

ORIGINAL ARTICLE

## 영상장비를 활용한 하천의 홍수유출량 산정

강보성 · 양성기\* · 정우열 · 김용석

제주대학교 토목공학과

### Calculation of the Flood Runoff of the River with Imaging Equipments

Bo-Seong Kang, Sung-Kee Yang\*, Woo-Yeol Jung, Yong-Seok Kim

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

#### Abstract

This study Analyzed four of seven runoffs which had happened in 2012 in comparison with the runoffs shown in Kalesto data, using the fixed surface image velocimetry (FSIV) installed at Oedo stream, Jeju Island. As a result of identifying a runoff curve graph, it was analyzed that the flood runoffs calculated with two observation devices were almost equivalent. As the differences in peak flows were  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$  and  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , the very similar result values were calculated. Even though there were errors in RMSE(Root Mean Square Error) made by two observation devices according to the degree of the peak flow, the values of  $R^2$  by flood event were 0.89, 0.87, 0.86 and 0.82, showing the result values almost close to 1. Therefore, there was a very high correlation in flood runoffs calculated with two observation devices. This research method was considered to be a very suitable method to measure unexpected flood runoffs which could happen in the island area such as Jeju island during bad weather.

**Key words** : Fixed-type surface image velocimetry, Kalesto, Runoff

#### 1. 서론

전 세계적인 지구온난화와 이상기후 현상은 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 이상기후로 인한 자연재해는 매년 증가하고 있는데 그 중에서도 집중호우 및 태풍과 직접적인 관련이 있는 홍수재해는 인명과 재산 피해를 가장 크게 발생시킨다(Oh, 2009). 지구온난화의 영향으로 우리나라에서도 2000년대 이후 태풍에 의한 피해가 자주 발생하였다. 2002년에 발생하였던 태풍 루사는 역대 최고 금액인 5조 1,479억 원의 재산피해가 발생하였고(NEMA, 2002), 이듬해인 2003년에는 태풍 매미로 인하여 4조 2225억 원의 피

해가 발생하였다(NEMA, 2003).

제주도 역시 기후변화에 의한 집중호우 및 태풍의 발생 빈도가 지속적으로 증가하고 있으며, 화산섬인 제주도 하천은 지질 특성상 돌발성 홍수유출이 자주 발생하고 있다(Yang, 2007). 지난 2007년에는 일 최고 590 mm의 강우를 내린 태풍 나리로 인해 14명의 인명 피해와 약 1300억 원의 재산 피해가 발생하였다. 또한, 제주도 산간 지역에 700 mm 이상의 집중호우가 내려 많은 피해를 발생시킨 2011년 태풍 무이파 등 홍수재해로 인한 피해가 급증하고 있어(CICC, 2012), 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

태풍 및 집중호우에 의한 강우량이 매년 증가함에

Received 11 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.

따라 돌발성 홍수유출과 하천 범람 등이 발생하는 것은 화산섬인 제주도의 하천이 대부분 건천으로 이루어져 있는 특성 때문이다(Yang 등, 2011). 홍수유출 시에는 강풍과 시계 악화 등의 악천후를 동반하므로 실제 현장에서 인력에 의한 접촉식 방법으로 유출량을 관측하는 것은 극히 제한적이며 매우 위험할 수밖에 없다. 이 같은 문제점을 해결하기 위해 국내에서는 Kim 등(Kim, 2011)이 시도했던 고정식 표면영상유속계(FSIV, fixed-type surface image velocimetry)를 활용하여 유량을 산정할 수가 있다. FSIV는 관측자가 위험한 현장에 없어도 영상이 자동으로 저장되기 때문에 악천후 및 야간에도 돌발홍수 등의 유출 관측이 가능한 이점이 있다(Kim, 2013).

기존의 봉부자 및 접촉식 유속계를 이용한 유량측정방식은 많은 시간과 인력 및 위험성으로 인하여 현장관측의 어려움이 있으나, FSIV를 활용한 측정방식은 기존의 방식보다는 인력과 경비 등에서 경제적이며 무엇보다 안전성이 확보되어 효율적인 관측이 가능하다(Kim, 2008).

이 연구에서는 하천정비 및 기본계획 수립 시 이치수 기능을 분석하고 이용하기 위한 하천 유출량 관측 시 고정식 표면영상유속계(FSIV)를 활용하여 측정하고 홍수유출량을 산정하였다. 2012년 총 7회의 유출 사상 중 4회 사상에 대한 영상을 분석하여 홍수량을 산정하고, 제주도에 관측하고 있는 전자파 표면유

속계인 Kalesto의 자료와 비교·분석하여 FSIV의 정확도 및 실용화 방안을 제안하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구대상 하천 및 유역

제주도 북서부 해안에 위치한 외도천은 한라산 중산간에서 발원하여 북부 해안으로 유입되는 하천으로 유역면적 44.64 km<sup>2</sup>, 유로연장 20.56 km, 유역평균경사 0.106로 비교적 급한 경사의 지형 형태를 보인다. 투수성이 좋은 제주도의 하천은 지질 특성상 건천이 대부분이지만, 연구대상인 외도천은 제주도 전역에 존재하는 9개의 상시하천 중 하나로서 하류부에서는 항시 유출이 발생하고 있다. 평상시에는 하류부의 용천수에 의한 하천유지용수가 있지만, 태풍이나 집중호우로 인한 돌발홍수 발생 시는 하천범람의 위험이 있는 지역이다(Fig. 1).

### 2.2. 고정식 표면영상유속계(FSIV)에 의한 유속 분석 및 유출량 산정

표면영상유속계는 평소 시각적으로는 하천의 흐름을 확인할 수는 없지만 흐름을 시각화함으로써 유속을 구하는 방법이다. 고정식 표면영상유속계(FSIV)를 활용하여 유속을 측정하는 과정은 우선, 시간에 따른 쌍의 영상을 획득하고, 2차원 영상을 3차원으로 보정하기 위한 좌표 변환작업을 실시한다. 영상분석 구

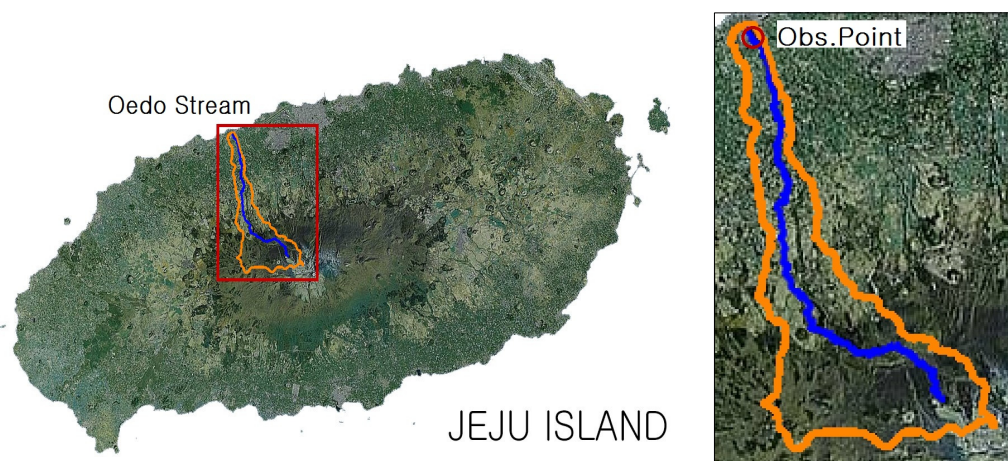


Fig. 1. Location of the Oedo Stream.

간에 대해 격자점을 형성하고 영상분석에 의한 유속을 산정하는 과정에 있어서 오류백터가 포함될 수 있기 때문에 오류백터를 보정하기 위한 후처리 작업을 수행하여야 한다(Kim, 2008).

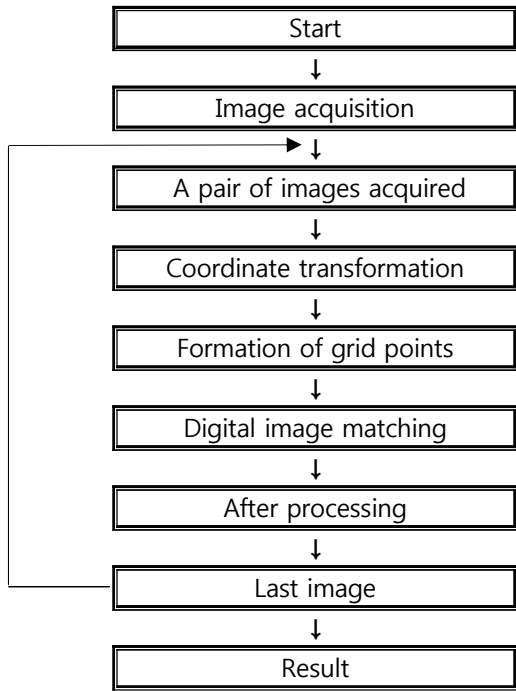


Fig. 2. Analysis procedure of the SIV(Kim, 2008).

2.2.1. 유속관측용 FSIV의 영상자료 구축

제주도 재난종합상황실에서 운영하고 있는 재난감시용 CCTV가 제주 전역에 설치되어 있지만, 제주수자원연구단에서는 주요 관측지점(5개소 : 외도천, 한천, 천미천, 연외천, 강정천)에 표면영상유속계를 설치하여 태풍 및 집중호우에 발생하는 유량을 관측을 실시하고 있다. 이 중에서 외도천에 설치되어 있는 장비는 SAMSUNG SRD-44X 기종으로, 녹화 시 초당 7.092장의 영상이 저장되고 있다. 홍수유출 시 효과적인 영상취득을 위해 정수장 상단부에 하천의 횡단면을 향해 설치하였으며(Fig. 3), 외도정수장 단면을 관측 포인트로 정하여 촬영하고 있다(Fig. 4).

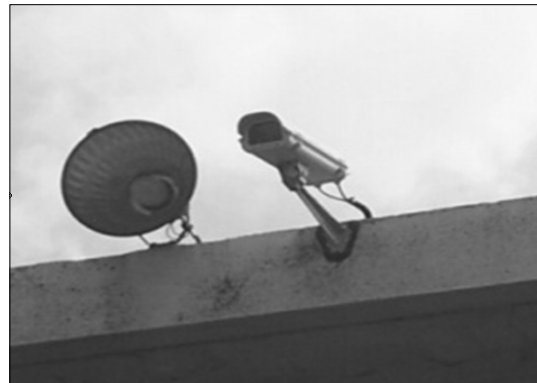


Fig. 3. Outflow monitoring FISV system.



(a) Before



(b) After

Fig. 4. Compared before and after outflow images.



Fig. 5. Reference point for the coordinate transformation.

#### 2.2.2. 좌표변환을 위한 참조점 입력

3차원의 공간영상을 2차원의 평면 상태로 저장하는 과정에서 촬영 각도와 사물의 원근에 의해 왜곡이 발생하는데 이에 대한 보정작업이 중요하다. 보정을 위해서 참조점의 위치를 측량하고, 실제 포인트 간의 거리에 대한 X, Y좌표 점을 구축해야 한다(Fig. 5). 좌표변환 과정에서 왜곡영상 보정방법은 2차원 투영좌표 변환법이 사용되며, 획득되는 영상에서 최소 4개의 기준점이 필요하나, 오차를 줄이기 위해서는 4개 이상의 기준점을 두는 것이 좋다(Kim, 2008).

#### 2.2.3. 유속벡터 보정 및 유출량 산정

표면영상유속계는 유속분석 시 획득된 영상의 화질 및 현장 상태에 따라 분석 결과가 보정되도록 프로그램화 되어 있지만, 야간이나 빛물 등의 영향으로 인해 표면 유동이 파악되지 않을 경우 원 자료의 상태를 최대한 이용하여 유속을 보정할 필요가 있다. 이렇게 보정된 유속과 중간단면법을 적용한 면적을 이용하여 홍수유출량을 산정하였고, 이때 수위는 제주수자원연구단에서 설치한 DIVER 수위계의 자료를 이용하였다.

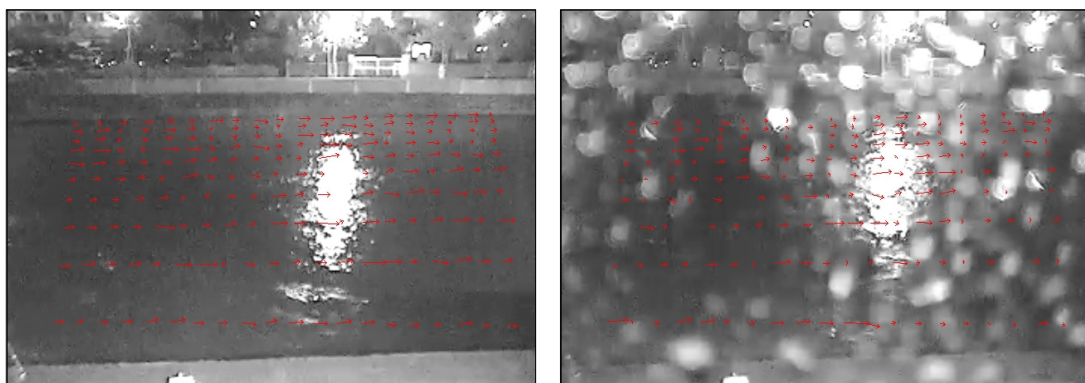


Fig. 6. Analysis of velocity vector.

**Table 1.** Observed Discharge of Oedo stream

No.	Date	Rainfall Pattern	Remark
1	2012.4.21	Severe rain storm	Uninstalled
2	2012.4.25	Severe rain storm	Uninstalled
3	2012.7.18 ~ 7.19	typhoon "KHANUN"	O
4	2012.8.23 ~ 8.24	Severe rain storm	O
5	2012.8.27 ~ 8.28	typhoon "BOLAVEN"	Impossible Operation
6	2012.8.30	typhoon "TEMBIN"	O
7	2012.9.16 ~ 9.17	typhoon "SANBA"	O

**2.3. Kalesto를 이용한 유출량 산정**

전자파를 이용하는 Kalesto는 도플러 효과의 원리를 이용한 장비로, 전자파가 수표면에 반사되어 돌아온 신호를 측정하여 흐름방향의 표면유속을 산출하는 방식(Lee 등, 2006)으로 수위와 유속을 동시에 관측할 수 있다.

Kalesto를 이용하여 분석한 유속은 표면유속이기 때문에 분석된 표면유속에 보정계수를 적용하여 평균 유속으로 변환시키고, 미리 측량해둔 하천단면자료에 적용하여 유출량을 산정한다(Kim, 2013). Kalesto의 관측은 하천의 단면 중 1개 지점에서 이루어지기 때문에 유속의 과다 또는 과소 측정될 수 있는데 이러한 경우에는 유출량 산정 시 오차범위로 포함시킬 수 있다 (Yang, 2012).

**3. 결과 및 고찰**

2012년 한 해 동안 제주도에서 총 7회의 하천 유출이 발생하였다. 외도천에 설치되어 있는 FSIV 영상자료에는 7회 중 4회의 자료가 취득되었는데, Table 1

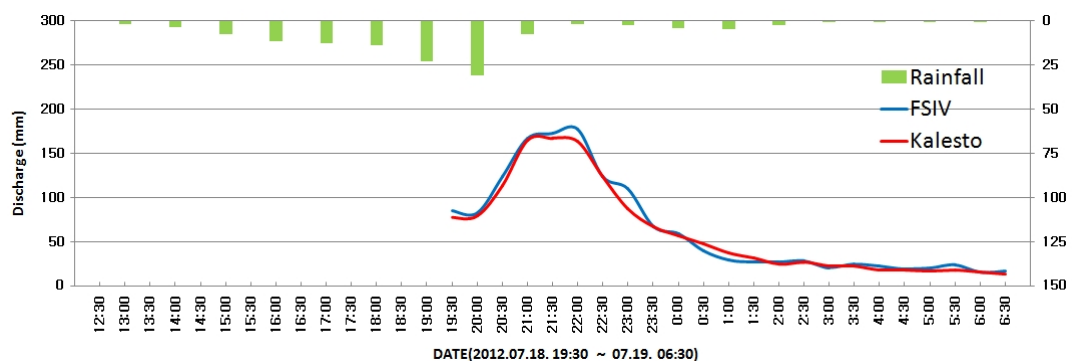
에서 보는 바와 같이 4월에 발생한 두 차례의 집중호우 시에는 장비가 설치되어 있지 않았다. 장비 설치를 완료한 2012년 6월 이후부터 꾸준하게 유출 영상자료를 취득하였으나 8월 27~28일 사이에 발생한 태풍 볼라벤 내습시의 자료는 최대풍속 49.6 m/s의 강풍과 기상악화의 원인으로 인한 작동 불능으로 취득하지 못하였다. 강력한 태풍의 내습시 영상장비의 작동이 불가능한 경우도 있었는데 이는 연구를 통해 개선해 나가야 할 부분이다.

**3.1. 유출 사상별 유출량분석**

태풍 및 집중호우시 FSIV에 의한 하천유출 영상자료를 분석하여 유출량을 산정하고, 동일 지점에 설치된 외도 정수장 Kalesto의 수위 및 유속 자료를 이용한 유출량을 산정하여 두관측 장비에 의한 결과를 분석하였다. 홍수유출 발생 이전 영상에서는 표면의 흐름이 거의 보이지 않아 유속벡터 분석이 불가하여 유출량을 산정할 수 없었다.

**3.1.1. 2012년 7월 태풍 카눈(KHANUN)**

태풍 카눈으로 인해 발생한 하천 유출 자료 중에서



**Fig. 7.** Compare the discharge of the typhoon KHANUN.

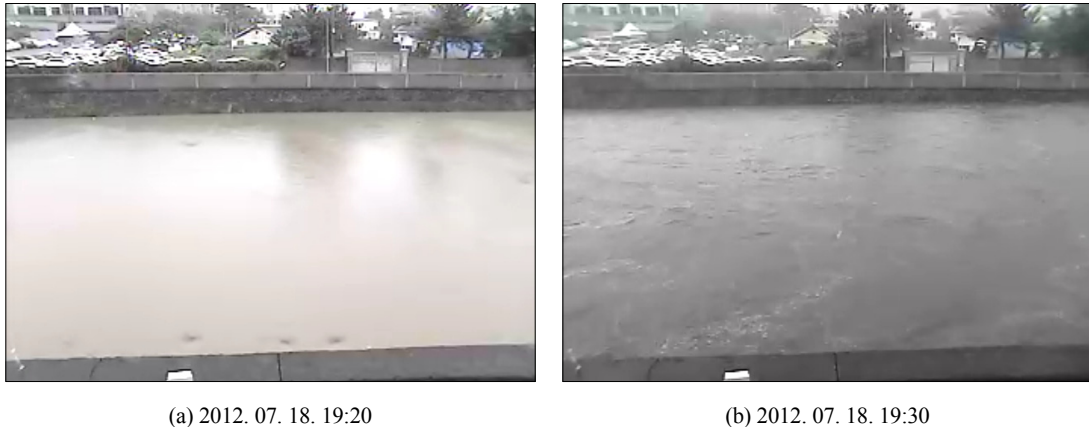


Fig. 8. Compare the discharge of the typhoon KHANUN.

2012년 7월 18일 19시 30분부터 19일 06시 30분까지의 영상을 사용하여 유출량 값을 분석하였다. 두 관측 장비 모두 2012년 7월 18일 20시 30분경에 최고 약 40 m<sup>3</sup>/s의 유량이 급증하였으며, FSIV는 18일 22시 00분, Kalesto는 18일 21시 30분에 각각 177.19 m<sup>3</sup>/s, 167.10 m<sup>3</sup>/s의 첨두 유출량이 관측되었다(Fig. 7).

3.1.2. 2012년 8월 집중호우

집중호우로 인해 발생한 하천 유출 자료 중에서 2012년 8월 23일 17시 30분부터 24일 10시 00분까지의 영상을 이용하여 유량 값을 분석하였다. 두 관측 장비 모두 23일 18시 30분경에 최고 약 130 m<sup>3</sup>/s의 유량이 급증하였으며, 24일 01시 30분까지 약 30 m<sup>3</sup>/s의 변화폭으로 증감하다가 02시 00분경에 약 100 m<sup>3</sup>/s의 유량이 큰 폭으로 증가하였다. FSIV는 23일 18시 30

분에, Kalesto는 24일 02시 00분에 각각 147.2 m<sup>3</sup>/s, 150.43 m<sup>3</sup>/s의 첨두 유출량이 관측되었다(Fig. 9).

3.1.3. 2012년 8월 태풍 덴빈(TEMBIN)

태풍 덴빈으로 인해 발생한 하천 유출 자료 중에서 2012년 8월 30일 04시 30분부터 12시 00분까지의 영상을 사용하여 유량 값을 분석한 결과, 두 관측 장비 모두 05시 30분경에 최고 약 98 m<sup>3</sup>/s의 유량이 급증하였으며, FSIV와 Kalesto 모두 06시 00분에 각각 119.65 m<sup>3</sup>/s, 118.94 m<sup>3</sup>/s의 첨두 유출량이 관측되었다(Fig. 10).

태풍 덴빈의 내습 시 선행강우가 많지 않았음에도 유출이 발생한 것은 일주일 전에 발생했던 집중호우의 영향을 받은 것으로 분석된다.

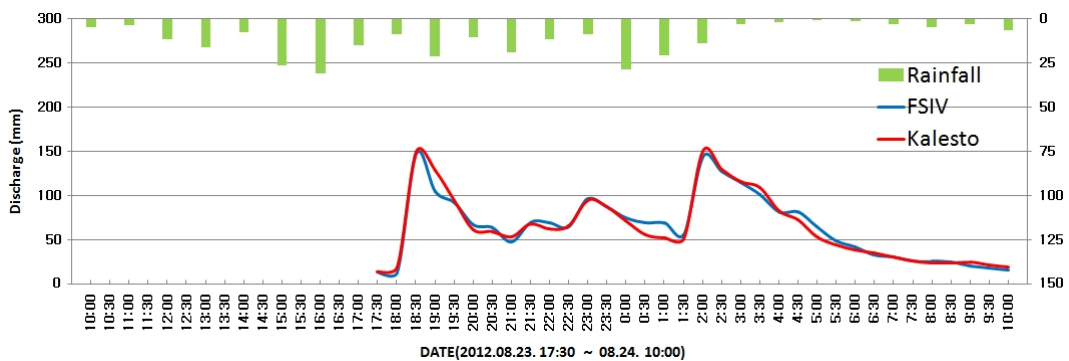


Fig. 9. Compare the discharge of the Severe rain storm.

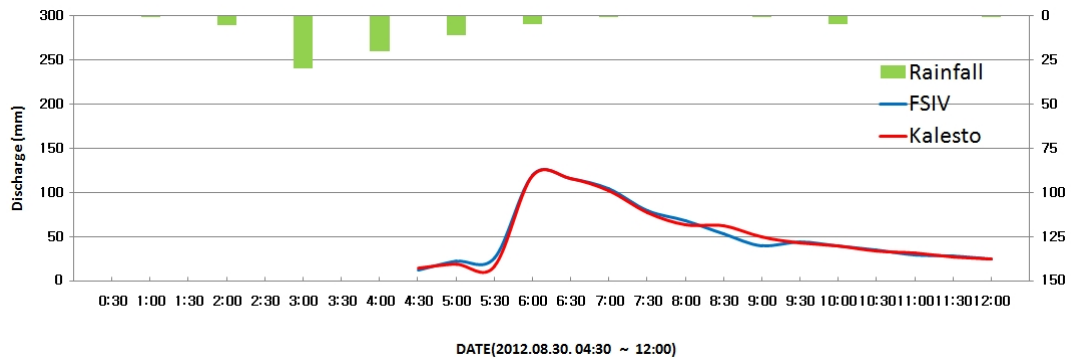


Fig. 10. Compare the discharge of the typhoon TEMBIN.

3.1.4. 2012년 9월 태풍 산바(SANBA)

태풍 산바로 인해 발생한 하천 유출 자료 중에서 2012년 9월 16일 20시 00분부터 17일 18시 00분까지의 영상을 사용하여 유량 값을 분석한 결과, 두 관측 장비 모두 16일 20시 00분경에 최고 약 83 m<sup>3</sup>/s의 유량이 급증하였다. FSIV는 17일 08시 30분에 294.22 m<sup>3</sup>/s의 첨두 유량이 관측되었고, Kalesto는 첨두 유량일 것으로 예상되는 17일 08시 30분의 자료가 미관측됨으로 인해서 미관측 자료를 제외한 나머지 자료 중 17일 09시 00분 251.06 m<sup>3</sup>/s가 첨두 유량으로 관측되었다(Fig. 11).

3.2. 유출 사상별 비교

가장 직관적이면서도 의미 있는 근사모델의 정확도 평가 방법인 RMSE(Root Mean Square Error)와 Coefficient of Determination으로도 잘 알려져 있는 결정계수 R<sup>2</sup> 값을 각 유출 사상별로 비교해 보면

Table 2와 같다. 7월 태풍 카눈부터 9월 태풍 산바까지 R<sup>2</sup> 값은 각각 0.89, 0.82, 0.87, 0.86으로 분석되어 두 관측 장비를 통한 홍수량이 비슷하게 산정되었고, RMSE를 비교해보면 7.02, 6.94, 4.66, 13.92로 FSIV를 이용하여 산정한 첨두량의 증감에 따라 RMSE도 증감하는 결과를 나타내고 있다.

4. 결론

제주수자원연구단에서 설치한 CCTV를 이용하여 2012년 한 해 동안 제주도 외도천에서 발생하였던 유출사상의 유속 및 유출량을 산정하였다. 산정된 결과는 동일 지점에서 관측하고 있는 Kalesto 자료를 이용하여 산출한 유출량 값과 비교 분석하였고, 그 결과는 다음과 같다.

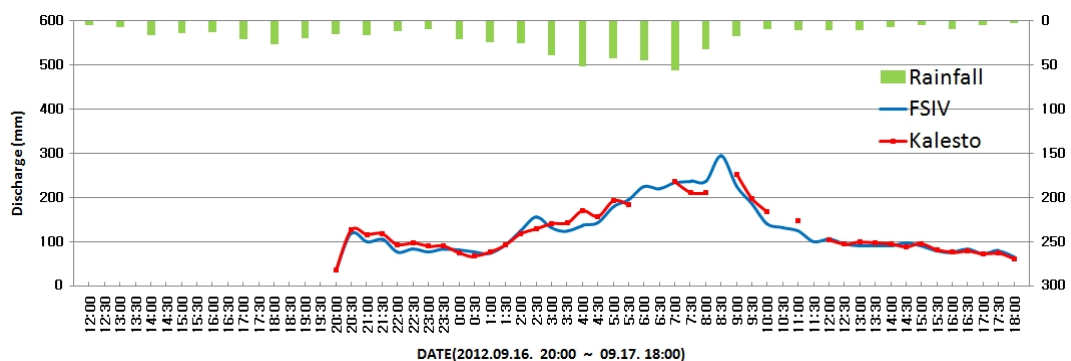
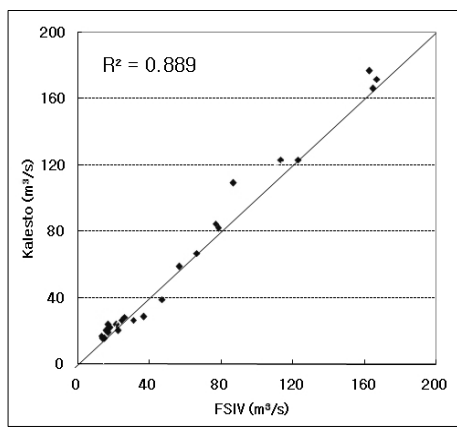


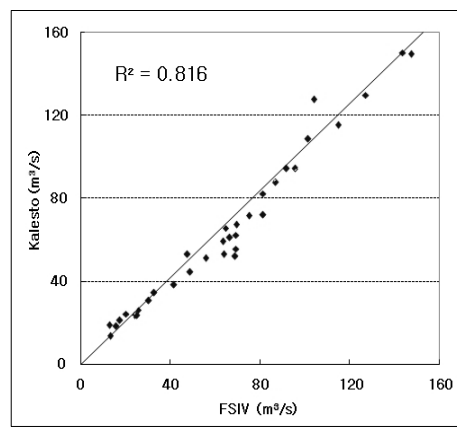
Fig. 11. Compare the discharge of the typhoon SANBA.

**Table 2.** Comparison the result of runoff events

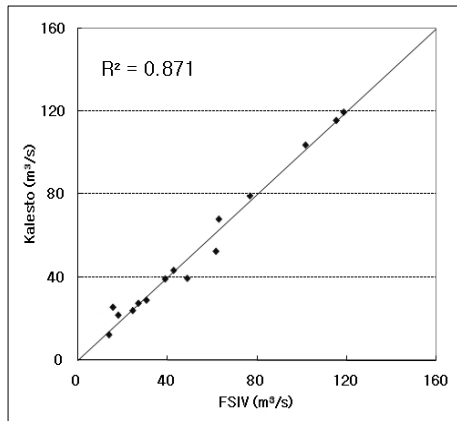
Date	Rainfall Pattern	Discharge			
		RMSE (m <sup>3</sup> /s)	R <sup>2</sup>	FSIV Peak (m <sup>3</sup> /s)	Kalesto Peak (m <sup>3</sup> /s)
2012.7.18 ~ 7.19	typhoon "KHANUN"	7.02	0.89	177.19	167.10
2012.8.23 ~ 8.24	Severe rain storm	6.94	0.82	147.20	150.43
2012.8.30	typhoon "TEMBIN"	4.66	0.87	119.65	118.94
2012.9.16 ~ 9.17	typhoon "SANBA"	13.92	0.86	294.22	-



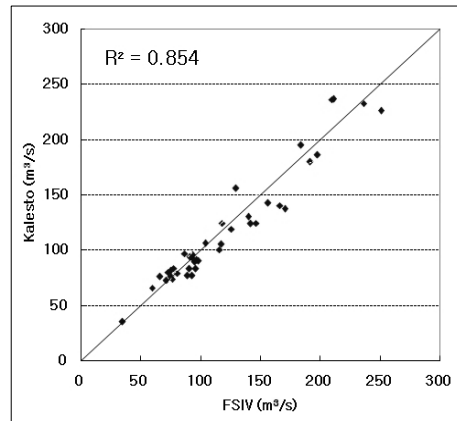
(a) Typhoon KHANUN



(b) Severe Rain Storm



(c) Typhoon TEMBIN



(d) Typhoon SANBA

**Fig. 12.** Compare the graph of R<sup>2</sup>.



FSIV와 Kalesto로 유출량을 산정하고 침투유량을 비교한 결과, 2012년 7월 18~19일 태풍 카눈의 침투 유량은 각각 177.19 m<sup>3</sup>/s, 167.1 m<sup>3</sup>/s로 약 10 m<sup>3</sup>/s의 차이가 발생하였으나 전체적으로 매우 유사한 값을 보이고 있었다. 8월 23~24일 집중호우 시에는 147.2 m<sup>3</sup>/s, 150.43 m<sup>3</sup>/s로 약 3 m<sup>3</sup>/s, 8월 30일 태풍 덴빈은 119.65 m<sup>3</sup>/s, 118.94 m<sup>3</sup>/s로 약 0.7 m<sup>3</sup>/s, 9월 16~17일 태풍 산바는 294.22 m<sup>3</sup>/s, 251.06 m<sup>3</sup>/s(결측치를 제외한 침투 유량)로 약 43 m<sup>3</sup>/s의 차이를 보였다. 1회의 유출사상에서 결측치가 발생하여 침투유량 값의 차이가 크게 발생하였으나 결측치를 제외한 나머지 관측치들과 3회의 유출량은 대부분 잘 일치하는 것으로 분석되었다.

두 관측 장비에 의한 RMSE는 침투 유량의 정도에 따라 오차가 발생하였지만, R<sup>2</sup> 값은 유출사상별 각각 0.89, 0.82, 0.87, 0.86로서 거의 1에 가까운 결과 값을 보여 두 관측기법을 통한 홍수량이 매우 높은 상관성을 나타내고 있다.

표면영상유속계(FSIV)를 이용한 관측방법은 건천으로 이루어져 돌발성 홍수유출이 발생하는 제주도의 하천에 적합한 방법이다. 돌발성 홍수유출 발생 시 현장에 관측자가 없어도 관련 영상을 획득이 가능하며, 기존 현장관측에 비해 경제성과 안전성이 확보되는 장점이 있다. 반면, 야간 영상 자료 획득 시 관측 지점의 표면 유동이 확보되어야 하므로 주변에 광원이 있어야 하고, 많은 강우나 강풍 등에 의한 악천후 시에도 관측지점의 시야 확보를 필요로 한다. 또한 영상획득에 있어서 제주도 하천의 경우 규모가 크지 않아 대부분의 하천에 적용이 가능하지만, 하폭이 큰 경우에는 고정된 지점에서 하폭을 한 영상 안에 획득하기가 불가능하기 때문에 정확한 유량 측정 산정이 어렵다는 점도 있다.

현재, 제주수자원연구단에서는 5개소(외도천, 한천, 천미천, 연외천, 강정천)에 관측 장비를 설치하여 시범 운영 및 분석을 실시하고 있으며, 향후 지속적인 연구 조사를 통하여 제주도 전역의 하천에 대한 효율적인 감시 및 홍수량 산정에 큰 기여를 할 것으로 기대한다.

## 감사의 글

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

## 참고 문헌

- Climate Change Information Center, 2012, The abnormal climate report.
- Joo, Y. W., 2008, Development of SIV night-time measurement technique and analysis of errors associated with correlation coefficient, Master's Dissertation, Myoungji University, Korea.
- Kim, S. J., 2008, The accuracy analysis of discharge measurement technique using surface image velocimetry, Master's Dissertation, Myoungji University, Korea.
- Kim, S. J., Yu, K., Youn, 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, Y. S., 2013, Flood runoff measurements using surface image velocimetry(SIV) in Han stream, Master's Dissertation, Jeju National University, Korea.
- 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.
- Lee, J. S., Julien, P. Y., 2006, Electromagnetic wave surface velocimetry, Journal of hydraulic engineering, 132(2), 146-153.
- National Emergency Management Agency, 2002, The Annals of disaster 2002, central disaster and safety countermeasures headquarters, ministry of security and public administration.
- National Emergency Management Agency, 2003, The Annals of disaster 2003, central disaster and safety countermeasures headquarters, ministry of security and public administration.
- Oh, T. S., 2009, An analysis of the characteristics in design rainfall according to the data periods, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 9(4), 115-127.
- 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., 2007, River management and improvement of Jeju Island, *River and culture*, 3(4), 104-115.
- 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., Jung, W. Y., Kang, M. S., Lee, J. H., Kim, Y. S., Yu, 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.
- Yu, K., Kim, D. S., Yun, B. M., 2005, Development of fast and exact FFT algorithm for cross-correlation PIV, *Journal of Korea Water Resources Association*, 38(10), 851-859.