

조석조건에서 불규칙파의 변이

유 동 훈* 강 찬 수**

1. 서론

불규칙파를 스펙트럼파로 파악하여 조석 조건하 천해역에서 천수, 굴절, 회절, 마찰 및 쇄파 등에 의하여 불규칙파가 변이하는 현상을 해석하였다. 지배방정식은 에너지보존식과 파수벡터보존식인데 파수벡터보존식에 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.

2. 지배방정식

굴절-회절 및 조석 조류의 영향을 받는 스펙트럼파의 파수보존식은 x와 y 방향을 분리하여 다음과 같다(유동훈, 1993).

$$\frac{\partial P}{\partial t} + (PM + U)\frac{\partial P}{\partial x} + (QM + V)\frac{\partial P}{\partial y} + S\frac{\partial d}{\partial x} = \frac{M}{4E} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + (PM + U)\frac{\partial Q}{\partial x} + (QM + V)\frac{\partial Q}{\partial y} + S\frac{\partial d}{\partial y} = \frac{M}{4E} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

또한 스펙트럼파의 에너지보존식은 에너지손실율을 포함하여 다음과 같다.

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial (PM + U)E}{\partial x} + \frac{\partial (QM + V)E}{\partial y} + C_E E = 0 \quad (3)$$

여기서 C_E 는 손실계수이며, P와 Q는 각각 파수벡터의 x와 y 성분이며, E는 파에너지밀도, d는 수심, U와 V는 각각 유속의 x와 y 성분, M은 단위군속도(unit number group velocity), 즉 군속도에 파수를 나눈 것으로서

$$M = \frac{1}{2}(1+G)\frac{\sigma}{K}\frac{1}{K} = \frac{C_g}{K} \quad (4)$$

$$G = \frac{2Kd}{\sinh(2Kd)} \quad (5)$$

이다. 따라서 PM과 QM은 각각 군속도의 x와 y 성분 R_x 와 R_y 가 된다. 또한 S는 수심의 변화에 따른 파수벡터의 증가율로서 $S = G\sigma/2a$ 이다.

* 亞洲大學校 土木工學科 부교수 ** 석사과정

(Department of Civil Eng., Ajou University, Suwon 442-749, Korea)

3. 스펙트럼파의 쇄파와 마찰손실

에너지보존식 (3)으로 계산된 파고는 매 계산시간 적절한 쇄파임계치와 비교하여 임계치를 초과할 때 임계치로 대체하는데, 단순파의 쇄파임계치에 대한 이해는 충분한 것으로 판단되나 불규칙파에 대한 이해는 아직 미흡한 것으로 사료된다. 본고에서 불규칙파의 쇄파임계치에 대한 논의는 Kitaigorodskii et al.(1975)의 평형조건식 (saturation relation) 으로부터 전개한다. 주파수 스펙트럼에 대하여 Yoo(1993)의 수정된 Kitaigorodskii의 평형조건식은 다음과 같다.

$$E_{(k,t)} = \frac{\gamma}{2\pi} \frac{(1+G)}{2} \frac{1}{K^2} \tanh(2Kd) \quad (6)$$

Miche의 쇄파임계식은 쇄파계수(surf similarity parameter)의 도입으로 해저면경사가 급한 지역에 대하여 정밀도를 높일 수 있는데 (Yoo, 1993), 식 (16)과 (19)에 표기된 바와 같이 파속의 정확한 산정으로 정도를 높일 수도 있을 것이다. 만약 식 (3)으로 산정된 각 스펙트럼대의 파에너지밀도가 식 (6)으로 산정된 임계치 보다 클 때는 임계치로 대체한다. 현장자료에 적용하였을 때 $4\pi\gamma_2$ 는 0.21 이었는데 수조실험자료에 대하여도 0.21 를 적용하여 대체적으로 만족할만한 결과를 얻었다.

식 (3)에 사용된 마찰에 의한 손실계수 C_E 는

$$C_E = \frac{2\delta}{g} C_b u_b \left(\frac{\sigma}{\sinh 2Kd} \right)^2 \quad (7)$$

로 산정된다. 여기서 $(\delta g^{-1} C_b u_{br})$ 는 전스펙트럼에 걸쳐 일정하나 $(\sigma / \sinh Kd)^2$ 는 각 스펙트럼대에서 주파수에 따라 상당히 변할 수 있다. 계수 C_b 이외의 모든 변수는 파조건에 따라 바로 구해진다.

마찰계수 C_b 는 다음과 같은 약산식으로 표기되어 양해법으로 정확하게 산정될 수 있다. 즉,

$$C_b = \text{Exp}(5.213 \left(\frac{k_b}{A_b} \right)^{0.194} - 6.57) \quad (8)$$

식 (8)을 Swart의 단순파에 대한 파마찰계수 산정식과 비교하면 약 10 % 가량 증가함을 알 수 있다.

4. 모형의 적용

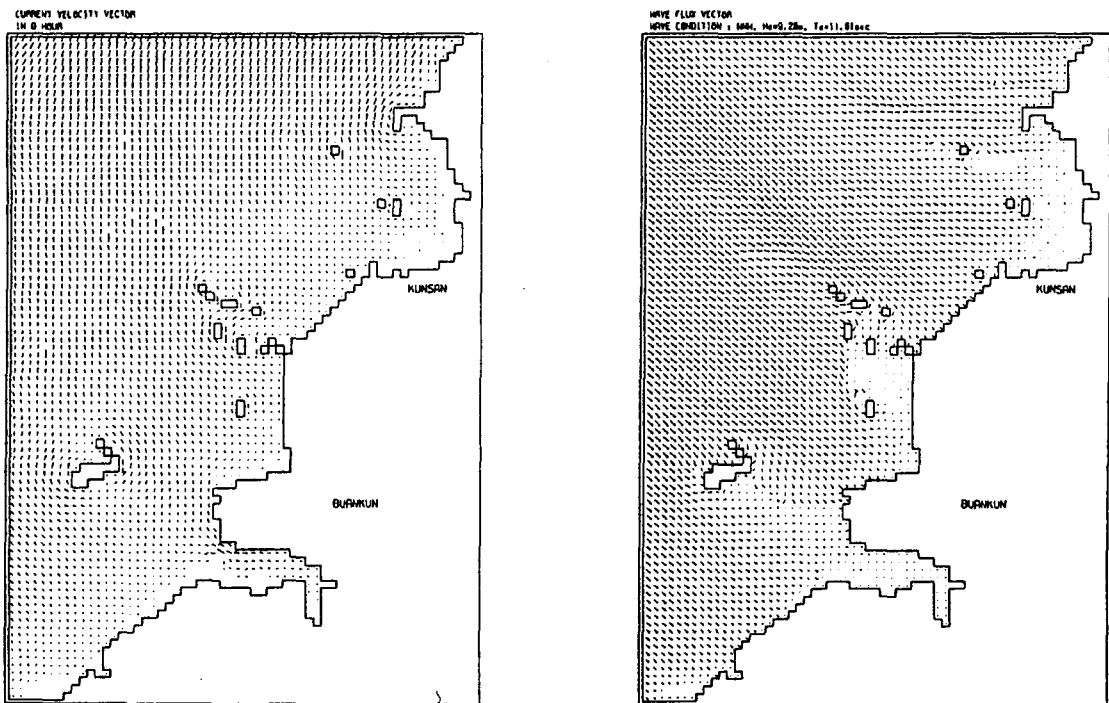
식 (1), (2), (3)으로 대표되는 지배방정식은 일정 간격의 격자에 upstream method에 의한 유한차분법으로 풀어 해를 구할 수 있으며 (Yoo and O'Connor, 1986), 각 스펙트럼대에 대하여 독립적으로 풀어 최종 결과는 누적적분하여 구한다. 본 모형의 1차 검증을 위하여 Delft 수리시험소의 수조실험자료에 적용한 바 있으며, 서해안이나 유럽의 리버플만 또는 발틱해 등 여러 현장에 적용한 바 있다. 그러나 매우 강한 조석조건을 적극적으로 고려한 예는 아주 드물다. 본 연구대상지는 새만금간척사업이 진행중인 군산해역으로서 조석 조건의 영향이 매우 강하게 작용하는 해역이라 조석의 영향이 여러 해양인자 특히 파의 변이에 미치는 정도를 정확히 파악하여야 할 필요성이 있는 것으로 사료된다.

표 1에는 본 모형의 적용 대상해역인 군산해역의 격자망 구성 및 입사파 조건이 제시되어 있다. 제시된 바와 같이 대상해역의 격자망은 전대상지역에 대하여 크기 1050m의 정방향 격자로 횡방향 60개, 종방향 86개로 구성하였으며, 입사파는 파향 WNW, 파고 9.28m, 주기 11.81초의 조건을 적용하였다. 또한 적용수심은 평균해수면(datum level+3.61m)을 취하였다.

표 1. 대상해역의 격자망 구성 및 입사파 조건

격자망 구성		입사파 조건	
격자크기 [m]	1,050 m × 1,050 m	파향	WNW
총격자수 [개]	60 × 86 = 5,160	파고 [m]	9.28
유효격자수 [개]	3,370	주기 [sec]	11.81

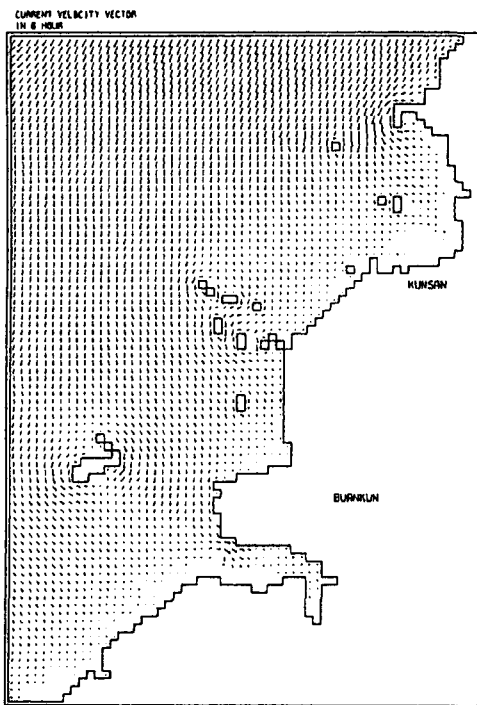
그림 1과 2에는 본 수치모형의 적용 대상해역인 군산해역에 표 1에 제시된 바와 같은 조건을 적용하였을 경우의 계산결과가 도시되어 있다. 그림 1에 도시된 바에 의하면 Lunar hour 0시인 경우 조류양상은 북서쪽으로 유출되는 간조기로서 유속은 그리 커보이지 않으며, 파에너지는 굴절에 의하여 돌출부인 도서지방에 집중적으로 모이는 것으로 나타났다. 한편 그림 2에 도시된 바에 의하면 Lunar hour 6시인 경우는 북서쪽으로부터 비교적 큰 유속으로 조류유입이 진행되며, 이로 인해 파에너지가 현저하게 증가함을 알 수 있다.



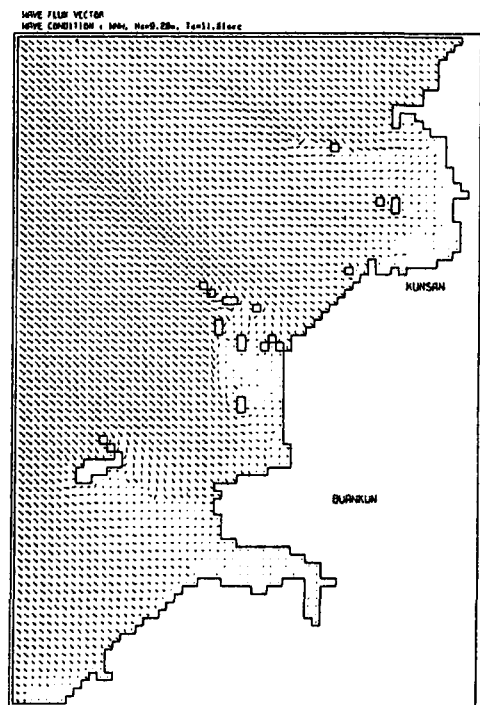
(a) 조류 벡터도

(b) 파고 벡터도

그림 1. Lunar hour 0시인 경우의 수치모형 산정결과



(a) 조류 벡타도



(b) 파고 벡타도

그림 2. Lunar hour 6시인 경우의 수치모형 산정결과

5. 결론

본 연구에서 개발된 모형은 굴절, 회절, 해저면마찰, 쇄파손실 등 천해역에서의 파변이현상을 고려한 것으로 불규칙파를 스펙트럼파로 재현하여 조석 조건에서의 변이를 해석하였다. 수치모형의 계산결과로 조석 조건에 따라 파고 및 파장의 변이가 심대하게 다를 수 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 유동훈, 1993, 천해에서 불규칙파의 변이, 한국해양공학회지, 5(3): 212-220.
 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: 410-420.
 Yoo, D. and O'Connor, B.A., 1988, Diffraction of waves in caustics, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 114, 6: 715-731.