

유량자료 품질개선을 위한 정확도 제고방안 -수위-유량관계곡선-

○정성원¹⁾, 김동희²⁾, 문장원³⁾, 김동필⁴⁾

1. 서론

하천유량은 수자원 계획, 댐개발 계획, 용수공급 계획, 하천 수질 관리 계획 등 국가 수자원 관리의 기본 자료이다. 하천유량 측정의 정확도에 따라 국가 수자원 계획이 좌우될 수 있는 중요한 자료이나, 그 정확도는 매우 낮은 수준에 있다. 일본의 경우 10%인 ISO(국제표준기구) 기준에 의한 수위-유량관계곡선의 평균 표준오차가 1999년 한강유역의 경우 86%로서 수자원 계획에 큰 오차를 발생시키고 있으며, 실제로 일부 지점의 경우 유량 측정값과 이용값 사이에서 20배 가량의 유량 차이가 발생하여 수자원 계획에 대한 혼란과 불신을 초래하고 있다¹⁾.

하천유량이 부정확한 이유는 이를 생성하기 위해 필요한 수위자료와 유량측정자료, 수위-유량관계곡선이 부정확한데서 기인한다. 본 논문에서는 설마천과 안양천을 대상으로 측정된 유량측정성과를 이용하여 개선된 수위-유량관계곡선의 개발방법으로 곡선을 개발하고 타당성을 검토함으로써 하천유량자료의 품질을 개선하기 위한 방법 중에 하나인 수위-유량관계곡선의 올바른 유도방법에 대해 검토하고자 한다.

2. 수위-유량관계곡선 개선방법 요약

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

따라서 이와 같은 오류를 개선하기 위해 수위-유량관계곡선 개발시 통제특성을 이용하여 곡선의 구간 분리, 흐름이 0인 수위(GZF, Gauge Height of Zero Flow)를 이용한 곡선 형상 결정 등의 개선된 방법을 사용하였다. ISO²⁾ 및 미국 지질조사국(U.S. Geological Survey)³⁾에 따르면 그림 1과 같이 수위-유량관계곡선은 하천의 통제특성에 따라 곡선의 구간분리가 이루어져야 하며, GZF를 이용하여 그림 2와 같이 곡선을 직선화하는 것을 권장하고 있다. GZF는 현장에서 여울과 같은 단면통제를 받는 지점에서 측정할 수 있다. 표 1은 이와 같이 내용을 포함하여 본 논문에서 적용한 수위-유량관계곡선의 개발 방법과 이에 필요한 조사사항을 요약한 것이다.

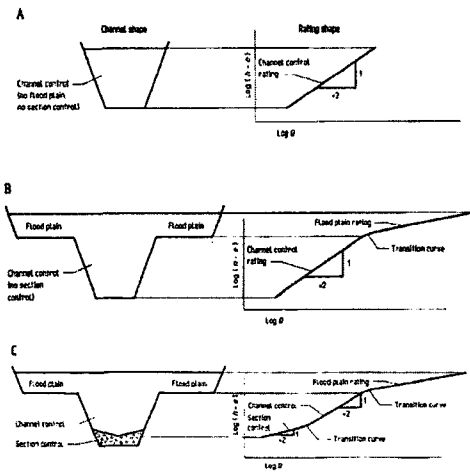


Figure 2 - Relation of channel and control properties to rating curve shape

그림 1. 통제특성에 따른 수위-유량관계곡선 특성

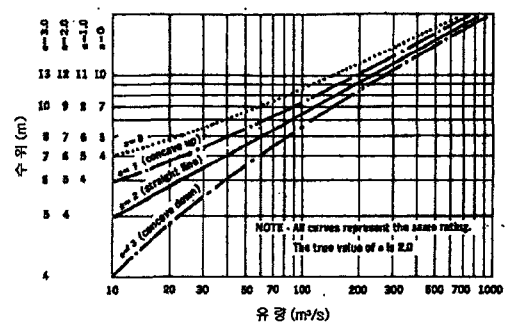


그림 2. GZF를 이용한 곡선의 직선화

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: jwmoon@kict.re.kr)

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

표 1. 적용 기준 및 방법 요약

유량측정시 조사사항	<ul style="list-style-type: none"> - GZF(흐름이 0인 수위) 측정 - 목차관 수위 수시 기록, 계기 수위 일치 여부 조사 - 통제특성(하천단면형상, 조도, 하상재료, 구조물 등)
수위-유량 관계곡선 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 유량측정성과 검토 : 불확실도, 수리특성 등의 검토에 따른 이상치 판별, 동일 특성의 성과만을 이용(다년도 자료 이용에 제한) - 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 (통제특성을 고려한 외삽법 적용, Stenvens 방법 등) - 개발된 곡선의 검토 : 상하류 유량비교, 강우-유출 관계의 적정성, 필요시 제한된 범위내에서 재조정 (유량 측정성과 특성 고려)

3. 수위-유량관계곡선 개발방법 요약

제시된 개선방법으로 안양천의 신정 지점과 설마천에서 수위-유량관계곡선을 개발하였다. 측정된 유량측정성과와 수위표 지점의 단면자료 및 통제특성 등을 종합적으로 이용하여 수위-유량관계곡선식을 개발하였다. 수위-유량관계곡선식을 개발하는데 있어서 다음과 같은 사항에 주안점을 두고 종합적으로 검토하였다.

첫째, 하상의 변화 등과 같은 통제특성의 변화를 고려하지 않고 단지 유량측정성과 자료수의 부족으로 여러 해의 자료를 모두 이용하는 오류를 수정하였다. 수위-유량관계곡선을 유도하기에 자료가 부족하다 하더라도 하도 및 단면 통제 특성을 적절히 고려한다면 자료수의 한계를 극복할 수 있다.

둘째, 최적의 수위-유량관계곡선식을 개발하는데 있어 하도 및 단면 통제의 특성에서 파악된 GZF를 이용하여 대수축 그래프에서 수위-유량관계가 직선이 되도록 하는 도해적 방법과 함께 회귀분석 방법을 이용하였다. 도해적 방법을 통해 수위-유량관계의 형상을 기본적으로 파악한 후 회귀분석을 통해 적절한 수위-유량관계곡선식을 유도하였다.

셋째, 하도 및 단면 통제의 특성을 적절히 고려하여 수위-유량관계곡선의 구간을 분리하여 곡선식을 개발하였다. 하천단면 자료를 참고하여 복단면인 신정 지점의 경우에는 저수위, 중간수위, 고수위로, 단단면인 전적비교 지점의 경우에는 저수위와 고수위로 구간을 나누어 수위-유량관계곡선을 개발하였다. 복단면 수로에서는 저수로 부분의 하상에서 흐름이 발생하는 경우, 저수로에서 발생한 경우 및 고수부지까지 흐름이 발생한 경우에는 각각의 수위-유량관계 특성이 다르게 나타나므로, 각 경우를 저수위, 중간수위, 고수위로 판단하여 수위-유량관계를 구분하여 개발하였다. 단단면 수로에서도 저수로 부분과 수위가 상승하여 하천구간 전체에서 흐름이 발생하는 경우의 특성이 다르게 나타나므로, 저수위와 고수위로 구분하여 수위-유량관계를 개발하였다.

넷째, 수위자료의 검토, 유량측정성과 수리특성 분석 결과, 하도 및 단면 통제 변화 등을 종합적으로 고려하여 수위-유량관계의 적용기간 분리가 필요한 경우를 판단하여, 기간분리가 필요한 경우에는 저수위 부분을 중심으로 기간에 따라 곡선을 분리하여 개발하였다.

다섯째, 유량측정성과의 수리특성 분석과 불확실도 분석 결과를 종합적으로 고려하여 유량측정성과의 이상치 등을 적절히 판단하였으며, 이 결과 측정된 유량측정성과 중에 이상치로 판단된 유량측정성과를 제외하고 수위-유량관계곡선식을 개발하였다.

여섯째, 개발된 수위-유량관계곡선은 이용한 유량측정성과의 범위 안에서만 적용가능하므로, 하도 및 단면 통제 특성을 이용하여 저수위와 고수위에 대해 외삽곡선을 작성하였다. 저수위의 경우 흐름이 0인 수위를 이용하여 저수위 곡선이 흐름이 0인 수위까지 직선이 되도록 하게 함으로써 별도의 외삽곡선을 개발하지 않았으며, 보다 명확히 표현하기 위하여 이를 산술축 그래프에 함께 도시하였다. 고수위 수위-유량관계의 외삽은 통제 형태를 고려하여 적절한 방법으로 외삽 곡선을 제시하였다.

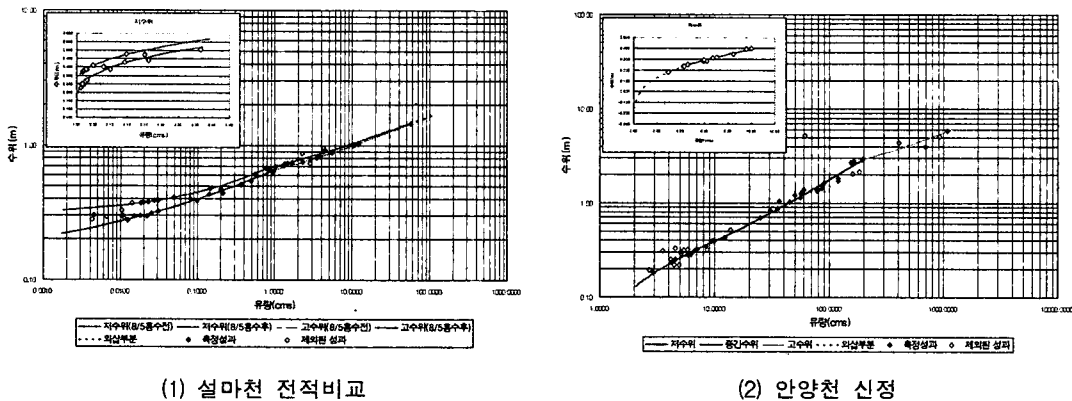
일곱째, 개발된 수위-유량관계곡선은 강우-유출 관계의 적정성, 상하류간 유량 비교의 적정성 등을 종합적으로 검토하여 필요할 경우 곡선식을 수정하여 최종적인 수위-유량관계곡선식을 개발하였다.

4. 수위-유량관계곡선 개발

표 1과 같이 곡선식 개발 사전단계로서 유량측정성과의 검토, 곡선의 기간 및 구간의 분리, 통제특성을

이용한 곡선의 형상 검토 등을 거친 후에 회귀분석하여 곡선식을 결정하였다. 또한, 필요한 경우, 곡선식의 적용범위 밖의 외삽곡선을 별도로 제시하였으며, 개발된 곡선 검토를 통해 최종 확정하는 절차를 거쳤다.

그림 3은 이와 같은 방법에 의해 개발한 설마천 전적비교⁴⁾와 안양천 신정 지점⁵⁾의 수위-유량관계곡선을 예시한 그림으로, 곡선의 기간 및 구간 분리, 하천의 통계특성을 고려한 곡선의 형상 결정, 외삽곡선의 제시 등이 적절하게 표현된 예를 보이고 있다. 전적비교의 경우, 8월의 큰 호우로 인해 통계특성이 변하여 적용기간을 분리하여 두 개의 곡선군으로 개발되었으며, 구간 분리는 단단면의 형태이므로 두 개의 구간으로 나누어 개발되었다. 신정은 통계특성이 크게 변하지 않아 기간 분리는 없었으며, 구간 분리는 복단면의 형태로 세 개의 곡선으로 나누어 개발되었다.



(1) 설마천 전적비교

(2) 안양천 신정

그림 3. 수위-유량관계곡선

5. 수위-유량관계곡선 검토

유량측정성과 검토, 수위-유량관계곡선 검토, 유량환산 및 유출검토 등 3단계로 개발된 수위-유량관계곡선의 타당성을 검토할 수 있으며, 구체적인 내용은 표 2와 같다. 유량측정성과 수위-유량관계곡선의 검토는 유량측정과 곡선식 개발 단계에서 검토한 결과를 제3자에 의해 재검토하는 것이며, 유량 환산 및 유출 검토를 통해 주로 곡선식의 타당성을 검토하게 된다.

그림 4는 이 중에서 주요 홍수사상의 상하류간 유량의 적합성 검토를 위해 안양천의 상하류 지점간의 유량 수문곡선을 도시한 그림으로, 상하류간의 유량이 고유량과 저유량 등 모든 구간에서 적절하게 표현되고 있음을 알 수 있다. 개발된 수위-유량관계곡선에 의한 2002년 설마천의 경우 연간 유출률은 전적비교는 63%, 사방댐은 61%를 보였다. 그림 5는 설마천의 전적비교와 사방댐의 장기간 유출률 검토를 위한 그림으로 유사한 유역특성을 보이는 두 지점에서 모두 비슷한 유출 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

표 2. 수위-유량관계곡선 검토 방법 요약

유량측정성과 검토	<ul style="list-style-type: none"> - 횡단도~유속분포도 : 측정된 유속 적합성 검토 - 수위~유량도 : 측정된 유량측정성과를 측정일시 순으로 연결하여 이상 유무 및 배수영향 등 검토 - 홍수기 전후 횡단면도 비교 : 단면 변화 검토 - 수위~유량~횡단면도 : 통계 특성과 함께 비교 검토 - 수리특성 검토 : 수위~단면적, 수위~하폭, 수위~평균유속, 수위~\sqrt{Q} 검토하여 이상치, 통계특성 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-유량관계곡선 검토	<ul style="list-style-type: none"> - 곡선식의 기간 및 구간 분리의 적합성 검토 - 곡선의 형상 검토 : 통계특성이 적절히 고려되었는지 검토 - 분리 구간에서의 불연속 유무 검토 - 외삽곡선의 적절성 검토
유량환산 및 유출검토	<ul style="list-style-type: none"> - 목자판 수위~계기 수위 일치 여부 검토 - 기간 분리 곡선 적용시 경계구간 처리 여부 검토 - 주요 홍수사상에 대한 상하류간 유량의 적합성 검토 - 장기간 유출률 검토

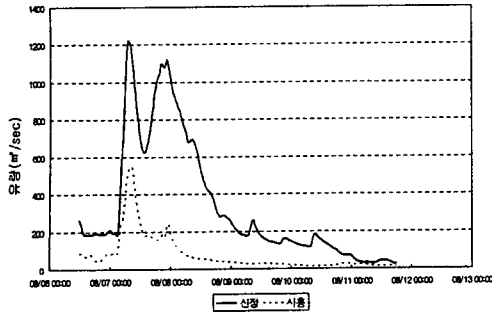


그림 4. 주요 홍수사상의 상하류간 유량 적합성 검토 (안양천 신정 및 시흥)

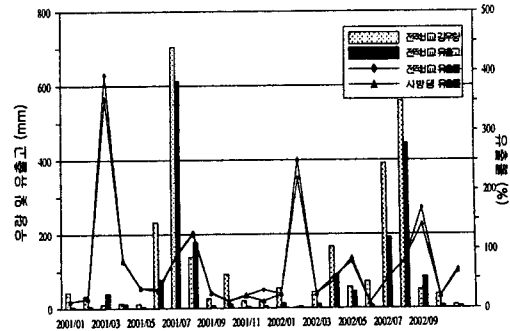


그림 5. 장기간 유출률 검토 (설마천 전적비교 및 사방댐)

그림 6은 설마천 전적비교의 주요 호우사상에 대한 직접유출률을 도시한 것으로, 선형강우와 토양의 포화정도에 따라 사상별로 0.04~0.97의 다양한 유출률을 보여주고 있다. 직상류에 있는 사방댐의 경우도 이와 비슷한 0.04~0.90의 유출률을 보여 전반적으로 전적비교와 사방댐의 수위-유량관계곡선이 적정하게 개발되었음을 알 수 있다. 동일 호우사상에서 두 지점간에 유출률에서 차이가 다소 발생하였으나 이는 직접유출률을 산정하는 단계에서 기저유출의 추정이 정교하지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

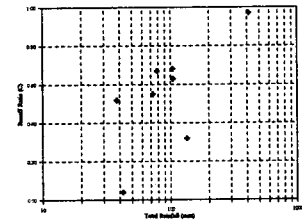


그림 6. 주요 호우사상의 직접유출률 (전적비교)

6. 결론

하천유량자료의 정확도를 높이기 위해서는 정확한 유량측정자료의 확보와 합리적인 수위-유량관계곡선의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 이 중에서 합리적인 수위-유량관계곡선을 개발하기 위해 국제기준에 따라 수위-유량관계곡선을 개발하였다. ISO와 미국 지질조사국에서 제시된 수위-유량관계곡선 개발방법에 따라 설마천과 안양천의 수위-유량관계곡선을 개발하였으며, 이를 이용하여 환산된 유량자료의 검토를 통해 그 타당성을 검토하였다. 그 결과, 개선방법에 의해 개발된 수위-유량관계곡선은 물리적인 의미를 갖는 곡선식으로 타당한 유량자료를 확보할 수 있었다.

이러한 결과는 본 논문에서 적용한 외국의 방법이 수위-유량관계곡선을 보다 합리적으로 개발할 수 있는 하나의 방법이 될 수 있음을 보여주는 사례이다. 이를 더욱 발전시키기 위해서는 본 논문에서 적용한 방법을 더욱 정교하게 체계화·표준화하는 연구가 필요하며, 개선된 유량측정 기준과 방법 및 수위-유량관계곡선 개발방법의 적용을 통해 우리나라 유량자료의 품질수준을 획기적으로 높일 수 있을 것으로 기대된다.

7. 참고문헌

1. 건설교통부 한강홍수통제소, 수문관측효율성 제고방안 연구보고서, 2001.
2. ISO, Measurement of Liquid Flow in Open Channels -Part 2: Determination of the Stage-discharge Relation, ISO-1100-2: 1998(E), 1998.
3. Rantz, S.E., Measurement and Computation of Streamflow: Volume 2. Computation of Discharge, USGS Water-supply Paper 2175, 1982.
4. 한국건설기술연구원, 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구, 건기연 2002-056, 2002.
5. 건설교통부 한강홍수통제소, 2001년도 한강유역 수자원 시험장비의 설치 및 운영 -시험유역 및 주요지천 등에 대한 유량측정 보고서, 2002.

- 감사의 글 -

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