

횡분배법을 이용한 하천의 유량 산정

Estimating Discharge in a River using the Lateral Distribution Method

한상진* · 최성욱**

Han, Sangjin · Choi, Sung-Uk

본 연구에서는 횡분배법을 이용하여 수로 단면 형상과 수위 정보를 기반으로 유량을 산정하였다. 횡분배법은 하천의 횡단면과 수위 자료를 이용하여 수심 평균유속의 분포와 경계 전단응력을 계산하는 방법이다. 이를 각각 일본의 Nakamura River와 Ohta River에 적용하여 유량을 산정하고 실제 관측 유량과 비교하여 적용 가능성을 평가하였다. 횡분배법은 ADCP 실측값과 비교해 11% 이내의 오차를 보였다. 향후 비점측식 유량 측정 기술과 연계하여 실시간 유량 산정의 정밀도 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 횡분배법, 유량 산정, 유량, LDM, 유속분포

1. 서론

자연하천은 일반적으로 저수로와 고수부지를 가지는 복합적인 단면 형상을 띄어 비균일한 유속분포와 3차원 흐름 구조를 가진다. 특히, 홍수 시에는 수위 상승으로 고수부지가 유로에 포함되어 저수로와 고수부지의 유속 경사에 의한 혼합층이 생성되고 대규모 와류가 발생한다. 복합수로의 실제 유동을 정확히 해석하기 위해서는 단면 전체의 유속분포와 하도의 기하학적 특성이 고려된 접근 방법이 필요하다. Shiono and Knight (1991)가 제안한 횡분배법 (Lateral Distribution Method, LDM)은 수심평균 유속과 경계 전단응력을 계산하는 방법으로, 하천의 한 측정점에서 단면의 형상과 수위를 이용하여 유량을 산정한다.

우리나라는 일반적으로 수위-유량 관계 곡선을 기반으로 유량을 산정하지만, 홍수 시 부정류와 외삽으로 인해 곡선의 적용에 신뢰도 문제가 있다. 본 연구에서는 횡분배법을 이용하여 유량을 산정하고, 이를 기존의 유량 산정 방법과 비교하여 정확도를 평가하였다.

2. 지배방정식

Shiono and Knight (1991)는 Reynolds 방정식을 등류 가정하에 수심 적분하여 다음의 식을 제시하였다.

$$ghS_x = B_g C_f U_d^2 - \frac{\partial}{\partial y} (h \epsilon_y \frac{\partial U_d}{\partial y}) + \Gamma$$

여기서 x, y 는 각각 종방향과 횡방향, U_d 는 종방향 시간 및 수심 평균유속, h 는 수심, S_x 는 종방향 하상경사, B_g 는 지형계수 ($= \sqrt{1 + S_x^2 + S_y^2}$, S_y 는 횡방향 하상경사), C_f 는 하상저항계수 ($= \frac{gn^2}{h^{1/3}}$, n 은 조도계수),

ϵ_y 는 횡방향 와점성 계수 ($= \chi_y U_s h$), Γ 는 이차류에 의한 응력항 ($= \frac{\partial}{\partial y} (hUV)_d$, U, V 는 각각 종방향과 횡방향 시간 평균유속), g 는 중력가속도이다.

3. 결과

3.1 연구 대상 구역

* 연세대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정 (v8070@yonsei.ac.kr)

** 정회원 · 교신저자 · 연세대학교 건설환경공학과 교수, 공학박사 (schoi@yonsei.ac.kr)

본 연구에서는 Omori et al. (2024)의 일본 소하천과 중하천에 각각 적용하였다. 폭 35 m 규모의 소하천 Nakamura River에서 하상경사는 1/360, 조도계수는 0.033, 무차원 와점성 계수는 0.16을 사용하였다. 두 번째로 폭 110m 규모의 중하천 Ohta River에서 하상경사는 1/370, 조도계수는 0.038, 무차원 와점성 계수는 0.16을 사용하여 유량을 산정하였다. 하상 단면과 유량, 수위 정보는 ADCP로 측정되었고, 표면유속은 STIV로 측정되었다.

3.2 결과

Nakamura River에서 횡분배법으로 계산된 유량은 203 cms로 ADCP를 이용한 실측값보다 약 11% 과대 추정하였으며, Ohta River의 경우 횡분배법으로 계산된 유량은 1,436 cms로 실측값보다 약 5% 과대추정하였다. 표면유속을 Chiu (1988)의 표면유속법으로 산정한 유량은 실측값보다 각각 6%, 2% 과대추정하며 횡분배법과의 예측 성능에서는 차이가 있었다.

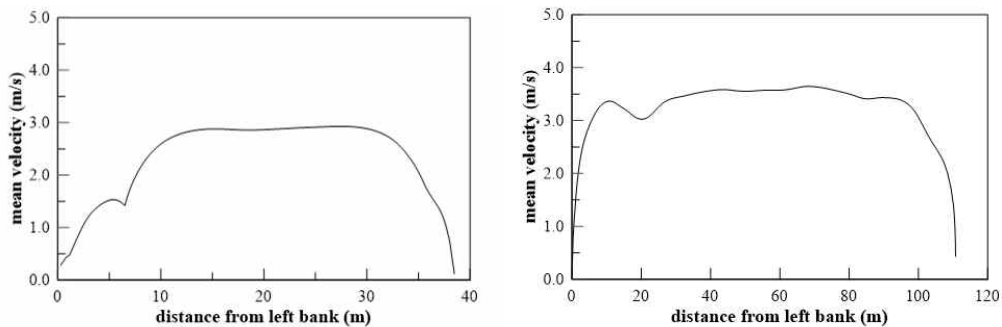


그림 1. 횡분배법으로 계산된 횡방향 유속 분포 (좌) Nakamura River, (우) Ohta River

4. 결론

본 연구에서는 일본의 Nakamura River와 Ohta River의 단면 자료와 수위를 이용하여 유량을 산정하고, 실측값과의 차이를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 횡분배법은 단면 형상과 수위 정보만으로 유량을 비교적 정확하게 산정할 수 있음을 확인하였다.
2. 소하천에서는 11%, 중하천에서는 5%의 오차를 보이며 미세측 지역의 유량 산정에 활용 가능성이 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부 ‘미래변화 대응 수자원 안정성 확보 기술개발사업(RS-2024-00335281)’의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Chiu, C. L. (1988). “Entropy and 2-D Velocity Distribution in Open Channels” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 114(7), pp.738-756.
2. Omori, Y., Yoshimura, H., Fujita, I., and Watanabe K. (2024). “Flood Discharge Measurement by STIV Coupled with Maximum Entropy Method Using Parameter Estimation by Numerical Analysis”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 28(3), pp.1122-1131.
3. Shiono, K. and Knight, D.W. (1991). “Turbulent Open Channel Flows with Variable Depth across the Channel.” *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 222, pp.617-646.