

하천유량 오차의 평가

○김 원 · 김 상 호 · 김 동 구

1. 서 론

유량은 생활용수, 공업용수, 농업용수 등 기본적인 이수계획, 홍수예경보, 홍수방어계획 수립 및 시행 등 치수계획, 수질과 관련된 환경계획, 유량과 관련된 경관계획 등 모든 분야에서 가장 중요하게 사용되는 기초적이면서도 모든 것을 좌우할 수 있는 중요한 자료이다.

수위와 유량과는 달리 고정된 기계장치에 의한 자동적인 관측이 곤란한 유량의 경우에는 상대적으로 많은 오차가 포함되기 쉽다. 또한 우리나라의 특성상 하상변동이 많이 발생하기 때문에 고정적인 수위-유량관계곡선의 개발 및 활용에 큰 한계가 있다. 이에 따라 유량자료의 측정, 검증, 관리, 수위-유량관계곡선 개발, 배포, 보관 등에서 많은 오차가 발생할 가능성을 안고 있는 것이다. 이에 따라 유량측정 자료에 대한 충분한 검증과 공인 절차가 없이는 정확도 높은 자료를 확보할 수 없는 것이 유량자료의 특성이기도 하다.

유량측정을 위해 여러 가지 요소를 측정하는 과정에서 발생하는 불확실성을 정의하고 이러한 불확실성을 전체 유량측정의 정확도로 결합하기 위해 많은 연구들이 수행된 바 있다. 미국에서는 Carter와 Anderson(1963), Smoot와 Carter(1968), 그리고 Schneider와 Smoot(1976) 등에 의해 주요한 오차연구가 수행된 바 있다. 영국에서는 Herschy(1971, 1985)가 유량측정 오차의 원인과 규모에 대해서 정의한 바 있고 이에 대한 여러 가지 논문을 발표한 바 있다. 국제표준기구(ISO)(1979)에서는 오차결정을 위한 표준방법을 제시한 바 있는데, 이 표준방법은 Herschy와 Carter의 연구결과에 바탕을 두고 있으며 유럽의 여러 나라들과 소련, 캐나다 등의 정보를 포함하고 있다. 국제기상기구(WMO)(1980)에서는 유량측정의 오차결정을 위한 지침을 개발한 바 있다. Dickinson(1967)은 유량측정오차의 계산 절차에 대한 심도깊은 연구를 수행한 바 있으며 Pelletier(1988)에 의해 확장되고 개선되었다. Pelletier(1988)의 보고서는 그 때까지 수행된 여러 연구에 대해 잘 요약하고 있으며 많은 참고문헌을 포함하고 있다.

본 연구에서는 하천 유량측정에서 발생할 수 있는 오차에 대해서 검토하였다.

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원

2. 유량오차의 종류

하천 유량 자료에 포함될 수 있는 오차는 크게 측정시의 오차와 수위-유량관계곡선의 오차로 나눌 수 있다. 측정시에 발생하는 오차는 크게 다음과 같은 네가지로 구분할 수 있다(Sauer와 Meyer, 1992).

- 횡단면적과 관련되는 오차로서, 하폭과 수심 측정에서 발생하는 오차와 측선에서 측정되는 수심이 소단면의 평균수심이라는 가정에서 발생하는 오차
- 평균 유속측정과 관련되는 오차로서, 유속계 오차, 유속의 수직 및 수평방향 분포, 유속 변동, 비직각 흐름, 난류 등으로 인해서 발생하는 오차
- 계산방법과 관련되는 오차
- 측정중의 수위변화, 경계효과, 얼음, 장애물, 바람, 부적절한 장비, 부적절한 측정방법, 측선의 부적절한 분포, 부주의 등으로 인해 발생하는 오차

Sauer와 Meyer(1992)에 의하면 유량측정의 표준오차는 이상적인 조건인 경우에 대한 2%로부터 조건이 좋지 않고 단순화된 방법인 경우에 대한 20%까지 나타났다. 대부분의 측정은 3%에서 6%까지의 표준오차를 가지고 있다. 특히 정확하지 않은 측정절차와 부주의에 의한 오차 외에도 바람, 얼음, 경계효과, 흐름장애, 부적절한 장비 등에 의해서 발생하는 오차는 오차해석에 의한 값보다 크게 나타났다. USGS의 경우 유량측정자는 측정에 대해 다음과 같은 정확도 등급을 결정해야 한다.

Excellent : 유량 참값의 2% 이내인 경우

Good : 5% 이내

Fair : 8% 이내

Poor : 8% 이상

3. 유량측정시에 발생하는 오차의 검토

본 연구에서는 하천유량측정시에 발생하는 오차를 검토하기 위해 섬진강 압록 수위관측소 하류 지점에서 유량측정을 실시하였다. 본 측정의 목적은 측정수에 따른 오차를 검토하고자 하는 것이다. 측정지점의 수심은 최대 0.6m 정도이며 하상재료는 주로 모래이다. 전체 수면폭은 52.7m이며 유량측선 간격은 1.0m이다. 유속은 마그네틱 유속계와 수직평균 초음파 유속계를 사용하였다. 마그네틱 유속계는 점유속을 측정하므로 각 측선에서 수심이 0.5m 이상이면 육점법으로 측정하였고 그 이하이면 3점법으로 측정하였다. 마그네틱 유속계의 측정시간은 10초로 하였다. 초음파 유속계는 수심 전체를 평균하여 유속을 측정하므로 각 지점에서 3회 측정하였고 측정시간은 5초로 하였다.

그림 1은 압록지점의 하천단면을 나타내고 있는데 전반적으로 균일한 수심을 유지하고 있어 유량을 측정하기에 적절한 것을 알 수 있다. 그림 2는 각 측선에서 마그네틱과 초음파 유속계에 의해 측정된 유속을 나타낸 것이다. 그림에서 마그네틱 유속계에 대해서 나타낸 것은 평균 유속

계산방법별로(일점법, 이점법, 삼점법, 오점법, 육점법) 최대, 최소 및 6가지 방법에 대한 평균을 나타낸 것이다. 초음파 유속계에 대해서 나타낸 것은 3회 측정된 값 중 최대, 최소 및 3회의 평균에 대해서 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 유속계에 관계없이 각 측정별로 대부분 약 0.05m/sec 이내의 분포를 보이고 있다. 대부분의 측선에서 유속계별로 차이가 나지만 그 범위는 크지 않으며, 일부 측선에서는 유속계별로 큰 차이를 보이기도 한다.

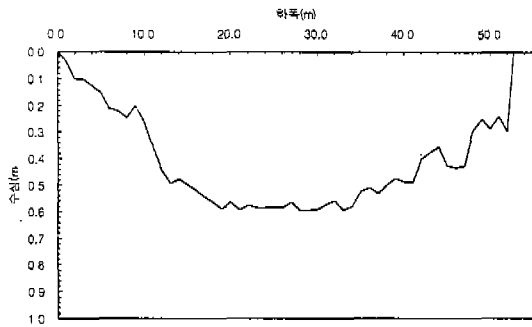


그림 1. 압록 지점의 하천단면

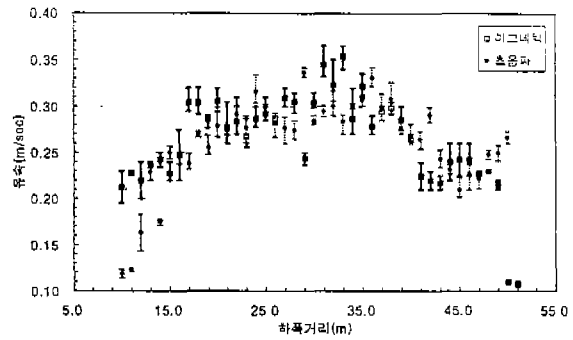


그림 2. 압록지점의 유속측정 결과

측정된 유속을 이용하여 계산된 유량을 살펴보면 표 1과 같다.

표 1. 압록지점에서 측정된 평균 유속계산방법별 유량

평균유속계산방법	마그네틱 유속계					초음파유속계
	일점법	이점법	삼점법	오점법	육점법	
유량(cms)	5.86	5.78	5.82	5.62	5.63	5.63
초음파유속계에 대한 유량 비율(%)	4.1	2.7	3.4	0.1	0.0	-

그림 3과 그림 4는 각각 마그네틱 유속계와 초음파 유속계에 의해서 측정된 유속의 평균유속 계산방법별로 나타난 차이를 보여주고 있다. 마그네틱 유속계의 경우 5가지 방법별로 차이가 나는 범위를 5가지 방법의 평균값에 대해 나타내었는데 전반적으로 $\pm 10\%$ 의 범위내에 들고 있음을 알 수 있어 이 지점에서는 평균 유속계산방법별로 평균유속에 큰 오차가 발생하지 않음을 알 수 있다. 즉 이와 같은 조건의 지점에서는 평균유속의 계산을 위해 일점법에서부터 육점법까지 어떤 방법을 사용하여도 전체적으로 약 10%의 오차범위내에 있을 수 있다는 것을 알 수 있다. 초음파유속계의 경우에는 3회 측정된 유속을 3회의 평균값에 대해서 나타낸 것인데 대부분 $\pm 5\%$ 의 범위내에 포함되어 있음을 알 수 있다. 초음파유속계의 경우에는 수심에 대한 평균 유속을 매우 정확하게 측정한다고 보면 이 지점에서 나타나는 유속의 평균적인 범위가 $\pm 5\%$ 정도라고 추정할 수 있다.

측선간격의 결정에 따른 유량값의 변화를 살펴보기 위해 측선을 2m, 3m, 4m, 5m로 나누어서 계산하였는데 유량값의 차이가 거의 나타나지 않았다.

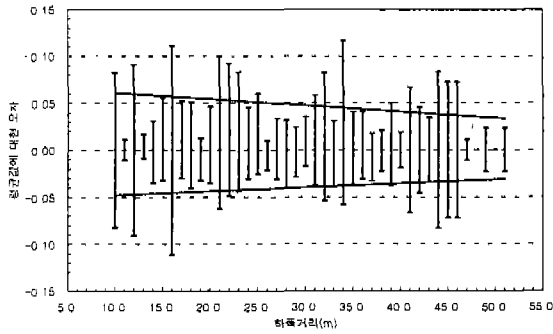


그림 3. 마그네틱 유속계에 의한 유속측정범위

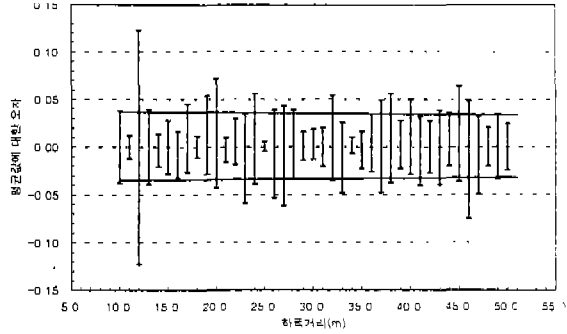


그림 4. 초음파유속계에 의한 유속측정범위

유량측정 결과로 볼 때 이 지점과 같은 곳에서는 유속을 기준으로 평균유속 산정방법별로 $\pm 10\%$ 범위의 오차가 발생하며 측선간격 결정에서는 1m~5m까지의 변화에서는 큰 차이를 발생시키지 않은 것을 알 수 있다. 다시 말해서 이와 같은 지점에서는 전체적으로 유량측정방법별로 유속에 대해서는 약 $\pm 10\%$ 정도의 오차가 발생하고 유량에 대해서는 약 5% 이내의 오차가 발생하는 것을 알 수 있다.

4. 수위-유량관계곡선상에서 발생하는 오차

수위-유량관계곡선의 개발시에 가장 중요한 것은 수위별 유량측정자료이다. 그러나 측정된 유량자료가 큰 편차를 보이는 경우가 많이 있는데 이것은 현장조건에 의한 것과 유량측정시에 발생한 큰 오차 때문이다.

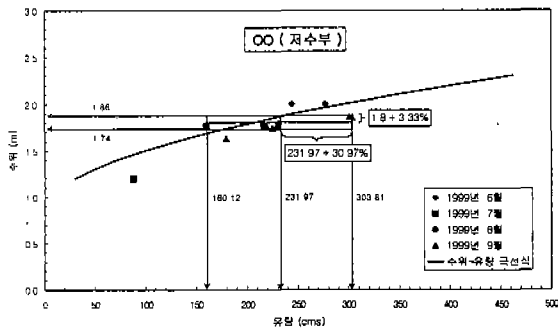


그림 5. ○○수위관측소의 수위-유량 관계곡선 (저수부)

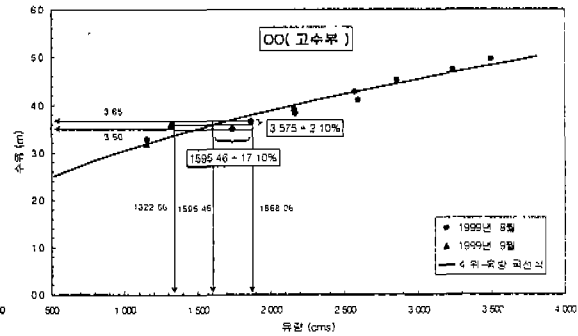


그림 6. ○○ 수위관측소의 수위-유량 관계곡선 (고수부)

그림 5는 ○○지점의 1999년도 유량측정결과와 1999년에 개발된 수위-유량관계곡선을 보이고 있다. 1999년 6월부터 9월까지 측정된 유량자료중 거의 비슷한 수위라고 할 수 있는 1.74m와 1.86m 사이의 유량을 살펴보면 최소 160cms에서 최대 303cms 까지 큰 폭의 차이를 보이고 있어 $\pm 30\%$ 정도의 오차를 나타내고 있다. 수위는 0.12m의 차이를 보이고 있는 반면 그 사이의 유량은 최대 2배까지 차이가 나타나고 있는 것이다. 이와 같이 큰 오차가 발생하는 것은 주로 유량측정과정에

서 발생하는 것으로 추측된다. 그림 6은 ○○지점의 1999년도 유량측정결과와 1999년에 개발된 수위-유량관계곡선을 나타낸 것이다. 이 그림은 고수부에 대한 것인데 여기에서도 최대 ±17%의 오차가 발생하고 있음을 알 수 있다. 동일 연도의 비슷한 시기에 측정된 유량이 이와 같이 큰 차이를 보이는 것은 주로 유량측정 과정에서 발생하는 것이라 추측된다.

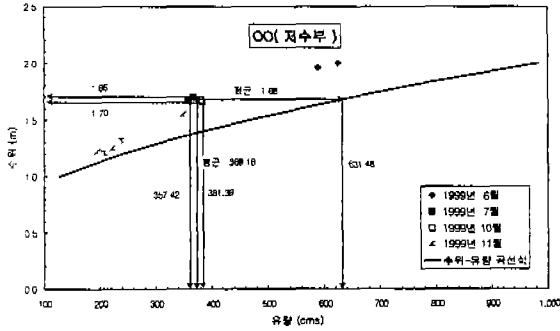


그림 7. ○○수위관측소의 수위-유량 관계곡선 (저수부)

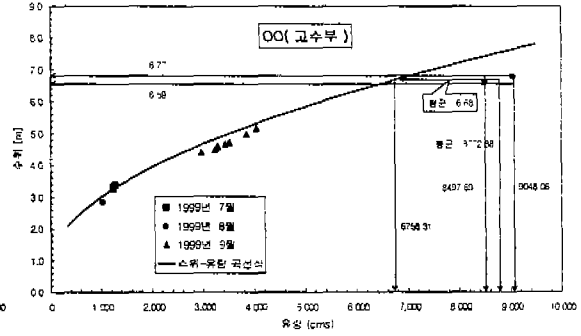


그림 8. ○○수위관측소의 수위-유량 관계곡선 (고수부)

그림 7은 ○○지점의 1999년도 유량측정결과와 1999년에 개발된 수위-유량관계곡선을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 1999년에 측정된 결과와 수위-유량관계곡선 사이에 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 수위가 1.68m 정도인 경우에 1999년에 측정된 유량은 대부분 369cms 정도이나 1999년에 개발된 수위-유량관계곡선에 의한 유량값은 631cms로 나타나고 있다. 그림 8의 경우는 ○○지점에서 측정된 유량과 수위-유량관계곡선을 나타내고 있다. 이 지점에서도 1999년에 6.7m 정도의 수위에서 측정된 유량은 8772cms 정도로 나타나고 있으나 수위-유량관계곡선에 의해 계산된 유량은 6758cms로 나타나 큰 차이를 보이고 있다. 이와 같이 실측된 유량과 수위-유량관계곡선이 일치하지 않은 것은 측정 자체보다는 수위-유량관계곡선 개발과정에서 포함된 오차라고 할 수 있다. 그림 7과 그림 8에 나타난 수위-유량관계곡선은 당해연도의 유량측정 결과만에 의해 개발된 것이 아니라 예전에 측정된 결과까지 포함하여 개발된 것이다. 당해연도의 측정결과가 양적으로 충분하다면 수위-유량관계곡선의 개발을 위해 굳이 예전의 유량측정 결과를 사용할 필요가 없으나 대부분 당해연도의 자료가 부족하기 때문에 예전의 자료까지 포함하고 있다.

수위-유량관계곡선의 기본가정 중의 하나는 고정된 단면에 대한 것이라는 것이다. 하상단면이 변화하면 그에 따라 수위-유량관계곡선이 변화하기 때문에 하나의 수위-유량관계곡선이 유효하기 위해서는 하상이 변화하지 않았다는 가정이 합당해야 하는 것이다. 그러나 많은 경우 이와 같은 점을 고려하지 않고 과거 자료까지 포함해서 수위-유량관계곡선을 개발하는 것이 대부분이다. 그림 7과 그림 8에서 1999년도의 유량측정결과와 개발된 수위-유량관계곡선 사이에서 차이가 발생하는 것도 이와 같은 원인으로 추측된다. 원칙적인 면에서 본다면 당해연도에 측정된 유량자료가 가장 정확하며 해당기간의 수위-유량관계곡선은 이를 기본으로 개발되어야 한다. 동일 수위에서 측정된 유량자료가 과거와 다르다는 것은 하상 등이 변화하였다는 것을 의미하며 따라서 수위-유량관계곡선도 이에 따라 바뀌어야 하는 것이다. 또한 원칙적으로 수위-유량관계곡선은 하상 등의 변

화요인이 있을 때마다 변화해야 하며 특정기간의 수위를 유량으로 환산하기 위해서는 해당 기간의 수위-유량관계곡선만을 사용해야 한다. 그러나 현실적으로 충분한 유량측정 자료가 없는 경우에 이와 같은 점을 고려하지 않고 유량을 환산함으로써 오차가 발생하는 경우가 많이 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 하천유량측정시에 발생할 수 있는 오차에 대해서 살펴보았다. 하천유량오차는 크게 하천유량측정 과정에서 발생하는 오차와 수위-유량관계곡선의 개발과 활용 과정에서 발생할 수 있는 오차로 나눌 수 있다. 하천유량측정 과정에서 발생할 수 있는 오차는 단면측정오차, 유속측정오차, 계산방법오차, 기타 오차 등으로 나눌 수 있다. 본 연구의 검토 결과 유량측정, 수위-유량관계곡선의 개발과 활용 과정에서 큰 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 지금까지 우리나라에서는 유량측정 오차에 대한 연구가 거의 이루어지지 않은 상황으로 앞으로 이에 대한 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

6. 참고문헌

- Carter, R. W., and Anderson, I. E. (1963) Accuracy of current meter measurements, Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, HY4, Part 1, p. 105-115.
- Dickinson, W. T. (1967) Accuracy of discharge determinations, Hydrology Papers, Colorado State University, Fort Collins, CO, No. 20, June, p. 1-54.
- Hershby, R. W. (1971) The magnitude of errors at flow measurement stations, Water Resources Board, Reading Bridge House, Reading, Berkshire, England, TN 11, (Revised), 30 p.
- Hershby, R. W. (1985) Accuracy-streamflow measurement, Elsevier Applied Science Publishing, Chapter 14, p.474-510.
- ISO (1979) Liquid flow measurement in open channels - velocity area methods, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, International Standard ISO 748, 23 p.
- Pelletier, P. M. (1988) Uncertainties in the single determination of river discharge : a literature review, Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 15, no. 5, p. 834-850.
- Sauer, V.B., and Meyer, R.W. (1992) Determination of Error in Individual Discharge Measurements, Open-File Report 92-144, U.S. Geological Survey.
- Schneider, V. R., and Smoot, G. F. (1976) Development of a standard rating for the Price Pygmy current meter, U.S. Geological Survey Journal of Research, vol. 4. no. 3, p.293-297.
- Smoot, G. F., and Carter, R. W. (1968) Are individual current meter ratings necessary?, American Society of Civil Engineers Journal of the Hydraulics Division, 94(HY2), p. 391-397.
- WMO (1980) Manual on stream gaging : vol. I, Fieldwork, vol. II, Computation of discharge, Secretariat of the World Meteorological Organization, Operational Hydrology Report No. 13, WMO No. 519.