

ORIGINAL ARTICLE

## 다양한 유량 측정기기와 ADCP를 이용한 유량 비교 분석

지주연 · 박승용 · 이광우 · 박경민 · 황순홍 · 김동호 · 이영준\*

국립환경과학원 금강물환경연구소

### Analysis and Comparison of Flow Rate Measurements Using Various Discharge Measuring Instrument and ADCP

Ju-yeon Ji, Seung-yong Park, Gwang-woo Lee, Gyeong-min Park,

Soon-hong Hwang, Dong-ho Kim, Young-joon Lee\*

*Geum River Environment Research Center, Chungbuk 373-804, South Korea*

#### Abstract

Discharge data examine the process of hydrologic cycle and used significantly in water resource planning and irrigation and flood control planning. It makes high quality discharge data, they carry out research on standard and method of discharge measurement, and equipment improvement. Now various flow meters are utilized to make discharge data in Korea. However, accuracy of equipment and experimental research data from measurement are not enough. ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler) have been introduced and utilized for flow measurements since the end of 1980's.

ADCP flow method is a formal method for flow measurement can easily apply to relatively large rivers gradually recognized. This equipment can measure the non-contact three-dimensional velocity and water depth data very quickly and efficiently. Also, spatial and temporal resolution of the data is more accurate than any other flow measurement methods which measure flow rate by velocity - area measurement method.

In this paper, the velocity is measured using various flow meter and verified the effectiveness by applying from the ADCP in Geum-river. Various flow meters which are used for discharge measurements are VALEPORT002, FLOW TRACKER, PRICE AA and ADCP. The average of five times flow measurement result by ADCP was 10.412 m<sup>3</sup>/s, with a standard deviation of 0.68.

The repeat test by ADCP and comparison between ADCP and other flow devices to verify the most important factor, flow measurement accuracy. In the result, repeat test of the ADCP showed similar values, flow values were similar to other velocity device results and the average error is 7.7%.

**Key words** : Valeport002, Flow tracker, Price AA, ADCP

#### 1. 서론

유량자료는 물의 순환과정을 규명하고 효율적인 수자원 개발 및 이수·치수 계획 등에 매우 귀중하게

이용된다. 물 순환과정을 정량적으로 관측한 자료를 분석하여, 인간에게 필요한 물을 공급하고, 홍수로 인한 피해를 경감시키며, 깨끗한 수질을 유지하는 역할을 수행해야 한다. 고품질의 유량자료를 생산하여 수

Received 5 December, 2012; Revised 8 January, 2013;

Accepted 20 February, 2013

\*Corresponding author: Young Joon Lee, Geum River Environment Research Center, Chungbuk 373-804, Korea  
Phone: +82-43-730-5600  
E-mail: d8joony@korea.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.

문과정의 장기적 변화에 대한 과학적 연구수행 등이 수반되어야 한다. 수자원의 확보와 효율적인 관리는 정확한 조사에서 시작된다. 특히, 홍수기, 평수기, 저수기, 갈수기에 각각 적합한 방법을 선택하여 유량 측정을 수행한 자료가 정확해야 국가수자원 계획에 도움이 될 수 있는 중요한 자료가 된다.

최근 미국을 비롯한 수문관측의 선진국에서는 인력과 비용이 저렴하면서도 정확하게 유량을 측정하는 방법들을 선호하고 있다. 그 중 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용한 유량측정 방법은 1980년 말부터 하천유량 측정에 도입하여 널리 활용하고 있는 추세이다(Ade와 Nicodemus, 2001; Mueller, 2002). ADCP는 비접촉식으로 3차원 유속과 수심자료를 매우 효율적으로 빠르게 측정하며 그 자료의 공간 및 시간적 해상도는 기존의 유속측정방법과 비교하여 매우 세밀하다. ADCP를 이용한 유량측정 방법은 국내에서 사용되고 있는 유량측정방법인 유속·면적법에 비해 단시간에 유사한 정확도로 측정할 수 있을 뿐만 아니라 유속·면적법이 측정하기 어려운 갑조하천이나 대하천에도 비교적 쉽게 적용가능하여 평저수시 유량 측정을 위한 공식적인 방법으로 점차 인정을 받고 있다(Lee 등, 2005a; Lee 등, 2005b).

우리나라는 미국이나 유럽과는 다른 수문 환경과 하천조건을 가지고 있으므로 ADCP를 이용한 유량측정방법이 공인되기 위해서는 그 적용성과 효율성이 충분히 검토되어야 한다. 현재 국내에서는 다양한 유량측정기기를 사용하여 유량자료를 생산하고 활용하고 있으나, 측정기기별 정확도 및 실험적 측정성과에 대한 연구 자료가 미흡한 실정이다. 한국건설기술연구원에서 ADCP를 이용한 유량측정의 적용성과 효율성을 분석하였으나 아직 자료가 충분하지 못한 것으로 판단하여, 본 연구는 금강권역내의 소하천에서 현재 사용되고 있는 유속측정 기기인 Valeport002, Flow tracker과 Price AA를 사용하여 유량을 산정하였다. 유속·면적법에 따라 산정된 유량과 ADCP 자료의 정확도 등을 비교 분석하여 다양한 유량측정 방법 적용 및 활용에 그 목적이 있다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1. 대상지역의 현황

본 연구의 대상유역인 금강은 전라북도 장수군 서사면(소백산맥)에서 발원하여 충북과 충남을 거쳐 군산항으로 흘러가는 강으로 유역면적은 10,027.5 km<sup>2</sup>, 유로연장은 394.79 km에 해당한다. Fig. 1은 측정지점의 유역도로 측정지점은 금본C 단위유역에 포함되어 있으며 위치는 위도 35°99'31", 경도 127°61'79", 전라북도 무주군 무주읍 용포리 용포1교 상류 50 m로, 하류에는 무주남대천이 합류되고, 하상재로는 자갈토와 사질토이며, 우수 흐름은 일정한 편이다.

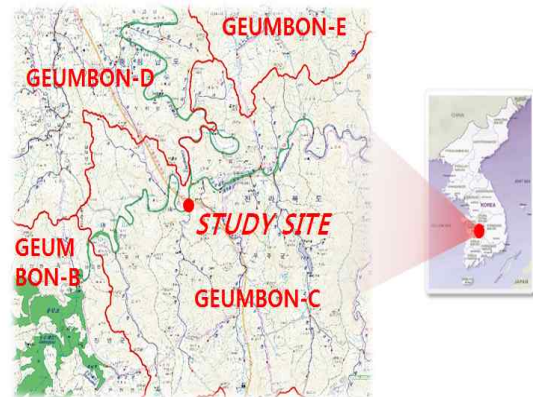


Fig. 1. Study Site.

### 2.2. 유량 측정방법

일반 하천의 유량측정 방법은 하천의 조건에 따라 방법을 달리하여 사용한다. 전통적인 방법으로는 크게 구조물에 의한 방법, 유속계 측정에 의한 유속 면적법, 부자에 의한 유속 면적법, 그리고 희석법 등으로 나뉜다. 이 연구에서는 그 중 가장 많이 사용되는 유속 면적법과 ADCP를 이용하여 유량을 측정·비교해 보았다. 유량측정을 위해서 필요한 기본적인 장비로는 유속계, 스태프 및 Tagline 장비가 있다. 또한 측정이 수행되는 방법(도섭, 케이블, 교각, 보트 이용 방법) 또는 수표면의 결빙에 따라서 추가적인 장비가 요구된다. 유량측정은 수질오염공정시험방법의 하천유량측정방법과 수문관측매뉴얼(MLTMA, 2004. 5) 등에 있는 일반적인 유량측정방법을 준용하였다. 유량측정기준으로 국외기준은 국제표준기구(ISO), 국제기상기

구(WMO), 미국지질조사국(USGS), 일본수문관측 등의 유량측정에 관한 국외 자료를 이용하고, 국내기준은 하천유량측정지침(과학기술부/국토해양부 수자원의 지속적 확보 기술개발 사업단, 2004. 10)과 유량조사사업단유량측정 과업지시서(국토해양부) 등의 국내자료에서 제시하는 등유량 5%내의 측선배분, 최소 측정시간 40초 이상, 0.2m/sec 미만 저유속일 경우 2분(120sec) 이상 등의 지침을 최대한 준수하였으며, 수계 단위유역별 측정지점의 하상 및 하천지형학적 특성에 적합하도록 구간을 구획하여 대상 지점에서의 수심과 하폭을 측정하였다.

유속측정에 사용되는 모든 장비는 항상 소정의 성능을 유지하도록 해야 한다. 회전식 유속계는 회전수에 대한 유속의 관계를 실험에 의해 만들어 회전수를 유속으로 환산하여 사용한다. 유속계의 검정은 정수에서 유속계의 사용범위를 벗어나지 않는 범위에서 여러 가지 속도로 활차를 움직여 다음과 같은 검정식을 세우게 된다.

$$V = aN + b$$

여기에서  $V$ 는 유속이며,  $N$ 은 1초당 회전수,  $a, b$ 는 계수이다. 또한 직독식 유속계 혹은 전자기 유속계 등에 대해서도 정기적인 검정을 시행하여 유속계의 지시값과 유속과의 관계를 정기적으로 점검하여 사용하여야 한다. 하지만 전자기 유속계의 경우 검정시에 센서의 방향이 활차의 이동방향과 정확히 일치하도록 주의를 기울여야 한다. 이 연구에 사용된 3가지 유속계는 한국건설기술연구원에 의뢰를 해 1년에 한 번씩 검보정을 받고 있다. 검보정시 도출된 검정식을 도입하여 유량을 구하고 있다. 그래서 나온 값이 Table 1에서 보는 검정식이다. Fig. 2는 유량을 측정하는 사진이다.



Fig. 2. Field-Flow Measurement.

### 2.2.1. Acoustic Doppler Current Profiler(ADCP)

유수의 흐름을 방해하지 않으면서 물속으로 일정한 주파수의 초음파를 전송하고 부유되는 입자들에 의해 산란되는 방향을 수집, 도플러효과를 이용하여 순간 유속을 측정하는 장비이다(Muste 등, 2004). 따라서 하천을 가로지르며 ADCP로 측정된 유속자료는 수십초 이상의 연속측정으로 얻어지는 시간평균 유속 자료와는 차이가 존재하며 다양한 시간 규모에서 나타나는 범위의 유속을 측정하고 공간적으로 이를 평균함으로써 시간적 순간성을 보완하는 특징을 갖고 있다(Yoo 등, 2007). ADCP를 이용하여 하천에서 유속을 측정하는 경우 보트에 고정시키거나 별도의 작은 부유체에 고정시켜 하천을 가로지르는 횡측선을 따라서 이동하며 측정한다. ADCP는 자체적으로 기기의 방향과 유속의 방향을 내장한 나침반에 의해 파악하며 하상으로 보낸 음파를 탐지하여 기기가 이동하는 경로와 수심을 자동으로 추적하는 기능을 갖고 있다. 이에 따라 일정한 시간 동안 이동한 거리와 단면적을 계산하고 음파에 의해 수집된 연직유속분포를

Table 1. Verification Equation of Various flow meters

Various flow meters	Valeport002	Flow Tracker	Price AA
Verification Equation	$V_a = 1.0518 \times V + 0.0036$ (m/s) (002Val)	$V_a = 1.0628 \times V - 0.0386$ (m/s) (ADV)	$V_a = 1.0417 \times V - 0.0205$ (m/s) (AA-03)
Verification Range	M002(P1,2,3) : $0.046 < V < 5.000$	ADV : $0.001 < V < 4.500$	프라이스(P1,2,3) : $0.03 < V < 7.6(AA)$
Verification Day	2012-07-31(M002)	2012-07-31(ADV)	2012-07-31(Price)
Measurement Method	Wading measurement	Wading measurement	Wading measurement

종합하여 유량을 계산한다.

#### 2.2.2. Flow Tracker Handheld-ADV(Acoustic Doppler Velocimeter)

초음파 또는 전자기 유도원리를 이용한 유속계로 도섭법으로만 사용이 가능하다. 유속을 정밀하게 측정할 목적으로 고안되었으며 측정범위는 0.1~4.5 m/s이고, 정확도는 0.001 m/s이다. USGS/ISO method에 바탕을 둔 자동산정 프로그램이며, 최저수심은 2 cm 이상이다.

#### 2.2.3. Price AA

수직축 유속계로 회전축이 연직방향인 유속계로 저유속부터 홍수시 중·고속 유속까지 측정이 가능하다. 초당 0.03~7.6 m/s의 유속 측정범위에서  $\pm 1\%$ 의 정확도를 보인다. 유량 표시범위는 0~28,000 m<sup>3</sup>/s이다.

#### 2.2.4. Valeport BFM 002

수평축 유속계로 회전축이 수평방향이며 측정범위는 0.046~5.0 m/s이다. 낮은 하천과 강, 바다 등 여러 곳에서 이용하고 있으며, 적은 유지비용으로 많은 곳에서 이용 중이다.

### 3. 결과 및 고찰

ADCP는 하천을 횡단하면서 단시간에 유속과 유량을 측정할 수 있는 장비로서 본 연구는 하천에서 ADCP로 유속과 유량을 측정하였으며, 동일한 지점에서 측정한 유속 면적법과 자료를 비교하였다. ADCP를 이용한 유량 측정에서 가장 중요한 일은 대상하천이 측정 접합한 곳인가를 판단하는 것이다. ADCP는 음파를 이용해 유속을 측정하므로 해당 기종의 주파수대역에 따라서 측정 가능한 최소, 최대 수심 범위가 결정된다. 고주파의 ADCP는 얇은 하천에서 적용되며, 저주파의 ADCP는 깊은 하천에서 적용된다. 따라

서, 측정에 사용된 ADCP는 Sontek사의 3,000 kHz RiverSurveyor ADCP로 고주파이며, 이것을 삼동선에 장착하여 측정하였다. 삼동선에 장착을 하면 흐름에 장애를 거의 주지 않고 고유속에도 흔들림이 없이 위치를 유지할 수 있다. 정밀도 측정을 위해 반복 측정은 5회 실시하였다. 또한, ADCP의 유속자료의 검증에는 Flow Tracker Handheld-ADV, Price AA, Valeport BFM 002 등 3가지 유속계로 측정하였다. 모든 측정은 2시간 내에 실시되었으며 하천의 폭은 32 m이고(ADCP 실측하폭은 29 m), 최대수심은 0.92 m, ADCP의 평균단면유속은 0.479 m/s이며 하천 유량은 약 10.412 m<sup>3</sup>/s이다. 횡단면 측정은 하천의 양쪽 제방을 연결한 선을 따라 ADCP를 삼동선에 탑재한 후 운용하면서 반복적으로 측정하였고 한번 횡단에 약 5분 정도 소요되었다.

Fig. 3은 Sontek사의 이동측정법 자료 취득 소프트웨어인 RiverSurveyor이며, 실시간으로 유속과 보트 경로, 단면 유속분포를 알 수 있는 자료이다. A는 Boat speed와 Boat/Water speed를 보여주고, B는 Pitch와 Roll로 각 좌표축에 대한 회전운동을 나타낸 것으로 종동요, 횡동요이며 C는 Bottom Track 깊이를 나타낸 것이다. D는 Boat의 이동경로를 보여주며, E는 하상 단면과 유속을 나타내는 그림으로 검은색 부분은 추정영역부분이다. 측정에 사용된 고주파의 ADCP는 수심을 조밀하게 분할하여 측정할 수 있으며, 공백거리가 감소하고 하상 부근 측정불가역도 감소하므로 얇은 하천에서 측정영역의 비율을 높일 수 있다. 측정영역의 비율은 단면 형태에 따라 크게 좌우되는데, ADCP 활용지침에 의하면 수면부근의 측정불가역의 비율이 40% 이상일 때 측정에 부적절한 단면으로 판단하는 바(Kim 등, 2008), 본 조사지점은 전체 단면 중 측정영역의 비율이 약 86%로 상당히 높은 것을 알 수 있다. 결과의 단면 형상을 보면 대칭적이며 수심이 얇고, 비

**Table 2.** The velocity is measured using various flow meter

Various flow meters	VALEPORT002	FLOW TRACKER	PRICE AA	ADCP
Average Discharge(m <sup>3</sup> /sec)	9.871	9.463	9.544	10.412
Average Flow velocity(m/s)	0.469	0.450	0.456	0.487
Section Flow Rate(%)	5.7	6.2	5.4	-
Area	21.033	21.033	20.933	22.452
Uncertainty(%)	3.06	3.08	3.06	0.97

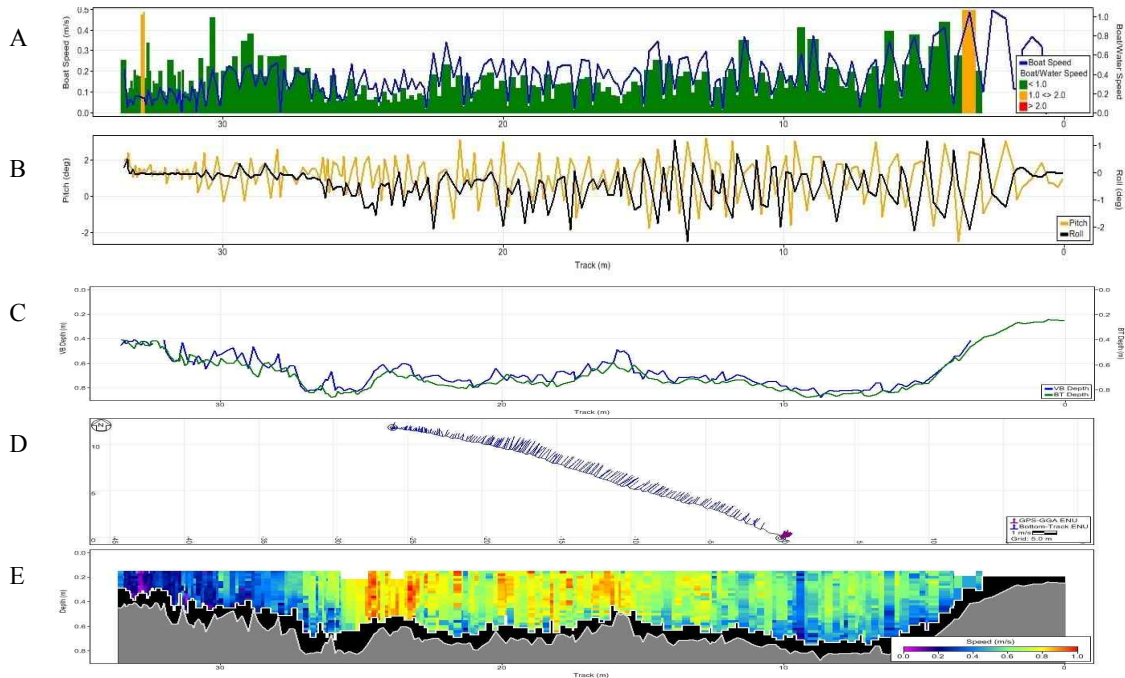


Fig. 3. Sontek's ADCP data acquisition of RiverSurveyor.

교적 균일한 단면을 보여주므로 하상이 고른 편이라 지점 선정이 잘 되었고, 보트의 운전도 큰 오차 발생 없이 잘 진행된 것을 알 수 있다.

유량측정은 ADCP는 5회 측정하였고, 나머지 기기는 두 번씩 측정하였다. 평균 유량은 표2에 나와 있는 것과 같이 Valeport002 9.871 m<sup>3</sup>/sec, Flow tracker 9.463 m<sup>3</sup>/sec, Price AA 9.544 m<sup>3</sup>/sec, ADCP 10.412 m<sup>3</sup>/sec 이다. 단면적과 평균유량은 ADCP가 조금 크게 나왔으며, ADCP의 특성상 직접적인 유속측정이 불가능한 추정역을 계산하여 유량을 산정하기 때문에 다른 기기보다 단면적이나 유량값이 조금 높게 나타난 것으로 판단되었다. 구간유량비도 8% 미만으로 측정되었고 불확실도도 비교 기기는 3%, ADCP는 1% 미만으로 값이 일정하게 측정되었다. 기기별 평균유속 차이는 2% 이내로 일정한 수준으로 측정되었다.

Fig. 4는 ADCP로 5번 반복측정한 결과이다. ADCP의 평균유량은 10.412 m<sup>3</sup>/s이며 유량 값의 평균오차를 보면 0.68%로 오차가 거의 없는 것으로 나타나 유량

관측의 정확도가 우수한 것으로 판단되었다. 본 관측에서도 볼 수 있듯이 ADCP는 난류가 강하지 않는 경우에 매우 정확함을 확인할 수 있었다.

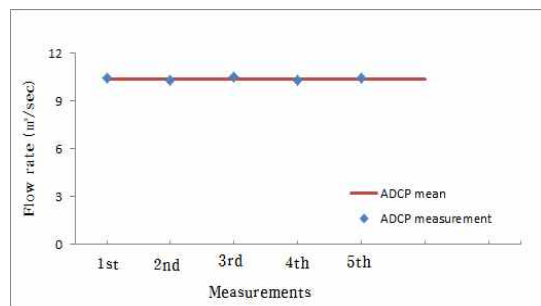


Fig. 4. Discharge measurement in Geum River by using ADCP.

ADCP, Flow Tracker Handheld-ADV, Price AA, Valeport BFM 002 유속계를 이용한 유량 관측값을 비교하면 Fig. 5와 같다. 그림에서 보듯 유량 값이 거의 유사하게 나타났다. ADCP에 의한 유량 측정결과



와 유속 면적법에 의한 유량 측정결과의 정확도는 약 96%이었다. ADCP의 평균유량은 10.412 m<sup>3</sup>/s이며, Flow Tracker Handheld-ADV는 9.463 m<sup>3</sup>/s로 산정되어 오차가 약 8.7%, Price AA는 9.544 m<sup>3</sup>/s로 오차가 8%, Valeport BFM 002와는 9.871 m<sup>3</sup>/s로 오차가 6.5% 발생되었다. 평균 오차를 보면 7.7% 정도로 기계오차를 반영하면 크게 문제되지 않을 것으로 판단되었다. 유속 측정에서 회전식 유속계와 초음파 유속계의 오차는 측정위치, 시간, 기계적 오차로 판단되어, 이 연구에 활용된 4개의 유속계는 거의 비슷한 유속값을 측정하는 것으로 판단되었다.

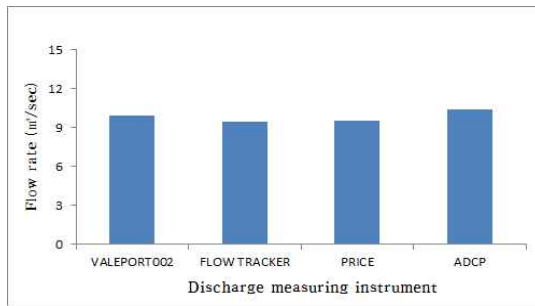


Fig. 5. Comparison of concurrent flow rate measurement in Geum River by using ADCP, Flow Tracker Handheld-ADV, Price AA, Valeport BFM 002, respectively.

#### 4. 결론

ADCP는 하천을 횡단하면서 단시간에 유속과 유량을 측정할 수 있는 장비이다. 본 연구에서는 ADCP를 이용한 하천 유량측정 가능성을 검증하기 위하여 두 가지 실험을 수행하였다. 결과의 정확도를 위해 ADCP 반복 측정을 시행하였고, 현장 적용성 검증을 위해 현재 국내하천에서 많이 이용되고 있는 유속계 중 Flow Tracker Handheld-ADV, Price AA, Valeport BFM 002를 동일지점, 동일시기에 적용하여 유량을 측정하였다.

ADCP로 유속을 반복 측정한 결과 평균유량오차는 0.68%로 5회 측정결과의 정밀도가 매우 높았다. 실제 유속계 기기가 가지고 있는 고유의 기계 오차 값 범위 이내로 오차가 발생하지 않는 것으로 판단해도 될 정도로 결과 값의 신뢰도가 높은 것은 알 수 있다. 이는

기존의 유량측정기기로 관측하기 힘든 지점이나 홍수 시 교차 분석을 해도 결과 값을 신뢰할 수 있는 근거가 될 수 있다. 또한, 다양한 유량측정기기와 비교한 결과 유사한 측정결과가 도출되었다. 다른 기기들과 비교하여 나온 결과를 볼 때 유량이 비슷하여 바로 현장에 투입하여 측정된 결과를 이용해도 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

그러나 이러한 성과는 저수위의 안정적인 흐름조건 및 특정 현장 조건에 한정된 결과이다. 홍수 시나 ADCP기기의 종류에 따라 상이한 결과가 도출될 수 있으므로 실제 하천의 적용범위를 고려하여 선정하는 것이 양질의 측정 성과를 얻는 데 매우 중요하게 작용한다.

#### 참고 문헌

- Adler, M., Nicodemus, U., 2001, A new computer model for evaluation of data from acoustic doppler current profile(ADCP), *Physics and Chemistry of the Earth(C)*, 26(10-12), 711-715.
- Cha, J. H., Kim, D. G., Kim, W., Yoon, K. S., 2002, Uncertainty Analysis in How Measurement Data, *Magazine of Korea water resources association*, 36(6), 989 - 994.
- Hwang, S. H., Kim, C. Y., Jung, S. W., Kim, W., 2006, Improvement to the Methods of Discharge Computation from Float Measurements, *Journal of Korea water resources association* 2006, 852-857.
- Kim, D. S., Kang, B. S., 2011, Validation of Assessment for Mean Flow Field Using Spatial Averaging of Instantaneous ADCP Velocity Measurements, *The Korea Environmental Sciences Society*, 20(1), 107-118.
- Kim, E. S., Choi, H. I., 2009, Verification and Application of Velocity Measurement Using Price Meter and ADCP, *Korean Society of Hazard Mitigation*, 9(3), 101-106.
- Kim, W., Kim, D. G., Kim, C. Y., Park, E. H., Lee, C. J., 2008, ADCP Users Practical Guidance.
- Lee, C. J., Kim, D. G., Kim, C. Y., Kim W., 2005a, Velocity and Discharge Measurement using ADCP, *Journal of Korea Water Resources Association*, 38(10), 811-824.

- Lee, C. J., Kim, D. G., Kim, C. Y., Kim, W., 2005b, A Study on the Applicability and Efficiency of Discharge Measurement by ADCP in Korean Rivers, Journal of Korea Water Resources Association, 2005 May 01, 1133-1137.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2004. 5, Stream Discharge Measurement Methods and Hydrologic Manual of Standard Method.
- Ministry of science and Technology/Ministry of Land Constantly secured of Water Resources R&D Center, 2004. 10, Streamflow Measurement Guide Line.
- Mueller, D. S., 2002, Field assessment of acoustic doppler based discharge measurements, Hydraulic Measurement & Experimental Methods, ASCE-IAHR Joint Conference, Estes Park.
- Muste, M., Gonzalez-Castro, J. A., Yu, K., Kim, D., 2007, Accuracy of ADCP discharge measurements for rating of flow-control structures, IIHR Report, IIHR-Hydroscience & Engineering, The University of Iowa, Iowa City, IA.
- Muste, M., Vermeyen, T., Hotchkiss, R., Oberg, K., 2007, Acoustic Velocimetry for Riverine Environments, Journal of Hydraulic Engineering, 115, 925-936.
- Muste, M., Yu, K., Pratt, T., Abraham, D., 2004, Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics; part II : Fixed-vessel measurements, Journal of Flow Measurement and Instrumentation, 15(1) 17-28.
- Muste, M., Yu, K., Spaspjevic, M., 2004, Practical aspects ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics; part I : moving-vessel measurement. Flow measurement and instrumentation, 15(1), 1-6
- RDI, 1996, Acoustic Doppler Current Profilers-Principle of operation, A Practical Primer, San Diego, CA, RD Instruments.
- SonTek, 2000, Doppler Velocity Log for ROV/AUV Applications, SonTek Newsletter, 15(1), SonTek, San Diego, CA.
- Yoo, M. W., Kim, Y. D., Lyu, S. W., Seo, I. W., 2007, Study on Flow rate Measurement of River using ADCP, Journal of Korean Society on Water Environment 2007 April 20, 1083-1087.