

<論 文>

數値모델에 의한 灣内の 2次元 動水力學 解析

Two Dimensional Hydrodynamic Study in the Bay by a Mathematical Model

韓 健 淵\*

Kun-Yeun, Han

金 丁 勗\*\*

Jung-Wk, Kim

Abstract

The mathematical simulation of two-dimensional hydrodynamic analysis in the bay was studied.

The basic equations of the model consisted of the momentum equations and the continuity equation, and they were analysed by the finite difference method. The Leendertse's multi-operation method was used to solve the equations. For the numerical analysis, the computer program was made to get the velocity distribution and water surface elevation in the bay.

The Ulsan bay was selected as the area of the model application. The modeling results showed that the velocity distribution was within the range of 10cm/sec and the currents were mainly in the north-south direction, which had a good agreement with the observed data.

The methodological procedure made in this paper will provide a basic contribution to hydrodynamic study in the bay.

要 旨

本 研究에서는 水深平均値를 使用하는 灣内の 2次元 動水力學 모델은 運動方程式과 連續方程式을 基本方程式으로 하고 이를 數値解析 技法의 하나인 有限差分法으로 解析을 實施하였다. 有限差分法의 解析技法으로는 Leendertse의 Multi-operation method가 使用되었고, 그 結果 灣内の 2次元 流速分布와 水深變化를 얻을 수 있었다. 本 모델의 適用對象 地域으로는 蔚山灣이 選定되었고 모델링 實施 結果 灣内の 流速은 10cm/sec를 넘지 않고, 潮流는 南北方向이 優勢한 것으로 나타났고, 이는 實測資料와도 符合되고 있었다.

I. 序 論

날로 增大하는 水資源의 用水로서의 重要性和 自然 水域으로 排出되는 各種廢水와 冷却水 및 産業廢棄物들을 생각할 때 水體의 學動에 대한 正確한 解析과 함께 이에 대한 各種 研究가 隨伴되어야 할 것이다. 특히 河口部나 灣에서와 같이 潮流의 影響을 크게 받는 곳에서는 그 水理學的 特性을 糾明해야만, 放出되는 汚染物이나 冷却水 등의 流動을 正確하게 豫測할 수 있다.

一般的으로 물粒子的 移動과 汚染物의 分布를 豫測

하기 위한 모델링은 3가지 方法을 생각할 수 있는데, 즉 物理的 水理모델(physical hydraulic model), 아나로그 컴퓨터에 의한 모델(passive analog model), 數學的 數値모델(mathematical or numerical model)이 그것이다.<sup>1,2)</sup>

物理的 水理모델은 大縮尺現象을 再現하기 위한 小縮尺모델을 意味하며, 물粒子的 움직임을 正確하게 把握할 수 있으나 擴散이나 混合의 現象을 모든 경우에 대하여 再現하기는 어렵다. 아나로그모델은 河口部에서의 波高를 豫測하는데 많이 利用되고 있으나 潮汐이나 運搬, 擴散 등의 特別한 目的의 아나로그를 開發하는 데에는 費用이 많이 消耗되어 經濟的이 못된다. 數

\* 延世大學校 土木工學科 大學院

\*\* 서울大學校 環境大學院

學的 數值모델은 適切한 境界條件과 經驗的인 係數를 바탕으로 물입자와 汚染物의 移動을 一聯의 方程式으로 나타내고 이것을 數值解析의 方法으로 計算하도록 開發한 것으로서 潮汐의 影響을 받는 水理研究에 많이 應用되어 왔다. 또한 數值모델은 水理모델 使用時 一般의 所以로 생각하기 어려운 바람에 의한 應力이나 地球의 自轉效果도 考慮할 수 있는 利點을 가지고 있다.

1. 研究目的 및 範圍

本 研究의 目的은 潮汐의 影響을 받는 河口部나 灣內에서의 물입자의 水理學的 擧動을 糾明하기 위하여 2次元 動水力學 모델을 數學的으로 解析하였다. 즉 水深平均値를 使用한 2次元 모델은 運動量方程式과 連續方程式을 基本方程式으로 하고 이를 數值解析技法의 하나인 有限差分法으로 그 解를 구하였다.

有限差分法의 解析技法으로 Leendertse가 開發한 Multi-operation method(*i. e.* mixed implicit-explicit method)가 採擇되어 計算되었다. 本 모델의 適用性을 檢討하기 위하여 蔚山灣이 그 對象地域으로 選定되었고, 그 結果 灣內의 水深變化와 流速分布를 얻었으며, 동시에 實測資料와의 比較檢討도 實施되었다.

2. 研究動向

河口部에서의 海水의 移動과 汚染物의 分布를 豫測하기 위하여 灣內를 2次元 模型化한 모델의 適用은 이미 1960년대에 始作되어 많은 研究가 이루어져 왔고, 주된 研究動向을 紹介하면 다음과 같다.<sup>1,2)</sup>

Hansen<sup>3)</sup>(1956)은 최초로 非線型移動項과 Coriolis force, 바람에 의한 應力등이 包含된 모델은 North Sea에 適用하였고 Shubinski<sup>4)</sup>(1965)는 2次元 河口部를 相互連結된 1次元 水路의 組合으로 생각한 network model을 開發하여 이를 explicit scheme으로 解析하였다. Abott와 Harshall<sup>5)</sup>(1969)는 運動量方程式에서 非線型流體移動項을 無視한 海水流動의 類似値를 구하였고 Banks<sup>6)</sup>(1969)는 Thames강 河口에 대하여 tide와 surge간의 相互作用을 研究한 모델을 使用하였다. Masch<sup>7)</sup>et. al.(1969)는 Texas의 淺海灣 地域에서 潮流를 豫則하였고, Leendertse<sup>8)</sup>(1967)는 multi-operation scheme에 의한 數學的의 모델을 開發하였고 Fischer, Hinwood등에 의하여 類似한 모델이 適用되었다. Tronson<sup>9)</sup>(1974)은 grid크기의 變化와 線形化에 따른 結果値를 比較 檢討하였고 Taylor와 Davis<sup>10)</sup>(1975)는 有限要素法에 의한 解法을 提示한 것등이 代表的인 例이다.

II. 모델의 數學的 理論

2次元 動水力學 모델에 使用되는 水深平均値는 그림 1에서 보는 바와 같이  $z$ 를 基準面에서 河床까지의 距離,  $a$ 를 河床에서 平均水位까지의 깊이,  $h$ 를 平均水深에서 시간  $t$ 일때의 水位까지의 水深이라 할 때  $h^* = h + a + z$ 으로 表示되고 水深平均流速  $u, v$ 는 다음식과 같이 나타낼 수 있다.<sup>11,12)</sup>

$$u = \frac{1}{(h^* - z)} \int_z^{h^*} u(z) dz \dots\dots\dots(1)$$

$$v = \frac{1}{(h^* - z)} \int_z^{h^*} v(z) dz \dots\dots\dots(2)$$

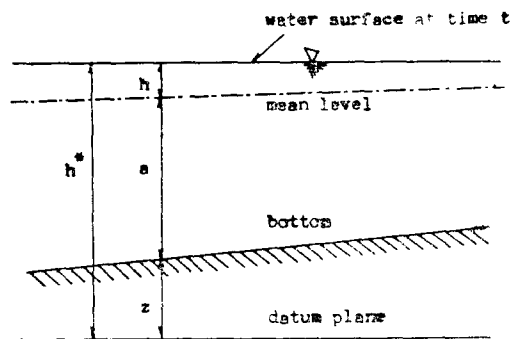


Fig. 1. Definition of bottom height, depth, and water surface

이러한 2次元 領域에서 모델을 構成하는 基本方程式은 Navier-Stokes의 運動方程式과 連續方程式으로 되어있고, 그 基本式들은 다음과 같다.<sup>12)</sup>

$x$  방향으로의 유동 ;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \alpha_e \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) - f \cdot v + g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g u \sqrt{u^2 + v^2}}{c^2(a+h)} + (\alpha_e - 1) \frac{u}{h} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{w_x}{\rho(a+h)} \dots\dots(3)$$

$y$  방향으로의 유동 ;

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \alpha_e \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) + f \cdot u + g \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{g v \sqrt{u^2 + v^2}}{c^2(a+h)} + (\alpha_e - 1) \frac{v}{h} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{w_y}{\rho(a+h)} \dots\dots(4)$$

연속방정식 ;

$$\frac{\partial}{\partial x} [(a+h)u] + \frac{\partial}{\partial y} [(a+h)v] + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \dots\dots(5)$$

여기서  $u$  :  $x$ 方向의 水深平均流速

$v$  :  $y$ 方向의 水深平均流速

$f$  : Coriolis parameter

$g$  : 重力加速度

$c$  : Chezy係數

$\rho$  : 물의 密度

$\alpha_e$  : 流速에 對한 補正係數  
 $w_x$  :  $x$ 方向의 바람에 의한 剪斷力  
 $w_y$  :  $y$ 方向의 바람에 의한 剪斷力

이러한 2次元 數值모델에서는 解法上 (3), (4)식의 2 번째 항인 nonlinear accerleration항을 考慮하느냐, 안 하느냐의 2가지 분류로 크게 나누어진다. 本 研究에서 使用된 모델은 速度補正係數  $\alpha_e$ 를 一定하다고 보았고 ( $\alpha_e=1$ ), 地球自轉에 의한 影響을 考慮하였으며 바람에 의한 剪斷力  $w_x, w_y$ 는 無視하였다. 또한 一般的으로 大部分 潮流解析에 있어서 nonlinear accerleration項은 다른 項에 비하여 그 重要도가 적기 때문에 無視되어<sup>11,12,13)</sup> (3)(4)(5)식은 다음과과 같이 變形될 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - f \cdot v &= -g \frac{\partial h}{\partial x} - R_x \\ ; R_x &= g \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{c^2(a+h)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + f \cdot u &= -g \frac{\partial h}{\partial y} - R_y \\ ; R_y &= g \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{c^2(a+h)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial u(a+h)}{\partial x} + \frac{\partial v(a+h)}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (8)$$

Ⅲ. 有限差分法에 의한 모델의 解析

앞절에서 記述된 偏微分方程式(6), (7), (8)식을 數值 解析으로 풀어나가기 위하여 有限差分法の 理論을 適用하였다. 一般的으로 有限差分法の 理論에 의하면 implicit scheme은 安定度와 精度面에서는 explicit scheme에 비하여 優秀하나 많은 grid의 問題를 다루는데 있어서 컴퓨터의 計算時間이 많이 所要된다. 그러므로 本 研究에서는 Leenertse가 開發한 multi-operation method를 利用하여 컴퓨터 프로그램이 作成되었다.

Multi-operation method란 陽解法과 陰解法을 同時에 利用하여 計算되는 것으로서 그림 2에서 보는 바와 같이 3개의 時間帶(time level)  $t, t + \frac{1}{2}\tau, t + \tau$ 에서의  $u, v, h$ 를 計算해 나가는 것이다. 단, 여기서  $\tau$ 는 주어진 時間間隔,  $t$ 는  $t = \tau$ 로서 時間間隔  $\tau$ 의 整數倍로 表示되는 時間을 意味한다.

이제  $t = \tau$ 일때의 流速, 水深을  $u, v, h$ 라 하면  $t + \frac{1}{2}\tau$ 일때의 流速과 水深인  $u', v', h'$ 는  $u', h'$ 는 implicit method로,  $v'$ 는 explicit method로 計算하며,  $t + \tau$ 일때의 流速, 水深인  $u'', v'', h''$ 는  $v'', h''$ 의 경우 implicit method로,  $u''$ 는 explicit method로 計算해 나간다.

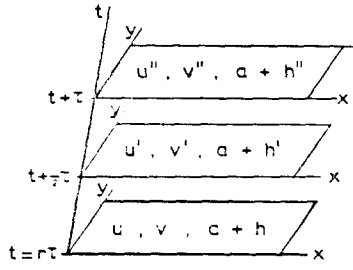


Fig. 2. Notation in three time levels

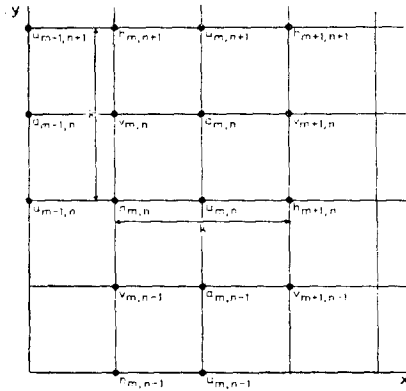


Fig. 4. Notation for the multi-operation scheme

Multi-operation method의 計算을 위한 grid scheme은 그림 3에서 주어진 바와 같이  $x, y$ 의 座標系의 한점인  $(m, n)$ 에서 grid폭  $k$ 를 가지고 表示되고 있다.

우선  $u', h'$ 가 implicit method에 대하여 計算되는 과정을 보면 (6)식으로부터

$$u'_{m,n} = u_{m,n} + \frac{\tau f}{8} (v_{m,n} + v_{m,n-1} + v_{m+1,n} + v_{m+1,n-1}) - \frac{g\tau}{2k} (h'_{m+1,n} - h'_{m,n}) - (R_x)'_{m,n} \dots\dots\dots (9)$$

여기서

$$(R_x)'_{m,n} = \frac{\tau g [u_{m,n}^2 + \frac{1}{16} (v_{m,n} + v_{m+1,n} + v_{m,n-1} + v_{m+1,n-1})^2]^{1/2}}{c_{m,n} (a_{m,n} + a_{m,n-1} + h_{m,n} + h_{m-1,n})} u'_{m,n}$$

(8)식으로부터

$$h'_{m,n} = h_{m,n} - \frac{\tau}{4k} [(a_{m,n} + a_{m,n-1} + h_{m,n} + h_{m+1,n})u'_{m,n} - (a_{m-1,n} + a_{m-1,n-1} + h_{m,n} + h_{m-1,n})u'_{m-1,n}] - \frac{\tau}{4k} [(a_{m,n} + a_{m-1,n} + h_{m,n} + h_{m,n+1})v_{m,n} - (a_{m,n-1} + a_{m-1,n-1} + h_{m,n} + h_{m,n-1})v_{m,n-1}] \dots\dots (10)$$

여기서  $n$  값을 固定시키고  $m$  값을 1에서  $M$ 까지 變化시키면 (9), (10)식은 implicit scheme의 擴張됨으로써 計算되어진다. 또한  $(1, n), (M, n)$ 점에서의 境界條件이 주어지면  $u'_{m,n}, h'_{m,n}$ 는 시간  $t + \frac{1}{2}\tau$ 에서  $m, n$ 의 모든 값에 對하여 決定되어진다.

또한  $v'_{m,n}$ 는 explicit operation으로 解析하면 (7)식  
으로 부터

$$v'_{m,n} = v_{m,n} - \frac{\tau f}{8}(u'_{m,n} + u'_{m-1,n} + u'_{m,n+1} + u'_{m-1,n+1}) - \frac{g\tau}{2k}(h_{m,n+1} - h_{m,n}) - (R_y)'_{m,n} \dots \dots \dots (11)$$

여기서

$$(R_y)'_{m,n} = \frac{\tau g \left[ \frac{1}{16}(u'_{m,n} + u'_{m-1,n} + u'_{m,n+1} + u'_{m-1,n+1}) - \frac{c^2}{2m,n}(a_{m,n} + a_{m-1,n} + h'_{m,n} + h'_{m,n+1}) - \frac{(v_{n-1})^2 + v^2_{m,n}}{2} \right]}{v_{m,n}}$$

마찬가지 방법으로 시간  $t + \tau$ 에서의  $v'', h''$ 의 값을  
implicit method를  $y$ 방향으로 適用시켜  $n$ 을 1부터  
 $N$ 까지 變化시켜 計算한다.  $v_{m,n}'$ 는 (11)식으로 부터

$$v''_{m,n} = v'_{m,n} - \frac{\tau f}{8}(u'_{m,n} + u'_{m-1,n} + u'_{m-1,n+1} + u'_{m,n+1}) - \frac{g\tau}{2k}(h''_{m,n+1} - h''_{m,n}) - (R_y)''_{m,n} \dots \dots \dots (12)$$

$h''_{m,n}$ 은 (10)식으로 부터

$$h''_{m,n} = h'_{m,n} - \frac{\tau}{4k} [(a_{m,n} + a_{m,n-1} + h'_{m,n} + h'_{m+1,n})u'_{m,n} - (a_{m-1,n} + a_{m-1,n-1} + h'_{m,n} + h'_{m-1,n})u'_{m-1,n} - \frac{\tau}{4k} [(a_{m,n} + a_{m-1,n} + h'_{m,n} + h'_{m,n+1})v'_{m,n} - (a_{m,n-1} + a_{m-1,n-1} + h'_{m,n} + h'_{m,n-1})v'_{m,n-1}] (13)$$

또한  $u''$ 의 값은  $t + \frac{1}{2}\tau$ 와  $t + \tau$ 와의 時間에 대하여  
explicit method로 풀 수 있어 (9)식으로 부터

$$u''_{m,n} = u'_{m,n} + \frac{\tau f}{8}(v''_{m,n} + v''_{m,n-1} + v''_{m+1,n} + v''_{m+1,n-1}) - \frac{g\tau}{2k}(h'_{m-1,n} - h'_{m,n}) - (R_x)''_{m,n} \dots \dots \dots (14)$$

이상의 (9)~(14)식에서 나타나 있는 式들이 計算되  
어 나가는 과정을 multi-operation scheme이라하고 그  
그림 4는 이것을 sketch하고 있다. 이와 같이 하여 시간  
 $t = 7\tau$ 에서  $\tau$ 를 1, 2, 3, ...으로 增加시킴에 따라 要求하  
는 時間에 對한  $x, y$ 方向의 流速分布 및 水深의 값을  
計算할 수 있다.

#### IV. 프로그램의 構成

##### 1. 프로그램의 系統 및 機能

2次元 領域에서의 諸條件式(運動方程式, 連續方程  
式)을 implicit-explicit scheme으로서 解析하여 要求하  
는 時間間隔에 따라 灣内の 流速分布와 水深을 計算하  
도록 프로그램 되어있는 것으로서 Main프로그램과 5  
개 subroutine으로 構成되어 있고 그 흐름계통은 그림  
5와 같다.

Main program은 入力資料를 읽고, subroutine  
BOTONY와 FIND를 呼出하여 計算을 行할 것을 指示  
하고 最終結果를 File에 保管한다.

FIND는 灣內를 grid로 區分하여 位置判別을 行하고  
陸地, 海洋等을 區分하여 境界條件을 주는 subroutine  
으로서 陸地일 경우 0, 海洋일 경우 1의 identifier를  
준다. BOTONY는 FIND에서 計算된 境界條件內에서  
2次元 領域内の 流速分布 및 水深變動의 計算을 有  
限差分法에 의하여 行하는 subroutine이고 PRINT는  
最終結果를 print하거나 file에 담아 保存한다.

SHAFT와 ARROW는 計算된 流速分布를 computer  
의 system library로부터 plotter를 呼出하여 plotting  
을 實施한다.

##### 2. 入出力 資料

必要한 入力資料는 그림 5에서 볼 수 있는 바와 같  
이 時間間隔, 計算上的 最大時間間隔, Chezy係數, 對  
象灣内の 水深, 바람에 의한 剪斷力, 初期條件 및 境界  
條件, grid形成을 위한 位置判別 identifier등이고, 計  
算結果로서 入力된 모든 內容이 出力되며, 주어진 각  
각의 時間間隔에 대하여  $x, y$ 方向의 流速벡터량 및 水  
深이 最終結果로서 print된다.

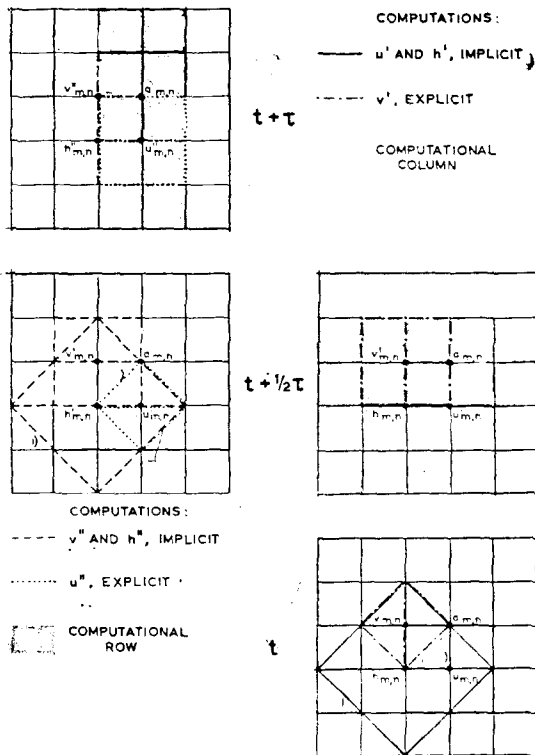


Fig. 4. Sketch of the multi-operation scheme

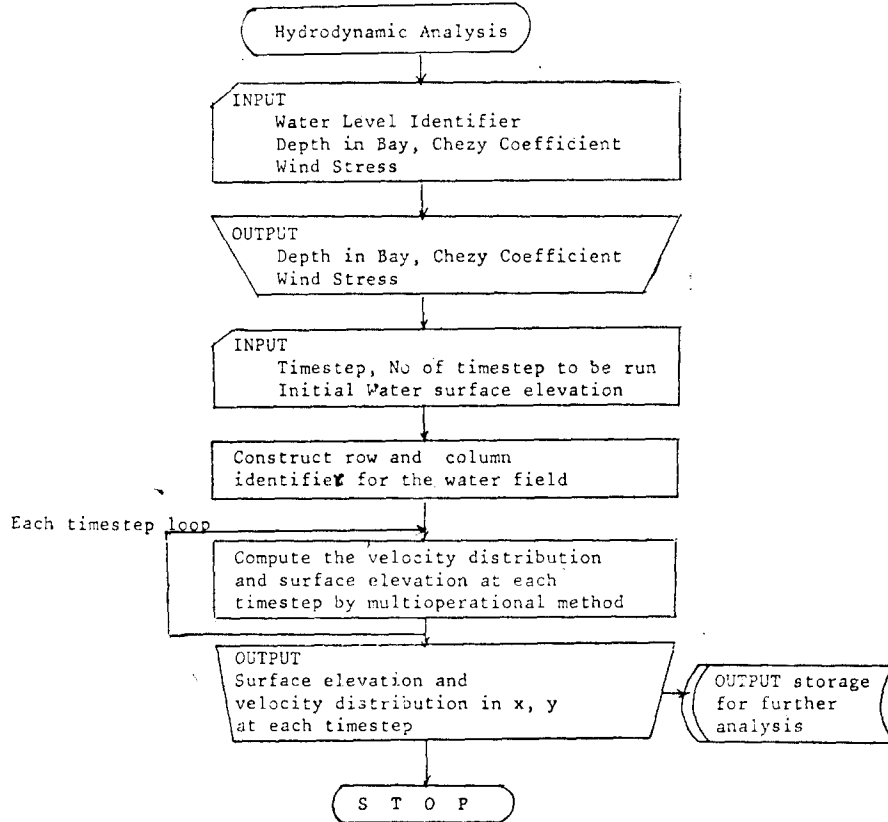


Fig. 5 Flow diagram for the hydrodynamic analysis

## V. 適用例

### 1. 對象地域의 選定

本 研究에서 記述한 2次元 動水力學 모델의 對象地域으로 蔚山灣을 選定하였다. 蔚山灣은 大規模 工業園地를 沿하고 있는 地域으로서 灣內의 水深分布가 25m以下이고, 水溫의 沿直分布도 上層部와 下層部의 水溫差가 0.5°C以下로 微小하므로, 16) 水深方向으로 잘 混合되어 있어 水深에 따른 여러가지 諸條件은 無視해도 될 것으로 思料된다. 그러므로 灣內의 海水의 流動에 對한 本 2次元 數值모델의 適用性이 認定되는 地域으로 思料되었다.

### 2. 入力資料

動水力學 解析을 위하여 蔚山灣을 그림 6,7과 같이 가로, 세로 각각 250m間隔의 格子로 區分하여 가로方向 格子數  $N=30$ 개 세로方向 格子數  $M=54$ 개로 하였다. 이 경우 各 格子의 位置判別을 위하여 陸地의 경우 0, 海洋의 경우 1로 두었으며, 가로세로 格子에 대

한 고유번호(identifier)를 주고 外海와의 境界線을 選定하였다. 外海와의 境界線의 格子(30, 24)와 (7, 54)를 잇는 直線으로 보았고, 潮位의 變化는 이 線上에 싸인 曲線에 따라 變化하는 것으로 假定하였다. 全海域을 통한 Chezy係値는 60으로 하였으며 바람에 의한 應力은 無視하였다.

滿潮와 干潮時의 潮位差는 蔚山灣의 平均潮差인 35.6cm, 週期는 12.5時間을 주었다. 17) 初期에 灣內의 水位가 外海와의 境界線上의 水位와 같고 물이 靜止狀態에 있는 것으로 하여 計算을 始作하였으며, 計算하는 潮汐의 週期가 길어짐에 따라 水位와 流速이 平衡狀態에 到達할 때까지 計算을 繼續하였다.

### 3. 모델링 結果

2次元 動水力學 모델링의 結果로서 0時間에서 82時間까지 30分 間隔으로 各時間에서의 水深,  $x, y$ 方向의 流速分布를 얻었다. 0~82時間까지에서의 任意의 한 地域에서의 水深變化曲線을 調査한 結果 68.5時間以後에는 安定되어 steady state狀態의 값으로 나타났으며 68.5時間以後의 週期 12.5時間이 지난 81時間까지

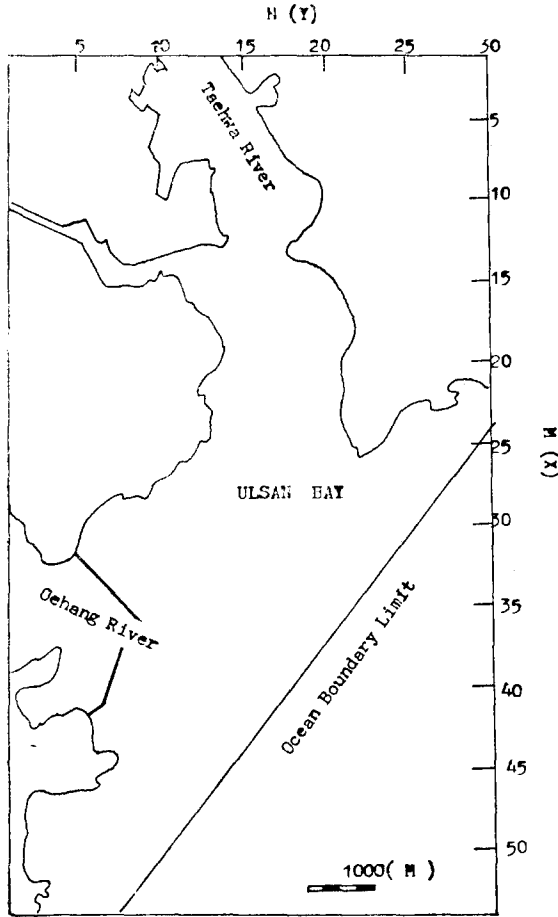


Fig. 6. Topographic map of the area

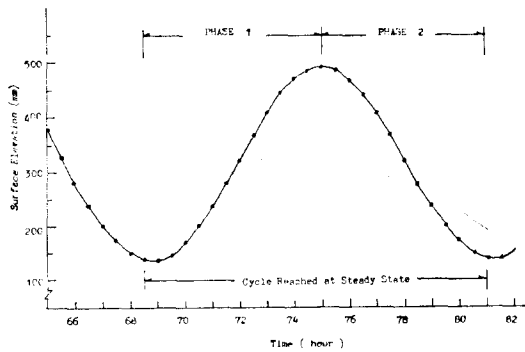


Fig. 8. Water surface elevation at steady state (at grid(31, 9))

의 자료를 最終計算된 1 cycle로 利用하였다. 그림 8은 格子(31, 9)에서의 潮汐 1 cycle에 따른 水位를 나타내고 있는데 68.5~74.5時間까지는 泥물의 狀態(phase1)으로 75~81時間까지는 鮮물의 狀態(phase2)인 結果를 얻었다. 그림 9는 72時間에서의 灣內의 水

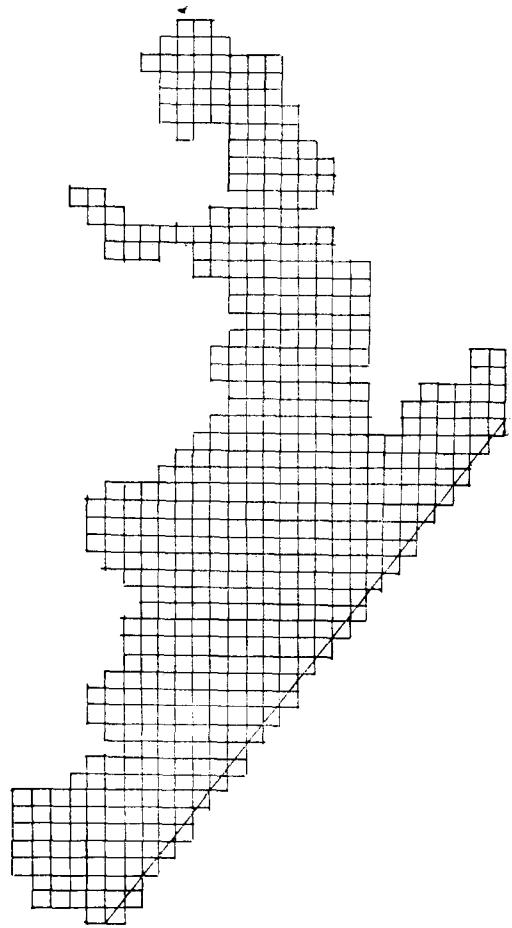


Fig. 7. Network cell system of the area

深을 그림 10, 11은 그때의 灣內의 x, y方向의 流速分布를 나타내고 있으며, 그림 12는 x, y方向의 流速을 vector合成시켜 plot한 것이다.

위에서 나타난 計算結果値는 蔚山灣 地域이 潮汐干滿의 差가 작고 外海와의 連結部가 넓어서 流速은 全地域을 通하여 10cm/sec를 넘지 않으며 潮流는 主로 南北方向이 우세하다는 交通部 水路局의 實測結果와 거의 부합되고 있었다.

#### IV. 結 論

本 研究는 潮流의 影響을 받는 灣內의 水理學的 舉動을 料明하기 위하여 水深平均値를 使用한 2次元 動水力學 모델을 解析한 것으로서 다음과 같이 몇가지 結論으로 要約할 수 있다'

1. 有限差分法의 解析技法의 하나인 Leendertse의 multi-operation scheme을 使用한 電算프로그램이 作成되었고, 이것을 利用하여 灣內의 2次元 流速分布와



RAY AT TIME		72.00		VELOCITY IN Y DIRECTION (X 100 CM/SEC)																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
V 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V 54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 11. Velocity in Y direction (at time 72hr., unit:  $\times 100\text{cm/sec}$ )

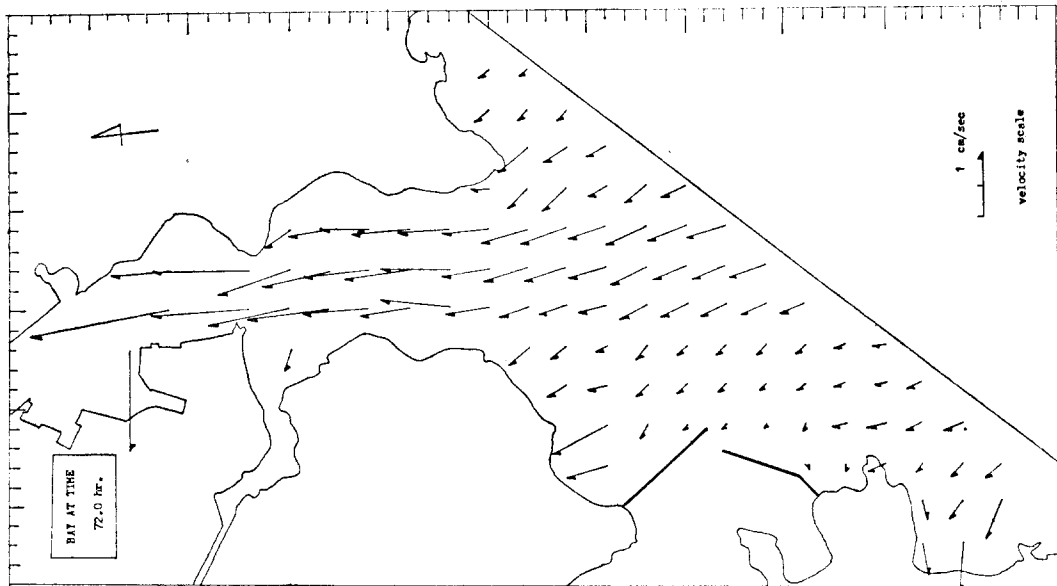


Fig. 12. Velocity vectors in the bay (at time 72hr.)



水深의 變化를 計算하였다.

2. 蔚山灣 地域은 水深分布가 25m 以下이고, 水溫의 沿直分布도 微小하여 垂直方向으로 잘 混合되어 있을 것으로 思料되어 本 2次元 모델의 適用性이 認定된 地域이었다.

3. 蔚山灣 地域의 流速分布와 水深의 計算結果値는 流速의 경우 10cm/sec를 넘지 않았고, 潮流도 南北方向이 우세한 것으로 나타났으며, 이는 交通部 水路局의 實測結果와 一致하고 있었다.

4. grid의 크기 變化, Chezy係數의 變化, 바람에 의한 應力 考慮 與否등이 廢範圍하게 考慮되어 지고, 水質汚染負荷로 인한 灣內의 汚染物이 擴散, 移動되는 現象을 解明하는 것은 매우 重要한 作業으로 생각되며 이는 앞으로 繼續 研究할 課題라 思料된다.

### References

- 1) Hinwood, J.B., and Wallis, I.G., "Review of Models of Tidal Waters," *J. of HY Div., ASCE*, Vol. 109-1, HY 11, 1975
- 2) Hinwood, J.B., and Wallis, I.G., "Classification of Tidal Waters," *J. of HY Div., ASCE*, Vol. 101, HY 10, 1975
- 3) Hansen, W., "Theorie zur Errechnung des Wasserstandes und der Stromungen in Randmeeren nebst Anwendungen" *Tellus*, Vol. 8, 1956
- 4) Subinski, R.P., McCarty, J.C., and Lindorf, M.R., "Computer Simulation of Estuarial Networks," *J. of HY Div., ASCE*, Vol. 91, HY 5, 1965
- 5) Abbott, M.B., and Marshall, G., "Numerical Model of a Wide Shallow Estuary," *Proc. of the 13th Congress of IAHR*, 1969
- 6) Banks, J.E., "Numerical Model to Study Tides and Surges in a River-Sea Combination," *Tidal Institute and Observatory Interim Report No. 19*, Univ. of Liverpool, 1969
- 7) Masch, F.D. et. al. "Numerical Model for the Simulation of Tidal Hydraulics in Shallow Irregular Estuaries," *Univ. of Texas, Hydraulics Engineering Laboratory Technical Report HYD 12-6901*, 1969
- 8) Leendertse, J.J., "Aspect of Computational Model for Long Period Water-Wave Propagation," *RM-5294-PR*, Rand Corp., 1967
- 9) Tronson, K., "The Hydraulics of the South Australian Gulf System" *Thesis Presented to Flinders University*, 1974
- 10) Taylor, C., and Davis, J., "Finite Element Modeling of Flow and Dispersion in Estuaries," *International Symposium on River Mechanics, IAHR*, 1975
- 11) Dronkers, J.J., "Tidal Computations for Rivers, Coastal Areas, and Seas," *J. of HY Div., ASCE*, Vol. 95, No. HY 1, 1969
- 12) Ippen, A.T., *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, McCraw-Hill, New York, 1966
- 13) Fischer, H.B., "A Method for Predicting Pollutant Transport in Tidal Waters," *Water Resources Center Contribution No. 132*, Univ. of California, Berkeley, 1970
- 14) Mitchell, A.R., *Computational Methods in Partial Differential Equations*, John Wiley & Sons, New York, 1969
- 15) Carnahan, B., et. al., *Applied Numerical Methods*, John Wiley & Sons, New York, 1969
- 16) 울산만 지역 해도
- 17) 교통부 수로국, 「조석표」(1965~1975)
- 18) 교통부 수로국, 「LANDSAT에 의한 영일만 및 울산만 부근의 해수유동 상태와 하천수 확산 추적에 관한 연구」, 과학기술처보고서, 1976