

하천 수리특성을 고려한 확률론적 유속공식에 의한 하천유량 산정

Estimation of Rivers Discharge by Probabilistic Velocity Function Considering Hydraulic Characteristics

추태호* · 이상진** · 박상우*** · 오륜수****

Choo, Tai Ho · Lee, Sang Jin · Park, Sang Woo · Oh, Ryun Su

Abstract

To improve stage-discharge curve equation considering water level's function, this study suggested the method that can efficiently compute rivers discharge based on hydraulic characteristics such as river width, area, channel bed slope and entropy concept adopting probabilistic approach. This scheme is proposed to estimate discharge from the velocity formulation based on the entropy function in the equilibrium state derived from the relation between mean and maximum flow velocity. It has been tested using field and laboratory hydraulic data collected from the Alberta university in Canada. As a result it was found that the method proposed in this study was more efficient and accurate comparing with the traditional stage-discharge curve equation.

Keywords : hydraulic characteristics, entropy, stage-discharge curve equation, mean and maximum velocity

요 지

수위만의 함수로 작성되는 기존의 수위-유량관계곡선식을 개선하기 위하여 비교적 쉽게 취득할 수 있는 하천의 폭, 넓이, 율변, 하상경사 등 기본적인 수리특성인자를 활용하고 확률론적 방법인 엔트로피 기법을 연계하여 하천 유량을 산정할 수 있는 방법을 제안하였다. 평균유속과 최대유속과의 관계를 분석하여 하천의 평형상태를 나타내는 엔트로피 함수를 도출하고, 이를 활용하여 하천 수리특성 인자가 반영된 유속공식으로 하천유량을 산정하는 방법이다. 캐나다 알버타 대학 등에서 제공된 수리실험실 및 자연하천 수문자료를 활용하여 유량을 산정한 결과 기존 수위-유량관계곡선식에서 추정된 유량에 비해 오차가 작고 실측치에 근사하여 개선효과가 큰 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 수리특성인자, 엔트로피, 수위-유량관계곡선, 평균 및 최대유속

1. 서 론

산업과 문명의 발달과 더불어 최근 그 관심도가 높아지고 있는 지구온난화 및 기후변화의 영향 등으로 인하여 국내 뿐만 아니라 국제사회에서도 유역의 물이용 및 관리에 관심이 어느때 보다 높은 시점이다. 이와같이 유역의 한정된 수자원을 효율적이고 합리적으로 관리하기 위해서는 신뢰도 높은 수문자료의 생산 및 관리가 무엇보다 중요하다. 이는 저수지 운영, 수리 및 수문 모의, 유역 수자원·환경관리 및 수공구조물 설계 등을 위한 기초자료로 이용된다.

수문관측 및 자료분석과 관련하여 현재 국내 기술력은 선진국 수준에 근접하고 있다고 판단된다. 그러나 우리나라와 같이 연간 편중된 강수와 최근의 반복되는 가뭄, 홍수의 발생과 같은 독특한 수문현상을 가지고 있는 특성을 감안할 때 현재 수준의 수문관측 및 자료처리기술은 여전히 개선할

점이 많다. 과학기술의 발달과 함께 컴퓨터의 성능 개선 및 통신기술의 급진전으로 관측된 수문자료의 고속처리와 Date Base 구축 등에 관한 관심과 투자 등의 노력에 비하여 상대적으로 수자원 실무에서 기본이되는 하천유량자료의 획득, 분석 및 활용에 대한 이론적인 연구는 그다지 활발하지 않은 것이 현실이다. 또한 최근까지 수행된 연구들은 하천의 유량을 정확하게 산정하는 방법론을 제시 하기보다 기존의 수위-유량관계곡선의 한계와 개선점에 대한 것이 주를 이루고 있다.

장기환 등(2005)은 기존 수위-유량곡선식에 내재되어 있던 발산과 처리 불능문제를 해결하기 위한 새로운 형태의 관계식을 제안하고 수위-유량곡선식 산정모형을 제시하였다.

Majid Rahimpour 등(2006)은 자연하천의 고정된 한 지점에서 측정되는 유속분포를 이용하여 수위-유량 관계곡선을 추정하여 기존 방법의 한계와 대안을 제시하였고, J.G. Leon

*정희원 · 부산대학교 사화환경시스템공학부 토목공학전공 부교수 (E-mail : tai316@hanmail.net)

**정희원 · 교신저자 · 한국수자원공사 Kwater연구원 수자원연구소 책임연구원 (E-mail : sjlee@kwater.or.kr)

***정희원 · 서남대학교 토목공학과 정교수 (E-mail : hydrospw@hanmail.net)

****부산대학교 대학원 석사과정 (E-mail : windy0707@naver.com)

등(2006)은 아마존 유역의 Negro 강에서 공간적 고도계량 데이터를 기반으로 하는 Muskingum, Cunge(M.C) 모델을 사용하여 수위-유량관계를 분석하고 하천유량을 산정하는 방법을 제안하였다. Asgeir Petersen 등(2009)은 홍수가 빈번한 지점에 부정확한 수위-유량 산정에 대한 방안으로 최우도법을 기반으로 하는 방법을 이용하였다. G.B. Sahoo 등(2006)은 Artificial Neural Network(ANN)을 적용해 하와이 유역에 대한 수위 유량 상관관계를 분석하여 자연하천 유량을 산정할 수 있는 모형을 개발하였다. 국내에서는 김정훈 등(2008)이 수위-유량곡선식 개발 시 사용되는 전통적인 비선형최소제곱모형(NLSM)의 제한성을 제시하고자 이분산성을 고려한 최우도모형(HMLM)을 제안하였고, 권현한 등(2008)은 Hierarchical Bayesian 방법을 도입하여 불확실성과 함께 저수위-고수위를 정량적으로 구분할 수 있는 수위-유량 관계곡선식을 유도하여 기존 방법의 개선안을 제시하였다. 이창해 등(2008)은 저수위와 고수위와의 경계와 곡선 접점이 일치하는지 여부를 판단하고 오차의 크기를 확인하기 위해 활선법을 적용한 연구를 수행하였다. 또한 추태호 등(2000), Lee et al.(2008)은 낙동강의 감조구간에서 기존의 수위와 유량관계에 조위영향을 포함한 수위-유량-조위차 관계 다중회귀식을 개발하였다. 한편 추태호(2002)는 Chiu의 2차원유속분포공식에 점유속을 활용하여 유속분포를 구현하였으며, 이를 Chiu의 2차원평균유속공식을 적용하여 하천유량을 산정하는 방법을 제시하고 그 활용성에 대하여 자세히 언급하였다. 또한, 추태호 등(2009)은 Chiu의 2차원유속평균 및 분포공식을 활용하여 관수로의 유속분포 및 유량을 정확히 구현하였다. 이와 관련하여 김창완(2008)등도 자연하천에서 Chiu의 유속분포공식과 최대유속 추정을 이용하여 하천유량을 계산하는 방법을 제시하고, 기존 면적유속법과 비교 검토하였으며, Chiu and Tung(2002)은 개수로에서의 평균유속과 최대유속의 관계가 시간이 변하더라도 일정하게 유지되는 특성이 있음을 밝힌 바 있다. Moramarco et al.(2004)은 엔트로피 유속분포식의 주요 매개변수인 M값이 이탈리아 Tiber 유역의 주요 관측소에서 일정하게 분포하는 것으로 분석한바 있다.

본 연구에서는 수위만의 함수로 작성되는 기존의 수위-유량관계곡선식을 개선하기 위하여 Chiu의 엔트로피 유속분포공식에 이론적 바탕을 둔 효과적인 하천유량산정 방법을 제시하였다. 이를 위해 하천의 폭, 넓이, 윤변, 하상경사 등 기본적인 수리특성 인자의 활용과 함께 엔트로피 기법을 연계하여 하천 유량을 산정할 수 있는 공식을 제안하였다.

2. 기본 이론유도

유체를 다루는 공학에서 보존의 법칙(연속방정식, 운동량 방정식, 에너지방정식)을 사용하는 수리학적 학습의 전통적인 접근은 결정론적이다. 그러나 이러한 방법론으로 완전히 해결되기 어려운 문제들은 확률적인 방법으로 접근할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 접근법 중 하나인 Entropy 개념을 도입하여 유속공식을 제안한 Chiu의 엔트로피 유속분포공식과 수로경계면의 평균 전단응력식을 연계하여 얻어진 관계식을 사용하여 유량을 산정하는 방법을 제시하였는데, 특

히 실험실이나 하천에서 손쉽게 취득할 수 있는 수리량을 적용하여 평형상태의 엔트로피 M을 산정한 후 평균유속으로부터 유량을 산정하는 방법을 제시하였다.

Chiu의 엔트로피 유속분포식에 관한 자세한 유도과정은 Chiu(1978, 1987, 1988, 2002)논문이나 추태호(2002, 2009)의 논문을 참조하기 바란다. 관련논문들에 의하면 개수로 유속의 엔트로피 함수는 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$H(u) = \int_0^{U_{\max}} p(u) \ln p(u) du \quad (1)$$

u는 수로단면에 공간적으로 분포된 시간평균 유속이고 u_{\max} 는 최대유속을 나타내며 $p(u)$ 는 유속의 확률밀도함수이다. 엔트로피의 최대화를 위한 제약조건들은 식 (2), 식 (3)과 같다.

$$\int_0^{U_{\max}} p(u) du = 1 \quad (2)$$

$$\int_0^{U_{\max}} up(u) du = \bar{U} = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

제약조건들인 식 (2)와 (3)를 식 (1)에 대입하여 유속의 확률밀도함수를 구하면 식 (4)와 같다.

$$p(u) = e^{-a_1} e^{-a_2 u} \quad (4)$$

식 (4)을 식 (2)와 식 (3)에 대입정리하면, 식 (5)을 얻을 수 있다.

$$U_{\max} e^{-a_1} = \frac{M}{(e^{-M} - 1)} \quad (5)$$

그리고 식 (4)을 식 (2)에 대입정리하면, 2차원 유속분포 공식인 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$U = \frac{U_{\max}}{M} \ln \left[1 + (e^{-M} - 1) \left(\frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0} \right) \right] \quad (6)$$

또한 식 (4)을 식 (3)에 대입정리하면, 2차원 평균유속 공식인 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$\bar{U} = \int_0^{U_{\max}} up(u) du = U_{\max} \left[\frac{e^{-M}}{e^{-M} - 1} - \frac{1}{M} \right] \quad (7)$$

식 (5)에 식 (7)를 대입정리하면 식 (8)과 같다.

$$\bar{U} e^{-a_1} = \left[\frac{M}{e^{-M} - 1} \right] \left[\frac{e^{-M}}{e^{-M} - 1} - \frac{1}{M} \right] = (e^{-M} - 1)^{-1} [Me^{-M}(e^{-M} - 1)^{-1} - 1] \quad (8)$$

한편, 전단응력은 수로경계(윤변)를 따라 발달하며, 수로경계에 직각으로 유체의 점성과 유속기울기의 합이 식 (9)로 표현된다.

$$\gamma_0 = \mu \left[\frac{du}{dy} \right]_{y=y_0} = \mu \left[\frac{1}{h_\xi} \left[\frac{du}{d\xi} \right]_{\xi=\xi_0} \right] \quad (9)$$

여기서 τ_0 는 x, y, z좌표계로 y가 y_0 일때나, ξ, η 좌표계로 ξ 가 ξ_0 일때의 경계 전단응력, μ 는 유체의 점성계수, η 는 Scale 계수이며, 평균 전단응력은 식 (10)과 같다.

$$\bar{\gamma}_0 = \mu \left[\frac{1}{h_{\xi_0}} \left[\frac{du}{d\xi} \right]_{\xi=\xi_0} \right] = \rho g R S_f \quad (10)$$

여기서 \bar{h}_{ξ_0} 는 수로경계면에 따른 h_ξ 의 평균값, 수로경계면에 따른 유속기울기(즉, 유속기울기는 $\frac{du}{d\xi}$ 을 h_ξ 에 의하여 나누는 것임.)의 변화는 h_ξ 에 의하여 조절된다.

식 (6)으로부터 $\frac{du}{d\xi}$ 을 산정하면 식 (11)와 같다.

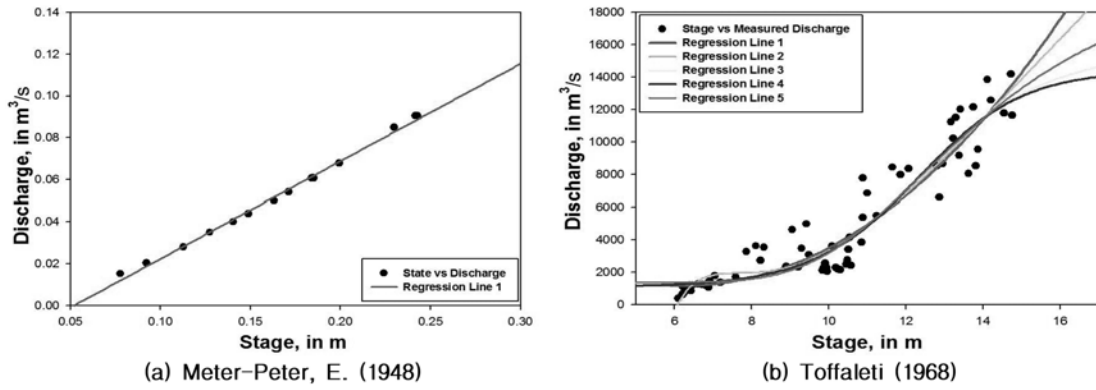


Fig. 1 Stage-Discharge Curve Equations in the Lab. and Natural Open channel

$$\left[\frac{du}{d\xi} \right]_{\xi=\xi_0} = \frac{1}{[\xi_{\max} - \xi_0]} = \frac{1}{[\xi_{\max} - \xi_0] \exp^{a_1 + a_1 u}} \quad (11)$$

따라서 식 (11)을 식 (10)에 대입 정리하면 식 (12)과 같이 다시 정리할 수 있다.

$$e^{a_1} = \frac{\mu}{h_{\xi_0} \rho g R S_f} \quad (12)$$

식 (12)을 식 (8)에 대입정리하면, 식 (13)와 같이 정리된다.

$$\bar{U} = \frac{h_{\xi_0} g R S_f}{\nu F(M)} \quad (13)$$

$$F(M) = (e^M - 1) [M e^M (e^M - 1)^{-1} - 1]^{-1} \quad (14)$$

여기서 식 (14), 즉 F(M)은 Chiu의 유속분포공식의 파라메타인 M의 함수로서 유속분포패턴을 나타낸다. 식 (13)을 F(M)식 형태로 재정리된 식 (15)을 이용하여 유량을 산정하기 위하여, 우선 실측된 \bar{U} , h_{ξ_0} , g , R , S_f , ν 의 값을 식 (15)에 대입하게 되면 F(M)의 값을 산정할 수가 있다.

$$F(M) = \frac{h_{\xi_0} g R S_f}{\nu \bar{U}} \quad (15)$$

산정되어진 F(M)값을 식 (14)에 대입한 후 시행착오방법으로 M값을 산정한다. 산정된 M과 실측된 \bar{U} 값을 식 (7)에 대입하여 U_{\max} 의 값을 산정해내고, 전체자료에 대한 \bar{U} 와 U_{\max} 의 관계에서 평형상태의 $\phi(M)$ 의 값을 산정한다. 따라서 각 하천단면의 고유한 특성이 반영된 평형상태의 M값을 이용한 평형상태의 $\phi(M)$ 값은 각각의 데이터에서 산정된 U_{\max} 값에 곱해평균유속을 산정하고 해당단면을 적용시키면 확률론적 접근방식이 제안된 유량값을 제공하게 된다.

3. 기존 수위-유량 관계곡선식의 한계

일반적으로 고수위에 대한 수위-유량관계곡선의 연장은 선형보간(외삽)으로 이루어진다. 특히 고수위에서의 유량오차는 전체 유량 체적의 큰 변화를 초래하므로 유량값의 신뢰도를 낮추는 주요 원인이 된다.

본 연구에서는 객관적으로 신뢰도가 높다고 판단되는 수문 자료 확보를 위하여 캐나다 알버트 대학교에서 제공한 유량 관측자료인 A.W. Peterson and R.F. Howells(1973)를 활용하였다. 여기에는 Meter-Peter, E. And Muller, R.(1948), Toffaleti(1968) 등이 수리실험실 및 여러 자연하천에서 관측

한 실측데이터를 포함하고 있다.

Fig. 1(a)의 경우는 Meter-Peter, E. 등이 실험실에서 측정된 유량값을 중심으로 수위-유량관계곡선식을 작성한 것이다. 0.99이상의 양호한 결정계수값으로 하나의 회귀식이 유도된다. 그러나 Fig. 1(b)와 같이 관측 및 유량환산에 따라 다양한 오차를 내포하여 분산도가 비교적 크다고 판단되는 자연하천(Toffaleti, 1968)에서는 하나의 회귀식을 결정하는 데 어려움이 있다. 특히 고수위 부분에서 비슷한 결정계수 값을 가진 회귀곡선이 다양하게 존재하기 때문에 결정계수가 높은 것만으로 명확한 기준 없이 수위-유량관계곡선식을 결정하는 것은 큰 오차를 발생시킬 수 있다.

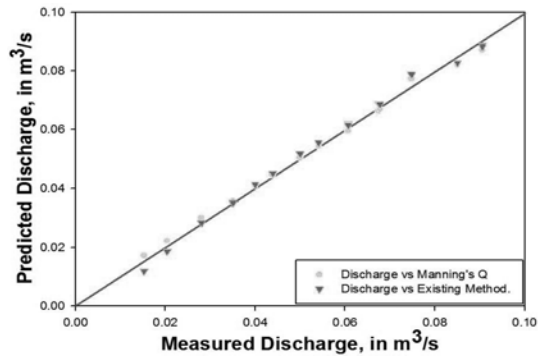
4. 평균유속공식을 활용한 유량산정

수위만으로 산정되는 단순한 수위-유량관계곡선의 관계를 벗어나 R(동수반경)=A(횡단면적)/P(윤변), S_f (에너지경사)= Δh (수심)/L(길이)= S_0 (하상경사)= $\Delta z/L=tan\alpha$ (수로비탈경사각도) 등 기본적인 수리학적 특성이 반영된 Manning의 평균유속(x)과 실측된 유속(y)과의 관계를 분석하였다. 즉 $y=ax^x$ 의 선형관계에서 기울기에 해당하는조도계수(n)를 결정하여 유량을 산정하였다.

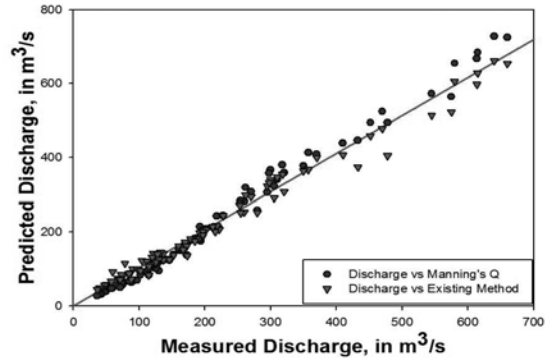
Meter-Peter, E.(1948)의 자료를 분석한 결과 Manning의 조도계수 n값은 0.4731, 결정계수값이 0.9461로 산출되었고, Toffaleti(1968)의 자료를 분석한 결과 Manning의 조도계수 n값 0.6827, 결정계수값은 0.8533으로 산출되었으며, 이에 대한 결과값은 Table 1에 요약하였다. Manning식으로 결정된 조도계수를 활용하여 유량을 산정한 결과 Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)와 같이 Manning의 평균유속공식을 통해 산출된 유량값이 기존의 수위-유량 관계곡선에 의한 방법보다 관측된 유량값에 더욱 근사한 것으로 분석되었다. 그러나 이 방법은 해당하천의 정류 및 등류하의 수리학적 특성은 잘 반영하는 것으로 나타났으나, 홍수기의 특성인 부정류의 흐름과 고수위부 유량특성을 반영하는 데는 한계가 있다.

Table 1. Estimation Manning

	Manning's Eq.	n	R ²
Meter-Peter, E. And Muller, R.(1948)	$V = 1.7525 R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$	0.4731	0.9461
Toffaleti(1968)	$V = 1.4646 R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$	0.6827	0.8533



(a) Meter-Peter, E. And Muller, R.(1948)



(b) Toffaleti(1968)

Fig. 2 Analysis of Relationship Measured Discharge and Predicted Discharge

5. 엔트로피 유속 공식에 의한 유량 산정

엔트로피 개념을 도입하여 제안된 유속공식은 유속의 엔트로피 함수가 엔트로피 극대화에 대한 제약조건들을 만족시킴으로써 유속의 확률밀도함수를 구할 수 있으며, 이 밀도 함수를 각 제약조건별로 다시 대입하여, 필요한 유속공식을 얻을 수 있는 방법이다. 평균유속과 최대유속으로부터 형태인 식 (8)에서 즉 하천의 평형상태를 나타내는 엔트로피 함

수를 도출한다. 여기서 구해지는 기울기는 당해하천의 모든 수리학적 특성이 반영된 엔트로피 값이다. 즉, 실측자료인 평균유속과 하천의 특성을 나타내는 각 수리학적인자로부터 M 값을 추출하여 고수위에 해당하는 유속을 추정하고 단면적을 곱하여 유량을 산정하는 방법이다. 이 방법은 기존 유량관측 방법처럼 하천단면을 여러 단면으로 나누고, 각 단면별로 수심 및 유속을 측정할 필요없이 최대유속이 발생하는 지점 유속만으로 평균유속 산정이 가능하다. 이를 위하여

Table 2. Results of Two Equations

Figs. 1						
	Chiu		R^2	Manning	n	R^2
PNU(2006)	$V = 0.8535 V_{max}$	0.8535	0.9993	$V = 98.867 R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$	0.0101	0.7582
USACE(1935)	$V = 0.912 V_{max}$	0.9126	0.9974	$V = 1.5332 R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$	0.6522	0.8301

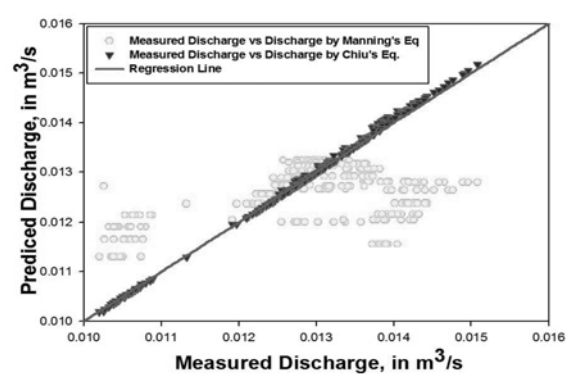
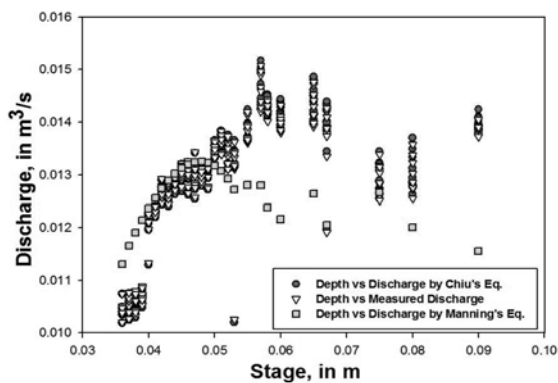


Fig. 3 Analysis Results by using Probabilistic Velocity Function with PNU (2006)

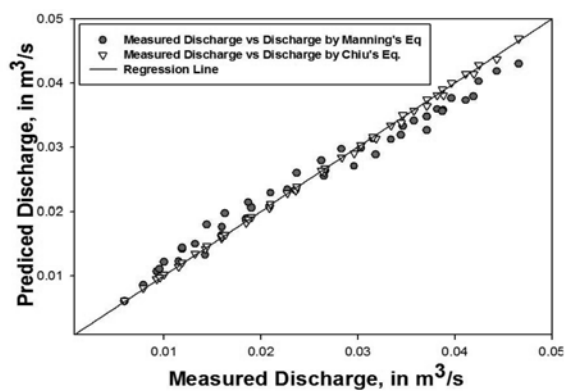
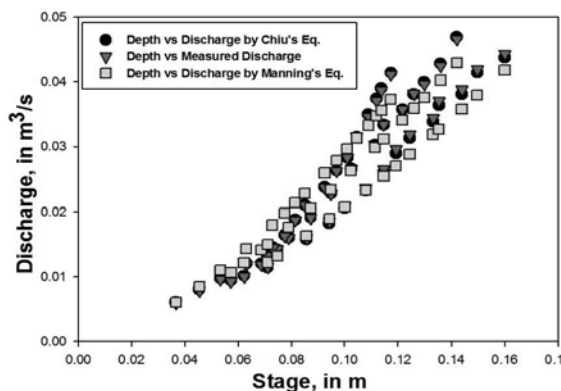


Fig. 4 Analysis Results by using Probabilistic Velocity Function with USACE (1935)

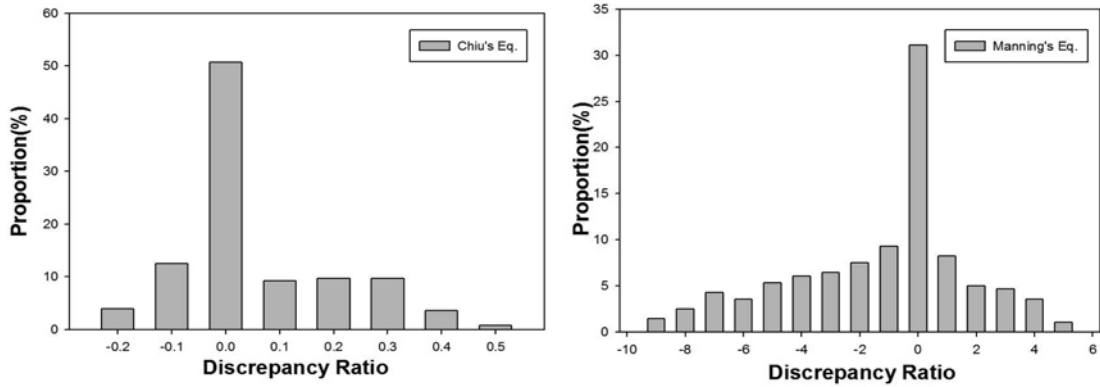


Fig. 5 Discrepancy Ratio by using Chiu's Equation with PNU (2006)

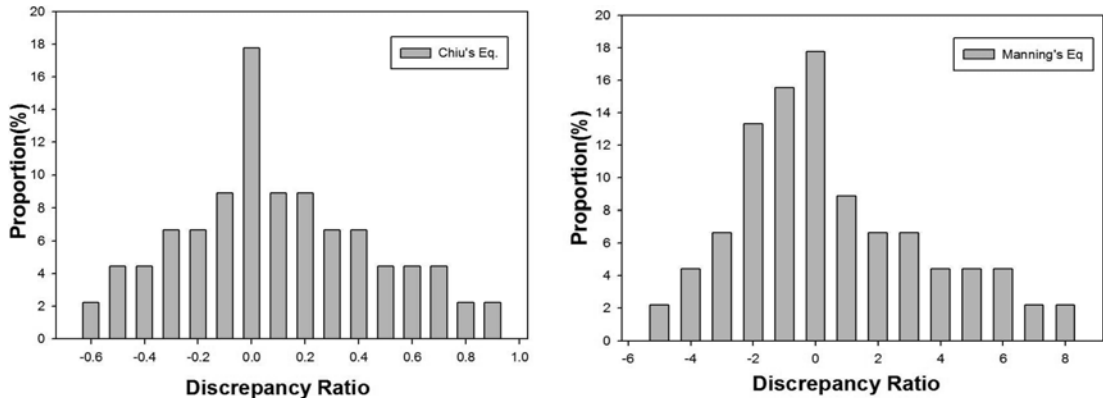


Fig. 6 Discrepancy Ratio by using Chiu's Equation with USACE (1935)

부산대학교 수리실험실에서 제공되어 곽승진(2008)의 석사학위논문에서 사용되어진 자료(2006)와 United States Army Corps of Engineers(USACE, 1935)에서 제공한 유량자료를 사용하여 분석하였으며, 그 결과 값은 Table 2 및 Fig. 3, Fig. 4와 같다.

선형적인 평균유속과 최대유속과의 관계에서 기울기에 해당하는 은 각각 0.8535와 0.9126로 결정되었고, 결정계수 값은 각각 0.9993과 0.9994로 1에 근사한 것으로 분석되었다. 이와 같이 제안된 방법에 의하여 산정된 결과는 부정류의 흐름에서도 기존의 수위-유량관계곡선식이나 Manning의 평균유속공식을 활용한 방법에 비해 정확성이 크게 향상되는 것으로 분석되었다.

검증의 방법으로 각각의 데이터를 분석하여 산출된 예측유량과 실측유량의 Discrepancy Ratio를 이용하여 각각의 데이터를 분석하고 산출된 유량과 관측유량과의 차이는 정도를 비교하였다. 국외 실측데이터를 적극 활용하여 얻어진 결과그래프에서 보듯이, Chiu의 유속공식을 통해 추정된 유량값이 Manning의 유속공식 적용해 산출된 유량 값이 실측값과 더욱 근사한 것으로 분석되었다. Chiu와 Manning 유속공식에 의한 유량추정에서 예측유량(Q_p)과 관측유량(Q_m)의 비율에 log를 취한 값으로 $R_D = \log(Q_p/Q_m)$ 으로 결정되고 이 값이 0보다 크면 예측값이 과잉추정 된 경우이고, 0보다 작은 음의 값을 가지면 과소평가 된 경우이다. Fig. 5와 Fig. 6의 그림에서 보는 바와 같이 유속공식에 의한 예측 유량값의 분포도와 기존의 방식에 의한 예측 유량값의 분포도를 비교해 보았을 때, Manning공식에 의한 유량값은 오차범위가 -10~8로 광범위한 반면, 확률론적 엔트로피 기법에 의해

산정된 유량값의 오차범위는 -0.6~1.0으로 제안된 방법이 개선효과가 큰 것으로 분석되었다.

6. 결 론

본 연구에서는 수위만의 함수로 작성되는 기존의 수위-유량관계곡선식을 개선하기 위하여 하천의 수리특성인자의 활용과 확률론적 방법인 엔트로피 기법을 연계하여 하천 유량을 산정할 수 있는 방법을 제시하였다.

기존 수위-유량 관계곡선식에서는 일반적으로 선형보간(의삽)으로 수위-유량관계곡선을 연장하여 활용하고 있어 특히 고수위에서의 유량 크기의 차이가 크게 발생한다. 캐나다 알버트대학교에서 제공한 유량관측자료를 분석한 결과 실험실 내에서 측정된 유량은 관측절차상 일관성이 있으므로 0.99이상의 양호한 결정계수를 가지는 단일 회귀식이 유도되지만 관측 및 유량환산에 따른 다양한 오차를 내포하여 분산도가 비교적 크다고 판단되는 자연하천(1968)에서는 특히 고수위 부분에서 비슷한 결정계수 값을 가진 회귀곡선이 다양하게 존재한다. 이를 개선하기 위하여 기본적인 수리특성 인자를 활용하여 Manning의 평균유속공식과의 실측된 유속 값과의 관계를 분석하고 이때 결정된 조도계수를 활용하여 유량을 산정한 결과 기존 수위-유량관계곡선식 보다 정확성이 향상된 것으로 분석되었지만 홍수기의 특성인 부정류의 흐름과 고수위부 유량특성을 반영하는 데는 한계가 있다.

따라서 실측자료인 평균유속과 하천의 특성을 나타내는 각 수리학적인자로부터 엔트로피 개념을 도입하여 하천유량을 산정하는 2차원 유속공식을 개발하였다. 평균유속과 최대유

속과의 관계를 나타내는 식 (8)로부터 하천의 평형상태를 나타내는 엔트로피 함수 $\Phi(M)$ 를 도출하였다. USACE(1935) 등에서 제공된 유량자료를 결과 $\Phi(M)$ 의 결정계수는 각각 0.9993과 0.9994로 양호하게 분석되었으며, 함수의 기울기로 나타는 각 값은 각각 0.8535와 0.9126로 결정되었다. 이를 활용하여 하천유량을 재산정한 결과 기존의 수위-유량 관계곡선식은 물론이고 Manning의 평균유속공식을 활용한 방법에 비해서도 개선효과가 크게 향상된 것으로 분석되어 향후 수자원 실무에 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

참고문헌

- 곽승진(2008) Chiu 유속분포공식의 적용성에 관한 연구. 석사학위논문, 부산대학교.
- 권현환 등(2008) Hierarchical Bayesian 방법을 이용한 수위-유량 관계 곡선 유도 및 불확실성 분석, 2008년도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 1211-1214.
- 김경훈 등(2008) 최우도 모형을 이용한 수위-유량곡선식 개발, 대한환경위생공학학회지, 대한환경위생공학학회, pp. 83-93.
- 김창완 등(2008) 자연하천에서 Chiu의 유속분포와 최대유속 추정을 이용한 유량산정, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, Vol. 41, No. 6, pp. 575-585.
- 장기환, 이재형(2005), 하천 수위-유량곡선식 개선 및 모형개발, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, Vol. 38, No. 4, pp. 271-280.
- 추태호(2002) 엔트로피 개념에 의한 유량추정 기법(1) - 최대유속을 중심으로 -, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제22권 제4B호, pp. 495-55.
- 추태호 등(2000) 감조하천에서 수위-유량관계곡선식에 관한 연구, 한국수자원학회 2000년도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 535-540.
- 추태호, 옥치을, 김진원 맹승진(2009) 엔트로피 개념을 이용한 관수로내의 유속분포에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제29권 제4B호, pp. 357-363.
- Peterson, A.W. and Howells, R.F. (1973) A Compendium of Solids Transport Data for Mobile Boundary Channels, HY-1973-ST3.
- Alexandre Hauet, Jean-Dominique Creutin, Philippe Belleudy (2008) Sensitivity study of large-scale particle image velocimetry measurement of river discharge usvel eumerical simulation, Journal of Hydrology, Vol. 349, Issues 1-2, pp. 178-190.
- Asgeir Petersen-Overleir, Trond Reitan (2009) Accounting for rating curve imprecision in flood frequency analysis using likelihood-based methods, Journal of Hydrology, Vol. 366, Issues 1-4, pp 89-100.
- Brook, N.H. (1954) Laboratory studies of the mechanics of streams flowing over a movable bed of fine sand, Ph.D. Thesis, California.
- Chiu, C.-L. (1978) Three-dimensional open channel flow., Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 104, No. 8, pp. 1119-1136.
- Chiu, C.-L. (1987) Entropy and probability concepts in Hydraulics, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 5, pp. 583-599.
- Chiu, C.-L. (1988) Entropy and 2-D velocity distribution in open channels, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 10, pp. 738-756.
- Chiu, C.-L. and Chen, Y.-C. (2002) An efficient method of discharge measurement in tidal streams, Journal of Hydrology 265, pp. 212-224.
- Chiu, C.-L. and Tung, N.C. (2002), Maximum and regularities in open-channel flow, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 128, No. 4, pp. 390-398.
- Moramarco, Tommaso; Saltalippi, Carla; Singh, Viyay P.J. (2004) Hydrologic Engrg., Vol. 9, No. 1, pp. 42-50.
- Chow, V.T. (1959) Open channel hydraulics. Mcgraw-Hill book company, pp. 98-135.
- Sahoo, G.B. and Ray, C. (2006) Flow forecasting for a Hawaii stream using rating curves and neural networks, Journal of Hydrology, Vol. 317, Issues 1-2, pp 63-80.
- Leon, J.G., Calmant, S., Seyler, F., Bonnet, M.-P., Cauhopé, M., Frappart, F., Filizola, N., and Fraizy, P. (2006) Rating curves and estimation of average water depth at the upper Negro River based on satellite altimeter data and modeled discharges, Journal of Hydrology, Vol. 328, Issues 3-4, pp. 481-496.
- Lee, sangjin, Jeong, taesung (2009) Development of Regression Equations for the Water Discharge Estimation in Tidally Affected Rivers, Journal of Hydraulic Division, KSCE, Vol. 13, No. 3, pp. 195-203.
- Majid Rahimpour, Mahmoud F. Maghrebi (2006) Prediction of stage-discharge curves in open-channels using a fixed-point velocity measurement, Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 17, Issue 5, pp. 276-281.

(접수일: 2009.7.23/심사일: 2009.9.14/심사완료일: 2009.10.17)