

복단면 개수로흐름에서 홍수터 식생의 흐름저항을 반영한 1차원 모형

One-Dimensional Model for Flow Resistance of Floodplain Vegetation in Compound Open-Channel Flow

박 문 형*

Park, Moonhyeong

Abstract

In this study, the 1D apparent shear stress model for vegetated compound open-channel flows was suggested. To consider the effect of momentum exchange between main channel and floodplain, the eddy viscosity concept was used in the present model. The interfacial eddy viscosity in the interface of main channel and floodplain was determined from the 3D Reynolds stress model. The evaluated interfacial eddy viscosity appears to be good agreement with those proposed previously. To investigate the effect of interfacial eddy viscosity, sensitive analysis was carried out. the computed backwater profiles are nearly identical with respect to the value of the interfacial eddy viscosity. However, the discharge conveyed by the floodplain changes is proportional to the interfacial eddy viscosity. Finally, the changes of the interfacial eddy viscosity due to the vegetation density and vegetation height were examined. The computed results of interfacial eddy viscosity are in proportion to the vegetation density and vegetation height, and the interfacial eddy viscosity has a range of $(2-5) \times 10^{-4}$.

Keywords : compound open-channel flows, floodplain vegetation, momentum exchange, apparent shear stress, interfacial eddy viscosity

요 지

본 연구에서는 식생이 포설된 홍수터를 포함하는 복단면 개수로 흐름의 수위를 예측하기 위하여 유효 전단응력기법에 근거한 일차원 모형을 제시하였다. 제안된 모형은 주수로와 홍수터 접합부에서 발생하는 운동량 교환효과를 와점성계수 개념을 이용하여 반영할 수 있다. 주수로와 홍수터의 경계에서 발생하는 경계와점성계수는 3차원 레이놀즈 응력 모형을 이용하여 결정하였다. 경계와점성계수의 영향을 파악하기 위하여 민감도분석을 수행하였다. 경계와점성계수의 변화에 대하여 배수곡선의 변화는 크지 않았으나, 홍수터에서 부담하는 유량은 경계와점성계수에 비례하여 증가하였다. 마지막으로 식생된 홍수터의 식생밀도 및 침수비에 따른 경계와점성계수의 변화를 살펴보았다. 계산된 경계와점성계수는 식생 밀도와 침수비에 비례하며, 대략 $(2-5) \times 10^{-4}$ 정도의 값을 갖는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 복단면 개수로 흐름, 홍수터 식생, 운동량 교환, 유효 전단응력, 경계와점성계수

1. 서 론

일반적으로 유량에 비해 하폭이 넓고 단단면의 형상을

갖는 수로는 하상의 침식 및 퇴적에 의해 하천의 불안정이 발생할 수 있으며 복단면 수로에 비해 지체시간이 줄어들어 하류에 홍수의 정체를 유발할 수 있다. 또한, 생태

* 교신저자, 한국건설기술연구원 하천, 해안항만연구실 수석연구원 (E-mail: moon@kict.re.kr)

Senior Researcher, River, Coastal and Harbor Research Division, Korea Institute of Construction Technology, 411-712, Korea.

적으로도 이러한 단단면 수로는 하천의 생물군을 하천 회랑 (stream corridor)과 분리시켜 생물의 다양성 확보에 좋지 않은 영향을 주는 것으로 알려져 있다 (Helmio, 2002). 하천 관리에서 이에 대한 경제적이며 손쉬운 해결 방안이 복단면 수로로 설계하는 것이다.

복단면 개수로 흐름은 홍수터와 주수로 사이에서 복잡한 흐름 양상을 갖는 특징이 있다. 그림 1은 복단면 개수로 흐름의 개략적인 특징을 나타낸 것이다. 주수로와 홍수터의 수심 및 조도 차이에 의하여 홍수터는 주수로에 비해 작은 유속을 갖는다. 이러한 유속차에 의해 주수로와 홍수터의 접합부 부근에서 전단층 (shear layer)이 형성되며, 방향이 다른 雙渦 (twin vortices)가 형성된다. 이러한 복단면 개수로의 흐름 특성은 접합부에서 질량 및 운동량의 교환을 활발하게 만들고 흐름의 저항으로 작용하여 통수능을 감소시키는 것으로 알려져 있다 (Sellin, 1964). 또한 실제 하천은 단면형이 지속적으로 변하기 때문에 주수로와 홍수터 사이에 유량교환 (혹은 질량교환)이 이루어진다. 따라서 복단면 개수로 흐름에서 수위를 정확하게 예측하기 위해서는 주수로와 홍수터 접합부에서 발생하는 운동량 교환 및 유량 교환을 수학적 모형에 합리적으로 반영하여야 한다.

복단면 개수로의 배수곡선을 계산하는 일차원 모형은 Table 1에 정리한 것과 같이 3가지 접근방법에 기초하고 있다. 즉, 단일 수로기법 (single channel method), 분할 수로기법 (divided channel method), 그리고 유효 전단응력 기법 (apparent shear stress method)이 있다. 단일수로기법과 분할수로기법은 접합부에서의 운동량 교환 및 유량 교환에 의한 효과를 반영하지 못하여 평균유속을 과대산정하며, 유효 전단응력기법이 비교적 정확한 예측을 하는 것으로 알려져 있다. 현재까지 유효 전단력을 결정하기 위한 대부분의 연구는 실험에 근거한 경험적 방법 (Ervine and Baird, 1982; Wormleaton et al., 1982;

Knight and Hamed, 1984; Wormleaton and Merrett, 1990)이 대부분으로서 수치모형에 사용하기에는 범용성에 한계가 있다. 특히 식생된 홍수터를 갖는 개수로 흐름은 식생의 영향으로 인하여 평균유속이 감소되며, 주수로와 홍수터 사이의 유속 차이가 더 커지게 된다. 이러한 유속차이에 의해 주수로와 홍수터의 접합부 근처에서 식생이 없는 일반 복단면 개수로와 다른 새로운 이차흐름이 발생되고 접합부에서의 운동량 및 유량 교환 역시 변화한다.

본 연구에서는 복단면 개수로 흐름 모의를 위한 일차원 모형에서 홍수터의 식생에 의한 전단층의 영향을 검토하였다. 일차원 모형은 Yen et al. (1985)이 제시한 유효 전단응력기법에 근거하여 수치모형을 구축하여 복단면 접합부에서 발생하는 운동량 및 질량 교환을 고려하였다. 접합부 전단층에 의한 영향과 관련 매개변수를 산정하기 위하여 수치모의결과를 이용하였는데, 수치모의는 레이놀즈응력 모형에 근거한 삼차원 모형 (Kang, 2004)을 이용하였다. 모의결과로부터 접합부의 雙渦가 이루는 경계면을 전단층으로 정의하고 전단력에 의한 마찰경사를 산정하였으며, 기존 방법에 의한 결과와 유사한 경향을 보이고 비교적 합리적인 값을 나타내는 것을 확인하였다. 산정된 마찰경사에 근거하여 식생밀도와 침수비 변화 따른 경계와점성계수 (interfacial eddy viscosity)의 범위를 제시하였다.

2. 지배방정식

Yen (1984)은 복단면 개수로의 주수로와 홍수터의 경계에서 발생하는 전단력과 유량교환을 고려한 배수방정식을 제안하였다. 홍수터 식생의 항력에 의한 마찰경사를 고려할 경우 Yen (1984)이 제안한 배수방정식은 다음과 같다.

Table 1. Computing Methods of Compound Open-Channel Flows

Method	Feature	Examples
Single Channel Method (SCM)	<ul style="list-style-type: none"> - use one roughness over main channel and floodplain - may overestimate the velocity in the floodplain 	Cunge et al. (1980)
Divided Channel Method (DCM)	<ul style="list-style-type: none"> - yield better results than SCM - employed in HEC-2 - may overestimate the total discharge due to the ignorance of the momentum transfer 	Myers and Lyness (1997)
Apparent Shear Stress Method	<ul style="list-style-type: none"> - consider the shear layer at the interface - use empirical shear stress formulas - not universal 	Ervine and Baird (1982) Yen et al. (1985)

$$\frac{dH_m}{dx} = \frac{S_0 - \left(S_{fm} + \sum_{L,R} S_{sm} + \sum_{L,R} S_{em} \right)}{1 - Fr_m^2} \quad (1)$$

$$\frac{dH_f}{dx} = \frac{S_0 - (S_{ff} - S_{sf} - S_{ef} + S_v)}{1 - Fr_m^2} \quad (2)$$

여기서 x 는 상류로부터의 거리, H 는 수심, Fr 은 프루드수, S_0 는 바닥경사, S_f 는 마찰경사, S_s 는 경계면 전단응력에 의한 마찰경사, S_e 는 유량교환에 의한 마찰경사, S_v 는 홍수터 식생에 의한 마찰경사이며, 아래첨자 m 과 f 는 각각 주수로와 홍수터, 그리고 L 과 R 은 좌안과 우안의 홍수터를 나타낸다. 위의 식에서 주수로와 홍수터의 바닥경사는 동일하며 식생은 홍수터에만 존재하는 것으로 가정하였다. Eqs. (1) and (2)에서 주수로와 홍수터 유속차이에 의하여 횡방향의 운동량 및 질량의 교환이 발생한다.

위의 Eqs. (1) and (2)에서 마찰경사는 Manning 식을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{fi} = n_i \frac{U_i^2}{R_i^{4/3}} \quad (3)$$

여기서 U 는 단면 평균유속, n 은 Manning 조도계수, R 은 동수반경, 그리고 아래첨자 i 는 주수로(m)또는 홍수터(f)를 의미한다. 경계면 전단층에서의 마찰경사 S_{si} 는 다음 절에서 자세히 소개된다. 주수로와 홍수터 사이의 유량 교환에 의한 마찰경사는 다음과 같다.

$$S_{ei} = \frac{q_{fm}}{gA_i} (2U_i - U_x) \quad (4)$$

여기서 q_{fm} 은 흐름방향의 단위길이당 횡방향 교환유량(홍수터로부터 주수로 방향의 유량전달양), A 는 횡단면적, U_x 는 q_{fm} 의 x 방향 유속으로서 Yen et al. (1985)은 다음의 식을 제안하였다.

$$U_x = \left(\frac{B_f}{B_m + B_f} U_m + \frac{B_m}{B_m + B_f} U_f \right) \quad (5)$$

마지막으로, 홍수터의 식생에 의한 마찰경사는 다음과 같다.

$$S_v = \frac{1}{2} \beta \overline{c_D} Fr^2 H \quad (6)$$

여기서 a 는 식생밀도로서 물의 단위체적당 식생의 흐름방향 투영면적으로 정의되며, $\overline{c_D}$ 는 체적 평균된 원형 실린더의 항력계수로서 실험에 의하면 정수조건과 침수 조건에 대하여 각각 0.2~1.2 (Nepf, 1999)와 1.13 (Dunn, 1996) 정도의 값을 갖는 것으로 알려져 있다.

주수로와 홍수터에 대한 연속방정식은 각각 다음과

같다.

$$\frac{dQ_m}{dx} = \sum_{L,R} q_{fm} \quad (7)$$

$$\frac{dQ_f}{dx} = -q_{fm} \quad (8)$$

여기서 Q 는 유량이다. 직선수로에서 복단면 개수로의 주수로와 홍수터의 수면경사는 동일하다고 가정하면 다음의 식이 성립한다.

$$\frac{dH_m}{dx} = \frac{dH_f}{dx} = \frac{dH}{dx} \quad (9)$$

Eqs. (3)~(8)을 Eqs. (1) and (2)에 대입한 후 dH/dx 와 q_{fm} 에 대하여 연립하여 계산하면 복단면 개수로의 배수곡선을 계산할 수 있다. 자세한 계산 절차는 Yen et al. (1985)에 제시되어 있다.

3. 경계면 전단층에 의한 마찰경사

주수로와 홍수터의 유속차이에 의한 전단층이 수평면의 수직방향으로 발생한다고 가정하면, 경계면에서의 마찰응력은 다음과 같다.

$$\tau_s = -\overline{\rho u' w'} \quad (10)$$

여기서 ρ 는 물의 밀도, u' 과 w' 은 각각 흐름방향과 연직방향의 섭동속도이다. 위의 식에 와점성개념(eddy-viscosity concept)을 적용하면 경계면 전단층에 의한 마찰경사는 다음과 같이 쓸 수 있다 (Yen, 1984; Yen et al., 1985).

$$S_{si} = \frac{\epsilon}{gB_i} \frac{dU}{dy} \quad (11)$$

여기서 y 는 횡방향, B 는 폭, 그리고 ϵ 은 경계 와점성계수로서 실험 또는 신뢰성있는 수치모의를 통하여 결정하여야 한다. Yen et al. (1985)은 ϵ 의 값을 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 정도의 범위로 제안하였으며, ϵ 이 주수로와 홍수터 사이의 유량 배분에 중요한 역할을 하며 배수곡선의 형태에 큰 영향을 미치지 않음을 보였다. Yen et al. (1985)은 주수로와 홍수터 경계의 유속경사에 대하여 다음의 식을 제안하였다.

$$\frac{dU}{dy} = \left(\frac{B_f}{B_m + B_f} U_m - \frac{B_m}{B_m + B_f} U_f \right) \left(\frac{B_m + B_f}{2} \right)^{-1} \quad (12)$$

4. 모형의 검증

본 연구에서 제안한 모형을 이용하여 Fig. 1과 같은 복

단면 개수로 흐름을 수치모의하였다. 수치모의에 적용한 복단면 개수로의 제원은 주수로 폭 $B_m=0.28\text{m}$, 홍수터 폭 $B_f=0.32$, 주수로와 홍수터의 표고차 $H_m-H_f=0.18\text{m}$, 그리고 바닥경사 $S_0=0.0025$ 이다. 주수로와 홍수터의 조도계수는 각각 0.014와 0.027이며, 상류단의 유입유량과 하류단의 수심은 각각 $0.15\text{m}^3/\text{s}$ 와 1.422m 로 설정하였다.

Fig. 2는 본 연구에서 제안한 모형과 HEC-RAS의 결과를 비교한 것이다. 제안된 모형에서 ϵ 은 Yen et al.이 제안한 10^{-6} 을 적용하였는데, 분할수로기법에 근거한 HEC-RAS의 결과와 거의 동일한 것으로 나타났다. Fig. 3은 본 연구에서 제안한 모형과 HEC-RAS에 의하여 계산된 수심의 상대오차를 나타낸 그림이다. 그림에서 HEC-RAS에 의한 결과가 미소하지만 수심을 작게 산정하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 HEC-RAS가 분할수로법에 근거하여 경계면 전단층의 영향을 무시하기 때문 유속을 크게 산

정하고 결과적으로 수심을 작게 산정한 것으로 판단된다.

Fig. 4는 경계와점성계수의 변화에 따른 수위의 변화를 나타낸 그림이다. 수위는 경계와점성계수의 변화에 민감하게 반응하지 않는 것으로 나타났다. 그렇지만 홍수터가 분담하는 유량은 와점성계수에 민감하게 반응하는 것으로 나타났다(Fig. 5). 즉 와점성계수의 값이 증가할수록 전체 유량에 대해 홍수터가 분담하는 유량의 비가 증가하였다 특히 Yen et al. (1985)이 제안한 상한값인 $\epsilon=10^{-4}$ 인 경우, 홍수터에 의한 유량이 최대 45%에 이르는 것으로 나타났다. Yen et al. (1985)은 경계와점성계수의 범위를 $10^{-6}\sim 10^{-4}$ 으로 제안하였으나 근거를 명확하게 밝히지 않았으며, 연구를 계속 진행하여야 한다고 언급한 바 있다. 복단면 개수로 흐름에서 홍수터의 식생은 수로 전반에 걸쳐 평균흐름과 난류량을 변화시키므로 경계와점성계수는 다른 양상을 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 Kang

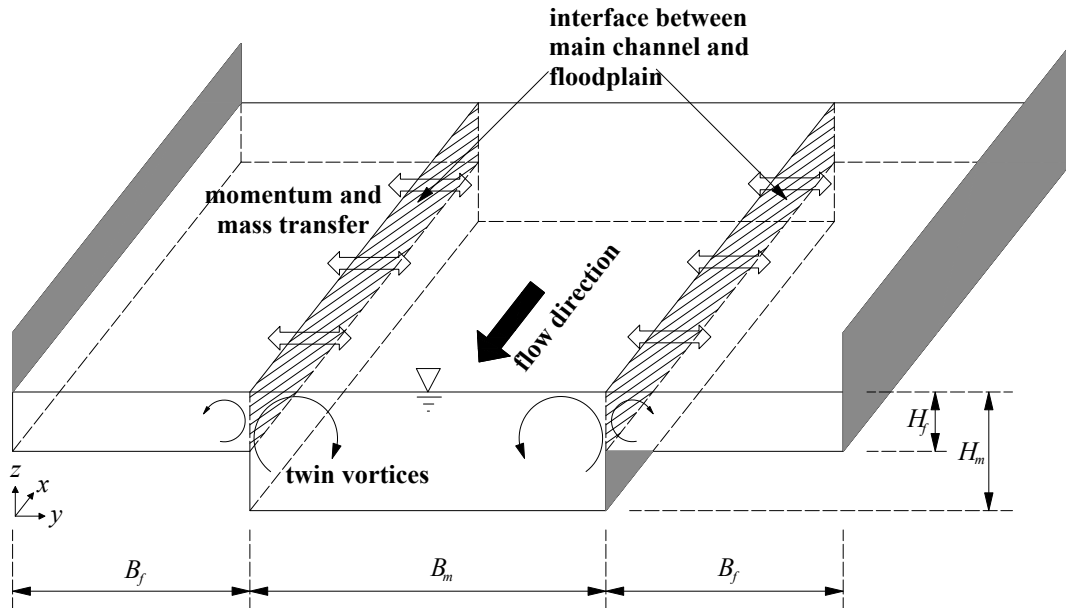


Fig. 1. Momentum and Mass Transfer in Compound Open-Channel Flows

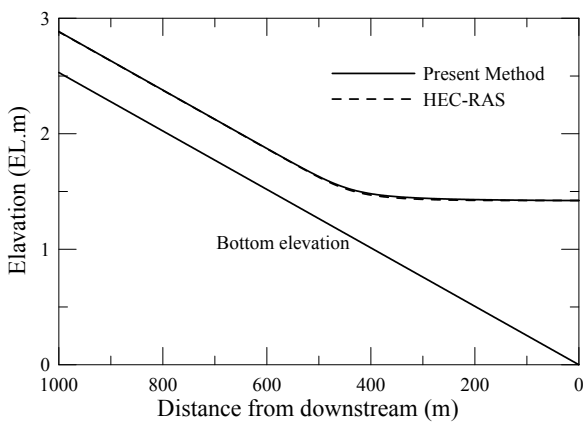


Fig 2. Comparison of Computed Backwater Profiles

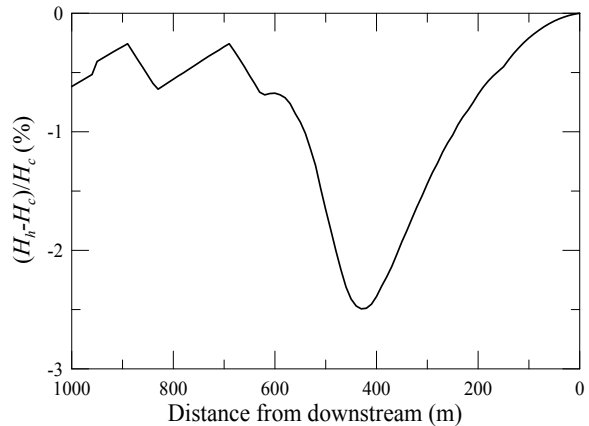


Fig 3. Relative Error between Present Method and HEC-RAS (DCM)

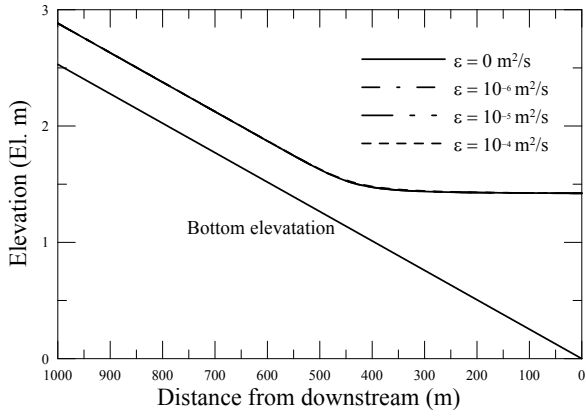


Fig. 4. Effect of ϵ on Backwater Profiles

and Choi (2005), Kang (2004)가 제안한 레이놀즈응력모형에 의한 3차원 수치모형의 결과를 이용하여 식생된 홍수터를 갖는 복단면 개수로의 경계와점성계수의 변화를 살펴보았다.

5. 경계와점성계수의 산정

경계와점성계수를 산정하기 위해서 우선 전단층이 존재하는 경계면을 정의하여야 한다. Yen and Overton (1973)은 주수로 제방과 홍수터의 접점에서 주수로의 중앙 수면으로 연결한 가상의 직선을 경계로 정의한 바 있다. 본 연구에서는 레이놀즈응력모형에 의한 3차원 수치모형의 결과로부터 경계면을 정의하였다.

Fig. 6은 복단면 개수로에 대하여 레이놀즈응력모형을 이용하여 계산된 예이다. 지배방정식과 레이놀즈응력모형, 수치기법 및 계산조건은 Kang and Choi (2005)와 Kang (2005)에 자세하게 서술되어 있다. Fig. 6(a)는 주 흐름 방향으로의 유속분포를 나타낸다. 접합부 근처에서의 유속분포를 살펴보면, 등유속선이 자유수면을 향하여 비스듬하게 편향되어 있는 것을 볼 수 있으며, 이 구간에서 유속이 감소하는 것을 알 수 있다. Fig. 6(b), (c)는 각각 횡방향($-\overline{u'v'}$)과 수직방향($-\overline{u'w'}$) 레이놀즈응력의 분포도이다. $-\overline{u'v'}$ 과 $-\overline{u'w'}$ 의 크기는 각각 횡방향과 수직방향으로의 운동량이 교환되는 정도를 나타낸다. Fig. 6(b)에서 횡방향 레이놀즈응력은 $y/H=1.5$ 에서 영이 되며, 주수로에서 $y/H=1.5$ 를 기준으로 좌측 및 우측에서 각각 양과 음의 레이놀즈응력이 발생하고 있다. 또한 접합부 근처를 살펴보면, 주수로의 측벽쪽에서 음의 최대값이 발생되며 홍수터 위에서는 국부적인 양의 값이 발생하는 것을 볼 수 있다. Fig. 6(c)에서 수직방향 레이놀즈응력은 바닥에서 최대값을 나타내며 자유수면으로 갈수록 감소하고 있으며, 접합부 부근에서 주 흐름 방향으로의 유속분

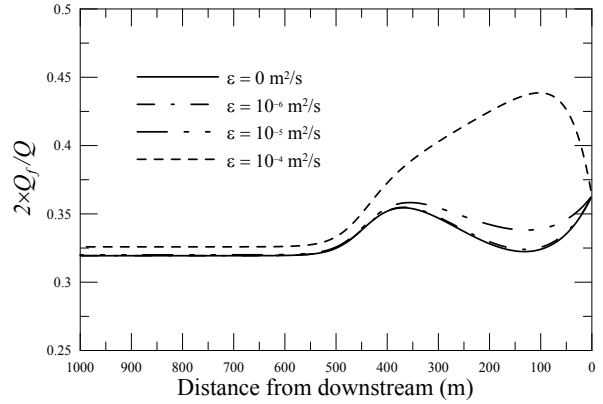


Fig. 5. Effect of ϵ on Flowrate of Floodplain

포와 유사한 양상을 나타내고 있다. Fig. 6(d)는 이차흐름 벡터도를 나타낸다. 그림에서 실선과 점선은 각각 시계방향과 반시계방향의 와를 나타내는데, 주수로와 홍수터의 접합부에서 회전방향이 반대인 雙渦가 존재하는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 Fig. 6(d)에서 雙渦의 경계에 전단층이 위치하는 것으로 정의하였다. 비슷하게 전단층의 위치를 평균유속의 분포(Fig. 6(a))로부터 정의할 수 있으나, 홍수터의 수심이 매우 작은 경우 이 방법을 적용할 수 없으므로 Fig. 6(d)에 의한 방법이 합리적으로 판단된다. 그림의 전단층에서 전단응력은 다음 식을 통하여 산정할 수 있다.

$$\tau_s = -\overline{\rho u'_{\theta s} u'_{\theta n}} \quad (12)$$

여기서 $u'_{\theta s}$ 과 $u'_{\theta n}$ 는 각각 전단층의 접선 방향 및 법선 방향의 진동유속 성분이다. Eq. (12)를 이용하면 다음과 같은 전단력에 의한 마찰경사를 유도할 수 있다.

$$S_s = \frac{1}{gA_i} \int_s \overline{u'_{\theta s} u'_{\theta n}} ds = \frac{1}{gA_i} \int_s [\sin\theta \cdot \overline{u'v'} - \cos\theta \cdot \overline{u'w'}] ds \quad (13)$$

여기서 θ 는 전단층과 수평면이 이루는 각도이다(수직일 경우 영). Eqs. (4) and (13)으로 부터 경계와점성계수는 다음과 같이 유도된다.

$$\epsilon = \frac{1}{H_i} \int_s [\sin\theta \cdot \overline{u'v'} - \cos\theta \cdot \overline{u'w'}] ds \cdot \left(\frac{dU}{ds} \right)^{-1} \quad (14)$$

5.1 비식생 복단면 개수로의 경계와점성계수

Fig. 7(a)와 같은 식생이 없는 복단면 개수로 흐름에 대하여 레이놀즈응력모형의 수치모형의 결과를 이용하여 전단력에 의한 마찰경사를 계산하였다. 레이놀즈응력모형을 이용한 수치실험 조건은 주수로의 수심 $H_m=0.08$ m,

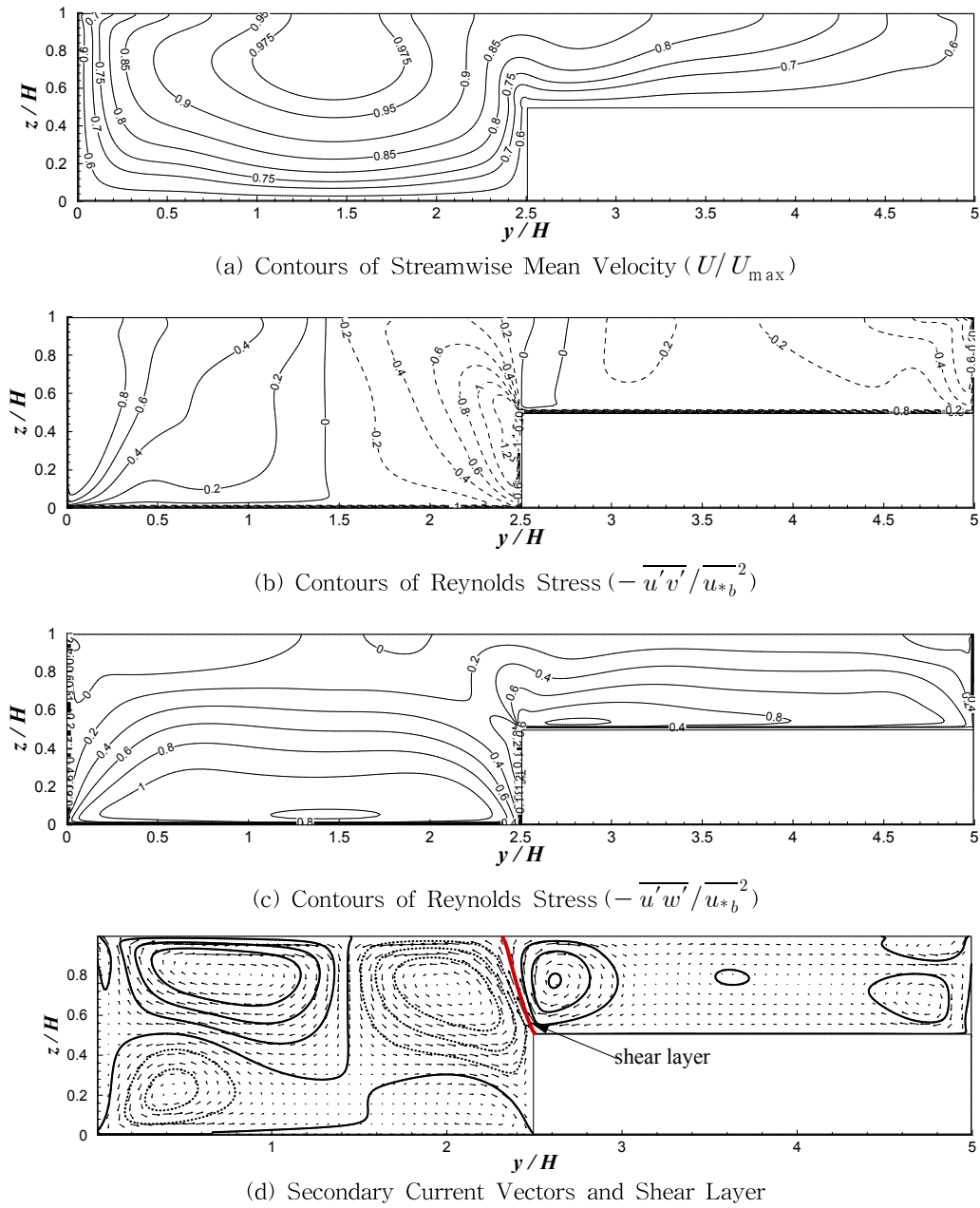


Fig. 6. Computation Results from RSM

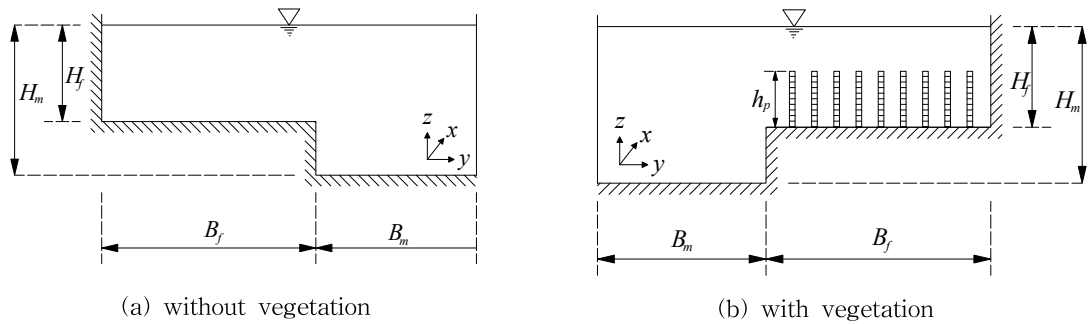


Fig. 7. Schematic Sketch of Compound Open-Channel

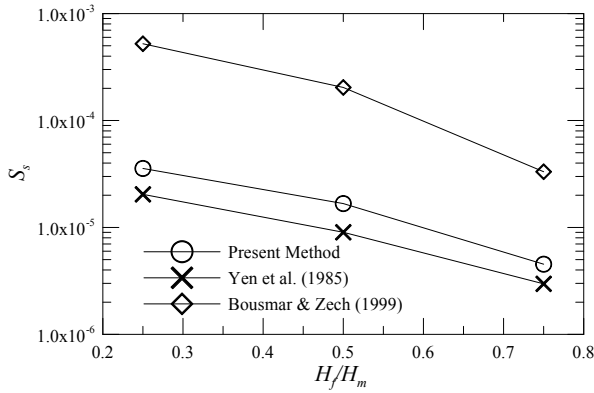


Fig. 8. Comparison of Friction Slope due to Interfacial Shear Force

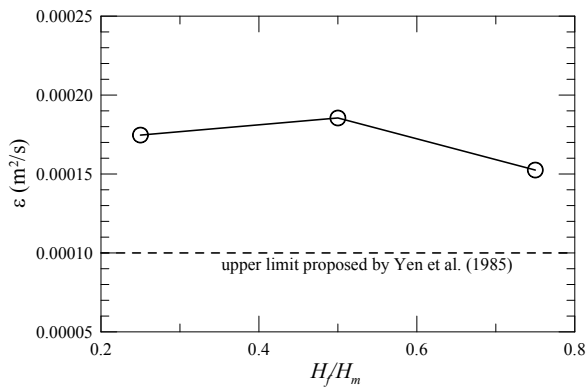


Fig. 9. Comparison of Interfacial Eddy Viscosity

홍수터 수심 $H_f=0.02, 0.04, 0.06$ m, 주수로의 폭 $B_m=0.4$ m, 그리고 홍수터 폭 $B_f=0.2$ m이다.

Fig. 8은 홍수터와 주수로의 수심비 변화에 따라 계산된 S_s 를 Yen et al. (1985)이 제안한 식과 Bousmar and zech (1999)이 제안한 식에 의한 결과와 함께 비교한 것이다. 세 가지 결과 모두 홍수터와 주수로의 수심비가 증가할수록 S_s 가 감소하는 양상을 나타내고 있다. 본 연구에서 제안한 방법에 의한 결과는 Yen et al. (1985)의 식과 Bousmar and Zech (1999)의 식 사이에서 존재하며 비교적 합리적인 값을 나타내고 있다.

Fig. 9는 Eq. (14)를 이용하여 산정된 경계와점성계수의 변화를 도시한 것이다. 계산된 결과는 Yen et al. (1985)이 제안한 범위보다 다소 크게 나타났으나, 동일한 차원을 갖는 것으로 나타났다.

5.2 식생된 복단면 개수로의 경계와점성계수

Fig. 7(b)와 같이 홍수터에 식생이 있는 복단면 개수로 흐름에서의 경계와점성계수의 변화를 계산하였다. 홍수터의 수심을 제외한 복단면 개수로의 수심 및 수로 폭은 앞에서 사용된 것과 동일하며, 홍수터의 수심 $H_f=0.04$ m이다.

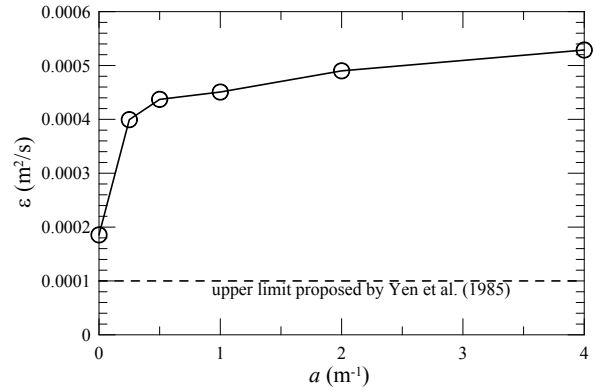


Fig. 10. Impact of Vegetation Density on Interfacial Eddy Viscosity

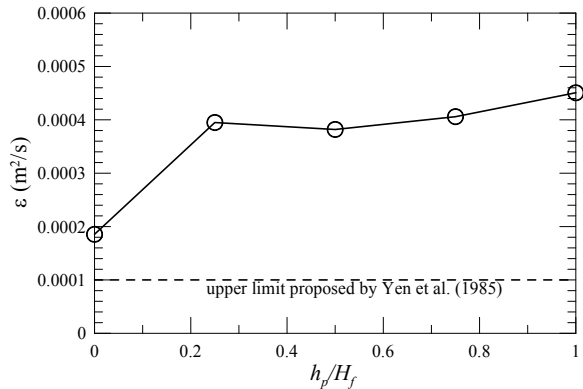


Fig. 11. Impact of Vegetation Height on Interfacial Eddy Viscosity

Fig. 10은 정수식생 조건 ($h_p = H_f$)에 대하여 식생밀도 $a=0.25\sim 4.0$ m^{-1} 으로 변화하는 경우 경계와점성계수를 계산한 결과이다. 경계와점성계수는 식생이 존재하지 않을 때에 비하여 2배 이상 증가하며, 식생밀도에 비례하는 것을 확인할 수 있다. 식생밀도 0~4의 범위에서 경계와점성계수는 $(2\sim 5) \times 10^{-4}$ 정도를 나타내었다.

Fig. 11은 식생의 높이에 따른 경계와점성계수의 변화를 나타낸 것이다. 식생이 존재하는 않는 경우 ($h_p/H_f = 0$)에 비하여 식생이 존재하는 경우에 2배 정도 경계와점성계수가 크게 나타나며, 식생의 높이에는 민감하지 않은 것을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 식생된 홍수터를 포함하는 복단면 개수로 흐름을 수치모의하기 위한 일차원 모형을 제시하였다. 제안된 모형은 주수로와 홍수터의 평균유속 차이에 의한 전단층을 고려하는 유효 전단유력기법에 근거하며, 주수로와 홍수터 사이의 질량과 운동량 교환을 고려할 수 있다.

제안된 모형의 수치모의결과를 HEC-RAS에 의한 결과와 비교하였다. 두가지 모형에 의한 배수곡선은 비슷한 형태를 보였으나, HEC-RAS에 의한 결과가 개발된 모형에 비하여 0.5~2.5 % 정도 수심을 작게 산정하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 DCM에 근거한 HEC-RAS가 주수로와 홍수터 사이의 전단력을 고려하지 못하기 때문이다.

전단력에 의한 마찰경사를 계산하는데 필요한 매개변수인 경계와점성계수의 민감도를 분석하였다. 경계와점성계수가 배수곡선에 미치는 영향이 작은 것으로 나타났으며, 주수로와 홍수터에 배분하는 유량에 미치는 영향이 있음을 확인하였다.

복단면 개수로 흐름에서 홍수터의 식생이 경계와점성계수에 미치는 영향을 분석하기 위하여 레이놀즈응력모형의 3차원 수치모의결과를 이용하였다. 수치모의결과로부터 접합부의 雙渦가 이루는 경계면을 전단층으로 정의하여 전단력에 의한 마찰경사를 산정하였다. 비식생 복단면 개수로에서 산정된 마찰경사는 기존 방법에 의한 결과와 유사한 양상을 나타내며 비교적 합리적인 값을 제시하는 것을 확인할 수 있었다.

식생된 홍수터의 식생밀도 및 침수비에 따른 경계와점성계수의 변화를 살펴보았다. 계산된 경계와점성계수는 식생밀도와 침수비에 비례하며, 대략 $(2-5) \times 10^{-4}$ 정도의 값을 갖는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

Bousmar, D., and Zech, Y. (1999). "Momentum transfer for practical flow computation in compound channels." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 7, pp. 696-706.

Cunge, J.A., Holly, F.M. Jr., Verwey, A. (1980). *Practical Aspects of Computational River Hydraulics*, Pitman Publishing Ltd., London, UK.

Dunn, C.J. (1996). "Experimental determination of drag coefficients in an open-channel with simulated vegetation." Master thesis, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.

Ervine, D. A., and Baird, J.I. (1982). "Rating curves for rivers with overbank flow." Proc., I.C.E., Part II, London, Vol. 73, pp. 465-472.

Helmio, T. (2002). "Unsteady 1D flow model of compound channel with vegetated floodplains." *Journal of Hydrology*, Vol. 269, pp. 89-99.

Kang, H., and Choi, S.-U. (2005). "3D numerical simulation of compound open-channel flow with vegetated floodplains by Reynolds stress model." *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 9, No. 1, pp. 7-11.

Kang, H. (2004). "Reynolds stress modeling of vegetated open-channel flows." Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea.

Knight, D.W., and Hamed, M.E. (1984). "Boundary shear in symmetrical compound channel." *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 110, No. 10, pp. 1412-1430.

Myers, R.C., Lyness, J.F. (1997). "Discharge ratios in smooth and rough compound channels." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 3, pp. 182-188.

Nepf, H.M. (1999). "Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation." *Water Resources Research*, AGU, Vol. 35, No. 2, pp. 479-489.

Sellin, R.H.J. (1964). "A laboratory investigation into the interaction between the flow in the channel of a river and that over its floodplains." *La Houille Blanche*, Vol. 7, pp. 793-802.

Wormleaton, P.R., Allen, J., and Hadjipanous, P. (1982). "Discharge assessment in compound channel flow." *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 108, No. 9, pp. 975-994.

Wormleaton, P.R., and Merrett, D.J. (1990). "An improved method of the calculation for steady uniform flow in prismatic main channel/floodplain sections." *Journal of Hydraulic Research*, IAHR, Vol. 28, No. 2, pp. 157-174.

Yen, B.C. (1984). "Hydraulic of floodplains: Methodology for backwater computation." *Institute of Hydraulic Engineering Reports No. 84/5(HWV053)*, University of Stuttgart, Germany.

Yen, B.C., Camacho, R., Kohane, R., and Westrich, B. (1985). "Significance of floodplain in backwater computation." *Proceeding of the 21st IAHR Congress*, Melbourne, Australia, Vol. 3, pp. 439-445.

Yen, C.L., and Overton, D.E. (1973). "Shape effects on resistance in flood-plain channels." *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 99, No. HY1, pp. 219-238.

논문번호: 10-026	접수: 2010.04.07
수정일자: 2010.04.14	심사완료: 2010.04.14