[UCI]I804:24011-200000256976

2012年　2月

碩士學位論文

태양광 추진 소형 레저보트 선형개발에 관한 연구

A Study on the Hull Form Development of Solar Powered Small Leisure Boat

朝鮮大學校 大學院

船舶海洋工學科

朴　慶　勳

태양광 추진 소형 레저보트 선형개발에 관한 연구

A Study on the Hull Form Development of Solar Powered Small Leisure Boat

2012年 2月 25일

朝鮮大學校 大學院

船舶海洋工學科

朴 慶 勳

태양광 추진 소형 레저보트 선형개발에 관한 연구

指導敎授　朴 濟 雄

이 論文을 工學碩士學位申請 論文으로 提出함

2011年 12月

朝鮮大學校 大學院

船舶海洋工學科

朴 慶 勳

朴 慶 勳의 碩士學位論文을 認准함

委員長　　教授 金 道 正 印

委　員　　教授 朴 濟 雄 印

委　員　　教授 鄭 宇 哲 印

2011年　12月

朝鮮大學校 大學院

목 차

List of Tables ····· ii
List of Figures ····· iii
Nomenclatures ····· iv
Abstract ····· v

제 1 장 서 론 ····· 1
1.1 연구 배경 ····· 1
1.2 국내외 연구동향 ····· 2
1.3 연구내용과 범위 ····· 7

제 2 장 선형개발 ····· 8

제 3 장 수치해석 ····· 11
3.1 지배방정식 및 이산화 ····· 11
3.2 수치계산 조건과 경계조건 ····· 14
3.3 수치계산 결과 ····· 16

제 4 장 모형시험 ····· 21
4.1 시험조건 ····· 21
4.2 시험결과 ····· 23

제 5 장 결 론 ····· 32

List of Tables

Table 2.1 Comparison of Principal Dimensions for reference Ship ····· 9
Table 2.2 Estimation of displacement ····· 9
Table 2.3 Pricipal Dimensions of developed Boat ····· 10
Table 3.1 Computational Case ····· 14
Table 3.2 Comparison of Computed resistance ····· 20
Table 4.1 Principal Dimensions of ITCWC ····· 22

List of Figures

Fig. 1.1 Solar Powered Leisure Boat, Korea ····· 3
Fig. 1.2 Electric Powered Leisure Boat, Japan [16][17] ····· 4
Fig. 1.3 Sydney Solar Sailor, Australia [18] ····· 4
Fig. 1.4 Helio, Germany [19] ····· 5
Fig. 1.5 SUN21, Swiss [20] ····· 6
Fig. 1.6 Planet Solar, Germany [21] ····· 6
Fig. 1.7 Various Solar Boat, Europe [19] ····· 7
Fig. 2.1 Lines of developed Boat ····· 10
Fig. 3.1 Grid topology and Computational Domain ····· 15
Fig. 3.2 Boundary Conditions ····· 15
Fig. 3.3 Pressure Distributions on free Surface, V=5 knots ····· 17
Fig. 3.4 Wave Distributions on free Surface, V=5 knots ····· 18
Fig. 3.5 Pressure Distributions on Hull Surface, V=5 knots ····· 19
Fig. 4.1 Schematic view of ITCWC ····· 21
Fig. 4.2 Test Model ····· 22
Fig. 4.3 Setting of Test Model ····· 23
Fig. 4.4 Flow Visualization Test by Ink Injection Method, V=5 knots 24
Fig. 4.5 Wave Patterns, V=2 knots ····· 25
Fig. 4.6 Wave Patterns, V=3 knots ····· 25
Fig. 4.7 Wave Patterns, V=4 knots ····· 26
Fig. 4.8 Wave Patterns, V=5 knots ····· 27
Fig. 4.9 Wave Patterns, V=6 knots ····· 27
Fig. 4.10 Wave Patterns, V=7 knots ····· 28
Fig. 4.11 Comparison of Wave Patterns, V=5 knots ····· 29
Fig. 4.12 Measured Resistance ····· 30
Fig. 4.13 Power Estimation ····· 31

Nomenclatures

Lbp, Lpp	Length Between Perpendiculars (m)	
L_{WL}	Length of Designed Load Waterline (m)	
B	Breadth Moulded (m)	
D	Depth Moulded (m)	
d	Draught Moulded (m)	
C_B	Block Coefficient ·····	$C_B = \nabla/(Lbp \cdot B \cdot d)$
C_P	Prismatic Coefficient ·····	$C_P = C_B/C_M$
C_M	Midship Section Coefficient ·····	$C_M = A_M/(B \cdot d)$
C_W	Waterplane Coefficient ·····	$C_W = A_W/(Lbp \cdot B)$
∇	Displacement Volume (m^3)	
$\triangle$, W	Displacement Weight (ton)	
V	Speed of Ship (m/s)	
V_S	Speed of Ship (knot)	
Rt	Total Resistance (g)	
g	Acceleration due to Gravity (m/sec^2)	
Fn	Froude Number ·····	$Fn = V / \sqrt{Lwl \bullet g}$
Rn	Reynolds Number ·····	$Rn = (Lwl \cdot V) / \nu$

ABSTRACT

A Study on the Hull Form Development of Solar Powered Small Leisure Boat

Park, Kyeong-hun
Advisor : Prof. Park, je-woong Ph. D.
Department of Naval Architecture
& Ocean Engineering
Graduate School of Chosun University

As the public interest in marine leisure is increasing recently, the development of technology related to leisure boat and completions is also continuously increasing. However, most of those boats use engines of fossil fuel, it often causes not only water pollution in the coast but also secondary damage due to noise.

Therefore, reduction of greenhouse gas and development of leisure boat in a new concept using new regeneration energy are needed for activating marine leisure.

Considering domestic and overseas environment, this research developed a basic model of a small leisure boat for two people that propels by using only solar photovoltaic energy.

To maximize light-harvesting effect of solar photovoltaic energy and secure stability of sailing, the concept of catamaran was introduced. The developed model of the ship approved its performance through model test in computational fluid dynamics (CFD) and circulating water channel.

This research draw conclusion as it follows.

1) When design speed is higher than Froude value 0.3, it was confirmed that waver interference between two bulls can be reduced by designing the body of water plane as a straight line.

2) Like this development ship, to design to make operation in a long term with one charging for electrically propelling boat, it is confirmed that it is better to make bow area think and distribute lots of displacement to stern area in order to reduce wave- making resistance. And it is also confirmed that putting the battery on stern for good propelling performance.

3) In case of a small leisure boat for two people that propels by only using solar photovoltaic energy, having twin hull boat can improve performance in order to secure stability of sailing and to maximize light-harvesting effect.

4) In case of catamaran like this develop boat, L/B, which is a rate of length-width, is efficient when it is about 2.1 in average.

5) This develop boat confirmed the speed of more than 5 note as maximum by using 2Kw motor.

6) Flow analysis using common CFD code FLUENT shows similar tendencies with model test results, so it can be useful in development phase of the early model of catamaran.

제 1장 서 론

1.1 연구 배경

현대 인류문명은 지난 200년간 석유, 석탄, 천연가스와 같은 화석연료로부터 번영의 에너지를 얻어왔다. 그러나 현재 우리를 둘러싼 에너지환경을 살펴볼 때에 우리는 이제 인류가 화석연료로부터 지속적인 번영 에너지를 얻을 수 있을지에 대한 확신을 얻기 어려운 시대를 살고 있으며, 이에 따른 세계 각국의 에너지 자원 확보경쟁이 갈수록 심화되고 있다. 따라서 지속적인 사회·경제적 발전을 위한 동력을 제공하고 동시에 잠재적으로 초래될 환경 및 사회·정치적 파급효과에 대처할 수 있는 에너지를 확보하는 것은 21세기에 세계 사회가 풀어야 할 중대한 과제이다. 따라서 풍력, 조력, 파력, 태양력 등 자연으로부터 얻을 수 있는 신재생 에너지는 지구환경 보존과 세계 경제를 지탱해 줄 새로운 성장 동력으로 그 역할이 급부상하고 있다.

유엔의 기후변화협약 (UNFCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)에서는 향후 지구 온난화를 방지하기 위해 대기 중의 이산화탄소 농도를 450～550 ppm으로 유지하려는 이산화탄소 안정화 정책을 추진하고 있다. 기후변화 협약(Kyoto protocol)에 의거, 우리나라는 2차 공약기간 중(2013~2017) 온실가스 감축의무 부담이 가시화될 전망이다. 현재 온실가스배출량 세계 10위권인 우리나라가 감축 의무 부담 시에는 국내 산업 및 경제에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다.

특히, 매년 선박으로부터 배출되는 온실가스양이 약 6억~8억톤 정도로 전 세계 온실가스 배출량의 약 5% 정도를 차지한다고 알려져 있으며, 이는 항공기의 약 2.5배 수준이다. 머지않아 선박에 대한 온실가스 규제가 본격화 될 것으로 전망되므로 세계 조선산업 1위국인 우리나라에서도 온실가스 감축을 위한 신재생 에너지를 이용한 선박개발의 필요성이 점차 대두되고 있다.

최근 해양레저에 대한 국민적 관심이 증가하면서 레저보트 관련 기술개발과 건조량이 꾸준히 증가하고 있다. 그러나 그 대부분의 보트들은 화석연료를 이용하는 엔진을 사용하는 관계로 연안에서 수질오염 뿐 만 아니라 소음으로 인하여 많은 2차적인 피해를 유발하기도 한다.

따라서 온실가스 감축이라는 범국가적인 과제 뿐 만 아니라, 해양레저 활성화 관점에서도 신재생 에너지를 사용하는 신개념의 레저보트 개발이 필요한 시점이다.

1.2 국내외 연구동향

국내에서는 해양수산부(현 국토해양부)에서 발표한 해양개발기본계획(Ocean Korea 21)[1] 이후, 다양한 형태의 레저선박 개발에 지속적인 투자가 이루어져 왔다. 반석호와 김상현[2], 정우철 등[3][4]과 박충환 등[5]은 고속 레저보트에 관한 연구를, 유재훈 등[6][7], 심상목[8], 지혜련 등[9]은 세일링 요트의 선형설계에 관한 연구를 수행해 왔다. 박종헌 등[10]과 박근옹 등[11]은 한국의 전통 어선을 세일링요트에 접목하고자 하는 연구를 수행하였고, 최근에는 남종호 등[12], 김태윤과 현범수[13], 신성철과 김훤모[14] 등에 의하여 수퍼요트에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다.

그러나 전기에너지를 수송시스템에 적용하고자 하는 연구는 주로 전기자동차에 집중되어온 반면, 선박분야에 있어서는 연구가 미비한 실정이다. 1993년 대전 엑스포 개최 시 선속 3노트인 거북선 형상의 태양광 추진 선박이 선보인 이후 전국 대학생 Solar boat Festival이 매년 개최되고 있으나, 조선공학 전공 대학생들의 축제로 아직 학습단계에 있는 실정이다. 2010년 4월 태양광을 이용하여 74일간 인천 덕적도에서 부터 제주도·이어도·여수·통영·독도에 이르는 뱃길을 탐험하는 선박이 등장하였으나, 보트에 설치한 100W급 태양광 모듈로 발전한 전기로는 전기밥솥과 조명 등을 이용하는 수준이었으며, 인력에

의하여 추진하는 방식을 채택하였다. 최근에는 심야전기를 이용한 Plug-in 방식의 전기추진 어선 개발이 진행되고 있다.

일본에서는 이산화탄소 배출을 억제하기 위한 새로운 개념의 전기추진 선박개발에 많은 투자를 하고 있다. 2001년부터 정부차원의 SES(Super Echo Ship) Project를 진행 중이며, 2009년 기준으로 8척의 전기추진선박이 취항하였고, 11척을 건조 중에 있다. 대부분의 선박들은 중대형급 규모의 선박으로, 엔진을 이용하여 발전을 하는 방식을 채택하고 있다[15]. 또한 태양광과 Plug-in 방식의 전기충전을 이용하는 소형 레저선 개발도 활발히 이루어지고 있으며, 나가사키지역 관광지인 하우스텐보스 내 운하에는 태양광 추진을 이용한 유람선이 운항되고 있다[16]. 또한 2010년 전장 10m(12인승) 규모의 급속충전 방식의 전기 추진선박 시제선이 개발되어 시운전 중에 있다[17].

Fig. 1.1 Solar powered leisure boat, Korea

Fig. 1-2 Electric powered leisure boat, Japan [16][17]

Fig. 1-3 “Sydney solar sailor”, Australia [18]

최근 해양레저 강국으로 부상하고 있는 호주에서는 태양광과 바람을 이용한 하이브리드 개념의 관광유람선 “Sydney solar sailor”를 개발하여 운항 중에 있다. 이 선박은 태양광만을 사용할 경우 6노트 정도의 속도를 낼 수 있으며, 필요 시 화석연료를 함께 사용할 수 있다[18].

독일의 “Helio”는 독일 남부 보덴제호수에서 운항하는 최대정원 50명의 관광 유람선으로 4.2Kw 용량의 태양전지 장착하여 최대 속도 6.5노트로 운항할 수 있다. 반투명 Solar cell을 부착하여 수려한 미관을 자랑한다[19].

Fig. 1-4 “Helio”, Germany [19]

스위스의 “SUN21”은 길이 14m, 선폭 6.5m의 쌍동선으로 평균 4~5노트의 속력으로 태양광만을 이용하여 세계 최초로 대서양을 횡단하였고[20], 독일의 “Planet solar”호는 전장 31m, 50인승 규모의 쌍동선으로 평균 7.5노트, 최대 14노트의 속력이 나오도록 설계되어 2011년 시운전을 시운전을 성공리에 수행하였다[21].

Fig. 1-5 “SUN21”, Swiss [20]

Fig. 1-6 “Planet solar”, Germany [21]

영국은 2012년 런던올림픽을 앞두고 런던시내의 하이드파크와 템즈강에서 운항될 태양광 추진 관광유람선 개발을 완료하여 시운전 중에 있으며, 그 외 벨기에, 네덜란드, 미국 등지에서도 태양광을 이용한 레저보트 개발에 많은 노력을 경주하고 있다[19].

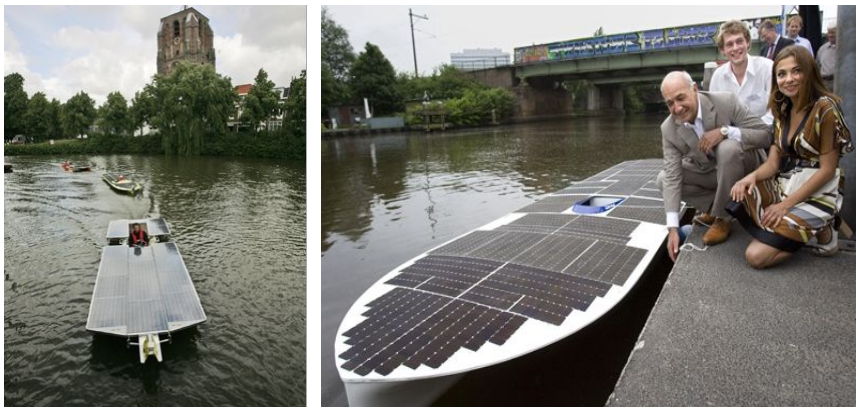


Fig. 1-7 Various solar boat, Europe [19]

이상에서 간략히 살펴본 바와 같이 일본을 비롯한 유럽, 호주 등에서는 신재생 에너지, 특히 태양광을 이용한 다양한 형태의 레저보트 개발이 활발히 이루어지고 있다.

1.3 연구내용과 범위

본 연구에서는 태양광 에너지만을 이용하여 추진하는 2인승 소형 레저보트의 기본 선형을 개발하였다. 태양광 에너지의 집광효과를 극대화하고, 운항안정성을 확보하기 위하여 쌍동선 개념을 도입하였다. 개발된 선형은 전산유체역학(CFD)과 회류수조에서의 모형시험을 통하여 성능을 검증하였다.

본 논문의 제 2장에서는 선형개발 과정을 설명하였고, 제 3장에서는 상용 CFD Code인 FLUENT를 사용하여 수행된 Simulation 결과를 정리하였다. 제 4장에서는 회류수조에서의 모형시험결과를 수록하였고, 끝으로 제 5장에서는 본 연구의 종합적인 결론을 제시하였다.

제 2장 선형개발

본 연구에서 개발하고자 하는 선박은 2인승 소형 레저보트로, 태양광만을 에너지원으로 하여 추진하는 선박이다. 따라서 태양광 판넬이 가능한 많이 부착될 수 있고, 성인 두 사람이 승선하였을 경우에도 자유롭게 움직일 수 있도록 충분한 상부 면적이 확보되어야 한다. 또한 레저선박의 특성상 안정성능이 확보되어야 한다. 따라서 본 연구 대상선박의 기본 형태는 쌍동선이 적합할 것으로 판단된다.

쌍동선의 선형개발에 있어서 선폭에 대한 결정은 매우 중요한 설계변수가 된다. 폭이 너무 커지면 배수량 증가에 따른 저항증가와 횡강도 및 조종성능에 문제가 발생하게 된다. 따라서 쌍동선의 두 선체 사이의 간격변화가 성능에 미치는 영향에 관한 다양한 연구가 수행되어 왔다.

Rovera[22]는 간섭효과를 최소화하는 최적의 간격비에 대하여 연구하였고, 박찬원 등[23]은 25m급 부유쓰레기 쌍동형 청소선을 대상으로 두 선체 사이의 거리가 형상영향계수에 미치는 영향을 모형시험을 통하여 연구하였다. 김호은 등[24]은 길이 38m인 300인승 고속여객선에 물추진(waterjet) 장치를 장착한 쌍동형 선박에 대하여 선체의 간격비가 저항성능에 미치는 영향을 연구하여 어느 일정한 선폭 이상이 되면 두 선체 사이의 간격은 저항성능에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 설명하였다.

이상에서 간략히 살펴본 바와 같이 쌍동형 선박은 선폭과 두 선체 사이의 최적 간격을 결정하는 것이 매우 중요한 설계요소가 된다. 본 개발선은 2인 승으로 성인 2명이 탑승하여도 움직임에 큰 불편함이 없어야 한다. 이를 바탕으로 전폭을 1.9m로 결정하였다.

본 연구에서는 기존 연구를 통하여 제시된 길이-폭 비를 참고로, 주선체의

길이를 결정하였다. 본 개발선의 길이는 기존의 연구결과와 앞의 제 1장에서 언급한 해외 유사 실적선인 쌍동선 “SUN21” 호와 “Planet solar"호를 참고로 결정하였다. 두 선박의 주요재원은 Table 2-1과 같다. 여기에서 보는 바와 같이 두 참고 선박의 L/B는 평균 2.1 정도이다. 본 개발선도 이와 유사하게 결정하였고, 최종 선체 길이(L)는 4.1m로 하였다.

Table 2-1 Comparison of principal dimensions for reference ships

	Sun 21	Planet solar
L	14.0	31.0
B	6.50	15.0
L/B	2.15	2.07

본 개발선의 주요재질은 국내외에서 레저보트 건조에 일반적으로 많이 사용하고 있는 FRP로 결정하였다. 따라서 기존 소형 보트의 선각 두께인 4-Ply를 기준으로 선체 중량을 추정하였다. 충전용 배터리, 태양광 집광판, 모터 등을 고려하여 총 배수량은 700Kg으로 추정하였으며, Table 2-2에 자세히 나타내었다.

Table 2-2 Estimation of displacement

Items	Weight (Kg)
Hull (4 ply)	230
Power system including cables	70
Battery, Solar panel	200
Others	60
Persons	140
Total	700

본 연구의 대상선박은 연안에서 레저활동을 즐기거나, 환경보호구역에서 특수 목적으로도 활용 가능하므로 이를 고려하여 최대 5노트를 설계 목표로 결

정하였다. 일반적으로 전기추진식 선박의 경우, 1회 충전으로 가능한 오랜 시간 운전이 가능하여야 하므로 저항성능이 매우 중요하다. 따라서 배수량과 최대속도를 고려하여 선형이 결정되어야 한다.

본 개발선의 설계 속도인 5노트는 프루우드수(Fn)는 약 0.4 정도이다. 프루우드수가 컨테이너선박의 1.5배 이상으로 비교적 고속이므로 조파저항이 중요한 설계변수가 된다. 따라서 선수부는 날씬하게 하고, 선미부에 배수량을 많이 분포시켜 조파저항을 줄이고, 배터리를 선미부에 배치하도록 기본 개념을 결정하였다. 또한 고속 쌍동선 성능에 큰 영향을 미치는 두 선체 사이에서의 파 간섭을 줄이기 위하여 내부 수선면 형상은 직선 형태로 하였다. 본 선박의 주요제원과 형상은 Table 2-3 및 Fig. 2-1과 같다

Table 2-3 Principal dimensions of developed boat

Items	Dimensions
L.P.P (m)	4.10
B (m)	1.90
d (m)	0.29

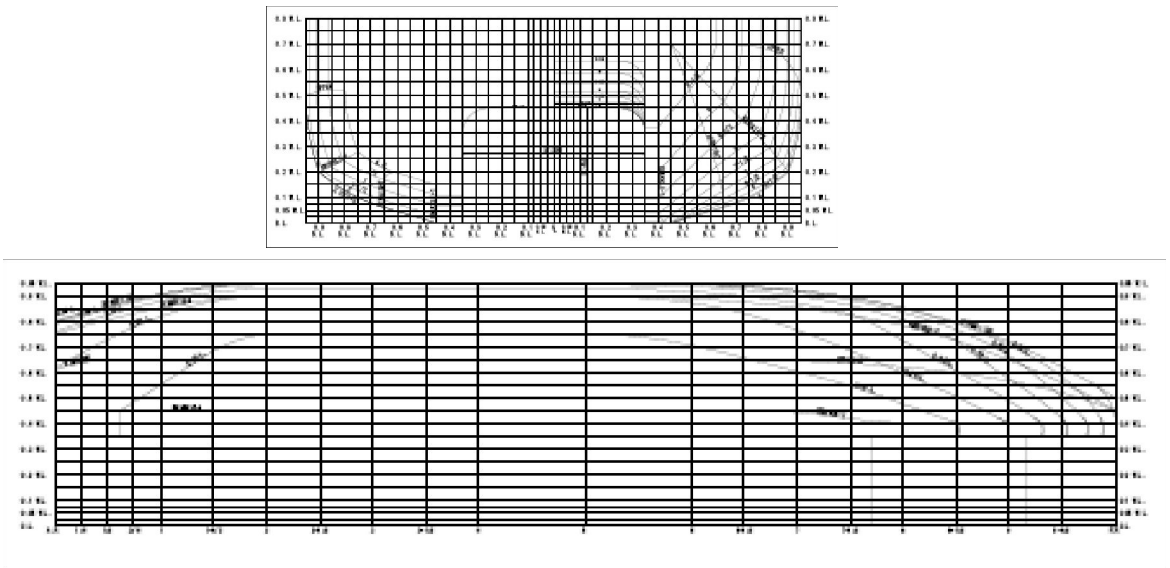


Fig. 2-1 Lines of developed boat

제 3장 수치해석

3.1 지배방정식 및 이산화

수치 계산을 위한 기본 좌표계는 선박을 기준으로 하는 좌표계로서 선체길이 방향을 X, 연직 상방향을 Z, 그리고 우현 방향을 Y로 한다. 3차원 비압축성 난류 유동의 지배 방정식인 연속 방정식과 RANS 방정식은 직교 좌표축 $x_i=(x,y,z)$, 각 축 방향의 평균 속도성분을 $u_i=(u,v,w)$ 라고 하면 (3-1),(3-2)와 같다.

◇ Continuity equation :

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i}=0 \qquad (3\text{-}1)$$

◇ xi Momentum equation:

$$-\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i)+\frac{\partial}{\partial x}(\rho u_i u_j) \qquad (3\text{-}2)$$
$$=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\rho\overline{u'_i u'_j}\right)$$

여기서 μ는 동점성 계수, p는 정압, $-\rho\overline{u'_i u'_j}$는 Reynolds stress이다.

일반적인 Two-equation turbulence closure의 하나인 Realizable $k-\varepsilon$모형을 사용하였다. 통상 공학 계산에서는 $k-\varepsilon$모형 중에서 Standard $k-\varepsilon$모형이 가장 널리 사용되어 왔으나, 선체 주위의 유동계산에서 저항성능 추정 및 프로펠러 면에서의 반류 분포 추정에 좋은 결과를 주고 있는 Realizable $k-\varepsilon$모형을 사용하였다. Realizable $k-\varepsilon$모형에서는 Turbulence eddy viscosity가

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{3-3}$$

으로 표현되고, 여기에서 Turbulence kinetic energy k는 난류의 운동에너지 k의 이동방정식

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial (u_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + G - \varepsilon \tag{3-4}$$

과 같은 Transport equation을 풀어서 구한다. 그리고 Turbulent kinetic energy의 생성을 나타내는 generation항인 G는 다음과 같이 주어진다.

$$G = v_t\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \tag{3-5}$$

한편, Turbulent kinetic energy의 Dissipation을 나타내는 ε은 다음의 미분방정식의 해로서 구해진다.

난류의 운동에너지 소산(ε)의 이동 방정식

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}+1\frac{\partial(u_j\varepsilon)}{\partial x_j}=1\frac{\partial}{\partial x_j}\left((v+\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon})\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right)+C_{\varepsilon 1}S\varepsilon-C_{\varepsilon 2}\frac{\varepsilon^2}{k+\sqrt{v\varepsilon}} \qquad (3\text{-}6)$$

여기서 S는

$$S=\sqrt{2S_{ij}S_{ij}}\,, \qquad S_{ij}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial u_j}+\frac{\partial u_j}{\partial u_i}\right) \qquad (3\text{-}7)$$

로 주어진다.

본 연구에서는 RANS 방정식의 해를 구하기 위해 유한체적법 (Finite Volume Method)기반 상용코드인 FLUENT를 이용하였다. 이산화 Scheme 은 Pressure에 대해서는 자유수면의 중력의 영향을 고려하여 PRESTO를 사용하였으며, Momentum에 대해서는 3차 정도를 갖는 QUICK(Quadratic Upwind Interpolation for Convective Kinematics), Turbulence kinetic energy, Turbulent dissipation rate에 대해서는 Second order upwind, Volume fraction에 대해서는 HRIC방법을 채택하였다. 수렴을 위한 완화계수로는 Pressure는 0.3, Momentum은 0.2, Volume fraction은 0.2를 사용하였다. 또한 속도-압력 연성을 위해 SIMPLE 방법을 사용하였다. 난류 모형 및 이산화 방법에 대한 자세한 설명은 참고문헌[25]에 설명 되어 있다.

3.2 수치계산 조건과 경계조건

본 수치계산은 설계속도인 5노트에서 수행하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 쌍동선의 두 선체간격이 저항성능에 큰 영향을 미치는 관계로 본 수치계산에서는 두 선체 간격 변화에 따른 저항성능 변화를 검토하였다. 계산결과의 설계 적용 편의를 위하여 제 2장에서 언급한 전폭 1.9m를 기본선형으로 하여, 동일한 배수량에서 전폭을 다음 Table 3-1과 같이 변화 시켰다.

Table 3-1 Computational case

Case	Beam (m)	Remarks
Case-1	1.9	Original hull
Case-2	1.7	
Case-3	1.8	
Case-4	2.0	

계산 영역은 선박의 앞부분은 배 길이의 2.5배, 뒷부분은 5.0배, 깊이 방향으로 10배, 폭 방향으로 3.5배로 하였다. 계산의 정확도 향상을 위하여 선체 주위와 자유수면 근방에 격자를 집중시켰으며, 전체 계산격자 수는 110만개를 사용하였다. Fig. 3-1은 계산격자를 보여주고 있다.

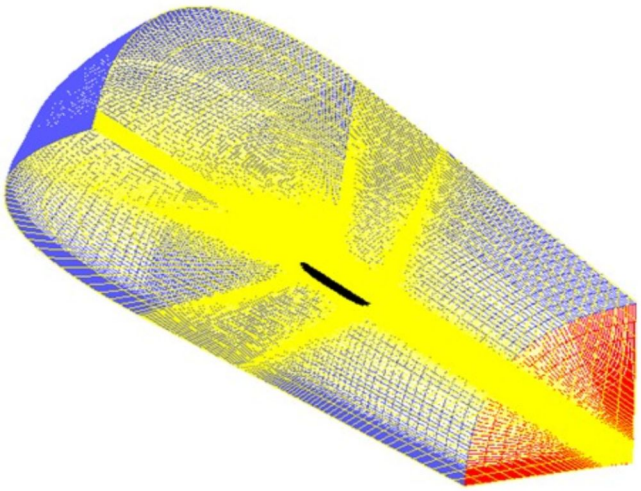


Fig. 3-1 Grid topology and computational domain

본 수치계산에 사용한 경계조건을 Fig. 3-2에 나타내었고, 그 자세한 내용은 다음과 같다.

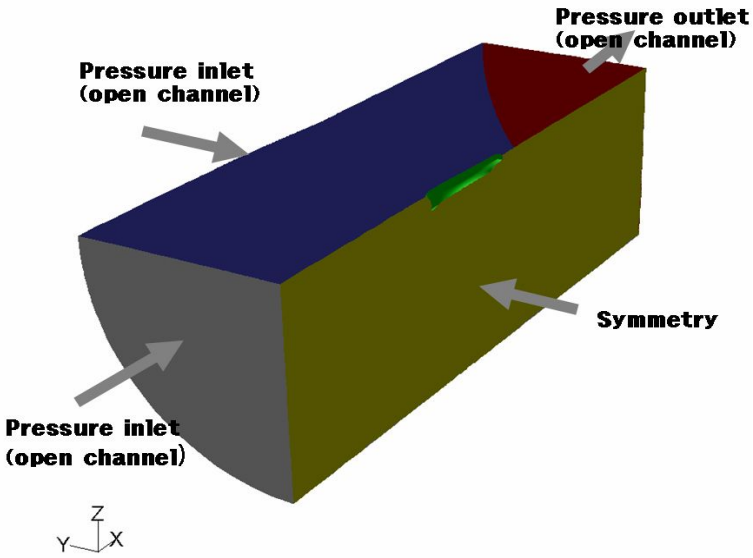


Fig. 3-2 Boundary conditions

□ 입구면 : FLUENT Code의 옵션을 사용하여 pressure inlet조건을 사용하였다. FLUENT에서 Pressure inlet을 사용할 경우에는 균일류 난류특성을 입력해야 한다. 이러한 난류특성은 수렴성 및 유체력에 영향력을 미치는 것으로 알려져 있으며, 반복 계산을 통해 적당한 값을 찾아내야 한다. 여기서는 Turbulence specification method는 Intensity and viscosity Ratio를 사용하였으며, Turbulence intensity[%]와 Turbulence viscosity Ratio는 1로 주었다.

□ 출구면 : Open channel옵션을 사용하여 Pressure outlet을 사용하였다. Free surface level과 Bottom level은 입구면에서와 동일하게 주었다.

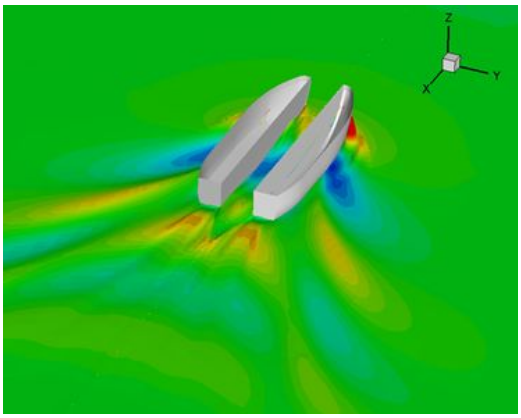
□ 바깥쪽면 : 입구면과 동일한 조건을 선택하였다.

□ 대칭면 : 선박의 절반만 계산하므로 대칭조건(symmetry)조건을 사용하였다.

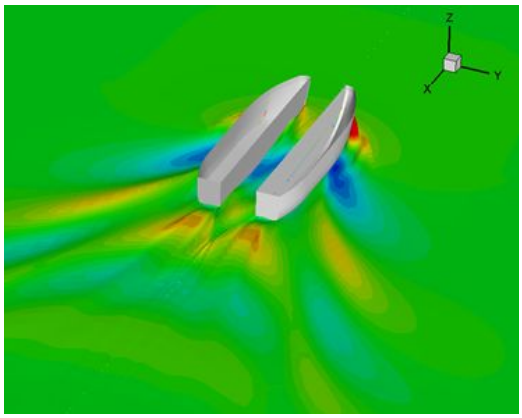
□ 선체표면 : 선체 표면에서는 경계면의 속도가 0이므로 그 경계면을 통한 대류항의 기여는 없고, 벽면 마찰 응력(Wall shear stress)으로 인한 접선 방향의 점성 플럭스만을 고려하여 경계조건을 부여하였다. 이때 마찰응력의 크기는 Standard wall function을 사용하여 구하였고, 마찰응력의 방향은 벽으로부터 첫 번째 떨어진 점에서의 속도의 방향과 같다고 가정하였다. 압력에 대해서는 Neumann 경계 조건을 적용하였다.

3.3 수치계산 결과

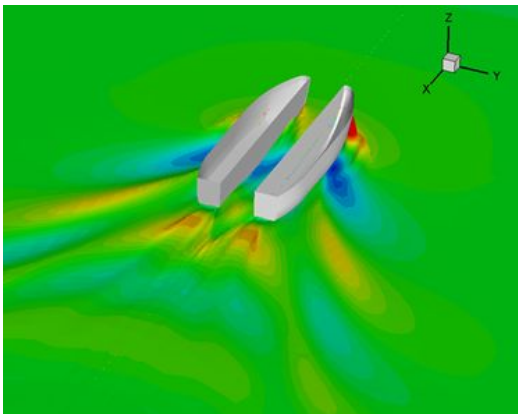
Fig. 3-3은 선체 주위에서의 압력분포이다. 본 수치계산 결과에는 큰 차이가 나타나지 않고 있다.



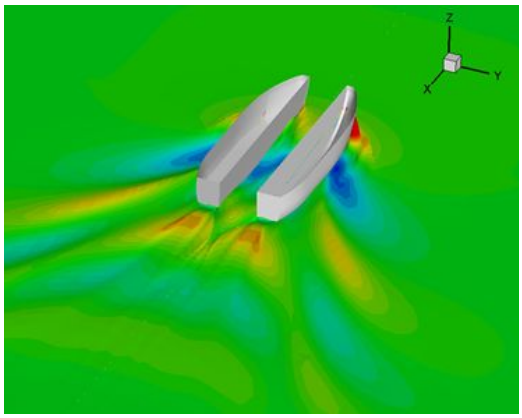
(a) Case-1



(b) Case-2



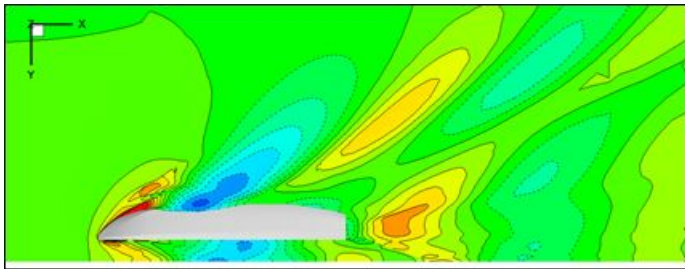
(c) Case-3



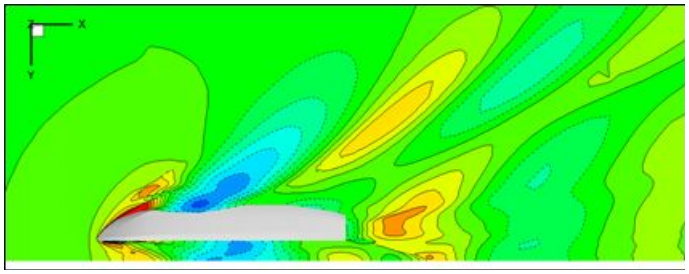
(d) Case-4

Fig. 3-3 Pressure distributions on free surface, V=5 knots

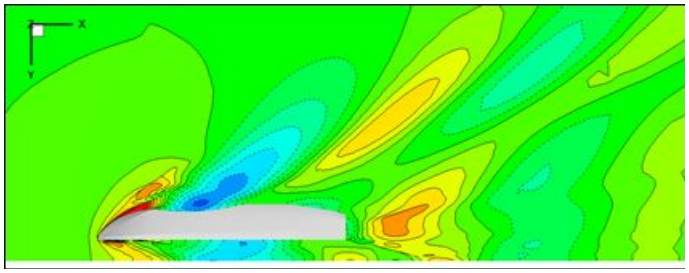
Fig. 3-4는 파고분포이다. 선체 중앙면에 대칭조건을 부여한 관계로 반폭에 대한 결과만 나타내었다. Original인 Case-1에 비하여 Case-2와 Case-3의 경우, 즉 선폭이 줄어든 경우 두 선체 사이에서 파 간섭에 의한 영향이 미세하게 나타나고 있다. 이는 선폭이 가장 작은 Case-2의 경우가 더욱 심하게 나타난다. 선폭을 최대로 증가시킨 Case-4의 경우 두 선체 사이에서의 파 간섭이 가장 작게 나타나고 있다.



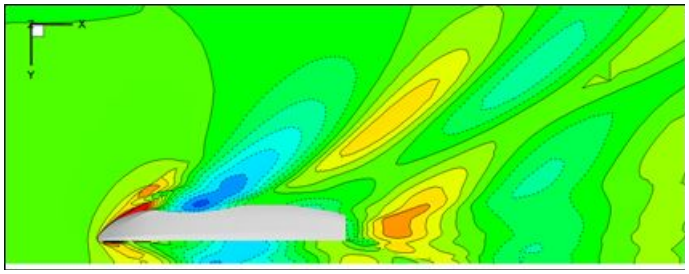
(a) Case-1



(b) Case-2



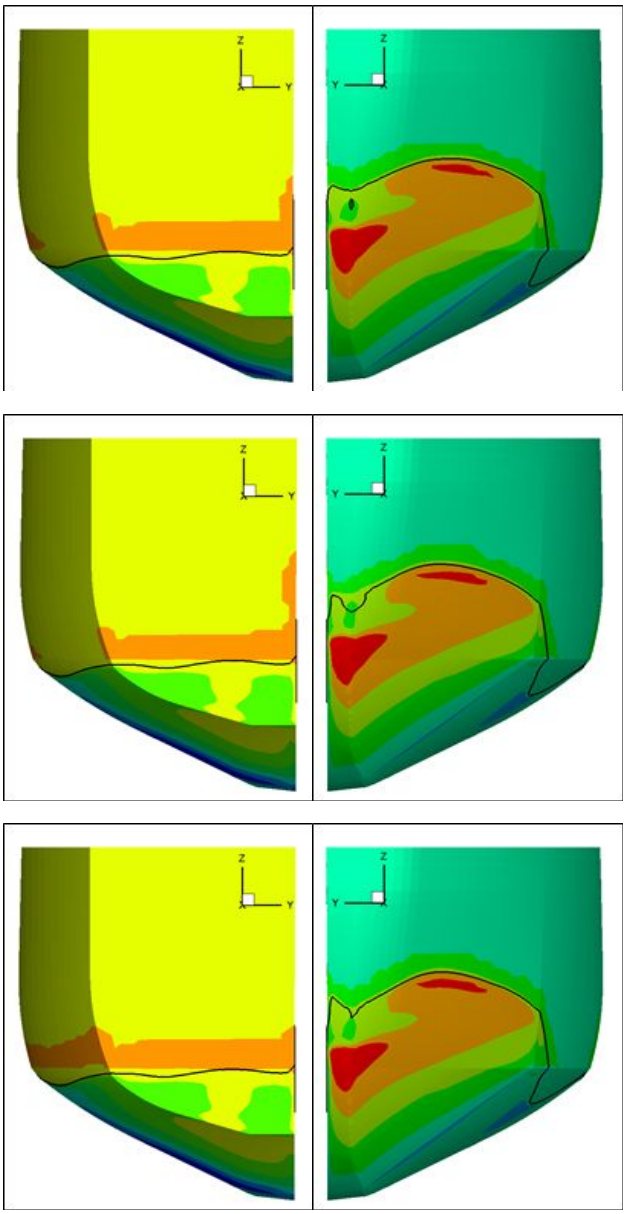
(c) Case-3



(d) Case-4

Fig. 3-4 Wave distributions on free surface, V=5 knots

선체표면에서의 압력분포를 비교하여 Fig. 3-5에 나타내었다. 본 수치계산 결과에는 큰 차이가 나타나지 않고 있다. 이는 내부 수선면 형상을 직선으로 설계한 관계로, 설계속도인 5노트에서 파 간섭 차이가 크지 않기 때문이라고 판단된다.

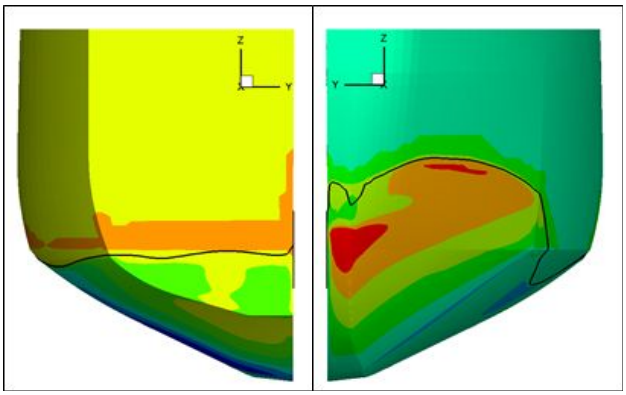


(a) case-1

(b) case-2

(c) case-3

Fig. 3-5 Pressure distributions on hull surface, V=5 knots



(d) case-4

Fig. 3-5 (Continued)

Table 3-2는 선체표면에서의 압력적분 값을 비교하여 나타내었다.Original 선형인 Case-1의 저항 값으로 나누어 백분율로 표현한 결과이다. 선폭이 가장 작은 Case-2의 경우, 저항값이 가장 크다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 두 선체 사이에서의 파 간섭이 가장 크기 때문으로 보인다. Case-2와 Case-3의 경우, 그 차이는 무시할 만큼 작다. 따라서 본 설계선형의 선폭은 초기설계 시 결정한 1.9m로 최종 결정하였다.

Table 3-2 Comparison of computed resistance

Case	Resistance (%)
Case-1	100.0
Case-2	100.7
Case-3	100.1
Case-4	99.9

제 4장 모형시험

4.1 시험조건

개발된 선형의 저항성능 및 유체역학적 성능분석을 위하여 인하공업전문대학 회류수조에서 모형시험을 수행하였다.

회류수조(Circulating Water Channel)는 유리로 된 관측부(Observation window)에 모형선을 고정하고 물을 임펠러로 강제로 회전시키면서 모형선에 작용하는 힘(저항)을 계측하는 장비이다. Fig. 4-1은 인하공업전문대학이 보유하고 있는 회류수조(ITCWC)의 개략적인 형상이고, 주요제원을 Table 4-1에 나타내었다.

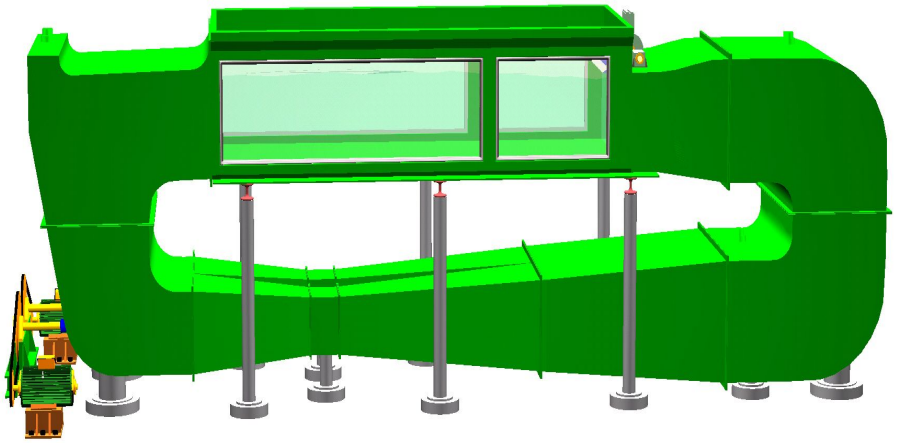


Fig. 4-1 Schematic view of ITCWC

Table 4-1 Principal dimensions of ITCWC

Items		Dimensions
Hole body	Length (m)	11.0
	Beam (m)	1.5
	Height (m)	4.0
Observation window	Length (m)	3.5
	Beam (m)	1.2
	Depth (m)	0.7

시험에 사용된 모형은 Fig. 4-2에서 보는 바와 같이 Lpp=0.75m로, 하드우레탄으로 제작하였다.

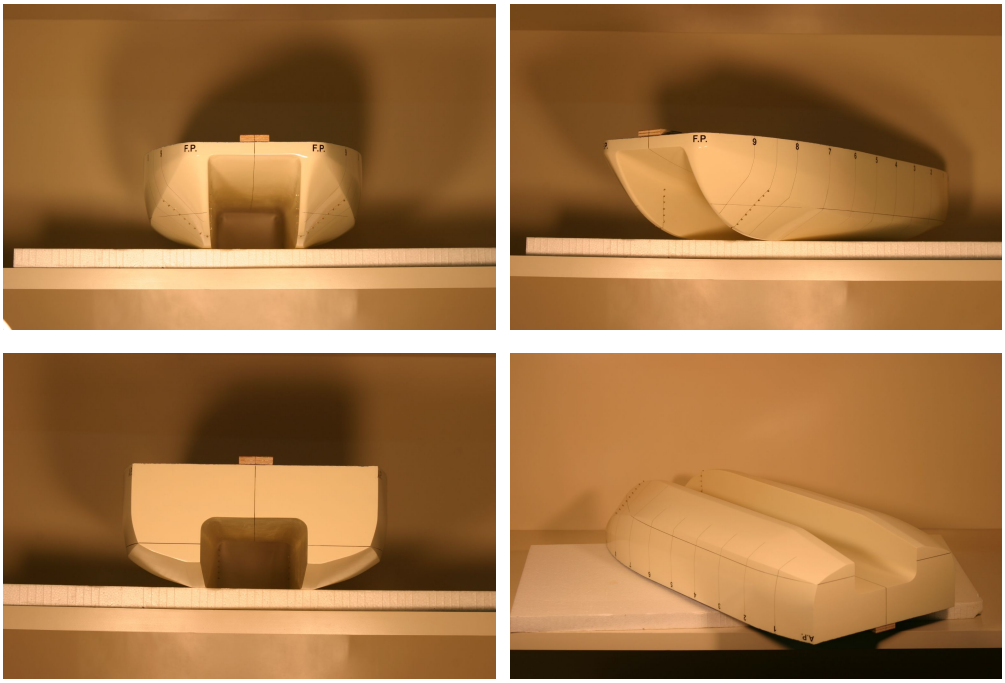


Fig. 4-2 Test model

모형시험은 2노트~7노트 범위에서 수행되었으며 설계속도인 5노트에서 유동가시화 시험이 함께 수행되었다. 또한 Froude의 비교법칙을 근간으로 실선성능을 예측하였다.

4.2 시험결과

Fig. 4-3은 모형선이 수조에 Setting된 상황이고, Fig. 4-4는 설계속도인 5노트에서 선체주위, 특히 두 선체사이의 유동현상이다. 페놀프탈레인 수용액을 사용하여 가시화시험을 수행한 결과이다. 설계속도 5노트는 Froude 수 0.4 이상의 고속영역임에도 불구하고 두 선체 사이에서 특별히 복잡한 현상은 보이지 않는다. 이는 내부 수선면 형상을 직선 형태로 설계하였기 때문이다.

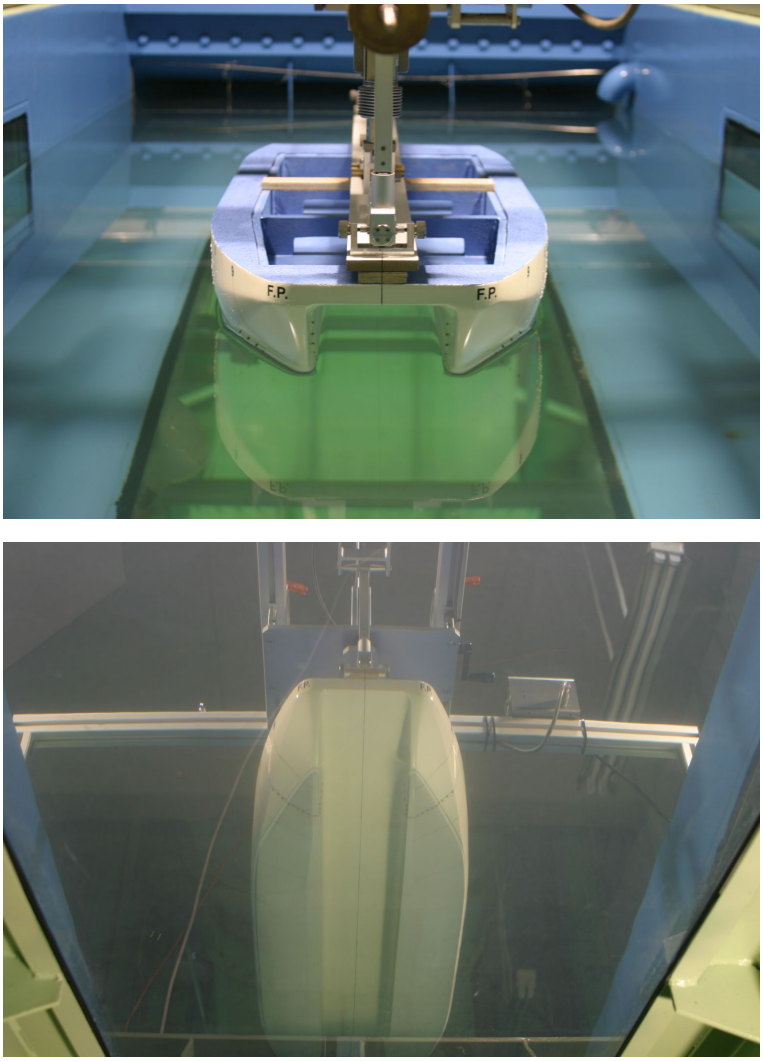


Fig. 4-3 Setting of test model

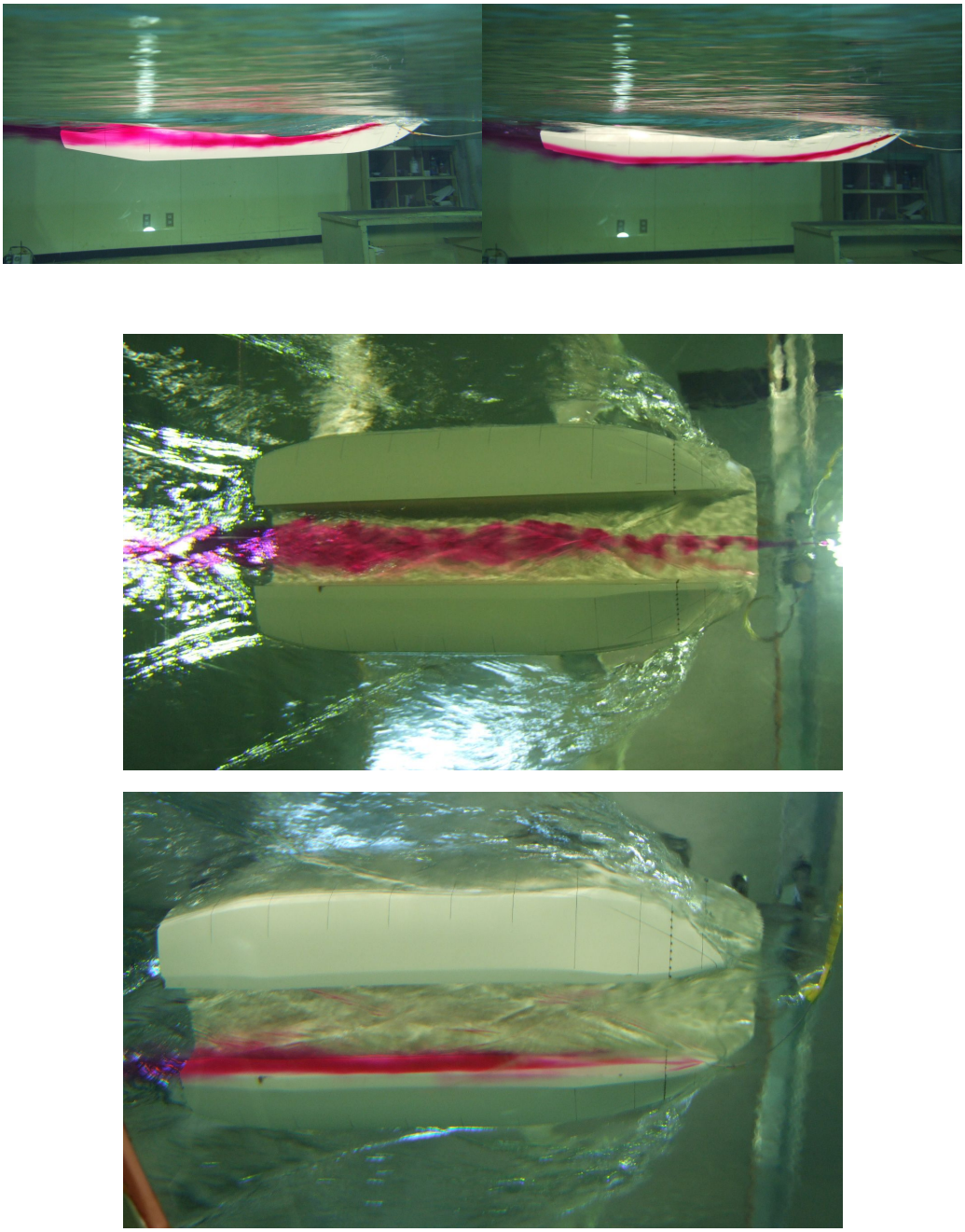


Fig. 4-4 Flow Visualization test by ink injection method, V=5 knots

Fig. 4-5 ~ Fig. 4-10에는 2~7노트에서의 선수미 파형을 나타내었다. 3노트는 Froude 수 약 0.25정도로 고속 컨테이너선과 유사한 고속임에도 불구하고 이 이하에서는 특별히 복잡한 파형은 나타나지 않는다(Fig. 4-5 ~ Fig. 4-6). 그러나 Fig. 4-7에서 보는 바와 같이 4노트가 되면서 선수에 쇄파가 나타나기 시작한다. 또한 선미파가 점차 커지는 경향을 보인다.

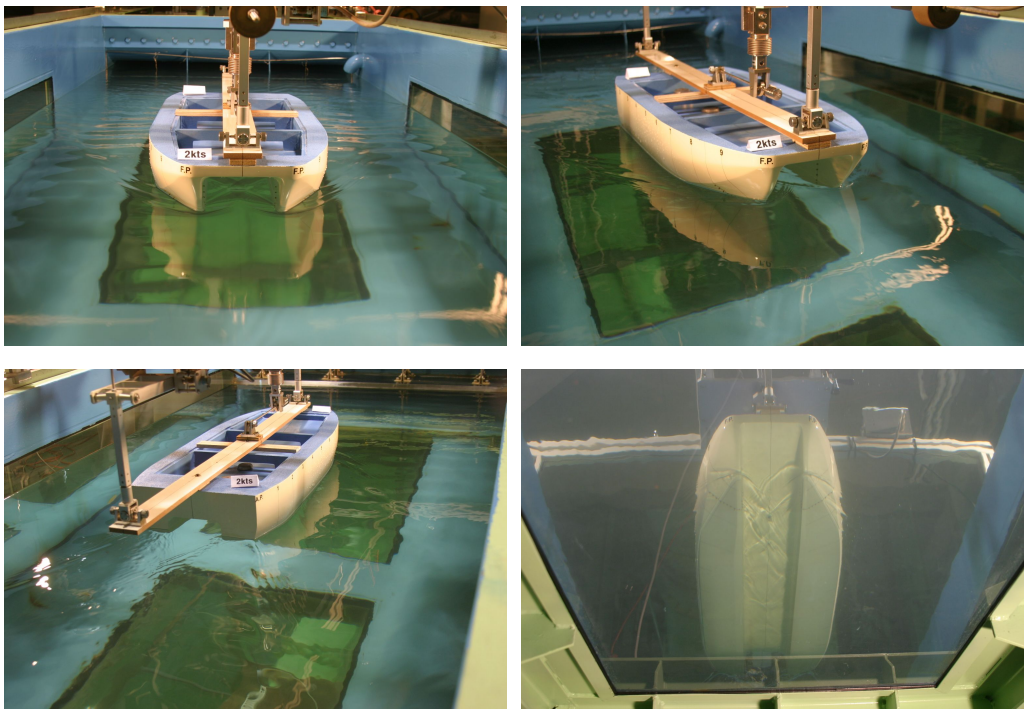


Fig. 4-5 Wave patterns, V=2 knots

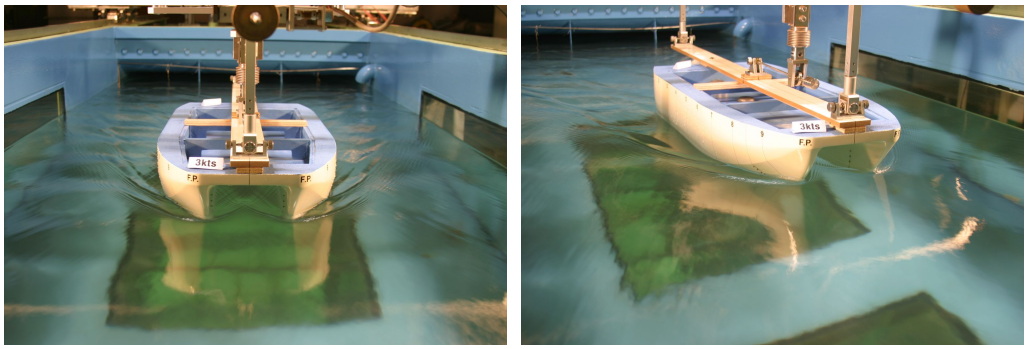


Fig. 4-6 Wave patterns, V=3 knots

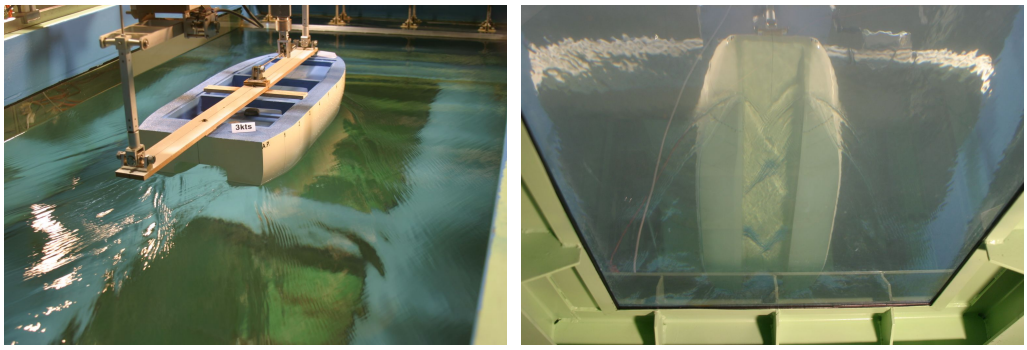


Fig. 4-6 (Continued)

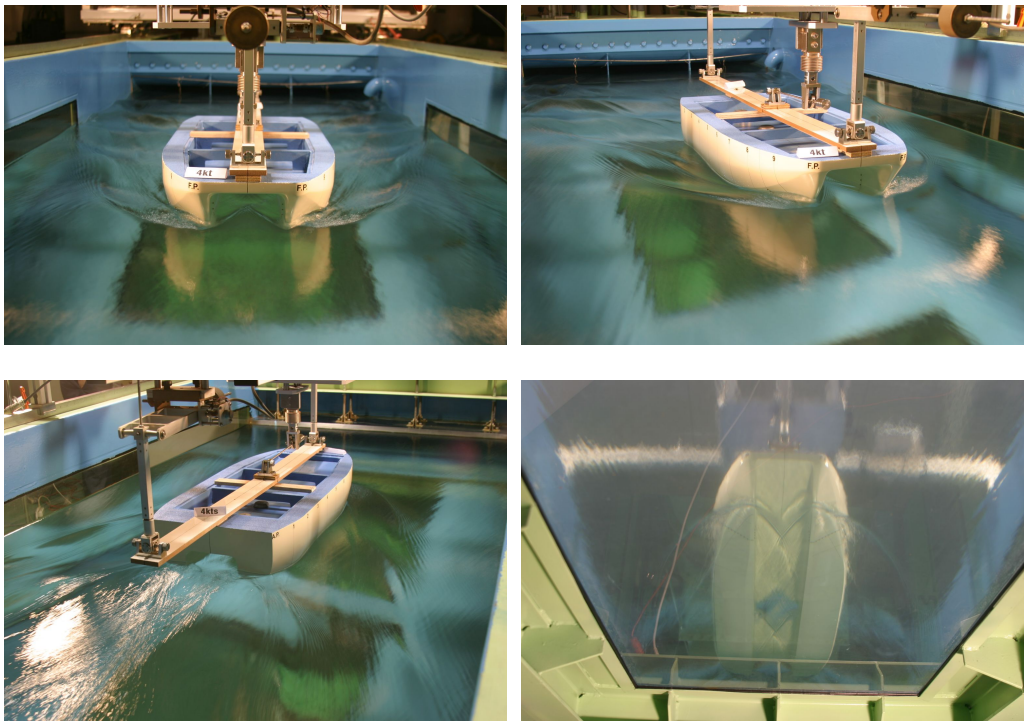


Fig. 4-7 Wave patterns, V=4 knots

5노트 이상에서는 선수파가 비교적 크게 나타나고 있다(Fig. 4-8 ~ Fig. 4-10). 이 속도 범위는 Froude수가 0.4 이상으로 Savitsky[26]에 따르면 일반 배수량 선박의 한계인 0.39를 넘어서는 범위에 해당하므로 피할 수 없는 문제라고 판단된다. 또한 선미가 약간 침하되면서 선미파가 상대적으로 크게 나타나고 있다.

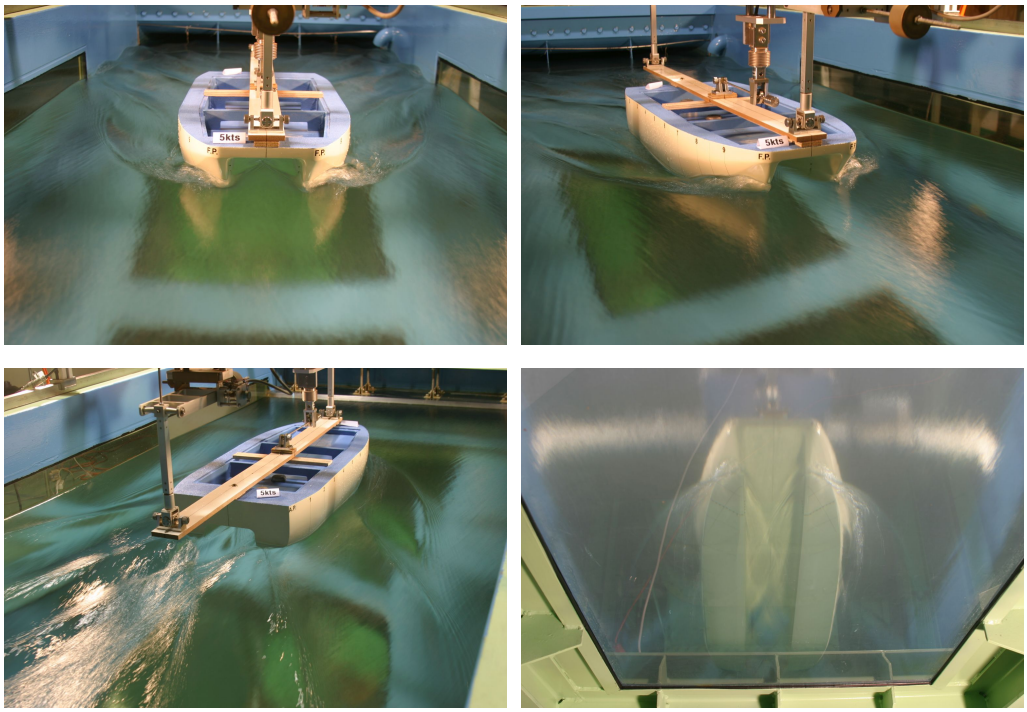


Fig. 4-8 Wave patterns, V=5 knots

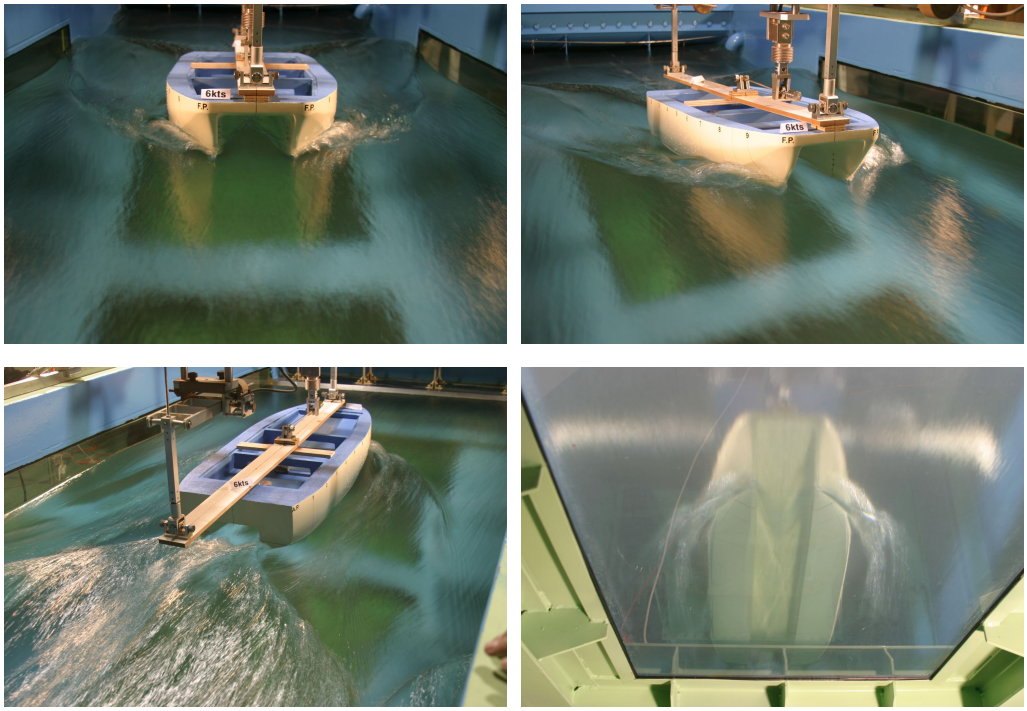


Fig. 4-9 Wave patterns, V=6 knots

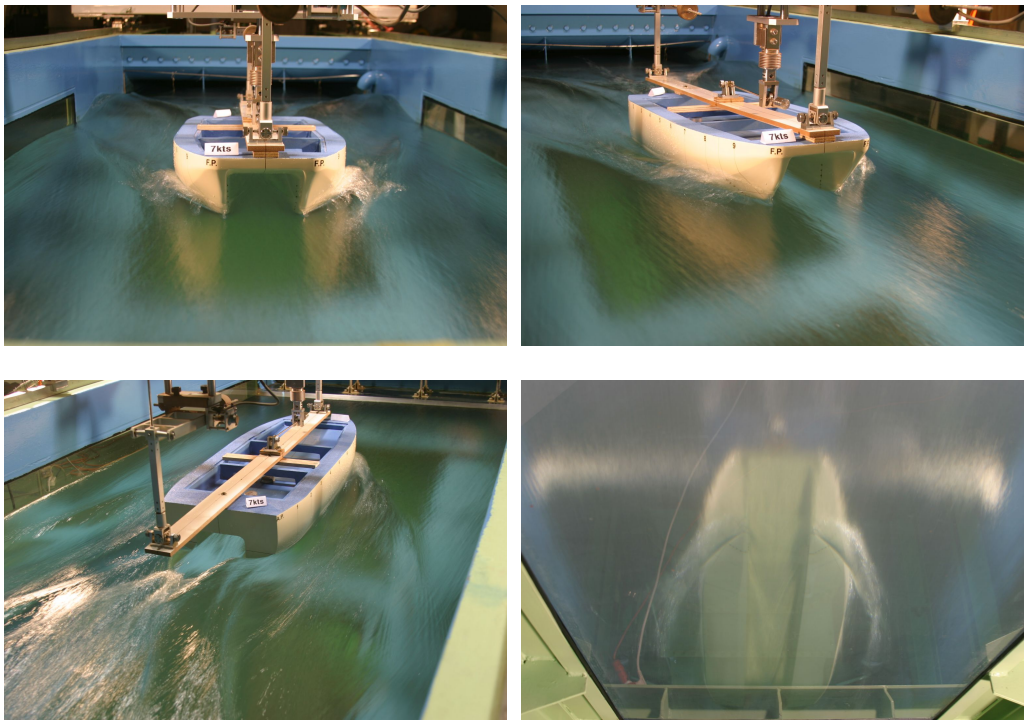
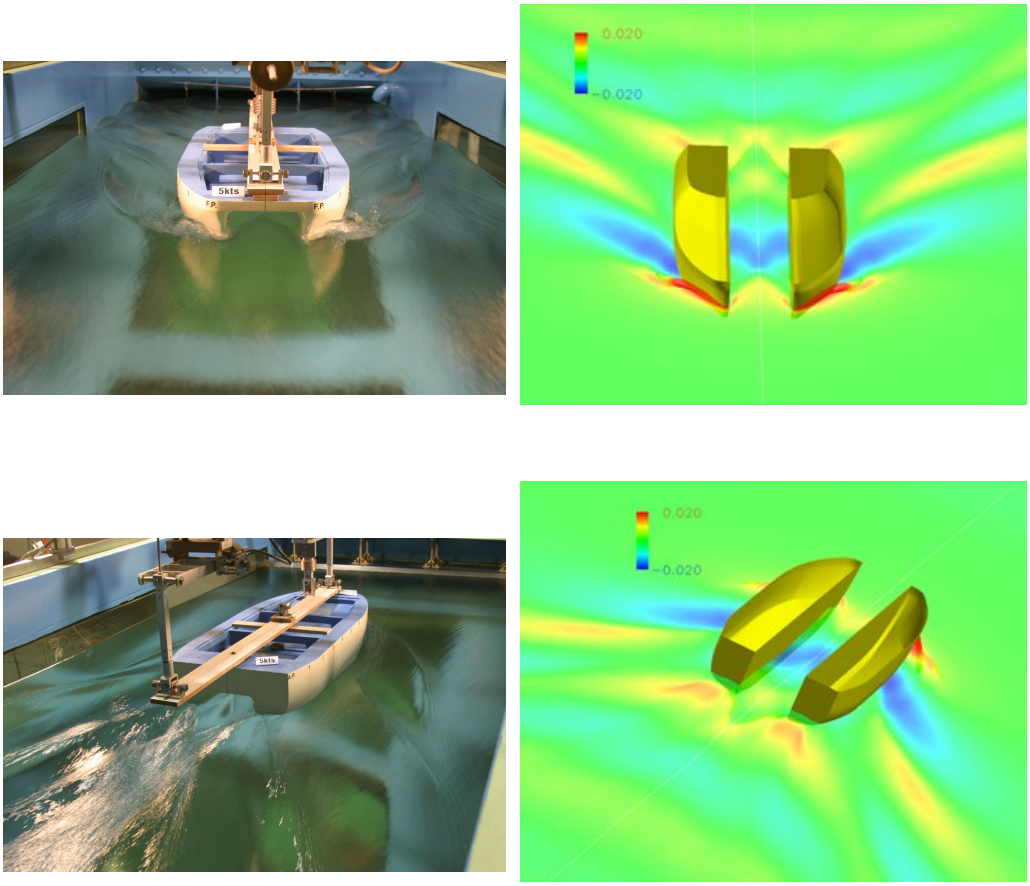


Fig. 4-10 Wave patterns, V=7 knots

Fig. 4-11은 5노트에서 모형시험 결과와 FLUENT를 이용한 수치해석 결과를 비교하여 나타내었다. 수치해석 결과 중 붉은 색으로 표시된 부분이 파정이고, 파란 색은 파저를 나타낸다. 전반적으로 파정과 파저의 위치가 유사한 경향을 보인다. 따라서 상용 수치해석 프로그램인 FLUENT는 선형개발 단계에서 유용하게 활용될 수 있다고 판단된다.

저항계측결과를 Fig. 4-12에 나타내었다. 속도가 증가할수록 저항값이 점차 증가하다가 고속영역이 되면서 Hollow-Hump 현상이 나타나고 있다. 이는 전형적인 고속선의 특징으로, 본 개발선박은 비록 10노트 이하에서 운항을 목표로 개발된 선박이지만 전장이 짧은 관계로 Froude수가 크기 때문이다.

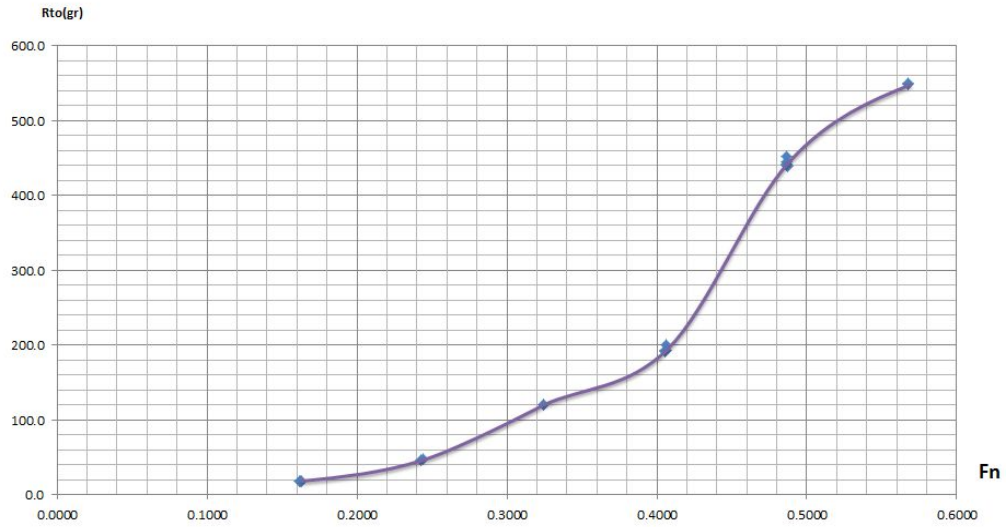


(a) Model test (b) Numerical simulation

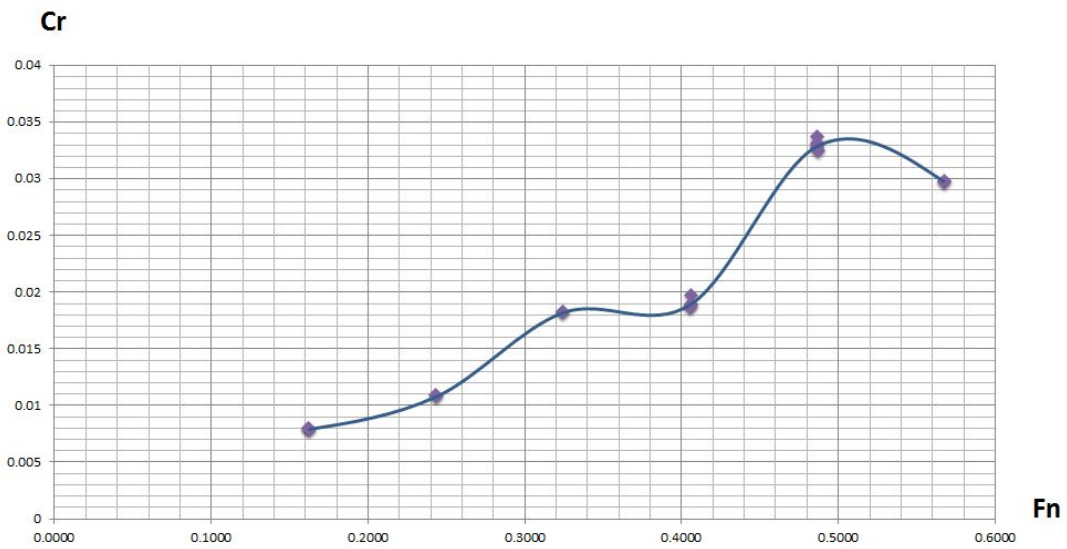
Fig. 4-11 Comparison of wave patterns, V=5 knots

4m급 실선의 성능을 추정하여 Fig. 4-13에 나타내었다. 추진효율(η)을 각각 0.60과 0.65로 가정하였을 경우의 실선의 마력추정 곡선이다. 2Kw(2.7HP)의 추진력으로 5노트 이상의 속력이 가능한 것으로 보인다.

향후 본 개발선을 실선으로 건조할 경우, 본 연구결과는 태양광 집광판과 배터리 등 선정에 활용할 수 있으리라 판단된다.

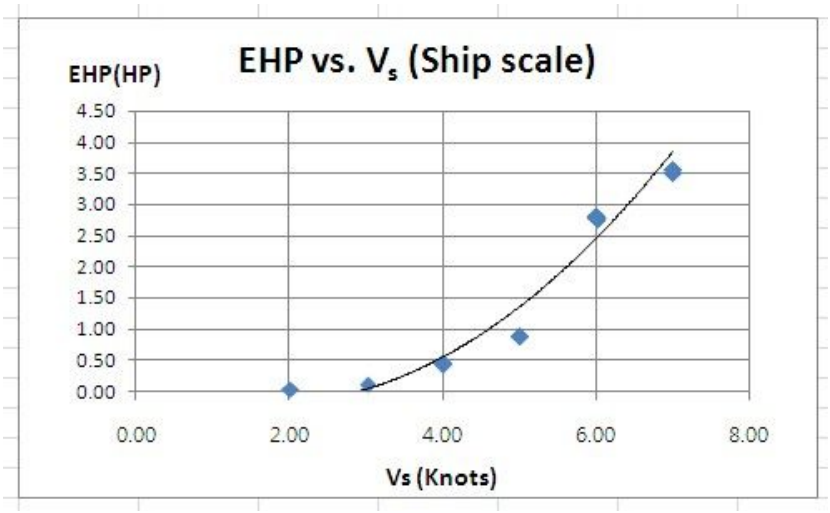


(a) Total resistance, Rtm



(b) Residual resistance coefficient

Fig. 4-12 Resistance performance



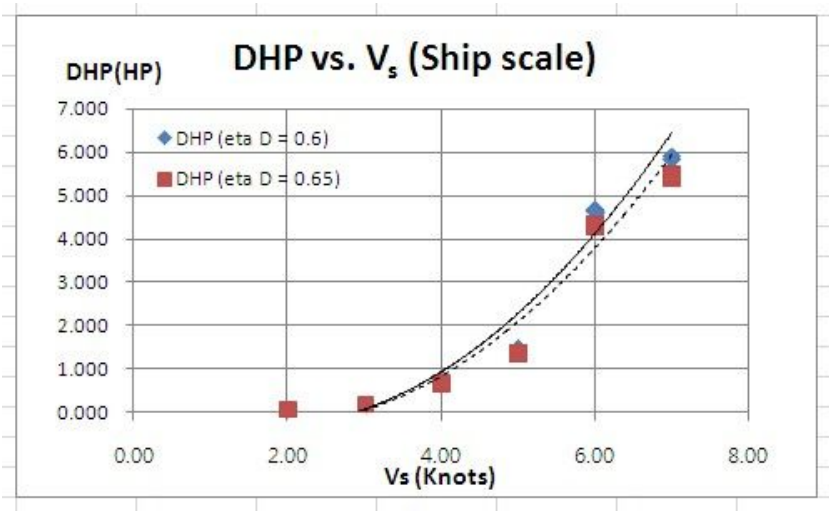


Fig. 4-13 Power estimation

제 5장 결 론

최근 해양레저에 대한 국민적 관심이 증가하면서 레저보트 관련 기술개발과 건조량이 꾸준히 증가하고 있다. 그러나 그 대부분의 보트들은 화석연료를 이용하는 엔진을 사용하는 관계로 연안에서 수질오염 뿐 만 아니라 소음으로 인하여 많은 2차적인 피해를 유발하기도 한다.

따라서 온실가스 감축이라는 범국가적인 과제 뿐 만 아니라, 해양레저 활성화 관점에서도 신재생 에너지를 사용하는 신개념의 레저보트 개발이 필요한 시점이다.

본 연구에서는 이러한 국내외적인 환경을 고려하여 태양광 에너지만을 이용하여 추진하는 2인승 소형 레저보트의 기본 선형을 개발하였다. 태양광 에너지의 집광효과를 극대화하고, 운항안정성을 확보하기 위하여 쌍동선 개념을 도입하였다. 개발된 선형은 전산유체역학(CFD)과 회류수조에서의 모형시험을 통하여 성능을 검증하였다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 본 선박과 같이 설계속도가 Froude 수 0.3 이상의 비교적 고속인 경우 쌍동선 내부 수선면 형상을 직선 형태로 설계함으로서 두 선체 사이의 파 간섭을 줄일 수 있음을 확인하였다.

(2) 본 개발선과 같이 Froude 수가 큰 전기 추진식 선박의 경우 1회 충전으로 오랜 시간 운항이 가능 하도록 선수부는 날씬하게 하고, 선미부에 배수량을 많이 분포시켜 조파저항을 줄이고 배터리는 선미부에 배치하는 것이 효율적이라고 판단된다.

(3) 태양광 에너지만을 이용하여 추진하는 소형 레저보트의 경우 집광효과를 극대화하고, 운항안정성을 확보하기 위하여 쌍동선으로 설계하는 것이 효과적이다.

(4) 본 개발선과 같은 쌍동선의 경우 길이-폭의 비율인 L/B는 평균 2.1 정도가 적정하다는 것을 확인하였다.

(5) 본 개발선은 2Kw 모터를 이용하여 최대 5노트 이상의 속력이 가능함을 확인하였다.

(6) 상용 CFD code인 FLUENT를 이용한 유동 분석은 모형시험결과와 유사한 경향을 보이므로 쌍동선의 초기선형 개발단계에서 유용하게 활용될 수 있다.

참고문헌

[1] 해양수산부, “해양개발 기본계획(Ocean Korea 21)”, 2004.

[2] 반석호, 김상현, “국내 해양레저와 레저선박 산업의 현황 및 전망”, 대한조선학회지, 제30권 제1호, pp 38-44. 2002.

[3] 정우철, 박제웅, 정석호, “연안용 소형 고속 레저선 선형개발”, 한국해양공학회지, 제22권 제4호, pp 80-84. 2004.

[4] 정우철, 박제웅, 김규선, “실적선 통계분석을 이용한 32피트급 레저보트 선형개발”, 한국해양공학회지, 제22권 제3호, pp 58-63. 2008.

[5] 박충환, 심상목, 진송환, “활주형선의 Spray Strip 부착에 따른 저항 특성 연구”, 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp 71-76, 2004.

[6] 유재훈, 반석호, 안해성, 김진, 김상현, “30피트급 요트의 선형개발 및 성능추정”, 대한조선학회논문집, 제42권 제1호, pp 34-42, 2005.

[7] 유재훈, 안해성, “30피트급 요트의 유체력에 대한 실험적 연구”, 대한조선학회논문집, 제42권 제3호, pp 233-240, 2005.

[8] 심상목, “항주자세를 고려한 세일링 요트의 선형시험 기법 연구”, 부경대학교 공학박사학위논문, 2005.

[9] 지혜련, 김우전, 박종환, “30ft급 요트 주위의 점성유동 해석”, 대한조선학회논문집, 제44권 제3호, pp 248-257, 2007.

[10] 박종헌, 박근옹, 김동준, “세일링요트 개발을 위한 20세기 초 전통 어선의 선형연구”, 한국해양공학회지, 제18권 제4호, pp 71-76. 2004.

[11] 박근옹, 김동준, 박종헌, 최병문, “현대 세일링 보트의 설계관점에서 본 전통어선의 성능고찰”, 대한조선학회논문집, 제42권 제1호, pp 50-56, 2005.

[12] 남종호, 현범수, 김태윤, 김대현, “수퍼요트의 초기선형 선정을 위한 유체 성능해석 및 모델링 기법”, 대한조선학회논문집, 제44권 제4호, pp 451-458, 2007.

[13] 김태윤, 현범수, “자유수면을 포함한 수퍼요트 주위의 점성유동 해석”, 대한조선학회논문집, 제45권 제3호, pp 337-342, 2008.

[14] 신성철, 김훤모, “46피트급 모터요트의 선형설계”, 대한조선학회논문집, 제45권 제4호, pp 455-461, 2008.

[15] http://www.jrtt.go.jp/business/vessel.htm

[16] Nagasaki newspaper (2008. 03. 22)

[17] Yomiuri online newspaper (2010. 03. 07)

[18] http://www.solarsailor.com/sitemap.htm

[19] 정우철, “태양광 추진 소형 레저보트 "해그린-1"호 선형개발”, 선박안전 제30호, pp.4-12, 2011.

[20] http://www.transatlantic21.org/

[21] http://www.planetsolar.org/index.en.php

[22] J.E. Rovera, “Catamaran Resistance from test on a single Demihull”, Fast. '97 Papers, 1997.

[23] 박찬원, 정우철, “쌍동선의 두 선체 간격이 저항 성능에 미치는 영향에 관한 연구”, 한국기계기술학회지 3(1), 2001.

[24] 김호은, 이영길, “황해형 고속 여객선의 선형 설계에 관한 연구”, 대한조선학회 논문집, 39권, 제4호, 2002.

[25] FLUENT 6.1 user's guide volume2 (2000).

[26] Savitsky, D. (1985). “Planing Craft”, Naval Engineers Journal, February, pp 8-15.