



4대강 다기능보 운영을 고려한 자동 유량 측정 시스템 적용 하천 유량 관측



이 상 진 |
한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소
책임연구원
sjlee@kwater.or.kr



박 재 영 |
한국수자원공사 기술지원센터 센터장
jyp@kwater.or.kr



고 덕 구 |
한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소
소장
dkkoh@kwater.or.kr

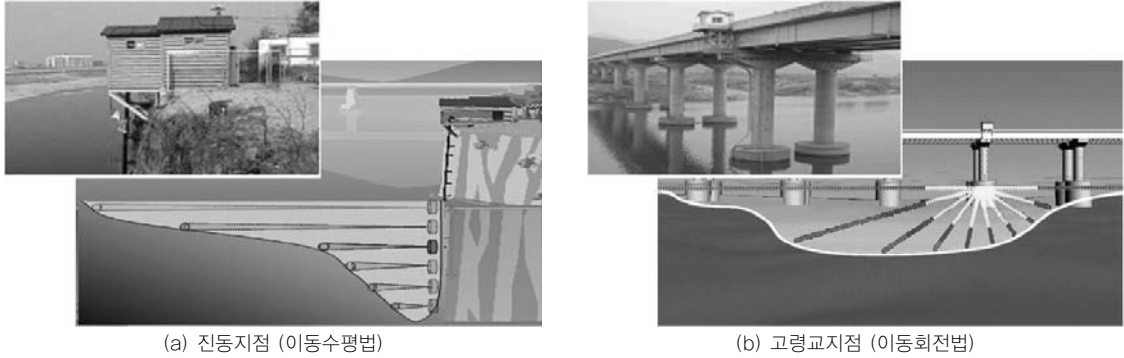
1. 서 언

산업, 문명의 발달과 더불어 최근 관심이 높아지고 있는 지구온난화 및 기후변화의 영향 등으로 인하여 국내뿐만 아니라 국제사회에서도 유역의 물이용 관리에 대한 관심이 어느 때보다 높은 시점이다. 우리나라 국가 수자원 계획으로 추진되고 있는 4대강 살리기 사업도 이와 같은 수문 환경적 조건에 부응하여 합리적인 물 관리 방안을 찾으려는 노력의 일환일 것이다. 한정된 수자원을 효율적이고 합리적으로 관리하기 위해서 신뢰도 높은 수문자료를 생산하고 관리하는 것은 매우 중요한 사안인 동시에 가장 기본적인 일이다. 이것은 저수지 운영, 하천수리 및 유역 수

문 모의, 수계전반의 수자원·환경관리와 수공구조물 설계 등을 위한 기초자료로써 지속적으로 이용되고 있다.

현재 수자원 실무에서 하천유량을 산정하는 가장 보편적이며 실용적으로 널리 활용되는 수위-유량관계곡선식(Rating curve)은 어느 특정기간 동안 수위와 유량을 동시에 관측하여 관계식을 도출하고, 이후 취득되는 수위 자료로부터 연속적으로 편리하게 유량자료를 생산할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 자연하천에서 동일 수위라 하더라도 시간에 따라 수위의 상승과 하강 시 각기 다른 유량이 나타나는 부정류의 수리학적 현상을 직접적으로 반영하지 힘든 한계 또한 지니고 있다. 특히, 4대강 살리기 프로젝트와 같이 국가하천을 일련의 다기능보로 연계하여 운영·관리하고자 할 때에는 기존 수위-유량관계곡선식만으로 지속적이고 신뢰도 높은 유량자료를 획득하기 어렵다. 이와 같이 전통적인 유량산정 방법이 가지고 있는 수리학적 한계를 극복하고 연속적으로 신뢰도 높은 유량을 측정할 수 있는 방법으로써 ADCP를 기반으로 하는 자동 유량 측정 시스템을 일 예로 들 수 있다.

ADCP는 하천을 횡단하면서 단면 전체에 대해 실시간으로 측정할 수 있는 장비로써 깊은 수심에서 유속 측정이 가능하고, 단면과 유속분포를 동시에 계속 측정 가능하며, 빠른 시간에 정도 높은 자료취득이 이루어지므로 국내에서도 그 활용도가 증가하고 있다. ADCP를 이용한 유량 측정 방법은 크게 이동측정법과 정지측정법으로 구분된다. 그 중에 정지측정법은 ADCP의 연직유속분포 측정 기능과 유속면적법의 유량 계산 방법을 결합한 방법으로써, ADCP를 일정한



(a) 진동지점 (이동수평법)

(b) 고령교지점 (이동회전법)

그림 1. 자동 유량 측정 시스템을 활용한 하천유량 관측

위치(측선)에 일정시간 고정시킨 상태에서 유속을 측정하고 이를 단면적과 곱하여 유량을 계산한다. 정지 측정법은 다시 이동수평법과 이동회전법으로 구분할 수 있는데, 전자는 초음파센서를 수평방향으로 설치 후 상하 이동시키며, 수십대별 유속 측정을 시행 후 계속된 유속자료로부터 전체 횡단면의 유량산정 하는 방법이고, 후자는 하천 교각 등에 부착된 초음파센서를 상하 이동 후 회전시키며 센서가 바라보는 방향의 유속을 측정한 결과로부터 유량산정 하는 방법이다.

K-water에서는 이와 같이 기존의 하천 유량산정 방법의 단점을 극복하고 연속적으로 정확한 유량 자료를 측정하기 위하여 낙동강 하류부 진동지점과 고령교지점에 ADCP 이동수평법 및 이동회전법 개념을 활용한 원격 자동 유량 측정 시스템을 각각 개발(한국수자원공사, 2004, 2006)하여 적극 활용중이다(그림 1). 본 기고에서는 이러한 장점을 가진 자동 유량 측정 시스템에 대한 기술적인 소개와 더불어 낙동강 진동지점에 적용한 사례를 중심으로 다양한 기법과 측정 분석된 결과를 비교함으로써, 유량 측정 성과의 적정성과 활용성에 대하여 검토하고자 한다.

2. 자동 유량 측정 시스템

자동 유량 측정은 현장에 있는 유속 측정 센서를 원격지에서 제어하여 유속 측정 및 유량 측정을 하는 방법으로 2004년 진동 자동 유량 측정 시스템을 구

축하면서 개념이 정립되었다.

자동유량 관측 시스템은 그림 2와 같이 측정지점(Measurement Site), 현장의 국사(Base Site)와 사무실 원격제어시스템(Remote System)으로 구성된다. 현장시스템은 ADCP센서, 청소설비, 모터 및 구동장비와 현장 이동레일로 이루어지며, 운영시스템은 Hardware Control System(HCS), 유량측정과 분석모듈(Discharge Measurement)과 수질측정모듈, 용수이용량 모듈, 실시간 하천수 분석모듈로 구성된다. 이들 각 모듈별 자료의 입출력 분석을 위해 Oracle과 GIS를 이용한다.

진동 지점의 자동 유량 측정 방법은 좌안측이 절벽에 가까운 하천횡단의 특성을 반영하여, 초음파 유속 분포 측정기를 수평방향을 바라보도록 설치하고 유속 센서를 상하로 이동시켜 각 측정위치에서 수평방향 유속분포를 측정하는 방식이다. 각각의 측정위치에서 유속측정 시 횡방향 유속분포를 알아보는 방식으로, 수직으로 상하이동을 하면서 수평방향 유속 분포를 측정하므로 하천의 전단면에 걸쳐 유속 값을 측정

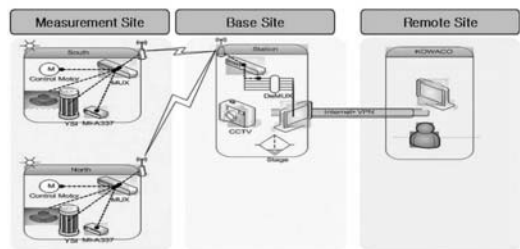


그림 2. 자동 유량 측정시스템 원격 구성

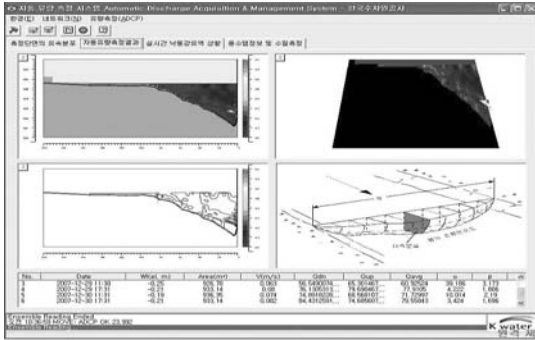


그림 3. 유속측정 성과 GUI

할 수 있어 보트를 이용하여 하천을 횡단하면서 수직 방향 유속 분포를 측정하는 방식과 대비된다.

최근에는 센서가 바라보는 방향을 회전시켜 하천의 전단면에 대해 유속분포를 측정하는 방식으로 발전하였으며, 이 방식은 낙동강 수계의 고령교지점 등에 설치되어 운영(2006, K-water)되고 있다.

ADAMS (Automatic Discharge Acquisition & Management System)로 명명되어 활용중인 이 원격 시스템은 사용자편의 GUI (Graphic User Interface)를 통해 운영되고 있다. 이 소프트웨어는 유량 측정 기능과 과거 측정성과 모의기능, 인근 수문관측소 자료 확인 기능, 수질측정 기능, 항공사진 조회 기능 등을 갖고 있다.

그림 3의 왼쪽상단에 있는 그림은 유속분포를 나타내고 있으며, 붉은색에 가까워질수록 큰 유속이 측정된 것을 나타내고 있다. 그리고 오른쪽 상단의 그림은 유속분포를 3차원 분포도로 나타낸 것이며, 왼쪽 하단의 그림은 이를 등유속선으로 표현한 것이며 오른쪽 하단의 그림은 측정단면의 유속분포를 나타낸 것으로 그래프에서 붉은색으로 가까워질수록 큰 유속

이 측정된 것을 나타낸다.

3. 진동지점 적용 사례

3.1 지점특성

진동 지점은 낙동강 하구둑을 기점으로 84.3km 떨어진 상류에 위치하며, 좌안측으로 완만하게 만곡되는 경향이 있으나 대체로 자연적인 선형하도를 형성하고 있다. 진동 지점의 횡단은 우안은 절벽과 같이 수직이며, 좌안은 우안에 비해 완만한 지형이다. 최저 하상고가 수위 -20.22m(표고 -18.291m)이며, 수위 -1.46m(표고 0.469m)에서 하폭이 약 100m가 되고, 이후 횡단폭이 급격히 증가하여 수위 2.895m(표고 4.824m)에서 하폭이 약 300m 정도이다.

3.2 유량 측정 성과

자동 유량 측정시스템은 2004년 개발된 이후 시험 운영을 거친 후 2006년부터 지속적인 유량 측정과 관리가 이루어지고 있다. 하루 1회 이상 자동측정을 운영기준으로 하여 유량 측정을 하고 있으며, 1회 측정시마다 상하 왕복으로 센서를 수직 이동시키면서 2번의 측정 성과를 평균하여 그 값을 유량 값으로 제시한다. 표 1은 2010년 1월~5월간 측정한 유량자료의 일예를 보여주고 있으며, 유량측정의 편차는 6% 이내로 양호한 것으로 분석되었다.

그림 4는 2006년~2010년 6월 현재 유량 측정 성

표 1. 2010년 1월~5월 유량 측정 자료

측정 연월	측정 횟수	수위(m)		유량(m ³ /s)		편차	
		최대	최소	최대	최소	최대	최소
2010-01	10	-0.53	-0.64	104.55	42.16	0.79%	0.47%
2010-02	15	-0.22	-0.68	9.53	45.39	0.77%	0.55%
2010-03	25	0.49	0.01	325.48	121.87	0.64%	0.39%
2010-04	22	0.68	0.04	566.35	150.99	1.85%	0.24%
2010-05	15	1.98	-0.21	1374.75	129.39	5.93%	0.35%
계	87	1.98	-0.64	1374.75	42.16	5.93%	0.24%

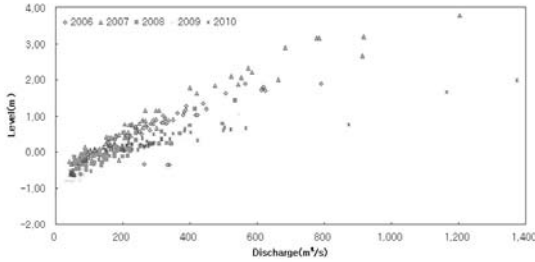


그림 4. 유량측정성과(2006~2010)

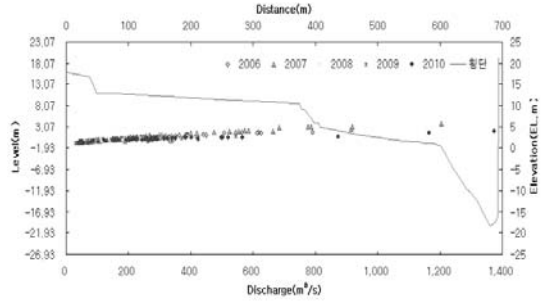


그림 5. 횡단면과 유량측정성과의 비교

과로부터 수위 대비 유량을 분석한 결과이며, 그림 5는 횡단면의 변화에 따른 유량 측정 성과의 변화를 살펴보기 위해 유량 측정 성과와 횡단면도를 중첩 분석한 그래프를 나타낸 것이다.

점의 유입량 추정하였다.

$$Q_T = Q_{ST} \cdot \frac{AC}{AS} \cdot \frac{R_{CT}}{R_{ST}} \quad (1)$$

3.3 수문학적 유입-유출량 모의

하천 유량을 직접 측정하여 생산된 수문자료는 관측값(Observed)이므로 정량적인 그 값 자체의 정확성을 명확하게 검증하는 일은 매우 어렵다. 본 기고에서는 측정된 유량값을 정성적으로 평가하기 위하여 상대적으로 신뢰도가 높다고 판단되는 낙동강 유역 주요 다목적댐의 유입-방류량 자료를 활용하여 비유량법을 적용하고 진동지점의 유입량을 수문학적으로 추정하였다. 분석 자료는 안동, 임하, 합천, 남강, 운문, 밀양댐 등 6개 댐 유입량 및 방류량 일자료(2004~2010.5)를 활용하였으며, 유역의 면적 강수량비와 유역면적비를 고려하여 식(1)과 같이 대상 지

여기서 Q_T 는 대상유역의 지속시간 T 일 동안의 자연유출량 (m^3/s) Q_{ST} 는 기준유역의 지속시간 T 일 동안의 자연유출량 (m^3/s), A_C 는 대상유역의 유역면적 (km^2), A_S 는 기준유역의 유역면적(km^2), R_{CT} 는 대상유역의 지속시간 T 일 동안의 강수량(mm), R_{ST} 는 기준유역의 지속시간 T 일 동안의 강수량(mm)을 나타낸다.

모의 결과 분석기간 동안(2009.1~2010.5) 진동지점을 경계로 형성되는 낙동강 유역의 수문학적 유입량은 자동 유량 측정 시스템에서 측정된 유량과 근사한 것으로 분석되었다. 그림 6은 계산된 일유량을 월단위로 산술 합산하여 측정된 성과와 비교한 일예를 나타낸 것이다.

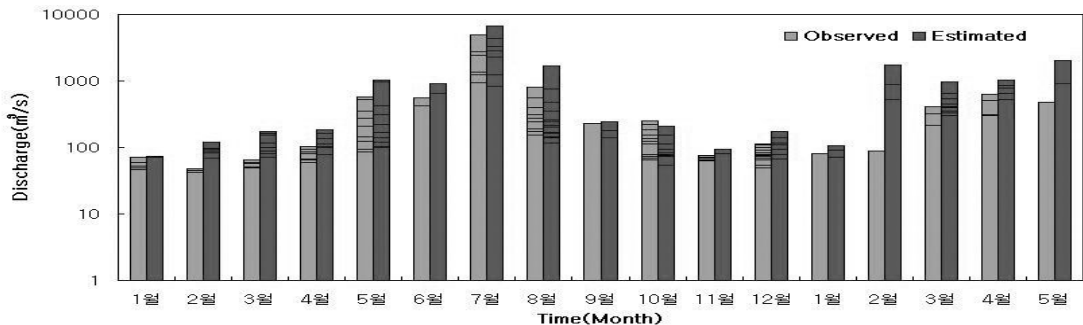
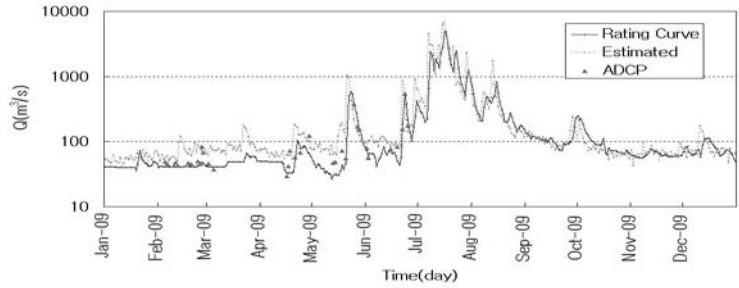


그림 6. 진동지점의 수문학적 유입량 추정 및 관측 유량 (2009.1~2010.5)

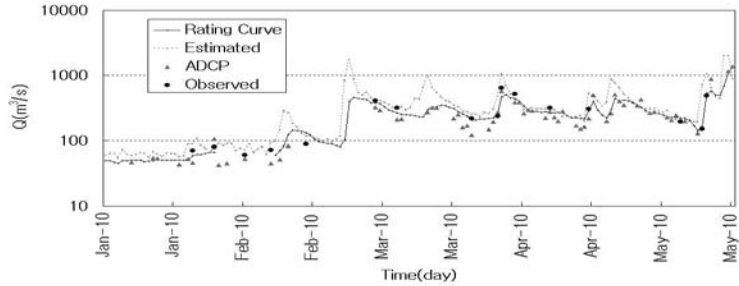
3.4 결과분석

국토해양부에서는 원활한 4대강 살리기 사업 추진과 이에 따른 실시간 홍수예보를 위하여 잠정 유량측정성과 보고서를 발간하고 있다. 이를 위해 유량조사사업단은 4대강 주요지점별로 월 2회를 주기로 측정성과를 업데이트 하면서 수위-유량 관계곡선식을 산정·보완하고 있다. 유량 측정은 진동 수위관측소 지점으로부터 약 600m 하류지점 남지대 교 하류부에서 이루어지며, 교량위에서 유속을 측정하는 교량법과 보트를 활용하는 ADV 측정법을 교대로 사용하고 있다. 홍수기 때에는 50m 간격으로 3개의 측선을 선정하여 봉부자로 관측한다.

본 기고에서는 진동지점 관측유량을 평가하기 위하여 '08~'10년간(3년) 방법별로 유량 측정 성과를 비교하였다. 그림 7과 같이 Rating curve는 유량조사 사업단 측정 성과를 Estimated는 댐 유입-방류량에 의한 유량 추정치를, 그리고 ADCP는 자동유량 관측시스템의 측정성과를 나타낸다. 유량조사사업단에서 작성한 Rating curve식(2010년)과 댐 유입-방류량 분석에 의한 수문학적 유량 추정값 및 자동유량 측정 시스템의 년별(09, 10) 유량 측정 성과 비교결과, 연중 평수기 뿐만 아니라 홍수기에서도 근사한 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 측정 자료의 불확실도는 4%이내로 분석되어 유량조사 사업단에서 측정된 유량자료의 그것과 유사하거나 적은 것으로 산정되었다. 이를 통해 현재 진동지점에서 ADCP를 활용하여 일단위로 측정하고 있는 유량자료는 신뢰도가 매우 높다고 판단되며, 고품질의 유량을 연속적으로 생산하고 있으므로 관측유량 비교 평가 및 필요시 Rating curve 대체 활용 등 그 사용도가 높을 것으로 사료된다.



(a) 2009



(b) 2010

그림 7. 유량측정 성과 분석 결과

4. 맺음말

본 기고에서는 수위-유량관계곡선식 등 기존의 하천 유량 산정 방법들이 가진 한계를 극복하고자 개발된 원격 자동 유량 측정 시스템의 활용성을 검토하였다.

기존의 하천 유량 산정 방법의 단점을 극복하고 연속적으로 정확한 유량 자료를 측정하고 있는 유량 자동 측정 시스템은 다양한 방법별 비교 검토를 통하여 신뢰도 높은 고품질의 유량을 생산하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 이 시스템은 원격으로 자동 연속 측정이 가능하며, 전통적인 기존의 유량 측정 방법에서 발생하고 있는 10%이상의 불확실도를 4% 이내로 감소시켜 그 활용도가 매우 높을 것으로 판단된다. 더 나아가 부정류의 수리학적 특성을 반영하여 해당 지점에서 유량을 직접 획득하는 방법이므로, 향후 4대강에 건설되는 다기능보 운영을 고려하거나 그동안 수리해석에 어려움이 컸던 배수위 영향이 있는 하천 또는 조위영향이 있는 감조구간에서의 연속적인 유량



관측시 유용할 것으로 판단된다.

향후 다양한 방법과 지속적인 현장 측정을 통해 그 적용성과 유용성이 분석되어 기술적인 정보가 공유된

다면 기존의 전통적인 유량 측정 방법을 대체하거나 동시에 함께 널리 활용될 수 있는 방법으로 확장될 것으로 기대된다. ☞

● 참고문헌

1. 건설교통부 (2004). “제 4장 유량측정”, 수문관측매뉴얼, 건설교통부 수자원국, pp. 1~108.
2. 한국건설기술연구원 (2004). 한천유량측정 지침, 수자원의 지속적확보기술개발사업단, pp. 7~8.
3. 한국수자원공사 (1999d). 기술선진화종합계획보고서, 한국수자원공사.
4. 한국수자원공사 (2004). [특허실용] 초음파 유속분포 측정기를 이용한 하천유량 자동측정 시스템, 10-2004-0099503.
5. 한국수자원공사 (2005b). "4th ADCPs in Action 2005 Users Conference", 조사기획처, 한국수자원공사.
6. 한국수자원학회 (2002). 하천설계기준, 한국수자원학회.
7. Jaeyoung Park, Byoungdong Oh, Seonmee Jeon, Jaebog Kim (2006), "The Automatic Discharge Acquisition & System (ADAMS) in Korea" HIC 2006 - The 7th International Conference on Hydroinformatics.
8. ISO (1992). Measurement of liquid flow in open channels Measurement of discharge by ultrasonic (acoustic) method, ISO 6416:1992(E).
9. ISO (1998). Measurement of liquid flow in open channels Part 2: Determination of the stage-discharge relation, ISO1100-2:1998(E), 25p.
10. Simpson, M.R. (2001). Discharge Measurement Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Profiler, USGS, OPEN FILE REPORT 01-1.
11. Okada S. (2005). "River discharge monitoring with the HACDP", 4th ADCPs in Action 2005 Users Conference, RDI, USA.
12. USBR (1997). Water Measurement Manual, Third Edition, USBR, Denver, USA.