

유량자료 품질개선을 위한 정확도 제고방안 -유량측정성과-

○정성원¹⁾, 김동희²⁾, 한명선³⁾, 문장원⁴⁾

1. 서론

수문자료는 물순환 과정의 규명, 수자원의 계획과 관리, 홍수와 가뭄 관리, 수문 설계와 연구 등과 같은 공공성에 기반한 각종 국가사업과 기초연구에 반드시 필요한 기초자료이다. 따라서, 이러한 수문자료는 높은 품질수준을 가져야 하며, 장기간의 자료가 축적되어야 한다. 이를 위해 정부는 전국에 수문관측망을 구성하여 운영하고 있으나, 관측된 수문자료의 정확도는 매우 낮은 수준에 있다. 수문자료 중에서 가장 중요한 유량자료의 경우, ISO(국제표준기구) 기준에 의한 2000년 유량측정성과의 불확실도는 $\pm 10.3\%$ 에 달하고 있다¹⁾.

이는 정부가 수행하는 수문관측과 관련된 제반 여건, 즉, 예산의 부족, 전문 인력과 조직의 부재 등과 같은 구조적 문제와 함께 수문관측기준 미비, 전문적인 기술과 경험의 결여, 기술과 기준의 현장 적용 어려움 등 기술적인 문제에 따른 것이다. 따라서, 이를 극복하기 위해서는 정부 차원에서의 구조적 문제를 해결하고자 하는 노력과 함께 이에 대한 기술적 기반을 확보하기 위한 다양한 연구조사 사업이 병행되어 추진되고 있다.

본 논문에서는 수문자료, 특히 유량자료의 품질이 낮은 원인을 검토하여 품질을 높일 수 있는 유량측정의 주요 기준과 방법을 검토함과 동시에 안양천과 설마천의 유량측정 현장 적용과 검토 사례를 통해 우리나라 유량자료의 품질수준을 개선할 수 있는 방향을 제시하고자 한다.

2. 유량측정 기준 및 방법 요약

최근 측정된 유량측정성과를 검토한 결과, 주로 측정기준의 미비와 불이행, 측정방법 및 절차상의 부정확, 측정자료의 검토과정 및 평가 부재 등과 같은 문제점을 가지고 있는 것으로 조사되었다²⁾.

이와 같은 문제점을 개선하고자 국내외의 기준과 방법을 비교 검토하였다. 우리나라 기준으로 하천설계기준과 유량측정사업 과업지시서를, 외국 기준으로는 ISO³⁾, 미국 지질조사국(U.S. Geological Survey)⁴⁾, 일본 수문관측⁵⁾ 등의 기준서를 참고하였다. 표 1은 이와 같이 국내외의 기준과 방법을 비교 검토하여 유량측정시 참고한 기준과 방법을 요약한 것으로, 기존의 기준 및 방법과 다른 사항을 중심으로 기술한 내용이다.

유량측정 기준으로 유속계 측정의 경우는 주로 ISO 기준을, 홍수기 부자측정의 경우는 일본의 수문관측 기준과 방법을, 유량측정 방법은 보다 구체적인 미국 지질조사국의 방법을 주로 따랐다.

3. 불확실도 산정방법 및 평가기준

유량은 시공간적으로 변화가 매우 심한 자연현상으로 참값을 알 수 없다. 따라서 유량측정자료인 유량측정성과의 가능오차는 통계적인 추정치인 신뢰구간을 가지는 불확실도로 표현되며, 하폭 불확실도, 수심 불확실도, 점유속의 결정시 발생하는 불확실도, 평균유속 추정시와 유량계산시 발생하는 불확실도로 구성된다. 유량측정성과의 불확실도는 이와 같은 수많은 단위 요소의 불확실도의 결과물로서, 무작위 불확실도와 계통 불확실도로 나눌 수 있다. 유속계로 유속측정을 하고 유속면적법으로 유량을 산정하였을 경우, 유량 Q의 95% 신뢰수준의 무작위 불확실도는 다음과 같다.

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

1) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원 (E-mail: swjung@kict.re.kr)

2) 한국건설기술연구원 건설기술품질센터 연구원 (E-mail: dhkim@kict.re.kr)

3) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원 (E-mail: mshan@kict.re.kr)

4) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원 (E-mail: jwmoon@kict.re.kr)

표 1. 적용 기준 및 방법 요약

| | |
|------------|---|
| 유량측정 기준 | <ul style="list-style-type: none"> - 수심 측선수 대폭 확대 : 전체 하폭의 5% 미만과 전체 유량의 10% 이하 (WMO 기준), 수면폭 10m 이상인 경우 측선수 최소 20개 이상 (ISO 기준) - 유속 측선수 대폭 확대 : 수면폭 10m 이상인 경우 측선수 최소 20개 이상, 구간유량이 5% 미만과 최대 10% 이하 (ISO 기준) - 측선당 측정수 : 0.6m 이하 1점법, 0.6~1.0m 2점법, 1.0m 이상 3점법 (하천설계기준), 비정상적인 연직 유속분포를 보일 경우($V_{0.2} < V_{0.8}$ 또는 $V_{0.2} = 2 \times V_{0.8}$인 경우) 2점법→3점법 (USGS 기준) - 측정시간 : 전자기식 최소 30초 이상, 회전식 최소 40초 이상 (USGS 기준) |
| 유량측정 방법 | <ul style="list-style-type: none"> - 수심과 유속 동일 측선에서 동시 측정 (수심/수심+유속 측정인 일본 방식 지양) - 처음과 마지막 측선의 양안으로부터의 거리 최소가 되도록 측선 위치 선정 (구간유량이 0이 되므로) - 유속계 측정가능 범위 및 검정 범위 안에서 측정 - 수위 급변시 측선마다의 목자판 수위 이용하여 평균수위 산정 (구간유량 가중평균) (USGS 기준) - 수위급변시 측정방법 축소 변경 (USGS 기준) <ul style="list-style-type: none"> 1단계 : 측정수의 축소→1점법으로 대체 2단계 : 유속계 측정시간을 20~30초로 축소 3단계 : 수심 및 유속 측선수들 15~18개로 축소 - 유속계 위치 : 유속계 기준으로 하류 방향으로 최소 3inch(7.5cm), 옆으로 18 inch(45cm) 떨어져서 흐름을 방해하지 않도록 위치 - 유선이 수직이 아닐 경우 야장에 의해 보정계수를 측정후 후 보정 (프라이스 유속계의 경우) - 유속계 검정 실시 |
| 홍수시 부자측정 | <ul style="list-style-type: none"> - 유속측선수 : 3~8개 이상 (일본 수문관측 긴급한 경우=하천설계기준) - 부자 홍수 및 환산계수 : 일본기준 (수문관측) - 주요 홍수시마다 수시 횡단측량 - 부자표 작성 |
| 유량측정시 조사사항 | <ul style="list-style-type: none"> - GZF(Gauge Height of Zero Flow, 흐름이 0인 수위) 측정 - 목자판 수위 수시 기록, 계기 수위 일치 여부 조사 - 통계특성(하천단면형상, 조도, 하상재료, 구조물 등) |

여기서, X_m 은 측선수에 의한 불확실도, X_b' 는 하폭측정에 대한 불확실도, X_d' 는 수심측정에 대한 불확실도, X_e' 는 유속계 측정시간에 대한 불확실도, X_p' 는 측선에서의 측정수에 대한 불확실도, X_c' 는 유속계 검정에 대한 불확실도이다.

측선수가 10개 이상이고, 모든 측선의 유량들이 거의 같다면 위의 식은 다음과 같이 단순화할 수 있다.

$$X_Q' = \pm \sqrt{X_m^2 + \frac{1}{m} (X_b'^2 + X_d'^2 + X_e'^2 + X_p'^2 + X_c'^2)} \quad (2)$$

측정의 정확도와 관련된 무작위 불확실도와 달리, 측정장비 자체에서 발생하는 계통 불확실도는 다음과 같은 식으로 산정될 수 있다.

$$X_Q'' = \pm \sqrt{X_b''^2 + X_d''^2 + X_c''^2} \quad (3)$$

여기서, X_b'' , X_d'' , X_c'' 는 각각 하폭, 수심, 유속계에 대한 계통 불확실도이다.

따라서, 95% 신뢰수준을 가지는 유량의 총 불확실도의 추정치는 다음 식으로 산정된다.

$$X_Q = \pm \sqrt{X_Q'^2 + X_Q''^2} \quad (4)$$

유속계 측정의 경우, 미국 지질조사국은 유량자료의 불확실도를 기준으로 표 2와 같이 4개의 등급으로 나누어 유량자료의 품질을 평가하고 있으며, 최소한 2등급인 'Good' 수준 이상이 되도록 권장하고 있다. 부자 측정의 경우, 별다른 평가 기준은 없으나 통상 10~20%의 불확실도를 가지는 것으로 알려져 있으므로 이를 참고하여 임의로 설정한 기준이다.

표 2. 유량측정성과의 평가기준

| 등급 | 유속계 측정 | 부자 측정 |
|-----------------|----------------|------------------|
| 1등급 (Excellent) | 불확실도 ≤ 2% | 불확실도 ≤ 10% |
| 2등급 (Good) | 2% < 불확실도 ≤ 5% | 10% < 불확실도 ≤ 15% |
| 3등급 (Fair) | 5% < 불확실도 ≤ 8% | 15% < 불확실도 ≤ 20% |
| 4등급 (Poor) | 8% < 불확실도 | 20% < 불확실도 |

4. 유량측정성과 검토

그림 1은 1999년과 2000년에 측정한 유량측정성과에 대한 불확실도 분석 결과로서, 구간유량이 거의 같

다는 가정하에 간략식 (2)로 산정한 결과이다. 1999년 유량측정성과의 평균 불확실도는 10.6%, 2000년은 10.3%로 표 2의 평가기준에 따르면, 3등급인 일부를 제외하고 대부분 4등급 수준으로 매우 열악한 수준임을 알 수 있다. 그림 2는 2000년 유량측정성과의 유속 측선수를 도시한 것으로, 2개 지점을 제외하고 대부분이 10개 안팎의 적은 측선수를 가지고 있음을 알 수 있다²⁾.

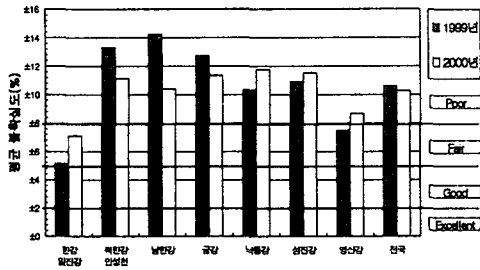


그림 1. 과거 유량측정성과의 불확실도

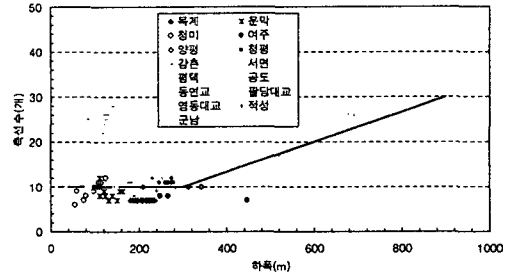
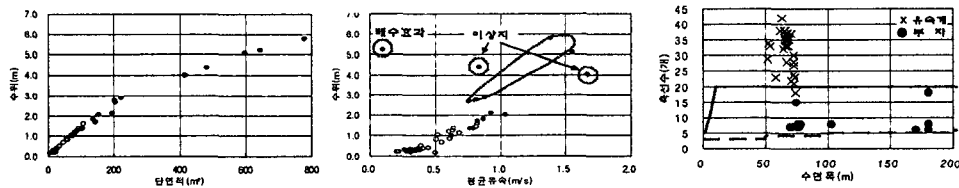


그림 2. 2000년 유량측정성과의 측선수

그림 3은 과거 측정치와 비교를 위해 표 1의 유량측정 기준과 방법에 따라 안양천 신정지점에서 수행한 유량측정성과의 수리특성분석 결과로, 단면적, 평균유속, 측선수를 수위와 함께 도시한 것이다. 수위-단면적 그림에서 알 수 있듯이, 신정 지점은 복단면의 하천단면을 가지고 있어 저수로와 고수부지의 경계인 3m 부근에서 기울기를 달리하며 일정한 경향을 보이고 있다. 수위-평균유속 그림을 보면, 저수위에서는 일정한 경향을 보이고 있으나, 홍수시에는 루프형을 그리고 있다. 또한, 일정한 경향에서 벗어나는 이상치를 쉽게 알 수 있으며, 분류의 배수효과를 받는 측정치를 구분하였다. 수면폭-측선수의 그림을 보면, 유속계 측정의 경우 10개 안팎의 측선수를 가진 과거의 측정치와 달리, 대부분 20개 이상을 확보하고 있으며, 최대 42개의 측선수를 확보하였음을 알 수 있다. 부자 측정의 경우 6~18개의 측선수를 확보하여 기준인 3~5개를 훨씬 상회하였음을 알 수 있다.

그림 4는 구간유량의 최대, 평균, 최소 비율을 유량측정성과별로 도시한 그림으로, 초기 측정치 일부를 제외하고는 대부분 최대 구간유량비가 10% 이하로서 기준을 만족하고 있음을 알 수 있다. 그림 5는 구간유량이 일정하지 않은 경우인 식 (1)에 의한 불확실도 분석 결과이다. 유속계 측정의 경우, 평균 불확실도가 4.9%(최대 7.9%, 최소 2.9%)로서 10%를 넘는 과거의 측정자료에 비해 상당히 개선된 결과를 보이고 있다. 부자 측정의 경우, 평균 불확실도가 12.6%(최대 15.4%, 최소 7.3%)로서 매우 안정적인 자료를 생성하였음을 알 수 있다.



(1) 수위-단면적 (2) 수위-평균유속 (3) 수면폭-측선수

그림 3. 유량측정성과 특성분석 (안양천 신정)

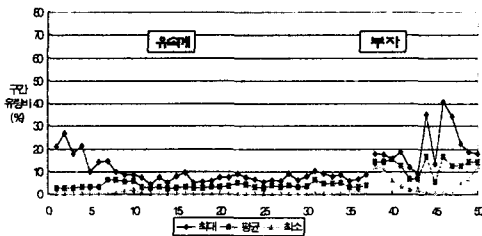


그림 4. 구간유량비 (안양천 신정)

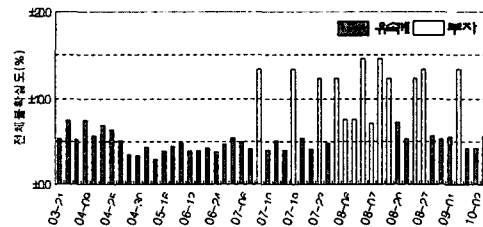


그림 5. 불확실도 (안양천 신정)

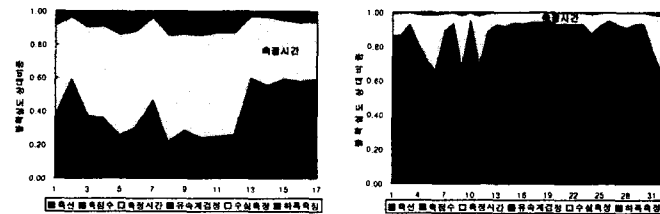
표 3은 선정 지점의 50개 유량측정성과의 불확실도 산정 결과를 이용하여 등급을 평가한 결과이다. 유속계 측정의 경우, 2등급(54%)과 3등급(46%)으로 나타났으며, 부자 측정의 경우, 1등급 23%, 2등급 62%, 3등급 15%로 나타났다. 기존의 측정자료가 대부분 4등급에 해당하는 것과 비교해 보면 개선된 기준과 방법으로 측정한 유량측정성과의 품질이 매우 개선된 것을 알 수 있다.

표 3. 유량측정성과 등급평가 결과 (%)

| 등급 | 1등급 (Excellent) | 2등급 (Good) | 3등급 (Fair) | 4등급 (Poor) |
|--------|--------------------|---------------|---------------|---------------|
| 유속계 측정 | - | 54 | 46 | - |
| 부자 측정 | 23 | 62 | 15 | - |
| 전체 | 6 | 56 | 38 | - |

5. 불확실도 분석 결과 검토

그림 6은 설마천 전적비교 지점의 2002년 유량측정성과에 대한 무작위 불확실도를 구성하는 각 단위 요소별 불확실도의 상대비중을 산정하여 도시한 그림이다⁷⁾. 평균유속 0.1m/sec를 기준으로 홍수기와 평저수기로 나누어 도시한 것으로, 홍수기에는 유속 측선수와 평균유속 결정을 위한 측정수에 대한 불확실도가 큰 비중을 차지하며, 평저수기에는 이들보다 점유속 측정시간에 대한 불확실도가 큰 비중을 차지하고 있다. 이는 홍수기에는 유속 측선수와 측정수를 충분히 확보하고, 평저수기에는 유속 측정시간을 늘림으로써, 유량측정성과의 정확도를 더욱 개선시킬 수 있음을 알 수 있다.



(2) 유속 0.1m/sec 이하 (1) 유속 0.1m/sec 이상
그림 6. 단위요소별 불확실도의 상대비중 비교 (설마천 전적비교)

6. 결론

수문자료 중에서 가장 불확실성을 많이 내포하고 있는 유량자료의 정확도를 높이기 위해 유량측정 기준과 방법을 검토하여 외국의 우수한 경우를 적용하여 안양천과 설마천을 대상으로 유량측정을 수행하였다. 이러한 측정 기준과 방법에 의해 측정한 유량측정성과는 수리특성의 분석, 구간유량비 검토, 불확실도 분석 등을 통하여 과거의 유량측정성과의 품질보다는 현저히 개선된 품질을 갖는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 본 논문에서 적용한 외국의 기준과 방법이 우리나라 유량자료의 품질수준을 높일 수 있는 하나의 방법이 될 수 있음을 보여주는 사례이다. 이를 더욱 발전시키기 위해서는 본 논문에서 적용한 기준과 방법을 더욱 정교하게 표준화하는 연구가 필요하며, 이의 현장 적용과 일상적인 처리과정을 거친다면, 우리나라 유량자료의 품질수준을 획기적으로 높일 수 있을 것으로 기대된다.

7. 참고문헌

1. 수자원의지속적확보기술개발사업단, 지표수 조사기술 개발 1차년도 보고서, 2002.
2. 건설교통부 한강홍수통제소, 수문관측효율성 제고방안 연구보고서, 2001.
3. ISO, Measurement of Liquid Flow in Open Channels -Velocity-area Methods, ISO-748:1997(E), 1997.
4. Rantz, S.E., Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge, USGS Water-supply Paper 2175, 1982.
5. 日本 建設省 水文研究會, 水文觀測, 1996.
6. 건설교통부 한강홍수통제소, 2001년도 한강유역 수자원 시험장비의 설치 및 운영 -시험유역 및 주요지천 등에 대한 유량측정 보고서, 2002.
7. 한국건설기술연구원, 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구, 건기연 2002-056, 2002.

- 감사의 글 -

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의지속적확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 2-1-1)에 의해 수행되었습니다.