[UCI]I804:24011-200000241997

2011年度 8月
碩士學位論文

알루미늄 RIB (Rigid Inflatable Boat) 최적 선형 연구

A Study on Optimum Hull Forms of the Aluminum Rigid Inflatable Boat

조선대학교 대학원

선 박 해 양 공 학 과

홍 성 식

알루미늄 RIB
(Rigid Inflatable Boat)
최적 선형 연구

A Study on Optimum Hull Forms of the
Aluminum Rigid Inflatable Boat

2011년 8월 25일

조선대학교 대학원

선 박 해 양 공 학 과

홍 성 식

알루미늄 RIB
(Rigid Inflatable Boat)
최적 선형 연구

A Study on Optimum Hull Forms of the
Aluminum Rigid Inflatable Boat

指導敎授 朴 濟 雄

이 論文을 工學碩士學位 申請 論文으로 提出함.

2011년 4월

조선대학교 대학원

선 박 해 양 공 학 과

홍 성 식

홍성식의 碩士學位論文을 認准함

委員長　　教授 權 寧 燮 印

委　員　　教授 朴 濟 雄 印

委　員　　教授 金 道 正 印

2011년　6월

朝鮮大學校 大學院

LIST OF TABLES ····· i
LIST OF FIGURES ····· ii
Abstract ····· iv

제 1 장 서 론 ····· 1
제 1 절 활주형 선박의 특성과 연구동향 ····· 1
제 2 절 고속 RIB(Rigid Inflatable Boat) 특성과 연구동향 ····· 4

제 2 장 실적선 통계분석과 모형시험 ····· 9
제 1 절 실적선 통계분석 ····· 9
제 2 절 회류수조 모형시험을 이용한 성능분석 ····· 12

제 3 장 구조해석 ····· 22
제 1 절 해석조건 ····· 22
제 2 절 구조부재의 구조설계 하중 ····· 24
제 3 절 구조 치수설계 ····· 35
제 4 절 결 론 ····· 39

제 4 장 결 론 ····· 40

참고문헌 ····· 41

LIST OF TABLES

Table 2-1 Principal dimensions of tested high speed CWC(FEL) 13

Table 2-2 Principal dimensions of projected ship and model 13

Table 2-3 Model test conditions and items 15

Table 3-1 연구 고속선의 주요 요목 21

Table 3-2 구조설계를 위한 데이터 21

Table 3-3 알루미늄 합금 5083H321 물성치 21

Table 3-4 선체길이방향에서 수직가속도의 분포 25

Table 3-5 Hsl 에 따른 수평가속도 27

Table 3-6 운항해역 별 파랑 굽힘 모우멘트 및 전단력 28

Table 3-7 Design pressure at side shell 31

Table 3-8 길이방향에 따른 선저 충격압의 분포 33

Table 3-9 Allowable stress(σam) for plate 36

Table 3-10 부위별 판 두께 치수 36

Table 3-11 Allowable stress for stiffener 37

Table 3-12 위치별 보강재의 치수 37

Table 3-13 위치별 보강재의 치수 38

LIST OF FIGURES

Fig.1-1 Relation Between Speed and Hull Form 2

Fig.1-2 Typical Midship Section Shapes of Planing Hull Form 3

Fig.1-3 소형 구난정 5

Fig.1-4 해경 단속정 5

Fig.1-5 프랑스 조디악사 건조 RIB 6

Fig.1-6 프랑스 조디악사 RIB의 3차원 모델 6

Fig.1-7 이탈리아의 ALSON ITALIA SRL사의 RIB 7

Fig.1-8 미국의 Naiad Inflatables of Newport, Inc사의 알루미늄 RIB 7

Fig.1-9 미 해군보유 고속 RIB 8

Fig.1-10 U.S. Coast Guard RIB 8

Fig.2-1 선체길이와 배수량과의 관계 9

Fig.2-2 선체길이와 흘수와의 관계 10

Fig.2-3 선체길이와 폭과의 관계 10

Fig.2-4 선체길이와 챠인 폭과의 관계 11

Fig.2-5 선체길이와 깊이와의 관계 11

Fig.2-6 회류수조의 일반적 형상 12

Fig.2-7 Test model 14

Fig.2-8 Measured total resistance 16

Fig.2-9 Measured trim (angle) 16

Fig.2-10 Measured sinkage (% of Lpp) 17

Fig.2-11 Measured sinkage (% of Lpp) 17

Fig.2-12 Measured sinkage (% of Lpp) 18

Fig.2-13 Wave patterns at V=26 knots 19
Fig.2-14 Wave patterns at V=30 knots 20
Fig.2-15 DHP estimation 21
Fig.3-1 길이방향에서의 수직 가속도 분포 24
Fig.3-2 유의파고 변화에 대한 수평 가속도 분포 26
Fig.3-3 운항해역 별 파랑 굽힘 모우멘트 및 전단력 28
Fig.3-4 (a) Design pressure at side shell at restricted area condition 29
Fig.3-5 (b) Design pressure at side shell at Moderate area condition 29
Fig.3-6 (c) Design pressure at side shell at Smooth area condition 30
Fig.3-7 (d) Design pressure at side shell at Open sea condition 30
Fig.3-8 (a) Bottom에서의 충격압분포(Sea trial condition) 34
Fig.3-8 (b) Bottom에서의 충격압분포(Full load condition) 34

ABSTRACT

A Study on Optimum Hull Forms of the Aluminum Rigid Inflatable Boat

Hong Sung-sik

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

Department of Naval Architecture

& Ocean Engineering

Graduate School of Chosun University

This research tries to achieve development of the ideal model of a 40Knots aluminum RIB.

The ideal model of an aluminum RIB was designed based on eighty international ships that were collected for the analysis of this research.

Resistance and propulsive efficiency were estimated with a model experiment in circulating water tank and also structural design was developed by structural measurements from classifications.

By applying high speed vessel rules, safety of structural members was verified considering impact loads. Structurally secured design was developed by considering structure analysis and problem with wave impact load due to high speed sailing.

제 1 장　서　론

제 1 절　활주형 선박의 특성과 연구동향

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

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

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

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

Savitsky는 고속선의 길이(L)와 선속(V)으로 대표 분류하여 길이-속도와 선형 특성과의 관계를 설명하였고, Tanaka는 이를 최근의 선형특성을 고려하여 수정된 관계를 제안하여 초기선형 계획단계에서 널리 활용되고 있다(Fig. 1-1).

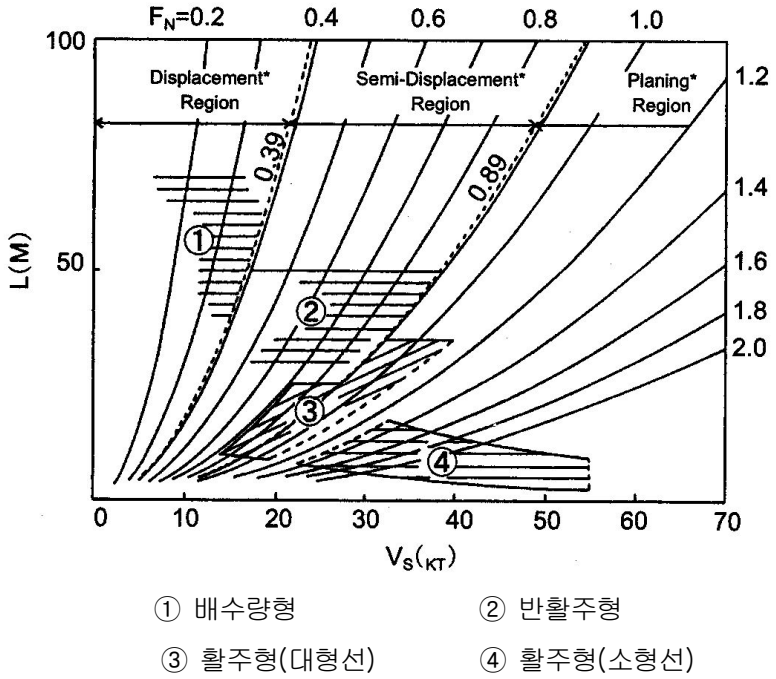


Fig. 1-1 Relation Between Speed and Hull Form

활주선의 단면은 Fig. 1-2와 같이 크게 오목(Concave), 볼록(Convex), 직선(Straight), 오목볼록(Inverted bell) 등 네 가지를 기본형상으로 하여 여기에 약간씩 수정을 가하여 사용하고 있다. Clement는 고속으로 항주하는 활주선의 경우 선저로부터 발생된 급류를 선미에서 신속히 제거시키기 위한 방안으로 선미 트랜섬 폭을 최대 폭의 60% ~ 70%정도가 적합하다고 제안하였다.

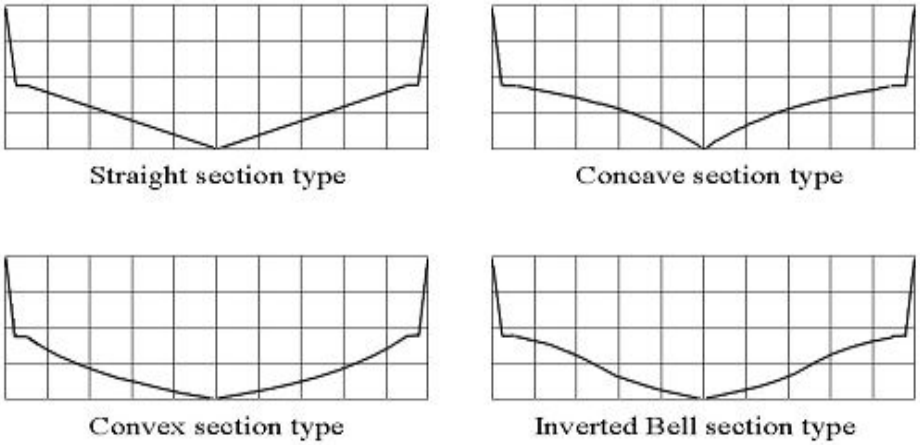


Fig. 1-2 Typical Midship Section Shapes of Planing Hull Form

Niwa는 다양한 종류의 고속선을 계통적으로 분류하여 주요제원, 선형의 기본 특성 등을 초기 선형계획 시 활용 가능한 여러 수식으로 제안하였고, Kihara & Ishii는 모형시험을 통하여 내항성능 관점에서 파랑 중 선수부 상하 가속도와 선저 경사각과의 관계를 설명하였다. 이 선저 경사각은 보통 10~15° 정도이나 승선감을 좋게 하기위하여 30°(Deep-V Type) 정도를 갖는 경우도 있다. 그러나 이 각도가 너무 커지면 추진효율이 나빠지는 문제가 있어 통상 30°가 넘지 않도록 하고, 15~25°를 널리 채용하고 있다. 한편 McInnes는 선미로 가면서 선저 경사각을 작게 한 비틂(Warped)형 형상은 선미에서 Suction에 의한 저항증가가 억제되어 성능을 개선시킬 수도 있지만 뒤틀림의 정도가 지나치면 역효과가 날 수 있다고 주장하였다.

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

제 2 절 고속 RIB(Rigid Inflatable Boat) 특성과 연구동향

1. 고속 RIB 특성

RIB의 주 선체는 기본적으로 앞에서 언급한 활주형 형상을 갖고 있으며, 일반보트와 고무보트가 결합된 형태이다. 고무보트의 경우는 밑바닥도 고무이고, 평평하기 때문에 조파저항이 상대적으로 크게 될 뿐만 아니라 외부의 충격에 쉽게 파손되는 문제가 있다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 선체는 FRP나 알루미늄으로 제작하고 수면 상부를 고무튜브로 둘러싼 새로운 형태의 선박이 등장하였고, 이를 RIB(Rigid Inflatable Boat)라 부른다.

따라서 일반적인 고무보트에 비하여 강도가 뛰어날 뿐만 아니라 조파저항이 적어져 고속에 상대적으로 유리하게 된다.

또한 고무튜브에 의해 추가적인 부력이 발생하기 때문에 선체 규모에 비하여 전체적인 무게가 작아질 뿐만 아니라 상대적으로 큰 배수량이 확보되는 장점을 갖게 된다.

2. 국내 현황

국내에서는 체계적인 연구개발 여력이 부족하여 해외 선진국에 비하여 경쟁력이 열악한 실정이다. 따라서 주로 외국에서 도면을 구입하여 단순 건조만 하고 있는 실정이다.

또한 주선체 건조에 있어서는 최근에는 알루미늄을 이용한 소형 특수선박 건조가 활발히 이루어지고 있으나, 알루미늄 박판용접 등 가공기술이 해외 선진국에 비하여 다소 부족한 실정이다.

Fig. 1-3 소형 구난정

Fig. 1-4 해경 단속정

3. 해외 현황

해외 RIB 생산 업체는 유럽, 미국, 호주 등에 많이 분포되어 있다. 전문 설계 및 생산 기술을 소유하고 있으며, Inflatable Tube 설계 및 제작에 관한 기술도 발달이 되어 있는 것으로 보고되어 있다. 전체 현황을 기술하지 못하고 몇몇 업체 및 현황에 대한 소개를 간단히 하면 다음과 같다.

○ 조디악(ZODIAC)사(프랑스) : 1930년대부터 Inflatable 카약을 제조하여 왔으며, 1980년대부터 본격적으로 RIB를 제작하는 세계적인 기업임. 주로 레저용 RIB를 제작하고 있음.

Fig. 1-5 프랑스 조디악사 건조 RIB

Fig. 1-6 프랑스 조디악사 RIB의 3차원 모델

○ ALSON ITALIA SRL(이탈리아) : Inflatables, offshores and tenders를 주로 생산, 판매하는 업체로 1971년 Milan에 의해 Inflatable(팽창식) Craft가 처음 생산되었음.

Fig. 1-7 이탈리아의 ALSON ITALIA SRL사의 RIB

○ Naiad Inflatables of Newport, Inc(미국) : 군수용, 상업용, 레저용 RIB를 전문적으로 설계 생산하는 업체이다. 알루미늄 RIB 건조를 전문으로 하며, 알루미늄 선박을 생산하기 위한 최신 설비들이 갖추어져 있어 전형적인 RIB를 건조하는데 22주가 걸리는 것으로 보고되어 있다. 다수의 미해군 및 Coast Guard에 납품한 실적을 가지고 있음.

Fig. 1-8 미국의 Naiad Inflatables of Newport, Inc사의 알루미늄 RIB

○ 미 해군 및 해양경찰은 본 연구를 통하여 개발하고자 하는 규모(10~11m급)의 RIB를 다수 보유하고 있음. 특히 거주공간을 보유한 알루미늄 RIB의 경우 250마력 선외기 2대(500마력)로 최대 약 40노트 속도로 운항이 가능 함.

Fig. 1-9 미 해군보유 고속 RIB

Fig. 1-10 U.S. Coast Guard RIB

제 2 장 실적선 통계분석과 모형시험

제 1 절 실적선 통계분석

고속 RIB는 주선체의 기본형상이 활주형 단면이고, 통상 25노트 이상의 고속으로 항주하고 있다. 통상의 길이는 15m 이하이다. 따라서 본 연구를 통하여 길이 20m 이하, 속도 25노트 이상인 고속선 80여척을 수집하여 그 특성을 분석하였고, 이를 토대로 본 개발 선의 초기설계를 수행하였다. 수집된 고속선들의 주요제원 간의 상관관계는 다음 그림과 같다.

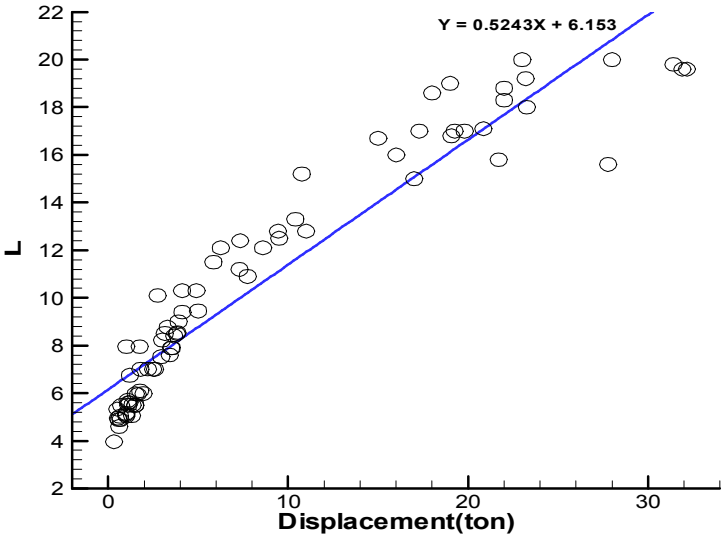


Fig. 2-1 선체길이와 배수량과의 관계

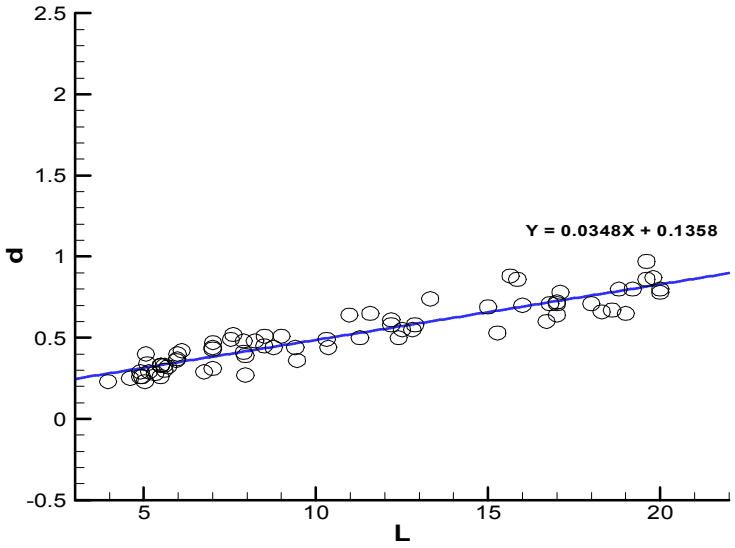


Fig. 2-2 선체길이와 흘수와의 관계

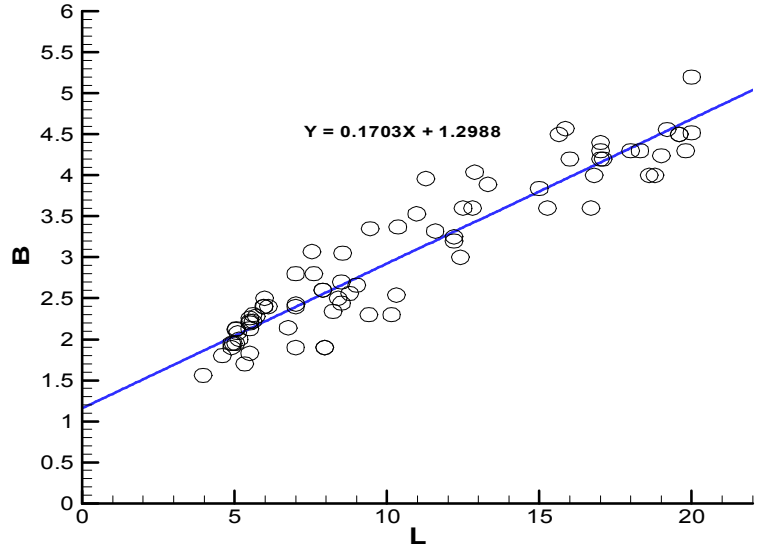


Fig. 2-3 선체길이와 폭과의 관계

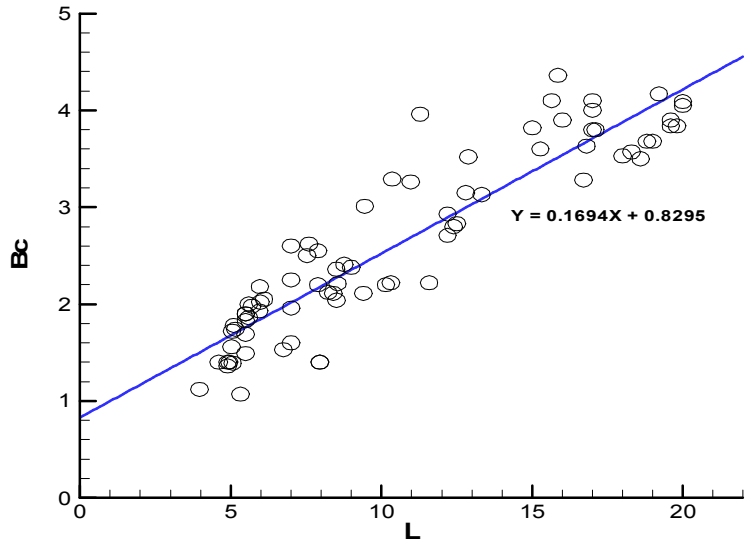


Fig. 2-4 선체길이와 챠인 폭과의 관계

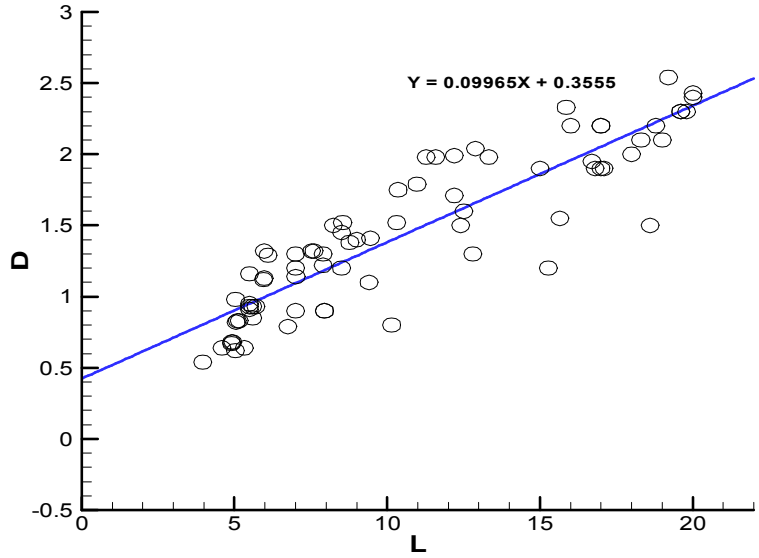


Fig. 2-5 선체길이와 깊이와의 관계

제 2 절 회류수조 모형시험을 이용한 성능분석

1. 회류수조

회류수조는 Fig. 2-6과 같은 형상의 사각형 물탱크로, 모형선을 관측부라고 부르는 일정한 위치에 고정시킨 후 물을 강제로 흘러 보내면서 각종 정보를 계측하고, 유동을 관찰하는 장비로서, 장시간 유동현상을 쉽게 관찰 할 수 있고, 시험비용이 저렴할 뿐만 아니라 빠른 시간 내 모형시험결과 도출이 가능하다는 장점 때문에 널리 활용되고 있다.

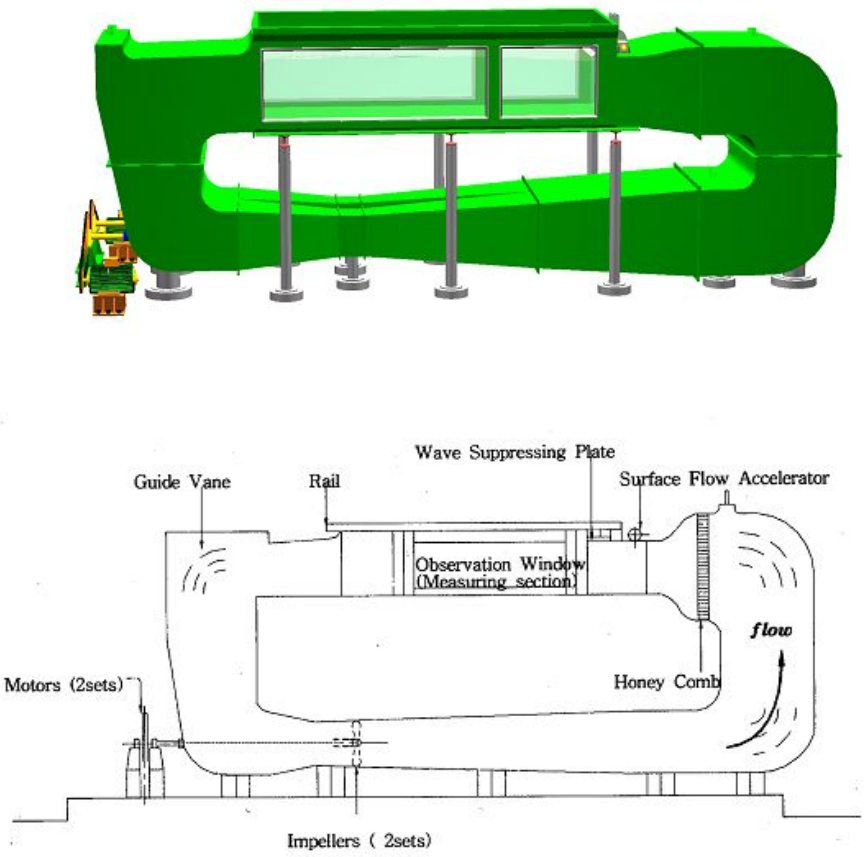


Fig. 2-6 회류수조의 일반적 형상

본 연구는 일본 회류수조 모형시험 전문기관인 서일본유체기술연구소(FEL)의 고속 회류수조에서 수행되었다. 본 고속수조의 최대유속은 약 6m/s로, 통상 약 40노트까지 모형시험이 가능하다. 시험이 수행된 회류수조의 주요제원은 Table 2-1과 같다.

Table 2-1 Principal dimensions of tested high speed CWC(FEL)

Items		Dimensions
Hole body	Length (m)	24.0
	Beam (m)	3.2
	Height (m)	6.6
Observation window	Length (m)	7.0
	Beam (m)	1.5
	Depth (m)	1.2

2. 시험모형과 시험조건

본 시험을 위하여 Lpp=0.7m 모형을 하드우레탄으로 제작하였다. 주요제원은 Table 2-2와 같고, 시험모형은 Fig. 2-7과 같다.

Table 2-2 Principal dimensions of projected ship and model

Condition	Actual Ship	Model
Lpp (m)	9.650	0.7000
Lwl (m)	9.650	0.7000
B (m)	2.700	0.1959
D (m)	1.350	0.0979
d (m)	0.615	0.0446
Disp. (m^3)	6.909	0.002637
W.S.A (m^2)	23.177	0.1220
Lcb (m)	+0.921	+0.0688
Cb	0.4312	0.4312

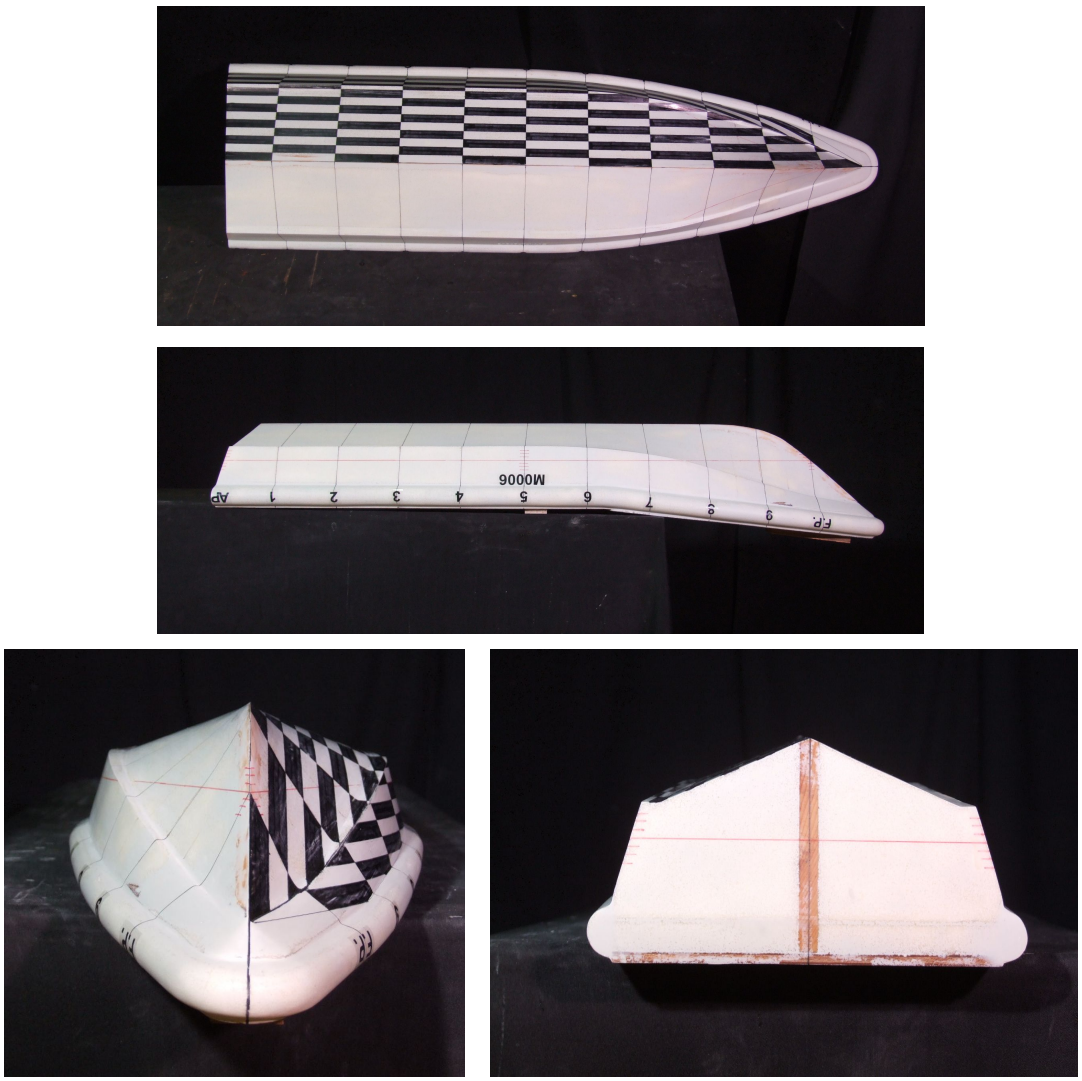


Fig. 2-7 Test model

모형시험은 18노트에서 32노트까지 수행되었으며, 트림이 저항성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Even keel 상태와 초기트림 2도에서 저항과 선수미 종방향 변위를 계측하였고 전 시험속도에서 파형을 함께 관찰하였다.

자세한 모형시험 속도와 조건을 Table 2-3에 정리하였다.

Table 2-3 Model test conditions and items

Vs (Knots)	V (m/s)	Fn	Test Conditions & Items
18	2.494	0.952	▪ Even trim ▪ Initial trim 2° ▪ Resistance test ▪ Trim & Sinkage ▪ Wave patterns
20	2.771	1.058	
22	3.048	1.164	
24	3.325	1.270	
26	3.602	1.375	
28	3.880	1.481	
30	4.157	1.578	
32	4.434	1.693	

3. 모형시험 결과

저항계측 결과를 Fig. 2-8에 나타내었다. 본 선박의 경우, 26노트 이하에서는 Even trim 상태에서 저항성능이 우수하였으나, 30노트 이상의 고속 영역에서는 초기트림 2도인 경우의 저항성능이 우수한 것으로 보인다. 항주상태에서의 전반적인 Trim angle은 초기트림을 부여한 경우가 더 줄어들어 항주자세가 안정된 경향이다 (Fig. 2-9). 그 이유는 Fig. 2-10의 침하량 계측결과에서 보는 바와 같이 선미가 크게 부상하여 전반적인 Trim angle이 줄어들 뿐만 아니라 이와 함께 선체 전체가 크게 부상하기 때문으로 보인다.

Design speed인 26노트에서의 파형과 30노트에서의 파형을 각각 Fig. 2-11와 Fig. 2-12에 나타내었다. 26노트에서 두 경우의 파형에 큰 차이가 없으나, 고속 영역인 30노트에서는 Even trim 상태의 경우보다 초기트림을 부여하였을 때 전반적인 파형이 우수함을 알 수 있다.

추진효율(η)을 0.60으로 가정하여 전달마력(DHP)을 추정하여 그 결과를 Fig. 2-13에 나타내었다. 26노트의 속력을 내기 위하여 230~250마력 정도가 필요한 것으로 추정된다.

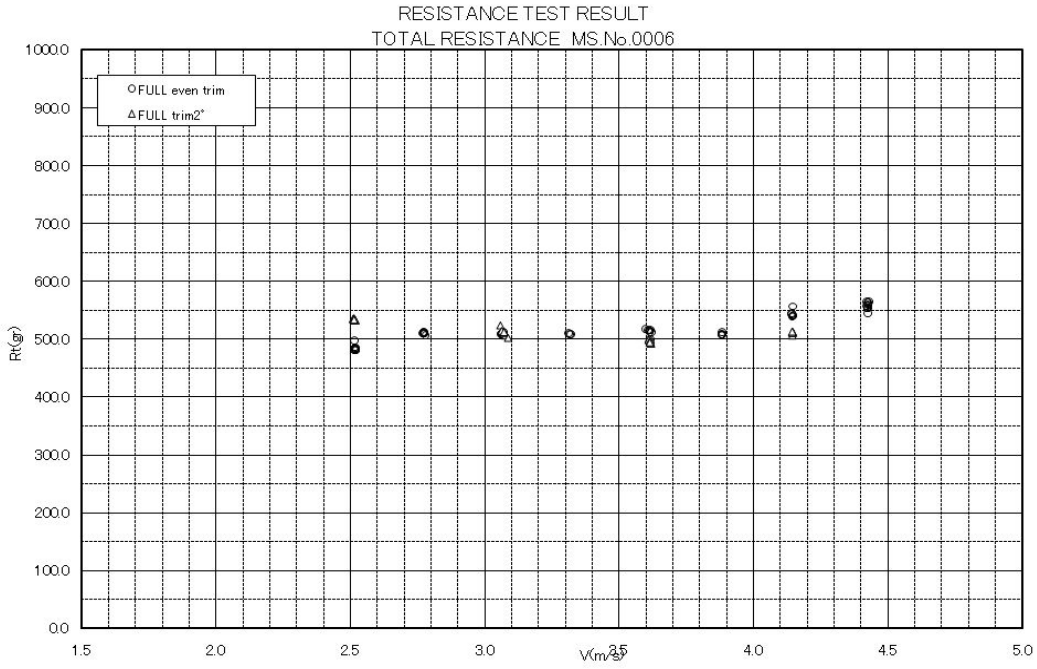


Fig. 2-8 Measured total resistance

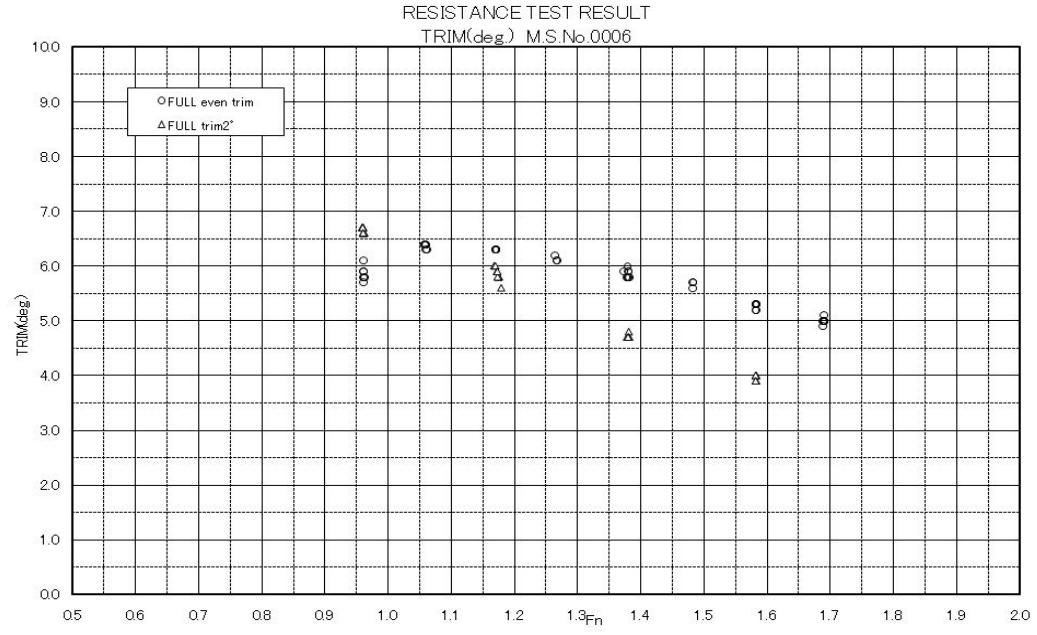


Fig. 2-9 Measured trim (angle)

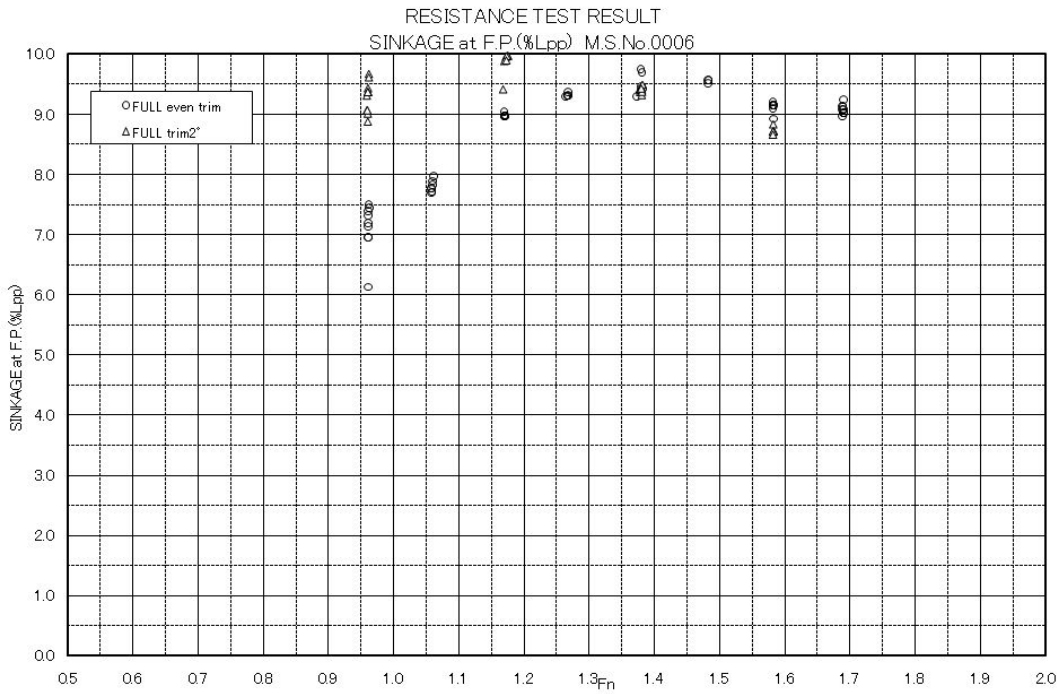


Fig. 2-10 Measured sinkage (% of Lpp)

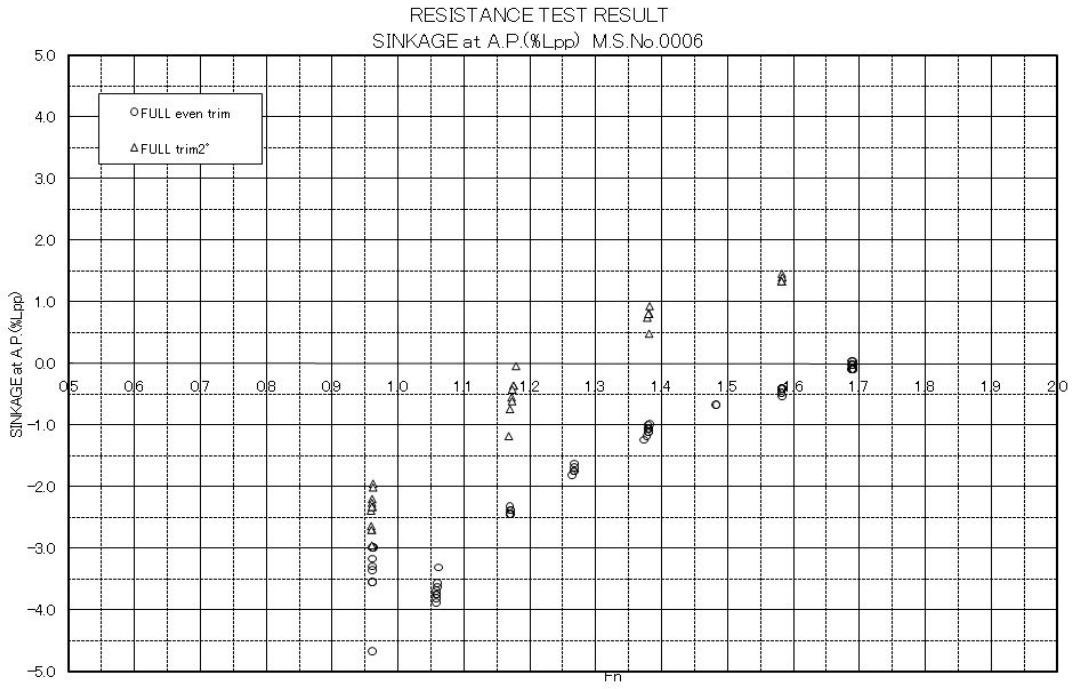


Fig. 2-11 Measured sinkage (% of Lpp)

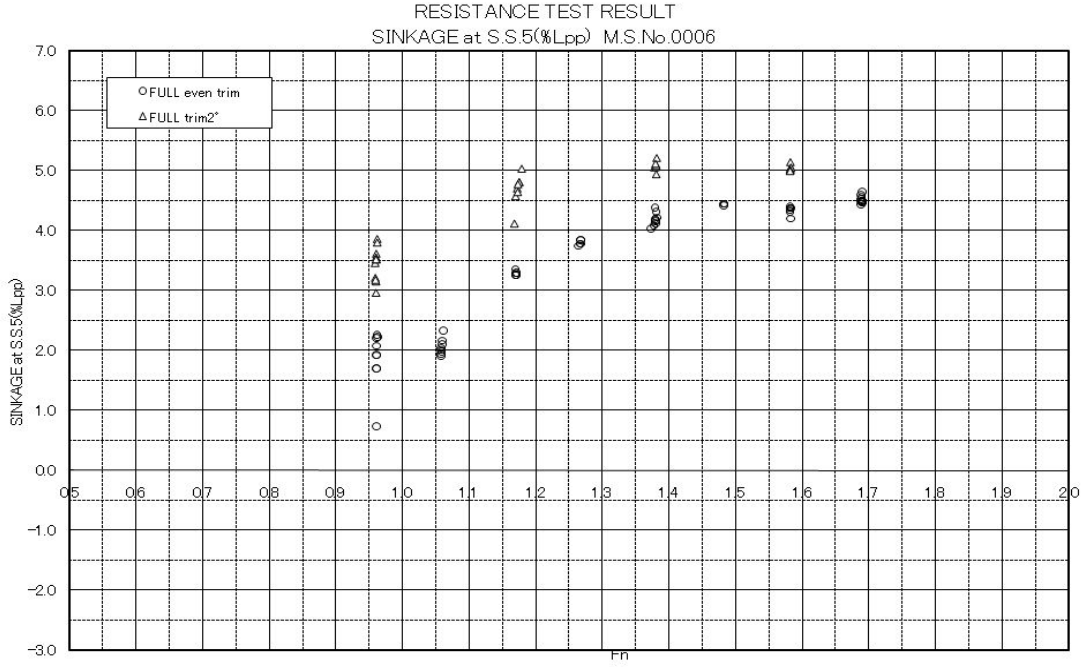
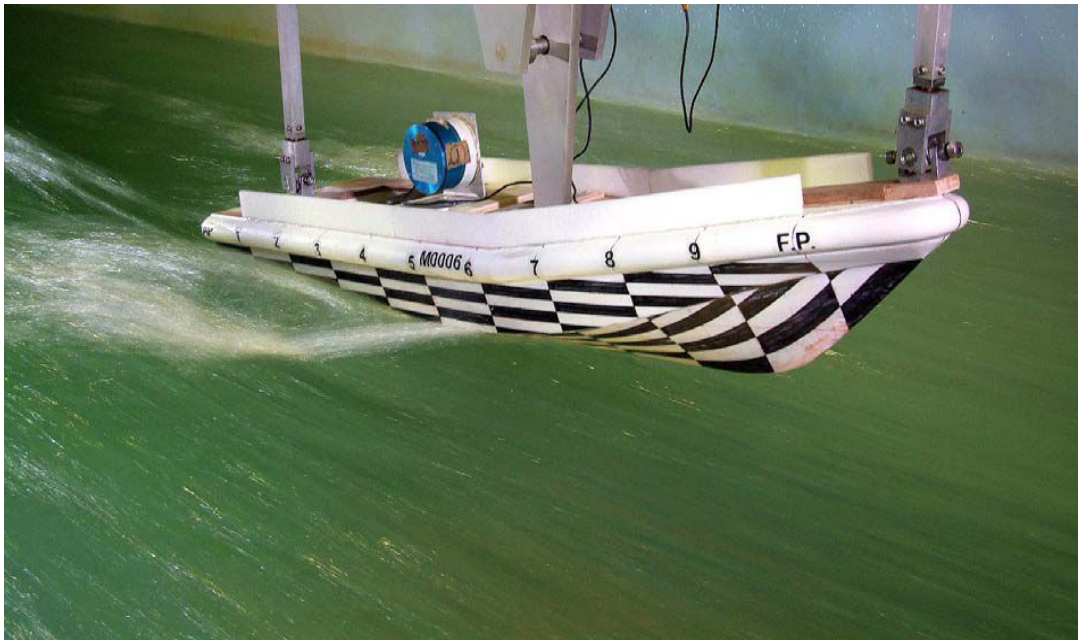
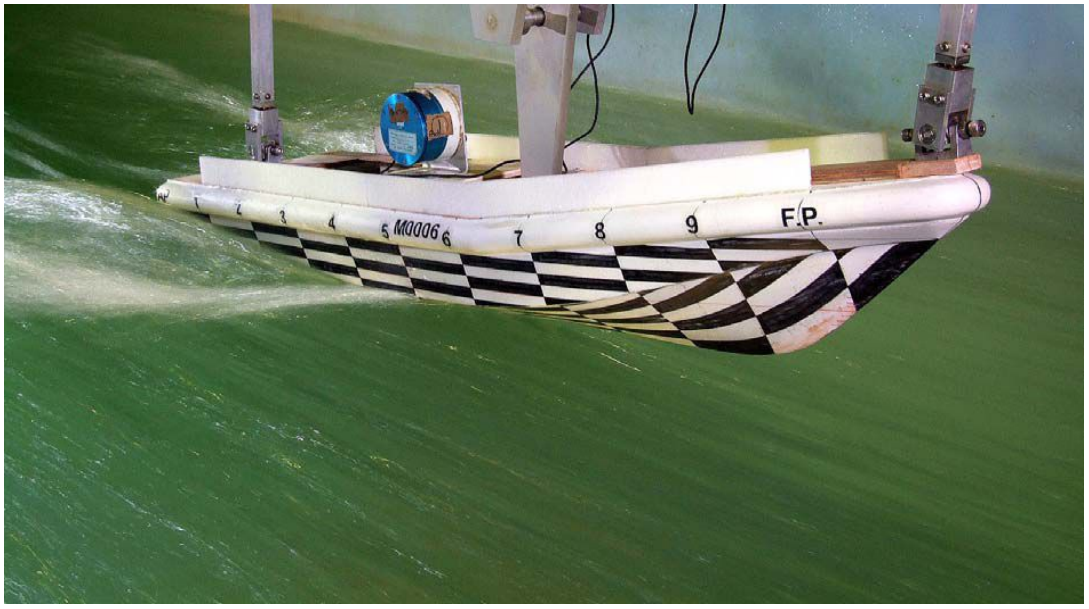


Fig. 2-12 Measured sinkage (% of Lpp)

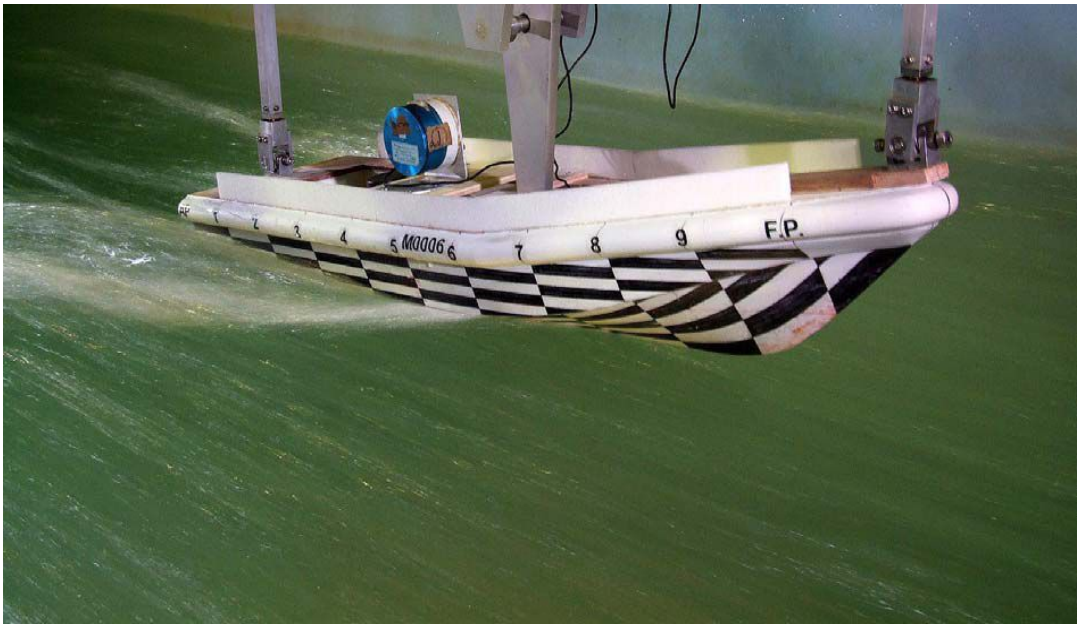


(a) even trim

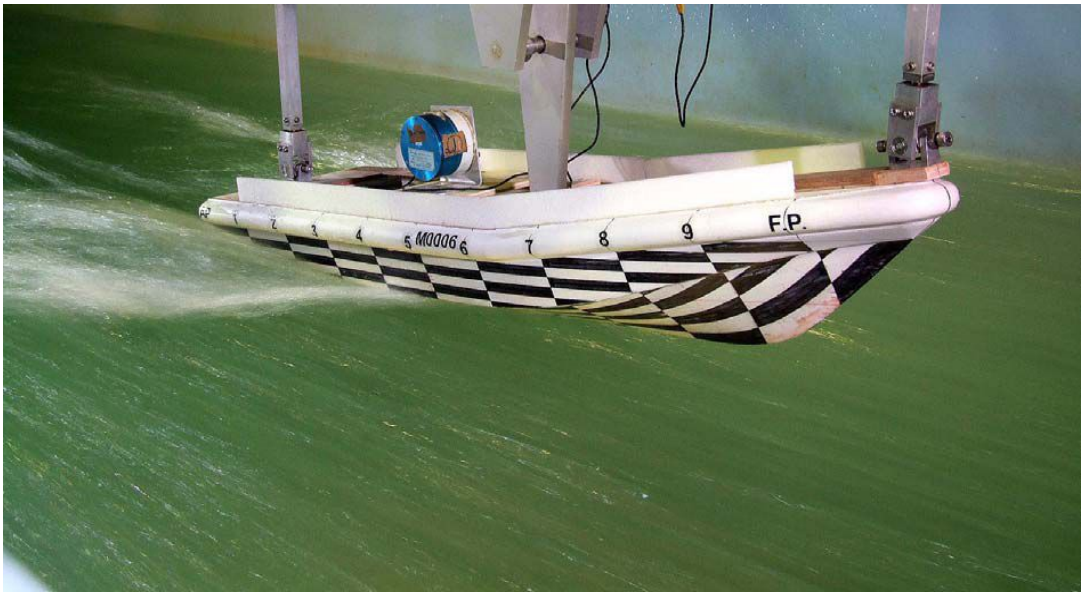


(b) Initial trim 2 degree

Fig. 2-13 Wave patterns at V=26 knots



(a) even trim



(b) Initial trim 2 degree

Fig. 2-14 Wave patterns at V=30 knots

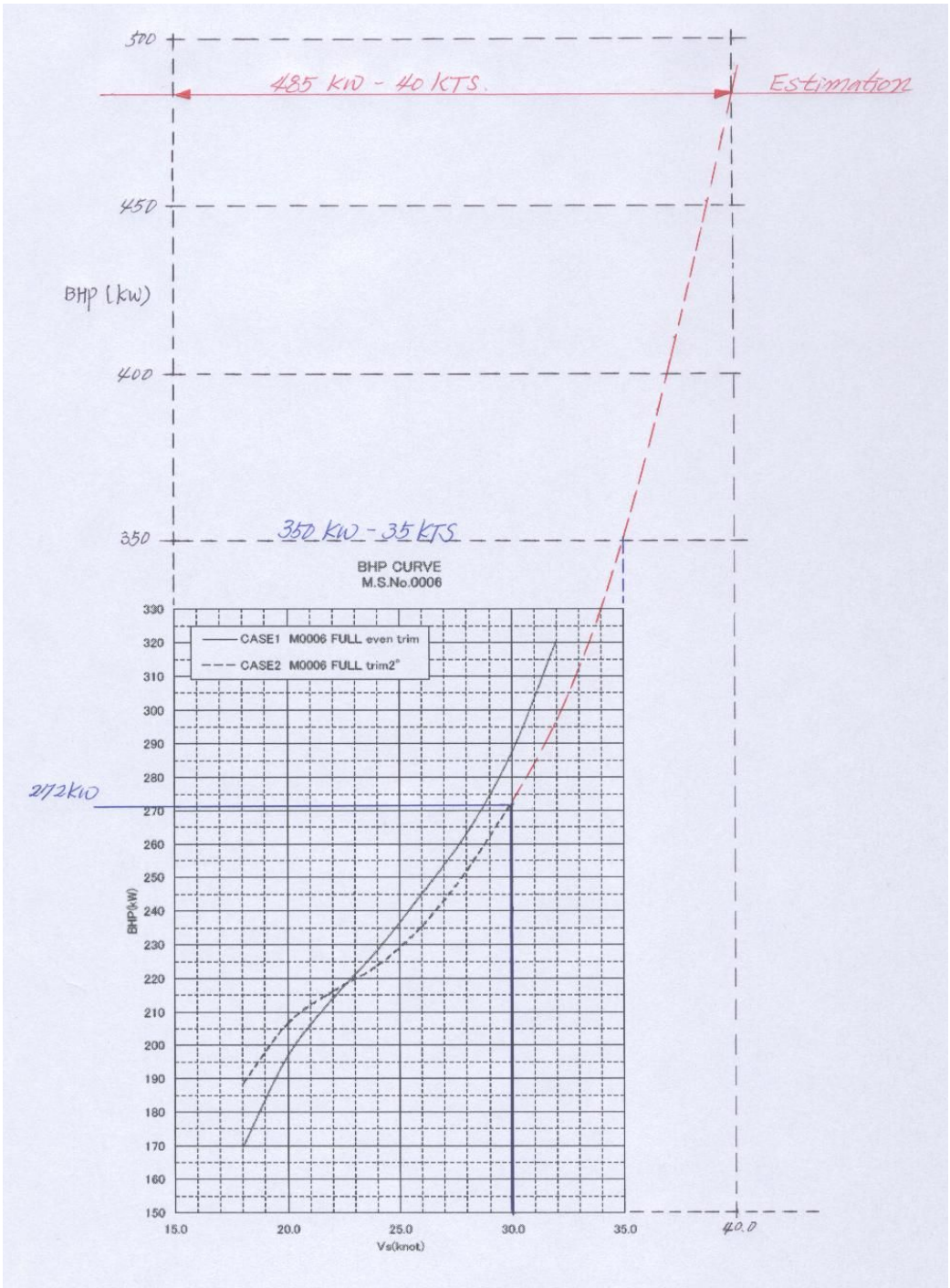


Fig. 2-15 DHP estimation

제 3 장 구조해석

제 1 절 해석조건

본 절에서 고속 RIB선의 구조설계에 대한 결과를 정리하였다. 주로 고속선 설계에 대해 가장 잘 정립되어 있는 GL의 고속선 규칙을 사용하여 설계하였다. 본 연구에서 개발하고자 하는 선박은 고속이기 때문에 안전성 확보를 위한 기초 작업으로 작용하중에 대한 평가를 수행하였다. 우선 선박에 작용하는 종방향 전단력 및 수직 굽힘 모멘트를 구하였고, 수직 및 수평 가속도 그리고 선체 각 부위에 작용하는 파랑 동압을 포함한 수압을 구하여 선체부재 치수 산정을 위한 기초 자료를 구축하였다. 그리고 GL 선급 규칙에 의해 판 및 보강재의 치수를 구하여 설계에 반영하였다.

본 개발선과 같은 고속선은 고속 및 큰 차인으로 인한 충격하중이 매우 크므로, 구조 설계시 반영해야 한다. 충격하중은 선저형상 및 위치 그리고 판의 aspect ratio 등에 많은 차이가 있다. 선저 형상이 저항측면에서 개발되었으므로 그로 인해 충격하중이 상당히 큼을 알 수 있었다.

본 선박은 시운전 조건과 만재상태에서의 운항조건으로 나누어 계산을 수행하였고, 주요제원과 구조 설계시 필요한 제원은 각각 Table 3-1와 Table 3-2에 나타내었다. Table 3-1의 자료는 주로 하중산정에 사용하였으며, Table 3-2의 자료는 충격하중 산정에 사용되었다.

선체구조의 재료는 알루미늄을 사용하였으며 주요 특성치는 Table 3-3과 같다.

Table 3-1 본 연구 고속선의 주요 요목

Main Item	Sea trial condition	Full load condition
L. B. P.	9.65 m	9.65 m
Depth	1.35 m	1.35 m
Breadth	2.70 m	2.70 m
Draught	0.55 m	0.615 m
Velocity	29 knots	26 knots

Table 3-2 구조설계를 위한 데이터

Item	Sea trial condition	Full load condition
Block coefficient (C_B)	0.578	0.578
Deadrise at LCG	18.0 Degree	18.0 Degree
Trim angle	0 Degree	0 Degree
Displacement	8.082 Ton	9.30 Ton
Breadth at design draught	2.40 m	2.45 m

Table 3-3 알루미늄 합금 5083H321 물성치

Item	Value
인장강도 (MPa)	275
굽힘강도 (MPa)	125
굽힘 탄성율(GPa)	70

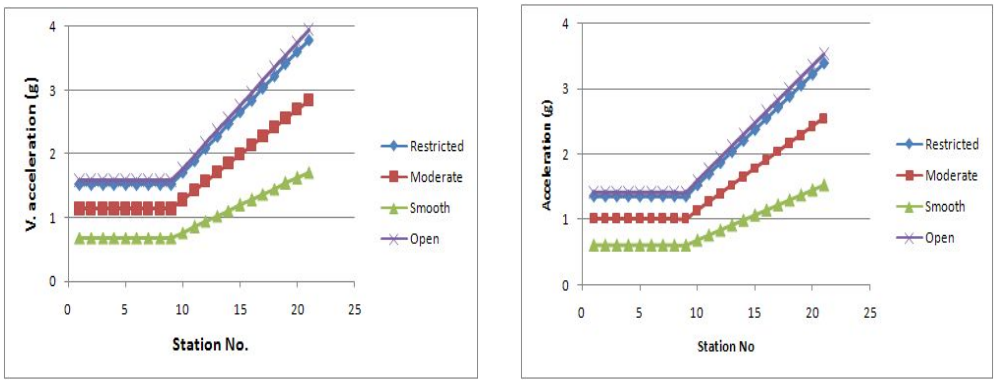
제 2 절 구조부재의 구조설계 하중

GL, BV, RINA 선급이 공동 개발한 선급규칙에 의한 고속선 구조 설계에 대한 검토를 수행하였다. 우선 하중에 대한 산정을 수행하였으며, 해당하는 하중에 대한 구조치수 설계를 병행하였다.

1. 가속도

본 선박의 LCG에서의 가속도 aCG 는 다음 식으로 산정되며 길이방향에서의 수직방향 가속도 분포는 Fig. 3-1 같고 길이방향의 값은 Table 3-4에 나타내었다. 가속도는 선박이 투입되는 해역에 따라 Smooth sea, Restricted sea, Moderate sea, Open sea 로 나누어 고려할 수 있다.

$$a_{CG} = 0.666 C_F \frac{V}{\sqrt{L}} \qquad (2.1)$$



(a) Sea trial state (b) Full load state

Fig. 3-1 길이방향에서의 수직 가속도 분포 (단위 : g)

Table 3-4 선체길이방향에서 수직가속도의 분포 (단위:g)

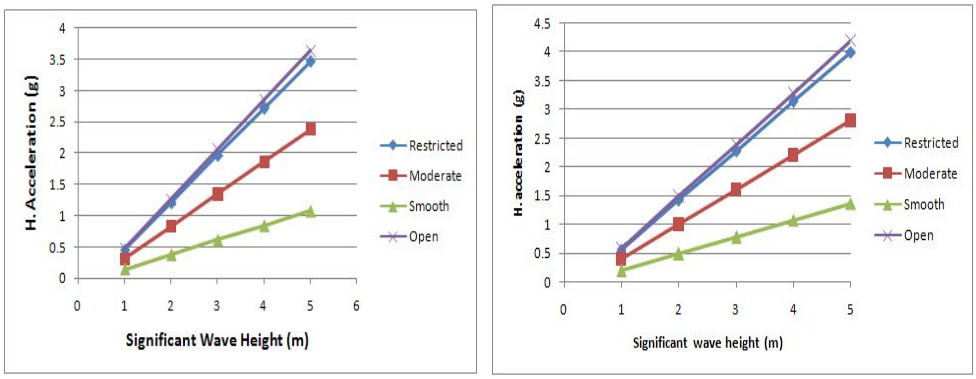
St.	Sea trial condition				Full load condition			
	Restricted	Moderate	Smooth	Open	Restricted	Moderate	Smooth	Open
1	1.517	1.137	0.682	1.577	1.36	1.02	0.612	1.414
2	1.517	1.137	0.682	1.577	1.36	1.02	0.612	1.414
3	1.517	1.137	0.682	1.577	1.36	1.02	0.612	1.414
4	1.517	1.137	0.682	1.577	1.36	1.02	0.612	1.414
5	1.517	1.137	0.682	1.577	1.36	1.02	0.612	1.414
6	1.517	1.137	0.682	1.577	1.36	1.02	0.612	1.414
7	1.517	1.137	0.682	1.577	1.36	1.02	0.612	1.414
8	1.517	1.137	0.682	1.577	1.36	1.02	0.612	1.414
9	1.517	1.137	0.682	1.577	1.36	1.02	0.612	1.414
10	1.706	1.28	0.768	1.774	1.53	1.147	0.688	1.591
11	1.896	1.422	0.853	1.972	1.7	1.275	0.765	1.768
12	2.085	1.564	0.938	2.169	1.87	1.402	0.841	1.944
13	2.275	1.706	1.024	2.366	2.04	1.53	0.918	2.121
14	2.464	1.848	1.109	2.563	2.21	1.657	0.994	2.298
15	2.654	1.991	1.194	2.76	2.379	1.785	1.071	2.475
16	2.844	2.133	1.28	2.957	2.549	1.912	1.147	2.651
17	3.033	2.275	1.365	3.155	2.719	2.04	1.224	2.828
18	3.223	2.417	1.45	3.352	2.889	2.167	1.3	3.005
19	3.412	2.559	1.536	3.549	3.059	2.294	1.377	3.182
20	3.602	2.701	1.621	3.746	3.229	2.422	1.453	3.358

21	3.791	2.844	1.706	3.943	3.399	2.549	1.53	3.535

수평가속도는 다음 식으로 산정된다.

$$a_t = 2.5\frac{H_{sl}}{L}\left(1+5\left(1+\frac{V/\sqrt{L}}{6}\right)^2\frac{r}{L}\right) \tag{2.2}$$

여기서 Hsl은 최대선속(V)에서의 허용유의파고(permissible significant wave height)이다. 유의파고에 대한 수평가속도의 변화를 Fig. 3-2에 나타내었고, Table 3-5에 상세히 기술하였다.



(a) Sea trial state (b) Full load state

Fig. 3-2 유의파고 변화에 대한 수평 가속도 분포 (단위 : g)

Table 3-5 Hsl 에 따른 수평가속도 (단위 : g)

H	Sea trial condition				Full load condition			
	Restricted	Moderate	Smooth	Open	Restricted	Moderate	Smooth	Open
1	0.456	0.313	0.141	0.479	0.556	0.389	0.189	0.582
2	1.208	0.829	0.374	1.268	1.417	0.992	0.482	1.484
3	1.96	1.345	0.608	2.058	2.277	1.595	0.775	2.387
4	2.712	1.861	0.841	2.848	3.138	2.197	1.068	3.289
5	3.464	2.377	1.074	3.638	3.999	2.8	1.362	4.191

2. 종방향 굽힘 모멘트 및 전단력

정수중 하중과 파랑에 의한 하중 및 충격하중에 의한 Vertical bending moment (Mv1)는 다음과 같다.

$$M_{v1} = 0.55 \cdot \Delta \cdot L \cdot (C_B + 0.7)(1 + a_{CG}) \tag{2.3}$$

정수중 하중과 파랑에 의한 하중에 의한 Vertical bending moment (Mv2)는

$$\begin{aligned} M_{v2H} &= 0.6CL^2BC_B \\ M_{v2S} &= 0.35CL^2B(C_B + 0.7) \end{aligned} \tag{2.4}$$

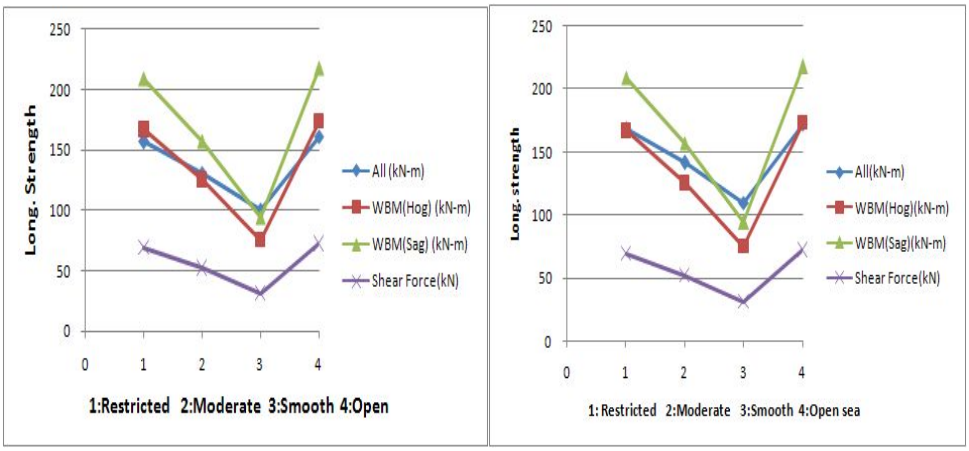
전단력은

$$T_b = \frac{3.2M_v}{L} \tag{2.5}$$

투입 해역에 따른 종방향 파랑굽힘 모우멘트 및 전단력의 최대값은 Table 3-6와 같고 투입해역에 대한 종강도 관련 모우멘트 및 전단력을 Fig. 3-3에 나타내었다.

Table 3-6 운항해역 별 파랑 굽힘 모우멘트 및 전단력

State	Sea trial condition				Full load condition			
	All (kN-m)	WBM(Hog) (kN-m)	WBM(Sag) (kN-m)	Shear Force (kN)	All (kN-m)	WBM(Hog) (kN-m)	WBM(Sag) (kN-m)	Shear Force (kN)
Restrict	157	167	209	69	168	167	209	69
Moderate	131	125	157	52	142	125	157	52
Smooth	100	75	94	31	110	75	94	31
Open	161	174	218	72	172	174	218	72



(a) Sea trial state (b) Full load state

Fig. 3-3 운항해역 별 파랑 굽힘 모우멘트 및 전단력

3. 수압

정수압 및 파도에 의한 파랑동압을 고려한 선저판 및 선측판에 걸리는 수압은 Table 3-7과 같이 구해지고, 투입해역조건별 수직방향 분포를 Fig.3-4(a)~Fig. 3-4(d)에서 나타내었다.

흘수선 하부 : $p_s = 10\left(T + 0.75S - \left(1 - 0.25\frac{S}{T}\right)z\right)$ (2.6a)

흘수선 상부 : $p_s = 10\left(T + S - z\right)$ (2.6b)

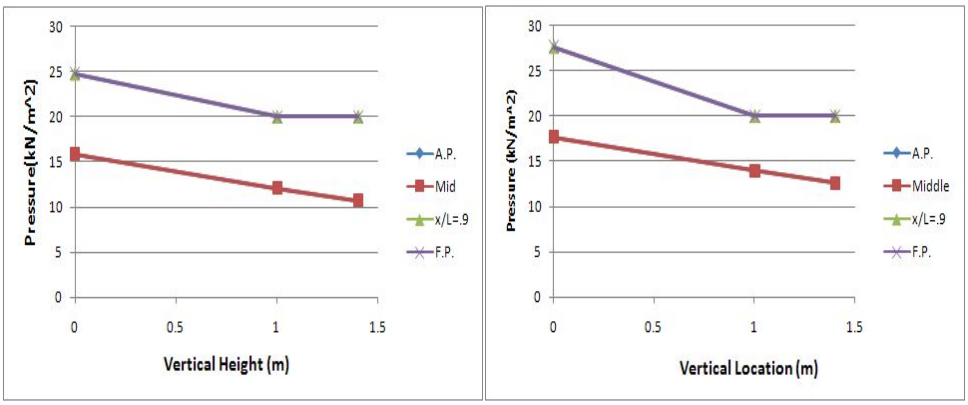


Fig. 3-4 (a) Design pressure at side shell at restricted area condition

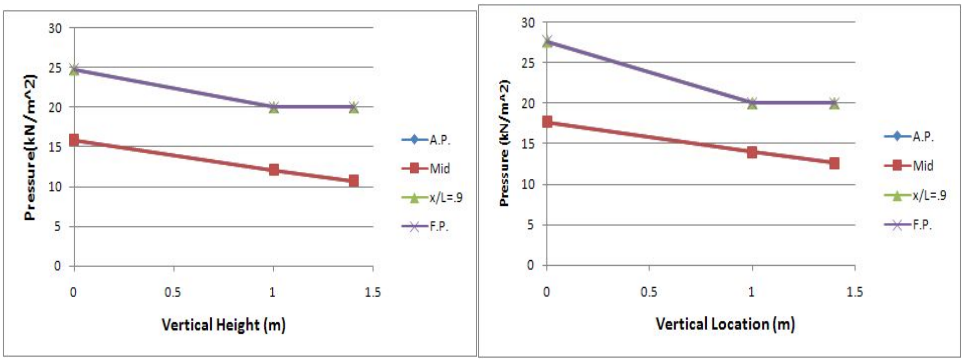


Fig. 3-5 (b) Design pressure at side shell at Moderate area condition

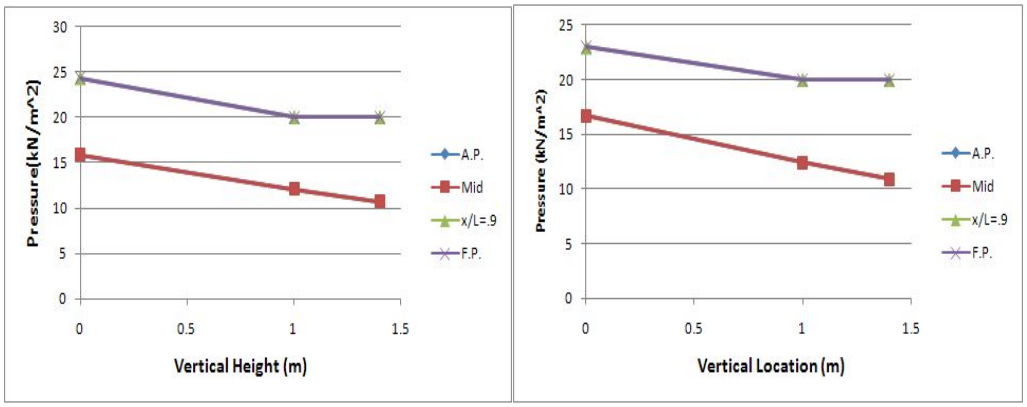


Fig. 3-6(c) Design pressure at side shell at Smooth area condition

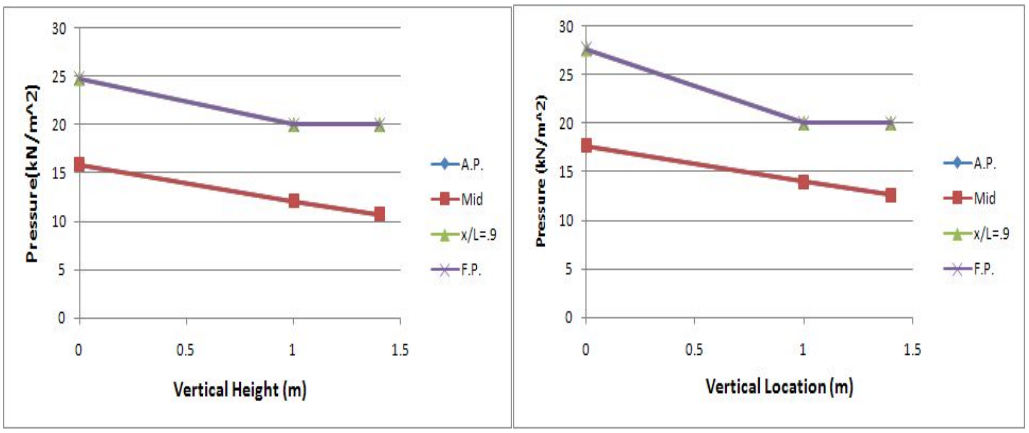


Fig. 3-7(d) Design pressure at side shell at Open sea condition

Table 3-7 Design pressure at side shell

State	H	Sea trial condition				Full load condition			
		A.P.	Mid	x/L=.9	F.P.	A.P.	Mid	x/L=.9	F.P.
Restricted	0	15.81	15.81	24.75	24.75	17.68	17.68	27.68	27.68
	1	12.06	12.06	20	20	13.93	13.93	20	20
	1.4	10.75	10.75	20	20	12.62	12.62	20	20
Moderate	0	15.81	15.81	24.75	24.75	17.68	17.68	27.68	27.68
	1	12.06	12.06	20	20	13.93	13.93	20	20
	1.4	10.75	10.75	20	20	12.62	12.62	20	20
Smooth	0	15.81	15.81	24.29	24.29	16.68	16.68	23	23
	1	12.06	12.06	20	20	12.39	12.39	20	20
	1.4	10.75	10.75	20	20	10.88	10.88	20	20
Open	0	15.81	15.81	24.75	24.75	17.68	17.68	27.68	27.68
	1	12.06	12.06	20	20	13.93	13.93	20	20
	1.4	10.75	10.75	20	20	12.62	12.62	20	20

4. 고속선의 충격압 평가

선저에서의 slamming pressure(psl)는 GL 선급의 식 (2.7)로 산정하였으며 길이 방향 분포는 Fig. 3-8과 같고 각 위치에서의 상세한 값은 Table 3-8에 기술하였다. 본 선박의 경우 선수 선미 형상은 상대적으로 날씬하지만 중앙부의 선저는 평편하여 큰 충격압이 작용하고 있음을 알 수 있다.

$$p_{sl} = 70\frac{\Delta}{S_r}K_1K_2K_3a_{CG} \tag{5.7}$$

충격압 산정식에서 볼 수 있는 것과 같이 배수량 및 deadrise angle이 정해져있는 경우 판의 aspect ratio에 의해 충격압이 변하고 있음을 알 수 있다. 본 선박의 경우 판의 선박 길이방향 에서의 span length는 500mm이고, 폭방향의 spacing은 265mm를 사용하여 충격압의 분포를 구하였다. Table 3-8에서 해역 조건별 길이방향의 충격압의 분포를 보여주고 있다.

Table 3-8 길이방향에 따른 선저 충격압의 분포 (단위 : kN/m2)

St.	Sea trial condition				Full load condition			
	Restrict	Moderate	Smooth	Open	Restrict	Moderate	Smooth	Open
1	30.922	23.192	13.915	32.159	31.22	23.42	14.05	32.47
2	34.014	25.511	15.307	35.375	34.34	25.76	15.45	35.72
3	37.107	27.83	16.698	38.591	37.46	28.10	16.86	38.96
4	40.199	30.149	18.09	41.807	40.59	30.44	18.26	42.21
5	43.291	32.468	19.481	45.023	43.71	32.78	19.67	45.46
6	46.383	34.788	20.873	48.239	46.83	35.12	21.07	48.70
7	49.476	37.107	22.264	51.455	49.95	37.46	22.48	51.95
8	52.568	39.426	23.656	54.671	53.07	39.81	23.88	55.20
9	55.66	41.745	25.047	57.886	56.20	42.15	25.29	58.44
10	58.752	44.064	26.439	61.102	59.32	44.49	26.69	61.69
11	61.844	46.383	27.83	64.318	62.44	46.83	28.10	64.94
12	61.844	46.383	27.83	64.318	62.44	46.83	28.10	64.94
13	61.844	46.383	27.83	64.318	62.44	46.83	28.10	64.94
14	61.844	46.383	27.83	64.318	62.44	46.83	28.10	64.94
15	61.844	46.383	27.83	64.318	62.44	46.83	28.10	64.94
16	61.844	46.383	27.83	64.318	62.44	46.83	28.10	64.94
17	61.844	46.383	27.83	64.318	62.44	46.83	28.10	64.94
18	63.133	47.35	28.41	65.658	63.74	47.81	28.68	66.29
19	46.383	34.788	20.873	48.239	46.83	35.12	21.07	48.70
20	38.653	28.99	17.394	40.199	39.03	29.27	17.56	40.59
21	30.922	23.192	13.915	32.159	31.22	23.42	14.05	32.47

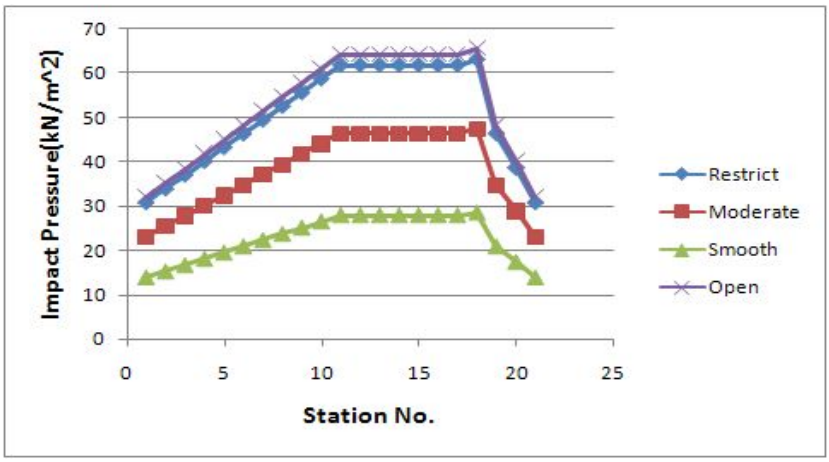


Fig. 3-8 (a) Bottom에서의 충격압분포(Sea trial condition)

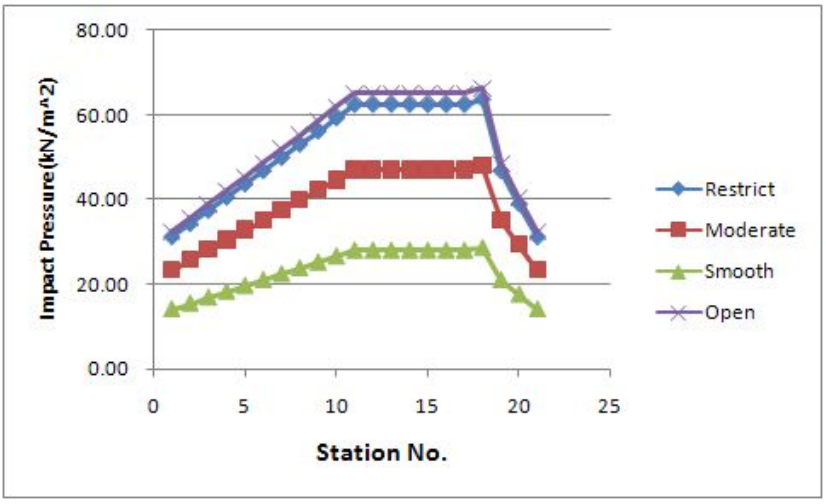


Fig. 3-8 (b) Bottom에서의 충격압분포(Full load condition)

제 3 절 구조 치수설계

구조부재 설계시 고려한 것은 본 선박의 경우 물량이 다량으로 사용되지 않으므로 다양한 부재를 선택하기보다 가능한 통일된 규격을 사용하는 것이 생산건조 면에서 유리하기 때문에 인접한 부재를 동일하게 사용하였다. 특히 생산 건조시 변형을 최대한 방지하며 운용상 유연성을 증가시키기 위하여 알루미늄합금선 건조경험자의 경험을 반영하여 선급규칙보다 큰 값을 적용한 부위도 존재한다. 가능한 중량이 크게 증가하지 않도록 최적설계를 수행하였다. 특히 본 선박의 경우 deadrise가 상대적으로 크기 때문에 선체에서의 흘수는 매우 적지만 파랑동압 및 충격하중에 대한 고려를 해야 하며 충격하중에 의한 구조강도 평가를 통하여 치수를 확정하였다. 구조치수설계시 적용하중은 open sea state를 기준으로 하였다.

1. 판(plate)

선박의 판두께 치수는 식(2.8)으로부터 산정되나 관련된 압력에 따라 허용응력이 다른 값이 적용된다. 본 선박의 재료는 알루미늄합금 5000계열을 사용하기 때문에 허용응력(σam)을 각 부위의 적용하중별로 Table 3-9에 정리하여 사용하였다. 부위별 판 두께의 치수를 Table 3-10에서 나타내었다.

$$t = 22.4\mu s \times \sqrt{\frac{p}{\sigma_{am}}} \tag{2.8}$$

$$\mu = \sqrt{1.1 - 0.5\left(\frac{s}{l}\right)^2} \tag{2.9}$$

Table 3-9 Allowable stress(σam) for plate

Location	For slamming pressure	For dynamic sea pressure
Bottom shell, Bilge	95/K	85/K
Side shell	-	85/K
Deck plate	-	85/K
Deck house wall	-	85/K

†알루미늄합금 5000 계열의 경우 K=0.8

Table 3-10 부위별 판 두께 치수

Location	μ	s (m)	p (kN/m^2)	$\sigma_{am}(N/mm^2)$	$t_{req}(mm)$	$t_{actual}(mm)$
Keel bottom plate	0.98	0.265	27.68	106.3	2.96	7.0
Bottom plate	0.98	0.265	27.68	106.3	2.96	7.0
Bottom plate (slamming 고려시)	0.98	0.265	64.94	106.3	4.55	7.0
Side shell plate	0.99	0.23	20	106.3	2.21	6.0
Upper deck plate	0.98	0.25	20	106.3	2.38	5.0
Deck house plate	0.98	0.25	20	106.3	2.38	5.0

Bottom plate의 경우 슬래밍 압력에 의한 최소 요구 두께는 4.55mm이므로 최소 두께를 만족하며 제작상 변형을 방지하기 위해 선급규칙에서 요구한 값보다 두께를 올려 적용하였다. Upper deck는 구조에 작용하는 하중보다는 기능상 필요한 두께를 고려하여 증가시켰다.

2. 스티프너(stiffener)

선측 외판에 부착되는 frame의 치수는 식 (2.10)으로부터 구해지고 각 부위별 허용응력은 Table 3-11에 나타내었다. 특별히 선수 및 선미에 설치되는 frame 에 대해서는 충격압 및 구조의 지지조건에 의한 응력의 상승으로 크게 설계되었다. 위치별 판에 부착되는 보강재의 크기를 Table 3-12에 나타내었다. 보강재는 제작상의 편의를 우선 고려하여 강도상 요구치보다 다소 크게 적용하였다.

$$Z = \frac{1000\ell^2 sp}{m\sigma_{am}}$$
$$A_t = 5\frac{\ell sp}{\tau_{am}} \qquad (2.10)$$

본 선박의 경우 m=12를 사용한다.

Table 3-11 Allowable stress for stiffener

Location	For slamming pressure		For dynamic sea pressure	
	σ_{am}	τ_{am}	σ_{am}	τ_{am}
Bottom plate	70/K	45/K	$70C_A/K$	45/K
Side shell plate				
Upper deck bottom				
Deck house plate				

Table 3-12 위치별 보강재의 치수

Location	s	l	m	p	σ_{am}	τ_{am}	Z(cm^3)	A(cm^2)	size	Z(act)	A(act)	Confirm
Bottom keel	0.265	0.5	12	27.68	87.5	56.25	1.75	0.33	50x7	72.9	3.5	OK
Bottom	0.265	0.5	12	27.68	87.5	56.25	1.75	0.33	50x7	72.9	3.5	OK
Side shell	0.23	0.5	12	20	87.5	56.25	1.10	0.20	50x6	62.5	3.0	OK
Deck	0.25	0.5	12	20	87.5	56.25	1.19	0.22	50x6	62.5	3.0	OK
House	0.25	0.5	12	20	87.5	56.25	1.19	0.22	50x6	62.5	3.0	OK
Bottom(slam)	0.265	0.5	12	64.94	87.5	56.25	4.10	0.76	50x7	72.9	3.5	OK

3. 1차 강도부재(Primary member)

선저와 선측 및 상갑판 등의 보강재를 지지하는 Girder와 Floor와 같은 1차 강도 부재에 대한 치수는 식 (2.11)로부터 구해진다. 위치별 판에 부착되는 1차 강도 부재의 크기를 Table 3-13에 나타내었다. 보강재는 제작상의 편의를 우선 고려하여 강도상 요구치보다 다소 크게 적용하였다.

$$Z = \frac{1000 S^2 bp}{m\sigma_{am}} \qquad (2.11)$$

$$A_t = \frac{5Sbp}{\tau_{am}}$$

여기서 m=10, σam=70/K, τam=45/K 이다.

Table 3-13 위치별 보강재의 치수

Location	b	S	m	p	σ_{am}	τ_{am}	Z(cm^3)	A(cm^2)	size	Z(act)	A(act)	Confirm
Bottom	0.5	0.5	10	27.68	87.5	56.25	3.95	0.62	100x5+50x6	12.9	5	OK
Side shell	0.805	0.5	12	20	87.5	56.25	3.83	0.72	125x5+75x7	21.2	6.25	OK
Deck	1.25	0.5	10	20	87.5	56.25	7.14	1.11	100x5+75x7	14.0	5	OK

제 4 절 결론

고속 RIB의 구조설계를 통하여 구재 부재치수를 확정하였고 선급규칙에 의해 구조 안전성을 확보할 수 있었다. 본 연구의 구조설계 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

선급규칙에 의한 구조치수 결정을 통해 구조설계를 수행하여 구조설계 도면을 개발하였고, 구조부재의 충격하중에 대한 안전성 확보를 위하여 고속선 규칙을 적용하여 부재의 안전성을 검증하였다.

본 연구을 통해 구조부재의 설계 및 건조가 가능하였지만 좀 더 향상되고 경쟁력 있는 고속선을 개발하고자 하는 경우 다음과 같은 작업이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

1) 재료의 강도에서 더 우수한 재료를 사용하여 선박의 경량화 및 고속화를 추진하는 방안.
2) 장기간 사용함으로 생기는 피로강도상의 문제점을 파악하여 설계시 반영.
3) 고속선의 선체구조 해석을 위한 선박운동론에 의거한 하중 추정기법 개발 및 프로그램화.
4) 복합재료 및 알루미늄 선박 건조 능력 향상을 위한 효율적인 생산 시스템 연구.

제 4 장 결 론

(1) 해외 실적선 80여척을 수집하여 통계분석을 통하여 주요제원 상호간의 관계식을 도출함으로써 향후 유사선박 개발에 활용 가능한 방안을 제시하였다.

(2) 회류수조에서 모형시험을 통하여 500마력 엔진으로 최대속도 40노트, 설계속도 30노트가 가능한 RIB 선형을 개발하였다.

(3) 초기트림 변화에 따른 성능분석을 통하여 최적 운항조건을 도출하였다.

(4) 운동성능에 대한 수치해석을 통하여 운항 안정성을 분석하였고, 이를 토대로 본 개발선박의 안정성을 확인하였다.

(5) 고속운항시 문제가 되는 파랑 충격하중을 고려한 구조해석을 통하여 구조안정성을 확보하였다.

참고문헌

[1] K. Watanabe : "Coast Guard", 世界の 艦船, 2004(11).

[2] S. Niwa : “高速艇工學”, 丹艇協會出版部, 1971.

[3] D. Savitsky : "A Re-evaluation of the Planing Hull Form", AIAA Report No. 2028, Advanced Marine Vehicles Conference, 1979.

[4] H. Tanaka : "Methodology of Research and Development of High-Speed Marine Craft", 高速艇과 性能 Symposium, 日本造船學會, 1989.

[5] H. E. Saunders : “Hydrodynamics in Ship Design”, Vol. 2, SNAME, 1957.

[6] J. G. Koelbel : “Performance Prediction”, Small Craft Engineering Resistance, Propulsion and Sea keeping, SNAK, 1978.

[7] E. P. Clement : "Development and Model Tests of an Efficient Planing Hull Design", DTNSRDC Report No. 1314, 1959.

[8] K. Kihara and T. Ishii : “A New Method of Initial Design for High Speed Craft(2)”, Trans. of WJSNA, Vol. 72, pp 293-300, 1986.

[9] A. McInnes : "Some Hull Construction Aspects of Small Patrol Boats", FAST '91, Trondheim, 1991.

[10] E. P. Clement : "Reduction of Planing Boat Resistance by Deflection of the Whisker Spray", DTNSRDC Report No. 1929, 1964.

저작물 이용 허락서

학 과	선박해양공학과	학 번	20097581	과 정	석사
성 명	한글: 홍 성 식 한문 : 洪 性 植 영문 : Hong Sung Sik				
주 소	경기도 양주시 삼숭동 성우아파트 102동 905호				
연락처	e-mail : mayhss@nate.com				
논문제목	한글 : 알루미늄 RIB(Rigid Inflatable Boat) 최적선형 연구				
	영문 : A Study on Optimum Hull Forms of the Aluminum Rigid Inflatable Boat				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 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 편집과 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 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함

동의여부 : 동의(○) 반대( )

2011 년 8 월

저작자 : 홍 성 식 (인)

조선대학교 총장 귀하