

ORIGINAL ARTICLE

표면영상유속계(SIV)를 활용한 홍수유출량 산정 시 참조점 설정에 따른 오차율 분석

김용석 · 양성기*

제주대학교 토목공학과

Error Rate Analysis according to Setting of the Reference Point for Calculating the Flood Runoff that using Surface Image Velocimeter (SIV)

Yong-Seok Kim, Sung-Kee Yang*

Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

Abstract

In this study, according to the reference setting based on the runoff video of 9:00 where the highest water level of 3.94 m has been recorded during the runoff of Cheon-mi Stream in Jeju Island by the attack of Typhoon no. 16 Sanba on September 17th, 2012, the error rate of long-distance and short-distance velocimetry and real-distance change rate by input error have been calculated and the input range value of reference point by stream has been suggested.

In the reference setting process, if a long-distance reference point input error occurs, the real-distance change rate of 0.35 m in the x-axis direction and 1.35 m in y-axis direction is incurred by the subtle input error of 2~11 pixels, and if a short-distance reference point input error occurs, the real-distance change rate of 0.02 m in the x-axis direction and 0.81 m in y-axis direction is incurred by the subtle input error of 1~11 pixels.

According to the long-distance reference point setting variable, the velocity error rate showed the range of fluctuation of at least 14.36% to at most 76.06%, and when calculating flux, it showed a great range of fluctuation of at least 20.48% to at most 78.81%.

Key words : Surface image velocimetry, CCTV, Kalesto, Reference point

1. 서론

하천유량자료는 하천계획의 정책수립 및 하천관리를 위한 가장 기초적인 자료로서 수자원의 효율적인 관리를 위해 지속적이고 신뢰성 있는 하천 유량조사가 매우 중요하다. 기존의 하천 유량조사를 위한 유속측정방법은 주로 접촉식 유속측정방법으로써 부자 또는 프로펠러 유

속계를 이용한 방법이 사용되었으나 유속 측정에 많은 시간과 인력이 요구되며 홍수 시에는 관측자의 위험이 따른다는 단점을 가지고 있다. 이에 좀 더 간편하면서 정확하게 유속을 측정할 수 있는 장비와 방법을 개발하고자 많은 연구자들이 노력을 기울여 왔다(Kim et al., 2011).

대표적으로 도플러효과(Doppler Effect)를 이용하여

Received 7 March, 2016; Revised 19 April, 2016;

Accepted 9 May, 2016

*Corresponding author : Sung-Kee Yang, Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, 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.

표면유속을 측정하는 전자파 표면유속계가 한국수자원공사에서 개발되었으며, 이미지 분석기법(Image processing method)을 적용한 표면영상유속계(SIV, surface image velocimeter)에 대해 국내외에서 많은 연구가 진행되고 있다. 전자파 표면유속계와 표면영상유속계의 최근 연구 결과는 제주도 건천을 대상으로 집중호우 및 태풍의 영향에 의한 홍수유출시 적용성과 적합성을 검증(Yang et al., 2011)하였으며 봉부자를 비롯한 기존의 접촉식 유량 측정방법들에 비해 측정이 간편하며 인원, 비용 및 위험 요소와 측정시간을 최소화 할 수 있는 장점을 확인하였다(Fujita, 1998; Roh, 2005; Kim et al., 2007). 그러나 제주도 건천을 관측대상으로 한 표면영상유속계의 다양한 현장적용 사례연구는 많이 이뤄졌으나, 오차 발생 요인들을 고려한 정량적인 오차 분석에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 이 같은 이유로 표면영상유속계를 이용한 유속 측정 시 오차 발생 요인들에 대한 사용 기준이 마련되지 못하여 일반 사용자들이 쉽게 사용하기 어렵고, 측정 불확도가 정립되어 있지 않아 표면영상유속계로 측정된 유속값의 정확도와 신뢰도를 제시하기 어렵다는 한계를 가지고 있다(Kim, 2013).

특히 표면영상유속계를 활용한 유속 산정 과정에서 사용기준에 대한 정량적인 제시가 미흡함에 따라 동일한 유속의 흐름에 대해서도 사용자마다 획득한 영상이 다르고, 영상 분석 방법이 다르기 때문에 표면영상유속계를 이용한 유속 산정 결과에 차이가 발생하게 되는 문제점을 가지고 있다. 또한 산정한 유속의 오차를 정량적으로 평가할 방법이 없기 때문에 산정한 유속에 대한 오차를 제시하기 어렵다는 한계를 가지고 있다. 그 결과 유속 측정 장비로서 표면영상유속계의 장점이 아무리 많다고 하여도 유속 측정 결과를 신뢰하기 어렵기 때문에 현장 적용이 활발하게 진행되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 표면영상유속계를 이용한 유속 산정 결과를 믿고 신뢰할 수 있도록 유속 산정 결과에 영향을 미치는 오차 요인들에 대한 정량적인 오차 분석이 선행되어야 할 것이며, 더 나아가 표면영상유속계의 사용 기준 마련을 위한 연구가 필요하다.

이 연구에서는 2012년 9월 17일 제16호 태풍 산바의 내습에 의한 제주도 천미천의 유출발생 시 최대 수위 3.94 m를 기록한 9시 00분 유출영상을 기준으로 참조점 설정에 따른 실거리의 변화율을 계산하고 원거리, 근거

리의 입력오류에 의한 유속 오차율을 계산하여 관측구간 하천의 참조점 입력범위 값을 제시하였다.

2. 표면영상유속계(SIV)의 참조점 설정 원리

관측대상의 하천은 실제 3차원으로 형성되어 있으나 영상저장장치를 이용한 영상저장 과정에 2차원의 평면 상태로 저장된다. 이 과정에서 영상저장장치의 촬영 각도와 사물의 원근에 의해 왜곡현상이 발생하므로 관측지점에 대한 참조점을 설정하여 보정작업을 실시한다.

참조점 설정과정의 실제좌표계(physical coordinate)는 대상영역의 각 지점들의 물리적인 좌표계를 의미하며, 이에 대응되는 영상내의 좌표를 영상좌표계(image coordinate)라고 한다. 실제좌표와 영상좌표는 2차원 투영좌표 변환법에 의해 왜곡이 보정된다. 2차원 투영좌표 변환법은 실제 좌표계(X, Y)와 영상좌표계(x, y)간의 관계식으로 구성되며 Fujita(1998)에 의해 유도되었다.

$$X = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{b_4x + b_5 + 1} \quad (1)$$

$$Y = \frac{b_6x + b_7y + b_8}{b_4x + b_5 + 1} \quad (2)$$

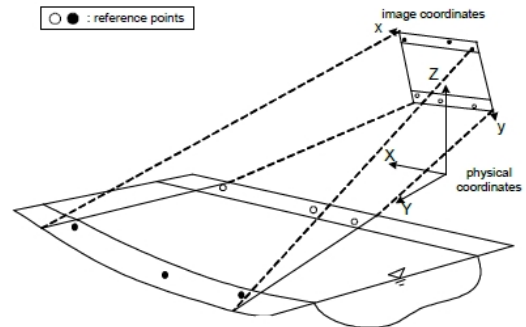


Fig. 1. Reference point for image transformation(Fujita, 1998).

3. 연구방법

3.1. 대상하천

연구 대상하천인 천미천은 제주도 한라산을 기준으로 동남부에 위치한 수지형 하천으로써 평상시 물이 흐르지

Table 1. Watershed characteristics of the Cheon-mi Stream

Stream	Drainage area (km ²)	Basin length (km)	Average slope (%)	Shape factor
Cheon-mi Stream	126.14	25.70	8.62	0.19



Fig. 2. Location of the Cheon-mi Stream(Observation point: Seong-eup bridge).

않는 건천을 형성하고 있다. 하천의 발원지점은 한라산 동쪽 상부지점인 표고 1,400 m 일대의 오름과 사라오름으로 조사되며 유출발생 시 동쪽방향으로 흐르다가 북서쪽에서 남동쪽 방향으로 전환되어 표선면 하천리의 해안으로 유입되는 하천이다(Kim, 2012).

유역면적은 126.14 km²로써 제주도에서 가장 큰 유역면적을 형성하고 있으며, 유역길이는 25.70 km, 유역의 평균 경사는 8.62%로 하천연장이 가장 길고 지류가 많은 하천이다(Table 1).

천미천의 관측지점인 성읍교 부근에는 한국공항(제주 푸어워터)에서 Kalesto(Ott Hydrometrie)를 설치하여 집중호우 및 태풍의 내습에 의한 건천의 유출발생 시 실시간으로 단일지점의 수위와 유속을 관측하고 있다. 또한 제주대학교 수자원연구단(Jwater)에서 유출관측용 CCTV를 설치하여 유출영상을 기록하고 표면영상유속계(SIV)를 활용한 유속분석 자료로 사용된다(Fig. 2).

3.2. 관측자료

3.2.1. 유출영상자료 구축을 위한 CCTV설치

제주도 천미천의 성읍교 부근의 유출영상을 기록하기 위해 제주수자원연구단에서 Fig. 3과 같이 30.303 fps로 영상이 기록되는 CCTV를 설치하였으며, 야간유출시 분석에 적합한 유출영상을 수집하기 위해 1000 W의 조명장치를 설치하였다. 150 lux이상의 자연광에 가까운 1000 W 조명장치의 효과는 Kim et al.(2015)이 주·야간 유출영상을 동일지점의 Kalesto와 비교·분석하여 그 효과를 입증하였다.

3.2.2. 참조점 선정을 위한 거리 측정

유출영상을 기록하는 과정에서 영상저장장치의 촬영 각도와 사물의 원근에 대한 왜곡이 발생하므로 획득한 영상에 대해 보정을 위한 변환과정이 필요하다. 변환작업은 획득된 영상(이미지)의 영상좌표(image coordinate)를



Fig. 3. CCTV system for outflow of the image acquisition at Seong-eup bridge; (a) CCTV; (b) the illumination equipment.

물리좌표(physical coordinate)로 변환할 참조점을 지정한다. Fig. 4에 화면의 참조점을 기준으로 측량을 실시하고 실제 측점 사이의 거리에 대한 x, y좌표 참조점을 분석에 적용한다.

3.2.3. 단면측량자료

유출량 산정에 적용되는 하천단면은 Fig. 2의 고정식 전자파표면유속계인 Kalesto가 관측하고 있는 단일 지

점을 기준으로 단면측량을 실시하였으며, 교량 하부의 기둥을 중심으로 하류방향으로 약 5 m지점의 단면을 적용하였다. 관측지점인 성읍교의 고정식 전자파표면유속계(Kalesto)를 기준으로 상류방향의 하상이 하류방향의 하상에 비해 불규칙적인 암반을 형성하고 있다. 이로 인해 유출발생 시 교란된 흐름을 형성하므로 단일지점을 관측하는 고정식 전자파표면유속계의 오차발생을 최소화



Fig. 4. Reference points for the coordinate transform.

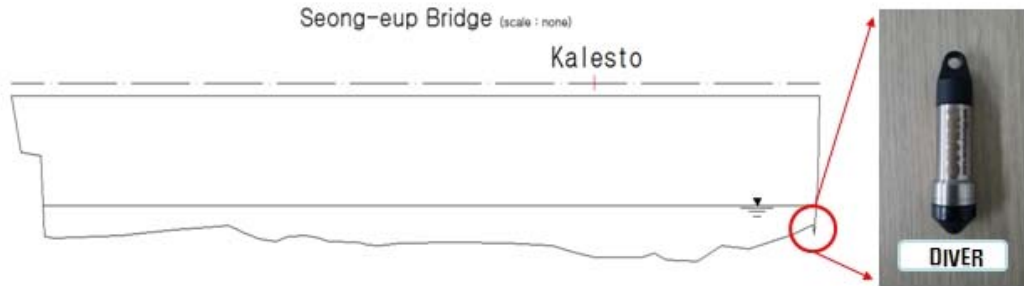


Fig. 5. Cross sectional areas for discharge calculation and mini diver for the water level observation.

하기 위해 하류방향을 향하여 설치된 것으로 판단된다.

하천단면측량은 SOKKIA사의 CX-105 모델을 이용하여 1 m 간격으로 정밀한 단면을 측량하였으며 실시간 수위를 기록하기 위해 Schlumberger사의 압력식 수위 계인 Diver를 설치하였다(Fig. 5). 유출량 계산 시 관측된 수위에 따라 AutoCAD를 활용하여 중간단면법으로 유출량을 산정하였다.

3.3. 참조점 설정에 따른 원거리, 근거리의 변수계산

표면영상유속계의 유속산정방법은 영상의 추적 입자 이동거리와 시간을 이용하므로 분석과정 중 분석자의 참

조점 설정에 미세한 오류가 발생한다면 분석에 이용되는 실제 거리가 변경되어 오류를 포함한 유속이 계산된다. 따라서 표면영상유속계를 활용한 유속분석 시 참조점 설정과정에서 분석자에 의한 오류발생범위를 확인하고 현장에 적합한 크기의 참조점 표시판 설치하여 오류발생 가능성을 줄이는 방안이 필요하다.

영상 왜곡에 의한 보정 작업인 참조점 설정과정에서 카메라 화면의 중심을 기준으로 원거리 참조점 입력값과 근거리 입력값의 변수를 입력하여 유속을 분석하였다. 참조점 입력과정의 변수계산은 수집된 영상에서 흐름

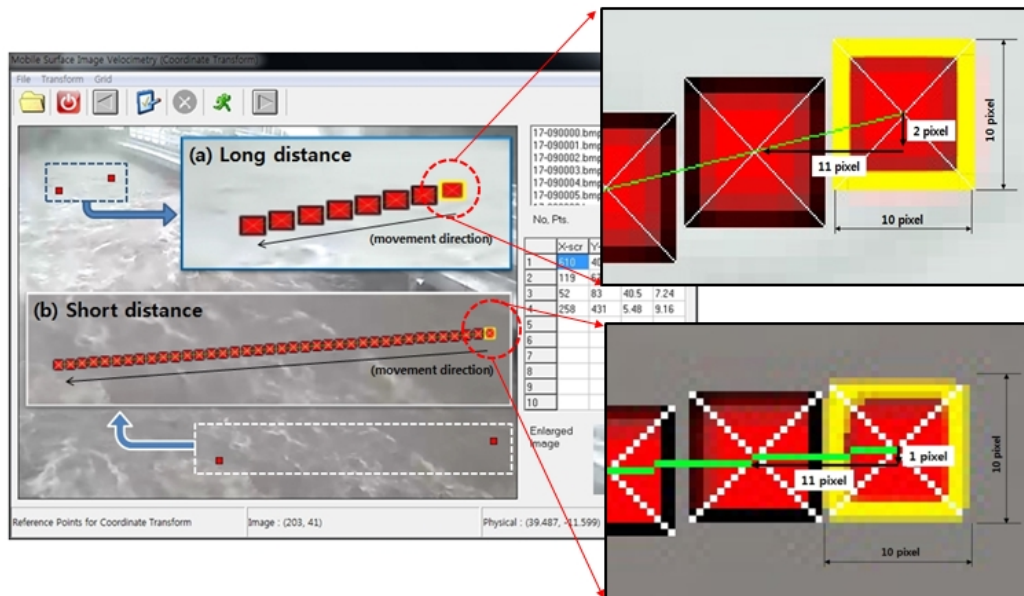


Fig. 6. Pixel shift method; (a)Long-distance, (b)Short-distance.

Table 2. Data for the input of the reference point

Analysis criterion	Case-No.	Reference point(Image coordinate)			
		1(X-Yscr)	2(X-Yscr)	3(X-Yscr)	4(X-Yscr)
	Original Data	610-406	119-67	52-83	258-431
Long distance	case-1	610-406	108-69	52-83	258-431
	case-2	610-406	97-71	52-83	258-431
	case-3	610-406	86-73	52-83	258-431
	case-4	610-406	75-75	52-83	258-431
	case-5	610-406	64-77	52-83	258-431
Short distance	case-1	599-407	119-67	52-83	258-431
	case-2	586-408	119-67	52-83	258-431
	case-3	575-409	119-67	52-83	258-431
	case-4	564-410	119-67	52-83	258-431
	case-5	553-411	119-67	52-83	258-431
	case-6	542-412	119-67	52-83	258-431
	case-7	531-413	119-67	52-83	258-431
	case-8	520-414	119-67	52-83	258-431
	case-9	509-415	119-67	52-83	258-431
	case-10	498-416	119-67	52-83	258-431
	case-11	487-417	119-67	52-83	258-431
	case-12	476-418	119-67	52-83	258-431
	case-13	465-419	119-67	52-83	258-431
	case-14	454-420	119-67	52-83	258-431
	case-15	443-421	119-67	52-83	258-431
	case-16	432-422	119-67	52-83	258-431
	case-17	421-423	119-67	52-83	258-431
	case-18	410-424	119-67	52-83	258-431
	case-19	399-425	119-67	52-83	258-431
	case-20	388-426	119-67	52-83	258-431
	case-21	377-427	119-67	52-83	258-431
	case-22	366-428	119-67	52-83	258-431
	case-23	355-429	119-67	52-83	258-431
	case-24	344-430	119-67	52-83	258-431
	case-25	333-431	119-67	52-83	258-431
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

방향을 기준으로 4개의 참조점 중 Fig. 6과 같이 노란색으로 표기한 참조점을 이동하면서 각각 개별로 분석하고 유속변화를 분석하였다. 또한 표면영상유속계(SIV)의 참조점 설정 시 분석프로그램에 표기되는 참조점 pixel 크기는 10×10 pixel로 생성된다.

Fig. 6(a)와 같이 원거리 참조점의 설정변수는 X축 방향(분석과정에서 영상좌표는 흐름방향을 기준으로 X축을 설정하였으므로 보편적인 X-Y축과 반대방향으로 설정됨) 14 pixel, Y축 방향으로 77 pixel의 이동 가능한 거리를 나타낸다. 1회 분석을 실시할 때 10×10 pixel의

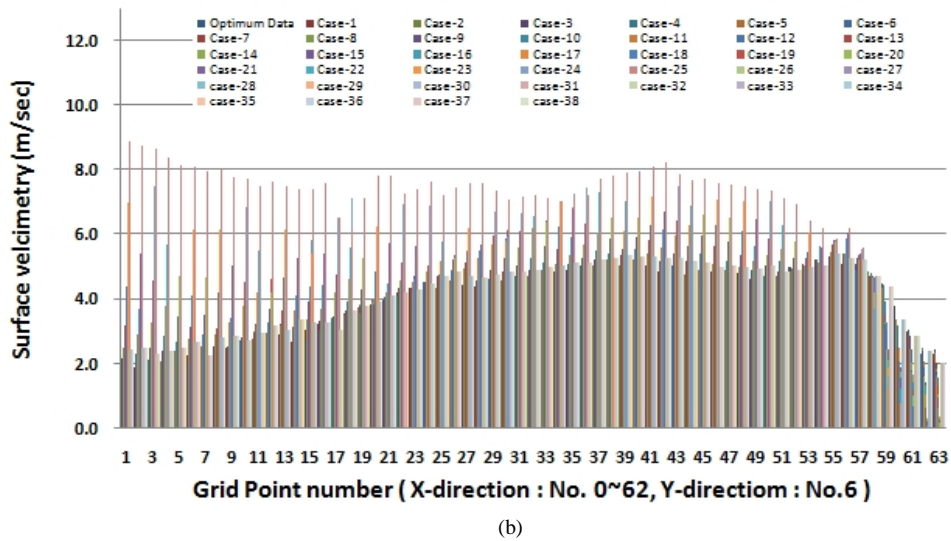
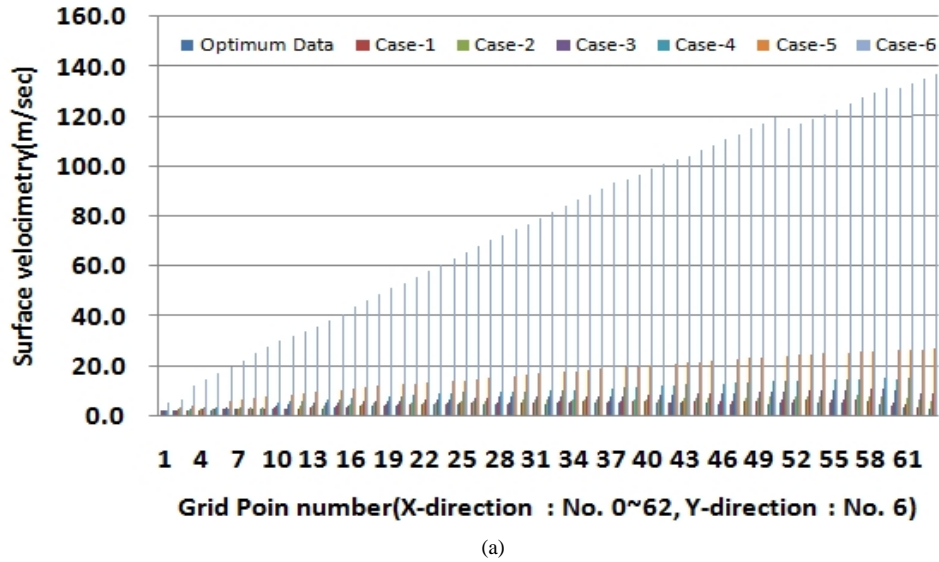


Fig. 7. All cases velocity result; (a)Long-distance, (b)Short-distance.

크기로 생성되는 참조점은 X축 방향으로 2 pixel, Y축 방향으로 11 pixel 씩 이동하며 X-Y방향으로 발생할 수 있는 참조점 설정변수는 6개(마지막 7번째 설정변수는 중첩됨)로 구분된다. 따라서 원자료와 비교한 설정변수는 6개의 케이스로 구분되어 비교되는 것이 타당하지만 본 논문에서는 5개의 케이스만 구분한 결과만 사용하였다(Table 2).

Fig. 6(b)와 같이 근거리 참조점의 설정변수는 X축 방향 38 pixel, Y축 방향으로 418 pixel의 이동 가능한 거리를 나타낸다. 1회 분석을 실시할 때 10×10 pixel의 크기로 생성되는 참조점은 X축 방향으로 1 pixel, Y축 방향으로 11 pixel 씩 이동하며 X-Y방향으로 발생할 수 있는 참조점 설정변수는 37개(마지막 38번째 설정변수는 중첩됨)로 구분된다. 따라서 원자료와 비교한 설정변수는

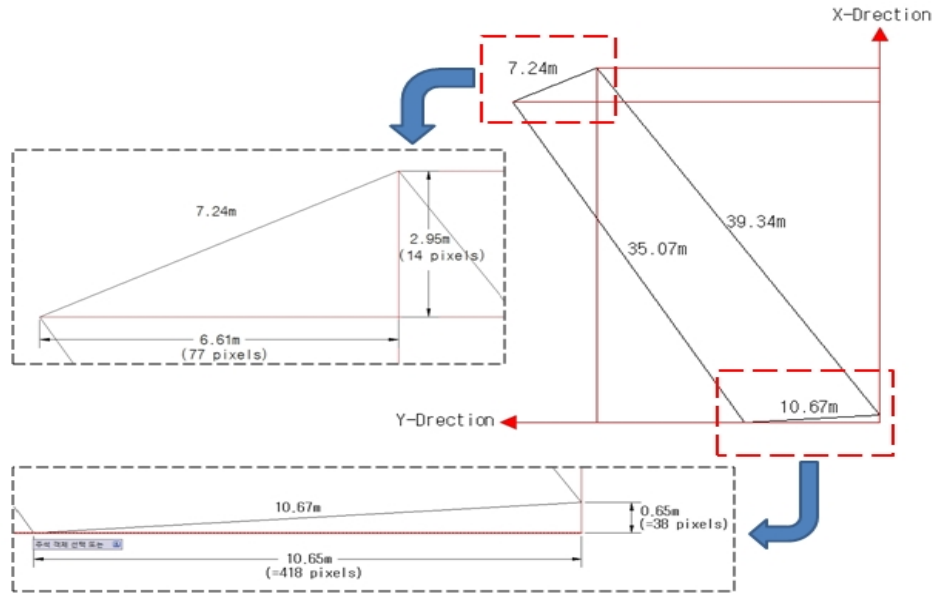


Fig. 8. The actual distance rate of change calculated by the reference point changes.

37개의 케이스로 구분되어 비교되는 것이 타당하지만 본 논문에서는 25개의 케이스로 구분한 결과만 사용하였다 (Table 2).

원거리, 근거리의 설정변수 중 각각 5개, 25개의 케이스를 사용한 결과만 사용한 이유는 Fig. 7과 같이 전체 케이스에 따른 분석결과의 유속변화를 비교했을 시 일정한 경향으로 지나친 과유속이 산정됨을 보이므로 본 논문에서는 제외하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 원거리, 근거리 변화에 의한 실거리 변화를 계산

Fig. 8은 연구대상 구역인 천미천 성읍교 부근의 유출 영상을 기준으로 측량된 참조점 실제좌표 입력값을 나타낸다. Fig. 8과 같이 원거리와 근거리의 변수를 x축 방향과 y축 방향으로 pixel 이동에 따른 실거리의 변화율을 계산한다.

Table 3. Changes in the actual distance by the long-distance pixels movement

X-direction				Y-direction			
Total pixel count (pixels)	Actual distance (m)	Pixel shift variable (pixels)	Rate of change (m)	Total pixel count (pixels)	Actual distance (m)	Pixel shift variable (pixels)	Rate of change (m)
①	②	③	(②×③)①	①	②	③	(②×③)①
14	2.95	2	0.42	77	6.61	11	0.94
		4	0.84			22	1.89
		6	1.26			33	2.83
		8	1.69			44	3.78
		10	2.11			55	4.72
		12	2.53			66	5.67
		(14)	(2.95)			(77)	(6.61)

Table 4. Changes in the actual distance by the short-distance pixels movement

X-direction				Y-direction			
Total pixel count (pixels) ①	Actual distance (m) ②	Pixel shift variable (pixels) ③	Rate of change (m) (②×③)/①	Total pixel count (pixels) ①	Actual distance (m) ②	Pixel shift variable (pixels) ③	Rate of change (m) (②×③)/①
		1	0.02			11	0.28
		2	0.03			22	0.56
		3	0.05			33	0.84
		4	0.07			44	1.12
		5	0.09			55	1.40
		6	0.10			66	1.68
		7	0.12			77	1.96
		8	0.14			88	2.24
		9	0.15			99	2.52
		10	0.17			110	2.80
		11	0.19			121	3.08
		12	0.21			132	3.36
		13	0.22			143	3.64
		14	0.24			154	3.92
		15	0.26			165	4.20
		16	0.27			176	4.48
		17	0.29			187	4.76
		18	0.31			198	5.04
		19	0.33			209	5.33
38	0.65	20	0.34	418	10.65	220	5.61
		21	0.36			231	5.89
		22	0.38			242	6.17
		23	0.39			253	6.45
		24	0.41			264	6.73
		25	0.43			275	7.01
		26	0.44			286	7.29
		27	0.46			297	7.57
		28	0.48			308	7.85
		29	0.50			319	8.13
		30	0.51			330	8.41
		31	0.53			341	8.69
		32	0.55			352	8.97
		33	0.56			363	9.25
		34	0.58			374	9.53
		35	0.60			385	9.81
		36	0.62			396	10.09
		37	0.63			407	10.37
		(38)	(0.65)			(418)	(10.65)

참조점 입력과정에서 원거리 입력값의 X축 방향으로 2 pixel 이동(Fig. 6)함에 따라 실제 거리 오차는 0.42 m, Y축 방향으로 11 pixel 이동(Fig. 6)함에 따라 0.94 m의 실제 거리 오차를 나타낸다(Table 3). 근거리의 참조점 입력과정에서 X축 방향으로 1 pixel 이동(Fig. 6)함에 따라 실제 거리 오차는 0.02 m, Y축 방향으로 11 pixel 이동(Fig. 6)함에 따라 0.28 m 씩 실제 거리의 오차율이 나타남을 확인할 수 있다(Table 4).

4.2. 표면영상유속계와 Kalesto의 산정유량 비교

표면영상유속계를 활용하여 유출영상을 분석하는 과정에서 Fig. 9과 같이 유속분석 범위를 63×10 으로 설정하였다. 격자망의 설정 기준은 유출영상의 흐름방향을 기준으로 X축 방향 63개의 격자망을 설정하여 최대한 조밀하게 구성하고 Y축 흐름방향을 유속을 산정하였으며, Y축으로 10의 격자망을 구성하여 유량계산에 적용되는 유속벡터라인의 전후를 비교하였다. Fig. 9(a)와 같이 6번째의 붉은색 유속벡터 라인을 Fig. 5의 단면적에 적용하여 중간단면법으로 유량을 산정하였으며, 참조점 설정변수에 따른 유속결과를 적용하는 라인으로 구분하였다. Fig. 9(b)는 표면영상유속계의 분석결과 설정된 격자망을 기준으로 분석된 전체 유속망을 나타낸다. 또한 격자망의 6×8 위치는 단일지점을 관측하는 Kalesto의 관측지점을 나타낸다.

Table 5는 2012년 9월 17일 제16호 태풍 산바의 내습에 의한 제주도 천미천의 유출발생 시 최대 수위 3.94

m를 기록 9시 00분에 하천단면적과 표면영상유속계로 분석한 63개의 유속을 적용하여 유량을 산정한 결과를 나타낸다.

표면영상유속계(SIV)로 분석된 표면유속에 표면유속-수심평균유속환산계수 0.85를 적용하여 동일시간의 수위에 따른 면적을 적용한 중간단면법으로 유량을 산정하였으며 산정된 유량은 $413.29 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 나타났다. Table 5에서 1번과 63번의 유속벡터에 적용되는 단면적이 다른 유속벡터 적용 단면적과 차이가 나는 이유는 수집된 유출영상의 분석 화면에서 단면의 손실되는 부분을 포함 된 단면을 적용하였기 때문이다.

동일지점의 단일구간 유속을 관측하는 칼레스토(Kalesto)의 유량산정 결과는 관측 표면유속 $4.20 \text{ m}/\text{sec}$ 에 표면유속-수심평균유속환산계수인 0.85를 적용하고 동일시간의 전체 하천단면적인 120.79 m^2 에 적용하여 유출량이 $431.22 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 산정되었다(Table 5).

표면영상유속계(SIV)의 다지점 유속벡터를 적용하여 유량을 산정한 결과와 Kalesto의 단일지점 유속과 전체 면적을 적용하여 산정한 유량은 $17.93 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 차이를 나타낸다.

각각의 하천에 유출특성에 따라 표면유속-수심평균유속환산계수는 다른 계수가 적용되는 것이 타당하지만 본 연구의 유량산정과정에서는 기존의 0.85를 사용하였으며 향후 관측하천에 따른 표면유속-수심평균유속환산계수에 대한 연구가 추가적으로 필요하다. 또한 제주도는

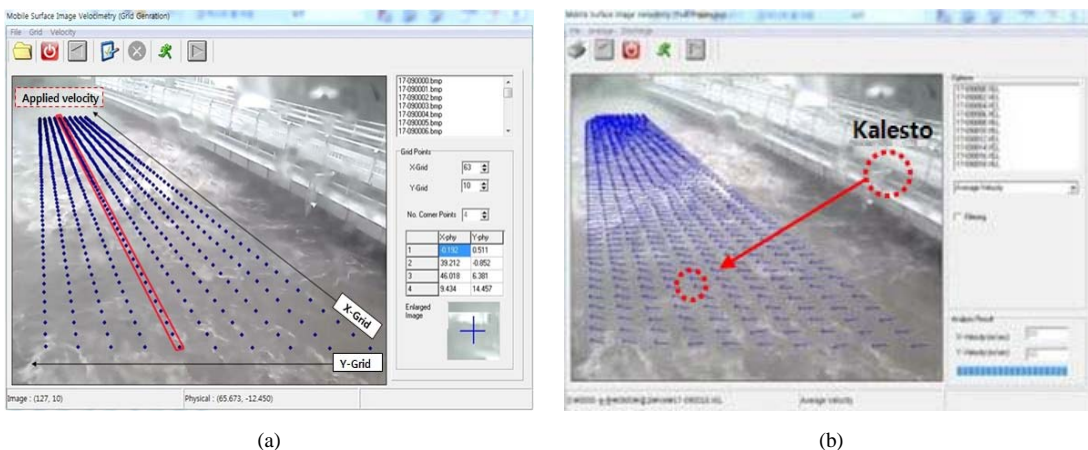
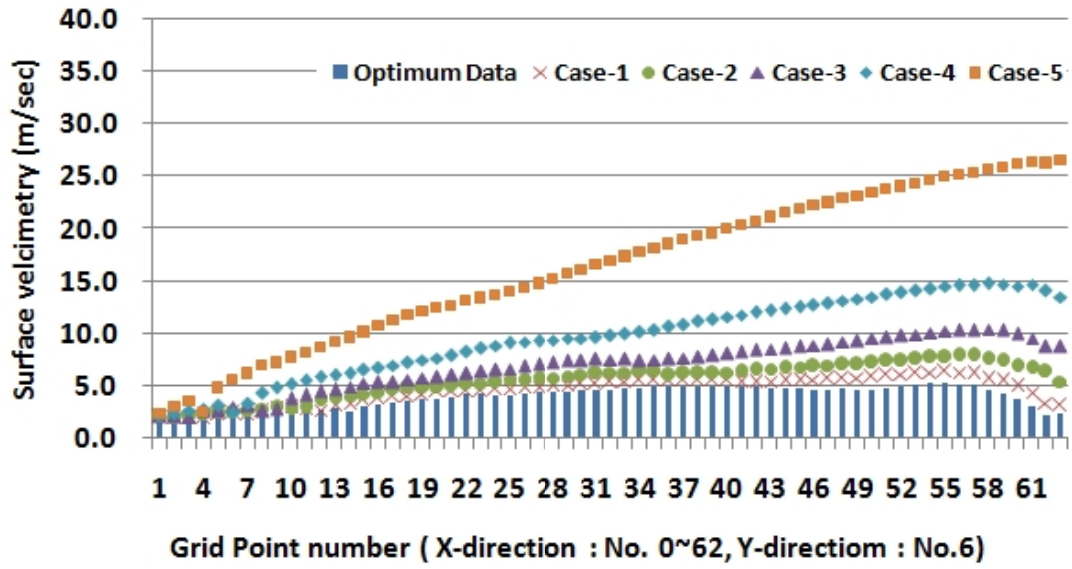
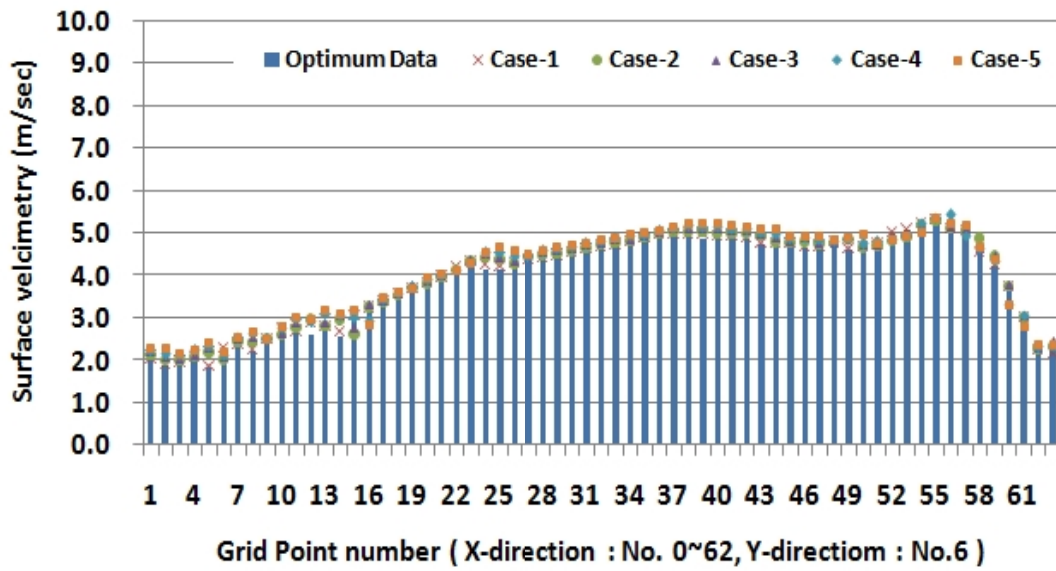


Fig. 9. Analysis process of surface image velocimeter(SIV); (a)grid mesh setting, (b)results of the flow velocity vector.

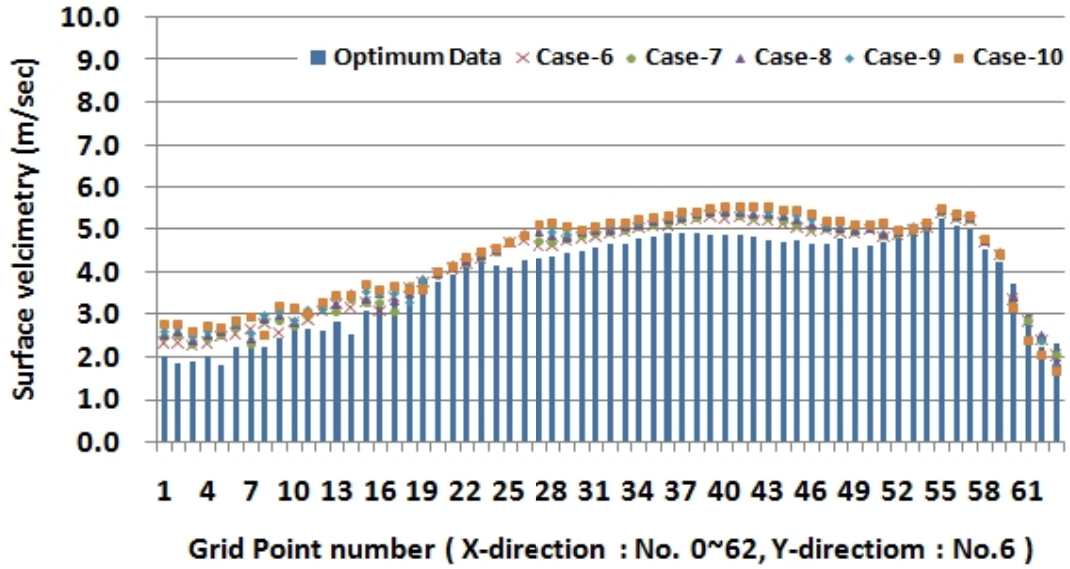


(a)

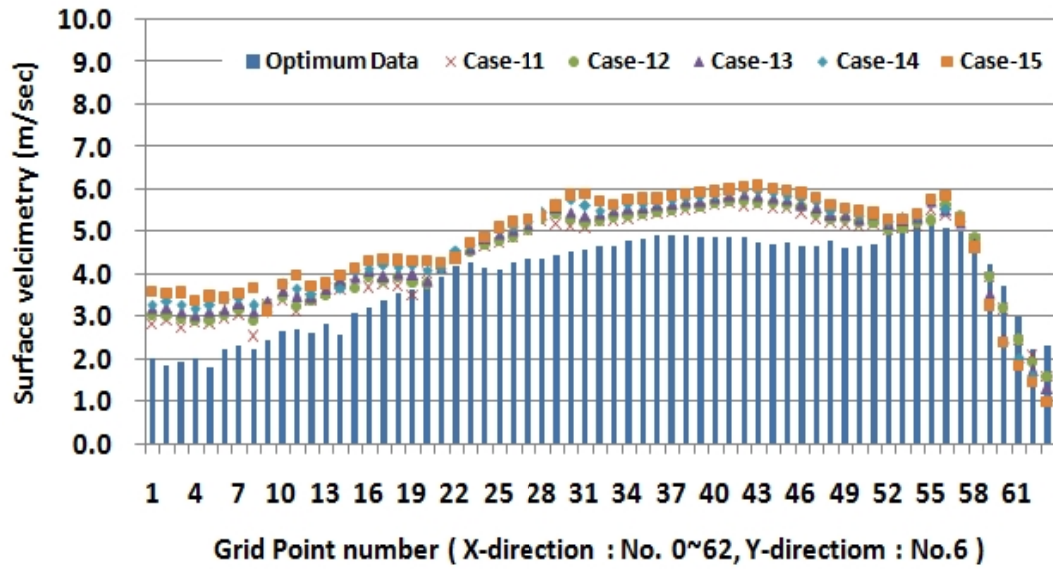


(b)

Fig. 10. Velocity changes due to changes in the reference point.

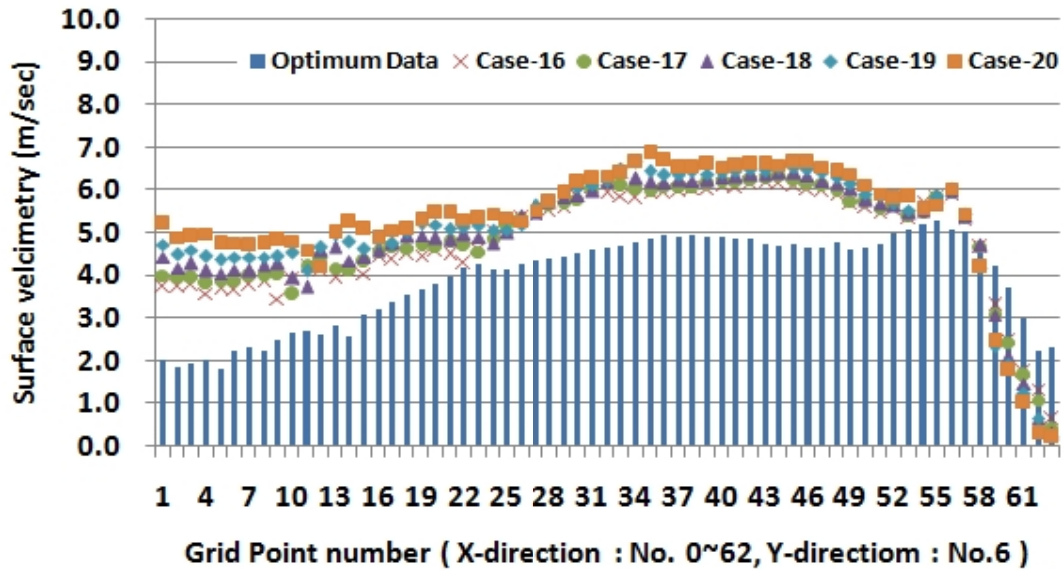


(c)

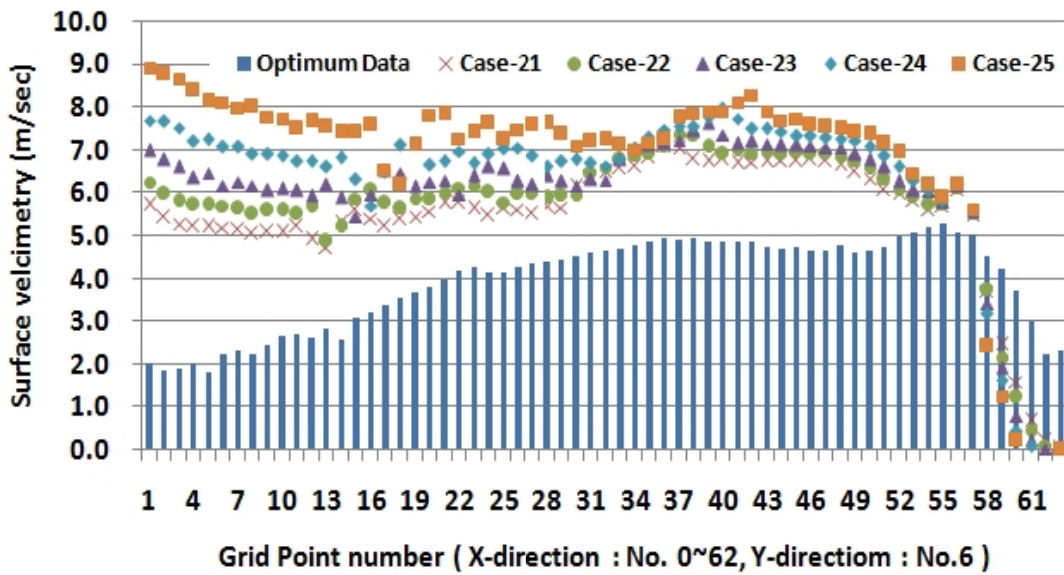


(d)

Fig. 10. Continued.



(e)



(f)

Fig. 10. Continued.

Table 5. Velocity vector and discharge calculation results(SIV)

Grid mesh Number	Surface velocity (m/sec) *0.85	Stream Section Area (m ²)	Discharge (m ³ /sec)	Grid mesh Number	Surface velocity (m/sec) *0.85	Stream Section Area (m ²)	Discharge (m ³ /sec)
1	1.71	4.23	7.22	33	3.97	0.91	3.61
		0.86	1.47			0.91	3.61
2	1.58	0.86	1.36	34	4.06	0.91	3.69
		0.86	1.36			0.91	3.69
3	1.62	0.86	1.39	35	4.12	0.91	3.75
		0.86	1.39			0.91	3.75
4	1.70	0.86	1.46	36	4.19	0.91	3.81
		0.86	1.46			0.91	3.81
5	1.54	0.85	1.31	37	4.16	0.91	3.79
		0.85	1.31			0.91	3.79
6	1.89	0.85	1.61	38	4.18	0.91	3.80
		0.85	1.61			0.91	3.80
7	1.98	0.84	1.66	39	4.14	0.91	3.76
		0.84	1.66			0.91	3.76
8	1.90	0.84	1.59	40	4.14	0.91	3.77
		0.83	1.57			0.91	3.77
9	2.09	0.83	1.73	41	4.13	0.91	3.76
		0.82	1.71			0.91	3.76
10	2.25	0.82	1.85	42	4.12	0.91	3.75
		0.81	1.83			0.91	3.75
11	2.27	0.81	1.84	43	4.02	0.92	3.70
		0.80	1.82			0.92	3.70
12	2.22	0.80	1.78	44	3.98	0.92	3.66
		0.80	1.78			0.92	3.66
13	2.40	0.79	1.90	45	4.02	0.92	3.70
		0.79	1.90			0.93	3.74
14	2.16	0.79	1.71	46	3.95	0.93	3.67
		0.78	1.69			0.93	3.67
15	2.61	0.81	2.11	47	3.94	0.95	3.75
		0.75	1.96			0.96	3.79
16	2.73	0.77	2.10	48	4.05	0.97	3.93
		0.78	2.13			0.98	3.97
17	2.87	0.80	2.30	49	3.90	0.99	3.86
		0.82	2.36			1.01	3.94
18	3.00	0.84	2.52	50	3.94	1.02	4.02
		0.86	2.58			1.02	4.02
19	3.10	0.87	2.70	51	4.00	1.02	4.08
		0.88	2.73			1.02	4.08
20	3.21	0.89	2.86	52	4.23	1.02	4.32
		0.90	2.89			1.02	4.32
21	3.35	0.89	2.98	53	4.29	1.02	4.38
		0.87	2.92			1.02	4.38
22	3.54	0.85	3.01	54	4.41	1.02	4.50
		0.85	3.01			1.02	4.50
23	3.63	0.85	3.08	55	4.47	1.02	4.56
		0.85	3.08			1.00	4.47
24	3.51	0.86	3.02	56	4.31	0.99	4.27
		0.86	3.02			1.02	4.40
25	3.50	0.88	3.08	57	4.26	1.04	4.43
		0.89	3.12			1.04	4.43
26	3.63	0.90	3.27	58	3.84	1.05	4.04
		0.90	3.27			1.05	4.04
27	3.69	0.90	3.32	59	3.59	1.05	3.77
		0.90	3.32			1.05	3.77
28	3.71	0.92	3.34	60	3.16	1.05	3.32
		0.91	3.38			1.03	3.25
29	3.77	0.92	3.47	61	2.53	1.00	2.53
		0.93	3.51			0.97	2.46
30	3.83	0.93	3.56	62	1.90	0.94	1.78
		0.93	3.56			0.93	1.76
31	3.89	0.92	3.58	63	1.95	0.94	1.84
		0.92	3.58			12.79	24.98
32	3.95	0.91	3.59				
		0.91	3.59				
Total discharge						413.29 m ³ /s	

Table 6. Result error rate of the surface velocity and discharge

Analysis criterion	Case-No.	Discharge (m ³ /sec)	Mean surface velocity (m/sec)	Error factor (%)	
				discharge	surface velocity
	Original Data	413.29	3.90	-	-
Long distance	case-1	482.95	4.55	16.86	16.77
	case-2	594.28	5.49	43.79	40.71
	case-3	763.76	6.95	84.80	78.14
	case-4	1059.40	9.61	156.33	146.52
	case-5	1812.83	16.29	338.63	317.69
Short distance	case-1	416.66	3.94	0.82	1.10
	case-2	420.62	3.97	1.77	1.70
	case-3	426.37	4.02	3.16	3.00
	case-4	427.56	4.04	3.45	3.63
	case-5	431.06	4.08	4.30	4.57
	case-6	432.32	4.13	4.61	5.89
	case-7	436.47	4.17	5.61	6.94
	case-8	439.81	4.23	6.42	8.42
	case-9	442.17	4.27	6.99	9.42
	case-10	446.31	4.32	7.99	10.72
	case-11	450.51	4.38	9.01	12.25
	case-12	456.89	4.44	10.55	13.92
	case-13	461.88	4.53	11.76	16.17
	case-14	466.59	4.61	12.90	18.20
	case-15	474.06	4.70	14.70	20.43
	case-16	481.01	4.81	16.38	23.32
	case-17	486.99	4.90	17.83	25.26
	case-18	496.34	5.01	20.10	28.40
	case-19	507.57	5.14	22.81	31.89
	case-20	522.46	5.30	26.41	35.94
	case-21	536.56	5.47	29.83	40.30
	case-22	556.99	5.71	34.77	46.45
	case-23	580.92	5.98	40.56	53.41
	case-24	615.85	6.36	49.01	63.16
	case-25	658.27	6.80	59.28	74.47
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

댐 방류량과 같은 유출량의 참값이 존재하지 않기 때문에 이 같은 결과는 단일지점의 유속을 관측하는 Kalesto의 관측결과만 의존하여 제주도의 유출량을 산정하기에는 문제가 있다고 판단된다.

4.3. 참조점 변화에 의한 유속 및 유량변동

Fig. 10는 원거리 및 근거리의 참조점 변화에 따른 유속변화를 나타낸다. 그래프의 x축은 유속분석에 적용된

63개의 격자망을 나타내며, y축은 각각 격자망의 유속을 나타낸다. 막대그래프는 정확한 참조점 입력에 의한 유속 산정 결과를 나타내며 각각의 케이스별로 분석된 유속 비교 시 기준이 된다. 또한 각각의 케이스별로 유속을 산정한 결과를 표식을 통해 구분하였다.

Fig. 10(a)는 카메라의 원근을 기준으로 원거리의 참조점을 5개의 케이스로 구분하여 산정한 유속결과를 나타내며, Fig. 10(b)~(f)는 근거리의 참조점을 25개의

케이스로 구분하여 산정한 결과를 나타낸다.

원거리 참조점 변경에 의한 Fig. 10(a)의 분석 결과를 보면 Case-1부터 Case-5까지 유속백터가 근거리 참조점 변경에 비해 오차율이 16.77~317.69%로 큰 변동 폭을 나타낸다. 이 같은 유속백터의 변동 폭은 유량 계산 시 최소 16.86%에서 최대 338.63%로 과대 산정되는 문제가 발생 할 수 있다.

근거리 참조점 변경에 의한 Fig. 10(b)~(f)의 분석 결과를 보면 Case-1부터 Case-25까지 유속백터가 최소 1.10%에서 최대 74.47%의 변동 폭을 나타냈으며, 유량 환산 시 최소 0.82%에서 최대 59.28%의 변동 폭을 나타냈다(Table 6).

5. 결론

2012년 9월 17일 제 16호 태풍 산바의 내습에 의한 유출발생 시 제주도 천미천 유역의 성읍교 부근에서 전체 유출 사상 중 최대 수위 3.94 m를 기록한 9시 00분 유출영상에 표면영상유속계(SIV)를 적용하여 참조점 설정에 따른 오차율을 분석하였다.

표면영상유속계(SIV)의 분석과정에서 정밀하게 측량된 참조점 입력값에 의한 유속 및 유량결과를 기준으로 5개의 원거리 참조점 설정변수와 25개의 근거리 참조점 설정변수로 각각 분류하여 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 참조점 설정 과정에서 원거리의 참조점 입력 오류가 발생하면 2~11 pixel의 미세한 오류값 입력에 의해 X축 방향으로 0.42 m, Y축 방향으로 0.94 m의 실거리 변화율을 발생시킨다.

2) 참조점 설정 과정에서 근거리의 참조점 입력 오류가 발생하면 1~11 pixel의 미세한 오류값 입력에 의해 X축 방향으로 0.02 m, Y축 방향으로 0.28 m의 실거리 변화율을 발생시킨다.

3) 원거리의 참조점 설정변수에 따라 유속 오차율은 최소 16.77%에서 최대 317.69%의 변동 폭을 나타냈으며, 유량 산정 시 최소 16.86%에서 최대 338.63%의 변동 폭을 나타냈다.

4) 근거리의 참조점 설정변수에 따라 유속 오차율은 최소 1.10%에서 최대 74.47%의 변동 폭을 나타냈으며, 유량 산정 시 최소 0.82%에서 최대 59.28%의 변동 폭을 나타냈다.

표면영상유속계는 수집된 유출영상의 추적입자 이동 거리와 시간을 계산하여 유속을 분석한다. 참조점의 상대적인 이동거리가 줄어들어 따라 단시간에 짧은 거리를 이동한 것으로 분석되므로 유속이 과대 산정되는 결과는 쉽게 예상할 수 있다. 하지만 이 연구의 결과와 같이 참조점 설정위치의 미세한 입력오류의 영향에 의해 유속과 유량의 정량적인 큰 변동 폭을 확인하고 전체 유출사상 분석에 적용된다면 누적된 총 유출량이 많은 오차율을 수반한 결과가 산정될 수 있음을 의미한다.

특히 이 연구의 연구대상 지점인 제주도 천미천 성읍교 부근은 하폭이 약 40 m로 국내 하천의 하폭에 비하면 매우 짧은 하폭을 형성한다. 짧은 하폭에 적용되는 참조점 설정오류의 영향으로 최소 0.82%에서 최대 338.63%까지 오차율을 보인다면 하폭이 큰 대하천에 표면영상유속계를 적용하는 경우 미세한 참조점 입력오류의 영향으로 더 큰 유속오차가 발생할 가능성이 있음을 의미한다.

향후 표면영상유속계를 활용한 유량산정 시 분석결과와 신뢰도를 높이고 오차발생 가능성을 최소화하기 위해 관측현장에 설치된 CCTV의 화면에서 육안으로 참조점을 확인할 수 있는 목자판을 별도로 설치하여 참조점 입력에 의한 오류발생 여부를 줄이는 단계가 필요하며 분석하는 하천의 하폭에 따라 발생할 수 있는 오차율을 제시할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부의 건설교통기술지역특성화사업 제주권 국토교통기술 지역거점센터(16RDRP-B07 6272 -03)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Fujita, M. M., Anton, K., 1998, Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications, *Journal of Hydraulic Research*, 36(3), 397-414.
- Kim, S. J., Ryu, K. G., Youn, B. M., 2011, Real-time discharge measurement of the river using fixed-type surface image velocimetry, *Magazine of Korea Water Resources Association*, 44(5), 377-388.
- Kim, J. B., 2012, Analysis of water resources components

- and water balance in Chunmicheon watershed, Jeju Island, Sc.M. Dissertation, Jeju National University, Jeju, Korea.
- Kim, Y. G., Roh, Y. S., Yoon, B. M., 2004, Verification and application of surface-velocity measurement method using LSPIV, Magazine of Korea Water Resources Association, 37(2), 155-161.
- Roh, 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., 2013, Determination of interrogation-area size based on error analysis for the surface image velocimetry, Sc.D. 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.
- Kim, Y. S., Yang, S. K., Yu, K., Kim, D. S., 2015, Comparative analysis of day and night time video accuracy to calculate the flood runoff using Surface Image Velocimeter (SIV), J. Environmental Sciences, 24(4), 359-369.
- 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.