

# 京畿灣南部海域의 $M_2$ 潮汐影響

$M_2$  Tidal Effects in Southern Part of Kyonggi Bay

崔秉昊\*  
Choi, Byung Ho

## Abstract

The application of a two-dimensional  $M_2$  nonlinear tidal model to southern part of Kyonggi Bay is described. It has provided a preliminary assessment of tidal currents, bottom stress, energy dissipation in the Bay. Further numerical experiments have been performed with the model to determine the effect of deepening the approach channel to Asan Bay on the  $M_2$  tide and on the response of Bay system to a stationary northwesterly wind stress field of 10 dyne/cm<sup>2</sup> suddenly imposed on the sea surface. Some of preliminary results are presented and discussed.

## 要 旨

非線形 2次元潮汐모델의 京畿灣南部海域에의 適用이 敘述되었다. 모델을 利用하여 灣體系의 潮流流動現象, 海底摩擦力 및 에너지消散에 對한 初期評價를 할 수 있었다. 또한 모델에 依한 數值實驗을 通해 牙山灣接近水路를 浚渫할 境遇 主太陰半日週潮( $M_2$ )의 影響 및 海面에 作用하는 10 dyne/cm<sup>2</sup>의 均一定常風에 依한 流動現象의 變化를 評價하였다. 初期結果들이 提示되었으며 討議되었다.

## 1. 序 論

우리 나라 西海岸 京畿灣周邊에 廣濶하게 展開되어 있는 干潟地는 將次 干拓農地, 工業團地, 港灣 其他目的으로 開發될 것이며 이에 따라 現在의 海岸線이 相當히 變更될 것으로 豫想된다. 이와 같은 海岸線의 變更으로 既存潮汐體系(tidal regime)가 變化되며 아울러 動的推積體系(dynamic sedimentation regime)의 變化도 豫想된다. 따라서 京畿灣 隣近海域의 集中的 開發로 因해 超來될 變化相을 미리 豫測기 爲한 水理모델 및 數值解析모델을 通한 研究들이 遂行되어 왔다<sup>(1), (2), (3)</sup>. 이 中에서 二次元 非線形 潮汐數值解析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 있으며 暴風海溢(storm surge)에 關聯하여서는 水位와 海流를 沿岸工學的인 側面에서는 滿足한 精度로 算定할 수 있는 것으로 알려져 있다. 反面에 潮汐非對稱現象, 密度勾配, 緩慢히 變하는 氣象影響 및 平均海面勾配에 依한 長期的 殘差流(恒流)에 對한 모델에 依한 研究는 아직 初期段階에 있다. 二次元潮汐모델은 獨立的으로는 灣體系의 潮汐力學을 糾明하기 爲해 樹立할 수 있으며 또한 動的으로 外海의 陸棚모델과 連結하던 沿岸地形의 變換에 依한 潮汐體系攪亂의 範圍 및 程度를 推定하는 데 利用될 수 있다<sup>(3), (4)</sup>.

이러한 모델을 通한 潮汐力學에 對한 全般的인 知識은 沿岸防災, 港灣建設, 航海, 海洋資源 開發에 必須의이며 精度가 높은 潮汐모델은 地

\* 正會員·成均館大學校 工科大學 土木工學科 副教授

球潮汐(earth tide)資料, 地球潮汐에 의한 變位 및 異常重力推定, 潮汐負荷(tidal loading)의 算定에 利用되기 始作하고 있다<sup>(5)</sup>.

本 論文은 繼續되는 東支那海 및 黃海陸棚 潮汐에 關聯된 研究로서 京畿灣 南部海域의 潮汐 모델을 樹立하여 潮汐一般에 對한 知識의 確保 및 沿岸工學的 應用을 試圖하였다. 모델의 格子網은 西海岸 모델<sup>(3)</sup>의 最終細格子間隔을 1:3으로 細分化한 것으로 追後에 動的連結(dynamic linkage)이 可能토록 하였다. 即 前回<sup>(3)</sup>의 最終格子의 解像도가 緯度上 1/45°, 經度上 1/36°임에 비해 本 모델은 緯度上 1/135°, 經度上 1/108°의 解像도를 갖는 格子體系로 構成되었다. 開發된 모델은 于先 京畿灣 南部海域의 平均 潮汐現象을 代表할 수 있는 主太陰半日遇潮(M<sub>2</sub>)의 分布를 算定하는 데 利用되었으며 最大海底摩擦力, 海底摩擦에 의한 潮汐에너지의 消散程度도 調査되었다. 牙山灣接近水路를 浚渫할 時 變化될 潮流의 流動樣狀 및 北西風에 의한 海流에 對한 一次的인 言及을 하였다. 本 研究에 使用된 時間은 太陰이 東經 135° 子午線을 通過하는 時刻를 太陰時 0時로 하였다.

## 2. 모 델

本 研究의 모델은 追後의 陸棚모델과 連結키 爲해 球面座標系를 利用했는데 水動力學의 基本方程式<sup>(6),(7)</sup>은 下記와 같다.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left\{ \frac{\partial}{\partial \lambda} (Hu) + \frac{\partial}{\partial \phi} (Hv \cos \phi) \right\} = 0, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - 2w \sin \phi v + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{v}{R} \frac{\partial u}{\partial \phi} \\ - \frac{uv \tan \phi}{R} = - \frac{K_b u \sqrt{u^2 + v^2}}{H} \\ - \frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial \xi}{\partial \lambda} - \frac{1}{\rho R \cos \phi} \frac{\partial P_a}{\partial \lambda} \\ + \frac{F^{(v)}}{\rho H} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + 2w \sin \phi u + \frac{v}{R} \frac{\partial v}{\partial \phi} + \frac{u^2 \tan \phi}{R} \\ + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial v}{\partial \lambda} = - \frac{K_b v \sqrt{u^2 + v^2}}{H} \\ + \frac{g}{R} \frac{\partial \xi}{\partial \phi} - \frac{1}{\rho R} \frac{\partial P_a}{\partial \phi} + \frac{G^{(v)}}{\rho H} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서

- $t$  時間,
- $\lambda, \phi$  東經 및 緯度,
- $\xi$  靜止海面上的 海面水位,
- $h$  靜止海面下의 水深,
- $H = h + \xi$  總水深,
- $F^{(v)}, G^{(v)}$  海面上  $\lambda, \phi$  方向의 바람의 剪斷應力成分,
- $P_a$  海面氣壓,
- $\rho$  海水密度(均一한 것으로 假定),
- $R$  地球의 平均半徑,
- $g$  重力加速常數,
- $K_b$  海底摩擦係數,
- $w$  地球回轉角速度,
- $u', v'$  靜水面下 水深에서의  $\lambda, \phi$  方向의 流速成分,
- $u, v$  水深平均된 流速成分으로 下記와 같다.

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

非線形海底摩擦項을 包含한 上記式 (1)~(3)의 解는 移流項(advective term)의 境遇는 Roberts와 Weiss<sup>(8)</sup>에 의해 提示된 angled-derivative 技法을 利用한 有限差分格子體系를 積分함으로 求하였다. 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 海面水位의 變化 또는 境界面을 通過하는 流速 및 流量의 變化로서 規定된다. 모델은 淺海의 干潮時 露出되는 潮干帶(tidal flat)의 變化를 나타낼 수 있으며, 式 (1)~(3)의 該當項을 選擇하므로써 潮汐, 海溢, 氣壓傾度에 의한 海流를 各已 獨立的으로 取扱할 수 있으며 또한 潮汐, 海溢의 相互作用(tide-surge interaction)의 研究 및 實際海面豫報(real time water level forecasting)를 爲해서는 同時에 組合시킬 수 있도록 設計되었다. 基本式 (1)~(3)의 有限差分形의 式은 그림 1에 提示된 有限差分格子體系를 利用하여 京畿灣 南部海域의 潮汐流動現象을 研究키 爲해 數值的으로 풀이되었는데 仔細한 數值解析方法은 發表된 文獻<sup>(9)</sup>에 紹介되어 있으므로 再敘述 않기로 한다. 格子體系의 解像도는 1/135° × 1/108°이며 54個의 行과

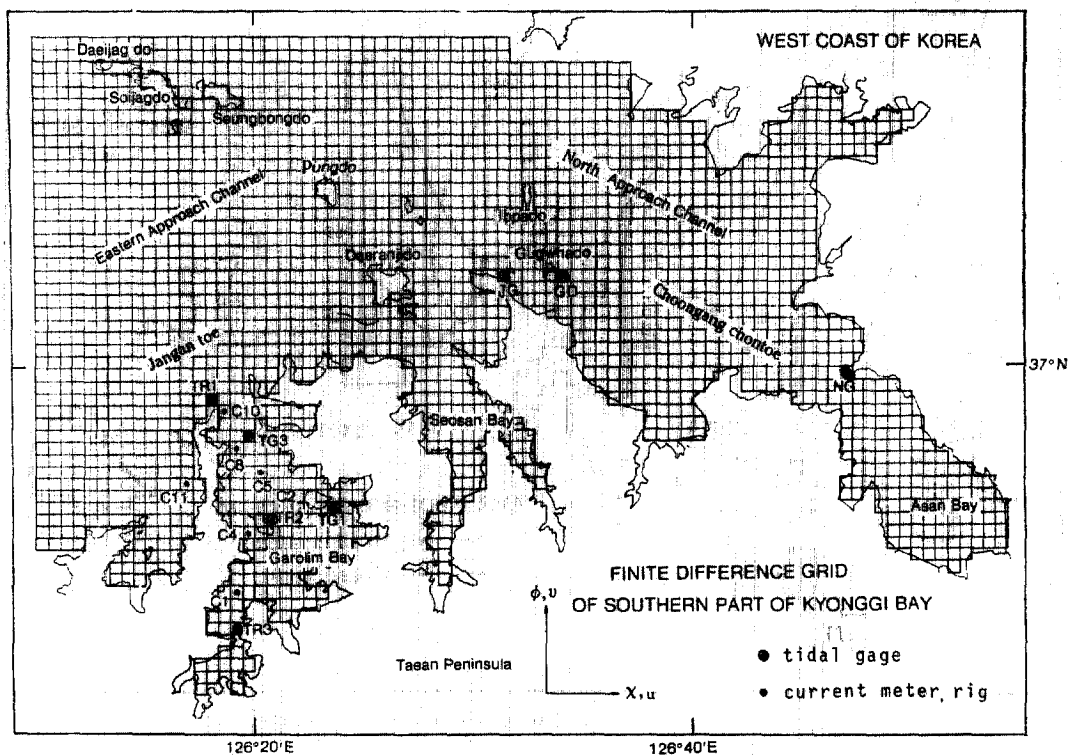


그림 1. Finite difference grid of southern part of Kyonggi Bay.

80개의 列의 配列로서 構成되었으며 格子間隔은 約 820 m이다. CFL(Courant-Friedrichs-Lewy) 安定條件이 安定된 計算을 爲한 指針으로 利用되어 選定된  $\Delta t$ 는 1/130 太陰時로서 每 潮汐週期當 1,560 個의 timestep을 形成하였다. 外海의 境界面은 37.10°N 과 126.166°E 를 連結하는 線으로 境界條件으로는 西海岸 모델<sup>(3)</sup>에서 求한 分潮의 調和常數로서 規定하였는데 每 timestep 境界面을 通過하는 潮流의 流速成分은 連續方程式으로부터 求해진다. 水深資料는 이 海域의 水路局海圖로부터 取하여 平均海面下의 水深으로 補正되어 모델에 入力되었다. 一連의 數值實驗을 通하여 海底摩擦係數,  $K_b$ 가 0.0028 일 때 算定值와 觀測值가 滿足할만한 一致를 보였으므로 空間적으로 變化하는 摩擦係數에 依한 모델의 調整은 試圖되지 않았다. 모델의 各 格子點에서의  $\xi, u, v$ 의 算定은  $t=0$  일 때  $\xi=u=v=0$  인 初期靜止狀態로부터 始作되었는데 淺海

에서는 海底의 摩擦消散率이 높아 初期攪亂이 빨리 除去되어 3 潮汐週期에는 安定된 潮汐體系

表 1. Major harmonic constants of tide at Asan Bay.<sup>(10)</sup>

Constituent <sup>1)</sup>	Nomigag		Gugwhado	
	$H^2)$	$g^2)$	$H$	$g$
$O_1$	28.6	264.8	28.6	263.5
$P_1$	11.2	195.6	11.0	296.7
$K_1$	39.1	303.0	38.1	301.3
$\mu_2$	13.3	191.8	10.9	193.1
$N_2$	51.0	112.8	49.4	110.2
$\nu_2$	12.0	108.8	10.9	101.2
$M_2$	286.6	133.7	273.2	131.9
$L_2$	14.9	132.8	13.9	137.7
$S_2$	111.1	191.8	103.8	189.5
$K_2$	29.7	190.7	28.8	188.2

註) 1) 分潮의 振幅이 10 cm 以上인 分潮만 提示됨  
2)  $H$ 는 cm,  $g$ 는 Greenwich 子午線으로 度.

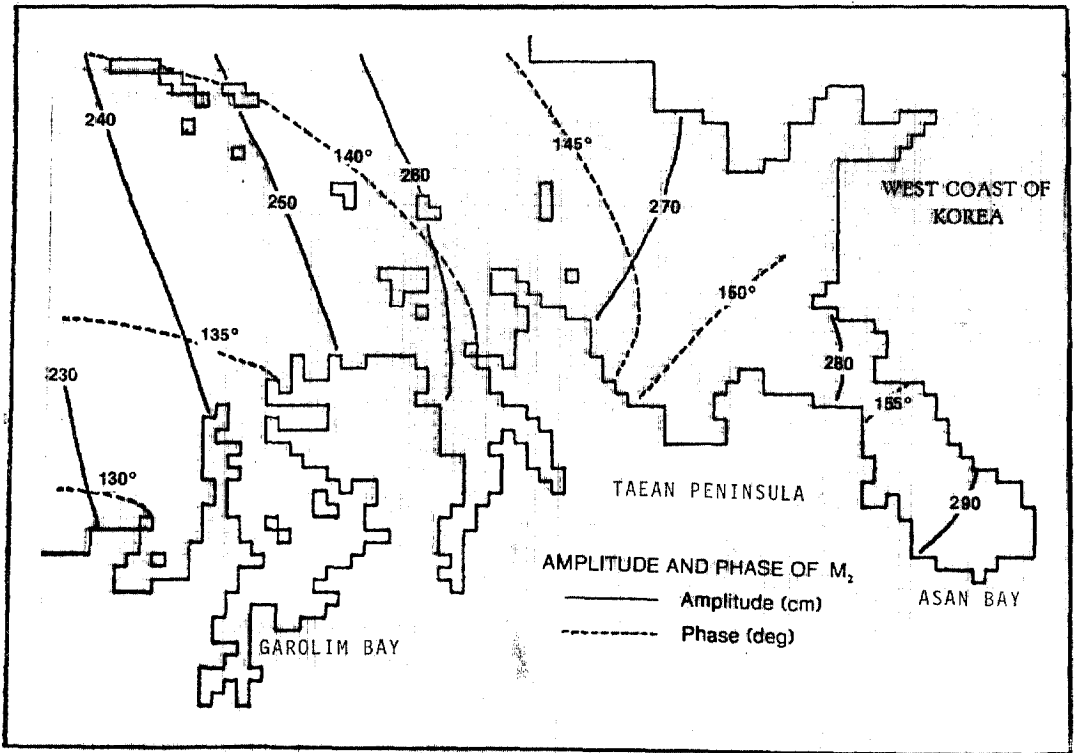


그림 2. Computed  $M_2$  tidal chart-southern part of Kyonggi Bay.

가 形成되었다. 4 潮汐週기의 每格子點에서의  $\zeta$ ,  $u$ ,  $v$  가 每 timestep 磁氣데이프에 貯藏되어  $M_2$  分潮의 調和常數를 抽出하기 爲한 Fourier 分析 및 其他 潮汐分析에 利用되었다.

### 3. 모델結果

#### 3.1 $M_2$ 潮位

모델 對象海域에는 固定檢潮所가 없으며 加露林灣을 除外하고는 潮位의 長期觀測은 牙山灣附近에서는 魯尾角과 菊花島에서 1980年 6月부터 1981年 5月까지의 1年連續觀測이 最長記錄이다. 表 1은 이 觀測值를 TIRA<sup>(11)</sup>(Tidal Institute Recursrive Analysis) 技法에 依해 分析한 結果를 提示하고 있는 데 仁川港의 長期潮位分析值<sup>(12)</sup>와 거의 一致하는 結果이다. 插橋川防潮堤가 建設되기 前의 魯尾角의  $M_2$  振幅이 290~295 cm<sup>(13), (14)</sup>이었는데 表 1의 結果 即 防潮堤 建設後의 結果와 比較하면 約 3~8 cm의  $M_2$  振幅減少가 일어난 것을 알 수 있다. 이는 過去記錄이 短期觀測結果이므로 仔細한 比較評價를 할 수

없지만 防潮堤建設에 依한 潮汐變換으로 一次的으로 推定할 수 있으며 西海岸모델에 依한 推定結果<sup>(3)</sup>를 支持해 주는 것으로 생각할 수 있다. 그림 2는 모델에 依해 算定된 潮汐圖로서  $M_2$  分潮의 等振幅을 나타내는 等高線과 等潮時를 나타내는 點線으로 構成되어 있다. 等潮時線은 等高潮時刻를 連結한 것으로 牙山灣入口附近의 高潮는 太陰이 135°子午線을 經過한 後 約 5時間인 것을 알 수 있다. 또한 等潮時線에 概略的으로 直角인 方向이 潮汐의 傳播方向으로 外海에서는 一般的으로 等振幅線과 直角을 이루나 牙山灣으로 接近할수록 서로 平行을 이루는 것을 알 수 있다.

表 2는 利用可能한 潮位觀測結果<sup>(10), (15)</sup>를 調和分析한  $M_2$  分潮의 調和常數(振幅과 遲角)와 算定된 潮位를 Fourier 分析한 結果를 比較한 것인데 一般的으로 振幅은 10 cm 內, 遲角은 5° 以內의 誤差範圍를 갖는 것을 알 수 있다.

#### 3.2 $M_2$ 潮流

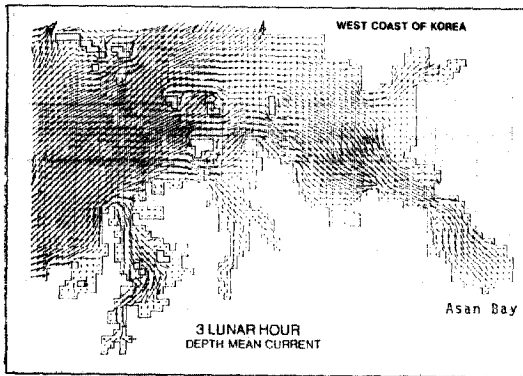
모델에 依해 算定되는 潮流의 流速은 水深平

表 2. Comparison between observed and calculated amplitude(m) and phase(degree referred to 135°E) of the  $M_2$  tide.

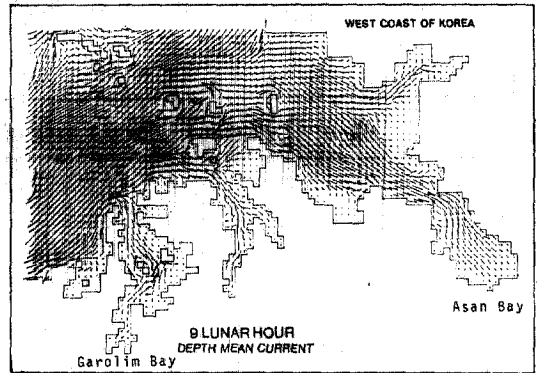
Location	Const.		K	
	obs	calc	obs	calc
TR1	2.35	2.41	130	133
TG3	2.36	2.46	132	135
TR2	2.41	2.50	132	135
TG1	2.50	2.52	137	137
JG	2.83	2.65	143	143
GD	2.73	2.68	139	143
NG	2.86	2.80	141	146

均流速(depth-averaged velocity)으로 潮位에 의한海面傾斜에 의한 것이다. 潮流亦是潮位와同一하게 週期的인 調和變動을 하므로 Fourier 分析에 의해 振幅과 遲角을 求할 수 있다. 그림

3은 太陰이 135°E 子午線을 經過한 後 3時間 및 9時間後의 漲潮와 落潮時의 京畿灣 南部海域의 潮流流動形態를 提示하고 있다. 모델의 東側境界를 通過해 東水路를 따라 仁川港에 이르는 接近水路와 長安堆를 거쳐 牙山灣에 이르는 北側水路 및 南側水路를 通過하는 漲潮와 落潮의 強度가 優勢한 潮流形態를 보여준다. 潮流의 週期的 變動 및 強度는 이러한 瞬間的인 流況보다 分析된 東向 및 北向成分의 潮流의 振幅과 遲角으로부터 求해진 潮流橢圓에 依해 더 仔細히 說明될 수 있다. 그림 4는 潮流橢圓의 主軸의 크기, 配列 및 化살표에 依해 潮流의 時間에 따른 回轉方向을 提示하고 있으며 그림 5는 몇몇 地點에서의 潮流橢圓을 擴大한 것이다. 一般적으로 主水路에서의 潮流는 直線的, 往復性(rectilinear, reversible)이며 水路를 벗어난 附



(a)



(b)

그림 3. Spatial distribution of depth-mean current computed at flood and ebb at Asan Bay.

表 3. Comparison of observed and computed semi-major axis(A), semi-minor axis(B) and orientation( $\theta$ ) counterclockwise from east, of the  $M_2$  tidal ellipse.

current meter rig	A		B		$\theta$	
	obs(cm/sec)	calc(cm/sec)	obs(cm/sec)	calc(cm/sec)	obs(deg)	calc(deg)
C1	54	51	1	1	38	41
C2	52	58	2	2	145	126
C4	36	48	1	2	132	96
C5	66	56	-3	1	120	112
C8	54	63	4	1	96	94
C10	71	80	1	3	117	123
C11	35	42	-4	2	23	45

註) 陰數인 B 값은 橢圓의 時計方向回轉性, 陽數인 B 값은 反時計方向回轉性을 나타낸다.

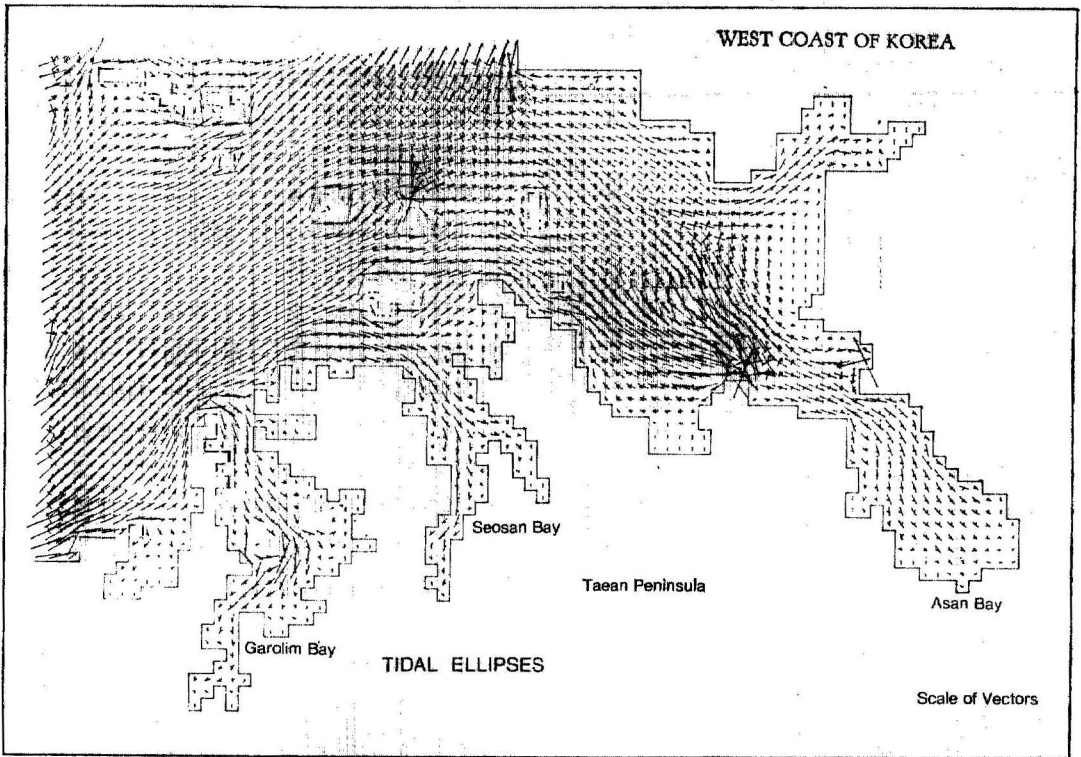


그림 4. Calculated principal axes of the depth-mean  $M_2$  tidal current ellipses.

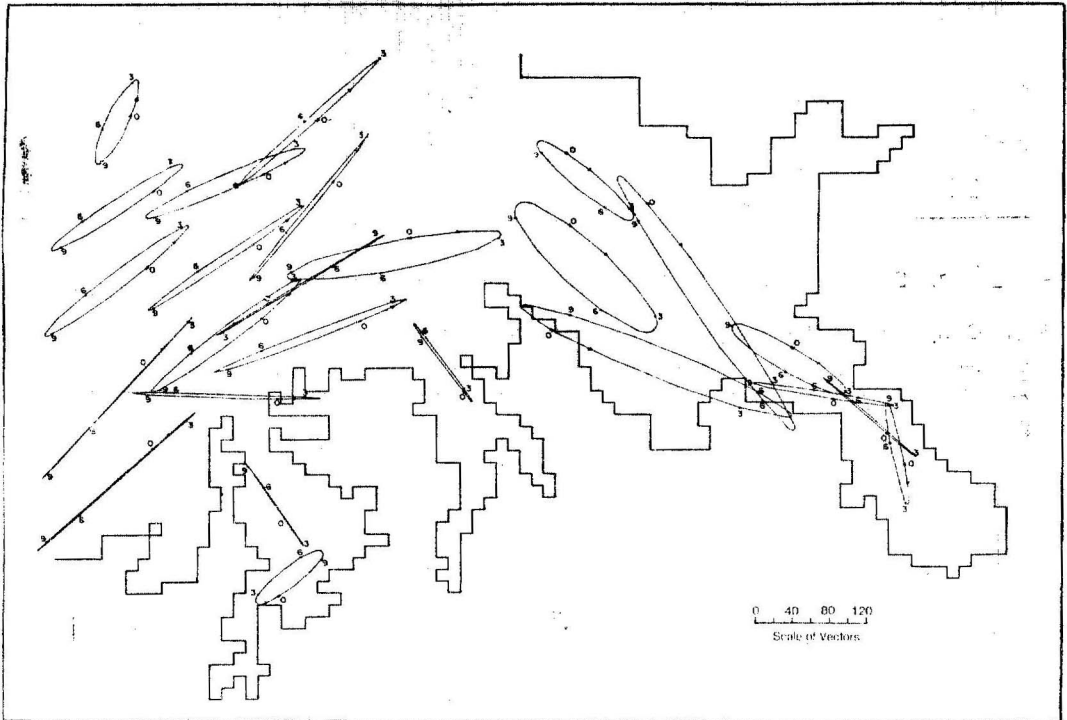


그림 5. Calculated  $M_2$  tidal current ellipses at selected point.

近에서는 弱한 回轉性(rotatory) 흐름인 것을 알 수 있다. 潮流觀測結果에 依한 潮流橢圓의 成分과 모델에 依해 算定된 潮流橢圓의 成分을 比較한 結果가 表 3에 提示되어 있는데 利用可能한 潮流觀測이 全部 加露林灣에 局限되어 있다. 表에서 A는 橢圓의 長軸으로 最大流速, B는 橢圓의 短軸으로 最小流速을 나타내며  $\theta$ 는 長軸과 東向軸이 이루는 角을 反時計針方向으로 表示한 것이다. 表 3에 依하면 算定된 結果는 觀測結果와 一般의으로 定性的인 面에서 一致하고 있다 생각되나 定量的인 比較評價가 어려운 것은 算定流速이 水深平均流速임에 比較해 潮流觀測은 水面下 一定深度에서 이루어졌기 때문이다. 따라서 이러한 一次元모델의 制約은 水平方向流速의 垂直의 分布를 算定할 수 있는 3次元 모델(16), (17), (18)에 依해 克服될 수 있다. 모델의 結果와 沿岸航海誌(19)를 参照하면 京畿灣 南部 海域의 一般的인 潮流流動은 下記와 같이 說明될 수 있다. 仁川港에의 接近水路인 東水路의 潮流는 北東-南西方向으로 흐르며 仁川港의 高,

低潮時 轉流된다. 풍도와 立波島의 3~4 km 北端에서 潮流는 東-西方向으로 흐르며 立波島의 東側 2~6 km 地點인 北側 牙山灣接近水路에서 潮流는 北西-南東方向으로 흐른다. 牙山灣 錨泊地에서의 潮流는 東南東-西北西方向으로 潮汐週期에 걸쳐 反時計針方向으로 回轉性을 이루며 흐른다. 加露林灣 入口前方에서의 潮流는 강한 北東-南西方向의 흐름이며 亦是 反時計針方向 回轉性을 가진다. 모델對豫海域의 潮流는 강한 往復性, 反時計針方向回轉性을 가지지만, 東水路北端에서는 時計方向回轉性을 가진다. 이 海域 潮流는 潮位와 約  $70^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 의 位相差를 갖는데 이는 局地的으로 低潮가 發生한 後 約 2.5~3 時間後에 最强漲潮流가 發生하는 것을 意味한다.

### 3.3 海底摩擦력과 에너지消散

水深平均流速의 自乘에 海水密度 및 海底摩擦係數를 곱한 값은 海底摩擦應力을 나타내는데 最大海底摩擦應力은 海底地質의 分布와 關聯있는 變數로서 알려져 있다(20), (21). 그림 6은 最大海底摩擦應力의 分布를 提示하고 있는데 海底摩

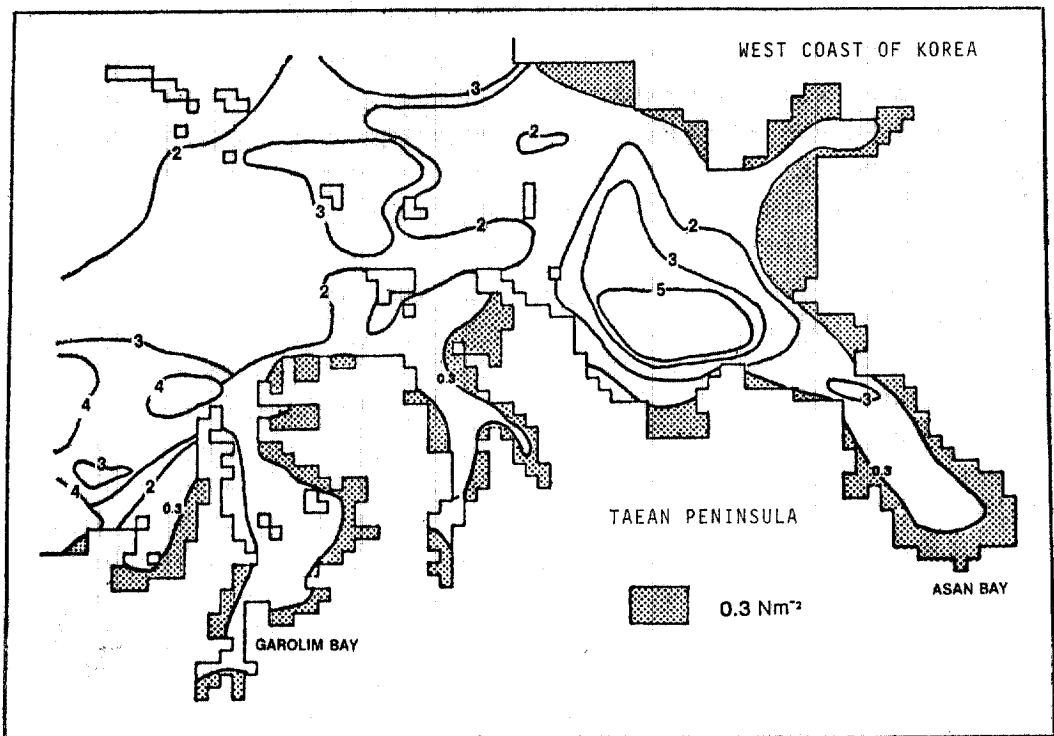


그림 6. Spatial distribution of maximum bed stress during meantidal cycle.

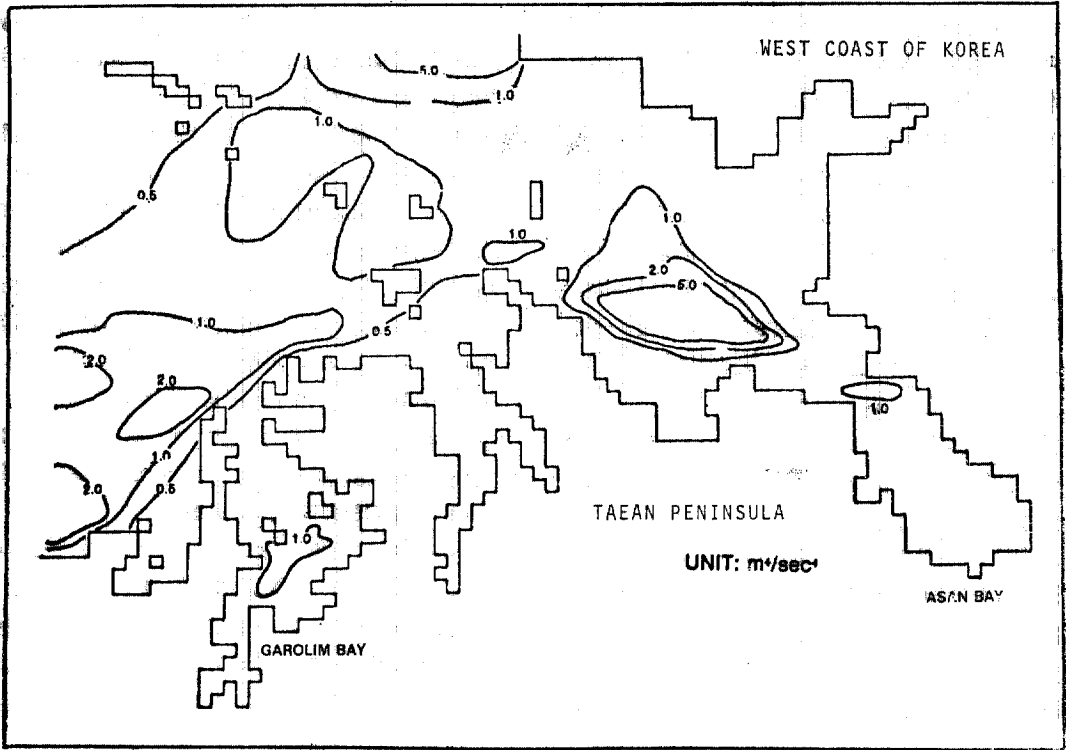


그림 7. Distribution of peak transport potential.

擦이甚한區間은强潮流區間과一致하며長安堆와平行한水路및牙山灣接近水路이다. 낮은摩擦應力인  $0.3 \text{ N/m}^2$ 의線을連結하면海底細粒粘土質의分布地域과定性的으로 잘一致하는것으로알려져있는데그림6亦是이地域의粘土質로構成된潮間帶의分布와一致하고있다.沿岸變換에依한流水樣相의變化에따른海底摩擦力的分布가再算定될수있으므로沿岸地形의變化에따른海底地質分布의變化를定性的으로豫測할수있다.流速의4乘은海底의掃流砂의移動포텐시알을提示하는變數로서利用되는데그림7은最大移動포텐시알의分布를提示하고있다.海底地質이岩盤이아닌浸蝕性底質일境遇中央淺堆를包含하는牙山灣接近水路는掃流砂의移動포텐시알이相當히높은것을알수있다.

流速의3乘에海水密度및海底摩擦係數를곱한값을潮汐週期를通해積分하면海底摩擦력에依해消散되는潮汐에너지의消散量을알수있는데이는地球物理學的의側面에서觀心있

는部分이다<sup>(22)</sup>.그림8은1潮汐週期當總摩擦에너지消散量의分布를提示하고있는데强流와海底摩擦力이큰地域인長安淺堆와中央淺堆와平行한主水路에서큰에너지消散이일어나는데이는黃海와東支那海體系<sup>(9)</sup>에서도가장큰값이다.

#### 3.4 接近水路浚渫의影響

東水路와牙山灣接近水路에潮流의流動方向과平行하게位置한長安堆및中央淺堆는海底地形學上tidal current ridge<sup>(23),(24)</sup>로서長期間에걸쳐潮汐에依한恒流에依해生成된것이다.牙山港開發을爲해中央淺堆의一部를包含한接近水路를浚渫할境遇現存의潮汐體系및堆積體系가變化될것이며,變化相의豫測에따른對策이必要할것이다.基本式(1)~(3)에서潮汐算定을爲해서除外한大氣壓傾斜項및海面剪斷項中에서바람에依한海流를算定하기爲해서는壓力傾斜項만除外시키고外海境界面에서는放射條件<sup>(25)</sup>을아래와같이取하므로바람에依한海流分布를求하였다.



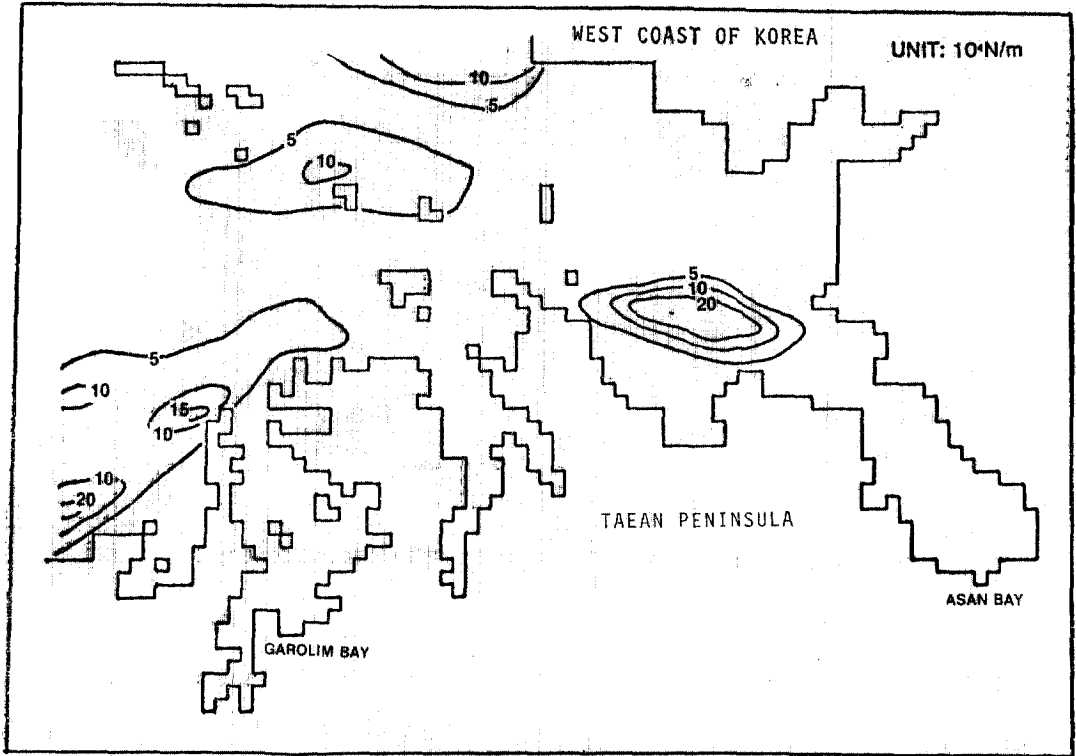


그림 8. Total frictional energy dissipation for an  $M_2$  tidal cycle.

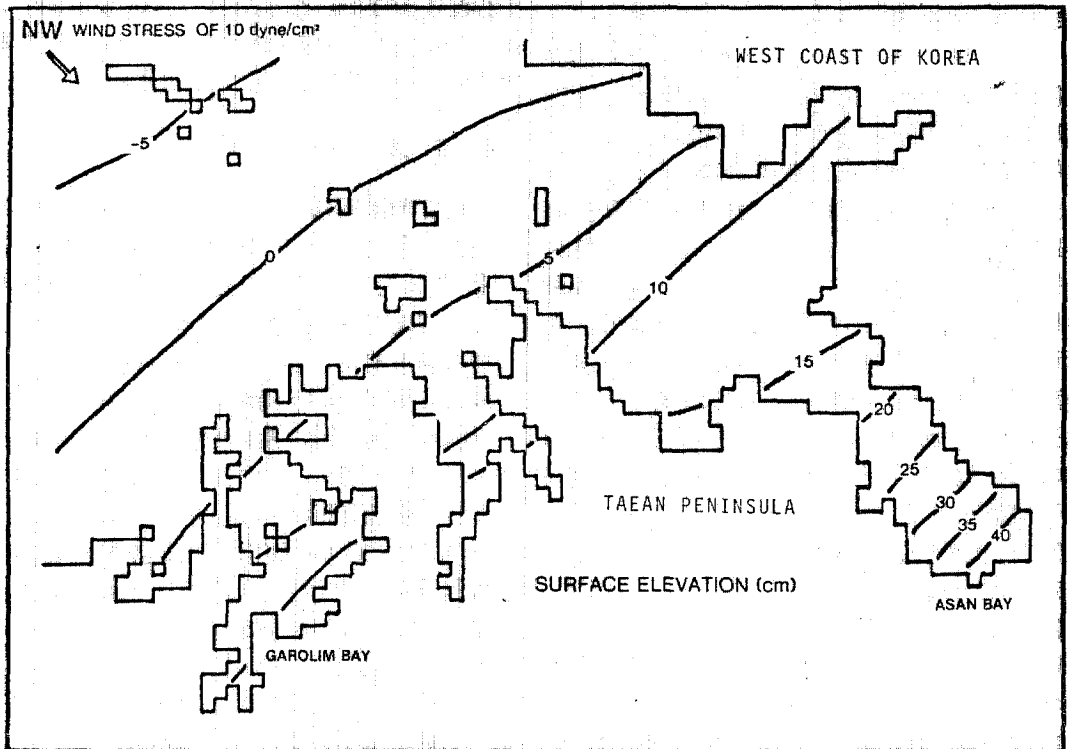


그림 9. Surface elevations produced by a uniform northwesterly wind stress of  $10 \text{ dyne/cm}^2$

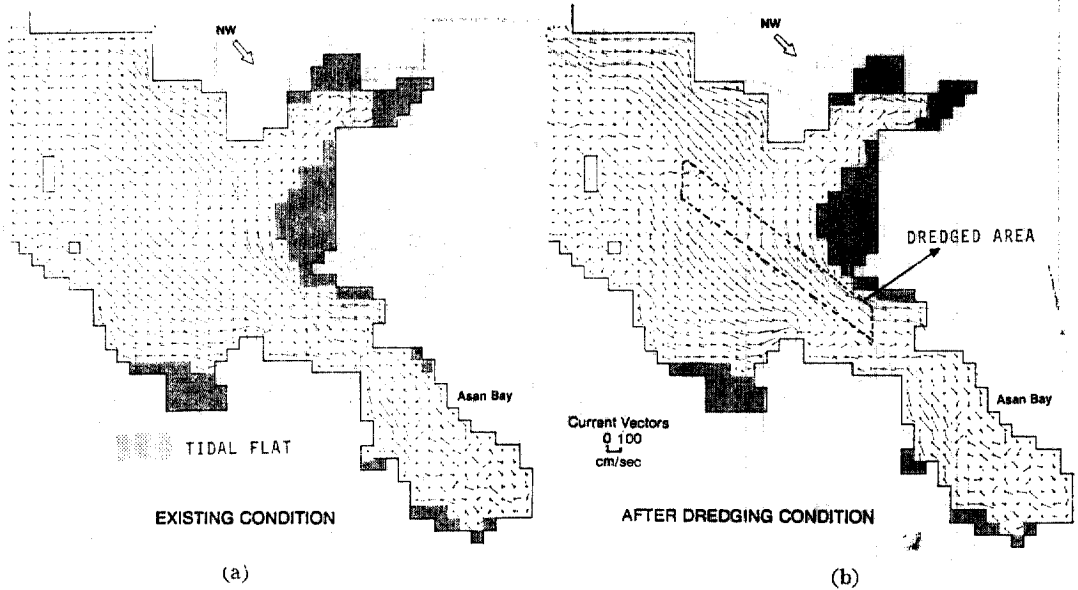


그림 10. Depth-mean current produced by a uniform northwesterly wind stress of 10 dyne/cm<sup>2</sup>.

$$hq_n' = (gh)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

여기서  $h$ 는水深,  $q_n'$ 는境界面을 통해 外海로 빠져나가는流速이다.

그림 9와 그림 10-(a)는 北西風에 의해海面에 10 dyne/cm<sup>2</sup>의 剪斷應力이作用할 때의海面水位分布와流速의分布를提示하는데 바람方向과 平行하게 北側 및 南側 牙山灣接近水路에 바람外力에 의한 강한海流가發生하며 複雜한海底地形, 沿岸線 및 島嶼에 의한 많은回轉性海流(gyre)가發生한다. 그림 10-(b)는接近水路浚渫에 따른 바람에 의한海流의變化樣相을提示하는데 모델의浚渫區間의水深入力은基本水準面下 17m<sup>(26)</sup>로取하였다.浚渫區間에서流速은 30~40 cm/sec增加하였으며海面은 2~4 cm減少를보였는데 이結果는平均狀態의北西風에關聯된 것이 아니라體系의反應을 뚜렷하게調查키爲한海面應力이 10 dyne/cm<sup>2</sup>(概略的으로風速 18 m/s에該當)인境遇이다.類似한數值實驗을 M<sub>2</sub>潮汐에對해서도實施하였는데 M<sub>2</sub>潮位의振幅은 5~10 cm增加, 潮流는約 20 cm/sec增加하였다. 이러한流動狀態의變換과 더불어既存牙山灣의平均潮量(489×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>)<sup>(13)</sup>亦是變化를가져와深刻的動的堆積體系의變化

를가져올 것이다. 이의定量的인評價를爲해서는海底地形을 더 잘解像시킬 수 있는 100 m程度의格子間隔의 모델과河口堆積現象이 3次元現象이므로 3次元모델에 의한流速의垂直分布를 아는 것이 必須的인事項이다.

#### 4. 結 論

京畿灣南部海域의 2次元潮汐數值解析모델이開發되어 이地域의平均的인潮汐現象을代表할 수 있는主太陰半日週潮를滿足할만한精度로서算定할 수 있었다. 모델結果는 이地域潮汐力學을理解하는데 必須的인資料들을提供하였으며牙山灣接近水路의浚渫에 따른流況變動豫測이 1次的으로遂行되어 모델의工學的應用性を提示하였다. 모델의精度改善을爲해서는廣範圍한海洋觀測이必要한데 특히自動流速計에 의한長期間水深別流速觀測值가必要하다.堆積現象에關聯된流況分析을爲해서는2次元數值모델과細密한格子網의3次元數值모델을動的으로連結하는研究가追後的課題이다.類似하게2次元數值모델과水理모델을動的으로連結하는複合모델(hybrid model)<sup>(27),(28)</sup>에關한研究亦是始作해야 할段階이다.

## 參 考 文 獻

1. 韓國船舶海洋研究所, 西海岸(仁川港周邊), 干瀉地開發調查(水理特性調查), 大韓浸滲公社, 1976.
2. 國土建設研究所, 西海岸(仁山港周邊)開發區域水理模型實驗報告書, No. 326, 建設部, 1977.
3. Choi, B. Effect on the  $M_2$  tide of tidal barriers in the west coast of Korea. *Korea Ocean Research and Development Institute Report 81-01* 1981, 37p.
4. Garrett, C. and D.A. Greenberg. Predicting changes in the tidal regime; the open boundary problem. *Journal of Physical Oceanography*, 7, 1977, pp.171-181.
5. Schwiderski, E.W. Ocean tidal research and its applications. *Naval Surface Weapons Center, Dahlgren Laboratory*, 1982, 9p.
6. Flather, R.A. A tidal model of the North-West European continental shelf. *Memoires de la Societe Royale des Sciences de Liege, Ser. 6*, 10 1976, pp.141-164.
7. Davies, A.M. A numerical model of the North Sea and its use in choosing locations for the deployment of offshore tide gauges in the JONSDAP '76 oceanographic experiment. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 29, 1977, pp.11~24.
8. Roberts, K.V. and N.O. Weiss. Convective difference schemes. *Math. Comput.* 20, 1967, pp.272-299.
9. Choi, B. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea. *Korea Ocean Research and Development Institute Report 80-02*, 1980, 68p.
10. 建設部, 牙山產業基地開發基本計劃 港灣調查報告書, 1981.
11. Murray, M.T. Tidal Analysis with an electronic digital computer. *Cashiers Oceanographiques*, 1963.
12. 崔秉昊, 仁川港 潮位分析에 관한 研究(海面變化調查事業), 海洋開發研究所·交通部水路局, 1980, 57p.
13. 韓國產業基地開發公社, 牙山港 海象調查報告書, 建設部, 1974, 55p.
14. 農業振興公社, 插橋川(二段階)地區農業綜合開發事業豫備妥當性調查報告書, 1976, 411p.
15. 韓國海洋開發研究所, 海洋에너지開發을 위한 精密海洋調查(加露林灣), 1980, 90p.
16. Heaps, N.S. Development of a three-dimensional numerical model of the Irish Sea. *Rapp. p.-v. Reun. Cons. Perm. int. Explor. Mer*, 167, 1974, pp.147-162.
17. Davies, A.M. Application of numerical models to the computation of the wind-induced circulation of the North Sea during JONSDA '76. *Meteor. Forschungsergebnisse*, 22, 1980, pp.53-68.
18. 崔秉昊, 京畿灣의 3次元流動解析모델에 관한 研究 韓國科學財團提出報告書, 1981, 42p.
19. DMA Hydrographic/Topographic Center Sailing directions for the coasts of Korea and China. *pub. No. 157*, 1972, 252p.
20. Pingree, R.D. and D.K. Griffiths. Sand transport paths around the British Isles resulting from  $M_2$  and  $M_4$  tidal interactions. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 59, 1979, pp.497-513.
21. Miles, G.V., D.G. Webb and M. Ozasa. Sediment transport relations for estuary models. *Hydraulics Research Station Internal Report*, 1980.
22. Cartwright, D.E. Ocean tides. *Int. Hydrogr. Rev.*, 55(2), 1978, pp.35-84.
23. Off, T. Rhythmic linear sand bodies caused by tidal currents. *Bull. Assoc. Petroleum Geologist*, 47(2), 1963, pp.324-337, pp.339-341.
24. Zimmerman, J.T.F. Dynamics, diffusion and geomorphological significance of tidal residual eddies. *Nature*, 290(5807), 1981, pp.549-555.
25. Reid, R.O. and B.R. Bodine. Numerical model for storm surges in Galveston Bay. *J. of HY Div. Proc. ASCE*, 94, 1966, pp.523-555.
26. 大韓浸滲公社, 牙山港山港浸滲調查計劃報告書, 建設部, 1975, 156.
27. Holz, K.-P. Simulation of tidal river dynamics. pp.145-156, in *Lecture Notes on coastal and marine sciences*, (ed. J. Sunderman and K.-P Holz), Springer Verlag, 1980.
28. Prandle, D. Pilot hybrid model for the Bay of Fundy tidal power scheme. *Canadian National Research Council Hydraulic Laboratory Report Ho. HY-98*.

(接受: 1983. 3. 9)