

불규칙파에 대한 두 수치모형의 현장적용

유동훈* · 정신택** · 이동영*** · 채장원***

1. 서론

해안에 전파해오는 천해파는 주로 불규칙파이며, 이들의 천해변이를 해석하는 데 있어 스펙트럼파로 해석하는 기법을 많이 사용해 왔다. 본 연구에서 비교 검토된 두 수치모형은 유동훈(1993)의 쌍곡형 평균파 모형과 정신택(1990)의 타원형 모형인데, 두 모형 모두 실험조건에 적용하여 1차 검증을 확인하였던 것들이다. 본 연구에서는 영일만 일대에서 관측된 자료를 이용하여 두 수치모형의 현장검증을 수행하였으며, 관측결과와의 비교로부터 두 수치모형의 장단점과 특징을 비교하였다.

2. 평균형 모형

파고의 폭울이 존재할 때 파수는 주파수, 수심뿐 아니라 파고폭울의 함수가 되어 파수와 주파수의 정의로부터 다음과 같은 파수보존식이 유도되었다 (유동훈, 1993).

$$\frac{\partial P}{\partial t} + PM\frac{\partial P}{\partial x} + QM\frac{\partial P}{\partial y} + S\frac{\partial d}{\partial x} = \frac{M}{4E}\left(\frac{\partial^3 E}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 E}{\partial xy^2}\right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + PM\frac{\partial Q}{\partial x} + QM\frac{\partial Q}{\partial y} + S\frac{\partial d}{\partial y} = \frac{M}{4E}\left(\frac{\partial^3 E}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 E}{\partial yx^2}\right) \quad (2)$$

스펙트럼파의 에너지보존식은 에너지손실을 포함한 식(3)으로 표현된다.

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}PME + \frac{\partial}{\partial y}QME + C_E E = 0 \quad (3)$$

여기서 C_E 는 손실계수이며, P와 Q는 각각 파수벡터의 x와 y성분이며, M은 단위군속도(unit number group velocity), 즉 군속도에 파수를 나눈 것으로서

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

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

이다. 따라서 PM과 QM은 각각 군속도의 x와 y성분인 R_x 와 R_y 가 된다.

이상의 지배방정식을 이용하여 개발한 수치모형은 독일의 북쪽에 위치한 Baltic Sea에도 적용한 바 있으며 (참고 Yoo & Zielke, 1994), 본 과업에서는 마찰손실을 산정하기 위한 등가조고의 결정과 불규칙파의 쇄파에 대하여 좀더 향상된 방법을 이용한 스펙트럼파 수치모형을 적용하였다.

* 아주대학교 토목공학과

** 원광대학교 토목환경공학과

*** 한국해양연구소 해양공학부

3. 타원형 모형

흐름이 존재하는 해역에서의 파동방정식은 다음과 같이 기술된다(Kirby, 1986).

$$\frac{D^2\phi}{Dt^2} + (\nabla \cdot \underline{U})\frac{D\phi}{Dt} - \nabla \cdot (CCg\nabla\phi) + (\sigma^2 - k^2CCg)\phi = 0 \quad (6)$$

위 식에서, 전미분 $\frac{D}{Dt} = \left(\frac{\partial}{\partial t} + \underline{U} \cdot \nabla\right)$ 관계가 있다. 식(6)을 이용하여 포물형방정식, 타원형방

정식 등을 유도할 수 있으나, 본 연구에서는 타원형방정식을 이용하여 파랑상태를 재현하였다.

파랑이 정상상태인 경우 포텐셜 ϕ 는

$$\phi = \text{Re}\{\tilde{\phi} \exp(-i\omega t)\} \quad (7)$$

로 표현되므로, 이 식(7)을 식(6)에 대입하면 다음과 같은 결과를 얻는다(정, 1990).

$$\begin{aligned} -i\omega(2\underline{U} \cdot \nabla\tilde{\phi} + \tilde{\phi}(\nabla \cdot \underline{U})) + (\underline{U} \cdot \nabla)(\underline{U} \cdot \nabla\tilde{\phi}) + (\nabla \cdot \underline{U})(\underline{U} \cdot \nabla\tilde{\phi}) \\ - \nabla \cdot (CCg\nabla\tilde{\phi}) + (\sigma^2 - \omega^2 - k^2CCg)\tilde{\phi} = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)의 포텐셜을 극좌표, $\tilde{\phi} = -ig\frac{a}{\sigma}e^{iS}$ 로 표현하여 대입하면 실수부와 허수부로 부터 다음 식

들을 얻을 수 있다. 여기서, $a(x, y)$ 는 진폭, $S(x, y)$ 는 위상(Phase)이다.

$$\nabla \cdot \left\{ \underline{U} \frac{a^2}{\sigma^2} (\omega - \underline{U} \cdot \nabla S) + CCg \frac{a^2}{\sigma^2} \nabla S \right\} = 0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} CCg \frac{a}{\sigma} (\nabla S)^2 - (\underline{U} \cdot \nabla S - \omega)^2 \frac{a}{\sigma} + (\sigma^2 - k^2CCg) \frac{a}{\sigma} \\ - \nabla \cdot \left(CCg \nabla \frac{a}{\sigma} \right) + (\nabla \cdot \underline{U}) \left(\underline{U} \cdot \nabla \frac{a}{\sigma} \right) + \underline{U} \cdot \nabla \left(\underline{U} \cdot \nabla \frac{a}{\sigma} \right) = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

식(9), (10)에는 3개의 미지수, 즉 진폭(a), 파수벡터(∇S), 그리고 파향(θ)이 포함되어 있으므로 해를 구하기 위해서는 1개의 식이 더 필요하다. 일반적으로 도함수의 회전(Curl)은 0이 되므로 다음 식과 같이 표현되며 이 식은 파수벡터의 비회전성을 나타낸다.

$$\nabla \times (\nabla S) = \underline{0} \quad (11)$$

타원형 수치모형에서는 식(9), (10), 그리고 (11)을 기본방정식으로 사용하였다.

4. 현장적용

영일만에 대하여 현장관측자료가 2개 지점 이상 확보된 일시의 관측자료에 대하여 두 수치모형을 적용하였다. 해양연구소에서 관측한 자료에서 2개 지점, DW1과 P2에서의 관측자료가 확보된 1993년 11월 20일 09시 관측자료를 두 수치모형의 비교 검토에 이용하였다. 평균파 모형의 경우 Fig. 1에 도시된 바와 같이 정방향 격자 크기가 1,350m, 450m, 150m 등으로 크기가 다른 3개의 격자망을 구성하였으며, 타원형 모형인 경우에는 격자군 G1을 전부 크기 200m의 단일 격자체계로 구성하였다.

세개의 격자망으로 구성된 수치모형에서 동일 입사파를 격자망 G1의 개방경계면에 투입하는데 심해 입사파의 조건을 DW1에서의 계산된 파조건이 관측자료와 거의 동일할 때까지 시산하여 결정하였다. DW1 지점은 G1 격자상에 Ref.3 와 일치하며, G2 격자상에서는 Ref.4 와 일치한다. Ref.3 도 DW1 과 거의 일치하는 지점이나 지형재현도가 낮은 격자망 G1 에서의 위치이므로 파고를 훨씬 크게 산정

하고 있으며, 굴절의 정도도 작은 것으로 나타났다. Fig. 2에 도시된 파스펙트럼중 Ref.9는 G2 격자상의 P2 위치와 일치하며, Ref.12는 G3 격자상의 P2 위치와 일치하는 지점이다. G3 세격자상 Ref.12에서는 계산결과가 관측결과에 비하여 약간 과대 산정하는 것으로 나타나기는 하였으나 대체적으로 만족할만한 것으로 판단되며, 오히려 G2 중격자상 Ref.9에서는 산정결과가 관측결과와 거의 일치하는 것으로 나타났다.

유효파고의 분포는 Fig. 3에 도시되어 있다. 외해 영역 G1에서 파의 변이는 매우 완만한 경향을 보이다가 영일만내 G2 영역에 접어들면서 상당한 파고변이를 보이고 있으며, 신힥 방파제 침두부로 상당한 파에너지가 집중되고 있음을 알 수 있다. 격자 크기 150m 인 G3내에 신힥이 위치하고 있는데 방파제 배후지로의 회절 현상도 적절히 잘 재현하고 있는 것으로 나타났으며, 중첩파 (waves in caustics) 현상도 잘 재현하여 파의 집중시 성공적인 계산이 가능하다.

그러나 전 관련해역을 200 m 격자 크기로 구성하여 파변이를 해석한 타원형 모형의 산정에는 장기곶 북동측에 위치한 천퇴의 존재로 천퇴배후지로 상당한 파에너지가 집중된 것으로 나타났는데 본 쌍곡형 평균파 모형은 G1 외해영역을 1,350 m 크기의 격자로 구성하였기 때문에 천퇴에 의한 파 에너지 집중현상이 나타나지 않았다. 따라서 장기곶 북동측에 위치한 천퇴가 조사대상 해역의 파고분포에 지대한 영향을 미칠 것으로 판단될 때는 G1 격자망도 1,350 m 보다 작은 격자 크기로 구성할 필요가 있으며, 필요시 천퇴역만 중간 또는 세격자로 구성하여 이곳에서의 파에너지 집중현상을 재현하여야 한다.

Fig. 4는 관측자료인 Fig. 2의 스펙트럼을 입력조건으로 하여 타원형 모형으로 계산한 파랑변형결과로, 최대 유의파고비는 수중천퇴(Shoal) 뒤에서 약 1.2이다. Fig. 5는 계산결과중 2 관측점에서의 파고변화를 스펙트럼으로 도시한 것이며, 대체적으로 잘 일치하고 있다.

5. 결론

현장조건에서 불규칙파의 천해변이에 대한 해석을 위하여 평균파 및 타원형 모형을 적용한 결과, 두 수치모형 모두 지형조건을 세밀한 격자로 구성하였을 때 상당히 만족스러운 결과를 보였다. 단지 평균파 모형의 경우 1km 이상의 조격자상에서는 정밀도가 떨어졌는데 이는 수치모형의 결함이 아니라 지형도 재현의 불충분 때문이며, 지형이 복잡할 때는 외해영역도 세밀한 격자로 구성할 필요성을 인식시켜준다.

사사

본 연구는 1994년도 해운항만청 연구사업 “천해파랑 산출시스템 구축(II)”의 일환으로 수행되었다. 당 청에 심심한 사의를 표하며, 현장관측과 자료분석을 위하여 수고하신 분들께도 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

- 유동훈. 1993. 천해에서 불규칙파의 변이. 한국해양·해양공학회지. 5(3) : 212-220.
- 정신태. 1990. 흐름이 존재하는 환경사해역에서의 파랑변형. 박사학위논문. 서울대학교.
- Kirby, J.T., 1986. Higher-order approximations on the parabolic method for water waves. J. of Geophy. Res., 91(C1), 933-952.
- Yoo, D. and Zielke, W., 1994. Diffraction of irregular waves in large coastal region, 94년도 대한토목학회 학술발표회 논문집(II) : 548-551.

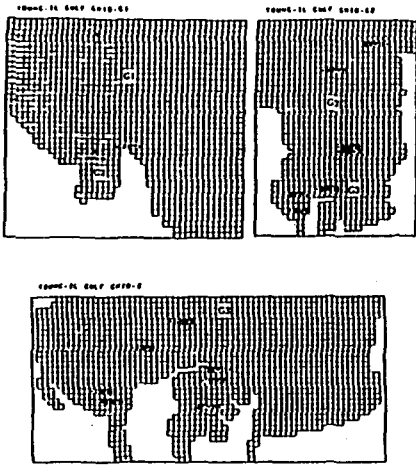


Fig.1 영일만에 대한 격자망의 구성

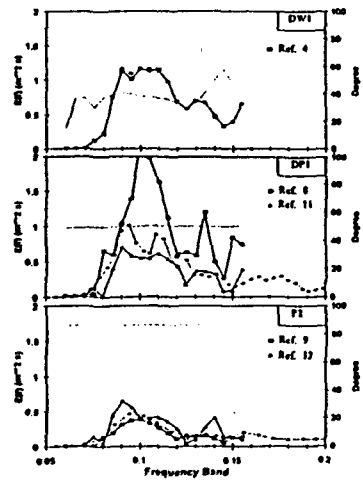
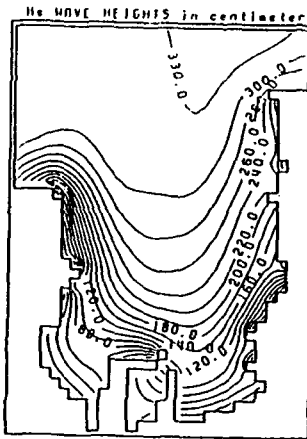
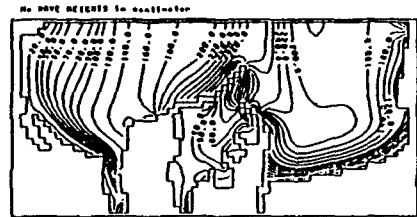
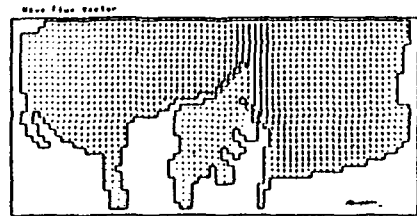


Fig.2 관측지점에서의 파스펙트럼 비교



(a) G2



(b) G3

Fig.3 평균파모형에 의한 파고분포

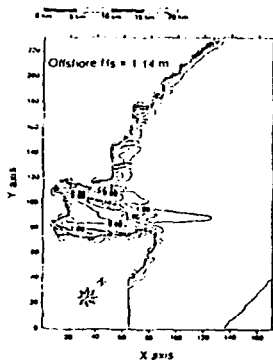


Fig.4 타원형모형에 의한 파고비분포

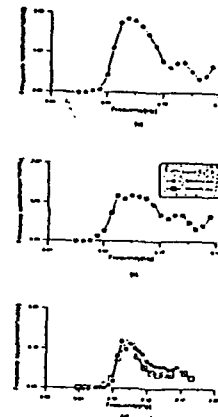


Fig.5 타원형모형에 의한 파스펙트럼 비교