

식생된 홍수터 복단면 수로에서 수리특성에 관한 연구

A Study on Hydraulic Characteristics in Compound Channels with Vegetated Floodplains

김 종 우* · 윤 세 의**
Kim, Jong-Woo · Yoon, Sei-Eui

요 지

본 연구는 식생지름에 따른 식생된 복단면 하천에서 수리특성에 관한 것이다. 또한 국외에서 개발된 모형들의 차이점과 적용가능성을 조사하는 것이다. 연구결과로써 주수로의 유속은 식생밀도 증가에 따라 증가하는 동안 경계면마찰계수는 감소하다가 어느 식생밀도 지점부터 일정하였다. 하상경사가 0.5 ‰와 식생직경이 12 mm일 경우 경계면마찰계수에 대한 Pasche 모형은 10.9 %, Bertram 모형은 12.4 %, Mertens 모형은 16.8 % 평균오차를 발생시켰다. 그러나 식생밀도가 증가할수록 Nuding 모형의 오차가 증가함을 볼 수 있으며, 평균오차가 60.5 % 발생되었다. 주수로의 실측된 유속에 대한 Pasche 모형의 평균오차는 2.8 %, Mertens 모형의 평균오차는 8.3 %, Bertram 모형의 평균오차는 14.7 %, Nuding 모형의 평균오차는 11.8 %이다. 그러므로 Pasche 모형은 실제 복단면 하천에 적용하기 위해 더 유용하다. Strickler 계수를 사용한 Bertram 모형은 다른 모형보다 계산이 복잡하지 않고 측정된 마찰계수 및 유속값과 잘 일치한다.

핵심용어 : 식생된 홍수터, 복단면 수로, 모형, 경계면마찰계수

1. 서론

하천식생은 생태하천복원에 있어서 중요한 역할을 하고 있으며, 생물의 다양성 확보, 친수공간의 형성, 호안안정, 오염물질 정화 등의 역할을 하고 있다. 그러나 홍수터의 식생은 항력의 증가로 인해 새로운 이차흐름을 야기시키며, 이런 흐름저항은 유속 및 홍수위에 영향을 미친다. 따라서 식생에 따른 하천의 흐름특성연구가 요구된다. 최근까지 다양한 하상저항, 식생의 특성(식생저항, 식생밀도, 체적 및 투과성, 수목의 형태 등)을 충분히 고려하지 못했지만 하천의 강성식생에 대한 연구가 상당한 발전을 이루어져 왔다.

국외에서 실시된 많은 연구중 복단면 수로(Pasche, 1984), 제방이 있는 소형수로(Bertram, 1985; Mertens, 1989), 단순수로(Nuding, 1991)에서 모형들이 개발되었다. 국내에서 윤세의 등(1997)은 식생에 의한 수위변화에 관해 연구하였다. 여흥구 등(1994)은 식생에 따른 개수로 흐름저항 관하여 연구하였다. 강형식과 최성욱(2006)은 식재된 개수로에서 항력가중계수의 영향을 고려한 흐름특성에 관한 연구에도 불구하고 실무에서 적용할 수 있는 모형의 개발이 요구된다.

그러므로 본 연구는 국외에서 개발된 모형들의 정확성을 실험실측데이터와 비교분석을 통해 검

* 정회원 · 경기대학교 공과대학 토목공학과 강사 · 공학박사 E-mail : kimjw0426@nate.com

** 정회원 · 경기대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사 E-mail : syoon@kyonggi.ac.kr

증하였으며, 복단면 실험수로에서 식생밀도와 하상경사에 따른 식생이 흐름에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 하천식생에 따른 횡단면 유속분포

Felkel(1960)은 하천식생에 따라 유속과 유량이 변화됨을 제시하였다. 예를 들면, 식생이 존재하지 않는 저면폭이 0.5 m와 수심이 0.35 m인 사다리꼴 하천에서 유량이 0.348 m³/s일 경우 사면의 식생 때문에 유량이 0.132 m³/s(37.9 %)로 감소되었다. 이때 최대유속은 식생이 없을 경우 0.348 m/s에서 식생을 할 경우 0.32 m/s로 약 38 % 감소되었다.

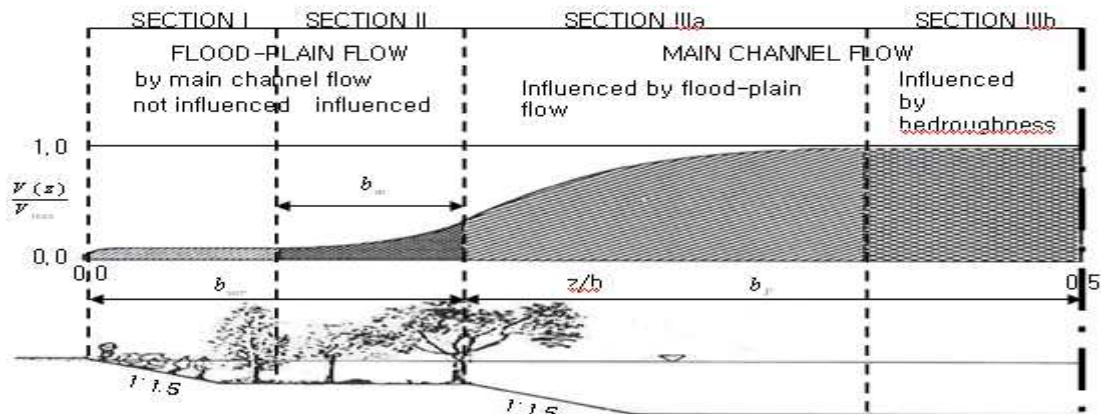


그림 1. 주 수로와 홍수터에서의 식생에 따른 경계면 영향과 분할단면의 유속분포(Rouvé, 1987)

그 이유는 하천식생구역 주변에서 흐름간에 격심한 혼합현상이 야기되며, 증가된 흐름저항은 난류현상을 야기시킬 뿐만 아니라 에너지손실을 발생시킨다. 이때 유속분포는 식생에 따른 복단면 하천내의 식생구간과 비식생구간 사이를 4개의 구역으로 나눈다(Rouvé, 1987). 그림 1과 같이 횡단면 형상이 식생 변무현황에 따라 현저한 유속차가 생긴다. 이는 식생구간과 비식생구간 같이 유속차가 큰 경계에서 생기는 흐름의 운동량 전달이 야기되며, 그 결과 마찰저항이 증대된다. 특히 밀생한 식생이 광범위하게 존재한 좌측 Section I는 유속이 감소하며 주수로의 흐름에 영향을 받지 않지만 Section II에서는 유속이 증가하며, 주수로 흐름의 영향 때문에 상호작용효과로 수목주위에 난류현상이 발생된다. Section IIIa와 Section IIIb에서는 유속이 증가하며, 점점 홍수터식생의 영향이 감소된다.

3. 식생의 영향에 따른 모형비교

본 연구에 적용된 모형들은 표 1과 같다. 경계면 마찰저항에 대해 개발된 모형들은 강성식생에서 연구되었다. 표 1과 같이 Strickler의 저항계수 값 15 m^{1/3}/s를 Bertram 모형에 사용하였다. 본 연구는 홍수터에 강성식생으로 식재된 복단면 수로에 대해 독일학술재단(Deutsche Forschungsgemeinschaft)에서 실시한 실험(Rouvé, 1987)자료를 사용하였다(표 2). 표 2와 같이 식생간의 간격은 4등급으로 나뉘며, 유속은 Darcy-Weisbach 공식으로 산정되었다. 유량은 연속방정식으로 계산되었다.

표 1. 각 모형에 따른 경계면 마찰계수(f_T)



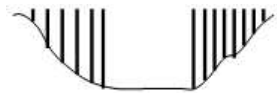
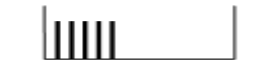
Models	Interface friction factor(f_T)	Property
Pasche (1984)	$\frac{1}{\sqrt{f_T}} = -2.03 \cdot \lg \left(0.072 \left[\frac{b_m}{b_F/2} \right]^{1.07} \cdot \Omega \right),$ $k_T = 0.793 \cdot r_{hy.T} \left(\frac{b_m}{b_F} \right)^{0.9} \cdot \Omega \quad \text{with} \quad \Omega = \left(0.07 \frac{a_{NL}}{a_x} \right)^{3.3} + \left(\frac{a_{NB}}{a_y} \right)^{0.95}$ $b_m = \frac{h_{vor}}{f_{vor}} (0.068e^{(0.56e_T)} - 0.056) \quad \text{with} \quad c_T = v_{*T}/v_F = -3.27 \lg \Omega + 2.85$	Wide, compound channel with floodplain vegetation 
Bertram (1985)	$\frac{1}{\sqrt{f_T}} = 2.035 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot 3.046 \cdot r_{hy.T}}{k_T} \right), \quad k_T = k_{T.V} + k_{T.I}$ <p>with $k_{T.V} = 1.2 - 1.5d_p$ and $k_{T.V.1} = \sqrt[3]{\frac{V_{I2}}{V_{I1}}} \cdot k_{T.I2}$ or</p> $k_{St.T} = \frac{26}{k_T^{1/6}}$	Compact channel with bank vegetation 
Mertens (1989)	$\sqrt{\frac{8}{f_T}} = 2.5 \cdot \ln \left(\frac{B_{III}}{k_T} \right) + 6.27, \quad k_T = c \cdot b_m + k_{TO} \quad \text{with}$ $c = 1.0 - 0.3 \cdot (10^{-3} \cdot B_*) + 0.06 \cdot (10^{-3} \cdot B_*)^{1.5},$ $b_m = b_{II,max}/2, \quad B_* = \left(\frac{a_x}{d_p} - 1 \right)^2 \left(\frac{a_y}{d_p} \right)$	Trapezoidal channel with bank vegetation 
Nuding (1991)	$f_T = 4 \left[\log \left(\frac{v_{o.F}}{v_{o.V}} \right) \right]^2 \frac{r_{hy.V}}{h_T} \frac{b_m}{b_F}, \quad b_F = \frac{A_F}{h_T},$ $b_c = b_m = 3.2 \sqrt{a_x \cdot d_{p,y}} \quad \text{or} \quad b_c = b_m = 0.15h_T$	Partly vegetated rectangular channel 

표 2. 상대폭에 따른 측정된 매개변수($b_{vor}/b_F=1$; b_{vor} =홍수터 폭)

Cross section	I_s (%)	D_p (n/m^2)	d_p (mm)	a_x (mm)	a_z (mm)	h_F (m)	b_m (m)	f_T (-)	V_F (m/s)
I	0.5	50	12	140	140	0.186	0.500	0.134	0.406
II		100	12	70	140	0.185	0.280	0.365	0.365
III		200	12	70	70	0.200	0.280	0.349	0.349
IV		800	12	35	35	0.185	0.110	0.161	0.358
I	1	50	12	140	140	0.175	0.500	0.141	0.536
II		100	12	70	140	0.201	0.280	0.155	0.516
III		200	12	70	70	0.189	0.280	0.173	0.504
IV		800	12	35	35	0.200	0.110	0.163	0.514

4. 수리특성 분석결과

그림 2는 하상경사가 변화할 경우 표 1에 제시된 모형에 의해 계산된 경계면 마찰계수와 실측마찰계수(표 2)와의 비교분석을 나타낸다. 경계면 마찰계수는 하상경사(I_s)가 0.5 %와 식생 밀도가 50 n/m^2 일 경우 Bertram(1985)이 제시한 모형은 -21.2 % 오차를 발생시켰으며, Mertens 모형은 15.0 %, Nuding 모형은 -49.0 %, Pasche 모형은 6.0 %이다(그림 2(a)). 또한 하상경사(I_s)가 1 %

과 식생밀도가 50 n/m^2 일 경우 Bertram 모형은 -29.7% 오차를 발생시켰으며, Mertens 모형은 19.3% , Nuding 모형은 -22.8% , Pasche 모형은 0.2% 이다(그림 2(b)).

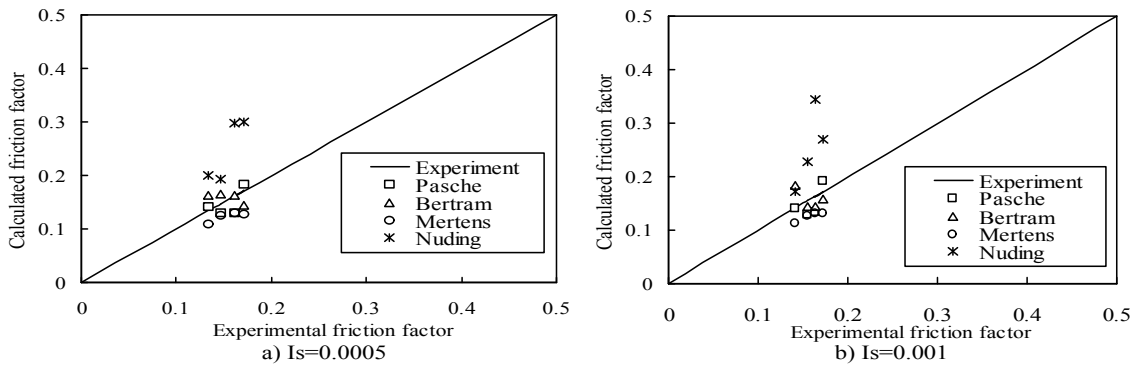


그림 2. 하상경사에 따른 경계면 마찰계수에 대한 실측치와 계산치와 비교

그림 3은 식생밀도와 하상경사에 따른 경계면 마찰계수에 대한 비교분석을 나타낸다. 경계면 마찰계수는 식생밀도가 증가함에 따라 증가하다가 식생 밀도 200 n/m^2 지점부터 일정하였다.

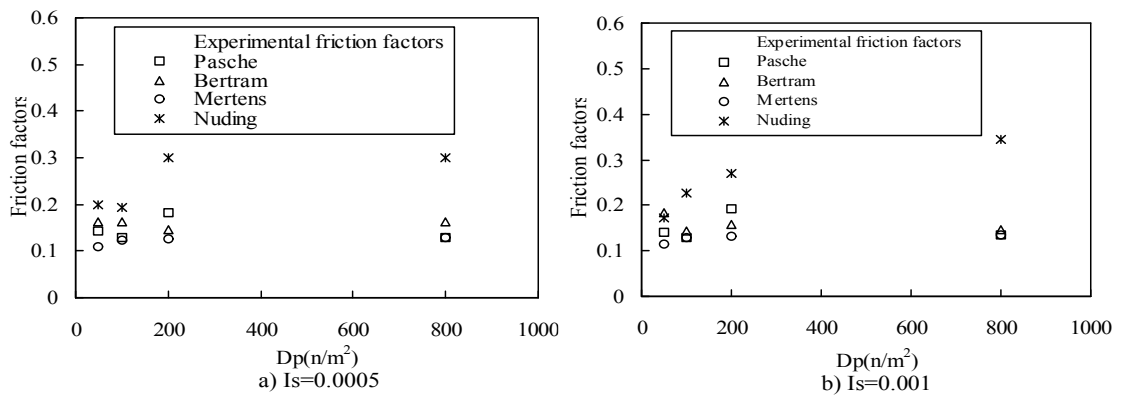


그림 3. 식생밀도와 하상경사에 따른 경계면 마찰계수

그림 4는 주수로의 실측유속과 모의 결과 값과 비교를 나타낸다. 식생의 영향을 고려한 주수로의 유속은 하상경사(I_s)가 0.5% 과 식생밀도(D_p)가 50 n/m^2 일 경우 Bertram(1985)이 제시한 모형은 10.3% 오차를 발생시켰으며, Mertens 모형은 7.3% , Nuding 모형은 -8.7% , Pasche 모형은 0.2% 이다(그림 4(a)).

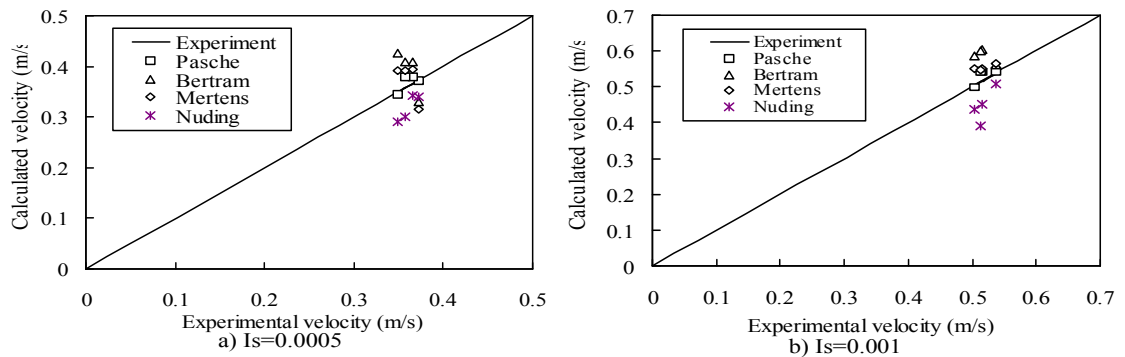


그림 4. 하상경사에 따른 주수로의 유속에 대한 실측치와 계산치와 비교

하상경사(I_s)가 1 % 과 식생밀도가 50 n/m²일 경우 Bertram(1985)이 제시한 모형은 -4.8 %의 오차를 발생시켰으며, Mertens 모형은 -5.2 %, Nuding 모형은 5.2 %, Pasche 모형은 1.3 %이다(그림 4(b)).

5. 결론

본 연구는 식재된 복단면 실험수로에서 하상경사와 식생밀도변화에 따른 수리인자변화를 분석하였다. 또한 대표적인 항력접근법에 의해 연구된 Pasche, Bertram, Mertens, Nuding 모형을 제시하였으며, 실험실측 데이터와 비교분석하였다. 그 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 경계면 마찰계수는 식생밀도가 증가함에 따라 증가하다가 식생 밀도 200 n/m²지점부터 일정하였다.
- (2) Pasche 모형은 Bertram, Mertens, Nuding 모형들보다 경계면 마찰계수의 오차범위가 10.9% 내에서 실측치와 잘 일치하였지만 Nuding 모형은 가장 큰 오차를 나타낸다.
- (2) 하상경사가 0.5 % 일 경우 Pasche 모형의 유속평균오차는 2.8 %, Bertram 모형의 유속평균오차는 14.7 %, Mertens 모형의 유속평균오차는 8.3 %, Nuding 모형의 유속평균오차는 11.8 %이다. Pasche 모형이 가장 잘 실측치와 일치하였다.

결론적으로 본 연구에 적용된 모형들 중 Pasche 모형이 가장 잘 식재된 복단면 하천의 흐름해석을 할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 강형식, 최성욱 (2006). 식생된 개수로에서 항력가중계수가 흐름에 미치는 영향 분석. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제26권 제5B호. pp. 529-537.
2. 여홍구, 박문형, 강준구, 김태욱 (2004). 개수로 내 식생구간의 흐름저항 및 흐름특성에 관한 실험적 고찰. 한국환경복원녹화기술학회지, 제7권, 제6호, pp. 61-74.
3. 윤세의, 정재욱, 김원화, 김환국 (1997). 수목이 있는 하도에서의 수위 예측. 한국수자원학회 학술발표회논문집, 한국수자원학회, pp. 69-74.
4. Bertram, H.-U. (1985). *Ueber den Abfluss in Trapezgerinnen mit extremer Boeschungssrauheit*. Mitteilungen aus dem Lichtenweiss-Institut fuer Wasserbau, TU Braunschweig. Heft 86.
5. Felkel, K. (1960). *Gemessene Abfluesse in Gerinnen mit Weidenbewuchs*. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt fuer Wasserbau 15 (Karlsruhe), pp 34-51.
6. Mertens, W. (1989). Zur Frage hydraulischer Berechnungen naturnaher Fließgewässer. Wasserwirtschaft 79(4), pp. 170-179.
7. Nuding, A. (1998). Zur Durchflussermittlung bei gegliederten Gerinnen. Wasserwirtschaft 88(3), pp. 130-132.
8. Pasche, E. (1984). Turbulenzmechanismen in naturnahen Fliessgewässern und die Möglichkeiten ihrer mathematischen Erfassung. Rheinisch-Westflaelische Technische Hochschule Aachen.
9. Rouvé, G. (1987). *Hydraulische Probleme beim naturnahen Gewässerausbau*. Dtsch. Forschungsgemeinschaft(DFG), Weinheim, Germany.