

大韓海峽潮流의 3次元의 分布 Vertical Distribution of Tidal Current in the Korea Strait

崔秉昊* · 方仁權** · 金暉煥*

Byung Ho Choi*, In Kweon Bang** and Kyoung Hwan Kim*

要 旨 : 大韓海峽 潮流의 3次元의 分布를 3次元 潮汐模型에 의해 算定하였다. 模型의 結果는 8個分潮의 潮汐圖(等振幅圖와 等位相圖) 및 潮流橢圓圖로서 提示되었으며 또한 이 海域의 特定期間의 潮汐豫報를 위한 分潮의 調和常數의 data table로서 作成되었다. 模型의 潮汐算定結果는 沿岸觀測值와 觀測值를 根據한 Odamaki(1989)의 潮汐圖와 全般的인 一致를 보였으며 九州大學 應用力學研究所의 潮汐觀測值를 利用한 檢證도 遂行하였다.

Abstract : Vertical distribution of tidal currents in the Korea Strait is computed by a three-dimensional tidal model. The results are presented in the form of tidal charts (coamplitude and cophase chart) and tidal ellipses charts for eight tidal constituents (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1) and data tables of harmonic constants for predictions of tides and tidal currents during specified duration in the region. The computed tides were in general agreement with coastal observations and observation-based tidal charts of Odamaki (1989). Comparison between model computation and current observation by RIAM were also presented.

1. 緒 論

東中國海와 東海가 連結되는 大韓海峽(Korea Strait)은 東海로 連結되는 4個의 海峽中 가장 큰 海峽으로 潮流, 對馬暖流, 密度流, 바람에 의한 吹送流 등이 複合적으로 作用한 海水流動이 일어나는 海域으로서, 東海의 循環을 야기시키는 海流力學을 研究하는 海洋學的인 觀點에서 重要한 海峽이다. 이 地域에서의 漲潮(漲潮流)은 서쪽으로, 落潮(落潮流)은 동쪽으로 흐른다. 一般的으로 東海附近에서의 潮差는 0.3 m 内外이고 하루 한번 高潮와 低潮가 일어날 때가 많으며 韓國側 南海로 가면서 조차는 점차 커져 釜山에서 1.2 m에 달하고 규칙적으로 高潮와 低潮가 하루 2회씩 나타난다. 地理的 境界는 西쪽으로 珍島 西端과 遮歸島(濟州道), 南쪽으로 牛島(濟州道)와 五島列島(日本), 그리고 東쪽으로 蔚崎와 川尼御崎(日本)을 있는 海域으로 劃定되며, 이 境界로써 黃海와 東

中國海 및 東海와 각기 區分된다(國立水產振興院, 1979). Fig. 1의 大韓海峽과 周邊 海底地形圖에서 보는 바와 같이 海峽 中央에는 對馬島가 位置하고 있으며 서수도 北端에서 浦項에 이르는 海역은 수심이 완만하게 깊어지나 浦項 外海域과 북부해역에서는 동서로 발달된 陸棚斜面으로 인하여 수심이 남북방향으로 급격히 변하여 2,000 m 이상이 되며 日本 九州 서쪽, 海협의 南東쪽인 北西太平洋과 연결되는 곳은 300-400 m의 水深을 나타낸다.

本 研究에서는 大韓海峽의 潮汐變動를 把握하기 위해 $1/12^\circ \times 1/12^\circ$ 體系의 格子構成을 갖는 3차원 潮汐 數值模型을 樹立하여 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 分潮의 獨立潮汐을 算定하였으며 潮汐圖를 作成하여 Odamaki(1989)가 提示한 潮汐圖와 比較, 檢證하였으며 追加적으로 K_2 , N_2 , P_1 , Q_1 分潮를 算定하여 潮汐圖를 提示하였다. 潮流의 比較, 檢證은 九州大學校 應用力學 研究所에서 觀測한 資料와 比較가 이루어졌다.

*成均館大學校 工科大學 土木工學科 (Department of Civil Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon, Korea)

**韓國海洋研究所 海洋物理部 (Physical Oceanography Division, Korea Ocean Research and Development Institute, P.O. Box 29, Ansan 425-600, Korea)

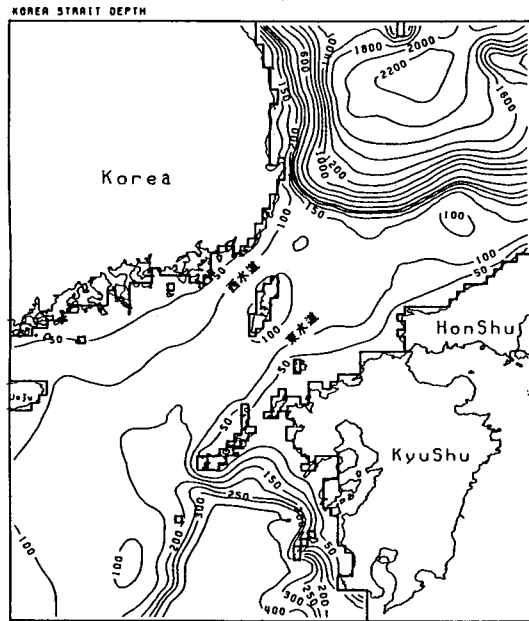


Fig. 1. Bathymetric map of the Korea Strait (depths in meters).

2. 支配方程式

水平方向의 剪斷力을 無視하고 非線形 移流項을 除外했을 때 海水密度가 均一하다는 假定下에 球面 座標系에서 運動方程式은 아래와 같이 記述될 수 있다.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left\{ \frac{\partial}{\partial \chi} \int_0^h U dz + \frac{\partial}{\partial \phi} \int_0^h V \cos \phi dz \right\} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} - \gamma V = \frac{-g}{R \cos \phi} \frac{\partial \xi}{\partial \chi} + \frac{\partial}{\partial z} \left(N \frac{\partial U}{\partial z} \right) \tag{2}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \gamma U = \frac{-g}{R} \frac{\partial \xi}{\partial \phi} + \frac{\partial}{\partial z} \left(N \frac{\partial V}{\partial z} \right) \tag{3}$$

- 여기서, t : 時間
- χ, φ : 經度 및 緯度
- ξ : 海面變位
- z : 靜止海面下에 대한 水深座標
- h : 靜止海面下의 水深
- R : 地球의 曲率半徑

- g : 重力加速度
- γ : 偏向力係數(γ=2ωsinφ)
- ω : 地球回轉의 角速度
- U, V : 水深 z에서의 東向, 北向의 流速成分
- N : 垂直渦粘性係數

ξ, U, V를 위한 식 (1), (2) 및 (3)의 解를 求하기 위해서는 海水表面과 海底面의 적합한 境界條件이 提示되어야 한다.

海水表面의 條件은

$$-\rho \left(N \frac{\partial U}{\partial z} \right)_0 = F_s, \tag{4a}$$

$$-\rho \left(N \frac{\partial V}{\partial z} \right)_0 = G_s \tag{4b}$$

인데 여기서 F_s, G_s는 海水表面에서의 χ, φ 方向의 海面에 作用하는 바람에 의한 剪斷力이며 첨자는 z=0 일 때의 條件을 表示한다. 해수조건으로 海底(z=h)에서의 활동境界조건(slip boundary condition)을 假定하고 또한 海底摩擦의 自乘法則을 적용하면

$$-\rho \left(N \frac{\partial U}{\partial z} \right)_h = K \rho U_h \sqrt{U_h^2 + V_h^2} \tag{5a}$$

$$-\rho \left(N \frac{\partial V}{\partial z} \right)_h = K \rho V_h \sqrt{U_h^2 + V_h^2} \tag{5b}$$

로 표시된다. K는 海底摩擦係數이며 常數로서 取扱하였다. ξ, U, V를 求하기 위해 식 (4) 및 (5)의 境界條件을 만족하는 식 (1), (2) 및 (3)의 解를 구한다. 流速의 두 成分 U, V를 m개의 水深從屬의인 函數 f_r(z)(基礎函數)와 水平面 및 時間從屬의인 係數 A_r(χ, φ, t)와 B_r(χ, φ, t)로 展開하면 다음과 같다.

$$U(\chi, \phi, z, t) = \sum_{r=1}^m A_r(\chi, \phi, t) f_r(z) \tag{6}$$

$$V(\chi, \phi, z, t) = \sum_{r=1}^m B_r(\chi, \phi, t) f_r(z) \tag{7}$$

垂直空間領域에 Galerkin 方法을 適用하여 식 (2)와 (3)에 각각 基礎函數 f_r를 곱하고 z축에 대하여 0부터 h까지 積分한다. 여기에 垂直渦粘性係數를 포함하는 項을 積分하면 境界條件 (4)와 (5)가 포함되게 되어

式 (8)과 (9)가 형성된다.

$$\int_0^h \frac{\partial U}{\partial t} f_k dz = \gamma \int_0^h V f_k dz - \frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial \xi}{\partial \chi} \int_0^h f_k dz - f_k(h) K U_h \sqrt{U_h^2 + V_h^2} - \int_0^h N \frac{\partial U}{\partial z} \frac{\partial f_k}{\partial z} dz \quad (8)$$

$$\int_0^h \frac{\partial V}{\partial t} f_k dz = -\gamma \int_0^h U f_k dz - \frac{g}{R} \frac{\partial \xi}{\partial \phi} \int_0^h f_k dz - f_k(h) K V_h \sqrt{U_h^2 + V_h^2} - \int_0^h N \frac{\partial V}{\partial z} \frac{\partial f_k}{\partial z} dz \quad (9)$$

여기서 $k=1, 2, \dots, m$ 이다. 상기 식에서海面 및海底境界條件은 $f_k(0)$ 및 $f_k(h)$ 의積으로 표시되어지며 零이 되지 않기 위한 조건은 아래와 같이 f_k 가 선택되어야 한다.

$$f_k(0) \neq 0, f_k(h) \neq 0 \quad (10)$$

基礎函數 $f_r(z)$ 의選擇에 있어서 10개의 兪현함수의 전개가水深에 따른海水의變化形態를充分히 제시해 줄 수 있음이 발표되었다(Davies, 1980; Davies와 Furnes, 1980; Choi, 1984). 따라서本研究에서도 兪현함수들이 이용되어

$$f_r = \cos \alpha_r \frac{z}{h} \quad (11)$$

이며 α_r 의 適切한選擇은

$$\alpha_r = (r-1)\pi, r=1, 2, \dots, m \quad (12)$$

으로서表示된다. 이境遇에

$$f_k'(0) = 0, f_k'(h) = 0 \quad (13)$$

의條件이 滿足되어야 한다. 여기서

$$f_r' = df_r/dz \text{이다.}$$

식 (11)에 주어진 f_r 은 아래의式

$$\frac{d}{dz} \{N(\chi, \phi, t) f_r'(z)\} = -\lambda_r(\chi, \phi, t) f_r(z) \quad (14)$$

의 eigenfunction들인데 eigenvalue $\lambda_r(\chi, \phi, t)$ 는 아래와 같다.

$$\lambda_r(\chi, \phi, t) = N(\chi, \phi, t) \alpha_r^2 / h^2 \quad (15)$$

垂直渦粘性係數 N 은 垂直座標 z 에 獨立인 特殊한境遇가 考慮되었다.

式 (14), (15) 및 (13)을 利用하여 式 (8)과 (9)의 N 을 포함하는項을部分的으로積分하고 式 (6), (7)의 展開를 式 (8), (9)에 代入하면 一連의 편미분방정식이 된다. 자세한 식의 전개는 Davies(1980)에 의해 전개되었으므로 여기서는 생략하기로 한다. 이 편미분방정식은 모델전역에 걸쳐 ξ, A_r, B_r 의變化를 구하기 위해 初期 및 境界條件에 부합되도록 時間증분에 따라積分될 수 있다. 따라서 式 (6), (7)의 展開를 이용하면 A_r, B_r 로부터 임의수심의 海流가 算定될 수 있다. 方程式의 解를 求하기 위해서 水平空間과 時間을 一定간격으로 나누어야 하는데 水平空間은 ξ, U, V 가 格子點의 서로 다른 위치에서 求解되는 有限格子體系로서 構成된다. 解는 아래와 같은 靜止狀態의 條件으로부터 求해진다.

$$\xi = A_r = B_r = 0 \text{ at } t=0, (r=1, 2, \dots, m) \quad (16)$$

$t \geq 0$ 일 경우 閉鎖境界面에는 海流의 垂直成分이 없는 것으로 假定한다.

$$A_r \cos \psi + B_r \sin \psi = 0, (r=1, 2, \dots, m) \quad (17)$$

여기서 ψ 는 陽의 χ 方向과 이루는 傾斜角이다. 外海의 開放境界面의 條件은 모델내부의 攪亂現象이 波及되어 나갈 수 있도록 放射條件을 아래와 같은 水深平均된 流速, q 와 海面變位 ξ 와의 關係로 미리 설정하므로써 考慮되었다.

$$q = q_T + \frac{c}{h} (\xi - \xi_T) \quad (18)$$

여기서 $c = (gh)^{1/2}$ 이다. 海水面의 變위 ξ_T 는 M_2 分潮일 경우 다음의 式으로 주어진다.

$$\xi_T = H_{M_2} \cos \{ \sigma_{M_2} t - \chi_{M_2} \} \quad (19)$$

$$q_T = q_{M_2} \cos \{ \sigma_{M_2} t - \gamma_{M_2} \} \quad (20)$$

식 (19)와 (20)의 H_{M_2} 와 q_{M_2} 은 각각 M_2 分潮의 潮位와 境界面에 直角인 水深平均된 潮流의 振幅을 나타낸다. 또한 χ_{M_2} 와 γ_{M_2} 은 각각 M_2 分潮의 潮位와 境界面에 直角인 水深平均된 潮流의 遲角을 나타낸다. 이 값들은 2차원 模型으로부터 求하여졌다. 또한 式 (18)의 水深平均된 流速과 式 (6), (7)의 展開의 各項과의

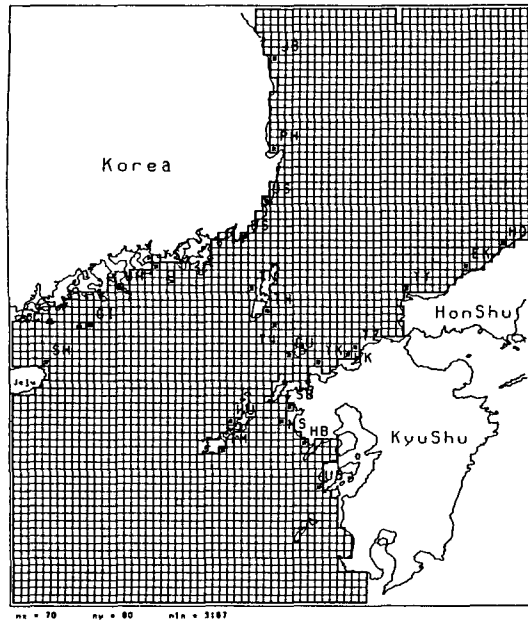


Fig. 2. Finite difference grid of three-dimensional Korea Strait model.

關係를 아래와 같이 假定하였다.

$$A_r = B_r = 0, \quad (r = 2, 3, \dots, m) \quad (21)$$

또한

$$A_1 = \frac{q_u}{a_1}, \quad B_1 = \frac{q_v}{a_1} \left(a_1 = \frac{1}{h} \int_0^h f_1(z) dz \right) \quad (22)$$

여기서 q_u, q_v 는 식 (18)에서 구한 外海開放境界의 水深平均된 流速의 U, V 성분이다.

3. 模型의 構成

本 研究에서는 既存에 제시된 主要 4개 分潮(M_2, S_2, K_1, O_1)에 追加로 4個 分潮(N_2, K_2, P_1, Q_1)의 潮汐模型을 樹立하였다. 格子의 解像度는 經度上 $1/12^\circ$,

緯度上 $1/12^\circ$, 5600個(70×80)의 格子體系(Fig. 2)로 格子當 緯度方向 約 7.5 km, 經度方向 約 9 km에 해당하는데 美國의 國立海洋大氣局(NOAA)의 Digital Bathymetric Data Base 5-minute(DBDB5) 水深資料로부터 取하였으며 水深의 分布를 Fig. 1에 等水深度로 나타내었다. Δt 의 採擇은 線形陽解 安定條件(Courant-Friedrich-Lewy, CFL)을 考慮하여 S_2 分潮의 경우 30秒로 採擇되었으며 各 分潮別 Δt 는 Table 1에 提示하였다.

1 潮汐週期當 半日週潮에 대하여 1440個, 日週潮에 대하여 2880個의 timestep을 이룬다. 分析을 위하여 安定된 潮汐體系을 보이는 10潮汐 週期째의 每格子點의 ζ, U 및 V 가 時間段階마다 貯藏되어 Fourier分析 및 조석분석에 이용되었다.

4. 模型의 算定結果 및 討議

各 分潮들의 結果를 이 海域의 가장 信賴性 있는 潮汐圖로 史料되는 Odamaki(1989)의 潮汐圖와 比較해 보았다.

4.1 半日週潮(M_2, S_2, N_2, K_2 分潮)

模型에 의하여 算定된 半日週潮의 潮汐圖를 Fig. 3-6에 提示하였다. 半日週潮 潮汐의 轉播樣相을 살펴보면 北太平洋에서 轉播되어오는 潮汐波가 日本 九州를 지나 濟州道를 거쳐 黃海 쪽으로 轉播되는 區域과 對馬島 북쪽 無潮點을 中心으로 반시계방향으로 회전을 하면서 轉播되는 兩 區域으로 나눌 수 있다. Fig. 3는 模型에 의하여 算定된 M_2 分潮의 潮汐圖이며, Fig. 7a, b는 Odamaki(1989)가 제시한 M_2 分潮의 等振幅圖와 等位相圖이다. 兩 개의 結果를 比較하였을 때 無潮點의 위치는 算定結果가 서쪽으로 $30'$, 북쪽으로 $30'$ 이동된 結果를 보이고 있으며 潮位는 東海附近에서는 5 cm 미만, 海峽部는 10-90 cm를 나타내며 類似한 結果를 보인다. Fig. 8a, b는 日本水路協會

Table 1. 各 分潮別 週期 및 Δt

分潮	週期(時間)	$\Delta t(\text{sec})$	分潮	週期(時間)	$\Delta t(\text{sec})$
M_2	12.42	31.05	K_2	11.97	29.92
S_2	12.00	30.00	N_2	12.66	31.65
K_1	23.93	29.91	P_1	24.07	30.08
O_1	25.82	32.28	Q_1	26.87	33.59

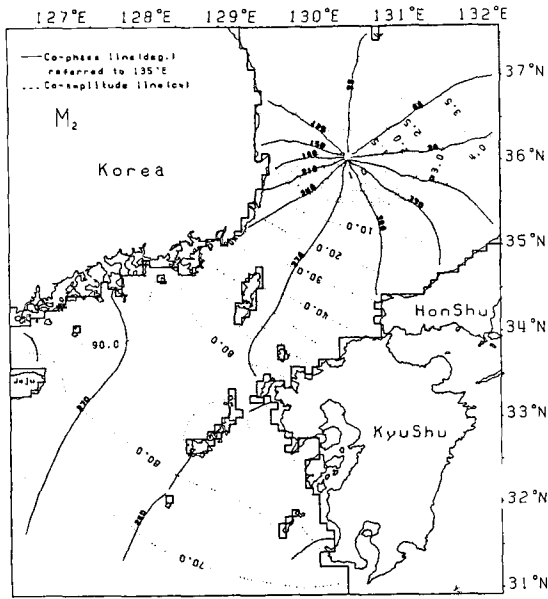


Fig. 3. Computed tidal chart of M_2 tide.

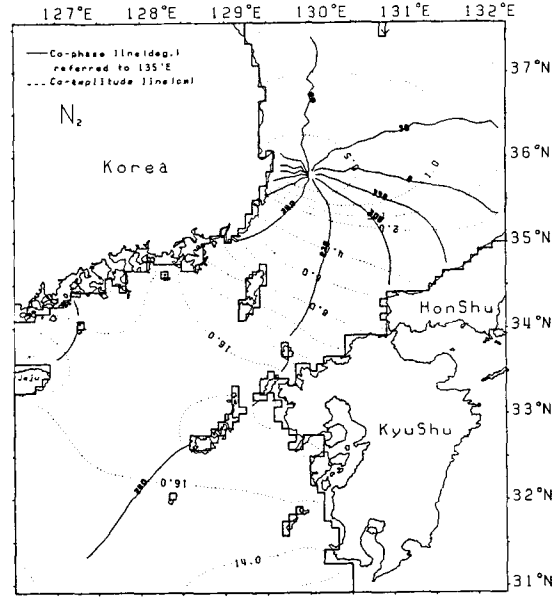


Fig. 5. Computed tidal chart of N_2 tide.

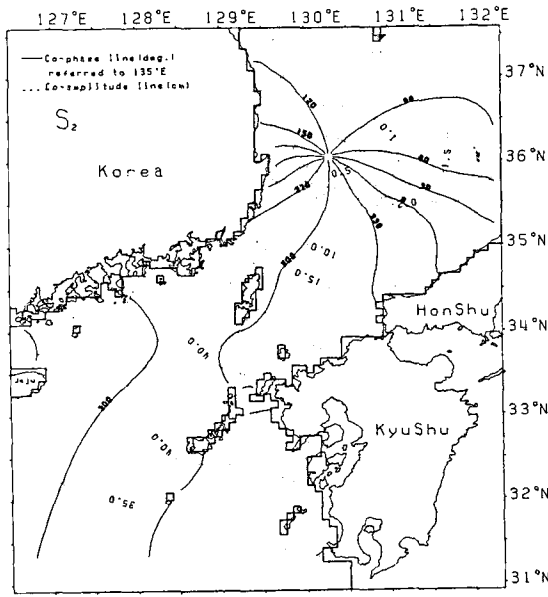


Fig. 4. Computed tidal chart of S_2 tide.

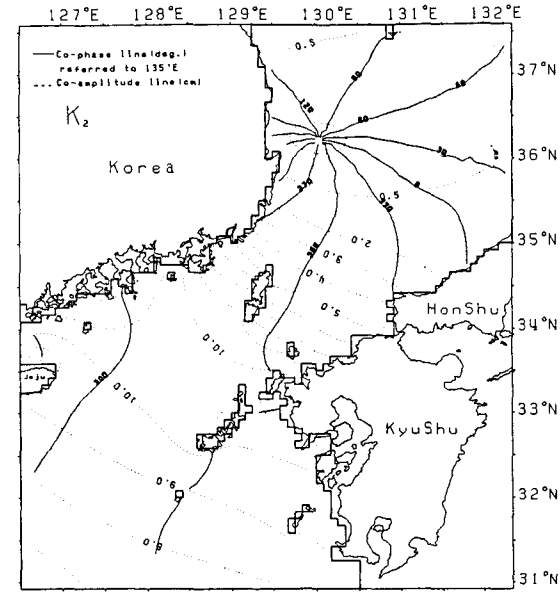


Fig. 6. Computed tidal chart of K_2 tide.

(1990)의 結果로 等潮時線은 비슷한 潮時를 보이고 있으나 無潮點의 位置는 정확히 알 수 없으며, 等振幅은 Odamaki(1989)와 本 模型의 結果에 비하여는 對馬島 北端부터 過多하게 算定된 結果를 볼 수 있다. S_2 分潮의 算定結果는 Fig. 4에 나타내었으며, 無潮點의

위치가 M_2 分조에 비해 韓國側으로 이동한 結果를 보인다. 潮時는 週期의 差異로 M_2 分潮에 비해 30°(1 시간)가량 늦으며 潮位差는 M_2 分潮의 50% 정도로 東海에서는 2 cm 미만, 海峽部는 10-40 cm 정도를 나타낸다. Fig. 8c, d는 日本水路協會의 結果로 M_2

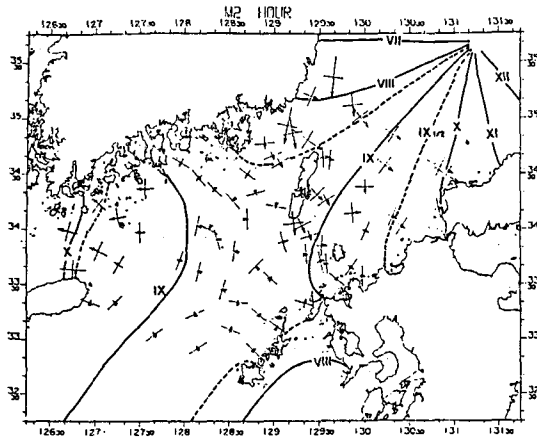


Fig. 7a. Co-tidal chart of M₂ tide by Odamaki (1989).

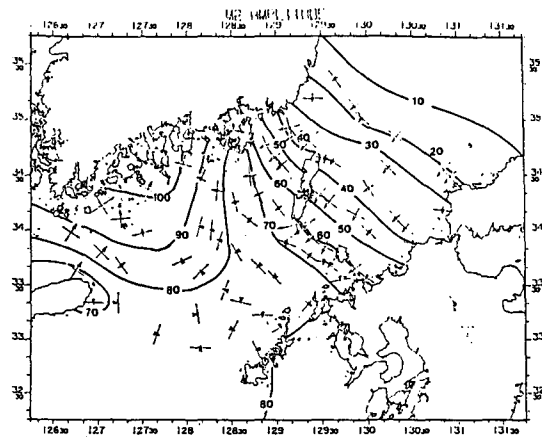


Fig. 7b. Co-range chart of M₂ tide by Odamaki (1989).

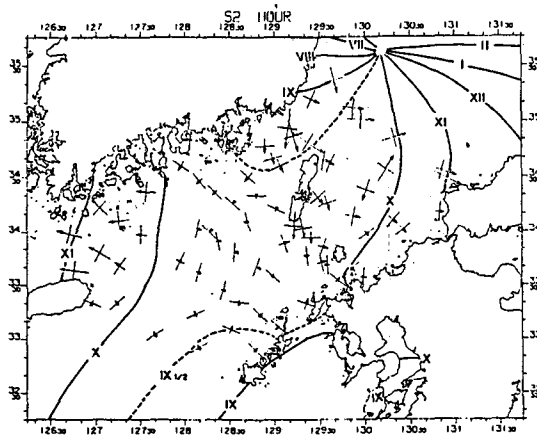


Fig. 7c. Co-tidal chart of S₂ tide by Odamaki (1989).

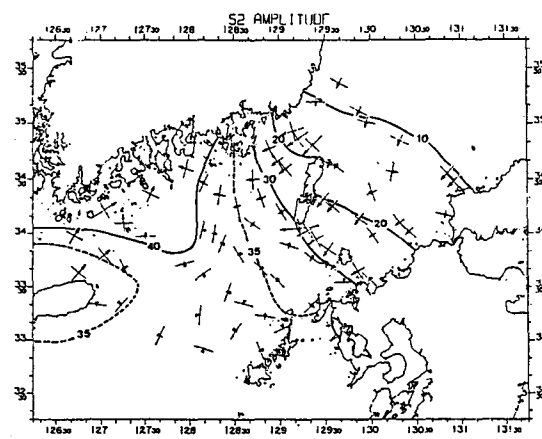


Fig. 7d. Co-range chart of S₂ tide by Odamaki (1989).

分潮와 같이 對馬島 北端에서 Odamaki와 本 模型에 비해 過多하게 算定된 結果를 보인다.

Fig. 5와 6은 N₂, K₂ 分潮의 模型에 의하여 算定된 潮汐圖다. 既存에 提示된 潮汐圖가 없어 沿岸에서의 觀測調和常數를 比較하였다. N₂ 分潮의 경우 東海에서의 조차는 2 cm 미만, 海峽部에서는 4-18 cm 정도를 나타내며, K₂ 分潮는 東海에서의 潮差는 1 cm 미만, 海峽部에서는 2-10 cm 정도를 나타낸다. N₂, K₂ 分潮의 無潮點은 M₂, S₂ 分潮에 비해 韓國側沿岸에 인접한 형태를 보이고 있다.

模型 結果의 定量的인 比較를 위하여 Fig. 1의 比較位置에서의 沿岸觀測 調和常數를 Table 2에 提示 하였으며, 全般的인 觀測值와의 比較는 Fig. 9에 提示 하였다. N₂ 分潮는 韓國側 南海岸에서 4.2 節의 K₂

分潮와 비슷한 크기를 나타내고 있으며, O₁ 分潮보다는 큰 값을 보이고 있고, K₂ 分潮는 O₁ 分潮와 크기가 비슷하다. 이것은 지금까지는 潮汐의 影響을 主 4個 分潮만으로 평가하는 傾向이 있는데 N₂, K₂ 分潮의 結果를 볼 때 N₂, K₂ 分潮 또한 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

다음의 潮流橢圓圖에 提示하는 時間들은 각 分潮의 週期를 12等分하여 1/4 時間마다 표시한 時間들이다. Fig. 10a, b는 M₂ 分潮의 표면과 底面에서의 潮流速度로서 표면에서의 潮流의 크기는 東, 西水道와 九州 및 五島列島 사이에서 25-30 cm/sec 정도를 보이며 海峽中央에서는 往復性, 濟州道 남쪽부에서는 該 '의 回轉性을 띠는 양상을 보이고 있다. 底面에 潮流의 '는 ' 면에 비해 60% 정도의 減少된

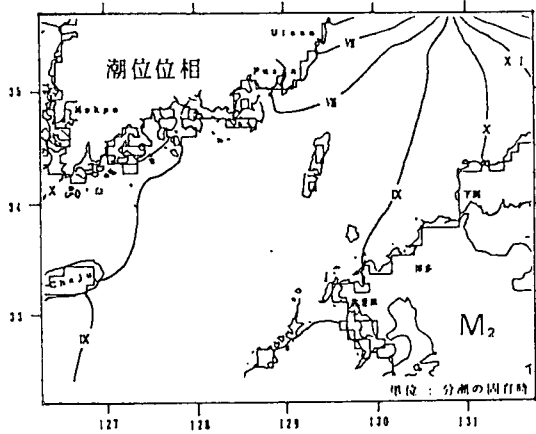


Fig. 8a. Co-tidal chart of M_2 tide by J.H.A. (1989).

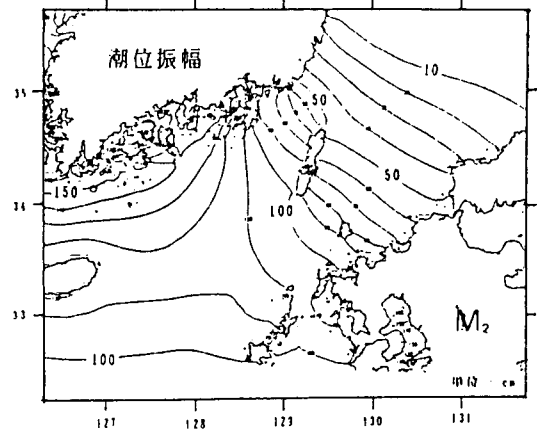


Fig. 8b. Co-range chart of M_2 tide by J.H.A. (1989).

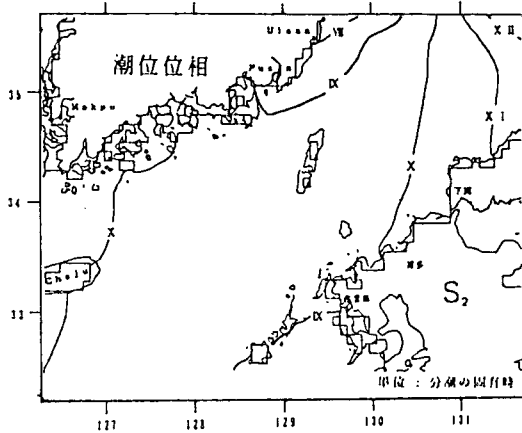


Fig. 8c. Co-tidal chart of S_2 tide by J.H.A. (1989).

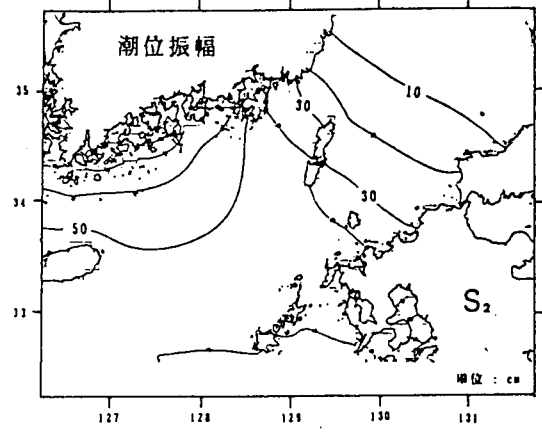


Fig. 8d. Co-range chart of S_2 tide by J.H.A. (1989).

형태를 보인다. Fig. 11은 Fig. 1의 T_4 位置에서의 M_2 分潮의 시간에 따른 鉛直流速分布로 海流觀測資料가 1個층 뿐이 入手되지 않아 鉛直分布의 精確한 比較를 할 수 없었다. 海峽을 따르는 動向成分(U)이 海峽을 가로지르는 北向成分(V)보다는 優세하며 東向成分의 경우 流速이 강한 때에는 表面과 底面의 流速差는 70% 정도를 보이고 있으며 유속의 방향이 바뀌는 時間에는 표면보다는 저면에서 큰 값을 보이고 있다. 그러나 北向成分은 흐름의 方向이 바뀌는 時間에서 表面과 底面의 流速이 거의 비슷한 크기를 보이고 있다.

M_2 分潮의 전반적인 조류의 형태는 Fig. 12와 Fig. 13의 Odamaki(1989)와 Fang과 Yang(1987)의 연구 결과와 비교해 보면 한국측연안과 대만측연안부

반시계방향, 海협중앙부에서는 시계방향의 흐름을 나타내 전체적으로 유사하게 나타났으나 T_4 위치에서의 관측조류조화상수와 산정치를 Table 3와 Fig. 17에 M_2 분조와 S_2 , N_2 , K_2 분조를 나타내었다. Fig. 14-16의 각 분조별로 타원도를 살펴보면 S_2 분조는 M_2 분조의 약 50%, N_2 분조는 30% 정도를 보이며 형태는 비슷한 양상을 나타내었다. K_2 분조는 다른 반일주조와 달리 제주도 남쪽에서 왕복성을 띠면서 M_2 분조의 20% 정도를 나타낸다.

4.2 日週潮(K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 分潮)

Fig. 18-21은 일주조의 조석도이다. Fig. 22a, b에 Odamaki(1989)가 제시한 K_1 분조의 조석도에는 無 潮點이 韓國側 蔚山沿岸에 近接한 形態를 보인다. Fig.

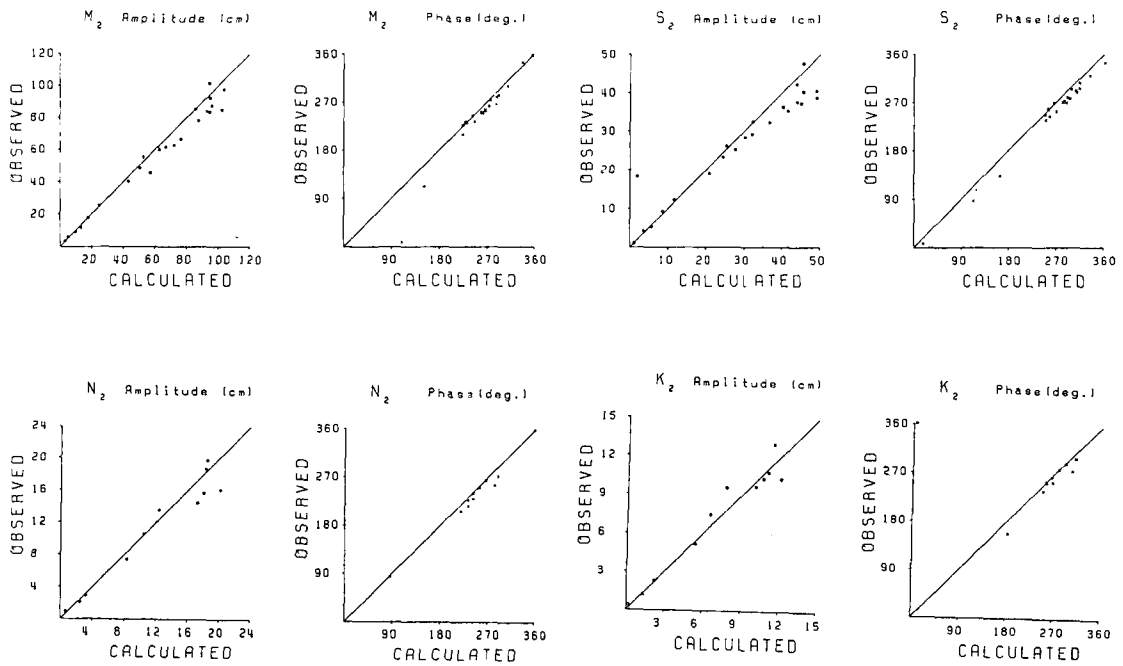


Fig. 9. Comparison between calculated and observed amplitude and phase of the M_2 , S_2 , N_2 , K_2 tide.

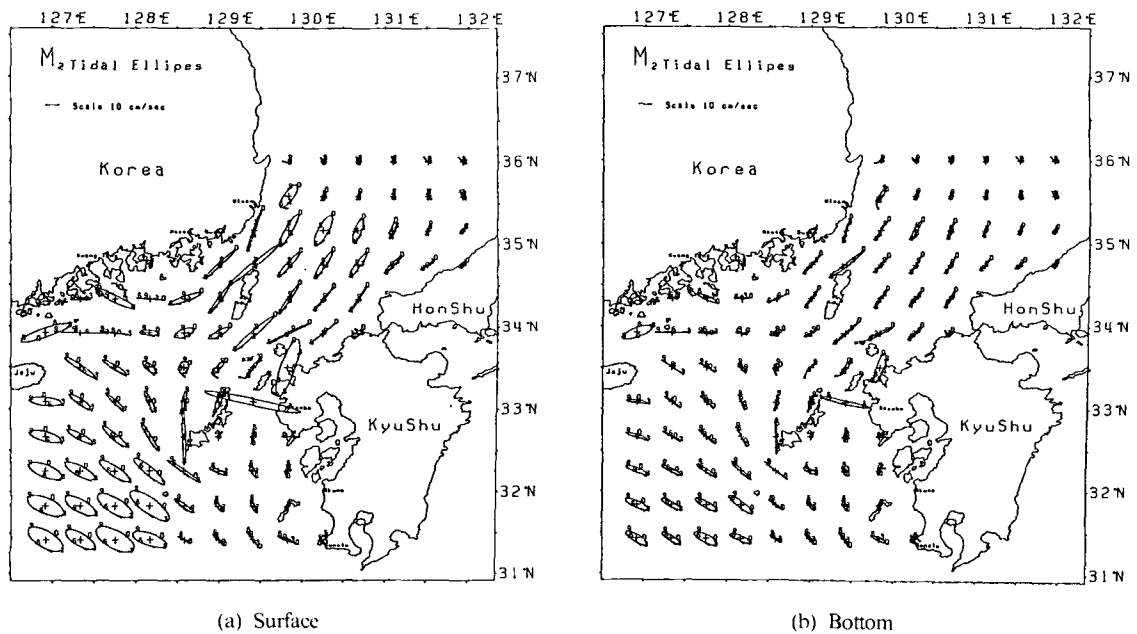


Fig. 10. Computed M_2 tidal current ellipses.

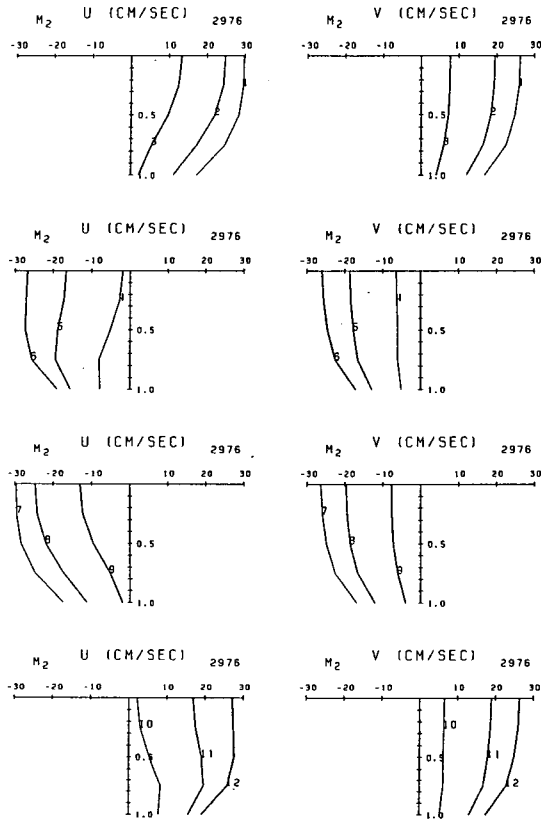


Fig. 11. Vertical velocity profile of the east and north components of M_2 tide at station at T_4 .

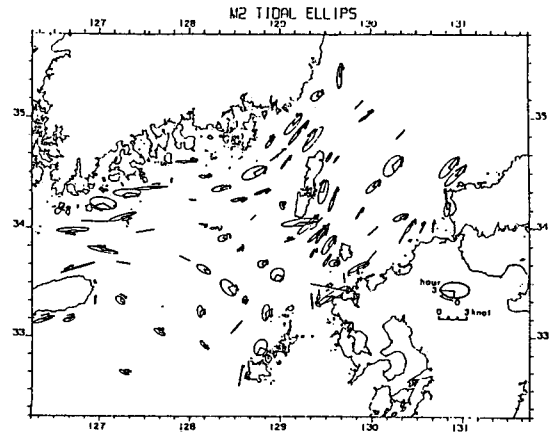


Fig. 12. Tidal current ellipses of M_2 tide by Odamaki (1989).

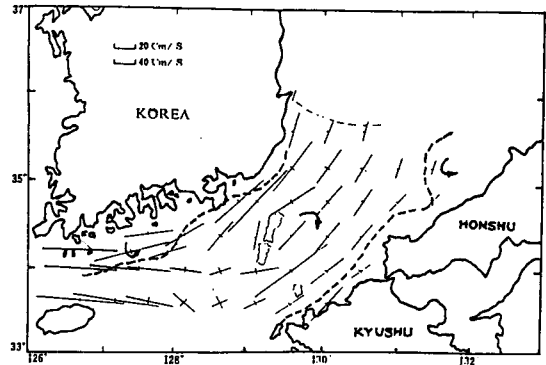


Fig. 13. Tidal current ellipses of M_2 tide by Fang and Yang (1987).

Table 3. T_4 位置 潮流의 觀測值과 計算值의 半日週潮 調和常數

分潮	E-W 방향				N-S 방향				
	觀測值		計算值		分潮	觀測值		計算值	
	H(m/s)	$g(^{\circ})$	H(m/s)	$g(^{\circ})$		H(m/s)	$g(^{\circ})$	H(m/s)	$g(^{\circ})$
M_2	0.241	6.3	0.312	356.8	M_2	0.144	349.2	0.286	347.1
S_2	0.100	26.9	0.141	30.4	S_2	0.063	16.6	0.132	21.4
N_2	0.053	5.7	0.065	345.9	N_2	0.034	357.0	0.059	336.5
K_2	0.027	26.9	0.035	26.2	K_2	0.017	16.6	0.032	17.4

分潮	E-W 방향				N-S 방향				
	觀測值		計算值		分潮	觀測值		計算值	
	H(m/s)	$g(^{\circ})$	H(m/s)	$g(^{\circ})$		H(m/s)	$g(^{\circ})$	H(m/s)	$g(^{\circ})$
K_1	0.219	301.3	0.207	292.7	K_1	0.108	271.5	10.161	280.1
O_1	0.174	265.2	0.204	271.3	O_1	0.073	237.9	0.155	258.2
P_1	0.073	301.3	0.070	283.6	P_1	0.036	271.5	0.054	270.9
Q_1	0.054	244.2	0.038	244.9	Q_1	0.024	196.3	0.029	231.9

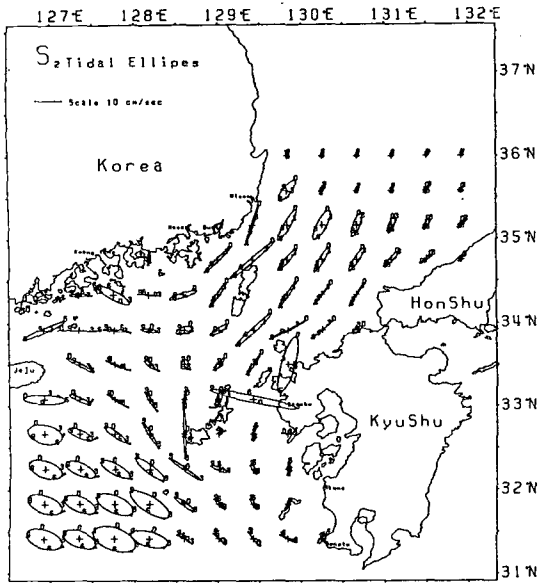


Fig. 14. Tidal current ellipses of S_2 tide at sea surface.

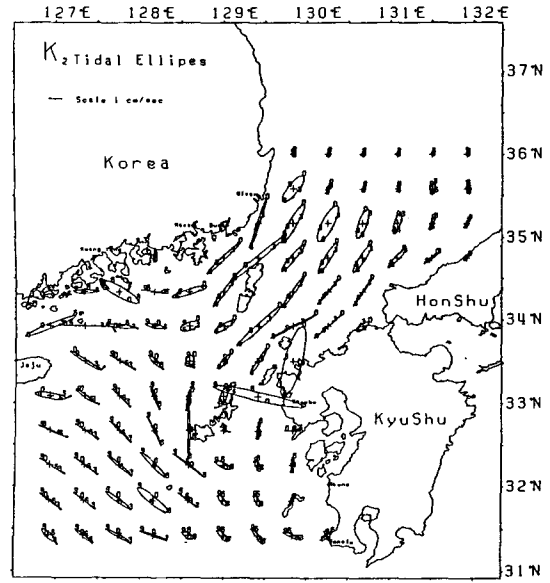


Fig. 16. Tidal current ellipses of K_2 tide at sea surface.

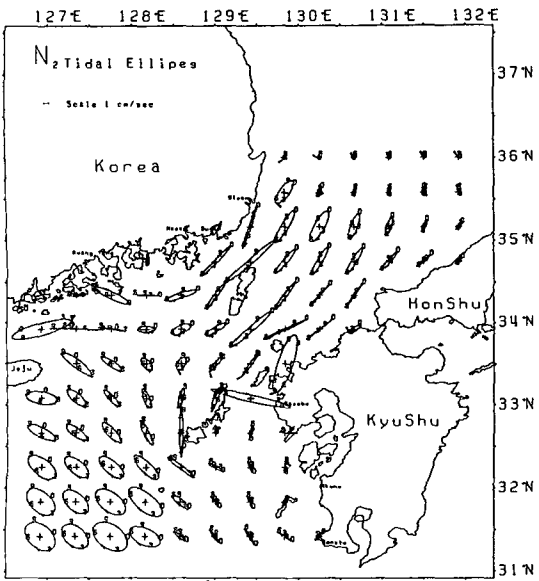


Fig. 15. Tidal current ellipses of N_2 tide at sea surface.

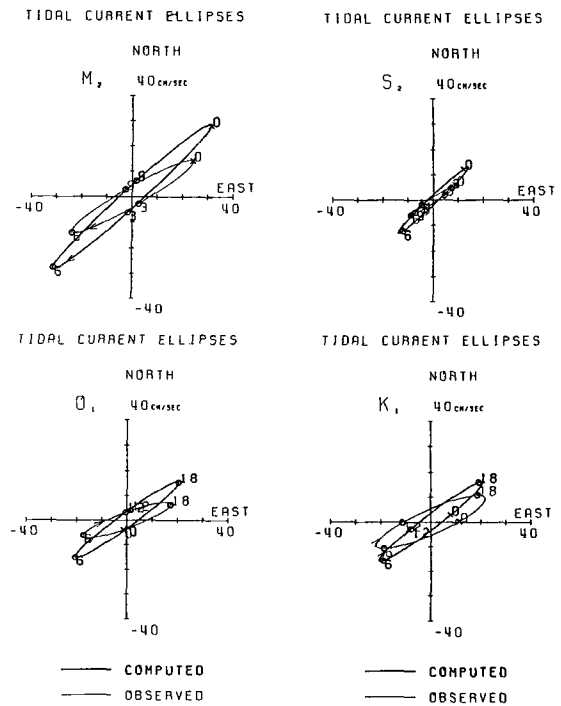


Fig. 17. Tidal current ellipses of the M_2 , S_2 , N_2 , K_1 tide at T_4 .

18은 본 模型의 結果로 韓國側에 近接은 하였으나 Odamaki의 結果보다는 조금 떨어진 結果를 보였다. Fig. 23a, b는 일본수로협회의 結果로 無潮點이 海峽 中間에 있는 結果를 보였다. 潮位는 無潮點이 韓國 側沿岸에 있어 西水道쪽의 結果를

보이며 無潮點附近에서 4-6 cm, 海협부에서 10-25 cm 정도를 보인다.

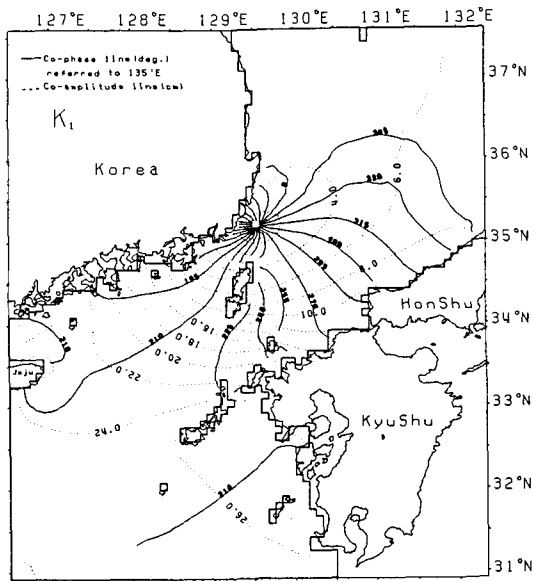


Fig. 18. Computed tidal chart of K_1 tide.

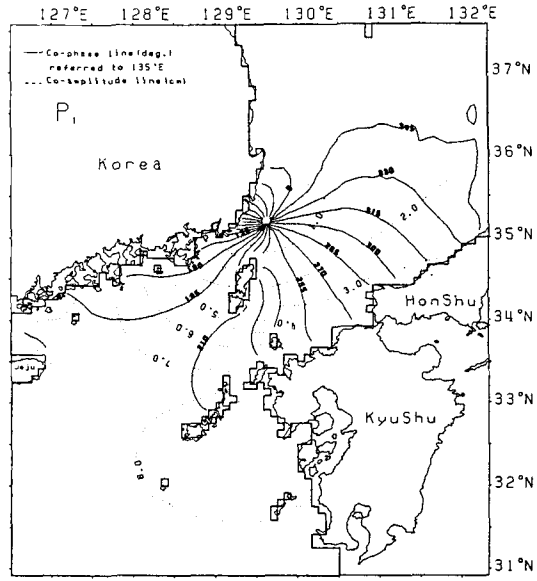


Fig. 20. Computed tidal chart of P_1 tide.

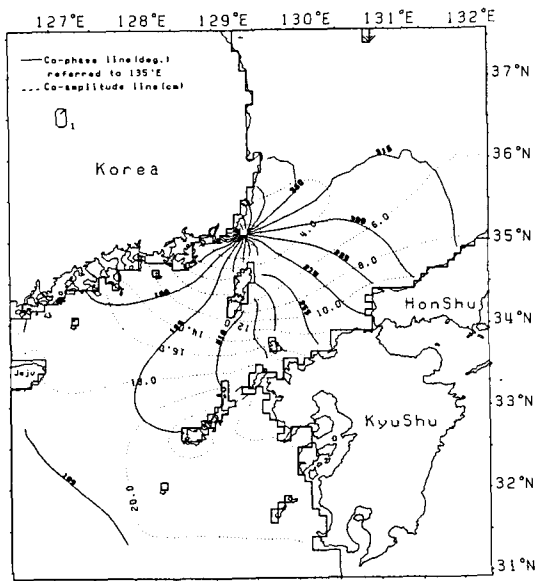


Fig. 19. Computed tidal chart of O_1 tide.

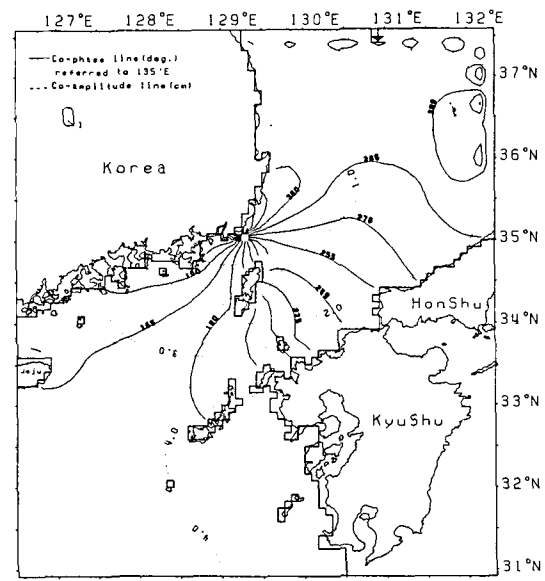


Fig. 21. Computed tidal chart of Q_1 tide.

Fig. 19의 O_1 分潮의 경우는 Fig. 22c, d의 Odamaki의 結果 보다는 북쪽에 있으나 비슷한 結果로 韓國側 釜山에 近接한 無潮點形態를 보였다. 그러나 Fig. 23c, d의 日本水路協會의 結果는 K_1 分潮보다는 韓國측으로 이동은 있으나 대마도 북측에 무조점을

제시한다. 조위는 무조점부근은 K_1 分潮와 비슷하고, 對馬島 南端에서는 4-5 cm 정도 작은 結果를 보인다. Fig. 20과 21은 P_1 , Q_1 분조의 潮汐圖로 N_2 , K_2 분조와 같이 沿岸潮位觀測 調和常數와 比較가 이루어져 Table 4와 Fig. 1에 比較적으로 비슷한 結

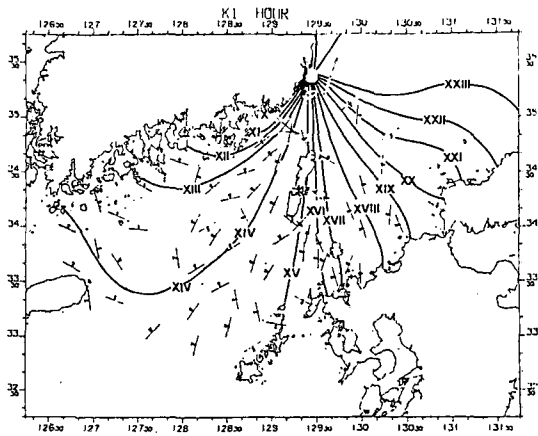


Fig. 22a. Co-tidal chart of K_1 tide by Odamaki (1989).

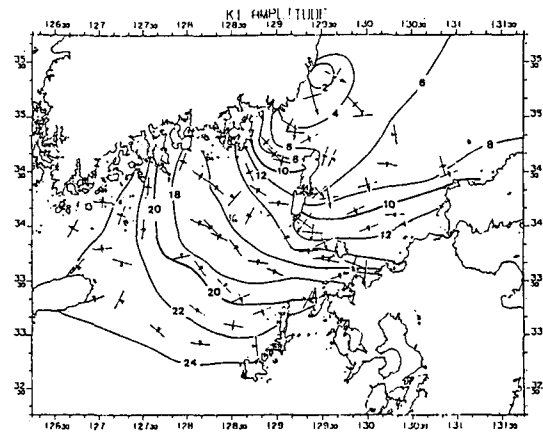


Fig. 22b. Co-range chart of K_1 tide by Odamaki (1989).

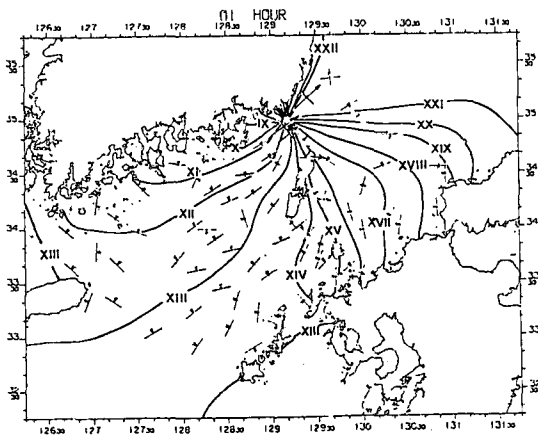


Fig. 22c. Co-tidal chart of O_1 tide by Odamaki (1989).

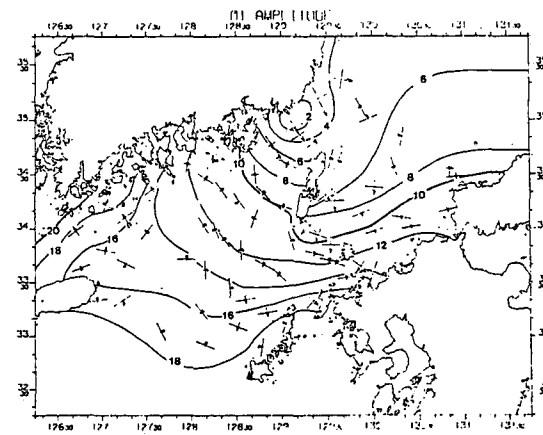


Fig. 22d. Co-range chart of O_1 tide by Odamaki (1989).

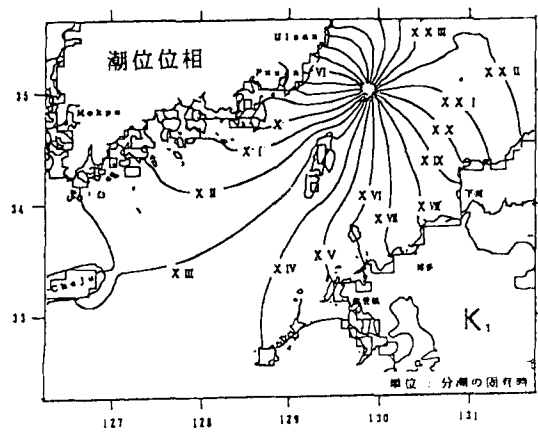


Fig. 23a. Co-tidal chart of K_1 tide by J.H.A. (1990).

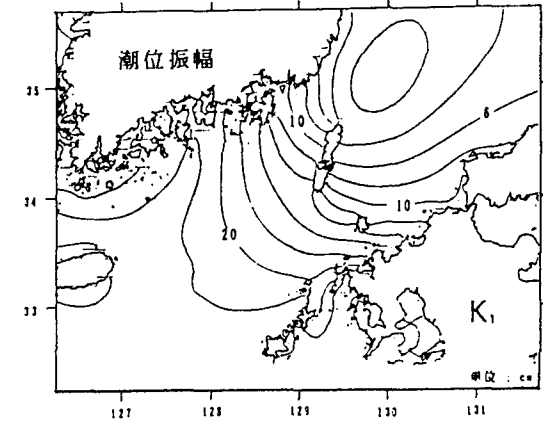


Fig. 23b. Co-range chart of K_1 tide by J.H.A. (1990).

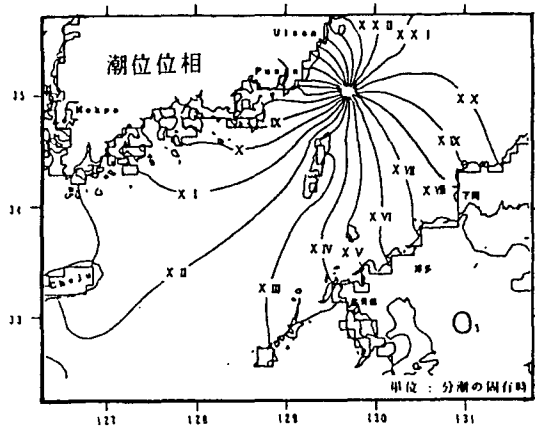


Fig. 23c. Co-tidal chart of O_1 tide by J.H.A. (1990).

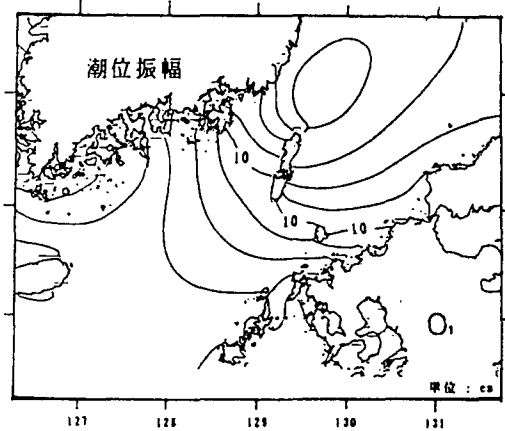


Fig. 23d. Co-range chart of O_1 tide by J.H.A. (1990).

果를 보이며 觀測結果와도 一致하는 結果를 보이고 있다. 그러나 Q_1 의 경우 동해쪽 境界부근에서 潮時線이 불안한 形態를 나타내고 있어 境界條件의 改善이 必要하다.

Fig. 25a, b-26a, b는 K_1 , O_1 분조의 표층과 저층의 조류타원도며 Fig. 27과 28은 P_1 , Q_1 분조의 표층의 조류타원도이다. 潮流特性은 半日週潮와 비슷하고 濟

州道 南쪽에서 半日週潮보다 回轉性을 더하는 形態를 보이고 있다. 半日週에는 보이지 않지만 日週潮에서는 緯度 132°부근에서 淺海와 東海의 깊은水深이 만나는 境界에서 흐름이 커지는 현상이 일어나는데 Isoda와 Murayama(1993)의 研究에 따르면 K_1 分潮보다는 O_1 分潮가 크게 觀測된다고 보고 되었으나 본 模型에서는 反對로 K_1 分潮가 크게 나오기는 하였으나

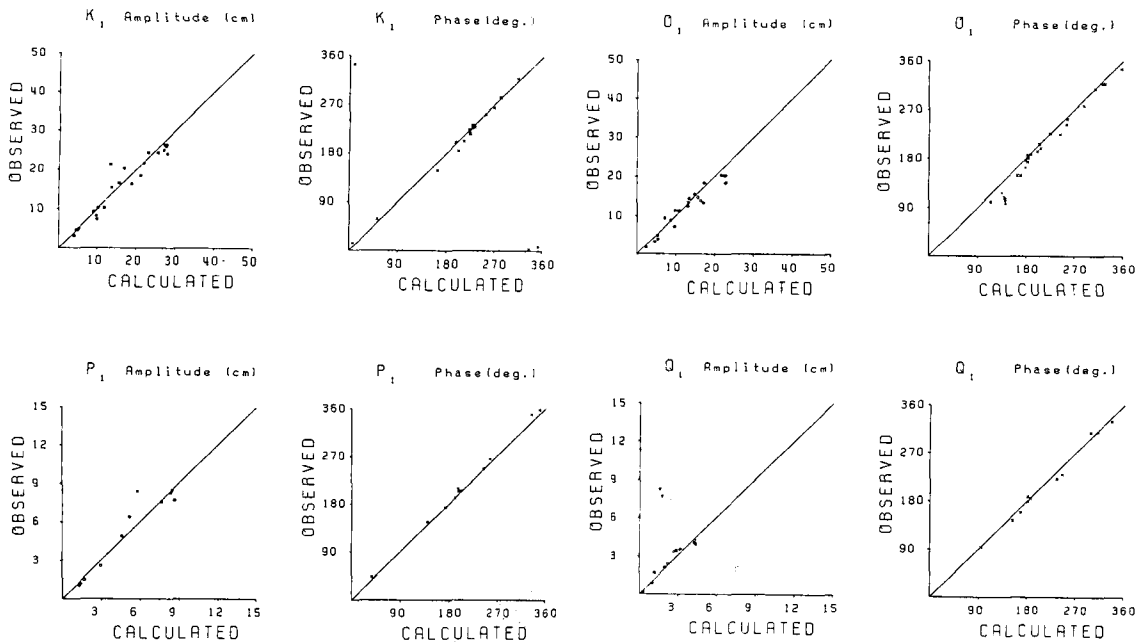


Fig. 24. Comparison between calculated and observed amplitude and phase of the K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 tide.

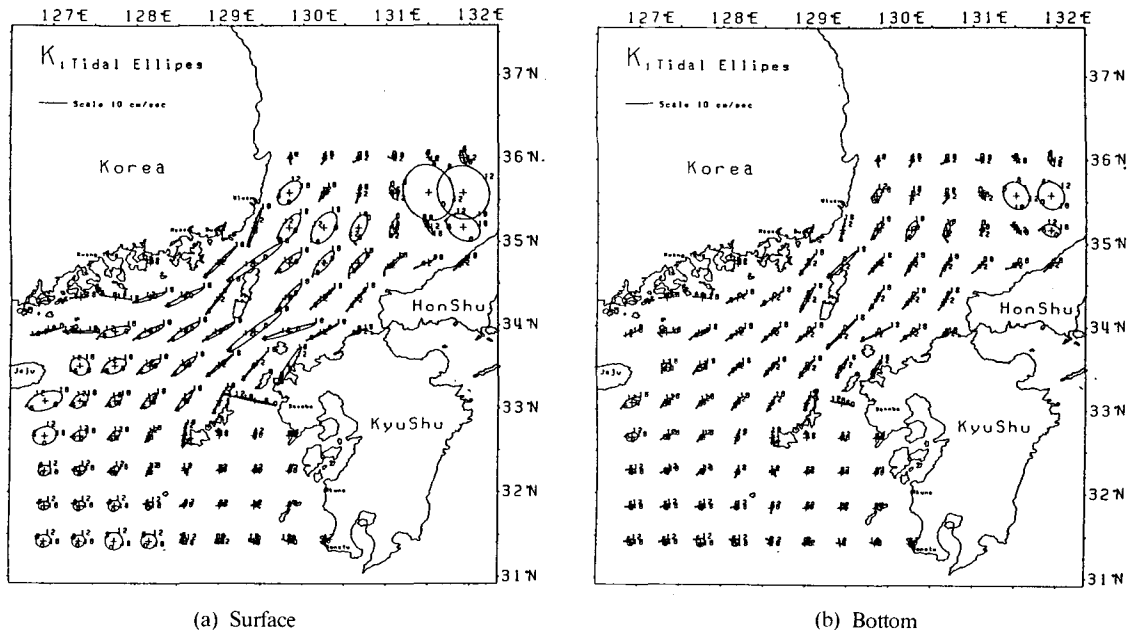


Fig. 25. Computed K_1 tidal current ellipses.

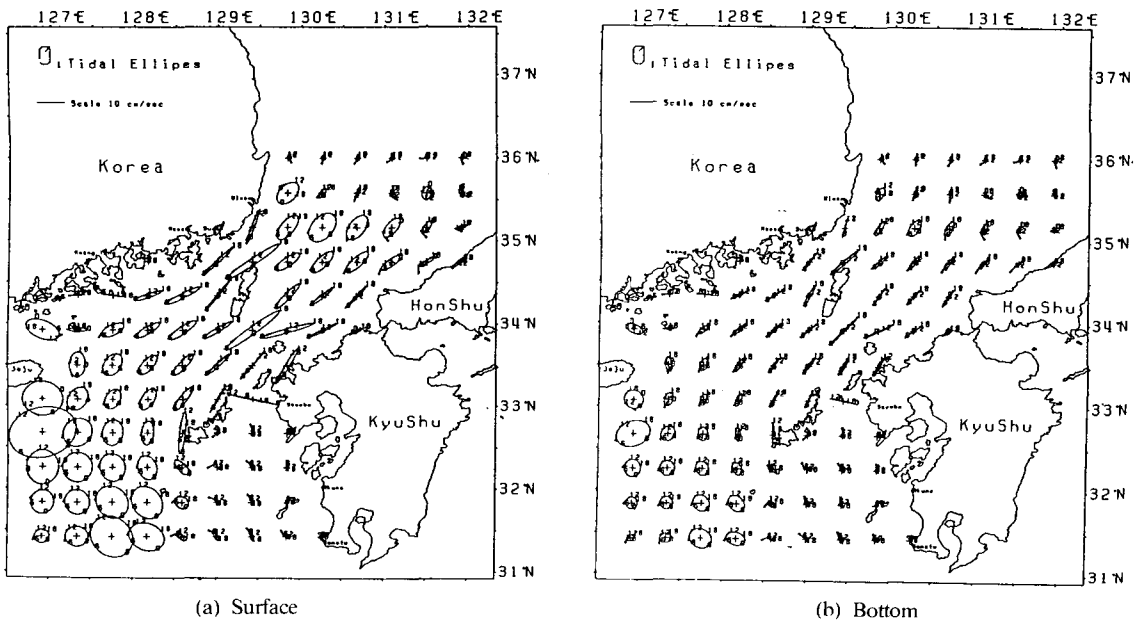


Fig. 26. Computed O_1 tidal current ellipses.

日週潮의 유속이 增加되는 현상은 일어나고 있었다. 이 원인은 모형의 경계가 132°에 인접하였기 때문인 것으로 사료된다. Fig 29는 T_4 位置의 K_1 分潮의 時間의 따른 鉛直流速分布로 해협흐름의 主方向이 아닌

北向成分(V)은 표층과 저층의 變化가 적게 나타났다. 조류관측역시 비교가 이루어져 Table 5와 Fig. 30의 조류타원도로 제시하였다.

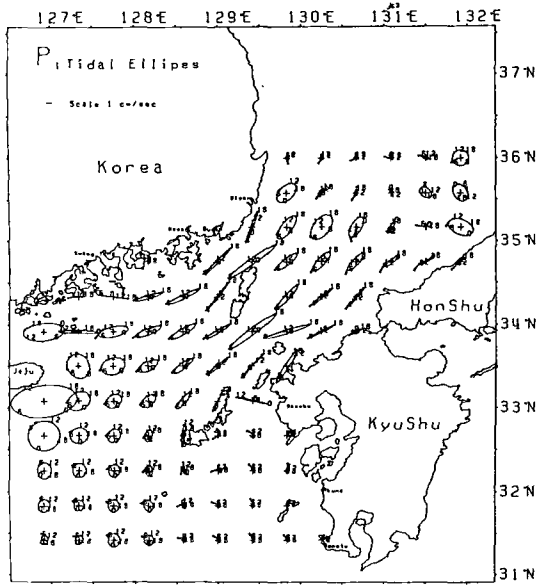


Fig. 27. Computed P_1 tidal current ellipses at sea surface.

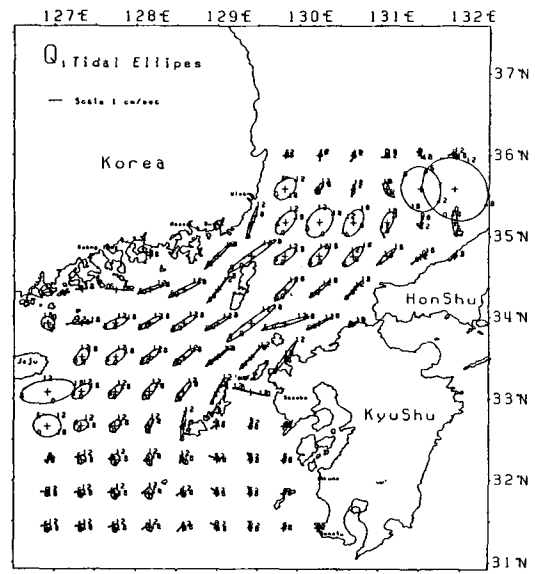


Fig. 28. Computed Q_1 tidal current ellipses at sea surface.

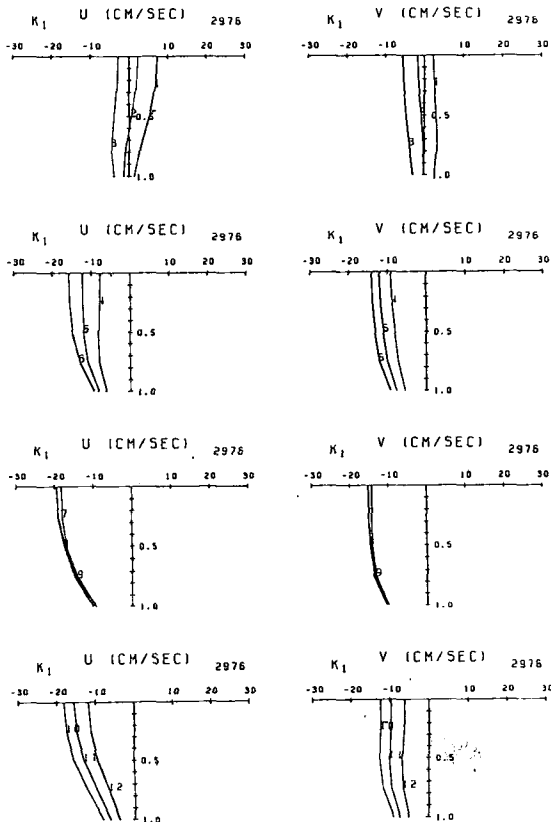


Fig. 29. Vertical velocity profile of the east and north components of K_1 tide at station at T_4 .

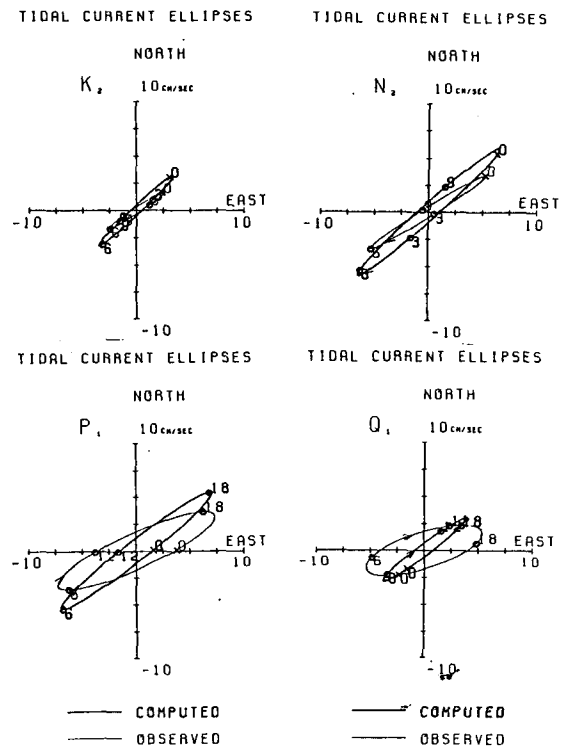


Fig. 30. Tidal current ellipses of the K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 tide at T_4 .

5. 結 論

本 研究에서는 大韓海峽에서의 M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 分潮들에 대한 潮汐模型을 樹立하여 各各의 分潮에 대한 潮汐圖를 作成하였다. 既存의 4個 分潮는 日本水路協會(1990)에서 提示한 結果 外는 Odamaki(1989)의 結果와 一致하였다. 追' 4個 分潮는 沿岸觀測值들과 既存 4個 分潮들과 傳播形態를 比較해 보면 各 分潮들의 潮汐體系를 滿足스럽게 算定하였다고 思料된다. 潮流의 比較가 1個 層에 局限되어 鉛直構造를 仔細하게는 記述치 못하였으나 보다 많은 觀測資料의 確保로 仔細한 鉛直構造를 糾明할 수 있을 것이다. 또한 더 細密한 격자망을 갖는 模型으로의 改善이 필요할 것으로 思料된다.

謝 辭

大韓海峽의 流速計資料는 日本九州大學 應用力學 研究所의 川建和雄教授로부터 提供받은 바 이에 謝意를 表한다.

참고문헌

- 國立水產振興院, 1979. 韓國海洋便覽(제3판)
 國立地理院, 1983. 우리나라 精密水準網에 關한 研究(우리나라 主要港灣의 平均海面및 潮位分析)
 日本水路協會, 1990. 重要海域의 海況豫測用 데이터-블의 整備(對馬海峽を中心とする九州北西岸域).
 崔秉昊, 1983. 京畿灣의 3次元 流動解析모델. 韓國海洋學會誌, 第18卷 第1號, pp.10-20.
 Choi, B.H., 1980. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea. Korea Ocean Research and Development Institute(KORDI) Rep. 80-02.
 Choi, B.H., 1984. A three-dimensional model of the East China Sea. Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Sea. pp. 209-224.
 Choi, B.H. and Suh, K.S., 1992. Computation of meteorologically-induced circulation on the East China Sea using a fine grid three-dimensional numerical model. *J. Korean Soc. of Coastal and Ocean Engineers*, Vol.4, No.1, pp. 45-58.
 Choi, B.H., 1993. Current observations in the Yellow Sea and the East China Sea Continental Shelf. *J. Korean Soc. of Coastal and Ocean Engineers*, Vol.5, No.4, pp. 414-426.
 Choi, B.H. and Lee, H.J., 1993. A Tidal model of the East Sea. *J. Korean Soc. of Coastal and Ocean Engineers*, Vol.5, No.3, pp. 250-262.
 Davies, A.M. 1980. Application of numerical models to the computation of the wind-induced circulation of the North Sea during JONSDAP76. Meteor Forschungs-Ergebnisse, Reihe A No.22 Seite 53-68.
 Davies, A.M. and Furnes, G.K. 1980. Observed and computed M_2 tidal currents in the North Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, Vol.10, pp. 237-257.
 Doodson, A.T. and Warburg, H.D. 1941. Admiralty Manual of Tides. Hydrogr. Dep. Admiralty, London.
 Fang, G., 1986. Tide and tidal current charts for the marginal seas adjacent to China. *Chinese J. of Oceanology and Limnology*, Vol. 4, No. 1, pp.1-16.
 Fang, G. and Yang, J., 1987. Modeling and prediction of tidal current in Korea Strait. Proceeding of the Second JECSS Workshop.
 Flather, R.A. and Heaps, N.S., 1975. Tidal computations for Morecombe Bay. *Geophys. J. R. Soc.* No.42, pp. 489-517.
 Heaps, N.S., 1972. On the numerical solution of the three dimensional hydrodynamical equations for tides and storm surges. *Mem. Soc. R. Sci. Liezeres*. Vol.6, No.2, pp. 143-180.
 Heaps, N.S., 1973. Three Dimensional numerical model of the Irish Sea. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, Vol.35, pp. 99-120.
 Isoda, Y. and Murayama, T., 1993. Diurnal shelf waves off Hamada on San'in coast. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, Vol.49, pp. 71-88.
 Japan Oceanographic Data Center, 1984. Tidal Harmonic Constants Catalogue. *JODC Catalogue* No.4, pp. 115
 Kang, S.K., Lee, S.R. and Yum, K.D., 1991. Tidal component of the east chian sea, the Yellow Sea and the East Sea. (ed) K. Takano, Elsevier, pp. 25-48.
 Nishida, H., 1980. Improved tidal chats for the western part of the north Pacific Ocean, Rep. of Hydrogra., No.15.
 Odamaki, M., 1989. Tides and tidal currents in the Tusima strait. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, Vol.45, pp. 65-82.
 Ogura, S., 1933. The tides in the seas adjacent to Japan. *Bull. Hydrogr. Dep.*, 7, pp. 1-189.