

ORIGINAL ARTICLE

지표유속법 기반 제주 산지형 하천 Kalesto 유량 정확도 향상 기법

김동수 · 양성기^{1)*} · 김수정²⁾ · 이준호¹⁾

단국대학교 토목환경공학과, ¹⁾제주대학교 토목환경공학과, ²⁾연세대학교 학부대학

Enhancement Technique of Discharge Measurement Accuracy Using Kalesto Based on Index Velocity Method in Mountain Stream, Jeju Island

Dong-Su Kim, Sung-Kee Yang^{1)*}, Soo-Jeong Kim²⁾, Jun-ho Lee¹⁾

Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University, Yongin 448-701, Korea

¹⁾Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

²⁾University College, Yonsei University, Seoul 406-840, Korea

Abstract

In the mountain streams in Jeju Island, strong turbulence and roughness usually made it nearly impossible to utilize most of intrusive instrumentation for streamflow discharge measurements. Instead, a non-intrusive fixed electro-magnetic wave surface velocimetry (fixed EWSV: Kalesto) became alternatively popular in many representative streams to measure stream discharge seamlessly. Currently, Kalesto has shown noteworthy performance with little loss in flood discharge measurements and also has successfully provided discharge for every minute. However, Kalesto has been operated to regard its measured one-point velocity as the representative mean velocity for the given cross-section. Therefore, it could be highly possible to potentially encompass discharge measurements errors. In this study, we analyzed the difference between such Kalesto discharge measurements and other alternative concurrent discharge measurements such as Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) and mobile EWSV which were able to measure velocity in multi-points in the cross-section. Consequently, Kalesto discharge deviated from ADCP discharge in amount of 48% for relatively low flow, and more than 20% difference for high flow compared with mobile EWSV discharge measurements. These results indicated that the one-point velocity measured by Kalesto should be used as a cross-sectional mean velocity, rather it should be accounted for as an index-velocity in conjunction with directly measured cross-sectional mean velocity by using more reliable instrumentations. After inducing Kalesto Discharge Correction Coefficient (KDCC) that actually means relationship between index velocity and cross-sectional mean velocity, the corrected discharge from Kalesto was significantly improved. Therefore, we found that index velocity method should be applied to obtain better accuracy of discharge measurement in case of Kalesto operation.

Key words : Discharge, Kalesto, Electro-magnetic, Index Velocity Method, ADCP

Received 27 January, 2015; Revised 26 March, 2015;

Accepted 10 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@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.

1. 서론

제주도 하천은 급경사 암반 및 자갈하상으로 하도 내 작은 소 및 소규모 폭포 등이 위치하여 홍수유량 측정에 있어 부자법을 사용이 어렵고, 프로펠러 유속계나 ADCP 등 접촉식 유속계를 사용한 유량측정 또한 매우 힘들다. 그리고 고리형 수위-유량관계도 보고되고 있어 (Kim 등, 2012), 수위와 유속을 동시에 측정할 필요가 있다. 따라서, 비접촉식 유속측정을 통한 유량 측정 방식이 대안으로 간주되어 고정식 전자파표면유속계 (Kalesto) (Ott, 2000) 가 제주 하천 실시간 유량측정시스템으로 주로 이용되고 있다 (Yang 등, 2011, 2012). Kalesto 는 전자파의 도플러변위를 활용하여 수표면의 움직임으로부터 유속을 산출하며 수위도 별도로 측정하여 표면유속과 수위를 동시에 제공하고 있다. 현재 제주도의 경우, Kalesto 는 하천 횡단면 중 1개 지점의 표면유속을 측정하고 수심평균유속으로 환산한 다음 (일반적으로 환산계수 0.85 사용, Costa 등, 2000; Hauet 등, 2008; Le Coz 등, 2010; Muste 등, 2012), 이 결과를 단면 대표유속으로 간주하여 유량을 산정하여 실시간으로 제공하는 방식으로 운용되고 있다. 그러나, 측정된 단일 지점 유속을 단면 대표유속으로의 기계적인 환원은 결과적으로 일정 부분 유량 관측 오차를 수반할 수 있다. Kim 등 (2014)은 제주시 한천 제2동산교 부근 하천 단면 중앙에 설치된 Kalesto 가 가진 단일지점 방식의 한계를 이동형 전자파표면유속계 (mobile electromagnetic surface meter: Mobile EWSV) (Mutronics, 2010) 를 활용한 다지점 측정 결과에 근거하여 제시하였다. 또한

ADCP를 활용한 단면 3차원 상세 유속장으로 재산정된 환산계수를 적용하여 Kalesto 의 유량관측 오차를 산정한 바 있다. 이러한 연구는 Kalesto 측정 유속은 단면 대표 유속이 아니라 적절한 보정을 통해 평균유속으로 환산해야 하는 지표유속 (index velocity)로 간주해야 한다는 사실을 의미한다. 지표유속법 (Index Velocity Method)는 국내의 경우, 유량조사사업단에서 고정형 ADCP를 활용한 유량 산정 시 활용되어 왔으나 (Kim 등, 2006), 기본적으로 Kalesto 의 측정 유속 역시 넓은 의미에서 지표유속법이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 Kim 등 (2014)의 연구에 기반하되 Kalesto 가 현장 설치 여건으로 극단적으로 유속에 치우친 사례를 통해 관측 유속을 단면 평균유속으로 유량을 산정할 때 발생할 수 있는 유량 산정 오차를 제시하고 지표유속법을 통해 유량을 산정해야 하는 타당성을 제기하고자 한다. 또한 수위에 따른 계측 단면에서의 유속 양상의 변화를 고려하여 지표유속을 평균유속으로 환산하는 보정식을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 조사 하천

본 연구에서는 Kalesto 를 활용한 제주도 외도천의 유량 관측 자료에 기반하여 지표유속법 적용 시 가능한 유량 관측 정확도 향상 정도를 제시하였다. Kalesto 에 의한 지표유속을 보정하기 위해 홍수기에 ADCP를 운영하였고, 침투 전후의 유량은 ADCP 운용이 불가하여 이동식 전자파표면유속계로 산정하였다. 외도천은 Fig. 1과



Fig. 1. The location of Oedo water intake station on Oedo stream.

a)



b)



Fig. 2. The locations where various instruments were installed in the Oedo stream: a) the detailed field installation of the Kalesto in the right bank; b) surveying locations of Kalesto, CCTV, ADCP, and mobile Electronic Surface Flowmeter.

같이 제주 북서부를 남북으로 흐르고 Kalesto 는 실시간 유량 관측을 위해 하루에 위치한 외도 수원지에서 설치되어 있다. 외도천은 자갈 및 암반하상으로 이루어져 있고 대부분 건천인 제주도 내 하천에 비해 용천수의 유입으로 평시 일정 유량이 공급되고 있는 상시하천이다. 홍수기에는 급경사 산지형 하천으로 유속이 강하고 거친 하상으로 인해 와류가 형성되어 접촉식 유속계의 직접 활용이 어렵다.

외도수원지에 설치된 Kalesto는 교량이 부재하여 수원지 우안에 설치되어 운용되고 있다. ADCP (SonTek RiverSurveyor M9; SonTek, 2010) 측정 단면은 Kalesto 측정 단면과 동일하다. 이동형 EWSV는 측정을 위해 교량이 필요하여 수원지 직하류인 월대교에서 사용되었다. Kalesto 측정위치와 거리가 근접하고 지류 유입유량을 무시할 수 있어 유량은 보존된다고 할 수 있다. Fig.2a는 각 계측장비의 관측위치를 나타내고 있다. 외도수원지가 위치한 구간은 폭이 약 45 m 정도인 소하천으로, 상류부에 만곡부가 위치하고 하상은 부분적으로 노출된 암반으로 국부 조도가 상이하여 홍수 시 흐름이 단면에 균일하게 분포하지 못하고 편향되는 경향을 보여주었다. 외도천은 상시하천으로 취수를 위해 소규모 보

가 설치되어 평시에는 흐름이 거의 발생하지 않아, 홍수기 유량관측만 의미가 있는 특징이 있다.

2.2. 측정방법

사용된 관측기기는 다음 Fig.2b와 같이 구체적인 현장사진을 통해 파악할 수 있다. Fig. 2b은 수원지 우안에 위치한 고정식 Kalesto와 수위계를 나타내고 있다. 일반적으로 Kalesto가 교량 중앙에 위치하고 있으나, 외도수원지의 경우 교량이 부재하여 우안에서 약 3 m 이격된 지점에 위치하고 있다. 폭이 약 45 m 인 점을 감안할 때, 우안에 치우쳐 유속을 측정하여 측정유속을 단면 대표유속으로 간주하는 데 한계가 있어 보정이 반드시 필요하다.

Kalesto 위치 편향으로 인한 대표유속 보정을 위해 상세한 유속장을 제공하는 ADCP를 활용하였다. ADCP는 홍수기 측정에 어려움이 있으나, 본 연구단에서는 Fig. 3과 같이 단면을 횡단하는 태그라인을 설치하여 홍수기 유속 측정에 성공하였다. ADCP로는 SonTek 사의 RiverSurveyor M9이 사용되었다. ADCP 유속 관측은 홍수기 현장 관측 여건을 고려하여 침투유량이 형성되는 흐름에서는 매우 강한 유속으로 인해 적용하지 못하였다.



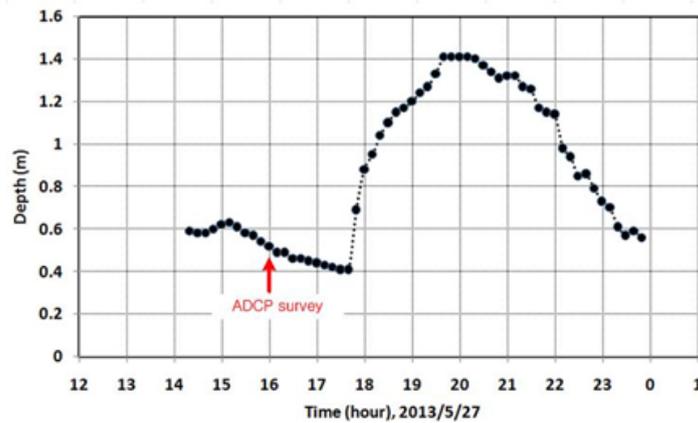
Fig. 3. Velocity and discharge measurements of flood conditions using ADCP dragged along the installed tagline across the given cross-section.

접촉식인 ADCP가 운용되지 못한 침두 부근 홍수 유량은 이동형 EWSV를 활용하였다. 이동형 EWSV는 월대교에서 일정한 횡간격(약 10 m)으로 표면유속을 측정하였고 2013년 5월 27일에 발생한 홍수유량을 30분 간격으로 측정하였다. 이동형 EWSV의 유속측정 결과는 외도수원지 하류 약 150 m에 위치한 월대교에서 운용되었으므로 Kalesto와 동일 단면에서의 유속 측정을 통한 Kalesto 유속 보정에 활용되지 못하였다. 다만, 유량은 보존되므로 유량을 통한 보정은 가능하였다.

3. 결과 및 고찰

ADCP 측정은 Fig.4a와 같이 홍수기 유량이나 흐름 속도가 약 1 m/s 로 형성된 수심 약 0.5 m 인 경우에 실시되었다. 침두유량이 형성되는 고유속에서는 ADCP 측정이 매우 어렵고, 측정하더라도 오차가 증대하여 사용이 어려운 면이 있다. 그러나, ADCP 관측으로 취득된 유속분포 자료는 유량의 변화에 따라 상이할 수 있지만 Kalesto가 편향되었을 경우 단면에 걸쳐 유속의 변화를 제공하

(a)



(b)

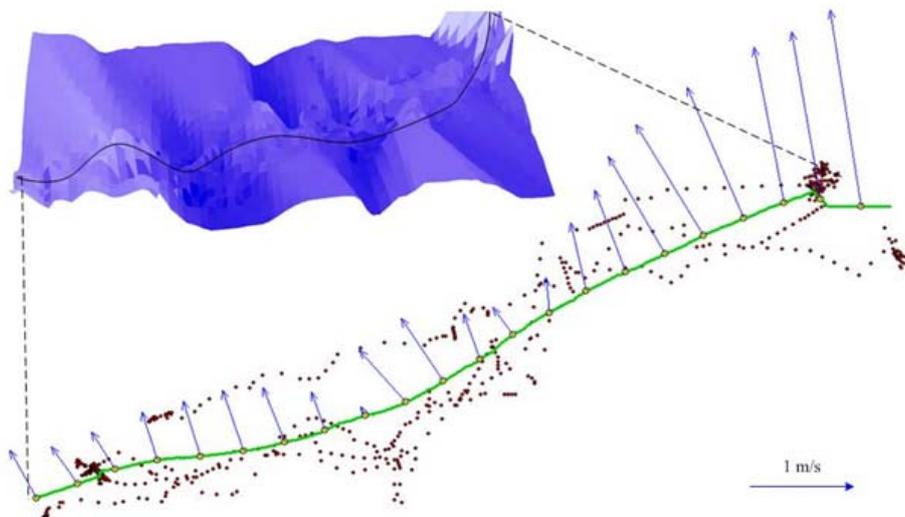


Fig. 4. ADCP measurement in Yeodo intake facility: (a) observation time of ADCP in terms of hydrograph in May 27, 2013; (b) bed surface and depth-averaged velocity vector by ADCP.

여 1점 측정방식으로 왜곡된 정도를 파악하는 데 충분하다고 판단된다. ADCP와 Kalesto 유속자료를 비교할 경우 왜곡 경향을 정성적으로 파악할 수 있으며, 상이한 수심과 유량에 대한 Kalesto 유량의 보정은 월대교에서 확보된 이동형 EWSV를 활용하여 보정할 수 있다.

Fig. 4b는 ADCP 계측을 통해 확보된 하상과 수심평균된 유속의 횡방향분포를 나타내고 있다. 산출된 유속은 단면을 4~5회 반복 측정된 ADCP 자료를 후처리하여 평균 ADCP 궤적 (연두색 선)과 함께 도시되었다. 그 결과, 유속은 Kalesto가 측정하고 있는 우안에서 강하게 형성되어 있음을 알 수 있다.

우안에서 약 2 m/s 유속의 상대적으로 강한 흐름의 형성은 Fig. 5과 같이 ADCP 유속장을 3차원으로 도시하였을 경우에도 확인할 수 있다. 따라서, Kalesto가 우안의 흐름을 관측하고 단면의 대표유속으로 사용할 경우, 유량을 매우 과다 산정할 수 있음을 알 수 있다.

흐름이 우안에 강하게 형성되는 이유는 외도수원지가 위치한 외도천의 지형적인 형태와 관계된다고 사료된다. Fig. 6과 같이 수원지 직상류가 만곡부를 형성하고, 따라서 흐름이 만곡을 거쳐 직선구간으로 진입할 때, 우안쪽으로 치우치는 경향을 나타낸다. 이때, Kalesto는 우안에 설치되어 유속을 측정한다. 이때, Kalesto는 단면 전체의

유속 변화를 감지할 수 없으므로 유량을 산정을 위해 일부 측정유속을 단면 대표유속으로 간주하여 유량 산정에 활용한다.



Fig. 6. Velocity deviation toward inner boundary driven by upstream bend.

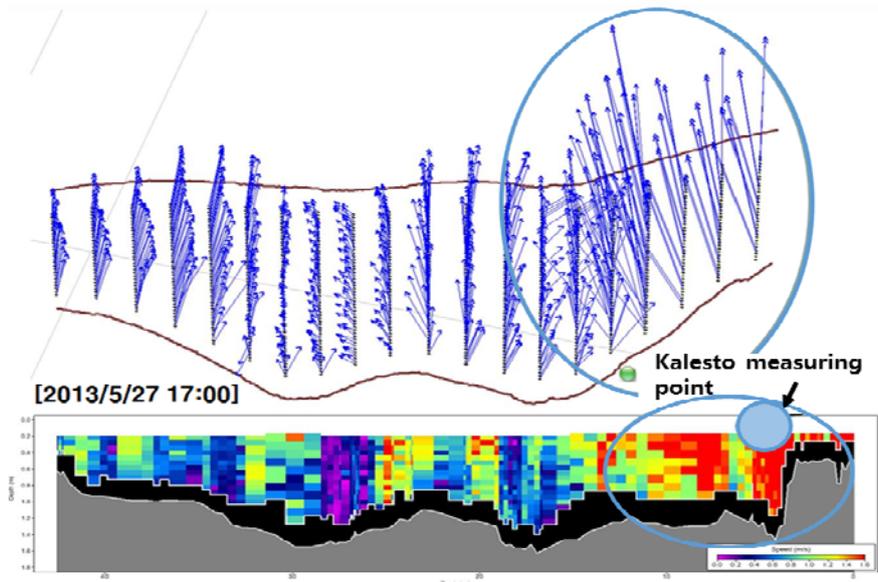


Fig. 5. Cross-sectional representation of ADCP velocity in Yeodo intake facility.

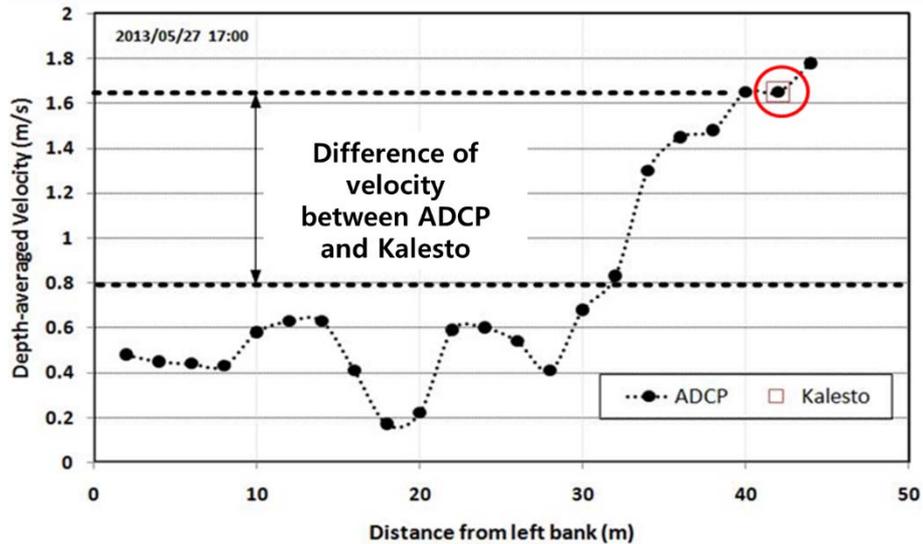


Fig. 7. Comparison of ADCP lateral velocity profile and a fixed point velocity measurement by Kalesto.

수심 평균된 ADCP의 단면에 따른 유속분포와 표면 유속 평균유속 환산계수로 0.85를 사용한 Kalesto 평균 유속을 정량적으로 비교했을 때 Fig. 7과 같이 나타났다.

Kalesto가 측정한 지점의 유속은 그 지점의 ADCP 유속과 동일하여 ADCP 측정이 적절히 수행되었음을 알 수 있다 (Fig.7 붉은색 원 참고). 그리고 그림 7와 같이 ADCP 유속을 단면 평균하였을 경우에 0.79 m/s로 나타나, Kalesto 측정 유속인 1.65 m/s에 비해 약 48% 정도 낮게 나타남을 알 수 있다. 따라서, Kalesto 유속을 단면 대표유속으로 유량을 계산하였을 경우, 측정된 유량이 48% 과다 산정되었다. 이는 매우 상당한 차이로 적절한 보정없이 Kalesto로 측정된 유량을 사용하였을 경우, 강우대비 유출율을 매우 과다 산정한다는 사실을 의미한다. 따라서, 적절한 Kalesto 유량 보정계수 (Kalesto Discharge Correction Coefficient: KDCC)를 도입하여 Kalesto

측정 유량을 보정할 필요가 있다.

Table 1은 ADCP, Kalesto, 동일 시각에서 관측된 하류단의 이동형 EWSV 유량을 비교한 결과이다. 보정 전의 Kalesto 유량은 2013년 5월 27일 17:00의 경우, 73.1 m³/s로 ADCP 유량인 36.55 m³/s, 이동형 EWSV 유량인 40.79 m³/s에 비해 매우 높게 나타났다. 그리고, 유량보정계수 0.48을 적용하면, 35.06 m³/s로 조정하면 타 관측기기 측정 유량과 유사하게 보정되었다.

실제 유량과 수심이 각각 36.55 m³/s 및 0.6 m인 경우, 유량보정계수 0.48로 Kalesto 유량을 보정해야 함을 알 수 있으나, 이는 제한적인 단일 유량 조건에 대한 결과로 다른 흐름조건에 일률적으로 적용하기에는 한계가 있다. 즉, ADCP 측정유량은 Fig. 8에서 제시된 바와 같이 분석 대상인 강우사상에 대해서는 상대적으로 작은 유량에 해당하므로 상이한 수위 및 유량 조건에서도 본 보정

Table 1. Comparison of streamflow discharge with corrected Kalesto discharge with respect to reference discharge by ADCP and mobile EWSV (unit: m³/s)

시간	ADCP discharge	KDCC	Kalesto discharge (raw)	Kalesto corrected discharge	Mobile Electromagnetic Wave Surface Velocimetry (EWSV)
16:30			78.8	37.78	43.09
17:00	36.55	0.48	73.1	35.06	40.79
17:30			72.4	34.72	38.49

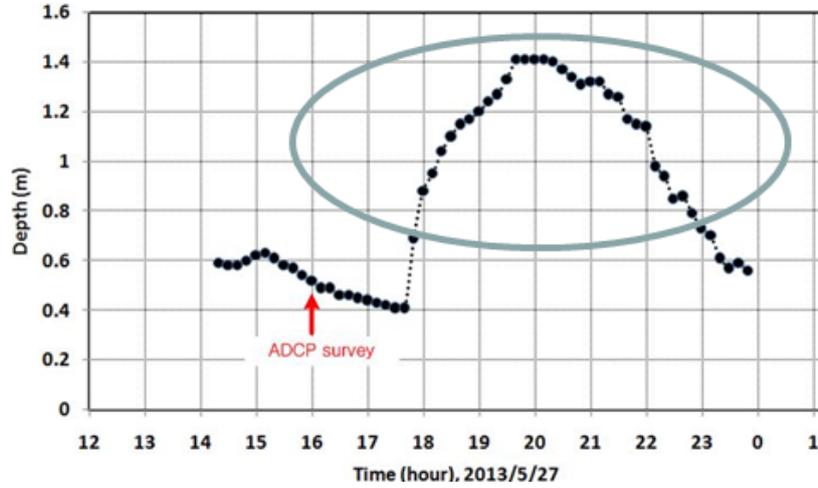


Fig. 8. Duration of stage height where additional KDCC should be evaluated with no ADCP measurement.

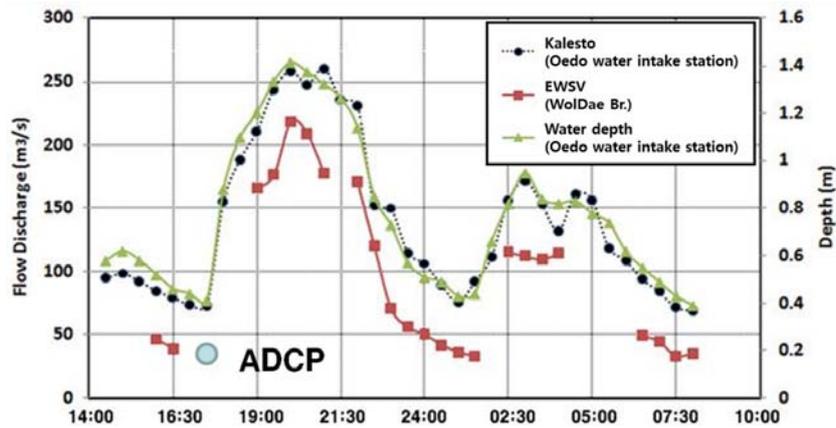


Fig. 9. Comparison of discharge between Kalesto and mobile EWSV before correction.

계수가 적절한 지 파악할 필요가 있다. 다양한 수위조건에서 현장 계측 시 흐름의 양상을 현장에서 정성적으로 파악을 했을 때 (Fig. 8 참조), 고유량에서는 유속의 우안 편향이 감소되는 현상을 볼 수 있었다. 따라서, 다양한 수위 조건에서, 특히 Fig. 8에서 제시된 바와 같이 고유량에서 보정계수를 산정할 필요가 있다. Fig. 8과 같이 유량 보정계수 산정이 필요한 ADCP 측정이 실시되지 않았던 수위조건에 대한 직접 유량 관측은 이동형 EWSV를 통해 실시하였다. 이동형 EWSV는 Kalesto와 동일한 단면에서 유속을 측정하지 않았고, 하류단에 위치한 월대교에서 측정을 하였으므로 수위 별 유속분포의 직접비

교는 타당하지 않다. 다만, 유량의 변화가 거의 없으므로 두 계측기기 별 유량을 직접 비교하여 보정계수를 산정하는 방식을 취하였다.

보정 전 Kalesto 유량과 월대교에서 직접 측정된 이동형 EWSV 유량을 시간 대 별로 비교한 결과, Kalesto 측정 유량은 이동형 EWSV에 비해 전반적으로 크게 나타남을 알 수 있다 (Fig.9).

Fig. 9에 나타난 자료를 활용하여 Kalesto유량보정계수를 계산하여 수위와 함께 나타내면 Fig. 10와 같다. ADCP 유량과 비교했을 경우 (수심 약 0.6 m) 보정계수가 0.48로 나타났었는데, 이동형 EWSV와 비교했을 때

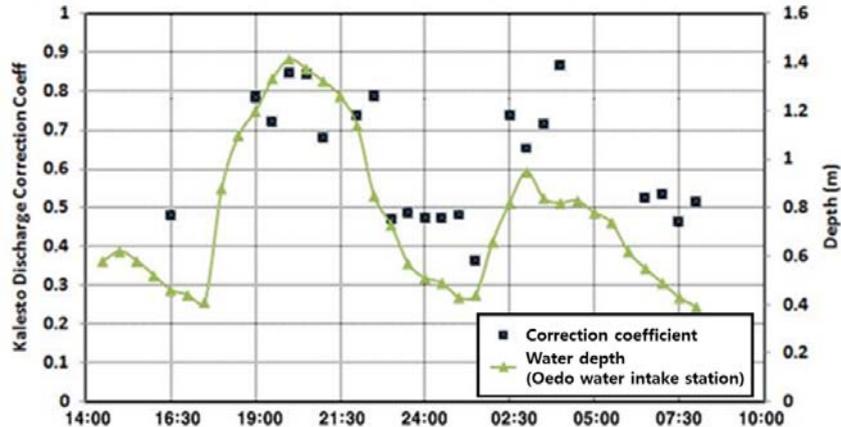


Fig. 10. Variation of Kalesto discharge correction coefficient (KDCC) accordingly with depth change.

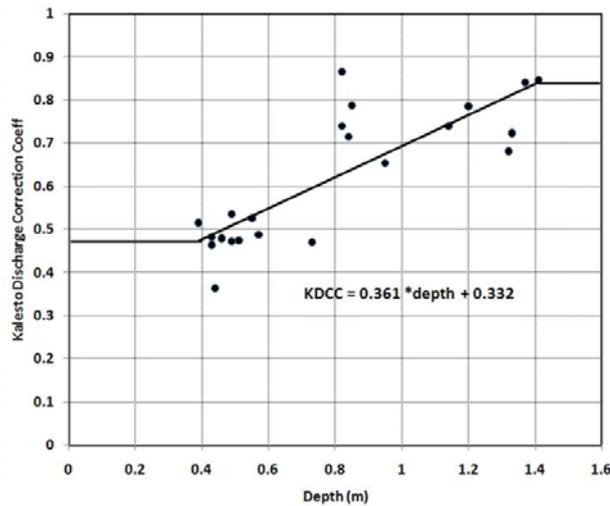


Fig. 11. Regressed equation of KDCC for different water depth.

도 대략 유사한 값을 보임을 알 수 있다. 다만, 수심이 0.6 m 이하에서 보정계수는 비교적 0.48과 유사한 값을 유지함을 알 있다. 그러나, 수위가 상승함에 따라, 보정계수는 점차 증가하여 침두수위인 경우 0.9에 근접하였다. 이는, 수위가 상승하고 유량이 증가함에 따라, 상대적으로 저수위에서 관측된 유속의 우안 편향 현상이 거의 소멸 되었음을 알 수 있다.

본 연구에서는 Fig. 11과 같이 조사된 구간에서의 수위 별 Kalesto 유량 보정계수를 회귀식의 형태로 제시하였다. 자료의 경향성을 근거로 저수심에서 고수심을 변

화할 때 보정계수가 변화되었지만, 수심 0.5 m 이하 및 1.4 m 이상은 관측된 자료가 없어 보정계수를 0.48 및 0.85로 보수적인 값으로 설정하였다. 특히 1.4 m을 훨씬 상회하는 수심에서는 비현실적인 보정계수를 제공할 수 있어 0.85로 제한하였으나 추후 관측값을 기반으로 보완해야 할 것이다.

따라서, 수심 별 Kalesto 보정계수 (KDCC)는 구간별로 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$H < 0.5 : KDCC = 0.48$$

$$0.5 < H < 1.4 : KDCC = 0.361 \times \text{수심} + 0.332$$

$$H > 1.4 : KDCC = 0.85$$

위의 보정식을 활용하여 Kalesto 유량 보정 후 직접 관측한 월대교 이동형 EWSV 유량을 시간대 별로 비교한 결과는 Fig. 12a과 같다. 보정 유량은 실측유량과 거의 유사하게 나타남을 알 수 있다. 결과적으로 보정 후 유량의 정확도는 약 35.8% 향상되었다. Fig. 12b는 보정 전후 Kalesto 유량의 차이를 나타낸다.

4. 결론

본 연구에서는 현재 제주도 실시간 유량측정에 활발

하게 활용되고 있는 Kalesto의 유량 측정 정확도를 직접 유량 측정 자료를 기반으로 분석하여 유량보정계수를 도입하여 향상시키고자 하였다. 현재 Kalesto를 활용한 유량측정 방식은 횡단면의 단일 지점에서 측정된 유속을 단면전체 대표유속으로 간주하여 유량을 산정하므로, 단면에서 유속의 변화가 시공간적으로 발생할 경우 유량 측정 정확도가 매우 낮아지는 것으로 나타났다. 시범 계측 지점인 외도천의 경우, 단면 우측에서 상대적으로 강한 흐름이 발생하여 Kalesto 유속의 직접 활용은 유량 측정 오차를 유발할 수 있다. 따라서, 이 경우 본 연구에서 제시한 바와 같이 ADCP 및 이동형 EWSV를 활용해 횡단면에 걸쳐 다지점 유속 측정을 통해 도출된 유량을 활용해 Kalesto 유속 측정 결과를 보정해 줄 필요가 있다.

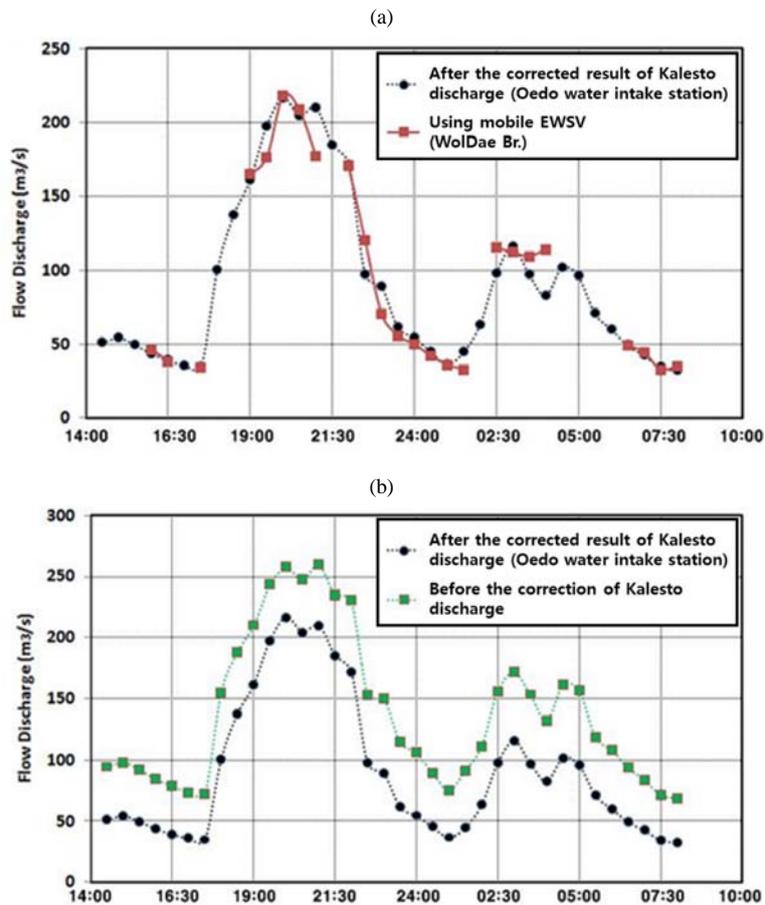


Fig. 12. Corrected results of Kalesto discharge: (a) comparison of corrected Kalesto discharge with discharge using mobile EWSV; (b) before and after the correction of Kalesto discharge.

이러한 방식은 실질적으로 Kalesto 측정 유속을 단면 대표유속으로 간주하지 않고 일종의 지표유속으로 간주하여 적용해야 한다는 의미이다. 그러나, 이러한 지표유속 단면평균유속 관계는 계측 지점의 조건에 따라 상이하므로 정밀도가 높은 관측기기를 활용하여 수위 조건 별로 현지화된 관계를 구축해야 하는 부담이 있다. 유량조사 사업단의 경우, 횡방향 ADCP (H-ADCP)를 실시간 유량 측정에 다수 활용하고 있는데 특정 지점 측정 유속을 지표유속으로 간주하고 단면 평균유속과의 관계를 규명하여 성공적으로 활용하고 있으므로 참고할 만 하다. 제주도의 경우, 하천 여건 및 산지형 흐름 조건으로 H-ADCP와 같이 수중에서의 계측기기 운용이 불가하므로 Kalesto는 매우 현실적인 대안이 되고 있다. 그러나, 본 연구의 결과를 볼 때, 향후 기존 운용 중인 Kalesto나 향후 운영 계획 중인 Kalesto에 직접 현장 유량 계측과 병행하여 지표유속법을 적극적으로 도입할 필요가 있다. 결과적으로 유량보정계수(KDCC)를 활용한 지표유속법의 적용은 현재 제주도에서 운용 중인 Kalesto의 정확도를 획기적으로 높일 수 있다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업의 연구비 지원(10지역기술혁신B02, 제주수자원연구단)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCE

- Costa, J.E., Spicer, K.R., Cheng, R.T., Peter, H.F., Melcher, N.B., and Michael Thurman, E., 2000, Measuring stream discharge by noncontact methods: A proof of concept experiment, *Geophysical. Research Letter*, 27(4), 553-556.
- Hauet, A., Kruger, A., Krajewski, W.F., Bradley, A., Muste, M., Creutin, J.D., Wilson, M., 2008, Experimental System for Real-Time Discharge Estimation Using an Image-Based Method, *Journal of Hydrology*, 13(2), 105-110.
- Kim, C., Kim, W., Lee, C., Kim, D., 2006, Automatic Discharge Measurement Using the Velocity Index Method, KWRA Conference.
- Kim, D., Yang, S., Yu, K., 2012, Analysis of Loop-Rating Curve in a Gravel and Rock-bed Mountain Stream, *Journal of KWRA*, 45(9), 858-860.
- Kim, D., Yang, S., Jung, W., 2014, Error Analysis for Electromagnetic Surface Velocity and Discharge Measurement in Rapid Mountain Stream Flow, *Journal of Environmental Science International*, 23(4), 543-552
- Le Coz, J., Hauet, A., Pierrefeu, G., Dramais, G., and Camenen, B., 2010, Performance of image-based velocimetry (LSPIV) applied to flash-flood discharge measurements in Mediterranean rivers, *Journal of Hydrology*, 394 (1-2), 42-52.
- Muste, M., Kim, D., and Merwade V., 2012, Modern Digital Instruments and Techniques for Hydrodynamic and Morphologic Characterization of Streams, Chapter 24 in *Gravel Bed Rivers: Processes, Tools, Environments*, edited by Ashmore P., Bergeron N., Biron P., Buffin-Bélanger T., Church M., Rennie C. Roy A.M., Wiley, New York, NY.
- Mutronics, 2010, Electromagnetic Wave Surface Velocimetry for normal and low flow, patent No. 10-2010-89895.
- Ott, 2000, Radar sensor for contact free measurement of surface wave level, Kalesto.
- SonTek, 2010, RiverSurvyor M9/S5 Brochure.
- Yang, S., Kim, D., Jung, W., 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., Kim, D., Yu, K., Kang, M., Jung, W., Lee, J., Kim, Y., You, H., 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.