

모래하천에서 전이통제 기법을 이용한 유량환산 연구

A Study of Discharge Rating Using Shifting Control Method in Sand Bed River

김치영*, 송인렬**, 이기성***, 정성원****

Chiyoung Kim, In Ryeol Song, Ki Sung Lee, Sung Won Jung

요 지

하천의 시간유량 혹은 일유량과 같은 연속유량을 획득하기 위해서는 각각 정해진 시각에 유량 측정 시행해야한다. 그러나 매시각, 매일 유량측정을 시행하는 것은 경제적으로나 기술적으로 매우 어려운 일이다. 따라서 연속적인 유량자료를 획득하기 위해 수위-유량관계를 작성하고 이를 연속적으로 측정한 수위에 대입하여 유량으로 환산한다.

하상변동이 심하게 발생하지 않는 안정적인 하천에서는 수위-유량관계 또한 시간에 따라 변화하지 않고 안정적인 관계를 유지한다. 다만, 우리나라 대부분의 하천에서는 주요 홍수 전·후로 통제하도의 하상이 변화하기 때문에 일반적으로 2개 혹은 3개 기간으로 수위-유량관계를 분리하여 유량환산에 이용하고 있다.

통제하도가 모래하천인 경우에는 주요홍수 이외에도 지속적으로 세굴 혹은 퇴적이 발생하기 때문에 매 유량측정 마다 서로 다른 수위-유량관계를 나타낸다. 따라서 주요 홍수 전·후로 수위-유량관계를 기간 분리하여 작성한다고 해도 신뢰성 있는 유량자료를 확보하기 곤란하다. 이와같이 불안정한 하도 통제를 받는 지점에서는 매 유량측정시마다 수위-유량관계를 조정하여 유량을 환산하여야 한다.

본 연구에서는 모래하천인 내성천의 향석 지점의 유량측정 성과를 이용하여 수위-유량관계를 개발하고, 매 유량측정시에 측정한 수위와 유량자를 이용하여 수위-유량관계 조정곡선을 작성하였다. 이를 이용하여 수위-유량관계를 조정하여 연속적인 유량환산을 시행하였다. 이 결과 기존 홍수 전·후로 기간 분리하여 작성한 수위-유량관계를 이용한 환산유량과 비교하여 신뢰성 있는 유량자료를 확보할 수 있었다.

핵심용어 : 전이통제(shifting control), 수위-유량관계, 모래하천

1. 서 론

하천의 시간유량 혹은 일유량과 같은 연속유량을 획득하기 위해서는 각각 정해진 시각에 유량 측정 시행해야한다. 그러나 매시각, 매일 유량측정을 시행하는 것은 경제적으로나 기술적으로 매우

* 정회원 · 유량조사사업단 연구개발실 선임연구원 · E-mail : cy_kim@kict.re.kr

** 정회원 · 유량조사사업단 유량조사실 연구원 · E-mail : songjr@kict.re.kr

*** 정회원 · 유량조사사업단 유량조사실 연구원 · E-mail : i971857@kict.re.kr

**** 정회원 · 유량조사사업단 단장 · E-mail : swjung@kict.re.kr

우 어려운 일이다. 따라서 연속적인 유량자료를 획득하기 위해 수위-유량관계를 작성하고 이를 연속적으로 측정된 수위에 대입하여 유량으로 환산한다.

통제하도가 모래하천인 경우에는 주요홍수 이외에도 지속적으로 세굴 혹은 퇴적이 발생하기 때문에 매 유량측정 마다 서로 다른 수위-유량관계를 나타낸다. 따라서 주요 홍수 전·후로 수위-유량관계를 기간 분리하여 작성한다고 해도 신뢰성 있는 유량자료를 확보하기 곤란하다. 이와같이 불안정한 하도 통제를 받는 지점에서는 매 유량측정시마다 수위-유량관계를 조정하여 유량을 환산하여야 한다.

본 연구에서는 모래하천인 내성천의 향석 지점의 유량측정 성과를 이용하여 수위-유량관계를 개발하고 매 유량측정시에 측정된 수위와 유량자료를 이용하여 수위-유량관계 조정곡선을 작성하였다. 수위 조정곡선을 이용한 유량환산법과 기존 수위-유량관계의 적용기간 분리에 의한 유량환산 방법을 비교 평가하였다.

2. 수위-유량관계 전이(shift)

2.1 개요

수위-유량관계가 영구적이지 않고, 시간에 따라 점진적으로 혹은 급격하게 변화하는 현상을 수위-유량관계의 이동 혹은 전이(shift)라 한다. 이와 같은 현상은 관측소의 통제를 형성하는 물리적인 형상의 변화 때문이다. 만일 수위-유량관계의 특정 변화가 한 달 혹은 두 달 동안 지속될 정도로 안정되면, 일반적으로 새로운 수위-유량관계를 개발하여 사용한다. 하지만 수위-유량관계가 지속적으로 변화하여 안정적으로 유지되는 기간이 짧으면 그 기간 동안 수위-유량관계를 조정하여 적용한다.

일반적으로 수위-유량관계 전이의 대부분은 모래하천에서 발생한다. 충적하천에서 수위-유량관계는 저유량 조건에서 시간에 따라 점진적으로 변화하며, 고유량 조건에서는 급속히 변화한다. 이러한 수위-유량관계 변화의 원인은 하상의 세굴과 퇴적, 사구(sand dune)와 사주의 이동이다. 따라서 모래하천에서 수위-유량관계는 주어진 조건에서 최선의 방법을 찾아야 한다.

2.2 수위-유량관계 전이 판단

수위-유량 관계는 일반적으로 운동하는 물의 동적 힘에서 야기되는 작은 무작위 변동에 의해 영향을 받는다. 이러한 작은 변동을 가려내는 것이 사실상 불가능하기 때문에 측정된 수위와 유량의 관계를 평균한 수위-유량관계를 개발하여 활용한다. 게다가 유량측정은 오차에서 자유로울 수 없으므로, 단일 측정치를 평균하여 수립한 수위-유량관계보다 그룹으로 측정된 자료를 이용하여 회귀분석한 수위-유량 관계가 정확한 것으로 판단한다.

연속적으로 측정된 유량측정치가 평균 수위-유량관계의 왼쪽 혹은 오른쪽에 연속적으로 도시된다면, 수위-유량관계 곡선의 변화(shifts)가 발생했다는 것이 거의 확실하다. 그러나 오직 한두 개의 측정치가 수위-유량관계 곡선의 정해진 범위에서 두드러지게 벗어났다면, 측정 오차에 의한 것인지 판단하여야 한다.

수위-유량관계의 전이를 판단하는 방법은 각 국가별로 표 1과 같은 실용적인 방법을 사용한다. 미국 등 여러 나라에서는 경험적인 분석에 의해 5%의 기준을 사용한다. 반면 우리나라와 일본의 경우 하천특성을 고려하여 미국보다는 느슨한 기준인 10%를 사용한다. 영국에서는 통계적인 이론에 기반한 방법이 사용한다.

표 1 수위-유량관계 전이 판단 기준

구분	우리나라, 일본	미국, ISO	영국	비고
수위-유량관계 전이 검출 기준	10%	5%	$2 S_D\%$	

- ※ S_D 는 수위-유량관계에서 유량 측정치의 분리(%)
- ※ Δ 은 수위-유량관계 곡선에서 정해진 구간에서 측정수

3. 모래하천에서 수위-유량관계 전이통제 기법

모래하천 수위-유량관계 전이를 조정하여 유량을 환산하는 기법은 Stout에 의해 개발되었다(Hersch, 1995). Stevens(1909)에 의하면, 이 방법은 단기간 적용되는 각각의 수위-유량관계를 수립하는 것이며, 하나의 측정 성과에 적용된 수위-유량관계가 시간에 따라 다음 측정된 유량측정 성과에 의해 수립된 수위-유량관계로 선형적으로 변화한다는 가정을 기반으로 한다. 이 방법은 일정 간격으로 측정된 유량 측정값에 해당하는 관측된 수위를 수정하는 방법이다.

Stout 방법의 적용하는 절차는 그림 1과 같다. Stout 방법을 적용하기 위해 얼마나 자주 유량측정을 시행할 것인가는 하천의 수리조건, 경제성, 그리고 실행 가능성 등을 고려하여 결정한다. 이 방법을 이용한 유량환산 기법의 정확도는 측정횟수, 하천의 수리적 조건, 수위와 유량측정의 정확도에 달려있다. 하지만 신뢰도는 안정적인 통제를 지니고 있는 관측소에 비해 매우 낮다.

Stout Method는 다음과 같은 전제조건이 있다. ① 수립된 수위-유량관계로부터 측정된 유량의 편차가 단지 관측소 통제의 전이 혹은 변화만이 원인으로 가정한다. ② 관측 수위에 적용된 보정값은 확인 측정(유량, 수위)이 수행된 사이 시간동안 점진적으로 계통적으로 변한다. 사실, 수립된 수위-유량관계로부터 유량측정값의 편차는 ① 점진적이고 계통적인 관측소 통제의 전이 편차, ② 통제의 급격한 무작위 전이 편차, ③ 관측오차 그리고 측정자 특성과 장비에서 발생하는 계통오차 등에 의해 발생할 수 있다.

Stout 방법은 엄밀하게 말해서 첫 번째 타입의 오차에 대해서만 적절하다. 만약 확인 측정이 충분히 자주 이루어진다면, 두 번째 오차에 대해서도 양질의 조정이 가능할 것이다. 그러나 Stout 방법의 약점은 측정오차와 계통오차가 크다 하더라도 측정오차와 계통오차가 그 자체로 무시되고 통제의 전이에 의한 오차에 포함된다는 것이다. 보정은 실제 유량환산이 조정될 때 유량자료에 적용된다. 명백한 오차는 전이통제에 의해 생긴 것이 아니라 장비오류, 측정단계의 부주의 등이다.

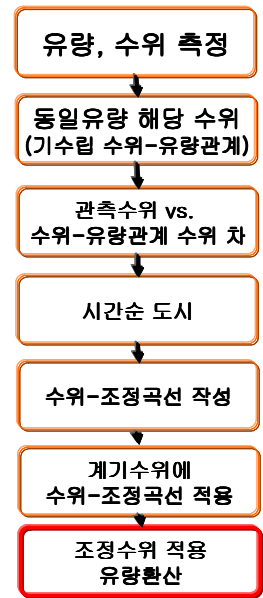


그림 1 유량환산 절차

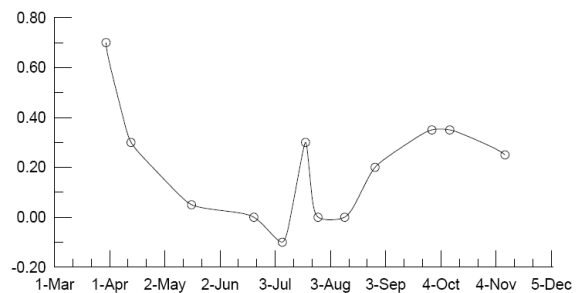


그림 2 수위-조정곡선

4. 전이통제 기법의 적용 및 분석

4.1 홍수기 전후 기간분리에 의한 유량환산

모래하천 전이통제 기법을 적용한 향석지점은 2007년도에 신설된 지점으로 2008년도에 최초 유량측정이 시행되었다. 본 지점의 수위-유량관계를 개발하기 위하여 총 36회 유량측정을 시행하였으며, 2008년 6월 28일 홍수 사상을 전·후하여 수위-유량관계가 변화한 것으로 판단되어 해당 홍수사상을 기준으로 기간 분리하였다. 홍수 전 수위-유량관계는 2.52m까지 단일한 수위-유량관계를 개발하였고, 홍수 후 수위-유량관계는 저수위, 중수위, 고수위 세 개 구간으로 분리하여 수립하였다(그림 3 참조).

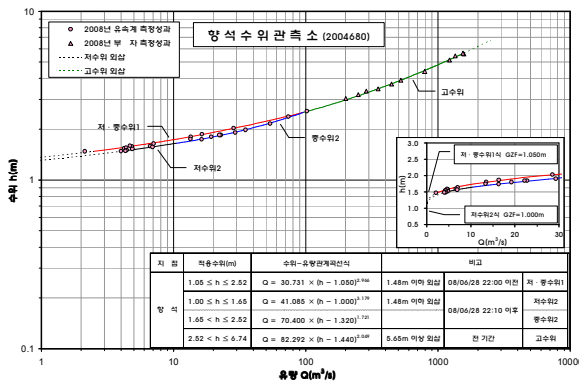


그림 3 기간분리에 의한 수위-유량관계 수립

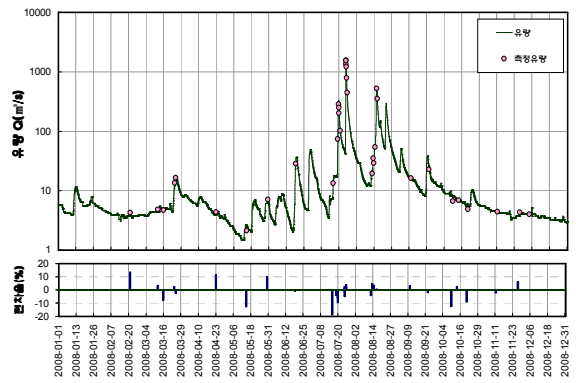


그림 4 환산유량과 측정유량 비교

수립된 수위-유량관계에 의한 환산된 유량과 측정유량을 동시에 그림 4에 도시하였다. 환산유량의 정확성을 평가하기 위해 측정 유량과 비교 검토한 결과 최대 18%, 평균 6.16% 상대오차를 지니고 있었다. 국제 기준에서는 수위-유량관계에 의한 환산 유량과 측정유량의 편차는 5% 이내를 권장하고 있지만, 모래하천인 향석지점의 경우 평균 5%를 초과하여 수위-유량관계 전이 조정이 필요함을 알 수 있다.

4.2 모래하천 전이조정 기법을 이용한 유량 환산

수위-유량관계 전이 조정 기법 적용을 위해 홍수 이전에 측정된 유량측정 성과를 활용하여 기본 수위-유량관계를 그림 5와 같이 작성하였다. 여기에서 기본 수위-유량관계가 어떻게 만들어지는가는 그리 중요하지 않다. 왜냐하면 서로 다른 기본 수위-유량관계는 서로 다른 수위-조정곡선을 줄 것이기 때문이다.

작성된 기본 수위-유량관계 곡선을 기초하여 측정된 유량에 대응하는 환산 수위를 구하고 이를 유량측정시 측정된 수위와 차를 구하여 수위 조정곡선을 구하였다(그림 6 참조). 그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 6월 28일 홍수를 기준으로 0.05m 이상 수위 조정값이 나타나는 것을 볼 수 있다. 즉 이 기간 이후 퇴적에 의해 통계 특성이 변화하였음을 알 수 있다. 그림 7은 작성된 수위 조정 곡선을 기반으로 측정값 사이의 수위-유량관계 전이가 점진적으로 발생한다고 가정하여 수위

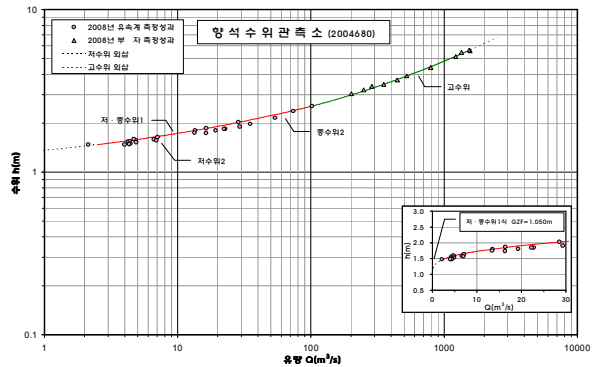


그림 5 기본 수위-유량관계

를 조정하였다. 조정된 수위를 기본 수위-유량관계에 대입하여 그림 7과 같이 유량을 환산하였다.

Stout 방법은 측정된 유량과 수위-유량관계에 의해 환산된 유량의 편차는 관측소 통제의 전이에 의해서만 발생한다는 것을 가정하여 측정 유량에 대응하는 수위를 조정한다. 따라서 조정된 수위를 기반으로 환산된 유량은 측정된 유량과 일치한다(그림 7 참조). 이 방법은 측정오차가 크다 하더라도 그 오차는 무시된다는 약점을 지니고 있다.

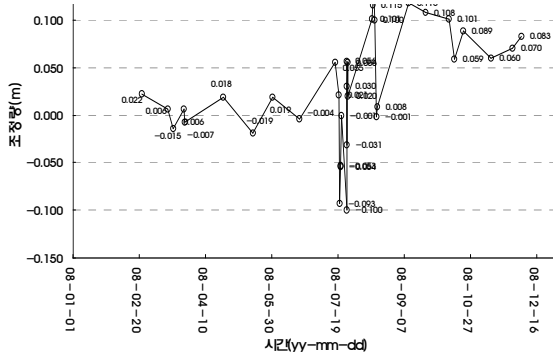


그림 6 수위-조정곡선

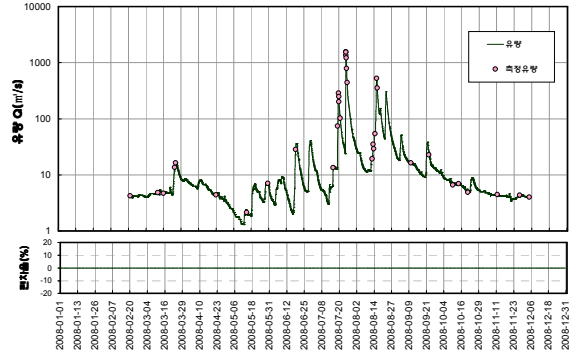


그림 7 환산유량과 측정유량 비교

5. 결론

본 연구에서는 모래하천의 퇴적과 세굴에 의해 지속적으로 발생하는 수위-유량관계의 전이를 조정하여 유량을 환산하는 기법을 적용하여 기존 방법과 비교하였다. 본 연구에 적용된 Stout 방법은 일정 기간 간격으로 측정된 유량값에 대응하는 관측소 수위를 조정하는 방법이다.

기존 방법에 의해 환산된 유량의 경우 측정 유량과 비교 검토한 결과 최대 18%, 평균 6.16% 상대오차를 지니고 있어 환산유량의 정확도가 낮은 것으로 평가되었다. 반면 Stout 방법에 의해 전이 조정하여 환산한 유량의 경우 측정유량과 일치하였다. 다만 Stout 방법은 측정된 유량과 수위-유량관계에 의해 환산된 유량의 편차는 관측소 통제의 전이에 의해서만 발생한다는 것을 가정한 다. 따라서 이 방법은 측정오차가 크다 하더라도 그 오차는 무시된다는 약점을 지니고 있다.

참 고 문 헌

1. Hershy(1995). Streamflow measurement, Second Edition, E & FN Spon, London, UK
2. S. E. RANTZ.(1982). Measurement and Computatioin of Streamflow, Vol2. pp.344-389.
3. Stevens(1909). Surface-Water Supply of Nebraska, Water-Supply Paper No. 230, USGS