

東海南部海域의 潮汐計算

Tidal Computations for the Southern Part of the East Sea

鄭泰成* · 李種贊*

Tae Sung Jung* and Jong Chan Lee*

要 旨 : 東海南部海域에서 主要 4個 分潮(M_2 , S_2 , K_1 , O_1)의 潮汐運動을 有限要素法을 이용한 2次元 潮汐數值模型을 樹立하여 計算하였다. 計算結果는 潮汐觀測值와 比較되었으며, 既存의 潮汐圖들과도 比較分析되었다. 計算된 潮汐은 觀測된 潮汐과 比較적 일치하였으며, 計算結果로부터 主要 4個 分潮의 詳細한 潮汐圖가 作成되었다. 또한, M_2 分潮와 K_1 分潮의 潮流楕圓分布가 提示되었다. 作成된 潮汐圖에 의하면 無潮點의 位置는 半日週潮의 境遇 既存의 潮汐圖와 一致하나, 日週潮의 境遇는 韓國沿岸에 더 치우쳐 나타났다.

Abstract □ A two-dimensional numerical model, using finite element method, was applied to calculation of the tides and tidal currents of four major tidal constituents(M_2 , S_2 , K_1 , O_1) in the southern part of the East Sea. The model results were compared with the observed data and with the existing tidal charts, and the computed results showed good agreement with the observation. As a result, the detailed tidal charts for four major tidal constituents and the tidal current ellipses of the M_2 and K_1 tides were produced respectively. The results indicate that the amphidromic point of diurnal tide locates near Korean coastal lines closer than that of the chart drawn by Nishida(1980).

1. 緒 論

東海南部海域, 특히 韓國沿岸 西水道는 潮流, 對馬 暖流, 東海 底層水인 冷水의 湧昇, 바람에 의한 吹送流 등이 복합적으로 작용한 海水流動이 일어나는 海域 으로서, 海域內의 海水流動을 일으키는 原因을 밝히기 위한 많은 노력이 이루어지고 있다.

위의 海水流動中 潮流는 地球, 太陰, 太陽間의 引力과 回轉의 遠心力에 의한 起潮力에 의하여 발생 되는 海水유동으로써 규칙적으로 運動하며, 潮位變化를 정확히 알면 潮流를 數值模型 등에 의해 비교적 정확히 추정할 수 있다. 또한 潮位の 精確한 推定은 발전소 냉각수의 取排水, 臨海工業團地의 각종 工業用水 取排水, 海岸構造物 設計에 필요한 設計海面의 算出, 沿岸航路의 水深豫報 등에 있어서 필요하다.

東海南部海域의 潮位變化에 대한 調查研究는 주로

沿岸에서의 觀測과 分析이었다. 현재 水路局은 標準 港의 潮位를 연속적으로 觀測하고 있다. Ogura (1933)는 주로 沿岸 潮汐觀測資料를 기초로 北太平洋西部海域에 대한 潮汐圖를 작성하였는데, 이에 우리나라 周邊海域이 포함되어 있다.

Ogura의 潮汐圖는 M_2 分潮의 等潮時圖와 半日週潮 $2(M_2 + S_2)$ 의 等潮差圖, K_1 分潮의 等潮時圖와 日週潮 $2(K_1 + O_1)$ 의 等潮差圖로 구성되었다. Ogura에 의한 潮汐圖는 Nishida(1980)에 의하여 修正補完되었으며, Nishida의 潮汐圖는 $0 \sim 55^\circ N$, $115 \sim 160^\circ E$ 를 대상으로 작성된 것으로 主要 4個 分潮(M_2 , S_2 , K_1 , O_1)의 等 振幅圖과 等潮時圖로 구성되었다.

이외의 調查研究로는 海洋關聯機關의 短期潮位觀測 (수개월이내)과 分析, 數值模型을 이용한 Kang and Choi(1987)의 東海에서의 M_2 潮汐에 관한 研究, 鄭과 姜(1988)의 東海南部海域에서의 半日週潮(M_2 , S_2)의

*韓國海洋研究所 海洋環境工學研究室(Ocean Environmental Engineering Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P. O. Box 29, 425-600, Korea)

數值모델링 등이 있다. 또한, 海洋研究所와 水路局 (1985)의 韓國海峽에서의 潮汐運動 등의 潮流觀測結果를 토대로 한 研究가 있다.

既存調査와 研究를 보면, 潮位觀測이 주로 沿岸에서 遂行되어 外海에서의 潮位資料는 거의 이용되지 못하였다. 기존 潮汐圖로는 觀測潮汐을 기초로 경험적으로 작성된 Ogura의 潮汐圖와 Nisida의 潮汐圖가 있으나, 넓은 海域을 대상으로 한 것으로 研究海域內的 潮汐을 정확히 이해하는데 제한이 있다. 위의 두 潮汐圖는 거의 同一하며, 研究海域內에 위치한 無潮點 周圍의 振幅變化를 자세히 표현하지 않았다. 특히, 日週潮의 경우는 觀測潮汐(Table 2)을 보면 釜山, 古里, 5번 지점에서의 觀測潮汐이 기타 觀測地點보다 振幅이 작으나(釜山과 古里附近的 觀測振幅이 K_1 分潮의 경우 5cm 미만이다), 이를 적절히 표현하지 못하고 있다.

Kang and Choi에 의해 數值模型 結果로부터 作成된 潮汐圖는 動力學的方法에 의하여 비교적 精密하게 作成되었으나 M_2 分潮에 국한되어 半日週潮와 日週潮가 混合(潮汐形態수가 釜山=0.1, 蔚山=0.28, 浦項=2.2)된 東海南部海域의 潮汐運動을 제한적으로 이해할 수 있다. Odamaki(1989)는 韓國海峽에서 潮流觀測資料를 이용하여 Ogura의 潮汐圖를 수정 보완하고 日週潮의 無潮點 位置가 韓國沿岸에 인접해 있음을 밝혔다.

이와는 달리 本 研究에서는 東海南部海域에 대한 主要 4개 分潮(M_2 , S_2 , K_1 , O_1)의 潮汐圖를 2次元 潮汐數值模型을 사용하여 詳細하게 作成하므로써 기존의 潮汐圖를 修正 補完하였다. 數值計算 方法으로는 有限要素法(Wang, 1975)을 사용하였고, 潮汐圖외에 M_2 分潮와 K_1 分潮의 潮流橢圓分布가 提示되었다.

2. 潮汐數值模型

Hansen(1956)에 의하여 潮汐計算에 數值模型이 이용되기 시작한 이래로 數值模型은 海洋에서의 潮汐運動을 연구하기 위하여 널리 이용되어 왔다. 대부분의 潮汐數值模型은 連續方程式과 運動方程式을 數值計算 方法에 의해 풀어, 模型의 計算格子點에서 潮位, 潮流의 時空間的 分布를 計算한다.

數值計算 方法으로는 有限差分法과 有限要素法이 주로 사용되고 있다. 有限差分法은 Hansen에 의하여

사용되기 시작한 이래 가장 널리 사용되고 있으며 (Leendertse, 1967; Flather and Heaps, 1975 등), 有限要素法은 Connor 등(1973)에 의하여 潮汐計算에 사용된 이래 陸地境界 表現이 容易하여 潮汐計算에 널리 이용되고 있다(Wang, 1975; Kawahara, 1983 등).

國內의 研究로는 西海에서의 M_2 潮汐의 數值實驗 (An, 1977), 東支那海와 黃海의 潮汐 및 潮流分布計算 (Choi, 1980), 제주도 주변 M_2 分潮의 變化(Kim and Lee, 1986) 등이 있다. 위의 연구들은 有限差分法을 이용한 研究이며, 有限要素法을 이용한 연구로는 鄭과 姜(1988)의 東海南部海域의 半日週潮 數值모델링 등이 있다. 이외에 Kang and Choi(1987)는 境界值解析法을 사용하여 東海의 M_2 潮汐을 計算하였다. 위의 模型들은 2次元이며, 最近에는 電算機 計算能力의 向上에 따라 3次元 模型을 이용한 연구가 國內외에서 進行되고 있다(Heaps 1972; Choi, 1984 등).

本 研究에서는 위의 計算方法 중, 陸地境界를 비교적 精確히 表現할 수 있는 有限要素法을 사용하는 2次元 潮汐模型을 東海南部海域에 수립하여 適用하였다. 計算에 이용된 基本方程式과 計算方法은 다음과 같다.

2.1 基本方程式

潮汐運動을 나타내는 鉛直方向으로 積分된 2次元 連續方程式과 運動方程式은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\eta) + \frac{\partial}{\partial x}(q_x) + \frac{\partial}{\partial y}(q_y) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(q_x) + \frac{\partial}{\partial x}(Uq_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Uq_y) = & -gH \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ & + 2\Omega \sin \phi \cdot q_y - \frac{r q_x \sqrt{q_x^2 + q_y^2}}{H^2} \\ & + \frac{\partial F_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yx}}{\partial y} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(q_y) + \frac{\partial}{\partial x}(Vq_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Vq_y) = & -gH \frac{\partial \eta}{\partial y} - 2\Omega \sin \phi \cdot q_x - \frac{r q_y \sqrt{q_x^2 + q_y^2}}{H^2} \\ & + \frac{\partial F_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yy}}{\partial y} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, t =時間, x, y =直交座標, η =平均海面으로부터 海水面變位, h =平均海水面으로부터의 水深, H =總水深($=h+\eta$), q_x, q_y = x, y 方向의 單位幅當 流量, U, V = x, y 方向의 水深平均된 流速, Ω =地球의 自轉角速度, g =重力加速度, ϕ =緯度, $F_{xx}=E_{xx}(\partial q_x/\partial y)$, $F_{xy}=F_{yx}=E_{xy}(\partial q_x/\partial y + \partial q_y/\partial x)$, $F_{yy}=E_{yy}(\partial q_y/\partial y)$, E_{xx} , E_{xy} , E_{yy} =運動量 擴散係數, r =海底摩擦係數.

2.2.1 數值計算

위의 식(1)~(3)을 Galerkin weighted residual 方法을 사용하여 數值計算 하였으며, 三角形 要素 (Triangular element)를 사용하였다.

未知數 η, q_x, q_y 는 다음과 같이 線型補間函數 N 에 의하여 표현된다.

$$\eta = \langle N_i N_j N_k \rangle \begin{Bmatrix} \eta_i \\ \eta_j \\ \eta_k \end{Bmatrix} = \langle N \rangle \{ \eta \} \quad (4)$$

$$q_x = \langle N_i N_j N_k \rangle \begin{Bmatrix} q_{xi} \\ q_{xj} \\ q_{xk} \end{Bmatrix} = \langle N \rangle \{ q_x \} \quad (5)$$

$$q_y = \langle N_i N_j N_k \rangle \begin{Bmatrix} q_{yi} \\ q_{yj} \\ q_{yk} \end{Bmatrix} = \langle N \rangle \{ q_y \} \quad (6)$$

여기서 N 은 補間函數(Shape function) 또는 加重函數(Weighting function)로 節點(Node)의 空間座標에 의하여 다음과 같이 정의된다.

$$N_i(x, y) = \frac{(a_i + b_i x + c_i y)}{2\Delta}$$

$$\begin{Bmatrix} a_i = x_j y_k - x_k y_j \\ b_i = y_j - y_k \\ c_i = x_k - x_j \end{Bmatrix} \text{ Permutations on } i, j, k$$

$$\Delta = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix} \quad (= \text{Element area}) \quad (7)$$

식(4)~(7)을 이용하여, Galerkin 方法에 의하여 식(1)~(3)을 有限要素化하면 다음과 같다.

$$\sum_{e=1}^n \int_{\Delta} \langle N \rangle^T [\langle N \rangle \{ \dot{\eta} \} + \langle N, x \rangle \{ q_x \} + \langle N, y \rangle \{ q_y \}]_e dA = 0 \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{e=1}^n \int_{\Delta} \langle N \rangle^T [\langle N \rangle \{ \dot{q}_x \} + \langle N, x \rangle \left\{ \frac{q_x^2}{H} \right\} \\ & + \langle N, y \rangle \left\{ \frac{q_x q_y}{H} \right\} + g \langle N \rangle \{ H \} \langle N, x \rangle \{ \eta \} \\ & - 2\Omega \sin \phi \langle N \rangle \{ q_y \} + r \langle N \rangle \left\{ \frac{q_x \sqrt{q_x^2 + q_y^2}}{H^2} \right\} \\ & + \langle N, x \rangle^T \{ F_{xx} \} + \langle N, y \rangle^T \{ F_{yx} \}]_e dA = 0 \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{e=1}^n \int_{\Delta} \langle N \rangle^T [\langle N \rangle \{ \dot{q}_y \} + \langle N, x \rangle \left\{ \frac{q_x q_y}{H} \right\} \\ & + \langle N, y \rangle \left\{ \frac{q_y^2}{H} \right\} + g \langle N \rangle \{ H \} \langle N, y \rangle \{ \eta \} \\ & + 2\Omega \sin \phi \langle N \rangle \{ q_x \} + r \langle N \rangle \left\{ \frac{q_y \sqrt{q_x^2 + q_y^2}}{H^2} \right\} \\ & + \langle N, x \rangle^T \{ F_{xy} \} + \langle N, y \rangle^T \{ F_{yy} \}]_e dA = 0 \quad (10) \end{aligned}$$

Lumped된 보간함수의 積分은 다음과 같다.

$$\int_{\Delta} \langle N \rangle^T dA = \frac{\Delta}{3} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$\int_{\Delta} \langle N \rangle^T \langle N \rangle dA = \frac{\Delta}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \cong \frac{\Delta}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

식(8)~(10)을 行列式으로 나타내면 다음과 같다.

$$[M] \{ \dot{\eta} \} = \{ F_{\eta} \} \quad (11)$$

$$[M] \{ \dot{q}_x \} = \{ F_x \} \quad (12)$$

$$[M] \{ \dot{q}_y \} = \{ F_y \} \quad (13)$$

식(11)~(13)은 다음과 같은 差分式을 사용하여 連續으로 計算되었다.

$$[M] \{ \dot{\eta} \} = \{ F_{\eta}(q_n, \eta_{n-1/2}) \} \quad (14)$$

$$\{ \eta \}_{n+1/2} = \{ \eta \}_{n-1/2} + \Delta t \{ \dot{\eta} \} \quad (15)$$

$$[M_q] \{\dot{q}\} = \{F_q(q_n, \eta_{n+1/2})\} \quad (16)$$

$$\{q\}_{n+1} = \{q\}_n + \Delta t \{\dot{q}\} \quad (17)$$

數值計算을 위하여 計算初期條件으로는 $\eta, q_x, q_y = 0$ 으로 주어 計算하였으며, 陸地 境界條件으로는 境界面에 垂直한 流速成分이 0이 되도록 하였다. 外海 開放境界條件으로는 다음과 같이 매 計算時刻의 潮立를 指定하였다.

$$\eta = A_i \cos(\omega_i t - \alpha_i) \quad (18)$$

여기서, A_i = 分潮의 振幅, ω_i = 分潮의 角速度, α_i = 分潮의 位相.

3. 適用 및 計算結果

東海南部海域의 潮汐計算을 위하여 사용된 有限要素 格子網은 Fig. 1과 같다. 格子網은 總要素 188個, 總節點 305個이며, 最小 格子間隔은 韓國海峽 西水道에서 8 km, 最大 格子間隔은 外海에서 30 km이다.

外海境界에서의 潮位는 Nishida의 潮汐圖, 陸地境界와 外海境界가 만나는 地點에서의 潮汐觀測資料로부터 구하여 入力하였으며, 外海境界面에서 입력된 潮位는 計算海域內의 計算潮位와 觀測潮位을 비교를 통하여 수정 보완하였다.

計算時間間隔은 數值解의 安定條件(Courant-Friedrich-Lewy 조건)을 만족하도록 150초로 주었으며,

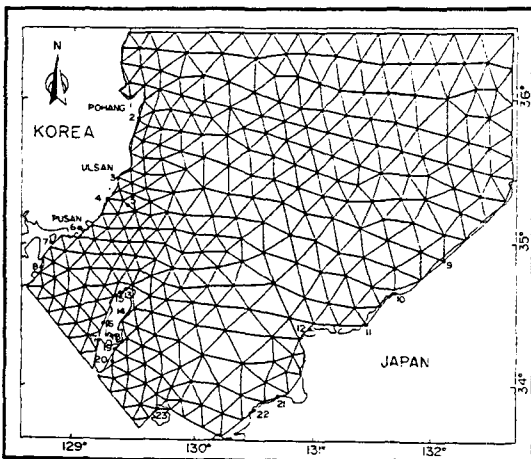


Fig. 1. Finite element grid system for numerical tide model.

海底面 摩擦係數 r 은 0.002, 運動量 擴散係數는 $300 \text{ m}^2 / \text{sec}$ 를 사용하였다.

計算은 각 分潮(M_2, S_2, K_1, O_1)에 대하여 각각 η, U, V 가 0인 初期狀態로부터 計算結果가 定常狀態에 到達한 후 2週期까지 수행하였다. 이 獨立分潮의 分析은 最終 2週期의 每時間 海水面變位를 Fourier 分析에 의하여 振幅과 位相을 算定하였다.

Fig. 2는 潮汐數值模型의 계산과정을 나타내며, Fig. 3은 計算結果로부터 작성된 주요 4개 潮汐에 대한 潮汐圖이다.

計算結果로부터 작성된 潮汐圖를 보면, M_2 와 S_2 分潮의 경우는 Nishida의 等潮時線(Fig. 4)과 計算된 等潮時線은 거의 일치하고 있으며, M_2 分潮의 경우 Kang and Choi(1987)의 結果(Fig. 5)와도 거의 동일하였으나 K_1, O_1 分潮의 경우는 Nishida(1980)의 潮汐圖와 差異를 보였다. Fig. 4와 5는 연구자들의 潮汐圖에서 연구해역 부분만을 발췌하여 재도시한 것으로 그림에서 點線은 等潮位線, 實線을 等潮時線이며, 단위는 각각 cm와 시간이며 潮時는 東經 135 度를 기준으로 한 것이다.

Table 1은 半日週潮(M_2, S_2)에 대한 計算潮汐와 觀測潮汐의 比較表로써 전반적으로 計算値와 觀測値가 일치하고 있다. Table 1, 2에서 *로 표시된 資料는 海洋研究所 觀測資料(1989), **는 水路局 觀測資料, 그 외는 Choi(1980)의 부록으로부터 발췌된 資料이다. Table 2는 日週潮에 대한 觀測潮汐과 計算潮汐의

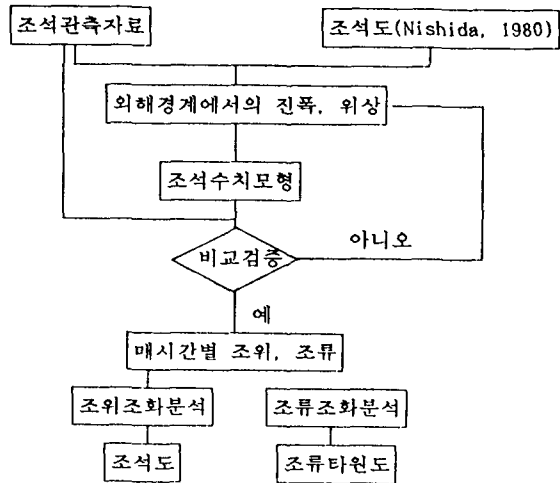


Fig. 2. Flow chart of numerical tide modeling.

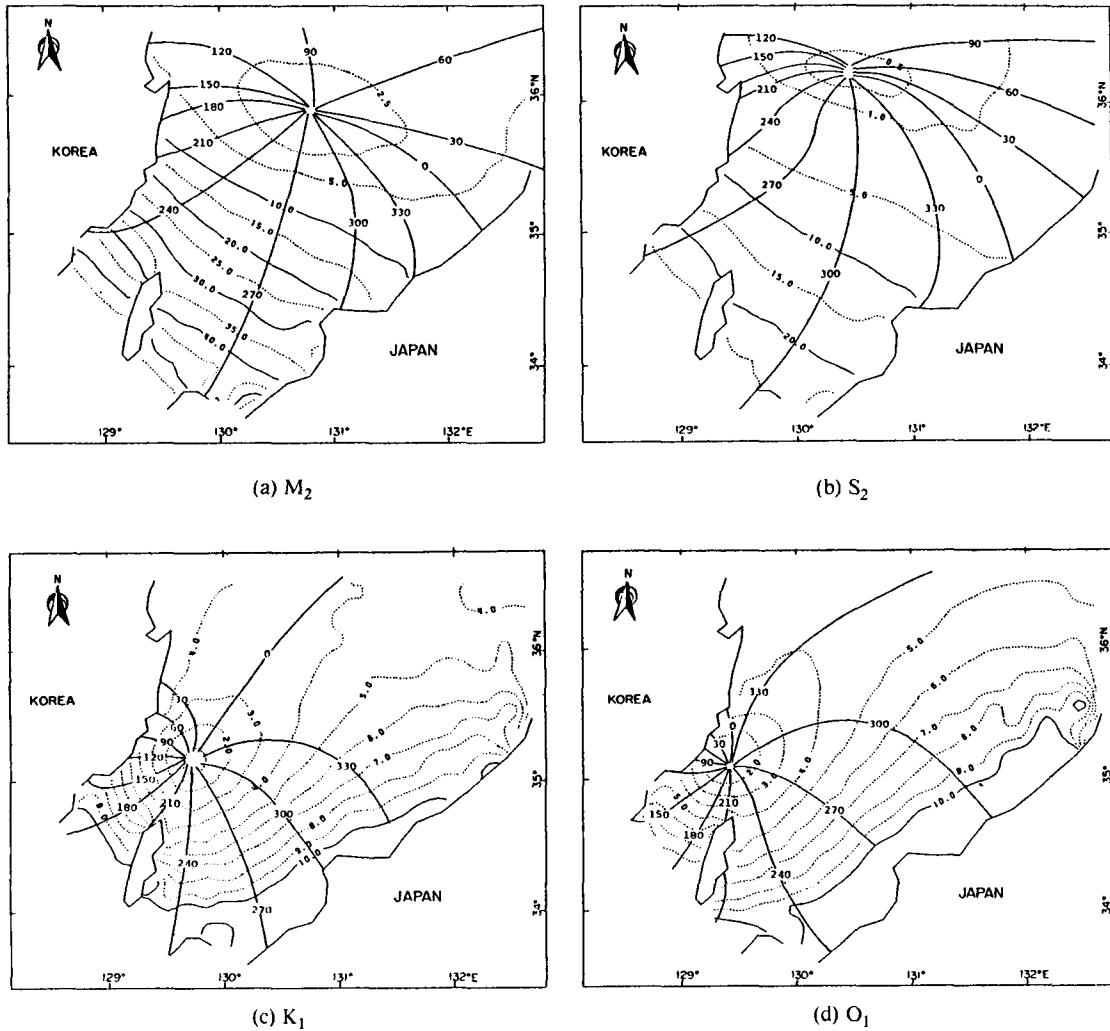


Fig. 3. Calculated tidal charts(-----Co-amplitude line(cm) ; — Co-phase line(deg.) referenced to 135°E).

振幅과 位相에 대한 比較表로 觀測値와 計算値가 거의 일치하고 있다. Fig. 6은 주요 4개 分潮에 대한 計算潮汐과 觀測潮汐을 함께 圖示한 것이다.

計算潮汐의 比較檢證을 통해 計算結果의 信賴度가 立證됨에 따라 計算結果를 高찰해 보았다. M_2 分潮의 경우 無潮點(Amphidromic point)은 北緯 35.9도, 東經 130.7도에 위치하며, 等潮時線은 無潮點周圍로 反時計方向으로 回轉한다. S_2 分潮의 경우는 無潮點의 위치가 약간 다른 것을 除外하고는 대체적으로 M_2 分潮와 동일하다. 振幅은 M_2 分潮의 경우 全般的으로 南에서 北으로 減少하는 傾向을 보였다. S_2 分潮의

振幅은 分布樣相이 M_2 分潮와 동일하나 그 크기는 M_2 分潮에 비해 작았다.

日週潮인 K_1 과 O_1 分潮의 경우 無潮點의 위치가 對馬島 북쪽에 위치하여 Nishida 潮汐圖의 위치보다 韓國沿岸에 치우쳐 있다. 日週潮의 等潮時線은 半日週潮들과 마찬가지로 無潮點을 주위로 反時計方向으로 回轉하며, 振幅은 전반적으로 研究海域의 南側에서 크며 韓國沿岸보다 日本沿岸에서 크게 나타났다. 이러한 傾向은 觀測潮汐과 일치한다. 또한 計算된 潮汐을 보면, 釜山과 古里附近의 振幅이 沿岸의 他地點에 비하여 월등히 작은점이 觀測潮汐과 일치한다.

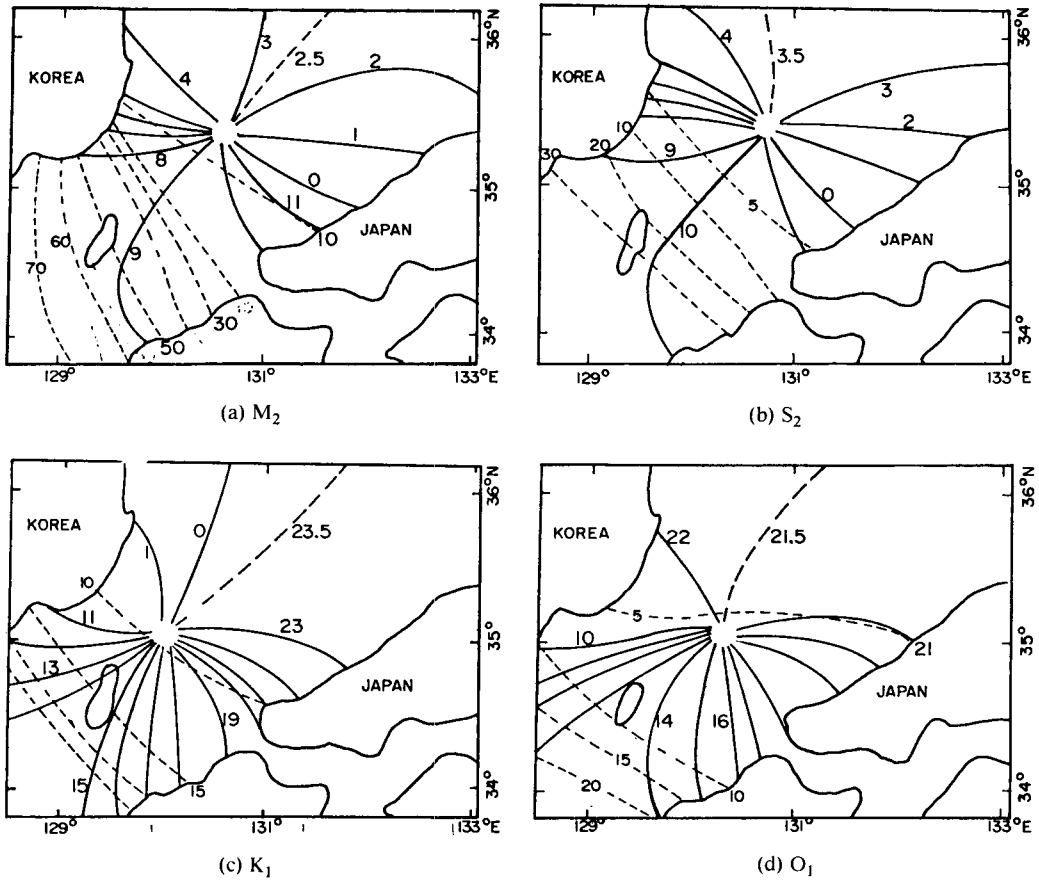


Fig. 4. Tidal chart(Nishida, 1980).

이는 無潮點의 위치가 Nishida의 潮汐圖에 표시되어 있는 위치보다 韓國沿岸에 더 가까이 있기 때문에 사료된다.

Fig. 7는 M_2 와 K_1 分潮에 의한 潮流를 潮流橢圓에 의해 도시한 것으로, 計算된 潮汐 2주기 동안의 매 시간 潮流(U, V)를 調和分析法(Foreman, 1978)에 의하여 분석한 결과이다. M_2 潮流는 주된 흐름방향이 漲潮時에 南西, 落潮時에 北東인 강한 往復性이며, 潮流의 세기는 韓國海峽 西水道에서 20~30 cm/sec로 가장 크며 無潮點 이북에서는 미약하였다. K_1 潮流橢圓은 M_2 潮流橢圓과 長軸方向은 거의 동일하며, 潮流의 형태는 韓國海峽 西水道와 沿岸에서는 往復性이나, 이외 지역에서는 回轉性 흐름특성을 나타냈다. 그 크기는 韓國海峽 西水道에서 15~20 cm/sec, 35°N 이북의 韓國沿岸에서는 미약하였다.

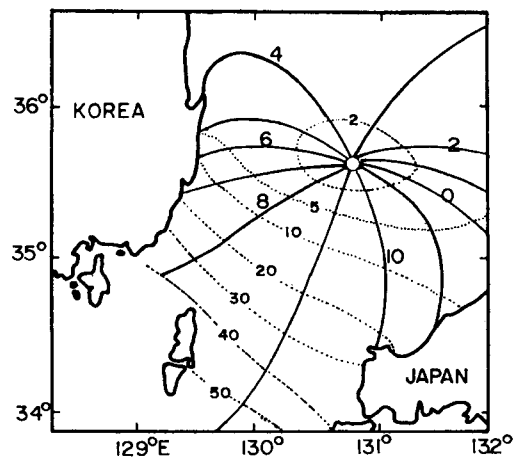


Fig. 5. Tidal chart of M_2 tide(Kang and Choi, 1987)

Table 1. Comparison of the calculated and the observed tides(M_2 , S_2)

Station	No.	M_2				S_2			
		Observed		Calculated		Observed		Calculated	
		A(cm)	g(°)*	A(cm)	g(°)	A(cm)	g(°)	A(cm)	g(°)
POHANG**	1	3.1	120.6	5.2	126.8	0.7	167.3	1.6	169.8
YANGPO	2	3.8	140.0	7.0	174.7	1.3	195.0	3.2	220.7
ULSAN**	3	16.3	212.3	18.3	213.5	9.0	246.0	9.3	248.1
KORI*	4	24.1	223.0	25.6	221.1	8.6	273.3	12.8	254.1
*	5	22.2	229.1	23.6	229.8	11.1	276.1	12.1	262.0
PUSAN**	6	40.0	232.8	39.2	234.7	18.9	261.3	19.6	264.6
KADUKDO**	7	56.7	240.7	50.0	240.8	26.7	269.0	25.9	267.5
JISEPO	8	60	238	52.2	241.5	26	268	26.5	268.6
HAMADA	9	8	354	6.7	357.3	4	6	3.2	9.4
ESAKI	10	11	339	8.9	331.7	5	348	4.7	349.9
HAGI	11	16	326	12.7	316.4	9	338	6.7	338.8
YUYA BAY	12	25	296	23.1	293.7	12	326	12.1	320.3
OKAWATI BAY	13	45	253	39.8	253.9	22	275	20.0	282.1
OZIKA	14	41	251	38.7	252.8	18	277	19.9	283.4
SASUNA	15	45	248	47.2	255.1	22	276	23.5	282.0
TUNNA	16	61	256	56.5	254.6	29	279	28.0	282.5
OSAKI	17	63	255	58.1	254.2	31	289	28.6	283.0
MIURA BAY	18	49	251	45.0	252.4	23	282	23.1	283.6
TAKAHAMA	19	45	255	48.5	253.3	25	286	24.7	284.6
IZUHARA	20	53	251	50.4	253.6	27	288	25.6	284.9
IWATA	21	37	283	37.2	283.4	28	298	26.7	297.0
TUYAZAKI	22	48	281	42.7	280.9	23	303	21.7	309.3
KATUMOTO	23	60	270	53.0	267.7	18	304	18.9	311.6

Table 2. Comparison of the calculated and the observed tides(K_2 , O_2)

Station	No.	M_2				S_2			
		Observed		Calculated		Observed		Calculated	
		A(cm)	g(°)*	A(cm)	g(°)	A(cm)	g(°)	A(cm)	g(°)
POHANG**	1	4.2	9.3	3.8	10.5	4.3	325.7	4.3	340.1
YANGPO	2	3.5	10.0	4.6	24.3	3.2	331.0	3.9	313.0
ULSAN**	3	3.3	51.4	4.5	66.2	3.0	348.0	2.3	344.0
KORI*	4	4.1	114.2	5.0	90.2	2.8	35.2	1.7	12.9
*	5	2.2	93.1	2.9	98.1	1.5	346.0	1.0	345.0
PUSAN**	6	4.4	143.4	7.1	143.0	1.6	108.6	4.0	119.5
KADUKDO**	7	8.0	153.1	8.0	158.0	4.3	131.4	4.3	131.5
JISEPO	8	9	155	9.4	155.8	6	131	5.3	129.8
HAMADA	9	7	352	10.7	357.1	8	325	9.7	304.3
ESAKI	10	8	350	11.0	336.7	11	309	10.0	289.5
HAGI	11	9	334	11.1	325.0	12	303	10.3	281.6
YUYA BAY	12	10	306	12.0	304.6	11	278	11.1	269.3
OKAWATI BAY	13	7	224	6.2	217.6	4	221	6.1	209.6
OZIKA	14	4	225	5.5	217.8	4	229	5.7	219.0
SASUNA	15	7	210	8.3	205.4	7	227	7.2	190.5
TUNNA	16	10	221	10.3	205.0	7	209	8.3	184.7
OSAKI	17	15	213	10.0	206.6	9	198	8.2	186.9
MIURA BAY	18	7	220	6.7	216.2	5	223	6.4	209.7
TAKAHAMA	19	9	219	7.5	217.0	9	204	6.9	206.1
IZUHARA	20	7	227	8.7	216.7	6	194	7.3	205.1
KATUMOTO	21	16	255	14.0	250.1	13	235	11.1	230.3
TUYAZAKI	22	21	271	15.2	273.1	13	254	13.4	250.4
IWATA	23	14	289	13.9	282.3	13	274	12.4	255.4

註: degree referred to 135°E

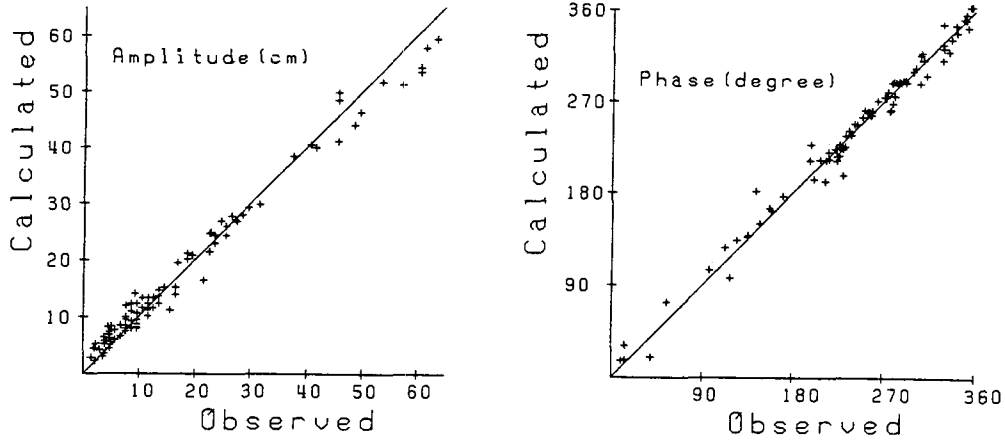


Fig. 6. Comparison of the calculated and the observed tides.

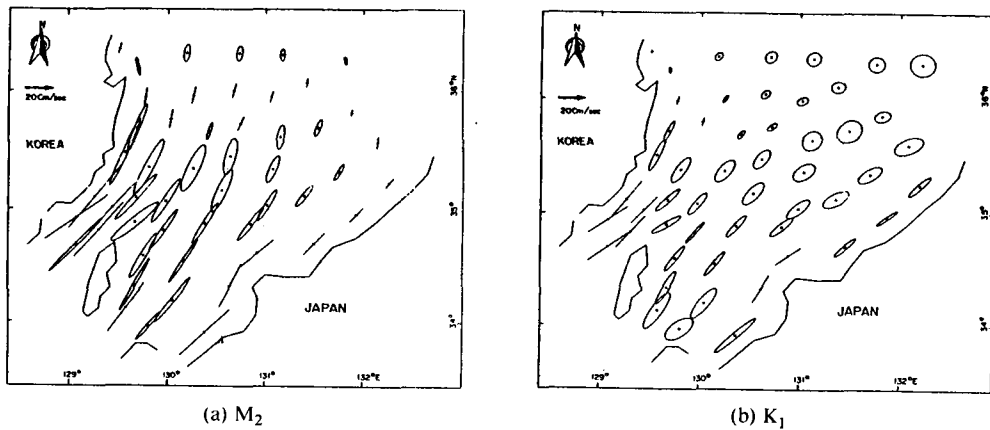


Fig. 7. Calculated tidal current ellipses of the M₂, K₁ tides.

4. 結果 및 提言

數值模型을 이용하여 東海南部海域에서 주요 4개 分潮의 潮汐運動을 計算한 結果, 수립된 數值模型은 주요 4개 分潮의 振幅과 位相變化를 비교적 정확히 再現하였다. 이에 따라 計算結果로부터 詳細한 潮汐圖가 작성되었으며, 本 研究로부터 얻은 主要結果는 다음과 같다.

1) 半日週潮(M₂, S₂)의 경우 數值模型에 의한 計算결과로부터 작성된 潮汐圖는 無潮點의 位置가 Nishida의 潮汐圖 및 Kang and Choi(1987)의 潮汐圖와 일치한다.

2) 日週潮(K₁, O₁)의 경우 無潮點의 位置는 Nishida의 潮汐圖의 위치보다 우리나라 沿岸에 더 치

우쳐 있다. 觀測된 潮汐과 計算된 振幅이 釜山과 古里附近에서 작은 점이 이를 뒷바침한다. 그러므로 既存의 日週潮에 대한 潮汐圖들은 再檢討되어야 할 것이다.

3) M₂ 分潮에 의한 潮流는 往復性이며, 潮流橢圓의 長軸 길이는 韓國海峽 西水道에서 20~30 cm/sec이다. K₁ 分潮流는 韓國海峽의 西水道와 沿岸에서는 往復性이나, 이외의 海域에서는 回轉性이며 潮流橢圓의 長軸 길이는 韓國海峽 西水道에서 15~20 cm/sec이다.

本 研究에서는 주요 4개 分潮를 獨立的으로 다루었으나, 分潮들 사이의 相互作用이 糾明 되어야 할 것이며, 潮流의 수직분포에 대한 研究를 위한 3次元 模型의 導入 등이 있어야 할 것이다. 이외에 現在

計算潮汐의 檢證에 거의 사용되지 못한 外海에서의 潮汐觀測은 研究海域의 潮汐現象을 보다 더 정확히 이해하는데 有用한 資料가 될 것이다.

參考文獻

- 鄭泰成, 姜始桓, 1988. 東海南部海域의 半日潮汐 數值모델링, 추계학술발표회 요약집, 한국해양학회.
- 海洋研究所, 交通部 水路局, 1985. 韓國海峽에서 夏季 海水特性과 潮汐運動, 海洋研究所 BSPE 00055-86-7C.
- 海洋研究所, 1989. 고리 주변 환경종합평가 및 확산모델 개발-해양확산모델 개발-
- An, H.S., 1977. A numerical experiment of the M_2 tide in the Yellow Sea, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **33** : 103-110.
- Choi, B.H., 1980. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea, KORDI, Rep.80-02.
- Choi, B.H., 1984. A three-dimensional model of the East Sea, in *Ocean Hydrodynamics of Japan and East China Sea*, Ichiye, T., Ed., Elsevier Oceanography Series No. **39** : 209-224.
- Connor, J.J. and Wang, J.D., 1973. Finite-element modeling of two-dimensional hydrodynamic circulation, Technical Report No.172, Ralph M. Parsons Lab, for Water Resources and Hydrodynamics, Dept. of Civil Eng., M.I.T.
- Flather, R.A. and Heaps, N.S., 1975. Tidal computations for Morecambe Bay, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, **42** : 489-517.
- Foreman, M.G.G., 1978. Manual for tidal currents analysis and prediction, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney.
- Hansen, W., 1956. Theorie zur Berechnung des Wasserstandes und der Strömungen in Randmeeren nebst Anwendungen, *Tellus*, **8**(3) : 287-300.
- Heaps, N.S., 1972. On the numerical solution of the three dimensional hydrodynamic equations for tides and storm surges, *Memoires de la Societe Royale des Sciences de Liege*, **6**(II) : 143-180.
- Kang, Y.Q. and Choi, S.W., 1987. Objective interpolation of the M_2 tide in the East Sea, *Bulletin of the Korean Fisheries Society*, **20**(6) : 477-483.
- Kawahara, M., 1983. Multiple level finite element analysis and its applications to tidal current flow in Tokyo Bay, *Applied Math. Modelling*, Vol.7, June : 197-211.
- Kim, K. and Lee, S.H., 1986. Variation of the M_2 tide amplitude around the Jeju-Do, *J. of the Oceanogr. Soc. of Korea*, **21**(3) : 171-183.
- Leendertse, J.J., 1967. Aspects of a computational model for long period water-wave propagation. The Rand Corporation.
- Nishida, H., 1980. Improved tidal charts for the western part of the North Pacific Ocean, Rep. of Hydrographic Res., Japan, No.15.
- Ogura, S., 1933. The tides in the seas adjacent of Japan, *Bulletin of Hydrogr. Dept. Imp. Jap. Navy*, **7**.
- Odamaki, M., 1989. Tides and tidal currents in the Tusima Strait, *J. of Oceanogr. Soc. Japan*, **45** : 65-82.
- Wang, H.P., 1975. Modeling an ocean pond, University of Rhode Island Marine Technical Report No.40, NOAA Sea Grant.