

섬강시험유역의 유량측정에 대한 불확실도 해석

Uncertainty Analysis of Flow Measurements of Seom River Experimental Watershed

최 홍 식* 조 민 석** 김 상 호*** 박 정 수****
Choi, Hung Sik · Cho, Min Sok · Kim, Sang Ho · Park, Jung Soo

Abstract

The flow measurements have been carried out without the evaluation for data accuracy. For the reliable data acquisition, the experimental watershed has been operated and the uncertainty analysis for flow measurements and the developed rating curves are investigated. Flow measurements have unreliable properties of surveying method, channel geometry and its roughness, the spatial and temporal change of non-stationarity of watershed. For the reliable hydrological data acquisition, the improvements of flow measurement technique are desirable with the quantitative analysis of uncertainty with profound discussion.

1. 서 론

대부분의 시험유역에서는 하상정비나 하상 침식의 성장으로 인해 수위-유량관계가 저, 고수위에 따라 또는 시간이 지남에 따라 자주 변하게 된다. 그러므로 정확하고 신뢰성 있는 수위-유량관계식을 개발하기 위해서는 풍부한 수위별 유량자료의 획득이 대단히 중요하다. 때문에 신뢰성을 바탕으로 지속적이고 정확한 관측에 의해 장기적인 수문자료를 축적해야만 한다.

수문자료 중 유량을 구하는 방법에는 우선 실측에 의한 방법이 있고 수위-유량관계를 개발하여 환산하는 방법이 있다. 그러나 이 두 가지 방법 모두 구하는 과정에서 오차가 발생하게 되고 이는 유량자료의 오차로 나타나게 된다. 먼저 현장에서 유량측정을 할 때 정확도에 영향을 주는 요소로는 면적을 측정하기 위한 거리, 수심 그리고 수심측정 측선 수와 관련이 있고 또 유속을 측정하기 위한 측선수, 측정시간 그리고 측정횟수에 영향을 받는다. 그리고 수위-유량

*상지대학교 건설시스템공학과(hsikchoi@sangji.ac.kr)
**상지대학교 건설시스템공학과(techjjo@hanmail.net)
***상지대학교 건설시스템공학과(kimsh@sangji.ac.kr)
****상지대학교 건설시스템공학과(dam7073@hanmail.net)

키워드 : 시험유역, 유량측정, 불확실도

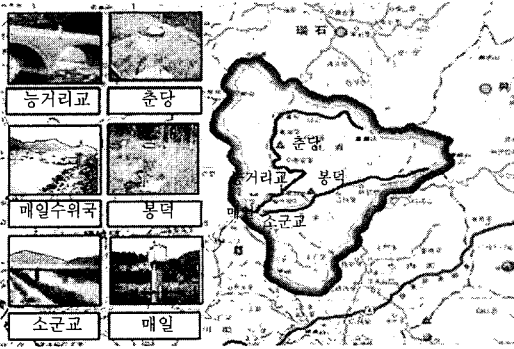


Fig. 1. Seom river experimental watershed

관계를 이용할 때 정확도에 영향을 주는 요소로는 자료 부족, 계산 방법 그리고 자료 분석 과정 등에서 오차가 발생된다.

본 연구는 섬강 시험유역을 대상으로 분석을 하였고, 신뢰성 있는 유량자료의 활용을 위해 우선 시험유역의 특성을 알아보고 수문관측의 과정에 대해 분석을 하였다. 그리고 유량 측정 자료에 대한 오차 분석과 불확실도의 해석을 통해서 자료의 정확성을 분석하였고 이에 대한 개선방향을 제시하였다.

II. 시험유역 개요

1. 개황

섬강 시험유역은 남한강의 제 1지류인 섬강의 형성담 상류에 위치하고 있는 지방2급 하천인 계천유역으로서 Fig. 1과 같이 계천과 유동천이 합류하는 부채꼴 형상의 유역으로 구성되어 있다. 유역면적은 유역의 출구인 매일 수위국을 기준으로 164.5km²이고 유로 연장은 22.8km로 대상유역의 지형은 대체로 만장년기 지형으로 주로 산지로 형성되어 있다(한국수자원공사, 2003).

2. 수문관측기기 현황

시험유역 내 우량관측소는 그림 1에서와 같이 춘당, 봉덕 그리고 매일 관측소의 3개소가 운영되고 있으며, 수위관측소는 농거리교, 소군교, 매일수위국이고, 그 현황은 표 1과 2에서와 같다.

표 1. 시험유역 내 우량관측소 현황

지점명	측정방식	기록방식	전 원	관측간격	최소측정	전 송	비 고
춘 당	전도형	디지털우량계	상용전원	1시간	0.5mm	T/M	수공
봉 덕	전도형	디지털우량계	상용전원	1시간	0.5mm	T/M	수공
매 일	전도형	디지털우량계	상용전원	10분	0.2mm	PCS실시간	'01년 이후

표 2. 시험유역 내 수위관측소 현황

지점명	관측기기	전 원	관측간격	최소측정	전 송	비 고
매 일	부자식	상용전원	1시간	1cm	T/M	수공
매 일	압력식	태양전지	10분	1mm	PCS실시간	'01년 이후
농거리교	압력식	태양전지	10분	1mm	PCS실시간	'01년 이후
농거리교	부자식	건전지	10분	10mm	PC다운로드	'03년 이후
소군교	압력식	태양전지	10분	1mm	PCS실시간	'01년 이후
소군교	기포식	건전지	10분	1mm	PC다운로드	'03년 이후

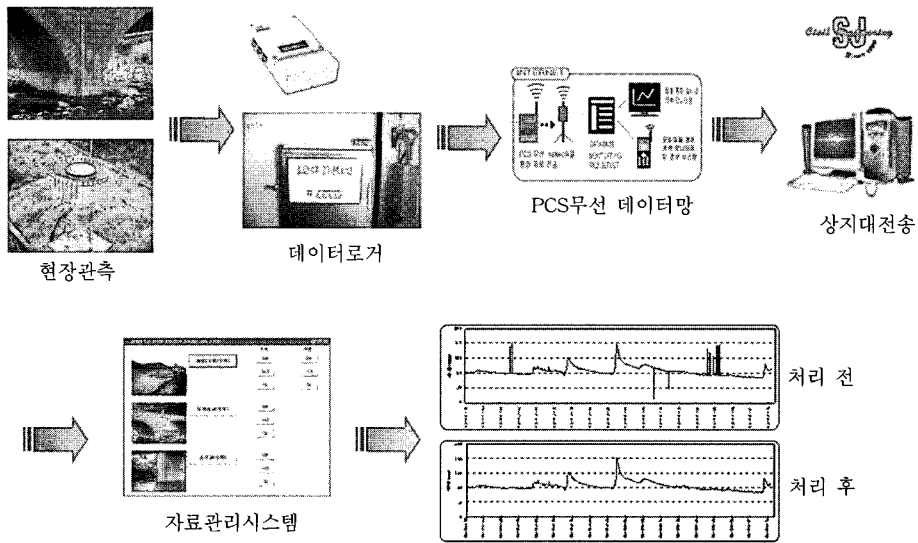


Fig. 2. Hydrological data processing systems

Fig. 2와 같이 현장 계측은 물리량 자료를 계측하여 무선 전송하는 과정으로 이루어지며 구성장비는 계측에 필요한 각종 센서와 실시간 데이터로거로 이루어지고 있으며, 수문자료는 무선 데이터 통신망을 통하여 실시간 전송되고 실시간으로 인터넷에 기록된다.

III. 유량측정과 수위-유량관계곡선식에 대한 불확실도 분석

1. 유량측정

유량 측정에 대한 불확실성은 유량측정 횟수에 의해서 추정되고 표준편차에 의해서 계산된다. 측정 결과에 대한 불확실성을 계산하는 방법은 이상적인 고정상에서의 서로 다른 유속계를 이용한 연속적인 측정횟수를 요구하게 되며, 유량에 대한 참값의 추정은 측정하는 동안 발생

하는 오차의 원인에 대한 면밀한 조사에 의해서 이루어질 수 있다. 오차의 상한경계를 얻는 것은 거의 불가능하기 때문에 적절하게 높은 확률로 측정되어진 측정치에 대해서 참값의 범위를 얻는 것이 더욱 이상적이며 전체오차는 개개의 측정요소에 있어서의 불확실도에 의해서 구성된다.

일반적으로 오차는 참값과 측정값의 차이를 의미한다. 모든 측정에서의 오차는 어떤 확률 분포에서 어떤 특정한 값의 오차들이 무수히 모여 만들어지면서 임의의 값을 갖는 무작위 오차와 무작위 오차에 대조되는 것으로 오차가 어떠한 경향이나 주기 등의 특징을 갖는 계통 오차의 두 가지로 나누어 질 수 있다(ISO 748, 1979, ISO/TR 5168, 1998).

이러한 개개의 불확실도를 전체불확실도로 계산하기 위해 평방자승근 방정식을 사용하여 나타내어야 하며, 유속면적법에 대해서는 다음과 같이 나타낼 수 있다(Herschy, 1985, 1999).

$$X_Q = \pm \left[\frac{\sum_{i=1}^m [(b_i d_i \bar{v}_i) (X_{b_i}^2 + X_{d_i}^2 + X_{\bar{v}_i}^2)^{1/2}]}{\left(\sum_{i=1}^m b_i d_i \bar{v}_i \right)} \right] \quad (1)$$

위 식에서 X_b 는 폭 측정에 대한 불확실도, X_d 는 수심측정에 대한 불확실도, X_v 는 측선에서 평균유속에 대한 불확실도, 그리고 X_m 은 측수의 제한에 의해서 발생하는 불확실도이며 평균 유속(X_v)에 있어서의 불확실도는 흐름에 있어서의 진동을 최소화하는데 필요한 노출시간 (X_e), 측선에서의 측정수(X_p), 그리고 유속계 회귀곡선의 불확실도(X_c)에 따른다. 그러므로 X_v^2 은 ($X_e^2 + X_p^2 + X_c^2$)로 바뀌고 방정식은 아래와 같은 형태가 된다.

$$X_Q = \left[X_m^2 + \sum_{i=1}^m [(b_i d_i \bar{v}_i)^2 (X_e^2 + X_p^2 + X_c^2)] \right]^{1/2} / \left(\sum_{i=1}^m b_i d_i \bar{v}_i \right) \quad (2)$$

2. 수위-유량관계 곡선

수위-유량관계 곡선은 하천의 주요 지점에서 수위와 유량을 동시에 측정하여 이들 관계를 도시한 그림으로서 측정된 수위자료를 유량으로 환산하는 것이 주목적이다. 일반적으로 수위-유량관계 곡선은 당해연도에 수위관측소에서 측정된 유량과 수위성과 자료를 이용하여 과거에 측정된 수위-유량자료와의 상관성을 검토한 후 최적의 곡선식을 개발하고 있다. 이렇게 개발된 수위-유량관계곡선은 다시 개발될 때까지 수위만 관측하여 유량으로 환산하여 여러 가지 목적으로 사용되기 때문에 그 중요성은 매우 크다고 할 수 있다.

따라서 수위-유량 관계에 의해 계산된 유량이 실측 유량과의 차이에서 발생하는 불확실도 (S_{mr})와 수위-유량관계 곡선에 대한 실측 유량의

표준오차(S_e)를 섬강시험 유역에 대한 수문자료를 이용하여 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$S_e = t \left[\frac{\sum \left(\frac{Q_i - Q_c}{Q_c} \times 100 \right)^2}{N-2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

여기서 Q_i 는 유속계 측정치, N은 자료 수, Q_c 는 Q_i 와 수심 h와 기준값 a의 관계인 (h+a)의 관계곡선에 의해서 얻어지는 유량 즉, $Q_c = C(h+a)^n$ 이며 t는 신뢰도 95%를 만족시키기 위한 검정통계량으로 2가 사용되었다. 신뢰도 95%의 수위-유량관계곡선상에서 구해진 값에 대한 불확실도는 평균표준오차로서 백분율로 나타나며 다음 식으로 계산 된다(김원 등, 1999).

$$S_{mr} = S_e \left[\frac{1}{n} + \left[\log_e(h+a) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} / \left[\log_e(h+a) - \log_e(h+a) \right]^2 \quad (4)$$

S_{mr} 은 각각의 (h+a)의 측정치에 대해서 계산되고 한계는 수위-유량관계곡선에 의해서 도시되며 $\log_e(h+a) = \log_e(h+a)$ 일 때 최소가 되어 아래 식과 같이 간략화 된다.

$$S_{mr} = \frac{t S_e}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

만약 수위-유량관계가 하나 또는 그 이상의 불연속점을 포함하면 S_e 와 S_{mr} 은 각각의 범위에 대해서 계산되고 (N-2)의 자유도를 가지게 된다. 또한 유량에 대해서 평균표준오차는 95%의 신뢰도를 가지면서 가장 좋은 결과를 위해서는 각각의 범위에서 30개 이상의 측정치가 필요하다.

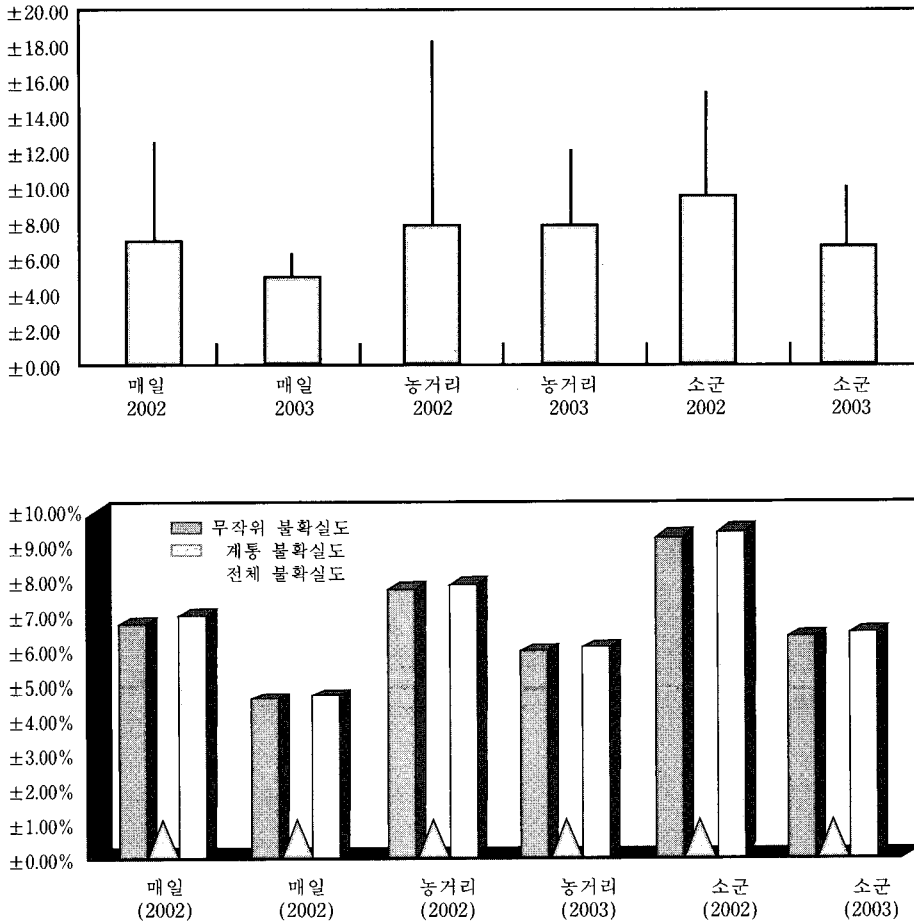


Fig. 3. Uncertainty of flow measuring

IV. 시험유역의 불확실도 분석

본 절에서는 계천과 유동천이 합류되어 내려오는 매일수위국과 상류에 위치한 농거리교 및 소군교 지점에서 관측된 유량측정자료와 수위-유량관계 곡선을 이용하여 불확실도를 분석하였다.

1. 유량측정에 대한 불확실도

무작위 불확실도와 계통불확실도는 최소 지승

법에 의해 전체 불확실도로 계산된다. 유량측정은 홍수시에는 부자와 전자파유속계를 이용하였고 평수시 때는 프로펠러 유속계를 저수시나 갈수시에는 마그네틱 유속계를 이용해서 유량측정을 하였다. 측정시간은 20초씩 3회 이상을 하여 평균을 계산하였다. 유속계를 이용할 경우 측정하폭은 30개 이상의 유속이 나오도록 조절하였다. Fig. 3에 전자불확실도와 편차가 나타나 있는데 전체 불확실도는 무작위 불확실도와 계통불확실도의 합으로 나타나 있으며, 편차는

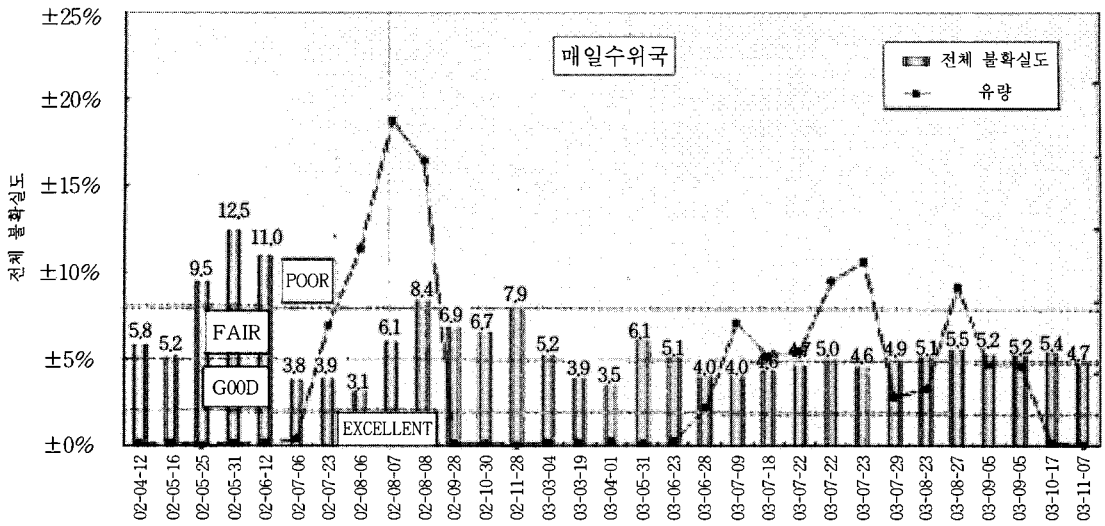


Fig. 4. Total uncertainty of Mae-il station

각각의 관측소에서 유량에 따른 전체 불확실도를 계산하여 그 편차를 나타낸 것이다.

계통 불확실도는 불확실도의 요소가 모두 동일하기 때문에 모든 지점에서 같은 값이 나타나고 있다. 이들 불확실도를 각 측정지점에서 나타나는 평균값을 이용하여 그림 4와 같이 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 매일 수위국에서 유량측정을 할 때 각 측정점에서 임의로 발생할 수 있는 무작위 불확실도는 2002년과 2003년도에 각각 2.88~12.41%, 3.31~5.97%의 범위로 나타났으며, 계통 불확실도를 고려한 전체 불확실도는 2002년에는 3.13~12.47%, 2003년에는 3.53~6.09%까지의 분포를 나타내었다. 이렇게 편차가 있는 이유는 유량을 측정할 때 한 측정점에서 유속이 다르게 나타나고 횡단선으로의 측선수도 차이가 나기 때문에 불확실도가 발생하고 있다. 결국 각 측정점에서 유속계를 사용하여 측정된 유속이 매우 느리게 나타나면 측선수를 증가시키고, 유속계의 측정시간을 길게 함으로써 유량측정 방법의 정확도를

높인 결과 2003년의 전체 불확실도가 2002년에 비해 개선되었음을 알 수 있다. Fig. 5는 매일수위국에서 2002년도부터 관측된 유량측정결과와 각 측정결과에 대한 전체 불확실도를 나타내고 있다.

2. 수위-유량관계곡선

본 절에서는 유량측정을 통해 개발된 수위-유량 관계에 의해 계산된 유량이 실측유량과의 차이에서 발생하는 불확실도(S_{mr})와 수위-유량관계곡선에 대한 실측 유량의 표준오차($S_{m\sigma}$)에 대해 정량적으로 평가하고자 한다.

섬강 시험구역의 유량측정지점에서 유속계와 봉부자를 이용하여 2002년, 2003년 2년에 걸쳐 관측한 측정유량의 표준오차를 Fig. 6과 같이 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 소근, 농거리, 매일 순으로 오차의 크기가 큰 것을 볼 수 있는데 유량의 크기에 비례해서 오차도 커진다는 것을 알 수 있다. 또한 농거리교에서는

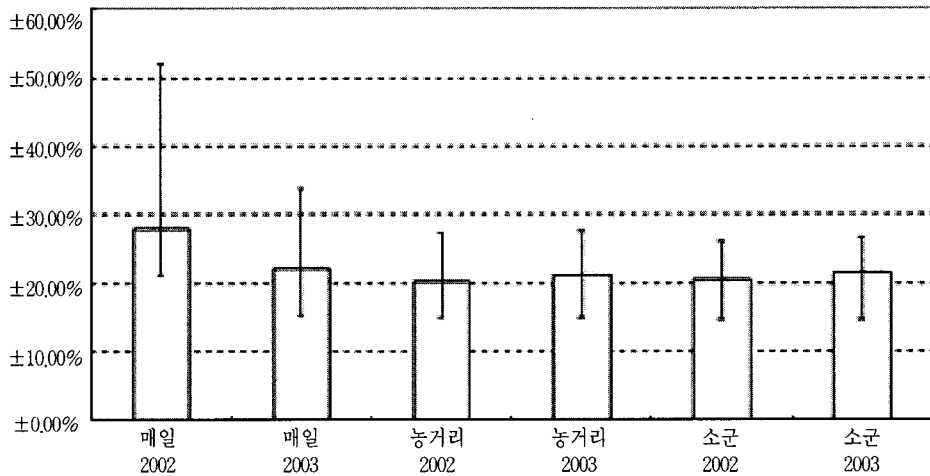
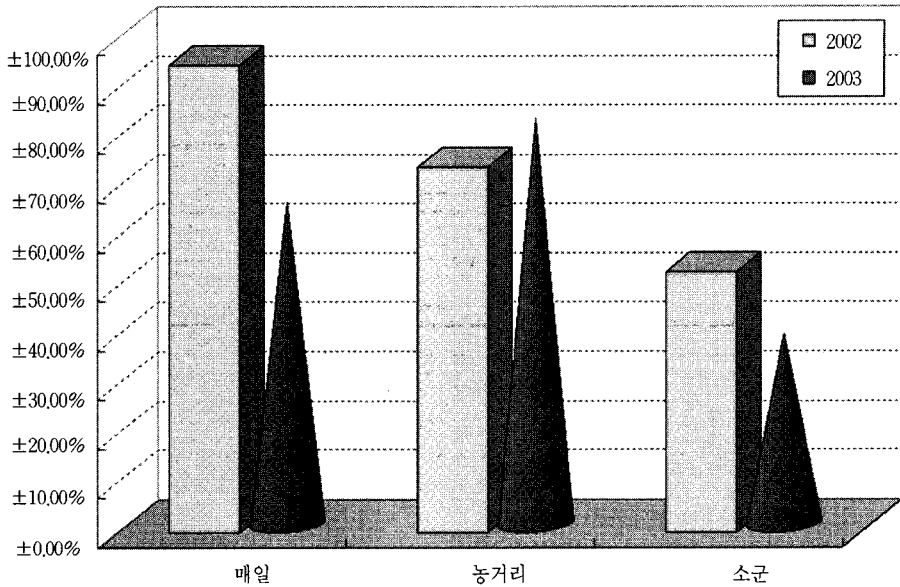


Fig. 5. Uncertainty of rating curve

2002년과 2003년도의 표준오차가 유사하게 나타나고 있었지만, 매일수위국과 소군교에서는 표준오차가 매우 감소하는 것으로 나타났다.

수위-유량관계에 의해 계산된 유량이 실측 유량과의 차이에서 발생하는 불확실도는 Fig. 6과 같이 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 매일

수위국에서는 2002년도에 27.89%로 나타났으나, 2003년도에는 22.14%로 나타나 수위-유량 관계곡선으로 인한 불확실도가 약 20.6% 정도 개선된 것으로 나타났다. 하지만, 농거리교와 소군교지점에서는 20.0% 정도로 평균분포가 고르게 나타나고 있었다.

V. 결론

유량측정자료를 보면 각 지점과 시간에 따라 불확실도와 편차가 크게 다른 양상이 나타나고 있다. 이런 불확실도와 편차를 줄이기 위해 유량측정시에 측선수를 증가시켜서 세밀한 측정을 하거나 유속계를 이용하여 유속을 잴 때 측정시간을 늘려서 평균값의 정확도를 높여야 할 것이다. 또한 이렇게 해서 얻은 자료들을 가지고 불확실도를 정량적으로 분석하고 고찰을 통해 측정방법을 꾸준히 개선하는 것이 바람직할 것이다.

시험구역에서 유량의 연속적인 결정은 매우 중요함에도 불구하고 아직 우리나라는 유속측정자료를 수집하는 데만 노력을 하고 있고, 이 같은 자료들이나 수위-유량관계에 대한 것들의 체계적인 오차분석이 이루어지지 않고 있다. 따라서 오차분석에 대한 중요성을 알고 본 연구에서는 수위-유량관계에 대한 오차분석 방법을 조사하고 이를 시험구역에서 측정한 결과에 적용하여 불확실도를 분석하였다. 그러나 수위-유량관계는 유속측정, 하상특성, 하상조도 그리고 시간에 따른 유량변화량 등에 의해 변화하며 많은 불확실성이 포함되기 때문에 갈수기나 홍수기 전, 후 때처럼 하상과 그에 따른 요소들이 변하는 시기를 예상하여 유량측정을 충분히 해야 할 것이다. 이에 따라 앞으로 지속적이고 체계적인 연구와 분석이 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 김원, 홍일표, 1999, 하천유량측정의 정확도 분석, 한국건설기술연구원.
2. 한국수자원공사, 황성권건설단, 2003, 황성댐일원 하천유량측정 등 수문기초조사보고서, 2003. 12.
3. Hershy, R. W., 1985, Accuracy-streamflow measurement : Elsevier Applied Science Publishing.
4. Herschy, R. W., 1999, Hydrometry, John Wiley & Sons.
5. Herschy, R. W., 1999, Hydrometry Principles and Practices, Second Edition, John Wiley and Sons Ltd.
6. ISO 748, 1979, Liquid flow measurement in open channels-velocity area methods : International Organization for Standardization.
7. ISO/TR 5168, 1998, Measurement of fluid flow - Evaluation of uncertainties.

본 연구는 2003년 지역대학우수과학자
육성지원연구(과제번호:R05-2003-000-11015-0
(2003)의 연구지원에 의해 수행되었음.