

3차원 자유표면 유동의 수치 시뮬레이션

강 신 영*
(1990년 4월 6일 접수)

Numerical Simulation of Three Dimensional Free Surface Flow

Sin-Young Kang

Key Words : Navier Stokes Equation(네비어 스톡스 방정식), VOF Algorithm(용적함수법), 3-D(3차원), FDM(유한차분법), Free Surface(자유표면), Numerical Simulation(수치 실험)

Abstract

For the tracking of three dimensional free surface motions, a method referred to as the Volume of Fluid(VOF) algorithm is extended. In order to calculate the slope of three dimensional free surface which is the most important for the advection algorithm that decides the amount of fluid from cell to cell and for the application of free surface boundary condition, a simple method utilizing two dimensional slope informations is introduced. The extended algoirghm is tested by demonstrating the simulation of a propagating sinusoidal wave through the channel whose width changes abruptly.

1. 서 론

자유표면이 존재하는 점성유동에 관한 연구는 수치 해석적인 방법으로 접근하기가 대단히 어렵다. 그 이유는 자유표면의 수치식 처리가 어렵고 자유표면의 위치를 시간의 함수로 미리 알수 없으므로 경계조건을 제대로 적용할 수 없기 때문이다. 자유표면의 처리에 관한 연구^{1),2)}는 60년대 후반에 시작되었는데 전술한 어려움으로 자유표면에 추적을 위해 여러 특수한 함수들을 사용하였다.

이들 방법 중에서 유한차분법(finite difference

method)과 함께 사용된 추적방법으로는 height functions, line segments, marker particle 등을 들 수 있는데, height functions를 이용하는 방법은 수평선과 평행한 어떤 기준선에서의 높이로써 (각 격자의 x값에 자유표면의 높이를 $h=f(x, t)$ 로 표시) 자유표면을 표현한다.³⁾ 이 방법은 각 cell에서의 자유표면의 높이를 1차원 배열로 저장하는 것이 가능하므로 기억용량이 적게드는 장점이 있으나 다가표면(multi-valued surface)인 경우에는 사용될 수 없는 근본적인 문제점이 있다. 이와는 달리 line segments를 이용하는 방법은 자유표면에 많은 점들을 지정하여 각 점들을 고리처럼

* 정회원, 한국해양대학 해양공학과

연결하는 선들로써 자유표면을 추적하는데, 앞의 방법보다 기억용량은 조금 많이 필요하지만 단가 표면(single-valued surface)에 국한되지 않는 장점이 있다.²⁾ 그러나 이 방법은 과격한 유동으로 자유표면이 서로 겹치는 경우 고리들을 재정렬하는 복잡한 알고리즘이 별도로 필요하여 비효율적이다. 한편, 자유표면을 직접적인 방법으로 정의하는 앞의 두 방법과는 달리 marker particle 방법은 유체가 점유하고 있는 지역을 이용하는 기법으로서 자유표면이 통과하는 각 요소(cell) 속에 marker라고 불리는 여러개의 표류점들을 뿌려서 그들의 움직임을 추적하여 자유표면의 위치를 정하는 것이다.⁴⁾ 이 방법은 자유표면이 서로 겹치는 경우에도 별 어려움이 없으나 개개의 표류점 추적을 위한 많은 기억용량과 계산시간이 소요되는 단점이 있다. 이 밖에 source분포법을 이용하거나^{5), 6)} 유한요소법(FEM)이나 경계요소법(BEM)에 운동좌표계를 사용하여 자유표면을 추적하는 기법^{7), 8)} 등이 시도되고 있으나 아직까지는 유체변형이 작은 경우에 국한되고 있다.

본 연구에 사용된 자유표면의 추적방법은 용적함수법(VOF method)이다. VOF란 volume of fluid라는 특수함수의 약어로서 이 함수는 어떤 점(point)이 유체로 점령되어 있으면 1, 그렇지 않으면 0으로 정의하여 각 요소(cell)에서의 이 함수의 평균값으로 자유표면을 추적한다. 즉, 요소의 평균값이 1이면 유체요소(full cell), 0이면 비유체요소(empty cell), 0과 1사이의 값을 가지면 표면요소(surface cell)로 해석한다.⁹⁾ 이 방법은 각 요소들이 단 1개의 함수값을 가지기 때문에 많은 기억용량이 필요하지 않을 뿐만 아니라 자유표면 자체보다는 유체로 점유된 부분을 계산하므로 다가표면인 경우나 자유표면이 서로 겹치는 경우에도 별도의 알고리즘이 필요하지 않는 장점이 있다. 이 방법은 이미 유체역학의 여러 현상들을 수치실험으로 연구하는데 사용되고 있다.^{10), 11), 12), 13)}

본 연구에서는 VOF 함수를 이용한 자유표면의 추적방법을 2차원에서 3차원으로 확장시켜 자유표면이 존재하는 유체유동을 3차원으로 수치실험 가능케하였다. 이를 위해 경계조건 적용방법, 자유표면의 기울기 측정 방법, 압력내삽요소를 결정하는 방법 등을 기존 알고리즘에 새로히 추가하거나 변경하였다. 완성된 알고리즘을 시험하기 위해 폭이

좁아지는 수로 안으로 진행되는 입사파의 파고변화를 수치실험하여 이론식에 의한 파고 변화와 비교하였다.

2. 수치해석

2.1 적용방정식

본 연구에 사용된 적용방정식은 3차원 직교좌표계에서 비압축성 유체의 층류유동에 관한 연속방정식과 운동량방정식으로 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = & - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ & + v \nabla^2 u + g_x \quad \dots\dots\dots(2.2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = & - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ & + v \nabla^2 v + g_y \quad \dots\dots\dots(2.3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = & - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \\ & + v \nabla^2 w + g_z \quad \dots\dots\dots(2.4) \end{aligned}$$

$$(\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2})$$

여기서 u, v, w는 각각 x, y, z 방향의 속도성분, ρ는 밀도, ν는 운동학적 점성계수, p는 압력, g_x, g_y, g_z는 각 방향의 중력가속도이다.

2.2 이산화 방식 및 해법

적용방정식의 유한차분식은 Hirt³⁾ 등이 2차원 유한차분식을 전개할 때 사용한 방법에 따라 전개되었다. 또한 압력 내삽방법, 경계조건 적용방법, 유체이동 알고리즘 등도 기존의 2차원 SOLA-VOF 알고리즘⁹⁾에 의거하여 3차원으로 확장하였으며, 반복과정과 수치계산 과정도 현순간의 압력과 속도성분의 값들을 이용하여 다음순간의 속도를 계산하고 계산된 속도값을 연속방정식이 만족될 수 있을때 까지 압력값과 반복적으로 상호조정하는

기존의 방법을 따랐다. 적용방정식의 이산화에는 엇갈린 격자망(staggered grid)을 이용한 유한차분법이 사용되었는데 운동량 방정식의 차분식은 다음과 같다.

$$U_{i,j,k}^{n+1} = U_{i,j,k}^n + \Delta t \left[\frac{1}{\Delta x} (P_{i,j,k}^n - P_{i+1,j,k}^n) + g_x - FUX - FUY - FUZ + VISX \right] \quad (2.5)$$

$$V_{i,j,k}^{n+1} = V_{i,j,k}^n + \Delta t \left[\frac{1}{\Delta y} (P_{i,j,k}^n - P_{i,j+1,k}^n) + g_y - FVX - FVY - FVZ + VISY \right] \quad (2.6)$$

$$W_{i,j,k}^{n+1} = W_{i,j,k}^n + \Delta t \left[\frac{1}{\Delta z} (P_{i,j,k}^n - P_{i,j,k+1}^n) + g_z - FWX - FWY - FWZ + VISZ \right] \dots \dots \dots (2.7)$$

윗식들에서 윗첨자는 시간단계를 뜻하고 아래첨자는 위치를 의미한다. 또한 FUX, FUY, FUZ, FVX, FVY, FVZ, FWX, FWY, FWZ는 convection 항들이며 VISX, VISY, VISZ는 점성 항의 계산을 위한 것이다. 이들 중에서 x방향과 관련된 차분식은 다음과 같다.

$$FUX = \frac{1}{4\Delta x} [(U_{i,j,k} + U_{i+1,j,k})^2 + \alpha | U_{i,j,k} + U_{i+1,j,k} | \cdot (U_{i,j,k} - U_{i+1,j,k}) - (U_{i-1,j,k} + U_{i,j,k})^2 - \alpha | U_{i-1,j,k} + U_{i,j,k} | \cdot (U_{i-1,j,k} - U_{i,j,k})]$$

$$FUY = \frac{1}{4\Delta y} [(V_{i,j,k} + V_{i+1,j,k}) \cdot (U_{i,j,k} + U_{i,j+1,k}) + \alpha | V_{i,j,k} + V_{i+1,j,k} | \cdot (U_{i,j,k} - U_{i,j+1,k}) - (V_{i,j-1,k} + V_{i+1,j-1,k}) \cdot (U_{i,j-1,k} + U_{i,j,k}) - \alpha | V_{i,j-1,k} + V_{i+1,j-1,k} | \cdot (U_{i,j-1,k} - U_{i,j,k})]$$

$$FUZ = \frac{1}{4\Delta z} [(W_{i,j,k} + W_{i+1,j,k}) \cdot (U_{i,j,k} + U_{i,j,k+1}) + \alpha | W_{i,j,k} + W_{i+1,j,k} | \cdot (U_{i,j,k} - U_{i,j,k+1}) - (W_{i,j,k-1} + W_{i+1,j,k-1}) \cdot (U_{i,j,k-1} + U_{i,j,k}) - \alpha | W_{i,j,k-1} + W_{i+1,j,k-1} | \cdot (U_{i,j,k-1} - U_{i,j,k})]$$

$$VISX = v[(U_{i+1,j,k} - 2U_{i,j,k} + U_{i-1,j,k})/\Delta x^2 + (U_{i,j+1,k} - 2U_{i,j,k} + U_{i,j-1,k})/\Delta y^2 + (U_{i,j,k+1} - 2U_{i,j,k} + U_{i,j,k-1})/\Delta z^2]$$

여기서 α 는 upstream differencing의 양을 조정하는 계수이다.

식(2.5), (2.6), (2.7)에서 계산된 속도값은 대개 연속방정식을 만족시키지 못한다. 따라서 다음과 같이 divergence를 이용하여 압력과 속도를 상호 조정 함으로서 연속방정식을 반복과정을 통해 만족시킨다.

$$D = \frac{1}{\Delta x} [U_{i,j,k}^{n+1} - U_{i-1,j,k}^{n+1}] + \frac{1}{\Delta y} [V_{i,j,k}^{n+1} - V_{i,j-1,k}^{n+1}] + \frac{1}{\Delta z} [W_{i,j,k}^{n+1} - W_{i,j,k-1}^{n+1}] \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\delta p = - \frac{D}{2\Delta t \left[\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2} \right]} \dots (2.9)$$

$$U_{i,j,k} \rightarrow U_{i,j,k} + \frac{\Delta t}{\Delta x} \delta p$$

$$U_{i-1,j,k} \rightarrow U_{i-1,j,k} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \delta p$$

$$V_{i,j,k} \rightarrow V_{i,j,k} + \frac{\Delta t}{\Delta y} \delta p$$

$$V_{i,j-1,k} \rightarrow V_{i,j-1,k} - \frac{\Delta t}{\Delta y} \delta p$$

$$W_{i,j,k} \rightarrow W_{i,j,k} + \frac{\Delta t}{\Delta z} \delta p$$

$$W_{i,j,k-1} \rightarrow W_{i,j,k-1} - \frac{\Delta t}{\Delta z} \delta p$$

2.3 자유표면에서의 경계조건

표면장력을 무시할 수 있을 때 자유표면상에서의 경계조건은 접선응력이 영(zero)이되고 수직응력이 대기압과 평형을 이루는 것이다. 그러나 경계조건을 알고있다고 해도 자유표면의 위치가 결정되어 있지 않기 때문에 경계조건을 올바르게 적용하는 데는 어려움이 따른다. 그러므로 자유표면의 수치해석적인 처리를 위해서는 이산화 표현방식, 표면변화 추적방법, 경계조건 적용방법 등을 잘 선택해야 한다.

서론에서는 언급했듯이 본 연구에서는 자유표면의 유동 수치실험을 위해 용적함수법을 사용하였다. 이 방법은 volume of fluid 함수(F 함수)라는 step function과 유사한 특수함수를 도입하여 이 함수가 0과 1사이의 값을 가지면 표면요소로 간주한다. 표면요소에서 자유표면 경계조건을 만족시키는 방법을 요약하면 다음과 같다.

(1) 주위 요소들의 F 함수값으로 부터 수평면(x축)과 수직면(y축)에 대한 기울기를 다음과 같은 근사식으로 계산한다.

$$\left(\frac{dY}{dx}\right)_i = \frac{Y_{i-1} - Y_{i+1}}{2 \Delta x} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\left(\frac{dX}{dy}\right)_j = \frac{X_{j-1} - X_{j+1}}{2 \Delta y} \dots\dots\dots (2.11)$$

여기서 $Y_i = Y(x_i) = \Delta y(F_{i,j-1} + F_{i,j} + F_{i,j+1})$
 $X_j = X(x_j) = \Delta x(F_{i-1,j} + F_{i,j} + F_{i+1,j})$

(2) F함수 값과 기울기에 대한 정보로 부터 유체가 요소 속에 놓인 형태를 알아내고 자유표면의 수직 방향과 가까운 방향을 찾아 압력을 내삽(interpolation)할 요소를 결정한다.

(3) 압력내삽요소의 중심위치와 자유표면과의 거리를 이용하여 선형내삽법으로 자유표면이 요소 속에 위치한 장소가 대기압(P_N)과 평형을 이룰 수 있도록 표면요소에서의 압력(P_{ij})을 계산한다(Fig. 1).

(4) 계산된 압력으로부터 주위 속도들을 조정 한 후 유체요소의 새로운 속도들이 연속방정식을 만족시킬 수 있을 때까지 반복해서 압력과 속도를 조정한다.

위에서 본 바와 같이 자유표면에서 경계조건을 적용시키려면 압력내삽요소의 중심위치까지 거리를 알아야 한다. 이 부분의 알고리즘을 위하여 꼭 필요한 것이 바로 기울기에 대한 정보인데, 기울기 정보는 또한 유체의 요소간 유체이동량 계산에도 필요하게 된다. 3차원 자유표면인 경우에도 자유표면의 경계조건을 적용시키기 위해서는 우선 자유표면과 수직인 방향을 찾아 표면요소와 압력을 보정할 요소를 결정해야 하는데, 본 연구에서는 표면요소 주위의 18개 요소(Fig. 2)의 F 함수값을 이용하여 압력내삽요소를 결정하는 다음과 같은 간단한 알고리즘을 고안하였다.

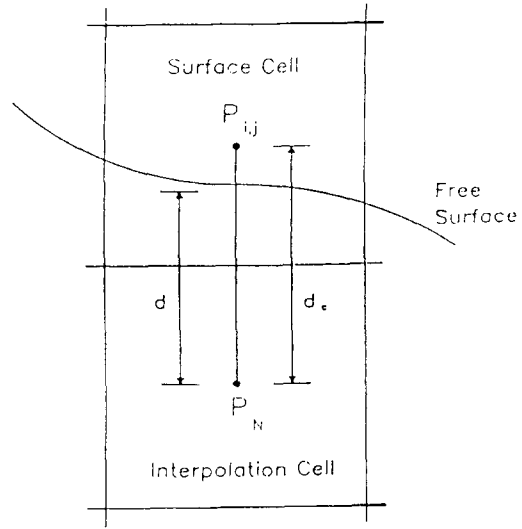


Fig. 1 Free surface boundary condition

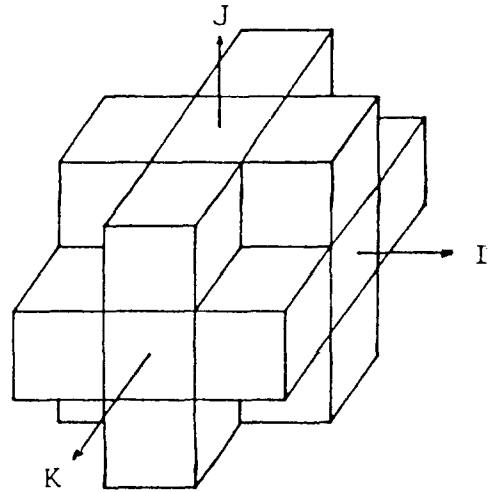


Fig. 2 Free surface adjacent cells

- (1) 식 (2.10)과 (2.11)와 동일한 방법으로 xy, yz, zx 평면상에서의 각 축에 대한 기울기를 계산한다. (예를 들어 식(2.10)과 (2.11)은 xy 평면에서 각각 x축 및 y축에 대한 기울기이다.)
- (2) 과정 (1)에서 계산된 6개의 기울기들 중 가장 작은 기울기 값과 그 값이 계산된 축 방향을 찾아 내어 압력 내삽요소가 위치한 평면을 정한다. (가

령 식(2.10)에 의한 기울기가 가장 작다면 yz 평면에 위치한 앞뒤상하 4개의 요소 중 1개가 압력내삽요소가 된다.)

(3) 압력내삽요소가 위치한 평면상의 두 축에 대한 기울기 값의 부호와 크기로 부터 최종적으로 압력내삽요소를 결정한다.

이 알고리즘은 각 요소의 3차원 자유표면을 유체의 기울기가 가장 작은 방향에 대해 2차원으로 단순화 시킬 수 있다는 가정하에 고안된 것인데, 2차원 알고리즘에 사용된 정보들만으로써 압력내삽요소를 결정하기 때문에 이 알고리즘을 위한 별도의 기억장소가 필요하지 않다. 일단 압력내삽요소가 결정되면 그 이후의 과정은 2차원의 경우와 동일한 기법으로 자유표면의 경계조건을 적용시킬 수 있다.

3. 수치 시뮬레이션

3.1 폭이 급변하는 수로를 통과하는 파도

진행파가 일정한 수심의 수로를 통과하는 도중 수로의 폭이 갑자기 변하면 진행파의 파고도 따라서 변한다. 파고의 투과계수(transmission coefficient)를 이론적으로 구하면 다음과 같다.¹⁴⁾

$$\frac{A_i}{A_r} = \frac{2}{1+B_i/B_r}$$

위식에서 A는 파고, B는 channel의 폭, 하첨자 i와 r는 각각 변화지역 통과 전과 통과 후를 표시한다.

Fig. 3은 진행파의 파고변화를 수치해석적인 방법으로 구하는데 사용된 수로를 위에서 본 것이다. 수치 실험에서 수로의 수심은 5m로 하였고 진행파의 주기는 10초를 택하였다. 이 경우 선형파이론에 의하면 파장은 67.7m가 되므로 수로의 길이는 파도가 한동안 진행할 수 있도록 폭 변화를 전

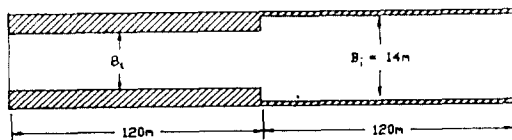


Fig. 3 Dimension of channel (computation domain)

후하여 각각 120m로 하였으며, 변화 전 수로의 폭(B₁)은 14m로 하였고 이론식에 의한 파고변화와 비교하기 위하여 수로의 폭(B₁)을 10m와 6m로 변화시켰다. 진행파의 생성을 위해서는 경계지역의 수면을 강제진동시켰는데 그림에서 오른쪽면의 경계조건을 1주기 동안 $Z=A_r \cos \omega t$ 로 하여 1개의 진행파를 생성시켰다. 한편 왼쪽면의 경계조건은 진행파가 경계면 밖으로 자연스럽게 통과해 나갈수 있도록 경계면 바로 전의 속도성분 및 수면의 높이가 경계면과 같게하였다.

3.2 결과 및 고찰

Table 1은 수치실험에 의한 결과를 정리한 것으로서 진행파의 높이(H) 및 왼쪽 경계면으로 부터 마루가 위치한 거리(X)를 보여주고 있다. 계산결과에 의하면 진행파의 속도는 약 7.23 m/s로서 이론식에 의한 값 6.77 m/s보다 약간 빠름을 알 수 있다. 이는 진행파를 생기게하는 mechanism이 불완전함으로 인한 결과라고 사료되는데 왜냐하면 오른쪽 경계면에서 piston wave maker의 형태로 진행파를 생성시켜 본 바 이론값과 거의 같은 6.67 m/s를 얻을 수 있었기 때문이다. 본 연구에서는 piston wave maker로 한개의 깨끗한 진행파를 생

Table 1 Simulation result summary

T(sec)	B ₁ = 14m		B ₁ = 10m		B ₁ = 6m	
	H(m)	X(m)	H(m)	X(m)	H(m)	X(m)
4	5.5824	234	5.5824	234	5.5824	234
6	5.6272	218	5.6272	218	5.6272	218
8	5.6408	204	5.6408	204	5.6408	204
10	5.6302	190	5.6302	190	5.6302	190
12	5.6236	176	5.6236	176	5.6236	176
14	5.6167	162	5.6167	162	5.6167	162
16	5.6078	148	5.6079	148	5.6081	148
18	5.5977	132	5.6158	132	5.6395	132
20	5.5906	118	5.6754	118	5.7995	118
22	5.5825	104	5.6673	104	5.7793	104
24	5.5770	90	5.6634	90	5.7776	90
26	5.5680	74	5.6601	74	5.7812	74
28	5.5648	60	5.6558	60	5.7786	58
30	5.5586	46	5.6509	44	5.7768	44

성시킴이 어려워서 이를 채택하지 않았다. 또한 Table에서 폭 변화가 없는 경우($B_1=14m$)에는 파고가 $5.64m$ 까지 증가하다가 점점 감소하는데 이는 진행파가 생성된 후 충분한 거리를 이동하지 못한 결과로 추측된다. 한편 이론식에 의한 파고의 투과계수는 $B_1=6m$ 인 경우 1.4, $B_1=10m$ 인 경우 1.17로 계산되는데 수치실험에 의한 값은 각각 1.37과 1.16이다. 이때 수치실험의 경우 A는 폭 변화 후의 파도높이를 평균하였고 A는 폭 변화가 없을 때 동일지역을 통과하는 파도높이를 평균하였다. 수치실험에 의한 파고의 투과계수는 이론식에 비해 약간씩 낮지만 매우 좋은 결과를 보이고 있다. 계산에 사용된 격자크기는 각 방향 2미터이고 $122 \times 7 \times 9$ 개의 격자망을 구성하였으며 계산시간은 IBM PC/AT 호환기종으로 30초를 계산하는데 대략 5~7시간이 소요되었다. Fig. 4는 $T=10$ 초, 20초, 30초에서의 수치실험에 의한 surface profile을 그린 것이다.

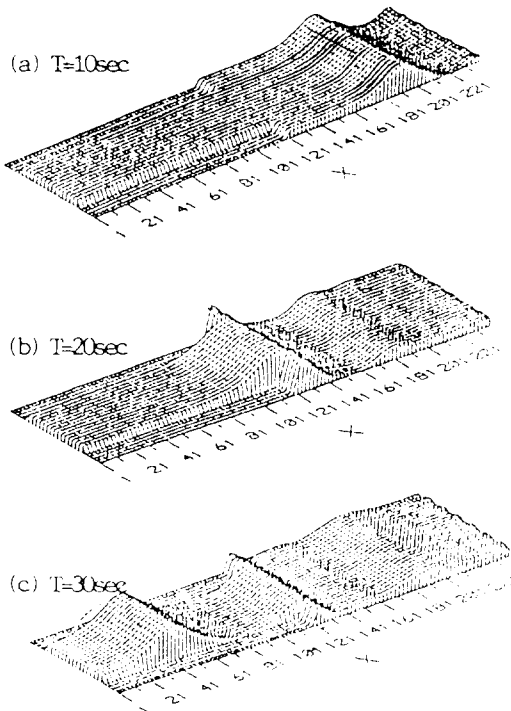


Fig. 4 Surface profile for $B_1=6m$

4. 결 론

자유표면이 존재하는 3차원 유동의 수치실험을 위해 용적함수법에 기초를 둔 알고리즘을 2차원에서 3차원으로 확장시켰다. 알고리즘의 검토를 위해서 폭이 좁아지는 수로로 진행되는 입사파의 파고변화를 수치실험하여 파고변화를 이론치와 비교하였다. 분석결과 알고리즘에 이상 없음이 확인되어 앞으로 많은 실제적인 응용문제에 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

후기

본 연구는 한국과학재단의 1989년도 연구비 지원에 의하여 이루어졌으며 관계제위께 감사를 드린다. (과제번호 : 893-0902-009-1)

참 고 문 헌

- 1) Hirt, C. W. and J. P. Shannon, "Free Surface Stress Conditions for Incompressible-Flow Calculations", J. Comp. Phys. 2, p. 403-411, 1968
- 2) Nichols, B. D. and C. W. Hirt, "Improved Free Surface Boundary Conditions for Numerical Incompressible Flow Calculation", J. Comp. Phys. 8, p. 434-448, 1971
- 3) Hirt, C. W., B. D. Nichols, and N. C. Romero, "SOLA-A Numerical Solution Algorithm for Transient Fluid Flows", Los Alamos Scientific Lab. Repert LA-5852, 1975
- 4) Chan, R. K. C. and R. L. Street, "A Computer Study of Finite Amplitude Water Waves", J. Comp. Phys. 6, p. 68-94, 1970
- 5) 김용환, "Source 분포법을 이용한 2차원 사각형 탱크내의 유동해석", 대우조선기술 21, p. 19-38, 1989
- 6) 반석호, "Rankin Source 분포를 이용한 선체 주위의 수치계산", 한국기계연구소 연구보고서 UDC629. 112, 1988
- 7) Nakayama, T. and K. Washizu, "Non-linear Analysis of Liquid Motion in a Container Subject to Forced Pitching Oscillation", Int. J.

- Num. Meth. in Engr. 15, p. 1207-1220, 1980
- 8) Nakayama, T. and K. Washizu, "The Boundary Element Method Applied to the Analysis of Two-Dimensional Nonlinear Liquid Sloshing Problems", Int. J. Meth. in Engr. 17, p. 1631-1646, 1981
- 9) Nichols, B. D., C. W. Hirt, R. S. Hotchkiss, "SOLA-VOF : A Solution Algorithm for Transient Fluid Flow with Multiple Free Boundaries", Los Alamos Scientific Lab. Report LA-8355, 1980
- 10) Nichols, B. D. and C. W. Hirt, "Numerical Simulation of Boiling Water Reactor Vent-Clearing Hydrodynamics", Nuclear Engineering 73, p. 196-209, 1980
- 11) Hirt, C. W. and B. D. Nichols, "Numerical Simulation of Pool Swell in a Mark II Single-Cell Model", Los Alamos Scientific Lab. Report LA-UR 79-328, 1979
- 12) Su, T. C. and S. Y. Kang, "Analysis and Testing of the Large Amplitude Liquid Sloshing in Rectangular Containers", ASME PVP Conference 108, p. 145-154, 1986
- 13) 이경중, 이기표, "유한차분법에 의한 2차원 탱크내의 유체유동해석", 대한조선학회지 24권 제3호, 1987
- 14) Ippen, A. T., "Estuary and Coastline Hydrodynamics", McGraw-Hill, p. 74, 1966



★ 뉴 스 ★

■ 한국해양공학회지 제4권 제2호 원고모집 ■

원고마감 : 1990년 10월 30일(발행예정일 : 1990년 12월 31일)

원고내용 : 논문, 논설, 전망, 해설, 강좌, 자료, 기술보고, 심포지엄 및 좌담회 기록, 기행문, 견학 및 참관기, 뉴스, 위원회보고, 회원의 소리, 기타

원고작성요령 : 본 회의 회지원고 집필요강에 의거하여 200자 또는 400자 원고지를 사용할 것. 타이핑 (워드 프로세스로함)도 가능함. (제8회 이사회에서 게재논문 면수 6페이지를 초과할시 페이지당 10,000원씩 징수기로 결정.)

원고제출처 : 우편번호 604-714, 부산직할시 사하구 하단동 840, 동아대학교 공과대학 내 사단법인 한국해양공학회, 전화(051) 205-2325

<주의 : 원고 투고 요령(p. 143~145)을 반드시 지키실것>

■ 1990년도 추계 학술대회 강연논문 원고모집 ■

논문원고마감 : 1990년 10월 30일(예정)

논문작성요령 : 본 회의 강연논문집 원고집필요령에 의거하여 본회 강연초록원고지(마스터지 30×40)를 반드시 사용할 것. 강연초록 원고지는 요청하시면 즉시 보내 드립니다. (특별 강연 논문원고는 10면이내, 보통 강연 논문원고는 5면이내임.)

원고제출처 : 우편번호 604-714, 부산직할시 사하구 하단동 840, 동아대학교 공과대학 내 사단법인 한국해양공학회, 전화(051) 205-2325

<주의 : 원고 투고 요령(p. 145)을 반드시 지키실 것>