

## DHI에 의한 조선서해수역 3차원물온도마당해석

곽 일 환

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리 나라는 세면이 바다로 둘러싸인 해양국입니다. 넓고넓은 바다를 정복하며 풍부한 자원을 개발하는것은 해양국에 사는 우리 인민들, 특히 바다가에 사는 사람들의 자랑스럽고도 보람찬 임무입니다.》(《김일성전집》 제24권 104페이지)

론문에서는 조석해안에서 해양동력학적현상의 수값모의실험에 유리한 도구(DHI)를 리용하여 조선서해수역에서의 물온도마당특성을 모의하고 현실마당과 대비분석한 결과에 대하여 서술하였다.

## 1. DHI의 이론적기초와 물온도마당분석공정

## 1) 이론적기초

MIKE 3/Flow Model은 바다물운동방정식(레이놀즈방정식)과 련속방정식, 열 및 염확산방정식, 바다물상태방정식에 기초하고있다.[2-5]

바다물운동방정식

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = 2\omega \sin \varphi v - 2\omega \cos \varphi w - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \Delta u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -2\omega \sin \varphi u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \Delta v \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = 2\omega \cos \varphi u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \Delta w \end{cases} \quad (1)$$

련속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \rho \mathbf{V} = 0 \quad (2)$$

열 확산방정식

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = k_H \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_V \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3)$$

염 확산방정식

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} + v \frac{\partial s}{\partial y} + w \frac{\partial s}{\partial z} = k_D \left( \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 s}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

바다물상태방정식

$$\rho(S, T, p) = \rho(S, T, 0) / [1 - 10p / x(S, T, p)] \quad (5)$$

여기서  $u, v, w$ 는  $x, y, z$ 방향성분,  $T$ 는 온도( $^{\circ}\text{C}$ ),  $s$ 는 염도,  $p$ 는 압력(Pa),  $\rho$ 는 바다물의 밀도( $\text{kg/m}^3$ ),  $\omega$ 는 지구자전각속도,  $\varphi$ 는 위도,  $\mu$ 는 동력학적점성결수( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ),  $k_H, k_V$ 는 수평 및 수직온도확산결수,  $k_D$ 는 염확산결수( $\text{m}^2/\text{s}$ )이다. 바람접선응력은 다음과 같다.

$$\frac{\tau_{xx}}{\rho} = \nu_T \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho} C_w W W_x \quad (6)$$

여기서  $\tau_{xx}$ 는 접선응력,  $\rho_{\text{air}}$ 는 공기의 밀도,  $\nu_T$ 는 운동학적점성결수이다. 그리고  $C_w$ 는 바람마찰결수인데 해상 10m높이에서의 바람속도  $W$ 에 따라 선형적으로 변하도록 하였다.

$$C_w = \begin{cases} C_{\min}, & |W| < |W_{\min}| \\ C_{\min} + (C_{\max} - C_{\min})|W|/|W_{\max}|, & |W_{\min}| \leq |W| < |W_{\max}| \\ C_{\max}, & |W| \geq |W_{\max}| \end{cases} \quad (7)$$

여기서  $C_{\max}, C_{\min}$ 은 바람마찰결수의 최대, 최소값,  $W_{\max}, W_{\min}$ 은 바람속도의 최대, 최소값이다.

수값모의에서는 대기-대양호상작용과 태양복사에 의한 열수송도 함께 고려하였는데 대기와 바다물온도차에 의한 열수송은 다음과 같이 계산하였다.

$$q_c = \begin{cases} \rho_{\text{air}} C_{\text{air}} C_c W_{10} (T_{\text{water}} - T_{\text{air}}), & T_{\text{air}} \geq T_{\text{water}} \\ \rho_{\text{air}} C_w C_c W_{10} (T_{\text{water}} - T_{\text{air}}), & T_{\text{air}} < T_{\text{water}} \end{cases} \quad (8)$$

여기서  $\rho_{\text{air}}$ 는 공기의 밀도,  $C_{\text{air}}$ 는 공기의 비열,  $C_c$ 는 바다물의 비열,  $W_{10}$ 은 해상 10m 높이에서의 바람속도,  $T_{\text{water}}$ 는 바다물온도,  $T_{\text{air}}$ 는 대기온도이다.

## 2) DHI에 의한 물온도마당분석공정

우선 Basic Parameters/Module Selection에서 Temperature Variations, Salinity Variations를 선택한다.

Bathymetry/Apply Coriolis Forcing항목을 선택하고 \*.dfs2확장자를 가진 해당 수역의 중심자료를 불러들인다.

Simulation Period에서 시간걸음과 총모의시간을, Boundary에서 열린 경계의 위치를 설정한다. Turbulence Model에서 해당한 막흐름모형을 선택한다.

Hydrodynamic Parameters/Boundary에서 위에서 설정한 열린 경계들에 대한 조건을 설정한다.

Resistance/Include bed friction을 선택하고 매 수역별로 바닥마찰깊이를 설정한다.

Turbulence에서 막흐름모형에 대한 상수들과 필요한 설정들을 진행한다. Temperature/Initial Temperature에서 \*.dfs3확장자를 가진 초기물온도마당자료를 불러들인다.

Precipitation/Include Precipitation을 선택하고 준비된 강수마당자료를 불러들인다. 이와 함께 강수와 증발을 나타내는 식을 선택한다.

Wind Conditions에서 필요한 바람마당자료를 불러들이고 바람마찰과 관련한 상수들을 설정한다. Heat Exchange/Include heat exchange를 선택하고 Air Temperature칸에서 해당한 기온자료를 불러들인다. 그리고 Heat Exchange Parameters칸에서 태양복사와 관련한 상수들을 설정한다. Results에서 필요한 수역에 대한 속도성분과 온도, 물리적량들을 선택하고 화일 이름을 입력한 다음 보관할 등록부를 설정한다.

해당한 설정이 끝나면 Run/Start Simulation을 눌러 모의를 진행한다.

## 2. 바다물온도마당수값모의과정과 결과분석

### 1) 모의수역과 초기 및 경계조건 설정

수값모의수역은 조선서해의 전반수역이다.

결층물온도와 바람, 균질층두께사이관계가 비선형적이라는데로부터 조선서해에서 3년간의 정기관측자료와 ANN모형을 리용하여 초기의 층별물온도마당을 결정하였다.

경계조건은 조선남해와 린접한 수역은 액체경계로, 기타는 고체경계로 정하고 해당한 경계조건처리법으로 주었다. 연구수역에 해당한 액체경계에서는 이미 알려진 조석조화상수를, 물온도는 위성화상자료를 참고하였다.

3차원물온도마당분석을 위한 수값모의공정은 그림과 같다.

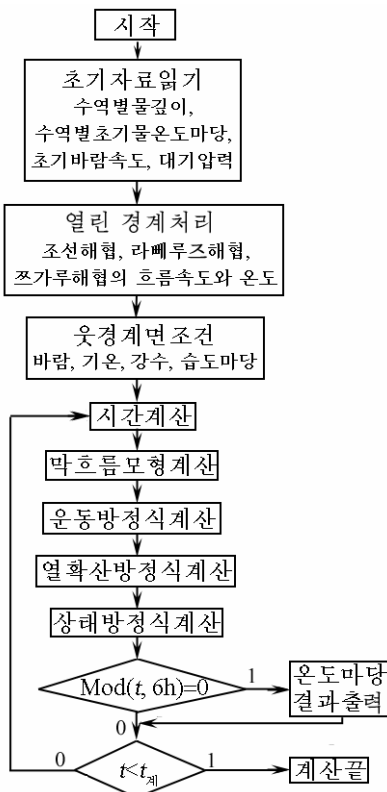


그림. 바다물온도마당수값모의공정도

계산수역의 수심자료는 1n.mile의 분해능으로 입력된 SST자료를 리용하여 3차원적인 초기물온도마당을 생성하였다. 초기조건에 필요한 염도마당은 물온도와 염도사이의 관계를 적용하여 얻은 염도자료[1, 3]를 리용하였다.

웃면경계조건설정단계에서 바람, 기온, 강수, 습도마당은 재분석자료로서 1.25° 간격의 6h예견기별자료를 리용하였다. 바람방위는 4방위로 하고 기온은 해상 2m 높이에서의 대기온도로서 단위는 K이다. 습도자료는 상대습도를 리용하였다. 계산과정에 6h간격으로 층별물온도마당을 출력하도록 하였다.

### 2) 모의결과와 정확도 검증

정확도는 관측마당과 모의마당사이의 상관결수를 고려한 거리류사성지표  $I_i$  를 가지고 평가한다.[1]

$$I_i = R_i(1 - D_i/n\sigma) \quad (9)$$

여기서

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^n (f_{ij} - \bar{f}_j)(g_j - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (f_{ij} - \bar{f}_j)^2 \sum_{j=1}^n (g_j - \bar{g})^2}},$$

$$D_i = \sqrt{E_i/n}, \quad \sigma = (\sigma_i + \sigma_g)/2$$

$$\bar{f}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_{ij}, \quad \bar{g} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n g_j, \quad \sigma_0 = \sqrt{\sum_{j=1}^n (g_j - \bar{g})^2 / (n-1)}, \quad \sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (f_{ij} - \bar{f}_j)^2 / (n-1)}$$

이다.  $f$ 는 원래관측마당,  $g$ 는 모의마당이다.

식 (9)에서  $I_i$  값이 크면 두 마당사이의 상관결수는 크고 거리가 작은 경우이며 작으면 그 반대의 경우이다.

모의 3, 4일후의 결면물온도마당과 해당 기간의 SST자료를 비교한 결과  $I_i$  는 각각 0.92, 0.91이었다. 한편 절대 및 표준편차는 각각 0.7, 0.8°C, 상대오차는 5%로서 이전의 모의모형들은 물론 현실적요구들을 모두 만족시켰다.

## 맺 는 말

DHI에 의한 모의모형은 조선서해 전반수역에서의 3차원물온도마당에 대한 진단 및 예보모형으로 쓸수 있으며 이로부터 조석흐름마당, 밀도마당 등과 같은 류체특성을 해석할수 있다. 그리고 모의를 통해 얻어진 결과는 조선서해의 어장분석에 필요한 속층구조를 해석하는데 효과적으로 리용할수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박일환 등; 기상해양정보통계처리법, 농업출판사, 146~153, 주체102(2013).
- [2] H. Arango et al.; Developments in Terrain-Following Ocean Models, Princeton University, 82~102, 2002.
- [3] Kyaw Swa Soe; Civil Engineering Research, 24, 1122, 2005.
- [4] J. Wiley; Hermes Science, 11, 93, 2006.
- [5] B. Lee et al.; Ocean Engineering, 29, 1003, 2002.

주체106(2017)년 2월 5일 원고접수

## Analysis of 3D Sea Water Temperature Field on the West sea of Korea by DHI

*Kwak Il Hwan*

We have calculated the sea water temperature characteristics on the West Sea of Korea by using DHI which is a powerful tool in numerical simulation analysis for hydro-physical phenomenon of seashore and then evaluated actual practicality of this tool by compared with the calculating result and observation data.

Key words: DHI, West Sea of Korea, sea water temperature