

다양한 첨단 유량 계측기기를 활용한 제주도 하천 유출 비교 분석

양성기 · 김동수^{1)*} · 정우열 · 류권규²⁾

제주대학교 토목공학과, ¹⁾단국대학교 토목환경공학과, ²⁾동의대학교 토목공학과
(2011년 5월 4일 접수; 2011년 5월 15일 수정; 2011년 6월 7일 채택)

Analysis and Comparison of Stream Discharge Measurements in Jeju Island Using Various Recent Monitoring Techniques

Sung-kee Yang, Dong-su Kim^{1)*}, Woo-yul Jung, Kwon-kyu Yu²⁾

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

¹⁾*Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University, Yongin 448-701, Korea*

²⁾*Department of Civil Engineering, Dong-eui University, Busan 614-714, Korea*

(Manuscript received 4 May, 2011; revised 15 May, 2011; accepted 7 June, 2011)

Abstract

Different from the main land of South Korea, Jeju Island has been in difficulties for measuring discharge. Due to high infiltration rate, most of streams in Jeju Island are usually in the dried state except six streams with the steady base flow, and the unique geological characteristics such as steep slope and short traveling distance of runoff have forced rainfall runoff usually to occur during very short period of time like one or two days. While discharge observations in Jeju Island have been conducted only for 16 sites with fixed electromagnetic surface velocimetry, effective analysis and validation of observed discharge data and operation of the monitoring sites still have been limited due to very few professions to maintain such jobs. This research is sponsored by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs to build water cycle monitoring and management system of Jeju Island. Specifically, the research focuses on optimizing discharge measurement techniques adjusted for Jeju Island, expanding the monitoring sites, and validating the existing discharge data. First of all, we attempted to conduct discharge measurements in streams with steady base flow, by utilizing various recent discharge monitoring techniques, such as ADCP, LSPIV, Magnetic Velocimetry, and Electromagnetic Wave Surface Velocimetry. ADCP has been known to be the most accurate in terms of discharge measurement compared with other techniques, thus that the discharge measurement taken by ADCP could be used as a benchmark data for validation of others. However, there are still concerns of using ADCP in flood seasons; thereby LSPIV would be able to be applied for replacing ADCP in such flooded situation in the stream. In addition, sort of practical approaches such as Magnetic Velocimetry, and Electromagnetic Wave Surface Velocimetry would also be validated, which usually measure velocity in the designated parts of stream and assume the measured velocity to be representative for whole cross-section or profile at any specified location. The result of the comparison and analysis will be used for correcting existing discharge measurement by Electromagnetic Wave Surface Velocimetry and finding the most optimized discharge techniques in the future.

Key Words : Jeju Island, Discharge, ADCP, LSPIV, Magnetic Velocimetry, Electromagnetic Wave Surface Velocimetry

*Corresponding author : Dong-su Kim, Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University, Yongin 448-701, Korea
Phone: +82-31-8005-3611
E-mail: dongsu-kim@dankook.ac.kr

1. 서론

제주도 하천은 한라산을 중심으로 경사가 급한 남·북부 지역에 지방하천과 소하천을 포함하여 총 143개가 분포하고 있다. 동부 및 서부 지역은 사면경사가 완만할 뿐만 아니라 비교적 평탄한 용암대지로 이루어져 있어 하천의 발달이 미약한 편이다(양, 2007). 제주도의 하천은 우리나라 내륙과는 달리 유량 관측에 상당한 어려움이 있어 왔다. 투수성이 매우 높은 지질학적인 특성으로 인해 6개의 상시하천을 제외하고 평상시는 대부분 건천을 이루고 있다. 강우에 의한 유출 발생 시에도 급한 하상 경사와 짧은 유하거리 등의 수문지질학적 특성으로 인해 특정한 강우강도에 의해 발생한 후 1~2일 정도만 지속되어 유출측정 자체가 난해한 지역이다(정과 양, 2009; 한과 양, 2009). 현재 제주도내 하천 유출 관측은 16개 관측 지점에서 전자파 표면 유속계를 이용하여 실시되고는 있으나 전문 인력의 부족과 효과적인 관측 자료의 해석, 운용 및 검·보정 등에 많은 어려움이 있는 실정이다.

최근 20여 년 동안 전기·전자, 컴퓨터 그리고 관측 기법의 비약적인 발전은 하천의 다양한 유동현상을 측정하고 정밀하게 도시 해주는 디지털 관측기기들의 개발을 선도하여 왔다. 새로이 등장한 다양한 관측기기들은 기존의 음파(acoustic), 전자기적 파동(light), 자기장(electromagnetic field) 그리고 이미지 분석(image processing) 기법을 디지털 기술과 결합하여 측정기기에 발전적으로 적용하였다. 이들은 하천의 유량과 유동현상을 관측하는 능력을 급속도로 향상시켜 왔으며 광범위한 유역에서 매우 상세한 정보를 신속, 정확, 저렴하게 취득 가능하게 하여 하천 유동해석을 현장관측만으로 가능하게 하는 혁신적인 변화의 가능성을 보여주고 있다. 이러한 기술의 급격한 진보와 새로운 유량측정 기법에는 초음파 관측기기인 ADCP, 이미지 기법을 활용한 LSPIV, 자기장의 변화를 활용한 자기유속계, 전자기파의 도플러 효과를 이용한 전자파표면유속계가 있다. 이 연구에서는 이러한 다양한 관측기법을 제주도 하천에 동시에 적용하여 관측기기의 정확도와 현장 적용성을 검토하고자 하였다. ADCP는 유량 관측의 정확도가 다른 계측 기기보다 상대적으로 우수하다고 알려져 있어 다양한

유량 관측 결과를 보정하는 기준으로 사용되었다. 그러나 홍수 유출의 경우 대부분의 현장에서 관측이 매우 난해하므로 이 경우 원격 관측된 영상을 활용한 LSPIV 기법이 대안으로 채택이 되었다. LSPIV 기법은 하천재해의 방재 목적으로 최근에 다량으로 설치된 CCTV를 활용하여 유량 계측에 확대하여 적용할 목적으로 시험관측이 실시되었다. 또한, 하천 단면의 일부 지점에서 유속을 계측하는 자기유속계와 전자파 표면유속계로 유량을 계산하여 ADCP와 LSPIV로 관측한 유량과 비교·검토하였다. 비교·분석 결과는 기존의 전자파표면유속계의 측정 오류를 보정하고 향후 제주형에 하천유출에 최적화된 유량의 측정방식을 선정하는 데 사용될 것으로 기대된다.

이와 같이 최근 개발된 네 가지 방식의 관측기기를 동시에 적용하여 실제 유량을 계측하고 비교한 성과는 현재 국내에서도 매우 드문 편이다. 따라서 이들 각 계측기들의 기법 및 성능과 현장 적용가능성을 평가하는 데 중점을 두어 관측을 실시하는 것은 후속 관련 연구의 방향설정과 관측기법의 선정에 참고 될 수 있을 것이다. 그리고 이들 최신 유량 관측 기법을 활용하여 유량을 구하는 수학적 인식의 소개 등 자세한 부분보다는 관측기기들의 개괄적인 원리와 하천 현장에의 적용성에 대한 검토도 필요하다.

이 연구는 국토해양부 지역기술혁신 연구사업의 일환으로 수행중인 제주형 물순환 해석 및 수자원 관리 기반구축 연구(양, 2011)의 일환으로 제주도에 적합한 유량 측정 방식의 도입과 관측점의 증설 및 기존 유량측정 자료를 검·보정하는데 있다. 이를 위해 우선 다양한 유량 계측 기법을 활용하여 상시하천에서 유량 관측을 실시하고 이들 계측기들의 측정치를 상호 비교하여 기존 방식으로 관측된 유량을 검·보정하여 제주도 하천유출의 특성을 개괄적으로 파악한다.

2. 사용된 유량 계측 방식

2.1. Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

1980년대 이래 음파 속도측정기(ADCP)들의 등장은 하천에서의 수리동역학적인 특성을 규명하는 능력을 급속히 향상시켜왔다. ADCP는 비접촉식으로 3차원 유속과 수심자료를 매우 효율적이고 빠르게 측정

하며 그 자료의 공간 및 시간적 해상도는 기존의 전통적인 속도측정방법과 비교하여 매우 세밀하다. ADCP를 활용한 유량관측은 현존하는 유량 관측 기법 중 매우 정확한 기법으로 알려져 있으며 미국의 경우 지리조사국 (USGS)에서의 약 57%의 유량관측소에서 수위-유량 곡선 구성을 선박, 케이블, 교량 등에서 실시한 ADCP 관측을 통해 이루어지고 있으며 그 비중은 계속 높아지고 있다 (Muste 등, 2007). 기계식의 프로펠러미터가 하천의 한 지점에서의 유속을 제한적으로 측정하는 반면에 ADCP는 선박에 장착해 횡단 운항함으로써 하천 단면의 수천~수만 지점에서 3차원 유속을 매우 신속하게 측정하여 제공한다. ADCP는 20~30도 정도 기울어진 3~4개의 빔을 기하학적으로 위치시키고 (Janus Configuration) 약 200 kHz~3 MHz 분포의 초음파를 발사하여 하천의 부유물질에 반사된 음파의 도플러 편차를 이용하여 주어진 깊이 (2~100 cm) 단위로 빔 진행방향의 유속을 측정하고 각각의 빔에서의 유속을 수학적으로 전환하여 3차원 유속을 측정한다(RDI, 1996; SonTek, 2000). 그리고 각각의 빔에서 부가적으로 수심 정보도 제공한다.

본 논문에서 ADCP를 활용한 유량관측은 LSPIV 등 다른 유량 관측 방식의 정확도를 가늠하는 척도로 사용되었다. 본 연구에서는 ADCP 중 SonTek사의 RiverSurveyor M9이 사용되었다. RiverSurveyor M9은 다양한 ADCP 기기들 중 저수심과 고수심 모두에 사용하도록 설계되었고 수심측정기를 별도로 장착한 9개의 빔으로 구성되어있다. 유속 측정 가능 수심은 40 m이고 수심은 80 m까지 측정 가능하고 유속은 최고 20 m/s까지 깊이 방향으로 최소 2 cm부터 최대 4 m 마다 3차원 유속을 측정 가능하다 (SonTek, 2010). ADCP는 일반적으로 소형 선박에 탑재되어 교량 등을 활용하여 하천을 횡단하여 단면의 상세 유속 및 수심을 측정한 후 소프트웨어를 이용하여 유량을 계산한다. 본 현장관측에서는 원격으로 제어할 수 있는 DataPCS사의 R2V2 (이, 2009)에 RiverSurveyor M9을 탑재하여 유량을 계측하였다.

2.2. 이미지 표면유속계 (Large Scale Particle Image Velocimetry)

ADCP가 주어진 3차원 하천 단면에 분포한 점에서

의 순간적인 유동속도를 제공하는 반면 수표면의 연속된 이미지를 바탕으로 한 이미지 유속계 (Large Scale Particle Image Velocimetry; LSPIV)는 2차원 공간에 분포한 유동장을 동일한 시점에서 자세히 제공할 수 있다 (Creutin 등, 2002). 이 개념은 기존의 실험실에서 사용된 PIV방식을 현장으로 확장한 기법으로 1990대 중반에 최초로 도입되었다 (Aya 등, 1995). 그리고 수표면 유속장과 별도로 측정된 수심자료를 기반으로 실시간으로 유량정보를 제공할 수 있다 (Hauet 등, 2008). 이미지 유속계는 비접촉식으로 인해 특히 홍수시의 접근 위험 지역의 유속장을 안전하게 측정하는 데 장점이 있다.

2.3. 전자파표면유속계 (Electromagnetic Surface Current Meter)

전자파표면유속계는 약 10GHz의 마이크로웨이브를 수표면에 전송하여 흐름 표면에서 산란되어 반송되는 신호의 도플러 변위를 측정하여 흐름 방향의 표면 유속을 산출하는 방식이다. 그리고 측정된 표면유속을 표면유속과 평균유속 보정계수 (일반적으로 0.85)를 적용하여 평균유속을 간접 계산하고 미리 관측된 단면 면적자료와의 곱으로 유량을 산출한다. 기존 유속계와 비교할 때 비접촉식으로 비교적 안전하고 홍수기 등의 유량이나 유속값이 평소보다 매우 클 경우나 야간 관측에 유용하게 활용될 수 있다 (정, 2002). 전자파표면유속계의 도플러 변위와 이를 활용한 유속 측정 공식은 다음과 같다 (Lee와 Julien, 2006).

$$f_d = \frac{2v_{wsv} \cos\theta \cos\phi}{\lambda} \tag{1}$$

여기서 f_d = 도플러 변위, v_{wsv} = 표면 유속, λ = 전자파 파장, θ = 수표면과 전자파 입사각도 (부각), ϕ = 평면에서 흐름방향과 전자파 입사각의 차이 (편각)이다. 전자파표면유속계를 활용하여 단면 방향으로 단수 및 복수 지점에서의 유속을 측정하여 유량을 계산한다. 국내에서는 수자원공사에서 실용화를 연구하여 상용화하였고 (한국수자원공사, 1998), 민간

업체에 기술 이전되어 평갈수용 전자파표면유속계(MU2720)로 성능이 향상되었다(뮤트로닉스, 2010). 가능 측정 유속범위는 0.03~20.0 m/s 이며 이동형으로 사용될 수 있다. 제주도에서는 Ott사의 Calesto (Ott, 2000)가 고정형 유속 및 수위 계측기기로 10여 군 데 설치되어 있고 이동형 전자파표면유속계와 동일한 원리로 작동하고 있다(제주발전연구원, 2009). 본 논문의 목적 중의 하나가 제주도에 이미 설치 및 운영되고 있는 고정형 전자파표면유속계(Calesto) 이용 유량을 검정하는데 있다. 하지만 현장 계측이 이루어진 시점에 일정한 유속이 존재하는 상시하천은 매우 드물었으며 고정형 전자파표면유속계가 상시하천에 설치되지 않았다. 따라서 동일한 원리로 운용되는 이동형 전자파표면유속계로 상시하천에서 유량을 관측하여 ADCP 등 다른 유량계측기기를 활용한 유량과 비교 검토하여 그 결과로 고정형 전자파표면유속계의 정도를 가늠하고자 한다.

2.4. 자기유속계(Magnetic Current Meter)

자기유속계는 전통적인 프로펠러 유속계와 마찬가지로 직접 흐름과 접촉하여 유속을 측정하는 방식이다. 본 논문에서는 도입된 최신 유량 계측 기법인 ADCP, LSPIV, 초음파표면유속계와 전통적인 방식으로 계측한 유량을 비교함을 목적으로 한다. 사용된 자기유속계는 Marsh-McBirney 사의 Flo-mate model 2000 이다. 자기유속계는 전자기 유도법칙인 페러데이 법칙을 이용하여 유속을 측정한다. 페러데이 법칙은 도체(conductor, 이 경우 유체)가 자기장을 횡단하여 이동할 때 전압(voltage)이 산출되는 데 이 전압은 도체가 자기장을 통과하여 이동하는 속도에 비례한다는 물리적 특성을 의미한다. 그리고 흐름방향에 위치한 센서가 자기장을 형성하고 유체의 흐름에 의한 전압 변화를 감지하여 유속으로 변환한다(Marsh-McBirney, 1990).

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 흐름이 지속적으로 존재하는 남제주의 상시하천인 연외천에서 2절에서 설명한 4가지 유량관측기법을 이용하여 유량을 동시에 관측하였다.

연외천의 경우 천지연 폭포 하류에 위치하여 수량이 비교적 풍부하였다.

ADCP를 이용하여 연외천 하류에 위치한 징검다리의 상하류에서 측정된 단면 유속 및 수심 자료는 다음과 같다. 수심은 약 1 m 내외였으며 하천 폭은 약 20 m이다. 단면 평균 유속은 약 2~3 cm/s이다. 하천 단면을 따라 평균 300개 지점에서 3차원 유속분포를 깊이 방향으로 10 cm 마다 측정이 되었다. 징검다리 하류의 경우 바닥 조도가 거칠고 징검다리에서의 낙차로 인해 난류가 심해 반복 관측된 유량에서 다소 오차가 존재하였다. ADCP를 활용한 전체 평균 유량은 0.3 m³/s 정도로 나타났다. ADCP는 흐름의 난류가 강하지 않는 경우 매우 정확하다고 알려져 있어 다른 관측 기법의 정확도를 점검할 수 있는 기준 자료로 사용될 수 있다. 본 관측의 경우, 상시하천으로 비교적 저유속의 안정화된 흐름의 관측으로 ADCP 유량 관측 결과는 신뢰도가 매우 높다고 할 수 있다.

LSPIV 기법 적용을 위해 비디오 캠코더를 하천변에 설치하여 측면으로 수표면의 흐름을 녹화하였다. LSPIV 기법은 수표면 유속만 계측하므로 유량 계산에 필요한 단면 자료는 별도의 측량 자료를 이용해야 한다. 본 연구에서는 ADCP의 수심관측 자료를 활용하여 LSPIV의 유량 계산에 필요한 단면 수심을 공간 보간하여 취득하였다. 그리고 측면에서 영상을 관측하여 분석을 위한 수직사진과 실제 거리와의 축척을 계산할 목적으로 6개의 참조점을 측량하였다. 참조점 측량은 광과거리측정기(Total Station)를 활용하였다. 후처리 소프트웨어는 입력된 참조점과 연속된 영상을 바탕으로 표면유속을 계산하고 단면 수심 자료와 고려하여 유량을 계산한다. 계산된 유량은 0.334 m³/s로 나타났다.

자기유속계를 활용하여 연외천 징검다리 상류부분의 유량 관측도 실시되었다. 자기유속계는 좌안으로부터 25개의 지점에서 직접 흐름 속에 위치하여 유속 및 깊이를 계측하였다. 유속은 수표면에서 대략 60%의 위치에서 관측되었다. 관측된 단면 수심은 최대수심 1.41 m, 최소 수심 0.29 m이었고 전체 유량은 0.31 m³/s로 나타났다. 자기유속계는 접촉식으로 관측자가 물속에 직접 들어가 관측을 실시하는 경우가 많아 유속이 매우 빠르고 수심이 깊은 경우 적용하기 어려운

단점이 있다. 하지만 저수위에서 지류 등의 유속을 편리하게 관측할 수 있고 사용 방법이 간편하여 추후 상시하천 등의 유량 관측에 사용가치는 여전히 높다고 하겠다.

이동형 전자파표면유속계를 활용한 유량 계측은 단면을 따라 많은 지점들의 유속을 계산하여 지점 유량을 합산하는 방식으로 단면 전체 유량을 산정하는 방식이 보다 정확하다고 하겠다. 하지만 본 논문에서 거의 동일한 원리로 작동하는 이동형 전자파표면유속계로 제주도에 다수 설치되어 있는 고정형 전자파표면유속계가 한 지점의 유속값을 대표값으로 유량을 계산하는 방식을 채택하였고 그 결과를 검증할 목적이므로 이동형 전자파표면유속계도 하천 단면 중앙의 유속을 대표값으로 계측하여 유량을 계산하였다. 이동형 전자파표면유속계는 연의천 하루 징검다리 상류 부분의 하천 중앙 부분의 한 지점의 유속을 관측하였다. 전자파 입사각도는 약 19도이며 편각은 0도일 때 관측된 표면 유속은 약 0.132 m/s로 나타났다. 이 값을 유속 관측의 대표값으로 하고 단면적으로 자기유속계 측정값 14.15 m²과 단면평균속도 보정계수로 0.85를 활용하면 계산된 유량은 1.59 m³/s로 나타났다. 이 값은 다른 유량 계측 방식과 비교할 때 약 5배 정도 높은 유량 관측값을 보여주고 있다.

ADCP, LSPIV, 자기유속계, 이동형 전자파표면 유속계를 이용한 유량 관측값을 비교하면 아래의 Fig.1 과 같다. 그림에서 보듯 상시하천에서 ADCP, LSPIV, 자기유속계의 관측값은 거의 유사하게 나타났으나 전자파표면유속계의 유량 관측값은 과대 산정되었음을 알 수 있다. 이 결과는 비접촉식으로 제주도 유량관측에서 광범위하게 활용할 계획인 LSPIV 기법의 유량 관측 정확도가 상시하천에서 매우 높게 나왔다는 사실을 보여주고 있다. 하지만 현재 이용되고 있는 한 지점의 대표 유속값을 이용하는 전자파표면유속계의 유량은 과다하게 산정될 수 있음을 보여주고 있다. 이는 전자파표면유속계의 유속 측정값 자체도 다소 과다 산정되고 특히 한 지점의 대표 유속을 유량 계산에 산정될 때 보다 많은 오차가 포함될 수 있음을 의미한다.

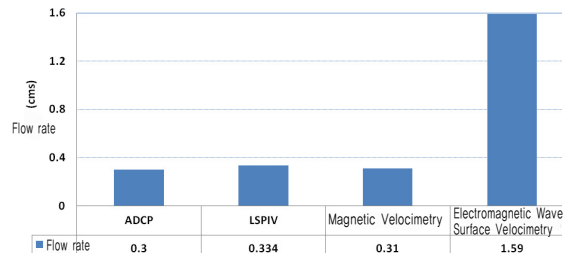


Fig. 1. Comparison of concurrent discharge measurement in Yunoi stream by using ADCP, LSPIV, Magnetic Velocimetry, Electromagnetic Wave Surface Velocimetry, respectively.

4. 결론

본 연구를 통해 제주도 상시하천에서 ADCP, LSPIV, 자기유속계, 전자파표면유속계를 동시에 적용하여 유량계측을 실시하여 상호 비교해 보았다. 이러한 성과는 물론 저수위의 안정적 흐름조건 및 제주도라는 특정 현장 조건에 한정된 결과로 홍수 시나 급경사, 표면조도의 정도, 부유물질의 유무에 따라 상이한 결과가 도출될 수 있다. 하지만 본 연구의 성과는 현재 국내 현장에서 본격적으로 활용되고 있는 이러한 최신 관측기법들의 결과를 비교 및 평가한 결과를 향후 다른 조건에서의 비교 평가에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 제주도의 경우 짧은 유하거리, 높은 투수율, 급경사, 높은 조도계수 등으로 홍수기의 유량을 관측하여 수문 곡선을 취득하는 데 기존의 접촉식의 방식으로 유량관측 방식을 사용하는데 지금까지 어려움을 겪어왔다. 따라서 채택된 비접촉식의 고정형 전자파표면유속계의 활용은 본 연구 결과로 볼 때 상당한 오차를 보여 좀 더 엄밀히 연구되고 그 결과값의 검·보정하는 방법의 개발이 필요하다고 하겠다. 한편 비접촉식 유량 계측 방식으로 이미 다수 설치되어 있는 CCTV 영상에 LSPIV 기법을 적용하는 방식을 현재 적극적으로 고려하고 있다. 본 연구는 그 일환으로 LSPIV 기법의 적용성을 검토하였고 상시하천에서는 매우 우수한 정확도를 보여주고 있음을 알 수 있었다. 물론 야간이나 홍수기 관측결과나 본 연구에서 사용된 비디오 캡코더 대신 CCTV 영상을 활용했을 경우 도출되는 결과도 추후 검증할 계획이다. ADCP의 경우도 홍수기의 경우 여타 유량 측정방식의 검증자료

로 사용될 수 있는 지를 홍수기 관측을 통해 분석되어야 하고 과도한 난류로 인한 속도 관측값의 필터링 작업을 실시하여 유량관측의 정확도를 높이는 작업이 필요하다고 하겠다. 향후 제주도의 다양한 지점에서 현장 조건에 맞는 유량관측방식을 적용하여 지속적으로 제주도 표면유출에 대한 수문조사를 광범위하게 실시할 예정이다. 본 연구의 접근방식은 다양한 조건에서 반복 시행될 예정이며 그 결과는 국내에 관련 유량관측기술의 적용에 있어 비교 가능한 선행 연구가 될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업 “제주 수자원 연구단((10지역기술혁신802)”의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- 뮤트로닉스, 2010, 평갈수용 전자파표면유속계, 특허출원 10-2010-89895.
- 양성기, 2011, 제주형 수자원 관리기반 구축 기본 방향. 제 19회 세계 물의 날 기념 제주도 수자원 관리를 위한 인프라 구축 워크샵, 9-19.
- 양성기, 2007, 제주도의 하천관리와 개선방안, 하천과 문화, 한국하천협회, 3(4), 104-115.
- 이종국, 2009, 유비쿼터스 물순환 모니터링 기술, 수자원학회 학술기사, 제 57권 12호, 121-126.
- 정우열, 양성기, 2009, SWAT 모형을 이용한 제주도 하천의 유출량 모의, 한국환경과학회지, 18(9), 1045-1055.
- 정성호, 2002, 전자파표면유속계를 이용한 홍수기 유량 측정에 관한 연구, 석사학위논문, 밀양대학교 산업대학원.
- 제주발전연구원, 2009, 제주지역 하천유출수 활용을 위한 수문 및 수질특성 기초연구, 정책연구 2009-11, 3-4.
- 한국수자원공사, 1998, 전자파표면유속계 실용화 연구, WRRRI-기획-98-3, 1-2.
- 한웅규, 양성기, 2009, SWAT 모형에 의한 제주도 외도 유역의 토지이용변화에 따른 유출량 산정, 한국환경과학회지, 18(9), 1057-1063.
- Aya, S., Fujita, I., Yagyu, M., 1995, Field Observation of Flood in a River by Video Image Analysis, Proceedings of Hydraulic Engineering, JSCE, 39, 447-452.
- Creutin, J. D., Muste, M., Li, Z., 2002, Traceless Quantitative Alternatives for Measurements in Natural Streams, Proceedings Hydraulic Measurements & Experimental Methods, ASCE-IAHR Joint Conference, Estes Park, CO (CD-ROM).
- Haut, 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.
- Lee, J. S., Julien, P. Y., 2006, Electromagnetic Wave Surface Velocimetry, Journal of Hydraulic Engineering, 132(2), 146-153.
- Marsh McBirney, 1990, Flo-Mate Model 2000 Portable Flowmeter Instruction Manual, FMM2000FIM(00-21-5525), Marsh McBirney co.
- Muste, M., Vermeyen, T., Hotchkiss, R., Oberg, K., 2007, Acoustic Velocimetry for Riverine Environments, Journal of Hydraulic Engineering, 115, 925-936.
- Ott, 2000, Radarsensor for contact free measurement of surfacewave level, Kalesto.
- RDI, 1996, Acoustic Doppler Current Profilers - Principle of operation, A Practical Primer. San Diego, CA, RD Instruments.
- SonTek, 2010, RiverSurveyor M9/S5 Brochure.
- SonTek, 2000, Doppler Velocity Log for ROV/AUV Applications, SonTek Newsletter, 6(1), SonTek, San Diego, CA.