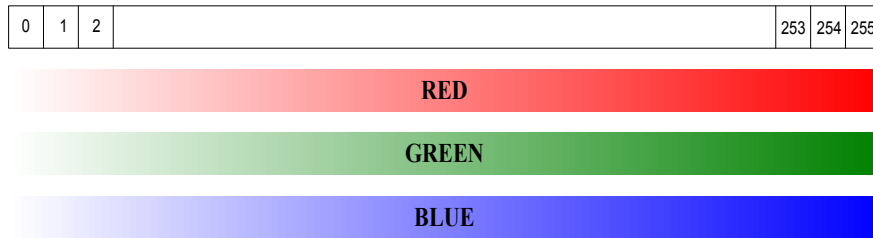


그림 2. RGB 색상의 명암값(노영신, 2005)

이러한 색상영상을 해석하는데 있어서 많은 시간이 소요되고 고용량의 저장장치가 필요하기 때문에 SIV는 효율적인 분석을 위해 색상 시스템을 흑백영상으로 변환하여 분석하게 된다. 즉 영상내 각 화소(pixel)의 흑백영상에 대한 0~255의 명암 등급값을 비교하여 동일 입자군을 판별한다.

### 3. 영상 시간 간격에 따른 pixel의 명암값 변화 분석

#### 3.1 분석방법

본 연구에서는 영상간의 시간간격에 따른 표면유속 측정의 정확도 분석을 위하여 210 fps의 정지영상을 화소 단위로 나누어 명암값들을 분석하였다. 대상하천은 수면폭이 약 21 m 정도인 경안천 상류 지점에서 수행하였다. 수표면의 움직임이 심한 낙차공 직하류 제방에서 영상을 획득하였으며, 영상획득은 해상도  $640 \times 480$ 이고, 초당 210 장을 찍을 수 있는 초고속 카메라를 이용하였다.

분석에 사용한 영상은 그림 3과 같이 가능한 수표면 움직임이 크게 보이는 근경 영상을 이용하여 실시하였다. 그리고 수면 요철이 발생해서 소멸하는 시간을 측정하기 위해서 그림 5와 같이 임의의 구간(가로 31 화소, 세로 1 화소)을 정하여 210장의 영상의 명암값을 측정하였다. 그림 5의 빨간색 원 안의 수면을 관찰하면 수면 요철로 인해 영상내의 색상이 변하는 것을 확인할 수 있다.



그림 3. 근경 영상

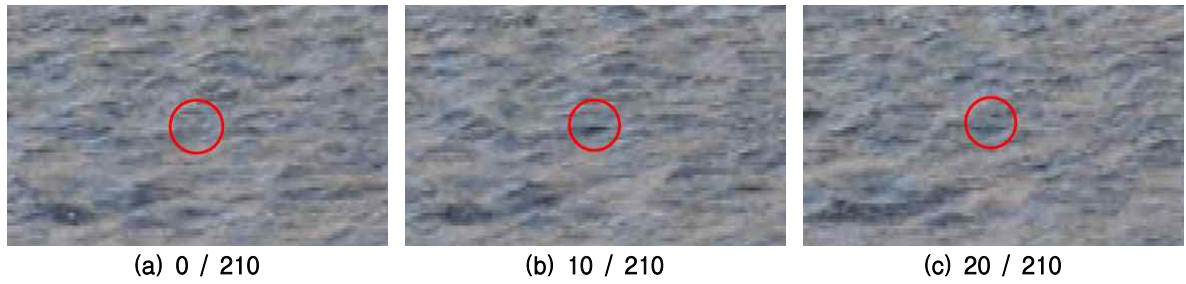
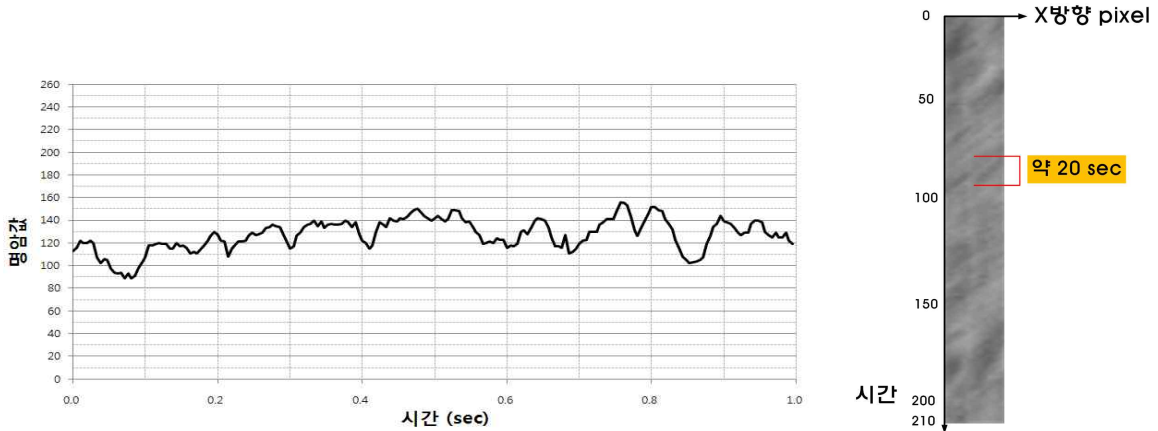


그림 5. 시간에 따른 수면 변화

### 3.2 분석결과

근경 영상을 이용하여 1 화소의 명암값 변화를 분석하여 수면 요철의 최소 주기를 측정된 결과 그림 6(a)와 같이 약 0.1 초 간격내에서 거의 모든 수면 변화가 일어나고 있음을 확인하였다. 그리고 그림 6(b)는 31개 화소의 시간변화를 연속된 영상 결합으로 분석한 것이다. 이 기법은 시공간 영상 분석법(STIV)의 유속분석 과정으로써 수표면의 움직임을 하나의 경사선으로 확인할 수 있기 때문에 수면 요철의 주기를 확인하기 용이하다. 분석 결과 대부분의 수면 변화의 지속시간은 0.2 초를 넘지 않는 것으로 확인되었다.



(a) 시간에 따른 1pixel의 명암값 변화

(b) 경사선 산정

그림 6. 시간에 따른 수면 요철의 변화

임의의 영역내 수면 요철의 최소 주기를 측정하여 정리한 결과는 표 1과 같다. 31개 화소의 최소 수면 요철 주기를 평균한 결과는 약 0.181 초로 확인되었다.

표 1. 수면 요철의 최소 주기

화소 좌표		최소주기(sec)	화소 좌표		최소주기(sec)
가로	세로		가로	세로	
330	290	0.165	340	290	0.184
331	290	0.142	341	290	0.168
332	290	0.215	342	290	0.162
333	290	0.168	343	290	0.195
334	290	0.133	344	290	0.216
335	290	0.108	345	290	0.284
336	290	0.119	346	290	0.215
337	290	0.206	347	290	0.235
338	290	0.184	348	290	0.198
339	290	0.164	349	290	0.164

#### 4. 결론

표면영상유속계(SIV)를 이용한 표면유속 산정시 수표면의 움직임은 유속 산정에 있어 매우 중요하다. 따라서 홍수시에는 유목잡물이나, 거품 등이 발생하므로 표면류와 함께 유하할 경우 쉽게 유속을 산정할 수 있다. 하지만 이와 같은 자연 추적자는 반드시 항상 나타나는 것은 아니기 때문에, 일반적인 가시화 매체로서 이용할 수는 없다. 이에 수면의 요철을 이용하여 표면유속을 산정할 수도 있다. 이 때 수면 요철의 발생과 소멸이 순간적으로 일어나기 때문에 영상 간의 시간간격이 길 경우 동일한 입자군을 찾지 못하여 SIV의 정확도를 떨어뜨리는 원인이 될 수 있다.

본 연구에서는 수면 요철의 발생과 소멸의 최소주기를 각 화소에 해당하는 명암값을 이용하여 측정하였으며, 연속적인 31개 화소의 변화를 초당 210 장의 정지영상을 이용하여 측정하였다. 측정 결과 대부분의 수면 요철의 발생과 소멸의 최소 지속시간이 0.1 ~ 0.2 초로 확인되었다. 따라서 SIV를 이용하여 표면유속을 측정할 때 영상획득의 최소 시간간격은 초당 10장 이상 획득하여야 할 것으로 판단된다. 또한 일반 캠코더의 경우 초당 30장으로 동영상을 촬영하기 때문에 하천 표면유속 측정에 사용할 경우 문제가 없을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

1. 노영신.(2005). 영상해석 기술을 이용한 하천 유량 측정 기법 개발, 명지대학교 박사학위논문.
2. Gonzalez, R. C., and Woods, R. E. (1992). *Digital image processing*, Addison Wesley Longman, England.
3. 藤田一郎, 樺涼太 (2003). “時空間畫像を利用した河川表面波紋の移流速度計測”, 河川技術論文集, 9, pp.55-60.