

수위-유량 관계식의 경년별 정확도 분석

Accuracy of the annual prediction of the stage-discharge relationship

최성욱*, 권범수**, 이성진***

Sung-Uk Choi, Bumsso Kwon, Sungjin Lee

요 지

홍수시 유속 및 유량을 직접 측정하기 어려우므로 수위-유량 관계식을 이용하면 편리하다. 그러나 수위-유량 관계는 유량 및 하도조건에 따라 변화하므로 매년 갱신하여 사용하는 것을 권장하고 있다. 본 연구에서는 초음파유속계 (Ultrasonic Velocity Meter: UVM)에 의한 연속적인 수위 및 유량 측정자료를 이용하여 수위-유량 관계를 구축하고 제시된 수위-유량 관계식을 적용하여 정확도를 분석하였다. 측정자료는 임진강 적성지점으로 2008년부터 2010년까지 7월 및 8월 자료를 대상으로 하였다.

초음파유속계는 홍수기 연속적인 수위와 유량의 측정이 가능하므로 측정자료에 의한 수위-유량 관계는 일반적으로 단일 홍수사상에 대해 고리 (loop) 모양을 보였다. 또한, 초음파유속계에 의한 수위 및 유량 측정이 안정된 경우 수위-유량 관계식은 고리 형태의 수위-유량 관계의 중앙을 관통하는 것으로 나타났다. 수위 유량 관계식의 정확도는 당해 연도 측정자료에 대한 오차가 가장 작았으며, 오차의 크기가 차년도 자료 그리고 전년도 자료 순으로 나타났다. 이는 하천에 홍수 유과 이후 수위-유량 관계식을 개선해 주어야 하는 필요성을 제시한다.

핵심용어: 수위-유량 관계, 초음파 유속계, 유량 측정, 수위 측정, 고리형 수위-유량 관계

1. 서론

하천의 주요 기능인 이수와 치수 기능을 고려하면 하천의 유량을 파악하는 것은 매우 중요하다. 그러나 자연하천에서 유량을 측정하는 것은 복잡하고 어렵다. 따라서 필요한 때에 유량을 얻기는 쉽지 않고 측정소에서 관측되는 자료를 이용하여 수위-유량 관계식을 작성한 다음, 쉽게 측정이 가능한 수위를 이용하여 유량을 산정하는 실정이다. 자연하천은 7월 및 8월 홍수기에 주로 발생하는 하도변형에 의해 수위-유량 관계가 변하게 되므로 매년 갱신하여 사용하는 것을 권장하고 있다. 따라서 매년 수위-유량 관계곡선이 측정 자료로부터 갱신되고 있다. 그러나 하상변동이 거의 일어나지 않고 수위-유량관계의 변화가 적다면 이를 갱신할 필요가 없게 된다. 본 연구에서는 자동유량 측정 시스템 중 하나인 초음파유속계 (Ultrasonic Velocity Meter: UVM)의 측정자료를 이용하여 수위-유량 관계를 구축하고 제시된 수위-유량 관계식의 수위-유량 관계와 비교를 통하여 수위-유량 관계식의 정확도를 분석하고 수위-유량 관계식을 갱신할 필요성에 대하여 고찰하였다.

* 정회원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 · E-mail : schoi@yonsei.ac.kr

** (주) 킵솔 과장 · E-mail : K-academy@hanmail.net

*** 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : silee83@yonsei.ac.kr

2. 초음파 유속계에 의한 유속 측정과 유량 산정

초음파 유속계는 하천에서 단면의 유속분포를 초음파 송수신을 통해 측정하는 기기이다. 300 KHz - 1 MHz 송신 주파수 반송파 신호에 위상변조방식을 활용하며, 수신신호와 기준신호의 자기상관계수를 구하여 도플러 위상변화를 산출하고 이를 통해 유속분포를 도출한다.

초음파 유속계(UVM)를 이용한 유속측정 원리는 그림 1과 같이 하천의 양쪽 제방 부근에 한 쌍의 센서를 주 흐름방향과 일정한 각을 유지하도록 설치한 후, 초음파를 발사하고 다시 반사되어 돌아오는 초음파의 시간차를 이용하여 유속을 측정한다. 하류방향으로 발사되는 초음파는 상류방향으로 발사되는 초음파의 시간보다 짧아지게 되며, 이러한 시간차를 이용하여 초음파 센서가 위치한 수심에서의 평균유속을 다음 식(1)을 이용하여 구할 수 있다.

$$v_i = 2 \cos \theta \left(\frac{1}{t_A} - \frac{1}{t_{AB}} \right) \quad (1)$$

여기서 v_i 는 주 흐름방향의 평균유속, L 은 유속계 간의 거리 (m), θ 는 주흐름방향과 초음파 측선 (acoustic path)이 이루는 각(degree), t_{BA} 는 B에서 A로 초음파가 이동하는 시간($= L/(c-v_p)$), t_{AB} 는 A에서 B로 초음파가 이동하는 시간($= L/(c+v_p)$), v_p 는 초음파 측선 방향의 유속, c 는 수중의 초음파 속도로 약 1,500 m/s 이다.

초음파 유속계의 유량측정 방법은 수평방향인 하나의 측선으로 구성된 단일경로 시스템과 수심이 다른 여러 측선으로 구성된 다중경로 시스템이 있다. 단일 경로 시스템의 경우, 식(2)와 같이 측정된 유속과 평균유속과의 관계를 이용하여 유량을 산출할 수 있으며, 다중 경로 시스템은 각 측선의 평균유속을 각 단면에 대해 수심방향으로 적분하여 유량을 산정한다.

$$Q = V_m A = k v_p A \quad (2)$$

여기서 Q 는 유량 (m^3/s), k 는 유속 보정계수, V_m 은 평균유속 (m/s), A 는 단면적 (m^2) 이다. 유속 보정계수 k 는 보통 0.4-0.8이며 유속계 등의 실험식에 의하여 결정된다.

3. 초음파 유속계 유량 자료분석

임진강 적성지점에 설치된 초음파 유속계로부터 계측된 자료를 분석하였다. 임진강은 한강의 제 1지류로서 한반도 중앙부에 남북으로 길게 위치하고 있다. 임진강은 함경남도 덕원군 마석령의 남계에서 발원하여 경기도 파주시 탄현면 부근에서 한강에 합류하여 서해로 유입된다.

임진강 유역내 수위관측소는 상류로부터 횡산, 군남, 적성, 그리고 통일대교 4개소가 있으며, 이중 적성 수위관측소는 경기도 파주시 적성면 구읍리 비룡대교 상류에 위치하고 있다. 구간의 평균 하상경사는 0.00077이며, 계획홍수위와 계획홍수량은 각각 13.91 m, 15,300 cms로서 재현기간 100년 빈도에 해당한다 (국토해양부, 2010). 표 1에는 2008년-2010년의 적성지점 수위-유량관계식을 제시 하였다. 2008년도 수위-유량관계식은 2005-2008년의 4개년 자료로부터 구축되었으며, 2009년도 관계식은 2007-2009년의 3개년 자료를 이용하여 만들어졌다. 또한, 2010년도 수위-유량 관계식은 2010년 자료 1개를 이용하여 만들어졌는데, 2009년과 2010년의 식은 변함이 없다. 수위-유량관계식은 부자 및 보트에 장착된 ADCP에 의한 측정자료를 이용하여 개발된 식이며, 초음파 유속계에 의한 측정자료는 사용되지 않았다.

그림 2에는 2008년도 수위-유량관계식의 적용결과를 제시하였다. 먼저 2008년 홍수에 대해서 관계식이 유량산정이 매우 부정확하며 수위가 증가할수록 과소산정의 오차가 커지는 것을 알 수

있다. 이것은 2008년이 해당지점 초음파유속계 설치시기여서 측정자료에 운용 및숙에 의한 오차가 많이 포함되었을 것으로 추측된다.

2009년 및 2010년 홍수에 대해서 관계식이 측정자료의 추이는 예측하지만 과다 산정하는 양상을 보여준다. 수위가 증가할수록 과다 산정의 폭은 늘어나는 것을 알 수 있다. 2009년 UVM 측정자료에서는 고리형 수위-유량관계가 잘 나타나고 있다. 수위 $H = 7.4$ m인 경우, 상승기의 유량은 7,130 cms이며, 동일 수위에서 하강기의 유량은 5,870 cms로 1,260 cms의 차이를 보인다. 이는 수위-유량관계식이 정확히 구축되었다 하더라도 홍수과의 부정류성 (unsteadyness) 때문에 최대 630 cms의 오차를 보일 수 있다는 것을 의미한다. 2009년 UVM 측정자료에서 첨두홍수량이 8,485 cms이므로, 이는 약 7.5%에 해당하는 양이다.

그림 3은 2008년도 수위-유량 관계식의 적용에 따른 평균 상대오차를 제시한 것이다. 2008년도 측정자료와 비교하면 가장 큰 오차를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 전술한 바와 같이 설치 초기에 운용 미숙에 따른 오차가 포함되었기 때문이며, 이후 2009년과 2010년의 측정자료와 비교해 보면 상대오차는 거의 동일한 수준임을 알 수 있다.

그림 4는 2009년 수위-유량 관계식을 2008-2010년 측정자료에 적용한 것이다. 2008년도 관계식과 마찬가지로 2008년 자료에 적용하였을 때 심각하게 유량을 과소산정하는 것으로 나타난다. 2009년 UVM 측정자료는 고리형을 보이며, 제시된 수위-유량 관계식이 매우 정확하게 고리의 중간을 관통하는 것을 알 수 있다. 그러나 2010년 측정자료와 비교해 보면 수위가 2.5 m 이상에서 2009년 수위-유량 관계식이 약간 유량을 과소 산정하는 것으로 나타나고 있다.

그림 5는 2009년도 수위-유량 관계식을 2008-2010년 UVM 측정자료에 적용하였을 때 발생하는 상대오차를 도시한 것이다. 수위-유량 관계식은 당해 년도 자료에 적용하였을 때 최소 오차를 보였으며 차년도인 2010년 측정자료에 대해서는 오차가 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 홍수량이 하도를 통해 유과한 후 하도 조건 혹은 형태 변화가 발생하였기 때문이며 매년 수위-유량 관계식을 갱신해야 하는 필요성을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 초음파유속계에의 측정자료를 이용하여 수위-유량 관계식의 경년별 정확도를 분석하였다. 비교 결과 초음파유속계에 의한 수위-유량 측정자료는 단일 홍수사상에 대해 고리(loop) 모양을 보이는 것을 보았고 수위-유량 관계식이 상당한 정확도로 홍수에 의한 수위-유량 관계를 예측하며, 측정자료가 고리형태를 띄는 경우 고리의 중앙을 관통하는 것을 확인하였다.

수위유량 관계식의 정확도를 분석한 결과 당해 연도 측정자료에 대한 오차가 가장 작았으며, 오차의 크기가 차년도 자료 그리고 전년도 자료 순으로 나타났다. 이는 하천에 홍수 유과 이후 수위 유량 관계식을 개선해 주어야 하는 필요성을 제시한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업인 “하천에서 유사이동 및 하상변동 예측을 위한 3차원 수치모형의 개발(11기술혁신C04)”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2001). 임진강하천정비기본계획(보완), 건설교통부 서울지방국토관리청.

2. 국토해양부 (2010). 한강홍수예보, 국토해양부 한강홍수통제소.
3. 김지성, 김원, 김동구, 김치영 (2009). 수치모형을 이용한 고리형 수위-유량 관계 분석, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제29권 제1B호, pp.1-9.
4. 김치영, 김원, 이찬주, 황석환 (2007). 실측자료를 이용한 고리형 수위-유량 관계 특성 분석, 대한토목학회 정기학술발표회 논문집, pp.1301-1304.
5. 이상호 (2001). 수위관측과 수리학적 하도추적에 의한 수위-유량 관계식 작성, 한국수자원학회 논문집, 제34권 제5호, pp.551-560.
6. 이정주, 권현안 (2010). 쌍치수위관측소의 수위-유량관계곡선 안정화를 위한 기초 연구, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제30권 제1B호, pp.81-87.

표 1. 적성지점 수위-유량관계곡선식

적용 기간	적용수위 (m)	수위-유량관계곡선식	이용자료 (연도/자료수)	비고
2008	$.41 \leq H \leq 3.80$	$Q = 189.140 \times (H - 0.410)^{.107}$	2005/12 2006/25	0.73 m 이하 외삽
	$3.80 < H \leq 6.80$	$Q = 153.000 \times (H + 1.100)^{1.782}$	2007/37	
	$6.80 < H \leq 13.3$	$Q = 176.327 \times (H + 1.998)^{1.600}$	2008/45	11.76 m 이상 외삽
2009 2010	$0.41 \leq H \leq 1.00$	$Q = 133.570 \times (H - 0.410)^{1.500}$	2007/37	0.73 m 이하 외삽
	$1.00 < H \leq 3.80$	$Q = 136.320 \times (H - 0.292)^{2.351}$	2008/45	
	$3.80 < H \leq 6.80$	$Q = 196.495 \times (H + 1.552)^{1.541}$	2009/23	
	$6.80 < H \leq 20.58$	$Q = 142.749 \times (H + 2.500)^{1.610}$	2010/1	11.02 m 이상 외삽

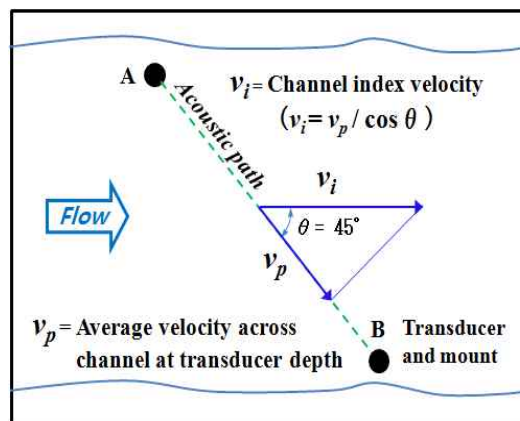


그림 1. 초음파 유속계 측정 원리

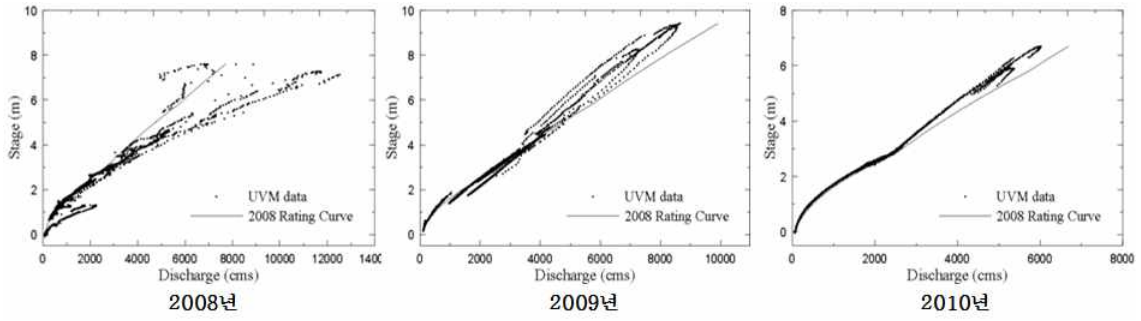


그림 2. 2008년 연도별 UVM 자료와 수위-유량 관계식 비교

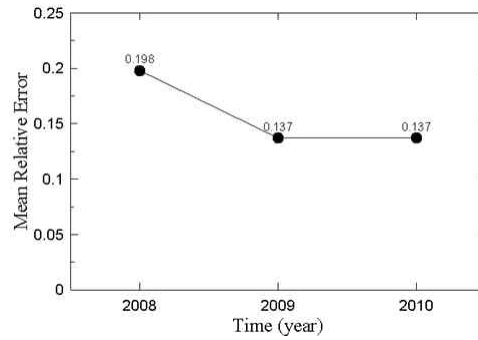


그림 3. 2008 수위-유량 곡선 정확도

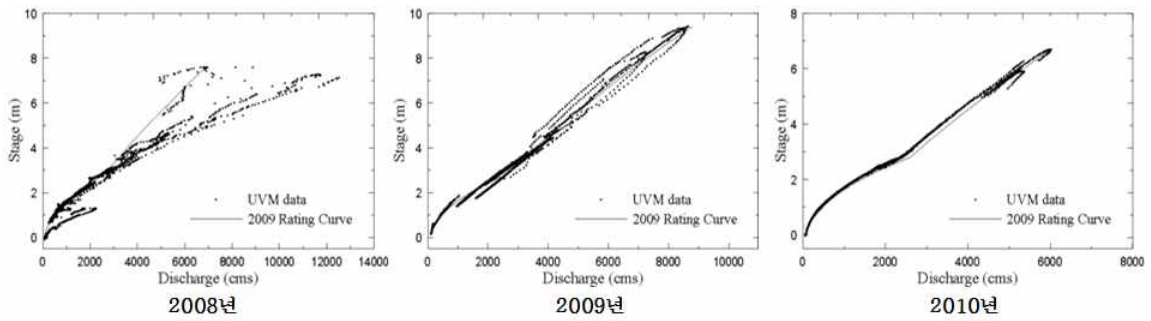


그림 4. 2009년 연도별 UVM 자료와 수위-유량 관계식 비교

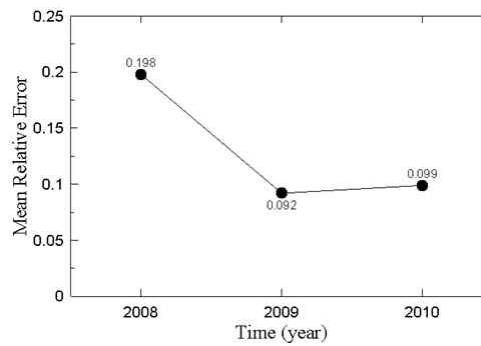


그림 5. 2009 수위-유량 곡선 정확도