creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

**저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.**

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000264942
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2015년 8월

석사학위 논문

# LR1 Tanker의 선형최적화에 관한 연구

조선대학교 대학원

선 박 해 양 공 학 과

박 희 주

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# LR1 Tanker의 선형최적화에 관한 연구

A Study on the Hull Form Optimization of LR1 Tanker

2015년 8월 25일

조선대학교 대학원

선 박 해 양 공 학 과

박 희 주

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# LR1 Tanker의 선형최적화에 관한 연구

지도교수 이 귀 주

이 논문을 선박해양공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2015년 4월

조선대학교 대학원

선 박 해 양 공 학 과

박 희 주

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 박희주의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교 수 정 세 민 (인)

위 원 조선대학교 교 수 이 귀 주 (인)

위 원 충남테크노파크선임연구원 안 정 선 (인)

2015년 5월

조선대학교 대학원

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 목 차

표 목 록 ..... iii
그 림 목 록 ..... iv
NOMENCLATURES ..... vi
ABSTRACT ..... viii

제 1장 서론 ..... 1
1.1 연구배경 ..... 1
1.1 연구목적 및 방법 ..... 2

제 2장 선형설계 ..... 3
2.1 선수형상 설계 ..... 3
2.2 선미형상 설계 ..... 6

제 3장 CFD프로그램을 이용한 수치해석 ..... 8
3.1 수치해석 방법 ..... 8
3.1.1 지배방정식 ..... 8
3.1.2 난류모형 ..... 9
3.2 좌표계 ..... 10
3.3 수치격자 ..... 11
3.4 수치해석 결과 ..... 13

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4장 모형시험 ..... 19
4.1 개요 ..... 19
4.2 모형시험 ..... 20
4.3 모형시험 결과 ..... 23
4.3.1 최종 개발선형의 모형시험 결과 ..... 23
4.3.2 최종 개발선형과 기존 LR1 Tanker의 모형시험 결과 비교 ..... 26
제 5장 CFD 수치해석과 모형시험 결과값 비교 ..... 27
제 6장 결론 ..... 28
참고문헌 ..... 29

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 표 목 록

Table 1 Table 1 Principal Particulars of Ship and Models ····· 3

Table 2 Comparison of Bulbous Bow Length ····· 4

Table 3 Comparison of Bulbous Bow Height ····· 5

Table 4 구상선수 높이에 따른 CFD 결과 비교 ····· 13

Table 5 구상선수 길이에 따른 CFD 결과 비교 ····· 13

Table 6 Principal Dimensions of the Model and Ship ····· 20

Table 7 Principal Dimensions of the Stock Propeller ····· 22

Table 8 Result of Resistance Test ····· 23

Table 9 Result of Self-propulsion Test ····· 23

Table 10 Result of Full Scale Prediction ····· 23

Table 11 Speed & Brake Power ····· 26

Table 12 Brake Power of CFD and Model Test (at NCR Power with S.M.15%) ····· 27

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 그 림 목 록

Fig. 1 교토의정서 발효 ····· 1

Fig. 2 한국 및 외국의 온실가스 감축 목표 ····· 1

Fig. 3 선박에서의 이산화탄소 배출량 ····· 2

Fig. 4 EEDI (Energy Efficiency Design Index) 계산식 ····· 2

Fig. 5 Profile of Bulbous Bow Length ····· 4

Fig. 6 Profile of Bulbous Bow Height ····· 5

Fig. 7 Body Plan of Bulbous Bow Height ····· 5

Fig. 8 선미형상의 분류 (U형, V형) ····· 7

Fig. 9 최종 선미 단면형상 ····· 7

Fig. 10 Coordinate system ····· 10

Fig. 11 LR1 Tanker의 선체격자 ····· 11

Fig. 12 LR1 Tanker의 공간격자 ····· 12

Fig. 13 Comparison of Wave profile(at 14.5kts) ····· 14

Fig. 14 Comparison of Wave pattern(at 14.5kts) ····· 15

Fig. 15 Comparison of pressure distribution of fore body(at 14.5kts) ····· 16

Fig. 16 Comparison of pressure distribution of after body(at 14.5kts) ····· 17

Fig. 17 Speed - Power Prediction Curve (at CFD) ····· 18

Fig. 18 Photographs of the Model Ship ····· 21

Fig. 19 Drawing of the Stock Propeller ····· 22

Fig. 20 Speed - Power Prediction Curve (at NCR) ····· 24

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 21 Speed - Power Prediction Curve (at NCR with S.M.15%) ····· 25

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# NOMENCLATURES

$CB$ : Block coefficient

$CP$ : Prismatic coefficient

$CM$ : Midship section coefficient

$CW$ : Waterplane coefficient

$C_{TS}$ : Specific total resistance coefficient of ship

$C_{TM}$ : Specific total resistance coefficient of model

$C_{FS}$ : Specific frictional coefficient of ship

$C_{FM}$ : Specific frictional coefficient of model

$C_R$ : Specific residuary resistance coefficient

$C_W$ : Specific wavemaking resistance coefficient

$k$ : Three dimensional form factor

$R_{TM}$ : Total resistance of model

$V_S$ : Speed of ship

$V_M$ : Speed of model

$PB$ : Brake power

$PD$ : Delivered power at propeller

$PE$ : Effective power

$Rn$ : Reynolds number

$Fn$ : Froude number

$FD$ : Towing force in a self-propulsion test, measured

$QM$ : Torque of model

$TM$ : Thrust of model

$N$M : Rate of revolution of model

$t$ : Thrust deduction fraction

$w_S$ : Taylor wake fraction of ship

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$w_M$ : Taylor wake fraction of model

$\eta_D$ : Propulsion efficiency or quasi-propulsive coefficient

$\eta_H$ : Hull efficiency

$\eta_O$ : Propeller open water efficiency

$\eta_R$ : Relative rotative efficiency

$J$ : Advance coefficient of ship

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# ABSTRACT

## A Study on the Hull Form Optimization of LR1 Tanker

Park Hee-Ju
Advisor : Prof. Lee Kwi-Joo, Ph.D.
Department of Navel Architecture & Ocean Engineering,
Graduate School of Chosun University

These days, the shipping companies and shipyards are required a optimization hull form design according to improved fuel efficiency and application of EEDI. In the present study, the target vessel is LR1 Tanker. The hull design was using the EZ-Hull program. The performance is verified through numerical calculation using the CFD program (wavis2.2) and model tests. The goal of this paper is to designed optimization of hull form for improved fuel efficiency.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 제 1장 서론

## 1.1 연구배경

세계 38개 선진국은 전 세계의 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해 Fig. 1과 같이 2008년부터 2012년까지 교토의정서(기후변화협약)에 따라 자국에 할당된 이산화탄소 배출량 감축을 시행하고 있다. 한국은 교토의정서상 38개 의무감축국에서 제외 되었지만 1990년 이후 제조업 중심의 경제성장으로 온실가스 배출량이 2배가량 급격히 증가해 OECD 가입국 중 증가율 1위와 온실가스 배출량 9위를 기록했다. 이에 2010년 4월 녹색성장법이 시행되었으며 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 2020년까지 국가 온실가스 중기 감축목표를 2005년 대비 4%(배출전망치 대비 30%) 수준으로 최종 확정하였다.

Fig. 1 교토의정서 발효

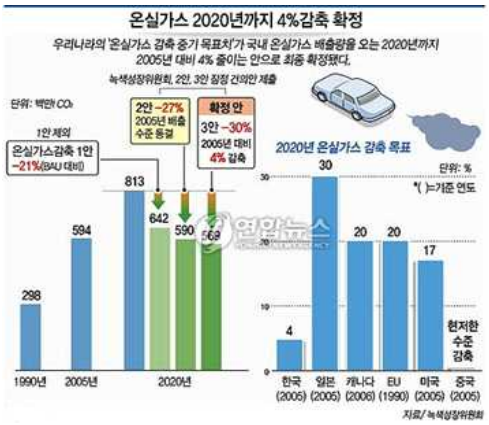


Fig. 2 한국 및 외국의 온실가스 감축 목표

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

국제해사기구(IMO)는 2010년 3월 22일 60차 MEPC회의를 열어 전 세계 이산화탄소 배출량의 3.3%(Fig. 3)를 차지하는 선박에 대한 연비규제와 선박 운항시 온실가스 감축 방안에 대한 논의를 하였고 선박으로부터 온실가스 배출 저감을 위한 국제해사기구(IMO) 해양환경보호위원회(MEPC)회의를 통해 신조선 에너지효율설계지수(EEDI) 규정은 2013년 1월 1일부터 계약되는 신조선에 강제 적용되었다. 그러나 아직 결정되지 않은 에너지효율설계지수(EEDI) 적용항목들은 여전히 IMO Framework에 따라 논의가 활발히 진행중이며 에너지효율설계지수(EEDI) 계산식은 Fig4에 나타내었다.

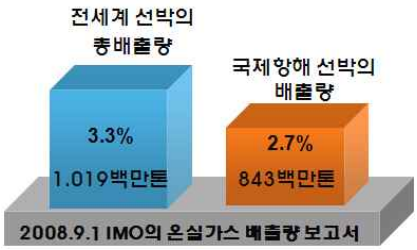


Fig. 3 선박에서의 이산화탄소 배출량

$$EEDI\,(g/ton\cdot mile) = \frac{\overbrace{CO_2\ Factor \times FOC\,(g/kW\cdot h) \times Engine\ output\,(kW)}^{\langle CO_2\ amount\ (g)\rangle}}{\underbrace{DWT\,(ton) \times Ship\ speed\,(mile/h)}_{\langle Transportation\ (ton\cdot mile)\rangle}}$$

Fig. 4 EEDI (Energy Efficiency Design Index) 계산식

## 1.2 연구목적 및 방법

온실가스 절감을 위한 세계 동향에 맞추어 해운회사 및 선사들은 탄소 배출량 규제 등 친환경 이슈가 부각되면서 연비를 절감할 수 있는 최적화된 선형설계가 필요하다. 본 논문에서는 MR Tanker 대비하여 경쟁력 있는 LR1 Tanker를 개발 대상으로 선정하였으며, 에너지효율설계지수(EEDI) 도입 및 선주들의 연비개선에 대한 요구를 고려하여 선형을 개발하기로 하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

개발목표는 저항 감소를 위한 선형 최적화로서 개발선형은 CFD 프로그램을 활용한 수치계산과 모형시험을 수행하여 선형성능을 확인하였다.

# 제 2장 선형설계

## 2.1 선수형상 설계

선수형상은 점성저항보다는 조파저항에 미치는 영향이 지배적이므로 조파저항 최소화 관점에서 설계하였다. 개발선형인 LR1 Tanker와 같은 중속선인 경우 구상선수의 설계에 따라서 선수파의 방향이 바뀌게 되고 이로 인하여 조파저항에 큰 영향을 주게 된다. 본 논문에서는 구상선수의 길이와 높이를 다르게 설계함으로써 그에 따른 저항감소를 확인하기 위하여 구상선수의 길이가 다른 6척의 선형과 구상선수의 높이가 다른 3척의 선형을 설계하였다.

실선과 모형선의 주요제원은 Table 1에 나타내었으며, 선형별 구상선수 길이와 높이는 Table 2와 Table 3에 각각 나타내었다. 구상선수의 길이와 높이를 변화시킨 선형의 Profile 과 Body Plan은 Fig. 5 ~ Fig. 7에 나타내었다.

Table 1 Principal Particulars of Ship and Models

| 구 분 | | SHIP | MODEL |
|---|---|---|---|
| 축척비 | (λ) | 1 | 31.2 |
| LBP | (m) | 219 | 7.0192 |
| LWL | (m) | 223 | 7.1474 |
| BEAM | (m) | 32.24 | 1.0333 |
| DRAFT(TF) | (m) | 12.2 | 0.3910 |
| DRAFT(TA) | (m) | 12.2 | 0.3910 |
| CB | | 0.833 | |
| CP | | 0.837 | |
| CM | | 0.995 | |
| LCB | (% of LBP) | 2.9963 | |

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 2 Comparison of Bulbous Bow Length

| 선형 | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bulb Length (m) | 5.0 | 5.1 | 5.2 | 5.3 | 5.4 | 5.5 |

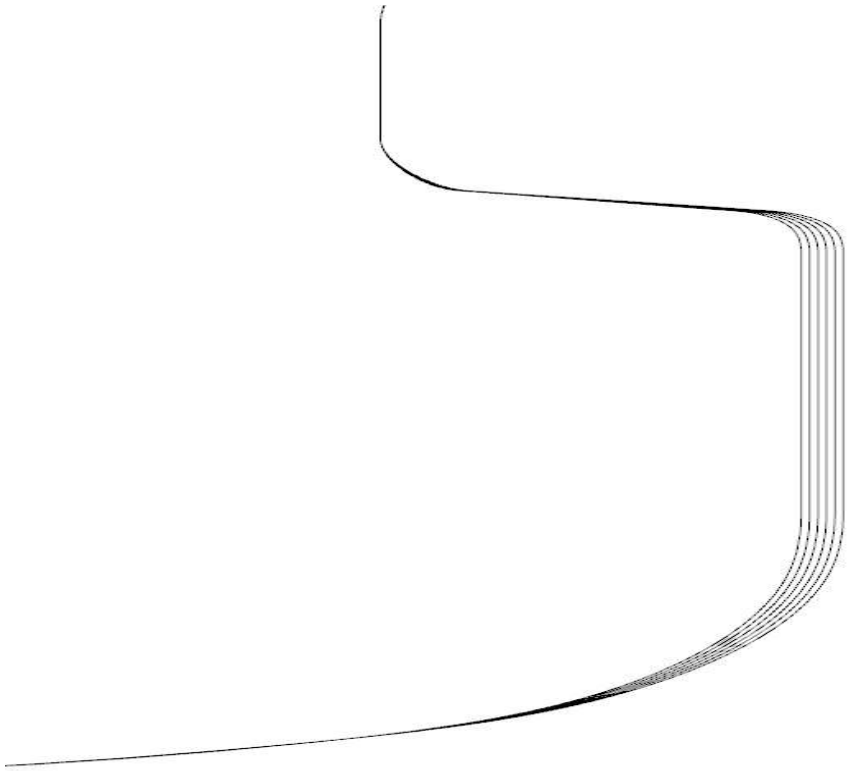

Fig. 5 Profile of Bulbous Bow Length

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3 Comparison of Bulbous Bow Height

| 선형 | H1 | H2 | H3 |
|---|---|---|---|
| Bulb Height (m) | 9.5 | 10.0 | 10.5 |

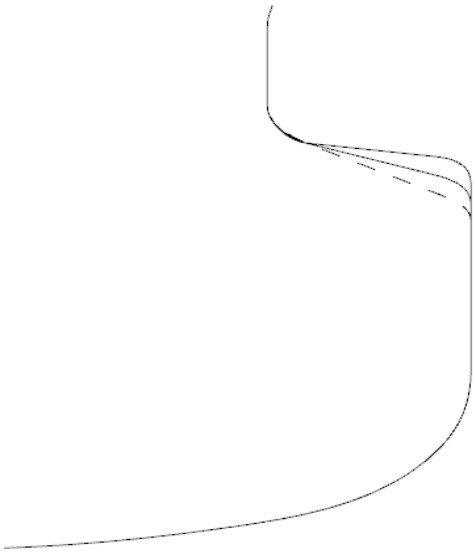

Fig. 6 Profile of Bulbous Bow Height

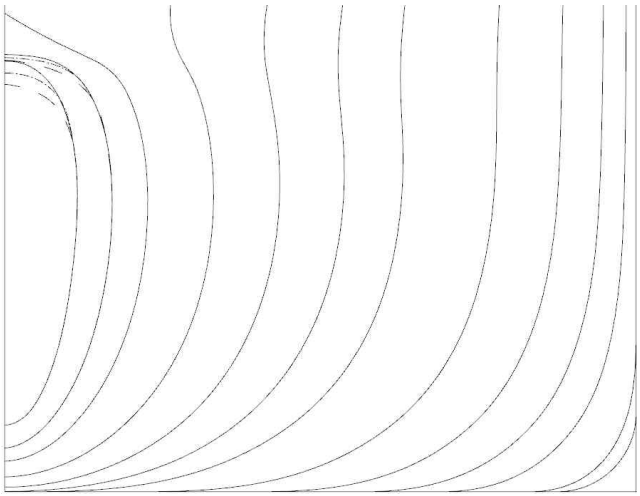

Fig. 7 Body Plan of Bulbous Bow Height

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 2.2 선미형상 설계

일반적으로 선박의 선미부는 점성저항에 미치는 영향이 매우 커서 전체 저항성능에 기여하는 바가 지대함과 동시에, 프로펠러가 설치되는 구역이기 때문에 선박의 추진효율 및 프로펠러 자체에서 발생되는 공동현상과 선체변동압력의 수준에도 직접적인 영향을 끼친다. 따라서 저항 최소화 및 추진효율 극대화를 실현할 수 있는 개념의 적용, 프로펠러 성능에 유리한 환경조성을 위한 유동분포 균일화, 반류 최대치의 최소화 등 다양한 설계요소를 고려하여 설계하였다.

Fig. 8에 보이는 V형 선미형상은 과거 비대한 선미부에 많이 채용되었던 저저항형 선형으로, 선미부 단면형상을 V형으로 유지하면서 프로펠러 축심의 아래쪽은 작은 쐐기 형태로 처리하고 있다. 쐐기 형태는 3차원 유동의 흐름과 일치하도록 설계되어야 하지만, 선미부의 구조 및 기관실 배치 등의 반드시 필요한 면적을 고려하면, 프로펠러 바로 위쪽으로 들어오는 유동의 결속각이 커짐으로써 반류분포가 불균일하고 반류 최대치가 현재의 중간 U형에 비해 크게 증가되는 결점이 있다. 따라서 V형 선미형상은 작은 저항치를 가지는 장점이 있는 반면, 불균일성은 크지만 전체적으로 작아진 유효반류와 더불어 추진기 작동 시 추진기 상부영역에서 U형에 비해 상대적으로 큰 압력강하가 발생하여 추력감소비가 증가함으로써 선각효율과 추진효율이 열악해지는 단점이 있다.

한편 Fig. 8의 U형의 선미형상은 V형과 반대의 개념으로 선미 단면형상이 U형화 되어 점성에 의한 운동량 손실이 크고 형상저항 및 박리영역의 증대에 따라 저항이 전체적으로 커진다. 반면에 만곡부 와류의 발생이 현저하며 전반적으로 유속이 감소하여 평균 공칭반류의 크기가 V형 선미에 비해 상당히 증가하지만, 추력 발생이 큰 추진기 상부영역에서의 결속각이 작고 선체와 추진기 사이의 거리가 크므로 추력감소비가 작아지며, 이에 따라 선각효율 및 추진효율이 대체로 높고 반류 최대치가 그다지 크지 않다는 장점이 있다.

개발선형인 LR1 Tanker의 선미형상은 위에서 언급한 U형, V형의 장점만

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

을 따서 저항에 유리한 V형 상부와 높은 효율 및 균일한 반류분포를 가지는 U형이 결합된 선미 벌브형으로 설계하였으며 그 단면형상을 Fig. 9에 나타내었다.

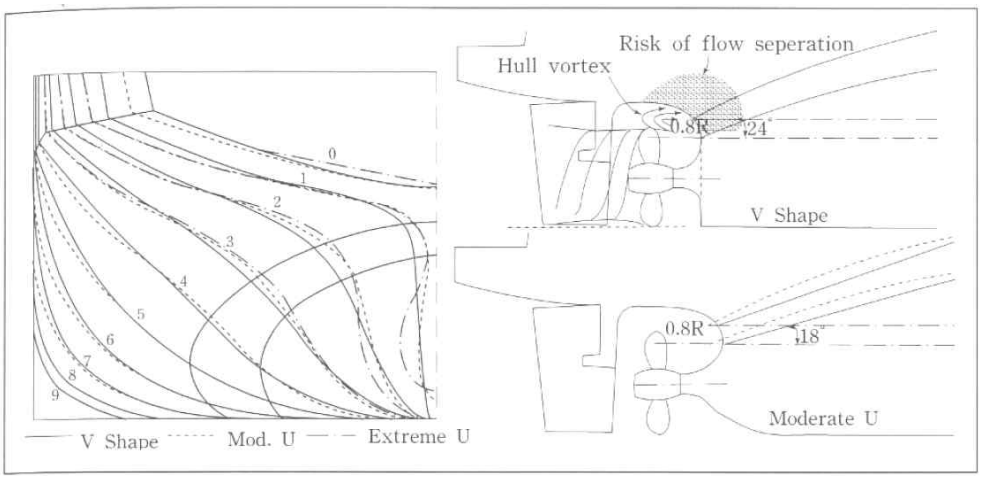


Fig. 8 선미형상의 분류 (U형, V형)

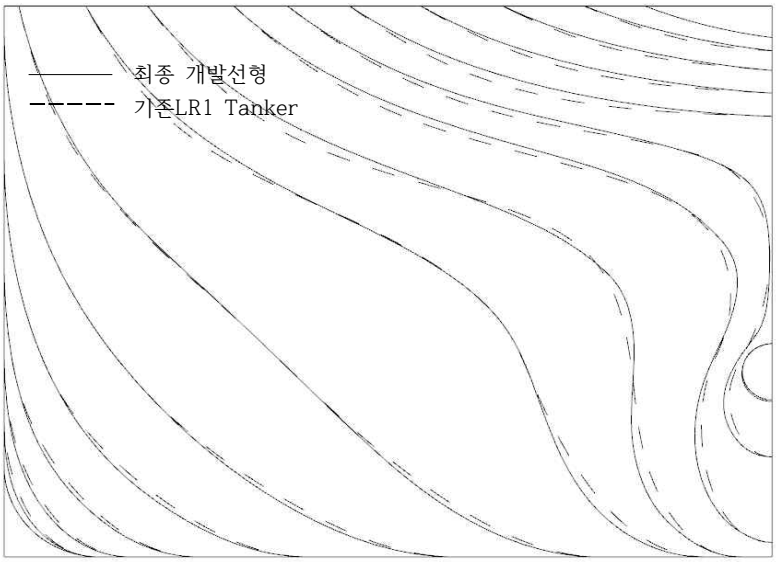


Fig. 9 최종 선미 단면형상

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 제 3장 CFD프로그램을 이용한 수치해석

최근 전산유체역학(CFD)을 이용한 선형설계는 매우 활발하게 이루어지고 있으며, 특히 CFD 프로그램 해석을 통해 얻어지는 조파 특성, 선체표면 압력분포, 선체표면의 스트림라인(Streamline) 및 반류분포 등의 결과가 실제 모형시험 결과와 비슷한 경향을 나타내기 때문에 선형설계에 활발하게 이용되고 있다. CFD 프로그램을 이용한 수치해석은 비교적 짧은 시간에 저렴한 비용으로 선형 평가가 가능하면서도 모형시험에 비해 선형 설계에 직접 반영할 수 있는 상세한 정보를 줄 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 LR1 Tanker 선형성능을 검증하기 위하여 상용프로그램으로 널리 이용되고 있는 WAVIS 프로그램을 이용하여 수치계산을 수행하였다.

## 3.1 수치해석 방법

### 3.1.1 지배방정식

수치계산을 위한 기존 좌표계는 선박을 기준으로 하는 좌표계로서 선체 길이방향을 X축, 연직 상방향을 Z축, 그리고 선체 폭 방향을 Y축으로 정하였다. 3차원 비압축성 난류유동의 지배 방정식인 연속방정식 Reynolds averaged Navier Stockes(RANS) 방정식은 직교좌표 $x_i = (x, y, z)$를 사용해서 다음과 같이 쓸 수 있다.

- continuity equation:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

- Momentum equation:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i}$$

계산에 사용된 모든 변수들은 유입속도, 수선간 길이, 그리고 밀도로

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

무차원화하였고, $u_i=(u,v,w)$는 각좌표축 $x_i=(x,y,z)$ 방향의 평균속도 성분을 $\tau_{ij}$ 는 점성과 난류에 의한 유효응력(effective stress)을 나타내며, p는 정압을 나타낸다. 유효응력은 Boussinesq의 isotropic eddy viscosity model을 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_{ij}=v_e[\frac{\partial u_i}{\partial x_i}+\frac{\partial u_i}{\partial x_i}]-\frac{2}{3}\delta_{ij}k$$

여기에서 $k$는 난류의 운동에너지이고 $v_e$는 turbulent eddy viscosity $v_t$에 유체의 운동학적 점성계수 v를 합한 유효점성 계수로서 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$v_e=v_t+\frac{1}{Rn}$$

Rn은 Reynolds 수이고, turbulent eddy viscosity coefficient $v_t$는 Realizable $k-\epsilon$ 난류모형을 사용하였다.

### 3.1.2 난류모형

본 논문에서는 two-equation turbulence closure의 하나인 난류모형을 사용하였다. 통상 공학 계산에서는 $k-\epsilon$ 모형 중에서 Standard $k-\epsilon$ 모형이 가장 널리 사용되어 왔으나, 본 논문에서는 선체 주위의 유동에서 프로펠러면의 반류분포 및 저항성능에서 좋은 결과를 주는 것으로 알려진 Realizable $k-\epsilon$ 모델을 사용하였으며, 이는 Reynolds stress tensor의 realizability를 고려하여 개발된 Reynolds stress 모형으로부터 얻어진 2개의 편미분 방정식을 풀어야 하는 two-equation turbulence model의 하나이다.

난류 유동의 경우에서도, 벽면에서는 유체 유동의 속도가 벽면의 이동속도와 같아야 한다는 no-slip 조건이 만족되어야 한다. 이러한 조건 때문에 난류 성분들은 벽면 근처에서는 그 활동이 크게 제약을 받게 되

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

고 low-Reynolds number model 또는 near-wall turbulence model을 사용해야 한다. 그러나 이를 적용하기 위해서는 벽면 아주 가까운 곳까지 유동을 계산하여야 하기 때문에 대단히 많은 수의 격자가 필요하고, 수치 계산을 수행할 때의 수렴도(convergence) 및 안정성(stability)이 크게 떨어지는 등 많은 어려움에 봉착하게 된다.

본 논문에서는 수치 계산의 정도를 유지하면서도 효율성을 보장하기 위해서 벽면에서 적당한 위치에서 난류 경계층 이론에서 널리 알려진 벽법칙(law of the wall)을 사용하기로 하고, 현재 가장 많이 쓰이고 있는 Launder and Spalding' s wall function(LSWF)을 적용하였다.

## 3.2 좌표계

수치계산을 위한 기본 좌표계는 Fig.10에 도시한 바와 같이 선체 길이 방향을 x축, 연직 상방향을 z축, 그리고 폭 방향을 y축으로 하는 직교 좌표계를 사용하였다. 좌표계의 원점은 선체 중심면(center plane)과 중앙면(midship), 정수면(calm free-surface)이 만나는 점에 잡았다.

WAVIS 2.2 프로그램을 이용한 포텐셜 유동해석을 위한 패널의 분포는 선체 중심면(Centerplane)과 정수면(Calm free-surface)을 기준으로 생성하였다. 모형시험과 동일 구간인 노트에서 계산을 수행하기 위한 패널은 실선의 수선간 길이(LBP)로 무차원화 하여 Fn=0.16에 맞추어 생성하였다.

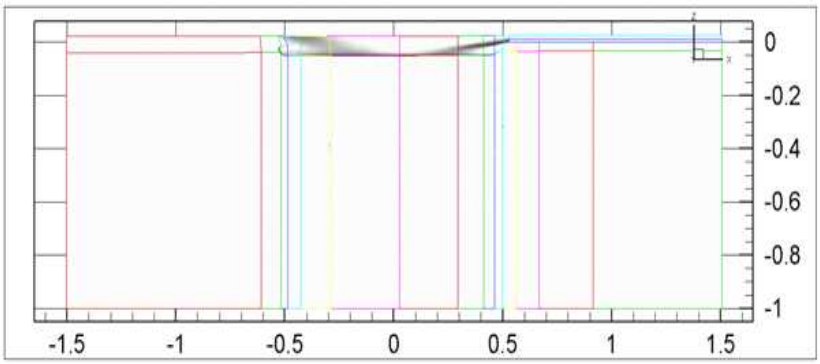


Fig. 10 Coordinate system

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 3.3 수치격자

선체표면 및 공간격자 생성 또한 WAVIS2.2프로그램을 이용하여 생성하였으며, 생 성된 격자는 Fig.11과 Fig 12에 나타내었다.

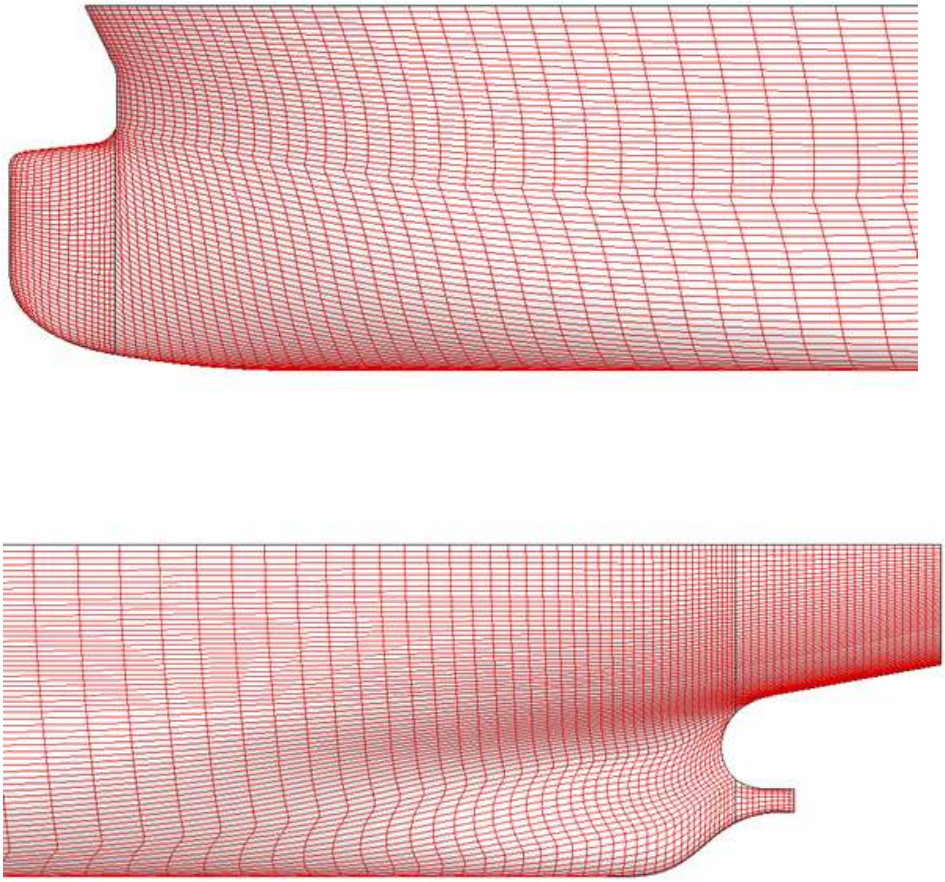

Fig. 11 LR1 Tanker의 선체격자

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

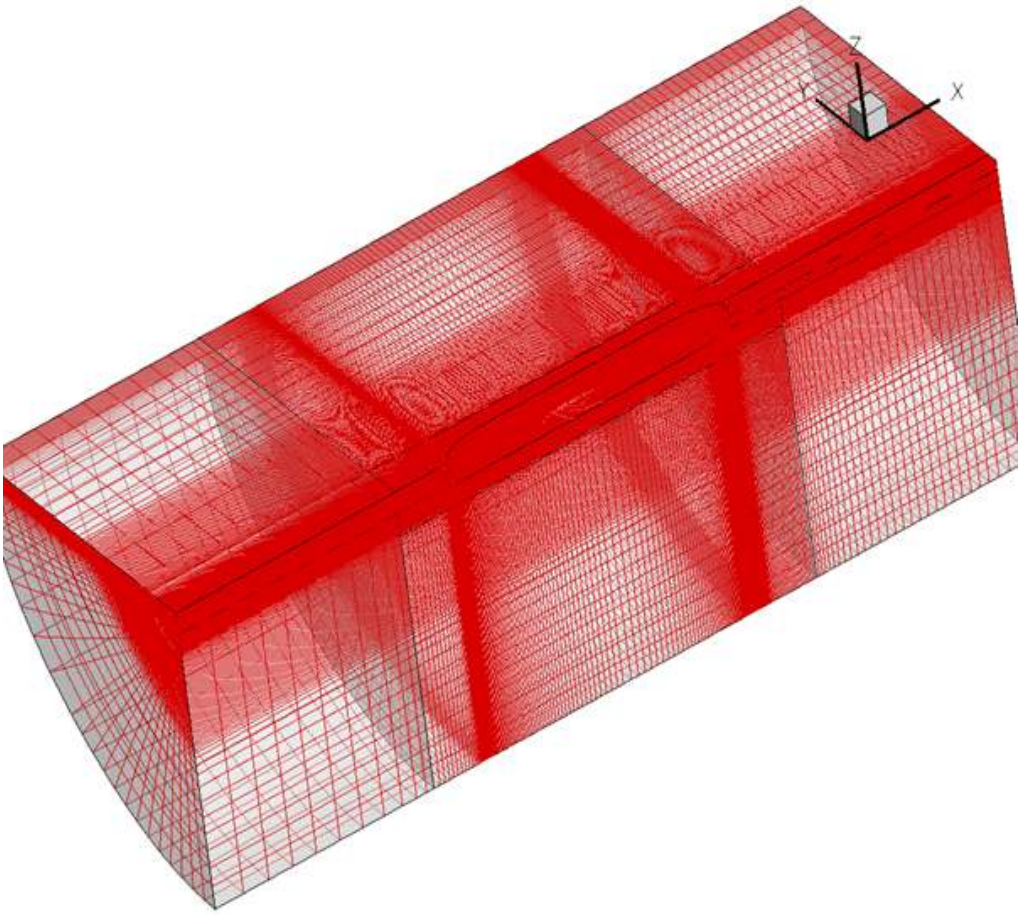


Fig. 12 LR1 Tanker의 공간격자

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 3.4 수치해석 결과

수치해석은 모형시험과 축척 및 온도 그리고 속도 등 동일한 조건으로 계산하였고 구상선수의 길이와 높이 변화에 따른 조파저항의 감소를 확인하기 위하여 전저항을 조파저항과 마찰저항으로 분리하였다. 형상계수(Form Factor)는 Prohaska's Method로 계산하여 조파저항을 구했으며 그 결과값은 Table 4와 Table 5에 각각 나타내었다.

$$C_W = C_{TM} - (1+k)C_{FM}$$

$$C_T / C_{FO} = (1+k) + AF^n / C_{FO} \text{ (Prohaska's Method)}$$

Table 4 구상선수 높이에 따른 CFD 결과 비교

| Bulb Length | 5.3m | | |
|---|---|---|---|
| Bulb Height | 9.5m | 10.0m | 10.5m |
| $C_{TM}$ | 3.78204 | 3.76709 | 3.75893 |
| $C_{FM}$ | 3.24135 | 3.24135 | 3.24135 |
| $C_W$ | 0.68345 | 0.6685 | 0.66034 |

Table 5 구상선수 길이에 따른 CFD 결과 비교

| Bulb Height | 10.5m | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bulb Length | 5.0m | 5.1m | 5.2m | 5.3m | 5.4m | 5.5m |
| $C_{TM}$ | 3.76916 | 3.76660 | 3.76246 | 3.75893 | 3.75474 | 3.75193 |
| $C_{FM}$ | 3.24135 | 3.24135 | 3.24135 | 3.24135 | 3.24135 | 3.24135 |
| $C_W$ | 0.67057 | 0.66801 | 0.66387 | 0.66034 | 0.65615 | 0.65334 |

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

최종 개발선형의 선형성능 개선을 확인하기 위해 최종 개발선형과 개발선형의 Mother ship인 기존 LR1 Tanker의 Wave profile, Wave pattern, pressure distribution을 비교하여 Fig.13 ~ Fig.16에 나타내었으며 최종 개발선형의 속도별 CFD 결과를 바탕으로 Brake Power(PB)를 계산하여 Fig.17에 나타내었다.

Fig.13의 표시된 부분의 최종 개발선형과 기존 LR1 Tanker의 Waver profile을 비교해보면 기존 LR1 Tanker의 파고는 약 0.0055, 최종 개발선형의 파고는 약 0.0045로 최종 개발선형이 파 상쇄에 더 효율적인 것을 확인 할 수 있었으며 Fig.14 또한 이와 비슷한 경향을 보였다.

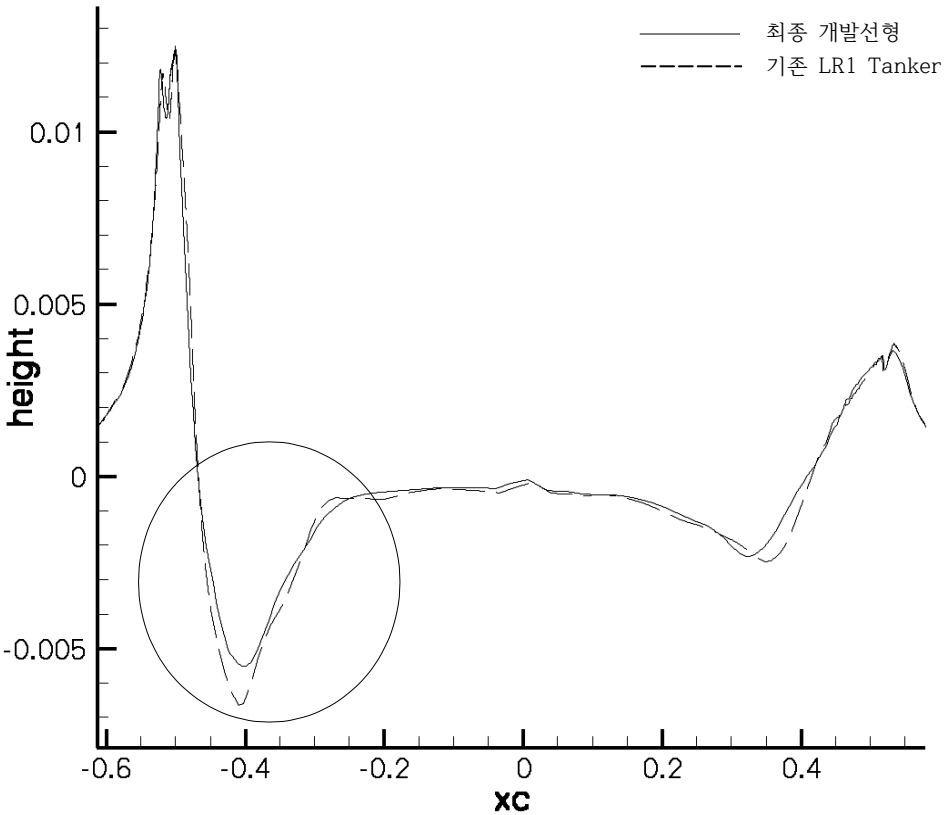


Fig. 13 Comparison of Wave profile(at 14.5kts)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

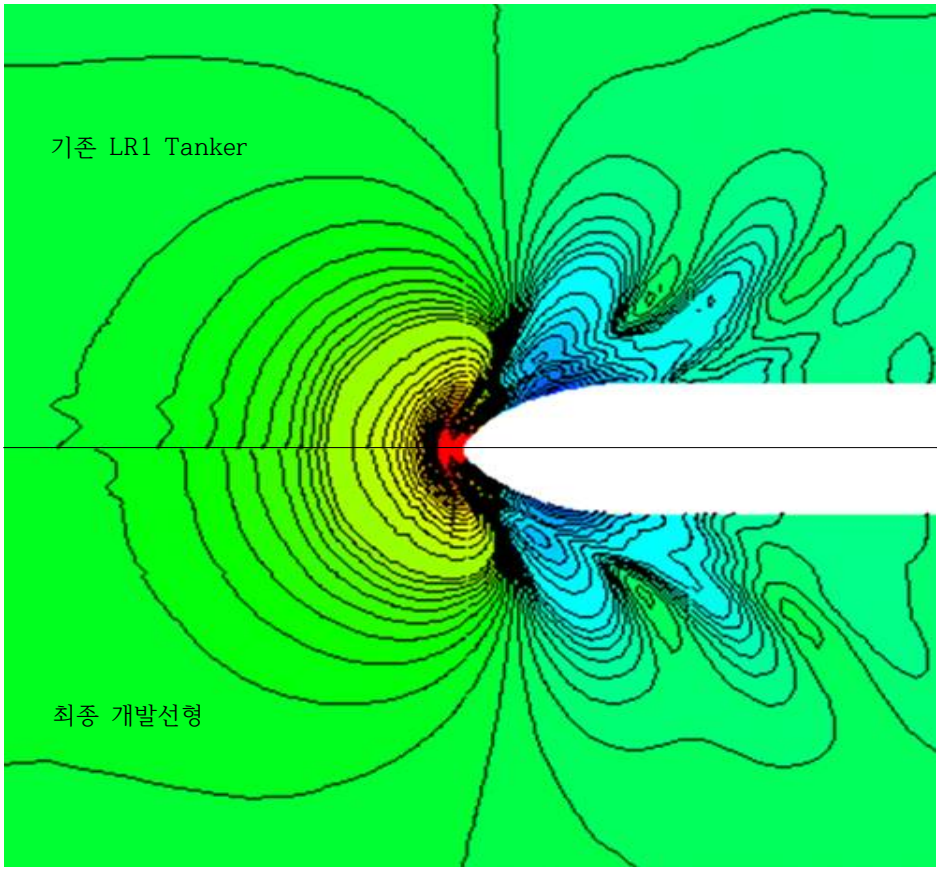


Fig. 14 Comparison of Wave pattern(at 14.5kts)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig.15와 Fig.16은 최종 개발선형과 기존 LR1 Tanker의 압력분포를 나타낸 것으로 최종 개발선형의 선수 및 선미의 압력변화가 더 적은 것을 확인 할 수 있다.

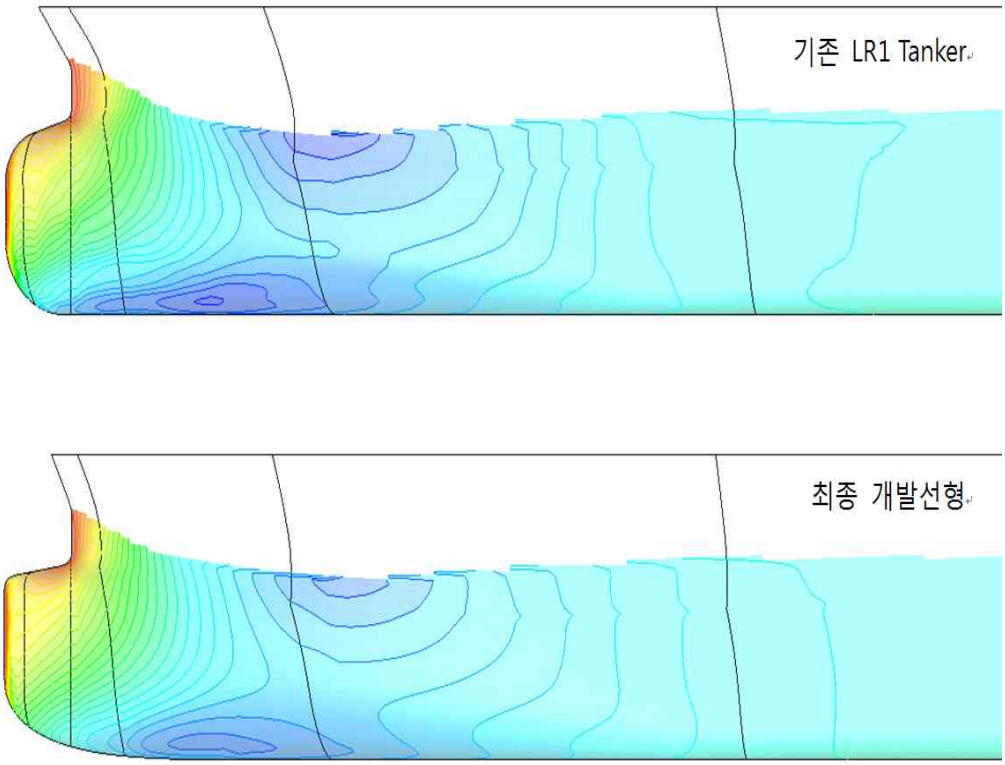


Fig. 15 Comparison of pressure distribution of fore body(at 14.5kts)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

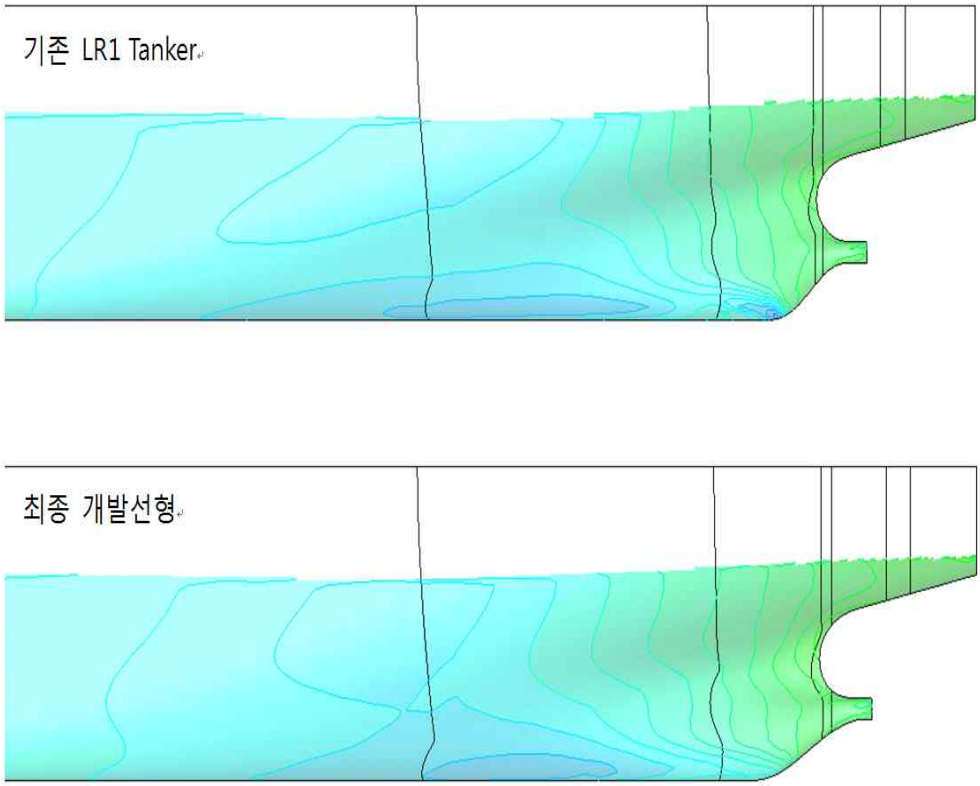


Fig. 16 Comparison of pressure distribution of after body(at 14.5kts)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig.17은 최종 개발선형의 CFD 결과값을 바탕으로 모형시험과 동일한 조건에서 PB 값을 계산한 그래프로서 NCR Power(with S.M. 15%)에서 목표했던 속도인 14.5kts를 만족하였다.

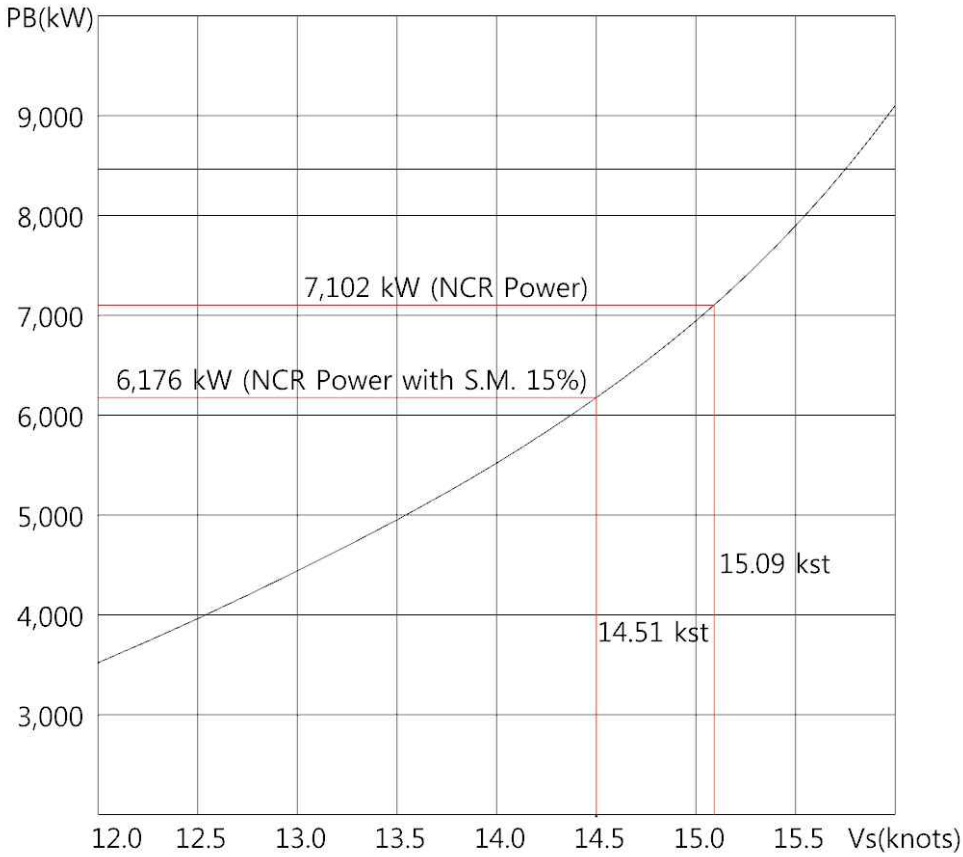


Fig. 17 Speed - Power Prediction Curve (at CFD)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 제 4장 모형시험

## 4.1 개요

선박은 탱커, 컨테이너선, LPG선 여객선, 시추선 등의 상업용 선박, 군용으로 건조되는 각종 함정, 그리고 해양 레저 및 스포츠용으로 제작되는 요트와 보트 등의 다양한 경우에 대해 건조목적과 선주의 요구사항에 따라 크기와 속도, 형상이 모두 다르게 설계, 제작된다. 속도와 배수량은 가장 중요한 선박의 계약조건이며, 이들 조건을 만족하는 선형 및 추진기의 설계가 최우선적으로 진행된다. 선형 및 추진기를 설계할 때 설계대로 건조된 실제 선박의 속도성능을 추정할 수 있는 가장 믿을 만한 방법은 현재까지는 예인수조(Towing Tank)를 활용한 저항추진 모형시험으로 알려져 있다.

선박이 해상에서 전진할 때, 추진기의 추력(thrust)과 선체에 작용하는 저항(Resistance)이 평형을 이루면 배는 일정한 속도로 항해할 것이다. 만약 프로펠러의 회전수를 증가시켜 추력이 증가하면 선박은 가속되고, 속도 증가에 따라 커진 저항과 추력이 다시 평형을 이루면 배는 또 일정한 속도로 항해할 것이다. 따라서 선박이 속도는 선형에 의해 주어지는 저항성능과 추진기에 의해 주어지는 추진성능, 양자의 조합에 의해 결정됨을 알 수 있다.

원하는 속도성능을 갖는 선박을 건조하기 위해, 선형 관점에서는 저항이 작은 선형, 추진기 관점에서는 추진효율이 우수한 추진기를 설계해야 하며, 선형과 추진기 각각의 성능특성이 저항시험(Resistance test)과 프로펠러 단독시험(Propeller open water test)에 의해 우선적으로 파악되어야 한다. 이들 시험을 수행하여 각각에 대한 개별적인 특성이 얻어진 후, 추진기를 선체에 장착하고 수행하는 자항시험(Self- propulsion Test)을 통해 배의 저항추진성능을 종합적으로 판단할 수 있다.

모형시험의 목적은 실선의 성능 및 특성을 파악, 추정하는 것이므로 실선에서 발생하는 물리적 현상과 특성을 면밀히 분석하여, 모형시험 시 실

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

선과 동일한 물리적 현상과 특성이 재현될 수 있도록 시험 환경과 조건을 맞추도록 노력해야 한다. 시험 시 어떤 제약조건이 발생하더라도 합리적인 가정을 세워 시험조건을 보완하고, 해석 시 이런 제약조건에 대해 보정함으로써 물리적으로 보다 합리적인 시험 결과를 얻을 수 있다.

## 4.2 모형시험

모형시험은 설계한 선형 중에서 CFD 수치해석 결과가 가장 좋았던 구상선수의 길이와 높이가 각각 5.5m, 10.5m인 선형을 대상선박으로 선택하였으며, 대전에 있는 한국해양과학기술원(KRISO)에서 수행되었다.

모형시험을 수행한 Towing Tanker는 길이 200m, 폭 16m, 깊이 7m, 최대속도는 6.0m/s이며, 대상 모형선과 추진기모형의 축적은 1/31.2로 그 제원을 Table 6과 Table 7에 나타내었다.

Table 6 Principal Dimensions of the Model and Ship

| Designation | SYMBOL | SHIP | MODEL |
|---|---|---|---|
| Scale ratio | SCALE | 31.2 | |
| Load condition | | Design | |
| Draft | TF(m) | 12.20 | 0.3910 |
| | TA(m) | 12.20 | 0.3910 |
| | TMEAN(m) | 12.20 | 0.3910 |
| Length between per. | LPP(m) | 219.00 | 7.0192 |
| Breadth | B(m) | 32.24 | 1.0333 |
| Depth | D(m) | 20.90 | 0.6699 |
| Length of waterline | LWL(m) | 223.00 | 7.1474 |
| Wetted surface area | S(m2) | 10945.0 | 11.2436 |
| Bilge keel area | SBK(m2) | 75.0 | 0.0770 |
| Trans. area above WL | AT(m2) | 637.2 | 0.6546 |
| Displacement volume | DISV(m3) | 71735 | 2.3619 |
| KB above moulded BL | KB(m) | 6.345 | 0.2034 |
| LCB from midship, f+ | LCB(m) | 6.562 | 0.2103 |
| LCF from midship, f+ | LCF(m) | -1.591 | -0.0510 |
| Block coef. | CB | 0.833 | |
| Load waterline coef. | CW | 0.925 | |
| Midship section coef. | CM | 0.995 | |
| Prismatic coef. | CP | 0.837 | |
| LPP/B | | 6.7928 | |
| LPP/T | | 17.9508 | |
| B/T | | 2.6426 | |
| LCB%(fwd,+) | | 2.9963 | |

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 18 Photographs of the Model Ship

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 7 Principal Dimensions of the Stock Propeller

| Designation | SYMBOL | |
|---|---|---|
| Scale ratio | SCALE | 31.2 |
| Diameter of ship propeller(m) | DIA.S | 7.8000 |
| Diameter of model propeller(m) | DIA.M | 0.2500 |
| Expanded blade area ratio | EAR | 0.4214 |
| Propeller pitch ratio, mean | PRMEAN | 0.8445 |
| at tip | PRTIP | 0.8120 |
| at 0.7R | PR70R | 0.9093 |
| at root | PRROOT | 0.5096 |
| Chord length-diameter ratio(0.7R) | CR70 | 0.2376 |
| Max. blade thickn.dia. ratio(0.7R) | TR70 | 0.0140 |
| Hub-diameter ratio | HDR | 0.1650 |
| Rake angle(deg) | RDR | 0.0000 |
| Skew angle(deg) | SKEW | 24.860 |
| Number of blades | NPB | 4 |
| Propeller section type | NACA66 | |

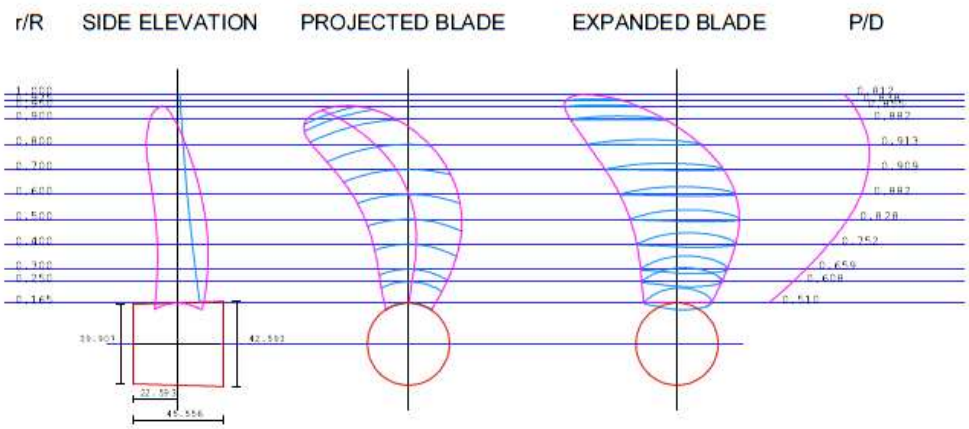


Fig. 19 Drawing of the Stock Propeller

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 4.3 모형시험 결과

### 4.3.1 최종 개발선형의 모형시험 결과

Table 8 Result of Resistance Test

| $V_S$ (knot) | PE (kW) | $C_{TS}$ (e-3) | $C_R$ (e-3) | $C_{FS}$ (e-3) | $C_{FM}$ (e-3) | $C_{TM}$ (e-3) | $R_{TM}$ (N) | $V_M$ (m/s) | $F_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10.00 | 1545.6 | 2.022 | 0.587 | 1.537 | 3.269 | 3.856 | 18.36 | 0.9210 | 0.1100 |
| 12.00 | 2658.8 | 2.013 | 0.613 | 1.503 | 3.163 | 3.776 | 25.90 | 1.1052 | 0.1320 |
| 14.00 | 4211.0 | 2.008 | 0.636 | 1.475 | 3.078 | 3.714 | 34.67 | 1.2894 | 0.1540 |
| 14.50 | 4700.7 | 2.017 | 0.652 | 1.469 | 3.059 | 3.711 | 37.16 | 1.3354 | 0.1595 |
| 15.00 | 5265.4 | 2.041 | 0.682 | 1.462 | 3.041 | 3.723 | 39.89 | 1.3815 | 0.1650 |
| 16.00 | 6751.7 | 2.157 | 0.808 | 1.451 | 3.007 | 3.816 | 46.52 | 1.4736 | 0.1760 |
| 17.00 | 8921.4 | 2.376 | 1.038 | 1.441 | 2.976 | 4.014 | 55.24 | 1.5657 | 0.1870 |

Table 9 Result of Self-propulsion Test

| $V_S$ (knot) | $V_M$ (m/s) | $R_{TM}$ (N) | FD (N) | TM (N) | QM (Nm) | NM (rps) | $t$ | $w_M$ | $\eta_R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10.00 | 0.9210 | 18.36 | 9.06 | 11.48 | 0.416 | 4.03 | 0.190 | 0.361 | 0.987 |
| 12.00 | 1.1052 | 25.90 | 12.55 | 16.47 | 0.594 | 4.84 | 0.190 | 0.358 | 0.993 |
| 14.00 | 1.2894 | 34.67 | 16.55 | 22.39 | 0.803 | 5.66 | 0.191 | 0.354 | 1.000 |
| 14.50 | 1.3354 | 37.16 | 17.63 | 24.15 | 0.865 | 5.88 | 0.191 | 0.354 | 1.002 |
| 15.00 | 1.3815 | 39.89 | 18.74 | 26.16 | 0.935 | 6.10 | 0.192 | 0.353 | 1.003 |
| 16.00 | 1.4736 | 46.52 | 21.04 | 31.53 | 1.117 | 6.63 | 0.192 | 0.351 | 1.007 |
| 17.00 | 1.5657 | 55.24 | 23.47 | 39.36 | 1.378 | 7.27 | 0.193 | 0.349 | 1.010 |

Table 10 Result of Full Scale Prediction

| $V_S$ (knot) | $C_{TS}$ (e-3) | $C_R$ (e-3) | $J$ | $t$ | $w_M$ | $w_S$ | $\eta_H$ | $\eta_R$ | $\eta_O$ | $\eta_D$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10.00 | 2.022 | 0.587 | 0.617 | 0.190 | 0.361 | 0.284 | 1.133 | 0.987 | 0.685 | 0.765 |
| 12.00 | 2.013 | 0.613 | 0.618 | 0.190 | 0.358 | 0.284 | 1.131 | 0.993 | 0.685 | 0.770 |
| 14.00 | 2.008 | 0.636 | 0.619 | 0.191 | 0.354 | 0.283 | 1.129 | 1.000 | 0.686 | 0.774 |
| 14.50 | 2.017 | 0.652 | 0.618 | 0.191 | 0.354 | 0.283 | 1.128 | 1.002 | 0.685 | 0.774 |
| 15.00 | 2.041 | 0.682 | 0.616 | 0.192 | 0.353 | 0.283 | 1.128 | 1.003 | 0.684 | 0.773 |
| 16.00 | 2.157 | 0.808 | 0.607 | 0.192 | 0.351 | 0.283 | 1.126 | 1.007 | 0.677 | 0.768 |
| 17.00 | 2.376 | 1.038 | 0.590 | 0.193 | 0.349 | 0.282 | 1.125 | 1.010 | 0.665 | 0.755 |

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

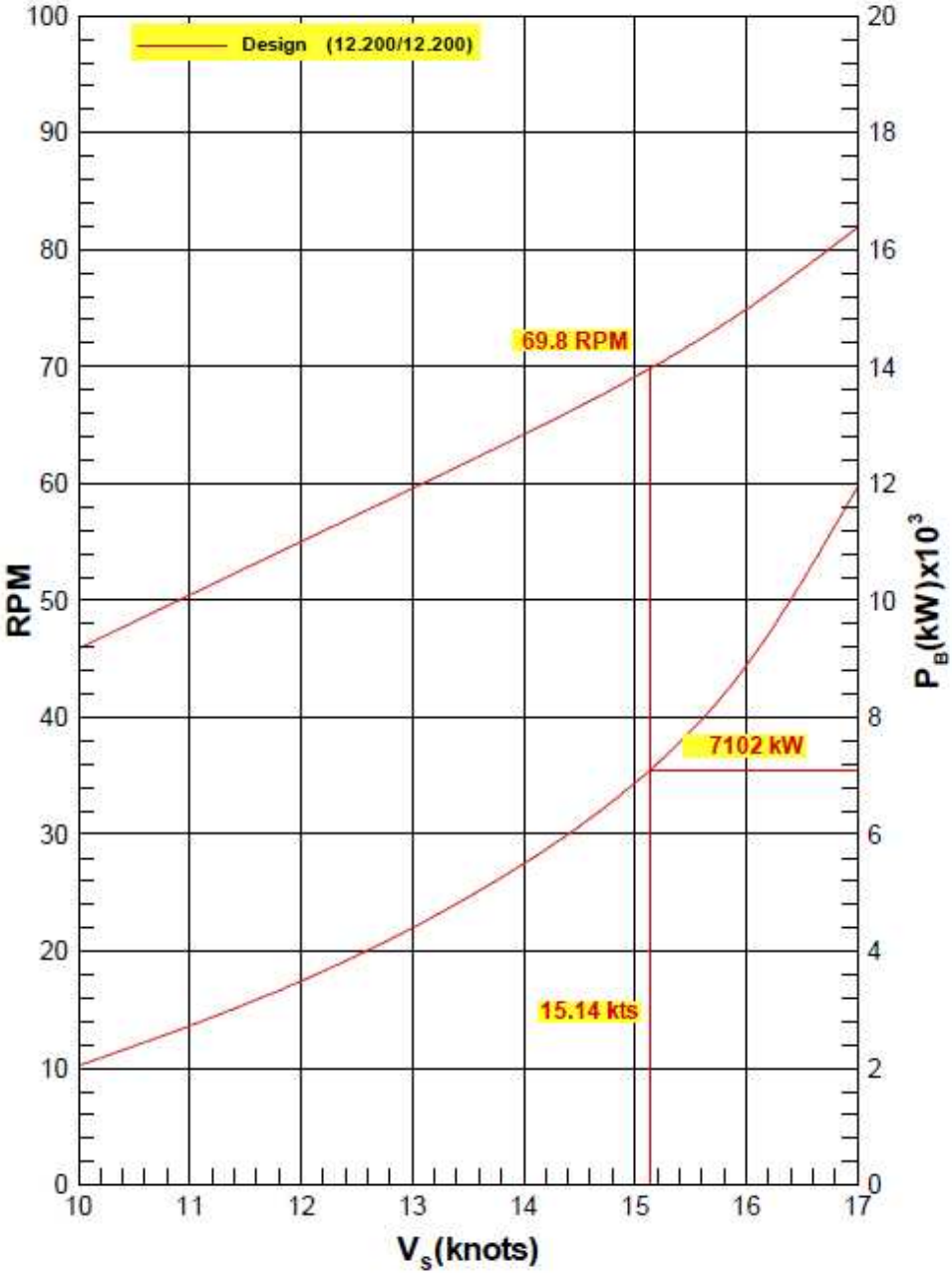


Fig. 20 Speed - Power Prediction Curve (at NCR)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

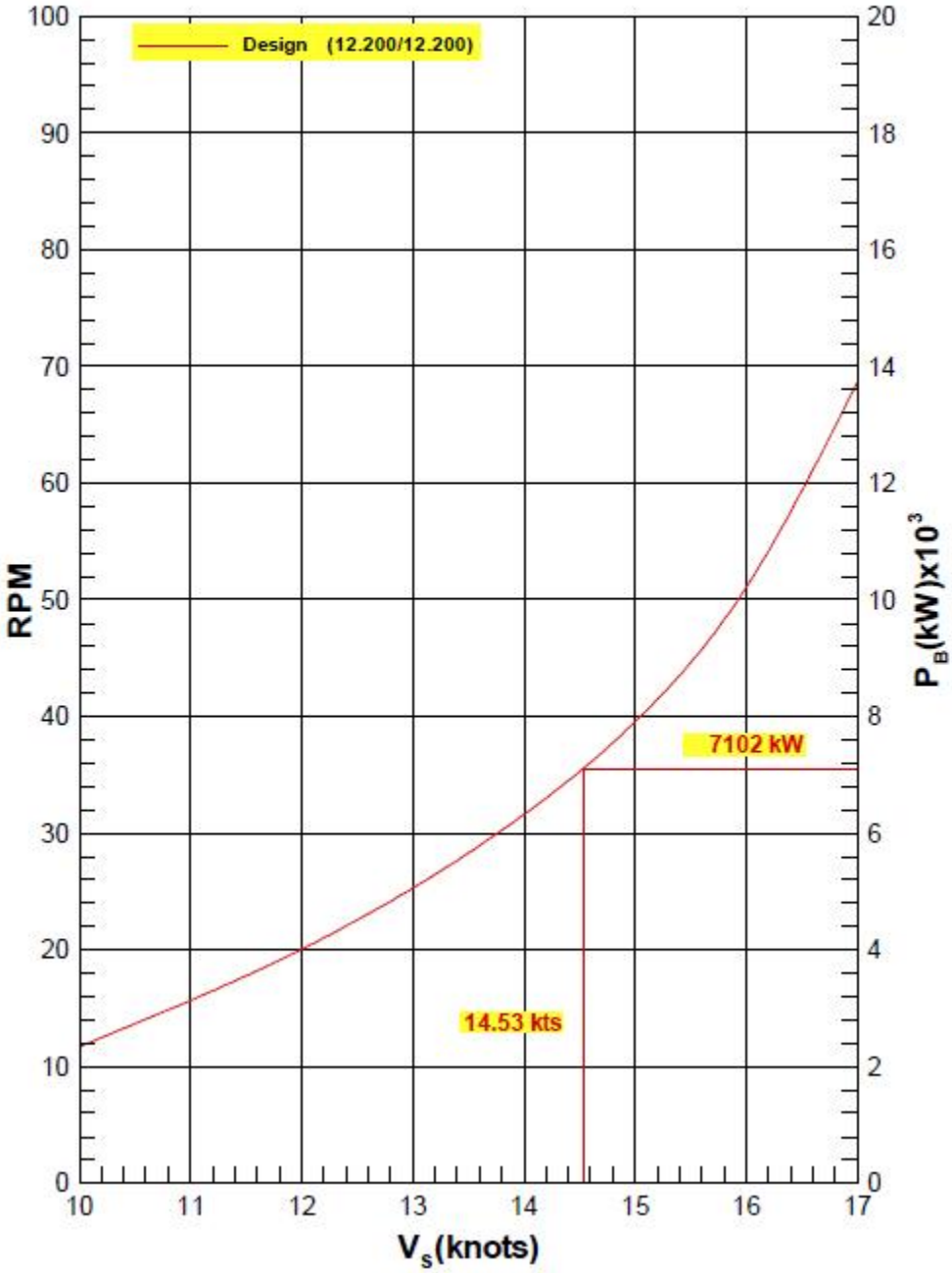


Fig. 21 Speed - Power Prediction Curve (at NCR with S.M.15%)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 4.3.2 최종 개발선형과 기존 LR1 Tanker의 모형시험 결과 비교

최종 개발선형의 저항감소 확인을 위해 기존 LR1 Tanker의 모형시험 결과(Brake Power)를 비교하여 Table 11에 나타내었으며, 속도가 높을수록 저항감소가 큰 것으로 확인 되었다. 기존 LR1 Tanker의 모형시험과 최종 개발선형의 수행 속도가 동일하지 않았기 때문에 최종 개발선형의 13.0knot에서의 Brake Power는 estimation로 계산하여 비교하였다.

Table 11 Speed & Brake Power

| Ship Speed | 최종 개발선형 | 기존 LR1 Tanker | 감소 |
|---|---|---|---|
| (knot) | (kW) | (kW) | (kW) |
| 10.00 | 2,040 | - | |
| 12.00 | 3,489 | - | |
| 13.00 | 4,399 (estimation) | 5,132 | -733 |
| 14.00 | 5,496 | 6,415 | -919 |
| 14.50 | 6,134 | 7,202 | -1,068 |
| 15.00 | 6,877 | 8,160 | -1,283 |
| 16.00 | 8,879 | 10,861 | -1,982 |
| 17.00 | 11,935 | 14,680 | -2,745 |

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 제 5장 CFD 수치해석과 모형시험 결과값 비교

최종 개발선형의 CFD 프로그램을 이용한 수치해석 결과와 모형시험의 결과를 Table 12에 나타내었으며, CFD 프로그램 결과값의 오차는 모형시험 결과값과 비교하여 1% 이내로 정확하여 CFD 프로그램의 신뢰성이 입증되었다.

Table 12 Brake Power of CFD and Model Test (at NCR Power with S.M.15%)

| $V_S$ (knots) | PB at CFD (kW) | PB at Model Test (kW) | 오차 (%) |
|---|---|---|---|
| 12.00 | 3,520 | 3,489 | -0.89 |
| 14.00 | 5,519 | 5,496 | -0.42 |
| 14.50 | 6,174 | 6,134 | -0.65 |
| 15.00 | 6,943 | 6,877 | -0.96 |

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 제 6장 결론

74K LR1의 최종 개발선형의 CFD 프로그램을 이용한 수치해석 및 모형시험을 수행하여 저항성능을 확인하였으며 본 연구를 통하여 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 본 연구에서 대상선박의 LBP와 LOA의 제약으로 구상선수의 길이를 5.0m부터 5.5m까지(LBP대비 약 2.5%) 변형하여 설계하였다. 구상선수 길이가 다른 6개의 선형에 대하여 CFD 프로그램을 이용한 수치해석을 수행한 결과 구상선수의 길이가 길수록 조파저항이 감소하는 것을 알 수 있었다.

2) 본 연구에서 구상선수의 높이를 설계흘수(12.2m) 대비하여 각각 10.5m(흘수 대비 약 86%), 10.0m(흘수 대비 약 82%), 9.5m(흘수 대비 약 78%) 변형하여 설계하였으며 각 선형에 대하여 CFD 프로그램을 이용하여 수치해석을 수행한 결과 구상선수의 높이가 흘수 대비하여 85% 이상의 높이에서 저항이 가장 감소된 것을 알 수 있었다.

3) 최종 개발선형과 기존 LR1 Tanker의 Brake Power(at 14.5knot)를 비교해 본 결과 기존 LR1 Tanker가 7,202kW, 최종 개발선형이 6,134kW로 1,068kW가 감소된 것을 확인하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 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 Bow”, SNAME Annual Meeting, Nov.,1978

[3] Bo hyun Yim: “A Simple Design Theory and Methode ofr Bulbous Bows of Ships”, JSR Vol.18, No.3, Sept., 1974

[4] 강국지, 김은찬: “쇄파현상을 고려한 선수형상 개량법에 관한 연구”, 대한조선학회지, 26권 2호, 1989

[5] 김재신, 이귀주, 좌순원: “Numerical Calculation Of The Flow Around A Ship By Means Of Rankine Source Distribution”, Vol.25
대한조선학회지, 제 27권, 1990

[6] 이귀주, 좌순원, 선재욱: “실험적 방법 및 수치계산 방법(SHIP FLOW)을 이용한 LPG 선형 유동해석 비교 및 고찰”, 춘계 조선학회 대회, 2003

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 감사의 글

본 논문이 완성되기까지 많은 학문적 지도와 도움을 주신 이귀주 교수님께 먼저 깊은 감사를 드립니다. 항상 사랑으로 아껴주시고 많은 깨우침을 주신 이귀주 교수님, 교수님의 가르침을 받을 수 있었던 것은 제 인생에 있어서 큰 행운이었습니다. 그리고 심사과정 중 논문의 미비했던 내용들을 지적해 주시고 정성껏 다듬어 주신 정세민 교수님, 안정선 박사님께 감사드립니다. 조선대학교에 입학하여 스승과 제자로 좋은 연이 되었다는 사실이 너무나도 행복합니다.

이 감사함을 글로 표현하는 것은 너무나도 어려운 일인 것 같습니다. 항상 행복하시고 건강하시길 기원합니다. 지금까지 절 믿어주시고 격려해 주셨던 모든 분들 감사합니다. 시간이 너무나도 빨리 지나가는 것 같습니다. 하지만 이 좋은 가르침과 깨달음은 영원히 제 맘속에 남을 것 같습니다.