

## 수치시물레이션에 의한 공기부양선 주위의 유동장해석과 조파저항계산

나 영인<sup>\*1</sup>, 이 영길<sup>\*2</sup>

### Numerical Analysis on Flow Fields and the Calculation of Wave Making Resistance about Air Supported Ships

Y. I. Na and Y.-G. Lee

Numerical computations are carried out to analyze the characteristics of flow fields around Air Supported Ships. The computations are performed in a rectangular grid system based on MAC(Marker And Cell) method. The governing equations are represented in finite difference forms by forward differencing in time and centered differencing in space except for its convection terms. For the certification of this numerical analysis method, the computations of flow fields around a Catamaran, an ACV(Air Cushion Vehicle) modeled with pressure distribution on free surface and two SES(Surface Effect Ship)'s are carried out. The results of the present computations are compared with the previously presented computational and experimental results in the same condition.

**Key Words:** 공기부양선(Air Supported Ship), 직사각형격자계(Rectangular Grid System), MAC법(Marker And Cell Method), 자유표면(Free Surface), 유동장의 수치해석(Numerical Analysis on Flow Fields), 조파저항(Wave Making Resistance)

### 1. 서 론

ACV(Air Cushion Vehicle)와 표면효과선(Surface Effect Ship)은 전체저항을 감소시키는 방법으로 공기부양방식을 채택한 선형으로서, 공기부양에 대한 개념이 착안된 1950년대 중반이래로 많은 연구가 행해져 왔다. 이들 공기부양선의 조파저항성분에 대한 이론적해석으로서 Havelock[1], Newman & Poole[2], Baratt[3], Doctors & Sharma[4] 그리고, Standing[5]등의 논문들이 있으며, 이들은 대부분 선형이론에 바탕을 둔 것들이다. 또한, 수치

적방법의 계산이 Korving[6], Haussling & Van Eseltine[7], Dommermuth & Yue[8]등에 의해 행해졌다. 이러한 수치방법의 대부분은 유동방정식에 속도 포텐셜(potential)을 도입하여, 풀고자 하는 유동장을 비회전유동으로 취급하고 있다.

선박유체역학분야에 있어서 기존의 이론적 해석방법은, 요즈음의 선형들이 대부분 저속, 비대하거나 새로운 형태의 초고속선인 관계로 수면하의 유동장 및 자유표면변화에 비선형성이 강하게 됨에 따라, 그 적용에 있어서 한계성이 나타나게 되었다.

한편, 선박유체역학분야에 있어서 CFD(Computational Fluid Dynamics)의 응용으로 는, 프로펠러가 위치한 곳에서의 반류계산에 중

\*1 학생회원, 인하대학교 대학원 선박공학과

\*2 정회원, 인하대학교 선박해양공학과

점을 든 선체주위의 점성유동해석, 자유수면을 포함한 선체주위의 유동계산, 선체주위 쇠파현상의 계산등이 행해지고 있다. 이와함께, 최근 초고속선에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 것과 같이하여, 유한차분법(Finite Difference Method)을 고속선 주위 유동계산에 적용하여 보려는 연구들이 수행되고 있다.

본 연구에서는 유한차분법에 의해 표면효과선 주위의 유동장 해석과 조파저항 계산을 수행하였다. 표면효과선은 대형화에는 문제점을 가지고 있지만 조파저항과 마찰저항이 적어 타선형보다 초고속선으로써 매우 적합하며, 단동선에 비해 갑판 이용면적이 넓고, 안정성이 우수하여 고속 여객선과 고속 카페리, 고속 콘테이너선 등으로써 활용 가능성이 높은 선형으로 평가 받고 있다. 본 연구에서는 표면효과선에 대한 유동계산 및 조파저항계산을 최종목적으로 하여, 먼저 수식선형인 Wigley선형으로 이루어진 고속 쌍동선(high-speed Catamaran)과 자유수면에 일정한 압력을 부가한 ACV주위의 유동장 및 조파저항 계산을 수행하였고, 다음 단계로 고속 쌍동선형에 압력분포를 함께 넣은 표면효과선에 대하여 계산을 수행하였다. 그 결과들은 동일조건기의 기존 수치계산과 실험결과 및 해석적방법에 의한 계산결과와 비교, 검토되었다.

## 2. 수치계산법

### 2.1 지배방정식

본 연구에서는 유동장을 비압축성, 비점성유동이라고 가정하여, 지배방정식들로 보존형의 3차원 Euler equations와 연속방정식을 다음과 같이 사용하였다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} = -\frac{\partial\phi}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(vu)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} = -\frac{\partial\phi}{\partial y} \quad (1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial(wu)}{\partial x} + \frac{\partial(wv)}{\partial y} + \frac{\partial(w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial\phi}{\partial z} + g$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

여기서,  $(x, y, z)$  : 직교좌표계

$(u, v, w)$	: $x, y, z$ 각 방향의 속도성분
$\rho$	: 밀도
$g$	: 중력가속도(-9.8 m/s <sup>2</sup> )
$\phi$	: $p/\rho$
$p$	: 압력

### 2.2 유한차분법

수치계산은 MAC(Marker And Cell)법을 기초로 한 직사각형격자계에서 수행되었다. MAC법은 비선형성이 강한 자유수면변화의 시뮬레이션 및 해석문제에 있어서 효과적인 방법중의 하나임이 여러 논문들에 의하여 입증된 바 있으며[9,10], 직사각형격자계는 물체적용격자계와 비교하여 계산의 정도는 다소 떨어지나, 고속선형과 같이 기하학적으로 복잡한 3차원 임의형상주위의 격자구성에 있어서 적용성이 우수하다. 또한, 계산의 정도를 높이기 위하여 격자계의 형태에 있어서 엇갈림 격자계(staggered mesh system)와 가변격자계(variable mesh system)를 적용하였다. 계산영역은 배의 반쪽만을 포함하는 유동장으로 구성하였으며, 중앙면에 대칭조건을 부가하여 유동장의 대칭성을 고려하였다. 좌표계로는, 자유수면과 선수 앞 끝단이 만나는 점을 원점으로 하는 직교좌표계를 사용하였으며,  $x, y, z$  방향은 각각 유입속도 방향, 선체의 폭 방향 및 수직방향이다. 지배방정식의 차분화에 있어서는, 시간에 대하여 전진차분, 대류항을 제외한 나머지 항들은 공간에 대하여 2차중심차분으로 정리하였다. 대류항의 차분기법으로는 고속 쌍동선과 표면효과선의 계산에 있어서는 2차중심차분과 donor cell법을 조합한 hybrid scheme을 적용하였으며, ACV의 계산에 있어서는 선체표면을 대신하여 자유수면에 압력이 분포됨에 따라 계산정도를 보다 향상시키기 위하여 4차 중심차분에 비선형 수치소산항(numerical dissipation term)을 부가한 3차 상류차분법을 사용하였다. 사용된 hybrid scheme과 3차 상류차분식의 예를 보이면 다음과 같다.

- Hybrid scheme -

$$\begin{aligned} & \frac{(u^2)_{i+1/2,j,k} - (u^2)_{i,j,k}}{DX} \\ & = \frac{1}{4} DX \left[ \left\{ (u_{i+1/2,j,k} + u_{i+3/2,j,k})^2 - (u_{i-1/2,j,k} + u_{i+1/2,j,k})^2 \right\} \right. \\ & \quad + \alpha \left\{ (u_{i+1/2,j,k} + u_{i+3/2,j,k})(u_{i+1/2,j,k} - u_{i+3/2,j,k}) \right. \\ & \quad \left. \left. - (u_{i-1/2,j,k} + u_{i+1/2,j,k})(u_{i-1/2,j,k} - u_{i+1/2,j,k}) \right\} \right] \quad (3) \end{aligned}$$

단,  $\alpha$  : Combination factor  
 $DX$  :  $X$  방향 속도점들 사이의 거리

- Third-order upwind scheme -

$$(u \frac{\partial u}{\partial x})_{i+\frac{1}{2},j,k} = u_{i+\frac{1}{2},j,k} \cdot \beta_1 + \alpha_4 |u_{i+\frac{1}{2},j,k}| \cdot \beta_2 \quad (4)$$

단,  $\alpha_4$  : Weighting Factor

$$\beta_1 = \frac{-u_{i+\frac{5}{2},j,k} + 8(u_{i+\frac{3}{2},j,k} - u_{i-\frac{1}{2},j,k}) + u_{i-\frac{3}{2},j,k}}{12DX}$$

$$\beta_2 = \frac{u_{i+\frac{5}{2},j,k} - 4u_{i+\frac{3}{2},j,k} + 6u_{i+\frac{1}{2},j,k} - 4u_{i-\frac{1}{2},j,k} + u_{i-\frac{3}{2},j,k}}{24DX}$$

계산의 알고리즘에 대한 자세한 설명은 Nishimura & Miyata[9]의 논문에 실려 있다. 그림 1은 계산의 알고리즘을 간략하게 도시한 것이다. 먼저, 지배방정식으로부터 유도된 압력에 대한 Poisson 방정식을 경계치문제라 풀후, 새로운 압력장으로부터 다음 시간단계에서의 속도를 운동방정식으로 부터 계산한다. 다음으로, 새로운 속도를 가지고 marker들을 Lagrangian 방식으로 이동시켜, 자유수면에 새로운 위치를

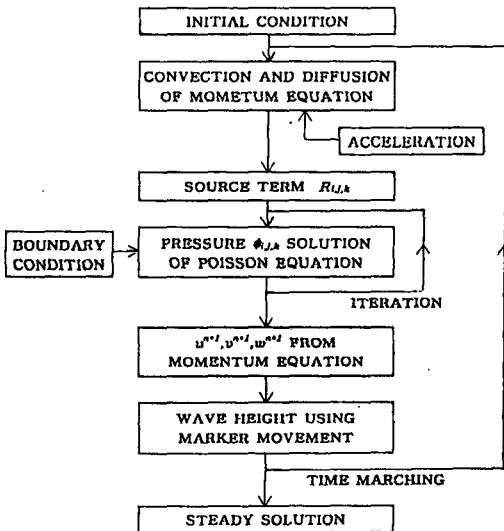


Fig. 1 Block diagram of Computation scheme

설정한다. 다시, 각 격자의 중심에서 압력은 새로운 속도와 자유수면 아래서 압력의 Poisson 방정식에 의해 계산되어진다. 이와같은 반복계산은 정상상태에 도달할 때까지 반복된다.

본 연구에서는 DEC 3000 Workstation을 사용하여 계산을 수행하였다.

## 2.3 경계조건

### 2.3.1 물체 경계격자 설정

선체표면의 표현에 있어서는,  $XY$ 평면에서는 선분(segment)들의 연속으로 표현된 수선들(water lines)로,  $YZ$ 평면에서는 횡절선들(station lines)로 하나의 격자에서 수직방향의 변화가 무시된 계단상으로 표현된다. 물체 경계격자의 설정은 segment를 포함한 격자들을 찾아내어 유체부분이 차지하는 체적비를 구하고, 이것이 1/4이상인 격자를 물체경계격자로 하며, 1/4미만의 격자는 물체내부격자로 하여,  $XY$ 평면상에 접한 4개의 격자중에 유체격자가 한개 이상 있으면 그것을 물체경계격자로 하게 된다. 이와같이, 모든 격자들은 유체격자, 물체경계격자, 물체내부격자로 분류되며, 각각의 격자에 알맞도록 계산법이 구성되어 있다.

### 2.3.2 물체경계조건

물체경계에서는 free-slip 조건을 적용하였으므로, 물체경계격자에서 다음의 세가지 조건을 만족하도록 하였다.

- (1) 물체 표면에 수직방향 속도성분은 0이다.
- (2) 물체 표면에 접한 속도는 물체표면 가까이에서 수직방향으로의 구배를 갖지 않는다.
- (3) 물체 경계격자에서의 발산은 0이다.

그리고, 물체경계격자에서의 압력 반복계산식은, 유체격자에서 사용하는 SOR(Successive Over Relaxation)법 대신에 free-slip 조건과 연속의 조건을 동시에 만족시키면서, 주위 압력들의 유무에 관계없이 압력 계산이 가능하도록 다음의 식 (5)와 같은 속도압력동시반복법을 사용하였다.

$$\phi_{i,j,k}^{m+1} = \phi_{i,j,k}^m - \frac{\omega}{2\delta \cdot DT} (V_b \cdot n) \quad (5)$$

단,  $m+1, m$  : 반복회수를 표시함

- $\omega$  : SOR의 완화계수
- $V_p, n$  : 물체 경계격자에 속한 선분의 중심에서 유체의 속도벡터와 단위 법선벡터
- $DT$  : 시간중분
- $\delta$  : 아래의 식(6)과 같이 표시되는 항

$$\delta = \frac{1}{DX_i} + \frac{1}{DY_j} + \frac{1}{DZ_k} \quad (6)$$

식 (5)에서 압력은  $(V_p \cdot n)$  가 "0"에 가깝게 되었을 경우 수렴하게 되므로, 이는 물체 경계 격자에서 유체부분의 발산이 거의 "0"이 되며, 또한 물체의 경계면을 가로지르는 유동이 없다는 것을 의미하게 된다.

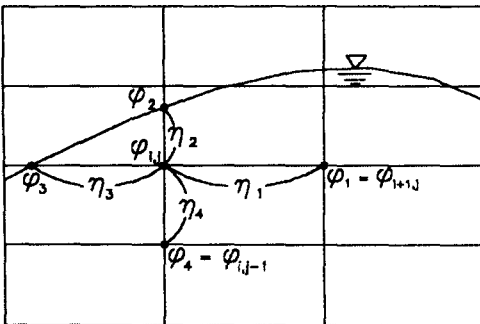
**2.3.3 자유표면조건**

자유표면에서 점성응력(viscous stress)과 표면장력(surface tension)의 효과를 무시하고, 자유표면의 위치를  $z = \zeta$ 라 할 때, 이 위치에서 동역학적 조건과 운동학적 조건을 다음의 식 (7), (8)과 같이 쓸 수 있다.

$$\phi = \phi_0 \quad (z = \zeta \text{ 에서}) \quad (7)$$

$$\frac{D\zeta}{Dt} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} - w = 0 \quad (8)$$

여기서,  $\phi_0 = \frac{P_0}{\rho}$ ,  $P_0$  는 대기압이다. 식 (7)



**Fig. 2 Irregular star for pressure calculation in a two-dimensional flow field**

의 경계조건과 "irregular star"[11]를 사용하면, 자유표면 근처에서의 압력은 3차원인 경우 다음의 식 (9)에 의해 계산된다. 여기서,  $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$ 는 구하고자 하는 압력점과 자유표면, 또는 주위 압력점사이의 거리이다. 그림 2는 irregular star의 이해를 돕기 위한 그림이다.

$$\phi_{i,j,k} = \frac{\eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \eta_6}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 + \eta_3 \eta_4 \eta_5 \eta_6 + \eta_1 \eta_2 \eta_5 \eta_6} \times \left\{ \frac{\eta_2 \phi_1 + \eta_1 \phi_2}{\eta_1 \eta_2 (\eta_1 + \eta_2)} + \frac{\eta_4 \phi_3 + \eta_3 \phi_4}{\eta_3 \eta_4 (\eta_3 + \eta_4)} + \frac{\eta_6 \phi_5 + \eta_5 \phi_6}{\eta_5 \eta_6 (\eta_5 + \eta_6)} - \frac{1}{2} R_{i,j,k} \right\} \quad (9)$$

여기서,  $R_{i,j,k}$ 는 source term으로

$$R_{i,j,k} = \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right)$$

식 (8)에 의해 표현된 운동학적 조건은 자유표면에 놓여진 marker들을 사용하여 만족되어진다. Marker들은 Lagrangian 방식으로 움직여지며, 이들의 각 시간단계에서의 새로운 위치는 새로운 자유표면을 결정한다.

**2.3.4 기타 경계조건**

유입경계면에서는 속도에 Dirichlet조건을, 압력에 Neumann조건을 적용하였고, 고속선의 중앙면에서는 좌우대칭조건을 적용하였다. 또한, 유출경계면과 측면경계면에서는 속도, 압력 모두 Neumann조건을, 바닥경계면에서는 압력에 정수압을, 속도에 Neumann조건을 주었다.

**Table 1 Principle dimensions of Wigley Hulls**

대상선형	Wigley	Wigley's Transom stern
수선간장(Lpp)	1.0 m	1.0 m
선폭(breadth)	0.1 m	0.2 m
흘수(draft)	0.0624 m	0.1248 m
s/L	0.5	0.5

s : seperation distance between centerlines of catamaran hulls

L : ship length on still waterline

Table 2 Conditions of computation

대상선형		고속 쌍둥선 및 표면효과선		ACV
		Wigley	Wigley's Transom stern	
Froude 수		1.0		
격자의 갯수	X 방향	155	140	145
	Y 방향	58	68	40
	Z 방향	24	27	31
	총격자수	215760	257040	179800
완화계수		0.8		1.5
시간증분	(무차원)	0.0018	0.0018	0.005
가속중도	시간:	0.9	2.7	1.0
총계산시간	L 기준	10.0	5.0	10.0

### 3. 계산 및 결과고찰

#### 3.1 고속 쌍둥선형의 계산

수식선형인 Wigley선형에 대하여,  $Fn=1.0$ 에서 개발된 계산조직을 이용하여 계산이 수행되었다. 계산에는 3차원의 모든 방향에 가변격자를 사용하였다. 단둥체의 주요요목과 계산조건은 표 1, 2에 나타내었다.

그림 3은 계산에 사용된 격자계를 보이고 있다. 계산은 무차원시간 5를 지나면서 수렴상태에 도달했다. 그림 4는 무차원시간 10에서의 등파고선을 나타내고 있다. 그림 5는 본 계산의 선체표면 압력들을 적분한 압력저항계수( $C_p$ )의 계산결과가 동일조건 실험에 의한 조파저항계수와 근사함을 보이고 있으며 [12,13],  $Fn=1.0$ 에서의 계산에 의한 압력저항계수는  $C_p = 0.164 \times 10^{-2}$ 으로, 위의 결과로 볼 때 실험으로부터 구하게 될 조파저항계수에 근접할 것으로 추정할 수 있다. 더욱 자세한 계산결과들은 참고문헌 [12]에서 잘 비교, 검증된 바 있다.

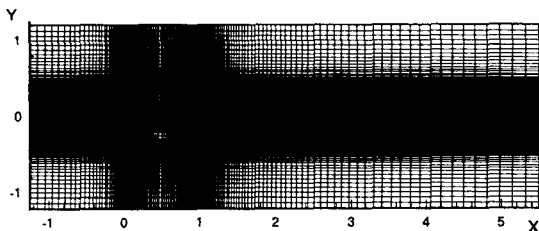


Fig. 3 Grid system for the Catamaran with Wigley's hull form

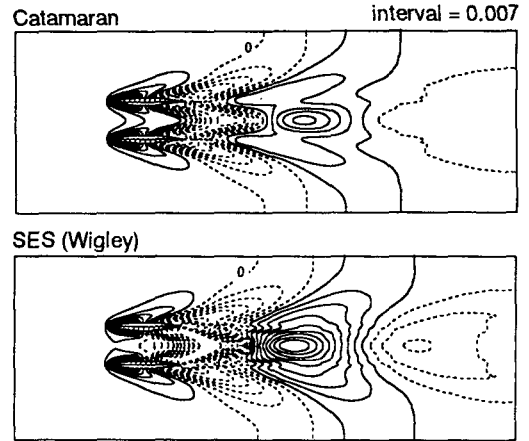


Fig. 4 Comparison of the wave height contours around the Catamaran and SES(Wigley) at  $T=10.0$

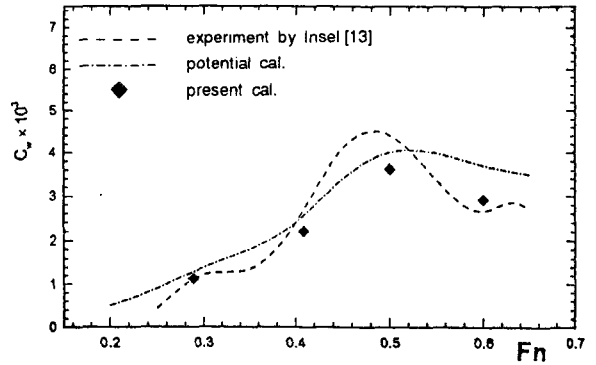


Fig. 5 Comparison of the pressure resistance coefficients of the Catamaran

#### 3.2 ACV의 계산

ACV에 대한 계산조건들을 표 2에서 보이고 있다. 계산에 사용된 격자계로는 x, y방향에 등간격격자를, z방향에는 가변격자를 사용하였다. 고속 쌍둥선형과 마찬가지로  $Fn=1.0$ 에서 계산이 수행되었다. 계산영역은 XY 평면에 있어서 기존의 Kohara & Nakato [14]에 의한 수치계산과 동일하다. 그림 6은 ACV의 계산을 위하여 자유수면에 부가한 압력분포이다. ACV의 skirt에 해당하는 부분에서의 압력분포는 그림에서와 같이 sine 함수로 감소시켜 분포하였다. 이러한 압력분포는 Kohara의 계산과 동일하다.

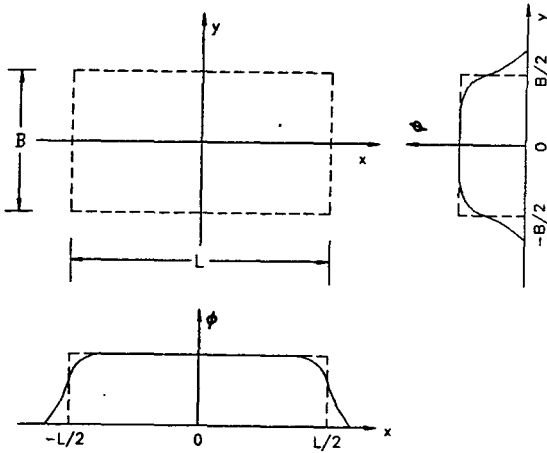


Fig. 6 Pressure distribution for the ACV

본 계산에서 대류항 계산시 수치소산항의 Weighting factor의 크기  $\alpha_4$ 는 6(Kawamura법에 해당)을 사용하였다. 그림 7은 무차원시간 10에서의 종방향 중앙대칭면과 대표적인 XZ, YZ단면들에서의 파형을 선형이론을 사용한 standing의 해석적 결과[4]와 기존의 수치계산인 Kohara & Nakato의 계산결과[14]와 비교하고 있다. Kohara의 수치계산은 격자계로 물체적응격자계를 사용하고, MAC 법에 기초하여 Navier-Stokes 방정식을 푼 것이다. 그림에서 본 계산은 해석적 결과와 종방향 중앙대칭면에서는 많은 차이를 보이고 있으나, 중앙대칭면을 제외한 XZ단면들과, YZ단면들에 있어서는 좋은 일치를 보이며, 압력분포로 인하여 나타나는 급격한 기울기의 파형을 잘 보여주고 있다. 압력분포부에서 해석적 결과와의 파형의 차이는 해석적 방법이 압력분포부의 비선형성이 강한 자유수면 변화의 처리에 선형이론을 적용함으로써 생기는 것으로 보인다. 그러므로, 일반적으로 주어진 격자계가 시물레이션하기 곤란한 짧은 파장의 파도가 발생하는 경우, 이를 무시하고 계산이 가능하게 할때 사용하는 자유수면 필터링(filtering)기법을 사용해서도 계산을 수행하였다. 필터링에 사용된 식은 다음과 같다[15].

$$h'_i = \frac{1}{16} (-h_{i-2} - h_{i+2} + 4(h_{i-1} + h_{i+1}) + 10h_i) \quad (10)$$

위 식에서  $h_i$ 는 필터링이 없을 때,  $h'_i$ 은 필터링을 사용하였을 때,  $i$  위치에서의 파고를 나타낸다. 계산결과 X방향의 필터링은 계산에 거의 영향을 주지 않았으며, Y방향의 필터링의 경우는 전체적으로 파고의 감쇠를 만들었다. 그림 7에서 Y방향의 필터링을 한 계산에 있어서는 앞서 나타난 파형이

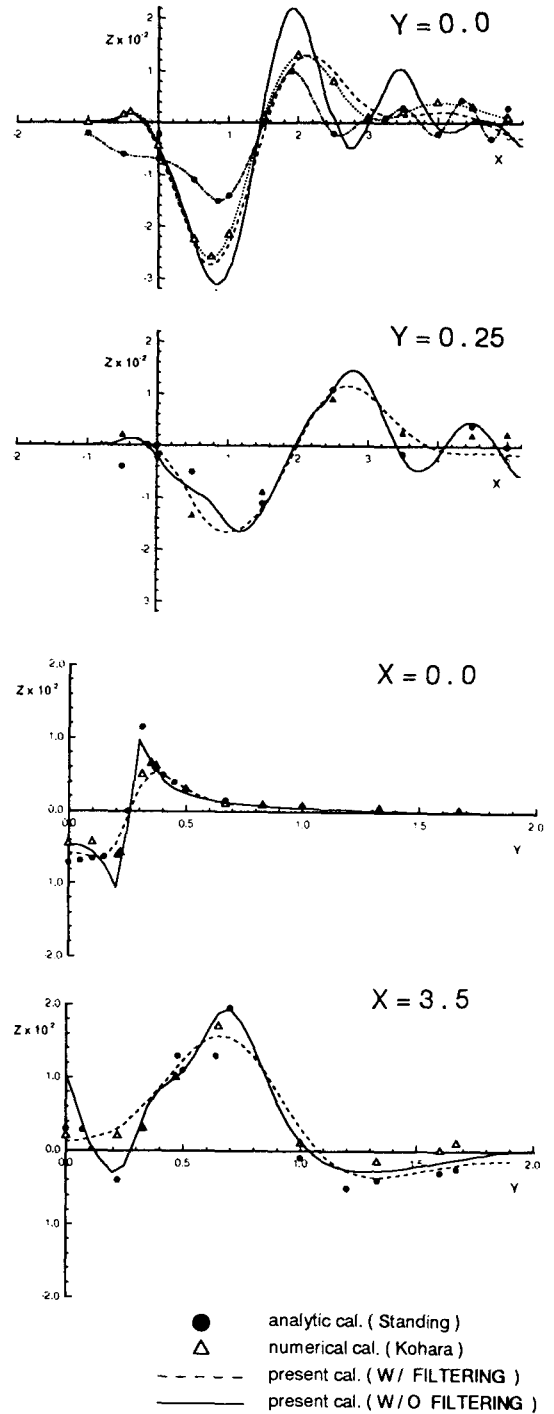


Fig. 7 Free surface profiles of the ACV on the longitudinal center plane and the planes of constant X at T=10.0

필터링에 의해 완만하게 되는 경향을 보이며, Kohara에 의한 수치계산 결과에 근접함을 보였다. 이로부터, Kohara의 계산에서 사용한 물체적응격자계가 자유표면의 압력분포로 인한 급격한 기울기의 파도를 제대로 계산하지 못한 것으로 보인다. 그림 8은 무차원시간 10에서 필터링 유무에 따른 등파고선을 비교하고 있다. 그림 9에서는 ACV의 각 조파저항값을 비교하고 있다. 이번 연구에서의 계산결과는 Kohara의 수치계산결과와 비교하여 필터링을 한 경우에는 약 18% 큰 값을, 필터링을 하지 않은 경우에는 약 25% 큰 값을 가지면서 비슷한 수렴상태를 보이고 있다. 이와 같은 결과는 그림 7의 압력분포부 파형으로 비추어 볼 때도 타당한 것으로 생각된다.

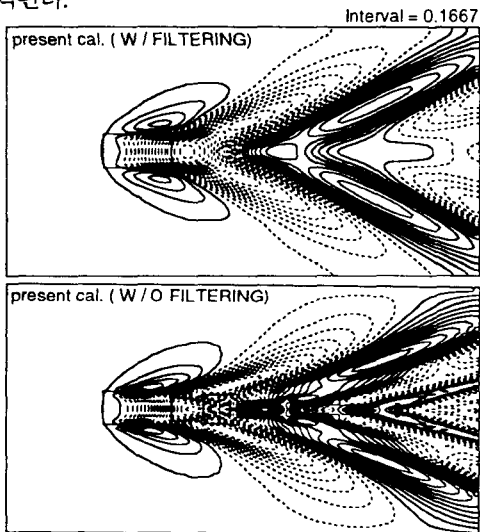


Fig. 8 Comparison of the wave height contours around the ACV at T=10.0

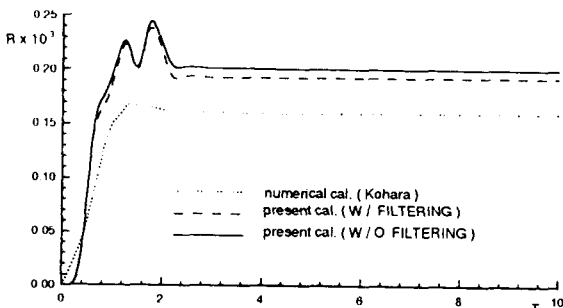


Fig. 9 Time history of the wave resistance of the ACV

### 3.3 표면효과선의 계산

표면효과선에 있어서는, Wigley선형과 기존 Wigley선형의 선체 전방부만을 취한 Wigley Tansom선미 선형에 대하여 계산을 수행하였다. Wigley Tansom선미 선형을 추가한 것은 일반적인 표면효과선의 선미형상과 유사한 선형에 대하여 계산의 가능성을 시험해 보기 위함이다.

계산에 사용된 표면효과선의 선체 주요요목과 계산조건은 각각 표 1과 2에 실려 있다.

(1) Wigley선형: 배의 크기와 계산영역은 고속 쌍동선의 계산과 동일하다. 자유수면에 길이 방향으로는 ACV와 동일한 압력을 분포시켰으며, 폭 방향으로도 동일한 압력을 균일하게 부가하였다. 계산은 무차원시간 5를 지나면서 수렴상

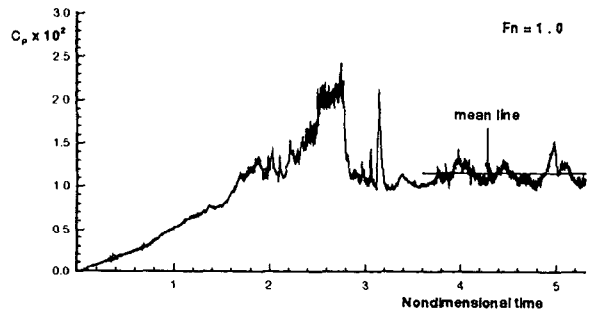


Fig.10 Time history of the pressure resistance coefficient of the SES(Wigley's Transom stern)

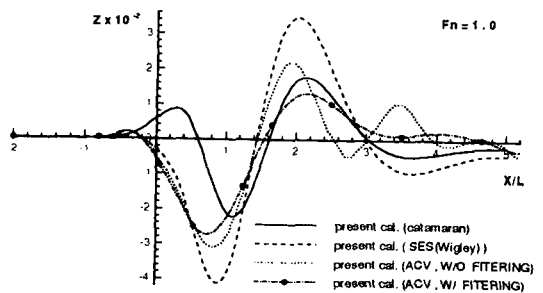


Fig.11 Free surface profiles along the longitudinal center plane of the Catamaran, ACV, and SES(Wigley and Wigley's transom stern) at T=10.0

태에 도달했다. 그림 4에서는 무차원시간 10에서의 등파고선을 고속 쌍동선의 계산과 비교하고 있다. 그림에서 선체의외측의 파형은 서로 유사함을 보이나, 표면효과선에 있어서 쿠손룸(cushion room)내의 압력분포로 인하여 압력부가부와 선체 하류에서의 파형은 매우 다른 경향을 보이고 있다.

(2) Wigley Transom선미 선형 : 자유수면에서의 압력분포는 Wigley선형의 계산과 동일하다.

그림 10은 무차원시간 5.0까지의 선체와 압력분포로 인한 압력저항계수를 도시하고 있다. 시간에 따라 압력저항계수의 변화가 다소 크기는 하지만 가속이 끝난 후로는 일정범위내에 있는 것을 볼 수 있다. 평균값에 대한 압력저항계수의 진폭이 큰 것은 Transom선미에서의 vortex의 shedding의 영향인 것으로 생각된다. 무차원시간 10에서의 고속 쌍동선, ACV 및 표면효과선의 종방향 중앙대칭면에서의 파형을 그림 11에서 비교하고 있다. 쿠손룸내의 압력분포로, 표면효과선에 있어서 동일 조건의 고속 쌍동선과 비교하여 전반적으로 높은 파도가 생성되고 있으나, 이것은 선체의 항주자세가 고려되지 않았기 때문으로 실제 표면효과선이 보이는 파형과는 차이가 있을 것이다. 그림 12는 고속 쌍동선, ACV 및 표면효과선 주위의 파형의 조감도로서, 각 그림에서의 파고들은 계산된 결과를 좀 더 가시화하기 위하여 5배로 증폭되었다. 그림에서 고속 쌍동선에서 보이는 선체 하류에서의 3개의 파정이 동일조건의 Wigley선형의 표면효과선에서는 압력부가부의 영향으로 하나의 파정으로 나타나고 있다. Wigley Transom선미 선형의 표면효과선인 경우, 위의 계산들과 비교하여 선미부에서 보다 복잡한 유동특성을 보임에도 불구하고 계산이 가능함을 보여주고 있다.

#### 4. 결 론

(1) 자유수면을 포함한 공기부양선의 유동장 계산이 MAC법을 응용하여 효과적으로 수행되었다. 또한, ACV에 있어서 물체적응격자계를 사용한 Kohara의 계산과 비교할 때, 직사각형격자계를 사용하여 압력분포로 인한 급격한 기울기의 선측파형을 보다 더 잘 시뮬레이션할 수 있었다.

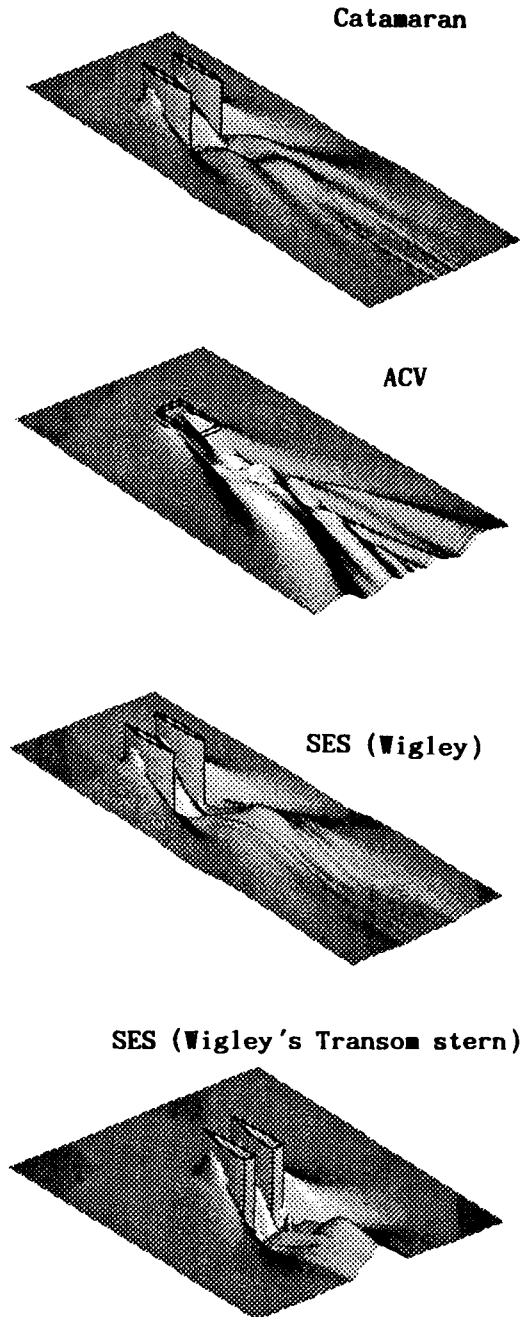


Fig.12 Perspective views of the free surface waves at  $Fn=1.0$



(2) Transom 선미를 가지는 표면효과선과 같이 기하학적으로 복잡한 고속선형주위의 유동장 계산에, 직사각형격자계가 적용성이 우수함을 확인하였다.

(3) 개발된 수치계산조직은, 항주자세를 고려한 선체주위의 유동장계산이 가능하게 된다면, 고속선의 초기 선형설계단계에서 충분히 활용이 가능할 것이다.

### 후 기

본 연구는 인하대학교, 한국과학재단, 그리고 삼성중공업(주)의 연구비지원하에 수행되었습니다.

### 참고문헌

[1] Havelock, T. H. (1913), "The Wave Making Properties of Certain Traveling Pressure Disturbance", Proceedings of the Royal Society, A, Vol.89

[2] Newman, J.N. and Poole, F.A.P. (1962), "Wave Resistance of a Moving Pressure Distribution in a Canal", DTMB Report, No.1691

[3] Barratt, M.J. (1965), "The Wave Drag of a Hovercraft", Journal of Fluid Mechanics, Vol.22

[4] Doctors, L.J. and Sharma, S.D. (1970), "The Wave Resistance of an Air-Cushion Vehicle in Accelerated Motion", Univ. of Michigan, Dep. of Naval Architecture and Marine Engineering, Report 099

[5] Standing, R. G. (1975), "Experience in Computing the Wavemaking of Hovercraft", NPL Report Ship, No.191

[6] Korving, C. (1980), "A Numerical Method for the Wave Resistance of a Moving Pressure Distribution on the Free Surface", 7th International Conference on Numerical Methods in Fluid Dynamics

[7] Haussling, H.J. and Van Eseltine, R.T., "Finite Difference Methods for Transient Potential Flows with Free Surfaces", 1st N.S.H.D.

[8] Dommermuth, D.G. and Yue, D.K. (1987), "A

High Order Spectral Method for the Study of Mon linear Gravity Waves", Journal of Fluid Mechanics, Vol.184

[9] Nishimura S., Miyata H., (1985) " Finite Difference Simulation of Ship Waves by The TUMAC-IV Method and its Application to Hull-Form Design ", J. soc. Nav. Archit. Jpn., Vol.157.

[10] Lee Y.-G., Miyata H. and Kajitani H., (1988) " Some Application of the TUMAC Method to 3D Water-Wave Problem ", J. Soc. Naval Archit. Korea, Vol.25, No.4, Dec.

[11] Chan, R. K. et al, (1970) "SUMMAC - A Numerical Model for Water Waves", Dept. of Civil. Eng., Stanford Univ., Technical Report No. 135.

[12] 정승규, 이승희, 이영길, 홍성완, (1995) " 유한차분법을 이용한 쌍동선형 주위의 유동장해석", 대한조선학회 1995년도 춘계연구발표회 논문집, pp.53-57.

[13] Insel, M. and Molland, A. F., (1991) "An Investigation into the Resistance of High Speed Displacement Catamarans ", Trans. RINA.

[14] Kohara S. and Nakato M., (1992) "Numerical Computation on Surface Waves Generated by a Running Pressure Disturbance ", J. Soc. Naval Archit. Japan, Vol.171, pp.41-52.

[15] Longuet-Higgins, M. S. et al, (1976) "The Deformation of steep Surface Waves on Water" , I.A Numerical Method of Computation, Proc. R. Soc. Lond. A. p350