
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 34 卷 第 4 號 1997年 11月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 34, No. 4, November 1997

모형시험 및 수치해석을 통한 수중익쌍동선 주위의 유동장 해석

나영인*, 이영길**

Analysis of the Flow Field around a Hydrofoil Catamaran by Using Model Experiment and Numerical Analysis

by

Y. I. Na* and Y. G. Lee**

요 약

본 연구에서는 일정속도로 자유수면상을 항주하는 수중익쌍동선의 저항성능을 모형시험 및 수치계산에 의하여 해석하였다. 대상선형은 Wigley선형을 변형한 비대칭형 트랜섬(transom) 선미의 단동체(dernihull)를 갖는 수중익쌍동선으로서, 전진속도 $Fn = 0.2 \sim 1.0$ 의 범위 및 수중익의 입사각도를 0.0° 에서 3.0° 까지 변화시켜 가며 실험과 계산을 수행하였다. 실험은 인하대학교의 선형시험수조에서 수행되었으며, 수치계산은 유한차분법(Finite Difference Method)에 의하여 수행되었다. 모형시험 및 수치계산결과는 포일(foil)을 부착하지 않았을 때의 결과와 비교, 검토되었다. 수치계산결과와 실험결과는 정성적으로 일치함을 보였으며, 포일의 형태와 각도에 따라 항주자세와 저항성능의 변화를 확인하였다.

Abstract

Numerical and experimental studies are carried out to analyse the resistance characteristics of a hydrofoil catamaran which is advancing on calm water with uniform speed.

For the hydrofoil catamaran with modified Wigley hull which has asymmetric transverse section and transom stern, the studies are carried out for the range of Froude number 0.2 to 1.0 and the angle of attack of the hydrofoil 0.0° to 3.0° .

발 표 : 1996년도 대한조선학회 추계연구발표회('96. 11. 8.)

접수일자 : 1997년 1월 6일, 재접수일자: 1997년 10월 14일

* 정회원, 국방과학연구소

** 정회원, 인하대학교 선박해양공학과

The model tests are carried out in the ship model basin of Inha University. Also the numerical computations using a finite difference method are performed for the simulations of fluid flow around the hull form and the results are compared with the results of the model tests.

The present computation results show well quantitative agreement with the experimental results. The experimental results show that the shape and angle of attack of the foils exerts a considerable influence on the running posture and resistance performance of ship.

1. 서언

쌍동선(Catamaran)은 배수량형의 선박으로서, 넓은 갑판면적을 확보할 수 있으며 고속에서 일반 단동선 형태의 배수량선에 비하여 저항특성이 우수하기 때문에 표면효과선(Surface Effect Ship), 수중익선(Hydrofoil craft), ACV(Air Cushion Vehicle)등과 함께 고속선으로서의 활용가치가 큰 선형이다. 저항추진특성에 있어서는 일반 배수량선형과 같이 선형의 주요치수 및 각종 계수에 따라 차이를 보이며, 또한 단동체 사이 간격(s)의 변화에 따라 조파저항의 변화가 현저하다. 따라서, 쌍동선의 경우에 부가적으로 고려해야 하는 중요한 저항특성의 하나로서 두 단동체간의 간섭효과(interference effect)를 들 수 있다. 이러한 간섭효과는 크게 두가지로 분류되는데, 단동체 주위 비대칭적인 유동변화 및 점성의 영향이 주원인인 선체간섭(body interference)과, 각 단동체에서 발생하는 파계의 겹침에 의한 파도간섭(wave interference)으로 나누어진다[1]. 따라서, 이와 같은 간섭효과는 단동체 사이의 간격비(s/b 의 길이(L))에 크게 좌우되며, 이것이 저항에 미치는 영향에 관련하여 Fry[2], Sherman[3], Yermotayev[4], Ozawa[5] 등의 연구가 진행되어져 왔다. 최근 들어 Insel & Molland[6]가 여러 선형에 대하여 다양한 속도와 간격비에 따라서 모형실험을 수행하기도 하였다. 저자는 수중익쌍동선에 대한 본 연구에 앞서 Wigley선형을 대상선형으로 하는 쌍동선에 관하여 단동체간의 간격비를 달리하여 파도간섭에 대한 실험과 계산을 수행한 바 있으며[7,

8], 동일선형에 관한 Insel[6]의 실험결과와 정성적으로 일치하는 결과를 얻었다.

일반적으로, 쌍동선은 수선면 횡모멘트가 큰 특징이 있어 높은 횡복원력을 얻을 수 있지만, 반면에 과량중 운동응답이 큰 편이므로, 피칭(pitching) 성능과 메타센터(GM)값이 커서 승선감을 저하시키는 단점을 가지고 있다. 항주시 피칭의 감소와 저항의 감소에 따른 선박의 고속화 및 조종성 향상등을 위하여, 선체에 핀(fin), 또는 포일(foil)을 부착하게 된다. 본 논문에서는 실험과 수치해석방법을 통하여 선박의 고속화를 위하여 선수와 선미에 포일을 부착한 수중익쌍동선의 저항특성과 항주자세의 분석 및 유동장해석을 수행함으로써, 수치해석에 의하여 수중익쌍동선의 저항성능 추정가능성과 정도 및 초기 선형설계시에 응용가능성에 대하여 검토하였다. 본교에서는 이미 트랜섬 선미를 갖는 활주선형에 핀이 부착된 경우에 대하여는 수치계산을 수행한 바 있다[9]. 본 논문에서는 이에 더하여 수중익쌍동선에 대한 계산을 수행함으로써, 포일이 있는 경우 단동체간의 간섭효과에 대한 수치시뮬레이션의 가능성도 파악하려 하였다.

실험 및 수치해석은 먼저, 포일이 부착되지 않은 쌍동선상태에서 수행되었으며, 다음으로 포일을 부착하여 입사각도를 변화시켜 동일 조건의 쌍동선상태의 결과와 비교, 검토하였다. 단동체로는 Wigley선형을 변형시킨 비대칭선형, 포일로는 평판형태의 단면과 NACA0012단면을 갖는 포일들이 사용되었다.

2. 모형시험

모형시험은 인하대학교 선형시험수조에서 실시되었으며, 수조의 주요제원은 다음과 같다.

길이	: 76.0 m
폭	: 5.0 m
수심	: 2.7 m
최대 전차속도	: 2.3 m/s

모형시험에 사용된 모델은 Wigley선형을 변형한 비대칭형, 트랜섬선미의 단동체를 갖는 쌍동선으로서, 일반적으로 실선에서 흔히 채택되는 단동체간의 간격비인 $s/L=0.25$ 을 갖도록 목재로 제작되었다. 대상선형은 길이 1.3m Wigley선형에 대하여 길이방향으로 3/4 만을 취하여 트랜섬선미를 갖도록 하였으며, 폭 방향으로 3/5 만을 취하여 비대칭형태를 갖도록 하였다. 모형선에 대한 자세한 제원은 다음과 같다.

L(m)	: 1.000	B(m)	: 0.0833
T(m)	: 0.0866	L/B	: 12.000
B/T	: 0.962	$L/\nabla^{1/3}$: 6.465
C_B	: 0.556	C_P	: 0.881
C_M	: 0.631	A(m ²)	: 0.200
$l_{CB}/L(\%)$: 10%(선미방향)		

위의 제원은 단동체에 대한 것이며, A는 침수 표면적을 나타낸다. 침하(sinkage(아래방향이 양의 방향))와 트림(trim)은 각각 FP와 AP에서 측정된 침하량을 사용하여 계산되었다. 예인점은 길이방향으로는 하나의 단동체의 무게중심에 위치하며, 폭방향과 깊이방향은 각각 쌍동선의 중심선과 기선 위로 홀수의 15/8되는 지점이다. 난류촉진장치로 사용된 스티드들(studs)은 FP로부터 50mm뒤(9 1/2 station)에 1.5mm의 지름과 2.0mm높이를 가지면서, 8mm간격으로 위치한다. 포일은 코오드 길이(chord length) 3.6cm의 NACA0012를 사용하였

으며, 아울러 계산의 편의성을 위하여 NACA0012와 동일한 코오드 길이와 단면적을 갖는 평판형태의 포일에 대하여도 실험을 수행하였다. 평판형태의 포일에 대한 주요제원, 형상등은 그림 1과 같다. 포일은 7 station과 1/2 station의 2개소에 부착되었으며, 기선 위로 홀수의 10/83 (10 mm)되는

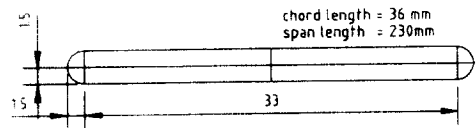
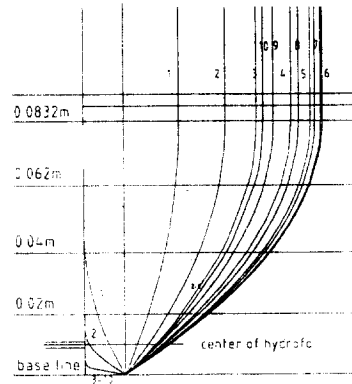


Fig. 1 Body plan of the ship model and dimensions of the plate type hydrofoil

지점에 포일의 중심이 위치하도록 부착되었다. 이러한 포일의 위치는 참고논문 [10]과 동일하게 선정되었으며, 깊이방향으로는 스트러트(strut)가 없는 관계로 참고논문의 위치보다 홀수의 2%정도 높게 위치시켰다. 이들이 부착된 수중익쌍동선의 모형은 그림 2와 같은 형태가 된다. 그림 3은 모형시험시의 개략적인 모형선과 계측장비들의 배치도를 보여 주고 있다. 모형시험은 정수중의 전저항, 침하와 트림에 대한 계측 및 선측과형계측이 수행되었다.

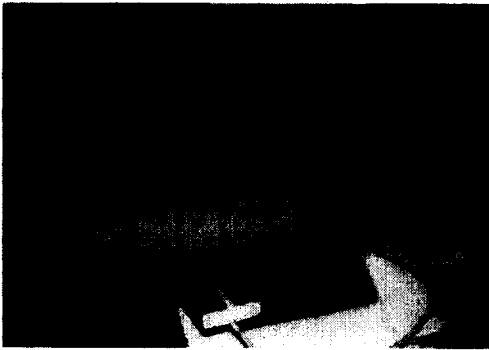


Fig. 2 Perspective view for the ship model of hydrofoil catamaran

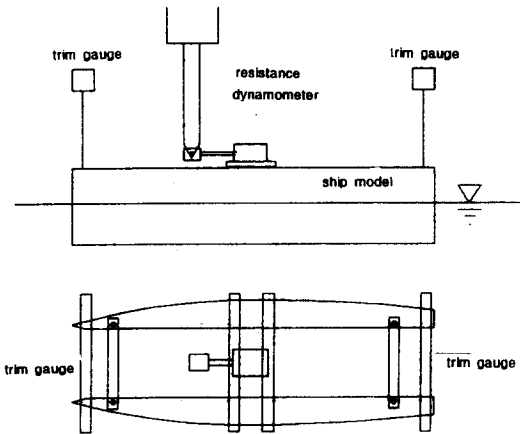


Fig. 3 Schematic drawing of resistance test for the catamaran and hydrofoil catamaran

3. 수치해석

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

수치계산은 MAC(Marker And Cell)법을 기초로 한 직사각형격자계에서 수행되었다. MAC법은 비선형성이 강한 자유수면변화의 시뮬레이션 및 해석문제에 있어서 효과적인 방법중의 하나이다. 또한, 직사각형격자계는 물체적합격자계와 비교하

여 계산의 정도는 다소 떨어지나, 복잡한 물체주위의 격자를 구성하는데 있어서 적용하기가 쉽고 간편하다[8, 9, 11]. 계산의 정도를 높이기 위하여 격자계의 형태에 있어서는 교차격자계(staggered mesh system)상에서 가변격자계(variable mesh system)를 적용하였다. 계산영역은 쌍동선 또는 수중익쌍동선의 반쪽만을 포함하는 유동장으로 구성하였으며, 배의 중앙면에 대칭조건을 부가하여 유동장의 대칭성을 고려하였다. 좌표계로는, 자유수면과 단동체의 선수가 만나는 점을 원점으로 하는 직교좌표계를 사용하였으며, x, y, z방향은 각각 유입속도 방향, 선체의 폭 방향 및 수직방향이다. 지배방정식의 차분화에 있어서는, 대류항을 제외한 나머지 항들은 시간에 대하여 전진차분, 공간에 대하여 2차 중심차분으로 차분화하였다. 대류항의 공간에 대한 차분기법으로는 2차 중심차분과 donor cell 법을 조합한 hybrid 법을 사용하였다.

선체표면의 표현에 있어서, 수선들(water lines)은 선분들의 연속으로 표현되고, 횡절선들(frame lines)은 하나의 격자에서 수직방향의 변화가 무시된 계단상으로 표현된다. 모든 격자들은 유체격자(fluid cell), 물체경계격자(body-boundary cell), 물체내부격자(empty cell)로 분류되며, 각각의 격자에 따라 계산법을 달리 한다[13, 14].

물체경계에서는 free-slip 조건을 적용하였으며, 물체경계격자에서는 다음 3조건을 만족하도록 하였다.

- (1) 물체표면에 수직방향 속도성분은 0 이다.
- (2) 물체표면에 접한 속도성분은 물체표면 가까이에서 표면에 수직인 방향으로 구배를 갖지 않는다.
- (3) 물체경계격자에서의 발산은 0 이다.

그리고, 물체경계격자에서의 압력에 대한 반복계산식은 유체격자의 경우에 사용되는 식 대신에 다음의 식(1)을 사용함으로써, 물체경계격자에서 주위 압력들의 유무에 관계없이 압력계산을 가능하게 한다.

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

여기서, ρ = 압력/물의 밀도, ω 는 반복계산시 완화계수, DT 는 시간증분을 나타내며, V_p 와 n 은 물체경계격자에 속한 선체표면을 나타내는 선분의 중심에서 유체의 속도벡터와 단위법선벡터이며,

$$\delta = \frac{1}{DX_i} + \frac{1}{DY_j} + \frac{1}{DZ_k} \quad (2)$$

이다. 식 (2)에서의 DX_i, DY_j, DZ_k 는 각각 x, y, z 방향의 속도점들 사이의 거리를 나타낸다. 식 (1)에서 압력은 ($V_p \cdot n$) 가 "0"에 가깝게 되었을 경우 수렴하게 되므로, 이는 물체경계격자에서 유체부분의 발산이 거의 "0"이 되며, 또한 물체의 경계면을 가로지르는 유동이 없다는 것을 의미하게 된다. 이러한 계산기법들은 선체의 경계격자들 뿐만 아니라 포일에 대한 경계격자들에서도 그대로 적용된다. 물체경계격자에 대한 더욱 자세한 내용은 Nishimura & Miyata[14]에 실려 있다.

자유표면에서는 점성응력(viscous stress)과 표면장력(surface tension)의 효과를 무시하고, 자유표면의 위치를 $z = \xi$ 라 할 때, 이 위치에서 동역학적 조건과 운동학적 조건은 다음의 식 (3), (4)와 같이 쓰여진다.

$$\rho = \text{대기압/물의밀도} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + u \frac{\partial \xi}{\partial x} + v \frac{\partial \xi}{\partial y} - w = 0 \quad (4)$$

식 (3)의 경계조건은 자유표면 근처에서의 압력을 구할 때, "irregular star"[12]를 사용함에 의하여 만족되어진다. 또한, 식 (4)에 의해 표현된 운동학적 조건은 자유표면에 놓여진 marker들을 사용하여 만족되어진다[13]. 기타 자세한 계산의 알고리즘에 대한 설명은 Nishimura & Miyata[14]의 논문에 실려 있다.

4. 결과 및 고찰

4.1 쌍동선

그림 4에서는 XY평면에서 계산에 사용된 격자

계를 보여 주고 있으며, 자세한 계산조건들은 표 1에서 언급하고 있다. 모형시험은 예인전차의 속도제한 관계로 $Fn=0.625$ 정도까지 밖에는 수행이 불가능하였다. 실험은 속도만 제외하고 계산과 같은 상태에서 수행되었다. 그림 5는 대표적인 속도대인 $Fn=0.6$ 에서의 등파고선도를 도시한 것이다. 그

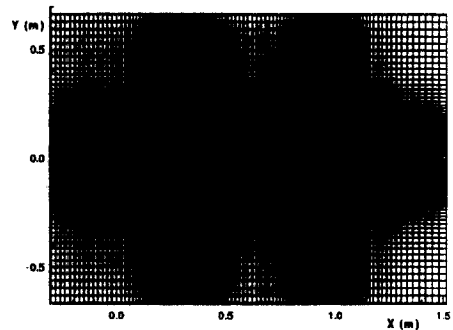


Fig. 4 Grid system for the catamaran and hydrofoil catamaran

Table 1 Computational conditions of catamaran and hydrofoil catamaran

ship condition	test	Cata.	Hydro. Cata.
	s/L		0.25
number of cell	NCX	155 (112)	
	NCY	55	
	NCZ	47	
minimum cell size	DX / L	1 / 250	
	DY / B	1 / 17	
	DZ / T	1 / 33	
Froude numbers		0.3, 0.4, 0.6, 1.0	
time steps for acceleration		800	
relaxation factor		0.8	
time increment	(nondimensional time : L base)	0.0005	
total time		1.5 - 2.3	
angle of attack	fore.	-	0.0 °
	aft.	-	0.0 °

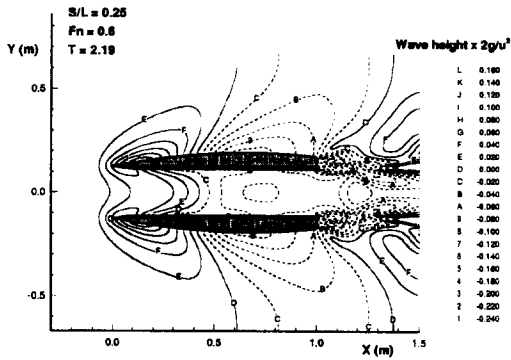


Fig. 5 Wave height contour for the catamaran ($Fn = 0.6$)

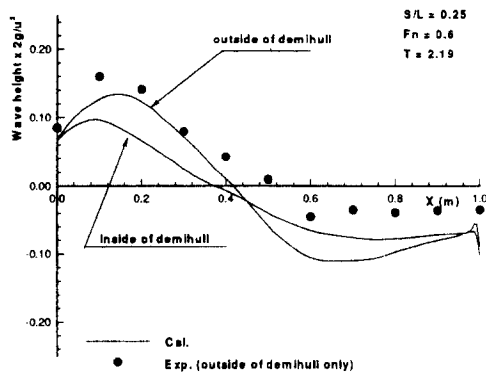
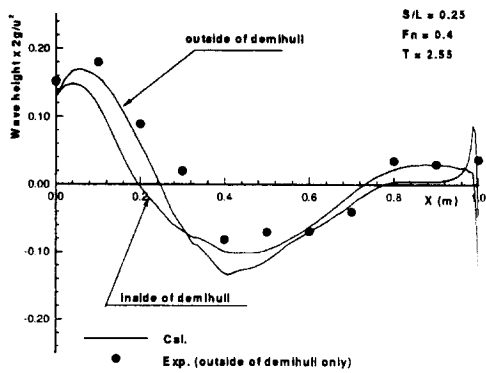


Fig. 6 Wave height profiles for the catamaran ($Fn = 0.4, 0.6$)

림에서 단동체사이의 파고와 선측파고의 차이가 크게 나타나고 있으며, 쌍동선의 중심선에서는 간섭의 영향으로 인한 파저들이 나타나고 있다. 그

림 6은 $Fn=0.4, 0.6$ 에서의 계산 및 모형시험의 선측파고를 비교한 것으로 $Fn = 0.4$ 의 경우는 선체 전반에 걸쳐서 실험값과 정성적 및 정량적으로 근접하고 있음을 보이나, $Fn = 0.6$ 의 경우는 선체중반 이후의 파형에서 정량적인 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 그림 7에서 보여지는 바와 같이 실험에서 항주자세의 영향으로 생각되어진다. 그림에서 침하와 트림은 각각 $Fn=0.36$ 및 0.4 를 넘어서면서 급격한 증가를 보이며, 침하는 $Fn=0.45 \sim 0.5$ 사이에 극대치를 보이고 있다. 그림 8은 $Fn=0.4$

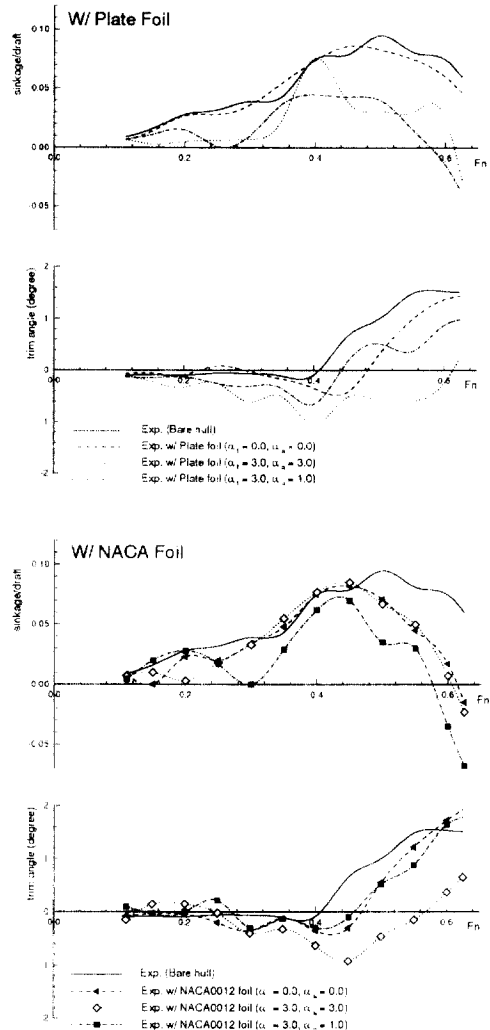


Fig. 7 Comparison of sinkage and trim

에서의 단동체들 사이 및 선미부 주위의 파형을 실험에서의 파형과 비교한 것으로, 사진에서 보이는 파정의 위치가 계산에서 정성적으로 일치함을 보이고 있다. 그 밖의 속도에서의 예로, $Fn = 0.3$ 의 경우도 유사한 결과를 보였으나, 트림의 급격한 증가와 쇄파(wave breaking) 현상을 동반하는 $Fn = 0.6$ 의 경우는 차이를 보였다. 그림 9는 계산의 압력저항계수와 실험으로부터의 잉여저항계수값을 비교한 것으로, 대칭선형일 때[8]와는 다르게 정성적으로는 유사한 형태를 보이거나 정량적인 차이가 크게 나타나고 있다. 이러한 정량적인 차이는 계산에서 선체저항에 큰 비중을 차지하는 트랜섬 선미 주위에서의 유동계산의 문제로서, 현재 계산에 있어서 트랜섬 부분에서의 압력적분치가 전체압력저항에서 차지하는 비율이 60 ~ 70%에 이르고 있다. 이러한 문제에 대한 예로, 그림 10은 $Fn = 0.4$ 의 경우 트랜섬 위치에서의 횡단면상에 속도벡터와 등압력선을 도시한 것으로서, 이는 트랜섬선미 바로 뒤인 $x = 1.0115m$ 에서의 단면이다. 그림에서 볼 수 있듯이 강한 와류(vortex flow)가

생기고 있으며, 이로 인한 압력의 저하가 트랜섬 단면에 속도와 압력변화에 큰 영향을 미치고 있음을 보이고 있다. 이와 같은 결과는 큰 Fn 과 레이놀즈수에 있어서의 실제적인 현상과는 거리가 있을 것으로 보이며, 이러한 와류의 영향으로 인한 압력의 차이를 보정시킬 경우 그림 9에서 계산에 의한 압력저항계수값은 실험의 잉여저항계수값과 상당히 근접하게 됨을 알 수 있다. 실험과 계산에서의 저항값의 정량적인 차이를 줄이기 위하여, 어려운 문제이기는 하나 선체의 형상이 급격히 변화하는 트랜섬 부분에 있어 계산의 안정성을 저해하지 않는 범위에서 운동량방정식의 차분화에 있어서 인공확산 및 분산의 효과를 감소시킨다면 좀 더 나은 결과를 얻을 수 있을 것으로 본다.

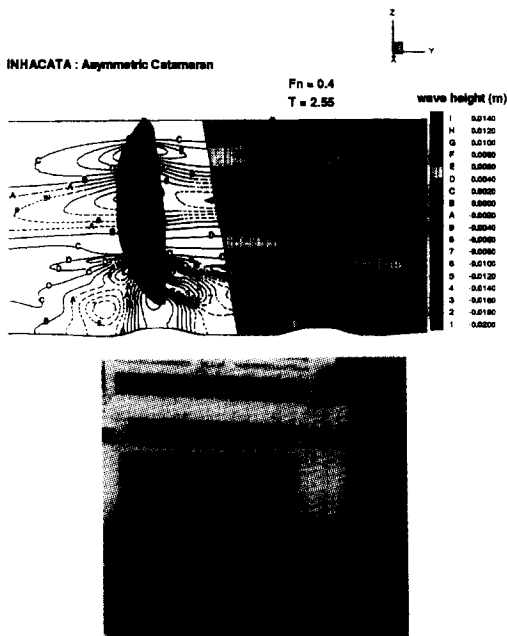


Fig. 8 Comparison of the calculated wave height contours and generated waves of the catamaran ($Fn=0.4$)

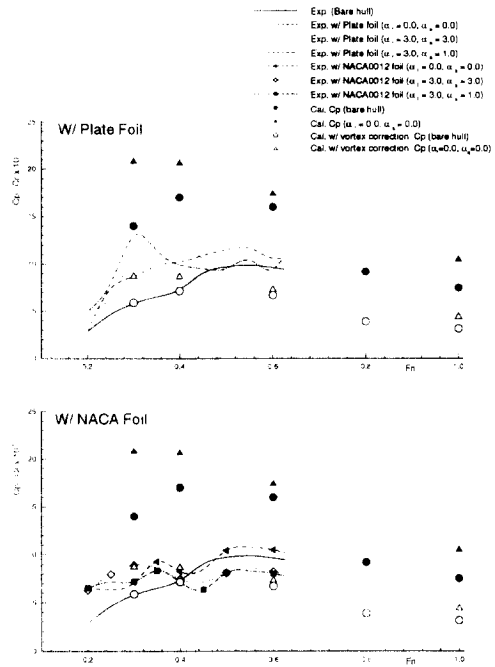


Fig. 9 Comparison of residual or pressure resistance coefficients(Cr, Cp) for the catamaran and hydrofoil catamaran

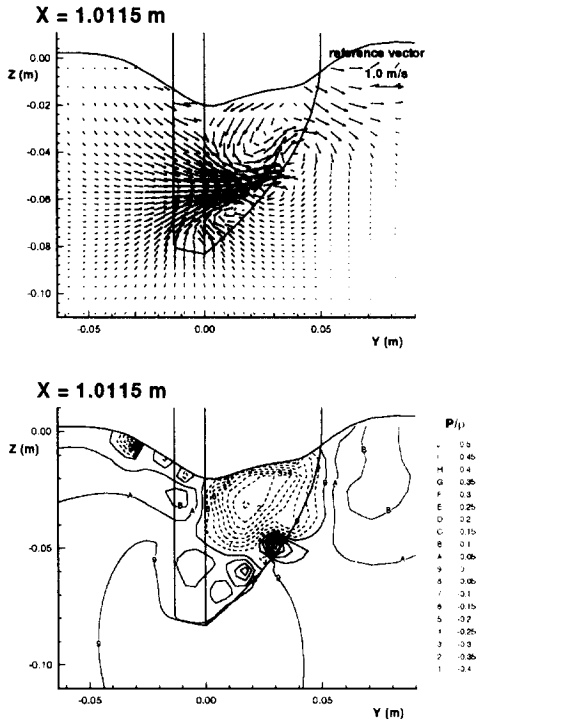


Fig. 10 Velocity vector and pressure contours near the transom stern (Bare hull : $Fn = 0.4$)

4.2 수중의쌍동선

4.2.1 Plate 포일의 경우

모형실험은 포일의 입사각도를 달리하면서 다음의 3가지 상태에 대하여 수행되었다.

case 1) $\alpha_j=0.0^\circ$ $\alpha_a=0.0^\circ$

case 2) $\alpha_j=3.0^\circ$ $\alpha_a=3.0^\circ$

case 3) $\alpha_j=3.0^\circ$ $\alpha_a=1.0^\circ$

여기서 α_j , α_a 는 각각 전반부 포일 및 후반

부포일의 입사각도를 나타낸다. 계산은 격자생성의 문제로 case 1)의 $\alpha_j = 0.0^\circ$, $\alpha_a = 0.0^\circ$ 인 경우에 대하여만 $Fn=0.3, 0.4, 0.6, 1.0$ 에서 수행되었다. 그림 11의 선측과형을 보면, 계산치와 선수부

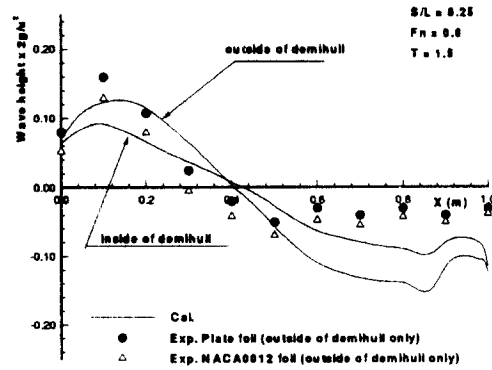


Fig. 11 Wave height profiles for the hydrofoil catamaran ($Fn=0.6$)

분에서는 유사하나 선미부분에서는 다름을 보이고 있다. 이것은 쌍동선의 경우와 마찬가지로 계산이 침하와 트림이 구속된 상태에서 수행된 것에 기인한 것으로 보인다. 특히, 쌍동선의 경우 $Fn=0.4$ 에서는 서로 잘 일치하는 것과, 그림 7을 보면 트림의 영향이 크게 작용하고 있는 것을 알 수 있다. 그림 9에서는 실험과 계산에서의 잉여저항계수와 압력저항계수의 변화를 보여준다. 실험에서 포일 각도의 변화에 따른 잉여저항계수의 변화를 볼 때, 포일을 붙였음에도 불구하고 case 2)와 case 3)에서는 $Fn=0.45\sim 0.625$ 에서 잉여저항계수가 쌍동선에 근접하거나 적게 되는 것을 볼 수 있어, 각 속도대에 따라 배의 항주사재가 저항에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 이러한 배의 항주사재는 그림 7에서 보다 더 확실히 알 수 있다. 즉, 침하와 트림이 적절한 상태가 되도록 각 포일의 각도를 조정해야 할 것이다. case 1)의 실험과 계산의 잉여저항 및 압력저항을 비교 했을 때, 앞서의 쌍동선의 경우와 마찬가지로 정성적으로는 유사한 경향을 보이거나 정량적인 차이가 크게 나타나고 있으며, 트랜섬뒤의 와류로 인한 압력의 차이를 보정시키면 쌍동선의 경우와 마찬가지로 실험값에 근접한 결과를 보이고 있다. 그림 12, 13은 $Fn=0.6$ 에서의 계산시 선체에 포일에 대한 항력과 양력의 시간에 따른 변화를 도시하고 있다. 그림 12에서 선체전반부 포일의 경우에 음의 양력이 발생됨을

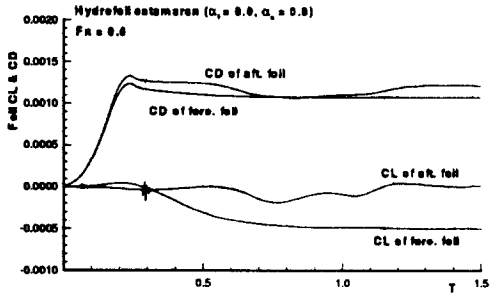


Fig. 12 Drag coefficient(CD) and lift coefficient(CL) for the hydrofoils

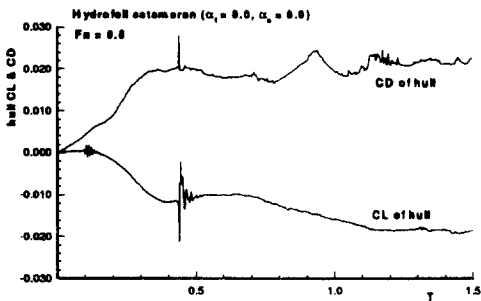


Fig. 13 Drag coefficient(CD) and lift coefficient(CL) for the hydrofoil catamaran

보이고 있다. 여기서, C_L 과 C_D 는 각각 식 (5)와 같이 정의되어진다.

$$C_L = \frac{F_{lift}}{1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2}, \quad C_D = \frac{F_{drag}}{1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} \quad (5)$$

윗식에서 V 는 유입속도를, S 는 포일의 경우는 span의 길이와 chord length의 곱을, 선체의 경우는 침수표면적을 나타낸다. 그림 14에서 $Fn=0.6$ 에서의 선체 전반부와 후반부에 각각 위치한 포일표면에서의 압력분포를 보면, 앞에 있는 포일의 경우 음의 양력발생이 일어나고 있음을 알 수 있다. 포일들로 인한 유동장의 변화는 그림 15에서 선미부 단동체 사이에서의 유선을 3차원 형상으로 도시한 경우에서도 찾아볼 수 있다. 그림 16은 $Fn=0.4$ 에서의 단동체 사이 및 트랜섬 주위의 파형을 실험에서의 파형과 비교한 것으로, 정성적으로

유사한 경향을 보이고 있다. 그림 8과 16을 비교했을 때, 쌍동선의 경우에 비하여 단동체 사이의 파고가 후반부 포일 부분에서 감소되고 있음을 실험결과와 계산결과 모두에서 보여 주고 있다.

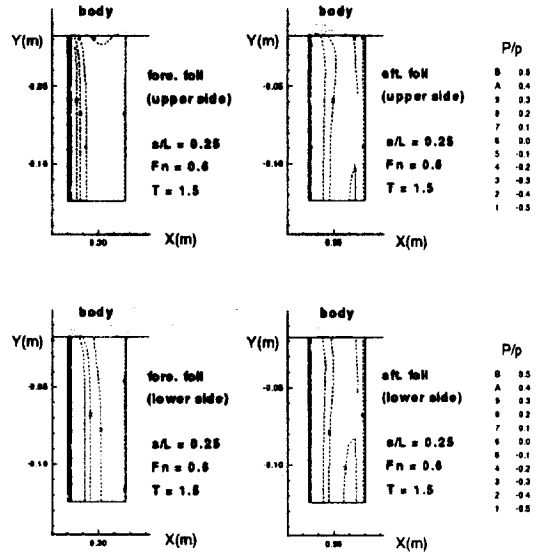


Fig. 14 Pressure contours on the surface of hydrofoils

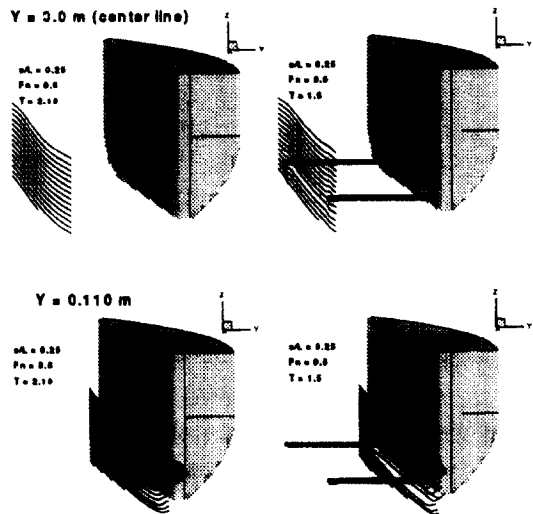


Fig. 15 Comparison of 3-Dimensional streamlines

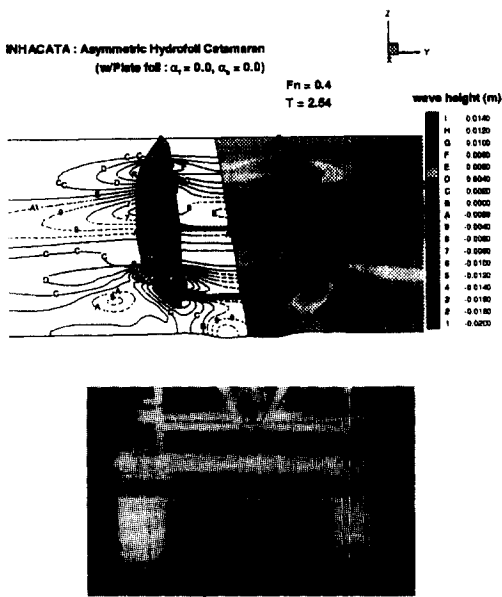


Fig. 16 Comparison of the calculated wave height contours and generated waves of the hydrofoil catamaran ($Fn=0.4$)

4.2.2 NACA0012 포일의 경우

모형실험은 plate 포일의 경우와 동일한 조건에서 수행되었다. 그림 11은 $Fn=0.6$ 에서 case 1)의 $\alpha_f=0.0^\circ$, $\alpha_a=0.0^\circ$ 인 경우의 선측과형을 비교한 것으로 plate 포일의 경우와 유사함을 보이고 있다. 그림 9의 잉여저항계수의 경우 plate 포일을 단 경우에 비하여 $Fn = 0.4$ 이상에서 약 15 ~ 20% 정도 작은 값을 나타내고 있다. 이는 그림 7에서 보는 바와 같이 항주자세의 차이에 크게 기인하는 것으로 생각되어진다. 그림에서 plate 포일을 단 경우와 비교했을 때, 침하의 경우는 서로 다른 값들을 보이나, 트림의 경우 정성적으로 유사한 경향을 나타내고 있다. 이러한 차이는 plate 포일에 비하여 NACA0012 포일의 경우에 상대적으로 더 큰 양력이 발생되는 것으로 생각할 수 있다. 수중익쌍동선과 쌍동선의 트랜섬선미에서의 파고를 비교했을 때, 쌍동선의 경우가 주로 고속역에서 상대적으로 파고가 높게 나타나고 있다. 이것은 그림 7에서의 침하량이 상대적으로 크기 때문

으로 생각된다. 또한 실험결과들로 미루어 볼 때, 선체전반부 포일의 각도가 유동장에 미치는 영향이 큰 것으로 생각되어진다. 그림 9의 잉여저항의 변화에서도 이러한 현상을 볼 수 있다. 그림에서 case 2)와 3)는 $Fn = 0.3$ 이상에서 거의 동일한 잉여저항값을 보이고 있으며, case 1)의 경우와 비교했을 때는 상대적으로 작은 값을 보이고 있다.

5. 결론

모형시험과 수치해석을 통하여 쌍동선과 수중익쌍동선의 저항특성 및 유동장에 대한 해석을 수행하였으며, 이로부터 아래와 같은 결론들을 얻었다.

(1) 트랜섬 선미를 갖는 비대칭선형에 있어서 실험과 계산의 잉여저항 및 압력저항은 정성적으로 속도에 따라 유사한 변화를 보이고 있으나, 정량적으로는 차이를 보였다. 이는 계산에서 실험시 나타나는 침하와 트림을 고려하지 않고 고정된 선체에 대하여 수행한 것과 트랜섬 선미 주위에서 발생된 와류로 인한 압력의 차이에 큰 원인이 있다고 보이며, 이중 와류로 인한 압력의 차이를 보정시킬 경우 실험결과에 근접하는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서, 수치계산에서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 침하와 트림의 고려와 트랜섬주위에서의 계산기법을 좀 더 보완하여 개선시키면, 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

(2) 후반부 포일에 비하여 전반부 포일이 유동장에 미치는 영향이 큼을 확인하였으며, 수중익쌍동선의 설계시 전반부(선수부) 포일의 형태 및 각도의 선정이 중요할 것으로 사려된다.

(3) NACA0012 포일을 단 경우는 plate 포일을 단 경우에 비하여 잉여저항이 15 ~ 20% 정도 적게 계측되었다. 특히, 전반부 포일의 각도가 3.0° 인 경우에 있어서 잉여저항은 쌍동선의 결과에 비하여 $Fn=0.4$ 이상에서 20%정도 작은 값을 보이고 있다. 위의 결과로 볼 때, 체계적인 실험과 계산이 행하여진다면, 특정속도에서 침하와 트림이 적절한 상태가 되는 포일의 각도를 찾아낼 수 있을 것이며, 저항이 최소가 되는 포일의 형태 및 각도를

찾을 수 있을 것이다.

(4) 본 연구에서 사용된 수치계산조직은, 계산정도가 좀 더 향상된다면, 수중익쌍동선의 저항성능 추정 및 선형의 초기설계에 활용이 가능하게 될 것이다.

후 기

본 연구는 인하대학교의 연구비 지원으로 이루어졌다. 연구비지원을 하여 준 인하대학교에 감사 를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] Turner H. and Taplin A., "The Resistance of Large Powered Catamarans". *Trans. SNAME*, Vol. 76, 1968.

[2] Fry E.D. and Graul T., "Design and Application of Modern High-Speed Catamarans", *Marine Technology*, Vol. 9, 1972.

[3] Sherman J. and Fisher P., "A Study of Planing Catamaran Hull and Tunnel Interactions", University of Michigan, Ann Arbor, MI, 1975.

[4] Yermotayev S. G., Aframeyev E. A., Teder L. A. and Pabinowich Ya. S., "Hydrodynamic Features of High Speed Catamarans", *Hovercraft and Hydrofoil*, Vol. 16, 1977.

[5] Ozawa H, Shimada K., Saito T., Kobayashi M, Nojiri T., Yamashita S. and Daimon Y., "Experimental Study on the Resistance of Twin Hulled Air Cushion Vehicle", *Japan Shipbuilding and Marine Engineering*, Vol. 11, 1977.

[6] Insel H. & Molland A. F., "An Investigation into the Resistance of High Speed Displacement Catamarans", *Trans.*

RINA, 1991.

[7] 정승규, "쌍동선 周圍의 自由水面 流動解析", 공학석사학위논문, 선박공학과, 인하대학교, 1995.

[8] Na Y. I., Jeong S. G., Kim S. Y., Lee Y.-G. and Lee S. H., "A Study on the Free Surface Flows around a High Speed Catamaran", *Proc. of 2nd Workshop on Hull Form Design & Flow Phenomena*, pp.72-82, Inha Univ., 1996.

[9] Jeong S.-G., Lee Y.-G., Lee S.-H. and Hong S.-W., "Numerical Analysis on Flow Fields around a High-Speed Planing Ship", *Proc. of Workshop on Wave Resistance and Viscous Flow*, pp.71-84, Tokyo Univ., 1994.

[10] 강창구, 홍사영, 이창민, 김연규, 서상현, "파도중 초고속 카타마란선의 운항자세 제어 성능시험", '93초고속선 Workshop, pp.16/1 - 16/25, KRISO, 1993.

[11] 나영인, 이영길, "수치시뮬레이션에 의한 공기부양선 주위의 유동장해석과 조파저항 계산", *한국전산유체공학회지*, 제1권, 제1호, pp.55-63, 1996.

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

[13] Miyata H and Nishimura S., "Finite Difference of Nonlinear Ship Waves", *J. Fluid Mech.*, Vol.157, pp.327-357, 1985.

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