

〈論 文〉

수치모형에 의한 연안해역 해수운동의 분석 Analysis of the Hydraulic Behaviour in the Nearshore Zone by a Numerical Model

이 희 영* 정 선 길**
LEE Hee Young and JEOUNG Sun Kil

Abstract □ The unproper development of the nearshore zone can enhance the diffusion of pollutant in the nearshore zone resulting in unbalanced sediment budget of beach which causes alteration of beach topography. Therefore, it is required to predict the effects of the environmental change quantitatively. In this paper, the depth-averaged and time-averaged energy balance equation is selected to account for the wave transformation such as refraction, shoaling effect, the surf zone energy dissipation, wave breaking index and bore, due to wave breaking in the shore region. (Numerical solutions are obtained by a finite difference method, ADI and Upwind. For the calculation of the wave-induced current, the unsteady nonlinear depth-averaged and time-averaged governing equation is derived based on the continuity and momentum equation for incompressible fluid.) Numerical solutions are obtained by finite difference method considering influences of factors such as lateral mixing coefficient, bed shear stress, wave direction angle, wave steepness, wave period and bottom slope. The model is applied to the computation of wave transformation, wave-induced current and variation of mean water level on a uniformly sloping beach.

요 지 : 확산현상, 표사유동 및 인간의 여러활동이 실제 연안해역에서 일어나므로 연안해역 해수운동의 물리적 특성을 파악하고 해석하는 것은 중요한 의미를 지닌다. 본 연구에서는 연안해역에서의 파랑변형과 평균해수위 변동 그리고 연안유속 분포양상에 대해 여러 인자들이 미치는 영향을 2차원 유한차분 모형(ADI, Upwind)을 이용하여 분석하였다. 계산결과로는 수치모형을 해저경사가 일정한 2차원 지형에 적용하여 해저경사, 입사파고, 파향각, 파주기, 마찰계수 및 수평확산계수가 연안해역 특히 쇄파대내에서 파랑변형, 평균해수위 변동 및 연안유속 분포에 미치는 영향을 분석하였다.

1. 서 론

연안해역에서 해저물질을 유동시키고 오염물질을 확산시키는 기류역으로는 파랑, 파랑류, 조류, 바람, 하구유출류 등을 들 수 있다. 일반적으로 가장 큰 영향을 미치는 것은 파랑과 파랑에 의해 발생하는 파랑류로 알려져 있다. 방파제, 이안제, 호안공 등 대부분의 해안구조물이 주로 연안해역 특히 쇄파대내에 축조되어 있고 문화수준의 향상에

따른 레저문화시설의 조성, 국제적 교역량의 증가로 인한 항만의 건설, 공장부지와 대량운송 수단의 문제점을 해결하기 위한 해안공업단지의 조성, 식량증산 및 주택부지의 확보를 위한 간척사업, 해안 주변의 화력 및 원자력 발전소 건설 등 인간활동 역시 연안해역에서 활발히 이루어지기 때문에 연안해역에서 해수운동의 물리적 특성을 이해하고 인간활동으로 인한 여러 영향들을 사전에 예측, 규명하기 위해서는 연안해역에서의 파랑변형과 파랑류에 대한 연구는 중요한 의미를 지닌다.

* 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수
** 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

외해쪽에서 천해역으로 입사되는 파랑은 해안선을 향하여 진행해감에 따라 해저지형 변화, 해안구조물 등 여러 요인에 의하여 변형된다. 해저지형 변화에 따른 굴절, 구조물에 의한 반사와 회절, 바닥마찰과 내부점성에 의한 에너지손실과 수심이 더욱 얕아지면서 발생하는 천수효과로 인해 파봉의 전면이 거의 수직상태로 불안정하고 비대칭성의 파로 되어 공기연행이 진행되며, 파고가 어느한계 이상으로 커지면 파형의 안정성을 잃고 파가 부서지며 복잡한 난류현상을 발생시킨다. 난류의 발생은 파랑에너지의 손실을 의미하며 결국 파고의 감소현상으로서 나타난다. 파동의 존재에 의해서 생기는 라디에이션(radiation)용력의 경사는 평균해수위 변동에 기여하며 쇄파대내의 흐름장 형성파도 매우 밀접한 관계가 있다.

일반적으로 해양에서의 흐름은 외해에서 일정하게 흐르는 해류, 조석현상에 의해 발생하는 조석류, 천해역 특히 쇄파대에서 파랑에 의해 발생하는 파랑류로 나눌 수 있다. 특히 파랑류는 해변의 제현상과 해저물질의 이동과 그에 따른 해저지형의 변화의 원인이 되며 연안해역에서의 수질오염 및 확산파도 밀접한 관계가 있다. 파랑류는 파에 의한 질량수송, 해안선과 평행하게 흐르는 연안류, 외해쪽을 향해 흐르는 이안류, 쇄파대의 외해쪽 경계부근에 버섯구름 모양으로 형성되는 이안두류로 구분된다.

파랑류에 관한 이론적 취급은 Longuet-Higgins와 Stewart(1964)가 라디에이션용력에 대한 개념을 제안하고 쇄파대내에서의 라디에이션용력의 불균형이 평균해수위 변동과 해수유동의 직접적인 원인이 됨을 밝힌 후, 특히 쇄파대내에서의 여러 현상에 대한 연구가 활발히 이루어졌다. Longuet-Higgins(1970)는 입사각이 작은 경우의 경사지게 입사하는 파랑에 의하여 발생하는 연안류를 해석하였으며, Noda(1974)는 파랑류를 수치계산하기 위하여 파랑변형 모형으로 파향선법(wave ray method)을 사용하여 기류력을 구하였고 파랑류 모형은 수평확산항과 이류가속도항을 제외시키고 정상상태로 파랑-흐름 상호간섭을 고려한 유한차분법을 이용하여 수치해석을 하였다. Ebersole과 Dalrymple(1981)은 비선형항인 수평확산항과 이

송항을 포함시키고 비정상 상태로 파랑-흐름 상호간섭을 고려하여 해석하였다. Tanaka와 Wada(1984)는 파랑류 해석을 위한 수학적 모델을 유도하고 수치해와 현장관측치와 비교하여 모델의 타당성을 입증하였으며, Nishimura(1985)는 구조물로 인한 반사파를 고려한 파랑장 계산식을 이용하여 기류력을 계산하였고 비선형항이 포함된 비정상 상태의 지배방정식으로 파랑류를 해석하였다. Yoon과 Liu(1986)는 Boussinesq방정식을 이용하여 비선형 파랑방정식을 유도하고 파랑-흐름 상호작용을 연구하였고 Yoo(1990)는 확산계수를 산정하기 위하여 난류운동에너지방정식(k-equation)을 적용하여 연안류를 해석하였다.

본 연구에서는 굴절현상과 천수현상을 고려한 주기, 수심평균한 2차원 에너지방정식을 유도하고 Upwind법에 의하여 수치해석하여 천해영역에서의 파고분포를 계산하였으며, 쇄파대내의 파고계산을 위해 쇄파한계기준과 단파모형을 이용하였다. 이들 계산값을 이용하여 라디에이션용력을 계산하고 천해영역에서의 파랑류의 기류력으로 사용하였으며, 또 파랑류를 해석하기 위해서 주기, 수심평균한 2차원 연속방정식과 운동량방정식을 유도하고 ADI방법에 의하여 수치해석하여 여러 인자들이 해수운동에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 기본이론의 전개

파랑과 흐름이 공존하는 연안해역의 해수운동에 여러 인자들이 미치는 영향을 분석하기 위하여 아래 그림과 같이 해저경사가 일정한 지역을 대상으로 수치해석하였다.

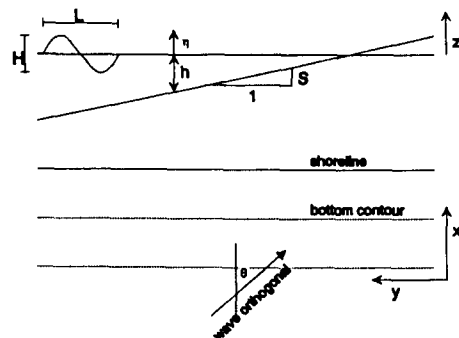


Fig. 1. Coordinate System

윗 그림에서 H는 파고, L은 파장, h는 수심, η 는 평균해수위 변동량, S는 해저경사, θ 는 파향각을 나타낸다. 여기서 해석대상이 되는 흐름은 연직방향으로의 흐름성분이 거의 일정하고 수평방향으로의 흐름성분은 시간적으로 거의 일정하거나 또는 완만하게 변화한다. 또 파랑에 의해 발생하는 유속과 난류에 의한 유속은 서로 상호간섭을 미치지 않으며 파랑에 의해 발생하는 유속은 한주기 평균하면 그 크기가 미약하므로 무시하고 난류에 의한 유속은 한주기 평균하면 소멸되는 것으로 정의한다. 유속장은 다음과 같이 정의한다.

$$\hat{u} = u + u' + u'' \quad (1)$$

여기서, $u(x, y, z)$: 유속성분

$u'(x, y, z)$: 파랑에 의해 발생하는 유속성분

$u''(x, y, z)$: 난류유속성분

주기, 수심평균된 2차원 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(\eta+h)U}{\partial x} + \frac{\partial(\eta+h)V}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

x방향의 주기, 수심 평균된 운동량방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial UU}{\partial x} + \frac{\partial UV}{\partial y} &= \frac{1}{\rho(\eta+h)} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial X} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial Y} \right) \\ -\epsilon_x \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) &+ \frac{1}{\rho(\eta+h)} (\tau_{B_x} - \tau_{s_x}) + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

y방향의 주기, 수심평균된 운동량방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial UV}{\partial x} + \frac{\partial VV}{\partial y} &+ \frac{1}{\rho(\eta+h)} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial X} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial Y} \right) \\ -\epsilon_y \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) &+ \frac{1}{\rho(\eta+h)} (\tau_{B_y} - \tau_{s_y}) + g \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 U와 V는 x,y방향의 주기, 수심평균된 유속이다.

식(3)과 식(4)의 물리적 의미를 살펴보면, 식(3)과 식(4)의 제4항은 파동에 수반되는 물리량의 시간평균 후에도 소멸되지 않는 부분을 나타내는 라디에이션응력으로서 평균가속도항(제1항, 제2항, 제3항)과 평균해수위의 경사(제7항)를 발생시키는 원인이 되는 항이다. 각 방향의 라디에이션응력을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S_{xx} &= E(N(\cos^2\theta + 1) - 0.5) \\ S_{yy} &= E(N(\sin^2\theta + 1) - 0.5) \\ S_{xy} &= S_{yx} = EN \cos\theta \sin\theta \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $N = 0.5 \times \left(1 + \frac{2k(\eta+h)}{\sinh(2k(\eta+h))} \right)$, $E = \frac{\rho g H^2}{8}$ 이고 k는 파수이다.

식(3)과 식(4)의 제5항과 제6항은 흐름에 대해서 작용하는 저항력으로서 제5항은 난류에 의한 운동량의 수평확산 효과를 나타내는 레이놀즈 응력이며, 여기서 사용된 와동확산계수 값은 직접적인 측정이 매우 어렵기 때문에 특별한 이론적 값을 구하는 일반적인 방법은 없다. 여기서는 Longuet-Higgins(1970)가 사용한 다음의 공식을 이용하였다.

$$\epsilon = n l \sqrt{g(\eta+h)} \quad (6)$$

여기서 l은 이안거리이고 n은 무차원정수(0.016 이하)이다. 제6항은 전단응력항으로서 그 주요 성분은 저면마찰력과 자유표면응력이다. 저면마찰응력식으로는 Nishimura(1983)가 사용한 다음의 식(7)과 식(8)을 사용하였으며, 자유표면응력은 바람에 의한 영향을 나타내는 항으로 본 연구에서는 바람이 없다는 가정하에 생략하였다.

$$\tau_{B_x} = \rho C_f \left(\left(W + \frac{u'^2}{W} \cos^2\theta \right) U + \frac{u'^2}{W} \sin\theta \cos\theta V \right) \quad (7)$$

$$\tau_{By} = \rho C_f \left(\left(W + \frac{u'^2}{W} \sin^2 \theta \right) V + \frac{u'^2}{W} \sin \theta \cos \theta U \right) \quad (8)$$

$$W = 0.5 \left(\sqrt{U^2 + V^2 + u'^2 + 2u'(U \cos \theta + V \sin \theta)} + \sqrt{U^2 + V^2 + u'^2 - 2u'(U \cos \theta + V \sin \theta)} \right)$$

여기서 C_f 는 마찰계수이다.

주기, 수심평균된 에너지방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial(UE + F_x)}{\partial x} + \frac{\partial(VE + F_y)}{\partial y} + S_{xx} \frac{\partial U}{\partial x} + S_{xy} \frac{\partial U}{\partial y} + S_{yx} \frac{\partial V}{\partial x} + S_{yy} \frac{\partial V}{\partial y} = -D_t$$

여기서 F_x, F_y 는 x, y 방향의 에너지플럭스이며 D_t 는 난류에 의한 에너지 손실이다.

경사지계 입사하는 파는 해안선에서 거의 직각이 되며 파향각 θ 는 파수의 비회전법칙에서 구할 수 있으며 다음과 같다.

$$\frac{\partial k \sin \theta}{\partial x} = \frac{\partial k \cos \theta}{\partial y} \quad (10)$$

쇄파에 의한 에너지손실에 대한 평가는 쇄파한계기준과 단파모델을 이용하였다. 쇄파한계기준으로서는 Miche가 제안한 식(11)을 사용하였고,

$$\frac{H}{L} = 0.142 \tanh(k(\eta + h)) \quad (11)$$

단파모델로는 Franciscus Gerritsen(1981)이 적용한 식(12)를 이용하였다.

$$D = \frac{\xi}{8\pi\sqrt{2}} \rho g \sigma H^2 \quad (12)$$

여기서 ξ 는 상수, σ 는 각진동수이다.

3. 수치해석

본 연구에서는 수치해석의 대상 영역을 보편적으로 많이 사용되는 Fig. 2와 같은 staggered 격자로 구성하였다. 유속장 해석에는 음해법 보다는 행렬식이 간편하고 안정성에서는 음해법의 특징을 부분적으로 지니고 있다는 장점이 있는 ADI법을 사용하였고, 파랑장 해석에는 음수계수가 발생하지 않아 해가 물리적으로 타당하여 안정적인 Upwind법을 사용하여 차분식을 구성하였다.

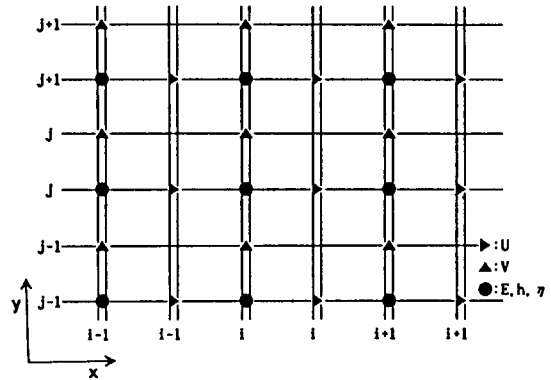


Fig. 2. Staggered mesh system for computation

3.1 초기조건

계산에서 사용된 초기조건은 유속과 해수위 변동 계산에는 해석대상 전 영역의 흐름이 없고 해수위 변동이 없는 정지상태에서 계산을 시작하는 cold start 조건을 사용하였고, 파고 계산에는 해석대상 전 영역의 파고를 심해 경계에서의 파고로 주어 계산을 행하는 hot start 조건을 사용하였다.

$$U_{ii}^1 = V_{ii}^1 = \eta_{ii}^1 = 0 \quad \dots\dots\dots \text{cold start}$$

$$H_{ii}^1 = H_{ii}^1 \quad \dots\dots\dots \text{hot start}$$

여기서 아래첨자는 공간격자점을 나타내고 위첨자는 시간대를 나타낸다.

3.2 경계조건

경계조건은 외해에서의 개경계조건, 양측면에서의 측방경계조건, 해안선에서의 경계조건이 사용된다. 외해에서의 경계조건으로는 파랑조건, 유속조건, 해수위조건이 주어지게 되는데 파랑에 대해서는 일정한 입사파고, 파향각 그리고 파주기로 가정하고 외해경계 외부의 유속과 해수위의 값은 0으로 주어진다. 측방경계는 개경계이므로 계산영역을 가능한 한 확장하고 경계 좌우에서의 평균해수위, 유속 및 파고는 같은 값을 갖는다는 Neumann경계조건을 사용했으며 해안선에서의 경계조건으로는 해안선에 직각인 방향으로는 흐름이 없다는 경계조건을 사용하고 해안선과 평행인 방향으로의 흐름, 평균해수위, 파고의 x방향으로의 기울기 변화가 없다고 보는 경계조건을 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 U_{m,j}^k &= 0 \\
 \frac{\partial V_{m,j}^k}{\partial x} &= 0 \\
 \frac{\partial \eta_{m,j}^k}{\partial x} &= 0 \\
 \frac{\partial H_{m,j}^k}{\partial x} &= 0
 \end{aligned}$$

여기서 m은 x방향의 맨 끝 격자점을 나타낸다.

4. 수치계산 결과의 분석 및 고찰

수치모형의 타당성에 관련되는 수렴성 및 정확성의 여부에 대한 충분한 검토는 필수적이다. 수치해의 안정성은 물리적 파속과 수치해석 절차상의 진행속도와의 비인 CFL값에 의해 결정되며 2차원 해석에서의 계산식은 다음과 같다.

$$CFL = dt \sqrt{2gh} \sqrt{\frac{1}{dx^2} + \frac{1}{dy^2}} \quad (13)$$

수치해의 수렴조건으로는 RMS오차가 어느 한

계값 이하이면 채택하는 조건을 사용하였고 RMS오차는 다음과 같다.

$$RMS\text{오차} = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_i^m \sum_j^n (F_{ij} - S_{ij})^2} \quad (14)$$

여기서 F_{ij} 는 전단계에서 계산된 값이고 S_{ij} 는 다음단계에서의 계산값이다. Fig. 3은 CFL값에 따른 RMS오차의 크기를 나타낸 것으로 CFL값이 클수록 RMS오차가 커짐을 볼 수 있다. 본 연구에서 구성한 수치모형은 CFL값 1을 전후하여 안정성 있게 실행되었다. Fig. 4와 Fig. 5는 반복계산수에 따른 오차의 공간적 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 초기 단계에서는 오차가 크고 불규칙한 공간적 분포를 가지던 것이 반복이 진행됨에 따라 오차가 안정적이고 작은값으로 수렴함을 나타내고 있다.

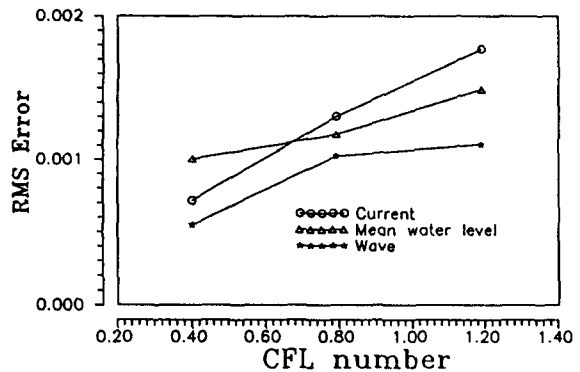


Fig. 3. RMS error due to variation CFL value

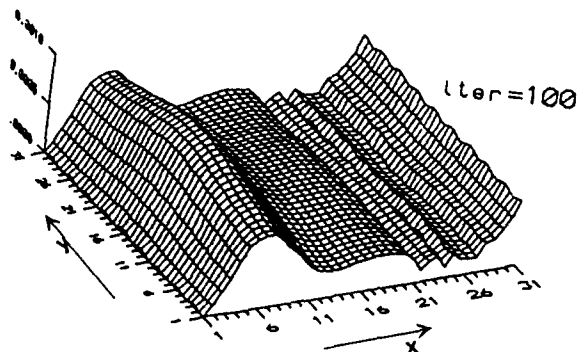


Fig. 4. Error distribution in space(iteration=100)

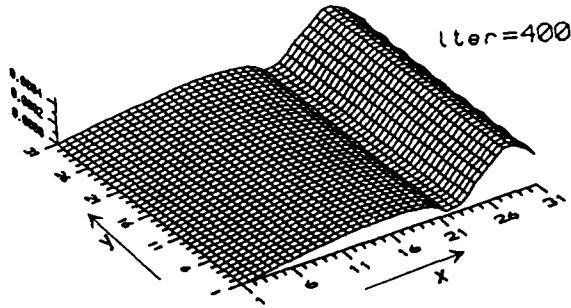


Fig. 5. Error distribution in space(iteration=400)

4.1 파향각 변화와 외력분포

외해쪽에서 입사되어 천해역으로 천이해오는 파랑의 파향각 변화의 계산 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 파랑이 해안선쪽으로 접근해올수록 해안선에 거의 수직방향으로 변화함을 나타내주고 있으며 입사파향각이 클수록 그 변동이 큼을 알 수 있다. 연안유속 발생의 원인이 되는 외력들의 크기를 도시하면 Fig. 7과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 흐름의 기류력으로 작용하는 라디에이션응력과 흐름의 저항력으로 작용하는 수평혼합력과 마찰력은 서로 상응되는 크기를 가지며 저항력에서 마찰력이 수평혼합력보다 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 이들 응력의 분포형태에 따라 연안유속의 크기와 분포형태가 변형된다.

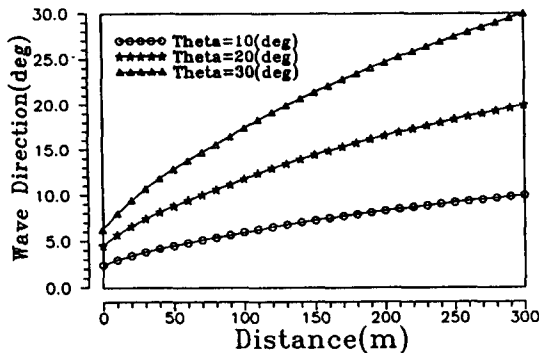


Fig. 6. Variation of wave direction

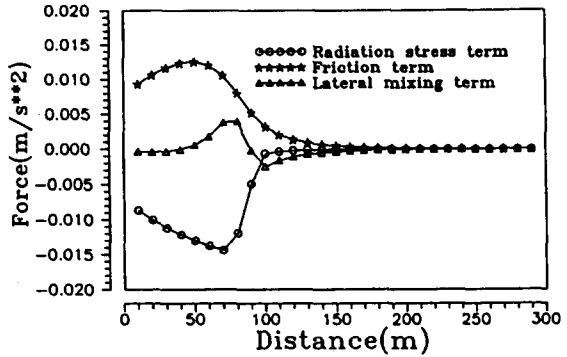


Fig. 7. Comparison of force which act on current

4.2 해저경사(S)가 파고분포, 해수위변동 및 연안유속에 미치는 영향

Fig. 8과 Fig. 9는 해저경사를 1/50에서 1/20까지 변화시켰을 때 파고분포, 해수위변동, 그리고 연안유속 분포를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 보듯이 해저경사의 기울기가 클수록 쇄파 발생지점이 외해쪽에서 해안선쪽으로 근접해가며 파고가 높아지고 파고 감쇠율이 증가하였다. 또 해저경사가 급할수록 수위상승의 발생지점이 해안선쪽으로 근접하며 수위상승율이 증가하였다. Fig. 9에서 보듯이 연안류 역시 해저경사가 클수록 최대유속의 발생지점이 해안선쪽으로 이동하고 유속이 크게 증가하며 유속분포대가 점점 좁아지고 유속분포형상이 첨예화되어감을 알 수 있다. 이상에서 해저지형의 변화가 연안해역 해수운동에 큰 영향을 미침을 확인할 수 있다.

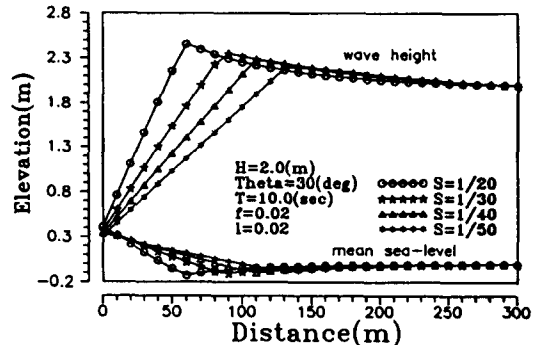


Fig. 8. Effect of bottom slope on wave height and mean sea-level

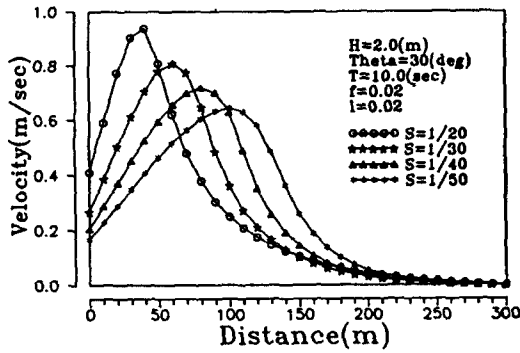


Fig. 9. Effect of bottom slope on longshore current

4.3 입사파고(H)가 파고분포, 해수위변동 및 연안 유속에 미치는 영향

Fig. 10과 Fig. 11은 입사파고를 1m에서 3m까지 변화시켰을 때의 해수운동 변화를 나타낸 것으로 입사파고가 클수록 쇄파 시작점의 위치가 해안선에서 외해쪽으로 이동함을 보여주고 있으며 수위상승 발생지점이 외해쪽으로 이동하고 수위상승값이 증가함을 나타내고 있다. Fig. 11은 입사파고 변화에 따른 연안유속 분포를 나타낸 것으로 파고가 연안유속의 기류력이라는 점에서 파고가 크면 연안유속이 크게 나타나는 것은 당연한 사실이다. 입사파고가 클수록 유속은 큰 폭으로 증가하고 최대유속의 발생위치가 외해쪽으로 이동하며 유속의 분포대가 넓어짐을 알 수 있다.

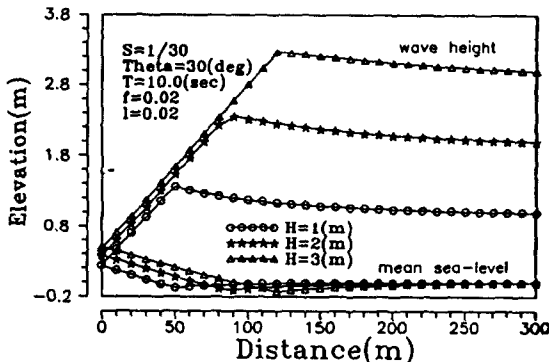


Fig. 10. Effect of wave steepness on wave height and mean sea-level

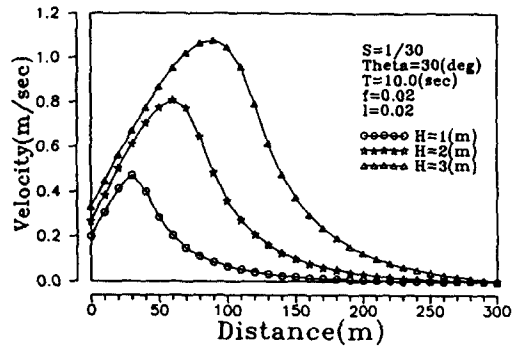


Fig. 11. Effect of wave steepness on longshore current

4.4 파향각(theta)이 파고분포, 해수위변동 및 연안 유속에 미치는 영향

Fig. 12와 Fig. 13은 입사파향각을 10°에서 45°까지 변화시켰을 때 계산된 결과이다. Fig. 12는 파고분포와 해수위 변동에 파향각이 미치는 영향을 나타낸 것으로 파향각이 커질수록 파고의 높이가 감소하며 쇄파발생의 위치가 해안선쪽으로 약간 근접해감을 알 수 있었으며 수위상승의 발생지점이 해안선쪽으로 이동하며 수위상승값이 감소하였다. Fig. 13은 연안유속분포에 대한 파향각의 영향을 나타낸 것으로 파향각이 커질수록 최대유속의 분포대가 해안선쪽으로 치우치며 유속이 크게 증가함을 알 수 있고 연안유속에 대한 파향각의 영향이 상당히 큼을 알 수 있다.

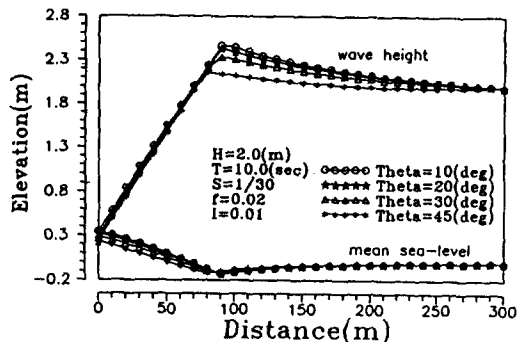


Fig. 12. Effect of wave direction on wave height and mean sea-level

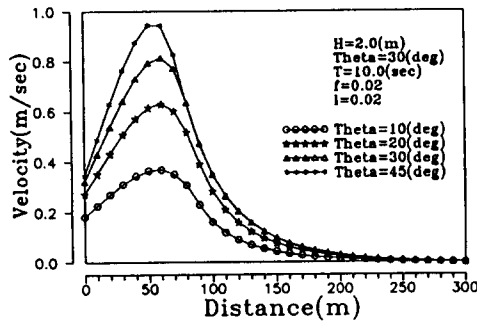


Fig. 13. Effect of wave direction on longshore current

4.5 파주기(T)가 파고분포, 해수위변동 및 연안유속에 미치는 영향

Fig. 14와 Fig. 15는 파주기를 10초에서 20초까지 변화시켰을 때의 계산된 결과를 나타낸 것이다. 파주기가 파고분포, 해수위변동 및 연안유속 분포에 미치는 영향은 비교적 작았다. 그림에서 볼 수 있듯이 파주기가 커질수록 파고, 해수위 상승 그리고 연안유속이 조금 증가하였다.

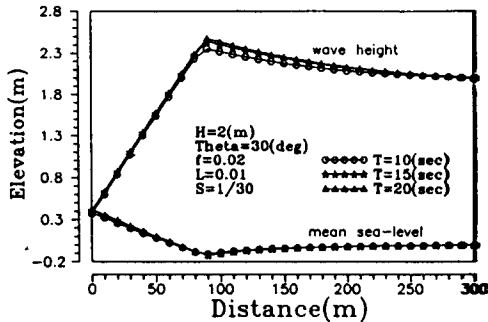


Fig. 14. Effect of wave period on wave height and mean sea-level

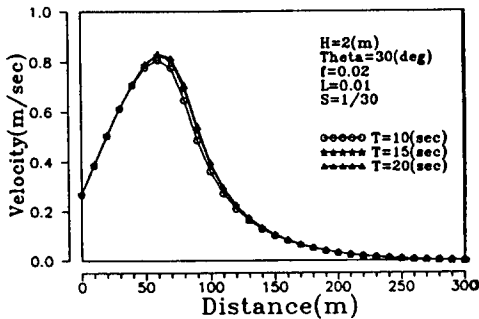


Fig. 15. Effect of wave period on longshore current

4.6 마찰계수(f)가 연안유속에 미치는 영향

마찰계수의 크기를 0.010에서 0.025까지 변화시키면서 마찰계수의 변화가 연안유속에 미치는 영향의 계산 결과는 Fig. 16과 같다. 저면마찰력이 연안유속에 대하여 저항력으로 작용한다는 사실로 미루어 볼 때 마찰계수가 클수록 연안유속이 작게 나타나는 것은 계산 결과에서 보듯이 당연하며, 마찰계수가 클수록 최대유속의 분포대가 해안선쪽에서 외해쪽으로 치우침을 볼 수 있고 마찰계수에 따른 연안유속의 변동량이 상당히 큼을 알 수 있다.

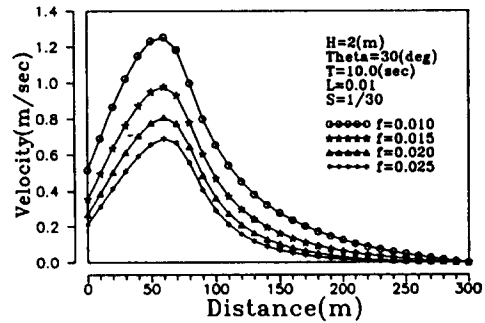


Fig. 16. Effect of friction coefficient on longshore current

4.7 수평혼합계수(L)가 연안유속에 미치는 영향

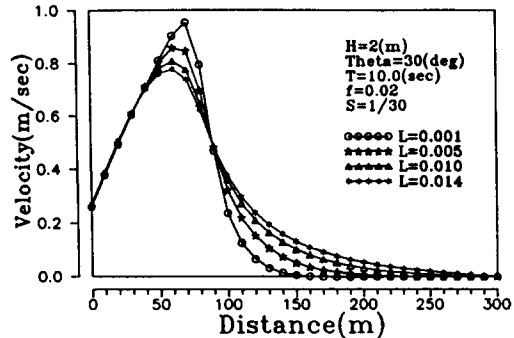


Fig. 17. Effect of lateral mixing coefficient on longshore current

수평혼합계수의 크기를 0.001에서 0.014까지 변화시켰을 때의 계산 결과는 Fig. 17과 같다. Fig. 17의 계산 결과에서 보듯이 수평혼합계수가 클수록

록 연안유속이 작아지고 최대유속의 발생지점이 해안선쪽으로 이동하며 분포형상이 완만해짐을 볼 수 있으며 그 변동량은 마찰계수에 비해 비교적 작았다.

4.8 해저경사의 변화가 있을때 해수운동 변화

해저경사가 굴곡이 있을때 파고분포, 해수위변동 및 연안류의 분포 형상을 Fig. 18과 Fig. 19에 나타내었다. 해저경사를 1/30, -1/50, 1/30로 변화시켜 계산하였는데 그림에서 볼 수 있듯이 해저경사가 변화하는 두 지점을 전후하여 쇄파의 발생이 두번 일어남을 볼 수 있으며 연안유속 역시 두 쇄파지점 부근에서 최대유속 분포대가 발생하는 쌍봉 형태의 분포로 발생됨을 볼 수 있다. Fig. 18에서 수위상승 역시 두 지점에서 발생됨을 나타내주고 있다.

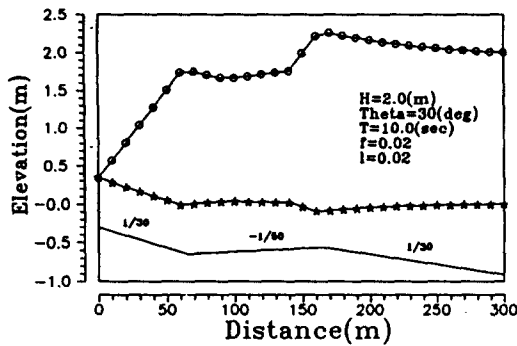


Fig. 18. Wave Height and mean sea-level profile vs. varying bed slope

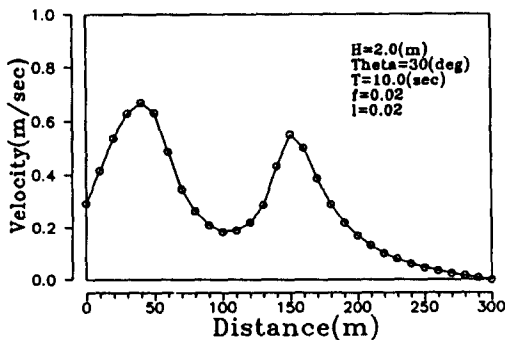


Fig. 19. longshore current vs. varying bed slope

4.9 쇄파대내의 에너지감쇠 계산에 따른 해수운동 변화

Fig. 20과 Fig. 21에서는 쇄파대내의 파고분포를 쇄파한계기준과 단파모델을 사용하여 계산하고 비교하였다. 단파모델을 이용하여 계산하였을 경우의 쇄파후 파고의 감소율이 쇄파한계기준을 이용하였을때 보다 더 증가하였으며, 연안유속의 값이 쇄파대를 전후하여 더 크게 나타났고 최대유속의 분포대가 심해쪽으로 치우쳤다. 수위상승은 쇄파직후에는 단파모델을 이용하여 계산하였을 경우가 더 컸으나 해안으로 접근하여 가면서 쇄파한계기준을 이용하였을때의 값보다 더 감소하여 수심에 따른 비선형적인 영향이 고려할 수 있었다.

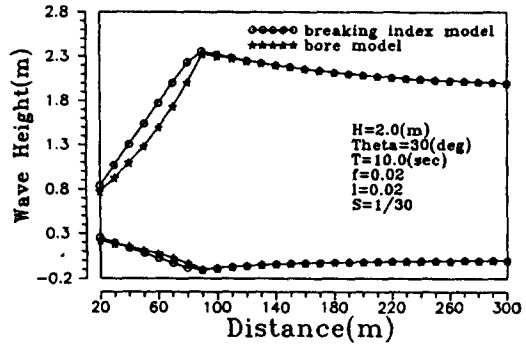


Fig. 20. Comparison of wave index model and bore model on wave height and mean sea-level

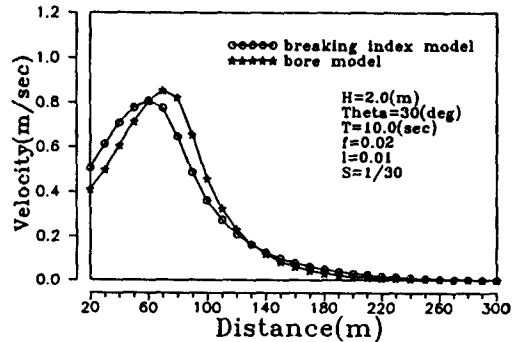


Fig. 21. Comparison of wave index model and bore model on longshore current

4.10 해안선 방향의 파고분포 변화에 따른 연안유속 분포

해안선 방향으로 파고분포를 다음 식과 같이 주어질때 연안류 분포는 Fig. 22와 같이 회전류(circulation)가 발생하였다.

$$H_{1j}^k = 2 + \cos\left(2\pi \frac{y}{ndy}\right)$$

여기서 n은 y방향의 맨 끝 격자점을 나타낸다.

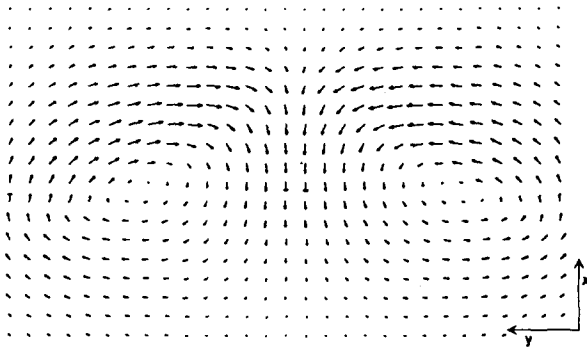


Fig. 22. Nearshore current due to variation of wave height on longshore

이상의 Fig. 6 ~ Fig.21에서 사용된 Distance는 해안선에서 외해쪽으로 떨어진 거리를 나타낸다.

5. 결 론

본 연구에서는 주기, 수심평균된 질량보존식, 운동량보존식 및 에너지보존식을 유도하고 이 방정식들을 ADI방법과 Upwind법을 이용하여 수치해석하여 연안해역에서의 파고분포와 평균해수위변동 및 연안유속 분포를 분석하였다. 수치해석의 결과는 다음과 같다.

- (1) 수치해의 안정성의 검토에서 CFL값이 클수록 해의 오차가 증가함을 확인할 수 있었으며 수치계산의 반복이 진행됨에 RMS오차의 공간적 분포는 감소하면서 균일하게 분포하였다.
- (2) 연안유속은 주로 라디에이션용력의 기울기가 큰 쇄파대내에 분포하였고 평균해수위 변동 역

시 쇄파대내에서 변동폭이 크게 나타났으며 쇄파대외에서는 그 변동량이 미약하였다.

- (3) 마찰계수가 클수록 연안유속은 감소하였고 최대유속의 분포대가 외해쪽으로 치우침을 볼 수 있었고 그 변동량이 상당히 컸다. 수평혼합계수가 클수록 연안류의 크기는 감소하고 최대유속의 발생위치는 해안선쪽으로 이동하였으며 마찰계수에 비해 그 변동량은 적었다.
- (4) 해저경사가 증가할수록 파고와 연안유속이 크게 증가하였으며 연안유속의 분포대가 좁아지면서 최대값의 발생위치가 외해쪽에서 해안선쪽으로 이동하였고 평균해수위의 상승시 수위 상승 지점이 해안선쪽으로 근접해가고 수면경사가 크게 증가하여 해저지형에 따른 영향이 큼을 확인하였다.
- (5) 입사파고가 흐름의 기류력으로 작용하기 때문에 입사파고에 의한 유속분포의 변동과 평균해수위의 변동이 크며 입사파고가 클수록 하상의 영향이 보다 일찍 미치기 때문에 최대유속의 발생위치와 쇄파선이 외해쪽으로 이동하였다.
- (6) 입사되는 파의 파향각이 커지면 파고와 평균해수위의 상승량이 감소하고 연안유속이 증가하며 최대유속의 발생위치가 해안선쪽으로 이동하였다. 입사 파향각의 변화가 연안유속에 미치는 영향은 컸다. 반면 파주기가 해수운동에 미치는 영향은 미미하였다.
- (7) 본 연구에서는 수치해석을 통한 각 인자들이 연안해역 해수운동에 미치는 영향을 분석하였으며, 앞으로 실험자료나 관측자료의 비교에 의한 수치모형의 적용성 검토와 불규칙한 경계의 효과적인 처리기법의 고려를 통하여 천해영역에서의 해수운동의 여러 현상의 예측에 활용될 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

1. Ebersole, B. A. and Dalrymple, R. A.(1981) "Numerical modeling of nearshore circulation", Proc. 17th Coastal Eng. conf., ASCE, pp.2710-2725
2. Franciscus Gerritsen(1981) "Wave attenua-

- tion and wave set-up on a coastal reef”, Univ. Hawaii-Look Lab-48
3. Horikawa Kiyoshi(1988) Nearshore Dynamics and Coastal Processes, Univ. of Tokyo Press, pp.116-128
 4. Longuet-Higgins(1970a) “Longshore currents generated by obliquely incident sea waves 1”, J. of Geophysical Reseach, Vol.75, pp.6778-6789
 5. Longuet-Higgins(1970b) “Longshore currents generated by obliquely incident sea waves 2”, J. of Geophysical Reseach, Vol.75, pp.6790-6801
 6. Longuet-Higgins and Stewart, R. W.(1964) “Radiation stresses in water waves ; a physical discussion with applications”, Deep - Sea Research, Vol.11, pp.529-562
 7. Masatak Yamaguchi(1988) “A numerical model of nearshore currents based on a finite amplitude wave theory”, Coastal Engineering, ASCE, pp.849-863
 8. Masatak Yamaguchi(1988) “A numerical model of nearshore currents due to irregular waves”, Coastal Engineering, ASCE, pp.1113-1126
 9. Mei, Chiang C.(1989) The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, World Scientific, pp.451-503
 10. Nishimura, H.(1983) “Numerical simulation of the nearshore circulatuion”, Proc. 29th Japanese Conf. on Coastal Eng. JSCE, pp.333-337
 11. Nishimura Hitoshi and Maruyama Kohki (1985) “On the numerical computation of nearshore currents”, Coastal Engineering in Japan, Vol.28, pp.137-145
 12. Noda, E.K.(1974) “Wave-induced nearshore circulation”, J. Geophysical Reserch, Vol.79, pp.4097-4106
 13. Tanaka Hiroyoshi and Wada Akira(1984) “Reproduction of nearshore currents by mathmatical model”, Coastal Engineering in Japan, Vol.27, pp.151-163
 14. Yoo, D. H.(1988) “Mathematical modeling of wave-current interaction flow in shallow waters”, The University of Manchester
 15. Yoon, S. B. and Philip L-F. Liu(1988) “Wave and current interactions in shallow water”, Coastal Engineering, ASCE, pp.1682-1697

(접수 : 9월 10일)