



자동유량측정시설 운영현황 및 방향



노영신
유량조사사업단 연구개발실 그룹장
rohys@kict.re.kr



김치영
유량조사사업단 연구개발실 실장
cy_kim@kict.re.kr



차준호
한강홍수통제소 하천정보센터 시설연구사
jhcha@mltm.go.kr

1. 서론

실시간-무인화 유량측정시스템인 자동유량측정시설은 하천이란 위험한 공간에서 인력에 의해 밤낮없이 행해지던 기존 측정방법의 한계를 해결하고 연속적인 측정을 통해 양질의 수문자료를 확보하는데 그 목적이 있다.

현재 국토해양부에서는 '선진형 수문정보 인프라 확충' 사업의 일환으로 2001~2005년 '한강유역 수자원 시험장비의 설치 및 운영' 사업의 성과를 활용하여 2006년 개별사업으로 시행되던 '초음파 유량계 설치', '원격자동유량측정시설 설치' 및 '고령교 일원 원

격유량측정시설 설치' 사업을 2007년부터 유량조사사업단을 통해 일원화하여 '자동유량측정시설 구축 및 운영'을 추진하고 있다.

미국, 일본, 독일, 중국 등에서는 1990년대부터 이미 감조하천이나 규모가 큰 대하천의 유량자료 획득의 어려움을 자동유량측정시설의 설치 및 운영을 통해 해결하는데 주력하였으며, 현재 우리나라도 국내 하천에 적합한 설치방법을 개발하여 설치·운영하고 있어 자료의 신뢰도 제고 및 기술축적을 이루고 있다. 그러나, 측정센서에 대한 해외 기술 의존도가 높은 것은 앞으로 해결해야 할 과제이다.

2. 설치현황

현재 하천의 유량측정을 위해 국내외에서 설치, 운영되고 있는 자동유량측정시설은 대부분 초음파유속계를 이용한 실시간 하천유량측정시스템이다. 초음파유속계는 흐르는 유체 내에서 초음파의 변화특성을 이용하여 유속을 측정하는데, 이는 유속을 측정하는 방식에 따라 크게 도플러방식 초음파유속계(ADVM, Acoustic Doppler Velocity Meter)와 이동시간차 방식 초음파유속계(UVM, Ultrasonic Velocity Meter)로 구분할 수 있다(Catherine and Michael, 2005). ADVM은 흐름 내에서 초음파의 도플러 변이를 이용한 유속측정방식이며, UVM은 마주보는 2개의 초음파변환기(T/T, Transit Time)를 이용하여 흐름방향과 흐름의 역방향에 대한 초음파의 이동시간차를 이용하여 유속을 측정하는 방식이다.

현재까지 설치된 자동유량측정시설은 2004년 여



그림 1. H-ADCP 센서

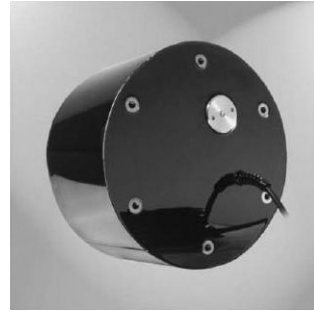


그림 2. T/T 센서

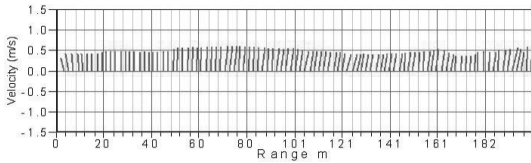
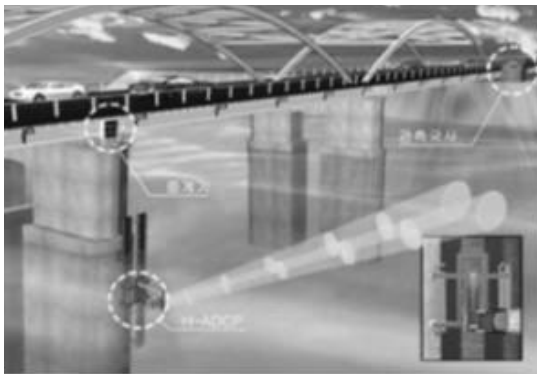


그림 3. ADVM의 유속측정원리

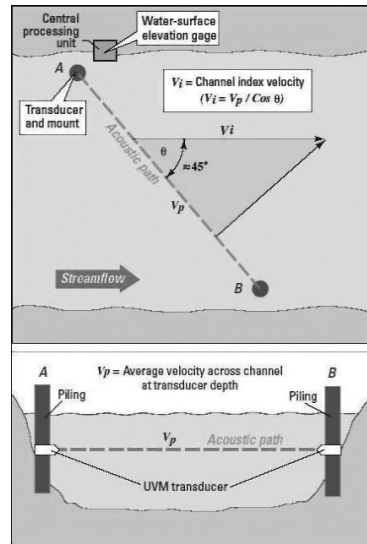


그림 4. UVM의 유속측정 원리

주 지점, 2006년 한강대교, 중랑교, 통일대교 그리고 고령교 지점, 2007년 팽성, 규암, 적성 지점, 2008년 구포, 공주, 하동 지점으로 총 11개 지점에 설치되었다. 적용방식 별로는 한강대교, 통일대교, 고령교, 팽성, 규암, 그리고 구포 지점은 ADVM 방식으로 설치

되었으며, 여주, 적성, 공주 그리고 하동 지점은 UVM 방식이 설치되었다. 중랑교 지점의 경우에는 ADVM 방식과 UVM 방식이 모두 설치되었다. 각 지점별 설치현황은 표 1과 같다.

표 1. 자동유량측정시설 설치지점 현황

순번	수계명	하천명	지점명	적용방식	운영방식	설치년도	비고
1	한강	한강	여주대교	UVM	5 layer, 16 paths	2004	• 대하천, 홍수예보지점
2	한강	한강	한강대교	ADVM	회전식 1set	2006	• 감조하천, 홍수예보지점
3	한강	중랑천	중랑교	UVM	3 layer, 8 paths 회전식 1 set	2007	• 중소 도시하천, 홍수예보지점
				ADVM			
4	한강	임진강	통일대교	ADVM	회전식 2 set	2007	• 감조하천, 군사제한구역
5	한강	임진강	적성	UVM	3 layer, 3 paths	2007	• 임진강 자료확보, 홍수예보지점
6	한강	안성천	팽성	ADVM	회전식 2 set	2007	• 배수영향 평택 대안, 배수영향

순 번	수계명	하천명	지점명	적용방식	운영방식	설치년도	비 고
7	낙동강	낙동강	고 령 교	ADVM	회전식 1 set	2006	• 대하천
8	낙동강	낙동강	구 포	ADVM	ADVM	2008	• 배수영향, 홍수에보지점
9	금 강	금 강	규 암	ADVM	회전식 2 set	2007	• 배수영향, 홍수에보지점
10	금 강	금 강	공 주	UVM	2 layer respond	2008	• 대하천, 홍수에보지점
11	섬진강	섬진강	하 동	UVM	3 layer, 3 paths	2008	• 감조하천, 홍수에보지점

3. 운영성과

자동유량측정시설은 고령교 지점을 제외하면 매 10분 간격으로 유량을 측정하여 하루에 144회의 측정이 이루어진다. 2008년에 신설된 구포, 공주, 하동 지점을 제외한 나머지 지점들의 운영성과는 표 2와 같다.

여주 지점은 총 51,755회의 측정이 이루어졌으며, 결측률은 1.8%로 대체로 안정적인 측정이 이루어졌다. 결측 원인의 대부분은 증계기 이상, 전원공급 불량 등으로 인하여 발생하였다. 또한 압력식수위계의 수위계측이 불안정한 문제가 발생하였다. 압력식 수위계의 문제점은 2008년 10월에 대기압 측정 패널을 교체·개선하여 이후 안정적으로 측정이 이루어졌다.

한강대교는 운영기간 동안 총 48,962회의 측정이 이루어졌으며, 결측은 7.1%가 발생하였다. 2008년 4월 11일 측정방식을 1층에서 2층으로 변경하면서 시스템이 일시적으로 중단되었으며, 한강대교 보행로 공사가 진행되면서 인입된 전원이 장기간 차단되는 등 외부 영향에 의한 결측이 발생하였다. 이러한 결측 원인을 제외하면 대부분 기간 동안 유의할 만한 결측없이 안정적인 측정이 이루어졌다.

통일대교는 동절기 결빙으로 인한 센서 파손의 우려가 있어 동절기 12월에서 익년 3월까지 센서를 철수한다. 2008년도에도 동절기 센서철수로 약 17,568회의 결측이 발생하였으며, 이는 전체 결측의 33%에 해당된다. 통일대교의 경우 조위변화에 따라 수심의 차이가 심하게 발생하는 지점으로, 수심이 낮아지는 간조시 센서 측정을 위한 최소수심이 확보되지 않는 경우가 많이 발생하여 연속적인 유량측정이 제대로 이루어지지 않는 문제점이 있다. 최소수심 문제를 해결하기 위하여 센서의 설치 위치를 재조정하여 간조

시 결측을 최소화하였다.

중랑교 지점은 ADVM과 UVM 방식의 자동유량측정시설이 설치된 지점으로, 평·저수시 수심이 매우 작기 때문에 0.58m 이하에서 측정이 원활하게 이루어지지 않았다. 2008년에 미세측구간을 해결하기 위해 ADVM 방식의 경우 센서의 설치위치를 하단부로 이동하였으나 여전히 미세측구간이 발생할 뿐만 아니라 무리한 센서의 이동으로 측정결과의 오차 및 유지관리상에 문제가 발생하여 센서의 위치를 홍수기 측정에 초점을 맞추어 변경하였다. ADVM은 24,349회, UVM은 52,651회의 측정이 이루어졌으며, 각각 58.3%와 0.1%의 결측률을 보였다.

규암 지점은 총 47,434회 측정이 이루어졌으며, 10.0%의 결측이 발생하였다. 주요 결측 원인으로서는 통신시스템의 CDMA 문제로 인한 데이터의 전송문제를 들 수 있으며, 그 밖에 2008년 11월 5일부터 11일까지 센서수중케이블 이상으로 결측이 발생하였다.

팽성 지점은 규암 지점과 동일하게 데이터 통신시스템 CDMA 문제가 총 3회 발생하였으며 제어보드 이상이 2회 발생하여 총 49,700회 측정을 하였으며 결측은 5.7%가 발생하였다

적성 지점은 동절기 하천결빙으로 인하여 동절기 1월, 2월, 12월의 유량측정이 이루어지지 않았다. 동절기 결빙으로 인한 결측을 포함하여 총 11,609회의 결측이 발생하였으며, 결측률은 22.3%이다. 동절기 결측 이외의 원인으로서는 측정데이터의 전송오류가 가장 큰 것으로 나타났다.

고령교 지점은 타 지점과는 달리 일정한 시간 간격의 실시간 측정이 아니라 사용자에게 의한 원격조정으로 임의시간대에 측정이 이루어기 때문에 측정회수 및 결측률에 의한 운영성과 판단은 곤란하다. 고령교

표 2. 지점별 자동유량측정시설 운영성과(2008년도)

지 점 명	측정회수(회/일)	운영기간	측정성과(회)	운영률(%)	결측률(%)	비 고
여 주	144	2008/01/01~2008/12/31	51,744	98.2	1.8	
한강대교	144	2008/01/01~2008/12/31	48,962	92.9	7.1	1축→2축 변경 한강대교 보행로공사로 인한 전원 차단
증 랑 교	144	2008/01/01~2008/12/31	24,349	41.7	58.3	ADVM
			52,651	99.9	0.1	UVM
통일대교	144	2008/04/08~2008/12/12	37,065	93.6	6.4	동절기 장비 철수
적 성	144	2008/01/01~2008/12/31	41,095	77.7	22.3	동절기 결빙
팽 성	144	2008/01/01~2008/12/31	49,700	94.3	5.7	CDMA 이상
규 압	144	2008/01/01~2008/12/31	47,434	90.0	10.0	CDMA 이상

지점은 활차 이동문제가 발생하여 측정이 이루어지지 않고 있으며, 2008년 11월에 자동유량측정시설 보완 작업으로 센서를 추가로 설치하였다.

4. 성과의 검증

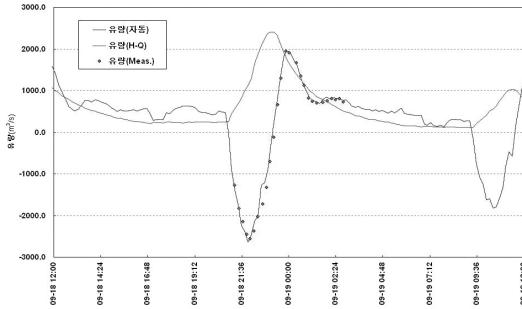
자동유량측정시설 측정자료의 검증을 위해 2008년 비교적 안정적인 운영이 이루어졌던 한강대교와 여주 지점을 대상으로 기존 유량측정방법에 의한 실측결과 및 2008년 개발된 수위-유량관계곡선식과의 비교, 물수지 분석을 통한 유출량 비교를 수행하였다. 실측결과와의 비교는 유속계 및 부자 등 기존 유량측정방법의 측정결과와 이동 ADCP 법을 이용한 동시간대 연속측정결과를 자동유량측정시설의 유량 측정결과를 비교하였다. 또한 유출평가는 매 10분 간격으로 측정된 유량자료를 이용하여 월유출량을 산정하고 산정된 유출량과 상류에 위치한 팔당댐 및 충주 조정지댐 방류량 및 지천유입량과 취수 및 처리수 방류량에 대한 물수지 분석 결과와 비교하였다.

그림 5는 한강대교 지점 자동유량측정결과를 평수시 이동 ADCP법과 홍수시 부자법 측정결과와 비교한 것이다. 평수시 이동 ADCP 법의 검증측정과 비교한 결과, 일부 측정치에서의 상대오차가 매우 큰 것을 알 수 있다. 비교적 큰 오차가 발생한 측정치는 만조와 간조가 교차하는 저유속 구간에서의 측정결과로

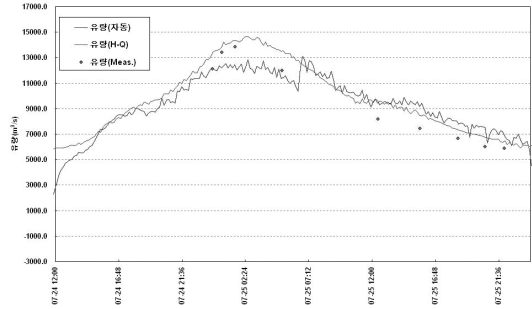
서, 이동 ADCP 측정시 흐름이 정체되면서 정확한 유속측정이 이루어지지 못했기 때문이다. 또한 자동유량측정의 측정시간과 실측시간이 정확히 일치하지 않았기 때문이다. 한강대교의 조위변화 시에는 짧은 시간에도 수위 및 유량의 변화가 급변하기 때문에 이러한 시간차로 인한 측정치에 오차가 크게 발생할 수 있다. 홍수시 부자법의 검증측정과 비교한 결과, 자동유량측정결과와의 오차는 9.4~41.8% 발생하였는데, 최대 41.8% 오차의 원인은 침두유량에서 ADVM 센서의 유속측정값에 이상치가 발생하여 측정된 유량이 과소 산정되었기 때문인 것으로 판단된다.

그림 6은 여주 지점 자동유량측정결과를 평·저수시 프라이스 유속계와 이동 ADCP법으로, 홍수시 부자법 측정결과와 비교한 것이다. 평·저수시에 측정된 프라이스유속계 측정결과는 자동유량측정값과 0.3%~13.5%의 오차범위를 나타냈으며, 이동 ADCP법과의 오차는 0.6%~13.4% 오차범위를 나타냈다. 또한 홍수시 부자법과의 오차는 0.7%~11.0% 오차범위를 나타냈다.

그림 7은 한강대교 지점 자동유량측정시설의 월별 유출량과 물수지 분석결과를 나타낸 것으로, 분석결과 2008년 1월~3월까지의 약 5% 내외로 잘 일치하였으나 2008년 4월에는 측정방식을 1축에서 2축으로 변경하면서 유속측정의 안정화가 이루어지지 않아 오차가 크게 발생하였다. 4월을 제외한 오차는 6.6% 내외의 오차를 보였으며 4월을 포함한 2008년의 오

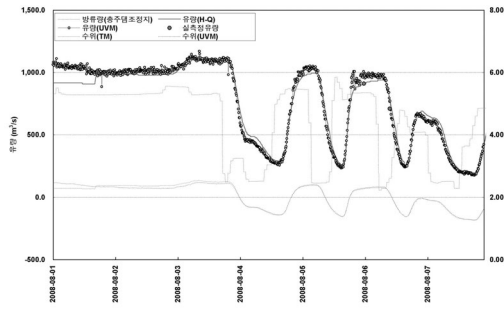


(a) 평수시 이동 ADCP 측정결과와 비교

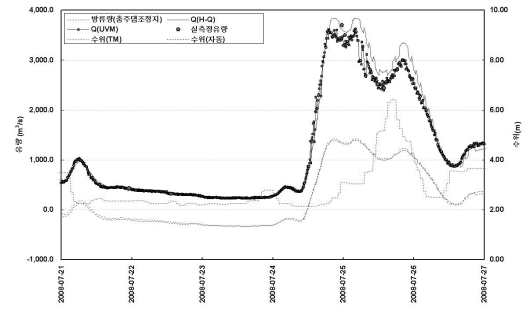


(b) 홍수시 부자 측정결과와 비교

그림 5. 한강대교 지점 각 방식별 실측치 비교결과



(a) 평수시 유속계 측정결과와 비교



(b) 홍수시 부자 측정결과와 비교

그림 6. 여주 지점 각 방식별 실측치 비교결과

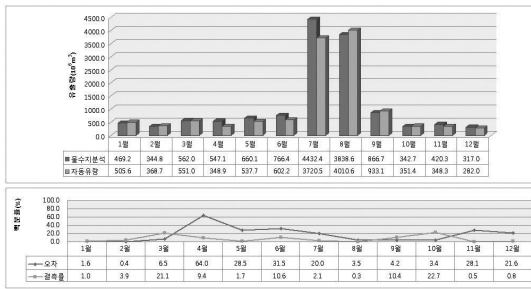


그림 7. 한강대교 지점 물수지분석 결과

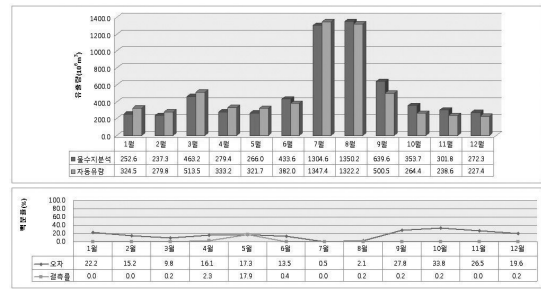


그림 8. 여주 지점 물수지분석 결과

차는 8.0% 내외의 오차를 보여 자동유량측정시설의 연속적인 유량측정자료가 비교적 안정적으로 측정되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 8은 여주 지점 자동유량측정시설의 월별 유출량과 물수지 분석결과를 나타낸 것으로, 분석결과 1월~12월까지 0.5%~33.8%의 오차를 보였으며, 9월과 10월에 27.8%, 33.8%의 비교적 큰 오차를 보

였는데, 이는 센서점검 및 중계기 이상 등으로 유속값이 작게 측정되었기 때문인 것으로 판단된다.

5. 자동유량측정시설 운영관리시스템 구축

2007년 구축된 실시간 모니터링 시스템에서는 자

동유량측정시설로부터 수집되는 유량자료의 모니터링 및 분석·평가하는 각각의 단위 프로그램을 개발하였고 자동유량측정시설을 관리하기 위한 관련 정보의 입력, 조회를 할 수 있도록 하는 관리프로그램을 개발하였다. 자료 송·수신 및 저장 프로그램 구축에서는 자동유량측정시설로부터 자료를 수신하여 데이터베이스에 저장하는 프로그램과 한강홍수통제소와의 자료 송·수신 프로그램을 개발하였다.

실시간-무인화로 운영되는 자동유량측정시설의 효율적인 운영과 유량측정자료의 체계적인 관리 및 사용자 모니터링을 위한 운영관리시스템을 구축하였다. 운영관리시스템은 자동유량측정시설로부터 측정된 유량자료의 실시간 수집, 처리, 표출, DB화 및 분석 기능과 시스템의 안정적인 유지를 위한 유지관리 기능 등 일련의 관리를 수행할 수 있는 시스템으로서, 기존 설치지점과 2008년 신설된 3개 지점의 자동유량측정시설의 통합 및 자료의 분석 및 검·보정에 대한 개선을 통해 효율적인 시스템 운영이 가능하도록 하였다.

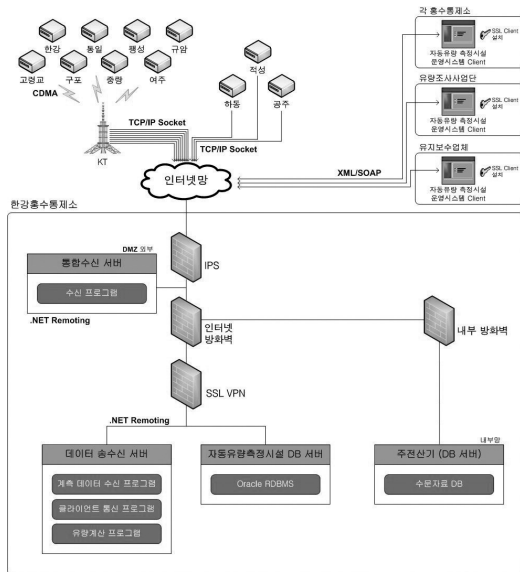


그림 9. 운영관리시스템 구성도

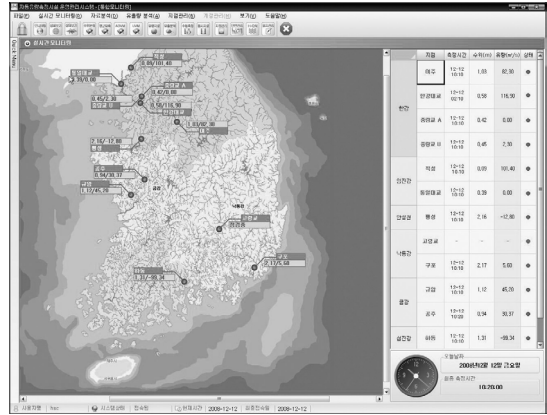


그림 10. 운영관리시스템(모니터링화면)

6. 맺음말

자동유량측정시설의 구축 및 운영사업은 수문조사의 선진화의 일환으로 단기적으로는 기존 측정방법을 보완하여 지점특성에 따른 신뢰성 있는 측정이 가능하도록 하며, 중·장기적으로는 지속적인 검증과 안정화를 통해 수문조사기법의 선진화를 위한 기초적인 인프라를 확보할 수 있도록 해야 한다. 또한, 신뢰도 높은 유량자료를 제공할 수 있도록 지속적으로 안정화 및 유지관리를 수행하고 또한, 자료분석을 통한 검증이 이루어져야 한다.

현재 전국하천을 대상으로 총 11개 지점이 설치되어 운영 중인 자동유량측정시설은 수문조사 기본계획 등을 반영해서 지속적으로 확대 설치 및 운영할 계획으로, 국외사례를 통해 적용성이 입증된 ADVM 및 UVM 방식 외에도 다양한 하천상황에 적용가능한 기술개발의 정도에 따라 설치가능지점은 더 많아질 것으로 사료된다. 🌊



참고문헌

1. 건설교통부(2004). 수문관측매뉴얼.
2. 건설교통부(2006). 한강유역 수자원 시험장비의 설치 및 운영보고서(4·5단계).
3. 국토해양부(2008). 자동유량측정시설 구축 및 운영 보고서.
4. 국토해양부(2008). 유량측정 보고서.
5. 獨立行政法人 土木研究所. (2000). 水文觀測. 社團法人 全日本建設技術協會.
6. Herschy, R. W. (Editor) (1999). Hydrometry. 2nd Edition, John Wiley & Sons.
7. RD Instruments (2005). Channel Master Horizontal ADCP Operation Manual.
8. ISO 6416 (2004). Measurement of liquid flow in open channels—Measurement of discharge by the ultrasonic(acoustic) method. International Organization for Standardization.