

## 평균유속공식의 최적매개변수 산정에 의한 유량예측에 관한 연구

추태호<sup>1</sup>, 채수권<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 사회환경시스템공학부, <sup>2</sup>울지대학교 보건환경안전학과

### A Study on the Prediction of Discharge by Estimating Optimum Parameter of Mean Velocity Equation

Tai Ho Choo<sup>1</sup> and Soo Kwon Chae<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Civil Environmental Engineering, Pusan National University

<sup>2</sup>Division of Environmental Health and Safety, Eulji University

**요약** 이수 및 치수, 수공구조물 설계 등을 위한 하천 설계의 중요한 요소로써, 유량의 정확한 산정은 매우 중요하다. 현재 하천의 유량 생산은 수위-유량관계 곡선법을 사용하고 있다. 수위-유량 관계 곡선법은 측정된 수위와 유량 자료를 바탕으로 홍수기 때의 유량을 회귀 분석으로 예측하여 사용하는 방법이다. 비교적 간편하게, 특히 측정이 어려운 홍수기 때에 유량을 예측하여 사용 할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 수위와 유량만의 관계를 이용하므로 동수반경, 에너지경사, 지형, 조도 등 하천의 수리적 특성인자를 반영하지 못하므로 기본적으로 개선되어야 할 사항이 있다. 따라서, 본 연구에서는 하천유량을 예측하는 새로운 방법론의 하나로 KSCE에 기 게재된 Choo 등(2011)에서 제안한 Manning식과 Chezy식의 경험적 매개변수의 편리한 산정법을 이용하여 하천의 유량을 예측하였다. 실험실 사형 개수로와 India 운하에서 측정된 데이터를 바탕으로 이를 증명하였고 결정계수 0.8 수준의 정확성을 보여주었다. 따라서 본 연구가 지속적으로 수행된다면 수리적 특성을 반영하면서도 간단하게 유량을 예측할 수 있는 방법을 통하여 실무에서도 간편하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

**Abstract** The accurate estimation of discharge is very essential as the important factor of river design for the utilization and flood control, hydraulic construction design. The present discharge production is using the stage-discharge relationship curve in the river. The rating curve uses the method by predicting the discharge based on regression analysis using the measured stage and discharge data in a flood season. The method is comparatively convenient and has especially advantages in that it can predict the discharge having the difficulty of observation in a flood season. However, this method has basically room for improvement because the method only uses the relationship between stage and discharge, and doesn't reflect the hydraulic parameters such as hydraulic radius, energy slope, roughness, topography, etc.. Therefore, in this study, discharge was predicted using the convenient calculation method with empirical parameters of the Manning and Chezy equations, which were proposed by Choo et al (2011) in KSCE as a new methodology for estimating discharge in open channel. The proposed method can conveniently estimate empirical parameters in both of Manning and Chezy equations and the discharge is estimated in the open channels. There are proved by using data measured in meandering lab. channel and India canal and the accuracies show about determination coefficient 0.8. Accordingly, this method will be used in actual field if this study is continuously conducted.

**Key Words** : representative roughness coefficient  $n$ , representative Chezy coefficient  $C$ , rating curve, mean velocity equation, optimum parameter

본 논문은 본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었음.

\*Corresponding Author : Soo Kwon Chae

Tel: +82-10-9010-7146 Email: cskwen@eulji.ac.kr

접수일 12년 08월 17일

수정일 (1차 12년 09월 05일, 2차 12년 09월 21일)

게재확정일 12년 11월 08일

### 1. 서론

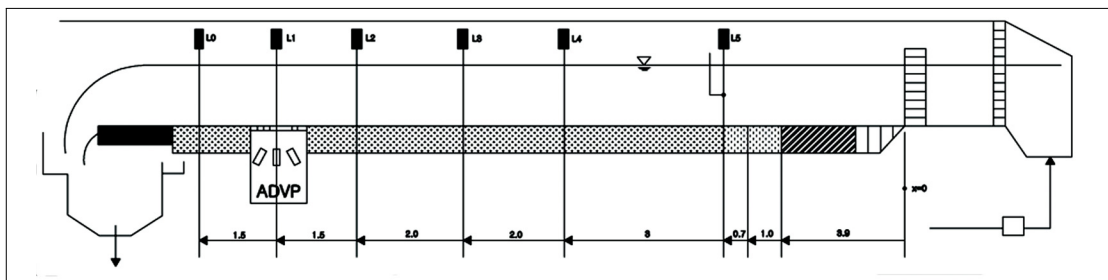
하천의 이수나 치수, 수공구조물 설계 등에 매우 중요한 인자로서 하천 유량의 정확한 산정을 위한 수많은 연구가 이루어져 왔다. 국내외에서 가장 널리 사용되어온 방법은 수위-유량 관계곡선식에 의한 방법이다. 이 방법은 시간 혹은 분단위로 측정된 수위자료와 간헐적으로 측정된 유량자료와의 관계를 수식으로 표현하여 활용하는 것이다. 이 방법은 매우 편리하게 하천의 유량을 생산할 수 있는 장점이 있지만 수위와 유량 사이의 관계를 이용하기 때문에 해당 하천 지점의 지형이나, 조도, 경사 등 수리적인 특성을 반영하지 못하므로 오차의 가능성을 잠재하고 있다. 이미 과거의 연구에서 수위-유량 관계곡선이 고리형 특성을 나타내는 이유로 Cunge 등(1980)은 유량과 하상경사, 조도계수 등이라고 하였다.[5]

반면 간편하게 하천의 유량을 산정하는 공식 중 가장 널리 알려진 공식은 Manning식과 Chezy식이 있다. 이 두 식은 동수경사와 에너지 경사를 반영 하는 등 비교적 하천의 수리적 특성을 잘 반영한다. 이들 식은 기본적으로 정류 조건에서 잘 맞는 것으로 알려져 있으나 실제 하천의 유량산정에도 널리 이용되어 오고 있다. 이 두 식의 가장 중요한 매개변수는 경험적으로 산정되어지는 Manning식의 조도계수  $n$ 과 Chezy식의 Chezy계수  $C$ 가 있다. 동수반경이나 에너지 경사, 수면경사 등은 계산적으로 혹은 실측에 의해 구해질 수 있으나 조도계수와 Chezy계수는 수위, 유량, 만곡부나 하상의 구성성분이나 형상, 경사, 식생의 분포 현황 등에 따라 달라지며 매우 다양하고 복합적인 인자들에 의해 영향을 받는다. 특히 이 매개변수 들은 공간적, 시간적으로 변화하는 값이므로 일반화를 위해서 많은 연구가 수행되어 왔다.

Lee et al. (2011)에서는 사진해석 방법을 활용하여 국가하천이나 지방하천같이 기본계획 수립시 하천 단면 측량을 시행하고 수위 및 유량 실측자료가 많아 상대적으로 조도계수 산정이 용이한 지역이 아닌 실측자료가 전

무한 우리나라의 소하천에 대하여 조도계수 값을 추정하는 연구를 수행하였다.[10] Kim et al. (2011)에서는 국내의 주요 3대 하천인 한강, 낙동강, 금강에 대하여 하상재료의 입도분포를 이용하는 방법과 수치모형을 이용하는 방법으로 조도계수를 산정하였고 이 결과를 기존의 하천 정비기본계획상에서 제시하는 조도계수와 비교하였으며 두 값 사이에는 상당한 값의 차이가 있음을 제시하였다.[7] Kim et al.(2007)에서는 자갈하천에서 실측한 자료를 이용하여 유량 변화에 따른 조도계수 변화를 분석하고 기존 조도계수 경험식의 적용성을 검토하기 위해서 미 지질조사국의 NCALC모형을 이용하여 대상구간 조도계수를 산정하였고 평저수기에 조도계수와 하상입도가 상관성이 있는 것으로 확인되었으나 홍수기의 상관성과는 다르게 나타남을 확인한 바 있다.[6] Lee et al.(2010)에서는 하상재료 입경별 국내 하천의 조도계수 특성에 관하여 27개 지점의 조도계수 특성을 나타내었고 분석결과 조도계수는 하상재료의 크기와는 무관하게 유량이 증가함에 따라 조도계수는 감소하다가 특정 규모의 유량에서는 수렴하는 경향을 보여주었다.[8] Lee et al. 등(2004)에서는 FLDWAV 모형내의 수정 Newton-Raphson 방법을 이용하여 높은 정확도를 가진 조도계수를 간단하게 구하는 방법을 소개하였으며 이 방법을 한강 하류부(팔당댐-전류)에 적용하여 유량에 대한 지수함수식으로 표현되는 조도계수의 산정식을 제안하였다.[9]

한편 Yu, G.와 Lim, S.-Y.(2012)에서는 수정Manning 공식을 사용하여 새로운 유량예측 공식을 개발하였다. 이 공식을 통하여 4824세트의 실측자료를 바탕으로 검증해 본 결과 약 86% 정도가 실측값과 잘 일치하였으나 에너지 경사가 매우 작은 상층류나 수심이 매우 깊은 경우에는 오차가 많이 발생하므로 이에 대한 추가연구가 필요하다고 하였다.[14] 또한 Arcement Jr과 Schneider(1989)는 미국 지질조사국(USGS)의 사진 자료를 이용한 방법을 제안하였다.[1] 이들은 국외 하천에 적용된 방법들로 국내 하천에 적용할 경우에는 신중한 판단과 검증이 요



[그림 1] Song의 실험수로 제원  
[Fig. 1] Experiment apparatus by Song

구된다.

Ree와 Palmer(1949)에서는 사다리꼴 자연 하도를 조사하여 유속, 동수반경과 Manning의 조도계수 n과의 관계를 분석하였다.[12] Wohl(1998)은 5개 강의 홍수흔적을 바탕으로 4가지 방법으로 조도계수를 산정하여 홍수량을 계산하였고 과거 극한홍수 흔적을 역산하는 과정에서 조도계수의 불확실도로 인한 홍수량 산정의 불확실성은 크게 민감하지 않다고 주장하였으나 홍수량이 큰 대형하천에 비하여 수면 폭과 수심비가 작은 급경사의 소하천에서의 조도계수의 민감도가 크게 나타남은 조도계수 산정에 특별한 주의가 요구됨을 보여준다.[15]

위의 연구들과 같이 하천의 흐름에 있어서 매우 중요한 영향을 미치는 인자로서 경험적 매개변수는 그 동안 합리적인 산정을 위한 여러 가지 연구가 수행되어 왔다.

따라서 본 연구에서는 회귀분석에 의한 매개변수 산정 방법을 통하여 하천에서 손쉽게 사용 가능한 대표조도계수 및 대표 Chezy계수의 산정방법에 대하여 제안한다. 본 방법으로 얻어지는 대표조도계수 및 대표 Chezy계수를 바탕으로 실험실 및 하천의 임의의 지점에 대하여 유량을 산정하고 실측자료와 비교하여 그 정확성을 검증하였다.

새로운 방법론의 하나로써 KSCE에 기 게재된 Choo et al.(2011)에서 제안한 방법으로 실측된 유량성과를 활용하여 각각 지점의 매개변수를 산정하고 이를  $y=ax$ 꼴로 변환한 후 회귀 추정을 통한 기술기로 하나의 매개변수를 산정하는 방법이다.[3]

## 2. 조도계수의 일반적인 특징

일반적으로 조도계수는 바닥의 거칠기만이 아닌 수위 및 유량에 따라서도 달라지는 것으로 알려져 왔다. 이를 검증하기 위해서 스위스 로잔 공과대학의 Song의 박사논문(1994)에서 측정된 정류 데이터를 활용하여 수위와 유

량에 따른 조도계수를 역산법으로 산정하여 조도계수의 변화를 확인하였다.[13] 실험실 수로의 폭은 60cm이고 길이는 16.8m, 측벽은 유리, 바닥은 steel로 구성되어 있고 경사조절이 가능하나 본 논문에서는 0.005의 수로경사에서 측정한 데이터만을 사용하였다. 유속의 측정은 바닥에 부착한 ADV를 이용하였고 유량을 다르게 흘려 보내어 L1지점에서 측정하였으며 유량 측정 장치의 형상은 위의 그림 1과 같다. 결과는 표 1에 나타나는 바와 같이 유량이 커지면 조도계수가 작아지고 유량이 작아지면 조도계수가 커지는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 통해서 알 수 있듯이 조도계수는 한 지점에서도 유량 및 수위의 변화에 따라서 변화하므로 실제 하천의 어떤 일정한 구간 내에서 이러한 변동성을 가지는 조도계수를 일반화하는 것은 매우 어려운 것임을 잘 보여 준다. 이러한 조도계수를 산정하기 위해서 그동안 Chow(1959)에서 제시한 수로 표면의 재질 등에 따른 조도계수 n의 범위를 나타낸 Chow의 도표, 또한 역산 조도계수에 의한 방법, 홍수흔적 수위법 등이 사용되어왔고 각 방법의 장단점이 존재하는 가운데 상황에 맞게 사용자의 주관적인 판단이 필요하였다.[4]

## 3. 대표조도계수 및 대표 Chezy계수의 산정

### 3.1 사용된 데이터

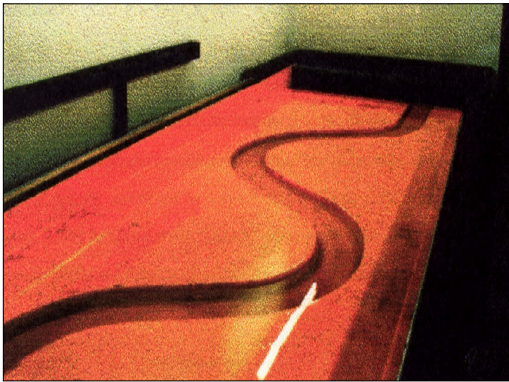
실험실 수로는 Glasgow대학의 Macleod(1997)의 박사 논문에서 측정된 데이터를 활용하였다.[11] 사행수로의 사다리꼴 형상을 가지고 있는 Test. No. 12와 17을 활용하였다. 두 테스트 셋의 차이점으로는 No.12는 수로 측벽이 사다리꼴의 인공형을 이루고 있고 No.17은 자연형 하천형상으로 이루고 있다. No.12와 17은 24개 측정점을 사용하여 대표계수를 산정하였고, 6개 측정점 임의점을

【표 1】 유량 및 수위에 따른 조도계수 n

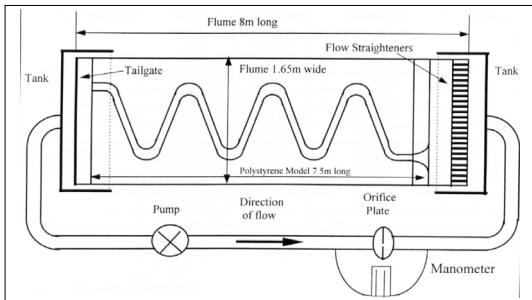
【Table 1】 Coefficient of roughness n by discharge and stage

Q (cm/s)	11000	17000	20000	30000	42000	50000	63000	70000	80000	90000	97000	110000
D(cm)	5.1	6.5	7.2	8.9	10.5	11.8	13.6	14.2	15.6	17	17.5	18.9
n	0.0052	0.0049	0.0049	0.0045	0.0041	0.0041	0.0040	0.0038	0.0039	0.0039	0.00377	0.0037
Q (cm/s)	118000	120000	125000	130000	130000	135000	140000	145000	150000	155000	160000	165000
D(cm)	19.8	20.1	20.9	21.3	21.4	21.8	22.5	22.7	23.5	24	24.5	25
n	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0036	0.0037	0.0036	0.0036	0.0036

예측하여 실측자료와 검증하였다. No.12와 No.17의 폭은 0.2m, 만곡도는 1이다. 실험실에 대한 제원은 아래의 그림 2 및 3과 같다. 한편, 자연하천의 실측 데이터는 Chitlae(1966)의해 India의 운하에서 측정 되었고 운하 특유의 수위차이를 반영하고 있는 24개 측정점을 사용하여 대표계수를 산출하였고 이를 바탕으로 임의의 8개 지점에 대한 유량을 산정하였다.[2]



[그림 2] Glasgow대학의 사행수로  
[Fig. 2] Meandering channel of Glasgow Univ.



[그림 3] Glasgow대학 실험수로의 모식도  
[Fig. 3] Type of experiment channel of Glasgow univ.

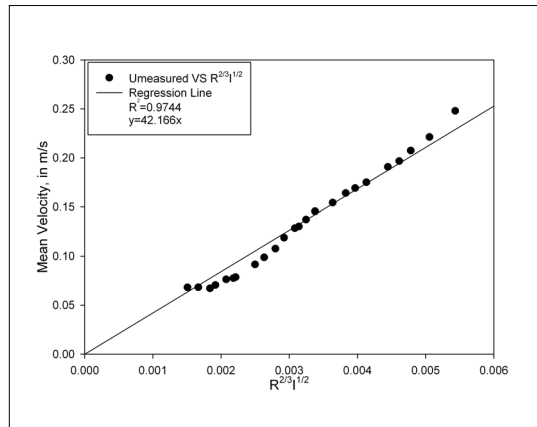
### 3.2 대표계수의 산정

각 실험실 및 운하에서 실측된 자료를 사용하여  $y=ax$  꼴의 회귀 추정을 하여 직선의 기울기를 매개변수로 산정하였다. 여기서, y축은 실측된 유속을 뜻하고 x축은 Manning식에서는  $R^{2/3}I^{1/2}$ , Chezy식에서는  $\sqrt{RI}$ 를 뜻한다. 실험실 수로의 결정계수는 Manning과 Chezy식의 순서로 각각 No.12에서는 0.9744, 0.8776이고, No.17에서는 0.971, 0.8929이며, 운하에서 측정된 자료에서는 0.6694, 0.5833로 나타났다. 대표계수 산정 성과는 아래의 표 2와 같고, 회귀분석은 아래의 그림 4에서 9와 같다.

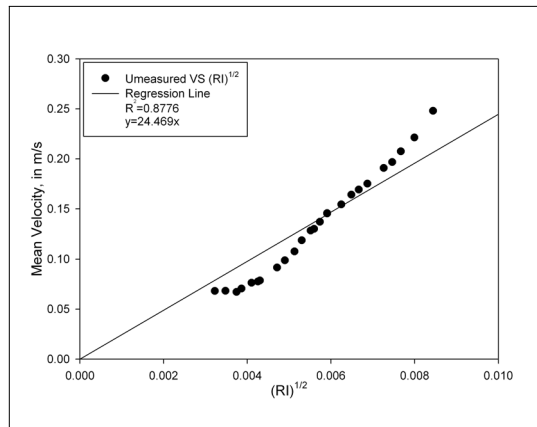
[표 2] 대표계수 산정 결과

[Table 2] The result of representative coefficient estimation

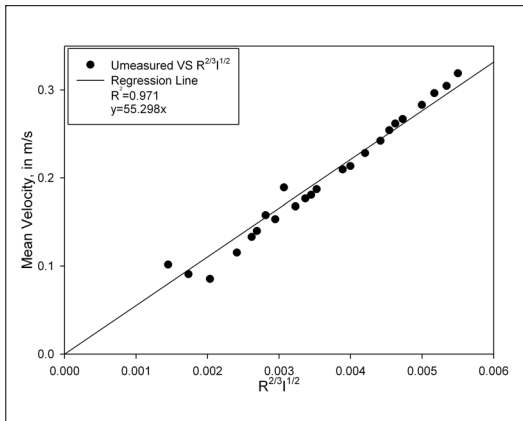
구분	대표조도계수 n	대표Chezy계수 C
Glasgow No.12	0.0237	24.469
Glasgow No.17	0.0180	32.942
India Canal	0.0206	54.18



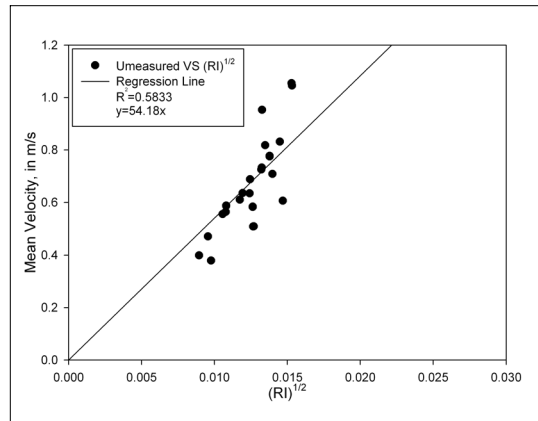
[그림 4] Glasgow No.12 대표조도계수 산정  
[Fig. 4] Estimation of representative roughness coefficient in Glasgow no.12



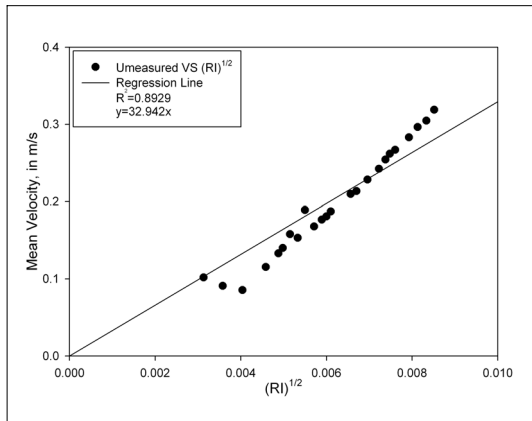
[그림 5] Glasgow No.12 대표Chezy계수 산정  
[Fig. 5] Estimation of representative Chezy coefficient in Glasgow no.12



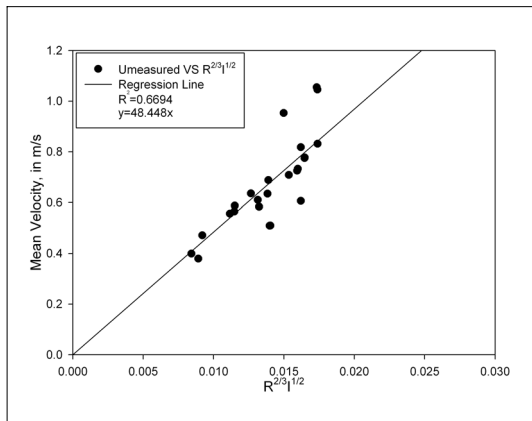
[그림 6] Glasgow No.17 대표조도계수 산정  
[Fig. 6] Estimation of representative roughness coefficient in Glasgow no.17



[그림 9] India Canal 대표Chezy계수 산정  
[Fig. 9] Estimation of representative Chezy coefficient in India Canal



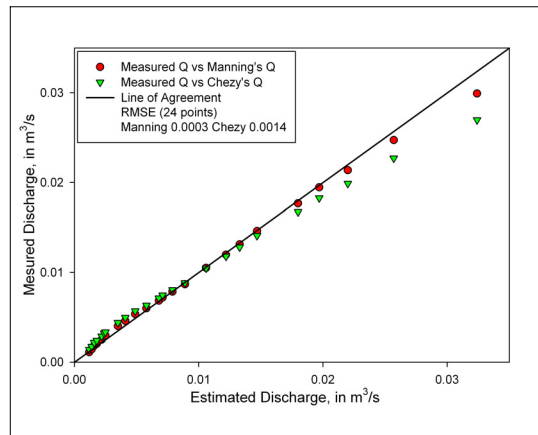
[그림 7] Glasgow No.17 대표Chezy계수 산정  
[Fig. 7] Estimation of representative Chezy coefficient in Glasgow no.17



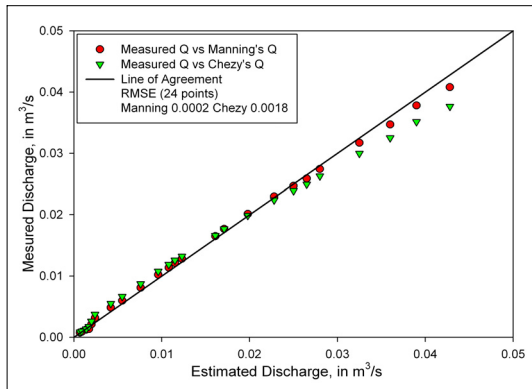
[그림 8] India Canal 대표조도계수 산정  
[Fig. 8] Estimation of representative roughness coefficient in India Canal

이렇게 측정된 대표 조도계수 및 대표 Chezy계수를 사용하여 유량을 역으로 다시 산정해본 결과는 아래의 그림. 10에서 12와 같다. 실측된 유량과 대표 계수 값을 사용하여 산정된 유량을 비교하였으며 각각의 RMSE는 아래의 표. 3과 같이 정리하였다.

표 3을 보면 전체적으로 대표 조도계수를 사용하여 산정한 유량이 대표 Chezy계수 C값을 사용하여 산정된 유량보다 일치하는 것으로 나타났으나 두 값 모두 만족스러운 값을 보여주고 있다.

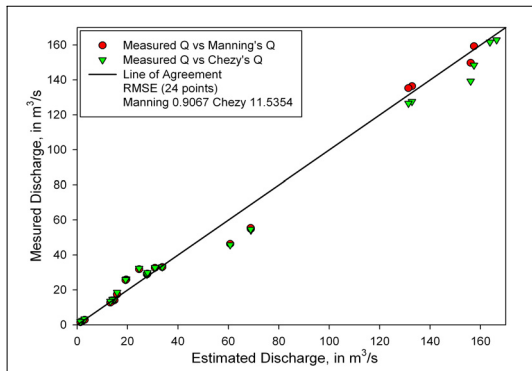


[그림 10] Glasgow No. 12 대표계수를 활용한 유량성과 비교 검증  
[Fig. 10] Comparison and verification of discharge result by using representative coefficient in Glasgow No.12



[그림 11] Glasgow No. 17 대표계수를 활용한 유량성과 비교 검증

[Fig. 11] Comparison and verification of discharge result by using representative coefficient in Glasgow No.17



[그림 12] India Canal 대표계수를 활용한 유량성과 비교 검증

[Fig. 12] Comparison and verification of discharge result by using representative coefficient in India canal

[표 3] 유량성과 RMSE

[Table 3] Discharge results RMSE

구분	Manning	Chezy
Glasgow No.12	0.0003	0.0014
Glasgow No.17	0.0002	0.0018
India Canal	0.9067	11.5354

#### 4. 대표조도계수를 이용한 예측

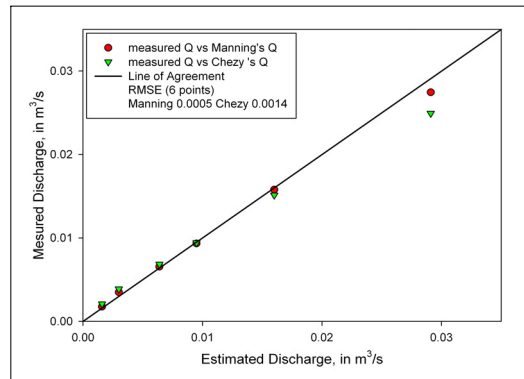
위의 표. 2와 같이 산정된 대표 조도계수  $n$ 과 대표 Chezy계수  $C$ 를 사용하여 임의의 지점에 대하여 유량을 예측 산정 하였다. Glasgow No. 12와 No. 17에서 각각 6개 지점을, India 운하는 8개 지점을 예측산정 하였다.

이렇게 예측 산정된 유량과 실제 이 지점에서 측정된 유량의 성과를 비교해본 결과는 아래의 그림 13, 14, 15에 각각 나타내었다. 표 4의 RMSE에서 알 수 있듯이 Manning의 대표조도계수  $n$ 이 근소하게 잘 일치하는 것을 보여주었다.

[표 4] 유량예측산정 성과 RMSE

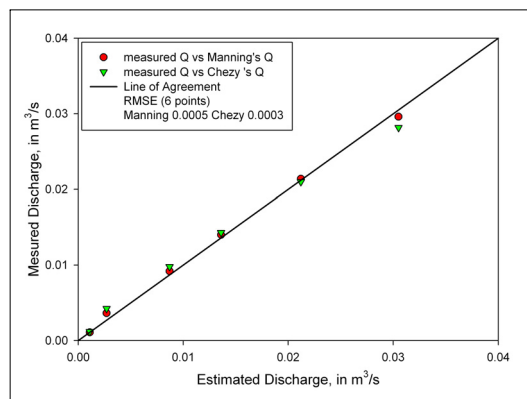
[Table 4] Discharge prediction results RMSE

구분	Manning	Chezy
Glasgow No.12	0.0005	0.0014
Glasgow No.17	0.0005	0.0003
India Canal	6.9055	·21.6980



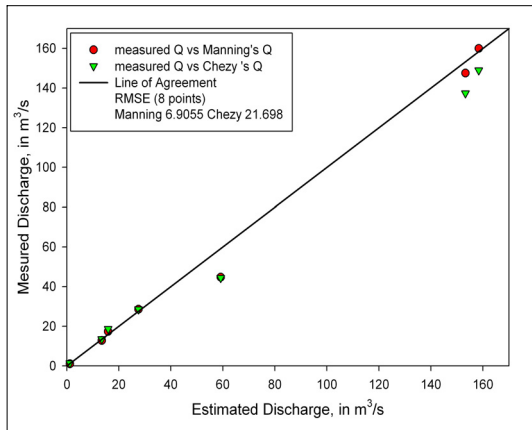
[그림 13] Glasgow No. 12 대표계수를 활용한 유량 예측산정 성과

[Fig. 13] Results of discharge prediction estimation by using representative coefficient in Glasgow No. 12



[그림 14] Glasgow No. 17 대표계수를 활용한 유량 예측산정 성과

[Fig. 14] Results of discharge prediction estimation by using representative coefficient in Glasgow No. 17



[그림 15] India Canal 대표계수를 활용한 유량 예측산정 성과

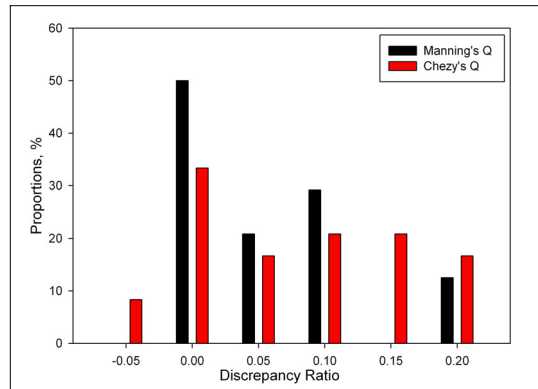
[Fig. 15] Results of discharge prediction estimation by using representative coefficient in India canal

대표계수를 사용하여 구해진 유량과 실측 유량과의 비교검증 결과와 임의의 지점에 대한 유량산정 결과에 대하여 각각 Discrepancy Ratio를 사용하여 분석하였다. Discrepancy Ratio는 통계학적 분석방법으로 실측유량과 산정된 유량의 비에 상용 log를 취하는 방법으로 식 (1) 과 같다.

$$\log\left(\frac{estimated\ value}{measured\ value}\right) = constant \quad (1)$$

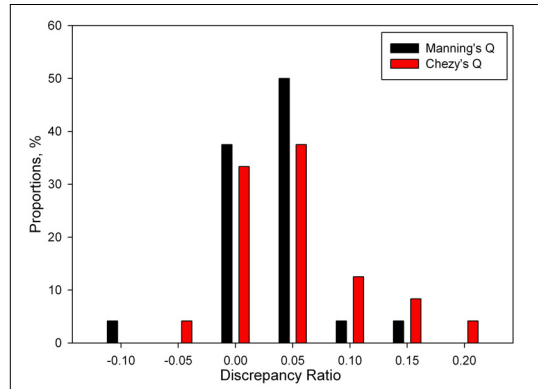
각각의 계산된 상수를 오름차순으로 정리한 다음 구간 별 백분율로 나타낸 방법으로 0 보다 크면 과다산정, 0 보다 작으면 과소산정을 의미한다.

대표매개변수를 산정한 결과를 이용하여 산정된 유량과 실측 유량과의 비교는 그림. 16, 17, 18과 같고 대표매개변수에 의해 예측 산정된 유량과 실측유량과의 비교는 그림 19, 20, 21과 같다. 대표 조도계수 n과 대표 Chezy계수 C를 이용하여 산정된 유량 성과 모두 0 가까이 많이 분포되어 있음을 알 수 있고 두 계수의 값들 모두 오차 범위 내에 들어오는 것을 알 수 있다.



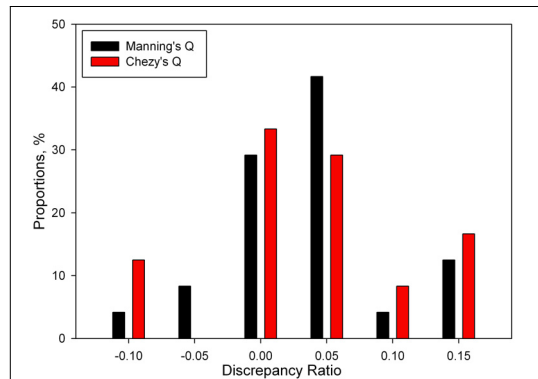
[그림 16] Glasgow No. 12 대표계수를 활용한 유량성과 Discrepancy Ratio

[Fig. 16] Discrepancy Ratio for discharge results by using representative coefficient in Glasgow No. 12



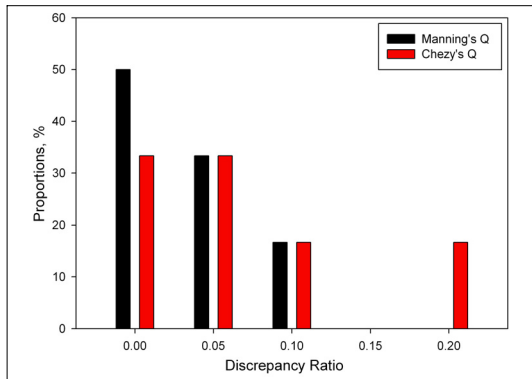
[그림 17] Glasgow No. 17 대표계수를 활용한 유량성과 Discrepancy Ratio

[Fig. 17] Discrepancy Ratio for discharge results by using representative coefficient in Glasgow No. 17



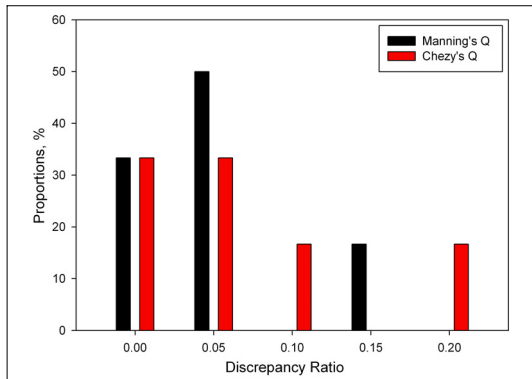
[그림 18] India Canal 대표계수를 활용한 유량성과 Discrepancy Ratio

[Fig. 18] Discrepancy Ratio for discharge results by using representative coefficient in India canal



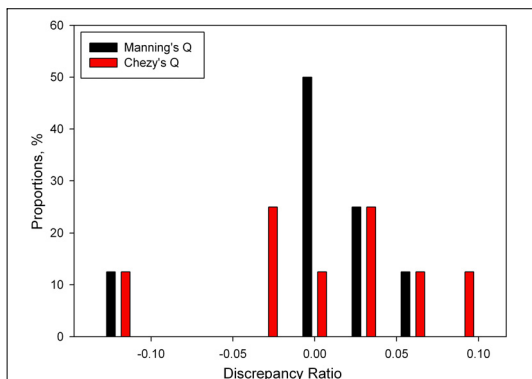
[그림 19] Glasgow No. 12 대표계수를 활용한 유량 예측 산정 성과 Discrepancy Ratio

[Fig. 19] Discrepancy Ratio for discharge prediction results by using representative coefficient in Glasgow No. 12



[그림 20] Glasgow No. 17 대표계수를 활용한 유량 예측 산정 성과 Discrepancy Ratio

[Fig. 20] Discrepancy Ratio for discharge prediction results by using representative coefficient in Glasgow no. 17



[그림 21] India Canal 대표계수를 활용한 유량 예측산정 성과 Discrepancy Ratio

[Fig. 21] Discrepancy Ratio for discharge prediction results by using representative coefficient in India canal

## 6. 결론

이상의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 동일한 지점이라도 유량과 수위에 따라 조도계수가 달라짐은 이미 알려져 있는 상황에서 자연하천에서 어떤 특정 구간 내를 모두 반영하고 그 구간을 대표할 수 있는 조도를 산정하는 것은 기준이 명확히 없고 매우 어려운 부분이다.
2. 본 논문에서는  $y=ax$ 의 꼴로 하천의 수리적 특성을 반영하는 실측 자료를 바탕으로 회귀 산정법을 통하여 해당 측정 구간의 유속, 동수경사 등의 수리적인 특성을 반영하여 도출된 대푯값 개념의 매개변수를 산정하여 이를 바탕으로 유량을 재 산정 하였고 그 결과는 본 실험데이터 내에서는 오차범위내로 만족하였다.
3. 이렇게 구해진 대표 매개변수를 이용하여 해당 측정 구간 내 임의의 점에 대하여 산정한 유량 결과와 실측되어진 유량과 비교를 Discrepancy Ratio로 나타내었고 값의 범위는 -0.15~0.2 정도로 0에 근접하게 분포된 점이 많음을 알 수 있다.
4. 상기의 결과를 종합해 보면 본 연구결과는 개수로의 특정 구간 내에서 일정한 측정치가 존재한다면 이를 바탕으로 수위-유량 관계곡선을 개선하여 수리적인 특성을 반영하면서 편리하게 유량을 예측산정 할 수 있을 것으로 판단된다. 물론 아직은 다양한 하천에 대한 적용이 이루어지지 않았으므로 추후 연구를 통하여 지속적으로 이를 보완하고 국내 하천에도 적용해야 할 것이다. 또한 본 논문에서 사용된 데이터들은 본래 Manning 및 Chezy공식이 등류에서 성립한다는 정의에 의해 단면이 변하지 않는 일정한 수로에서의 데이터를 바탕으로 수행되었으므로 본 연구결과에서 보여주는 결과의 오차의 전과 특성에 대한 분석은 추후 지속적인 여러 실험실 개수로 및 자연하천의 데이터의 결과를 바탕으로 연구되어야 할 것이다. 따라서, 본 연구결과가 계속해서 수정 보완되어 지고 신뢰성이 향상된다면 향후에는 수자원 실무에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

## References

- [1] Arcement Jr, G.J., Schneider V.R., "Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains." United States Geological Survey



Water-supply Paper 2339, USGS.1989.

[2] Chitales, S. V., "Hydraulics of Stable Channels", Tables 13 and 17, Government of India, Ministry of Irrigation and Power, Central Water and Power Commission, 1966.

[3] Choo, T. H., Park, S.K., Lee, S.J., Oh, R.S., "Estimation of river discharge using mean velocity equation, KSCE Journal of Civil Engineering", Vol. 15, No. 5, pp. 927-938, 2011.

[4] Chow, V. T., "Open-Channel Hydraulics", McGraw-Hill, New York, 1959.

[5] Cunge, J.A., Holly, F.M., Jr., and Verwey A., "Practical aspects of computational river hydraulics", Pitman, Boston, Mass, 1980.

[6] Kim, J. S., Lee, C. J., Kim, W., "Calculation of roughness coefficient in gravel-bed river with observed water levels", KWRA, J. of Korea Water Resources Association, Vol. 40, No. 10, pp. 755-768, 2007.

[7] Kim, J. Y., Kim, H. S., Lee, J. K., "Review of roughness coefficient characteristics for rivers in Korea", KWRA, J. of Korea Water Resources Association, Vol. 44, No. 9, pp. 695-710, 2011.

[8] Lee, C. J., Kim, Y. J., Kim, J. S. and Kim, W., "Analysis of Roughness Coefficient in Gravel-bed Rivers", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 30, No. 2B, pp. 149-157, 2010.

[9] Lee, J. K. and Lee, C. H., "Estimation of Roughness Coefficients in Downstream Part of the Han River Using a Hydraulic Flood Routing Model", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 24, No. 1B, pp. 25-32, 2004.

[10] Lee, S. H., Kim, D. G., Jeong, T. S. and Jeong, S. M., "Estimation of small stream roughness coefficient by a photogrammetric method", Proceedings of the Korea Society of Civil Engineering Conference 2011, pp.2045-2048, 2011.

[11] Macleod, A. B., "Development of methods to predict the discharge capacity in model and prototype meandering compound channels", Ph.D thesis, University of Glasgow, Scotland, 1997.

[12] Ree, W.O., Palmer, V.J., "Flow of water in channels protected by vegetativelinings." Tech. Bull. No. 967, Soil Conservative Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., 1949.

[13] Song, T., "Velocity and turbulence distribution in non-uniform and unsteady open-channel flow", Ph. D. Dissertation, Dept. of Civil Engineering, Federal Institute of Technology Lausanne, EPFL, 1994.

[14] Yu, G. and Lim, S.-Y., "Modified Manning Formula for flow in alluvial channels with sand-beds", Journal of Hydraulic Research, Vol. 41, No.6, pp.597-608, 2012.

[15] Wohl, E.E., "Uncertainty in flood estimates associated with roughness coefficient." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 2, pp. 219-223, 1998.

**추 태 호(Tai Ho Choo)**

[정회원]



- 1990년 12월 : Pittsburgh 대학교 일반대학원 토목공학과 (수리학 석사)
- 1998년 12월 : Pittsburgh 대학교 일반대학원 환경토목공학과 (환경수리학 박사)
- 1984년 2월 ~ 2002년 9월 : K-Water 연구원 책임연구원 등
- 2002년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학부 교수

<관심분야>  
수리수문, 하천, 댐

**채 수 권(Soo Kwon Chae)**

[정회원]



- 1986년 2월 : 인하대학교 일반대학원 토목공학과 (환경공학석사)
- 1995년 2월 : 인하대학교 일반대학원 토목공학과 (환경공학박사)
- 1981년 1월 ~ 1984년 2월 : 대우건설
- 1990년 3월 ~ 현재 : 을지대학교 보건환경안전학과 교수

<관심분야>  
상하수도, 하천생태