

평균유속공식을 활용한 하천 유량 산정

Estimation of Discharge Using Mean Velocity Equations

추 태 호* / 고 덕 구** / 이 상 진***
Choo, Tai Ho / Koh, Deuk Koo / Lee, Sang Jin

Abstract

This study proposed the method that can calculate discharge using hydraulic characteristics that can acquire easily-comparatively such as hydraulic radius, bed slope, depth to improve the stage-discharge curve equation considering only stage. Roughness coefficient n value and C value that hydraulic characteristics of rivers is reflected from Manning's equation and Chezy's equation using the measured data of the natural open channel in the report of Albert University estimated and calculated discharge on the basis of this. The method proposed in this study was calculated stunningly to measured discharge. And that compared with discharge by existent stage-discharge curve.

Keywords : Stage-Discharge curve equation, Regression analysis, Mean velocity equations

요 지

본 연구에서는 기존의 수위만을 고려하여 작성된 수위-유량관계곡선식을 개선하기 위하여 경심, 하상경사, 수심 등 비교적 쉽게 취득할 수 있는 하천의 수리특성인자를 활용하여 유량을 산정할 수 있는 방법을 제안하였다. 알버타 대학에서 제공된 보고서 내용 중 수리실험실 및 자연하천의 수리자료를 활용하여 평균유속 공식인 Manning식과 Chezy식으로부터 하천의 수리학적 특성이 반영된 조도계수 n 값과 C 값을 산정하고 이를 토대로 유량을 산정하였다. 제안된 유량산정 방법은 실측치에 근사하여 정확도가 개선됨을 확인하였으며 기존의 수위-유량관계곡선식에서 추정된 유량과 비교하고 그 적용성을 검토하였다.

핵심용어 : 수위-유량관계곡선식, 회귀분석, 평균유속공식

1. 서 론

유역의 수자원을 정확하고 합리적으로 관리하기 위해서는 신뢰도 높은 수문자료의 생산이 무엇보다 중요하다. 이러한 기초 수문자료는 저수지 운영, 수공구조물 설

계 및 유역의 수자원 계획·평가 등을 위한 기본자료로 이용된다. 일반적으로 연속적인 유량값을 얻기 위하여 하천 수위관측이 용이한 주요지점에 수위관측소를 설치한 후, 수위-유량 관계곡선식을 수자원 실무에 활용하고 있다. 그러나 현재의 수자원 기초조사는 관측지점 및 측

* 부산대학교 토목공학과 부교수
Pusan National University, Busan 609-735, Korea (e-mail: thchoo@pusan.ac.kr)
** 한국수자원공사 Kwater 연구원 수자원연구소 소장
K-water Institute, 462-1 Jeonmin-dong, Daejeon 305-730, Korea (e-mail: dkkoh@kwater.or.kr)
*** 교신저자, 한국수자원공사 Kwater 연구원 책임연구원
Corresponding Author, K-water Institute, 462-1 Jeonmin-dong, Daejeon 305-730, Korea (e-mail: sjlee@kwater.or.kr)

정횡수의 부족, 관측시설의 노후와 측정자료의 부족 및 관측의 소홀, 수문자료 관리기술 및 체계의 불충분, 물 관리 기술개발의 미흡 등으로 자료에 대한 신뢰도가 저하된 실정이다. 또한 최종적으로 환산된 유량자료는 다음과 같은 오차가 발생할 수 있다. 첫째, 평균유속으로의 환산에 사용된 유속공식 선택 시 오차가 발생한다. 둘째, 수위-유량 측정 일반적으로 정밀법 대신 주로 1점법, 2점법, 3점법에 국한되어 측정하므로 이에 따른 오차가 발생한다. 셋째, 수위유량관계곡선식 작성에 따른 회귀식을 결정 할 때에도 오차를 동반하게 된다. 이러한 오차는 유량환산 자료에 전파되어 누적되므로 직접측정한 자료와 비교할 때 오차의 정도가 매우 클 수 있다. 이와 같은 주된 원인은 평균유속 이외의 수리학적 인자를 바탕으로 한 연구는 미흡한 반면, 상대적으로 단순한 1점법, 2점법, 3점법 등 기존의 한정된 평균유속 측정방법과 함께 손쉽게 접근할 수 있는 수위에 의존한 수위-유량관계곡선을 산정하였기 때문이다.

Majid Rahimpour *et al.* (2006)은 자연하천의 고정된 한 지점에서 측정된 유속분포를 이용하여 수위-유량 관계곡선을 추정하고 기존 방법의 한계와 대안을 제시하였다. Leon *et al.* (2006)은 아마존 유역의 Negro 강에서 공간적 고도계량 데이터를 기반으로 하는 Muskingum-Cunge (MC) 모델을 사용하여 수위-유량관계를 분석하고 하천유량을 산정하는 방법을 제안하였다. Asgeir and Trond (2009)는 홍수가 빈번한 지점에 부정확한 수위-유량 산정에 대한 방안으로 최우도법을 기반으로 하는 방법을 이용하였다. Sahoo *et al.* (2006)은 인공신경망기법(ANN)을 적용해 하와이 유역에 대한 수위 유량 상관관계를 분석하여 자연하천 유량을 산정할 수 있는 모형을 개발하였다. 이창해 등 (2008)은 저수위와 고수위와의 경계와 곡선접점이 일치하는지 여부를 판단하고 오차의 크기를 확인하기 위해 할선법을 적용한 연구를 수행하였다. 또한 추태호 등 (2002)은 낙동강 분류 구간에서 엔트로피 기법을 활용하여 표면유속을 산정하고 유량을 결정한 바 있으며, Lee 등 (2009)은 낙동강의 감조구간에서 기존의 수위와 유량관계에 조위영향을 포함한 수위-유량-조위차 관계 다중회귀식을 개발하였다.

그러나 이러한 연구는 기존의 수위-유량관계곡선식이 가지고 있는 한계에 대하여 명확한 접근이 쉽지 않은 것이 사실이다. 본 논문의 목표는 등류, 정류로 가정된 상태에서 유속, 하상경사, 동수경사, 수위, 폭의 값들을 고려한 뒤, 평균유속 및 유량을 산정하여 기존 수위-유량관계곡선의 개선안을 찾는 것이다. 객관적으로 신뢰도 있는 수문자료로 캐나다 환경청의 협조로 알버트 대학의 A.W. Peterson and R.F. Howells에 의해 작성

된 보고서 HY-1973-ST3 (Meter-Peter and Müller (1948), Ho (1939), Da Cunha (1969), Toffaleti (1968)에 실려 있는 실측데이터를 활용하여 하천설계 및 자연재해를 방지하기 위한 하천분석에 유용한 공식인 Manning 공식과 Chezy 공식에서의 계수 값을 추출한 후 유속과의 관계를 분석하여 기존의 수위와 유량의 관계가 아닌 하상의 물리적 매개변수들을 토대로 개선된 유량산정 방법을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

측정되지 유량을 연속적으로 추정하는 방법은 선형 회귀분석과 비선형 회귀분석의 두 가지 방법으로 분류되며 실측된 수위와 유량과의 높은 결정계수에 의해 수위-유량관계곡선식이 결정된다.

2.1 전 대수지 방법

이 방법은 수위-유량관계곡선을 Eq. (1)과 같은 식으로 가정하는 방법이다.

$$Q = a(H - z)^b \quad (1)$$

여기서 a , b 는 상수이며 z 는 수위계의 영점표고와 유량이 0이 되는 점의 표고차 (m)이고 Q 는 수위 H (m)에 해당하는 유량 (m^3/sec)을 표시한다.

유량과 수위사이에 Eq. (1)의 관계가 성립되면 전 대수방안지 (log-log paper)상에서 한 개의 직선으로 나타나기 때문에 쉽게 연장할 수 있다. 그러나 영측점의 표고가 분명하지 못할 때는 z 값을 결정하는 것이 문제가 된다. 이 경우에 전 대수지상에 수위유량관계를 나타내어 얻는 곡선이凹형이면 z 는 양의 값을 가지며 반대로凸형이면 음의 값을 가진다.

이와 같이 z 의 부호가 결정되면 Eq. (1)의 관계가 전 대수지상에서 직선에 가까워질 때까지 z 값을 가정하여 가장 적합한 z 값을 얻어 직선을 연장하게 된다. 이 방법은 우선 수위와 유량이 Eq. (1)과 같은 멱함수 (power function) 관계를 가진다는 가정에 대한 이론적인 근거가 없을 뿐 아니라 홍수위가 크게 상승하면 홍수터를 범람하는 등의 결과로 통수단면적이 급증되므로 그 적용에 있어서 세심한 주의가 요구된다.

2.2 Stevens 방법

Chezy의 평균유속공식을 이용하면 어떤 단면을 통과하는 유량은 연속방정식에 의해 Eq. (2)와 같다.

$$Q = CA\sqrt{RS} \quad (2)$$

여기서, Q 는 유량 (m^3/sec)이며, A 는 통수단면적 (m^2), R 은 동수반경 (m), S 는 에너지선의 경사이며, C 는

Chezy의 평균유속계수이다. 만약 관측점에서의 $S^{1/2}$ 이 일정하다고 가정하고 동수반경 R 을 단면의 평균수심 D_m 으로 대치하면 Eq. (3)과 같다.

$$Q = KA\sqrt{D_m} \quad (4)$$

여기서, $K = C\sqrt{S}$ 는 상수이다. K 가 상수이므로 식 (3)으로부터 관측점에서 측정되는 유량 Q 와 $A\sqrt{D_m}$ 사이에는 선형적인 관계가 있음을 알 수 있다. 그런데 유량 Q 는 이와 동시에 측정되는 수위 H 의 함수이며 $A\sqrt{D_m}$ 은 하천측량으로부터 얻어지는 관측점의 횡단면도에서 특정수위에 따라 그 값이 결정되므로 $A\sqrt{D_m}$ 또한 수위 H 의 함수이다. 따라서 선형 방안에 $Q \sim A\sqrt{D_m}$ 관계곡선과 $H \sim A\sqrt{D_m}$ 관계곡선을 함께 표시하여 연장함으로써 고수위에 해당하는 유량을 추정할 수 있다.

2.3 선형 회귀분석 (Linear Regression)

선형 회귀분석은 Eq. (4)에서 각 변에 자연로그를 취하면 Eq. (4)와 같다.

$$Q = a(h + b)^c \quad (5)$$

수위-유량곡선식은 다음 Eq. (5)와 같이 변환된다.

$$\ln Q = \ln a + c \ln(h + b) \quad (6)$$

따라서 $\ln(h + b)$ 를 설명변수로 하고 $\ln Q$ 를 반응변수로 하여 단순선형 회귀모형을 구성할 수 있다. 각 오차의 제곱의 합을 최소로 하는 최소제곱법 (least squares method)으로 위 식의 매개변수를 추정할 수 있다.

2.4 비선형 회귀분석 (non-linear regression)

비선형 회귀분석은 수위-유량곡선식을 반응변수 y 를 Q 로, 설명변수 x 를 h 로 하는 비선형 회귀모형으로 나타내면 Eq. (6)과 같다.

$$y_i = f(x_i, \theta) + \epsilon_i = a(x_i + b)^c + \epsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

여기서, θ 는 미지의 p 차원 매개변수 벡터를 곡선식을 분할하지 않을 경우 3차원이 된다. ϵ_i 는 오차항으로 평균이 0이고 분산이 σ_i^2 인 정규분포를 갖고 서로 독립인 확률변수로 가정한다. 매개변수 θ 의 추정방법으로 주로 최소제곱을 사용한다. 또한, 오차항의 분산이 일정하다면 OLS (ordinary least squares)를 구하여 사용할 수 있다. 즉, $\hat{\theta}$ 은 오차의 제곱합을 최소화하는 θ 값으로 주어지므로 매개변수를 구하는 것은 Eq. (7)과 같은 최적화 문제로 바뀐다.

$$\min_{\theta} J(\theta) = \sum_{i=1}^n [e_i]^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8)$$

여기서 y_i 는 i 번째 관측유량이며 \hat{y}_i 는 추정된 매개변수

에 의한 i 번째 예측유량이며 n 은 관측자료의 개수이다.

3. 기존 수위-유량 관계곡선식 분석

수위-유량관계곡선의 고수위부에서 정확한 유량을 산정하기 위해서는 합리적인 기법에 의해 이용한 수위-유량관계곡선을 연장할 필요가 있다. 일반적으로 고수위에 대한 수위-유량관계곡선의 연장은 선형보간(외삽)을 통하여 이루어지고 있어 고수위에서의 유량 크기의 차이가 크게 발생한다. 고수위에서의 유량차이는 전체 유량 체적의 큰 변화를 초래하므로 댐 유입/유출량 산정, 취수 및 방류량 산정 등 이수·치수적인 측면에서 물 관리의 효율성을 저해하는 요인이 되고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 신뢰도 있는 관측자료를 활용해 분석하였다.

Figs. 1 and 2는 개수로 흐름에 대한 분석으로 Meter-Peter and Müller (1948)에서 $B=0.5$ (m), $D_{50}=2.690$ (mm)의 조건에서 19개 측정의 데이터와 Ho (1939)에서 $B=0.399$ (m), $D_{50}=3.130, 4.360, 6.280, 3.010, 6.010, 1.400$ (mm)의 다양한 유수량 조건의 80개의 측정에서 실측한 개수로 수리실험실 자료를 활용하였다. 자연하천 경우 Da Cunha (1969)가 Portugal River에서 관측한 자료와 Toffaleti (1968)이 Atchafalaya River에 대해 연구한 관측자료를 활용하였다.

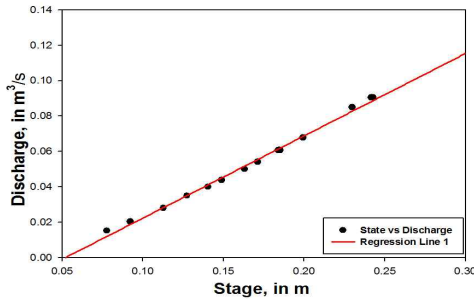
Fig. 1 (a)의 경우는 0.99 이상의 상관계수 값으로 분석되어 하나의 회귀식으로 결정할 수 있지만 Fig. 1 (b)의 경우는 비교적 분산도가 커서 상관계수가 비슷한 회귀식이 여러 개 도출될 수 있다. 향후 이렇게 결정된 회귀식으로부터 수위자료를 활용하여 유량으로 환산한다면 특히 고수위 부분에서 큰 오차를 나타낼 수 있다.

Figs. 2 (a) and 2 (b)에서도 마찬가지로 상관계수의 값이 높더라도 수위-유량관계곡선식을 결정하는 것은 상대한 오차를 발생시킬 수 있는데 Tables 1 and 2에 나타난 것과 같이 상관계수의 값의 차이가 작은 데 비해 추정곡선은 다양하게 나타나기 때문이다.

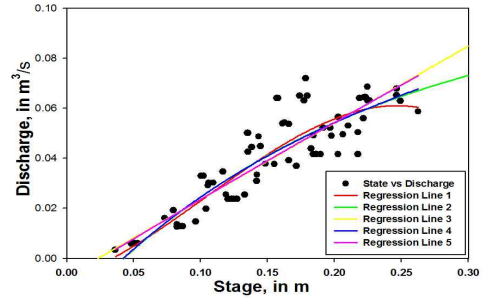
4. 수위-유량 관계곡선식 개선

4.1 평균유속공식을 활용한 유량 산정

본 연구에서는 수위만으로 산정되는 단순한 수위-유량관계곡선의 관계를 벗어나 R (동수반경) $=A$ (횡단면적) $/P$ (윤변), S_f (에너지경사) $=h$ (수심) $/L$ (길이), (하상경사) $=z/L=tan\alpha$ (수로바닥경사각도) 등을 이용하여 물리적 의미가 포함된 Manning과 Chezy의 유속공식과의 실측된 유속 값과의 관계를 분석하였다. 실험실 내와



(a) Meter-Peter and Müller (1948) data

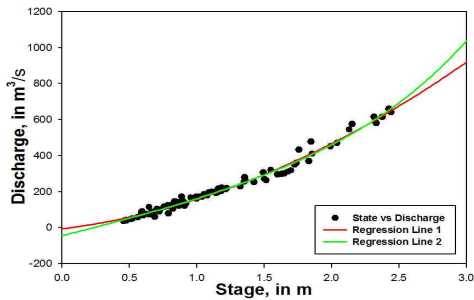


(b) Ho (1939) data

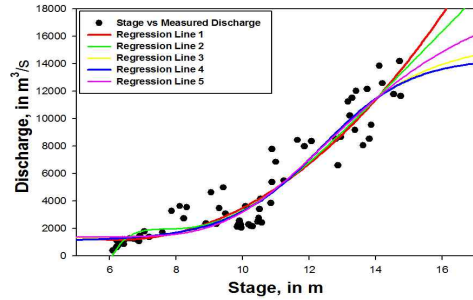
Fig. 1. Stage-Discharge Curve Eq In the Lab

Table 1. Comparison Each H-Q Curve Eq. and R^2

Fig. 1 (a) case		Fig. 1 (b) case		
H-Q curve Eq.	R^2	H-Q curve Eq.	R^2	
$Q = 0.4652H - 0.0242$	0.9949	1	$Q = -0.0080 + 0.1737H + 1.9941H^2 - 6.3401H^3$	0.8141
		2	$Q = 0.1052 - 0.0771e^{4.6156H} - 0.0509e^{-4.6159H}$	0.8079
		3	$Q = -0.0071 + \frac{0.3069(e^{5.7775E-010} - 1)}{5.7775E-010}$	0.7911
		4	$Q = \frac{1 - 23.7111H}{-42.8437H - 13.5566H}$	0.8069
		5	$Q = \ln(0.9919 + 0.3196H)$	0.7933



(a) Da Cunha (1969) data



(b) Toffaleti (1968) data

Fig. 2. Stage-Discharge Curve Eq. in the Nature Open Channel

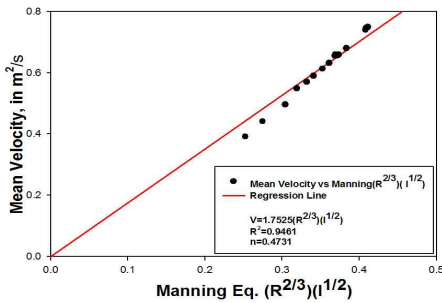
자연하천의 측정결과를 이용한 경우는 $y = a \times x$ 형태를 가진 Manning과 Chezy 공식을 유도하여 조도계수 (n), 계수 (C) 값을 결정하였다.

Meter-Peter and Müller (1948)의 실험실수로에서의 관측자료를 토대로 분석한 결과값으로 Fig. 3 (a)에서는 Manning의 조도계수 n 값은 0.4731, R^2 이 0.9461로 산출

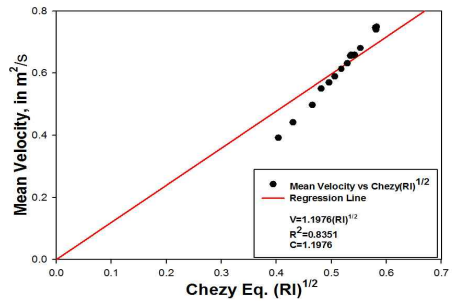
되었고 Fig. 3 (b)에서는 Chezy의 계수 C 값 1.1976, 결정 계수 값이 0.8351으로 산출되어 높은 상관성을 나타내었다. Ho (1939)의 관측자료를 토대로 분석한 결과값으로 Fig. 4 (a)에서는 Manning의 조도계수 n 값 0.4151, R^2 이 0.9471이 산출되었고 Fig. 4 (b)에서는 Chezy의 계수 C 값 1.5929, R^2 이 0.9141으로 산정되어 역시 상관도가 높았으

Table 2. Comparison Each H-Q Curve Eq. and R²

Fig. 2 (a) case		
	H-Q Curve Eq.	R ²
1	$Q = -6.6520 + 93.1366H + 71.7862H^2$	0.9823
2	$Q = -133548.4466 + 22.6864e^{1.1049H} + 133481.5058e^{0.0012H}$	0.9832
Fig. 2 (b) case		
	H-Q Curve Eq.	R ²
1	$Q = 6738.8257 - 1744.1611H + 126.5928H^2 + 1.5489H^3$	0.8913
2	$Q = 103100.8516 + \frac{-2322952.5079}{H} + \frac{17810262.6901}{H^2} + \frac{-45584178.726}{H^3}$	0.8986
3	$Q = 1306.6878 + \frac{14492.9971}{1 + \left(\frac{H}{12.6254}\right)^{-8.1321}}$	0.8974
4	$Q = 1077.0457 + \frac{13323.1310}{\left[1 + e^{-\left(\frac{H-12.5432}{1.3151}\right)}\right]^{0.8770}}$	0.8979
5	$Q = 1397.00 + 18288.2753e^{-e^{-\left(\frac{H-12.4866}{2.9684}\right)}}$	0.8957

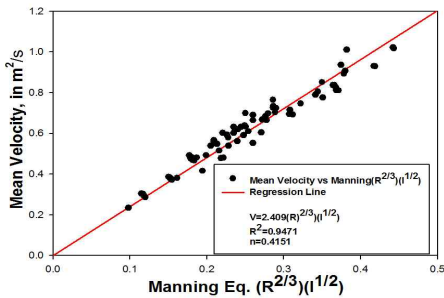


(a) Relationship between mean velocity and Manning Eq. in lab.

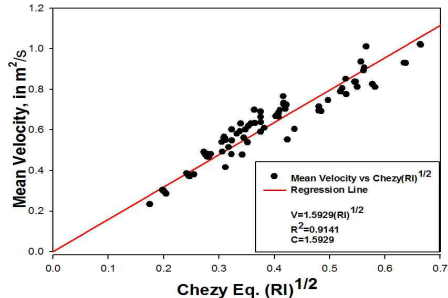


(b) Relationship between mean velocity and Chezy Eq. in lab.

Fig. 3. Analysis of Relationship between Mean Velocity and Two Equations (Manning Eq, Chezy Eq.)-Meter-Peter and Müller (1948) Data



(a) Relationship between mean velocity and Manning Eq. in lab.

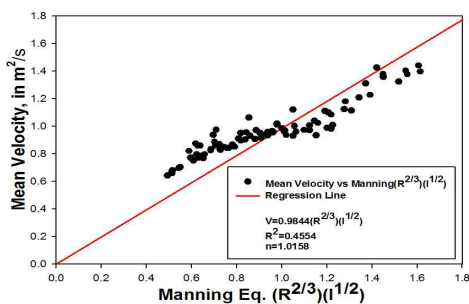


(b) Relationship between mean velocity and Chezy Eq. in lab.

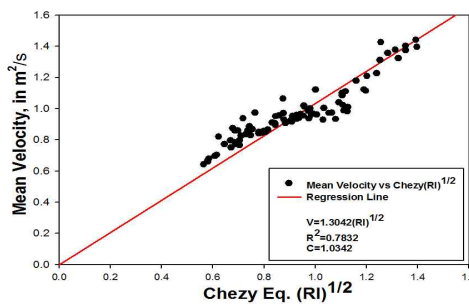
Fig. 4. Analysis of Relationship between Mean Velocity and Two Equations (Manning Eq, Chezy Eq.)-Ho (1939) Data

Table 3. Estimation Manning and Chezy Eq.

Figs. 3 and 4						
	Manning's Eq.	n	R^2	Chezy's Eq.	C	R^2
1	$V = 1.7525R^{2/3}I^{1/2}$	0.4731	0.9461	$V = 1.1976\sqrt{RI}$	1.1976	0.8351
2	$V = 2.409R^{2/3}I^{1/2}$	0.4151	0.9471	$V = 1.5929\sqrt{RI}$	1.5929	0.9141

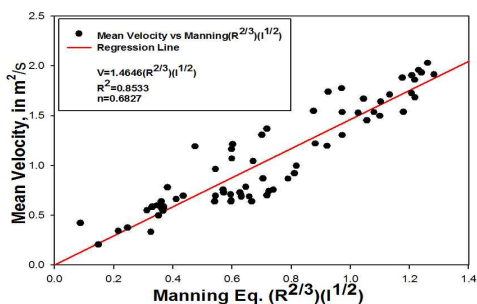


(a) Relationship between mean velocity and Manning Eq. in the natural open channel

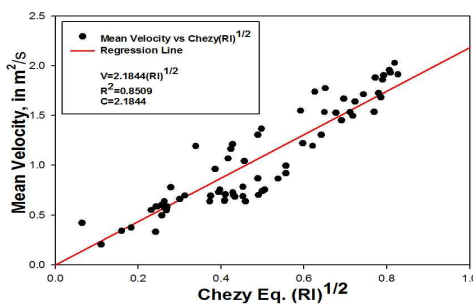


(b) Relationship between mean velocity and Chezy Eq. in the natural open channel

Fig. 5. Analysis of Relationship between Mean Velocity and Two Equations (Manning Eq, Chezy Eq.)—Da Cunha (1969) Data



(a) Relationship between mean velocity and Manning Eq. in the natural open channel



(b) Relationship between mean velocity and Chezy Eq. in the natural open channel

Fig. 6. Analysis of Relationship between Mean Velocity and Two Equations (Manning Eq, Chezy Eq.)—Toffaletti (1968) Data

며, 이에 대한 결과값은 Table 3에 정리하였다.

자연하천의 경우, Da Cunha (1969)이 조사한 Portugal River에서의 관측자료를 토대로 분석한 결과로 Fig. 5 (a)와 같이 Manning의 조도계수 n 값은 1.0158, R^2 은 0.4554로 산출되었고 Fig. 5 (b)에서는 Chezy의 계수 C 값이 1.3042, R^2 은 0.7832로 산출되어 실험실 수로 자료보다 낮은 상관성을 보였다. 또 다른 자연하천으로 Toffaletti (1968)이 Atchafalaya River에서 관측한 자료를 토대로 분석한 결과 Fig. 6 (a)에서는 Manning의 조도계수 n 값

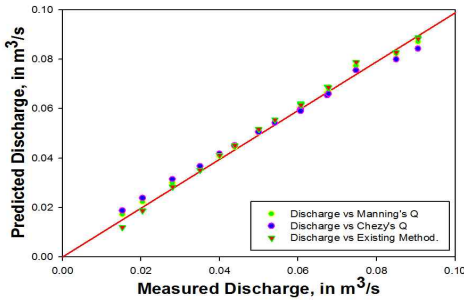
0.6827, 결정계수값은 0.8533으로 산출되었고 Fig. 4 (b)에서는 Chezy의 계수 C 값 2.1844, 결정계수값이 0.8509로 비교적 높은 상관성을 나타내었다. 이에 대한 결과값은 Table 4와 같다.

5. 결과분석

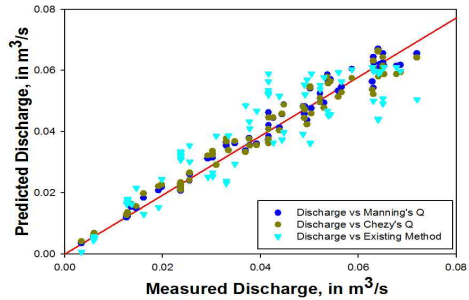
분석된 바와 같이, Manning식과 Chezy식으로 결정된 조도계수와 계수 C 값을 활용하여 유량을 산정하였다.

Table 4. Estimation Manning and Chezy Eq.

Figs. 5 and 6						
	Manning's Eq.	n	R^2	Chezy's Eq.	C	R^2
1	$V = 0.9844R^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$	1.0158	0.4554	$V = 1.3042\sqrt{RI}$	1.3042	0.7832
2	$V = 1.4646R^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$	0.6827	0.8533	$V = 2.1844\sqrt{RI}$	2.1844	0.8509

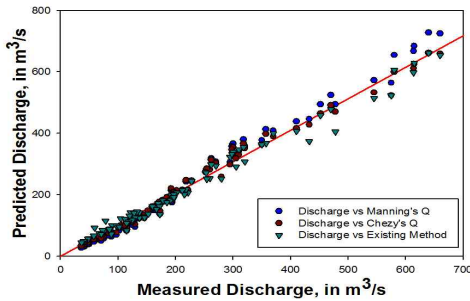


(a) Meter-Peter and Müller (1948) data

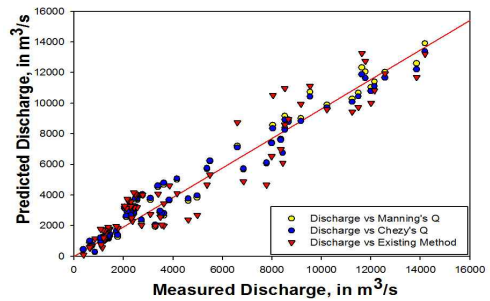


(b) Ho (1939) data

Fig. 7. Analysis of Relationship Measured Discharge and Predicted Discharge (Laboratory)



(a) Da Cunha (1969) data



(b) Toffaletti (1968) data

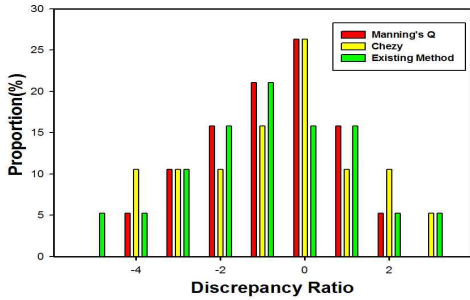
Fig. 8. Analysis of Relationship Measured Discharge and Predicted Discharge (Natural Open Channel)

Fig. (7)은 실험실수로에서의 자료를 활용한 결과로써, Figs. 7 (a) and 7 (b)에서 보듯이 본 연구를 통해 산출된 유량값이 기존의 방식보다 관측된 유량값에 더욱 근사한 걸 알 수가 있었다. 이와 마찬가지로, Fig. 8의 경우는 자연하천에 대한 분석이다. Manning식과 Chezy식을 이용해 기존의 식과 비교한 결과 그 오차가 확실히 적어짐을 확인할 수 있다.

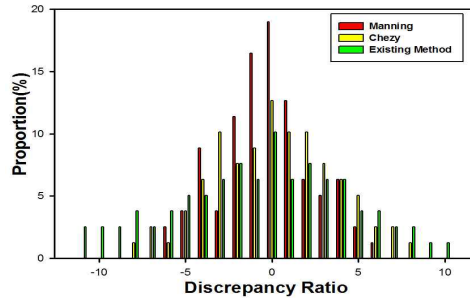
본 연구에서는 기존의 통용되고 있는 Manning 공식과 Chezy공식을 이용하여 하천수리학인들의 특성을 적용한 뒤 수위-유량곡선 공식 추정에 미치는 영향을 연구하였

다. 수위-유량에만 의존하는 추정곡선에 반해, 하천의 특성을 반영하는 인자들로 산정해 낸 n 값, C 값을 적용, 계산된 Manning, Chezy에 의한 유량을 실제 적용·검토하였다. 실측된 실제 하천의 흐름에서 발생하는 유속을 토대로 회귀분석을 통하여 수위-유량관계를 분석함으로써 다양한 수리학적 인자를 고려한 유량 산정방법이 될 수 있다.

국의 실측데이터를 적극 활용하여 얻어진 결과그래프에서 보듯이, 기존의 방식에서 추정된 유량에 비해 Manning, Chezy 유속공식을 적용해 산출된 유량 값이 실측값과 더욱 근사한 것으로 분석되었다. 이를 검증하기

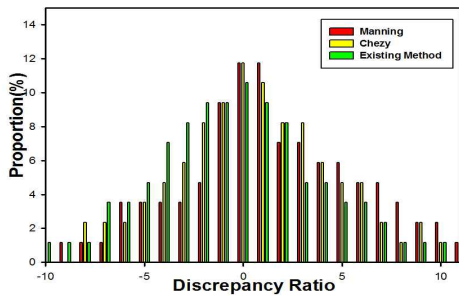


(a) Meter-Peter and Müller (1948) data

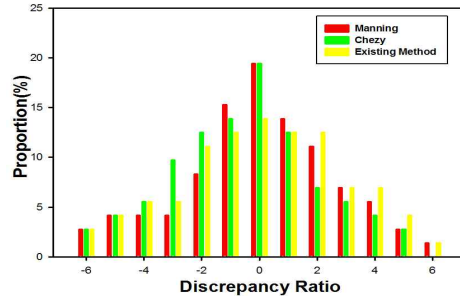


(b) Ho (1939) data

Fig. 9. Comparison of Discrepancy Ratio of Rating Curve Equation for Measured Data (Laboratory)



(a) Da Cunha (1969) data



(b) Toffaleti (1968) data

Fig. 10. Comparison of Discrepancy Ratio of Rating Curve Equation for Measured Data (Natural Open Channel)

위한 방법으로 Discrepancy Ratio를 이용하여 각각의 데이터를 분석하고 산출된 유량과 관측유량과의 차이나는 정도를 비교하였다. Manning과 Chezy 유속공식과 기존의 높은 상관계수를 사용하는 추정식에 의한 추정식의 유량 (Q_p)과 관측유량 (Q_m)의 비율에 \log 를 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. Figs. 9 (a) and 9 (b)에서 보는 바와 같이 유속공식에 의한 개선된 유량값의 분포도와 기존식에 의한 유량값의 분포도를 비교한 결과, 물리적인 의미가 고려된 평균유속을 이용한 유량산정법이 관측치와 더욱 근사한 것으로 나타났다. Figs. 10 (a) and 10 (b)와 같이 자연하천에서의 경우도 마찬가지로 모두 정규분포의 형태를 만들지만 평균유속을 이용한 방법이 우월하다는 것을 증명하였다.

6. 결론

본 연구에서는 기존의 수위에만 의존한 수위-유량관계곡선식을 대신하여, 수리학적 특성을 반영한 정보를

활용하여 평균유속공식으로 부터 신뢰성 있는 유량값의 연속적인 획득이 가능한 방법을 제안하였다. 이 방법은 기존의 수위만을 고려하여 작성된 수위-유량관계곡선식을 개선하기 위하여 경심, 하상경사, 수심 등 비교적 쉽게 취득할 수 있는 하천의 수리특성인자를 활용하여 유량을 산정할 수 있는 방법이다.

우선적으로 수문자료의 객관성을 확보하기 위하여 캐나다 환경청의 협조로 알버트대학의 Peterson and Howells (1973)에 의해 작성된 보고서에서 제공된 수리실험실 및 자연하천 수문 Data를 활용하여 Manning식과 Chezy 유속공식의 관계로부터 하천의 수리학적 특성이 반영된 조도계수 n 값과 C 값을 산정하였다.

Meter-Peter and Müller (1948)의 실험실수로의 관측 자료를 토대로 분석한 결과 Manning의 n 값은 0.4731, Chezy의 계수 C 값은 1.1976으로 산정되었고, R^2 은 각각 0.9461, 0.8351로 높은 상관성을 나타내었다. Ho (1939)의 관측자료를 분석한 결과로써 Manning의 n 값은 0.4151, Chezy의 계수 C 값은 1.5929로 산정되었고, R^2 은 각각 0.9471과 0.9141로 분석되었다. 자연하천의 경우,

Da Cunha (1969)이 조사한 Portugal River에서의 관측 자료를 토대로 분석한 결과 n 값은 1.0158, C 값이 1.3042로 산정되었으며, R^2 은 0.4554, 0.7832로 실험실 자료보다는 다소 낮은 상관도를 나타내었다. Toffaleti (1968)이 Atchafalaya River에서 관측한 자료에서는 n 값이 0.6827, C 값이 2.1844, R^2 이 각각 0.8533 0.8509로 비교적 높은 상관도를 나타내었다. 이와 같이 결정된 n 값과 C 값을 토대로 Manning, Chezy 유속공식을 적용하여 산정한 유량은 기존의 수위-유량관계곡선식에서 추정된 유량에 비해 실측값과 더욱 근사하여 정확도가 크게 개선됨을 확인하였다. 이의 검증방법으로 계산유량과 실측유량의 Discrepancy Ratio를 산정한 결과에서도 해당 하천의 수리학적 특성이 잘 반영된 이 방법이 실측치와 더 근사함을 확인하였다. 그러나 제안된 방법이 정류 및 등류가정하의 수리학적 특성을 잘 반영하는 것으로 나타났으나, 부정류의 흐름 특성을 반영하는 데는 한계가 있는 만큼 이러한 문제점을 해결할 수 있는 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

이창해, 장석환 (2008). “3차 스플라인을 이용한 수위-유량관계곡선의 점점 연결”. 2008년도 **학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 199-203.

윤용남 (2008). 수문학-기초와 응용. 청문각.

추태호 (2002). “엔트로피 개념에 의한 유량측정 기법 (II)-표면유속을 중심으로-”. **대한토목학회논문집**, 제22권, 4B호, pp. 507-515.

Asgeir, Petersen-Øverleir, and Trond, Reitan (2009). “Accounting for rating curve imprecision in flood frequency analysis using likelihood-based methods”. *Journal of Hydrology*. Vol. 366, pp. 89-100.

Da Cunha, L.V. (1969). “River mondego, Portugal”. *Personal Communication, Laboratorio Nacional De Engenharia Civil*, Lisboa.

Ho, Pang-Yung (1939). “Abhangigkeit der Geschiebebewegung von der Kornform und der Temperature”.

Preuss. Versuchsanst. für Wasserbau and Schiffbau, Berlin, Mitt., Vol. 37, pp. 43.

Lee, Sangjin, and Jeong, Taesung (2009). “Development of Regression equations for the water discharge estimation in tidally affected rivers”. *Journal of Hydraulic Division, KSCE*, 13 (3), pp. 195-203.

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.

Majid, Rahimpour, and Mahmoud, F. Maghrebi (2006). “Prediction of stage-discharge curves in open-channels using a fixed-point velocity measurement”. *Flow Measurement and Instrumentation*, Volume 17, Issue 5, October 2006, pp. 276-281.

Meyer-Peter, E., and Müller, R. (1948). *Formulas for Bed Load Transport*. Proceedings, Decond Meeting of International Association for Hydraulic Structures Research, Stockholm, pp. 26.

Peterson, A.W., and Howells, R.F. (1973). “A Compendium of Solids Transport Data for Mobile Boundary Channels”. *HY-1973-ST3*.

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, 5 February 2006, pp. 63-80.

Toffaleti, F.B. (1968). “A Procedure for Computation of the Total River Sand Discharge and Detailed Distribution”. *Bed to Surface, Technical Report No. 5*, Committee of Channel Stabilization, Corps of Engineers, U.S. Army, November.

논문번호: 09-114	접수: 2009.10.05
수정일자: 2009.12.07/2010.02.03	심사완료: 2010.02.03