

수치모형을 이용한 수위-유량관계 개발

Determination of Stage-Discharge Relationship using the Numerical Model

김 원*, 김치영**, 김동구***, 이찬주****, 황석환*****
Won Kim, Chi Young Kim

요 지

연속적인 유량자료의 생산을 위해 일반적으로 단일 곡선 형태의 수위-유량관계가 사용되고 있다. 그러나 홍수수문곡선 상승부와 하강부의 기울기, 조도계수, 하상경사 등 흐름에 영향을 미치는 여러 인자에 의해 수위-유량곡선은 단일 형태가 아니라 복잡한 루프형태로 나타나게 된다. 지금까지 이론적으로는 이와 같은 수위-유량관계의 특성이 알려져 있긴 하였지만 복잡한 특성을 규명하는 것이 곤란하여 구체적으로 분석되지 못한 것이 현실이다. 이와 같은 특성의 분석을 위해서는 하천형상과 더불어 하천 흐름의 동역학적인 분석이 필요하다. 본 연구에서는 댐 직하류 지점의 수위와 유량의 분석을 통하여 실제 발생하고 있는 수위-유량관계의 복잡성을 확인하였고, 수치모형에 의해 복잡한 수위-유량관계를 재현하였다. 분석 결과 모든 지점에서 수위-유량관계가 매우 복잡한 형태로 나타나 일반적으로 사용되는 단일곡선과는 많은 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 수치모형에 의해 이와 같은 복잡한 수위-유량관계가 잘 재현될 수 있음을 증명하였다. 이와 같은 결과는 기존에 사용되고 있는 단일 곡선형 수위-유량관계가 많은 오차를 포함하고 있음을 나타내며, 적절한 수치모형에 의해 이와 같은 한계를 극복할 수 있는 것을 나타낸다고 할 수 있다.

핵심용어 : 유량, 수위-유량 관계, 수치모형

1. 서론

유량자료의 생산을 위해 가장 일반적으로 사용되고 있는 것이 수위를 유량으로 환산하는 수위-유량관계이다. 유량을 연속적으로 측정하는 것은 어렵기 때문에 연속적으로 측정이 가능한 수위를 이용하여 유량을 환산하는 방법을 사용하고 있다. 이와 같은 방법은 매우 간편하기 때문에 널리 이용되고 있는 상황이다. 이 방법의 기본적인 가정은 크게 두가지이다. 먼저, 하천 단면내에서 수위와 유량 사이에 일대일의 함수관계가 형성된다는 것이다. 즉, 수위의 변화에 따라 유량의 변화가 일정하게 발생하는 것을 전제로 하고 있다. 두 번째는 하상의 변화가 발생하지 않는다는 것이다. 수위-유량관계가 갱신되기 이전의 상황에 대해서는 하상이 변화하지 않는 것으로 가정하며 이에 따라 수위-유량관계도 일정한 것으로 가정하고 있다. 두 번째의 가정은 유량측정 주기를 짧게 하고 가능한 한 많은 유량측정을 통하여 일정 부분 해결될 수 있는 가정이라고 할 수 있다. 그러나 첫 번째 가정은 매우 복잡하고 현실적으로 고려할 수 있는 방법이 거의 없는 상황이다.

이론적으로 유량과 수위는 일대일의 관계로 형성될 수 없다. 유량은 수위 뿐만아니라 조도계수, 하상경사, 수면경사, 속도의 거리 변화율, 속도의 시간 변화율 등의 함수로 정의되기 때문이다. 따라서 등류일 경우에 유량은 수위만의 함수이기 때문에 수위-유량관계는 단일곡선으로 나타나지만, 부정류일 경우에 유량은 수위 뿐만아니라 수위-유량관계는 복잡한 루프(loop) 형태로 나타나게 된다.

수위-유량관계의 복잡성에 관해서는 이론적으로는 검토된 적이 많지만 실제 자료를 이용하여 분석한 결과는 많지 않다. 수위-유량관계의 복잡성은 시간에 따른 유량의 변화가 크고, 하상경사가 작으며, 조도계수가 증가할수록 커지게 되는 것으로 실험이나 수치모형을 통해서 확인된 바 있다 (Cunge 등, 1980;이을래와 김원, 2002). 또한 김상호와 강신욱(2001)은 인접한 두 지점의 수위를 이용하여 일차원 수치모형에 의해 유량을 계산하는 방법을 개발한 바 있다. 그러나 아직까지 실제 하천에서 발생하는 수위-유량관계의 복잡성과 이를 수치모형으로 검증하는 연구는 많지 않은 실정이다. 본 연구에서는 여러 지점에 대한 실측 수위-유량관계를 이용하여 수위-유량관계의 복잡성을 확인하

* 정회원.한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 E-mail : wonkim@kict.re.kr
** 정회원.한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 E-mail : cy_kim@kict.re.kr
*** 정회원.한국건설기술연구원 수자원연구부 E-mail : kimdg@kict.re.kr
**** 정회원.한국건설기술연구원 수자원연구부 E-mail : cOgnitum@kict.re.kr
***** 정회원.한국건설기술연구원 수자원연구부 E-mail : sukany@kict.re.kr

고, 수치모형을 이용하여 복잡한 수위-유량관계를 재현하는 것을 목적으로 한다.

2. 수위-유량관계의 복잡성

본 연구에서는 수위-유량관계의 복잡성을 실제 측정자료를 이용하여 검증하기 위해 괴산댐 직하류, 충주조정지댐, 팔당댐 직하류 팔당대교 지점의 수문자료를 수집하였다. 괴산댐 지점의 경우 직하류 약 700m 지점에 괴산댐 수위관측소가 위치하고 있으며, 이 지점의 수위와 괴산댐 지점의 방류량을 이용하여 괴산댐 지점의 수위-유량관계를 작성하면 그림 1과 같다. 충주조정지댐의 경우 조정지의 수위와 조정지 방류량을 이용하여 수위-유량관계를 작성하면 그림 2와 같다. 그림 3과 4는 각각 팔당댐 지점의 댐 방류량과 직하류 팔당대교 지점의 수위를 이용하여 수위-유량관계를 작성한 것이다. 이와 같은 수위-유량관계는 댐의 방류량과 직하류 지점의 유량이 동일하다는 가정을 기반으로 한 것이다. 그림 5와 6에서 보는 바와 같이 팔당댐 지점의 경우 팔당댐과 팔당대교 간의 거리가 약 3.2km 떨어진 경우에도 수치모형 결과에 의하면 팔당댐의 방류량과 팔당대교 지점의 유량이 거의 차이가 없는 것으로 나타나므로 이와 같은 가정은 타당한 것으로 볼 수 있다. 그림 1~그림4에서 보는 바와 같이 모든 지점에서 단일 곡선보다는 매우 복잡한 형태의 루프가 발생하는 수위-유량관계가 형성되고 있다. 특히, 팔당대교 지점의 경우 루프의 크기가 매우 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 많은 경우에 수위-유량관계가 단일곡선 형태가 아닌 매우 복잡한 형태로 나타나며 이로 인해 유량자료에 많은 오차가 포함될 수 있음을 나타낸다.

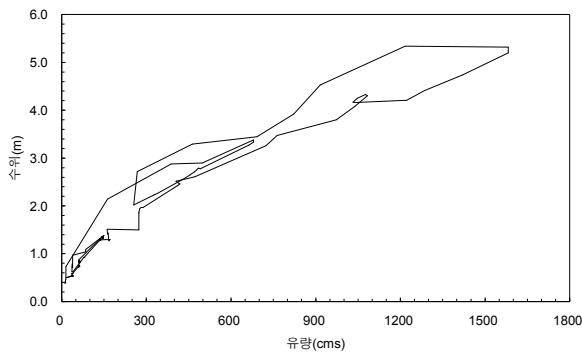


그림 1 괴산댐 직하류 지점의 수위-유량관계

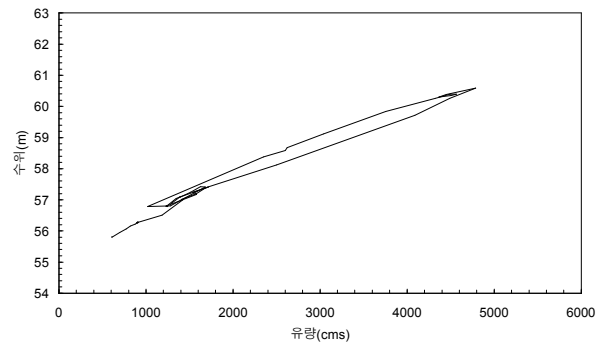


그림 2 충주조정지댐의 수위-유량관계

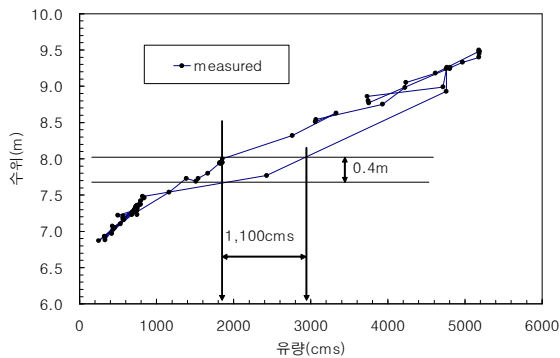


그림 3 수위-유량관계의 복잡성
(00년 7월 팔당대교)

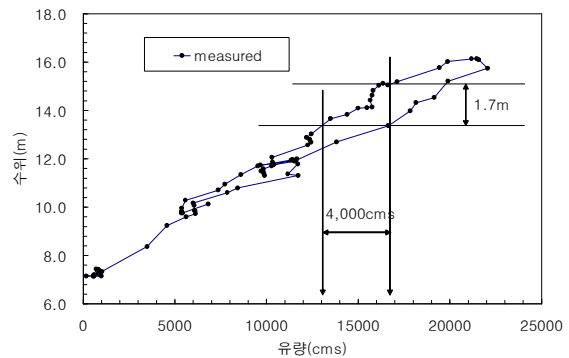


그림 4 수위-유량관계의 복잡성
(02년 8월 팔당대교)

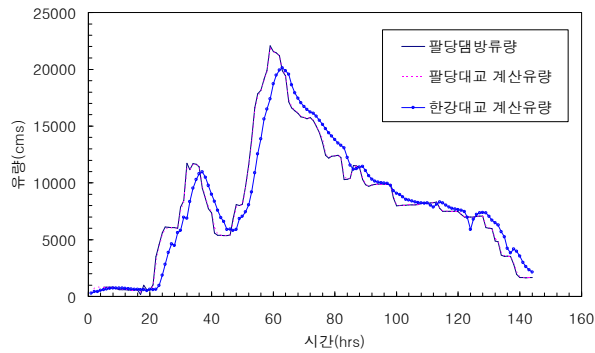


그림 5 팔당댐 방류량과 팔당대교 계산유량 (02년 8월)

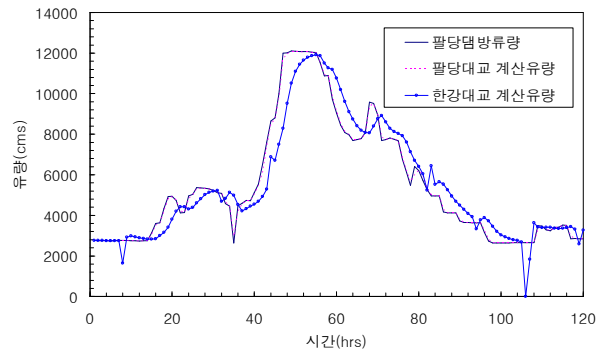


그림 6 팔당댐 방류량과 팔당대교 계산유량 (04년 7월)

3. 수치모형에 의한 수위-유량관계의 재현

본 연구에서는 수치모형에 의해 일반적으로 복잡하게 루프형으로 나타나는 수위-유량관계를 재현하는 방법을 검토하였다. 수치모형의 경우 연속방정식과 운동량방정식에 의해 흐름을 해석하기 때문에 복잡하게 형성되는 수위-유량관계를 이론적으로 재현할 수 있을 것으로 기대되기 때문이다. 수치모형의 적용을 위해서는 적절한 수치모형의 선정이 필요하고, 충분히 정확한 하천단면 자료, 과거 자료를 위한 모형의 검정이 필요하다. 본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 개발한 SNS모형(김원 등, 2005)을 이용하였으며 최근에 단면측량이 이루어진 바 있고 검정에 필요한 충분한 수문자료의 획득이 가능한 한강 본류에 적용하였다. SNS 모형의 장점은 하상의 변화나 하폭의 변화로 인해 발생하는 생성항을 효과적으로 처리할 수 있기 때문에 단면의 조정없이도 모형의 적용이 가능하다는 것이다. 상류단은 팔당댐, 하류단은 전류 수위관측소로 하였으며, 과거 홍수사상을 이용하여 매개변수를 검정하였다. 그림 7과 8은 모형의 검정 결과를 나타내는 것으로 각 홍수사상별로 정확하게 팔당대교 지점의 수위를 재현하는 것을 알 수 있다.

그림 9~그림 11은 팔당대교 지점에서 계산된 수위-유량관계와 실측된 수위-유량관계를 비교한 것이다. 실측 수위-유량관계라고 하는 것은 팔당대교 지점의 수위와 팔당댐의 방류량을 이용하여 작성한 수위-유량관계를 말하는 것으로 앞에서 언급한 바와 같이 팔당댐과 팔당대교의 유량이 거의 차이가 없다는 사실에 근거하고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 각 홍수사상별로 수치모형에 의해서 재현된 수위-유량관계는 실측 수위-유량관계를 매우 잘 재현하고 있다. 특히 수문곡선의 상승부와 하강부에서 수위에 따라 유량이 크게 차이가 나는 경우에도 수치모형이 이와 같은 현상을 잘 재현하고 있다.

그림 12은 한강대교 지점에서 수치모형에 의해 계산된 수위-유량관계와 기존의 단일 수위-유량관계를 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 일반적으로 사용되는 단일 곡선형의 수위-유량관계는 수치모형에 의해서 재현된 수위-유량관계와 큰 차이가 있는 것을 알 수 있다.

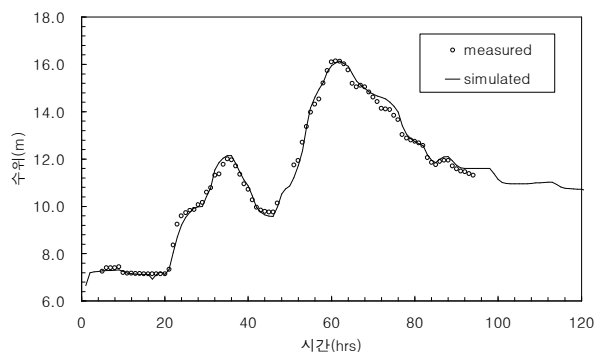


그림 7 팔당댐 지점의 수위계산결과(02년 8월)

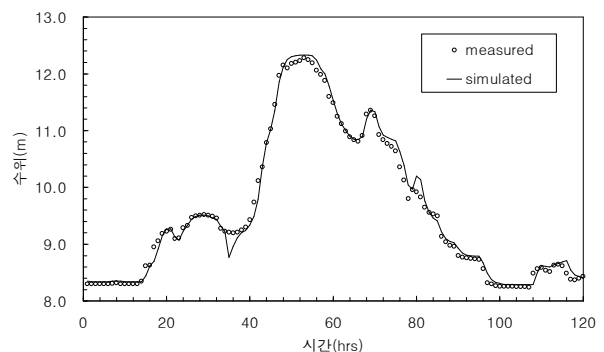


그림 8 팔당댐 지점의 수위계산결과(04년 7월)

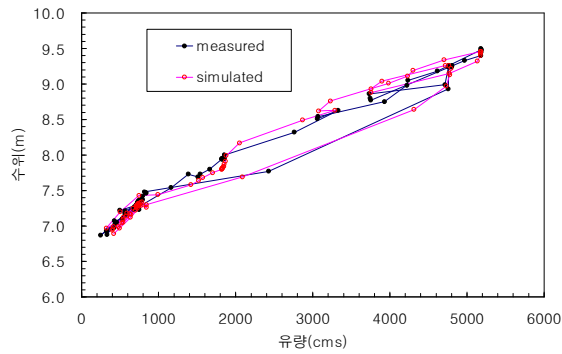


그림 9 수위-유량관계의 비교(00년 7월)

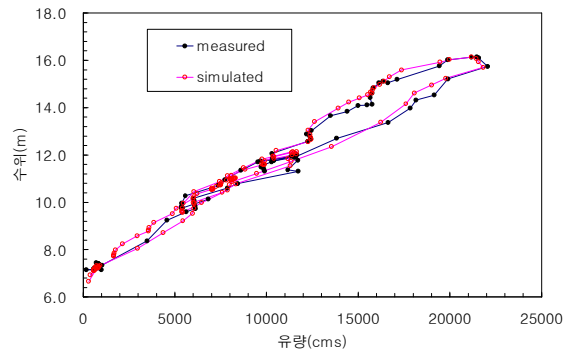


그림 10 수위-유량관계의 비교(02년 8월)

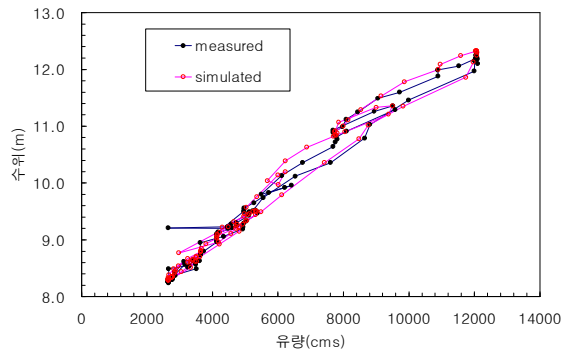


그림 11 수위-유량관계의 비교(04년 8월)

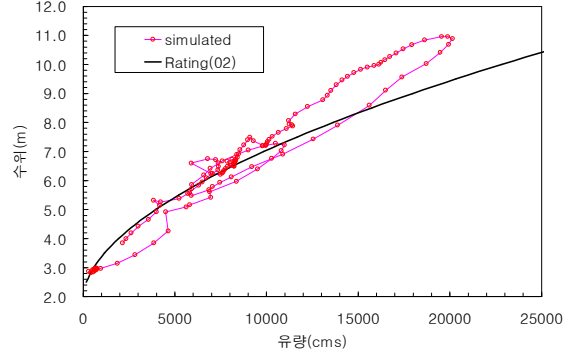


그림 12 한강대교 지점의 계산된 수위-유량관계와 기존 수위-유량관계

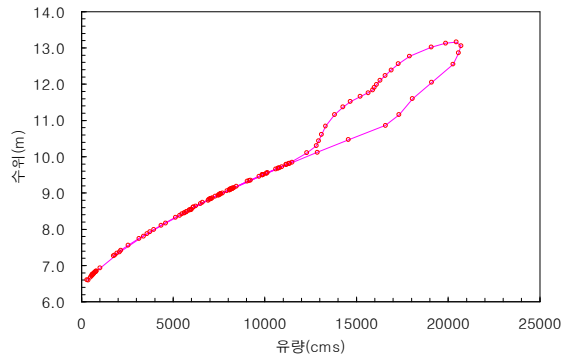


그림 13 잠실수중보 지점의 계산된 수위-유량관계

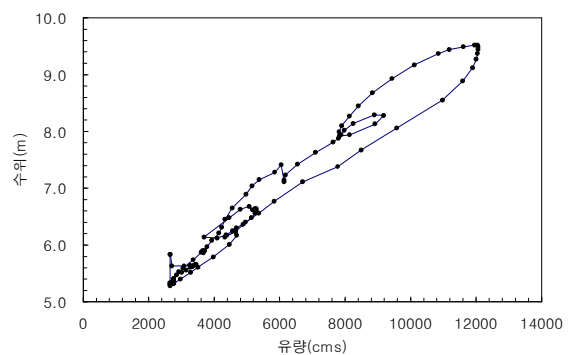


그림 14 잠실수중보 직하류 지점의 계산된 수위-유량관계

그림 13은 잠실수중보 지점에서 수치모형에 의해 계산된 수위-유량관계를 나타낸 것이고, 그림 14는 잠실수중보 직하류 지점의 수위-유량관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 두 개의 수위-유량관계가 전혀 다른 형태로 나타나고 있다. 이것은 잠실수중보 지점에서 수중보로 인해 형성되는 한계류의 영향이다. 수중보가 영향을 미쳐서 한계류로 흐름이 형성되는 경우에는 수위-유량관계가 완전히 단일 곡선 형태를 나타내고 있으며, 그 이상의 수위에 대해서는 수중보가 미치는 영향이 줄어들므로 인해 다시 루프형태로 나타나는 것을 알 수 있다. 잠실수중보 직하류 지점의 수위-유량관계가 매우 불규칙하게 나타나는 것과 비교하면 수치모형에 의해 수위-유량관계가 잘 재현되는 것을 나타내는 것이라고 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존에 사용되는 단일 곡선 형태의 수위-유량관계는 많은 오차를 포함할 수 있으며 이로 인해 유량자료에도 많은 오차가 포함될 수 있음을 확인하였다. 또한, 수치모형에 의해 이와 같은 복잡한 형태로 나타나는 수위-유량관계를 재현하는 것이 가능하다는 것을 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-1-1)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김 원, 한건연, 우효섭, 최규현 (2005). "상류이송기법에서의 새로운 생성항 처리 기법." 한국수자원학회논문집, 제38권 제2호, pp.155-166.
1. 이상호, 강신욱 (2001). "수위관측과 수리학적 하도추적에 의한 하천유량 간접 추정." 한국수자원학회논문집, 제34권 제5호, pp.543-549.
2. 이을래, 김 원 (2002). "수리학적 영향인자에 의한 수위-유량관계곡선의 분석." 2002년도 대한토목학회 학술발표회
3. Cung, J.A., Holly, F.M, Jr., and Verwey A. (1980). Practical Aspects of Computational River Hydraulics, Pitman, Boston, Mass.