Journal of Environmental Science International
24(4); 359~369; April 2015

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2015.24.4.359

ORIGINAL ARTICLE

표면영상유속계(SIV)를 활용한 홍수유출량 산정 시 주·야간영상의 정확도 비교분석

김용석 · 양성기* · 류권규[1] · 김동수[2]

제주대학교 토목공학과, [1]동의대학교 토목공학과, [2]단국대학교 토목환경공학과

Comparative Analysis of Day and Night Time Video Accuracy to Calculate the Flood Runoff Using Surface Image Velocimeter (SIV)

Yong-Seok Kim, Sung-Kee Yang*, Kwonkyu Yu[1], Dong-su Kim[2]

Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea
[1]Department of Civil Engineering, Dong-eui University, Busan 614-714, Korea
[2]Department of Civil & Env. Engineering, Dankook University, Yongin 448-701, Korea

Abstract

This study analyzed the velocimetry of runoff and measured the flood discharge by applying the SIV (Surface Image Velocimetrer) to the daytime and nighttime flow image data with special reference to Seong-eup Bridge at Cheonmi stream of Jeju during the flow by the severe rainstorm on May 27, 2013.

A 1000W lighting apparatus with more than 150 lux was installed in order to collect proper nighttime flow image applied to the SIV. Its value was compared and analyzed with the velocity value of the fixed electromagnetic wave surface velocimetry (Kalesto) at the same point to check the accuracy and applicability of the measured velocity of flow.

As a result, determination coefficient R^2 values were 0.891 and 0.848 respectively in line with the velocity distribution of the daytime and nighttime image and the flow volume measured with Kalesto was approximately 18.2% larger than the value measured with the SIV.

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

1. 서 론

하천유량의 측정 자료는 수자원의 확보 및 효율적인 관리와 수공구조물의 설계를 위한 가장 기초적인 수문자료로써 지속적이며 정밀한 관측을 요구한다. 특히 지하수를 주요 수자원으로 이용하고 있는 제주도는 물수지 분석을 위한 지하수 함양량 산정시 직접유출량은 매우 중요하며 높은 정확도를 필요로 한다.

제주도 수자원관리 종합계획(Jeju Special Self-Governing, 2013)에 의하면 도심지역인 제주동지역과 서귀포동지역에 하천밀도가 0.19에서 0.27의 범위로 높게 나타나고 있다. 이는 2007년 나리와 같은 대형 태풍의 내습 시 하천 범람에 의한 인명 및 재산 피해의 위험이 있어 지속적인 하천유량 관측과 강우-유출량에 대한 자료의 획득이 필요하다.

제주도의 하천은 높은 투수성으로 인해 평상시 건천

Received 12 November, 2014; **Revised** 19 January, 2015;
Accepted 3 March, 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@jejunu.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.

을 형성하고 있으며 집중호우 및 태풍의 영향으로 선행 강우량이 80 mm 이상일 경우에만 평균 유속 3~4 m/sec의 돌발성 홍수유출이 발생하고 있다(Yang 등 2012). 또한, 홍수 발생기간도 1일 미만의 단시간에 끝나는 특이한 현상을 보이고 있어 기존의 프로펠러 유속계나 부자를 사용하는 접촉식 유량측정방법을 적용하기에는 한계가 있으며 효율성이 떨어지는 단점이 있다(Yang 등 2011).

접촉식 유속측정방법의 단점을 보완하기 위해 고정식 전자파표면유속계(Kalesto)를 주요하천에 설치하여 운용하고 있으며 홍수 유출시 주 · 야간 구분 없이 수위 및 표면유속자료를 관측하여 유출량을 산정하고 있다. Kalesto는 제주도 건천에 매우 적합한 유량관측방법이지만 하천 단면에 대해 단일지점의 수위 및 유속자료를 이용하여 유출량을 산정하므로 하천유량 산정 시 오차가 발생할 수 있으며, 유출 초기에 유속이 과대하게 산정되는 문제가 있다. 이 같은 문제점을 보완하고 Kalesto의 효율성을 높이기 위해서는 표면영상유속계(SIV; Surface Image Velocimeter)와 같은 실시간 관측장비를 동일지점에 설치 · 운영하고 이들 두 관측장비를 비교 · 분석함으로서 정확도 높은 유출량을 산정하여야만 한다(Kim 등 2013).

표면영상유속계측법(SIV)은 영상저장장치를 이용하여 유출영상을 기록하고 연속되는 이미지 상의 추적입자의 이동을 계산하여 유속을 산정하는 기법이다(Kim 등 2010). 그러나 표면영상유속계(SIV)를 적용하여 유량을 산정하는 과정에서 분석자료가 영상을 이용하므로 수집된 유출영상의 화질이 좋지 못하면 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 특히 자연광이 없는 야간상태 유출영상은 하천표면의 추적입자를 인식하지 못하는 원인으로 인해 자료의 분석이 불가능한 한계점이 있다.

이 연구에서는 2013년 5월 27일 집중호우에 의한 유출발생 시 제주도 천미천의 성읍교를 대상으로 주 · 야간의 유출영상자료에 표면영상유속계(SIV)를 적용하여 유속을 분석하고 유출량을 산정하였다. 동시에 동일지점의 Kalesto의 유속과 수위를 적용하여 산정된 유출량과 비교 · 분석하고 해당 유역의 강우-유출량 관계에 대한 유출특성을 해석하였다. 특히 야간유출영상의 문제점을 보완하기 위해 자연광에 가까운 조명 장치와 최저조도 카메라를 현장에 설치하여 야간영상의 문제점에 대한 개선방안을 제시하였다.

2. 연구대상 하천

제주도 동남부에 위치한 천미천은 한라산 동쪽 상부지점인 표고 1,400 m일대의 오름과 사라오름에서 발원하여 표선면 하천리 해안으로 유입되는 하천이다(Fig. 1). 유역면적은 126.14 ㎢로 제주도에서 가장 큰 유역면적을 형성하고 있으며, 유역길이는 25.70 km, 유역의 평균 경사는 8.62%로 하천연장이 가장 길고 지류가 많은 하천이다(Table. 1).

관측지점인 성읍교 부근에는 한국공항(제주퓨어워터)에서 Kalesto(Ott Hydrometric)를 설치하여 운용하고 있으며, 제주대학교 수자원연구단(Jwater)에서 유출관

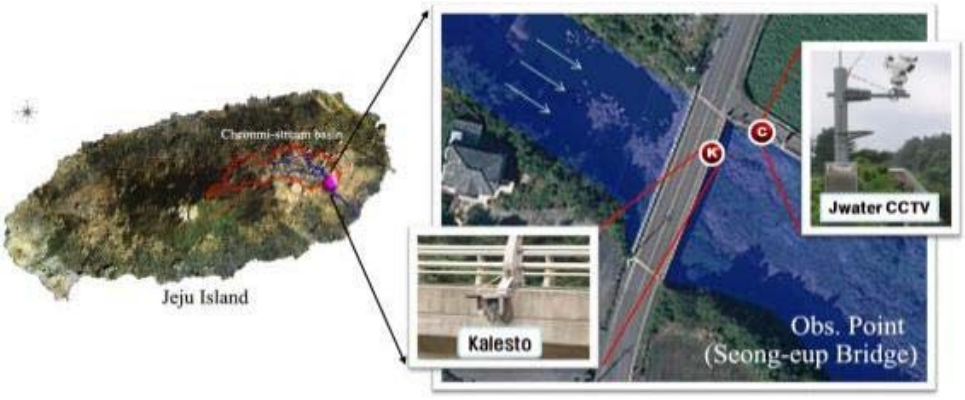


Fig. 1. Location of the Cheon-mi Stream(Observation point: Seong-eup bridge).

(a) dry season (b) flood season

Fig. 2. The Cheon-mi Stream in Jeju Island.

Table 1. Watershed characteristics of the Cheon-mi Stream

Stream	Drainage area (㎢)	Basin length (㎞)	Average slope (%)	Shape factor
Cheon-mi Stream	126.14	25.70	8.62	0.19

측용 CCTV를 설치하여 표면영상유속계(SIV)에 분석되는 유출영상을 기록하고 있다(Fig. 1). 평상시에는 Fig. 2(a)와 같이 제주도 하천의 특징인 건천을 형성하고 있으며, 집중호우 시에만 Fig. 2(b)와 같이 짧은 시간에 유출이 발생하고 종료된다. 특히 천미천 유역은 삼다수 및 제주퓨어워터의 물산업 기업이 위치하여 정확한 유출량 산정이 물수지 분석시 매우 중요한 지역이다.

3. 연구방법

3.1. 관측자료

3.1.1. 연구단 CCTV의 영상자료 구축

성읍교에 설치한 제주수자원연구단 CCTV는 Samsung SRD-440 기종이며 영상 녹화 시 30.303 fps로 영상이 저장된다(Fig. 3). 카메라의 영상저장에 관한 제원은 표면영상유계의 유속 산정에 적용된다.

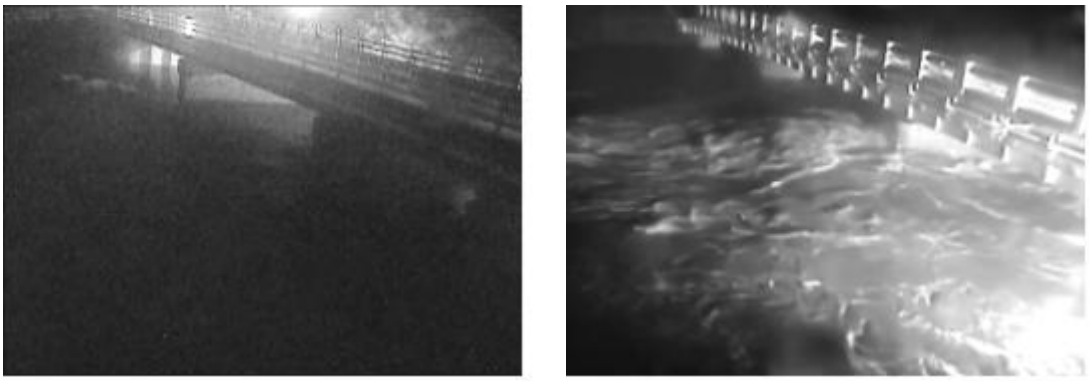
야간 영상의 개선을 위한 기존의 연구는 실내 수리실험을 통하여 빛의 밝기에 따른 표면영상유속계의 정확도를 분석한 사례가 있다. 그 결과 표면영상유속계의 현장 적용 시 최소한 150 lux 이상의 밝기가 필요함을 도출하였다(Kim 등 2010).

천미천 성읍교의 야간 유출영상은 Fig. 4(a)와 같이 화면상에서 유출영상의 표면흐름을 확인 할 수 없는 영상을 기록하였다. 획득된 영상에서 추적입자의 이동거리를 계산하여 유속을 산정하는 표면영상유속계는 Fig. 4(a)와 같은 영상을 분석하기에 매우 부적합하다. 이 같은 현장 적용의 문제점을 보완하기 위해 기존의 실내 수리실험의 결과를 응용하여 150 lux 이상의 자연광에 가까운 1000w의 조명장치를 설치하였다. 그 결과 기존의 야간 유출영상에 비해 Fig. 4(b)와 같이 표면영상유속계의 적용에 적합한 유출영상을 기록하였다.

3.1.2. 단면측량 자료

유출량 산정을 위한 단면 자료는 성읍교에 설치된 고정식 전자파표면유속계인 Kalesto의 관측 지점에 맞추어 교량 하부의 기둥을 중심으로 하류 방향 5 m의 단면측량을 실시하였다(Fig. 5). 관측구간의 단면 자료는 SOKKIA사의 CX-105 모델을 이용하여 1 m 간격으로 정밀한 단면을 측량하였으며 유출량계산 시 산정된 유속장에 중간단면법을 적용하여 유출량을 산정하였다. 관측

Fig. 3. CCTV system for outflow of the image acquisition at Seong-eup bridge.



(a) (b)

Fig. 4. Outflow image of night-time.

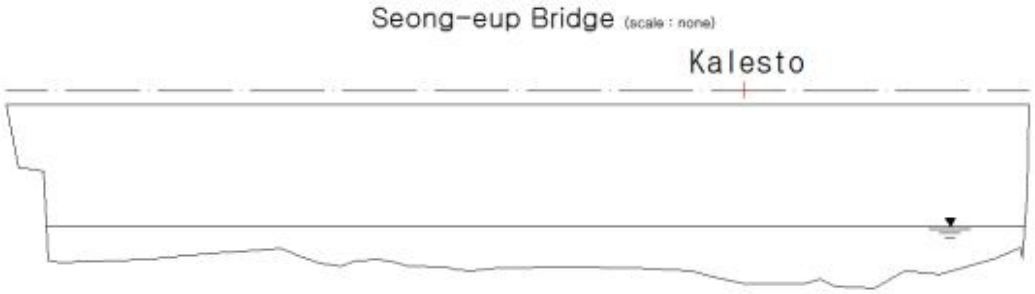


Fig. 5. Cross sectional areas for discharge calculation.

지점의 단면은 폭 34 m이며 수위에 따른 면적은 Auto CAD로 산정한 면적 값을 적용하였다.

3.1.3. 참조점 선정을 위한 거리 측정

관측구간인 천미천 성읍교는 실제 3차원의 공간이지만 영상을 기록하고 수집되는 과정에서 2차원의 평면 상태로 저장된다. 이 과정에서 영상저장장치의 촬영 각도와 사물의 원근에 대한 왜곡이 발생하므로 획득한 영상에 대해 보정을 위한 변환과정이 필요하다. 변환작업은

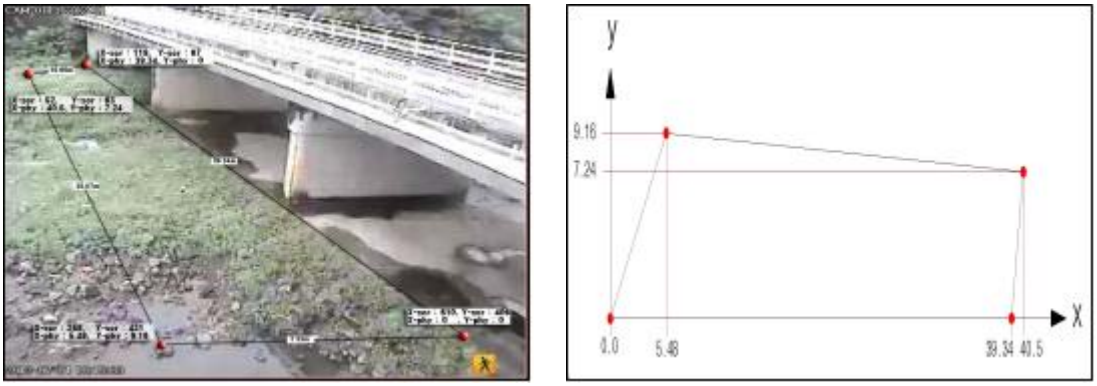
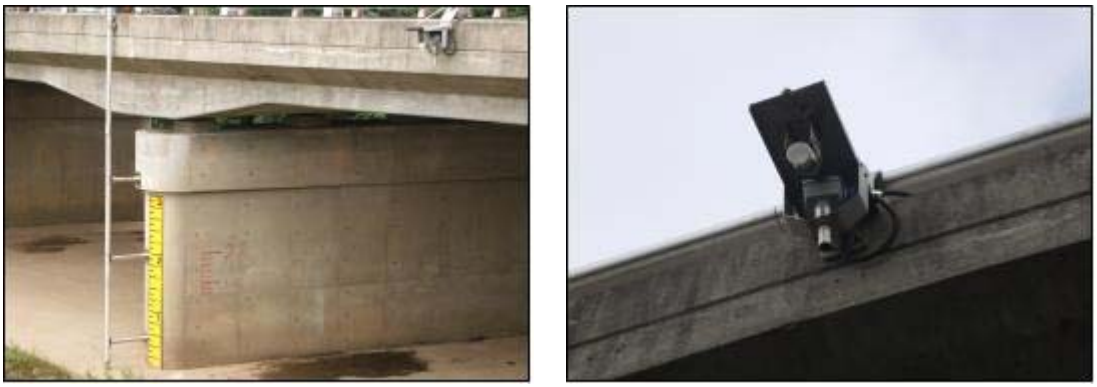


Fig. 6. Reference points for the coordinate transform.



(a) (b)

Fig. 7. Kalesto installed at Seong-eup bridge.

획득된 영상(이미지)의 영상좌표(image coordinate)를 물리좌표(physical coordinate)로 변환할 참조점을 지정한다. Fig. 6과 화면상의 참조점을 기준으로 측량을 실시하고 실제 측점 사이의 거리에 대한 x, y좌표 참조점을 분석에 적용한다.

3.1.4. 고정식 전자파표면유속계(Kalesto)

고정식 전자파표면유속계는 도플러 효과(Doppler effect)의 원리를 이용한 장비로 약 10GHz의 극초단파 신호를 수표면에 전송하여 산란되어 반사 수신된 신호를 측정하여 흐름방향의 표면유속을 산출하는 방식이다(Lee와 Julien, 2006).

성읍교에 설치된 고정식 전자파표면유속계(Kalesto)는 관측구간이 하상단면의 좌안을 기준으로 9.5 m에 1개 지점에서 표면유속을 계측한다. 단일구간의 유속자료를 이용하므로 계측 된 유속이 과소, 또는 과측정되는 경우 유량산정 시 오차를 포함할 수 있다(Yang 등 2012). 하지만 건천의 돌발성 홍수유출시, 기존 접촉식 유속계로 측정이 어려운 경우 효과적으로 측정할 수 있으며 주·야간 구분없이 무인으로 연속적인 수위 유속자료를 확보할 수 있는 장점이 있다.

3.2. 천미천 유역의 강우량 분석

제주도의 기상관측소 현황은 기상청(AWS 포함)의 24개소와 재난안전대책본부에서 운용하는 48개소의 강우관측소가 운용되고 있다(Fig. 8. 제주특별자치도 수자원본부; http://www.jejuwater.go.kr/). 천미천 성읍교의 강우-유출특성을 분석하기 위해 유역에 해당하는 성산, 선흘, 성판악, 진달래밭, 태풍센터, 표선면의 강우자료를 이용하여 등우선법을 이용한 면적확률강우량을 산정하였다.

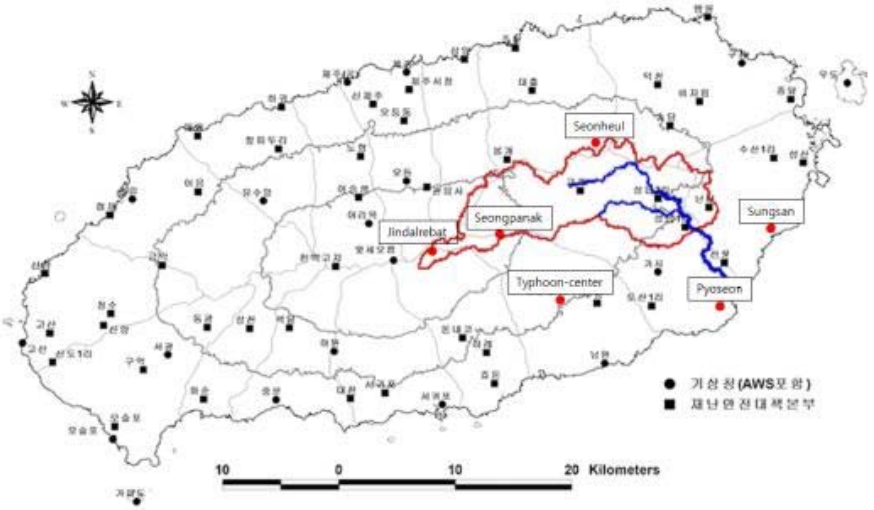


Fig. 8. The position of the rainfall observatory.

Table 2. Rainfall observatory location vicinity of the Cheon-mi Stream

Observatory	East longitude(°)	North latitude(°)	Elevation (EL.m)
Sungsan	126.8802	33.3867	17.8
Seonheul	126.7119	33.4584	340.6
Seongpanak	126.6194	33.3844	757.4
Jindalreabat	126.5557	33.3697	1489.4
Typhoon-center	126.6784	33.3314	246.3
Pyoseon	126.8168	33.3536	77.2

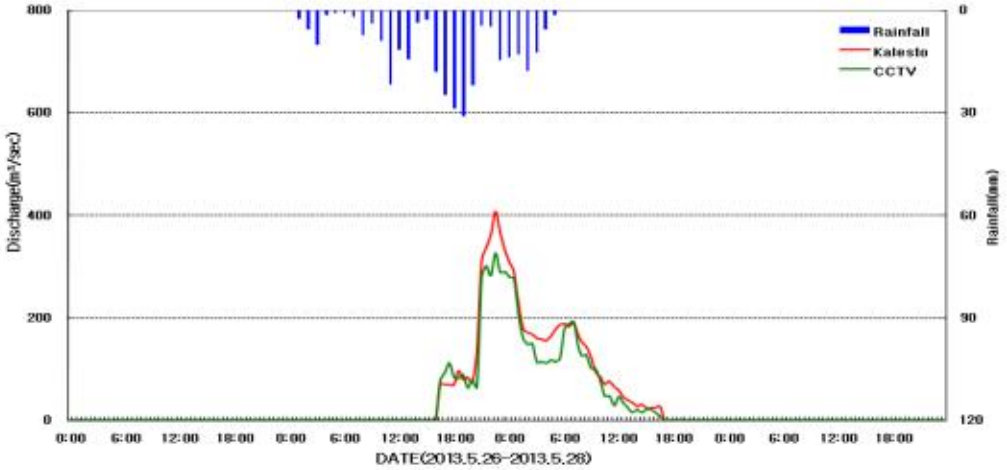


Fig. 9. Comparison of flow discharges.

Table 3. Compared to the discharge of CCTV and KALESTO

Time	Discharge(㎥/sec)		Time	Discharge(㎥/sec)	
	CCTV	Kalesto		CCTV	Kalesto
16:30:00 PM	77.16	69.92	05:00:00 AM	114.10	176.01
17:00:00 PM	91.66	69.92	05:30:00 AM	120.57	186.39
17:30:00 PM	111.08	69.92	06:00:00 AM	178.76	188.28
18:00:00 PM	85.33	69.92	06:30:00 AM	187.76	182.55
18:30:00 PM	82.12	96.89	07:00:00 AM	191.34	190.15
19:00:00 PM	88.24	79.69	07:30:00 AM	143.89	166.33
19:30:00 PM	63.20	83.51	08:00:00 AM	125.88	152.28
20:00:00 PM	79.75	75.54	08:30:00 AM	127.03	143.57
20:30:00 PM	65.19	138.60	09:00:00 AM	100.96	122.77
21:00:00 PM	279.27	310.99	09:30:00 AM	100.00	93.39
21:30:00 PM	300.93	336.21	10:00:00 AM	76.93	85.34
22:00:00 PM	281.98	362.18	10:30:00 AM	48.00	70.55
22:30:00 PM	325.72	406.90	11:00:00 AM	47.44	76.05
23:00:00 PM	289.38	366.32	11:30:00 AM	29.22	65.40
23:30:00 PM	289.38	333.63	12:00:00 PM	45.49	58.94
00:00:00 AM	280.13	308.16	12:30:00 PM	34.22	44.74
00:30:00 AM	277.41	289.05	13:00:00 PM	23.59	39.06
01:00:00 AM	206.51	227.22	13:30:00 PM	15.81	34.32
01:30:00 AM	159.71	179.13	14:00:00 PM	20.97	27.40
02:00:00 AM	147.88	171.87	14:30:00 PM	15.37	30.84
02:30:00 AM	149.49	168.21	15:00:00 PM	21.01	23.98
03:00:00 AM	113.04	160.18	15:30:00 PM	21.01	24.94
03:30:00 AM	114.10	158.98	16:00:00 PM	14.23	25.32
04:00:00 AM	110.93	155.68	16:30:00 PM	7.48	26.65
04:30:00 AM	117.31	163.59	-	-	-

4. 결과 및 고찰

4.1. 유출수문곡선과 유출특성

Fig. 9는 2013년 5월 27일 16시 30분부터 28일 16시 30분까지의 유출수문곡선이다. 첨두유량은 22시30분에 연구단 CCTV가 325.72 $m^3/\sec$, Kalesto가 동시간에 406.90 $m^3/\sec$로 두 관측장비가 81.18 $m^3/\sec$를 나타냈다(Table. 2). 5일 선행강우량은 114.7 mm, 강우량은 286.6 mm로 단시간에 높은 강우량을 나타냈으며, 유출율은 강우량 대비 Kalesto가 43.5%, 연구단 CCTV는 36.8%로 두 관측장비가 6.7% 차이를 나타냈다 (Table. 3).

4.2. 주 · 야간 유출영상의 정확도 비교

2013년 5월 27일 16시 30분부터 28일 16시 30분까지 전체 유출시간에서 주간(27일 16시30분~19시00분, 28일 6시30분~16시30분)과 야간(27일 19시30분~28일 6시00분)유출영상으로 구분하고 표면영상유속계(SIV)에 적용하여 유속망을 분석하였다.

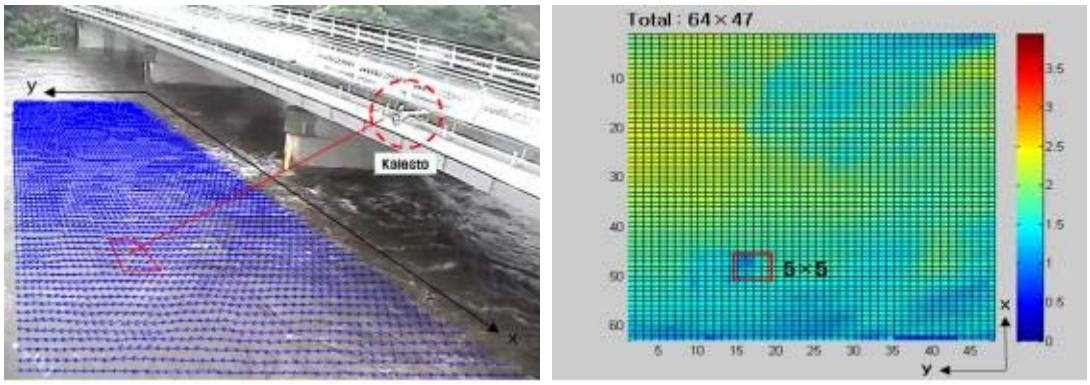
4.2.1. 주간유출영상 분석

표면영상유속계(SIV)를 주간유출영상(27일 16시30분~19시00분, 28일 6시30분~16시30분)에 적용하여 유

Table 4. Runoff Characteristics

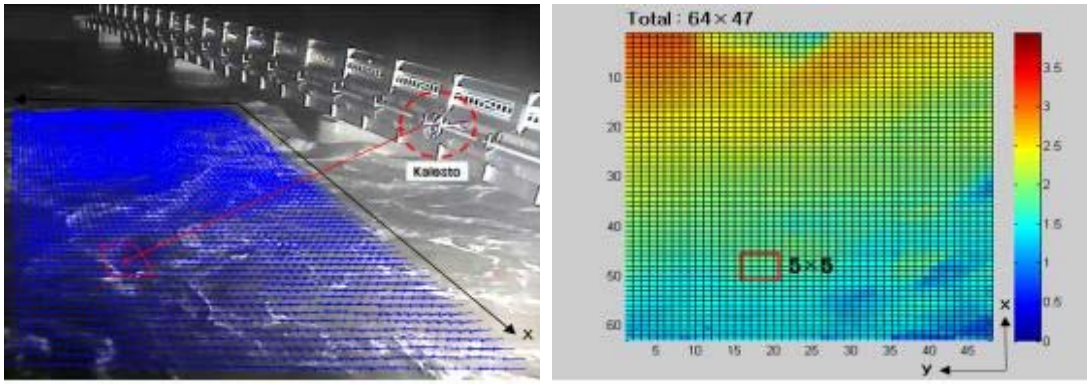
Rainfall (mm)	Drainage area (m^3)	Total precipitation (m^3)	Outflow (m^3)		Outflow ratio (%)	
			Kalesto	CCTV	Kalesto	CCTV
286.6	102.423.369	29,354,537	12,757,468	10,796,297	43.5	36.8

속망 분포를 분석하였다. Fig. 10(a)는 9시30분의 유출영상자료를 표면영상유속계로 분석한 전체 유속망을 나타내며, Fig. 10(b)는 동시간에 각각의 유속 벡터를 Matlab에 적용하여 전체 유속을 가시화한 그래프이다. 유출영상에 표면영상유속계를 적용하여 유속을 분석하는 과정에서 Kalesto의 관측 유속과 비교하기 위해 유속 격자망 설정을 63×47으로 최대한 조밀하게 설정하여 Fig. 10(a), 11(a)와 같이 전체 유속망을 분석하였다. 유속비



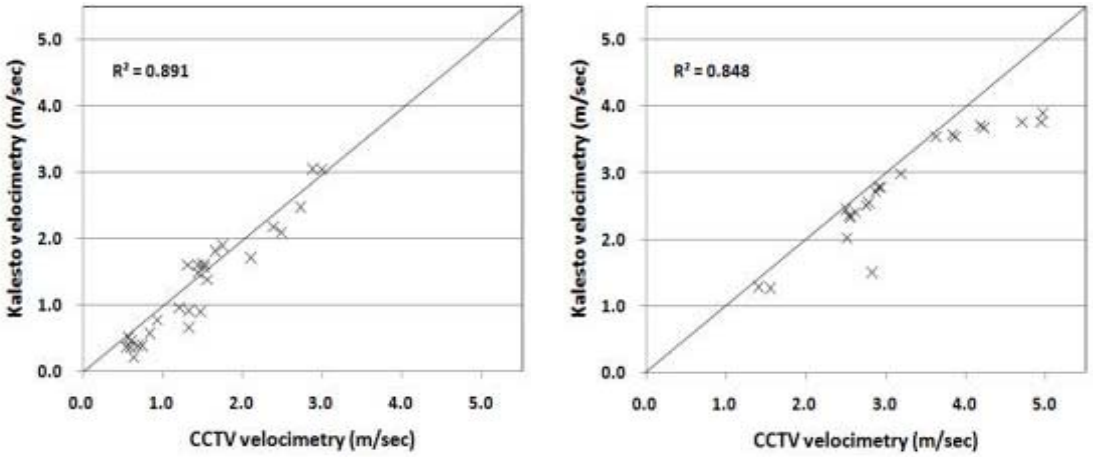
(a) (b)

Fig. 10. Analysis result of daytime flow image of the SIV(9:30:00 AM); a) Overall flow network analyzed with the SIV; b) Visualized data of each flow velocimetry in the overall flow network for the comparison of the SIV and Kalesto.



(a) (b)

Fig. 11. Analysis result of nighttime flow image of the SIV(20:30:00 AM); a) Overall flow network analyzed with the SIV; b) Visualized data of each flow velocimetry in the overall flow network for the comparison of the SIV and Kalesto.



(a) day-time (b) night-time

Fig. 12. One-to-one relationships of velocity measurement between the Kalesto and the CCTV system(SIV).

교는 Kalesto가 관측하는 지점을 설정하는 과정에서 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 표면영상유속계로 분석된 유속망 내에서 Kalesto가 관측하는 지점을 중심으로 5×5의 격자망 내의 유속을 평균하여 비교하였다.

표면영상유속계(SIV)와 Kalesto로 관측한 표면유속의 비교결과는 Table 5와 같으며, 주간유출영상은 결정계수 R^2가 0.891로 높은 상관성을 나타냈다(Fig. 12(a)).

4.2.2. 야간유출영상 분석

표면영상유속계(SIV)를 야간유출영상(27일 19시30분~28일 6시00분)에 적용하여 유속망 분포를 분석하였다. 야간유출영상을 수집하는 과정에서 Fig. 4와 같이 표면영상유속분석에 적합한 양질의 영상을 획득하지 못하는 현장의 단점을 보완하기 위해 150 lux이상의 조명효과를 얻을 수 있는 1000 W의 조명 장치를 설치하여 유출영상을 기록하였다.

표면영상유속계(SIV)와 Kalesto로 관측한 표면유속의 비교결과는 Table 5와 같으며, 야간유출영상은 결정계수 R^2가 0.848로 높은 상관성을 나타냈다(Fig. 12(b)).

5. 결 론

제주도 천미천 유역의 성읍교에서 집중호우시 주·야간 유출영상을 수집하고 표면영상유속계(SIV)에 적용하여 전체 유속망의 유속분포를 제시하고 동시에 동일지점의 Kalesto 유속 및 유출량산정 자료와 비교·분석한 결과는 다음과 같다.

1) 2013년 5월 27일 16시 30분부터 28일 16시 30분까지 전체 유출시간에서 주간(27일 16시30분~19시00분, 28일 6시30분~16시30분)과 야간(27일 19시30분~28일 6시00분)유출영상으로 구분하여 유속망을 분석한 결과와 동일 지점의 Kalesto 유속과 비교한 결과는 주간유출영상이 결정계수 R^2가 0.891, 야간유출영상은 R^2이 0.848로 나타났다.

2) 표면영상유속계를 활용하여 유출량 산정 시 야간유출영상의 정밀한 분석을 위해 자연광에 가까운 150 lux 이상의 1000 W 조명장치를 설치하여 분석한 결과가 육지부 하천과 달리 하폭이 작은 제주도 하천의 적용에 매우 효과적인 대안이라 판단된다.

3) 표면영상유속계로 산정된 전체 유속망에서 단면에 적용되는 유속벡터 라인과 Kalesto의 단일지점 유속과 비교한 결과는 최소 유속값이 0.11~3.04 m/sec범위의 차이를 나타냈으며, 최대 유속값이 0.57~4.93 m/sec의 차이를 나타냈다.

그 결과 전체 유출 수문곡선에서 Kalesto로 산정된 유출량이 표면영상유속계로 산정된 유출량에 비해 약 18.2% 과대 산정되었다.

Table 5. Comparison of surface velocities

Time	Velocimetry(m/sec)		Comparison of vector-line		Remark
	CCTV (5×5 Average)	Kalesto	MIN	MAX	
16:30:00 PM	1.59	1.32	1.15	2.34	
17:00:00 PM	1.60	1.45	1.04	2.37	
17:30:00 PM	1.89	1.75	1.04	2.48	Day
18:00:00 PM	1.62	1.52	0.71	2.21	time
18:30:00 PM	1.57	1.52	0.61	2.25	
19:00:00 PM	1.48	1.45	0.95	2.89	
19:30:00 PM	1.26	1.56	0.48	2.74	
20:00:00 PM	1.28	1.41	0.75	2.29	
20:30:00 PM	1.50	2.16	1.61	2.97	
21:00:00 PM	3.57	3.84	2.11	4.92	
21:30:00 PM	3.70	4.19	2.59	4.49	
22:00:00 PM	3.75	4.95	2.52	4.48	
22:30:00 PM	3.89	4.97	3.04	4.93	
23:00:00 PM	3.75	4.71	2.16	4.69	
23:30:00 PM	3.67	4.23	2.95	4.00	
00:00:00 AM	3.54	3.87	1.95	4.29	
00:30:00 AM	3.54	3.63	2.70	4.29	Night
01:00:00 AM	2.97	3.19	2.02	3.68	time
01:30:00 AM	2.77	2.94	1.72	3.80	
02:00:00 AM	2.50	2.76	1.58	3.34	
02:30:00 AM	2.40	2.62	1.72	3.06	
03:00:00 AM	2.36	2.55	1.43	3.12	
03:30:00 AM	2.02	2.52	1.20	3.04	
04:00:00 AM	2.45	2.5	1.50	3.09	
04:30:00 AM	2.32	2.56	1.33	3.11	
05:00:00 AM	2.55	2.79	1.56	3.43	
05:30:00 AM	2.71	2.88	1.65	3.21	
06:00:00 AM	2.77	2.91	1.96	3.33	
06:30:00 AM	3.05	2.88	2.25	3.99	
07:00:00 AM	3.04	3.00	1.66	3.51	
07:30:00 AM	2.47	2.73	1.53	3.03	
08:00:00 AM	2.09	2.49	1.29	2.66	
08:30:00 AM	2.17	2.39	1.65	2.81	
09:00:00 AM	1.71	2.11	1.28	2.25	
09:30:00 AM	1.81	1.66	1.25	2.40	
10:00:00 AM	1.38	1.56	0.61	2.04	
10:30:00 AM	0.91	1.33	0.33	1.37	
11:00:00 AM	0.90	1.48	0.66	1.24	
11:30:00 AM	0.66	1.33	0.22	1.07	Day
12:00:00 PM	0.95	1.21	0.59	1.20	time
12:30:00 PM	0.77	0.94	0.36	1.07	
13:00:00 PM	0.57	0.84	0.22	1.13	
13:30:00 PM	0.39	0.75	0.19	1.07	
14:00:00 PM	0.45	0.61	0.29	0.73	
14:30:00 PM	0.38	0.70	0.16	0.66	
15:00:00 PM	0.36	0.55	0.26	0.57	
15:30:00 PM	0.51	0.58	0.39	0.99	
16:00:00 PM	0.36	0.60	0.15	0.89	
16:30:00 PM	0.21	0.64	0.11	0.71	

제주도는 댐 방류량과 같은 유출량의 참값이 존재하지 않기 때문에 Kalesto의 관측결과만 의존하여 제주도의 유출량을 산정하기에는 문제가 있다고 판단된다. 동일시간에 단일지점을 관측하는 Kalesto가 오류를 포함한 유속을 산정한다면 단면 전체에 적용되는 과정에서 유출량이 과대 또는 과소산정될 가능성이 있기 때문이다. 이 같은 단일지점 유속관측장비의 단점을 보완하기 위해 표면영상유속계와 같은 다지점 유속관측기기가 상호보완되어 운영된다면 지하수에 의존하고 있는 제주도의 물수지 분석에 정확도 높은 유출량을 제공할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCE

Jeju Special Self-Governing Province, 2013, Current water resource management in Jeju special self-governing province.

Kim, Y. S., Yang, S. K., Yu, K., Kim, D. S., 2013, Flood Runoff Measurements using Surface Image Velocimetry, Journal of the Environmental Sciences, 22(5), 581-589.

Kim, Y. S., 2013, Flood runoff measurements using Surface Image Velocimetry(SIV) in Han stream. M. Sc. Dissertation, Jeju National University. Korea.

Kim, S. J., Yu, K., Yoon, B. M., 2010 Development of a Velocity Measurement Method at Night Time using an Infrared Camera, Journal of Korea Water Resources Association, 478-482.

Kim, S. J., Yu, K., Yoon, B. M., 2011, Real-time Discharge Measurement of the River Using Fixed-type Surface Image Velocimetry, Journal of Korea Water Resources Association, 44(5), 377-388.

Kim, S. J., 2008, The Accuracy Analysis of Discharge Measurement Technique using Surface Image Velocimetry, M. Sc. Dissertation, Myongji University. Korea.

Yang, S. K., Kim, D. S., Jung, W. Y., Yu, K., 2011, Analysis and Comparison of Stream Discharge Measurements in Jeju Island Using Various Recent Monitoring Techniques, Journal of the Environmental Sciences, 20(6), 738-788.

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 Electro-magnetic Wave and Surface Image, Journal of the Environmental Sciences, 21(6), 739-747.

Lee, J. S., and Julien, P. Y., 2006, Electromagnetic Wave Surface Velocimetry, Journal of Hydraulic Engineering, 132(2), 146-153.

Yu, K., Kim, D. S., Yoon, B. M., 2005, Development of Fast and Exact FFT Algorithm for Cross-Correlation PIV, Journal of Korea Water Resources Association, 38(10), 851-859.