

京畿灣의 三次元 流動 解析모델

崔 秉 昊

成均館大學校 土木工學科

要 約

京畿灣의 三次元 流動 解析모델이 開發되었으며 이 모델을 利用하여 定常均一風인 10 dyne/cm²의 剪斷強度를 갖는 北西風 및 西風에 依한 京畿灣의 反應을 數值實驗하였다. 算定된 바람應力에 依한 三次元 海流分布가 檢討되었다. 모델은 또한 京畿灣의 主要한 物理現象인 主太陰半日週潮(M₂)의 分布를 算定하는데 利用되었는데 潮流의 三次元 分布에 對한 初期結果가 提示되고 討議되었다.

序 言

本 研究는 Heaps(1973)의 積分變換法을 利用한 모델技法을 適用하여 京畿灣의 三次元 海水流動現象을 敘述한다. 前回의 研究(Choi, 1981)에서는 垂直積分된 運動方程式 및 連續方程式을 基礎로 하는 非線形 2次元 動力學的 數值모델로서 京畿灣의 潮汐 및 定常均一風에 依한 海面變化가 考察되었었다. 이러한 2次元모델은 潮汐의 主分潮의 振幅과 遲角을 相當한 精密度로 再現시킬 수 있었으며 暴風海溢에 關聯하여서는 水位 및 海流變化를 沿岸工學的인 側面에서 滿足할 만하게 算定할 수 있었다. 反面에 潮汐非對稱現象, 密度勾配, 緩漫히 變하는 氣象影響 및 平均海面勾配에 依한 長期的인 殘差流(恒流)에 對한 모델 研究는 비로소 試圖되는 段階에 있다. 또한 2次元모델에 依해서는 바람에 依한 海流分布를 滿足스럽게 說明할 수 없다고 報告되었었다(Davies, 1980).

近來에 水深變化에 따른 水平成分의 海流分布를 알기 爲한 3次元모델에 依한 研究가 淺海의 海水循環形態를 좀 더 確實히 糾明키 爲한 海洋學的인 觀點에서 活潑하다. 또한 工學的인 觀點에서는, 外洋의 採油施設에 作用하는 海流에 依한 外力, 表層海流에 依한 油類擴散, 浮遊砂 및 掃流砂의 移動現象을 糾明하기 爲하여 해류의 수직 분포에 對한 資料가 必然的으로 要求되고 있다.

本 研究의 目的은 Irish海의 循環研究에 滿足스럽게 利用된 3次元 모델技法(Heaps, 1973; Heaps & Jones, 1975)을 利用하여 西海岸 京畿灣의 3次元모델을 開發하고 이를 擴大適用하여 窮極的으로는 黃海와 東支那海의 循環形態를 糾明하는 데 있으며 附隨的으로 京畿灣一帶의 沿岸開發事業에 必要한 沿岸水의 流動現象에 對한 資料를 提供하는 데 있다.

基本方程式과 境界條件

非線形項, 起潮力, 水平氣壓勾配 및 垂直方向의 加速項을 無視한 3次元 連續方程式과 運動方程式은 海水密度가 均一하다는 假定下에 直交座標系에서 아래와 같이 表示될 수 있다(Heaps, 1973).

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_0^h u dx + \frac{\partial}{\partial y} \int_0^h v dz = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \gamma v = -g \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial F}{\partial x}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \gamma u = -g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial G}{\partial z}, \quad (3)$$

여기서

- x, y 東向, 北向의 平面上의 直交座標系,
- z 攪亂되지 않은 海面下의 水深,
- t 時間,
- ξ 攪亂되지 않은 海面上 海水位,
- u, v 水深 z 에서의 x, y 方向의 流速成分,
- ρ 海水密度
- γ geostrophic coefficient

g 重力加速係數

F, G x, y 方向의 수심 z 에서의 内部摩擦應力이며 下記와 같이 提示된다.

$$F = -\rho N \frac{\partial u}{\partial z}, \quad G = -\rho N \frac{\partial v}{\partial z}, \quad (4)$$

N 은 垂直渦粘性係數(coefficient of vertical eddy viscosity)로서 本 研究에서는 x, y 와 t 에 獨立의이며, $\frac{h}{N}$ 는 常數를 취하여 수심이 증가할 수록 N 값은 증가하는 데 이 特殊한 境遇가 Heaps가 提示한 積分變換에 依한 解를 可能토록 하였다. 上記式에서 海水位와 海流를 求하기 爲해서는 海水表面 및 海底에서 境界 條件이 明示되어야 한다.

海水表面($z=0$)에서는

$$-\rho \left(N \frac{\partial u}{\partial z} \right)_0 = F_s, \quad -\rho \left(N \frac{\partial v}{\partial z} \right)_0 = G_s,$$

類似하게 海底($z=h$)에서는 아래와 같은 海底滑動條件이 明示된다.

$$-\rho \left(N \frac{\partial u}{\partial z} \right)_h = k\rho u_h, \quad -\rho \left(N \frac{\partial v}{\partial z} \right)_h = k\rho v_h, \quad (5)$$

但 k 는 海底摩擦係數이다.

海水의 運動이 靜止狀態의 流體로부터 外力函數인 F_s 와 G_s 에 의해 誘發된다고 할 때 式(1)(2)(3)은 모든 格子點에서 $t=0$ 일때 $\xi=u=v=0$ 인 初期條件에 從屬한다. Heaps(1972, 1973)가 取한 方法에 따라 式(2)를 $0 \leq z \leq h$ 範圍의 微分可能한 函數 $f(x)$ 로 解해주고 $z=0$ 에서 $z=h$ 까지 積分하며 더불어 F_s 와 G_s 를 除去하기 爲해 式(4)를 利用하면 다음 式이 된다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \gamma v = -ga \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{1}{h} \int_0^h f(x) \frac{\partial}{\partial x} \left(N \frac{\partial u}{\partial z} \right) dz, \quad (6)$$

여기서

$$u = \frac{1}{h} \int_0^h f(x) u dz, \quad v = \frac{1}{h} \int_0^h f(x) v dz, \\ a = \frac{1}{h} \int_0^h f(x) dz. \quad (7)$$

또한 下記式들을 滿足시키기 爲한 $f(x)$ 를 選擇한다.

$$\frac{d}{dz} [Nf'(z)] = -\lambda f(z), \quad (8)$$

$$f'(0) = 0, \quad (9)$$

$$N_h f'(h) + kf(h) = 0, \quad (10)$$

$$f(0) = 1, \quad (11)$$

여기서 $f' = df/dx$ 이며 境界條件(4)(5)를 利用하면 式(6)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \lambda u - \gamma v = -ga \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{F_s}{\rho h}. \quad (12)$$

類似하게 式(3)은 下記와 같이 된다.

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \lambda v + \gamma u = -ga \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{G_s}{\rho h}. \quad (13)$$

一定한 작을 갖기 爲한 λ, f 는 下記와 같다.

$$\lambda = \lambda_r, \quad f = f_r(z), \quad r = 1, 2, 3, \dots, \infty \quad (14)$$

여기서 λ_r, f_r 은 式(9)(10)(11)의 條件에 從屬의 인 式(8)의 解에 關聯된 eigenvalue와 eigenfunction들이다.

$$u_r = \frac{1}{h} \int_0^h f_r(z) u dz, \quad v_r = \frac{1}{h} \int_0^h f_r(z) v dz, \\ a_r = \frac{1}{h} \int_0^h f_r(z) dz \quad (15)$$

로서 定義할 때 式(12)(13)은 아래와 같다.

$$\frac{\partial u_r}{\partial t} + \delta_r u_r - \gamma v_r = -ga_r \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{F_{s_r}}{\rho h}, \quad (16)$$

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} + \lambda_r v_r + \gamma u_r = -ga_r \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{G_{s_r}}{\rho h}, \quad (17)$$

但 $r = 1, 2, 3, \dots, \infty$.

Heaps(1972)는 流速의 두 成分 u, v 를 다음과 같이 提示하였다.

$$u = \sum_{r=1}^{\infty} \varphi_r u_r f_r(z), \quad v = \sum_{r=1}^{\infty} \varphi_r v_r f_r(z), \quad (18)$$

여기서 $\varphi_r = h / \int_0^h f_r^2(z) dz$. (19)

連續方程式(1)에 u, v 를 展開하기 爲해 式(18)을 代入하면

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (ha_r \varphi_r u_r) + \frac{\partial}{\partial y} (ha_r \varphi_r v_r) \right\} = 0. \quad (20)$$

$\lambda_r, \varphi_r, a_r$ 은 水深座標 z 에 對해 N 값이 均一 할 때 ($N = N(x, y)$, $kh/N = \text{一定}$) 아래와 같이 求해져는 것을 Heaps는 提示하였다.

$$f_r = \cos \alpha_r z, \quad (s = z/h), \quad (21)$$

$$\lambda_r = N \alpha_r^2 / h^2, \quad (22)$$

$$a_r = 1/\alpha_r \sin \alpha_r, \quad (23)$$

$$\varphi_r = 2/(1 + a_r \cos \alpha_r), \quad (24)$$

α_r 은 r 번째 陽數의 根이며 아래와 같다.

$$\alpha \tan \alpha = C \quad (C = kh/N). \quad (25)$$

實際的으로 有限한 組合의 eigenvalue와 eigenfunction이 考慮되는 데 $r=1, 2, 3, \dots, M$ 이 考慮된다. 式 (16)(17)(20)은 時間에 따라 ξ, u, v 에 對해 充分히 큰 M 값에 對해 Inverse Transformation에 依해 數值的으로 解가 求해진다.

$$u = \sum_{r=1}^M \varphi_r u_r \cos(\alpha_r s) + \frac{2hF_s}{\rho N \pi^2} R_M(s), \quad (26)$$

$$v = \sum_{r=1}^M \varphi_r v_r \cos(\alpha_r s) + \frac{2hG_s}{\rho N \pi^2} R_M(s), \quad (27)$$

$$R_M(s) = (3s^2 - 6s + 2) \frac{\pi^2}{12} - \sum_{r=1}^{M-1} \frac{\cos(r\pi s)}{r^2}. \quad (28)$$

式 (26)(27)을 水深에 對해 積分하면 水深平均된 流速을 爲한 有限한 合들이 된다.

$$\bar{u} = \sum_{r=1}^M \varphi_r u_r a_r, \quad \bar{v} = \sum_{r=1}^M \varphi_r v_r a_r, \quad (29)$$

式 (16)(17)(20)을 式 (21)(22)(23)(24)와 함께 有限差分形으로 表示하면 時間에 따라 空間系의 $\xi, u_r (r=1, 2, 3, \dots, M), v_r (r=1, 2, 3, \dots, M)$

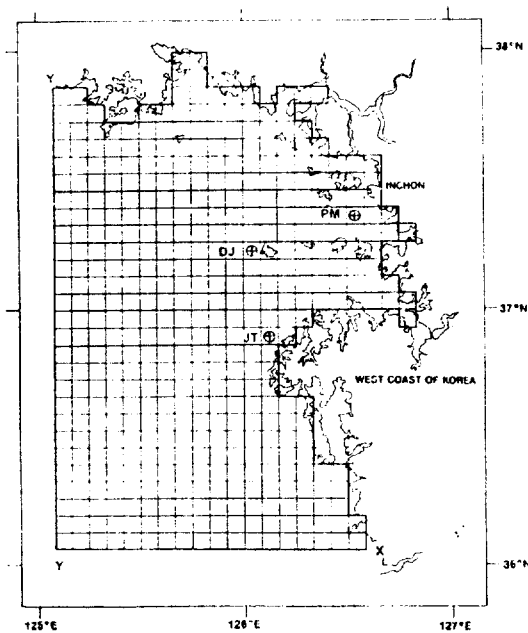


Fig. 1. Finite-difference grid of three-dimensional Kyonggi Bay model with square mesh of side 4 nautical miles. XX and YY delineates the open boundary. ⊕ points for vertical profile of tidal currents are presented.

을 求할 수 있는 數值解析의 time-stepping 過程을 形成할 수 있다. 따라서 每 時間 間隔마다 任意의 水深의 水平方向 流速이 式(26)(27)로부터 求해지며 水深平均된 流速은 式(29)로부터 求할 수 있다.

數 值 모 델

式(16)(17)(20)은 Fig. 1에 提示된 有限格子體系를 利用하여 京畿灣의 海水流動을 爲해 數值的으로 풀이되었다. 格子體系는 格子間隔이 4海里(7.41km)로서 23個行과 31個列의 配列로서 構成되었으며 x 方向의 格子線은 北緯 37°에 平行하게 y 方向 格子線은 東經 126°에 平行하게 構成되었다. Fig. 2와 Fig. 3에 提示된 格子體系를 보면 ○으로 表示된 ξ 點과 +로 表示된 u 點과 ×로 表示된 v 點으로 $i=713$ 의 格子要素들이 構成되며 各 要素에서의 變數들은 다음과 같다.

i 要素의 ξ 點: $\xi = \xi_i, h = h_i$

i 要素의 u 點: $u = u_i, \bar{u} = \bar{u}_i, u_r = u_{ri},$

$\lambda_r = \lambda_{ri}, N = N_{ri}, h = h_{ri} = 0.5(h_i + h_{i+1}),$

$F_s = P_{ri},$

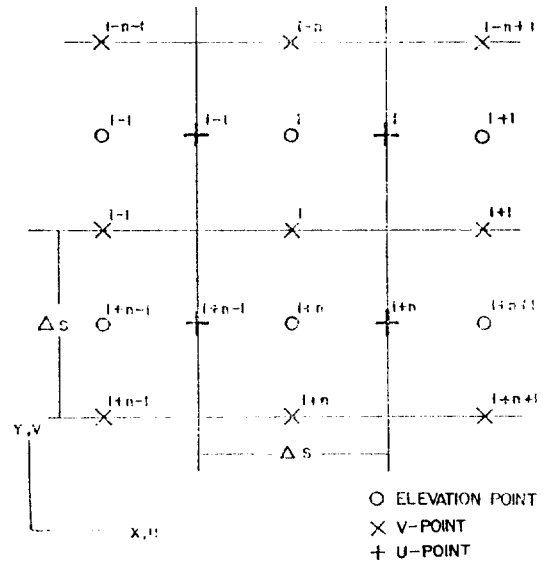


Fig. 2. Spatial grid of the model, showing elevation point (○'s), east component of current (+'s) and north component of current (×'s).

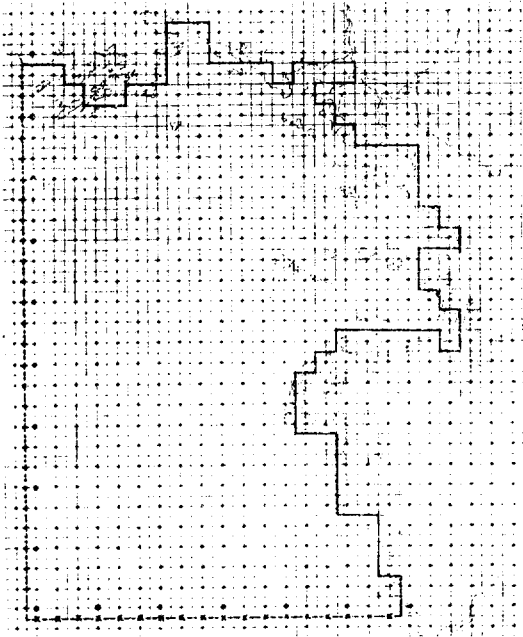


Fig. 3. The array of grid points for the Kyonggi Bay model; — land boundary,open boundary.

i 要素의 v 點 : $v = v_i, \bar{v} = \bar{v}_i, v_r = v_{r,i}$
 $\lambda_r = \lambda_{r,i}, N = N_{r,i}, h = h_{r,i} = 0.5(h_i + h_{i+n}),$
 $G_s = Q_i^v.$

Fig. 3에서의 陸地境界面은 v 點을 連結한 x 方向의 實線과 u 點을 連結한 y 方向의 實線으로 構成되며, 點線으로 表示된 外海境界面은 u 點을 連結한 西側境界面과 v 點을 連結한 南側境界面으로 構成된다.

式 (16) (17) (20)을 M mode를 利用하여 有限差分形으로 쓰면 아래와 같다.

$$\{\xi_i(t + \Delta t) - \xi_i(t)\} / \Delta t = - \sum_{r=1}^M a_r \varphi_r [\{h_i^u u_{r,i}(t) - h_{i-1}^u u_{r,i-1}(t)\} / \Delta x + \{h_{i-n}^v v_{r,i-n}(t) - h_i^v v_{r,i}(t)\} / \Delta y], \quad (30)$$

$$\{u_{r,i}(t + \Delta t) - u_{r,i}(t)\} / \Delta t = - \lambda_{r,i}^u \{u_{r,i}(t) + u_{r,i}(t + \Delta t)\} / 2 + \gamma \{v_{r,i-n}(t) + v_{r,i-n+1}(t) + v_{r,i}(t) + v_{r,i+1}(t)\} / 4 - g a_r \{ \xi_{i+1}(t + \Delta t) - \xi_i(t + \Delta t) / \Delta x + P_i^u(t) / \rho h_i^u, \quad (31)$$

$$\{v_{r,i}(t + \Delta t) - v_{r,i}(t)\} / \Delta t = - \lambda_{r,i}^v \{v_{r,i}(t) + v_{r,i}(t + \Delta t)\} / 2 - \gamma \{u_{r,i-1}(t + \Delta t) + u_{r,i}(t + \Delta t) + u_{r,i+n+1}(t + \Delta t)$$

$$+ u_{r,i+n}(t + \Delta t)\} / 4 - g a_r \{ \xi_i(t + \Delta t) - \xi_{i+n}(t + \Delta t)\} / \Delta y + Q_i^v(t) / \rho h_i^v, \quad (32)$$

式 (22)로부터

$$\lambda_{r,i}^u = \frac{(N_{r,i}^u / h_i^u)}{h_i^u} \alpha_r^2, \quad \lambda_{r,i}^v = \frac{(N_{r,i}^v / h_i^v)}{h_i^v} \alpha_r^2. \quad (33)$$

式 (26) (27) (28)은

$$u_i = \sum_{r=1}^M \varphi_r u_{r,i} \cos(\alpha_r \xi) + \frac{2P_i^u}{\rho \pi^2 (N_{r,i}^u / h_i^u)} R_M(\xi), \quad (34)$$

$$v_i = \sum_{r=1}^M \varphi_r v_{r,i} \cos(\alpha_r \xi) + \frac{2Q_i^v}{\rho \pi^2 (N_{r,i}^v / h_i^v)} R_M(\xi), \quad (35)$$

$$\{\bar{u}_i = \sum_{r=1}^M \varphi_r u_{r,i} a_r, \quad \bar{v}_i = \sum_{r=1}^M \varphi_r v_{r,i} a_r\} \quad (36)$$

이 되며 個個格子에 對한 平均을 하면 다음과 같다.

$$U_i = (u_i + u_{i-1}) / 2, \quad V_i = (v_i + v_{i-n}) / 2, \\ \bar{U}_i = (\bar{u}_i + \bar{u}_{i-1}) / 2, \quad \bar{V}_i = (v_i + v_{i-n}) / 2. \quad (37)$$

지금까지 叙述된 數值解는 Fig. 3의 陸地 및 外海境界面の 適切한 動的條件에 따른다. 陸地境界面の 直角인 方向의 流速은 없는 것으로 假定하여 y 方向境界面에서는 $u_{r,i} = 0$ 를 取하고 x 方向境界面에서 $v_{r,i} = 0$ 를 取한다. 外海境界面の 條件을 取하기 爲해서는 放射條件(Heaps, 1974)이 採擇되었다. 南側境界面に 位置한 i 要素의 v 點에서 即 京畿灣의 格子體系要素 669에서 686까지는

$$v_{1,i} = -A_i \xi_i / \varphi_1 a_1 h_i^v \quad i = 669(1)686 \\ v_{r,i} = 0 \quad (r \geq 2) \quad i = 669(1)686 \\ (\text{但 } A_i = (g h_i^v)^{1/2})$$

이며 西側境界面に 位置한 i 要素의 u 點에서 即 70(23)668에서는

$$u_{1,i} = A_i \xi_{i+1} / \varphi_1 a_1 h_i^u \quad i = 70(23)668 \\ u_{r,i} = 0 \quad (r \geq 2) \quad i = 70(23)668 \\ (\text{但 } A_i = (g h_i^u)^{1/2})$$

이다. 여기서 u_r, v_r 을 算定함에 있어 첫번째 모드가 境界面の 海水 流入을 決定한다고 假定하여 $r = 2, 3, \dots, M$ 에서 u_r, v_r 은 0으로 取하였다. Heaps (1972)는 이 假定이 모델内部海域의 3次元流速分布를 算定하는 데 無理없음을 提示하였다.

Fig. 1에提示된 格子體素에서 式 (1)(2)(3)의 有限差分解인 式 (30)(31)(32)는 初期條件, $t=0$ 일 때 $\xi=u, v=0$ 의 條件으로부터 北西風의 境遇 $F_s=7.0711 \text{ dyne/cm}^2$, $G_s=7.0711 \text{ dyne/cm}^2$ 및 西風의 境遇 $F_s=10 \text{ dyne/cm}^2$, $G_s=0$ 의 風力系의 外力條件에 依해 每 時間間隔마다 算定이 이루어졌다. 48時間後 바람(海面應力)에 依한 海流 및 海面은 거의 安定된 結果를 가졌으므로 循環形態의 調査를 爲한 最終值들을 取했는 데 모델의 算定에 利用된 係數들은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} N/h &= 0.15 \text{ cm/s}, \quad \gamma = 8.78 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}, \\ M &= 10, \quad g = 981 \text{ cm/sec}^2, \\ \rho &= 1.025 \text{ g/cm}^3, \quad k = 0.3 \text{ cm/sec}, \\ \Delta t &= 1 \text{ 太陰分} \end{aligned}$$

朝夕의 算定을 爲해 適合한 海水表面의 境界條件은 式(5)의 應力은 0으로 取한다.

$$-\rho \left(N \frac{\partial u}{\partial z} \right)_0 = -\rho \left(N \frac{\partial v}{\partial z} \right)_0 = 0,$$

또한 外海 境界條件으로는 M_2 分潮의 算定을 爲하여 2次元潮汐모델(Choi, 1981)에서 利用하였던 M_2 潮位의 振幅과 遲角을 明示하였으며, 境界面을 通過하는 流出入條件은 亦是 2次元潮汐 모델의 結果로서 西側境界面은 u 方向 水深平均流速의 振幅, 遲角을, 南側境界面은 v 方向 水深平均流速의 振幅, 遲角을 利用하여 첫번째 모드에 단 適用되었다. M_2 潮汐의 算定은 7番째 潮汐週期의 結果를 取하여 Fourier 分析을 통해 實施하였다.

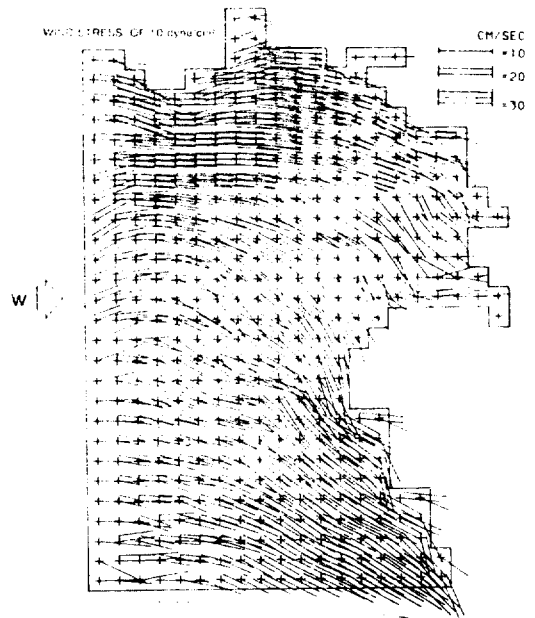
모 델 結 果

1. 定常均一風의 數值實驗

Fig. 4와 Fig. 5의 結果는 모델全域의 海水面에 10 dyne/cm^2 (概略的으로 40 mi/hr 의 風速에 該當)의 北西風 및 西風의 應力系에 關聯된 모델에 依해 算定된 循環形態를 提示해 주고 있다. Fig. 4(a)는 西風이 불 때 表層海流는 大體的으로 바람方向에 直接反應하여 바람과 類似한 方向으로 흐르는 것을 보여 주나 泰安半島의 西側에서는 沿岸에 南側으로 沿하여 흐르는 海流가 發生하는 것을 提示하고 있다. 特히 黃海道 南端에 沿하는 東向海流와 泰安半島 西側沿岸의

南東方向의 海流의 強度가 센 것을 알 수 있다. Fig. 4(b)는 西風에 依한 中間水深의 海流分布를 提示하고 있는데 黃海道 南端의 東向海流는 沿岸을 따라 南側으로 흘러나가며 모델外海境界面의 中端 및 南西端에 뚜렷한 渦流가 形成되는 것을 알 수 있다. 이러한 傾向은 Fig. 4(c)에 提示된 바와 같이 境界面 中端部의 底層에서 더욱 뚜렷한 渦流가 形成되며 南西端의 渦流는 消滅되며 境界面을 通하여 빠져 나가는 表層海流와는 逆方向의 海流가 發生한다.

Fig. 5(a)는 北西風이 불 때 表層海流는 北側 沿岸을 따라 東向, 南東向으로 沿岸을 沿해 흐르며, 또한 仁川港 接近水路를 가로질러 南東向으로 모델中央部를 흘러 泰安半島 西側沿岸에 강한 流速을 發生시키는 것을 보여준다. 一般的인 循環形態는 表面應力의 作用方向에 直接 反應하여 類似한 方向의 表層海流가 發生하는 것을 알 수 있다. Fig. 5(b)는 北西風에 依한 中間水深의 海流를 提示하는 데 海流의 強度와 方向을 表面海流와 比較할 때 相當한 變化가 있는 것을 알 수 있다. 即 仁川港 接近水路에 平行한



(a) SURFACE

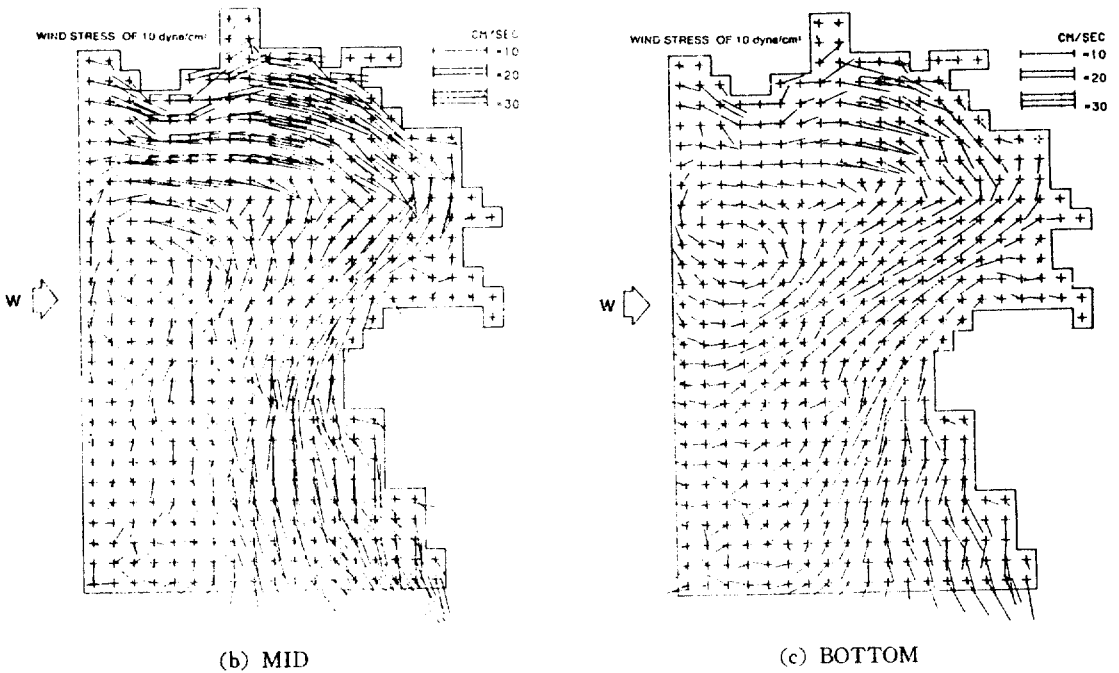
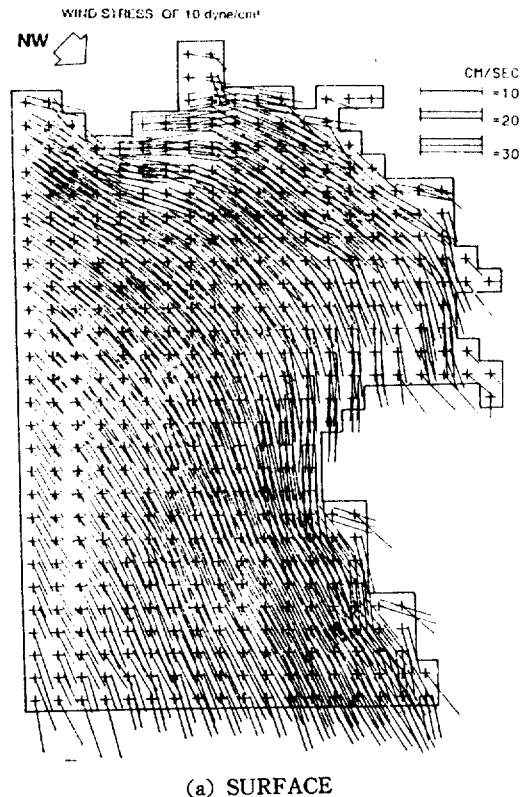


Fig. 4. Computed currents from three dimensional model of the Kyonggi Bay for uniform westerly wind stress of 10dyne/cm².

南西方向의 海流가 發生하며 모델南西部의 海流는 表層海流와는 달리 南西쪽으로 屈曲되기 始作하는 것을 알 수 있다. Fig. 5(c)는 北西風에 依한 底層海流分布를 提示하는 데 表層 및 中間水深의 海流分布와 比較할 때 水深에 따라 海流의 強度와 方向이 懸著하게 달라지는 것을 提示해 주고 있다. 即 泰安半島 北側沿岸을 따라서 底層海流는 表層海流와는 90° 方向을 바꾸어 downwelling을 發生시키며 흘러나가는 것을 알 수 있으며 모델의 南西部에서는 時計方向의 底層回轉流가 發生한다. 海流의 強度는 黃海道南端과 泰安半島 西側沿岸에 比較的 強한 底層海流가 흐른다.

2. M₂ 潮汐

算定된 主太陰半日週潮의 水深平均流速(Fig. 6(a)), 表層流速(Fig. 6(b)), 中間水深의 流速(Fig. 6(c)), 海底流速(Fig. 6(d))의 分布가 潮流橢圓의 長短軸의 크기 및 方向으로서 提示되어 있다. 潮流의 回轉方向은 朝流橢圓의 太陰이 東經 135°를 經過하는 時刻을 0 太陰時로 할 때의 潮流方向 및 크기를 나타내는 벡터상에 화살표로



(a) SURFACE

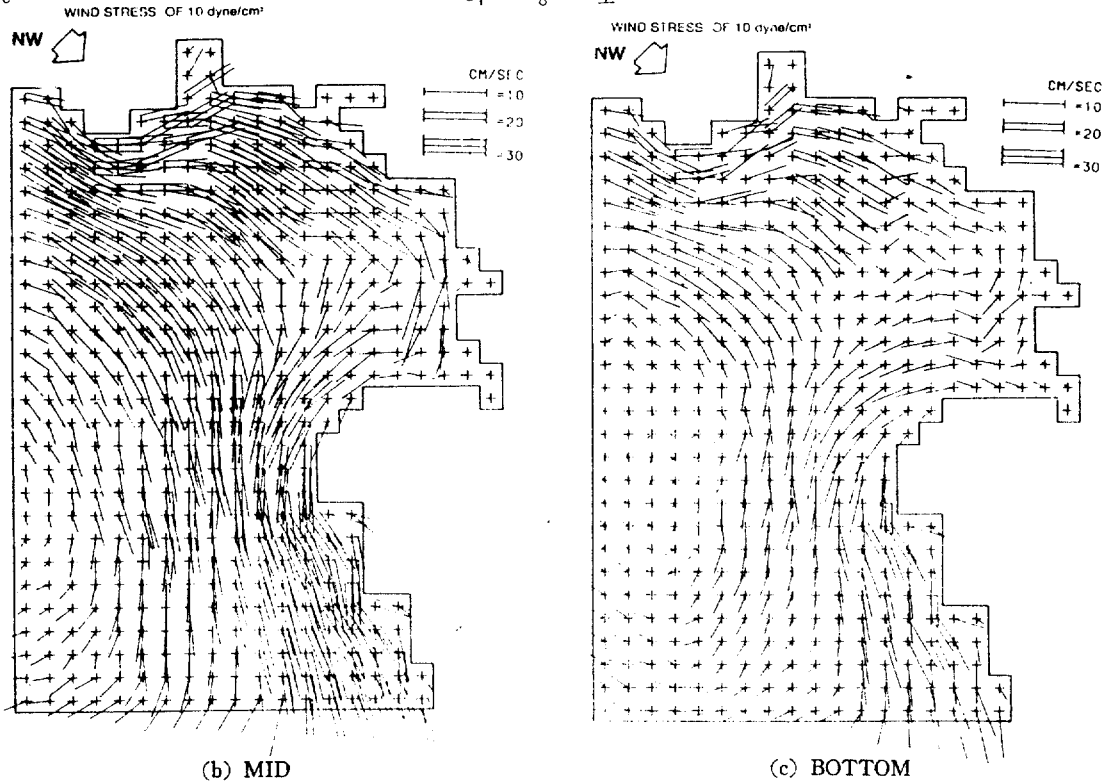


Fig. 5. Computed currents from three dimensional model of the Kyonggi Bay for uniform northwesterly wind stress of 10dyne/cm².

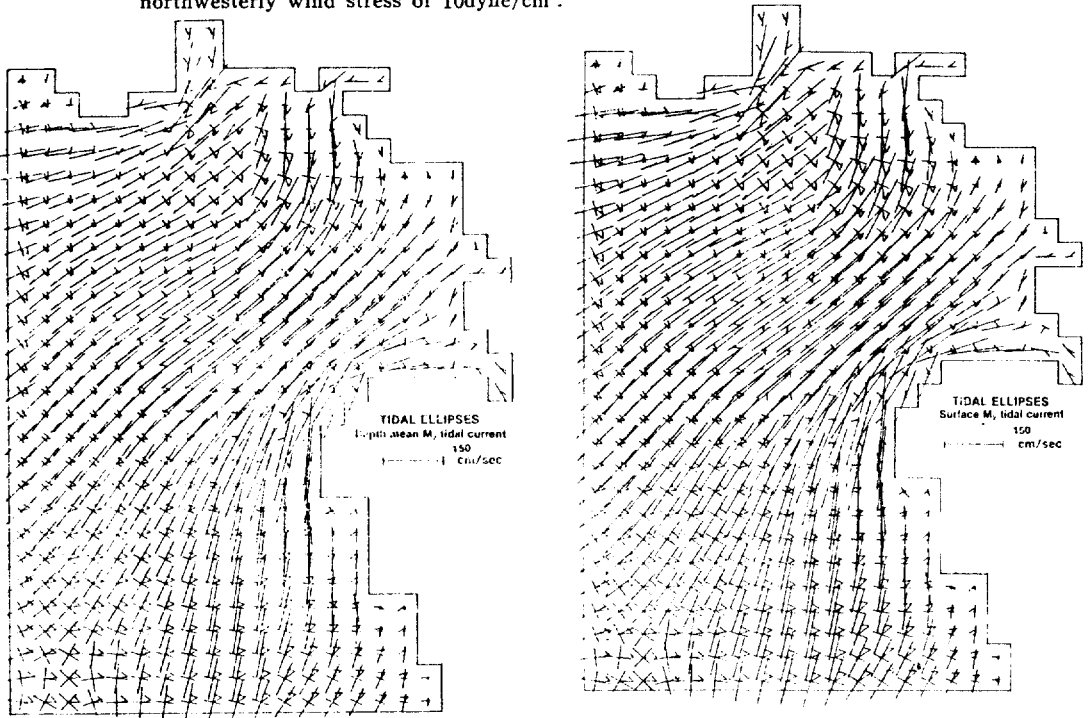


Fig. 6(a). Distribution of principal axes of depth-mean M_2 current ellipses.

Fig. 6(b). Distribution of principal axes of M_2 current ellipses at sea surface.

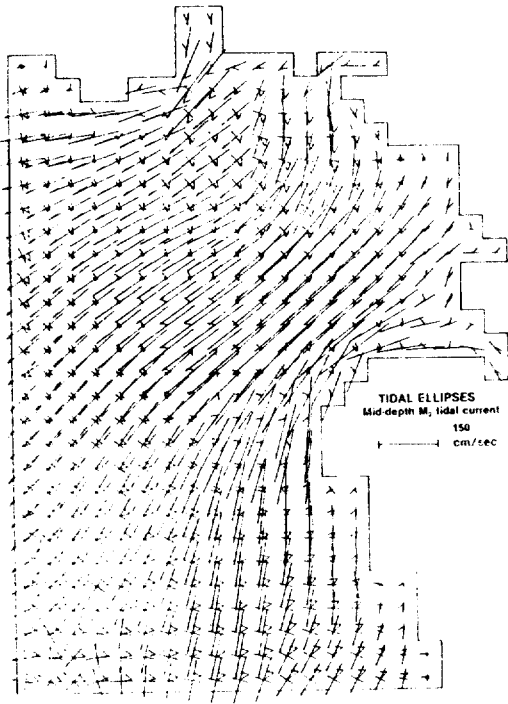


Fig. 6(c). Distribution of principal axes of M_2 current ellipses at mid depth.

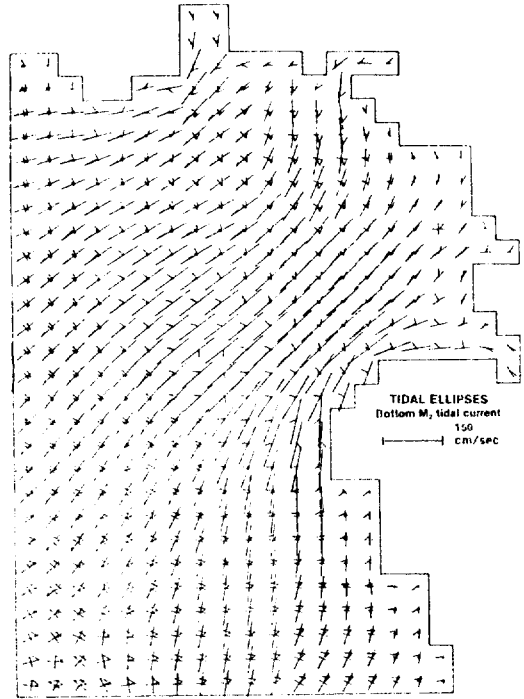


Fig. 6(d). Distribution of principal axes of M_2 current ellipses at sea bottom.

提示된다. Fig. 6(a)는水深平均된 潮流의 分布를 나타내는 데 水深에 따라 그 크기와 方向은 變하지만 京畿灣의 一般의인 潮流分布를 提示하고 있다. 即 京畿灣 一帶의 潮流의 回轉方向은 反時針方向이며 潮汐의 波及方向을 나타내는 潮流橢圓의 長軸의 配列을 살펴보면 黃海의 中央部에서 北東쪽으로 波及되어온 潮汐은 西水路를 따라 北東向으로 仁川灣으로 波及되며 또한 北向으로 分岐되어 黃海道 南岸으로 波及되며, 南쪽에서 泰安半島 西側沿岸을 따라 北向으로 波及된 潮流는 泰安半島의 北西端에서 강한 潮流가 發生하며 一部는 東쪽으로 回折하여 牙山灣으로 波及되며 一部는 北東向을 따라 仁川灣에 波及된다. 이러한 潮流의 算定結果는 水路局의 潮流分布 調査結果 및 沿岸航海誌에 言及된 潮流의 流動形態와 定性的으로 一致하고 있다. Fig. 6(b)~Fig. 6(c)에 依한 水深에 따른 全體의인 潮流分布는 中間水深의 潮流는 表層에 比해 約 2° 反時針方向으로 長軸이 더 回轉되어 있으며 그 크기는 5~10%程度 더 減小한다. 海底의 潮流는 表層에 比해 5°程度 反時針方向으로

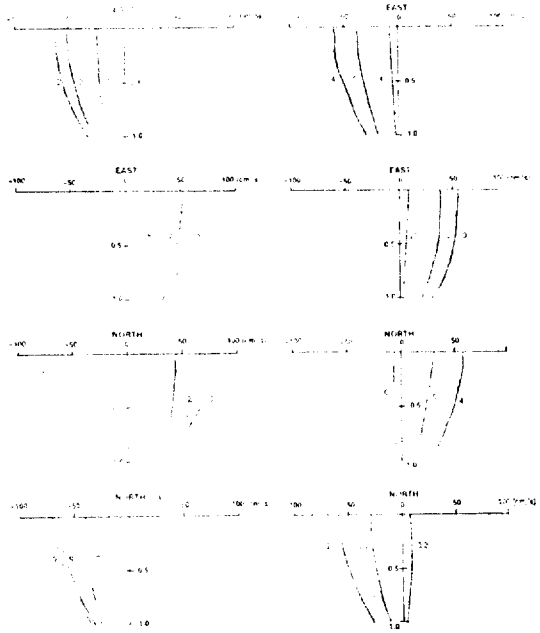


Fig 7(a). Vertical profile of east and north components of tidal current at station DJ, every lunar hour through a tidal cycle.

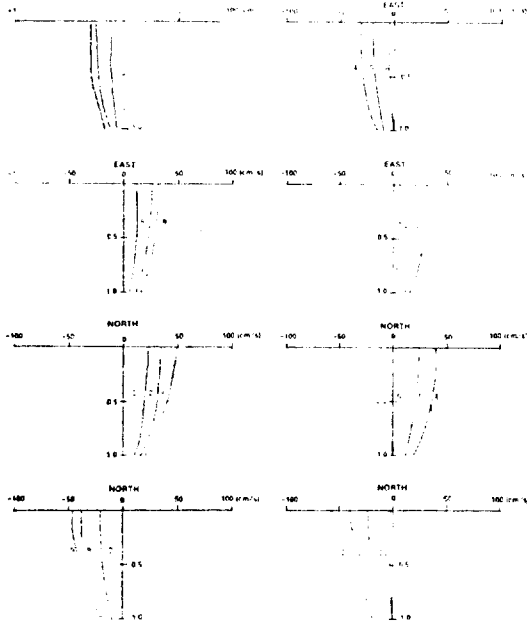


Fig. 7(b). Vertical profile of east and north components of tidal current at station PM, every lunar hour through a tidal cycle.

로 長軸이 더 回轉하면서 그 크기는 50%程度 減小하고 있다. 京畿灣의 潮流觀測資料는 主로 內灣에 局限되어있고 水深에 따른 算定値와 比較할 만한 長期 潮流觀測値가 없어 定量的인 比較를 遂行치 못했으나 牙山灣 接近水路의 浚渫計劃에 따른 海洋觀測 및 利用可能한 長期潮流觀測値가 獲得되면 比較分析 및 모델의 改善에 利用될 것이다. Fig. 7은 選定된 세 點의 東向 및 北向成分 潮流의 每時間變化를 提示하고 있는데 類似하게 全 格子點의 算定値가 保管되어 追後의 모델의 調整 및 改善에 利用될 것이며 前述된 工學的인 應用을 爲한 一次的인 資料로 시 使用될 수 있다.

討 議

定常均一風에 依한 京畿灣의 反應을 모델算定 結果에 依해 살펴볼 때 海流의 分布(強度 및 方向)는 水深別 또는 隣接格子間에 相當한 變化가 있는 것으로 나타났다. Heaps(1974)의 Irish海의 研究에 依하면 地球의 回轉性效果는 循環形態에 큰 影響을 미치지않고 海底面의 地形 即

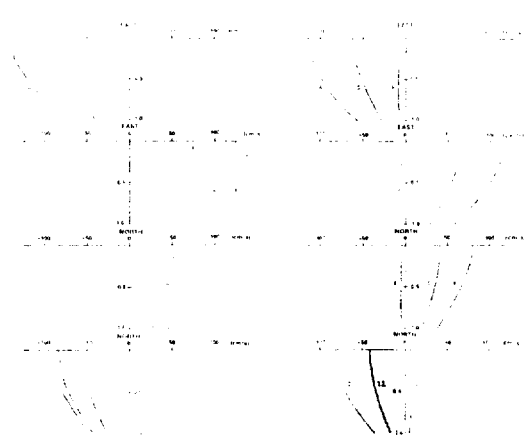


Fig. 7(c). Vertical profile of east and north components of tidal current at station JT, every lunar hour through a tidal cycle.

水深變化가 循環形態에 큰 影響을 주는 것으로 發表되었으며 京畿灣의 境遇도 海底面의 影響과 沿岸線形態가 循環形態를 決定하는 主要素인 것으로 思料된다. 海底面摩擦係數 및 垂直渦粘性係數에 對한 資料가 基本的으로 重要함에도 不拘하고 아직 이 값들에 對한 確實한 知識이 없는 것이 問題가 된다. 垂直渦粘性係數의 水深에 따른 變化度, 水平的인 分布度와 더불어 風力系에 關聯된 이 係數의 變化度에 對한 經驗資料들이 蓄積되면 더 現實的인 循環解析이 可能할 것이다. 本 研究에 採擇된 一定한 h/N 값은 水深이 增加하면 N 값이 增加하는 것에 反해 Kraav (1969)는 北海의 研究에서 얕은 水深에서 더 큰 N 값을 提示하고 있다. Heaps(1972)에 依하면 이러한 N 값의 變化는 算定되는 海流의 強度에 큰 變化를 주고 있다. 따라서 變化되는 N 값에 依한 一連의 數值實驗이 繼續되어야 할 事項이다. 潮汐의 境遇 k 값을 $0.003(m/s)$ 로 取하였는 바 算定結果는 2次元모델의 結果(Choi, 1981)와 同一한 潮位分布와 水深平均流速을 3次元모델에서 獲得하지 못했으나 全體적으로 5%정도 낮은 값을 갖는 類似한 結果를 가졌다. 이는 2次元모델에서의 k 는 水深平均流速에 關聯된 反面 3次元 모델에서는 海底流速에 關聯되기 때문이며 2次元 모델의 變化하는 k 값에 對하여 3次元 모델에서는 一次的으로 一定值의 k 값을 取한 것도 要因이 된다. 前述한 N 값의 水深座標에 따른 變化度

및 水平的分布의 變化도가 算定되는 潮流에도 影響을 줄 것이나 一次的으로 一定한 h/N 값을 取함으로 京畿灣의 潮汐分布 特히 水深에 따른 連續的인 潮流分布를 어느程度는 만족스럽게 提示한 것으로 思料된다.

結 言

3次元 數值모델技法을 利用하여 海流의 3次元의 分布가 初期結果로서는 滿足스럽게 算定되었는 데 京畿灣의 海水流動現象을 動力學的으로 研究하기 爲한 첫 試圖이다. 모델에 依한 바람에 依해 惹起된 3次元의 海流構造 및 潮汐의 3次元의 分布는 京畿灣의 海水의 物理的 過程을 理解하는 데 도움이 될 것이며, 表面流에 依한 油類擴散, 浮遊砂의 移動過程을 定量的으로 調査하는 데 直接的인 資料를 提供하는 데, 工學的인 應用을 爲해서는 더 細密한 格子網을 갖는 3次元모델이 必要할 것이다. 組織的인 廣範圍한 海流觀測이 모델의 改善 및 擴張을 爲해 必須的인 事項으로 提示된다. 數值實驗에 依한 본 모델의 改善 및 陸棚海의 擴大適用이 現在 進行中에 있다.

謝 辭

本 研究는 81年度 韓國科學財團의 研究費支援

에 依해 遂行되었다.

參 考 文 獻

- Choi, B.H. 1981. A tide and surge computation for Kyonggi Bay. Bulletin of KORDI 3:13-21.
- Davies, A.M. 1980. Application of numerical models to the computation of the wind-induced circulation of the North Sea during JONSDAP' 76. "Meteor" Forsch-Ergebnisse, Reihe A No.22 Seite 53-68.
- Heaps, N.S. 1972. On the numerical solution of the three-dimensional hydrodynamical equations for tides and storm surges. Mem. Soc. r. sci. Liege ser. 6(2):143-180.
- Heaps, N.S. 1973. Three-dimensional numerical model of the Irish Sea. Geophys. J.R. astr. Soc., 35:99-120.
- Heaps, N.S. 1974. Development of a three-dimensional numerical model of the Irish Sea. Rapp. P.-v. Reun. Cons. Perm. int. Explor. Mer, 167: 147-162.
- Heaps, N.S. & Jones, J.E. 1975. Storm surge computation for the Irish Sea using a three-dimensional numerical model. Mem. Soc. r. Sci. Liege, Ser., 6(7):289-333.
- Kraav, V.K. 1969. Computation of the semidiurnal tide and turbulence parameters in the North Sea. Oceanology, 9:332-341.

A THREE-DIMENSIONAL NUMERICAL MODEL OF KYONGGI BAY

Byung-Ho Choi

Department of Civil Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon, 170, Korea

ABSTRACT

A three-dimensional hydrodynamic numerical model of Kyonggi Bay is described. Experiments have been performed with the model to determine the response of the bay to stationary wind stress fields suddenly imposed on the bay for wind directions of uniform NW, W and stresses of 10 dyne cm^{-2} respectively. Features of the wind-induced three-dimensional current structure determined from the computation have been examined and discussed. M_2 tidal currents have also been computed using the developed model to provide information about the physical processes which are dominant in the region. Some of preliminary results are presented and discussed.