ORIGINAL ARTICLE

재난감시용 하천 CCTV를 활용한 홍수유출량 산정

김용석¹ · 양성기* · 류권규¹⁾ · 김동수²⁾

제주대학교 토목공학과, ¹⁾동의대학교 토목공학과, ²⁾단국대학교 토목환경공학과

Flood Runoff Calculation using Disaster Monitoring CCTV System

Yong-Seok Kim, Sung-Kee Yang*, Kwonkyu Yu¹⁾, Dong-Su Kim²⁾

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 & Environmental Engineering, Dankook University, Yongin 448-701, Korea

Abstract

The present study aims to apply a surface image velocimetry(SIV) system to video images captured with CCTV and estimate the flood discharge. The CCTV was installed at the Hancheon Bridge of the Han Cheon in Jeju Island for disaster surveillance, and seven flood events occurred in 2012 were used. During the image analyses, input parameters, interrogation areas and searching areas were determined with proper calibration procedures. To check for accuracy and applicability of SIV, the velocities and flood discharges estimated by SIV were compared with the measured ones by an electromagnetic surface velocimeter, Kalisto. The comparison results showed fairly good agreements. The RMSE(Root Mean Square Error) values between two instruments showed a range of 4.13 and 14.2, and the determination coefficients reached 0.75 through 0.85. It means that the SIV could be used as a good alternative method for other traditional velocity measuring instruments in measuring flood discharges.

Key words : Surface image velocimetry, CCTV, Kalesto, Electromagnetic surface current meter, Doppler radar, Surface velocity

1. 서론

최근 전 지구적 환경문제의 영향으로 세계 각국에 서는 이상기후현상이 빈번하게 발생하고 있다. 2012 년도에는 4개 태풍이 한반도에 상륙하여 강풍과 집중 호우의 영향으로 인해 많은 재산 및 인명피해를 입었 다(Abnormal climate report, 2012). 기록적인 집중호 우에 의한 하천범람 피해와 도시침수 피해를 막기 위 해서는 하천유량의 지속적이고 정확한 관측이 필요하 며 홍수유출량 예측과 산정이 지속적으로 수행되어야

한다. 특히 하천의 유량측정 자료는 가장 기초적인 수 문자료이므로 효율적인 유량측정기법의 도입이 필요 하다(Kim 등, 2011).

기존의 하천 유속계와 봉부자를 이용한 점측식유 속측정법은 하천의 규모에 따라 많은 관측인원 및 측 정비용이 증가하는 단점과 측정위치에 따라 안정성 확보의 문제가 있다. 또한 점측식유속측정방법에 적 합한 측정 장소가 없는 경우는 측정이 불가능한 단점 이 있다. 특히 화산섬인 제주도의 건천은 집중호우나 태풍의 영향 등에 의한 하천유출 발생시 단시간에 급

Received 5 December, 2013; Revised 1 April, 2014;

Accepted 3 April, 2014

*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.

변하는 유량 변동 상황에 대처하고 관측자의 안전 등의 위험요소를 배제시킬 수 없는 단점이 있다(Ynag 등 2011). 이러한 문제점을 보완하기 위해 경제적이고 안전하며 유속장 측정이 가능한 비접촉식 유속측정기법인 표면영상유속계(SIV, Surface Image Velocimetry)에 의한 유량 측정법이 개발되어 실제 유량을 산정하고자 시도되었다(Yu 등 2005). 특히 일본에서는 Fujita 등(2002)이 하천감시용 카메라 네트워크인 ITV(Industrial Television)를 이용하여 유량을 산정한 사례가 있으나, 국내에서는 영상분석방법의 현장적용을 통한 적용성과 오차분석에 대한 연구는 부족한 편이다(Kim, 2013).

연구대상 지역인 제주도는 연평균 강우량이 약 2,061 mm로써 우리나라 최다우지역이지만 육지부와 다른 투수성이 양호한 지질학적 특성으로 인해 143개 하천 중 9개를 제외한 대부분의 하천은 평상시에 물이 흐르지 않는 건천이다. 이 같은 건천은 태풍 또는 집중호우의 영향으로 선행강우량이 80 mm 이상일 경우에만 평균 3~4 m/sec의 돌발성 홍수유출이 발생하며, 유출시간은 1일 미만의 단시간에 끝나는 특이한 현상을 보이고 있다(Yang, 2007). 제주도 하천을 대상으로 표면영상유속계(SIV)를 적용한 기존의 연구는 일반 캠코더로 촬영한 유출영상을 분석하여 이동식 전자파표면유속계와 고정식 전자파표면유속계(Kalesto)에 의한 유량과 비교·분석을 실시한 연구가 있으며, 그 결과 돌발성 유출특성을 보이는 하천에 SIV기법을 적용한 유량관측기법이 매우 유용한 방법임을 확인할 수

있다(Kim, 2013).

이 연구에서는 국내에서 처음으로 한천유역의 한천교를 대상으로 재난감시용 하천 CCTV 유출영상에 표면영상유속계(SIV) 유량측정법을 적용하여 연속적인 홍수유출량을 산정하였다. 2012년 총 7회의 유출사상에 대해 최종 유출량을 산정하였으며 산정된 유출량은 전자식 표면유속계인 Kalesto 자료와 비교·검토하고 표면영상유속계의 정확도와 활용성을 모색하였다.

2. 연구대상 하천

제주도 북부 중앙부에 위치한 한천은 한라산 정상 부근에서 발원하여 제주시 오라동과 용담동을 거쳐 바다로 향하고 있다(Fig. 1). 유역면적은 34.57 km², 유역길이는 19.82 km, 유역의 평균 경사는 8.62%이며, 하상은 대부분 거석 및 입도가 큰 자갈로 구성되어 있다(Table 1). 한천의 유로 연장은 비교적 짧고 경사가 급하며 하상은 투수성이 높은 현무암질로 구성되어 평상시는 건천을 형성하고 있다. 집중호우 또는 태풍 내습 시 선행강수와 밀접한 관련을 가지면서 유출이 발생한다(Fig. 2).

관측지점인 한천교는 한천의 하류부에 위치하며, 하류방향으로 해안까지 복개되었다. 한천교는 2007년 제11호 태풍 나리(NARI)의 영향으로 유출 발생 시 상류로부터 암반이나 거목, 기타 부유물 등이 복개 하

Fig. 1. Location of the Han Stream.

Fig. 2. The Han Stream in Jeju Island.

Table 1. Watershed characteristics of the Han Stream

Stream	Drainage area (km ²)	Basin length (km)	Average slope (%)	Shape factor
Han-stream	34.57	19.82	8.62	0.09

부에 쌓이면서 하천이 범람하고 토석류에 의해 도로 기능이 마비 되는 등 제주도에서 피해가 심한 지역이다(Jeju Special Self-Governing Province, 2007).

이후 2008년 7월부터 제주시 재난관리과에서 재난 감시용 하천 CCTV를 설치하여 운영하고 있다.

3. 연구방법

3.1 관측자료

3.1.1 재난감시용 하천 CCTV의 영상자료 구축

제주도 전역의 재난감시용 CCTV는 52개소가 설치되어 있으며 이 중 하천감시용은 35개소, 월파감시

용은 10개소, 적설감시용은 7개소가 설치되어 제주도 재난종합상황실에서 운영·관리하고 있다. 재난감시용 CCTV는 도서지역의 재난관리와 월파 감시, 하천 유출 상황 판단 및 수위 감시 목적으로 이용되고 있다. 실시간 감시하면서 재난발생시 신속한 대처와 재난정보의 발령, 인명 및 재산피해 예방 등에 활용되고 있다.

한천교에 설치된 재난감시용 CCTV는 Samsung SHC-745 기종이며, 최저조도 0.00001 Lux의 초고감도 센서가 내장되어 빛이 없는 야간 환경에서도 효과적인 유출영상을 확보하고 있다. 또한 영상 녹화 시 30.303 fps로 영상이 저장되며 이러한 카메라의 제원은 정밀한 영상 분석에 적용된다(Fig. 3).

Fig. 3. Disaster monitoring CCTV system.

Table 2. Runoff video data of disaster monitoring CCTV system

No.	Date	Time	Typhoon or Severe rain storm
1	2012.4.21	8:30am ~ 21:00pm	Severe rain storm
2	2012.4.25	8:30am ~ 16:30pm	Severe rain storm
3	2012.7.18 ~ 7.19	12:30pm ~ 9:30am	The 7th typhoon "KHANUN"
4	2012.8.23 ~ 8.24	15:30pm ~ 12:00pm	Severe rain storm
5	2012.8.27 ~ 8.28	20:30pm ~ 23:30pm	The 15th typhoon "BOLAVEN"
6	2012.8.30	4:00am ~ 17:30pm	The 14th typhoon "TEMBIN"
7	2012.9.16 ~ 9.17	19:30pm ~ 18:00pm	The 16th typhoon "SANBA"

2012년 제주도의 하천유출은 집중호우와 태풍의 영향에 의해 총 7회의 유출이 발생하였으며(Table 2), 이때 제주도재난종합상황실에서 재난감시용 하천 CCTV의 유출영상을 수집하고 표면영상유속계(SIV)를 적용하여 유출량을 산정하였다. 다만 이들 영상 자료는 모두 DVR에 녹화된 것이다. 그런데 CCTV의 특성상 실시간일 때는 고화질의 영상이라도 녹화를 할 때는 시간적 및 공간적으로 압축을 하여 녹화하기 때문에 시간적 해상도가 저하되는 문제가 있다. 이후 분석을 할 때 이런 문제 때문에 분석상 장애가 생기는 경우가 있었다.

3.1.2 단면측량 자료

유출량을 산정을 위한 단면자료는 한천교에 설치된 고정식 전자파표면유속계인 Kalesto의 관측 포인트에 맞추어 교량 하부의 기둥을 중심으로 상류방향 8.8 m의 단면을 측량하였다. 관측구간의 단면자료는 SOKKIA 사의 CX-105 모델을 이용하여 1 m 간격으로 정밀한 단면을 측량하였으며 유출량계산 시 중간

단면법을 적용하여 유출량을 산정하였다. 이때 수위에 따른 면적은 AutoCAD로 산정한 면적 값을 적용하였다. 관측 지점의 단면은 폭 41.9 m이며 하상은 주로 암반으로 형성되어 있으나 우안 측에는 암반상부에 모래가 퇴적되어있다(Fig. 4). 표면영상유속계(SIV)로 분석된 유속장에서 Kalesto의 관측점과 동일한 단면을 적용하여 산정된 유출량을 비교·분석하였다.

3.1.3 참조점 선정을 위한 거리 측정

영상자료를 이용하여 유속을 분석하기 위해서는 분할된 연속된 이미지 위의 영상좌표(image coordinate)를 물리좌표(physical coordinate)로 변환할 참조점이 입력되어야 한다. 이같은 과정은 3차원의 공간영상을 2차원의 평면 상태로 저장하는 과정에서 촬영 각도와 사물의 원근에 의해 발생하는 왜곡에 대한 보정작업이다. Fig. 5와 같이 화면상의 참조점을 기준으로 측량을 실시하고 실제 측점 사이의 거리에 대한 x, y좌표 참조점을 입력한다.

Fig. 4. Cross sectional areas for discharge calculation.

Fig. 5. Reference points for the coordinate transform.

3.2 표면영상유속계(SIV)의 적용

표면영상유속계(SIV)는 영상분석기법을 적용하여 하천의 표면유속을 측정하기 위한 분석 프로그램이다. 비디오카메라 같은 영상저장장치를 이용하여 하천의 수표면의 유동을 촬영하고 저장된 영상을 연속된 프레임으로 분할하여 영상 변위를 구한 다음 영상과 실상과의 축척 관계를 이용하여 최종적으로 표면유속을 구하는 방법이다(Kim, 2008).

재난감시용 하천 CCTV의 유출영상을 활용하여 표면영상유속계(SIV)를 적용한 실제 하천의 표면유속 측정과정은 다음과 같다.

획득된 유출영상 자료를 사용된 카메라의 초당 프레임값을 고려하여 연속된 이미지로 분할하고 시간에 따른 각각의 한 쌍의 영상을 획득한다. 재난감시용 하

천 CCTV의 촬영 위치에 따라 3차원 공간의 실제 흐름을 영상으로 전환할 경우 2차원의 평면 형태로 기록되므로 원근에 따른 영상 왜곡 현상을 보정하여 계산하기 위해 좌표 변환작업을 실시한다. 좌표변환 과정에서 왜곡영상 보정방법은 2차원 투영좌표 변환법(2-D perspective coordinate transformation)이 사용되며 획득되는 영상에서 최소 4개의 기준점이 필요하나 오차를 줄이기 위해서는 4개 이상의 기준점을 두는 것이 좋다(Kim, 2008). 다음 영상분석 구간에 대해 격자점을 형성하고 영상분석에 의한 유속을 산정한다. 이 때 산정되는 유속벡터는 연속되는 두 영상의 검색영역 내에서 각 입자군의 상관계수를 계산하여 최대 상관계수를 갖는 입자군을 동일 입자군으로 판별하고 입자군간 도심의 이동거리를 두 영상의 시간간격으로 나누어 유속벡터를 계산한다. 재난감시용 CCTV의 유출영상 분석 시 관측지점의 입력값을 통일시키고 적합한 탐색영역과 상관영역을 적용하기 위해 2012년 총 7회의 유출영상을 수위 기준으로 상승기, 하강시, 주간, 야간영상으로 구분하여 반복적으로 분석하였으며 최종적으로 적정 상관영역범위를 결정하고 전체 영상에 적용하여 최종유출량을 산정하였다. 표면영상유속계(SIV)로 산출된 결과는 관측구간의 전체적인 유속장을 분석하였으나 Kalesto의 관측 결과와 비교·분석하기 위해 Kalesto가 관측하는 포인트에 맞추어 유속벡터 라인을 단면에 적용하였다.

(a)

(b)

Fig. 6. MSIV(Mobile Surface Image Velocimetry); a) Program Set analysis section(Create a grid network); b) Velocity vector.

Fig. 7. Flow velocity vector distribution of daytime video(left) and night video(right).

4. 결과 및 고찰

재난감시용 하천 CCTV의 주·야간의 영상(Fig. 7)을 표면영상유속계(SIV)에 적용하여 유출량을 산정하였다. 분석 시 특이사항은 CCTV의 영상화질에 대해 휴대용표면영상유속계(MSIV)의 분석법을 적용할 경우 초기에는 과도한 유속 값이 산정되었지만 보정을 통하여 적정 탐색영역과 상관영역 범위를 산정하고 전체 영상에 적용하였다.

4.1 집중호우(2012. 4. 21)의 유출사상

2012년 4월 21일 8시 00분부터 21시 00분까지 한천유역에는 187.32 mm의 강우량을 나타냈으며 선행강우는 4월 19일부터 21일 사이에 119.71 mm를 나타냈다. 유출은 약 8시간동안 지속되었으며 CCTV는 16시 00분에 162.72 m³/s, Kalesto는 12시 00분에 137.55 m³/s로 첨두유량이 나타났다. 유출사상에 대해 두 관측장비가 비슷한 경향이 나타났지만 Fig. 8처럼 10시 30부

터 17시 00분까지 카메라 렌즈에 빗물이 맺힌 영상으로 인해 표면영상유속계의 정확도가 떨어진 것으로 판단된다. CCTV와 Kalesto의 유출량에 대한 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 14.2, 결정계수(R-squared) R^2 값이 0.88로 나타났다(Fig. 9).

Fig. 9. Comparison of the discharge curves (two observation equipments).

Fig. 8. Low-quality video of Disaster Monitoring CCTV system.

Fig. 10. One-to-one relationship of discharge measurements between the Kalesto and Surface image velocimetry (SIV) discharge (April 21th, 2012).

4.2 집중호우(2012. 4. 25)의 유출사상

2012년 4월 25일 8시 30분부터 16시 30분까지 한천유역에는 13.45 mm의 강우량을 나타냈으며 선행 강우는 4월 19일부터 25일까지 398.49 mm를 나타냈다. Fig. 11에서 알 수 있듯이 집중호우 시 하천의 유출은 불과 15초 사이에 돌발적으로 급증하여 수위는 15초 사이에 0.86 m로 급상함을 알 수 있었다. 이 같은 현상은 Kalesto에 의한 수위·유속 자료에서도 확인이 되었다. 따라서 이 같은 돌발홍수는 내륙지방과는 다른 매우 특이한 제주도 건천의 홍수유출 특성을 보여주고 있다.

유출은 약 8시간동안 지속되었으며 첨두유량은 CCTV가 9시 30분에 60.85 m³/s, Kalesto는 동시간에 55.17 m³/s를 보였다. CCTV와 Kalesto에 의한 유량의 변화는 유사한 경향을 보였으며 유량의 급격한 상승기와 비교적 완만한 하강기를 보이고 있다(Fig. 12).

(a) 2012-04-25 08:30:08

(b) 2012-04-25 08:30:13

(c) 2012-04-25 08:30:18

(d) 2012-04-25 08:30:23

Fig. 11. Sudden changes in runoff in a short time.

CCTV와 Kalesto의 유량에 대한 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 5.39, 결정계수(R-squared) R^2 값이 0.89로 나타났다(Fig. 13).

Fig. 12. Comparison of the discharge curves(two observation equipments).

Fig. 13. One-to-one relationship of discharge measurements between the Kalesto and Surface image velocimetry (SIV) discharge(April 25th, 2012).

4.3 제7호 태풍 카눈(KHANUN, 2012. 7. 18)의 유출사상 2012년 7월 18일 12시 30분부터 19일 9시 30분까지 한천유역에는 151.14 mm의 강우량을 나타냈으며 선형강우는 7월 15일부터 18일 사이에 139.73 mm를 나타냈다. 태풍 카눈에 의한 유출영상은 다른 사상의 유출영상과 달리 주·야간 유출영상이 비바람이나 안개와 같은 영상의 화질을 저하시키는 요인이 없는 이유로 화질이 가장 선명하게 기록되었다. 이 같은 선명한 유출영상의 분석결과 두 관측장비가 매우 유사한 결과를 나타냈다.

Fig. 14는 제주도 건천의 돌발성 홍수유출 특성을 보여주고 있다. 19시 00분부터 19시 30분사이 약 30 mm의 강우영향으로 수위가 1.12 m로 급증하였다.

Fig. 15은 재난감시용 하천 CCTV와 Kalesto의 자료를 이용하여 산정한 유량을 비교·분석하기 위한 것이다. 유출은 약 22시간동안 지속되었으며 12시 30분부터 19시까지 약 6시간 동안 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 이하의 유출량을 보이다가 19시 30분경에는 약 $82 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 30분 동안에 약 8배 이상의 급격한 유출량 증가를 보였다. 이후 유량은 꾸준히 증가하여 CCTV가 18일 20시 30분에 $161.16 \text{ m}^3/\text{s}$, Kalesto는 동시간에 $167.36 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 매우 근접한 첨두유량을 나타냈다. CCTV와 Kalesto의 유량에 대한 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 4.13, 결정계수(R-squared) R^2 값이 0.86으로 나타났다(Fig. 16).

(a) 2012-07-18 19:00:01

(b) 2012-07-18 19:30:01

Fig. 14. Sudden changes in runoff in a short time.

Fig. 15. Comparison of the discharge curves(two observation equipments).

Fig. 16. One-to-one relationship of discharge measurements between the Kalesto and Surface image velocimetry (SIV) discharge(July 18th, 2012).

4.4 집중호우(2012. 8. 23)의 유출사상

2012년 8월 23일 15시 30분부터 24일 11시 30분까지 한천유역에는 261.61 mm의 강우량을 나타냈으며 선행강우는 8월 22일부터 23일 사이에 142.99 mm의 집중강우량을 나타냈다. 집중호우에 의한 유출영상은

Fig. 17. Low-quality video of Disaster Monitoring CCTV system.

다른 유출사상의 영상과 달리 안개의 영향으로 선명하지 못한 영상을 기록하였다(Fig. 17).

Fig.18의 비교 그래프를 보면 유출발생 초기에 Kalesto는 약 40 m³/s의 유출량을 나타냈으나 Fig. 17처럼 동시간 때의 유출 영상과 비교하면 Kalesto의 관측값이 오류를 나타냈음 확인할 수 있다. 유출은 약 20시간동안 지속되었으며 15시 30부터 17시 30분까지 약 2시간 동안 10 m³/s 이하의 유출량을 보이다가 18시 00분에는 약 132 m³/s로 30분 사이에 약 13배 이상의 급격한 유출량 증가를 보였다. 이후 CCTV가 18시 30분에 178.41 m³/s, Kalesto는 동시간에 136.86 m³/s로 침두유량을 나타냈으며 20시 00분까지 약 71 m³/s의 급격한 하강을 보였다. 23일 20시 30분부터 24일 2시 30분까지 약 42 m³/s의 유량을 유지하며 유출이 발생했으며 24일 3시 00분에 CCTV가 152.46 m³/s, Kalesto가 134.36 m³/s로 두 번째 침두유량을 나타냈다(Fig. 18).

CCTV와 Kalesto의 유량에 대한 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 4.13, 결정계수(R-squared) R^2 값이 0.86으로 나타났다(Fig. 19).

Fig. 18. Comparison of the discharge curves(two observation equipments).

Fig. 19. One-to-one relationship of discharge measurements between the Kalesto and Surface image velocimetry (SIV) discharge(August 23th, 2012).

4.5 제15호 태풍 볼라벤(BOLAVEN, 2012. 8. 28)의 유출사상

2012년 8월 27일 20시 30분부터 28일 23시 30분까지 한천유역에는 446.79 mm의 강우량을 나타냈으며 선행강우는 8월 25일부터 28일 사이에 211.71 mm의 강우량을 나타냈다. 태풍 볼라벤에 의한 유출영상은 다른 유출사상의 영상과 달리 Fig. 20처럼 화면의 초점이 맞지 않는 영상이 기록되었다. 실제 육안으로도 식별이 불가능할 정도로 저화질의 영상에 표면영상유속계(SIV)를 적용한 결과는 유속벡터가 0(zero)을 나타냈다. 또한 강력한 태풍의 영향으로 인해 재난감시용 CCTV가 작동오류를 나타냈다(Fig. 20).

유출은 약 27시간동안 지속되었으며 Kalesto는 27일 22시 00분에 40 m³/s에서 23시 00분까지 약 10배의 유출량증가를 보였으며 431.82 m³/s의 첨두유량을 나타냈다. 이후 28일 4시 00분에 375.95 m³/s로 두 번째 첨두유량을 나타냈다(Fig. 21).

Fig. 20. Low-quality video of Disaster Monitoring CCTV system.

CCTV와 Kalesto의 유량에 대한 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 6.18, 결정계수(R-squared) R^2 값이 0.75으로 나타났다(Fig. 22).

Fig. 21. Comparison of the discharge curves(two observation equipments).

Fig. 22. One-to-one relationship of discharge measurements between the Kalesto and Surface image velocimetry (SIV) discharge(August 27th, 2012).

4.6 제14호 태풍 덴빈(TEMBIN, 2012. 8. 30)의 유출사상

2012년 8월 30일 4시 00분부터 17시 30분까지 한천 유역에는 78.64 mm로 다른 유출사상에 비해 적은 강우량을 나타냈으나 8월 27일부터 30일 사이에 524.01 mm의 과다한 선행강우량의 영향으로 유출이 발생하였다. 유출은 약 13시간동안 지속되었으며 4시 00분부터 5시 30분까지 약 20 m³/s 이하의 유출량을 보이다가 6시 00분에는 CCTV가 136.37 m³/s, Kalesto가 139.70 m³/s로 약 6배의 유량증가를 나타냈다(Fig. 23).

CCTV와 Kalesto의 유량에 대한 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 7.34, 결정계수

(R-squared) R^2 값이 0.75으로 나타났다(Fig. 24).

Fig. 23. Comparison of the discharge curves(two observation equipments).

Fig. 24. One-to-one relationship of discharge measurements between the Kalesto and Surface image velocimetry (SIV) discharge(August 30th, 2012).

4.7 제16호 태풍 산바(SANBA, 2012. 9. 16)의 유출사상

2012년 9월 16일 19시 30분부터 17일 18시 00분까지 한천유역에는 527.14 mm의 강우량을 나타냈으며 선행강우는 9월 13일부터 16일 사이에 158.36 mm의 강우량을 나타냈다. 태풍 산바에 의한 유출영상은 Fig. 25와 같이 야간 유출영상이 투광기가 작동하지 않는 상태의 영상이 기록되었다. 표면영상유속계(SIV)의 분석결과 유속장의 유속벡터 분포가 일정하지 않고 상, 하, 좌, 우로 분포되어 정밀도가 떨어짐을 확인할 수 있었다.

Fig. 26은 2012년 9월 16일 19시 30분부터 17일 18시 00분까지 재난감시용 하천 CCTV와 Kalesto 유량에 대하여서 비교·분석한 결과다. 재난감시용 CCTV

Fig. 25. Low-quality video images of Disaster Monitoring CCTV system.

와 Kalesto의 분석된 유량에 대한 평균제곱근오차 (Root Mean Square Error, RMSE)는 102.39, 결정계수(R-squared) R^2 값이 0.64로 나타났다.

Fig. 26. Comparison of the discharge curves(two observation equipments).

Fig. 27. One-to-one relationship of discharge measurements between the Kalesto and Surface image velocimetry (SIV) discharge(September 16th, 2012).

5. 요약 및 결론

국내에서는 처음으로 재난감시용 하천 CCTV의 유출영상에 표면영상유속계(SIV) 유량측정법을 적용하여 연속적인 홍수유출량을 산정하였다. 표면영상유속계(SIV)의 정량적인 분석을 위해 2012년도의 집중호우 및 태풍 내습에 의한 총 7회의 유출영상자료를 수집하고 수위를 기준으로 상승기, 하강기, 주간, 야간영상으로 구분하여 흐름에 대한 상관영역과 탐색범위를 적용하고 유출량을 산정한 결과는 다음과 같다.

하천 CCTV의 유출영상과 Kalesto로 산정한 연속적인 홍수유출량은 유출사상에 대해 비슷한 경향을 나타냈다. 유출영상의 화질이 불량한 2회(2012년 8월 30일 태풍 덴빈, 2012년 9월 16일 태풍 산바)를 제외한 5개의 유출사상은 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)가 최소 4.13에서 최대 14.2의 범위를 보였으며 결정계수(R-squared) R^2 값이 최대 0.89, 최소 0.75로 매우 높은 상관성을 나타냈다.

영상분석기법인 표면영상유속계(SIV)를 재난감시용 하천 CCTV에 적용하여 공간적인 유속분석과 유량을 산정하는 방법은 항천시 관측자의 안전성을 확보할 수 있으며, 고가의 유속측정 장비 없이 비접촉식 유속측정 방법에 의해 연속적인 영상 확보로 실시간 하천 유출량을 측정할 수 있는 이점이 있다.

전자파에 의해 비접촉식으로 하천유출량을 측정하는 Kalesto는 제주도와 같은 도서지역의 건천인 산지 하천에서 돌발성 홍수에 대해 유출 발생시부터 종료 시까지 악천후의 영향을 받지 않고 주·야간 구분이 없이 연속적인 측정이 가능하다. 그러나 하천 유출 초기에 과도한 유속이 산정되는 문제가 있으며 수표면 한 지점의 유속을 횡단면 전체에 적용하여 유량을 산정하므로 유량이 과소 또는 과대측정 될 가능성이 있다. 이 같은 문제점을 보완하고 Kalesto의 효율성을 높이기 위해서는 표면영상유속계(SIV)와 같은 다른 관측 장비와 비교가 필요하다. 또한 유량계산시 관측 또는 분석된 유속에 대해 표면유속-평균유속의 비인 0.85를 사용하여 유량을 산정하였으나 정밀한 유량산정을 위해서는 제주도 건천에 적합한 표면유속과 평균유속간의 관계 정립이 필요하다.

이상의 결과는 분석방법이나 오차 발생 요인에 대

한 사용기준이 없어 일반 사용자들이 쉽게 사용하기 어려운 표면영상유속계(SIV)를 실제 하천의 유출사상에 적용한 결과이며 재난감시용 하천 CCTV의 유출영상을 분석함으로써 표면영상유속계를 확대 적용할 수 있었다.

향후 다양한 하천의 재난감시용 CCTV 유출영상에 대해 적정 상관영역과 탐색영역의 크기를 결정하고 다른 관측기기와 비교·분석을 실시한다면 많은 장점을 갖고 있는 표면영상유속계의 적용성을 보다 확대할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서는 DVR로 녹화된 영상을 이용하여 분석하였으나 추후 CCTV영상을 실시간으로 분석한다면 더욱 높은 정확도의 영상 분석을 할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- Climate Change Information Center., 2012, Abnormal climate report, 19-20, 33-38
- Fujita, I., Takehara, K., Aya, S., Sakai, N., Tamai, M., Takano, Y., Miyamoto, H., 2002, Measurement of River Flow by ITV Video Camera, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 8, 459-464.
- Jeju Special Self-Governing Province., 2007, Report on Wind and flood damage in Jeju, 201-204
- Joo, Y. W., Kim, S. J., Yu, K., Yoon, B. M., 2009, The Accuracy Analysis of SIV(Surface Image Velocimetry) associated with Correlation Coefficient, Journal of Korea Water Resources Association, 1894-1897
- 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., 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, Myoungji University, Korea.
- Lee, S. H., Kim, W. G., Kim, Y. S., 1997, Practical Aspects of Microwave Surface Velocity Meter Applied to Measurements of Stream Discharges, Journal of Korea Water Resources Association, 30(6), 671-678.
- Roh, Y. S., Yoon, B. M., Yu, K., 2005, Estimation of Mean Velocity from Surface Velocity, Journal of Korea Water Resources Association, 38(11), 917-925.
- Yang, S. K., Kim, D. S., Yu, 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, Journal of the Environmental Sciences, 21(6), 739-747.
- 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., 2007, River Management and Improvement of Jeju Island, Journal of Korea River Association, 3(4), 104-115.
- 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.