

論 文

靈山江地區 大單位干拓地 開發로 인한 潮汐變化에 대한 數值實驗

李 重 雨* · 申 承 鎬**

A Numerical Experiment of Tide Changes due to the Development of Land Reclamation near the Youngsan River

J. W. Lee · S. H. Shin

Key Word : 潮流(Tidal current), 有限差分法(FDM), 埋立(Land reclamation), 水位變化(Water level change), 開放境界(Open boundary), 安定條件(Stability condition), 調和常數(Harmonic component)

Abstract

Tidal current and water level change in coastal waters are formulated in terms of mathematical models. A systematic discussion of the derivation of a set of governing equations, expressing conservation of mass and momentum is presented. A simplification is introduced by integrating all variables and equations over the total water depth. The solution of the formulated problem is achieved by using the finite difference method(FDM).

The applied study area is taken from Mokpo harbor and its adjacent coastal water which have significant hydrographical changes due to the construction of the estuary barrage and land reclamation work of estuary barren. Some comparisons with the observed current and water level changes. the numerical solutions are found to be considerably fit well for the recent coastal water motion.

1. 序 論

해양에서 潮汐계산의 수치해석관계는 먼저 모델에 필요한 자료를 수집하고 정리하여 분석하는 것이다. 여기서 필요한 자료는 현장관측을 중심으로 분석된 潮位, 潮流速, 各 主要 分潮 등의 潮

汐자료, 해저의 수심, 해저지질 상태, 해안 경계 및 개방경계의 한계 등이다.

潮汐계산의 결과는 이들 입력자료의 정확성 여부에 따라 결정되며 따라서 다루고자 하는 영역의 해상조사는 중요한 의미를 갖는다고 하겠다. 다음으로는 이들 자료를 도입하여 계산을 실행한

* 定會員, 韓國海洋大學校 理工大學 港灣·運送工學科 教授
** 定會員, 韓國海洋大學校 大學院

후 계산 결과에 대한 검토를 행하여야 한다.

실제 河口나 港灣에 있어서 解析解를 통해 潮汐을 다룰때는 실질적 문제를 解析하기 전에 가정을 도입하므로써 문제를 단순화 시킬 필요가 있다. 많은 요소를 무시하거나 지나치게 단순화시킬 때 현장관측으로부터 상당히 차이가 나는 것이 일반적이다. 潮汐 및 潮流를 세밀히 관찰하기 위해서는 水理모델이나 數值모델을 사용할 수 있다. 數值모델은 해안선을 수정할 때 훨씬 流動的이고 입력자료를 변경시킴으로써 각기 다른 프로젝트에 적용할 수 있다.

數值모델에서 3차원으로 문제를 풀이하는데는 상당한 컴퓨터용량과 계산시간이 소요되는데 潮汐과 같은 문제를 다룰 때 수직방향의 速度 및 加速度를 무시한 淺海 長週期波理論을 적용하여 수심평균 2차원흐름의 基本方程式을 적절히 數值模型化 함으로서 대상해역의 潮汐計算, 즉 潮位와, 潮流를 시간, 공간적으로 파악할 수 있을 것이다. 여기에서는 수심평균 2차원 潮汐運動方程式을 數值的으로 근사화하고 경계조건에 따른 水理特性變化를 시뮬레이션하여 분석하는 것으로 하고 潮汐解析의 기법을 정리하였다. 感潮河川 및 河口에서 潮汐特性을 解析하기 위한 基本方程式을 數值解析적으로 풀이 하는 방법에는 여러가지가 있지만 有限差分法(FDM)의 한 방법을 사용하여 풀이하기로 한다. 有限差分法을 이용한 潮汐基本方程式의 解析은 有限要素法(FEM)보다 떨어지지만 복잡한 해안선을 처리할 수 있다.

대상해역은 Fig. 1과 같이 해수면의 상승으로 주기적인 침수피해를 나타내고 있는 목포 연안역에서의 潮汐 특성을 영산강지구 대단위간척지 개발계획에 따라 단계적으로 제1, 제2, 제3 모델을 구성하여 실험하고 이를 검토, 분석하였다. 특히 지리적 여건 때문에 영산강의 영향을 많이 받고 있는 목포항은 비교적 해수의 유동이 작아지게 되므로 조류속도가 크게 감소하여 조선에 유리한 면이 있으나 구항을 중심으로 한 목포내항의 수위는 하구둑 준공이후 평균 0.5m, 삼호면 용당리 선착장의 경우 0.7m 정도 높아진 것으로 이곳 주민들은 거론하고 있다. 신안군 일대 논과 염전의 일부가 바닷물에 잠기는가 하면 해안도로를 따라

연결된 하수도를 통해 해수가 역류하는 경우도 수차례 기록되고 있어서 영암 및 금호방조제 공사가 진행되고 있는 즈음에 이에 대한 새로운 분석이 시기적으로 필요할 것으로 사료된다. Fig. 1에서 나타낸 번호는 유속측정점 및 조위비교지점을 나타낸다.

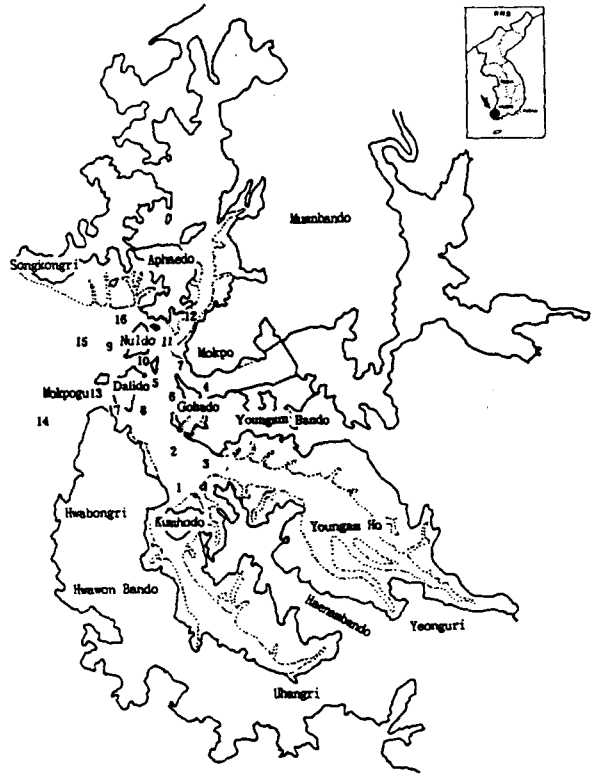


Fig. 1 Location of the study area

2. 適用方程式

Fig. 2와 같이 평균해면을 원점으로 하여 연직 방향으로 z축, 수면상에 x, y축을 취한 직교좌표계에서 非壓縮性流體에 대한 連續方程式 및 運動方程式을 적용방정식으로 하였다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$Du/Dt - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + A_h \nabla_h^2 u$$

..... (2)

$$Dv/Dt - fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + A_h \nabla_h^2 v$$

..... (3)

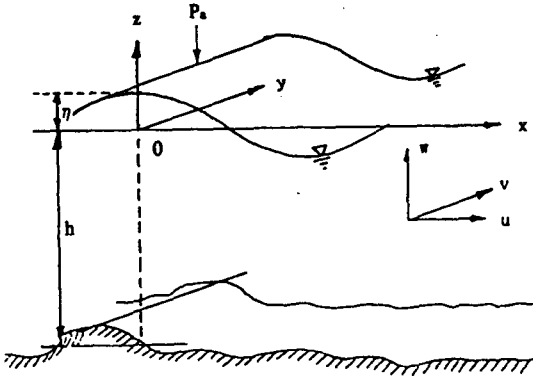


Fig. 2 The coordinate system

여기서 u, v, w 는 각각 x, y, z 방향의 속도 성분이며, $f (= 2 \Omega \sin \phi)$ 는 Coriolis 계수로 위도의 함수, p 는 압력, g 는 중력 가속도, ρ 는 밀도, t 는 시간, A_v 와 A_h 는 각각 유체의 수직 및 수평방향의 渦動粘性係數이다. ∇_h^2 는 수평 gradient 연산자로서 $\nabla_h^2 = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2$ 이고 식에서 수직 방향의 가속도 성분을 무시하면 압력은 $\nabla p = \rho g \nabla \eta$ 로 표시 되는데, 여기서 η 는 평균 해면으로 부터의 해면상승이다.

만일 長波에서 가정하는 것과 같이 깊이에 따른 유속의 변화가 그리 크지않다고 가정하여 수직방향의 가속도 성분을 무시하고 식(1)-(3)을 해면 ($z = \eta$)에서 해저 ($z = -h$)의 조건을 도입하여 전체 해면하, 즉 $-h \leq z \leq \eta$ 까지 적분함으로써 다음과 같이 수심방향으로 평균화된 2차원 流動의 方程式으로 변환할 수 있다. 이를 潮汐運動모델의 基本方程式으로 사용하기로 한다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0$$

..... (4)

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} - f q_y = -g(\eta + h) \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\eta + h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} + A_h \nabla_h^2$$

$$q_x + (\tau_{sx} - \tau_{bx}) - (\eta + h) \left\{ \frac{\partial \bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}v}{\partial y} \right\}$$

..... (5)

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + f q_x = -g(\eta + h) \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\eta + h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} + A_h \nabla_h^2$$

$$q_y + (\tau_{sy} - \tau_{by}) - (\eta + h) \left\{ \frac{\partial \bar{v}^2}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}v}{\partial x} \right\}$$

..... (6)

여기서 $q_x = \int_{-h}^{\eta} u \, dz$, $q_y = \int_{-h}^{\eta} v \, dz$ 이며 非線

項의 \bar{u}, \bar{v} 는 각각 $\bar{u} = u / (\eta + h)$, $\bar{v} = v / (\eta + h)$ 이다. 또한 τ_{bx}, τ_{by} 는 해저 마찰 응력으로서 마찰 계수 λ 를 사용한 공식 $\tau_b = \rho \lambda |\bar{v}| \bar{v}$ 를 이용하였고 모델을 적용할 때에는 마찰계수의 값을 0.0026을 사용하기로 했다.

海面の 應力を 일으키는 바람의 작용을 생략하고 해면에서의 기압변화는 없는 것으로 하면 식(5)와 식(6)은 다음과 같이 단순화 된다.

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} - f q_y = -g(\eta + h) \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_h \nabla_h^2 q_x - \tau_{bx}$$

$$(\eta + h) \left\{ \frac{\partial \bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}v}{\partial y} \right\}$$

..... (7)

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} - f q_x = -g(\eta + h) \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_h \nabla_h^2 q_y - \tau_{by}$$

$$(\eta + h) \left\{ \frac{\partial \bar{u}^2}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}v}{\partial x} \right\}$$

..... (8)

3. 數值모델 樹立

潮汐과 같은 문제를 數值解析하는 데에는 여러 가지 방법이 가능하다. 즉, 有限差分法과 有限要素法을 들 수 있다. 물론 어떤 방법이 우수한 것인가는 고려하는 대상의 특성, 가능한 자료, 그 방법을 이용하여 모델을 개발하고 사용하는 이의 능력 및 기술에 따라 다르며, 또한 사용하는 컴퓨터의 주기억용량 및 계산시간에 따라 달라진다. 有限要素의 경우 海岸 및 港灣과 같은 불규칙적인 고정 경계를 훨씬 만족시킬 수 있다. 여기에서는 有限差分法을 사용하였으며 해안선은 계단형으로 근사화시켰다. 그러나 이로 인한 오차는 格子의 간격을 합리적으로 취할 경우 무시할 수 있으며 전반적인 解析으로는 경계부근에서의 解析도 그렇게 중요한

문제가 아닌 경우이므로 해안선을 주의 깊게 격자구성하여 이를 해결할 수 있으리라 본다. 差分近似方法으로 공간에 대해서는 中央差分法(central difference method), 시간에 대해서는 前方差分法(forward difference method)을 적용하였다.

有限要素의 다른 잇점은 모든 요소가 계산에 관계한다는 점인데 有限差分法의 특성상 직교좌표계에서는 長方形이 아닌 연구대상영역을 長方形의格子로 구성하여서 경계의 영역은 계산기의 기억공간을 점유하게 된다. 이와 같은 有限差分法의 불리한 점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 변수를 대상영역에만 할당하고 코드를 부여하여 실제 계산시에는 이외의 영역을 피하도록 하였다.

계산의 편의를 위해 正方形의格子($\Delta x = \Delta y = \Delta s$)를 사용하였으며 Fig.3과 같은 staggered grid 방식이 사용되었다. 모델의 運動方程式과 連續方程式의 有限差分式은 이미 여러 학자들에 의해 유도된 바 있고 Ahn & Lee(1976), 오와 최(1986), 박(1986) 등의 논문에서도 찾아볼 수 있다. 본 연구에서 격자간격 Δs 는 시간간격 Δt 과 함께 Courant-Friedrichs-Lewy(CFL) 安定條件을 택하도록 조정하였다(Chiang & Lee, 1981). 즉, 시간간격의 최대크기는 격자간격과 연구해역의 최대수심(h_{max})에 따라 다음과 같이 결정하였다.

$$\Delta s / \Delta t \geq \sqrt{2gh_{max}} \dots\dots\dots (9)$$

초기조건으로는 h 를 제외한 모든 변수(u, v, \dots) 들을 모두 零(zero)으로 하였으며, 육지에 해당하는 격자점에서는 h 에 음수값을 입력시켜 계산에서 제외시켰다. 경계조건으로는 basin 입구에서 시간에 따른 수면변화는 현장관측자료를 調和分解하여 구한 4分潮를 合成시켜 시간변환에 따라 simulation시 입력되도록 하였다.

본 모델의 連續方程式과 運動方程式인 식(4)-(8)을 앞에서 고려한 방법에 따라 差分式으로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} FX^{i+1}(i, j) &= FX^i(i, j) + fFY^i(i, j) - 4\delta [\eta^i(i, j) + \eta^i(i-1, j) + 2dx(i, j)] \cdot [\eta^i(i, j) - \eta^i(i-1, j)] - \\ &CY^i(i, j) - \lambda \frac{(\Delta t)^2}{\Delta s} \cdot u^i(i, j) \cdot \end{aligned}$$

$$\frac{\sqrt{[u^i(i, j)]^2 + [v^i(i, j) + v^i(i-1, j) + v^i(i-1, j+1) + v^i(i, j+1)]/4]^2} \dots\dots\dots (10)$$

$$\begin{aligned} FY^{i+1}(i, j) &= FY^i(i, j) + fFX^i(i, j) - 4\delta [\eta^i(i, j) + \eta^i(i-1, j) + 2dx(i, j)] \cdot [\eta^i(i, j) - \eta^i(i, j-1)] - \\ &CX^i(i, j) - \lambda \frac{(\Delta t)^2}{\Delta s} \cdot v^i(i, j) \cdot \sqrt{[u^i(i, j) + u^i(i+1, j) + u^i(i, j-1) + u^i(i+1, j-1)]/4]^2 + (v^i(i, j))^2} \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

$$\eta^{i+1}(i, j) = \eta^i(i, j) - FX^i(i+1, j) + FX^i(i, j) - FY^i(i, j+1) + FY^i(i, j) \dots\dots\dots (12)$$

$$\begin{aligned} CX(i, j) &= 4\delta \{ \eta(i, j) + \eta(i-1, j) + 2dx(i, j) \} [\{ u(i+1, j) - u(i-1, j) \} \{ u(i+1, j) + 2u(i, j) + u(i-1, j) \} + \{ u(i, j+1) + u(i, j) \} \{ u(i, j+1) + v(i-1, j+1) \} - \{ u(i, j) + u(i, j-1) \} \{ v(i, j) + v(i-1, j) \}] \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CY(i, j) &= 4\delta \{ \eta(i, j) + \eta(i, j-1) + 2dy(i, j) \} [\{ u(i+1, j) + u(i+1, j-1) \} \{ v(i+1, j) + v(i, j) - \{ u(i, j) + u(i, j-1) \} \{ v(i, j) + v(i-1, j) + v(i, j+1) - v(i, j-1) \} \{ v(i, j+1) + 2v(i, j) + v(i, j-1) \}] \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

$$u(i, j) = \frac{\Delta s}{\Delta t} FX^i(i, j) / \frac{1}{2} \{ \eta(i, j) + \eta(i-1, j) + 2dx(i, j) \} \dots\dots\dots (15)$$

$$v(i, j) = \frac{\Delta s}{\Delta t} FY^i(i, j) / \frac{1}{2} \{ \eta(i, j) + \eta(i, j-1) + 2dy(i, j) \} \dots\dots\dots (16)$$

여기서 $4\delta = \frac{g}{2} \left(\frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2, \quad \gamma = A_r \frac{\Delta t}{(\Delta s)^2} \dots\dots\dots (17)$

$$dx(i, j) = \{ (h(i, j) + h(i-1, j)) / 2 \} \dots\dots\dots (18)$$

$$dy(i, j) = \{h(i, j) + h(i, j-1)\} / 2 \dots\dots\dots (19)$$

이다.

또한, CX, CY는 移流項(advective term)으로 非線形이며, 유체의 수평방향의 渦粘性에 의한 수평 혼합은 다음 식과 같이 平滑過程을 거치도록 하여 해결하였다.

$$FX(i, j) = (1-4\gamma)FX(i, j) + \gamma\{FX(i+1, j) + FX(i, j+1) + FX(i-1, j) + FX(i, j-1)\} \dots\dots\dots (20)$$

$$FY(i, j) = (1-4\gamma)FY(i, j) + \gamma\{FY(i+1, j) + FY(i, j+1) + FY(i-1, j) + FY(i, j-1)\} \dots\dots\dots (21)$$

이상의 數值解析方法을 사용한 潮汐모델을 목포 연안역을 대상으로 격자간격을 628.74m로 하여 49×65의 計算格子網을 구성하였다. 이 영역에는 압해도의 송공리 후단에서 화원반도의 화봉리 전방 시하도를 연결한 선을 개방경계의 한계로 하고 달리도, 놀도, 고하도, 압해도를 포함하여 금호호의 최상단, 영암호의 최상단 및 목포항 상부 영산강 하구둑까지를 해안 경계로 하였다. 수심자료는 이 해역에 대한 水路局 刊行海圖 (No.214,321)로부터 입력하였으며 실제 계산수행시의 수심은 이 자료에 평균해면 값을 더하여 수심을 보정하였다.

數值모델의 계산시간간격은 CFL安定條件을 고려하여 25sec로 하였으며 매 시간 step마다 앞절에서 기술한 것처럼 4分潮를 결합한 계산치가 입력되도록 하였다. 이 모델은 선택한 각 지점에서 潮位成分만을 시간에 따라 분리하여 비교할 수 있도록 조정하였으며 계산된 水平方向의 潮流成分은 개발한 그래픽프로그램으로 2차원적인 플로팅이 가능하게 되었다.

또한 대조기나 소조기의 潮汐을 解析하기 위해 장기간에 걸쳐 數值實驗을 할 경우 중간과정에서 계산을 중지시켜 이를 정리하거나 분석한 뒤에도 저장한 자료를 이용하여 실험을 계속할 수 있는 특징을 가지고 있다.

목포 연안역의 潮汐계산을 위해 대상해역의 기

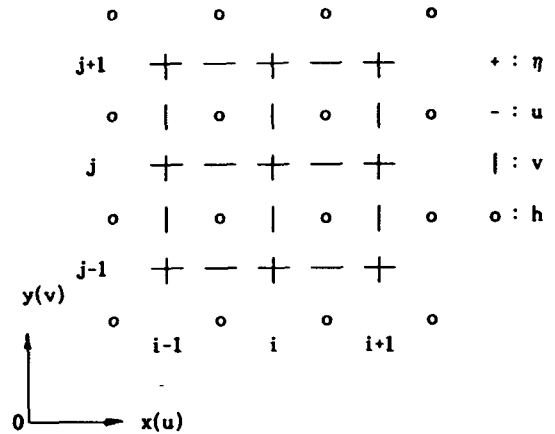


Fig. 3 Definition sketch of the space-staggered scheme

하학적 특성에 따라 일정한 크기의 正方形 格子를 이용하여 계산에 필요한 格子網을 구성하였다. 이때 격자요소의 크기와 그 배열 방법에 따라 약간의 계산상 차이가 발생할 수 있으므로 적절히 분할하여야 하는데 본 연구에서는 지형의 특성과 영암 방조제, 금호 방조제 등의 개발에 따른 대규모 해역변화를 고려하여 세가지 형태의 격자를 구성하되 작업 및 계산후의 비교가 용이하도록 동일 격자망을 사용, 현재의 상태, 영암 방조제 완성후의 상태, 금호 방조제 건설후의 상태로 구성하였다.

모델에서 사용한 基本 格子網의 크기는 2×628.74 m로서 연안역 개발 대상지는 물론 관심을 가지고 있는 해역이 포함되도록 고려하였으며, 각각 연안역 개발전(제1모델), 영암 방조제 건설후(제2모델), 금호 방조제 건설후(제3모델) 등으로 구분하여 격자망을 구성하였고 Fig4는 제1모델의 경우에 海域을 1, 陸地를 0으로 표기한 예를 나타낸다.

모델에서 사용한 주요 입력자료중 개방 경계에서의 潮位는 觀測值의 調和 分析을 통한 4 主要分潮(M₂, S₂, O₁, K₁)의 半潮差(Amplitude, H), 지각(Phase, k), 인수(argument), 평균해면의 높이 등을 결합하여 매 시간단계에서 계산 입력되도록 하였다. 참고로 사용된 개방경계의 潮汐 調和常數는

Table 1과 같다.

Table. 1 Main tidal components used for open boundary

Location	Hwabongri		Songkongri	
	H(m)	k(°)	H(m)	k(°)
M ₂	125.55	24.11	145.12	38.14
S ₂	39.83	55.93	45.34	73.45
K ₁	32.84	236.86	81.08	245.84
O ₁	22.45	233.63	24.99	216.12

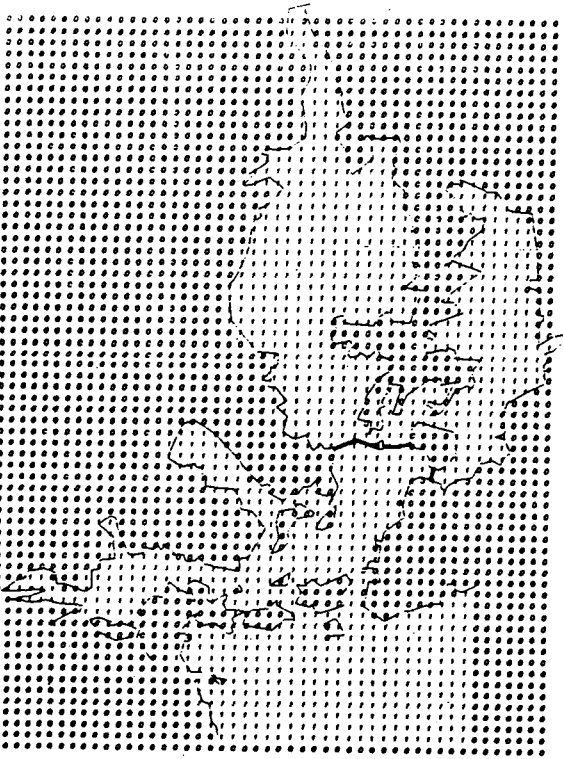


Fig. 4 Finite Difference Grid for Global Area (model 1)

또한, 해저의 마찰응력을 고려한 摩擦係數 λ 는 대상해역의 해저특성에 따른다. 조사한 바에 따르면 대상해역의 해저물질의 平均粒徑(D_{50})은 0.02 - 0.03mm 의 분포를 나타내었고 이를 기준으로 추정된 粗度係數(Roughness coefficient)는 0.02 내외이다. 특히 자연하천에서의 조도계수 경험식을 사용하면 0.026 정도이고 粗度係數 範圍 0.02 - 0.

0026 와 대상해역의 수심을 기준으로하면 摩擦係數의 범위는 0.0016 - 0.004 이고(Chiang and Lee, 1981) 본 연구에서는 평균수심으로 0.0026 값을 선택하였다.

4. 數值實驗 및 考察

목포연안역은 국내에서 도서가 가장 많이 산재해 있고 해안선의 심한 굴곡과 좁은 수로 때문에 해수의 유동형태가 복잡하며 좁은 수로인 목포구에서는 유속이 매우 강하다. 따라서 영암, 금호방조제 설치 전후에 인근 해역의 해수유동 및 조위 변화 형태를 파악하기 위해 수치실험을 행하였고 이를 현지 관측치와 비교 분석하였다. 수치실험은 개방경계에서의 조위변화를 앞절에서 언급한 조화상수의 결합을 통해 입력하고 30일간의 실험기간 동안 Fig5와 같이 대조시를 나타내는 실험기간 15일후(360시간)부터 1조석주기동안의 조류 및 조위를 비교하는 것으로 하였다.

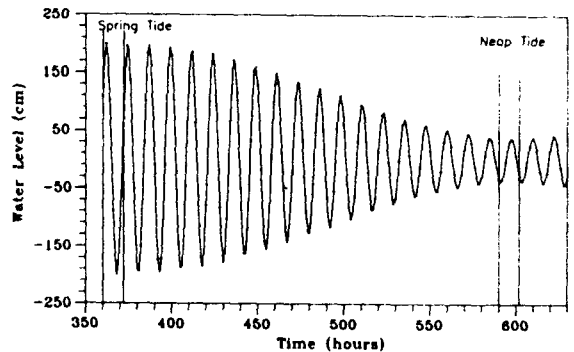


Fig. 5 Water level variations at the open boundary for numerical simulation

4.1 潮流實驗

영암, 금호 防潮堤 建設前

이상의 자료를 이용한 목포 연안역의 潮汐計算은 영암, 금호 방조제 건설전의 연간 평균 대조기

에서의 1 潮汐週期동안 유속관측(수로국)자료를 대비시키기 위하여 대조기에서 실행하였으며 이중 1 潮汐週期の 값을 제시하였다. 潮流解析模型의 출력자료를 그래픽 처리한 예는 Fig.6과 같으며 속도벡터로 最强 漲潮流와 最强 落潮流를 포함해 2 시간 간격의 潮流速을 나타낸다. 목포구에서 실험한 最强 落潮流와 最强 漲潮流의 유속은 4.2m/sec, 3.3m/sec이고 영암호 입구는 각각 2.45m/sec, 2.15m/sec, 금호호 입구는 2.77m/sec, 2.46m/sec 로 나타나 관측치와는 0.35-0.99m/sec의 차이를 보이고 있다. 관측치의 경우는 平均大潮期의 경우이고 관측장소와 모델에서의 위치점에는 다소 거리가 있어서 이를 정확히 구분하기 어려우나 最强落潮時와 最强漲潮時의 관측치를 2차원으로 나타낸 Fig.7과 모델의 결과인 Fig.6을 비교해 보면 모델의 접근을 검증할 수 있다.

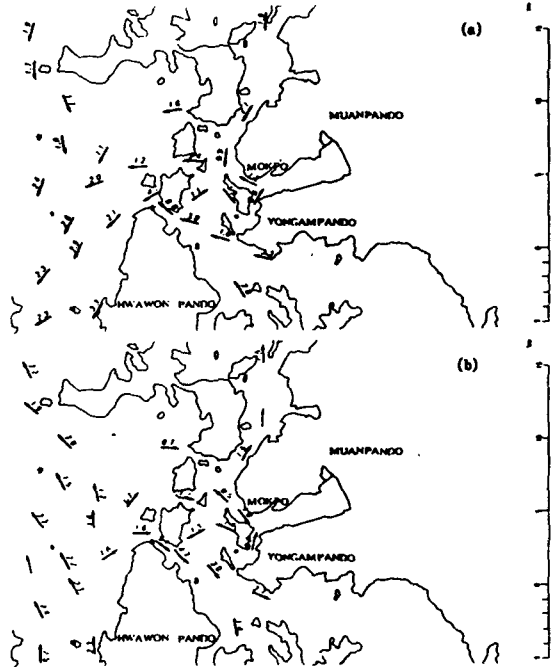


Fig. 7 Observed tidal currents in spring tide
(a : maximum ebb flow, b : maximum flood flow)

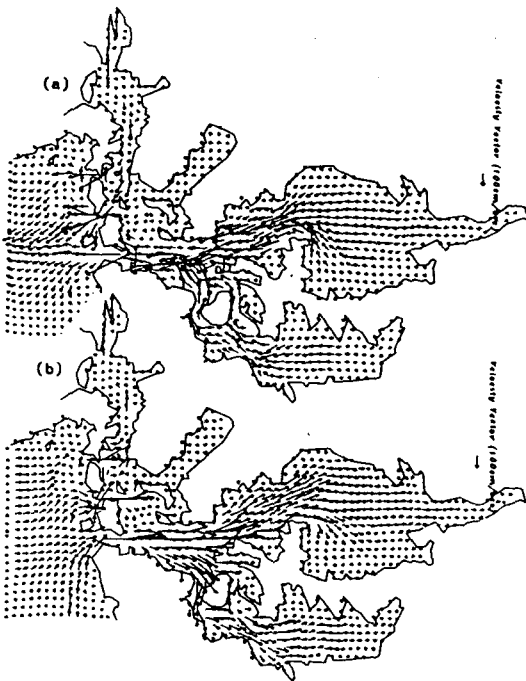


Fig. 6 Computed Tidal Currents in Spring Tide
(a : maximum ebb flow, b : maximum flood flow)

전반적인 계산 유속벡터의 패턴은 수심이 깊은 목포구, 허사도 전면-가지도 전면을 따라 영암호를 이르는 수로와 허사도 전면에서 갈라져 금호도경유 금호호에 이르는 수로에 밀집한 양상을 보이고 있다. 한편 영산강 하구둑이 축조된 이후 목포 내항은 유속이 대폭 감소하여 0.1 m/sec 이내로 형성되어 거의 정지된 상태를 보이고 있고 압해도와 북항 전면에는 1.2-2.2m/sec 정도의 潮流가 분포되어있다.

Fig.1의 관측지점에서 1 潮汐週期동안 관측된 각 위치점에서의 潮流의 絶對值를 플로팅한 것이 Fig. 8이다.

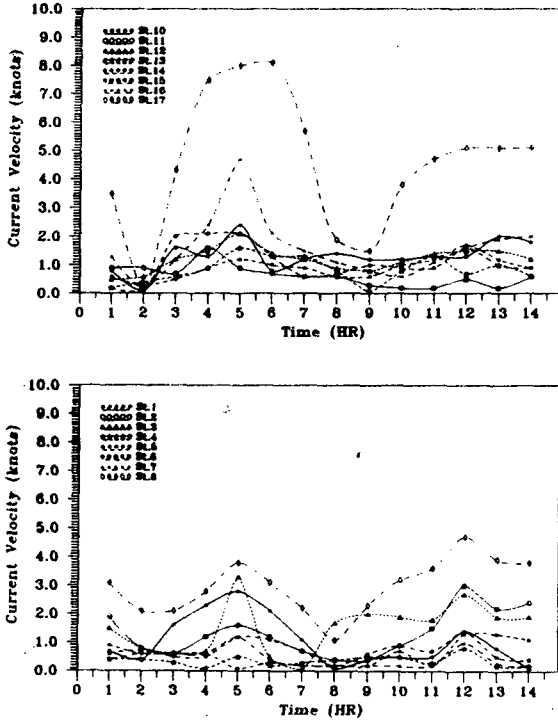


Fig. 8 Observed tidal current within 1 tidal cycle

영암 防潮堤 建設後

영암 방조제 건설후의 潮流 패턴은 방조제 건설로 인해 영암호로 출입하는 상당한 양의 유량이 제약되어 목포구에서의 潮流가 대폭 감소하는 형태로 나타났다. 결과를 같은 시각대에 걸쳐 2차원 벡터로 나타내면 Fig.9와 같다.

潮流變化의 중요한 부분은 Fig.6 및 Fig.9에서 最强落潮流와 最强漲潮流의 패턴비교를 통하여 알 수 있다. 금호호로 출입하는 潮流는 영암방조제를 건설하기전 영암호로 향하는 潮流의 制約으로 영암호 입구의 황산도에 이르지 못하였으나 방조제 건설로 인해 금호호의 漲, 落潮流가 황산도측에 영향을 미치게 되어 潮流와 함께 토사의 이동 및 퇴적의 양상이 바뀌어 질 것을 예측할 수 있다.

영암방조제를 건설한 후에 목포구에서의 潮流變化는 最强落潮時와 最强漲潮時에 공히 1.85m/sec 로 강하여 潮流速이 46-56% 정도 감소하는 것

으로 나타났다. 이것은 현장조사 및 관측자료의 분석에서 예견된 바 있다.

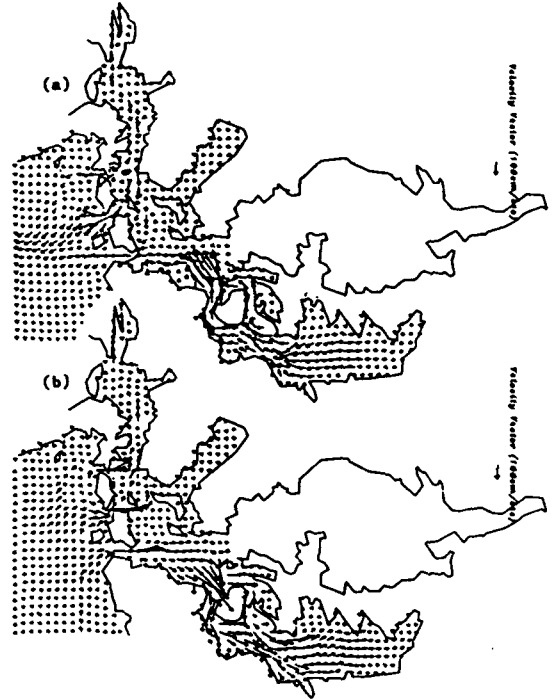


Fig. 9 Computed Tidal Currents in Spring Tide (a : maximum ebb flow, b : maximum flood flow)

영암·금호 防潮堤 建設後

영암 및 금호 방조제 건설후의 潮流 패턴은 방조제 건설로 인해 영암호 및 금호호로 출입하는 대량의 유량이 제약되어 목포구에서의 潮流가 더욱 감소하는 형태로 나타났으며 결과는 Fig.10과 같다.

양 방조제 건설후의 潮流變化는 전반적으로 목포구에서 영암,대불방조제에 이르는 구간의 潮流가 방조제를 건설하기전의 潮流에 비해 1/3-1/4 정도로 대폭 감소하였으며, 영암방조제만을 건설하는 것에 비해서는 1/2정도로 반감되었다. 목포구에서의 계산된 潮流速은 漲,落潮流 공히 1.1m/sec 정도에 머무르게 되었다.

특히 중요한 潮流패턴의 변화는 건설하기전 목포연안역을 흐르는 주된 潮流의 방향은 목포구를 지나 금호호,영암호로 향하고 일부만 달리도와 놀도 사이의 좁은 수로와 압해도와 놀도 사이의 수로를 지나는 것으로 관측되었지만 방조제 건설로 인해 潮流의 주된 통로는 위의 좁은 두 수로가 되고 목포구 측은 부속된 흐름으로 되어 해저의 상태는 潮流와 함께 그 양상이 바뀌어 질 것이 예상된다.

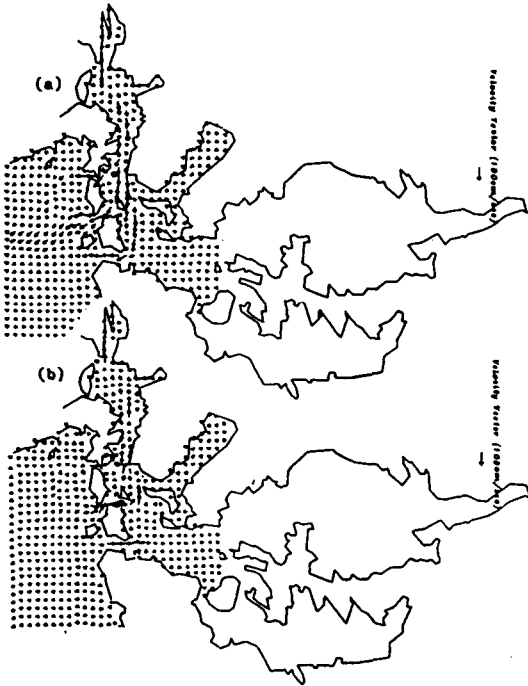


Fig. 10 Computed Tidal Currents in Spring Tide (a: maximum ebb flow, b: maximum flood flow)

4.2 潮位實驗

本節에서는 潮流解析모델을 이용하여 방조제 건설전후의 조위의 변화에 대한 검토를 행하였다. 영산강 하구둑 준공직전인 1980년도 부터 1990년 도까지의 목포항 검조소의 潮汐觀測을 분석하여 정리한 결과 Fig.11로 정리되었으며 10년 이후 평균해면이 20cm-24cm 정도 상승한 것으로 나타났

다. 이는 영산강 하구둑 건설에 이어 현재 체질이 진행되고 있는 영암방조제의 영향도 가세된 것으로 볼 수 있으며 전 절에서 潮流의 특성변화도 뚜렷하게 나타남을 확인하였다.

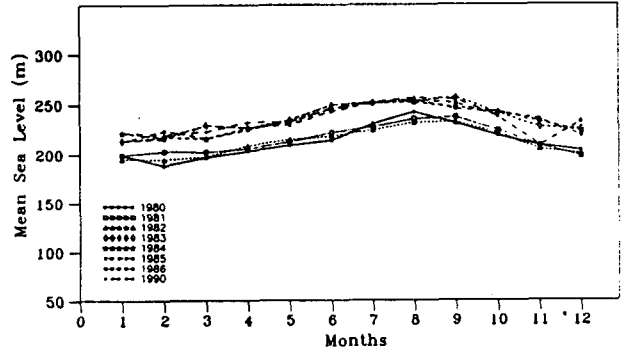


Fig.11 Observed mean sea level variation at Mokpo harbor

경계조건에 따라 모델실험을 행하고 Fig.1에서 선택한 관측점에서 潮汐週期별 조위를 추출하여 개발전후를 비교하였다. Fig.12는 이들 지점중에서 건설로 직접영향을 받게되는 금호호, 영암호 입구 측(St.1,3)과 해면상승에 따른 침수피해가 반복하여 발생되고 있는 목포내항 부근역(St.4), 그리고 입항수로인 목포구(St.17)에서의 비교를 나타낸다. 각 그래프에서 실선은 방조제 건설전, 점선은 영암방조제 건설후, 파선은 영암 및 금호 방조제를 건설한 후의 경우이다.

모델실험에서 결과가 안정된 1/4潮汐週期부터 3 潮汐週期동안의 결과를 비교할때 목포구에서는 고조수위가 15-20cm 상승하였으며 저조수위는 5cm 안팎으로 하강한 정도에 불과했으며 지각(phase lag)은 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 영암호 입구와 금호호 입구에서는 고조수위는 20-25cm 상승, 저조수위는 15-20cm 하강하여 고저조차가 35-45cm 더 증가되었다. 또한 목포구에서 보다 지각이 두드러 졌음을 알 수 있다.

한편 목포내항의 측점에서는 금호호와 영암호 입구에서 반응한 결과와 거의 동일하게 고조수위 상승, 저조수위 하강, 지각현상을 발견할 수 있어서 목포내항 개발초기에서부터 저지역으로 개발된

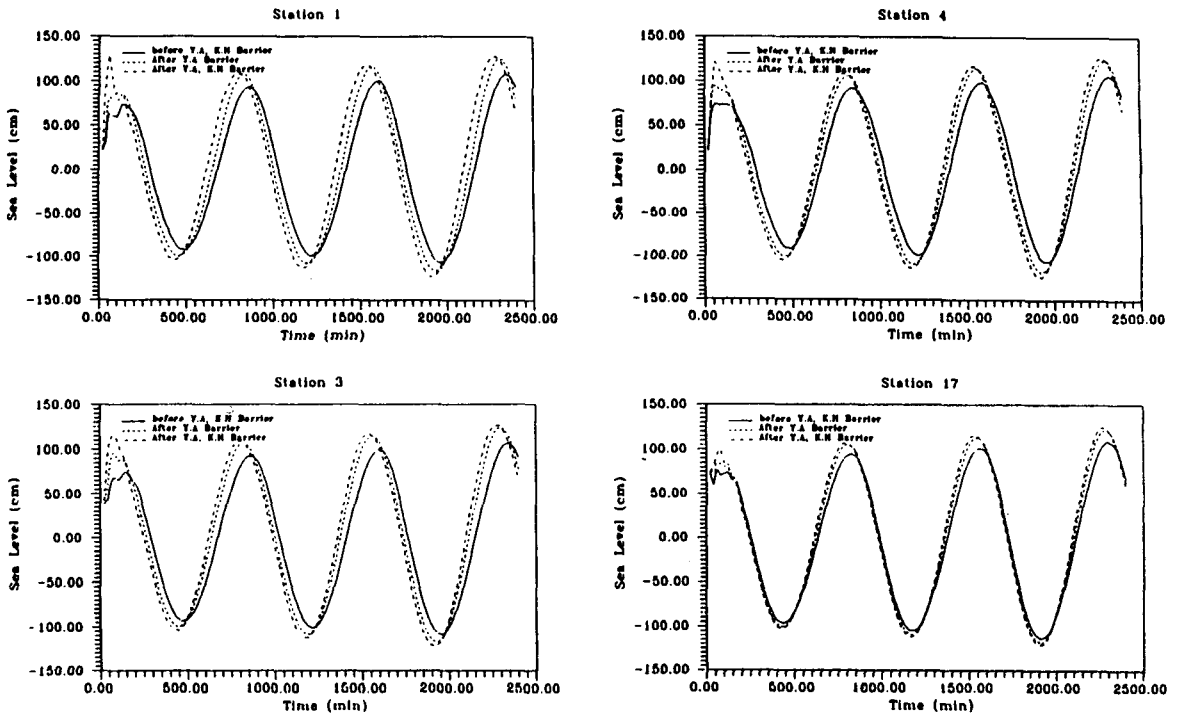


Fig.12 Comparison of computed tidal levels in spring tide

해안영역은 실험에서 보는 바와 같이 대조시의 경우 침수영향을 받지 않을 수 없음을 알 수 있다.

5. 結 論

現場資料 및 觀測을 통하여 목포 연안역 개발에 따른 海岸 및 海域의 潮流, 潮位變化를 追跡하고 그 原因料明과 對策樹立에 기여하기 위해서 調査와 研究가 시도되었다. 접근방법은 기존분석자료와 새로 실행한 現場觀測資料분석에 병행하여 조류 및 조위에 대한 數值모델을 수립하고 시뮬레이션을 통해 현장측정자료 및 기록자료를 비교검정 하였으며 이들로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 潮位는 영산강하구둑 축조전후의 潮位變化로서 大潮差의 차이와 小潮差의 차이가 각각 37.6cm, 10cm 상승하였으며 약최고 滿潮位가 설치전보다 19.0cm 상승하였고, 1980-1990년까지의 기록분석

으로 목포항 주변의 평균해면이 20-24cm 정도가 상승한것을 발견하였으며 외해측보다 내륙측의 潮位가 높게 기록됨을 알았다.

2) 수치실험에 의한 潮位의 分析으로는 영암·금호 방조제 건설로 각측점에서 高潮位가 20cm 정도 상승하고, 조차는 40cm 정도 증가하는 것으로 예측되었다. 목포구 유숙은 영산강하구둑 축조전에 11kts에서 축조후 8kts로 감소되었으며 3단계 방조제 건설로 인하여 6kts 이하로 떨어지는 것으로 관측되었다. 潮汐의 數值實驗 結果로는 영암 방조제 건설로 인해 潮流는 46-56% 정도 감소하고, 영암·금호 방조제 건설후의 경우는 25-30% 수준으로 감소됨을 알았다.

分析의 結果로부터 목포연안역의 廣域開發이 주로 지형적인 변화를 가져와 영암, 금호방조제가 隣接領域은 물론 內港領域까지 水位를 20-40cm 상승시키고 또한 개발로 인한 지형적인 변화 특성이 灣内の 副振動을 加重시켜서(이중우, 정명선, 1991) 이 지역의 常習의인 浸水害를 유발하고 있

음을 발견하였다. 부수적으로는 수치해석을 통해 개발로 인한 조류패턴과 크기의 변화를 예측할 수 있었으며, 이들의 변화로 인해 장래 연안역의 土砂移動 및 水質에 相應하는 變化를 가져올 것이라 사료된다.

參考文獻

교통부 수로국, “목포검조소 관측기록(조위편차 계산표)”, 1975-1983.
 국토개발원, “대불산업기지 개발계획”, 1988.
 농업진흥공사, “영산강 유역개발 수문조사 보고서”, 1975.
 농업진흥공사 영산강사업소, “하구연 조위측정기록”, 1979-1983.
 농수산부 농업진흥공사, “영산강(III)지구 방조제 설치에 따른 해수면변화(I)”, 서울대학교 농과대학 부속 농업개발연구소, 1984.
 농수산부 농업진흥공사, “영산강(III)지구 방조제 설치에 따른 해수면변화(II)”, 서울대학교 농과대학 부속 농업개발연구소, 1985.
 대한민국 수로국, “조석자료”, 1980.1.1-1990.10.31.
 대한민국 수로국, “조류도(목포항 및 부근)”, 1986.
 목포지방해운항만청, “목포항 광역개발 기본계획 보고서”, 1982.
 목포지방해운항만청, “목포내항 정비계획 및 시설계획용역 보고서”, 1987.
 박한일, “영일만과 포항신항의 해면부진동에 관한 수치실험연구”, 서울대학교 해양학과 석사논문, 1986.
 승영호, 이 상룡, “유한요소법에 의한 진해만 조석의 수치실험”, Bulletin of KORDI, V.6(1, 2), 1984, pp.31-36.
 염 기대, “한국서해안 해만의 방조제건설에 따른 조석변화연구”, 한국해양학회지, 제12권 제1호, 1977, pp.33-40.
 오 임상, 최현우, “A Basic Study for Numerical Modeling for the Keum River Estuary”, 서울대학교 해양학과, 1986.
 이 중화, 봉 중훈, 한 상준, “진해만의 해수유동에

관하여”, 한국해양학회지, 제9권 제1호, 1974, pp.19-30.
 이 중우, 정 명선, “목포항 개발 및 대불산업단지 조성에 따른 연안해역 변화(I)-해면 정온도를 중심으로-”, 한국항해학회지, 제15권, 제2호, 1991, pp.87-96.
 임 병대, “하구연으로 인한 영산강 하구의 조석변화에 대한 연구”, 전남대학교 토목공학과 박사학위논문, 1984.
 정 종률, “Estuarine Dynamics of the Keum Estuary I: flow characteristics and a circulation model”, 서울대학교 기초과학 보고서 ED 80-34, 1981, pp.58-115.
 최 병호, “영산강 하구의 방조연 건설에 따른 조위변화”, 대한토목학회 논문집 제4권 제2호, 1984, pp. 113-124.
 Ahn, H. S. and S. W. Lee, “A Numerical Experiment of Tidal Currents in Asan Bay”, The J. of the Oceanological Society of Korea, Vol.11, 1976, pp.18-24.
 Chiang, W. L. and J. J. Lee, “Tide-Induced Currents in Harbors of Arbitrary Shape,” University of Southern California Sea Grant, USCSG-TR-01-81, 1981
 Chow, C.Y., “An Introduction to Computational Fluid Mechanics”, John Wiley and Sons, 1979.
 Hansen, D. V. and Rattray Jr., M., “Estuarine Circulation Induced by Diffusion,” J. of Marine Research 30, 1972, pp. 281-294.
 Hughes, F. W. and Rattray Jr., M., “Salt Flux and Mixing in the Columbia River Estuary,” Estuarine and Coastal Marine Science 10, 1980, pp.479-493.
 Hydrographic office, Republic of Korea, Technical Reports Pub. No. 1101-1970, 1972.
 Leendertse, J. J. and Liu, S. K., “A Three-dimensional Model for Estuaries and Coastal Seas : Volume II, Aspects of Computation,” OWRT, R-1764-OWRT, 1975.