

이동시간차 방식 자동유량측정시설의 대하천 운영 및 검증 Operation and Verification of Real-time Discharge Measurement Using UVM in Large River

노영신*, 박현근**, 송재현***, 정성원****

Youngsin Rho, Hyun Keun Park, Chi Young Kim, Sung Won Jung

요 지

현재 하천의 유량측정을 위해 국내외에서 설치, 운영되고 있는 자동유량측정시설은 대부분 초음파유속계를 이용한 실시간 하천유량측정시스템이다. 이러한 초음파유속계는 도플러 방식 초음파유속계(ADVM)와 이동 시간차 방식 초음파유속계(UVM)로 구분되는데, 한강대교 등에 적용된 ADVM 방식에 비해 UVM 방식은 초음파 도달거리의 특성으로 인해 대부분 중소규모의 하천에 적용되어왔다. 이러한 UVM 방식을 하폭이 넓고 홍수시 수위변화가 심한 대규모하천에 적용하기 위해서는 여러 회선을 다층으로 구성하여 설치할 필요가 있는데, 한강의 여주지점은 16개의 회선을 5개의 층으로 구성하여 측정의 정확도를 높이고 홍수시 수위상승시에도 다양한 회선으로 유속을 측정할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 여주지점에 설치되어 운영 중에 있는 이동 시간차 방식 자동유량측정시설의 운영결과를 검토하고 측정치에 대한 검증을 위해 2008년 1월부터 12월까지의 유량측정결과를 검토하였다. 평·저수시는 유속계와 ADCP 이동보트를 이용한 연속측정결과와 비교하였으며 홍수시에는 봉부자 측정결과와 비교하였다.

기존 실측은 2008년 2월부터 12월까지 저수위 및 중·고수위에 걸쳐 실시하였으며, 프라이스유속계 22회, 이동식 ADCP 6회 그리고 부자를 이용한 방법 6회등, 총 34회가 이루어졌으며, 비교결과 수위 1.5m 이하의 저·평수기에 평균 5.5%의 오차를 보였으며, 홍수시 검증측정유량과의 비교결과 7.6%의 오차를 보였다.

핵심용어 : 자동유량측정시설, 대하천, UVM

1. 서 론

최근 수문조사, 특히 유량측정 분야에서 측정결과의 정확도와 측정 효율성을 향상시키기 위한 유량측정기술 개발연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 유량측정기술은 실시간 무선통신 및 자료처리 기술과 연계되어 실시간 자동유량측정이 가능하게 되었으며, 이를 이용한 자동유량측정시설의 적용사례가 증가하고 있는 추세이다(김창완 등, 2004; 김치영 등, 2006). 현재 구축되어 있는 자동유량측정시설은 대부분 초음파 유속계를 이용한 실시간 유량측정시스템으로써, 2003년부터 구

* 정회원 · 유량조사사업단 연구개발실 선임연구원 · E-mail : rohys@kict.re.kr

** 정회원 · 유량조사사업단 유량조사실 연구원 · E-mail : gusroot@kict.re.kr

*** 정회원 · 유량조사사업단 연구개발실 연구원 · E-mail : k0zero@kict.re.kr

**** 정회원 · 유량조사사업단 단장 · E-mail : swjung@kict.re.kr

측사업이 진행되어 2009년 현재 11개 지점에서 실시간 유량측정이 이루어지고 있다(국토해양부, 2008).

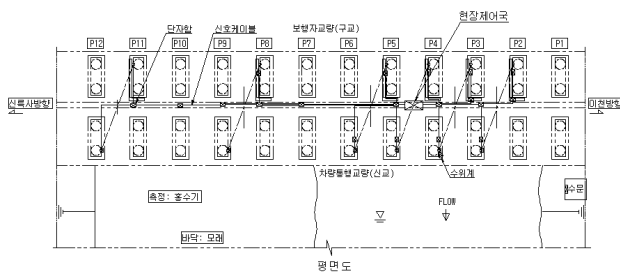
초음파 유속계를 이용한 유량측정시스템의 하나인 UVM(Ultrasonic Velocimetry)방식은 유체의 흐름과 일정한 각을 유지하도록 수로 양쪽에 센서를 설치하고 유체 흐름 방향과 역방향으로 각각 초음파를 발사하여 유체 흐름 방향일 때와 역방향일 때의 초음파의 이동시간차가 유체의 유속에 비례한다는 원리를 이용하여 평균 유속을 측정하는 방식이다. UVM 방식은 제한적인 초음파의 도달거리로 인해 하폭이 넓은 대규모 하천의 경우 센서의 경로를 여러개로 구성해야 하며, 센서의 초음파 경로의 평균유속을 측정하기 때문에 전단면에 대한 정확한 평균유속을 측정하기 위해서는 수위변화에 따른 단면변화를 고려하여 여러 개 층으로 센서 경로를 구성하여 설치할 필요가 있다.

한강 수계 여주지점에 설치된 자동유량측정시설은 이러한 UVM 방식이 적용되었으며, 하폭이 넓고 유심부가 우안측에 치우친 단면형태 등을 고려하여 UVM센서의 초음파 경로를 다회선과 다층으로 구성하여 설치되었다. 여주 지점의 유량산정 방식은 단면 최대유속을 유량산정의 지표로 하여 유량을 계산하는 지표유속법을 사용하였으며, Chiou(1998)의 엔트로피 개념을 적용하여 유도한 무차원 단면유속분포를 도입하였다(김창완 등, 2008).

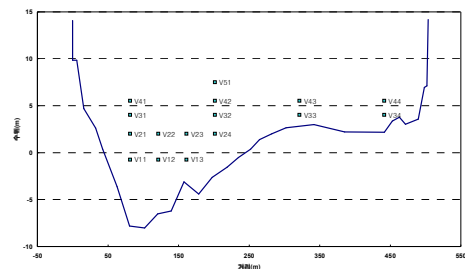
본 연구에서는 대하천인 여주 지점에 적용된 UVM 방식의 자동유량측정시설의 유량측정성결과를 검토하였다. 측정성과의 검토는 평·저수 및 홍수시 실시간 유량측정성결과를 대상으로 하였으며, 2008년 개발된 여주 지점 수위-유량관계곡선식과의 비교와 실측을 통한 수동유량측정결과와 비교하였다.

2. 여주 지점 자동유량측정시설 현황

여주 지점에 설치된 UVM 방식은 UVM T/T 센서, 센서하우징 및 가드로 구성되는 센서부와 수집된 자료의 처리 및 전송을 담당하는 중계기로 구성된다. 그림 1에서와 같이 UVM T/T 센서가 여주(구)교와 여주대교의 교각 이용하여 일정한 각도로 상·하류단에 설치되었으며, 저·평수 및 홍수시 수위변화를 고려하여 5개의 레이어와 총 16개의 회선으로 구성되어 있다. 저수위에도 상시 측정이 이루어지는 1번 레이어 3개의 회선, 평수위 및 홍수시 측정이 이루어지는 2번, 3번, 4번 레이어는 각각 4개의 회선 그리고 5번 레이어는 1개의 회선으로 구성되었다. 측정된 데이터의 처리 및 전송은 그림 2의 중계시스템 신호와 구교사이의 P5-P6 점검로 상에 위치하고 있어 시스템 제어와 서버와의 통신을 하고 있다.



(a) 초음파경로의 회선 구성



(b) 초음파 경로의 층별 구성

그림 1 여주지점 UVM 방식 자동유량측정시설의 초음파 경로 구성

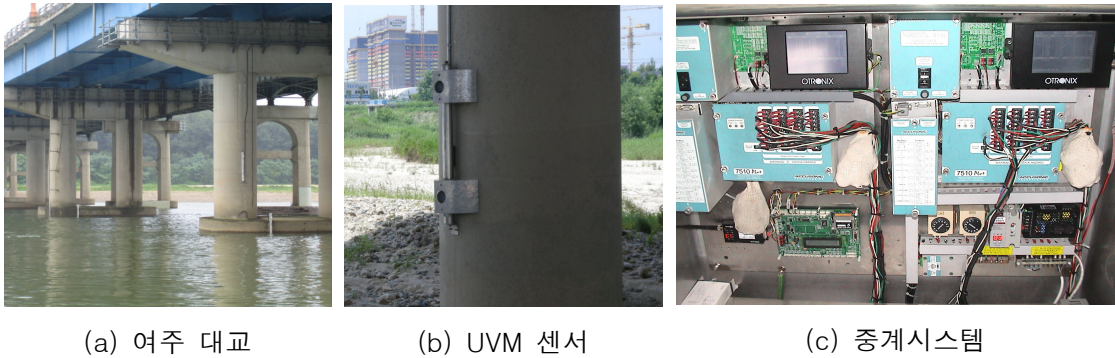


그림 2. 여주지점 자동유량측정시설 설치 현황

3. 2008년 측정성과

2008년 여주 지점 자동유량 측정시설은 1월 1일부터 12월 31일까지 운영되었다. 10분 간격으로 측정이 이루어지기 때문에 연간 총 52,560회의 측정이 이루어지지만 통신상의 오류나 전기적인 오류로 인해 부분적인 결측이 발생하여 총 51,744회의 측정이 이루어졌으며, 98.2%의 운영률을 기록하였다. 그림 3은 여주 지점 자동유량측정시설의 2008년도의 측정성적을 도시한 것으로 저·평수기 및 홍수기 기간동안 자동유량측정시설에서 안정적인 유량측정이 이루어졌으며 홍수기 운영기간 동안 최대 3,625m³/s의 유량이 측정되었다(그림 4).

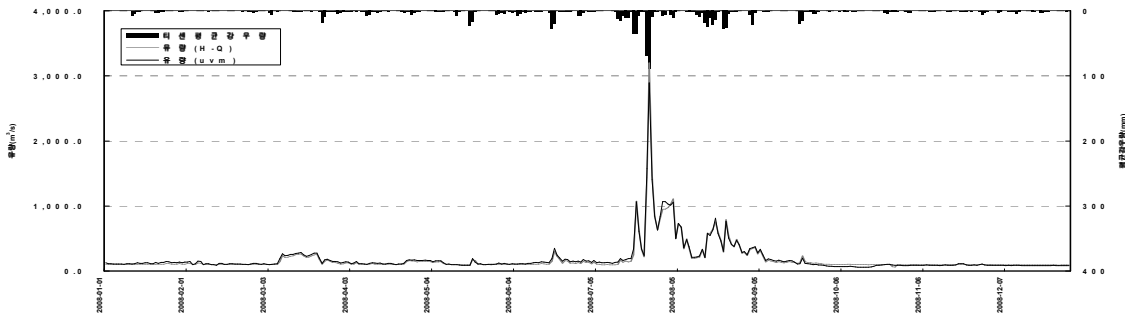
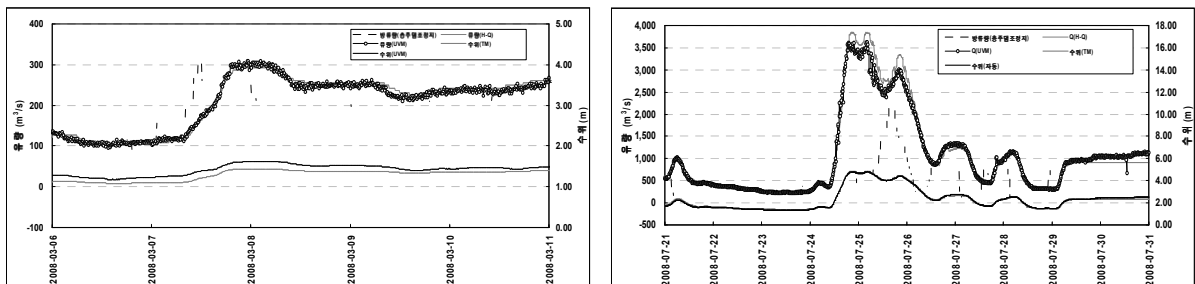


그림 3 여주 지점 2008년 유량측정성과



(a) 저평수기 측정성과

(c) 홍수기 측정성과

그림 4 여주지점 자동유량측정시설 저평수기 및 홍수기 유량측정성과

그림 4에서 보는 바와 같이 자동유량측정시설의 유량측정결과는 2008년 개발된 수위-유량관계 곡선식의 유량변화 경향과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났으며, 상류의 충주조정지댐 방류량의

증감에 따라 여주 지점의 유량이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 또한 홍수기 측정성과를 살펴보면, 수위상승에 따른 유량증가 시에는 수위-유량관계곡선식과 비교적 잘 일치하지만 수위하강시 유량의 감소변화는 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 이는 수위상승과 하강에 따른 환형(loop) 수위-유량관계에 의한 것으로 판단된다. 그림 5는 7월 19일~25일에 발생한 호우 사상에 대한 수위-유량관계를 도시한 것이다. 수위-유량관계곡선은 동일 수위에 대하여 하나의 유량 값을 나타내기 때문에 수위의 상승 및 하강시의 이러한 루프현상을 나타낼 수 없지만 자동유량측정시설에서 측정된 유량은 유량 이러한 환형 수위-유량관계를 잘 보여주고 있다. 침투유량이 발생한 시점부터 하강시 유량을 비교해 보면 부자법으로 측정된 유량은 $2,513\text{m}^3/\text{s}$, $2,436\text{m}^3/\text{s}$ 이며, 자동측정유량은 $2,494\text{m}^3/\text{s}$, $2,391\text{m}^3/\text{s}$ 로 측정되었고, 수위-유량관계곡선식으로 산정된 유량은 각각 $2,736\text{m}^3/\text{s}$, $2,763\text{m}^3/\text{s}$ 로 부자법으로 실측한 유량보다 크게 산정 된 것을 확인할 수 있다. 이러한 환형 수위-유량관계에 의한 수위상승과 하강시의 유량변화는 그림 6에서 보는 바와 같이 평수기에서도 나타나는 것으로 확인되었다.

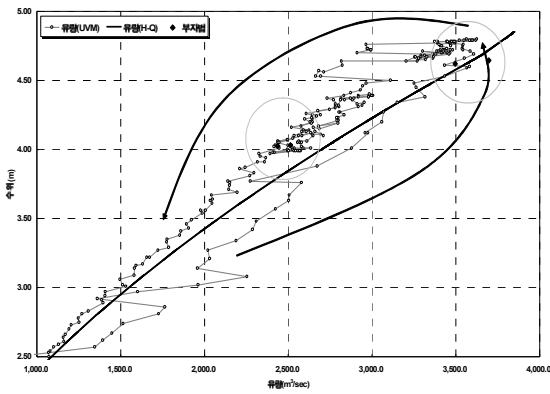


그림 5 환형(loop) 수위-유량관계

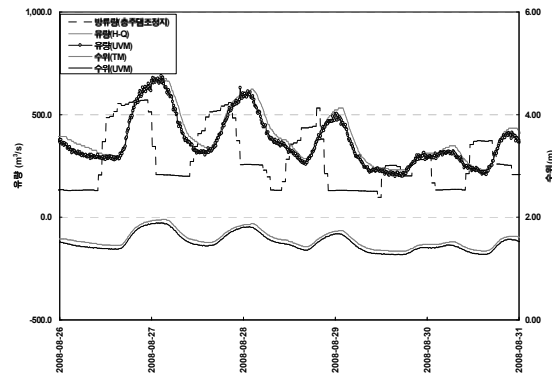


그림 6 loop에 의한 평수기 유량변화

4. 측정성과 검토

여주 지점 자동유량측정시설의 유량측정성과를 검증하기 위해 프라이스 유속계, 부자 및 이동 ADCP를 이용한 유량측정을 수행하여 동일시간대의 자동유량측정결과와 비교하였다. 여주 지점의 검증유량측정은 총 34회가 실시되었으며 이중 프라이스 유속계는 22회, 부자법은 6회, 이동 ADCP 법은 6회를 수행하였다. 검증측정성과와 UVM측정유량의 비교결과는 표 1과 같다. 저·평수기 검증측정유량과 자동유량측정시설로부터 측정된 유량과의 상대오차 범위는 0.3% ~ 13.4%이던 것으로 나타났으며, 홍수기 부자를 이용한 검증유량측정 값과의 상대오차는 0.7 ~ 13.5%의 범위를 보였다.

자동유량측정시설의 유량측정은 10분 간격으로 이루어지는 반면, 이동 ADCP를 제외한 프라이스 유속계 및 봉부자 측정은 1시간 이상이 소요되기 때문에 측정시간동안 유량의 변화가 발생하는 것을 감안하면

표 1. 여주지점 2008년 유량측정결과 비교

측정일시	수위 (m)	유량(m ³ /s)		오차 (%)	비고	측정일시	수위 (m)	유량(m ³ /s)		오차 (%)
		UVM	실측치					UVM	실측치	
02-15 15:20	1.07	101.6	101.1	0.5	프라이스 유속계	08-27 11:50	1.53	313.4	341.5	9.0
02-27 13:30	1.07	97.2	101.8	4.8		08-29 11:00	1.36	239.1	232.4	2.8
03-19 12:10	1.39	250.4	277.3	10.8		10-21 10:40	1.05	93.0	91.5	1.6
04-03 12:30	1.12	107.9	116.8	8.2		11-12 12:10	1.04	87.4	80.2	8.3
06-17 12:00	1.15	144.4	137.4	4.8		12-16 12:10	1.04	86.2	79.3	8.0
06-20 19:20	1.33	207.7	222.2	7.0		07-20 03:00	3.25	1,762.5	1,664.2	5.6
06-23 17:10	1.26	185.1	184.5	0.3		07-20 07:10	2.64	1,294.3	1,152.1	11.0
07-08 19:50	1.13	127.1	133.5	5.0		07-24 23:10	4.64	3,407.6	3,696.2	8.5
07-20 17:50	1.94	642.4	615.1	4.3		07-25 00:30	4.62	3,275.7	3,496.4	6.7
07-21 23:10	1.64	431.9	429.0	0.7		07-25 11:40	4.03	2,494.5	2,513.0	0.7
07-22 13:20	1.52	323.4	317.1	1.9		07-25 13:50	4.02	2,391.2	2,436.9	1.9
08-05 22:10	2.29	974.1	911.1	6.5		02-27 13:00	1.07	97.4	84.3	13.4
08-06 09:20	2.11	768.5	710.0	7.6		03-19 15:40	1.39	248.5	247.2	0.5
08-11 18:50	1.33	216.7	231.4	6.8		04-03 11:30	1.12	108.9	112.9	3.7
08-12 17:30	1.30	197.7	210.2	6.3		04-15 11:40	1.10	106.6	101.0	5.2
08-18 03:20	2.11	790.0	774.9	1.9		05-15 13:30	1.03	100.0	89.6	10.4
08-18 15:00	1.66	427.8	485.5	13.5	09-17 14:40	1.20	159.8	160.7	0.6	

5. 결론

2008년 여주 지점의 자동유량측정성과를 분석한 결과 결과, 저·평수기 및 홍수기 동안 안정적인 측정이 이루어진 것으로 판단된다. 또한 측정된 유량은 기존 수위-유량관계곡선 및 저·평수기 충주댐 방류량의 변화와 비교적 잘 반영하는 것으로 나타났다. 측정성과의 검증에 위해 실측한 수동유량측정값과의 비교결과, 평균 5.5%의 상대오차를 나타냈으며, 저·평수기 및 홍수기 측정치에 대한 상대오차 평균이 각각 5.5%, 7.6%인 것으로 나타났다. 또한 수위-유량관계곡선식이 환형 수위-유량관계를 반영할 수 없는 반면에 연속측정이 이루어지는 자동유량측정시설의 유량측정성과는 환형 수위-유량관계를 현상을 잘 나타내고 있다.

자동유량측정시설에 의한 유량측정은 무인으로 운영될 뿐만 아니라 매 10분 간격의 실시간 연속으로 이루어지기 때문에 측정의 효율성과 연속성을 확보할 수 있어 측정성과의 활용도가 기존 수위-유량관계를 이용한 유량환산방법보다 더 클 것으로 기대된다.

참고문헌

김창완, 이민호, 정상화, 민인홍 (2004). 초음파유량계를 이용한 실시간 하천유량측정, 한국수자원학회, **한국수자원학회 2004년도 학술발표회 논문집**, pp.220-224.

김창완, 이민호, 유동훈, 정성원 (2008). 자연하천에서 Chiu의 유속분포와 최대유속 추정을 이용한 유량산정, 한국수자원학회, **한국수자원학회 논문집**, No. 41, Vol. 6, pp. 575-585.

김치영, 김원, 이찬주, 김동구(2006). 유속지수법을 이용한 자동유량측정, 한국수자원학회, **한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집**, pp.242-246.

Chiu, C. -L. (1987). "Entropy and probability concepts in hydraulics." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 113, No. 5, pp. 583-600.

국토해양부 (2007). **2007년도 자동유량측정시설 구축 및 운영 보고서**