

## 太和江 流出量 變化에 따른 蔚山灣 內의 流速分布 變化에 관한 研究

金聲得(1)  
土木工學科

〈요 약〉

조석류 및 홍수류의 영향을 받는 울산만 내의 유속 분포를 2차원 천수방정식에 유한차분법을 사용한 Leendertse 모델을 응용하여 계산하였다. 4가지의 변동유량과 만 입구의 방파제의 유무에 따라 얻어진 유속 변화 pattern은 대체로 정성적으로 합당함을 보여주었다. 거의 모든 경우 울산 분항에서는 물이 회전함을 보여주었고 홍수시 항로에 따른 유속이 매우 크게 나타남을 보여주었다.

---

## A Numerical Study of Velocity Distribution in Ulsan Bay

Kim, Seong-deuk  
Dept. of Civil Eng.

〈Abstract〉

Velocity distribution being influenced by tidal current and river flood in Ulsan bay was calculated by applying the Leendertse's 2-dimensional model which is finite difference method to calculate 2-dimensional shallow water equation and continuity equation.

The velocity distribution patterns which are calculated according to the 4 kinds of river flow rate and the existance of breakwater at the bay entrance showed a good agreement with their qualitative values.

In the most cases the water is circulated in the Ulsan main port basin and at the time of river flood the velocities of a sea route channel showed large values.

## 1. 序 論

근래 우리나라는 임해공업과 내륙공업의 발달로 하천 수질의 오염과 아울러 연안수질의 오염이 매우 심각하여, 연근해 수산업은 물론 국민보건 및 해안이나 하천에 연한 휴식공간을 위협하고 있다.

이들 문제를 해결하기 위해서는 공장폐수나 가정오수의 무절제한 방류를 억제함은 물론 모든 하수나 폐수는 하수처리장에서 정화한후 하천이나 해역에 방류하여야 한다.

그러나 하천이나 해역에 방류된 오수가 어떠한 형태로 방류수역에서 확산되어 나가는가를 정확히 예측할 수가 있다면 수질오염으로 인한 피해예측 및 오염방지 대책수립에 아주 유용할 것이다. 특히 하천수가 해만에 유입할때 그 유출량에 따라 확산의 정도를 예측할 수가 있다면 홍수시 담수가 해역에서 퍼져나가는 정도를 알수가 있고 이에 따른 유출토사의 영향을 예측할 수가 있다.

본 연구는 울산만 내에서의 오염물질이나 태화강 홍수시의 유출토사의 퍼짐현상을 계산하기 위한 일차단계로서 태화강 유출량이나 울산만의 조석변화 등에 따른 울산만 내의 유속분포 변화양상을 수치해석하는 모델을 확립하는 것이다.

본 연구의 결과는 확산방정식의 속도 입력항을 결정하여 주고 앞으로 울산만 내에서 확장될 것으로 예상되는 각종 시설물의 배치나 항로 등 해저지형 변화에 따른 만내 유속변화를 예측할 수 있게 할 것이다.

본 연구는 수심 평균유속을 사용한 이차원 천수방정식과 연속방정식을 기본방정식으로 하고 이를 Leendertse가 개발한 Multi-operation method(or Mixed implicit-explicit method) 방법을 근본으로 하여 수치해석하였다. 태화강의 유출량은 경계수위를 변화시켜줌으로써 조정하는 방법을 취하였다. 본 모델은 국내에서도 이미 몇편의 논문에 적용된바<sup>(1,2)</sup> 그 정성적 타당성을 인정받고 있기는 하나 하구 등과 관련한 실제 수리현상을 구명하기 위해서 이용된 예는 찾기 어렵다.

하구부에서 천수방정식의 해석을 위한 수치해석의 노력은 1960년대부터 시작하여 많은 연구가 이루어져 왔다.<sup>(3,4)</sup> 1960년대 후반부터 1970년대 초반까지는 Leendertse, Fischer 등에 의한 유한차분법이 그 기법으로 주로 사용되어져 왔으나<sup>(5-9)</sup> 70년대 이후 유한요소법의 개념이 유체문제에 응용되면서부터 "the I.C. of F.E. in Flow Prob.", "the I.C. on F.E. in Water Resources", "the I.C. on Applied Numerical Modeling", "the I.C. on Mathematical Models on Applied Environmental Problems" 등의 국제회의가 매 2년마다 개최되고 여기에 많은 유체 및 환경문제에 관한 수치해석 연구들이 발표되고 있다. 그러나 이러한 유한요소법에 의한 연구는 현 단계에서도 아직은 특수한 경계상황이 외에는 실용화가 되고 있지 못하다.

## 3. 基本方程式의 概要

수심에 따른 평균유속을 가지는 이차원 淺水方程式과 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \frac{u(u^2 + v^2)^{1/2}}{c^2(h + \zeta)} = F^{(x)} \quad \text{----- (1)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g \frac{v(u^2 + v^2)^{1/2}}{c^2(h + \zeta)} = F^{(y)} \quad \text{----- (2)}$$

## 2. 研究技法 및 動向

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [(h+\zeta)u]}{\partial x} + \frac{\partial [(h+\zeta)v]}{\partial y} = 0 \text{ ----- (3)}$$

- 여기서  $u, v$  :  $x$  및  $y$  방향의 수심평균 유속  
 $f$  : Coriolis parameter  
 $g$  : 중력가속도  
 $c$  : Chezy coefficient  
 $F^{(x)}, F^{(y)}$  :  $x$  및  $y$  방향의 바람응력 및 기압의  $x, y$  성분  
 $h$  : 수심  
 $\zeta$  : 정수면에 대한 수위

상기 방정식을 차분화하는 과정과 그 차분방정식 및 주요 계산과정은 참고문헌<sup>1,5)</sup>에 따랐으며 본 연구의 계산 결과의 이해를 돕

기 위해서 유한차분 격자망을 그림으로 나타내면 다음과 같다. (Fig. 1)

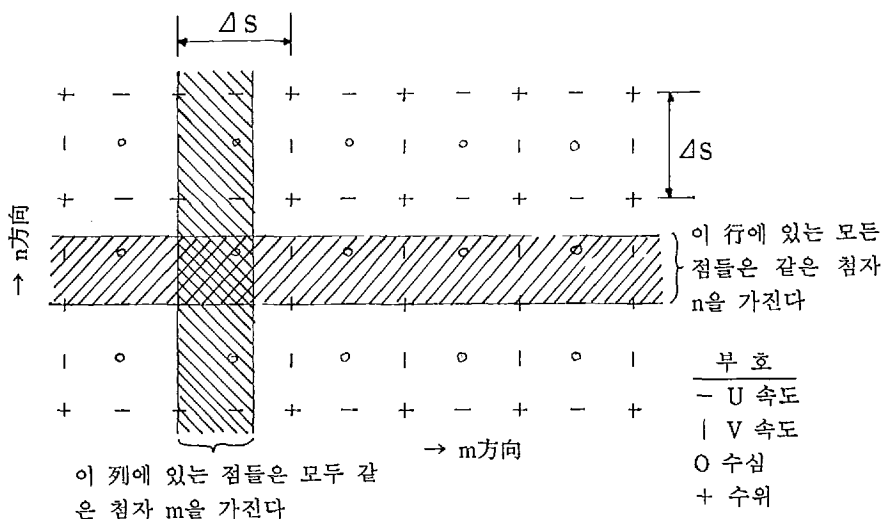


Fig 1. Finite difference grid

#### 4. 蔚山港의 水位 및 流速分布의 數値계산

##### 4-1 蔚山港의 自然條件

울산만은 만 내의 수심분포가 대략 25m

이하이고 수온의 연직분포도 상층부와 하층부의 수온차가 0.5℃ 이하로 미소하므로 수심방향으로의 혼합상태가 좋다고 볼 수 있다. 따라서 수심방향으로의 제 조건의 변화를 무시한 2차원 천수방정식의 적용이 인정될 수 있는 지역으로 생각한다.

울산만에서의 조석과 관련한 자연조건을 나타내면 다음 표와 같다.

울산항의 조석 조화상수와 해황<sup>10)</sup>

位 置		M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	K	O <sub>1</sub>	略最高 高潮面	大潮平均 高潮面	平 均 高潮面
		H <sub>m</sub>	H <sub>s</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>			
北緯 35° 31' 東經 129° 23'		16.3cm	7.8cm	3.3cm	3.0cm	60.8	54.5	46.7
大潮平均 高潮面	平均水面	小潮平均 低潮面	平 均 低潮面	大潮平均 低潮面	大 潮 差	平均潮差	小 潮 差	平 均 高潮間隔
38.9cm	30.4cm	21.9cm	14.1cm	6.3cm	48.2cm	32.6cm	17.0cm	7:19

設計波浪

波高 0.79<sup>m</sup>, 波向 <sup>SSE</sup>, 週期 3.4<sup>sec</sup>, 波長 18<sup>m</sup>

울산만 상류 수계인 태화강 및 동천의 계획홍수량은 각각 3,500<sup>CMS</sup>와 1,500<sup>CMS</sup>로 주어지고 전체적으로 4,600<sup>CMS</sup>이다.

이러한 홍수시 본 계산의 하천출구 지점의

수위는 3.28m 정도 된다. 또한 갈수량은 기왕 최대갈수기로 추정되는 1968년 5~7월 사이의 값으로 추정하면 대략 그 유량은 0.33<sup>CMS</sup>에 수위는 (-)0.19<sup>m</sup> 정도이다.<sup>11)</sup>

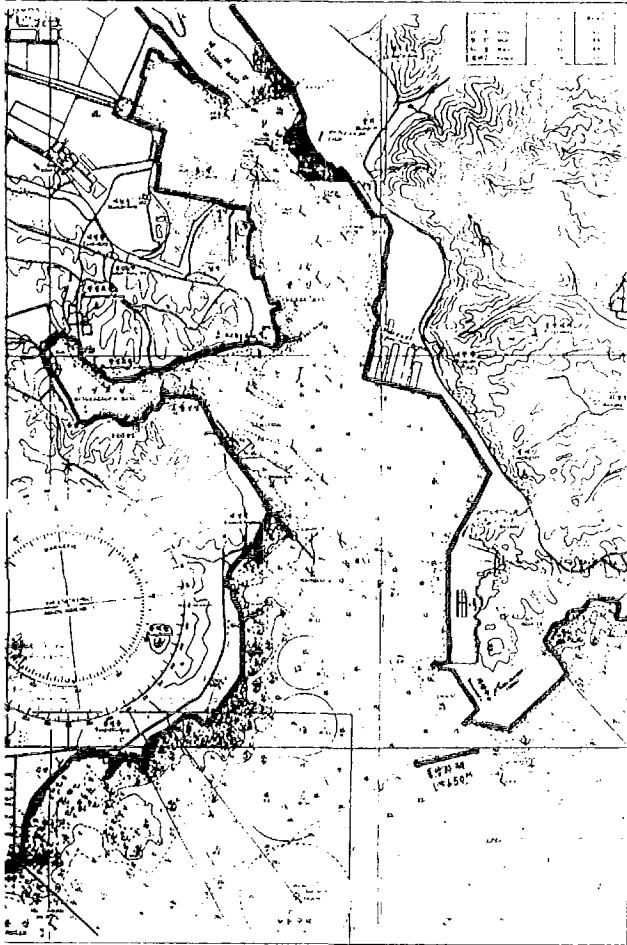


Fig. 2 Topographic map of Ulsan bay

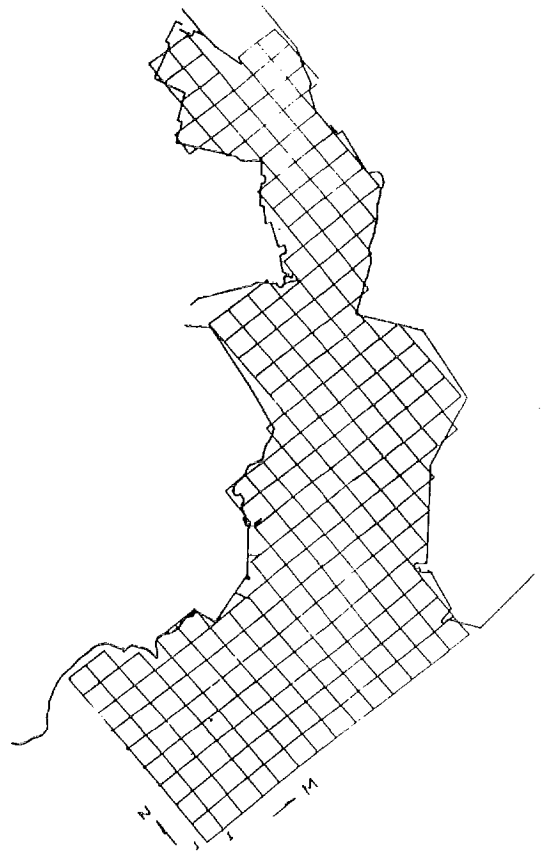


Fig. 3 Network grid of the area

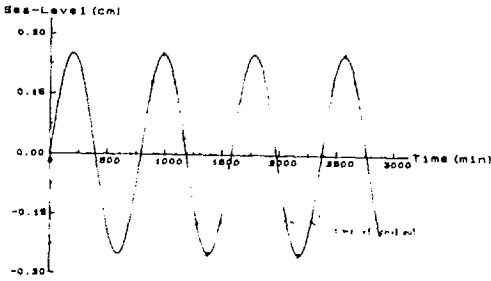


Fig. 4 Tidal level at open boundary

#### 4-2 資料의 入力

일반적으로 explicit 방법이 엄격한 안정 조건을 가지는데 반하여 Leendertse의 Multi-Operation 방법은 이러한 제약 조건은 없으나  $\frac{\Delta T}{\Delta L} \sqrt{gH}$ 의 값이 5정도 또는 그 이하일때 정도가 좋아진다고 한다.

울산만을 그림 2, 그림 3과 같이 가로, 세로 각각 200m의 격자로 구분하고 가로방향 격자수  $N=24$ 개, 세로방향 격자수  $M=28$ 개로 하였다. 열린경계(open boundary)는 그림 3에서 보인바와 같은 외해쪽과 태화강 하구쪽 두곳을 잡았고 외해쪽 경계에서의 수위 변화는 울산항 조석의 주요 4분 조로부터 계산하여 그림 4와 같이 주었다. 태화강 하구쪽 경계는 그 수위를  $0^{cm}$ ,  $1^{cm}$ ,  $16^{cm}$ ,  $48^{cm}$ 인 네가지의 경우로 일정하게 취하여 이에 따른 유속 변화를 계산하여 단면적으로부터 유량을 계산하도록 하였다.

초기의 만내의 수위와 외해쪽 경계에서의 수위는 공히 0에서 출발하였으며 계산 결과는 조석 1주기 이후부터 취하도록 하였다. 전 해역을 통한 Chey 계수는 60으로 하였고 시간간격(time step)은 90초로 하여 계산의 제약조건이 맞도록 하였다.

#### 4-3 計算의 結果 및 檢討

본 계산은 4 tidal cycle 동안 계산하였으며 그 경계조건은 다음과 같이 변화시키면서 수행하였다.

- 외해측 경계조건 - Fig 4와 같으며 만내의 초기 수위를 0으로 잡았기 때문에 경계수위도 0에서부터 계산을 시작하였다.
- 태화강 하구경계조건 - 수위를  $0^{cm}$ ,  $1^{cm}$ ,  $16^{cm}$ ,  $48^{cm}$ 인 4가지 경우로 고정시키고 이 결과 얻어진 유속을 하구 단면적에 곱하고 이를 1일(2 cycle)동안 합하는 방법으로 하여 유출량을 계산하였다. 태화강 경계수위가  $0^{cm}$ ,  $1^{cm}$ 인 경우는 거의 태화강 유출량이 거의 없는 것으로 나타났고  $16^{cm}$ ,  $48^{cm}$ 인 경우는 그 유출량이  $1020^{CMS}$ 와  $2113^{CMS}$ 로 얻어졌다. 최대홍수량  $4600^{CMS}$ 가 될때까지 계산을 해 보지는 못했으나 본 방법에 따라서 계산을 하면 최대 홍수량일때의 태화강 하구에서의 평균수위를 얻을 수가 있을 것이다.
- 울산만 내의 지형조건 - 만 입구에 건설하고 있는 동 방파제  $650^M$ 의 영향이 만내 유속변화에 어떠한 영향을 주는가를 알기 위하여 그 조건을 고려하여 계산하였다. 동방파제의 영향은 방파제 부근에서  $10^{cm/sec}$ 정도의 유속차이가 날 뿐이고 전체적인 흐름에는 영향이 없는 것으로 나타났다.

계산의 한 예로 하구 유량이  $1020^{CMS}$ 인 경우 만 입구 동 방파제가 있는 경우와 없는 경우의 계산 결과를 보이면 Fig 5와 Fig 6과 같다. 본 결과는 계산 시점에서부터 2174분 후의 유속으로 외해쪽 경계수위가 최저 조위에 있는 시점으로 상기 유량이 흘러 내릴때 만 내에서 최대유속이 생기는 시점이다. 최대 유속은 만이 확폭되기 직전인 죽도 앞 수로에서 대략  $120^{cm/sec}$  정도로 주어진다.

울산 본항내의 유속 pattern은 그 유량이 많거나 적거나 간에 회전하고 있음을 알 수가 있었는데 이에 따라 유송토사 등의 침전이 발생할 수 있음을 알 수가 있다.

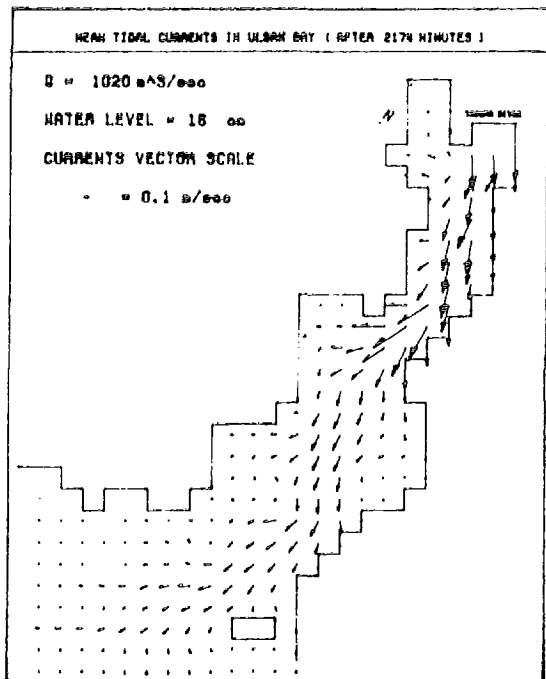


Fig. 5 Velocity vectors in the bay when breakwater is constructed ( $Q=1020 \text{ CMS}$ , at time 2174 min)

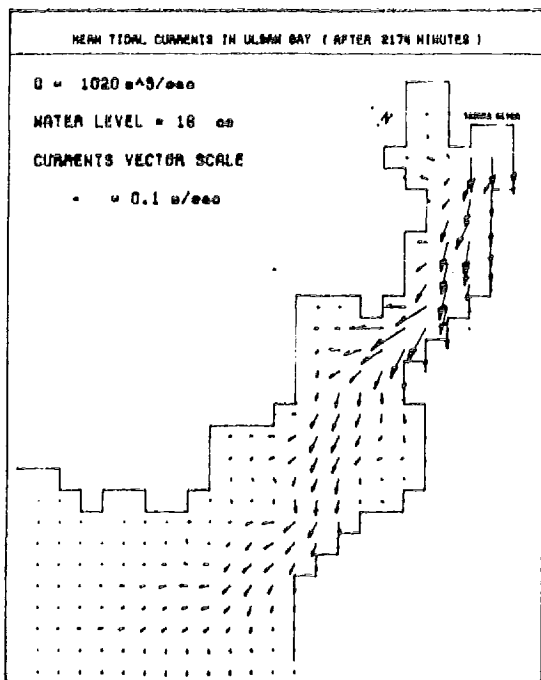


Fig. 6 Velocity vectors in the bay when breakwater is not constructed ( $Q=1020 \text{ CMS}$ , at time 2174 min)

## 5. 結 論

본 연구는 조류 및 홍수류의 영향을 받는 만내의 수리학적 거동을 규명하기 위하여 2차원 천수방정식을 유한차분법의 하나인 Leendertse 모델을 응용하여 계산하였다. 4가지의 변동 유량과 방파제의 유무에 따라 얻어진 유속변화 pattern을 얻어본 결과는 대체로 정성적으로 일치함을 보여주고 있다. 특히 태화강 하구가 폐색되었다고 생각할 경우는 그 유속은 단지 조류의 영향인바  $10^{cm/sec}$  내외의 값은 교통부 수로국의 결과와 잘 일치한다.

격자 간격의 변화, Chey 계수의 변화, 바람에 의한 응력 등을 보다 광범위하게 고려한다면 보다 정량적인 예측치를 얻을 수 있을 것을 확인하였다. 이는 금후 울산만내의 항만시설물이 증가됨에 따라 그 계획이나 건설에 우선하여 조사하여야 할 사항인바 본 논문에서 그 가능성을 제시하였으며 수질오염원에 의한 만내 오염물의 확산 등에 관한 연구는 본 연구에 계속해서 수행해야 할 과제라고 생각된다.

### 謝 辭

본 연구는 1990년도 본 대학학술연구비의 지원에 의해서 수행되었음을 밝히고 감사를 드린다.

### 참고문헌

- 1) 김성득: "수영강 유출량 변화에 따른 수영만 내의 유속분포 예측" 부산대학교 석사학위논문, 1978. 2.
- 2) 한건연, 김정옥: "수치모델에 의한 2차원 동수역학 해석", 한국수문학회지 제15권 제4호, 1982.12.

- 3) Hinwood, J.B.: "Review of Models of Tidal Waters", J. of HY Div., ASCE, Vol. 109-1, HY 11, 1975.
- 4) Hinwood, J.B. and Wallis, I.G.: "Classification of Tidal Waters", J. of HY Div., ASCE, vol. 101, Hy 10, 1975.
- 5) Leendertse, J.J.: Aspects of a Computational Model for Long-Period Water Wave Propagation, the Rand Co., RM-5294-PR May 1967.
- 6) Leendertse, J.J., Alexander, R.C. and Lin, S.K.: A Three Dimensional Model for Estualine and Coastal Seas, Vol. 1, Principles of Computation, the Rand Co., R-1417-OWPR, 1973.12.
- 7) Leendertse, J.J. and Lin, S.K.: Modelling of Three Dimensional Flows in Estuaries, Applied Mathematical Modelling, Modelling '75, 1975.
- 8) Leendertse, J.J. and Lin, S.K.: A Three Dimensional Model for Estuaries and Coastal Seas, Vol. III, Aspects of Computation, the Rand Co., R-1764-OWRT, 1976.
- 9) Fischer, H.B.: A Method for Predicting Pollutant Transport in Tidal Waters, Contribution 132, Water Resources Center, U. of Calif., 1970.
- 10) 교통부수로국: 수로기술연보, 1986.
- 11) 건설부: 태화강 하구언 건설 타당성조사 보고서, 1970.12.