

# 항만정온도 해석을 위한 수치모형적용과 상호비교분석

이동현\* · 김강민\*\* · 최세호\*\*\* · † 이증우

\*한국해양대학교 대학원, \*\* (주)항도엔지니어링, \*\*\* (주)한국항만기술단, † 한국해양대학교 건설공학과 교수

**요 약** : 항내 정온도는 항만의 박지(泊地) 내 수면의 정온한 정도를 나타내는 것으로서, 선박의 접안, 하역작업과 관계가 있지만 이보다 안전한 피항지로서의 최소한의 수역을 파악하기 위한 중요한 지표이다. 따라서, 항내 정온도 예측시 항외로부터 입사하는 파랑의 굴절, 회절, 천수 및 반사 등에 의한 항내파고 및 파향의 변화를 복합적으로 해석해야 한다. 그러나 항내 정온도 검토를 위하여 현재 운용 중인 수치모형실험은 각각의 특성에 따른 결과의 상이함에 따라 이에 대한 기본적인 재검토가 필요한 것으로 판단되며, 이에 본 연구에서는 후포항을 대상으로 수치모형실험결과와 비교함으로써 현재 운용 중인 모형의 타당성을 검토하였다.

**핵심용어** : 항내 정온도, 박지, 접안, 하역, 수치모형

**Abstract** : The harbor tranquility is indicating the level of calmness in the mooring basin of harbor. It relates keenly to berthing/unberthing and cargo handling works but also it is an important indicator to get the minimum water area as the safe refuge. Therefore, it is necessary to analyze in complex the variation of wave height and direction caused by wave refraction, diffraction, shoaling and reflection from the incident waves from outside the harbor. In order to check the calmness inside a harbor, the numerical models are being used currently need fundamental reviews according to the difference of results which depend on their respective features. In this study, hence, it was introduced the validity of numerical models by comparing the computational results for Hupo harbor.

**Key words** : harbor tranquility, mooring basin, berthing, cargo-working, numerical-model

## 1. 서 론

항만의 건설 및 개량의 경우에 있어서도 중요한 설계인자 중 하나가 바로 항내에 충분히 정온한 수역 즉, 항내 정온도를 확보하는 것이다(김, 2012; 최, 2012). 본 연구에서는 항내 정온도의 변화를 에너지평형 모델과 환경사 파랑 모델로 해석하고 그 결과를 수리실험결과와 함께 비교함으로써 그 타당성을 검토하고자 한다. 상기의 과제를 완수하기 위하여 기존 수리모형실험결과를 가지고 지형적 왜곡이 적은 후포항을 대상으로 수치모의를 진행하였다.

## 2. 적용 모델

항내 정온도 해석에 자주 등장하는 파랑작용 평형방정식과 시간의존환경사방정식 모델을 대상으로 앞서 언급한 후포항을 대상으로 수치모의를 수행하였으며, 모델의 개요는 다음의 2.1 과 2.2와 같다.

### 2.1 파랑작용 평형방정식 모델

주어진 바람과 해저면 및 해류 조건으로부터 연안역, 호수 및 하구에서의 파랑의 변화를 해석을 위해서는 그 기본방정식으로 주파수-방향 스펙트럼에서 출발 (Holthuijsen & Booij,1986; WAMDI group, 1988)한 아래의 파랑작용 평형방정식(Wave action balance equation)을 사용한다.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

여기서,  $c_i$ 는 각 공간상의 전파속도,  $\sigma$ 는 상대 주파수,  $\theta$ 는 파향,  $S(=S(\sigma, \theta))$ 는 에너지의 생성, 소산, 전달을 표현하는 에너지 소스항으로 바람에너지 유입, 에너지 소산, 파의 비선형 상호작용을 포함하고,  $N$ 은 작용 밀도 스펙트럼(action density spectrum)을 나타낸다.

### 2.2 시간의존환경사방정식 모델

심해에서 발달된 파는 천해로 전파되면서 수심변화에 의한 천수변형 및 굴절변형, 여러 가지 장애물에 의한 회절변형 및 반사, 그리고 쇄파에 의한 에너지감쇠등의 변형을 겪게 되는

† 교신저자 (종신회원), jwlee@kmou.ac.kr 051)410-4461

\* 정회원, fasbb406@naver.com, 051)410-4981

\*\* 종신회원, kikami72@gmail.com 010-2866-5636

\*\*\* 일반회원, stemwave@hanmail.net, 010-9164-2058

데, 이러한 파랑변형특성 즉, 천수변형, 굴절, 회절, 반사, 쇄파에 의한 에너지감쇠를 모두 고려하여 계산할 수 있는 시간의존경사방정식(Time-dependent Mild Slope Equation, Maruyama & Kajima,1985)은 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} + C^2 \frac{\partial \eta}{\partial x} + f_D Q_x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} + C^2 \frac{\partial \eta}{\partial y} + f_D Q_y = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{n} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (n Q_x) + \frac{\partial}{\partial y} (n Q_y) \right] = 0 \quad (4)$$

여기서, x, y는 수평직각좌표,  $\eta$ 는 수면변위, C는 파속, t는 시간을 나타낸다. 또한  $Q_x$ ,  $Q_y$ 는 x, y방향의 선유량, n은 군속도와 파속의 비( $=C_g/C$ ),  $f_D$ 는 에너지감쇠 계수이다.

### 3. 계산 결과 및 검토

파랑에너지의 생성, 소산, 전달은 에 관한 시간의존경사방정식에서 쇄파대 내의 쇄파조건과 기본식의 계산은 McCowan(1981) 및 Watanabe & Maruyama(1984)를 참조하였다. 계산대상영역에 대한 모델의 구성은 Fig.1과 같이 계산격자를 S 방향으로 대하여 직각으로 하고, 각 격자 간격을 8.33m인 160\*157개의 망으로 구성하였다. 계산시간 간격( $\Delta t$ )는 0.25초이고 입사파주기는 14초, 심해파고는 1m로 하였다. 그리고, 남측 개방가상경계영역내에서의 수심은 24m정도이고, 입사조건에 따른 모델의 계산결과 예는 Fig.2, 3과 같다.

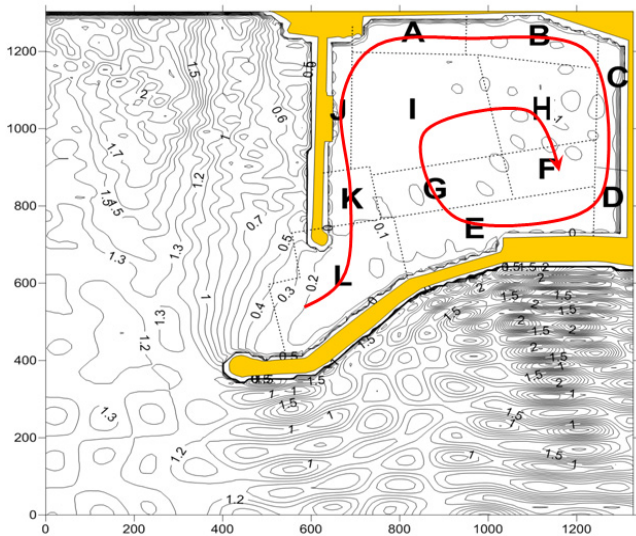


Fig.1 Computational region and bathymetric chart, division of experimental regions.

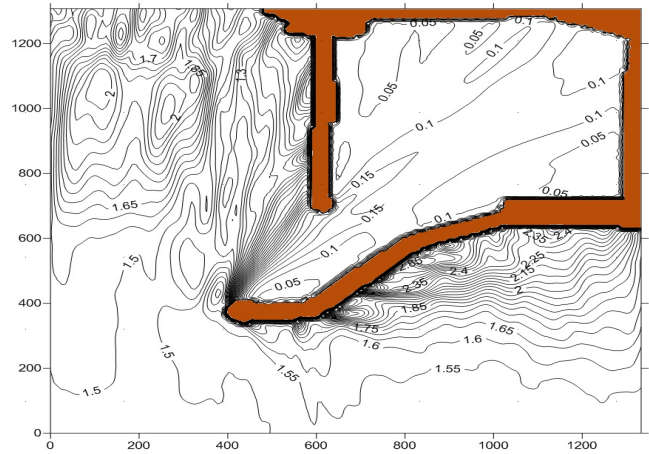


Fig.2 Harbor response from the given incident wave(Case1)

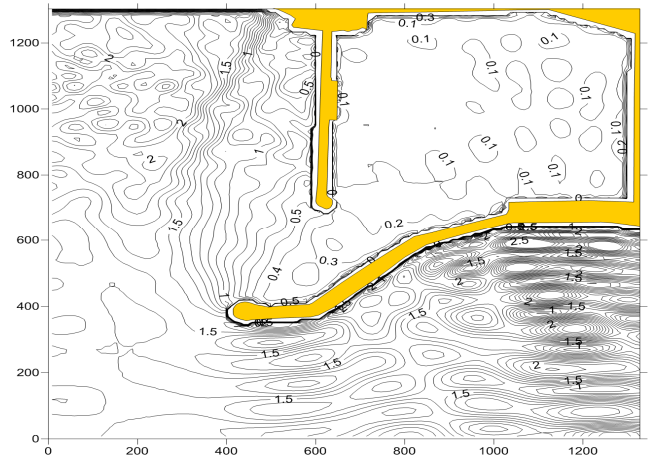


Fig.3 Harbor response from the given incident wave(Case2)

항내정온도를 파악하기 위하여 Fig.1의 항내영역을 12개 영역으로 구분하고 파랑반응특성을 항구에서 그림과 같이 시계방향에 따른 위치에서의 파고비를 정리하였다. 이 결과를 여러 설계파랑의 조건에 따른 수리실험결과(곽 등,1990)를 비교한 것이 Fig.4이다.

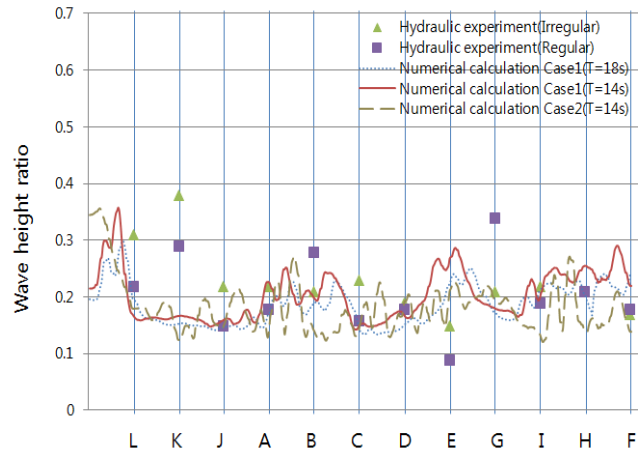


Fig.4 Comparison of experimental and calculated values.

이때 Case 1은 파랑작용 평형방정식 모델, Case 2는 시간의존 환경사 방정식 모델에 의한 것이다. 해저마찰, 쇄파, 반사조건 등을 반영하여 계산한 결과 항만내에서의 항만반응의 계산결과가 두 모델 공히 수리실험결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 방파제 내측 일부 구간(K,G)에 다소 차이를 나타내었다. 각 계수의 조정으로 수립한 수치모델에서 방파제의 통수 구간계획(40m구간)과 항내준설로 인한 항만정온도의 변화 예측에 반영하였다.

#### 4. 결론

파랑작용 평형방정식과 시간의존환경사방정식을 기본으로 한 수치모델을 통해 항만에서의 파랑반응을 계산하고 항만정온도를 분석하였다. 또한, 수치계산 결과를 수리실험결과와 비교하여 대체적으로 항내파고비가 잘 접근한 결과를 가져왔지만 일부구간에서는 수리모델시험결과와 다소 차이가 있는 것을 알 수 있다. 수립한 수치모델은 방파제의 통수구간 및 항내준설계획에 적용하여 정온도 변화를 확인하였다. 그리고 쇄파특성 및 에너지소스의 유입, 소산, 상호작용의 반영여부에 따라 영역에 따른 차이를 나타내 보였다. 특히, 정사각형의 항만에서 다중반사와 공진으로 인한 정온도의 변화를 파랑진과 과정에 따라 나타내어 전반적인 반응특성을 파악하는데 도움이 될 것으로 사료된다. 또한, 보수적인 접근에 있어서는 불규칙파 모델의 적용이 필요할 것으로 판단되나 항내 반사특성 등이 중요한 재현요소일 경우 규칙파 모델이 더욱 적용성이 뛰어날 것으로 판단되며 추가로 파고나 주기의 차이나 파향의 방향을 달리한 파랑진과 과정에 따른 항내 정온도 변화를 통해서 적정 모델 파악이 용이 할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 과제는 해양수산부의 지원으로 수행한 해양에너지 전문인력 양성사업의 연구결과입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 박문수, 홍길표, 편종근(1990), 시간의존 환경사 방정식을 이용한 항내 파고분석 계산, 한국해안-해양공학회지 vol.2, No.1, pp.18-27.
- [2] 김인식(2012), 거제 장곶항 건설에 따른 항내 정온도 해석, 공학석사학위 논문.
- [3] 최문기(2012), 실해역 특성을 고려한 항내정온도 해석, 공학박사학위 논문.
- [4] Maruyama, K and Kajima, R., (1985), Two dimensional wave calculation method based on unsteady mild slope equation, Rep. Electric Central Res. Inst, 384041.
- [5] McCowan, J., (1891), On the solitary wave,

- Philosophical mazine, 5th Series, 32(134), pp. 45-48.
- [6] Holthuijsen, L. H. and Booij, N. (1986), "A Grid Model for Shallow Water Waves," Proc. 20th Int. Conf. Coastal Engineering, Taipei, Taiwan, pp.261-270.
  - [7] WAMDI group (1988). "The WAM model - a third generation ocean wave prediciton model", J. Phys. Oceanogr., 18, pp 1775-1810.