

仁川灣 潮汐의 實時間 豫報體系

崔 秉昊,* 李 昊俊 *

1. 結論

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 海洋調査活動의 制約이 複合的인 要因으로서 이 海域의 基礎資料確保에 障礙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 油類流出事故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 질실하게 되었다. 本 研究에서는 既發表된 仁川灣의 潮汐模型(Choi, 1980)을 實時間豫報體系로 改善시키기 위한 初期努力을 敍述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 導船士의 操船活動에 必須的인 것이나 이러한 情報가 實時間的으로 自動化된 體系로서 提供되고 있지 않다. 즉 沿岸航海誌와 더불어 特定한 水路의 潮流資料는 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 潮位の 關係로서 外挿시켜 利用하는 方法이 通常的으로 利用되어 오는데 프랑스에서는 潮汐係數(tidal coefficient)가 利用되며 英國 水路部(British-Hydrographic Department) 역시 類似한 外挿 방법을 제시하고 있다. (Atlas of tides and tidal-stream). 이러한 從來의 方法을 改善하기 위한 現代的인 潮流豫報가 1980年 初부터 시도되기 시작하고있는데 西獨水路部 (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되어 있다. 美國은 特定 河口(Hecht, 1991; Cheng과 Burau, 1988)에 대한 潮汐數值模型을 利用한 潮汐豫報를 綜合的인 環境 모니터링體系에서 構成하고 있다.

仁川灣의 潮汐推定을 위해 제시된 初期豫報方法(崔와 李, 1986)은 主太陰半日週潮의 潮汐模型에 依한 平均潮汐狀況의 한 潮汐週期の 潮位, 潮位算定效果는 3.0 ~ 9.0m 사이의 潮差에따른 5.8 ~ 6.2 m를 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 外挿시켜

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

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 數值模型에 의한 平均潮汐의 外插에 의해 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적으로 利用하는 從屬的인 豫報方法보다는 本 研究에서 提示되는 模型에 의한 直接算定法 또는 模型結果를 利用하여 調和方法에 의한 特定時刻의 實時間豫報體系로서의 改善이 必要하게 되었다.

仁川灣 模型은 非線形移流項 및 摩擦項이 包含된 動水力學方程式의 解를 구하는 것으로서 자세한 數值解法은 여러 문헌(Flather and Heaps, 1975; Choi, 1980)에 紹介되어 있으므로 再述치 않는다. 前回の 仁川灣模型을 改善시켜 海面壓力傾斜項과 海底摩擦應力項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 海澁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 敍述하였다. 또한 이 仁川灣 模型을 1/3 로 細分化한 1/3 海里 細格子 模型(Fig 1)을 亦是 樹立하여 實時間 豫報의 補完的인 模型으로 利用하였다.

3. 仁川灣의 潮汐推定

3.1 潮汐模型에 의한 直接推定

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로서의 形態로서 表示된다.

$$\xi = \sum_{i=1}^n f_i H_i \cos(\sigma_i t + u_i + V_i - K_i)$$

여기서 H_i, K_i 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(최, 1987). σ_i 는 分潮의 角速度, V_i 는 相應하는 分潮의 124.5 °E의 子午線의 平均分潮의 位相(潮汐推定始作日時)이며 f_i, u_i 는 振幅과 位相(遲角)의 18.6 年 潮汐週期의 變化를 考慮한 nodal factor이다. V_i, f_i , 및 u_i 는 Schureman의 文獻(1958), 交通部水路局의 潮汐計算用諸表 또는 天文軌道要素 s, h , 및 n 으로부터 아래와 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} V_i &= I_{1,i} s + I_{2,i} h + \sigma_{1,i} t \\ f_i &= a_{1,i} + a_{2,i} \cos(n) + a_{3,i} \cos(2n) \\ u_i &= b_{1,i} \sin(n) \end{aligned}$$

여기서 係數 I_1, I_2, a_1, a_2, a_3 , 및 b_1 은 Doodson(1921) 으로부터 취한다.

模型의 潮位檢證은 1963 年 3 月 및 1965 年 7 月の 各 2 個月을 택하여 檢證하였는데 仁川港의 觀測潮位와 模型算定値는 全般的인 一致를 보였지만 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되고있는 反

面에 模型에서는 8個分潮(崔, 1987)만을 外海境界入力으로 利用 하였기 때문에 발생하였다.

3.2 潮汐의 調和常數에 의한 潮位와 潮流의 豫報

上記方法是 模型全域에 대한 直接的인 豫報를 遂行하는 方法인 反面에 地域的으로 水路와 같은 特定位置에서는 潮位, 潮流를 더 迅速하게 豫報할 수 있는 代案의 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 實時間 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 디스크 파일로서 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 한파일로서 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 수 있다. 前者의 境遇는 格子水深(M.S.L 기준)을 더하면 總水深이 豫報되며, 後者の 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 水路局이 利用한 標準 패키지(Foreman, 1977 ; Foreman and Henry, 1979)를 利用하였다. 이 潮位分析 豫報 프로그램은 現代的인 時間縮尺(Cartwright, 1985)에 의해 改善이 必要하다고는 하나 實用的인 側面에서 世界的으로도 가장 잘 作成된 패키지로 思料된다. 이 境遇의 潮位豫報는 格子點 入力, 10分, 15分, 1時間의 시계열 豫報, 日中 低, 高潮位豫報가 전부 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(0.3秒)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 半長軸 크기, 半短縮크기, 長軸의 配列方向, Greenwich 遲角의 資料로 부터 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 신속한 豫報가 이루어진다. 이 潮流의 分析 및 豫報 패키지 亦是 캐나다水路局(Foreman, 1978)이 採擇한 方向을 취하였는데 主漲潮方向은 M_2 分潮의 漲潮方向을 택하여 豫報토록 하였다. Fig. 2에는 上記方法의 概要가 Block diagram으로 提示되는데 Fig. 3은 이 方法에 의한 1977년 仁川港의 潮位推定(點線)과 62個分潮에 의한 算定(實線)을 提示하며 Fig. 4은 牙山港入口에서의 1985年 5月 觀測潮流(建設部, 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 로서 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.

4. 討議 및 結論

個人用 컴퓨터를 利用한 仁川灣 潮汐을 實時間豫報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 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의 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 解像度가 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 入力이 要求되는 分野이다.

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 研究일 것이다.

參考文獻

- 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., 1980, Tidal computation for Incheon Bay, *Journal of the Oceanological Society of Korea*, 15(2), pp 112~122
- 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.

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.

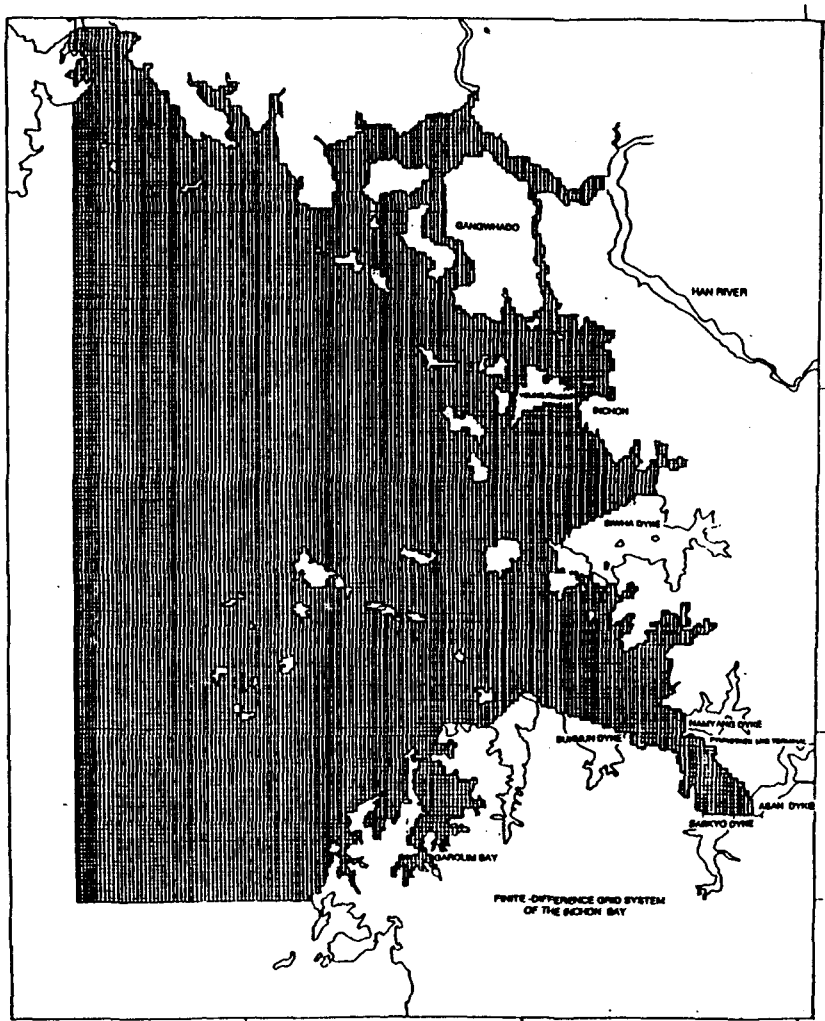


Fig.1 仁川港 潮汐豫報模型의 計算格子 體系

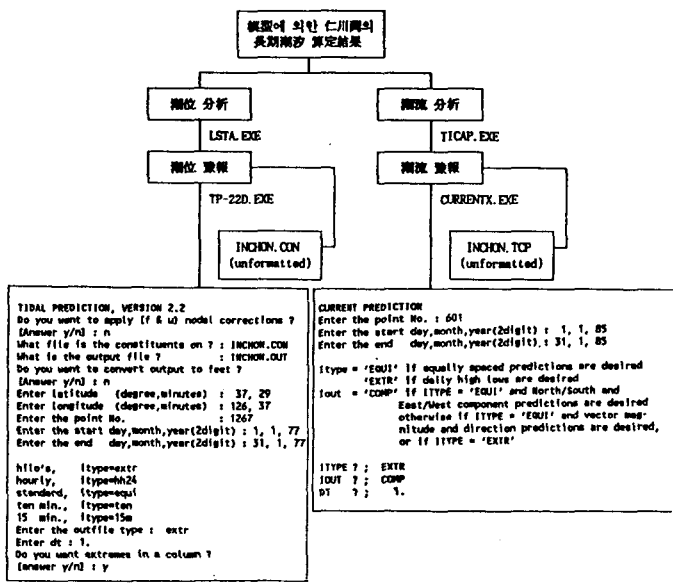


Fig.2 調和常數에 의한 潮位와 潮流의 豫報 block diagram

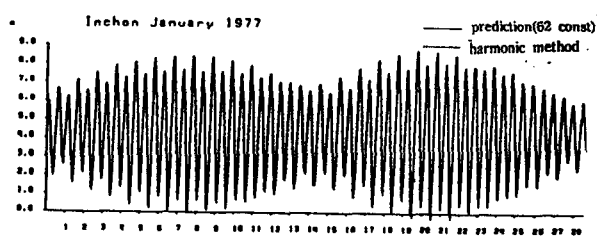


Fig.3 豫報模型의 潮位의 檢證 曲線(仁川港)

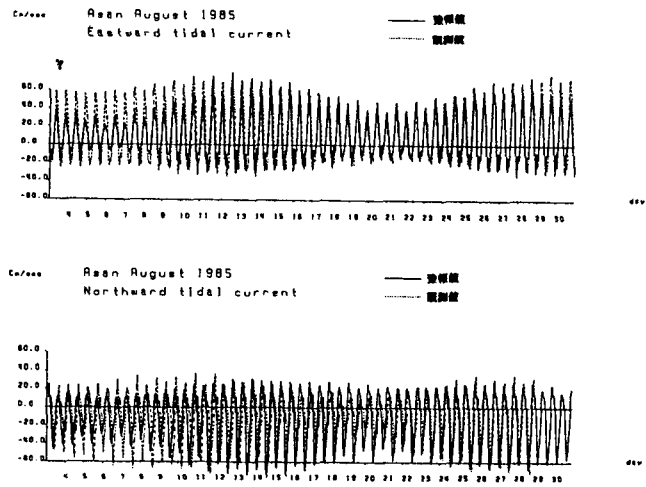


Fig. 4 牙山港入口(PC1)의 觀測潮流와 豫報値와의 比較