

경기만 조석 조건에서의 파랑변이 Tidal Variation of Waves in Kyung-Gi Bay

유동훈* · 김지웅*

Dong Hoon Yoo* and Jiwoong Kim*

요 旨 : 스펙트럼 천해파 모델을 두 가지의 다른 조위조건을 각기 합성하여 경기만 해역에 적용하였다. 첫 번째의 조석과 파운동의 합성으로 일정 조위시 파운동의 파수보존식과 에너지 보존식만을 이용한 파랑수치모델링이다. 이와 같은 일정 조위시에는 조류가 존재하지 않는다. 두 번째 조합은 조석의 연속방정식과 운동량방정식, 파운동의 파수보존식과 에너지보존식을 동적으로 연계한 수치 모델링이다. 전 해역에 조위를 일정하게 지정하였을 때 주요 참고 지점의 유의 파고 및 파향 등을 검토하였고, 조석과 파랑을 연계수치 모델링하였을 때에 산정되는 유의 파고와 파향 등을 일정 조위로 가정하고 산정되는 결과와 비교 분석하여 제시하였다. 이러한 수치모형의 계산결과시 조석 조건에 따라 파고 및 파향의 변이가 심대하게 다를 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 스펙트럼 천해파 모델, 일정조위, 조석모델, 유의 파고, 파향

Abstract □ Spectral wave models are applied to the area of Kyung-gi bay with two different combinations. One combination assumes a constant tidal elevation over the whole region when applying the wave model to the area. In this case no tidal currents exist in any place. The other combination employs tide model as well as wave model so that tidal condition is defined at every computation time when wave modelling is carried out. Significant wave heights and wave directions are shown for these two cases. With these two different constraints of tidal variation, the results are checked and compared with each other. Both results are found significantly different from each other.

Keywords : spectral wave model, constant tidal elevation, tide model, significant wave heights, wave directions

1. 서 론

경기만 해역에 발생하는 주요 해양 물리인자로는 조석과 파도이다. 경기만 일대는 서해안 일대에서도 조차가 가장 크고 이로 인한 조석간만의 변화가 크다. 특히 영종도 일대는 조간대가 잘 발달한 지역으로서 만조시에는 대부분의 조간대가 침수되나 저조시에는 대부분의 조간대가 해수로부터 노출되어 쇄파의 영향을 크게 받는다. 인천항의 조석을 참조하면 대조차와 소조차는 각각 798 cm, 347 cm이고 평균조차는 572 cm이다. 따라서 천해파의 조석변이가 심대할 것으로 예상할 수 있다.

불규칙파를 스펙트럼파로 파악하여 파수벡터보존식과 에너지보존식만으로 구성된 천해파 수치모형으로 천해역에서의 천수, 굴절, 회절, 마찰손실 및 쇄파 등에 의하여 불규칙파가 변이하는 현상을 재현하였다. 이때 조석의 영향은 조위만을 고려하여 수심의 증분을 전구역에 대하여 동일하게 취하였다. 한편, 조석과 연속방정식과 운동량 보존식으로 이루어진 조석모형을 파수벡터보존식과 에너지보존식으로 이루어진 파랑모형과 동적으로 연계한 수치모형을 운용하여 불규칙파의 변이 현상을 재현하였으며 이들 두 산정결과를 비교 검토하였다. 즉 전자는 수심을 일정하게 증분하였으므로 수심변화에 따른

굴절효과도 정확하게 재현할 수 없을 것으로 예상되며, 조류에 의한 굴절효과와 도플러 효과에 의한 파형경사의 변이를 완전히 무시하였기 때문에 산정결과에 대한 신뢰도가 상당히 떨어진다고 할 수 있다. 반면에 후자는 이러한 효과들을 종합적으로 반영하였기 때문에 산정결과에 대한 신뢰도가 상당히 높다고 할 수 있다. 한편, 지배방정식은 조석과 연속방정식, 운동량보존식, 파수벡타보존식, 에너지보존식인데 파수벡타보존식에 회절효과를 고려하는 항을 포함하였다. 스펙트럼형상을 재현하기 위하여는 선형누적법을 사용하였으며, 스펙트럼파에 대한 대표 마찰계수를 간단히 산정하는 약산식을 사용하여 마찰손실효과를 고려하였다. 또한 천해역에서의 쇄파를 고려하기 위하여 Kitaigorodskii의 평형조건식을 수정하여 적용하였다.

조석과 운동에 대한 수치해석을 파랑 수치해석과 연계하여 해양구조물의 안정성에 대한 신뢰도를 높이고, 환경관리 기법을 확립하는 조석과 파랑체계의 표준 전산모형을 수립하고자 한다. 특히 조위의 일정증분만을 고려한 후 파랑모형을 단독 운영하여 산정된 수치해석 결과와 조석모형과 파랑모형을 연계 운영하여 산정된 결과를 서로 비교하여 경기만 해역에서 조류가 천해파의 변이에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 본 연구에 이용된 파랑 수치모형은 격자크기에 대한 제한이 없기 때문에 조석모형과 동일한 크기의 격자를 사용하였으며 계산 시간 간격도 동일크기를 사용하여 두 모형간의 간섭효과를 충분히 반영하였다.

2. 지배방정식

본 수치모형에 이용된 조석파운동의 기본 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} U d + \frac{\partial}{\partial y} V d = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - fV + \frac{\tau_{bx}}{\rho d} = \nu \nabla^2 U \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - fU + \frac{\tau_{by}}{\rho d} = \nu \nabla^2 V \quad (3)$$

여기서 x, y =정수해면 수평면상의 직교좌표, t =시간, ζ =해수위, d =총수심, f =지구 전향력 계수, $U, V=x, y$ 각 방향의 수평유속성분, τ_{bx} =해저마찰응력의 x 성분, τ_{by} =해저마찰응력의 y 성분, ρ =해수밀도, ν =동점성계수이고 $\nabla^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$

이다.

식 (2)와 (3)에서 해저마찰응력은 다음과 같이 표기된다.

$$\tau_{bx} = \rho C_f |W| U \quad (4)$$

$$\tau_{by} = \rho C_f |W| V \quad (5)$$

여기서 $|W| = \sqrt{U^2 + V^2}$ 이다. 해저마찰응력 산정식 (4)와 (5)를 식 (2)와 (3)에 대입하면 운동량 방정식은 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - fV + \frac{C_f}{d} |U| U = \nu \nabla^2 U \quad (6)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - fU + \frac{C_f}{d} |U| V = \nu \nabla^2 V \quad (7)$$

식 (6)과 (7)에서 C_f 는 지수형 마찰계수로 다음과 같이 산정된다.

$$C_f = \alpha R_H^\beta \quad (8)$$

여기서 R_H 는 동수반경 레이놀즈수로서 VH/ν 이고 V 는 중심 평균유속, H 는 동수반경, ν 는 유체의 동점성계수이다. 또한 α 와 β 는 수로형상과 조도에 따라 변이하는 계수이다.

Bazin(1865)과 Varwick(1945)의 실험자료로부터 추정된 α 와 β 는 각각 $\alpha = 0.013 + 0.013 \sqrt{k_w}$, $\beta = -0.17$ 이다(유·이, 1999).

굴절·회절 및 조석 조류의 영향을 받는 스펙트럼파의 파수보존식과 스펙트럼파의 에너지보존식은 에너지손실율을 포함하여 다음과 같다(유, 1993).

$$\frac{\partial P}{\partial t} + (PM + U) \frac{\partial P}{\partial x} + (QM + V) \frac{\partial P}{\partial y} + S \frac{\partial \delta}{\partial x} = \frac{M \partial \delta}{2 \partial x} \quad (9)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + (PM + U) \frac{\partial Q}{\partial x} + (QM + V) \frac{\partial Q}{\partial y} + S \frac{\partial \delta}{\partial y} = \frac{M \partial \delta}{2 \partial x} \quad (10)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial (PM + U)E}{\partial x} + \frac{\partial (QM + V)E}{\partial y} + C_E E^{1.5} = 0 \quad (11)$$

여기서 $\delta = (\partial^2 E / \partial x^2 + \partial^2 E / \partial y^2) / 2E$, C_E 는 손실계수이고, P 와 Q 는 각각 파수벡타의 x 와 y 성분이며, E 는 파에너지밀도, M 은 단위군속도(unit number group velocity), 즉 군속도를 파수로 나눈 것으로서

$$M = \frac{1}{2} (1 + G) \frac{\sigma}{K} = \frac{C_g}{K} \quad (12)$$

$$G = \frac{2K_d}{\sinh(2Kd)} \quad (13)$$

이다. 따라서 PM 과 QM 은 각각 군속도의 x 와 y 성분 R_x

와 R_s 가 된다. 또한 S는 수심의 변화에 따른 파수벡타의 증가율로서 $S=G\sigma/2a\omega$ 이고 σ 는 각주파수이다. C_b 는 마찰에 의한 손실계수로 다음과 같다.

$$C_b = \delta C_b \left(\frac{\sigma}{\sinh Kd} \right)^3 \quad (14)$$

여기서 δC_b 는 전스펙트럼에 걸쳐 일정하나 $(\sigma/\sinh Kd)^3$ 은 각 스펙트럼대에서 주파수에 따라 상당히 변할 수 있다. δ 는 조류와의 합성에 의한 증폭계수로서 BYO모형에 의하여 산정한다(유, 1994). 계수 C_b 이외의 모든 변수는 파조건에 따라 바로 구해진다. 마찰계수 C_b 는 다음과 같은 약산식으로 표기되어 양해법으로 정확하게 산정될 수 있다. 즉,

$$C_b = \exp \left[5.35 \left(\frac{k_b}{A_b} \right)^{0.194} - 6.57 \right] \quad (15)$$

여기서 k_b 는 해저면 등가조고이고 A_b 는 해저면에서 파운동의 최대 행정거리로서 a 를 파고진폭이라 할 때 $A_b = a / \sinh kd$ 이다.

식 (15)를 Swart(1974)의 단순파에 대한 파마찰계수 산정식과 비교하면 약 10%가량 증가한다.

유(1993)는 불규칙파에 의한 연안류 연구에서 Kitaigorodskii의 평형조건식을 개선하여 다음과 같은 쇄파에너지 임계식을 제시하였다.

$$E_b(f) = 4\pi r_2 \sigma^{-1} (1+G)^{-1} \cdot K^{-2} \tanh^2(Kd) \quad (16)$$

여기서 r_2 도 역시 상수이다. 상수 r_2 는 쇄파대에서 관측된 다섯가지 현장관측자료 모두 일정한 값($4\pi r_2 = 0.21$)을 취하여 쇄파대내 파고분포를 상당히 정확하게 묘사하였다. 식 (11)로 산정된 파에너지가 쇄파조건식 (16)으로 산정된 수치를 초과할 때 이 임계치로 대체한다.

3. 모형의 적용

식 (1), (2), (3)으로 대표되는 조류해석의 지배방정식은 ADE(Angled Derivative Explicit) 유한차분법을 이용하여 해를 구하였고, 식 (9), (10), (11)의 파수보존식 및 스펙트럼파의 에너지보존식은 일정 간격의 격자에 upstream method로 풀어 해를 구하였다(Yoo and O'Connor, 1986). 각 스펙트럼대에 대하여서는 독립적으로 풀어 최종 결과는 누적적분하여 구한다. 본 모형의 1차 검증을 위하여 Delft 수리시험소의 수조실험자료에 적용한 바 있

으며, 서해안이나 유럽의 리버풀만 또는 발틱해등 여러 현장에 적용한 바 있다. 본 연구대상지는 경기만 해역으로 한강과 임진강의 지류인 영하하구에 위치하는 인천 내·외항과 최근에는 남항과 북항의 개발이 완료되었다. 김포 해안 간척공사, 인천항 북측의 율도 발전소와 일도 발전소 건설, 송도 연안도시 개발 및 LNG 잔교부두 등의 건설이 추진되고 있으며, 영종도 신공항 건설과 함께 해저터널의 건설이 추진되고 있다.

경기만 해역의 수심은 Fig. 1에 도시된 바와 같이 극히 일부뿐만 제외하고는 30 m 정도의 천해역이므로 이 해역에 천해파 추정 수치모형을 적용하므로써 천해역에 위치한 해안구조물의 안전 확보를 위한 설계파고를 결정할 수 있다. 경기만 해역은 조석 조건의 영향이 매우 강하게 작용하는 해역이라 조석의 영향이 여러 해양인자 특히 파의 변이에 미치는 정도를 정확히 파악하여야 할 필요성이 있는 것으로 사료된다.

Table 1에는 본 모형의 적용 대상해역인 경기만 개발지구의 격자망 구성 및 입사파 조건이 제시되어 있다. 제

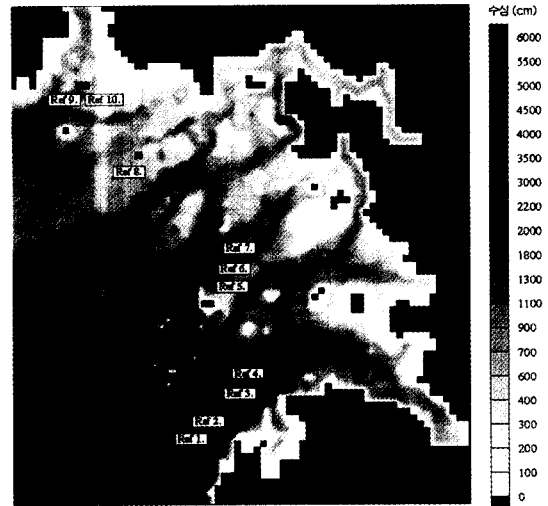


Fig. 1. Bottom topography of Kyung-gi Bay and reference points

Table 1. Constituents of model mesh and inflow wave boundary conditions

Model mesh		Inflow wave boundary conditions	
mesh size	1,800 m×1,800 m	wave direction	NW
total no. of meshes	71×80=5,680	wave height [m]	8.35
no. of eff. meshes	3,487	wave period[s]	11.81

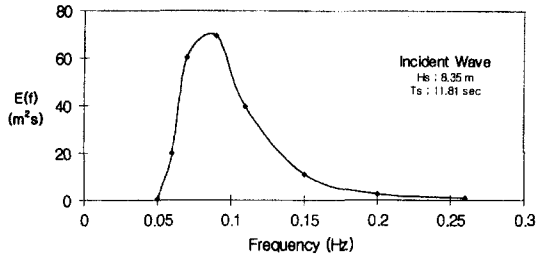


Fig. 2. Energy spectrum of wave height.

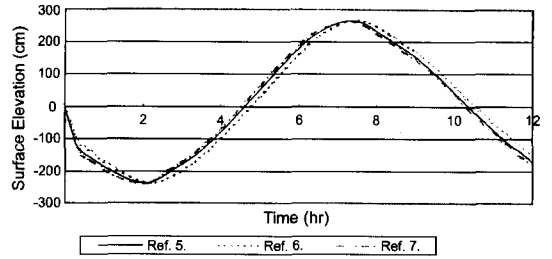


Fig. 3. Variation of tidal elevation at reference points near Young-Jong Island.

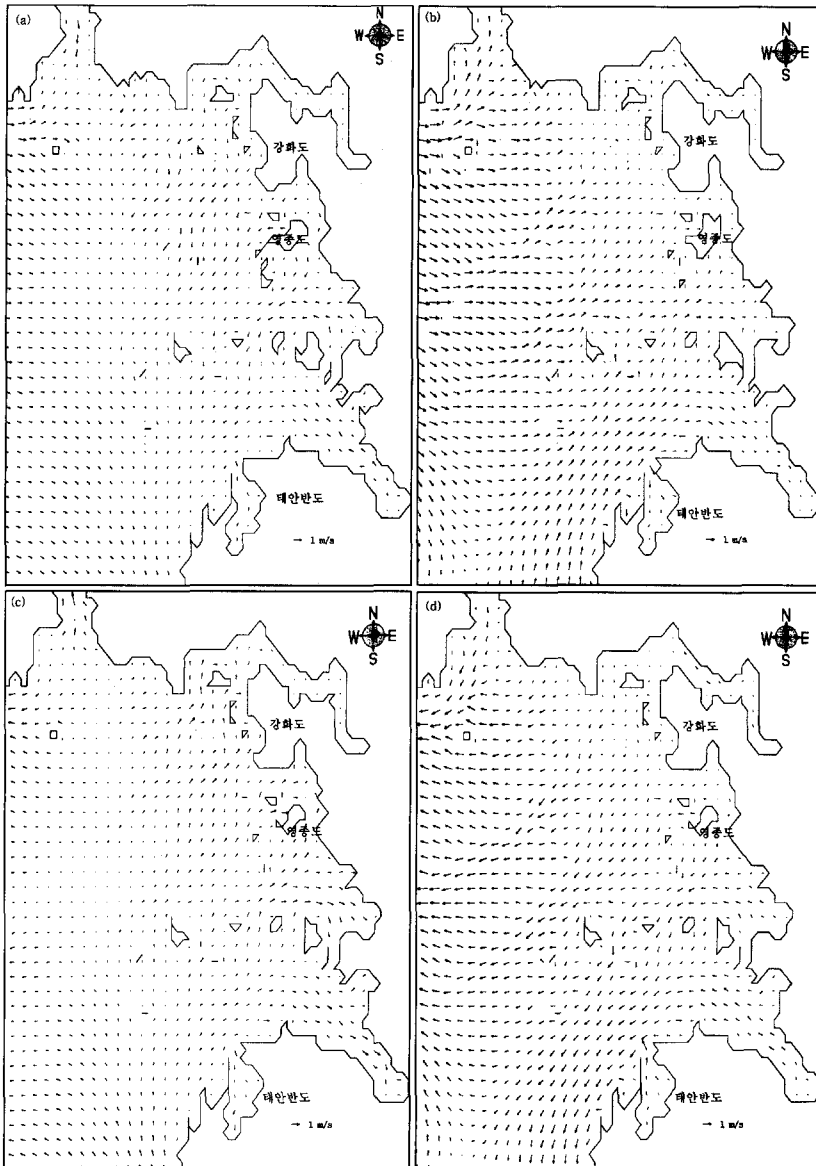


Fig. 4. Pattern of tidal current at several times. (a) lunar hour is 2:00 (ebb tide); (b) lunar hour is 4:20; (c) lunar hour is 7:20 (flood tide); (d) lunar hour is 10:20.

시된 바와 같이 대상해역의 격자망은 전대상지역에 대하여 크기 1,800m의 정방향 격자로 횡방향 71개, 종방향 80개로 구성하였으며, 입사파는 파향 NW, 파고 8.35 m, 주기 11.81초의 조건을 적용하였다. 경계조건으로는 조석 조화상수인 M2, S2, K2, N2 分潮를 적용시켰다. 또한 적용수심은 평균해수면(datum level+4.71 m)을 취하였다.

Fig. 1은 본 수치모형의 적용 대상해역인 경기만 해역 해저 지형도를 나타낸다. 총 10개의 참고지점을 선정하였으며 Lunar hour 0시 기준으로 수심을 등고선으로 구분하여 표현하였다.

Fig. 1에 표기된 총 10개의 참고지점 중 특히 영종도 근해의 참고지점은 Ref. 5, Ref. 6 및 Ref. 7로, 이 세 지점의 조석 및 파랑 수치모형의 연계시에 나타나는 파에너지 스펙트럼과 조위변화를 나타내면 Fig. 2 및 Fig. 3과 같다. 도시된 바와 같이 Lunar hour 0시 기준으로 12시간 동안의 영종도 근해의 세 참고지점은 저

조위시 -2.35 m, 고조위시 2.65 m이며, 조차는 5 m를 보이고 있다.

Fig. 4는 간조시(a), 창조시(b), 만조시(c), 낙조시(d)의 조류양상으로, 간조시와 낙조시는 북서쪽으로 유속이 진행되고 특히 경기만 근해에서는 유속이 상당히 빨리 진행됨을 알 수 있다. 한편, 창조시와 만조시는 북동쪽으로 유속이 진행중이며 경기만 근해에서 약 1 m/s의 유속을 보이고 있다.

Fig. 3에 제시된 영종도 근해의 조위변화를 기초로 조위를 평균해수면 기준 0 m, 2.65 m, -2.35 m로 수치 모형을 운용하였을 경우와 조석과 파랑수치모형을 동시에 연계 운영시에 나타나는 Lunar hour 4시 20분(창조시), 10시 20분(낙조시), 2시(간조시) 및 7시 20분(만조시)의 파고양상을 비교하면 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7에 제시된 바와 같다. 즉, 조위 0 m, 최고조위 2.65 m 및 최저조위 -2.35 m를 설정하여 수치 모델링한 결과와 시간별(태음시 기준)로 조위와 조류를 격자에 설정하여 모델링한 결

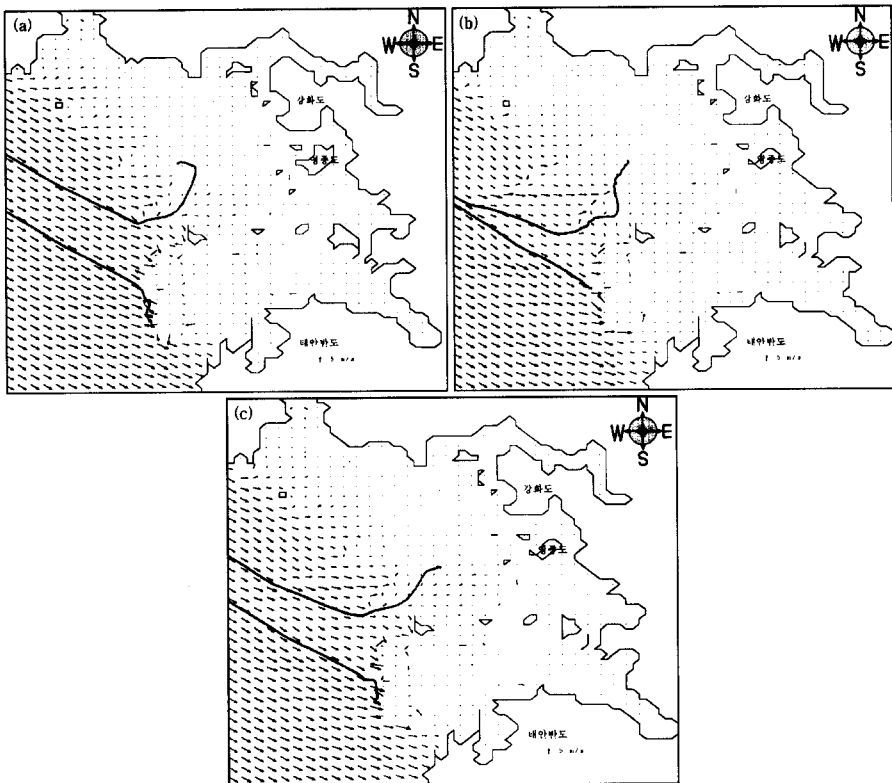


Fig. 5. Computed wave heights and directions of Case 1(with constant tidal elevation) and Case 2(with tide model at mean sea level). (a) Wave model results with tide model when lunar hour is 4:20 (Case 2); (b) Wave model results with tide model when lunar is 10:20 (Case 2); (c) Wave model results when the surface elevation is 0 m over the whole region (Case 1).

파의 파향 및 파고 분포도를 도시하였다.

Fig. 5(a)는 창조시인 4시 20분경 조석과 파랑 연계 수치모형의 파고분포도이고, Fig. 5(b)는 낙조시인 10시 20분경 조석과 파랑 연계 수치모형의 파고분포도이다. 반면에 Fig. 5(c)는 조위를 0 m로 고정시키고 산정된 파고분포도이다. 이를 비교 검토하면 창조시는 낙조시나 조위를 0 m로 고정시킨 조건에 비하여 심해파가 인천만 근해에까지 충분히 전파 되지 않은 모습을 볼 수 있다. 그러므로 창조시는 인천만 근해에서 파의 쇄파나 중첩 현상이 나타나지 않고 있다. 한편, 인천만 근해에서 낙조시와 일정조위 조건에서는 파의 쇄파, 굴절, 중첩현상이 창조시에 비하여 잘 나타나고 있다.

Fig. 6(a)는 간조시일 때의 조석과 파랑 수치모형 결과인 파향벡터도 및 파고 분포도이고 Fig. 6(b)는 조위가 -2.35 m일 때의 파랑 수치모형 결과이다. 간조기의 조류양상으로 파향이 영종도 근해로 접근함에 따라서 조

위를 고정시킬 때 보다 회절현상이 크게 나타나고 있다.

Fig. 7(a)는 조시 7시 20분경의 조석과 파랑연계 수치모형으로 만조시일 때의 파향 및 파고 분포도를 보여 주고 있으며, Fig. 7(b)는 조위를 2.65 m로 고정한 파랑 수치모형 결과이다. 파에너지의 세기와 파의 전파방향에 있어서 만조시 덕적도 부근으로 파의 굴절과 쇄파등의 파변이현상으로 파가 천해로 더 이상 진행하지 않고 있다.

이상과 같이 종합적으로 보면 조석과 파를 동적으로 연계한 수치모델시험 결과, 조위를 일정하게 가정하였을 시에 나타나는 굴절이나 쇄파등의 파변이현상과 비교하여 상당히 다른 양상을 보이고 있음을 알 수 있다.

영종도 근해의 중요 참고지점 Ref. 5, Ref. 6, Ref. 7 지점의 일정조위 파랑수치모형의 유의 파고(H_s) 및 주기(T_s)와 조석과 파랑 연계 수치모형을 적용하여 나타난 유의 파고(H_s) 및 주기(T_s)를 표시하면 그림 Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10에 제시된 바와 같다.

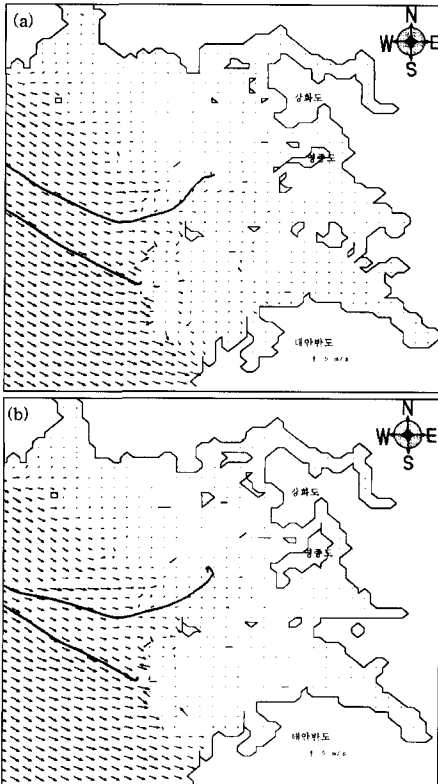


Fig. 6. Computed wave heights and directions of wave model with constant tidal elevation or with tide model at ebb tide: (a) Wave and tidal model results when lunar hour is 2:00; (b) Wave model results when the surface elevation height is -2.35 m over the whole region.

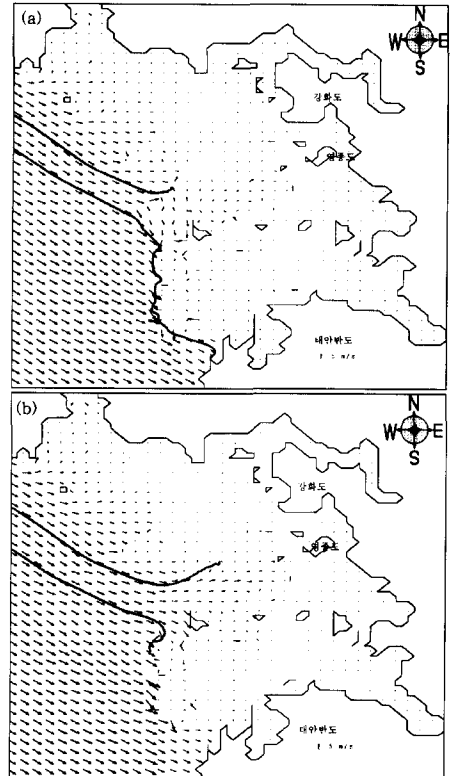


Fig. 7. Computed wave heights and directions of wave model with constant tidal elevation or with tide model at flood tide: (a) Wave and tidal model results when lunar hour is 7:20; (b) Wave model results when the surface elevation is 2.65 m over the whole region.

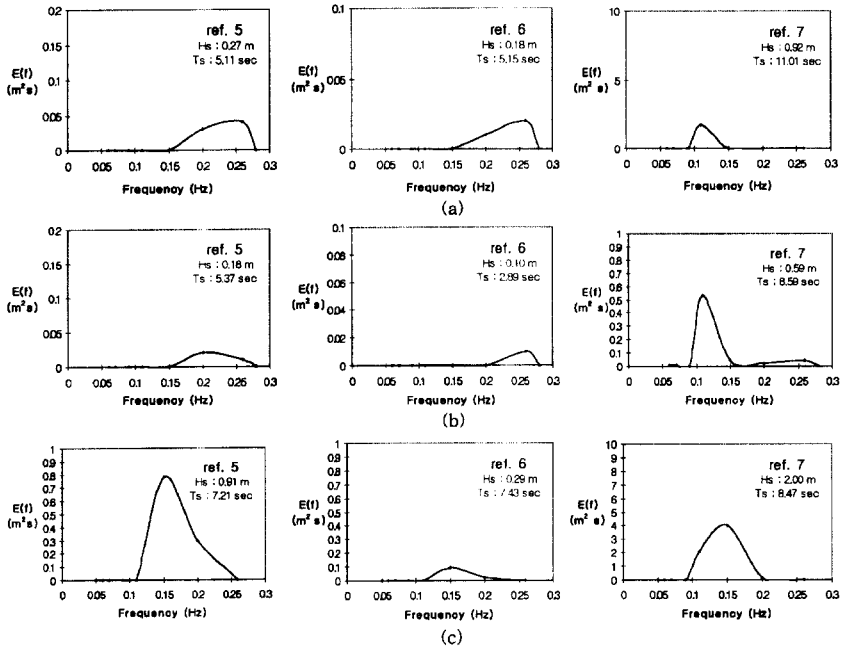


Fig. 8. Computed wave spectra at important reference points of wave model with constant tidal elevation or with tide model. (a) with tide model when lunar hour is 4:20; (b) with tide model when lunar is 10:20; (c) with the constant surface elevation of 0 m over the whole region.

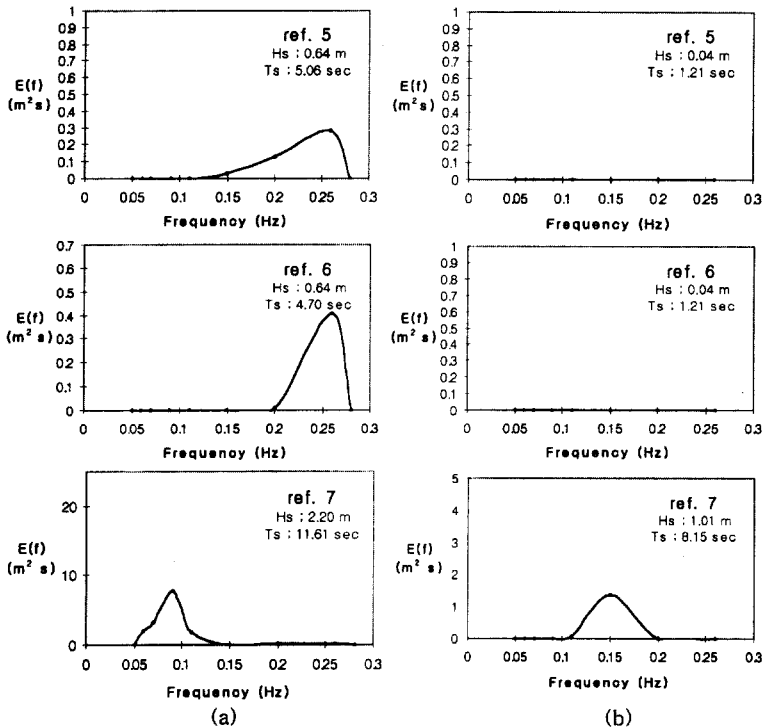


Fig. 9. Computed wave spectra at important reference points of wave model with constant tidal elevation or with tide model. (a) with tide model when lunar hour is 2:00; (b) with the constant surface elevation of -2.35 m over the whole region.

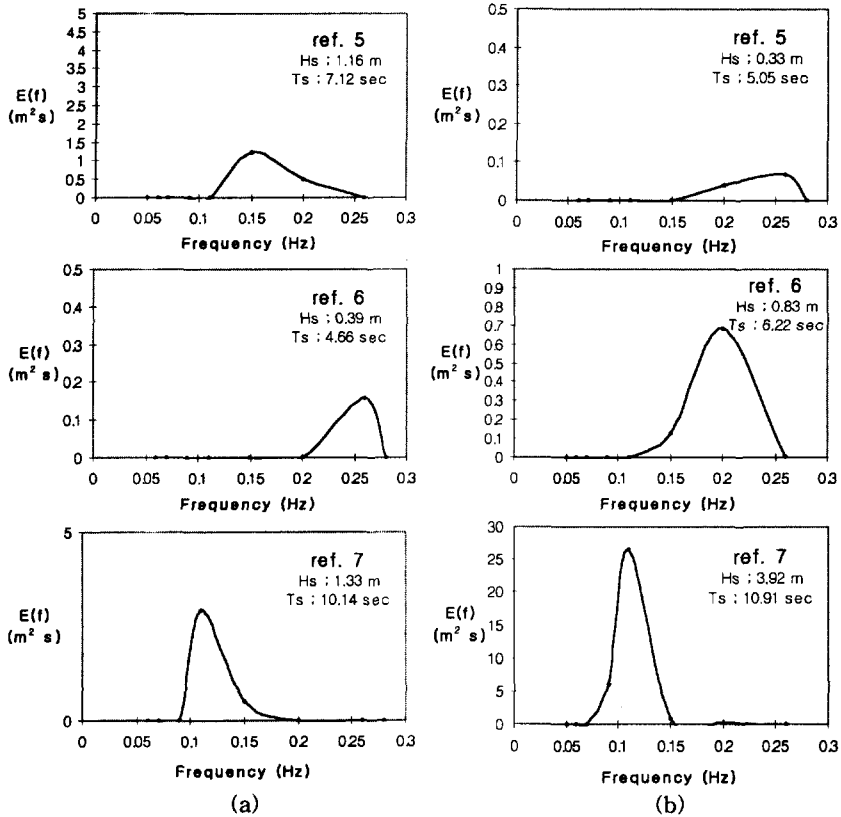


Fig. 10. Computed wave spectra at important reference points of wave model with constant tidal elevation or with tide model. (a) with tide model when lunar hour is 7:20; (b) with the constant surface elevation of 2.65 m over the whole region.

Fig. 8에 제시된 바와 같이 창조시와 낙조시의 유의파고 및 주기는 조위 0 m일 때 보다 작게 나타나고 있다. 또한 낙조시보다는 창조시의 유의파고가 크게 나타나고 있다.

Fig. 9(a)는 간조시의 유의파고 및 주기로 조위 -2.35 m의 Fig. 9(b)보다 크게 나타난다. 간조시에는 조석과 파랑을 동적으로 연계한 수치 모델이 일정조위시의 파랑 수치 모델보다 큰 에너지를 보여주고 있다.

Fig. 10(a)는 낙조시의 유의파고 및 주기로 조위 2.65 m의 Fig. 10(b)보다 대체적으로 작은 결과를 보여주고 있다. 파 스펙트럼의 비교에서 중요 참고 지점인 Ref. 5, Ref. 6, Ref. 7 지점은 경기만 천해역으로 조석과 파랑수치모형의 연계운영시의 결과는 파가 바람에 의하여 충분히 발달한 후 파봉에서 깨어져서 쇄파가 발생하였다. 그러나 일정조위시의 파랑수치모형의 결과는 경기만 천해역으로 파가 진행할 시 쇄파가 발생하는 모습이 보이지 않고 있다.

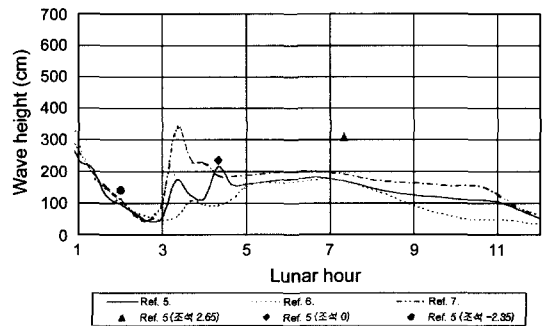


Fig. 11. Variation of wave height for 12 lunar hours at reference points near Young-Jong Island.

다음시 기준으로 4시 20분경과 10시 20분경은 각각 창조시와 낙조시로서 조석과 파랑수치모형의 파고와 일정조위시(조위 0 m) 파랑 수치모형 파고와의 각별한 검토작업이 필요하다. 이와 같은 이유는 조위가 0 m 일 때의 파유속과 파에너지가 최대가 되므로 해양구조물의 안

전한 설계시 위험 수준이 될 수 있기 때문이다.

Fig. 11은 영종도 근해 세 참고지점의 태음시 기준 0시에서 12시까지의 파고 변화를 도시한 그림이다. 태음시 2시와 4시 20분의 설계조위시 파랑수치모형의 파고와 조석 및 파랑 수치모형의 파고 비교에서는 거의 유사함을 알 수 있다. 그러나 태음시 7시 20분의 파고는 그림에서 알 수 있듯이 조위를 동적으로 연계한 파랑 수치모형의 파고보다 설계조위(2.65 m)시 파랑 수치모형의 파고가 현저히 높게 나타난다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서 개발된 모형은 굴절, 회절, 해저면마찰, 쇄파손실 등 천해역에서의 파변이현상을 고려한 것으로 불규칙파를 스펙트럼파로 재현하여 조석 조건에서의 변이를 해석하였다. 경기만 해역에 조석파와 수치모형과 파랑 수치모형을 연계하였을 경우와 일정조위시 파랑 수치모형을 적용하였을 경우에 대하여 비교하였다.

경기만 해역은 조수간만의 차가 심하고 매우 복잡한 지형이다. 파향과 파고분포도, 그리고 파스펙트럼에서 알 수 있듯이 조석파와 파랑이 동적으로 연계된 수치모형은 파가 천해역으로 진행시 쇄파나 굴절, 회절 현상등을 뚜렷이 보여주고 있다. 그러나 일정조위시의 파랑수치모형에서는 이러한 파의 특성을 보여주고 있지 않다. 그러므로 일정조위시 파랑 수치모형의 파고 및 파향의 결과보다는 조석파와 파랑수치모형 연계시의 파고 및 파향의 결과가 좀 더 나은 신뢰성을 가지고 있다고 판단된다.

파 스펙트럼도에서 특히 간조시일 때는 조석파와 파랑이 동적으로 연계된 수치모형이 일정조위시의 파랑수치모형보다 큰 유의파고 및 주기가 나타났다. 그러므로 방파제등의 설계시 간조기일 때의 유의파고 및 주기에 대한 상당한 주의가 요구된다.

이러한 결과들을 토대로 앞으로 좀 더 세부적인 접근을 통하여 경제적이고 안정적인 해양구조물 설계에 도

움을 줄 수 있는 방안이 제시되어야 할 것이다.

참고문헌

- 농어촌진흥공사, 1995. 한국의 간척.
- 유동훈, 1993. 천해에서 불규칙파의 변이, 한국해양·해양공학회지, 5(3): 212-220.
- 유동훈, 1994. 전란류에서 파랑과 해류의 마찰력, 한국해양·해양공학회지, 6(3): 226-233.
- 유동훈, 1995. 파와 해류에 의한 소류사 이동, 한국해양·해양공학회지, 7(3): 257-264.
- 유동훈, 강찬수, 1998. 조석조건에서의 불규칙 파의 변이, 한국해양·해양공학회지 학술강연회 발표 논문초록집: 36-39.
- 유동훈, 김창식, 1994. k-1 난류모형을 이용한 연안류 수치해석, 한국해양·해양공학회지, 6(3): 234-244.
- 유동훈, 이민호, 1999. 등류수로의 간편설계 분석, 대한토목학회지, 19(II-1): 13-21.
- Bazin, H.E., 1865. Etude d'une nouvelle formule pour calculer le Debit des canaux de couverts, Memorie No. 41, Annales des Ponts et Chaussées, 14, pp. 20-70.
- Kitaigorodskii, S.A., Krasitskii, V.P., and Zaslavskii, M.M., 1975. On Phillips' equilibrium range in the spectra of wind generated gravity waves, J. Phys. Oceanogr., 5, pp. 410-420.
- Swart, D.H., 1974. Offshore sediment transport and equilibrium beach profiles, Delft Hydraulics Lab., Publ. No. 131.
- Varwick, F., 1945. Zur Fliess formel fur offene Kunstliche Gerinne., these inedite, Dresden University.
- Yoo, D. and O'Connor, B.A., 1986. Mathematical modelling of wave-induced nearshore circulations, Proc. 20th. Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 1667-1682.
- Yoo, D. and O'Connor, B.A., 1988. Numerical modeling of waves and wave-induced currents on groyned beach, Proc. Int. Cong. on Sediment Transport in Coastal Region, IAHR, pp. 127-136.

Received May 4, 2000

Accepted June 16, 2000