

댐 하류 시험하천에서의 유량 측정 방법간 비교

A Comparative Study on the Discharge Measurement Methods at a Experimental Stream Downstream of Dam

이찬주*, 김원**, 김동구***, 김치영****

Chan Joo Lee, Won Kim, Dong Gu Kim, Chi Young Kim

요 지

수자원의 계획과 관리를 위해 정확한 유량 측정은 무엇보다 중요하다. 이를 위해 다양한 유량 측정방법이 개발, 적용되고 있다. 본 연구는 국내 하천에 적용 가능한 다양한 유량 측정방법을 시험하천에 동시에 적용하여 유량 측정 방법간 비교를 목적으로 수행되었다. 비교를 위해 적용된 방법은 유속면적법, 부자법, ADCP법 등의 비연속적 방법과 기존 보를 이용한 방법, 초음파 유량계를 이용한 방법, 유속지수법, 실시간 경사면적법 등의 연속적 방법이다.

평저수기에 주로 적용될 수 있는 비연속적 방법인 유속면적법과 ADCP법의 비교에서는 유속면적법이 방류량 대비 평균 $\pm 4.7\%$ 의 오차를 가지며, ADCP법의 경우 $\pm 4.6\%$ 의 오차를 갖는 것으로 나타났다.

비연속적 방법과 연속적 방법을 동시에 비교하기 위해 평저수 5회, 홍수 2회를 포함하는 총 7회의 동시 유량측정이 수행되었다. 유속면적법과 ADCP법은 부적절하게 적용된 경우를 제외하면 오차는 대체로 10% 이내로 나타났다. 부자법의 경우 홍수시에만 적용되었으나 오차가 방류량 대비 20% 이상으로 다소 크게 나타났다. 연속적 방법은 기존 보의 경우 개발된 수위-유량 관계의 이하의 저유량에 적용할 경우 오차가 다소 크게 산정되었으나 그 이외에는 대체로 10% 이내의 오차를 나타내었으며, 일부 저수위의 유속지수법을 제외하면 연속적 방법은 모두 오차가 10% 이내로 조사되었다.

향후 보다 장기간에 걸쳐 다양한 유량 범위에서의 검증이 필요하지만, 시험하천에서의 유량 측정 방법간 비교는 국내 하천에 적용할 수 있는 다양한 방법의 적용성을 평가하는데 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

핵심용어 : 시험하천, 유량 측정 방법

1. 서론

수자원 계획과 관리를 위한 정확한 유량 측정의 중요성이 최근 강조되면서 현장 하천에서 적용되고 있거나 적용할 수 있는 다양한 유량 측정 방법 간의 비교 평가가 필요하게 되었다. 미국을 비롯한 수문관측의 선진국에서는 이미 오래 전부터 다양한 유량 측정 방법이 도입되고 현장에서 평가되어 왔으며, 이에 따라 현장 상황에 맞는 방법이 개발되어 적용되고 있다. 하지만 우리나라에서는 유량 측정이 이미 수십 년간 시행되어 왔음에도 유속면적법이나 부자법 위주의 유량 측정 방법 이외의 다른 방법들의 적용은 아직 미흡한 상태이며 이로 인해 다양한 유량 측정 방법의 현장 적용이 널리 이루어지지 못하고 있다.

한국건설기술연구원에서는 다양한 유량 측정 기술을 개발하고 현장 하천에 지속적으로 적용하기 위해 2004년부터 괴산댐 하류의 시험하천을 운영하고 있다(김원이찬주 등, 2005, 2006). 시험하천에서는 일반적인 유량 측정 방법으로 유속면적법과 부자법을 비롯하여 ADCP법을 적용하고 있을 뿐만 아니라 연속적으로 유량을 측정하는 방법인 기존 보를 이용한 유량 측정 방법, 유속지수법을 이용한 방법, 초음파유량계법 등의 방법도 동시에 적용하고 있다. 이 글에서는 2004년 이후 시험하천에서 적용되고 있는 다양한 유량 측정 방법

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : c0gnitum@kict.re.kr
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : wonkim@kict.re.kr
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : kimgdg@kict.re.kr
**** 정회원 · 건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : cy_kim@kict.re.kr



그림 1. 과산댐 시험하천 개요도

의 특성을 분석하고 유량 측정 방법간 비교 결과를 제시하고자 한다.

2. 시험하천 개요

유량 측정 방법간의 비교 연구를 위한 시험하천은 유량 측정 대상 하천의 일반적인 규모와 조건을 가진 하천이 적절하다. 본 연구의 대상 시험하천인 달천은 충북 괴산군 칠성면 외사리에 소재한 괴산댐의 하류에 위치하고 있으며, 유역면적은 675.2km², 하상 재료는 호박돌이고 하상 경사는 약 1/650, 하폭은 약 90m 정도로 국내의 흔한 중규모 자갈하천을 대표한다고 볼 수 있다(그림 1).

본 시험하천은 하천의 상태는 대체로 자연 상태이나 상류 댐의 조절로 인해 유량이 일정하게 조절되므로 유량 측정 환경이 양호하고 댐 방류량을 기준으로 삼아 다양한 유량 측정 방법의 정확도를 비교할 수

있다는 장점을 갖고 있다. 괴산댐은 평저수시에는 5~20cms 정도로 발전 방류를 하며, 홍수시에는 최대 1,000cms 이상을 방류한다. 따라서 다양한 유량과 유속 범위에서 유량 측정 시험이 가능하다. 한국건설기술 연구원에서는 이러한 장점을 갖고 있는 시험하천에 여러 종류의 유량 측정 방법을 적용함으로써 다양한 유량 측정 기법간의 비교 연구를 수행하고 있다. 표 1에는 시험하천에 적용하고 있는 다양한 유량 측정 방법을 제시하였다.

3. 유량 측정 방법간 비교 결과 분석

3.1 동시유량측정

동시 유량측정은 일정한 시간동안 시험하천에서 적용 가능한 다양한 유량측정 기법을 동시에 적용하여 그 결과를 통해 유량측정 방법을 상호 비교할 목적으로 수행되었다. 시험하천에서 적용된 방법은 표 1과 같으며, 현재까지 평수기 5회, 홍수기 2회의 동시 유량측정이 수행되었다.

평수기 1차 측정은 2004년 8월 12일에 수행되었으며, 3종의 유속계를 이용한 유속면적법과 도섭법으로 측정한 ADCP 결과가 비교되었다. 유속면적법은 11.75~12.8cms로 댐 방류량(12cms) 대비 오차가 -2.1~6.8%였고 도섭법으로 실시한 ADCP 측정 결과는 14.7cms로 방류량에 비해 다소 크게 산정되었으며 오차가 22.5%로 나타났다(그림 3).

평수기 2차 측정은 가장 유량이 적은 6.0cms에서 2005년 3월 14일에 실시되었으며, 초음파유량계가 동시에 측정되었다. 유속면적법은 6.13cms로 2.2%의 오차였고, 케이블법으로 시행한 ADCP의 경우 6.96cms로 16%

표 1. 시험하천에서 적용되고 있는 유량측정 방법

유량측정 방법		주요 특징		
		사용장비	적용 기간	측정 시간
비연속적 방법	유속면적법 (도섭법/교량법)	프라이스/피그미유속계 마그네틱유속계, 휴대용ADV	평저수/홍수기	2시간
	봉부자법	봉부자	홍수기	40분
	ADCP법(이동법)	ADCP	평저수/홍수기	30분
	ADCP법(정지법)	ADCP	홍수기	40분
연속적 방법 (실시간)	유속지수법	Side-Looking ADP	평저수/홍수기	매 2분
	초음파유량계법	초음파유량계	평저수/홍수기	매 1분
	기존 보 활용	기포식수위계 1기	평저수/홍수기	매 5분
	LSIV	영상장비	평저수/홍수기	-
	경사면적법	기포식수위계 3기	홍수기	매 5분
	1차원수치모형	수치모형	평저수/홍수기	실시간

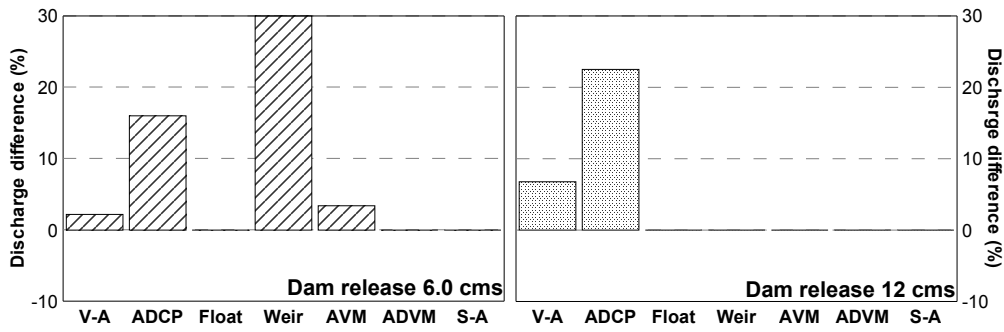


그림 2. 평저수기 동시유량측정 결과(1, 2차)

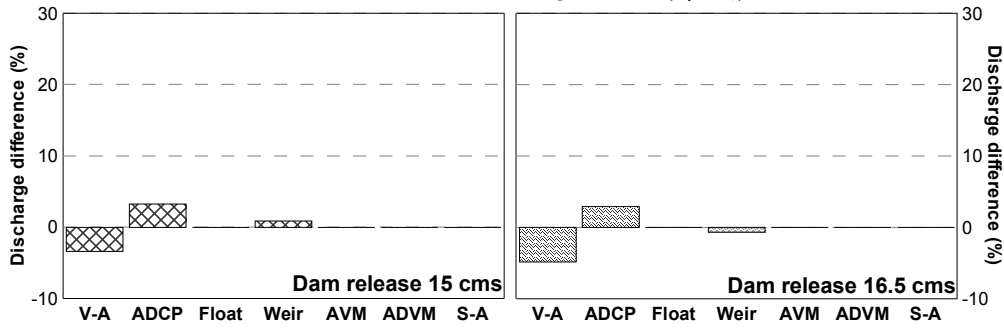


그림 3. 평저수기 동시유량측정 결과(3, 4차)

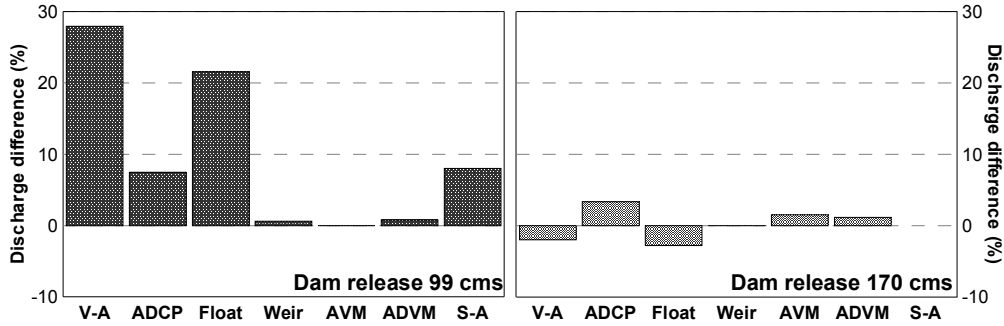


그림 4. 홍수기 동시유량측정 결과(1, 2차)

* 참고 : V-A(유속면적법), AVM(초음파유량계), ADVM(유속지수법), S-A(경사면적법)

의 오차가 산정되었다. 초음파유량계의 경우 흐름이 정상류인 시간만을 고려할 경우 8.2%의 오차가 산정되었으며, 기존 보를 이용할 경우 39.0%로 다소 큰 오차가 산정되었다(그림 3).

평수기 3차 측정은 2005년 3월 22일에 방류량이 15cms인 상황에서 수행되었다. 유속면적법은 -3.4%이고, ADCP는 3.3%의 오차를 나타내었으며, 연속적 방법인 보를 이용한 유량은 방류량 대비 0.9%로 나타났다. 적용된 방법이 상대적으로 적었으나 대부분 5% 이내의 오차를 나타내고 있다(그림 4).

평수기 4차 측정은 2005년 3월 24일에 수행되었다. 비연속방법은 유속면적법과 ADCP법이 적용되었으며 연속방법은 보를 이용한 방법이 적용되었다. 댐 방류량은 16.5cms였으며, 유속면적법은 14.5cms로 9.4%의 오차를 나타내었고 ADCP법은 17cms 정도로 3.7%의 오차를 나타내었다. 실시간 방법인 기존 보 활용의 경우 2.0%를 나타내어 상대적으로 높은 정확성을 보여주었다(그림 4).

평수기 5차 측정은 중간에 방류가 중단되어 측정 방법간 비교가 불가능하였다. 평수기에 수행된 총 5차의 결과들은 유량이 적은 경우 개별 측정법과 댐 방류량간의 오차가 일관되지 않다는 점을 보여주고 있다. 이는 저수 유량 측정의 불확실도가 높다는 점을 간접적으로 나타낸다. 다만, 불확실도를 줄이기 위해 측정을 보다 세심하게 수행할 경우 오차가 줄어든다는 것을 보여주었다.

홍수기 동시 유량측정은 2005년 7월 중에 2회 실시되었다. 홍수기 측정은 홍수기 중에 여수로를 통해 일정한 방류가 지속되는 상황에서 동시 유량측정이 수행되었다.

7월 1일의 1차 측정은 약 99cms의 방류 조건에서 유속면적법, 부자법, ADCP법(보트법, 정지법, 교량법)이

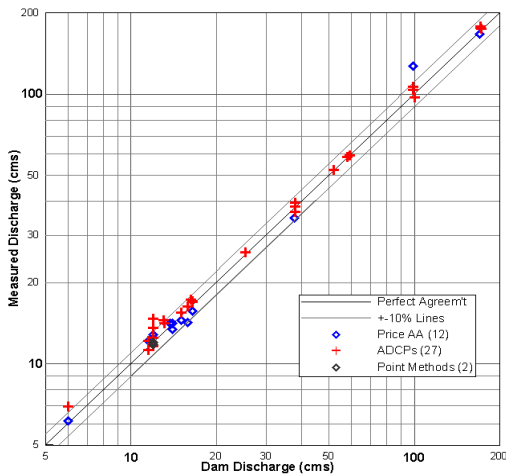


그림 5. 괴산댐 방류량과 유속면적법, ADCP 유량의 비교

류량 대비 2.2%의 오차를 나타내었다. 부자법의 경우 30.9%의 오차로 1차 측정과 비슷한 정도의 오차가 산정되었다. ADCP법의 경우 2.6~6.6%로 대체로 1차 때와 비슷하게 양호한 측정 결과를 얻었다. 연속 측정법의 경우 기존 보 활용의 오차가 3.1%, 유속지수법이 1.2%, 경사면적법이 0.9%로 대체로 3% 정도 이내의 오차 내에서 측정이 이루어졌다(그림 5).

홍수기 측정의 결과는 유속면적법의 경우 적절한 추의 사용을 통해 대체로 댐 방류량과 일치되는 결과를 얻을 수 있었으며, ADCP법 역시 5~7% 범위의 오차로 양호한 결과였다. 그러나 부자법의 경우 오차가 20% 이상으로 다소 크게 산정되었다. 연속적 방법의 경우 두 차례의 동시 유량측정 결과만을 보면 3% 이내의 상당히 양호한 결과를 나타내고 있을 뿐만 아니라 방류량의 변화에 따른 유량 변화가 민감하게 반영됨을 보여주고 있다.

그림 6은 괴산댐 하류의 시험하천에서 약 5~200cms의 유량 범위에 대한 방류량과 유속면적법, ADCP법의 측정 결과를 보여주고 있다. 이 그림은 두 방법이 대부분 댐 방류량 대비 $\pm 10\%$ 정도의 오차 내에서 결과를 얻을 수 있음을 보여준다. 하지만 유량이 적은 저수기에는 ADCP 측정 결과에 오차가 10%를 일부 초과하고 있고, 홍수시에는 유속면적법 측정 결과가 10%를 초과하고 있다. 이러한 측정 오차의 증가는 흐름 조건에 대한 충분한 대비가 수반되지 못할 경우 유량 오차가 커질 수 있음을 보여주고 있다.

3.2 유량 측정 방법의 정확성, 효율성, 경제성 비교

본 연구에서는 시험하천에서 적용했던 다양한 유량측정 방법의 결과를 토대로 유량 측정 방법들의 정확성, 효율성(편의성), 경제성을 정성적으로 비교, 분석하였다. 비연속방법의 경우 유속면적법과 ADCP법을 비교하였고, 연속방법의 비교에는 유속지수법, 경사면적법, 기존 보 활용법을 고려 대상으로 하였다. 그림 7은 유속면적법과 ADCP법을 비교한 결과이다. 평저수시는 유속계를 이용하는 유속면적법이 정확성과 편의성면에서 ADCP법과 대체로 비슷한 것으로 나타났다. ADCP는 고정비용이 다소 많이 드는 것으로 나타났다. 홍

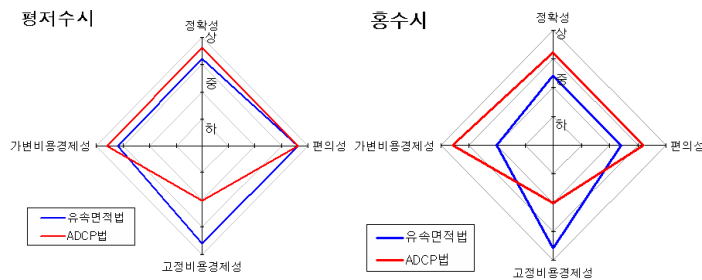


그림 6. 유속면적법과 ADCP법의 비교

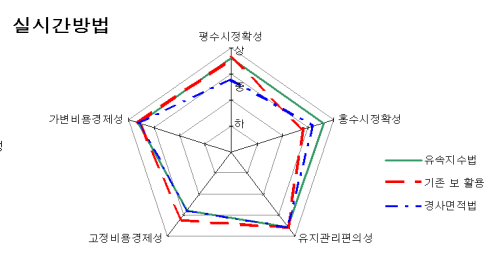


그림 7. 연속 유량 측정기법의 비교

수시에는 부자를 이용하는 방법이 ADCP를 이용한 정지측정법에 비해 상대적으로 정확성이 떨어지는 것으로 판단된다. ADCP법의 경우 대체로 고정비용이 많이 드는 대신 가변 비용이 다소 작은 것으로 나타났다.

연속 유량측정 방법의 경우(그림 8), 시험하천에서 현재 정상적으로 운용되는 유속지수법, 실시간 수위를 이용한 경사면적법, 기존 보 활용법만을 고려하였다. 유속지수법의 경우 평저수시 및 홍수시에 댐 방류량 대비 오차가 적게 나타나 정확성이 대체로 높은 것으로 나타났으며, 유지관리가 편하고 설치시 이외에는 추가 비용이 거의 소요되지 않으므로 가변비용경제성이 높은 것으로 나타났다. 경사면적법의 경우 평저수시에는 오차가 클 뿐만 아니라 홍수시에도 다소 오차가 크게 발생하는 것으로 분석되었으며, 유지관리나 운영에 추가 비용이 거의 소요되지 않는 것으로 분석되었다. 기존 보 활용법의 경우 평저수시에는 대체로 정확성이 높게 나타났으나 홍수시 보 하류에 의해 흐름이 잠길 경우 측정 오차가 증가하여 이에 대비한 별도의 방법이 필요한 것으로 나타났다. 기존 보를 활용할 경우 유지관리 및 가변 비용이 거의 소요되지 않을 뿐만 아니라 설치비용도 저렴하여 고정비용경제성 또한 높은 것으로 나타났다.

시험하천에서는 동시유량측정을 통해 유량측정 방법간 정확성 비교를 수행하였으며, 이를 토대로 비연속, 연속 유량측정 기법의 정확성, 효율성, 경제성 등을 비교하였다. 향후 다양한 지점에서 지속적인 유량 측정을 통해 유량측정 방법간 특성을 비교하고 검증하는 작업이 더욱 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

이 글에서는 유량 측정 방법간 비교를 위한 시험하천 운영 결과를 제시하였다. 유량 측정 방법간 비교 결과는 전반적으로 방법상의 특성에 차이는 있으나 저수시에 유량 측정의 오차가 커질 가능성이 높음을 보여준다. 평수시 및 홍수시의 경우 비연속적 방법과 연속적 방법 모두 방류량 대비 오차가 상당히 양호한 수준에 근접하고 있어, 정확도 면에서는 방법 간 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 다만, 측정 방법에 따라 정확도를 높이기 위해서는 적합한 운용 기술과 경험이 요청된다는 것을 보여주고 있다. 실시간 유량측정 방법의 경우 충분한 측정을 통해 적절한 유량 관계식을 개발하고 보정할 경우 상당히 정확하게 측정할 수 있음을 보여주고 있다. 향후 보다 장기간에 걸쳐 다양한 유량 범위에서의 검증이 필요하지만, 시험하천에서의 유량 측정 방법간 비교는 국내 하천에 적용할 수 있는 다양한 방법의 적용성을 평가하는데 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

감 사 의 글

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

참 고 문 헌

1. 김원, 이찬주, 김동구, 김치영(2006) 수문 관측방법 비교를 위한 달천 시험하천의 운영, 제1회 수문관측 심포지엄발표논문집
2. 이찬주, 김원, 김동구, 김치영(2005) 다양한 유량 측정방법 비교를 위한 괴산댐 시험하천의 운영, 2005년도 대한토목학회학술발표회논문집