

2006年 8月

博士學位論文

50노트급 고속 경비정의 선형개발에 관한 연구

A Study on the Hull Form Development of a 50 knots Class
High Speed Patrol Boat

朝鮮大學校 大學院

尖端海上運送시스템工學科

金 周 男

2006年 8月

博士學位論文

50노트급 고속 경비정의 선형개발에 관한 연구

A Study on the Hull Form Development of a 50 knots Class
High Speed Patrol Boat

朝鮮大學校 大學院

尖端海上運送시스템工學科

金 周 男

50노트급 고속 경비정의 선형개발에 관한 연구

A Study on the Hull Form Development of a 50 knots Class
High Speed Patrol Boat

2006年 6月

朝鮮大學校 大學院

尖端海上運送시스템工學科

金 周 男

50노트급 고속 경비정의 선형개발에
관한 연구

指導教授 朴 濟 雄

이 論文을 工學博士學位申請 論文으로 提出함.

2006年 4月 日

朝鮮大學校 大學院

尖端海上運送시스템工學科

金 周 男

金周男의 博士學位 論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 李 貴 珠 印

委員 朝鮮大學校 教授 權 寧 燮 印

委員 朝鮮大學校 教授 朴 濟 雄 印

委員 仁荷大學校 教授 李 永 吉 印

委員 韓國海洋研究員 博士 金 恩 溱 印

2006年 6月 日

朝鮮大學校 大學院

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Nomenclatures	xi
Abstract	x iii
제 1 장 서 론	1
제 2 장 활주형 선박의 특성과 연구동향	10
제 3 장 50노트급 고속 경비정의 선형 설계	16
3.1 기본 조건	16
3.2 선형 설계	16
제 4 장 초기 개발선형의 유체역학적 성능 시험	25
4.1 시험 조건	25
4.2 초기트림의 분석	26
4.3 Trim Tab의 분석	29
4.4 선측 날개(Side-Fin)의 분석	32
제 5 장 수치 해석에 의한 선형 검증	69
5.1 개 요	69
5.2 수치 계산법	70
5.3 경계 및 계산 조건	73
5.4 계산 결과 및 고찰	76

제 6 장 결 론	85
<i>Appendix. Summary of the Principal Dimensions for High Speed Planing Boats</i>	88
참 고 문 헌	93
감사의 글	97

List of Tables

Table 1-1	The Control State of Illegal Chinese Fisherboats	5
Table 1-2	Principal Dimensions of PS201 ~ PS206 Patrol Boat, Japan	5
Table 1-3	Principal Dimensions of PL41 ~ PL43 Patrol Boat, Japan	6
Table 1-4	Principal Dimensions of P-135 Patrol Boat, Korea	6
Table 3-1	Principal Dimensions	20
Table 4-1	Principal Dimensions of Model and Test Condition	34
Table 4-2	Principal Dimensions of High Speed CWC (FEL, Japan)	35
Table 4-3	Test Conditions for Initial Trim Effect	35
Table 4-4	Test Conditions for Trim Tab Effect	36
Table 4-5	Test Conditions for Side-Fin Effect	36
Table 5-1	Computational Conditions	78

List of Figures

Fig. 1-1	The Sea Area Drawing of Fisheries Agreement among Korea-China-Japan	7
Fig. 1-2	220G/T, 40 knots Class Patrol Boat, Japan	8
Fig. 1-3	770G/T, 30 knots Class Patrol Boat, Japan	8
Fig. 1-4	100G/T, 45 knots Class Patrol Boat, Korea	9
Fig. 2-1	Relation between Speed and Hull Form	15
Fig. 2-2	Typical Midship Section Shapes of Planing Hull Form	15
Fig. 3-1	Relation between Δ (ton) and L	21
Fig. 3-2	Relation between L and B	21
Fig. 3-3	Relation between L and Bc	22
Fig. 3-4	Relation between L and D	22
Fig. 3-5	Relation between L and d	23
Fig. 3-6	Body Plan	23
Fig. 3-7	Sectional Area Curve	24
Fig. 4-1	Test Model	37
Fig. 4-2	Sketch of High Speed CWC(FEL, Japan)	38
Fig. 4-3	Relation between Trim(τ) and Resistance [13]	39
Fig. 4-4	Relation between Porpoising Limit, Trim(τ) and Deadrise Angle [15]	39
Fig. 4-5	Comparison of Total Resistance for Case-1, Case-2, Case-3	40
Fig. 4-6	Comparison of Trim Angle for Case-1, Case-2, Case-3	40

Fig. 4-7	Comparison of Sinkage for Case-1, Case-2, Case-3	
	(a) Sinkage at F.P	41
	(b) Sinkage at Midship	41
	(c) Sinkage at A.P	42
Fig. 4-8	Comparison of Wetted Surface Area Ratio for Case-1, Case-2, Case-3	42
Fig. 4-9	Wave Patterns, 30 knots at Front View (for Initial Trim Effect)	
	(a) Case-1	43
	(b) Case-2	43
	(c) Case-3	43
Fig. 4-10	Wave Patterns, 30 knots at Stern View (for Initial Trim Effect)	
	(a) Case-1	44
	(b) Case-2	44
	(c) Case-3	44
Fig. 4-11	Wave Patterns, 40 knots at Front View (for Initial Trim Effect)	
	(a) Case-1	45
	(b) Case-2	45
	(c) Case-3	45
Fig. 4-12	Wave Patterns, 40 knots at Stern View (for Initial Trim Effect)	
	(a) Case-1	46
	(b) Case-2	46
	(c) Case-3	46

Fig. 4-13	Wave Patterns, 50 knots at Front View (for Initial Trim Effect)	
	(a) Case-1	47
	(b) Case-2	47
	(c) Case-3	47
Fig. 4-14	Wave Patterns, 50 knots at Stern View (for Initial Trim Effect)	
	(a) Case-1	48
	(b) Case-2	48
	(c) Case-3	48
Fig. 4-15	Trim Tab	49
Fig. 4-16	Comparison of Total Resistance for Case-2, Case-4, Case-5 and Case-6	50
Fig. 4-17	Comparison of Trim Angle for Case-2, Case-4, Case-5 and Case-6	50
Fig. 4-18	Comparison of Sinkage for Case-2, Case-4, Case-5, and Case-6	
	(a) Sinkage at F.P	51
	(b) Sinkage at Midship	51
	(c) Sinkage at A.P	52
Fig. 4-19	Comparison of Wetted Surface Area Ratio for Case-2, Case-4, Case-5 and Case-6	52
Fig. 4-20	Wave Patterns, 30 knots at Front View(for Trim Tab Effect)	
	(a) Case-4	53
	(b) Case-5	53

	(c) Case-6	53
Fig. 4-21	Wave Patterns, 30 knots at Stern View(for Trim Tab Effect)	
	(a) Case-4	54
	(b) Case-5	54
	(c) Case-6	54
Fig. 4-22	Wave Patterns, 40 knots at Front View(for Trim Tab Effect)	
	(a) Case-4	55
	(b) Case-5	55
	(c) Case-6	55
Fig. 4-23	Wave Patterns, 40 knots at Stern View(for Trim Tab Effect)	
	(a) Case-4	56
	(b) Case-5	56
	(c) Case-6	56
Fig. 4-24	Wave Patterns, 50 knots at Front View(for Trim Tab Effect)	
	(a) Case-4	57
	(b) Case-5	57
	(c) Case-6	57
Fig. 4-25	Wave Patterns, 50 knots at Stern View(for Trim Tab Effect)	
	(a) Case-4	58
	(b) Case-5	58
	(c) Case-6	58

Fig. 4-26	Side-Fin	
	(a) Sketch of Side-Fin	59
	(b) Position of Side-Fin, Case-7	59
	(c) Position of Side-Fin, Case-8	59
Fig. 4-27	Comparison of Total Resistance for Case-6, Case-7, Case-8	60
Fig. 4-28	Comparison of Trim Angle for Case-6, Case-7, Case-8	60
Fig. 4-29	Comparison of Sinkage for Case-6, Case-7, Case-8	
	(a) Sinkage at F.P	61
	(b) Sinkage at Midship	61
	(c) Sinkage at A.P	62
Fig. 4-30	Comparison of Wetted Surface Area Ratio for Case-6, Case-7, Case-8	62
Fig. 4-31	Wave Patterns, 30 knots at Front View (for Side-Fin Effect)	
	(a) Case-7	63
	(b) Case-8	63
Fig. 4-32	Wave Patterns, 30 knots at Stern View (for Side-Fin Effect)	
	(a) Case-7	64
	(b) Case-8	64
Fig. 4-33	Wave Patterns, 40 knots at Front View (for Side-Fin Effect)	
	(a) Case-7	65
	(b) Case-8	65

Fig. 4-34	Wave Patterns, 40 knots at Stern View (for Side-Fin Effect)	
	(a) Case-7	66
	(b) Case-8	66
Fig. 4-35	Wave Patterns, 50 knots at Front View (for Side-Fin Effect)	
	(a) Case-7	67
	(b) Case-8	67
Fig. 4-36	Wave Patterns, 50 knots at Stern View (for Side-Fin Effect)	
	(a) Case-7	68
	(b) Case-8	68
Fig. 5-1	Definition of Velocity and Pressure Points	79
Fig. 5-2	Irregular Star in 2D Case	79
Fig. 5-3	Movement of Marker Particles	79
Fig. 5-4	Computational Domain (X-Y Plan)	80
Fig. 5-5	Comparison of Time History of C_p	80
Fig. 5-6	Simulated Wave Patterns, $V=40$ knots	
	(a) Case-1	81
	(b) Case-3	82
Fig. 5-7	Pressure Distributions on Hull Surface, $V=40$ knots (Front View)	
	(a) Case-1	83
	(b) Case-3	83
Fig. 5-8	Pressure Distributions on Hull Surface, $V=40$ knots (Bottom View)	

(a) Case-1	84
(b) Case-3	84

Nomenclatures

L_{OA}	Length Over All (m)	
L_{bp}, L_{pp}	Length Between Perpendiculars (m)	
L_{WL}	Length of Designed Load Waterline (m)	
B	Breadth Moulded (m)	
B_c	Breadth of Chine at Midship (m)	
D	Depth Moulded (m)	
d	Draught Moulded (m)	
C_B	Block Coefficient	$C_B = \nabla / (L_{bp} \cdot B \cdot d)$
C_P	Prismatic Coefficient	$C_P = C_B / C_M$
C_M	Midship Section Coefficient	$C_M = A_M / (B \cdot d)$
A_M	Area of Midship Section (m ²)	
C_W	Waterplane Coefficient	$C_W = A_W / (L_{bp} \cdot B)$
LCB, LCG	Longitudinal Center of Buoyancy and Gravity from Midship in Percent of L_{bp} (for Fore from Midship(-) and for Aft(+))	
VCG	Vertical Center of Gravity above Keel Line	
∇	Displacement Volume (m ³)	
Δ, W	Displacement Weight (ton)	
S	Wetted Surface Area with All Appendages (m ²)	
V	Speed of Ship (m/s)	
V_s	Speed of Ship (knot)	
R_t	Total Resistance (kg)	
R_R	Residual Resistance (kg)	

R_w	Wave Making Resistance (kg)	
R_F	Frictional Resistance (kg)	
ρ	Density of Water ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$)	
ν	Coefficient of Kinematic Viscosity	
g	Acceleration due to Gravity (m/sec^2)	
F_n	Froude Number	$F_n = V/\sqrt{Lwl \cdot g}$
R_n	Reynolds Number	$R_n = (Lwl \cdot V)/\nu$
τ	Trim Angle	
$\Delta \cdot \tan \tau$	Pressure Drag	
$D_F/\cos \tau$	Viscous Drag	

Abstract

A Study on the Hull Form Development of a 50 knots Class
High Speed Patrol Boat

Kim, Ju-Nam

Advisor : Prof. Park, Je-woong, Ph. D.

Department of Advanced Marine Transportation

System Engineering

Graduate School of Chosun University

'The United Nations Agreement in Law of the Sea' which was come into effect in 1994 defines the oceanic jurisdiction for all nations. It established the principle of a 200-nautical mile limit on a nation's exclusive economic zone (EEZ) whereby a nation controls the undersea resources, primary fishing and seabed mining for a distance of 200 nautical miles from its shore. In case of declaration, a solution should be approached fairly by mutual consent that makes a border if the EEZ overlaps with other countries.

Under these circumstances, 'The New Korea-Japan Fishery's Agreement' was that the negotiation started on August in 1996 and was signed on November 11. Finally it came into effect on January 22 in 1999. Also 'The Korea-China Fishery's Agreement' was signed on August 3 in 2000 and was come into effect on July 30 in 2001. After that, new fishery regularity has been formed around Korean waters.

These days, Japan and China have been promoting constructions and

development of patrol boats continuously for national securities of their territorial waters.

Against the neighbor countries' actions, a high-speed patrol boat should be secured and supplied to protect the ocean sovereignty of EEZ in the area of sea around Korea. In Korea Coast Guard, an aluminum patrol boat P-134 having maximum speed of 45 knots among 100 ton class has been put into service in 2005. But it needs to be researched and developed in the performance and scale aspect to adapt changes of Japan and China.

In this study, a plan for designing the primary hull form has been provided based on the increasing demands of high speed patrol boats that can be worked in offshore as well as the coast, and the initial hull form of a 50 knots, 100-ton class patrol boat has been developed.

Characteristics of the planing boat of a 50 knots class patrol boat were studied. Also the domestic and foreign research trend in the processes of hull form developing has been analyzed.

The fundamental performance of the developed hull form has been confirmed, hydrodynamic characteristics and the resistance performance were observed by the model test in high speed circulating tank. The effect of attached Side-Fin on the ship's side has been analyzed in order to improve the resistance performance. The initial trim condition effects on the resistance performance were also analyzed.

The characteristics of resistance performance of the developed hull form were verified by computational fluid dynamic (CFD) technique.

Conclusions

1) Feasible plans were presented when determining principal particulars in

initial design of high speed ship. Also an analytical approach based on actual data can be useful.

2) Initial trim affects the resistance performance. As the initial trim is increasing, the resistance performance is excellent. But it is predicted that excessive running trim in high-speed area will affect the safety performance in waves. Therefore when developing the hull form of a high speed Planing boat, it is very important to determine the optimized initial trim.

3) The Side-Fin can help with improving the resistance performance. Especially it can raise the hull in the high-speed area. However if lift that acts at wings works at the back of center of buoyancy, the body of ship rises in stern and the phenomenon of squat occurs in bow. Hence decreased running trim can cause an increase in resistance. Accordingly it is required to determine the proper size and the position carefully.

4) The method of numerical analysis which ignores the viscosity offers similar tendencies compared to model test in the developed initial hull form of a high speed Planing boat.

제 1 장 서 론

1994년 발효된 「해양법에 관한 국제연합협약」은 영해의 폭을 12해리로 확정하였고, 기존의 대륙붕 개념을 근본적으로 변화 시켰다. 이 법에 의하면 연안국은 영해 외측에 200해리 배타적 경제수역(EEZ : Exclusive Economic Zone)을 설정할 수 있으며, 다음과 같은 권리를 갖는다.

- ① 상부수역, 해저 및 그 하층토에 있는 천연자원(생물, 무생물)의 탐사, 개발, 보존 및 관리에 관한 주권적 권리
- ② 해수, 해류 및 해풍을 이용한 에너지 생산수역의 경제적 개발과 탐사에 관한 주권적 권리
- ③ 인공섬 및 기타 구조물의 설치와 사용에 관한 관할권
- ④ 해양과학 조사에 관한 관할권
- ⑤ 해양환경의 보호와 보전에 관한 관할권

그런데 마주보거나 인접한 나라가 각각 200해리 EEZ를 선포하는 경우, 각 나라의 EEZ가 중첩될 수가 있는데 해양법협약은 이 경우 합의에 의하여 경계를 확정하되 공평한 해결에 이르도록 하여야 한다고 규정하고 있다. 이처럼 EEZ 경계획정을 위한 국제법상의 명확한 기준이 없고 한번 확정된 해양경계선은 시한이 없이 영구히 지속되므로 어느 나라나 경계획정협상에는 극히 신중을 기하고 있다.

우리나라의 배타적 경제수역은 서쪽으로는 중국과, 동쪽으로는 일본과 중첩되며, 제주도 남쪽으로는 중국 및 일본과 중첩되는 북태평양 서쪽 내만에 위치하고 있다. 또한, 우리나라를 포함한 3국의 연안해역은 어족자원이 풍부한 세계 4대 어장임은 물론이고, 석유 천연가스 등 해저 광물자원의 매장이 유력한 대륙붕이기도 하며, 동북아시아는 역사적 지리적으로 인접한 관계로 러일 간의 북방 4개 섬 문제, 중일 간의 조어도(센카쿠열도) 문제 그리고 한일 간의 독

도 문제 등 치열한 해양 영토 분쟁이 계속되고 있거나 분쟁의 소지가 있어 상호 국력이 상충되는 지역이다.

이러한 상황에서 신 한 일 어업협정은 1996년 8월 협상이 시작되어 1998년 11월 11일 서명, 1999년 1월 22일 발효되었으며, 한 중 어업협정도 2000년 8월 3일 서명, 2001년 6월 30일 발효되어 한반도 주변수역의 새로운 어업질서가 형성되었다 (Fig. 1-1 한 중 일 협정 수역도).

한 중 일 간의 어업 협정 이후, 지난 2005년 5월31일 일본 순시선이 부산시 기장군 대변항 동쪽 49.6km 해상에서 조업하던 장어잡이 통발어선 502신평호가 일본 EEZ를 침범했다며 나포를 시도, 한국 어선의 형사관할권을 두고 이틀간 대치한 사건이 발생하였으며, 우리나라 EEZ 내에서 불법 조업을 하는 중국 어선의 빈번한 출현과 함께 NLL(북방 한계선)의 침범 또한 빈번하게 발생하고 있다 (Table 1-1 불법 중국어선 단속 현황 참조).

이러한 시점에 일본과 중국에서는 자국의 영해 안보 차원에서 신형 고속 경비정 개발과 건조를 지속적으로 추진하여 오고 있다.

우리나라와 독도 영유권 분쟁을 벌이고 있는 일본의 경우 최근까지는 연안에서의 각종 해상범죄에 대한 감시활동을 위하여 기동성이 뛰어난 총톤수 3~5톤 규모의 소형고속정을 주로 건조하여 왔으나, 최근 들어서는 각종 장비를 탑재하여 실질적인 경비 활동을 위한 중대형급 선박들을 지속적으로 건조하고 있다.

2001년 이후 2005년까지 총톤수 약 220톤, 3기의 물분사추진장치를 장착한 최대속력 40노트 이상의 고속 특수 경비정 PS201~PS206 6척을 건조하여 운항하고 있다 (Table 1-2, Fig. 1-2). 본 선박의 척 당 건조비는 약 225억원(23억엔) 규모로 유사시 피해확대방지가 가능한 Damage Control System을 채용하고 있으며, 20mm 다총신 기관포를 갖추고 있다.

또한 2001년 12월 발생한 북한의 공작선 침투사건시 고속의 북한 공작선을 추격하지 못한 유사 사례 방지를 위해 각종 첨단 장비가 설치된 800톤급 규모의 대형 순시선 한 척(PL41)을 2005년 3월 완공하여 실 해역에 배치하였고, 추가로 두 척(PL42, PL43)을 2006년 완공예정으로 건조 중에 있다. 본 선박의 척당 건조비는 약 550억원(56억엔)이며, 이 선박은 4기의 물분사 추진장치를 이용하여 최대속력 30노트 이상을 낼 수 있으며 선체는 알루미늄 합금으로 되어있다 (Table 1-3, Fig. 1-3). 34명의 승무원이 탑승할 수 있으며 사격관제기능(FSC)이 있는 40mm 기관포가 장착되어 있고, 특히 야간에 타 선박 선명판별기능을 보유하고 있다.

이렇듯 일본의 경우는 막강한 경제력을 바탕으로 자위대와는 별도로 해상보안청에서 최신 경비정을 지속적으로 건조하고 있으며, 이는 우리나라에 큰 위협으로 다가오고 있다.

우리나라와 서남해안에서 부딪치고 있는 중국의 경우, 순시선에 대한 자세한 정보는 베일에 가려져 있으나, Huludao급(만재배수량 180톤), Haiguan 901급(435톤), Haiguan 801급(98톤)이 주력이고, 최근에는 전장 100m급의 고속선이 상당수 배치된 것으로 전해진다[1]. 현재 각종 순시정을 1000척 이상 보유하고 있으나, 대부분 200 ~ 400톤 규모로 추정되고 있다.

주변 국가들의 이러한 적극적인 활동에 대응하여 우리나라에서도 EEZ 해역의 해양주권 수호를 위해서는 고속 경비정의 확보 및 보급이 시급한 형편이다. 이러한 상황 속에서 해양경찰청에서는 신개념의 경비정을 개발하기 위하여 터키, 이탈리아, 일본 등 해외 선진국들의 최신 자료를 수집, 분석하여 2005년에는 100톤급, 최대속력 45노트의 알루미늄 경비정 P-135호를 새로이 건조하여 실전에 투입하였으나(Table 1-4, Fig. 1-4), 이웃한 일본 및 중국의 변화에 대응하기 위해서는 규모 및 성능 면에서 더욱 연구, 개발해야 할 것이다.

본 논문은 향후 연안뿐만 아니라 근해에서도 운용될 수 있는 대형화된 고속 경비정의 수요가 점차 증대될 것에 대비하여 이들 선박의 초기 선형결정을 위한 방안을 제시하고, 최대속력 50노트를 갖는 100톤급 경비정의 초기선형을 개발하였다. 개발

된 선형의 기본성능은 고속회류수조에서의 모형시험을 통하여 확인하였다. 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics : CFD)을 이용하여 유동분석을 실시하였고, 모형시험 결과와의 비교를 통하여 CFD 기법의 고속선 적용 가능성을 함께 검토하였다.

본 논문의 제 2 장에서는 본 연구의 대상 선형인 활주형 선박의 특성과 국내외 연구동향을 언급하였다.

제 3 장에서는 본 연구를 통하여 개발된 50노트급 경비정의 선형개발 과정에 대하여 자세히 설명하였다.

제 4 장과 제 5 장에서는 각각 개발된 선형에 대하여 수조시험을 통한 유체 역학적 특성과 저항성능을 살펴보고, 본 연구에 사용된 수치해석 기법과 이를 이용한 해석 결과 및 모형시험 결과의 비교/분석을 통하여 본 연구의 수치해석 결과를 고속선 개발에서의 활용 가능성을 검토하였다.

마지막으로 제 6 장에서는 본 연구논문의 종합적인 결론을 제시하였다.

Table 1-1 The Control State of Illegal Chinese Fisherboats

(단위 : 척)

구 분	총 계	나 포			훈 방	적 발
		계	NLL	EEZ	EEZ	과도 수역
'05년	1032	670	76	509	85	362
'04년	656	443	91	346	6	213
'03년	240	240	101	139	-	-

(By Korea Coast Guard, 2005. 12. 31)

**Table 1-2 Principal Dimensions of PS201~PS206
Patrol Boat, Japan**

Items	Dimensions
Gross Ton (G/T)	220
LOA (m)	50.0
Breadth (m)	8.0
Depth (m)	4.0
Main Engine	Diesel 3 sets Water-jet 3 sets
Speed (knots)	40+

**Table 1-3 Principal Dimensions of PL41~PL43
Patrol Boat, Japan**

Items	Dimensions
Gross Ton (G/T)	770
LOA (m)	79.0
Breadth (m)	10.0
Depth (m)	6.0
Main Engine	Diesel 4 Sets Water-jet 4 Sets
Speed (knots)	30+

**Table 1-4 Principal Dimensions of P-135
Patrol Boat, Korea**

Items	Dimensions
Gross Ton (G/T)	100
LOA (m)	27.9
Breadth (m)	6.1
Depth (m)	3.2
Main Engine	Diesel 2 sets Water-jet 2 sets
Speed (knots)	45+

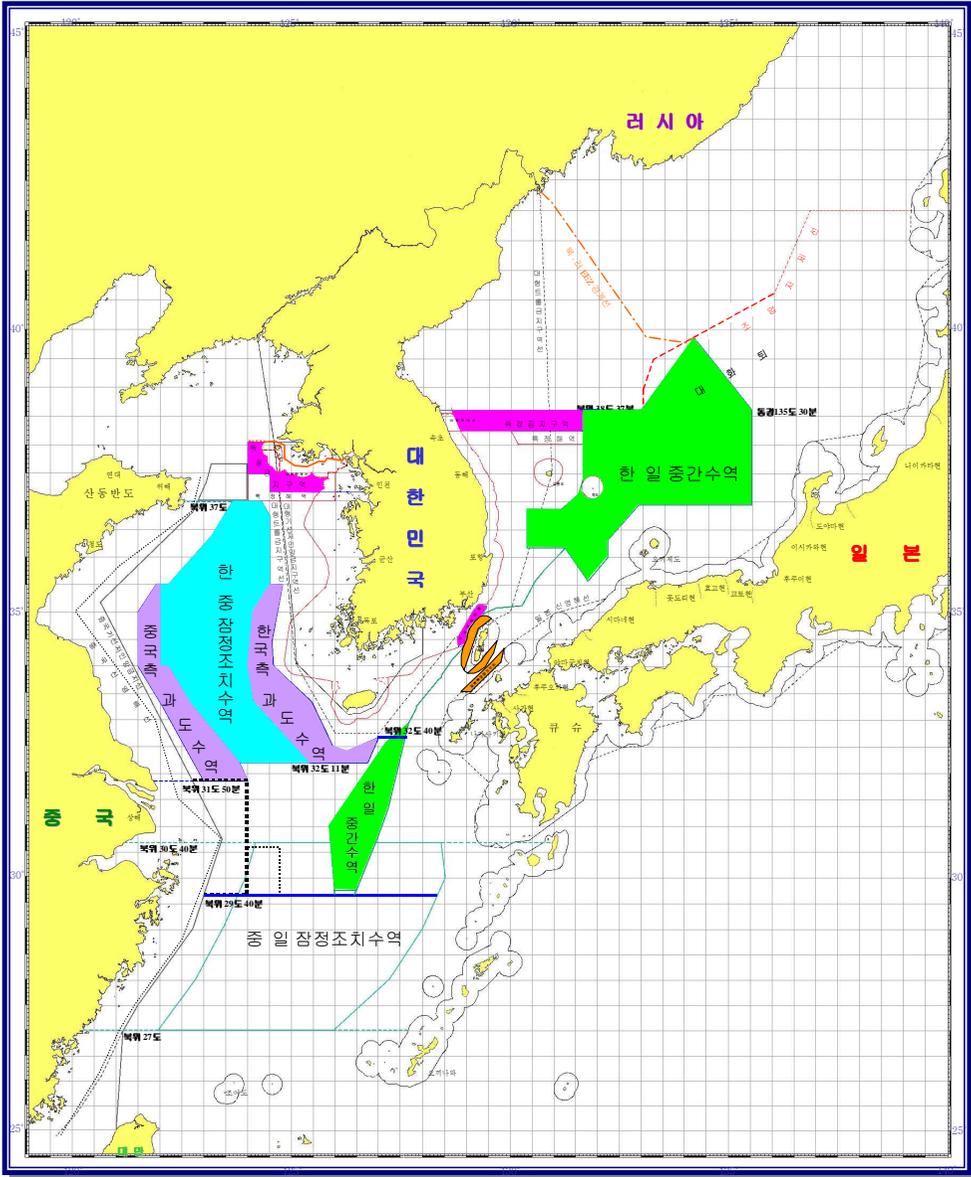


Fig. 1-1 The Sea Area Drawing of Fisheries Agreement among Korea-China-Japan
 (By Ministry of Maritime Affairs & Fisheries)



Fig. 1-2 220G/T, 40 knots Class Patrol Boat, Japan



Fig. 1-3 770G/T, 30 knots Class Patrol Boat, Japan



Fig. 1-4 100G/T, 45 knots Class Patrol Boat, Korea

제 2 장 활주형 선박의 특성과 연구동향

선박의 속도를 획기적으로 증가시키기 위해서는 동적 또는 정적 방법에 의하여 저항을 감소시키거나 배수량형 선박을 길이에 비하여 선폭을 아주 작게, 즉 선형을 날씬하게 하여 고속에서 조파저항의 급격한 증가를 방지하도록 하여야 한다.

동적 방법에 의하여 고속화하는 선형으로는 전통적인 활주형 선박(Planing Boat)을 비롯하여 수중익선(Hydrofoil Boat)을 대표적인 예로 들 수 있고, 정적 방법에 의하여 고속화 하는 선형으로는 공기부양선(Air Cushion Vehicle)을 대표적으로 들 수 있다. 이 중 활주형 선박은 이미 20세기 초에 실용화 되었으며, 소형 수중익선과 공기부양선도 1960년대부터 1970년대에 걸쳐 소형 경비정이나 연안여객선으로 실용화된 바 있다. 이와 같은 형태의 선박들은 각각의 고유한 특성으로 인하여 악천후 시 내항성능이 떨어질 뿐만 아니라 대형화하기가 어렵다는 단점을 갖고 있음에도 불구하고 군함, 경비정, 레저용 등과 같이 특수한 목적의 소형 선박에서는 아직까지도 널리 활용되고 있다.

소형 고속선에 대하여 많은 연구가 이루어진 일본의 경우 활주형 선박이 전체 고속선의 약 80% 이상을 차지하고 있을 정도로 대중화 되어 있다[2]. 이러한 활주형 선박은 선체와 수면 사이의 동적 압력에 의하여 선체가 부양됨으로써 물 위를 활주하여 저항을 감소시키고 고속성능을 향상시키도록 고안된 선형으로서, 설계 및 건조가 용이하고 흘수가 낮아서 항구 및 항로 개설이 용이하다는 등의 많은 장점을 가지고 있다.

그러나 악천후 시 선체의 동요가 심하여 내파성능이 불량하고, 일반적으로 프로펠러가 경사지게 설치되는 관계로 추진효율이 떨어지고 선체진동이 심해지는 단점이 있으나, 추진효율 향상을 위해 최근 널리 사용되고 있는 물분사 추진장치(Water-jet Propulsor)를 사용함으로써 어느 정도 해결되고 있다. 그러

나 가장 큰 단점은 선박의 크기를 어느 한계 이상 증가시키면 활주성능이 급격히 나빠지는 관계로 추진효율 향상에 따른 경제성이 떨어져 오랜 역사를 가지고 있음에도 불구하고 오늘날까지 주로 소형 선박에만 적용되고 있다.

활주형 선박은 일반 배수량형 선박과는 달리 항주 시 그 부상량이나 자세변화가 크고, 자유표면에 스프레이(Spray) 현상이 존재하는 관계로 이론적인 접근이 매우 어렵다. 따라서 지금까지는 주로 경험적인 방법이나 모형시험에 의존하여 선형개발이 수행되어 왔다.

Savitsky[3]는 고속선의 길이(L)와 선속(V)으로 대표 분류하여 길이-속도와 선형 특성과의 관계를 설명하였고, Tanaka[4]는 이를 최근의 선형특성을 고려하여 수정된 관계를 제안하여 초기선형 계획단계에서 널리 활용되고 있다(Fig. 2-1).

활주선의 단면은 Fig. 2-2와 같이 크게 오목(Concave), 볼록(Convex), 직선(Straight), 오목볼록(Inverted bell) 등 네 가지를 기본형상으로 하여 여기에 약간씩 수정을 가하여 사용하고 있다[5],[6]. Clement[7]는 고속으로 항주하는 활주선의 경우 선저로부터 발생된 급류를 선미에서 신속히 제거시키기 위한 방안으로 선미 트랜섬 폭을 최대 폭의 60% ~ 70%정도가 적합하다고 제안하였다.

Niwa[2]는 다양한 종류의 고속선을 계통적으로 분류하여 주요제원, 선형의 기본 특성 등을 초기 선형계획 시 활용 가능한 여러 수식으로 제안하였고, Kihara & Ishii[8]는 모형시험을 통하여 내항성능 관점에서 파랑 중 선수부 상하 가속도와 선저 경사각과의 관계를 설명하였다. 이 선저 경사각은 보통 10~15° 정도이나 승선감을 좋게 하기위하여 30°(Deep-V Type) 정도를 갖는 경우도 있다[9]. 그러나 이 각도가 너무 커지면 추진효율이 나빠지는 문제가 있어 통상 30°가 넘지 않도록 하고[6], 15~25°를 널리 채용하고 있다[8]. 한편 McInnes[9]는 선미로 가면서 선저 경사각을 작게 한 비뚤(Warped)형 형상

은 선미에서 Suction에 의한 저항증가가 억제되어 성능을 개선시킬 수도 있지만 뒤틀림의 정도가 지나치면 역효과가 날 수 있다고 주장하였다.

활주선의 차인(chine)은 고속에서 선체로부터 파도의 분리를 촉진시켜 충격 가속도를 감소시키는 역할을 할 수 있으며 최대 폭은 선미 끝단으로부터 전장의 60~65% 전방에 위치하는 것이 적합하고[7],[10], Spray rail은 고속에서의 저항감소와 파인딩 시 충격하중 감소, 운동성능 개선에 크게 도움이 되는 관계로 거의 모든 활주선에 이를 부착하고 있다[11].

국내에서도 고속 활주선에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다. 민계식 등[12], 이귀주 등[14]은 길이(L)-폭(B) 비와 단면형상 변화에 따른 저항특성 변화를 모형시험을 통하여 조사하였고, 이광일[15]은 회류수조에서의 모형시험을 통하여 스프레이(Spray) 저항을 최소화하기 위한 선형개발 연구를 수행하였다.

구중도 등[16], 김경배 등[17], 최선웅 등[18], 최선웅[19], 제병렬[20]은 60노트급 초고속 소형 단동함정을 개발하기 위하여 역차인과 선측에 대형 날개를 부착하는 개념을 도입하여 활주선을 설계하였으며, 회류수조에서의 모형시험과 수치해석을 통하여 역차인 선형의 특성을 주장하였다.

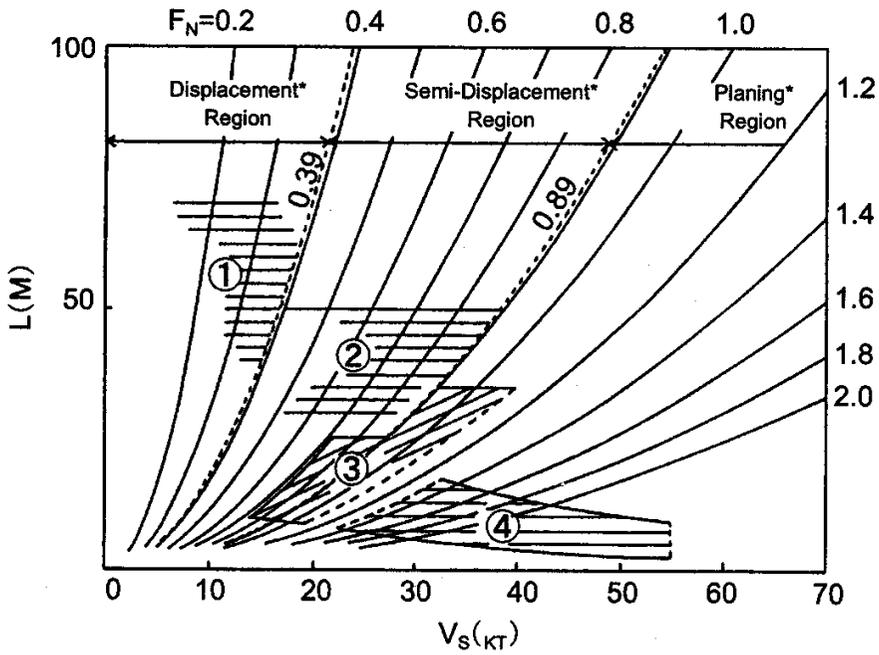
박제웅 등[21]과 정우철 등[22]은 활주형 단면을 갖는 소형 고속연안어선의 모형시험을 통하여 선측날개(Side-Fin)와 선미부 연장선체가 저항성능과 횡요안정성을 크게 개선시킬 수 있음을 보였다.

박충환 등[23]은 모형시험을 통하여 Spray Rail이 고속영역에서 쇄파저항 감소에도 기여한다고 설명하였으며, 서관희 등[24]은 최근 파랑 중 고속성능 및 내항성능이 우수한 60m급 반활주선 개발을 위한 모형시험 및 수치계산 연구를 수행하여 Stern Wedge의 효과가 있음을 주장하였다.

이상에서 간략히 살펴본 바와 같이 활주형 선박의 선형설계는 지금까지 주로 경험적인 방법이나 모형시험에 의존하여 왔다. 그러나 최근 들어 컴퓨터와 수치해석 기법의 비약적인 발전에 힘입어 이론적 접근이 활발히 이루어지고 있다.

정우철 등[25, 26]은 연안용 소형 레저선과 고속 연안 순시선의 선형개발에 상용 프로그램인 FLUENT를 사용하여 그 활용 가능성을 보여주었다.

본 연구에서는 자유표면 유동해석 기법을 고속 활주형 선형개발에 적용할 수 있는 가능성을 함께 검토하였다. 이에 대한 설명은 제 5 장에서 자세히 언급하였다.



- ① 배수량형
- ② 반활주형
- ③ 활주형(대형선)
- ④ 활주형(소형선)

Fig. 2-1 Relation Between Speed and Hull Form

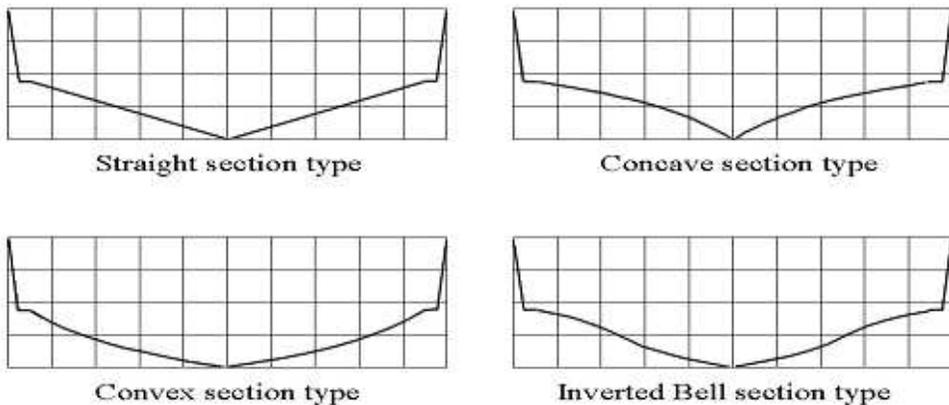


Fig. 2-2 Typical Midship Section Shapes of Planing Hull Form

제 3 장 50노트급 고속 경비정의 선형 설계

3.1 기본 조건

본 연구 대상 고속 경비정은 연안뿐만 아니라 근해에서도 각종 범법행위에 대한 효과적인 단속이 이루어져야 한다. 또한 각종장비의 호환 등 원활한 업무를 위하여 국내에서 보유하고 있는 기존의 최신 경비정과 유사한 규모로 하되, 최대속력은 50노트 정도로 향상시키는 것을 목표로 하였다.

뿐만 아니라 고속 경비정의 특성상 연안과 같은 얕은 수심과 양식장 주변과 같이 각종 이물질이 있는 상황에서도 운항이 가능하여야 하며, 뛰어난 기동성이 확보되어야 한다.

이상과 같은 조건을 만족시키기 위하여 물분사 추진장치를 갖는 배수톤수 90~100톤급 선박으로 결정하였으며, 이로부터 Savitsky[3]와 Tanaka[4]의 제안에 따라 단동형 활주선 개념을 도입하였다.

3.2 선형 설계

선형설계를 위한 주요제원을 결정하기 위하여 30노트 이상의 속력을 갖는 해외 실적선 중 길이 20m 이상인 단동형 활주선 50여척을 수집하여 분석하였다.

Fig. 3-1은 수집된 선박의 배수량과 길이 L_{OA} (연장 갑판을 제외한 선체길이)와의 대략적인 관계를 보인다. 여기에서 $F_n \nabla = 2.3$ 은 30노트, 그리고 3.0은 40노트에 해당하는 속도이다. 40노트 이상의 초고속인 경우는 대부분 100톤 이

하이고, 배수량과 길이는 선형적인 관계를 가지고 있음을 알 수 있다.

본 연구의 대상선박이 약 90~100톤의 배수량을 갖는 최대속력 50노트급 선박이므로 전장은 약 28~30m 내외가 적절한 것으로 판단된다.

본 선박과 같이 특수한 목적으로 운항되는 선박의 경우, 파랑 중 횡요안정성 확보가 매우 중요하다. 즉, 중심높이를 낮게 하여 메터센터 높이를 높여주는 것이 횡요안정성 측면에서 유리하다. 이 메터센터 높이는 수선면적에 비례하므로 선폭을 가능하면 크게 하는 것이 바람직 하지만, 이를 지나치게 크게 하면 저항성능이 나빠질 위험성이 있는 관계로 적절한 값을 결정하여야 한다.

앞에서 언급한 실적선들의 길이(L_{OA})와 폭(B)과의 관계를 Fig. 3-2에 나타내었다. 40노트 이상인 선박들의 폭이 30~40노트 선박들에 비하여 다소 큰 경향을 보이고 있다. 이는 고속으로 갈수록 선수충격을 완화시키기 위하여 Deep-V형 선형을 채용하고, 이에 따라 부족한 배수량 확보를 위하여 폭을 크게 하기 때문이다[2].

또한 고속 활주선의 경우, 차인(Chine) 폭은 저항성능 뿐만 아니라 안정성 측면에서도 중요한 설계변수가 된다. 길이 L_{OA} 와 차인 폭(B_c)과의 관계를 Fig. 3-3에 나타내었다.

본 자료에 따르면 길이(L_{OA})가 28~30m일 경우 선폭(B)과 차인 폭(B_c)은 각각 7~8m와 6~7m 정도가 적당할 것으로 판단된다. 본 선박에서는 이 차인을 선체 중앙부에서 선미에 걸쳐 수면 아래에 위치시켜 정지상태에서도 충분한 복원력이 확보되도록 하였다.

선체 깊이와 길이와의 관계는 선체 종강도와 중량에 큰 영향을 준다. 종강도를 고려하여 깊이를 지나치게 크게 하면 중량이 과도하여 추진성능에 나쁜 영향을 주는 반면, 이 값이 너무 작으면 파랑 중 갑판이 물에 잠기게 되므로 적절한 값을 선정하여야 한다.

Fig. 3-4와 3-5는 각각 길이에 대한 깊이(D)와 흘수(d) 관계를 보인다. 이를 토대로 초기 깊이와 흘수를 각각 3.2~3.3m와 1.2~1.3m 정도로 선정하였다.

종방향 중심위치는 활주성과 밀접한 관계를 갖고 있으므로 이의 결정이 매우 중요하다. 일반적으로 선미단에서 중심까지의 거리(L_G)는 L_{wl} 의 약 40% 정도이다[3]. 본 연구에서는 이를 참고로 종방향 중심위치를 결정하였다.

선저 경사각은 내항성능에 큰 영향을 주므로 고속 활주선 설계 시에 반드시 고려하여야 하는 중요한 요소이다. 본 연구에서는 Kihara & Ishii[8]의 모형시험 결과를 토대로 20° 내외로 결정하였으며, McInnes[9]의 제안에 따라 활주성능을 향상시키기 위하여 선미로 가면서 경사각을 작게 한 비틀(Warped)형 형상을 채택하였다. 그러나 활주면을 비틀어 줌으로서 발생하는 과도한 선미트림에 따른 저항증가를 억제하기 위하여 선미단에서의 선저 경사각은 10° 정도로 다소 작게 하였다.

선저 경사각을 작게 할 경우, 배수량이 과도하게 되어 추진성능이 떨어지는 문제가 발생하게 된다. 따라서 선폭과 깊이를 다소 줄여 줌으로써 추진성능에 유리한 방향으로 선형을 수정할 수 있다. 최근에 건조된 40노트 이상의 일본 고속선들의 경우, 이러한 방향으로 기본선형을 설계함으로써 기존 실적선보다 선폭과 깊이가 다소 줄어든 경향을 보인다. 따라서 본 연구에서는 이를 참고로 선폭과 깊이를 수정해 주었다.

활주선은 선체와 수면사이의 동적 압력에 의하여 선체가 부양되어 수면 위를 활주함으로써 고속영역에서 저항성능을 향상시키도록 고안된 선형인 관계로 그 단면 형상이 저항성능뿐 아니라 자세 안정성에도 매우 큰 영향을 미친다. 활주선의 단면은 크게 오목(Concave), 볼록(Convex), 직선(Straight), 오목-볼록(Inverted Bell) 등 4가지를 기본 형상(Fig. 2-2)으로 하여 여기에 약간씩 수정을 가하여 사용하고 있다[10][11].

우리나라에서는 본 연구 개발선과 같이 비교적 대형의 초고속선 건조경험이 많지 않은 관계로 생산성을 고려하여 가능한 직선형 단면을 채택하도록 하였다. 단, 본 개발선의 속도 범위에서는 오목형 단면의 저항성능이 상대적으로 우수한 관계로[7][12], 선수부는 약간의 오목형 단면을, 선미부는 직선형 단면을 채택하였다.

본 연구 대상 개발선의 최종적인 주요제원은 초기 중량 추정과 배치상의 특성 등을 감안하여 정하였으며, 그 제원과 형상은 Table 3-1과 Fig. 3-6에 각각 나타내었다.

Table 3-1 Principal Dimensions of Development Boat

Items	Dimensions	
LOA (m)	28.0	
Lbp (m)	25.0	
B (m)	6.1	
D (m)	3.2	
d (m)	1.2 (70% Load)	1.3 (Full Load)
Disp. (Ton)	90 (70% Load)	95 (Full Load)

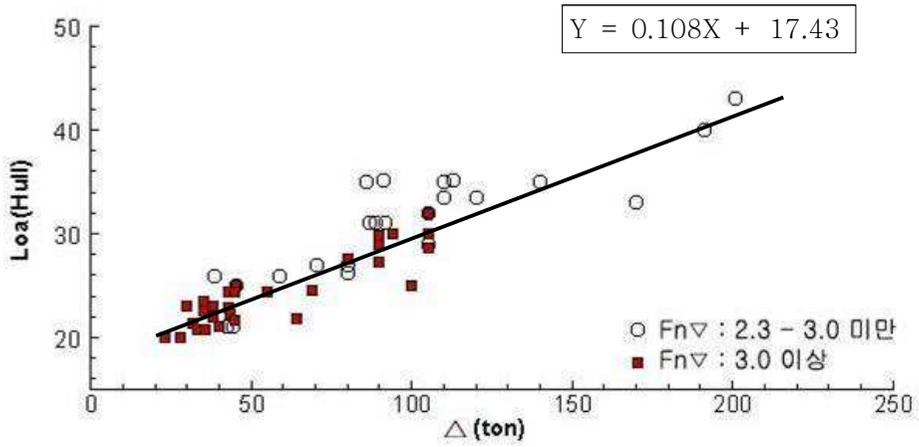


Fig. 3-1 Relation between $\Delta(\text{ton})$ and L

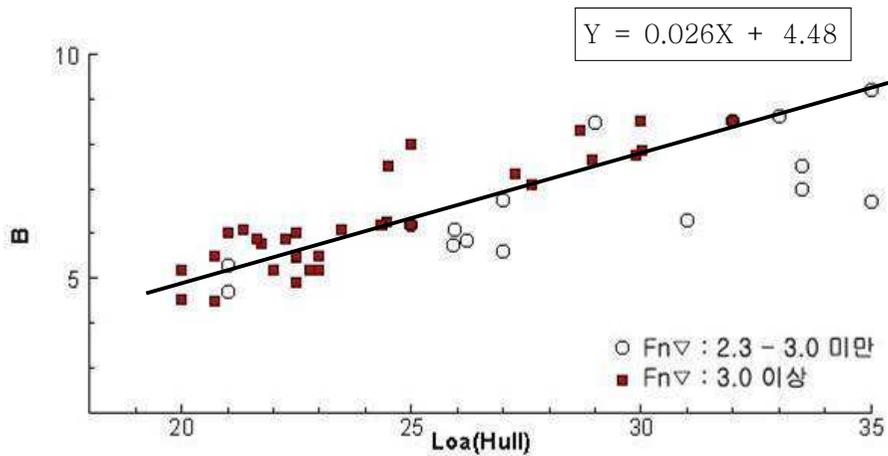


Fig. 3-2 Relation between L and B

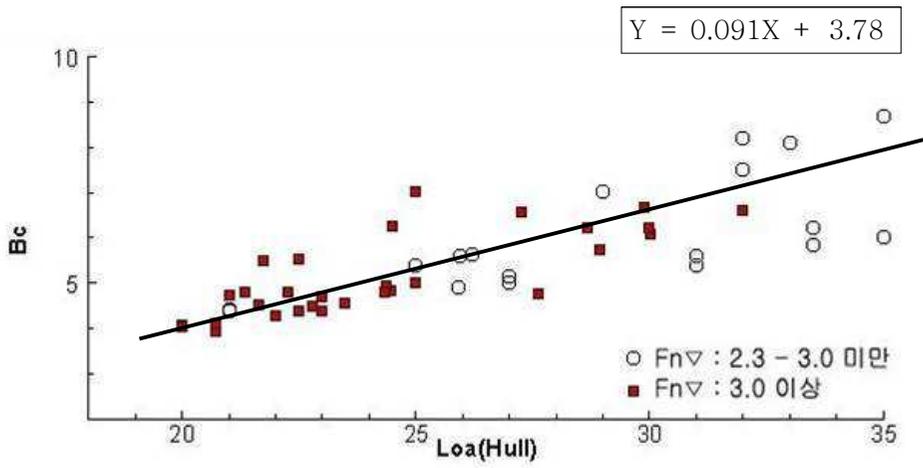


Fig. 3-3 Relation between L and Bc

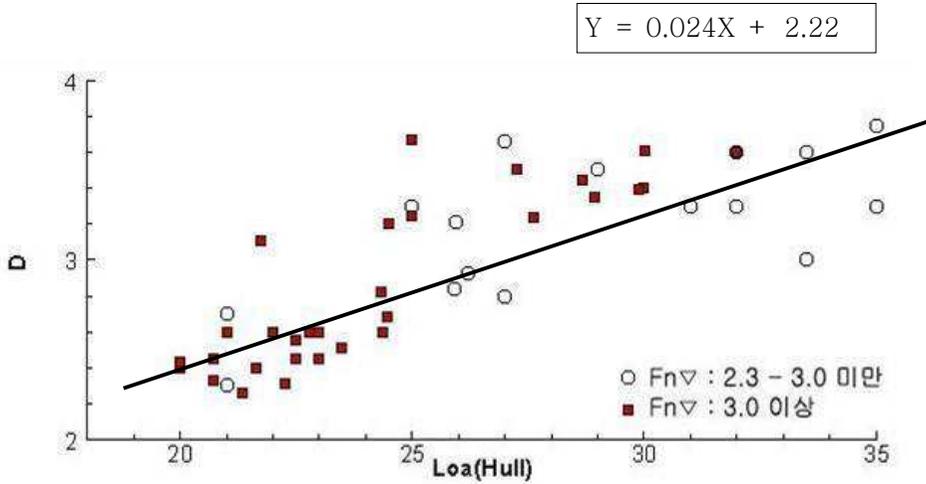


Fig. 3-4 Relation between L and D

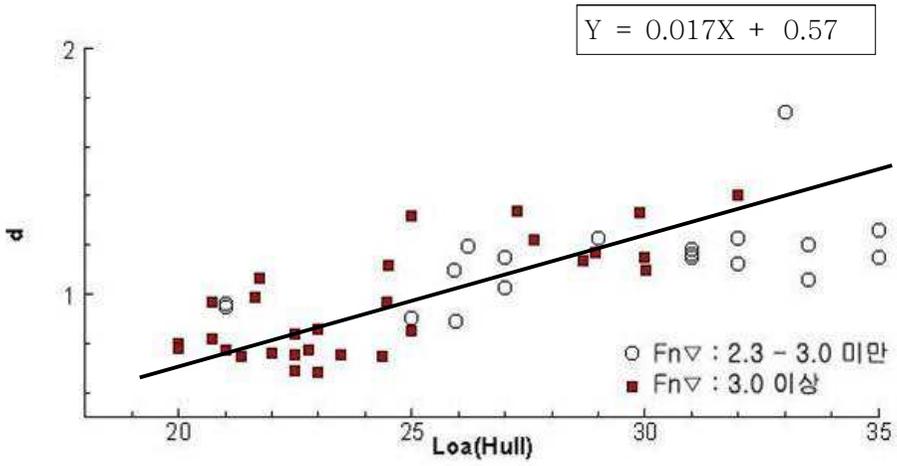
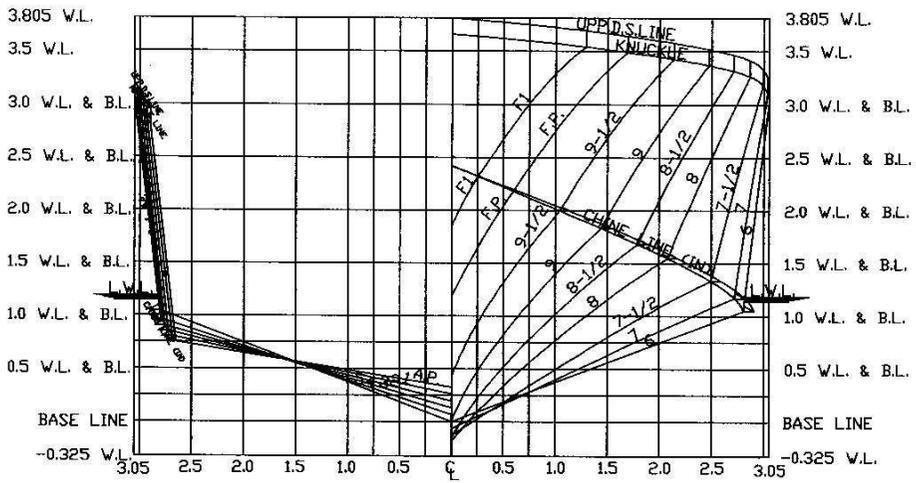


Fig. 3-5 Relation between L and d



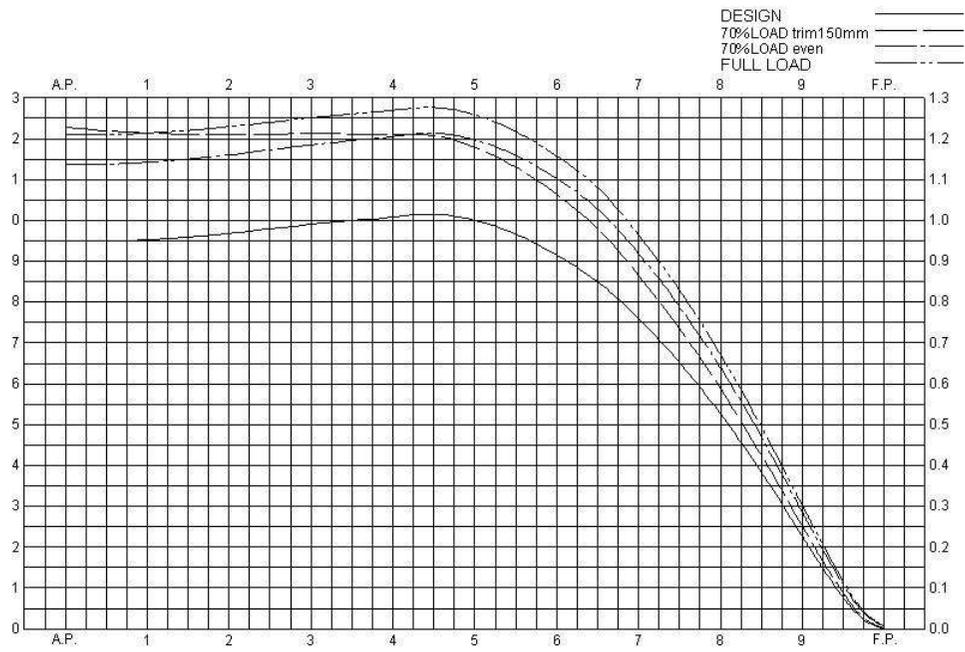


Fig. 3-7 Sectional Area Curve

제 4 장 초기 개발선형의 유체역학적 성능 시험

4.1 시험 조건

일반적으로 고속 활주선의 경우 초기트림 상태(Initial Trim Condition)가 저항성능에 큰 영향을 미친다고 알려져 있다. 따라서 초기설계 단계에서 면밀한 검토가 필요하다. 정우철 등[26]은 소형 고속정의 모형시험에서 초기트림을 2° 정도까지 변화 시키면서 실험을 수행하였고, 적절한 초기트림은 저항성능 개선에 크게 기여한다고 설명하였다. 즉, 초기 일반배치 설계 시 트림상태를 감안한 배치를 통하여 운항 중 최적의 트림조건이 만족되도록 함으로써 성능을 향상시킬 수 있다. 특히 본 선박과 같이 특수한 목적으로 사용되는 경비정의 경우, 거친 파도 속에서도 고속 운항이 가능하여야 하므로 초기트림의 역할은 더욱 중요하게 된다.

고속 활주선의 운항 중 트림 변화를 유도하여 성능을 개선시키는 방안으로는 앞에서 언급한 초기트림 외에 선미 Wedge나 Flap을 널리 이용하기도 한다. 이러한 Wedge나 Flap에 의한 저항감소 효과는 $F_n = 0.2 \sim 0.3$ 이상에서 나타나고, Wedge가 Transom 깊이를 증가시키는 역할을 하므로 저속에서는 Flap보다 불리한 것으로 알려져 있다[27]. Karafiath 등[28]은 이러한 Wedge나 Flap에 의한 트림변화가 대형선에서는 그리 크지 않기 때문에 트림변화보다는 선미 유동장 개선에 의하여 저항이 감소된다고 주장하였다.

한편, 정우철 등[25, 26]은 고속 소형 레저선과 순시선의 모형시험을 통하여 선측에 설치된 날개(Side-Fin)가 운항 중 트림을 변화시키고, 어깨 부근에서 발생하는 쇄파를 억제시킴으로써 저항성능 개선에 기여할 수 있다고 주장하였다.

본 연구에서는 개발된 선형의 초기트림이 저항성능에 미치는 영향을 조사하

였다. 본 개발선과 같은 비교적 중대형급 선박들은 일반적으로 초기트림이 그리 크지 않은 관계로 본 연구에서는 최대 300mm(약 0.7°)까지 변화 시키면서 실험을 수행하였다. 또한 선미 Wedge(Trim Tab)와 선측날개(Side-Fin)를 부착하여 항주 트림변화와 저항성능과의 관계를 함께 조사/분석하였다.

모형시험은 통상의 항주 조건인 70% Load Condition에서 30~50노트 속도 범위에서 수행되었으며, 모형은 $L_{pp}=0.83m$ 크기로 하드우레탄으로 제작하였다. 시험에 사용된 모형은 Table 4-1과 Fig. 4-1과 같고, 시험이 수행된 서일본유체기술연구소(FEL)의 고속회류수조 제원과 형상을 Table 4-2와 Fig. 4-2에 각각 나타내었다.

4.2 초기트림의 분석

앞에서 언급한 바와 같이 고속 활주선의 경우, 운항 중 자세변화가 저항성능에 미치는 영향이 매우 큰 관계로 적절한 중량 배치를 통한 최적의 초기트림을 결정해 주는 것이 필요하다.

일반적인 고속 활주선의 경우 선저경사각이 주어졌을 때 모형선의 전저항(R_m)은 압력저항(Pressure Drag)과 점성저항(Viscous Drag)으로 나누어지며, 식 4-1과 Fig. 4-3과 같이 정리될 수 있다[13].

$$R_m/\Delta = \Delta \cdot \tan \tau + D_F / \cos \tau \quad (4-1)$$

- 여기에서, τ : Trim Angle
 $\Delta \cdot \tan \tau$: Pressure Drag
 Δ : Displacement, ton
 $D_F / \cos \tau$: Viscous Drag

고속 활주선의 초기트림은 항주 중 자세변화를 유발하여 선체 안정성에 큰 영향을 주게 된다. 주어진 선저경사각에 대하여 항주 안정범위(Porpoising Limit), 트림, 양력계수(C_L)와의 관계는 Fig. 4-4와 같이 나타낼 수 있다[15]. 여기에서 양력계수는 선체의 부상에 대한 계수로 다음과 같다.

$$C_L = \frac{\Delta}{1/2\rho V^2 B^2} \quad (4-2)$$

여기에서, Δ : Displacement, ton
 V : Ship Speed
 B : Ship Breadth

본 개발선의 경우 선수부 선저경사각이 20° 이고, 목표속도가 50노트이므로 항주안정 조건을 만족하기 위해서는 트림각이 최대 5° 가 넘지 않도록 하여야 한다.

본 연구에서는 Table 4-3과 같이 세 경우에 대한 수조시험을 통하여 본 개발선박의 초기트림을 결정하고자 하였다. 여기서 초기트림상태는 선미트림을 말한다.

초기트림상태의 조건에 따른 저항계측결과를 Fig. 4-5에 나타내었다. 전반적으로 저항특성은 유사한 경향을 보인다. Case-1과 Case-2의 저항 값은 전 속도 영역에서 큰 차이가 없다. Case-3의 경우, 30노트 부근에서는 다른 두 경우와 유사한 값을 보이지만, 고속으로 올라가면서 저항 값이 현저히 줄어드는 경향을 보인다.

항주트림 변화를 Fig. 4-6에 나타내었다. 초기트림이 큰 Case-3의 경우 고속으로 갈수록 항주트림이 급격하게 감소하고 있다. 속도가 증가할수록 지속적으로 감소하는 경향을 보인다. 그러나 통상의 운항속도인 40노트 부근에서는 항주트림이 5° 내외로, 잘 설계된 고속 활주선의 3° 내외보다 다소 큰 값을 갖는다. 뿐만 아니라 일정 속도에 도달할 때까지는 항주트림이 다른 두 경우에

비하여 매우 큰 관계로, 가속 도중 파랑 중의 안정성능에 문제가 될 것으로 판단된다.

침하량의 변화를 비교하여 Fig. 4-7에 나타내었다. 여기에서 양(+)³의 값은 수직 상 방향, 즉 선체 부상을 뜻한다. 세 경우 모두 속도가 증가함에 따라 선수부가 점차 부상하다가 일정 속도가 되면 다시 침하되는 경향을 보인다. 특히 Case-1과 Case-2는 45노트 이상에서 큰 변화를 보이지 않는다. 그러나 Midship과 선미에서는 지속적으로 부상이 일어나고 있다. 따라서 앞에서 언급한 바와 같이 트림 각도가 줄어들게 된다. 초기 트림이 큰 Case-3의 경우가 전반적인 선체 부상량이 다른 두 경우에 비하여 크게 나타나고 있고, 이러한 이유로 Case-3의 저항이 고속영역에서 크게 줄어드는 것으로 보인다.

Fig. 4-8은 항주 중 침수표면적의 변화를 보인다. 본 선박과 같은 고속 활주선의 경우 이 값이 작아질수록 비교적 우수한 저항성능을 나타낸다. Case-2와 Case-3의 경우, 속도가 증가할수록 급격하게 감소하고 있고, 거의 동일한 값을 보인다. 즉 본 개발 선박의 경우 초기트림을 어느 정도 주는 것이 저항성능을 향상시킬 수 있다고 판단된다.

Fig. 4-9, 4-10, 4-11, 4-12, 4-13, 4-14는 각 30, 40, 50노트에서의 파형 비교를 보인다. 30노트에서는 세 경우 모두 유사한 파형을 갖고, 이는 저항 값이 거의 동일한 이유를 설명하고 있다 (Fig. 4-9, 4-10). 40노트와 50노트에서는 Case-1과 Case-2는 유사한 파형을 보이고 있으나, 초기트림이 가장 큰 Case-3의 경우 선체 부상량이 비교적 큰 관계로 중앙부근에서 발생하는 선수파가 상대적으로 작게 발생하고 있다. 또한 선체 부상에 따른 마찰저항 감소 등으로 인하여 저항이 줄어든다고 판단된다.

앞에서 언급한 바와 같이 Case-3의 경우가 저항성능이 가장 양호할지라도 저속영역에서 항주트림이 상대적으로 매우 큰 관계로 운항 중 파랑 안전성능이 문제가 될 것으로 예측된다. 따라서 이 속도 부근에서 상대적으로 양호한 성능

을 갖는 Case-2(150mm 초기트림)를 본 개발선의 최종 설계조건으로 선정하여 향후 이를 개선시킬 수 있는 방안을 도출하고자 하였다.

4.3 Trim Tab의 분석

앞에서 언급한 바와 같이 선미에 부착하는 Trim Tab(Stern Wedge)이나 Flap은 $F_n=0.2\sim 0.3$ 이상에서 저항감소에 기여한다고 알려져 있다.

Karafiath와 Fisher[29]는 고속정 모형시험을 통하여 Stern Wedge의 길이는 수선길이의 1%~2% 정도가 적합하고, $F_n=0.9$ 정도에서 5~11% 정도의 유효마력 감소가 가능하다는 것을 보인 바 있다. 최근 서관희 등[24]은 60m급 반활주 고속정 설계에 수선면 길이의 1.3%, Wedge Angle 13° 정도의 Stern Wedge를 부착하여 개발선의 유효마력을 $F_n=0.6$ 에서 최대 약 8% 정도 감소시킨 예를 보이기도 하였다.

본 연구에서는 개발선의 최적 운항조건인 150mm 초기트림을 준 경우(Case-2)에 Trim Tab을 부착하여 본 개발 선박의 성능을 개선시킬 수 있는 방안을 도출하고자 하였다.

본 개발선의 경우 초기트림을 어느 정도 부여한 경우가 성능이 상대적으로 우수한 결과를 보이는 관계로 Trim Tab에 의한 자세변화를 상대적으로 작게 가져가는 것이 유리하다고 판단된다. 따라서 Trim Tab의 길이는 다소 길게, 그리고 각도를 작게 하였다.

Trim Tab의 길이는 수선면 길이의 약 1.8% 정도인 0.45m로 고정하고, Table 4-4와 같이 세 가지로 각도를 변화시켰다.

Trim Tab의 스케치와 선미에 부착된 형상을 Fig. 4-15에 보인다.

Trim Tab 크기변화에 따른 저항 계측 결과를 Fig. 4-16에 나타내었다. Trim Tab이 없는 Case-2와 비교하여 볼 때 Trim Tab을 부착하여 줌으로써 오히려 저항이 다소 증가하는 경향을 보인다. Trim Tab 각도가 제일 큰 Case-4의 경우 속도가 증가할수록 저항이 급격히 증가하고 있다. 각도를 줄여 줌으로써 그 증가량은 다소 줄어들고 있다. Case-5와 Case-6의 경우, 저속영역에서 Case-2보다 저항성능이 다소 우수한 것으로 보인다. 특히 Case-6의 경우, 본 개발선박의 통상적인 항주속도인 40노트 이하에서 가장 우수한 저항 성능을 보이고 있다.

Fig. 4-17은 항주트림의 변화이다. Trim Tab을 부착함으로써 트림이 크게 감소하고 이다. Trim Tab을 부착한 세 가지 경우는 모두 40노트 이하에서 항주트림이 일정한 특징을 보이고 있다. Trim Tab의 각도가 가장 큰 Case-4의 경우, 목표 속도인 50노트에서 항주트림이 2.5° 내외로 가장 작고, 따라서破浪 중 안전성은 뛰어날 것으로 예측된다. 저항성능이 상대적으로 우수하였던 Case-6의 경우 50노트에서의 항주트림은 3.5° 내외로 통상의 고속 활주선과 비교해 볼 때 크게 나쁘지 않은 조건이다.

침하량의 비교를 Fig. 4-18에 나타내었다. Trim Tab 각도가 클수록 전반적으로 침하가 발생하고 있다. 특히 선수부는 상대적으로 크게 침하되고 선미부는 부상하는 경향이 나타나고 있다.

운항 중 침수표면적 변화는 모든 경우에서 동일하다(Fig. 4-19).

세 가지 Trim Tab을 부착한 경우의 파형을 Fig. 4-20, 4-21, 4-22, 4-23, 4-24, 4-25에 나타내었다. 30노트에서는 세 경우 모두 유사한 파형이고, Trim Tab을 부착하지 않은 경우보다 선미파가 줄어드는 경향을 보인다. 이는 Trim Tab에 의하여 항주트림이 크게 줄어들었기 때문이고, 이 속도에서 Trim Tab을 부착한 경우의 저항이 더 작은 이유를 설명한다(Fig. 4-16).

Fig. 4-22, 4-23, 4-24와 4-25에서 보는 바와 같이 속도가 증가할수록 Trim tab 각도가 큰 경우(Case-4>Case-5>Case-6)의 선측 쇄파가 크게 나타나고 있다. 이는 속도가 증가할수록 Trim Tab에 의하여 항주트림이 크게 줄어들기 때문이라고 보인다. 특히 목표 속도인 50노트에서 Trim Tab의 각도가 가장 큰 Case-4의 경우, 항주트림이 2.5° 정도로 크게 줄어들면서 선미파는 거의 나타나지 않고, 강한 선수쇄파가 나타나고 있다. 따라서 가장 나쁜 저항성능을 보인다.

이상의 결과로부터 통상적인 항주속도인 40노트에서 저항성능이 가장 양호하고, 최대 속력인 50노트에서 가장 우수한 Trim Tab 효과를 내는 Case-6 (150mm 초기트림 & 0.8° Trim Tab)을 본 선박의 최적 운항조건으로 선정하였다.

4.4 선측날개(Side-Fin)의 분석

적절한 위치에 부착된 선측날개는 날개에 작용하는 양력 중심과 부심위치의 조화로 인하여 선체가 잘 부상하여 저항성능이 개선될 뿐만 아니라, 횡동요도 줄어들게 된다[25, 26]. 그러나 날개의 폭이 너무 커지면 정박 중 다른 선박과의 충돌 등의 문제가 발생할 수 있으므로 적절한 폭과 길이를 결정하여야 한다.

개발된 선형의 최적 운항조건으로 선정된 Case-6의 50노트 파형(Fig. 4-17(c))을 보면 7 Station 전방은 거의 전부 수면 상부로 떠 있고, 6 Station 후방이 수면에 많이 잠겨 있다. 따라서 날개를 Midship 후방에 부착하여 선체를 전반적으로 부상시켜 저항성능을 개선시킬 수 있는 가능성을 확인하였다.

본 연구에서는 Table 4-5와 같이 두 가지 경우의 선측날개를 각각 부착하여

그 효과를 분석하였다. 첫 번째는 날개를 3 Station과 5 Station 사이에 부착하였고(Case-7), 두 번째는 이 날개를 1/2 Station 선미쪽으로 이동시켜(Case-8) 날개 위치에 따른 저항특성을 조사하였다. 선체에 부착된 날개 형상을 Fig. 4-26에 보인다.

저항계측 결과를 Fig. 4-27에 나타내었다. 고속으로 갈수록 선측날개를 부착한 경우의 저항성능이 다소 우수한 것으로 보인다. 특히 날개를 Midship 쪽에 가깝게 부착한 경우(Case-7)의 저항성능이 좀 더 우수하다. 30노트 부근에서는 세 경우 모두 거의 동일한 결과를 보인다.

세 경우의 항주트림 변화를 Fig. 4-28에 비교하였다. 40노트 이하에서는 날개를 부착한 경우의 트림이 크고, 40노트에서부터 거의 동일한 결과를 보인다. 이는 저속영역에서 날개의 앞부분에 양력이 작용하기 때문이라고 판단된다.

Fig. 4-29는 침하량의 변화이다. Case-7의 경우, 전 속도 영역에서 다른 두 경우보다 부상량이 큰 경향을 보인다. 40노트 이상에서 항주트림은 큰 변화 없이 선측날개에 의하여 선체가 잘 부상하기 때문에 침수표면적 변화율이 다소 크고(Fig. 4-30), 이러한 결과로 저항성능이 향상되는 것으로 판단된다.

Fig. 4-31, 4-32, 4-33, 4-34, 4-35, 4-36은 각각 선측날개를 부착한 두 가지 경우(Case-7 & Case-8)의 30, 40, 50노트에서 파형을 보인다.

Case-7의 경우 선측날개가 없는 앞의 Case-6과 비교하여 볼 때, 30노트와 40노트에서는 거의 동일한 파형을 보인다. 그러나 50노트에서는 쇄파가 크게 줄어든 경향을 보이고 있다.

또한 선측날개를 1/2 Station만큼 선미쪽으로 이동한 Case-8의 경우에도 30노트와 40노트에서는 Case-6, Case-7과 거의 동일한 파형을 보인다. 50노트에서는 Case-6보다는 쇄파가 줄어들었으나, Case-7보다는 다소 강한 쇄파

특성을 보인다. 이러한 쇄파의 차이가 저항성능의 차이라고 보인다.

이상의 결과로부터 고속선에서는 선수부 쇄파가 비록 국부적으로 나타난다고 하더라도 저항성능에 큰 영향을 미치고, 선측날개를 이용하여 항주트림과 침하(Sinkage)를 조절함으로써 저항성능을 개선시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

Table 4-1 Particulars of Model and Test Condition

Items	Ship	Model (Scale : 1/30)
Lbp (m)	25.000	0.8333
Lwl (m)	25.000	0.8333
B (m)	6.100	0.2033
D (m)	3.000	0.1000
Condition	70% Load-1 (Trim 150mm)	
Bwl (m)	5.672	0.1891
dm (m)	1.307	0.0436
Trim (m)	0.150	0.0050
Cb	0.4738	0.4738
△ (ton)	90.000	0.003333
▽ (m ³)	87.805	0.003252
W.S.A (m ²)	137.970	0.15330
Condition	70% Load Even Keel	
Bwl (m)	5.675	0.1892
dm (m)	1.318	0.0439
Trim (m)	0.000	0.0000
Cb	0.4696	0.4696
△ (ton)	90.000	0.003333
▽ (m ³)	87.805	0.003252
W.S.A (m ²)	139.064	0.15452
Condition	Full Load	
Bwl (m)	5.685	0.1895
dm (m)	1.359	0.0453
Trim (m)	0.020	0.0007
Cb	0.4799	0.4799
△ (ton)	95.000	0.003519
▽ (m ³)	92.683	0.003433
W.S.A (m ²)	141.411	0.15712

**Table 4-2 Principal Dimensions of High Speed CWC.
(FEL, Japan)**

Item		Dimension
Whole Length (m)		24.53
Measuring Section	Length (m)	8.00
	Breadth (m)	1.50
	Draft (m)	1.25
Max. Velocity (m/s)		6.00

Table 4-3 Test Conditions for Initial Trim Effect

Case	Initial Trim (mm)	Initial Trim (angle)
Case-1	0	even trim (0 degree)
Case-2	150	0.35 degree
Case-3	300	0.70 degree

Table 4-4 Test Conditions for Trim Tab Effect

Case	Size of Trim Tab	
	Height (Angle)	Length
Case-2	None	
Case-4	0.03m (3.8 degree)	0.45m (1.8% of Lwl)
Case-5	0.015m (1.9 degree)	
Case-6	0.006m (0.8 degree)	

Table 4-5 Test Conditions for Side-Fin Effect

Case	Size of Side-Fin	
	Position	Length / Breadth (m)
Case-6	None	
Case-7	S.S. 3 ~ S.S. 5	5.0 / 0.10
Case-8	S.S. $2\frac{1}{2}$ ~ S.S. $4\frac{1}{2}$	

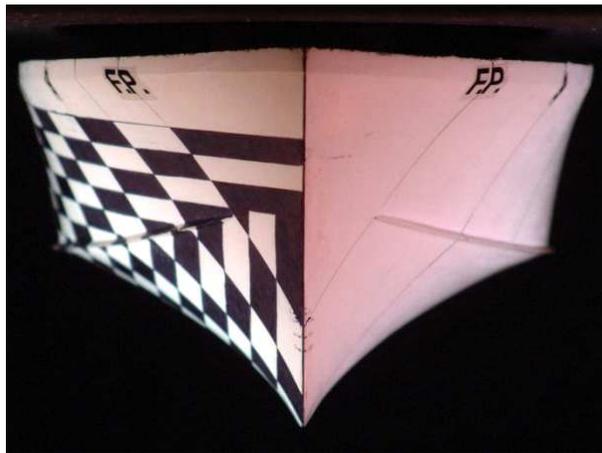
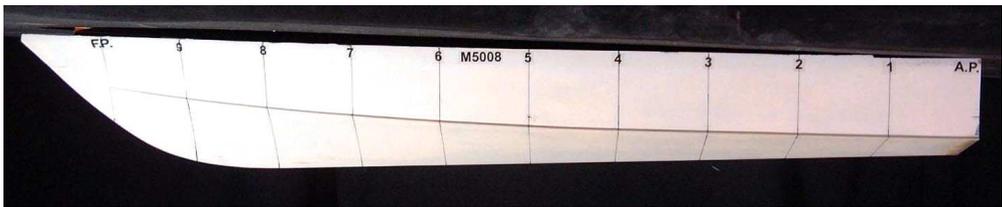
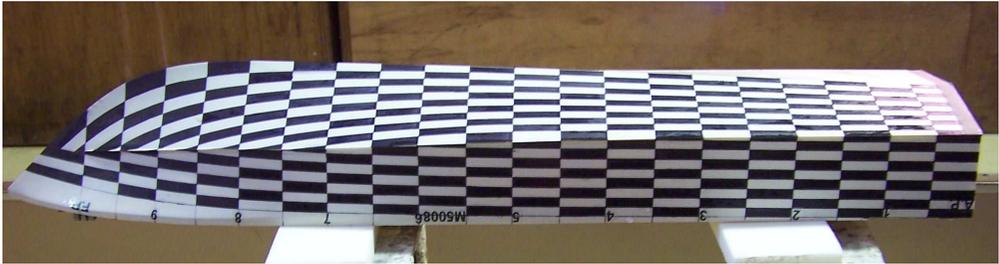


Fig. 4-1 Test Model

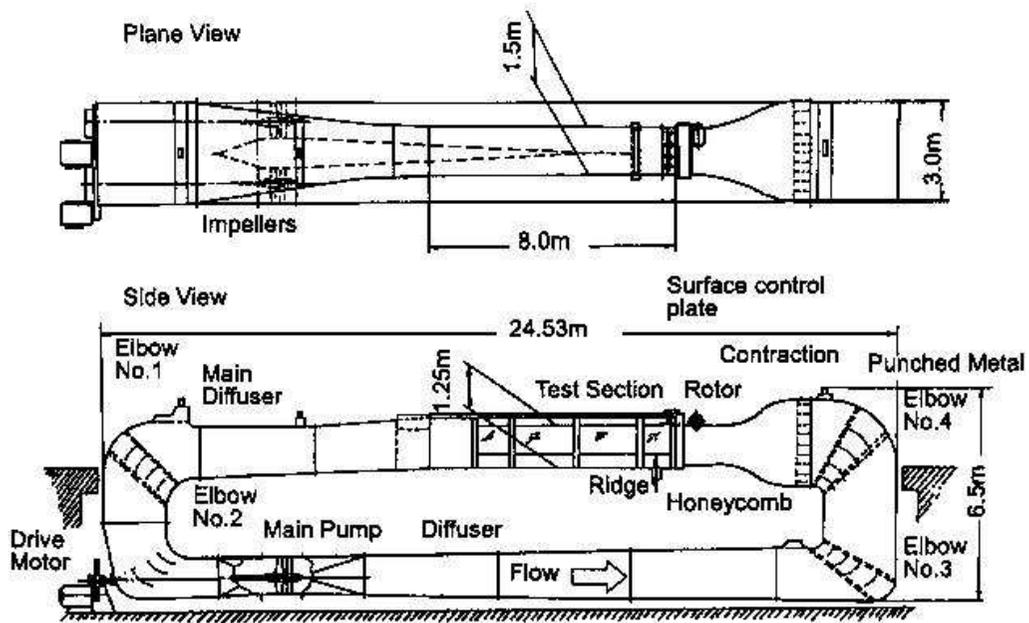


Fig. 4-2 Sketch of High Speed CWC (FEL, Japan)

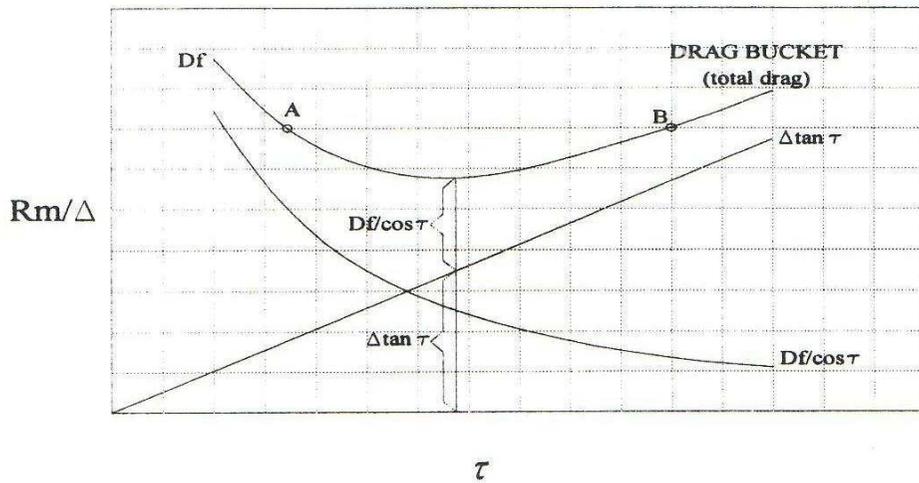


Fig. 4-3 Relation between Trim(τ) and Resistance [13]

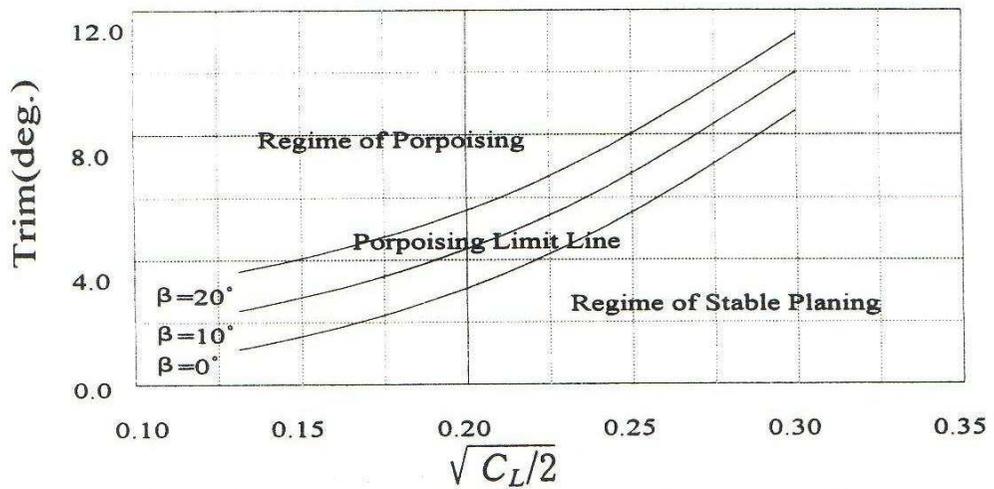


Fig. 4-4 Relation between Porpoising Limit, Trim(τ) and Deadrise Angle [15]

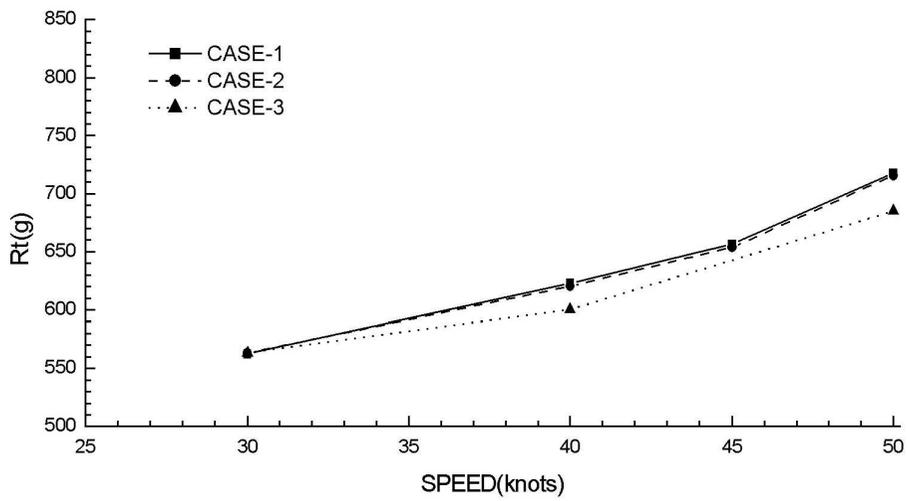


Fig. 4-5 Comparison of Total Resistance for Case-1, Case-2 and Case-3

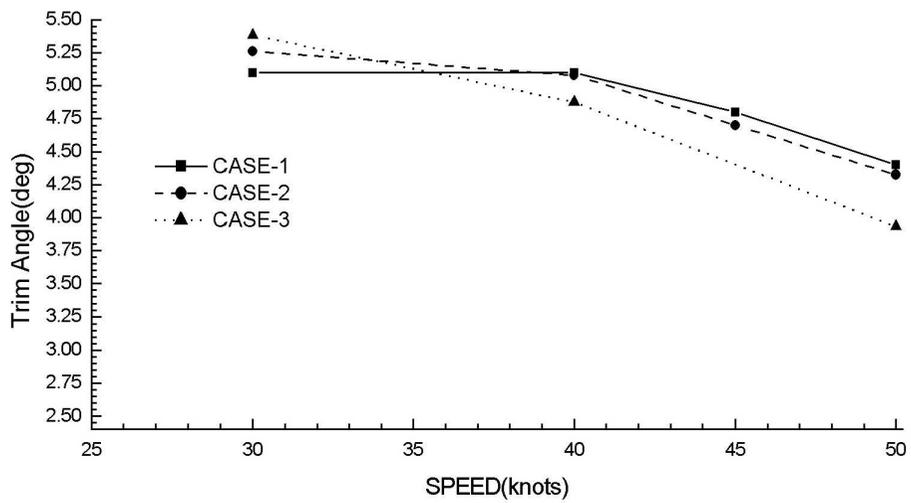
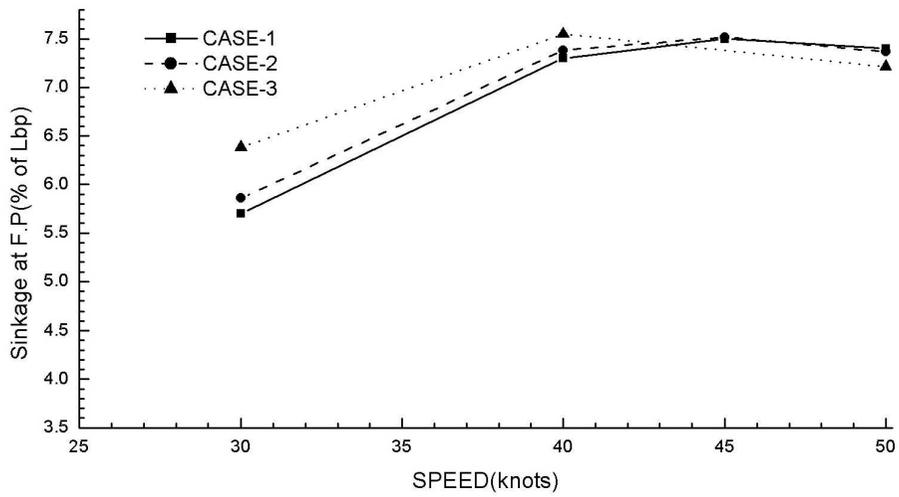
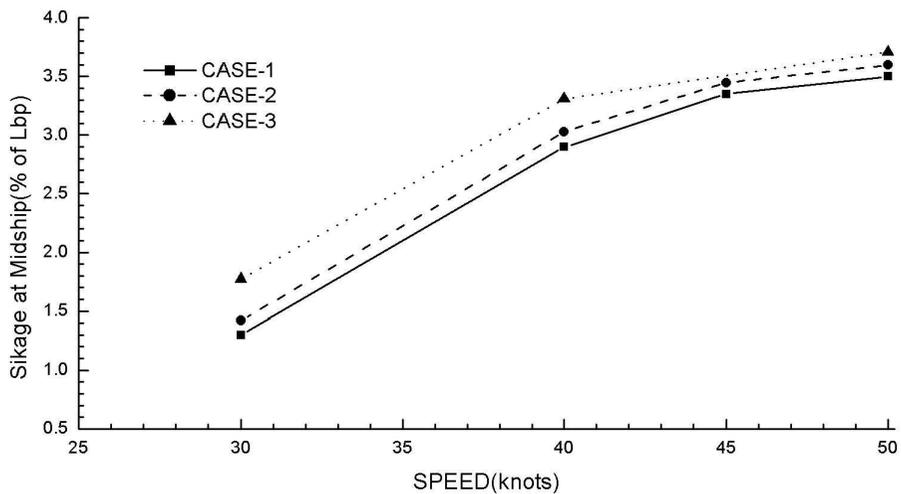


Fig. 4-6 Comparison of Trim Angle for Case-1, Case-2 and Case-3



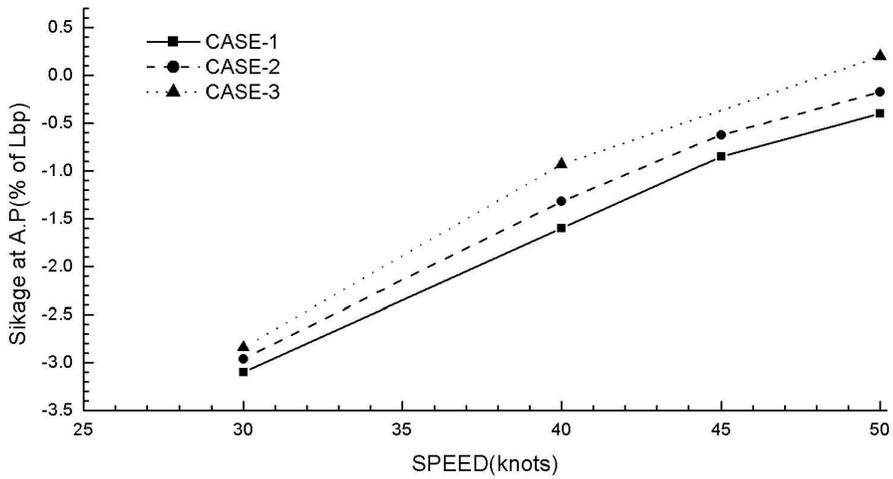
(a) Sinkage at F.P

Fig. 4-7 Comparison of sinkage for Case-1, Case-2 and Case-3



(b) Sinkage at Midship

Fig. 4-7 (Continued)



(c) Sinkage at A.P

Fig. 4-7 (Continued)

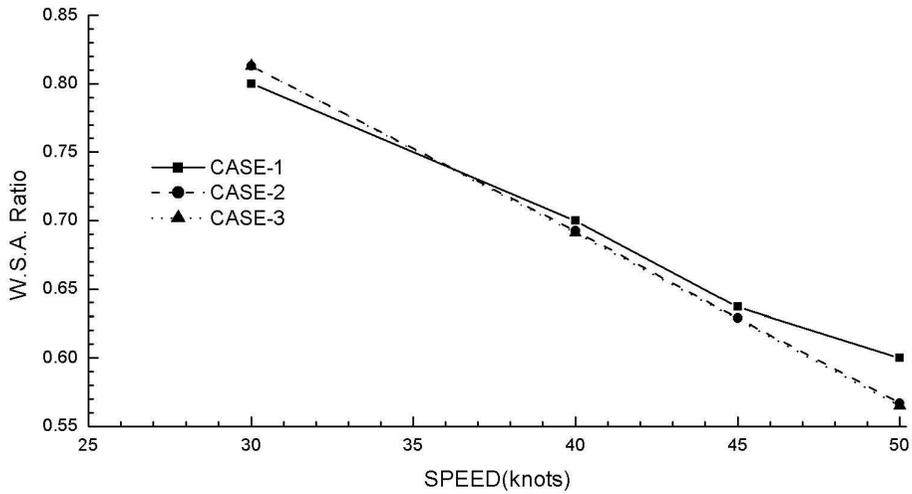
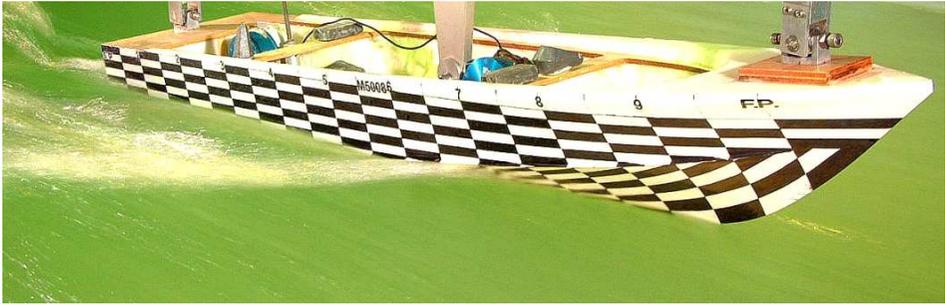


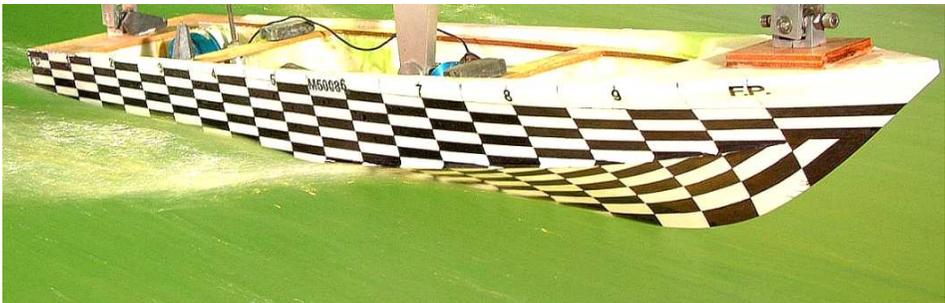
Fig. 4-8 Comparison of Wetted Surface Area Ratio for Case-1, Case-2 and Case-3



(a) Case-1

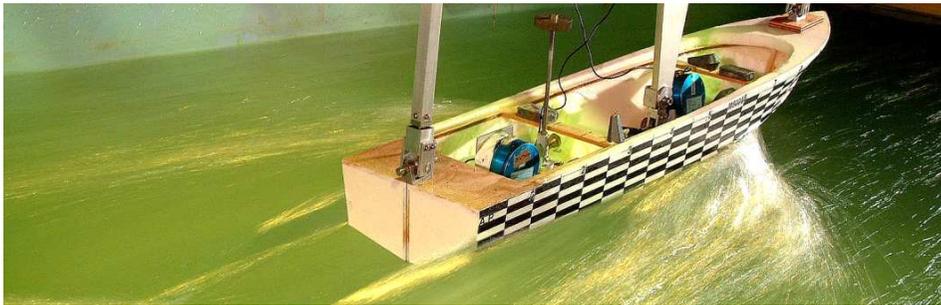


(b) Case-2

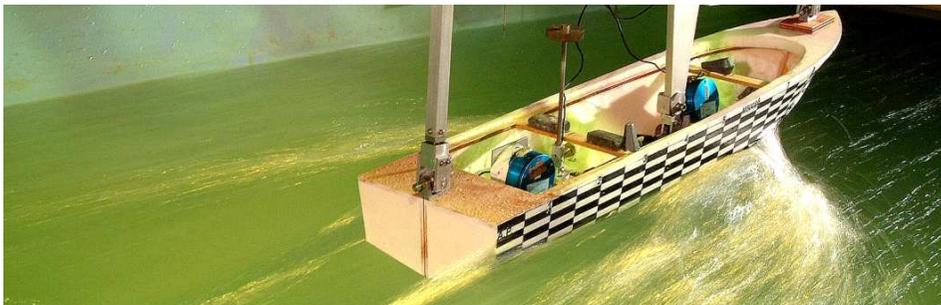


(c) Case-3

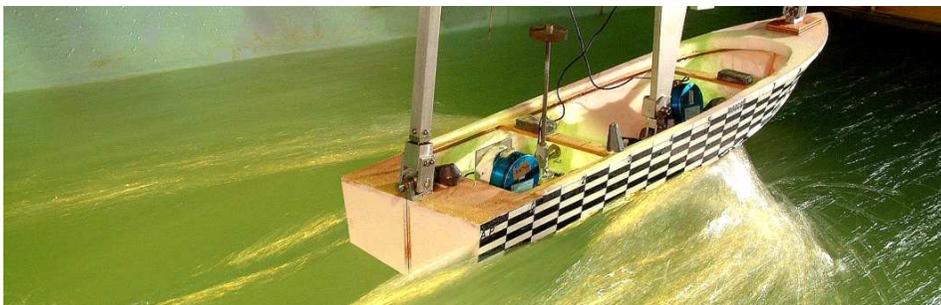
**Fig. 4-9 Wave Patterns, 30 knots at Front View
(for Initial Trim Effect)**



(a) Case-1

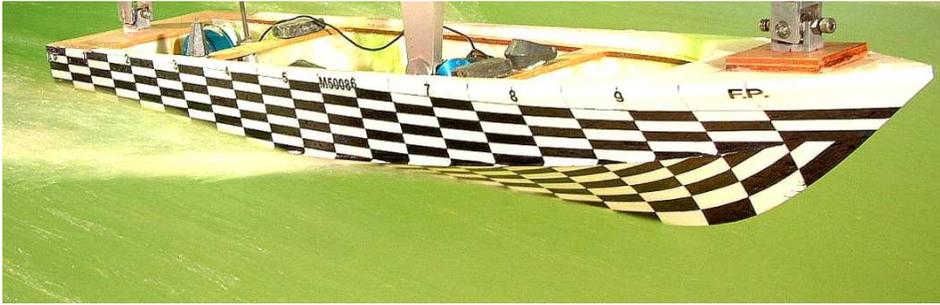


(b) Case-2

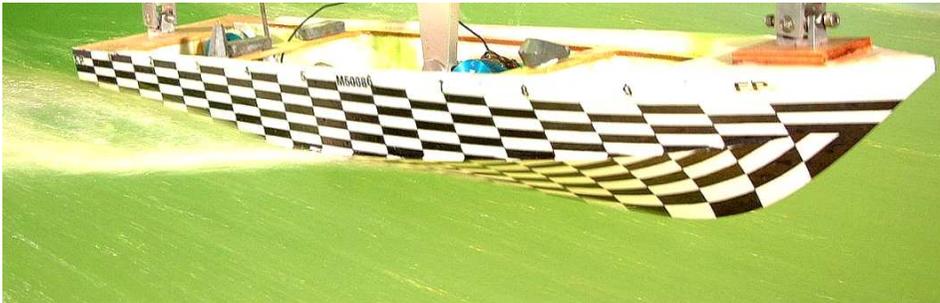


(c) Case-3

**Fig. 4-10 Wave Patterns, 30 knots at Stern View
(for Initial Trim Effect)**



(a) Case-1

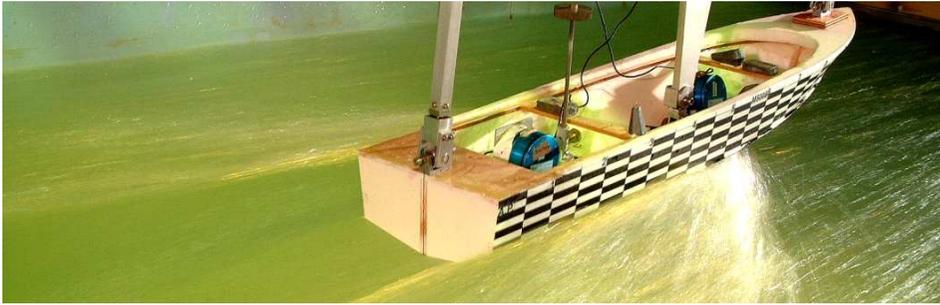


(b) Case-2

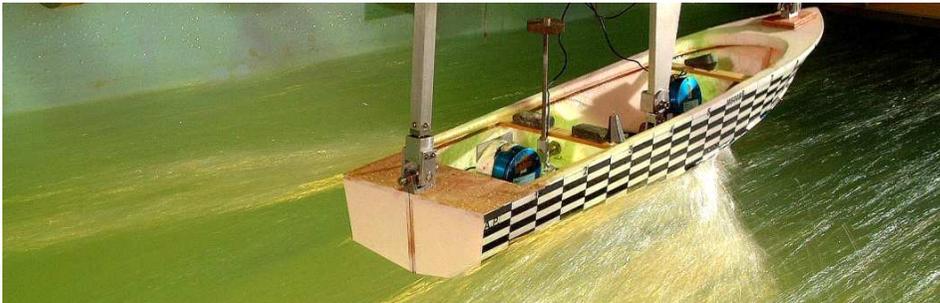


(c) Case-3

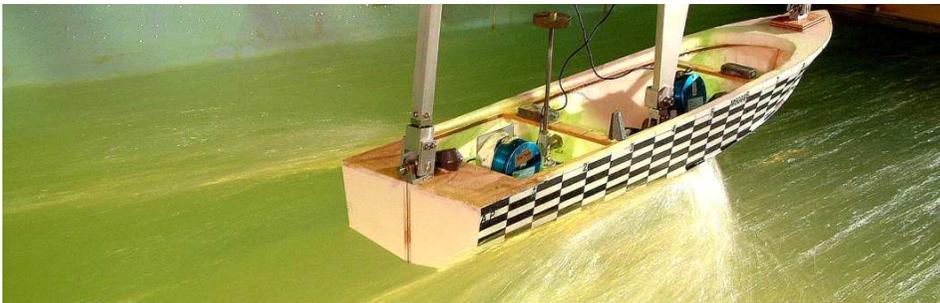
**Fig. 4-11 Wave Patterns, 40 knots at Front View
(for Initial Trim Effect)**



(a) Case-1

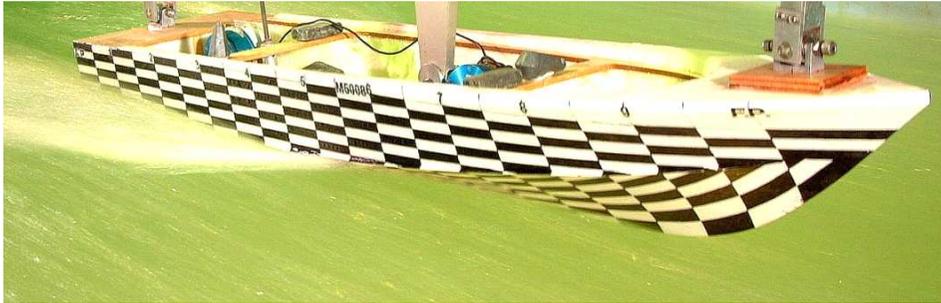


(b) Case-2



(c) Case-3

**Fig. 4-12 Wave Patterns, 40 knots at Stern View
(for Initial Trim Effect)**



(a) Case-1

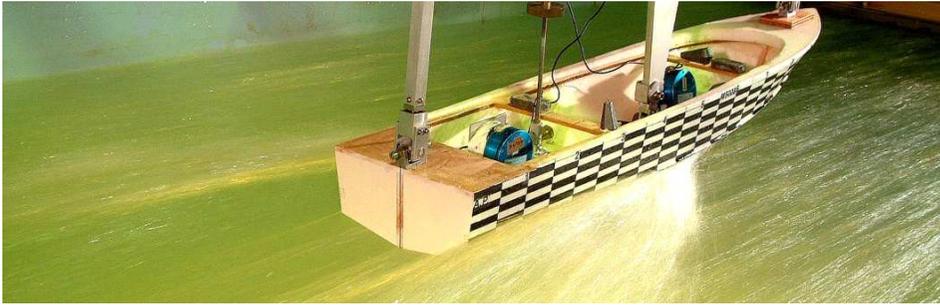


(b) Case-2

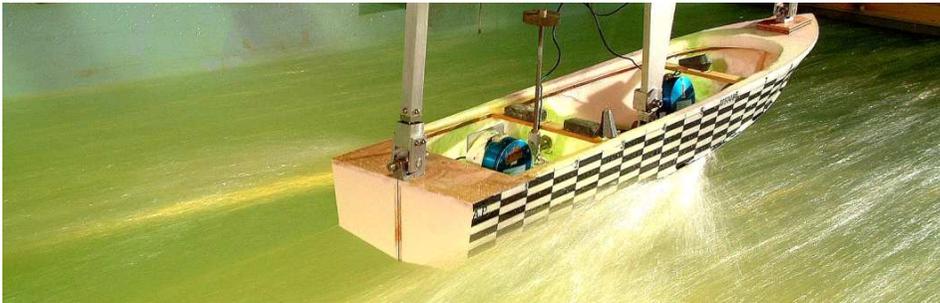


(c) Case-3

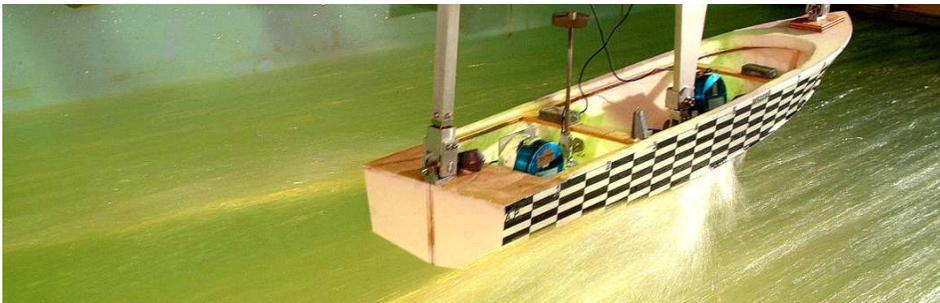
**Fig. 4-13 Wave Patterns, 50 knots at Front View
(for Initial Trim Effect)**



(a) Case-1



(b) Case-2



(c) Case-3

**Fig. 4-14 Wave Patterns, 50 knots at Stern View
(for Initial Trim Effect)**

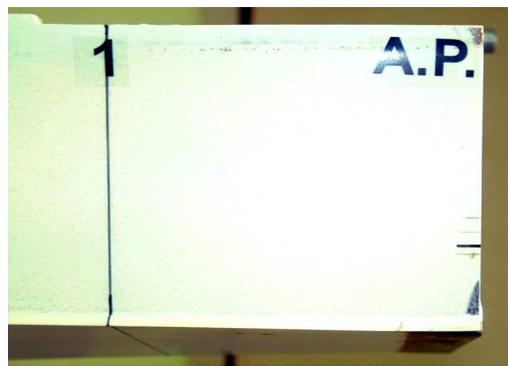
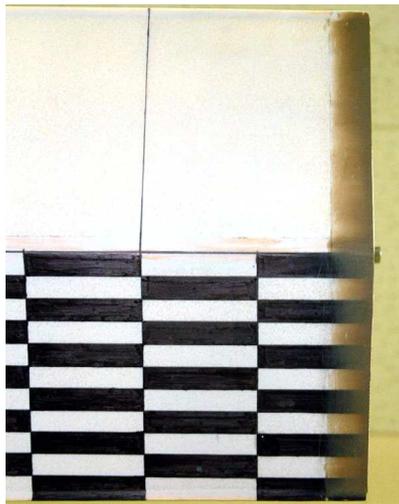
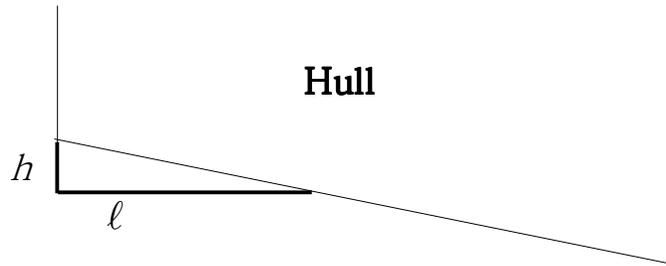


Fig. 4-15 Trim Tab

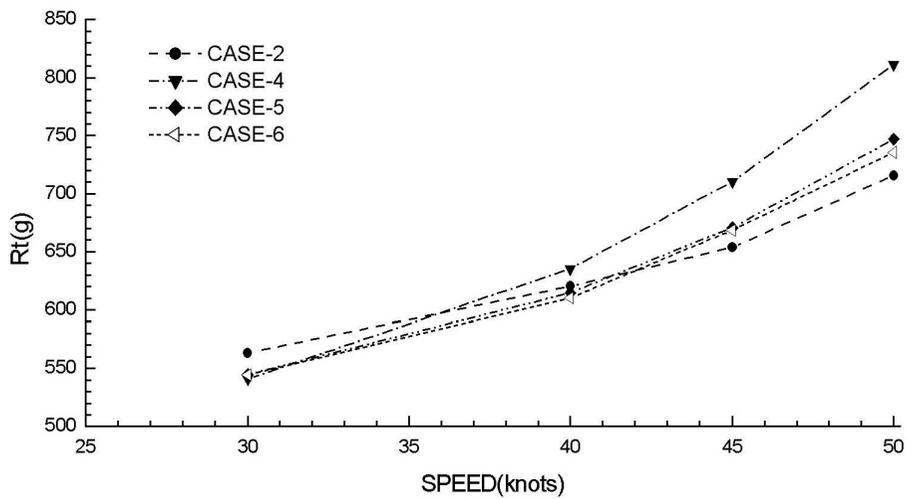


Fig. 4-16 Comparison of Total Resistance for Case-2, Case-4, Case-5 and Case-6

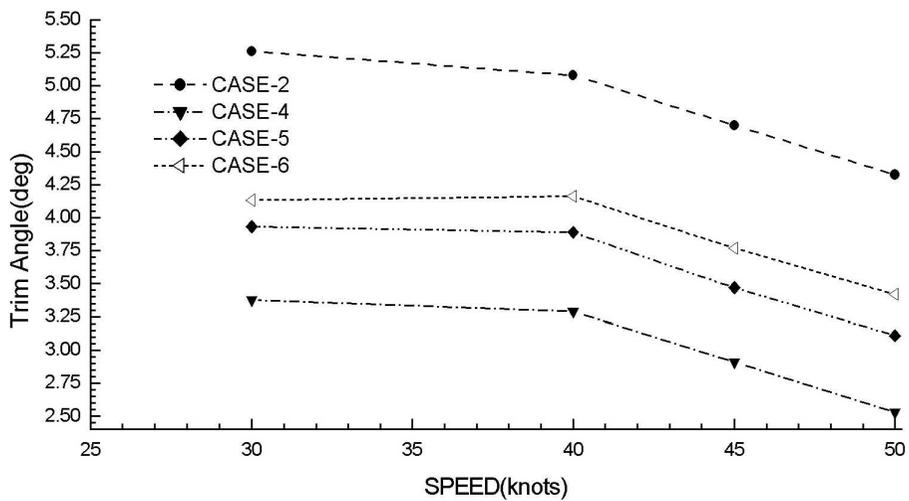
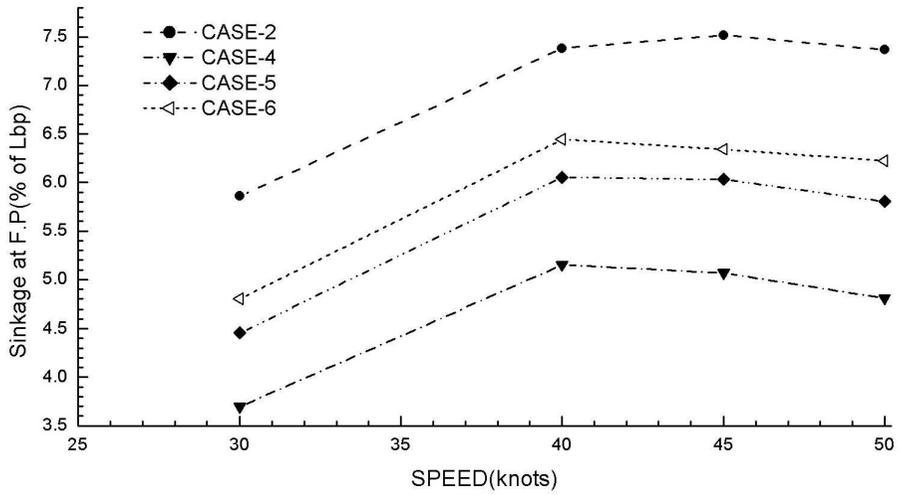
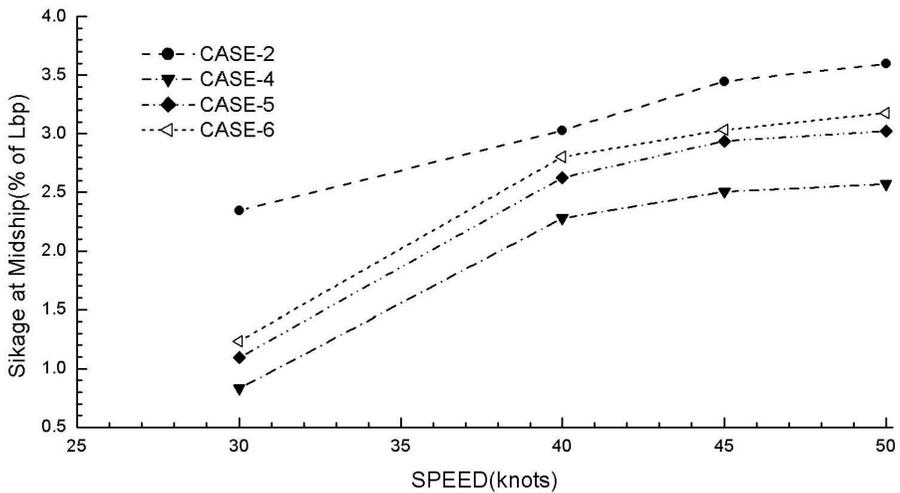


Fig. 4-17 Comparison of Trim Angle for Case-2, Case-4, Case-5 and Case-6



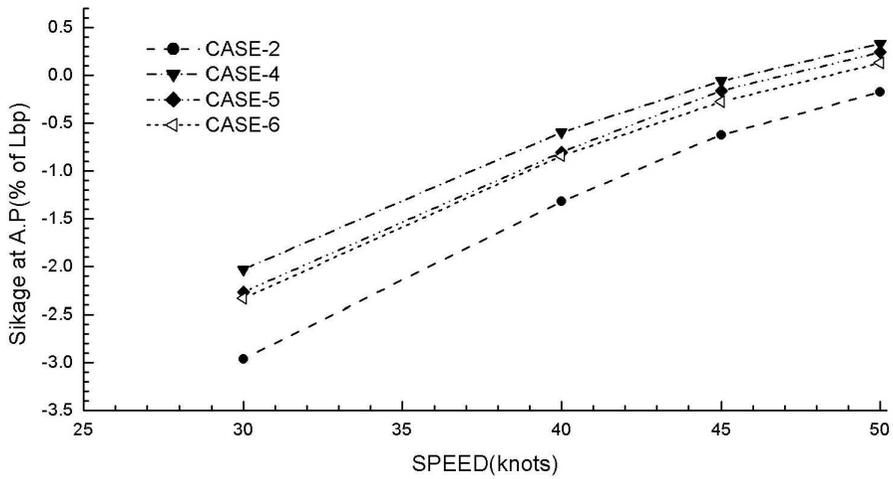
(a) Sinkage at F.P

Fig. 4-18 Comparison of Sinkage for Case-2, Case-4, Case-5 and Case-6



(b) Sinkage at Midship

Fig. 4-18 (Continued)



(c) Sinkage at A.P.
Fig. 4-18 (Continued)

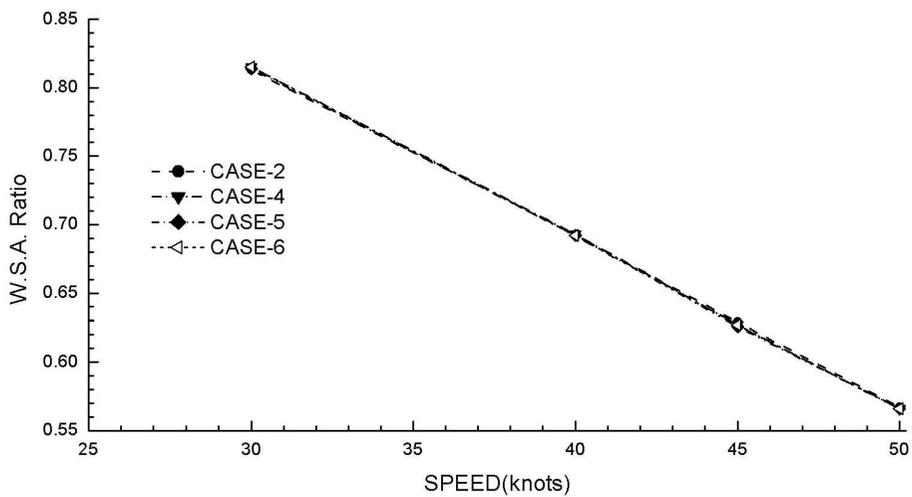
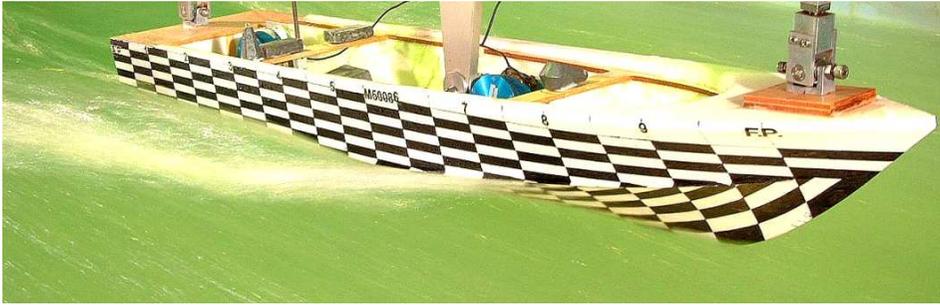


Fig. 4-19 Comparison of Wetted Surface Area Ratio for Case-2, Case-4, Case-5 and Case-6



(a) Case-4

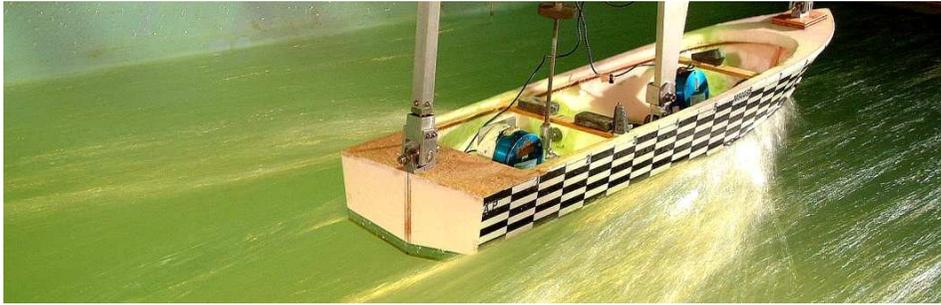


(b) Case-5



(c) Case-6

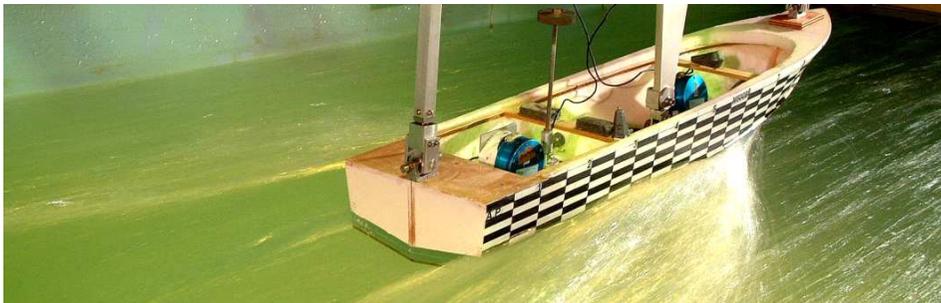
**Fig. 4-20 Wave Patterns, 30 knots at Front View
(for Trim Tab Effect)**



(a) Case-4

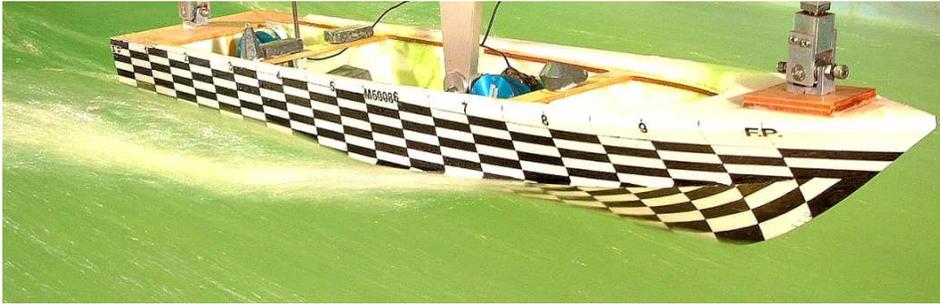


(b) Case-5



(c) Case-6

**Fig. 4-21 Wave Patterns, 30 knots at Stern View
(for Trim Tab Effect)**



(a) Case-4

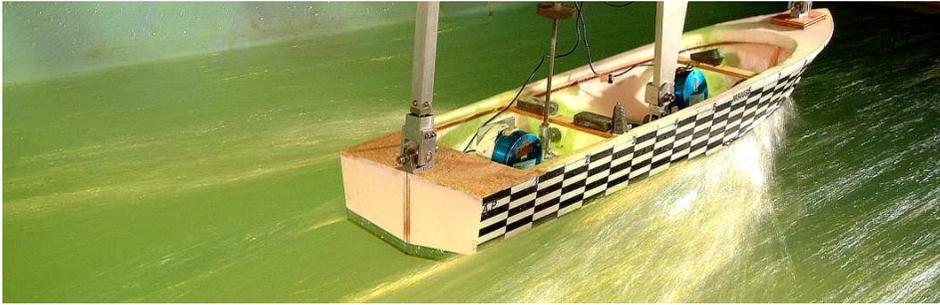


(b) Case-5



(c) Case-6

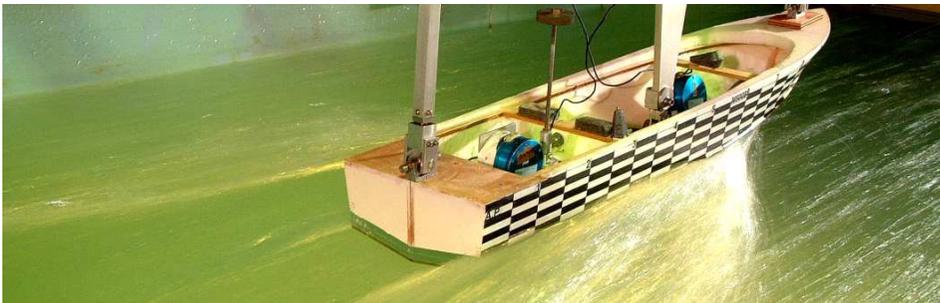
**Fig. 4-22 Wave Patterns, 40 knots at Front View
(for Trim Tab Effect)**



(a) Case-4

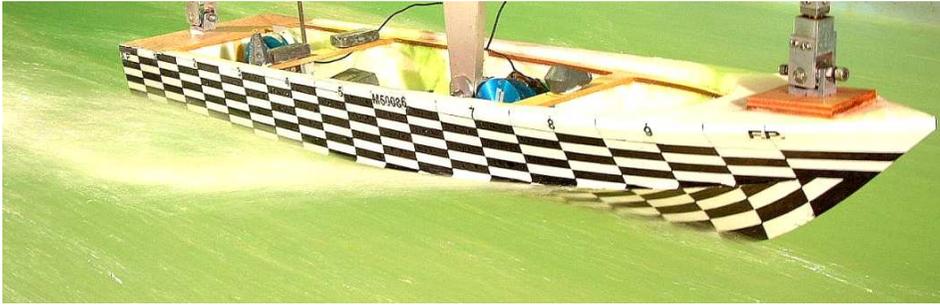


(b) Case-5

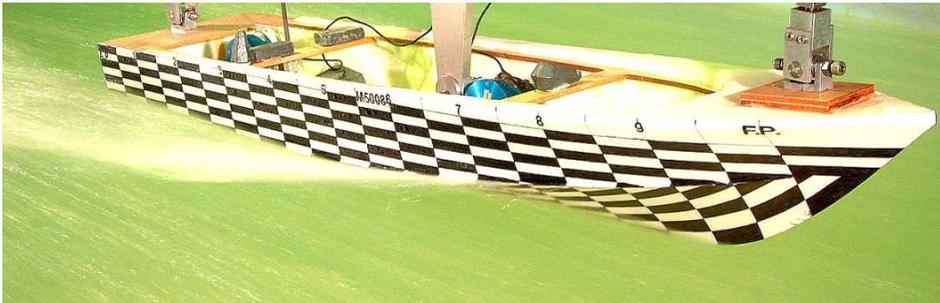


(c) Case-6

**Fig. 4-23 Wave Patterns, 40 knots at Stern View
(for Trim Tab Effect)**



(a) Case-4

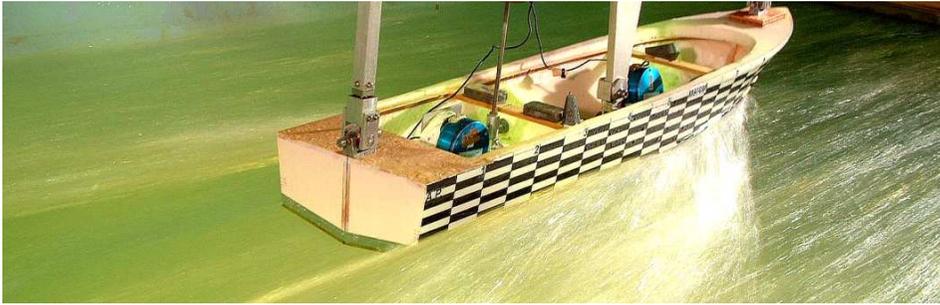


(b) Case-5

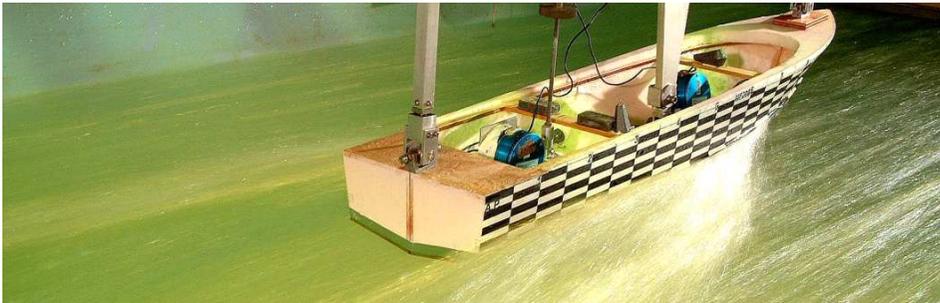


(c) Case-6

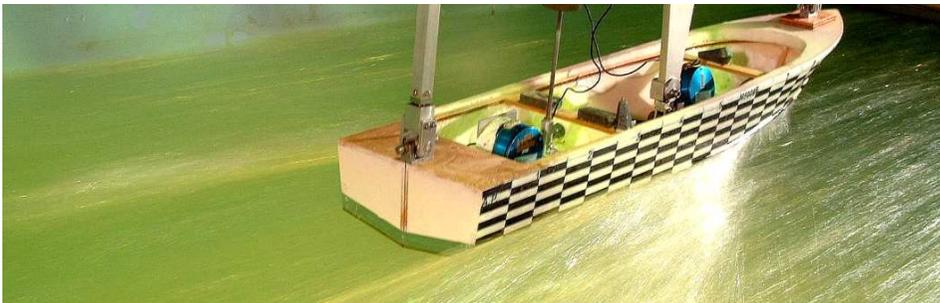
**Fig. 4-24 Wave Patterns, 50 knots at Front View
(for Trim Tab Effect)**



(a) Case-4

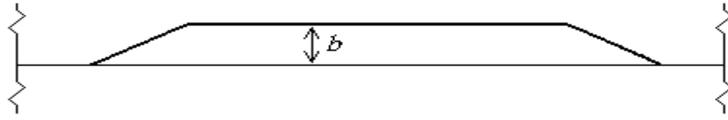


(b) Case-5

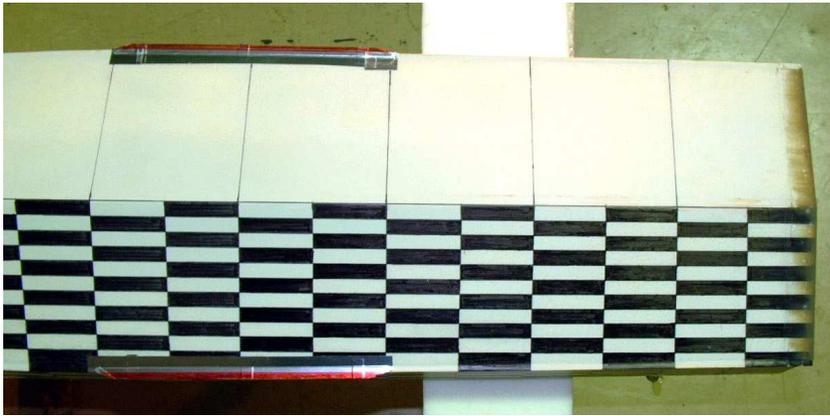


(c) Case-6

**Fig. 4-25 Wave Patterns, 50 knots at Stern View
(for Trim Tab Effect)**



(a) Sketch of Side-Fin



(b) Position of Side-Fin, Case-7



(c) Position of Side-Fin, Case-8

Fig. 4-26 Side-Fin

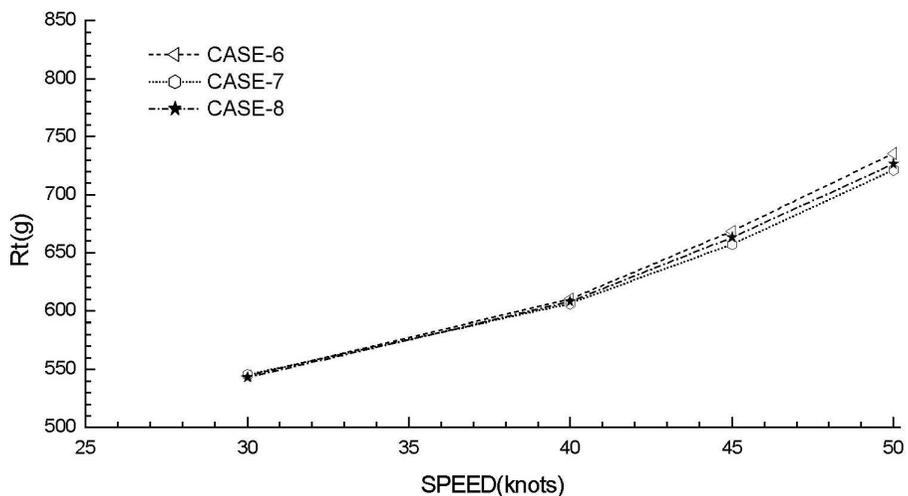


Fig. 4-27 Comparison of Total Resistance for Case-6, Case-7 and Case-8

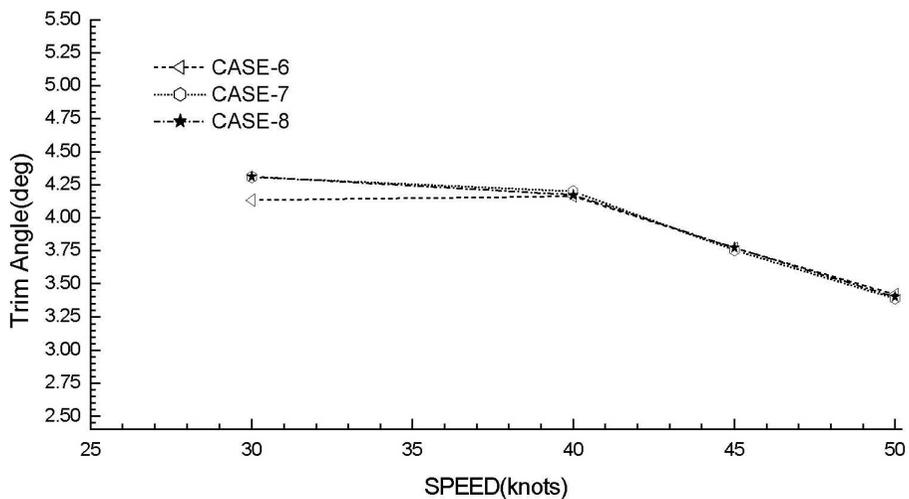
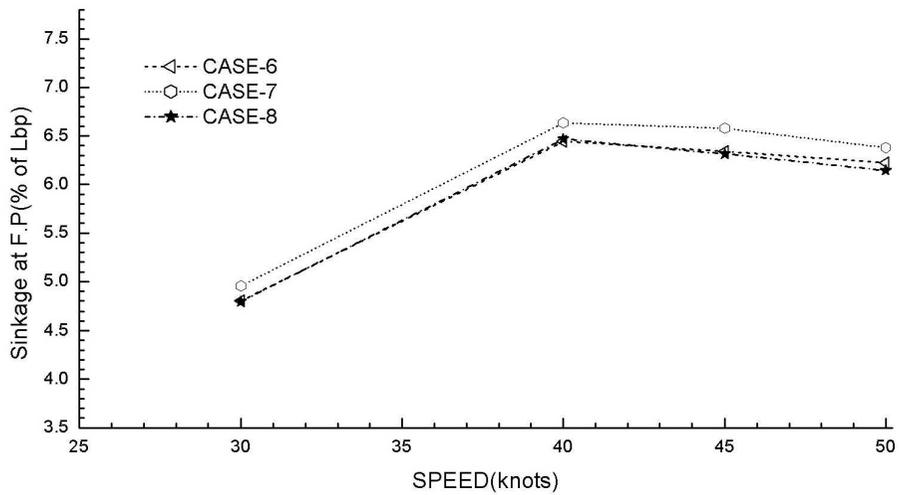
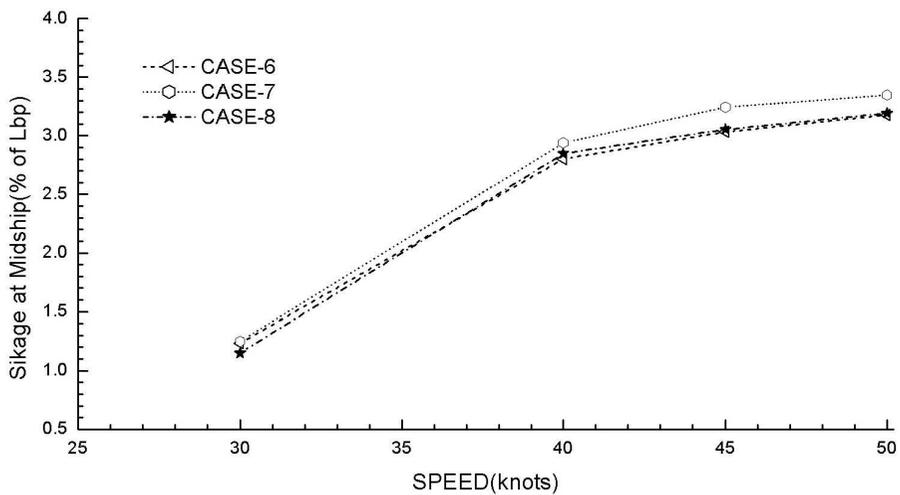


Fig. 4-28 Comparison of Trim Angle for Case-6, Case-7 and Case-8



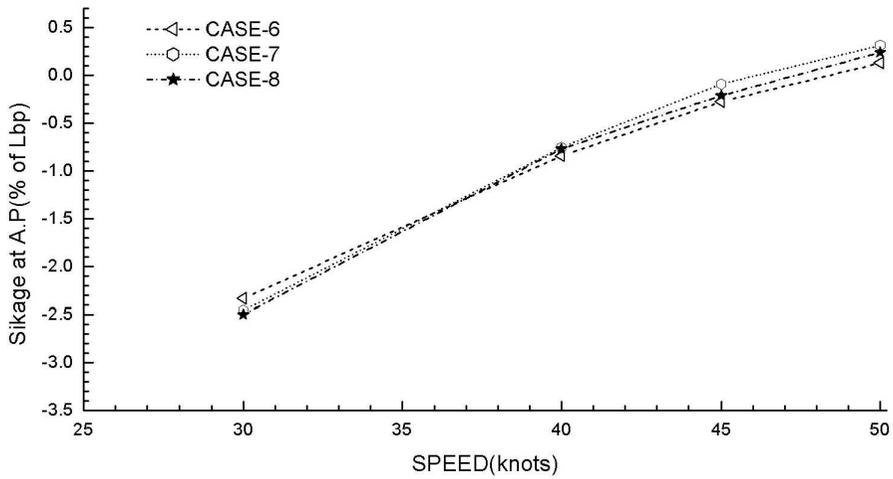
(a) Sinkage at F.P

Fig. 4-29 Comparison of Sinkage for Case-6, Case-7 and Case-8



(b) Sinkage at Midship

Fig. 4-29 (Continued)



(c) Sinkage at A.P
Fig. 4-29 (Continued)

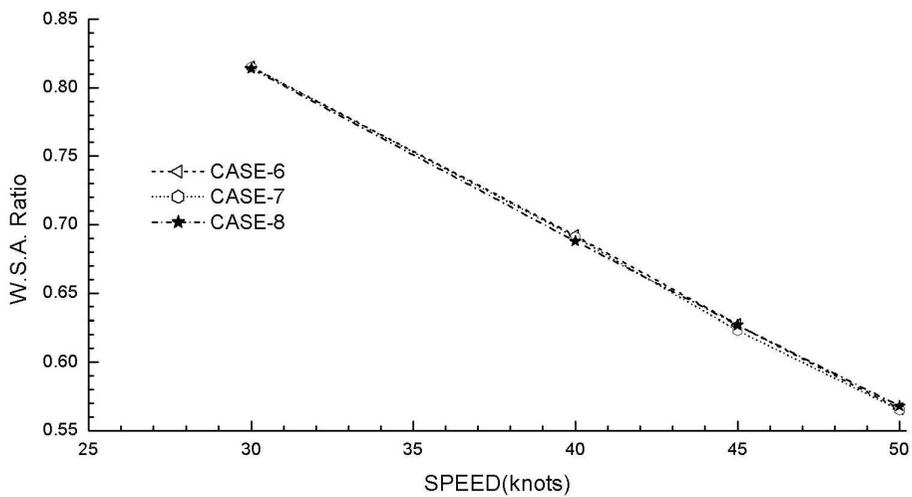
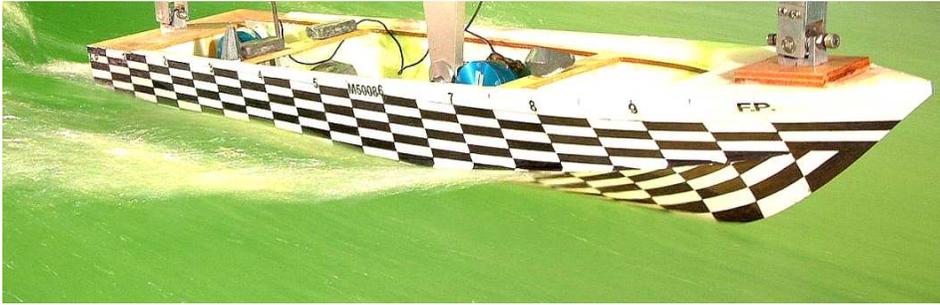
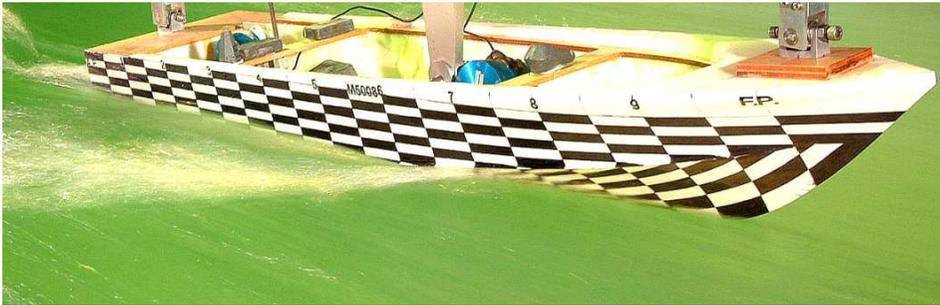


Fig. 4-30 Comparison of Wetted Surface Area Ratio for Case-6, Case-7 and Case-8

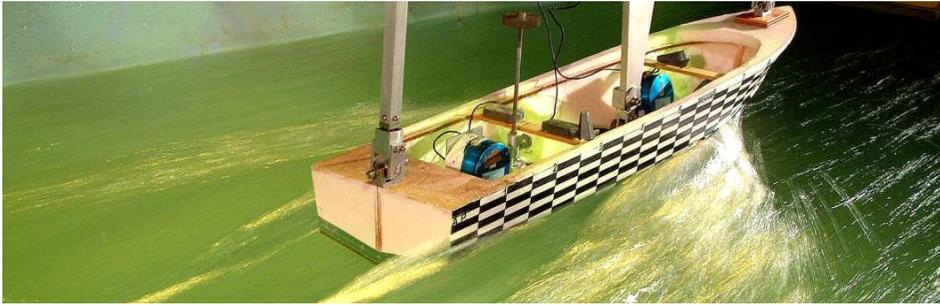


(a) Case-7

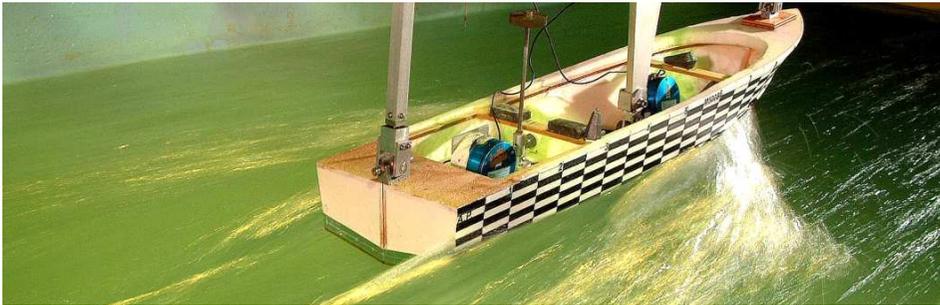


(b) Case-8

**Fig. 4-31 Wave Patterns, 30 knots at Front View
(for Side-Fin Effect)**

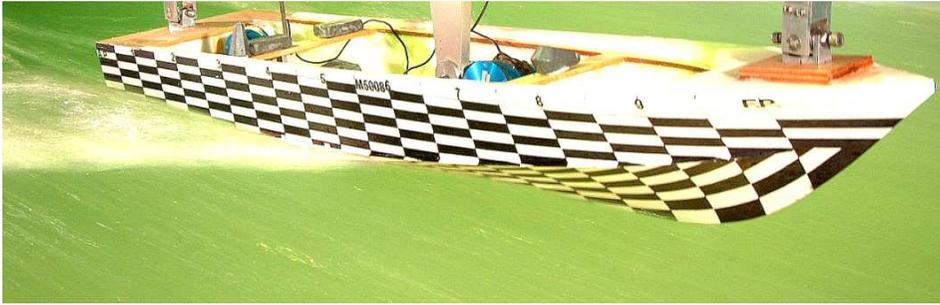


(a) Case-7

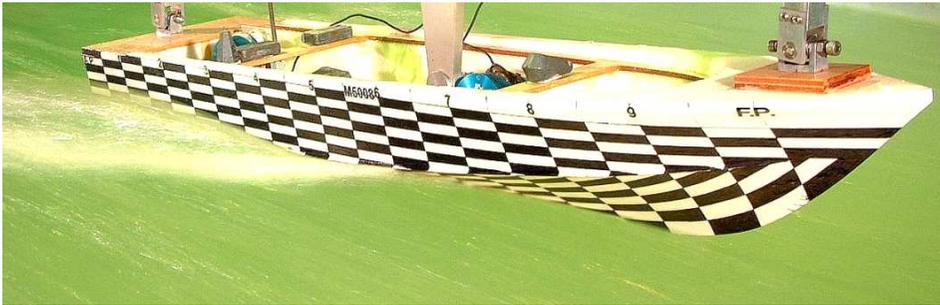


(b) Case-8

**Fig. 4-32 Wave Patterns, 30 knots at Stern View
(for Side-Fin Effect)**

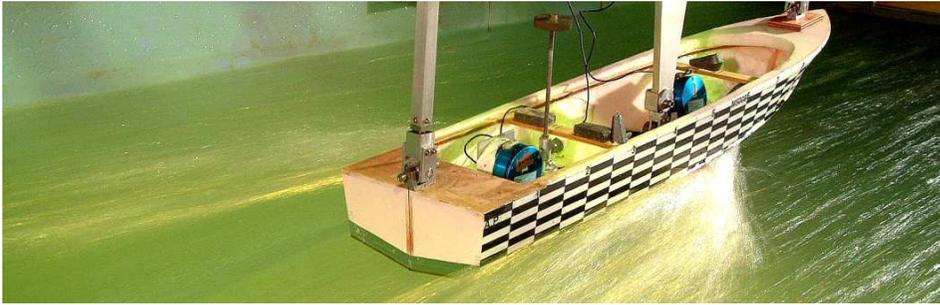


(a) Case-7

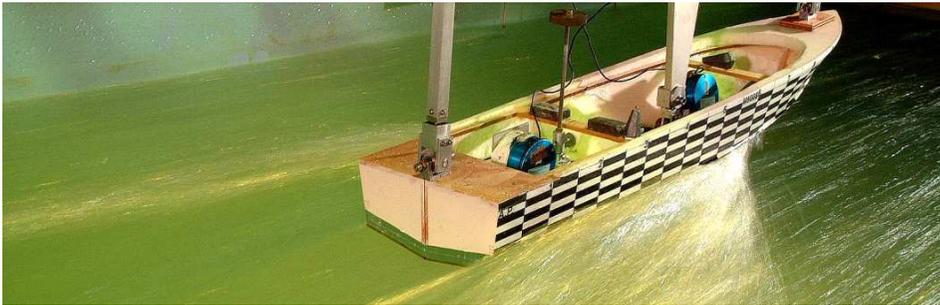


(b) Case-8

**Fig. 4-33 Wave Patterns, 40 knots at Front View
(for Side-Fin Effect)**

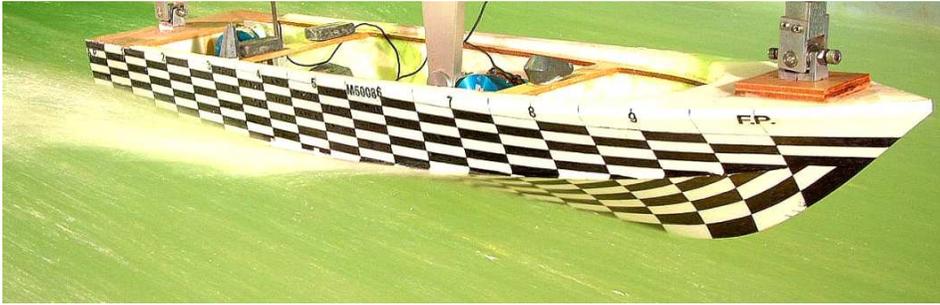


(a) Case-7

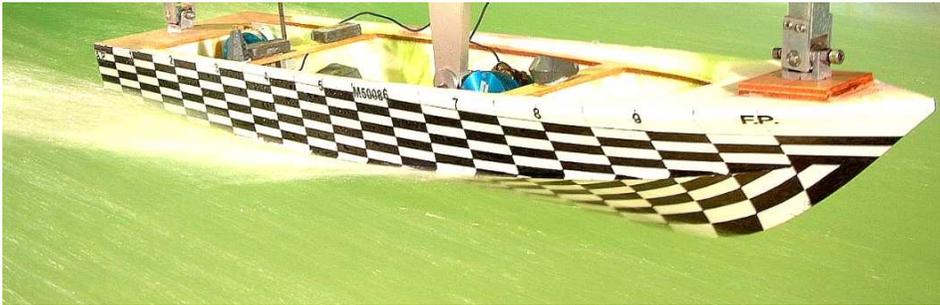


(b) Case-8

**Fig. 4-34 Wave Patterns, 40 knots at Stern View
(for Side-Fin Effect)**

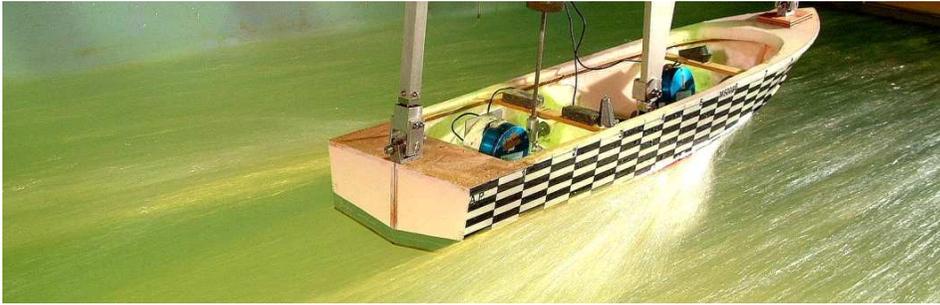


(a) Case-7

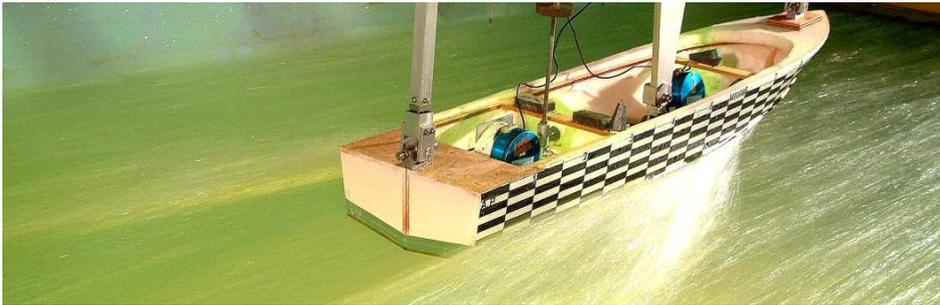


(b) Case-8

**Fig. 4-35 Wave Patterns, 50 knots at Front View
(for Side-Fin Effect)**



(a) Case-7



(b) Case-8

**Fig. 4-36 Wave Patterns, 50 knots at Stern View
(for Side-Fin Effect)**

제 5 장 수치 해석에 의한 선형 검증

5.1 개 요

유체역학에서는 계산 영역을 정하고서 그 영역에 대해서 질량, 운동량, 에너지 등의 보존 법칙을 적용함으로써 밀도, 속도, 압력, 온도 등의 물리량들을 얻는다. 그러나 이렇게 유도된 지배방정식은 비선형 편미분 방정식이므로, 매우 간단한 문제에 대해서도 이론적 계산은 거의 불가능하다. 이에 대한 대안으로서 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)이 대두되었다.

이러한 전산유체역학은 관심 영역을 수많은 작은 영역으로 나누고, 각각의 작은 영역에 보존법칙들을 적용하여 비선형 편미분 방정식을 선형화하여 근사적인 수치적인 해를 얻는 방법으로써, 전산기와 수치해석 기법의 발전에 힘입어 그 활용도가 급속히 증가하고 있는 분야이다.

본 장에서는 개발된 선형의 저항성능 특성을 전산유체역학으로 검증하였다. 고속 활주선의 경우, Trim Tab이나 Side-Fin 등의 선체 부가물을 감안한 수치해석은 현재로서는 해석이 불가능한 상태이다. 다만, 저항 측면에서 점성마찰 저항에 비하여 조파저항이 상대적으로 성능에 크게 영향을 미치는 관계로 본 수치해석에는 점성의 영향을 무시하였다.

계산결과를 회류수조에서의 모형시험결과와 비교/분석하여 본 수치해석기법의 고속 활주선 적용 가능성을 검토하였다.

5.2 수치 계산법

좌표의 원점은 자유수면과 선수단이 만나는 점으로 정의 하였다. X축은 선체의 길이 방향을, Y축은 선체의 폭 방향을, Z축은 수직 상 방향을 (+)방향으로 하였다. 격자계로는 Rectangular Staggered-Variable 격자계가 본 연구에서 사용되었다. Fig. 5-1은 속도와 압력 정의점을 보여준다.

지배방정식은 유동장을 비압축성, 비점성유동이라고 가정하여, 보존형의 3차원 Euler 방정식(식(5. 1))과 연속방정식(식(5. 2))을 사용하였다.

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

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(vu)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} = -\frac{\partial\Phi}{\partial y} \quad (5. 1)$$

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

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5. 2)$$

- 식 (5. 1)과 (5. 2)에서 (x, y, z) : 직교좌표
 (u, v, w) : x, y, z -방향 각 속도성분
 ρ : 밀도
 g : 중력가속도(-9.8m/s²)
 Φ : p/ρ
 p : 압력

지배방정식의 차분화에 있어서는, 대류항을 제외한 나머지 항들은 시간에 대하여 전진차분, 공간에 대하여 2차 중심차분으로 이산화 하였다. 대류항의 차분기

법으로는 2차 중심차분과 Donor Cell법을 조합한 Hybrid Scheme을 적용하였다 [30].

연속방정식과 대류항의 차분식은 각각 식(5. 3)과 식(5. 4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 u_{i+1/2, j, k}^{n+1} &= \xi_{i+1/2, j, k} - \frac{\Psi_{i+1, j, k} - \Psi_{i, j, k}}{DX_i} DT \\
 v_{i, j+1/2, k}^{n+1} &= \eta_{i, j+1/2, k} - \frac{\Psi_{i, j+1, k} - \Psi_{i, j, k}}{DY_j} DT \\
 w_{i, j, k+1/2}^{n+1} &= \zeta_{i, j, k+1/2} - \frac{\Psi_{i, j, k+1} - \Psi_{i, j, k}}{DZ_k} DT
 \end{aligned} \tag{5. 3}$$

$$\begin{aligned}
 \xi_{i+1/2, j, k}^{n+1} &= u_{i+1/2, j, k} - DT \cdot UC_{i+1/2, j, k} \\
 \eta_{i, j+1/2, k}^{n+1} &= v_{i, j+1/2, k} - DT \cdot VC_{i, j+1/2, k} \\
 \zeta_{i, j, k+1/2}^{n+1} &= w_{i, j, k+1/2} - DT \cdot WC_{i, j, k+1/2} + g
 \end{aligned} \tag{5. 4}$$

여기서, (DX, DY, DZ) : x, y, z 방향의 격자크기
 (UC, VC, WC) : x, y, z 각 방향의 대류항
 Ψ : 압력
 DT : 시간증분
 위 첨자 (n+1) : (n+1)의 시간단계
 아래첨자 i, j, k : 격자의 위치

식(5. 3)과 연속방정식을 이용하면, 압력의 Poisson 방정식(식(5. 5))을 얻을 수 있다.

$$\Psi_{i,j,k} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{DX1 \cdot DX2} + \frac{1}{DX1 \cdot DX2} + \frac{1}{DX1 \cdot DX2} \right\}^{-1} \quad (5.5)$$

$$\times \left\{ \begin{aligned} & \frac{DX1 \cdot \Psi_{i+1,j,k} + DX2 \cdot \Psi_{i-1,j,k}}{DX1 \cdot DX2 \cdot 1/2(DX1 + DX2)} \\ & + \frac{DY1 \cdot \Psi_{i,j+1,k} + DY2 \cdot \Psi_{i,j-1,k}}{DY1 \cdot DY2 \cdot 1/2(DY1 + DY2)} \\ & + \frac{DZ1 \cdot \Psi_{i,j,k+1} + DZ2 \cdot \Psi_{i,j,k-1}}{DZ1 \cdot DZ2 \cdot 1/2(DZ1 + DZ2)} - R_{i,j,k} \end{aligned} \right\}$$

여기에서,

$$R_{i,j,k} = \frac{\xi_{i+1,j,k} - \xi_{i,j,k}}{DT \cdot DX_i} + \frac{\eta_{i,j+1,k} - \eta_{i,j,k}}{DT \cdot DY_j} + \frac{\zeta_{i,j,k+1} - \zeta_{i,j,k}}{DT \cdot DZ_k}$$

$$DX1 = \frac{DX_{i-1} + DX_i}{2}, \quad DX2 = \frac{DX_i + DX_{i+1}}{2}$$

$$DY1 = \frac{DY_{j-1} + DY_j}{2}, \quad DY2 = \frac{DY_j + DY_{j+1}}{2}$$

$$DZ1 = \frac{DZ_{k-1} + DZ_k}{2}, \quad DZ2 = \frac{DZ_k + DZ_{k+1}}{2}$$

식(5.5)의 $R_{i,j,k}$ 는 Source term으로서 다음 계산단계에 사용된다. 식(5.5)는 식(5.6)과 같은 SOR(Successive Over-Relaxation)기법에 의하여 반복 계산된다.

$$\Psi_{i,j,k}^{m+1} = \Psi_{i,j,k}^m - \frac{\omega \cdot D_{i,j,k}^m}{2 \cdot DT \left\{ \frac{1}{DX1 \cdot DX2} + \frac{1}{DY1 \cdot DY2} + \frac{1}{DZ1 \cdot DZ2} \right\}} \quad (5.6)$$

$$\text{여기서, } D_{i,j,k}^m = \frac{u_{i+1,j,k}^m - u_{i,j,k}^{m+1}}{DX_i} + \frac{v_{i,j+1,k}^m - v_{i,j,k}^{m+1}}{DY_j} + \frac{w_{i,j,k+1}^m - w_{i,j,k}^{m+1}}{DZ_k}$$

ω : 완화계수

$D_{i,j,k}$: i,j,k 격자의 발산

5.3 경계 및 계산 조건

5.3.1 물체표면 경계조건(Body Boundary Condition)

본 해석법은 점성의 영향을 무시하였으므로 물체표면에서는 미끄러짐 조건 (Free-Slip Condition)을 적용하였다. 물체경계격자에서는 다음 세 가지 조건을 만족시켰다.

- 1) 물체표면에 수직 방향속도는 '0' 이다.
- 2) 물체표면에 접한 속도는 Normal Gradient를 갖지 않는다.
- 3) 물체경계격자의 발산(Divergence)은 '0'이다.

물체경계격자에서의 압력계산은 식(5. 7)과 같은 방법으로 계산된다[31].

$$\Psi_{i,j,k}^{m+1} = \Psi_{i,j,k}^m - \frac{w}{2 \cdot \delta \cdot DT} (V_P \cdot n) \quad (5. 7)$$

여기서, $\delta = \frac{1}{DX_i} + \frac{1}{DY_j} + \frac{1}{DZ_k}$

V_P : 속도벡터

n : 물체표면의 단위법선벡터

식(5. 7)은 $(V_P \cdot n)$ 이 '0'이 되었을 경우 수렴하는 것으로 물체경계에서 유체 부분의 발산이 '0'이고, 물체경계를 지나는 유체가 없다는 것을 의미한다.

5.3.2 자유수면 경계조건(Free Surface Boundary Condition)

자유수면에서의 표면장력과 점성응력은 무시되었으며, 자유수면의 운동학적 경계조건과 동역학적 경계조건은 아래와 같다.

$$\phi = \phi_0 \quad \text{Dynamic Condition} \quad (5. 8)$$

$$\frac{D\xi}{Dt} = \frac{\partial \xi}{\partial t} + u \frac{\partial \xi}{\partial x} + v \frac{\partial \xi}{\partial y} + w \quad \text{Kinematic Condition} \quad (5. 9)$$

위 식의 ξ 은 자유수면의 위치를 나타내며, $\phi_0 = P_0/\rho$ 이고 P_0 는 대기압이다.

자유수면 주위에서의 압력은 Irregular Star[32, 33] 기법을 이용하여 아래와 같이 계산하였다.

$$\phi_{i,j,k} = \frac{\eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \eta_6}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 + \eta_3 \eta_4 \eta_5 \eta_6 + \eta_1 \eta_2 \eta_5 \eta_6} \times \left[\frac{\eta_2 \phi_1 + \eta_1 \phi_2}{\eta_1 \eta_2 (\eta_1 + \eta_2)} + \frac{\eta_4 \phi_3 + \eta_3 \phi_4}{\eta_3 \eta_4 (\eta_3 + \eta_4)} + \frac{\eta_6 \phi_5 + \eta_5 \phi_6}{\eta_5 \eta_6 (\eta_5 + \eta_6)} - \frac{1}{2} R_{i,j,k} \right] \quad (5. 10)$$

위 식의 $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$ 은 압력 점들의 거리를 나타내며, Fig. 5-2에서는 2차원의 Irregular Star를 보여준다.

운동학적 경계조건은 Marker-particle을 이용하여 만족시켰으며, Marker-Particle은 Fig. 5-3에서와 같이 Lagrangian Manner[34]로 움직여 매 시간단계에서의 자유수면의 위치를 결정하였다. (x_i, y_i, z_i) 는 자유수면의 위치이고 (u_i, v_i, w_i) 은 (n) 번째 시간단계에서의 속도성분이라면, $(n+1)$ 번째 시간단계에서 자유수면의 위치는 아래의 식을 이용하여 찾을 수 있다.

$$\begin{aligned}
x_i^{n+1} &= x_i^n + DT \cdot u_i \\
y_i^{n+1} &= y_i^n + DT \cdot v_i \\
z_i^{n+1} &= z_i^n + DT \cdot w_i
\end{aligned}
\tag{5. 11}$$

5.3.3 기타 경계조건(Other Boundary Condition)

본 수치계산은 선체가 좌우대칭이므로 선박의 반에 해당하는 영역만 계산하였다. 따라서 대칭면에서는 대칭조건을 부과하였고, 유출경계에서는 모든 물리량이 부드럽게 변하도록 Zero-Gradient Extrapolation을 적용하였다.

5.3.3 계산 조건

본 수치계산은 제 4 장의 Table 4-3에서 언급한 세 가지 초기트림조건에 대하여 수행하였다. 즉, 초기트림이 0인 경우(Case-1)와 150mm인 Case-2, 300mm인 Case-3에 대하여 본 선박의 일반적인 운항속도 중 고속에 해당하는 40노트(Fn=1.315)에서 각각 계산을 수행하여 모형시험 결과와 비교하였다.

계산정도를 향상시키기 위하여 Fig. 5-4와 같이 선체주위의 격자크기를 작게 하였으며, 수치계산 조건은 세 경우 모두 동일하다(Table 5-1).

5.4 계산 결과 및 고찰

Fig. 5-5는 계산이 수렴하는 과정을 비교하여 보인다. 10,000 Time Step에서 충분히 수렴하였다고 판단되며, 이 시간 단계에서 계산을 종료하였다. 본 선박과 같은 고속 활주선은 선수미에서의 자유표면 흐름이 비정상적인 흐름(Unsteady Flow)을 보이므로 선체표면에서의 압력적분 값이 진동하는 형태를 보인다.

초기트림이 0인 Case-1과 150mm인 Case-2의 압력적분 값을 보면, 큰 차이는 없으나 Case-2가 약간 큰 경향을 보인다. 이는 모형시험 결과와 반대되는 경향이다. 그러나 모형시험에서의 계측값 차이가 1% 내외이고, 본 수치계산 기법이 점성의 영향을 무시하였다고 볼 때 이러한 차이는 수치오차 범위라고 판단된다.

초기트림이 300mm인 Case-3의 경우 가장 작은 계산 값을 보이고, 다른 경우와의 차이는 상대적으로 크게 나타난다. 이는 모형시험과 동일한 경향이다.

모형시험에서 그 차이가 확연히 나타나는 Case-1과 Case-3에 대한 파형 계산결과를 Fig. 5-6에 나타내었다. Case-3의 경우, 선수파는 상대적으로 작게 나타나고 있지만 선미파계는 다소 크게 나타나고 있다. 이는 초기트림의 영향이라고 판단된다.

Fig. 5-7과 5-8은 선체표면 압력분포이다. Case-3의 경우, 초기트림의 영향으로 선수 부상량이 많은 관계로 선수부에 작용하는 (+)압력 영역이 상대적으로 작고(Fig. 5-7), 선미부에서는 선저에서 유체의 가속이 많이 일어나므로 (-)압력 영역이 더 넓게 분포하는 특성을 나타내고 있다(Fig. 5-8). 이는 일반적인 고속선 주위의 유체유동 특성과 동일한 결과이다.

이상의 결과로부터, 본 선박과 같은 고속 활주선의 초기선형 개발에 점성의 영향을 무시한 수치해석법은 활용 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 미세한 차이가 나는 경우, 정확도 향상을 위하여 수치오차를 줄일 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다.

Table 5-1 Computational Conditions

Number of Cell	X	120
	Y	80
	Z	40
Computational Domain	X	3.23m
	Y	1.05m
	Z	0.22m
Cell Size	X_{\min}	0.02m
	Y_{\min}	0.006m
	Z_{\min}	0.005m
Δt		0.0006
Time Steps for Acceleration		7000

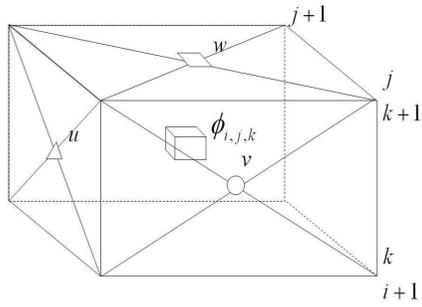


Fig. 5-1 Definition of Velocity and Pressure Points

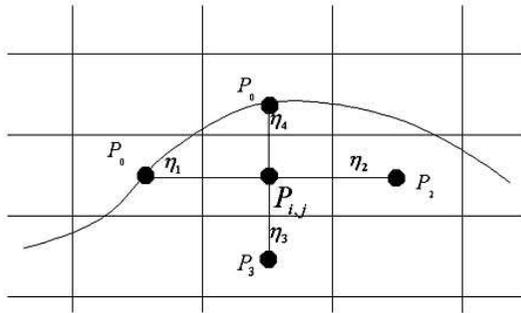


Fig. 5-2 Irregular Star in 2D Case

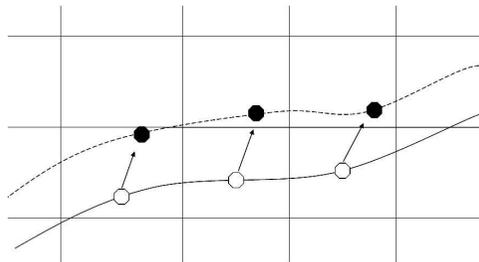


Fig. 5-3 Movement of Marker Particles

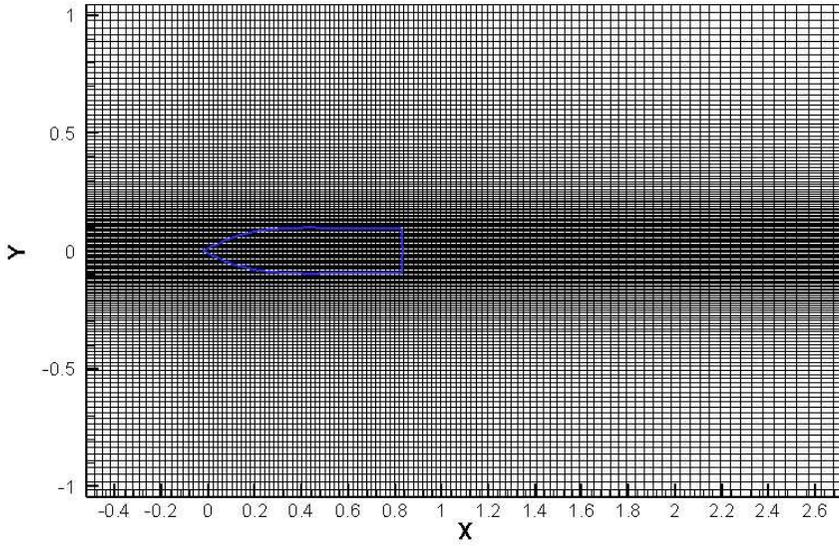


Fig. 5-4 Computational Domain (X-Y Plan)

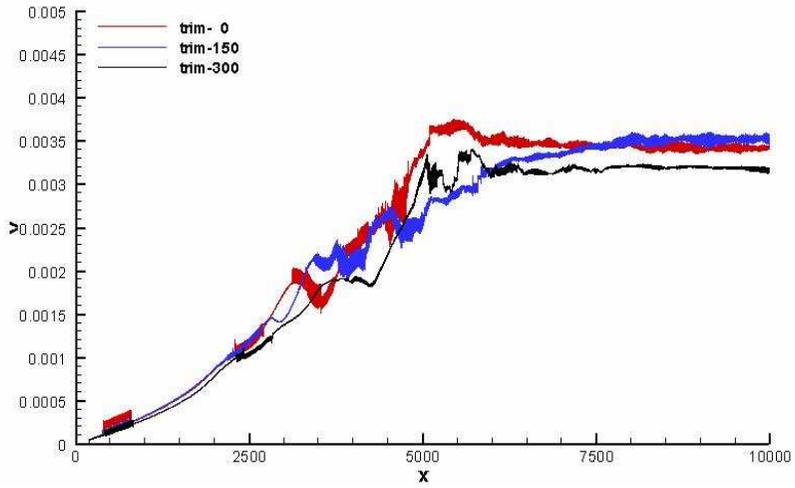
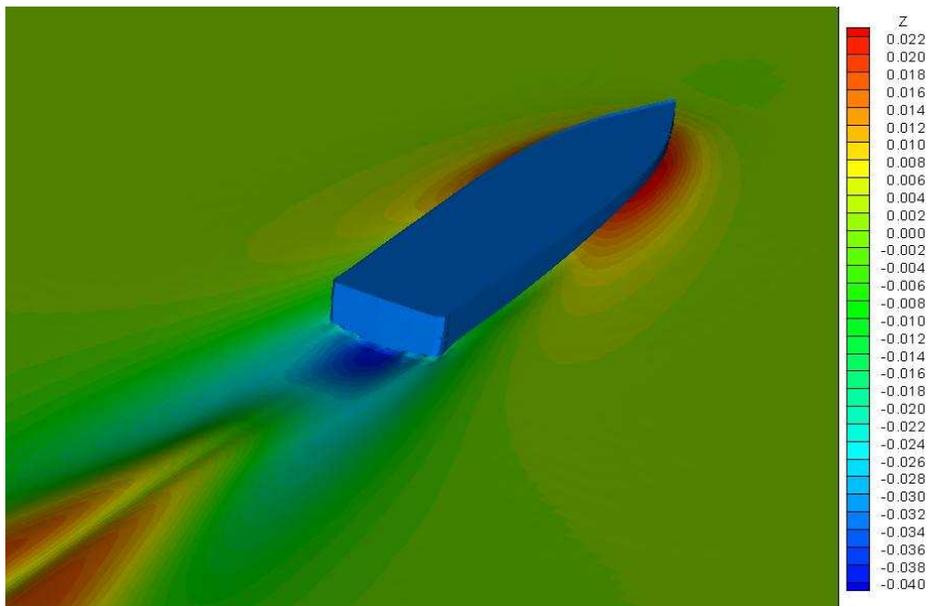
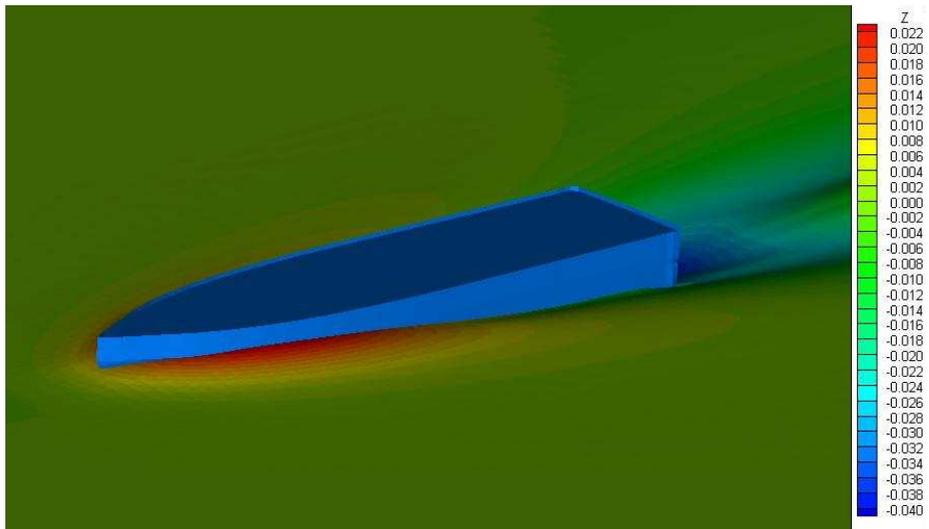
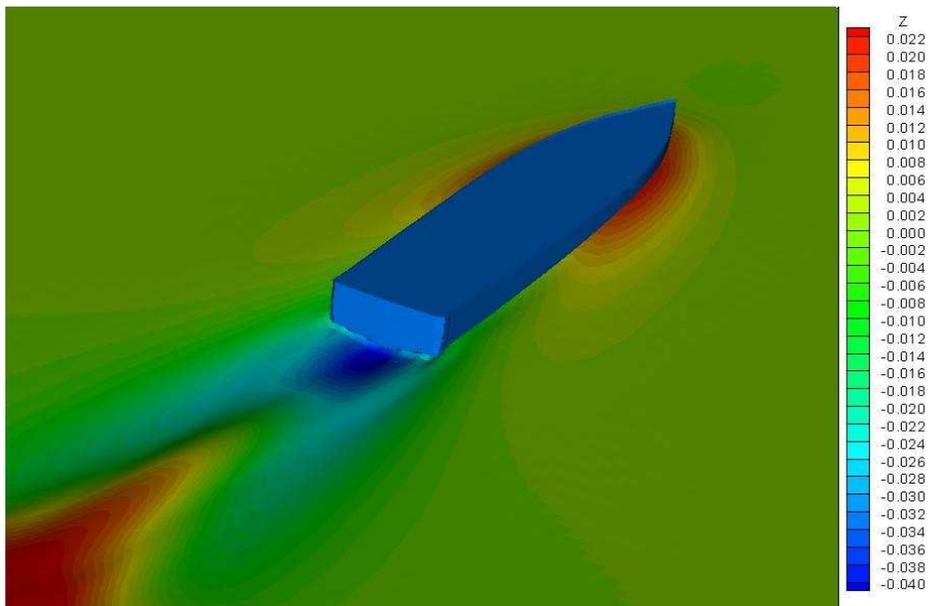
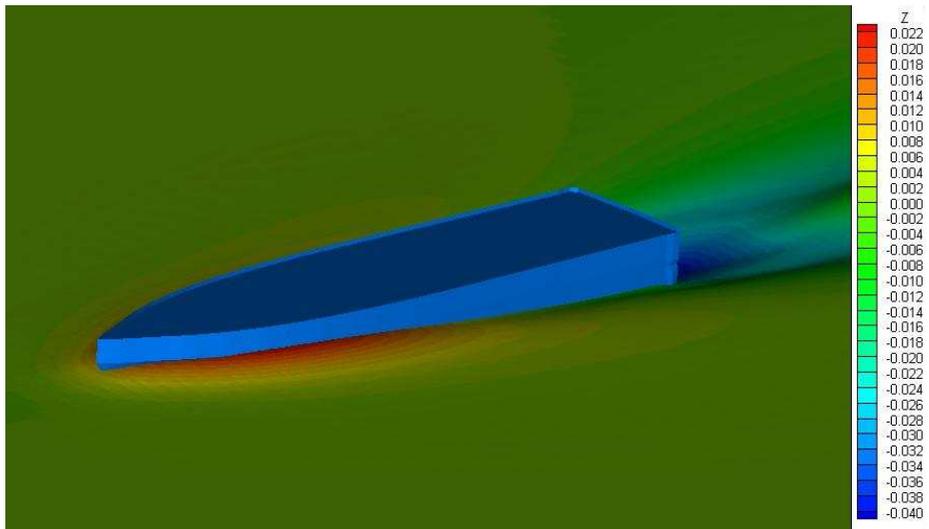


Fig. 5-5 Comparison of Time History of C_p



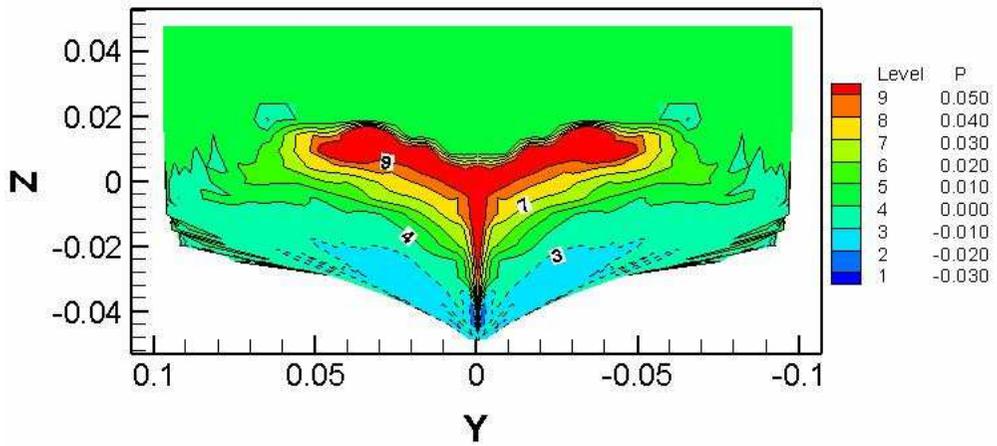
(a) Case-1

Fig. 5-6 Simulated Wave Patterns, V=40 knots

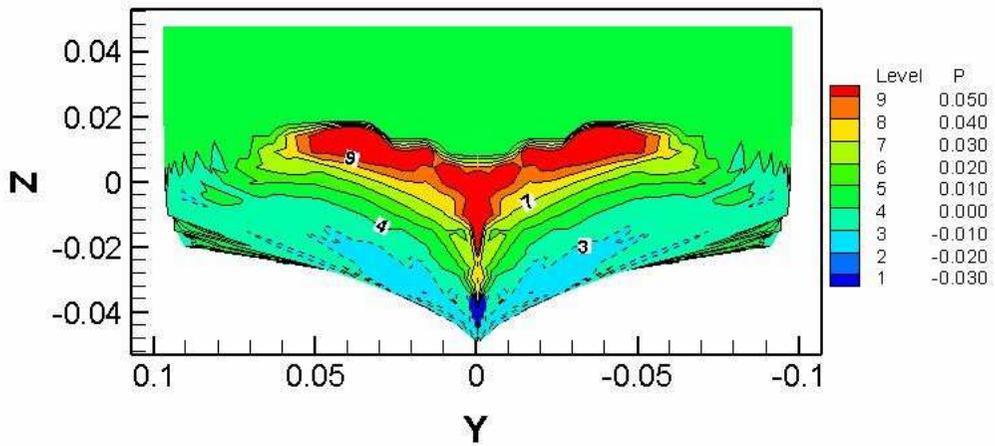


(b) Case-3

Fig. 5-6 (Continued)

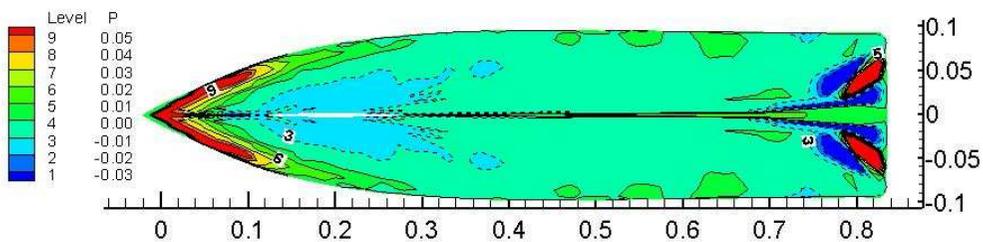


(a) Case-1

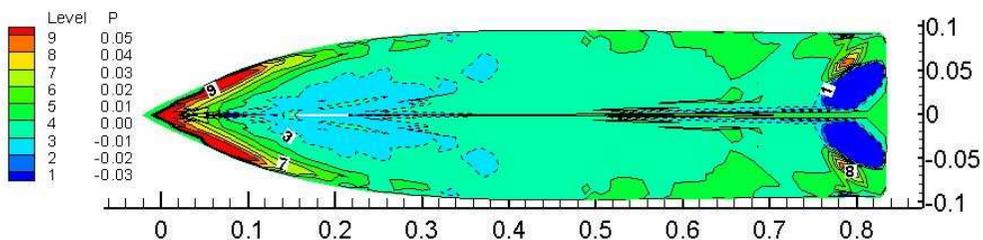


(b) Case-3

**Fig. 5-7 Pressure Distributions on Hull Surface, V=40 knots
(Front View)**



(a) Case-1



(b) Case-3

**Fig. 5-8 Pressure Distributions on Hull Surface, V=40 knots
(Bottom View)**

제 6 장 결 론

본 논문에서는 향후 연 근해에서 운용될 수 있는 대형화된 고속 경비정의 수요가 점차 증대될 것에 대비하여 이들 선박의 초기 선형결정을 위한 방안을 제시하고, 최대속력 50노트를 갖는 100톤급 경비정의 초기선형을 개발하였다.

개발된 선형의 기본성능은 고속회류수조에서의 모형시험을 통하여 확인하였다. 저항성능 향상을 위하여 선측에 날개(Side-Fin)를 부착하여 그 영향을 조사하였으며, 초기트림 조건(Initial Trim Condition)이 저항성능에 미치는 영향을 함께 분석하였다.

개발된 선형의 저항성능 특성을 전산유체역학(Computational Fluid Dynamic : CFD)으로 검증하였다. 점성의 영향을 무시한 수치해석결과와 모형 시험 결과와의 비교를 통하여 본 CFD 기법의 고속선 적용 가능성을 함께 검토하였다.

본 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

1) 길이 20m 이상, 속력 30노트 이상의 고속 활주선에 대한 해외실적자료를 계통적으로 분석하여 고속 활주선 초기선형 개발 시 주요요목 결정 등에 유용하게 활용 가능한 방안을 제시하였다. 이러한 통계 해석적 접근 방법은 고속 활주선의 초기선형 개발 시 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다.

2) 본 연구를 위하여 수집된 자료를 토대로 한 주요제원의 상관관계식은 다음과 같다.

- ① $LoA(\text{전장}) = 0.108 \cdot \Delta + 17.43$ (Δ : 배수량 Ton)
- ② $B(\text{전폭}) = 0.026 \cdot L + 4.48$
- ③ $Bc(\text{차인폭}) = 0.091 \cdot L + 3.78$
- ④ $D(\text{깊이}) = 0.024 \cdot L + 2.22$
- ⑤ $d(\text{흘수}) = 0.017 \cdot L + 0.57$

3) 고속 활주선의 초기 일반배치에 의한 초기트림 상태가 저항성능에 큰 영향을 준다. 본 개발선의 경우 초기트림 상태가 클수록 저항성능은 우수하지만, 고속영역에서 항주트림이 과도하여 파랑 중 안전성능에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. 따라서 고속 활주선의 선형개발 시 적절한 초기트림 상태를 결정하는 것이 매우 중요하다는 것을 시험 결과로 입증하였다. 본 개발선의 경우 150mm 초기트림(대응경사각)을 부여한 경우가 가장 우수한 성능을 나타내었다.

4) 선측날개(Side-Fin)는 고속 활주선의 저항성능 개선에 크게 기여할 수 있다. 특히 고속 영역(약 40knots 이상)에서 선체를 부상시키는데 크게 기여할 수 있다. 그러나 이 날개에 작용하는 양력이 부심위치보다 후방에서 작용할 경우 선미부에서는 선체가 부상하고, 선수부에서는 침하가 발생하여 항주트림이 다소 감소함으로써 저항이 증가할 수 있다. 따라서 적정 크기 및 위치 선정에 면밀한 주의가 요구된다.

5) 본 개발선을 대상으로 한 비점성 수치계산 결과는 모형시험과 정성적으로 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 고속 활주선의 초기선형 개발에 점성의 영향을 무시한 수치해석법은 유용하게 활용될 것으로 판단된다. 그러나 미세한 차이가 나는 경우, 정확도 향상을 위하여 수치오차를 줄일 수 있는 방안이 마련되어야 한다.

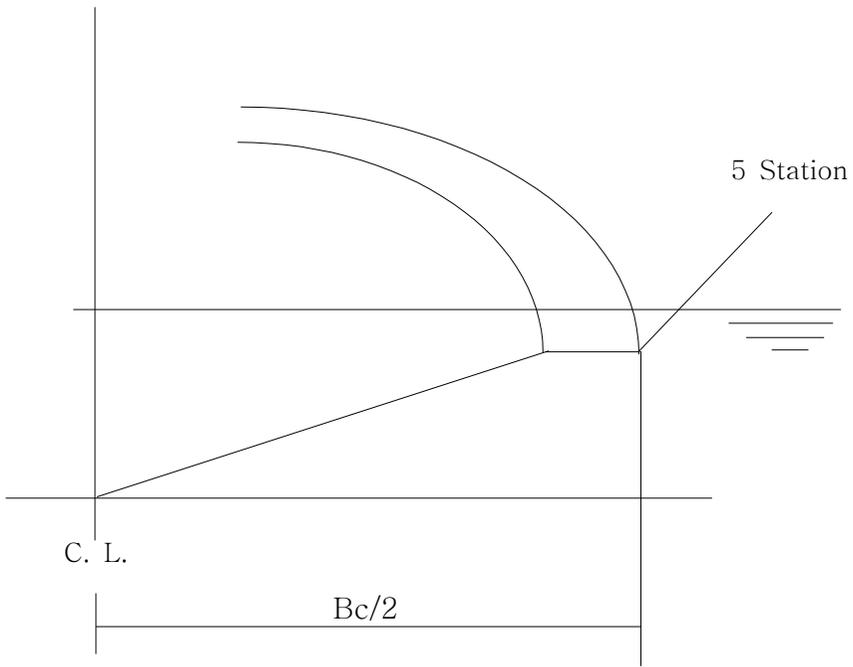
6) 침하량(Sinkage)은 Trim Tab 각도가 클수록 전반적으로 크게 발생하고 있다. 특히 선수부에서 상대적으로 크게 발생하고 있으며, 이로 인하여 선수부에서 강한 쇠파현상이 나타나게 된다. 이러한 쇠파는 비록 국부적으로 나타난다고 하더라도 저항성능에는 큰 영향을 미친다.

< Appendix >

Summary of the Principal Dimensions for High Speed Planing Boats

<Descriptions>

- F_{∇} : Design Froude Number based on Displacement Volume
- Δ : Designed Displacement Tonnage
- L : Length Over All (m)
- B : Maximum Breadth
- B_c : Breadth of Chine at Midship (See Fig. A-1)
- D : Depth at Midship
- d : Draft at Midship



< Fig. A-1 Definition of B_c >

Hull No.	L	B	Bc	D	d	Δ	F∇	Remarks
1	43.0	7.50	6.70	4.00	1.55	201.0	2.37	
2	40.0	10.0	9.15	4.00	1.40	191.0	2.70	
3	35.1	6.48	5.95	3.45	1.22	91.0	2.70	
4	35.1	6.00	5.67	3.14	1.10	113.0	2.31	
5	35.1	6.35	5.83	3.61	1.28	86.0	2.68	
6	35.0	9.20	8.70	3.75	1.26	140.0	2.88	
7	35.0	6.70	6.00	3.30	1.15	110.0	2.54	
8	33.5	7.50	5.85	3.60	1.20	120.0	2.52	
9	33.5	7.00	6.21	3.00	1.06	110.0	2.49	
10	33.0	8.60	8.10	-	1.74	170.0	2.78	
11	32.0	8.50	6.60	3.60	1.40	105.0	3.03	
12	32.0	8.50	7.50	3.60	1.23	105.0	3.03	
13	32.0	8.50	8.20	3.60	1.13	105.0	3.03	
14	31.0	6.30	5.60	3.30	1.18	91.75	2.32	
15	31.0	6.30	5.40	3.30	1.15	88.85	2.32	

Hull No.	L	B	Bc	D	d	△	F▽	Remarks
16	31.0	6.30	5.60	3.30	1.16	87.0	2.32	
17	30.0	7.85	6.09	3.61	1.10	94.30	3.06	
18	30.0	8.50	6.22	3.40	1.15	105.0	3.39	
19	30.0	7.76	6.68	3.39	1.33	90.0	4.03	
20	29.0	8.50	7.01	3.50	1.23	105.0	3.01	
21	28.9	7.65	5.74	3.35	1.17	90.0	3.09	
22	28.7	8.30	6.22	3.45	1.13	105.0	3.01	
23	27.6	7.09	4.76	3.24	1.22	80.0	4.09	
24	27.3	7.34	6.56	3.50	1.34	90.0	3.09	
25	27.0	6.75	5.16	3.66	1.03	80.0	2.62	
26	27.0	5.60	5.00	2.80	1.15	70.3	2.37	
27	26.2	5.86	5.65	2.93	1.19	80.0	2.62	
28	26.0	6.10	5.60	3.21	0.89	38.6	2.95	
29	25.9	5.73	4.90	2.84	1.10	58.6	2.59	
30	25.0	8.00	7.04	3.67	1.32	100.0	3.80	

Hull No.	L	B	Bc	D	d	△	F▽	Remarks
31	25.0	6.20	5.40	3.30	0.90	45.5	2.60	
32	25.0	6.20	5.00	3.25	0.85	45.5	3.44	
33	24.5	7.50	6.25	3.20	1.12	69.0	3.72	
34	24.5	6.27	4.83	2.68	0.97	42.9	3.52	
35	24.4	6.20	4.96	2.60	0.74	55.0	3.36	
36	24.3	6.19	4.81	2.82	-	45.0	3.47	
37	23.5	6.07	4.58	2.52	0.75	35.0	3.90	
38	23.0	5.20	4.70	2.60	0.86	38.0	3.21	
39	23.0	5.50	4.38	2.45	0.68	30.0	3.78	
40	22.9	5.20	4.48	2.60	0.77	42.9	3.83	
41	22.5	6.00	5.52	2.55	0.84	35.0	3.60	
42	22.5	4.90	4.39	2.45	0.75	35.0	3.18	
43	22.5	5.47	4.40	2.45	0.75	35.0	3.18	
44	22.5	5.50	4.38	2.45	0.69	35.0	3.18	
45	22.3	5.89	4.81	2.31	-	43.4	3.52	

Hull No.	L	B	Bc	D	d	Δ	F∇	Remarks
46	22.0	5.20	4.30	2.60	0.76	38.0	3.57	
47	21.7	5.79	5.50	3.11	1.07	64.0	3.29	
48	21.7	5.87	4.54	2.40	0.99	45.0	3.45	
49	21.3	6.07	4.80	2.26	0.75	32.0	4.07	
50	21.0	5.30	4.44	2.70	0.96	44.4	2.32	
51	21.0	4.70	4.40	2.30	0.95	42.4	2.39	
52	21.0	6.00	4.75	2.60	0.77	40.0	3.19	
53	20.7	4.50	3.92	2.33	0.97	33.0	3.78	
54	20.7	5.49	4.12	2.45	0.82	35.8	3.85	
55	20.0	5.20	4.09	2.40	0.80	28.0	3.83	
56	20.0	4.52	4.05	2.43	0.78	23.0	4.35	

참 고 문 헌

- [1] K. Watanabe : "Coast Guard", 世界の 艦船, 2004(11).
- [2] S. Niwa : “高速艇工學”, 丹艇協會出版部, 1971.
- [3] D. Savitsky : "A Re-evaluation of the Planing Hull Form", AIAA Report No. 2028, Advanced Marine Vehicles Conference, 1979.
- [4] H. Tanaka : "Methodology of Research and Development of High-Speed Marine Craft", 高速艇과 性能 Symposium, 日本造船學會, 1989.
- [5] H. E. Saunders : “Hydrodynamics in Ship Design”, Vol. 2, SNAME, 1957.
- [6] J. G. Koelbel : “Performance Prediction”, Small Craft Engineering Resistance, Propulsion and Sea keeping, SNAK, 1978.
- [7] E. P. Clement : "Development and Model Tests of an Efficient Planing Hull Design", DTNSRDC Report No. 1314, 1959.
- [8] K. Kihara and T. Ishii : “A New Method of Initial Design for High Speed Craft(2)”, Trans. of WJSNA, Vol. 72, pp 293-300, 1986.
- [9] A. McInnes : "Some Hull Construction Aspects of Small Patrol Boats", FAST '91, Trondheim, 1991.
- [10] E. P. Clement : "Reduction of Planing Boat Resistance by

Deflection of the Whisker Spray", DTNSRDC Report No. 1929, 1964.

[11] M. Komatsu and M. Yamaguchi : "Resistance and Propulsion of High Speed Craft", 高速艇과 性能 Symposium, 日本造船學會, pp 75-118, 1989.

[12] 민계식, 이귀주, 박만 : "활주형 선형의 단면형상 및 장/폭 비 변화에 따른 모형시험 결과", 현대중공업보고서, 1992.

[13] 이귀주 : "캐비테이션 현상을 이용한 고속활주형선의 저항성능 개선 가능성에 대한 연구", 기술현대, Vol. 14, No. 4, 1994.

[14] 이귀주, 이광일 : "활주선형 고속어선의 단면형상 및 장-폭 비와 성능과의 관계에 대한 연구", 한국어업기술학회지, 11권 3호, 1997.

[15] 이광일 : "활주형 선박의 선형특성과 저항성능과의 상관관계에 관한 실험적 연구", 조선대학교 석사학위논문, 1998.

[16] 구종도, 최선웅, 제병렬 : "고속정의 선형특성에 관한 연구", 대한조선학회 추계학술대회논문집, 1999.

[17] 김경배, 박명규, 최선웅, 구종도 : "초고속 단동 개발 함형의 저항특성에 관한 연구", 대한조선학회 추계학술대회논문집, 1999.

[18] 최선웅, 구종도 : "초고속 단동 개발 선형의 운동특성에 관한 연구", 대한조선학회 추계학술대회논문집, 1999.

[19] 최선웅 : "초고속 단동 개발 함형의 운동특성에 관한 연구", 군사과학대학원 석사학위논문, 2000.

[20] 제병렬 : “초고속 단동 개발 함형의 선회성능에 관한 연구”, 군사과학대학원 석사학위논문, 2001.

[21] 박제웅, 정우철, 박찬원, 김도정 : “저중속 영역에서 6.67G/T급 연안어선의 저항특성에 관한 고찰”, 한국해양공학회 추계학술대회 논문집, pp 89-93, 2002.

[22] 정우철, 박찬원, 김도정, 김영준, S. Matsui : “소형 연안어선의 저항성능에 관한 실험적 연구”, 한국해양공학회 춘계학술대회 논문집, pp 251-256, 2002.

[23] 박충환, 심상목, 진송환 : “활주형선의 Spray Strip 부착에 따른 저항특성 연구”, 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp 60-64, 2004.

[24] 서관희, 이정관, 서영남, 선지홍, 허재경 : “60M급 반활주 고속정의 선형설계와 부가물 부착에 따른 저항성능 고찰”, 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp 869-875, 2005.

[25] 정우철, 정석호, 박제웅 : “연안용 소형 고속 레저선 선형개발”, 한국해양공학회지, 제 18권, 1호, pp 80-84, 2004.

[26] 정우철, 정석호, 진호환 : “고속 연안 순시선 선형개발과 저항성능에 관한 연구”, 한국해양공학회지, 제 18권, 3호, pp 44-49, 2004.

[27] D. S. Cusanelli and G. Karafiath : "Integrated Wedge-Flap for Enhanced Powering Performance", Proc. of Fast '97, Sydney, Australia, pp. 751-764, 1997.

[28] G. Karafiath, D. S. Cusanelli and C. W. Lin : "Stern Wedges and Stern Flaps for Improved Powering - U. S. Navy Experience", SNAME Trans., Vol. 107, pp. 67-99, 1999.

[29] G. Karafiath and S. C. Fisher : "The Effect of Stern Wedges on Ship Powering Performance", Naval Engineers Journal, pp. 27-38, 1987.

[30] C. W. Hirt and B. D. Nichols : "Volume of Fluid(VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries", Journal of Computational Physics, Vol. 39, 1981.

[31] J. A. Vieceilli : "A Computing Method for Incompressible Flows by Moving Walls", Journal of Computational Physics, Vol. 8, 1971.

[32] Y. G. Lee, H. Miyata and H. Kajitani : "Some Application of the TUMMAC Method to 3D Water Wave Problems", Journal of the Society of Naval Architecture of Korea, Vol. 25, 1988.

[33] H. Miyata and S. Nisimura : "Finite Difference Simulation of Nonlinear Ship Waves", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 157, 1985.

[34] J. E Welch, F. H. Harlow, J. P. Shannon and B. J. Daly : "The MAC Method", Los Alamos Scientific Lab. Report, LA-3425, 1966.