

수위-유량관계곡선식의 고수위 외삽법에 관한 연구

A Study on Extrapolation to High Water Level of Rating-Curve

송재현*, 최광훈**, 김동필***, 정성원****

Jae Hyun Song, Kwang Hun Choi, Dong Phil Kim, Sung Won Jung

요 지

기존에 개발된 수위-유량관계곡선을 이용하자면 때에 따라서는 이 곡선의 적용 범위를 벗어나는 저수위나 고수위의 수위-유량관계곡선이 필요하며, 따라서 기존의 수위-유량관계곡선을 외삽할 필요가 있다. 저수위에 대하여 외삽할 때에는 흐름이 0인 수위(GZF)를 안다면 이 수위와 유량측정자료의 최소치를 연결함으로써 오차를 최소화시킬 수 있지만, 보통 고수위의 범위에 유량측정자료가 있는 경우는 거의 없기 때문에 고수위에 대한 수위-유량관계곡선의 외삽은 거의 모든 경우에 필요하다. 또한 설계홍수를 추정하기 위한 자료, 즉 홍수수문곡선이나 연최대유량계열의 유량자료를 구성하기 위해서는 고수위에 대한 수위-유량관계곡선의 외삽이 반드시 필요하다.

기존에 고수위에 대한 외삽법은 수위-평균유속-통수단면적법, 횡단면 측량자료와 Manning 식을 이용한 방법 그리고 Stevens 방법이 있다. 하지만 각 방법들마다 많은 단점을 가지고 있어 적용에 있어서 세심한 주의가 필요하였다. 따라서, 본 연구에서는 기존 방법들을 응용한 고수위 외삽법을 제시 및 적용하였다. 실제 2007년 한강수계 유량측정 지점 중 총 6개 지점인 경안, 퇴계원, 성남, 중랑교, 시흥 그리고 신정 지점에 대하여 적용하였다.

핵심용어 : 수위-유량관계곡선식, 조도계수, Manning 식

1. 서론

수위-유량관계곡선의 저수위 및 고수위 외삽은 그 적용범위와 방법에 있어서 세심한 주의가 필요로 했던 문제였다. 저수위 외삽은 흐름이 0인 수위(GZF)를 안다면 GZF까지 저수위 곡선을 연장하고 왜곡이 발생할 경우 도해적 방법을 이용하여 왜곡이 최소한으로 발생하도록 저수위 외삽추정식을 개발할 수 있다. 하지만 고수위 외삽은 수공구조물의 설계 혹은 홍수예보업무에 사용되므로 그 적용범위와 방법은 매우 신중해야 한다. 이러한 측면에서 기존에 사용하던 방법들은 적용범위에 있어서 제약적인 측면을 많이 나타내었다. 특히 대부분 횡단면 형상을 바탕으로 추정되기 때문에 실제 발생하는 유량과 상당한 차이가 발생하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 기존에 적용되던 방법들을 살펴보고 그 방법들을 응용한 새로운 고수위 외삽법을 제시하고, 2007년 한강수계 유량측정 지점 중 총 6개 지점인 경안, 퇴계원, 성남, 중랑교, 시흥 그리고 신정 지점에 대하여 적용하였다.

2. 고수위 외삽법

* 정희원 · 유량조사사업단 유량조사실 한강그룹 연구원 · E-mail : k6zero@kict.re.kr

** 정희원 · 유량조사사업단 유량조사실 한강그룹 연구원 · E-mail : khchoi@kict.re.kr

*** 정희원 · 유량조사사업단 유량조사실 한강그룹 그룹장 · E-mail : dpkim@kict.re.kr

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

2.1 수위-평균유속-통수단면적 방법

수위-유량관계곡선을 외삽하는 방법 중에서 가장 좋은 방법은 평균유속에 대하여 수위를 연장하는 방법이다. 단면이 거의 일정하고 제방에 월류가 발생하지 않는다면 세로축에 수위를, 가로축에 평균유속을 도시한 곡선은 고수위로 갈수록 특정 유속에 접근하는 경향을 보인다. 즉, 고수위로 갈수록 유속의 증가율은 빠르게 감소한다. 따라서 수위-평균유속 곡선을 큰 오차 없이 연장할 수 있다. 또한 같은 단면에 대하여 도시할 수 있는 수위-통수단면적 곡선을 이용하여 특정 수위의 단면적을 알 수 있으며, 수위-평균유속 곡선에서 큰 오차없이 특정 수위의 평균유속을 읽을 수 있다(그림 1). 따라서 그림에서 추출한 평균유속과 단면적의 곱으로 특정 수위에 대한 유량을 구할 수 있다. 여기서 수위-통수단면적 곡선은 단면측량을 통하여 비교적 손쉽게 구할 수 있는 자료이므로 상대적으로 오차를 작게 하여 유속을 추정할 수 있다.

2.2 Manning 식을 이용한 방법

Manning이 제안한 등류방정식은 다음과 같다.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (1)$$

여기서 n 은 상수, A 는 단면적, R 은 동수반경, S 는 수면경사, Q 는 유량으로 수위-유량관계곡선을 연장한 유량이다. 식 (1)을 평균유속 항으로 풀어쓰면 다음과 같다.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2)$$

고수위에서 $\frac{1}{n} S^{1/2}$ 은 거의 일정하므로 식 (1)과 식 (2)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Q = KAR^{2/3} \quad (3)$$

$$V = KR^{2/3} \quad (4)$$

유량측정자료의 특정 수위에 대하여 평균유속과 동수반경을 알 수 있으므로 수위에 대하여 K 는 식 (4)를 이용하여 계산할 수 있다. 따라서 수위에 대하여 K 값을 도시할 수 있으며, 이 곡선은 그림 2와 같이 고수위로 갈수록 특정 K 값에 접근한다. 따라서 고수위에서 K 곡선을 큰 오차 없이 연장할 수 있다. 고수위에 대한 K 값은 이 곡선을 이용하여 구할 수 있으며 식 (3)으로 수위-유량관계곡선을 외삽한 유량을 구할 수 있다. 특정 수위에 대한 통수단면적 A 와 동수반경 R 은 단면측량으로 구할 수 있다.

2.3 Stevens 방법

Stevens 방법은 Manning 식을 이용한 방법을 변형한 것으로 다음과 같은 등류에 대한 Chezy 식에 기초하고 있다.

$$Q = CA(RS)^{1/2} \quad (5)$$

하폭에 비해 수심이 비교적 작은, 얇은 하천에 대하여 평균수심 D 는 동수반경 R 과 거의 비슷하므로 동수

반경 R 을 평균수심 D 로 치환하면 식 (5)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q = CS^{1/2}AD^{1/2} \quad (6)$$

고수위에서 경사 S 는 대부분 일정하다고 간주할 수 있으므로 식 (6)의 Q 에 대하여 $AD^{1/2}$ 를 도시한 곡선은 거의 직선에 가까우므로 쉽게 외삽할 수 있다. 그림 3과 같이 $AD^{1/2}$ 에 대하여 수위 H 와 유량 Q 에 대하여 각각 도시한 그림을 이용함으로써 큰 오차 없이 고수위에 대한 유량을 외삽할 수 있다. 통수단면적 A 와 평균수심 D 는 단면측량에서 구할 수 있다.

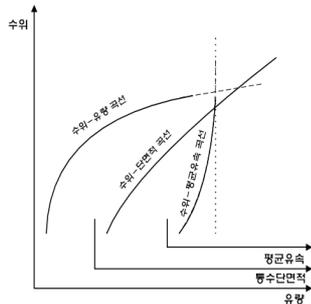


그림 1. 수위-평균유속-통수단면적 방법

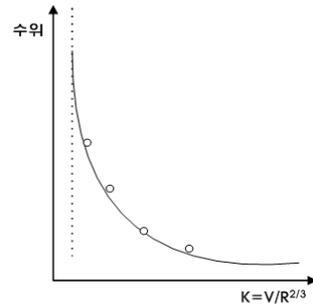


그림 2. Manning 식을 이용한 방법

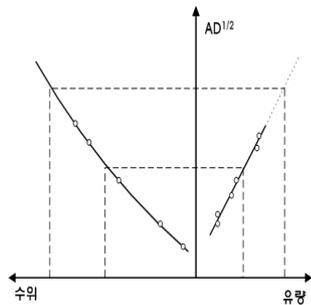


그림 3. Stevens 방법

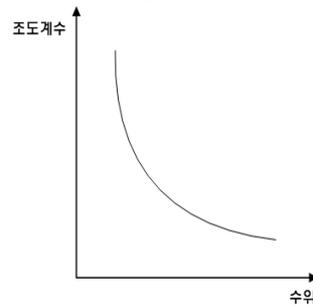


그림 4 수위-조도계수를 이용한 방법

2.4 수위-조도계수를 이용한 방법

이 방법은 위의 3가지 방법을 응용한 방법으로 수위-통수단면적, 수위-조도계수 그리고 Manning 식을 이용하였다. 조도계수는 등류 조건의 고수위에서는 일정하지만 실제 하천에서는 일반적으로 수위가 상승함에 따라 조도계수는 감소하고, 어느 일정수위에 도달하면 그림 4와 같이 조도계수의 값은 수렴하는 형태가 된다. 식 (7)은 수위에 대한 조도계수의 함수식을 표현한 것이다. 여기서, z 는 Q 와 $(H-z)$ 를 전대수지에 표시하여 직선에 가장 가까운 값이고, a 와 b 는 측정된 유량 값을 Manning 식으로 역산한 조도계수 값과의 최소 오차 값을 갖는 상수이다.

$$n_f = a(H-z)^b \quad (7)$$

단면적 A 는 수위 H 에 대한 전체 단면적이 아닌 실제 부자 측정이 이루어지는 흐름단면적을 사용하며, 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$A_f = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{A_{o,i}}{A_{t,i}}}{m} A_h \quad (8)$$

여기서, m 은 부자 측정 단면적의 총 개수, A_o 는 부자 측정 수위에 대한 흐름 단면적, A_t 는 부자 측정 수위에 대한 통수단면적, A_h 는 추정하고자 하는 수위에 대한 통수단면적이다.

동수반경 R 은 하천측량으로부터 얻어지는 관측점의 횡단면도에서 특정수위에 따라 그 값이 결정된다. 수로 경사 S 는 Manning 식으로부터 정상류 조건하에서 유량 Q 는 통수단면과 조도계수가 주어지면 Q 는 $S^{1/2}$ 에 비례한다. 따라서 관측점에서의 $S^{1/2}$ 은 수로 바닥의 경사 $S_0^{1/2}$ 로 일정하다고 가정할 수 있다. 따라서, 식 (7)과 식 (8)을 Manning 식에 대입하여 정리하면 식 (9)와 같이 표현할 수 있고, 식 (9)를 이용하여 추정하고자 하는 고수위에 대하여 유량 값을 산출할 수 있다.

$$Q = \frac{1}{n_f} A_f R^{2/3} S_0^{1/2} \quad (9)$$

3. 적용 및 분석

본 연구에서는 2.4절에서 제시한 수위-조도계수를 이용한 방법으로 2007년 한강수계 유량측정 지점 중 총 6개 지점인 경안, 퇴계원, 성남, 중랑교, 시흥 그리고 신정 지점에 대하여 적용하였다. 그림 5는 각 지점별 조도계수 추정식 그래프이다. 퇴계원과 시흥 지점을 제외하고 수위가 상승함에 따라 조도계수가 감소하며 일정한 값으로 수렴하는 경향을 보이고 있다. 퇴계원과 시흥 지점은 수위가 상승함에 따라 조도계수 특성의 변화가 뚜렷한 경향을 나타내지 않는 것으로 나타났다. 따라서 퇴계원과 시흥 지점은 수위가 상승함에 따라 실측 유량자료의 수위-유량관계 경향이 연장된다는 것을 알 수 있다.

그림 6은 각 지점별 실측 유량과 외삽 추정유량을 도시한 그래프이다. 중랑교 지점을 제외하고 실측유량이 존재하는 수위 구간에서는 실측유량과 일치하거나 비슷한 경향의 분포를 나타내고, 그 이상의 구간에 대한 외삽 경향도 크게 왜곡이 발생하지 않았다. 하지만 중랑교 지점은 실측유량보다 추정유량이 과소한 경향의 분포를 나타내고 있는데 이는 2006년 고수위 실측유량으로 계획홍수량과 비교하면 그 경향성이 과대하게 산정된 것으로 판단된다. 추정유량이 모두 신뢰할 수 있는 것이 아니므로 중랑교 지점의 경우 향후 고수위 측정성과를 확보하여 비교 및 분석을 실시할 필요성이 있다.

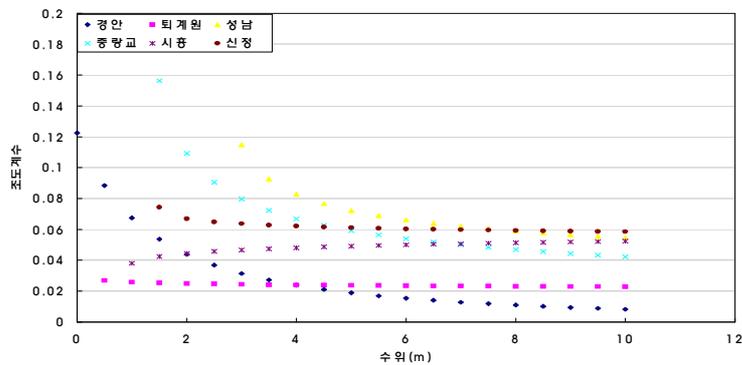


그림 5. 각 지점별 수위-조도계수 관계

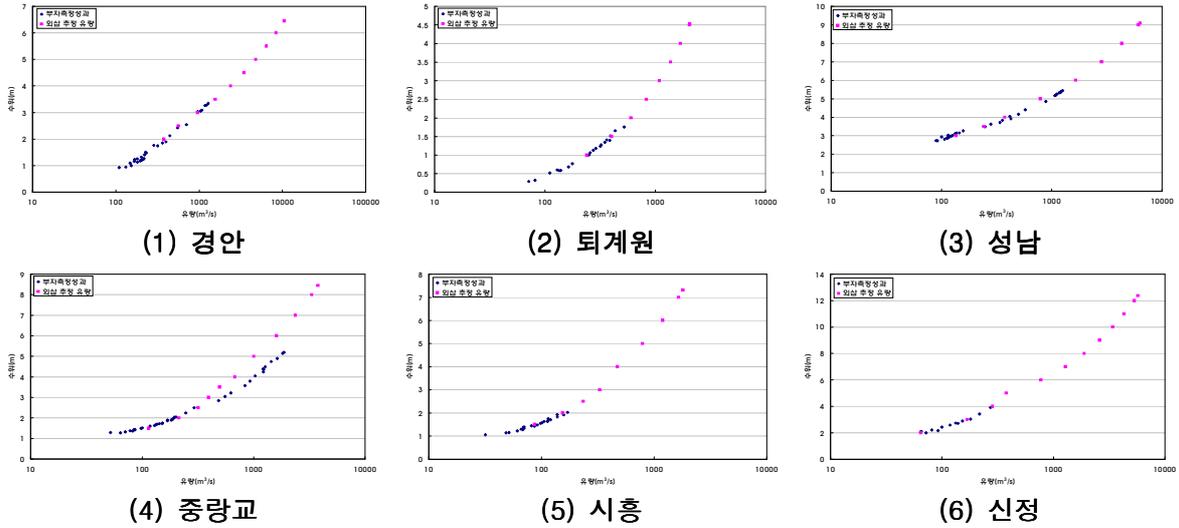


그림 6. 각 지점별 실측 유량과 외삽 추정 유량

4. 결론

본 연구에서는 기존에 적용되었던 고수위 외삽법에 대하여 검토하였고, 기존 방법들을 응용한 수위-조도계수를 이용한 방법을 제시하고, 2007년 한강수계 유량측정 6개 지점에 대하여 적용하였다. 적용한 결과 지점의 특성과 실측 유량의 경향을 크게 왜곡하지 않는 결과가 나타났다. 적용 지점 중 중량교 지점은 과거 2006년 고수위 측정성과의 신뢰도가 낮고 그 결과로 실측유량보다 추정유량이 과소한 경향을 나타내었다. 이는 향후 중량교 지점의 고수위 성과를 더 확보하여 비교 및 분석을 실시하여야 할 것으로 판단되었다. 새롭게 제시된 방법은 다양한 조건의 대상지점에 적용하여 기존 방법들과의 추정유량을 비교 및 분석을 하여야 할 것이다. 그리고 제시된 방법을 적용함에 있어서 고수위 유량을 추정할 경우 아래와 같은 사항에 유의하여야 한다.

- ① 조도계수 n 을 추정하기 위해서는 신뢰도가 높은 부차 측정성과를 확보하여야 한다.
- ② 추정시 사용되는 단면적은 특정수위의 전체단면적이 아닌 실제 흐름이 발생하는 흐름 단면적이 고, 부차 측정이 이루어지는 단면간의 평균단면적 값을 사용한다.
- ③ 단면변화가 발생하는 수위 또는 천이영역에서는 실제유량과 다소 차이가 나타날 수 있으므로 추정된 값을 절대 신뢰하여서는 안된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부. 한강홍수통제소(2003). 한강유역 유량측정용역 보고서
2. 건설교통부. 한강홍수통제소(2005). 한강 및 주요지천 유량측정용역 보고서
3. 건설부. 한국건설기술연구원(1994). 1994년도 수자원관리기법 개발 보고서