

Matlab을 이용한 국지파랑산출 시스템 개발 Development of a Local Wave Prediction System with Matlab

이정렬¹, 이동영²
Jung Lyul Lee¹, and Dong Young Lee²

1. 서 론

세계적인 항만들이 하역능력의 제고를 위하여 선박의 대형화, 고속화, 전용선화에 부수한 움직임이 보이고 있으며 우리나라도 적기에 적정규모의 항만시설을 확충해야 할 필요성 때문에 항만시설에 대한 적극적인 민자유치 등을 시행함으로써 항만시설의 현대화, 전용화, 기계화를 꾀하고 있다. 또한 연간 가용가능한 작업가능일수의 확보를 위하여 신항만 건설시 항 내 정온도 향상을 위하여 최적의 방파제 배치 및 최선의 소파기술에 대한 연구지원을 아끼지 않고 있다. 최근 천해파랑 및 국지파랑 산출시스템의 수립으로 좀더 구체적인 연간 작업가능일수에 대한 예측이 가시권에 들어오게 되었다. 본 연구에서는 작업부두마다 작업가능한 선박자료에 대하여 연간작업가능일수를 산출해주는 예측시스템 구축을 최종 연구목적으로 한다.

하역능력이란 고유의 하역능력에 대하여 최적의 효율 즉, 용인 가능한 대기유하에서 사회경제적 비용을 유발하지 않는 최적접안율, 가용가능한 작업일수·시간·장비의 효율 등을 감안하여 산정한 능력이라 할 수 있는 데 연간 작업가능일수는 선박의 종류와 접안한 부두에서의 파랑 조건 즉, 항 내 정온도에 따라 결정되는 것이다.

최근 파랑 수치 모형의 정확성이 향상되고 계산시간이 단축됨으로써 그림 1과 같이 격자상에서 주어진 수심정보와 입사경계에서의 입사정보, 경계면에서의 경계(반사율) 정보로부터 손쉽게 천해파랑 정보를 산출할 수 있게 되었다. 또한 MATLAB을 사용하여 전프로그램이 toolbox화됨으로써 운영하는 데 편리하고 특히 다양한 지형의 적용에 용이하게 되었다. MATLAB은 Fortran이나 C 언어와 달리 계산시간이 늦지만 전프로그램이 vectorizing되어 계산시간이 상당히 단축되었다.

2. 지형 정보

지형 정보에는 수심과 반사율에 대한 정보로 구별되며 본 시스템에서 취급하는 지형은 항만과 해수욕장으로 구별될 수 있다. 그림 2에 보는 바와 같이 위치한, 시스템에 연계된 지형의 수심정보들은 다음 표 1에 제시되었다. 아직은 시스템 수립과정에 있으므로 방파제, 안벽 등으로부터의 반사율 정보가 모두 제공되지는 못하고 있다. 관측 치와의 비교·검증과정을 거치며 반사율 정보가 수립·보완되는 것이 필요하다. 각 격자망 및 등수심도(몇몇 지역은 경계(반사율) 정보 함께 제공)는 부록에 각각 도시되었다. 격자망의 회전각은 정북으로부터 시계방향으로 제시되었으며 대부분 주 파향을 향하고 있다

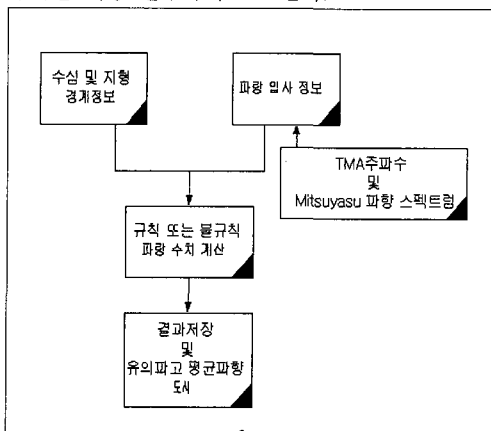


그림 1. 시스템 flowchart

¹ 성균관대학교 토목환경공학과 부교수(Dept. of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon Campus, Suwon 440-746, Korea)

² 한국해양연구소 해안항만 공학부 책임연구원(Coastal and Harbour engineering Research Center, KORDI, P.O.Bx 29, Ansan Seoul 425-600, Korea)

표 1. 각 지형의 격자망 및 격자간격

해안	지형 및 격자망	파일명	격자망 회전각
제주도	제주항 176×126 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	jjh.dep	0°
	서귀포항 168×126 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	sgp.dep	0°
	화순 300×300 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	hsb.dep	0°
동해	목호항 285×300 ($\Delta x = \Delta y = 10m$)	mhh.dep	0°
	후포항 140×130 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	hph.dep	0°
	포항신항 290×240 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	phh.dep	-45°
	울산항 217×362 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	ush.dep	0°
남해	해운대 140×130 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	hub.dep	0°
	부산항 495×356 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	psh.dep	0°
	다대포항 495×356 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	ddp.dep	-22.5°
	들산항 218×163 ($\Delta x = \Delta y = 10m$)	dsh.dep	0°
	청산항 319×313 ($\Delta x = \Delta y = 25m$)	csh.dep	0°
서해	인천북항 300×187 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	icn.dep	0°
	안흥항 272×168 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	ahh.dep	0°
	격포항 330×245 ($\Delta x = \Delta y = 20m$)	kph.dep	0°

록 하였다. 수심은 평균해수면으로부터의 값으로 기록되며 조위 정보에 따라 계산시 수심이 보정된다. 본 단계에서는 항 내 유속이 미약하므로 아직 조류와 같은 흐름으로 인한 영향이 반영되지 않고 있으며 추후 비선형 파랑 모형의 수립으로 자동적으로 그 영향을 반영하는 것이 중복파가 형성되는 항 내 파랑에 대하여 바람직하다. 전형적인 잉여용력을 이용한 접근방법은 진행파가 우월한 해역에 적용가능한 것으로 항 내와 같이 중복파가 공존하는 해역에는 적용될 수 없는 방법이다.

각 수심자료마다 처음에 n_x, n_y, dx, dy 의 4개 정보가 먼저 제공된다. 여기서 n_x 는 수심 array의 열(column) 수, n_y 는 수심 array의 행(row) 수에 해당되며 자료의 읽는 순서는 첫 번째 행의 열을 좌측으로부터 우측으로 읽고 다음 행의 열을 같은 방법으로 계속해서 읽게 된다. dx 는 column 간의 격자 간폭, dy 는 row간의 격자 간폭이다. 회전각에 따라 그림 3에서와 같이 진북과 array의 축이 절대값 45도 이하가 되도록 array의 열(n_x)과 행(n_y)이 결정된다.



그림 2. 연계된 수심 정보의 지형 위치

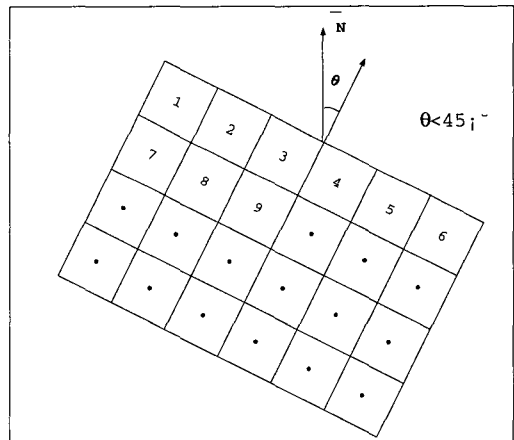


그림 3. 수심자료 array

격자망 또는 등수심을 도시하고자 한다면 다음과 같이 MATLAB function `depth('AreaName.dep', 'PlotOption')`을 수행하여 도시할 수 있다.

다대포항의 경우 그림 4, 그림 5, 그림 6과 같은 격자망도와 등수심도, 3차원 수심도를 얻을 수 있다. 'AreaName.dep'은 표 1에서 제시된 파일명 중 도시하고자 하는 것을 기입하고 'PlotOption'은 격자망을 그릴 경우 'mesh', 등수심도를 그릴 경우는 'contour', 3차원도를 그릴 경우 'surf'을 기입하면 된다. 수심자료가 같은 요령을 정렬되어 있다면 이 function을 이용하여 쉽게 격자망도와 등수심도 등을 도시할 수 있다.

`depth('ddp.dep', 'mesh')`

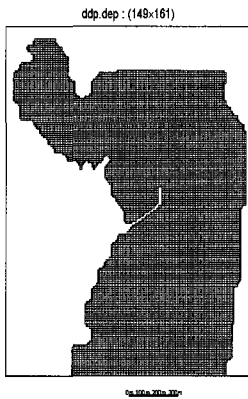


그림 4. 다대포항의 격자망도

`depth('ddp.dep', 'pcolor')`

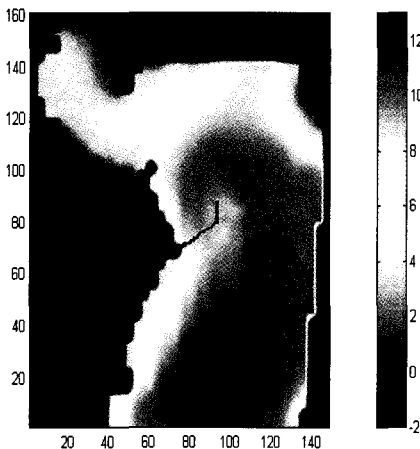


그림 5. 다대포항의 등수심도

`depth('ddp.dep', '3d')`

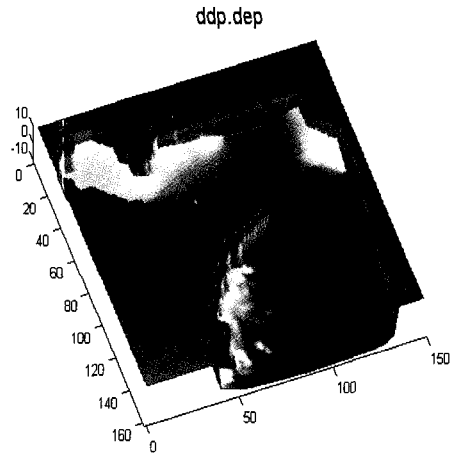


그림 6. 다대포항의 3차원 수심도

3. 입력 정보

3.1 개요

입력 정보에는 파랑 정보와 조위 정보로 구별되며 동해안에서는 조위차가 미약하므로 대부분 무시한다. 파랑 정보에는 다음과 같이 4가지 종류가 적용된다.

- a) 대표 유의파고, 유의파 주기, 평균파향
- b) 파향 스펙트럼, 유의파 주기
- c) 주파수 스펙트럼, 평균파향
- d) 파향-주파수 스펙트럼

다양한 주파수와 파향으로 이루어진 불규칙 파랑을 여러 주파수 및 파향 성분의 파랑들이 다음 식 (1)에서와 같이 중첩되었다고 가정하여 분류된다. 위상정보를 얻는 것이 현실점에서 어려우므로 그 영향을 무시하고 그 분포가 전 파랑영역에 대하여 일정하게 분포하는 것으로 가정한다.

$$\eta = \sum_{a1} \sum_{a2} a(f, \theta) e^{i\phi} \quad (1)$$

지금까지 설명된 환경사 방정식은 일정 주기를 갖는 규칙파의 경우에 적용되는 것이고 따라서 불규칙파를 다룰 경우 마치 여러 주파수를 갖는 성분파의 중첩으로 보고 각각 환경사 방정식에 의한 수치 모형으로 계산한 후 다시 중첩하여 해석한다.

3.2 주파수 및 파향 스펙트럼

불규칙파의 스펙트럼은 일반적으로 다음과 같이 주파수 스펙트럼, $S(f)$ 과 파향 분산 함수, $G(f, \theta)$ 로 표시될 수 있다고 가정한다.

$$S(f, \theta) = S(f)G(f, \theta) \quad (2)$$

여기서 주파수 스펙트럼은 파 에너지 밀도의 절대치를 의미하고 파향 분산 함수는 방향별 상대적 크기를 나타내며 다음 관계를 만족하는 것으로 한다.

$$\int_0^{2\pi} G(f, \theta) d\theta = 1 \quad (3)$$

주파수 스펙트럼은 천해파 모형의 외해 경계에서 관측되거나 다음 식에서 주어진 천해파에 사용가능한 TMA 천해 스펙트럼이 사용되기도 한다. TMA 스펙트럼으로 다음과 같이 주어진다.

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-1.25\left(\frac{f_m}{f}\right)^4 + (\ln \gamma) \exp\left(\frac{-(f-f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2}\right)\right] \phi(f, h) \quad (4)$$

여기서 α 는 Phillips 상수로서 γ 의 함수로 주어진다. f_m 최대 에너지를 갖는 주파수이며 γ 는 peak enhancement factor이다. σ 는 형태 계수로서 주파수가 f_m 보다 같거나 크면 0.09로, 작으면 0.07로 주어진다. $\phi(f, h)$ 는 수심의 영향을 반영하는 인자로서 Hughes (1984)에 의해서 다음과 같이 주어졌다.

$$\phi = \begin{cases} 0.5(\omega_h)^2 & \text{if } \omega_h < 1 \\ 1 - 0.5(2 - \omega_h)^2 & \text{if } 1 < \omega_h < 2 \\ 1 & \text{if } \omega_h > 2 \end{cases}$$

여기서 $\omega_h = 2\pi\sqrt{h/g}$ 이다.

분석된 각 주파수 별의 파향 분포를 Mitsuyasu *et al.* (1975)가 제안한 다음 방향분포함수로 최소 자성법에 의해 s 값과 θ_p 값이 추정된다.

$$G(f; \theta) = G_0 \cos^{2s} \frac{\theta - \theta_p}{2} \quad (5)$$

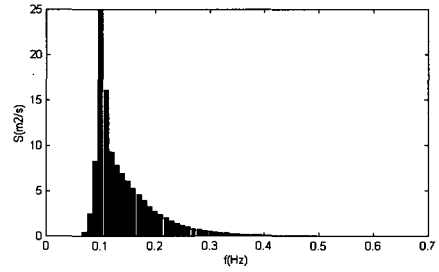
여기서 $G_0 = \frac{1}{\pi} 2^{2s-1} \frac{\Gamma^2(s+1)}{\Gamma(2s+1)}$, θ 는 파향, θ_p 는

주 파향이며 s 는 에너지의 방향분산도를 나타내는 파라메타로서 방향분산계수(spreading coefficient)라고 부른다. 같은 주파수대에서 뚜렷이 2개의 방향이 나타날 때는 아래와 같이 두개의 주 파향에 대한 파향 분산 계수와 두 방향 사이의 에너지 분포 비로서 방향 분산을 나타낼 수 있다.

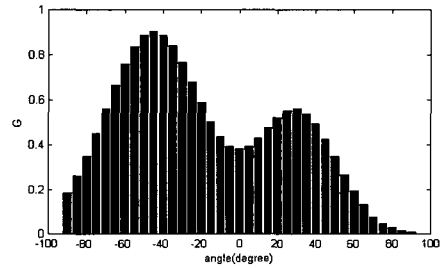
$$G(f; \theta) = a_1 G_1 \cos^{2s_1} \frac{\theta - \theta_{p1}}{2} + a_2 G_2 \cos^{2s_2} \frac{\theta - \theta_{p2}}{2} \quad (6)$$

위의 식에서의 s_1, θ_{p1} , 그리고 s_2, θ_{p2} 및 두 주파수간의 에너지의 분포를 나타내는 a_1, a_2 로서 나타낼 수 있다.

주파수 스펙트럼 및 파향 스펙트럼은 MATLAB function *tma(hgts, fm, ho, f)* 와 *mitsuyasu(angs, a, s, th)*로부터 제공되며 된다. 그 스펙트럼의 한 예를 도시하면 다음 그림 7과 같다. 그림 8에는 주파수-파향 스펙트럼의 3차원적인 그림이 도시되었다.



(a)



(b)

그림 7. (a) TMA 주파수 스펙트럼
(b) Mitsuyasu 파향 스펙트럼

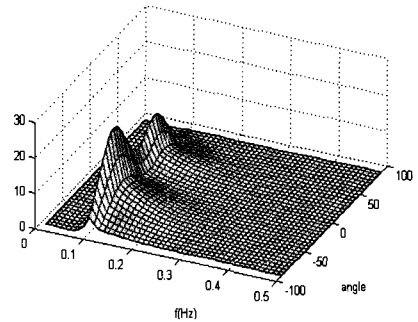


그림 8. 주파수-파향 스펙트럼의 3차원도

파의 주기와 입사파향이 주어졌을 때 모형으로부터 계산될 수 있는 정보는 파고비와 파향이다. 주기는 5초부터 15초까지 1초 간격으로, 파향은 진북으로부터 0도에서 350도까지 10도 마다 계산된다. 일단 각 성분에 대하여 격자점마다 계산된 파고로부터 다음 관계를 이용하여 불규칙파의 유의파고가 산정된다.

$$H_{1/3} = 4.004\sqrt{m_0} \quad (7)$$

여기서 $m_0 = \int_0^\infty \int_{-\pi/2}^{\pi/2} S(f, \theta) d\theta df$ 이다. 그리고 격자점마다의 유의파향은 각 성분에 대하여 계산된 파향으로부터 다음과 같이 계산된다.

$$\Theta_m = \frac{1}{m_0} \int_0^\infty \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \Theta(f, \theta) S(f, \theta) d\theta df \quad (8)$$

3.3 파향에 따른 입사면 결정

입력되는 파랑 정보인 주기, 파고, 파향 중 진북으로부터 시계방향으로 입력되는 파향은 수심 파일의 지형적인 회전 때문에 계산을 위한 파향으로 전환되어야 한다. 입사 각도에 따라서 주 입사면을 결정하여 주 입사면에 대한 파향이 절대값 45도 이내에서 처리되도록 하였다. 화면상의 우측하단을 원점으로 진북으로부터 윗 방향으로의 종축이 시계방향으로 이루는 각도를 β ($|\beta| < 45^\circ$) 라 하고 입사 파향을 α ($0^\circ \leq \alpha < 360^\circ$) 라 할 때 각 지형에 대하여 주 입사면은 다음과 같이 결정된다.

- 윗 면 : $-45^\circ \leq \alpha - \beta \leq 45^\circ$ 또는 $315^\circ \leq \alpha - \beta \leq 405^\circ$
- 우측면 : $45^\circ \leq \alpha - \beta \leq 135^\circ$
- 아랫면 : $135^\circ \leq \alpha - \beta \leq 225^\circ$
- 좌측면 : $225^\circ \leq \alpha - \beta \leq 315^\circ$

이들테면 포함신항의 경우 윗 방향으로의 종축이 진북으로부터 40° 기울어졌으므로 만약 입사파향이 진북으로부터 35° 라면 $\alpha - \beta = 35^\circ - 40^\circ = -5^\circ$ 이므로 파랑은 주로 도시된 지형의 위쪽으로부터 입사된다. 지형적으로 입사가 불가능한 입사파향에 대하여는 계산을 수행하지 않고 모든 값을 0으로 한다.

4. 쌍곡선형 완경사 파랑 모형

4.1 서론

천해 변형 과정은 수심 적분에 기초를 둔 두 계통의 다양한 수학적 파랑 모형에 의해 효과적으로 수치모의 되어지고 있다. (a) 시간 의존적인 질량-운동량 평형 방정식에 기초한 조화함수모형(phase -

resolving model)은 (Peregrine,1967;Berkhoff,1972; Radder,1979; Kirby,1986; Madsen과 Sorensen,1992) 과 (b) 스펙트럼 에너지(spectral energy) 평형 방정식에 기초한 위상평균모형(phase- averaged model) (Ewing, 1971; Komen 등, 1994)이 그것이다. 조화함수모형은 파장에 비하여 충분히 작은 격자를 적용하여 공간적인 해결이 가능하다. 따라서 이 방법은 비교적 작은 지역에 적용된다는 제한이 따른다. 반면에, 위상평균모형은 격자에 대한 그러한 제한이 없어 매우 넓은 공간에도 적용될 수 있다.

항 부근과 같이 반사 및 회절 현상이 우월한 해역에서는 반사 및 회절 현상을 가장 잘 모의하는 시간 의존적인 질량 - 운동량 평형 방정식에 기초한 조화함수모형이 가장 적합하다. 조화함수모형은 Berkhoff(1972)에 의해 유도된 완경사 방정식(mild slope equation)을 변환하여 수립되었는데 양해법에 의한 Copeland(1985)와 음해법의 Madsen Larsen (1987)의 모형이 가장 대표적인 수치모형이다. 본 연구에서 수립한 수치모형은 음해법의 Madsen과 Larsen(1987)의 모형을 근간으로 최근 개발된 경계처리 기법을 적용하여 개선되었다. 또한 완경사 방정식의 완경사 적용 한계를 극복하기 위한 노력의 일환으로 Chamberlain과 Porter(1995)에 의하여 제시된 연구 결과가 적용되었다.

4.2 지배방정식 및 수치해석

계산상의 신속성을 보장하기 위하여 Copeland (1985) 식으로부터 시간에 대한 조화성분을 제거하여 시간에 대한 변환을 완만히 함으로써 시간 간폭의 제한을 덜 받고 단시간 내에 음해법으로 수치 계산이 가능한 다음 모형이 제안되었다(Madsen과 Larsen, 1987).

$$\frac{\partial^2 S}{\partial t^2} - 2i\sigma \frac{\partial S}{\partial t} + \nabla \cdot \left[\frac{CC_g}{g} \left(\frac{\partial \mathbf{U}_0}{\partial t} - i\sigma \mathbf{U}_0 \right) \right] - k^2 CC_g S = S_s \quad (9)$$

$$\frac{\partial \mathbf{U}_0}{\partial t} - i\sigma \mathbf{U}_0 + g \nabla S = 0 \quad (10)$$

여기서 S_s 는 입사파를 생성하기 위한 내부 조파함수로서 후에 내부조파에서 자세히 언급된다. 진행파인 경우 S 와 벡터 $\mathbf{U}_0(\mathbf{U}_0, \mathbf{V}_0)$ 는 다음 관계를 갖는다.

$$S_s = \frac{H_0 C_g}{\Delta x} \exp(i \int \mathbf{k} \cdot d\mathbf{x}), \text{ and } \mathbf{U}_0 = S C_g \quad (11)$$

여기서 x, k, C_g 는 각각 위치, 파수, 군속도의 벡터들로 (x, y) , $(k_x = k \cos \theta, k_y = k \sin \theta)$, $(C_{gx} = C_g \cos \theta, C_{gy} = C_g \sin \theta)$ 로 주어지며 θ 는 파향으로 파랑의 주 입사 방향인 $+x$ 방향으로 진행하는 파에 대하여 0의 값, $+y$ 방향으로는 90도의 값을 갖는다.

저면 마찰의 영향은 Collins(1972)에 의하여 제안된 식을 쌍곡선형 환경사 방정식에 적용하여 다음 마찰 계수 f_d 를 얻었다.

$$f_d = C_f \frac{gk^2 \langle u \rangle}{\sigma^2 \cosh^2 kh} \quad (12)$$

여기서 C_f 는 경험 상수이며, $\langle U_b \rangle = gH/2C \cosh kh$ 이다. 적용되는 분산 방정식은 비선형 효과를 반영하는 것으로 Kirby와 Dalrymple(1986)에 의하여 Hedges(1976)와 Stokes의 이론에 의한 분산 관계를 연계시킨 것으로 적용영역이 심해로부터 천해까지 확장되었으며 수치실험 결과의 향상에 크게 기여하는 것으로 보고되고 있다 (Kirby와 Dalrymple, 1986; 서와 연, 1994).

$$\omega^2 = gk[1 + (ak)^2 f_1 \tanh^5 kh] \tanh(kh + akf_2) \quad (13)$$

여기서,

$$f_1 = \frac{\cosh 4kh + 8 - 2 \tanh^2 kh}{8 \sinh^4 kh}$$

$$f_2 = \left(\frac{kh}{\sinh kh} \right)^4$$

규칙파의 경우 쇄파 모형은 단순하면서도 정확성 및 안정성이 확보되는 다음 Miche's criterion(Miche, 1951)을 사용하여 다음과 같이 쇄파 지역에서 복소수 수면변위 S_b 를 구하였다.

$$S_b = \frac{xhS}{2|S|}, \text{ for } |S| > \frac{xh}{2} \quad (14)$$

각 격자점에서의 파고와 파향은 복소수 특성을 이용하여 다음과 같이 손쉽게 산정된다.

$$H = 2\sqrt{\text{Re}\{S\} + \text{Im}\{S\}} = 2|S|$$

$$\theta \cong \tan^{-1} \left(-\frac{\text{Re}\{V/S\}}{\text{Re}\{U/S\}} \right)$$

Berkhoff(1972)에 의하여 제안된 환경사 방정식은 파장에 비하여 수심의 경사(∇h)가 완만한 환경사에서 적용될 수 있는 식으로 간주되었으나 Booij(1983)에 의하여 1:3의 경사까지도 적용이 가능한 것으로 입증되었다. 그러나 이후 많은 연구자들(Massel, 1993; Chamberlain과 Porter, 1995; Porter와 Staziker, 1995; Suh 등, 1997)에 의하여 상당히 급한 경사에도 적용할 수 있는 방법이 꾸준히 연구된 결과 최근에 Chamberlain과 Porter(1995)는 환경사 방정식에 수심 경사제곱항(square of bottom slope term)과 수심곡률항(bottom curvature term)으로 추가되는 간략한 식을 제안하였다.

f 를 $f(\mathbf{x}, z)$ 이라고 하여 수평적인 변위를 갖는다고 하면 다음 항이 추가되어야 한다

$$\left(\nabla \cdot \int_{-h}^{\eta} f \nabla f dz - \int_{-h}^{\eta} (\nabla f)^2 dz \right) \hat{\phi} \hat{\phi} = (kR_1(h)(\nabla h)^2 + R_2(h)\nabla^2 h) \quad (15)$$

R_1 과 R_2 는 무차원 값으로 다음과 같이 주어진다.

$$R_1 = \frac{\text{sech}^2 kh}{12(2kh + \sinh 2kh)^3} [(2kh)^4 + 4(2kh)^3 \sinh 2kh - 9 \sinh 2kh \sinh 4kh + 6kh(2kh + 2 \sinh 2kh)(\cosh^2 2kh - 2 \cosh 2kh + 3)]$$

$$R_2 = \frac{\text{sech}^2 kh}{4(2kh + \sinh 2kh)} (\sinh 2kh - 2kh \cosh 2kh)$$

따라서 $R = \frac{R_1(h)}{k} (\nabla h)^2 + \frac{R_2(h)}{k^2} \nabla^2 h$ 이다.

이 R_1 과 R_2 는 MATLAB function *steep(kh)*로 계산되며 kh 에 대한 변화는 다음 그림 9와 같다.

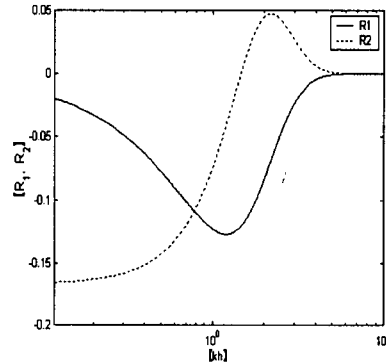


그림 9. kh 에 대한 R_1 과 R_2 의 변화

Lee(1994)에 의해서 소개된 ADI (alternating Direction Implicit) 방법이 수심 적분된 본 모델의 2차원 해석을 위한 수치 해석법으로 사용되었다. 그리고 Lee(1998)의 경계처리 방법이 적용되었다. 이 방법은 측면 경계에서 Newmann처리가 가능하여 open sea에서 파랑이 정연하게 파급되는 것이 가능하다. 그러나 아직도 많이 소개되고 있는 스폰지 방법은 측면에서의 파랑 에너지 흡수를 피할 수 없어 여분의 경계 영역이 요구되고 입사각이 있는 경우 차폐지역을 고려하여 또한 여분의 격자영역이 요구된다는 단점이 있다. Fortran에서는 dimension이 미리 설정되어야 하므로 다양한 dimension을 갖는 지형에의 적용에 어려움이 있고 user-written function(subroutine)과 연계하는 데 불편하다. 따라서 이와 같은 문제가 극복될 수 있고 그래픽 처리가 용이한 MATLAB을 이용하여 프로그램되었다.

5. 결과 산출


다음과 같이 입력 정보 또는 산출 자료에 따라 수행하는 MATLAB function이 각각 달라진다.

- 대표 유의파고, 유의파 주기, 평균 파향 입력 조건
- 주파수-파향 스펙트럼 입력 조건
- 주기-파향 성분에 따른 파고비 산출

5.1 대표 유의파 입력

대표 유의파 정보가 주어지는 경우는 스펙트럼 성분 분할 및 조합이 필요치 않으므로 다음 MATLAB function *wave('AreaName.dep', GridAngle, hgt, t, angle)*만이 수행되어 각 격자점마다 계산된 파고와 파향 결과가 제공된다. 여기서 'Area Name .dep'은 표 1에서 제시된 것 바와 같이 적용하고자 하는 해역의 수심 파일명이며 'hgt'는 입사 파고, 't'는 주기, 'angle'은 진북으로부터 degree로 주어지는 각도이며 'GridAngle'은 격자망 자체가 진북에 대하여 기울어진 격자망 회전각으로 시계방향이면 +, 시계반대 방향이면 -이며 각각의 절대값은 45도 이거나 그보다 작다. 다대포에 대하여 파랑 조건 ($H_s=6.3m; T=12sec; \theta=158^\circ$)에 대하여 아래와 같이 수행한 결과를 그림 9에 도시하였다. 각 결과는 가능한 한 북측이 위를 향하도록 도시된다.

```
hgt=wave('ddp.dep',-22.5,6.3,12,158);pcolor(hgt);shading interp;colorbar('vert')
```

Function *wave*에 대한 도움말은 *help wave*를 type하시고 을 쳐서 보실 수 있으며 아래와 같다.

```
help wave
function[WaveHeight,WaveAngle]
    =wave(fn,GridAngle,hgt,t,angle)
fn=depth file name
GridAgle=grid rotation angle
hgt=incident wave height
t=wave period
angle=incident wave angle
```

5.2 주파수-파향 스펙트럼 입력

대표 유의파로 파랑 입력이 주어지지 않고 각 스펙트럼 성분으로 주어지는 경우 유의파 입력에 대한 function인 *wave*를 여러 번 수행하면 되지만 결과를 다시 유의파고, 유의파 주기, 대표 파향으로

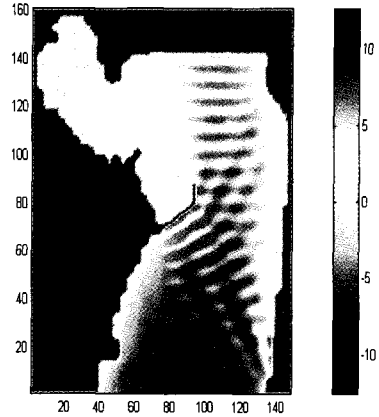


그림 10. 다대포 항에서의 유의파 계산결과
파랑조건 ($H_s=6.3m; T=12sec; \theta=158^\circ$)

로 산출할 필요성이 있으므로 이에 따른 부수적인 routine이 필요하다. 스펙트럼 성분에 대한 파일은 파일명 'AreaName.spc'로 주어지며 스펙트럼 성분을 읽을 때도 수심을 읽을 때와 동일하게 nf(주파수 성분 분할 수), nd(파향 성분 분할 수), df(주파수 분할 간폭), dd(파향 분할 간폭)이 먼저 오고 다음으로 각 주파수 성분마다 해당하는 모든 파향 성분 nd개를 읽는 데 이를 nf번 반복하도록 format이 이루어져야 한다. nf가 1이거나 nd가 1인 경우는 주파향에 대하여 주파수 스펙트럼 성분으로의 분할만 이루어지거나 주주파수에 대한 파향스펙트럼 성분으로의 분할만이 이루어진다. 다음은 'ddp.spc'라는 스펙트럼 파일로부터 유의파고 및 유의파 주기, 평균파향을 얻기 위하여 다음 MATLAB function *WaveSpectrum('AreaName.dep', GridAngle, 'AreaName.spc')*이 제공된다.

대표 유의파 정보로부터 스펙트럼으로의 구성이 가능한 경우 스펙트럼 성분으로 나눠 MATLAB function인 *wave*를 여러 번 수행하고 결과를 다시 유의파고, 유의파 주기, 대표 파향으로 산출하면 된다. 이 때 사용하는 주파수 스펙트럼은 TMA스펙트럼을 사용하며 파향 스펙트럼은 Mitsuyasu의 파향 분산식을 사용한다. 이외에도 추후 여러 유용한 스펙트럼 함수가 제공될 예정이다. 주기는 5초부터 16초까지 1초 간격으로, 파향은 진북으로부터 0도에서 350도까지 10도 마다 계산된다. 다음은 TMA 스펙트럼과 Mitsuyasu 파향 스펙트럼으로부터 유의파고 및 유의파 주기, 평균파향을 얻기 위하여 다음 MATLAB function *WaveSpectrum('AreaName.dep', GridAngle, 'TMA+Mitsuyasu', hgt*

,*tp,angle,a,s*)이 제공된다. 만약 TMA나 Mitsuyasu 중 하나만 입력되면 1차원 스펙트럼이 구성된다.

각 스펙트럼 성분을 입력으로 어느 한 격자 점에서 계산되는 파고 및 파향을 저장하면 그 점에서의 스펙트럼 산출이 가능하다. 이 기능을 수행하기 위하여 추가적인 격자 점의 (i,j) argument가 주어지면 되며 여러 격자 점에서의 결과를 얻기 위하여는 격자 점의 (i,j)에 대한 index 벡터가 주어진다. 즉 2열을 갖고 격자 수 만큼의 열을 갖는 행렬이 주어진다. 다음은 다대포항에서 TMA 스펙트럼과 Mitsuyasu 파향 스펙트럼으로부터 유의파고 및 유의파 주기, 평균파향은 물론 격자 점 (160,100)과 (20,100)에서의 스펙트럼을 얻기 위한 한 예로서 다음과 같은 MATLAB function이 수행되었다.

```
□[hgts,ts,angm,spc]=WaveSpectrum('ddp.dep',-22.5,'TMA + Mitsuyasu',6.3,12,158,1,10,[160 100;20 100])
```

MATLAB command windows 상에서 다음과 같이 추가적인 command를 수행하면 그림 10과 같은 입사 스펙트럼을 도시할 수 있다.

```
□colormap('gray');surfl(spc(:,1));
```

그리고 그 스펙트럼 입력에 대하여 북측 내부 점에서의 스펙트럼 결과는 다음과 같은 command로 얻어진다. 입사 시 180도가 우월하였으나 내부 점에서 210도 방향의 파가 생겼으며 180도 성분보다 우월하게 나타나고 있다.

```
□colormap('gray');surfl(spc(:,2));
```

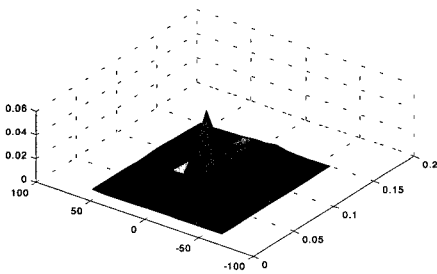


그림 10. 입사스펙트럼(Hs=6.3m;Ts=12sec; $\theta=121^\circ$)(파향 좌표 값은 평균 파향에 대한 상대 각도)

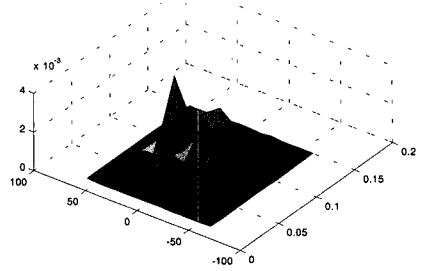


그림 11. 북측 내부점에서 얻은 스펙트럼 (입사조건: Hs=6.3m;Ts=12sec; $\theta=121^\circ$) (파향 좌표 값은 평균 파향에 대한 상대 각도)

5.3 주기-파향 성분에 따른 파고비 산출

위에서 언급한 대표 유의파든 주파수-파향 스펙트럼이든 사전에 입사가능한 주기-파향 성분에 대하여 파고비를 구하면 파랑의 선형성 하에서 이 파고비 자료를 활용하여 유의파계산 결과나 주파수-파향 스펙트럼을 빠르게 산출할 수 있다. 단, 파랑의 쇄파나 비선형성이 무시될 수 있는 경우에 한한다. 물론 한점에서의 파고비 산출도 가능하지만 이 파고비 자료는 각 격자점마다 산출할 수 있으므로 방대한 양이 될 수 있으나 공간적으로 내삽이 가능하다면 몇 격자씩 떼어서 산출하는 것도 바람직하다. 이 기능을 수행하는 MATLAB function은 *WaveRatio('AreaName.dep',GridAngle,GridPoints)*이다. 여기서 마지막 'GridPoints'는 파고비를 산출할 격자점 (i,j) vector이다. 다음 그림 12는 파고비를 산출할 포항신항에서의 내부 2점 A, B를 도시한 것이다.

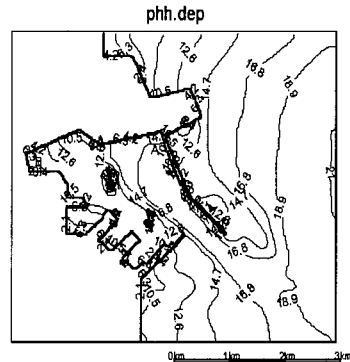


그림 12. 파고비 산출 지점

다음은 파고비 산출을 위한 MATLAB command 이고 그림 13와 14은 그 결과를 도시한 것이다.

```
□ hgtr=WaveRatio('phh.dep',-22.5,[160 100;20 100])
```

```
□ pr=5:16;th=10:10:180;[x,y]=meshgrid(th,pr);pcolor(x,y,hgtr(:, :, 1));shading interp;xlabel('angle(degree)');ylabel('period(sec)');colorbar('vert')
```

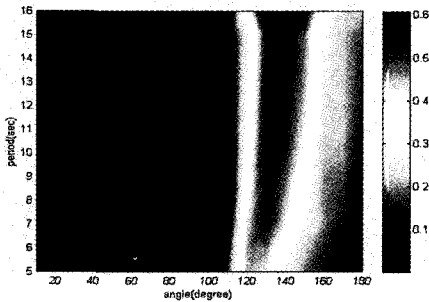


그림 13. A지점에서의 파고비 결과

동방파제의 영향으로 120도와 160도사이의 입사 파향에 대하여 큰 파고비를 보이고 있으며 주기는 클수록 내습하는 비율도 더 커지는 데 9초 이상은 거의 비슷한 분포를 갖는 것을 알 수 있다. 포향신 항과 같이 항 내에서의 파고비는 주기의 영향보다 파향의 영향이 월등히 크다는 것을 알 수 있다. 다음은 B지점에서의 파고비 결과를 도시하기 위한 MATLAB command이다.

```
□ pr=5:16;th=10:10:180;[x,y]=meshgrid(th,pr);pcolor(x,y,hgtr(:, :, 1));shading interp;xlabel('angle(degree)');ylabel('period(sec)');colorbar('vert')
```

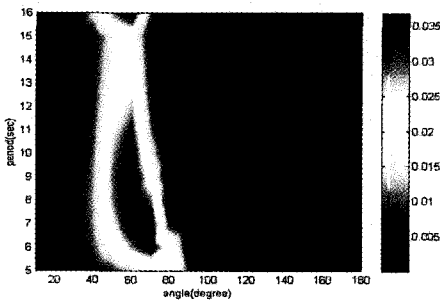


그림 14. B지점에서의 파고비 결과

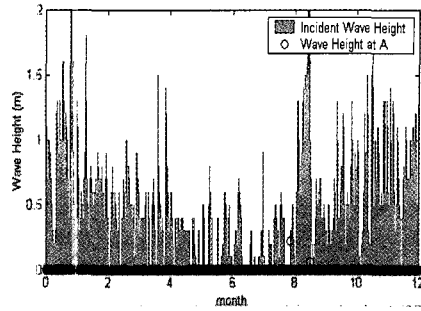


그림 15. A지점에서의 계산 파고

A점에서의 파고비와는 달리 B지점에서의 파고비는 0.04이하로 상당히 감소하고 있으며 비교적 60도의 입사파향에 침입이 높은 것을 알 수 있다. 이 경우는 이안제의 영향으로 주기에 따른 변화도 크다는 것을 암시하고 있다. 8초 그리고 16초이상에서 상대적으로 큰 파고비를 보이고 있다.

천해파 산출 시스템으로부터 산정된 2000년 1월 1일부터 12월 31일까지 1년간 3시간 간격의 유의파 입사 자료에 대한 A 및 B 지점에서의 항 내 파고를 산정하면 그림 15와 16과 같다. 거의 정온한 결과를 보여주고 있다. 즉, B에서는 파고비가 작고 A에서는 120도와 160도사이의 입사파향이 거의 없거나 약하기 때문이다.

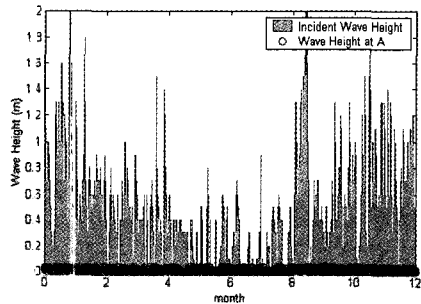


그림 16. B지점에서의 계산 파고

6. 결 론

이미 수리실험 및 관측자료와의 비교를 통하여 검증된 본 수치모형은 다음 표와 같이 동해안, 남해안, 서해안, 제주도 등 우리나라 전 해안에 위치한 항만 및 해수욕장의 수심자료를 확보하여 대표파를 통한 항내 정온도 예측을 포함하여 4가지 종류의 입사파 정보가 운용되도록 하였다. 입사 성분을 분할하는 경우 파향은 10° 마다, 주기는 5초부터 15초까지 1초 마다 입사성분이 분할되었다.

또한 MATLAB을 사용하여 전프로그래미 toolbox 화됨으로써 시스템이 보다 조직적으로 구성되었으며 그 때문에 운영하는 데 편리하고 특히 다양한 지형의 적용에 용이하다. MATLAB은 Fortran이나 C 언어와 달리 계산시간이 늦지만 전프로그래미 vectorizing되어 계산시간이 상당히 단축되었다. 본 과제에서 사용하는 파랑 모형은 계산시간이 빠른 음해법으로 수치해석되어 빠른 결과 산출이 가능하고 경계처리가 타 모형에서 시도하려는 스폰지법과는 달리 측면 경계와 복잡한 지형에서도 신뢰성 있는 결과가 산출될 수 있으며 또한 수치모형화에 있어서 적용하기 수월하다.

본 시스템에서 산출하는 결과는 유의파고, 주기, 주 파향이며, 몇몇 관심점에서의 2-3차원적인 스펙트럼 산출이 가능하다. 또한 구축된 작업일수 산정 시스템에 쉽게 연계되어 각 항의 각 부두, 각 선박마다 신뢰성있는 작업일수 산정을 가능하게 할 것이다.

본 과제에서는 이와 같이 시스템이 일단 수립되면 신뢰도 확보 측면에서 현장 관측을 계속적으로 수행하여 좀더 정확한 예측이 되도록 관리할 필요가 있다. 또한 항 내로 대형 파랑 에너지가 유입될 경우 비선형성이 우월해지며 이로 인한 해수유동도 적지 않은 환경적인 영향을 미칠 수 있으므로 앞으로 이에 대한 연구도 병행될 필요가 있다.

참고문헌

이정렬, 1998. 쌍곡선형 파랑모델의 경계처리. 대한 토목학회논문집, 18(II-6): 601-612.

Berkhoff, J.C.W., 1972. Computation of combined refraction-diffraction, *Proc. 13rd Int. Conf. Coastal Engrg.*, ASCE, 471-490.

Booij, N., 1983. A note on the accuracy of the mild-slope equation, *Coastal Eng.* 7:191-203

Chamberlain, P.G., and Porter, D., 1995. The modified mild-slope equation, *J. Fluid Mech.*, 291:393-407

Collins, J.I., 1972. Prediction of shallow water spectra, *J. Geophys. Res.* 77(15):2693-2707.

Copeland, G.J.M., 1985. A practical alternative to the mild slope wave equation, *Coastal Engrg.*, 9: 125-149.

Ewing, J.A., 1971. A numerical wave prediction method for the North Atlantic Ocean, *Deutsch, Hydrogr. Z.*, 24(6): 241-261.

Hedges, T.S., 1976. An empirical modification to linear wave theory, *Proc. Inst. Civ. Engrg.*, 61: 575-579.

Kirby, J.T., and Dalrymple, R.A., 1986. Modeling waves in surfzones and around islands, *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engrg.*, 112: 78-93.

Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., and Janssen, P.A.E.M., 1994. Dynamics and Modelling of Ocean Waves, Cambridge University press.

Lee, J.L., 1994. Quasi-3D wave-induced circulation model, *J. the Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 6(4): 459-471.

Madsen, P.A., and Larsen, J., 1987. An efficient finite-difference approach to the mild-slope equation, *Coastal Engrg.*, 11: 329-351.

Madsen, P.A., and Sorensen, O.R., 1992. A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics (Part 2), *Coastal Engrg.*, 18: 183-204.

Massel, S.R., 1993. Extended refraction-diffraction equation for surface waves, *Coastal Engrg.*, 19: 97-126.

Miche, R., 1951. The reflecting power of maritime works exposed to action of the waves, *Annals of the Highway Dept.*, National Press, France.

Peregrine, D., 1967. Long waves on a beach, *J. Fluid Mech.*, 27(4): 814-827.

Porter, D., and Staziker, D.J., 1995. Extensions of the mild-slope equation, *J. Fluid Mech.*, 300: 367-382.

Suh, K.D., Lee, C., and Park, W.S., 1997. Time-dependent equations for wave propagation on rapidly varying topography, *Coastal Engrg.*, 32: 91-117.