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]I804:24011-200000264971

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2015년 8월
석사학위 논문

고속 활주선의 저항성능 개선에 관한 연구

조선대학교 대학원
선박해양공학과
임 무 송

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

고속 활주선의 저항성능 개선에 관한 연구

A study on the improvement of resistance performance for high speed planing vessel

2015년 8월 25일

조선대학교대학원

선박해양공학과

임 무 송

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

고속 활주선의 저항성능 개선에 관한 연구

지도교수 이 귀 주

이 논문을 석사학위신청 논문으로 제출함

2015년 4월

조선대학교대학원

선박해양공학과

임 무 송

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

임무송의 석사학위 논문을 인준함

위원장	거창 대학교 교수	좌순원(인)
위원	조선 대학교 교수	이귀주(인)
위원	충남 테크노파크 선임연구원	안정선(인)

2015년 5월

조선대학교 대학원

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

제1장 서론

제1절 고속선의 개요 1

제2절 고속선의 종류 및 특성 2

제2장 활주형 선박

제1절 활주형 선형의 특성 7

제2절 활주형 선박의 종류 및 특성 7

제3절 활주 선형의 성능에
영향을 주는 주요 선형개수 10

제4절 활주형 선박의 선형 설계 시
고려해야할 선형특성 11

제5절 선저경사각이 저항에 미치는 영향 12

제6절 활주형 선의 L/B(장-폭비) & Section Type
(단면형상)과 관계 13

제3장 활주형 선형 개발 및 모형시험

제1절 활주형 선형 16

제2절 모형시험 및 결과 18

제4장 고속영역 저항감소를 위한 고찰

제1절 Stepped Hull의 성능조사 44

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 공동(Cavity)의 발생을
이용한 저항성능 개선 46
제3절 캐비테이션 발생용 부가물 47
제4절 공동(Cavity)발생용 부가물 부착위치
결정을 위한 선체주위 유속조사 48
제5절 비교 저항실험 50
제6절 결과 분석 51

제5장 결론 52

제6장 참고문헌 54

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 목차

Fig.1-1 Classification of ships by lifting force 1
Fig.2-1 Optimum Flap angle vs Fn curve 11
Fig.2-2 Typical midship section shape of planing hull form 13
Fig.2-3 Comparison of CR 14
Fig.2-4 Comparison of EHP ratio 14
Fig.3-1 Comparison of Body plan, Bow and Stern Contour Line of Three Models 17
Fig.3-2 Schematic diagram of CWC 20
Fig.3-3 Trim vs resistance curve 25
Fig.3-4 Porpoising limit of planing hull 25
Fig.3-5 Comparison of Total Resistance Coefficient of Models 32
Fig.3-6 Comparison of Total Resistance Coefficient of Models 32
Fig.3-7 Comparison of EHP 33
Fig.3-8 Comparison of SHP 33
Fig.3-9 Comparison of Trim angle 35
Fig.3-10 Comparison of Wetted Length of Keel 35
Fig.3-11 Comparison of Wetted Length of chine 36
Fig.3-12 Comparison of Wetted Surface Area 36
Fig.3-13 Photographs of Wave Profile for CU-129 at full load condition(Ⅰ)..... 37
Fig.3-14 Photographs of Wave profile for CU-129 at full load condition (Ⅱ)..... 38
Fig.3-15 Photographs of Wave profile for CU-129 at full load condition (Ⅲ)..... 39
Fig.3-16 Photographs of Wave profile for CU-130 at full load condition (Ⅰ)..... 39
Fig.3-17 Photographs of Wave profile for CU-130 at full load condition (Ⅱ)..... 40
Fig.3-18 Photographs of Wave profile for CU-130C at full load condition (Ⅰ)..... 40
Fig.3-19 Photographs of Wave profile for CU-130C at full load condition (Ⅱ)..... 41
Fig.3-20 Photographs of Wave Pattern for Model at full load condition 41
Fig.3-21 The Configuration of Fixed Tab 43

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목차

Table 2-1 군수용의 통계적 선형 특성 12

Table 2-2 Comparison of EHP ratio with hull form parameter 15

Table 2-3 Selected section shape for different L/B ratio 15

Table 2-4 Principal Particulars of Ships and Models 16

Table 3-1 Calculation of Performance for CU-129 28

Table 3-2 Calculation of Performance for CU-130 29

Table 3-3 Calculation of Performance for CU-130C 30

Table 3-4 Summery of Resistance Test 31

Table 3-5 Variation of Trim by Speed 34

Table 4-1 선체주위 유속 분포 49

Table 4-2 나선상태와 부가물 부착상태의 유속 비교 49

Table 4-3 저항시험 결과 50

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

NOMENCLATURE

C_f = friction-drag coefficient

= $D_f$cos β / $\frac{\rho}{2} v_1 2\lambda 2_b 2$

CL_0 = lift coefficient, zero deadrise

= $\triangle$ / $\frac{\rho}{2} V^2 b^2$

CL_β = Lift coefficient, deadrise surface

= $\triangle$ / $\frac{\rho}{2} V^2 b^2$

CL_d = dynamic component of lift coefficient

CL_b = buoyant component of lift coefficient

C_p = distance of center of pressure (hydrodynamic force) measured along keel forward of transom = $1_p/\lambda b$

C_V = speed coefficient = V/(gb)**1/2

R_e = Reynolds number

= $V_1 \lambda b / v$

λ = mean wetted length-beam ratio

= $\frac{(L_{k+} L_c)}{2b}$

λ_1 = mean wetted length-beam ratio based on area below undisturbed water surface

where

b = beam of planing surface, ft
D_f = frictional drag-force component along bottom surface, 1b = Dcosτ - $\triangle$sin τ
g = acceleration due to gravity, = 32.2 ft/sec^2
L_e = wetted chine length, ft
L_t = wetted keel length, ft

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

1_p = distance from transom to point of intersection of hydrodynamic-force vector with keel(measured along keel), ft
V = horizontal velocity of planing surface, fps
V_1 = mean velocity over bottom of planing surface, f(τ,λ), fps
β = angle of deadrise of planing surface, deg
$\triangle$ = load on water, 1b
v = kinematic viscosity of fluid, ft^2/sec
ρ = mass density of water, w/g
L_b = hydrostatic lift component, 1b

also

D = total horizonal hydrodynamic drag component, 1b
D_p = resistance component due to pressure force, 1b
d = vertical depth of trailing edge of boat (at keel) below level water surface, ft
N = component of resistance force normal to bottom, 1b
a = distance between D_f and CG (measured normal to D_f), ft
f = distance between T and CG (measured normal to T), ft
ϵ = inclination of thrust line relative to keel line, deg
c = difference between N and CG (measured normal to N), ft
L_1= difference between wetted keel and chine lengths, ft = $(L_k - L_c)$
L_2= difference between keel and chine lengths wetted by level water surface, ft
L_m= mean wetted length, ft = $(L_k - L_c)$ / 2
w = specific weight of water, pcf
γ = angle between spray root line and keel line measured in plane parallel to keel, deg
τ = trim angle of planing area, deg
LCG = longitudinal distance of center of gravity from transom (measured along keel), ft
Φ = angle between the keel and spray edge measured in plane of bottom, deg
A_s = total wetted spray area, sq ft
VCG = distance of center of gravity above keel line, measured normal to keel, ft

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

A study on the improvement of resistance performance for high speed planing vessel

Lim Moo-Song

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

Department of Navel Architecture & Ocean Engineering,

Graduate School of Chosun University

The development of optimum forms for planning hull is a unique technical problem, It is necessary to study some experimental data for the improvement of planning hull performance.

However there's bot so many model test or experienced data for planning hull forms as those for displacement hull forms.

It seems worthwhile to consider some of the systematic approach and analysis by carrying out model tests.

Some experimental evaluation techniques for special type of hull from - planning hull from - are introduced.

The optimum speed and trim angle are decided by obtained data of resistance, trim, heave, wetted area, proposing tendency and diving tendency.

As a result of study generating cavitation on the bottom of planing hull is recommended to reduce frictional resistance.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1장 서 론

제1절 고속선의 개요

바다를 활동영역으로 하는 선박 중에는 일반적인 배수량형의 수상선박 외에, 30노트 이상의 속도영역을 주된 활동영역으로 하는 Planing craft, Hydrofoil craft, ACV(Air Cushion Vehicle), SES(Surface Effect Ship) 등의 고속선박, 수중을 활동 영역으로 하는 잠수선 등이 있다. 잠수선을 제외하면 주로 활동하는 속도 영역에서 선체를 지지하는 힘을 유체 정역학적인 힘에 의하지 않고, 유체 동역학적 혹은 공기 역학적인 힘으로 의지하고 있으며, 내항성능과 추진성능을 향상시키기 위해서 많은 선형이 연구, 개발되었다. Fig. 1-1 참조

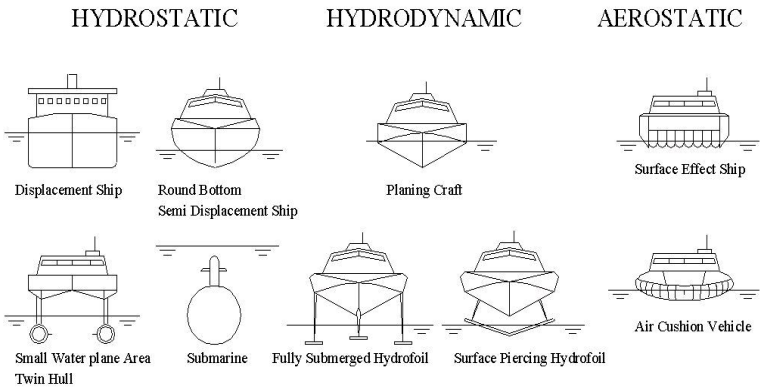


Fig. 1-1 Classification of ships by lifting force

일반 배수량형 선박에서는 Froude수가 0.3 정도 이상이면 조파저항이 급격히 증가로 인하여 경제성이 없게 된다. 따라서 동역학적 효과(Dynamic Effect)를 이용하여 저항을 감소시킴으로써 선박의 속도를 획기적으로 증가시키는 선형을 채택하기도 하고 또는 배수량형 선박을 길이에 비하여 선체의 폭을 아주 작게 하여 선형을 아주 날렵하게 하여 조파저항의 급격한 증가를 방지하는 방법이 있다. 즉, 선박이 고속으로 달리게 되면 Froude수가 증가하게 되고 이로 인하여 조파저항이 증가한다.

조파저항을 줄이는 방법이 크게 두 가지가 있는데 하나는 Water plane area을 줄이는 방법과 선체를 띄우는 방법이 있다. Water plane area를 줄인다는 것은 길이에 비해 폭을 줄여 조파저항을 줄일 수 있다는 것이고 대표적인 선

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

박으로 SWATH(Small Water Area Twin Hull)가 있다. 선체와 수면 사이의 동역학적 효과(Dynamic Effect)를 이용하여 선체를 활주시킴으로써 조파저항을 줄이는 방법의 대표적인 선박으로는 Planing Craft, Hydrofoil Craft, ACV(Air Cushion Vehicle)등이 있다.

제2절 고속선의 종류 및 특성

고속선의 종류에는 활주형선, 수중익선, 공기 부양선, 표면효과선, 최소수면 쌍동선 등이 있고 각각의 특성들에 대해 살펴보면 다음과 같다.

1. 활주형선 (Planing Hull Craft)

- 선체와 수면사이의 동압을 이용하여 선체를 부양한다.
- 흘수가 낮아 항로 및 항구개설이 용이하다. (접안 성능 우수)
- 조정성능이 우수하며 선가가 저렴하고 취급이 용이하다.
- 운동성능이 좋지 않아 승선감이 나쁘다.

가. 반 활주선 (Semi-Planing Hull)

- 선저가 환형(Round bottom)이며 일반 배수량형 선박과 유사하다.
- 선저에 발생하는 동압을 이용 선체를 부양하여 전체 저항이 감소된다.
- 소형 고속정에 적합하며 파랑 중 내항성능이 chine형보다 우수하다.
  (정수 중 저항성능은 chine형이 좋음)

나. 완전 활주선 (Fully Planing Hull)

- 선저가 각형이며 (Hard chine) 선체부양 원리는 반 활주형선과 동일하다.
- 동압에 의한 양력이 배수량의 50% 이상이다.
- 선저의 일부를 수면에 닿게 해서 활주하며 Fn=1.0이상의 속도범위에 적합하다.

다. 파랑 관통형선 (Wave Piercing Boat)

- 선수부를 날카롭게 하여 파랑으로부터 받는 힘을 줄이고, 종방향의 동요를 감소시키는 원리 이용한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 보통형 쌍동선 (Catamaran)

- 승객 100~150명, 30knots정도, 파고 2m이하의 여객선으로 적합하다.
- 실제 취항은 많지 않고 고속정의 영역에 도달하는 것도 드물다.
- 속도성능, 조종성능, 내파성능이 좋지 않고 접안성능이 나쁘다.

가. 장점

- 갑판면적이 넓어 여객선, 해양탐사선 등으로 적합하다.
- 폭 증가로 인한 복원성 우수하여 안정성이 좋다.
- 공기부양(SES),수중익(Hydrofoil)설치로 고속에서 저항성능이 개선된다.

나. 단점

- 같은 톤급의 단동선보다 건조비가 증가된다.
- 침수면적이 크기 때문에 저속에서 (마찰)저항이 크고, 고속에서는 조파저항이 감소된다.
- SWATH의 경우 침하, 트림에 대한 복원 기능이 감소된다.

3. 수중익선 (Hydrofoil Craft)

선체 밑에 날개를 달아 일정한 속도에서 물로부터 선체가 떠오르도록 하려는 생각은 저항의 감소, 즉 동일한 동력으로 속도를 증가시키려는 의도와 선체를 물보다 높이 띄움으로써 거친 바다에서도 속도를 유지할 수 있게 하려는 것이다.

현재 사용 중인 날개들의 형식을 대별하면 수면을 스치는 날개와 완전히 잠긴 날개의 두 종류로 나뉜다. 수면을 스치는 날개를 채용한 배에서는 물에 잠겨 양력을 받는 부분의 면적이 배의 속도와 파도 위에서의 운동에 따라 변하므로 자동 안정 효과가 나타나기 때문에 영각 제어(Incidence Control)가 필요하지 않다.

그러나 자동 안정 효과를 내는 날개의 표면이 파도의 영향을 받는 수면과의 접촉면이기 때문에, 완전히 잠긴 날개를 채용한 배보다 항해 중의 동요가 심하다. 완전히 잠긴 날개를 채택한 배에서는 접촉 면적의 변화에 의한 양력 조절은 기대할 수 없지만, 날개 전체나 보조익(flap)의 영각을 변화시킴으로써 그러한 목적을 달성할 수 있다. 이것은 물 위에 뜬 배의 높이에 따라 날개의 영각을 제어하는 어떤 장치의 사용을 촉구한다. 이러한 목적을 위하여 여러 가지 장치가 개발되었다. 완전히 잠긴 날개의 설계에는 고도로 세련된 기술이 요구되며, 그것을 장비한 배는 더 높은 파도에서 운항할 수 있지만, 그 동요 제어 장치는 복잡하다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

가. 일반적인 수중익선

- 저속역에서는 잠수된 스트럿과 날개(foil)의 항력으로 인하여 저항이 증가하나 이수(take off)를 시작하면 날개(foil)의 영각(angle of attack)이 감소하여 저항이 급격히 감소하게 된다.
- 추진기의 추력이 저항과 같게 될 때까지 선박은 부양하게 되며 부양이 정점에 달했을 때 최대 속도에 이르게 된다.
- 수중익선이 이수(take off)를 하기 위해서는 선박의 총중량과 같은 크기의 양력이 날개에서 발생되어야 하고, 이때 발생되는 양력은 속도의 제곱에 비례한다.
- 거친 해역에서의 이수 시 20~25%의 저항이 증가한다.
- 수중익에 의한 동력 양력에 의하여 선체가 수면보다 상부에 위치하므로 파도의 영향을 크게 받지 않아 내항성능이 우수하다.
- 일반 배수량형 선박에 비하여 조종성능이 우수하고 선회 시 안정성이 뛰어나다.
- 선회로 인한 가속은 횡력보다는 수직력이 다소 크게 느껴지므로 빠른 선회 시에도 승선감이 좋다.
- 횡방향 가속은 거의 없고 정수중이나 거친 바다에서도 정수중과 거의 동일한 선회율을 유지한다.

나. 표면관통형 수중익선 (Surface Piercing Hydrofoil)

- 수중날개의 양력에 의하여 선체를 수면 위로 부양시킴으로써 속도 및 내파성능 향상된다.
- 스트럿은 충분히 길게 하여 운항 시 선체가 수면에 접촉되지 않도록 설계한다.
- 파랑 중에서는 주 날개의 대부분이 몰수하게 되며 이때 선체의 하중과 양력을 동일하게 유지하기 위하여 자동적으로 선체가 pitch, roll, heave의 운동을 하여 자기 안정성을 갖게 된다.
- 파도의 영향을 쉽게 받으므로 거친 바다에서의 항주 시 내항성과 승선감이 저하된다.

다. 전몰형 수중익선

- 수중익을 수면 아래로 완전 잠수하고 선체는 얇은 스트럿으로 지지하여 파도의 영향을 최소화 한다.
- 수중익의 영각을 조정하는 장치를 통하여 선속, 하중 및 해상상태의 변화에 적절한 동적 양력이 발생된다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

- 전몰형 수중익선의 형태는 주 날개 및 스트럿 배치에 따라 canard, conventional 및 tandem형으로 나누어진다.
- 파랑의 영향으로부터 선체를 독립시킬 수 있으므로 고속에서 승선감과 조종성능이 우수하다.
- 고속 역에서 마력/배수량 비가 경제적이고 고속 항해능력이 우수하다.
- 파랑 중에서 자동 제어장치가 자동으로 선박을 제어하므로 지나치게 높은 파랑 중이 아니면 감속할 필요가 없고 거친 바다에서의 선속 저하도 적다.
- 파고가 스트럿의 길이를 초과할 경우 선체를 부양시키는데 제약을 받는다.
- 고속 운항으로 야기되는 심한 파랑하중에 대비하고 소요마력을 최소화하기 위해 구조의 경량화, 고장력 재료의 사용이 요구된다.
- 주 날개의 설계가 적절하지 않을 경우 cavitation의 비정상적 발생으로 인한 저항증가, 진동, 제어력의 포화상태를 야기할 수 있다.

라. 공기부양선 (Hover Craft)

- 선체 밑으로 공기를 불어넣어 선체와 수면사이에 공기층 형성, 이 때 발생하는 부양력으로 선체를 수면이나 지면위로 살짝 띄운 상태로 항해하도록 되어있다.
- 저항이 작으므로 속도의 증가를 기대할 수 있다.
- 넓은 갑판면적으로 안정성이 우수하고 선체주위 Flexible skirt의 보수 유지가 불편하다.
- Air propeller의 추진력 제한 때문에 대형화 불리하고 소음이 심하다.
- 선체 주위를 전부 Flexible skirt를 부착하고 Air propeller를 사용하는 ACV와 선체에 Side Hull을 갖고 선수미에는 Skirt가 부착되고 프로펠러나 Water Jet 추진 장치를 사용하는 SES로 구별할 수 있다.

마. SES (Surface Effect Ship : 수면 효과선)

- 공기부양선(ACV)의 발전된 형태로 복합형 쌍동선의 일종이다.
- 공기의 손실이 적어서 부양효율이 ACV보다 높고 대형화에 유리하다.
- 소형선 중 고속성능이 가장 우수하다.
- 내항성 불량(파도 3m이상)하고 파랑 중 선체 동요가 심하다.
- 공기쿠션실의 공명현상으로 승객의 안락감이 저하된다.

바. 최소수면 쌍동선 (SWATH)

- 수선면적이 작으므로 운동성능 즉, 내항성능이 우수하다.
- 정수 중에서는 약간의 마력 증가가 예상되나 거친 해상상태에서는

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

타 선종에 비해 효과적이다.
- 복원 moment 부족으로 인한 pitch모드에서 불안정 상태가 될 수 있으므로 복원력 보충을 위한 안정 핀(Stabilizing Fin)이 필요하다.
- 파랑 중 수중익선에 비해 작은 핀으로 제어가 가능하다.
- 추진효율이 양호하다.(선미 추진기에 유입되는 유동장 균일)

사. 고속 배수량형 쌍동선 (FDC : Fast Displacement Catamaran)

- 복합형 쌍동선의 일종으로 보통형 쌍동선과 SWATH의 중간 선형이다.
- 수선면적이 SWATH보다는 크다.
- SWATH의 단점을 개선시키기 위해 개발되었다.
  (Sinkage, Trim의 복원력을 개선하되, 내항성을 잃지 않도록 고려)
- Strut의 폭이 위로 가면서 증가한다.
- 같은 배수톤급의 SWATH보다 고유주기가 작다.

아. 수중익 쌍동선 (Foil Catamaran)

- 단동의 L/B가 큰 쌍동선에 수중익을 부착한다.
- 고속 항주 시 수중익의 양력으로 선체를 수면 위로 부상한다.
- Foil의 끝에 자동제어 Flap을 부착한다.
- 심한 Slamming이 발생하지 않는다.
- 크게 떨어진 두 동체로 인한 복원력 증가하여 전복위험이 감소된다.
- 추진장치(Water-jet)로의 물 유입이 용이하다.
- L/B를 크게 할 수 있어 고속에서 조파저항이 감소된다.
- Hull-Bone Mode에서 Foil-Bone Mode가 되기 위한 소요동력 감소된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2장 활주형 선박

제1절 활주형 선형의 특성

본 연구의 모델로 선정한 활주형 선박은 바닥에 모가 진 선형으로 대부분의 중량이 부력에 의해서가 아니라 선저에 걸리는 동적 양력에 의해 지지된다. 즉 선체와 수면사이의 동적 압력에 의하여 선체가 부양되어 수면 위를 활주함으로써 고속 역에서 저항성능을 향상시키도록 고안된 선형이다. 활주형 선박을 Hull Form에 의해 분류하여 각각의 특성을 살펴보았다.

제2절 활주형 선박의 종류 및 특성

1. Hard Chine Monohull

- 가장 보편적인 Planing Hull Form이며, deadrise는 보통 10° ~ 15° 이나 항해 시 승선감을 좋게 하기 위해 30° 정도인 Deep vee Hull도 있다.
- Computer에 의한 실선 성능해석법이 정립되어 있다.
- Non-Cavitated 및 Cavitated Propeller 나 Surface piercing Propeller 및 Water Jet가 주 추진기로 사용된다.
- 대부분의 Planing Hull이 hard chine monohull type이기 때문에 설계 모형 시험 결과 및 시운전 결과가 이미 많이 발표되어 있기 때문에 자료 수집이 용이하다.
- hard chine monohull의 일반적인 설계상의 제약에서 유체 정역학적 관점에서 배의 안정성을 유지시키기 위하여 배폭이 넓어져야 하는데 저항성능이나 운동성능을 좋게 하기 위해서는 배폭을 최소로 하여 최적화를 시켜야 한다는 유체 동역학적인 관점과 서로 상충한다.

2. Double Chine Hull

- 40knots이상의 planing hull이나 고속호화 yacht의 설계에 자주 사용되고 있다.
- Upper chine은 유체 정역학적인 안전성을 주고 Lower chine은 배가 빠른 속도로 파도와 부딪힐 때 이 지점에서의 separation을 촉진시켜 결과적 으로 항해 중 충격 가속도를 줄이는 역할을 한다.
- single chine monohull에 비해 선수부를 볼록 단면으로 할 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

- spray rail이 잘 설계되었을 경우 bottom으로부터 쉽게 separation이 생길 수 있기 때문에 head sea에서 달릴 경우 충격하중을 줄일 수 있을 뿐 아니라 roll과 pitch도 줄일 수 있다.

3. Stepped Planing Hulls

- hard chine boat의 midship부근 선저부에 몇 개의 transverse step를 준 선형으로, 고속으로 달릴 때 선수부의 일부분에 배의 중량을 집중시켜 달릴 수 있으므로 정수 중에서는 최적 Trim angle로 달릴 수 있기 때문에 저항성능이 우수하다.
- 악천후로 항해상태가 나쁠 때에는 부심점의 위치가 계속 변하기 때문에 high trim angle상태에서 달리게 됨으로 저항추진성능 및 안전성이 나빠진다.

4. Catamaran Hulls

- 배수량을 비교적 가는 2개의 선체가 분담하도록 하고, 그 두 선체를 갑판 또는 그 밖의 구조물로 연결한 이 선형은 범선과 동력선에 이용되어 왔다. 이와 같이, 수선 면적을 두 부분으로 나누어 놓으면 좋은 복원 성능을 얻게 된다. 이러한 배의 두 선체는 배수형이므로, 이 선형은 고속정의 범주에 들지는 못한다. 고속을 얻으려면 분리된 두 선체는 활주형 이어야 한다.
- 횡단면이 대칭이거나 비대칭이거나 일반적으로 hard chine이나 종방향으로 날카로운 spray strip(물 튀김 막이)을 갖고 있다.
- 파고가 높은 해상상태에서는 deck에 고속파랑의 충격을 피하기 위하여 운항이 제한되어야 한다.
- 장-폭비가 큰 선형에 비해 작은 trim angle을 갖기 때문에 파도 중에서 고속으로 운항 할 때도 선체에 걸리는 충격하중을 줄일 수 있다.
- 활주형 선과 활주형 catamaran을 비교해 보면 Fn_{∇}=4.6 까지는 활주형 선박이 낮은 저항을 갖지만, Fn_{∇}=6.0에서는 활주형 catamaran의 저항이 30%가량 낮았고, Fn_{∇}=7.0이 되면 약 45%까지 떨어졌다. 즉, 이와 같은 고속에서 활주형 선박은 극히 작은 트림각을 가지고 달리기 때문에 저항이 큰데 비해 활주형 catamaran은 최소 저항을 위한 트림각에 가까운 각을 가지고 달리게 된다는 사실에 기인한다.
- Monohull에 비해 횡방향 정적 복원성능이 우수하고 deck area가 넓으며 선회성능이 좋다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

- 파고가 높은 해상상태에서는 deck에 고속파랑의 충격을 피하기 위하여 운항이 제한되어야 한다.

앞에서는 활주형선의 종류에 따라 특징 및 장, 단점을 분석하였다. 또한 다른 고속선박과 활주형선의 전반적인 장점과 단점 및 한계에 대해 비교해보면 아래와 같다.

가. 장점

- 설계 및 건조가 비교적 용이하다.
- 건조비가 저렴하다.
- 흘수가 낮아서 항구 및 항로 개설이 용이하다.
- 횡요 및 종요가 타 고속선형에 비하여 작다.
- 선회성능이 우수하다.

나. 단점

- 내파성이 좋지 않기 때문에 파에 의한 선체 충격이 과다하여 고속에서 불안전하고 항해 중 돌발적 운동의 발생 가능성이 있다.
- 프로펠러 추진선인 경우 프로펠러를 경사지게 장착하여야 하므로 선체진동이 심하다.
- 선수 slamming으로 인한 가속도가 크고 트림각의 변화가 심하다.
- 선속 50knots,길이 60m, 배수량 300ton 이상이면 경제성이 급격히 저하된다.

다. 한계

- 파랑 외력 등 충격력과 부양력을 동시에 고려해야 하므로 고강도, 경량화 재료가 사용되어야 한다.
- 추진 기관으로써 Water Jet가 사용될 경우 중량이 커지고 프로펠러를 장착할 경우 경사로 인한 효율 저하 및 진동현상이 유발되어 고속을 유지하기 위해서는 경제성이 저하된다.
- 폭이 충분히 커야 부양되었을 때 안전성을 유지할 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3절 활주 선형의 성능에 영향을 주는 주요 선형계수

- 길이-폭(장폭비)비, L_P/B_{PA}.
- 크기-중량비, $A_P/\nabla^{2/3}$
- 면적 A_P의 중심으로부터 LCG까지의 거리
- 선저 경사와 길이에 연한 그 변화
- Φ(중앙선)으로부터 $B_{PA}/4$만큼 떨어진 Buttock line의 세로 방향의 곡률
- chine의 형상
- 단면의 형상

이러한 배의 설계에서는 중량이 가장 중요한 인자이므로 동일한 배수량을 가지는 여러 선형에 대한 다음과 같은 무차원계수를 비교하여 최종선형을 결정해야한다.

$$\frac{V}{\sqrt{g\nabla^{1/3}}}\ ,\ \frac{R}{\triangle}\ ,\ \frac{S}{\nabla^{2/3}}\ ,\ \frac{L}{\nabla^{1/3}}\ ,\ \frac{CG_{\text{rise}}}{\nabla^{1/3}}$$

또한, 침수표면적과 트림각이 있는데 이는 마찰저항이 침수표면적에 따라 변화하고, 조파저항이 트림각에 따라 변하기 때문이다. 이러한 고속선박의 설계에 있어서 운항성능을 고려해야 할 경우에는 정수 중에서의 최소저항을 목표로 하여 선정된 선형과 특성에 수정을 해야 한다. 유사한 크기와 속도범위를 가지는 선형들 간에는 단면형상이 거의 비슷하고 저항 값도 유사한 경향을 갖는 경우가 많으나 크기와 속도 범위가 다른 선형들은 선형 특성 및 속도별로 저항 예측의 방법을 달리하여야 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제4절 활주형 선박의 선형설계 시 고려해야 할 선형 특성

대부분의 선형이 chine의 형상을 하고 있고, 이 chine은 고속에서 선체로부터 파도의 분리를 촉진시켜 충격 가속도를 감소시키기 위함이며, 최대 폭은 선미 끝단으로부터 전장의 60~65% 전방에 위치하는 것이 적합한 것으로 알려져 있다.

파운딩 시 선저로부터 박리를 이용하여 충격하중을 감소시키고 횡요, 종요 등의 운동성능을 개선시키기 위하여 spray rail을 설치하는데 이는 저속에서 다소 저항 증가의 원인이 되나 고속에서는 선형에 따라 10% 이상까지도 저항을 감소시킨다. 이 저항 감소 효과는 장-폭비(L/B ratio)가 작을수록 크게 나타난다.

항해 중 파(波)에 의한 충격하중을 감소시키고 선측 면적의 증가로 인한 조종성능을 개선시키기 위하여 흘수 하부는 선저경사각을 갖는 형상을 하고 있으며, 이 선저 경사각은 최대 폭에서 10°~ 25°이고 트랜섬 에서는 10°~ 15°, 그리고 선수로부터 배 길이의 10% 위치에서는 30°~ 40°정도이다.

선저로부터 발생된 급류를 선미에서 신속히 제거시키기 위해서 선미의 형상은 트랜섬 형으로 해야 하며, 트랜섬의 폭은 최대 폭의 60%~70%정도가 적합한 것으로 알려져 있다.

선미의 뒤틀린 형상은 사각 흐름을 유도하여 성능을 개선시킬 수도 있으나 뒤틀림의 정도가 지나치면 역효과가 있을 수 있다.

Trim Tab의 길이는 배 길이의 1.5% 정도가 적당하며 초기 적정 각을 Fig. 2-1로부터 구할 수 있다.

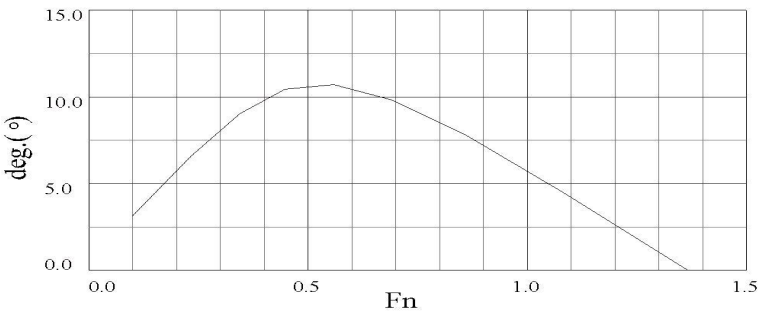


Fig. 2-1 Optimum Flap angle vs Fn curve

일반적으로 레져용은 길이가 5~30m 이며 배수량은 0.4~140톤이고, $L_P/\nabla^{1/3}$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

은 5~7이다. 한편, 군수용의 통계적 선형 특성은 Table 2-1과 같다.

L_{OA}(m)	%	V_S(kts)	%	$L_P/\nabla^{1/3}$	%	Fn_{∇}	%
15~25	30	~ 20	1	4.5~5.4	14	1.5~1.9	18
26~40	51	20~30	34	5.5~5.9	37	2.0~2.4	24
41~50	15	31~40	38	6.0~6.4	18	2.5~2.9	39
51 ~	4	41~50	27	6.5~7.4	31	3.0~4.0	19

Table 2-1 군수용의 통계적 선형 특성

활주형선은 선형 특성상 선체를 적절히 부양시켜야 성능을 개선시킬 수 있으므로 부양력과 배수량과의 관계를 면밀히 검토하여야 한다. 배 길이에 배수량이 적절치 않은 것으로 판명되었을 때는 C_B 또는 선저경사각(β) 등을 조절하여 배수량을 맞추어 주어야 경제적인 선형을 설계할 수 있다.

제5절 선저경사각(Deadrise)이 저항에 미치는 영향

선저경사(Deadrise)는 선박의 중앙 횡단면에서 볼 수 있는 선형의 특징으로 선체 중앙단면의 용골 또는 그 근처에서 선저를 나타내는 곡선에 접선을 그어 이 접선이 최대폭과 접하는 수직선과의 교점으로부터 용골상면 사이의 거리이다.
선저경사와 관련된 자료들을 다음과 같이 정리하였다.

- Deadrise는 보통 10~15° 이나 승선감을 좋게 하기 위하여 30° (deep V type)까지도 하는 경우가 있다.
- 적정 deadrise는 16~22° 이다.
- Transom에서의 deadrise는 12.5° , 선수 1번 station에서는 35° 정도가 좋다.
- Deadrise의 범위는 Cruiser의 경우 20~30° 이고 sport boat의 경우는 12~25° 이다.
- 중앙부에서의 deadrise는 17~27° transom에서의 deadrise는 11~27° 이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제6절 활주형선의 L/B(장-폭비) & Section Type (단면형상)과의 관계

활주형 선박의 단면형상은 직선형을 원형으로 여러 가지 변화된 형태가 있다. 크게 오목(Concave), 직선(Straight), 볼록(Convex), 볼록 오목(Inverted Bell)단면 형상의 4가지기본 단면형상으로 Fig. 2-2와 같이 분류할 수 있다.

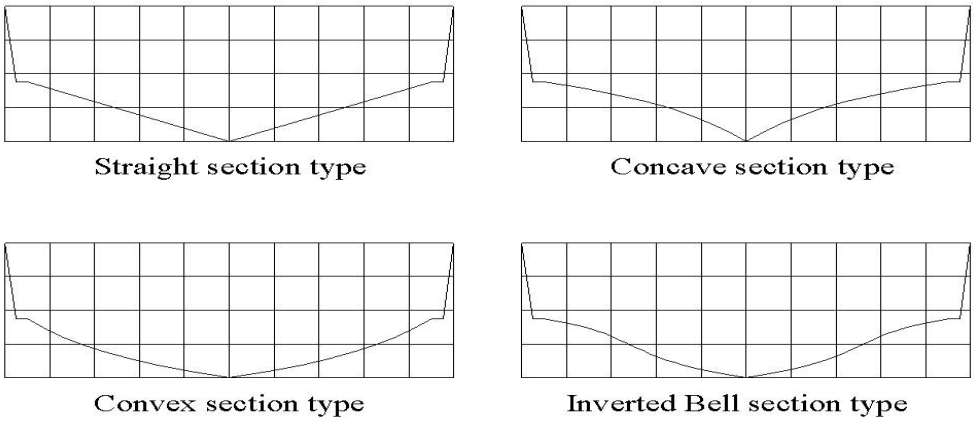


Fig. 2-2 Typical midship section shape of planing hull form

이러한 각각의 단면형상에 대한 저항 및 운동 특성에 대한 연구가 그 동안 정성적, 단편적으로 이루어진 바 있으나 체계적으로 수행된 적은 없다. 실제로 현존하는 활주형 선박은 이러한 단면형상 한 가지만으로 이루어진 선형보다는 운항조건에 적합하게 다음의 4가지 기본 형상을 적절히 조합한 선형을 주로 사용하고 있다.

모형시험 결과로부터 계획속도 25노트($Fn = 1.06$)에서 장-폭비 변화에 따른 잉여저항계수(C_R)를 Fig. 2-3에 도시하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

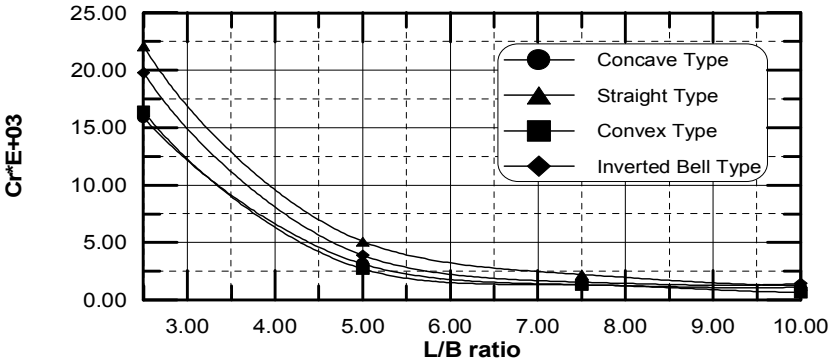


Fig. 2-3 Comparison of CR

Fig.2-3에서 장-폭비의 증가와 함께 잉여저항이 감소하는 경향을 보이고 있고, 장-폭비가 6.0이상이 되면 오목과 볼록 오목 단면형은 거의 일정한 값을 유지하고 있으며, 4가지 선형 모두 장-폭비 5.0이하에서는 잉여저항이 급격히 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 활주형선은 장-폭비가 5.0이상 되어야 경제적임을 알 수 있다.

한편, 계획속도 25노트에서 장-폭비 변화에 따른 유효마력의 변화는 Fig.2-4와 같다. Fig. 2-4에서 볼 수 있는 바와 같이 장-폭비에 대한 유효마력의 변화 경향은 단면형상에 따라 차이가 많지 않으며, 경제적 설계범위의 장-폭비 5.0~7.5일 때 직선 단면형과 볼록 단면형의 경우 가장 크게 나타났으며, 전반적으로 5.0에서 급격히 감소함을 알 수 있다.

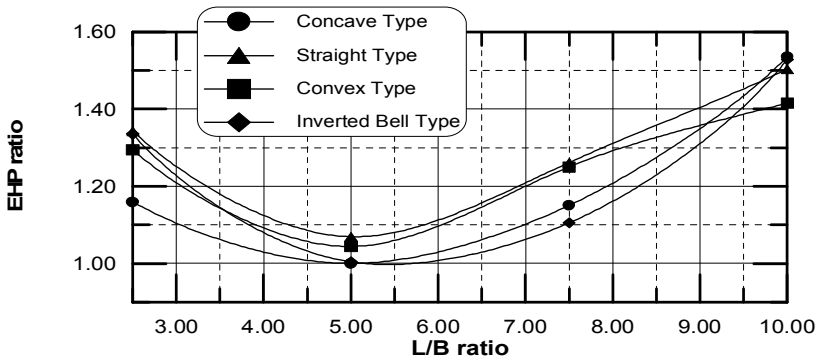


Fig. 2-4 Comparison of EHP ratio

여기서 유효마력 비는 장-폭비 별로 장-폭비 5.0일 때 오목단면형의 유효마력을 기준으로 계산한 값들이다.

속도별 장-폭비 및 단면형상 변화에 따른 실선 유효마력의 백분율은 Table

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2-2과 같다.

Table 2-2 Comparison of EHP ratio with hull form parameter

section shape	L/B ratio			
	2.5	5.0	7.5	10.0
Concave	100	100	100	100
Straight	115	106	111	98
Convex	113	104	109	93
Inverted Bell	115	100	97	100

Table 2-2은 장-폭비 별로 오목단면형의 유효마력을 기준(100)으로 한 값들이다. Table 2-2로부터 4가지 형상 중 최적 단면형상을 요약해 보면 Table 2-3과 같다.

Table 2-3 Selected section shape for different L/B ratio

L/B ratio			
2.5	5.0	7.5	10.0
Concave	Concave & Inverted Bell	Inverted Bell	Convex

Table 2-3에서 볼 수 있는 바와 같이 장-폭비가 커질수록 적정하고 단면형상은 오목단면에서 볼록 단면으로 변화하는 경향을 보이고 있으며, 이러한 현상은 장-폭비가 커질수록 상대적으로 감소하게 되는 부양력에 대하여 볼록 단면형이 부양력을 보완해 주는 방향으로 영향을 미치기 때문인 것으로 추측된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3장 선형 및 모형시험

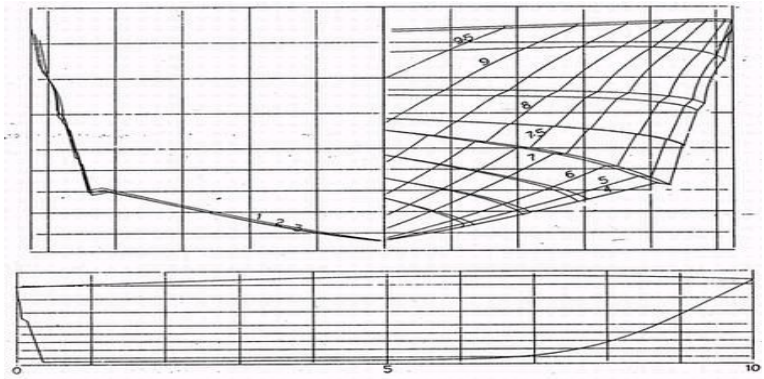
제1절 활주형 선형

본 논문에서 채택이 된 활주선형은 Fig 3-1과 같다.
모형시험은 조선대학교 회류수조와 서 일본 유체기술연구소(FEL)의 고속수조에서 실시되었으며, 실선의 길이가 10m급의 활주선형으로써 축적비가 1:15.909 인 3척의 모형선을 제작하였다. (Model NO. CU-129, CU-130, CU-130C) CU-129선형을 모선으로 하였고 CU-130선형은 모선에 비해 폭은 같고 길이를 연장한 선형이다. 또한, CU-130C는 CU-130선형을 선미 선저 부분의 길이를 감소시킨 선형이다.

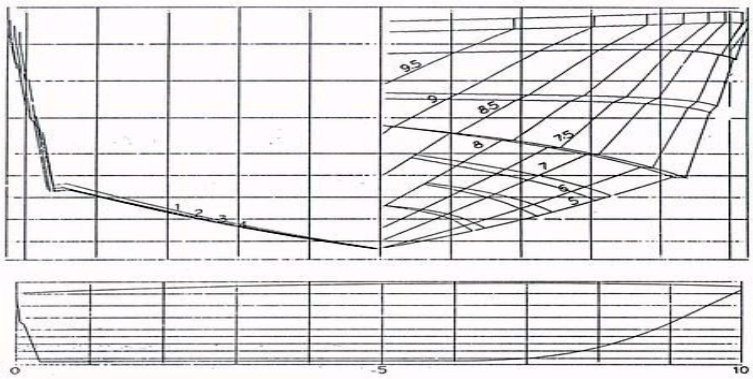
Table 2-4 Principal Particulars of Ships and Models

Model NO.	CU-129		CU-130C		CU-130	
	SHIP	MODEL	SHIP	MODEL	SHIP	MODEL
L_{oa} (m)	8.750	0.550	9.400	0.591	9.400	0.591
L_{wl} (m)	7.280	0.458	7.510	0.472	7.780	0.489
B (m)	3.204	0.201	3.204	0.201	3.204	0.201
D (m)	1.564	0.098	1.628	0.102	1.628	0102
T (m)	0.620	0.039	0.650	0.041	0.590	0.037
△ (m^3)	5.191	1.289*10-3	5.582	1.386*10-3	5.707	1.418*10-3
CB	0.2987		0.2851		0.2588	
LCB (m)	-1.414	-0.089	-1.133	-0.071	-1.170	-0.074
CM	0.5135		0.5195		0.4822	
VCG (m)	1.188	0.075	1.000	0.063	1.000	0.063
LCG (m)	-1.425	-0.090	-1.210	-0.076	-1.451	-0.091
S (m^2)	18.478	0.073	19.129	0.076	17.925	0.071
λ	15.909		15.909		15.909	

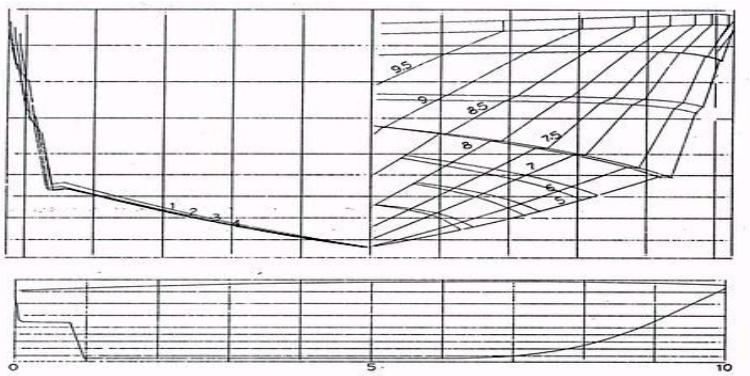
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



Model CU-129



Model CU-130



Model CU-130C

Fig. 3-1 Comparison of Body plan,
Bow and Stern Contour Line of Three Models

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 모형시험 및 결과

1. 실험설비

선박의 저항성능을 예측하기 위해서는 가능한 한 척도효과가 작은 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 살빼기 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.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

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.

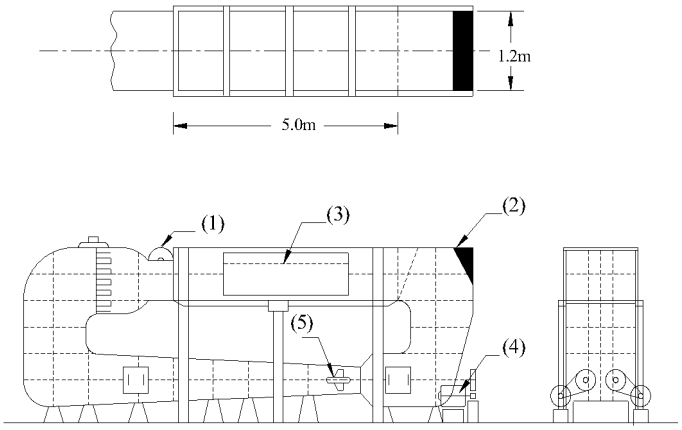
셋째, 정량적 실험은 실선의 소요마력을 정확하게 산출하는 것으로써, 실선의 소요마력을 추정하기 위해서는 앞서 언급한 회류수조 자체의 전반적인 유체역학적 특성을 고려하여 계측치를 수정하고, 척도의 영향으로 인한 정도가 떨어지므로 이를 예인수조의 결과치로 변환시키고 다시 이 결과를 실선으로 확장시키는 방법을 사용하면 정도를 높일 수 있다.

본 연구과정의 모형시험은 조선대학교의 회류수조와 서일본 유체기술연구소의 고속 회류수조에서 수행하였다. 실험에 이용된 서일본 유체기술연구소 고속회류수조는 최대유속 6.0m/sec로 어선을 비롯하여 소형 고속선의 정량적 모형시험에 많이 이용되고 있다.

Fig. 3-2에 조선대학교 회류수조의 주요특성 및 개략적인 형상을 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
```

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



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

Fig 3-2 Schematic diagram of CWC

2. 저항시험

각 형정 선형이나 활주형 선형은 모형시험 시 선저에서 발생하는 양력으로 인하여 트림 및 침하량의 변화가 크게 되고 이로 인하여 선체자세의 변화가 유발되므로 예인점(Towing point)의 위치가 계측 저항 치에 영향을 많이 미치게 된다. 따라서 활주형 선의 경우 예인점을 추진축의 연장선상에 두는 경우가 일반적이다. 또한 활주형선 모형시험에서 논란의 대상 중 하나인 침수표면적의 고려는 아직까지도 정확한 결론을 내리지 못한 상태이고 해서 정수중 침수표면적을 이용하였으며, 저항해석은 2차원적인 방법을 이용하였다.
저항시험의 결과는 국제 표준 저항 해석법(ITTC-78 해석법))에 의해 저항해석이 이루어진다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

※ 국제 표준 저항 해석법(ITTC-78 해석법)

가. 전저항 계수

빌지킬이 없는 상태의 실선의 전저항 계수는

$$C_{TS}=(1+K)C_{FS} + C_R + \triangle C_F + C_{AA}$$

여기서, K는 저항 실험에서 결정된 형상계수이다.

C_{FS}는 ITTC-1957 모형선-실선 상관관계 곡선(Hughes)에 따르는

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10}RN-2)^2}$$ (실선의 마찰 저항 계수)

미국 선형수조회의(ATTC)표준해석 방법에서는 Schoerherr의 마찰저항 계수를 사용한다.

즉, $\frac{0.242}{\sqrt{C_F}} = \log_{10}(Rn \cdot C_F)$

C_R은 저항실험으로부터 모형선의 전체 및 마찰저항계수로부터 계산된 잉여저항 계수이다.

$C_R = C_{TM} - (1+K)C_{FM}$

$\triangle C_F$는 표면 거칠기를 고려한 값으로서 다음 식과 같이 계산한다.

$$\triangle C_F=[105(\frac{k_s}{L_{WL}})^{1/3}-0.64]\times 10^{-3}$$

여기서 거칠기 $k_s=150\times 10^{-6}m$이다.

$C_{AA} = 0.001\frac{A_T}{S}$ (C_{AA}는 공기 저항계수)

만약 실선에 빌지킬이 부착된다면 전저항 계수는 다음과 같다.

$$C_{TS}=\frac{S+S_{BK}}{S}[(1+K)C_{FS}+\triangle C_F] + C_R + C_{AA}$$

나. 모형선 저항 수정

a) 스터드 항력 수정(스터드 항력이 상대적으로 큰 소형 모형선의 경우)

스터드에 기인한 부가 저항은 다음 식에 의해 계산된다.

$$R_{SD}=C_{SD}\cdot\frac{1}{2}\cdot\rho SV^2$$

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

$C_{SD} = 2.6492 \cdot 10^{-6} \cdot N/S_M$

여기서,

C_{SD} : 스터드 항력 계수(스터드 형상에 따라 결정)

N : 스터드 개수

S_M : 모형선의 침수 면적(m^2)

b) 측벽효과 수정

저항에서 측벽 효과의 영향으로 인한 수정은 여러 가지 방법이 있으나 Tamura가 제안한 식은 다음과 같다.

$$\frac{\triangle V}{V_M} = 0.85m[\frac{L_{PP}}{B_T}]^{3/4} \cdot \frac{1}{1-(FnH)^2}$$

여기서,

V_M : 유속

$\triangle V$: 측벽효과로 인한 속도 증가분

m : $\frac{A_X}{A_T}$

A_X : 모형선의 최대 횡단면적

A_T : $B_T \times H_T$

B_T : 탱트의 폭

H_T : 수심

L_{PP} : 모형선의 길이

FnH : V_M/gH_T

c) 평균 기울기 수정

수면의 기울기가 저항에 미치는 영향은 다음 식에 의해 고려되어진다.

$$R_T = R_{T/}\cos\Theta - \triangle \sin\Theta$$

여기서,

R_T : 측정 저항(g)

Δ : 모형선의 배수량(g)

Θ : 평균 기울기 (rad)

그리고 Θ는 속도별로 측정된 자유표면 경사로부터 얻은 식에 의해 계산된다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

$$\Theta = [1.32 \cdot \frac{V^2}{(gH - \upsilon^2)} \cdot 10^{-3}$$

다. 유효마력의 계산

$$P_E = C_{TS} \cdot 1/2 \cdot \rho V_S^3 \cdot S \cdot 10^{-3} (KW)$$

회류수조 소형 모형선과 예인수조 대형 모형선의 저항계수를 실선으로 확장하는 방법에는 2차원 해석법과 3차원 해석법이 있으나, 근래에는 전저항을 평판 마찰저항과 잉여저항으로 나누어 해석하는 Froude에 의한 2차원 해석법보다, 전저항을 점성저항과 조파저항으로 분류하는 Hughes에 의한 3차원적인 방법이 선형을 해석에 반영할 수 있다는 측면에서 더욱 합리적인 것이라고 할 수 있다.

$$C_T = C_F + C_R \text{ (2-D)}$$
$$C_T = (1+k)C_F + C_W \text{ (3-D)}$$

예인수조에서도 소형 모형선과 대형 모형선의 상사시험에서 잉여저항계수나 형상계수 및 조파저항계수의 척도효과에 대한 일정한 경향을 정확히 밝히지 못하고 있는 실정이나, 회류수조에서 실험한 결과 해석의 정도를 높이는 방법으로 조파저항계수 및 형상영향계수의 "예인수조-회류수조 상관계수"를 찾는 방법이 고려될 수 있을 것이다.

즉, 다음 식과 같은 상관계수 f_w, β 를 구하는 것이 회류수조에서 소형 모형선을 이용하여 정량적 저항성능을 추정할 때 다소나마 정도를 향상시킬 수 있는 방법이 될 수 있으며, 세계적으로 회류수조를 이용하여 가장 많은 연구를 하고 있는 일본에서도 이 방법을 사용하고 있다.

$$C_W^L = f_w \cdot C_W^S$$
$$(1+k)^L = \beta \cdot (1+k)^S$$

여기서 f_w, β 는 기하학적으로 상사한 모선(parent ship)의 대형 모형선과 소형 모형선의 저항시험 결과로부터 구할 수 있다. 다음 식으로부터 두 수정

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

계수는 $f_w = \frac{C_W^L}{C_W^S}$, $\beta = \frac{k^L}{k^S}$ 이며, 이 계수를 이용하여 예인수조 대형 모형선의 결과치로 확장할 수 있다.

$$C_T^L = (1+\beta \cdot k^S)C_F + f_w \cdot C_W^S$$

여기서,

S : Small size model(회류수조)

L : Large size model(예인수조)

그러나 수정계수 f_w , β 를 결정하는 데는 많은 실험 결과가 요구되고 기하학적으로 상사한 선형의 실험 자료가 필요하며, 두 변수에 의한 오차의 누적이 큰 오차를 발생시킬 우려가 있으므로 수정계수 C_A^{SL} 을 사용한 다음 식이 실험 경험이 적은 경우 더욱 합리적이다.

$$C_T^L = (1+\beta \cdot k^S)C_F + C_W^S + C_A^{SL}$$

여기서, 수정계수 C_A^{SL} 은 실적선의 실험 및 해석 자료에 의해 L_{PP} - C_A^{SL} 도표를 만들어 찾을 수 있다.

침수표면적의 계산은 모형시험 시 계측한 침수 챠인(chine) 및 침수 킬(keel)의 길이(L_C , L_K)값으로부터 $l_m = (L_K + L_C)/2$를 구하고, L_m-침수면적곡선으로부터 침수 면적을 구한다.

라. 트림 및 침하량 계측시험

트림은 항주 안정성에 관련 있는 L_{CB} 위치와 선저경사각 뿐만 아니라 운항상태와 밀접한 관계가 있다. 주어진 선저 경사각에서 모형선의 전저항 R_M 은 압력 저항과 점성저항으로 이루어진다. 이에 대한 관계를 위의 Fig. 3-3에 정리하였다.

$$R_M = \text{pressure drag} + \text{viscous drag} = \triangle \tan\tau + \frac{D_F}{\cos\tau}$$

$$= \triangle \tan\tau + \frac{1}{2}\rho V^2 b^2 \left(\frac{L_C + L_K}{2b} \right) / \cos\tau$$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

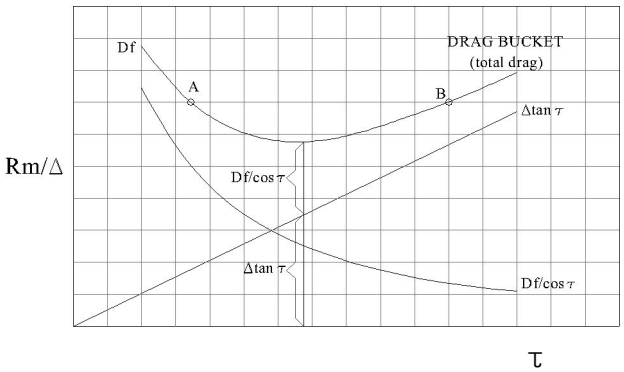


Fig 3-3 Trim vs resistance curve

Fig. 3-3에서 트림이 A점 보다 낮으면 L_{CG} 위치를 선수방향으로 옮기거나 플랩(flap)에 각을 주어 설치하며, A점보다 높으면 L_{CG} 위치를 선미방향으로 옮기거나 추력각을 적절히 조절한다. 트림각 τ 를 높이기 위해서는 압력중심(C_P)을 L_{CG} 후방으로 이동시켜야 한다.

주어진 선저 경사각에 대해 항주 안정범위(porpoising limit)는 트림, 양력계수($C_{LB} = \triangle / \frac{1}{2}\rho V^2 B^2$) 그리고 상항주 안정범위에 의해 결정할 수 있다. 일반적으로 최대출력, 최대속도에서는 선미트림이 안정성 측면에서 유리하며, 반면 만재상태와 순항 속도인 경우에는 약간의 선수 트림이 항주 안정성에 유리한 것으로 알려져 있다. 활주선에 대한 항주 안정범위 관계를 Fig. 3-4에 정리하였다.

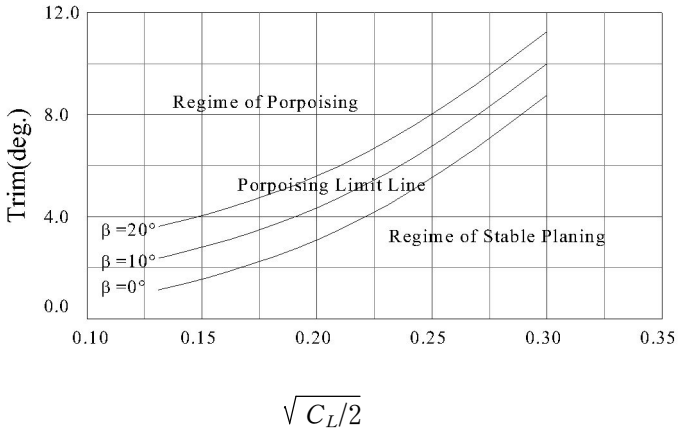


Fig 3-4 Porpoising limit of planing hull

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

항주 시 트림 및 침하량과 저항 성능과의 상관관계를 연구하기 위하여 속도별 침하량을 F.P. 및 A.P.에서 계측하였으며 그 결과를 다음과 같이 무차원화 하여 비교하였다.

$$S = \left(\frac{dA + dF}{2}\right) \times 2g/U^2$$

$$t = (dA - dF) \times 2g/U^2$$

여기서,

dA : 선미침하량 dF : 선수침하량

g : 중력가속도 U : 선속

마. 시험 결과

모형선의 저항으로부터 실선의 저항을 추정함에 있어서는, 아직도 전체 저항을 마찰과 잉여 성분으로 나눌 수 있다는 Froude의 가정을 근거로 하고 있다. 잉여 저항 계수 C_R 은 F_n의 값이 서로 같으면 C_R값도 서로 같을 것으로 생각할 수 있지만, 마찰 계수 C_F는 Reynold수의 함수이므로, 모형시험 결과를 실선에 확장하는 계산의 정확성에 크게 좌우된다. 계측의 정확성을 기하자면, 모형선을 극히 정밀하게 만들어야 하고, 그 표면을 잘 손질하여야 하며, 그것에 알맞은 밸러스트를 적재하고 트림도 맞추어야 한다. 모형선의 길이는 여러 가지 조건을 고려하여 결정한다. 모형선은 클수록 정밀하게 제작될 수 있고, 또 측정해야 할 힘이 커지므로 그 저항을 더 정밀하게 계측할 수 있게 된다. 그러나 모형선이 커지면, 그것을 만들고 다루는데 더 큰 경비가 들고 필요한 장치나 기구가 커지므로, 크기에 대하여 타협하지 않을 수 없다. 만일, 어떤 수조에서 너무 큰 모형선을 사용한다면, 벽과 바닥으로부터의 간섭 때문에 그 저항이 크게 나타날 것이다. 이와 같은 간섭효과를 적절히 평가하는 방법에 대해서는 아직 일치된 견해가 없다. 대체로 조파저항에 미치는 간섭을 과하자면 모형선의 길이가 수조의 물의 깊이보다 크지 않고, 수조의 폭이 1/2보다 크지 않아야 한다. 모형선의 중앙 횡 단면적이 너무 크면, 그 주위의 물이 거꾸로 흐르는 현상(Appreciable Return Flow),즉 이른바 측벽효과(Blockage Effect)가 나타난다. 이것을 피하자면, 모형선의 중앙 횡 단면적이 수조의 횡단 면적의 약 1/200을 넘지 않아야 한다. 고속 모형선에 대한 수조 시험에서는 임계 속도 $V=\sqrt{gh}$,즉 임계파가 나타나는

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

속도를 피하도록 조심해야 할 경우도 있다. 이 속도의 약 0.7이상의 속도로 달리는 모형선들은 깊은 물에서의 저항과는 다른 저항을 받게 될 것이다. 모든 모형실험에서 유의해야 할 일은, 모형선 주위의 흐름이 완전히 난류가 되도록 하여야 한다는 것이다. 판 주위의 흐름 속에는 층류와 난류의 두 가지 영역이 있을 수 있고, 동일한 Reynolds수에서는 난류가 층류보다 더 큰 저항을 준다. 또한 Reynolds수가 증가함에 따라 그 영역이 달라지지만, 천이곡선(Transition Curve)은 개개의 환경 조건에 지배된다.

본 논문에서는 조선대학교 회류수조와 서일본 유체기술 연구소(FEL)에서 · Resistance Tests
· Trim Measurement
· Wave Profile Observation
등 3가지 실험을 실시하였다.

저항시험의 결과를 다음 Table 3-1, 3-2, 3-3에 각 모형선별로 결과 값을 보였고, Table 3-4에서 요약을 하였다. Fig. 3-5에서부터 Fig. 3-8에서는 그래프로 비교하였다. 트림의 변화는 Table 3-5에서 요약하였고, Fig. 3-8에서 3가지 Models을 비교하였다.
파형 관찰 시험의 결과는 사진을 이용하여 보여주고 있다.(Fig 3-13부터 3-20 까지 참조)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3-1 Calculation of Performance for CU-129

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vm	m/s	2.0	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
	ft/sec	6.56	7.87	8.53	9.19	9.84	10.50	11.16	11.81	12.47	13.12
R_{TM}		0.56	0.56	0.55	0.54	0.55	0.57	0.60	0.65	0.72	0.80
$C_{TM}\times10^3$		19.30	14.64	12.51	11.04	10.11	9.37	9.26	9.41	10.12	11.18
$C_{FM}\times10^3$		4.81	4.73	4.69	4.66	4.62	4.6	4.58	4.53	4.57	4.58
$(C_R)_M=(C_R)_S\times10^3$		14.50	9.91	7.82	6.39	5.49	4.78	4.68	4.88	5.56	6.59
V_S		26.17	31.41	34.02	36.64	39.26	41.88	44.49	47.11	49.73	52.34
$C_{FS}\times10^3$		2.37	2.34	2.33	2.31	2.30	2.29	2.29	2.27	2.28	2.29
$C_{TS}\times10^3$		17.27	12.65	10.54	9.10	8.19	7.47	7.37	7.55	8.24	9.28
R_{TS}		2065	1998	1895	1858	1860	1866	1991	2162	2421	2750
EHP		98.27	114.0	117.2	123.7	132.7	142.0	161.0	185.1	218.8	261.7
SHP		178.7	207.4	213.1	225.0	241.4	258.3	287.6	324.9	377.4	443.6
Vs in Kts		15.5	18.6	20.2	21.7	23.3	24.8	26.4	27.9	29.5	31

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Table 3-2 Calculation of Performance for CU-130

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vm	m/s	2.0	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
	ft/sec	6.56	7.87	8.53	9.186	9.84	10.50	11.16	11.81	12.47	13.12
R_{TM}		0.573	0.606	0.588	0.579	0.584	0.601	0.631	0.676	0.728	0.781
$C_{TM}\times10^3$		17.71	14.34	12.37	10.94	10.06	9.64	9.67	10.27	11.76	14.44
$C_{FM}\times10^3$		4.671	4.617	4.591	4.567	4.544	4.531	4.532	4.566	4.663	4.873
$(C_R)_M=(C_R)_S\times10^3$		13.040	9.724	7.776	6.372	5.517	5.113	5.136	5.719	7.092	9.564
V_S		26.17	31.41	34.02	36.64	39.26	41.88	44.49	47.11	49.73	52.34
$C_{FS}\times10^3$		2.347	2.327	2.318	2.309	2.300	2.295	2.295	2.308	2.345	2.423
$C_{TS}\times10^3$		15.79	12.45	10.49	9.08	8.217	7.808	7.831	8.427	9.837	12.39
R_{TS}		2111	2175	2062	1986	1970	2010	2113	2289	2517	2769
EHP		100.5	124.2	127.6	132.3	140.6	153.1	170.9	196.1	227.6	263.5
SHP		182.7	225.8	231.9	240.6	255.7	278.3	305.2	344.0	392.3	446.6
Vs in Kts		15.5	18.6	20.2	21.7	23.3	24.8	26.4	27.9	29.5	31

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Table 3-3 Calculation of Performance for CU-130C

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vm	m/s	2.0	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
	ft/sec	6.56	7.87	8.53	9.19	9.84	10.50	11.16	11.81	12.47	13.12
R_{TM}		0.711	0.64	0.62	0.61	0.62	0.65	0.69	0.74	0.79	0.84
$C_{TM}\times10^3$		26.20	17.98	15.50	13.77	12.78	12.83	13.53	14.93	17.25	21.06
$C_{FM}\times10^3$		4.846	4.754	4.719	4.701	4.707	4.738	4.789	4.880	5.017	5.224
$(C_R)_M=(C_R)_S\times10^3$		21.36	13.23	10.78	9.07	8.07	8.09	8.73	10.05	12.23	15.84
V_S		26.17	31.41	34.02	36.64	39.26	41.88	44.49	47.11	49.73	52.34
$C_{FS}\times10^3$		2.414	2.380	2.366	2.359	2.353	2.373	2.392	2.427	2.477	2.552
$C_{TS}\times10^3$		24.17	16.01	13.55	11.83	10.83	10.87	11.53	12.88	15.11	18.80
R_{TS}		2710	2364	2239	2152	2162	2259	2421	2622	2844	3089
EHP		129.0	135.0	138.5	143.4	154.3	172.0	195.9	224.6	257.1	294.0
SHP		234.5	245.4	251.8	260.7	280.6	312.8	349.7	394.0	443.3	498.3
Vs in Kts		15.5	18.6	20.2	21.7	23.3	24.8	26.4	27.9	29.5	31

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3-4 Summery of Resistance Test

Unit : g

Model NO. / Speed(m/s)	CU-129	CU-130	CU-130C
2.0	252.0	259.7	322.4
2.2	257.0	272.6	306.0
2.4	255.5	275.0	291.8
2.6	248.0	266.9	281.0
2.8	246.0	262.5	275.0
3.0	250.0	265.0	280.0
3.2	259.0	272.8	293.0
3.4	273.5	286.0	311.8
3.6	294.6	306.6	333.5
3.8	325.0	330.0	356.0
4.0	364.0	354.2	379.8

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

- 모형선별로 전체저항의 변화를 Fig 3-5에 각각 비교하였다.

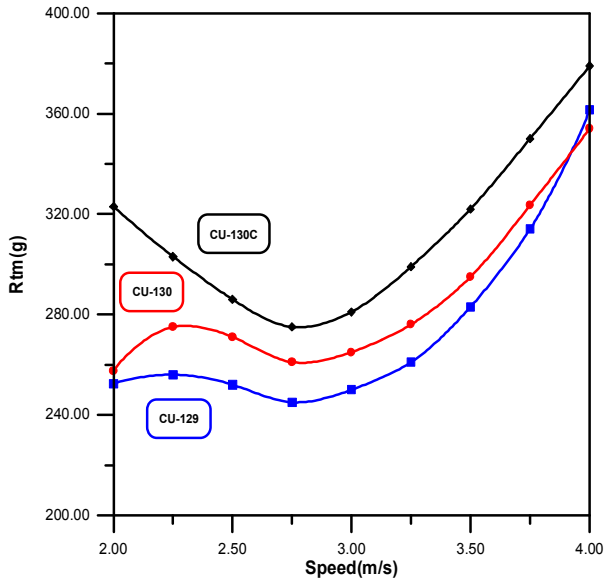


Fig 3-5 Comparison of Total Resistance of Models

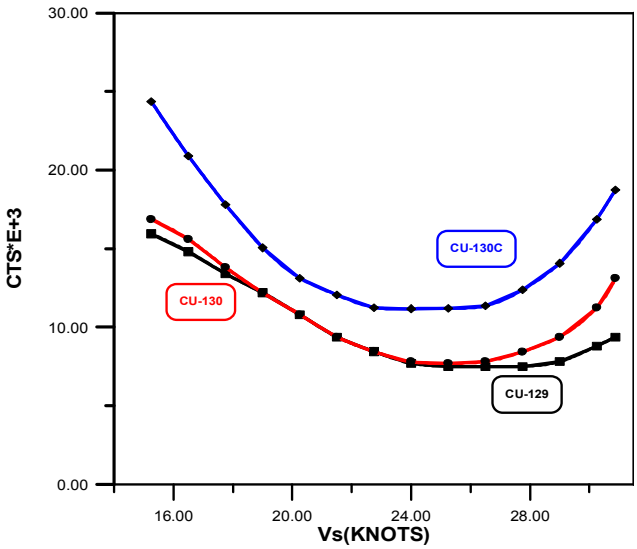


Fig 3-6 Comparison of Total Resistance Coefficient of Models

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

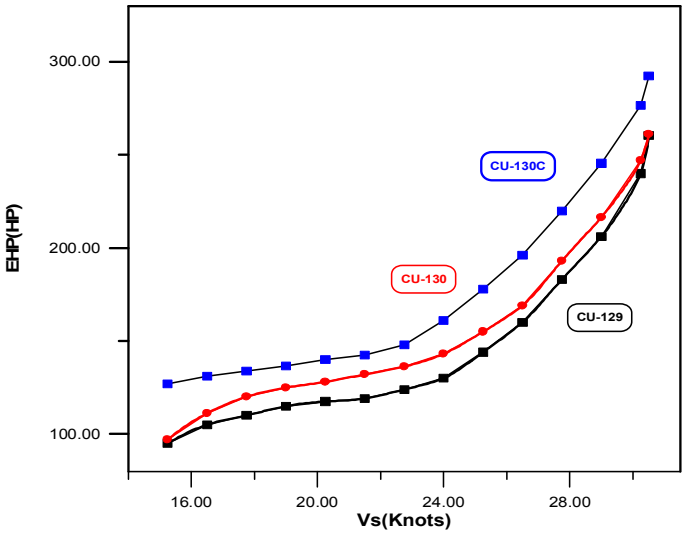


Fig 3-7 Comparison of EHP

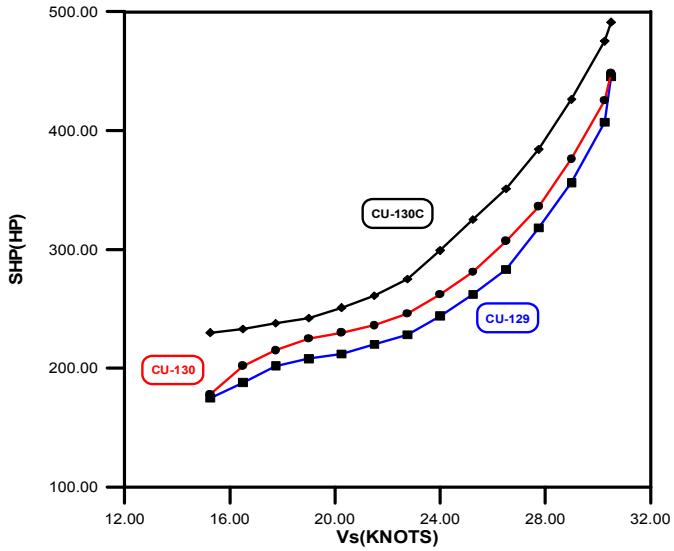


Fig 3-8 Comparison of SHP

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(1) 트림각 및 침수표면적 계측시험

Table 3-5 Variation of Trim by Speed

Speed(m/s) / Model NO.	CU-129	CU-130	CU-130C
2.0	5.00	4.70	7.60
2.2	5.37	5.09	7.40
2.4	5.55	5.40	7.10
2.6	5.60	5.68	6.74
2.8	5.60	5.90	6.50
3.0	5.54	6.15	6.43
3.2	5.49	6.30	6.40
3.4	5.36	6.30	6.40
3.6	5.20	6.00	6.38
3.8	5.00	5.50	6.30
4.0	4.80	4.80	6.20

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

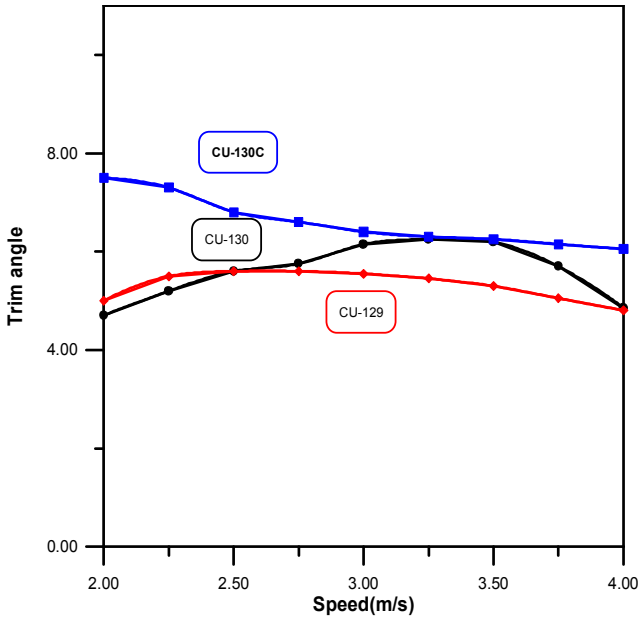


Fig 3-9 Comparison of Trim angle

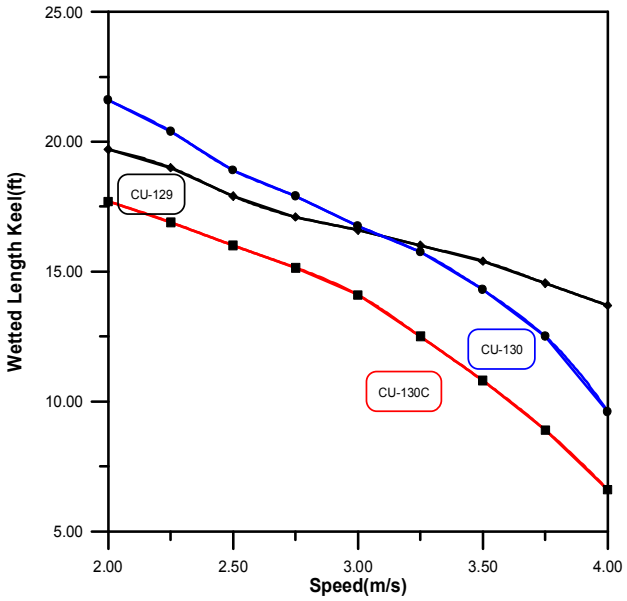


Fig 3-10 Comparison of Wetted Length of Keel

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

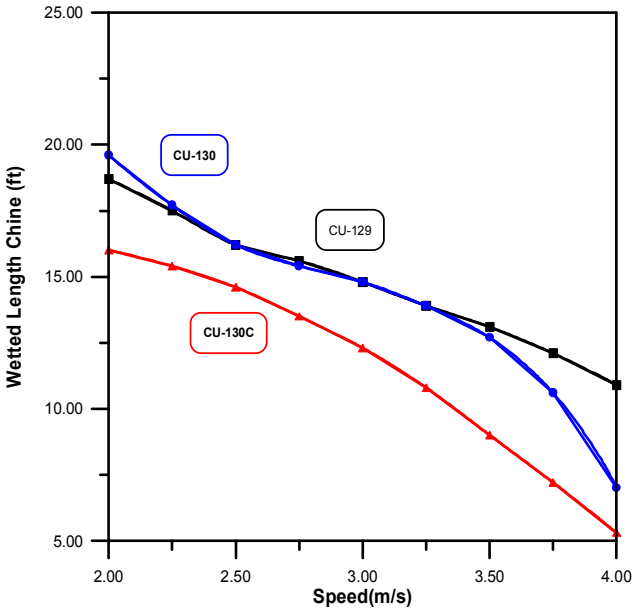


Fig 3-11 Comparison of Wetted Length of chine

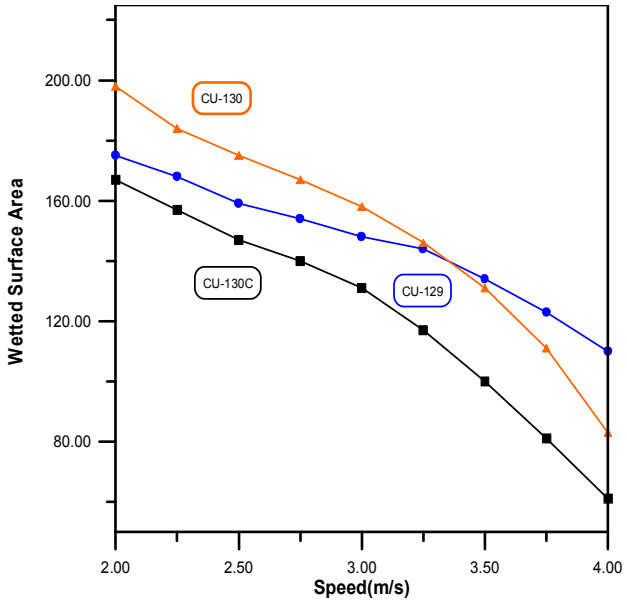


Fig 3-12 Comparison of Wetted Surface Area

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2) 선측파형 관측시험

$V_M = 1.2\ m/s$

$V_M = 1.6\ m/s$

$V_M = 1.9\ m/s$

$V_M = 2.1\ m/s$

Fig. 3-13 Photographs of Wave Profile for CU-129 at full load condition(I)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$V_M = 2.4\ m/s$

$V_M = 2.8\ m/s$

$V_M = 3.4\ m/s$

$V_M = 3.6\ m/s$

Fig. 3-14 Photographs of Wave profile for CU-129
at full load condition (Ⅱ)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$V_M = 3.8\ m/s$

$V_M = 4.0\ m/s$

Fig. 3-15 Photographs of Wave profile for CU-129 at full load condition (Ⅲ)

$V_M = 1.2\ m/s$

$V_M = 1.9\ m/s$

Fig. 3-16 Photographs of Wave profile for CU-130 at full load condition (Ⅰ)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$V_M = 2.4\ m/s$

$V_M = 3.8\ m/s$

Fig. 3-17 Photographs of Wave profile for CU-130 at full load condition (Ⅱ)

$V_M = 2.4\ m/s$

$V_M = 3.4\ m/s$

Fig 3-18 Photographs of Wave profile for CU-130C at full load condition (Ⅰ)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$V_M = 3.6\ m/s$

$V_M = 4.0\ m/s$

Fig 3-19 Photographs of Wave profile for CU-130C at full load condition (II)

Fig 3-20 Photographs of Wave Pattern for Model at full load condition

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

바. 모형시험 결과 분석

(1) 저항시험

Fig 3-5부터 Fig 3-8에서 볼 수 있는 바와 같이 각 선형별로 저항시험의 특징을 살펴보면 저속과 중속의 범위에서는 모선인 CU-129가 저항 성능 면에서 제일 좋을 것으로 나오지만 고속에서는 오히려 수정된 선형인 CU-130의 저항 값이 낮다는 것을 관찰할 수 있다. Fig 3-7과 Fig 3-8의 유효마력과 축 마력의 비교 그래프를 보더라도 31knots에서는 CU-130의 값과 CU-129의 값이 같아짐을 확인할 수 있다.

(2) 저항에서의 트림의 영향

CU-130(수정된 모델)과 CU-129(수정 전 모델) 과 의 Trim의 차이는 ±1° 이다. Fig.3-3에서 보인 것처럼 뒷부분이 잘라진 CU-130C의 트림은 CU-129보다 약간 높게 나타난다. 이 증가 된 트림은 적당한 Trim Tab을 부착함으로써 줄일 수 있다. 저항을 다음의 식과 같이 분류할 수 있다.

$$Resistance = \Pr essure\ Resistance + Viscous\ Resistance$$

$$= \triangle \tan\tau + 1/2\ \rho\lambda b^2\ V^2/\cos\tau$$

위 식에 의해 3가지 모델의 시험 결과가 각각의 모델의 압력저항과 점성저항으로 표시가 되고 있다.

(3) 안정성에서의 트림의 영향

다음의 식과 Savitsky's stability evaluation chart는 모델의 안정성을 평가할 때 자주 쓰인다.

$$C_{L\beta} = \Delta / 1/2\rho V^2 b^2$$

결과를 비교해보면 모든 모델이 약간은 불안정하게 나타나 있다. 하지만, 만약 trim tab을 고려한다면 결과가 안정하게 될 것이라 기대할 수 있을 것이다. trim tab을 가지는 적당한 trim angle은 CU-129는 3.5° , CU-130과 CU-130C에서는 3.7° 이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

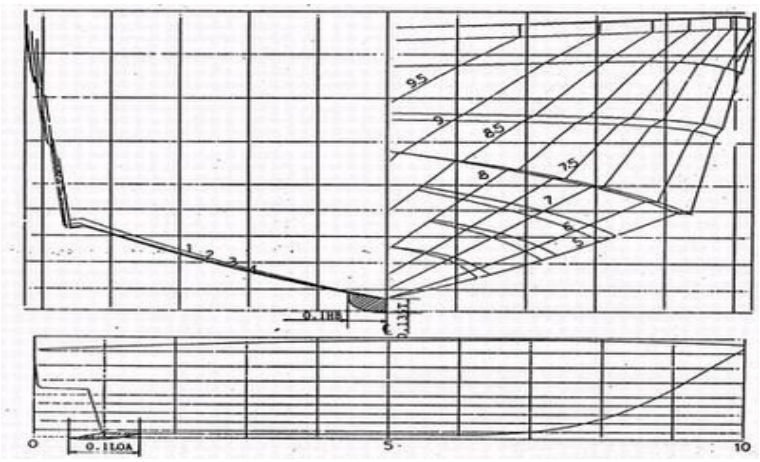


Fig. 3-21 The Configuration of Fixed Tab

(4) Performance evaluation

수정된 CU-130 모형선은 특히 30knots의 속도에서 배수량을 고려한다면 기존의 형상의 모형인 CU-129보다 비교적 좋은 성과를 얻을 수 있을 것이다. 그리고 역시 수정된 모델인 CU-130C도 Trim tab의 부착을 고려한다면 CU-130처럼 같은 결과를 예상할 수 있을 것이다.

다음은 31knots에서의 SHP 와 $SHP/\triangle$을 보여주고 있다.

	CU-129	CU-130	CU-130C
SHP	444	447	498
SHP/△	85.5	78.3	89.2

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제4장 고속영역 저항 감소를 위한 고찰

활주선에서는 고속으로 갈수록 침수면적에 의한 마찰저항이 급격히 증가하므로 고속에서 침수면적을 감소시킬 수 있는 방법이 있다면 저항을 획기적으로 줄일 수 있을 것이다. 고속 항주시 선측의 침수부분은 Spray rail에 의해서 제거시킬 수 있으나 선저부분은 통상적인 방법으로는 침수면적을 줄이기가 어렵다. 여기서 한 가지 생각해 볼 수 있는 방법은 선저에 강제적으로 공기막을 형성시키는 방법이 있을 것이다.

유사한 개념의 공기부양선은 선저부에 강력한 공기를 불어넣어 배를 부양시키는 방법으로 이는 매우 큰 동력이 필요하고 부양시킬 수 있는 배의 무게에도 경제적인 측면에서 한계가 있다. 그러나 선저에 부가물을 부착시켜서 cavity를 발생시키고 생성된 cavity를 이용해서 선저에 얇은 공기막을 형성하도록 선속, 선형, 부가물, 트림 등을 적절히 조화시킨다면 건조비용을 증가시키지 않고 선속을 개선시킬 수 있을 것이다.

제1절 Stepped Hull의 성능조사

‘Step’은 1872년 Torquay(토오키)수조에서 W.Froude가 시험한 최초의 모형선 중의 하나인 ‘겹쐐기형 선박’ 선형에서 볼 수 있었다. 이 선형은 그 자체를 물로부터 떠오르게 하여 저항을 최소로 줄이려는 쐐기형이었다. 이 배는 바닥에 2개의 불연속선, 즉 ‘Step’이 있었고, 둥근 선미를 가지고 있었다. 현대의 고속모터보트는 거의 이와 같은 ‘Stap’이 없이 1930년경부터 지금에 이르렀으며, 그 동안의 발전은 주로 현대 동력 장치의 출력-중량 비의 개량으로 이룩되었다.
‘Step’은 선저를 가로지르는 날카로운 불연속선이며, 정면도와 평면도에서는 직선 또는 V자형으로 나타난다. 이와 같은 단을 붙이는 것은, 그러한 배가 그 단과 트랜섬의 바로 앞부분의 작은 면적에 걸쳐 물과 접촉하면서 활주하게 되리라고 생각하기 때문이다.
그와 같이 하면, 전체 침수표면적이 60%이상 감소되지만, 그 선형이 대단히 복잡해지기 때문에, 경주용이 아닌 배에서는 대개 단이 없는 선형을 채택하고 있다.
‘Stap’을 가지는 선형의 특성 및 장, 단점과 설계 요령 등을 아래와 같이 요약하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. 특성

- 선수 선저 에서는 활주 표면적 당 압력이 증가되어 양력이 증가하고, 선미 선저 에서는 양력이 적어져서 Drag가 증가한다.
- 트림을 최소화하면서 지역적 트림을 적절한 상태로 유지하므로 우수성능을 유지한다.
- 상대적으로 Deadrise가 적고 침수표면적이 적으며 Aspect Ratio가 크다.

2. 장점

- 승선감이 개선된다.
- Planing Aspect Ratio 증가.(침수 길이에 대한 침수폭 증가)
- Lift to drag ratio 개선.
- 침수표면적이 감소된다. (마찰저항 감소로 인함)

3. 단점

- 하중 분포에 제한을 받는다.
- 구조가 복잡하다.
- 내파성이 불량하다.

4. Step의 결정

- Step 위치와 Step의 수는 하중의 상태에 따라 결정된다.
- Step의 형상은 Straight, Swept forward, Swept aft로 나누어진다. (Keel부터Chine까지)

5. Stepped Hull 적용 가능 선형

- 여객선, 세관선, 경비정, 통근선 등

6. Stepped Hull의 선형 설계 요령

- 선수(Deep V형) : 충격 감소
- 선미(Deep V형) : 방향 안정성 향상
- Step에서의 Initial Trim : Keel보다 2°크게 한다. (Fin Effect가 증가되어 방향 안정성 향상)
- Deadrise 경사각 (약 16°)
- Trim Tab필요 (해상 조건에 따라 Balance를 맞추기 위함)
- Step Ventilation을 고려해야 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 공동(Cavity)의 발생을 이용한 저항성능개선

물과 공기 또는 물과 다른 기체의 경계를 형성하는 자유유선(free streamline) 상에서는 압력이 일정하게 된다. 평판을 물속에 넣어서 흐름의 방향이 그 면에 수직일 때 판의 전면을 따라 흐르는 유선은 판의 끝 점에서 이탈된다. 판의 후면에는 불안정한 흐름이 형성되는데 만약에 이 부분에 물이 정지해 있다고 하면 그 곳에서는 압력이 일정하게 되고 이 경계를 따라 흐르는 유선도 압력이 일정한 자유유선이 된다. 흐림이 극히 빠를 때에 이 부분에 공기가 흡입되어 공동이 생기고 또 속도가 극히 빠르게 되면 후방 압력이 0에 가깝게 되고 공동현상이 생기며 이 때의 상태는 물의 증발상태와 같게 된다. 이러한 불연속류(discontinuos flow)를 캐비테이션(cavitation)이라 한다. 캐비테이션은 여러 가지 원인에 의해 발생하게 되나 선체주위에서 발생할 수 있는 일반적인 현상은 비등(boiling)에 의한 캐비테이션 현상이다. 이는 일정한 온도에서 압력이 낮아져 수증기 또는 공기로 채워져 있는 기포가 생성되어 점차 상정하는 과정이라고 볼 수 있다. 이는 유체와 선체 중 일부 혹은 프로펠러 경계에서의 국보 압력이 유체의 운동에 의해 증기압 이하로 덜어질 때 발생하고 해수에서는 용해 또는 혼합된 공기와 그 이외의 불순물이 공동(cavity)현상과 거품의 형성을 촉진하기 때문에 해수의 증기압보다 높은 국부압력에서 발생할 수도 있다. 캐비테이션을 발생시키기 위해서는 유입 속도를 빠르게 하므로 유체압력을 증발압력까지 하강시키거나 침수깊이를 얕게 하여 주위의 압력을 감소시키면 된다. 캐비테이션 발생을 가늠할 수 있는 무차원 계수인 캐비테이션 수 (cavitation number)는 다음과 같다

$$\sigma = \frac{P_0 - P_v}{\frac{1}{2}\rho V^2} \qquad (4-1)$$

여기서 P_0는 유체압력이고 P_V는 증발압력이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3절 캐비테이션 발생용 부가물

강제적으로 캐비테이션을 발생시키기 위하여서는 여러 가지 형상의 부가물이 사용 될 수 있으나 부가물 자체로 인한 저항 및 운동성능 저하를 최소화하는 형상 중의 하나로 반 원주형을 선정하였다. 캐비테이션은 압력의 균형이 깨질 때 발생되는 진공이나 역압력(negative pressure)에 기인하게 된다는 사실로부터 반원주상에서의 캐비테이션 발생 영역을 다음과 같이 계산해 볼 수 있다.

일반적으로 원주상의 한 점 $z = ae^{i\theta}$에서의 속도는 복소 포텐셜 $U(z+\frac{a^2}{z})$ 로부터 다음 식 (4-2)과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{dw}{dz} = U(1-\frac{a^2}{z^2}) = U(1-e^{-2i\theta}) = ie^{-i\theta}2Usin\theta \qquad (4-2)$$

(4-2)식으로부터 속도의 크기를 q, 이것의 x축과의 교각을 θ 라 하면 $u = 2Usin^2\theta, v = 2Ucos\theta\sin\theta$ 이므로

$$q = 2U\sin\theta \qquad (4-3)$$

가 되고 q2의 값은 $\theta = \pm\frac{\Pi}{2}$ 에서 최대가 된다. 따라서 트림이 없는 활주선 선저에 부착된 반원주상에서는 하단 끝 (θ = $-\frac{\Pi}{2}$)에서 최대 속도가 되며 Bernoulli's Theorem에 의하여

$$\frac{p_c}{\rho} + 2U^2\sin^2\theta = \frac{p_o}{p} + \frac{1}{2}U^2 \qquad (4-4)$$

여기서 p_c는 원주상의 압력이다. (4-4)식으로부터 하단 끝에서 캐비테이션이 발생할 수 있는 조건은 압력(p_c)이 0이 되어야 하는 것이므로 (4-4)으로 부터 $p_c = 0$인 캐비테이션 수를 구하면 (4-5) 식과 같이 된다.

$$\frac{p_o}{\frac{1}{2}\rho U^2} = 3 \qquad (4-5)$$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

캐비테이션 수의 의미를 물리적인 개념에서 생각해 본다면 cavity의 폭과 길이의 개략적 크기는 각각 σ^{-1},σ^{-2} 정도 되고 만약에 압력이 일정한 상태에서 속도가 충분히 빠르다면 σ는 양(+)의 값을 갖게 되며 속도가 무한히 커지게 되면 σ는 0에 가깝게 된다. σ가 0에 수렴한다는 의미는 cavity의 길이와 폭이 무한대로 커진다는 의미이며 Helmholtz Motions 정의에 의하면 cavity 주변 압력이 교란되지 않은 흐름의 압력과 동일($P_C = P_O$) 하므로 이때 캐비테이션 수는 0이 된다. 또한 cavity 발생체가 수평 고속으로 이동할 시 자유공간과 중력공간에서의 운동의 차이를 조사해 보기위하여서 (4-6)식과 같이 cavity의 길이를 F_n는 g와 상관없이 0에 수렴하므로 근본적으로 중력이 cavity의 운동에 미치는 영향은 무시할 만 하다고 하겠다.

$$\frac{U^2}{g \times (\text{캐비티길이})} \qquad (4-6)$$

제4절 공동(Cavity) 발생용 부가물 부착 위치 결정을 위한 선체주위 유속 조사

앞서 언급한 바와 같이 유속이 클수록 캐비테이션 발생 가능성이 커지고 cavity의 길이와 폭도 커지게 되므로 cavity 발생용 부가물의 부착 위치는 선체를 따라 흐르는 유속이 가장 빠른 곳을 선정하는 것이 효과적일 것이다. 따라서 선체위의 유속을 회류수조에서 프로펠러형 유속계를 사용하여 종방향으로는 10개의 스테이션으로 나누어 0스테이션(AP)부터 7번 스테이션까지 한 스테이션 간격으로 그리고 횡방향은 선저 중앙선(keel kine), 선저 중앙부와 챠인의 중간점 그리고 챠인부의 세 곳에서 각각 유속을 계측하였다. 종방향의 9~10번 스테이션은 현재 보유중인 장비로서는 이 부분의 계측이 불가능하므로 계측하지 못하였으며 횡방향의 세 점을 선정한 이유는 평균 유속, 횡방향 유속변화 등 부가물 부착 여건이 실제적으로 우수한 곳을 선정하기 위한 것이다. 깊이 방향은 Table 1에 정리한 바와 같이 세 위치에서 계측하였고 유속은 모형선 속도(V_m)로 무차원화한 값이다.

Table 4-1에서 보인바와 같이 중앙선(centerline) 부근에서의 유속이 상대적으로 가장 고속이었으며 선체와 가장 가까운 부분에서는 6번 스테이션이 비교적 부가물 부착에 적합한 곳으로 판단되었다. 특히 트랜섬 중앙선 부분에서의 유속은 급격히 가속되었으며 따라서 이 부분은 성능 개선 부가물 개발 가능성이 많은 위치가 될 수 있을 것이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 4-1 선체주위 유속 분포

$$유속 = \frac{V_{계측}}{V_m}$$

깊이 방향	스테이션 폭방향	0	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{T^*}{3}$	$C.L^{**}$	0.99	0.94	0.92	0.94	0.95	0.95	0.95	0.94
	중간***	0.95	0.92	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91
	Chine	0.91	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.90
$\frac{T}{2}$	C.L	1.0	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96
	중간	0.97	0.95	0.93	0.92	0.93	0.93	0.93	0.92
	Chine	0.92	0.92	0.92	0.91	0.92	0.92	0.91	0.91
T	C.L	1.0	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	0.95
	중간	0.98	0.94	0.94	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
	Chine	0.91	0.90	0.91	0.91	0.92	0.89	0.9	0.89

* 계획흘수
** Centerline 지점
*** Centerline과 Chine line의 중간지점

Table 1의 상대 유속 분포를 보면 나선상태에서는 유속의 분포가 비교적 균일한 편이었으며 부가물 부착상태와의 유속 분포를 비교해 보기 위해서 선체에서 가장 근접한 부분의 부가물 부착 상태(흘수의 10% 직경인 반원주형) 유속을 계측하여 Table 4-2에 나선상태의 유속과 비교하였다.

Table 4-2 나선상태와 부가물 부착상태의 유속 비교

Station		0	1	2	3	4	5	6	7
나선 상태	C.L	0.99	0.94	0.92	0.94	0.95	0.95	0.95	0.94
	중간	0.95	0.92	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91
	Chine	0.91	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.90
연속 반원주형	C.L	0.95	0.91	0.89	0.88	0.85	0.82	0.81	0.99
	중간	0.93	0.92	0.91	0.91	0.91	0.92	0.94	0.96
	Chine	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
불연속반 원주형	C.L	0.94	0.90	0.89	0.88	0.85	0.82	0.82	1.0
	중간	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.94	0.92	0.94
	Chine	0.96	0.96	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.96

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

부가물은 7번 스테이션에 부착하였으며 연속 반원주형은 Chine선부터 Chine 선까지 연속 형상이고 불연속 반원주형은 중앙선에 불연속 부분을 만들어서 부가물 후반부의 유속을 균일하게 하도록 고안한 것이다.

제5절 비교 저항시험

나선상태와 캐비테이션 발생 장치를 부착한 상태의 두가지 상태에 대하여서 회류수조에서 저항시험을 수행하였다. 부가물은 직경이 흘수의 10%인 불연속 반원주형으로 하였으며 종방향 위치는 6번 스테이션에 그리고 횡방향 길이는 선저 중앙에서부터 Chine선까지로 하였다. 모형시험 결과는 Table 4-3과 같다.

Table 4-3 저항시험 결과

단위 : g

상태 선속(노트)	나 선	부가물 부착	차 이 (%)
20	19.2	19.6	+2.0
25	24.9	25.1	+0.8
30	35.4	34.6	-2.3
35	42.1	40.2	-4.7

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제6절 결과 분석

선박이 고속으로 항주할 시 선체에 접촉되는 물과 선체와의 마찰력을 최소화하기 위해서 공기를 매체로 하는 방안에 대한 가능성 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 트림의 증가와 더불어 마찰저항이 감소하고 압력 저항이 증가하므로 본 연구의 목적인 마찰저항 감소에 의한 전저항의 감소 비율을 높이기 위해서는 트림이 최소화 되도록 선형 및 부가물을 설계해야 한다.

2. 저항시험 결과 Table 4-2에 보인 바와 같이 개선 효과가 미미하였으나 캐비테이션 발생 장치에 대한 형상과 위치 등을 최적화하고 좀 더 많은 시간의 연구와 고속수조에서의 검증 실험을 병행한다면 개선의 폭을 확대시킬 수 있을 것이다.

3. 캐비테이션 현상만으로는 선저에 공기막을 형성하는데 한계가 있고 캐비테이션 현상 자체가 선체에 충격을 줄 뿐 아니라 소음의 문제도 있으므로 보조 공기 흡입 장치를 부착하면 이러한 문제를 해결하고 효과도 더욱 높일 수 있다.

4. 선속 30노트 이상에서 저항성능이 감소하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제5장 결 론

이상으로써 3척의 선형에 대한 속도에 따른 Resistance Test, Trim Measurement 및 Wave Profile Observation의 세 가지 실험으로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 모선인 CU-129와 수정된 두 가지의 선형(CU-130, CU-130C)의 저항시험에서 저속과 중속에서는 모선인 CU-129의 저항성능이 제일 좋은 것으로 나타났으나, 고속으로 갈수록 CU-129의 저항값이 CU-130보다 오히려 커짐으로써 30knots가 넘는 고속에서는 CU-130이 가장 좋은 저항성능을 가지고 있는 것으로 나타났다. 즉, 장-폭비가 커지면 고속에서 더 좋은 저항성능을 가진다고도 할 수 있을 것이다. 그리고 모든 선형이 저속에서 고속으로 속도가 바뀜으로써 저항이 저속에서 다소 높다가 중속 이상으로 가면서 낮아지고 고속으로 진행 될 때에는 오히려 저항이 증가하는 경향을 보이고 있는데 이는 Spray저항 등을 줄이기 위해 spray rail과 같은 적당한 부가물을 설치하였는데 이 부가물은 저속에선 저항이 증가하게 되는 원인이 되지만 어느 정도의 고속에서는 저항 값을 줄여주는 역할을 한다. 하지만 그 이상의 속도의 범위를 가지는 고속에서는 저항이 다시 커지게 되는데 이것은 저항을 줄여주는 원인이 되었던 침수표면적의 감소로 인한 조파저항의 감소보다 동적 압력에 의한 압력 증가의 영향이 더 커지게 되어서 저항이 증가한다고 추측할 수 있을 것이다.

(2) CU-130과 CU-129의 트림각을 살펴보면 오차가 ±1。로 거의 일정하다. 그러나 선미 선저 부분의 길이가 감소된 선형 CU-130C의 경우는 이 선형들에 비해 트림각의 변화가 약간 크다는 것을 알 수 있는데 이는 적당한 부가물 즉, Trim Tab을 이용하여 줄일 수 있을 것으로 본다. 트림과 안정성의 영향과의 관계를 살펴보더라도 트림은 모든 모델이 약간은 불안정하게 나타나 있지만, 만약 trim tab을 고려한다면 결과가 안정하게 될 것이라 기대할 수 있을 것이다. trim tab을 가지는 적당한 trim angle은 CU-129는 3.5° , CU-130과 CU-130C에서는 3.7° 이다.

(3) Fig. 3-10에서 Fig. 3-12에서 각 모형선들의 침수된 Keel의 길이, Chine의 길이 그리고 침수된 면적을 비교하였는데 세 선형 중에서 CU-130과 CU-129는 침수된 Keel과 Chine의 길이 그리고 침수된 면적이 거의 비슷한 경향을 보이고 있으나, CU-130C의 경우는 침수된 Keel의 길이와 면적이

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

CU-129, CU-130에 비해 그 값이 작다. 이로써 다른 선형에 비해 선미 선저 부분의 형상을 변형시킨 CU-130C가 활주를 가장 많이 하는 선형이라 할 수 있을 것이다. 이것이 다른 선형에 비해 저항 값이 큰 원인으로도 추정할 수 있을 것이다. 다시 말해서 CU-130C는 고속에서 과도한 활주가 다른 선형에 비해 큰 저항 값을 가진다고 할 수 있을 것이다.

(4) 선형이 고속으로 운항하면 급속히 조파저항이 커지는데 이것을 줄이기 위해 동역학적인 효과를 이용하여 활주를 시킨다. Fig. 3-20는 선형의 활주 시에 Wave Pattern을 살펴보면서 Wave Pattern Resistance는 활주하지 않는 배수량형 선형과 비교하였을 때 활주를 함으로써 wave pattern의 영향을 덜 받는다는 것을 확인 할 수 있다.

(5) 나선상태에서 보다 Trim Tab과 같은 적당한 부가물을 부착하였을 때 저항감소 및 트림의 영향 등에서 이점을 가진다.

(6) 공기막 생성장치를 부착하였을 경우 Table 4-3에 보인 바와 같이 30노트 이상에서 저항이 감소함을 알 수 있었다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제6장. 참 고 문 헌

[1] Daniel Savitsky, “Overview of Planing Hull Developments", Davison Laboratory Stevens Institute od Technology
[2] Eugene P. Clement, : Development and Model Tests of an Efficient Planing Hull Design", DTNSRDC Report NO.1314, 1959
[3] A. McInnes, "Some Hull Construction Aspects of Small Patrol Boats"
[4] Eugene P. Clement, “Reduction of Planing Boat Resistance by Deflection of the Whisker Spray", DTNSRDC Report NO.1929, 1964
[5] 민계식, 이귀주, “활주형선의 단면형상 및 장-폭비와 저항특성과의 관계에 대한 실험적 연구”, P64~68, 대한 조선학회지 31권3호, 1994
[6] Lorne Campbell, "Stepped Hull", Royal Institute of Naval Architecture, 1994
[7] Edward V. Lewis, "Principles of Naval Architecture Second Revision", The society of Naval Architecture and Marine Engineer", 1988
[8] Michihito Ogura, "General Introduction for Circulating Water Channel", CWC Symposium, Tapei, R.O.C., 1986
[9] 이귀주, 최용주, “고속 활주형 어선의 종방향 중심과 저항과의 상관관계에 대한 실험적 연구”, 한국해양공학회 춘계발표회, 2003. 5. 23
[10] 이귀주, “實驗流體力學”, 도서출판 정자나무, 1998. 2
[11] M. G. Bevan, "A Correction Procedure for the Resistance of Ship Models to Account for the Presence of Studs", NMI Technical Mamorandom No. 104, January 1984
[12] Steven C. Fisher, "The Prediction of Resistance Change Using Small Models", DTNSRDC /SPD-1036-01, August 1982.
[13] 李光一, “滑走型 船舶의 船形特性과 抵抗性能과의 相關關係에 關한 實驗的 硏究”, 조선대학교 선박해양공학과 대학원 석사과정 졸업논문, 1998.11
[14] 이귀주, “Cavitation 현상을 이용한 고속활주형선의 저항성능 개선 가능성에 대한 연구”, 기술현대(Vol. 14, No. 4), 1994
[15] E. Numata, "Correlation between resistance of large and small models", Proceeding of 19th ITTC, Paris, France, 1960

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[16] 日本造船學會, “船型開發에 관한 연구”
[17] 이귀주, “회류수조에서의 모형시험 및 해석”, 대한조선학회 춘계연구발표회, 1985
[18] 전재우, “회류수조 소형모형선과 예인수조 대형모형선의 저항성부 상관관계 연구”, 기술현대(Vol. 11, No.1), 1991
[19] Steven C. Fisher : "An Assessment of the Merit of Using Small Models to Predict Effects of Hull Form Changes upon Resistance", Presented at The Society of Naval and Marine Engineers Chesapeake Section Meeting, October 30, 1982
[20] 日本丹艇協會, “高速艇 工學”, 1972
[21] 김동진, “회류수조에서의 모형시험과 그 저항성분”, 기술현대(Vol. 2, NO. 1), 1982
[22] Michael T. Musatow, Gregory Lee, "Mpdel Tests and Numerical Drag Prediction for Water-jet Powered Planing Hull with a Full Beam Stern Extension", HPMV '92 Preceeding, Washington D.C., 1992
[23] D.E. Calkins, "Feature based Small Craft Design for Producibility", 4th International Marine System Design Conference"
[24] K. Kihara, "A New Method of Initial Design for High Speed Craft(1)", 71th Workshop Proceeding, The Society of Naval Architects of West Japan, 1986

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

석사 논문을 마무리하면서 지난 시간을 생각해보니 시작만 해놓고 끝내지 못한 일들이 참 많았던 것 같습니다. 이번 석사 논문 또한 그중에 하나가 될 뻔 했지만 이귀주 교수님과 대학원 선후배의 도움으로 늦었지만 이렇게 감사의 글을 적게 되어 정말 감회가 새롭습니다.

대학원에 진학하여 각종 모형실험과 선형관련 연구를 하면서 때로는 실망과 좌절도 많이 겪었지만 저항추진 연구실 선후배의 격려와 위로가 제가 지금 석사논문을 마무리 지을 수 있었던 원동력이 아니었나 생각됩니다. 대학원 2학기를 마치고 취업과 석사학위와의 사이에게 많은 갈등이 있었습니다. 둘 다 저에겐 너무도 소중했기에 2학기를 마치고 취업 후 남은 2학기를 수료하였습니다. 하지만 두 마리의 토끼를 잡는다는 쉬운 일이 아니었습니다. 신입사원시절 창원과 광주를 오가며 석사논문을 준비하기엔 저의 의지가 약했고 회사생활에 쫓기어 석사논문 준비는 더욱 소홀해져 갔습니다. 그러나 2년 전 울산으로 직장을 옮기면서 석사논문을 마무리 짓지 못한 점이 항상 아쉬움으로 남았습니다.
대학원 졸업 후 많은 시간이 지났지만 더 이상 끝맺지 못한 석사논문에 아쉬움을 남기지 않고 처음 대학원에 입학 했을 때 저의 다짐을 생각하며 이번 논문 다시 준비하게 되었습니다. 저에게 직장 다니며 학교를 오가는 길은 너무 먼 거리였지만, 이번 석사논문을 함께 준비했던 선후배가 있었기에 마음만은 예전보다 더욱 가깝게 느꼈습니다. 이번 석사논문을 함께 준비했던 선후배님들께도 깊은 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

그리고 바쁜 와중에도 저의 논문 지도를 위해 많은 시간을 아끼지 않으셨던 정세민 교수님과 안정선 박사님께 감사의 마음을 전합니다.
마지막으로 이번 논문이 끝까지 잘 마무리 지을 수 있도록 조언을 아끼지 않으셨던 이귀주 교수님께 다시 한번 깊은 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

– 2015년 6월 임무송