

## 새萬錦海域 防潮堤建設이 潮汐에 미치는 影響 - 初期評價 Preliminary Estimation of Barrier Effects on Tides in Saemanguem Area

崔秉昊\*·姜容德\*\*

Byung Ho Choi\* and Yong Duck Kang\*\*

**要 旨** : 우리나라 西海岸 새萬錦海域의 潮汐을 水深積分한 數值模型에 의해 調査하였다. 첫 단계로서 4個 主要分潮( $M_2, S_2, K_1, O_1$ )의 外海境界外力을 賦與함으로써 獨立的인 潮汐體系를 算定하였다. 樹立된 模型은 이 海域에 防潮堤가 建設될 時 主要分潮의 變化樣相을 1次的으로 評價하는데 적용된 바 半日週潮의 振幅은 防潮堤 前面에서 2-7cm 擴幅되나 日週潮는 큰 變化가 없었다. 反面에 防潮堤에 의한 潮流體系는 큰 變化를 提示하는데 防潮堤 前面部의 流速減少와 最大海底摩擦應力의 變化를 볼 때 前面部의 土砂埋沒 可能性이 높은 것으로 推定된다.

**Abstract** □ The tides in the Saemanguem Area, the western coast of Korea have been examined based on simulations with barotropic depth-integrated model. As a first step tidal computations were performed with open-boundary sea level forcing from four major constituents ( $M_2, S_2, K_1$  and  $O_1$ ). Subsequently the established model was utilized to investigate the effect of construction of tidal barriers for Saemanguem development plan on the existing tidal regime. It has been shown that tide of semi-diurnal constituents may be reduced to 2-7 cm in amplitude along the frontal area of proposed barrier. In connection with above changes the tidal current regime may be subjected to significant reduction in intensity, thus suggesting the high possibility of sedimentation along the frontal region of tidal barrier.

### 1. 緒 論

우리나라 西海岸中部 錦江 河口域에서는 1980年代 이후 群山의 하구변의 간사지(제1工業團地) 및 장산도, 箕箕島, 內草島를 잇는 제2工業團地の 干拓事業과 錦江感潮 區間에서는 望月里 錦江河口獨建設이 이미 完了되었으며 箕箕島, 飛應島, 內草島를 잇는 제3工業團地 干拓事業이 現在 進行 中이며 飛應島와 華山을 잇는 제4工業團地, 海岸工業團地, 導流堤에 의한 新港灣建設, 群長地區의 埋立事業 등 大規模 事業들이 계획되고 있다.

近年에 農業振興公社는 새萬錦(萬頃江, 錦江의 略稱)海域의 大規模 干拓事業을 計劃하고 있는데 이 海域은 큰 潮汐現象, 광활하게 전개되어 있는 干拓地, 복잡한 海岸線과 泥粘土의 堆積現象이 뚜렷하게

나타나는 지역이다.

이러한 大規模 海岸 開發行爲는 海岸 海洋體系에 큰 影響을 미치므로 潮汐體系 및 動的堆積體系를 포함한 既存水理環境이 여하히 變化될 것인가에 대한 적절한 예측이 開發事業 前에 반드시 실시되어야 하는데 潮汐數值模型에 의한 推定技法이 近年에 보편화된 접근방법이다. 本 論文에서는 새萬錦海域의 潮汐體系를 潮汐數值模型에 의해 조사하고 이 海域의 干拓事業을 위한 防潮堤建設이 遂行될 시 既存潮汐環境에 미치는 影響에 대한 數值實驗結果를 提示하고자 한다. 새萬錦海域의 干拓事業과 같은 大規模 事業의 評價를 위한 模型의 外海境界는 開發影響이 미치지 않는 充分히 外海側 即 可能하면 陸棚端에 設定되어야 할 것이 바람직하나(Garret and Greenberg, 1977) 中規模의인 模型에 의한 探索의

\*成均館大學校 土木工學科(Depart. of Civil Eng., Sung Kyun Kwan University, Suwon Campus, Suwon, Korea)

\*\*現 韓國海洋科學技術(株)(Korea Ocean Science and Engineering Corp., Seoul, Korea)

인 研究를 一次的으로 遂行하였다.

## 2. 새萬錦海域의 潮汐數值模型

利用된 數值模型은 有限差分(finite-difference) 技法을 근거하여 偏向力(Coriolis force), 非線形 移流項(advective term)과 摩擦項(friction term) 이 포함된 潮汐方程式의 解를 2次元 直交座標系上에서 求하는 것이며 支配方程式은 다음과 같다 (Flather and Heaps, 1975).

연속방정식(Continuity equation)

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

수심평균된 운동방정식(Depth-mean equation of motion)

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

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

여기서 각 記號는 다음과 같다.

- t : 時間
- $\xi$  : 靜止海面上의 海面水位
- h : 靜止海面下의 水深
- H : 總水深 ( $H = h + \xi$ )
- f : Coriolis 係數(均一한 것으로 假定,  $f = 2w \sin \phi$ ,  $\phi$  : 緯度)
- k : 海底摩擦 係數 ( $k = 0.0025 \sim 0.0035$ )
- 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 成分
- $u'$ ,  $v'$  : 靜止海面下 Z 위치에서 直交座標 x, y 의 增加方向으로의 速度成分

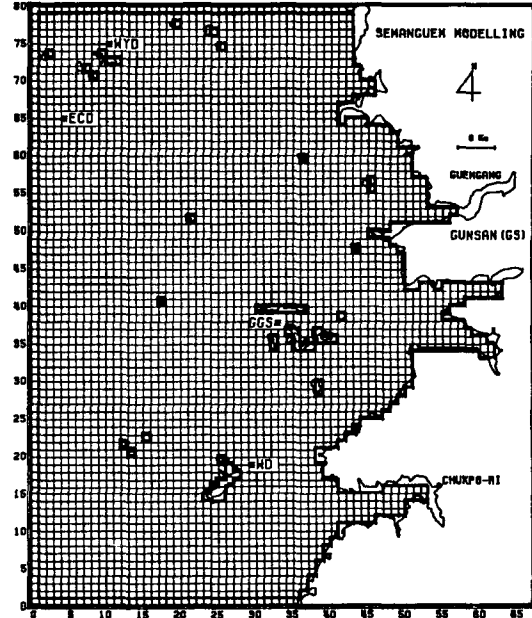


Fig. 1. Finite-difference grid system of Saemangeum Model.

水深平均된 流速(depth-mean current)  $u$ ,  $v$  는 다음과 같이 정의된다.

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

上記式에서 動壓力 効果는 무시되고 靜水力學의 分布를 가지며 水深平均된 流速이 算定되므로 境界層두께는 均一流速分布의 假定에 근거한다. 非線形 海底摩擦項을 包含한 上記式 (1)-(3)은 移流項(advective term)의 경우 Roberts와 Weiss (1967)에 의해 제시된 angled-derivative scheme 을 利用하여 數值解를 求하였다. 境界條件으로서 陸地境界에 直角인 方向의 流速은 없는 것으로 假定하였으며 外海境界面의 境界條件은 時間에 따른 海面水位 및 流速成分의 變化로서 規定지워진다. 모형은 淺海의 干潮時 露出되는 潮間帶를 適切히 다룰 수 있도록 하였으며 또한 潮汐 및 暴風海溢에 對한 該當項을 選擇할 수 있도록 設計되어 이 두 現象을 各己 또는 相互作用의 研究 및 實際海面算定을 위해서는 同時에 組合할 수 있도록 프로그램하였다. 첫 段階로서 式 (2), (3)에서 氣象外力을 나타내는 海面

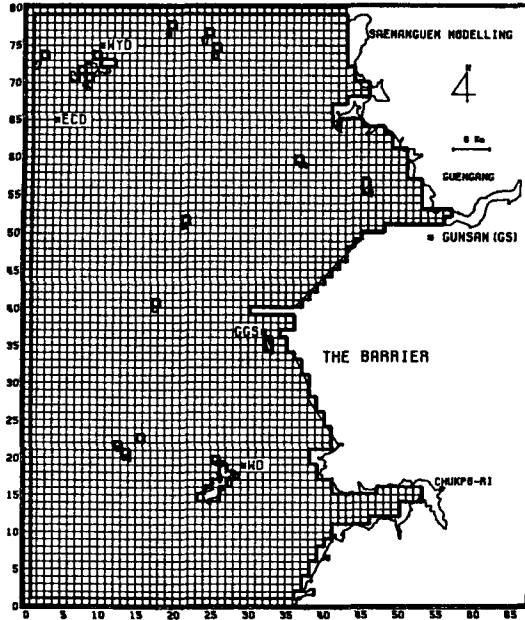


Fig. 2. Finite-difference grid system of a tidal barrier scheme in Saemangeum area.

應力項과 海面壓力勾配項을 除外시키므로써 순수한 潮汐만을 算定하였다. 基本式 (1)-(3)의 有限差分形의 式은 Fig. 1에 提示된 有限差分 格子體系를 利用하여 新萬錦海域의 潮汐流動現象을 研究하기 爲해 數值的으로 풀이 되었는데 仔細한 數值解析에 의한 解는 여러 文獻에 紹介되어 있으므로 여기서는 省略키로 한다(Flather and Heaps, 1975; Choi, 1980).

Fig. 1의 格子體系에서 北側開放境界는 籃浦, 弗母島, 明德島를 橫斷하며 西側開放境界는 黃島, 於靑島의 西側을 縱斷하고 南側開放境界는 鞍馬群島北側과 金井山을 연결하는 境界로서 構成되어 지는데 Fig. 2는 防潮堤建設 後의 格子體系를 提示한다.

模型에서 格子間隔은 1242 m이며 總 格子數 5360 (67×80)個의 要素로서 構成되어 있다. 水深資料는 交通部 水路局海圖(海圖番號: 3238, 緯度 35° 30'에서 自然縮尺 1: 248470)에서 발췌하였으며 水深資料는 模型算定을 爲하여 靜水面(平均海面, Mean Sea Level)下의 水深으로 經정되는데 이 基準水深에 對한 陰의 水深은 低潮時 露出되는 潮間帶(drying bank)를 意味한다. 模型에 利用된 時間과 遲角은 太陰이 局地子午線(東經 126°)을 통과하는

時刻을 太陰時 0時(遲角은 0度)로 하였다.

$\Delta t$ 의 채택은 線形陽解安定條件(Courant-Friedrich-Lewy[CFL])을 考慮하여  $\Delta t \leq \sqrt{\frac{2}{gh}} \left( \frac{\Delta s}{2} \right)$  式으로  $\Delta t = 0.01111$  太陰時(lunar hour) (41.4 초)가 代表潮汐인 主太陰半日週潮인  $M_2$ 을 算定하기 爲해 채택되었으며  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  分潮의 경우  $\Delta t$ 는 각각 41.2, 41.7, 39.8초를 채택하였다.

### 3. 現存潮汐體系

#### 3.1 潮位

經驗的인 潮汐圖(tidal chart) 및 최(1980)의 陸棚潮汐模型 結果에서 綜合的으로 참조한 主要分潮( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ )를 獨立的으로 開放境界潮汐 條件으로 부여하면서 그리고 部分的인 水深修正을 하면 模型算定値와 沿岸 觀測値의 差가 만족할만한 一致를 보일 때까지 調整을 遂行하였다. 半日週潮인  $M_2$ ,  $S_2$  潮汐과 日週潮인  $K_1$ ,  $O_1$  潮汐의 等振幅圖와 等遲角圖(等潮時)가 Fig. 3에 提示되어 있다. 各分潮에 對한 模型算定値는 외연도(WYD), 어청도(ECD), 군산(GS), 고군산(GGS) 및 위도(WD)에서 검조기록의 조화상수와 比較하였는데  $M_2$  分潮 潮位의 경우 振幅은 3.6%, 遲角은 7.21%,  $S_2$  分潮 潮位의 경우 振幅 9.75%, 遲角은 5.83%,  $K_1$  分潮 潮位의 경우 振幅은 6.55%, 遲角은 1.75%,  $O_1$  分潮 潮位의 경우 振幅은 6.59%, 遲角은 3.21%의 誤差範圍에 들어 4個 分潮의 獨立的인 潮汐體系가 만족할만하게 算定되었다.

#### 3.2 潮流

Fig. 4는 模型에 의해 算定된 漲, 落潮의 유속벡터의 분포를 제시하고 있다. 潮流의 경우 제한된 觀測資料를 利用하여 模型의 結果를 평가하면 海洋研究所가 韓國海域綜合 海洋資源圖 作成을 爲해 1982년 9월 2일 - 9월 10일 間에 180시간 觀측한 潮流觀測結果(北緯 36度 4分, 東經 126度 3分)는  $M_2$  分潮의 半長軸이 50.2 cm, 長軸배열이 正北의 時計方向으로 40.5度 인데 比해 模型結果는 半長軸이 63.2 cm, 半短軸이 13.4 cm, 長軸配列은 時計方向으로 35.4度이었다. Louisiana 주립대의 沿岸研究所(Coastal Studies Institute)가 1982년 9월 11일부

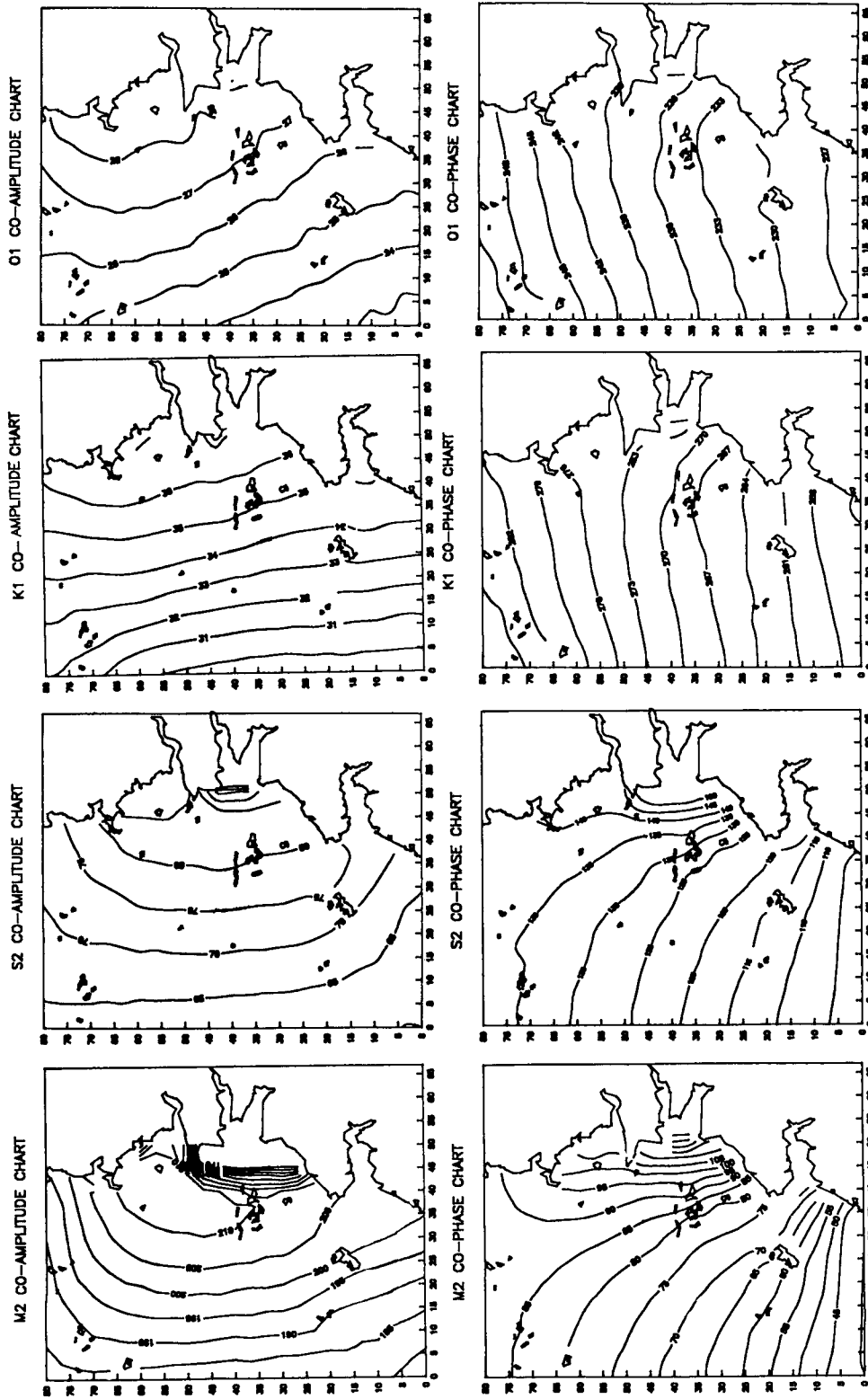


Fig. 3. Computed coamplitudes (cm) and cophases (degree) lines for four major constituents for the existing tidal regime.

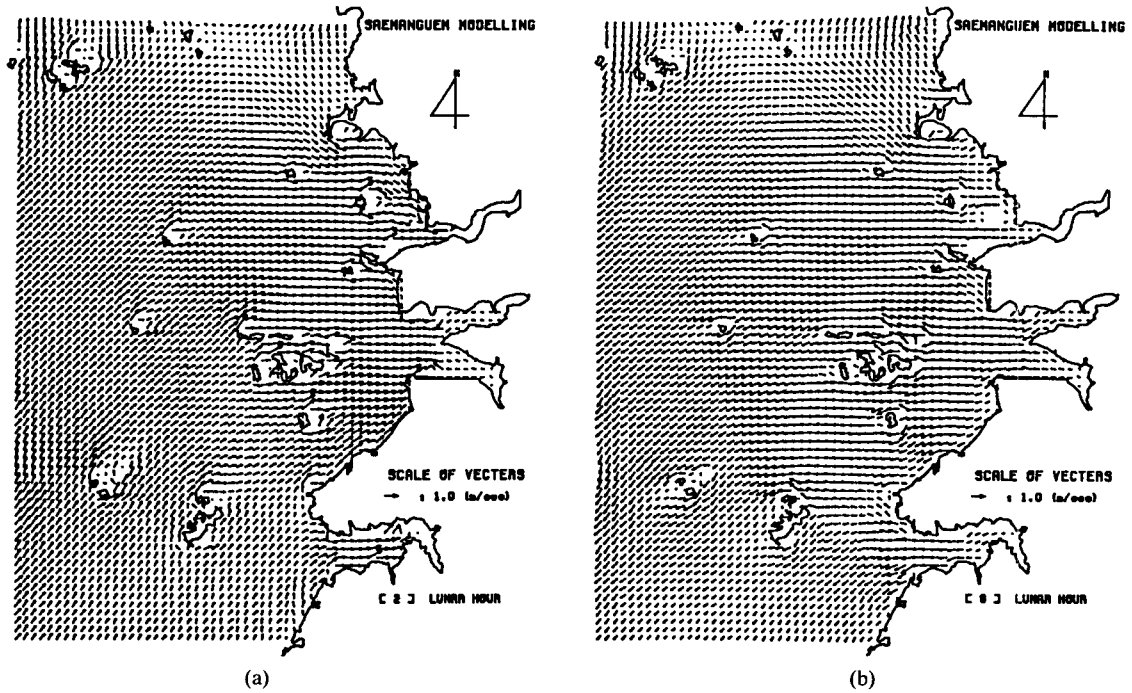


Fig. 4. Computed tidal currents for the  $M_2$  tides. (a) Flood currents, (b) Ebb currents.

터 10월 4일 기간에 北緯 36度상의 2개지점 LSU1(北緯 36度 1分, 東經 126度 14分) 및 LSU2(北緯 36度 1分, 東經 126度 2分)에서 觀測한 결과와 모형결과를 비교하면 Table 1과 같은 개략적인 一致를 보였다.

#### 4. 防潮堤 建設의 影響

새萬錦海域 干拓事業을 위한 防潮堤 建設의 既存 潮汐 體系에의 影響은 Fig. 5의 防潮堤 建設 後의 潮汐(振幅, 位相)의 差를 等值線으로 提示하고 있는데 振幅과 位相의 變化樣相은 다음과 같다.

##### 4.1 振幅(amplitude)의 變化

日週潮( $K_1, O_1$ )의 變化樣相은 模型 全域을 통하여 0.2cm 以下의 적은 變化가 있음을 提示한다. 半日週潮( $M_2, S_2$ )의 變化樣相은 防潮堤 前面位置에서 變化가 甚하며  $M_2$  분조의 경우 防潮堤 돌출부를 基準으로 北東 및 防潮堤 上部,  $S_2$  분조의 경우 防潮堤 下部(南側)에서 擴幅되었다. 變化된 振幅은  $M_2$  분조의 경우 +5cm 以上,  $S_2$  분조의 경우에는

Table 1. Comparison of observed and computed amplitude (cm/sec) and phase (degree) K for U and V component of  $M_2$  and  $K_1$  tidal current. ( ) : observed values.

		U <sup>1)</sup>	K <sup>2)</sup>	V <sup>3)</sup>	K <sup>4)</sup>
$M_2$	LSU1	(42.3)	(17.5)	(26.2)	(17.5)
		71.8	8.8	26.5	2.96
	LSU2	(41.7)	(17.9)	(37.1)	(17.9)
	57.0	12.9	39.3	31.1	
$K_1$	LSU1	(3.5)	(238.0)	(3.3)	(220.8)
		10.5	201.2	12.7	220.3
	LSU2	(2.0)	(197.4)	(8.1)	(237.5)
	7.4	202.0	16.3	238.9	

1) Amplitude of east-directed velocity (cm/sec)

2) Phase of east-directed velocity (degree)

3) Amplitude of west-directed velocity (cm/sec)

4) Phase of west-directed velocity (degree)

3cm 以上이었다. 上記 結果를 근거로 하면 防潮堤 建設로 인해 특히 防潮堤 前面위치(仙遊島)에서 개략적으로 平均大潮差가 11cm, 平均中潮差가 6.4cm, 平均小潮差가 1.8cm 정도 上昇, 또는 下降할 것으로 推定된다.

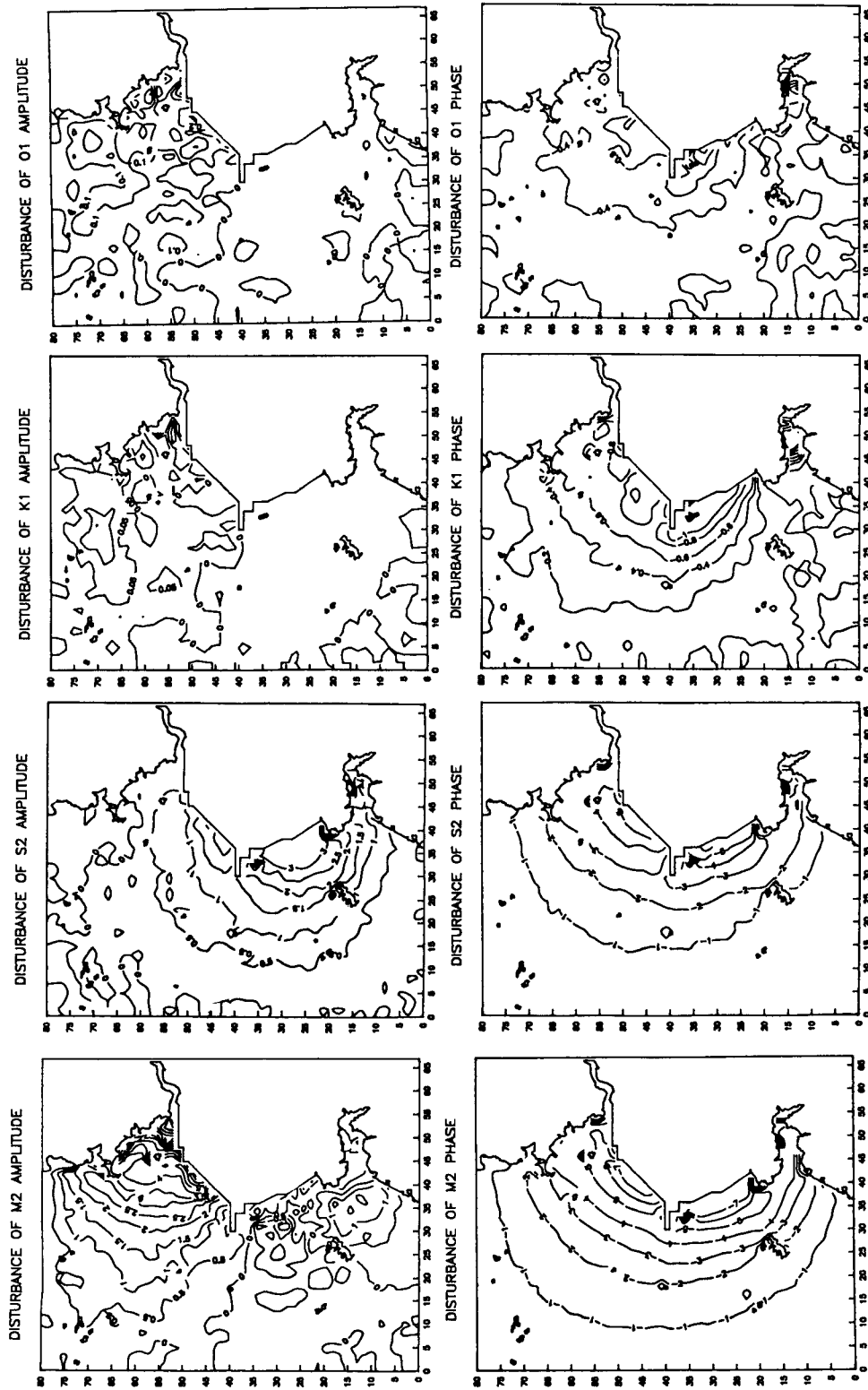


Fig. 5. Disturbances of amplitudes (cm) and phases (degree) of four major constituents due to the construction of tidal barrier.

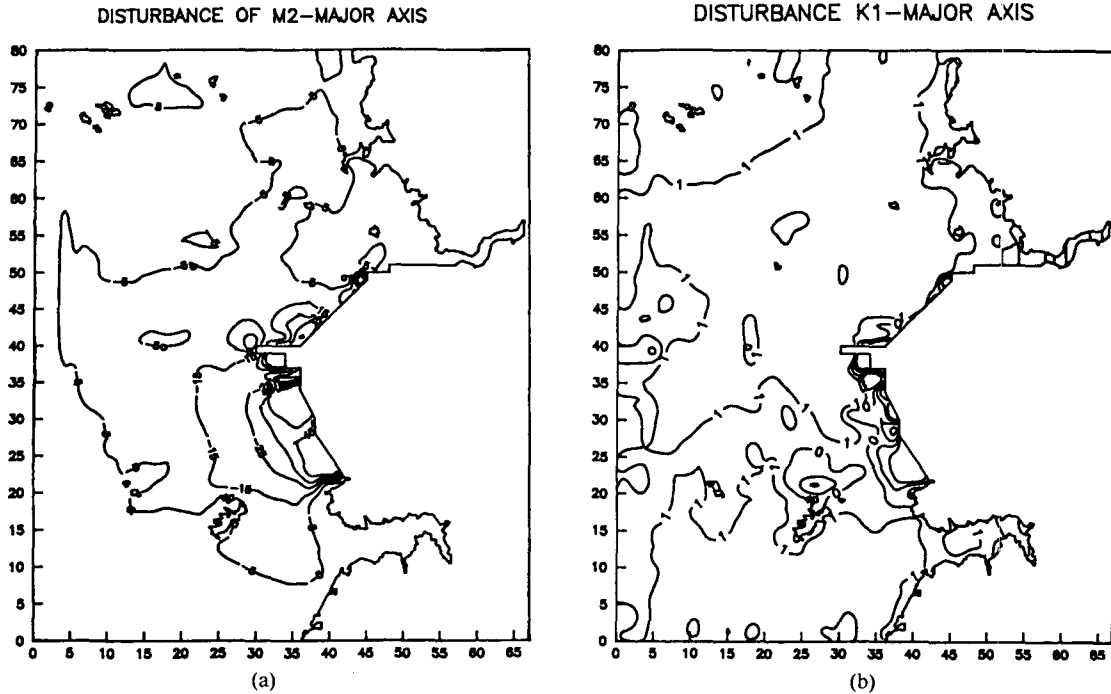


Fig. 6. Disturbances of major axes of  $M_2$  and  $K_1$  tidal current ellipses due to the construction of tidal barrier.

#### 4.2 位相(phase)의 변화

日週潮( $K_1$ ,  $O_1$ )의 변화樣相은 模型 全域을 통하여 振幅의 경우와 마찬가지로 큰 변화가 없음을 提示하고 있다. 半日週潮( $M_2$ ,  $S_2$ )의 변화樣相은  $M_2$  분조와  $S_2$  분조 모두 防潮堤 前面위치에서 변화가 甚하였으며 防潮堤 돌출부를 基準으로 上, 下 對稱形의 변화樣相을 提示하는데 變化된 位相은 遲角(local phase lag)으로 提示되며  $M_2$  분조의 경우  $-1-7(\text{degree})$ ,  $S_2$  분조의 경우  $-1-5(\text{degree})$  정도이다. 以上の 結果에 의하면 防潮堤 建設이 仙遊島 位置에서  $M_2$  분조의 경우  $-7(\text{degree})$ ,  $S_2$  분조의 경우  $-4(\text{degree})$ 만큼 潮汐波及이 늦어짐을 提示하고 있다.

防潮堤建設에 의한 潮流強度의 變化樣相을 評價하기 위해 防潮堤 建設 後와 建設 前의 每 格子點에서 算定된 分潮의 潮流橢圓의 長軸(major axis)差를 算定하여 等值線으로 Fig. 6에 提示하였다. 全般的으로 防潮堤 돌출부를 基準으로 上側(北側)에는 防潮堤 建設 後의 流速이 增加되는 部分도 있으며 增減量은 대체적으로 微小하였으며 돌출부 下部(南側)에서 甚한 流速減少現象이 이루어졌음을 잘 提示하

고 있는데 이는 潮流 橢圓 要素의 半長軸이 防潮堤 前面 위치에서 減少하는 樣相을 제시하고 있는 것에 의해서 더욱 仔細하게 說明된다. 日週潮( $K_1$ )의 경우 變化가  $2\text{ cm/sec}$  以下の 적은 變化가 있었고 半日週潮( $M_2$ ,  $S_2$ )의 경우 變化樣相이 비슷하며 대체적으로 큰 幅으로 減少였으며 防潮堤前面에서  $M_2$  분조의 경우  $20-50\text{ cm/sec}$ ,  $S_2$  분조의 경우  $2-15\text{ cm/sec}$  정도 減少하였다.

最大海底摩擦應力은 海底에 堆積된 土砂를 移動시킬 수 있는 潮流의 能力을 相對적으로 評價할 수 있는 變數로서 最大應力벡터는 模型 全域에서 전반적으로 沿岸 內域으로 向하고 있어 陸棚全域을 包含하는 前回の 模型(Choi, 1986; Choi, 1988)의 結果를 재확인시켰다. Fig. 7은 防潮堤의 建設에 의한 最大海底摩擦應力分布의 變化를 提示하는데 Fig. 7(b)에서 인근海域의 模型에서의 潮間帶境界의 應力分布(Choi, 1989)를 參照하면  $0.3\text{ N/m}^2$ 의 등치선보다 작은 部分이 泥土의 堆積이 可能性이 높을 것으로 推定되는데 南側防潮堤 前面이 北側보다 廣幅의 堆積이 일어날 것이다.

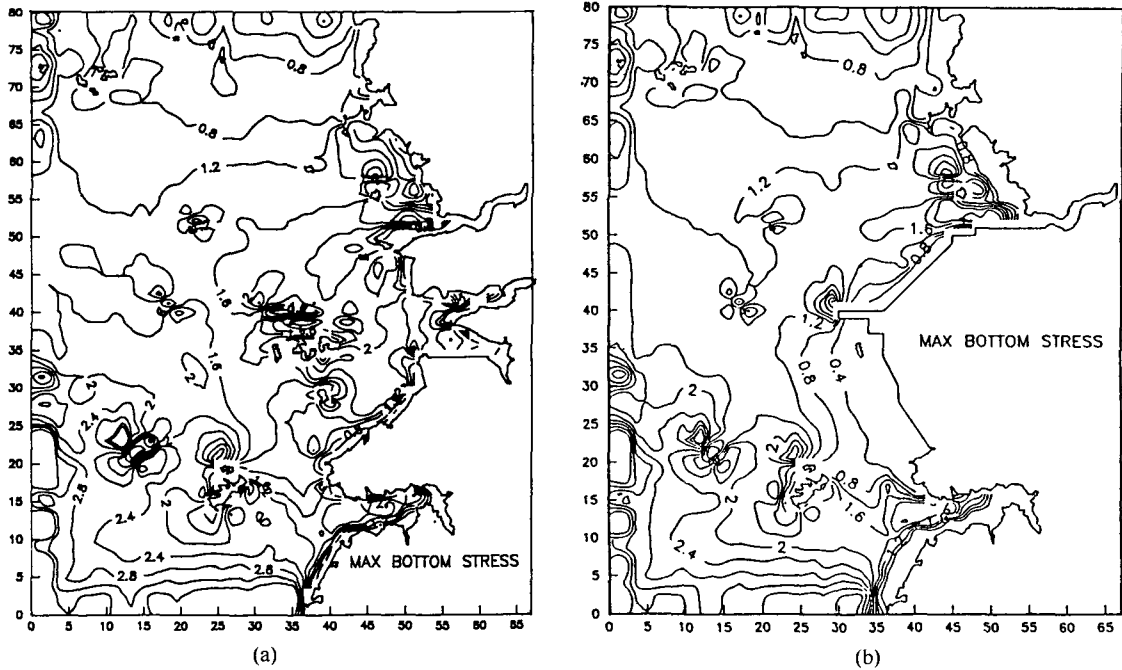


Fig. 7. Distribution of maximum bottom stress due to the  $M_2$  tide. (a) existing regime, (b) tidal barrier scheme.

### 5. 結 論

새萬錦開發海域을 포함하는 非線形 2次元 潮汐模型이 樹立되어 主要 4分潮( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ )를 算定하여 等潮汐圖(co-tidal chart)의 形態로서 提示한 바 算定된 潮位는 沿岸 觀測值와 一般的인 一致를 보였다. 樹立된 模型은 새萬錦海域 開發을 위한 防潮堤 建設이 遂行될 경우 潮汐 體系에 미칠 影響을 推定하는데 이용되었다. 防潮堤 建設이 主要分潮에 미칠 影響을 살펴보면 半日 週潮의 振幅들이 防潮堤 全面에서 2-7cm 擴幅되므로 海水位 頻度分布는 高潮 및 低潮位의 發生頻도가 增加할 것으로 推定된다. 이러한 潮位體系의 變化와 더불어 防潮堤 建設에 의한 潮流의 變化는 급격한 變化를 提示하고 있었는데 防潮堤 前面部의 流速減少 및 海底剪斷應力 벡터의 解析에 의하면 防潮堤前面에 土砂의 埋沒이 일어날 可能性이 높은 것으로 推定되는데 古群山群島와 楮浦里를 連結하는 南側防潮堤의 前面에 相對的으로 甚한 堆積現象이 일어날 것이다. 本 模型의 制約點은 開放境界가 充分히 外海側에 設定되지 못한 點이나 이러한 制約點에도 불구하고 防潮堤에 의

한 潮流體系의 큰 變化樣相은 뚜렷하게 算定되었다. 實際 仔細한 開發計劃을 樹立時에는 더 廣域의 細格子體系模型의 運用과 철저한 外海에서의 長期間 潮位, 潮流觀測이 必要할 것이며 動水力學의 模型을 土臺로 한 定量的인 動的堆積模型의 運用도 必要하다.

本 研究에서는 主要分潮의 算定을 獨立分潮로서 취급하여 遂行하였는데 開放境界에 複合潮汐條件을 부여하여 15日 또는 28日 算定을 하여 分潮들 間의 相互作用에 대한 檢討도 追後 遂行되어야 한다. 防潮堤의 影響은 潮汐體系만이 아닌 氣象影響에 의한 海溢算定이 沿岸 防災側面에서도 重要한 바 극한상황의 防潮堤 前面의 海溢分布에 대한 數值實驗도 必要할 것이다.

### 謝 辭

研究에서 遂行된 모든 電算作業은 成大 土木科 電算室의 PC 體系에서 運用되었다. 플롯팅 과정에서도 도움을 준 PC CLUB의 李昊俊 및 許允鎬 君에게 感謝한다.



## 참고문헌

- Choi, B.H., 1980. Tidal computations for inchoon bay, *J. of Oceano. Soc. of Korea*, **15**(2): 112-122.
- Choi, B.H., 1983. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea, KORIDI Report 80-02.
- Choi, B.H., 1986. Predictions of sand transport directions of the offshore tidal sand banks in the Yellow Sea, Proceedings of 5th APD/IAHR, 231-247.
- Choi, B.H., 1988. A fine grid two-dimensional  $M_2$  tidal model of the East China Sea, *Journal of Korean Association for Hydrological Sciences*, **21**(2): 183-192.
- Choi, B.H., 1989. Tide and sediment transport in the Keum Reiver Estuary, *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineer*, **1**(1): 31-43.
- Fletcher, R.A. and Heaps, N.S., 1975. Tidal computation for Morecambe Bay, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, **42**: 489-517.
- Garrett, C. and Greenberg, D.A., 1977. Predicting changes in the tidal regime; The open boundary problems, *Journal of Physical Oceanography*, **7**: 171-181.
- Robert, K.V. and Weiss, N.O., 1967. Convective difference schemes, *Math. Comput*, **20**: 272-299.