

수목에 의한 수위 영향 분석을 위한 수목 조도 공식 특성 분석

김승기, 이두한, 이동섭
한국건설기술연구원 수자원하천연구본부
e-mail:seungkikim@kict.re.kr

Characteristic Analysis of Vegetation Roughness Formula for analyzing water level effect

Seung Ki Kim, Du Han Lee, Dong Sop Rhee
Dept. of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and
Building Technology

요약

하천수위 계산시에 수목은 일반적인 조도요소로 고려하여 고정된 조도계수를 설정하고 있으며 그 정확도에 대해서 별도로 검증한 사례가 거의 없다. 본 연구에서는 수목에 의한 수위 영향을 정량적으로 분석하기 위해 Kouwen과 Fathi-Moghadam 공식, Baptist 공식, Freeman 공식 등 3개의 공식의 수심별 조도계수 특성을 비교하였다. Kouwen과 Fathi-Moghadam 공식은 상대적으로 매우 높은 조도계수를 나타내며 수심 증가에 따라 지속적으로 증가하는 특성을 보였다. Baptist 공식과 Freeman 공식은 유사한 결과를 나타내는데 수심이 수목 높이 부근까지 증가하면서 조도계수가 증가하고, 수심이 수목 높이 이상으로 상승하면 조도계수가 서서히 감소하는 경향을 나타내며 일정한 값에 수렴하는 양상을 보였다. 수목 조도의 일반적인 특성을 고려하면 Baptist 공식과 Freeman 공식을 적용하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

1. 서론

하천 내 수목은 생태적으로 중요한 기능을 갖고 있으나 홍수시에는 수위 상승을 유발한다. 최근 우리나라에서도 하천 내 수목 증가 및 지자체 등의 식재 요구로 수목이 하천 수위에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 필요성이 높아지고 있다. 그러나 하천수위 계산시에 수목은 일반적인 조도요소로 고려하여 고정된 조도계수를 설정하고 있으며 그 정확도에 대해서 별도로 검증한 사례가 거의 없다.

국외에서는 흐름에 의해 발생하는 수목의 항력과 개별 수목의 물리적 특성을 고려한 다양한 공식들이 개발되어 적용되고 있다.

본 연구에서는 수목에 의한 수위 영향을 정량적으로 분석하기 위한 노력의 일환으로 국외 주요 수목 조도 공식의 특성을 분석하여 제시하고자 한다.

2. 수목 조도 공식 검토

현재까지 수목을 포함하는 식생 조도계수를 산정하는 다양한 공식이 제안되었으며 초기에는 초분류에 대한 공식이 제안되었다. 대다수의 공식은 수리해석의 적용성을 위해

Manning 계수 n 또는 Darcy-Weisbach 마찰계수로 제시하고 있다. 수목을 포함하여 식생의 항력 F_d 는 다음과 같이 표현된다.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho U^2 A_v$$

여기서 C_d 는 항력 계수, ρ 는 물의 밀도, U 는 식생 부근의 접근 유속, A_v 는 흐름방향에 연직면으로 투영된 식생의 전면부 면적 등이다. A_v 를 결정하는 것은 식생의 복잡한 구조, 흐름에 의한 휨과 이로 인한 식생 구조의 변화 등으로 인해 실제로는 매우 어렵다.

Freeman 등[1]은 미공병단에서 주관한 연구로 대형 수로(길이 152.4 m, 높이 1.82 m, 폭 2.44 m)에서 21종의 실제 수목을 이용한 실험을 통해 다음의 공식을 제안하였다.

$$n = \begin{cases} 0.00003487 \left(\frac{E_s A_s}{\rho A_p u_*^2} \right)^{0.15} (m A_p^*)^{0.166} \left(\frac{u_* R}{\nu} \right)^{0.622} \left(\frac{R^{2/3} S^{1/2}}{u_*} \right), & H \leq 0.8 h_p \\ 0.183 \left(\frac{E_s A_s}{\rho A_p u_*^2} \right)^{0.183} \left(\frac{h_p}{H} \right)^{0.243} (m A_p)^{0.273} \left(\frac{\nu}{u_* R} \right)^{0.115} \left(\frac{R^{2/3} S^{1/2}}{u_*} \right), & H > 0.8 h_p \end{cases}$$

Freeman 등은 수목에 의한 흐름 저항은 수목에 의해 발생하

는 항력의 총합과 같다고 가정하였다. 흐름저항 특성은 수심이 $0.8h_p$ 를 초과하면 휨에 의한 영향이 증가하므로 이를 기준으로 공식을 제안하였다. 여기서 h_p 는 수목 높이, E_s 는 수목 강성 계수, A_s 는 $H/4$ 지점에서 측정된 수목 줄기부 단면적, A_p 는 흐름을 방해하는 수목 전면부 면적, A_p^* 는 부분 침수된 수목의 전면부 침수 순면적, u_* 는 마찰속도, R 는 동수반경, S 는 에너지 경사, H 는 수심, ν 는 물의 동점성계수 등이다.

Kouwen과 Fathi-Moghadam[2]은 유속과 침엽수의 Darcy-Weisbach 마찰계수의 상관분석을 통해 다음과 같이 수목 조도 공식을 제안하였다.

$$n = 0.228 \left(\frac{U}{\sqrt{\xi E}} \right)^{-0.23} \left(\frac{H}{h_p} \right)^{0.5} \quad H \leq h_p$$

여기서 U 는 유속, H 는 수심, h_p 는 수목 높이, ξE 는 식생지수로 $2.07 \sim 4.54 \text{ N/m}^2$ 이며, ρ 는 물의 밀도이다. 이 공식은 수목의 휨 특성을 고려하지만 부분 침수된 수목에만 적용되는 한계가 있다.

Baptist 등[3]은 수목을 원통형 강체로 가정하고 Chézy 계수를 적용하여 연직 유속분포를 계산하는 흐름 저항식을 이론적으로 유도하였다. 개발된 이론식을 $\kappa - \epsilon$ 난류모형을 이용한 정밀한 수치해석 모형의 결과와 비교하여 수정하여 수치해석 모형의 결과와 가장 근사하는 수목 조도 공식을 다음과 같이 제안하였다.

$$n = H^{1/6} \sqrt{1/C_b^2 + C_d m D H / 2g}, \quad h_p \geq H$$

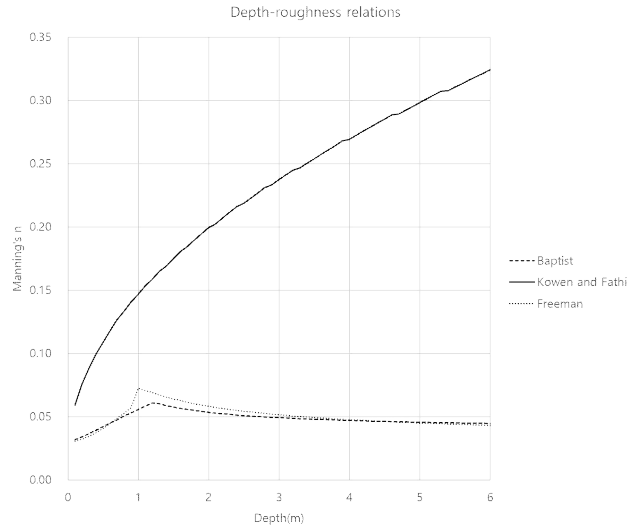
$$n = \frac{H^{1/6}}{\sqrt{\frac{1}{1/C_b^2 + C_d m D h_p / 2g} + \frac{\sqrt{g}}{\kappa} \ln\left(\frac{H}{h_p}\right)}}, \quad h_p < H$$

여기서 h_p 는 수목의 높이, H 는 수심, C_b 는 하상 Chézy 계수, C_d 는 수목의 항력 계수, m 은 줄기 밀도, D 는 줄기 직경, κ 는 von Kármán 상수로 0.40이다.

3. 공식별 수목 조도 특성 분석

수목에 대한 가정은 수목의 물리적 특성이 잘 알려진 검은 깃버들로 가정하였으며 관련 인자는 Wang과 Zhang[4]을 참고하여 설정하였다. 가정된 수목 높이는 1.2 m, 줄기 직경 0.019 m, 수목 밀도 2.3 개/m², 수목 항력계수 0.88, 수목 강성

계수 E_s 1.5×10^8 등이다. 공식별로 산정된 수심별 수목 조도는 그림 1과 같다.



[그림 1] 수심에 따른 수목 조도 공식 비교

Kouwen과 Fathi-Moghadam 공식은 상대적으로 매우 높은 조도계수를 나타내는데 수심 증가에 따라 증가속도는 감소하지만 수심 6 m에서 0.324까지 증가한다. Baptist 공식과 Freeman 공식은 유사한 결과를 나타내는데 수심이 수목 높이가 부근까지 증가하면서 조도계수가 증가하고, 수심이 수목 높이가 이상으로 상승하면 조도계수가 서서히 감소하는 경향을 나타내며 일정한 값에 수렴하는 양상을 보인다.

Baptist 공식은 수목을 원통형의 강체로 가정한 이론식에서 유도된 공식이고 Freeman 공식은 실제 수목에 대한 실험 결과로 제안된 공식임에도 두 개의 공식이 유사한 거동을 나타내고 있다.

Kouwen과 Fathi-Moghadam 공식은 Chow의 조도계수 표와도 상당한 차이를 보이며 Baptist 공식 및 Freeman 공식과의 차이도 심하여 실제 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 수목에 의한 수위 영향을 정량적으로 분석하기 위해 Kouwen과 Fathi-Moghadam 공식, Baptist 공식, Freeman 공식 등 3개의 공식의 수심별 조도계수 특성을 비교하였다.

Kouwen과 Fathi-Moghadam 공식은 상대적으로 매우 높은 조도계수를 나타내며 수심 증가에 따라 지속적으로 증가하는 특성을 보였다. Baptist 공식과 Freeman 공식은 유사한 결과를 나타내는데 수심이 수

목 높이가 부근까지 증가하면서 조도계수가 증가하고, 수심이 수목 높이가 이상으로 상승하면 조도계수가 서서히 감소하는 경향을 나타내며 일정한 값에 수렴하는 양상을 보였다.

수목 조도의 일반적인 특성을 고려하면 Baptist 공식과 Freeman 공식을 적용하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 재원으로 환경시설 재난재해 대응 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. 이에 감사드립니다. (2022002850001).

참고문헌

- [1] Freeman, G. E., W. J. Rahmeyer, and R. R. Copeland. 2000. Determination of resistance due to shrubs and woody vegetation. ERDC/CHL TR-00-25. Vicksburg, MS: US Army Corps of Engineers Research and Development Center.
- [2] Kouwen, N., and M. Fathi-Moghadam. 2000. "Friction factors for coniferous trees along rivers." J. Hydraul. Eng. 126 (10): 732 - 740.
- [3] Baptist, M. J., V. Babovic, J. Rodríguez, M. Keijzer, R. Uittenbogaard, A. Mynett, and A. Verwey. 2007. "On inducing equations for vegetation resistance." J. Hydraul. Res. 45 (4): 435 - 450.
- [4] Wang, Junna, and Zhang, Zhonglong, "Evaluating Riparian Vegetation Roughness Computation Methods Integrated within HEC-RAS", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 145, No. 6, pp. 2019.