

ORIGINAL ARTICLE

## 현장유출영상을 활용한 표면영상유속계(SIV)의 상관계수 분석

김용석 · 양성기\* · 김동수<sup>1)</sup> · 김서준<sup>1)</sup>

제주대학교 토목공학과, <sup>1)</sup>단국대학교 토목환경공학과

### Analysis on Correlation Coefficient of Surface Image Velocimeter (SIV) Using On-site Runoff Image

Yong-Seok Kim, Sung-Kee Yang\*, Dong-su Kim<sup>1)</sup>, Seojun Kim<sup>1)</sup>

Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

<sup>1)</sup>Department of Civil & Env. Engineering, Dankook University, Yongin 448-701, Korea

#### Abstract

This study is daytime and nighttime runoff image data caused by heavy rain on May 27, 2013 at Oedo Water Treatment Plant of Oedo-Stream, Jeju to compute runoff by applying Surface image velocimeter (SIV) and analyzing correlation according to current. At the same time, current was comparatively analyzed using ADCP observation data and fixed electromagnetic surface current meter (Kalesto) observed at the runoff site.

As a result of comparison on resolutions of daytime and nighttime runoff images collected, correlation coefficient corresponding to the range of 0.6~0.7 was 6.8% higher for nighttime runoff image compared to daytime runoff image. On the contrary, correlation coefficient corresponding to the range of 0.9~1.0 was 17% lower. This result implies that nighttime runoff image has lower image quality than daytime runoff image. In the process of computing current using SIV, a rational filtering process for correlation coefficient is needed according to images obtained.

**Key words** : Surface Image Velocimetry, CCTV, Kalesto, Doppler radar, Surface velocity

#### 1. 서론

지구온난화에 의한 기후변화가 전 세계적인 문제로 인식되고 있다. 기후변화의 영향으로 강우빈도와 세기, 분포가 달라짐에 따라 수문학적 시스템에 많은 영향을 미치고 있으며, 이 같은 현상은 하천 범람과 침수 등의 형태로 발생되어 인명 및 재산 피해가 발생하고 있다. 따라서 이수 목적에 의한 수자원의 확보와 치수 목적에 의한 효율적인 관리를 위해 수리·수문학적 해석에 가장 기본

이 되는 유량자료의 지속적인 확보는 재해 예방과 방재에 있어서 매우 중요하다.

화산도서인 제주도는 주요 수자원으로 지하수를 이용하므로 해당 지역의 지하수 함량산정을 위한 물 수지 분석 시 하천유출량 자료는 높은 정확도를 필요로 한다. 그러나 제주도는 투수성이 높은 지질학적 특성으로 인해 대부분 하천이 건천으로 형성되어 있으며, 홍수 유출 시 돌발성 홍수유출 형태로 발생하고 불과 1일 미만의 단시간에 끝나는 특이한 유출현상을 나타낸다(Yang 등,

Received 22 January, 2015; Revised 12 April, 2015;

Accepted 13 April, 2015

\*Corresponding author: Sung-Kee Yang, Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea  
Phone: +82-64-754-3451  
E-mail: skyang@jeju.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2007). 이 같은 제주도 하천 유출특성은 기존의 접촉식 유속측정방법을 적용하기에는 한계가 있으며 효율성이 떨어지는 단점이 있다(Yang 등, 2011).

자연하천과 같은 실제 개수로의 기존 유량관측법은 하천 단면을 기준으로 다양한 지점의 유속을 측정하는 일에 많은 시간과 관측인원이 필요하며, 산지하천과 같이 현장 상황에 따라 적합한 측정 장소가 없는 경우 측정이 불가능하다. 또한 관측자의 안전보호에 대한 문제와 관측된 자료의 신뢰성에 대한 문제가 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 비접촉식 유량측정기법인 표면영상 유속계(SIV, surface image velocimeter)에 의한 유량 측정법이 개발되어 실제 유량을 산정하고자 시도되었다(Yu 등, 2005, Kim 등, 2012).

표면영상유속계측법(SIV)은 영상분석기법의 일종으로 하천 표면의 유동을 영상저장장치로 기록하고 연속되는 이미지상의 입자이동을 계산하여 유속을 산정하는 방법이다. 표면영상유속계에 의한 유속 측정은 캠코더와 같은 촬영장치와 분석 프로그램만을 이용하므로 매우 경제적이며, 기존 측정방법에 비해 관측자의 안전과 측정 시간을 약 1/10로 단축할 수 있는 장점이 있다. 또한 전체 흐름의 유속장을 가시화함으로써 하천 구조물 주변의 흐름변화를 파악하기 용이하다(Kim 등, 2008). 그러나 표면영상유속계를 활용한 유속분석과정에서 현장 상황에 따라 많은 오차 요인들이 있을 수 있기 때문에 계산한 유속 산정 결과를 그대로 사용하면 정확도가 낮아질 수 있다. 특히 야간 영상과 같은 영상의 화질이 떨어지는 경우에는 유속 산정 결과를 필터링해서 사용해야 한다. 이는 순간 유속장을 분석하는 과정에서 획득된 이미지에 따라 분석된 유속벡터가 평균 유속보다 과다하게 크거나 상관계수 값이 너무 작은 경우가 포함되기 때문이다.

이 연구에서는 2013년 5월 27일 외도천 하류부의 외도정수장 부근에서 집중호우에 의한 홍수 유출시 실시간 감시가 가능한 제주 수자원연구단 CCTV의 유출영상을 표면영상유속계(SIV)에 적용하였다. 특히 하천 유량 산정 시 적정 상관계수 이하의 유속측정 결과를 제거하여 유량 산정 결과를 개선하고자 한다. 분석방법은 표면영상유속계를 이용하여 주·야간 하천 유출영상을 분석하였으며, 각 측정마다 유속을 결정하기 위한 최대 상관계수를 계산한 후 이를 일정 범위를 주어 필터링 하면서 동시에 초음파 도플러유속계(ADCP)로 측정한 유량과

Kalesto 유량산정 결과와 비교하였다. 또한, 이러한 결과를 이용하여 표면영상유속계의 유속 산정 필터링을 위한 적정 상관계수를 제시하여 표면영상유속계의 유속산정 정확도를 개선하였다.

## 2. 상관계수 결정원리

표면영상유속계측법(SIV)은 연속된 두 영상(이미지)의 검색영역 내에서 각 입자군의 도심 이동거리를 두 영상의 시간간격으로 나누어 유속벡터를 계산한다. 이 과정에서 각 입자군 도심의 이동거리 계산은 디지털 영상 판별 기법(digital image matching)이 적용된다. 여기서 영상판별에는 상호상관계수를 계산하여 연속되는 두 영상내의 상관영역에 대한 명암 등급값을 비교하여 검색영역 내에서 상관계수가 가장 큰 입자군을 동일 입자군으로 판별하고 이동거리를 계산한다. 수집된 영상의 명암 등급값은 실제 3차원의 하천을 디지털 영상인 2차원의 형태로 저장되는 과정에서 Fig. 1과 같이 각각의 디지털 배열의 요소들이 화소(pixel)형태의 행렬구조로 구성된다. 따라서 수집되는 디지털 영상은 명암 등급값과 공간 좌표에 대한 정보를 포함한다(Roh, 2005).

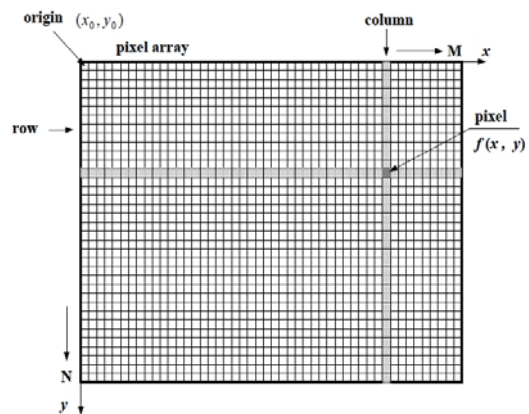


Fig. 1. Coordinates of the digital image (Roh, 2005).

획득된 두 영상에서 연속된 추적입자가 존재하여야 하지만 실제 하천의 흐름에서는 연속된 영상내에서 완벽하게 일치하는 추가입자를 판별하기 어렵기 때문에 상관계수가 높은 입자군을 동일 입자군으로 판별하여 이동거리를 계산한다. 연속된 두 이미지의 상관계수  $R_{ab}$ 는 식

(1)과 같이 연속되는 두 영상의 상관영역내 명암 등급값  $a_{ij}$ 와  $b_{ij}$ 로 계산되며, 상관계수가 최대값을 갖는 두 상관영역은 동일 입자군으로 판단하여 도심의 이동거리를 계산한다(Joo 등, 2009).

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

### 3. 연구방법

#### 3.1. 대상하천

연구대상 하천인 외도천은 한라산 중산간에서 발원하여 북부 해안으로 유입되는 하천이다. 외도천의 유역면적은 44.64 km<sup>2</sup>, 유로연장은 20.56 km, 유역평균경사는 0.106이며, 관측 지점은 외도천 하류부의 외도정수장에서 관측을 실시하였다(Fig. 2).

#### 3.2. 관측자료

##### 3.1.1. 연구단 CCTV의 영상자료 구축

2013년 5월 27일 집중호우에 의한 유출발생시 외도천 하류부의 외도정수장에서 27일 14시30분부터 28일 9

시00분까지 유출영상을 기록하고 수집하였다. 외도정수장에 설치한 제주수자원연구단 CCTV는 Samsung SRD-440 기종이며 영상 녹화 시 30.303 fps로 영상이 저장된다(Fig. 3(a)). 카메라의 영상저장에 관한 제원은 표면영상유계의 유속 산정 시 주요 입력자료로 사용된다.

##### 3.1.2. ADCP 관측자료

초음파 도플러유속계 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)는 수면 하부에 초음파(약 200 kHz ~ 300 MHz 분포)를 발사하고 반사된 음파의 도플러 편차를 이용하여 3차원 유속과 하천단면에 대한 유량을 측정하는 계측장비다. ADCP를 활용한 유량관측은 3차원 유속과 하천 단면에 대한 유량을 매우 효율적이고 빠르게 계측이 가능하다. 또한 관측된 자료의 공간 및 시간적 해상도는 기존의 접촉식 유량관측법에 비하여 매우 뛰어난 양질의 데이터를 확보할 수 있어 현존하는 유량관측 기법 중 매우 정확한 기법이다. 미국의 경우 약 57%의 유량관측소에서 운영이 이루어지고 있으며 국내에서도 활발한 관련 연구와 시범관측이 실시되고 있다(Yang 등, 2011).

본 연구에서는 ADCP를 활용하여 계측을 실시하는 과정에서 관측자의 안전과 효과적인 계측을 위해 Fig. 4(a)와 같이 하천을 횡단하는 로프를 설치하여 운영하

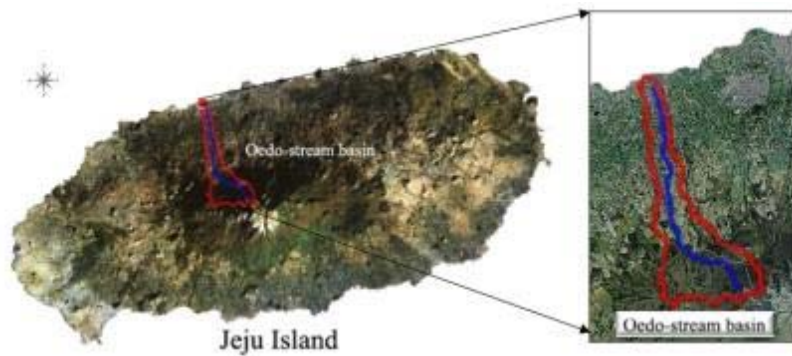


Fig. 2. Location of the Oedo-Stream (Observation point: Oedo-Water treatment plant).

Table 1. Watershed characteristics of the Oedo-Stream

Stream	basin area (km <sup>2</sup> )	Basin length (km)	Average slope (%)	Shape factor
Oaedo-Stream	44.64	20.56	0.106	0.10



Fig. 3. Observation point and method: a) Disaster monitoring CCTV system; b) Acoustic Doppler Current Profiler; c) Kalesto.

였으며, 시간에 따라 왕복 4회 실시하여 자료를 수집하였다.

3.1.3. Kalesto 관측자료

외도천 하류부의 외도정수장에는 Fig.3(c)와 같이 실시간 수위·유속관측 기기인 고정식 전자파표면유속계(Kalesto; OTT Hydrometric)가 설치되어 운영되고 있다. 전자파표면유속계는 고주파(30 kHz ~ 300 GHz)의 극초단파를 수표면에 전송하여 반송되는 신호의 도플러 변위를 이용하여 표면의 유속을 산정하는 계측기기다(Yang 등 2012). 고정식 전자파유속계의 장점은 주·야간 구분없이 비접촉식으로 실시간 유속을 측정하므로 관

측자의 안전을 보장할 수 있으며 표면유속이 평소보다 클 경우 유용하게 사용된다. 하지만 하천단면의 단일지점의 유속과 전체 단면을 이용하여 유량을 산정하므로 과대 또는 과소 산정되어 오차가 발생할 수 있는 단점과 유출초기에 유속이 과대하게 산정되는 문제가 있다(Kim 등, 2013).

3.1.4. 단면측량 자료

표면영상유속계(SIV)로 분석된 유속과 관측된 고정식 전자파표면유속계의 유속으로 유량을 산정하기 위해 관측지점의 단면 측량을 실시하였다(Fig. 5). 비교를 위한 관측구간의 단면 자료는 SOKKIA사의 CX-105 모델



(a)



(b)

Fig. 4. Discharge observation method using the ADCP.

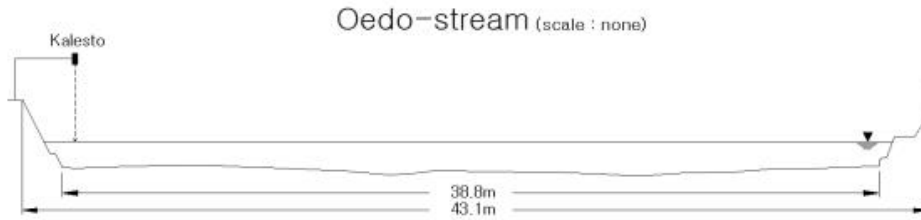


Fig. 5. Cross sectional areas for discharge calculation.

을 이용하였으며 유량계산 시 중간단면법을 적용하여 유출량을 산정하였다. 관측대상 구간은 하폭 43.1 m이며 우안의 제방 상부에 Kalesto가 설치되어 좌안 방향으로 3.3 m위치의 수위와 유속을 관측하고 있다. 표면영상유속계와 Kalesto의 유량산정 과정에서 평균유속계수인 0.85를 적용하였으며 수위에 따른 면적은 AutoCAD로 산정한 면적 값을 적용하였다.

3.1.5. 참조점 선정을 위한 거리 측정

표면영상유속계(SIV)는 실제 하천의 3차원 공간영상을 2차원의 평면 상태로 변환하여 분석하므로 원근에 대한 왜곡을 보정하기 위해 Fig. 6과 같이 현장의 참조점을 지정하고 측량을 실시하여 분석에 적용한다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 주간 영상을 이용한 유속 산정

Fig. 7은 2013년 5월 27일 17시 00분 집중호우에 의한 유출발생시 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 사용하여 관측단면의 유량을 관측한 결과를 나타낸다.

관측된 결과를 보면 좌안부터 우안까지 118셀로 관측되었으며 깊이에 따른 유속을 나타낸다. 전체 유량은 36.55 m<sup>3</sup>/sec로 관측되었으며, 유속의 분포는 최소 0.13 m/sec부터 최대 1.75 m/sec로 나타났다. 또한 주로 우안 방향으로 평균 약 1.50 m/sec의 유속이 분포되어 한쪽으로 편중된 흐름을 나타낸다.

표면영상유속계(SIV)는 Fig. 8과 같이 하천 단면을 기준으로 59×3의 격자망을 구성하여 분석하고 ADCP로 관측된 118셀의 표면유속과 비교·분석하였다. 또한 동시간에 단일지점을 관측하는 Kalesto의 유속과 비교하였다(Table 2). 산정된 유속결과는 최소 0.17 m/sec부터 최대 2.01 m/sec까지 산정되었으며, 유속 분포는 ADCP의 관측결과처럼 평균 1.71 m/sec의 유속이 우안 방향으로 편중되는 흐름이 관측되었다.

Table 2는 각각의 관측장비의 결과를 비교하기 위해 188셀로 관측된 ADCP의 표면유속과 표면영상유속계(SIV)로 분석된 59개의 표면유속벡터, 그리고 Kalesto는 하천단면에서 1지점의 유속을 나타낸다. 표면영상유속계로 분석된 주간유출영상의 상관계수 범위를 보면

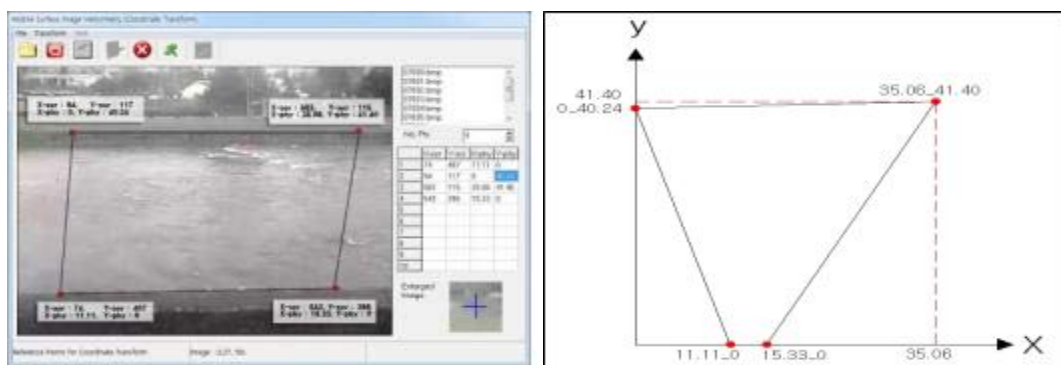


Fig. 6. Reference point for Image coordinate transformation.

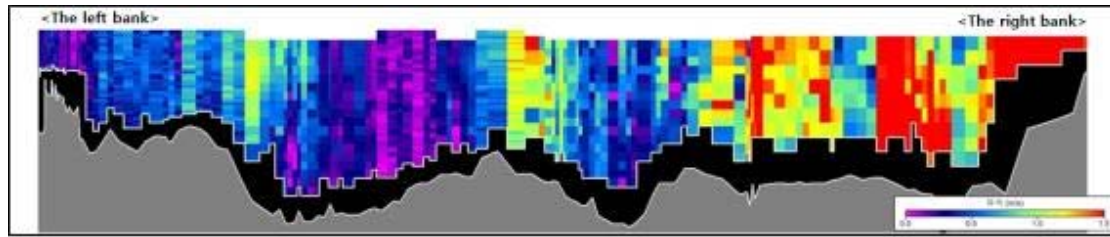


Fig. 7. Discharge observation results of ADCP.

Table 2. Comparison of surface velocities among observation devices (day-time)

No.	ADCP	SIV		Kalesto	No.	ADCP	SIV		Kalesto
	Surface Velocity (m/sec)	Surface Velocity (m/sec)	Correlation Coefficient	Surface Velocity (m/sec)		Surface Velocity (m/sec)	Surface Velocity (m/sec)	Correlation Coefficient	Surface Velocity (m/sec)
1	0.17	0.30067	0.99493	-	60	0.57			
2	0.16				61	0.72	0.57747	0.6887	-
3	0.34	0.28857	0.99396	-	62	0.56			
4	0.42				63	0.41	0.51784	0.70859	-
5	0.51	0.30022	0.99297	-	64	0.8			
6	0.51				65	0.58	0.63302	0.75251	-
7	0.51	0.30902	0.9919	-	66	0.47			
8	0.68				67	0.36	1.03105	0.88652	-
9	0.85	0.28244	0.99139	-	68	0.33			
10	0.30				69	0.38	1.10317	0.89749	-
11	0.31	0.26536	0.991	-	70	0.59			
12	0.34				71	0.67	1.04671	0.9172	-
13	0.31	0.2735	0.99048	-	72	0.76			
14	0.37				73	1.29	1.36096	0.93188	-
15	0.39	0.33022	0.98925	-	74	1.28			
16	0.42				75	1.70	1.35837	0.94023	-
17	0.42	0.33849	0.98821	-	76	1.55			
18	0.34				77	1.4	1.34144	0.94482	-
19	0.51	0.35492	0.98695	-	78	1.84			
20	0.83				79	1.29	1.75605	0.91348	-
21	0.83	0.3666	0.98591	-	80	1.18			
22	0.83				81	1.18	1.77306	0.92862	-
23	0.55	0.38832	0.98367	-	82	1.18			
24	0.48				83	1.32	1.49306	0.90949	-
25	0.55	0.40397	0.98082	-	84	1.32			
26	0.77				85	0.73	1.80812	0.9161	-
27	0.73	0.44089	0.97408	-	86	0.53			
28	0.70				87	0.80	1.84602	0.96117	-
29	0.75	0.46883	0.96439	-	88	0.66			
30	0.61				89	0.93	1.22802	0.97328	-

No.	ADCP	SIV		Kalesto	No.	ADCP	SIV		Kalesto
	Surface Veolcity (m/sec)	Surface Veolcity (m/sec)	Correlation Coefficient	Surface Veolcity (m/sec)		Surface Veolcity (m/sec)	Surface Veolcity (m/sec)	Correlation Coefficient	Surface Veolcity (m/sec)
31	0.19	0.52417	0.95695	-	90	0.93			
32	0.19				91	0.94	1.2587	0.98176	-
33	0.45	0.60298	0.93964	-	92	0.94			
34	0.28				93	1.42	1.22073	0.98368	-
35	0.13	0.68396	0.91886	-	94	1.42			
36	0.39				95	1.55	1.16463	0.98226	-
37	0.23	0.88136	0.92613	-	96	1.68			
38	0.43				97	1.75	0.97637	0.98138	-
39	0.33	0.82	0.93053	-	98	1.34			
40	0.46				99	1.49	1.04908	0.98184	-
41	0.66	1.1736	0.84699	-	100	1.64			
42	0.81				101	1.75	1.24584	0.97921	-
43	0.70	1.18775	0.82586	-	102	1.34			
44	0.84				103	1.49	1.72078	0.96982	-
45	0.98	1.33329	0.80337	-	104	1.64			
46	0.97				105	1.61	1.30414	0.95465	1.82
47	0.92	0.80966	0.86556	-	106	1.63			
48	1.20				107	1.64	1.35128	0.94698	-
49	1.41	0.76025	0.8431	-	108	1.55			
50	1.63				109	1.48	1.28683	0.94867	-
51	1.66	0.75757	0.72667	-	110	1.40			
52	1.49				111	1.45	1.44564	0.94732	-
53	1.63	0.8846	0.70681	-	112	1.48			
54	1.66				113	1.40	1.53631	0.93894	-
55	1.49	0.88167	0.6894	-	114	1.45			
56	1.33				115	1.51	1.59	0.92241	-
57	0.76	0.93489	0.68306	-	116	1.63			
58	0.56				117	1.55	1.77208	0.91544	-
59	0.43	0.67737	0.67711	-	118	1.18			

0.6~0.7범위에 해당하는 유속이 전체 59개의 유속벡터 중 6.8%로 나타났으며, 0.7~0.8범위가 13.6%, 0.8~0.9 범위가 18.6%, 0.9~1.0범위가 61.0%를 차지한다. 전체적으로 상관계수의 낮은 범위가 높은 범위에 비해 적게 분석된것을 비교할 수 있다. 이와 같이 상관계수의 분포 범위가 0.8~1.0에서 약 80%를 차지하는 결과는 외도정수장에서 획득된 주간 유출영상이 표면영상유속계에 적용되는 분석자료로 적합함을 의미한다. (SIV)로 분석된 59개의 표면유속벡터, 그리고 Kalesto는 하천단면에서 1 지점의 유속을 나타낸다. 표면영상유속계로 분석된 주간

유출영상의 상관계수 범위를 보면 0.6~0.7범위에 해당하는 유속이 전체 59개의 유속벡터 중 6.8%로 나타났으며, 0.7~0.8범위가 13.6%, 0.8~0.9범위가 18.6%, 0.9~1.0범위가 61.0%를 차지한다. 전체적으로 상관계수의 낮은 범위가 높은 범위에 비해 적게 분석된것을 비교할 수 있다. 이와 같이 상관계수의 분포 범위가 0.8~1.0에서 약 80%를 차지하는 결과는 외도정수장에서 획득된 주간 유출영상이 표면영상유속계에 적용되는 분석자료로 적합함을 의미한다.

Fig. 9는 수집된 유출영상에 따른 유속의 상관계수를

기준으로 필터링을 실시한 결과를 나타낸다. Fig.9(a)는 표면영상유속계로 산정된 유속을 필터링 과정 없이 ADCP의 표면유속과 비교한 결과를 나타내며 (b)~(d)는

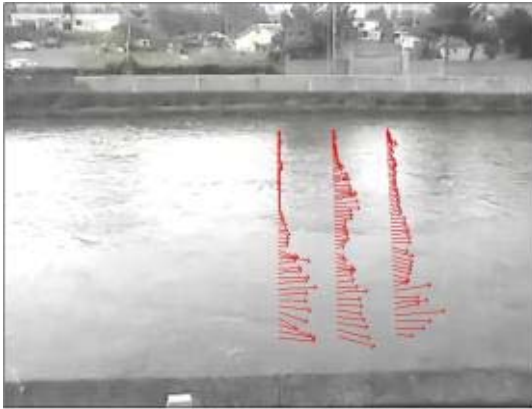


Fig. 8. Result of flow velocity vector for SIV(day-time).

상관계수가 각각 0.1~0.7(case-2), 0.1~0.8(case-3), 0.1~0.9(case-4)범위에 해당하는 값을 필터링하여 비교한 결과를 나타낸다. 두 관측장비의 표면유속은 좌안과 우안에서 유사한 경향을 나타내지만 ADCP관측 자료가 최소 약 0.2 m/sec에서 최대 0.5 m/sec 과대 산정되었음을 확인할 수 있다. 또한 단면 중심에서 ADCP가 표면영상유속계에 비해 약 0.8 m/sec의 유속이 크게 관측되었다.

표면영상유속계(SIV)를 활용하여 각각의 case에 따라 중간단면법을 적용하여 유량을 산정한 결과는 Fig. 10과 같다. 유량을 산정하는 과정에서 필터링된 유속에 적용되는 단면적은 인접한 유속에 적용하여 산정하였다. ADCP로 관측된 유량은 36.55 m<sup>3</sup>/sec, Kalesto로 산정된 유량은 73.10 m<sup>3</sup>/sec로 산정되었으며, 표면영상유속계(SIV)는 최대 54.97 m<sup>3</sup>/sec(case-1)에서 최소 43.62 m<sup>3</sup>/sec(case-4)로 필터링된 결과에 따라 11.35

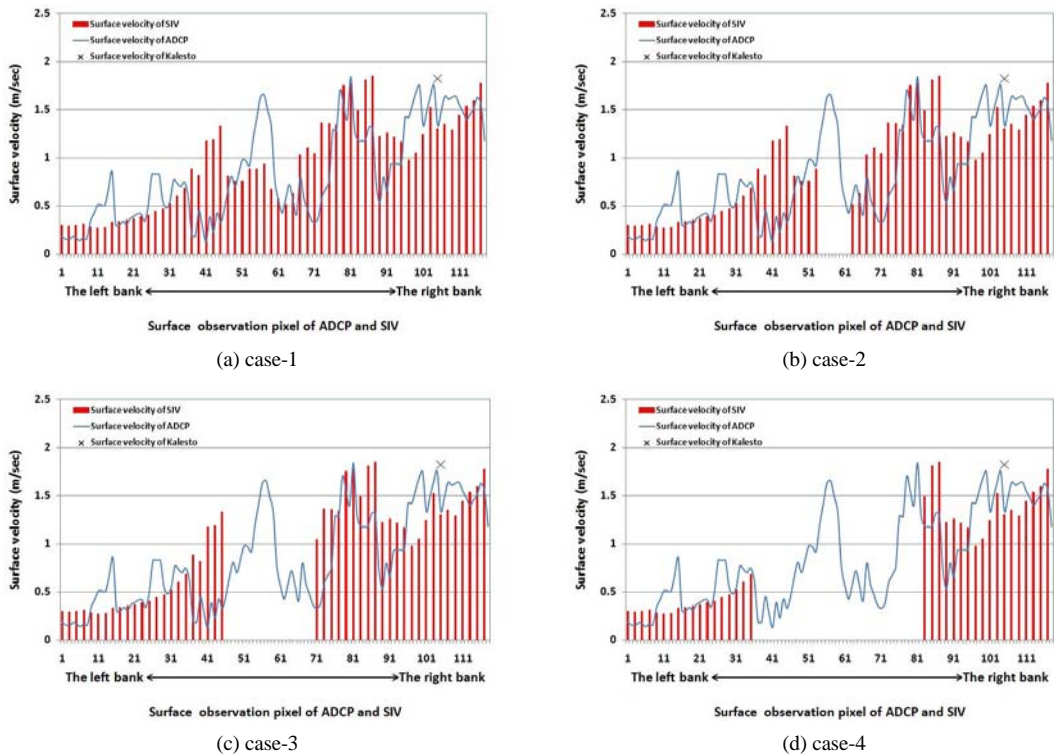


Fig. 9. Results of correlation coefficient filtering(day-time): a) using all data; b)filtering the range of 0.6 to 0.7; c)filtering the range of 0.7 to 0.8; d)filtering the range of 0.8 to 0.9.



**Table 3.** Comparison of relative error rate among observation devices(day-time)

No.(remark)	SIV	ADCP	Kalesto	Error(%)	
	Discharge (m <sup>3</sup> /sec)	Discharge (m <sup>3</sup> /sec)	Discharge (m <sup>3</sup> /sec)	SIV & ADCP	SIV & Kalesto
case-1.(all)	55.51			50.42	24.80
case-2.(0.6 or below)	51.23			48.91	25.55
case-3.(0.7 or below)	48.53	36.55	73.10	44.28	27.86
case-4.(0.8 or below)	42.50			19.35	40.33

**Table 4.** Comparison of surface velocities among observation devices (night-time)

No.	SIV		Kalesto Surface Veolcity (m/sec)	No.	SIV		Kalesto Surface Veolcity (m/sec)
	Surface Veolcity (m/sec)	Correlation Coefficient			Surface Veolcity (m/sec)	Correlation Coefficient	
1	1.21248	0.62296	-	31	2.34144	0.77415	-
2	1.19826	0.77365	-	32	2.39944	0.78017	-
3	1.18275	0.67632	-	33	2.5394	0.80748	-
4	1.13665	0.61851	-	34	2.85475	0.81367	-
5	1.12435	0.61762	-	35	2.54001	0.81597	-
6	1.11891	0.61529	-	36	2.81141	0.82568	-
7	1.13287	0.69722	-	37	2.67816	0.80784	-
8	1.10334	0.70444	-	38	3.01677	0.82274	-
9	1.06198	0.69887	-	39	3.25915	0.82417	-
10	1.01994	0.71288	-	40	3.33482	0.85259	-
11	0.98471	0.74349	-	41	3.14669	0.91191	-
12	0.92475	0.76018	-	42	2.88552	0.94667	-
13	0.81456	0.80099	-	43	2.79578	0.90466	-
14	0.79655	0.81839	-	44	2.66872	0.91307	-
15	0.76851	0.75067	-	45	2.71348	0.92646	-
16	1.06023	0.74241	-	46	2.70716	0.92393	-
17	1.02024	0.83873	-	47	2.51047	0.90193	-
18	0.9652	0.83865	-	48	2.65145	0.92124	-
19	1.10379	0.84013	-	49	2.64926	0.93082	-
20	1.13919	0.72674	-	50	2.78164	0.91527	-
21	1.30596	0.72066	-	51	2.91803	0.91826	-
22	1.70534	0.75601	-	52	2.98378	0.91013	-
23	1.69879	0.74905	-	53	2.56478	0.8606	2.81
24	1.88692	0.76298	-	54	2.64908	0.85465	-
25	1.9138	0.75688	-	55	2.29384	0.84601	-
26	1.8973	0.74573	-	56	2.91528	0.82567	-
27	2.01482	0.74603	-	57	3.0899	0.81585	-
28	2.07421	0.75287	-	58	2.74341	0.83355	-
29	2.21836	0.75922	-	59	1.90525	0.8363	-
30	2.29545	0.75636	-				

$m^3/sec$ 의 차이를 나타냈다.

산정된 유량의 정량적인 비교과정에서 제주도는 육지부의 댐 방류량과 같은 정확한 유량값이 없는 특수성에 기인하여 표면영상유속계의 산정결과를 참값(기준)으로 가정하고 각각의 관측 자료와 오차율을 비교하였다. 표면영상유속계와 ADCP의 오차율은 필터링한 결과에 따라 최대, 최소 오차율이 약 31% 변동을 나타냈으며, Kalesto는 약 15%의 변동을 나타냈다(Table 3).

#### 4.2. 야간 영상을 이용한 유속 산정

Fig. 11은 2013년 5월 27일 22시 30분 표면영상유속계의 야간유출영상에 대한 유속벡터를 나타낸다. 하천 단면에서 흐름방향으로 유속벡터가 일정하게 분포되어 보이지만 분석된 유속과 상관계수를 비교하면 우안측의 상관계수 값이 0.5~0.6로 낮게 분석되었다(Table 2).

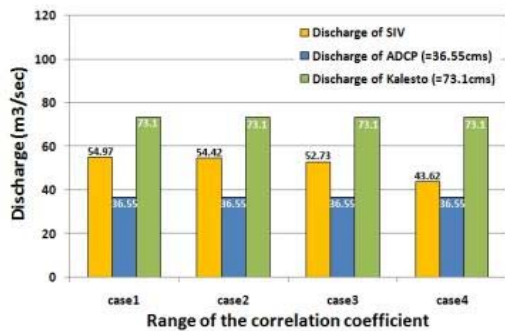


Fig. 10. Comparison of discharge using observation devices (day-time).

표면영상유속계로 분석된 야간유출영상의 상관계수 범위를 보면 0.6~0.7범위에 해당하는 유속이 전체 59개의 유속벡터 중 13.6%로 나타났으며, 0.7~0.8범위가 10.6%, 0.8~0.9범위가 32.2%, 0.9~1.0범위가 44%를 차지한다. 상관계수의 분포 범위를 주간유출영상과 비교해보면 0.6~0.7범위에 해당하는 상관계수가 6.8% 높게 분석되었으며, 반대로 0.9~1.0범위에 해당하는 상관계수는 17% 낮게 분석되었다. 이와 같은 결과는 야간유출영상이 주간유출영상에 비해 영상의 질이 떨어짐을 나타내며 야간유출영상 분석결과에 대해서 적합한 필터링 과정이 필요함을 의미한다(Table 4).

Fig. 12는 야간유출영상에 대한 필터링 결과를 나타

낸다. ADCP를 현장 적용하는 과정에서 27일 18시 00분부터 단시간에 수위가 급격히 올라가기 시작하고 유속이 점차 약  $3.5 m/sec$  까지 증가함에 따라 표면 유동이 심하게 변화되었다. 이 같은 현장상황의 변화는 일부구간에서 과유속의 영향으로 ADCP가 수면 아래로 잠기거나 반대로 수면 위로 튀어오르는 등 관측자료에 오차를 포함하는 여건이 발생되었다. 또한 강우량의 증가 등 현장관측 상황이 악화되어 관측자의 안전을 위해 야간관측을 중단하였다. 따라서 이 연구에서는 분석된 표면영상유속계의 유량에 대해 1지점을 관측하는 Kalesto의 유속자료와 비교하였다. 우안측에서 관측하는 Kalesto는 표면영상유속계의 동일 지점에서 약  $3 m/sec$ 의 유속차이를 나타냈다. 특히 case-3, 4와 같이 주간영상에 비해 낮은 범위의 상관계수가 많이 분포하여 필터링되는 유속이 많이 분석되었다.



Fig. 11. Result of flow velocity vector for SIV (night-time).

야간유출영상을 이용하여 유량을 산정한 결과는 Fig. 13과 같다. 표면영상유속계(SIV)의 필터링을 적용하지 않은 경우는  $126.60 m^3/sec$ 로 Kalesto로 산정된 유량에 비해  $25.88 m^3/sec$  작게 산정되었다. 필터링된 유속에 따라 최대  $192.35 m^3/sec$ (case-4), 최소  $117.59 m^3/sec$ (case-2)로 필터링된 결과에 따라  $74.76 m^3/sec$ 의 유량 차이를 나타냈다.

산정된 유량 변동을 보면 case-4의 경우 우안측의 과유속지점을 제외한 대부분의 유속벡터가 제거되었으므로 상대적으로 많은 유량이 산정되었다.

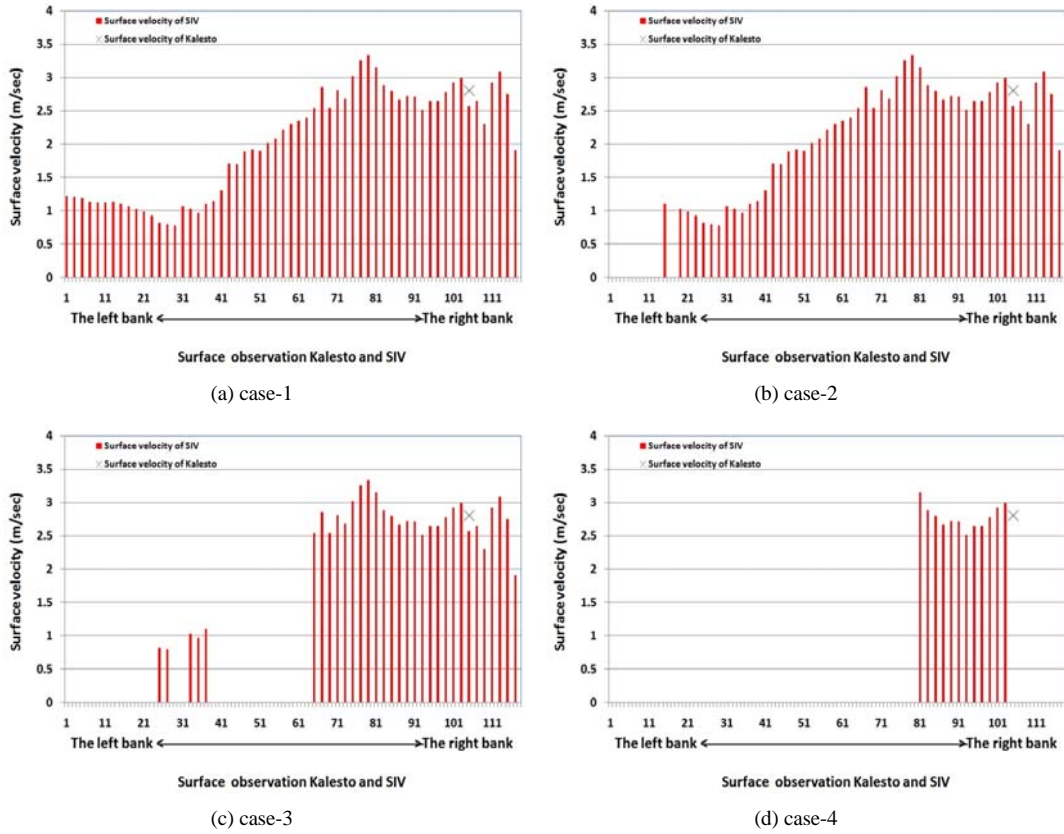


Fig. 12. Results of correlation coefficient filtering(night-time): a) using all data; b)filtering the range of 0.6 to 0.7; c)filtering the range of 0.7 to 0.8; d)filtering the range of 0.8 to 0.9.

표면영상유속계와 Kalesto의 오차율은 필터링한 결과에 따라 최대, 최소 오차율이 약 5.9% 변동을 나타냈으며, Kalesto는 약 15%의 변동을 나타냈다(Table 5).

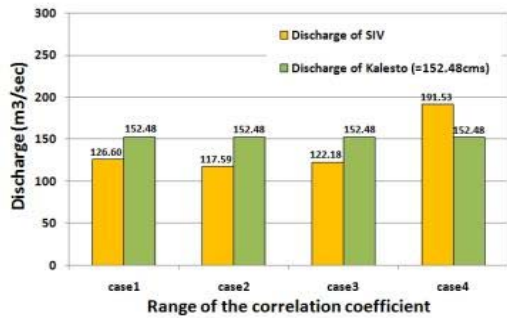


Fig. 13. Comparison of discharge using observation devices (night-time).

Table 5. Comparison of relative error rate among observation devices (night-time)

No.(remark)	SIV Discharge (m <sup>3</sup> /sec)	ADCP Discharge (m <sup>3</sup> /sec)	Kalesto Discharge (m <sup>3</sup> /sec)	Error (%)
case-1. (all)	126.60			16.97
case-2. (0.6 or below)	117.59			22.87
case-3. (0.7 or below)	122.18	-	152.48	19.87
case-4. (0.8 or below)	191.53			20.39

5. 결론

제주도 외도천 외도정수장에서 2013년 5월 27일 집

중호우에 의한 유출 발생 주 · 야간 유출영상자료를 획득하여 표면영상유속계(SIV)와 ADCP를 활용하여 유량을 관측하였다. 동시에 우안지점 3.3 m위치의 고정식 전자파 표면유속계인 Kalesto 관측 유량과 비교 분석하였다. 비교과정에서 제주도는 댐 방류량과 같은 유량의 침값이 없으므로 각각 관측기기의 상대적인 비교를 하여 경향성을 분석하였다. 특히 표면영상유속계로 분석된 상관계수의 값에 따른 필터링을 실시하여 획득되는 유출영상에 대한 적정 필터링 값을 제시하였다. 각각의 관측기기에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

1) 주간유출영상은 상관계수가 0.6~0.7범위에 해당하는 유속이 전체 59개의 유속벡터 중 6.8%로 나타났으며, 0.7~0.8범위가 13.6%, 0.8~0.9범위가 18.6%, 0.9~1.0범위가 61.0%의 퍼센트를 나타냈다. 야간유출영상을 주간유출영상과 비교해보면 0.6~0.7범위에 해당하는 상관계수가 6.8% 높게 분석되었으며, 반대로 0.9~1.0범위에 해당하는 상관계수는 17% 낮게 분석되었다. 이와 같은 결과는 야간유출영상이 주간유출영상에 비해 영상의 질이 떨어짐을 나타내며 표면영상유속계를 적용하여 유량을 산정하는 과정에서 획득되는 영상에 따라 상관계수에 대한 합리적인 필터링 과정이 필요하다.

2) 각각의 관측장비에 대해 모두 오차요인이 있으므로 가장 합리적인 결과를 산정할 필요가 있다. ADCP는 하천의 유출의 상태가 과유속의 상태로 진행되면서 관측장비의 유동에 의한 오차요인을 확인할 수 있으며, Kalesto의 경우 한쪽으로 편중된 흐름을 단면 전체에 적용하여 유량을 산정하므로 관측되는 유속의 결과에 따라 유량이 과대 또는 과소 측정되는 문제가 존재한다. 표면영상유속계인 경우 하천단면을 기준으로 다지점의 유속을 관측할 수 있으므로 획득된 영상에 따라 적정상관계수를 기준으로 필터링을 실시한다면 돌발성 홍수유출특성이 강한 제주도 하천의 적용에 합리적인 방법이라 판단된다.

3) ADCP를 운영하는 과정에서 표면유속이 2.5 m/sec에 가까워지면 하천표면의 유동에 따라 ADCP가 불안정하게 운영되었으며, 이는 향후 홍수시에도 ADCP를 안정적으로 운영할 수 있는 대안이 필요하다.

최신 관측기기를 활용하여 홍수유출시 유량을 산정하는 과정에서 각각의 관측장비가 나타나는 유량의 결과는 제주도 하천의 돌발적인 유출사상에 대한 관측시의 문제점을 보이고 있다.

향후 제주도 하천을 대상으로 표면영상유속계를 활용한 유량산정 시 상관계수의 크기에 따라 다른 계측기기의 산정결과와 비교하여 유속필터링 과정 시 이를 반영한다면 보다 정밀한 유량 산정에 이용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업 “제주형 물순환 해석 및 수자원 관리 기반 구축 연구(10지역기술혁신B02)”의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCE

- No, Y. S., 2005, Development of river discharge measurement technique using image analysis, Ph. D. Dissertation, Myoungji University. Seoul, Korea.
- Joo, Y. W., Kim, S. J., Yu, K., Yoon, B. M., 2009, The accuracy analysis of SIV(surface image velocimetry) associated with correlation coefficient, J. Korea Water Resources Association, 1894-1897.
- Kim, S. J., 2008, The accuracy analysis of discharge measurement technique using surface image velocimetry, M.Sc. Dissertation, Myoungji University. Seoul, Korea.
- Kim, Y. S., Yang, S. K., Yu, K., Kim, D. S., 2012, Flood runoff measurements using surface image velocimetry, J. Environmental Sciences, 22(5), 581-589.
- Kim, Y. S., Yang, S. K., Yu, K., Kim, D. S., 2012, Flood runoff calculation using disaster monitoring CCTV system, J. Environmental Sciences, 23(4), 571-584.
- Yang, S. K., Kim, D. S., Jung, W. Y., Yu, K. K., 2011, Analysis and comparison of stream discharge measurements in Jeju island using various recent monitoring techniques, J. Environmental Sciences, 20(6), 783-788.
- Yang, S. K., Kim, D. S., Yu, K. K., Kang, M. S., Jung, W. Y., Lee, J. H., Kim, Y. S., You, H. J., 2012, Comparison of flood discharge and velocity measurements in a mountain stream using electromagnetic wave and surface image, J. Environmental Sciences, 21(6), 739-747.
- Yang, S. K., 2007, River management and improvement of Jeju island, J. Korea River Association, 3(4), 401-115.
- Yu, K., Kim, D. S., Yoon, B. M., 2005, Development of fast and exact FFT algorithm for cross-correlation PIV, J. Korea Water Resources Association, 38(10), 851-859.