

수변식생에 의한 파랑감쇠 특성

이 성 대*

* 한라대학교 토목공학과 교수

Wave Attenuation due to Water-Front Vegetation

Seong-Dae Lee*

* Department of Civil Engineering, Halla University, Wonju 220-712, Kangwon, Korea

요 약 : 수변이나 연안에서의 식생은 어류의 산란지, 파랑으로부터 배후공간을 보호하고 수변의 침식을 감소하며 아름다운 자연 경관을 제공하고 있으며 수질 정화, 생태학적으로도 주요한 기능을 하고 있는 등 최근 식생의 가치가 재인식되고 있다. 그러나 수변식생에 의한 파랑변형 특성에 관한 수치적 및 이론적 연구뿐 만 아니라 해안수리학적 연구가 아직은 미흡한 상태이다. 본 연구에서는 수변식생에 의한 파랑 감쇠 특성을 비정상완경사방정식에 의한 수치모형에 의해 검토하였으며 단순한 선형장과 이론에 의한 이론적 연구 결과와 비교 검토하였다. 식생이 있는 수로에 파랑이 전파하는 경우 파랑의 감쇠특성은 지형이나 입사파 조건 뿐 만 아니라 식생조건에 따라 변화하므로 이들을 고려하여 검토하였다. 이론적 해석과 수치실험 결과를 통해 식생특성과 파랑조건 및 운동량교환 계수와 같은 파라메타의 특성을 명확히 하였다.

핵심용어 : 수변식생, 파랑감쇠, 수치모형, 이론적 연구, 파랑변형

Abstract : Recently, it has been widely recognized that water-front and coastal vegetations may have great value in supporting fisheries, protecting from wave attack, stabilizing the sea bed and maintaining good scenery. Hydrodynamic factors play a major role in the functions of water quality and ecosystems. However, the studies on numerical and analytical process of wave propagation are few and far behind compared to those on the hydrodynamic roles of water-front vegetations. In this study, in order to express wave attenuation into water-front vegetation, a numerical model based on the unsteady mild slope equation is developed. This result is compared with an analytical model for describing the wave attenuation by assumed simple long wave condition. Based on both the analytical and numerical results, the physical properties of the wave attenuation are examined under various wave, geometric and vegetation conditions. Through comparisons between the analytical and numerical results, the effects of the vegetation properties, wave properties and model parameters such as the momentum exchange coefficient have been clarified.

Key words : Water-front vegetation, Wave attenuation, Numerical model, Analytical model, Wave propagation

1. 서 론

현대 사회에서 하천이나 연안해역과 같은 수변공간(water front)이 가지고 있는 가치가 재인식되고 있으며 특히 이들 공간은 철새나 야생동물의 서식처로 기대되고 있다. 그리고 갈대군락, 큰고랭이류 및 해초와 같은 수변 식생들은 수질 정화, 어류의 산란지, 외해에서 침입하는 파랑으로부터 배후의 수변공간을 보호하거나 아름다운 자연 경관을 제공하고, 수변 구조물에 의한 수변공간의 침식과 구조물 주변의 세굴을 감소시키는 등의 유능한 기능들을 가진 것으로 알려져 있다(이 등, 2003). 그러나 하천이나 연안 해역에 존재하는 식생은 이들 수역에서의 흐름을 억제하기도 하고 특히 홍수나 태풍내습 시 수위상승의 한 요인이 되어 재해방지의 측면에서 제거하는 경우도 있고, 최근에는 대규모 매립과 같은 연안 개발계획에 의해서도 연안식생이 급격히 감소하고 있는 실정이다. 또 다른 한편으로는 최근 환경문제에 대한 관심의 고조에 따라 하천이

나 연안해역이 가지고 있는 공간을 최대한 보전하도록 하는 하천복원이나 친환경적 자연형 해안개발이 주목을 받기도 하여 수변공간의 복원을 통해 수변공간 주위에 생식하고 있는 수생생물의 생육과 이들을 위한 생식장을 확보하려는 움직임도 있다. 하천이나 연안정비 및 수변에서의 환경대책을 수립하는 경우 수변식생이 수역에 미치는 환경 생태학적 측면뿐만 아니라 해안수리학적 관점에서의 연구가 필요하다.

수리학적인 측면에서 수변식생은 외해에서 입사하는 파랑을 감쇠시키는 효과가 있다. 연안식생에 의한 파랑의 거동에 관해서는 Kobayashi et al.(1993), Mendez and Losada(2004) 등의 이론적 연구가 있으며, 수치적 접근법으로는 RANS (Reynolds-Averaged Navier Stokes)방정식을 적용한 Li and Yan(2007) 그리고 연안식생이 수면위로 돌출한 갈대 등과 같은 식생군락에 의한 파랑의 전파특성에 관해서는 Asano et al.(2005)의 연구가 있다. 연안식생은 파랑의 감쇠 뿐만 아니라 하천이나 연안에서의 침식과 퇴적에도 영향을 미치는 것으로

* 교신저자 : 이성대(정회원), sdlee@halla.ac.jp 033)760-1264

알려져 있으며 플라스틱 등과 같은 다양한 재질의 해조류나 인공식생을 사용하여 식생군락장 주위의 흐름이나 저질수송 기구에 관한 다수의 실험적 연구를 통해 해석되고 있다 (Sugahara and Irie, 1992; Sugahara and Nagai, 1994). 그러나, 국내에서는 우리나라 연안 해역에 생식하고 있는 식생의 물리과정에 관한 조사나 연구가 미흡한 상태에 있으며, 수변 식생에 의한 파랑변형이나 흐름 및 표사제어의 해석에 관한 해안수리학적 연구가 최근 시도되고 있는 실정이다(이, 2006).

본 연구에서는 양측호안에 식생이 있는 하구역이나 하구 수로에 파랑이 전파하는 경우를 대상으로 하였으며, 이는 대부분의 자연상태의 하구부에는 갈대나 해조류와 같은 식생군락이 분포되어 있기 때문이다. 이같이 양측호안에 식생이 있는 수로에 파랑이 전파하는 경우 파랑의 전파과정은 수심과 같은 지형이나 입사파 조건 뿐 만 아니라 양측 호안에 존재하는 식생조건에 따른 식생군락의 저항과 저면마찰 계수와 같은 다양한 파라메타가 파랑의 거동특성에 복합적으로 영향을 미치게 될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 양측호안에 식생이 있는 수로에 파랑이 전파하는 경우 파랑의 감쇠효과를 수치적 해석을 통해 확인하고 Asano et al.(2005)의 이론해와 비교·검토하고자 하였다. 이를 위해 먼저 식생의 밀도와 수역의 단면 형상, 입사파에 따른 파랑 특성을 검토하며, 식생의 항력저항과 비식생부와 식생부의 수평확산이 파랑전파에 미치는 영향을 해석하였다.

본 연구에서는 수치적 및 이론적 해석의 타당성을 검토하기 위하여 일정한 수심을 가진 하구부에 선형 입사파가 침입하는 것으로 가정하였으며 연안식생에 의한 파랑전파 특성의 해석을 위해 식생밀도가 식생 수역내에서는 수로의 양측에 균일하게 분포하는 것으로 가정하였다.

2. 수치해석

2.1 기본방정식

Fig. 1에 도시한 바와 같이 일정수심 h 의 수로부에 파랑이 침입하는 것으로 가정하였으며 수로의 양측에 식생이 존재하는 경우를 대상으로 하였다. 파랑의 입사방향을 x 축, 측면에서 하구수로의 횡단방향을 y 축 그리고 정수면상에서 연직상 방향을 z 축으로 취하였다.

수로의 양측에 존재하는 식생에 의한 해안수리학적 특성을 해석하는 경우에는 복잡한 지형조건이나 식생의 조건에 따른 파랑 에너지의 감쇠특성을 고려하여야 하며 특히 하류에서 상류로 갈수록 염분농도의 변화에 의해 식생의 형태나 생태적 특징이 변화하지만 본 연구에서는 단위면적당 식생수를 나타내는 식생밀도 D 가 식생이 존재하는 수역 내에서는 일정하게 분포한다고 가정하였다.

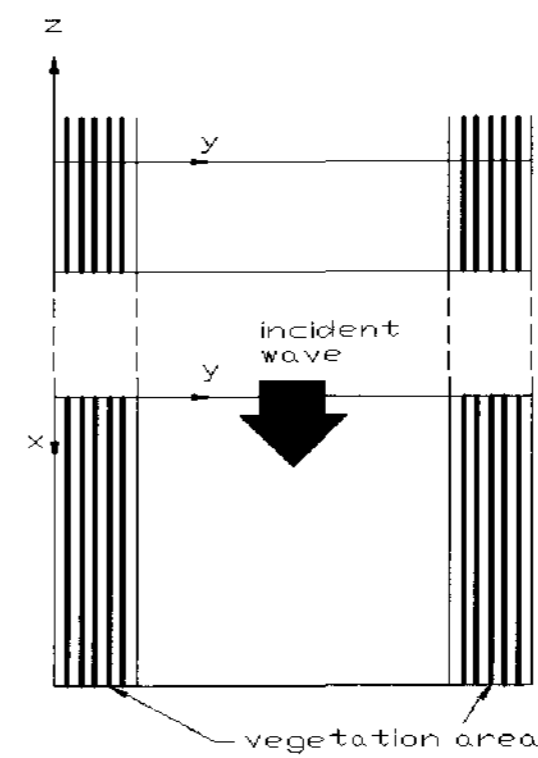


Fig. 1 Definition sketch for model test

연안식생군락을 전파하는 파랑거동 해석을 지배하는 기초방정식은 다음과 같은 비정상완경사 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{n} \frac{\partial(nM)}{\partial x} + \frac{1}{n} \frac{\partial(nN)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + c^2 \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{\tau_x}{\rho} + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + c^2 \frac{\partial \eta}{\partial y} = -\frac{\tau_y}{\rho} + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

여기서, M , N 은 각각 (x,y) 방향의 선유량을 나타내며, $n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right]$, A_h 는 수평확산계수, A_v 는 연직방향 와동점성계수를 나타낸다. 그리고 c 는 파속이며, (2), (3)식의 우변 제1항의 τ_x , τ_y 는 저면마찰력과 식생군락에 의한 유체저항의 합이라고 가정하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\tau_x = \frac{f_o}{2} |QM/h^2 + \frac{f_v}{2} |QM/h^2 \quad (4)$$

$$\tau_y = \frac{f_o}{2} |QN/h^2 + \frac{f_v}{2} |QN/h^2 \quad (5)$$

여기서, $Q = \sqrt{M^2 + N^2}$ 이며, f_o 는 저면마찰계수 그리고 식생에 의한 저항계수 f_v 는 다음과 같이 나타낼 수 있다(淺野 등, 1991).

$$\frac{f_v}{2} u|u| = \frac{C_D}{2} \int_{-h}^0 D d_0 dz u|u| \quad (6)$$

여기서 D 는 식생밀도, d_0 는 식생의 직경, C_D 는 식생의 항력계수이며 Reynolds수와 식생군에 의해 변화하며, Harada and Imamura(2001)는 다음과 같은 실험식을 제안하였다.

$$C_D = 8.4 V_o + 0.66 \quad (7)$$

여기서 V_0 는 대상영역에서의 식생체적비를 나타내며, 식생이 수면위로 돌출한 경우에는 식생의 투영면적에 해당한다.

그리고 수치계산시 식생이 존재하는 영역내의 저유속부와 식생이 없는 영역의 고유속부의 운동량 교환은 유속경사에 비례하는 확산항으로 나타내었다.

수치계산은 비정상 환경사방정식으로 나타난 연속방정식, 식(1)과 운동방정식인 식(4), (5)를 유한차분식으로 나타내어 해석하였으며 공간차분에는 수위 η 와 선유량 M, N 을 엇갈림 격자로 그리고 시간차분에는 Leap-Frog법을 사용하였다.

2.2 수치해석결과

연안해역이나 하구부에는 다양한 종류의 식생이 분포하고 있으며 이에 따른 해안수리학적 영향 또한 복잡하게 나타나고 있으나, 본 연구에서는 외해에서 파랑이 침입하는 하구부를 대상으로 양측안에 갈대나 수목 등과 같은 식생이 존재하는 경우 파랑의 전파특성을 수치계산을 통해 해석하였다. 이를 위해 Fig. 1에 도시한 바와 같이 일정한 수심을 가진 수역에 파랑이 침입하는 것으로 가정하였다. 그리고 하구부의 식생에 의한 파랑전파 특성을 고려하는 경우에는 식생의 형태나 생태적 특징에 따라 변화하지만 본 연구에서는 단위면적당 식생수를 나타내는 식생밀도 D 가 식생이 존재하는 수역 내에서는 일정하게 분포한다고 가정하였다.

본 연구에서는 길이 $x=200m$, 폭 $y=100m$ 인 하구수역을 대상으로 하여, 측안 식생폭 B_v 는 양측에 각각 20m 씩 분포하고 있다고 하였으며 일반적으로 하구부에서 상류측으로 갈수록 식생대가 분포하는 영역이 축소되는 것을 가정하여 측안 식생대의 범위가 전측안에 존재하는 경우(Fig. 2a), 측안에 100m(Fig. 2b) 그리고 50m(Fig. 2c)가 존재하는 하구역을 대상으로 수치계산을 수행하였다.

계산조건으로서 수심 $h=2.0m$ 인 일정 수심의 해역 상에 주기 $T=5.0sec$, 입사파고 $H_0=30cm$ 의 파랑이 입사한다는 조건을 기본으로 하여 각각의 변수가 변하는 경우에 대해 파랑전파 특성을 검토하였다. 그리고 저면마찰계수는 $f_0=0.01$, 수평확산계수는 $A_h=0.05 m^2/s$, 식생의 항력계수 $C_D=1.0$, 식생의 직경 $d_0=0.5cm$, 식생밀도는 $D=40개/m^2$ 를 기본으로 하여 수치계산을 수행하였다. 격자의 크기는 $\Delta x = \Delta y = 1.0m$, $\Delta t = 0.01s$ 로 하였으며 정수상태에서 정상상태에 도달하는 12파랑주기 동안 계산을 수행한 후의 결과를 사용하였다.

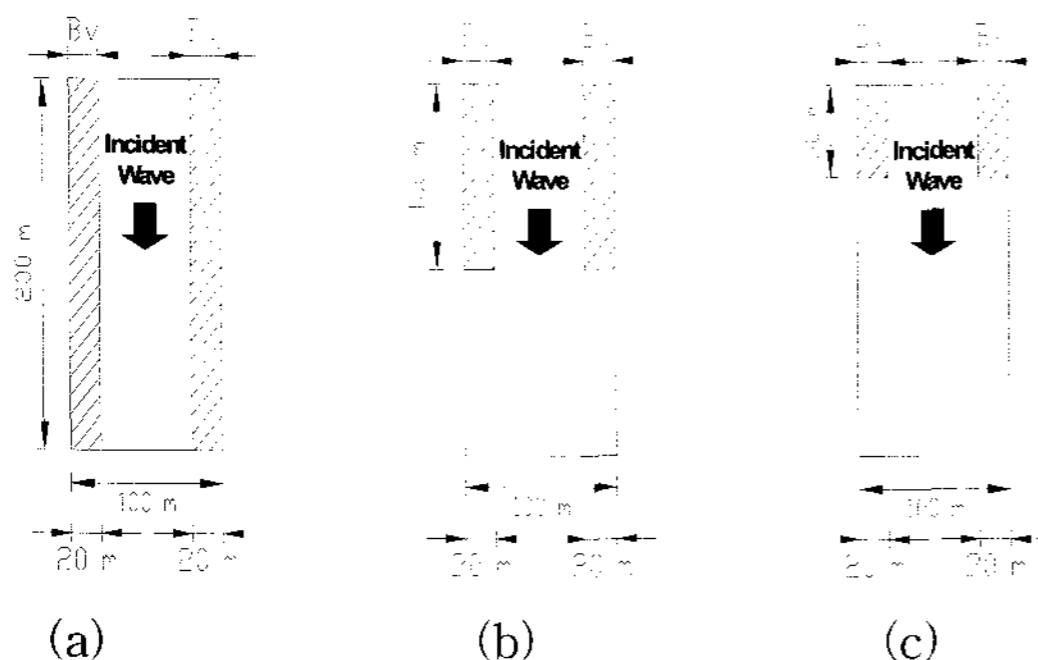


Fig. 2 Model cases for numerical experiment

수치실험 결과 하구수역 양측안에 식생의 범위가 변화하는 경우 식생의 영향에 의해 파에너지의 변화가 나타나고 있음을 확인하였으며 양측안 전체에 식생이 있는 경우에 대한 파랑전파도의 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 양측안에 존재하는 식생의 영향에 의해 파랑이 전파하는 동안 파랑의 감쇠가 나타나고 있으나 식생이 존재하지 않는 중앙수로부에는 완만히 감소하는 경향을 보여주고 있다. Fig. 4에서는 양측안에 식생이 존재하고 있는 수로내에서의 파고 분포도를 나타내었다. Fig. 4(a)는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 양측안 전체에 식생이 있는 경우, Fig. 4(b)는 측안 100m 그리고 Fig. 4(c)는 측안 50m에 식생이 존재하는 경우에 대해 각각 도시하였으며 그림에서 보듯이 측안에서의 식생의 영향에 의해 특히 식생이 존재하고 있는 측안에서의 파고감쇠효과가 뚜렷히 나타나고 있으나 식생이 존재하지 않는 수로 중앙부에서는 입사파가 수로를 지나가면서 점차 완만히 감소하는 특성을 보여주고 있다.

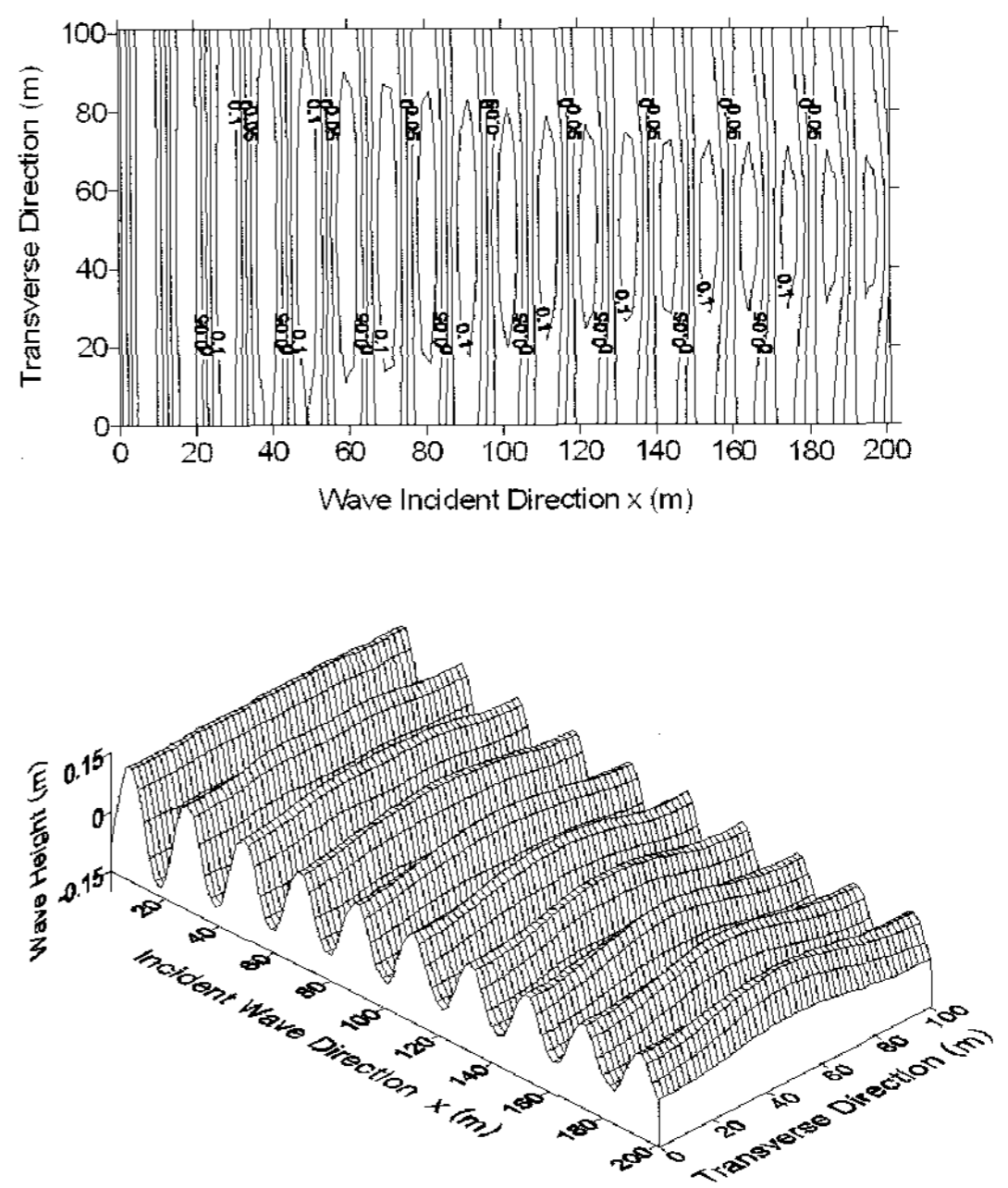


Fig. 3 Water elevation in a vegetated channel

이같은 경향은 Fig. 4(b), 4(c)에서 보듯이 측안에서의 식생이감소함에 따라 수로내에서 파고감소 현상이 다소 완화되어 가는 특성을 보여주고 있다.

Fig. 5에서는 식생수로를 입사하는 파랑의 진행방향(x 방향)에 따른 파고 감쇠 분포의 변화를 파악하기 위하여 식생이 존재하고 영역의 식생중앙부($y=10m$ 위치)와 식생이 존재하지 않는 수로중앙부($y=50m$ 위치)에서의 파고변화도를 각각 도시하였다. Fig. 5(a)는 양측안 전체에 식생이 있는 경우를 그리고 Fig. 5(b), 5(c)는 측안에서의 식생범위가 각각 100m, 50m 존재하는 경우에 대해 나타내었으며 항력계수 C_D 의 변화에 따른 파고감쇠특성을 파악하기 위하여 $C_D=1.0, 2.0$ 인 경우에 대

해 검토하였다. 그림에서 알 수 있듯이 수로중앙부에서는 파랑이 전파됨에 따라 바닥마찰의 영향에 의해 파고가 완만히 감소하고 있으며 식생역에서는 식생이 분포하고 있는 위치까지 식생의 마찰저항효과에 의해 파고가 급격히 감소하고 있음을 알 수 있다. 즉 식생이 존재하고 있는 곳까지 파고가 감소하다가 그 이후에는 거의 변동이 나타나지 않고 있다. 그리고 그림에서 보듯이 측면 식생의 공간적 범위가 점차 축소됨에 따라 본 대상수로의 하단유출측(x=200m)에서 식생이 존재하고 있는 식생역(y=10m위치)과 수로중앙부(y=50m위치)에서의 파고의 변동이 감소하고 있음을 보여주고 있는데 이는 수로중앙부에서의 운동량이 측면의 식생역 종단부 배후로 수송된 원인이라고 판단된다. 그리고 항력계수 C_D 가 증가함에 따라 식생역에서의 파고 감쇠현상이 뚜렷히 나타나고 있으며 수로중앙부에서는 운동량 수송에 의해 부분적으로 상승하고 있다.

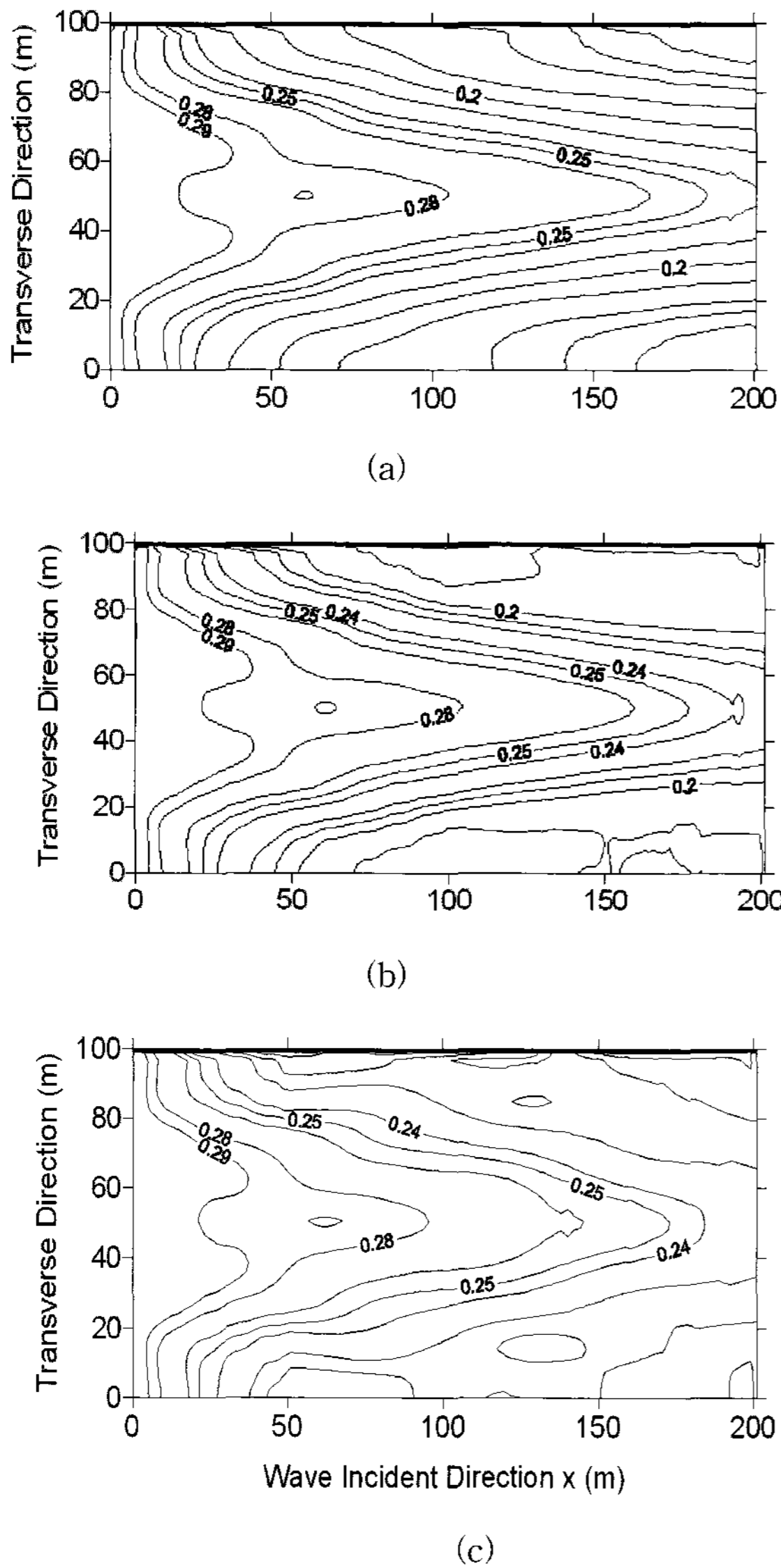


Fig. 4 Wave height distribution in vegetated channels (vegetated length: (a) 200m (b)100m (c)50m)

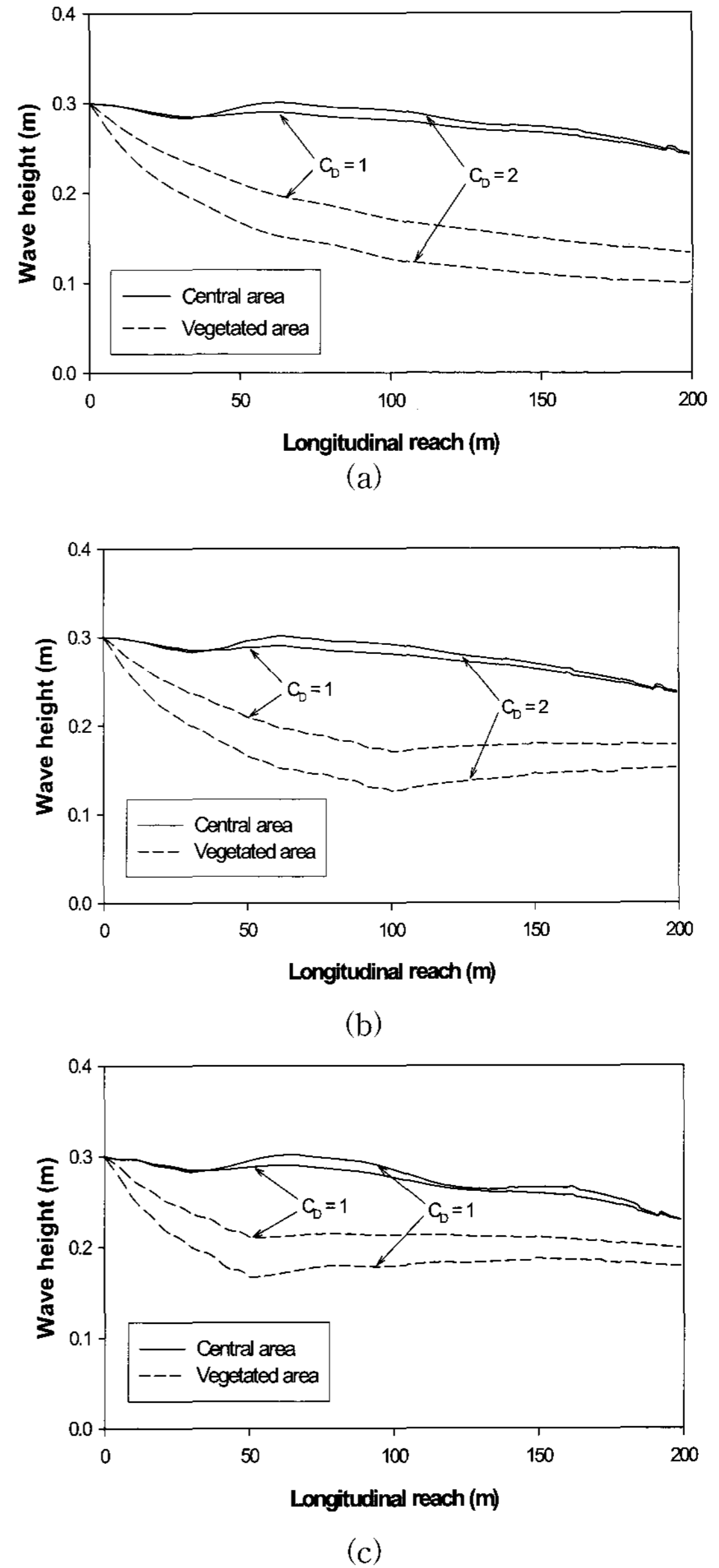


Fig. 5 Longitudinal wave height distribution in vegetated channels(vegetated length: (a) 200m (b)100m (c)50m)

3. 이론적 해석

여기에서는 Fig. 1과 같이 양측 측안에 연안식생이 존재하는 경우의 이론적 해석을 통한 파랑변형을 검토하였다 (Asano et al., 2005). 이를 위해 반무한 식생영역이 존재하는 수로에 선형장파가 입사하는 것으로 가정하여 비선형항은 무시하였다.

식생역과 식생이 존재하지 않는 중앙수로부에서의 수평유속을 각각 u_1 , u_2 로 하면 기본방정식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta_1}{\partial x} - \frac{f_{0,1}}{2h} u_1 |u_1| - \frac{f_m}{h} (u_1 - u_2) |u_1 - u_2| \quad (8)$$

이 성 대

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_2}{\partial t} = & -g \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - \frac{f_{0,2}}{2h} u_2 |u_2| + \frac{f_m}{h} (u_1 - u_2) |u_1 - u_2| \\ & - \frac{C_D}{2} D d_0 u_2 |u_2| \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, g 는 중력가속도, f_0 는 바닥 마찰계수, f_m 는 수평방향 운동량 계수이다.

선형장파가 입사하는 것으로 하여 유속항을 선형화하면 바닥마찰항은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{f_{0,1}}{2h} u_i |u_i| = B_i u_i \quad ; \quad i = 1, 2 \quad (10)$$

식생에 의한 항력항에 대해서는 다음과 쓸 수 있다.

$$\frac{1}{2} C_D d_0 N_2 |u_2| = D_0 u_2 \quad (11)$$

그리고 식(8), 식(9)의 우변 제3항의 전단응력항은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{f_m}{h} u_r |u_r| = M_i u_i \quad ; \quad i = 1, 2 \quad (12)$$

여기서, u_r 는 $u_1 - u_2$ 이며 이들을 고려하면 양측안에 식생이 있는 수역에서의 선형장파전파에 관한 기본방정식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta_1}{\partial x} - E_1 u_1 \quad ; \quad E_1 = B_1 + M_1 \quad (13)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - E_2 u_2 \quad ; \quad E_2 = B_2 - M_2 + D_0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial \eta_i}{\partial t} = -h \frac{\partial u_i}{\partial x} \quad ; \quad i = 1, 2 \quad (15)$$

식(13), 식(14)와 연속방정식 식(15)는 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial^2 \eta_i}{\partial t^2} + E_i \frac{\partial \eta_i}{\partial t} = gh \frac{\partial^2 \eta_i}{\partial x^2} \quad ; \quad i = 1, 2 \quad (16)$$

식(16)에서 η_i 는 다음과 같은 선형파로 가정하였다.

$$\eta_i = A_0 \exp(-k_i x) \cos(k_i x - \sigma t) \quad (17)$$

여기서 A_0 는 입사파 진폭, σ 는 각주파수이며, 식 (17)를 식(16)에 대입하면 식생역에서의 파수는 다음과 같이 된다 (Dean and Darlymple 1984).

$$k_{r,i} = \frac{\sigma}{\sqrt{2gh}} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{E_i}{\sigma}\right)^2} + 1 \right]^{1/2}$$

$$\approx \frac{\sigma}{\sqrt{gh}} \left[\sqrt{1 + \frac{1}{8} \left(\frac{E_i}{\sigma}\right)^2} \right] \quad (18)$$

$$k_{i,i} = \frac{\sigma}{\sqrt{2gh}} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{E_i}{\sigma}\right)^2} - 1 \right]^{1/2} \approx \frac{\sigma}{\sqrt{gh}} \left(\frac{E_i}{\sigma}\right) \quad (19)$$

그리고, 수평방향 유속 u_i 은 다음과 같이 된다.

$$u_i = \sqrt{gh} \frac{A_0}{h} \left[1 + \left(\frac{E_i}{\sigma}\right)^2 \right]^{-1/4} \exp(-k_i x) \cos(k_i x - \sigma t + \epsilon) \quad (20)$$

여기서 $\epsilon = \tan^{-1}(k_i/k_r)$ 이며 식(17)과 식(20)으로부터 파고와 유속분포를 얻을 수 있다.

4. 결과의 비교 · 검토

연안이나 하구부의 갈대 등과 같은 수변식생에 의한 파랑의 전파특성을 검토하고, 얻어진 수치모형 및 이론적 해석의 결과를 비교 · 검토하기 위하여 제2장에서 수치해석을 위해 적용된 수역의 조건을 기본으로 입사파랑이나 식생조건과 같은 변수에 따른 파랑감쇠특성을 검토하였다. 비교 · 검토를 위한 기본조건은 수심 $h=2.0\text{m}$ 인 일정 수심의 해양상에 주기 $T=5.0\text{sec}$, 입사파고 $H_0=30\text{cm}$ 의 입사파 조건과 저면마찰계수 $f_0=0.01$, 운동량계수 $A_h = f_m=0.02$, 식생밀도 $D=40\text{개}/\text{m}^2$ 를 기본으로 하여 계산을 수행하였다.

Fig. 6은 운동량계수 $A_h = f_m=0.00, 0.02$ 및 0.05 에 따른 파고 감쇠특성을 도시하였으며 그림에서 알 수 있듯이 이론적 해석결과 운동량계수의 변화에 따른 파고감쇠의 변동이 나타나지 않고 있으며, 식생이 존재하는 수역에서는 수역을 통과하면서 파고가 급격히 감쇠하고 있다. 그리고 수치모형의 결과 운동량계수가 증가함에 따라 미소하게 감소하고 있음을 보이고 있다. 식생이 존재하지 않는 수로중앙부에서는 이론적 결과와 수치해석결과가 대체로 일치하고 있으나 식생역에서는 이론적 결과가 수치모형의 결과보다 현저히 감쇠하고 있음을 알 수 있다. 이같은 원인은 이론적 해석은 기본적으로 선형장파이론에 의한 1차원적인 결과인 반면 수치해석에 의한 결과는 식생영역과 수로중앙부에서의 운동량 교환에 의한 영향에 의해 감쇠가 완만히 나타나고 있는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 바닥 마찰계수 $f_0=0.00, 0.01$ 및 0.03 으로 변화할 때의 파고감쇠특성을 이론적 결과와 수치모형결과를 각각 도시하였다. 그림에서 식생이 존재하지 않는 수로부에서 $f_0=0.00$ 인 경우 이론적 결과는 파고 감쇠가 나타나지 않고 있으며 바닥 마찰계수 f_0 가 증가할 수록 파고가 점차 감소해감을 알 수 있으며 이같은 현상은 식생역에서도 유사한 특성을 보여주고 있다. 그리고 수치모형의 결과에서도 수로중앙부에서

는 이론적 결과와 유사한 결과를 보이고 있으나 식생역에서는 파가 수로를 입사한 초기에는 거의 유사한 감쇠특성을 보이다가 파가 수로를 지나가는 동안 점차 이론적 결과의 감쇠가 현저하게 나타나고 있다. 특히 수치실험의 결과 수로중앙부에서 수로내 파랑 침입 직후에 파고가 약간 감소한 후 서서히 증가하는 경향을 보여주고 있는 바 이는 식생영역에서 배제된 운동량이 수로 중앙부로 수송된 원인이라 판단된다.

Fig. 8은 입사파 주기 T 가 3sec, 5sec 및 7sec로 입사하는 경우에 대한 수로부에서의 파고 감쇠특성을 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 이론적 해석결과 주기 T 의 변화에 따라 식생이 존재하지 않는 수로 중앙부와 식생이 존재하는 양측 측안에서 파고 감쇠는 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 수치실험의 결과에서는 주기가 증가함에 따라 식생역에서의 파고 감쇠가 다소 완화되어가는 특성을 보이고 있으며 수로 중앙부에서는 입사파 침입에 따른 초기 파고 감쇠가 주기에 비례하여 증가하는 경향을 보이고 있다.

그리고 식생 밀도 D 가 20개/m², 40개/m² 및 80개/m²로 변화하는 경우에 파고변화도는 Fig. 9에 나타내었으며 그림에서 알 수 있듯이 이론적 해석 결과 단위면적당 식생수를 나타내는 식생밀도가 증가할수록 식생역내에서의 파고 감쇠효과가 증가하고 있으며 식생이 존재하지 않는 수로 중앙부에서는 파고 감쇠에 미치는 식생밀도의 영향은 거의 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 이같은 경향은 수치해석의 결과도 유사하며 특히 식생이 존재하지 않는 수로 중앙부에서는 입사파 침입 초기에는 파고가 완만히 감소하다가 식생밀도 D 가 증가함에 따라 비례하여 증가하고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 10에는 입사파고 H_0 의 변화에 따른 파고감쇠특성을 검토하기 위하여 종축에는 무차원 파고 (H/H_0)를 나타내었으며 초기 입사파고가 증가함에 따라 식생역에서의 파고감쇠효과가 크게 나타나고 있다. 그리고 수로중앙부에서는 이론적 결과와 수치해석결과가 유사한 경향을 보이고 있으나 식생역에서는 수치모형의 결과 파랑이 진행함에 따라 파고감쇠가 완만히 나타나고 있으며 이같은 원인은 수평방향 운동량 교환에 의한 영향으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 양측호안에 식생이 있는 하구수로에 파랑이 전파하는 경우 파랑의 감쇠특성을 수치적인 해석 및 이론적 접근법으로 해석하여 이들 비교·검토함으로서 수치모형의 타당성을 확인하였다. 식생이 있는 수로에 파랑이 전파하는 경우 파랑의 전파과정은 지형적 특성이나 입사파 조건뿐만 아니라 식생조건과 같은 다양한 변수가 파랑의 거동특성에 복합적으로 영향을 미치게 되며 본 연구에서는 이들 파라메타를 고려하여 검토하였다. 이를 위해 먼저 항력계수의 변화에 따른 파랑전파 특성을 검토하였으며, 식생의 밀도

와 파고 및 주기와 같은 입사파조건 그리고 비식생부와 식생부의 수평확산이 파랑전파에 미치는 영향을 해석하였다.

수로부의 측안 식생 연장 범위가 달라지는 경우에 대한 수치해석 결과 식생의 영향에 의해 수로 전체에 파고 감쇠를 예측하였으며 특히 식생의 공간적 범위가 점차 축소됨에 따라 식생역 종단부 배후로의 파에너지가 수송되는 특성을 확인하였다.

그리고 수치모형실험 결과의 타당성은 Asano (2006)의 해석해와 비교하였으며 입사파 및 식생조건 등의 파라메타의 변화에 따른 검토를 통해 이루어 졌다. 그 결과 식생이 존재하지 않는 수로중앙부에서는 대체로 잘 일치하고 있으나 식생부에서는 현저한 차이가 나타나고 있는 바, 이들 수역간의 운동량 교환에 의해 파고가 감쇠하는 것으로 판단되었다.

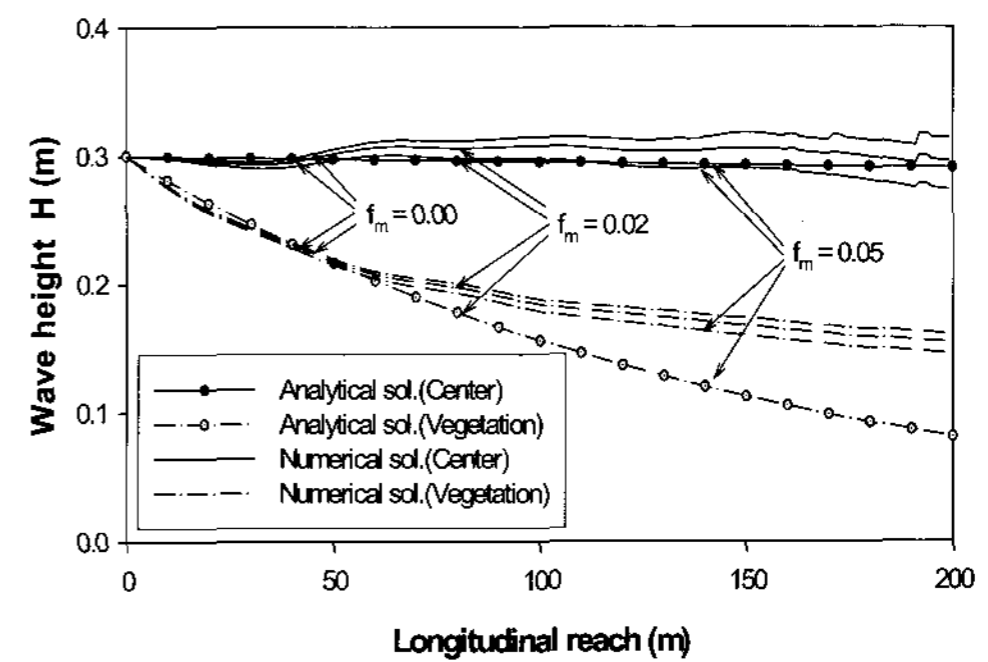


Fig. 6 Effects of momentum exchange coefficient f_m on wave attenuation

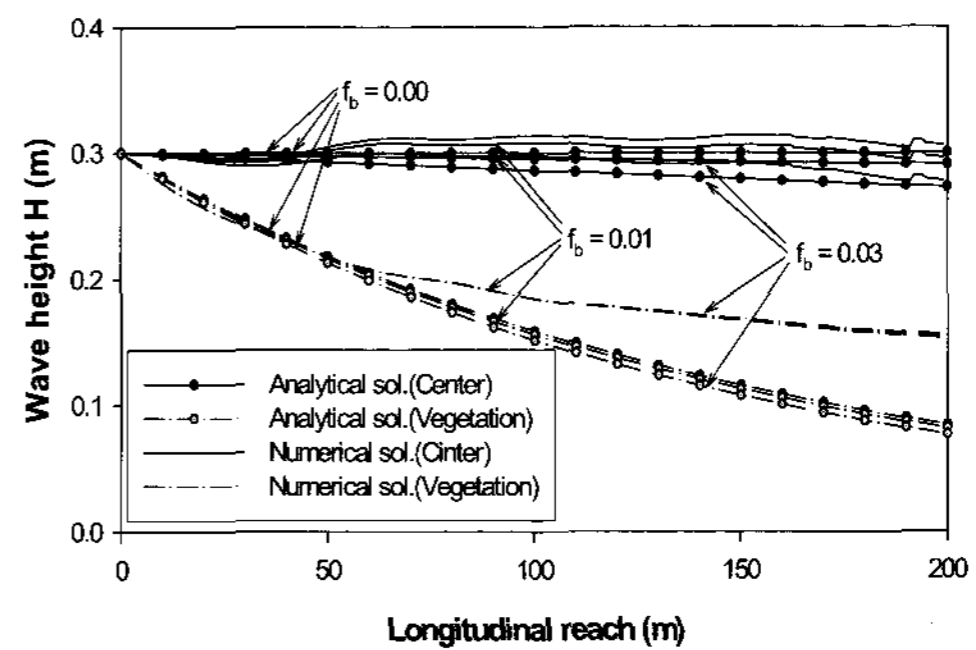


Fig. 7 Effects of bottom friction f_o on wave attenuation

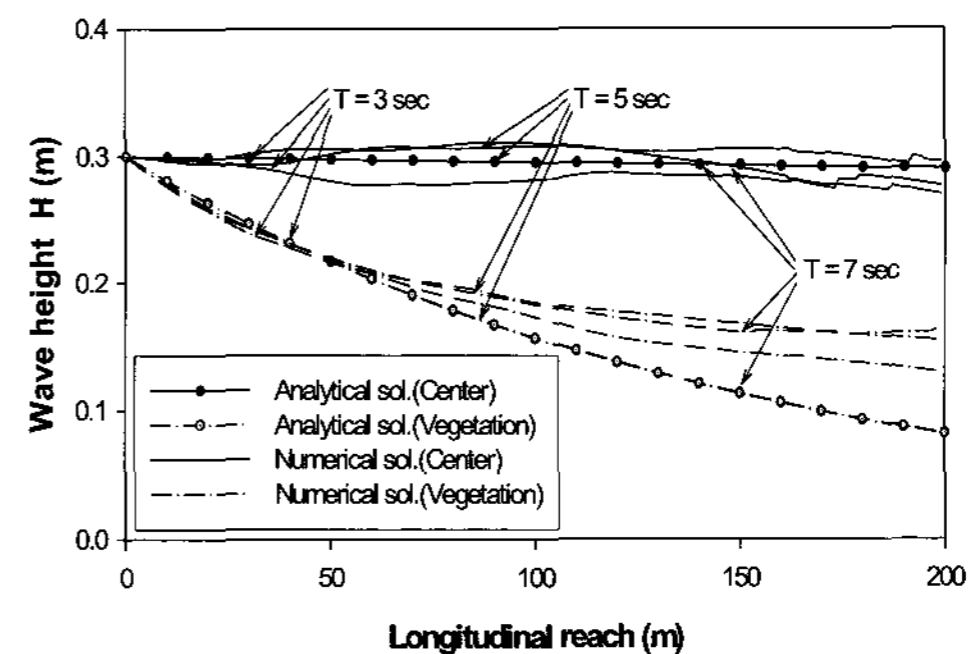


Fig. 8 Effects of wave period T on wave attenuation

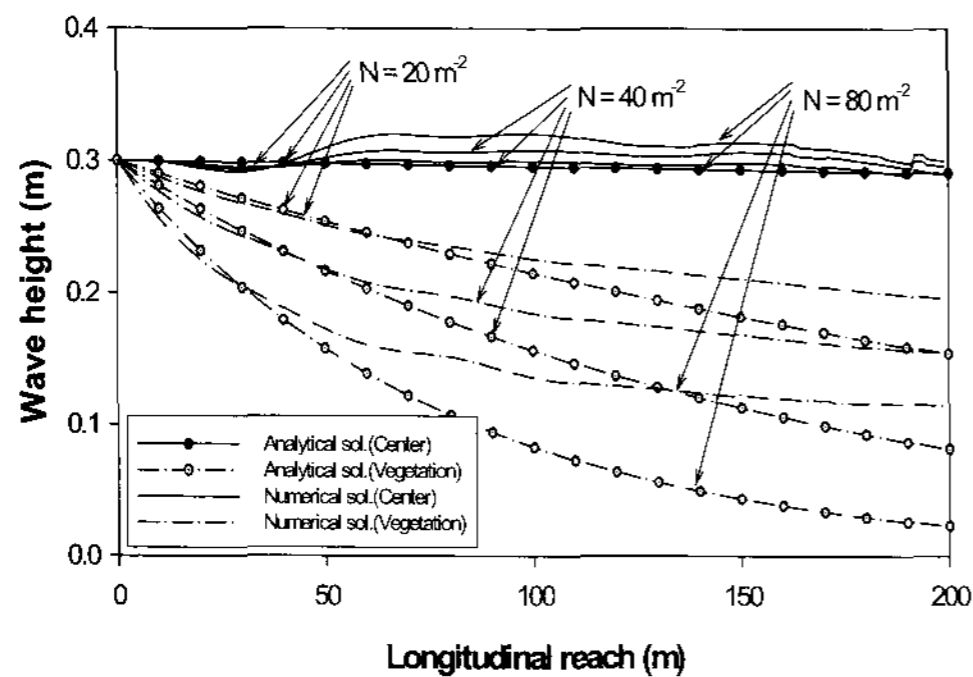


Fig. 9 Effects of vegetated density N on wave attenuation

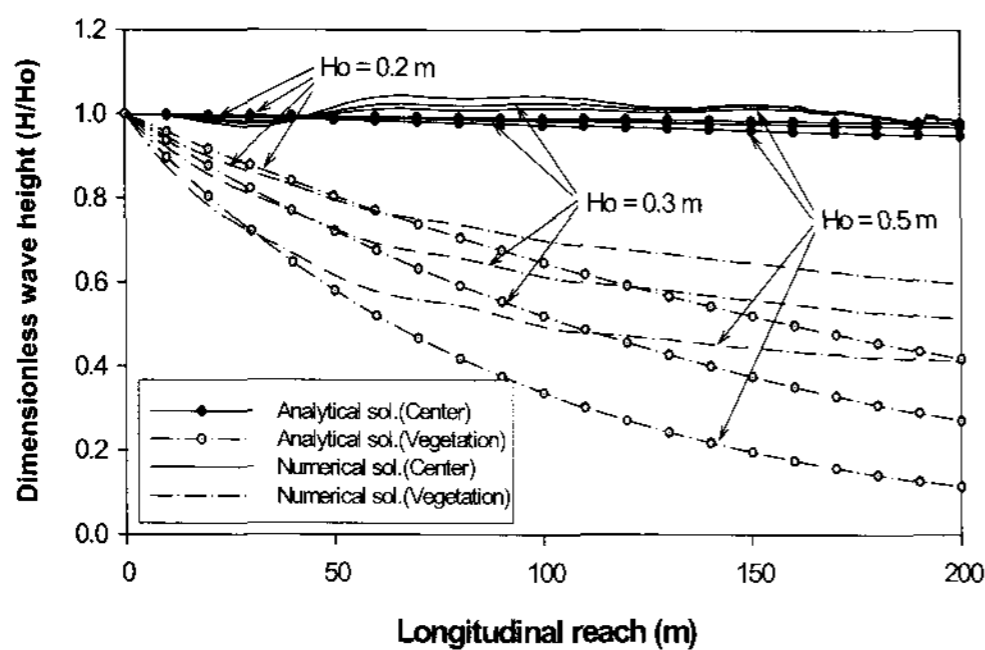


Fig. 10 Effects of wave Height(H/H_0) on wave attenuation

본 연구의 검증 및 실제 적용성을 위해 수리실험이나 실제 해역에서의 관측 등이 필요하며 이에 관해서는 지속적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 이창석, 오종민, 이남주(2003), “하천환경과 수변식물”, 동화 기술.
 [2] 이성대(2006), “연안해역에서의 수변식생에 의한 파랑변형에 관한 수치해석”, 한국해양공학회지, 20권 1호, pp. 63-68.
 [3] 浅野敏之, 出口浩, 間瀬肇, 小林信久(1991), “揺動する海藻群落上を傳播する波の特性”, 第38回海岸工学論文集, pp. 26-31.

[4] Asano, T., Matsumoto, R., and Kikuchi, S.(2005), “Wave Deformation in Vegetation Fringed Channels”, Proc. the 29 th International Conference Coastal Engineering, Vol.1, pp.218-229.
 [5] Asano, T.(2006), “Wave Attenuation and Sediment Deposition due to Coastal Vegetations”, J. of Global Environment Engineering, Vol.11, pp.29-44.
 [6] Dean, R. G. and Dalrymple, R. A. (1984), “Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists”, Prentice-Hall, pp.146-154.
 [7] Harada, K. and Imamura, F. (2001), “Experimental Study on the Resistance by Mangrove under the Unsteady Flow”, Proc. of the 1st APACE Conf., Dalian, China, Vol.2, pp.975-984.
 [8] Kobayashi, N., Raichle, A. W., and Asano, T.(1993), “Wave Attenuation by Vegetation”, J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, Vol 119-1, pp.30-48.
 [9] Li, C. W. and Yan, K.(2007), “Numerical Investigation of Wave-Current-Vegetation Interaction”, J. of Hydraulic Engineering, Vol.133-7, pp.794-803.
 [10] Mendez, F. J. and Losada, I. J.(2004), “An Empirical Model to Estimate the Propagation of Random Breaking and Nonbreaking Waves over Vegetation Fields”, Coastal Engineering, Vol.51, pp.103-118.
 [11] Sugahara, K. and Irie, I.(1992), “Experiments on the Effects of Artificial Seaweed on the Sand Movement”, Tech. Note of PHRI.
 [12] Sugahara, K. and Nagai, T.(1994), “Hydraulic Model Experiment on the Artificial Seaweed against Scouring and Beach Erosion”, Tech. Note of PHRI.

원고접수일 : 2008년 2월 27일

심사완료일 : 2008년 4월 21일

원고채택일 : 2008년 6월 17일