[UCI]I804:24011-200000234073

2007년 2월

석사학위논문

쇄빙선에서 빙저항 개선용 부가물 개발에 관한 실험적 연구

조선대학교 대학원

선 박 해 양 공 학 과

안 정 선

쇄빙선에서 빙저항 개선용 부가물 개발에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Development of Appendages for the Improvement of Ice Induced Resistance in Ice Breaking Ship

2007년 2월 25일

조선대학교 대학원

선 박 해 양 공 학 과

안 정 선

쇄빙선에서 빙저항 개선용 부가물 개발에 관한 실험적 연구

지도교수 이 귀 주

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2006년 10월

조선대학교 대학원

선 박 해 양 공 학 과

안 정 선

안정선의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 박 제 웅

위원 조선대학교 교수 이 귀 주

위원 조선대학교 교수 Igor Shugan

2006년 11월

조선대학교 대학원

목 차

표목록 iii
그림목록 iv
Nomenclatures vi
Abstract ix

제1장 서론 1
1.1 쇄빙선(Ice Breaker) 2
1.1.1 쇄빙선의 정의 및 종류 2
1.1.2 쇄빙선의 기능과 특징 2
1.1.3 쇄빙방법 3
1.1.4 쇄빙선의 기술동향 및 건조현황 3
1.2 북극해 항로개발 7

제2장 선형계획 9
2.1 선수형상 특성 9
2.2 쇄빙선의 주요요목의 특성 13
2.3 선형설계 14

제3장 나선상태의 모형시험 및 성능추정 17
3.1 모형선 17
3.2 시험수조 17
3.3 모형시험 19
. 3.3.1 저항시험 19
3.3.2 파형관측시험 19
3.3.3 유장관찰시험 20

제4장 빙저항 감소 부가물 개발..... 45
4.1 빙저항..... 45
4.2 Reamer의 설계..... 50
4.3 일반해역에서 Reamer 부착선형 저항성능 확인을 위한 모형시험..... 53
4.3.1 모형선..... 53
4.3.2 모형시험..... 55
4.3.3 모형시험 결과 분석..... 57
4.4 빙해역에서 Reamer 부착선형 저항성능 확인을 위한 모형시험..... 58
4.5 빙저항 감소용 Ice Separating Blade(ISB)개발... 59

제5장 결론..... 63

참고문헌..... 64

표 목 록

표 1-1 남극기지 운영 국가별 쇄빙선 보유현황..... 7

표 2-1 설계선의 주요제원..... 15

표 3-1 실선 및 모형선 주요제원..... 21

표 3-2.a 만재상태에서 저항시험결과..... 21

표 3-2.b 경하상태에서 저항시험 결과..... 22

표 3-3 속도 및 유효마력 비교표(단위:KW)..... 22

표 4-1 여러 가지 빙저항 추정식..... 49

표 4-2 만재상태에서 속도 및 유효마력 비교표(단위:KW)..... 56

표 4-3 경하상태에서 속도 및 유효마력 비교표(단위:KW)..... 56

표 4-4 나선상태 대비 Reamer 부착선의 저항성능 백분율비교..... 58

표 4-5 나선상태 대비 ISB 부착선의 저항성능 백분율비교..... 59

표 4-6 Reamer 부착선과 ISB 부착선의 저항성능 백분율비교..... 60

그 림 목 록

그림 1-1 기존항로와 북극해 항로 8
그림 1-2 쇄빙선의 빙해역 운항장면 8
그림 2-1 쇄빙선의 선수부 형상 10
그림 2-2 선수각이 수평력과 수직력에 미치는 영향 11
그림 2-3 쇄빙능력과 관련된 각(angle)의 정의 11
그림 2-4 쇄빙선 형상 12
그림 2-5 선박의 종류에 따른 L/B의 관계 14
그림 2-6 설계선의 정면도 15
그림 2-7 단면적곡선 16
그림 2-8 흘수선 수선면 16
그림 3-1 모형선 23
그림 3-2 조선대학교 회류수조 개략도 24
그림 3-3 전저항계수(C_T) 25
그림 3-4 잉여저항계수(C_R) 25
그림 3-5 유효마력 비교곡선(단위:KW) 26
그림 3-6 만재상태에서 파형관찰시험(11KNOT) 27
그림 3-7 만재상태에서 파형관찰시험(11KNOT) 28
그림 3-8 만재상태에서 파형관찰시험(12KNOT) 29
그림 3-9 만재상태에서 파형관찰시험(12KNOT) 30
그림 3-10 만재상태에서 파형관찰시험(13KNOT) 31
그림 3-11 만재상태에서 파형관찰시험(13KNOT) 32
그림 3-12 경하상태에서 파형관찰시험(11KNOT) 33
그림 3-13 경하상태에서 파형관찰시험(11KNOT) 34
그림 3-14 경하상태에서 파형관찰시험(12KNOT) 35
그림 3-15 경하상태에서 파형관찰시험(12KNOT) 36
그림 3-16 경하상태에서 파형관찰시험(13KNOT) 37
그림 3-17 경하상태에서 파형관찰시험(13KNOT) 38
그림 3-18 계획속도에서 선측파형 39
그림 3-19 만재상태에서 유장관찰시험(선수) 40
그림 3-20 만재상태에서 유장관찰시험(선수) 41
그림 3-21 만재상태에서 유장관찰시험(선미) 42
그림 3-22 만재상태에서 유장관찰시험(선미) 43
그림 3-23 선수ㆍ미 주위의 압력분포도 44

그림 4-1 얼음의 파괴 형태 45

그림 4-2 연속쇄빙 과정 46

그림 4-3 기존 쇄빙부가물 부착선(a) 및 실운항 사진(b) 51

그림 4-4 압축공기 분사에 의한 쇄빙 51

그림 4-5 Reamer Type 1 52

그림 4-6 Reamer Type 2 52

그림 4-7 Reamer Type 1과 Reamer Type 2 형상비교 52

그림 4-8 Reamer Type 1을 부착한 모형선 53

그림 4-9 Reamer Type 2를 부착한 모형선 54

그림 4-10 잉여저항 비교곡선 57

그림 4-11 Reamer Type 1 부착선의 만재상태에서의 파형(12노트) 61

그림 4-12 Reamer Type 2 부착선의 만재상태에서의 파형(12노트) 61

그림 4-13 Reamer Type 1 부착선의 선속 3노트에서 빙중 저항시험 장면 62

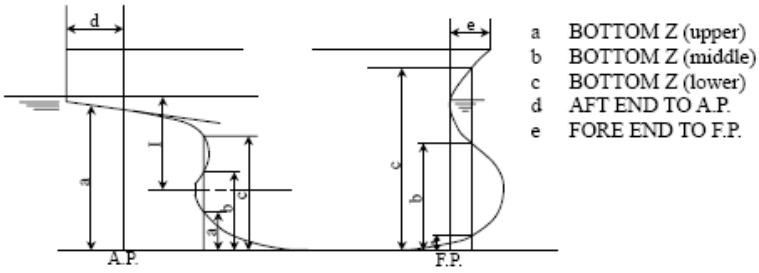
그림 4-14 Reamer Type 1 부착선의 선속 5노트에서 빙중 저항시험 장면 62

그림 4-15 ISB 부착 모형선 사진 62

NOMENCLATURES

(1) HULL GEOMETRY

Lpp	Length between perpendiculars (m)
L_{WL}	Length of designed load waterline (m)
B	Breadth moulded (m)
D	Depth moulded (m)
d	Draught moulded (m)
C_B	Block coefficient ..... $C_B = \nabla/(Lpp \cdot B \cdot d)$
C_P	Prismatic coefficient..... $C_P = C_B/C_M$
C_M	Midship section coefficient ..... $C_M = A_M/(B \cdot d)$
A_M, AMS	Area of midship section (m^2)
C_W	Waterplane coefficient..... $C_W = A_W/(Lpp \cdot B)$
A_W, AWP	Area of waterplane (m^2)
lcb	Longitudinal center of buoyancy from midship in percent of Lpp (for fore from midship(-) and for aft(+))
∇	Displacement volume (m^3)
Δ	Displacement weight (ton)
S	Wetted surface area with all appendages (m^2) (with rudder & bilge keels)
S1	Wetted surface area without bilge keels (m^2) (with rudder)
S2, AWS	Wetted surface area without all appendages (m^2)
I, P. IM	Immersion of shaft center line at A.P. (m)



a BOTTOM Z (upper)
b BOTTOM Z (middle)
c BOTTOM Z (lower)
d AFT END TO A.P.
e FORE END TO F.P.

(2) PROPELLER

D, D_P	Diameter of propeller (m)	
R	Radius of propeller (m)	
E. A. R.	Expanded area ratio	

(3) RESISTANCE AND PROPULSION

V	Speed of ship (m/s)	
V_A	Advance speed of propeller (m/s)	
V_S	Speed of ship (Knot)	
R_t	Total resistance (kg)	$C_t = R_t \Big/ \frac{1}{2}\rho V^2 S$
C_t, r_t	Total resistance coefficient	$r_t = R_t / \rho V^2 \nabla^{2/3}$
R_R	Residual resistance (kg)	$C_R = R_R \Big/ \frac{1}{2}\rho V^2 S$
C_R, r_R	Residual resistance coefficient	$r_R = R_R / \rho V^2 \nabla^{2/3}$
R_W	Wave making resistance (kg)	$C_W = R_W \Big/ \frac{1}{2}\rho V^2 S$
C_W, r_W	Wave making resistance coefficient	$r_W = R_W / \rho V^2 \nabla^{2/3}$
R_F	Frictional resistance (kg)	$C_F = R_F \Big/ \frac{1}{2}\rho V^2 S$
C_F, r_F	Frictional resistance coefficient	$r_F = R_F / \rho V^2 \nabla^{2/3}$
R_V	Viscous resistance (kg)	$C_V = R_V \Big/ \frac{1}{2}\rho V^2 S$
C_V, r_V	Viscous resistance coefficient	$r_V = R_V / \rho V^2 \nabla^{2/3}$
K	Form factor	$1 + k = C_V / C_F$
ΔC_F, DCF	Roughness allowance coefficient for schoenherr friction line in general	
ρ	Density of water ($kg \cdot sec^2/m^4$).....Salt Fresh	104.61(15℃), 101.87(15℃)
ν	Coefficient of kinematic viscosity.....Salt Fresh	1.1883*E-6(15℃) 1.1390*E-6(15℃)
g	Acceleration due to gravity (m/sec^2)	
Fn	Froude number based on L_{WL}.....	$Fn = V \Big/ \sqrt{L_{WL} \cdot g}$
Rn	Reynolds number based on L_{WL}.....	$Rn = (L_{WL} \cdot V)/\nu$
$\overline{Fn}$	Froude number based on Lpp.....	$\overline{Fn} = V \Big/ \sqrt{Lpp \cdot g}$
$\overline{Rn}$	Reynolds number based on Lpp.....	$\overline{Rn} = (Lpp \cdot V)/\nu$

n	Rate of revolution per second
RPM	Rate of revolution per minute
J	Advance coefficient of propeller..... $J = V_A/(n \cdot D_P)$
Q	Torque (kg·m)
K_Q	Torque coefficient..... $K_Q = Q/(\rho n^2 D_P^5)$
T	Thrust (kg)
K_T	Thrust coefficient ..... $K_T = T/(\rho n^2 D_P^4)$
t	Thrust deduction coefficient
W_M	Wake fraction of large model
W_S	Estimated wake fraction of actual ship $1 - W_S = C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot (1 - W_M)$
C1	Scale correction factor (by YAZAKI's chart)
C2	Correction factor due to the difference of propeller diameter
C3	Correction factor of scale correction factor C1
η_R, ETA R	Relative rotative efficiency
η_t	Transmission efficiency
η_G	Special gear efficiency
η_P, ETA P	Propeller efficiency of actual ship (from MAU propeller chart)
η, ETA	Propulsion efficiency..... $\eta = \eta_t \cdot \eta_G \cdot \eta_P \cdot \eta_R \cdot \frac{1-t}{1-W_S}$
EHP	Effective horse power
DHP	Delivered horse power
BHP	Brake horse power..... $BHP = EHP/\eta$
Cadm	Admiralty constant ..... $Cadm = (\Delta^{2/3} \cdot V_S^3)/BHP$
SG	Specific gravity .....Fresh 1.000 Salt 1.025

ABSTRACT

An Experimental Study on the Development of Appendages for the Improvement of Ice Induced Resistance in Ice Breaking Ship

An Jung-Sun
Advisor : Prof. Lee, Kwi-Joo, Ph.D.
Department of Naval Architecture
& Ocean Engineering,
Graduate School of Chosun University

In this thesis, a study on the appendages for the reduction of ice induced resistance in ice breaking ship has been carried out and G/T 6950ton class ice breaking ship has been selected as subjective vessel.

The research scope includes hull form including appendage design and model tests for the bare hull and appended hull. Appended hull with selected appendage shows 8% resistance increase in normal sea condition and 12% decrease in ice sea operation condition compare with bare hull condition.

제1장 서론

북극지방은 지구상에 남은 최후의 자원 부존 지역으로서 북극해의 수심 200 m 이하 대륙붕에는 석유와 천연가스가 풍부하게 매장되어 있어, 북극 지방의 개발이 활발해지고 있다. 북극해 항로는 동아시아와 대서양의 서유럽 국가를 연결하는 최단항로로서 법세계적인 무역루트로 활용되는 추세이며 북유럽에서 동아시아나 북미의 서해안까지 가는 길은 수에즈운하나 파나마 운하를 통한 항로보다 35~60% 이상의 거리를 단축시켜 경제적인 측면에서 아주 매력적인 해상 항로이다.[1] 북극해는 여름철 짧은 기간을 제외하고는 항상 두꺼운 얼음으로 덮여 있으므로 극지에서 자원개발을 하기 위해서는 차가운 기온과 얼음의 바다를 극복할 수 있는 쇄빙선이 필요하다.

쇄빙선은 무엇보다도 빙판을 깨뜨리며 전진해야 하므로 같은 크기의 일반 선박에 비해 구조적으로 튼튼하며 엔진출력이 크고 얼음을 쉽게 깰 수 있는 선체형상을 가지고 있어야 한다.

쇄빙선에서 선수부 형상은 빙판을 깨뜨리는 쇄빙능력과 가장 밀접한 관계가 있으며 엔진과 프로펠러의 출력과도 관련이 있다. 쇄빙선은 빙판 위에 올라타 그 중량을 이용하여 빙판을 깨뜨리거나 충돌에 의해 깨뜨리는데, 선수부와 빙판이 이루는 선수각(stem angle)은 일반 선박에 비해 작은 20도 정도이다. 선수각은 빙판을 깨뜨리는 수직하중으로 작용할 뿐만 아니라, 깨어진 얼음조각을 물 속으로 밀어 넣거나 선체 좌우측으로 밀어 내는 데에도 기여하고 있다.[2]

본 논문에서는 빙저항 감소 부가물을 개발하기 위한 기본 자료의 확보를 위하여 2가지 형상의 Reamer를 설계부착하고 선수로부터 유입되는 부유 얼음조각들이 선미 선체로 부딪히므로서 발생하는 빙저항 성능에 대하여 실험적 비교연구를 수행하였다. 모형시험은 나선상태와 부가물 부착 상태 각각에 대하여 일반해역 및 모의 빙해역 조건에서 저항성능시험을 실시하였으며 Reamer의 모형시험자료 및 나선

상태의 파형과 유장관찰 시험자료를 근거로 새로운 형상의 “Ice Separating Blade"을 개발하였다.

1.1 쇄빙선(Ice Breaker)

1.1.1 쇄빙선의 정의 및 종류

쇄빙선이란 빙해역을 독자적으로 항행 할 수 있는 쇄빙능력을 보유한 선박을 말하며 크게 3종으로 분류할 수 있다. 첫 번째 빙해역에 수로를 만들어 다른 선박의 항행을 유도하는 선박(유도쇄빙선), 두 번째 단독으로 개별적인 활동을 추진하는 선박(단독쇄빙선) 그리고, 마지막으로 쇄빙선과는 달리 독자적인 쇄빙능력은 보유하지 않았더라도 비교적 얇은 결빙해역이나 이미 만들어진 수로의 유빙저항을 이겨낼 만한 내빙능력을 갖춘 선박 (내빙구조선박, ice-strengthened vessel)으로 분류할 수 있으며 내빙구조선박은 두께 50 ㎝ 이내의 1년생빙 그리고 결빙률 3/10 이하의 빙해역에서 사용되는 것으로서 쇄빙선의 인도에 따라 운행한다. 북극권의 국가들에서는 단독쇄빙선과 함께 수척의 빙해용 상선이 선단을 이루어 빙해역에서의 해상수송을 담당하고 있다.

1.1.2 쇄빙선의 기능과 특징

쇄빙선은 빙해역에서 항로를 개척함으로써 화물선 선단을 이끌어 화물수송을 가능케 할뿐 아니라, 격리된 극지의 집단 및 기지에 필요한 물자를 보급할 수 있다.

또한, 극지 빙해역을 운항하던 선박이 빙해 속에 갇힐 경우 이를 구조하는 역할도 하며 빙해역에 설치된 해양구조물에 유빙이 다가오면 이를 처리하여 해양구조물을 보호하는 역할을 수행하기도 한다.[3]

쇄빙기능을 원활히 수행하기 위해서 쇄빙선은 일반 선박과는 달리 아래와 같은 특징을 가진다.

- 얼음으로부터 선박을 보호하기 위해 얼음과 접촉하는 선체의 구조가 매우 튼튼

하게 설계된다.

- 연속적으로 쇄빙하면서 얼음과의 마찰저항을 이기고 일정한 속도로 항해하기 위해서 일반 선박에 비해 출력이 큰 엔진을 설치한다.
- 쇄빙기능을 효율적으로 수행하기 위해서는 선수선형이 매우 중요하며 일반 선박과는 매우 다른 선형을 갖는다.

1.1.3 쇄빙방법

극지방의 얼음은 1년생 및 다년생 얼음으로 분류될 수 있으며 얼음과 눈이 복합적으로 다년간 결빙된 봉우리(ridge) 형태의 얼음도 있다. 1년생 얼음은 2m 이내의 평탄빙으로 구성되어 있으며, 쇄빙선은 1년생 평탄빙으로 이루어진 항로를 찾아 운항한다. 평탄빙을 연속적으로 깨면서 운항할 때에는 선수부분의 상하운동을 이용하여 선체중량을 얼음 위에 작용시켜 얼음에 전단력 및 굽힘모멘트를 발생시켜 쇄빙한다. 선수에 의해 갈라진 수로를 확장시키기 위해 선박의 좌우운동을 이용하여 선측면의 얼음을 부순다. 선수 상하운동 및 선체 좌우운동을 유도하기 위해 선박에 밸러스트 탱크를 설치하는 경우가 많다. 한편 최근에 건조된 핀란드의 Fennica호는 Azimuth 프로펠러를 사용하여 제자리에서 회전하는 능력을 가지고 있는데, 이러한 기능을 이용하여 전방위 쇄빙이 가능하도록 설계되어있다. Ridge 형태의 얼음이나 연속쇄빙이 불가능한 얼음을 쇄빙할 경우에는 약간 후진 후 가속돌진하여 충돌쇄빙을 시도한다. 충돌쇄빙의 경우 선체에 작용하는 충격력에 의해 선체가 파손되는 경우가 있다.[1]

1.1.4 쇄빙선의 기술동향 및 건조현황

19세기 말 최초의 쇄빙선이 건조된 이후 최근까지 많은 쇄빙선이 건조되어 북극권 국가인 러시아, 미국, 캐나다, 핀란드 등에서 겨울철 해상 운송수단으로 사용되어 왔다.[4]

러시아는 북극해 연안을 따라 형성된 북극항로가 시베리아의 북쪽 지역에 도달하는 가장 중요한 보급로이기 때문에 오래 전부터 강력한 쇄빙선 선단을 운용하고 있는데 최근에는 서 시베리아의 천연자원 개발이 확대됨에 따라 이 지역에 많은

물자를 운송할 수 있는 유효한 수송수단으로서 쇄빙선을 이용하고 있다. 1985년까지 총 84척의 쇄빙선을 보유하고 있었으며 그중 16척은 북극해용 Polar class 쇄빙선이고, 또 20척은 발틱해 정도의 빙상조건에 적합한 Sub-arctic 용 쇄빙선이다. Polar class 쇄빙선 중 4척은 축마력 75,000 SHP 의 원자력 추진기관을 갖추고 있다. (Arktika, Sibir, Seymorput, Rossiya) 러시아의 북극해 연안은 수심이 얕은 대륙붕이여서 특별히 흘수 2.5 m 내지 3.3 m 정도의 얕은 하천용 LASH (Lighter Aboard Ship) 쇄빙선을 13척 보유하고 있다. 한편 길이 160 m 정도의 SA-15 class 혹은 Norilsk class 의 컨테이너/산적화물 겸용 화물선을 14척 보유하고 있으며 현재도 길이 260 m 재화중량 40,000 톤급의 원자력 추진 혹은 재래식 디젤기관을 장착한 화물선을 여러 척 건조 중인 것으로 알려져 있다.

캐나다 역시 1970년대 북극해 주변에서 천연자원의 개발이 활발하게 진행됨에 따라 규모가 큰 쇄빙선 및 쇄빙선단을 보유할 필요를 가지게 되었으며 1978년 길이 209 m 에 28,000 DWT 의 단독 쇄빙상선 Arctic호를 건조하게 되었다. 이 선박은 캐나다의 CASPPR 규정 Class 2 로서 과거 일반 선박이 북극해에서 1개월 정도 항행가능했던 기간을 6개월 정도로 연장할 수 있었다. 또한 1979년에는 보퍼트해의 석유개발에 필요한 물자를 수송하는 보급선으로 CASPPR Class 3 의 쇄빙형 보급선 Kigoriak 를 그리고 1982년에는 Robert Lemeur 를 건조하였다. 캐나다의 해안경비대 (Canadian Coast Guard) 는 6척의 북극해용 쇄빙선 (Louis S. St. Laurent, John A. MacDonald 등) 을 보유하고 있으며 앞으로 Polar Class 8 (평탄빙 쇄빙능력 2.4 m) 인 쇄빙선도 건조할 계획을 가지고 있다.

미국에서는 처음으로 2차대전 중에 건조된 4척의 쇄빙선들을 Wind class 라 부르고 있다. 이중 전쟁 후까지도 활동하고 있는 것은 Westwind 와 Northwind 가 있으며 미 해군으로부터 여러 척의 쇄빙선을 인도받아 현재 미국의 쇄빙선들은 모두 미 해안경비대 (USCG) 에서 운용하고 있다. 1955년에는 쇄빙선 Glacier 가 건조된 바 있으며 Wind class 쇄빙선을 대체하는 것으로서 70년대에는 쇄빙능력 1.83 m 의 Polar class 쇄빙선 (Polar Star, Polar Sea) 이 건조되어 현재까지 운용되고 있다. 이들 Polar class 쇄빙선들은 비원자력 추진선으로서는 세계에서 가장 강력

한 출력을 가진 쇄빙선이며 북극해의 Bering해, Chukchi해, Beaufort해 등지에서 활동하고 있다. 한편 1968년 알래스카의 North Slope 에서 대규모 유전이 발견되었는데 여기에서 채굴된 원유를 캐나다의 북극해를 경유하여 미국 동부해안 소비지까지 해상수송이 가능한지의 검토로서 1970년 2회에 걸쳐 Manhattan호의 시험항해를 실시하였다. Manhattan호는 일반 유조선을 보강하여 쇄빙유조선 (ice breaking tanker)로 개조한 것으로서, 이 시험항해를 통해 Manhattan호는 선체와 프로펠러에 손상을 입었지만 이 항해에 의해 북서항로 (Northwest Passage) 에서의 해상수송이 동절기에도 기술적으로 충분히 가능하다는 것을 입증하였다.

핀란드의 대표적인 조선소의 하나인 Kvaerner-Masa Yards 는 수 많은 빙해항행선박을 건조하여 러시아를 위시한 각국에 인도한 경험을 가지고 있으며, 특히 1969년에는 쇄빙유조선 Manhattan호의 개조사업을 주도하였고 이를 위하여 당시 최대규모의 빙해수조를 Helsinki 에 건설하였다. Wartsila 극지연구소 (WARC) 에서는 쇄빙선의 빙저항을 줄이는 방법으로 공기분사장치 (air-bubbling system) 를 개발한 바 있다. 1993년 Finnyards사에서 건조한 다목적 쇄빙선 Fennica 은 동절기에는 발틱해의 항로 확보를 위하여 0.8 m 의 평탄빙을 8 knots 의 속도로 쇄빙항행할 수 있으며 하절기에는 북해 유전의 보급선으로서 개수면상에서 14 knots의 속도를 유지할 수 있도록 설계되었다. 특히 360도 회전이 가능한 Azimuth 프로펠러를 장착하여 회전반경이 거의 없는 상태에서 방향전환이 가능한 등 조정성능이 대단히 뛰어난 것으로 알려져 있다. 또한 모든 방향의 쇄빙이 가능하도록 선수부뿐만 아니라 선측, 선미부도 충분히 보강되어 있다.

일본은 일본 방위청 소속의 순시함인 Soya 와 Fuji 를 보유하고 있고 1982년에는 길이 134 m 배수량 16,200 톤, 축마력 30,000 SHP 의 최신설비를 갖춘 쇄빙선 Shirase 를 건조하였는데 이 배는 평탄빙에서 3 knots 의 속도로 1.5 m 의 연속쇄빙이 가능하다. 독일의 경우는 Waas형 선수를 가진 쇄빙선 Max Waldek 과 연구용 쇄빙선인 Polarstern 등을 보유하고 있으며 특히 Polarstern 은 길이 118 m, 배수량 4395 톤, 축마력 10,970 SHP 인 최신형 선박으로 평탄빙에서 3 knots 의 속도로 1.0 m 의 연속쇄빙이 가능하다. 한편 스웨덴의 GVA사와 캐나다의 Canmar사에

의해 1988년 건조된 스웨덴의 Oden 도 빙행항행선박에 대한 최신기술을 도입하여 설계된 CASPPR Class 10 에 해당하는 쇄빙선으로서 평탄빙 쇄빙저항을 감소시키고 수로의 폭을 보다 넓게 확보하며, 특히 충격쇄빙 (ramming) 에 유효한 선체구조를 가지고 있다.[2]

빙해에서의 선박의 항행은 보통의 해역에서의 선박운항보다 훨씬 많은 비용이 요구된다. 지금까지 건조된 빙해용 선박의 추세는 점차 대형화되고 있고 기관출력도 커져가고 있는데, 현재까지 건조된 것 중 가장 큰 러시아의 Arktika호의 경우 (CASPPR 에 따르면 Class 6 에 해당) 길이 140 m, 배수량 24,000 톤에 원자력 추진기관으로 75,000 마력을 낼 수가 있다. 한편 재래식과는 다른 형식의 빙해선박도 연구되고 있는데 예를 들어 극지용 잠수유조선 (submarine tanker) 이나 쇄빙유조선 (icebreaking tanker) 그리고 극지화물 운송에 있어 공기부양선 (air cushion vehicle) 등이 미래의 빙해선박으로 구체화되고 있다.

과학 탐사 목적의 남극기지를 운영하고 있는 국가는 대부분 연구 및 보급을 위한 쇄빙선을 자체적으로 보유하고 있으며 우리나라도 남극에서의 본격적인 연구활동을 위해서는 쇄빙선이 필수적이며 남극기지 운영 국가별 쇄빙선 보유현황은 Table 1-1과 같다.

Table 1-1 남극기지 운영 국가별 쇄빙선 보유현황 [2]

국 가 명	선 명	톤수(배수량)	사용목적	Ice Class
미국	Mathaniel B. 외 다수	6,640	연구전용선	SUPER 1A
러시아	다수의 쇄빙선	10,000 이상	보급/연구	SUPER 1A
일본	SHIRASE	17,600	보급/연구	SUPER 1A
영국	J.C. ROSS		보급/연구	SUPER 1A
호주	A. AUSTRALIS	6,574	보급/연구	SUPER 1A
아르헨티나	A. IRIZAR	14,000	보급/연구	SUPER 1A
칠레	해군 쇄빙선		보급	1B
스웨덴	IIESPERIDES	2,700	보급/연구	-
중국	설룡호	10,000	보급	SUPER 1A
독일	POLARSTERN		보급/연구	SUPER 1A
프랑스	전용 쇄빙선		보급/연구	SUPER 1A
브라질	해군 쇄빙선	7,500	보급/연구	SUPER 1A
이탈리아	전용 쇄빙선	8,570	보급/연구	SUPER 1A

1.2 북극해 항로 개발

최근 유전이 고갈됨에 따라 극지의 유전 개발이 활발하며, 극지 유전의 개발에 따른 수송, 보급 등의 목적으로 극지항로 특히 북극해 항로의 개발에 관한 연구가 활발하다. 이를 위해 러시아에서는 오랫동안 북극해 항로 및 극지 환경 등의 관측을 목적으로 쇄빙해양조사선을 건조하여 많은 극지 자원/환경 조사 등을 수행해 왔으며, 북극해 항로가 환경에 피해를 주지 않고 충분히 활용될 수 있음을 입증하였다. 또한, 북극해 항로의 양 종점인 유럽 북부와 동아시아 지역 (혹은 북미 서해안) 사이의 물동량이 계속 증가 추세에 있으므로 수에즈 운하를 통과하는 항로

와의 경쟁에 대비하여 러시아 정부는 충분히 경제성이 있을 정도의 관세만을 부과하기로 정하였기 때문에 향후 북극해 항로의 전망은 대단히 유망할 것으로 예상된다. [5] 기존항로와 북극해 항로는 그림 1-1에 비교하였으며 그림 1-2에 쇄빙선의 빙해역 운항 장면을 도시하였다.

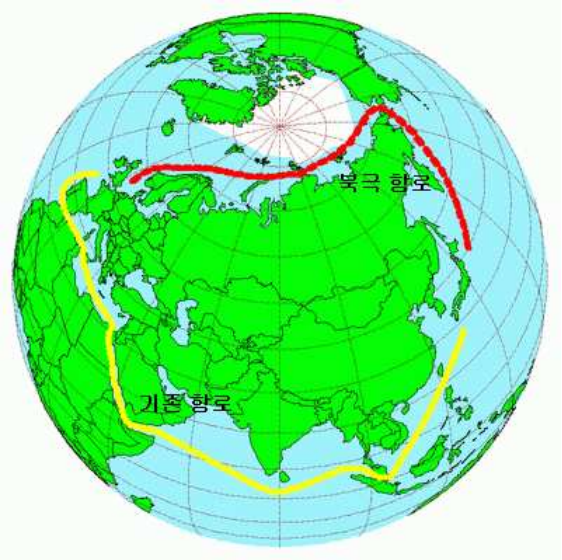


그림 1-1 기존항로와 북극해 항로

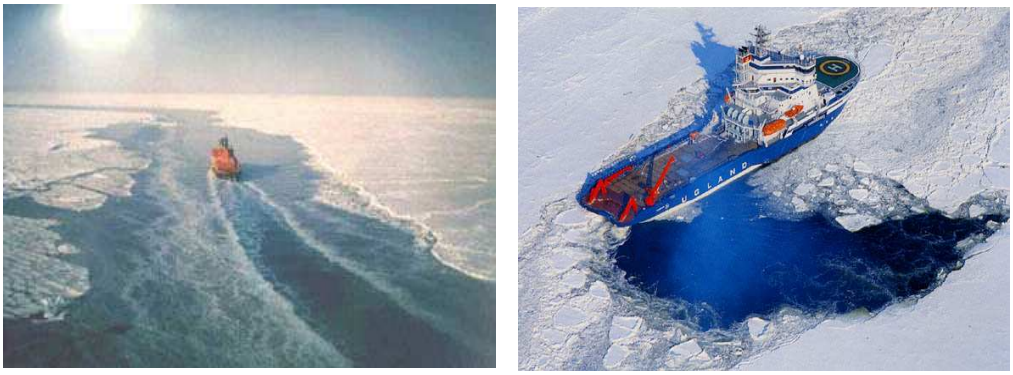


그림 1-2 쇄빙선의 빙해역 운항장면

제2장 선형 계획

쇄빙선의 설계에서 첫째로 고려해야 할 사항은 빙판을 깨며 진행할 때 소요되는 출력이 작은 선형을 찾아야 하는 것이며, 부차적으로는 개수면(Open sea)상에서 소요되는 출력이 작고, 선박의 조종성능과 빙편의 제거가 쉽고, propeller와 외판의 손상이 일어나지 않는 선형을 찾는 것이다.

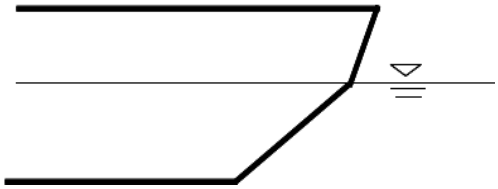
쇄빙선의 쇄빙능력을 좌우하는 여러 설계인자 중 선수부의 형상이 가장 중요한 것으로 알려져 있다. 선수부 형상은 실제로 얼음을 파괴시키는 쇄빙효율에 직접적으로 영향을 줄 뿐 만 아니라 설치될 추진기관의 출력과도 밀접하게 연관된다.

2.1 선수형상(Bow Geometry) 특성

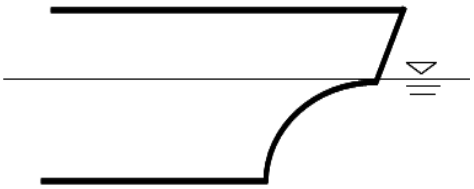
쇄빙선의 선수부의 형상은 항해지역, 주요 기능과 목적, 선급규정, 쇄빙효율을 감안하여 설계되는 것이 보통이다. 과거 20여 년간 건조된 쇄빙선의 선수부의 형상을 조사한 바에 의하면 아직도 재래식의 직선형(Straight Type) 혹은 오목형(Concave Type)선수타입의 쇄빙선 선형을 가진 선박도 많이 있지만 근래에는 쇄빙능력, 조종성능 등 선박의 특수 목적에 적합한 선수부 형상을 가진 특수선형도 많이 채택한다. 그 중 숟가락(spoon)형태의 선수부를 채택하기도 하는데 이 형상은 넓은 선수부분 접촉 면적으로 두꺼운 빙맥에서도 쇄빙이 진행될 수 있는 잇점이 있다. 또한 선폭보다 확장된 개수로를 확보하기 위하여 Reamer를 선수부 양쪽측면에 설치하거나, 어깨부에 Chine을 설치하여 확장된 폭을 대신하기도 한다. Reamer를 설치하거나 Chine이 있는 선형은 쇄빙효율로 보면 유리하지만 개수로에서의 저항이 커지는 단점이 있다.

특징 있는 선수선형의 또 하나의 예로 Wass형 선수를 들 수 있는데, 이 형상은 작은 선수각을 가지는 경사평면이 선미부까지 평평한 넓은 폭을 갖는 것으로 최대폭에서의 양쪽 모서리를 이용하여 전단력에 의한 쇄빙을 하게 된다. 중앙부 선저는 V형으로 선저에 유입된 빙편이 선측 양측에 얼음판 아래로 미끄러져 들어가도록 한다.[5]

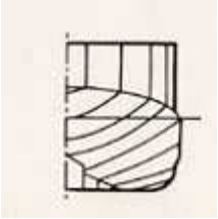
쇄빙선에 적용되는 여러가지 선수부의 형상을 그림 2-1에 도시하였다.



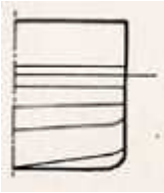
a. Straight Type



b. Concave Type



c. Spoon Type



d. Wass Type

그림 2-1 쇄빙선의 선수부 형상

선박이 얼음을 깨면서 진행을 할 때에 두 가지의 운동의 조합에 의해 이뤄진다고 할 수 있는데, 그것은 crushing(압축에 의한 힘)과 bending(굽힘에 의한 힘)이다. σ_C(단축의 얼음의 압축강도)는 σ_F(얼음의 휨강도)의 2 ~ 10배에 해당한다. 따라서 빙판을 압축에 의해 파괴하기 보다는 굽힘과 전단에 의해 파괴시키는 편이 적은 에너지가 소요되기 때문에 선수각은 가능한 적은 값이 되어야 한다. 하지만 한편으로는 빙해역이 아닌 일반 해역에서 선수부 슬래밍을 유발할 우려가 있으므로 적절한 각도의 선수각을 유지할 필요가 있다.

그림 2-2에 보인바와 같이 선수각(stem angle)은 수평력과 수직력의 분포에 매우 중요한 영향을 미친다. 그리고 과대한 수평력이 생기는 것을 막기 위해서는 선수각이 적을수록 좋다.

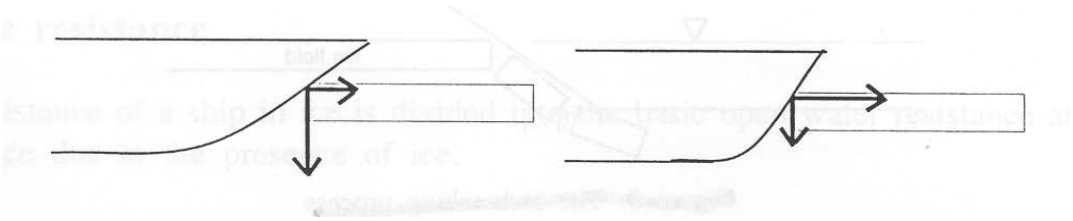


그림 2-2 선수각이 수평력과 수직력에 미치는 영향

쇄빙선의 선수부 형상은 여러 가지 설계 특성치를 고려하고 있다. 통상 flare angle(β)은 빙판을 깨뜨리는 것과 깨어진 빙이 물 속으로 잠기게 하는데 효과적으로 기여하며, waterline angle(α)은 깨뜨린 빙편을 선체 좌우측으로 깨끗이 제거하는데 기여하게 된다. 이중에서도 선수부와 빙판이 이루는 각도인 stem angle(Φ)은 빙판을 깨뜨리는 수직하중에 기여하는 바가 가장 클 뿐만 아니라 수선면각, flare angle, buttock angle, block coefficient등과 함께 작용하여 깨어진 빙편을 물 속으로 밀어 넣거나, 선체 좌우측으로 밀어내는데 기여하는 바가 크다.[6] 초창기의 쇄빙선형에서 보이는 30°정도의 비교적 큰 각도의 선수각이 근래에는 20°정도로 작아지는 경향이 있다.

각 부호는 그림 2-3에서 정의한 바와 같다.

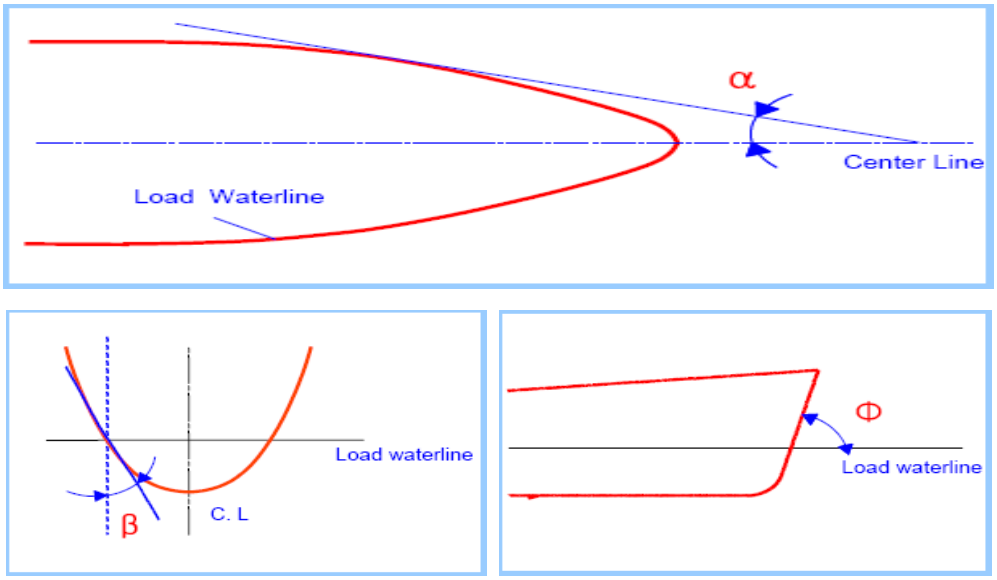


그림 2-3 쇄빙성능과 관련된 각(angle)의 정의

1968년 Kashtelyan에 의해 쇄빙선과 내빙상선(또는 쇄빙상선)의 적정 angle이 소개되었다.

- 쇄빙선
  - ▸Φ = 23 ~ 30°
  - ▸α = 22 ~ 32°
  - ▸β = 41 ~ 54°
- 쇄빙상선
  - ▸Φ = 30 ~ 40°
  - ▸α = 18 ~ 26°
  - ▸β = 49 ~ 70°

쇄빙선의 선수형상은 대부분 빙원을 지나갈 수 있는 능력을 가지고 있는 순수 쇄빙선과 내빙상선(또는 쇄빙상선)에 적용이 된다. 또, 중요한 특징은 저항과 관련하여 순수 쇄빙선의 '얼음을 깨는 성능'(channel clearing performance)이다. 즉, 이 성능은 쇄빙선이 지나간 다음에 부서진 얼음의 양으로 알 수 있다. 얼음을 깨는 성능이 좋은 쇄빙선은 항로에 있는 얼음을 깔끔하게 깰 수 있을 텐데 잘 깨어진 얼음은 오랫동안 프로펠러 손상을 줄이고 얼음에 의한 사고를 줄이거나 그 항로에서 배가 운항하는데 도움을 준다. 그림 2-4에 쇄빙선형상을 도시하였다.

그림 2-4 쇄빙선 형상

2.2 쇄빙선의 주요요목 특성

선박설계의 주요 치수인 길이, 폭, 흘수에 있어서 쇄빙선은 기존의 선박과는 다른 모습을 보이고 있다. 통상 쇄빙선에서는 중앙 평행부(parallel middle body)를 가지지 않는다. 선박이 얼음 위에 얹힐 때 쉽게 빠져나올 수 있도록 중앙 평행부의 형상이 결정되며, 이는 얼음과 선체 사이의 마찰저항을 줄이기 위한 장치인 물분사장치(water jet)나 공기 분사장치(air-bubble system)의 부착과도 관련된다. 2knots이하의 저속순항인 경우 이 장치는 마찰저항을 상당부분 감소시켜 준다. 한편 수선(waterline)상부의 flare형상은 주변의 얼음벽이나 빙맥에 걸리지 않도록 수직측벽이나 수직보다 안쪽으로 들어오게 제작되어야 한다. 특히 떠내려 오는 빙산을 현측으로 밀어내기 위한 경우 수직측벽은 중요하다.

또한 쇄빙능력을 향상시키기 위하여 수선면 형상은 선수쪽으로 치우치게 되어있으며, 선수 어깨부 뒤편으로는 길이방향으로 약간의 taper를 주어 빙편이 끼지 않도록 하고 있다. 선미부 형상 역시 일반 선박과는 다른 형상을 가지는데, 특히 깨어진 빙편이 propeller와 외판 사이에 끼지 않도록 충분한 공간을 확보하거나 propeller를 duct안에 넣어 보호하고 있다. propeller의 개수나 크기, 선미부 배치방법은 깨어진 빙편이 선미로 유입되는 정도에 따라 결정되는데 보통 2축 내지 3축의 배열로 하며 가변피치propeller(CPP)를 사용하는 경우도 있다. propeller는 큰 동력을 전달하도록 흘수의 제한 이내에서 가능한 크게 선택한다.

쇄빙선의 주요 요목에 대한 자료는 실선 및 모형선에 대한 빙저항/빙하중을 산정하는 여러 논문으로부터 대부분 확인할 수 있다.[7] 쇄빙선은 전장이 약 50~150m, 선폭이 10~35m 정도에 분포하고 길이와 선폭의 비율은 대개 4에서 5사이이며 기존의 선박에 비해 비교적 작다. 그림 2-5에 선박의 종류에 따른 L/B의 분포도를 나타내었다. 이는 유도쇄빙선이 만드는 개수로의 최대 폭이 유도되는 선박의 폭을 결정하기 때문에 일반 선박에 비해 폭이 크다는 것을 의미한다. 이 장폭비가 크게 되면 조종성능이 나빠지게 되기 때문에 이 비를 되도록 작게 설계하고 있다.

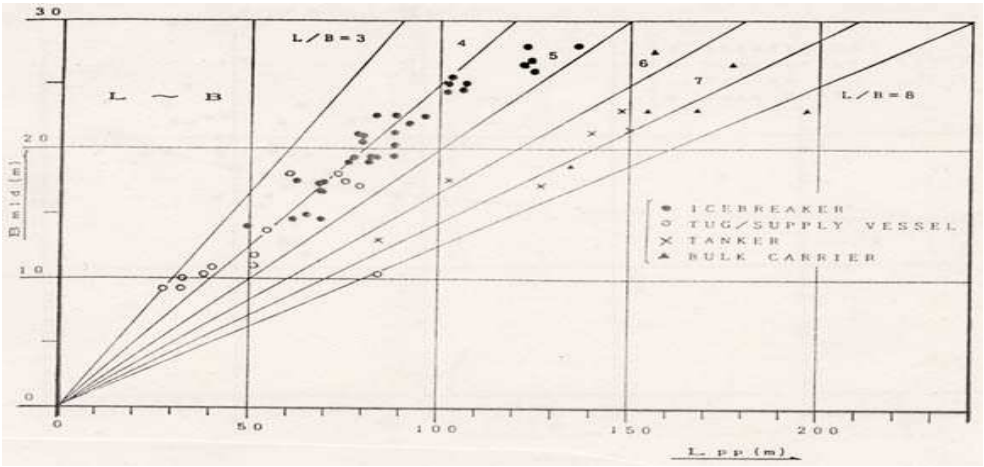


그림 2-5 선박의 종류에 따른 L/B의 관계

C_b(방형비척계수)는 보통 0.55 ~ 0.60의 범위가 많고, 이 값이 작을수록 쇄빙성능이 좋다.

주기관 마력과 배수량의 비율은 쇄빙선박의 쇄빙성능과 직접적인 연관이 있는 요목으로 비율이 크면 클수록 쇄빙성능이 좋아지게 되며 비교적 대형선의 경우 1.0 ~ 2.84의 범위에 있다. 쇄빙선의 경우 항로 개척이나 유도 혹은 단독으로 임무를 수행해야 하기 때문에 주기관 마력이 배수량에 비해 월등하게 높아야 한다.[8]

2.3 선형설계

본 논문에서는 기존의 쇄빙선의 실적선 자료를 근거로 하여 본 선형을 설계하였으며 설계선의 주요제원은 표2-1에, 설계선의 정면도는 그림 2-6에 보인바와 같다. 또한 만재 및 경하상태에서의 단면적곡선과 흘수선 수선면은 그림 2-7과 그림 2-8에 각각 도시하였다.

표2-1 설계선의 주요제원

구 분		만하상태	경하상태
LPP	(m)	95.00	95.00
LWL	(m)	102.00	102.0
BEAM	(m)	19.20	19.20
DRAFT (TF)	(m)	6.80	4.83
DRAFT (TA)	(m)	6.80	5.83
CB		0.611	0.54
CM		0.90	0.88
LCB	(% of LPP)	-1.10	-0.84
W. S. A (Without Appendage Area)	(m^2)	2335	1964.9

*(+) : 선체중앙에서 선수방향, (-) : 선체중앙에서 선미방향

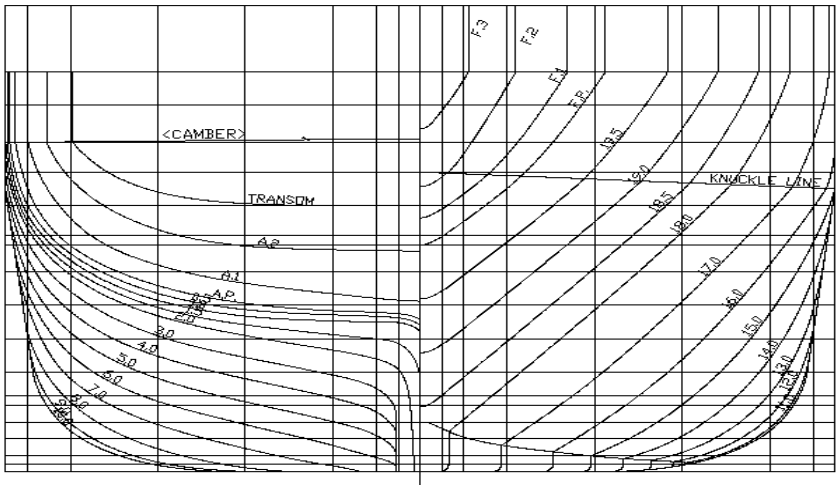


그림 2-6 설계선의 정면도

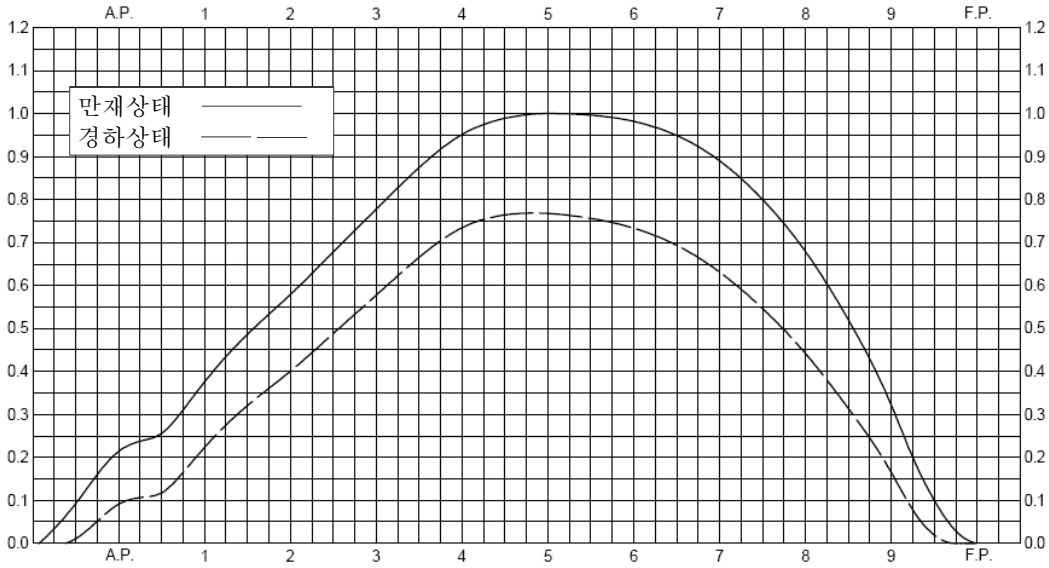


그림 2-7 단면적곡선

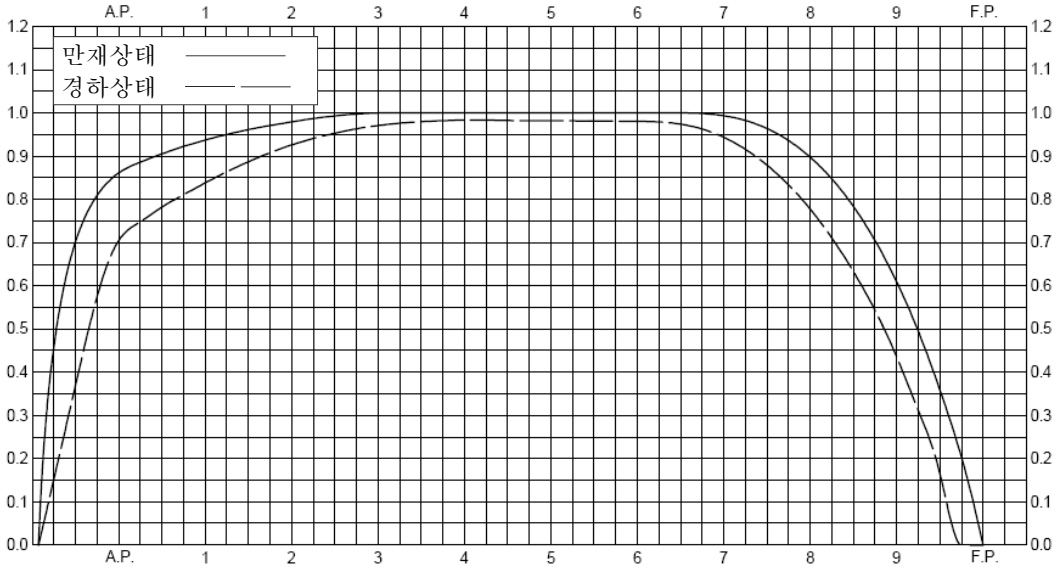


그림 2-8 흘수선 수선면

제3장 나선상태의 모형시험 및 성능추정

3.1 모형선

모형선은 그림 2-6에 보인 선도를 근거하여 축척비 1:63.33으로 제작하였고 폴리우레탄 수지(Poly Urethane Foam)를 사용하였다. 실선 운항상태와 같은 선체주위의 난류유동을 재현하기 위해서 각 모형선의 9번 스테이션과 $9\frac{1}{2}$ 스테이션에 직경 1.6㎜, 높이 2㎜의 난류촉진용 못을 10㎜간격으로 설치하였다. 모형선의 주요제원은 표 3-1에, 제작된 모형선 사진은 그림 3-1에 각각 수록하였다.

3.2 시험수조

선박의 저항성능을 예측하기 위해서는 가능한 한 척도효과가 작은 대형 모형선을 이용하여 예인수조에서 실험을 수행하는 것이 일반적인 관례이다. 그러나 여러 차례 선형을 개선하고자 할 때 혹은 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. 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 수정을 하여야 한다. 회류수조 실험치를 실선 값으로 확장시키기 위해서는 이러한 수정 방법 및 계수설정에 축적된 자료와 경험이 필요하다. 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 유선관측시험은 선체나 각종 부유체 주위의 유동현상을 관찰하고 문제점을 찾아내어 개선하는 기법으로 장시간 동안 육안으로 직접 관찰할 수 있는 장점이 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 정도를 개선하기위하여 이를 예인수조의 결과치로 변환시키고 다시 이 결과를 실선으로 확장시키는 방법을 사용한다.

본 연구과정의 모형시험은 조선대학교의 회류수조에서 수행하였으며 그림 3-2에 조선대학교 회류수조의 주요특성 및 개략적인 형상을 도시하였다.

3.3 모형시험

3.3.1 저항시험

저항시험은 만재상태 및 경하상태에서 수행되었으며, 그 결과들은 ITTC-78 해석법에 제안된 다음의 식들을 사용하였다.

실선의 전저항계수는 다음식과 같이 계산하였다.

$$C_{TS} = C_{FS} + C_R + \Delta C_F \qquad (3\text{-}1)$$

여기서, C_{TS}는 실선전저항계수, C_{FS}는 실선마찰저항계수, C_R은 잉여저항계수 그리고, ΔC_F는 선체표면 거칠기계수이다

ΔC_F는 다음식과 같이 계산하였다.

$$\Delta CF = [105 \cdot (K_S/L_S)^{1/3} - 0.64] \cdot 10^{-3} \qquad (3\text{-}2)$$

여기서, K_S는 선체표면 거칠기로서 150×10^{-6}m이며 L_S는 흘수선의 길이이다.

저항시험 결과는 표 3-2.a 및 3-2.b에 정리하였으며, 저항시험 결과로부터 계산된 전저항계수 및 잉여저항계수 곡선은 그림 3-3과 그림 3-4에 각각 수록되었다.

저항시험 결과를 해석하여 유효마력을 계산한 결과는 표 3-3에 그리고 유효마력 곡선은 그림 3-5에 비교 도시하였다.

3.3.2 파형관측시험

선형의 특성변화에 따른 파형변화를 관찰하기 위하여 만재상태와 경하상태의 선속 11 ~ 13노트에서 각 속도별로 파형관측시험을 수행하였으며 파형관찰시험 결과는 그림 3-6부터 그림 3-17까지에 각각 수록하였다.

빙저항 감소 부가물 개발의 기초자료를 만들기 위하여 만재상태에서 계획속

도인 12노트와 경하상태에서 계획속도인 13노트에 대한 선측파형을 스케치하여 그림 3-18과 같이 도시하였다.

그림 3-18에서 알 수 있는바와 같이 6~8번 Station과 1~3번 Station 사이의 압력이 상대적으로 낮아졌으며 이를 참조하여 빙저항 감소 부가물을 개발하였다.

3.3.3 유장관찰시험

선체 표면에서의 유동현상을 조사하기 위한 유장관찰시험은 계획속도인 12노트의 만재상태에서 수행되었으며 유장관찰시험 결과는 그림 3-19 부터 그림 3-22까지에 각각 수록하였다.

그림 3-19부터 3-22에 도시한 사진들을 참조하여 모형선 선수·미 주위에서의 압력분포도를 그림 3-23에 보인바와 같이 정리하였다. 그림 3-23에 도시한 압력분포도를 분석해 보면 선수에서는 8~9번 Station사이의 흘수 부근이 가장 압력이 높은 것으로 나타났으며 선미부근에서는 비교적 압력분포 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

표 3-1 실선 및 모형선의 주요제원

구 분		만재상태		경하상태	
		실선	모형선	실선	모형선
LPP	(m)	95.00	1.500	95.00	1.500
LWL	(m)	102.00	1.611	102.00	1.611
BEAM	(m)	19.20	0.303	19.20	0.303
DRAFT (TF)	(m)	6.80	0.107	4.83	0.076
DRAFT (TA)	(m)	6.80	0.107	5.83	0.92
CB		0.611	0.611	0.54	0.542
CM		0.90	0.900	0.88	0.88
LCB	(% of LPP)	-1.10	-1.100	-0.84	-0.84
W. S. A (Without Appendage Area)	(m^2)	2350	0.586	1964.9	0.4890

*(+) : 선체중앙에서 선수방향, (-) : 선체중앙에서 선미방향

표 3-2.a 만재상태에서 저항시험 결과

K= 0.315

No.	V(m/s)	Rto(gr)	$Rn*10^{-6}$	$Ct*10^3$	$Cf*10^3$	$Cr*10^3$	r_R*10^3	Fn	r_W*10^3	No.
1	0.9937	235.4	14.503	8.064	4.331	3.733	11.383	0.2503	7.224	1
2	0.8731	157.6	12.743	6.993	4.450	2.543	7.755	0.2199	3.480	2
3	0.9326	187.6	13.612	7.296	4.389	2.907	8.866	0.2349	4.650	3
4	0.7530	112.5	10.990	6.711	4.593	2.119	6.460	0.1896	2.049	4
5	0.8169	136.2	11.923	6.904	4.513	2.390	7.289	0.2057	2.954	5
6	0.6387	79.0	9.322	6.551	4.760	1.791	5.461	0.1609	0.889	6
7	0.6954	94.3	10.150	6.596	4.672	1.924	5.866	0.1751	1.378	7
8	0.5175	51.5	7.553	6.505	4.987	1.518	4.629	0.1303	-0.161	8
9	0.5766	63.9	8.416	6.501	4.868	1.633	4.980	0.1452	0.304	9
10	0.3964	30.5	5.786	6.566	5.298	1.267	3.865	0.0998	-1.225	10
11	0.4562	40.1	6.658	6.518	5.131	1.387	4.229	0.1149	-0.699	11
12	0.3396	22.6	4.957	6.629	5.493	1.136	3.464	0.0855	-1.812	12
13	0.0000	-0.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.000	13
14	0.3394	22.6	4.954	6.636	5.494	1.143	3.485	0.0855	-1.791	14
15	0.3991	31.0	5.825	6.583	5.290	1.293	3.944	0.1005	-1.138	15
16	0.4551	39.9	6.642	6.516	5.133	1.383	4.217	0.1146	-0.713	16
17	0.5180	51.6	7.560	6.505	4.986	1.519	4.633	0.1305	-0.156	17
18	0.5766	64.0	8.416	6.512	4.868	1.643	5.011	0.1452	0.335	18
19	0.7546	113.1	11.014	6.719	4.591	2.128	6.489	0.1900	2.079	19
20	0.8171	136.5	11.926	6.916	4.513	2.402	7.326	0.2058	2.991	20
21	0.8742	159.0	12.759	7.038	4.449	2.589	7.894	0.2202	3.620	21
22	0.9322	191.6	13.606	7.458	4.389	3.069	9.358	0.2348	5.142	22
23	0.9947	238.1	14.518	8.140	4.330	3.810	11.618	0.2505	7.459	23
24	0.9317	189.7	13.599	7.392	4.390	3.002	9.155	0.2346	4.939	24
25	0.8741	159.1	12.758	7.044	4.449	2.595	7.912	0.2201	3.638	25
26	0.9964	239.2	14.543	8.150	4.328	3.821	11.653	0.2509	7.495	26

표 3-2.b 경하상태에서 저항시험 결과

K= 0.265

No.	V(m/s)	Rto(gr)	$Rn*10^{-6}$	$Ct*10^{3}$	$Cf*10^{3}$	$Cr*10^{3}$	r_R*10^{3}	Fn	r_W*10^{3}	No.
1	0.9939	192.0	14.506	7.791	4.331	3.460	11.295	0.2503	7.549	1
2	0.8739	131.3	12.755	6.892	4.449	2.442	7.972	0.2201	4.123	2
3	0.9326	156.8	13.612	7.227	4.389	2.838	9.263	0.2349	5.467	3
4	0.6965	78.3	10.166	6.470	4.671	1.799	5.872	0.1754	1.832	4
5	0.8153	111.5	11.900	6.724	4.515	2.209	7.209	0.2053	3.303	5
6	0.7526	93.9	10.985	6.645	4.593	2.052	6.698	0.1895	2.725	6
7	0.5750	52.0	8.392	6.305	4.871	1.433	4.678	0.1448	0.465	7
8	0.0000	-0.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.000	8
9	0.6384	65.5	9.318	6.442	4.760	1.682	5.490	0.1608	1.373	9
10	0.4541	32.0	6.628	6.221	5.136	1.085	3.540	0.1144	-0.902	10
11	0.5178	42.1	7.558	6.294	4.986	1.308	4.270	0.1304	-0.043	11
12	0.3394	17.7	4.954	6.159	5.494	0.666	2.173	0.0855	-2.578	12
13	0.3975	24.2	5.802	6.139	5.295	0.844	2.756	0.1001	-1.824	13
14	0.0000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.000	14
15	0.3401	17.8	4.964	6.169	5.491	0.678	2.212	0.0857	-2.537	15
16	0.5757	52.0	8.403	6.289	4.870	1.419	4.633	0.1450	0.421	16
17	0.6391	65.7	9.328	6.448	4.759	1.689	5.512	0.1610	1.395	17
18	0.6967	79.0	10.169	6.524	4.671	1.854	6.050	0.1755	2.010	18
19	0.7540	94.5	11.005	6.663	4.592	2.072	6.761	0.1899	2.790	19
20	0.8180	113.3	11.939	6.787	4.512	2.275	7.426	0.2060	3.524	20
21	0.8743	133.0	12.761	6.975	4.449	2.526	8.243	0.2202	4.395	21
22	0.9309	156.5	13.587	7.239	4.390	2.849	9.298	0.2344	5.501	22
23	0.8746	132.9	12.765	6.964	4.449	2.516	8.212	0.2203	4.364	23
24	0.8164	113.1	11.916	6.802	4.514	2.288	7.468	0.2056	3.563	24
25	0.6952	78.7	10.147	6.527	4.673	1.855	6.053	0.1751	2.012	25

표 3-3 속도 및 유효마력 비교표 (단위:KW)

속 도 (노 트)	EHP (만재상태)	EHP (경하상태)
10	596	558
11	820	765
12	1163	1062
13	1560	1425

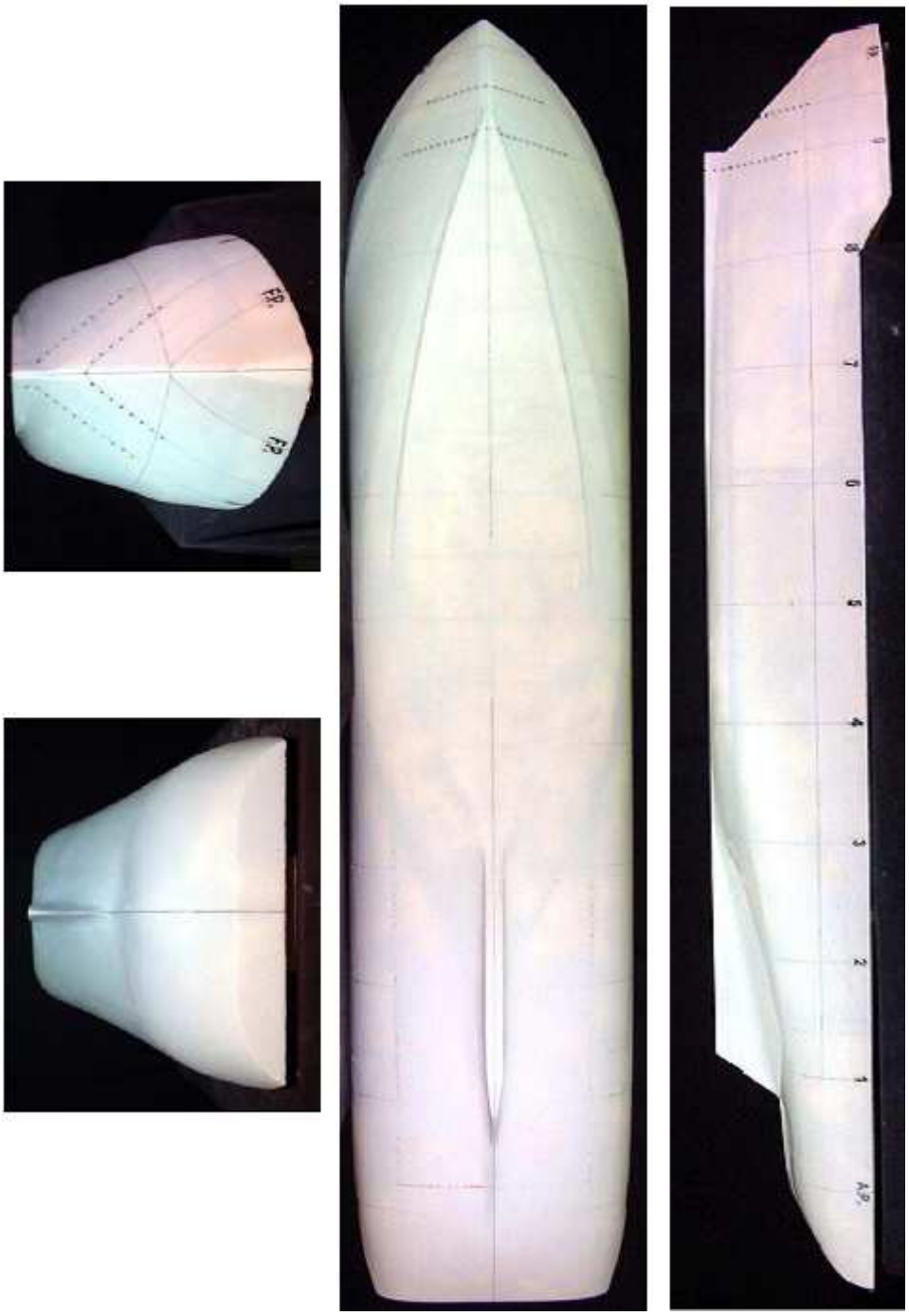
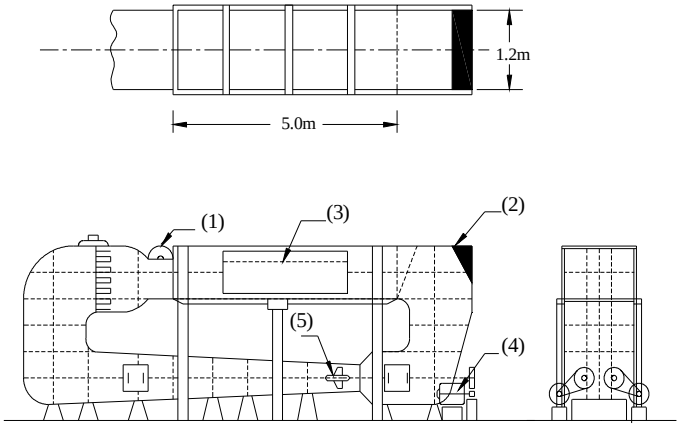


그림 3-1 모형선

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

그림. 3-2 조선대학교 회류수조 개략도

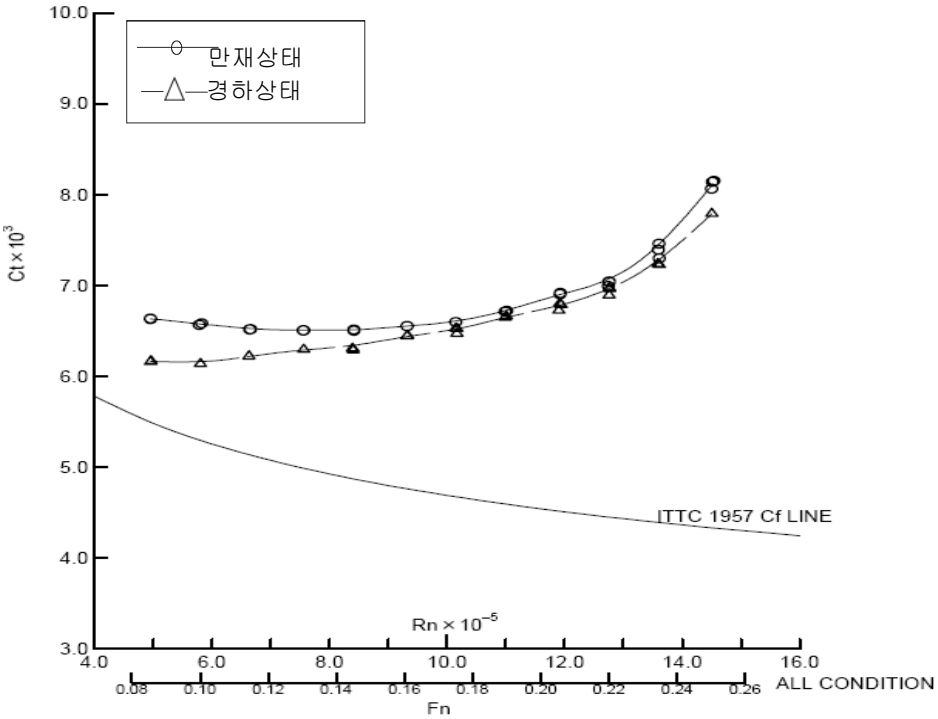


그림 3-3 전저항계수(C_T)

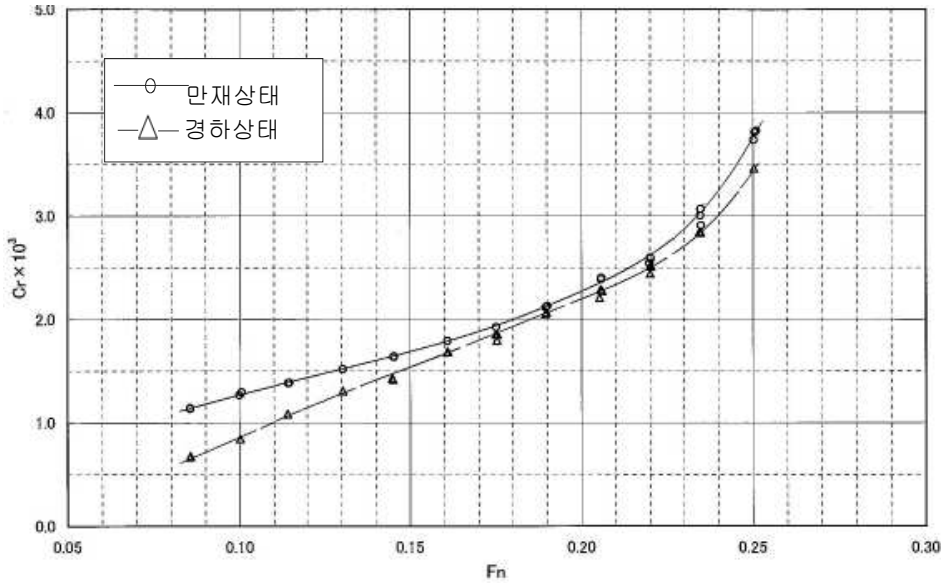


그림 3-4 잉여저항계수(C_R)

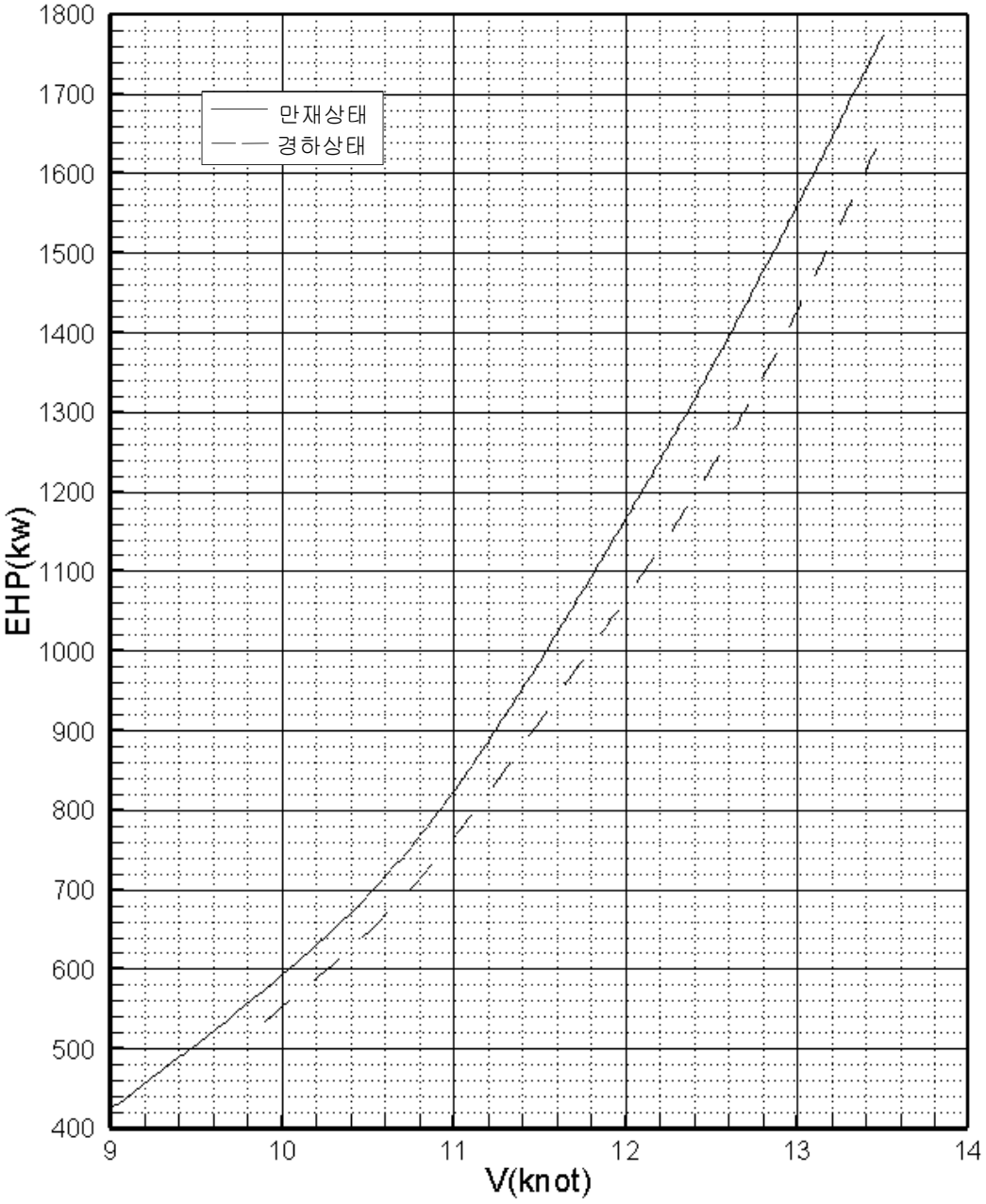
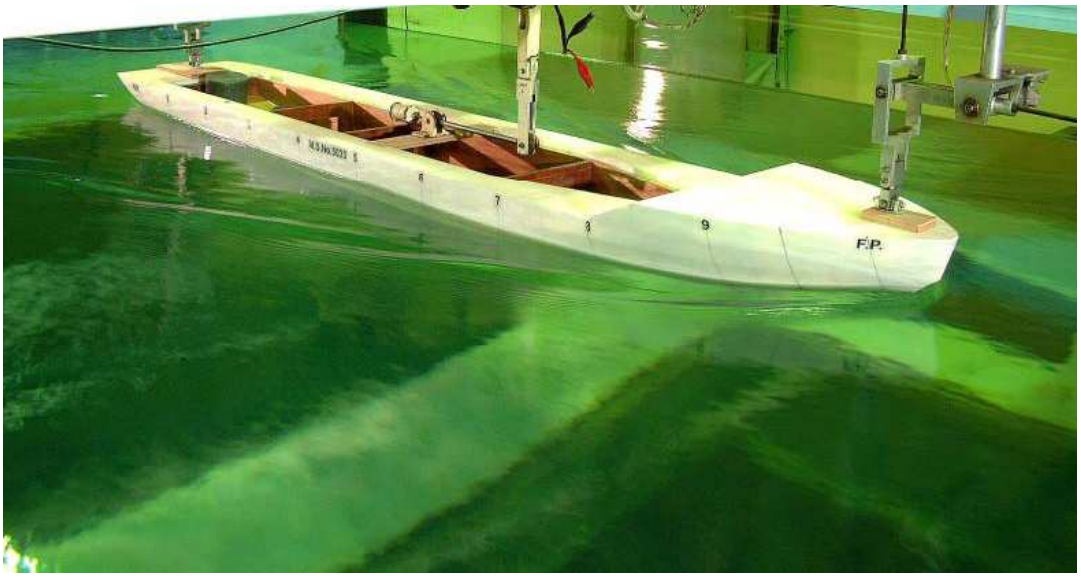


그림 3-5 유효마력 비교곡선 (단위:KW)

그림 3-6 만재상태에서 파형관찰시험 (11 KNOT)



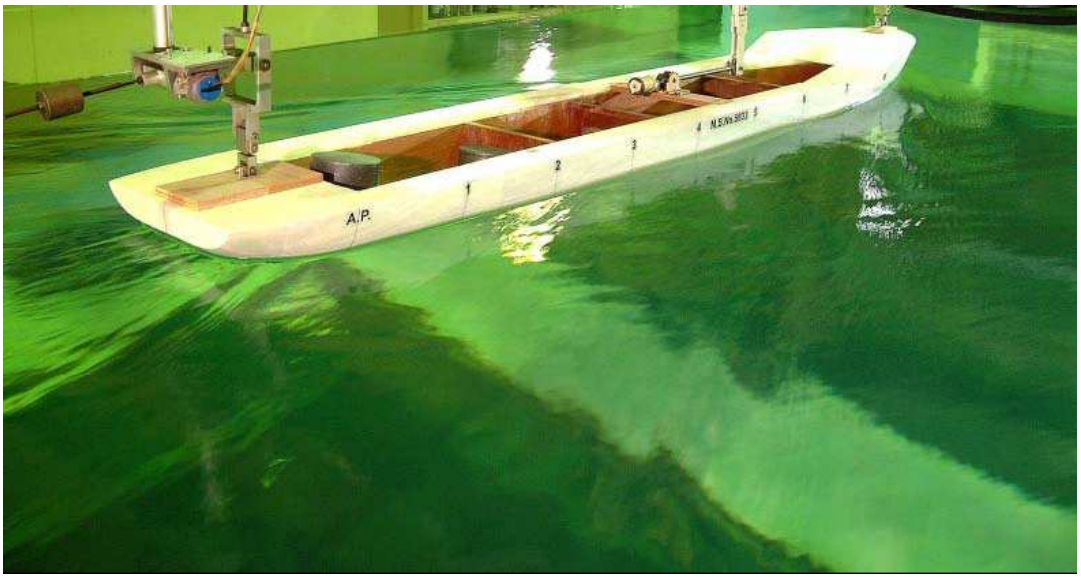


그림 3-7 만재상태에서 파형관찰시험 (11 KNOT)

그림 3-8 만재상태에서 파형관찰시험 (12 KNOT)

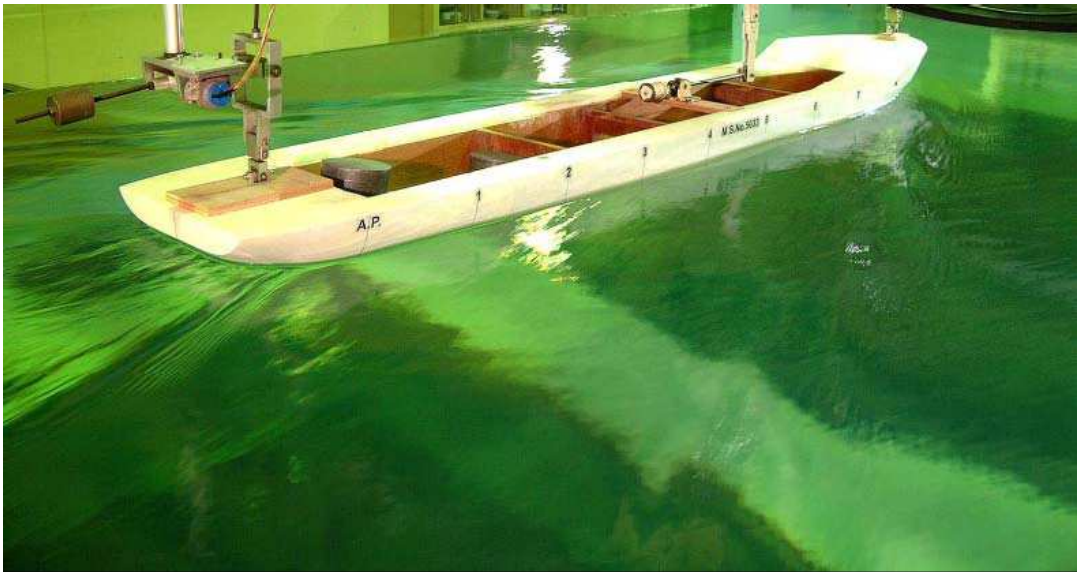


그림 3-9 만재상태에서 파형관찰시험 (12 KNOT)

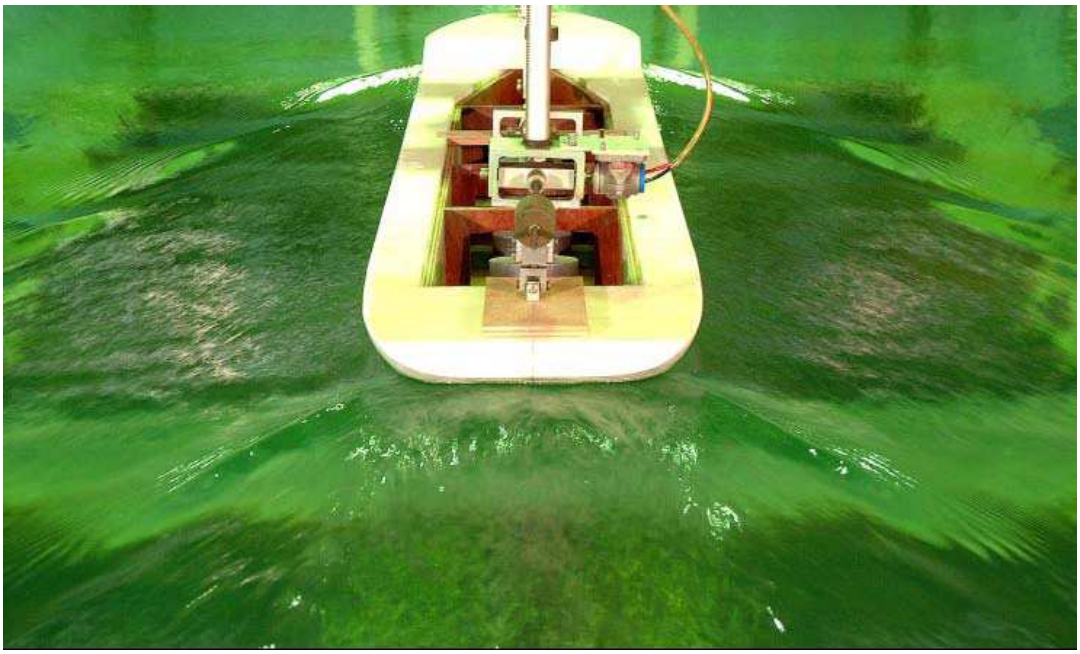
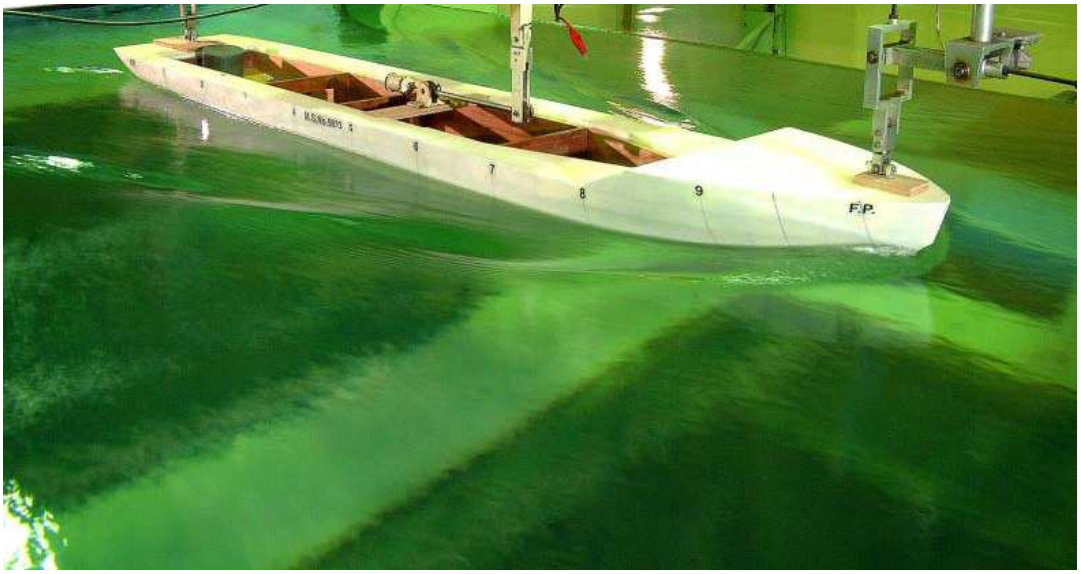


그림 3-10 만재상태에서 파형관찰시험 (13KNOT)



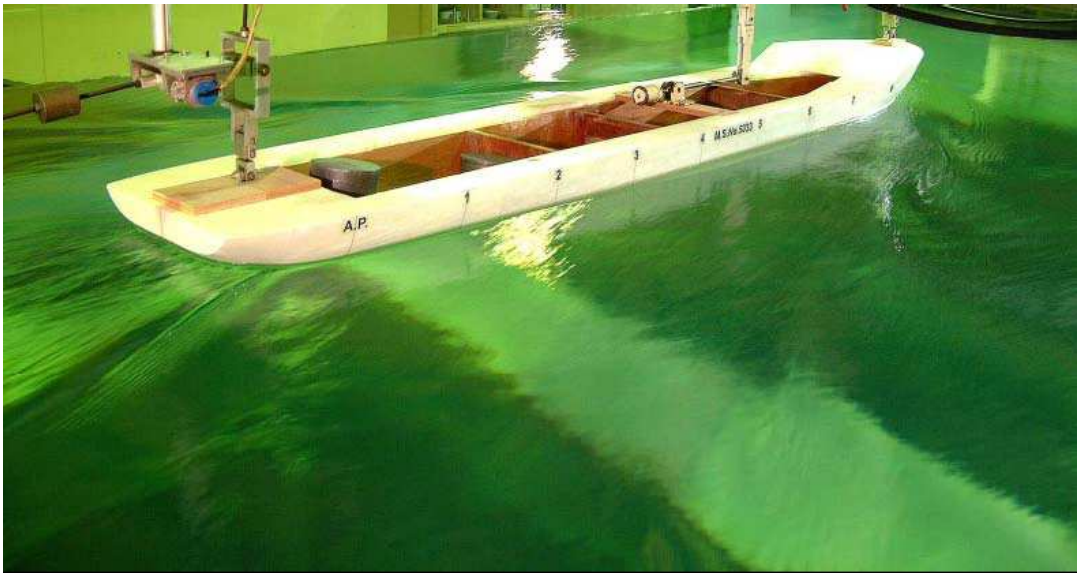


그림 3-11 만재상태에서 파형관찰시험 (13 KNOT)

그림 3-12 경하상태에서 파형관찰시험 (11 KNOT)

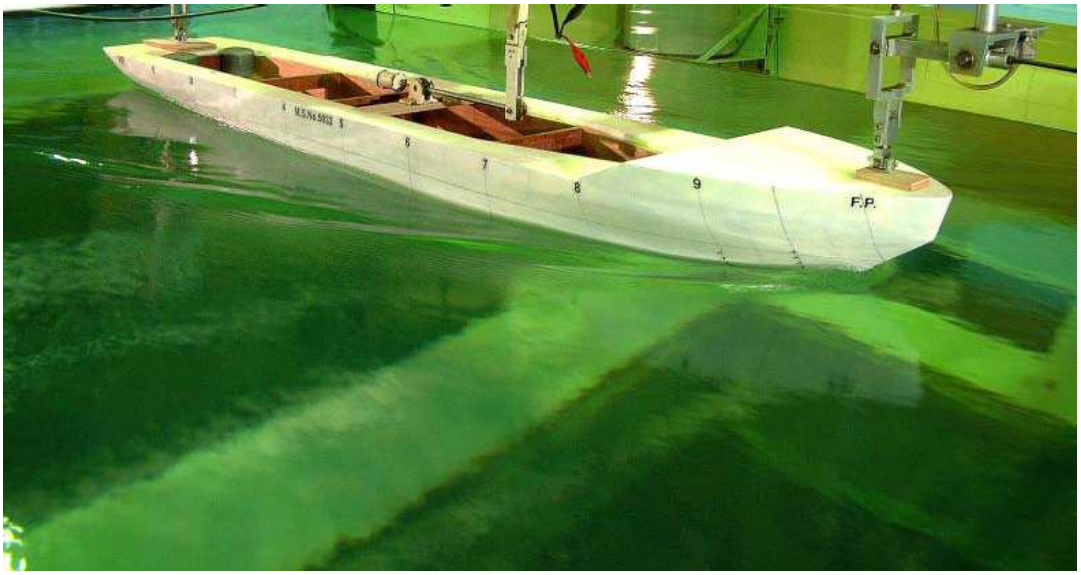


그림 3-13 경하상태에서 파형관찰시험 (11 KNOT)

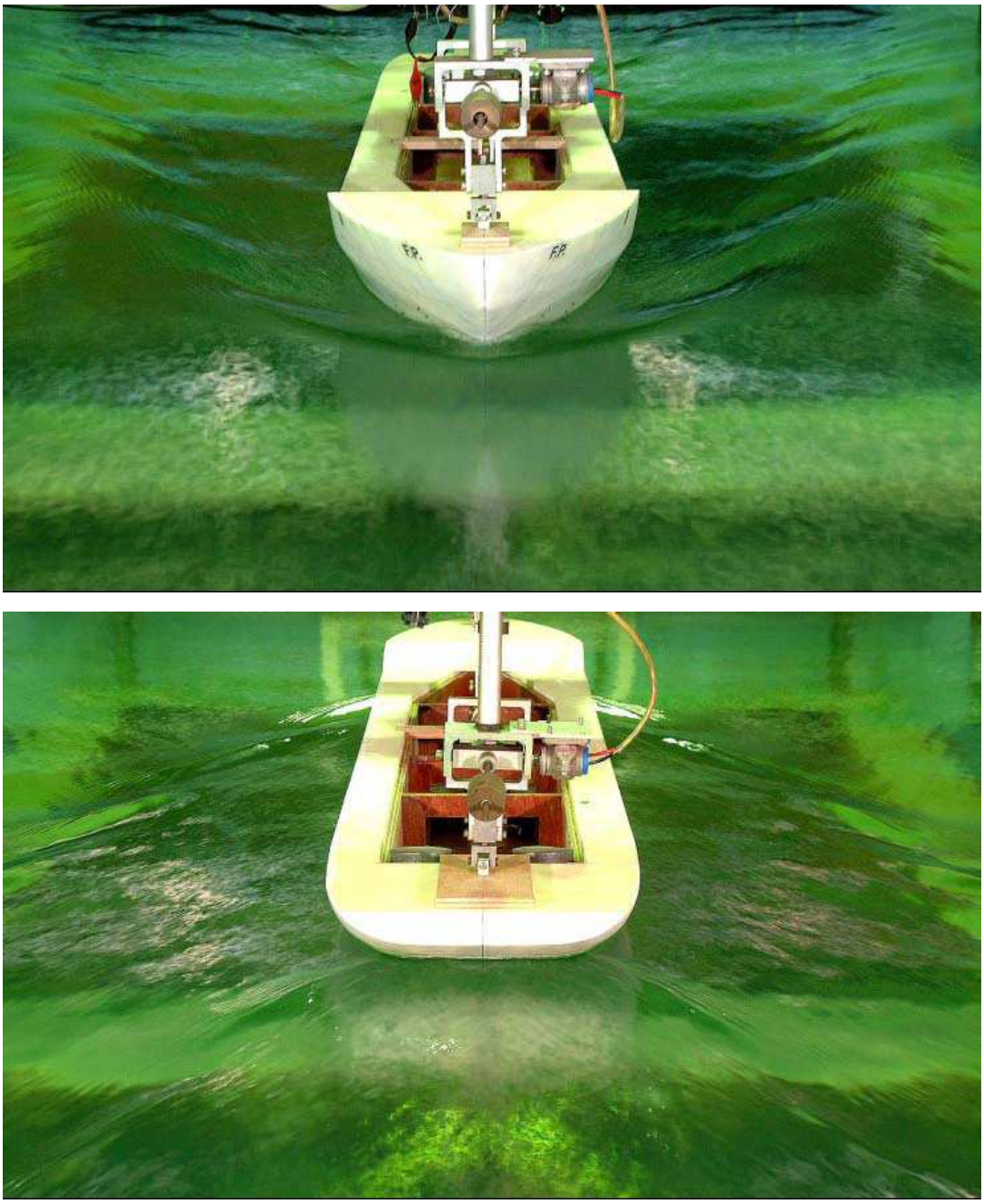


그림 3-14 경하상태에서 파형관찰시험 (12 KNOT)

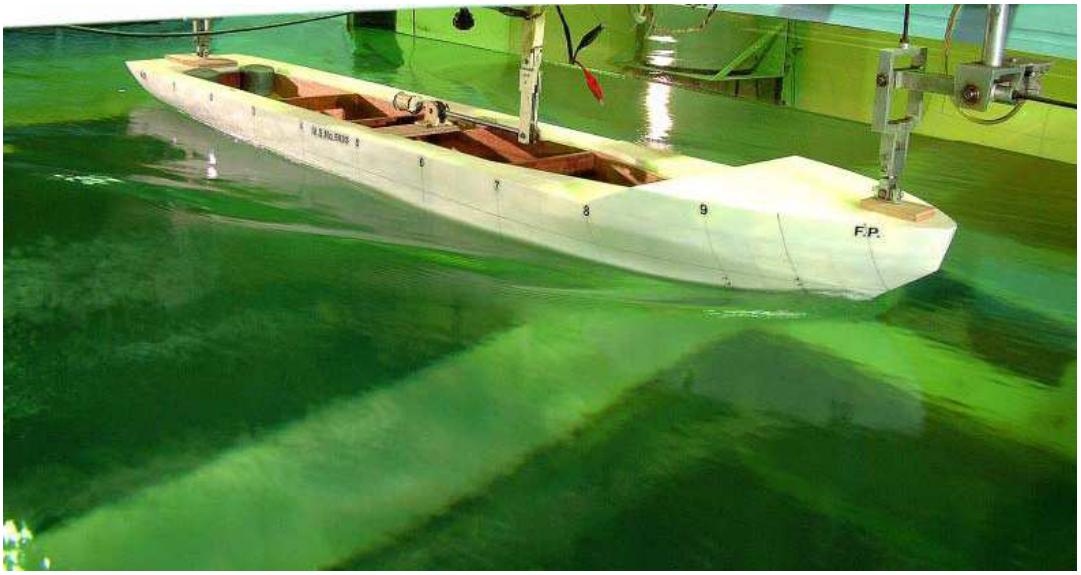


그림 3-15 경하상태에서 파형관찰시험 (12 KNOT)

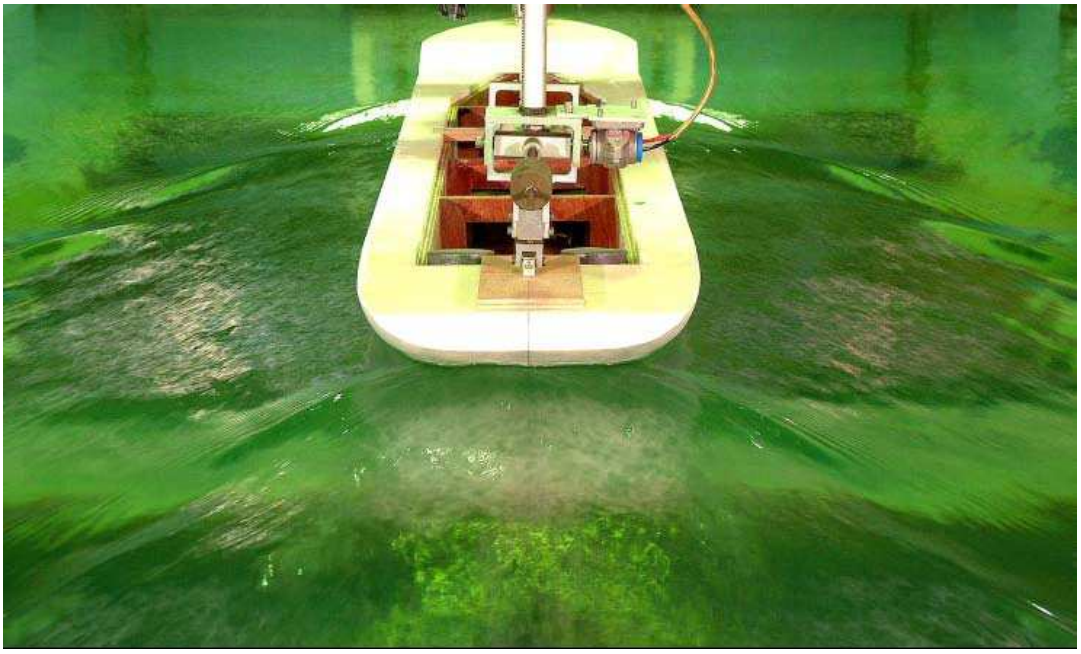


그림 3-16 경하상태에서 파형관찰시험 (13 KNOT)

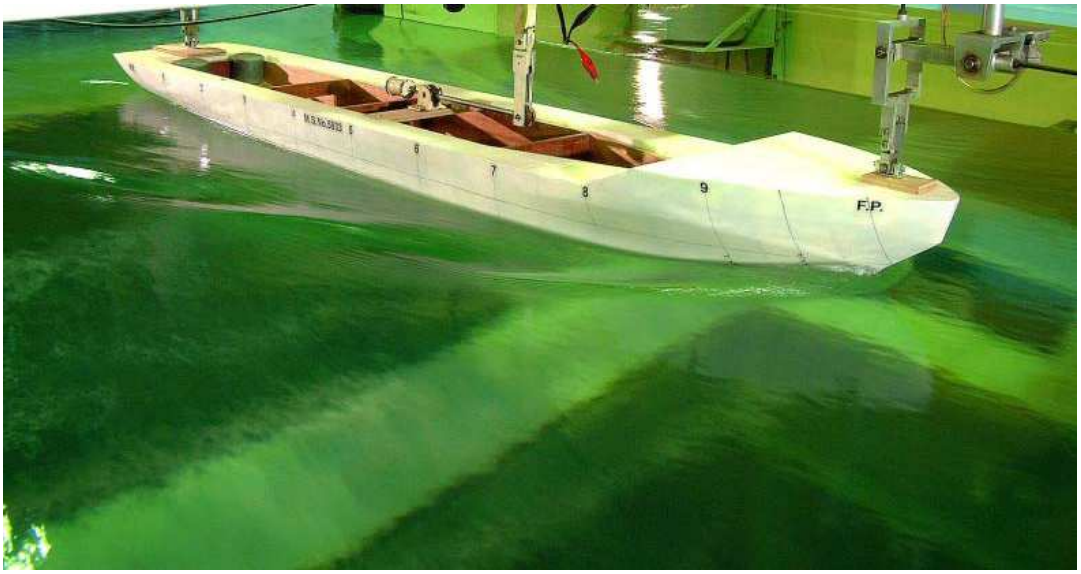


그림 3-17 경하상태에서 파형관찰시험 (13 KNOT)

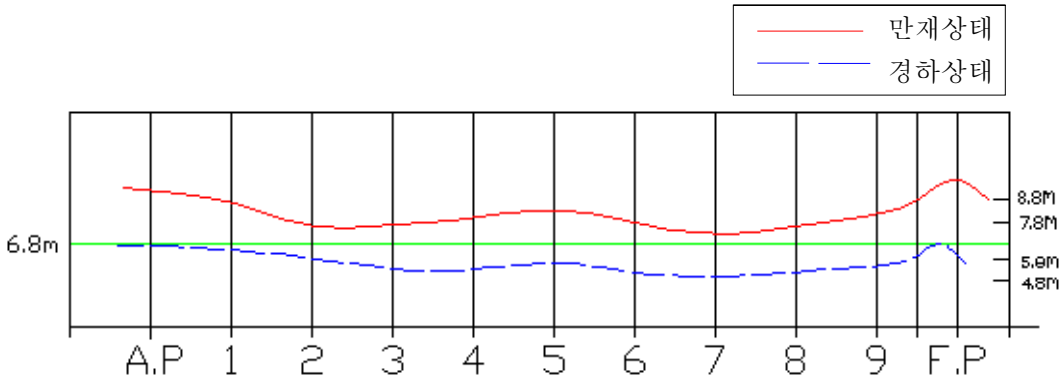


그림 3-18 계획속도에서 선측파형

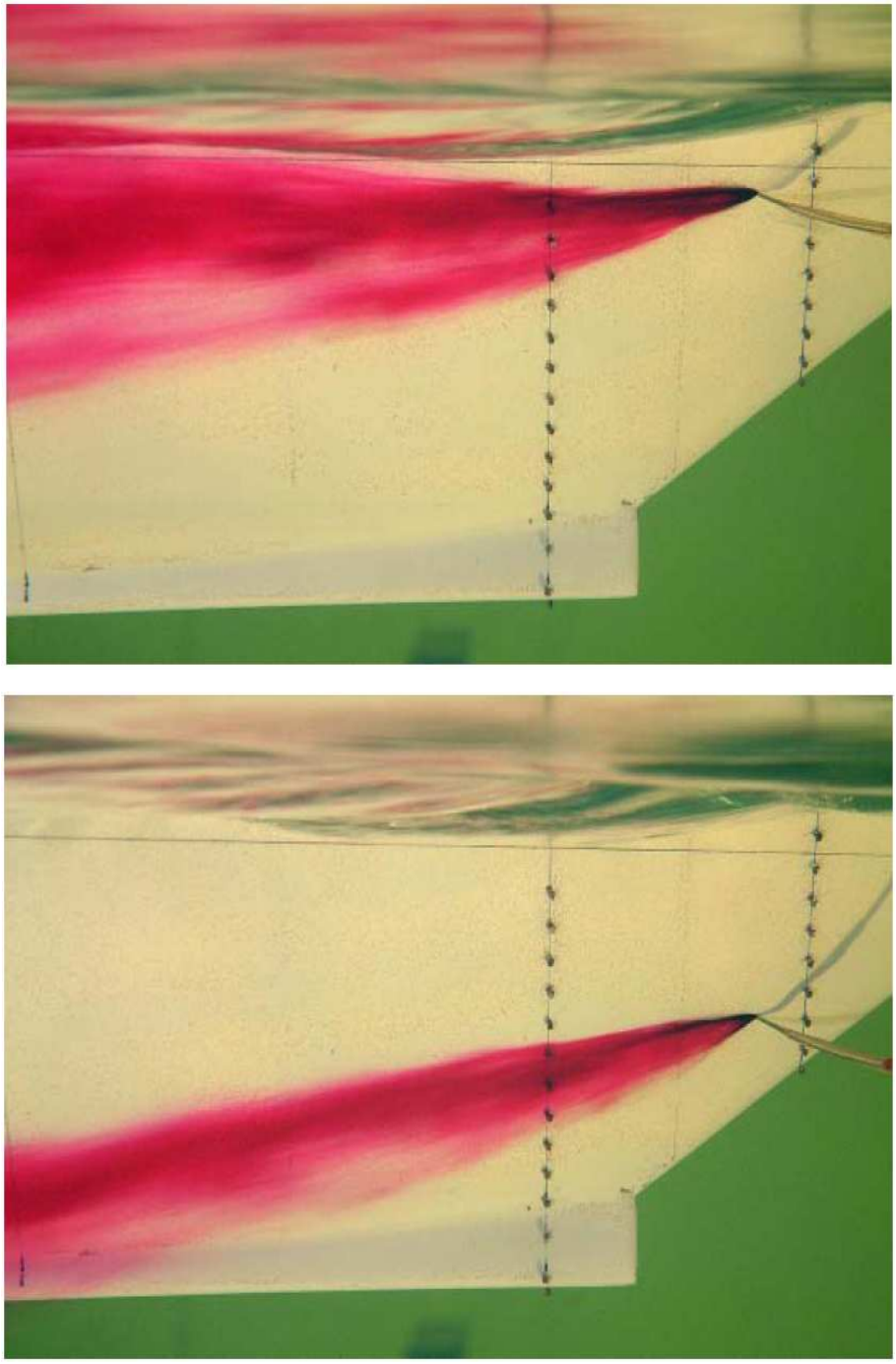


그림 3-19 만재상태에서 유장관찰시험 (선수)

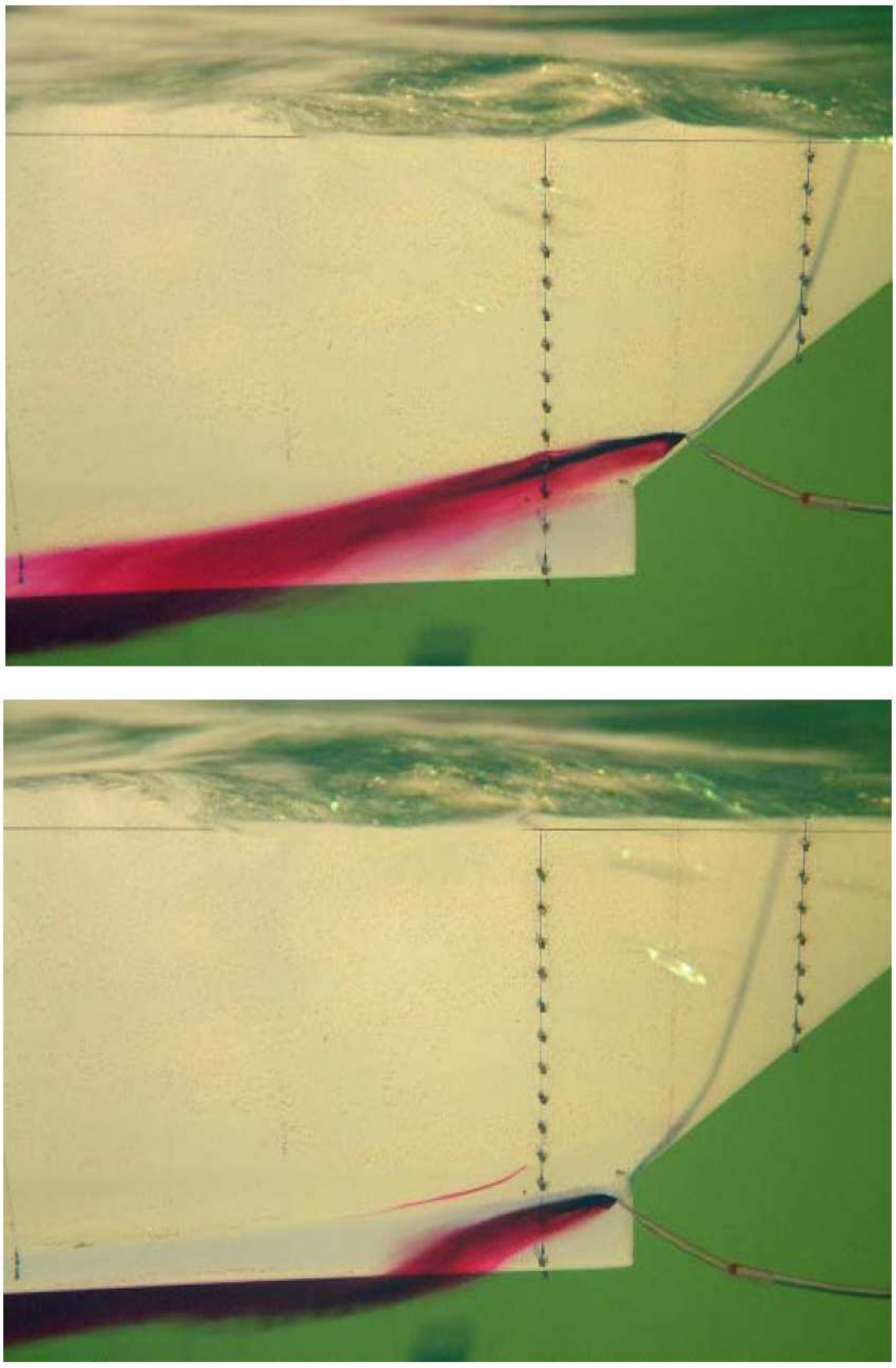


그림 3-20 만재상태에서 유장관찰시험 (선수)

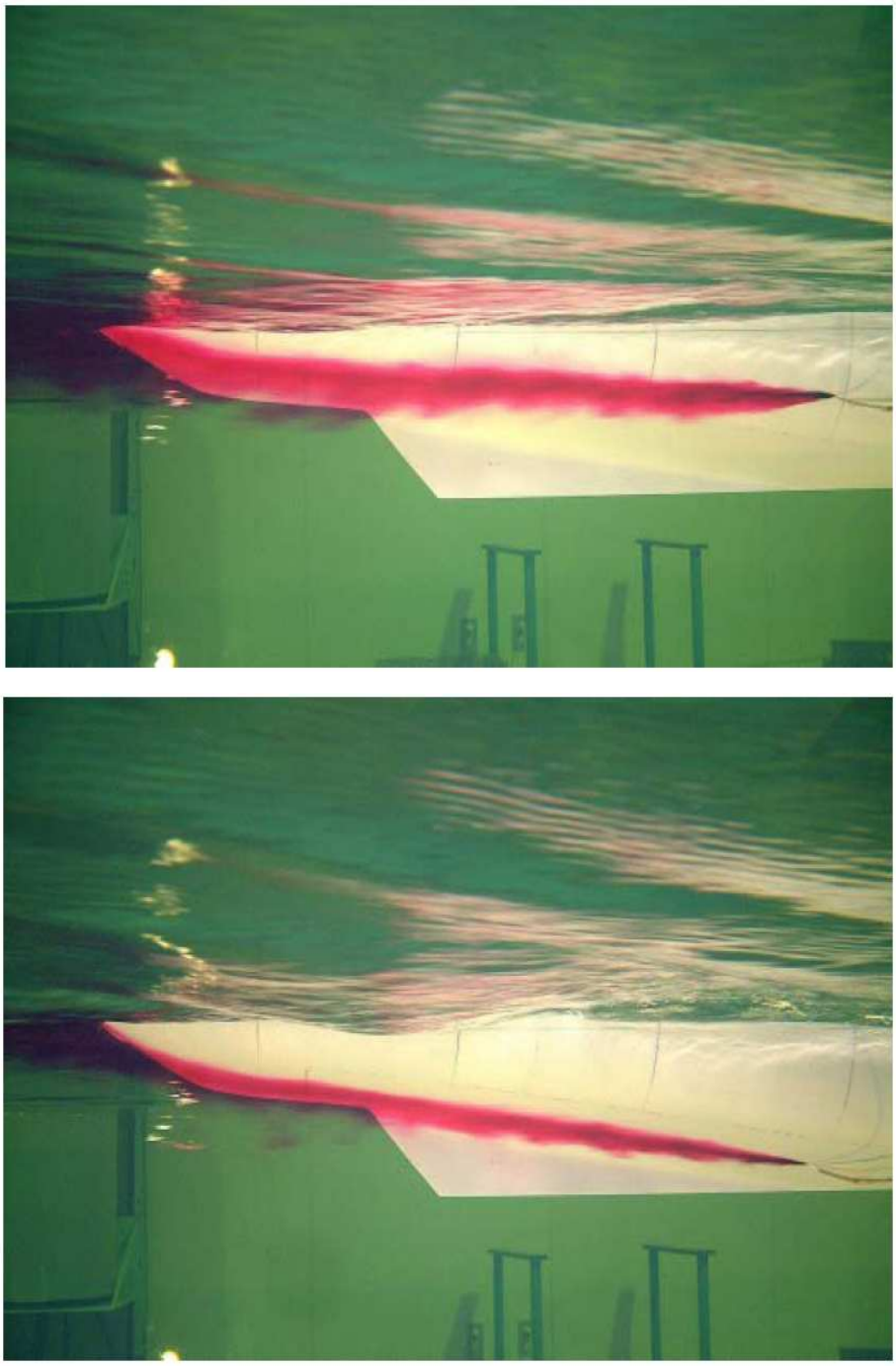


그림 3-21 만재상태에서 유장관찰시험 (선미)

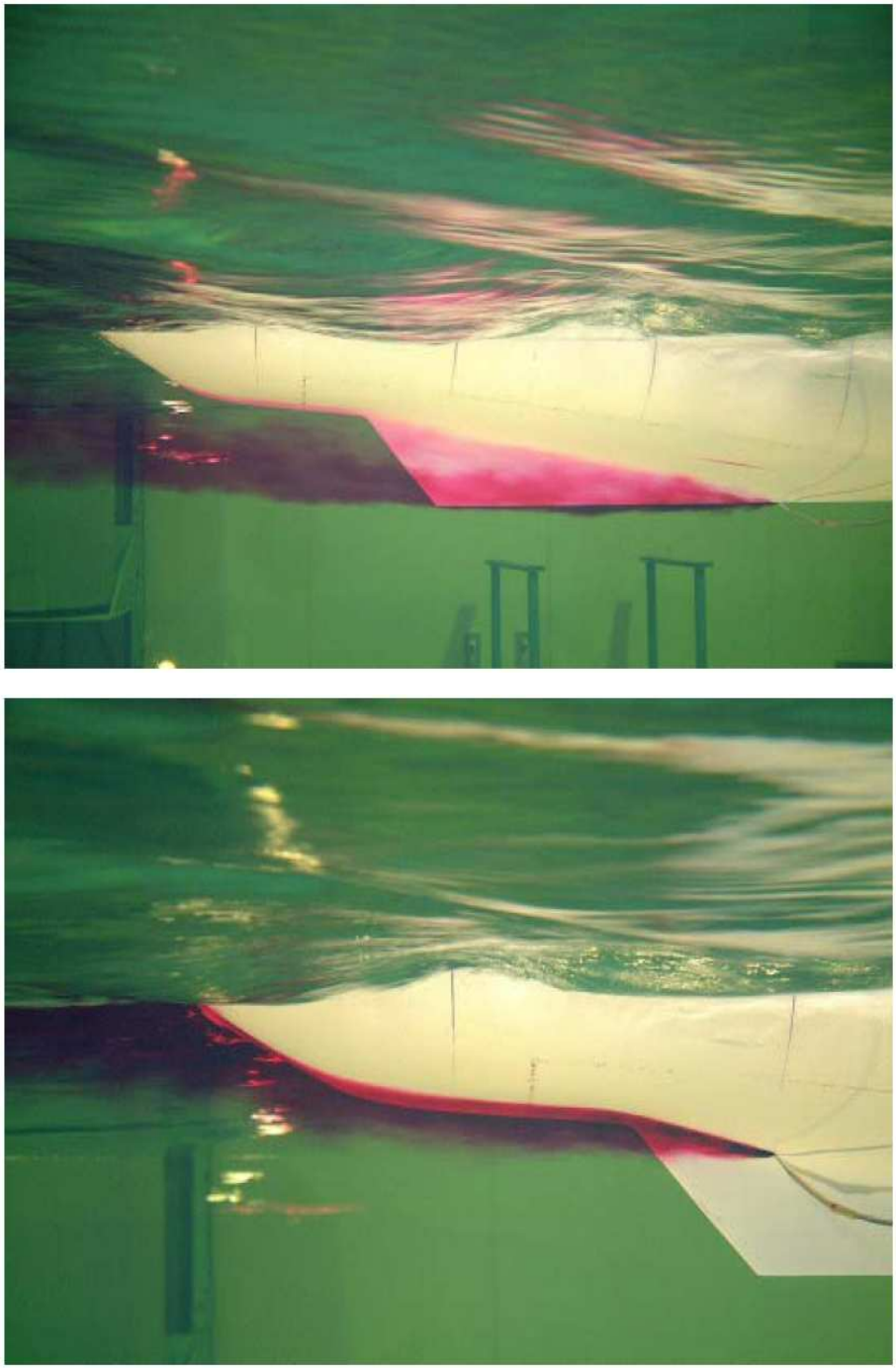


그림 3-22 만재상태에서 유장관찰시험 (선미)

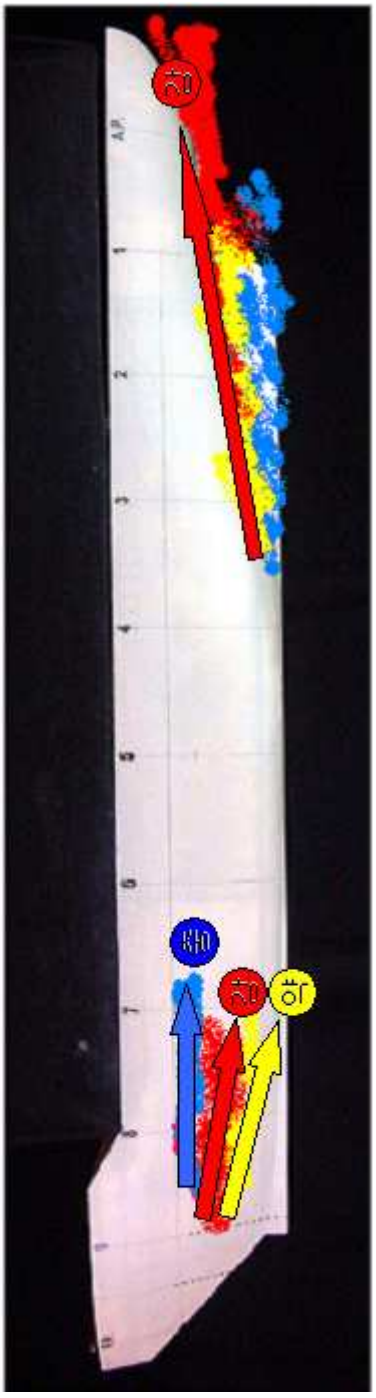


그림 3-23 선수 · 미 주위의 압력분포도

제4장 빙저항 감소 부가물 개발

4.1 빙저항

빙저항이란 쇄빙선박이 빙판을 깨뜨리며 전진하기 위하여 갖추어야 할 추진기관의 출력을 결정하기 위해서 알아야 할 사항이다. 하지만 실제 빙해역의 빙상상태는 평탄빙(level ice)이나 다년생 빙맥(multi-year ice ridge), 얼음조각층(ice rubble field) 등 매우 다양한 조건이지만 대부분의 연구는 평탄빙에서의 빙저항을 다루고 있다. 이는 평탄빙에서의 빙저항 해석이 가장 기본이 되며 또한 제일 용이하게 수행할 수 있다는 점 때문일 것이다.

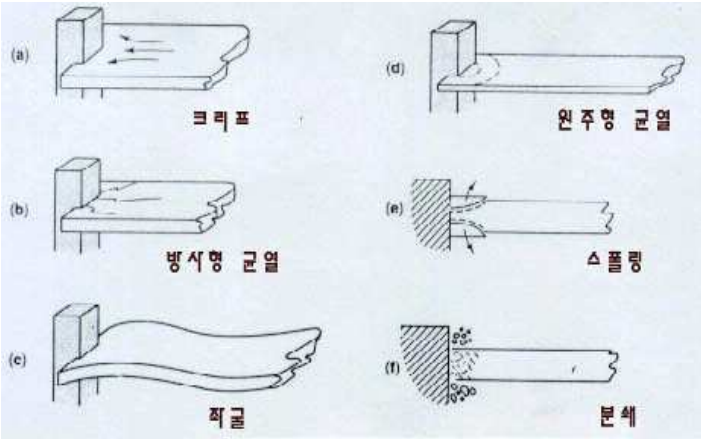


그림 4-1 얼음의 파괴 형태

실험실과 현장관측을 통해 살펴본 바에 따르면 얼음은 여러 가지 파괴양식으로 부서진다. 이 결과를 설계에 이용하기 위하여 빙하중을 계산하는 많은 경험식이 제시된 바 있다.

- 크리프 : 빙판의 유입속도가 아주 느린 경우에는 완전히 연속체적인 소성변형이

발생하며 균열이 형성되지 않는다.

- 방사형 균열 : 형상비(aspect ratio: 구조물 폭과 빙판 두께의 비)가 큰 경우에는 구조물 구석부에서 뻗어나가는 방사형 균열이 주로 관측된다.
- 좌굴 : 얇은 빙판은 굽힘 변형에 의해 좌굴이 발생하기 쉬운데 이러한 좌굴은 매우 불안정하여 원주형 균열이 재빨리 만들어진다.
- 원주형 균열 : 좌굴의 결과이거나 혹은 빙판에 굽힘 모멘트가 가해짐으로써 원주형 균열이 형성될 수 있다.
- 스폴링(spalling) : 빙판의 유입속도가 빠르고 형상비가 작은 경우에는 빙편이 비늘처럼 깨어서 떨어져 나가는 스폴링이 일어난다.
- 분쇄 (crushing) : 빙판의 유입속도가 아주 빠르면 접촉부의 얼음이 가루처럼 파괴되어 빙판의 위아래로 빠져나가는 현상이 일어난다.

그림 4-2에 쇄빙선박에 의해 평탄빙에서 연속쇄빙과정이 이루어지는 순서를 개략적으로 보여주고 있다.[9]

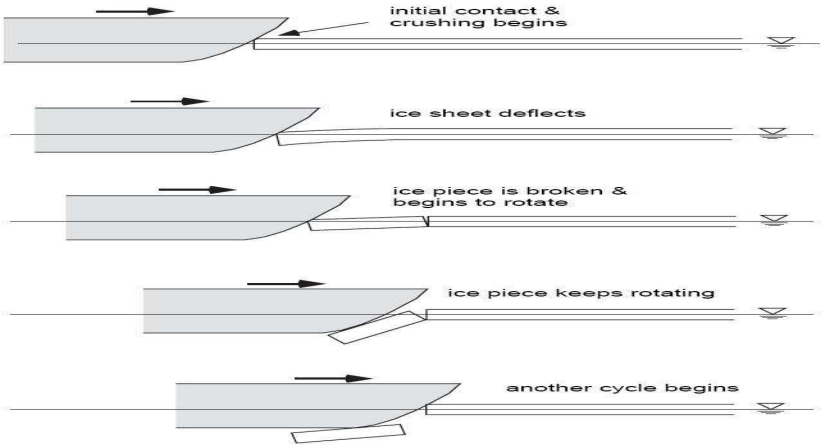


그림 4-2 연속쇄빙 과정

빙해역에서의 전체 저항은 순수하게 얼음을 깨뜨리며 진행하는데 필요한 성분에 정수 중에서의 유체저항을 합쳐서 계산한다. 유체저항 성분은 쇄빙선 및 쇄빙상선에 대하여 개수로 실험과 빙해역 실험에서 큰 차이를 보이지 않으며 전체 저항에서 작은 부분을 차지할 뿐이다.

한편 빙저항은 편의상 그 쇄빙 메커니즘에 따라 몇 개의 성분으로 구별하여 추정한다. 즉 빙저항은 속도와 무관한 저항성분(직접저항, direct resistance)과 속도와 관련된 저항성분(속도저항, velocity resistance)으로 분리하여 취급하며 이 중 직접저항은 빙판을 깨뜨리는 데 소요되는 저항(fracture portion)과, 빙편을 물 속에 잠기게 하거나 빙편의 회전, 쇄빙선의 위치변화 및 마찰과 관련된 저항(gravity portion)으로 분리된다. 그리고 속도저항은 깨어진 빙편을 선체 주위로 배제시키는 데 소요되는 저항(inertia portion)을 말한다.

빙저항에 관한 주요한 연구는 1960년 이후에 대부분 발표되었다. 평탄빙에서의 빙저항을 처음으로 성분별로 세심하게 해석한 것은 Kashteljan et al.(1968)로서 그들이 제시한 빙저항식은 다음과 같다.[10]

$$R_i = K_1 \mu_0 B \sigma h + K_2 \mu_0 B \rho_i h^2 + K_3 B^{K_4} h V^{K_5} / \eta_2 \qquad (4\text{-}1)$$

여기서 σ = 얼음의 강도(ton/m^2), h = 빙판의 두께(m), B = 선박의 폭(m),

V = 선박의 속도(m/s), ρ_i = 얼음의 밀도 (ton/m^3) 그리고,

μ_0, η_2 = 다양한 선체의 형상과 치수를 반영하는 Shimansky 계수이다.

즉 $\mu_0 = 1 + \frac{\tan\alpha}{\tan\beta}$, $\eta_2 = \frac{1}{\tan\alpha}$, α, β 는 수선면에서의 접선각이고 K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 는 러시아의 소형 쇄빙선 Ermak의 1:50 모형 및 실선시험에서 결정된 상수(0.004, 3.6, 0.25, 1.65, 1.0) 이다.

식(4-1)의 첫 번째 항은 빙판을 깨뜨리는데 필요한 저항이고, 둘째 항은 빙편의 부력에 기인한 저항을, 셋째 항은 선박 및 깨어진 빙편 사이의 운동량 교환에 기인한 모든 저항을 나타낸다. 여기서 빙저항에 가장 큰 영향을 미치는 성분은 빙편의 부력에 의한 둘째 항이다.

여기서 Kashteljan의 식(4-1)을 사용하는 데는 몇 가지 제한 사항이 있다. 우선 식의 차원이 일치하지 않아서 사용되는 단위계마다 식(4-1)의 상수들이 달라지는 단점이 있고 마찰의 영향이 어느 정도인지도 추정하기 어렵다. 물론 Shimansky 계

수 μ_0 와 n_2 를 통하여 쇄빙선의 선수형상을 고려하고 또한 주요 선체요목을 식 (4-2) 속에 포함하고 있기는 하지만 무엇보다도 Kashteljan의 추정식은 쇄빙선 Ermak (폭 21.5m)의 실선 및 모형시험을 통해 결정되었기 때문에 Ermak과 같은 규모 및 형상을 가진 선박 이외에는 잘 맞는다고 보장할 수 없다.

한편 1960년대 미국 해안경비대에서는 보유한 쇄빙선을 이용하여 빙해역에서 실선시험과 모형시험을 수행하여 많은 실측자료를 확보하였다.

Lewis and Edwards(1970)는 Kashteljan et al.(1968)의 평탄빙 쇄빙현상에 관한 연구를 재검토하면서 다음과 같은 형태로 빙저항 식을 제안하였다.[11]

$$R_i = C_0 \sigma h^2 + C_1 \rho_i g B h^2 + C_2 \rho_i B h V^2 \tag{4-2}$$

여기서 C_0 C_1 C_2 는 실험적으로 결정되는 계수이다. Lewis and Edwards는 식 (4-2)를 σh^2 로 나누어 무차원화 하였으며 서로 다른 모형시험과 실선시험에서 얻어진 자료를 비교하기에 적합한 다음 식을 얻었다.

$$R' = C_0 + C_1 B' N_V + C_2 B' N_I \tag{4-3}$$

여기서 $R' = R_i / \sigma h^2$ (무차원 평균 빙저항)

$B' = B/h$ (무차원 선폭)

$N_V = \rho g h / \sigma$ (Volumetric Number)

$N_I = \rho_i V^2 / \sigma$ (Inertial Number)

본 Lewis and Edwards의 추정식은 실선 계측치와 비교적 양호한 상관관계를 보이고 있는 것으로 판단된다. 하지만 추정식의 경우 전체 저항은 속도의 제곱의 함수이지만 Kashteljan 식이나 실선시험에서의 회귀분석은 속도의 1차식으로 나타나고 있다.

이상과 같은 방법으로 최근까지의 빙저항 추정식과 이들 추정식 도출의 배경이 된 모형 및 실선시험 자료 등을 정리하면 표 4-1과 같다. [1]

표 4-1 여러 가지 빙저항 추정식

	빙파괴 저항 (icebreaking)	중력항 (buoyancy)	속도의존 저항 (momentum change)	비 고
Kashtelj an et al. (1968)	$K_1 \mu_0 B \sigma h$	$K_2 \mu_0 B \rho_i h^2$	$K_3 \frac{1}{n_2} B^{1.65} Vh$	1. Ermak 등 초기 중소형 쇄빙선으로부터 얻은 자료에 의해 계수가 결정되어 근래의 대형선에는 빙저항이 너무 크다. 2. 방정식이 차원적으로 맞지 않으며 마찰의 영향이 고려되지 않았다.
Lewis and Edwards (1970)	$C_0 \sigma h^2$	$C_1 \rho_i g B h^2$	$C_2 \rho_i B h V^2$	1. USCG의 Wind class 쇄빙선 등의 모형시험 및 실선시험으로부터 통계적으로 산정식을 유도하였다. 2. 빙파괴 저항에서 선폭이 제외되어 있고 마찰의 영향이 고려되지 않았다.
Enkvist (1972) : Wartsila	$C_0 \sigma B h$	$C_1 \rho_\Delta g B h T$	$C_2 \rho_i B h V^2$	1. 해석적인 방법으로 산정식을 유도하였고 계수 결정에 쇄빙선 Moskva class, Finncarrier 및 Jelppari 의 모형시험 및 실선자료를 이용하였다. 2. 마찰 영향이 계수(C_1, C_2, C_3)에 포함되어 있다.
Edwards and Lewis (1972)	$C_0 \sigma B h$	$C_1 \rho_w g B h^2$	$C_2 \rho_w B V \sqrt{gh^3}$	1. 이전 식과는 달리 빙파괴 저항에 선박의 폭이 포함되었다. 2. 속도의존 저항성분이 다른 식과 판이하게 다르다. 두께(h)의 지수가 3/2이고 선속(V)에는 1승을 사용했다.
Levine et al. (1974)		$B h^2 \rho_\Delta g C$	$C_s B h^2 \rho_\Delta g C_\mu C_v$	1. 60,000 DWT Bulk Carrier에 대해 실선시험을 수행하였다. 2. 선수각이 80° 이상일 경우 모형시험자체에 적용이 불가하다.
Vance (1975)	$C_0 \sigma B h$	$C_1 \rho_w g B h^2$	$C_2 \rho_i V^2 L h^{0.65} B^{0.35}$	1. 각 계수들에는 마찰이 포함되어 있지만 경험적으로 계수를 구할 수 없다. 2. 적설의 영향이 고려되어 있지 않고 broken channel 에서의 저항 산정이 어렵다.
Baker and Nishizaki (1986)	$0.000083850 L^2$	$5517 h^2$	$0.1525 vh$	1. MV Arctic 의 새로운 선수형상에 대해 모형시험 수행 2. 실선시험과 모형시험이 거의 일치하지 않았다.
Zahn et al. (1987)		$C_1 \rho_w g B h^2$	$C_2 \rho_w V^2 L^3 / h$	1. 예인/보급선인 Mobile Bay의 실선시험 수행 2. 17차례의 실선시험 결과 최적의 무차원계수를 찾아냈다. 3. 연속쇄빙가능한 빙두께 제한으로 쇄빙상선 적용 불가
Spencer and Jones (2001)	$C_0 S_N^a \rho_i B h V^2$ S_N : 무차원 강도계수	$C_1 \rho_\Delta g h B T$	$C_2 F_h^b \rho_i B h V^2$ F_h : 빙두께를 길이 차원으로 사용한 Froude 수	1. 캐나다 R class 쇄빙선에 적용 2. 마찰저항의 정도에 따라 두 가지 모델 3. 모형선에만 적용되는 식으로 상사법칙에 따라 실선에 확장 가능하다 (유체저항 처리와 유사).

4.2 Reamer의 설계

빙저항 감소를 위하여 사용되고 있는 Reamer의 특성은 다음과 같다.

■ Reamer의 궁극적 활용 목적

· 빙 저항 감소

· 빙 해역에서의 조종성능 개선

· 프로펠러로 유입되는 얇은 층의 얼음의 진입로 변경

■ Reamer의 설계 시 고려할 점

· 리머는 수직으로 되어 있으면 안 되고 최소 7도의 경사를 가지도록 설계해야 함.

· 리머의 선수 선미부의 Chine은 일반해역에서 저항을 감소시키도록 라운드타입으로 설계되어야 함.

■ 일반해역(Open Sea)과 빙 해역(Ice Sea)에서 Reamer의 특징

1)일반해역(Open Sea)

· 선박의 저항을 증가시킴(약 10% 저항 증가)

· 선박의 운동 성능면에서 Damping 효과를 줌

2)빙 해역(Ice Sea)[12]

· 빙 저항 감소

· 얼음으로 에워싸일 때 선체의 압력을 감소시킴

· 개수로 확보

· 얼음 속에서 효과적으로 회전 가능

· 얇은 층의 얼음 속에서 발생하는 Ramming에 의한 충격으로부터 쐐기 모양의 선체보호.

기존 쇄빙부가물(Reamer) 부착선과 실운항 사진을 그림 4-3에 나타내었고 빙저항을 줄이기 위한 방법 중 하나인 압축공기 분사에 의한 빙분리 방법을 그림 4-4에 도시하였다.

a .

b.

그림 4-3 기존 쇄빙부가물 부착선(a) 및 실운항 사진(b)

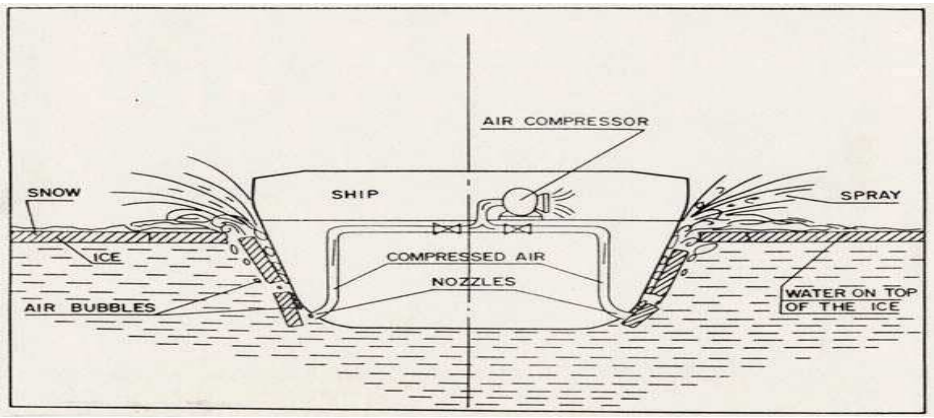


그림 4-4 압축공기 분사에 의한 쇄빙

본 연구과정에서 빙저항 개선 성능 확인을 위하여 설계한 리머의 형상은 기본선형의 선수부에 Round 형(Type1)과 Knuckle 형(Type2)을 각각 부착한 두가지 형상으로 그림 4-5부터 그림 4-7에 도시하였다.

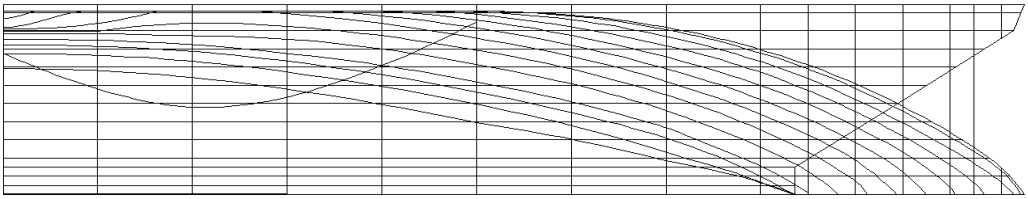


그림 4-5 Reamer Type 1

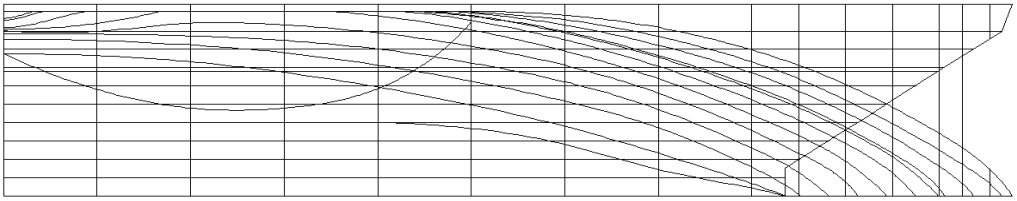


그림 4-6 Reamer Type 2

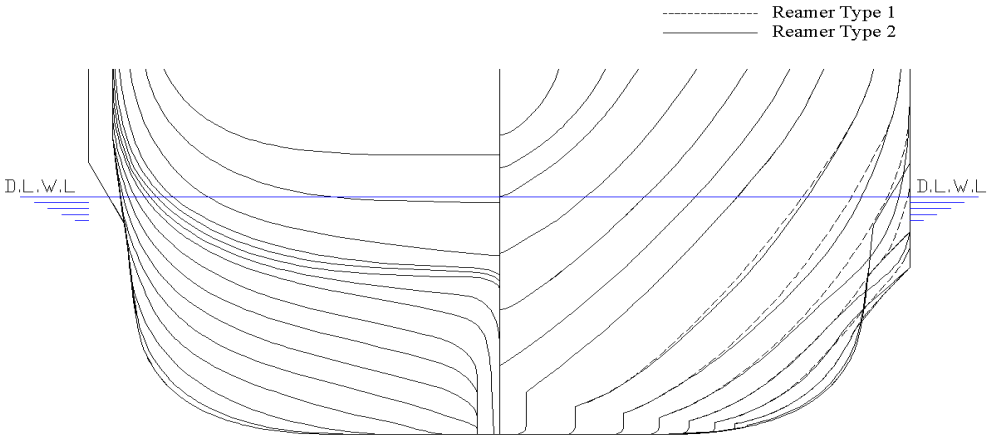
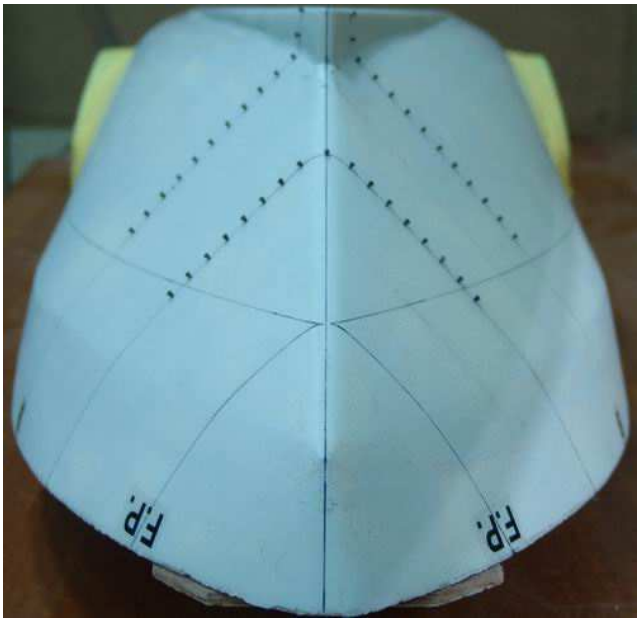


그림 4-7 Reamer Type 1과 Reamer Type 2 형상비교

4.3 일반해역에서 Reamer 부착선형의 저항성능 확인을 위한 모형 시험

4.3.1 모형선

모형선은 폴리 우레탄 수지(Poly Urethane Foam)를 사용하여 축척비 1/63.33으로 제작하였다. 제작된 모형선은 그림 4-8 ~4-9에 수록하였다.



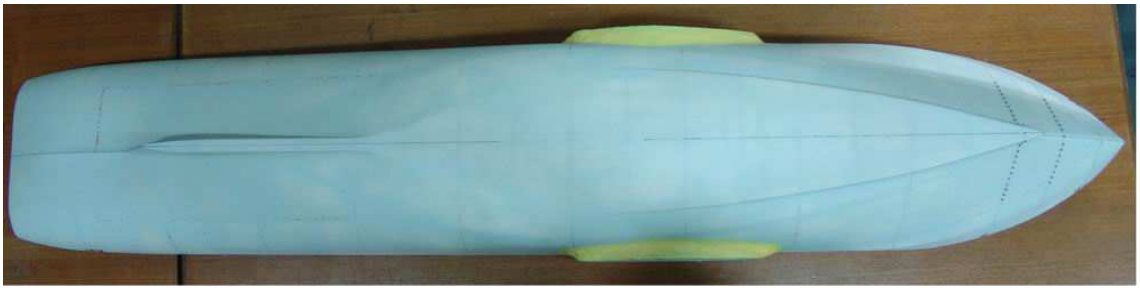


그림 4-8 Reamer Type 1을 부착한 모형선

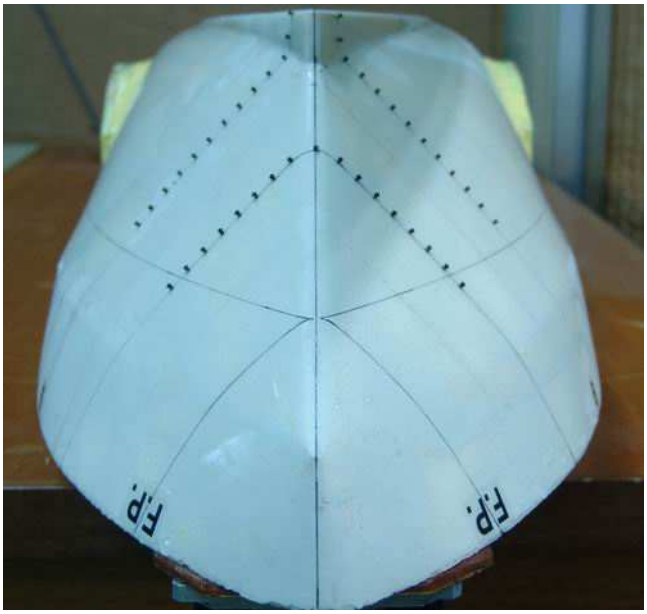


그림 4-9 Reamer Type 2을 부착한 모형선

4.3.2 모형시험

모형시험은 조선대학교가 보유하고 있는 회류수조에서 수행하였으며 모형시험은 그림 4-11 ~ 그림 4-12에 수록하였다.

저항시험은 만재상태와 경하상태에서 수행되었으며, 그 결과들은 ITTC-78 해석법에 제안된 다음의 식들을 사용하였다.

실선의 전저항계수는 다음식과 같이 계산하였다.

$$C_{TS} = C_{FS} + C_R + \Delta C_F \qquad (4\text{-}4)$$

여기서, C_{TS}는 실선전저항계수, C_{FS}는 실선마찰저항계수, C_R은 잉여저항계수 그리고, ΔC_F는 선체표면 거칠기계수이다

ΔC_F는 다음식과 같이 계산하였다.

$$\Delta CF = [105 \cdot (K_S/L_S)^{1/3} - 0.64] \cdot 10^{-3} \qquad (4\text{-}5)$$

여기서, K_S는 선체표면 거칠기로서 150×10^{-6}m이며 L_S는 흘수선의 길이이다.

저항시험 해석 결과는 표4-2와 표4-3에 수록되었으며, 저항시험 해석 결과로부터 계산된 잉여저항곡선은 그림 4-10에 도시하였다.

표 4-2 만재상태에서 속도 및 유효마력 비교표 (단위:KW)

속도	Bare hull EHP	with Reamer Type1 EHP	with Reamer Type2 EHP
9Knots	427	479 (12%)	467 (9%)
10Knots	596	608 (2%)	668 (12%)
11Knots	820	951 (16%)	984 (20%)
12Knots	1163	1256 (8%)	1303 (12%)
13Knots	1560	1638 (5%)	1658 (8%)

표 4-3 경하상태에서 속도 및 유효마력 비교표 (단위:KW)

속도	Bare hull EHP	with Reamer Type1 EHP	with Reamer Type2 EHP
10Knots	558	569 (2%)	675 (21%)
11Knots	765	903 (18%)	933 (22%)
12Knots	1062	1105 (4%)	1243 (17%)
13Knots	1425	1454 (2%)	1853 (30%)

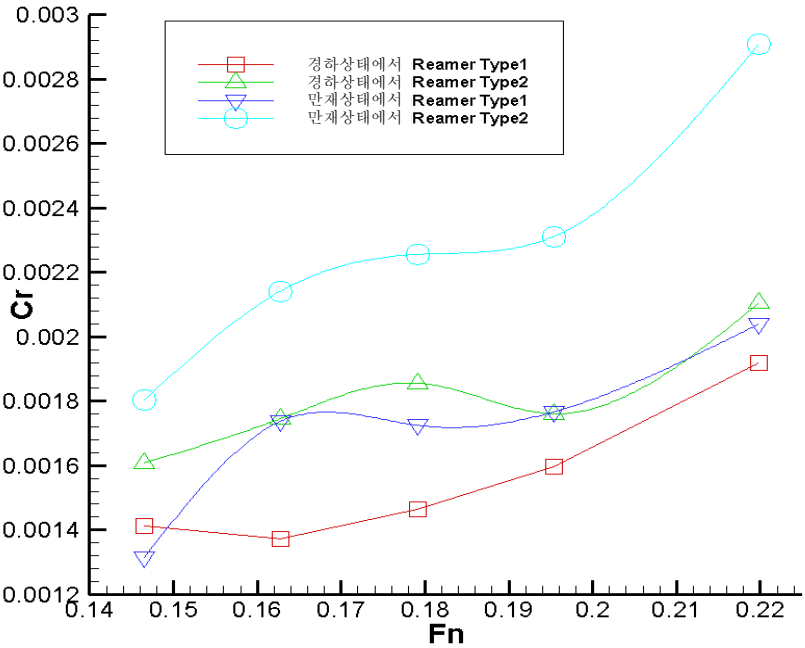


그림 4-10 잉여저항 비교곡선

4.3.3 모형시험 결과 분석

일반해역에서 Reamer에 의한 부가저항은 Type 1이 만재상태 12노트에서 8%와 경하상태 13노트에서 2%, Type 2가 만재상태 12노트에서 12%와 경하상태 13노트에서 30%정도 증가한 것으로 나타났다. 결과적으로는 Round형인 Type 1이 Knuckle형인 Type 2보다 저항 성능면에서 만재상태시 4%, 경하상태시 28%의 저항 감소차가 있었다. 따라서 저항차가 무시할 수 없을 만큼 크므로 건조시수가 많더라도 Round Type인 Type 1을 선택함이 바람직하다.

4.4 빙해역에서 Reamer 부착선형 저항성능 확인을 위한 모형시험

Reamer 부착선형의 빙해역에서 저항성능을 확인하기 위하여 빙비중과 유사한 나무토막들을 수조에 띄워놓고 저항시험을 실시하였으며 가능한 실제값과 근사한 값을 얻기 위하여 1조건(condition)당 50회 이상의 계측을 반복 실시하여 평균값을 산출하였다. Reamer는 Type 1으로 만재상태에서 실험하였으며 속도는 빙중 예상속도인 3노트와 5노트의 두 속도에서 각각 저항시험을 수행하였다.

저항시험 장면은 그림 4-13 및 4-14에 보인바와 같으며 저항 시험결과를 백분율로 요약하여 표 4-4에 수록하였다.

표 4-4 나선상태 대비 Reamer 부착선의 저항성능 백분율비교

해상상태	선속	나선상태	Reamer부착상태	비고
일반해역	12노트	100	108	+8%
빙해역	3노트	100	90	-10%
	5노트	100	109	+9%

상기 표에서 알 수 있듯이 Reamer 부착선형이 나선상태에 비하여 3노트에서는 10%정도 저항이 감소하였으나 5노트에서는 9%정도 저항이 증가하였다. 5노트에서 저항이 증가한 것은 속도 증가시 Reamer로 인한 빙저항이 상대적으로 급격히 증가하여 선체후방에서 빙분산으로 인한 저항 감소량을 초과했기 때문인 것으로 추측된다.

4.5 빙저항 감소용 Ice Separating Blade(ISB) 개발

4.4절에서 언급한바와 같이 Reamer를 부착한 선형은 일반해역에서 나선상태 대비 10%이상의 저항이 증가하였으며 빙중 항해시 3노트에서는 저항이 감소하였으나 선속의 증가시 나선상태 대비하여 저항이 오히려 증가함을 알 수 있었다.

이러한 현상은 Reamer가 선미방향으로 이동하는 얼음조각들을 선체로부터 분리시키는 효과는 있었으나 그 자체로 인한 저항도 무시할 수 없을 정도로 컸음을 의미한다.

본 연구에서는 Reamer의 이러한 단점을 개선시키기 위하여 그림 4-15에 보인바와 같은 ISB를 Reamer 후위에 부착하였으며 ISB는 일반항해시 주위유동의 교란이 적어 나선상태 대비 저항의 증가요인이 거의 없고 유동의 균일화에도 기여하게 된다. 또한, 빙중 항해시 선측에 부딪치는 얼음조각들을 선미 선체로부터 분리시키는 역할을 하게 되어 빙마찰저항을 최소화 하도록 고안되었다. 만재상태 12노트에서 ISB를 부착하여 저항시험을 실시한 결과를 표4-5와 같이 백분율로 비교 하였다.

표 4-5 나선상태 대비 ISB 부착선의 저항성능 백분율비교

해상상태	선속	나선상태	ISB부착상태	비고
일반해역	12노트	100	108	+8%
빙해역	3노트	100	88	-12%
	5노트	100	104	+4%

표 4-4와 4-5로부터 Reamer 부착선과 ISB부착선의 저항성능을 비교해보면 다음과 같다.

표 4-6 Reamer부착선과 ISB부착선의 저항성능 백분율비교

해상상태	선속	Reamer 부착선	ISB부착선	비고
일반해역	12노트	108	108	0%
빙해역	3노트	90	88	-2%
	5노트	109	104	-5%

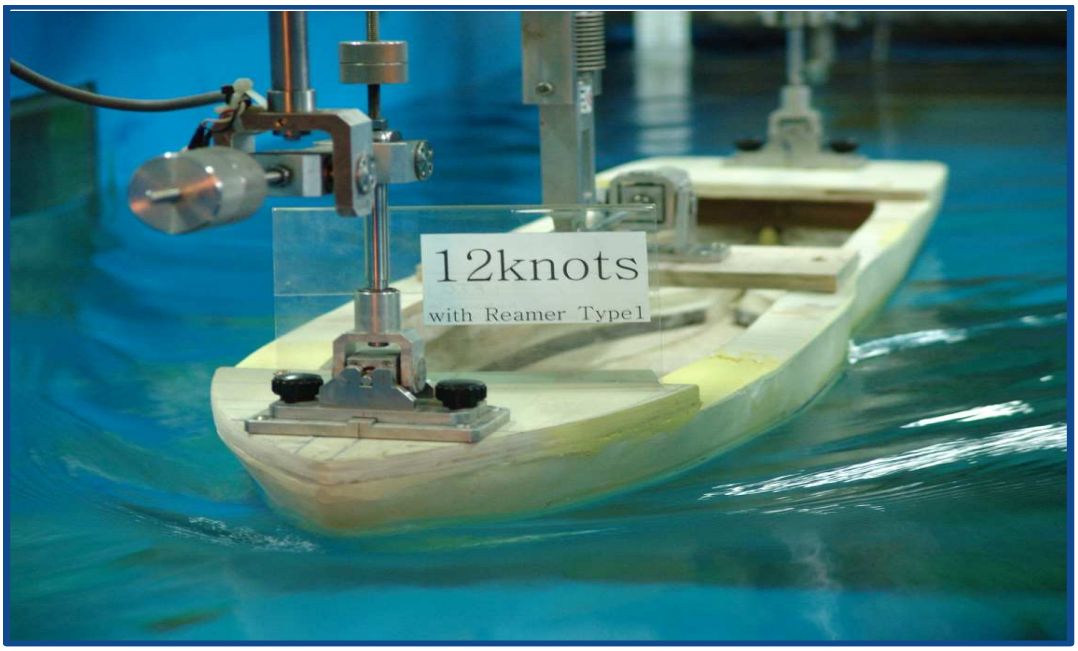


그림 4-11 Reamer Type 1 부착선의 만재상태에서의 파형(12노트)

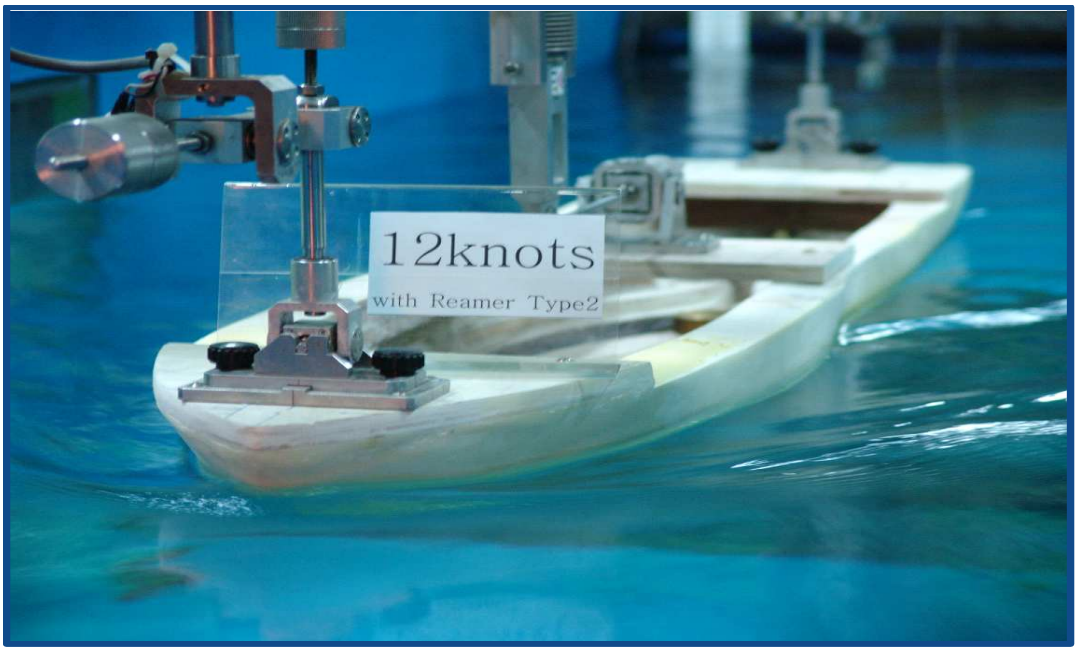


그림 4-12 Reamer Type 2 부착선의 만재상태에서의 파형(12노트)

그림 4-13 Reamer Type 1 부착선의 선속 3노트에서 빙중 저항시험 장면

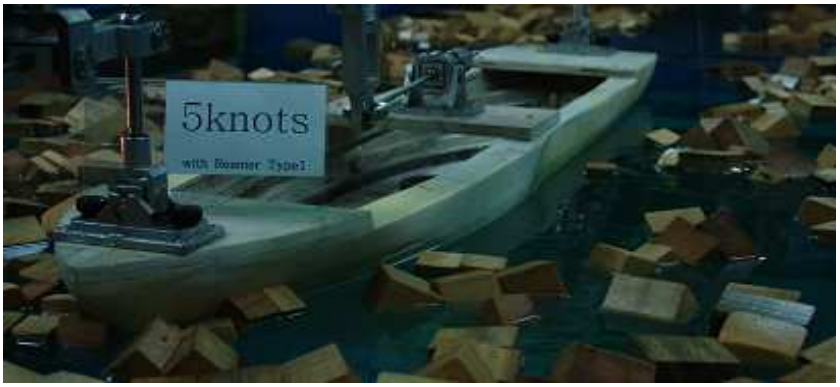


그림 4-14 Reamer Type 1 부착선의 선속 5노트에서 빙중 저항시험 장면

그림 4-15 ISB 부착모형선 사진

제5장 결론

쇄빙선은 일반 항해시와 빙중 항해시의 두 가지 조건을 고려하여 선형이 설계되어야하며 빙중 항해시 빙저항 감소의 문제는 쇄빙선의 설계에서 중요한 설계변수 중의 하나라고 할 수 있다.

본 논문에서 연구개발된 빙저항 감소 부가물은 선수로부터 유입되는 부유 얼음 조각들이 선체로 부딪히므로서 발생하는 빙저항을 감소시키기 위하여 개발되었으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 개발된 부가물 Ice Separating Blade(ISB)에 대하여 모형시험을 실시한 결과 나선상태에 비해 만재상태에서 빙저항이 선속 3노트에서 12%정도 감소한 것으로 나타났다. 기존의 빙저항 감소 부가물인 Reamer 부착 선형이 동일조건에서 10%정도 저항이 감소한 것을 비교해보면 본 연구를 통해 개발된 ISB가 상대적으로 저항성능이 우수하였다.

2) 빙중 항해속도 5노트에서는 만재상태에서 기존 부가물인 Reamer가 나선상태보다 9%정도 증가하였으나 ISB는 4%정도 저항이 증가하였다.

3) ISB는 얼음덩어리들이 선체에 접촉하여 발생하는 마찰저항을 최소화 한 것으로 추측된다.

참고문헌

[1] 최경식, 이우람, 이진경 : “쇄빙선 및 쇄빙상선에 대한 빙저항 추정식과 실측자료의 비교 분석”대한조선학회지 제43권 2호, 2006.04

[2] 송인행, 고창두, 신명수 : "쇄빙선의 기술적 타당성 조사" 한국해양연구소 연구보고서 uck033-2038.D, 2000.10

[3] 하문근 : “쇄빙선 건조가 국내 산업에 미치는 경제적 파급효과” 삼성중공업(주)연구보고서, 2000

[4] 이진태 : “쇄빙서조사선 기술동향 및 국내 건조시 기술적 파급효과” 한국해양연구소 연구보고서, 2000

[5] Devinder S. Sodhi : "Northern Sea Route Reconnaissance Study" Special Report of US Army Corps of Engineers, 1995

[6] 이춘주, 고창두, 이영연, 박일룡 : “쇄빙기능 해양과학조사선의 선형개발과 빙저항추진성능 고찰”한국해양과학기술협의회 공동학술대회, 2005

[7] Nozawa, k., Icebreaking Engineering, 船舶技術協會, Tokyo(in Japanese)1994.

[8] 최경식, 이우람 : “쇄빙선박 설계 주요목의 최근변화 동향”대한조선학회 추계학술발표회 논문집, 용인 FLC, 2005. 11

[9] Kotras, T.V., Baird, A.V.and Naegle, J.N."Predicting Ship Performance in Level Ice" SNAME Transactions, Vol.95, 1983

[10] Kashteljan, V.I., Poznjak, I.I and Ryvlin, A.J : "Ice Resistance to Motion of a Ship" Vol.1(Ch.1-5), Sudostroyenine, Leningrad, 1968

[11] Lewis, J.W. and Edward, R.Y. : "Methods for Predicting Icebreaking and Ice Resistance Characteristics of Icebreakers" SSNAME Transactions, Vol.78,1970

[12] 김재승 : “북극 항해용 쇄빙선”대한기계학회지, 제37권 11호, 1997

감사의 글

무더웠던 여름은 어디론가 떠나버리고 그 빈자리로 풍요로운 수확의 계절 가을이 다가왔습니다. 가을은 참 오묘한 계절입니다. 풍성한 수확의 이면엔 힘겨운 월동이 대기하고 있고 화사한 듯 아름다운 단풍 너머에는 앙상한 가지들이 즐비합니다. 그래도 잃는 것 보다 얻는 것이 더 많기에 가을을 기다리나 봅니다.

저에게 이번 가을은 그 어느 때보다 시간적으로 많이 부족하고 힘들고 또, 인내력을 많이 요구했던 계절이었습니다. 하지만 이렇게 석사 논문이라는 거대한 작품을 완성하고 나니 힘들고 지쳤던 마음은 간데온데없이 뿌듯하고 또 감사한 마음만이 자리 잡게 되었습니다.

먼저 여러모로 부족한 저에게 아낌없는 격려와 용기를 주시고 본 논문이 완성되기까지 학문적으로는 물론 학문 외적으로도 시종일관된 지도를 해주신 지도교수이신 이귀주 교수님께 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

또한, 논문이 완성되기까지 저의 논문을 수정해주시고 심사해주시며 많은 가르침을 주신 박제웅 교수님과 Igor Shugan 교수님께도 감사의 말씀을 올리며 석사과정동안 많은 충고와 지도를 해주신 방한서 교수님, 윤덕영 교수님 그리고 권영섭 교수님께도 감사드립니다.

연구기간동안 실험에서부터 논문 제본되기까지 부족한 나를 성심으로 도와준 저항· 추진 연구실의 동기 최준형, 후배 김태훈, 임현철, 박종식, 박사언, 그리고 박진연에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

그리고 언제나 제가 무엇을 하든 항상 긍정적인 생각으로 후원해 주시고 끝없는 사랑과 헌신으로 보살펴 주시는 부모님 은혜에 진심으로 감사드리며 항상 제 걱정을 해주며 나를 위해 기도해 주는 언니들에게도 무한한 감사의 말을 전합니다.

감사의 말을 전하고 싶은 분들이 너무 많습니다. 저를 아는 그 이외의 모든 분들께도 감사를 드리며 항상 건강하시고 행복하시길 진심으로 바랍니다.

끝으로, 오늘이 있게 하신 하나님께 감사의 기도를 드립니다.

2006년 11월

안정선

저작물 이용 허락서

학 과	선박해양공학과	학 번	20057141	과 정	석사
성 명	한글: 안 정 선 한문 : 安 貞 善 영문 : An Jung Sun				
주 소	광주광역시 동구 지산동 227-51번지				
연락처	E-MAIL : running79@naver.com				
논문제목	한글 : 쇄빙선에서 빙저항 개선용 부가물 개발에 관한 실험적 연구				
	영문 :An Experimental Study on the Development of Appendages for the Improvement Ice Induced Resistance in Ice Breaking 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 의사 표시가 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.

동의여부 : 동의(◯) 반대( )

2007년 2월 일

저작자: 안 정 선 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하