

평균유속공식을 활용한 하천 유량예측

Prediction of River Discharge by Using Mean Velocity Equation

추태호*, 채수권**, 윤현철***, 송정주****

Tai Ho Choo, Soo Kwon Chae, Hyeon Cheol Yoon, Jung Ju Song

요 지

하천에서의 정확한 유량 산정은 하천의 설계 및 운영 유지에 매우 중요한 요소이다. 현재 하천의 유량 생산은 수위-유량관계곡선을 통하여 이루어지고 있다. 수위-유량관계곡선법은 측정된 수위와 유량자료의 관계를 바탕으로 홍수기 때의 유량을 회귀 추정법으로 예측하여 사용하는 방법이다. 비교적 간편하게, 특히 측정이 어려운 홍수기 때의 유량을 예측하여 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 수위와 유량만의 관계를 사용하므로 하천의 수리학적 특성을 반영하기 곤란하기 때문에 기본적으로 개선되어야 할 사항이 있다.

따라서, 본 연구에서는 하천유량을 예측하는 새로운 방법론의 하나로 KSCE에 기 게재된 Choo 등(2011)의 방법에 따라, 개수로에서 널리 사용되어 오고 있는 Manning식과 Chezy식을 활용하여 하천의 전체적인 특성을 잘 반영하는 특성조도계수 n 과 특성Chezy계수 C 를 사용하여 하천의 유량을 예측하였다.

실험실 직선수로에서 측정된 정류 자료와 객관성 있는 해외 하천 유량측정 자료를 사용하여 증명하였고 결정계수 0.8 정도 수준의 높은 정확성을 보여주는 성과를 나타내었다. 따라서 본 연구결과를 통해 하천의 수리학적 특성을 반영하면서도 간단하게 유량을 예측할 수 있는 방법으로 실무에서 간편하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

핵심용어 : 유량예측, 특성조도계수 n , 특성Chezy계수 C , 평균유속공식, 수위-유량관계곡선

1. 서론

하천 유량의 정확한 산정은 이수 혹은 치수, 수공구조물 설계 등에 매우 중요한 인자이다. 이러한 유량의 산정을 위해서 국내외에서 널리 사용되는 방법은 수위-유량 관계곡선식이다. 이 방법은 지속적으로 측정된 수위자료와 간헐적으로 측정되어진 유량자료를 바탕으로 수위와 유량 사이의 관계식을 세워 이를 활용하는 것으로 편리한 장점을 가지고 있다. 하지만 수위-유량관계곡선은 수위와 유량 사이만의 관계를 이용하고, 하천의 수리적인 특성들은 배제되어 있으므로 그에 따른 오차의 가능성도 내포하고 있다. 또한 고리형 수위-유량 관계곡선을 나타내는 특성에는 Cunge 등(1980)에서 연구되어진 바로는 유량과 하상경사, 조도계수 등에 영향이 있다고 하였다.

하천의 수리적인 특성을 비교적 잘 반영하며 가장 널리 알려진 개수로 유량산정공식에는 Manning식과 Chezy식이 있다. 이들 식은 기본적으로 정류 조건에서 잘 맞는 것으로 알려져 있으나 실제 하천의 유량산정에 널리 이용되어 오고 있다. 이들 식의 가장 중요한 매개변수는 경험적으로 산정되어지는 Manning식의 조도계수 n 과 Chezy식의 Chezy계수 C 가 있다. 동수반경과 에너지경사 혹은 수면경사 등은 계산적으로 혹은 실측에 의해 구해질 수 있으나 조도계수와 Chezy계

* 정회원 · 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 부교수 · E-mail : thchoo@pusan.ac.kr

** 정회원 · 을지대학교 보건산업대학 보건환경안전과 교수 · E-mail : cskwen@eulji.ac.kr

*** 정회원 · 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : standupup@pusan.ac.kr

**** 정회원 · 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : sadroc@hanmail.net

수는 수위, 유량, 만곡부나 하상의 구성성분, 형상, 경사, 식생분포현황 등에 의해 달라지며 상당히 복합적인 인자들에 의해 영향을 받는다. 특히 이러한 매개변수는 공간적이나 시간적으로 변화하는 값이므로 일반화를 위해서는 많은 연구가 수행되어야 할 것이다.

그동안 하천의 조도계수 산정 방법에 관한 여러 연구가 이루어져 왔다. 김주영 등(2011)에서는 국내의 주요 3대 하천인 한강, 낙동강, 금강에 대하여 하상재료의 입도분포를 이용하는 방법과 수치모형을 이용하는 방법으로 조도계수를 산정하였고 이 결과를 기존의 하천정비기본계획상에서 제시하는 조도계수와 비교하였으며 두 값 사이에는 상당한 값의 차이가 있음을 제시하였다. 김용전 등(2011)에서는 영국 환경청에서 개발한 Conveyance Estimation System(CES)를 이용하여 조도계수를 산정하였으며 하천의 지형정보만을 가지고 조도계수 혹은 수위-유량 관계식의 추정 등을 가능하게 하였다. 한편 Chow(1959)는 수로 표면의 재질 등에 따른 조도계수 n의 범위를 제시하였으며 오늘날 까지 널리 이용되어 오고 있다.

본 연구에서는 회귀 추정법에 의한 매개변수 산정방법을 통해 하천에서 손쉽게 사용 가능한 특성조도계수 및 특성 Chezy계수 산정방법에 대하여 제안한다. 본 방법으로 얻어진 특성조도계수와 특성 Chezy계수를 바탕으로 해당 유역하천의 임의의 지점에 대하여 유량을 산정하고 실측자료와 비교하여 그 정확성을 비교하였다.

2. 연구내용

일반적으로 조도계수는 바닥의 거칠기, 즉 조도만이 아닌 수위 및 유량에 따라서도 달라지는 것으로 알려져 왔다. 이를 검증하기 위해 스위스의 로잔공과대학의 Song의 박사논문에서 사용된 데이터를 활용하여 정류조건에서 수위와 유량에 따른 조도계수의 변화를 확인하였다. 실험실 수로의 제원은 폭 60cm, 길이는 16.8m, 측벽은 유리, 바닥은 Steel로 구성되어 있으며 유속측정은 ADV를 사용하였고 유량을 다르게 흘려 보내어 L1지점에서 측정하였으며 형상은 그림 1과 같다. 조도의 산정은 역산법을 사용하였다.

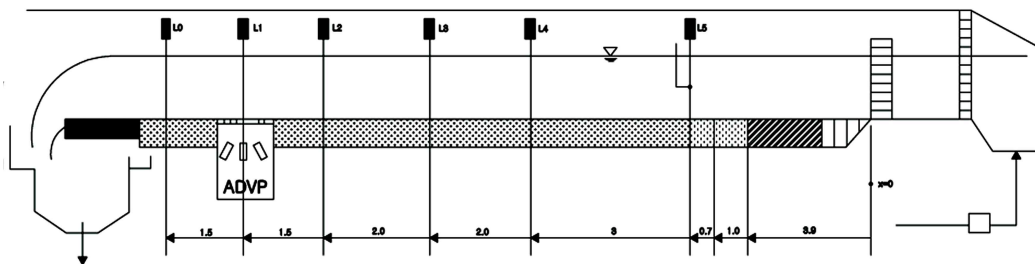


그림 1 Song의 실험수로 제원

결과는 표 1과 같으며 표 1에서 나타나듯이 유량과 수위가 상승함에 따라 조도계수가 작아짐을 알 수 있다. 이처럼 한 지점에서도 수위 및 유량에 따라 조도계수가 틀려지므로 실제 하천에서 이러한 변동성을 가지는 조도계수를 산정하는 것은 매우 어려운 것임에 틀림없다.

표 1 유량 및 수위에 따른 조도계수

Q(cm/s)	7000	12000	20000	23000	31000	40000	50000	60000	62000
D(cm)	4.7	6.3	8.5	9.2	10.9	12.2	14.5	15.7	16.5
n	0.213	0.159	0.118	0.109	0.092	0.082	0.069	0.064	0.061
Q(cm/s)	70000	80000	90000	100000	110000	120000	130000	140000	150000
D(cm)	17.5	19.2	20.4	21.7	23.2	24.9	25.9	27.9	28.9
n	0.057	0.052	0.049	0.046	0.043	0.040	0.039	0.036	0.035

이러한 조도계수를 산정하기 위해서 그동안 Cowan방법, Chow의 표 사용, 역산 조도계수에 의한 방법, 홍수흔적 수위법 등이 있었다. 각 방법의 장단점이 존재하는 가운데 상황에 맞게 사용자의 주관적인 판단에 의해 사용되어 왔다.

본 연구에서는 새로운 방법론의 하나로 KSCE에 기 게재된 Choo 등(2011)의 방법을 활용 하였다. 우선 실측된 유량성과를 활용하여 각각 지점의 매개변수를 산정하고 이를 $y=ax$ 의 꼴로 변환하여 회귀추정을 통하여 기울기로 하나의 매개변수를 산정하는 방법이다.

3. 특성 조도계수 산정

자연하천의 유량측정 성과는 Toffaleti(1968)에서 측정한 미국의 Mississippi강의 자료를 활용하였고 $y=ax$ 꼴로 회귀추정을 통하여 직선의 기울기를 매개변수 값으로 산정하였다. y축은 실측된 유속을 뜻하고 x축은 Manning식에서는 $I^{1/2}$, Chezy식에서는 RI 를 뜻한다. 총 측정점은 46개 지점이며 결정계수는 각각 0.8059, 0.8100이며 산정된 특성 조도계수는 1.241의 역수로써 0.8052, 특성 Chezy계수는 1.8842로 산정되었고, 아래의 그림 2와 3과 같다.

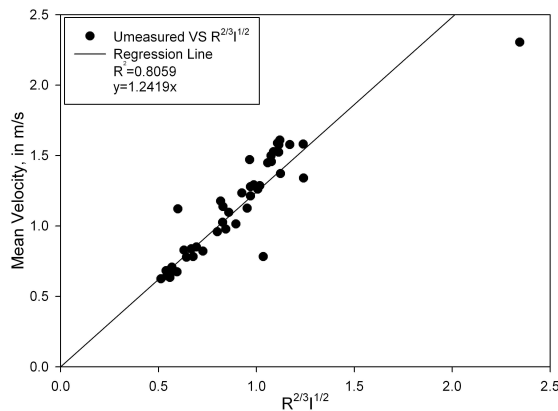


그림 2 특성 조도계수 n 산정

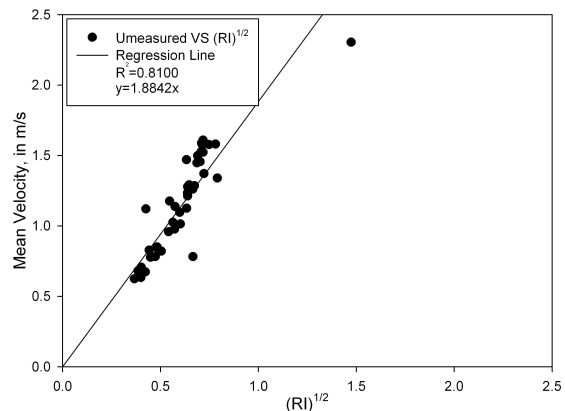


그림 3 특성 Chezy계수 C 산정

이렇게 산정된 계수들을 사용하여 해당 지점의 유량을 역으로 다시 산정해 본 결과는 아래의 그림 4와 같다. 실측된 값과 특성 계수 값들을 사용하여 각각 산정된 유량을 비교하였으며, 각각의 RMSE(Root Mean Square Error)는 2194, 2047으로 특성 Chezy계수 C값을 사용하여 산정된 유량이 조금 더 일치하는 것으로 나타났으나 두 값 모두 만족스러운 값을 보여주고 있다. RMSE의 의미는 통계학에서 표준편차의 의미, 즉 예상한 값과 실제 실험/관측 결과가 평균적으로 어느정도 차이가 있는가 하는 것과 유사한 것으로 이해할 수 있다.

4. 특성 계수를 이용한 예측

이렇게 구해진 특성 조도계수 n과 특성 Chezy계수 C를 사용하여 임의의 지점에 대하여 유량을 산정하였다. 측정점은 9개 지점이고 이렇게 산정된 유량과 실제 이 지점에서 측정된 유량의 성과를 비교해본 결과는 아래의 그림 5와 같다. 그림 5에서 알 수 있듯이 각각의 RMSE는 421, 664으로 나타났고, 여기서는 Manning의 특성조도계수 n이 근소하게 잘 일치하는 것을 보여주었다. Mississippi강의 평균유량이 20,000 /sec임을 감안해보면 허용 가능한 오차임을 알 수 있다.

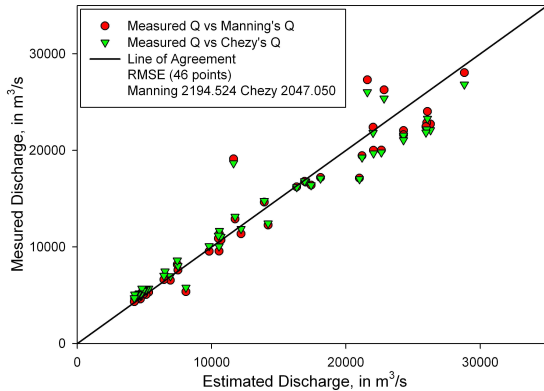


그림 4 특성계수를 활용한 유량산정 결과의 비교검증

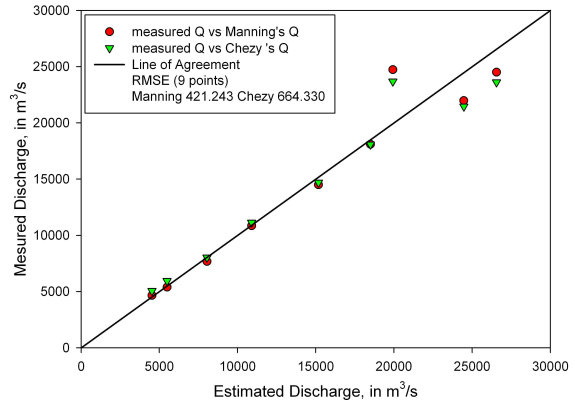


그림 5 특성계수를 활용한 임의의 지점에 대한 유량 산정

6. 결과 분석

아래의 그림 6, 7과 같이 특성계수를 사용하여 구해진 유량과 실측 유량과의 비교검증 결과와 임의의 지점에 대한 유량산정 결과에 대하여 Discrepancy Ratio를 사용하여 분석하였다. 통계학적 분석방법으로 실측유량과 계산유량의 비에 상용 log를 취하여 이를 오름차순으로 정리한 다음 구간별 백분율로 나타낸 방법으로 0 보다 크면 과다산정, 0 보다 작으면 과소산정을 의미한다.

그림 6은 46개 지점에 대하여 산정된 특성계수들을 사용하여 유량을 다시 산정한 결과로써 특성 조도계수 n 과 특성 Chezy계수 C 를 통해 산정된 두 유량 모두 0에 근접한 결과가 많이 분포되어 있음을 알 수 있다. 또한 그림 7은 임의의 지점에 대하여 이미 산정된 특성계수들을 사용하여 산정된 유량 결과를 실측 유량과 비교하여 나타낸 것으로 Manning의 특성 조도계수 n 을 통해 산정된 성과가 근소하게 실측유량에 가까우나 두 값들 모두 오차 범위 내에 들어옴을 알 수 있다.

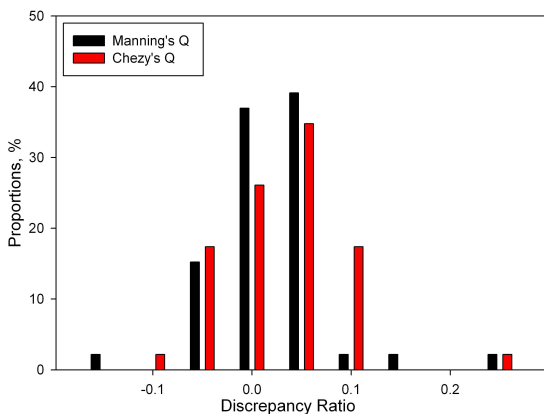


그림 6 특성계수를 활용한 유량산정 결과의 Discrepancy Ratio 분석

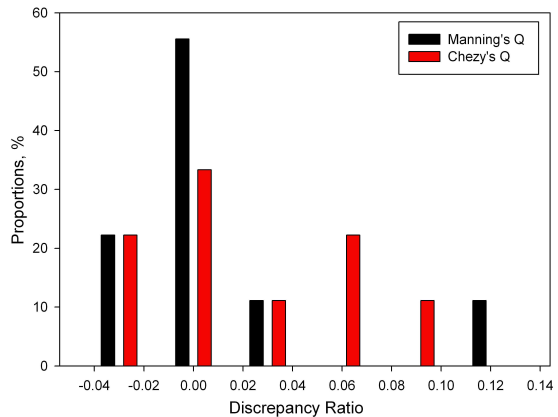


그림 7 특성계수를 활용한 임의의 지점에 대한 유량 산정 결과의 Discrepancy Ratio 분석

6. 결론

이상의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 동일한 지점이라도 유량과 수위에 따라 조도계수가 달라짐은 이미 알려져 있고, 자연하천에

서 이를 모두 반영하여 정확한 조도를 산정하는 것은 매우 어렵다.

2. 본 논문에서는 $y=ax$ 의 꼴로 실측 자료를 바탕으로 회귀 추정법을 통하여 해당 측정 구간의 특성을 반영하는 특성 매개변수를 산정하여 이를 바탕으로 유량을 재산정 하였고 그 결과는 오차 범위내로 만족하였다.

3. 이렇게 구해진 특성 매개변수를 이용하여 해당 측정 구간 내 임의의 점에 대하여 산정한 유량 결과와 실측되어진 유량과 비교를 Discrepancy Ratio로 나타내었고 0에 분포된 점이 많음을 알 수 있다.

본 논문에서 제안하는 방법은 간단한 회귀 추정법을 바탕으로 해당 하천 구간의 조도계수를 산정하여 만족스러운 결과를 보임으로써 여러 하천에 대한 검증이 이루어지고 연구가 지속되어 진다면 하천유량예측의 새로운 방법론으로 실무에 편리하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김용전; 김지성; 이찬주; 김원(2011), 하천 지형 정보를 이용한 조도계수 산정, 한국수자원학회: 학술대회논문집, 한국수자원학회 2011년도 학술발표회, pp.327-327
2. 김주영, 김한섭, 이정규(2011), 실측 자료를 이용한 국내하천의 조도계수 특성검토, 한국수자원학회논문집, v.44, no.9, pp.695-710
3. Choo, T. H., Park, S.K., Lee, S.J., Oh, R.S.(2011), Estimation of river discharge using mean velocity equation, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 15, No. 5, pp. 927-938.
4. Chow, V. T.(1959), Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York.
5. Cunge, J.A., Holly, F.M., Jr., and Verwey A. (1980) *Practical aspects of computational river hydraulics*, Pitman, Boston, Mass.
6. Song, T.(1994), 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.
7. 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.