

트랜섬 선미를 가지는 선박의 선미선형 설계에 관한 기초적 연구

이영길* · 김규석** · 강대선** · 정광열**

*인하대학교 기계공학부 선박해양공학전공

**인하대학교 대학원 선박공학과

A Preliminary Study about the Stern Hull Form Design of Ship with Transom Stern

YOUNG-GILL LEE*, KYU-SEOK KIM**, DAE-SUN KANG** AND KWANG-LEOL JEONG**

*Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University, Inchoen, Korea

**Dept. of Naval Architecture, Graduate School of Inha University, Inchoen, Korea

KEY WORDS: Transom stern 트랜섬 선미, Trimaran 삼동선, Model test 모형실험, Numerical simulation 수치시뮬레이션, Marker and cell scheme MAC법

ABSTRACT: The resistance characteristics of a trimaran are studied, varying the bottom profile and transom stern of the main hull. The bottom profile is varied in three cases (convex, flat, concave). Using the experimental and numerical methods, the resistance performance of each hull form is compared. The experiments are carried out in ship model basin, and the numerical simulations are performed by a finite-difference method, based on the Marker and Cell scheme. Euler and continuity equations are used for the governing equations of the flow field around a trimaran with transom stern. The agreement of both results is good. The optimal bottom profiles for transom stern are presented for low-speed and high-speed regions, respectively.

1. 서 론

해상운송에 있어서의 시간단축과 운임의 절감은 중요한 문제 중의 하나로, 이를 위하여 근래에 고속선에 대한 관심이 지속되어 오고 있다. 특히, 황해권 고속여객선 선형의 개발은 이 지역에서의 여객운송을 위한 경쟁력에서 매우 중요한 과제라 할 수 있다. 선박의 속도를 증가시키기 위해서는 저항이 작은 선형을 개발해야 하므로 배수량형 선박의 경우에는 길이에 비해서 선체의 폭을 적게 하여 선형을 날씬하게 하거나 활주형으로 유도하고 있다. 고속선형은 그 밖에 수중익선, 파랑관통형 쌍동선, 표면효과선 등, 여러 가지 선형이 대두되고 있는 가운데, 최근에 관심을 끄는 선형 중에 하나로 삼동선이 있다.

삼동선은 배의 초기 설계에 있어서 배의 형상, 주요치수 및 보조선체의 위치에 대한 유연성을 가지고 설계를 시작할 수 있는 선형으로서 특성상 침수표면적이 단동선에 비하여 증가하게 되므로 저속구간에서 마찰저항의 증가로 인한 마력 증가가 예상되지만, 고속구간에서는 주선체와 보조선체의 파도 간섭효과로 인한 저항감소가 기대되어 소요마력의 감소가 예상되는 선형이다. 삼동선은 주선체의 길이증가로 인하여 선수미 동요가 적으며, 파도 중에서 속력의 감소효과도 적다. 또한, 보조선체로 인한 넓은 갑판면적을 확보할 수 있으며, 횡 동요가 적고, 보조선체가 주선체의 주요 공간을 보호할

수 있어 군함의 경우 손상시 안전성이 우수하다. 반면에 주선체의 폭이 감소하여 엔진, 추진체계 및 고속으로 인한 마력의 증가에 따른 일반배치에 어려움이 발생하고, 특히 삼동선형의 주요치수가 작다면 보조선체 및 주선체의 선수에 사용할 수 없는 공간이 생길 수 있다. 이러한 단점에도 불구하고 파도 중 운항 시 높은 안전성과 종·횡동요가 적어 여객선, 군함 그리고 고속 적하역 시스템의 적용이 용이한 컨테이너선에서 차세대 선박으로 주목받을 것으로 예상된다.

한편 트랜섬(Transom)을 가진 선박의 경우, 속력이 낮을 때 트랜섬 선미 끝단에서 갑작스러운 곡률의 변화로 인해 유동박리(Flow separation)가 발생하며 트랜섬 후방의 자유수면에서 생기는 선미파의 모양이 매우 복잡하며 불안정한 형태를 보이는 것이 보통이다 (최희종과 전호환, 2001; Yamano, et al., 2000; Yamano, et al., 2003). 선박의 속도가 빨라지면 유동이 선미의 끝단까지 잘 따라가며 트랜섬이 공기 중에 드러나는 'Dry transom'을 형성하고, 선미 후방에 수탉의 꼬리(Rooster tail)와 같은 삼각파가 나타나고 트랜섬 끝 단면에서 부드러운 유선을 유지하는 것이 특징이라 할 수 있다 (Yamano, et al., 2000; Yamano, et al., 2003). 이러한 트랜섬 후방의 유동현상은 선미파의 형성에 중요한 역할을 하기 때문에 조파저항에 영향을 끼치며, 또한 주행 중 선미 수면의 높이에 따라 배의 전진 방향으로 작용하는 트랜섬 끝 단면에서 압력 기여분이 달라지므로 선박의 저항성능에 선미파의 형상과 높이가 매우 중요한 인자로 작용한다 (Yamano, et al., 2000; Yamano, et al., 2003).

본 연구에서는 기존의 삼동선형에 대한 검토를 통하여 보

교신저자 이영길: 인천시 남구 용현동 253

032-860-7340 younglee@inha.ac.kr

조선체 적정 위치 결정을 위한 연구용 초기선형(Inha-tri) 및 이미 2001년도에 선형설계하여 모형선 시험결과가 확보되어 있는 7톤급 고속여객선 시제선형(Inha-tri I)과 배수량 3500톤급의 여객선 또는 200TEU 급 컨테이너선 목표선형(Inha-tri II)에 대한 저항성능의 향상 및 선미선형과 저항과의 관계성을 파악하고자 이들을 기본선형으로 선정하고(김호은 등, 2000; 이영길 등, 2004), 트랜섬 선미를 가지는 선미바닥형상을 'Convex(볼록)', 'Flat(평편)', 'Concave(오목)'로 변화시켜가면서 모형시험을 수행하였다. 즉, 전저항, 선수미 침하량의 계측시험, MAC(Marker and cell)법을 기초로 한 유한차분법(Finite difference method)을 통한 저항성능 추정기법 등(김규석 등, 2004)이 응용되었다. 이와 함께, 선박저항에 미치는 선미형상의 영향을 예측하기 위한 선미 조파저항의 성분별 분류방법 중의 한 가지를 검토하여 제안하였다. 그리고 이러한 방법에 대한 검증 및 선미형상과 선체저항과의 관계에 관한 자료를 얻기 위하여 특정한 몇몇의 선미형상들에 대한 모형시험이 수행되었다. 연구결과로는 선미형상의 변화에 따른 선미파의 특성과 형성에 대하여 모형시험 및 수치시뮬레이션 결과를 이용하여 설명하였다.

2. 트랜섬 선미의 저항 특성

최근 컨테이너선과 같은 선박의 경우 충분한 적재공간과 안정성을 위하여 좀 더 넓은 폭의 선미 선형으로 설계하는 경향이 있다. 트랜섬 선미를 가진 선박의 특징은 선미 후면으로 격렬한 난류와 함께 선수 방향으로 파도가 부서지는 현상(Forward-oriented wave breaking, 이후로 FOWB)과 선미 방향으로 흘러가는 선미파(Remaining following waves, 이후로 RFW)가 발생하는 것이다(Yamano, et al., 2000; Yamano, et al., 2003). Fig. 1은 FOWB의 예를 보여주고 있다.

Fig. 2는 트랜섬 선미를 갖는 선박의 선미에서 발생하는 선미파 저항을 추정하고자 할 경우를 가정한 기본적 조건을 나타내고 있다. 물이 흐르지 않을 때에는 선미부에서의 속도 증가, 선미에서 발생하는 파도, 선수방향으로 파도가 부서지는



Fig. 1 An example of forward-oriented wave breaking

현상이 일어나지 않는다. 여기에서, I 는 물이 흐르지 않을 경우의 선미에서의 잠긴 깊이(Stern end immersion at rest)이고, I_r 은 선박이 실제로 전진할 경우 생기는 선미에서의 잠긴 깊이(Real stern end immersion)이다 (Yamano, et al., 2000; Yamano, et al., 2003).

Fig. 3은 트랜섬 선미를 갖는 선박이 전진을 하면 FOWB와 RFW가 발생하며, FOWB와 RFW의 영향으로 생긴 자유수면하의 수면층(①)으로 인해 실제로 선미 끝에서 잠긴 깊이(I_r)는 물이 흐르지 않을 경우의 잠긴 깊이(I)보다 작은 값을 나타내고 있다. 배가 항주하게 되면 위의 세 가지 현상이 모두 일어나며 이에 따라 배에 선미파계에 의한 저항이 걸리게 된다. 저속구간(약 $Fn < 0.29$)에서는 선미바닥형상의 변화에 따른 RFW에 의한 선미파의 높이(②) 차이가 작고, FOWB가 발생하게 된다. 고속구간(약 $Fn > 0.68$)에서는 FOWB는 거의 발생하지 않으며, RFW에 의한 의한 영향이 주류를 이루게 된다 (Yamano, et al., 2000; Yamano, et al., 2003).

2.1 선미파 저항의 세 가지 요소

트랜섬 선미를 가지는 선박이 전진하는 경우, 선미파 저항을 세 가지로 구분할 수 있다.

첫째, FOWB에 의해서 생기는 저항을 들 수 있다. Fig. 3에서 선박이 전진함에 따라 트랜섬 근처의 물의 흐름은 부서지기 쉽다. 이렇게 선수 방향으로 향하여 부서지는 파도는 하나의 수면층을 이루며 저항을 발생시키게 되는데, 이러한 FOWB에 의한 수면층 높이(①)가 낮을수록 저항은 적게 발생되며, 저속에서 저항을 결정하는 중요한 요소가 된다.

둘째로는, RFW에 의하여 발생하는 저항이다. Fig. 3에서 RFW에 의한 경계면은 FOWB에 의해 생기는 수면층 아래에 위치한다. 이러한 RFW에 의한 경계면은 선미 끝에서 물이 가속될 때 FOWB가 없는 자유흐름처럼 선미 뒤로 흐르게 된다. RFW에 의한 경계면 높이가 낮을수록 저항은 적게 생기게 되며, 고속역에서의 저항을 결정하는 중요한 요소가 된다.

마지막으로, 선미 끝 단면에서의 수압 감소로 인해 생기는 저항이다. 본 연구에 사용된 세 가지 선형에서는 선미 끝 단면에서 정지시의 잠긴 깊이(I)를 동일하게 설계하여 수압 감소의 차이로 인한 저항의 차이를 최소화 하도록 유도하였다.

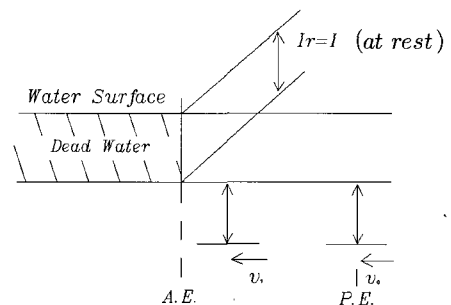


Fig. 2 Rest condition of waves for a transom stern

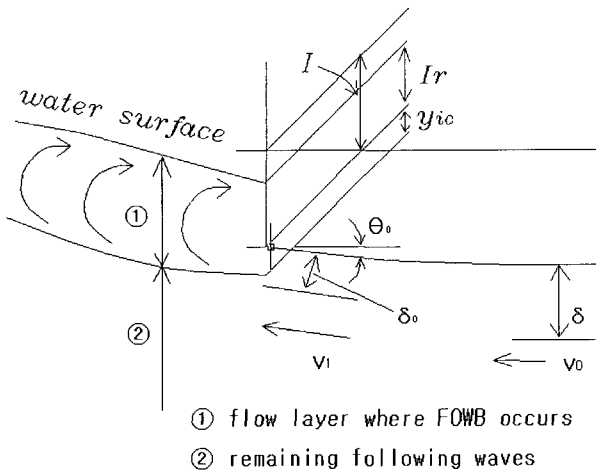


Fig. 3 Running condition of waves for a transom stern

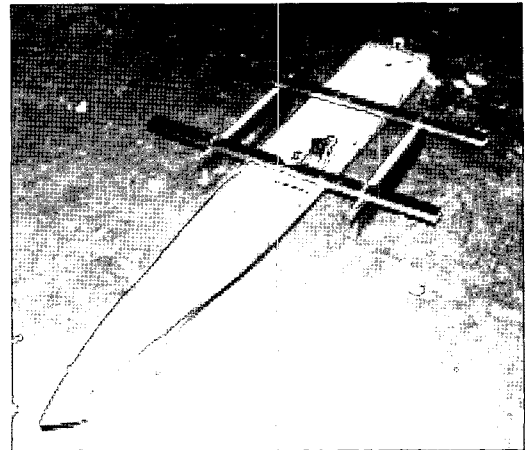


Fig. 4 Model ship (Inha-tri I)

Table 1 Principal parameters of the trimaran 'Inha-tri I'

Ship name		Inha-tri I
LOA(m)	Trimaran	17.0
	Mainhull	17.0
	Sidehull	5.3
LWL(m)	Trimaran	16.0
	Mainhull	16.0
	Sidehull	5.3
Beam at WL (m)	Trimaran	4.0
	Mainhull	1.9
	Sidehull	0.25
Depth(m)	Trimaran	1.5
	Mainhull	1.5
	Sidehull	1.5
Draft(m)	Trimaran	0.5
	Mainhull	0.5
	Sidehull	0.5
Displacement (Ton)	Trimaran	7
	Mainhull	6.3
	Sidehull	0.7
Speed (Knot)	Trimaran (F_n)	25.0 (1.02)
L/B	Mainhull	8.42
	Sidehull	28.0
B/T	Mainhull	3.8
	Sidehull	0.46
Slender-ness ($L/\nabla^{1/3}$)	Mainhull	8.66
	Sidehull	7.52

3. 개념설계

3.1 주요제원

Table 1에서는 본 연구의 대상 선박으로서 삼동선인 7톤급 고속 여객선 'Inha-tri I'의 주요 제원을 보여주고 있다. 3가지 삼동선 선형 중 비교적 가장 선미 폭이 길이에 비하여 넓은 'Inha-tri I'을 본 연구의 대상 선형으로 선정하게 되었다.

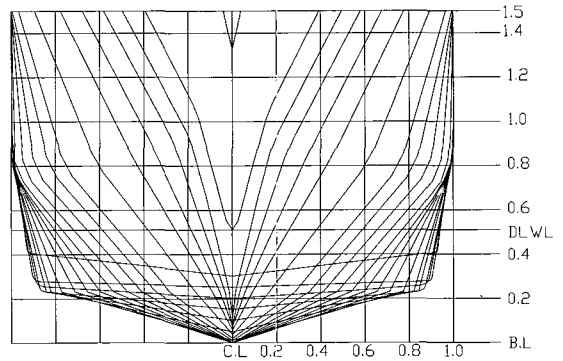


Fig. 5 Body plan (Inha-tri I)

3.2 선미선형 설계

본 연구에서는 이러한 이미 개발된 7톤급 고속여객선의 비교적 폭이 넓은 삼동선 모형(Inha-tri I)의 선미선형을 변화시켜 선미선형과 저항과의 관계를 알아보려고 하였다. 설계된 초기선형의 모형은 Fig. 4와 같다.

선수선형은 흔히 고속선에서 선수형상에 의해 지배되는 조파저항과 쇠파저항을 줄이기 위한 방향으로 설계가 진행되었다. 따라서 선수부는 저항감소를 위해 뾰족한 형상을 가지고 있으며, 선미부는 엔진 탑재 공간 및 재화중량의 확보를 위해 박스 형태를 하고 있고, 트랜섬 선미를 가지고 있어 본 연구의 목적으로 볼 때 선미선형에 변화를 주어 설계하기에 적절하였다. Fig. 5에서 7톤급 고속여객선의 정면도를 보여주고 있다.

3.3 모형선

서로 다른 θ_e (Fig. 3 참조)를 가진 세 가지 선미선형, 즉 'Convex'($\theta_e=+4.12\text{deg}$), 'Flat'($\theta_e=0\text{deg}$), 'Concave'($\theta_e=-4.12\text{deg}$)의 선미 측면형상을 가진 모형선을 설계 및 제작하였다. 이하 이들 각각의 모형선의 이름을 'Convex', 'Flat', 그리고 'Concave'라 명명한다. 여기서, θ_e 란 Fig. 3에서 선미 끝 단면과 수직인 수평선과 선미선형에 따른 바닥의 경사선

Table 2 principals of model ships

M.S. Name	θ_e (deg.)	L_{wl} (m)	B(m)	d(m)
'Convex'	+4.12	1.7	0.425	0.053
'Flat'	0			
'Concave'	-4.12			

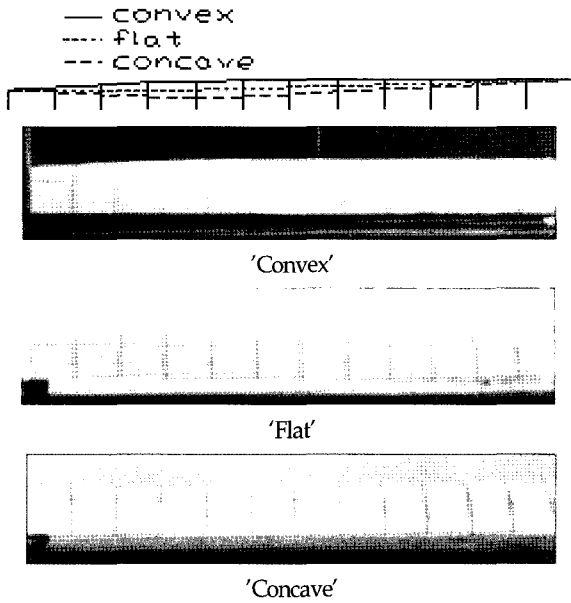


Fig. 6 Bottom profiles of transom stern

Table 3 Speed condition of ship model test

Fn	0.290	0.388	0.488	0.585	0.684
F_{rI}	1.967	2.626	3.306	3.962	4.636
v_0 (m/s)	1.185	1.582	1.992	2.387	2.793
v_s (knots)	7.07	9.44	11.89	14.24	16.67

이 이루는 각을 의미한다. θ_e 가 (-)란 선미 바닥이 오목하게 들어간 경우이며, θ_e 가 (+)란 선미 바닥이 볼록하게 나온 경우를 뜻하게 된다. Table 2에 모형선의 주요요목들을 나타내고 있다. 이러한 세 가지 모형선들은 같은 L_{wl} , B, d를 가지고 있고, 선미단의 수압 감소에 따른 저항을 일정하게 하기 위해서 정지시의 선미 끝단의 잠긴 깊이를 $I=0.037m$ 로 동일하게 하였다.

Fig. 6에서는 실험에서 사용된 모형선들의 선미선형에 대한 측면형상들을 보여주고 있다.

3.4 모형실험 조건

Table 3에서는 모형선 실험조건들 중에 속력들을 나타내고 있다. 모형선 실험은 예인전차 속도를 약 0.4(m/s)씩 증가시키며 1.185(m/s)부터 2.793(m/s)까지 5가지 속도에서 수행되었다. 실선인 7톤급 고속여객선 ($L_{wl}=16m$, $B=4m$)에서는 7.07(knots)에서 16.67(knots)의 속도 범위에 해당하게 된다.

여기에서, $Fn=V_0/(gL_{wl})^{0.5}$ 은 수면길이에 대한 Froude 수이고, $F_{rI}=V_0/(gI)^{0.5}$ 는 정지 시 선미 끝단의 잠긴 깊이 I에 대한 Froude 수이다.

선형시험수조의 주요 제원은 길이가 79m, 폭이 5m, 수심은 2.7m이며, 예인전차의 최고속도는 3.5%이다.

4. 수치 계산 및 모형시험

실험에 앞서 각 설계 선형에 대한 수치계산을 통하여 선형의 변화에 따른 저항의 증감효과를 검토하기 위한 수치시물레이션이 수행되었다.

수치계산은 MAC법을 기초로 하여 직사각형격자계에서 수행되었다. 선체를 균일한 유동장에 놓여 있는 고정된 부유체로 가정하고 선체주위 유동장을 계산함으로써 선체로 인하여 발생하는 파도를 해석하였으며, 지배방정식으로는 보존형의 Euler 방정식과 연속방정식이 사용되었다 (김규석 등, 2004; Hirt and Nichols, 1981; Viacelli, 1971).

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

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

$$\frac{\partial(w)}{\partial t} + \frac{\partial(uw)}{\partial x} + \frac{\partial(vw)}{\partial y} + \frac{\partial(w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial\phi}{\partial z} + g \tag{1}$$

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

식 (1)과 (2)에서

- (x, y, z) : Cartesian coordinate
- (u, v, w) : Velocity component of x,y,z respectively
- g : Acceleration of gravity
- ρ : Density
- ϕ : P/ρ
- P : Pressure

계산영역은 주선체와 보조선체를 포함하는 유동장으로 구성하였으며, 주선체의 중앙면에 대칭조건을 적용하였고, X축은 선체의 길이방향을, Y축은 선체의 폭방향을, Z축은 수직상방향을 (+)방향으로 하였다. 격자계로는 Staggered-variable 격자계가 사용되었다.

Euler 방정식은 시간에 대하여는 전진차분법, 공간에 대하여는 2차 중심차분법으로 이산화 되었다. Staggered variable 격자계에서 이산화된 Euler 방정식을 통해 압력에 대한 Poisson 방정식을 유도해 내었다.

수치적 안정성을 위하여 대류항의 경우 2차 중심차분법과

Table 4 Computational conditions about 'Inha-tri I'

Condition	Hull	Inha-tri I
Number of cell	X	280
	Y	75
	Z	38
Computational domain	X	5.6m
	Y	0.75m
	Z	0.304m
Cell size	X	0.02m
	Y	0.01m
	Z	0.008m
Fn		0.684
DIND		0.007
Time steps for acceleration		5000
Total steps		12000

Donor cell 기법이 결합된 혼합법을 이용하여 이산화 하였다. 압력의 Poisson 방정식은 매 Time step 마다 SOR(Successive over relaxation)를 이용하여 반복적으로 계산되었다. Poisson 방정식의 결과를 이용하여 운동량 방정식(식 (1))으로부터 다음 Time step에서의 속도를 구할 수 있다. 또한 구한 속도성분들은 다음 Time step에서 Poisson 방정식의 Source terms 으로 사용하여 다음 Time step에서의 계산이 반복되어진다. 본 연구에서의 계산조건은 Table 4와 같다.

5. 결과 및 고찰

5.1 선미파의 비교

Fig. 7과 Fig. 8에서는 모형시험 시의 서로 다른 선형에 대한 선미에서의 선미파를 보여주고 있다. 저속구간($Fn=0.290$)에서는 RFW에 의한 선미파의 수면층하 경계면의 높이가 극히 작을 것으로 예상되며, 다만 사진의 정도상 판별이 쉽지는 않으나 'Concave'의 경우 FOWB가 많이 발생되어 조파저항이 가장 큰 선형임을 보이고 있다. 한편, 고속구간($Fn=0.684$)에서는 'Flat'이 RFW에 의한 파도의 높이가 가장 낮고, 선미파의 모양이 타 선형에 비해 매끄러워 조파저항 측면에서 가장 적합한 선형임을 Fig. 8에서 확인할 수 있다.

5.2 수치시물레이션

Fig. 9에서는 트랜섬 선미의 선미바닥을 변형시킨 'Convex', 'Flat', 'Concave'에 대하여 수치시물레이션을 통한 등파고 선도를 보여주고 있다. 고속구간($Fn=0.684$)에서의 모형실험 결과에 의하면 RFW에 의해 생기는 파도의 높이가 'Flat'이 'Convex'보다 낮다는 점이 수치해석에 의한 결과에서도 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 10에서는 선미변형에 따른 'Convex', 'Flat', 'Concave'의 선측파형을 보여주고 있다. 모형실험의 고속구간

($Fn=0.684$)에서 가장 저항이 작았던 'Flat'의 경우, 트랜섬 선미에서 RFW에 의한 자유수면의 변화가 가장 저항이 컸던 'Convex'보다 작음을 알 수 있다 (Fig. 13). 그러므로 수치 계산에 의한 결과가 모형실험을 통한 선미파의 경향을 비교적 근사하게 나타내고 있음을 알 수 있다.

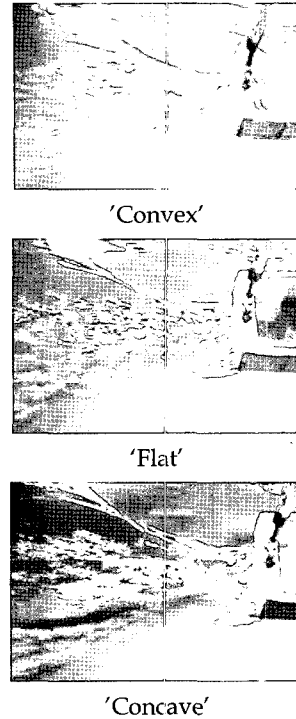


Fig. 7 Stern wave patterns at $Fn=0.290$

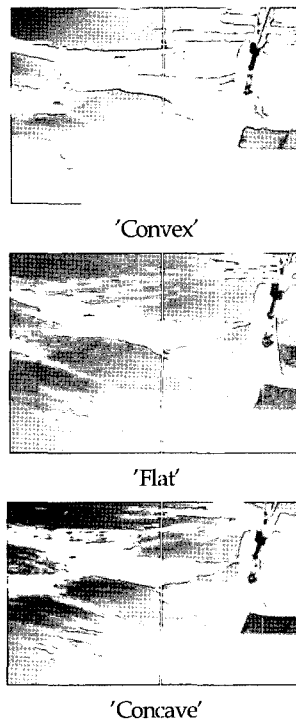


Fig. 8 Stern wave patterns at $Fn=0.684$

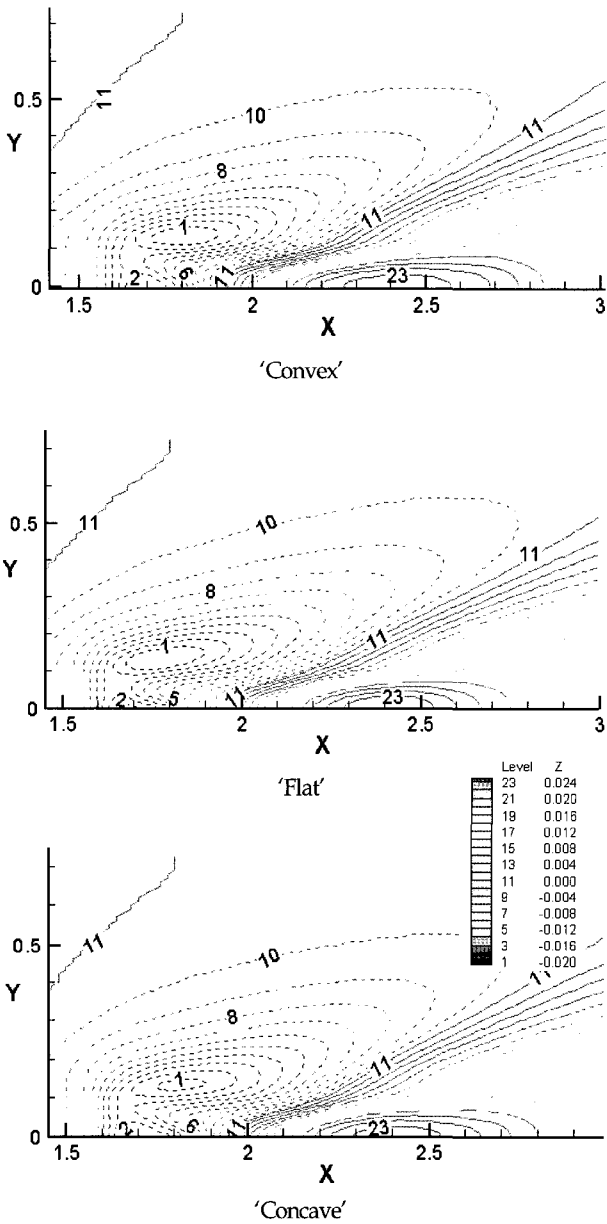


Fig. 9 Wave height contours at $Fn=0.684$

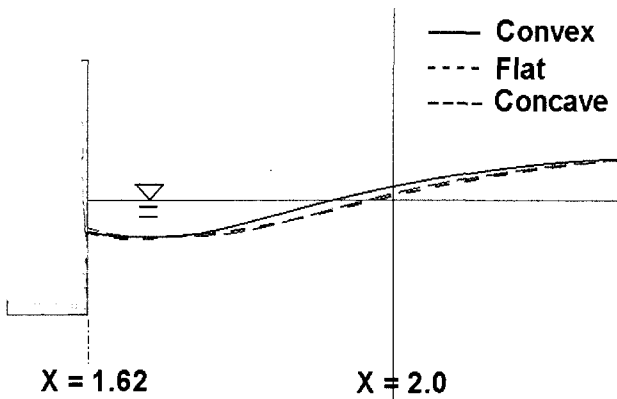


Fig. 10 Wave profiles along the hull surface ($Fn=0.684$)

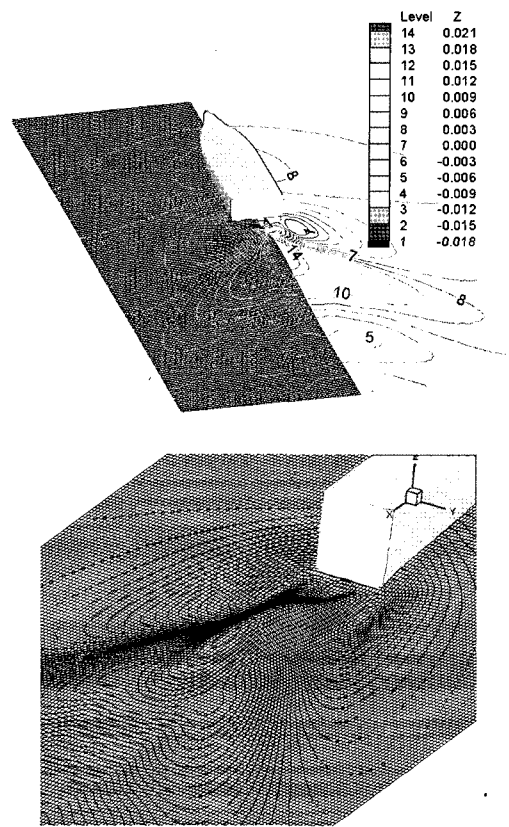


Fig. 11 Perspective view of Inha-tri I ($Fn=0.684$)

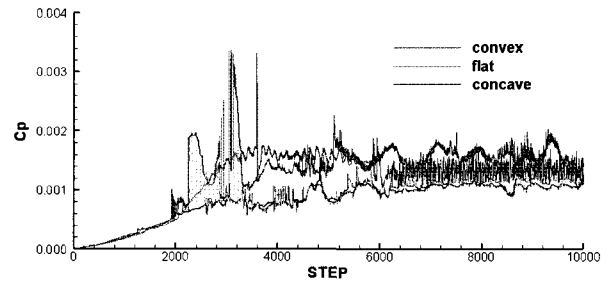


Fig. 12 C_p histories of Inha-tri I ($Fn=0.684$)

Fig. 11에서는 트랜섬 선미를 갖는 삼동선의 3차원 조감도를 보여주고 있다. 수치계산 결과 트랜섬 선미 후방에 삼각 파가 형성되었으며 파고가 점점 높아지는 부드러운 유선이 형성되어진 현상을 볼 수 있다. 수치계산의 가속 구간은 5000step이고, 최종 계산 구간인 12000step일 때의 Trim과 Sinkage를 고려한 'Convex'의 3차원 조감도를 그림에서 보여주고 있고, 또한 'Flat'과 'Concave' 모두 선미 후방에 트랜섬 선미를 가진 선박의 선미파의 특징을 보여주고 있어, 고속구간($Fn=0.684$)일 때 모형실험의 선미 후방에 나타나는 선미파의 형상과 유사한 형상을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 12에서는 $Fn=0.684$ 에서 계산을 통해 얻은 C_p 곡선 (배의 압력저항계수곡선)을 나타내고 있다. 정성적으로 실험결과(5.3절 참고)와 유사함을 확인할 수 있다.

5.3 실험과 계산 결과의 비교

본 모형선 실험은 인하대학교 선형시험수조에서 시행되었다. Fig. 13에서는 트랜섬 선미의 선저변화에 따라 실험에 의한 모형선의 전 저항을 비교한 것이다. 저속구간에서는 'Concave'가 다른 선형에 비해 조금 높은 저항 값을 보이고 있다. 그리고 고속구간에서는 'Flat'의 저항이 가장 작은 값을 보이므로, 선박의 속력이 높을수록 비교적 폭이 넓은 트랜섬 선미를 가지는 선박에 대해서 'Flat'이 가장 적합한 선형일 것이다.

Fig. 14에서는 트랜섬 선미선형 변화에 따른 잉여저항계수 값을 비교한 것이다. 저속 구간(약 $Fn=0.3$)에서는 'Concave'의 저항이 가장 크게 발생하였으며, 반면에 고속구간(약 $Fn=0.6$)에서는 'Flat'의 저항이 가장 작게 발생하였다. 고속에서는 선미 끝단에서 파도가 부서지는 현상이 적음으로 인하여, 고속에서 가장 큰 영향을 미치는 RFW에 의한 영향 때문으로 생각된다.

Fig. 15에서는 7톤급 여객모형선(윗 그림)과 Yamano et al.(2000)의 잉여저항계수 값(아래 그림)을 비교한 것이다. Yamano et al.(2000)의 F_{ri} 구간(2.5~3.7)은 "I"에 대한 Froude 수($F_{r,I} = V_0 / (gI)^{0.5}$)로, 이를 L_{wl} 에 대한 Froude 수($Fn = V_0 / (gL_{wl})^{0.5}$)로 환산하면 윗 그림의 Inha-tri I의 Fn 구간(0.4~0.6)에 해당된다. Yamano et al.(2000)의 약 $F_{r,I}=2.5$ 에서는 'Concave'가 가장 잉여저항계수가 작고, 약 $F_{r,I}=3.7$ 에서는 'Flat'이 잉여저항계수가 가장 작은 점이 비교적 넓은 폭을 가진 Inha-tri I에서도 같은 경향을 보여주고 있다.

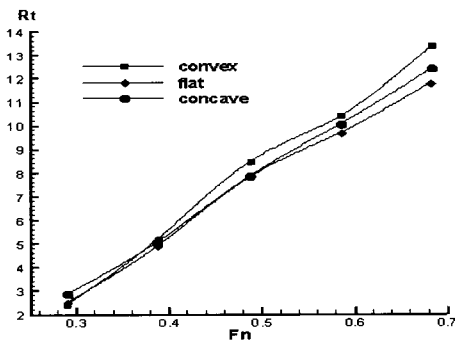


Fig. 13 Comparison of R_t curves

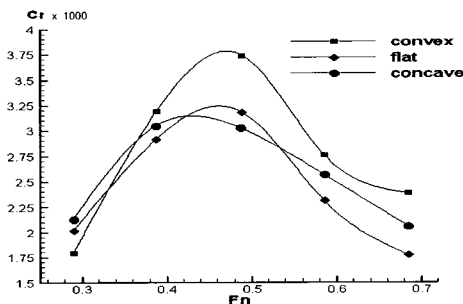


Fig. 14 Comparison of C_r curves - 1

Fig. 16과 Fig. 17에서는 트랜섬 선미선형 변화에 대한 트림과 침하량을 보여주고 있다. 트림과 침하량이 각 선형에 대해서 모두 일정한 경향으로 변화하므로 이들이 선미와 저항에 크게 영향을 미치지 않으며, 따라서 이들 보다는 선미

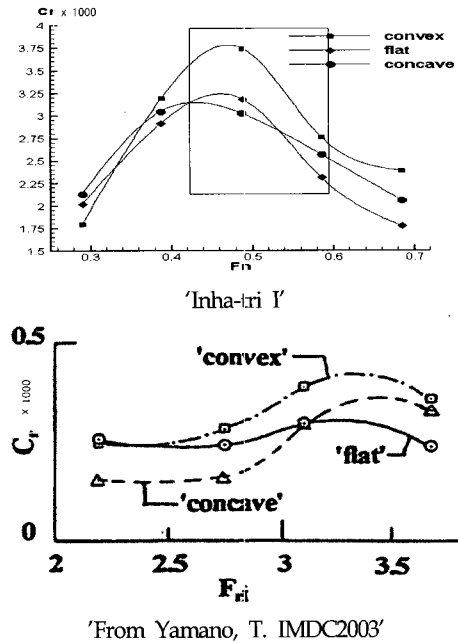


Fig. 15 Comparison of C_r curves - 2

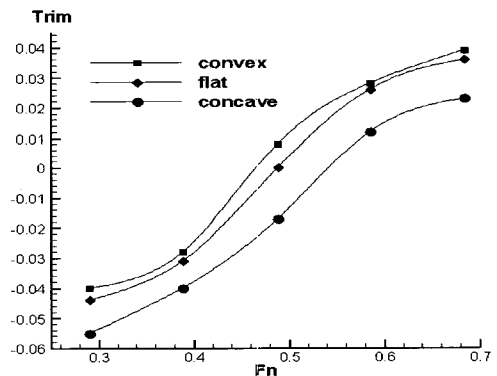


Fig. 16 Comparison of trim curves

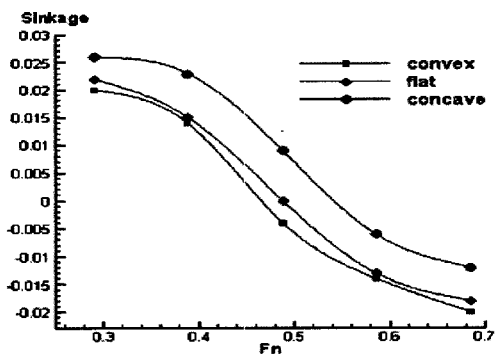


Fig. 17 Comparison of sinkage curves

선형의 변형으로 인한 파형과 형상의 영향이 선박의 저항에 미치는 영향이 크다고 볼 수 있다.

6. 결 론

비교적 선폭이 넓은 트랜섬 선미를 가지는 선박에 있어서 선미선형 설계에 관하여 선박의 조파저항 관점에서 연구를 수행 하였으며, 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 저속구간에서 저항에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 FOWB (Forward-oriented wave breaking)에 의한 저항이고, 'Concave'가 FOWB의 현상이 더 크게 발생되어 다른 선형에 비해 조금 높은 저항 값을 보이고 있다.

(2) 고속구간에서는 저항에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 RFW (Remaining following waves)에 의한 저항이고, 'Flat'이 RFW에 의한 파고가 다른 선형에 비해 제일 낮고, RFW의 모양이 매끄러워 가장 작은 저항 값을 보이므로 고속에서 적합한 선형이라고 할 수 있다.

(3) 트랜섬 선미 바닥형상 변형에 따른 저항성능을 모형실험 및 수치계산을 통하여 알아보았으며, 수치시뮬레이션을 통하여 선미 뒤로 발생하는 선미파의 형상이 실험결과와 경향이 비교적 유사함을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 활용한 수치계산기법은 트랜섬 선미 선형을 가지는 선형설계에 충분히 활용되어 질 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 KOSEF 지정 인하대학교 황해권 수송시스템 연구센터의 연구비 및 과학기술부(한국과학재단) 특정기초연구(R01-2005-000-10878-0) 지원으로 수행되었다. 끝까지 원고의 정리를 도와준 지현우 군에게 감사한다.

참고문헌

김규석, 이영길, 정광열, 강대선 (2004). "Transom stern을 가지

는 선박의 선미선형 설계에 관한 기초적 연구2", 대한조선학회 추계학술대회논문집, 제27권, pp 740-747.

김호은, 최동섭, 이영길 (2000). "2007TEU 삼동선의 선형설계", 대한조선학회 선박설계연구회 하계연구발표회 논문집, pp 41-16.

이영길, 최동섭, 김규석 (2004). "고속 삼동선형 설계에 관한 연구", 대한조선학회논문집, 제41권, 제3호, pp 63-74.

최희종, 전호환 (2001). "트랜섬 선미를 가지는 선형의 포텐셜 유동해석", 한국해양공학회지, 제15권, 제1호, pp 1-6.

Hirt, C.W. and Nichols, B.D. (1981). "Volume of Fluid Method for the Dynamics of Free Boundaries", J. Comp. Phys. 39.

Viecelli, J.A. (1971). "A Computing Method for Incompressible Flows by Moving Walls", J. Comput. Phy. 8.

Yamano, T., Kusunoki, Y., Kuratani, F., Ogawa, T., Ikebuchi, T., and Funeno, I. (2003). "Effect of Transom Stern Bottom Profile From on Stern Wave Resistance - A Consideration on the Effect of Real Stern End Immersion -", J. Kansai Soc. N.A., Japan, No 240, pp 11-19.

Yamano, T., Kusunoki, Y., Kuratani, F., Ogawa, T., Ikebuchi, T. and Funeno I. (2003). "Effect of Transom Stern Bottom Profile From on Stern Wave Resistance - An Experimental Study -", J. Kansai Soc. N.A., Japan, No 239, pp 1-10.

Yamano, T., Kusunoki, Y., Kuratani, F., Ogawa, T., Ikebuchi, T. and Funeno I. (2003). "On Effect of Bottom Profile Form of a Transom Stern on Its Stern Wave Resistance", IMDC, pp 81-94.

Yamano, T., Ikebuchi, T., Funeno, I. (2000). "On Forward-oriented Bwave Breaking just Behind a Transom Stern." J. SNAJ, Vol 187, pp 25-32.

2006년 3월 13일 원고 접수

2006년 3월 2일 최종 수정본 채택