

## 防潮堤 築造時 水理特性 및 潮間帶의 模擬解析 Hydraulic Characteristics and Intertidal-flat Simulation during Sea Dike Construction

崔興植\* · 李吉成\*\*

Hung Sik Choi\* and Kil Seong Lee\*\*

**要 旨** : 새만금 해역의 방조제 축조시의 조간대의 흐름을 재현하고 수리특성을 분석하기 위해서 2차원 모형에 의한 수치해석을 수행하였다. 수학적 모형으로서 천수방정식을 택하였으며, 그에 따른 수치모형으로는 Leendertse의 ADI 기법을 사용하였다. 모형에 의한 계산결과는 농업진흥공사(1985)의 수리 실험 결과와 잘 일치하였다. 모형의 적용에 있어서 급변류 해석의 가능성 및 개방구간 수리계산의 정확성을 높이기 위한 난류모형의 도입에 관하여 기술하였다. Stelling 등(1986)의 방법을 수정함으로써 간석지 매립시의 조간대 해석에 대하여 flooding/drying 효과를 연속적으로 모의할 수 있다.

**Abstract** □ A two-dimensional numerical analysis is performed for the simulation of intertidal-flat and analysis of hydraulic characteristics during seadike construction in Sae-Man-Keum tidal basin. The shallow water equations are selected as a mathematical model and the Leendertse's ADI scheme is used as the corresponding numerical model. The simulated results of tide and current by the present model agree well with the experimental results by the hydraulic Lab. of ADC (1989). In the application of the model, the possibility of rapidly varied flow analysis and the introduction of turbulence model required for more accurate hydraulic calculation at closing gap are described. The successive simulation of flooding/drying effects by a modification of the method by Stelling *et al.* (1986) can easily be used for the intertidal-flat analysis during tidal reclamation.

### 1. 緒 論

産業의 급격한 성장과 더불어 臨海 工業團地造成, 農地造成, 農業用水開發, 海岸慰樂施設 設置 등을 위한 대규모 河口堰 및 防潮堤의 築造가 國토개발의 일환으로 활발히 진행되고 있다. 西南海岸의 경우는 感潮河川 上流部에서 유입되는 土砂가 河口 또는 海岸線에 堆積, 堆積되어 평탄한 壟漉地를 이루고 있다. 이같은 조건은 우리나라 서남해안의 干拓에 유리한 自然條件으로 되어 있다.

干拓事業에서 防造堤 築造가 그 주축이며 공사의 大小 規模를 막론하고 그 成敗를 가름하는 工程이 最終締切이므로 체질에 따른 潮汐의 水理特性 分析이 요구된다. 특히 공사진행에 따른 체질구간의 進陞에

의한 通水斷面積의 減小로 潮汐에 의한 内外水位差의 增加에 의한 큰 조석량의 流出入과 潮間帶의 flooding/drying 효과를 고려한 모형의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구는 현재 干拓事業이 활발히 진행되고 있는 새만금지구의 水理模型實驗과 더불어 그 실험 모형을 대상으로한 數值實驗을 실시하여 締切區間에서의 水理特性 및 潮間帶의 模擬發生에 대한 분석을 목적으로 한다.

### 2. 理論的 背景

#### 2.1 支配方程式

淺海에서 長波의 支配方程式으로는 非壓縮性 流體에 대한 連續方程式과 Reynolds 方程式을 水深方向

\*尚志大學校 土木工學科 (Department of Civil Engineering, Sang-Ji University, Wonju, Korea)

\*\*서울大學校 工科大學 土木工學科 (Department of Civil Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea)

積分한 다음과 같은 2次元 연속방정식 및 운동량방정식을 사용한다.

### 2.1.1 連續方程式

自由水面 흐름에 대한水深積分 2次元 連續方程式은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial[(\eta+h)u]}{\partial x} + \frac{\partial[(\eta+h)v]}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

여기서  $\eta$ 는 基準水面으로부터 自由水面까지의 變位,  $u, v$ 는 각각  $x, y$ 방향의 平均流速,  $h$ 는 기준수면에서 바닥까지의 水深이고  $t$ 는 時刻이다.

### 2.1.2 運動量方程式

鉛直方向의 加速度와 速度成分을 무시하고 Reynolds 방정식을水深積分한 自由水面 2次元 흐름의 운동량방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \varepsilon_x \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{n^2 g u (u^2 + v^2)^{1/2}}{H^{4/3}} \quad (2a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \varepsilon_y \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{n^2 g v (u^2 + v^2)^{1/2}}{H^{4/3}} \quad (2b)$$

여기서  $n$ 은 粗度係數,  $g$ 는 重力加速度이고, 總水深  $H = \eta + h$ 이고,  $\varepsilon_x$  및  $\varepsilon_y$ 는  $x$  및  $y$ 방향의 渦粘性係數이다. 이때 風力과 氣壓의 變化에 따른 壓力과 Coriolis 힘은 무시하였다.

## 2.2 數值解析

### 2.2.1 有限差分法

본 연구에서의 有限差分法은 時間間隔  $\Delta t$ 를 절반으로 나누어 부분적인 陽解法과 陰解法을 사용하는 ADI형태의 多重法으로 Leendertse(1967)에 의해 개발되어 여러 목적에 빈번하게 사용되고 있다. 連續方程式 (1)과 運動量方程式 (2a) 및 (2b)의 支配方程式에서 未知數  $u, v$  및  $\eta$ 를 구하기 위해 陰解法을 사용하면  $x, y$ 방향의 모든 格子에서 동시에 解析하므로 계산과정에서 복잡한 형태의 行列式을 해석해야 하나, 多重法은 陽解法과 陰解法을 동시에 사용함으로써 계산과정에서 三重對角行列 또는 反復項을 이

용한 二重變數掃去(double-sweep)方法으로 쉽게 해석할 수 있다.

差分의 形態는 時間에 대해서는 後方差分을 사용하고 移送項, 粘性項 및 重力項에 대해서는 中央差分하였다. 解析은 初期條件, 境界條件 또는 計算結果로부터  $t$ 시각에서의  $u, v$  및  $\eta$ 가 주어질 경우  $t + \Delta t$ 시각의  $u'', v''$  및  $\eta''$ 을 구할 때 우선  $t + \Delta t/2$ 시각에서  $u', v'$  및  $\eta'$ 를 구하기 위해  $x$ -방향으로는 陰解法에 의해 동시에  $u'$  및  $\eta'$ 를 순차적으로 구하고  $y$ -방향에 대한 運動量方程式으로부터 陽解法으로  $v'$ 를 구한다. 비슷한 방법으로  $t + \Delta t$ 시각에서는  $y$ -방향으로는 陰解法에 의해 동시에  $v''$  및  $\eta''$ 를 순차적으로 구하고  $x$ -방향에 대한 운동량방정식으로부터 陽解法으로  $u''$ 를 구한다. 이같은 방법을 순차적으로 反復하여 원하는 시간까지의 계산을 遂行한다.

### 2.2.2 數值安定性 分析

淺水方程式의 數值解析時 不安定한 결과가 야기되는 원인은 시간간격을 CFL 條件보다 큰 값으로 선택하였을 때 발생하는 경우와 移送項, 摩擦項 등 非線形項의 差分에 따른 부적절한 線形化에 의한 경우가 있는 바(Bengue 등, 1982) 이는 일반적으로 有效粘性項의 도입으로 다소 극복될 수 있다(Weare, 1976; Falconer와 Owens, 1987). 移送項과 摩擦項을 모두 생략한 경우는 시간에 따른 不安定性만 발생되며, 이때 陰解法은 無條件 安定하지만 본 모형은 다음식과 같이 정의되는 Courant 수에 의해 安定性的 제약을 받는다.

$$C_r = \Delta t [gH(1/\Delta x^2 + 1/\Delta y^2)]^{1/2}$$

본 모형에 사용된 安定性 限界는 經驗적으로 대략  $C_r < 5$ 로 알려져 있으며(이와 강, 1989), 差分形態의 差異와 適用對象에 따라 다소 증감되기도 한다.

### 2.2.3 潮間帶 解析

일반적으로 海岸 및 河口은 潮汐과 河川 流入水의 영향으로 河川의 水深은 時時各各으로 變하며 이에 따라 흐름이 接하고 있는 沿岸境界의 좌표가 시간의 函數로 된다. 干潮時의 경우 수면이 일정수심이하로 下降하게 되면 주위보다 비교적 높게 위치한 하상은 수면위로 모습을 드러내게 된다.

이러한 경우의 數值的 模擬發生은 固定格子를 이용하는 경우 많은 연구가 이루어져왔다. 水深積分 2

次元 模型에서 水面變位와 水深이 동일 좌표 상에서 정의되지 못하므로 Stelling 등(1986)은 總水深(수면 변위 + 수심)을 3가지 방법으로 산정하여 각방법의 특성과 長短點을 밝히고 이에 따라 數值解가 적지 않은 영향을 받게 됨을 지적한 바 있다. Falconer와 Owens(1987)는 潮間帶의 부적절한 數值的 模擬에 의해 移動境界(moving boundary) 附近에서 발생할 수 있는 非現象인 攪亂波를 제거하기 위해 임의 격자가 水面下降에 의해 解析對象에서 제외되는 순간 水深平均流速에서 발생할 수 있는 不連續의 強度를 輕減시킴으로서 이를 해결하였다.

본 연구에서는 Stelling 등(1986)의 研究結果를 다소 變形하여 적용하였다. 첫째로 시각 t에서 x-방향을 따라 flooding 여부를 임의 격자에서 流速  $u_{ij}$ 가 정의되는 지점의 수심값,  $H1 = (\eta_{ij} + \eta_{i+1,j} + h_{ij} + h_{i,j-1})/2$  이 일정한 基準값(threshold value)이상이 되면 유속이 정의되는 지점은 前 計算時刻에서 drying 상태이었다면 flooding 상태로 한다.

둘째로 上記의 檢査後 陰解法으로 x-방향의 解析後  $u_{ij}$ 가 정의되는 점에서의 H1이 어느 일정값 이하이면 (drying) 첫째의 flooding 檢査에 의해 flooding이 될 때까지 계산영역에서 제외한다.

上記의 첫째 및 둘째 과정을 ADI 해석에 따라서  $(t + \Delta t/2)$  시각에 대해서도 유사하게 적용시킨다. 이때 漲潮時 flooding 有無는 檢査對象格子의 假定水位 (assumed water level)의 크기와 기준값과의 비교로 결정되며 그 假定水位는 對象格子 주변의 8개 격자에서의 수위값을 平均하여 결정하였다.

2.3 初期 및 境界條件

淺水方程式의 解가 存在하려면 적절한 初期條件과 境界條件이 필요하다. 初期條件으로는 계산영역내의 흐름이 전혀 존재하지 않는다는 條件(cold start)으로 이 경우 初期條件의 影響은 계산이 진행됨에 따라 점차 減小하여 週期를 거듭하면서 거의 사라져 解에 영향을 미치지 못한다. 境界條件은 計算이 진행되며 變할 수 있고, 閉境界條件과 開境界條件으로 大別된다. 開境界條件으로는 水位 또는 流速이 時間의 函數로 明示되어야 하며 閉境界條件은 境界에 鉛直方向으로 흐름이 없다는 조건(kinematic boundary condition)이 일반적으로 사용되고 接線方向으로는 완전 미끄럼(perfect slip)조건을 사용한다.

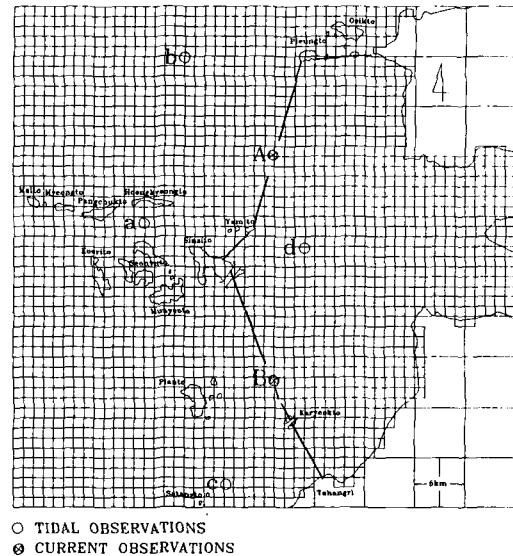


Fig. 1. Numerical model domain of Sae-Man-Keum tidal basin.

3. 모델의 檢證 및 結果考察

3.1 入力資料의 構成

본 모델의 檢證에서는 Fig. 1의 새만금지구로 對象 海域은 東西方向으로 35 Km, 南北方向으로 35 Km 구간을 50×50m에 水平縮尺比 1/700, 鉛直縮尺比 1/70의 歪曲比가 10인 2次元 水理模型을 製作하여 실험한 결과를 이용하였다(農業振興公社, 1989).

實驗結果로는 새만금 防潮堤를 縮切하기 前인 第1 段階 水理模型과, 大항리에서 가력도를 지나 신시도를 연결하는 第1 工區의 III 및 IV 구간 2,900m의 開放區間과 비응도에서 야미도를 지나 신시도를 연결하는 第2 工區의 III 및 IV 區間 3,000m의 開放區間만을 남긴 準縮切區間의 水理模型 實驗結果이다(Fig. 2).

이용한 수리 실험결과는 Fig. 1에서 a, b, c, d 4개 지점에서의 潮位와 準縮切時 開放區間인 A 및 B 지점의 潮流速 資料이다.

開境界條件으로서는 外海에 接한 西쪽 1개 면에서만 農振公 水理試驗場 潮汐發生裝置에 의해 재현한 大潮, 中潮 및 小潮 중 中潮時의 實驗結果만을 이용하였다. 中潮의 경우 原型에서의 潮差 436.8 cm, 週期 12.5時間으로 模型에서는 潮差 6.24 cm, 週期 9分으로 계획되나, 外海에 接한 면에서 再現된 潮汐은 潮差

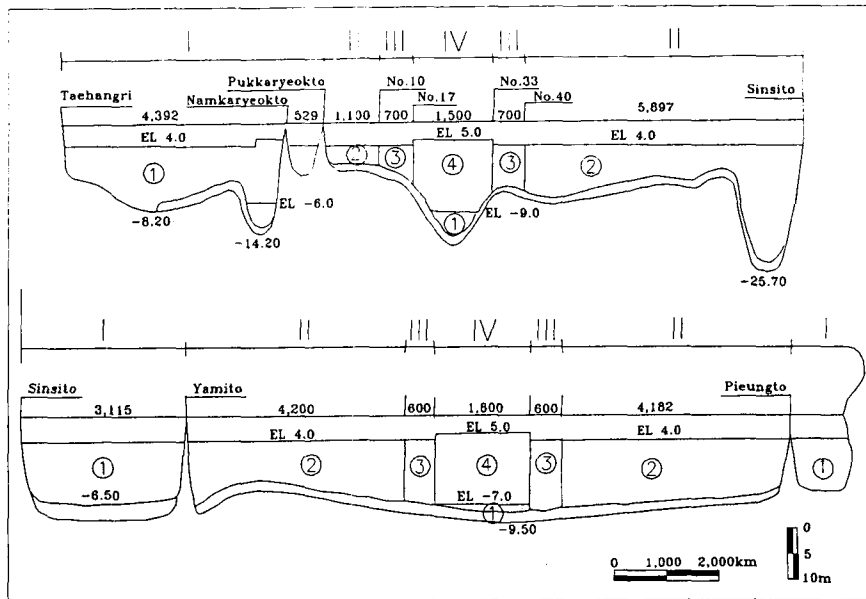


Fig. 2. Closing procedure of Sac-Man-Keum tidal basin (along seadike).

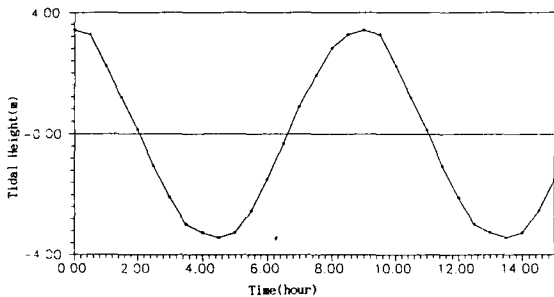


Fig. 3. Mean tide to be used as an open boundary input.

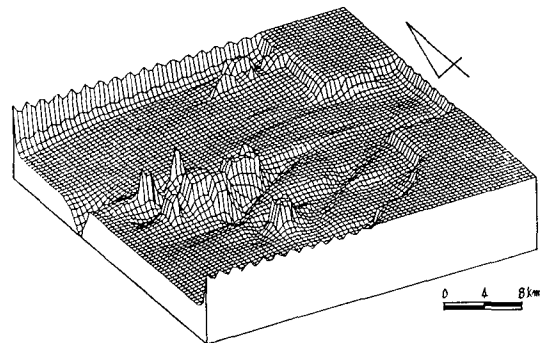


Fig. 4. Bottom topography of Sac-Man-Keum tidal basin.

6.84 cm, 週期 9分이다. 적용된 開境界條件은 模型에서의 값을 原型의 값으로 變形하여야 하나, 模型潮位の 100배, 週期를 60배 하여 振幅 6.84m, 週期 9時間의 潮汐으로 가정하였고(Fig. 3), 이 값은 0.5 시간간격으로 읽어서 입력하였다. 南北方向의 2개면에서의 경우 실제해역은 開放境界이나 潮汐模型 및 潮汐發生裝置의 制約性에 의해서 閉境界로하였고, 동쪽 경계에서 역시 河川의 流入에 의한 開境界이나 閉境界로 하였다.

海底地形은 Fig. 4에서와 같고 이 역시 鉛直縮尺 1/70 模型의 標高를 100배한 平均海水面 아래의 標高로 사용하였다. 바닥은 시멘트 모르타르로 제작된 모형이어서 粗度係數는 0.02의 값을 全海域에 부여했다. 數

值모델에 사용한 格子는 實驗模型에서 1×1m로 原型에서 700×700m로 하여 50×50의 數值格子를 사용하였다.

渦粘性係數  $\epsilon_x$  및  $\epsilon_y$ 는  $\epsilon_x = Cd(x)bu$ 로 計算格子幅,  $b$ 와 流速,  $u$ 와 經驗的 係數  $Cd(x)$ 의 函數로 되나 강과 이(1991)는  $Cd(x) = 0.25$ 를 사용함이 보통이고 이 값의 변화에 따른 數值解의 敏感性이 크지 않음을 설명한 바 있어 본 연구에서의 渦粘性係數는  $x$  및  $y$ 방향에 대해  $163.3 \text{ m}^2/\text{s}$ 를 사용하였다. 아울러 有效粘性項의 생략을 통한 數值實驗結果는 嶋嶼附近 格子의 계산시 數值的 不安定을 야기하였다.

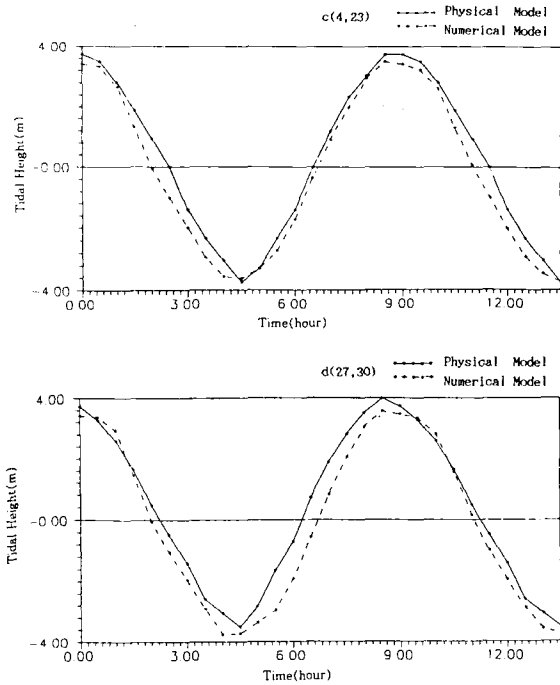


Fig. 5. Tidal height verification: before seadike construction.

### 3.2 數值모델의 檢證

#### 3.2.1 潮位

締切前 및 準締切 段階에서 潮位の 檢證으로 본 모형(numerical model)의 결과와 1989년 새만금 水理模型(physical model) 實驗結果와의 比較를 실시하였다. Fig. 5는 締切前 段階의 模型 實驗結果와 本 數值 實驗結果와의 比較로 潮汐의 位相은 잘 일치하였고, 潮位の RMS(root mean square)誤差는 c 및 d지점의 경우 0.112, 0.163으로 각각 나타났다. 이와 같은 조석크기의 相異함은 水理模型에서는 潮汐의 流出入이 北西方向임을 고려하여 潮汐發生裝置에서 발생된 조석의 流向을 外海에 시멘트블록의 설치를 통해 유도한 반면, 數值實驗에서는 이 조건을 고려치 못함에 기인된 것으로 간주된다. 이 조건은 水理模型의 外海에서 潮位觀測이 적어도 3개 지점 이상에서 이루어 졌다면 이들 潮位の 内·外插 補間에 의한 外海境界條件의 入力으로 이 流向을 고려할 수 있겠으나 外海 中央 1개 지점의 값만이 있어 불가능하였다.

Fig. 6은 準締切 段階(2nd stage)에서의 a 및 b지점의 조위로 RMS 誤差가 각각 0.080 및 0.066으로

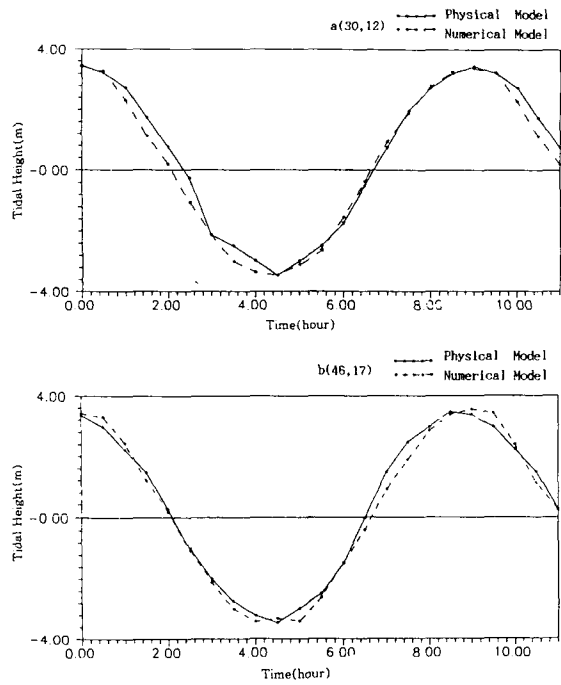


Fig. 6. Tidal height verification: 2nd stage.

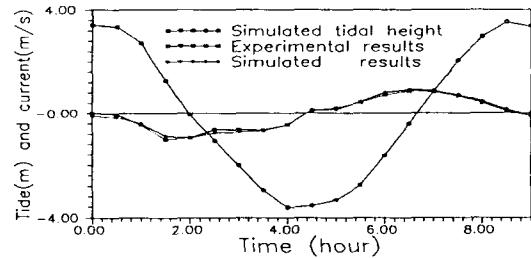


Fig. 7. Tidal height and current verification at A (36, 26).

模型 實驗結果가 本 數值 實驗結果와 比較적 잘 일치함을 보여주고 있다. 締切前 및 準締切 段階에서 模型實驗값과의 다소 不一致함은 앞서 언급한 유향의 고려를 통해 극복되리라 생각된다.

#### 3.2.2 潮流速

潮流速의 檢證 역시 締切前 및 準締切에 대해서 실시해야 하나, 水理 模型實驗에 따른 原始資料의 부족으로 締切段階의 A 및 B지점에 대해서 실시하였다. 사용한 流速計는 1방향 프로펠러 식으로 實驗結果의 正確性에 다소 의문이 제기된다. Fig. 7(A지점) 및 8(B지점)에서 보는바와 같이 크기는 다소 차이를 보이고 있으나, 位相이나 傾向은 잘 一致함을 알 수

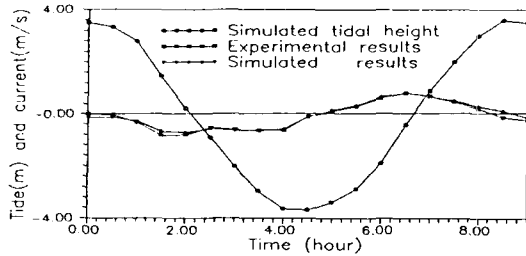


Fig. 8. Tidal height and current verification at B (15, 27).

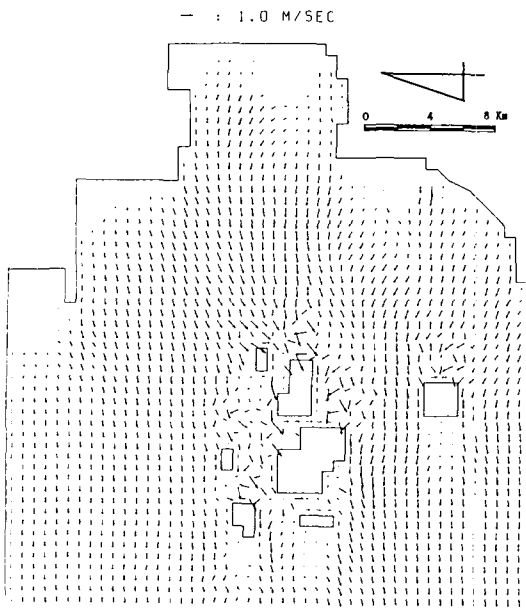


Fig. 9. Tidal current vectors at time 3T/9: before seadike construction.

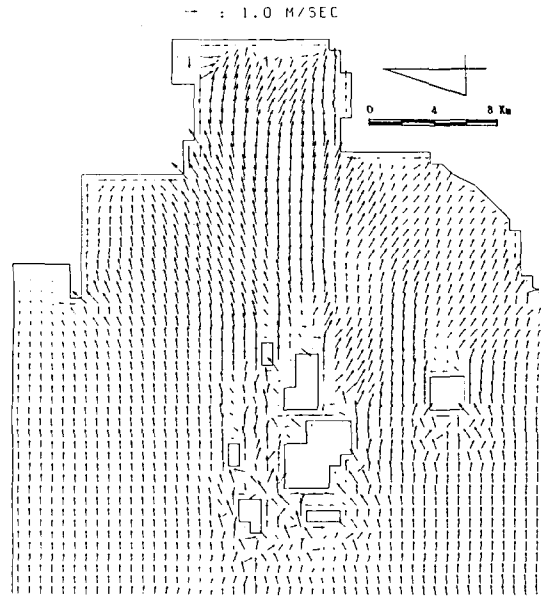


Fig. 10. Tidal current vectors at time 7T/9: before seadike construction.

非線形項의 線形差分에 따른 誤差는 有效粘性項의 導入을 통해서 해석이 가능하다. Fig. 9 및 10은 앞서 언급한 바와 같이 締切前 1週期 T를 9時間으로 하였을 때 落潮(3T/9시각) 및 漲潮(7T/9시각)시 流速벡터이다. 그 흐름방향은 새만금해역의 地形的 特性에 의해 크게 지배됨을 볼 수 있다.

Fig. 11 및 12는 準締切 段階(2nd stage)의 落潮 및 漲潮시 流速벡터로서 開放區間에서 큰 流速이 야기되는 急變化 흐름과 그 외의 區간의 漸變化 흐름이 동시에 존재한다. 開放區間 A에서의 最大 流速分布는 落潮時 4.34 m/s, 漲潮時 3.80 m/s로 模型實驗값인 2.0 m/s, 1.9 m/s 보다 약 2배 크게 나타났다. 반면에 B지점에서의 最大 流速分布는 落潮時 3.10 m/s, 漲潮時 3.70 m/s이고 이에 대응하는 水理模型 實驗값은 3.0 m/s, 3.50 m/s로 비슷하게 나타났다.

지금까지의 急變化 흐름에 대한 解析은 본 연구에서와 유사한 有效粘性項의 적절한 입력을 통한 解析이 大部分으로 다소 문제를 가지고 있다. 따라서 흐름의 樣相에 따라 支配되는 亂流運動에너지, k 및 그 減衰率, ε을 解析하는 亂流모델을 이용한 亂流 渦粘性係數의 正確한 算定을 통한 解析이 필요하다. 이는 추후과제로 선정하여 연구할 것이며, 필자의 연구성과 (Choi and Lee, 1992)의 변형을 통한 접근으로 해석

있다. 이같은 현상은 外海에서 強制式 流向의 誘導와 組度係數의 補正을 고려하면 극복 가능하다.

組度係數를 全 海域에 0.020을 사용한 本 數値實驗과 0.025의 값을 사용한 경우의 比較分析結果는 그 차이가 매우 미미하여 전체적 흐름特性에 큰 影響을 주지 못함을 알 수 있었다. 따라서 對象海域의 水深 또는 潮流速의 크기에 따른 組度係數와의 相關性 糾明을 통한 적절한 組度係數의 入力이 要求된다.

### 3.3 適用結果의 考察

#### 3.3.1 水理的 特性

일반적으로 淺水方程式을 사용한 水理特性의 解析은 많이 이루어져 왔다. 특히 漸變化 흐름의 解析에서

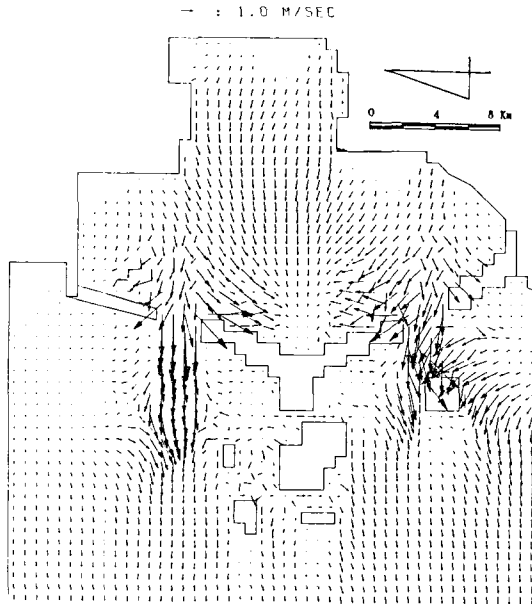


Fig. 11. Tidal current vectors at time 3T/9: 2nd stage.

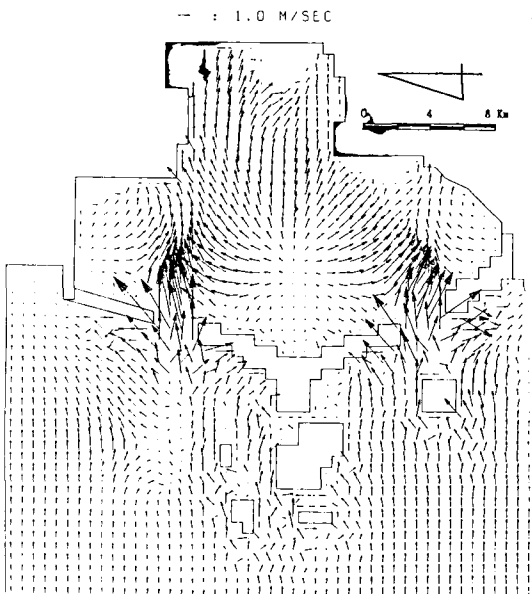


Fig. 12. Tidal current vectors at time 7T/9: 2nd stage.

가능하다.

### 3.3.2 潮間帶 模擬發生

Stelling 등(1986)의 解析方法은 連續的 計算間隔에 서의 flooding 및 drying이 동시에 존재하는 현상을 방지키 위해 drying 상태 확인시 기준값 H1을 floo-

ding 확인시 기준값의 반을 사용하였으나, 본 모델은 이 값을 같이 적용하였다. 또한 漲潮時 flooding 有無檢査에 假定水位 概念을 導入하여 flooding 및 drying 의 구분을 각 계산 시각마다 실시하였다.

본 수치모델에 의한 潮間帶의 模擬發生은 Fig.9 및 10 의 縮切前의 경우 落潮時 東쪽 境界部에서 潮間帶가 露出되어 흐름이 존재하지 않음을 볼 수 있는 반면, Fig.11 및 12의 準縮切段階에서는 落潮時 潮間帶가 거의 노출되지 않고 漲潮時에 노출됨을 볼 수 있다. 이같이 潮間帶의 露出樣相이 縮切前과 다른 이유는 準縮切에 따른 縮小된 通水斷面으로의 潮量 流出入이 制限을 받아 縮切前과 다른 位相에서 潮間帶가 노출됨이다.

따라서 본 연구에 의한 潮間帶의 模擬發生은 앞서의 水理模型 實驗結果와의 檢證을 통해 본 모델이 비교적 잘맞는 점을 감안할 때 매우 성공적이라 할 수 있다. 본 연구를 통해서 急變化 흐름의 해석을 위한 亂流 모델의 導入이 要求되나 潮間帶의 模擬發生時 數值 的인 不安定性이 없는 것으로 미루어 防潮堤 築造 前後의 潮間帶 模擬發生에 實用性 있는 모델이다.

## 4. 結 論

防潮堤 築造에 따른 水理特性 및 潮間帶 模擬發生에 대한 數值實驗을 통해 다음과 같은 結論을 얻었다.

가. 開發된 모델의 數值 實驗結果는 防潮堤 縮切前 및 準縮切에 따른 潮位 및 潮流速의 水理模型 實驗 결과와 대체적으로 잘 일치하였다.

나. 開發된 數值모델의 檢證 및 適用을 통해 다소 制限的이기는 하나 縮切區間의 急變化 흐름解析의 可能性을 提示하였다.

다. 潮間帶의 flooding/drying 現象을 再現할 수 있는 數值모델의 開發로 西南海岸에 散在해 있는 潮間帶를 가진 海域의 水理特性의 效率的인 糾明이 可能하다.

라. 防潮堤 縮切時는 急變化 및 漸變化 흐름이 동시에 存在하게 되므로 水理特性의 解析에 대한 沉犯 用性 및 正確性 提高를 위한 亂流모델의 導入이 要求된다.

## 參考文獻

강주환, 이길성, 1991. X-Z 수치모형에 의한 하구의 염도확산

- 분석, 한국해안·해양공학회지, 제 3권, 제 4호, pp. 185-196.
- 농림수산부, 농업진흥공사, 1989. 새만금지구 방조제 수리 모형실험 보고서, 89-11-08.
- 이길성, 강주환, 1989. 천수방정식의 유한차분특성, 대한토목학회 논문집, 제 9권, 제 1호, pp. 41-52.
- Benque, J.P., Cunge, J.A., Feuillet, J., A. Hauguel, and F.M. Holly, Jr., 1982. New method for tidal current computation, *J. of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Div.*, ASCE, Vol. 108, No. WW3, pp. 396-417.
- Choi, H.S. and K.S. Lee, 1992. Turbulence models for the surface discharge of heated water, *Korean Journal of Hydrosiences*, KAHS, Vol. 3, pp. 61-79.
- Falconer, R.A. and Owens, P.H. 1987. Numerical simulation of flooding and drying in a depth-averaged tidal flow model, *Proc. Instn Civ. Engrs.*, Part 2, Vol. 83, pp. 161-180.
- Leendertse, J.J., 1967. Aspects of a computational model for long-period water wave propagation, RM-5294-PR, The Rand Corporation, Santa Monica, Calif.
- Stelling, G.S., Wiersma, A.K. and Willemse, J.B.T.M. 1986. Practical aspects of accurate tidal computation, *J. of Hydraulic Eng.*, ASCE, Vol. 112, No. 9, pp. 802-817.
- Weare, T.J., 1976. Instability in tidal flow computational schemes, *J. of the Hydraulics Div.*, ASCE, Vol. 102, No. HY5, pp. 569-580.