

새로운 고수위 외삽 수위-유량관계곡선식 산정 방법 개발

Development of The New Method to Estimate The Extended Rating Curve

황석환*, 김원**, 김치영***, 정성원****

Seok Hwan Hwang, Won Kim, Chi Young Kim, Sung Won Jung

요 지

실측범위 이상의 수위에 해당하는 유량을 산정하기 위해서는 적절한 고수위 외삽 수위-유량관계곡선식의 추정 기준 및 방법이 필요하나 분석을 위한 측정 자료가 절대적으로 부족하고 이에 대한 폭넓은 연구가 미흡하여 실무에서 적용하기에는 많은 어려움이 있었다. 따라서 본 연구를 통하여 정확한 고수위 외삽 수위-유량관계곡선식의 작성을 위한 새로운 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 방법을 다양한 경우의 실제 하천에 적용하여 그 타당성 및 적용성을 검증하여 보았고, 기존의 Stevens방법과 비교했을 때 매우 정확하고 안정적인 외삽곡선식을 추정할 수 있었다. 본 연구에서 제시한 방법은 기존 방법들에 비해 외삽곡선식 추정을 위해 요구되는 자료의 양이 적은 반면 정확도는 높아 실무적용 시 매우 활용성이 높을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 유량, 수위-유량관계곡선식 외삽

1. 서 론

본 연구에서 제시하는 새로운 고수위 수위-유량관계곡선 외삽방법의 이론적 배경은 유속-면적법을 근간으로 한다. 유속-면적법은 다른 방법들에 비해 간단하고 유속항을 포함하고 있기 때문에 비교적 합리적인 결과를 도출하기에 적절한 구조를 가지고 있다. 그러나 유속-면적법은 수위-평균유속간의 상관정도가 높지 않은 경우 추세곡선식의 작성이 매우 어렵고 작성자에 따라 작위적으로 결정될 수 있는 단점이 있다. 이로 인해 실측구간의 곡선과 연결이 되지 않거나 과대 혹은 과소 추정되는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 이유로 Manning이나 Chezy 방정식을 사용하는 방법만큼 권장되지는 않았었다. 따라서 본 연구에서는 유속면적법의 이러한 단점을 보완하고자 외삽구간의 수위와 단면적 간의 관계를 지수함수식으로 추정하여 수위-유량관계곡선의 기울기를 결정하였고, 정확한 수위-유속 추세식의 결정을 위해 실제추정치 구간의 상한계 이상의 근접 추정점을 잡아 이를 이용하여 유효수위(“e” 값의 결정)를 확정론적으로 결정하는 방법을 고안하였다. 일반적으로 수위-유량관계곡선은 유량측정성과의 수위 범위를 초과해서 사용할 수 없으나 관측수위 범위 밖의 유량 추정이 필요한 경우, 수위-유량관계곡선의 외삽이 필요하다. 유량측정성과의 상한치나 하한치를 벗어나는 구간의 외삽을 위해서는 관측소 상하류의 하도 및 통계 상황을 조사하여야 한다. 흐름에 대한 장애물, 단면의 축소나 확대구간, 부유물, 하도형태의 변화 등과 같은 사항을 조사하여야 한다. 수위-유량관계곡선 분석으로 설명될 수 없는 비정상적인 하도조건이 있는 경우에는 수위-유량관계곡선을 외삽할 수 없다. 수위-유량관계곡선을 외삽하는 가장 단순한 방법은 대수축 그래프를 이용하는 것이다. 이 방법을 정확하게 사용하기 위해서는 통제조건과 대수도에 대하여 정확하게 이해하여야 한다. 그렇지 않을 경우 이러한 방법은 오차를 크게 유발할 수 있다. 외삽이 필요한 수위-유량관계곡선은 곡선이 직선이 되도록 하기 위해 적절한 유효수위 고려한 좌표축으로 그려야 한다. 또한 외삽구간에 대해 통제의 종류(단면 또는 하도)와 통제의 형태를 알아야 한다. 통제의 형태가 크게 변화하지 않고 하천 조도가 일정한 경우에는 대수축에서 직선 외삽이 합리적이다. 이와 같은 외삽은 중규모와 대규모 유량에 대해서 하도통제인 경우에 적합하나 최고 측정유량의 1.5배 이상에 대해서는 외삽해서는 안 된다. 수위-유량관계의 외삽형태 또한 Manning 이나 Chezy 방정식으로 정의할 수 있으며, 단면측량, 홍수흔적수위 조사, 조도계수, 유량계수, 마찰경사 추정 등에 의해서 유량측정치 범위 밖에도 적용될 수 있다. Manning 방정식과 Chezy 방정식은 하도통제인 경우와 하상이 유

* 정회원·한국건설기술연구원 수문연구실 연구원·E-mail : sukany@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 하천·해안연구실 책임연구원·E-mail : wonkim@kict.re.kr

*** 정회원·한국건설기술연구원 하천·해안연구실 연구원·E-mail : cy_kim@kict.re.kr

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

량증가에 따라 변화하지 않는 경우에 수위-유량관계곡선의 고유량을 외삽하기 위해 사용된다. 외삽의 범위에 대해서 조도계수를 추정할 수 있으며, 마찰경사는 작은 유량에서 측정된 값을 외삽하여 사용할 수 있다. 경우에 따라서는 홍수흔적으로 마찰경사를 추정할 수 있다. 단면적과 동수반경은 통제구간의 단면측정에 의해 산정하며, 단면적이 크게 변화하는 경우에는 마찰경사도 크게 변화하기 때문에 주의하여야 한다. 저수로를 넘어가는 흐름이 발생하는 경우 마찰경사는 저수로의 경우와 크게 다르게 나타난다. 수위-유량관계곡선의 고유량 부분을 외삽하는데 경사면적법을 활용할 수 있다. 동일한 하천의 상류나 하류에 다른 관측소가 있는 경우 다른 방법의 사용이 가능하다. 합류나 취수, 하도저류 등을 주의 깊게 고려하면 외삽이 필요한 지점에서 침투유량을 추정할 수 있다. 유속-면적법도 수위-유량관계곡선을 외삽하는데 이용된다. 이 방법은 관측소의 단면적 측정에 의한 수위-면적관계와 외삽이 필요한 수위구간에서 추정해야하는 수위-유속관계가 필요하다. 수위-유속관계는 유량측정이 가능한 구간에서는 정확하게 정의될 수 있으나 최고유량을 넘어서는 구간에 대해서는 정확하게 추정하기 곤란하다. 이로 인해 유속면적법은 앞에서 기술한 Manning이나 Chezy 방정식을 사용하는 방법만큼 선호되지는 않는다. 외삽은 가능한 경우에 앞에서 기술한 두 개 또는 그 이상의 방법을 사용하는 것이 바람직하다. 두 개 이상의 결과 비교를 통해 수위-유량관계곡선의 외삽구간에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있기 때문이다. 그러나 외삽시 명심할 것은 내삽치의 경우는 관측자료의 사이를 곡선으로 연결하므로, 관측자료와 곡선치와의 차이는 비교적 작다. 그러나, 외삽치의 경우, 편측 관측자료 군에서 추정하는 것이 되어, 때로는 큰 차이를 만든다. 따라서, 외삽은 가능한 한 피해서, 해당 기간의 최대, 최소 유량을 관측하는 것에 노력해야 한다.

2. 연구 동향

필요로 하는 수위-유량관계곡선의 범위에 비해 고수위 측정성과 부족한 경우 측정성과 이상의 유량자료를 산정하기 위해 수위-유량관계곡선식을 외삽하여 사용하기도 한다. 국제표준기구(International Organization for Standardization; ISO)에서는 수위-유량관계곡선의 기초가 되는 실측범위 이상의 외삽을 제한하고 있다. 그러나 만약 실측범위 이상의 추정유량이 필요하다면 그 구분을 명확히 해야한다고 언급하고 있다(ISO, 1983). Herschy(1999)는 수위-유량관계곡선의 외삽은 적절할 수 있으나 세심한 주의가 요구되고 외삽으로 산정된 유량자료에 대해서는 별도의 구분을 해 두어야 한다고 언급한 바 있다. 그는 수위-유량관계곡선의 외삽을 위해서 유속-면적법(velocity-area method)을 권장하고 있다. USGS는 가능하다면, 침투유량 간접추정법(indirect methods of peak discharge) 중의 하나를 사용하여 최고수위로부터 최고유량을 추정할 것을 권장하고 있고(Rantz et al., 1982). 이 침투유량을 이용하여 레이팅을 개발하도록 제안하고 있다. 그러나 만약 이러한 침투유량의 산정이 가능하지 않은 경우 최대 관측유량의 2배 이상을 외삽할 수 없다는 조건을 전제로 수위-유량관계곡선의 연장을 위해 몇가지 방법을 이용할 수 있도록 하고 있다(Rantz et al., 1982). 다음의 표 1은 측정범위를 넘는 수위-유량관계 외삽 방법에 대한 기존 연구성과들을 정리한 결과이다.

3. 새로운 고수위 수위-유량관계곡선식 외삽방법의 제시

본 연구에서 제시하는 새로운 고수위 수위-유량관계곡선 외삽방법의 이론적 배경은 유속-면적법을 근간으로 한다. 유속-면적법은 다른 방법들에 비해 간단하고 유속항을 포함하고 있기 때문에 비교적 합리적인 결과를 도출하기에 적절한 구조를 가지고 있다. 단, 기존에 이방법의 단점으로 해결하지 못하였던 점은 이 방법은 관측소의 단면적 측정에 의한 수위-면적관계와 외삽이 필요한 수위구간에서 추정해야하는 수위-유속관계가 필요하여 수위-유속관계는 유량측정이 가능한 구간에서는 정확하게 정의될 수 있으나 최고유량을 넘어서는 구간에 대해서는 정확하게 추정하기 곤란하여 Manning이나 Chezy 방정식을 사용하는 방법만큼 선호되지는 않았다는 것이다. 즉, 유속-면적법의 단점은 수위-평균유속간의 상관정도가 높지 않는 경우 추세곡선식 작성이 매우 어렵고 작성자에 따라 작위적으로 결정될 수 있다는 데 있었다. 이로 인해 이 방법을 이용하여 추정된 유량을 검정할 실측유량이 존재하지 않는 경우 실측구간의 곡선과 연결이 되지 않거나 과대 혹은 과소 추정되는 경우가 발생할 수 있고 이로 인해 그 신뢰도가 떨어지는 원인이 될 수 있었다. 따라서 본 방법에서는 유속면적법의 이러한 단점을 보완하고자 외삽구간의 수위와 단면적 간의 관계를 지수함수식으로 추정하여 수위-유량관계곡선의 기울기를 결정하였고, 정확한 수위-유속 추세식의 결정을 위해 실제추정치 구간의 상한계 이상의 근접 추정점(단면이 변하는 경우 유속의 변화를 최소화하기 위해)을 잡아 이를 이용하여 유효수위("e"값의 결정)를 확정론적으로 결정하는 방법을 고안하였다. 본 방법의 기본적인 개념은 아래 그림 1과 같고 이론적으로 개념화한 수위-유량관계곡선식은 다음에 기술하는 바와 같다.

표 1. 측정범위 이상의 수위-유량관계 연장 방법이 제시된 기존 문헌(Schmidt, 2002)

저자	연도	내용
대수지를 이용한 수위-유량관계곡선 연장		
Horton	1907	수위와 유량간의 지수관계는 대수지에 직선으로 도시될 수 있음을 제안
Hoyt and Grover	1912	수위-유량관계곡선의 연장을 위해 대수지 도시방법을 제안
Schoder	1912	수위-유량관계의 연장을 쉽게 하기 위해 대수지에 수위-유량관계가 직선으로 나타나도록 영유량의 유효수위 결정방법 개발
Liddell	1927	대수지상에 수위-유량관계곡선의 연장 소개
Corbett et al.	1943	대수지상에 수위-유량관계곡선의 연장 제안
Linsley et al.	1949	대수지상에 수위-유량관계곡선의 연장 소개
International Organization for Standardization	1983	대수지상에 수위-유량관계곡선의 연장 제안
유속-면적법 : 연장 수위-유속 곡선과 수위-면적 곡선을 이용한 연장		
Hoyt	1904	다음과 같은 방법을 개발, (a) 평균유속을 수위에 연계시켜 적합곡선 작성 (b) 이 적합곡선을 연장 (c) 구하고자 하는 수위에 대한 유량을 산정하기 위해 유속과 단면적을 결합
Hannah	1905	수위와 평균유속과의 적합곡선 작성방법 소개. 이 곡선을 외삽하고 해당 수위에 대한 단면적을 결합하여 수위-유량관계곡선을 연장
Liddell	1927	유속-단면적 방법을 이용한 연장 소개
Corbett et al.	1943	유속-단면적 방법을 이용하여 수위-유량관계곡선 연장 제안
International Organization for Standardization	1983	유속-단면적 방법을 이용하여 수위-유량관계곡선 연장 제안
Herschly	1995	유속-단면적 방법은 수위-유량관계곡선 연장에 있어 가장 만족할만한 방법임을 제안
Steven's Method : Q와 $A\sqrt{d}$의 관계를 이용한 연장		
Stevens	1907	Q vs $A\sqrt{d}$ 를 도시하고 이들을 연장하여 수위-유량관계곡선을 연장하는 방법 제안
Hoyt and Grover	1912	수위-유량관계곡선을 외삽하기 위해 $A\sqrt{d}$ 를 이용할 것을 제안
Liddell	1927	Stevens($A\sqrt{d}$) 방법을 이용한 연장 소개
Corbett et al.	1943	Stevens 방법을 이용한 수위-유량관계곡선 연장을 제안
Linsley et al.	1949	Stevens($A\sqrt{d}$) 방법을 이용한 연장 제안
International Organization for Standardization	1983	Stevens($A\sqrt{d}$) 방법을 이용한 연장을 제안하였고, Stevens 방법을 수정. 이것은 ($A^{2/3}\sqrt{d}$)항을 포함하고 Chezy의 C를 지수형태로 표현(C를 상수로 보지 않고 동수반경에 따라 변화하는 값으로 정의)하여 이용하는 방법.
수면경사-통수능 방법 : 수면경사와 통수능 곡선을 이용한 연장		
Boyer	1964	기준 수위관측소와 상하류의 보조수위관측소를 이용한 수면경사-통수능 방법을 제안
Rantz et al.	1982	수위-유량관계연장을 위해 수면경사-통수능 방법 소개
Kennedy	1984	수위-유량관계연장을 위해 수면경사-통수능 곡선 방법 소개
Herschly	1995	통수능을 결정하기 위해 Chezy 또는 Manning의 방법을 이용한 수면경사-통수능 방법을 사용하여 수위-유량관계곡선의 연장을 제안
기타 방법들		
Jacob	1920	대수지에서 수위에 대한 유량의 차분값($\Delta Q/\Delta h$)을 도시하고 이것을 연장시키는 방법을 제안
Corbett et al.	1943	단위폭당 유량에 대한 평균 수심의 경험 적합식 제안
Bailey and Ray	1966	수위-유량관계의 개발 혹은 곡선식을 구하기 위해 축차-배수 방법을 제안. 이방법은 하류부의 수위-유량관계를 추정하고 상류부의 수위관측소까지 수면형을 추적하는 방식이다. 이 방법은 하류의 서로 다른 수심에 대해 수면형이 수렴해야 한다.
Rantz et al.	1982	인근 관측소로부터 유량을 추적하여 또는 다른 인근 관측소들과의 상관관계를 이용하여 수위-유량관계곡선을 연장하는 방법 제안
International Organization for Standardization	1983	인근 관측소로부터 유량을 추적하여 수위-유량관계곡선을 연장하는 방법 제안
Doyle et al.	1983	같은 하천내 다른 관측소의 기록을 이용하여 유량을 추정하는 회선(주변 관측소들의 조합으로 대체한다는 개념)-추적 모형(Convolution-routing model)을 사용
Kennedy	1984	수위-유량관계연장을 위해 축차-배수 방법 소개
Ackers	1993	수위-유량관계연장시 홍수터와 주하도간의 상호작용이 매우 지대한 영향을 줄 수 있음을 제안
DeGagne et al.	1996	수위-유량관계연장을 위한 방법은 다음을 고려하여 선택하여야 함을 제안 : (1) 경험적 적합모형(empirically-fit model)으로 부터의 연장; (2) 동수반경과 평균유속간의 경험적 모형의 연장; 또는 (3) Manning의 방정식을 이용한 연장

본 연구에서 유도한 수위-유량관계 곡선식은 기본적으로 Manning의 방정식을 이용하였다. 실제로 Manning의 방정식과 Chezy의 방정식은 구조적으로 유사한 형태를 띠고 있기 때문에 Chezy의 방정식을 이용하여도 유사한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. Manning의 방정식에서 유량은 조도계

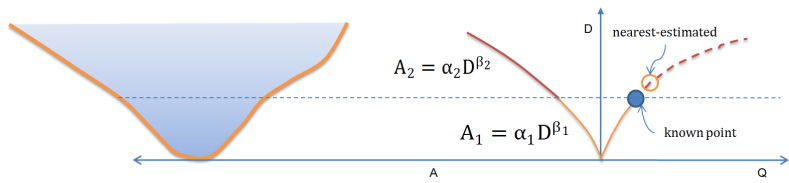


그림 1. 수위-단면적, 수위-유량 관계 개념도

수(n), 단면적(A), 단면적과 윤변(P)의 비로 표시되는 동수반경(R), 그리고 경사 S 로 표시될 수 있다. 여기서, 일반적으로 일정구간에서 상수항으로 표시되는 조도계수와 경사를 하나의 상수로 C 로 가정하고, 광폭수로를 고려하여 동수반경은 평균수심(D)으로, 면적 또한 평균수심(유효수위)의 식으로 표현하면 Manning 방정식을 이용하여 산정되는 유량은 최종적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q = C(\alpha D^\beta)(D^{2/3}) = (C\alpha)(D^{\beta+2/3}) \quad (1)$$

이 경우에, 이고 α 와 β 는 평균수심과 면적과의 관계를 규정짓는 상수로 단면변화 정도에 따라 그 값이 결정된다. 예로, 고정구형수로인 경우 α 는 수면폭이 되고 β 는 “1”이 된다. 다음으로, 외삽하고자 하는 구간의 면적과 평균수심의 관계($A_2 = \alpha_2 D^{\beta_2}$), 그리고 실측구간의 최종점(q_1, d_1)을 이용하여 외삽구간의 C_2 를 구할 수 있다. 따라서 최종적으로 외삽추정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\therefore Q_{ext} = (C_2 \alpha_2)(D_2^{\beta_2+2/3}) \quad (2)$$

단, 이 식을 적용할 수 있는 경우는 외삽구간의 평균수심(유효수위; $D_2 (\approx h - e_2)$)을 알고 있는 경우에 해당하며, 다시 말해 외삽구간의 영유량 수위 e_2 를 알고 있는 경우에 해당한다. 그러나 현실적으로 e 값을 실측하여 알 수 있는 경우는 저수위 외삽구간에 해당하며 고수위 외삽의 경우 e 값을 실측하여 산정할 수 없으므로 이 값을 확정론적으로 정확히 추정하기 위한 다른 대안이 필요하다. 이러한 관점에서 e 값을 추정하기 위한 가장 명확한 해법은 수위와 평균유속의 관계를 이용하는 것이다. 그러나 제약조건없이 기존 유속-면적법처럼 단순히 수위와 유속관계의 관계를 구하여 사용할 경우 앞서 언급한 바와 같이 수위와 유속관계가 작위적으로 해석될 수 있는 여지가 있고, 기존 유속-면적법은 측정구간내 수위-유속관계를 외삽구간내 수위-유속관계로 사용하는 방법이므로 추정수위범위가 커질수록 추정 유속의 오차범위도 커지는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하고자 수위-유속과의 관계를 규정하여 이용하되 이 값을 유량을 산정하기 위해 직접 사용(단순히 유량을 해당면적과 추정유속의 곱으로 산정)하는 것이 아니라 추정구간의 “ e ”값을 산정하기 위한 하나의 방정식으로 사용하였다. 더불어 추정 유속의 오차범위를 최소화 하고자 “가상 근접점” 개념을 도입하였다. 즉 “가상 근접점”이란 실측구간내 수위-유속관계를 연장하여 외삽구간의 수위-유속관계로 이용하는 경우 실측구간에서 멀어질수록 실측과 외삽부분 사이의 유속 차이는 크게 나타나겠지만 실측구간에 근접한 외삽부분은 실측구간과 유속에 큰 차이를 보이지 않는다는 가정에 근거한 개념이다. 여기서 “근접”이란 개념은 일반적인 개념의 “가깝다”란 의미가 아니고 수학적인 근접개념으로 해당구간의 변화가 결과에 거의 영향을 미치지 않는 매우 미소한 차이를 의미한다.

4. 국내 하천에의 적용

본 연구에서 개발한 새로운 수위-유량관계 외삽방법의 적용성을 검증해 보기 위해 실제 유량측정자료를 이용하여 수위-유량관계 외삽곡선식을 작성하여 보았다. 그 실용성을 그대화하기 위해 실무에서 가장 추정하기 어려운 경우인, 단면이 급격히 변화하는 경우에 대하여 적용하여 보았다. 첫 번째 대상지점으로는 건설교통부 수위관측소인 청주지점을 선택하였고 자료는 2007년도 측정성과를 이용하였다. 청주지점의 경우 고수위 전후로 단면변화의 구분이 확실하고 유량측정성과도 양호하여 대상지점으로 선택하였다. 기존방법과의 비교를 위해 동일한 조건에서, 비교적 좋은 결과를 보인다고 알려져 있는 Stevens 방법을 함께 이용하였다. 그림 2의 (가)에서 보듯이 Stevens 방법보다 본 연구에서 제시한 방법이 실측 유량과 더 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 두번째 대상지점으로는 건설교통부 수위관측소인 도암지점(금강 용수천)을 선택하였고 자료는 2007년도 측정성과를 이용하였다. 앞서 청주지점과는 다르게 단면이 복잡한 저중수위 자료를 이용하여 단면이 일정해 지는 고수위 부분의 외삽

가능성 여부를 파악해 보고자 선택하였다. 그림 2의 (나)와 같이 Stevens 방법의 경우는 실측과 예측구간이 분리되는 구간에서 서로 곡선식이 일치하지 않는 결과를 보여주고 있다. 그에 반해 본 연구에서 제시한 방법은 실측 유량과 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 세 번째 적용 대상지점으로는 건설교통부 수위관측소인 충무교지점(삽교천 곡교천)을 선택하였고 자료는 2007년도 측정성과를 이용하였다. 상하류 고수부지의 단면형상이 일정하지 않은 경우에 본 연구에서 제시한 방법으로 고수위 외삽곡선의 추정이 가능한지와 가능하다면 어느 정도의 정확도를 보여주는지를 검증해 보고자 충무교 지점을 대상지점으로 선택하였다. 그림 2의 (다)와 같이 Stevens 방법에 비해 본 연구에서 제시한 방법은 실측 유량에 근사해 가고 있음을 알 수 있다. 비록 정확히 추정하진 못했지만 고수부지 부분의 상하류 단면형상이 복잡하게 변화한다는 점을 감안한다면 비교적 정확히 추정된 결과로 판단되며, 본 연구에서 제시한 방법으로 복잡한 상하류 단면형상을 가진 구간의 외삽추정도 가능함을 보여주고 있다. 추후에 이러한 복잡한 단면을 보이는 구간에서, 흐름의 지배단면을 명확히 판단할 수 있는 방법이 개발된다면 보다 정확한 외삽추정식을 개발할 수 있을 것으로 판단된다. 네 번째 대상지점으로는 건설교통부 수위관측소인 수촌지점(삽교천)을 선택하였고 자료는 2007년도 측정성과를 이용하였다. 그림 2의 (라)와 같이 일반적인 자연하천과 가장 유사한 경우로 보여지는 상하류 고수부지의 단면형상이 중·형측으로 일정하지 않은 경우에 본 연구에서 제시한 방법으로 고수위 외삽곡선의 추정이 가능한지와, 가능하다면 어느 정도의 정확도를 보여주는지를 검증해 보고자 대상지점으로 선택하였다. 아래 그림 2의 (라)에서 보듯이 Stevens 방법의 경우는 실측과 예측구간이 분리되는 구간에서 곡선식이 서로 일치하지 않는 결과를 보여주고 있다. 그에 반해 본 연구에서 제시한 방법은 실측 유량에 근사해 가고 있음을 알 수 있다. 비록 정확히 추정하진 못했지만 고수부지 부분의 상하류 단면형상 변화의 복잡성을 감안한다면 상당히 잘 추정된 결과로 판단되며, 본 연구에서 제시한 방법으로 복잡한 상하류 단면형상을 가진 구간의 외삽추정도 가능함을 보여주고 있다.

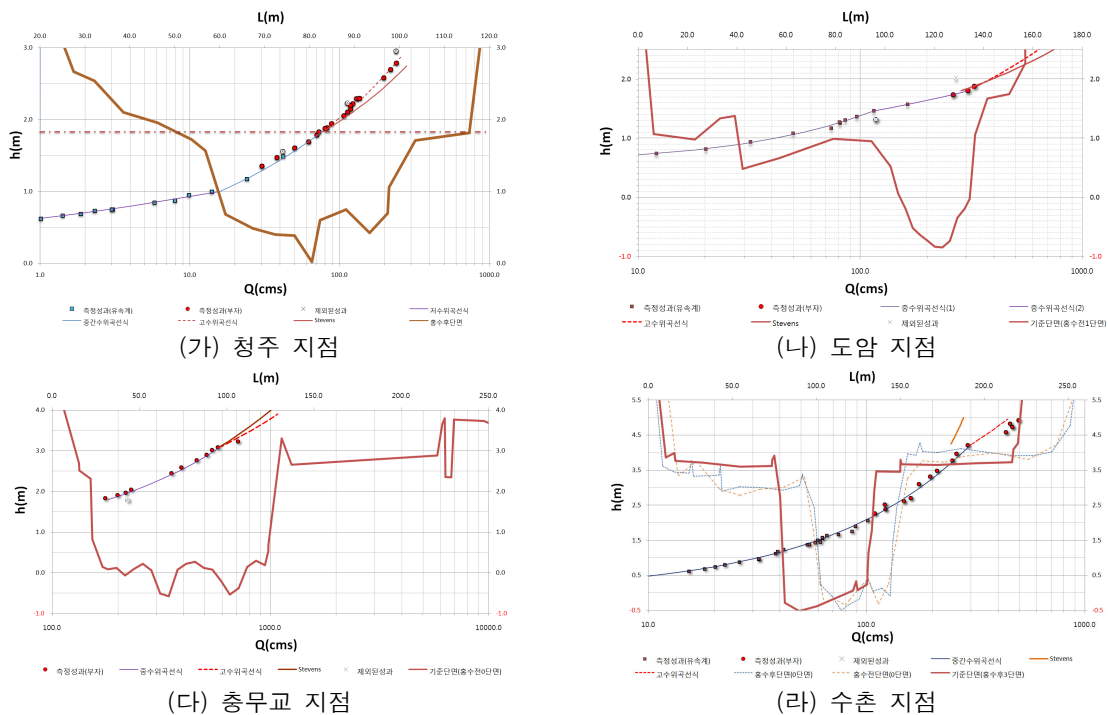


그림 2. 수위-유량관계 외삽곡선식 산정결과 비교

5. 결론

본 연구에서 제시하는 새로운 고수위 수위-유량관계곡선 외삽방법의 이론적 배경은 유속-면적법을 근간으로 하고, 유속면적법의 단점을 보완하고자 외삽구간의 수위와 단면적 간의 관계를 지수함수식으로 추정하여 수위-유량관계곡선의 기울기를 결정하였고, 정확한 수위-유속 추세식의 결정을 위해 실제추정치 구간의 상한계와 근점 추정점(단면이 변하는 경우 유속의 변화를 최소화하기 위해)을 잡아 이를 이용하여 유효수위(“e” 값의 결정)를 확정론적으로 결정하는 방법을 고안하였다. 본 연구에서 제안한 방법을 이용하여 2007년 건설교통부 유

량측정 대상지점 중 서로 다른 특성을 갖는 4개 지점(청주, 도암, 충무교, 수촌)을 선정하여 각각의 경우에 그 적용성과 한계를 검토하여 보았다. 선정된 지점들은 실무에서 고수위 외삽이 어려운 고수위 외삽 부분의 단면이 변화하는 경우들이며, 그 적용결과는 기존의 Stevens방법과 비교했을 때 매우 정확하고 안정적인 외삽곡선식을 추정할 수 있었다. 이러한 원인은 기존 Stevens 방법은 수위와 단면 그리고 유량간의 관계식으로만 외삽유량을 대략적으로 추정하는 형태이기 때문에 관계식의 적합도가 떨어지는 경우 왜곡된 결과를 보이는 반면, 본 연구에서 제시한 방법은 기지의 자료를 이용하여 곡선식 자체(곡선식 각각의 매개변수)를 결정론적으로 추정하는 방법을 이용하였기 때문에 그 정확도가 높았고 안정적인 결과를 보여주었다고 판단된다. 그리고 본 연구에서 제시한 방법을 이용한 경우 외삽구간의 단면형상이 중·횡축으로 복잡하게 변화하는 하도에서도 고수부지 부분의 상하류 단면형상 변화의 복잡성을 감안한다면 상당히 잘 추정된 결과를 보여주었으며, 이를 근거로 본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 복잡한 상하류 단면형상을 가진 구간의 외삽추정도 가능할 것으로 판단된다. 더불어 본 연구에서 제시한 방법은 기존 방법들에 비해 외삽곡선식 추정을 위해 요구되는 자료의 양이 적어 실무적용 시 매우 활용성이 높을 것으로 판단된다. 그러나 본 방법을 사용하여 보다 정확한 외삽추정 결과를 도출하기 위해서는 복잡한 단면을 보이는 구간에서, 흐름의 지배단면을 명확히 판단할 수 있는 방법의 개발이 필요하므로 이를 해결하기 위한 추가적인 연구가 요구된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원(과제번호 2-1-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Herschy, R.W., (1969). "The Evaluation on Errors at Flow Measurement Stations" , Technical Note 11, Water Resources Board, Reading, UK, pp. 1-31
2. International Organization for Standardization, (1983). "Liquid Flow Measurement in Open Channels-Part 1: Establishment and Operation of a Gauging Station" , ISO Standard 1100/1-1981, from: Measurement of Liquid Flow in Open Channels--ISO Standards Handbook 16, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, pp. 133-153
3. International Organization for Standardization, (1983). "Liquid Flow Measurement in Open Channels-Part 2: Determination of the Stage-discharge Relationship" , ISO Standard 1100/2-1982, from: Measurement of Liquid Flow in Open Channels--ISO Standards Handbook 16, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, pp. 154-186
4. Rantz, S.E., et al., (1982). "Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge" , Water-Supply Paper 2175, U.S. Geological Survey, 284 p.
5. Rantz, S.E., et al., (1982). "Measurement and Computation of Streamflow: Volume 2. Computation of Discharge" , Water-Supply Paper 2175, U.S. Geological Survey, 285-631 p.
6. Schmidt, A.R., (2002). "Analysis of Stage-discharge Relationships for Open-channel Flows and Their Associated Uncertainties" , Thesis of the degree of doctor, University of Illinois at Urbana-Champaign
7. Stevens, J.C., (1907). "A Method of Estimating Stream Discharge from a Limited Number of Gaugings" , Engineering News, 58(3):52-53, Jul 1