

## 仁川灣 潮汐의 迅速 豫報 Rapid Tidal Predictions for the Incheon Bay

崔 秉 昊\*  
Byung Ho Choi\*

**要 旨**: 定點에서의 潮汐(潮位, 潮流)은 傳統的으로 調和分析 및 豫報에 의해 推定되며 다른 方法은 潮汐數值模型에 의한 豫報이다. 本 研究에서는 數值模型의 直接的인 出力으로서 潮汐을 推定하는 方法과 長期間(1個月)의 模型出力을 調和分析한 潮位와 潮流의 調和常數의 Data Table을 根據로 한 仁川灣 全域의 任意位置에서의 實時間的으로 潮汐을 迅速하게 推定하는 方法을 提示하였다.

**Abstract**: Tidal prediction at a given location has been conventionally made by harmonic method. Another means of tidal prediction is through numerical modeling of tides. Present research focussed on whether prediction of tides and tidal currents can be made everywhere in the Incheon Bay using the numerical model directly or by harmonic constants of tides and tidal currents of the whole Bay derived from the extended model run.

### 1. 緒 論

世界的으로 큰 潮汐現象에 의해 特徵지워지는 仁川灣은 潮力發電計劃, 大規模 港灣 및 干拓事業등이 活潑한 反面에 潮汐物理를 包含한 沿岸 海洋學的인 研究는 비로소 始作하는 段階에 있다. 強潮流環境에서의 觀測活動의 어려움과 軍事作戰海域에서의 海洋 調查活動의 制約이 複合的인 要因으로서 이 海域의 基礎資料確保에 障碍가 되어왔다. 그러나 大規模 港灣의 建設에 따른 大型船舶의 運用, 沿岸開拓에 따른 環境變化 또는 빈번한 大規模 油槽船 油類流事故에 따른 災害輕減을 위한 沿岸海洋學的인 豫報의 必要性이 近來에 절실하게 되었다. 本 研究에서는 既發 表된 仁川灣의 潮汐模型(Choi, 1980)을 細格子 體系에 의한 實時間豫報體系로 改善시키기 위한 初期努力을 敘述한다.

### 2. 實時間豫報模型의 構成

沿岸航海誌(Coastal Pilot)의 基礎的인 航海資料에

附加하여 航路에서 實時間潮汐 즉 潮位 및 潮流의 空間的인 豫報資料가 航行船舶 및 操船活動에 必須的인 것이나 一般的으로 이러한 情報은 實潮汐 時間的으로 自動化된 體系로서 提供되고 있지 않다. 沿岸航海誌와 더불어 特定한 水路의 潮流情報의 通常的인 提供은 數個의 定點에서 代表的인 潮汐狀況(平均大潮, 中潮, 平均小潮)의 潮流分布를 潮位(潮差)의 關係로서 外插시켜 利用하는 方法인데 프랑스에서는 傳統的으로 潮汐係數(tidal coefficient)가 利用되며 英國水路部(British Hydrographic Department) 역시 類似한 外插方法을 提示하고 있다. 이러한 從來의 方法을 改善하기 위한 現代的인 潮流豫報가 1980年 初半부터 시도되기 시작하고 있는데 獨逸水路部(Deutsche Hydrographische Institut)는 北海와 Hamburg港에 이르는 Elbe江 接近水路의 潮流豫報를 海溢豫報體系의 骨格下에 컴퓨터에 의한 豫報結果를 抽出할 수 있도록 構成하였으며 沿岸에서의 潮流圖(Dick과 Soetje, 1990, DHI 1983a, b)를 컴퓨터 數值模型의 結果로서 提示하기 始作하고 있다. 美國은 San Francisco灣(Cheng과 Burau, 1988), Chesapeake灣

\*成均館大學校 土木工學科 (Department of Civil Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon Science Campus Suwon 440-746, Korea)

(Hecht, 1991) 등에 대한 潮汐數値模型을 利用한 潮汐豫報를 綜合的인 環境 모니터링 體系下에서 試圖 하고 있다.

仁川灣의 潮汐推定을 위해 제시된 初期豫報方法 (崔와 李, 1985)은  $M_2$  潮汐模型에 依한 平均潮汐狀況의 한 潮汐週期的 潮位, 潮位算定效果는 3.0~9.0m 사이의 潮差에 따른 5.8~6.2m를 基準(1.0)으로 한 流速補整係數(velocity correction factor)와 潮位補整係數(height correction factor)로서 接近水路의 潮汐을 外插시켜 推定하는 재래식 方法이었다. 이 初期豫報節次는 Swanson과 Spaulding(1975)이 美國의 Narragansett 灣의 潮汐을 數値模型에 依한 平均潮汐의 外插에 依해 推定하였던 方法에 依據하였던 것이나 近年의 急速한 컴퓨터 能力의 伸長으로 이러한 平均 潮汐狀況을 外插의 利用하는 從屬的인 豫報方法 보다는 本 研究에서 提示되는 模型에 依한 直接算定法 또는 模型結果를 利用하여 추출한 對象地域 全域의 潮汐의 調和常數에 의한 推定值로서 特定時刻의 實 時間豫報體系로서의 改善이 必要하게 되었다.

仁川灣 潮汐模型의 支配方程式은 다음과 같다(Choi, 1981).

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Hu) + \frac{\partial}{\partial y} (Hv) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + \frac{k_b u (u^2 + v^2)^{1/2}}{H} + g \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{F^{(s)}}{H} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - fu + \frac{k_b v (u^2 + v^2)^{1/2}}{H} + g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial y} - \frac{G^{(s)}}{H} = 0 \quad (3)$$

여기서 각 記號는 다음과 같다.

- t : 時間
- $\xi$  : 靜止海水面上的 海面水位
- h : 靜止海水下的 水深
- H : 總水深 ( $H = h + \xi$ )
- f : Coriolis 係數(균일한 것으로 가정,  $f = 2\omega \sin\phi$ ,  $\phi$  : 위도)
- k : 海底摩擦 係數( $k = 0.0025$ )

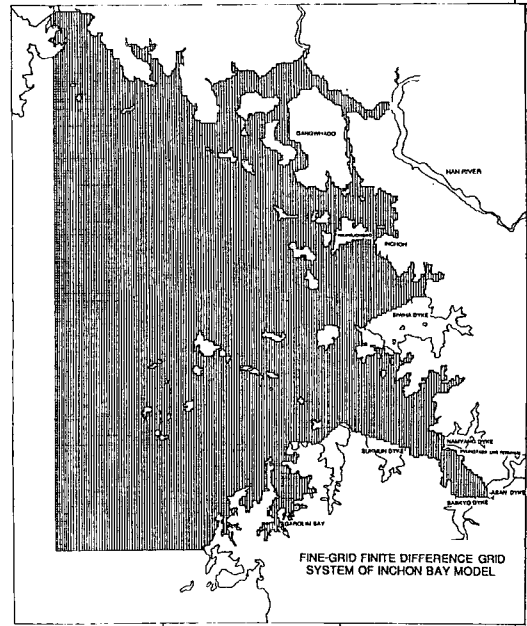


Fig. 1. 仁川港의 細格子 有限格子體系.

g : 重力加速度

$\rho$  : 海水密度(均一한 것으로 假定)

$P_a$  : 海面氣壓

$F^{(s)}, G^{(s)}$  : 海面에 미치는 바람應力의 x, y 方向成分

$u', v'$  : 海面上 Z 위치에서 直交座標 x, y의 增加方向으로의 速度成分.

水深不均된 流速(Depth-mean current)  $u, v$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$u = \frac{1}{H} \int_h^\xi u' dz, \quad v = \frac{1}{H} \int_h^\xi v' dz \quad (4)$$

前回의 仁川灣模型(Choi, 1980)을 改善시켜 海面壓力傾斜項과 海面바람應力項을 包含하여 潮汐과 氣象影響을 獨立的, 또는 複合的으로 算定할 수 있도록 하여 潮汐과 海溢을 包含한 氣象影響의 相互作用이 考慮될 수 있도록 設計하였다. 本 研究에서는 于先 氣象的인 影響은 無視할 수 있는 期間에 대한 實時間 潮汐算定에 초점을 두어 敘述하였다. 今回의 仁川灣 模型은 既存模型의 格子體系를 1:3으로 細分化한 1/3 海里 細格子模型으로서 實時間豫報의 基本模型(Fig. 1)으로 利用하였다.

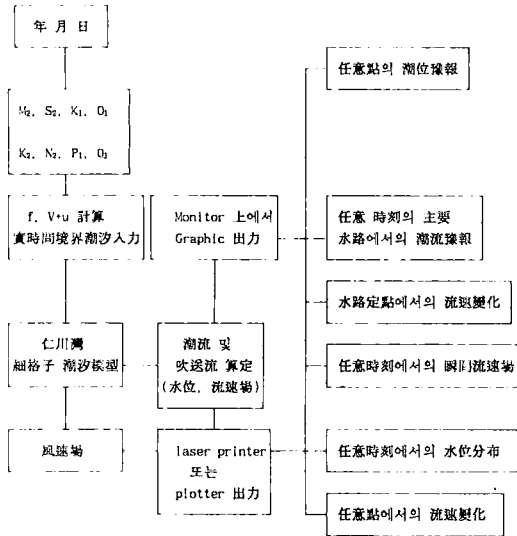


Fig. 2. 模型의 直接計算에 의한 豫報體系의 block diagram.

實時間 潮汐豫報模型은 現場에서 利用 可能한 豫報를 하기 위해서 1日 豫報, 1週日 豫報, 1個月 豫報로서 運用體系를 構成할 수 있다. 本 模型의 安定된 解를 구하기 위한 計算時間 間隔은 10秒이다. 그러므로 1日은 總 8640個의 timestep을 가지게 된다. 現在의 빠른 速度의 PC와 binary format의 dataset, 光디스크를 採擇하면 潮位, 潮流의 1個月 豫報도 效率的으로 構成할 수 있다. 또한 1週日 豫報는 미리 算定된 data set에서 最終值를 選擇하는 hot start를 하여 每週潮汐 算定할 수 있도록 構成하였다. 이와 같이 過去 大容量의 computer에서나 可能하던 simulation들이 PC體系나 Workstation에서 容易하게 되었다. 本 計算과 더불어 各種 周邊器械 즉 plotter, digitizer, laser printer 혹은 color printer를 利用하여 graphic output 등이 提示되도록 體系構成을 하였다. 實時間 潮汐豫報의 遂行을 위해서 PC-system에서 樹立된 體系의 block diagram이 Fig. 2에 提示되었다.

### 3. 潮汐模型에 의한 直接推定

仁川灣 및 牙山灣(平澤港)에 出入하는 船舶의 接近 水路인 東水道, 西水道 및 牙山灣 接近水路는 仁川港의 擴張, 牙山灣 內域의 大規模 港灣開發 등으로 더욱 船舶의 航行이 頻煩해 질 것이며 海上, 衝突, 坐礁 등의 海難事故와 油類流出의 危險性이 增大될

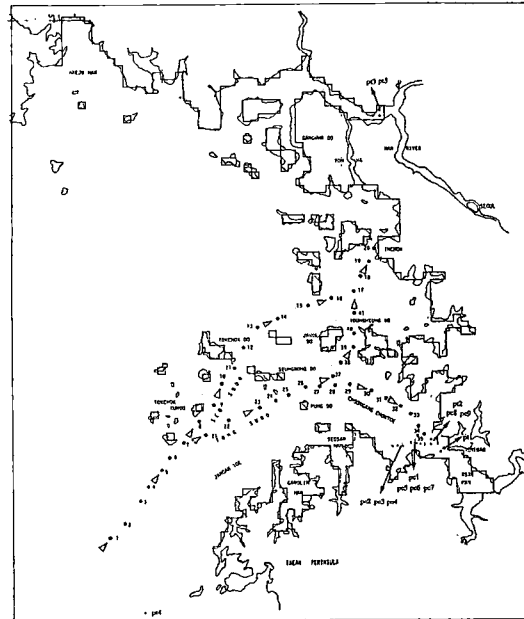


Fig. 3. 仁川港의 接近水路의 主要定點

것이다. 특히 太安半島 北側에는 油化學工團이 造成되어 있고 潮流가 강한 長安堆 南側에로의 接近水路가 開拓되어 運用되고 있는데 現在 이 全體海域에서 불과 몇 점에서의 定點 豫報만이 水路局에서 提供되고 있는 것에 留意할 必要가 있다. Fig. 3에는 이 接近水路의 主要定點들이 提示되어 있다. 仁川港의 接近은 格列飛列島의 北쪽에서 南西側과 北側 그리고 北東의 位置에서 鞍島의 北西 1 3/4 mile 地點에서 北東의 位置로 接近이 可能하다. 北側이나 北西側으로부터의 船舶들은 木德島의 南側을 지나야만 하고(36°56'N, 125°47'E) 鞍島 北側의 東北東을 通過해야하는데 東水道와 西水道는 仁川의 南西側으로 大략 10 mile 地點에 있는 두개의 接近水路이다.

1次的인 直接豫報 模型에서는 다음과 같이 外海境界에 8個 分潮를 規定(최, 1987)하여 時間的 豫報를 할 수 있도록 模型을 樹立하였다. 開放境界에서의 潮汐入力は 標準調和函數로 的 形態로서 表示된다.

$$h(t) = \sum_{j=1}^m f_j(t_0) A_j \cos(2\pi(V_j(t_0) + (t - t_0)\sigma_j + u_j(t_0) - K_j)) \quad (5)$$

여기서  $A_j, g_j, \sigma_j$  = 分潮 j의 振幅, 遲角  
 $f_j(t_0), u_j(t_0)$  = 基準 時間(time origin)에서의 分

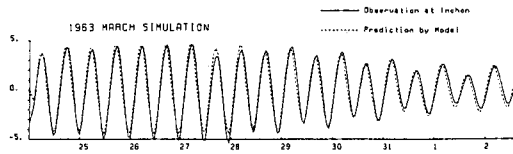


Fig. 4. 仁川港의 觀測潮位와 模型算定値의 比較(1963年 3月).

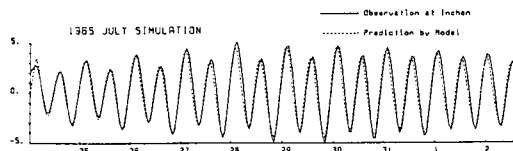


Fig. 5. 仁川港의 觀測潮位와 模型算定値의 比較(1965年 7月).

潮 j의 振幅과 位相의 18.6年 週期  
更正係數

$$V_j(t_0) = \text{基準 時間 } t_0 \text{에서 分潮 } j \text{의 天文인수}$$

여기서  $A_j, K_j$ 는 調和常數로서 分潮의 振幅과 局地的인 遲角인데 開放境界에서의 潮汐은 推定된 8개의 分潮  $M_2, S_2, K_1, O_1, K_2, N_2, P_1, Q_1$ 의 潮汐圖(等振幅, 位相)로부터 취했다.  $\sigma_j$ 는 分潮 j의 角速度,  $V_j$ 는 相應하는 分潮의  $124.5^\circ E$ 의 子午線의 平均分潮의 位相(潮汐推定始作日時)이며  $f_j, u_j$ 는 振幅과 位相(遲角)의 18.6年 潮汐週期の 變化를 考慮한 nodal factor이다.  $V_j, f_j$  및  $u_j$ 는 Schreman의 文獻(1958), 建設交通部 水路局의 潮汐計算用諸表 또는 軌道要素  $s, h,$  및  $n$ 으로부터 아래와 같이 구해진다.

$$V_j = I_{1,j} s + I_{2,j} h + \sigma_{j,t} \tag{6}$$

$$f_j = a_{1,j} + a_{2,j} \cos(n) + a_{3,j} \cos(2n) \tag{7}$$

$$u = b_{1,j} \sin(n) \tag{8}$$

여기서 係數  $I_1, I_2, a_1, a_2, a_3,$  및  $b_1$ 은 Doodson(1921) 및 Cartwright와 Taylor(1971), Cartwright와 Edden(1973)으로부터 취한다.

模型의 潮位檢證은 1963年 3月 및 1965年 7月의 各 2個月을 擇하여 檢證하였는데 Fig. 4와 Fig. 5에 제시된 바와 같이 仁川港의 觀測潮位와 模型算定値는 全般的인 一致를 보이고 있는데 差異는 이 海域의 精確한 潮汐現象을 위해서는 적어도 60個의 基本的인 Doodson 分潮가 利用되고 있는 反面에 模型에서는 8個分潮만을 外海境界入力으로 利用하였기 때문이다. 또한 模型의 格子가 仔細한 水深變化를 解像시키는

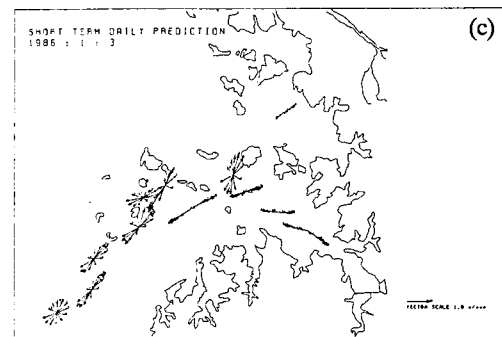
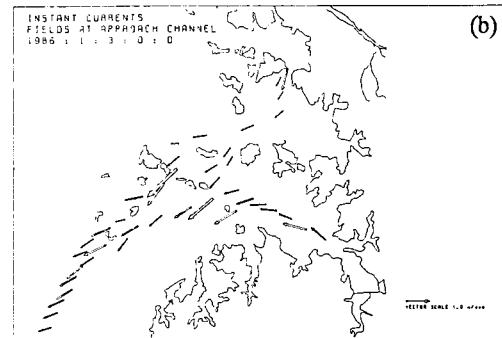
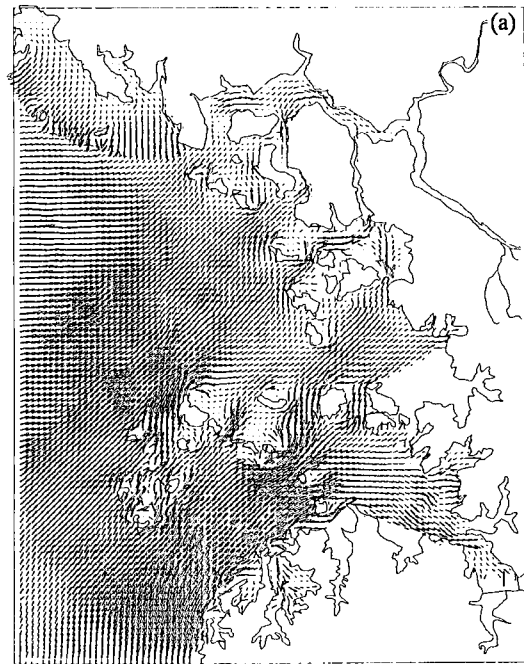


Fig. 6. 模型에 의해 算定된 綜觀의 流速場(a) 및 水路의 主要定點에서의 潮流((b), (c)).

데는 不充分하여 徹底한 潮流檢證은 이루어지지 않았으나 既存의 漲,落潮分布圖와는 定性的인 一致를 보였다. Fig. 6은 一定時刻의 綜觀의인 潮流分布(Fig. 6

(a), (b) 仁川港 및 牙山灣(平澤港)에 出入하는 船舶의 接近水路인 東水道, 西水道 및 牙山港接近水路에서의 算定된 潮汐分布 및 定點에서의 潮汐週期를 통한 變化 (Fig. 6(c))를 提示할 수 있어 既存의 定點潮流보다 仁川灣 全域 및 水路에서의 潮流概況을 豫報할 수 있게 構成하였다.

### 4. 潮汐의 調和常數에 의한 潮位와 潮流의 迅速 豫報

式 (5)에 의한 潮位推定을 式 (6)~(8)을 근간으로 한 天文因子 및 分潮의 18.6年 週期의 振幅, 位相變化를 計算하는데 Doodson의 調和方法을 채택하는 分析 프로그램인 TIRA(Tidal Institute Recurssive Analysis)와 相應하는 時間別 潮位(MARIE) 및 低高潮位 推定 方法은 英國海洋研究所가 傳統的으로 使用하는 方法과 Cartwright와 Taylor(1971), Cartwright와 Edden(1973)에 根據한 潮汐포텐셜을 이용한 Canada 海洋研究所의 潮位分析 및 推定 프로그램이 있다. 前者가 1900年 1月 1日 0時(ET)를 基準時로 택함에 비해 後者는 基準時를, 1976年 1月 1日 0時로 취하고 있으며 더 다양한 出力選擇을 包含하고 있다. 潮位豫報의 方法은 여러 文獻(Schureman, 1958; Godin, 1972)에 소개되어 있으므로 再述치 않기로 한다. 潮流의 分析 및 豫報의 과정은 아래와 같이 潮流成分을 南北 및 東西成分으로 分離하고 複素數解析에 의한 기법을 취하는데 各分潮의 潮流를 複素數 시그널  $Z(t)$ 라 하면 東西成分은 實數, 南北成分은 虛數로서 표시한다.

$$Z(t) = X_0(t) + \sum_{j=1}^M X_j \cos 2\pi(\sigma_j t - \phi_j) + i \left[ Y_0(t) + \sum_{j=1}^M Y_j \cos 2\pi(\sigma_j t - \theta_j) \right] \quad (9)$$

$CX = X_j \cos 2\pi\phi_j$ ,  $SX = X_j \sin 2\pi\phi_j$ ,  $CY_j = Y_j \cos 2\pi\theta_j$ 와  $SY_j = Y_j \sin 2\pi\theta_j$ 로 치환시키면  $Z(t)$ 는 다음과 같이 변환된다.

$$Z(t) = X_0(t) + \sum_{j=1}^M [CX_j \cos 2\pi\sigma_j t + SX_j \sin 2\pi\sigma_j t]$$

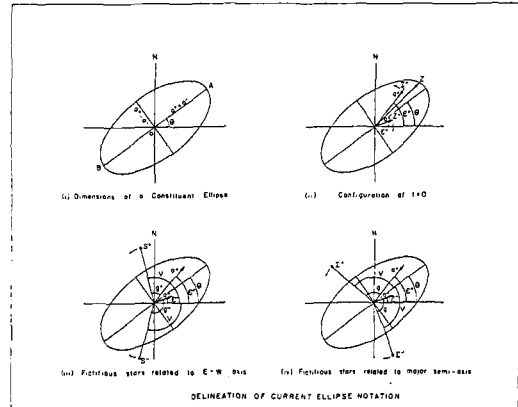


Fig. 7(a). 潮流橢圓의 記號表示

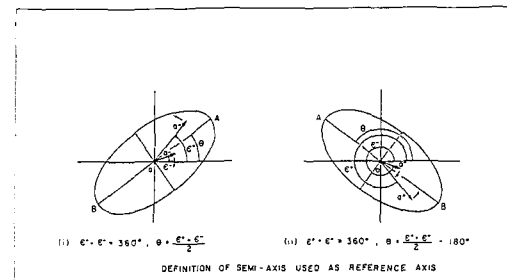


Fig. 7(b). 半長, 短軸을 基準한 記號表示

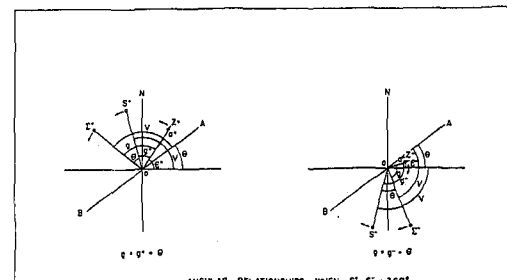


Fig. 7(c).  $\epsilon^+ + \epsilon^-$ 가 360°보다 작을 때의 記號表示

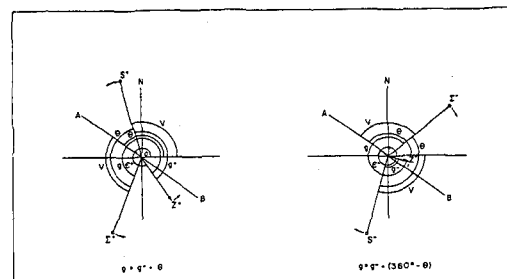


Fig. 7(d).  $\epsilon^+ + \epsilon^-$ 가 360°보다 클 때의 記號表示

$$+i\left[Y_o(t) + \sum_{j=1}^M [CY_j \cos 2\pi\sigma_j t + SY_j \sin 2\pi\sigma_j t]\right] \quad (10)$$

동일한 방법에 의하여

$$Z(t_o) = x_o(t) + iY_o(t) + \sum_{j=1}^M \left[ [(CX_j + SY_j) + i(CY_j - SX_j)] \exp(2\pi i\sigma_j t) + [(CX_j - SY_j) + i(CY_j + SX_j)] \exp(-2\pi i\sigma_j t) \right] / 2 \quad (11)$$

분조를 나타내는 첨자 j를 생략하면

$$a^+ = \left[ \left( \frac{CX + SY}{2} \right)^2 + \left( \frac{CY - SX}{2} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (12)$$

$$a^- = \left[ \left( \frac{CX - SY}{2} \right)^2 + \left( \frac{CY + SX}{2} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (13)$$

$$\varepsilon^+ = \arctan \left( \frac{CY - SX}{CX + SY} \right) \quad (14)$$

$$\varepsilon^- = \arctan \left( \frac{CY + SX}{CX - SY} \right) \quad (15)$$

임의의 분조의 조류성분은 다음과 같이 표기된다.

$$Z(t) = Z^+(t) + Z^-(t) = a^+ \exp(i\varepsilon^+ + 2\pi i\sigma t) + a^- \exp(i\varepsilon^- + 2\pi i\sigma t) = \exp\left[i\left(\frac{\varepsilon^+ + \varepsilon^-}{2}\right)\right] \left[ (a^+ + a^-) \cos\left(\left(\frac{\varepsilon^+ - \varepsilon^-}{2}\right) + 2\pi\sigma t\right) + i(a^+ - a^-) \sin\left(\left(\frac{\varepsilon^+ - \varepsilon^-}{2}\right) + 2\pi\sigma t\right) \right] \quad (16)$$

식 (16)에 나타난 바와 같이 潮流成分은  $Z^{+(t)}$ 와  $Z^{-(t)}$  潮流벡터 成分으로는 前者의 벡터는  $a^-$ 의 길이를 갖으며 時計方向으로 回轉하여  $t=0$ 에서 時計方向으로  $\varepsilon^-$  radian에 位置한다(Fig. 7(a), (b)참조). 두 成分의 合成效果는  $a^+ > a^-$ 이면 線形的인 이동이다. 또한 合成벡터成分의 경로는 橢圓(潮流橢圓) 또는  $a^+ = a^-$ 인 경우 直線이 되며 橢圓의 長軸은  $a^+ + a^-$ , 短軸은  $a^+ - a^-$ 이면 長軸의 배열방향은 X축으로부터  $\varepsilon^+ + \varepsilon^- / 2$  radian에 위치한다. 그리니치 位相은 다음과 같이 정의한다.

$$g^+ = V(t_o) - \varepsilon^+ \quad (17)$$

$$g^- = V(t_o) + \varepsilon^- \quad (18)$$

여기서  $V(t_o)$ 는 시간  $t_o$ 에서의 그리니치 位相에 대한 天文因數(radian)이다.

두 그리니치 位相을 하나의 位相으로써 표시한다 (Fig. 7(c), (d)참조).

$$g = V(t_o) - \left( \frac{\varepsilon^+ - \varepsilon^-}{2} \right) \quad (19)$$

이며

$$\text{결국 } g = \frac{g^+ + g^-}{2} \quad (20)$$

가 되는데

여기서

$$g^+ = V(t_o) - \varepsilon^+ \text{ mod}(360^\circ) \quad (21)$$

$$g^- = V(t_o) + \varepsilon^- \text{ mod}(360^\circ) \quad (22)$$

$$g = g^+ \theta \text{ mod}(360^\circ) = V(t_o) - \varepsilon^+ + \theta \text{ mod}(360^\circ) \quad (23)$$

$$g = g^- \theta \text{ mod}(360^\circ) = V(t_o) + \varepsilon^- - \theta \text{ mod}(360^\circ) \quad (24)$$

상기의 과정은 潮位分析과 유사하게 南北,東西成分의 潮流에 대해서 遂行되어 CX, SX, CY, SY成分을 구하여 이 初期結果는 極座標系에서  $a^+$ ,  $a^-$ ,  $\varepsilon^+$ ,  $\varepsilon^-$ 를 산정한 다음 橢圓成分 그리니치位相 파라미터: 長短軸의 길이, 傾斜角,  $g^+$ ,  $g^-$ ,  $g$ 를 구한다. 潮流의 豫報는 이렇게 구해진 파라미터를 入力으로하여 식 (16)을 산정하는 과정이다. 즉 식 (16)은 다음과 같이 쓰여진다.

$$Z(t) = f(t_o) a^+ \exp(i(V(t_o) + u(t_o) - g + \theta + 2\pi\sigma t)) + f(t_o) a^- \exp(i(g - V(t_o) - u(t_o) + \theta - 2\pi\sigma t)) = f(t_o) \exp(i\theta) [(a^+ + a^-) \cos(V(t_o) + u(t_o) + 2\pi\sigma t - g) + i(a^+ - a^-) \sin(V(t_o) + u(t_o) + 2\pi\sigma t - g)] \quad (25)$$

$$\phi(t, t_o) = V(t_o) + u(t_o) - g + 2\pi\sigma t \quad (26)$$

으로 놓고 實數部(東西)와 虛數部(南北)에 대해 재 정리하면

$$Z(t) = f(t_o) [(a^+ + a^-) \cos\theta \cos\phi(t, t_o) - (a^+ - a^-) \sin\theta \sin\phi(t, t_o)] + f(t_o) [(a^+ + a^-) \sin\theta \cos\phi(t, t_o) - (a^+ - a^-) \cos\theta \sin\phi(t, t_o)] \quad (27)$$

실제적인 과정은 매시간별 潮位推定과 거의 동일하다.

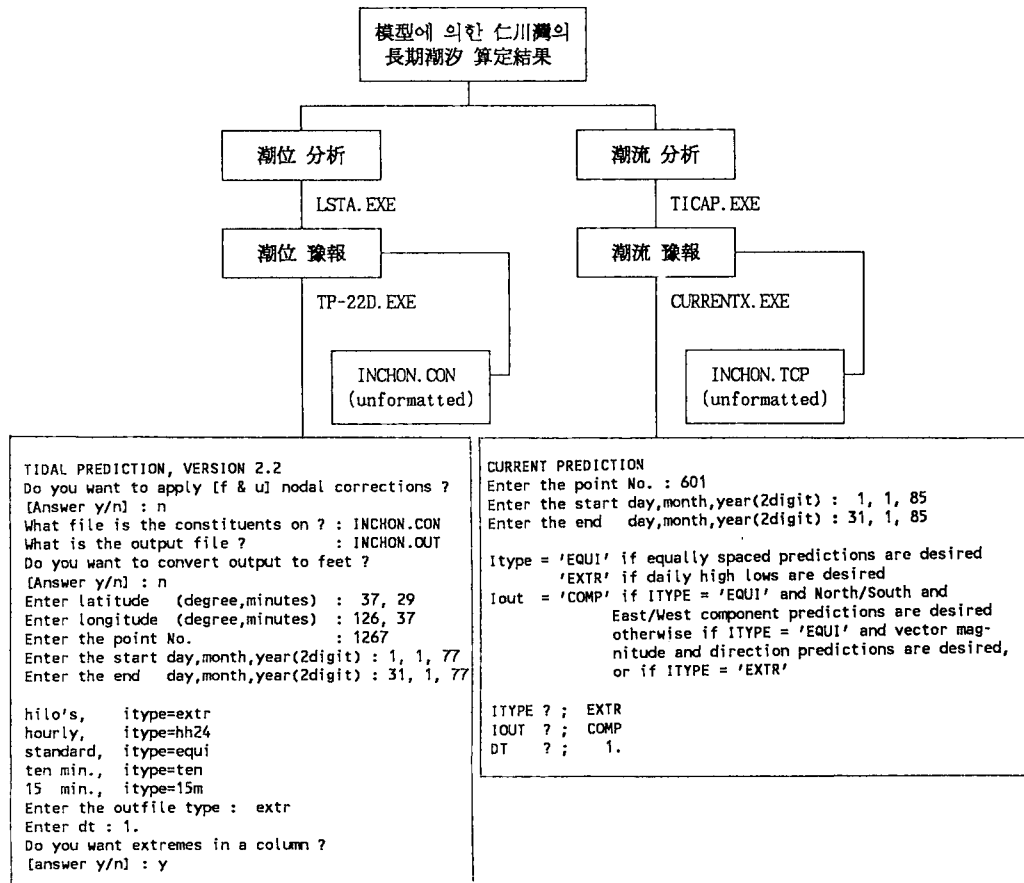


Fig. 8. 調和常數에 의한 潮位와 潮流의 豫報 block diagram.

식 (10)을 전개하면

$$D(t) = \sum_{j=1}^n \left[ X_j(t, t_0) \frac{d}{dt} X_j(t, t_0) + Y_j(t, t_0) \frac{d}{dt} Y_j(t, t_0) \right] = 0; \quad (28)$$

여기서 각 分潮는

$$X(t, t_0) = f(t_0) [(a^+ + a^-) \cos \theta \cos \phi(t, t_0) - (a^+ - a^-) \sin \theta \sin \phi(t, t_0)], \quad (29)$$

$$\frac{d}{dt} X(t, t_0) = -2\pi \sigma f(t_0) [(a^+ + a^-) \cos \theta \sin \phi(t, t_0) + (a^+ - a^-) \sin \theta \cos \phi(t, t_0)], \quad (30)$$

$$Y(t, t_0) = f(t_0) [(a^+ + a^-) \sin \theta \cos \phi(t, t_0) + (a^+ - a^-) \cos \theta \sin \phi(t, t_0)], \quad (31)$$

$$\frac{d}{dt} Y(t, t_0) = 2\pi \sigma f(t_0) [(a^+ + a^-) \sin \theta \sin \phi(t, t_0) + (a^+ - a^-) \cos \theta \cos \phi(t, t_0)] \quad (32)$$

로서 이 식의 해를 구하는 것이 最大, 最小潮流의 時刻 및 強度를 구하는 것으로 最高, 最低潮位를 算定하는 方法과 類似하다.

위와같이 調和方法에 의한 潮位와 潮流 推定의 필요성은 潮汐數值模型에 의해 模型全域에 대한 直接的인 豫報를 遂行하는 接近方法과 달리 地域적으로 水路와 같은 特定位置에서는 潮位, 潮流를 신속하게 豫報할 수 있는 代案으로서의 檢討가 必要하게 되었다. 從來의 直接潮汐(潮位, 潮流)豫報方法에 根據한 代案에서는 過去 1個月의 潮汐模型에 의해 實時間(潮汐時間) 推定된 潮汐(潮位, 潮流)을 調和分析하여 每 格子點에서의 潮位, 潮流의 分析 結果를 Data Table로서 디스크 파일에 저장한다. 潮位는 上記 8개 分潮 外에  $Z_0, M_4, MS_4, M_6, M_7$ 가 追加로 算定되어 13개 分潮의 振幅 位相이 한 파일로서 構成되는데  $Z_0$ 는 平均海面으로 0을 취하면  $+/-$ 의 海水位 變化를 算定하며 基本水準面을 基準(예: M.S.L.=457 cm) 할

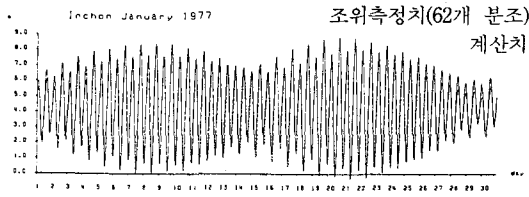


Fig. 9. 62개 분조에 의한 조위측정치와 신속측정법에 의한 계산치와의 비교

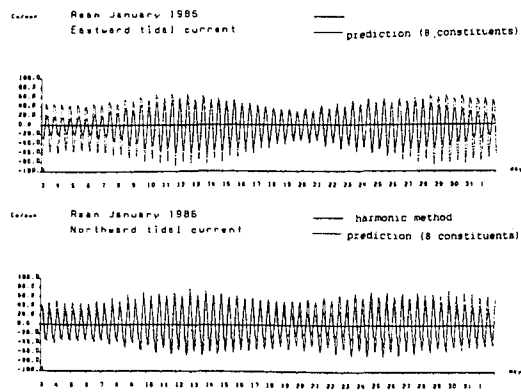


Fig. 10. 牙山灣에서의 觀測潮流와 連續推定值와의 比較

수 있다. 前者의 境遇는 格子水深(M.S.L 기준)을 더 하면 總水深이 豫報되며, 後者의 境遇의 總水深은(現場에서 水深狀況에 根據한 判斷을 할 境遇) 海圖의 水深을 合하면 된다.

模型에 의한 算定된 潮位의 分析과 豫報는 캐나다 海洋研究所가 提示하는 標準 패키지(Foreman, 1977; Foreman and Henry, 1979)를 利用하였다. 이 潮位 分析 豫報 프로그램은 現代의인 時間縮尺(Cartwright, 1985)에 의해 改善이 必要하다고는 하나 實用的인 側面에서 가장 신뢰성있게 作成된 패키지로 思料된다. 潮位 分析 및 豫報方法에 대한 것은 Godin(1972) 및 Godin과 Taylor(1972)에 자세히 敍述되어 있는데 이 境遇의 潮位 豫報는 格子點 入力, 10分, 15分, 1時間의 時系列 豫報, 日中 低,高潮位 豫報가 全部 또는 選擇的으로 遂行되는데 豫報의 速度는 한 定點에 대한 한달 豫報에 대해 PC486을 利用할 때 1초 以內(0.3초)의 迅速한 豫報가 可能하다. 潮流 豫報는 模型의 各 格子點에 算定된 東向, 北向流速의 潮流 分析值인 各 格子點의 分潮의 潮流橢圓의 特性인 半長軸 크기, 半短縮크기, 長軸의 配列方向, Greenwich 遲角의 入力資料로부터 遂行되는데 主漲潮方向이 追加的으로 入力된다. 이 境遇의 潮流 豫報는 매 時間別 潮流의

크기, 方向 또는 一日 最強潮流의 크기, 方向이 算定되는데 역시 한달 豫報에 대해 2~3秒의 迅速한 豫報가 이루어진다. 이 潮流의 分析 및 豫報 패키지는 역시 캐나다水路局(Foreman, 1978)이 採擇한 方向을 취하였는데 主漲潮方向은 M2分潮의 漲潮方向을 택하여 豫報토록 하였다. Fig. 8에는 上記方法의 概要가 Block Diagram으로 提示되는데 Fig. 9는 이 方法에 의한 1977年 仁川港의 潮位推定(點線)과 62개 分潮에 의한 算定을 提示하며 Fig. 10은 牙山港 入口에서의 1985年 8月 觀測潮流(건설부, 1985)와 豫報潮流와의 比較를 提示하였다. 이 圖式的인 豫報와 더불어 定量的인 數値는 Table 1, 2, 3에 提示된 바와 같이 每時間 潮位 豫報, 低高潮時刻 및 潮位 豫報와 日最大, 最小(Maximum and Minimum)潮流의 強度, 時刻, 方向과 東向, 北向成分의 潮流時系列의 豫報로서 多樣하게 出力시킬 수 있다.

### 5. 結 論

個人用 컴퓨터를 利用한 仁川灣 潮汐을 實潮汐時 間 豫報하는 體系構成에 대한 初期努力을 敍述하였다. 模型에 의한 直接計算과 潮位와 潮流의 調和常數 dataset에 의한 間接的인 方法의 兩者가 다 妥當한 接近 方法이나 調和常數에 의한 迅速推定이 現場適用에는 容易할 것이며 다음 事項의 改善이 必要하다.

- 1) 開放境界에서의 潮位 觀測을 數個月 遂行하여 入力の 分潮를 30餘個로 追加시킬 境遇에 灣全域의 潮位 豫報를 相當한 水準으로 改善시킬 수 있다.
- 2) 潮流 豫報의 境遇는 좀더 解像도가 높은 模型에 의한 豫報가 必要한데 主水路를 包含한 灣全域의 長期潮流 觀測이 模型의 檢證을 위해 필수적인데 여전히 模型의 水深平均된 潮流算定과 一定水深의 定點에서의 觀測된 潮流와의 相關 關係를 맺는 일은 容易치 않을 것(Godin, 1991)이나 仁川灣과 같이 淺水深의 狀況에서 潮汐이 優勢한 海域에서는 相對的으로 큰 誤差가 없는 推定이 可能할 것으로 생각된다.
- 3) 이 海域에 高周波海流 觀測레이다 또는 ADCP의 運用을 통한 觀測 프로그램은 더 詳細한 模型(예: 3次元 模型)의 樹立과 더불어 追後의 努力이 要求되는 分野이다.
- 4) 調和常數에 의한 迅速 推定法은 1999년까지의 豫報를 遂行할 수 있으므로 이를 Gregorian 月曆으로



Table 1. 毎時潮位豫報(例)  
 TIDAL RESEARCH LABORATORY, SUNG KYUN KWAN UNIVERSITY  
 (0331) 290-5636  
 HOURLY PREDICTIONS FOR INCHON BAY  
 LATITUDE 37 37 LONGITUDE 126 37 UTIME ZONE - DT = 1.0000 HOURS  
 HEIGHTS ARE IN METRES REFERRED TO LOCAL MEAN SEA LEVEL  
 JANUARY 1986

DAY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	HOUR
1	1.7	1.3	2.0	3.5	5.2	6.2	6.7	6.6	5.9	4.7	3.4	2.4	1.6	1.1	1.5	3.0	4.9	6.4	7.1	7.4	7.0	6.0	4.7	3.4	3.4
2	2.5	1.7	1.5	2.3	3.9	5.4	6.3	6.6	6.5	5.8	4.6	3.4	2.5	1.8	1.4	1.9	3.4	5.2	6.4	6.9	7.0	6.7	5.6	4.4	4.4
3	3.3	2.4	1.7	1.6	2.6	4.1	5.4	6.1	6.4	6.4	5.7	4.6	3.6	2.7	2.1	1.7	2.3	3.7	5.2	6.1	6.6	6.7	6.3	5.4	5.4
4	4.2	3.2	2.4	1.7	1.7	2.7	4.1	5.3	6.0	6.3	6.4	5.8	4.9	3.9	3.1	2.4	2.0	2.5	3.8	5.0	5.8	6.2	6.5	6.2	6.2
5	5.3	4.2	3.3	2.4	1.7	1.7	2.7	4.0	5.1	5.8	6.4	6.6	6.1	5.2	4.3	3.4	2.6	2.1	2.5	3.6	4.7	5.5	6.0	6.3	6.3
6	6.1	5.3	4.3	3.3	2.3	1.6	1.6	2.5	3.8	4.9	5.8	6.5	6.9	6.5	5.6	4.7	3.7	2.7	2.1	2.4	3.4	4.4	5.2	5.9	5.9
7	6.4	6.2	5.3	4.3	3.3	2.2	1.3	1.3	2.3	3.6	4.8	5.9	6.9	7.3	6.8	6.0	4.9	3.8	2.6	1.9	2.2	3.2	4.2	5.2	5.2
8	6.0	6.5	6.3	5.4	4.3	3.2	1.9	1.0	1.1	2.1	3.5	4.9	6.2	7.3	7.6	7.1	6.2	5.0	3.6	2.3	1.6	2.0	3.0	4.2	4.2
9	5.3	6.3	6.8	6.4	5.4	4.2	2.9	1.6	0.7	0.8	2.0	3.6	5.1	6.6	7.7	7.9	7.3	6.2	4.9	3.3	1.9	1.3	1.9	3.1	3.1
10	4.3	5.5	6.6	6.9	6.4	5.3	4.0	2.6	1.2	0.3	0.8	2.2	3.9	5.5	7.0	8.0	8.0	7.2	6.0	4.5	2.9	1.5	1.1	1.9	1.9
11	3.3	4.7	5.9	6.8	7.0	6.3	5.1	3.7	2.2	0.8	0.2	0.9	2.5	4.3	6.0	7.4	8.2	7.9	6.9	5.6	4.1	2.4	1.2	1.1	1.1
12	2.1	3.6	5.1	6.3	7.0	7.0	6.1	4.7	3.4	1.9	0.6	0.3	1.3	3.1	4.9	6.4	7.6	8.1	7.6	6.4	5.0	3.5	2.0	1.0	1.0
13	1.2	2.6	4.1	5.5	6.5	7.0	6.7	5.7	4.4	3.0	1.6	0.6	0.6	1.9	3.7	5.4	6.7	7.6	7.8	7.0	5.8	4.5	3.0	1.7	1.7
14	1.0	1.6	3.1	4.6	5.8	6.6	6.9	6.4	5.3	4.0	2.8	1.6	0.8	1.1	2.6	4.4	5.8	6.8	7.4	7.3	6.4	5.2	4.0	2.7	2.7
15	1.5	1.2	2.1	3.7	5.0	6.0	6.5	6.6	6.0	4.9	3.8	2.7	1.7	1.2	1.8	3.3	4.9	6.0	6.7	7.1	6.7	5.7	4.6	3.5	3.5
16	2.5	1.6	1.6	2.7	4.2	5.3	5.9	6.3	6.3	5.6	4.6	3.7	2.8	2.0	1.8	2.6	4.0	5.3	6.0	6.5	6.6	6.1	5.2	4.2	4.2
17	3.3	2.4	1.8	2.1	3.2	4.5	5.3	5.8	6.1	5.9	5.3	4.4	3.7	3.0	2.4	2.3	3.2	4.5	5.4	5.9	6.1	6.1	5.5	4.7	4.7
18	3.9	3.2	2.5	2.1	2.5	3.6	4.6	5.2	5.6	5.8	5.7	5.1	4.4	3.9	3.3	2.8	2.8	3.7	4.7	5.3	5.6	5.7	5.6	5.2	5.2
19	4.4	3.8	3.2	2.6	2.3	2.8	3.8	4.6	5.1	5.4	5.7	5.6	5.1	4.6	4.1	3.6	3.1	3.2	3.9	4.7	5.1	5.3	5.4	5.4	5.4
20	4.9	4.3	3.8	3.2	2.6	2.4	2.9	3.8	4.5	5.0	5.4	5.7	5.6	5.2	4.8	4.4	3.8	3.2	3.3	3.9	4.5	4.8	5.1	5.3	5.3
21	5.3	4.8	4.3	3.8	3.2	2.6	2.4	2.9	3.8	4.4	4.9	5.5	5.9	5.8	5.4	5.0	4.5	3.8	3.2	3.2	3.8	4.3	4.7	5.0	5.0
22	5.4	5.3	4.9	4.3	3.7	3.1	2.4	2.2	2.8	3.7	4.5	5.1	5.8	6.2	6.1	5.6	5.1	4.4	3.5	2.9	2.9	3.6	4.2	4.7	4.7
23	5.2	5.6	5.5	4.9	4.2	3.6	2.8	2.0	1.9	2.7	3.7	4.6	5.5	6.3	6.7	6.4	5.7	5.0	4.1	3.1	2.5	2.6	3.4	4.2	4.2
24	4.9	5.5	5.9	5.7	4.9	4.1	3.3	2.3	1.6	1.7	2.6	3.9	5.0	6.0	6.8	7.0	6.5	5.6	4.7	3.6	2.5	2.0	2.4	3.5	3.5
25	4.5	5.3	6.0	6.2	5.8	4.8	3.8	2.8	1.8	1.2	1.5	2.8	4.3	5.6	6.7	7.3	7.3	6.4	5.3	4.2	3.0	1.9	1.6	2.4	2.4
26	3.7	4.9	5.8	6.5	6.5	5.7	4.6	3.4	2.3	1.3	0.8	1.5	3.1	4.8	6.2	7.2	7.7	7.3	6.4	4.9	3.6	2.3	1.4	1.4	1.4
27	2.6	4.1	5.5	6.4	6.9	6.6	5.6	4.2	2.9	1.8	0.8	0.7	1.8	3.7	5.5	6.8	7.7	7.8	7.1	5.7	4.3	3.0	1.7	1.0	1.0
28	1.5	3.0	4.7	6.0	6.9	7.1	6.6	5.3	3.8	2.5	1.4	0.6	0.8	2.3	4.3	6.1	7.3	7.9	7.7	6.7	5.1	3.7	2.4	1.3	1.3
29	0.9	1.7	3.5	5.3	6.5	7.2	7.2	6.4	4.9	3.4	2.2	1.1	0.6	1.1	2.9	5.0	6.6	7.5	7.8	7.4	6.1	4.5	3.1	1.9	1.9
30	1.0	1.0	2.2	4.1	5.8	6.8	7.3	7.1	6.1	4.6	3.2	2.0	1.1	0.8	1.6	3.5	5.5	6.8	7.5	7.6	6.9	5.5	4.0	2.7	2.7
31	1.6	1.0	1.2	2.7	4.6	6.1	6.9	7.2	6.9	5.8	4.4	3.1	2.1	1.3	1.2	2.2	4.0	5.7	6.8	7.2	7.1	6.4	5.0	3.6	3.6

Table 2. 低高潮豫報(例)  
HI/LO PREDICTION OF TIDE LEVEL AT APPROACH CHANNEL

1	186	157	1.34	11	186	442	7.08	21	186	30	5.35
1	186	725	6.70	11	186	1059	0.20	21	186	648	2.36
1	186	1408	1.12	11	186	1716	8.19	21	186	1323	5.94
1	186	1958	7.37	11	186	2334	0.94	21	186	1929	3.07
2	186	245	1.42	12	186	526	7.12	22	186	129	5.42
2	186	817	6.59	12	186	1145	0.23	22	186	745	2.18
2	186	1500	1.42	12	186	1759	8.08	22	186	1416	6.27
2	186	2049	7.05	13	186	19	0.92	22	186	2025	2.80
3	186	335	1.52	13	186	610	7.06	23	186	221	5.62
3	186	922	6.47	13	186	1230	0.42	23	186	837	1.87
3	186	1557	1.73	13	186	1840	7.84	23	186	1502	6.66
3	186	2151	6.72	14	186	102	1.02	23	186	2117	2.42
4	186	431	1.59	14	186	653	6.90	24	186	308	5.92
4	186	1037	6.44	14	186	1314	0.76	24	186	926	1.51
4	186	1659	1.99	14	186	1921	7.48	24	186	1544	7.05
4	186	2301	6.46	15	186	145	1.21	24	186	2203	1.99
5	186	530	1.58	15	186	737	6.66	25	186	351	6.25
5	186	1150	6.57	15	186	1359	1.21	25	186	1011	1.14
5	186	1804	2.12	15	186	2001	7.05	25	186	1624	7.41
6	186	10	6.35	16	186	229	1.47	25	186	2246	1.59
6	186	631	1.46	16	186	823	6.37	26	186	432	6.59
6	186	1258	6.87	16	186	1446	1.73	26	186	1055	0.83
6	186	1909	2.07	16	186	2043	6.59	26	186	1703	7.70
7	186	114	6.40	17	186	315	1.77	26	186	2328	1.25
7	186	730	1.21	17	186	914	6.07	27	186	512	6.90
7	186	1359	7.25	17	186	1534	2.25	27	196	1138	0.60
7	186	2011	1.87	17	186	2128	6.13	27	186	1741	7.88
8	186	212	6.56	18	186	403	2.05	28	186	9	1.00
8	186	828	0.89	18	186	1012	5.82	28	186	552	7.14
8	186	1454	7.64	18	186	1628	2.71	28	186	1220	0.51
8	186	2108	1.59	18	186	2222	5.73	28	186	1819	7.93
9	186	306	6.76	19	186	455	2.28	29	186	51	0.86
9	186	921	0.57	19	186	1118	5.69	29	186	632	7.28
9	186	1545	7.95	19	186	1726	3.04	29	186	1304	0.56
9	186	2200	1.30	19	186	2325	5.45	29	186	1858	7.84
10	186	355	6.95	20	186	551	2.40	30	186	133	0.83
10	186	1011	0.32	20	186	1223	5.73	30	186	715	7.31
10	186	1632	8.15	20	186	1827	3.16	30	186	1349	0.77
								10	186	2249	1.08
								30	186	1938	7.61
								31	186	217	0.91
								31	186	802	7.23
								31	186	1438	1.10
								31	186	2023	7.26

**Table 3.** 潮流豫報(最大, 最小 巽 東向, 北向 流速 豫報の 例)  
 FLOOD DIRECTION IN DEGREES COUNTER-CLOCKWISE FROM EAST=320.88 (=129.12 DEGREES CLO-CKWISE FROM NORTH)

STN	DATE	MAG	DIR	TIME	MAG	DIR	TIME	MAG	DIR	TIME	MAG	DIR	
1	1 186	111	14.89	118.3	223	20.21	130.3	337	1.02	219.9	622	78.62	312.7
1	1 186	1011	3.40	221.5	1143	25.08	134.3	1322	17.42	122.5	1406	18.27	125.9
1	1 186	1534	0.03	193.3	1844	78.31	311.8	2250	2.82	222.0			
1	2 186	11	29.20	135.2	154	14.58	117.0	302	18.79	127.7	416	0.13	215.9
1	2 186	708	70.38	312.1	1108	2.93	219.9	1241	19.62	132.0	1606	1.14	42.5
1	2 186	1927	65.90	310.9	2342	1.94	223.1						
1	3 186	102	24.35	132.9	239	13.39	114.5	343	16.55	124.9	457	0.40	48.7
1	3 186	756	62.19	311.0	1213	1.72	215.4	1345	15.27	127.2	1642	1.96	40.0
1	3 186	2015	53.33	309.4									
1	4 186	38	0.80	217.6	154	19.95	129.8	325	11.66	110.3	429	14.40	122.8
1	4 186	541	0.48	44.6	850	55.45	309.7	1325	0.08	225.7	1455	12.30	120.5
1	4 186	1724	2.34	39.2	2111	43.01	307.1						
1	5 186	135	0.33	54.7	246	16.16	125.7	409	10.28	105.9	519	13.55	123.0
1	5 186	631	0.05	89.7	947	51.82	308.4	1435	1.32	37.8	1603	10.92	115.4
1	5 186	1816	2.10	36.7	2216	38.25	305.5						
1	6 186	232	1.27	37.1	339	13.66	121.0	451	10.10	105.5	610	14.46	125.7
1	6 186	725	0.84	214.6	1046	52.41	308.0	1537	2.10	40.5	1703	11.49	116.1
1	6 186	1925	0.87	28.7	2319	40.32	306.4						

STN	1ST HR	DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	DT HRS
1	1.00	1186	-7.31	-11.28	-10.76	8.12	34.42	52.11	47.56	28.24	1.00
1	9.00	1186	13.63	0.43	-14.56	-16.31	-9.93	-10.54	-7.57	7.92	1.00
1	17.00	1186	28.18	46.91	50.94	35.38	22.07	14.08	-5.83	-20.72	1.00
1	1.00	2186	-12.99	-6.72	-11.40	-4.93	15.69	36.65	47.15	38.12	1.00
1	9.00	2186	19.54	8.64	0.77	-11.65	-11.99	-8.03	-7.97	-0.52	1.00
1	17.00	2186	15.23	30.27	41.83	39.38	23.26	14.75	9.81	-7.14	1.00
1	1.00	3186	-16.64	-8.58	-6.35	-9.48	1.17	19.91	35.10	40.70	1.00
1	9.00	3186	29.55	13.43	7.02	0.75	-8.09	-8.09	-6.18	-4.40	1.00
1	17.00	3186	5.30	18.03	27.29	33.70	28.21	14.93	12.02	8.77	1.00
1	1.00	4186	-6.61	-12.38	-5.14	-5.87	-7.02	5.29	20.52	31.69	1.00
1	9.00	4186	34.93	23.42	10.81	8.62	3.83	-4.82	-6.10	-4.41	1.00
1	17.00	4186	-1.31	7.99	16.14	21.33	25.96	20.81	11.98	12.98	1.00
1	1.00	5186	8.99	-5.64	8.51	-2.93	-6.16	-5.60	6.81	18.98	1.00
1	9.00	5186	28.74	31.58	2.66	11.79	12.60	7.27	-2.55	-4.72	1.00
1	17.00	5186	-3.47	-0.08	6.98	11.18	15.70	21.91	18.77	13.35	1.00
1	1.00	6186	15.31	8.98	4.80	-5.74	-2.86	-7.87	-5.36	6.70	1.00
1	9.00	6186	17.39	28.23	31.62	21.35	15.67	17.63	9.73	-2.17	1.00
1	17.00	6186	-5.09	-4.07	1.21	3.20	5.92	13.62	23.20	21.17	1.00

STN	1ST HR	DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	DT HRS
1	1.00	1186	13.34	15.20	10.79	-10.10	-37.13	-55.85	-54.04	-3.31	1.00
1	9.00	1186	-21.79	-5.73	12.11	18.04	15.05	14.86	8.99	-8.98	1.00
1	17.00	1186	-31.43	51.74	57.95	-45.35	-31.67	-20.10	2.12	19.76	1.00
1	1.00	2186	17.16	13.03	14.89	5.31	-17.04	-39.51	-51.94	-45.99	1.00
1	9.00	2186	29.45	-16.72	-3.77	10.44	14.75	13.21	12.05	2.34	1.00
1	17.00	2186	-15.75	-33.55	-47.41	-47.63	-33.93	-23.72	-14.52	5.05	1.00
1	1.00	3186	17.77	14.19	12.60	12.60	-0.71	-21.54	-39.03	-46.97	1.00
1	9.00	3186	38.72	-23.69	14.33	-3.94	8.34	12.34	11.54	8.55	1.00

Table 3. 계속

STN	1ST HR	DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	DT HRS
1	17.00	3186	-3.19	-18.72	-31.43	-40.50	-37.57	-25.57	-19.55	-11.68	1.00
1	1.00	4186	6.31	15.40	11.72	11.78	9.58	-5.38	-23.32	-37.18	1.00
1	9.00	4186	-42.63	-33.46	-20.75	-14.53	-5.33	6.53	10.68	9.94	1.00
1	17.00	4186	5.43	-6.20	-17.93	-26.96	-33.98	-30.66	-21.68	-18.5	1.00
1	1.00	5186	-10.05	7.00	13.10	10.00	11.34	7.17	-8.15	-23.52	1.00
1	9.00	5186	-35.82	-40.34	-30.99	-20.78	-16.68	-7.04	5.46	9.84	1.00
1	17.00	5186	8.90	3.71	-6.33	-14.77	-22.87	-30.60	-28.25	-21.50	1.00
1	1.00	6186	-18.77	-8.41	7.59	11.48	9.79	11.82	5.51	-9.76	1.00
1	9.00	6186	-23.81	-36.57	-40.90	-31.41	-23.24	-19.78	-8.06	5.83	1.00
1	17.00	6186	10.30	8.99	3.76	-4.35	-11.51	-21.82	-31.70	-29.61	1.00

21世紀 또는 數世紀前의 潮汐도 예보가 可能한 體系 (Foreman, 1992)로서 修正을 遂行해야 하는 作業을 遂行中에 있다.

上記 提示되는 仁川灣의 潮汐豫報의 改善을 위한 現場觀測의 實現을 위한 努力과 더불어 細格子體系에 의한 模型의 改善이 現在 遂行되고 있는데 西海岸 開發 및 海洋環境保存의 側面에서 重要한 沿岸海洋學的인 課業으로 생각된다.

## 謝 辭

本 研究은 1995년도 韓國機械研究院의 “韓國近海의 潮流豫測”(해상누출유 확산방지 기술개발의 위탁과 제)로서 部分的인 研究 支援이 있었다.

## 參考文獻

- 建設部, 1985. 平澤 LNG航路水路測量 潮流觀測報告書, 韓國海洋科學技術(株).
- 交通部 水路局, 潮汐計算用 諸表추보 1970-1999.
- 崔秉昊, 李錫祐, 1985. 仁川灣 潮汐數值모델의 沿岸航行에의 適用, 韓國港灣協會誌, 港灣.
- 崔秉昊, 1987. 仁川灣 潮汐의 主分潮, 韓國港灣協會誌 “港灣”.
- 崔秉昊, 安益壯, 全德-, 1992. 仁川灣 및 漢江體系의 數值 模型, 韓國海岸·海洋工學會誌, 4(2), pp. 130-137.
- British Hydrographic Dept, 1945. Admiralty, Atlas of Tides, Tidal streams and currents, Coast of Siam, Indo-China and South China. H.D. 405.
- Cartwright, D.E. and Taylor, R.J., 1971. New computation of the tide-generating potential, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 23, pp. 45-74.
- Cartwright, D.E. and Edden, A.C., 1973. Corrected tables of tidal harmonics, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 33, pp. 253-264.
- Cartwright, D.E., 1985. Tidal prediction and modern time scales, *International Hydrographic Review*, 67(1), pp. 127-138.
- Cheng, R.T. and Burau, J.R., 1988. System considerations in numerical modeling of estuarine problems. *Proc. of Inter. Conf. on Computational Methods in Flow Analysis*, pp. 1025-1932.
- Choi, B.H., 1980. Tidal computation for Incheon Bay, *Journal of the Oceanological Society of Korea*, 15(2), pp. 112-122.
- Choi, B.H., 1981. A tide and surge computation for Kyonggi Bay, *Bulletin of KORDI*, 3(1).
- DHI, 1983a. Atlas der Gezeitenströme in der Deutschen Bucht, Deutsches Hydrographisches Institut, Nr. 2346.
- DHI, 1983b. Die Strömungen in der Deutschen Bucht, Deutsches Hydrographisches Institut, Nr. 2347.
- Dick, S. and Soetje, Z., 1990. Ein operationelles Olausbreitungsmodell für die Deutsche Bucht, *Dt.-hydrogr. Z., Ergänzung*, A, 1b, 43s.
- Dick, S., Mittelstaedt, E. and Müller-Navarra, S., 1992. Der Küstennahe Gezeitenstrom in der Deutschen Bucht, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Deutsches Hydrographisches Institut, Nr. 2348.
- Doodson, A.T., 1921. The harmonic development of the tide-generating potential, *Philosophical Transaction of Royal Society-London*, A, 100, pp. 305-329.
- Flather, R.A. and Heaps, N.S., 1975. Tidal computation for Morecambe Bay, *Geophys. J. Roy. Astro. Soc.*, 42, pp. 489-517.
- Foreman, M.G.G., 1977. Manual for tidal heights analysis and prediction, Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Science, British Columbia, 101p.
- Foreman, M.G.G., 1978. Manual for tidal currents analysis and prediction, Pacific Marine Science Report 78-6, Institute of Ocean Science, British Columbia, 70p.
- Foreman, M.G.G. and Henry, R.F., 1979. Tidal analysis based on high and low water observations, Pacific Marine Science Report 79-15, Institute of Ocean Science, British Columbia, 39p.
- Foreman, M.G.G., 1992. Update for IOS tidal package, personal communication.
- Godin, G., 1972. The analysis of tides, University of Liverpool Press.
- Godin, G. and Taylor, J., 1972. A simple method for the

- prediction of the time and height of high and low water. *International Hydrographic Review*. 1(2).
- Godin, G., 1991. The analysis of tides and currents. Tidal hydrodynamics, (ed) B.B. Parker, John Wiley & Sons, Inc., pp. 675-709.
- Hecht, Jr. L.G., 1991. Monitoring the Chesapeake Bay in real time, GIS World, December, pp. 88-93.
- Schreman, P., 1958. Manual of harmonic analysis and prediction of tides, U.S. Coast and Geodetic Survey, 317p.
- Swanson, C. and Spaulding, M., 1975. Generation of tidal current and height charts for Narragansett Bay using a numerical model, Marine Technical Report 35, Marine Advisory Service, University of Rhode Island.