

2005년도 8월

석사학위논문

비대선의 구상선수 (Bulbous Bow)
길이 변화에 따른 저항성능 변화에
관한 연구

조선대학교 대학원

선박해양공학과

박 나 라

2005년도 8월

석사학위논문

비대선의 구상선수 (Bulbous Bow)
길이 변화에 따른 저항성능 변화에
관한 연구

조선대학교 대학원

선박해양공학과

박나라

비대선의 구상선수 (Bulbous Bow)
길이 변화에 따른 저항성능 변화에
관한 연구

A Study on the Influence of Length of Bulbous Bow
on the Resistance Performance for Large Full Form
Ship

2005年 08月

조선대학교 대학원

선박해양공학과

박 나라

비대선의 구상선수 (Bulbous Bow)
길이 변화에 따른 저항성능 변화에
관한 연구

지도교수 이 귀 주

이 논문을 공학석사학위 신청 논문으로 제출함.

2005年 04月 21日

조선대학교 대학원

선 박 해 양 공 학 과

박 나 라

박나라의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 권 영 섭 인

위 원 조선대학교 교수 이 귀 주 인

위 원 STX조선(주) 사장 김 성 기 인

2005年 05月

조선대학교 대학원

목 차

표목록	iii
그림목록	iv
NOMENCLATURES	vi
Abstract	viii
제1장 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적 및 방법	2
제2장 선형설계	3
2.1 구상선수	3
2.2 선형 및 모형선	3
제3장 CFD Code를 이용한 이론계산	11
3.1 이론적 배경	11
3.2 이론계산 개요	13
3.3 계산결과검토	24
제4장 모형시험	25

4.1 시험장비	25
4.2 모형시험	28
4.2.1 저항시험	28
4.2.2 파형관찰시험	35
4.2.3 모형시험 결과 분석	39
제5장 CFD Code 및 모형시험 결과 비교	40
제6장 결론	42
참고문헌	

표 목 록

Table 1 Principal Particulars of Ship and Models	5
Table 2 Comparison of Bulbous Bow Length	5
Table 3-1 Resistance Performance Analysis by CFD Code (L1)	14
Table 3-2 Resistance Performance Analysis by CFD Code (L2)	14
Table 3-3 Resistance Performance Analysis by CFD Code (L3)	15
Table 3-4 Resistance Performance Analysis by CFD Code (L4)	15
Table 4 Comparison of Calculation result for C_W	16
Table 5-1 Resistance Test Result of L1	29
Table 5-2 Resistance Test Result of L2	30
Table 5-3 Resistance Test Result of L3	31
Table 5-4 Resistance Test Result of L4	32
Table 6 Qualitative Comparison of C_W (Model Test)	33
Table 7 Comparison of Non-Dimensional Wave Profiles at 14kts	36

그림 목록

Fig. 1 Comparison of C_p -Curve	6
Fig. 2-1 Body Plan and Bulb Profile of L1	7
Fig. 2-2 Body Plan and Bulb Profile of L2	8
Fig. 2-3 Body Plan and Bulb Profile of L3	9
Fig. 2-4 Body Plan and Bulb Profile of L4	10
Fig. 3 Coordinate System	12
Fig. 4 Comparison of Calculation result for C_w	16
Fig. 5-1 Wave pattern of L1	17
Fig. 5-2 Wave pattern of L2	17
Fig. 5-3 Wave pattern of L3	18
Fig. 5-4 Wave pattern of L4	18
Fig. 6-1 Wave height of L1	19
Fig. 6-2 Wave height of L2	19
Fig. 6-3 Wave height of L3	20
Fig. 6-4 Wave height of L4	20
Fig. 7-1 Flow Pattern of L1	21

Fig. 7-2 Flow Pattern of L2	21
Fig. 7-3 Flow Pattern of L3	22
Fig. 7-4 Flow Pattern of L4	22
Fig. 8 C_{LB} Vs C_t , C_w Curve (CFD Code)	23
Fig. 9 Comparison of EHP (CFD Code)	23
Fig. 10 Schematic diagram of CWC	27
Fig. 11 Comparison of C_W (Model Test)	33
Fig. 12 C_{LB} Vs C_t , C_w Curve (Model Test)	34
Fig. 13 Comparison of EHP (Model Test)	34
Fig. 14-1 Wave Profile for L1 Model at 14kts	37
Fig. 14-2 Wave Profile for L2 Model at 14kts	37
Fig. 14-3 Wave Profile for L3 Model at 14kts	37
Fig. 14-4 Wave Profile for L4 Model at 14kts	37
Fig. 15 Comparison of Wave Profiles at 14kts	38
Fig. 16 Comparison of C_{LB} Vs C_W Result	40

NOMENCLATURES

- C_A : Incremental resistance coefficient for model-ship correlations
- C_{AA} : Air or wind resistance coefficient
- C_F : Local friction coefficient based on undisturbed velocity
- CG : Center of gravity
- C_R : Residuary resistance coefficient
- C_T : Total resistance coefficient
- $C_{T\triangledown}$: Resistance-displacement coefficient
- C_W : Wave making resistance coefficient
- EHP : Effective horse power
- F_n : Froude number
- g : Acceleration due to gravity
- k : Three-dimensional form factor on flat plate friction
- LCG : Longitudinal center of gravity location
- R : Resistance, in general
- R_A : Model-ship correlation allowance
- R_F : Frictional resistance
- R_n : Reynolds number
- R_R : Residuary resistance
- R_T : Total resistance
- R_W : Wave making resistance
- S : Area of wetted surface
- U : Velocity of a fluid
- V_M : Model speed, m/sec

V_S : Ship speed, knots
 ρ : Mass density of water
 λ : Linear ratio, ship to model
 ΔC_F : Roughness allowance
 Δ : Mass Displacement, ton
 ∇ : Volume Displacement, m³
 z : Non-dimensionalized Wave Height
 ϕ : Total Velocity Potential
 σ : Source Density
 C_{LB} : Bulb Length Parameter

ABSTRACT

A Study on the Influence of Length of Bulbous Bow on the Resistance Performance for Large Full Form Ship

Park, Na-ra

Advisor : Prof. Lee, Kwi-joo, Ph.D.

Department of Naval Architecture

& Ocean Engineering,

Graduate School of Chosun

University

The bulbous bow has long been used in reducing the wave making resistance by varying the velocity field near the bow of the ship. The bulb attenuates the bow wave, thereby reducing the total wave making resistance. Studies have shown that effective positioning of the bulb and its length has a probability of reducing the viscous resistance also. In this paper, a study is done to find the effect of the bulb length on the wave making resistance of large full form ships.

Four bulbs have been designed by changing the length. These were then attached to a full form model ship. The models were tested in a CFD program and the resistances were obtained. The variation in bulb length was found to effect model resistance and the most effective bulb was selected. Based on the outcome of these results, models were made and tested in a Circulating Water Channel. The results when compared with the CFD results were found very agreeable.

제1장 서론

1.1 연구배경

현대 산업사회는 급격한 화물 수송량의 증가를 가져 왔으며, 이에 따라 화물을 대량으로 신속하게 운송하기 위하여 선박의 대형화 및 고속화가 불가피하게 되었다. 이러한 상황에서 선박 운용의 경제성을 향상시키기 위하여 저항을 감소시키고 속도를 증가시키기 위한 연구가 활발하게 이루어져 왔다.

대표적인 예로 기존의 배수량형 선박에서 선형의 개선을 통하여 저항의 감소를 이루어 내리는 것과 다른 한편으로 기존의 배수량형 선박의 선형과 완전히 구별되는 특수 선형을 개발하는 것이 있다.

기존의 배수량형 선박 선형개선에서는 선박의 저항성분 중에서 조파저항을 감소시키기 위한 방법 중의 하나로 구상선수 형상이 제안되었으며, 구상선수 형상에 대한 연구는 D.W. Taylor에 의하여 최초로 제안되어 그 뒤 Wigley , Inui등에 의해 많은 연구가 수행되었다. 이러한 연구결과는 이미 많은 선박에 채용되어 그 효과가 입증된바 있다.[1][2][3]

지금까지는 주로 조파저항이 마찰저항보다 상대적으로 큰 선형에 대한 구상선수 효과가 연구되어 왔으나[4][5][6] 이러한 연구결과는 상대적으로 계획 Froude 수가 낮은 저속 비대선형에는 적용하기 적합하지가 않다. 따라서 저속 비대선형에 적용시킬 수 있는 구상선수의 형상에 대해 연구가 필요하며, 본 논문에서는 저속 비대선형에 대한 구상선수 형상 중 길이변화에 따른 저항성능에 대하여 모형시험 및 CFD Code를 이용하여 결과를 비교, 분석하였다.

1.2 연구목적 및 방법

본 논문에서는 저속 비대선에서 구상선수가 발생시키는 파형이 조파저항에 영향을 미치는 것으로 보고 이를 감소시키기 위한 목적으로 구상선수 길이를 변화시켰다. 구상선수 길이를 다르게 하여 4가지 선형을 만들었으며 이렇게 설계된 선형들을 CFD Code 및 모형시험을 통하여 구상선수 길이변화에 따른 저항성능 변화에 대하여 이론계산 및 저항계측을 수행하였다.

제2장 선형 설계

2.1 구상선수

구상선수는 선박의 선수에서 발생하는 파계를 각각 독립적으로 생각하고 각각에 소오스와 싱크같은 특이점계를 첨가시켜서 이들이 형성하는 파계가 선수와 선미에서 발생하는 자유파와 근사적으로 진폭이 같고 위상이 역이 되도록 하여 파계가 서로 상쇄 되도록 함으로써 조파저항을 감소시키고자 선박에 채택하여 사용한다.

저속비대선인 경우는 구상선수로 인하여 선수파의 방향이 바뀌게 되고 이로 인하여 저항에도 영향을 주게 된다. 구상선수 설계시 고려해야할 형상특성에는 구의체적, 구의 잠긴 깊이, 구의길이, 구와 주선체의 연결, 구의 횡단면형상이 있는데 이러한 구상선수 형상 특성 중 특히 구상선수 길이는 구의 횡단면적과 함께 구상선수 크기를 결정하기도 하지만 구상선수에서 발생하는 파에 영향을 주게 된다. 이와 같이 저속 비대선에서 구상선수 길이를 변화시켰을때 선체에 미치는 저항변화를 확인하기 위하여 구상선수 길이 계열(L Series)을 설계하였다.

2.2 선형 및 모형선

본 논문에서는 기존에 연구되었던 17만톤급 비대선인 Tanker선의 자료를 근거로 하여 저속 비대선에서 구상선수 길이를 다르게 설계함으로써 나타나는 파형변화를 알아보기 위하여 구상선수의 길이가 다른 4척의 모형선을 제

작하였다.

이때 모형선은 선미부는 동일하게 하고 구상선수 부분을 F.P. 앞쪽으로 돌출되게 하여 만재상태에서 쇄파현상을 줄이는 효과를 보고자 하였다.

실선과 모형선의 주요제원은 Table 1에 나타내었으며, 선형별 구상선수 길이는 Table 2에 나타내었다. 길이를 변화시킨 구상선수 선형(L1 ~ L4)의 단면적 곡선(C_p -Curve)을 Fig. 1에, 정면도(Body Plan) 및 선수 Profile은 Fig. 2-1 ~ Fig. 2-4에 나타내었다.

Table 1 Principal Particulars of Ship and Models

(축척비 1:188)

구 분		SHIP	MODEL
축척비	(λ)	1	188
LPP	(m)	282.4	1.5
LWL	(m)	287.2	1.528
BEAM	(m)	45	0.239
DRAFT (TF)	(m)	17	0.090
DRAFT (TA)	(m)	17	0.090
C_B		0.8338	0.8338
C_P		0.8355	0.8355
C_M		0.9980	0.9980
LCB	(% of LPP)	2.5730	2.5730

Table 2 Comparison of Bulbous Bow Length

(단위:m)

선형 Bulb Length	L1	L2	L3	L4
	구상선수 길이	4	6	10

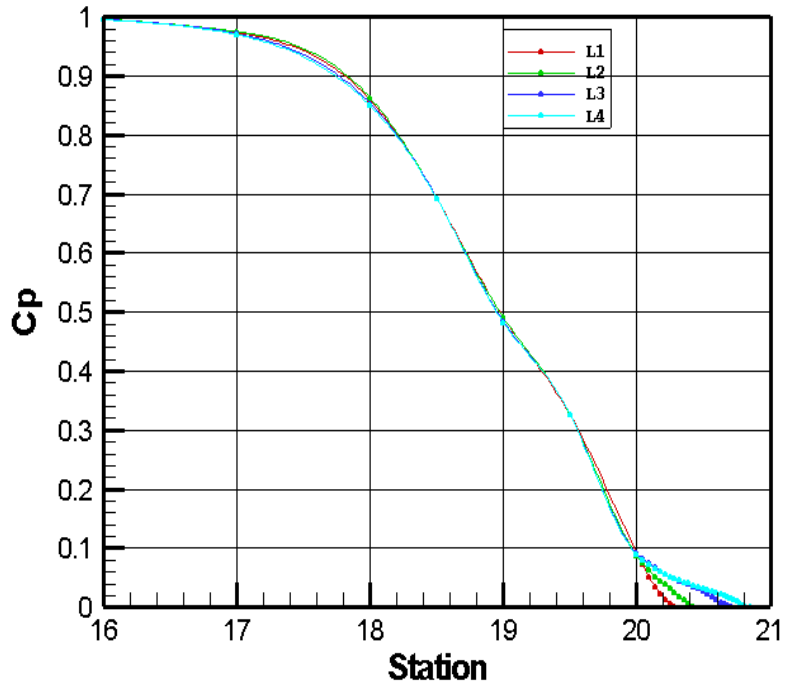


Fig. 1 Comparison of C_p -Curve

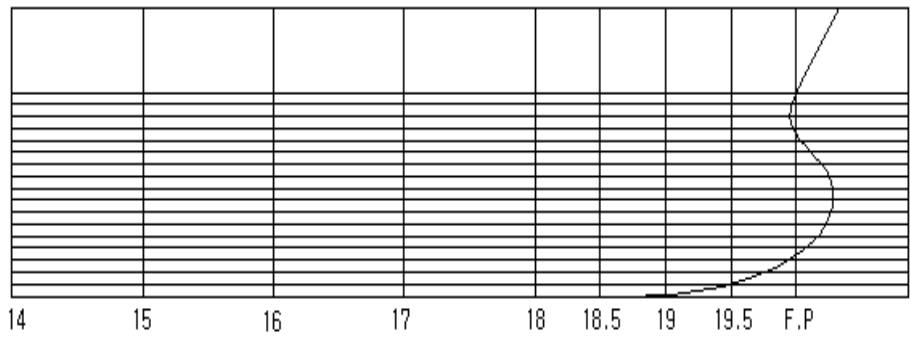
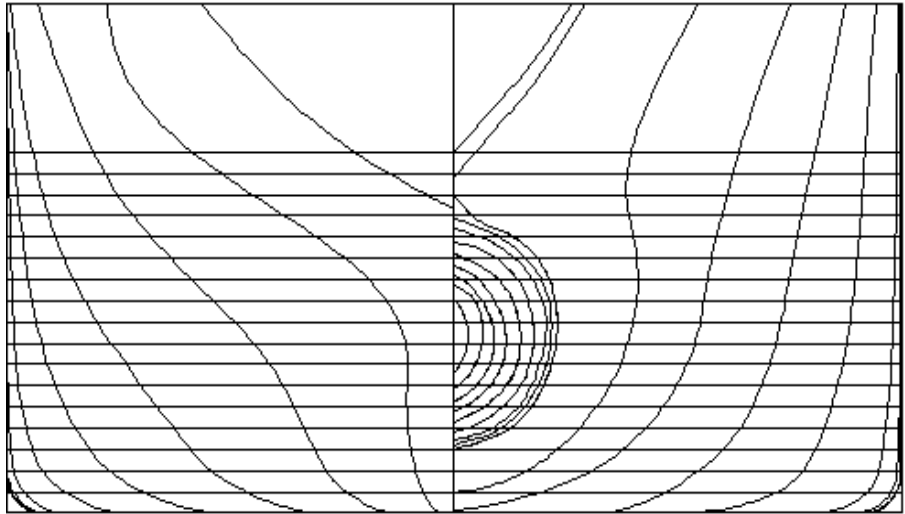


Fig. 2-1 Body Plan and Bulb Profile of L1

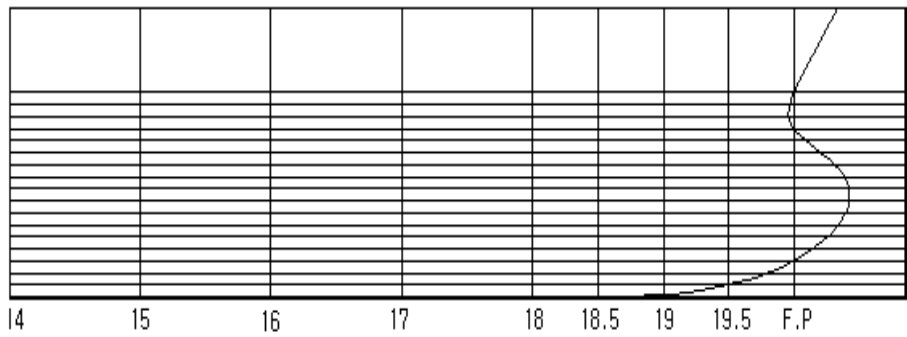
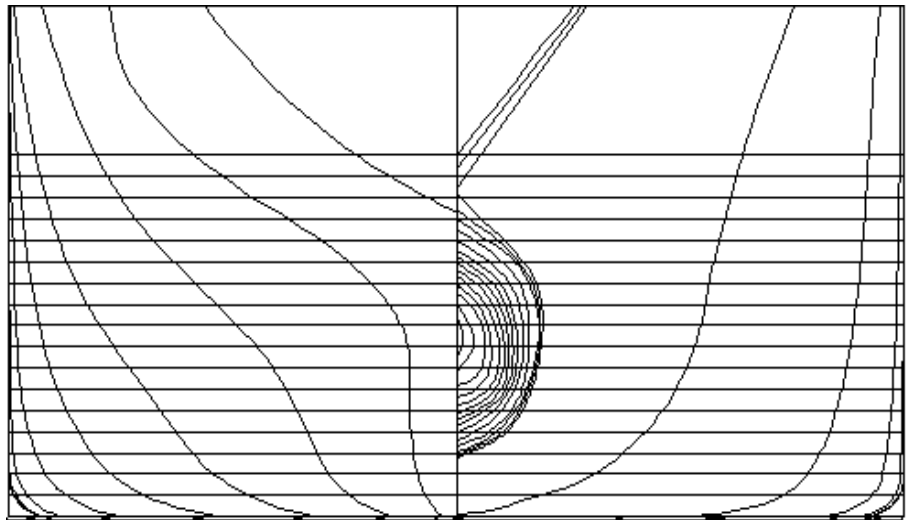


Fig. 2-2 Body Plan and Bulb Profile of L2

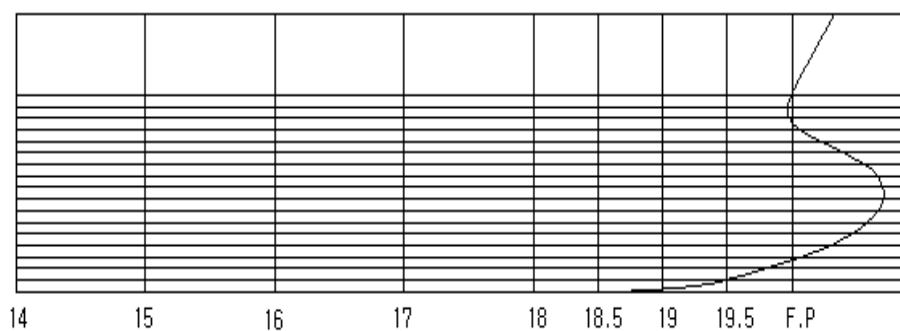
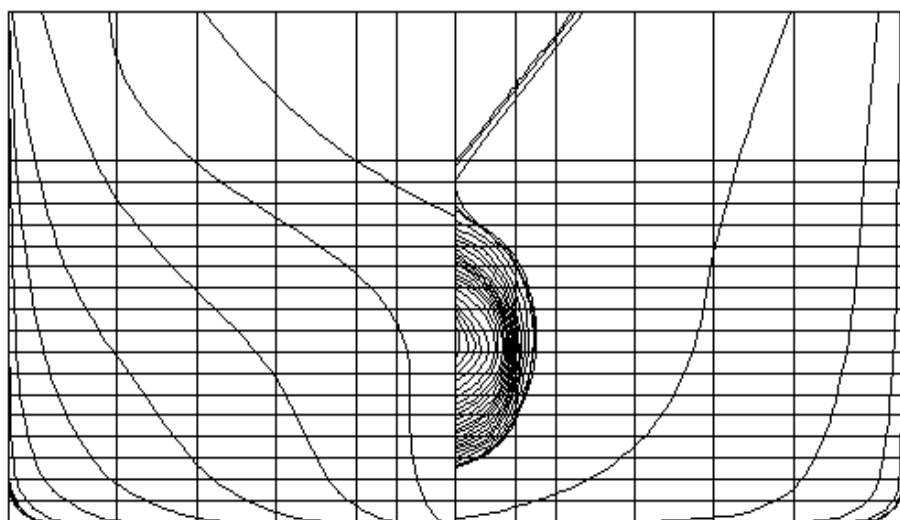


Fig. 2-3 Body Plan and Bulb Profile of L3

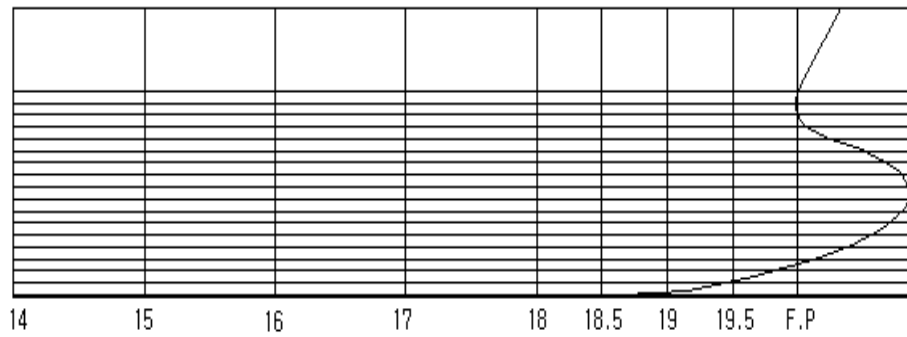
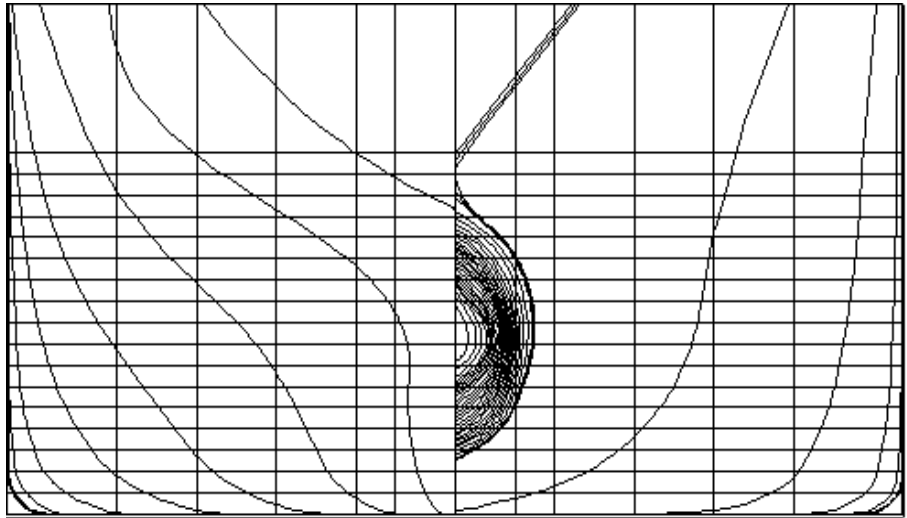


Fig. 2-4 Body Plan and Bulb Profile of L4

제3장 CFD Code를 이용한 이론계산

3.1 이론적 배경

선형설계 및 선형개발 분야에 활용되는 조파저항 이론은 J.H. Michell, T.H. Havelock의 선형이론이래, 전자계산기의 발달과 더불어 실용화를 위한 발전을 거듭해 왔다. 특히 Hess & Smith[13]의 선체 표면 특이점 분포에 의한 선체주위의 potential flow 계산방법은 선체 형상의 제약없이 여러 가지 선박의 제성능 추정 및 계산에 널리 사용되었다. 그러나 자유표면의 효과가 생략됨으로써 파생되는 이 방법의 한계 및 문제점이 부각되면서 Gadd[14] 및 Dawson[15]을 중심으로 선체표면 및 자유표면의 일부에 Rankine Source를 분포하여 유동을 해석하는 방법이 제안되었다.

Dawson은 실용선형을 대상으로 선체표면 조건과 double model linearized free surface condition을 만족하는 연립방정식을 풀고 형상저항 및 조파저항을 계산하였으며 이 계산결과는 실험치와 잘 일치한다는 것을 보인바 있다[16]. 이후 이 방법은 실용적인 조파저항 계산방법으로 많이 사용되고 범용 Code화 되었다. “Shipflow” CFD Code는 Dawson 방식의 처리 기법을 도입한 자유수면 조건식을 이용한다. 정수중을 이동하는 선박의 조파문제를 푸는데 Rankine Source를 사용하는 Panel Method를 사용하고 있다. 이에 대한 이론적 배경을 설명 하겠다.

Potential 유동해석에 사용된 좌표계는 Fig. 3 보인바와 같이 배에 고

정된 우수 좌표계를 택하고 x축은 선수에서 선미로 향하고 y축은 우현으로 z축은 위로 향하게 하였다. 그리고 여기 사용된 변수들은 Potential 유동(ϕ), 배속도(U_∞), surface(S) 이다.

$$\phi(X, Y, Z) = \int \frac{\sigma(q)}{r(p, q)} dS + U_\infty X \quad \dots\dots(1)$$

여기서 $\sigma(q)$ 는 source 밀도를 $r(p, q)$ 는 p점에서 q점까지의 거리를 나타낸다. 비점성, 비압축성, 비회전성의 Potential 유동으로 가정한다면 속도 Potential ϕ 를 정의할 수 있고 속도 Potential은 아래의 지배 방정식과 경계조건을 만족시켜야 한다. 먼저 잘 알려진 바와 같은 속도 Potential ϕ 는 지배방정식으로 Laplace equation을 만족시켜야 한다.

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \text{in the fluid} \quad \dots\dots(2)$$

다음으로 만족시켜야할 경계조건으로 선체에서는 유동이 반드시 접해야 한다는 조건이다. 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\phi_n = 0 \quad \text{on the hull} \quad \dots\dots(3)$$

자유수면에서 접할 때 $Z=h(X, Y)$ 즉, $\phi_{n/s} = 0$ ($Z = h$) 식이 된다.

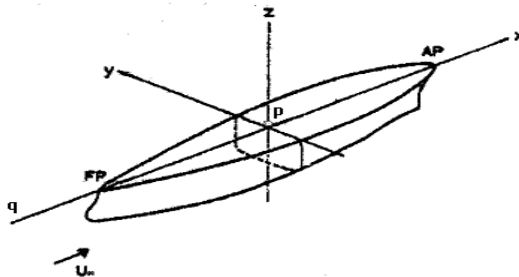


Fig. 3 Coordinate System

3.2 이론계산 개요

비대선의 구상선수를 벌브 길이에 따라 변화시켜 조파저항을 감소시켜 저항성능을 변화를 관찰하기 위하여 CFD Code를 이용하여 저항시험 속도범위와 동일한 11.0knot~17.0knot($F_n=0.1075 \sim F_n=0.1564$)구간에서 저항 이론계산을 수행하였으며, 그에 따른 파형을 관찰하였다.

CFD Code로부터 얻은 C_W 값을 가지고 “ITTC-78 국제 표준 저항 해석법”을 이용하여 전저항(C_{TM})을 계산하였다.

저항해석 결과는 Table 3-1 ~ Table 3-4 에 나타내었으며 저항해석 결과로부터 계산된 조파저항 곡선은 Fig. 4에 나타내었다.

또한 L1을 기준선형으로 하여 조파저항의 개선사항을 확인하고자 정성적으로 비교하여 Table 4에 나타내었다.

CFD Code로부터 wave pattern, wave height, flow pattern을 얻을 수 있었으며 설계속도 14knot($F_n=0.1368$)에서의 wave pattern를 Fig. 5-1 ~ Fig. 5-4에, wave height를 Fig. 6-1 ~ Fig. 6-4 그리고 wave pattern을 Fig. 7-1 ~ Fig. 7-4에 나타내었다. 여기에서 볼 수 있듯이 wave height 값이 적은 구상선수를 가진 선형이 저항성능이 뛰어난 것을 알 수 있었다.

Table 3-1 Resistance Performance Analysis by CFD Code (L1)

V_S (Knot)	F_n	R_n	C_F	C_W	C_T	R_T (KN)	EHP (KW)
11	0.1075	1.354E+ 09	0.001475	0.000949	0.00243	746.051	4221.453
12	0.1173	1.477E+ 09	0.001459	0.000985	0.00244	895.076	5525.128
13	0.1271	1.600E+ 09	0.001445	0.001020	0.00247	1059.78	7086.960
14	0.1368	1.724E+ 09	0.001432	0.001016	0.00245	1220.51	8789.595
15	0.1466	1.847E+ 09	0.001420	0.001000	0.00242	1385.19	10688.10
16	0.1564	1.970E+ 09	0.001410	0.000968	0.00238	1548.04	12740.97
17	0.1661	2.093E+ 09	0.001399	0.001056	0.00246	1804.92	15783.61

Table 3-2 Resistance Performance Analysis by CFD Code (L2)

V_S (Knot)	F_n	R_n	C_F	C_W	C_T	R_T (KN)	EHP (KW)
11	0.1075	1.354E+ 09	0.001475	0.000920	0.00240	737.156	4171.121
12	0.1173	1.477E+ 09	0.001459	0.000942	0.00240	879.619	5429.711
13	0.1271	1.600E+ 09	0.001445	0.000969	0.00241	1037.68	6939.199
14	0.1368	1.724E+ 09	0.001432	0.00968	0.00240	1196.77	8618.688
15	0.1466	1.847E+ 09	0.001420	0.00962	0.00238	1363.78	10522.94
16	0.1564	1.970E+ 09	0.001410	0.000972	0.00238	1550.77	12763.48
17	0.1661	2.093E+ 09	0.001399	0.001086	0.00249	1826.75	15974.54

Table 3-3 Resistance Performance Analysis by CFD Code (L3)

V_S (Knot)	F_n	R_n	C_F	C_W	C_T	R_T (KN)	EHP (KW)
11	0.1075	1.354E+ 09	0.001475	0.000791	0.00227	697.266	3945.411
12	0.1173	1.477E+ 09	0.001459	0.000802	0.00226	828.155	5112.034
13	0.1271	1.600E+ 09	0.001445	0.000816	0.00226	972.126	6500.803
14	0.1368	1.724E+ 09	0.001432	0.000838	0.00227	1131.61	8149.414
15	0.1466	1.847E+ 09	0.001420	0.000875	0.00230	1313.65	10136.09
16	0.1564	1.970E+ 09	0.001410	0.000875	0.00229	1487.80	12245.21
17	0.1661	2.093E+ 09	0.001399	0.001017	0.00242	1776.10	15531.61

Table 3-4 Resistance Performance Analysis by CFD Code (L4)

V_S (Knot)	F_n	R_n	C_F	C_W	C_T	R_T (KN)	EHP (KW)
11	0.1075	1.354E+ 09	0.001475	0.001076	0.00255	784.893	4411.241
12	0.1173	1.477E+ 09	0.001459	0.001095	0.00255	935.662	5775.652
13	0.1271	1.600E+ 09	0.001445	0.001119	0.00256	1102.08	7369.834
14	0.1368	1.724E+ 09	0.001432	0.001148	0.00258	1286.42	9264.254
15	0.1466	1.847E+ 09	0.001420	0.001202	0.00262	1501.03	11581.93
16	0.1564	1.970E+ 09	0.001410	0.001207	0.00262	1703.93	14024.04
17	0.1661	2.093E+ 09	0.001399	0.001364	0.00276	2031.19	17762.32

Table 4 Comparison of Calculation result for C_W

(단위 : %)

속도 \ 선형	L1	L2	L3	L4
11	100	96.96	83.30	113.29
12	100	95.71	81.44	111.25
13	100	94.96	80.01	109.65
14	100	95.31	82.45	113.01
15	100	96.26	87.50	120.24
16	100	100.43	90.44	124.74
17	100	102.81	96.29	129.15

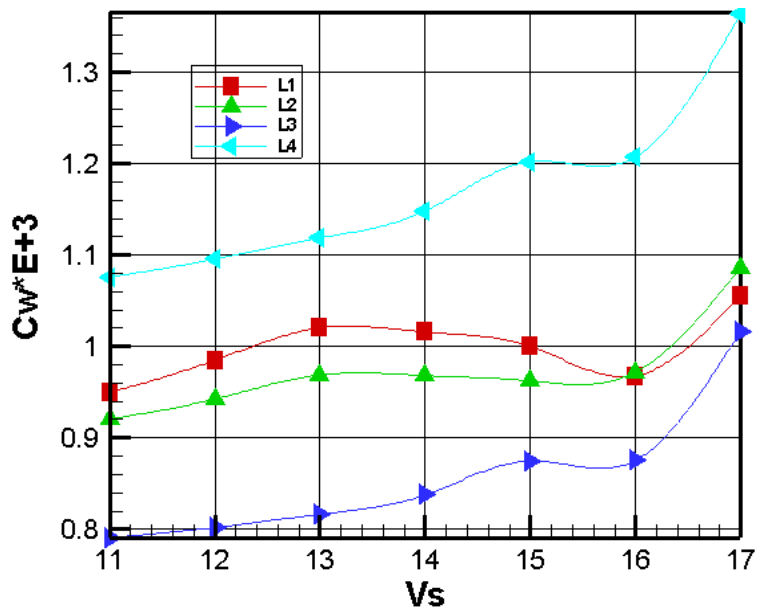


Fig. 4 Comparison of Calculation result for C_W

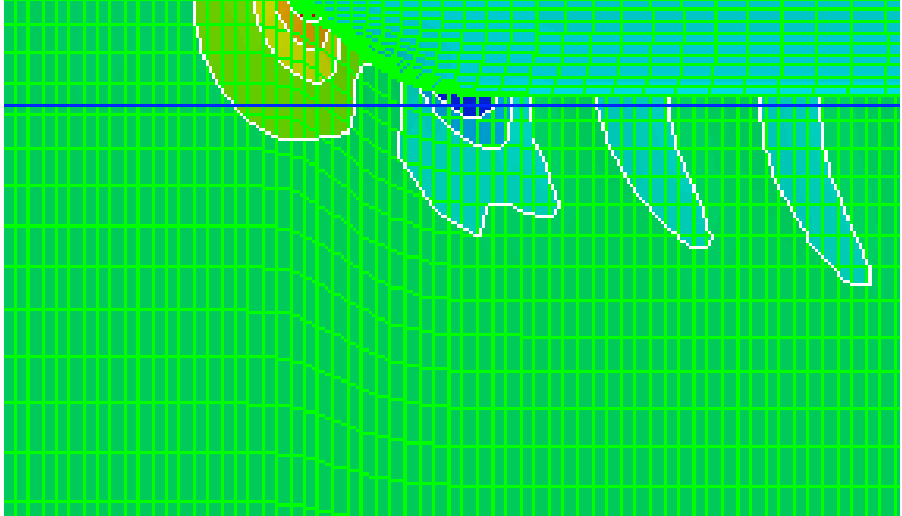


Fig. 5-1 Wave pattern of L1

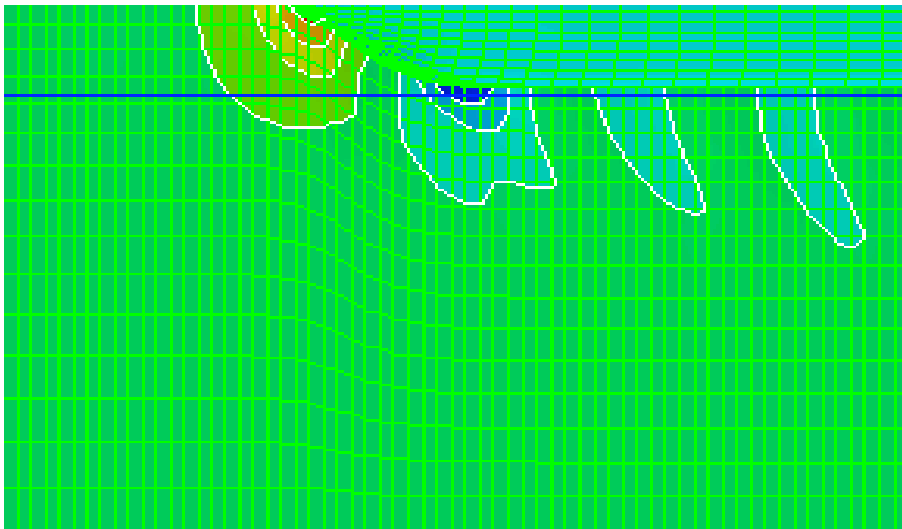


Fig. 5-2 Wave pattern of L2

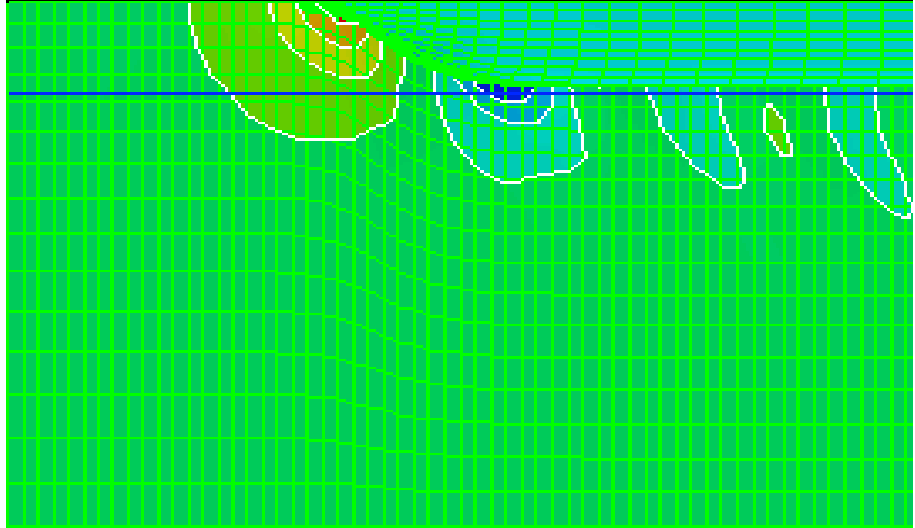


Fig. 5-3 Wave pattern of L3

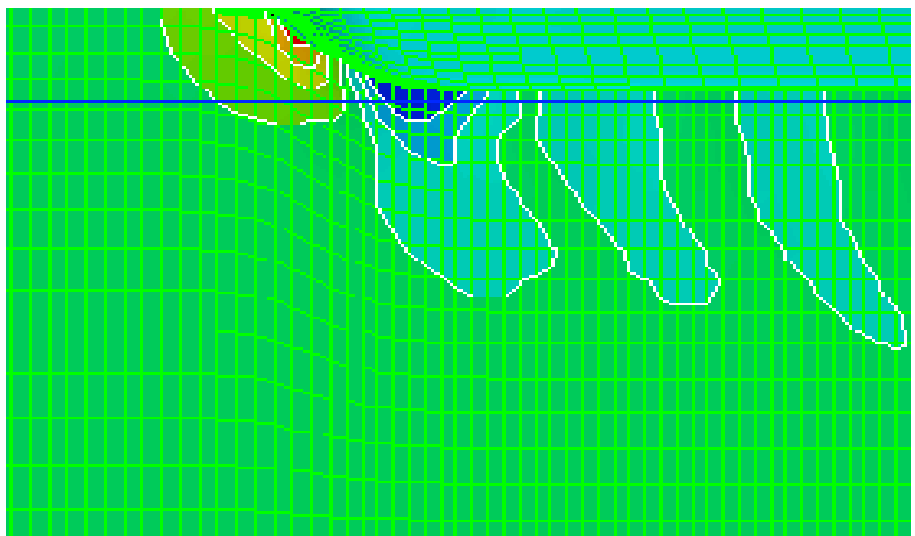


Fig. 5-4 Wave pattern of L4

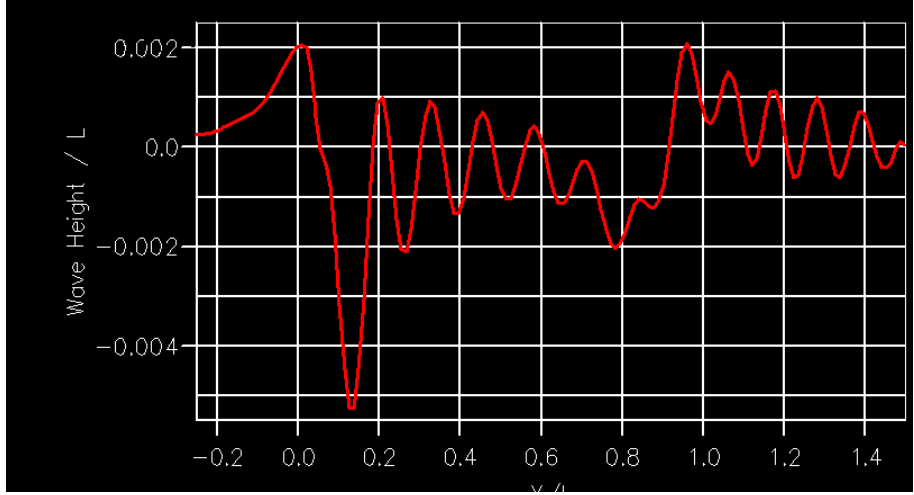


Fig. 6-1 Wave height of L1

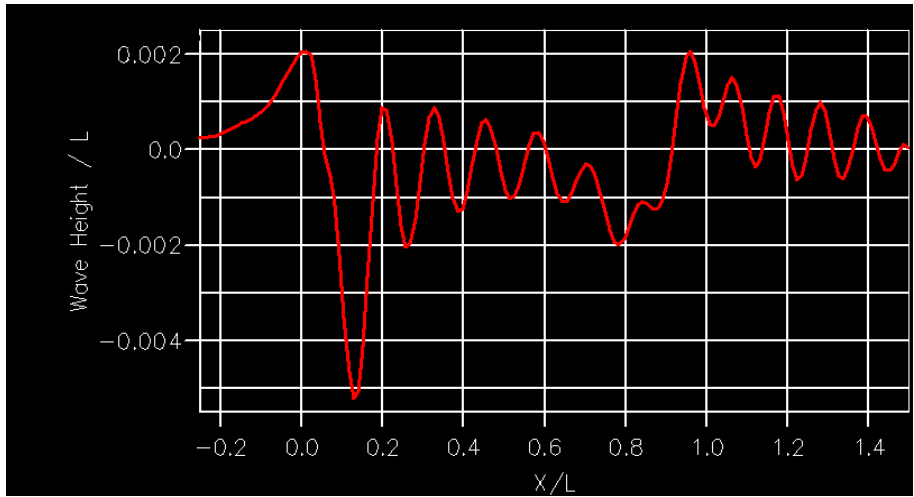


Fig. 6-2 Wave height of L2

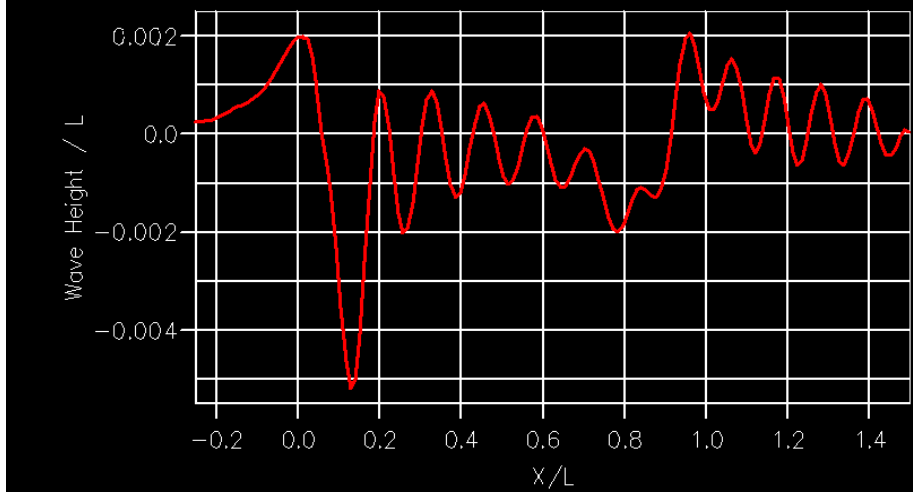


Fig. 6-3 Wave height of L3

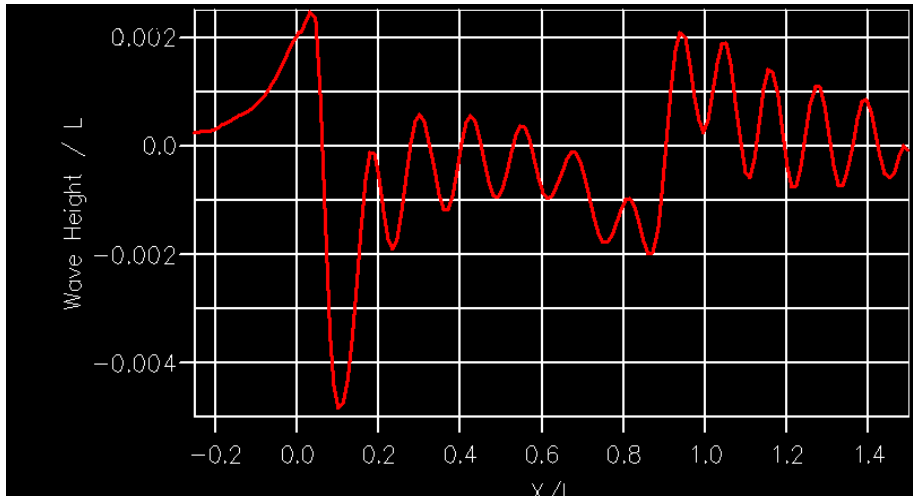


Fig. 6-4 Wave height of L4

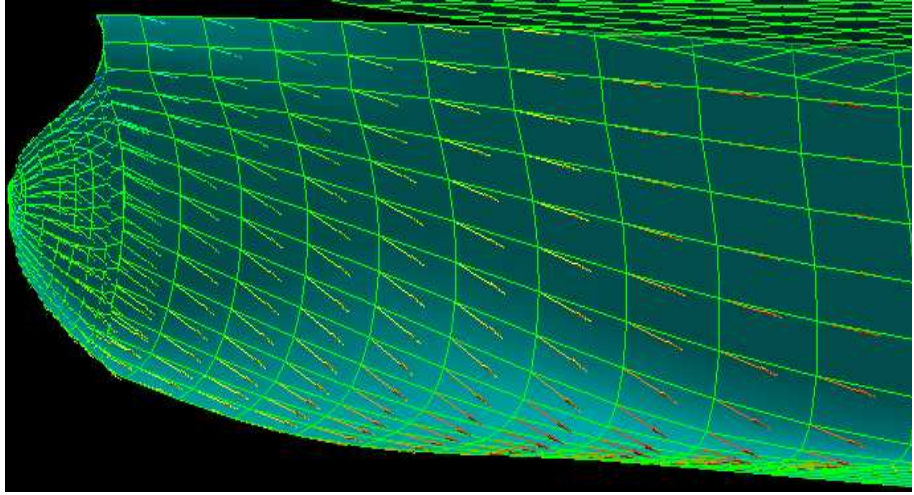


Fig. 7-1 Flow Pattern of L1

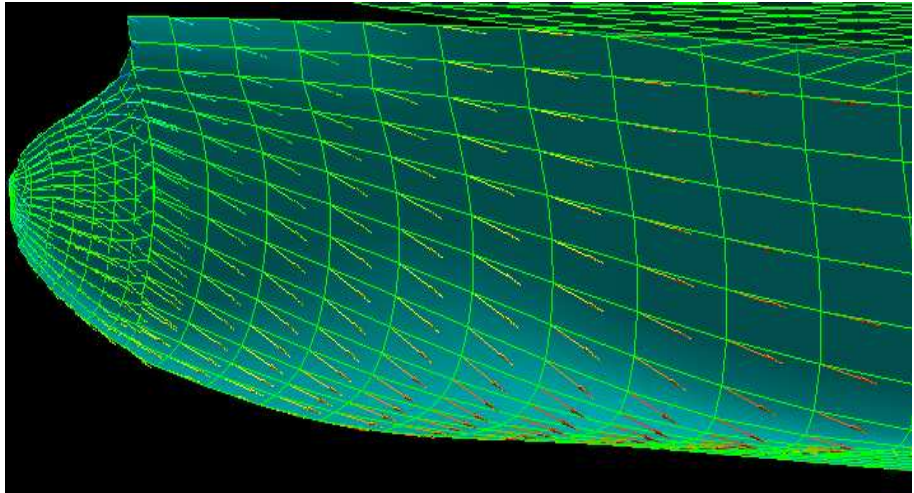


Fig. 7-2 Flow Pattern of L2

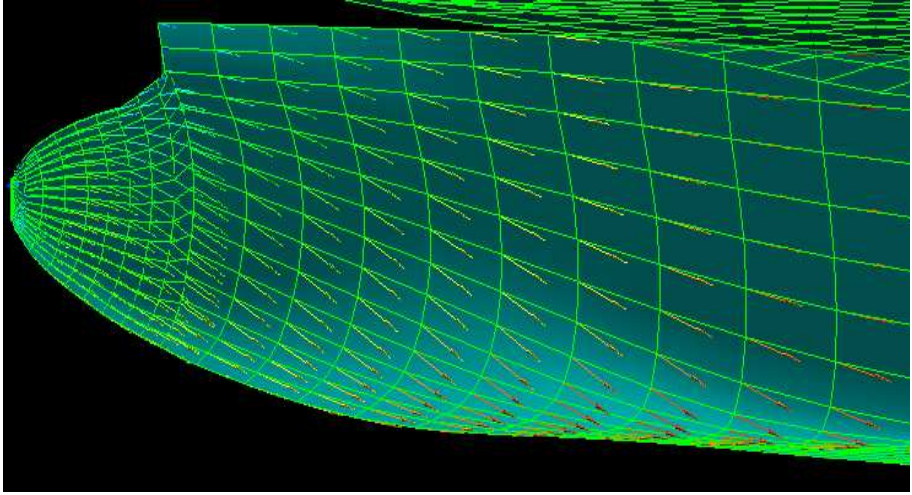


Fig. 7-3 Flow Pattern of L3

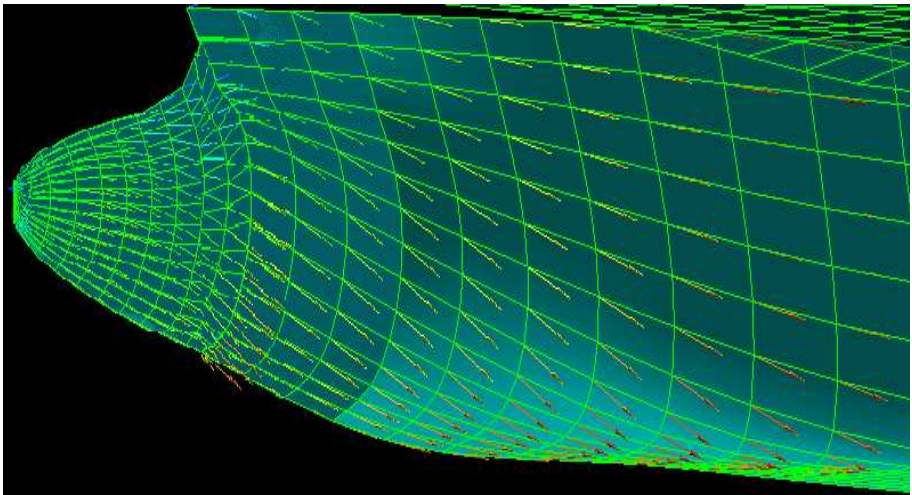


Fig. 7-4 Flow Pattern of L4

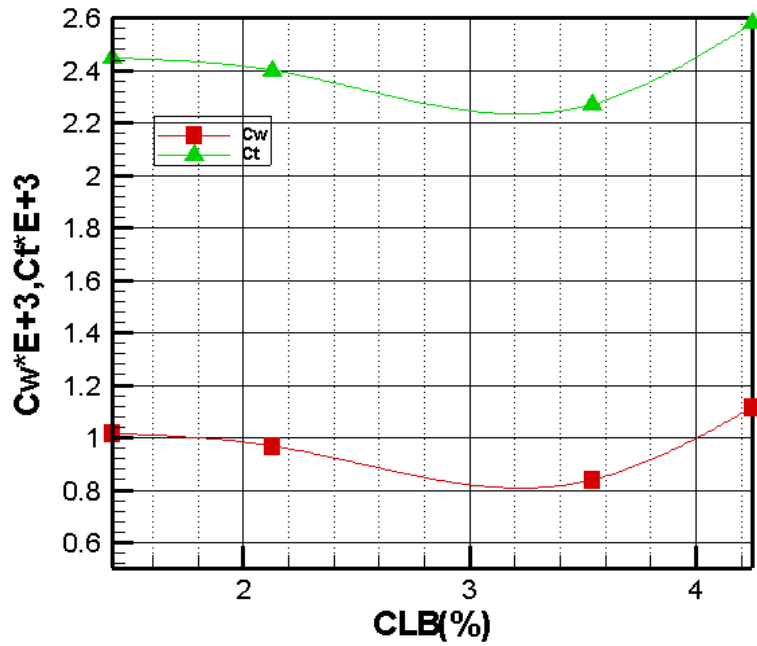


Fig. 8 C_{LB} Vs C_t , C_w Curve (CFD Code)

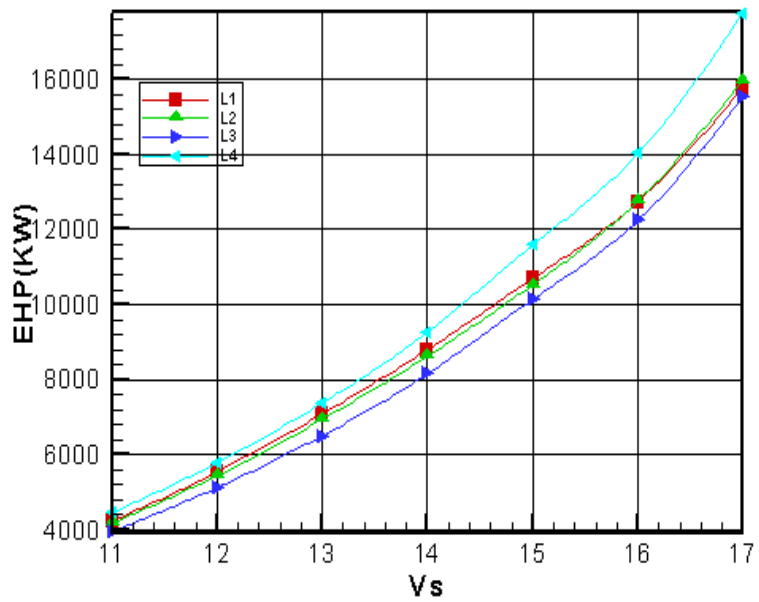


Fig. 9 Comparison of EHP (CFD Code)

3.3 계산결과 검토

CFD Code를 통한 이론계산결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 구상선수 길이가 다른 각 선형에 대하여 CFD Code를 이용한 이론계산 결과를 Fig. 4에 나타내었으며 이로부터 계산된 전저항(C_T), 조파저항(C_W) 값을 Fig. 8, 유효마력(EHP)를 Fig. 9에 나타내었다.
- Potential 이론의 CFD Code로 이론계산을 수행한 결과 구상선수부가 초기 선형과 비교하여 X축 방향으로 약 6m정도 돌출하였으며 Y축과 X축 방향으로는 크게 변화하지 않았다.
- Fig. 8에서 나타난 바와 같이 구상선수(bulb)의 길이 변화에 따른 전저항계수(C_T)와 조파저항계수(C_W)가 같은 경향을 가지고 있음을 확인하였으며 C_{LB} 값이 3~3.5%사이의 길이를 가진 구상선수를 설계하였을때 조파저항의 감소로 인한 전저항 감소 효과를 볼 수 있다고 추측된다.

제4장 모형시험

구상선수형상 변화에 따른 저항성능의 변화를 관찰하기 위하여 기준선형의 구상선수 길이를 변화시켜가며 저항시험 및 파형관찰시험을 수행 하였으며, 본 연구에 사용된 모형선은 마티카 목재를 사용하여 목형을 만든 후 폴리우레탄 수지(Poly Urethane Form)를 사용하여 축적비 1/188로 제작하였다.

4.1 시험 장비

선박의 저항성능을 예측하기 위해서는 가능한 한 척도효과가 적은 대형 모형선을 이용하여 예인수조에서 실험을 수행하는 것이 일반적인 관례이다. 그러나 여러 차례 선형을 개선하고자 할 때 소형선박의 경우에는 비교적 작은 소형 모형선을 이용하여 회류수조에서 선체주위 유장의 가시화 실험을 병행하여 실험을 수행하는 것이 시간적인 면이나 경제적인 측면에서 더욱 효과적이다. 이 경우 정량적인 실선의 저항성능 예측에는 예인수조에서의 모형시험보다 다소 정도가 떨어진다 할지라도 정성적인 저항성능의 예측은 충분히 가능한 것으로 알려져 있다.

회류수조에서 소형 모형선의 실험으로부터 실선의 정량적 저항을 예측하기 위해서는 우선적으로 대형 모형선과의 상관관계를 조사하고 이를 대형 모형선으로 확장, 실선의 저항을 추정하는 다단계 해석방법이 최근에 연구 개발되어 사용되고 있다. 조선대학교에서 보유하고 있는 회류수조는 모형선을 고정시키고 수조내의 물을 일정속도로 회전시켜 모형시험을 수행하는 원리로 이루어지며, 시험설비의 면적이나 설치비용, 실험비용 면에서 예인수조에 비하여 매우

경제적이다. 또한, 모형선의 제작과정이나 제작기간 그리고 실험의 신속성 및 간편성 등 예인수조보다 유리한 점이 많으나 모형선의 크기가 예인수조 모형선에 비하여 작게 되므로 척도영향이 크고, 제한된 수조의 크기로 인한 측벽효과, 수조 내 물의 회전력으로 인한 수면의 경사현상 그리고 미세하나마 정재파에 의한 자유표면의 거칠기 등 많은 수정을 고려하여야 한다.

회류수조 실험치를 실선 값으로 확장시키기 위해서는 이러한 수정 방법 및 계수설정에 많은 축적된 자료와 경험이 필요하다.

일본에서는 이 회류수조를 선박의 설계 이외에도 토목, 수산, 해양, 항공, 의학 그리고 체육에까지 이용하고 있다. 근래에는 회류수조 내에서 수영선수의 훈련 및 살 빼기 운동 등에까지 사용되고 있으며, 독일에서는 이를 이용하여 올림픽 수영부문의 기록 갱신에 큰 역할을 하는 등 다양한 용도로 사용되고 있다.

무엇보다도 회류수조는 선체 및 각종 부유체 혹은 고정체 부근의 유선을 직접 육안으로 장시간 관측할 수 있는 것이 커다란 장점이 되고 있어 이를 위한 유선 혹은 유장의 관측 기법이 많이 연구되어지고 있다.

회류수조에서의 실험은 크게 다음의 세 가지로 나누어 구분할 수 있다.

첫째, 파형 및 유선관측시험으로 선체나 각종 부유체의 유장을 관찰하고 문제점을 찾아내어 개선하는 기법으로 장시간 동안 육안으로 직접 유선을 관찰할 수 있기 때문에 커다란 장점이 되고 있다.

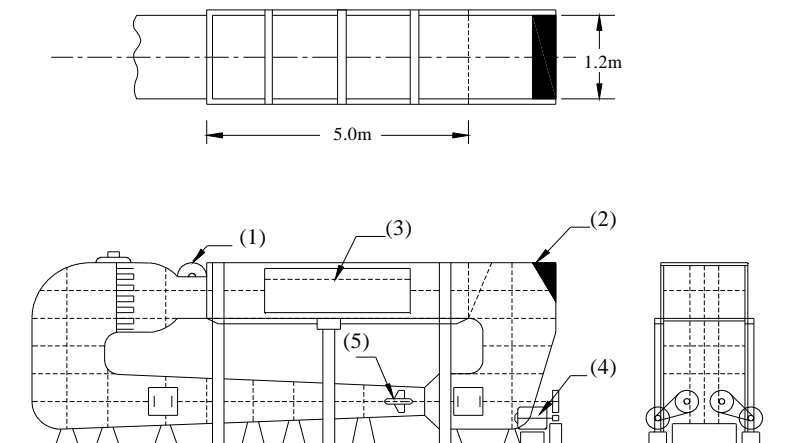
둘째, 정성적 실험은 선형을 설계하거나 선형 개선시 설계변수를 바꾸어가며 선형의 성능을 비교하여 우수선형을 찾아내는데 좋은 도구가 되고 있다.

셋째, 정량적 실험은 실선의 소요마력을 정확하게 산출하는 것으로써, 실선의 소요마력을 추정하기 위해서는 앞서 언급한 회류수조 자체의 전반적인 유체역학적 특성을 고려하여 계측치를 수정하고, 척도의 영향으로 인한 정도가 떨

어지므로 이를 예인수조의 결과치로 변환시키고 다시 이 결과를 실선으로 확장시키는 방법을 사용하면 정도를 높일 수 있다.

본 연구과정의 모형시험은 조선대학교의 회류수조에서 수행하였으며 사용된 장비의 주요특성 및 개략적인 형상을 Fig. 10에 도시하였다.

Type : 2 impellers, vertical type
 L×B×D(whole body) : 14.8m×1.8m×3.7m
 L×B×D(measuring body) : 5.0m×1.2m×0.9m
 Velocity range : 0.4~1.8m/sec
 Velocity distribution : within±1.5% at 1.0m/sec
 Standing wave : 0.8mm at 1.0m/sec
 Surge wave : ±1.0mm at 1.0m/sec
 Water surface inclination : 1/4000 at 1.0m/sec



- (1) Surface Flow Accelerator
- (2) Wave Maker
- (3) Measuring Section
- (4) Motor A.C. 22kw
- (5) Impeller

Fig. 10 Schematic diagram of CWC

4.2 모형시험

4.2.1 저항시험

구상선수 형상변화에 따른 저항성능의 변화를 관찰하기 위하여 Table 1에 나온 주요제원과 같은 모형선에 대하여 저항시험을 실시하였다.

저항시험은 11.0knot~17.0knot 구간에서 만재상태로 실시하였으며, “ITTC-78 국제 표준 저항 해석법” 해석법을 사용하여 해석 하였으며, 실선의 전저항(C_T) 계수를 다음과 같은 식을 사용하여 구하였다.

$$C_T = (1 + k)C_F + C_W = C_F + kC_F + C_W$$

여기서 사용되는 형상저항 계수 k 는 "Prohaska Method"에 의하여 구하였다.

모형시험을 통하여 얻은 실험 결과를 Table 5-1 ~ Table5-4에 나타내었으며 CFD Code를 이용하여 이론계산을 한 바와 마찬가지로 모형시험에서 얻은 조파저항(C_W)을 L1을 기준선형으로 하여 개선치를 확인하고자 정성적으로 비교하여 Table 6에 나타내었으며, 조파저항 곡선을 Fig. 11에 나타내었다. 또한 구상선수의 길이 변화에 따른 전저항(C_T), 조파저항계수(C_W) 곡선을 Fig. 12에 나타내었다.

Table 5-1 Resistance Test Result of L1

V_M (m/s)	F_n	$R_{nM} * E^{-6}$	R_{TM} (N)	$C_{TM} * E+3$	$C_{FM} * E+3$	$C_W * E+3$
0.476	0.1075	0.750	0.726	6.467	4.994	0.154
0.519	0.1173	0.818	0.856	6.407	4.898	0.215
0.563	0.1271	0.887	0.995	6.346	4.812	0.263
0.606	0.1368	0.955	1.156	6.357	4.735	0.372
0.649	0.1466	1.023	1.332	6.381	4.664	0.485
0.693	0.1564	1.091	1.537	6.471	4.600	0.657
0.736	0.1662	1.159	1.760	6.564	4.541	0.825

V_S (knot)	F_n	$R_{nS} * E+3$	EHP(KW)	$C_{TS} * E+3$	$C_{FS} * E+3$	$C_W * E+3$
11.00	0.1075	1.368	4033	2.255	1.473	0.154
12.00	0.1173	1.493	5333	2.297	1.457	0.215
13.00	0.1271	1.617	6867	2.326	1.443	0.263
14.00	0.1368	1.741	8920	2.419	1.430	0.372
15.00	0.1466	1.866	11146	2.517	1.419	0.485
16.00	0.1564	1.990	14725	2.676	1.408	0.657
17.00	0.1662	2.114	18686	2.831	1.398	0.825

※ ITTC Friction Line with Form Factor = 1.264

※ Allowance Coefficient DELTA $C_F * E+3 = 0.206$

Table 5-2 Resistance Test Result of L2

V_M (m/s)	F_n	$R_{nM} * E^{-6}$	R_{TM} (N)	$C_{TM} * E+3$	$C_{FM} * E+3$	$C_W * E+3$
0.476	0.1075	0.773	0.706	6.277	4.961	0.131
0.519	0.1173	0.844	0.834	6.230	4.866	0.202
0.563	0.1271	0.914	0.976	6.213	4.781	0.290
0.606	0.1368	0.984	1.132	6.213	4.704	0.385
0.649	0.1466	1.054	1.302	6.225	4.634	0.484
0.693	0.1564	1.125	1.492	6.270	4.570	0.607
0.736	0.1662	1.195	1.706	6.350	4.511	0.761

V_S (knot)	F_n	$R_{nS} * E+3$	EHP(KW)	$C_{TS} * E+3$	$C_{FS} * E+3$	$C_W * E+3$
11.00	0.1075	1.367	3931	2.194	1.473	0.131
12.00	0.1173	1.492	5225	2.246	1.457	0.202
13.00	0.1271	1.616	6851	2.316	1.443	0.290
14.00	0.1368	1.740	8851	2.396	1.431	0.385
15.00	0.1466	1.865	11267	2.480	1.419	0.484
16.00	0.1564	1.989	14282	2.590	1.408	0.607
17.00	0.1662	2.113	18064	2.731	1.398	0.761

※ ITTC Friction Line with Form Factor = 1.239

※ Allowance Coefficient DELTA $C_F * E+3 = 0.206$

Table 5-3 Resistance Test Result of L3

V_M (m/s)	F_n	$R_{nM} * E^{-6}$	R_{TM} (N)	$C_{TM} * E+3$	$C_{FM} * E+3$	$C_W * E+3$
0.476	0.1075	0.750	0.709	6.272	4.994	0.094
0.519	0.1173	0.818	0.835	6.207	4.898	0.148
0.563	0.1271	0.887	0.975	6.176	4.812	0.223
0.606	0.1368	0.955	1.127	6.155	4.735	0.298
0.649	0.1466	1.023	1.294	6.156	4.664	0.386
0.693	0.1564	1.091	1.477	6.176	4.600	0.486
0.736	0.1662	1.159	1.673	6.197	4.541	0.580

V_S (knot)	F_n	$R_{nS} * E+3$	EHP(KW)	$C_{TS} * E+3$	$C_{FS} * E+3$	$C_W * E+3$
11.00	0.1075	1.368	3893	2.162	1.473	0.094
12.00	0.1173	1.493	5135	2.196	1.457	0.148
13.00	0.1271	1.617	6699	2.254	1.443	0.223
14.00	0.1368	1.741	8588	2.313	1.430	0.298
15.00	0.1466	1.866	10900	2.387	1.419	0.386
16.00	0.1564	1.990	13705	2.473	1.408	0.486
17.00	0.1662	2.114	16982	2.555	1.398	0.580

※ ITTC Friction Line with Form Factor = 1.237

※ Allowance Coefficient DELTA $C_F * E+3 = 0.206$

Table 5-4 Resistance Test Result of L4

V_M (m/s)	F_n	$R_{nM} * E^{-6}$	R_{TM} (N)	$C_{TM} * E+3$	$C_{FM} * E+3$	$C_W * E+3$
0.476	0.1075	0.758	0.712	6.287	4.983	0.128
0.519	0.1173	0.827	0.838	6.218	4.887	0.177
0.563	0.1271	0.896	0.977	6.177	4.802	0.242
0.606	0.1368	0.965	1.135	6.187	4.724	0.348
0.649	0.1466	1.033	1.304	6.192	4.654	0.430
0.693	0.1564	1.102	1.496	6.243	4.590	0.570
0.736	0.1662	1.171	1.716	6.344	4.531	0.744

V_S (knot)	F_n	$R_{nS} * E+3$	EHP(KW)	$C_{TS} * E+3$	$C_{FS} * E+3$	$C_W * E+3$
11.00	0.1075	1.367	3963	2.197	1.473	0.128
12.00	0.1173	1.491	5216	2.227	1.457	0.177
13.00	0.1271	1.615	6772	2.274	1.443	0.242
14.00	0.1368	1.739	8794	2.364	1.431	0.348
15.00	0.1466	1.864	11170	2.442	1.419	0.439
16.00	0.1564	1.988	14208	2.559	1.408	0.570
17.00	0.1662	2.112	18115	2.720	1.398	0.744

※ ITTC Friction Line with Form Factor = 1.236

※ Allowance Coefficient DELTA $C_F * E+3 = 0.206$

Table 6 Qualitative Comparison of C_W (Model Test)

(단위 : %)

선형 속도	L1	L2	L3	L4
11	100	85.06	61.04	83.12
12	100	93.95	68.84	82.33
13	100	110.27	84.79	92.02
14	100	103.49	80.11	93.55
15	100	99.79	79.59	90.52
16	100	92.39	73.97	86.76
17	100	92.24	70.30	90.18

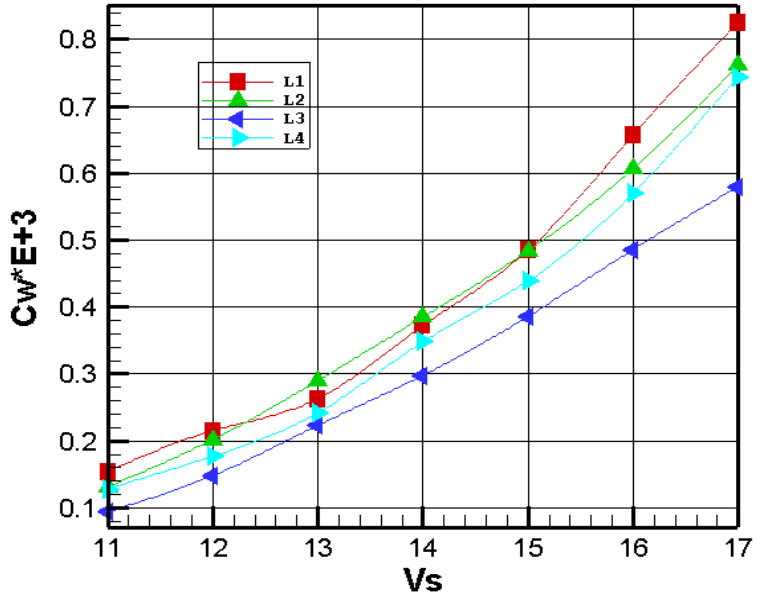


Fig. 11 Comparison of C_W (Model Test)

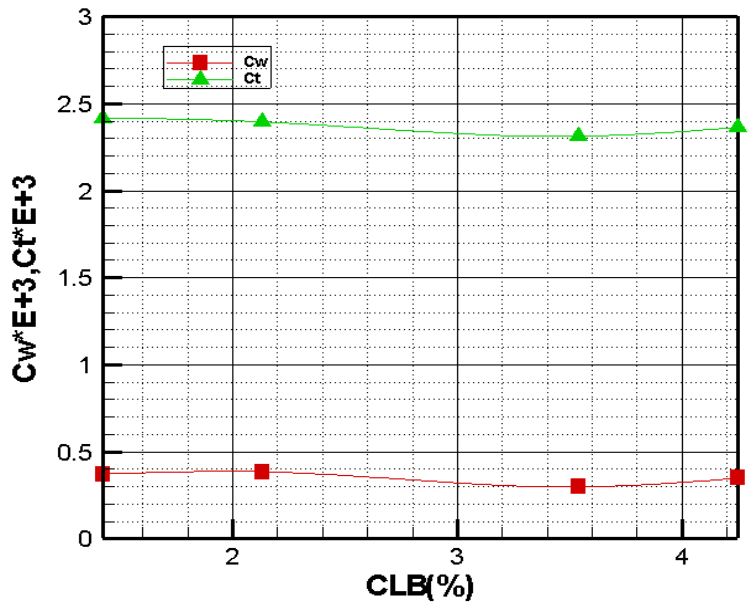


Fig. 12 C_{LB} Vs C_t , C_w Curve (Model Test)

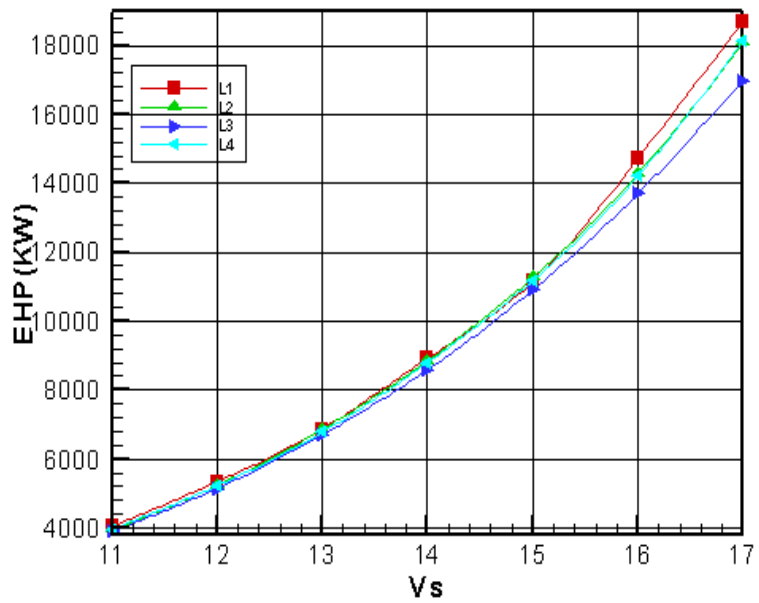


Fig. 13 Comparison of EHP (Model Test)

4.2.2 파형관찰시험

조파저항의 변화를 직접적으로 나타내는 것은 선체 주위의 수면형상의 변화인데 이로부터 파형저항을 직접 계측하는 것이 파형해석법이다.

구상선수선형 변화에 따른 선수파형 변화를 관찰하기 위하여 4척의 모형선에 대한 파형관찰시험을 설계속도인 14knot에서 실시하였으며, 모형시험을 Fig. 14-1 ~Fig. 14-4에, Wave Profile은 Fig. 15에 나타내었다.

파형 관측은 목측으로 실시하였으며 계측된 파고는 $2\pi\zeta/L_W$ 값으로 무차원화 하여 그 결과를 Table 7에 나타내었다.

파형을 관찰하여 얻은 파고를 무차원화 한 식은 아래와 같다.

$$H = 2\pi\zeta/L_W$$

여기서, L_W 는 파장을 나타낸다.

Table 7 Comparison of Non-Dimensional Wave Profiles at 14kts

	$H = 2\pi\zeta/L_W$			
Station \ 선형	L1	L2	L3	L4
A.P	0.086	0.108	0.125	0.126
1	0.052	0.071	0.092	0.093
2	-0.004	-0.004	-0.003	0.015
3	-0.054	-0.055	-0.038	-0.036
4	-0.037	-0.037	-0.018	-0.017
5	-0.018	-0.021	-0.019	-0.019
6	-0.019	0.014	-0.016	-0.019
7	-0.01	0	-0.012	-0.011
8	0	0.017	-0.003	-0.003
9	-0.01	0.017	0.012	0.001
10	-0.01	0.016	0.017	0
11	0.011	0.027	0.029	0.012
12	0.018	0.033	0.036	0.016
13	0.012	0.049	0.034	0.017
14	-0.001	0.0033	0.019	0
15	0	0.001	0	0.001
16	0	0	0.002	0.019
17	-0.154	-0.125	-0.082	-0.067
17.5	-0.231	-0.221	-0.169	-0.167
18	-0.216	-0.239	-0.211	-0.196
18.5	0.003	0.001	-0.125	0.003
19	0.203	0.275	0.201	0.325
19.5	0.055	0.053	0.016	0.596
20	0.66	0.585	0.566	0.68

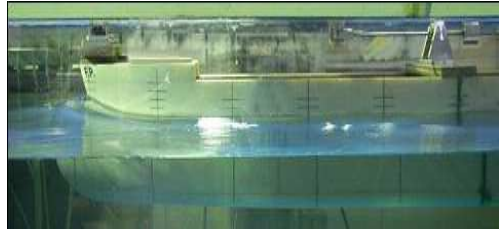


Fig. 14-1 Wave Profile for L1 Model at 14kts



Fig. 14-2 Wave Profile for L2 Model at 14kts

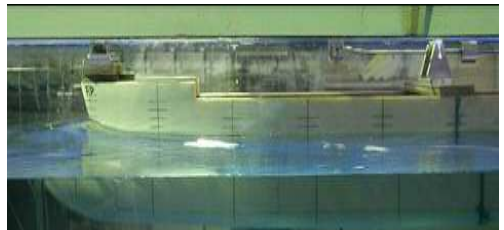


Fig. 14-3 Wave Profile for L3 Model at 14kts

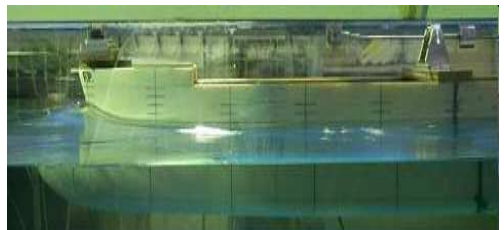


Fig. 14-4 Wave Profile for L4 Model at 14kts

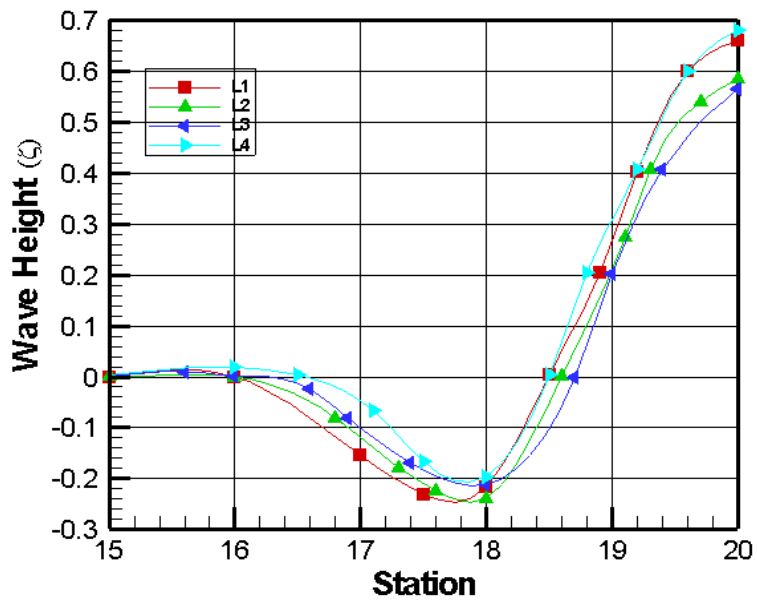
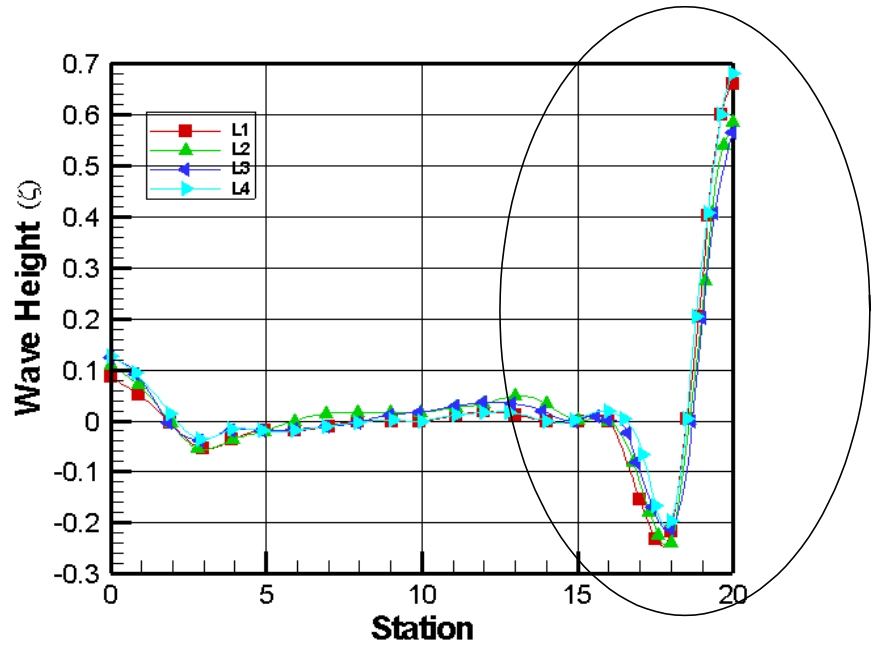


Fig. 15 Comparison of Wave Profiles at 14kts

4.2.3 모형시험 결과 분석

구상선수 길이가 다른 4척의 모형선에 대한 모형선의 유효마력(EHP)을 속도별로 Fig. 13에 나타내었다. 모형시험 결과는 저항시험에 대해서는 "ITTC-57" 마찰저항 곡선에 의한 3차원 계수 해석법으로 해석하고, 파형관찰시험 결과는 무차원화 한 값으로 비교하였다. Fig. 14에서 볼 수 있듯이 저항시험 결과 C_{LB} 가 3~3.5%사이의 구상선수를 가진 선형이 다른 선형에 비하여 진속도 영역에서 가장 좋은 저항성능을 보임을 나타내고 있다. 특히 설계속도 14knot에서 기준선형 C_{LB} 가 1.4%보다 전저항은 약2.5%, 조파저항은 약 19.8% 감소함을 알 수 있었다.

또한 파형해석을 통하여 예측한 4가지 구상선수를 부착한 모형선의 파형을 Fig. 15에 나타내었다. 파형저항 예측의 결과는 저항시험의 결과와 같이 C_{LB} 가 3~3.5%정도인 구상선수가 시험속도 전구간에서 저항성능이 가장 좋은 것으로 나타났다.

제5장 CFD Code 및 모형시험 결과 비교

본 논문에서 수행한 CFD Code 이론계산과 모형시험의 결과 저속 비대선에서 조파저항이 다른 저항성분보다 저항성능에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 나타났으며, Shipflow 및 모형시험으로부터 얻은 배의 전체 길이에 대한 구상선수 길이비에 대하여 조파저항(C_W)값을 Fig. 16에 나타내었다.

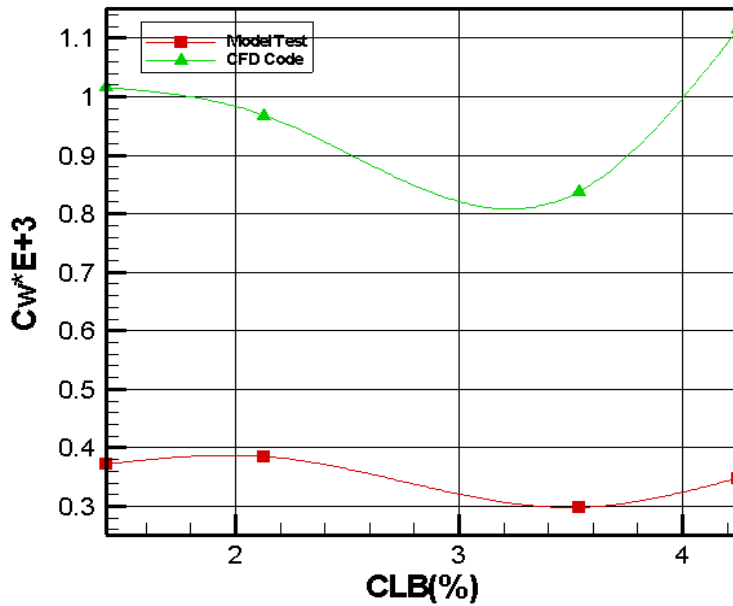


Fig. 16 Comparison of C_{LB} Vs C_W Result

같은 선형에 대하여 이론계산을 수행하여 얻은 값과 모형시험의 결과 값을 비교하였을 때 결과값이 서로 다른 이유는 Shipflow는 선체를 Navier Stokes 방정식과 Rankine Source 방법을 사용하여 이상유체에서 3-D

Modeling 하는 것으로써 실제 유동현상을 해석하므로 정성적, 정량적 결과들이 실제 유체역학적 특성을 모두 수용하는 데는 한계가 있다. 그러나 모형시험의 경우에는 실선을 그대로 축소하여 모형을 만들고, 실제여건을 고려하여 시험하기 때문에 정성적인 저항성능의 예측이 충분히 가능하여 실선의 값에 가깝게 나오기 때문인 것으로 보인다. Fig. 16에서 볼 수 있듯이 저속비대선 경우 3~3.5%의 C_{LB} 값을 갖도록 선형을 설계할 시 저항성능을 개선을 얻을 수 있을 것으로 보여 진다.

제6장 결론

구상선수 선형으로 설계된 저속 비대선의 저항계산을 CFD Code로 하였으며 아울러 회류수조에서 저항시험 및 파형관측시험을 수행하여 저항성능 변화를 실험적으로 검증하였다. 이상의 이론계산 및 모형시험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- CFD Code를 이용하여 이론계산을 수행한 결과 구상선수로 인한 저항의 감소 즉, 저항성능의 감소를 확인하였다.
- 구상선수 길이를 변형한 모형선 4척에 대하여 CFD Code를 이용한 이론계산 및 모형시험을 수행한 결과 전저항은 조파저항에 비례함을 알 수 있었다.
- 선속이 증가할수록 C_{LB} 가 3~3.5%값의 구상선수를 가진 선형의 조파성능이 다른 선형에 비해 더욱 우수한 것으로 나타났으며, 이는 속도의 증가에 따라 이 구간에서 Bulb 효과가 크게 나타나서 선수파가 감소하기 때문으로 보여 진다.
- 본 연구 결과 저속비대선 경우 C_{LB} 가 3~3.5%값을 갖도록 선형을 설계할 시 저항성능을 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 이귀주, 좌순원 : “Rankine Source 분포법에 의한 선체 주위 유동의 수치계산”, 기술현대(Vol. 11 No. 1), 1991
- [2] A.F. Kracht : "Design of Bulbous Bows", SNAME Annual Meeting, Nov., 1978
- [3] Bo hyun Yim : "A Simple Design Theory and Methode for Bulbous Bows of Ships", JSR Vol.18, No.3, Sept., 1974
- [4] G.P.Weinblum : "On Problems of Wave Resistance Research", International Seminar on Theoretical Wave-Resistance, Michigan, Aug., 1963
- [5] J.K. Lunde : "On the Linearized Theory of Wave Resistance for Displacement Ships in Steady and Accelerated Motion", Presented at Summer Meeting of the Society of Naval Architects and Marine Engineers in Washington D.C., Sep., 1951
- [6] B.Yim : "Some Recent Developments in Theory of Bulbous Bow Ships", 4th Symposium on Naval Hydrodynamics, Office of Naval Research, 1964
- [7] 강국진, 김은찬 : “쇄파현상을 고려한 선수형상 개량법에 관한 연구”, 대한조선학회지, 26권 2호, 1989
- [8] 김재신, 이귀주, 좌순원 : "Numerical Calculation Of The Flow Around A Ship By Means Of Rankine Source Distribution", "Vol. 25 대한조선학회지, 제27권, 1990
- [9] 이귀주, 좌순원, 선재욱: “실험적 방법 및 수치계산 방법(SHIPFLOW)을 이용한 LPG 선형 유동해석 비교 및 고찰”, 춘계 조선학회 대회, 2003

- [10] 강신형, 이영길, 현범수 : “저항성분측정에 의한 선형개발 연구”, 한국기계 연구소 연구보고서 UCN 108-189. D, 1982
- [11] Kim, Y.Choi, C.Jansson, L.Larsson : "Linear and Nonlinear Calculations of the Free Surface Potential Flow Around Ships Shallow Water", SNAME, 1990
- [12] 김효철 , 장진호 外 : 실험적 방법에 의한 구상선수 형상의 설계와 저항성능 평가에 관한 연구, 서울대학교 공과대학 부설 해양시스템공학연구소 , 1995
- [13] Hess, J. L. & Smith, A. M. O : “Calculation of Non-Lifting Potential Flow Arbitrary Three-Dimensional Bodies”, Douglas Report No. ES 40622, 1962
- [14] Gadd, G. E. : “A Methode of Computing the Flow and Surface Wave Pattern Around Full Forms”, Trans of The Royal Institution of Naval Architects, Vol. 118, 1977
- [15] Dawson, C. W. : “A Practical Computer Method for Solving Ship- Wave Problems”, 2nd International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, 1977
- [16] Dawson, C. W. : “Calculations with the XYZ Free Surface Program for Five Ship Models", Proceedings of Workshop on Ship Wave-Resistance Computations, DTNSRDC, 1979
- [17] 이귀주 : “실험유체역학”, 도서출판 정자나무, 1998
- [18] 이광일 : “활주형 선박의 선형 특성과 저항성능과의 상관관계에 관한 실험적연구”, 조선대학교 석사학위논문, 2001
- [19] 이귀주 : “비대선에서 구상선수 주위 유선의 방향이 저항성능에 미치는 영향에 관한 연구”, 인하대학교 박사학위논문, 1992년 2월
- [20] 이창훈 : “중형컨테이션 선박의 선수선형의 변화가 미치는 영향에 관한 연구”, 조선대학교 석사학위논문, 2002년 2월

감사의 글

대학원 생활을 시작한지가 엇그제 같은데 벌써 졸업 할 때가 되었습니다. 먼저 부족한 저에게 항상 조언과 관심을 보여주신 이귀주 교수님께 감사의 말씀을 올립니다. 또한 논문이 나오기까지 저의 논문을 심사해 주시며 많은 가르침을 베풀어주신 권영섭교수님과 STX조선 김성기 사장님께 감사의 말씀을 올립니다. 학부시절부터 학교생활에 많은 도움을 주신 선박해양공학과 방한서교수님, 박제웅교수님, 윤덕영교수님께 감사드리고, 논문의 세심한 부분까지 잘 챙겨주신 좌순원교수님께도 감사를 드립니다.

대학원 생활을 같이하며 기쁨과 슬픔을 함께 겪은 저항추진실험실 식구들 모두에게 감사의 뜻을 전합니다.

특히, 끝없는 사랑으로 보살펴 주신 부모님께 진심으로 감사와 사랑의 마음을 전하며 이 논문을 바칩니다. 또한 사랑하는 가족들에게도 고마움의 뜻을 전합니다.

마지막으로 힘들고 지칠때 항상 힘이 되어준 태규오빠에게도 감사의 마음을 전합니다.

2005년 4월

박 나 라 올림

저작물 이용 허락서

학 과	선박해양공학과	학 번	20037039	과 정	석사
성 명	한글: 박나라 한문 :朴나라 영문 : PARK NA RA				
주 소	광주광역시 북구 우산동 518-129번지				
연락처	E-MAIL : shipnara@hanmail.net				
논문제목	한글 : 비대선 선형의 구상선수 (Bulbous Bow) 길이 변화에 따른 저항성능 변화에 관한 연구 영문: A Study on the Analysis of Resistance Performance by the Various Length of Bulbous Bow for Large Full Form Ship				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

2005년 06월 일

저작자: 박 나라 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하