

탄천에서의 초음파 유량계 적용

○김 동 구* · 김 원** · 윤 광 석*** · 차 준 호****

1. 서 론

수자원의 효율적인 관리를 위해선 정확한 자료의 제공이 필수적이다. 하지만 현 유량측정방법인 유속계 측정법과 부자를 이용한 측정법은 그 오차와 경제성 면에서 많은 단점이 발견되고 있다. 이에 대한 대안 방법으로 정확도와 경제성 면에서 많은 장점을 가지고 있는 초음파 유량계가 있다. 이 초음파 유량계를 이용하는 방법은 갈수기와 홍수기에 정확한 유량 자료를 공급할 수 있을 것이다.

초음파 유량계가 우리나라의 실제 하천에 적용된 사례가 없기 때문에 초음파 유량계의 자연하천에 대한 적용성을 검증하기 위해 한국건설기술연구원에서 탄천에 초음파 유량계를 시범 설치하였다. 본 연구에서는 탄천에 설치된 초음파 유량계에 대한 설치 과정과 설치후 적용 결과에 대해 알아보고자 한다.

2. 기본 이론

초음파를 이용한 측정은 하천의 반대편에 흐름방향에 경사지게 초음파를 발사하여 다시 반사되어 오는 시간차를 기록함으로써 주어진 깊이에서 유속을 연속적으로 측정하는 것이다. 하류로 내려가는 음파는 음향 축선(acoustic path)과 평행한 유속 성분 때문에 상류로 올라가는 음파보다 빠른 속도를 가진다. 물에서 유속은 음속보다 느리기 때문에 상하류 유효시간의 차이는 매우 작다. 높은 정확도를 위해서는 정확한 시간차를 측정할 수 있어야 한다.

변환기(transducer)는 음파를 주고받기 위해 하천 양쪽 제방에 설치된다. 변환기 사이의 연결선과 흐름방향과의 각은 보통 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 로 한다. 유속은 기기의 정밀도에 따라 최고 $\pm 0.1\%$ 오차범위 내에서 측정할 수 있다. 동시에 흐름의 평균 수심은 부상기록계나 초음파 계기를 이용해 측정한다. 유량은 평균유속, 평균수심, 하폭 값을 이용하여 유속-면적법을 이용하여 계산한다.

초음파 이용법은 수위-유량관계가 안정되지 않고 구조물에 의한 관측이 적합하지 않은 폭 약 300m 정도까지의 하천에 적용할 수 있다. 따라서 이 방법은 댐으로 인한 배수 영향, 조석, 그 외 원인으로 인한 영향에 적합한 방법이고 유량측정용 구조물의 설치비용이 많이 드는 곳이나 흐름이 충분하지 않거나 수두가 확보되지 않는 곳에 적합하다. 초음파 이용방법의 보다 중요한 장점은 하천에서 측정을 위한 수축부나 구조물이 없다는 것과 결과는 평균유량으로 나오며 역류를 측정할 수 있으며 측정결과가 연속적이라는 것이다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원

** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원 · 공학박사

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

**** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원

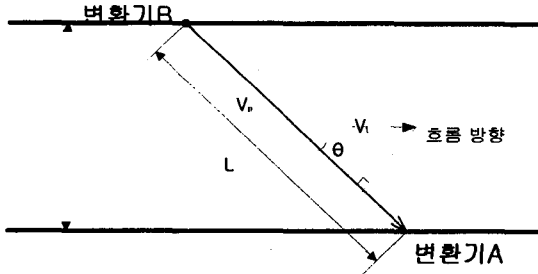


그림 1 초음파 측정의 원리

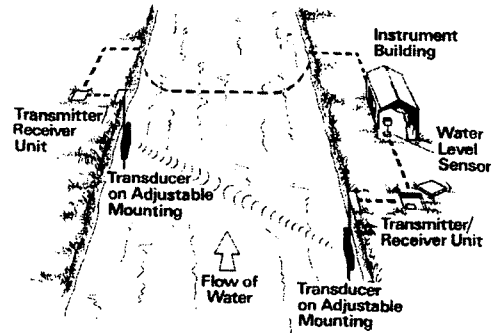


그림 2 초음파 유량계 설치 개략도

초음파를 이용한 측정방법은 통상적인 방법으로 만족할 만한 결과를 얻지 못했던 지점에서 측정방법으로 사용하면 좋은 결과를 얻을 수 있다. 또한 구성된 시스템에서 전체적으로 측정상 발생할 수 있는 불확실도는 오차 약 5%정도이다. 초음파 측정기의 측정 범위는 mm/s 단위의 아주 작은 크기도 측정할 수 있으며 속도 측정의 상한값은 없다.

3. 초음파 유량계 설치

탄천은 하구부를 기준으로 총 유역면적이 302.10km², 유로 연장은 35.60km이며 경기도 관내의 탄천 유역면적은 204.90km²이다. 유역의 형상은 비교적 장방형을 이루면서 남북으로 길게 형성되어 있고 유역의 평균폭은 동서로 약 10km, 남북으로는 15~17km 정도를 이루고 있다. 탄천 유역은 대체적으로 해발 40m~600m 정도의 표고를 이루는 산지부가 대략 유역의 60% 정도를 차지하고 있다. 탄천의 하상경사는 동막천 합류부를 기준으로 하류부는 대략 1/730~1/350 정도이고 상류부 구간은 대략 1/300~1/90 정도로서 상류부가 급경사를 이루고 있다. 또한 초음파 유량계 설치 지점의 하폭은 저수부가 약 80m, 고수부 포함하여 약 150m 정도 된다. 탄천 하구부의 계획 홍수량은 100년 빈도에 2,090m³/s이다.

탄천이 초음파 유량계 설치 지점으로 선정된 이유는 탄천 하구부에서 한강으로 유입되기 직전에 보가 설치되어 있어 저수시에도 항상 수위가 일정하게 유지가 되고 하폭도 적당하며, 고수부가 주차장으로 사용되고 있으므로 식생이 많지 않으며, 하상도 안정되어 있고, 유속분포가 일정하게 나타나기 때문이다.

초음파 유량계를 설치하기 전에 현장에 대한 설치단면 측량과 유량 측정을 실시하였다. 그림 3은 초음파 유량계 설치 지점의 개략적인 위치와 측선에 대한 거리 측량값을 보여주고 있으며, 그림 4는 초음파 유량계가 설치될 지점의 측량 결과에 의한 단면도를 보여주고 있다.

시범 설치 지역인 탄천 하구부 설치된 초음파 유량계의 사양은 다음과 같다. 설치된 초음파 유량계는 크게 유속을 측정하기 위한 초음파 변환기와 수위를 측정하는 부분으로 나누어져 있다. 측정된 유속과 수위값에 따라 순간적인 유량을 계산해 내게 된다.

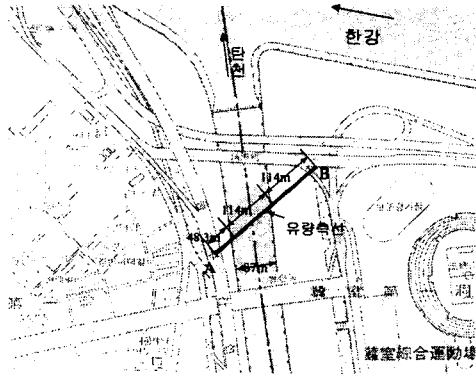


그림 3 설치지점의 위치도

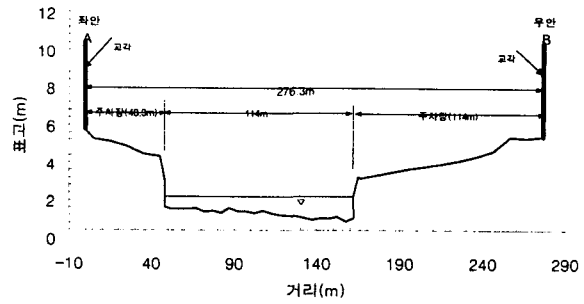


그림 4 설치지점의 측량 결과

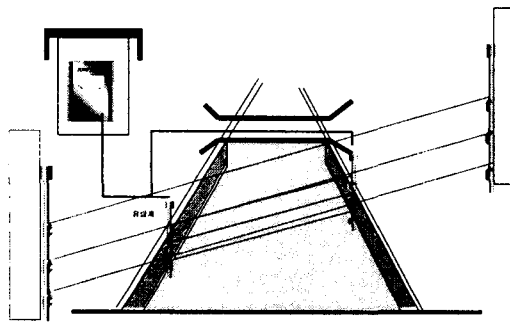


그림 5 시스템 구성도

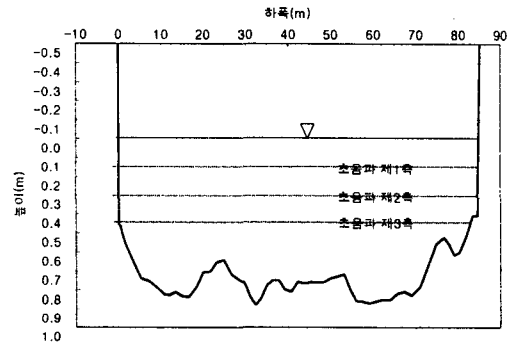


그림 6 초음파 측선도

<시스템 사양>

- 명칭 : 하천용 초음파 수평평균 유속측정장치
- 제조사 : (주)창민테크
- 특성
 - 수평평균 유속측정 회선수 : 8회선
 - 최대 측정수심 : 10m
 - 수평평균 유속 측정오차 : $\pm 0.5\%$
 - 측정 방법 : 충격파 + 시간차
 - 측정 범위 : 1m ~ 300m
 - 유 속 : -10m/s ~ +10m/s

측정된 데이터는 주기적으로 휴대용 PC를 사용하여 현장에서 유량계에 저장된 측정자료를 취득하고, 실시간 전송장치도 추가적으로 설치할 계획이다. 초음파 유량계를 운영하기 위해서는 계측기를 운영할 수 있는 상용 전원(AC 220V)의 가설이 필요하며 장마철에 유량을 정확하게 측정할 수 있도록 센서 중심에서 $\pm 2m$ 이내의 장애물을 제거하도록 하였다. 아래 그림은 현장에 설치된 센서를 보여 주고 있다. 그림 7과 8은 설치 지역의 우안의 고수부와 저수부에 설치된 센서를 보여주고 있다. 이와 같은 쌍의 센서가 좌안에도 똑같이 설치된다.



그림 7 초음파 센서 설치장면(고수부 우안)



그림 8 저수부 센서(우안)

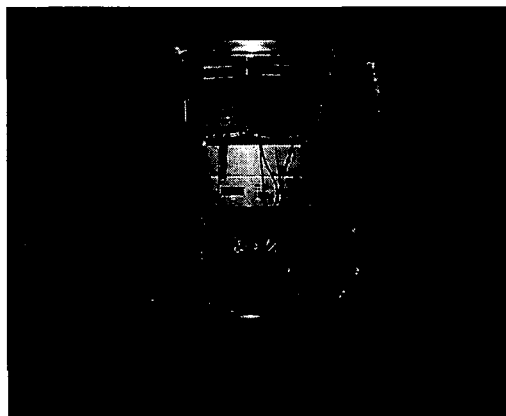
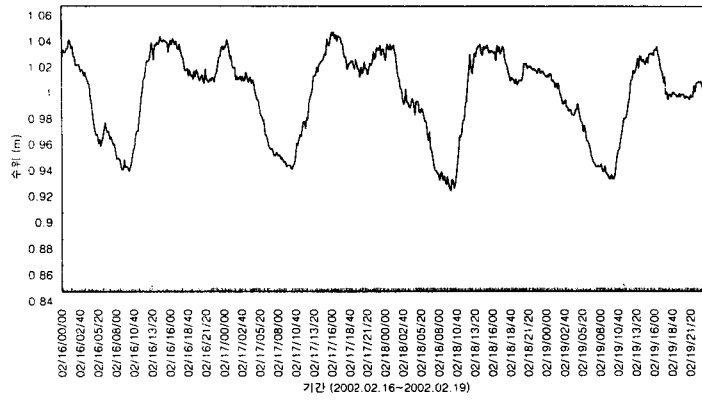


그림 9 주통계소 및 컨트롤러

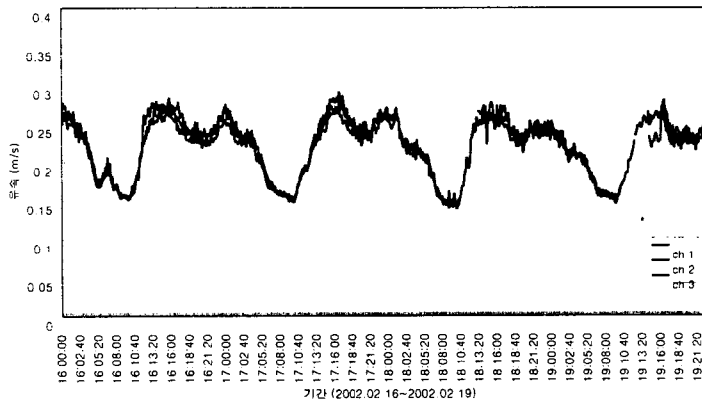
4. 측정 결과

초음파 유량계를 설치하고 시험 운영을 해본 결과 다음 그림과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 설치 초기에는 초음파 신호의 잡음 때문에 측정이 어려웠으나 최근인 2002년 2월에 측정된 자료에서는 정상가동 상태를 보이고 있는 것을 아래 그림에서 확인할 수 있다. 홍수기가 아니기 때문에 저수부에 있는 3개 채널의 센서에 잡힌 결과만을 보여주고 있다. 이 결과를 통해서 센서의 작동 상태를 판단해 볼 수 있다. 또한 측정 결과가 초 단위로 생성되므로 연속적인 자료로서의 활용이 충분히 가능할 것으로 사료된다.

그림 10의 (a)와 (b)는 측정 결과를 나타낸 것으로서 수위의 변화양상에 따라 유속의 변화양상이 잘 맞는 것을 확인할 수 있다. 표 1은 그림 11에 나타난 기간의 평균유속을 계산하여 유량계산을 해 본 것이다.



(a) 수위



(b) 유속

그림 10 초음파 측정장치를 이용한 측정 결과(2.16~2.19)

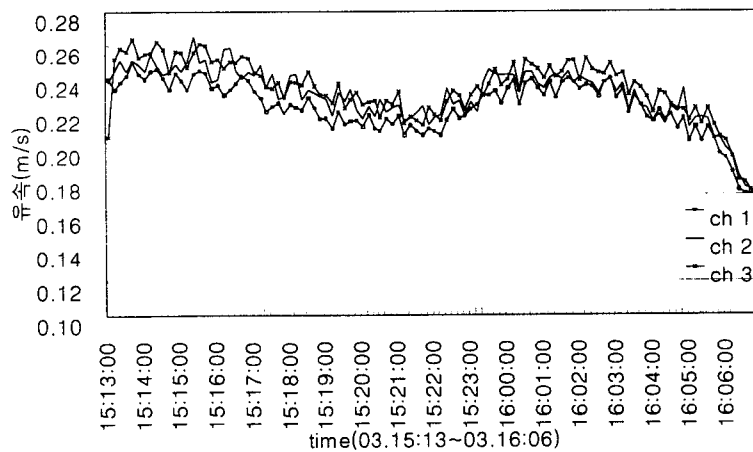


그림 11 초음파 측정장치를 이용한 측정 결과(3.15~3.16)

표 1 초음파 유량계에 의한 유량계산 결과

회선 번호	유속(m/s)	단면적(m ²)	유량(m ³ /s)
제 1 회선	0.223	31.87	7.11
제 2 회선	0.230	10.45	2.40
제 3 회선	0.234	18.81	4.40
합계		61.63	13.91

5. 결 론

초음파 유량계는 자료의 연속성을 확보할 수 있다는 점에서 매우 중요한 의미를 가지고 있다고 할 수 있다. 지금까지의 유량 측정법은 현장에 영구적으로 설치되어 있는 유량측정장치를 사용하지 않았다. 따라서, 자료의 연속성이 확보되지 않고 자료 분석에 어려움을 가지고 있었다. 하지만 탄천에 설치된 초음파 유량계는 거의 매초 단위로 측정결과가 나오기 때문에 홍수기에 첨두유량도 어렵지 않게 잡아낼 수 있다. 또한 정확도면에서도 기존 유량 측정법에 비해 크게 향상되어 설치된 측정장치의 경우 오차 5% 이내의 정확도를 가지며 통상 이용하는 유량측정법인 유속-단면적법이 정확도 오차가 5~10%인 것을 감안하면 정확도가 크게 향상된 것을 알 수 있다. 유속-단면적법은 초음파를 이용한 유량 측정법에 비해 오차가 클 뿐만 아니라 경제적인 면에서도 매년 측정 사업마다 부대비용을 포함한 많은 비용이 들기 때문에 장기적으로 보아서는 비경제적인 방법이라 할 수 있다. 이에 비해 초음파를 이용한 유량측정 방법은 설치 후 유지 관리비용만 들기 때문에 훨씬 경제적이라 할 수 있다.

6. 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-1-1)에 의해 수행되었습니다.

7. 참고문헌

1. 건설교통부 (1995). 유량관측개선방안 연구조사.
2. Herschy, R. W. (1985). *Streamflow Measurement*, ELSEVIER APPLIED SCIENCE PUBLISHERS LTD.
3. Herschy, R. W. (1999). *Hydrometry*, John Wiley & Sons.
4. ISO 6416 (1992). *Measurement of liquid flow in open channels - Measurement of Discharge by the Ultra(Acoustic) Method Second Edition*.
5. USBR (1997). *Water Measurement Manual*.
6. 창민테크 www.changmin.co.kr