

유량자료 정확도 향상을 위한 검증시스템 구축

Construction of Validation Procedure for Better Discharge Data

정성원*, 김동구**, 김치영**, 황석환**, 한명선**, 이찬주**

Sung-won Jung, Dong-gu Kim, Chi-Young Kim, Seok Hwan Hwang, Myung-Sun Han,
Chan-Ju Lee

요 지

수문학 분야에서 가장 어려움을 겪고 있는 것 중의 하나는 정도 높은 수문자료의 부재이다. 특히, 유량자료의 경우 그 중요성에 비해 자료의 정확도가 매우 떨어지고 있어 수자원 계획 및 운영, 수문설계, 수질관리, 관련 기초연구 등에서 많은 어려움을 겪고 있는 것이 현실이다. 부정확한 유량자료는 예산의 부족, 전문인력의 부재, 전문장비의 미비 등 하드웨어 측면에서 근본적인 원인이 있는 것으로 판단되나, 유량자료의 처리절차가 실제적으로 이루어지지 않는 데에도 중요한 한 원인이 있다. 따라서 이러한 소프트웨어 측면의 원인을 보완하기 위하여 2004년 건설교통부 유량측정사업에서 자료처리절차를 강화하는 유량측정 검증시스템을 도입하여 운영한 바 있다. 본 논문에서는 건설교통부의 유량측정사업의 효율적 수행을 위해 처음 도입된 유량측정 검증시스템을 소개하고, 섬진강과 낙동강 수계에 적용하여 개선된 유량자료의 결과를 소개하고자 한다.

핵심용어 : 유량자료, 유량측정 검증시스템, 자료 정확도

1. 서론

수문자료는 물순환 과정의 규명, 수자원의 계획과 관리, 홍수와 가뭄 관리, 수문 설계와 연구 등과 같은 공공성에 기반을 둔 각종 국가사업과 기초연구에 반드시 필요한 기초자료이다. 따라서 이러한 수문자료는 높은 품질수준이 요구되며 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 있다.

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 유량측정 검증시스템 운영에 따른 낙동강과 섬진강의 유량측정 현장 적용과 검토 사례를 통해 우리나라 유량자료의 품질수준을 개선할 수 있는 기술적인 방향을 제시하고자 한다.

2. 유량측정 검증시스템

올해 처음 도입된 유량측정 검증시스템은 정도 높은 유량자료를 생성하고자 유량의 측정과 분석 과정을 분리하는 것이 주된 내용으로, 유량측정은 용역회사에서, 분석은 검증기관에서 분리하여 수행되었다. 용역회사는 강화된 기준과 방법론에 따라 정밀한 유량측정성적을 확보하기 위한 현장측정을 담당하였으며, 검증기

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원·E-mail : swjung@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : kimdg@kict.re.kr; cy_kim@kict.re.kr; sukany@kict.re.kr;
mshan@kict.re.kr; c0gnitum@kict.re.kr

관은 한국건설기술연구원이 담당하여 측정방법 개선, 일상 검증, 곡선식 개발 및 유량환산/평가 등을 수행하였다. 즉, 정밀한 유량측정을 위한 측정방법 및 측정양식의 표준화, 유량측정방법의 교육 및 현장 적용 등을 통해 정도 높은 유량측정성과를 확보할 수 있는 기반을 제공하고, 측정된 유량측정성과를 검증할 수 있는 유량측정성과의 평가방안을 구축하여 일상적으로 운영함으로써 측정과정에서 발생하는 문제점 및 개선사항을 신속하게 파악하여 다음 측정에서 개선될 수 있도록 하였다. 이러한 피드백 과정을 거침으로써 정도 높은 유량측정성과를 확보할 수 있도록 하였다. 또한 측정된 유량측정성과를 이용하여 수위-유량관계곡선을 개발하고, 이를 이용하여 유량자료를 생성하는 역할도 함께 수행하였다. 각 기관별 역할 분담은 그림 1 및 표 1과 같다.

표 1. 측정과 검증 역할 분담 내용

단계	수행 내용	담당 기관
측정기반 구축	·유량측정 방법 및 양식 표준화 ·유량측정방법 교육 및 현장적용	한국건설기술연구원
유량측정	·강화된 기준/방법에 의한 현장 유량측정	용역회사
유량측정성과 검증	·유량측정성과 평가방안 구축 ·일상 검증과 피드백을 통한 정밀도 향상	한국건설기술연구원
수위-유량 관계곡선 개발	·곡선식 작성방법 개선 및 표준화 ·곡선식 개발	한국건설기술연구원
유량 환산 및 평가	·유량자료 환산 ·유량자료 평가방안 구축 ·환산 유량자료의 검토 및 평가	한국건설기술연구원
기타	·홍수위 기준 검토 및 제시 ·과업지시서 개선방안 제시 ·유량측정지점 선정기준 검토 ·유량측정 및 곡선식 개발 개선방안 제시	한국건설기술연구원
보고서 작성	·보고서 작성	한국건설기술연구원 용역회사

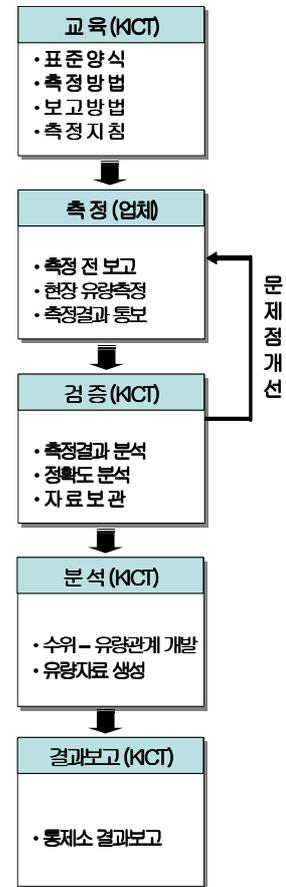


그림 1. 역할분담

2.1 유량측정기준 강화

최근 측정된 유량측정성과를 검토한 결과, 주로 측정기준의 미비와 불이행, 측정방법 및 절차상의 부정확, 측정자료의 검토과정 및 평가 부재, 수위-유량관계곡선 개발 방법의 오류 및 평가 부재 등과 같은 문제점을 가지고 있는 것으로 조사되었다. 이와 같은 문제점을 개선하고자 국내외의 기준과 방법을 비교 검토하여 표 2와 같이 과업지시서를 강화하였으며, 이에 따라 정밀한 유량측정성과를 확보하고자 하였다.

2.2 유량측정성과 개선결과

2.1에서 언급한 강화된 유량측정 기준과 방법을 통해 2003년과 2004년의 섬진강 평저수시 유량측정성과를 살펴보면, 그림 2~4와 같이 동일 하폭에서 측선수는 2배 정도 증가하였고, 등유량 개념의 유량측정 방법을 통해 최대구간유량비(25%→10%) 및 불확실도(10%→5%)의 경우 절반으로 감소하였다. 특히 최대구간유량비의 경우 2003년에는 60%에 근접하는 값을 보이기도 하였으나, 2004년에는 현저히 개선된 결과를 보였다.

2.3 수위-유량관계곡선 작성 방법론 개선

수위를 유량으로 환산하기 위한 수위-유량관계곡선은 유량측정성과와 함께 매우 중요한 요소이다. 그러나 기존의 수위-유량관계곡선은 유량측정성과를 단순히 회귀분석하여 수학적 곡선식으로 유도함으로써 하천의 통제특성을 함께 고려하지 않았다. 또한, 하천의 통제특성 변화와 무관하게 과거 수년치의 자료를 함께 이용하여 곡선식을 개발함으로써 부정확한 수위-유량관계곡선을 개발하는 문제점을 공통적으로 가지고 있다.

표 2. 강화된 기준 및 방법 요약

유량측정 기준	<ul style="list-style-type: none"> - 수심 측선수 대폭 확대 : 전체 하폭의 5% 미만과 전체 유량의 10% 이하, 수면폭 10m 이상인 경우 측선수 최소 20개 이상 - 유속 측선수 대폭 확대 : 수면폭 10m 이상인 경우 측선수 최소 20개 이상, 구간유량이 5% 미만과 최대 10% 이하 - 측선당 측정수 : 0.6m 이하 1점법, 0.6~1.0m 2점법, 1.0m 이상 3점법, 비정상적인 연직 유속 분포를 보일 경우($V_{0.2} < V_{0.8}$ 또는 $V_{0.2} \geq 2 \times V_{0.8}$인 경우) 2점법→3점법 - 측정시간 : 전자기식 최소 30초 이상, 회전식 최소 40초 이상
유량측정 방법	<ul style="list-style-type: none"> - 주기적 측정 및 모든 수위 범위에 끌고루 분포할 수 있는 측정성과 확보 - 수심과 유속 동일 측선서 동시 측정 - 처음과 마지막 측선의 양안으로부터의 거리 최소가 되도록 측선 위치 선정 - 등간격이 아닌 등유량이 되도록 측선 간격 배치 - 수위 급변시 측선마다의 목자관 수위 이용하여 평균수위 산정 (구간유량 가중평균) - 수위급변시 측정방법 축소 변경 - 유선이 수직이 아닐 경우 보정계수를 측정한 후 보정(프라이스 유속계의 경우) - 유속계 검정 실시 강화 및 유속계 측정가능 범위 및 검정 범위 안에서 측정
홍수시 부차측정	<ul style="list-style-type: none"> - 유속측선수 대폭 확대 : 6~16개 이상 (기존 3~8개) - 등간격이 아닌 등유량이 되도록 측선 간격 배치 - 주요 홍수시마다 수시 횡단측량 - 부차표 작성
유량 측정시 조사사항	<ul style="list-style-type: none"> - GZF(흐름이 0인 수위) 측정 - 목자관 수위 수시 기록, 계기 수위 일치 여부 조사 - 통제특성(하천단면형상, 조도, 하상재료, 구조물 등) 조사

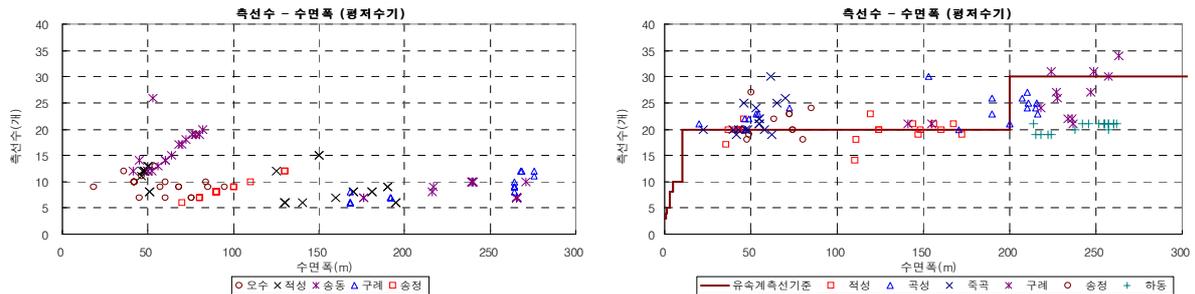


그림 2. 섬진강 유역 평저수기 측선수 비교(2003년-좌, 2004년-우)

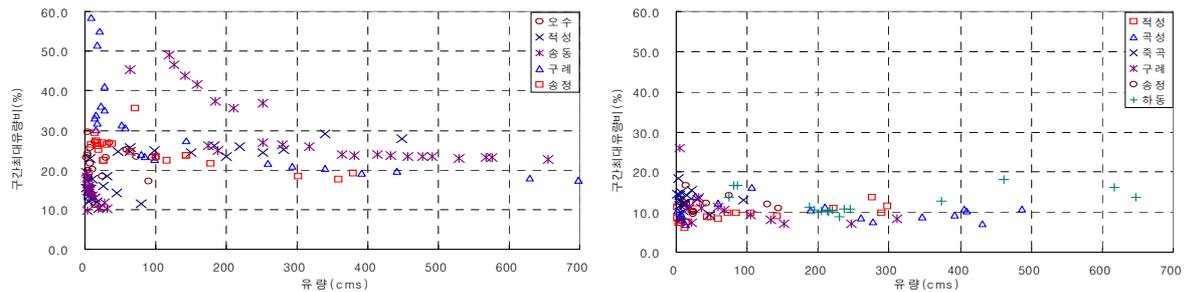


그림 3. 섬진강 유역 평저수기 최대구간유량비 비교(2003년-좌, 2004년-우)

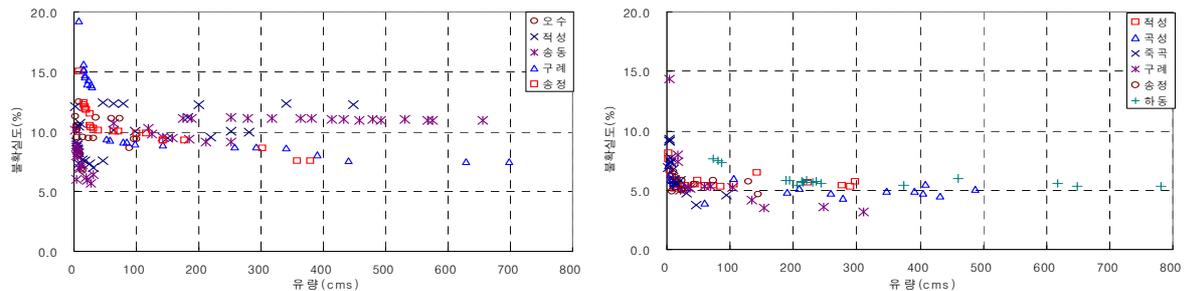


그림 4. 섬진강 유역 평저수기 불확실도 비교(2003년-좌, 2004년-우)

표 3. 수위-유량관계곡선 검토 방법 요약

유량측정 성과 검토	<ul style="list-style-type: none"> - 횡단도~유속분포도 : 측정된 유속 적합성 검토 - 수위~유량도 : 유량측정성과를 측정일시 순으로 연결하여 이상 유무 및 배수영향 등 검토 - 홍수기 전후 횡단면도 비교 : 단면 변화 검토 - 수위~유량~횡단면도 : 통제 특성과 함께 비교 검토 - 수리특성 검토 : 수위~단면적, 수위~하폭, 수위~평균유속, 수위~\sqrt{Q} 검토하여 이상치, 통제특성 변화, 배수영향 등 검토 - 수위~측선수 검토 : 유속 측선수 기준 수행 여부 검토 - 측선별 구간유량비 검토 : 구간유량의 등유량 정도 검토 - 불확실도 분석 : 측정방법 개선, 등급평가
수위-유량 관계곡선 검토	<ul style="list-style-type: none"> - 곡선 기간 분리 : 수위, 유량측정성과, 통제특성 변화 - 곡선의 구간 분리 : 하도 및 단면 통제 특성 활용 - 곡선 형상 결정 : 통제특성(흐름이 0인 수위) 활용→회귀분석하여 곡선식 결정 - 외삽곡선 제시 : 저수위 부분 (흐름이 0인 수위 활용, 산술축으로 제시), 고수위 부분 (통제 특성을 고려한 외삽방법 적용, Stenvens 방법 등) - 개발된 곡선의 검토 : 상하류 유량비교, 강우-유출 관계의 적정성, 필요시 제한된 범위내에서 재조정 (유량측정성과 특성 고려)
유량환산 및 유출검토	<ul style="list-style-type: none"> - 목자관 수위~계기 수위 일치 여부 검토 - 기간 분리 곡선 적용시 경계구간 처리 여부 검토 - 강우-유출 관계의 적절성 검토 : 장기간 및 주요 호우사상에 대한 유출률 및 상하류간 비교

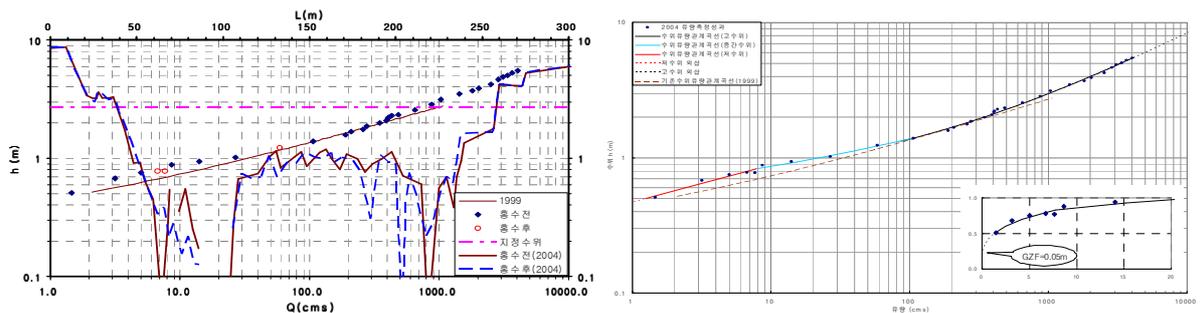


그림 5. 수위유량관계곡선 (2004년 곡선)

이러한 문제점을 개선하기 위해 표 3과 같이 곡선식 개발 사전단계로서 유량측정성과의 검토, 곡선의 기간 및 구간의 분리, 통제특성을 이용한 곡선의 형상 검토 등을 거친 후에 회귀분석하여 곡선식을 결정하였다. 또한, 곡선식의 적용범위 밖의 외삽곡선을 별도로 제시하였으며, 개발된 곡선 검토를 통해 최종 확정하는 절차를 거쳤다.

그림 5는 이와 같은 방법에 의해 개발한 섬진강 곡선 지점의 수위-유량관계곡선을 예시한 그림이다. 왼쪽은 2004년 유량측정성과, 기존 수위-유량관계곡선 및 하상변동 전후의 하천단면자료를 함께 도시한 그림이며, 오른쪽은 이를 바탕으로 곡선의 기간 및 구간 분리, 하천의 통제특성을 고려한 곡선의 형상 결정, 외삽곡선의 제시 등이 적절하게 표현된 예를 보이고 있다.

2.4 유량자료 평가

표 4는 유량자료의 정확도를 살펴보기 위해 댐 영향을 제외한 각 지점들의 연유출률을 산정한 결과이다. 조위 및 배수 영향을 받는 수산, 삼랑진, 구포, 하동 지점을 제외하고 44~62%로 비교적 적절한 값을 보이고 있다. 그림 6은 주요 호우사상의 상하류간 유량의 적합성 검토를 위해 섬진강 및 낙동강의 상하류 지점간의 유량 수문곡선을 도시한 그림으로, 상하류간

표 4. 지점별 유출률 (2004년)

낙 동 강		섬 진 강	
지 점	유출률(%)	지 점	유출률(%)
지 보	55.7	적 성	43.9
달 지	56.2	곡 성	62.0
낙 동	54.0	오 곡	49.7
일선교	57.0	죽 곡	59.4
고령교	47.9	구 례	57.7
현 풍	45.6	송 정	52.3
임해진	60.2	하 동	197.1
수 산	64.5	-	-
삼랑진	97.1	-	-
구 포	47.7	-	-

유량이 적절하게 표현되고 있음을 알 수 있다. 그림 7은 섬진강과 낙동강의 평저수시의 동시유량을 유역 전체적으로 비교해 봄으로써 평저수시 유량이 전체적으로 타당한지 파악하는 것이 중요하다. 산정된 유량이 상류에서 하류로 내려갈수록 반전되지 않고 완만하게 증가함을 알 수 있다.

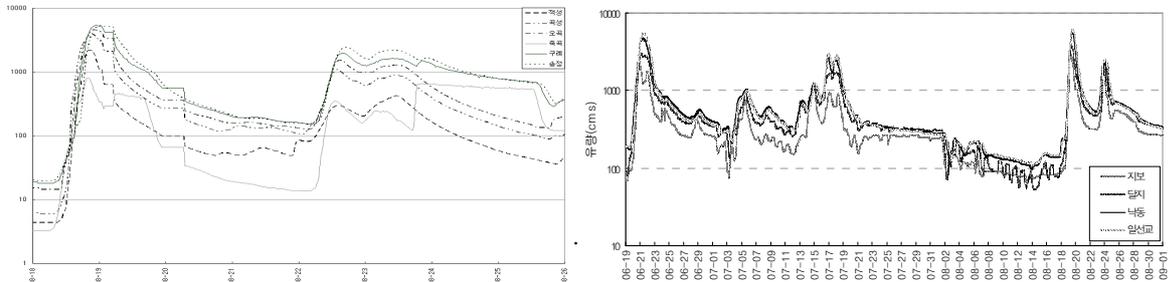


그림 6. 주요 호우사상에 대한 지점별 유량비교(섬진강 및 낙동강)

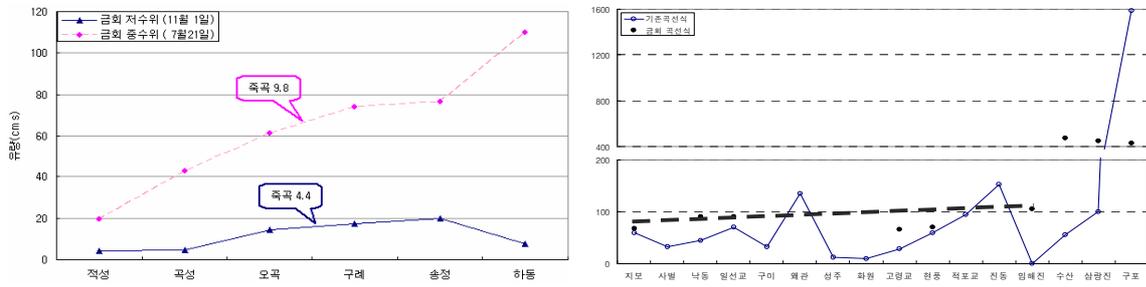


그림 7. 평저수시 동시유량 비교 검토(섬진강 및 낙동강)

3. 결론

수문자료 중에서 가장 불확실성을 많이 내포하고 있는 유량자료의 정확도를 높이기 위해 유량측정 검증시스템을 도입하여 유량측정 기준과 방법의 강화, 유량자료의 일상적 검증, 수위-유량관계곡선 개발 방법의 개선 등을 통하여 섬진강과 낙동강을 대상으로 유량측정을 수행하였다. 그 결과, 이러한 시스템에 의해 유량측정성과의 품질이 매우 개선되었으며, 수위-유량관계곡선 또한 물리적인 의미를 갖는 곡선식을 개발함으로써 타당한 유량자료를 확보할 수 있었다.

이러한 결과는 유량자료 검증시스템을 운영함으로써 유량자료의 품질수준을 높일 수 있는 하나의 방법론을 보이고 있다. 이를 더욱 발전시키기 위해서는 본 논문에서 적용한 기준과 방법을 더욱 정교하게 표준화하는 연구가 필요하며, 전국의 수문관측소에 이와 같은 정밀한 유량측정과 일상적인 수문자료 처리과정을 거친다면, 유량자료의 품질수준을 획기적으로 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 정성원, 김동희, 한명선, 문장원(2003), 유량자료 품질개선을 위한 정확도 제고방안-유량측정성과-, 2003년 한국수자원학회 학술발표회 논문집(I), pp.117-120, 한국수자원학회, 2003.5.24, 공주대학교
2. 정성원, 김동희, 문장원, 김동필(2003), 유량자료 품질개선을 위한 정확도 제고방안-수위-유량관계곡선-, 2003년 한국수자원학회 학술발표회 논문집(I), pp.121-124, 한국수자원학회, 2003.5.24, 공주대학교
3. 건설교통부 한강홍수통제소(2002), 2001년도 한강유역 수자원 시험장비의 설치 및 운영 -시험유역 및 주요 지천 등에 대한 유량측정 보고서
4. 수자원의지속적확보기술개발사업단(2004), 지표수 조사기술 개발 1단계 보고서
5. ISO(1997), Measurement of Liquid Flow in Open Channels -Velocity-area Methods, ISO-748:1997(E)
6. Rantz, S.E.(1992), Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge, Volume 2. Computation of Discharge, USGS Water-supply Paper 2175