

감조하천에서 수위-유량관계곡선 개발에 관한 연구

A Study on the Stage-Discharge Rating Curve Development in Tidal River

류영용*, 이신재**, 최홍윤***, 이진원****, 정성원*****

Young Yong Ryu, Sin Jae Lee, Hong Yun Choi, Jin Won Lee, Sung Won Jung

요 지

감조구간 하천에서는 조석의 영향에 의해 수위와 유량이 무강우에도 주기적으로 큰 변동을 하게 되며, 흐름이 역류하는 경우도 발생된다. 따라서 일반 자연하천과 달리 수위-유량 관계는 단일 함수($Q = a(h - b)^c$)로 해석할 수 없으며, 수면경사, 수위변화량 등의 변수를 추가하여 해석해야 한다.

본 연구에서는 섬진강 하류부에 위치하여 조석의 영향을 받는 하동2 지점에서의 측정된 수위와 유량(ADCP성과)을 이용하여 다변수 수위-유량관계곡선식을 개발하였다. 이를 위해 이용된 변수로는 측정된 수위, 유량, 그리고 유량의 체적변화량을 고려할 수 있는 수위변화량을 이용하였으며, 추가적으로 감조하천에서 역유량이 발생하기 때문에 지수형의 식형으로 식을 개발하기 위해 유량 조정변수를 적용하였다. 그 결과 본 연구에서 개발한 수위-유량관계곡선에 의한 계산유량과 측정 유량이 잘 일치하였다.

핵심용어 : 감조하천, 수위변화량, 수위-유량관계곡선식

1. 서 론

수자원의 효율적인 관리를 위해서는 홍수량 자료뿐만 아니라 저·평수량의 유량자료도 매우 중요하다. 특히 최근에 용수공급 문제 및 하천수질관리 측면에서 저수위 유량자료의 파악이 중요한 관심 대상이다(조홍제 등, 2000). 이를 위해서는 저수위에 대해 유량측정을 실시하여 유량자료를 확보해야 하며, 이와 더불어 연속적인 유량자료를 얻기 위해서는 신뢰성 있는 수위-유량관계곡선식이 필수적이다.

조석의 영향을 받는 감조하천 구간에서 유량은 수위만의 함수가 아니고 상하류의 수면경사, 일정 시간동안의 수위변화량 등에 의해 영향을 받게 되며, 지금까지 여러 연구에서 다양한 변수를 이용하여 감조구간에서의 수위-유량관계를 해석 하였다.

이신재 등(2008)은 한강대교 지점의 자동유량측정 자료를 이용하여 수위, 유량, 수면차, 수위변화량 그리고 유량조정변수를 이용하여 복합 수위-유량관계를 해석한 바 있으며, 유량조정변수를 사용하여 (-)유량을 산정하지 못했던 기존의 지수형의 곡선식을 개선하여 가능하도록 하였다. 하지만 위의 결과에서는 곡선식을 만조와 간조, 신곡수증보의 영향으로 인한 수위에 따라 곡선식을 분리함으로써 실제 적용에 어려움이 있었으며, 특히 수면차를 조위와 한강대교와의 수위차로 이용

* 일반회원·유량조사사업단 유량조사실 연구조원 ·E-mail : ryuwins@kict.re.kr
** 정회원·유량조사사업단 품질정책실 그룹장 ·E-mail : lsj@kict.re.kr
*** 정회원·유량조사사업단 유량조사실 연구원 ·E-mail : kchy111@kict.re.kr
**** 정회원·유량조사사업단 유량조사실 실장 ·E-mail : jwlee@kict.re.kr
***** 정회원·유량조사사업단 단장 ·E-mail : swjung@kict.re.kr

하여 유량을 산정할 때 조위자료가 있어야 가능하도록 개발함으로써 적용성이 저하되었다.

따라서 본 연구에서는 이신재 등(2008)의 연구의 결과를 토대로 일부 수정하여 수위-유량관계곡선식의 적용성을 높일 수 있도록 수위관측소의 수위와 조위와의 수면차에 대한 변수를 제거하고, 곡선식을 분리하지 않고 단일 수위-유량관계곡선식을 개발하였다. 대상지점으로는 섬진강 하류에 위치하여 조석의 영향을 받는 하동2 지점에 대해 연구를 진행하였으며, 분석자료는 하동2 지점에서 연속으로 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용하여 측정된 유량자료와 하동 2 수위관측소의 수위자료를 이용하였다.

2. 적용이론

이신재 등(2008)의 연구에서는 감조하천에서 복합 수위-유량관계곡선식을 개발하기 위해 식 (1)과 같이 지수형의 식을 이용하였다.

$$Q = a(h + c_0)^{b_0} (D + c_1)^{b_1} (d_h + c_2)^{b_2} + Q_r \quad (1)$$

여기서 Q 는 유량, h 는 수위, D 는 상하류 수위차, d_h 는 수위변화량, Q_r 은 유량조정변수이다. 그리고 c_0, c_1, c_2 는 하도 및 단면의 특성에 따른 값을 가지나 실제적으로 조위의 영향을 받는 지점에서는 하도 및 단면의 특성 보다는 조위에 직접적으로 영향을 받기 때문에 회귀분석을 실시할 때 임의로 다수의 값을 선택하여 최적의 값을 찾는 시행착오법으로 구하였다. 또한 식 (1)과 같은 지수형의 식을 개발하기 위해서는 로그변환을 통한 다중선형회귀모형을 만족해야 한다. 하지만 조위의 영향으로 역유량이 발생하는 지점의 경우 역유량, 즉 (-)유량에 대한 로그변환을 할 수 없기 때문에 이를 개선하기 위하여 변수 Q_r (유량조정변수로서 측정된 (-)유량을 로그변환 시키기 위한 임의의 변수)을 도입하였다.

본 연구에서는 식 (1)에서 종속변수인 수면차 D 를 제외한 다음 식 (2)와 같은 지수식을 적용하여 식을 보다 단순화 하였다.

$$Q = a(h + c_0)^{b_0} (d_h + c_1)^{b_1} + Q_r \quad (2)$$

3. 대상지점 및 이용자료

본 연구의 대상지점은 섬진강 하류부에 위치하고 하구로부터 15.2km 떨어져 있어 조석의 영향을 받는 하동 2지점을 대상으로 하였으며, 지점에 대한 세부사항은 표 1과 같다.

표 1. 하동 2 수위관측소 현황

대상지점	수계명	하천명	관측개시일	유역면적(km ²)	하구로부터 거리(km)
하동2	섬진강	섬진강	1990-03-12	4591.27	15.2

본 연구의 분석에 이용된 유량자료는 2008년 10월 28일과 11월 12일에 ADCP를 이용하여 연속으로 측정된 유량자료를 이용하였으며, 수위자료는 하동 2 수위관측소의 목자관 수위를 유량측정과

동시에 관측한 자료를 이용하였다.

하동 2 지점의 수위자료는 그림 1에서 보는 바와 같이 조석의 영향으로 주기적으로 변동하는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 2에서 보는 바와 같이 조석의 영향으로 수위가 상승함에 따라 해수가 역류하여 (-) 유량이 발생하는 것을 볼 수 있으며, 측정 최대 (-)유량은 11월 12일 16시 47분에 측정된 $-86.44\text{m}^3/\text{s}$ 이었다. 이와 반대로 측정 최대 유량은 11월 12일 10시 15분에 측정된 $377.24\text{m}^3/\text{s}$ 이었다.

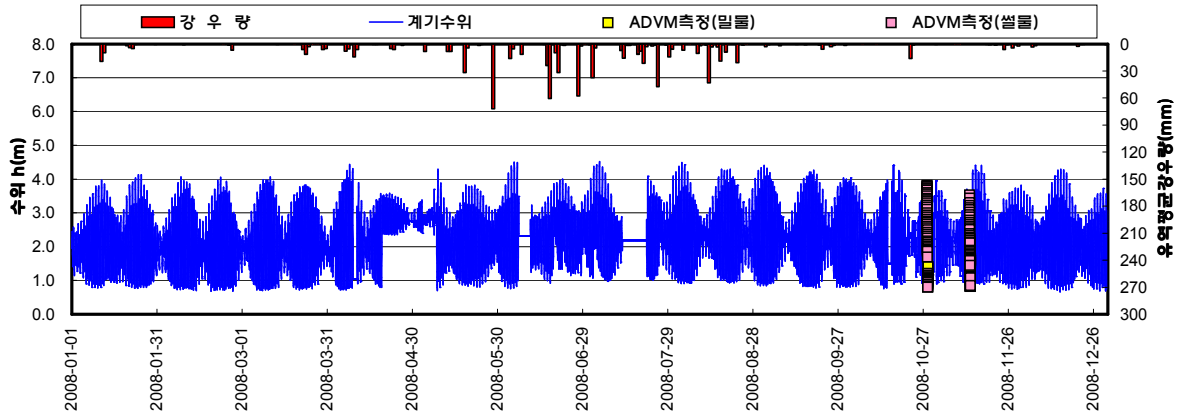
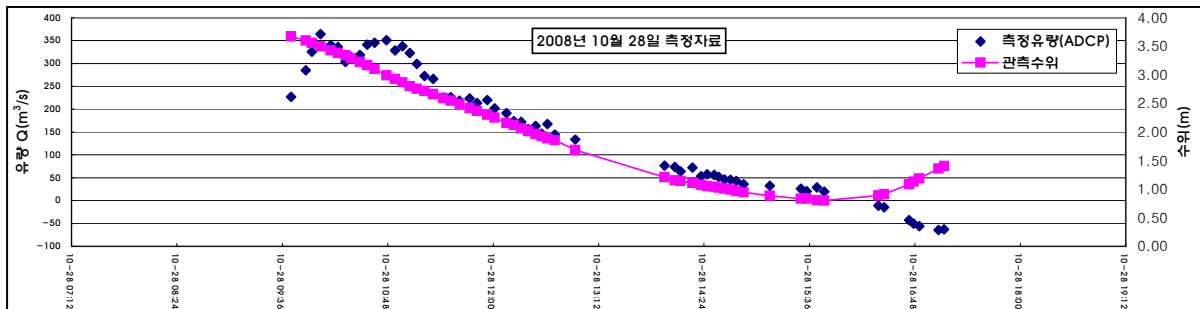
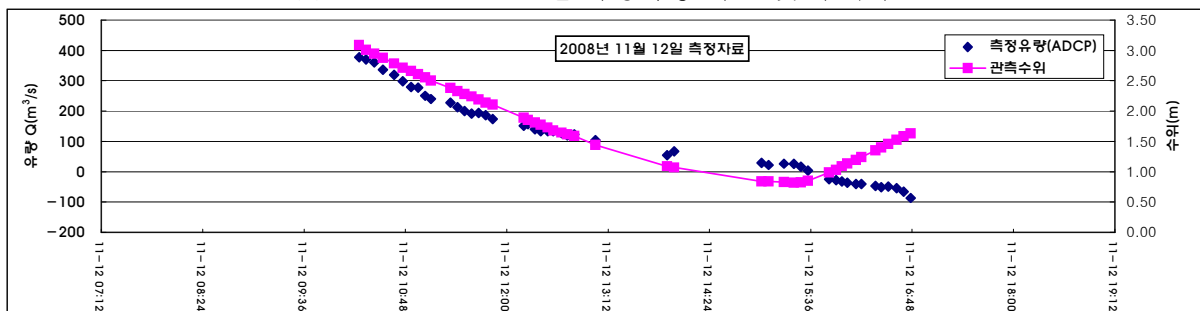


그림 1 하동 2 수위관측소 수위자료 및 유량측정 시기



(a) 2008년 10월 28일 유량측정 자료 및 수위자료

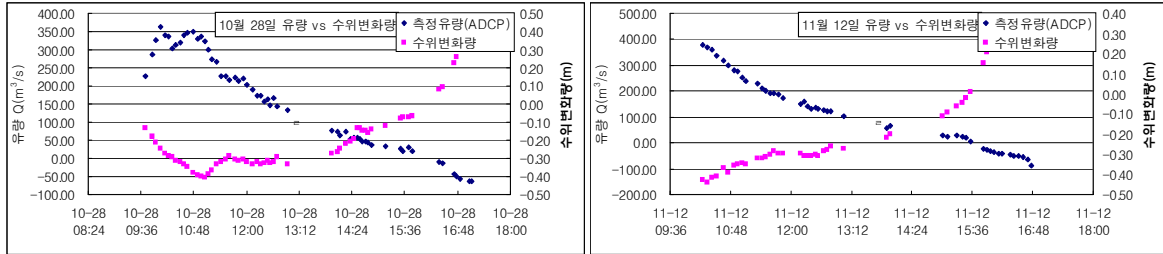


(b) 2008년 11월 12일 유량측정 자료 및 수위자료

그림 2 하동 2 수위관측소 유량측정 자료 및 관측수위

또한 본 연구에서는 수위-유량관계곡선식에 변수로 이용된 수위변화량이 유량과 어떠한 관계를 갖는지 분석하기 위해 그림 3과 같이 측정유량과 동시간의 수위와 30분 전 수위와의 수위변화량을 함께 도시하였다. 그 결과 그림에서 보는바와 같이 유량과 수위변화량은 대칭적으로 역 상관

(상관계수 : -0.8295)하는 것을 알 수 있었으며, 수위변화량이 음의 값(수위 하강)을 가질 때는 (+) 유량이, 양의 값(수위 상승)을 가질 때는 (-)유량이 발생하는 것을 명확히 볼 수 있다. 따라서 수위변화량이 수위-유량관계를 해석하는데 있어 매우 중요한 변수임을 알 수 있다.



(a) 2008년 10월 28일

(b) 2008년 11월 12일

그림 3 하동 2 수위관측소 유량과 수위변화량 관계

4. 수위-유량관계곡선식 개발 및 검토

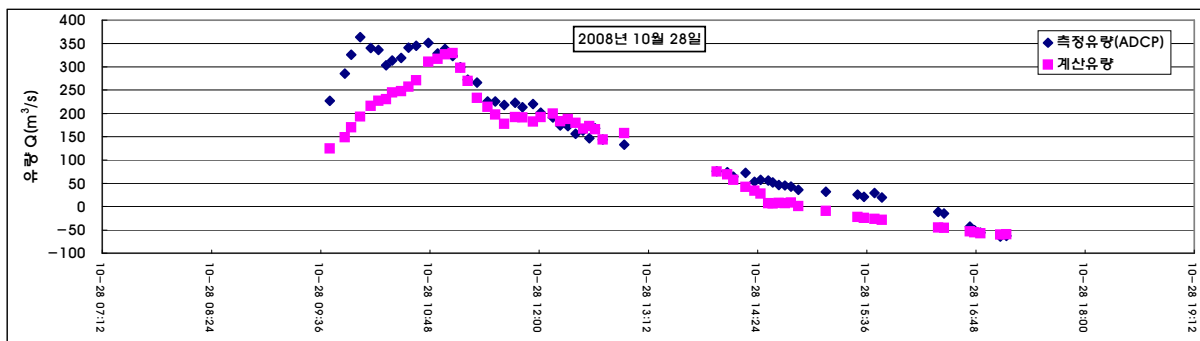
섬진강 하동 2 지점에 대해 식 (2)를 기본식으로 하여 그림 2와 그림 3에서 도시한 유량자료, 수위자료, 수위변화량 자료를 이용하여 회귀분석을 통한 수위-유량관계곡선식을 식 (3)과 같이 개발하였다. 일반적으로 조석의 영향을 받는 구간에서는 영유량을 갖는 수위 GZF(Gauge Height of Zero Flow)는 일반하천과 달리 물리적 통제특성과 큰 상관이 없기 때문에 본 연구에서는 식(2)의 시행착오법을 이용하여 상관계수가 가장 높은 식이 되도록 c_0 는 0.40, c_1 은 -1.0으로 결정하였으며, 유량조정변수인 Q_r 은 측정 최대 (-) 유량보다 작은 -120으로 적용하였다.

그 결과 상관계수가 0.9630(결정계수 : 0.9274)으로 매우 높게 나왔다.

$$Q = 115.32(h - 0.40)^{0.401} (d_h + 1.00)^{-1.941} - 120 \quad (3)$$

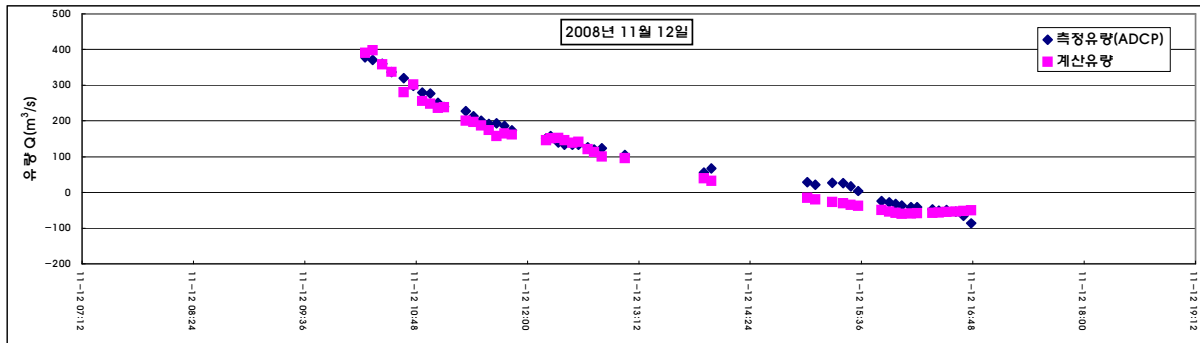
또한 측정된 유량과 본 연구에서 개발한 식 (3)을 이용하여 계산한 유량을 도시하여 보면 그림 4에서 보는 바와 같이 매우 잘 일치하는 것을 알 수 있으며, (-)유량의 계산도 가능하다.

다만 그림 4 (a)인 10월 28일의 그래프를 보면 측정 초기의 성과와 계산 유량에서 일부 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 수위가 상승하다가 다시 하강하는 구간으로 수위-유량의 관계가 조금은 복잡한 천이구간이기 때문에 계산된 유량과 측정유량에서 차이를 보이는 것으로 판단된다. 측정된 유량 역시 최대 유량이 발생하는 구간에서 일정한 경향이 아닌 조금은 불규칙한 특성을 보이는 것을 알 수 있다.



(a) 2008년 10월 28일

그림 4. 측정유량과 계산유량 비교



(b) 2008년 11월 12일
 그림 4. 측정유량과 계산유량 비교(계속)

또한 본 연구에서는 2004년에 하동 2 지점에서 개발된 수위-유량관계곡선식과 본 연구의 결과를 비교하였다. 그 결과 그림 5에서 보는 바와 같이 2004년 Rating에 의한 계산유량은 측정된 유량과 큰 차이를 보이고 있으며, 모든 수위 범위에서 (+)유량이 계산되는 한계를 볼 수 있다. 반면에 본 연구에서 개발한 Rating을 적용한 결과 측정성과와 잘 일치하였으며, (-)유량도 계산할 수 있는 좋은 결과를 보였다.

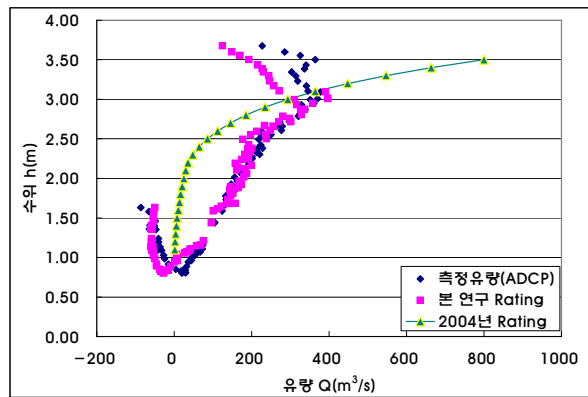


그림 5 유량비교

5. 결론

본 연구는 조석의 영향을 받는 감조하천에서 수위를 이용하여 유량을 환산하기 위해 수위변화량이라는 변수를 추가하여 지수형 수위-유량관계곡선식을 개발하였다. 그 결과 측정성과와 잘 일치하는 결과를 보였다. 추후 연구에서는 보다 다양한 수위 범위 및 경향(수위의 상승, 하강, 천이 구간)에 대해 측정 및 분석을 실시하여 적용성을 높일 수 있도록 해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2006). 2006년 유량조사보고서.
2. 이신재, 정성원, 이진원, 박상우 (2008). “감조하천에서 복합 수위-유량관계곡선 개발에 관한 연구” 2008년 한국수자원학회학술발표회 초록집, p.76
3. 조홍계, 황재호, 문성준 (2000). “태화강 감조부의 저수위 수위-유량관계곡선 개선.” 한국수자원학회논문집, 제33권, 제5호 pp. 635~645.