

仁川海域 開發에 따른 潮汐變化 推定 Prediction of Tidal Changes due to the Development of Incheon Coastal Waters

鄭信澤* · 蘇在貴** · 蔡璋源***

Shin Taek Jeong*, Jae Kwi So** and Jang Won Chae**

要 旨: 우리나라 西海岸에 위치한 仁川海域의 開發에 따른 潮汐特性을 分析하기 위하여 2차원 數值模型을 이용한 數值分析을 수행하였다. 먼저 既存 및 새로운 潮汐觀測 資料를 分析하고, 수학적 모형으로서 水深 積分한 淺水方程式을 선정하였으며, 이에 따른 수치모형은 Flather and Heaps(1975)의 모형을 사용하였다. 觀測된 2개 主要分潮 M_2 와 S_2 를 外海 境界條件으로 入力하여 모형을 수립하고, 수립된 모형을 2종류의 인천해역 開發안에 따라 적용하였다. 이 해역이 開發될 때 大潮時 潮汐 變化양상을 평가한 결과 振幅變化는 미약하나 潮流變化는 부분적으로 크게 나타낸다.

Abstract □ Two-dimensional numerical analysis is performed for the simulation of tidal characteristics related to various development projects in Incheon coastal waters along the west coast of Korea. Field observation of tides and currents was made in order to provide the input boundary and validation data set to the numerical modelling. For the simulation of changes of tides and currents a depth-integrated two-dimensional shallow water model of Flather and Heaps (1975) has been used herein. Tidal model is set up with open boundary sea level from observed two major constituents, M_2 and S_2 . Subsequently the established model is utilized to investigate the effect of two development projects in this region. It has been found that in spring tide the changes of tidal amplitude are small, however, those of tidal current are locally significant.

1. 서 론

國土가 좁고 資源이 빈약한 우리나라는 沿岸域에 대한 보다 효율적이고 종합적인 이용이 절실히 요구되고 있다. 특히 港灣 建設, 護岸 및 防波堤의 建設 등 연안개발 사업은 막대한 초기 투자비와 유지 관리비가 소요되기 때문에 波浪, 흐름, 퇴적물 이동 등의 設計環境要素들을 정확히 예측하는 것이 필요하다.

海水流動模型은 潮汐體系를 포함한 水質環境, 堆積物移動環境 등 연안개발에 따른 연안환경 변화예측에 필연적으로 요구되는 海水의 움직임을 1차원, 2차원 혹은 3차원적으로 再現하는 모형을 일컫는다. 1次元 數直模型은 주로 江이나 河口 등의 流體運動을 재현 하는데 이용되며, 海水의 일반적인 流動特性은 2차원

水深平均된 식을 利用하는 x, y 평면 2차원 모형에 의해서 記述된다. 水深에 따른 密度變化의 幅이 커서 流速의 연직구조를 단순한 水深平均 流速值로 나타낼 수 없을 때의 海水流動特性에는 3차원 數值模型이 利用된다. 실제 沿岸環境變化 豫測을 위해 널리 쓰이고 있는 모형은 2차원 水深平均된 것으로, 많은 나라에서 자체개발 혹은 先進開發國으로부터의 도입 등을 통하여 沿岸開發事業에 이용하고 있다. 3차원 모형의 경우 亂流模型 技法 등을 適用하여 여러 나라에서 開發努力이 활발히 이루어지고 있으며, 일부分野에서는 實用化되어 熱汚染 등 環境問題 解決에 利用되고 있다.

우리나라에서는 1970年代 後半부터 1980年代 初에 걸쳐 英國으로부터 2차원 海水流動模型技法이 導入된

*圓光大學校 土木工學科 (Department of Civil Engineering, Won Kwang University, Iri, Korea)

**韓國海洋研究所 海洋工學研究部 (Ocean Engineering Division, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Korea)

이후, 海岸開發研究에 數值模型을 利用한 研究가 활발히 進行되고 있다. 즉, 최·강(1990), 최·이(1993), 그리고 서(1994) 등이 새만금 해역에 대하여, Choi (1980), 최·서(1987), 한국전력공사(1990), 최 등(1992), 한국수자원공사(1993), 그리고 한국해양연구소(1993) 등이 인천만에 대하여 2차원 海水流動數值模型을 적용한 바 있다.

최근 교통부에서는 증가하는 航空需要를 충족시키기 위하여 영종도와 용유도 일대에 首都圈 新空港 建設을 착공하였으며, 한편 水資源公社에서는 총 연장 11.206 km에 달하는 始華防潮堤를 축조하였다. 본 연구에서는 이러한 2種類의 대규모 仁川海域 開發事業에 따른 潮汐體系의 變化에 대해 敘述하였다.

2. 潮汐 및 潮流의 特性 分析

2.1 潮汐

既存 觀測資料의 主要結果(韓國電力公社, 1990)를 요약하면 다음과 같다. 夏季觀測(1989. 7. 17~8. 15)의 경우 平均高潮間隔은 세어도에서 4시간 32분, ulla에서 4시간 30분이며, 平均低潮間隔은 각각 10시간 44분과 10시간 42분이다. 平均海面은 세어도에서 488.7 cm, ulla에서 478.6 cm, 大潮差는 세어도에서 830.2 cm, ulla에서 820.0 cm, 그리고 小潮差는 각각 345.8 cm, 345.6 cm이다. 仁川港을 기준한 潮時差는 세어도에서 4분, ulla에서 2분 늦다. 또한 波高比는 仁川

港에 비해 세어도가 1.041배, ulla가 1.028배이다.

수면변위에 대한 潮汐의 影響을 파악하고 時系列의 資料를 얻기 위하여 Fig. 1에 표시된 T1, T2, T3에서 조석관측을 실시하였다. 정점 T1, T2는 수치모델링 대상해역의 外海 開放境界에 해당하며 관측기기로는 自動 潮位記錄機인 IWTG(Intelligent Wave and Tide Gage)를 사용하였다. 각 定點별 1시간 資料에 대해 潮汐 調和分析 프로그램을 이용하여 調和分析를 실시하였으며, 각 定點에서의 分析結果는 Table 1, 2, 3과 같다. 분석결과 M_2 分潮의 半潮差는 2.86~2.55 cm, S_2 分潮의 半潮差는 1.08~0.98 cm이며 조석 형태수는 0.16~0.18로서 半日週潮가 우세하다. M_2 및 S_2 分潮의 遲角(Phase lag)은 ulla에서 북쪽으로 점차

Table 1. Harmonic constants for major tidal components at station T1

Location : Kanghwa T1 (92.10)				
Duration : 42 days (15:00, Oct. 8, 1992~09:00, Nov. 18, 1992)				
Observed M. : -0.1808E-15		S.D. : 0.2994E+01		
Residual M. : 0.1470E-13,		S.D. : 0.2161E+00		
No.	Constituent	Speed (deg./hr)	H (m)	g (deg.)
1	O ₁	13.9430356	0.2776	264.579
2	K ₁	15.0410686	0.3674	311.081
3	N ₂	28.4397295	0.5057	123.655
4	M ₂	28.9841042	2.8608	143.666
5	S ₂	30.0000000	1.0836	203.988
6	M ₄	57.9682084	0.0391	112.996
7	MS ₄	58.9841042	0.0450	171.559

Table 2. Harmonic constants for major tidal components at station T2

Location : Kanghwa T2 (92.10)				
Duration : 42 days (15:00, Oct. 7, 1992~09:00, Nov. 17, 1992)				
Observed M. : -0.6215E-16		S.D. : 0.2139E+01		
Residual M. : 0.1227E-14,		S.D. : 0.1483E+00		
No.	Constituent	Speed (deg./hr)	H (m)	g (deg.)
1	O ₁	13.9430356	0.2848	268.118
2	K ₁	15.0410686	0.3735	313.938
3	N ₂	28.4397295	0.4956	123.442
4	M ₂	28.9841042	2.6794	145.255
5	S ₂	30.0000000	1.0219	203.771
6	M ₄	57.9682084	0.0418	207.500
7	MS ₄	58.9841042	0.0443	238.667

Table 3. Harmonic constants for major tidal components at station T3

Location : Kanghwa T3 (92.10)				
Duration : 42 days (13:00, Oct. 6, 1992~10:00, Nov. 16, 1992)				
Observed M. : -0.9045E-17		S.D. : 0.2023E+01		
Residual M. : 0.1122E-13,		S.D. : 0.1626E+00		
No.	Constituent	Speed (deg./hr)	H (m)	g (deg.)
1	O ₁	13.9430356	0.2805	260.660
2	K ₁	15.0410686	0.3704	305.330
3	N ₂	28.4397295	0.4852	105.429
4	M ₂	28.9841042	2.5487	128.240
5	S ₂	30.0000000	0.9773	185.507
6	M ₄	57.9682084	0.0454	100.080
7	MS ₄	58.9841042	0.0417	144.764

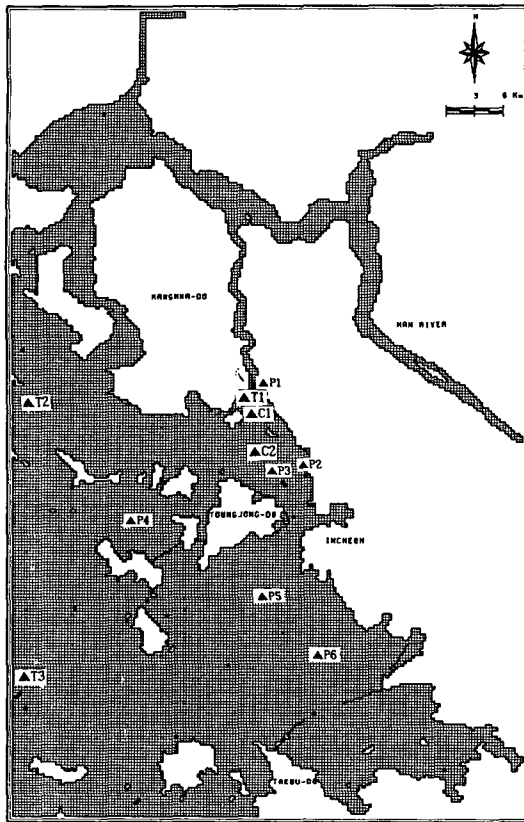


Fig. 1. Grid system for tide modelling and locations of measuring points.

커지는 데 이는 潮汐波가 남쪽에서 북쪽으로 진행해감을 의미한다.

2.2 潮流

韓國電力公社(1990)의 觀測結果에 의하면 平均大潮期의 最強流速은 漲潮時(NNW~NNE 方向)에는 75~119 cm/sec, 落照時(SSE~SSW 方向)에는 89~129 cm/sec이다.

仁川港 海域의 流況을 파악하고 潮汐·潮流 數值模型의 檢證資料로 사용하기 위하여 Fig. 1의 C1 및 C2에서 自動 流速·流向 記錄機인 Aanderaa RCM-7을 이용하여 潮流觀測을 실시하였다. 이 기기를 平均水深의 中層에 繁留하여 내장된 자기테이프에 10분 간격으로 자료를 저장한 다음, 기록된 결과를 컴퓨터에 入力시켜서 東西 및 南北 方向의 流速成分을 산출하였다. 觀測結果中 速度 벡터의 時間變化를 나타낸 Stick plot을 Fig. 2에 圖示하였다. C1의 경우 거의

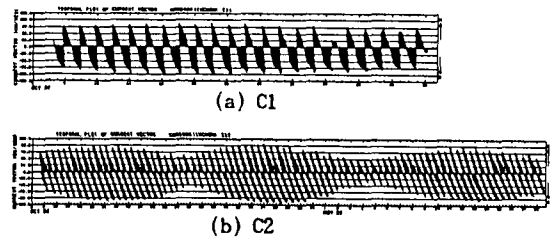


Fig. 2. Stick plots of tidal current at station C1, C2.

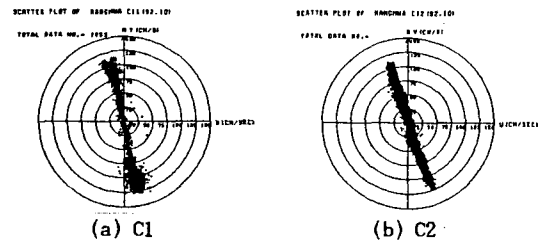


Fig. 3. Synoptic view of current pattern at station C1, C2.

南北方向의 往復性 潮流이며 落照方向인 南向의 흐름이 漲潮流보다 세고 最大值는 120 cm/sec 이상이다. C2의 경우 C1과 거의 비슷하며 落照流의 最大值는 110 cm/sec 이상이다. 두 定點의 潮流 橢圓圖를 Fig. 3에 圖示하였으며 그 결과는 水道에서 나타나는 往復性 潮流(Reversing current)임을 알 수 있다.

3. 數值模型을 통한 潮汐變化 分析

3.1 基本方程式 및 數值計算

2차원 평면 海水流動模型은 사용되는 좌표계, 數值計算方法, 계산격자의 일정성 등에 따라 種類가 細分되며, 適用 海域의 스케일 및 地形의 形態, 適用目的 등에 따라 적합한 모형이 선택적으로 사용된다. 본 연구에서 적용하고자 하는 模型은 水深平均된 2차원 운동방정식과 연속방정식을 직교좌표계(Rectangular coordinate system) 상에서 格子間隔이 일정한 조건에서 陽解法(Explicit scheme)을 이용하여 記述한 것으로 본래 Flather and Heaps(1975)에 의해서 개발되었으며 放射境界條件(Radiational boundary condition), 河川 流入水 處理 및 개방境界면의 노출-침수를 고려할 수 있도록 확장되었다.

연구대상 海域은 淺海域으로써 潮流의 수직변화는 거의 무시할 수 있으며, 海底面 근처의 境界層(Boun-

dary layer)을 제외하고는 密度의 水平, 垂直變化 效果 또한 미미하다. 반면, 항류와 고주파 淺海分潮(Overtides) 형성에 関여하는 비선형 이류항(Nonlinear advection terms)을 고려하였다. 따라서 模型海域内の 海水流動 現像은 아래와 같은 2차원 편미분방정식으로 기술된다.

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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_{xb}}{\rho H} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\tau_{yb}}{\rho H} = 0 \quad (3)$$

- 여기서, x, y : 평균 해수면상에 위치한 직교좌표계
- g : 중력가속도
- f : 지구 전향력 계수(Coriolis parameter)
- ζ : 평균 해수면상의 순간조위
- h : 평균 해수면하의 수심
- H : 순간 수심($=h+\zeta$)
- u, v : x, y 각 방향의 수평유속성분
- τ_{xb}, τ_{yb} : 해저마찰력의 x, y 성분

潮汐·潮流 에너지의 減衰를 나타내는 해저마찰력은 다음과 같이 주어진다.

$$\tau_{xb} = k \rho u (u^2 + v^2)^{1/2} \quad (4)$$

$$\tau_{yb} = k \rho v (u^2 + v^2)^{1/2} \quad (5)$$

- 여기서, ρ : 해수밀도
- k : 마찰계수($=0.00235$)

數值計算은 Double sweep method를 사용하며, 각각 x, y 방향의 유속 u, v 는 홀수 계산시각에 計算 領域의 상단에서 하단으로 각 격자를 Scanning하면서 계산하는 Upsweep과정을, 짝수 계산시각에 하단에서 상단으로 Scanning하며 計算하는 Downsweep과정을 통해 계산한다.

差分技法上 陽解法으로 구분되며, 이류항 처리에는 대각구배 계산법(Angled-derivative scheme)이 사용되고 있다.

3.2 境界 및 入力條件

주어진 模型 海域內에서 上記 方程式의 解를 구하기 위해서는 模型 境界條件이 필요하다. 陸地境界 條件은 육지경계면과 수직인 성분 的 유속을 0으로 주고 開放境界面 條件(Open boundary condition)은 개방경계면상의 觀測值 또는 既存資料를 선형 내삽한 潮位 值를 주어 만족되도록 한다.

數值模型의 樹立과정은 模型範圍 決定, 이에 따른 격자망구성, 水深 등의 기초자료 및 현장관측자료 또는 既存資料의 分析結果를 토대로 한 개방경계 條件의 입력 等이다. 일반적으로 모형범위의 결정은 模型實驗을 통한 再現 及 예측결과와 직접되며, 埋立後의 潮汐體系의 變化가 모형의 開放境界에 이르지 않도록 模型範圍를 확장, 調整해야 한다. 이에 따라 전체 수치모형 범위는 北側의 경기만 전역을 포괄하며, 西側 開放境界는 교동도, 미법도, 주문도 동측, 그리고 자월도 西側, 南側 開放境界는 대부도 부근 까지 확장하였다. 격자망은 x, y 방향 모두 300 m 等 間隔으로 하여 $179 \times 280 = 50,120$ 개로 구성되며 Fig. 1에 圖示하였다. 한편, 京畿灣 全域의 潮汐形態는 격자간격 1 km의 경기만 모델결과(韓國海洋研究所, 1993)를 이용하였다.

境界條件으로서는 外海境界面, 陸地 境界面 及 潮間帶 地域에서의 계산조건으로 구분할 수 있다. 外海와 海水交換이 일어나는 格子로 구성되는 外해경계면에서는 몇 개의 調和常數의 합으로 다음과 같이 海水位가 정의되며, 流速과 潮汐變化量間의 관계(Continuity equation)로부터 境界面에서의 流速을 구한다.

$$\zeta(x, y, t) = \sum A_j \cos(\omega_j t - g_j) \quad (6)$$

- 여기서, ζ : 境界面에서의 潮位
- A_j : 潮汐波의 境界面에서의 半潮差
- ω_j : 位相 速度(Phase velocity)
- g_j : 遲角(Phase lag)

潮間帶 處理는 Flather and Heaps(1975)가 개발한 方法을 利用한다. 즉, 다음의 3경우 중 하나에도 해당되지 않으면 i 번째의 格子가 노출되는 것으로 처리하여 流速을 0으로 준다.

- 가) $H_i^{+\Delta t} > 0, H_{i+1}^{+\Delta t} > 0$ 이 동시에 만족되는 조건

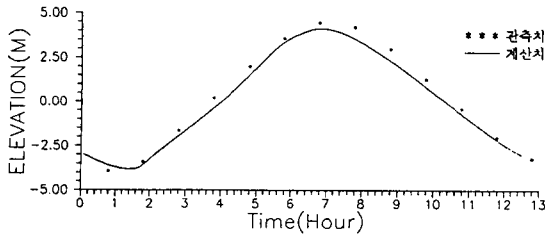


Fig. 4. Comparison of observed and computed surface elevation at station T1.

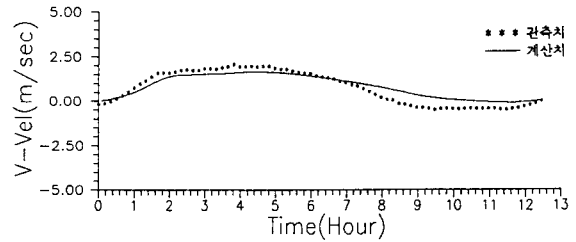


Fig. 6. Comparison of observed and computed north-southward current at station C2.

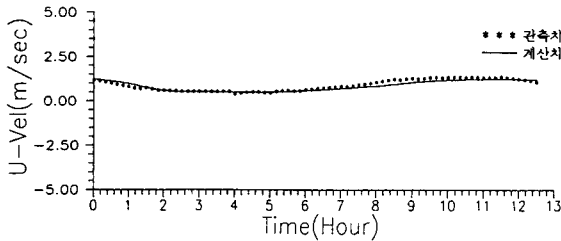


Fig. 5. Comparison of observed and computed east-westward current at station C2.

Table 4. Various developments schemes for numerical modelling

案	內 容
제 1 안	현상태(김포 매립지 고려)
제 2 안	현상태+시화방조제
제 3 안	현상태+시화방조제+신공항

나) $H_i^{+\Delta t} > 0, H_{i+1}^{+\Delta t} \leq 0, d_i^{+\Delta t} > 0$ 이 동시에 만족되고, 또한 $\zeta_i^{+\Delta t} - \zeta_{i+1}^{+\Delta t} > \epsilon$ (특정치)이 만족되는 조건

다) $H_i^{+\Delta t} \leq 0, H_{i+1}^{+\Delta t} > 0, d_i^{+\Delta t} > 0$ 이 동시에 만족되고, 또한 $\zeta_{i+1}^{+\Delta t} - \zeta_i^{+\Delta t} > \epsilon$ 이 만족되는 조건

여기서, $d_i = \frac{1}{2}(H_i + H_{i+1})$ 이며, ϵ 은 0.03을 사용

하였다.

漢江 流入水는 평상시에 $340 m^3/sec$, 홍수시에는再現期間 100년 기준하여 $37,000 m^3/sec$, 그리고 시화排水 閘門을 통한 최대 홍수 배수량은 $2,157 m^3/sec$ 를 사용하였다.

模型入力 資料중 水深資料는 水路局 發行 海圖(No. 323)에 근거하여 발췌, 입력되었다. 이 과정에서 模型의 안정도를 높이기 위해 일련의 水深 平滑화(Smoothing) 과정을 거쳤다. 개방경계조건은 既存資料, 海洋研究所 觀測資料 그리고 격자간격 1km의 경기만 모델결과에 근거하여 내삽되었다.

3.3 檢證

수립된 數值模型의 檢證을 위해서 Fig. 1에 표시된 T1 및 C2에서의 觀測值와 數值模型 計算結果를 비교하였다. 한편, 外海 境界面에 入力되는 時間別 海

水位는 M_2 분조와 S_2 분조의 합으로 표현되는 平均大潮의 境界潮位를 2.35초 간격으로 계산하여 CFL 조건을 만족하도록 하였다.

T1에서 潮位 比較結果 그 형태는 비슷하나 계산치가 觀측치보다 高潮에서 더 낮게 나타난다(Fig. 4 참조).

C2에서 流速 比較結果 東西方向 速度는 거의 일치하며(Fig. 5 참조), 南北方向 速度는 약간의 차이가 있음을 알 수 있다(Fig. 6 참조).

3.4 潮汐·潮流 양상의 變化 豫測

京畿灣 一帶는 총 연장 11,206 km의 시화 防潮堤가 축조되고, 수도권 신공항 건설 등의 開發 事業이 현재 진행중이다. 따라서 本 海水流動 數值模型을 Table 4의 段階別 實驗計劃에 적용하여 개발계획에 따른 海水流動 體系變化를 分析하였다. Table 4의 현 상태는 편의상 시화防潮堤가 건설되지 않은 상태를 의미하며, 시화방조제 및 신공항의 위치를 Fig. 7에, 現狀態인 제1안에 대하여 대상 영역에서의 평상시 大潮期 最強 漲潮流 形態를 Fig. 8에 圖示하였다.

Table 4의 實驗計劃에 따른 潮汐體系의 變化를 파악하기 위해서 Fig. 1에 圖示된 定點 P1, P2, P3, P4, P5, 그리고 P6에서 潮位 및 潮流를 比較·分析하였다. 이때 제1안과 제2안, 그리고 제2안과 제3안의 2가지 경우에 대하여 比較·檢討하여 각 定點에서의 평상시 潮位 및 潮流 比較圖를 Fig. 9, 10에 圖示하였으며, 그

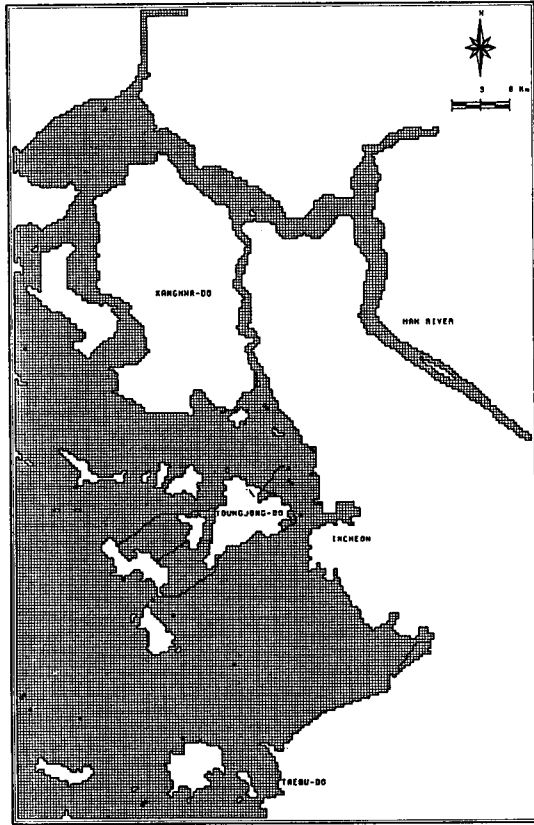


Fig. 7. Grid system for scheme 3.

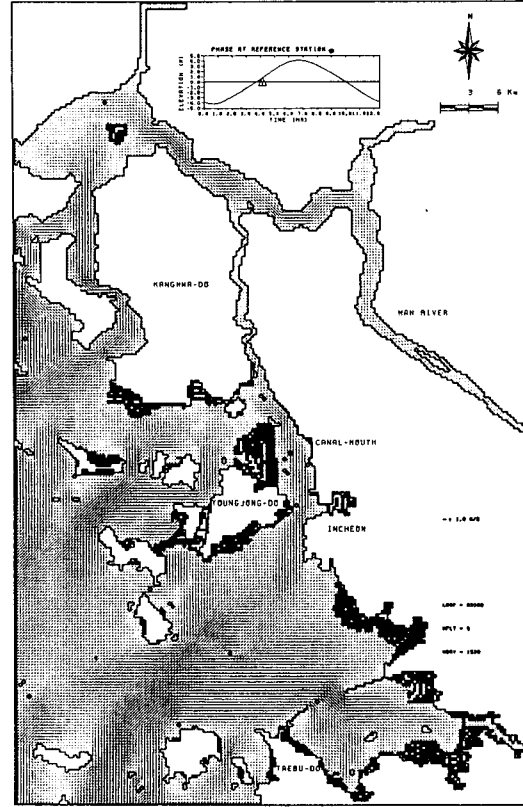


Fig. 8. Computed maximum flood current field for scheme 1.

Table 5. Changes of tidal characteristics related to various development schemes

		지점 P1 (황산도)	지점 P2 (장도)	지점 P3 (운경도 북측)	지점 P4 (용유도 북측)	지점 P5 (팔미도 북측)	지점 P6 (하가리도 북측)	
제1안과 제2안 비교	평상시	潮位	위상 : -25분	위상 : -25분	위상 : -25분	위상 : -15분	위상 : -25분	
		潮流	미약	u : 15분 위상차 v : 미약	미약	미약	미약	u : -50% v : +250%
	홍수시	潮位	위상 : -25분	위상 : -25분	위상 : -25분	위상 : -15분	위상 : -25분	위상 : -25분
		潮流	미약	u : -15분 위상차 v : 미약	미약	미약	미약	u : -50% v : +250%
제2안과 제3안 비교	평상시	潮位	미약	미약	미약	미약	미약	
		潮流	미약	미약	미약	u : -25% v : +55%	미약	미약
	홍수시	潮位	미약	低潮時 水位下降	미약	미약	미약	미약
		潮流	미약	流速 0	u : +10% v : ±10%	u : -30% v : +70%	미약	미약

*u : 東西方向 流速, v : 南北方向 流速, + : 위상이 느려짐 또는 유속 증가, - : 위상이 빨라짐 또는 유속 감소.

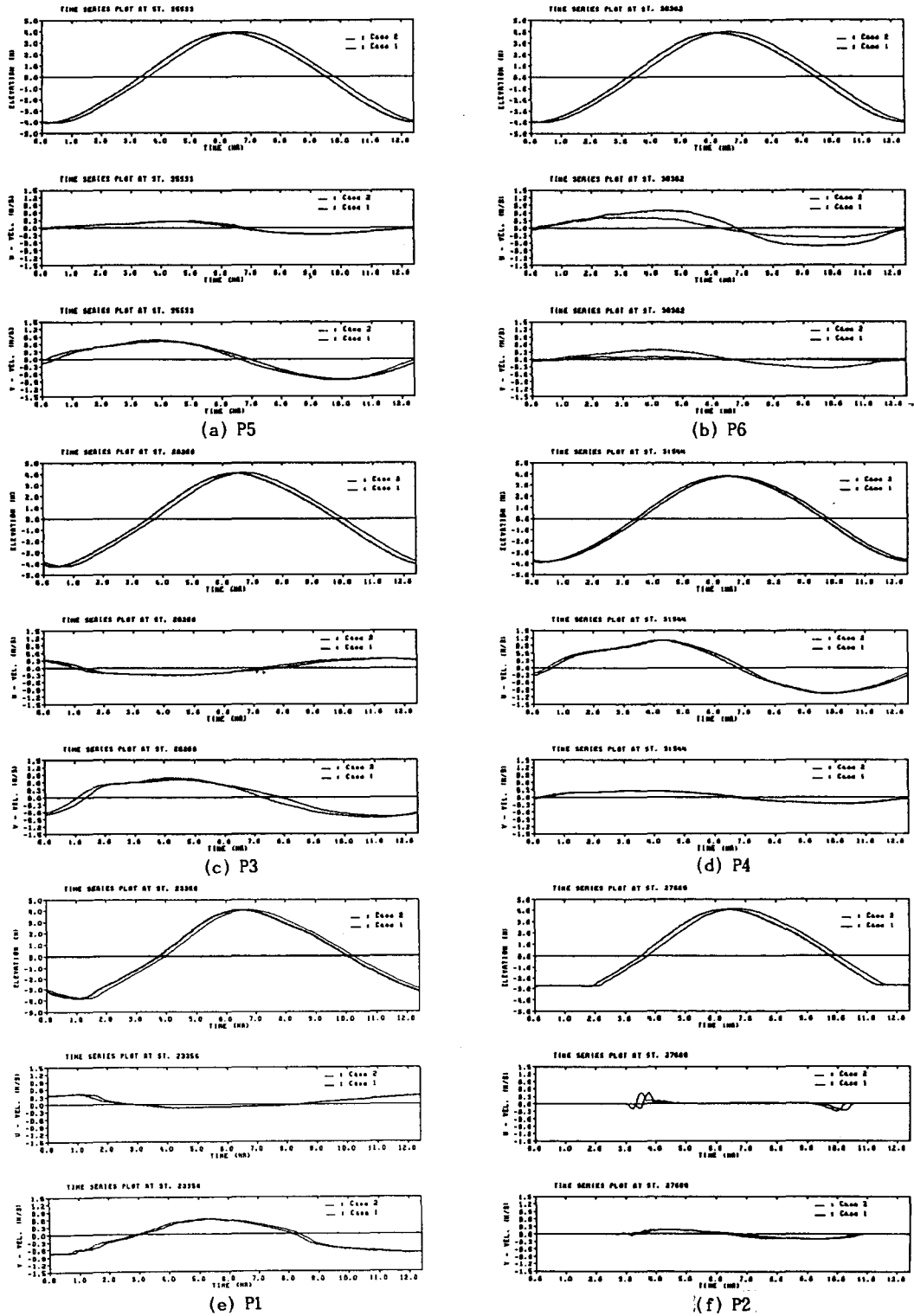


Fig. 9. Computed time variations of surface elevation and current for scheme 1 and scheme 2 at the selected comparison points.

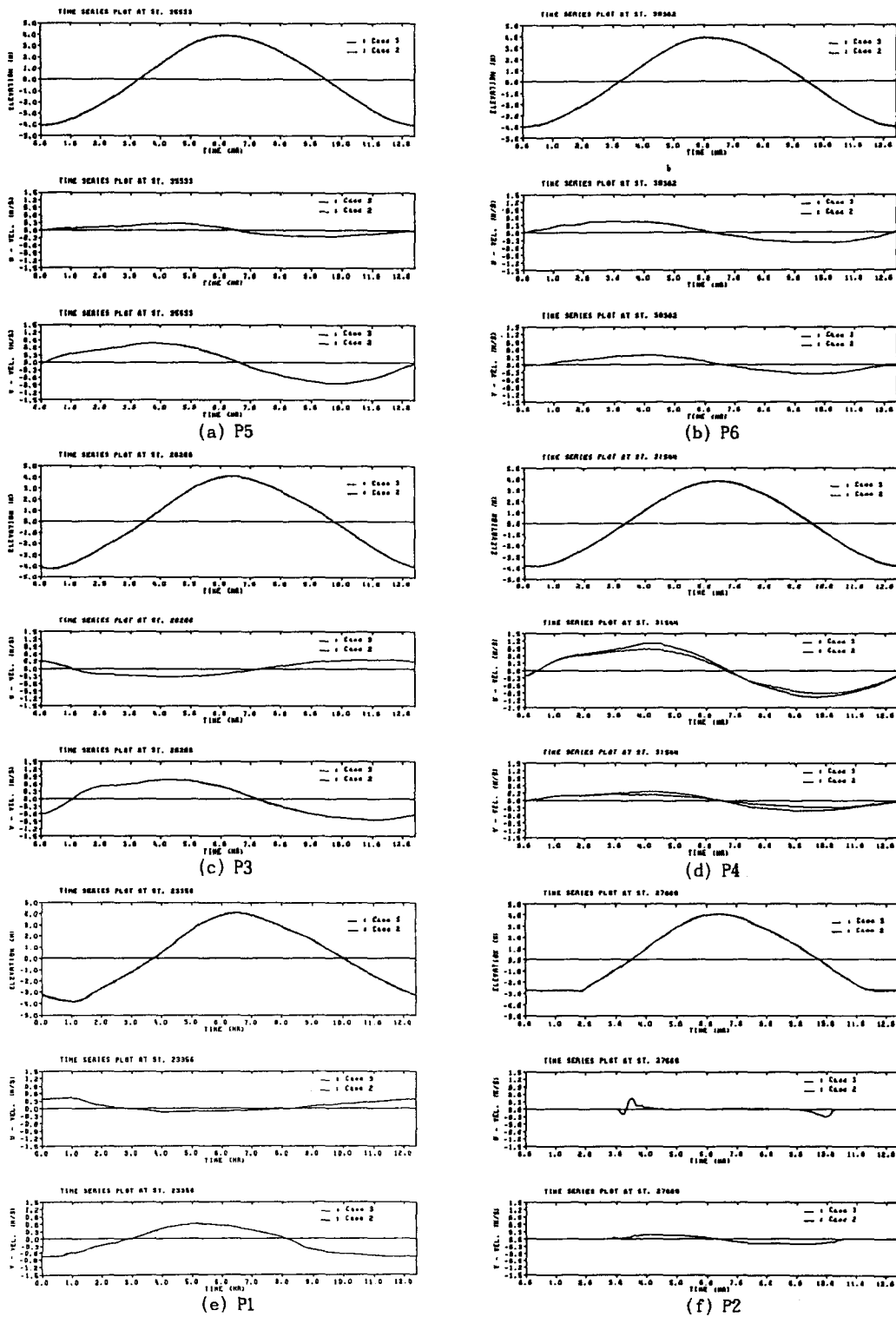


Fig. 10. Computed time variations of surface elevation and current for scheme 2 and scheme 3 at the selected comparison points.

결과를 종합하면 Table 5와 같다.

Fig. 9의 결과를 살펴보면 다른 비교지점에 비하여 시화방조제에 인접한 P6에서 潮流가 가장 심하게 변화되는 것을, 또 Fig. 10의 결과에서는 다른 비교지점은 변화가 전혀 없으나 신공항 예정지 인근에 위치한 P4에서 미약한 潮流變化를 볼 수 있다.

4. 結論 및 討議

各 開發計劃에 따른 6개 定點에서 평상시 潮差의 變化는 거의 없고 시화방조제 건설로 인하여 위상차가 10~20분 정도 발생한다. 즉 시화防潮堤를 건설하는 경우 현 상태와 비교하여 전 海域에서 미약한 위상 변화가 나타나고, 특히 시화防潮堤에 인접한 定點 P6에서는 防潮堤 체질로 인하여 東西方向流速은 약 50% 감소, 南北方向流速은 약 250% 증가하는 現象이 나타난다. 시화防潮堤 준공후 신공항을 건설하는 경우, 대부분의 海域에서 조석변화는 없으나 신공항 예정지 인근해역에서는 부분적으로 미약한 潮流變化가 발생한다.

本 研究에서는 2개 主要分潮 M_2 , S_2 에 대해서만 고려하였으나 開放境界에 複合潮汐條件을 부여하여 15日, 또는 28日 산정을 하여 分潮들 間의 相互作用에 대한 檢討도 比後 遂行되어야 하며, 洪水 流入時 境界條件處理에 대한 改善도 必要하다. 또한 시화防潮堤가 1994년도 初에 竣工되었기 때문에, 준공후의 潮汐體系를 精密한 現場觀測을 실시하여 檢證하는

작업도 필요하다.

感謝의 글

本 研究는 韓國水資源公社의 支援을 받아 수행된 研究結果의 일부분이며, 研究費 支援에 대하여 感謝드립니다.

參考文獻

- Choi, B., 1980. Tidal computation for Incheon Bay, *Journal of the Oceanological Society of Korea*, **15**(2): 112-122.
- Flather, R.A. and Heaps, N.S., 1975. Tidal computations for Morecambe Bay, *Geophys. J. R. Astro. Soc.*, **42**: 489-517.
- 徐承原, 1994. 防潮堤 築造 影響解析에서의 有限要素模型. 韓國海岸·海洋工學會誌, **6**(2): 196-204.
- 崔秉昊, 姜容德, 1990. 새萬錦海域 防潮堤建設이 潮汐에 미치는 影響-初期評價, 韓國海岸·海洋工學會誌, **2**(1): 34-42.
- 崔秉昊, 徐景錫, 1987. 漢江感潮區間의 洪水推定, 大韓土木學會誌, **7**(3): 133-139.
- 崔秉昊, 全德一, 安益壯, 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): 130-137.
- 崔興植, 李吉成, 1993. 防潮堤 築造時 水理特性 및 潮間帶의 模擬解析, 韓國海岸·海洋工學會誌, **5**(2): 99-106.
- 韓國水資源公社, 1993. 京仁運河 地形態 分析 數值模型 實驗報告書.
- 韓國電力公社, 1990. 一島複合火力 設計技術用役 數值모델링 報告書.
- 韓國海洋研究所, 1993. 華壑地區 干拓埋立에 따른 漁業被害調查研究.