

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001258-01

연료비 절감을 위한 소형전기어선 추진시스템 개발

(The Development of Propulsion System of Small Electric  
Fishing Boat for Curtailment of Fuel Expense)

울산대학교

농 립 수 산 식 품 부

## 주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “연료비 절감을 위한 소형전기어선 추진시스템 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2011년 12월 27일

주관연구기관명 : 울산대학교

주관연구책임자 : 박 노 식

연 구 원 : 김 성 근

연 구 원 : 최 학 선

연 구 원 : 김 광 동

연 구 원 : 임 종 환

연 구 원 : 김 연 수

연 구 원 : 김 상 욱

위탁연구기관명 : 인하공업전문대학

위탁연구책임자 : 정 우 철

연 구 원 : 김 성 찬

연 구 원 : 이 용 근

연 구 원 : 김 현 수

# 요 약 문

## I. 제 목

연료비 절감을 위한 소형전기어선 추진시스템 개발

## II. 서 언

전기추진 어선 제주해협 건너다.

2011년 10월 13일(목요일) 06시 완도 화흥포 출발  
동일 18시30분 제주 도두항 도착.

### 1. 전기어선의 개발 동기

- 오래전부터 선박의 전기추진에 대한 관심을 갖고 있었으며, 2007년 말 석유가격의 급등으로 면세유를 받고 있는 어민들은 물론 국내외적으로 문제가 대두된 적이 있었고, 개발 필요성이 절실하고 시급하게 인식되었습니다.

### 2. 개발의 의의 및 가치

- 첨부 : 우수성과 사례 요약

### 3. 추진 현황

- 첨부 : 소형 전기어선 추진시스템 연구개발 추진 현황

### 4. 국내 보급 계획

- 전기자동차는 물론 전기어선인 경우에도 현재의 배터리 가격으로는 일반적인 보급은 어려운 상황임.
- 국내 어선인 경우에는 면세유를 대신하는 것을 고려하여 60%이상의 보조가 가능한 현실이며,
- 일반 엔진의 교체 사업을 전기추진시스템으로 대처하는 방안을 추진하고 있음.
- 농림수산식품부 어업정책과를 주축으로 전남, 경남, 부산, 제주 등이 관심을 갖고 있음.

### 5. 해외시장

- 배터리 가격이 50% 정도 하락할 경우
  - 일본의 연근해 선박
  - 중국의 내수면 선박
  - 동남아시아의 연근해 선박

## “전기어선 시대 임박 국가적 지원·공론화 필요”

2011년 10월 13일 오후 6시 제주 도두항에 지금까지 어디에서도 볼 수 없었던 소형 어선 한 척이 들어왔고, 어선이라면 당연히 있어야 할 엔진소리도 없이 조용히 물살을 가르며 스스로 미끄러지듯 나타났으며, 세계 최초 전기(충전식 리튬인산철 배터리) 어선이 제주해협 종단을 성공하는 순간이었습니다.

쌍동형 전기추진 어선은 전남 완도 화룡포에서 오전 6시에 출발해 12시간 동안 120km의 거친 파도를 헤쳐 왔다. 평균속도 5.6노트(10.37km/h), 최고 속도 12노트(22.22km/h), 무게는 2.5t이며, 바다를 아는 사람들은 이 같은 소형 어선이 제주해협을 건넜다는 것에 대해 “기적 같은 일”이라고 말합니다. 3t급 미만의 어선은 가까운 바다 어업용이기 때문에 망망대해에선 그야말로 일엽편주라는 것. 게다가 검증이 안 된 2차전지 전기어선이라니, 무모한 도전이었다고 말하고 있습니다.

### ◇일엽편주, 기적같은 120km 항해

그러나 우리 연구진은 “무모한 걸 알았지만 (성공에)자신 있었다”고 말할 수 있습니다. 기존 어선 보다 안정성이 높은 새로운 선형설계와 최장 200km까지 갈 수 있는 배터리팩 성능 등을 실험과 근해 운항을 통해 확보했기 때문에 이를 증명할 수 있는 극한 조건의 시험운항이 필요했으며, 그 결과 이 배는 기적 같은 성능을 보이며 당당히 그 존재감을 세상에 알렸습니다.

“우리는 우리나라가 소형 전기어선이 꼭 필요해 개발을 했다”고 강조하고 싶습니다. 때문에 세계 최초라는 게 별의미를 부여하지 않으며, 우리의 해양 환경이 절실하게 요구했다고 말할 수 있습니다.

### ◇WTO 대응 절박감이 개발 배경

‘꼭 필요하다’는 건 절박하다는 것입니다. 소형 전기어선 개발의 절박함은 WTO체제에서 찾을 수 있고, WTO는 우리 정부가 어민들을 지원하는 면세유에 대해 비판의 날을 세우고 있습니다. 1ℓ당 1천원씩 지원하는 면세유를 중지하라고 압박하고 있고, 우리 정부는 FTA를 체결하며 WTO와의 약속 이행을 늦추고 있지만 결국 WTO의 규약에 따라 면세유 지원을 중단해야만 합니다. 즉 영세 어민들은 고유가 시대에 고사를 면치 못하는 상황에 직면하기 전 이를 대비해야 한다는 것입니다.

이러한 절박감 속에서 우리 연구진은 해양수산부 해양과학기술과제 기획과제에 선정된 이후 농림수산물부 수산특정연구과제로 이관되어 3년간 11억원(국비 8억원, 민자 3억원)이 투입되었습니다.

### ◇어민들은 “언제 보급되는가?”라고 합니다.

전기어선은 1t급과 3t급 두 종류로 개발되었고, 2009년도 1t급은 낙지잡이 어선으로 항속거리 30km, 2010년도 3t급은 항속거리 180km 성능을 확보했으며 현재 프로그램이 완성되면 240km이상을 항해할 수 있을 것으로 추정하고 있으며, 전기어선의 핵심이랄 수 있는 배터리는 리튬인

산철 배터리는 선박의 입장에서 경제성과 효율성이 탁월합니다. 특히 이 배터리 시스템은 완속으로 풀충전 하더라도 4시간 밖에 걸리지 않을 정도로 구성했습니다.

첫째는 어민들은 대부분 엔진소리에 청각장애를 앓고 있는데 우선 조용하니 좋고 둘째, 현 3t급 어선이 10만km를 운항할 때 유류비가 4천만원 정도 드는데 전기어선은 이의 10분의 1 수준인 400만원이면 가능하더니 모두들 놀라워 하고 있습니다. 현재 전기어선은 1t급 2척, 3t급 2척 등 4척이 제작돼 전남 목포 쪽에서 어민들이 운용하며 데이터 확보를 위한 실증사업을 하고 있습니다.

그러나 3t급 전기어선의 가격은 1억원 정도로 현 기존 어선의 값 5천만원 보다 5천만원이 비싼 실정입니다. 정부가 면세유 지원금을 전기어선 지원금으로 돌려 줄 수 있는 방법을 찾는다면 불가능한 일도 아니며, 현재 우리나라에서 3t급 이하 어선은 약 6만여척(1t급 이하 2만여척). 향후 면세유 지원 중단을 대비해 지금부터라도 조금씩 전기어선으로 전환하는 게 필요하다고 할 수 있습니다.

### III. 연구 목표

- 1ton급 전기추진 어선의 개발
- 3ton급 전기추진 어선의 개발
- 경제성이 있는 전기추진 시스템의 구축

### IV. 연구내용

#### 1차년도

- 기존 1ton급 어선(연안복합어선)용 전기추진 시스템의 제작, 모형실험, 실험역 실험 및 경제성평가
- 전기추진 시스템에 적합한 1ton급 어선 모형의 설계, 제작.
- 전기추진 시스템에 적합한 1ton급 어선 모형의 회류수조실험 및 해양공학수조실험
- 전기추진 시스템에 적합한 1ton급 어선의 설계, 제작, 실험역실험 및 경제성 평가

#### 2차년도

- 1ton급 어선용 전기추진 시스템에 대한 신뢰성 구축
- 전기추진 시스템에 적합한 3ton급 어선 모형의 설계, 제작
- 전기추진 시스템에 적합한 3ton급 어선 모형의 회류수조실험 및 해양공학수조실험
- 전기추진 시스템에 적합한 3ton급 어선의 설계, 제작, 실험역실험

#### 3차년도

- 3ton급 어선용 전기추진 시스템에 대한 신뢰성 구축
- 소형어선용 전기추진 시스템의 경제성 평가 및 효과 분석
- 소형어선용 전기추진 시스템의 보급 방안

## V. 연구성과

아래와 같이 4척을 신조하였다.

- 기존 1톤급 전기추진어선
- 새로운 선형의 1톤급 전기추진어선
- 기존 3톤급 전기추진어선
- 쌍동형 3톤급 전기추진어선

각각의 전기추진어선을 시험 운항하였으며 아래와 같은 성과를 얻었다.

### 1차년도

- 회류수조실험은 인하공업전문대학과 (주)서일본유체기연(FEL)에서 실시하였으며,
- 실해역 실험은 목포시 삼학도에서 실행하여 경제성을 평가함.
- 1ton급 기존 낙지잡이 어선에 대한 전기추진 시스템 구축
- 모형실험을 통한 실선성능 예측 및 유동 가시화를 통한 선형 특성 분석
- 수치해석을 통한 유체력 계산 및 구조 안정성 계산
- 선외기 형태의 전기추진 시스템 개발
- 실해역실험 수행

### 2차년도

- 목포 삼학도 부근 및 갯바위 공원에서 실험 완료 및 언론에 보도
- 목포-제주간 시험 운행 준비 중
- 프로펠러의 최적설계에 대한 분석
- 3ton급 어선의 설계 및 제작하여 이에 적합한 전기추진 시스템 설계 및 제작
- 3ton급 어선의 성능 분석을 위한 회류수조 실험 및 실해역 선속 성능 실험
- 속도 제어 회로도 및 작동 메커니즘 설계 및 제작
- 3ton급 어선에 대한 수치해석을 통한 유체력 성능분석 및 구조 안정성 해석
- 3ton급 어선의 모형 설계 및 제작
- 인하공업전문대학과 (주)서일본유체기연(FEL)에서 실험을 통한 실선성능 예측 및 유동가시화를 통한 선형특성 분석
- 목포 삼학도 인근에서 실해역
- 목포-제주간 시험 운행 준비



## 녹색기술 인증서

인증번호 : 제 GT-10-00079 호

기관명 : (주)태우해양기술 대표자명 : 김 명 수

주소 : 부산 해운대구 우동 1470 에이스하이테크21  
1415호

기술명칭 : 소형 어선 전기용 충전식 추진 시스템 기술

분류번호 : T050401

『저탄소 녹색성장 기본법』 제32조 및  
『녹색인증제 운영요령』 제27조에 의거하여  
위의 기술을 녹색기술로 인증합니다.

인증일자 : 2010.09.09

유효기간 : 2010.09.09-2012.09.08

농림수산식품부장관



언론보도 대표자료

2010년 5월13일 MBC뉴스

◀ANC▶

친환경 바람이 바다에서도 불고 있습니다.

전기로 움직이는 어선이 개발됐습니다.

양현승 기자가 전해 드립니다.

◀VCR▶



연근해에서 낚시용이나  
낙지잡이 등에 주로 쓰이는  
1톤급 소형 어선.

갈수록 오르는 기름값도 부담이지만  
기름 냄새와 소음이  
어민들의 고충이었습니다.

국내 연구진이 정부 지원을 받아  
전기로 움직이는 소형 어선을 개발했습니다.

◀ I N T ▶ 이정동 삼학어촌계장/시험운항 참여 어민  
"무엇보다 조용하고 냄새없어"

전기로 가는 어선은  
일반 어선의 가격보다  
2.5배 정도 비쌉니다.

하지만 일반 플러그를 이용해  
4시간 정도 충전하면  
40킬로미터 운항이 가능합니다.

전기요금도  
일반어선이 쓰는 기름값의  
10분의1 수준입니다.

연구진은 오는 8월,  
목포에서 제주까지  
전기어선을 시험운항한 뒤  
결과를 토대로 전기어선 톤수를  
늘릴 계획입니다.

◀ I N T ▶ 김성근 박사/제주대학교  
"3톤급 어선 개발할 것"

전기 소형어선이  
기름값과 환경오염 걱정을 동시에 덜며  
자리잡을 수 있을지 주목됩니다.

MBC뉴스 양현승입니다.

3차년도

2011년 대표 보도자료

## 전기추진 어선 제주해협 건너다.

2011년 10월 13일(복요일) 06시 완도 화흥포 출발  
동일 18시30분 제주 도두항 도착.

### 1. 전기어선의 개발 동기

- 오래전부터 선박의 전기추진에 대한 관심을 갖고 있었으며, 2007년 말 석유가격의 급등으로 면세유를 받고 있는 어민들은 물론 국내외적으로 문제가 대두된 적이 있었고, 개발 필요성이 절실하고 시급하게 인식되었습니다.

### 2. 개발의 의의 및 가치

- 첨부 : 우수성과 사례 요약

### 3. 추진 현황

- 첨부 : 소형 전기어선 추진시스템 연구개발 추진 현황

### 4. 국내 보급 계획

- 전기자동차는 물론 전기어선인 경우에도 현재의 배터리 가격으로는 일반적인 보급은 어려운 상황임.
- 국내 어선인 경우에는 면세유를 대신하는 것을 고려하여 60%이상의 보조가 가능한 현실이며,
- 일반 엔진의 교체 사업을 전기추진시스템으로 대처하는 방안을 추진하고 있음.
- 농림수산식품부 어업정책과를 주축으로 전남, 경남, 부산, 제주 등이 많은 관심을 갖고 있음.

### 5. 해외시장

배터리 가격이 50% 정도 하락할 경우

- 일본의 연근해 선박
- 중국의 내수면 선박
- 동남아시아의 연근해 선박

2011년 2월 11일 MBC다큐촬영 3월 방송분

2011년 10월 14일 완도-제주 운항 보도자료

KBS 9뉴스

동아일보를 비롯한 언론기관 20여 곳에서 보도

## VI. 사업화 계획(진행 내용)

녹색기술인증, 특허등록 1건, 특허출원 2건의 실적이 있으며 이를 바탕으로 울산대학교 산학협력단에서는 연구개발된 기술에 대한 가치 평가를 수행 중에 있다.

## VII. 사진



기존 1톤급 전기추진 어선



개량형 1톤급 전기추진 어선



3톤급 전기추진 어선



쌍동형 전기추진 어선

# SUMMARY

## I. Objectives

- Development of 1 ton fishing boat of electric forwarding
- Development of 3 ton fishing boat of electric forwarding
- Construction of an electric forwarding system with economies.

## II. Contents

### 1st Phase

- Construction, model test, real sea test and economic evaluation for 1 ton fishing boat of electric forwarding
- Design and test of new model for 1 ton fishing boat of electric forwarding
- Circulation water tank experiment and Ocean engineering water tank experiment of new model for 1 ton fishing boat of electric forwarding
- Design, manufacture, real sea test and economic evaluation for new 1 ton fishing boat of electric forwarding

### 2nd Phase

- Reliability construction for 1 ton fishing boat of electric forwarding
- Design and manufacture of model for 3 ton fishing boat of electric forwarding
- Circulation water tank experiment and Ocean engineering water tank experiment of model for 3 ton fishing boat of electric forwarding
- Design, manufacture and real sea test for 3 ton fishing boat of electric forwarding

### 3rd Phase

- Reliability construction for 3 ton fishing boat of electric forwarding
- Economic evaluation and effective analysis for small fishing boat of electric forwarding
- Diffusion plan for small fishing boat of electric forwarding

## III. Results

We dried four ships as below.

- General 1 ton fishing boat of electric forwarding
- New 1 ton fishing boat of electric forwarding
- General 3 ton fishing boat of electric forwarding
- New Catamaran type 3 ton fishing boat of electric forwarding

# CONTENTS

Summary .....	i
Summary in english .....	ix
Contents in english .....	x
Contents .....	xi
List of table .....	xii
List of figures .....	x iii
Chapter 1 Introduction .....	1
Chapter 2 State of the art and evaluation of current technologies .....	4
Section 1 State of the art abroad and the art in Korea .....	4
Section 2 Technical anger of small fishing boat by electric forwarding .....	13
Section 3 Marketability of small fishing boat by electric forwarding .....	34
Chapter 3 The results of 1st phase .....	46
Chapter 4 The results of 2nd phase .....	113
Chapter 5 The results of 3rd phase .....	207
Chapter 6 Achievements and contribution .....	284
Chapter 7 Applications of results .....	286
Chapter 8 References .....	289
Appendix 1 Seven papers .....	291
Appendix 2 Patent registration etc. ....	305
Appendix 3 A press release of speech (2010, 2011) .....	311

# 목 차

요 약 문.....	i
영문요약문.....	ix
영문목차.....	x
목 차.....	xi
표 목 차.....	xii
그림목차.....	x iii
제1장 서 론.....	1
제2장 국내외 기술개발 현황 및 개발된 기술의 분석.....	4
제1절 전기추진 소형선박의 국내외 현황.....	4
제2절 전기추진 소형어선의 기술성.....	13
제3절 전기추진 소형어선의 시장성.....	34
제3장 1차년도 결과.....	46
제4장 2차년도 결과.....	113
제5장 3차년도 결과.....	207
제6장 목표 달성 및 관련분야에의 기여도.....	284
제7장 연구개발 결과의 활용 계획.....	286
제8장 참고문헌.....	289
부록1. 논문 발표 자료7건 발췌.....	291
부록2. 특허등록 및 출원 및 인증 성과 5건 발췌.....	305
부록3. 언론 보도자료(2010년, 2011년).....	311

## List of Tables

Table 3.1.1 1톤급 낚지잡이 어선의 주요제원 .....	46
Table 3.1.2 Comparison of main dimensions .....	80
Table 3.2.1 구조설계를 위한 데이터 .....	83
Table 3.2.2 선체길이방향에서 수직가속도의 분포 (단위:m/sec <sup>2</sup> ) .....	85
Table 3.2.3 최대 파랑 굽힘 모우먼트 및 전단력 .....	86
Table 3.3.1 유도전동기 사양 .....	93
Table 3.3.2 3상 전압형 인버터 스위칭 모드 .....	96
Table 3.3.3 PWM 인버터 사양 .....	101
Table 3.4.1 4.5kW BLDC 모터의 전류량 변화에 따른 추진 성능 실험 .....	109
Table 3.4.2 10kW AC 모터의 전류량 변화에 따른 추진 성능 실험 .....	110
Table 4.1.1 Comparison of 1 G/T hull forms .....	113
Table 4.2.1 G/T 3톤급 어선의 주요제원 .....	138
Table 4.3.1 인버터 스위칭 상태 .....	165
Table 4.3.2 BLDC 모터 사양 .....	171
Table 4.3.3 PWM 인버터 사양 .....	172
Table 4.4.1 1톤급 전기어선의 사양 .....	175
Table 4.4.2 배터리 출력에 따른 속도와 운항 거리 .....	176
Table 5.1.1 Principal dimensions .....	207
Table 5.2.1 Principal dimensions of Lpp=6.5m catamaran .....	220
Table 5.3.1 Principal dimensions of Lpp=9.0m catamaran .....	238
Table 5.4.1 FRP 물성치 .....	265
Table 5.4.2 각 하중별 최대처짐량 및 von-Mises stress .....	269

## List of Figures

Fig. 3.1.1 1톤급 낚지잡이 어선의 Lines	46
Fig. 3.1.2 1톤급 낚지잡이 어선의 시험모형	47
Fig. 3.1.3 Full load condition, $V_s=3$ knots, $F_n=0.184$	48
Fig. 3.1.4 Full load condition, $V_s=4$ knots, $F_n=0.245$	49
Fig. 3.1.5 Full load condition, $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$	50
Fig. 3.1.6 Full load condition, $V_s=6$ knots, $F_n=0.368$	51
Fig. 3.1.7 Full load condition, $V_s=7$ knots, $F_n=0.429$	52
Fig. 3.1.8 Full load condition, $V_s=8$ knots, $F_n=0.490$	53
Fig. 3.1.9 Full load condition, $V_s=9$ knots, $F_n=0.551$	54
Fig. 3.1.10 Full load condition, $V_s=10$ knots, $F_n=0.612$	55
Fig. 3.1.11 Full load condition, Initial trim $-0.2m$ , $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$	56
Fig. 3.1.12 Full load condition, Initial trim $-0.1m$ , $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$	57
Fig. 3.1.13 Full load condition, Initial trim $+0.1m$ , $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$	58
Fig. 3.1.14 Full load condition, Initial trim $+0.2m$ , $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$	59
Fig. 3.1.15 Light weight condition, $V_s=3$ knots, $F_n=0.184$	60
Fig. 3.1.16 Light weight condition, $V_s=4$ knots, $F_n=0.245$	61
Fig. 3.1.17 Light weight condition, $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$	62
Fig. 3.1.18 Light weight condition, $V_s=6$ knots, $F_n=0.368$	63
Fig. 3.1.19 Light weight condition, $V_s=7$ knots, $F_n=0.429$	64
Fig. 3.1.20 Light weight condition, $V_s=8$ knots, $F_n=0.490$	65
Fig. 3.1.21 Light weight condition, $V_s=9$ knots, $F_n=0.551$	66
Fig. 3.1.22 Light weight condition, Initial trim $-0.2m$ , $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$	67
Fig. 3.1.23 Light weight condition, Initial trim $-0.1m$ , $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$	68
Fig. 3.1.24 Light weight condition, Initial trim $+0.1m$ , $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$	69
Fig. 3.1.25 Light weight condition, Initial trim $+0.2m$ , $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$	70
Fig. 3.1.26 Light weight condition, Initial trim $+0.3m$ , $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$	71
Fig. 3.1.27 Measured total resistance, Full load condition	72
Fig. 3.1.28 Measured total resistance, Light weight condition	73
Fig. 3.1.29 Measured sinkage, Full load condition	74
Fig. 3.1.30 Measured sinkage, Light weight condition	75
Fig. 3.1.31 Measured trim, Full load condition	76
Fig. 3.1.32 Measured trim, Light weight condition	77
Fig. 3.1.33 Power prediction	78
Fig. 3.1.34 Comparison of hull form	79
Fig. 3.1.35 계산격자와 계산영역	81
Fig. 3.1.36 Boundary conditions	81
Fig. 3.1.37 Simulated wave patterns, $V=5knots$	82



Fig. 3.1.38 Simulated pressure distribution on hull surface, $V=5\text{knots}$ .....	82
Fig. 3.2.1 길이방향에서의 수직 가속도 분포 (단위 : $\text{m}/\text{sec}^2$ ).....	84
Fig. 3.2.2 길이방향에 따른 선저 충격압의 분포 (단위 : $\text{kN}/\text{m}^2$ ).....	87
Fig. 3.2.3 초기 개발 선형의 형상.....	87
Fig. 3.2.4 선저에서의 슬래밍 압력 분포 형상.....	88
Fig. 3.2.5 수정 선형의 형상.....	88
Fig. 3.2.6 선저에서의 슬래밍 압력 분포 형상.....	89
Fig. 3.3.1 전기 추진 시스템 구조.....	90
Fig. 3.3.2 (a) 단상유도전동기 등가회로, (b) 단상유도전동기 단순 등가회로.....	91
Fig. 3.3.3 10KW 유도전동기.....	93
Fig. 3.3.4 인버터의 종류.....	94
Fig. 3.3.5 전압형 인버터의 출력전압 제어방법.....	94
Fig. 3.3.6 3상 전압형 PWM 인버터 기본구성.....	95
Fig. 3.3.7 3상 전압형 인버터 출력 전압벡터.....	96
Fig. 3.3.8 $V_1$ 의 크기와 방향.....	97
Fig. 3.3.9 PWM으로 구할 수 있는 평균 전압과 위상.....	98
Fig. 3.3.10 3각파 비교법에 의한 3상 전압형 PWM 인버터.....	99
Fig. 3.3.11 삼각파 비교법에 의한 3상 전압형 PWM 인버터의 파형.....	100
Fig. 3.3.12 $v_{u\Lambda}(v_{vN}, v_{w\Lambda})$ 스펙트럼.....	101
Fig. 3.3.13 $v_{uv}(v_{vw}, v_{wu})$ 스펙트럼.....	101
Fig. 3.3.14 인버터 주전원 및 제어회로 스위치.....	102
Fig. 3.3.15 인버터 외부 제어 장치 구성도.....	102
Fig. 3.3.16 기존 1ton급 낙지잡이 어선에 전기추진 시스템 개념도.....	104
Fig. 3.3.17 기존 1ton급 낙지잡이 어선의 전기추진 시스템(공통).....	104
Fig. 3.3.18 기존 1ton급 낙지잡이 어선의 전기추진 시스템(4.5kW BLDC 모터).....	105
Fig. 3.3.19 기존 1ton급 낙지잡이 어선의 전기추진 시스템(10kW AC 모터).....	105
Fig. 3.3.20 개량 1ton급 낙지잡이 어선의 선외 전기추진 시스템 개념도.....	106
Fig. 3.3.21 전기추진 선외기의 3D 개념도.....	106
Fig. 3.3.22 개량 1ton급 어선의 선외 전기추진 시스템.....	107
Fig. 3.4.1 기존 1ton급 낙지잡이 어선의 G/A.....	108
Fig. 3.4.2 기존 1ton급 낙지잡이 어선 건조 중.....	108
Fig. 3.4.3 선속 5km/h에서의 선미와 선수 Wave Pattern(4.5kW BLDC 모터 추진).....	109
Fig. 3.4.4 선속 8km/h에서의 선미와 선수 Wave Pattern(4.5kW BLDC 모터 추진).....	110
Fig. 3.4.5 개량 1ton급 낙지잡이 어선의 G/A.....	111
Fig. 3.4.6 개량 1ton급 낙지잡이 어선 건조.....	111
Fig. 3.4.7 개량 1ton급 낙지잡이 어선 실험역 실험 현장.....	112
Fig. 4.1.1 New developed G/T 1ton hull form.....	114
Fig. 4.1.2 1톤급 어선 시험모형.....	115
Fig. 4.1.3 Full load condition, $V_s=3$ knots, $F_n=0.184$ .....	116

Fig. 4.1.4 Full load condition, $V_s=4$ knots, $F_n=0.245$ .....	117
Fig. 4.1.5 Full load condition, $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$ .....	118
Fig. 4.1.6 Full load condition, $V_s=6$ knots, $F_n=0.368$ .....	119
Fig. 4.1.7 Full load condition, $V_s=7$ knots, $F_n=0.429$ .....	120
Fig. 4.1.8 Full load condition, $V_s=8$ knots, $F_n=0.490$ .....	121
Fig. 4.1.9 Full load condition, $V_s=9$ knots, $F_n=0.551$ .....	122
Fig. 4.1.10 Full load condition, $V_s=10$ knots, $F_n=0.612$ .....	123
Fig. 4.1.11 Light weight condition, $V_s=3$ knots, $F_n=0.184$ .....	124
Fig. 4.1.12 Light weight condition, $V_s=4$ knots, $F_n=0.245$ .....	125
Fig. 4.1.13 Light weight condition, $V_s=5$ knots, $F_n=0.306$ .....	126
Fig. 4.1.14 Light weight condition, $V_s=6$ knots, $F_n=0.368$ .....	127
Fig. 4.1.15 Light weight condition, $V_s=7$ knots, $F_n=0.429$ .....	128
Fig. 4.1.16 Light weight condition, $V_s=8$ knots, $F_n=0.490$ .....	129
Fig. 4.1.17 Light weight condition, $V_s=9$ knots, $F_n=0.551$ .....	130
Fig. 4.1.18 Measured total resistance, Full load condition .....	131
Fig. 4.1.19 Measured sinkage, Full load condition .....	132
Fig. 4.1.20 Measured sinkage, Light weight condition .....	133
Fig. 4.1.21 Measured trim, Full load condition .....	134
Fig. 4.1.22 Measured trim, Light weight condition .....	135
Fig. 4.1.23 Power prediction .....	136
Fig. 4.1.24 기존 어선과 신개발 어선의 파형비교, 만재상태, $V=5$ knots .....	137
Fig. 4.2.1 Body plan of 3 G/T fishing boat .....	138
Fig. 4.2.2 3톤급 어선 시험모형 .....	139
Fig. 4.2.3 Full load condition, $V_s=3$ knots, $F_n=0.186$ .....	140
Fig. 4.2.4 Full load condition, $V_s=4$ knots, $F_n=0.248$ .....	141
Fig. 4.2.5 Full load condition, $V_s=5$ knots, $F_n=0.311$ .....	142
Fig. 4.2.6 Full load condition, $V_s=6$ knots, $F_n=0.373$ .....	143
Fig. 4.2.7 Full load condition, $V_s=7$ knots, $F_n=0.435$ .....	144
Fig. 4.2.8 Full load condition, $V_s=8$ knots, $F_n=0.497$ .....	145
Fig. 4.2.9 Full load condition, $V_s=9$ knots, $F_n=0.559$ .....	146
Fig. 4.2.10 Full load condition, $V_s=10$ knots, $F_n=0.621$ .....	147
Fig. 4.2.11 Light weight condition, $V_s=3$ knots, $F_n=0.186$ .....	148
Fig. 4.2.12 Light weight condition, $V_s=4$ knots, $F_n=0.248$ .....	149
Fig. 4.2.13 Light weight condition, $V_s=5$ knots, $F_n=0.311$ .....	150
Fig. 4.2.14 Light weight condition, $V_s=6$ knots, $F_n=0.373$ .....	151
Fig. 4.2.15 Light weight condition, $V_s=7$ knots, $F_n=0.435$ .....	152
Fig. 4.2.16 Light weight condition, $V_s=8$ knots, $F_n=0.497$ .....	153
Fig. 4.2.17 Light weight condition, $V_s=9$ knots, $F_n=0.559$ .....	154
Fig. 4.2.18 Light weight condition, $V_s=10$ knots, $F_n=0.621$ .....	155
Fig. 4.2.19 Measured total resistance .....	156

Fig. 4.2.20 Measured sinkage, Full load condition	157
Fig. 4.2.21 Measured sinkage, Light weight condition	158
Fig. 4.2.22 Measured trim, Full load condition	159
Fig. 4.2.23 Measured trim, Light weight condition	160
Fig. 4.2.24 Power prediction	161
Fig. 4.3.1 전기 추진 시스템 구조	162
Fig. 4.3.2 BLDC 모터의 원리	163
Fig. 4.3.3 Reluctance 토크	163
Fig. 4.3.4 BLDC 모터 종류	164
Fig. 4.3.5 전류위상에 따른 Torque 성분 (IPM의 Torque)	164
Fig. 4.3.6 인버터와 BLDC 모터	165
Fig. 4.3.7 인버터의 스위칭	166
Fig. 4.3.8 24Slot의 Stator의 일레	166
Fig. 4.3.9 역기전력(Back EMF)와 전류의 관계	167
Fig. 4.3.10 BLDC Motor의 등가회로	167
Fig. 4.3.11 BLDC 전동기의 특성 그래프	168
Fig. 4.3.12 전압 제어시 MOTOR의 SPEED TORQUE CURVE	169
Fig. 4.3.13 전류 제한 특성을 고려한 SPEED TORQUE CURVE	169
Fig. 4.3.14 속도제어의 원리	169
Fig. 4.3.15 INVERTER의 주회로	170
Fig. 4.3.16 INVERTER SYSTEM의 전압 인가 MODE와 FREE WHEELING MODE	171
Fig. 4.3.17 5KW BLDC모터	172
Fig. 4.3.18 5KW BLDC모터의 속도, 토크 특성	172
Fig. 4.3.19 모터 전진 및 후진, 좌,우 회전 제어 개념도	173
Fig. 4.3.20 인버터 주전원 및 제어회로 스위치	173
Fig. 4.3.21 핸드 휠의 각도에 따른 속도 제어	174
Fig. 4.3.22 인버터 외부 제어 장치 구성도	174
Fig. 4.4.1 연구개발 과정 및실해역 실험 전경	175
Fig. 4.4.2 2.7kW 출력 시 운항 가능 시간(배터리1조 150A, 48V)	176
Fig. 4.4.3 2.7kW 출력 시 운항 가능 시간(배터리2조 200A, 48V)	177
Fig. 5.1.1 Lpp=7.5m, 배수량 4.2톤급 어선 형상	208
Fig. 5.1.2 Full load condition, Vs=2 knots, Fn=0.120	209
Fig. 5.1.3 Full load condition, Vs=3 knots, Fn=0.180	210
Fig. 5.1.4 Full load condition, Vs=4 knots, Fn=0.240	211
Fig. 5.1.5 Full load condition, Vs=5 knots, Fn=0.300	212
Fig. 5.1.6 Full load condition, Vs=6 knots, Fn=0.360	213
Fig. 5.1.7 Full load condition, Vs=7 knots, Fn=0.420	214
Fig. 5.1.8 Full load condition, Vs=8 knots, Fn=0.480	215
Fig. 5.1.9 Full load condition, Vs=9 knots, Fn=0.540	216

Fig. 5.1.10 Full load condition, $V_s=10$ knots, $F_n=0.600$ .....	217
Fig. 5.1.11 Residual resistance, Full load condition .....	218
Fig. 5.2.1 Lines of $L_{pp}=6.5m$ catamaran .....	220
Fig. 5.2.2 Test model of $L_{pp}=6.5m$ boat .....	221
Fig. 5.2.3 Wave patterns, $V=3.0$ knots .....	222
Fig. 5.2.4 Wave patterns, $V=4.0$ knots .....	223
Fig. 5.2.5 Wave patterns, $V=5.0$ knots .....	224
Fig. 5.2.6 Wave patterns, $V=6.0$ knots .....	225
Fig. 5.2.7 Wave patterns, $V=7.0$ knots .....	226
Fig. 5.2.8 Wave patterns, $V=8.0$ knots .....	227
Fig. 5.2.9 Wave patterns, $V=9.0$ knots .....	228
Fig. 5.2.10 Wave patterns, $V=10.0$ knots .....	229
Fig. 5.2.11 Flow patterns, $V=5.0$ knots .....	230
Fig. 5.2.12 Flow patterns, W/Trim tab, $V=5.0$ knots .....	231
Fig. 5.2.13 Flow patterns, W/Trim tab, $V=6.0$ knots .....	232
Fig. 5.2.14 Flow patterns, W/Trim tab, $V=7.0$ knots .....	233
Fig. 5.2.15 Flow patterns, W/Trim tab, $V=8.0$ knots .....	234
Fig. 5.2.16 Comparison of residual resistance .....	235
Fig. 5.2.17 Comparison of trim angle .....	235
Fig. 5.2.18 Comparison power prediction .....	236
Fig. 5.3.1 Test model of $L_{pp}=9.0m$ boat .....	239
Fig. 5.3.2 Wave patterns, $V=3.0$ knots .....	240
Fig. 5.3.3 Wave patterns, $V=4.0$ knots .....	241
Fig. 5.3.4 Wave patterns, $V=5.0$ knots .....	242
Fig. 5.3.5 Wave patterns, $V=6.0$ knots .....	243
Fig. 5.3.6 Wave patterns, $V=7.0$ knots .....	244
Fig. 5.3.7 Wave patterns, $V=8.0$ knots .....	245
Fig. 5.3.8 Wave patterns, $V=9.0$ knots .....	246
Fig. 5.3.9 Wave patterns, $V=10.0$ knots .....	247
Fig. 5.3.10 Comparison of total resistance .....	248
Fig. 5.3.11 Comparison of residual resistance .....	248
Fig. 5.3.12 Comparison of power prediction .....	249
Fig. 5.4.1 설계 적용 영역 정의 .....	251
Fig. 5.4.2 판의 유효 폭 .....	257
Fig. 5.4.3 구조해석 모델 .....	265
Fig. 5.4.4 종굽힘모멘트 적용시 하중 및 경계조건 .....	266
Fig. 5.4.5 비틀림모멘트 적용시 하중 및 경계조건 .....	266
Fig. 5.4.6 Cross deck 슬래밍 압력 적용시 하중 및 경계조건 .....	267
Fig. 5.4.7 종굽힘모멘트 적용시 변형형상 .....	267
Fig. 5.4.8 비틀림 모멘트 적용시 변형형상 .....	268

Fig. 5.4.9 슬래밍 압력 적용시 변형형상.....	268
Fig. 5.4.10 종굽힘 모멘트 적용시 von-Mises stress 분포.....	268
Fig. 5.4.11 비틀림 모멘트 적용시 von-Mises stress 분포.....	269
Fig. 5.4.12 슬래밍 압력 적용시 von-Mises stress 분포.....	269
Fig. 5.4.13 총톤수 3톤급 쌍동형 어선 일반배치도.....	270
Fig. 5.4.14 총톤수 3톤급 쌍동형 어선의 전기추진 시스템의 Block Diagram.....	270
Fig. 5.4.15 전기추진 시스템에 대한 Block Diagram.....	271
Fig. 5.4.16 쌍동형 전기추진 어선 사진.....	271
Fig. 5.4.17 전기추진 선외기.....	272
Fig. 5.4.18 전기추진 선외기-2.....	272
Fig. 5.4.19 배터리 및 인버터.....	273
Fig. 5.4.20 배터리 연결.....	273
Fig. 5.4.21 컨트롤 레버 및 충전제어 모니터.....	274
Fig. 5.4.22 운항 GPS.....	274
Fig. 5.4.23 인버터 주전원 및 제어회로 스위치.....	276
Fig. 5.4.24 인버터 외부 제어 장치 구성도.....	276
Fig. 5.4.25 완도-제주 전기어선 시험운항.....	280
Fig. 5.4.26 전기어선 KBS9뉴스 방송.....	281
Fig. 5.4.27 전기어선 KBS9뉴스 방송-2.....	281

# 제 1 장 서 론

2011년 10월 13일 오후 6시 제주 도두항에 지금까지 어디에서도 볼 수 없었던 소형 어선 한 척이 들어왔고, 어선이라면 당연히 있어야 할 엔진소리도 없이 조용히 물살을 가르며 스스로 미끄러지듯 나타났으며, 세계 최초 전기(충전식 리튬인산철 배터리) 어선이 제주해협 종단을 성공하는 순간이었습니다.

쌍동형 전기추진 어선은 전남 완도 화룡포에서 오전 6시에 출발해 12시간 동안 120km의 거친 파도를 헤쳐 왔고, 평균속도 5.6노트(10.37km/h), 최고 속도 12노트(22.22km/h), 무게는 2.5t이다. 바다를 아는 사람들은 이 같은 소형 어선이 제주해협을 건넜다는 것에 대해 “기적 같은 일”이라고 말합니다. 3t급 미만의 어선은 가까운 바다 어업용이기 때문에 망망대해에선 그야말로 일엽편주라는 것. 게다가 검증이 안 된 2차전지 전기어선이라니, 무모한 도전이었다고 말하고 있습니다.

그러나 우리 연구진은 “무모한 걸 알았지만 (성공에)자신 있었다”고 말할 수 있습니다. 기존 어선 보다 안정성이 높은 새로운 선형설계와 최장 200km까지 갈 수 있는 배터리팩 성능 등을 실험과 근해 운항을 통해 확보했기 때문에 이를 증명할 수 있는 극한 조건의 시험운항이 필요했으며, 그 결과 이 배는 기적 같은 성능을 보이며 당당히 그 존재감을 세상에 알렸습니다.

“우리는 우리나라가 소형 전기어선이 꼭 필요해 개발을 했다”고 강조하고 싶습니다. 때문에 세계 최초라는 게 별의미를 부여하지 않으며, 우리의 해양 환경이 절실하게 요구했다고 말할 수 있습니다.

‘꼭 필요하다’는 건 절박하다는 것입니다. 소형 전기어선 개발의 절박함은 WTO체제에서 찾을 수 있고, WTO는 우리 정부가 어민들을 지원하는 면세유에 대해 비판의 날을 세우고 있습니다. 1ℓ당 1천원씩 지원하는 면세유를 중지하라고 압박하고 있고, 우리 정부는 FTA를 체결하며 WTO와의 약속 이행을 늦추고 있지만 결국 WTO의 규약에 따라 면세유 지원을 중단해야만 합니다. 즉 영세 어민들은 고유가 시대에 고사를 면치 못하는 상황에 직면하기 전 이를 대비해야 한다는 것입니다.

이러한 절박감 속에서 우리 연구진은 해양수산부 해양과학기술과제 기획과제에 선정된 이후 농림수산물식품부 수산특정연구과제로 이관되어 3년간 11억원(국비 8억원, 민자 3억원)이 투입되었습니다.

전기어선은 1t급과 3t급 두 종류로 개발되었고, 2009년도 1t급은 낙지잡이 어선으로 항속거리 30km, 2010년도 3t급은 항속거리 180km 성능을 확보했으며 현재 프로그램이 완성되면 240km이상 항해할 수 있을 것으로 추정하고 있으며, 전기어선의 핵심이랄 수 있는 배터리는 리튬인산철 배터리는 선박의 입장에서 경제성과 효율성이 탁월합니다. 특히 이 배터리 시스템은 완속으로 풀충전 하더라도 4시간 밖에 걸리지 않을 정도로 구성했습니다.

첫째는 어민들은 대부분 엔진소리에 청각장애를 앓고 있는데 우선 조용하니 좋고 둘째, 현 3t급 어선이 10만km를 운항할 때 유류비가 4천만원정도 드는데 전기어선은 이의 10분의 1 수

준인 400만원이면 가능하더니 모두들 놀라워 하고 있습니다. 현재 전기어선은 1t급 2척, 3t급 2척 등 4척이 제작돼 전남 목포 쪽에서 어민들이 운용하며 데이터 확보를 위한 실증사업을 하고 있습니다.

그러나 3t급 전기어선의 가격은 1억원 정도로 현 기존 어선의 값 5천만원 보다 5천만원이 비싼 실정입니다. 정부가 면세유 지원금을 전기어선 지원금으로 돌려 줄 수 있는 방법을 찾는다면 불가능한 일도 아니며, 현재 우리나라에서 3t급 이하 어선은 약 6만여척(1t급 이하 2만여척). 향후 면세유 지원 중단에 대비해 지금부터라도 조금씩 전기어선으로 전환하는 게 필요하다고 할 수 있습니다.

본 연구과제에의 목표는 아래와 같습니다

- 1ton급 전기추진 어선의 개발
- 3ton급 전기추진 어선의 개발
- 경제성이 있는 전기추진 시스템의 구축

연구결과물로서 아래와 같이 4척을 신조하였습니다.

- 기존 1톤급 전기추진어선
- 새로운 선형의 1톤급 전기추진어선
- 기존 3톤급 전기추진어선
- 쌍동형 3톤급 전기추진어선

각각의 전기추진어선을 시험 운항하였으며 아래와 같은 성과를 얻었습니다.

#### 1차년도

- 회류수조실험은 인하공업전문대학과 (주)서일본유체기연(FEL)에서 실시하였으며,
- 실해역 실험은 목포시 삼학도에서 실행하여 경제성을 평가함.
- 1ton급 기존 낙지잡이 어선에 대한 전기추진 시스템 구축
- 모형실험을 통한 실선성능 예측 및 유동 가시화를 통한 선형 특성 분석
- 수치해석을 통한 유체력 계산 및 구조 안정성 계산
- 선외기 형태의 전기추진 시스템 개발
- 실해역실험 수행

#### 2차년도

- 목포 삼학도 부근 및 갯바위 공원에서 실험 완료 및 언론에 보도
- 목포-제주간 시험 운행 준비 중
- 프로펠러의 최적설계에 대한 분석
- 3ton급 어선의 설계 및 제작하여 이에 적합한 전기추진 시스템 설계 및 제작
- 3ton급 어선의 성능 분석을 위한 회류수조 실험 및 실해역 선속 성능 실험
- 속도 제어 회로도 및 작동 메커니즘 설계 및 제작
- 3ton급 어선에 대한 수치해석을 통한 유체력 성능분석 및 구조 안정성 해석

- 3ton급 어선의 모형 설계 및 제작
- 인하공업전문대학교 (주)서일본유체기연(FEL)에서 실험을 통한 실선성능 예측 및 유동가시화를 통한 선형특성 분석
- 목포 삼학도 인근에서 실험역
- 어선의 전기추진시스템에 대한 농림수산식품부 녹색기술인증 획득

### 3차년도

- 배수량 4.2ton급 전기어선의 성능분석
- 배수량 2.5ton급 전기어선의 선형개발
- 배수량 4ton급 전기어선의 선형개발
- 배수량 2.5ton급 전기어선의 구조설계 및 강도평가
- 쌍동형 배수량 2.5ton급 전기어선의 건조
- 쌍동형 배수량 2.5ton급 전기어선의 추진시스템 구축
- 쌍동형 배수량 2.5ton급 전기어선의 실험역 운항
- 전기추진어선의 사업성 분석



## 제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 개발된 기술의 분석

### 제1절 전기추진 선박의 국내외 현황

2008년 작성된 연구계획서에 수록된 국내외 동향을 기초로 하고 추가된 연구 동향을 서술하였다. 특히 어선에 대한 연구는 일본이 2010년도부터 개발하고 있는 동향이 있으나 다른 외국에서는 이에 대한 언급은 없는 실정이다.

#### 1. 미국의 현황

Duffy사의 electric boats



14 Runabout

Length: 14' - 0"

Beam: 6' - 6"

Draft: 24"

Capacity: 5 Adults

Displacement: 1,700 lbs.

Top Speed: 5.2 MPH

Running Time:

@ Cruising Speed: 7.5 hours

@ Top Speed: 3.5 hour

#### 2. 호주의 현황

100% emission free

The advanced aquawatt green power electric outboard motor

For commercial and private use in fresh - and salt water.

Green POWER + Green RACING 13 kW or 22 kW

2 types with 13 kW or 22 kW available. Either with tiller or remote steering. Suitable for new AGM - or Lithium batteries. Size, construction and performance similar to a petrol engine with 20 or 30 hp.



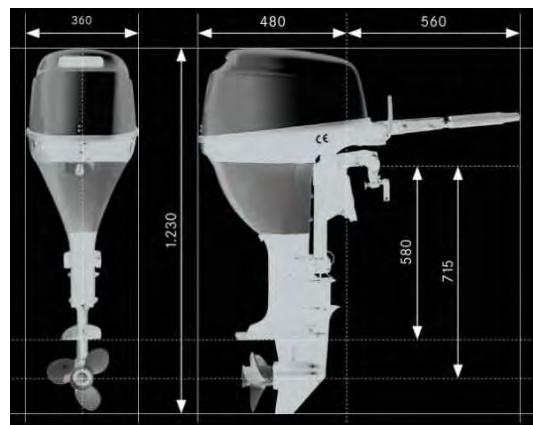
Version with remote steering and throttle.  
Suitable for all standard installations.



Version with tiller control, key - and sa-fety switch, LCD display

### Can not be compared with conventional electric boat engines

- Much more power and thrust
- Built with sea water resistant aluminium
- Advanced AC electric motor and digital controler
- Suitable for salt water with zinc anode
- For heavy duty due to integated water cooling
- Large 9,25 inch aluminium or stainless steel prop
- Suitable for standard propellers
- Standard spare parts for pump and anode
- Tilting and trimming
- Suitable for shallow waters
- Connection cable UV resistant, non hydrolyse.



Power - Catamaran with double 13 kw outboard



Falcon F 400 RIB with 13 kw engine, LI - batt. 19 knots speed

The advanced aquawatt AC driving system sets new standards for electric boat propulsion



Green POWER The universal power system for heavier hulls and hydro planing. Power output 10 kw with the use of AGM batteries. With 50 volts lithium batteries the power output increases to 13 kw.

The sensor driven controller assures an optimized thrust for a heavy fishing boat as well as for a high speed hull. This engine pushes a 900 kg fishing boat to over 10 knots or a light dinghy to over 20 knots.



Green RACING An unique outboard motor for higher speeds for light hulls and cats. Power supply with lithium batteries. Not suitable for heavy hulls. The world's most powerful electric outboard motor with exceptional performance. 22 kW power output (30 hp)!

## Technical data

	<b>Green POWER</b>	<b>Green RACING</b>
Transom height	20 inch	20 inch
Nominal voltage	48/50 volts	80 volts
Battery current AGM / LI max.	240/ 300 Amp	X / 300 Amp
Output AGM / LI Batterie	10 / 13 kw	X / 22 kw
Battery system	48v AGM / 52v lithium	80v lithium
Plug	SBE 320	SBE 320
Cable steering for remote version	C2	C2
Weight	57 Kg	F
Propeller	3 - 9,25 x 7 to 8	3—9,25 x 7 to 8
Propeller rotation	0—3250	0—3550
Thrust with standard prop (alu)	112 da N /135 da N	F
Thrust with thrust prop	123 da N /148 da N	F
Maximum speed	22 Knoten	F

F : to follow. (Available from may 2011)

### Multi functional display

aquawatt electric outboard engines are equipped with a perfect information system. The LCD - display indicates the rpm of the electric motor, the battery voltage, the operation hours, the motor current and the battery current.

Additionally the charging state of the battery is shown in percentage and a graphical display. Low battery and high temperature release an alarm light.

Error messages are indicated by an error code.



### Safety

- Nominal low voltage under 100 v.
- Safety switch with engine stop
- Key switch
- No start with gear shifted



### Battery system

The aquawatt electric outboard engines can be operated with various battery systems. The POWER model can be equipped with lead acid batteries (48 volts) or lithium batteries (51.2 volts). This results in a power output from 10 kw to 13 kw. The RACING model requires a 80 volts lithium battery.

More information is available from the documentation „batteries and chargers“.



### Advantages

Many boats are already equipped with remote steering for petrol outboard engines. The aquawatt engine has corresponding connections which guarantee a smooth and quick installation. It is even possible to operate the boat with a petrol - and a electric outboard motor.

## 3. 독일의 현황

### 가. 토키도

베이스트래블 401/801

고효율 아웃보드를 위한 시작-점

베이스트래블 범주에 있는 모터들은 트래블 모델들과 다른 동료들이다. 그들은 추진 전달 계통에 같은 우수한 능력을 가졌지만 통상적인 전기 추진기들처럼 케이블 연결을 통해서 표준 납축전지에 연결된다. 접을 수 있는 샤프트 대신에, 그들은 고정 샤프트를 장비하고 있다. 리튬 배터리가 베이스트래블 모델들에는 포함되지 않기 때문에, 그들은 트래블 모델들보다 훨씬 저렴하다. 추가적으로, 트래블 라인의 성능 범위내에서 특정 용도로도 적합하다. 그곳에서는 더 높은 배터리 용량이 요구됩니다.

베이스트래블 401 모델은 12V의 전압으로 작동하고, 그에 반하여 베이스트래블 801 모델은 24V에서 작동된다. 플러그가 있는 배터리 연결 케이블이 물품에 포함된다. 트래블 모델과 유사하게, 탈착 가능한 케이블 어댑터가 베이스트래블의 주 스위치처럼 작용한다. 두 개의 납축전지를 직렬 연결하기 위한 브리징 케이블 또한 포함되 있다.(베이스트래블 801에만).

베이스트래블의 케이블 어댑터 세트는 트래블의 리튬 배터리와 마찬가지로 샤프트 위에 볼트 장치로 잠길 수 있다

상향적인 호환성 : 베이스트래블은 또한 리튬 배터리로 작동한다.

베이스트래블의 이동성이 중요한 곳 또는 예비 배터리들의 사용을 위하여, 모터는 또한 트래블의 교체용 배터리를 사용해서 가동될 수 있고, 옵션으로 구매 가능하다. 리튬 고성능 배터리를 사용하면, 베이스트래블 모터들이 비교 대상인 트래블 모델들과 똑같은 성능을 발휘한다.



전기 모터들의 도달 범위를 계산하는 것에 대한 배경 지식 :

특정 배터리 공급과 함께 전기적 추진기들을 사용해서 성취될 수 있는 범위(거리)와 실행시간들은 다음의 4 단계로 계산된다.

(1) 현재 배터리 용량의 계산 : 이것을 계산하기 위하여, 배터리의 전압(volt)이 충전 암페어(Ah : ampere-hour rating)와 곱해진다. 그러므로 예를 들면 12V의 100Ah 배터리는 1,200 watt hours(Wh)의 용량을 가지고 있다. 각 75Ah - 24V 두 배터리들이 병렬로 연결되어 있다면 1,800 Wh의 용량을 가진다.

(2) 요구되는 에너지의 양 계산 : 모터에 의해 요구되는 입력 파워(input power)는 다음 단계에서 고려된다. 예를들면, 베이스트래블 401은 400 watts 입력 파워를 가지고 있다. 그러므로 400 Wh가 최대 파워로 1시간의 실행(운행) 시간을 위하여 요구된다.

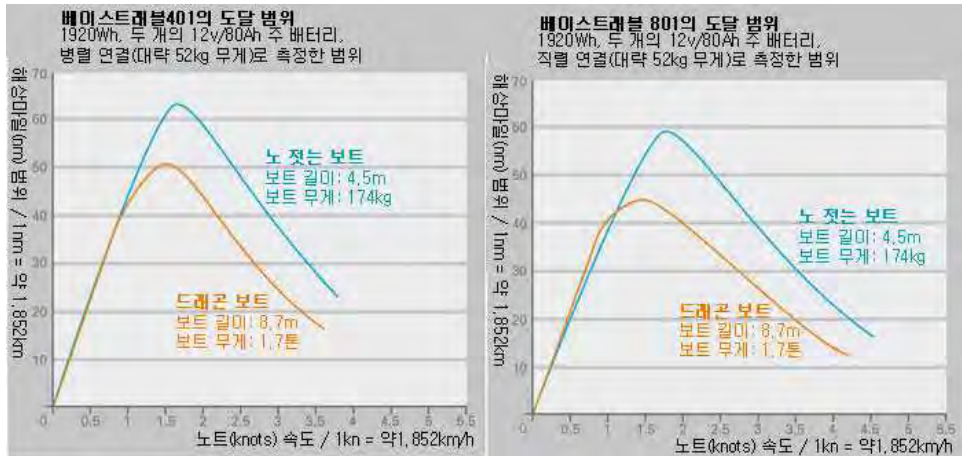
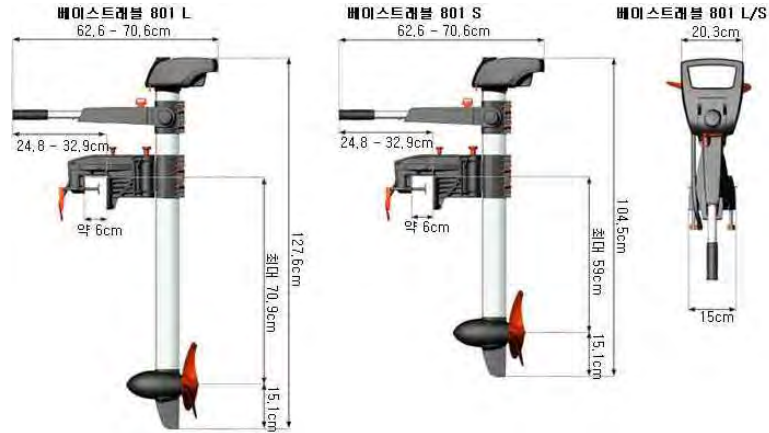
(3) 범위(거리) 계산 : 기초적 범위는 성취될 수 있는 속도를 참작하여 계산될 수 있다. 예를들면, 드래곤 세일 보트에 달린 베이스트래블 401은 3.5 knots(6.5 km/h)에 도달한다. 그러므로 12V 100Ah 배터리를 가지고(1,200 Wh 용량) 이론적으로 최대 속도에서 3시간을 달리고 10.5 해상마일(19.5 km)의 거리를 커버할 수 있다. 이제 1,200 Wh 리튬 배터리 전원 공급 장치를 위한 범위 계산도 수행될 수 있을 것이다.

(4) 납축전지(배터리)의 고-전류 저항의 부족을 참작하는 것 : 납축전지들은 비교적 고 전류들에 대하여 낮은 저항을 가지고 있다. 그것은 그들의 능력이 소비자가 그들로부터 더 높은 전류를 끌어다 쓰려고 하자마자 그들의 표시 능력 밑으로 현저하게 저하된다는 것을 의미한다. 실제적 범위(거리)를 계산하기 위하여, 이 효과는 또한 틀림없이 계산에 삽입 되어야만 한다. 이것을 하기 위하여, 배터리의 무게도 우선적으로 고려되어야만 한다. 예를 들면, 12 V 100 Ah의 경우 40kg 이상이 될 것이다. 만약 그 때 모터에 의해 400 W의 전력 소비가 있다면 배터리 무게의 kg당 10 W의 고-전류 부하가 존재할 것이다. 이것으로부터 초래되는 배터리의 효과적인 능력 면에서의 손실은 그 그래프로부터 추산될 수 있고, 예를 들면 그 손실은 20% 이내이어야만 하지만, 그것은 배터리의 품질에 달려있다. 그러므로 그 때 실제적으로 도달될 수 있는 범위는 8.4 해상마일(15.6km) 정도가 될 것이다.

이 계산으로부터 2개의 범칙이 도출될 수 있다 :

첫째로, 높은 입력 파워를 가진 모터들은 합리적인 도달 범위를 성취하기 위해서는 특별하게 큰 납축전지 용량을 요구한다는 것이다.

둘째로, 나쁜 효율성으로 달리는 것은 두 가지 방법으로 배터리 능력을 낭비한다는 것 : 한 편으로, 충분하게 에너지를 추진 파워로 전환시키지 못하고, 다른 한 편으로 배터리에 불필요한 고-전류 하중을 일으켜서 능력을 다 발휘하지 못하게 한다는 것이다.



## 나. 플로버



### 플로버 트롤링 모터의 특징

#### 1) 잔량표시기능 기본내장 (국내 최초 개발)

3종의 각기 다른 색상을 사용한 LED를 채용해 운행중 배터리의 잔량 유무를 측석에서 확인할 수 있습니다.



#### 2) 전기중 벨레스코핑 핸들레버 채용

전기중 벨레스코핑 핸들레버를 채용해 보팅시 어떠한 위치에서도 편리한 조작이 가능합니다.

#### 3) 우수한 설계 및 디자인

오랫동안 축적된 기술력으로 모터구동시 소음을 40db미만으로 낮추었습니다.

#### 4) 미세한 속도조절기능

전진 5단계와 후진 3단계의 속도 조절 기능

#### 5) 2년 제품보증 및 신속한 A/S

CE와 ISO를 통해 검증된 플로버의 모든제품은 철저한 생산관리시스템 도입으로 고장을 제로로 자랑하며 2년내에 고장발생시 제품하자로 판명되면 무상A/S를 해드립니다.

## 다. 민코타



### Models

Model	컨트롤	볼트	미는힘	샤프트 길이	속도 조절	용도	배터리 표시기	최대 보트 길이
RT101T	핸들조정	36	101 LBS	52" (약 1.3m)	무단가변	염수(바닷물용)	없음	25' (약7.5m)
RT50/SC/T	핸들조정	12	50 LBS	42" (약 1m)	전진 5단 후진 3단	염수(바닷물용)	없음	20' (약6m)
RT40/SC/T	핸들조정	12	40 LBS	36" (약 92cm)	전진 5단 후진 3단	염수(바닷물용)	없음	17' (약5.1m)

RT:립타이드, T: 트랜섬 마운트, SC:

Speed Coil

## 4. 일본의 현황

### 일본의 소형 선외기 전동선(어선) 개발 현황 전동 어선, 유가 앙등으로 개발

전기자동차를 연구하고 있는 오이타시의 민간기업 '이브이 키모토 래버러토리'가 최근 유가 앙등으로 고전하고 있는 어민들이 활용할 수 있는 연안용 전동 소형 어선의 개발에 나섰다. 우선 전기자동차에서 사용하는 리튬폴리머 전지를 개량하고, 내수성과 소형, 경량화를 도모하여 1 시간 동안 시험 운항에 성공했다.





충전비용이 저렴한 반면 실용화에는 전지의 출력이나 가동시간의 향상 등 기술적 과제도 많다. 그렇지만 키모토씨는 ‘높은 연료비의 보완책으로 효과가 있다’고 강조 하고 내년 봄까지 실용화할 계획이다.

개량전지는 무게 약 60킬로그램에 출력은 약 7.5킬로와트이다. 200볼트 가정용 콘센트로 5시간에 충전할 수 있다. 야간 요금이면 비용은 40엔 정도라고 한다.

2008년 9월에 실시한 뱃부만 시험에서는 소형 어선(0.5톤)을 모터로 구동하여 평균 15노트로 1시간 동안 항행할 수 있다는 것을 확인했다. 앞으로 실용 수준인 약 30킬로와트 출력의 전지와 에너지절약형 모터를 개발할 계획이다.

### 전기로 움직이는 어선, 연비는 가솔린의 120%

일본 수산청은 어업용 전동선박을 개발하고 있다. 실험을 거쳐, 빠르면 내년에 실용화할 계획이다. 지구온난화 방지와 고유가로 시달리고 있는 낙도 어민의 지원에 기여할 것으로 보고 있다.

배는 소형 정치망 어선이며, 길이 6미터, 폭이 2미터, 무게는 0.9톤이다. 후미에 모터를 달고, 배 밑에 배터리 4개(가로 세로 각 40센티미터, 높이 15센티미터)를 싣고 있다. 약 10시간 충전하면 4시간 연속 항해가 가능하며 속도는 시속 15-20킬로미터로 기존의 선박과 비슷하다. 에히메현의 중소기업, 아이티오사가 개발한 것이다. 이 업체는 전동 모터보트 개조기술을 기반으로 전동 어선의 제품화를 추진하고 있다.



같은 규모의 어선은 연료비(가솔린)가 연간 50만-60만엔인데 비해, 전기 요금은 5분의 1정도 밖에 들지 않는다. 기존 어선의 개조비는 시험선과 규모가 같을 경우 약 350만엔이므로 가솔린 엔진의 4배 정도 되지만, 연료비가 적게 들고, 이산화탄소 배출량이 약 80% 줄어드는 장점이 있다고 한다.

실험은 국가 지원사업으로 약 1,600만엔을 정부와 나가사키현 등이 부담하고 있다. 기존의 소형 선박은 엔진 소음이 커서 동료와의 대화가 잘 들리지 않았으나 이 배는 아주 조용하고, 승선감이 쾌적하며, 스피드도 거의 변함이 없어 사용하기 쉽다고 한다.

실험은 2010년 9월 21일 시작해서 11월말까지 계속된다.

## 5. 국내 현황

KISTI의 특허 분석에 따르면 전기추진에 있어 모터의 특성에 대한 국내의 연구결과가 있으나 전체적인 시스템의 구축 등에 대한 연구는 본 연구를 제외하고 전무한 실정이다. 다만 몇몇 전기자동차 회사에서 관심을 갖고 있는 수준이라고 할 수 있다.

## 제2절 전기추진 소형어선의 기술성

### 1. 대상기술의 개요

#### 가. 기술개요

##### (1) 명칭

연료비 절감을 위한 소형전기어선 추진시스템

##### (2) 개요

- 중소형 선박용으로 기존 디젤엔진에 경유/휘발유를 원료로 운항하는 소형어선의 추진 시스템을 축전지(배터리)를 이용한 전기 추진으로 대체하는 기술.
- 전 세계적인 탄소(CO2) 감축 방안에 대처 및 진동, 소음, 환경오염의 극소화를 위해 전기를 이용한 추진 기술.

##### (3) 특징

- 전기 추진을 위해 리튬인산철 축전지(배터리)를 장착한 선박.
- 전기 제어를 통해 구동 모터의 속도를 조절하여 선박 조정.
- 특허등록  
10-1077726  
전기추진 선박
- 특허출원  
10-2011-0131635

축전된 전기에너지 효율을 극대화한 쌍동선 구조의 전기추진 선박  
 10-2011-0131639  
 배터리의 유지보수가 용이한 쌍동선 구조의 전기추진 선박

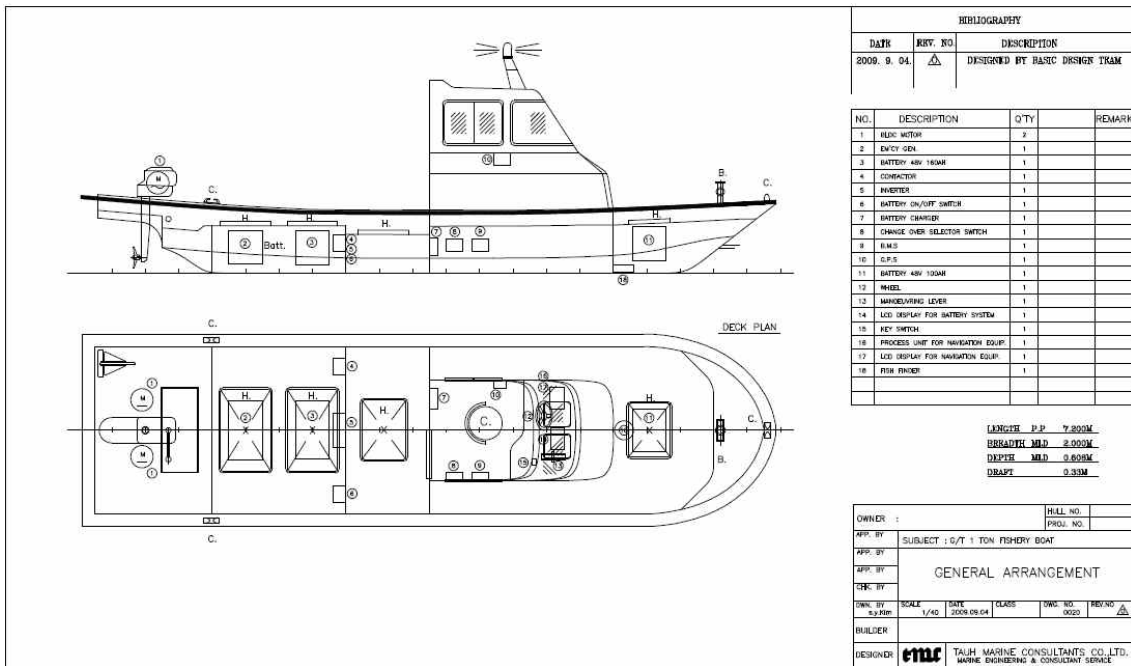
(4) 개발 기간 및 특징

- 2008년 수산특정연구사업 (농림수산식품부)의 기획연구과제로 선정 됨
- 2009년 1톤급 전기추진 어선 개발 완료
- 2010년 3톤급 전기추진 어선 개발 완료
- 2011년 3톤급 쌍동형 전기추진어선 제주해협 중단

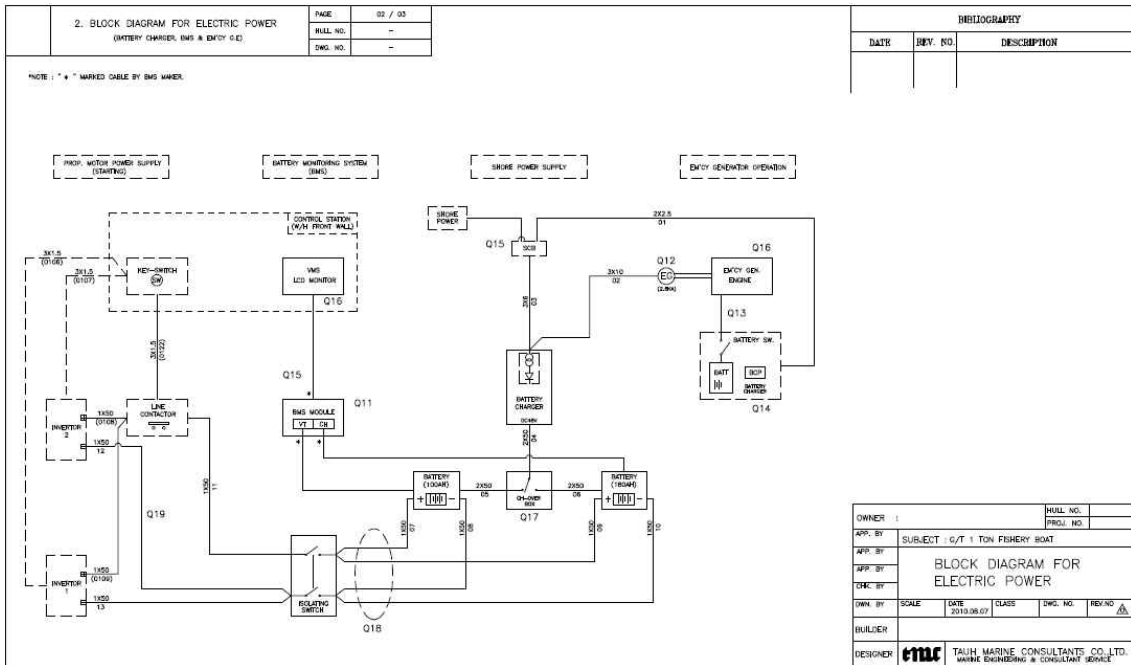
나. 평가대상 기술의 개요

(1) 도면

- 녹색인증관련 도면



일반배치도



전기시스템 결선도

추진시스템 결선도

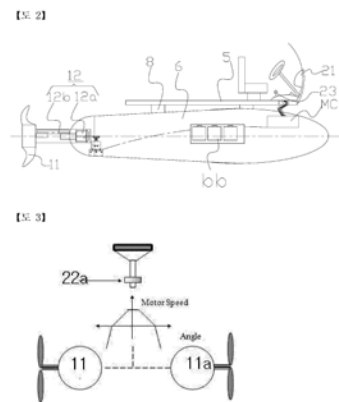
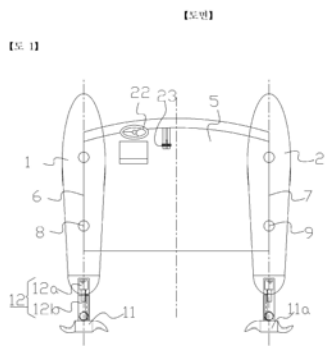


부의 회전과 속도조절이 가감되게 구성된 전기추진 선박에 관한 것이다.

일반적인 선박의 경우 디젤과 같은 화석연료를 이용한 내연기관의 동력을 이용하여 구동하고 있다. 이러한 구동은 하나의 기관으로 추진력을 얻게 되므로, 별도의 선회각도를 조절하기 위한 조타(操舵)장치가 부착되어져 있다. 따라서 핸들의 조작으로 조타장치가 회전하도록 하여 좌우선회가 이루어진다. 따라서 이러한 구조의 조타장치는 보트의 길이가 길수록 회전반경이 제한을 받게 되어 좁은 공간에서는 선회가 어렵다. 특히 선박접안시설이 부족한 항구 혹은 좁은 수로와 같은 좁은 공간에서 선박운행을 하는 경우 많은 제약을 받을 수 밖에 없다. 또한 조타장치가 배의 후미부에 노출되므로 이것에 바다나 강에 떠도는 이물질이 걸리게 되면 조작불능의 문제를 발생하게 된다. 특히 조타 장치는 배의 추진부보다 하부에 설치되어야만 목적인 기능을 발휘하게 되어 있으며, 이 조타장치는 선박의 진행시 또 다른 저항요인으로 작용하게 되어 연료소모의 주 요인중 하나가 된다.

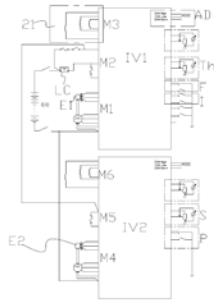
본 발명은 조타장치를 생략하고 좌우에 설치된 구동추진부에 의하여 직진과 좌우선회가 가능한 전기추진 선박을 개발하였다.

본 발명은 핸들부의 회전시 그 회전각도를 감지하여 좌우에 설치된 추진모터에 대한 전원공급을 조절하도록 하는 좌우조절부, 좌우조절부의 신호를 받아 연산하는 중앙처리부, 좌우추진구동부 그리고 보디부로 구성되어져 있다.



【도 4】

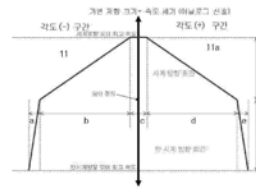
2010-01-13



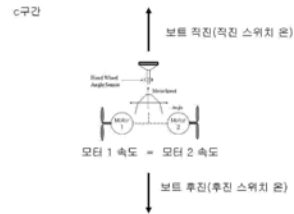
21-18

【도 5】

2010-01-13



【도 6】



21-19

【도 7】

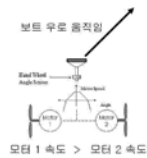
2010-01-13

b구간



【도 8】

d구간

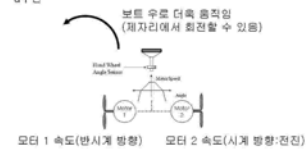


21-20

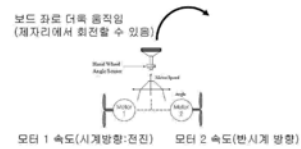
【도 9】

2010-01-13

a구간



【도 10】



21-21

]

### (3) 특허출원 1

“축전된 전기에너지 효율을 극대화한 쌍동선 구조의 전기추진 선박{Ship powered by the electric energy effectively saving energy}”

【요약서】

【요약】

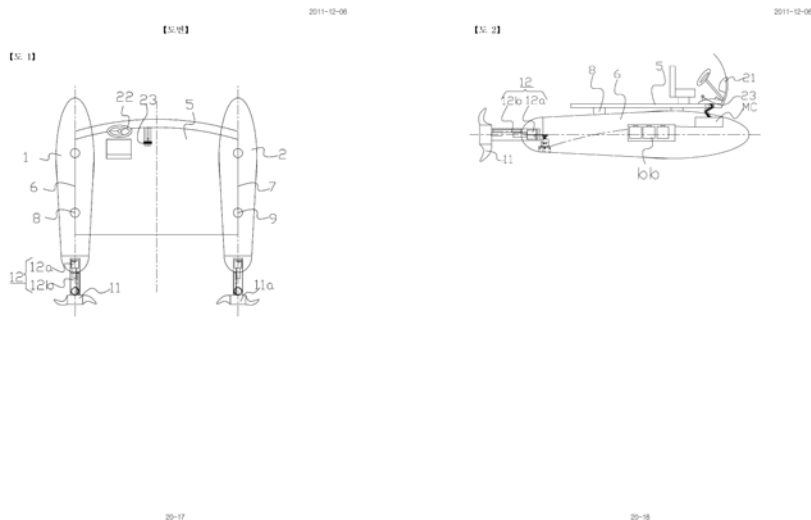
본 발명은 밧데리에 축적된 전기에너지로 운행하는 전기추진선박에 관한 것으로 특히 에너지 소비효율을 극대화한 쌍동선 구조의 전기추진 선박에 관한 것이다.

본 발명자의 쌍동선은 좌우에 2개의 부력발생부를 구성하고 이것에 각각 독립적으로 구동하는 좌,우추진모터를 이용하여 직진, 후진, 좌우회전이 모두 이루어진다. 이러한 구성에 의하여 축적한 밧데리의 전기용량의 허용범위를 최대한 이용한 에너지절감형 전기추진선박이 구성되었다.

이러한 전기추진선박에 대하여 보다 전기효율을 높이기 위한 다양한 방법을 시도하던중 일정한 속도의 범위에서 전기추진 동력의 온.오프제어에 의하여 전기에너지의 소비를 억제하면서 목적인 속도를 항상 유지할 수 있는 수단을 발견하였다..

본 발명은 조정부의 표시부(21)을 통하여 지정속도(Os)를 설정하는 지정속도 설정단계, 조정부의 액셀레이터(23)에 의하여 인버터의 트로틀벨브신호입력부(Th)에 대한 입력신호로 인버터의 출력포트로 좌우추진모터에 대한 동력을 공급하여 선박을 추진시키는 추진단계, 선박의 속도를 측정하여 인버터의 속도신호입력부(S1)로 입력받아 마이크로프로세서(MC)에 입력하는 속도측정단계, 측정된 속도가 지정속도와 비교연산하여 허용범위(As)보다 크면 출력포트(M1)(M2)(M3)과 (M4)(M5)(M6)를 통하여 좌.우추진모터(11)(11a)의 구동을 차단하며, 오차범위보다 작으면 좌.우추진모터(11)(11a)에 전원을 공급하도록 구성하는 전원공급조절단계를 제어부의 마이크로프로세서(MC)에 더 설치하여 주었다.

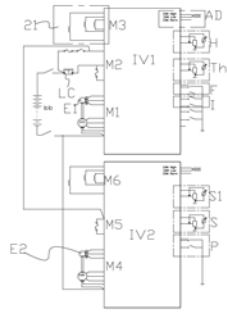
이러한 구성에 의하여 목적인 속도에서 가장 최대의 효율을 갖는 전기공급을 온.오프제어함에 따라 통상적인 전기추진선박에 비하여 적어도 30%이상의 에너지 절감효과를 이루게 하였다.





【도 3】

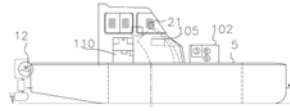
2011-12-06



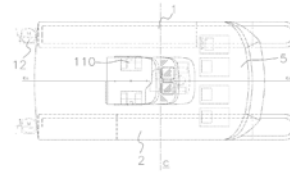
20-19

【도 4】

2011-12-06



【도 5】



20-20

#### (4) 특허출원2

“бат테리의 유지보수가 용이한 전기추진 선박{Ship powered by the electric energy}”

#### 【요약서】

##### 【요약】

본 발명은 선등록특허 제 10- 1077726호의 전기추진선박의 동력발생원에 대한 최적의 배치를 개발한 전기추진선박에 관한 것이다.

본 발명은 소형 선박에서 비교적 고중량물에 속하는 бат테리를 선박의 저부가 아닌 메인플랫폼 상면 혹은 필요한 조정부, 선원실 등에 배치하여 주는 것이다.

이러한 배치로 저부에 배치하는 경우 보수유지가 대단히 어렵고, 특히 일정시간 사용후 충전시에도 어려움이 있고, 교체와 бат테리의 상태관찰에도 어려움이 있었다.

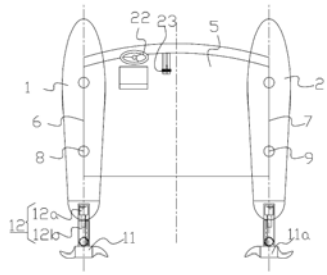
본 발명은 메인플랫폼의 상면에 제1бат테리부를 설치하여 추진모터의 주요 공급동력으로 이용 가능하게 하며, 그외에 조정실의 표시입력부, 선원등의 각종 필수장비 구동용 전원으로 직접 사용 가능하게 한다.

따라서 бат테리전체가 아닌 필요부위의 бат테리만을 교체할 수 있으며, 선박의 저부에 일일이 접근하지 않아도 유지보수가 가능하게 되었다.

2011-12-06

【도면】

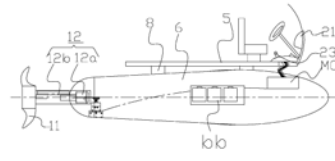
【도 1】



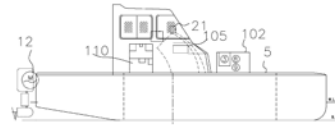
17-13

2011-12-06

【도 2】



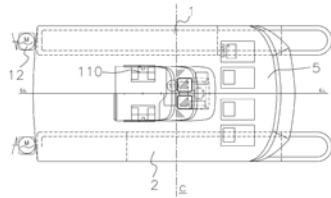
【도 3】



17-14

2011-12-06

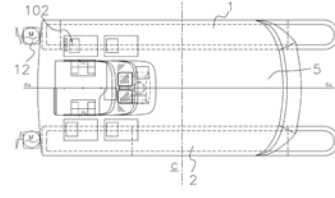
【도 4】



17-15

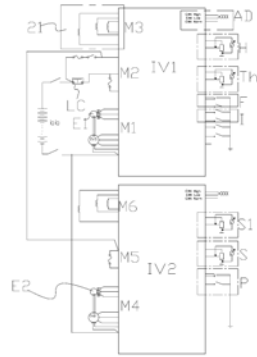
2011-12-06

【도 5】



17-16

【도 7】



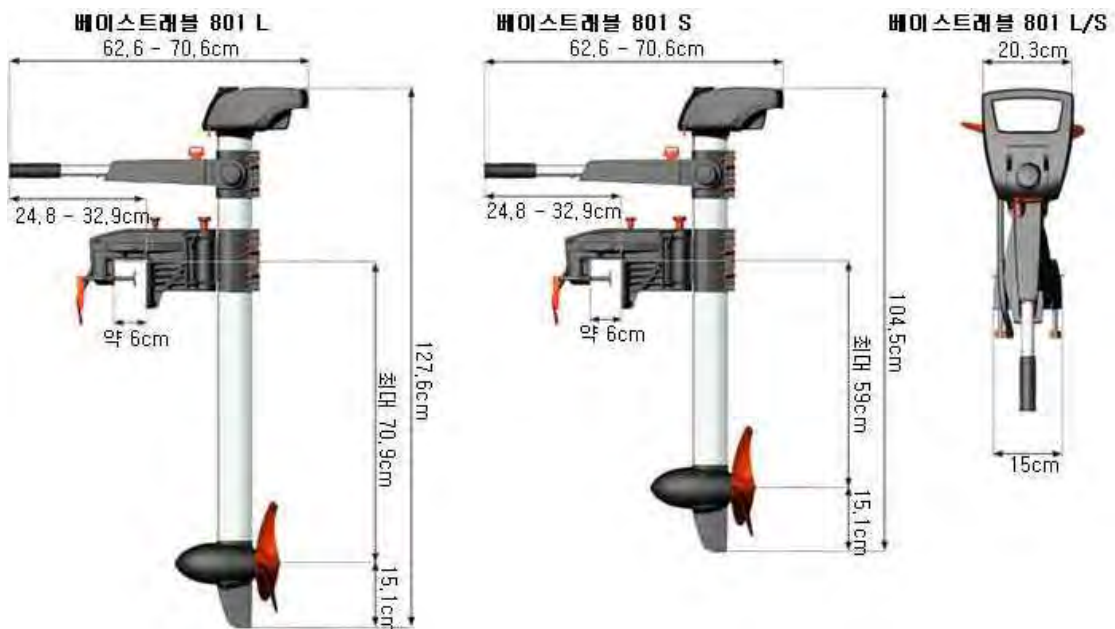
17-17

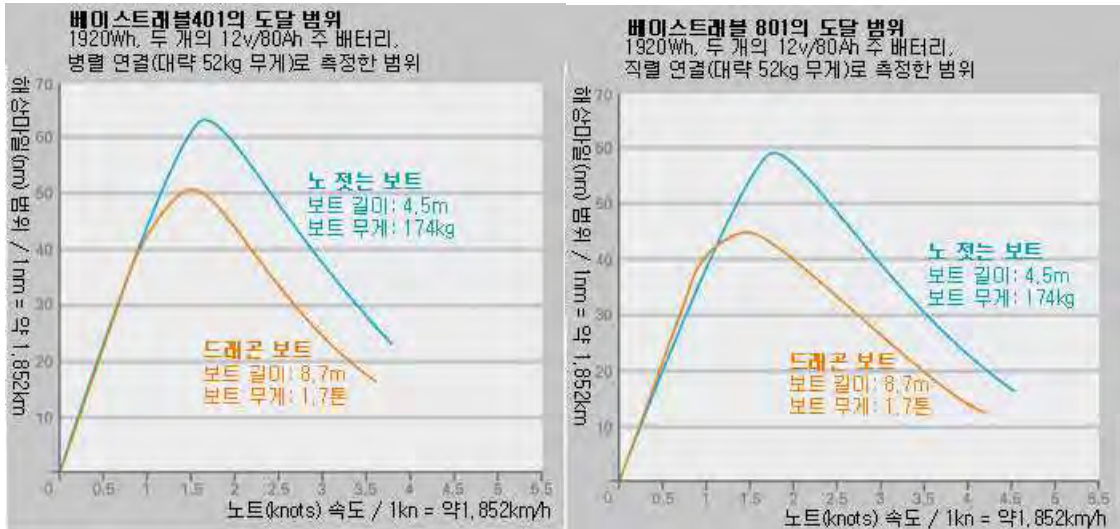
## 2. 기술 동향

### 가. 국외 동향

#### (1) 국내 수입되어 있는 극소형 진기추진 선외기

(가) 토키도 베이스트레블 401/801





(나) 플로버



**플로버 트롤링 모터의 특징**

**1) 잔량표시기능 기본내장 [국내 최초 개발]**  
3종의 각기 다른 색상을 사용한 LED를 채용해 운행중 배터리의 잔량 유무를 측석에서 확인할 수 있습니다.



**2) 전기종 텔레스코핑 핸들레버 채용**  
전기종 텔레스코핑 핸들레버를 채용해 보팅시 어떠한 위치에서도 편리한 조작이 가능합니다.

**3) 우수한 설계 및 디자인**  
오랫동안 축적된 기술력으로 모터구동시 소음을 40db미만으로 낮추었습니다.

**4) 미세한 속도조절기능**  
전진 5단계와 후진 3단계의 속도 조절 기능

**5) 2년 제품보증 및 신속한 A/S**  
CE와 ISO를 통해 검증된 플로버의 모든제품은 철저한 생산관리시스템 도입으로 고장을 제로로 지향하며 2년내에 고장발생시 제품하자로 판명되면 무상A/S를 해드립니다.

(다) 민코타



### (2) 미국

Duffy사의 electric boats



14 Runabout

Length: 14' - 0"

Beam: 6' - 6"

Draft: 24"

Capacity: 5 Adults

Displacement: 1,700 lbs.

Top Speed: 5.2 MPH

Running Time:

@ Cruising Speed: 7.5 hours

@ Top Speed: 3.5 hour

### (3) 호주

100% emission free

The advanced aquawatt green power electric outboard motor

For commercial and private use in fresh - and salt water.

Green POWER + Green RACING 13 kW or 22 kW

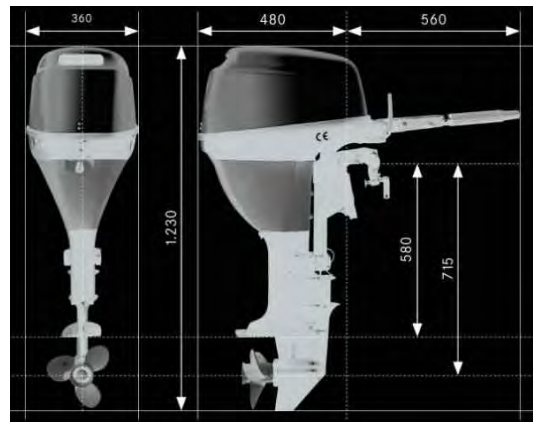
2 types with 13 kW or 22 kW available. Either with tiller or remote steering. Suitable for new AGM - or Lithium batteries. Size, construction and performance similar to a petrol engine with 20 or 30 hp.



Version with tiller control, key - and sa-fety switch, LCD display Suitable for all standard installations.

Can not be compared with conventional electric boat engines

- Much more power and thrust
- Built with sea water resistant aluminium
- Advanced AC electric motor and digital controller
- Suitable for salt water with zinc anode
- For heavy duty due to integrated water cooling
- Large 9,25 inch aluminium or stainless steel prop
- Suitable for standard propellers
- Standard spare parts for pump and anode
- Tilting and trimming
- Suitable for shallow waters
- Connection cable UV resistant, non hydrolyse.



Falcon F 400 RIB with 13 kw engine, LI - batt.

#### (4) 일본

일본의 소형 선외기 전동선(어선) 개발 현황  
전동 어선, 유가 앙등으로 개발

전기자동차를 연구하고 있는 오이타시의 민간기업 ‘이브이 키모토 래버러토리’가 최근 유가 앙등으로 고전하고 있는 어민들이 활용할 수 있는 연안용 전동 소형 어선의 개발에 나섰다. 우선 전기자동차에서 사용하는 리튬폴리머 전지를 개량하고, 내수성과 소형, 경량화를 도모하여 1시간 동안 시험 운항에 성공했다.



충전비용이 저렴한 반면 실용화에는 전지의 출력이나 가동시간의 향상 등 기술적 과제도 많다. 그렇지만 키모토씨는 ‘높은 연료비의 보완책으로 효과가 있다’고 강조 하고 내년 봄까지 실용화할 계획이다.

개량전지는 무게 약 60킬로그램에 출력은 약 7.5킬로와트이다. 200볼트 가정용 콘센트로 5시간에 충전할 수 있다. 야간 요금이면 비용은 40엔 정도라고 한다.

2008년 9월에 실시한 벳부만 시험에서는 소형 어선(0.5톤)을 모터로 구동하여 평균 15노트로 1시간 동안 항행할 수 있다는 것을 확인했다. 앞으로 실용 수준인 약 30킬로와트 출력의 전지와 에너지절약형 모터를 개발할 계획이다.

전기로 움직이는 어선, 연비는 가솔린의 120%

일본 수산청은 어업용 전동선박을 개발하고 있다. 실험을 거쳐, 빠르면 내년에 실용화할 계획이다. 지구온난화 방지와 고유가로 시달리고 있는 낙도 어민의 지원에 기여할 것으로 보고 있다.

배는 소형 정치망 어선이며, 길이 6미터, 폭이 2미터, 무게는 0.9톤이다. 후미에 모터를 달고, 배 밑에 배터리 4개(가로 세로 각 40센티미터, 높이 15센티미터)를 싣고 있다. 약 10시간 충전하면 4시간 연속 항해가 가능하며 속도는 시속 15-20킬로미터로 기존의 선박과 비슷하다. 에히메현의 중소기업, 아이티오사가 개발한 것이다. 이 업체는 전동 모터보트 개조기술을 기반으로 전동 어선의 제품화를 추진하고 있다.



같은 규모의 어선은 연료비(가솔린)가 연간 50만-60만엔인데 비해, 전기 요금은 5분의 1정도 밖에 들지 않는다. 기존 어선의 개조비는 시험선과 규모가 같을 경우 약 350만엔이므로 가솔린 엔진의 4배 정도 되지만, 연료비가 적게 들고, 이산화탄소 배출량이 약 80% 줄어드는 장점이 있다고 한다.

실험은 국가 지원사업으로 약 1,600만엔을 정부와 나가사키현 등이 부담하고 있다. 기존의 소형 선박은 엔진 소음이 커서 동료와의 대화가 잘 들리지 않았으나 이 배는 아주 조용하고, 승선감이 쾌적하며, 스피드도 거의 변함이 없어 사용하기 쉽다고 한다.

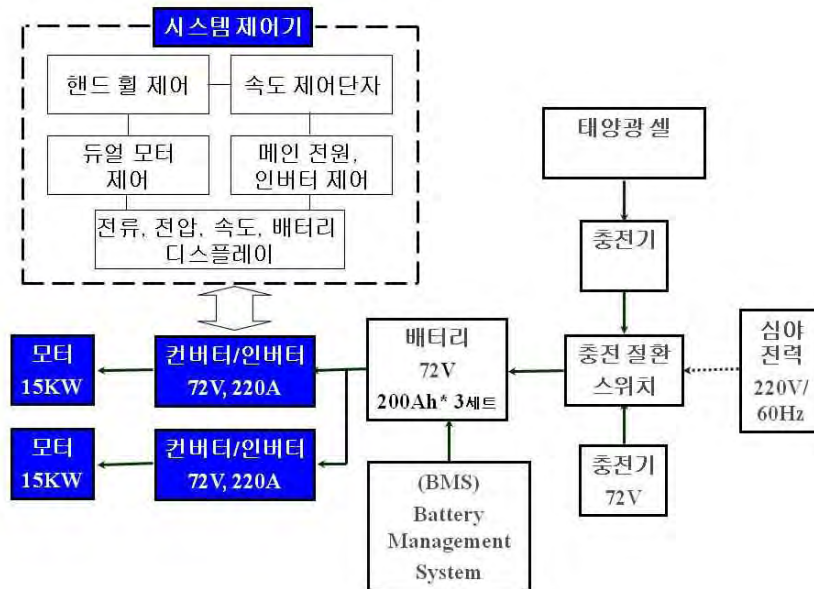
실험은 2010년 9월 21일 시작해서 11월말까지 계속된다.

#### (5) 국내 동향

KISTI의 특허 분석에 따르면 전기추진에 있어 모터의 특성에 대한 국내의 연구결과가 있으나 전체적인 시스템의 구축 등에 대한 연구는 본 연구를 제외하고 전무한 실정이다. 다만 몇몇 전기자동차 회사에서 관심을 갖고 있는 수준이라고 할 수 있다.



### 3. 기술성



어선의 전기추진 시스템에 대한 Block Diagram

#### 가. 수명 주기 상 위치

- 새로이 개발된 기술로 친환경 산업과 더불어 시장에서 적극적으로 수요가 발생 되는 시기 임.

#### 나. 기존 또는 유사 기술과의 차별성 및 기술의 우수성

- 기존 디젤 연료를 이용한 추진시스템에 비해 에너지 절감
- 배터리 전원을 사용하여 탄소(CO2) 배출을 하지 않아 환경오염이 없음
- 진동, 소음, 기름 냄새가 없는 친환경 추진시스템
- 기후 협약에 따른 환경 규제에 적극 대처 가능 기술.

#### 다. 국내외 최고기술 대비 신청 기술의 수준

- 어선용 전기 추진 시스템으로 국내외 최초 개발
- 기술현황

항목	기술내용	국산화 현황		비고
조타제어 장치	- 2개의 전기추진기에 대한 최적제어장치 개발	국제 특허 준비중	100%	태우 자체 개발 특허 출원 중
전기추진 모터와 프로펠라	- 전기 추진 모터에 따른 프로펠라 최적설계	상대적으로 중형인 모터의RPM과 Torque를 고려한 설계 완성	100%	태우 자체 개발
	- 최적 구조 및 형상 설계	현재 4.5kW와 15kW 전기 추진 시스템 완성	100%	태우 자체 개발
배터리	- 탈부착 배터리 장치	개발 진행 중		우선 특허 출원 예정
	- 리튬 인산철 배터리 (현재 사용 중)	중국산		(주)레보 등에서 국산화 추진 중
	- 산업용 납축 배터리	국내제품		연구개발 중에 사용
	- 리튬 이온계열 배터리	삼성 SDS LG 화학		가격이 고가인 것은 물론 시중 판매가 안되고 있음.
배터리 제어 및 모니터링	- 배터리에 따라 BMS(배터리모니터링시스템)를 설계	국내 제품		전문업체에서 구입

전 제품 국산화를 전제로 현재 기술개발 중이나 일부 특정 부품에 대해서 국내 조달이 안되는 항목이 있어 100% 국산화는 불가능 하나 전체적인 추진 시스템 구성 및 적용은 국내외 최초 개발 기술임.

#### 4. 기술수준 분석

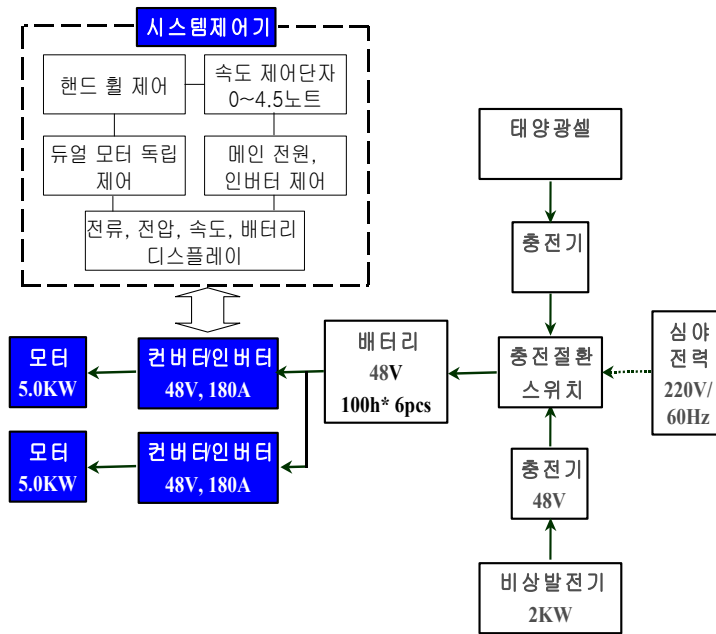
##### 가. 기술의 특성

###### (1) 전기 추진시스템 구축을 위한 최적 선형 개발

- 서일본유체기술연구소에서 2009년 모형 시험을 통해 소형어선의 전기추진을 위한 최적 선형 개발 및 속력, 주요 재원 분석/적용.  
(상세 사항 별첨 "기술 개발 자료" 참조)

###### (2) 어선용 최적화 전기 추진 시스템

- 기본 시스템 (상세 사항 별첨 "기술 개발 자료" 참조)



(3) 기본 성능

- 총톤수 1톤급 어선의 경우

		엔진추진	전기추진	차액	비고
최대속력	최대속도	25km/h	20km/h		기존 선형
	운항거리		20km		
	운항시간		1h		
경제속력	경제속도	15km/h	10km/h		기존 선형
	운항거리		100km		
	운항시간		10h		
운항경비	최대속력	연료: 10L 연료비: 20,000원	전력:15kWh 전기료: 2,000원 이하	-28,000원	20km 운항 동일 조건에서 연료비 추정 면세유가 아님
	경제속력	연료: 30L 연료비: 60,000원	전력:20kWh 전기료: 2,000원 이하	-98,000원	100km 운항 동일 조건에서 연료비 추정 면세유가 아님

- 총톤수 3톤급 어선의 경우

		엔진추진	전기추진	차액	비고
최대속력	최대속도	30km/h	20km/h		
	운항거리		80km		
	운항시간		4h		
경제속력	경제속도	20km/h	10km/h		
	운항거리		250km		
	운항시간		25h		
운항경비	최대속력	연료: 40L 연료비: 80,000원	전력:40kWh 전기료: 4,000원 이하	-76,000원	80km 운항 동일 조건에서 연료비 추정 면세유가 아님
	경제속력	연료:100L 연료비: 200,000원	전력:40kWh 전기료: 4,000원 이하	-196,000원	250km 운항 동일 조건에서 연료비 추정 면세유가 아님

나. 기술의 활용성

- 전기자동차는 물론 전기어선인 경우에도 현재의 배터리 가격으로는 일반적인 보급은 어려운 상황임.
- 국내 어선인 경우에는 면세유를 대신하는 것을 고려하여 60%이상의 보조가 가능한 현실이며,
- 일반 엔진의 교체 사업을 전기추진시스템으로 대처하는 방안을 추진하고 있음.
- 농림수산식품부 어업정책과를 주축으로 전남, 경남, 부산, 제주 등이 많은 관심을 갖고 있음.

배터리 가격이 50% 정도 하락할 경우

- 일본의 연근해 선박
- 중국의 내수면 선박
- 동남아시아의 연근해 선박

## 5. 기술의 완성도

- 1톤어선 사진 및 내부사진



- 쌍동형 어선 사진 및 내부사진





- 배터리의 개발에 따라 성능 향상이 기대되어 지며 연료전지가 개발 될 경우 지금보다 탁월한 성능의 전기추진어선이 도출 될 수 있음.
- 특허 기술의 입장에서는 새로운 선형의 어선이 보급이 필요하고, 경쟁 기술로는 전기자동차 기술에 유사하나 목표의 지향점이 다른 상황이다.
- 선박의 특성을 알면서 전기추진의 특성을 인지하고 실해역에서 신뢰성을 확보할 경우 모방이 가능하나 기술의 최적화 입장에서는 난이도가 높다고 볼 수 있다.

### 제3절 전기추진 소형어선의 시장성

#### 1. 산업동향

##### 가. 거시적인 산업 동향

환경요인	주요항목	현재	미래	기회	위협
정치	정책노선	녹색성장	지속	○	
	지원정책	R&D	시범사업 민간시장	○	
	규제완화 (민영화)	규제강화 (특허, 사양)	진입장벽 완화	○	○
	무역장벽		수출가능	○	
	조세,특허		보유가능	○	
	정치적 Risk	-	-		
경제	GDP성장율	정체(-)	성장	○	
	인플레이션 (환율)	높다	안정화	수출 유리	수입 장애 (외국OEM)
	금융/ 재정정책	대출제한	재정지원(시범)	○	
	소비경향	정체,둔화 (가처분 소득)	정체 or 점진적 증가	○	
	산업구조변화	고비용 구조	저비용 구조 변화	○	
	원유가	고가유지 (등락반복)	고가유지	○ (기존제품 의 고비용 부담)	
	임금수준		수출가능	○	
	시장경쟁구조	미약	경쟁격화	○	
사회문화	인구구조 (노동유연성)	인구증가 정체 -노동 경직	정체or감소 유연성 大	○ (기계화)	인구감소/ 고령화
	소비자 라이프	핵가족,여가선용	지속	○	
	여성사회진출	증가	증가지속	○ (작동단순)	
	환경에너지	친환경, 저에너지	지속	○	
	교육수준	고졸이하	학력향상	○	

환경요인	주요항목	현재	미래	기회	위협
기술	신기술	독점(특허)	공개 (특허기간 완료)	○	○ (시장분할 불가피)
	기술혁신확산	불가	가능		○
	신제품 혁신	불가	가능	○	
	정책적 지원	가능(R&D)	시범사업	○	

(1) 거시적인 산업동향의 주요 분석결과

- 정치의 경우, 녹색성장정책의 지속, 초기 R&D 및 시범사업 추진 등 대부분 기회요인으로 작용,
- 경제적 환경은 GDP성장을 저조, 환율상승 등은 해외 부품제작 등 수입에 위협요인으로 작용될 수 있고, 산업구조의 변화(고비용 저효율→ 저비용 고효율),고유가의 유지 등은 기회요인으로 작용
- 사회문화 측면은 인구정체 및 여성사회 진출확대, 친환경 저에너지 정책기조 유지 등은 기회요인
- 기술측면은 신기술 개발, 기술혁신 등 시장초기에 특허, 사양 표준화 등의 진입장벽으로 기회요인이나, 점차 기술 확산의 불가피성 등 장기적으로 경쟁가열 예상

(2) 미시적인 산업 동향

환경요인	주요항목	기회	위협	강점	약점
고객 (MKT)	시장구조/규모	○	-	시장창출○	-
	소비자성향	구입비용 지원	기존유지 경향	-	
	판매경로 변화		다소 어려움 상존		
제품	Positioning	-	-	○	
	품질기준	기준표준화	사양변경	표준화 - 진입장벽	맞춤형 제품개발
	가격기준	일정기간 독과점		○	
	신제품 개발	선두 유지		○	



환경요인	주요항목	기회	위협	강점	약점
자원	인적자원	-	-		
	원자재 수급	부품공급 - 원가절감	환율변동, 노동비↑ - 원가상승	안정적 OEM N/W	외생변수
기술환경	시장경쟁조건	초기 →경쟁미약	미래 →강화	○	
	핵심성공 요인변화	초기시장	유사기술 기간완료	특히 진입장벽	
	경쟁기업 동향			○	
	신규진입	초기시장	장기 (어선의외분야)		

(2) 주요 분석결과는 고객의 경우, 시범사업시 구입비용 국고지원(60~80% 예상) 등은 기회요인이나, 소비행태 측면에서는 기존의 어선을 고수하려는 경향은 위협요인으로 작용

- 제품분야 : 품질기준이 기술표준화에 의한 진입장벽 구축 등은 기회이나, 이후 예측치 못하는 사양변경 등 새로운 위협요소의 등장이 가능하고, 어선의 종류별 사양개발, 기타 레저용 선박도 병행개발 필요
- 자원분야는 해외부품제작 공급은 원가절감 등이 가능하나, 환율변동 등에 따른 위협에 노출되고
- 기술적 환경은 초기 특허 등의 핵심성공요인의 해소, 유사기술의 등장 등의 위협 예상

## 2. 시장 동향

### 가. 시장동향

#### (1) 시장의 요약

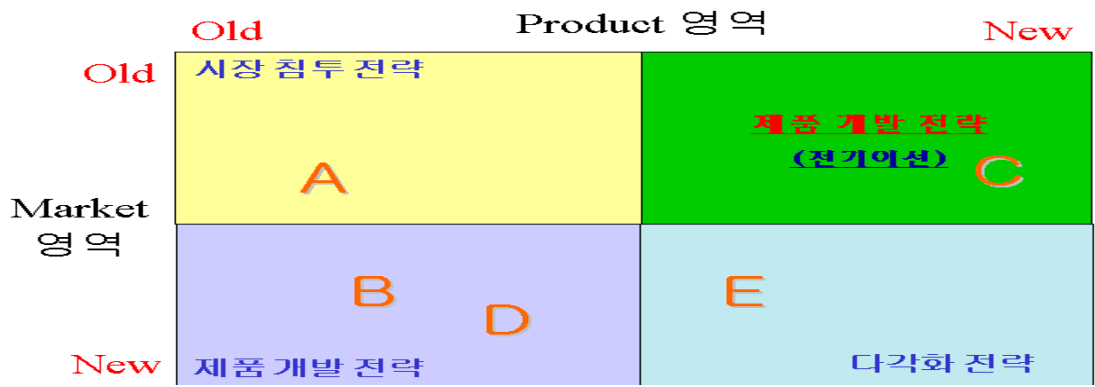
- <제품>은 현재 기술력을 감안, 현실적으로 수용이 가능한 분야인 양식장관리선, 관측 등 레저용 제품→ 전문화된 어선으로  
기술적 한계, 시장의 연락처 등을 위해서 연구개발시 어선용 제품과 더불어 레저용 제품도 병행 개발하여 제품의 카테고리를 확대할 필요  
※ 국가 R&D수행에 의한 어선분야와 관측 등 관광분야를 별도로 분리하여 접근할 필요
- <장소>적 접근은 재정능력과 수요가 많은 경남지역, 수도권인근 지역→전남 및 기타지역으로 확산
- <기관>별 접근은 신규시장 창출을 위한 중앙부처(예산, 사업부처, 청와대 및 연안관련 국회의원)→ 광역자치단체, 시군구 순으로 접근

**★ 신규시장 창출전략 ★**

- 2011년에 시범사업 추진에 필요한 사업비 확보 및 완벽한 제품제작에 총력
- ◆ 각 영향권에 대한 접근 설득, 국민적 인식확대(시연회, 박람회, 이미지 홍보 등)등을 위한 행동계획은 별도수립 추진
- ★ 여수해양Expo 등 각종 전시 및 박람회 전시 추진

- <행동>변수 측면은 시범사업 마련시 국고지원을 확대와 병행, 본사 제품이 시범사업의 표준사양으로 채택되도록 하는 표준화에 집중

(2) 시장의 특징



- 전기어선시장은 기존어선 공급시장에 새로운 제품을 개발하여 기존어선을 대체하는 새로운 시장을 창출하는 것임
- 따라서 초기에는 기존시장의 틈새시장을 공략하는 제품개발전략으로 접근하고, 이후 신시장의 창출시 다각화 전략으로 접근

(3) 시장의 접근

구분	변수	세분화	시장접근(Target)
지리적 변수	Glohal, 국내연안 시도	중국, 동남아, 전남, 경남, 동·서해안 해안, 섬, 강, 호수	○ 국내시장 우선 집중 ○ 국내시장: 경남 및 수도권 인근 → 전남, 기타지역 확산 연안어선, 양식장관리 →, 호소 등 레저
운영	기술 및 사용자	미사용, 신규, 숙련 어업, 관광	○ 신규 미숙련자 → 숙련자 ○ 어업, 관광 병행
구매 방식	구매기능 조직 권한구조	중앙, 분권 (도, 시군구, 중앙부처) 권한 집중	○ 중앙부처: 사업창출 및 배분 → 사양 표준화 ○ 지방: 도/시군구 관리능력에 따른 접근 - 도 단위: 경남, 울산, 경북, 경기 - 병행 : 경기, 강원/시군구 : 전남
	구매정책	리스, 서비스계약, 시스템 구매	○ 시스템 구매에 집중 (사후 서비스 계약 option)
	구매기준	품질, 가격,	○ 품질사양 표준화 추진 ○ 고정 가격제 도입(시범)
상황 요인	긴급성 적용특별성 주문규모	녹색성장 기준 어종별/레저용 지역별	○ 시범사업 참여 ○ 해역별, 업종별(어선,레저) 구분 ○ 매년도 예산규모에 근거
행동 변수	구매자, 판매자 리스크 충정도	구매자의 인적구성 고객 시장초기 risk 회피/수용 공급자 신뢰도	○ 광역시도 담당자/중앙정부 ○ 고객리스크 회피 → 국고지원 확대로 risk 상쇄 ○ 특허 및 모델 표준화로 신뢰도 제고

나. 시장규모

(1) 국내

- (가) 3톤급 미만 6만여척의 20% 약 12,000척
  - 척당 건조비 1억원, 전기추진시스템으로 교체 5천만원
  - 6천억원에서 1조2천억원 시장(국고보조 60%이상)

(나) 농림수산식품부 수산정책실에서는 유류비 절감을 50%로 해서 대상 어선을 확대할 필요가 있다고 함.

(다) 4대강에서의 해양레저 산업

(2) 해외

(가) 어선을 보조금으로 지원하는 유사국가는 인도네시아 등이 있으며

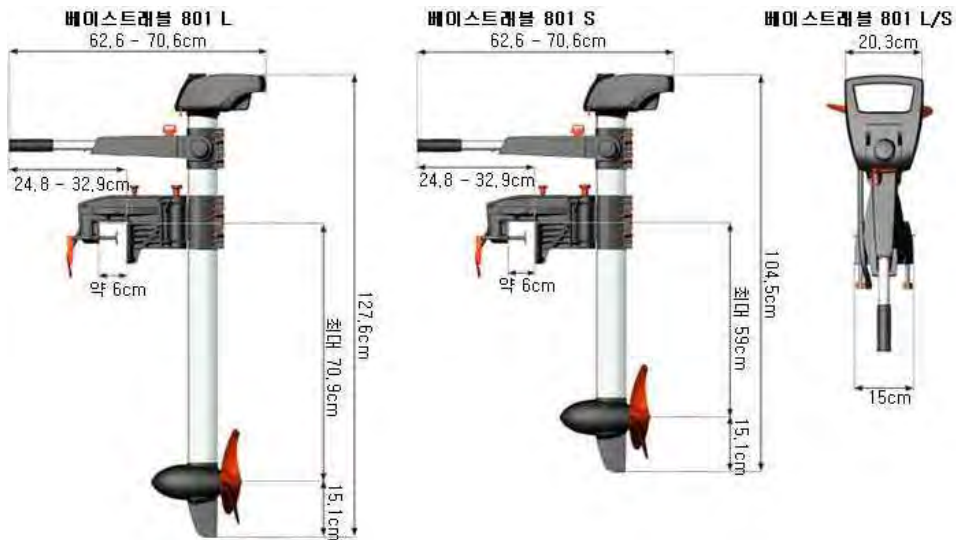
인도네시아인 경우에도 국내시장의 4~5배정도로 알려져 있다.  
 (나) 그 외 선진국 시장 및 중국시장에 대한 예측은 어려운 실정이다.

### 3. 기업동향

#### 가. 국외 주요 생산업체 현황

##### (1) 국내 수입되어 있는 극소형 진기추진 선외기

(가) 토키도 베이스트레블 401/801



(나) 플로버



#### 플로버 트롤링 모터의 특징

##### 1) 잔량표시기능 기본내장 [국내 최초 개발]

3종의 각기 다른 색상을 사용한 LED를 채용해 운행중 배터리의 잔량 유무를 측석에서 확인할 수 있습니다.



##### 2) 전기종 텔레스코핑 핸들레버 채용

전기종 텔레스코핑 핸들레버를 채용해 보팅시 어떠한 위치에서도 편리한 조작이 가능합니다.

##### 3) 우수한 설계 및 디자인

오랫동안 축적된 기술력으로 모터구동시 소음을 40db미만으로 낮추었습니다.

##### 4) 미세한 속도조절기능

전진 5단계와 후진 3단계의 속도 조절 기능

##### 5) 2년 제품보증 및 신속한 A/S

CE와 ISO를 통해 검증된 플로버의 모든제품은 철저한 생산관리시스템 도입으로 고장률 제로를 자랑하며 2년내에 고장발생시 제품하자로 판명되면 무상A/S를 해드립니다.

(다) 민코타



(2) 미국

Duffy사의 electric boats



(3) 호주



(4) 일본



(5) 국내 생산업체 동향

해당사항없음.

#### 4. 수요예측

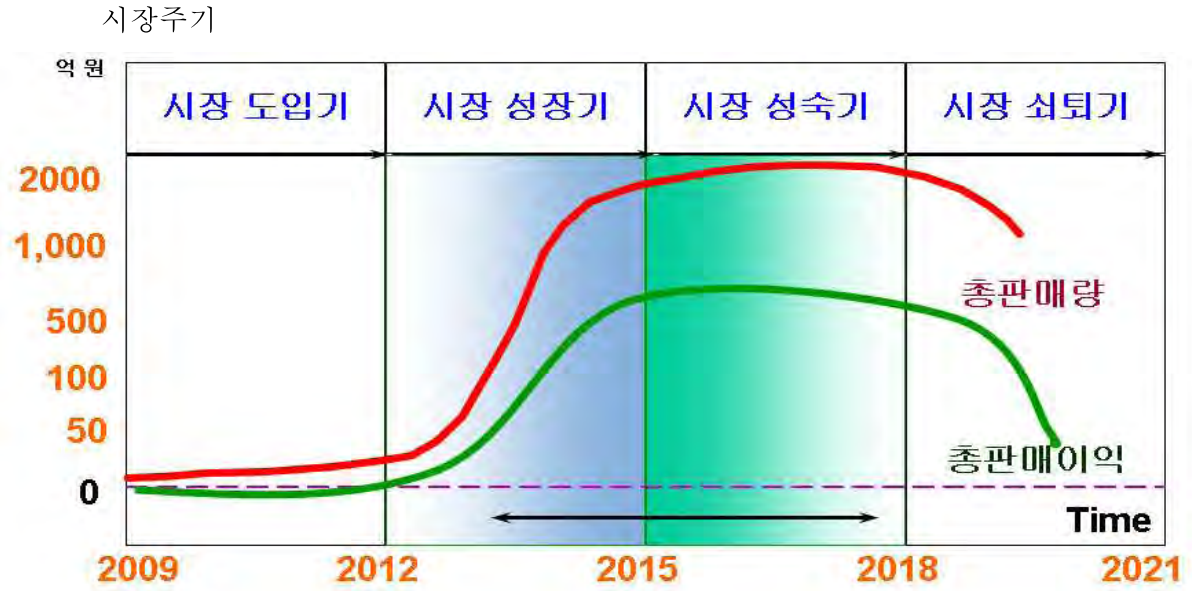
##### 가. 시장예측

###### (1) 제품별 필요성 분석

Needs	KBF(Key Buying Factor)			
	어업용	낚시용	관측용	관광용
제품특성 성능	-우수한 순간동력 -지속성 및 순간파 워 고려	- 이동성 - 항주거리	- 편리성 - 정숙성	- 안정감 - 편의성
디자인 품질	내구성/성능	- 디자인 중시 - 편의성	- 디자인 - 관측전용	
Brand 이미지	시장전체에 대한 신뢰성 감안	-기존 낚시선과 경 쟁→ 특화	- 충성도 大	- 충성도 大
이용 편리성	+	+	+	
서비스 A/S	+ (잠재시장 고려)			
신뢰관계	대	중	대	소
가 격	정부지원 → 부담완화	기존선박 고려 가격정책조정	고가정책	고가 정책
지불조건	국고보조금		지자체용	

- 신규시장창출, 기술적 한계 등을 감안, 가능하면 맞춤형 사양을 갖추고 분야별 제품으로 론칭
- 어선시장은 시장창출의 Key이므로 순간동력과 항주거리 및 해당업종의 어법의 운용이 가능하도록 우선, 도입 가능한 분야부터 진입
- 나머지 유사분야는 관측용, 수면관리용 등은 정숙성과 항주거리, 관광용은 안정성과 편의성 중심으로 제품개발
- 낚시용은 이동성과 항주거리 감안(기존제품과 경쟁치열)

(2) 시장주기 및 주기별 전략



시장주기별 전략

구분	도입기 (11-12)	성장기 (12-17)	성숙기 (16-18)	쇠퇴기 (19-21)
목 적	인지도 제고, 시장 창출 및 연착륙	MS 극대화 - Brand 충성도	시장점유율 유지 → 수익 극대화	비용지출 억제 신규 item 출시
제 품	전기어선 개발 및 기본품질 제공	제품확장 서비스 및 품질 보증	Brand/Model의 다양화	취약Item 퇴출 신규 진입
가 격	원가+기본미진	시장 침투가격	경쟁자 필적 가격 (최고가 유지)	가격조정(↓)
유 통	전기어선협회 지자체	전기어선협회	-	-
광고PR	초기 수용자 및 판매자 인지도 제고 시장창출 (중앙정부)	제품 표준화 충성고객이외 경쟁 고객 대상	Brand 차별화 구매자극 판촉 (지방비 확보)	충성도 유지 → 비용지출 감소

나. 매출액 추정

(1) 국내

내수시장별 특성

- 재정자립도, 어선세력 및 업종별 형태를 기준



□ 전남도 (어선 24,604, 양식장 관리선 4,772, 낚시441)

특 징	최다의 어선보유, 낮은 재정자립, 접근 포인트 : 도<시군구 파워 ★ 완도군(양식장 최다)를 안테나 시장으로 활용
제 품	보유업종 다양 / 양식어업, 어선어업분포 파악 대응
시장접근	시범사업 : 지원 모델 표준화(규격, 사양) → 사업집행지침서 반영 민간자율 - 민간시장 : 레저용 시장분리
경쟁자	기존어선조선소, 선외기(수입업체)
시사점	낮은 재정자립(지방비 부담완화노력) 고려, 국고지원 비중확대 / 레저용과 어업용 분리 대표어업용 어선 개발(호환성)/ 정확한 시장조사 대응

□ 경남도(어선 10,136, 양식장 관리선 853, 낚시609)

특 징	타지역 비해 우수한 재정능력, 도(광역권의 파워 → 시·군·구 통제 가능) ❖ 타시도의 시범사례로 작용(안테나 시장으로 활용)
제 품	어선용, 레저용 등의 수요자 충족, 어선용 - 대표적 어업감안 접근
시장정보	○ 시범사업 : 지원 모델 표준화(사업집행지침) → 광역도 중심의 인식확산 유대강화 ○ 민간시장 : 레저용 별도 개발(낚시, 관찰용)
경쟁자	○ 기존조선소 ○ 선외기 업체
시사점	○ 재정 및 관리능력,고려, 광역시도 중심의 접근 ○ / 어선용과 레저용 분리 Approach

□ 서해안 (어선 7,786, 양식장 관리선 991, 낚시1,460)

특징	○ 조업환경(갯벌, 조수간만)이 다름 ○ 경기: 재정자립우수, 충남·전북: 광역시도관리능력 ★ 경기도를 안테나 시장으로 활용 ○ 수도권 입지(관광수요, 상수원 관리선 등)
제품	○ 업종과 해양환경(갯벌)에 따른 제품개발 ○ 수도권 입지 → 레저용, 상수원 관리용 사양 별도개발
시장정보	시범사업: 지원 모델 표준화(규격, 사양) → 사업집행지침서 민간자율 - 민간시장: 레저용/ 상수원 시장
경쟁자	상수원관리자(환경부, 수자원공사, 농진공 등)
시사점	○ 수도권 접근성 감안 → 어선용과 레저용 분리 개발 ○ 갯벌, 철새 관찰용 등 맞춤형 제품 개발

□ 동해안(어선 4,435, 양식장 관리선 67, 낚시497)

특징	○ 재정자립도 저조(울산 우수), 도 단위의 관리능력 ★울산시를 안테나 시장으로 활용(집중) ○ 수심, 해안선 특성 → 감안
제품	○ 동해안 조업의 특성(정치망, 양식장 관리선 집중) ○ 수도권의 접근성 고려(여름피서)
시장정보	○ 울산: 태화강, 고래관광, 정치망 관리선 ○ 시범사업: 지원 모델 표준화 ○ 민간자율
경쟁자	기존어선조선소, 선외기(수입업체)
시사점	3톤급 이상이 필요한 해역임.

연도별 매출액 추정

년도	2012년	2013년	2014년	2015년	이후	비고
예상 매출액	20억원	200억원	350억원	500억원	500억원 이상	

# 2015년 이후에는 현재 보급 계획 물량의 20%(6천억원) 중에서 매년 10% 보급하는 것으로 추정(Hull 제외)

## (2) 국외

국내시장의 50배정도로 추정하며 가장 매력적인 시장은 인도네시아로 파악하고 있다.

# 제 3 장 1차년도 결과

## 제1절 선형개발과 성능해석

### 1. 대상선박

기존의 연안어선들은 경험에 의하여 설계/건조되어진 관계로 그 유체역학적인 자세한 성능 분석은 이루어지지 못한 실정이다. 따라서 기존어선을 전기추진용 어선으로 사용하기 위해서는 유체역학적인 성능을 분석하여야 한다. 대상으로 하는 어선은 낚지잡이 어선, 어장 관리선, 유어선 등을 선정하였다.

현재 서남해안 연안지역에서 널리 사용되고 있는 1톤급 낚지잡이 어선의 기본성능을 전산유체역학(CFD)과 모형시험을 통하여 분석하고, 성능개선을 위한 방안을 수립하였다. 대상선박의 주요제원은 Table 3.1.1과 같고, 기본 형상은 Fig. 3.1.1과 같다.

Table 3.1.1 1톤급 낚지잡이 어선의 주요제원

Items	Dimensions	
	Full load	Light weight
Lpp (m)	7.2	
Lwl (m)	7.2	
B (m)	1.8	
D (m)	0.8	
dm (m)	0.28	0.19
△(ton)	2.500	1.800

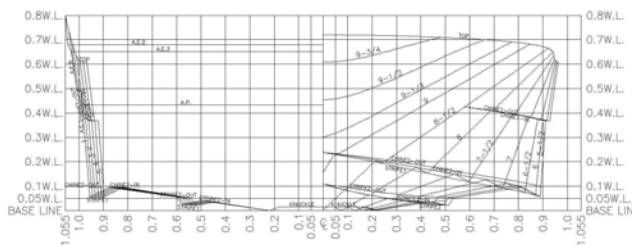


Fig. 3.1.1 1톤급 낚지잡이 어선의 Lines

### 2. 모형시험

기존의 서남해안 1톤급 낚지잡이 어선(L=7.2m, G/T 1톤)의 유체역학적인 성능을 파악하기

위하여 서일본유체기술연구소 회류수조에서 모형시험을 수행하였다. 만재상태와 경하상태에서 저항시험(3~10노트)을 수행하였고, 초기트림 변화에 따른 성능을 분석하였다. Froude의 비교법칙을 이용하여 실선의 유효마력 및 전달마력을 추정하였다.

기존 1톤급 어선의 경우, 만재상태에서 설계속도 5노트를 위하여 약 3Kw 정도의 마력이 필요할 것으로 추정된다.

설계속도인 5노트 이상에서는 선수에 강한 쇄파현상이 나타나고 있는데, 이는 Froude 수가 0.4 이상이 되면서 나타나는 피할 수 없는 현상이라고 보인다. 속도가 점차 증가하면서 선미트림이 발생하면서 선미좌파가 함께 커지고 있다. 이러한 선수쇄파를 줄이기 위하여 강제로 초기트림을 선미에 주었을 경우 선수쇄파가 크게 감소하면서 성능이 개선된다.

경하상태에서는 만재상태에서 보이는 선수쇄파가 크게 줄어들고 있다. 이는 선수 수선면 각도가 만재상태에 비하여 크게 줄었기 때문이다. 경하상태에서도 선미트림을 주었을 경우 성능이 개선되고는 있으나, 만재상태에 비하여 크지는 않다.

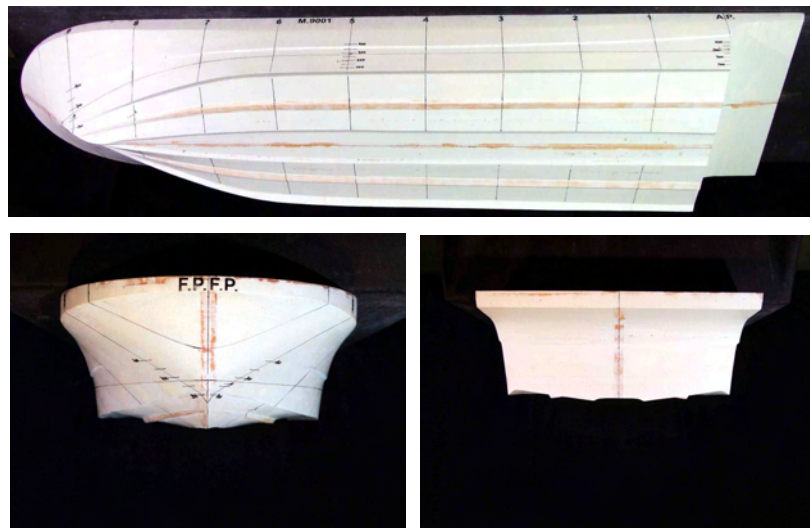


Fig. 3.1.2 1톤급 낚지잡이 어선의 시험모형

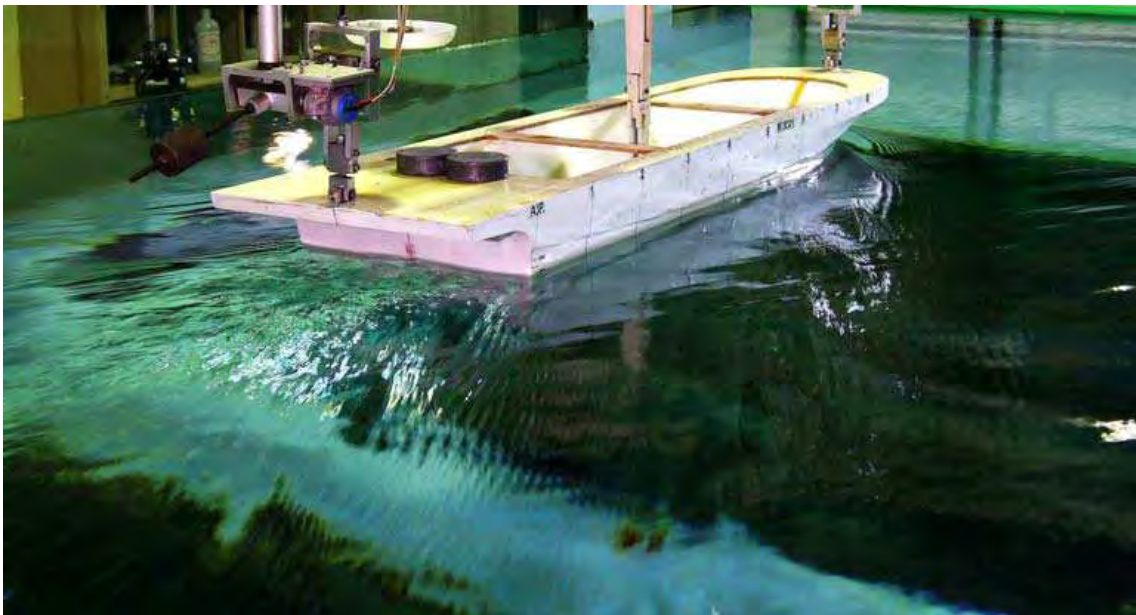


Fig. 3.1.3 Full load condition,  $V_s=3$  knots,  $F_n=0.184$

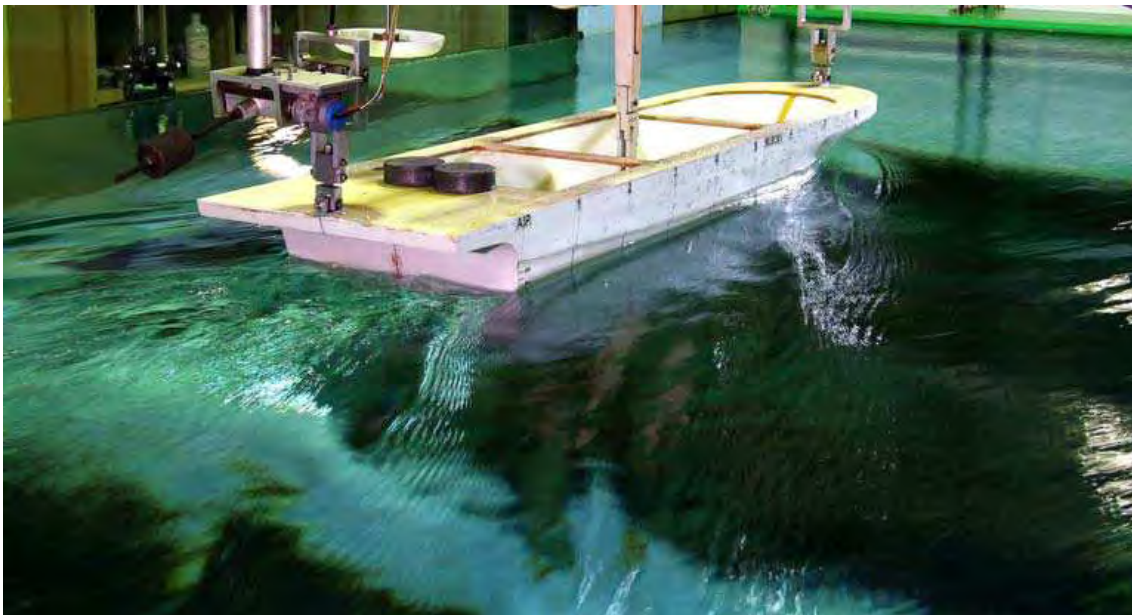


Fig. 3.1.4 Full load condition,  $V_s=4$  knots,  $F_n=0.245$

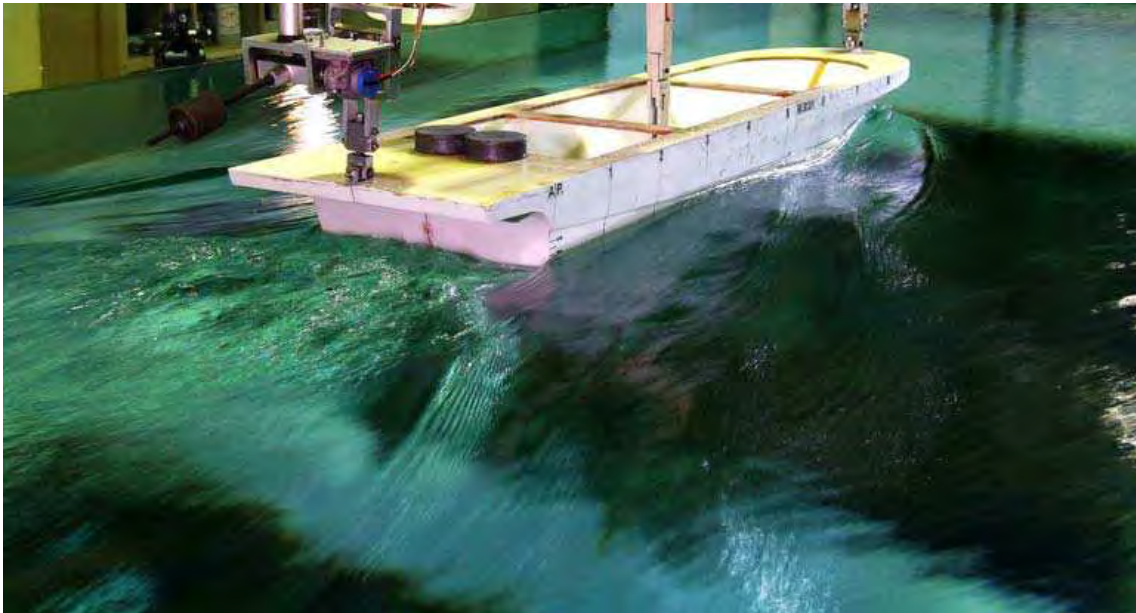


Fig. 3.1.5 Full load condition,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.306$

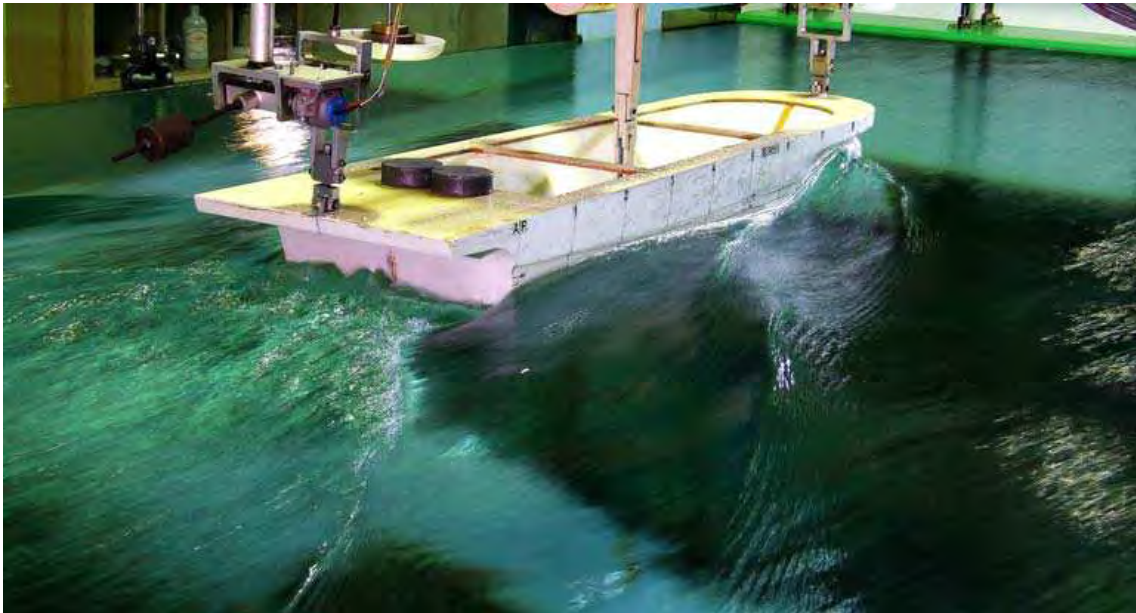


Fig. 3.1.6 Full load condition,  $V_s=6$  knots,  $F_n=0.368$



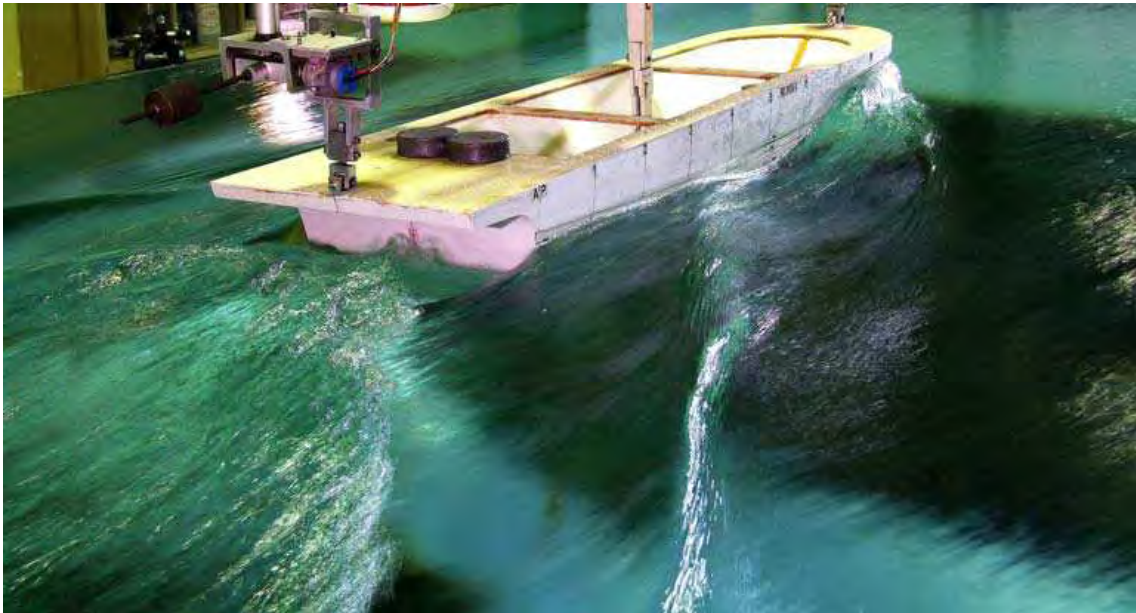


Fig. 3.1.7 Full load condition,  $V_s=7$  knots,  $F_n=0.429$

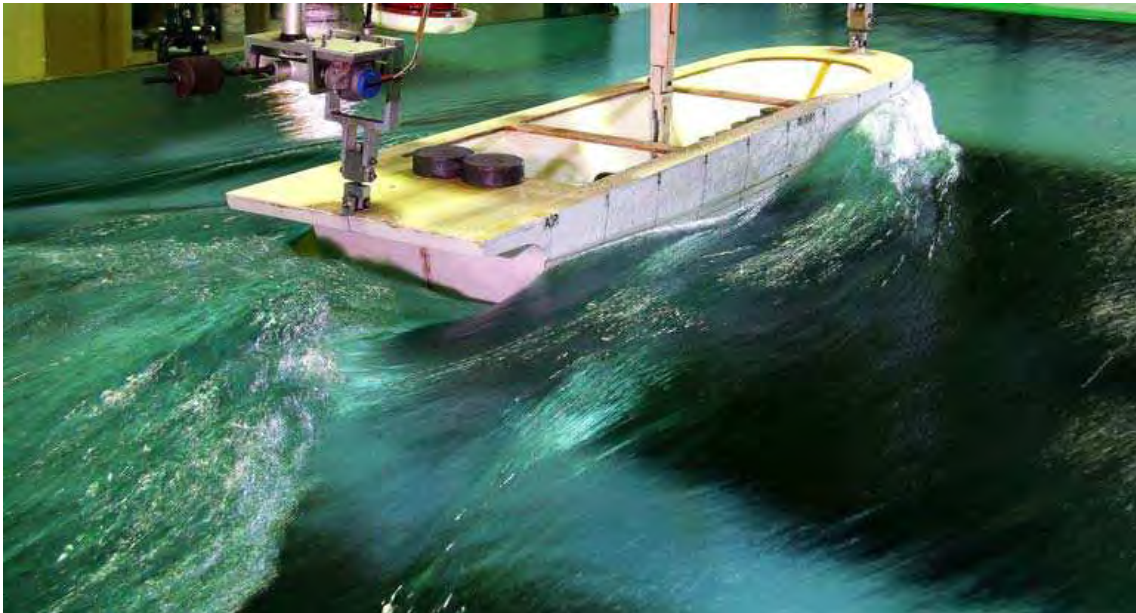
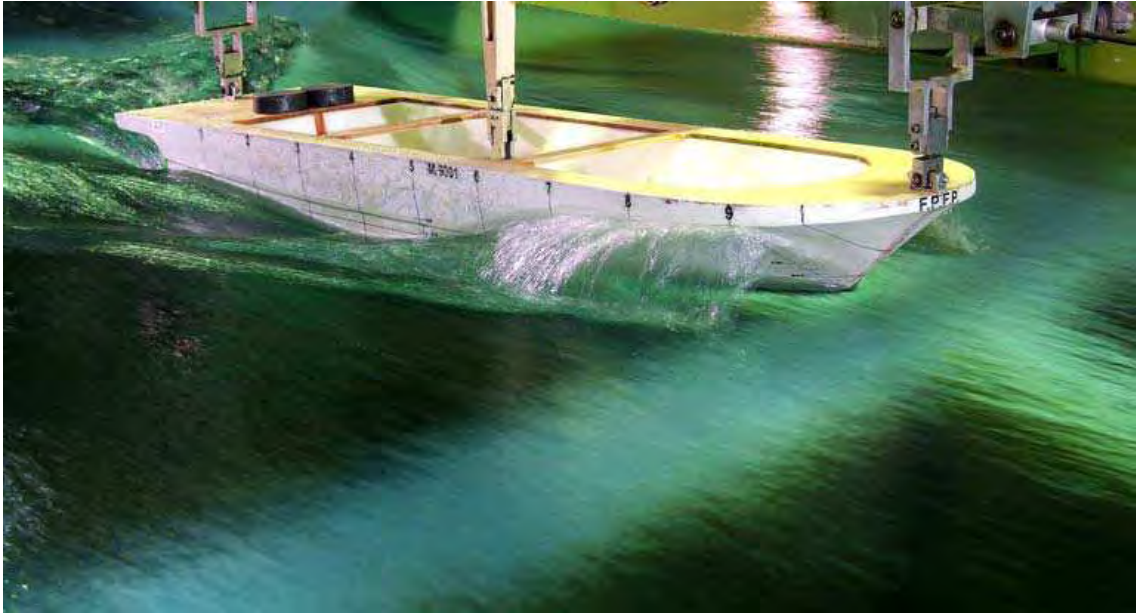


Fig. 3.1.8 Full load condition,  $V_s=8$  knots,  $Fn=0.490$

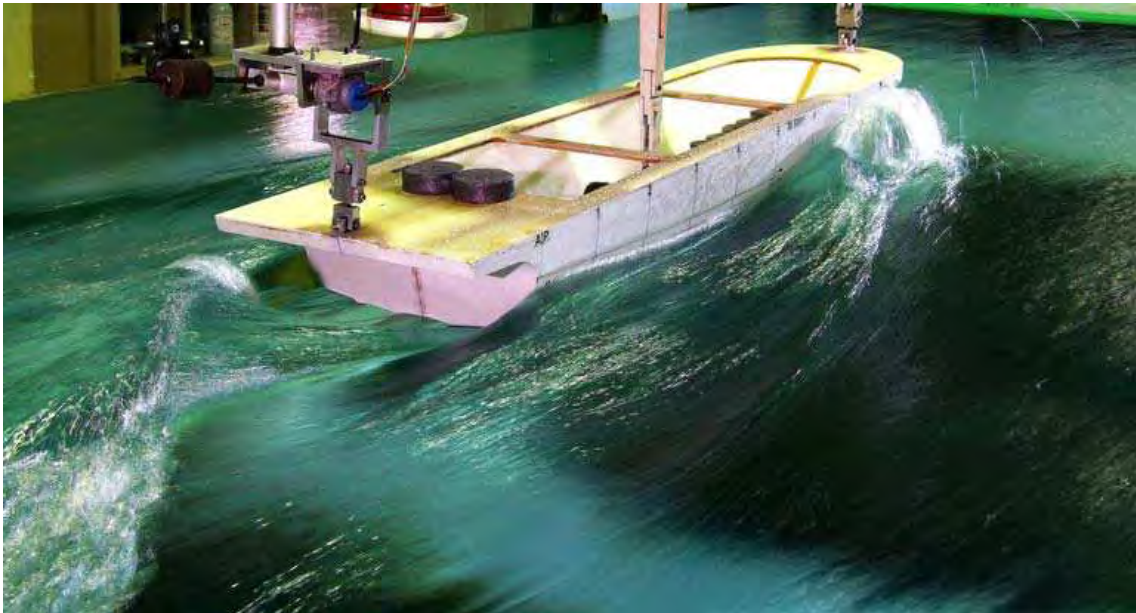


Fig. 3.1.9 Full load condition,  $V_s=9$  knots,  $F_n=0.551$

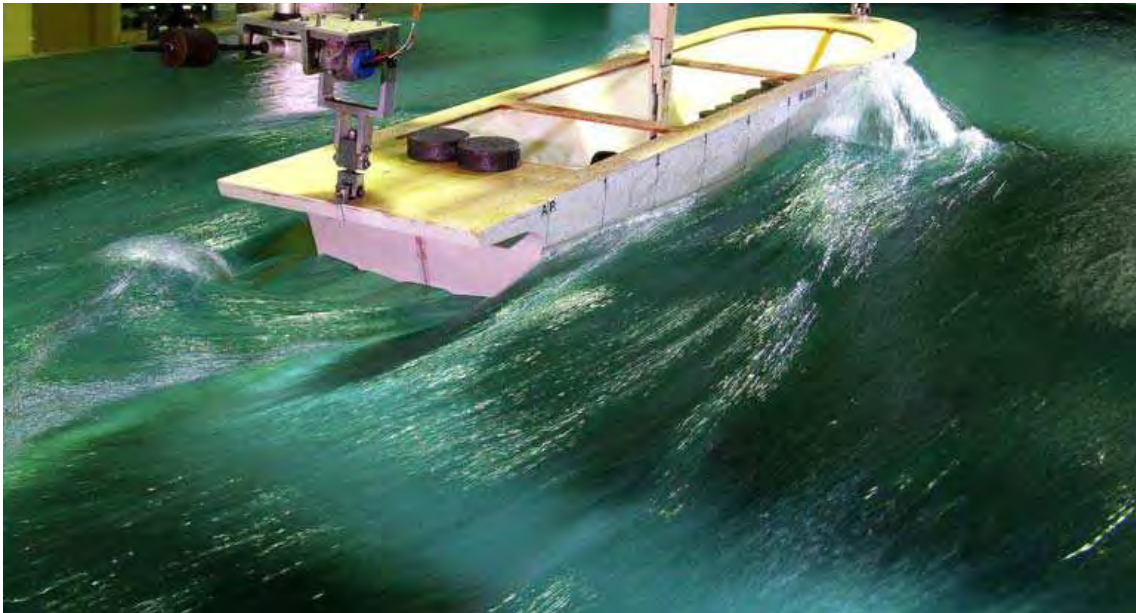


Fig. 3.1.10 Full load condition,  $V_s=10$  knots,  $F_n=0.612$



Fig. 3.1.11 Full load condition, Initial trim  $-0.2\text{m}$ ,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.306$

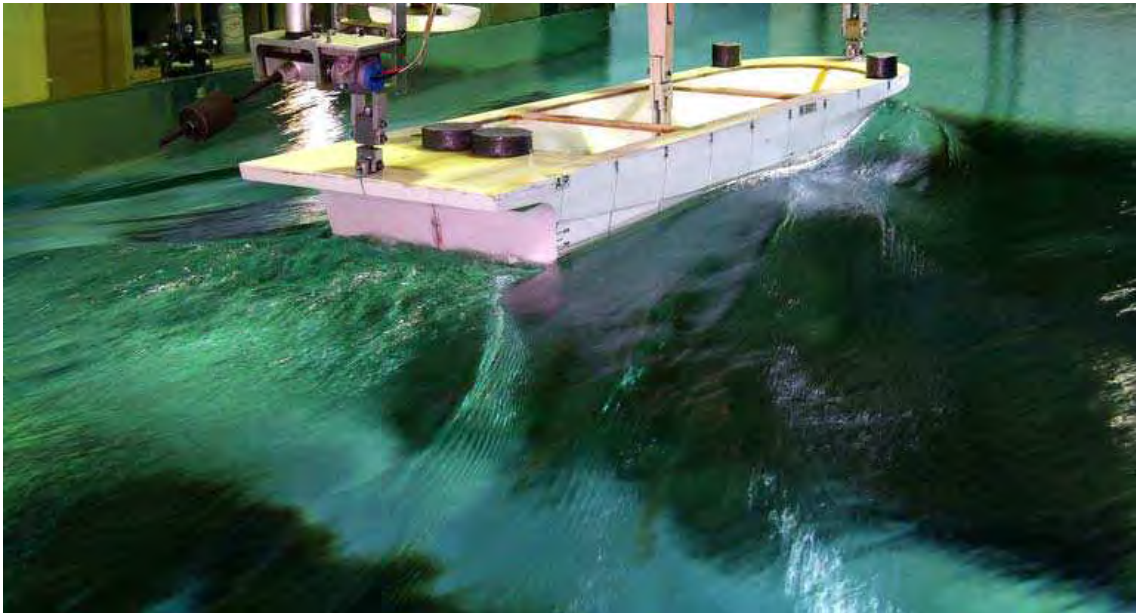


Fig. 3.1.12 Full load condition, Initial trim  $-0.1\text{m}$ ,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.306$

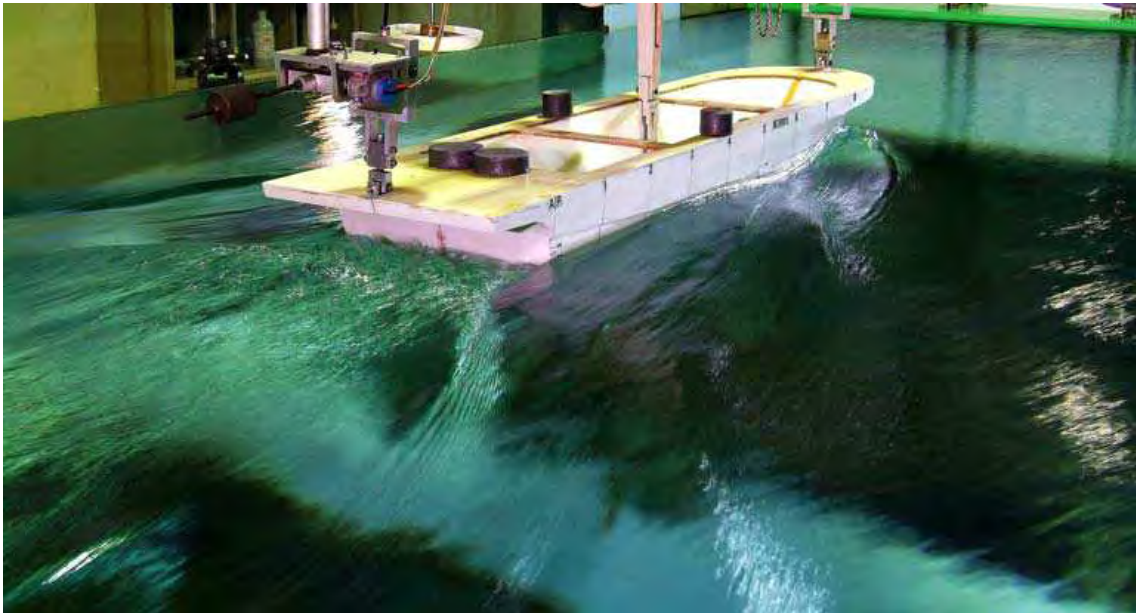


Fig. 3.1.13 Full load condition, Initial trim +0.1m,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.306$

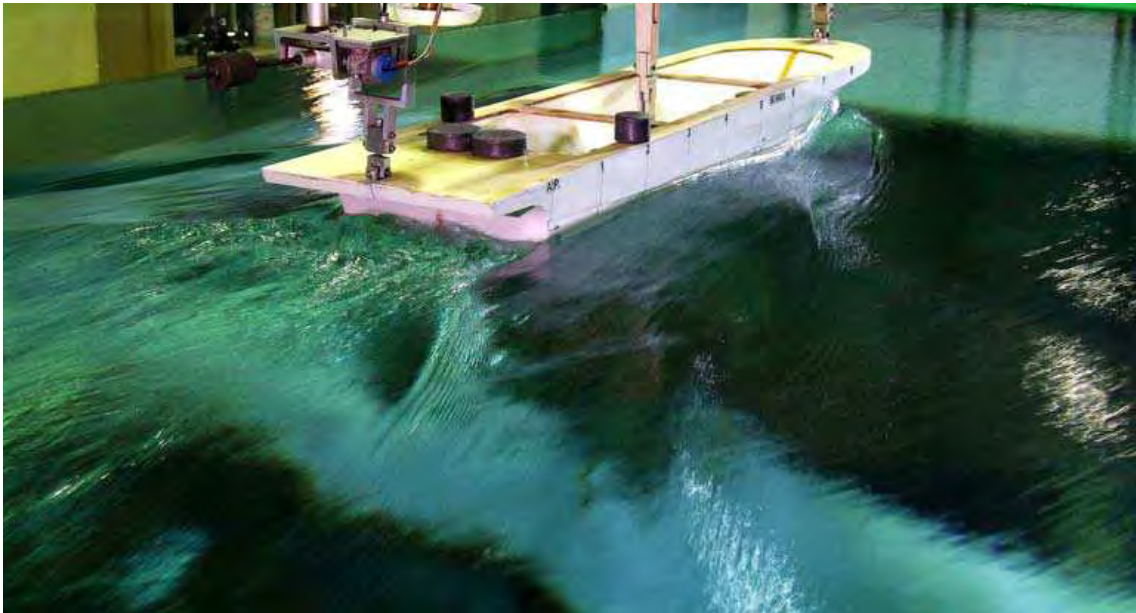


Fig. 3.1.14 Full load condition, Initial trim +0.2m,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.306$



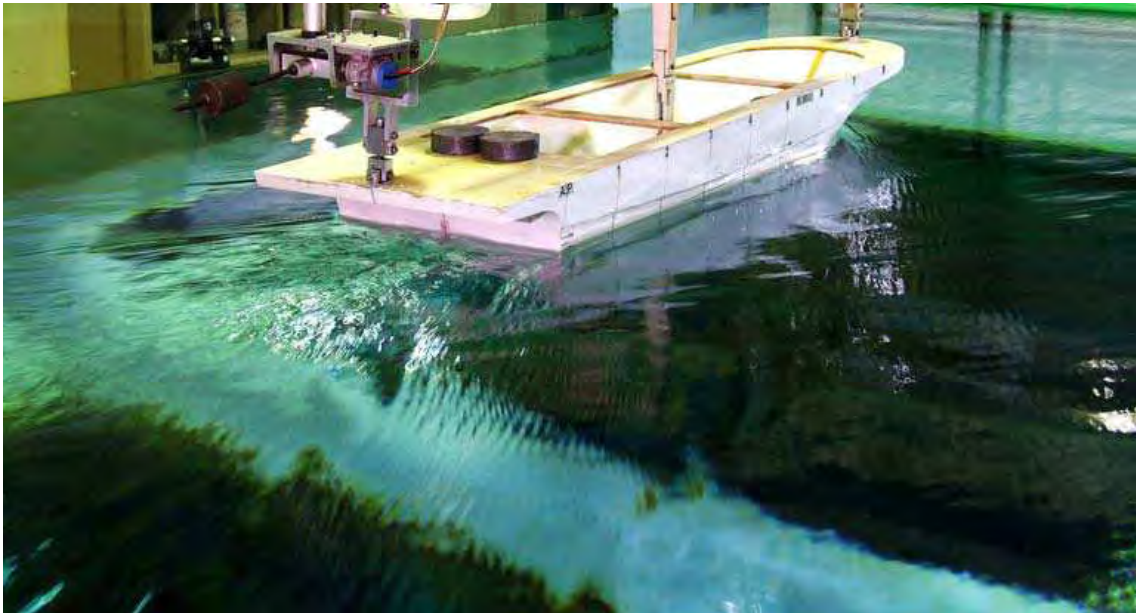


Fig. 3.1.15 Light weight condition,  $V_s=3$  knots,  $Fn=0.184$

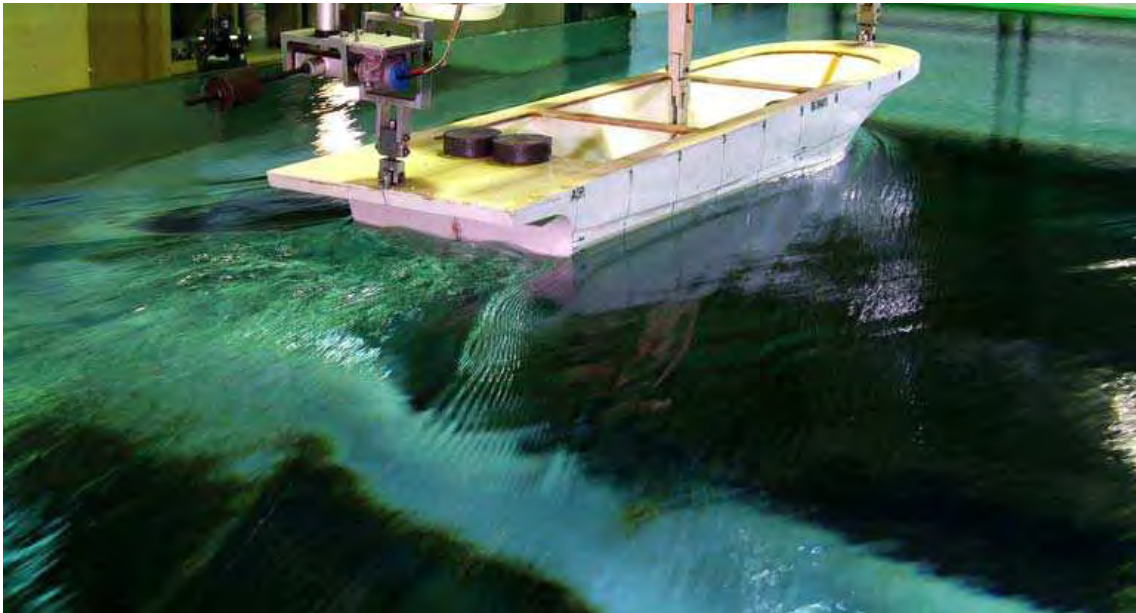


Fig. 3.1.16 Light weight condition,  $V_s=4$  knots,  $Fn=0.245$

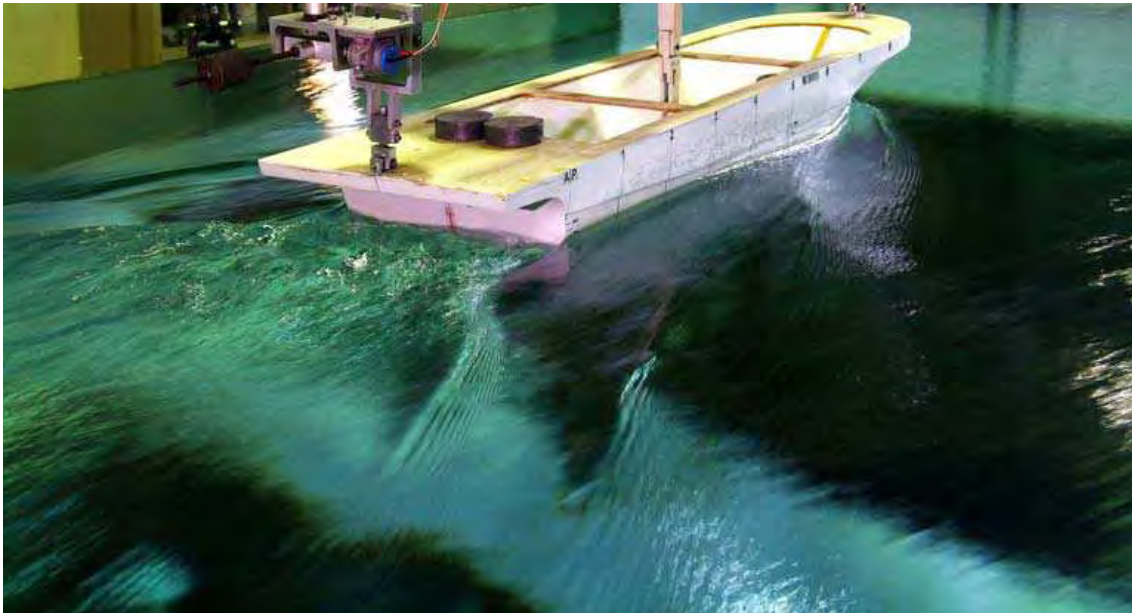


Fig. 3.1.17 Light weight condition,  $V_s=5$  knots,  $Fn=0.306$

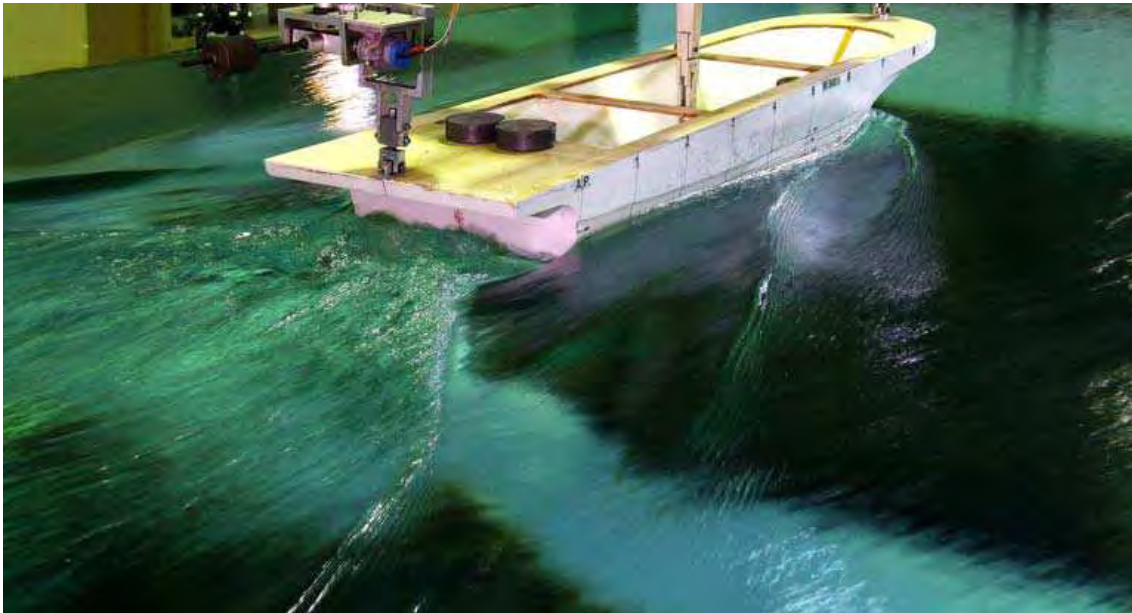


Fig. 3.1.18 Light weight condition,  $V_s=6$  knots,  $Fn=0.368$



Fig. 3.1.19 Light weight condition,  $V_s=7$  knots,  $Fn=0.429$

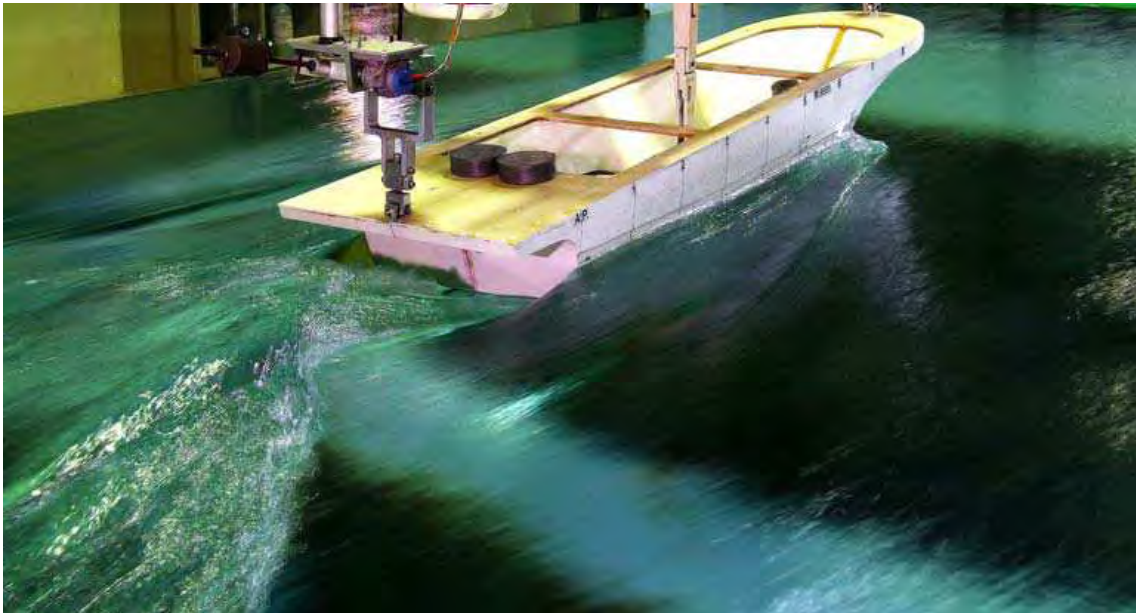


Fig. 3.1.20 Light weight condition,  $V_s=8$  knots,  $Fn=0.490$



Fig. 3.1.21 Light weight condition,  $V_s=9$  knots,  $Fn=0.551$

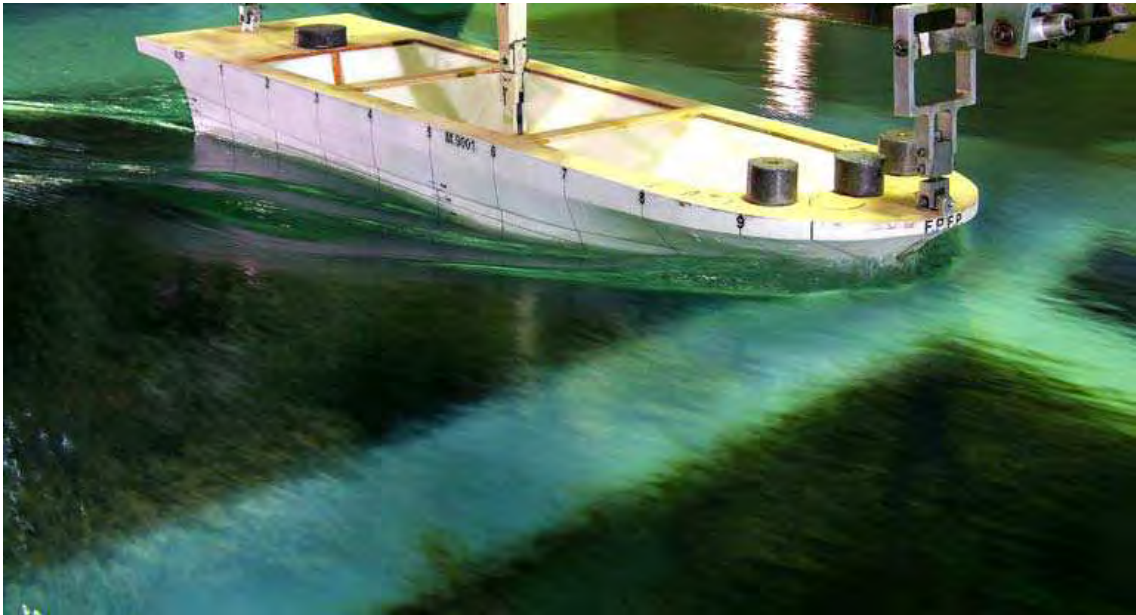


Fig. 3.1.22 Light weight condition, Initial trim  $-0.2\text{m}$ ,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.306$



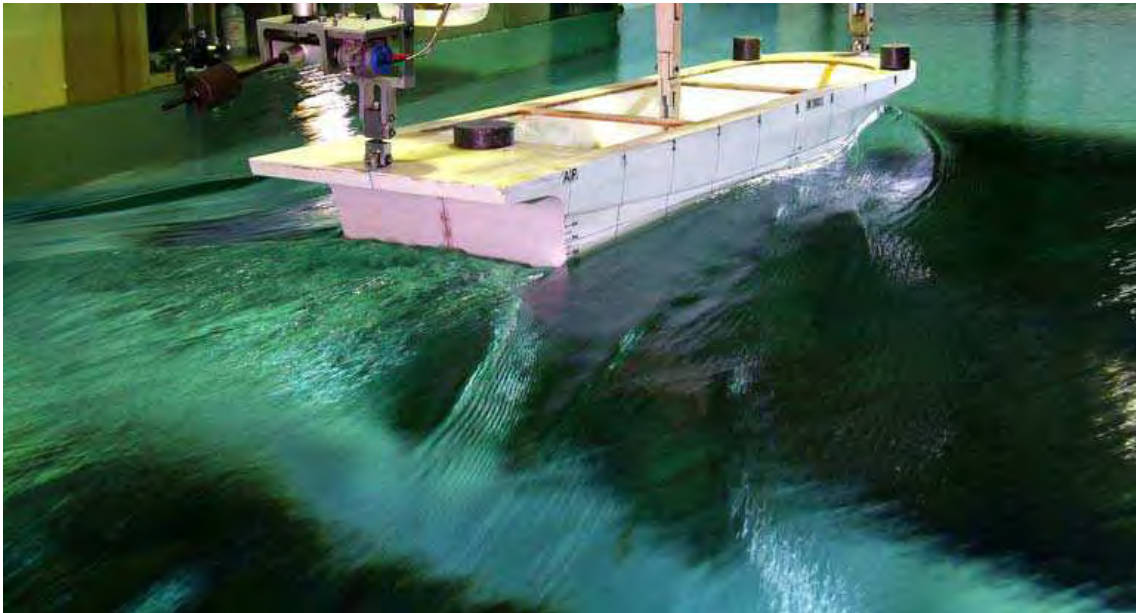


Fig. 3.1.23 Light weight condition, Initial trim  $-0.1\text{m}$ ,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.306$

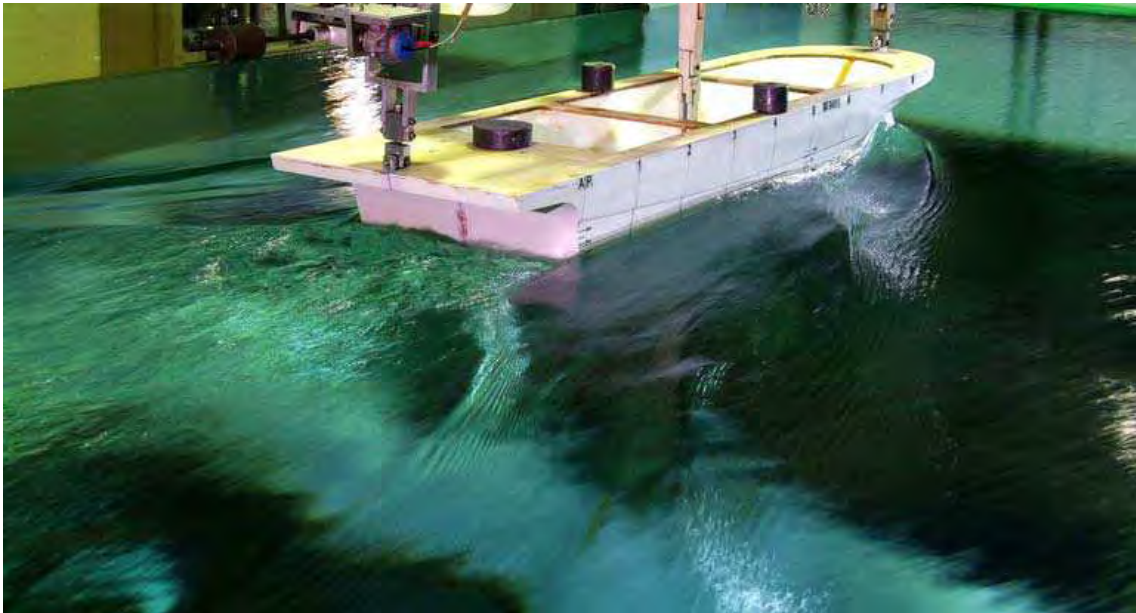


Fig. 3.1.24 Light weight condition, Initial trim +0.1m,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.306$

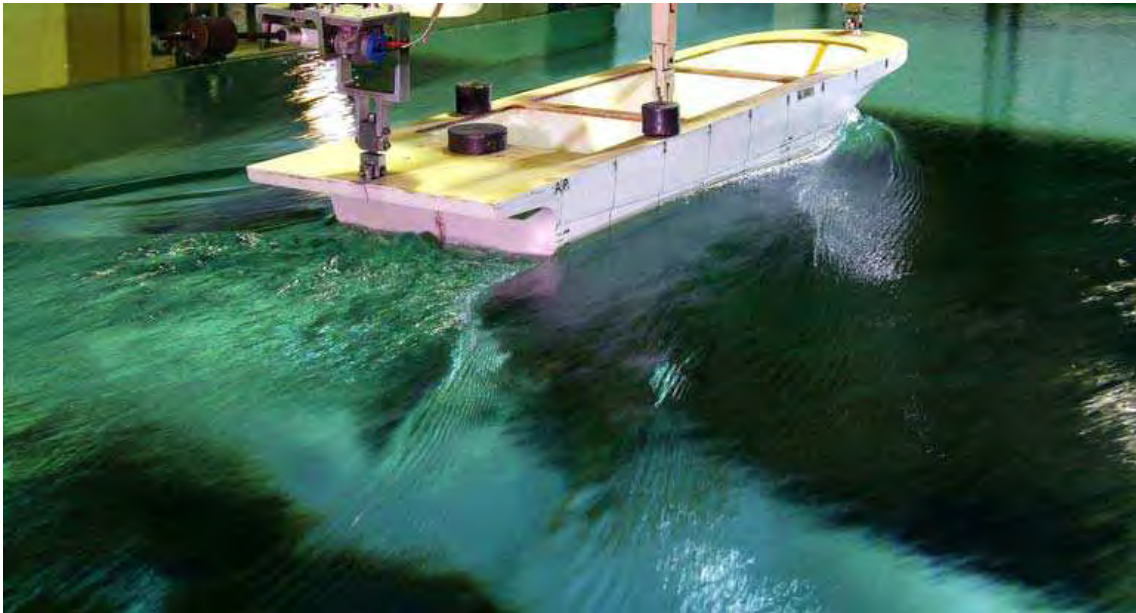


Fig. 3.1.25 Light weight condition, Initial trim +0.2m,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.306$



Fig. 3.1.26 Light weight condition, Initial trim +0.3m,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.306$

RESISTANCE TEST RESULT -TOTAL RESISTANCE COEFFICIENT-  
M.S.No.9001 FULL LOAD (Cf:Schoenherr)

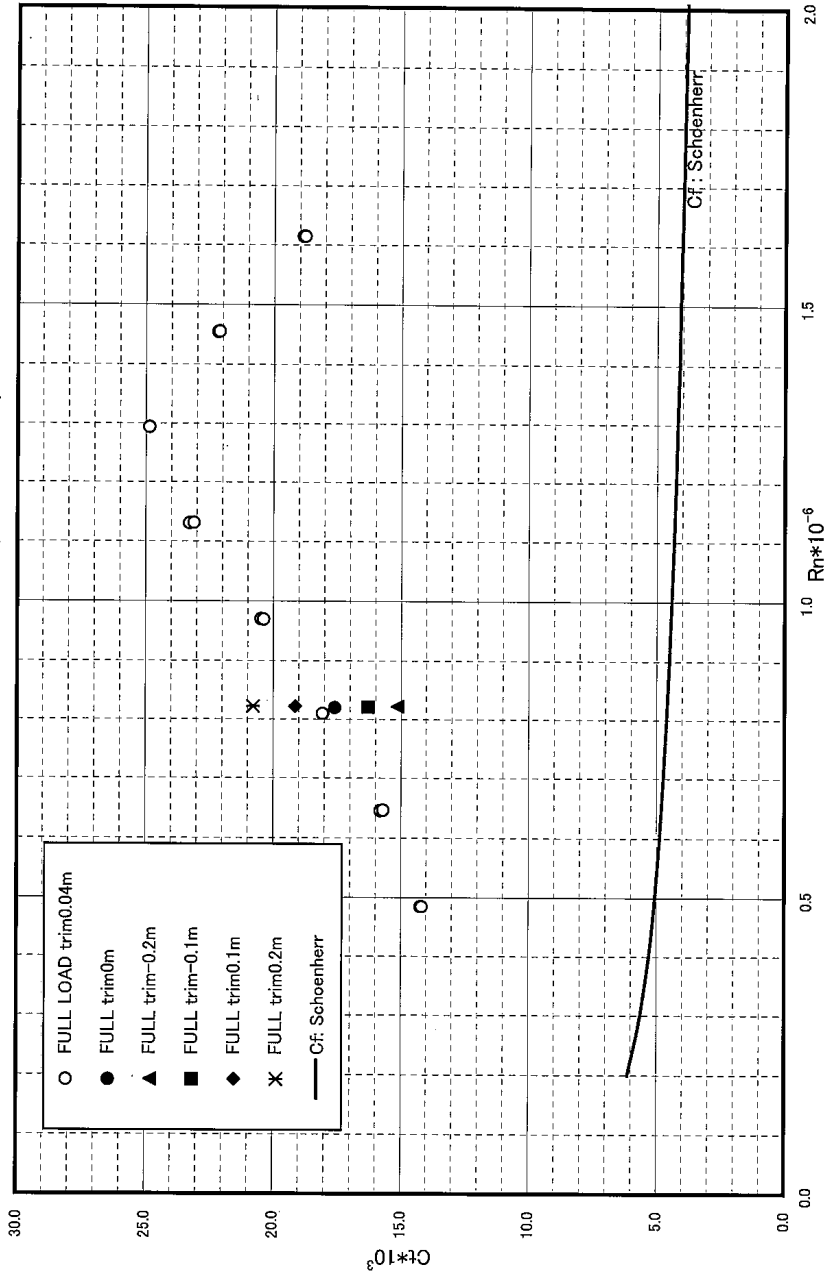


Fig. 3.1.27 Measured total resistance, Full load condition

RESISTANCE TEST RESULT -TOTAL RESISTANCE COEFFICIENT-  
M.S.No.9001 LIGHT WEIGHT (Cf:Schoenherr)

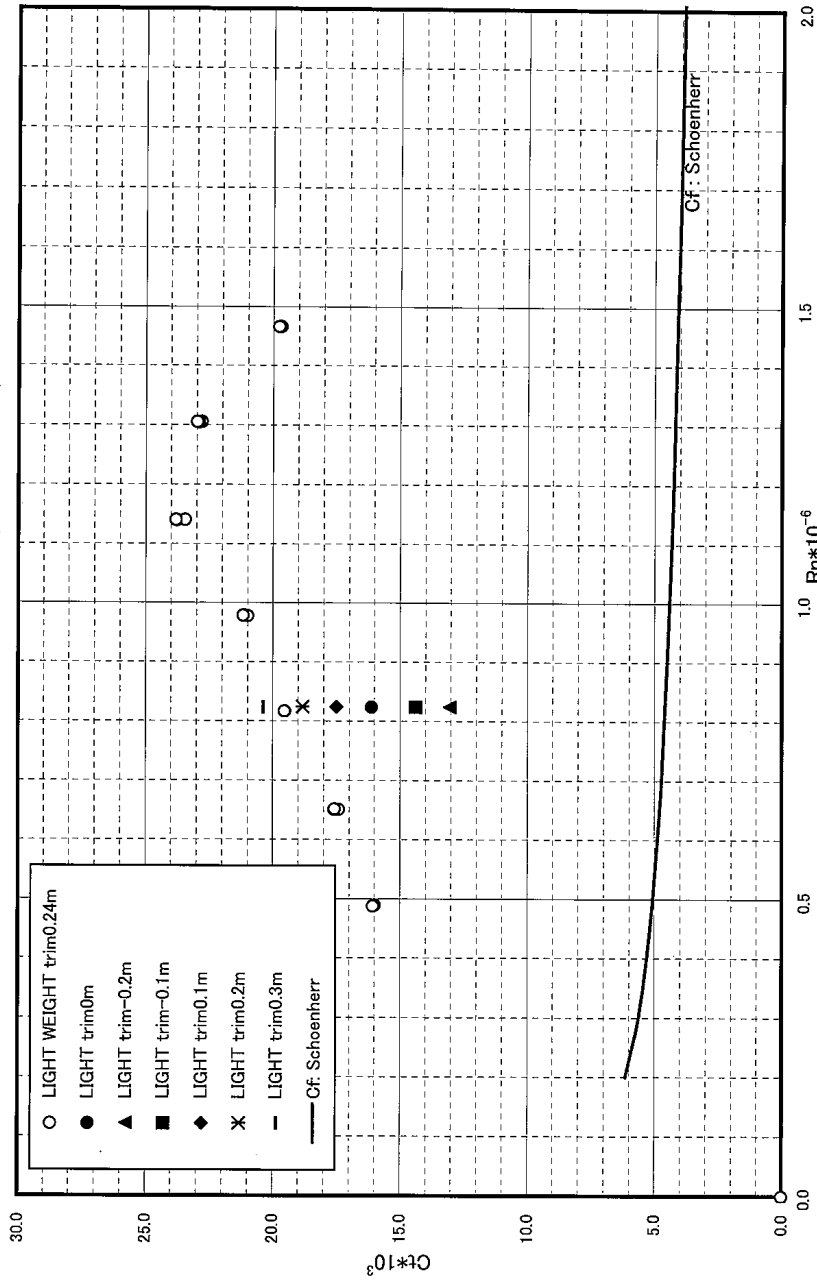


Fig. 3.1.28 Measured total resistance, Light weight condition

RESISTANCE TEST RESULT SINKAGE  
M.S.No.9001 FULL LOAD (L<sub>pp</sub>=1.0m model)

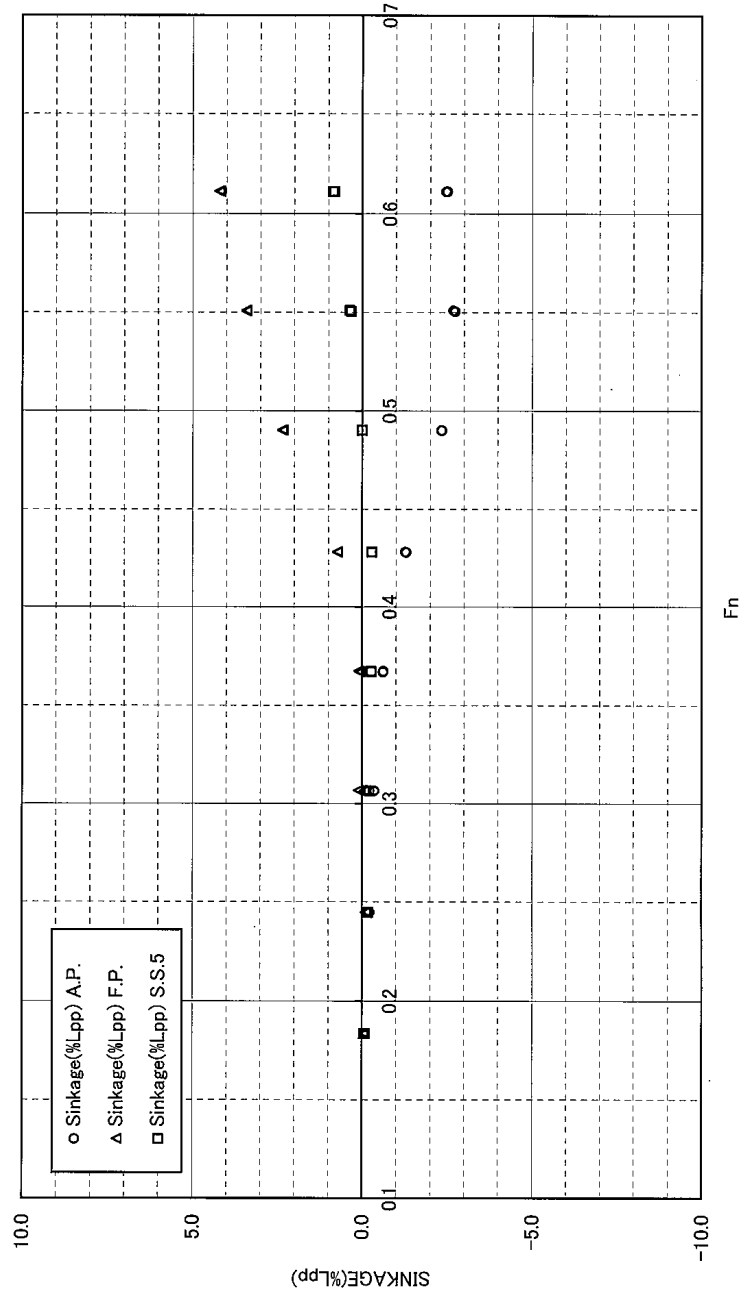


Fig. 3.1.29 Measured sinkage, Full load condition

RESISTANCE TEST RESULT SINKAGE  
M.S.No.9001 LIGHT WEIGHT ( $L_{pp}=1.0m$  model)

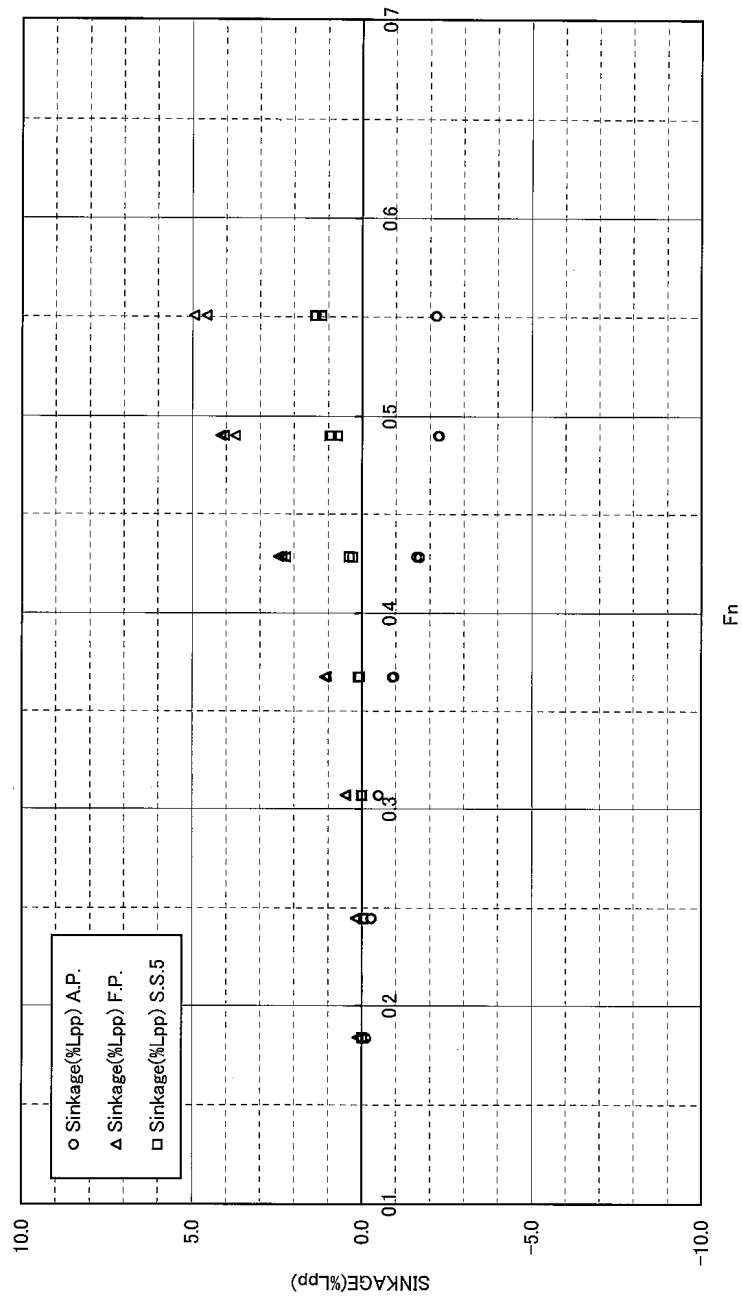


Fig. 3.1.30 Measured sinkage, Light weight condition



RESISTANCE TEST RESULT TRIM  
M.S.No.9001 FULL LOAD (Lpp=1.0m model)

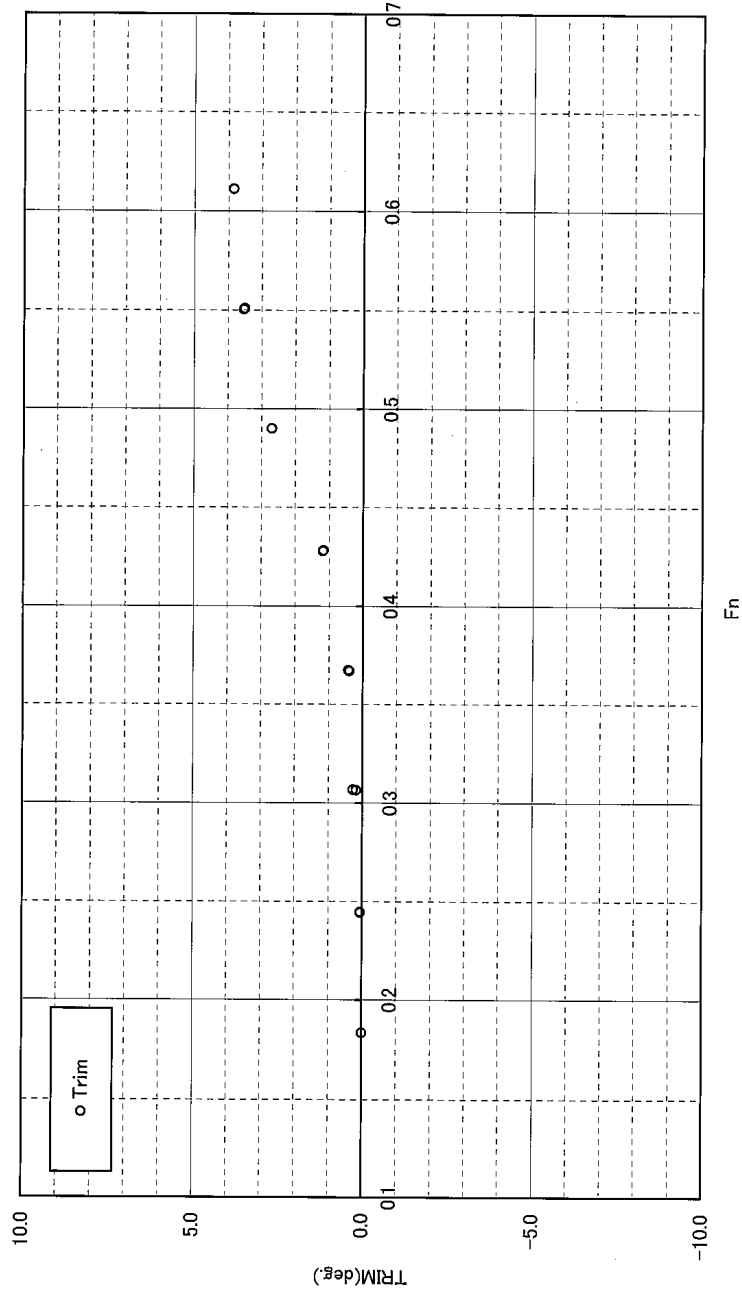


Fig. 3.1.31 Measured trim, Full load condition

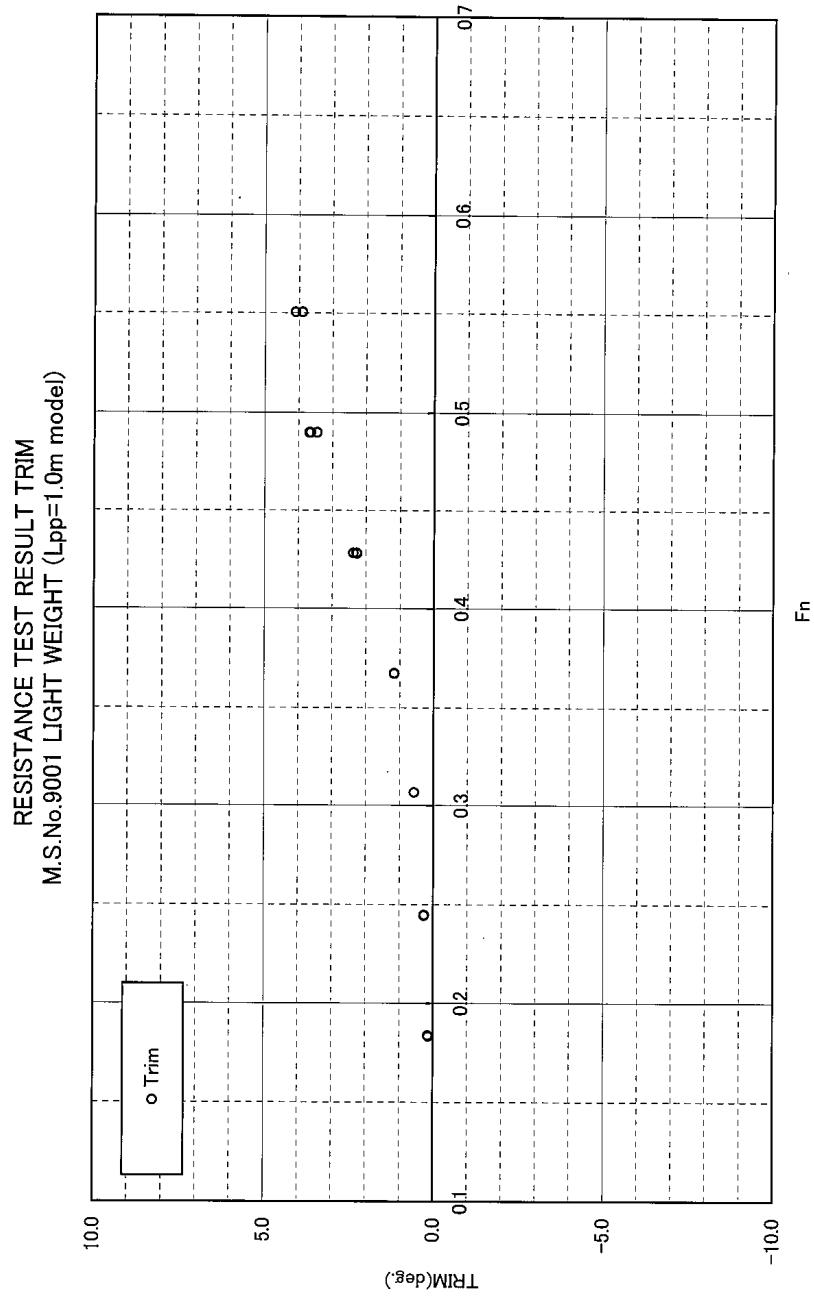


Fig. 3.1.32 Measured trim, Light weight condition

### EHP, DHP prediction

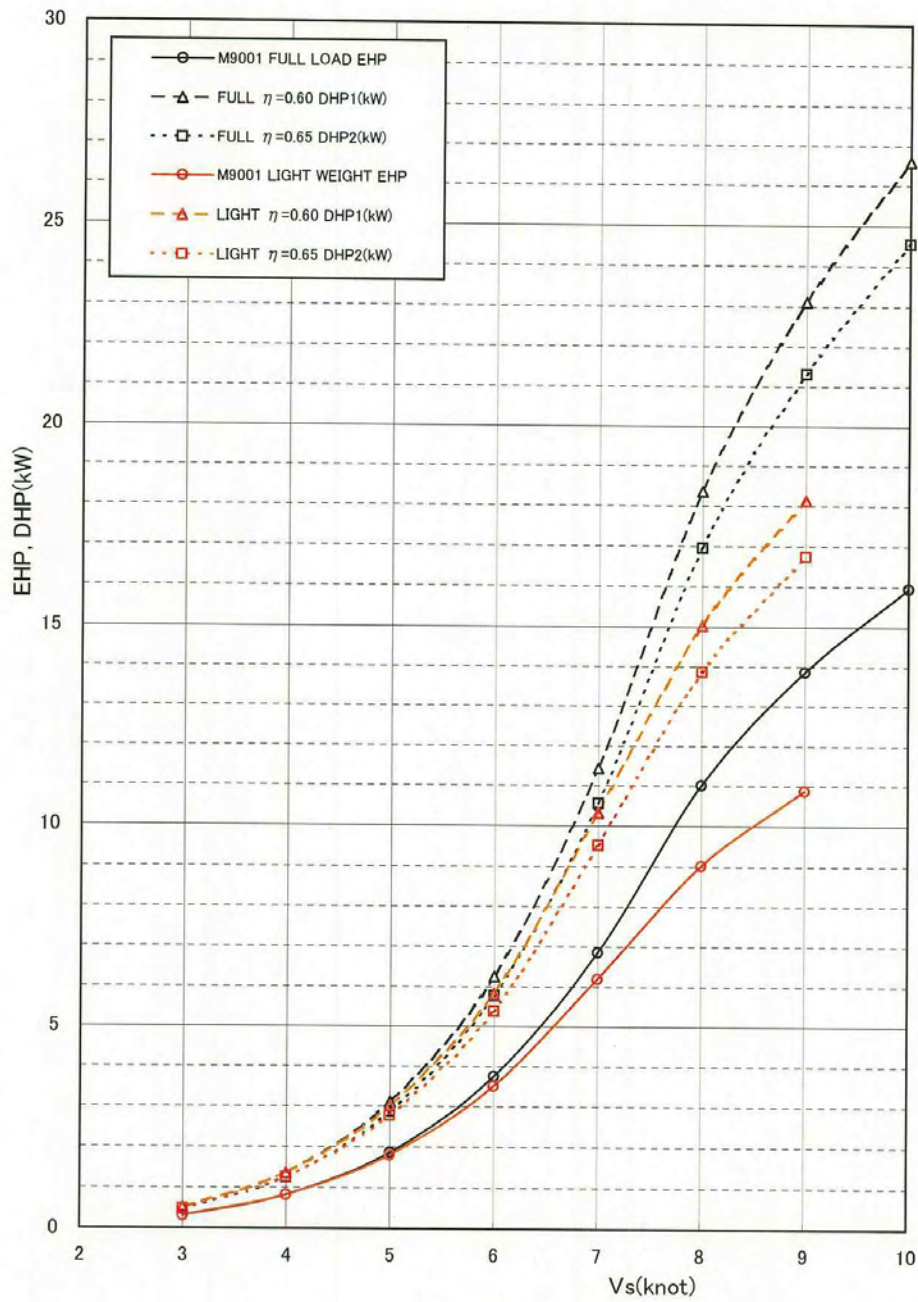
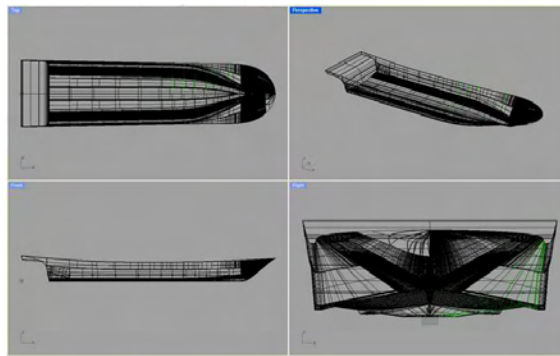


Fig. 3.1.33 Power prediction

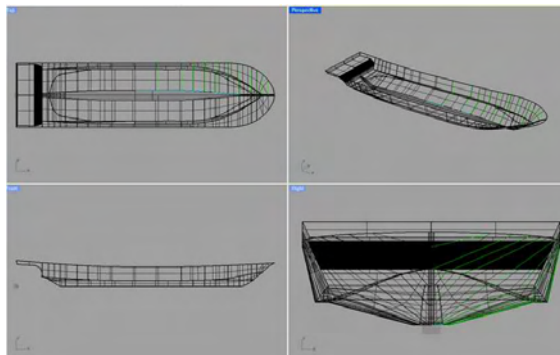
### 3. 선형수정

모형시험결과를 참고로 기존어선을 수정하여 성능개선을 시도하였다. 선형수정의 기본 방향은 선수미 선저경사각(Dead rise angle)을 크게하여 고속에서 활주상태를 유도함으로서 조파성능을 개선시키고자 하였다. 부족한 배수량은 흘수를 증가시켜서 확보하였다.

기존선형과 개량선형의 형상은 Fig. 3.1.34에 비교하여 나타내었고, 주요제원은 Table 3.1.2에 나타내었다.



< Original hull form >



< Modified hull form >

**Fig. 3.1.34 Comparison of hull form**

Table 3.1.2 Comparison of main dimensions

Main Item	초기 선형	수정 선형
L. B. P.	7.2 m	7.2 m
Depth	0.606 m	0.606 m
Breadth	2.0 m	2.0 m
Draught	0.28 m	0.33 m
Design speed	5 knots	5 knots

#### 4. 수치해석

상용 CFD Code인 FLUENT를 이용하여 기존 1톤급 어선과 개량선형에 대한 수치해석을 수행하였다. 난류유동에 대한 계산을 수행하였으며, 난류모형은 Realizable k-e 모형을 이용하였다. 속도-압력 연성은 Simple Algorithm을 이용하였고, 자유수면은 VOF 기법을 이용하여 해를 구하였다. 수치계산은 설계속도인 5노트에서 수행하였다.

계산에 사용된 격자 수는 약 1,000,000개 정도이고, 벽근처에서 첫 노드점까지의 거리는  $Y^+ < 50$  으로 하였다. 계산영역과 격자형상은 Fig. 3.1.35와 같고 경계조건을 Fig. 3.1.36에 나타내었다.

개량선형의 경우 Original 선형에 비하여 전반적인 파형이 크고, 특히 선수파가 더욱 크게 나타나고 있다. 설계속도에서 조파저항이 더욱 증가할 것으로 예상된다.

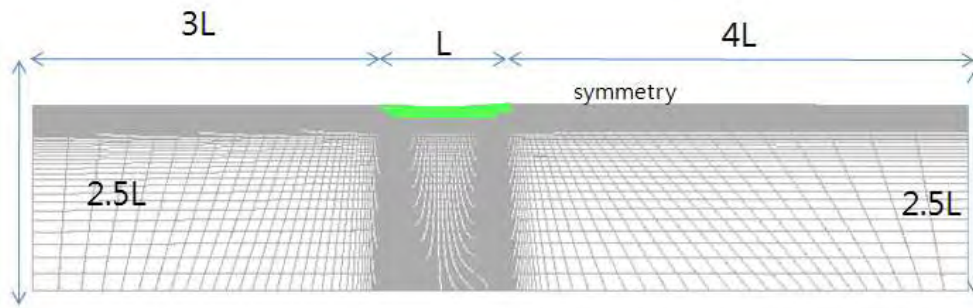


Fig. 3.1.35 계산격자와 계산영역

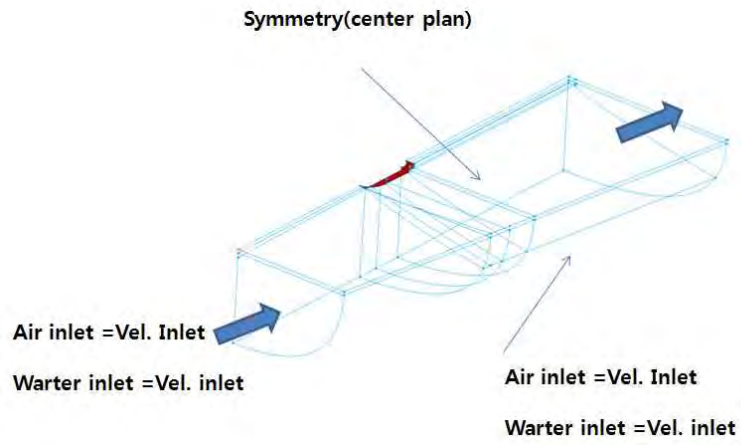
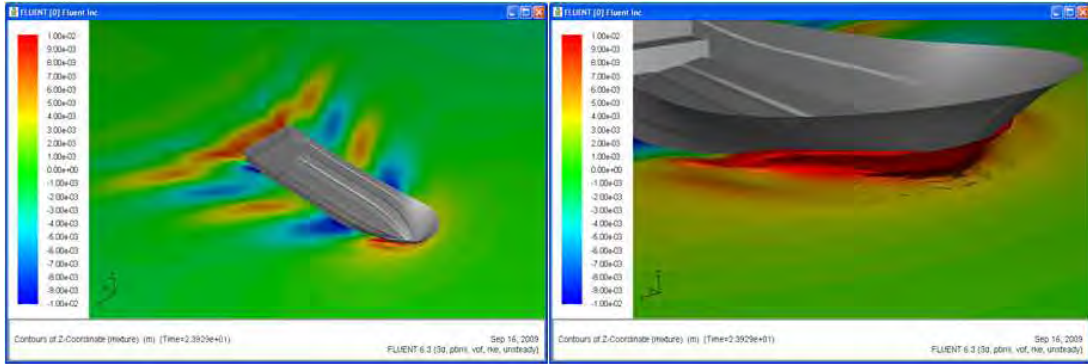
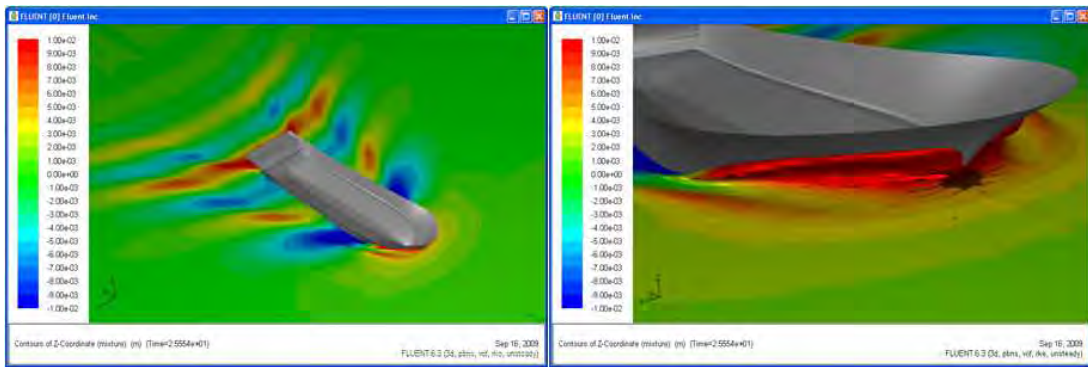


Fig. 3.1.36 Boundary conditions

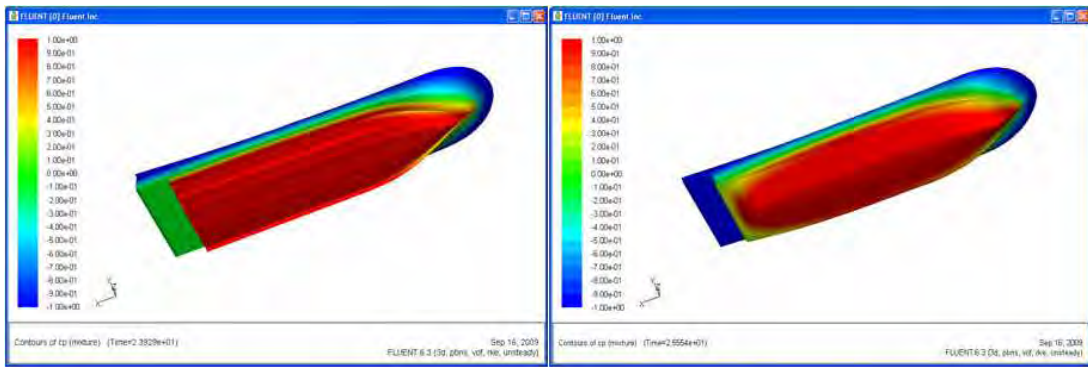


< Original hull >



< Modified hull >

Fig. 3.1.37 Simulated wave patterns, V=5knots



< Original hull >

< Modified hull >

Fig. 3.1.38 Simulated pressure distribution on hull surface, V=5knots

## 제2절 구조해석

어선의 경쟁력 강화 및 차세대 에너지 활용 관련하여 개발되고 있는 전기 추진 어선에 대한 구조 강도 검토를 수행하였다. 본 장에서는 전기추진 어선의 구조설계를 위한 기본 하중 계

산 결과를 정리하였다. 한국선급 및 선박검사기술공단의 규칙에는 하중 등에 대한 정의가 불분명하여 독일선급의 소형선 규칙을 사용하여 수행하였다. 우선 선박에 작용하는 종방향 전단력 및 수직 굽힘 모멘트를 구하였고, 수직 가속도 그리고 선저에 작용하는 슬래밍 압력을 구하여 선체부재 치수 산정을 위한 기초 자료를 구축하였다. 소형선에서는 큰 차인으로 인한 충격하중이 매우 크므로, 구조 설계시 반영해야 한다. 충격하중은 선저형상 및 위치 그리고 판의 aspect ratio 등에 많은 차이가 있다. 개발 중인 전기추진 어선의 경우 초기 개발 선형과 수정 선형에 대해 구조 하중을 산정하여 비교하였다.

전기 추진 어선의 주요 요목은 앞의 Table 3.1.2와 같으며 구조 설계시 필요한 재원은 Table 3.2.1에 나타내었다. Table 3.1.2의 자료는 주로 하중산정에 사용하였으며, Table 3.2.1의 자료는 충격하중 산정에 사용되었다.

**Table 3.2.1 구조설계를 위한 데이터**

Item	초기 선형	수정 선형
Block coefficient ( $C_B$ )	0.662	0.53
Deadrise at LCG	10.0 Degree	15.5 Degree
Trim angle	0.0 Degree	0.0 Degree
Displacement	2.50 Ton	2.35 Ton
Breadth at design draught	1.828 m	1.870 m

## 1. 가속도

수직 가속도는 선박이 운항하는 해역에 따라 Smooth sea, Restricted sea, Moderate sea, Open sea 로 분류하여 고려할 수 있으며 본 선박의 경우 연안구역의 매우 좋은 해상상태에서 운항하므로 Smooth condition을 사용해도 무방할 것으로 생각되어 Smooth condition을 적용하였다.

본 선박의 LCG에서의 가속도  $a_{CG}$  는 다음 (3.2.1) 식으로 산정되며 길이방향에서의 수직방향 가속도 분포는 Fig. 3.2.1과 같다. 수직 가속도는 선박의 중앙부 부근에서 선수까지 선형적으로 증가하는 현상을 보이며, 이런 현상은 Heave와 Pitch 운동에 의한 효과로 볼 수 있다. 최대 수직 가속도는 선수에서  $3.35 \text{ m/sec}^2$  ( $0.341g$ ) 정도이며, 선박이 비교적 저속 및 smooth sea 해역을 운항하기 때문에 비교적 작은 값을 주고 있음을 알 수 있다. Table 3.2.2에서 각 위치별 수직 가속도의 상세한 값을 보여주고 있다.



$$a_{CG} = 0.666 C_F \frac{V}{\sqrt{L}} \quad (3.2.1)$$

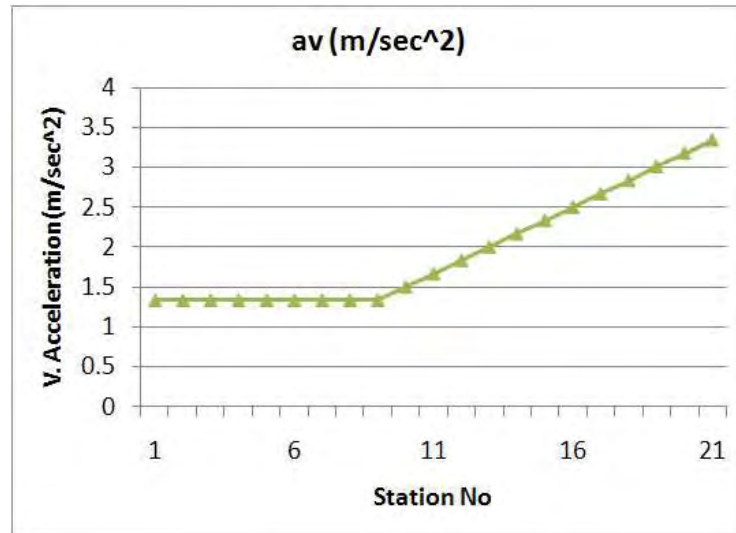


Fig. 3.2.1 길이방향에서의 수직 가속도 분포 (단위 : m/sec<sup>2</sup>)

Table 3.2.2 선체길이방향에서 수직가속도의 분포 (단위:m/sec<sup>2</sup>)

Station No.	V. accel (g)	V. accel. (m/sec <sup>2</sup> )
AP	0.136	1.33416
1	0.136	1.33416
2	0.136	1.33416
3	0.136	1.33416
4	0.136	1.33416
5	0.136	1.33416
6	0.136	1.33416
7	0.136	1.33416
8	0.136	1.33416
9	0.153	1.50093
10	0.17	1.6677
11	0.187	1.83447
12	0.204	2.00124
13	0.221	2.16801
14	0.238	2.33478
15	0.255	2.50155
16	0.272	2.66832
17	0.289	2.83509
18	0.307	3.01167
19	0.324	3.17844
FP	0.341	3.34521

## 2. 종방향 굽힘 모멘트 및 전단력

정수중 하중과 파랑에 의한 하중 및 충격하중에 의한 Vertical bending moment ( $M_{v1}$ )

$$M_{v1} = 0.55 \cdot \Delta \cdot L \cdot (C_B + 0.7)(1 + a_{CG}) \quad (3.2.2)$$

정수중 하중과 파랑에 의한 하중에 의한 Vertical bending moment ( $M_{v2}$ )

$$\begin{aligned} M_{v2H} &= 0.6CL^2BC_B \\ M_{v2S} &= 0.35CL^2B(C_B + 0.7) \end{aligned} \quad (3.2.3)$$

전단력( $T_b$ )

$$T_b = \frac{3.2M_v}{L} \quad (3.2.4)$$

종방향 파랑굽힘 모우멘트 및 전단력의 최대값은 Table 3.2.3와 같다.

Table 3.2.3 최대 파랑 굽힘 모우멘트 및 전단력

	초기 선형	수정 선형
Wave(Hogging) (kN-m)	33.9	30.7
Wave(Sagging) (kN-m)	40.4	38.5
Shear (kN)	17.9	17.1

## 3. 슬래밍 압력

선저에서의 slamming pressure( $p_{sl}$ )는 GL 선급의 식 (3.3.5)로 산정하였으며 길이방향 분포는 Fig. 3.2.2와 같다. 본 선박의 경우 선수 선미 형상은 상대적으로 날씬하지만 중앙부의 선저는 평편하여 큰 충격압이 작용하고 있음을 알 수 있다.

$$p_{sl} = 70 \frac{\Delta}{S_r} K_1 K_2 K_3 a_{CG} \quad (3.3.5)$$

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 길이방향에서의 span length는 400mm로 정하였고, 폭방향의 spacing은 450mm로 정하여 충격압의 분포를 구하였다. Fig. 3.2.2에서 초기 개발 선형과 수정 선형의 계산결과 수정 선형에서 보다 큰 슬래밍 압력이 발생하고 있음을 알 수 있으며, 이러한 결과는 흘수의 증가 및 흘수선에서의 선폭 증가가 가장 큰 원인임을 알 수 있다. 슬래밍의 길이방향 압력 분포를 보면 중앙부에서 선수방향으로 가장 크게 분포함을 알 수 있다.

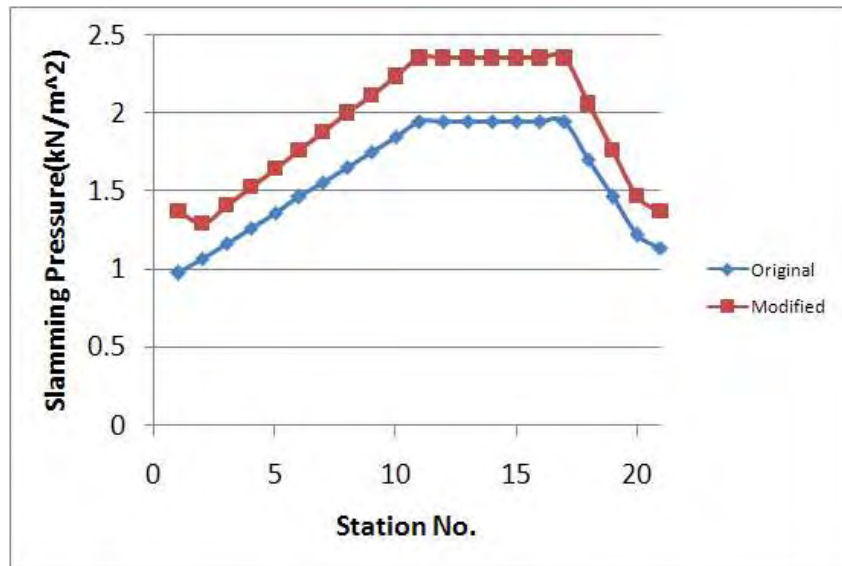


Fig. 3.2.2 길이방향에 따른 선저 충격압의 분포 (단위 : kN/m<sup>2</sup>)

초기 개발선형의 전체 형상과 선저에서의 충격압 분포를 Fig. 3.2.41과 Fig. 3.2.42에 각각 보여주고 있다.

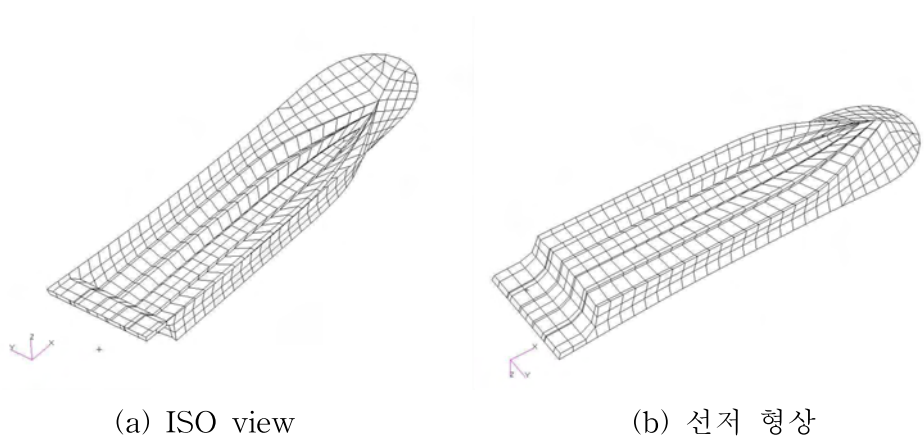


Fig. 3.2.3 초기 개발 선형의 형상

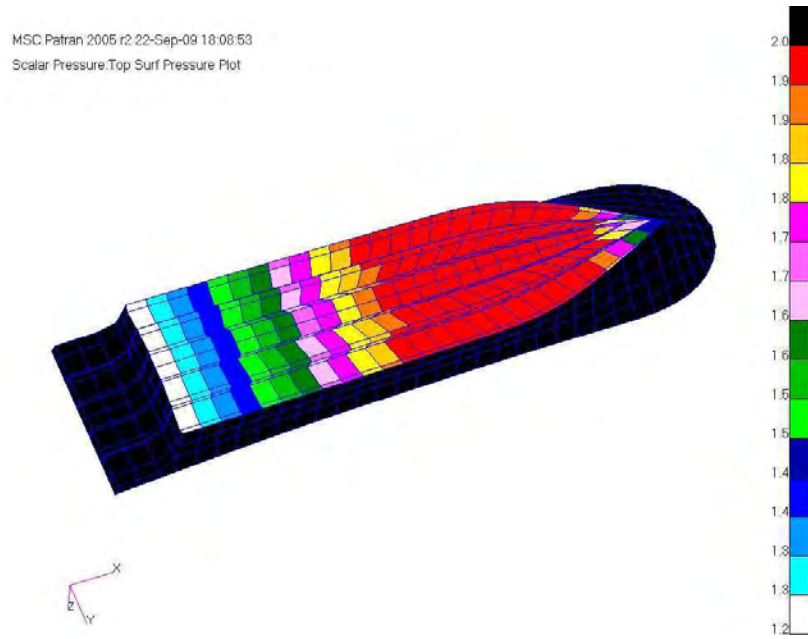


Fig. 3.2.4 선저에서의 슬래밍 압력 분포 형상

수정 선형의 전체 형상과 선저에서의 충격압 분포를 Fig. 3.2.5과 Fig. 3.2.6에서 각각 보여주고 있다.

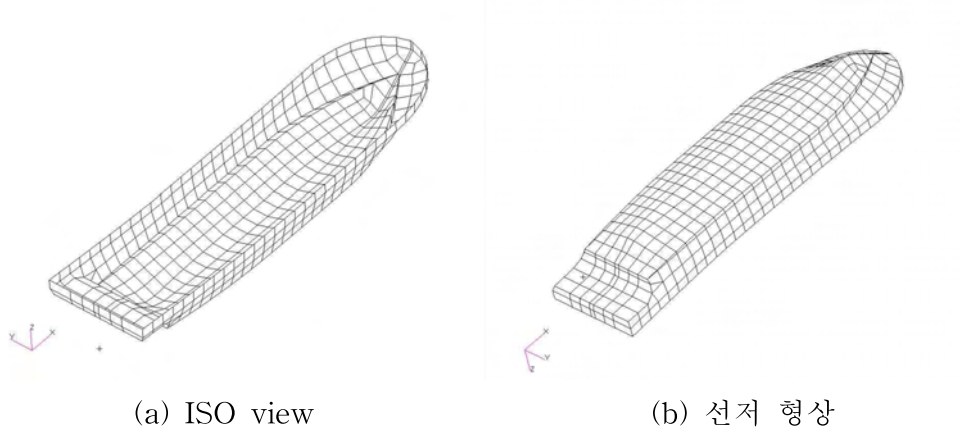


Fig. 3.2.5 수정 선형의 형상

MSC Patran 2005 r2 22-Sep-09 18:18:12  
Scalar Pressure: Top Surf Pressure Plot

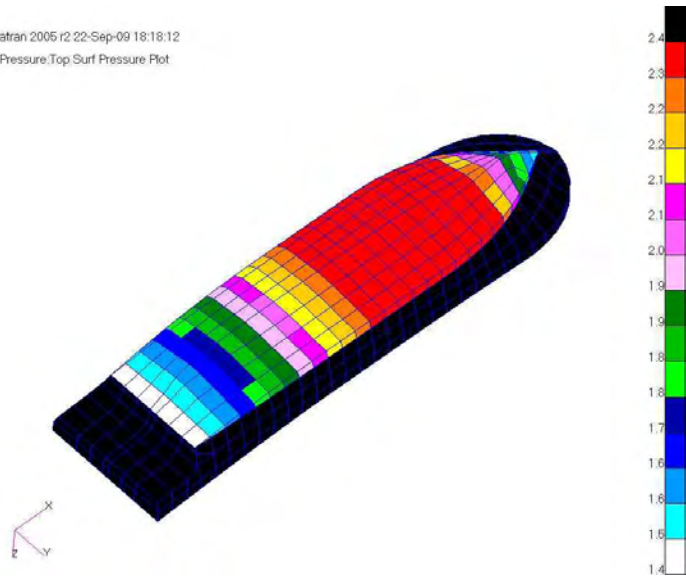


Fig. 3.2.6 선저에서의 슬래밍 압력 분포 형상

### 제3절 전기추진시스템 최적화

#### 1. 1개의 추진 모터 시스템구조

모터 1개 설치 경우 전기 추진 시스템의 구조는 아래 그림과 같다.

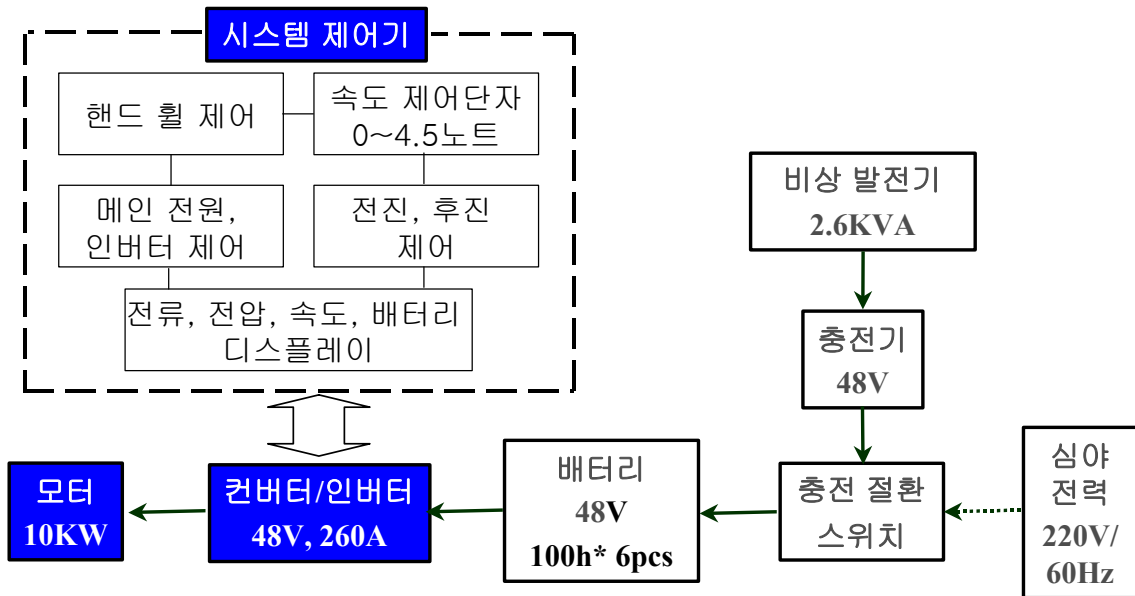


Fig. 3.3.1 전기 추진 시스템 구조

#### 가. 모터

전기추진 시스템 구동용 모터는 10KW 유도전동기로 구성되었다. 유도전동기는 산업용의 동력원으로 주로 사용되며, 구조적 안정성 및 내구성이 우수하여 충격이 수반되는 움직이는 시스템 등에 주로 사용된다.

유도전동기의 고정자 권선은 3상의 교류전원에 의해 여자 되며, 회전자 권선은 단락된 도체로 구성된다. 유도전동기의 등가회로는 아래 그림과 같다. 고정자의 권선저항  $R_s$ 와 누설 인덕턴스  $L_s$ 는 큰 값의 인덕턴스  $L_m$ 에 비해 미소하므로 무시할 수 있으며, 회전자저항  $R_r$ 은 회전자의 인덕턴스  $L_r$ 에 비해 전동기의 특성에 현저한 영향을 나타낸다.  $N_s$ 는 고정자 권선의 회전자계의 회전수이고,  $N_r$ 은 회전자의 등가 회전수이다. 교류 정현파 전압  $V_s$ 에 의하여 고정자 권선이 여자되면 자계가 발생하고 다음과 같이 권선에서는 역기전력  $V_g$ 가 나타난다.

$$v_g = v_s = V_s \sin \omega_e t \quad (3.3.1)$$

$$\phi_g = \frac{V_s}{N_s \omega_e} \cos \omega_e t = \Phi_g \cos \omega_e t \quad (3.3.2)$$

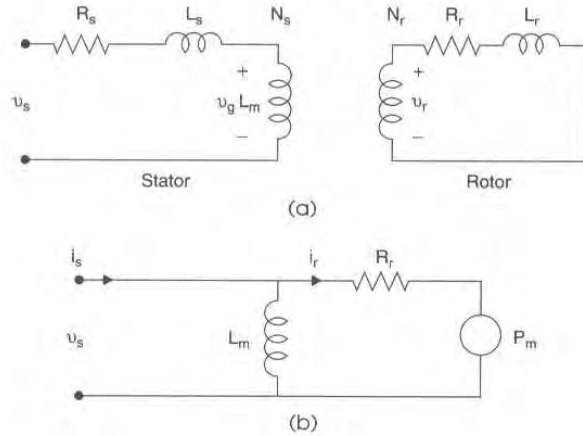


Fig. 3.3.2 (a) 단상유도전동기 등가회로, (b) 단상유도전동기 단순 등가회로

고정자 권선은 자극 주변에 권선이 시행되며, 고정자와 회전자 사이의 공극 주변에서와 마찬가지로 고정자 권선과 자극의 공간 배치에 의해 시간의 경과에 따라 자계가 변하게 된다. 이 자계의 회전속도를 동기속도(synchronous speed)라 하며 다음과 같은 관계를 나타낸다.

$$\omega_s = 2\pi f_e \quad (3.3.3)$$

여기서  $\omega_s$ 는 고정자 권선의 극수이다. 부하 토크에 따라서 회전자는 공극자계의 동기속도에 비해 속도의 차, 즉 슬립(slip)이 발생한다. 회전자 속도에서 발생하는 슬립은 다음과 같이 정의된다.

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (3.3.4)$$

$$\omega_r = \omega_s(1 - s)$$

여기서  $\omega_r$ 은 회전자 회전속도 [ $rad/s$ ]이다. 단락된 회전자 도체가 일정한 속도로 회전하는 공극자계를 통과하면 동기속도  $\omega_s$ 와 회전자 속도  $\omega_r$  사이에는 속도의 차이가 존재하며 이를 슬립속도(slip speed)  $\omega_{sl}$ 이라 하고, 슬립속도와 회전자 도체의 이동에 의해 나타나는 자속은 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\omega_{sl} = s\omega_s = \omega_s - \omega_r \quad (3.3.5)$$

$$\phi_r = \Phi_g \cos \omega_{sl} t$$

여기서 자속의 크기는 공극의 자속  $\Phi_g$ 와 동일하며, 회전자 도체에 유도된 전압은 다음과 같다.



$$v_r = -N_r \frac{d\phi_r}{dt} = V_r \sin \omega_s t \quad V_r = N_r \Phi_g \omega_s \quad (3.3.6)$$

회전자의 실효전압은 다음과 같이 입력 실효전압과의 관계로 표현할 수 있으며,

$$\mathcal{V}_r = \mathcal{V}_s \frac{N_r}{N_s} \frac{\omega_s}{\omega_e} \quad (3.3.7)$$

$N_s = N_r$ 로 가정하면 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$\mathcal{V}_r = \mathcal{V}_s \frac{\omega_s}{\omega_e} \quad (3.3.8)$$

고정자 측을 기준으로 하여 간이 등가회로를 나타내면 아래 그림과 같다. 공극을 통과한 전력의 일부는 회전자 저항에서 열로서 소비되고, 나머지는 전동기의 기계적인 회전력을 발생하는데 사용된다. 공극을 경유한 전력  $P_g$ 는 역기전력  $v_g$ 와 회전자 전류  $i_r$ 을 곱한 실효전력으로 계산할 수 있다.

$$P_g = \mathcal{V}_s I_r; \mathcal{I}_r = \frac{\mathcal{V}_r}{R_r} \quad (3.3.9)$$

발생된 전기기계적인 전력은 다음과 같고,

$$P_m = P_g - P_r = \mathcal{V}_s \frac{\mathcal{V}_r}{R_r} - \frac{\mathcal{V}_r^2}{R_r} \quad (3.3.10)$$

식 3.3.7을 적용하면,

$$P_m = \frac{\mathcal{V}_s^2}{R_r} \omega_s \overline{\omega}_e [1 - \frac{\omega_s}{\omega_e}] \quad (3.3.11)$$

따라서 슬립주파수는 입력전원의 주파수에 비해 미소하므로 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$P_m \approx \frac{\mathcal{V}_s^2}{R_r} \omega_s \overline{\omega}_e = \frac{\mathcal{V}_s^2}{R_r} 2s \overline{\omega}_e \quad (3.3.12)$$

전동기의 발생 토크는 다음과 같다.

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_r} \approx \frac{\bar{V}_s^2}{R_r} \frac{\omega_{sl}}{\omega_e \omega_r}$$

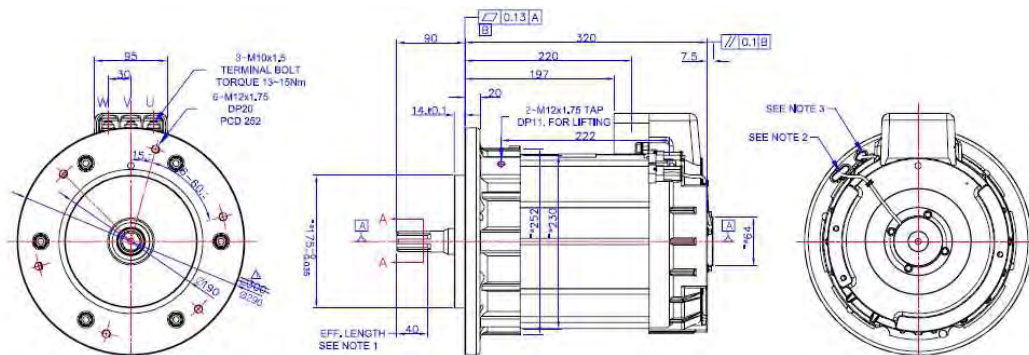
$$\approx \left(\frac{V_s}{\omega_e}\right)^2 \frac{P}{2} \frac{s}{(1-s)^2} \omega_r \quad (3.3.13)$$

주어진 회전자 속도에서의 전동기 발생 토크는 입력주파수에 대한 입력전압의 비, 즉  $\frac{V_s}{\omega_e}$ 의 비를 변화함으로써 제어할 수 있다.

유도전동기의 사양은 아래표와 같다.

**Table 3.3.1 유도전동기 사양**

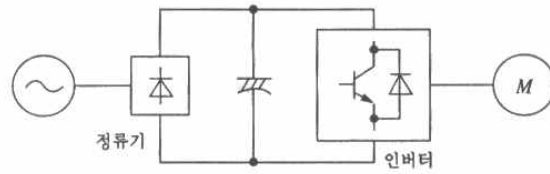
정격 출력	10KW
정격 전압	AC 28V/DC48V
정격 속도	2,310rpm
정격 전류	265A
역율	0.91
정격 주파수	80Hz



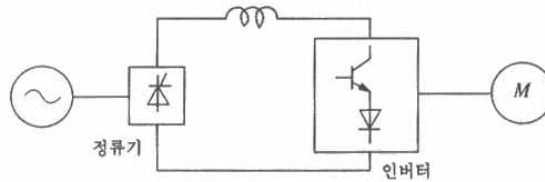
**Fig. 3.3.3 10KW 유도전동기**

#### 나. 인버터 및 컨버터

인버터는 직류전력을 교류전력으로 변환하는 전력회로이고, 아래 그림과 같이 전압형과 전류형이 있다.



(a) 전압형 인버터



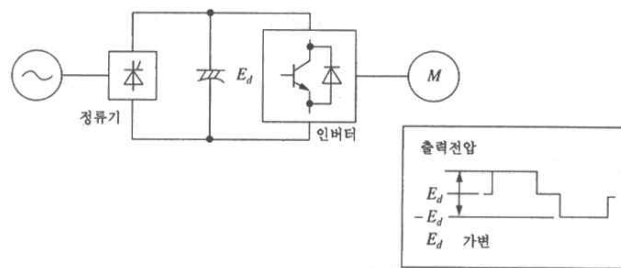
(b) 전류형 인버터

Fig. 3.3.4 인버터의 종류

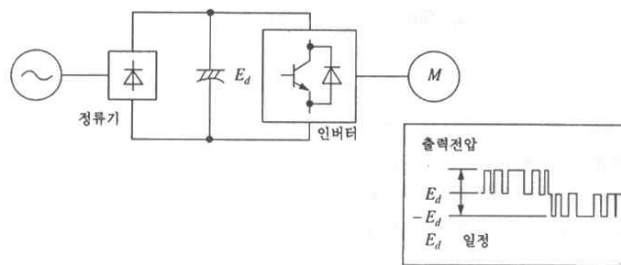
전압형 인버터는 직류측에 평활 콘덴서와 전지가 있고, 직류측이 낮은 임피던스인 전압원으로 보이는 것이다. 전류형 인버터는 직류측에 평활 리액터가 있고, 직류측은 높은 임피던스로 전류원으로 보이는 것이다. 본 과제에서는 전압형 인버터에 해당된다.

전압형 인버터의 출력전압 제어방법은 그림과 같이 PAM(펄스 진폭변조)과 PWM이 있다. PAM은 직류전압 크기를 변환시켜 출력전압의 진폭을 변화시키는 방법이다.

전력 변환회로는 전압을 가능한 빨리 변화시킬 수 있는 전압 제어방법인 PWM이 PAM 보다 유리하다. PAM은 전동기에 인가하는 전압을 변환하기 위해서 직류전압을 변화시켜야 한다. 그러나 평활 콘덴서의 충전 시간대에 따른 영향으로 전압을 신속하게 변화시키는 것은 어렵다.



(a) PAM



(b) PWM

Fig. 3.3.5 전압형 인버터의 출력전압 제어방법

그러나 PWM은 전동기에 인가하는 직류전압을 변화시키지 않고 전력 변환회로에 있는 트랜지스터를 시간 비율로 ON, OFF하여 평균적으로 바꿀 수 있으므로 ON, OFF 주기를 짧게 하면 전압을 빠르게 변환할 수 있다. 또한 1주기의 평균 전압을 조금씩 변화하는 것으로 등가적인 정현파 전압을 출력할 수 있다.

따라서 전동기 구동에 사용되는 전압형 인버터의 출력전압제어에는 PWM이 주로 사용된다.

아래 그림은 3상 전압형 PWM 인버터에 대한 기본적인 구성을 나타낸다.

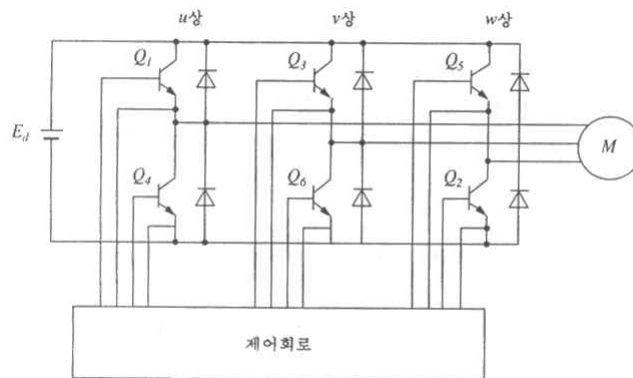


Fig. 3.3.6 3상 전압형 PWM 인버터 기본구성

이것은 트랜지스터와 접속한 다이오드를 한조로 1개의 스위치가 구성되고 1상에 2개의 스위치로 3상에 모두 6개의 스위치로 구성되어 있다.

각 상에 있는 2개의 트랜지스터는 동시에 ON될 수 없다. 만약 2개가 동시에 ON되면 직류전원이 단락되어 버린다.

임의의 상에 한 개의 트랜지스터가 ON될 때(트랜지스터에 전류가 흐르는가 흐르지 않는가 하는 것이 문제가 아니라 트랜지스터에 ON 신호가 입력되어 전류를 흘릴 수 있는 상태를 의미한다) 전류가 흐를 수 있는 다이오드는 그 트랜지스터와 한조로 된 것 뿐이며 다른 트랜지스터와 조를 이루고 있는 다이오드에는 전류가 흐르지 않는다. 왜냐하면 이 다이오드에는 역전압이 인가되기 때문이다.

따라서 스위치 ON, OFF는 트랜지스터의 ON, OFF로 결정된다. 각 상에 있는 2개의 스위치는 반드시 한쪽이 ON되는 것이 원칙이지만 트랜지스터의 ON, OFF 상태를 자세히 살펴보면 ON 또는 OFF 신호가 OFF 또는 ON 신호로 바뀐 후 실제 OFF 또는 ON 될 때 까지의 약간의 시간 지연이 생긴다.

일반적으로 OFF할 때 시간 지연이 ON할 때의 시간지연에 비하여 길기 때문에 한쪽 트랜지스터에 OFF 신호를 주는 동시에 다른 트랜지스터에 ON 신호를 주면 전류전원이 단락되어 버린다. 이러한 문제를 피하기 위하여 각 상의 트랜지스터에 동시에 OFF 신호를 주는 것이 필요하다. 이 시간을 단락 방지 시간이라고 하고, 단락 방지시간은 ON과 OFF의 시간적 지연이 트랜지스터의 전류값과 온도 등의 영향을 고려하여 결정하지만 어떠한 경우에도 직류전원이 단락되지 않도록 하는 것이 중요하다.

따라서 단락 방지시간은 각 상에 있는 2개의 트랜지스터가 모두 OFF 되는 시점이 생긴다.

이 시점에 서보 모터의 인덕턴스 영향으로 전류가 계속 흐르게 된다. 이 전류는 다이오드에 흐르지만 각 상에 있는 2개의 다이오드 중 어느 방향으로 흐를까? 하는 것은 전류의 방향에 따라 결정된다. 따라서 2개의 트랜지스터가 모두 OFF되는 시점의 스위치 ON, OFF 상태는 서보 모터에 흐르는 전류의 방향에 따라 결정되고 전류 방향이 (+)(인버터로부터 유도전동기에 흘러 들어 가는 방향)이라면 직류 전원의 플러스 측에 접속된 스위치는 OFF가 된다.

따라서 스위치 ON, OFF는 트랜지스터의 ON,OFF 신호만으로 결정하지 못하는 부분이 있다는 것을 알 수 있다. 그 영향은 나중에 설명하고 트랜지스터는 ON, OFF 신호에 따라 ON, OFF되고, 각 상의 두 개의 스위치에서 한 개는 반드시 ON 되어야 하는 3상 PWM 인버터에 대한 기본 동작을 설명한다.

단락 방지시간은 트랜지스터를 바이폴라 트랜지스터를 사용할 경우 10us 정도이고, MOSFET를 사용할 때는 1us 정도이다.

다상 인버터를 사용하는 것은 전동기를 회전시키기 위하여 각 상의 전압이나 전류를 합성시킨 벡터를 회전시키는 것과 같은 의미이다. 아래 그림에 표시한 3상 전압형 인버터의 스위칭 모드는 각 상 직류전원의 (+)측에 접속된 트랜지스터가 ON인지, (-)측에 접속된 트랜지스터가 ON인지에 따라 2개의 모드가 있고, 3상분이 되면  $2^3=8$ 개의 조합이 존재한다.

표는 스위칭 모드와 트랜지스터의 ON 상태를 표시한 것이고 스위칭 모드 0-7에 대응하는 전압벡터  $V_0 - V_7$ 은 아래 그림과 같다.

Table 3.3.2 3상 전압형 인버터 스위칭 모드

스위칭모드	ON 상태 트랜지스터		
	u상	v상	w상
0	$Q_4$	$Q_6$	$Q_2$
1	$Q_1$	$Q_6$	$Q_2$
2	$Q_1$	$Q_3$	$Q_2$
3	$Q_4$	$Q_3$	$Q_2$
4	$Q_4$	$Q_3$	$Q_5$
5	$Q_4$	$Q_6$	$Q_5$
6	$Q_1$	$Q_6$	$Q_5$
7	$Q_1$	$Q_3$	$Q_5$

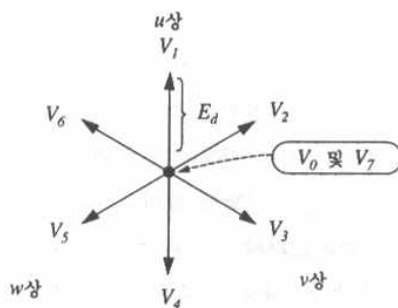


Fig. 3.3.7 3상 전압형 인버터 출력 전압벡터

$V_1 \sim V_6$ 은  $\pi/3[\text{rad}]$ 의 위상차의 스텝으로 회전하는 벡터이다. 또한  $V_0$ 과  $V_7$ 의 크기는 0인 전압벡터로 영 전압벡터라고 하고,  $V_1 \sim V_6$ 의 크기는 같다. 예를 들어  $V_1$ 의 크기를 구해보면 다음과 같다.

트랜지스터  $Q_1, Q_6, Q_4$ 가 ON 이므로 아래와 같다.

$$\begin{cases} v_{uv} = v_u - v_v = E_d \\ v_{vw} = v_v - v_w = 0 \\ v_{wu} = v_w - v_u = -E_d \end{cases} \quad (3.3.14)$$

또한  $v_u, v_v, v_w$ 를 구하면 다음과 같이 된다.

$$v_u = \frac{2}{3} E_d, \quad v_v = -\frac{1}{3} E_d, \quad v_w = -\frac{1}{3} E_d \quad (3.3.15)$$

식을 그림으로 표시하면 아래 그림과 같다.

$V_1$ 인 크기인  $|V_1|$ 는 아래 식과 같고,  $V_1$ 의 방향은 아래 그림과 같이  $u$ 상 방향이다.

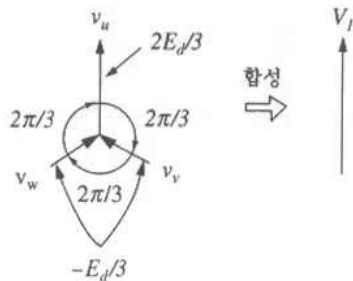


Fig. 3.3.8  $V_1$ 의 크기와 방향

$$|V_1| = \frac{2}{3} E_d - \frac{1}{3} E_d \cos \frac{2}{3} \pi - \frac{1}{3} E_d \cos \frac{4}{3} \pi = E_d \quad (3.3.16)$$

PWM에는  $E_d$ 가 일정하여도  $V_0$ 과  $V_7$ 을 사용하여 평균적으로 출력전압의 크기를 바꿀 수 있다.

예를 들어 주기  $T$  주에  $kT$ 는  $V_1$ 을,  $(1-k)T$ 는  $V_0$ 이 되면 주기  $T$  사이의 평균적인 전압의 크기는 식 3.2.4와 같고, 방향은  $V_1$ 과 같은 방향이 된다.

$$\bar{v} = kE_d (0 \leq k \leq 1) \quad (3.3.17)$$

PWM은 출력전압의 위상도 평균적으로 변화시킬 수 있다. 예를 들어 그림과 같이 주기  $T$

중에  $k_1 T$ 는  $V_2$ 를,  $(1-k_1-k_2)T$ 는  $V_0$  또는  $V_7$ 이 되면 주기  $T$  사이의 평균적인 전압위상은  $\bar{\theta}$ 는  $v_1$  또 위상은  $0[rad]$ 는  $v_2$  또 위상은  $\pi/3[rad]$ 이므로 다음과 같이 된다.

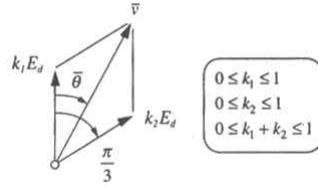


Fig. 3.3.9 PWM으로 구할 수 있는 평균 전압과 위상

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \frac{k_2 \sin \frac{1}{3} \pi}{k_1 + k_2 \cos \frac{1}{3} \pi} \quad (0 \leq k_1, k_2, k_1 + k_2 \leq 1) \quad (3.3.18)$$

또한 크기  $\bar{v}$ 는 식과 같다.

$$\bar{v} = \{(k_1 + k_2)^2 - k_1 k_2\} E_d \quad (3.3.19)$$

이와 같이 PWM은 평균적인 출력전압의 크기와 위상을 동시에 바꿀 수 있고, 주기  $T$ 를 짧게 하면 등가적으로 연속적인 크기로 위상이 변화하는 것을 알 수 있다. PWM에서 출력전압을 제어할 경우 스위칭에 대한 바람직한 조건을 구하면 다음과 같다.

- 영벡터는  $V_0$ 과  $V_7$ 이 있으며 스위칭 횟수를 줄이는 방향으로 선택한다. 예를들면  $V_1, V_3, V_5$ 에서 영벡터로 혹은 반대로 교체할 경우에는  $V_0$ 을 선택한다. 만약  $V_2, V_4, V_6$ 에서 영벡터로 할 때, 반대로 교체할 경우에는  $V_7$ 을 선택한다.

- $V_1 \sim V_6$ 의 선택은 합성 출력전압의 평균적 위상  $\bar{\theta}$ 를 어느 곳으로 할 것인가를 결정한다.

즉,  $\bar{\theta} = 0$ 이면  $V_1$ ,  $0 < \bar{\theta} < \pi/3$  이면  $V_1$ 과  $V_2$ ,  $\bar{\theta} = \pi/3$ 가 되면  $V_2, \dots$ 를 선택한다.

PWM 방식으로 일반적인 삼각파 비교법과 순시 공간 자속 쇄교수 벡터 원래적법은 앞에서 설명한 내용을 만족시키는 것이다.

가장 일반적인 PWM 방식이며 그 구성은 Fig. 3.3.10과 같다.

원리는 신호파인 3상 정현파 전압지령  $v_u^*, v_v^*, v_w^*$ 와 반송파인 삼각파  $v_c$ 를 비교하여 그림에 표시한 펄스열 전압  $v_{un}, v_{vn}, v_{wn}$ 을 구한다. 이제부터 3각파 진폭  $v_c$ 를 기준으로 설명하고, 쉽게 설명하기 위하여 직류전원에 가상 중성점 N을 도입한다.

Fig. 3.3.10과 같은 PWM이 되기 위해선 3상 정현파 전압지령  $v_u^*, v_v^*, v_w^*$ 의 진폭은 식 3.3.7과 같이 삼각파  $V_c$ 보다 작아야 한다.

$$\begin{cases} v_u^* = a V_c \sin \theta \\ v_v^* = a V_c \sin(\theta - 2\pi/3) \\ v_w^* = a V_c \sin(\theta + 2\pi/3) \end{cases} \quad (3.3.20)$$

$\alpha$ 는 변조도 또는 제어율이라고 하고,  $0 \leq \alpha \leq 1$ 이다. 이러한 지령과 삼각파를 비교하여 인버터 각상 출력점과 직류전원 가상 중성점간의 전압  $v_{uN}$ ,  $v_{vN}$ ,  $v_{wN}$ 을 구할 수 있다. 이러한 전압 진폭의 최대식은  $E_d/2$ 이다.  $v_{uN}$ ,  $v_{vN}$ ,  $v_{wN}$ 을 푸리에 해석을 하면, 그 기본파는 아래 식과 같다.

$$\begin{cases} v_{uN1} = \alpha \frac{E_d}{2} \sin \theta \\ v_{uN2} = \alpha \frac{E_d}{2} \sin(\theta - \frac{2}{3} \pi) \\ v_{uN3} = \alpha \frac{E_d}{2} \sin(\theta + \frac{2}{3} \pi) \end{cases} \quad (3.3.21)$$

기본파 진폭이 변조도  $\alpha$ 에 비례하므로  $\alpha$ 를 변화하면 인버터 전압을 제어할 수 있다. 그림은  $v_{uN}$ ( $v_{vN}$ ,  $v_{wN}$ )의 스펙트럼이다. 횡축은 주파수를 표시하고 정현파 전압지령  $v_u^*$ ( $v_v^*$ ,  $v_w^*$ )의 주파수  $f_1$ (기본파)의  $k$ 배와 삼각파 주파수  $f_c$ 에  $m$ 배 성분을 가지고 있다. 종축은 각 주파수 성분의 진폭을  $E_d/2$ 로 분할한 것을 표시한다. 또한 그림은  $f_c/f_1 = 27$ 인 경우를 표시하고 있다.

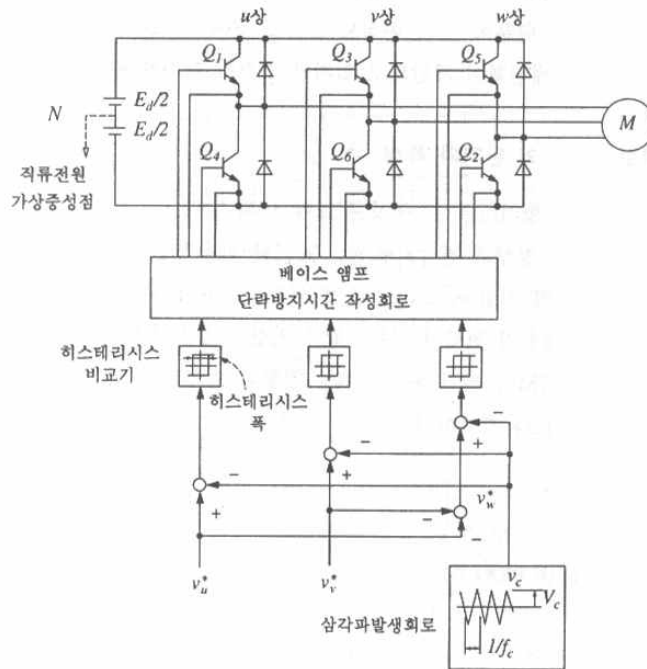


Fig. 3.3.10 3각파 비교법에 의한 3상 전압형 PWM 인버터

인버터의 출력전압(선간)  $v_{uv}$ ,  $v_{vw}$ ,  $v_{wu}$ 은 식과 같이 구할 수 있고 그림과 같이 된다.

$$\begin{cases} v_{uv} = v_{uN} - v_{vN} \\ v_{vw} = v_{vN} - v_{wN} \\ v_{wu} = v_{wN} - v_{uN} \end{cases} \quad (3.3.22)$$



기본파의 진폭 최대값은  $v_{uN}(v_{vN}, v_{wN})$ 의 기본파 진폭 최대값의  $\sqrt{3}$ 배이므로  $(\sqrt{3}/2)E_d$ 가 된다.  $v_{uv}, v_{vw}, v_{wu}$ 을 푸리에 해석을 하면 그 기본파는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{cases} v_{u01} = a \frac{\sqrt{3}}{2} E_d \sin(\theta + \frac{1}{6}\pi) \\ v_{v01} = a \frac{\sqrt{3}}{2} E_d \sin(\theta - \frac{1}{2}\pi) \\ v_{w01} = a \frac{\sqrt{3}}{2} E_d \sin(\theta + \frac{5}{6}\pi) \end{cases} \quad (3.3.23)$$

따라서 기본파 진폭은 변조도  $a$ 에 비례하게 제어할 수 있다. 그림은  $v_{uv}(v_{vw}, v_{wu})$ 의 스택 트림이다.  $v_{uN}, v_{vN}, v_{wN}$ 은 각각  $2\pi/3$ 의 위상차를 가지므로 여기에 포함된 제 3차 정수배 고조파는  $v_{uv}, v_{vw}, v_{wu}$ 에서는 소거된다. 따라서 그림은 제 3차 정수배 고조파는 소거되어 있다. 종축은  $E_d$ 를 분할하여 기준화한다.

참고로 인버터의 출력전압(상)  $v_u$ 도 표시되어 있다. 이와 같은 삼각파 비교 PWM은 3상 정현파 전압지령의 변조도를 바꾸는 것에 의해 인버터 출력전압 기본파의 진폭을 제어할 수 있다. 출력전압에는 고조파가 포함되고, 삼각파 주파수에 의존하며 그 주파수가 높아지면 전동기 전류 리플은 작아진다. 전동기를 구동할 경우 보통 수 KHz 이상이 사용된다. 그림에서 삼각파 주파수  $f_c$ 와 정현파 전압지령 주파수  $f_1$ 의 비율이 9로, 3상 출력전압이  $2\pi/3$ 의 위상차를 갖는 파형을 나타낸다. 이와 같은 PWM 방식을 동기식이라고 한다.

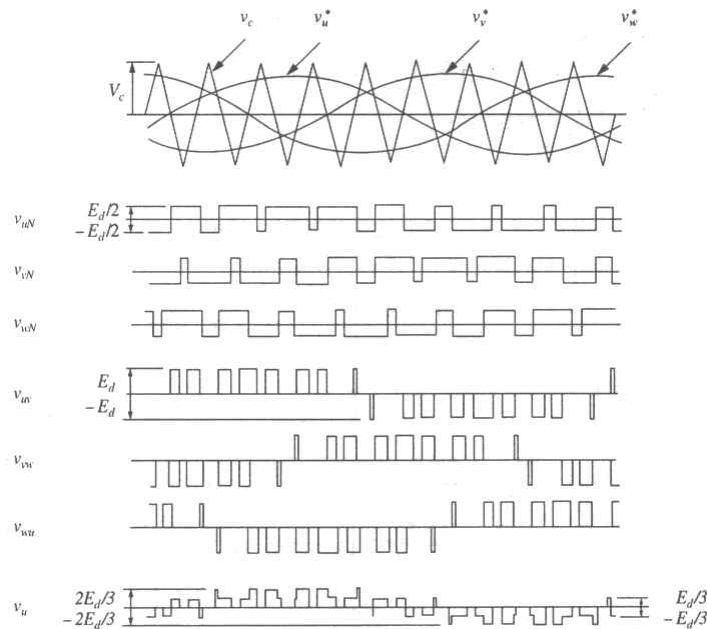


Fig. 3.3.11 삼각파 비교법에 의한 3상 전압형 PWM 인버터의 파형

전동기를 구동하는 인버터는  $f_c$ 를 높이므로서  $f_1$ 이 변하여도  $f_c$ 가 일정하게 되는 비동기식이 사용된다. 비동기식에는 전류 리플을 고려하여  $f_c/f_1$ 을 9 이상으로 선택하는 것이 일반적이다.  $f_c/f_1$ 가 9 이상에서는 정현파 전압지령과 삼각파 위상이 벗어나도 인버터 출력전압 스펙트

림은 아래 데이터와 같다.

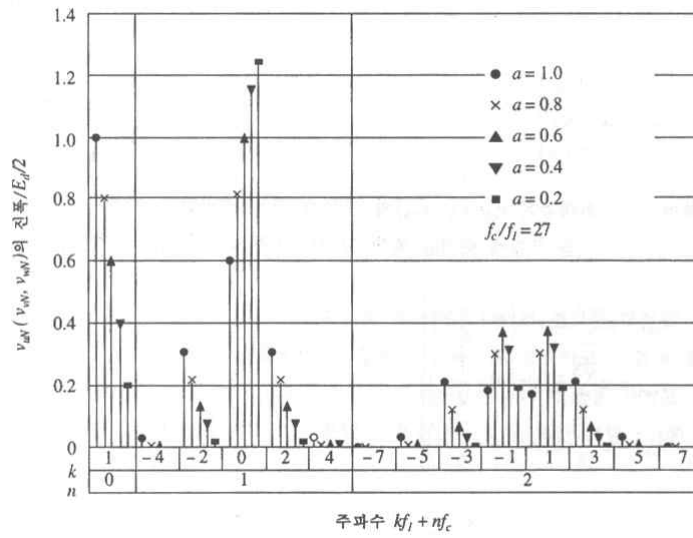


Fig. 3.3.12  $v_{uN}(v_{vN}, v_{wN})$  스펙트럼

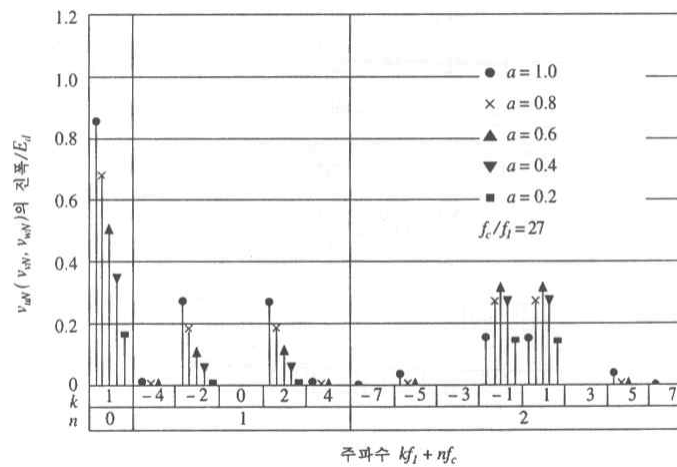


Fig. 3.3.13  $v_{uv}(v_{vw}, v_{wu})$  스펙트럼

동기식이 거의 사용되지 않는 것은  $f_1$ 의 변화에 따라  $f_c$ 를 변화시켜야 하는 복잡성이 있기 때문이다. 또한 토오크 리플이 문제가 되는 가속도가 낮은 곳에서는  $f_1/f_c$ 가 크게 되도록  $f_c$ 를 교체하지만 결과적으로 토오크 리플과 잡음의 원인이 되어 버린다.

인버터의 사양은 아래 표와 같다.

Table 3.3.3 PWM 인버터 사양

입력 전압	48V
최대 전류	650A(2분)
정격 전류	260A
엔코더(속도) 입력	5V
홀 센서 입력	5V

#### 다. 시스템 제어기

시스템의 주 전원인 배터리로부터 절연된 스위치로 제어되며, 제어 전원 스위치가 인가되면 인버터가 동작 된다. 아래 그림처럼, 속도의 가감속은 가변저항으로 조절되며, 전진 후진은 모터의 정역 회전 스위치로 제어된다.

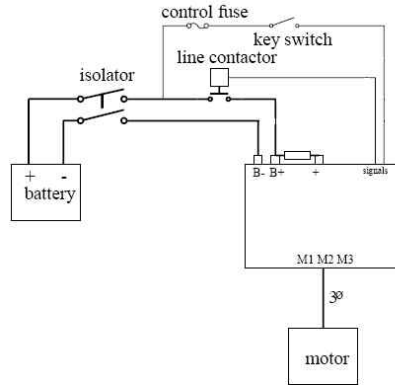


Fig. 3.3.14 인버터 주전원 및 제어회로 스위치

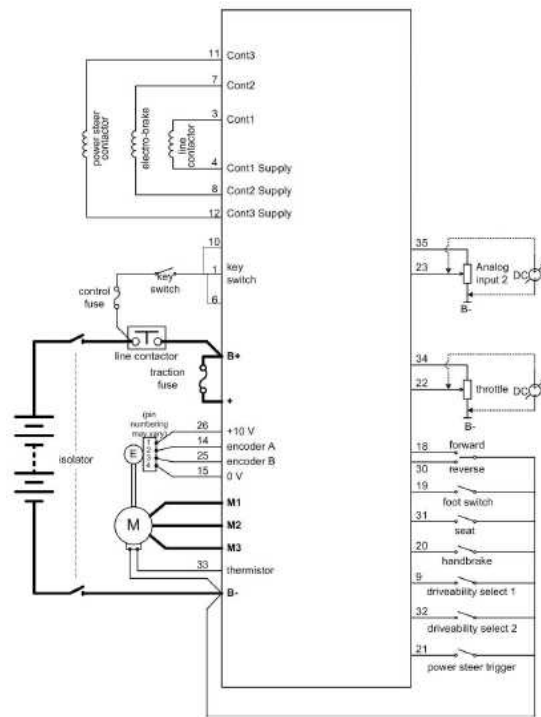


Fig. 3.3.15 인버터 외부 제어 장치 구성도

## 2. 1ton급 어선의 전기추진 시스템 구축

### 가. 전기추진을 위한 Battery 개요

배터리의 중요성에 대한 일반적인 사항들에 대한 자세한 내용은 전문서적과 사용 매뉴얼에 있으며, 여기에서는 필요한 사항에 대하여 아래와 같이 개조식으로 나열한다.

- 축전지의 기본 개념과 종류 및 특성
- 납축전지를 사용하는 이유와 이에 대한 장단점
- 납축전지의 원리와 극판 구조
- 고정형 납축전지 일반 구조 및 부품
- 고정형 납축전지의 일반적인 특성과 전기적 특성
- 고정형 납축전지의 사용 조건에 따른 전기적 특성
- 밀폐형 납축전지의 개요 와 장단점
- 밀폐형 납축전지의 종류와 구조
- 밀폐형 납축전지의 전기적 특성
- 일반 납축전지와 밀폐형 납축전지의 고장 원인
- 축전지 용량 선정법

이상과 같이 납축전지의 원리를 이해하고 어선에 적합한 전기추진 시스템을 구축하였다. 한편으로 근래에 두각을 나타내고 있는 리튬-이온 배터리에 대한 조사와 성능에 대해서는 2차년도에 진행할 예정이다.

### 나. 전기추진 시스템 구축

#### (1) 기존 1ton급 어선

기존 1ton급 낙지잡이 어선의 엔진을 대신해서 구성된 전기추진 시스템의 구성은 아래와 같다.

- 1차 4.5kW BLDC 모터
- 2차 10kW AC 모터와 이에 대한 Inverter, Controller
- Battery, 전류량 측정기, 전압량 측정기
- 3kW 비상 발전기, 충전기
- Steering Wheel, Lever, GPS

Fig. 3.3.16에서는 기존어선에 전기추진장치를 장착하기 위한 개념도를 나타내고 있으며 Fig. 3.3.17에 겹기추진 어선의 준비되는 사항을 수록하였으며, Fig. 3.3.18에는 4.5kW BLDC 모터를 장착한 사진과 Fig. 3.3.19에는 10kW AC모터를 장착한 사진을 수록하였다.

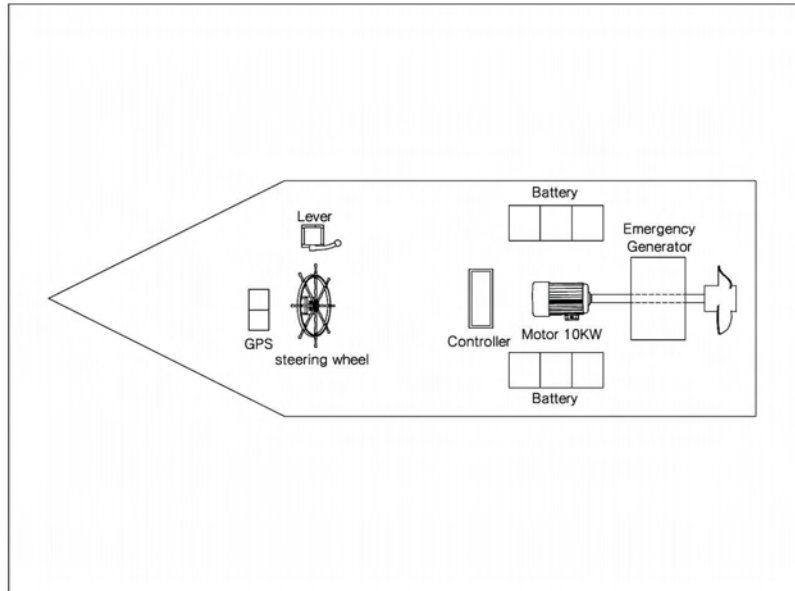


Fig. 3.3.16 기존 1ton급 낙지잡이 어선에 전기추진 시스템 개념도



Fig. 3.3.17 기존 1ton급 낙지잡이 어선의 전기추진 시스템(공통)



Fig. 3.3.18 기존 1ton급 낙지잡이 어선의 전기추진 시스템(4.5kW BLDC 모터)



Fig. 3.3.19 기존 1ton급 낙지잡이 어선의 전기추진 시스템(10kW AC 모터)

## (2) 선형개량 1ton급 어선(선외기)

개량된 1ton급 낙지잡이 어선에는 기존 선외기의 엔진부분을 모터로 대체할 수 있도록 개량하면서 4.5kW BLDC 모터를 장착하였다.

이에 대한 구성은 아래와 같다.

- 4.5 kW BLDC 모터
- Battery, 전류량 측정기, 전압량 측정기
- 3kW 비상 발전기, 충전기
- Steering Wheel, Lever, GPS

Fig. 3.3.20에는 1ton급 개량어선에 선외기를 장착하기 위한 개념도를 나타내고 있으며, Fig. 3.3.21은 전기추진 선외기의 3차원 개념도를 보여주고 있다. 그리고 Fig. 3.3.22에 실제 구축된 사진을 수록하였다.

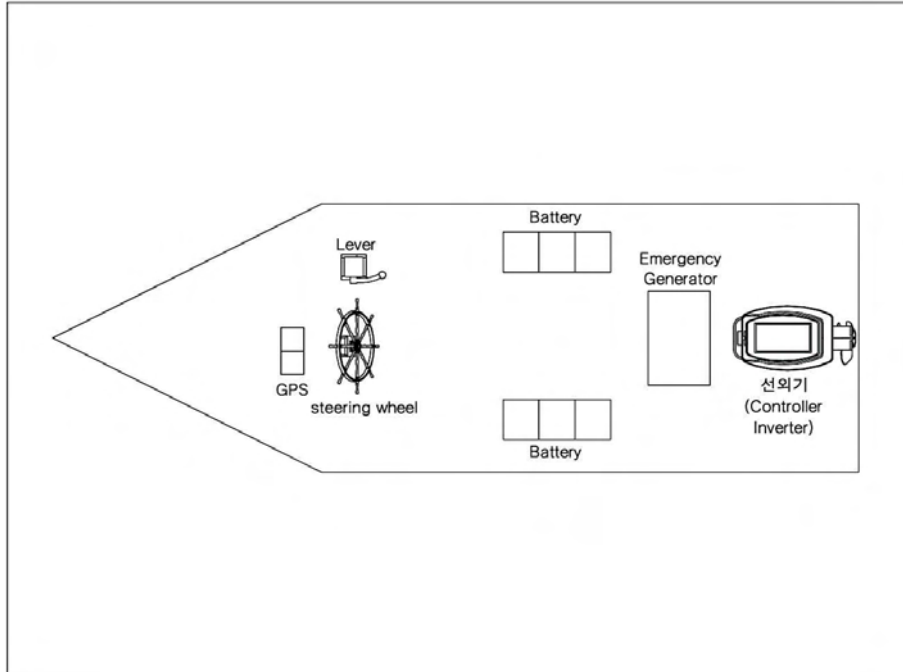


Fig. 3.3.20 개량 1ton급 낙지잡이 어선의 선외 전기추진 시스템 개념도



Fig. 3.3.21 전기추진 선회기의 3D 개념도



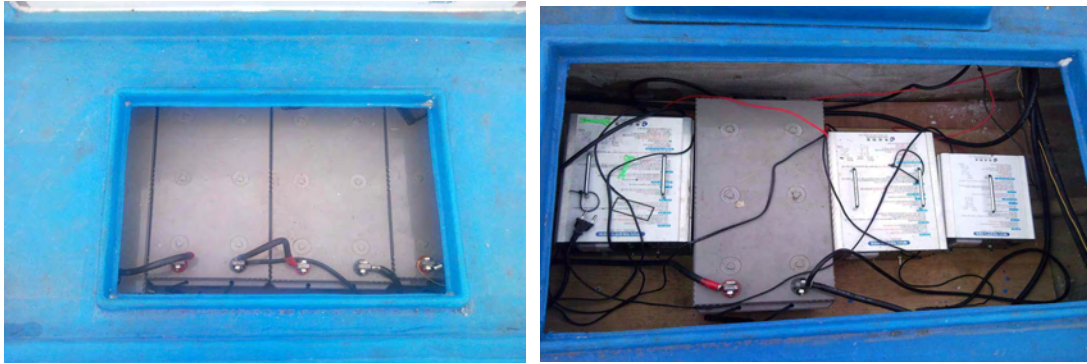


Fig. 3.3.22 개량 1ton급 어선의 선외 전기추진 시스템



## 제4절 시제품 제작 및 실험

### 1. 기존 1ton급 낙지잡이 어선

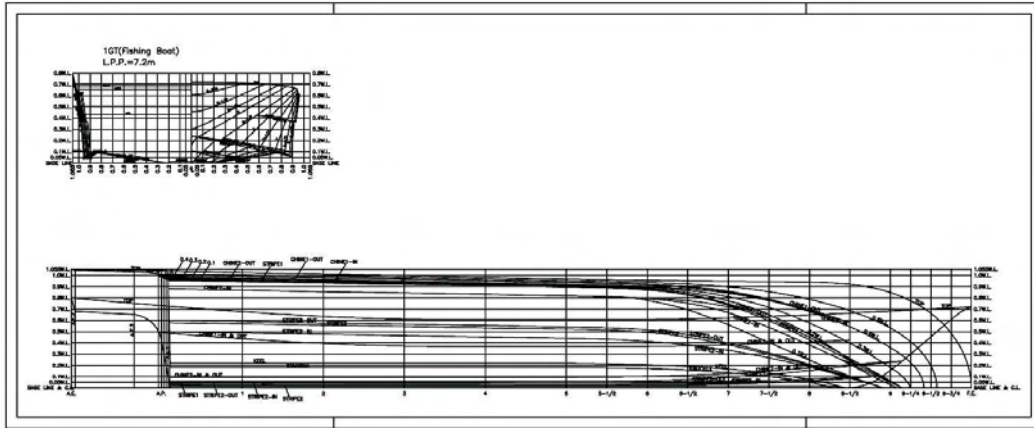


Fig. 3.4.1 기존 1ton급 낙지잡이 어선의 G/A



Fig. 3.4.2 기존 1ton급 낙지잡이 어선 건조 중

기존 조선소에서 갖고 있던 몰드에서 적층하여 1ton급 낙지잡이 어선을 만들었다.

### 2. 기존 1ton급 어선의 실험

기존 1ton급 어선의 실험은 4.5kW BLDC 모터를 장착하여 전류량에 따른 추진기의 RPM과 선체의 속도를 측정하였고, 그 결과를 Table 3.4.1에 나타내었다. 이 때 최대 전류량 780A의 출력으로 2.216m/s의 속도를 보이고 있으며 이는 본 과제 최저 목표치인 3m/s에 미치지 못하고 있다. 선박의 재설계를 통하여 추진기의 최적 설계와 선형의 개량을 통하여 최저 목표치에 버금가는 결과를 도출할 수도 있을 것이나, 우선 10kW AC모터를 장착하고 기존 추진기 중에 선정하여 실험을 수행하였고, 그 결과를 Table 3.4.2에 나타내었다.

440A에서 4.134m/s의 속도를 보이고 있으며, 추진기를 최적 설계할 경우에 어느 정도 개선될 수 있을 것으로 기대된다.

Table 3.4.1 4.5kW BLDC 모터의 전류량 변화에 따른 추진 성능 실험

전류량(A)	RPM(1/2)	선체속도(m/s)
20	400	1.390
42	530	1.662
50	550	1.939
78	660	2.216

(참조 : 3m/s = 10.8km/h)

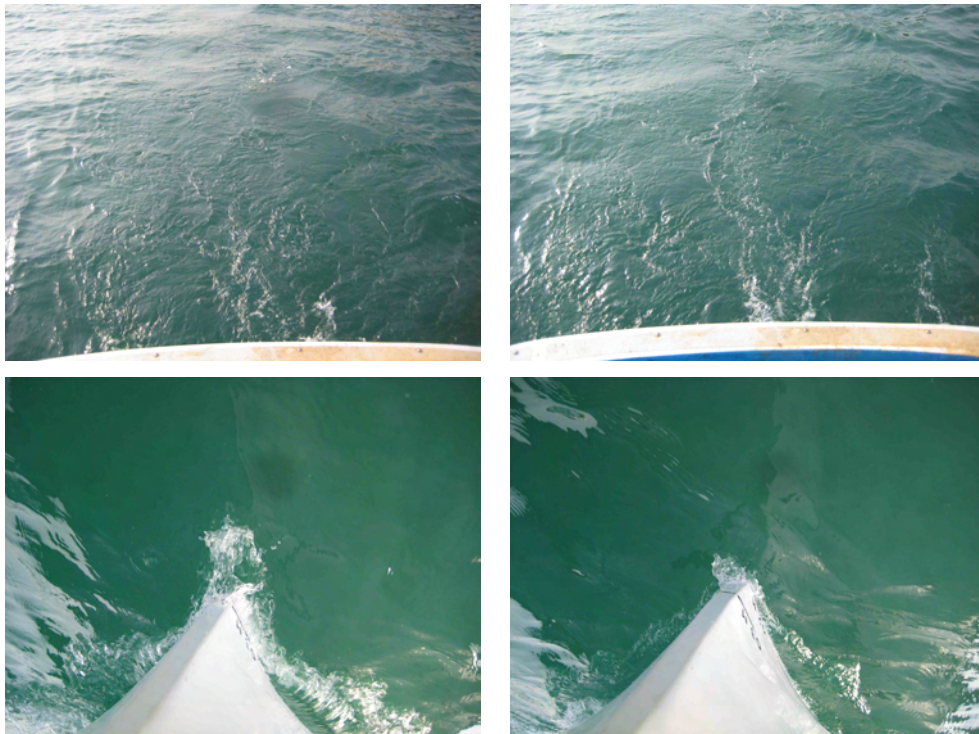


Fig. 3.4.3 선속 5km/h에서의 선미와 선수 Wave Pattern  
(4.5kW BLDC 모터 추진)





Fig. 3.4.4 선속 8km/h에서의 선미와 선수 Wave Pattern  
(4.5kW BLDC 모터 추진)

Table 3.4.2 10kW AC 모터의 전류량 변화에 따른 추진 성능 실험

전류량(A)	RPM(1/2)	선체속도(m/s)
150	1580	1.939
250	1900	2.493
300	2300	3.012
440(최대)	3400	4.134

(참조 : 3m/s = 10.8km/h)

### 3. 선형 개량된 1ton급 낙지잡이 어선

기존의 낙지잡이 1ton급 어선의 기능을 감안하고, 회류수조 및 수치계산 등으로 얻어진 결과를 바탕으로 아래의 Fig. 3.4.5와 같이 선형을 개량하였고, 이에 대한 시제품을 Fig. 3.4.6와 같이 제작하였다.

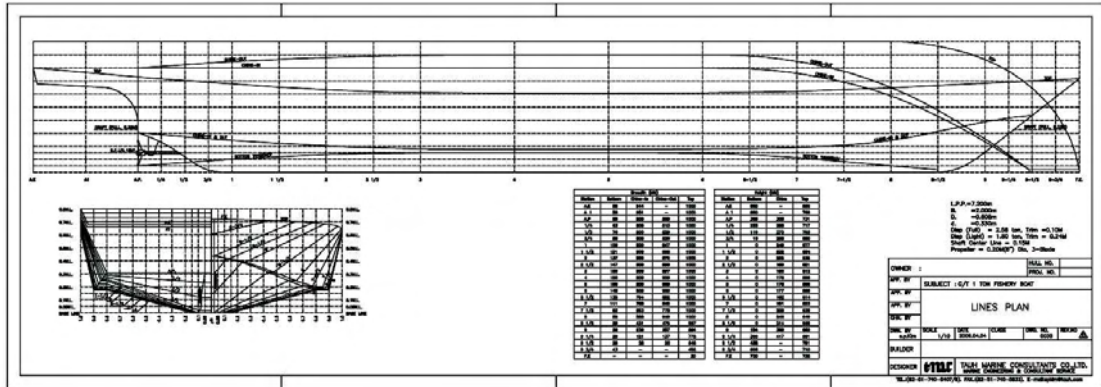


Fig. 3.4.5 개량 1ton급 낙지잡이 어선의 G/A



Fig. 3.4.6 개량 1ton급 낙지잡이 어선 건조

현재 4.5kW BLDC 모터를 선외기로 제작한 후 개량된 어선에 장착하여 선속 및 항주 거리에 대한 실험을 수행하고 있으며, 이후에는 5kW BLDC 선외기를 2대 장착하여 실험할 계획이

다.

한편, 전기추진 선외기 2대의 제어를 통하여 회전 반경 및 선속 개선이 1차년도 특허 출원 내용이다.



Fig. 3.4.7 개량 1ton급 낙지잡이 어선 실패역 실험 현장

## 제 4 장 2차년도 결과

### 제1절 G/T 1톤급 어선의 선형개발과 성능해석

#### 1. 선형개발

1차년도 연구결과를 토대로 G/T 1톤급의 새로운 선형을 개발하였다. 선형개발 방향은 다음과 같다.

- 선폭을 1.828m에서 2.0m로 크게 하여, 갑판면적을 넓혀줌으로서 작업공간을 확보함.
- 기존 선형에서 크게 발생하였던 선수미 Wave를 줄여주기 위하여 선수미 Profile을 위로 올려주어 선수미 조파성능을 향상시켜주고, 전체적인 배수량을 동일하게 함.
- Knuckle line을 없애고, Round화함으로서 제작의 편리성을 꾀하고, 설계속도 5노트 기준 Knuckle line으로부터 발생하는 와 저항(Eddy resistance)을 줄여 줌.

**Table 4.1.1 Comparison of 1 G/T hull forms**

	1차년도 개발 어선		2차년도 신개발 어선
	기존어선	개발어선	
Lpp (m)	7.20	7.2	7.20
B (m)	1.80	2.0	2.00
D (m)	0.80	0.8	0.80
d (m)	0.28	0.33	0.28
Disp. (ton)	2.50	2.58	2.50

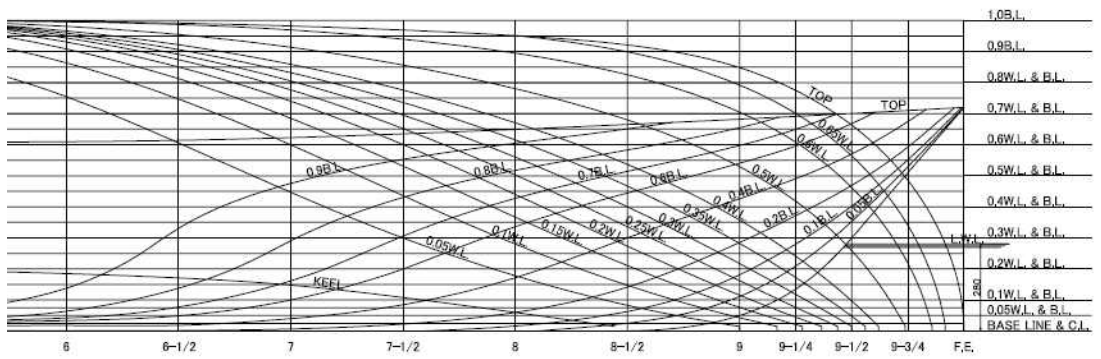
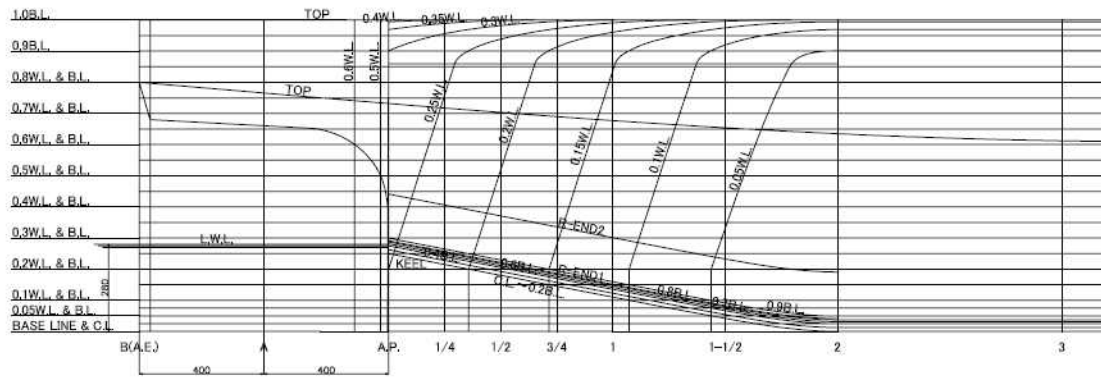
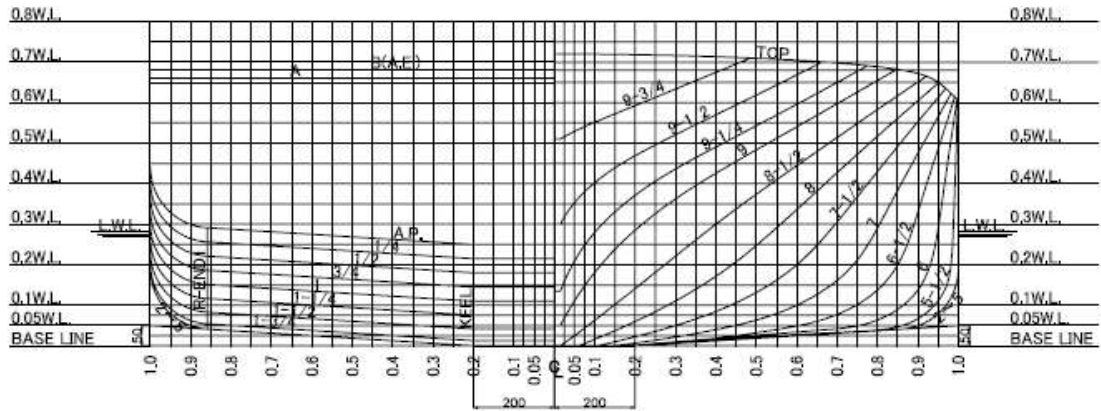


Fig. 4.1.1 New developed G/T 1ton hull form

## 2. 모형시험을 통한 성능해석

새로이 개발한 1톤급 낙지잡이 어선(L=7.2m, G/T 1톤)의 유체역학적인 성능을 파악하기 위하여 서일본유체기술연구소 회류수조에서 모형시험을 수행하였다. 만재상태와 경하상태에서 저항시험(3~10노트)을 수행하였고, Froude의 비교법칙을 이용하여 실선의 유효마력 및 전달마력을 추정하였다.

시험모형은 1m 크기로 하드우레탄으로 제작하였다. 제작된 시험모형은 Fig. 4.1.2와 같다.

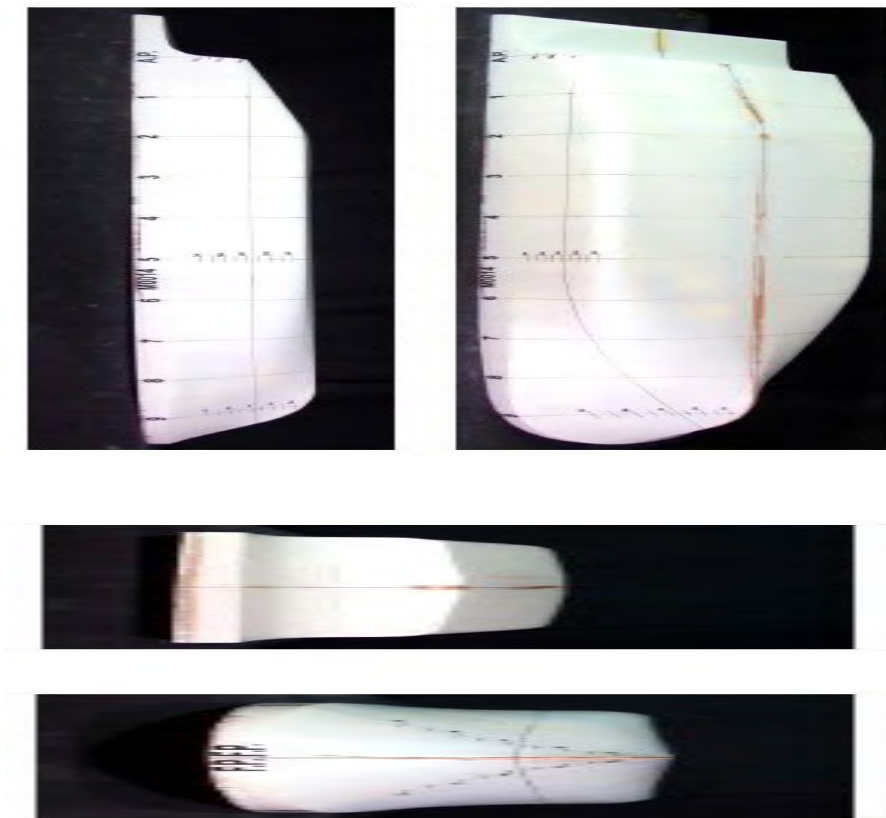


Fig. 4.1.2 1톤급 어선 시험모형



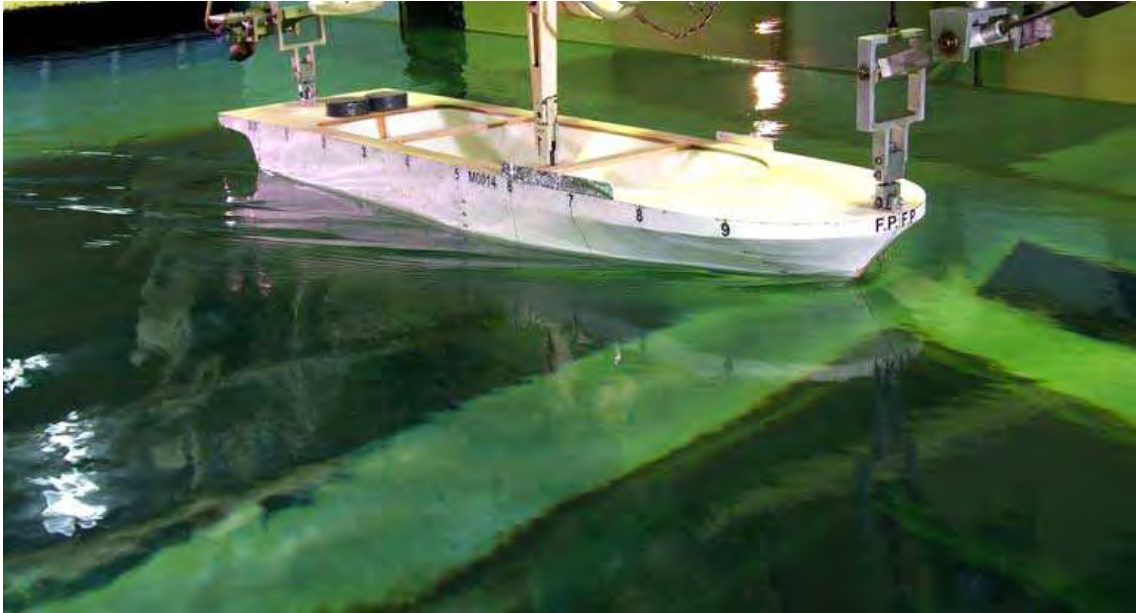


Fig. 4.1.3 Full load condition,  $V_s=3$  knots,  $F_n=0.184$

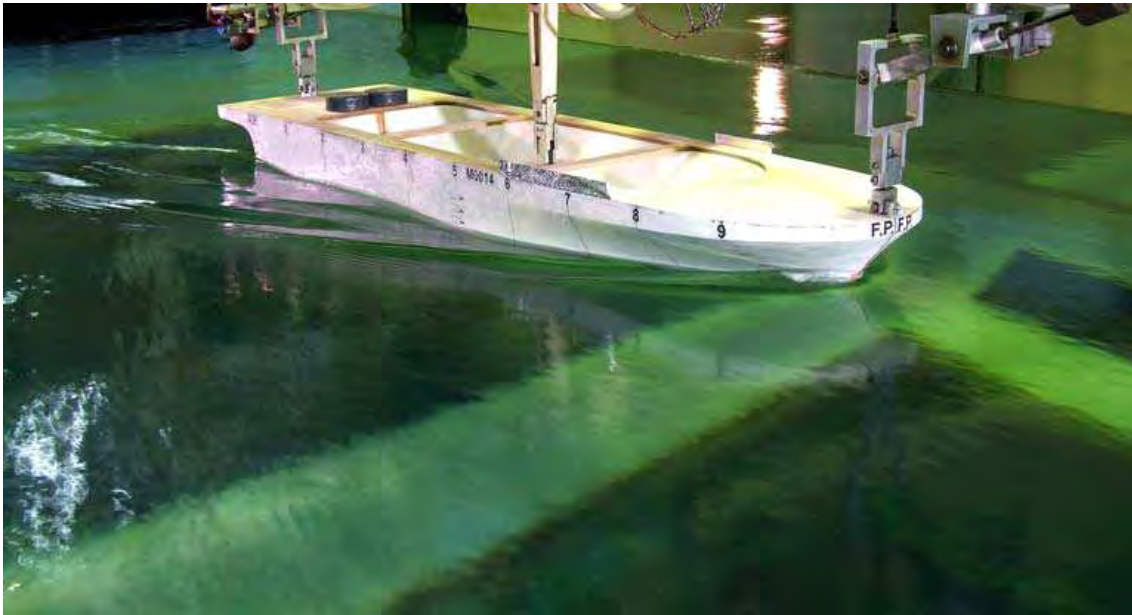


Fig. 4.1.4 Full load condition,  $V_s=4$  knots,  $F_n=0.245$



Fig. 4.1.5 Full load condition,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.306$



Fig. 4.1.6 Full load condition,  $V_s=6$  knots,  $F_n=0.368$



Fig. 4.1.7 Full load condition,  $V_s=7$  knots,  $F_n=0.429$

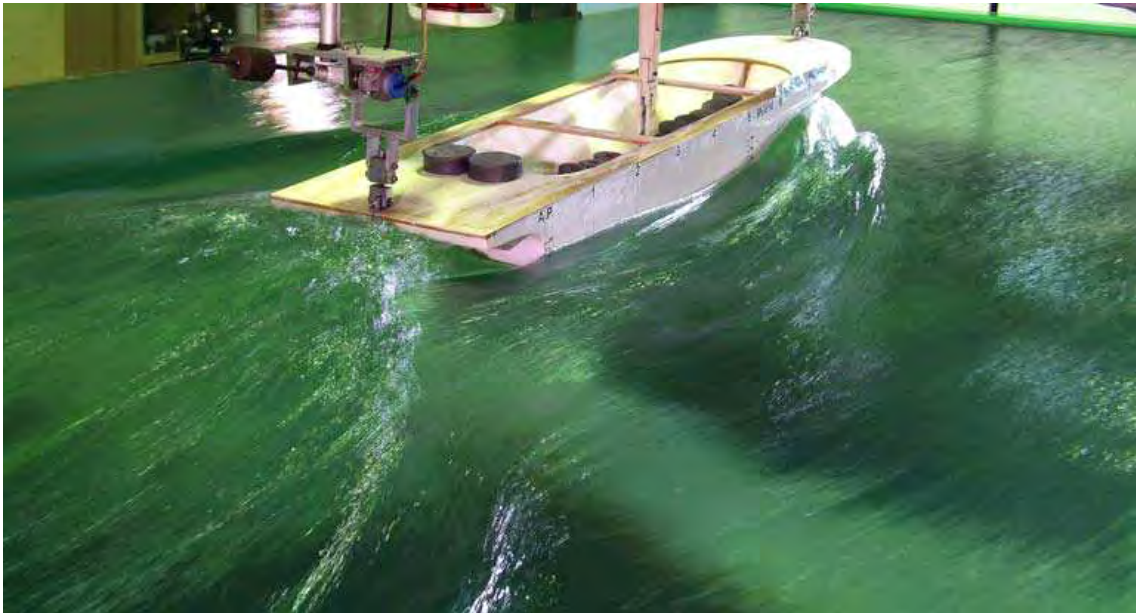
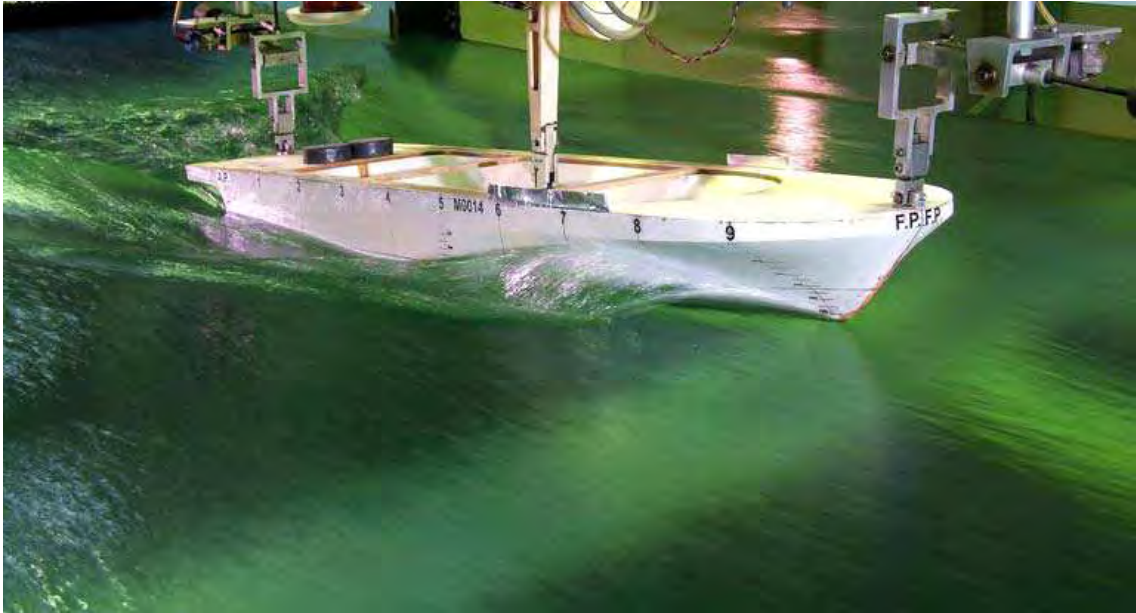


Fig. 4.1.8 Full load condition,  $V_s=8$  knots,  $F_n=0.490$

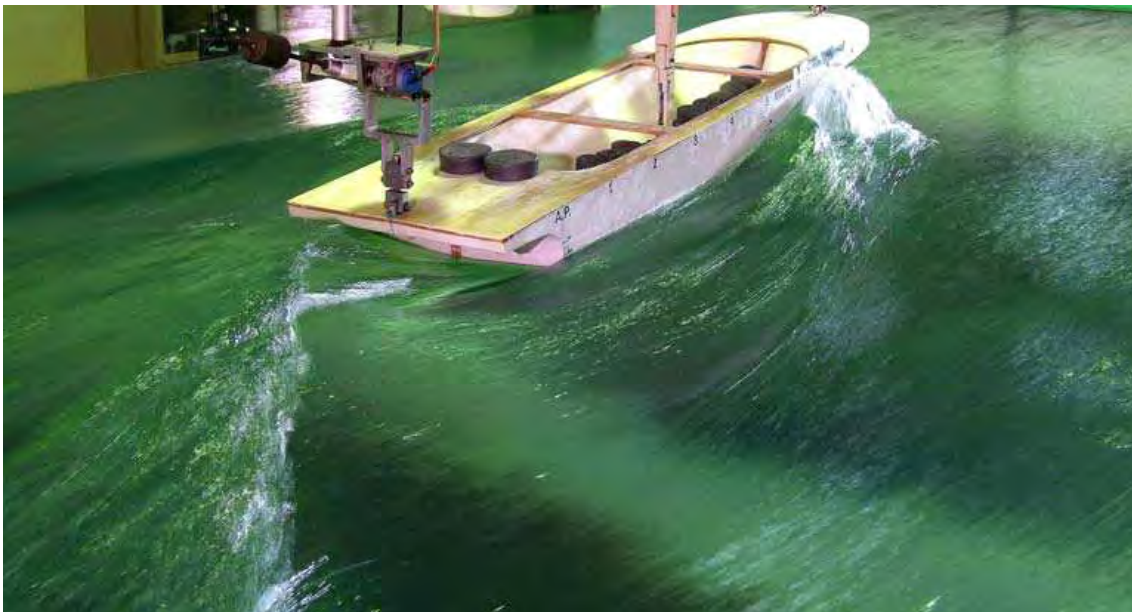
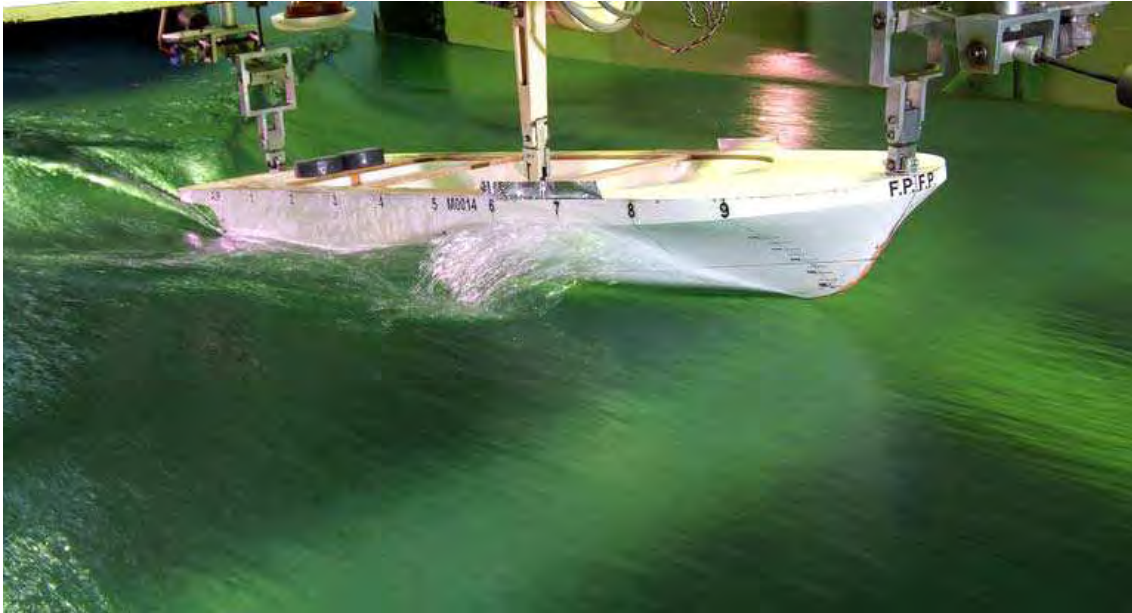


Fig. 4.1.9 Full load condition,  $V_s=9$  knots,  $F_n=0.551$



Fig. 4.1.10 Full load condition,  $V_s=10$  knots,  $F_n=0.612$





Fig. 4.1.11 Light weight condition,  $V_s=3$  knots,  $Fn=0.184$



Fig. 4.1.12 Light weight condition,  $V_s=4$  knots,  $Fn=0.245$

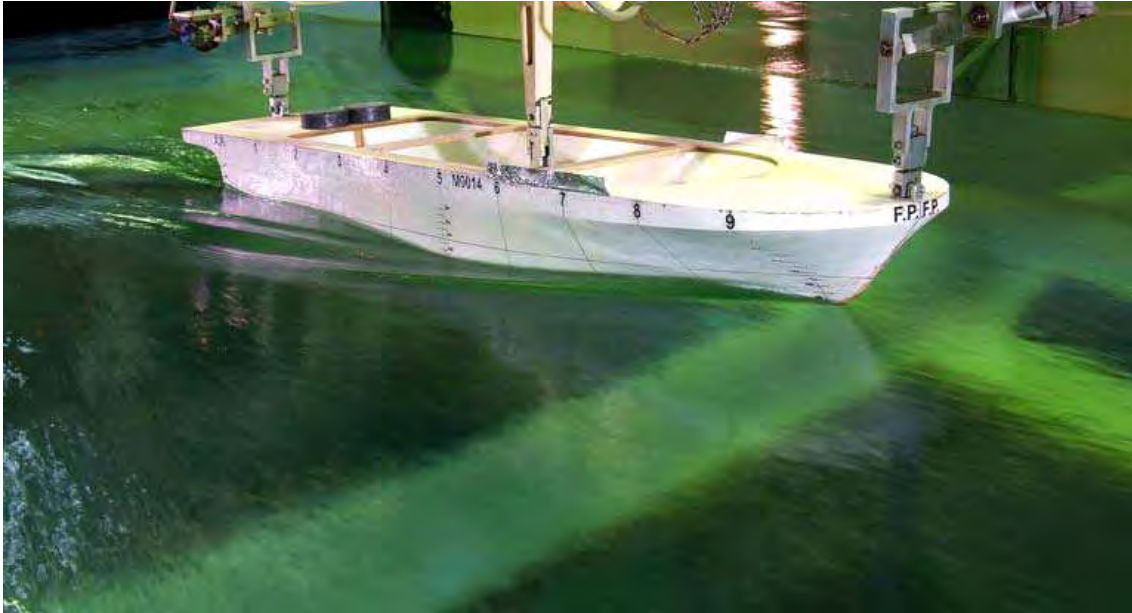


Fig. 4.1.13 Light weight condition,  $V_s=5$  knots,  $Fn=0.306$



Fig. 4.1.14 Light weight condition,  $V_s=6$  knots,  $Fn=0.368$

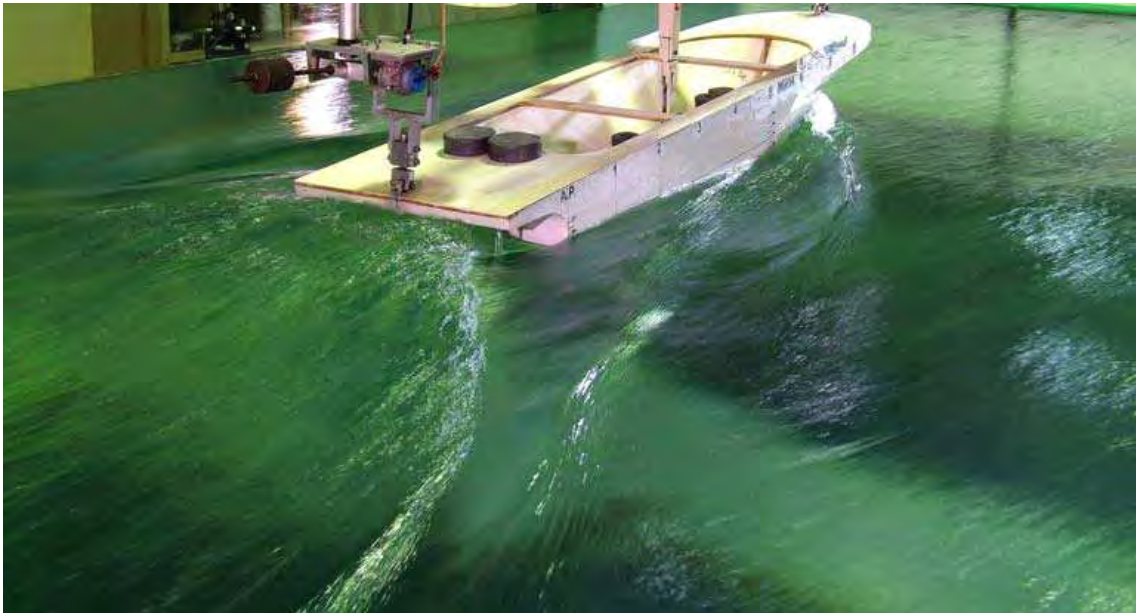


Fig. 4.1.15 Light weight condition,  $V_s=7$  knots,  $Fn=0.429$

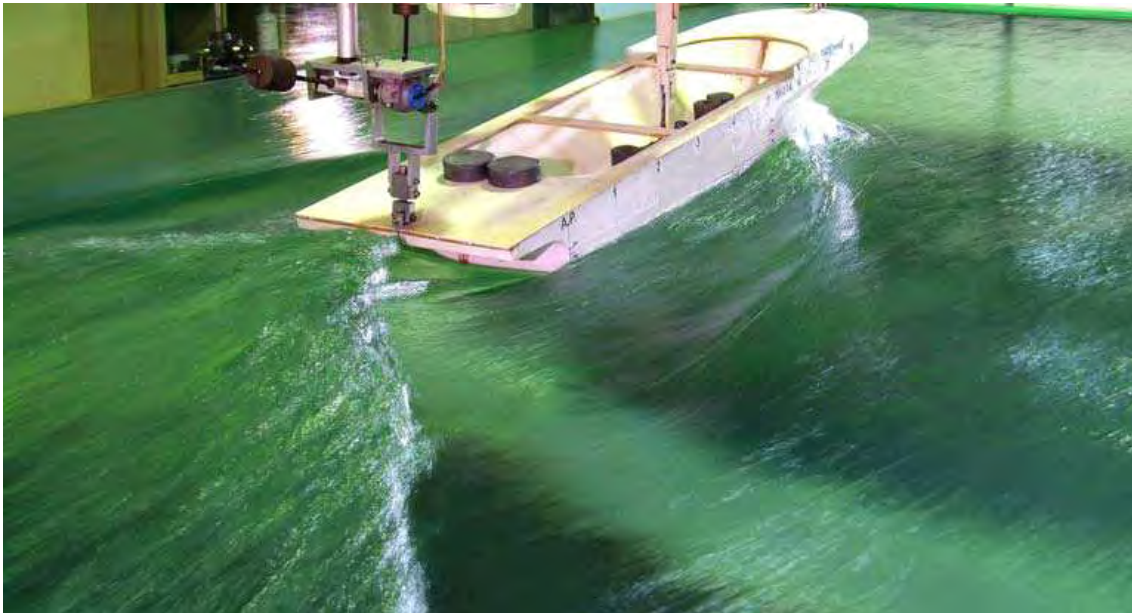
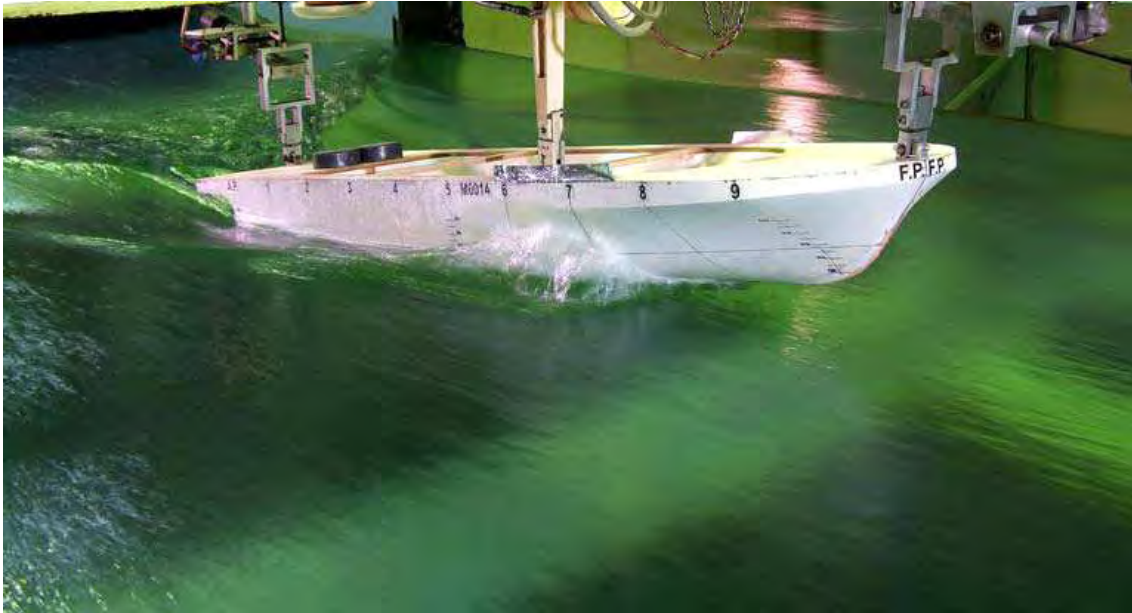


Fig. 4.1.16 Light weight condition,  $V_s=8$  knots,  $Fn=0.490$

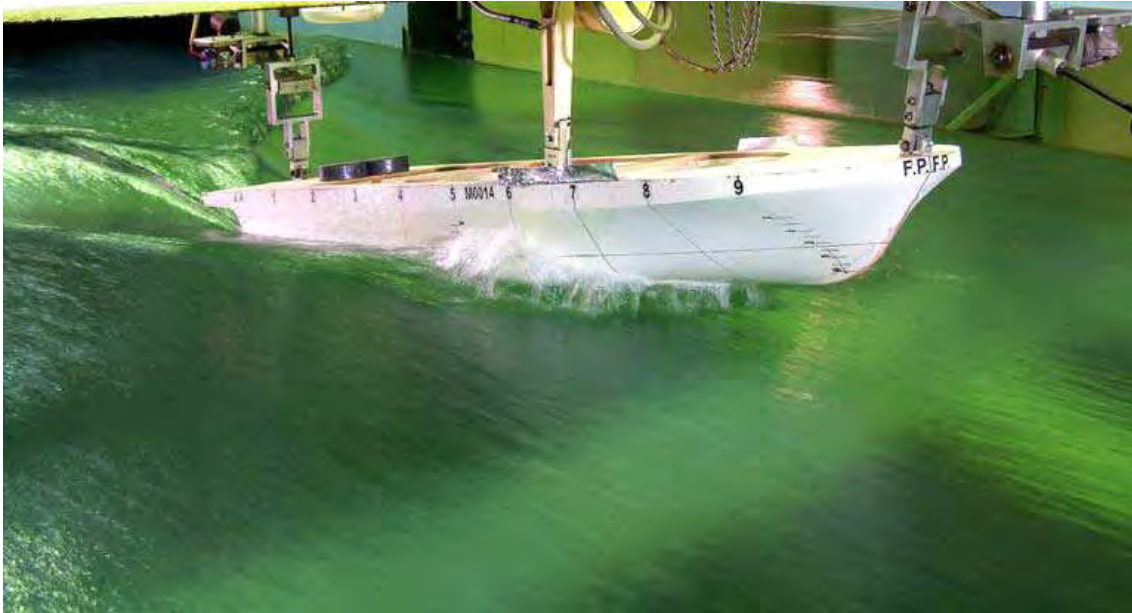
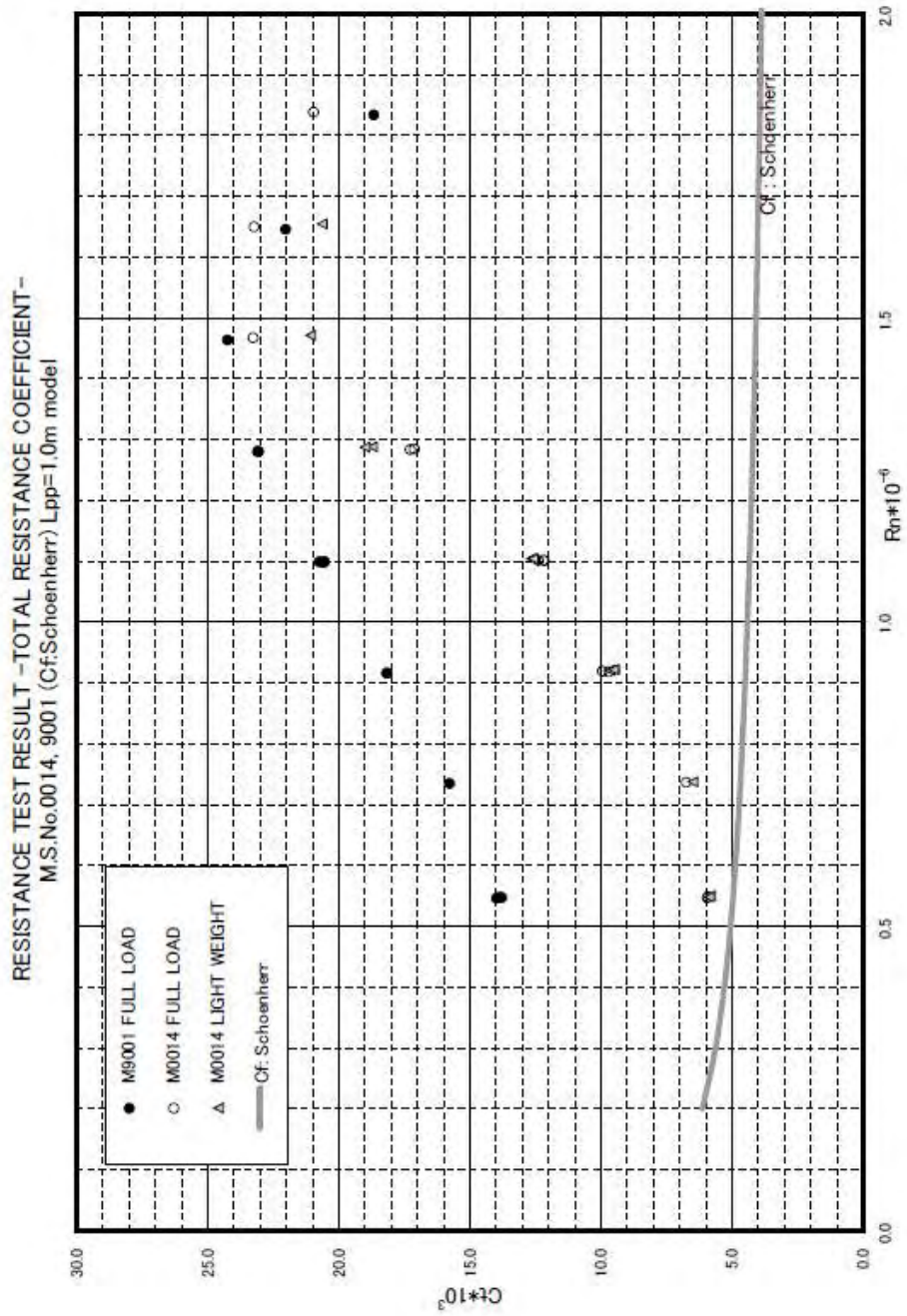


Fig. 4.1.17 Light weight condition,  $V_s=9$  knots,  $Fn=0.551$



(MS9001 : 1차년도 개발 기존선형, MS0014 : 2차년도 신개발 선형)

Fig. 4.1.18 Measured total resistance, Full load condition



RESISTANCE TEST RESULT SINKAGE  
M.S.No.0014 FULL LOAD (Lpp=1.0m model)

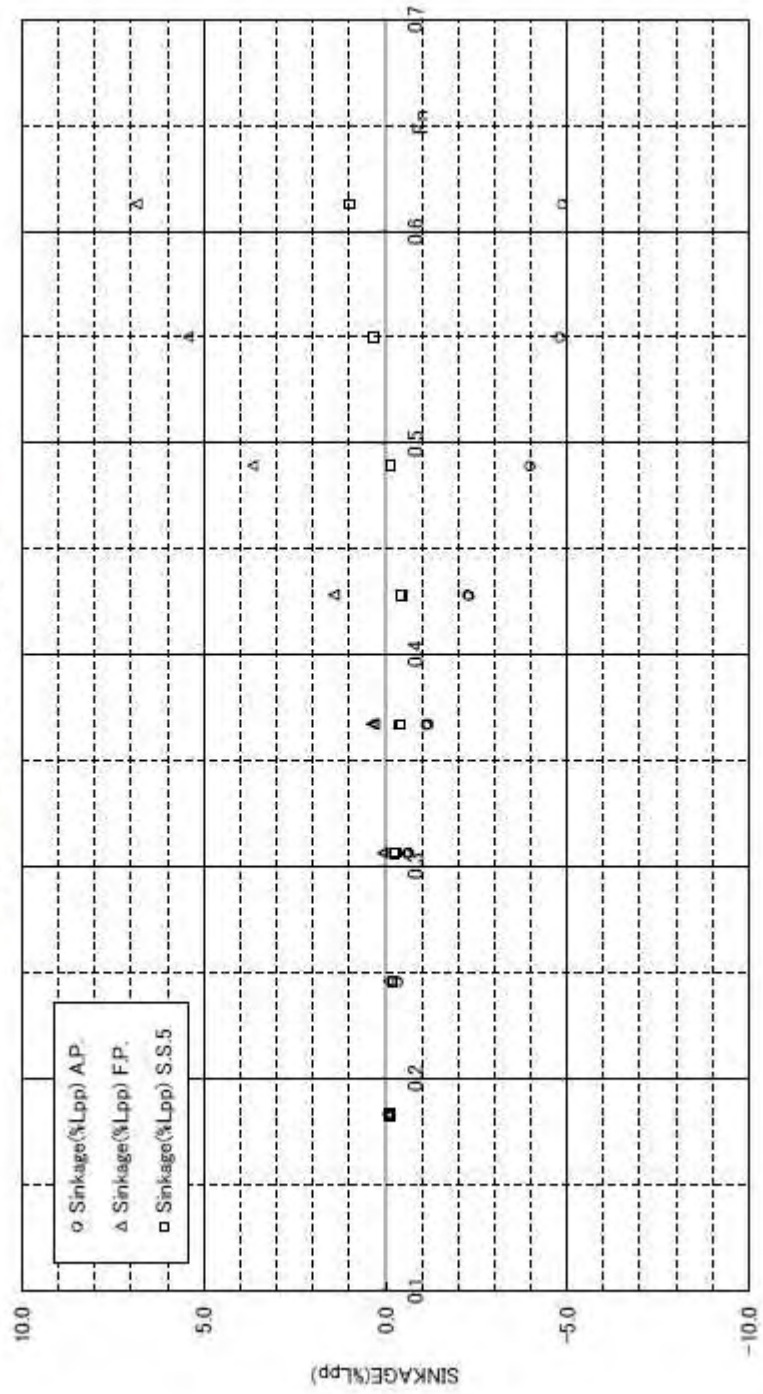


Fig. 4.1.19 Measured sinkage, Full load condition

RESISTANCE TEST RESULT SINKAGE  
M.S.No.0014 LIGHT WEIGHT (L<sub>pp</sub>=1.0m model)

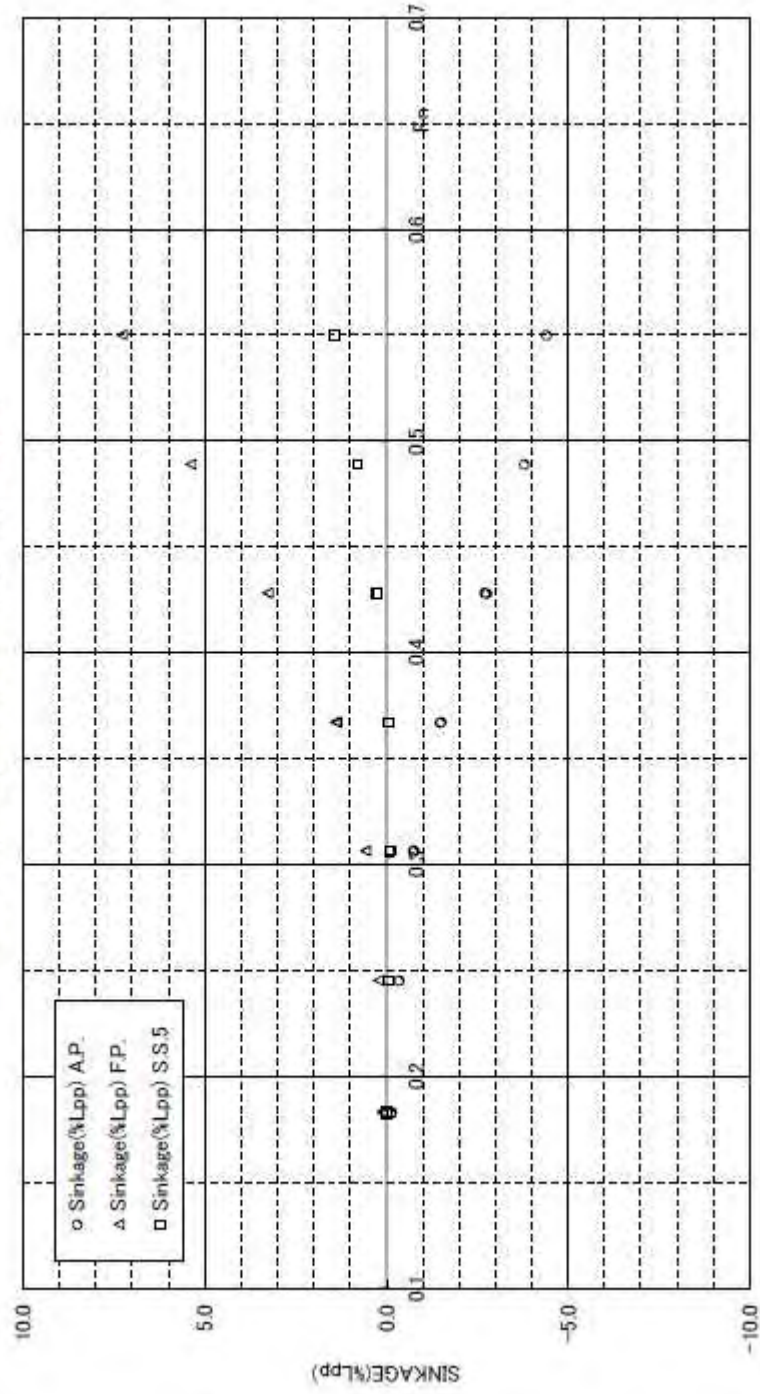


Fig. 4.1.20 Measured sinkage, Light weight condition

RESISTANCE TEST RESULT TRIM  
M.S.No.0014 FULL LOAD (L<sub>pp</sub>=1.0m model)

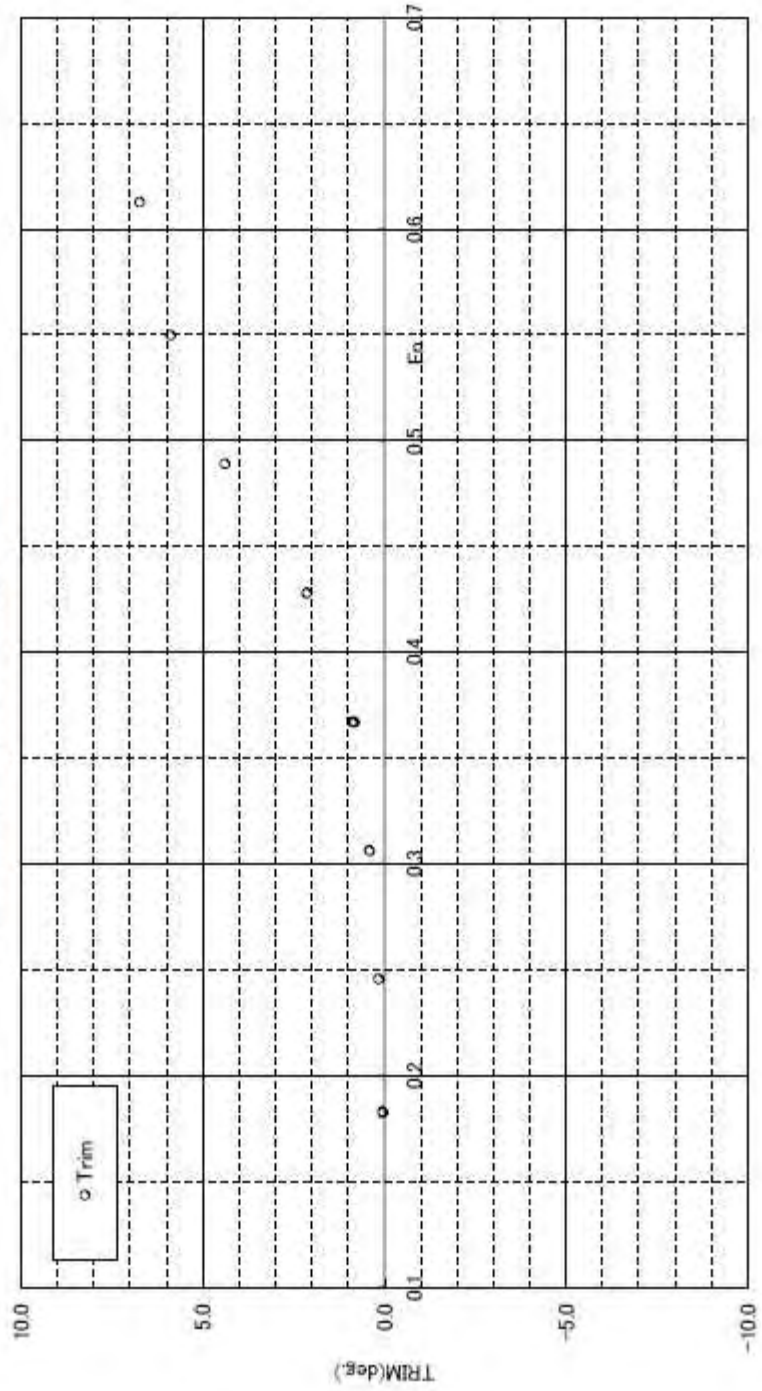


Fig. 4.1.21 Measured trim, Full load condition

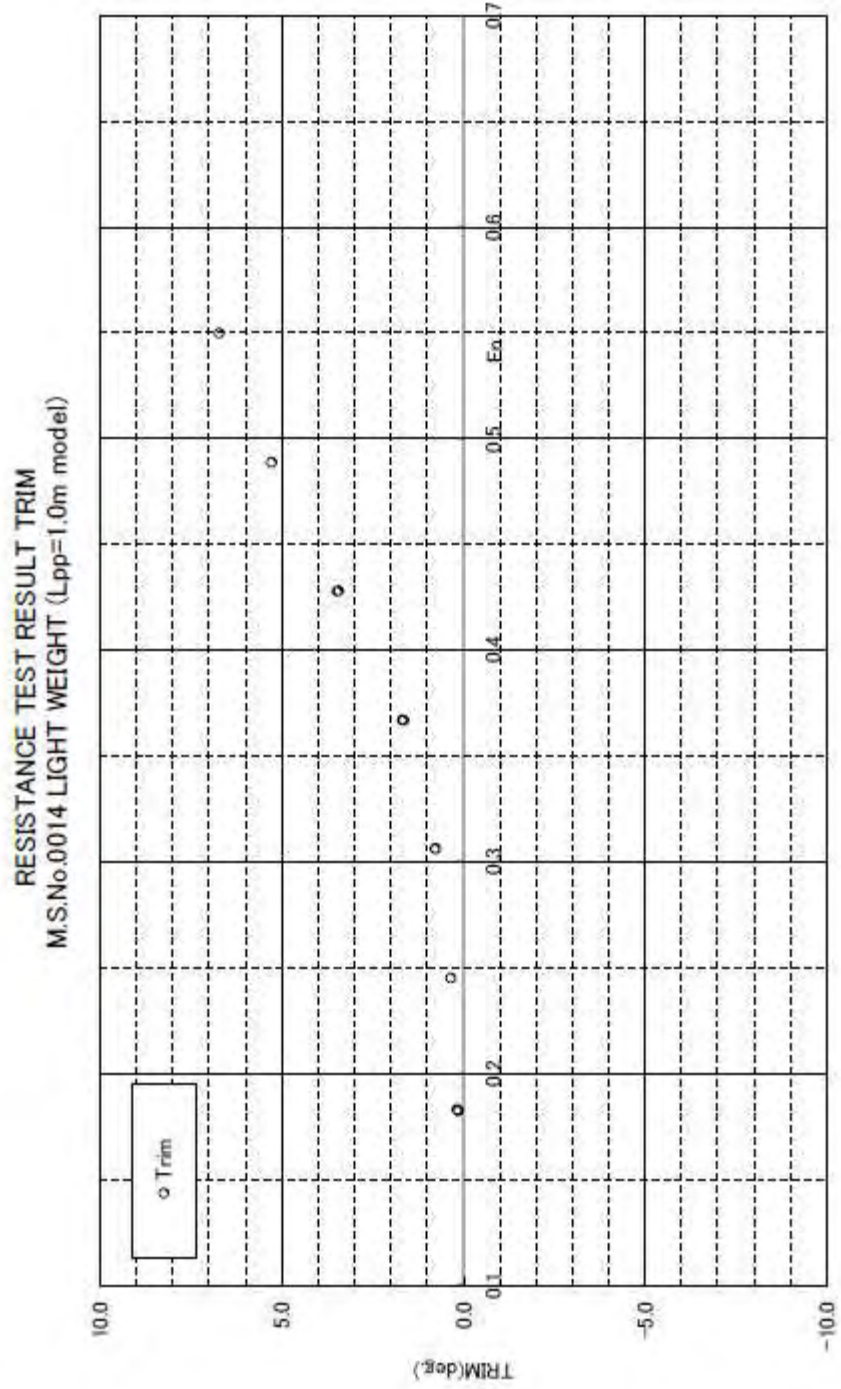


Fig. 4.1.22 Measured trim, Light weight condition

EHP, DHP prediction  
M.S.No.0014

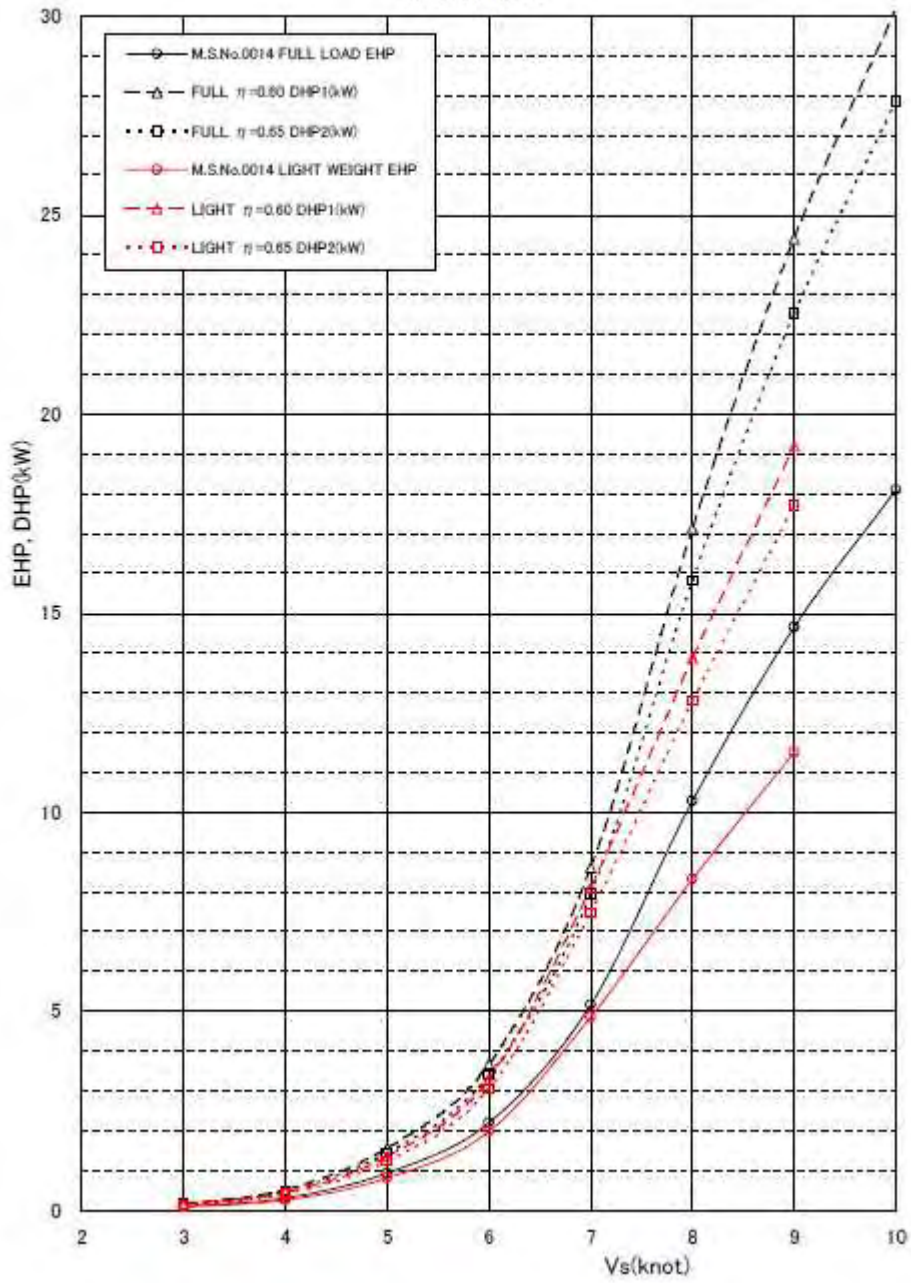
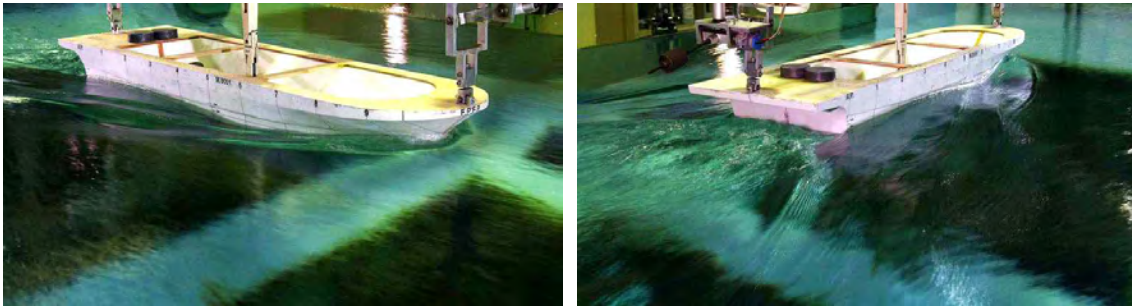


Fig. 4.1.23 Power prediction

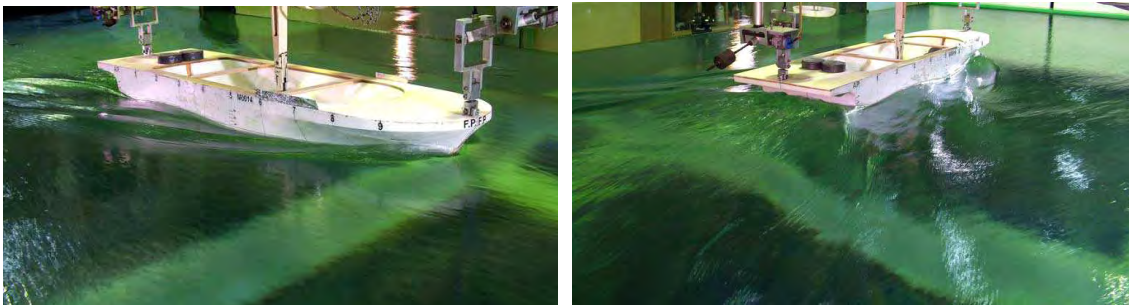
1차년도 모형시험이 수행되었던 기존 1톤급 어선과 2차년도에 새로이 개발한 어선의 설계속도에서 파형을 비교하여 Fig. 4.1.24에 나타내었다. 선수쇄파가 기존선에 비하여 크게 감소하였을 뿐만 아니라 전반적인 파계가 부드러워졌음을 확인 할 수 있다. 또한 선미파계도 크게 감소하는 경향을 보인다.

본 개량어선의 경우 설계속도 5노트 부근에서 기존선형 대비 잉여저항 약 40%이상 감소하였다. 그러나 8노트 이상의 비교적 고속에서는 기존어선보다 성능이 떨어짐. 이는 선형개량 Target을 5~6노트에 맞추어, 설계속도에서 조파저항과 형상저항을 줄이는 관점에서 설계가 이루어진 결과로 판단된다.

만재상태에서 설계속도 5노트를 위하여 약 1.5Kw 정도의 마력이 필요할 것으로 추정된다. 이는 기존 1톤급 어선의 3Kw에 비하여 약 50% 마력저감이 이루어 졌다.



<기존 1톤급 어선>



<2차년도 개발 1톤급 어선>

Fig. 4.1.24 기존 어선과 신개발 어선의 파형비교, 만재상태, V=5knots

## 제2절 G/T 3톤급 단동형 어선의 성능해석

### 1. 대상선형

본 G/T 3톤급 성능해석 대상어선은 현재 목포 연안에서 운항하고 있는 선박으로, 통상 300마력급 엔진으로 25노트 정도로 운항하는 반 활주형 선박이다. 통상의 어선은 모형시험을 통한 유체역학적인 분석 없이 경험에 의하여 설계되고 건조되는 관계로 본 선박을 전기추진선으로 활용할 경우 유체역학적인 특성분석이 필요한 실정이다. 본 선박의 주요제원은 Table 4.2.1와 같고 형상은 Fig. 4.2.1와 같다.

Table 4.2.1 G/T 3톤급 어선의 주요제원

Items	Dimensions
Lpp (m)	7.00
B (m)	2.20
D (m)	1.00
d (m)	0.50
Disp. (ton)	4.87

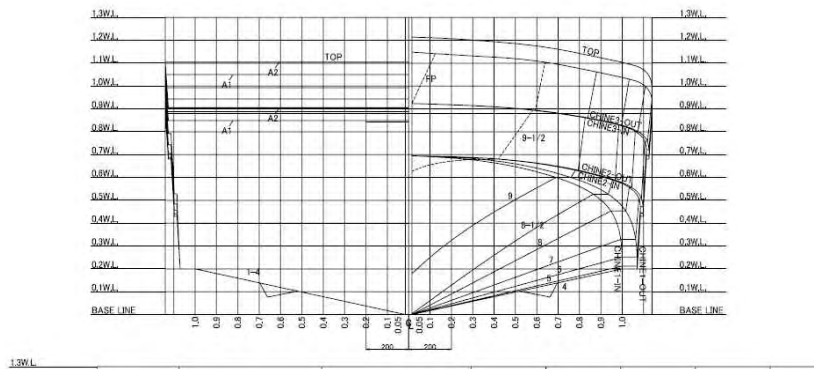


Fig. 4.2.1 Body plan of 3 G/T fishing boat

## 2. 모형시험을 통한 성능분석

기존 3톤급 어선의 유체역학적인 성능을 파악하기 위하여 서일본유체기술연구소 회류수조에서 모형시험을 수행하였다. 만재상태와 경하상태에서 저항시험(3~10노트)을 수행하였고, Froude의 비교법칙을 이용하여 실선의 유효마력 및 전달마력을 추정하였다.

시험모형은 1m 크기로 하드우레탄으로 제작하였다. 제작된 시험모형은 Fig. 4.1.2과 같다.

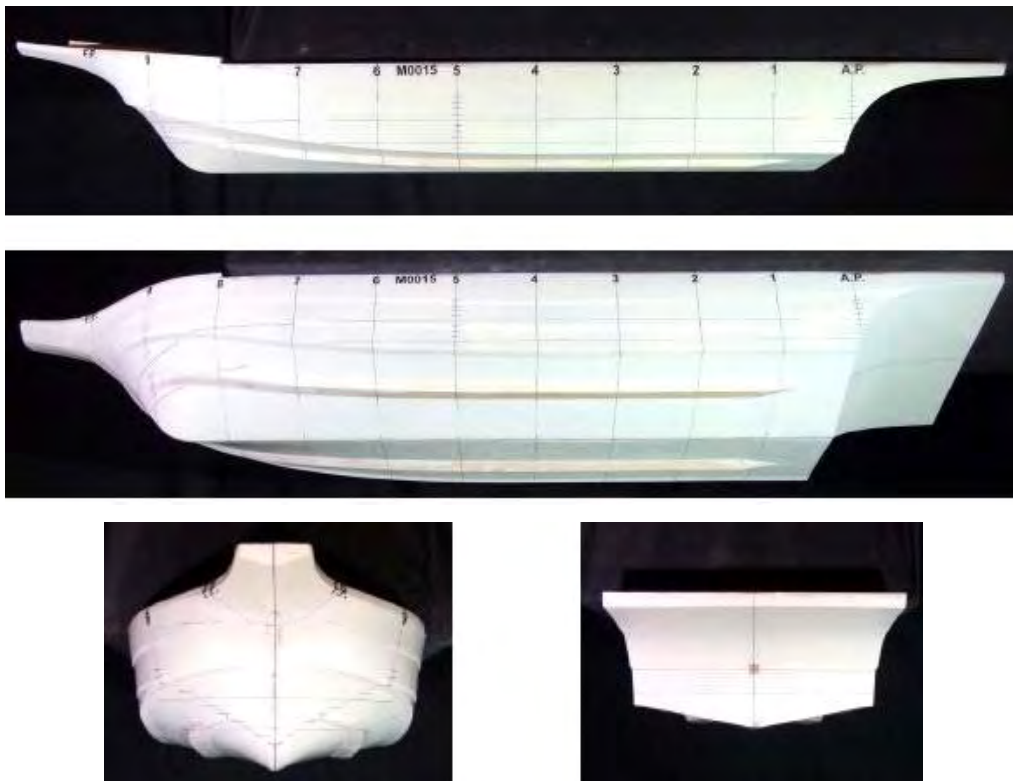


Fig. 4.2.2 3톤급 어선 시험모형





Fig. 4.2.3 Full load condition,  $V_s=3$  knots,  $F_n=0.186$

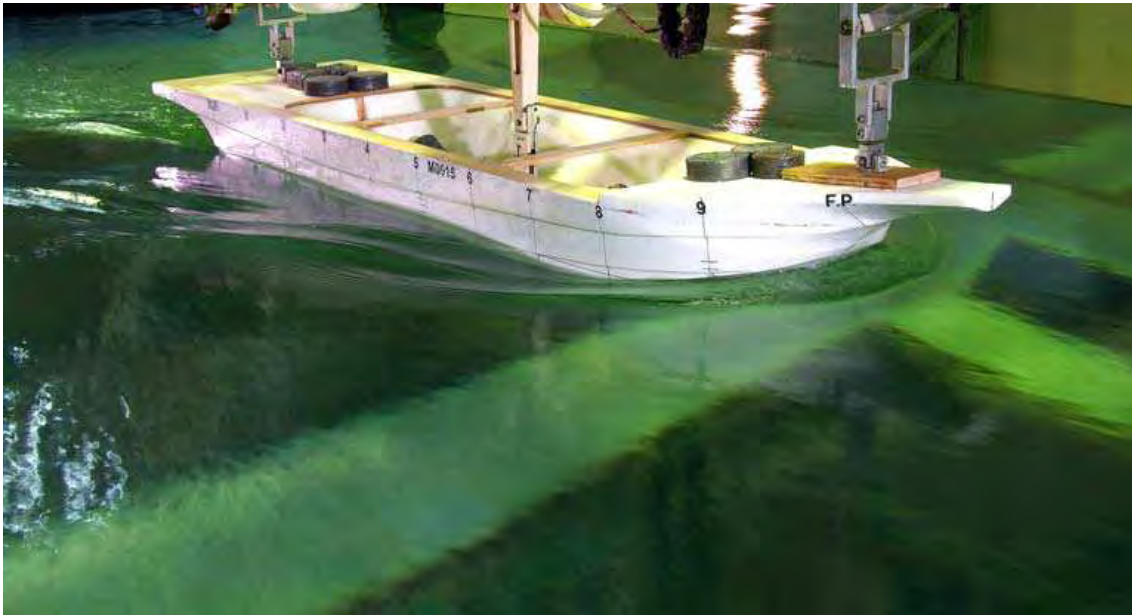


Fig. 4.2.4 Full load condition,  $V_s=4$  knots,  $F_n=0.248$

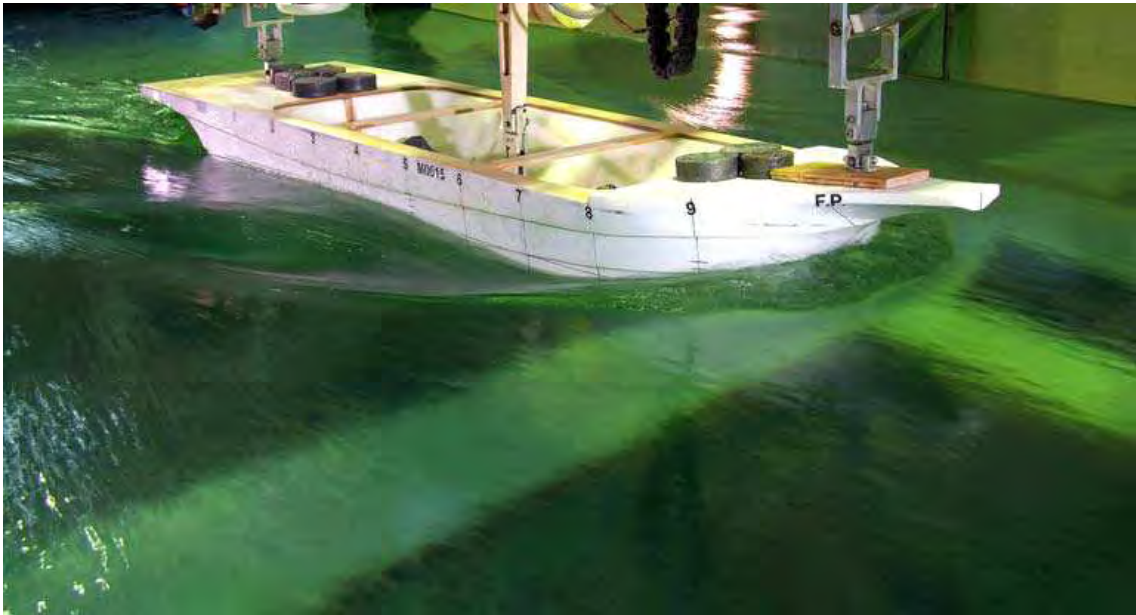


Fig. 4.2.5 Full load condition,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.311$

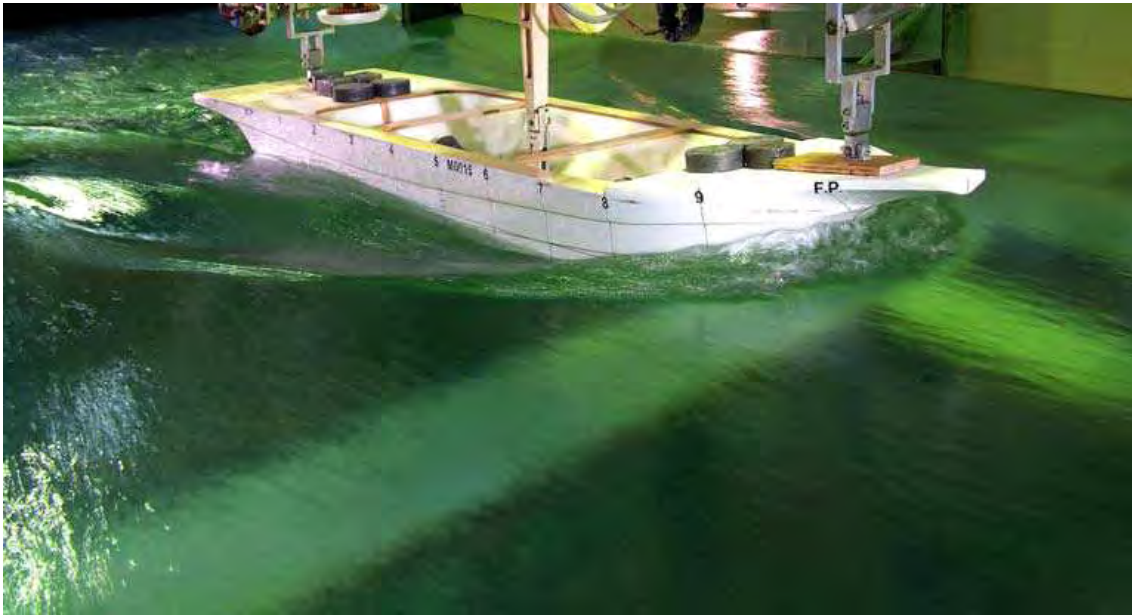


Fig. 4.2.6 Full load condition,  $V_s=6$  knots,  $F_n=0.373$



Fig. 4.2.7 Full load condition,  $V_s=7$  knots,  $F_n=0.435$

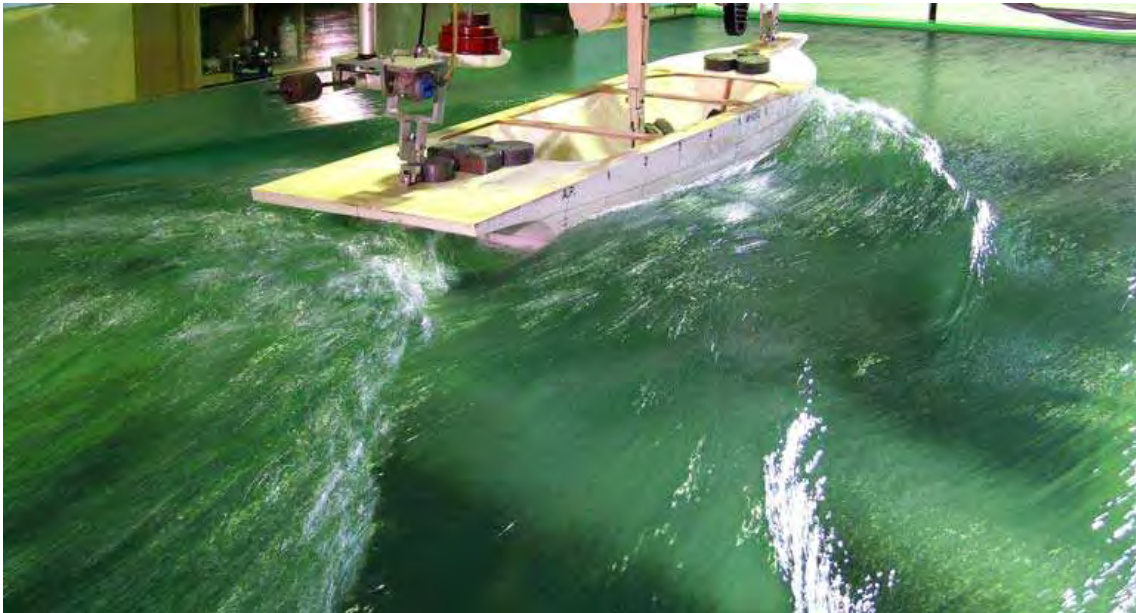
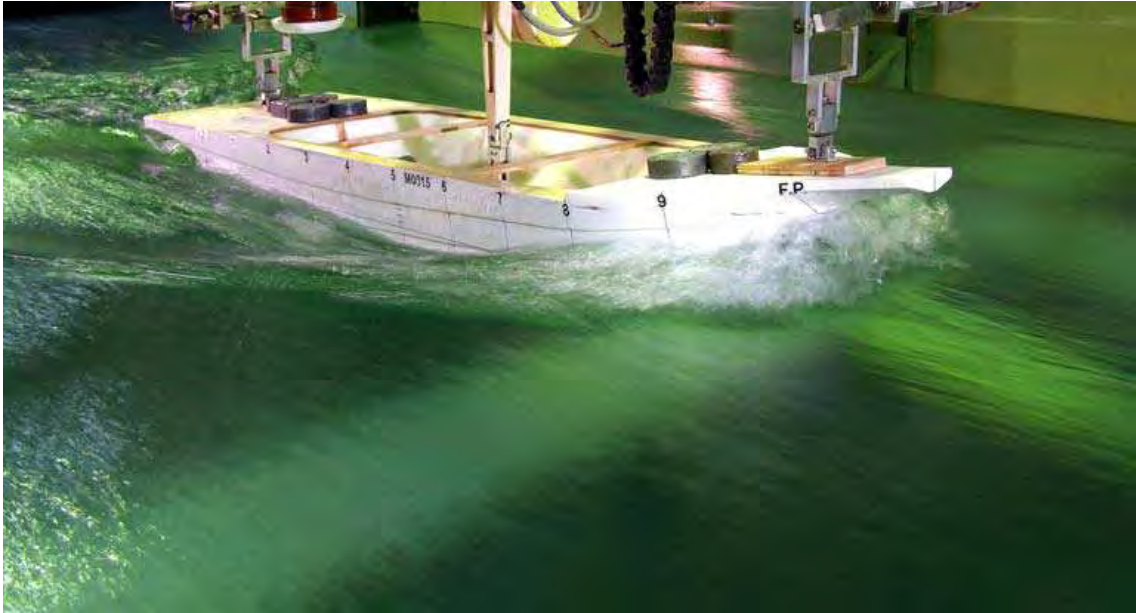


Fig. 4.2.8 Full load condition,  $V_s=8$  knots,  $F_n=0.497$

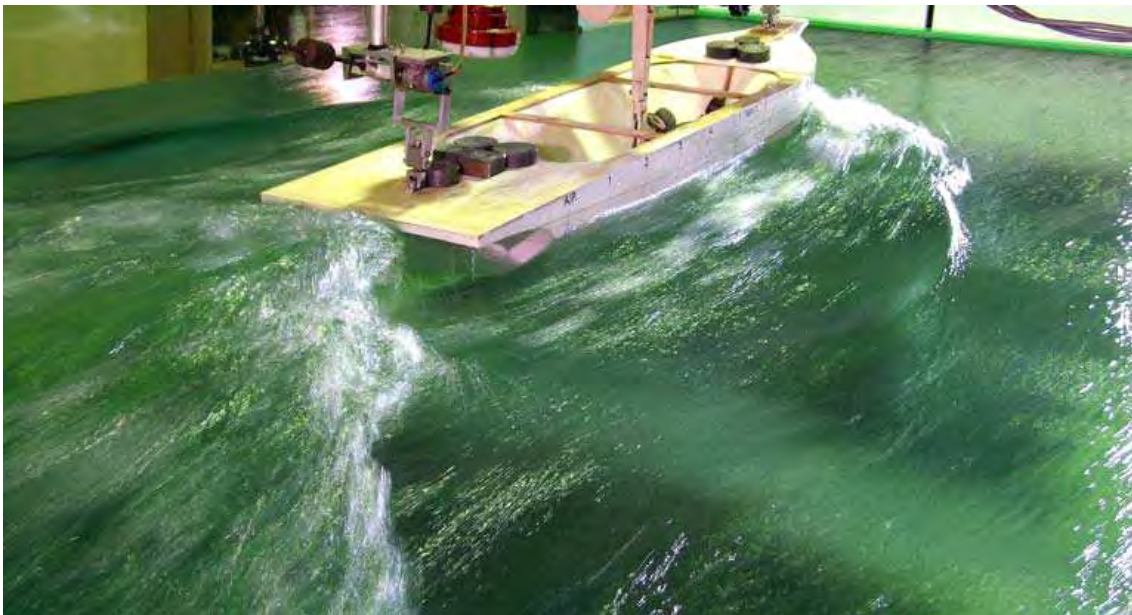
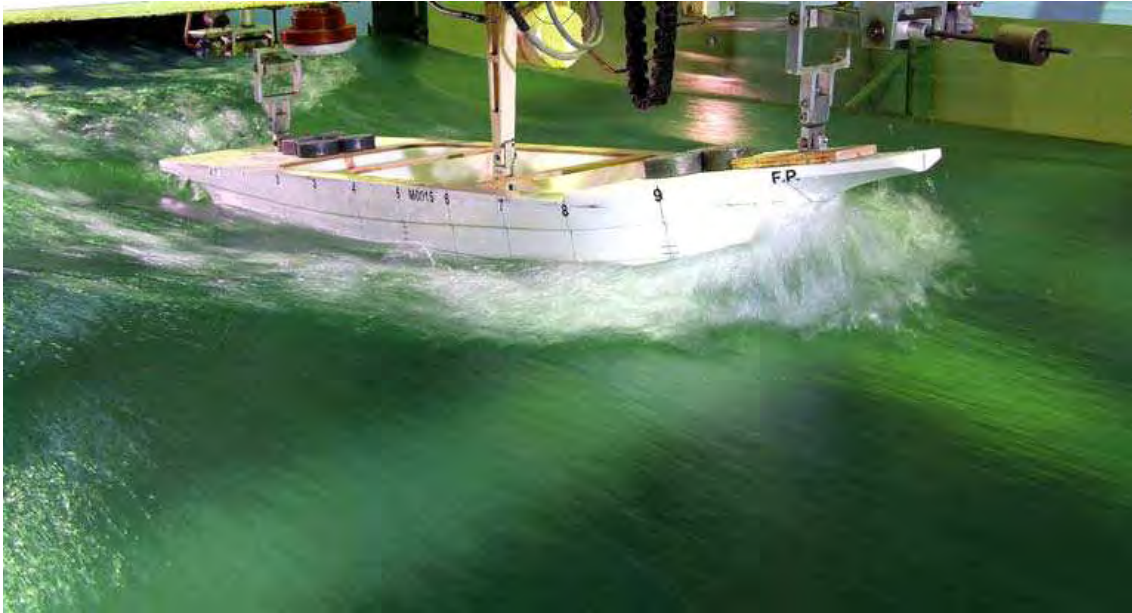


Fig. 4.2.9 Full load condition,  $V_s=9$  knots,  $F_n=0.559$

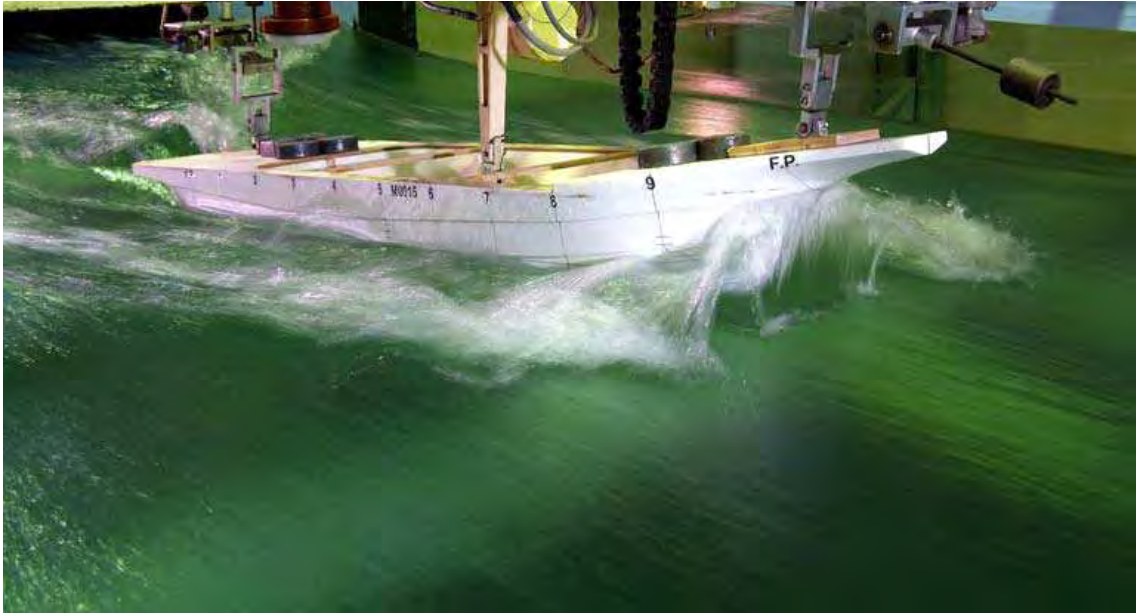


Fig. 4.2.10 Full load condition,  $V_s=10$  knots,  $F_n=0.621$





Fig. 4.2.11 Light weight condition,  $V_s=3$  knots,  $Fn=0.186$



Fig. 4.2.12 Light weight condition,  $V_s=4$  knots,  $Fn=0.248$



Fig. 4.2.13 Light weight condition,  $V_s=5$  knots,  $Fn=0.311$

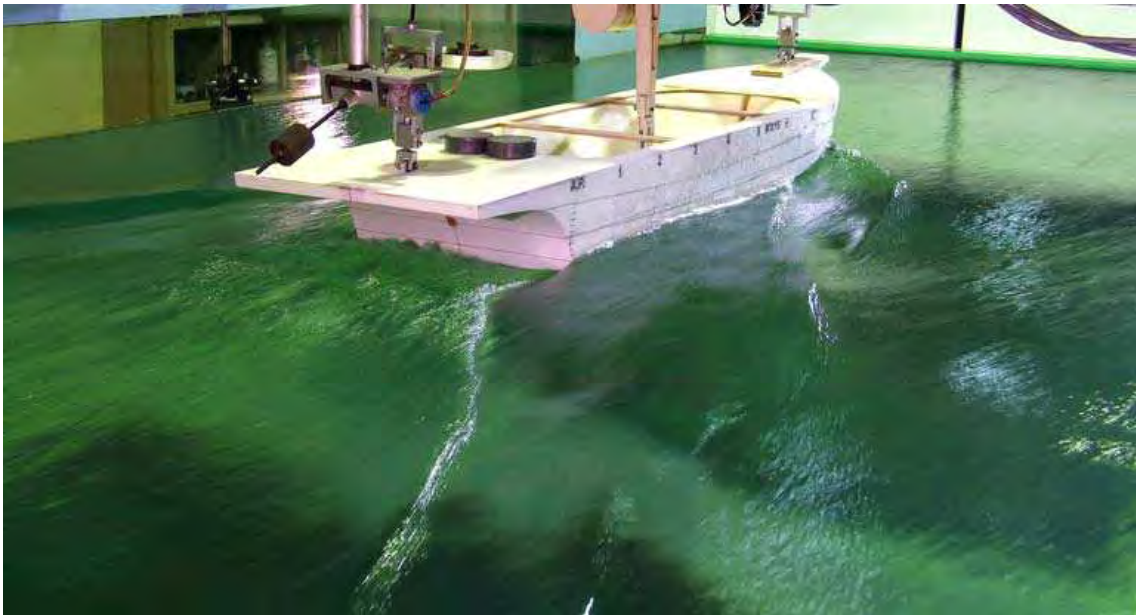


Fig. 4.2.14 Light weight condition,  $V_s=6$  knots,  $F_n=0.373$

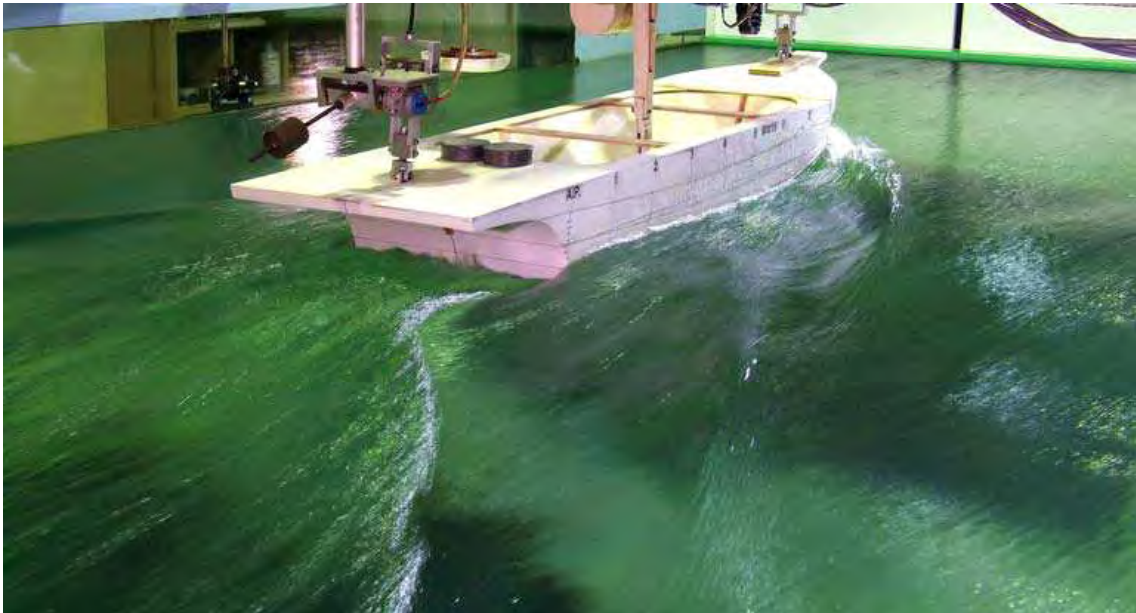


Fig. 4.2.15 Light weight condition,  $V_s=7$  knots,  $Fn=0.435$

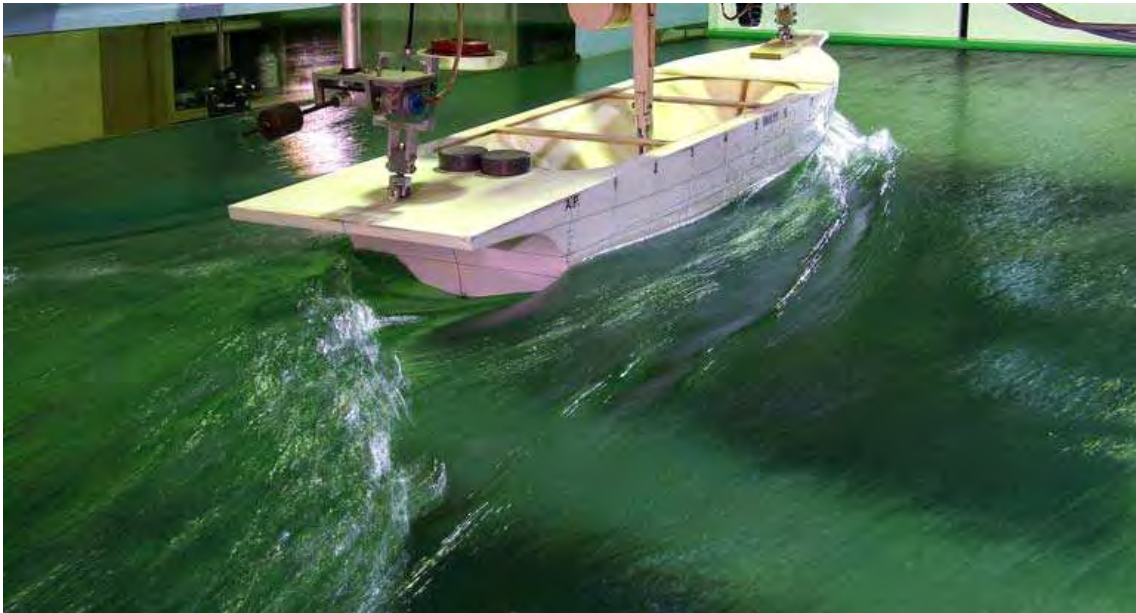


Fig. 4.2.16 Light weight condition,  $V_s=8$  knots,  $Fn=0.497$

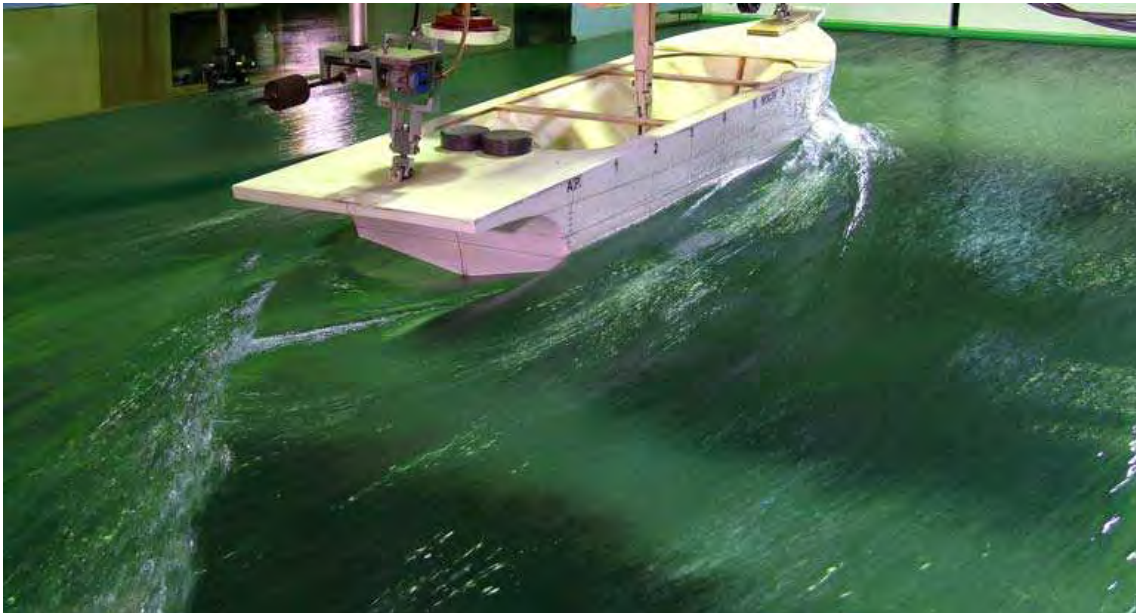


Fig. 4.2.17 Light weight condition,  $V_s=9$  knots,  $Fn=0.559$



Fig. 4.2.18 Light weight condition,  $V_s=10$  knots,  $F_n=0.621$



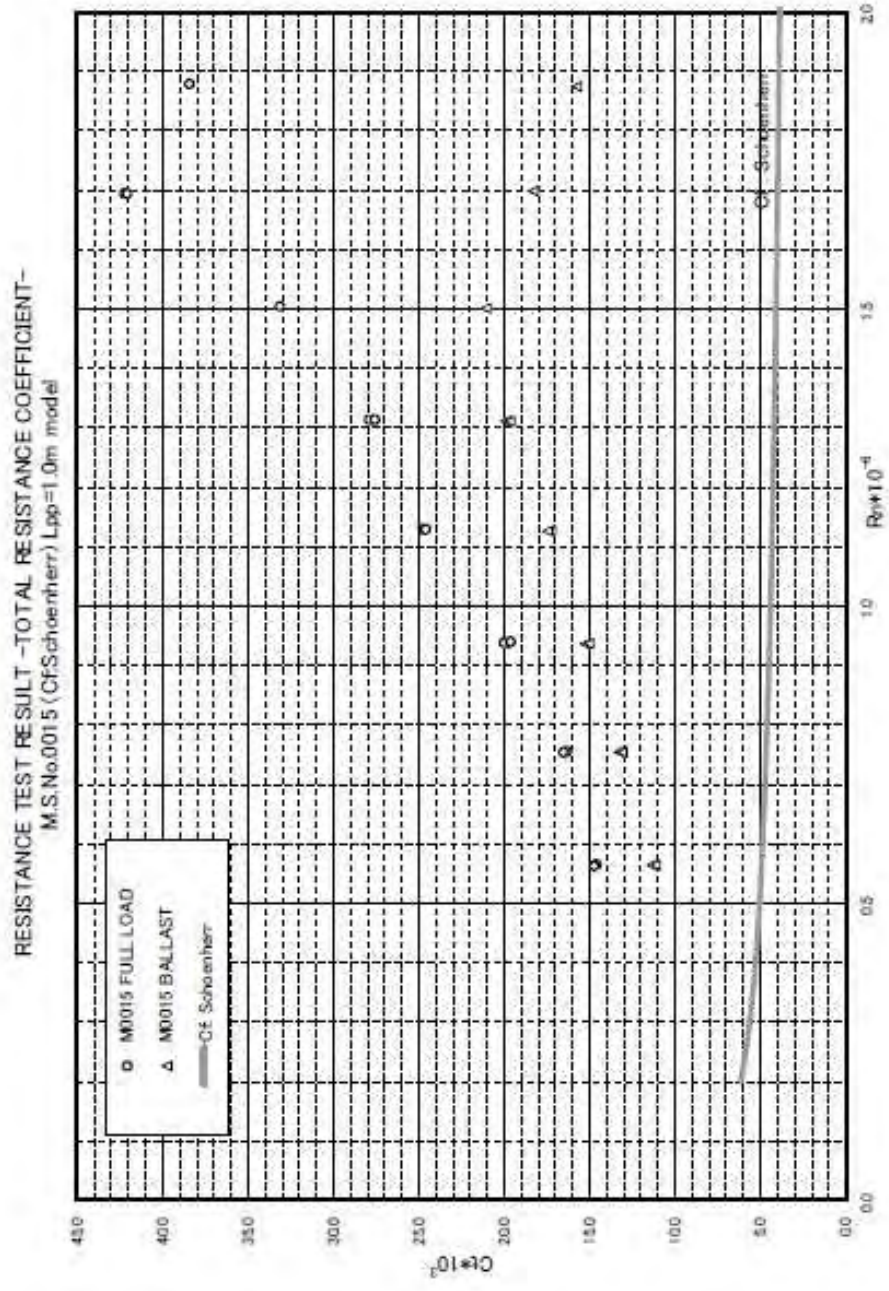


Fig. 4.2.19 Measured total resistance

RESISTANCE TEST RESULT SINKAGE  
M.S.No.0015 FULL LOAD (L<sub>pp</sub>=1.0m model)

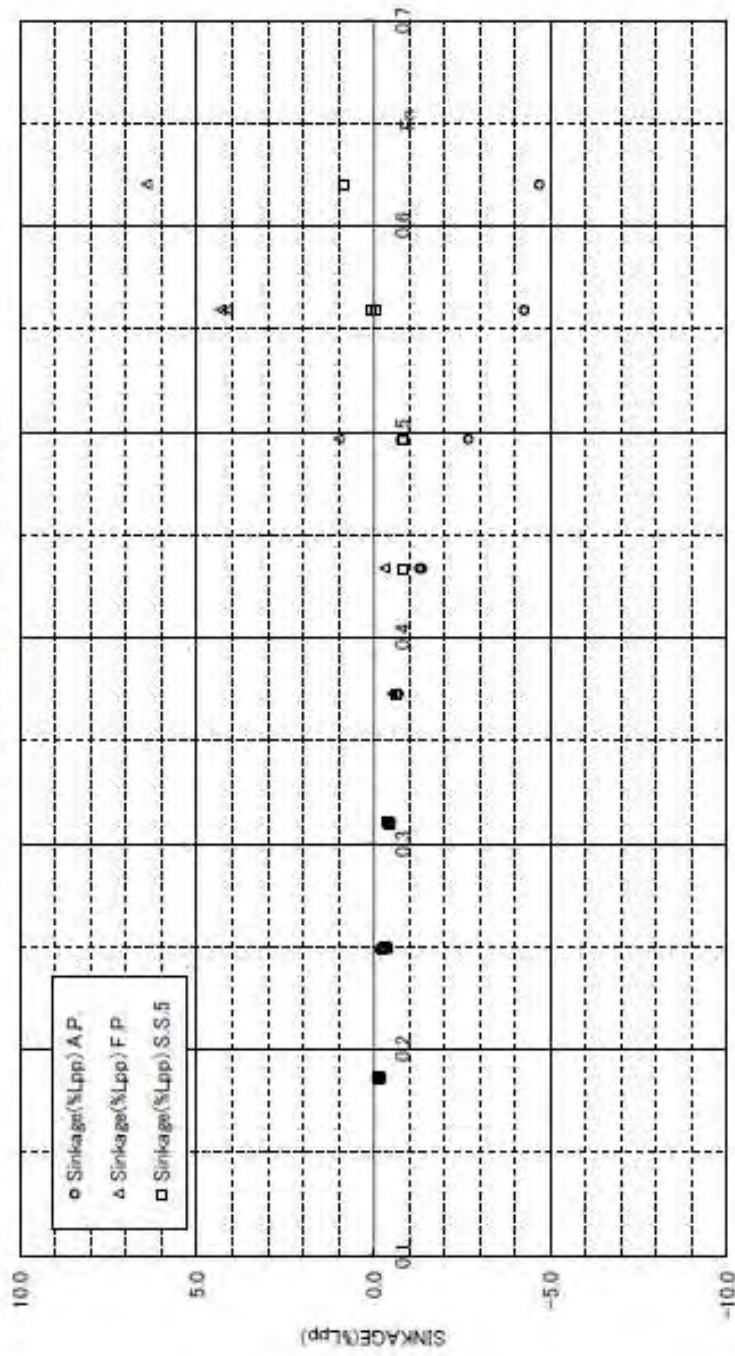


Fig. 4.2.20 Measured sinkage, Full load condition

RESISTANCE TEST RESULT SINKAGE  
M.S.No.0015 BALLAST (L<sub>pp</sub>=1.0m model)

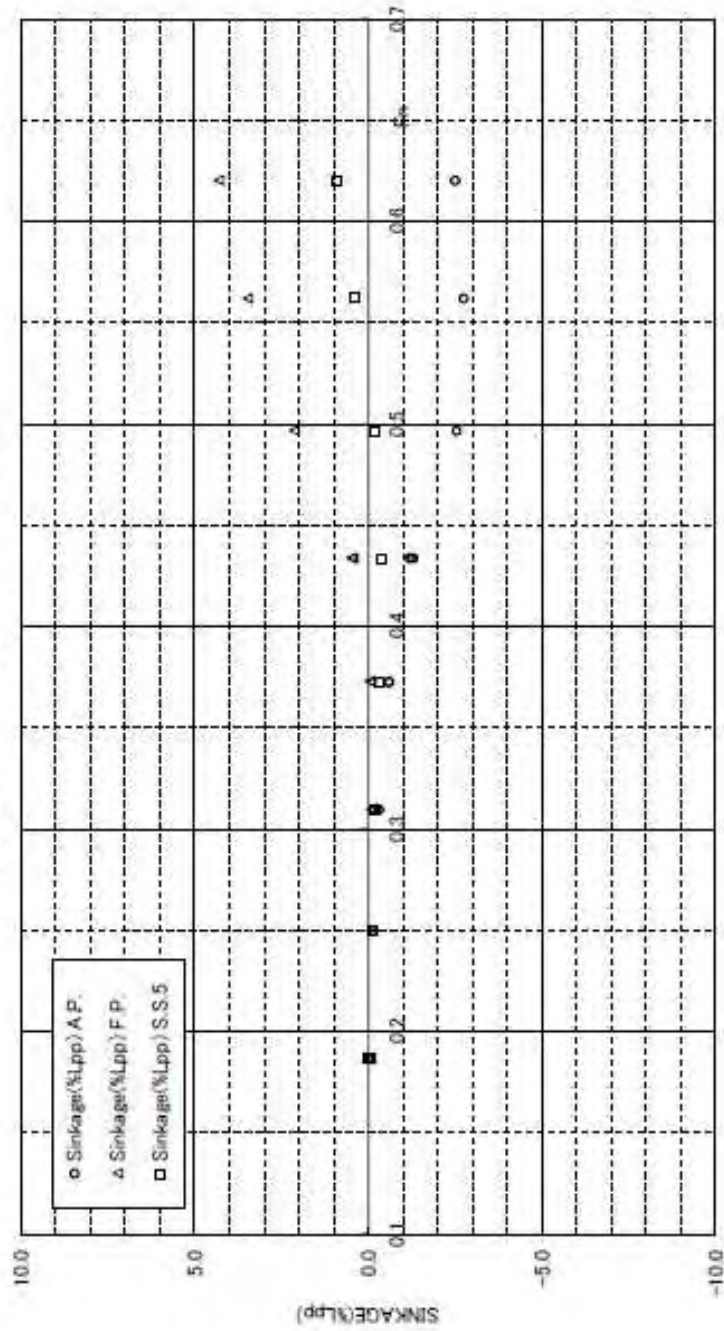


Fig. 4.2.21 Measured sinkage, Light weight condition

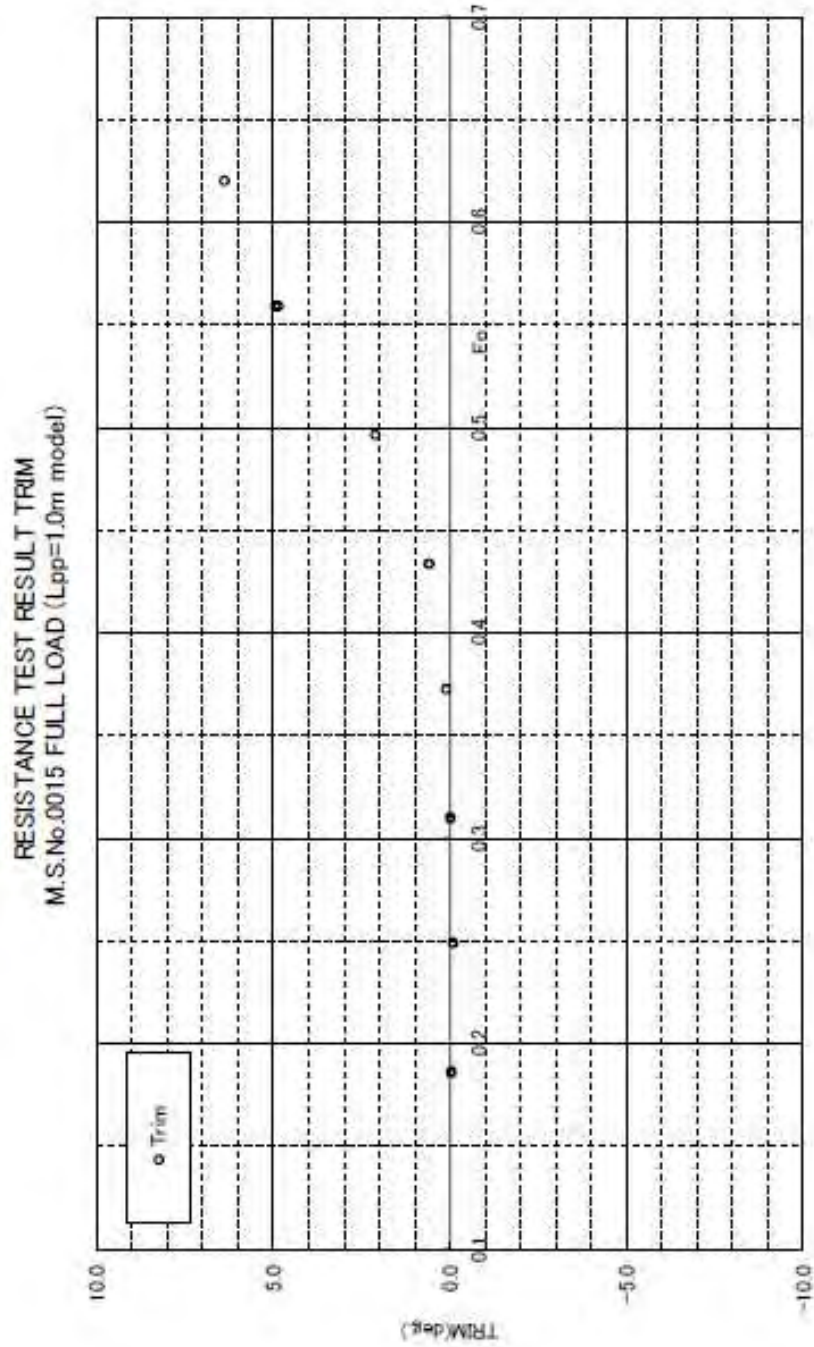


Fig. 4.2.22 Measured trim, Full load condition

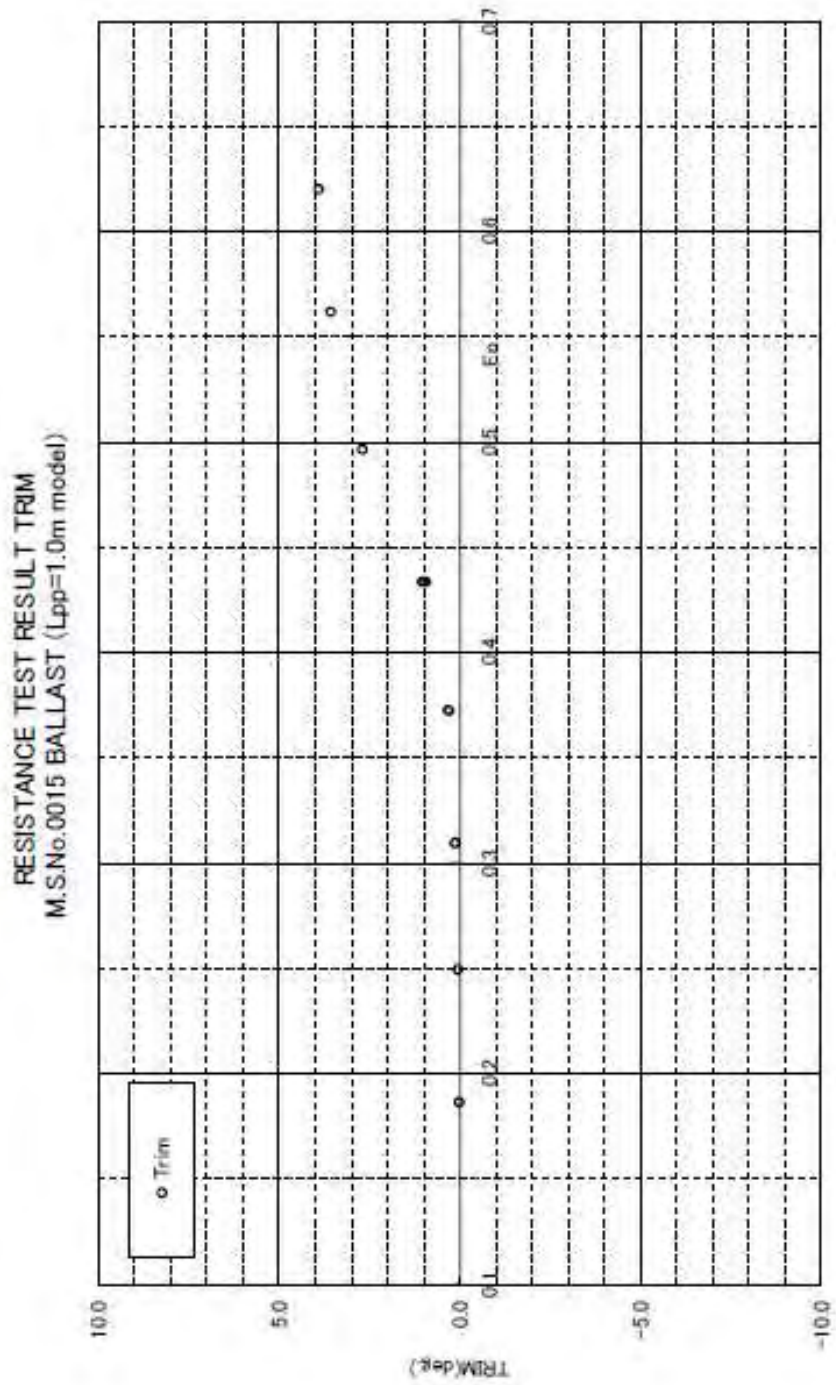


Fig. 4.2.23 Measured trim, Light weight condition

EHP, DHP prediction  
M.S.No.0015

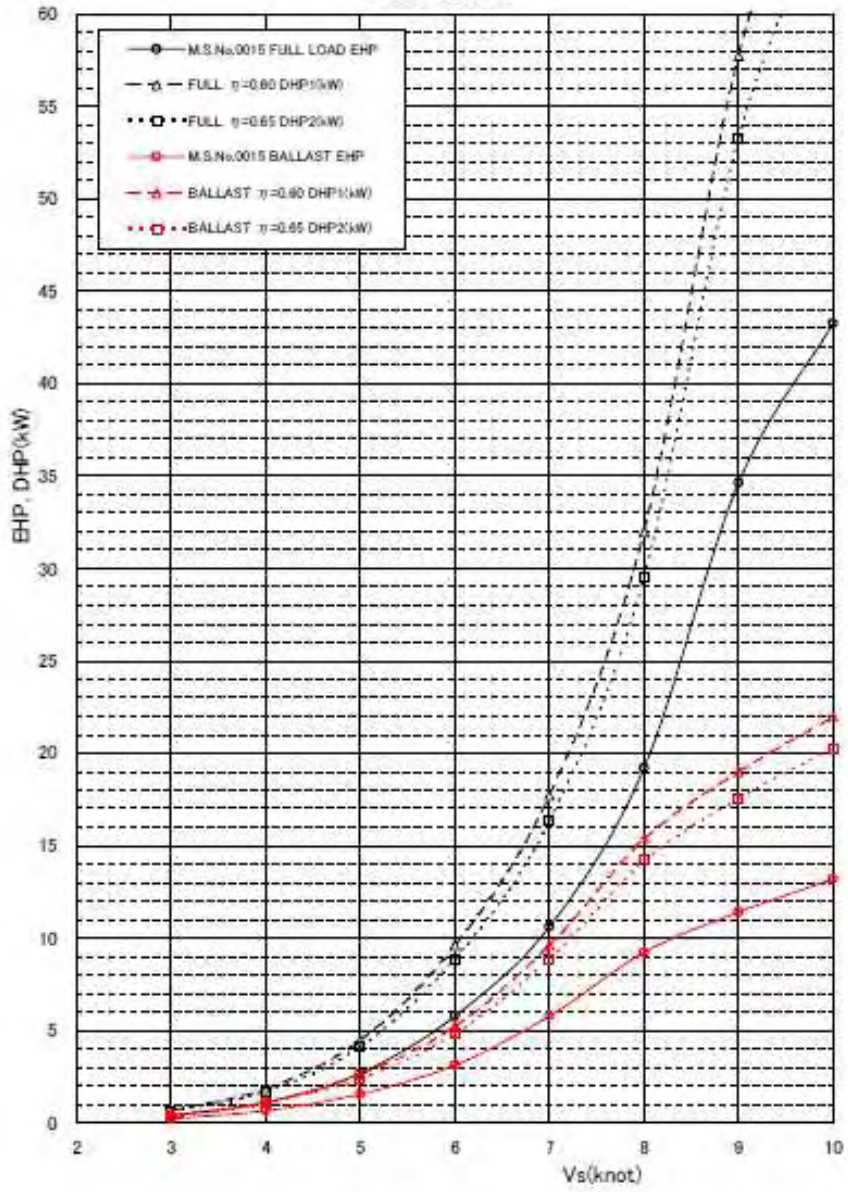


Fig. 4.2.24 Power prediction

기존 3톤급 어선은 Full load condition일 경우, 설계속도인 5노트 근방에서 강한 선수쇄파와 큰 선미파가 나타나고 있다. 특히 8노트 이상의 고속이 되면서 선수쇄파가 급격히 커지는 문제가 발생하고 있다.

Light weight condition의 경우, 5노트 근방에서 약한 선수쇄파가 발생하고 있으나, 속도가 증가하면서 오히려 쇄파가 사라지고 전반적인 파계가 부드러워지는 경향을 보인다.

이러한 이유는 본 선박은 선박은 위의 Body plan에서 보는 바와 같이 반 활주형 선박으로 통상 300마력급 엔진으로 25노트 정도로 운항하는 선박으로 저속에서는 활주 상태가 되지 않기 때문이라고 판단된다.

만재상태에서 설계속도 5노트를 위하여 약 4.0Kw 정도의 마력이 필요할 것으로 추정되고 속도가 증가할수록 마력소모는 급격하게 증가하는 양상을 보이므로, 본 선박을 전기추진선으로 활용하기 위해서는 선형개선이 필요하다.

### 제3절 3톤급 기존어선의 전기추진 시스템 구축

1톤급인 경우에도 2개의 선외기로 구축했으나 본 절에서는 3톤급으로 구축한 것에 대하여 서술한다.

#### 1. 2개의 추진시스템 모터

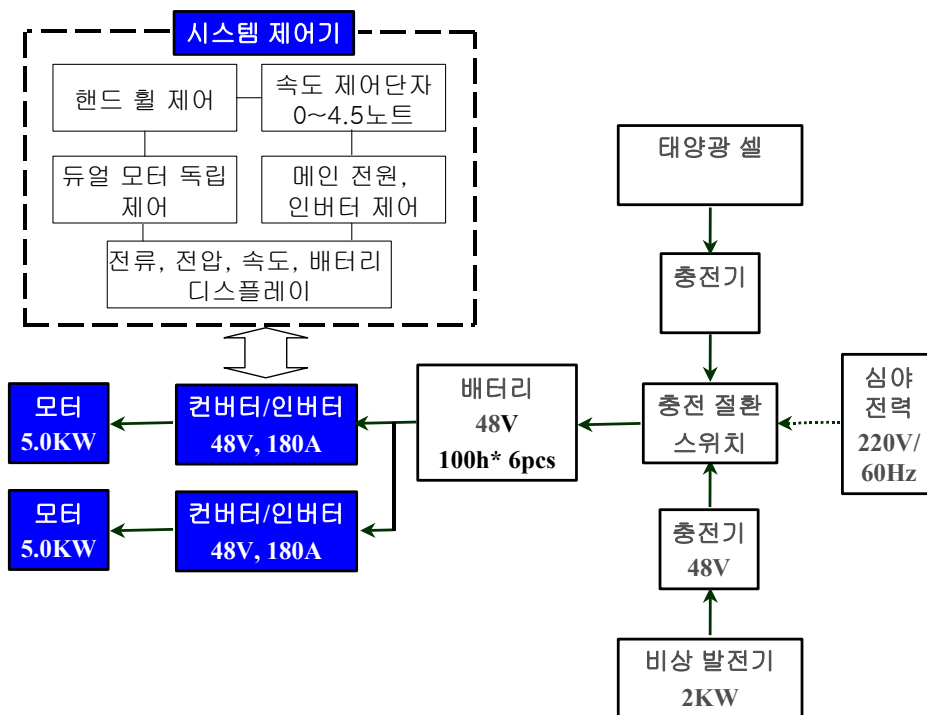
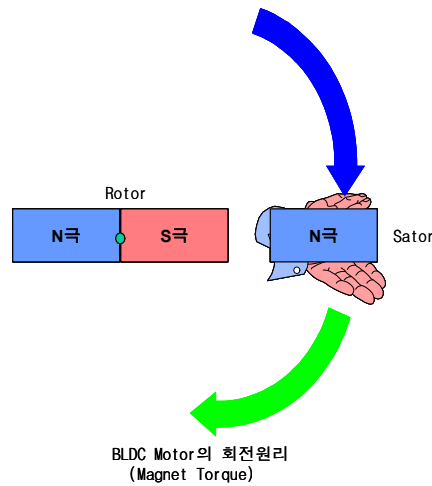


Fig. 4.3.1 전기 추진 시스템 구조

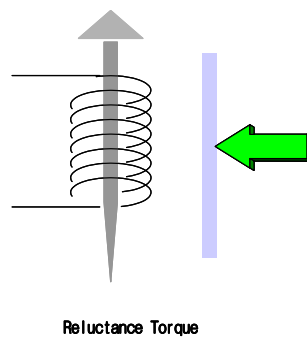
전기추진 시스템 구동용 모터는 두개의 5KW BLDC 모터로 구성되었다. BLDC 모터는 최근에 배터리를 에너지원으로 사용되는 구동체에 주로 사용되고 있으며, 효율이 높고, 소음 및 진동이 적으며, 구조적 안정성 등 여러 장점으로 많이 사용되고 있다.

Brushless DC(이하 BLDC) 모터는 단지 브러시가 없이 일반적으로 Rotor의 내부에 Magnet를 가지고 있으며, Stator가 회전하는 자계를 발생하고, 이 결과로 Rotor가 회전한다.



**Fig. 4.3.2 BLDC 모터의 원리**

BLDC모터는 크게 표면 부착형 영구자석 모터와 영구자석 매입형 모터로 나누어 진다. 부착형 영구자석 모터는 SPM(Surface Mounted Permanent Magnet Motor)이라고 하며, 영구자석 매입형 모터는 IPM (Interior Permanent Magnet Motor)이라고 한다. SPM은 Magnet torque를 이용하여 모터를 회전시키며, IPM은 Magnet torque와 reluctance torque를 모두 이용하여 회전시킨다. 본 과제에서는 SPM이 사용되었다.



**Fig. 4.3.3 Reluctance 토크**



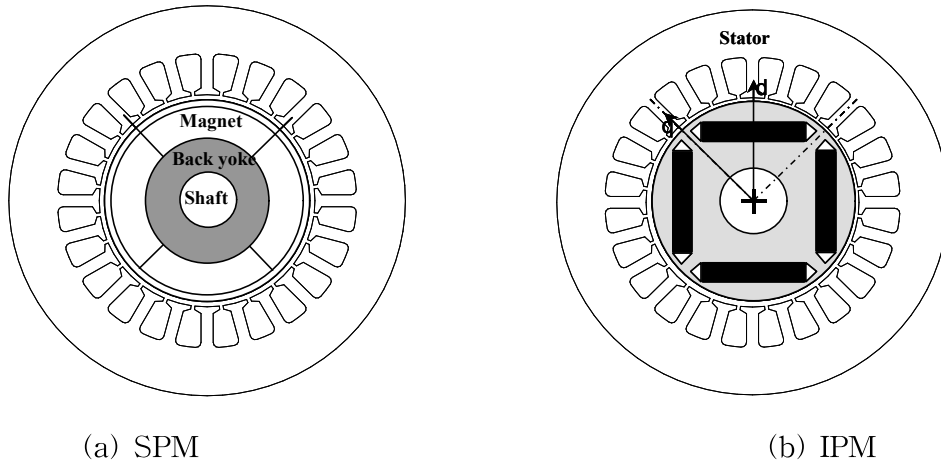


Fig. 4.3.4 BLDC 모터 종류

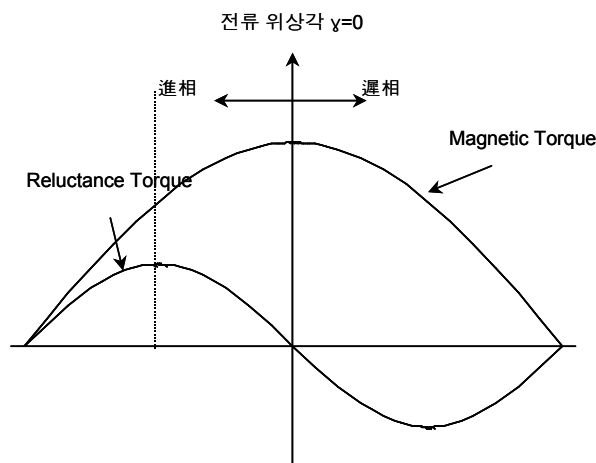


Fig. 4.3.5 전류위상에 따른 Torque 성분 (IPM의 Torque)

BLDC Motor를 구동하기 위한 Inverter와 BLDC Motor의 등가 회로를 나타낸것이다. BLDC Motor는 효율적 구동과 Torque ripple를 작게하기 위해 6개의 Switching 소자중 항상2개의 Switching 소자만 On하여 Motor를 구동한다(이하 2상 통전 방식).

Motor에 전압을 인가하기 위해서, On되는 2개의 Switching 소자중 하나는 DC Link의 Positive, 또다른 하나는 DC Link의 Negative에 접속된 소자가 On되며, 이러한 경우의 수는 총9가지이다.

그러나, 이중 3가지는 같은상이 On되는 경우 이므로, 이경우를 제외하면 모두 6가지의 Switching 상태가 존재한다. 6개의 Switching 상태는 아래 표와 같다.

각 Switching 상태에 따른 Inverter의 연결 상태 및 Motor의 전류를 아래 그림에 나타내었다. Switching 상태를 ① ~ ⑥으로 순차적으로 바꾸어 감에 따라 회전하는 회전자계를 만들어 줄 수 있다. 이렇게 만들어진 Stator의 회전 자계와 Rotor의 영구자석에 의한 자계의 상호 작용에 의해 BLDC Motor는 회전 하게 된다.

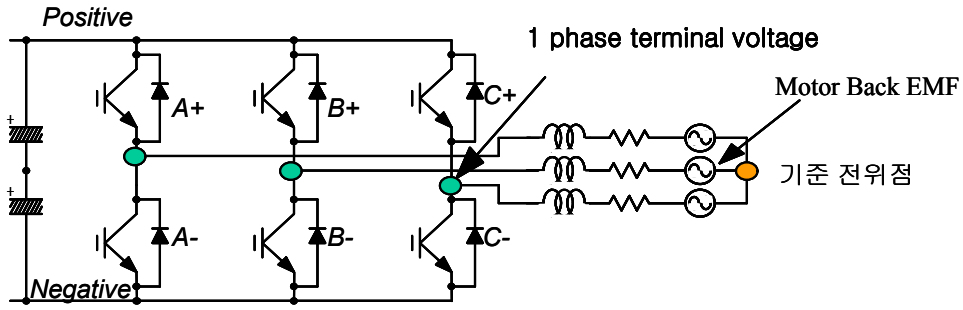


Fig. 4.3.6 인버터와 BLDC 모터

Table 4.3.1 인버터 스위칭 상태

Switching 상태	A+	A-	B+	B-	C+	C-
①	On	Off	Off	On	Off	Off
②	On	Off	Off	Off	Off	On
③	Off	Off	On	Off	Off	On
④	Off	On	On	Off	Off	Off
⑤	Off	On	Off	Off	On	Off
⑥	Off	Off	Off	On	On	Off

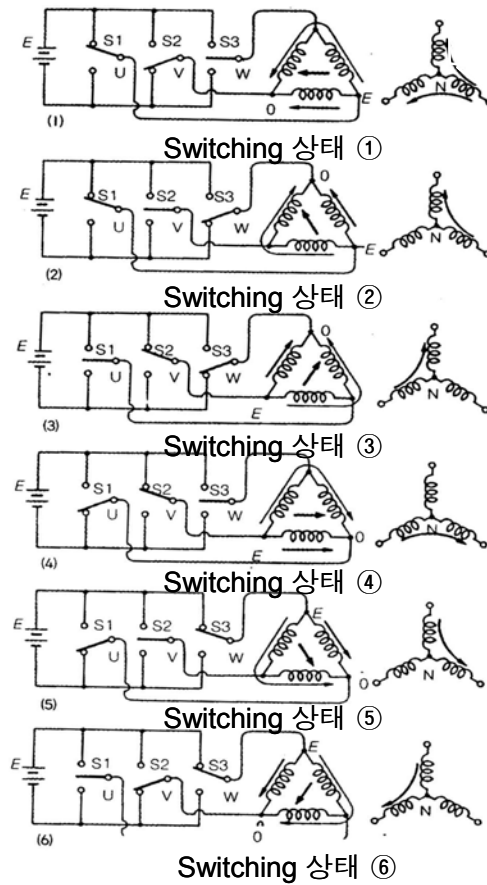


Fig. 4.3.7 인버터의 스위칭

아래 그림은 4Pole, 3Phase Stator 구조이다. 회전자계를 발생시키기 위해 전류의 흐름을 고려해보도록 한다.

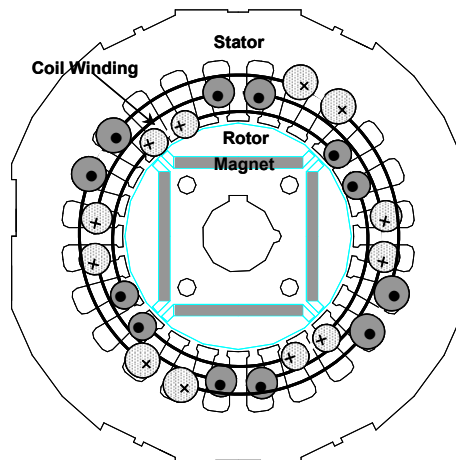


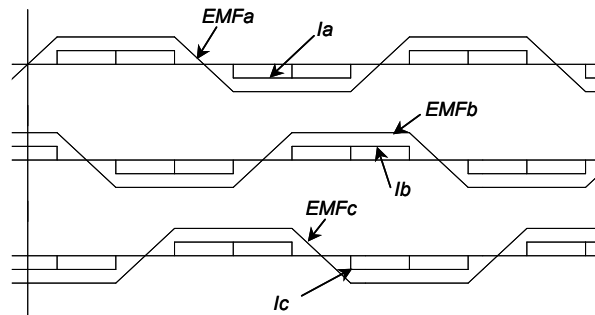
Fig. 4.3.8 24Slot의 Stator의 일례

BLDC Motor의 Magnetic Torque식은 다음과 같다.

$$T = (I_a \times EMF_a + I_b \times EMF_b + I_c \times EMF_c) / \omega \quad (4.3.1)$$

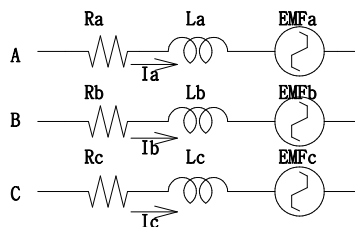
윗 식에서 알 수 있는 바와 같이 Motor가 최대의 Magnetic Torque를 발생하기 위해서는 각상의 전류 및 각상의 EMF가 서로 위상차가 없을 때 최소 전류로 최대 Torque가 발생하게 된다.

위에서 언급한 바와 같이 EMF와 전류의 위상차가 없도록 운전하기 위해서는 Motor의 EMF의 위상을 알아야 하며, Switching 상태는 총 6가지 경우의 수 이므로, 적어도 3개의 개별 Sensor가 필요하게 된다. 앞에서 언급한 EMF와 전류의 관계를 나타내면 아래 그림과 같다.



**Fig. 4.3.9** 역기전력(Back EMF)와 전류의 관계

영구 자석을 ROTOR에 장착한 BLDC 모터의 등가 회로로 나타내면 그림과 같다.



$R_a, R_b, R_c$  : 각상의 권선 저항

$L_a, L_b, L_c$  : 각상의 권선 INDUCTANCE

$EMF_a, EMF_b, EMF_c$ : 각상의 유기 기전력

$I_a, I_b, I_c$  : 각상의 전류

**Fig. 4.3.10** BLDC Motor의 등가회로

A,B,C는 전기자 권선의 각 상을 의미한다. BLDC MOTOR의 등가 회로는 저항, INDUCTANCE, 전압원으로 구성되며, 저항은 STATOR 권선의 권선저항을, INDUCTANCE는 각 상에 흐르는 전류로부터 생성된 FLUX에 의한 INDUCTANCE성분을, 전압원은 ROTOR의 FLUX가 공간적으로 회전하여 STATOR 권선에 자속 변화를 일으켜 유기되는 전압을 각각 모델링 한다.

각상에 인가되는 전압과 전류의 관계를 나타내는 전압식은 아래식과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_a &= R_a \times I_a + L_a(dI_a / dt) + EMF_a \\
 V_b &= R_b \times I_b + L_b(dI_b / dt) + EMF_b \\
 V_c &= R_c \times I_c + L_c(dI_c / dt) + EMF_c
 \end{aligned}
 \tag{4.3.2}$$

전동기가 정상상태 운전중이고, 인덕턴스가 작다고 가정하면

$$\begin{aligned}
 V_{ab} &= I_a \times (R_a + R_b) + EMF_{ab} \\
 &= I_a \times R_{ab} + EMF_{ab}
 \end{aligned}
 \tag{4.3.3}$$

와 같고, 또한 EMF가 일정한 영역에서 전동기를 구동하면 통전각 내에서의 EMF는 일정함으로 EMF는 아래으로 표현된다.

$$EMF_{ab} = K_e \times \omega \tag{4.3.4}$$

상기식을 대입하면

$$\omega = (V_{ab} - I_a \times R_{ab}) / K_e \tag{4.3.5}$$

이다. 한편 BLDC 전동기의 토크는 전기자 권선의 권선 전류에 비례 한다. A, B상에 의해서 발생하는 전동기 토크는

$$T_e = K_t \times I_a \tag{4.3.6}$$

이고, 전동기의 특성식은 다음과 같다.

$$\omega = (V_{ab} - T_e \times R_{ab} / K_t) / K_e \tag{4.3.7}$$

전동기의 특성을 그래프로 나타내면 아래 그림과 같다.

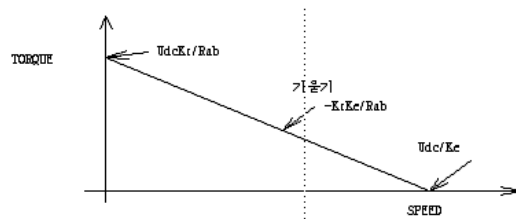


Fig. 4.3.11 BLDC 전동기의 특성 그래프

만약 INVERTER로 부터 MOTOR로 인가 되는 전압  $V_{ab}$ 가 제어 가능 하다면 위의 식으로 부터 INVERTER에 의해 제어된 전압  $V_{ab}$ 을  $V_n$ 으로 치환하여 INVERTER 전압 제어시 MOTOR의 SPEED TORQUE CURVE을 도출해 낼 수 있다.

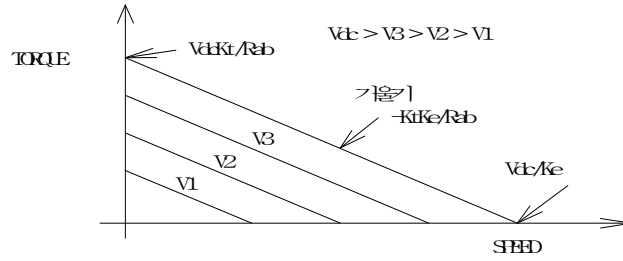


Fig. 4.3.12 전압 제어시 MOTOR의 SPEED TORQUE CURVE

전압 제어시의 MOTOR의 SPEED TORQUE CURVE를 위의 그림에 나타내었다.

이제 MOTOR의 전류를 일정한 값으로 제한하여 연속 전류 조건에서 INVERTER을 보호하기 위한 INVERTER SYSTEM의 전류 제한 조건을 고려하면 다음과 같다.

INVERTER에서의 전류 제한치를  $I_{max}$ 로 설정 하면, MOTOR TORQUE는

$$T_{max} = K_t \times I_{max} \quad (4.3.8)$$

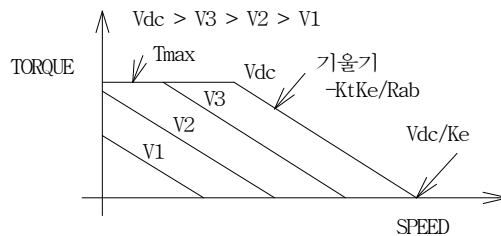


Fig. 4.3.13 전류 제한 특성을 고려한 SPEED TORQUE CURVE

전류 제한특성을 SPEED TORQUE 특성에 고려하여 삽입하면, Fig 4.3.14과 같다.

일반적으로 MOTOR의 동작점은 부하의 SPEED TORQUE 특성과 MOTOR의 SPEED TORQUE 특성의 평형점에서 결정 된다. 만약 부하조건이 변화하여 새로운 평형점으로 동작점이 이동하면 MOTOR의 속도는 변화하게 된다.

이때 MOTOR의 속도를 일정하게 유지시키기 위해서는 변경된 부하 조건에서 평형점이 원하는 속도에서 이루어 지도록 MOTOR에 인가되는 전압을 제어 하여야 한다.

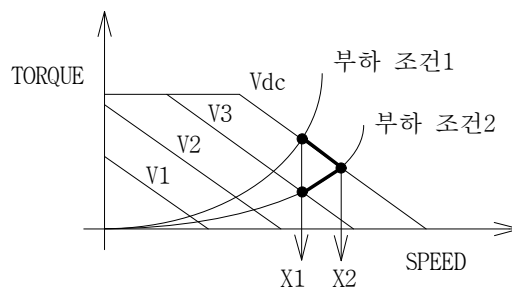


Fig. 4.3.14 속도제어의 원리

현재 MOTOR의 부하 조건이 부하 조건1 에서 동작 중이고 MOTOR에 최대 전압  $V_{dc}$ 을 인가

하고 있다면 MOTOR의 속도는 X1으로 동작 한다.

만약 동작중 부하 조건이 부하 조건2로 변경 되면 평형점은 이동하여 MOTOR의 속도는 X2로 동작한다. 이 부하 조건2에서 원하는 속도 X1으로 동작 시키기 위해서는 MOTOR에 인가되는 전압을 Vdc에서 V3로 변화 시키면 평형점이 이동하여 MOTOR의 속도는 X1에서 다시 동작되게 된다.

이와 같이 MOTOR를 원하는 속도로 제어하기 위해서는 MOTOR에 인가되는 전압을 제어하면 MOTOR의 회전 속도를 제어 할 수 있다.

INVERTER을 이용한 전압 제어 (Pulse Width Modulation)를 할 때, AB상 통전시, MOTOR로 인가되는 전압 Vab는

$$V_{ab} = V_{dc} \times ton / (ton + toff) \tag{4.3.9}$$

이다. 여기서, ton+toff와 ton의 비를 제어하여, MOTOR에 인가되는 전압을 제어한다.

ton+toff는 PWM주기를 말하며, 상기한 상대비를 제어하는 방법으로 일반적으로 사용되는 방법은 PWM주기를 고정하고, ton을 제어하는 방법이다.

아래 그림은 INVERTER의 주 회로를 나타내었다.

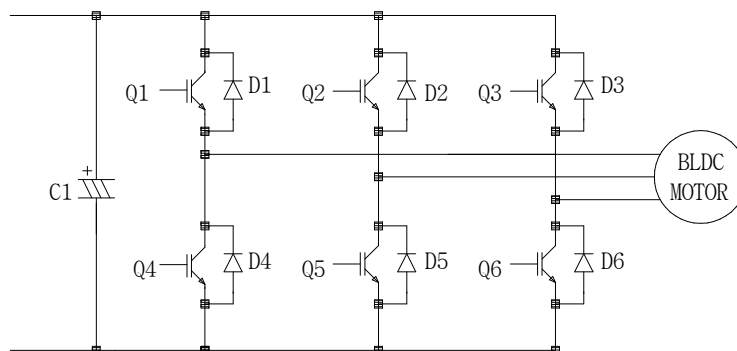
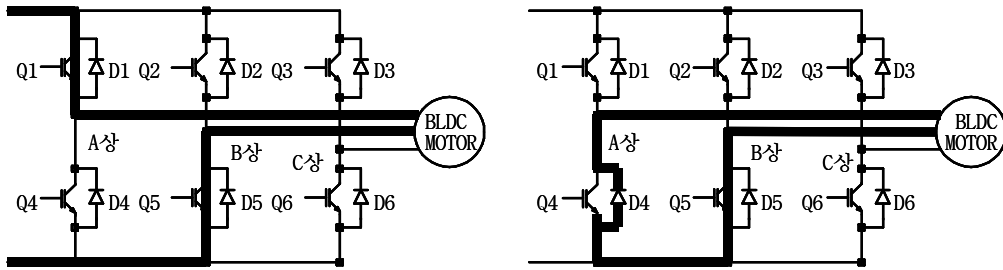


Fig. 4.3.15 INVERTER의 주회로

MOTOR에 전압이 인가 되는 전압 인가 MODE와 전압이 인가되지 않고 FREE WHEELING 하는 FREE WHEELING MODE로 구분되며 각MODE를 그림에 나타내었다.



(a) 전압 인가 MODE

(b) FREE WHEELING MODE

Fig. 4.3.16 INVERTER SYSTEM의 전압 인가 MODE와 FREE WHEELING MODE

전압 인가 MODE의 전압식은 아래와 같다.

$$V_{dc} = R_{ab} \times I_{ab} + L_{ab}(dI_{ab} / dt) + EMF_{ab} \quad (4.3.10)$$

식에서 MOTOR의 통전상은 AB상으로 가정하였다. 전압 인가시 MOTOR의 전류는 INDUCTANCE에 양의 전압이 인가되어 전류는 증가 한다.

FREE WHEELING MODE시 전압식은 아래와 같다.

$$0 = R_{ab} \times I_{ab} + L_{ab}(dI_{ab} / dt) + EMF_{ab} \quad (4.3.11)$$

B상 통전시, 전압 인가 MODE는 POWER SWITCHING 소자 Q1과 Q5가 ON이 되어 MOTOR에  $V_{dc}$  전압이 인가 되고, FREE WHEELING MODE시 즉 INVERTER에서 MOTOR로의 전압을 인가 하지 않을 경우는 POWER SWITCHING 소자 Q1또는 Q5을 OFF 한다.

이때 INVERTER는 구형파 형태의 출력 전압을 가지며, MOTOR는 전기적 또는 기계적으로 LOW-PASS FILTER의 특성을 가짐으로 구형파 전압이 인가 되더라도 MOTOR 전류는 연속 전류의 형태를 갖는다.

BLDC 모터의 사양은 아래표와 같다.

Table 4.3.2 BLDC 모터 사양

정격 출력	5KW
정격 전압	AC 28V/DC48V
정격 속도	2,500rpm
정격 전류	180A
효율	70%



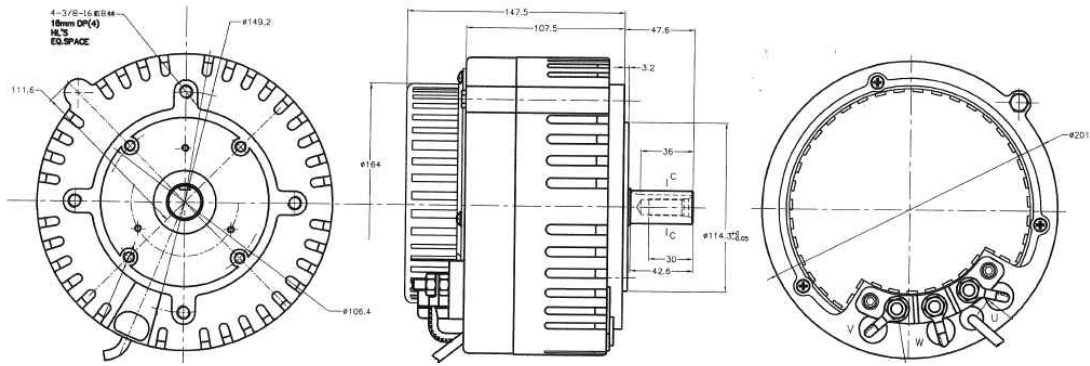


Fig. 4.3.17 5KW BLDC모터

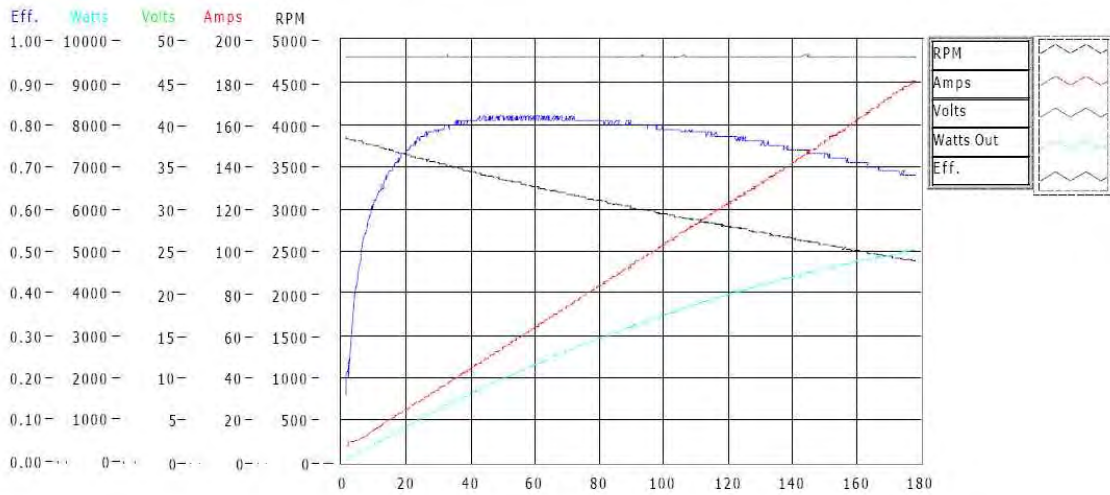


Fig. 4.3.18 5KW BLDC모터의 속도, 토크 특성

## 2. 인버터 및 컨버터

인버터 및 컨버터 구성은 앞 절의 내용과 동일하며, 인버터의 사양은 아래표와 같다.

Table 4.3.3 PWM 인버터 사양

입력 전압	48V
최대 전류	450A(2분)
정격 전류	180A
엔코더(속도) 입력	5V
홀 센서 입력	5V

## 3. 시스템 제어기

시스템의 주 전원인 배터리로부터 절연된 스위치로 제어되며, 제어 전원 스위치가 인가되면 인버터가 동작 된다. 아래 그림처럼, 모터의 속도의 가감속은 각도를 가지는 핸드휠로 조절되며, 전진 후진은 모터 두 개의 정역 회전을 조절하여 제어된다. 인버터는 제어 프로그램으로 두 대를 동시에 제어하도록 되어 있다. 아래 핸드 휠의 각도에 따른 속도 제어 그림에서 5도 내에 핸드 휠이 위치하고 있을 때는, 전진, 후진 스위치에 따라 모터 2대가 동시에 정역 회전

을 하며 제어되며. 우회전하려고 핸드휠을 조절하고 있을 때는 5도에서 80도까지 1대의 모터를 일정 비율로 감속하여 방향을 조절하며, 80도에서 90도까지는 모터가 완전히 역전하여 제어되도록 한다.

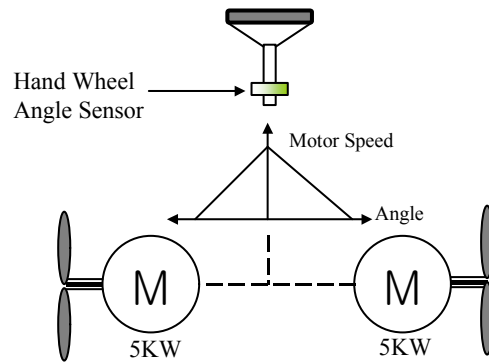


Fig. 4.3.19 모터 전진 및 후진, 좌,우 회전 제어 개념도

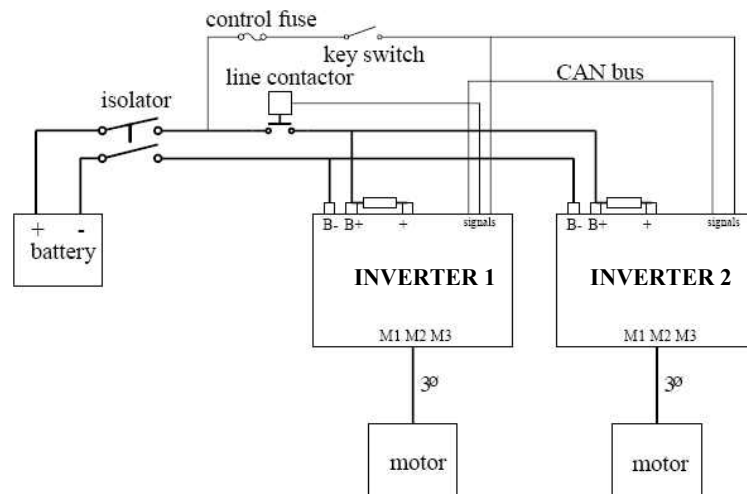


Fig. 4.3.20 인버터 주전원 및 제어회로 스위치

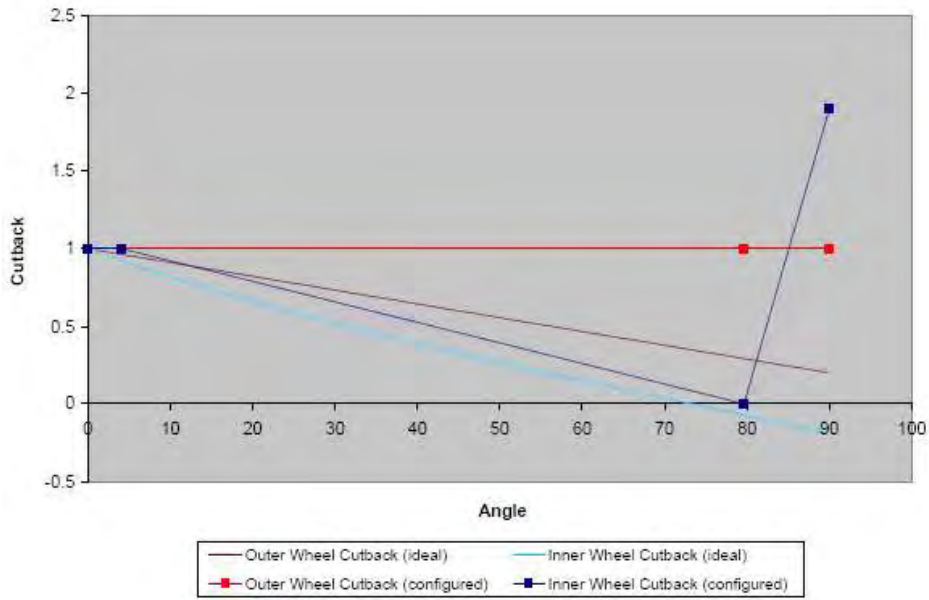


Fig. 4.3.21 핸드 휠의 각도에 따른 속도 제어

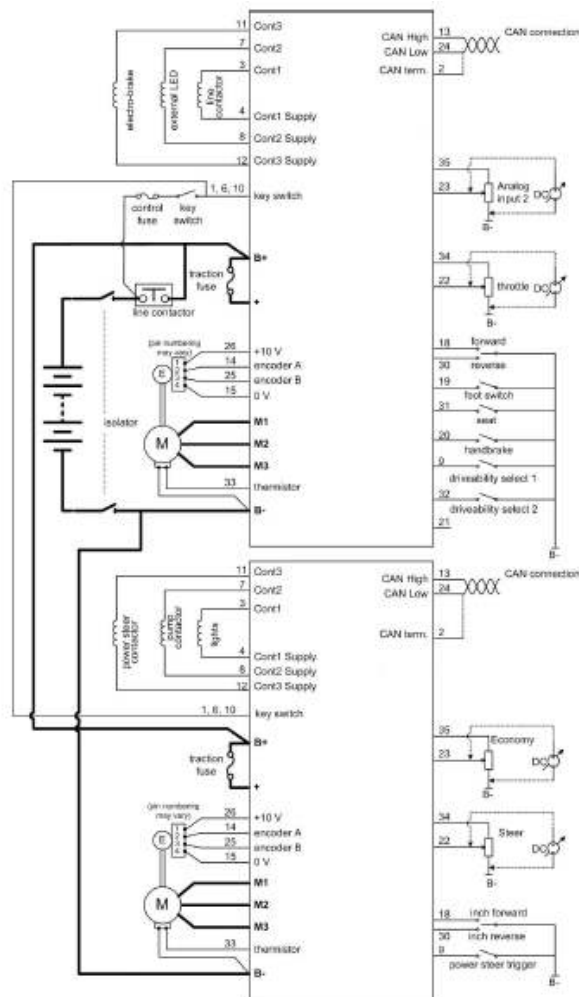


Fig. 4.3.22 인버터 외부 제어 장치 구성도

## 제4절 1톤급 전기추진어선의 실해역 실험 및 시연회 보도자료

### 1. 개량형 1톤급 어선의 실해역 실험

Table 4.4.1에 1톤급 전기어선의 사양을 나타내었고, Fig. 4.4.1은 개발과정 및 실해역 실험의 전경이다.

Table 4.4.1 1톤급 전기어선의 사양

항목	구성	성능
어선 치수	7.2m x 1.828 x 0.8m	낙지잡이 어선
추진장치	BLDC 모터	4.5kW 2대
배터리	리튬인산철 2조	48V 160Ah, 10Ah
최대 속도	16km/h	1시간 운항
항속거리	40km	10km/h



Fig. 4.4.1 연구개발 과정 및 실해역 실험 전경

실해역에서 속도에 따른 배터리의 성능 실험결과 Table 4.4.2와 Fig. 4.4.2 그리고 Fig 4.4.3에 나타내었고 이는 납축전지에 대한 실험 결과이다.

Table 4.4.2 배터리 출력에 따른 속도와 운항 거리

배터리 성능 1 $\beta$ 출력	출력 (kW)	속도 (km/h)	운항시간(h)	운항거리(km)
배터리 1조	2.7	9.81	1.78	17.46
배터리 2조	2.7	9.81	2.57	25.21

Fig. 4.4.1에서 보면 2.7kW 출력으로 105분이 경과하면 갑자기 출력이 떨어지는 것을 볼 수 있으며 이 때 배터리의 출력을 멈추고 회항을 위하여 Fig.4.4.2에서 와 같이 배터리 2조의 출력으로 운항을 계획하도록 설정하였다. 배터리 2조는 155분 근방에서 출력이 떨어짐을 볼 수 있다.

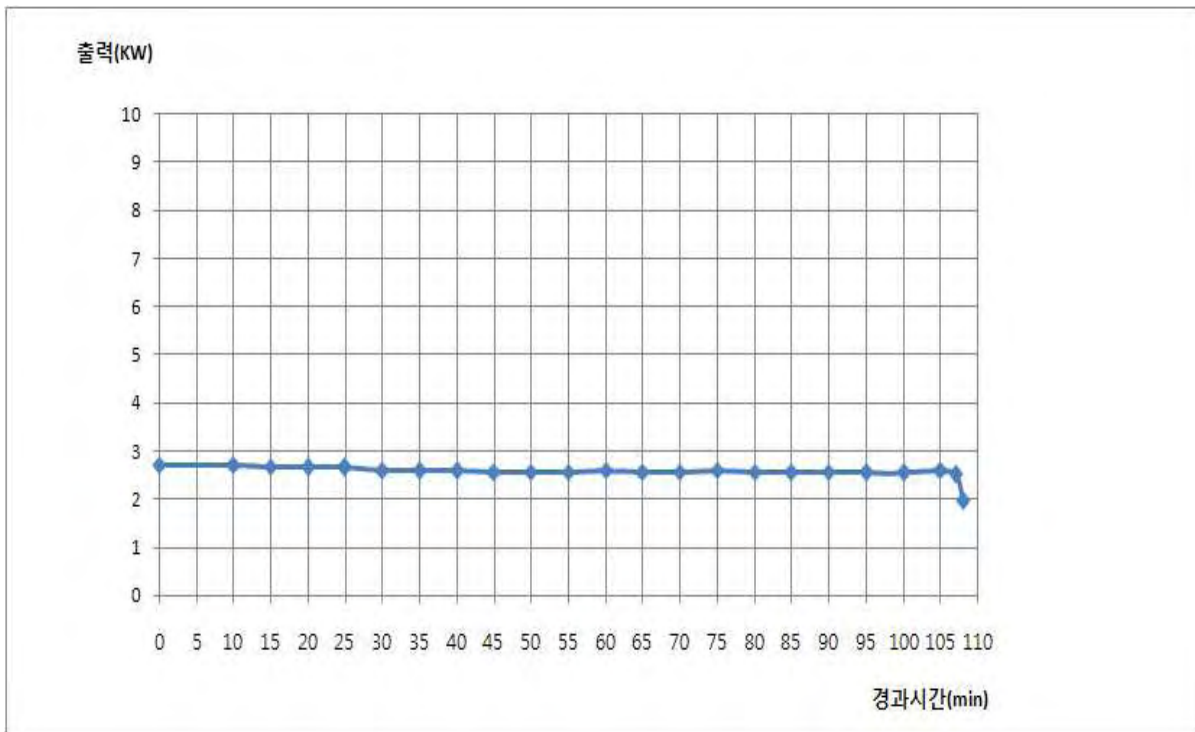


Fig. 4.4.2 2.7kW 출력 시 운항 가능 시간  
(배터리1조 150A, 48V)

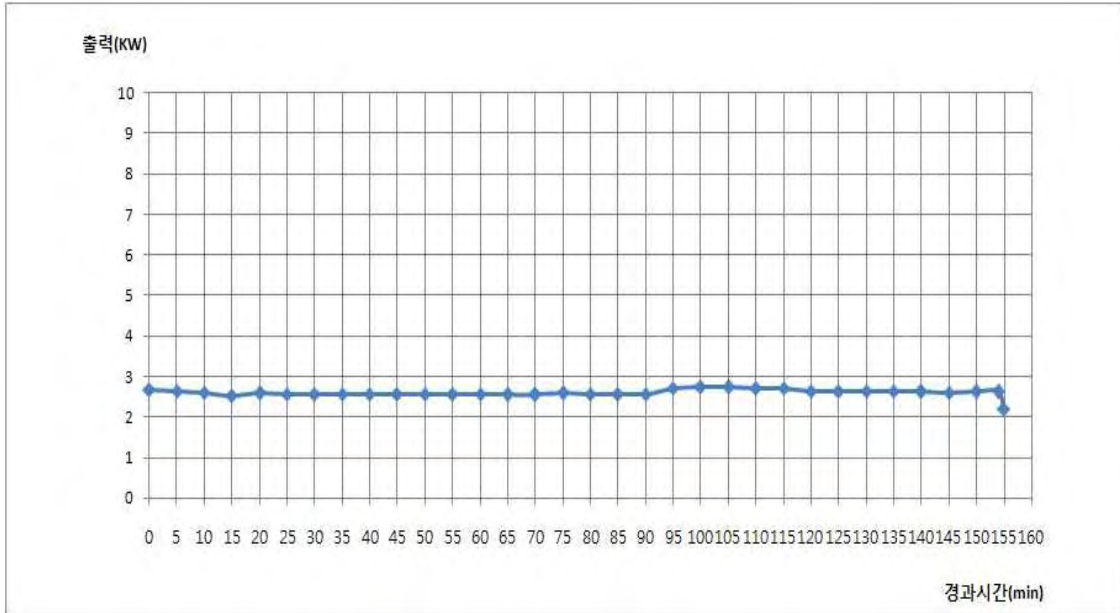


Fig. 4.4.3 2.7kW 출력 시 운항 가능 시간  
(배터리2조 200A, 48V)

이상의 실험실 실험의 연구결과로부터 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 같은 용량의 배터리로 보다 원거리를 항해할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.
- 소형 어선의 조업에 필요한 연료비 절감의 가능성을 확인할 수 있었다.
- WTO에서 주창하는 면세유 중단에 기술적으로 대처할 수 있는 기술적인 성과를 얻을 수 있었다.
- 어선에서 배출하는 CO2 대폭적인 감축 방안을 제시할 수 있었다.
- 유류 오염은 물론 진동과 소음의 극소화로 쾌적한 환경의 어선을 개발할 수 있었다.







어민들 위한 고효율 저소음 전기추진 어선 개발	1톤급 어선의 사양 및 성능	예상가격 및 경제성
<p><b>개 요</b></p> <p>■ 연구과제명 연료비 절감을 위한 소형 전기어선 추진시스템 개발 (2008. 11. 1 ~ 2011. 10. 31)</p> <p>■ 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-조업에 필요한 연료비 대폭절감</li> <li>-면세유 중단 위기의 대처</li> <li>-대대적인 CO2 감축 방안에 대처</li> <li>-진동, 오염의 극소화</li> </ul> <p><b>&lt;목 표&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-1차년도: 1톤급 전기추진어선의 개발</li> <li>-2차년도: 3톤급 전기추진어선의 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-어선: 1ton급 낙지잡이어선 (7.200m × 1.828m × 0.800m)</li> <li>-추진장치: 4.5kw BLDC모터 추진시스템 2대</li> <li>-배터리: 리튬 인산철 160Ah 48V 1조 100Ah 48V 1조</li> <li>-최대속도: 16km/h (1시간 운항)</li> <li>-항속거리: 40km (선속: 10km/h)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전기추진시스템 (전기추진기, 배터리, 기타 악세서리) : 35,000,000원</li> <li>- 전기어선: 신조가격 50,000,000원</li> <li>- 100,000km 주행 시 유류비 : 약 40,000,000원 (전기추진시 전기료 약 4,000,000원)</li> </ul> <p>*평균 3년이면 시설비 상계 가능.</p>

시연회 사진 및 발표자료



## 나. 친환경 전기어선 개발(KBS뉴스)

### ◀ANC▶

경유대신 전기로 움직이는 친환경 전기어선이 국내에서 처음으로 개발되었습니다. 연료비가 일반 어선의 10분의 1수준이어서 이산화탄소 저감과 환경보전에 큰 도움이 될 것으로 기대됩니다. 김유신 기자입니다.

### ◀VCR▶

소형어선이 물살을 가릅니다. 겉으로 보기에 일반 선박과 다르지 않지만, 경유가 아닌 전기로 움직입니다. 경유선박에 있는 엔진 대신 전기모터가 달려있어 소음도 적고 매연도 없습니다.

### ◀INT▶

"소리가 안나는게 좋고, 우선 기름냄새 같은 것도 없고, 뭐 기름 불안한 것도 없고, 휘발유쓰면 항상 불안하죠. 화기도 조심해야되고."

농림식품수산부가 개발한 1톤급 전기어선은 220V 가정용 전력으로 4시간동안 배터리를 충전해 모터를 가동합니다.

이 전기어선은 일반어선의 유류비의 10분의 1수준인 8,900원이면 4시간을 운항할 수 있게 설계되었습니다.

수요가 가장 많은 전국의 3톤급 어선을 20%만 대체해도 경유는 연간 21만톤, 이산화탄소발생량은 330만톤을 줄일 수 있습니다.

### ◀INT▶

"올해 1톤급 어선을 개발하였고, 내년에 보급을 하기 위해서 이같은 시연회도 개최하였습니다." 선박가격의 5천여만원으로 일반어선보다 2.5배 비싸고, 평균시속의 10km로 30%느리다는 게 단점입니다.

농림식품수산부는 시운전에서 나타난 단점을 보완해 내년에 1톤급 전기어선 100여척을 공급하는 방안을 마련할 계획이라고 밝혔습니다.

KBS 뉴스 김효신입니다.

## 다. 친환경 '전기 어선' 개발(MBC뉴스)

### ◀ANC▶

친환경 바람이 바다에서도 불고 있습니다.  
전기로 움직이는 어선이 개발됐습니다.  
양현승 기자가 전해 드립니다.

### ◀VCR▶

연근해에서 낚시용이나  
낙지잡이 등에 주로 쓰이는  
1톤급 소형 어선.  
갈수록 오르는 기름값도 부담이지만  
기름 냄새와 소음이  
어민들의 고충이었습니다.  
국내 연구진이 정부 지원을 받아  
전기로 움직이는 소형 어선을 개발했습니다.

### ◀INT▶

이정동 삼학어촌계장/시험운항 참여 어민  
"무엇보다 조용하고 냄새없어"

전기로 가는 어선은  
일반 어선의 가격보다  
2.5배 정도 비쌉니다.

하지만 일반 플러그를 이용해  
4시간 정도 충전하면  
40킬로미터 운항이 가능합니다.

전기요금도  
일반어선이 쓰는 기름값의  
10분의1 수준입니다.

연구진은 오는 8월,  
목포에서 제주까지  
전기어선을 시험운항한 뒤  
결과를 토대로 전기어선 톤수를  
늘릴 계획입니다.

## ◀ I N T ▶

김성근 박사/제주대학교  
"3톤급 어선 개발할 것"

전기 소형어선이  
기름값과 환경오염 걱정을 동시에 덜며  
자리잡을 수 있을지 주목됩니다.

MBC뉴스 양현승입니다.

### 라. 울산대, 배터리로 가는 어선 세계 최초 개발(국민일보)

[2010.05.13 21:25]

[쿠키 사회] 울산대학교 조선해양공학부가 전기 배터리로만 운항이 가능한 전기추진어선을 세계 최초로 개발했다.

울산대학교 조선해양공학부 박노식 교수팀은 13일 전기 배터리로만 어선의 프로펠러를 가동시키는 추진시스템을 개발해 1t급 어선을 진수했다.

박 교수팀은 농림수산식품부의 '연료비 절감을 위한 소형 전기어선 추진시스템 개발사업'에 선정돼 2008년 11월부터 개발에 돌입해 성공했다.

이번에 개발된 전기추진어선은 4.5kW 전기구동 모터 추진시스템을 2대 설치하고 기존 경유나 휘발유 대신 리튬 인산철 배터리로만 모터를 가동시킨다. 이 때문에 진동과 소음이 거의 없고, 오염 물질도 전혀 없다는 것이 장점이다.

또 저항을 최소화하면서도 기울지 않는 선형으로 설계해 배터리 소모량을 줄이고 어로 작업성을 높인 것이 특징이다.

전기어선의 최대 속도는 시간당 16km이며 배터리를 한 번 충전할 경우 40km 운항이 가능하다.

일반적으로 1t급 어선이 10만km 운항시 4000만원의 유류비가 드는데 반해 전기어선은 10분의 1인 400만원에 불과해 연료비 절감 효과가 클 것으로 기대된다.

박 교수는 "1t급에 이어 3t급 어선을 위한 전기추진시스템도 개발 중이고 배터리 성능을 높이는 연구도 계속하고 있다"고 말했다.

울산=국민일보 쿠키뉴스 조원일 기자 wcho@kmib.co.kr

## 마. 전기로 움직이는 어선 개발(부산일보)



### 전기로 움직이는 어선 개발

울산대 박노식 교수팀이 선체에 배터리를 달아 전기로 움직이는 1t급 소형 어선을 개발했다. 이 어선은 소음과 환경오염이 전혀 없다. 사진제공=울산대

배터리에 저장된 전기로 운항하는 어선이 개발돼 관심을 끌고 있다.

울산대 조선해양공학부 박노식 교수팀은 선체에 배터리를 달아 그 전기로 구동모터(4.5kW BLDC시스템)를 돌려 운항하는 1t급 소형어선을 개발했다고 14일 밝혔다. 박 교수팀은 저항을 최소화하면서 높은 파도에 견딜 수 있는 선체도 함께 개발해 배터리 소모량을 줄이고 작업효율을 높였다.

울산대 박노식 교수팀  
연료비 10분의 1로 절감  
한번 충전 40km 운항

이 어선은 전기로만 운항하기 때문에 소음과 환경오염이 전혀 없는 게 특징이다.

박 교수팀은 "기존 경유나 휘발유가 아닌 리튬 인산철 배터리로 모터를 돌리기 때문에 진동과 소음을 최소화하고 이산화탄소 등 오염물질 발생도 전혀 없다"고 말했다.

경제적인 효과도 매우 뛰어난 것으로 평가된다.

박 교수팀에 따르면 일반 어선의 경우 10만km 운항시 유류비가 4천만 원에 이르지만, 전기추진 어선은 10분의 1인 400만 원이면 된다. 국내 1t급 어선 2만 척의 10%만 전기추진 시스템으로 교체해도 연간 700억 원의 연료비를 절감할 수 있다.

배를 새로 만들 경우 전기추진시스템 3천500만 원과 선형 건조비 1천500만 원 등 5천만 원이 소요돼 기존 어선(2천만 원)에 비해 비싸지만, 연료비 절감 효과로 보면 2~3년 후에는 비용을 상계할 수 있을 것으로 예상된다.

이 어선은 한 번 충전하면 40km 정도를 운항할 수 있다. 소형 어선 대부분이 4~5km 거리의 해역에서 어로작업을 하기 때문에 특별히 문제될게 없다. 다만 배터리로 운항하기 때문에 최대속력이 시간당 16km에 불과한 것이 단점.

박 교수팀은 13일 전남 목포시 갯바위 공원 유람선 선착장에서 배터리를 단 1t급 낙지잡이 어선으로 시연회를 가졌으며 14일 오후까지 배터리 효율과 선체 안정성 등을 시험했다.

박 교수팀은 3t급 어선을 위한 전기추진시스템을 개발하고 있으며 배터리 성능을 높이는 연구도 계속하고 있다.

박 교수팀은 농림수산식품부가 해양과학기술연구개발 사업으로 추진한 '연료비 절감을 위한 소형 전기 어선 추진시스템 개발사업'에 선정돼 2008년 11월부터 시스템 개발에 나섰다. 이 사업에는 선형개발 책임을 진 정우철 인하공업전문대 교수와 (주)태우해양기술, (주)G&W테크놀로지, 배터리 전문회사 (주)REBO가 참여하고 있다.

강태봉 기자 momento@

## 바. 세계 첫 배터리로 가는 어선 개발(서울신문)

울산대학교 조선해양공학부 박노식 교수팀이 세계 최초로 '전기 배터리로 가는 어선'을 개발했다. 이 어선은 연료비와 진동, 소음, 해양·대기 오염을 최소화해 기름값 등으로 어려움을 겪고 있는 어민들에게 큰 도움이 될 것으로 기대된다.



울산대는 박 교수팀이 13일과 14일 이틀 동안 전남 목포시 갯바위 공원 유람선 선착장에서 전기추진 시스템을 갖춘 1t급 낙지잡이 어선 시연회를 갖는다고 밝혔다.

전기추진어선은 4.5kW 전기구동(BLDC)모터 추진시스템 2대로 운항한다. 경유나 휘발유가 아닌 리튬 인산철 전지로만 모터가 가동돼 진동과 소음을 줄였을 뿐 아니라 오염물질도 전혀 발생하지 않는다.

또 전기추진어선은 기름으로 운항하는 기존 어선에 비해 연료비가 10분의1 수준 밖에 안 돼 면세유 공급 중단으로 어려움을 겪고 있는 어민들에게 도움이 될 것으로 보인다. 실제 1t급 어선이 10만km 운항할 때 약 4000만원의 유류비가 들지만, 이 어선은 400만원 정도만 든다.

전기추진어선은 한번 충전으로 40km(시속 16km)를 운항하지만, 소형 어선 대부분이 연안 4~5km 조업을 하기 때문에 어로활동에는 전혀 지장이 없다는 평가를 받고 있다.

농림수산식품부가 오는 2011년 10월까지 지원하는 이 사업에는 선형개발 맡은 정우철 인하공업전문대 교수와 (주)태우해양기술, (주)G&W테크놀러지, 전지 전문회사 (주)REBO 등이 참여하고 있다.

박 교수는 “1t급에 이어 3t급 어선을 위한 전기추진시스템을 개발 중이고, 전지의 성능을 높이는 연구도 계속하고 있다.”고 밝혔다.

울산 박정훈기자 [jhp@seoul.co.kr](mailto:jhp@seoul.co.kr)

## 사. [울산] '배터리로 가는 어선' 개발(조선일보)

김학찬 기자 [chani@chosun.com](mailto:chani@chosun.com)

울산대 연구팀 시운전 나서

울산대학교 조선해양공학부 박노식 교수팀은 13일 배터리로 운항하는 어선을 개발했다고 밝혔다.

1t급 소형 어선에 배터리를 달아 그 전기로 구동모터(4.5kW BLDC시스템)와 프로펠러를 돌려서 배를 운항하는 방식이다. 박 교수팀은 배터리 추진 어선의 저항을 최소화하면서 높은 파도에 견딜 수 있는 선체도 함께 개발해 이날 오후 3시부터 전남 목포시 갯바위 공원 유람선 선착장에서 시연회를 가졌다. 시연회는 배터리를 단 1t급 낙지잡이 어선으로 진행됐고, 14일 오후까지 배터리 사용효율과 선체 안정성 등을 다양하게 시험한다.



▲ 울산대 박노식 교수팀이 배터리 추진 어선을 시운전하고 있다. 이 배는 1t급 소형 어선으로 배터리 전기로 모터와 프로펠러를 돌려 운항한다.

박 교수팀은 "이 배터리 추진 어선은 기존 경유나 휘발유가 아닌 리튬 인산철 전지로만 모터를 돌리기 때문에 진동과 소음을 최소화하고 이산화탄소 등 대기와 해양 오염물질 발생도 전혀 없다"고 말했다. 또한 "연료비도 크게 줄여 작년부턴 면세유 공급이 중단된 어민의 경제적 부담을 더는 데 도움을 줄 것"이라고 전망했다.

박 교수팀에 따르면 1t급 소형 어선이 10만km 운항할 때 유류비는 약 4000만원에 이르지만 이 배터리 추진 어선은 그 10분의 1인 400만원이면 된다. 배터리를 한 번 충전했을 때 항속 거리도 최대 40km여서 대부분 항구로부터 4~5km 거리의 공해상에서 어로 활동을 하는 소형 어선용으로 충분한 경쟁력을 갖췄다.

박 교수팀은 "1t급에 이어 3t급 어선을 위한 배터리 추진시스템을 개발 중이며, 배터리 성능을 높이는 연구도 계속 하고 있다"고 밝혔다.

박 교수팀은 농림수산식품부가 해양과학기술연구개발 사업으로 추진한 '연료비 절감을 위한 소형 전기 어선 추진시스템 개발사업'에 선정돼 2008년 11월부터 시스템 개발에 나섰다. 이 사업에는 선형개발 책임을 진 정우철 인하공업전문대 교수와 (주)태우해양기술, (주)G&W테크놀러지, 전지 전문회사 (주)REBO가 참여하고 있다.

## 아. 기타

- 이 외 뉴컷뉴스, 뉴시스, 연합뉴스, 파이낸셜뉴스, 한국경제, ETN뉴스, 경상일보에 게재

## 제5절 녹색기술인증

### 1. 기술 개요

#### 가. 명칭

- 저탄소/에너지 절감형 소형 어선용 전기 추진 시스템 기술.

#### 나. 개요

- 중소형 선박용으로 기존 디젤엔진에 경유/휘발유를 원료로 운항하는 소형 어선의 추진시스템을 축전지(배터리)를 이용한 전기 추진으로 대체하는 기술.
- 전 세계적인 탄소(CO2) 감축 방안에 대처 및 진동, 소음, 환경 오염의 극소화를 위해 전기를 이용한 추진 기술.

#### 다. 특징

- 전기 추진을 위해 리튬인산철 축전지(배터리)를 장착한 선박.
- 전기 제어를 통해 구동 모터의 속도를 조절하여 선박 조정.

#### 라. 개발 기간 및 과정

- 2008년 수산특정연구사업 (농림수산식품부)의 기획연구과제로 선정 됨
- 2009년 1톤급 전기추진 어선 개발 완료
- 2009~현재 실제 어민용으로 어업 현장 투입하여 시험 조업(결과 만족).
- 2011년 10월 까지 3톤급 어선의 개발을 목표로 하고 있음

### 2. 기술성

#### 가. 수명 주기 상 위치

- 새로이 개발된 기술로 친환경 산업과 더불어 시장에서 적극적으로 수요가 발생 되는 시기 임.

#### 나. 기존 또는 유사 기술과의 차별성 및 기술의 우수성

- 기존 디젤 연료를 이용한 추진시스템에 비해 에너지 절감
- 배터리 전원을 사용하여 탄소(CO2) 배출을 하지 않아 환경오염이 없음
- 진동, 소음, 기름 냄새가 없는 친환경 추진시스템



- 기후 협약에 따른 환경 규제에 적극 대처 가능 기술.

#### 다. 국내외 최고기술 대비 신청 기술의 수준

- 어선용 전기 추진 시스템으로 국내외 최초 개발
- 기술 현황

항목	기술내용	국산화 현황		비고
조타제어 장치	- 2개의 전기추진기에 대한 최적제어장치 개발	국제 특허 준비중	100%	태우 자체 개발 특허 출원 중
전기추진 모터와 프로펠라	- 전기 추진 모터에 따른 프로펠라 최적설계	상대적으로 중형인 모터의RPM과 Torque를 고려한 설계 완성	100%	태우 자체 개발
	- 최적 구조 및 형상 설계	현재 4.5kW와 15kW 전기 추진 시스템 완성	100%	태우 자체 개발
배터리	- 탈부착 배터리 장치	개발 진행 중		우선 특허 출원 예정
	- 리튬 인산철 배터리 (현재 사용 중)	중국산		(주)레보 등에서 국산화 추진 중
	- 산업용 납축 배터리	국내제품		연구개발 중에 사용
	- 리튬 이온계열 배터리	삼성 SDS LG 화학		가격이 고가인 것은 물론 시중 판매가 안되고 있음.
배터리 제어 및 모니터링	- 배터리에 따라 BMS(배터리모니터링시스템)를 설계	국내 제품		전문업체에서 구입

전 제품 국산화를 전제로 현재 기술개발 중이나 일부 특정 부품에 대해서 국내 조달이 안되는 항목이 있어 100% 국산화는 불가능 하나 전체적인 추진 시스템 구성및 적용은 국내외 최초 개발 기술 임.

#### 라. 핵심 기술 내용

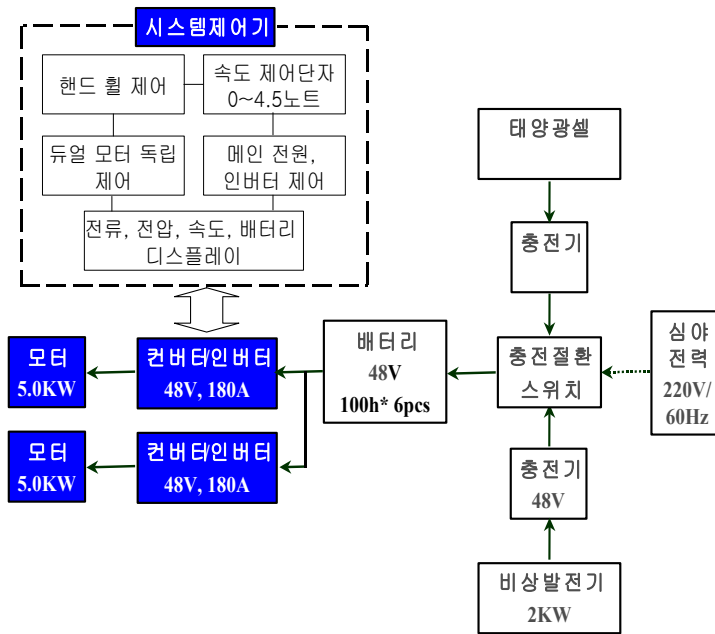
##### (1) 전기 추진시스템 구축을 위한 최적 선형 개발

- 서일본유체기술연구소에서 2009년 모형 시험을 통해 소형어선의 전기추진을 위한 최적 선형 개발 및 속력, 주요 재원 분석/적용.

(상세 사항 별첨 "기술 개발 자료" 참조)

##### (2) 어선용 최적화 전기 추진 시스템.

- 기본 시스템 (상세 사항 별첨 "기술 개발 자료" 참조)



(3) 기본 성능

- 충전 시간 : 고속 충전 시 30분  
일반 충전 시 4시간 (가정용 전력 이용, 심야 전력 이용)
- 운항 시간/거리 :  
경제 속도 5 knots (약 10km/h) 운항 시 4 시간 / 40km 운항 가능.  
최고 속도 8 knots (약 16km/h) 운항 시 1 시간 / 16km 운항 가능.

(4) 신청 기술로 예상되는 기술적 파급효과

- 1톤 소형어선에 이어 3톤급에 적용 가능
- 레저 보트, 소형 유람선등에 적용하여 친환경 선박 생산 가능.

### 3. 시장성

#### 가. 국내 및 국외 시장 규모

- 1ton급 어선 : 전국 약 20,000척 (해양수산부 등록 기준)
- 3ton급 미만 어선 : 전국 60,000척 (해양수산부 등록 기준)
- 레저용 선박 : 전국 7,000척 (해양레저안전법에 의거 해경에 등록 기준)

< 미래 수출시장 >

1. 중국의 내수선박
2. 일본의 근해선박

## 나. 경쟁 대비 우수성

- 진동, 소음, 기름 냄새가 없는 친환경 추진시스템
- 기존 디젤엔진 연료비 대비 평균 3년이면 시설비 상계 가능.
  - \* 기존 어선에 전기추진시스템 개조 공사 시 : 3천5백만원
  - \* 1톤급 전기 어선 신조 시 : 5천만원
  - \* 3년간 100,000km 운항 시 기존 어선의 유류비 : 약 4천만원
  - \* 3년간 100,000km 운항 시 전기추진어선의 전기료 : 약 4백만원

## 다. 향후 사업화 계획

- 1톤급 전기추진어선에 대한 시범 사업을 추진 중.
- 3톤 전기 추진 어선 개발 및 보급.
- 전기추진시스템 적용된 레저 보트 개발
- 태양광을 이용한 전력충전시스템 개발

## 라. 동종 업계 동향 (해당사항 없음)

## 마. 경제적 효과

- 1ton급 어선의 10%를 엔진 대신 전기추진시스템으로 교체할 경우:
  - 약 연간 700억원
- 1ton급 어선의 10%를 전기추진어선으로 신조할 경우 : 약 연간 1천억원

## 4. 기대 효과

- 전국에 등록된 3톤이하 연근해 소형어선 : 약 6만척
- 탄소(CO2) 저감량 : 연간 3,392,291톤 (산식 : 8,311,474톤 - 4,919,184톤)
- 에너지 절감량 : 연간 경유 212,269톤 (산식 : 2,688,736톤 - 2,476,468톤)
- 전력수요 창출 : 연간 11,602GWh  
(산식 : 전력소요에너지량 11,601,847,931KWh/1,000,000)

\* 첨부 "세부산식" 참조

## 5. 소유권 및 실시권 관련

- 산학 협력 수산 특정 연구 개발 사업에 참여 기업으로 개발 참여.
- 주요 연구진 : 울산대학교, 인하공업전문대학, 제주대학교, 목포해양대학교.
- 울산대학교 산학협력단 명의 특허 출원 (출원번호 : 10-2010-0003052)에 발명자로 (주)태우해양기술 대표이사 김 영수 등록.

## 6. 신청 기술 적용 제품

- 첨부된 녹색인증관련 제품 리스트 참조.

## 7. 산업 재산권 현황

No	명 칭	권리자	등록일	등록 번호
1	전기 추진 선박	울산대학교 산학협력단	2010. 01. 13	10-2010-0003052
2	전기추진 선박용 태양광 발전판넬	신영전, (주)태우해양기술	2010. 02. 01	10-2010-0009186

## 8. 녹색기술인증 사항

- 녹색기술인증 완료(첨부파일 참조)
  - 녹색기술인증 심의결과서
  - 녹색기술인증서
  - 녹색인증관련 제품 리스트
  - 녹색인증관련 도면
  - 세부산식

- 녹색기술인증 심의결과서

신청구분	녹색기술인증	신청자	(주)대우해양기술
신청기술명	소형 어선 전기용 총전식 추진 시스템 기술		
접수번호	AT-10-00119		
녹색인증여부	인증 적합	인증번호	GT-10-00079
적합사유	<p>기술수준 만족여부</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국산부분 70% 이상 사용, 프로펠러 기술 등의 국산화 20% 이상 달성, 선급인증 대비 10% 향상</li> </ul> <p>기술성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 최초로 시도하는 것으로 인정되며 전기모터 시스템의 추진제어 기술개발은 우수하다고 판단됨</li> </ul> <p>시장성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조업 특성에 맞는 추진시스템 개발 및 연료절감에 따른 시장에서의 큰 호응도 예상</li> </ul> <p>녹색성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주공급원이 전기로서 이산화탄소 감축 방안으로 에너지 환경문제 해결에 도움이 되며 친환경적임</li> </ul> <p>* 인증심의결과 : 인증평가결과에 따라 최종 인증적합으로 확정</p>		



# 녹색기술 인증서

인증번호 : 제 GT-10-00079 호

기관명 : (주)태우해양기술 대표자명 : 김 명 수

주소 : 부산 해운대구 우동 1470 에이스하이테크21  
1415호

기술명칭 : 소형 어선 전기용 충전식 추진 시스템 기술

분류번호 : T050401

『저탄소 녹색성장 기본법』 제32조 및  
『녹색인증제 운영요령』 제27조에 의거하여  
위의 기술을 녹색기술로 인증합니다.

인증일자 : 2010.09.09

유효기간 : 2010.09.09-2012.09.08

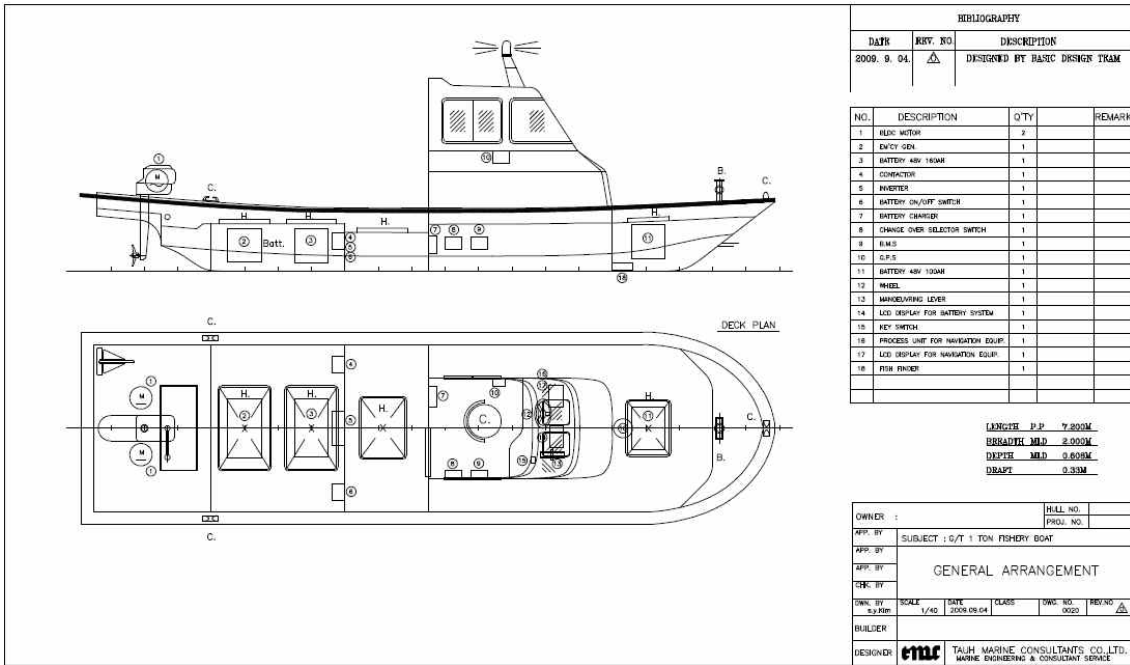
농림수산식품부장관



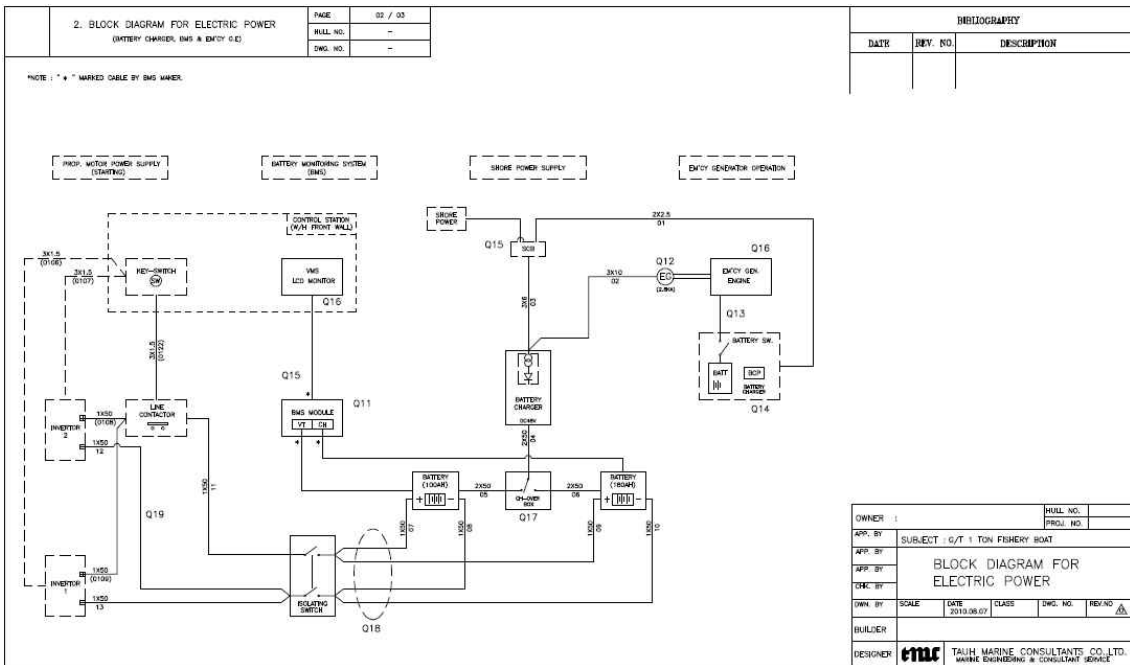
- 녹색인증관련 제품 리스트

Part list				
No.	항 목	수 량	내역	비고
1	동력장치	2	BLDC모터, 4.5KW,	영국산 (G&W 테크놀로지 수입 제품)
1-1	선의 추진기	2	외장형, water tight type,	일본산 (야마하 제품)
2	비상발전기	1	2.6KA	국내산 (시장구매품)
3	주 배터리	1set	리튬 인산철, 48V 160AH	중국산 (REVO 수입제품)
4	contactor	1		국내산 (시장 구매품)
5	인버터	1	교류/직류 변환장치, DC48V, 480A,	영국산 (G&W 테크놀로지 수입 제품)
6	Battery On/Off Switch	1		국내산 (시장구매품)
7	Battery Charger	1	배터리 충전장치 Input : 220V 단상, Out: DC48V,	국내산 (REVO 제작품, 070-8224-5231)
8	전류전환스위치	1	주/조보 전원 선택 Selector S/W (T-type), 200A,	국내산 (시장구매품)
9	Battery Monitoring System	1	충/방전 전압, 전류 및 작동 상태 조종 장치	국내산 (REVO 제작품, 070-8224-5231)
10	G.P.S	1	항해장비	국내산 (삼영ENC, 051-601-6666)
11	보조 배터리	1set	리튬 인산철, 48V 100AH	중국산 (REVO 수입제품)
12	조타장치(Wheel type)	1	유압조절, Piston rem type,	국내산 (시장 구매품)
13	속도조절레버	1	전후진 및 속도 조절	일본산 (야마하 제품)
14	DISPLAY SYSTEM FOR BATTERY	1	배터리 잔량 및 게이지	국내산 (REVO 제작품, 070-8224-5231)
15	KEY SWITCH	1		국내산 (시장 구매품)
16	PROCESS UNIT	1		국내산 (삼영ENC, 051-601-6666)
17	LCD DISPLAY FOR NAVIGATION EQUIP.	1		국내산 (삼영ENC, 051-601-6666)
18	어탐기 (FISH FINDER)	1		국내산 (삼영ENC, 051-601-6666)

- 녹색인증관련 도면

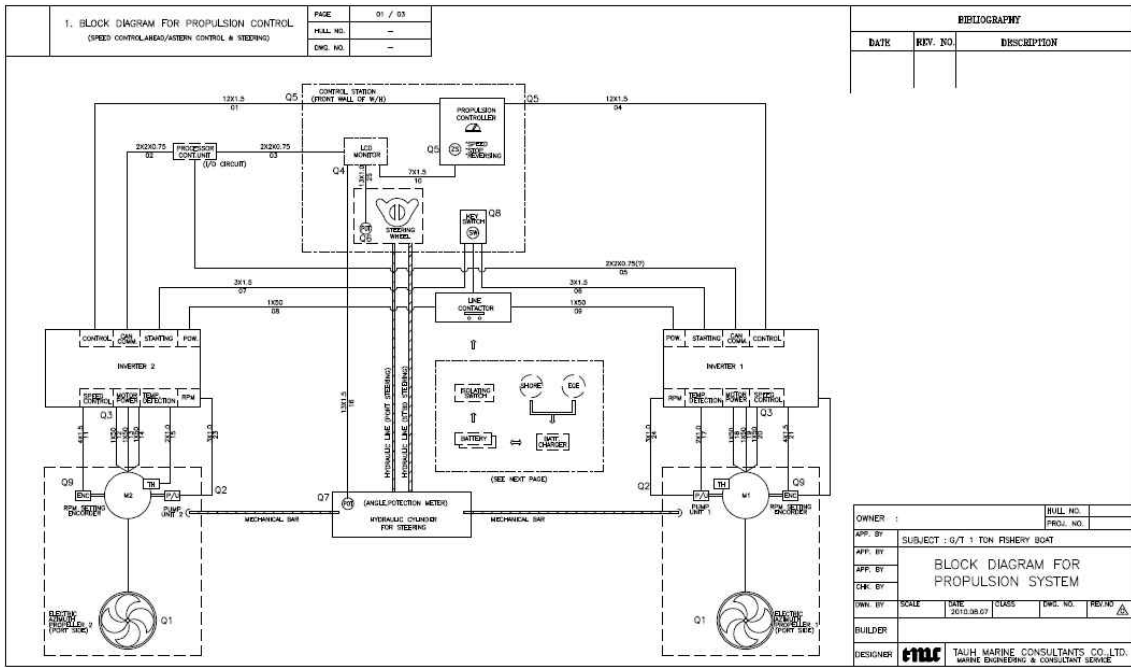


일반배치도

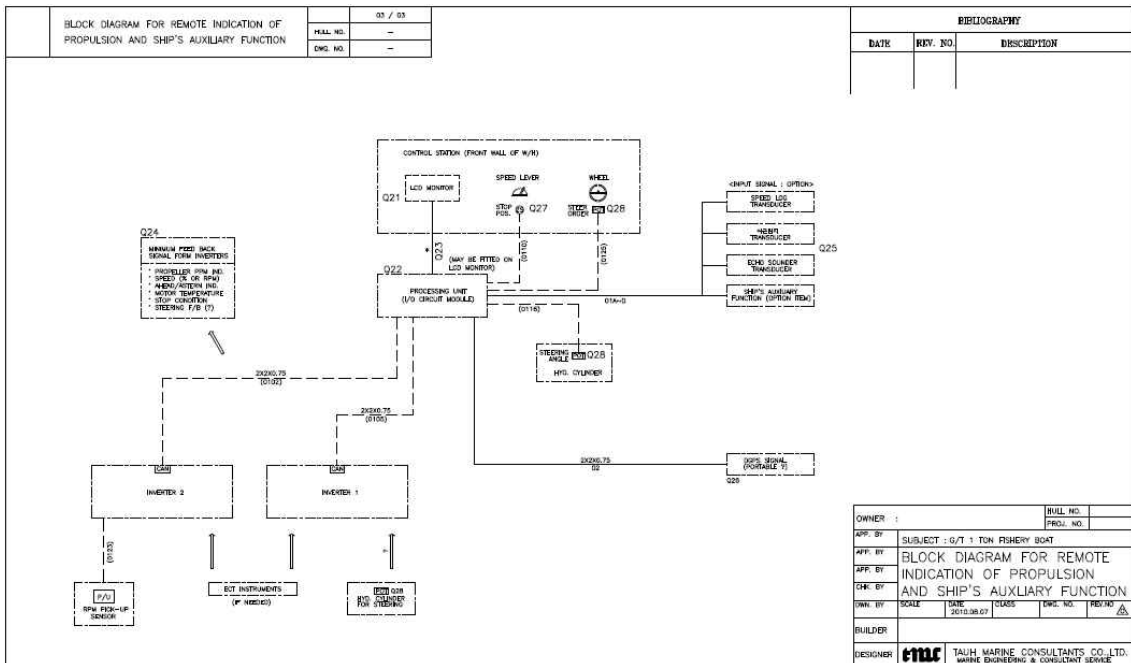


전기시스템 결선도





추진시스템 결선도



제어시스템

- 세부산식

구 분		경유	전 력	절감량	절감율	절감액
		경유연진	전기연진	(ton)	(%)	(억원)
보급대수		13,400	13,400			
운전시간	개월	12	12			
보급용량	선박 대수 기준	1	1			
엔진부하	소형선박 1대 1개월 평균kcal	58,947,200	58,947,200			
기준발열량	kcal/L, kcal/kWh	8,450	860			
효율	효율	0.35	0.95			
소요에너지량	L, kWh	3,204,973,714	11,601,847,931			
경유변환 톤	경유 Ton	2,688,736	2,476,468	212,269	7.9%	3,654
LNG변환 톤	LNG Ton	2,261,415	2,082,882	178,533	7.9%	
석유환산 톤	TOE	2,900,501	2,494,397	406,104	14.0%	
TCO2 계수	탄소배출계수*44/12	3.069	0.4240			
TCO2	Ton	8,311,474	4,919,184	3,392,291	40.8%	720
신 수요창출	GWh		11,602			
신 수요창출	억원		19,526			

전기 → 경유(L) 환산 : 소비량(kWh) \* 순발열량2,150(kcal/kWh) /8,450(kcal/L)

전기(KWh)	경유(L)
11,601,847,931	2,951,949,474

경유 → 가스 환산 : 소비량(L) \* 순발열량 8,450(kcal/L) /9,550(kcal/m3)

경유(L)	LNG(m3)
3,204,973,714	2,835,814,438

	전기요금(2009.11 누계)			경유가격(2010.2.2 평균)	
	산업용(원/kWh)	일반용(원/kWh)	평균	주택용	평균(원/L)
	73.36	98.56		200~300	1444
적용율	0.5	0.5			1
적용요금	36.68	49.28	85.96	168.3	1444

LNG 단위환산 1 Ton = 1254 m<sup>3</sup>

경유 단위환산 1 Ton = 1192 l

1RT의 냉방면적은 약30m<sup>2</sup>

TCO2 비용 13유로(2009년 탄소배출권 거래가격) \* 1,632원(2010.1 환율기준) 21,216

산출 근거자료

- 보급대수 : 연근해 소형어선 및 레저용 선박의 20%인 13,400대를 우선 보급대상으로 추정(67,000\*20%)  
 2010년 2월 현재 3톤이하 연근해 소형어선 : 60,000대 ('10.3.3 전자신문)  
 2010년 2월 현재 해양레저안전법에 의거 해경에 등록된 레저용 선박 : 7,000대 ('10.3.3 한국중소조선연구원 유선 확인)
- 엔진부하 : 소형선박 1대가 월평균 사용하는 kcal를 의미하며, 산출내역은 다음과 같음  
 - 2007년 국내 농어업 경유 사용량 : 12,830천 배럴 중 어업 해당분 4,276천 배럴(전체의 1/3수준으로 산정)  
 관련근거 : 통계청/통계포털/광공업 에너지/석유수급통계/소비통계/산업별소비/제품별 산업별 소비/경유 항목에 12,830천 배럴  
 - 2007년 국내 소형선박 경유 사용량 : 1,112천 배럴 (소형선박의 전체선박에 대한 점유비 26% 적용, 4,276\*26%)  
 - 1배럴은 159 리터이므로 2007년 국내 소형선박 경유 사용량을 리터로 환산하면 176,808,000리터가 됨  
 - 2007년 소형선박 월 평균 경유 사용량은 14,734,000리터임 (176,808,000리터/12개월),  
 - 2007년 1호당 월평균 경유사용량은 6,976리터임 (14,734,000리터/2112호)  
 - 2007년 1호당 월평균 경유사용량을 kcal로 환산할 경우 58,947,200kcal임 (6,976리터\*8450)
- 효율  
 - 경유엔진 효율은 35% 적용, 전기엔진 효율은 일반 고효율전동기 효율 95% 적용함

## 제6절 3톤급 기존어선의 실해역 실험

### 1. 시제품 제작

#### 가. 3톤급 전기어선 제작현장





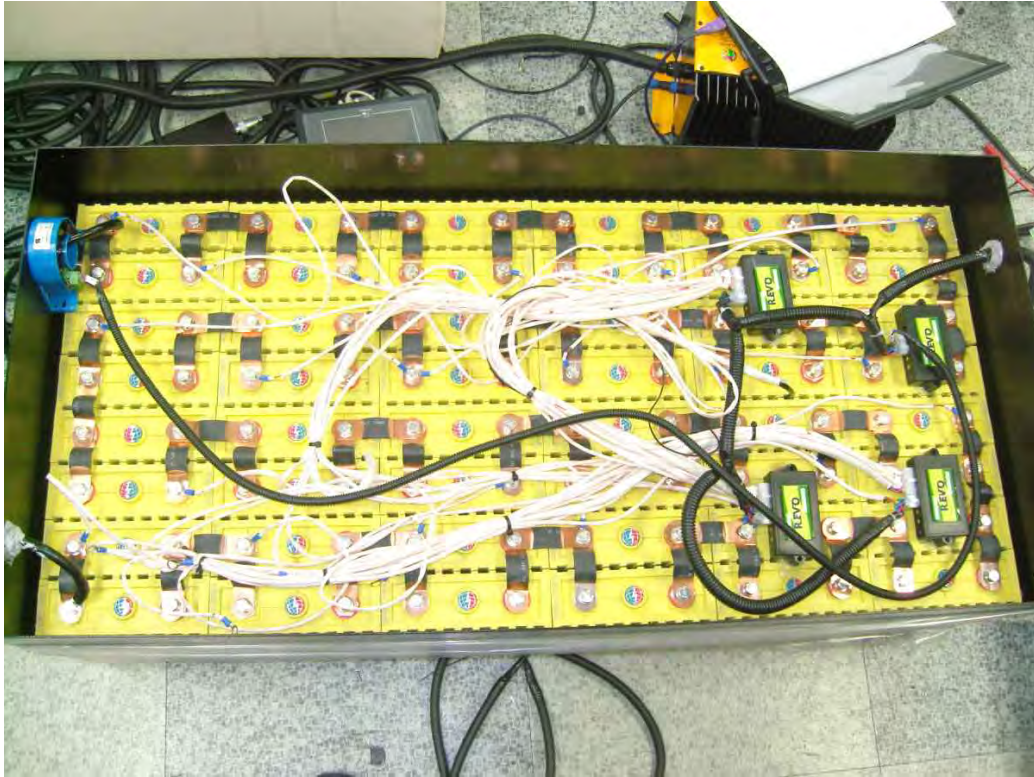




나. 배터리 사항 관련사진



배터리 외관



배터리 내부



BMS, Display



충전기

다. 추진 장치 관련사진

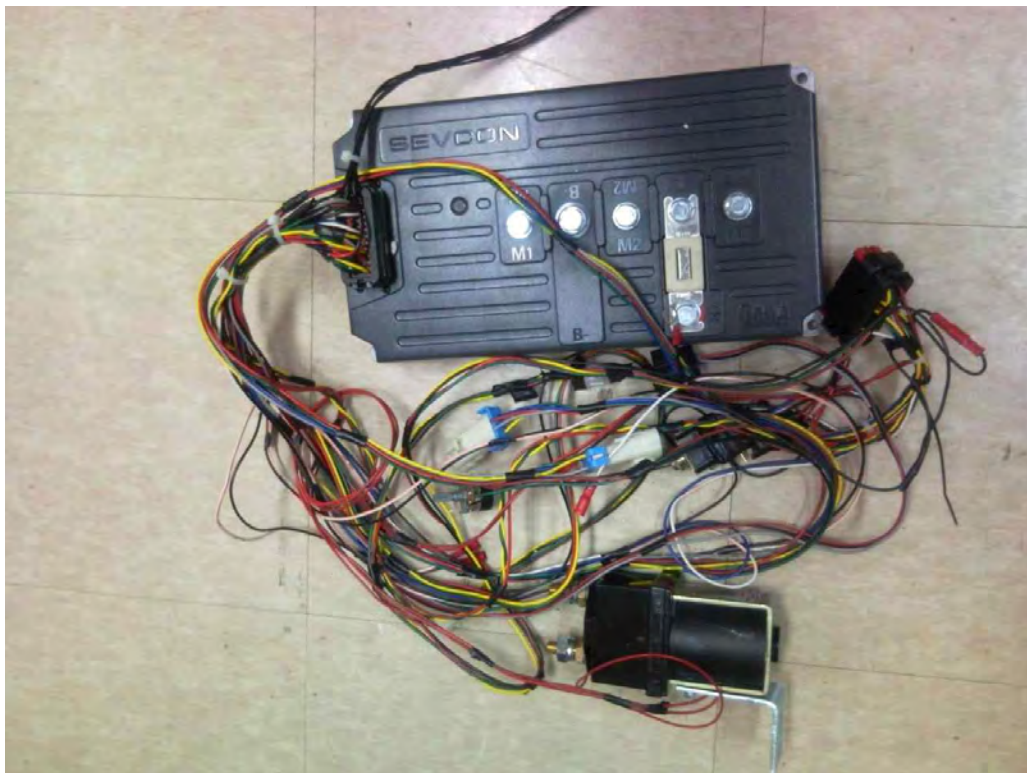








선외기



인버터

## 2. 프로펠러 설계

### <3톤 전기추진어선 프로펠러 설계 결과>

#### 가. 프로펠러 설계점

- Ship Load Cond. : Full Load
- Sea Margin : 15%
- 설계 마력 : 15.0 Kw(Motor Output)
- 설계 회전수 : 2700.0 RPM (기어비 : 1.0)
- 전달 효율( $\eta_t$ ) : 0.970 (수직 L Drive)

#### 나. 프로펠러 설계 결과

현재 프로펠러의 설계 조건은 Series Data의 범위 밖으로 프로펠러 효율이 매우 작아(0.25 이하) 설계 추정치가 다소 오차가 크리라 본다. 그래서 초기 설계 자료로 사용하기 바라며 그 설계 결과를 요약하여 살펴보면 다음과 같다.

##### (1) 전개면적비, $AE/AO = 0.80$ 로 가정

Dia(Inch) (mm)	7.5" (190.5)	8.0" (203.2)	8.5" (215.9)	9.0" (228.6)	9.5" (241.3)	비 고
피치비(P/D)	1.245	1.068	0.924	0.804	0.699	
피치 (Inch) (mm)	9.34" 237.2	8.54" 217.0	7.85" 199.5	7.24" 183.8	6.64" 168.7	
효율( $\eta_o$ )	0.202	0.221	0.237	0.249	0.254	
선속(KTS)	5.13	5.22	5.30	5.35	5.38	

##### (3) 전개면적비, $AE/AO = 0.95$ 로 가정

Dia(Inch) (mm)	7.5" (190.5)	8.0" (203.2)	8.5" (215.9)	9.0" (228.6)	9.5" (241.3)	비 고
피치비(P/D)	1.171	0.950	0.877	0.771	0.679	
피치 (Inch) (mm)	8.80" 223.1	7.60" 193.0	7.45" 189.3	6.94" 176.3	6.45" 163.8	
효율( $\eta_o$ )	0.206	0.221	0.236	0.249	0.255	
선속(KTS)	5.15	5.22	5.29	5.35	5.39	

## 제 5 장 3차년도 결과

1차년도 연구계획에서부터 서해안의 총톤수 1톤급 낚지 잡이 어선, 양식장을 관리하는 관리 어선, 낚시 및 채낚기를 주업으로 하는 3톤급 유어선의 에너지 절감을 목표로 하였다. 대상 어선의 확대는 배터리의 성능과 가격에 연동할 것으로 추정한다.

실해역 실험을 통하여 어민들이 전기추진어선을 사용하는 과정에서 얻어진 결과는 아래와 같고, 지속적인 연구개발을 통하여 해결할 수 있는 Item으로 판단하고 있다.

- 배터리의 잔량 표시에 대한 불명확성
- 어창에 배치되어 있는 배터리의 공간 확보
- 충전시설의 미흡에 따른 안전사고
- 저속 운항에 따른 어장의 선점의 실기

### 제1절 Lpp=7.5m, 배수량4.2ton급 어선의 성능분석(총톤수 3ton급)

#### 1. 선형특성

본 대상선박은 현재 서남해에서 운항되고 있는 쌍동선으로 주요제원은 Table 5.1.1과 같고, 형상은 Fig. 5.1.1과 같다.

**Table 5.1.1 Principal dimensions**

Items	Dimensions	Remarks
Lpp (m)	7.50	
B (m)	3.20	전폭
B' (m)	0.72	단동체 선폭
D (m)	0.90	
d (m)	0.45	
Cb	0.844	
Disp. (ton)	4.20	

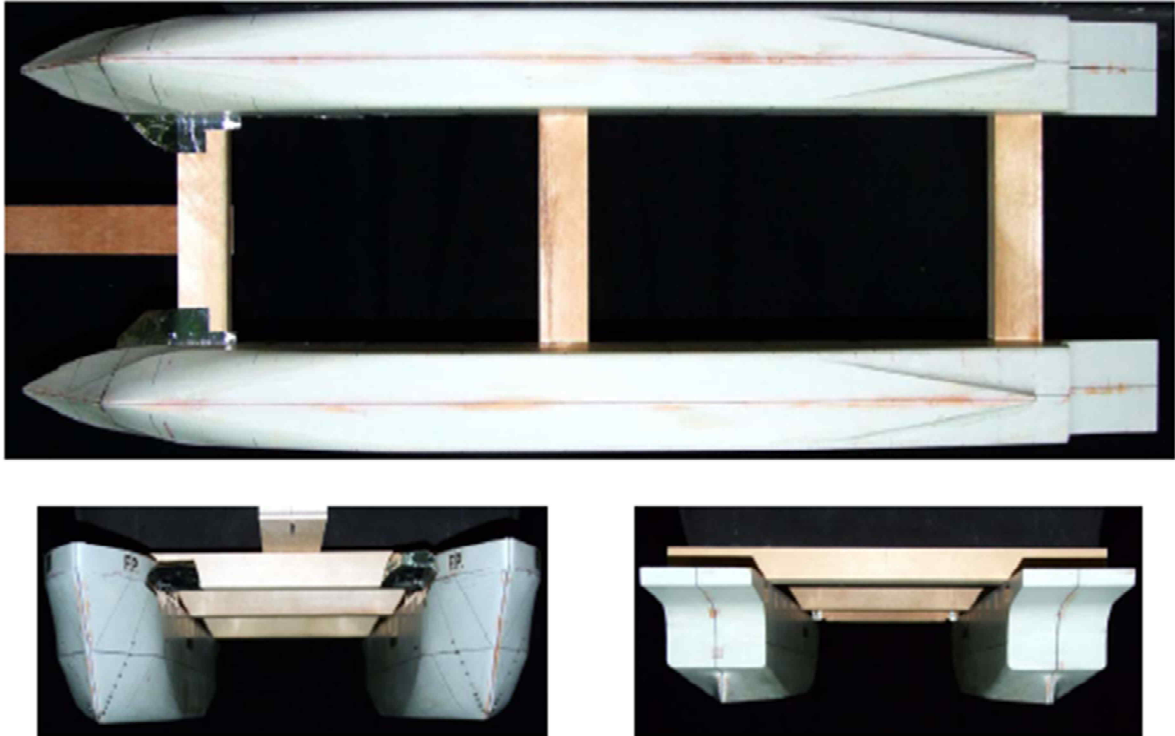


Fig. 5.1.1  $L_{pp}=7.5m$ , 배수량 4.2톤급 어선 형상

본 대상선박은 방형비척계수( $C_b$ )가 0.8 이상으로 비교적 뚱뚱한 형상을 가지고 있다. 고속영역에서 성능향상을 위하여 선수부 형상은 활주선 형상인 V-Type이고, 선미는 평평한 평저형 형상이다. 또한 긴 중앙평행부를 가지고 있다. 일반적인 중속어선의  $L/B$ 가 커진 형태이다.

## 2. 모형시험을 통한 성능분석

본 대상선박의 유체역학적인 성능을 파악하기 위하여 서일본유체기술연구소 회류수조에서 모형시험을 수행하였다. 만재상태에서 저항시험(2~10노트)을 수행하였고, Froude의 비교법칙을 이용하여 실선의 유효마력 및 전달마력을 추정하였다.

시험모형은 1m 크기로 하드우레탄으로 제작하였다. 제작된 시험모형은 Fig. 1과 같다.

각 속도별 파형은 Fig. 5.1.2 ~ Fig. 5.1.9에 나타내었다.

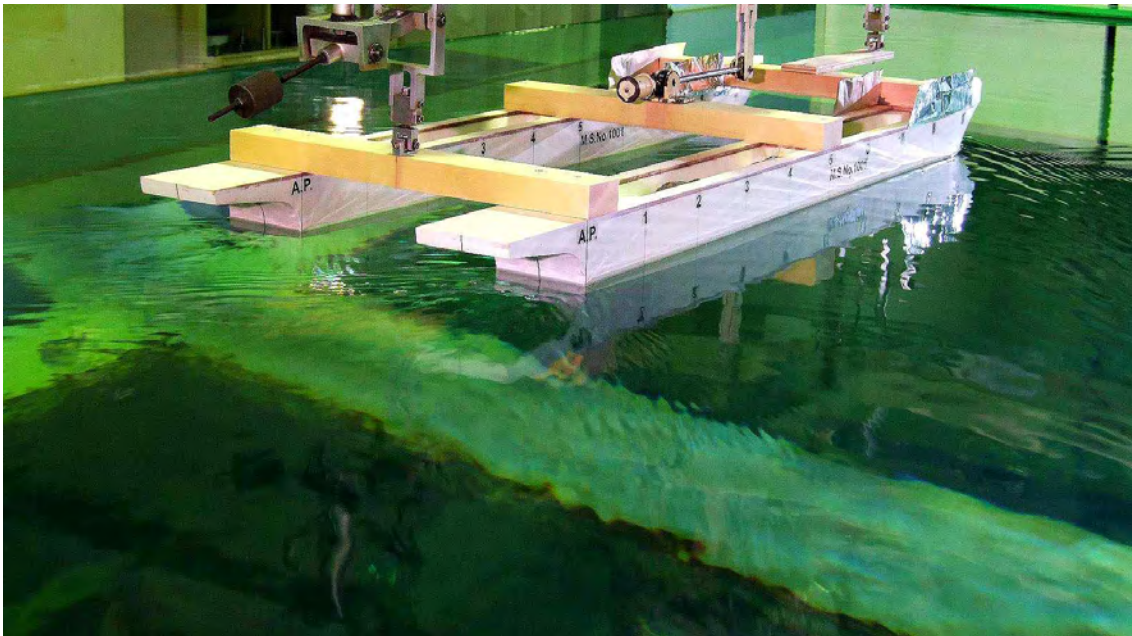
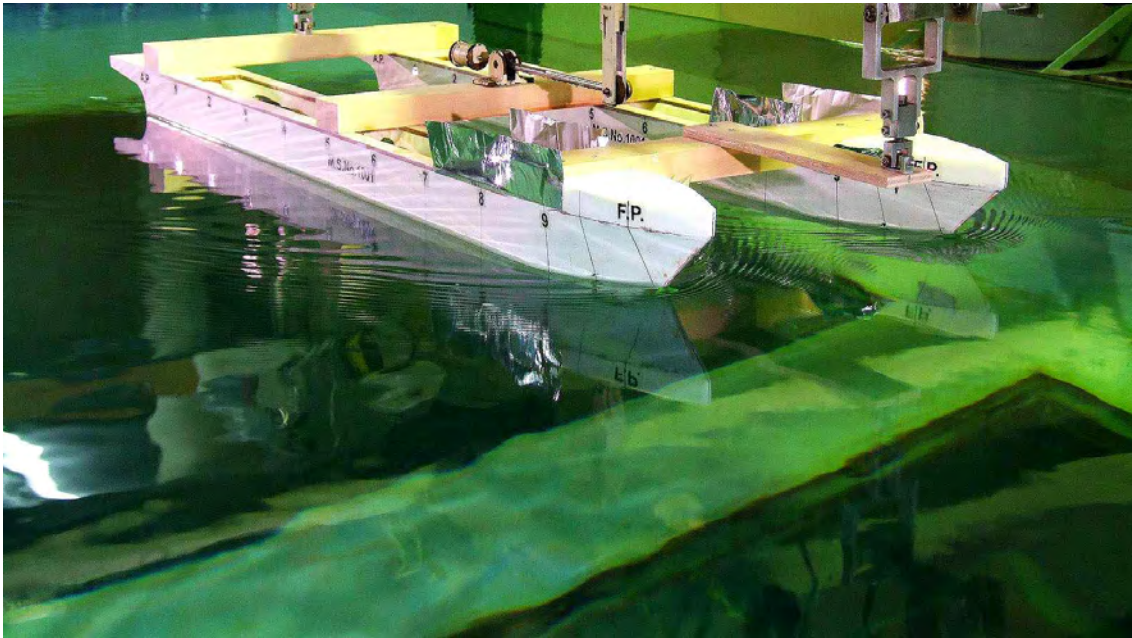


Fig. 5.1.2 Full load condition,  $V_s=2$  knots,  $F_n=0.120$

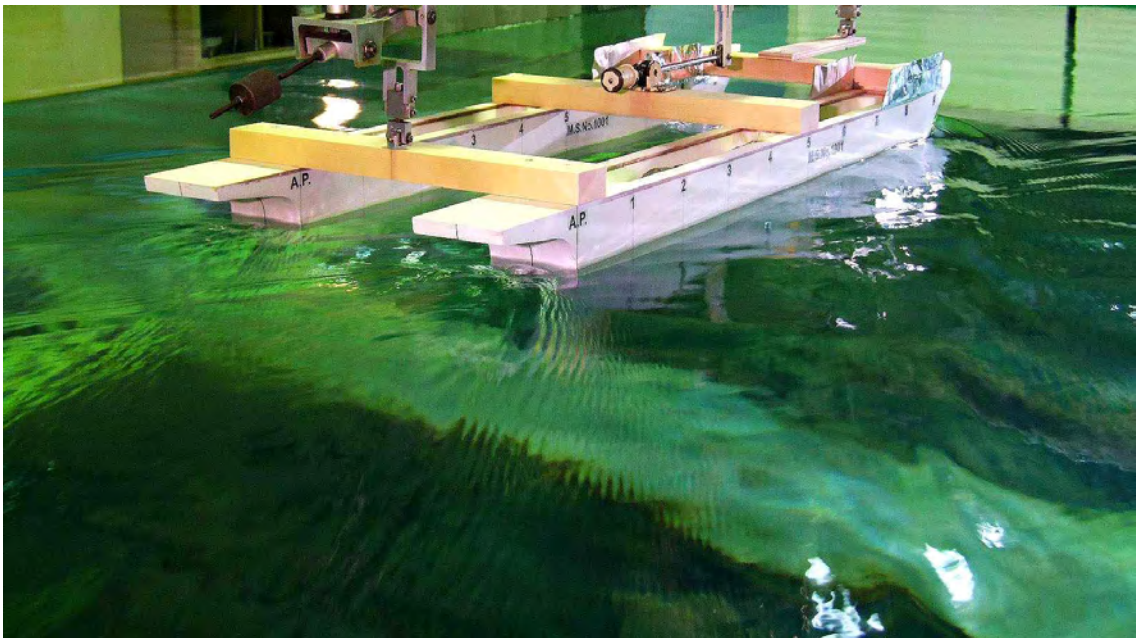
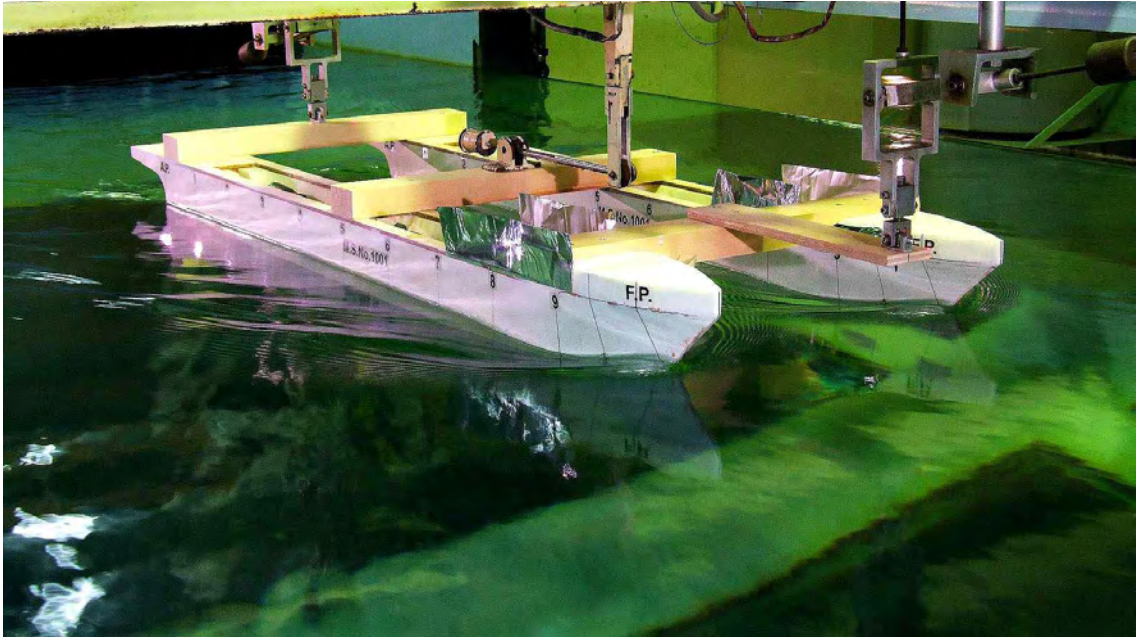


Fig. 5.1.3 Full load condition,  $V_s=3$  knots,  $F_n=0.180$

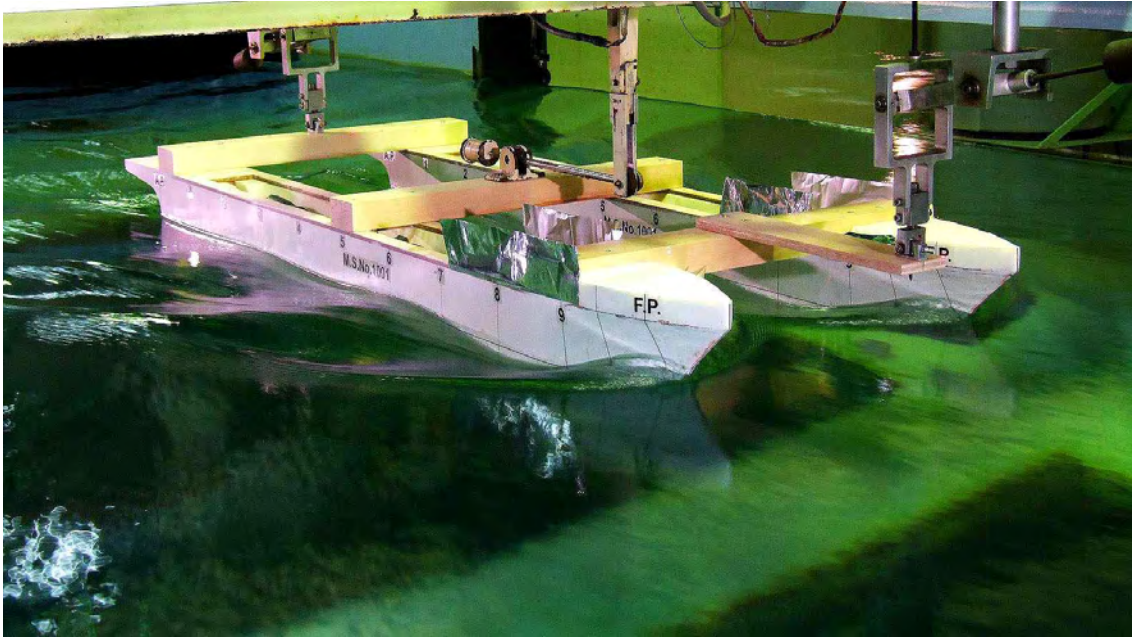


Fig. 5.1.4 Full load condition,  $V_s=4$  knots,  $F_n=0.240$



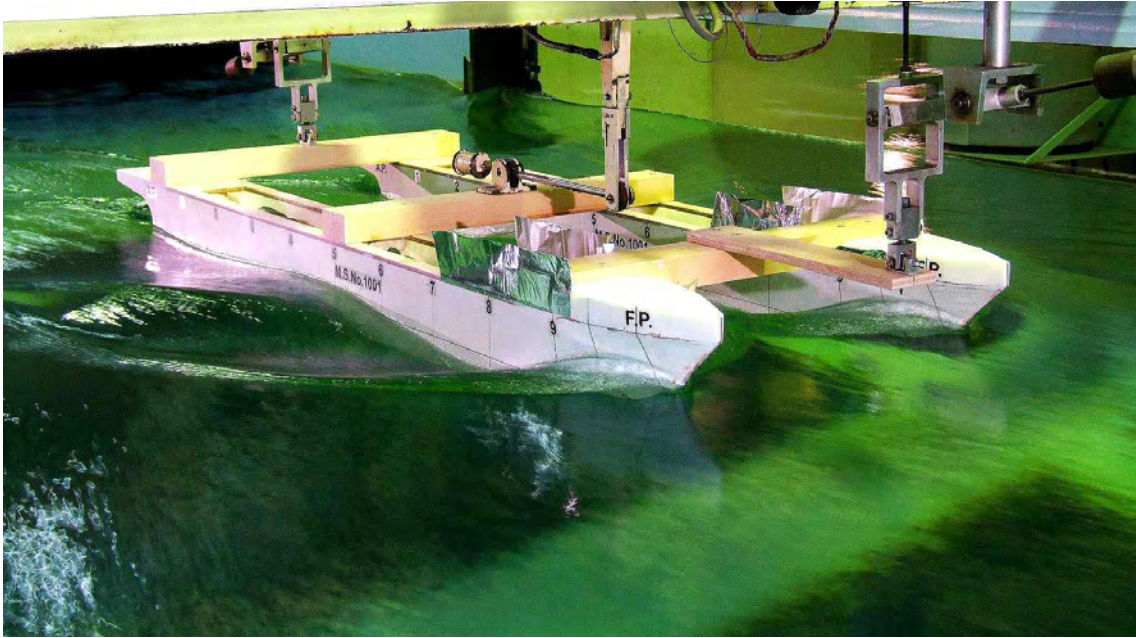


Fig. 5.1.5 Full load condition,  $V_s=5$  knots,  $F_n=0.300$



Fig. 5.1.6 Full load condition,  $V_s=6$  knots,  $F_n=0.360$

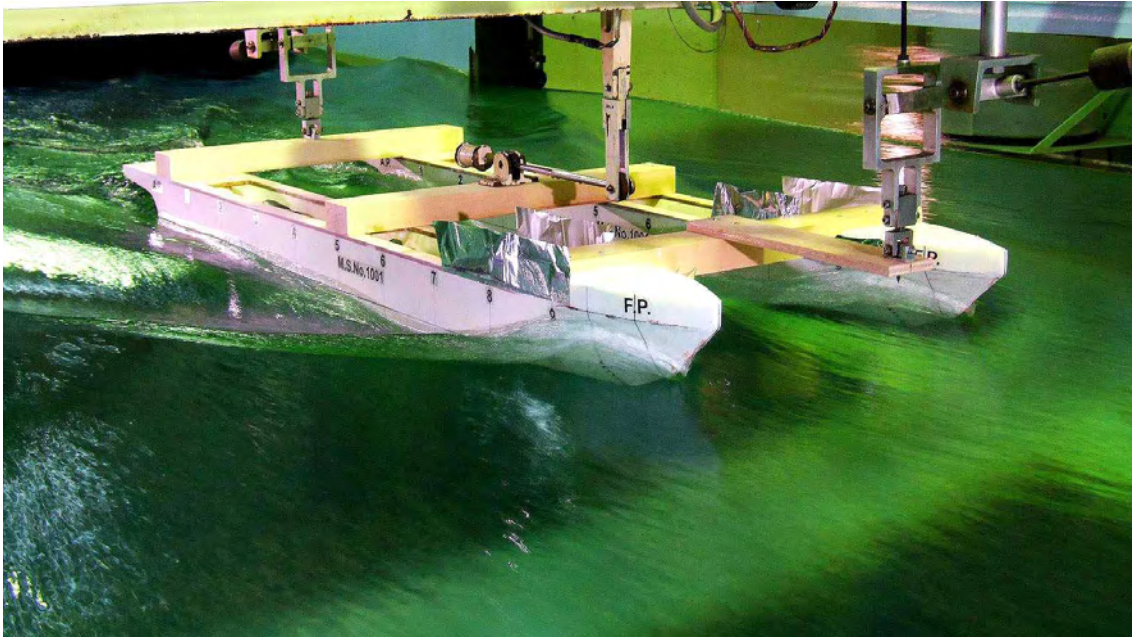


Fig. 5.1.7 Full load condition,  $V_s=7$  knots,  $F_n=0.420$



Fig. 5.1.8 Full load condition,  $V_s=8$  knots,  $F_n=0.480$



Fig. 5.1.9 Full load condition,  $V_s=9$  knots,  $F_n=0.540$

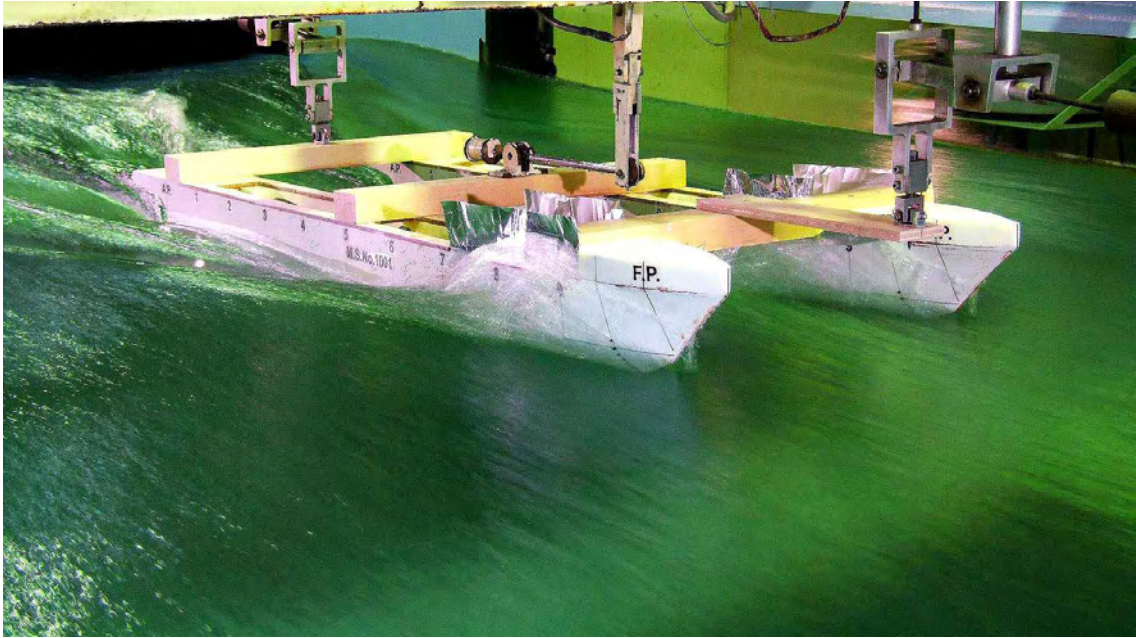
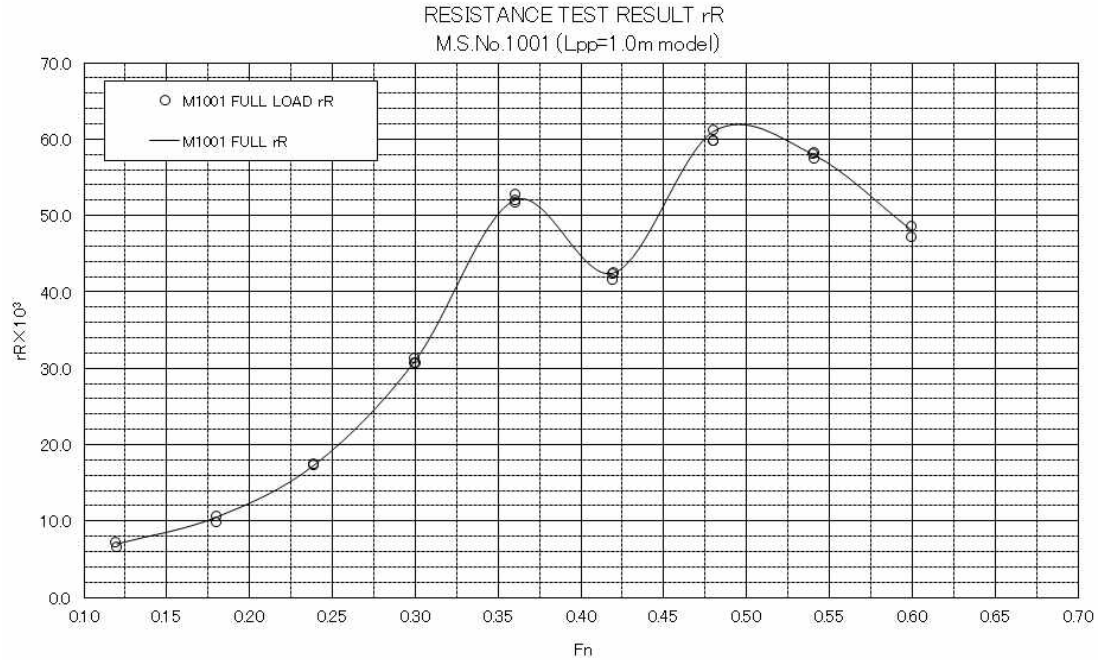


Fig. 5.1.10 Full load condition,  $V_s=10$  knots,  $F_n=0.600$



**Fig. 5.1.11 Residual resistance, Full load condition**

본 모형시험 결과는 다음과 같다.

4노트 이상에서 선수미 파도가 급격하게 커지기 시작한다. 5노트 이상에서는 선수파 뿐만 아니라 선미파도 급격하게 커지면서 저항이 크게 증가하는 경향을 보인다. 또한 잉여자항 계측결과에서 보는 바와 같이 6노트 이상에서는 Hollow-Hump가 나타난다. 이러한 현상은 전형적인 고속선의 저항곡선으로, 이는 본 대상선박 형상이 앞에서 언급한 바와 같이 활주선 형태의 선수형상을 가지고 있으나 저중속에서는 활주가 일어나지 않으므로 선수/선미파가 매우 크게 발생하기 때문이다.

따라서 본 대상선박은 5노트를 설계속도로 하는 전기추진어선에는 적합하지 않고 선형개량이 필요하다.

모형시험 결과로부터 추정된 실선의 소요마력은 위에서 선형개량 결과와 함께 다시 언급한다.

## 제2절 $L_{pp}=6.5m$ , 배수량 2.5ton급 어선의 선형개발

### 1. 선형개발

전기추진선의 경우, 전기모터의 단점을 보완하고 1회 충전으로 가능한 오랜 시간을 운항하는 것이 중요하기 때문에 저항성능이 매우 중요한 설계변수가 된다. 특히 본 개발선의 경우, 작업성과 배터리의 무게배치를 고려하여 쌍동선으로 설계하고자 하였다. 본 개발선은 갑판에서 작업성을 고려하여 선폭을 3.0m로 결정하였다. 선체 길이는 기존의 쌍동선의 일반적인 값인  $L/B=2.0\sim 2.2$  정도를 고려하여  $L=6.5m$ 로 결정하였다. 따라서 본 개발선의 설계 Froude 수는 고속 컨테이너 선박보다는 큰  $Fn=0.32$ 이고, 저항성능 측면에서 쌍동선이 타당한 것으로 판단된다.

쌍동선의 가장 큰 특징은 필요한 배수량을 양분하여 쌍동으로 하면 각 선체는 가늘어지기 때문에 조파저항은 줄어들어 유리하나, 두 선체를 합한 전 침수 표면적은 늘어나게 되어 마찰저항에는 불리한 결과가 된다. 따라서 조파저항이 큰 비율을 차지하는 고속선에서 유리해진다. 넓은 갑판을 얻는 이점이 있으며, 전체적인 배의 폭이 커지기 때문에 복원성도 좋아진다. 그러나 건조비가 비싸지고 파랑 중 운동성능에는 다소 불리한 단점이 있다.

선형설계의 기본방향은 선수쇄파를 감소시키기 위하여 선수 수선면 형상을 Convex type으로 뾰족하게 설계하였고, 사업화를 위한 제조원가 절감을 고려하여 각각의 단동체를 대칭으로 설계하였다. 필요한 배수량은 선미부에 배치시켰으며, 이로 인한 선미파 증가를 억제하고, 추진효율을 고려하여 Fig. 5.2.1와 같이 측면형상에 Dead rise를 주었다.

본 개발선의 주요제원은 Table 5.2.1와 같고, 기본형상은 Fig. 5.2.2에 나타내었다.



Table 5.2.1 Principal dimensions of  $L_{pp}=6.5\text{m}$  catamaran

Items	Dimensions	Remarks
$L_{pp}$ (m)	6.50	
B (m)	3.00	전폭
$B'$ (m)	0.65	단동체 선폭
D (m)	1.00	
d (m)	0.40	
$C_b$	0.676	
Disp. (ton)	2.34	

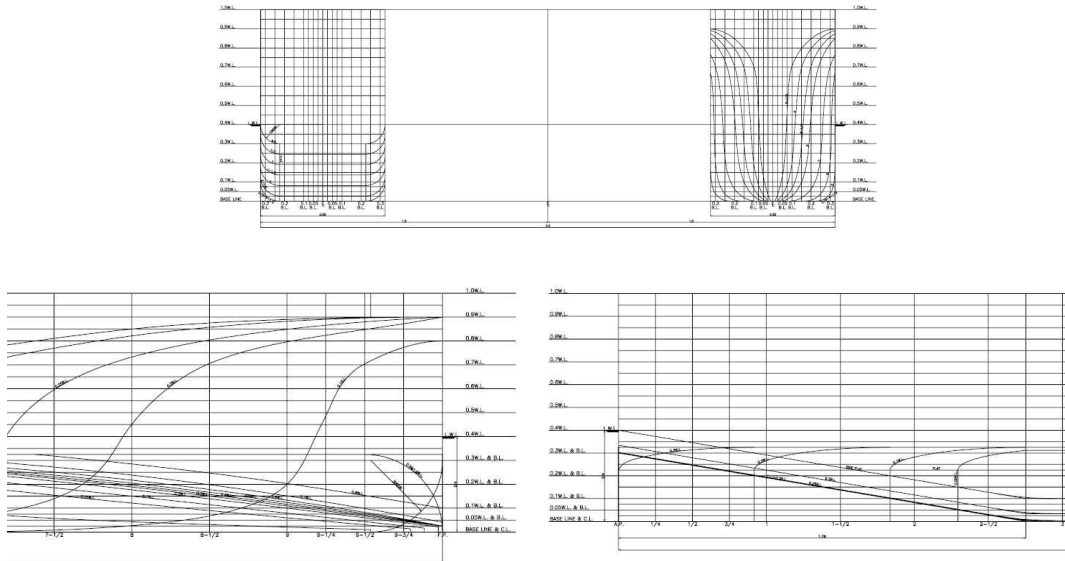


Fig. 5.2.1 Lines of  $L_{pp}=6.5\text{m}$  catamaran

## 2. 모형시험을 통한 성능분석

새로이 개발한 본 쌍동형 어선의 유체역학적인 성능을 파악하기 위하여 서일본유체기술연구소 회류수조에서 모형시험을 수행하였다. 만재상태에서 저항시험(3~10노트)을 수행하였고, Froude의 비교법칙을 이용하여 실선의 유효마력 및 전달마력을 추정하였다. 또한 설계속도인 5노트에서 Ink를 분사하면서 유동을 관찰하였다.

개발된 선형의 성능개선을 위하여 선미에 소형 트림탭을 부착하여 성능변화를 분석하였다.

시험모형은 1m 크기로 하드우레탄으로 제작하였다. 제작된 시험모형은 Fig. 14와 같다.



Fig. 5.2.2 Test model of  $L_{pp}=6.5\text{m}$  boat

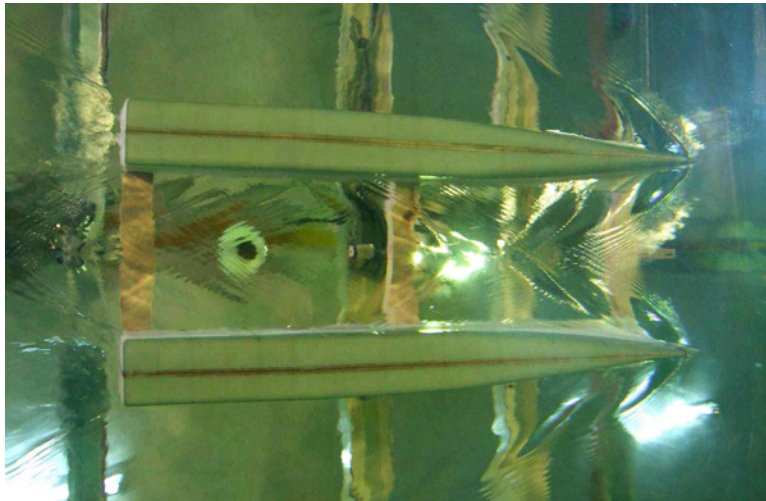
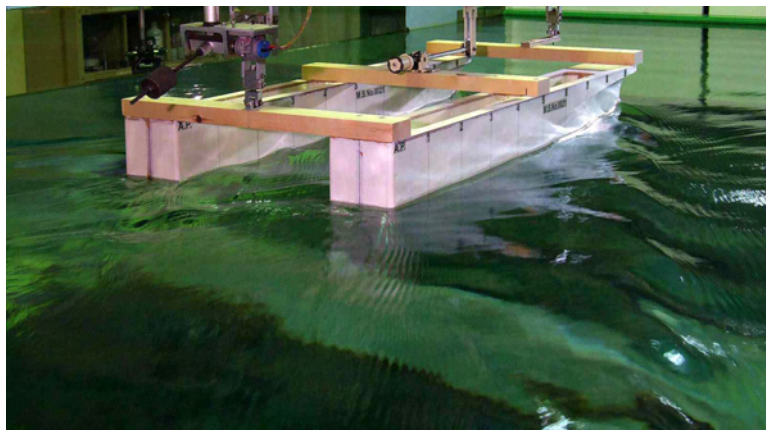
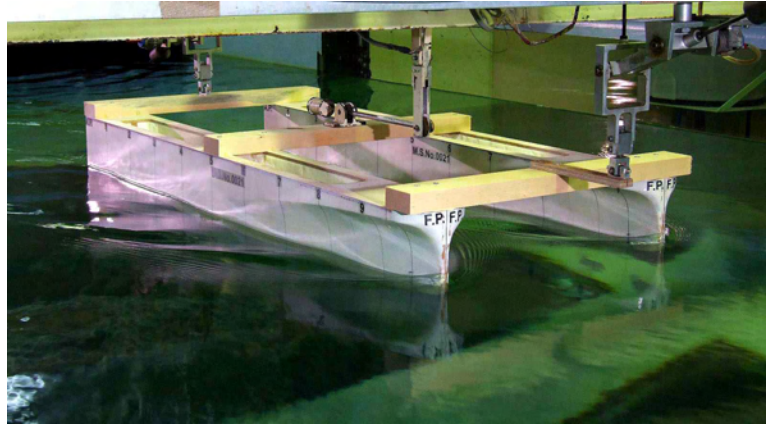


Fig. 5.2.3 Wave patterns,  $V=3.0$  knots

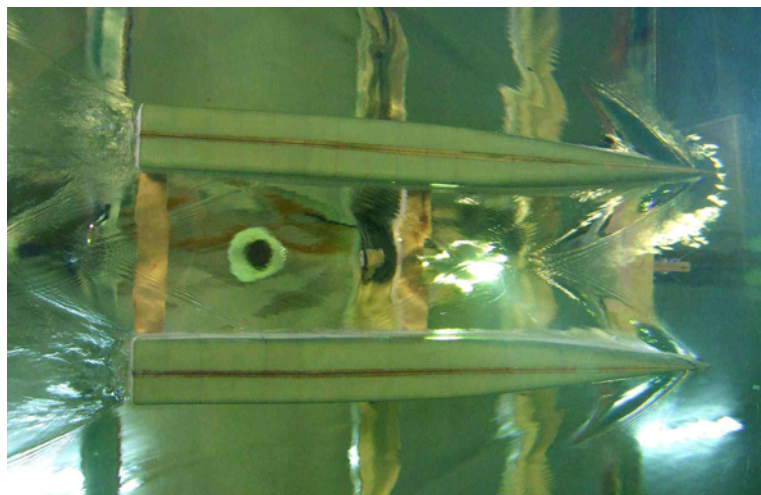
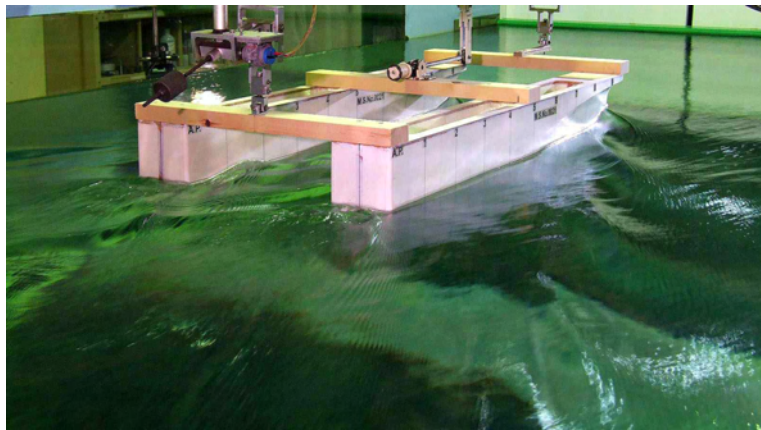
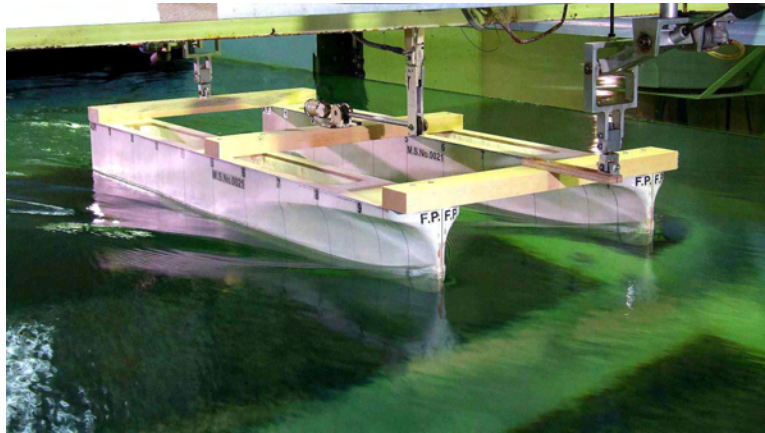


Fig. 5.2.4 Wave patterns,  $V=4.0$  knots

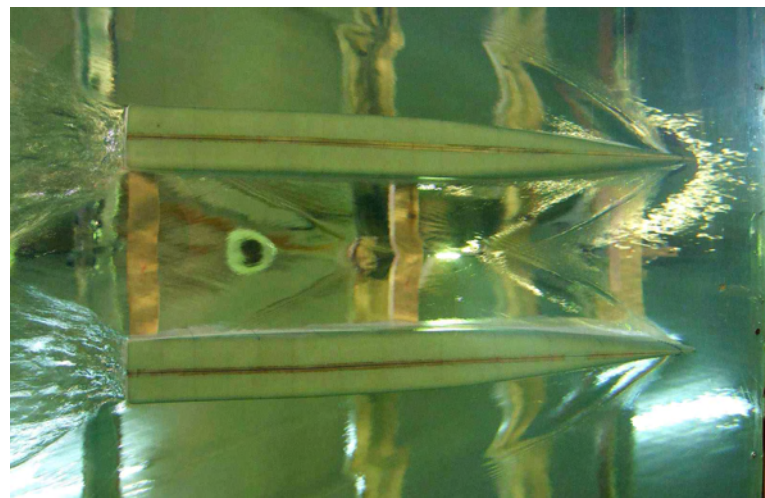


Fig. 5.2.5 Wave patterns,  $V=5.0$  knots

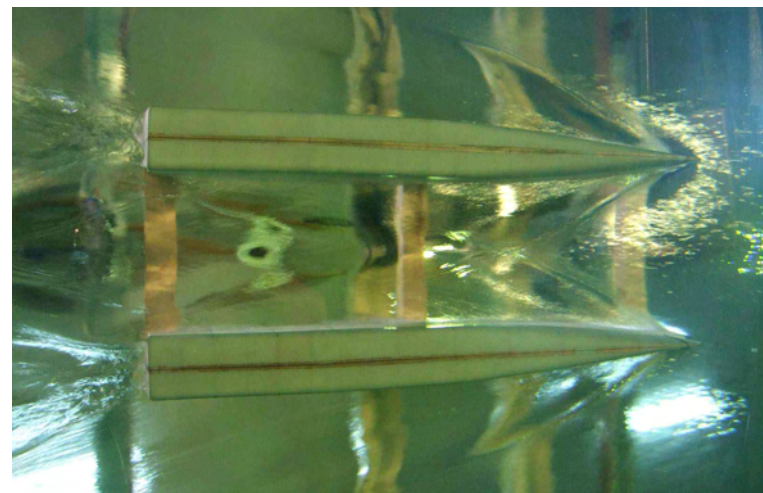
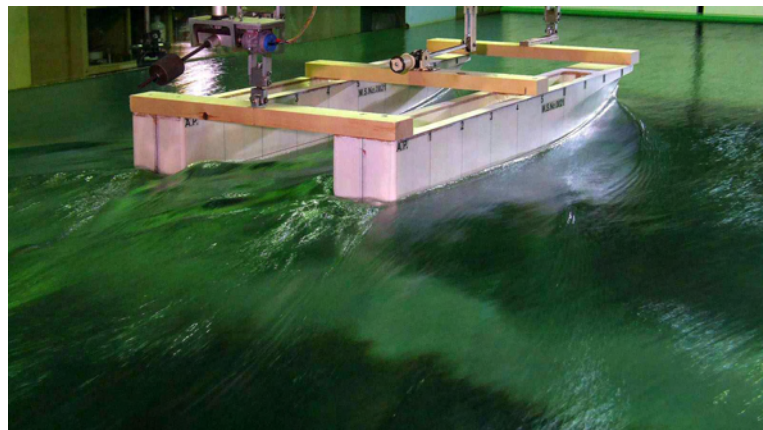
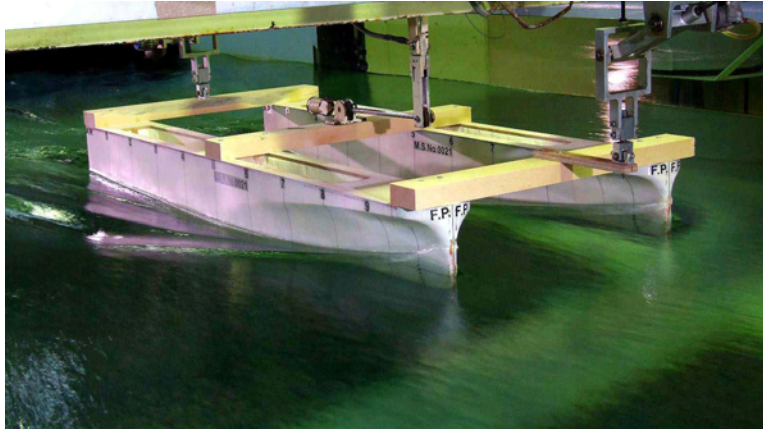


Fig. 5.2.6 Wave patterns,  $V=6.0$  knots

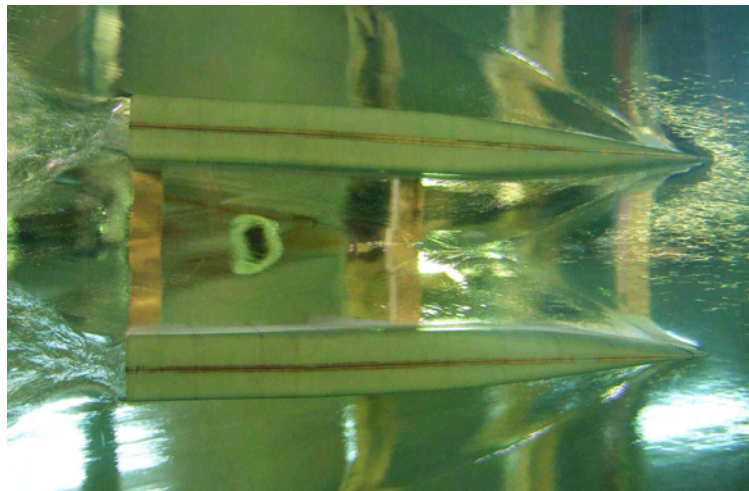
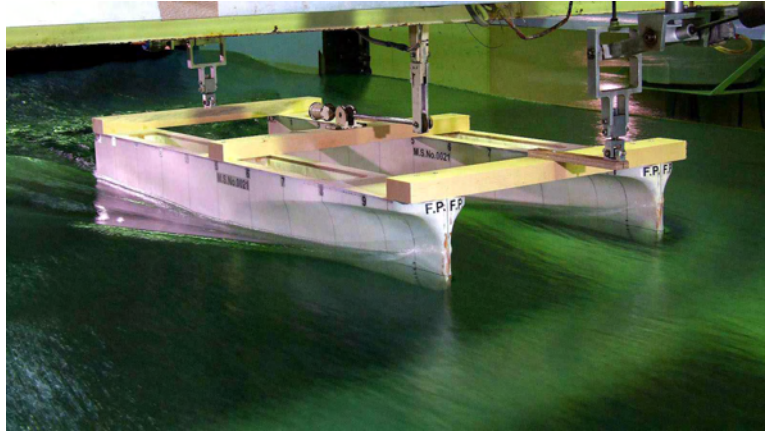


Fig. 5.2.7 Wave patterns,  $V=7.0$  knots

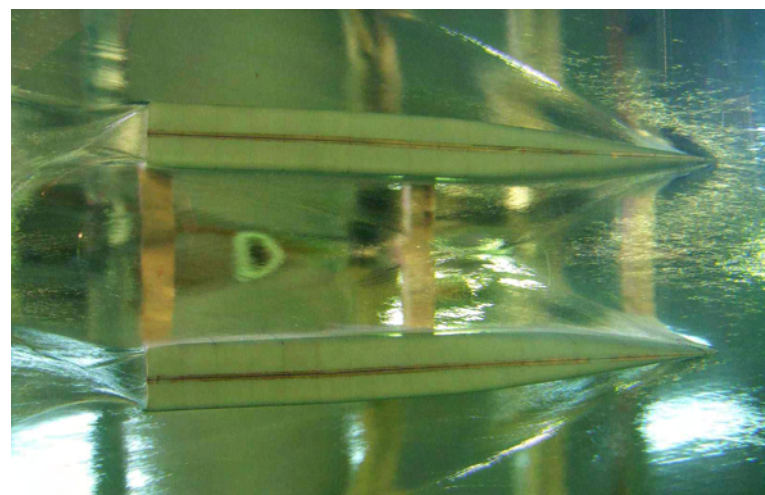
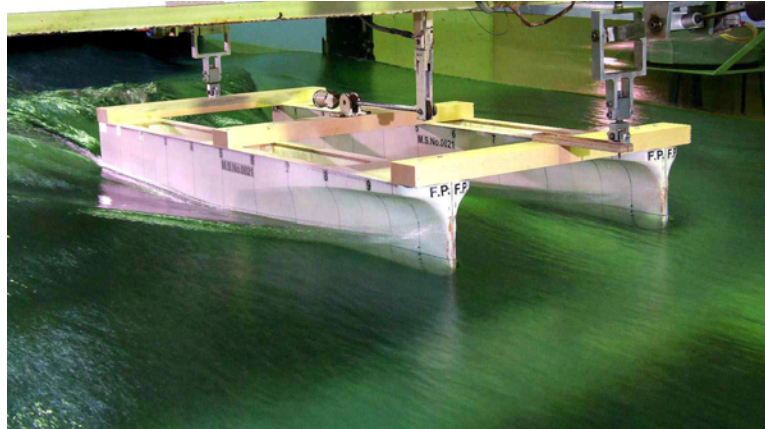


Fig. 5.2.8 Wave patterns,  $V=8.0$  knots



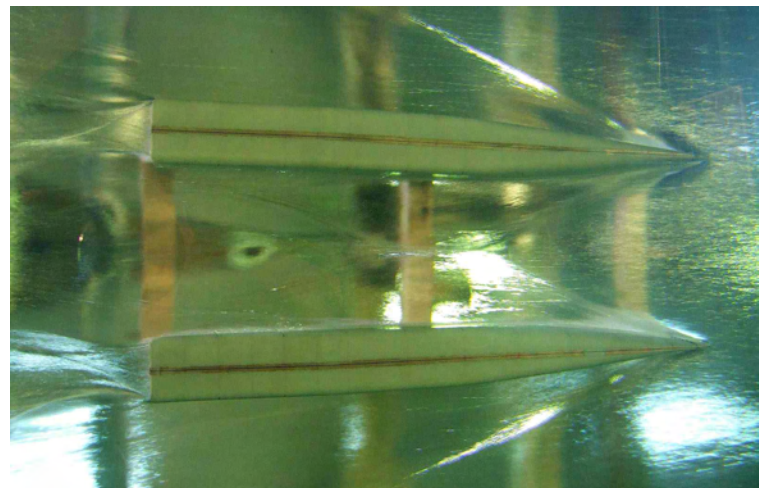
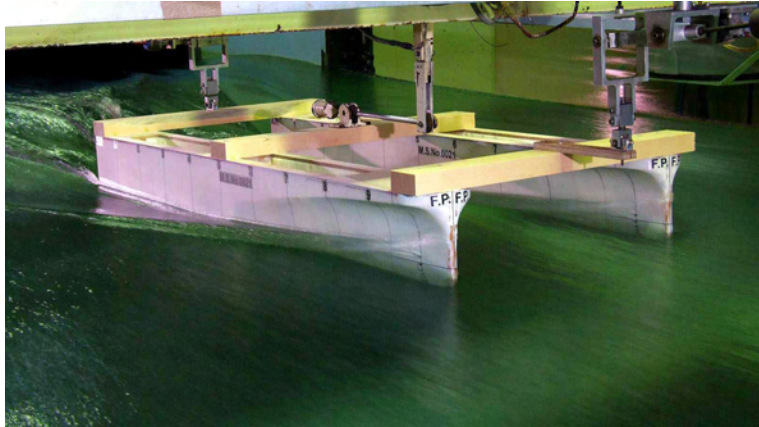


Fig. 5.2.9 Wave patterns,  $V=9.0$  knots

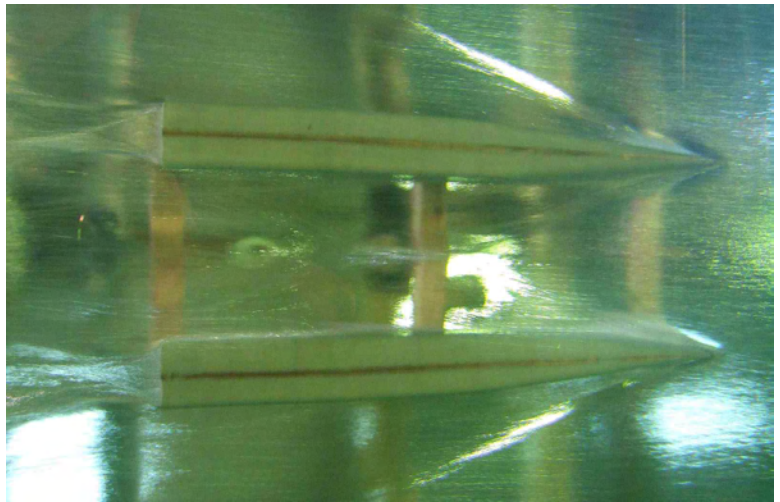
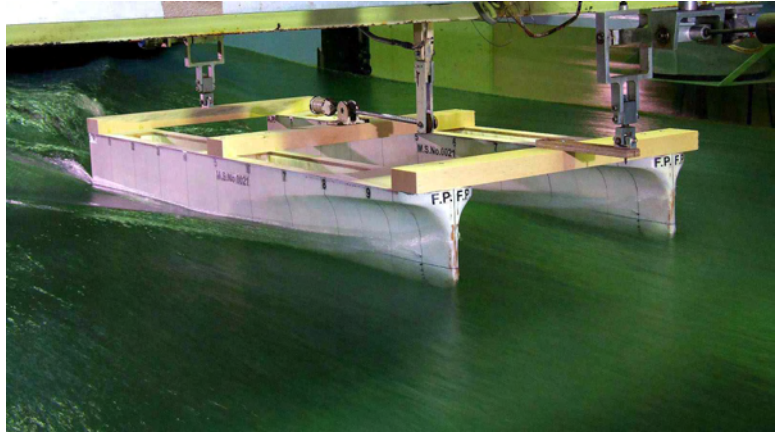
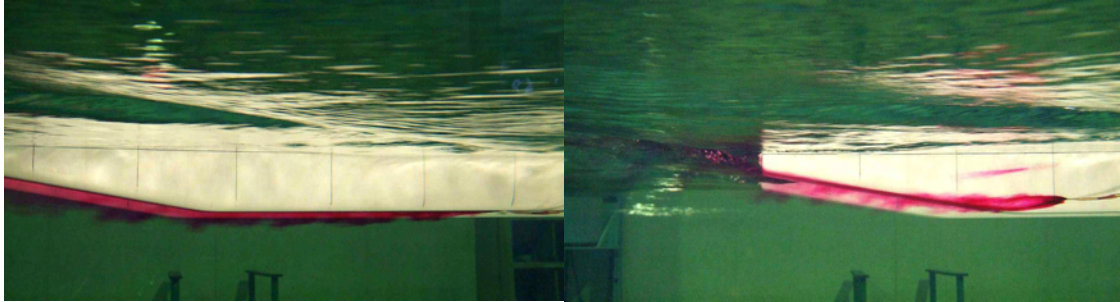
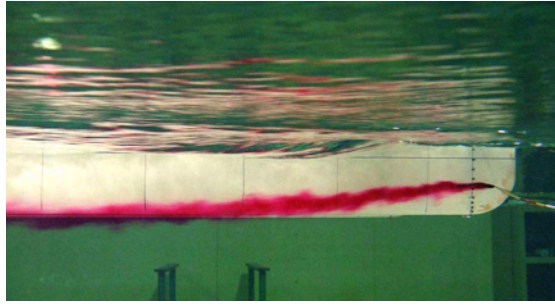
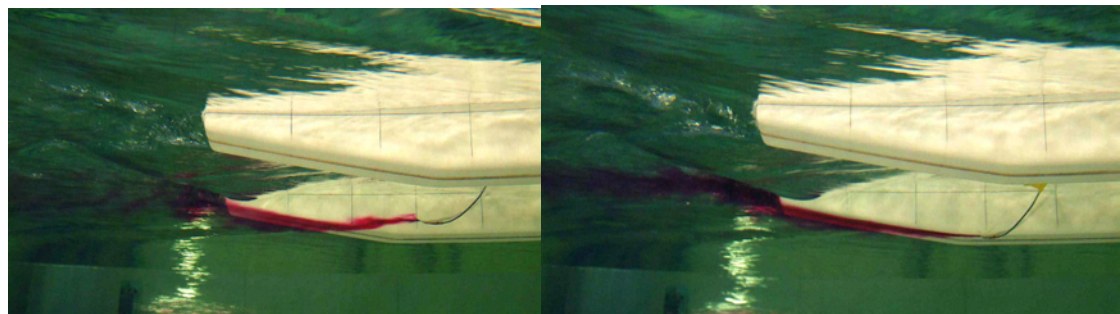
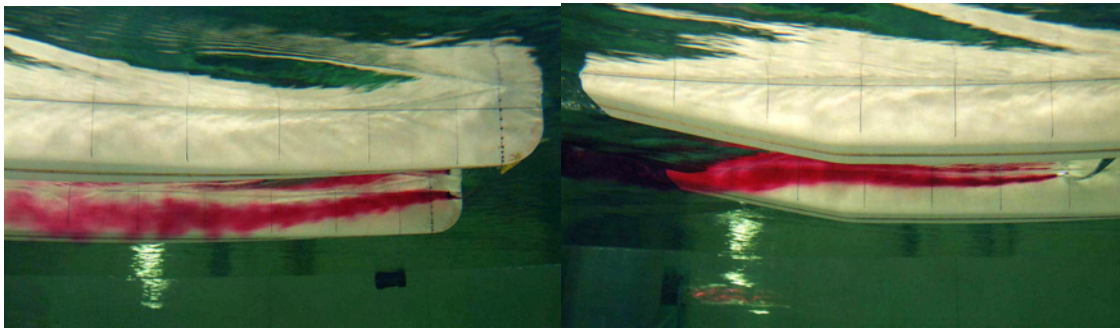


Fig. 5.2.10 Wave patterns,  $V=10.0$  knots



- Outside -



- Inside -

Fig. 5.2.11 Flow patterns,  $V=5.0$  knots

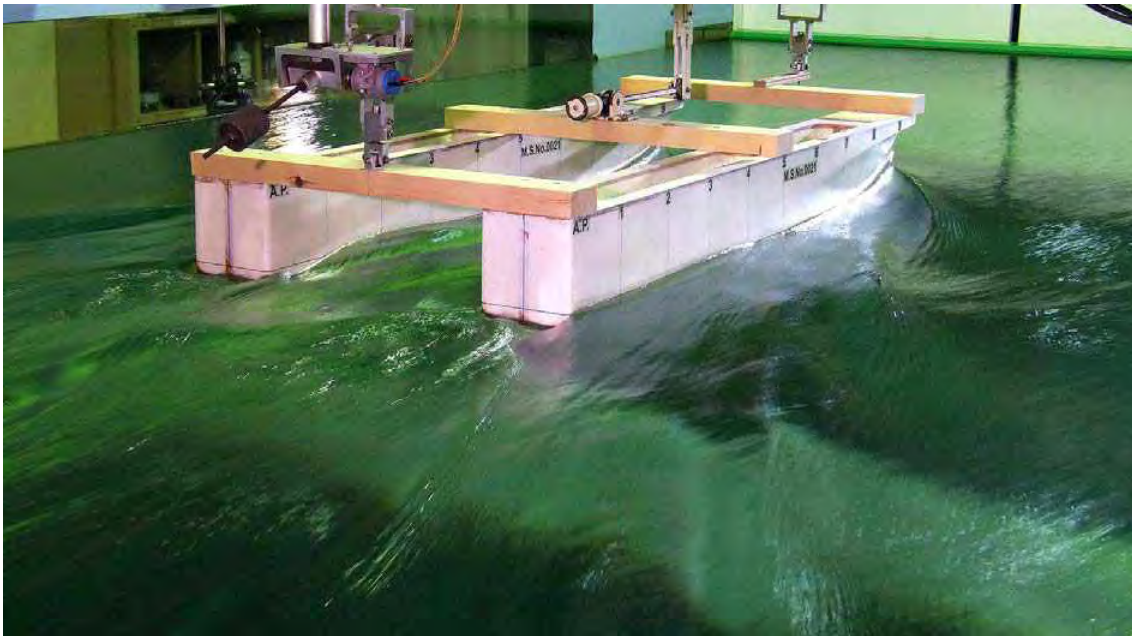
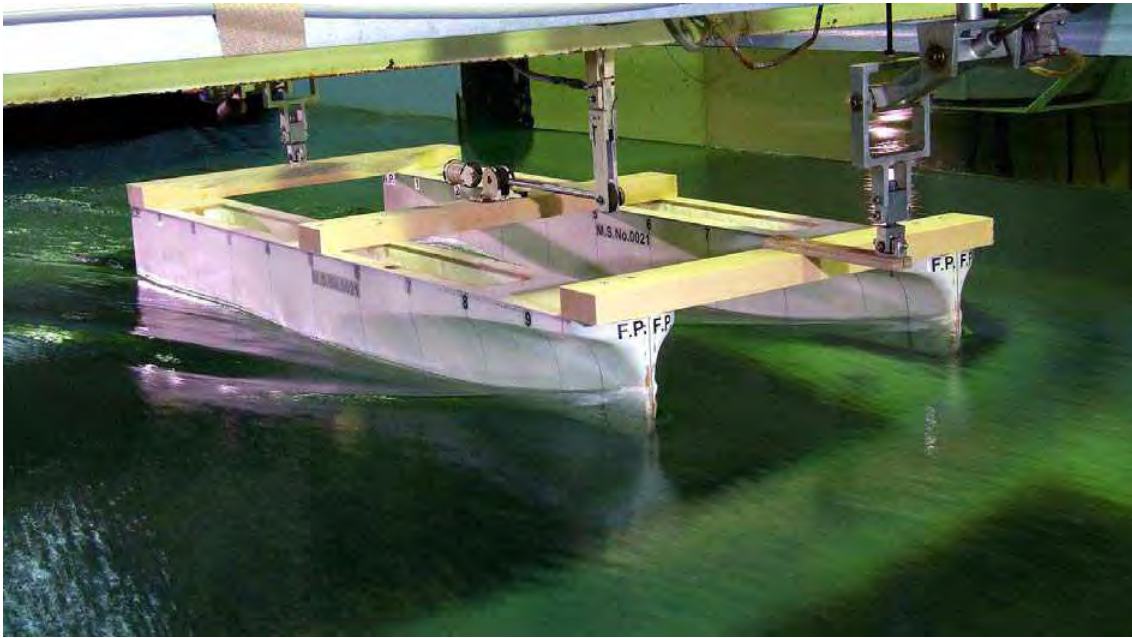


Fig. 5.2.12 Flow patterns, W/Trim tab, V=5.0 knots

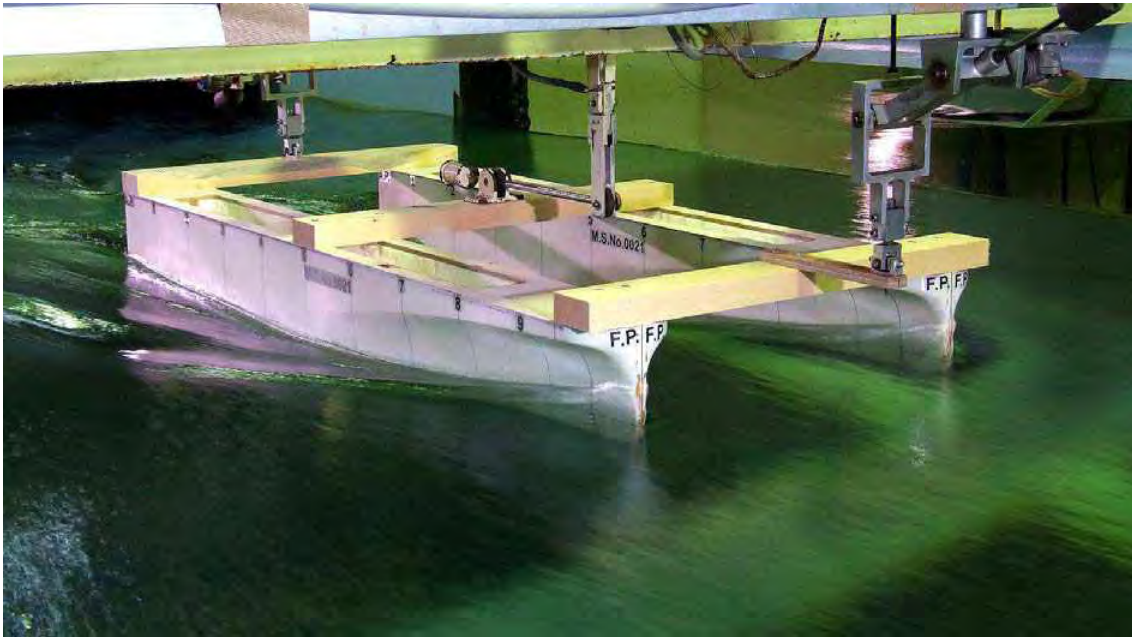


Fig. 5.2.13 Flow patterns, W/Trim tab, V=6.0 knots

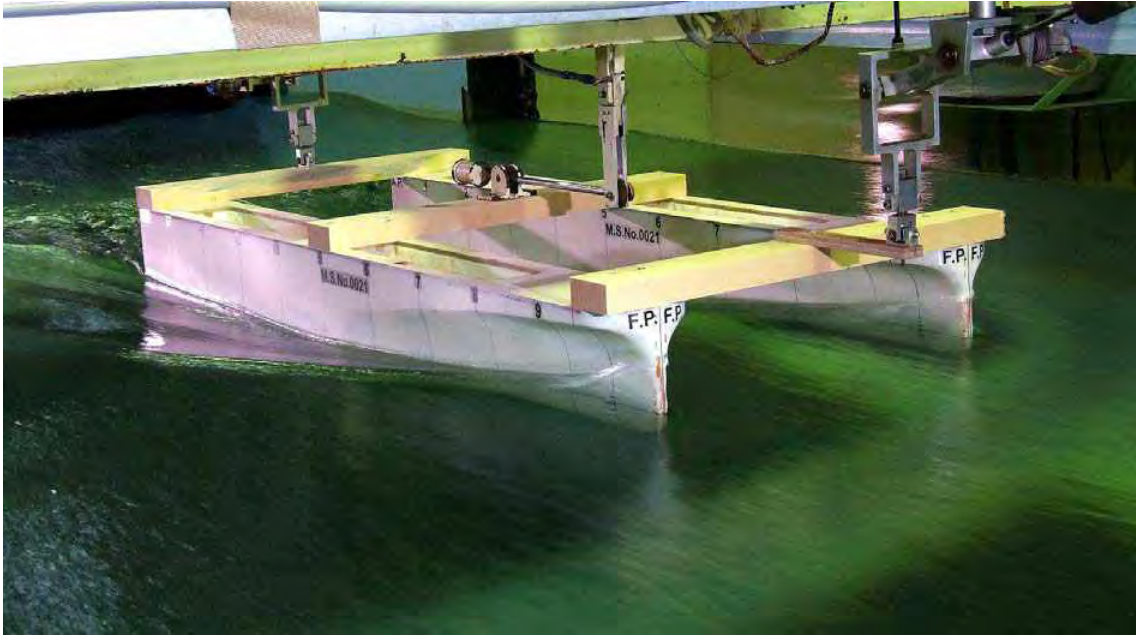


Fig. 5.2.14 Flow patterns, W/Trim tab,  $V=7.0$  knots

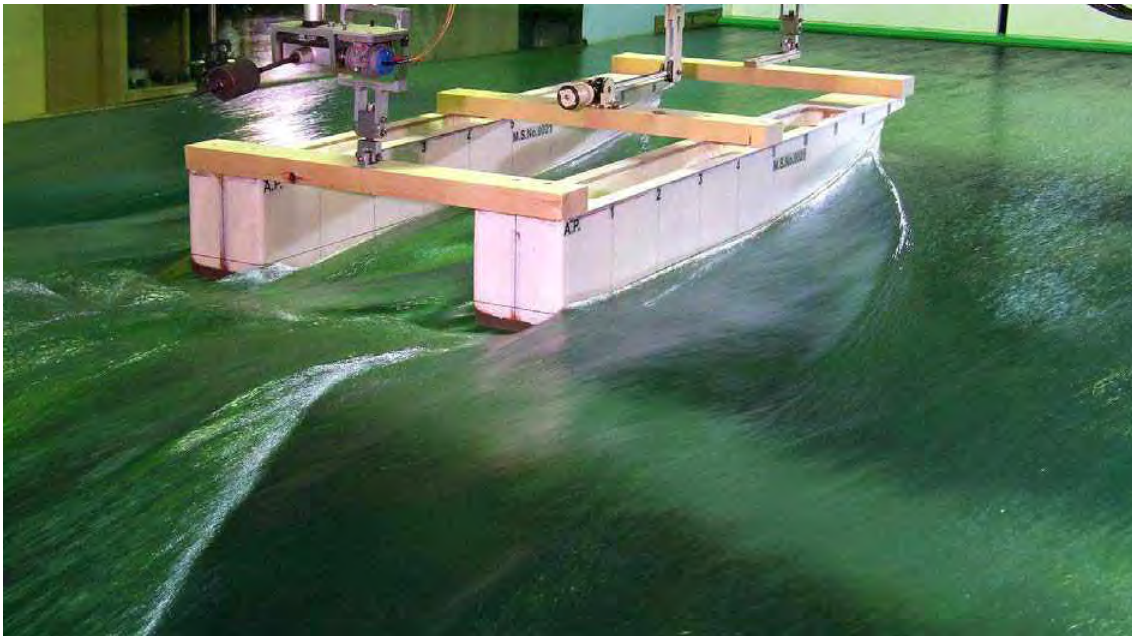
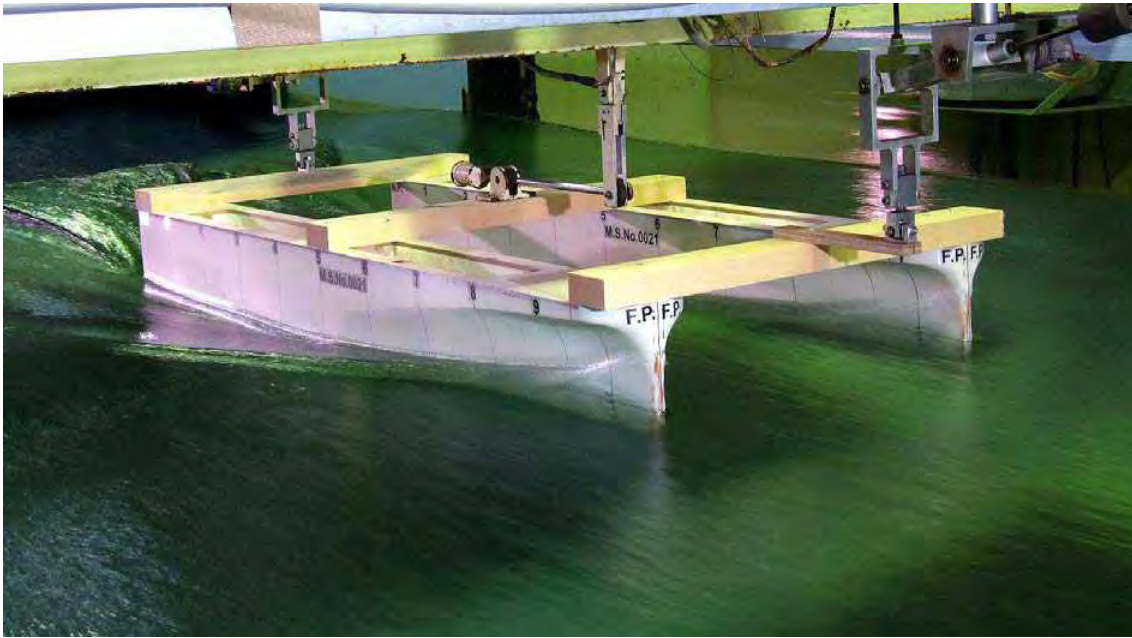
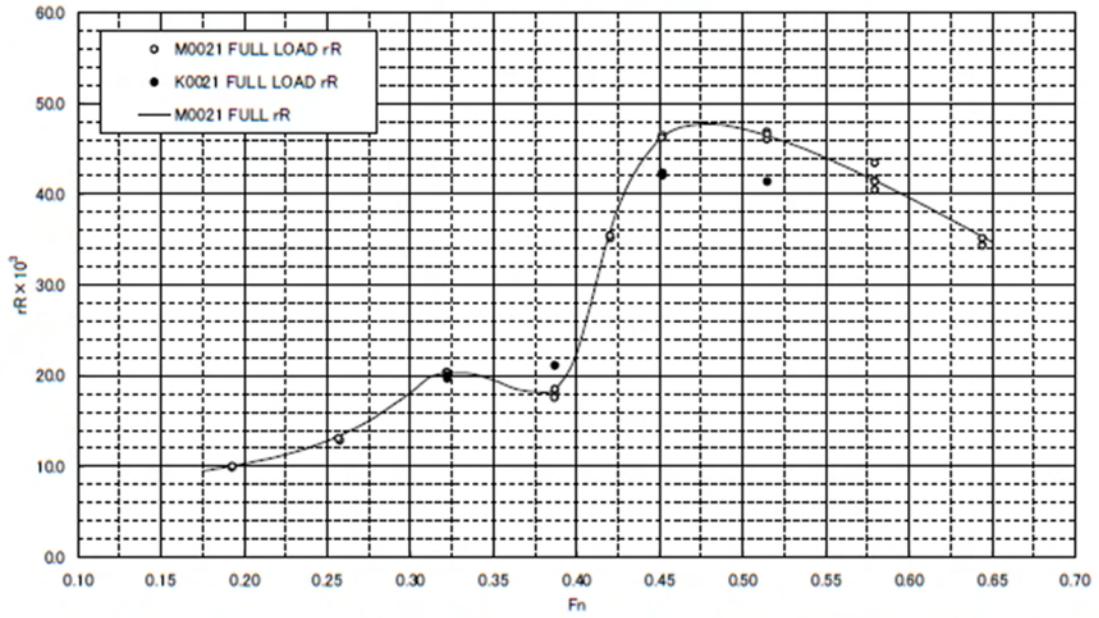


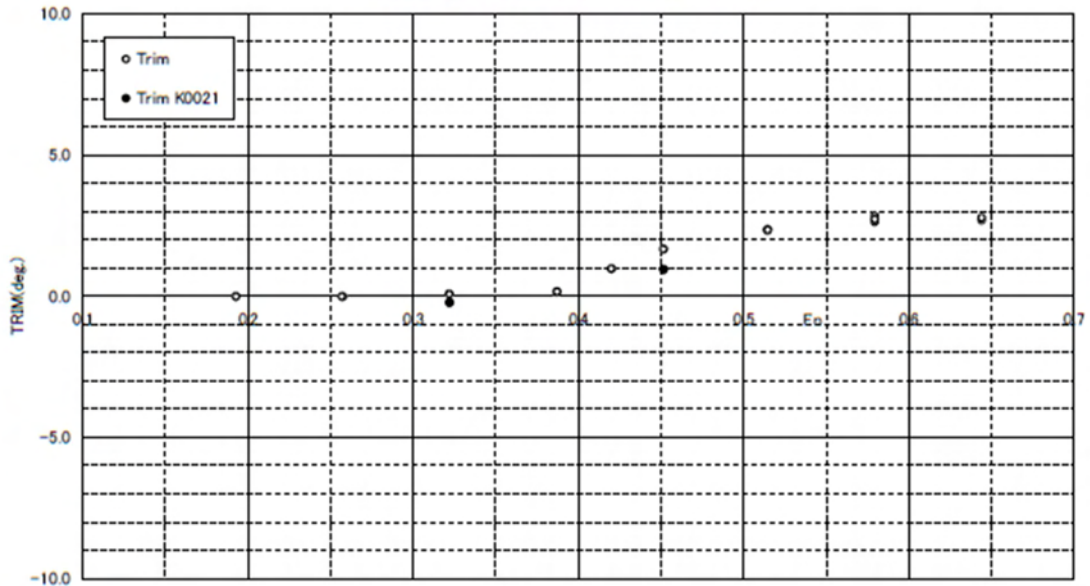
Fig. 5.2.15 Flow patterns, W/Trim tab,  $V=8.0$  knots



M0021 : W/O Trim tab

K0021 : W/ Trim tab

Fig. 5.2.16 Comparison of residual resistance

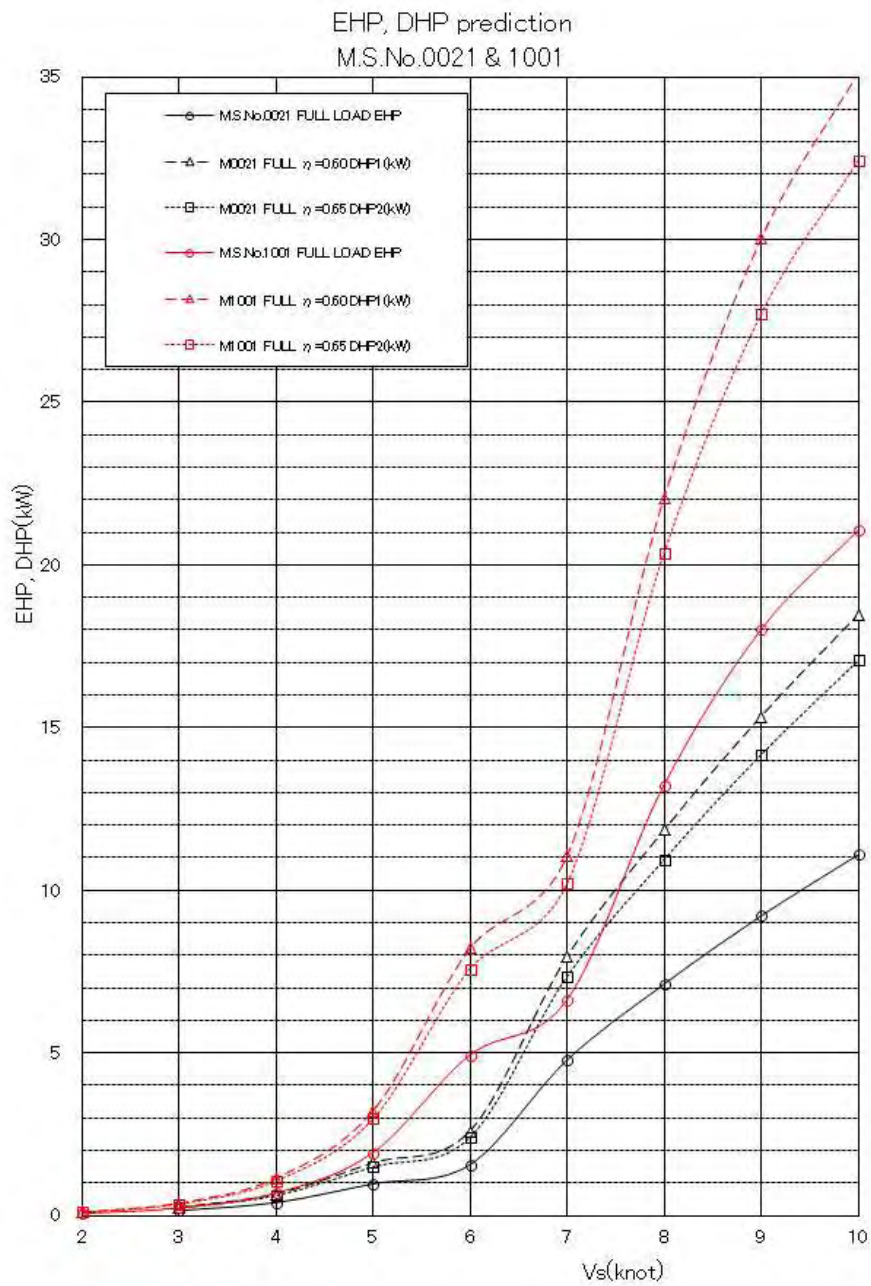


M0021 : W/O Trim tab

K0021 : W/ Trim tab

Fig. 5.2.17 Comparison of trim angle





MS1001 :  $L_{pp}=7.5\text{m}$  Catamaran (Old)  
MS0021 :  $L_{pp}=6.5\text{m}$  Catamaran (New)

Fig. 5.2.18 Comparison power prediction

설계속도인 5노트를 기준으로 6노트까지 전반적인 파형은 매우 부드러우나, 7노트 이상이 되면서 선미파가 급격히 커지고 있다.

설계속도인 5노트에서 유동가시화 시험결과를 Fig. 5.2.11에 나타내었다. 선수미 뿐만 아니라 두 선체 사이에서도 특별히 복잡한 간섭현상은 나타나지 않는다.

Trim tab을 부착한 경우, 설계속도인 5노트 부근에서는 큰 영향은 없으나, 속도가 증가할수록 전반적인 Trim이 감소하면서 선미파가 크게 줄어들고 전반적인 저항이 감소하는 경향을 보인다.

추진효율( $\eta$ )을 각각 0.60과 0.65로 각각 가정하여 실선의 소요마력을 추정하여 그 결과를 Fig. 29에 나타내었다. 전장 7.5m급 기존어선의 경우(MS1001) 5노트 속력을 위해서는 약 3Kw 정도의 추진력이 필요하고, 속도가 증가할수록 소요마력은 급격히 증가하는 경향을 보인다.

본 6.5m 개발선(MS0021)의 경우는 5노트 속력을 위해서는 1.5Kw 정도의 추진력이 필요한 것으로 보인다. 6노트 이상에서 소요마력이 급격하게 증가하고 있으나, 기존 어선보다 약 30% 이상 개선된 것으로 판단된다. 그러나 6-7노트 범위에서 급격한 마력증가는 조파저항, 특히 선미파에 의한 조파저항이 급격하게 증가하기 때문이고, 이에 대한 개선이 필요하다. 현재의 설계로는 5노트를 Max. speed로 결정하는 것이 경제성 측면에서 타당한 것으로 판단된다.

### 제3절 Lpp=9.0m, 배수량 4ton급 어선의 선형개발(총톤수 3ton급)

#### 1. 선형개발

갑판에서 작업공간을 더욱 넓게 확보하기 위하여 쌍동선의 두 선체 사이의 간격을 크게 하면 운항성능이 나빠질 뿐만 아니라 선체 상호 연결부분에서 구조적인 안정성이 떨어지게 된다. 따라서 갑판면적을 증가시키기 위해서는 선체 길이를 길게 하고, 두 선체 사이의 간격을 다시 조절해 주어야 한다. 선체 길이가 길어질 경우, 동일한 선속에서 Froude 수가 작아지는 관계로 잉여저항 성능이 유리해지기도 한다.

개량선형은 앞의 Fig. 13에서 나타난 기본선형의 중앙평행부 길이를 2.5m 연장하여 주선체의 전체 길이를 9.0m로 수정하였고, 선폭은 앞의 기본선형과 동일하게 길이-폭 비를 조정하였다. 개량선형의 주요제원을 Table 5.3.1에 나타내었다.

**Table 5.3.1 Principal dimensions of Lpp=9.0m catamaran**

Items	Dimensions	Remarks
Lpp (m)	9.00	
B (m)	4.20	전폭
B' (m)	0.65	단동체 선폭
D (m)	1.00	
d (m)	0.40	
Cb	0.761	
Disp. (ton)	3.65	

#### 나. 모형시험을 통한 성능분석

새로이 개발한 9m급 쌍동형 어선의 유체역학적인 성능을 파악하기 위하여 서일본유체기술연구소 회류수조에서 모형시험을 수행하였다. 만재상태에서 저항시험(3~10노트)을 수행하였고, Froude의 비교법칙을 이용하여 실선의 유효마력 및 전달마력을 추정하였다.

시험모형은 1.4m 크기로 하드우레탄으로 제작하였다. 제작된 시험모형은 Fig. 5.3.1과 같다.

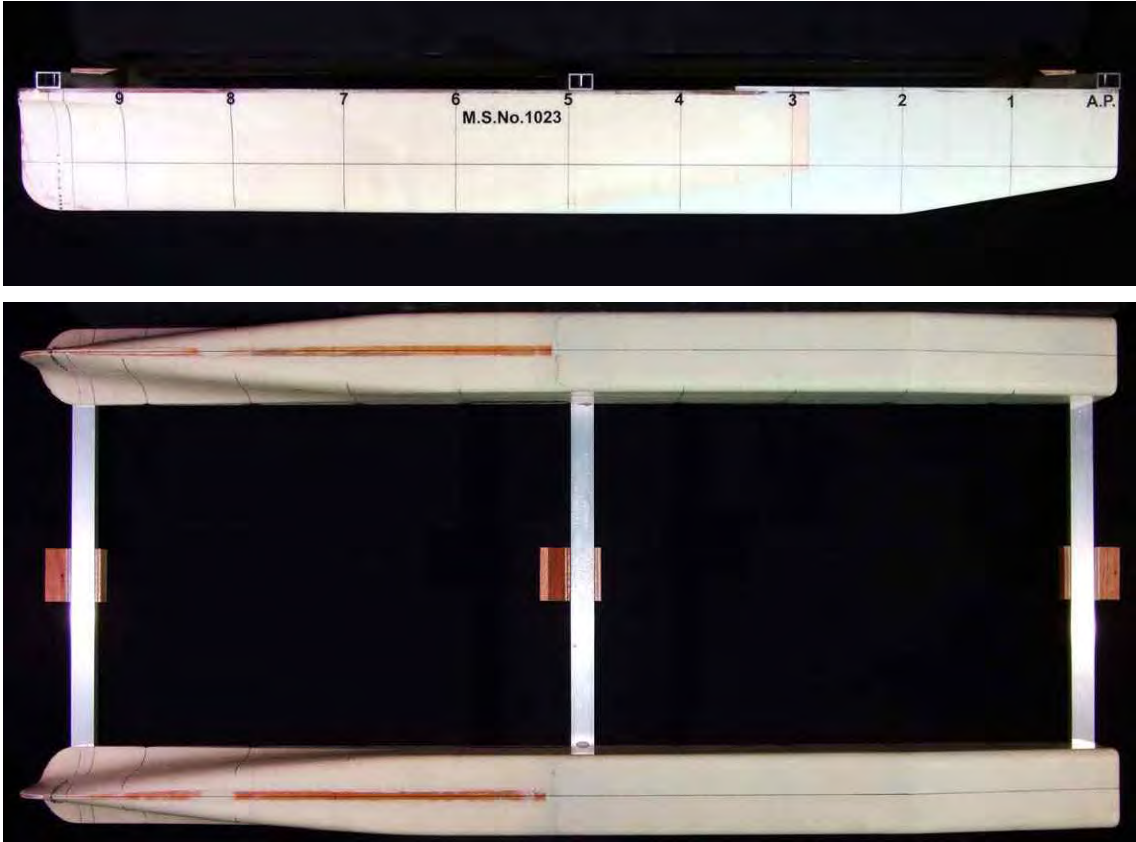


Fig. 5.3.1 Test model of  $L_{pp}=9.0\text{m}$  boat

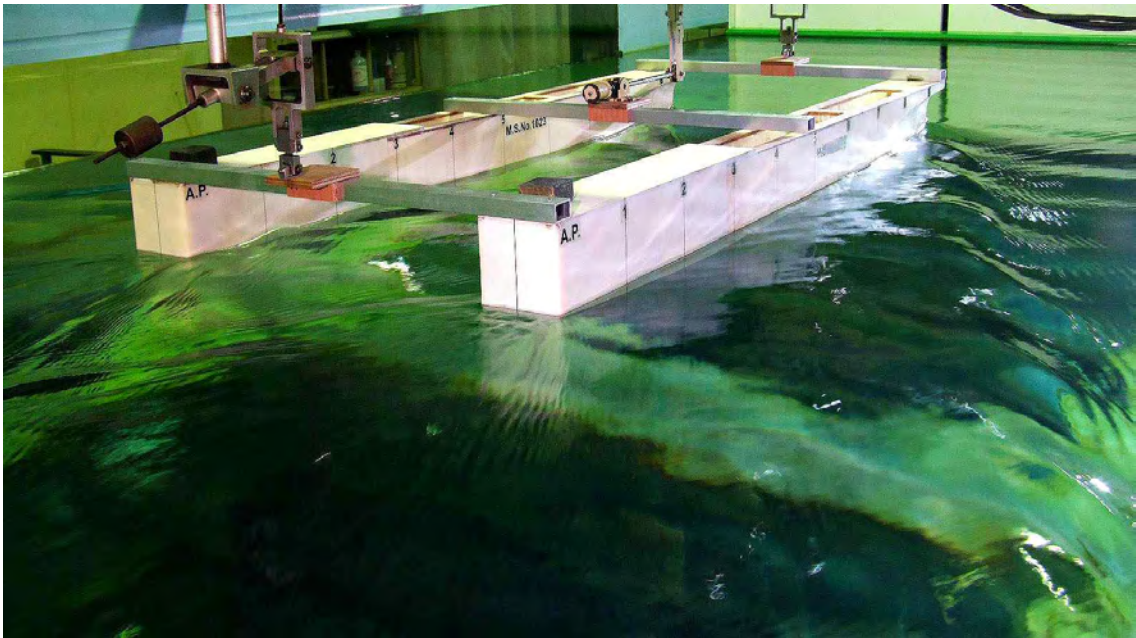
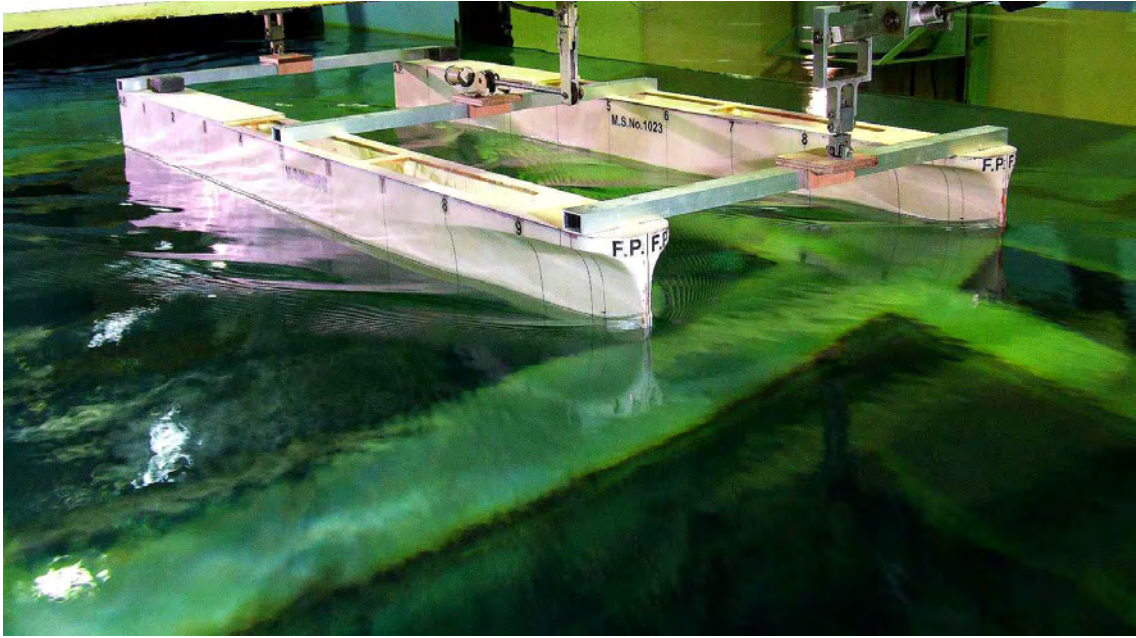


Fig. 5.3.2 Wave patterns,  $V=3.0$  knots

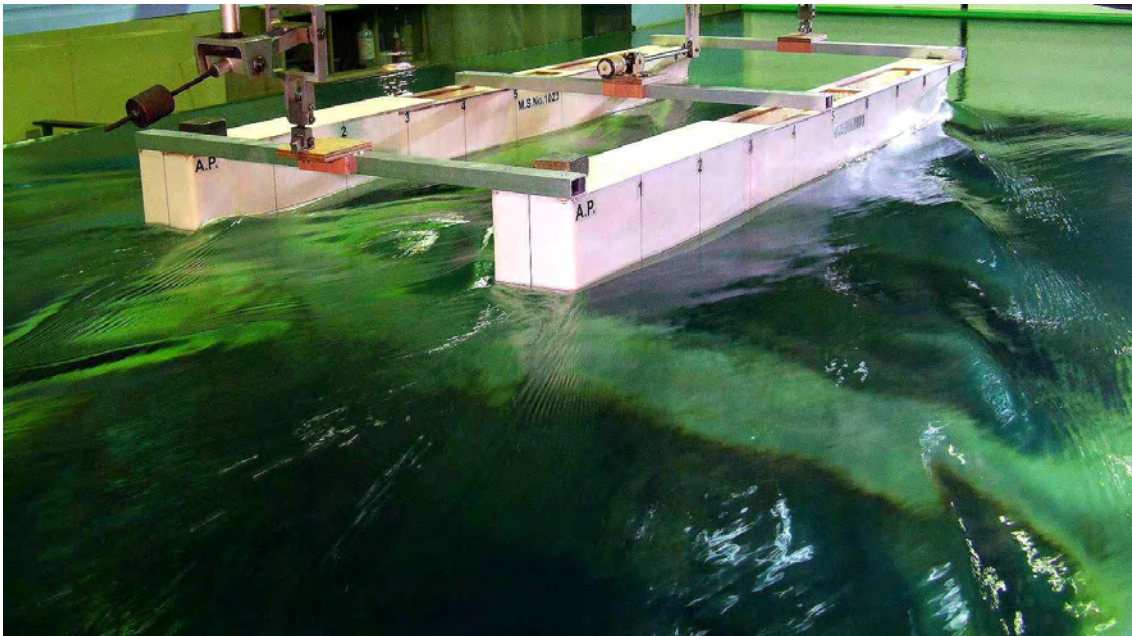


Fig. 5.3.3 Wave patterns,  $V=4.0$  knots

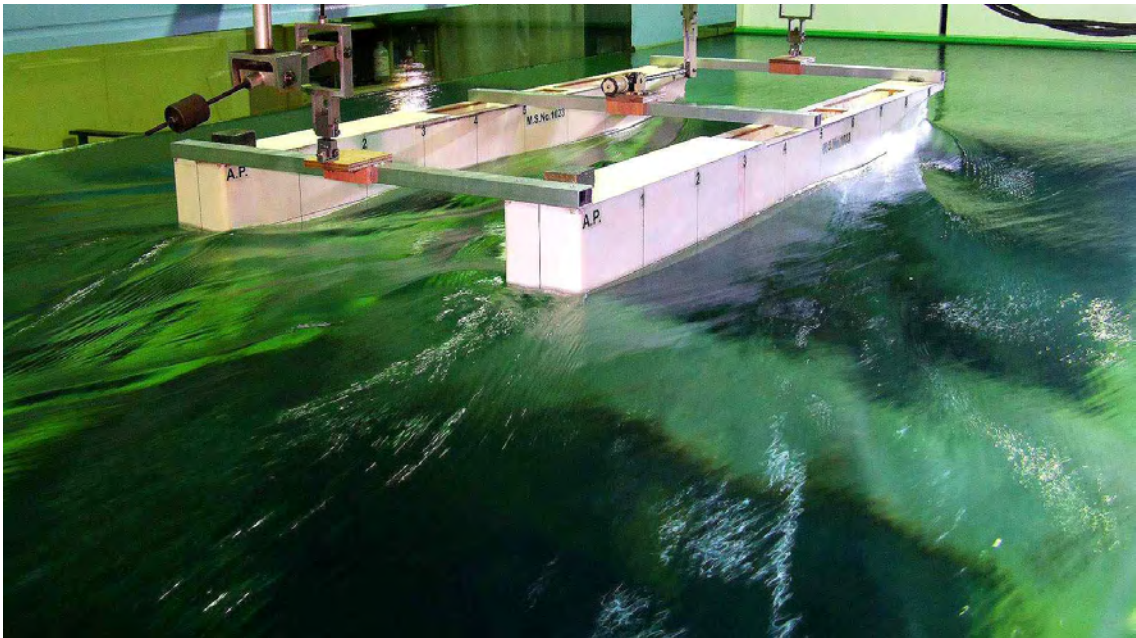
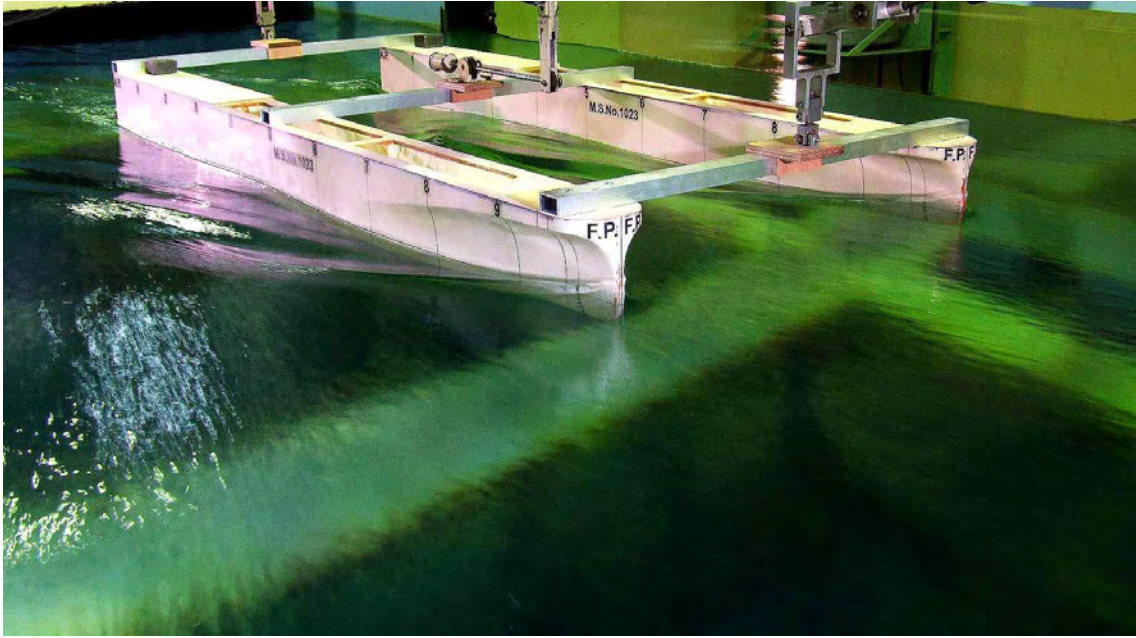


Fig. 5.3.4 Wave patterns,  $V=5.0$  knots

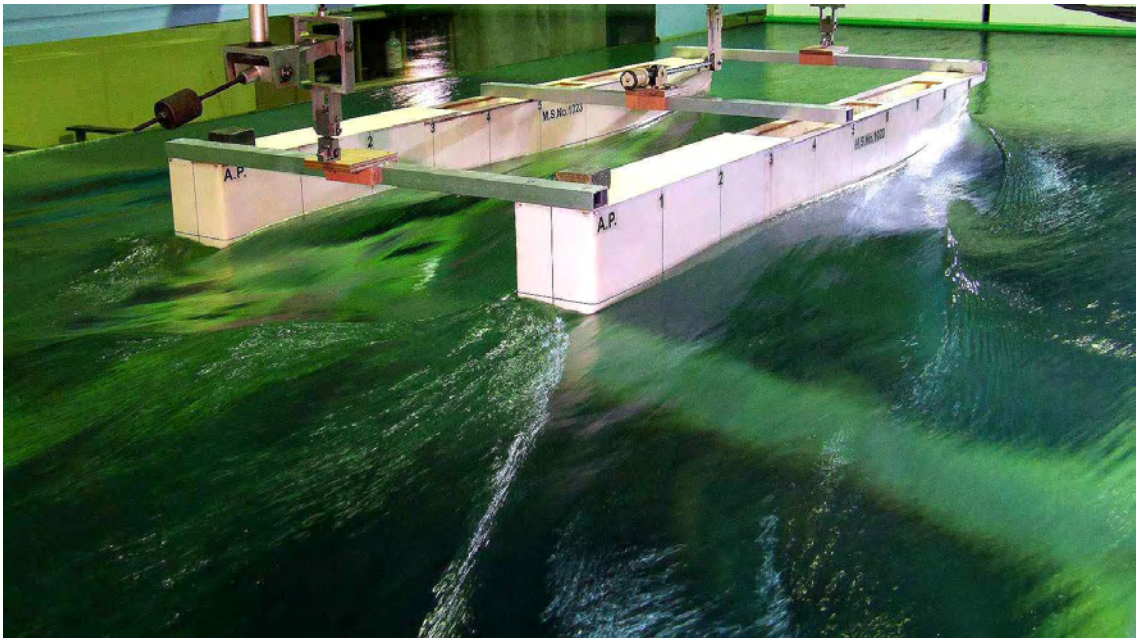


Fig. 5.3.5 Wave patterns,  $V=6.0$  knots



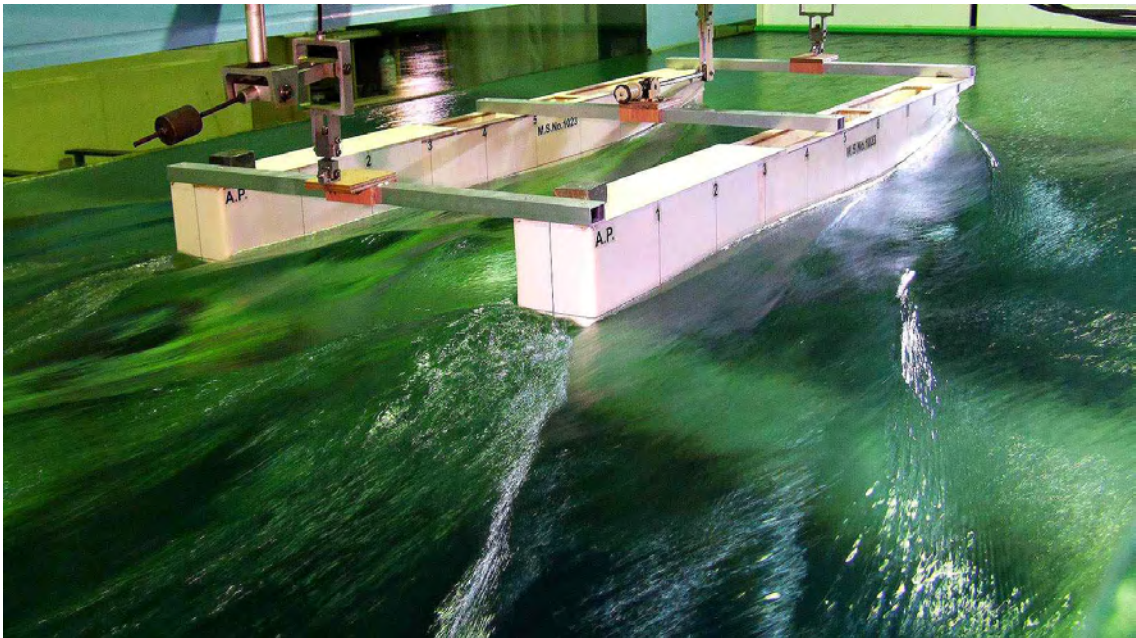
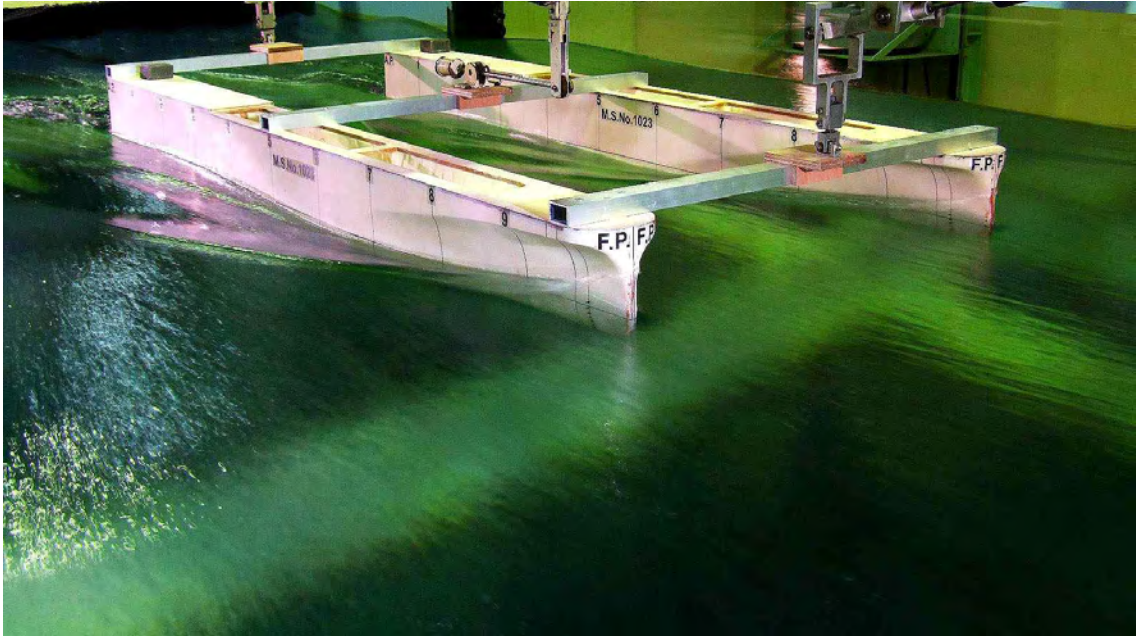


Fig. 5.3.6 Wave patterns,  $V=7.0$  knots

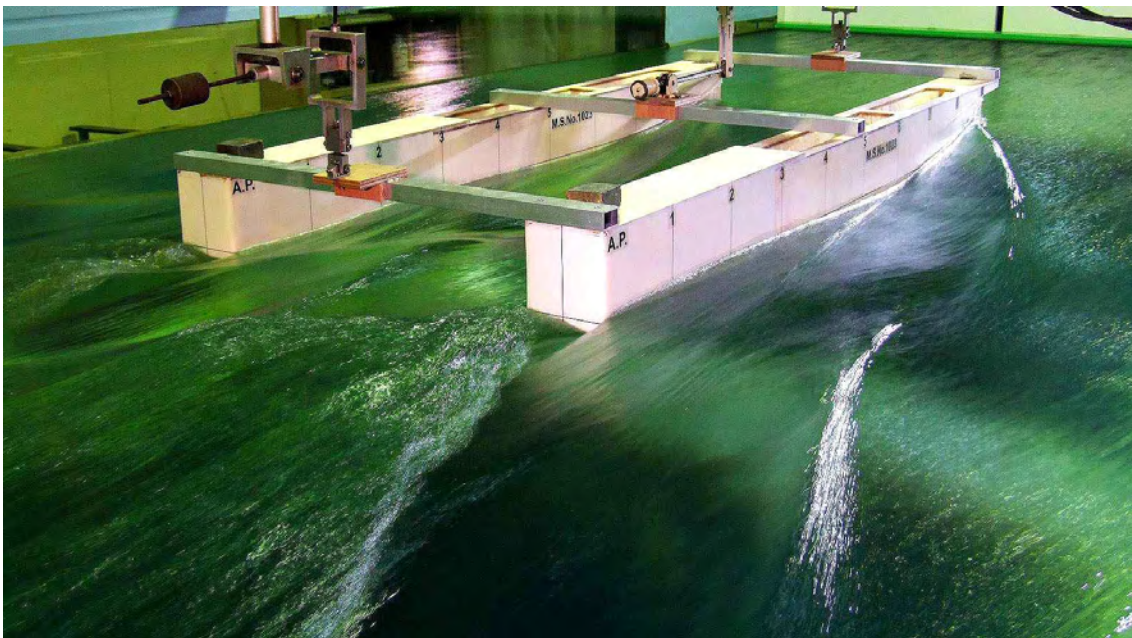
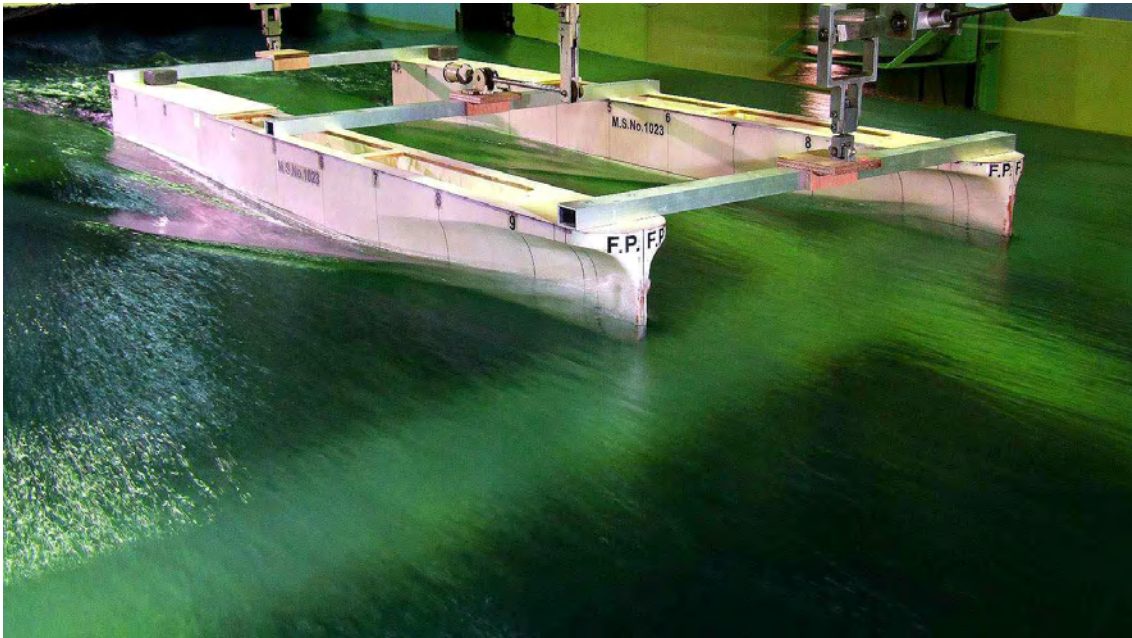


Fig. 5.3.7 Wave patterns,  $V=8.0$  knots



Fig. 5.3.8 Wave patterns,  $V=9.0$  knots

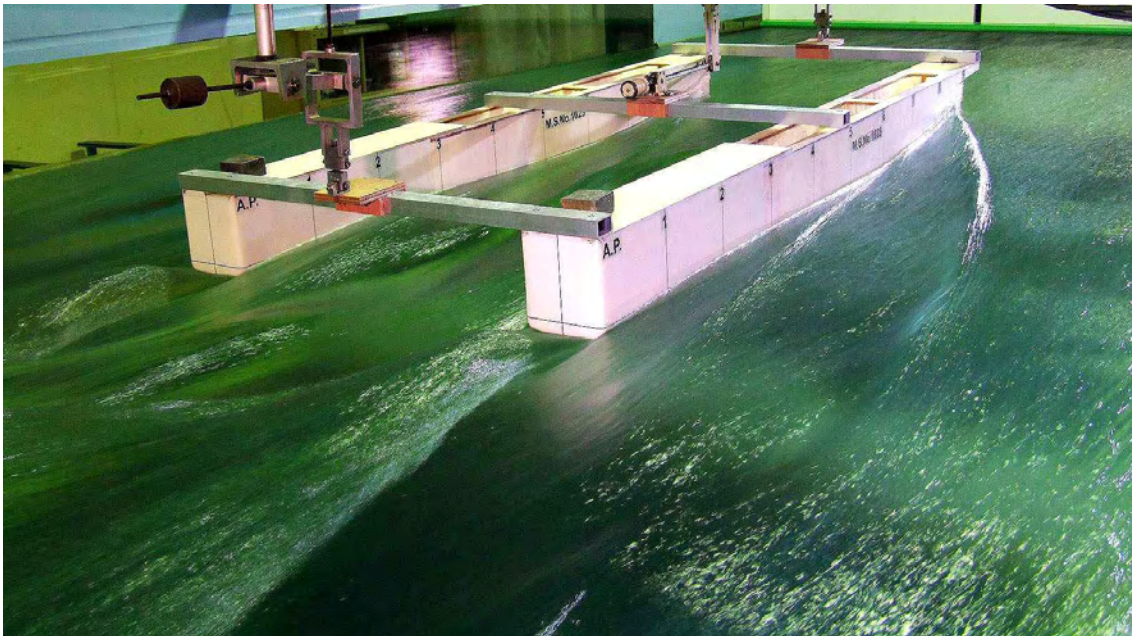
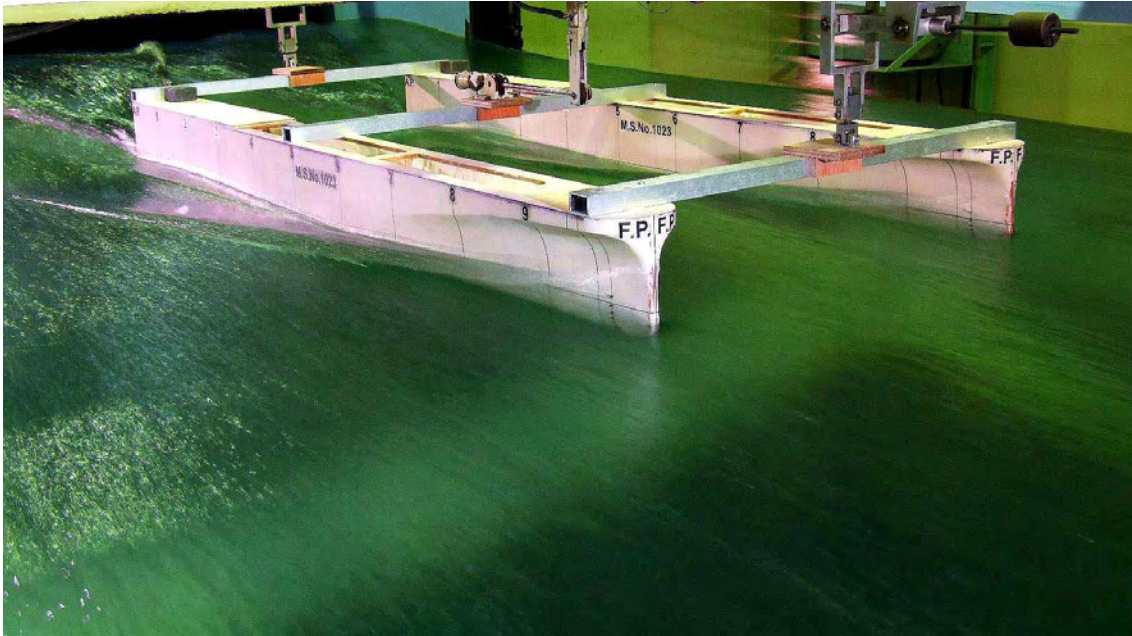


Fig. 5.3.9 Wave patterns,  $V=10.0$  knots

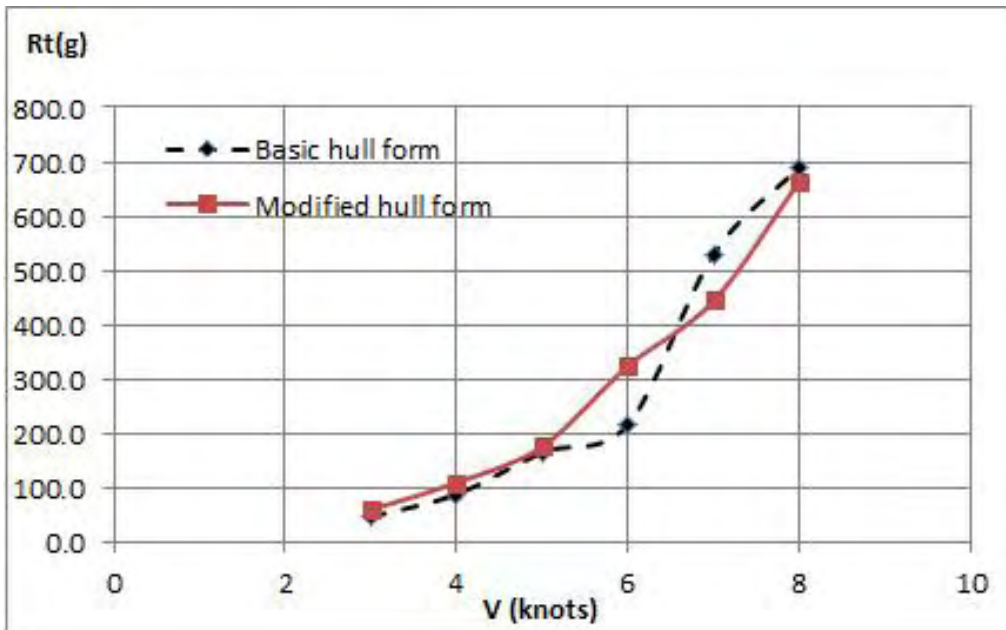


Fig. 5.3.10 Comparison of total resistance

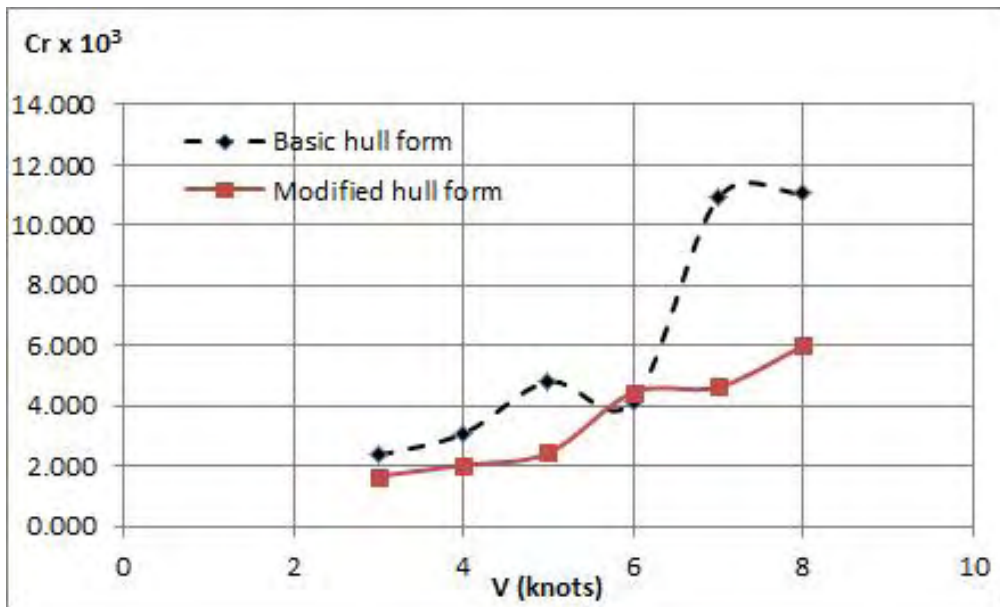


Fig. 5.3.11 Comparison of residual resistance

EHP, DHP prediction  
M.S.No.0021 & 1023

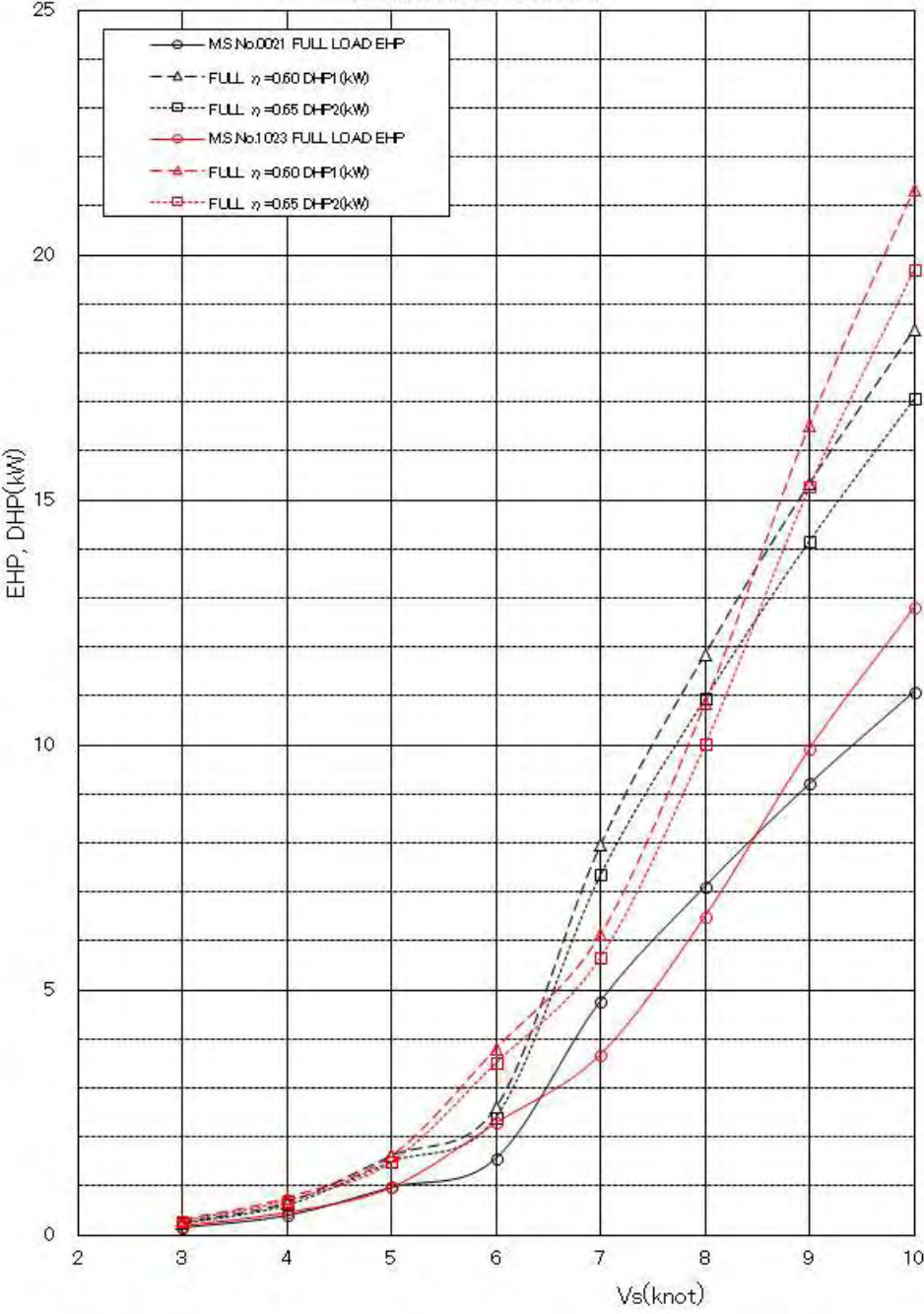


Fig. 5.3.12 Comparison of power prediction

설계속도인 5노트와 7노트에서  $L_{pp}=6.5m$ ,  $L_{pp}=9.0m$  두 선형(이하 기본선형, 개량선형이라 함)의 파형을 보면, 5노트에서 두 선형 사이에서 특별한 파 간섭은 나타나지 않는다. 기본선형의 경우, 선수 파 각도가 개량선형보다 다소 크게 나타나고 있지만 그 차이는 그리 크지는 않다. 그러나 선미파의 경우, 기본선형에서 개량선형의 경우보다 더욱 강한 쇄파가 나타나고 있다. 이는 비록 두 선박의 시험속도가 5노트로 동일할 지라도 Froude 수는 각각 0.322와 0.274로 기본선형의 상대속도가 개량선형의 상대속도보다 크기 때문이다.

두 선형 사이에서의 파계의 차이는 7노트에서 더욱 분명하게 나타난다. 기본선형의 경우, 큰 선미파계가 나타나고 있다. 또한 기본선형의 선수와 각도가 개량선형의 선수와 각도보다 더욱 크게 나타나고 있다. 동일한 선속에서 이러한 파계의 차이는 앞에서 언급한 바와 같이 두 선형 간 무차원화 된 상대속도(Froude 수)가 다르기 때문에 나타나는 현상이다.

계측된 전저항 값을 Fig. 5.3.10에 비교하여 나타내었다. 저속영역에서는 기본선형의 저항이 개량선형의 저항보다 작은 경향을 보인다. 그러나 속도가 증가할수록 그 차이는 점차 줄어들면서 6.5노트 이상에서는 개량선형의 저항이 오히려 작아지고 있다.

두 선형의 잉여저항계수를 Fig. 5.3.11에 나타내었다. 개량선형의 잉여저항이 기본선형의 잉여저항보다 전 속도 영역에서 작은 결과를 보인다. 뿐만 아니라 기본선형의 경우, 일반적인 고속선에서 관측되는 큰 파정-파저(hollow-hump)가 나타나고 있으나, 개량선형에서는 이러한 현상이 줄어든 비교적 안정된 형태의 저항성능을 보인다.

개량선형은 기본선형보다 배수량이 약 55%정도 증가하였음에도 고속영역에서 전저항 값이 줄어들 뿐만 아니라 전속도 영역에서 잉여저항이 작게 나타나고 있다. 그 이유는 길이가 증가함에 따라 동일한 선속에서 길이-속도 비인 Froude수가 작아졌기 때문이고 이로 인하여 앞에서 본 바와 같이 파계가 줄어들었기 때문으로 판단된다.

Fig. 5.3.12에 두 선형의 마력을 비교하였다. 설계속도인 5노트 부근에서는 두 선형의 마력에는 큰 차이가 없다. 속도가 증가 할수록 개량선형의 경우 배수량이 약 55% 정도 증가하였음에도 불구하고 오히려 마력이 줄어든 경향을 보인다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 길이가 증가함에 따라 Froude 수가 감소하였고, 이에 따라 파계의 저항, 즉 잉여저항이 크게 감소하였기 때문이다. 그러나 9노트 이상의 고속영역에서는 개량선형의 마력이 오히려 커지는데 이는 배수량 차이가 주원인이라 판단된다.

## 제4절 $L_{pp}=6.5m$ , 배수량 2.5ton급 어선의 구조설계 및 강도평가

### 1. ISO에 근거한 rule scantling 프로그램

ISO12215-5~7에 근거하여 선체부재 치수를 구할 수 있도록 rule scantling 프로그램을 개발하였다. 프로그램 개발에 사용된 관련 ISO12215-5~7의 개요와 본 연구의 개발선에 적용한 결과를 기술하였다.

#### 가. ISO rule 개요

##### (1) 적용범위 및 개요

ISO12215-5~7는 FRP(fibre-reinforced plastics), 알루미늄과 합금 및 철합금 또는 glued wood 또는 다른 적당한 재료를 사용한 소형선에서 길이 ( $L_H$ )가 2.5 m 에서 24 m까지의 선박에 적용하는 규칙이다. 비손상 상태에서 최대 속력이 50노트 이하에서 적용되며, 적용되는 Design Category는 다음 네 가지로 구분하여 적용한다.

- Design category A ("ocean"): 유의파고 4m 이상이며 Beaufort Force가 8 이상인 해상상태이며, 하리케인과 같은 비정상상태는 제외
- Design category B ("offshore"): 유의파고 4m 이하, Beaufort Force가 8 이하의 해상상태
- Design category C ("inshore"): 유의파고 2m 이하, Beaufort Force가 6 이하의 해상상태
- Design category D ("sheltered waters"): 0.3m 이하의 유의파고(0.5m 까지의 순간 파고) 및 Beaufort Force 4 이하의 바람 상태

소형선의 운행 모드를 Displacement mode와 Planing mode로 구분하여 파악한다.

- Displacement mode: 평수의 만재상태에서  $\frac{v}{\sqrt{L_{WL}}} < 5$  속도인 상태의 배로서 선체 중량이 주로 부력에 의해 지지되어 운항하는 모드
  - Planing mode: 평수의 만재상태에서  $\frac{v}{\sqrt{L_{WL}}} \geq 5$  속도인 상태의 배로서 선체 중량이 주로 선속에 의해 발생하는 동적 부양력(dynamic lift)에 의해 지지되어 운항하는 모드
- 보트의 형태에 따른 설계영역 정의는 다음 그림에 따른다.

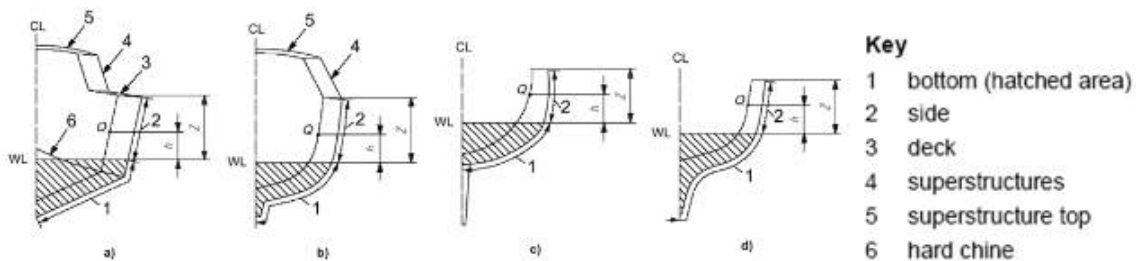


Fig. 5.4.1 설계 적용 영역 정의



(2) 압력조정 계수

(가) Design category factor,  $k_{DC}$

Design category	A	B	C	D
Value of $k_{DC}$	1	0,8	0,6	0,4

(나) Dynamic load factor  $n_{CG}$  for planing motor craft in planing mode

$$n_{CG} \leq 3 : n_{CG} = 0,32 \left( \frac{L_{WL}}{10 \times B_C} + 0,084 \right) \times (50 - \beta_{0,4}) \times \frac{V^2 \times B_C^2}{m_{LDC}}$$

$$n_{CG} > 3 : n_{CG} = \frac{0,5 \times V}{m_{LDC}^{0,17}}$$

(다) Dynamic load factor  $n_{CG}$  for sailing craft and displacement motor craft  
 sailing craft에 대해  $n_{CG}$  는 고려하지 않음  
 motor craft에 대해  $k_L$  계산을 위해 3.0을 사용

(라) Longitudinal pressure distribution factor  $k_L$

$$k_L = \frac{1 - 0,167 \times n_{CG}}{0,6} \frac{x}{L_{WL}} + 0,167 \times n_{CG} \text{ but not taken } > 1 \text{ for } \frac{x}{L_{WL}} \leq 0,6$$

$$k_L = 1 \text{ for } \frac{x}{L_{WL}} > 0,6$$

(마) Area pressure reduction factor  $k_{AR}$

$$k_{AR} = \frac{k_R \times 0,1 \times m_{LDC}^{0,15}}{A_D^{0,3}}$$

(바)  $k_{AR}$  최소값

Design category	Side and bottom single-skin panels and stiffeners Deck and superstructures sandwich and single-skin panels and stiffeners	Side and bottom sandwich panels <sup>a</sup>		
		$\frac{x}{L_{WL}} \leq 0,4$	$0,4 < \frac{x}{L_{WL}} < 0,6$	$\frac{x}{L_{WL}} \geq 0,6$
A	0,25 any craft hull and deck	0,4 any craft	Interpolation between values at $\frac{x}{L_{WL}} = 0,4$ and $0,6$	0,5 sail bottom and topside 0,5 motor bottom 0,4 motor topside
B	0,25 any craft hull and deck	0,4 any craft		0,4 any craft
C & D	0,25 any craft hull and deck	0,4 any craft		

<sup>a</sup> Minimum  $k_{AR}$  applies to bending or shear strength and deflection requirement.

(사) Hull side pressure reduction factor  $k_Z$

$$k_Z = \frac{Z - h}{Z}$$

(아) Superstructure and deckhouse pressure reduction factor  $k_{SUP}$

Position of panel	$k_{SUP}$ motor and sail	Application
Front	1	Any area
Side	0,67	Walking area
Side	0,5	Non-walking area
Aft end	0,5	Any area
Top, $\leq 800$ mm above deck	0,5	Walking area
Top, $> 800$ mm above deck and upper tiers	0,35	Walking area
Upper tiers <sup>a</sup>	Minimum deck pressure 5 kN/m <sup>2</sup>	Non-walking area

<sup>a</sup> Elements not exposed to weather shall be considered as upper tiers.

(차) Light and stable sailing craft pressure correcting factor for slamming  $k_{SLS}$

Design category C, D :  $k_{SLS}=1$

Design category A, B :  $k_{SLS} = 1$  if  $m_{LDC} > 5 L_{WL}^3$

$$k_{SLS} = \left( \frac{10 GZ_{MAX} < 60 \times L_{WL}^{0,5}}{m_{LDC}^{0,33}} \right)^{0,5} \text{ if } m_{LDC} \leq 5 L_{WL}^3 \text{ but shall not be taken } < 1$$

### (3) 설계압력(Design pressures)

설계압력은 displacement mode와 planing mode 중에서 큰 값을 취한다.

(가) Motor craft bottom pressure in displacement mode  $P_{BMD}$

$$P_{BMD} = P_{BMD\text{ BASE}} \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ or}$$

$$P_{BMD\text{ MIN}} = 0,45 m_{LDC}^{0,33} + (0,9 \times L_{WL} \times k_{DC}) \text{ kN/m}^2$$

$$\text{where } P_{BMD\text{ BASE}} = 2,4 m_{LDC}^{0,33} + 20 \text{ kN/m}^2$$

(나) Motor craft bottom pressure in planing mode  $P_{BMP}$

$$P_{BMP} = P_{BMP\text{ BASE}} \times k_{AR} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ or}$$

$$P_{BMP\text{ MIN}} = 0,45 m_{LDC}^{0,33} + (0,9 \times L_{WL} \times k_{DC}) \text{ kN/m}^2$$

$$\text{where } P_{BMP\text{ BASE}} = \frac{0,1 m_{LDC}}{L_{WL} \times B_C} \times (1 + k_{DC}^{0,5} \times n_{CG})$$

(다) Motor craft side pressure in displacement mode  $P_{SMD}$

$$P_{SMD} = [P_{DM\text{ BASE}} + k_Z \times (P_{BMD\text{ BASE}} - P_{DM\text{ BASE}})] \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ or}$$

$$P_{SMD\text{ MIN}} = 0,9 L_{WL} \times k_{DC} \text{ kN/m}^2$$

(라) Motor craft side pressure in planing mode  $P_{SMP}$

$$P_{SMP} = [P_{DM\text{ BASE}} + k_Z \times (0,25 \times P_{BMP\text{ BASE}} - P_{DM\text{ BASE}})] \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ or}$$

$$P_{SMP\text{ MIN}} = 0,9 L_{WL} \times k_{DC} \text{ kN/m}^2 \text{ [same as Equation (13)]}$$

(마) Motor craft deck pressure  $P_{DM}$

$$P_{DM} = P_{DMBASE} \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ or}$$

$$P_{DMMIN} = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{where } P_{DMBASE} = 0,35 L_{WL} + 14,6 \text{ kN/m}^2$$

(바) Motor craft pressure for superstructures and deckhouses  $P_{SUP M}$

$$P_{SUP M} = P_{DMBASE} \times k_{DC} \times k_{AR} \times k_{SUP} \text{ kN/m}^2$$

(사) Watertight bulkheads pressure  $P_{WB}$

$$P_{WB} = 7 h_B \text{ kN/m}^2$$

$h_B$  is the water head, in metres, measured as follows

(오) Integral tank bulkheads and boundaries  $P_{TB}$

$$P_{TB} = 10 h_B \text{ kN/m}^2$$

#### (4) 판(Plating)

$$t = b \times k_c \times \sqrt{\frac{P \times k_2}{1000 \times \sigma_d}} \text{ mm}$$

$b$  : the short dimension of the panel, in mm

$k_c$  : the curvature correction factor for curved panels

$P$  : the design pressure (bottom, side, deck, etc.) for the panel, in  $\text{kN/m}^2$

$k_2$  : the panel aspect ratio factor for bending strength

$\sigma_d$  : the design stress

(가) Panel aspect ratio factor for strength  $k_2$  and for stiffness  $k_3$

Panel aspect ratio $l/b$	Factor $k_2$ $k_2$ to be taken = 0,5 for laminated wood plating	Factor $k_3$
> 2,0	0,500	0,028
2,0	0,497	0,028
1,9	0,493	0,027
1,8	0,487	0,027
1,7	0,479	0,026
1,6	0,468	0,025
1,5	0,454	0,024
1,4	0,436	0,023
1,3	0,412	0,021
1,2	0,383	0,019
1,1	0,349	0,016
1,0	0,308	0,014
	$k_2$ can be evaluated by the formula below, keeping $0,308 < k_2 < 0,5$	$k_3$ can be evaluated by the formula below, keeping $0,014 < k_3 < 0,028$
	$k_2 = \frac{0,271(l/b)^2 + 0,910(l/b) - 0,554}{(l/b)^2 - 0,313(l/b) + 1,351}$	$k_3 = \frac{0,027(l/b)^2 - 0,029(l/b) + 0,011}{(l/b)^2 - 1,463(l/b) + 1,108}$

(나) Curvature correction factor  $k_C$  for curved plates

$c/b$	$k_C$
0 to 0,03	1,0
0,03 to 0,18	$1,1 - \frac{3,33c}{b}$
> 0,18	0,5



(다) Design stress

-Design stress for FRP single skin plating

Material	Structural element	Design stress $\sigma_d$ N/mm <sup>2</sup>
FRP single skin	All elements	0,5 $\sigma_{uf}$

-Design stress for metal plating

Material	Structural element	design stress $\sigma_d$ N/mm <sup>2</sup>
Aluminium alloys	All elements	0,6 $\sigma_{uw}$ <sup>a</sup> or 0,9 $\sigma_{yw}$
Steel	All elements	0,6 $\sigma_u$ <sup>a</sup> or 0,9 $\sigma_y$

<sup>a</sup> The lesser value applies.

-Design stress for laminated wood and plywood plating

Material	Structural elements	design stress $\sigma_d$ N/mm <sup>2</sup>
Laminated wood and plywood plating	All elements	0,5 $\sigma_{uf}$

(라) Single-skin plating minimum thickness

-Metal 또는 plywood의 경우

$$t_{MIN} = k_5 \times \left( A + k_7 \times V + k_8 \times m_{LDC}^{0,33} \right) \text{ mm}$$

-FRP에서 최소 dry fibre weight

$$w_{MIN} = 0,43 \times k_5 \times \left( A + k_7 \times V + k_8 \times m_{LDC}^{0,33} \right) \text{ kg/m}^2$$

-최소두께 계수

Material	Position	$\lambda$	$k_5$	$k_7$	$k_8$
FRP	Bottom	1,5	As defined in 10.5.6	0,03	0,15
	Side/transom	1,5		0	0,15
Aluminium	Bottom	1,0	$\sqrt{(125/\sigma_y)}$	0,02	0,1
	Side/transom	1,0		0	0,1
Steel	Bottom	1,0	$\sqrt{(240/\sigma_y)}$	0,015	0,08
	Side/transom	1,0		0	0,08
Plywood	Bottom	3,0	$\sqrt{(30/\sigma_{uf})}$	0,05	0,3
	Side/transom	3,0		0	0,3

-Minimum deck thickness

Location	Deck minimum required thickness $t_{MIN}$			
	mm			
	FRP	Aluminium	Steel	Wood, plywood
Deck	$k_5 (1,45 + 0,14 L_{WL})$	$1,35 + 0,06 L_{WL}$	$1,5 + 0,07 L_{WL}$	$3,8 + 0,17 L_{WL}$

### (5) Stiffening members requirements

$$A_W = \frac{k_{SA} \times P \times s \times l_u}{\tau_d} \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$$

$$SM = \frac{83,33 \times k_{CS} \times P \times s \times l_u^2}{\sigma_d} \cdot 10^{-9} \text{ cm}^3$$

$k_{CS}$  : the curvature factor for stiffeners

$k_{SA}$  : the stiffener shear area factor

$P$  : the pressure (bottom, side, deck) for panel in  $\text{kN/m}^2$

$s$  : the spacing of stiffeners, in mm

$l_u$  : the length of the stiffener in mm

$\sigma_d$  : the design stress for stiffeners in  $\text{N/mm}^2$

$A_W$  : the shear area (cross-sectional area of stiffener shear web), in  $\text{cm}^2$

(ㄱ) Curvature factor for stiffeners  $k_{CS}$

$\frac{c_u}{l_u}$	$k_{CS}$
0 to 0,03	1
0,03 to 0,18	1,1 - 3,33 ( $c_u/l_u$ )
> 0,18	0,5

(ㄴ) Stiffener shear area factor  $k_{SA}$

Stiffener arrangements	$k_{SA}$
Attached to the plating	5
Other arrangements (floating)	7,5

(다) Design stresses for stiffeners

Material	Tensile and compressive design stress $\sigma_d$ N/mm <sup>2</sup>	Design shear stress $\tau_d$ N/mm <sup>2</sup>
FRP	0,5 $\sigma_{uf}$ and 0,5 $\sigma_{uc}$ <sup>a</sup>	0,5 $\tau_u$
Aluminium alloys	0,7 $\sigma_{yw}$ <sup>b</sup>	0,4 $\sigma_{yw}$ <sup>b</sup>
Steel	0,8 $\sigma_y$	0,45 $\sigma_y$
Laminated wooden frames	0,45 $\sigma_{uf}$ <sup>c</sup>	0,45 $\tau_u$
Solid stock wooden frames	0,4 $\sigma_{uf}$ <sup>c</sup>	0,4 $\tau_u$
Plywood on edge frames	0,45 $\sigma_{uf}$ <sup>c</sup>	0,45 $\tau_u$

NOTE These design stresses also apply for the attached plating of the stiffener, according to its material.

<sup>a</sup>  $\sigma_c$  is considered where stressed in compression (usually the stiffener top flange) and  $\sigma_t$  is considered where stressed in tension (usually the plating); both verifications need to be calculated.

<sup>b</sup> For welded stiffeners. If aluminium stiffeners are not welded, i.e. riveted, glued, etc., the non-welded properties shall be used.

<sup>c</sup>  $\sigma_{uf}$  for laminated wooded stiffeners and  $\sigma_{uf}$  for solid stock shall be taken from Table E.1. For plywood,  $\sigma_{uf}$  shall not be taken from Table E.2 but from Tables E.3 or E.6.

(라) Effective plating

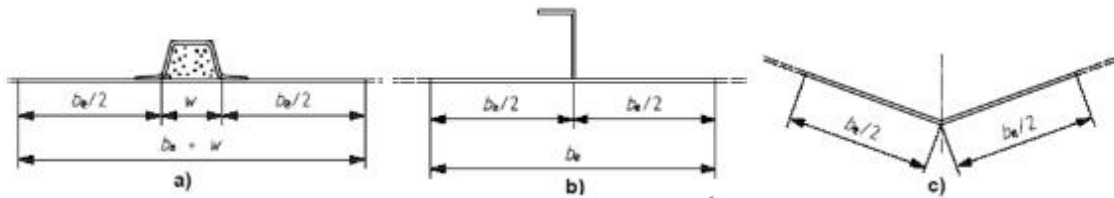


Fig. 5.4.2 판의 유효 폭

나. Rule scantling 프로그램과 적용

ISO12215-5에 근거한 rule scantling 프로그램을 개발하였다. 프로그램은 엑셀을 사용하여 구성하였으며, 가장 간단한 입력 데이터를 사용하여 위치별 형상별 설계압력과 판 두께 그리고 보강재의 단면계수를 구할 수 있도록 하였다.

Excel program은 다음 항목으로 구성되어 있다.

- 표지: Rule scantling 과 ISO version 등이 기술된 표지
- 계산요령: 프로그램 사용에 관한 주요 사항 기술
- General: 입력 데이터 항목 및 주요 계수 계산 부분
- Pressure\_P: Panel에 대한 각 부위별, 형상별 판의 설계압력 계산 부분
- Plate: Panel 형상별, 위치별 panel 설계압력에 따른 panel 두께 계산 부분
- Plate\_FRPSan: Panel 형상별, 위치별 FRP 샌드위치인 경우 panel 설계압력에 따른 panel 두께 계산 부분
- Pressure\_S: Stiffener에 대한 각 부위별, 형상별 Stiffener의 설계압력 계산 부분
- Stiffener: Stiffener의 형상별, 위치별 설계 압력에 대한 Stiffener 단면계수 및 전단면적 계산 부위

본 rule scantling 프로그램을 개발 선박에 적용하여 구조설계 치수 및 하중 등을 구하였다. 관련 계산 결과는 다음과 같다.

Select craft 1 1: Motor craft 2: Sailing craft

Select body 1 1: Sailing catamaran 2: Sailing trimarans

Select mode 1 1: Planing mode 2: Displacement mode

Select Material 1 1: FRP 2: Aluminum 3: steel 4: laminated wood or plywood

Boat type 2 1: Charter 2: Cruiser 3: Motors

Select Type 2

Type	1	2	3	4
Design Category	A	B	C	D
Value of $k_{DC}$	1	0.8	0.6	0.4

$k_{DC}$  0.8 the length on the fully loaded waterline, the craft being at rest

$L_{WL}$  6.6 m Length of the hull

$L_b$  6.6 m for a catamaran, horizontal distance, beam between centres of buoyancy

$B_{DC}$  3 m the wet deck height above waterline

$Z_{DC}$  0.6 m the deadrise angle at 0.4 ·  $L_{WL}$  forward of its thwart end ( $10^\circ < \alpha < 30^\circ$ )

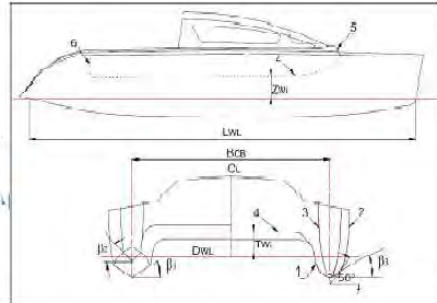
$\beta_{DC}$  15°

$B_{DC}$  1.8 m the sum of the maximum waterline beams of the two hulls for catamarans or the maximum waterline beam of the main hull for trimarans

$D$  1 m Depth of hull at mid length

$V$  5 knots 6.016843 sailing craft speed  
b motor craft speed

$V_{AW}$  FALSE knots the apparent wind speed for multihulls given in (A.16.3)



The limit between bottom and side is the waterline for boats where the limit is the chine  
The limit between bottom and side is the chine FALSE

$M_{DC}$  2341 Kg Mass of loaded displacement

$Z_{DC}$  0.6 m the wet deck freeboard above waterline

$Z$  1 m the height of top of hull or hull/deck limit above the fully loaded waterline

$\bar{n}$  0.3 m the height of centre of panel or stringer above the fully loaded waterline

$k_1$  1 the sailing craft speed coefficient

$K_z$  0.7 Vertical pressure reduction factor  $k_z$

$K_{ZDC}$  0.624047 Wet deck vertical pressure correction factor ZWD

$\rho_{CGMH}$  1.2 g Dynamic load factor for multihulls  $\rho_{CGMH}$   
For power multihulls  $\rho_{CGMH}$  규정을 만족하지 않음  
For sailing multihulls  $\rho_{CGMH}$  1.2 g

$k_1$  0.017 Bending deflection factor  $k_1$  for sandwich plating  
NOTE The bending deflection factor  $k_1$  is only used for FRP sandwich (see 10.6.3)

$k_2$  The panel aspect ratio factors for strength  
 $k_3$  The panel aspect ratio factors for stiffness  
NOTE  $k_3$  is only used for the determination of  $I$  or  $EI$  in sandwich calculation.

$k_4$  Curvature correction factor for curved plates

$F_s$  N/mm the shear force in the middle of the b dimension

$M_b$  Nmm/mm the bending moment in the b direction  
Where the panel stiffness is not similar in the two principal panel directions, Equation (34) shall be replaced by Equations (H.4) and (H.5) (see Annex H).

$K_{SHC}$  Shear strength aspect ratio factor  
NOTE  $k_{SHC}$  corresponds to the shear force on the large side of a rectangular panel

$K_4$  1 for hull bottom  $k_4$  is the sandwich minimum skin location factor where

$K_4$  0.9 for side shell

$K_4$  0.7 for deck

$k_b$   $k_b$  is the sandwich minimum skin fibre type factor where  
 $k_b$  1 for E-glass reinforcement containing up to 50 % of chopped strand mat by mass,  
 $k_b$  0.9 for continuous glass reinforcement (i.e. bi-axial, woven roving, unidirectional, double bias or multi-axial),  
 $k_b$  0.7 for continuous reinforcement using aramid or carbon or hybrids thereof.

$k_6$   $k_6$  is the sandwich minimum skin care factor where  
 $k_6$  0.9 for craft where the sandwich outer skin is expected to be punctured after hitting a sharp object;  
 $k_6$  1 for other craft.

If  $k_6 = 0.9$ , a statement warning that the boat may be punctured after hitting a sharp object and that this damage shall be quickly repaired shall be inserted in the owner's manual.

Select sandwich core Material

Design shear strength of sandwich cores		
no	Material	Core design shear stress $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )
1	End grain balsa	$0.5\tau_c^*$
2	Core having shear elongation at break < 35 % (cross-linked PVC, etc.)	$0.55\tau_c$
3	Core having shear elongation at break > 35 % (linear PVC, SAN, etc.)	$0.65\tau_c$
4	Honeycomb cores (to be compatible with marine application)	$0.5\tau_c^*$

\* Where the balsa exhibits a low degree of variability in mechanical properties and measures are taken to seal the core by resin encapsulation in cases where it is used,  $\tau_c$  may be taken as  $0.55\tau_c$ .

Use core pro

Table 14 — Minimum thickness factors

Material	Position	A	K <sub>c</sub>	K <sub>s</sub>
FRP	Bottom	1.5	0.03	0.15
	Side/trans	1.5	0	0.15
Aluminium	Bottom	1	0.02	0.1
	Side/trans	1	0	0.1
Steel	Bottom	1	0.02	0.08
	Side/trans	1	0	0.3
Plywood	Bottom	3	0.05	0.3
	Side/trans	3	0	0.3

Panel

E <sub>o</sub>	6369.8	(N/mm <sup>2</sup> )	the compressive E modulus of outer skin in 0°/90° in-plane axis of panel
E <sub>co</sub>	2641	(N/mm <sup>2</sup> )	the compressive E modulus of core, perpendicular to skins
E <sub>i</sub>	6303.6	(N/mm <sup>2</sup> )	the compressive E modulus of inner skin in 0°/90° in-plane axis of panel
E <sub>o</sub>	6336.7	(N/mm <sup>2</sup> )	the mean of the inner and outer face moduli
E <sub>c</sub>	6867	(N/mm <sup>2</sup> )	tensile modulus of the web lamir ate
G <sub>c</sub>	111.41	(N/mm <sup>2</sup> )	the core shear modulus in the direction parallel to load
T <sub>c</sub>	1.974	(N/mm <sup>2</sup> )	the minimum ultimate core shear strength
T <sub>d</sub>	0.967	(N/mm <sup>2</sup> )	Design shear strength of sandwich cores
T <sub>d min</sub>	0.26	(N/mm <sup>2</sup> )	For bottom laminate, the value of the design shear strength of the core
σ <sub>o</sub>	112.1	(N/mm <sup>2</sup> )	the minimum ultimate tensile strength of the skin
σ <sub>o</sub>	126.1	(N/mm <sup>2</sup> )	the minimum ultimate compressive strength of the skin
σ <sub>o</sub>	172.2	(N/mm <sup>2</sup> )	the minimum Ultimate flexural strength
σ <sub>d</sub>	86.1	(N/mm <sup>2</sup> )	Design stresses for FRP single-skin plating
σ <sub>o</sub>	66.05	(N/mm <sup>2</sup> )	Design stress in outer skin
σ <sub>o</sub>	63.05	(N/mm <sup>2</sup> )	Design stress in inner skin

Single-Skin

2602 (kg/m<sup>3</sup>) density

Core

112

Inner Skin

2602

Outer skin

2602 (kg/m<sup>3</sup>) density

Stiffener

T <sub>v</sub>	1.97	(N/mm <sup>2</sup> )	the minimum ultimate in-plane shear strength of the stiffener material
T <sub>d</sub>	0.965	(N/mm <sup>2</sup> )	Design shear stress
σ <sub>o</sub> (σ <sub>o</sub> )	126.1	(N/mm <sup>2</sup> )	the minimum ultimate tensile and compressive strength of the stiffeners
σ <sub>d</sub>	63.05	(N/mm <sup>2</sup> )	Tensile design stress and compressive design stress
E <sub>c</sub>	6369.8	(N/mm <sup>2</sup> )	the mean of compressive/tensile modulus of the material

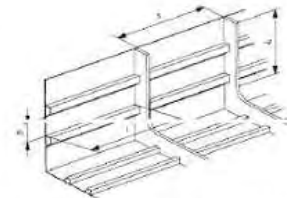


Figure 6 — Sketch explains the dimensions in 9.1

Material	FRP	Metal	Laminated wood or plywood
판넬 라임	1	2	3
판넬 라임	Single skin	Sandwich	

Areas	Walking	Non walking			
판넬 위치	1	2			
P <sub>sup min</sub>	b	3.b			
판넬 위치	Bottom	Sides	Deck	Wet Deck	Super struct
	1	2	3	4	5

	판넬 라임	판넬 위치	Areas	선저기울기 βx (°)	간격 길이 lu (mm)	짧은 폭 길이 b (mm)	간격 s (mm)	길이 l (mm)	crown of the panel c (mm)	curved stiffer c <sub>o</sub> (mm)	x 방향 위치 x (m)	Z 길이 ZWD (m)
1	1	1	2	35.00	1000.00	310.00	940.00	940.00	0.10	0.10	1.08	0.50
2	1	1	2	35.00	1000.00	405.00	940.00	940.00	0.10	0.10	3.01	0.50
3	1	1	2	35.00	1000.00	450.00	940.00	940.00	0.10	0.10	4.43	0.50
4	1	1	2	35.00	1000.00	530.00	940.00	940.00	0.10	0.10	5.18	0.50
5	1	2	2	35.00	1000.00	310.00	940.00	940.00	0.10	0.10	1.08	0.50
6	1	2	2	35.00	1000.00	410.00	940.00	940.00	0.10	0.10	3.01	0.50
7	1	2	2	35.00	1000.00	450.00	940.00	940.00	0.10	0.10	4.43	0.50
8	1	2	2	35.00	1000.00	530.00	940.00	940.00	0.10	0.10	5.18	0.50
9	1	3	1	35.00	670.00	450.00	610.00	610.00	0.10	0.10	3.68	0.50
10	1	3	1	35.00	670.00	500.00	610.00	610.00	0.10	0.10	5.78	0.50
11	1	4	2	35.00	670.00	450.00	610.00	610.00	0.10	0.10	4.43	0.50

K <sub>sup</sub>	Minimum deck thickness t <sub>min</sub> (mm)	FRP single-skin plating		판넬 두께 (최소요구값) (입력값)		FRP Sandwich plating			
		Required thickness t <sub>min</sub> (mm)	FRP single-skin plating	t <sub>c</sub> (mm)	t <sub>i</sub> (mm)	the core t <sub>c</sub> (mm)	inner skin t <sub>i</sub> (mm)	outer skin t <sub>o</sub> (mm)	mid t <sub>s</sub> (mm)
1.00		0.00		2.11	2.11	20.00	4.95	7.10	26.03
1.00		0.00		0.00	0.00	20.00	4.95	7.10	26.03
1.00		0.00		4.20	4.20	20.00	4.95	7.10	26.03
1.00		0.00		4.88	4.88	20.00	4.95	7.10	26.03
1.00		0.00		1.82	1.82	20.00	4.95	7.10	26.03
1.00		0.00		0.00	0.00	20.00	4.95	7.10	26.03
1.00		0.00		3.41	3.41	20.00	4.95	7.10	26.03
1.00		0.00		3.96	3.96	20.00	4.95	7.10	26.03
1.00		2.36		3.61	3.61	20.00	4.95	7.10	26.03
1.00		2.36		3.98	3.98	20.00	4.95	7.10	26.03
1.00		0.00		4.74	4.74	20.00	4.95	7.10	26.03



Thickness required by shear load $t_s$ (최소값) (mm)	total $t_t$ (mm)		허용응력/실제응력 banding shear		스티프너면 플랫팅면적 $A_c$ ( $m^2$ )		$K_{LWD}$	$K_L$	$K_{DR}$	$K_1$	$K_2$	$K_3$
			#DIV/0!									
1.27	32.05		1520.98	10.04	0.94	0.00	0.45	0.31	0.92	0.02	0.49	FALSE
1.55	32.05		#DIV/0!	8.19	0.94	0.38	0.73	0.51	0.92	0.02	FALSE	FALSE
3.17	32.05		384.21	4.00	0.94	0.42	1.00	1.00	0.92	0.02	0.50	FALSE
3.64	32.05		285.31	3.49	0.94	0.50	1.00	1.00	0.92	0.02	0.49	0.03
0.94	32.05		2055.06	13.57	0.94	0.00	0.45	0.31	0.92	0.02	0.49	FALSE
1.16	32.05		#DIV/0!	10.83	0.94	0.39	0.73	0.51	0.92	0.02	FALSE	FALSE
2.09	32.05		562.82	6.07	0.94	0.42	1.00	1.00	0.92	0.02	0.50	FALSE
2.40	32.05		432.81	5.30	0.94	0.50	1.00	1.00	0.92	0.02	0.49	0.03
2.39	32.05		521.33	5.31	0.41	0.27	0.99	0.60	0.92	0.02	0.43	0.02
2.71	32.05		427.80	4.69	0.41	0.31	1.00	1.00	0.92	0.02	0.39	0.02
4.13	32.05		302.06	3.08	0.41	0.27	1.00	1.00	0.92	0.02	0.43	0.02

$K_L$	$K_1$	$K_2$	A	$K_C$	$K_{DR}$	Boat type factor btm & panel btm & stiffener			Area pressure reduction Min values btm & panel btm & stiffeners			Bottom pressure		
						$K_{BR}$	$K_{SR}$	$K_{TR}$	$K_{BR}$	$K_{SR}$	$K_{TR}$	$P_{DM,base}$ ( $kN/m^2$ )	$P_{DM}$ ( $kN/m^2$ )	$P_{DM,MIN}$ ( $kN/m^2$ )
1.00	0.03	0.15	1.50	1.00	0.49	1.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.33	41.00	4.68	8.17
1.00	0.03	0.15	1.50	1.00	0.46	1.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.33	41.00	7.65	8.17
1.00	0.03	0.15	1.50	1.00	0.46	1.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.33	41.00	15.03	8.17
1.00	0.03	0.15	1.50	1.00	0.45	1.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.33	41.00	15.03	8.17
0.90	0.00	0.15	1.50	1.00	0.49	1.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.33	41.00	4.68	8.17
0.90	0.00	0.15	1.50	1.00	0.46	1.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.33	41.00	7.65	8.17
0.90	0.00	0.15	1.50	1.00	0.46	1.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.33	41.00	15.03	8.17
0.90	0.00	0.15	1.50	1.00	0.45	1.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.33	41.00	15.03	8.17
0.70	0.00	0.00	1.50	1.00	0.40	1.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.42	41.00	8.99	8.17
0.70	0.00	0.00	1.50	1.00	0.38	1.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.42	41.00	15.03	8.17
1.00	0.00	0.00	1.50	1.00	0.40	1.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.42	41.00	15.03	8.17

최종 $P_{DM}$ ( $kN/m^2$ )	Deck design pressure				Side pressure (outter)			Super_struct design pressure		
	$P_{DM,base}$ ( $kN/m^2$ )	$P_{DM}$ ( $kN/m^2$ )	$P_{DM,MIN}$ ( $kN/m^2$ )	최종 $P_{DM}$ ( $kN/m^2$ )	$P_{SM}$ ( $kN/m^2$ )	$P_{SM,MIN}$ ( $kN/m^2$ )	최종 $P_{SM}$ ( $kN/m^2$ )	$P_{SUP,MIN}$ ( $kN/m^2$ )	$P_{SUP,MIN}$ ( $kN/m^2$ )	최종 $P_{SUP,MIN}$ ( $kN/m^2$ )
8.17	16.95	5.42	5.00	5.42	3.08	6.05	6.05	1.69	3.50	3.50
8.17	16.95	5.42	6.00	6.00	5.04	6.05	6.05	2.76	3.50	3.50
15.03	16.95	5.42	7.00	7.00	9.91	6.05	6.05	5.42	3.50	5.42
15.03	16.95	5.42	8.00	8.00	9.91	6.05	6.05	5.42	3.50	5.42
8.17	16.95	5.42	9.00	9.00	3.08	6.05	6.05	1.69	3.50	3.50
8.17	16.95	5.42	10.00	10.00	5.04	6.05	6.05	2.76	3.50	3.50
15.03	16.95	5.42	11.00	11.00	9.91	6.05	6.05	5.42	3.50	5.42
15.03	16.95	5.42	12.00	12.00	9.91	6.05	6.05	5.42	3.50	5.42
8.99	16.95	5.42	13.00	13.00	9.91	6.05	6.05	5.42	3.50	5.42
15.03	16.95	5.42	14.00	14.00	9.91	6.05	6.05	5.42	3.50	5.42
15.03	16.95	5.42	15.00	15.00	9.91	6.05	6.05	5.42	3.50	5.42

Wet deck / cross beam pressure				취체별 최종 P P ( $kN/m^2$ )	In the middle of the b dimension shear force bending moment Fd Md (N/mm) (Nmm/mm)		Single-Skin minimal dry fibre weig 관닐 무게 $W_{MIN}$ (계산값) (kg) (kg)		wich skin fibre mas inner skin outer skin $W_1$ $W_2$ ( $kg/m^2$ ) ( $kg/m^2$ )	
$P_{WD,MIN,base}$ ( $kN/m^2$ )	$P_{WD,MIN}$ ( $kN/m^2$ )	$P_{WD,MIN,MIN}$ ( $kN/m^2$ )	최종 $P_{WD,MIN}$ ( $kN/m^2$ )							
46.58	3.50	10.04	10.04	8.17	1.25	64.06	1.54	0.00	0.45	0.64
46.58	5.67	16.29	16.29	8.17	1.53	0.00	1.54	0.00	0.45	0.64
46.58	7.81	22.44	22.44	15.03	3.13	253.60	1.54	0.00	0.45	0.64
46.58	7.81	22.44	22.44	15.03	3.59	341.50	1.54	0.00	0.45	0.64
46.58	3.50	10.04	10.04	6.05	0.92	47.41	1.48	0.00	0.40	0.58
46.58	5.67	16.29	16.29	6.05	1.15	0.00	1.48	0.00	0.40	0.58
46.58	7.81	22.44	22.44	9.91	2.06	167.17	1.48	0.00	0.40	0.58
46.58	7.81	22.44	22.44	9.91	2.37	225.12	1.48	0.00	0.40	0.58
46.58	7.76	22.30	22.30	13.00	2.36	186.89	0.65	0.00	0.31	0.45
46.58	7.81	22.44	22.44	14.00	2.67	227.76	0.65	0.00	0.31	0.45
46.58	7.81	22.44	22.44	22.44	4.08	322.55	0.65	0.00	0.45	0.64

inner skin (계산값) (kg)	Sandwich outer skin (계산값) (kg)		Minimum required			계산값					
	inner skin (계산값) (kg)	outer skin (계산값) (kg)	SM <sub>c</sub> (cm <sup>3</sup> /cm)	SM <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> /cm)	I (cm <sup>4</sup> /cm)	y <sub>o</sub> (mm)	y <sub>i</sub> (mm)	SM <sub>c</sub> (cm <sup>3</sup> /cm)	SM <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> /cm)	I (cm <sup>4</sup> /cm)	σ <sub>i</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	14.24	17.81	1.42	1.13	2.02	0.06
4.90	7.03	12.79	0.00	0.00	0.00	14.24	17.81	1.42	1.13	2.02	0.00
5.45	7.81	14.21	0.05	0.04	0.00	14.24	17.81	1.42	1.13	2.02	0.22
6.42	9.20	16.74	0.06	0.05	0.05	14.24	17.81	1.42	1.13	2.02	0.30
0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	14.24	17.81	1.42	1.13	2.02	0.04
4.96	7.12	12.95	0.00	0.00	0.00	14.24	17.81	1.42	1.13	2.02	0.00
5.45	7.81	14.21	0.03	0.03	0.00	14.24	17.81	1.42	1.13	2.02	0.15
6.42	9.20	16.74	0.04	0.04	0.03	14.24	17.81	1.42	1.13	2.02	0.20
3.54	5.07	9.22	0.03	0.03	0.02	14.24	17.81	1.42	1.13	2.02	0.17
3.93	5.63	10.25	0.04	0.04	0.03	14.24	17.81	1.42	1.13	2.02	0.20
3.54	5.07	9.22	0.06	0.05	0.04	14.24	17.81	1.42	1.13	2.02	0.29

Q (mm <sup>3</sup> )	shear flow N/mm
1585.84	0.10
1585.84	0.12
1585.84	0.25
1585.84	0.28
1585.84	0.07
1585.84	0.09
1585.84	0.16
1585.84	0.19
1585.84	0.19
1585.84	0.21
1585.84	0.32

**Sea and Wind Conditions**  
design category A ("ocean")  
category of boats considered suitable to operate in seas with significant wave heights above 4 m and wind speeds in excess of Beaufort Force 8, but excluding abnormal conditions, e.g. hurricanes

design category B ("offshore")  
category of boats considered suitable to operate in seas with significant wave heights up to 4 m and winds of Beaufort Force 8 or less

design category C ("inshore")  
category of boats considered suitable to operate in seas with significant wave heights up to 2 m and a typical steady wind force of Beaufort Force 6 or less

design category D ("sheltered waters")  
category of boats considered suitable to operate in waters with significant wave heights up to and including 0,30 m with occasional waves of 0,5 m height, for example from passing vessels, and a typical steady wind force of Beaufort 4 or less

**7.7 Superstructure and deckhouse pressure reduction factor  $k_{SUP}$**

The superstructure and deckhouse pressure reduction factor  $k_{SUP}$  is defined according to location and boat type by Table 4.

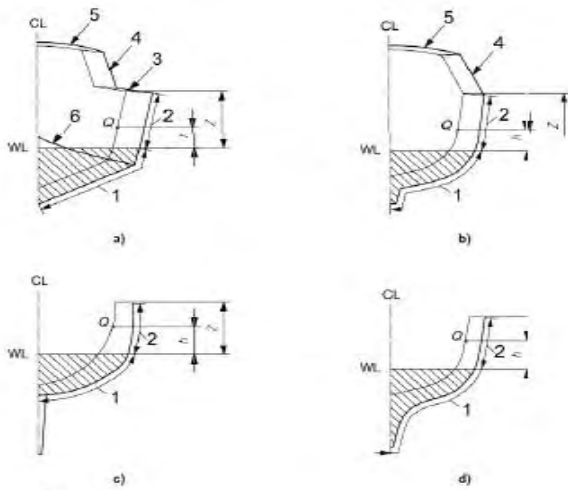
**Table 4 — Values of  $k_{SUP}$  for superstructures and deckhouses**

Position of panel	$k_{SUP}$ motor and sail	Application
Front	1	Any area
Side	0,67	Walking area
Side	0,5	Non-walking area
Aft end	0,5	Any area
Top, ≤ 800 mm above deck	0,5	Walking area
Top, > 800 mm above deck and upper tiers	0,35	Walking area
Upper tiers <sup>a</sup>	Minimum deck pressure 5 kN/m <sup>2</sup>	Non-walking area

<sup>a</sup> Elements not exposed to weather shall be considered as upper tiers.

**7.6 Hull side pressure reduction factor  $k_z$**

The side pressure reduction factor  $k_z$  interpolates the pressures of the hull side between the (bottom) pressure at waterline and deck pressure at the top edge (see Figure 2).



- Key**
- 1 bottom (hatched area)
  - 2 side
  - 3 deck
  - 4 superstructures
  - 5 superstructure top
  - 6 hard chine

Figure 2 — Definitions of areas, and panel height above waterline

Laminate stack analysis					zna	ei x (ti <sup>3</sup> )	ei x ti x z	E I  From base
	ti	zgi	ei x ti	ei x ti x zgi				
	mm	mm	N/mm	N	mm	Nmm	Nmm	Nmm <sup>2</sup>
start	0							
1 outer	0.6	0.3	3782.16	1134.648		114.656	340.39	455.0508
2 core	1	1.1	6303.6	6933.96		220.083	7627.4	7847.439333
3 inner	0.6	1.25	3151.8	3939.75		66.6625	4924.7	4990.35
sum			13237.56	12008.36		0.907142857		13292.84013

### Global loads on sailing catamarans due to rig and sail forces

$M_{DH1}$	35115 Nm	the righting moment corresponding to maximal stability
$M_{HD2}$	0 Nm	the heeling/righting moment due to wind
$M_{HD3}$	281262.95 Nm	the righting moment corresponding to upper shroud strength
$K_{HD} * M_{HD1}$	0 Nm	MHD3가 최소한의 rig strength를 보장합니다
$M_{HD}$	35115 Nm	Design heeling / righting moment MHD, procedure
$K_{HD}$	0.000	Min ratio between $M_{HD3}$ and $M_{DH1}$
$R_{US}$	158458 N	Ultimate strength of tie upper shroud

$RM_{D\text{CAT}}$	35115 Nm	for catamarans
$RM_{D\text{TRI}}$	Nm	the maximum design righting moment for trimarans
$RM_{DM}$	35115 Nm	the design righting moment for multihulls is, in $m_{LDC}$ conditions, respectively
		NOTE For simplicity, the terms coming from heel angle and the height of craft CG above waterline are neglected.

#### The main rig dimensions

$I$	17 m	the height of headstay top above mast foot
$J$	4.8 m	the distance between base of headstay forward of the mast
$P$	18 m	the height of the mainsail luff
$E$	6.6 m	the length of the mainsail foot
$B_{\text{Luff}}$	2.2 m	the height of the mainsail luff base above mast foot
$F_{\text{St}}$	1.78 m	the freeboard of the basis of $I$ above waterline
$B_{\text{CB}}$	6.2 m	the beam between centres of buoyancy of catamarans
$B_{\text{CE}}$	7.1 m	Beam between upper shrouds chain plates (distance between windward and leeward chainplates)
$K_{\text{MS}}$	0.68	usually $0.67 < k_{\text{MS}} < 0.70$
$A_{\text{MS}}$	79.56 m <sup>2</sup>	the mainsail area
$A_{\text{FT}}$	40.8 m <sup>2</sup>	the foretriangle jib area
$A_{\text{S}}$	120.36 m <sup>2</sup>	the sail area according to ISO 89666

#### Force and moment of sails and appendages

$F_{\text{MS}}$	2169.684297 N	the lateral force from mainsail
$H_{\text{MS}}$	11.18 m	the height of mainsail CE above waterline
$F_{\text{FT}}$	1112.607332 N	the lateral force from Jib (considered as fore triangle)
$H_{\text{FT}}$	8.58 m	the height of fore triangle CE above waterline
$F_{\text{TOT}}$	3282.191629 N	the total lateral force (Mainsail+foretriangle Jib)
$H_{\text{CE}}$	10.29864407 m	the height above waterline of the centre of effort (CE) of mainsail+fore triangle Jib
$H_{\text{LP}}$	0.4 m	the height below waterline of the centre of projected surface of underwater area (hull+appendages)
$H_{\text{LP1}}$	0.51756209 m	for low draft appendages
$H_{\text{LP2}}$	0.4 m	for high draft appendages
$T_{\text{HS}}$	4635.863883 N	tension in the headstay
$T_{\text{MS}}$	1390.759165 N	tension in the mainsail sheet or halyard
$T_{\text{JH}}$	2781.51833 N	tension in the jib halyard, with foretriangle Jib
$T_{\text{US}}$	9891.549296 N	tension in the upper shroud due to stability
$F_{\text{CPW}}$	14295.61998 N	the vertical load on the windward chainplate
$C_{\text{M}}$	18699.69067 N	the mast compression

$M_{cMAX}$  50749.46094 Nm the maximum bending moment in the mast beam  
 In the simplified analysis explained above, only the flanges resist the bending moment.

**Shear stress in the web**

The shear force F simplified diagram is shown in Figure 5.

In the simplified analysis explained above, only the web resists the shear force. The paragraph H.4 of Annex H of ISO 12215-5 explaining stiffener calculation may be used, especially if different materials are used in the beam.

In a simple approach, in "high" I beams, the shear stress in the web can be approximated by:

$H_w$  1500 mm the height of the web, measured between the CG of flanges  
 $t_w$  20 mm Thickness of the web  
 $\tau$  190.6082666 N/mm<sup>2</sup> the shear stress in the web  
 this stress shall be the lesser of  $\tau_c$  and  $0.33 \cdot \tau_{cr}$

**Shear buckling analysis**

**Single skin shear buckling**

Large panel subject to shear tend to buckle and make wrinkles at 45° (Wagner field). This buckling may not be catastrophic in single skin construction and has been used in aircraft industry, as it allows a lighter structure. In that case, the edges of the panel are overstressed and need a specific analysis. Where the dimension of the panels of the web are reduced by the use of vertical stiffeners, these stiffeners are loaded by the shear flow in the web and need a specific analysis.

The specific analysis quoted above is out of the scope of this standard. They can easily be found in aircraft design literature on spar beams, see for example items [1] and [2] of the bibliography.

$E_t$  14000 N/mm<sup>2</sup> the tensile modulus of the web laminate  
 $G_c$  20 N/mm<sup>2</sup> the shear modulus of the core  
 $t$  10 mm the thickness of the skins  
 $c$  10 mm the thickness of the core  
 $b$  1600 mm the small dimension of the panel  
 $l$  3000 mm the large dimension of the panel  
 $\tau_{cr}$  4.977777778 N/mm<sup>2</sup> the critical shear stress for a single skin panel

**Sandwich shear buckling**

In sandwich construction shear buckling shall be avoided. Unless a specific analysis is performed this

**Eventual Cut out in the web**

**Shear stress**

The studied example related to passage openings in the web inside the hulls as in Figure 5.

$H_1$  60 mm  
 $H_2$  40 mm  
 $s$  20 mm  
 $S_1$  346.9123997 N/mm The initial shear flow  
 $S_2$  326.9123997 N/mm the final flow in the top and bottom remaining parts of the web in way of the opening  
 $\tau_2$  16.29661998 N/mm<sup>2</sup> the shear stress in the remaining web (shall be lesser  $\tau_c$  and  $\tau_{cr}$ )

The web needs usually to be reinforced in way of the cut, as  $s_2 > s_1$  (see hatched areas in Figure 5).

If  $H_1 \neq H_2$  the shear forces shall be distributed on the top and bottom webs according to the inertia of the top and bottom I beams defined below.

**Secondary bending moment**

The secondary bending moment	1	
	1	The opening were a rectangle
	2	The opening is well rounded
$M_{2s}$ 2694.842998 Nm		the secondary bending moment

To resist this bending moment without surpassing the bending loads defined in Table 6, the section often need to be made an I beam, adding a reinforcing flange around the opening (the top flange being the deck or hull plating).

2. 구조 강도해석

개발 선박의 강도평가를 위해 유한요소법에 의한 수치해석을 수행하였다. 강도해석은 PATRAN2008r2를 사용하여 해석 모델을 구성하였으며 MD NASTRANr3을 사용하여 강도해석을 수행하였다.

본 보고서에서는 종굽힘 모멘트, 비틀림모멘트, 국부적인 거동 중 가장 극심하다고 판단되는 연결부 바닥면(Cross deck)에서의 슬래밍 하중 하의 강도해석을 수행하여 정리하였다.

### 가. 구조강도해석 모델

구조해석 모델은 Fig. 5.4.3와 같으며, 요소의 크기는 기본적으로 100~150mm 이며, 판과 보 요소로 작성하였다. 사용된 재료는 FRP로서 물성치는 Table 5.4.1와 같다.

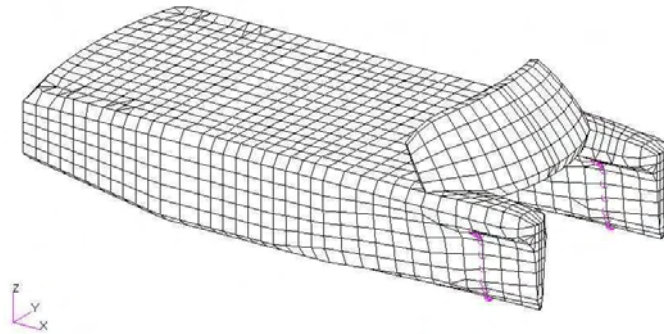


Fig. 5.4.3 구조해석 모델

Table 5.4.1 FRP 물성치

항 목	값
인장강도 (MPa)	218
굽힘강도 (MPa)	258
굽힘 탄성율 (GPa)	9.63

## 나. 하중 및 경계조건

종굽힘모멘트를 적용하는 경우 선미부에서 고정조건을 부여하고 선수 collision bulkhead에서 RBE2 요소를 부여하여 종굽힘모멘트를 적용하였다(Fig. 5.4.4). 비틀림모멘트가 적용되는 경우는 Fig. 5.4.5과 같이 선미부에서 고정조건을 부여하고 선수부에서 좌현과 우현에서 짝힘을 부여하여 비틀림모멘트가 발생하도록 하였다. 연결부 바닥면에서의 슬래밍하중 적용시 사용한 경계조건은 개발선의 선미 및 충동격벽 상부를 고정하고, 연결부 바닥면에 슬래밍 압력을 적용하였다(Fig. 5.4.6).

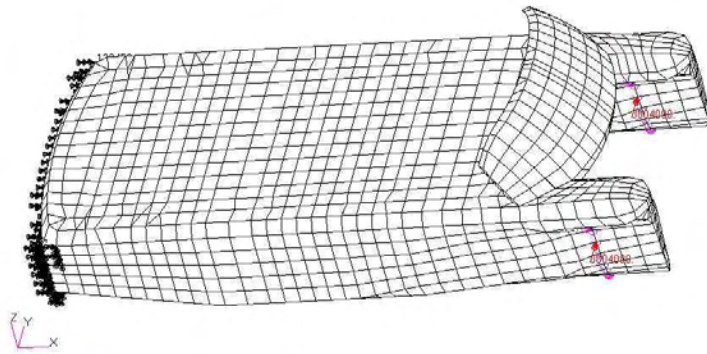


Fig. 5.4.4 종굽힘모멘트 적용시 하중 및 경계조건

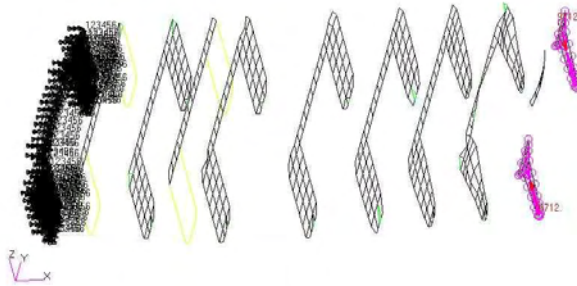


Fig. 5.4.5 비틀림모멘트 적용시 하중 및 경계조건

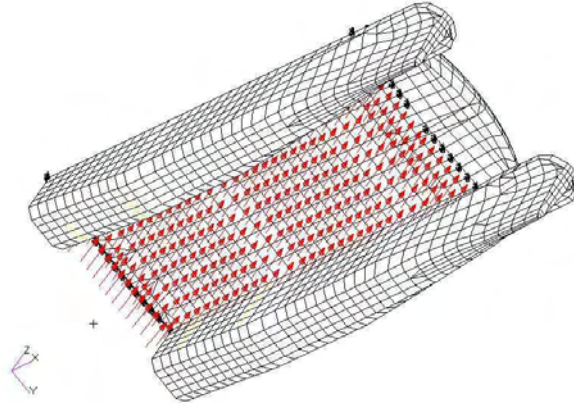


Fig. 5.4.6 Cross deck 슬래밍 압력 적용시 하중 및 경계조건

#### 다. 구조해석 결과

구조해석 결과로서 각 하중별 변형량과 응력값을 선택하여 기술하였으며 강도적으로는 충분한 안전성을 확보하고 있음을 알 수 있다.

각 하중 적용시 구조의 변형 형상은 Fig. 5.4.7~ Fig. 5.4.12에서 보여주고 있으며, 최대 처짐량과 von-Mises 응력값은 Table 5.4.2에서 보여주고 있다.

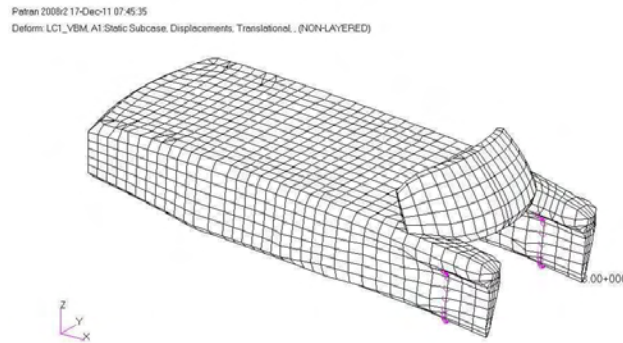


Fig. 5.4.7 종굽힘모멘트 적용시 변형형상



Patran 2008r2 17-Dec-11 07:46:01  
Deform: LC3\_TM.A1 Static Subcase, Displacements, Translational, (NON-LAYERED)

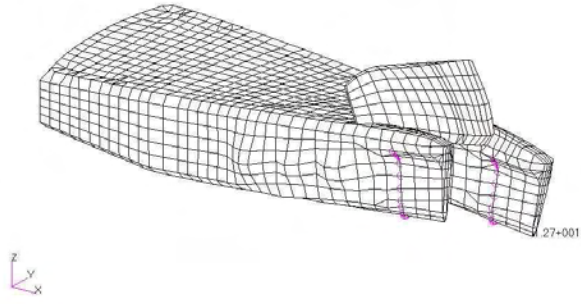


Fig. 5.4.8 비틀림 모멘트 적용시 변형형상

Patran 2008r2 17-Dec-11 07:46:09  
Deform: LC3\_SLAM.A1 Static Subcase, Displacements, Translational, (NON-LAYERED)

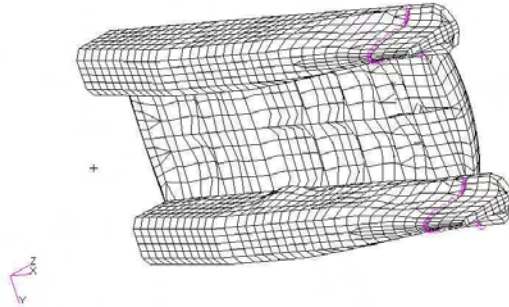


Fig. 5.4.9 슬래밍 압력 적용시 변형형상

Patran 2008r2 17-Dec-11 07:47:32  
Fringe: LC1\_VBM.A1 Static Subcase, Stress Tensor, von Mises, At Z2

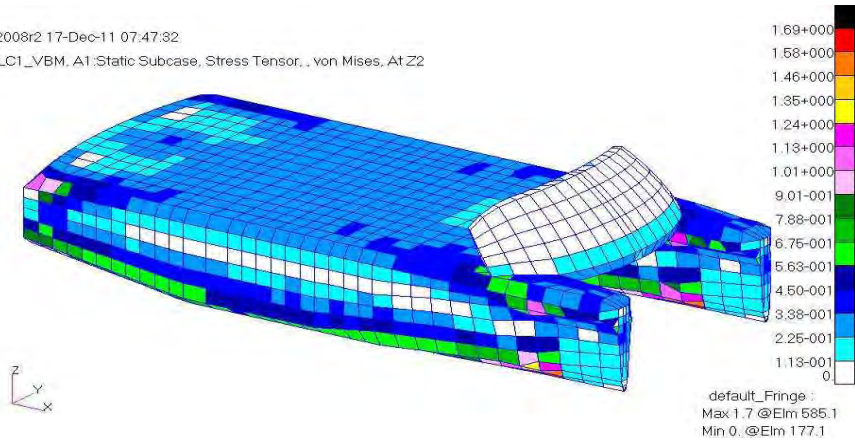


Fig. 5.4.10 종굽힘 모멘트 적용시 von-Mises stress 분포

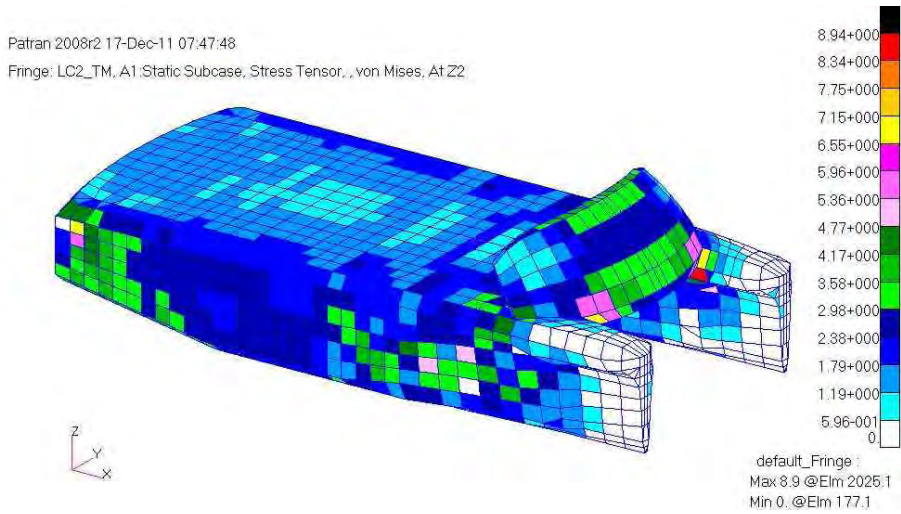


Fig. 5.4.11 비틀림 모멘트 적용시 von-Mises stress 분포

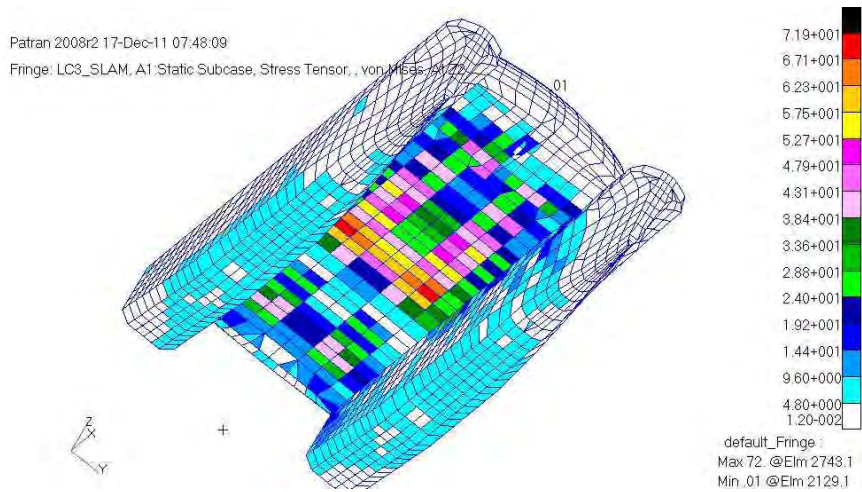


Fig. 5.4.12 슬래밍 압력 적용시 von-Mises stress 분포

Table 5.4.2 각 하중별 최대처짐량 및 von-Mises stress

	VBM	TM	SLAM
최대처짐량(mm)	3	12.7	154
최대 von-Mises stress (N/mm <sup>2</sup> )	1.7	8.9	71.9

VBM: Vertical bending moment 적용 조건

TM: Torsional moment 적용 조건

SLAM: Slamming pressure 적용 조건

# 제5절 쌍동형 전기추진어선의 전기추진시스템 구축

## 1. 도면

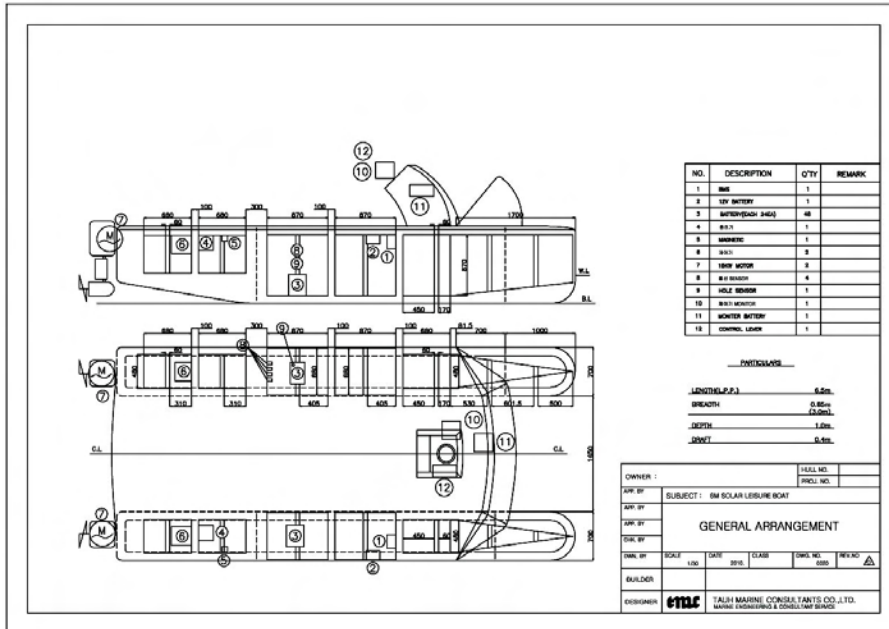


Fig. 5.4.13 총톤수 3톤급 쌍동형 어선 일반배치도

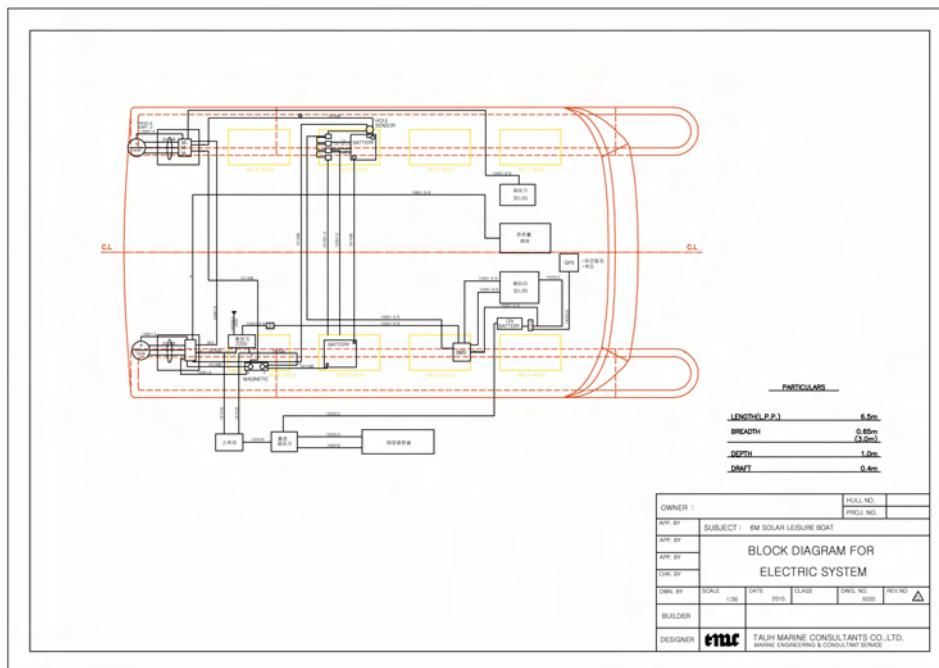


Fig. 5.4.14 총톤수 3톤급 쌍동형 어선의 전기추진 시스템의 Block Diagram

## 2. 전기추진시스템 구축

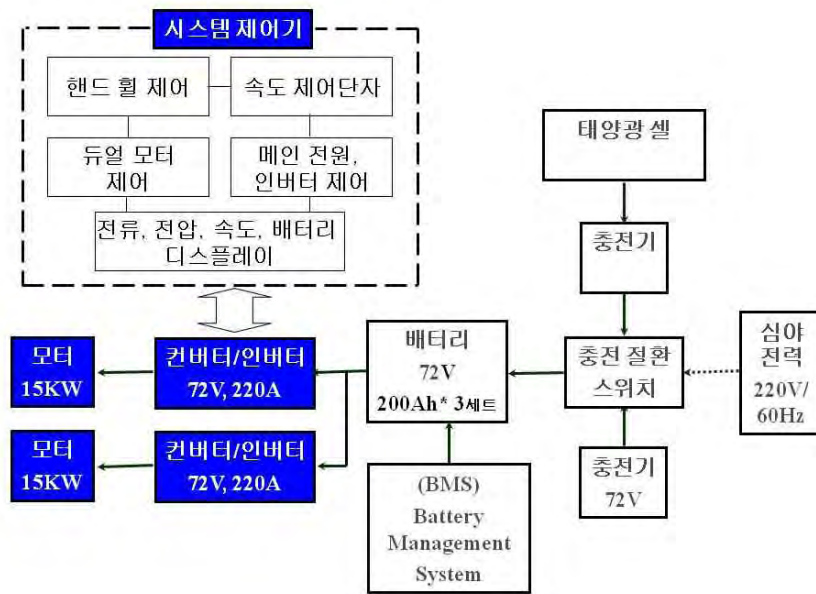


Fig. 5.4.15 전기추진 시스템에 대한 Block Diagram

### 가. 전기추진 선외기



Fig. 5.4.16 쌍동형 전기추진 어선 사진



Fig. 5.4.17 전기추진 선외기



Fig. 5.4.18 전기추진 선외기-2

나. 리튬인산철 배터리



Fig. 5.4.19 배터리 및 인버터



Fig. 5.4.20 배터리 연결

다. 운항 제어시스템



Fig. 5.4.21 컨트롤 레버 및 충전제어 모니터



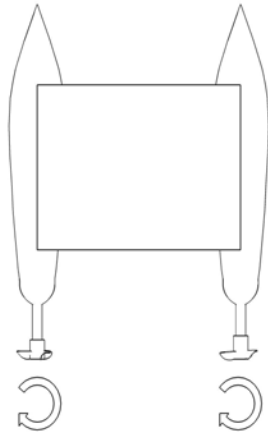
Fig. 5.4.22 운항 GPS

### 3. 2축 추진시스템의 선회성

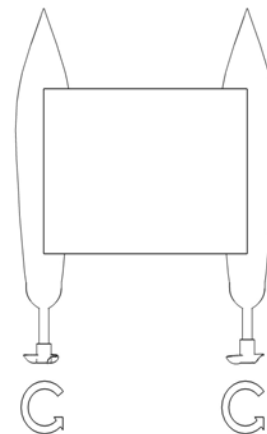
가. 벡터 측면에서 선외기의 방향각 제어와 추진 방향을 통한 선외 성능 최적화

나. 핸들 각도의 단계에 따라 자동으로 작동할 수 있는 시스템

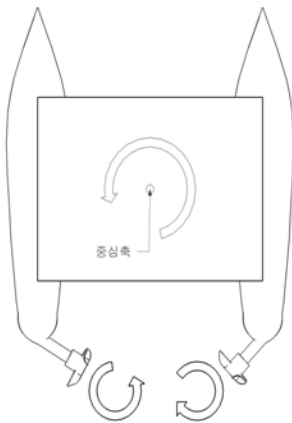
Case1) 전진



Case2) 후진

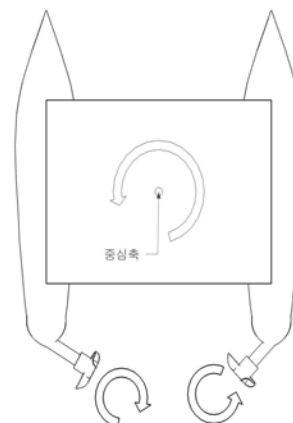


Case3) 좌회전



중심축에서 그대로 좌회전  
Vector 측면으로 이해

Case4) 우회전



중심축에서 그대로 우회전



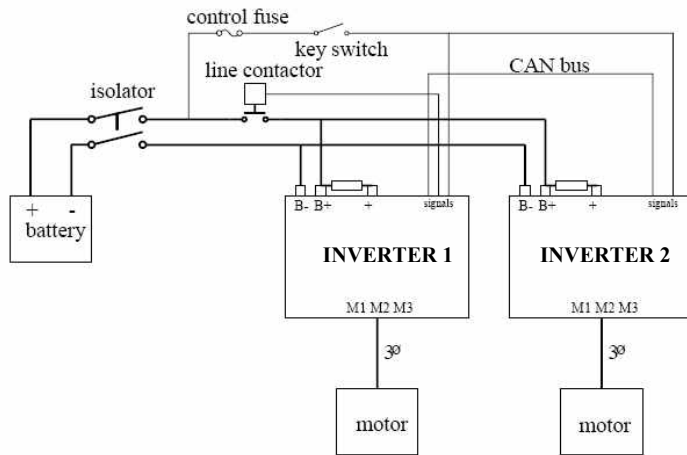
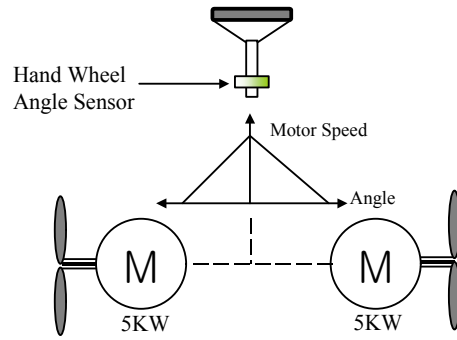


Fig. 5.4.23 인버터 주전원 및 제어회로 스위치

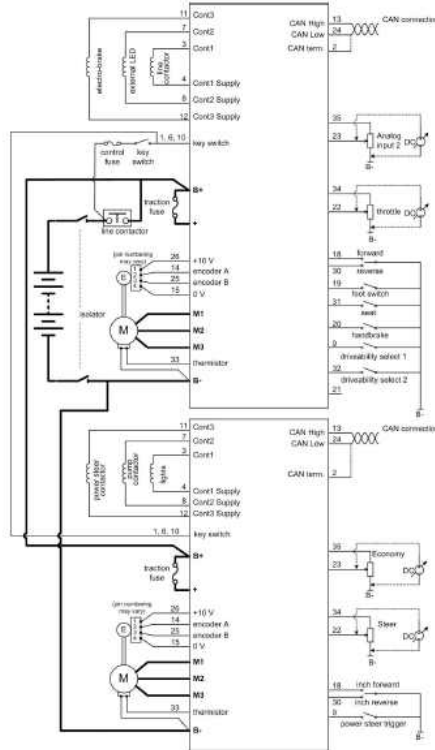


Fig. 5.4.24 인버터 외부 제어 장치 구성도

#### 4. 에너지 절감을 위한 운항제어 시스템

가. 경사가 없는 바다, 마찰을 최적화 되도록 설계된 선박

나. 부가저항이 큰 부유 구조물

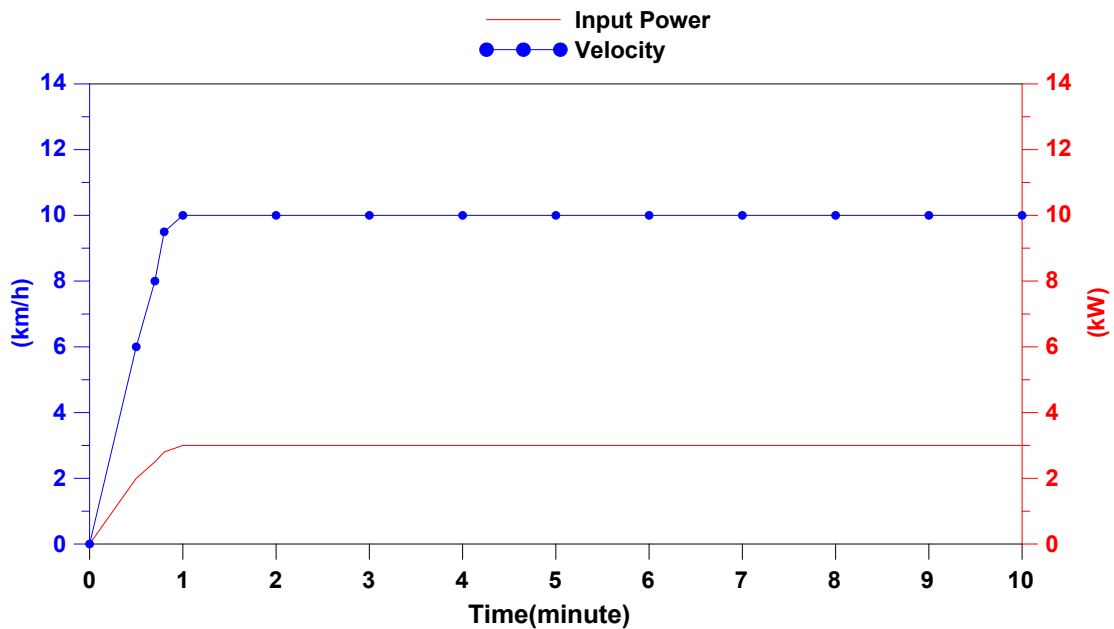
다. 이상의 조건으로부터 탄력조정을 할 경우 전기추진 소형선박의 에너지를 최적화 할 수 있다.

라. 예를 들어 선박을 줄로 당길 경우 순간적인 큰 힘은 에너지 손실이 많으나 지속적인 간격이 있는 작은 힘으로 당길 경우에는 에너지를 최적화 해서 목적을 달성 할 수 있다.

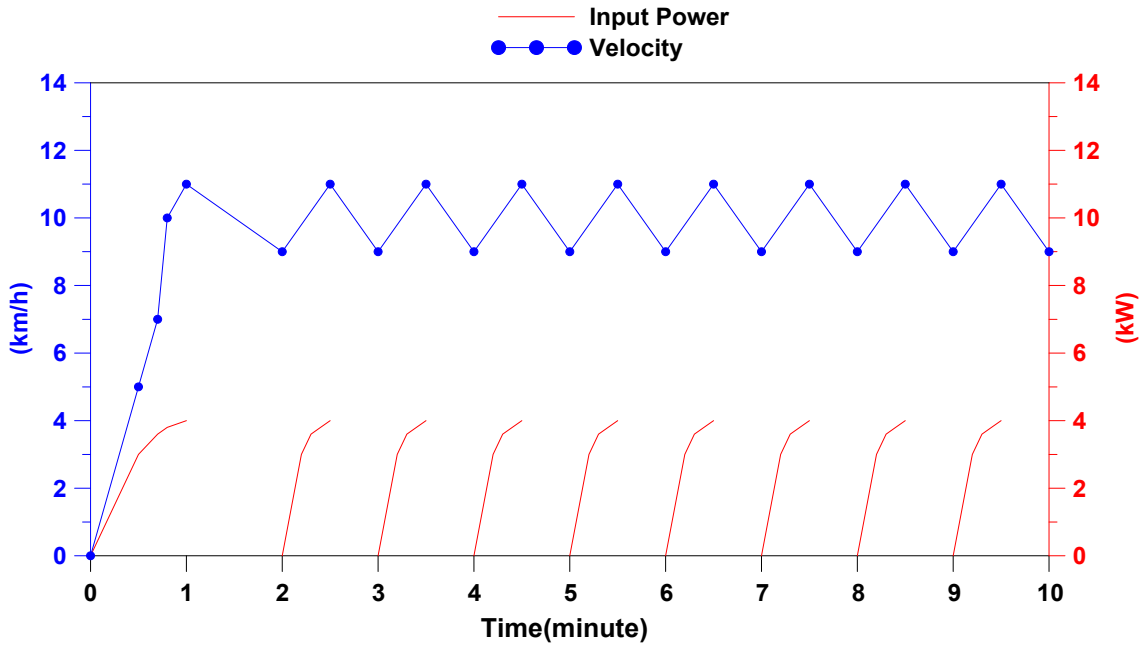
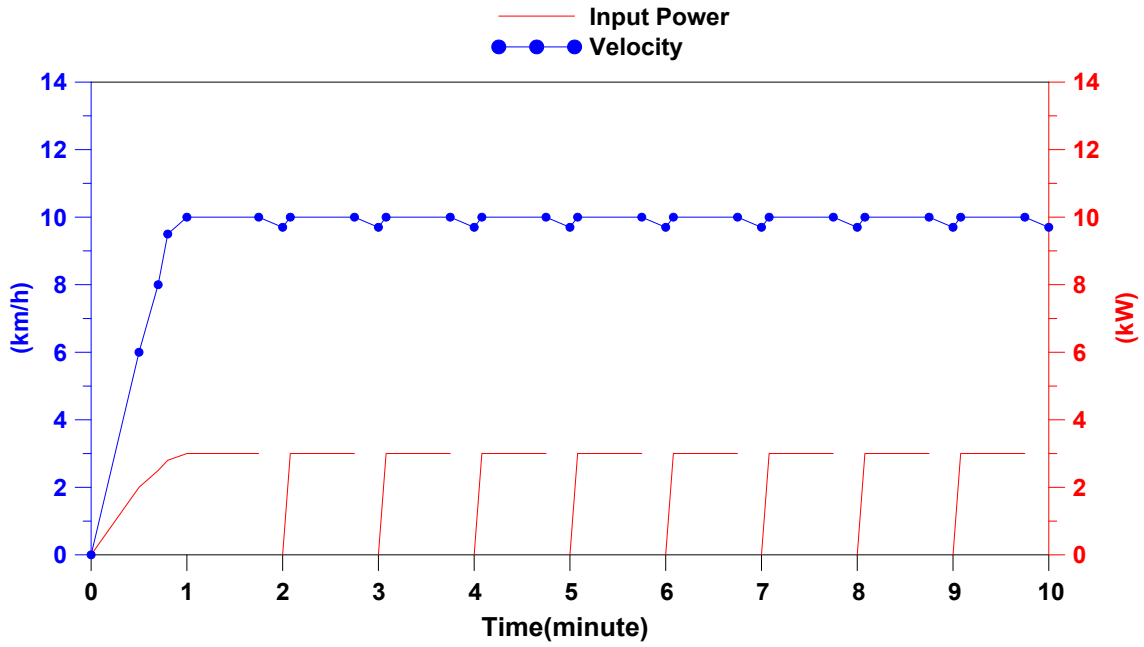
(1) 이에 착안하여 모터에 투입되는 입력에너지를 일정속도와 일정시간, 일정간격에 고정된 후 정속운항 할 수 있도록 하는 프로그램에 의한 에너지 최적화 소형 선박 시스템  
예를 들어 선속 10km/h로 setting하여 운항 할 경우 11km/h까지 가속한 후 전원을 차단하고 9km/h까지 속도가 떨어지면 전원을 투입하되 peak값이 나오지 않도록 제어기 program을 설정한다.

이상을 반복할 경우 선속 10km/h로 계속 가동하는 것보다 30~40%의 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다.

(2) 모터의 특성을 고려하여 초기 peak 전류가 나오지 않도록 제어를 설계하고, 모터 용량과 특성에 따라 일정간격으로 출력을 on-off할 경우 선박의 저항 특성상 에너지 효율을 극대화 할 수 있도록 하는 제어기 설계



10km/h로 계속 가동 시



(1)의 내용과 같이 peak값 제어 시

## 5. 쌍동형 선체의 장점을 이용한 배터리 배치 최적화

가. 통상 선박에서는 중량물을 선저에 거치하여 선박의 안정성을 갖도록 하고 있다.

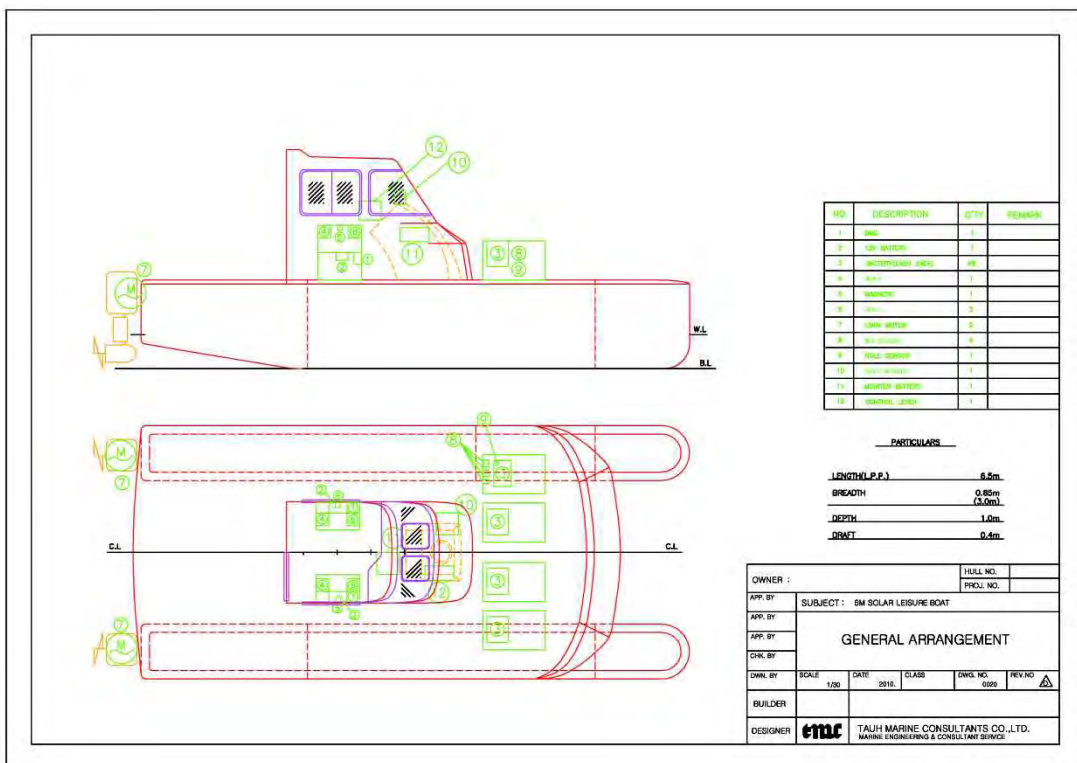
나. 전기소형선박은 전기모터의 단점으로 인하여 쌍동형의 선체가 경제적으로 비교적 대용량의 출력이 가능하고 저속임을 감안할 경우 최적화된 선체라 할 수 있다.

다. 쌍동형의 선체인 경우 횡요의 안정성이 탁월하여 갑판상부에 중량물을 부가하더라도 안정성을 크게 손상하지 않는 계산 및 실험 결과를 얻을 수 있다.

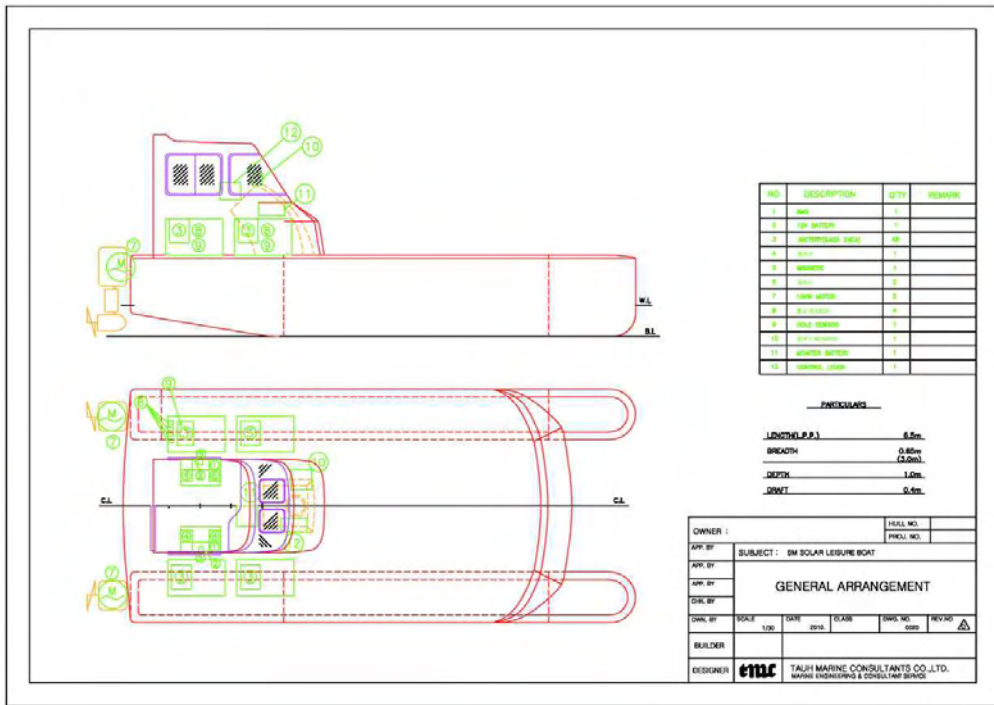
라. 이에 따라 갑판 상부에 탈부착이 용이한 배터리 거치 장치를 고안하였다.

마. 의자 하부 및 선실 뒤쪽 작업이 없는 공간에 거치

이제까지는 갑판위로 배터리를 거치할 수 없다고 생각했지만 쌍동형 선박인 경우에는 갑판위로 거치해도 된다는 것임.



위의 도면과 같이 어선의 갑판 상부의 선수 쪽에 배터리 실을 배치하여 배터리의 탈부착과 관리가 용이 하게끔 하였다. 기존의 BMS장치나 충전기 등도 선저가 아닌 선 실안에 함께 배치하여 보다 편하게 전기어선을 운용할 수 있게끔 하였다.



위의 도면은 선실이 배의 선미 쪽에 위치하고 선미 좌우측면의 갑판 상부에 배터리 실을 배치하였고 위와 마찬가지로 기존에 선저에 있던 배터리는 갑판 상부에서 교체가 용이하게 하고 나머지 장치들은 선 실안으로 옮겨 전기어선을 보다 편하고 쉽게 활용 할 수 있게끔 하였다.

### 제6절 쌍동형 전기어선의 시험운항(완도에서 제주)

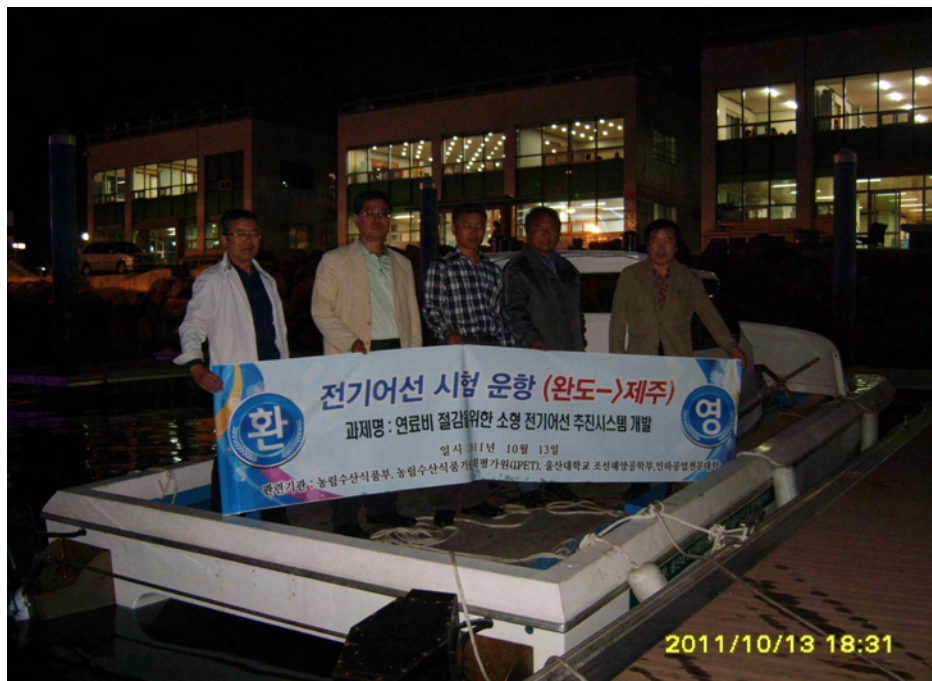


Fig. 5.4.25 완도-제주 전기어선 시험운항



Fig. 5.4.26 전기어선 KBS9뉴스 방송



Fig. 5.4.27 전기어선 KBS9뉴스 방송-2

## 제7절 경제성 평가

### 1. 총톤수 1톤급 어선의 경우

(단위 : 천원)

		엔진추진	전기추진	차액	비고
선체(FRP) 및 의장비		10,000	10,000		30척이상 대량 생산인 경우
추진기	출력	60마력	15kW 1기		대량 생산 시 가격 하락
	가격	6,000	12,000	6,000	
20kW 제어시스템 1조			5,000	5,000	인버터, 컨버터
배터리 제어시스템			2,000	2,000	
5kWh 급 충전기			2,000	2,000	
리튬인산철배터리 (72V 200Ah 1조)			10,000	10,000	가격 하락 중
<b>소 계</b>		<b>16,000</b>	<b>41,000</b>	<b>25,000</b>	
최대속력	최대속도	25km/h	20km/h		기존 선형
	운항거리		20km		
	운항시간		1h		
경제속력	경제속도	15km/h	10km/h		기존 선형
	운항거리		100km		
	운항시간		10h		
운항경비	최대속력	연료: 10L 연료비: 20,000원	전력:15kWh 전기료: 2,000원이하	-28,000원	20km 운항 동일 조건에서 연료비 추정 면세유가 아님
	경제속력	연료: 30L 연료비: 60,000원	전력:20kWh 전기료: 2,000원이하	-98,000원	100km 운항 동일 조건에서 연료비 추정 면세유가 아님
<b>소 계</b>					
연간 수리교체비(추정)		1,000	2,500	-1,5000	어촌계 문의
엔진수리비		1,000	250		추정
배터리 교체비			2,000		연간환산 추정 2,000회 충전
제어시스템 수리비			250		추정

참고 : 1시간 운항 시 마력당 0.2L 평균 소모 됨. 선박에 따라 많은 차이가 있음.

## 2. 총톤수 3톤급 어선의 경우

(단위 : 천원)

		엔진추진	전기추진	차액	비고
선체(FRP) 및 의장비		30,000	25,000	-5,000	
추진기	출력	200마력	15kW 2기		대량 생산 시 가격 하락
	가격	20,000	25,000	5,000	
20kW 제어시스템 2조			10,000	10,000	인버터, 컨버터
배터리 제어시스템			5,000	5,000	3조
5kWh 급 충전기			5,000	5,000	3조
리튬인산철배터리 (72V 200Ah 3조)			30,000	30,000	가격 하락 중
<b>소 계</b>		<b>50,000</b>	<b>100,000</b>	<b>50,000</b>	
최대속력	최대속도	30km/h	20km/h		
	운항거리		80km		
	운항시간		4h		
경제속력	경제속도	20km/h	10km/h		
	운항거리		250km		
	운항시간		25h		
운항경비	최대속력	연료: 40L 연료비: 80,000원	전력:40kWh 전기료: 4,000원 이하	-76,000원	80km 운항 동일 조건에서 연료비 추정 면세유가 아님
	경제속력	연료:100L 연료비: 200,000원	전력:40kWh 전기료: 4,000원 이하	-196,000원	250km 운항 동일 조건에서 연료비 추정 면세유가 아님
<b>소 계</b>					
연간 수리교체비(추정)		2,000	7,000	-5,000	어촌계 문의
엔진수리비		2,000	500		추정
배터리 교체비			6,000		연간환산 추정 2,000회 충전
제어시스템 수리비			500		추정

참고 : 1시간 운항 시 마력당 0.2L 평균 소모 됨. 선박에 따라 많은 차이가 있음.



## 제 6 장 목표달성 및 관련분야에의 기여도

### 1. 목표 달성

구분	연도	세부연구개발 목표	가중치	평가의 착안점 및 기준	달성 내용
1차 년도	2008 - 2009	1ton급 전기추진 어선의 선형	30 %	기존 어선과 비교한 안정성 및 조업 성능 70%	유어선 및 관리어선
		1ton급 어선용 전 기추진장치	30 %	목표 선속 및 항주거리 3~5m/sec, 20~40km	시속 20km 시속 10km에서 50km 이상
		1ton급 전기추진 어선의 경제성	40 %	기존 어선과의 연료비 비교 10%이하	10%미만의 시스템 구축
2차 년도	2009 - 2010	3ton급 전기추진 어선의 선형	30 %	기존 어선과 비교한 안정성 및 조업 성능 70%	유어선과 관리어선
		3ton급 어선용 전 기추진장치	30 %	목표 선속 및 항주거리 3~5m/sec, 20~40km	시속 30km 가능 시속 10km에서 20km 가능
		3ton급 전기추진 어선의 경제성	40 %	기존 어선과의 연료비 비교 10%이하	10%미만의 시스템 구축
3차 년도	2010 - 2011	1ton급 및 3ton급 전기추진어선의 신뢰성	40 %	기존 어선과 내구성, 충전, 비상대처 등에 대한 신뢰성 항목 비교	완도에서 제주까지 시험운 항
		전기추진 시스템 의 경제성	40 %	1ton급 및 3ton급 어선 의 선가와 연료비에 대 한 경제성 평가	경제성 확보했음.
		전기추진어선의 보급 방안	20 %	전기추진 어선의 보급 을 위한 방안 도출	2012년도에 보급 계획 수립
최종 평가		1ton급 전기추진 어선의 신뢰성 및 경제 성	60 %	내구성과 연료비 절감 에 대하여 복합적으로 비교	2012년도 사업화 일정
		3ton급 전기추진 어선의 신뢰성 및 경제 성	40 %	내구성과 연료비 절감 에 대하여 복합적으로 비교	2012년도 사업화 일정
			%		

## 2. 관련분야에 의 기여도

- 3톤급 이하 6만척의 20% 보급할 경우 연간 3,392,291톤 CO2저감
- 어선 연료비 절감 90% 통한 면세유 국가 예산 절감
- 쾌적한 운항 환경과 항만 및 어장 환경 개선 효과
- 2012년도 농림수산식품부 전기추진어선 보급사업 계획
- 2012년도 부산광역시 관공선에 대한 전기추진 시스템 도입 계획
- 2012년도 제주특별자치도 가파도 도항선 전기추진시스템 선박 도입 계획
- KST 검사기준 항목은 아래와 같이 3가지 part로 구분하여 연구할 필요가 있다.
  - ① 추진 모터(추진기, 내부 부품, 수냉식 및 공랭식 모터, 연결 소켓 및 케이블 등)
  - ② 배터리 팩(요소 배터리 용량, 출력량, 충전량, 연결 소켓 및 케이블 등)
  - ③ 제어모니터링(배터리 제어부, 배터리 모니터링, 모터 제어부, 모터 구동부, 모터 모니터링 등)

### 가. 기술적 측면

- 방향타가 필요 없는 시스템으로 완전 360° 회전이 가능하며 조정 성능을 향상
- 엔진에 비해 고장이 적은 모터사용 및 동력전달용 축계 전달부가 간단해져 고장이 최소화
- 기관실이 작아지므로 인하여 어창의 규모 증대
- 배터리 충전으로 인한 문제 외에는 통상적인 선박의 기관 고장으로 인한 해상사고를 미연에 방지
- 추진기 수명이 증가
- 어선의 화재 위험 감소
- 운전의 안전성 향상

### 나. 경제·산업적 측면

- 중대형 어선의 전기추진 장치 개발에 필요한 기술 축적
- 전기추진장치를 고려한 새로운 선형의 선박 출현 예상
- 어선의 출어 증대로 어선관련 어장 사업의 활성화 기대
- 전기 충전 방식으로 청정에너지 활용 극대화
- 고유가 및 국내의 면세유 중단에 따른 어가의 경제적 부담 저감효과

### 다. 사회·문화적 측면( 공공성 포함하여 상세히 기술)

- 소형선박의 진동, 소음, 냄새 등을 근본적으로 해결 가능
- 레저 활동 이용자의 쾌적한 환경 조성
- 해양, 레저 수요의 증가에 기여
- 전기추진방식으로 기존의 디젤기관의 환경오염물질 배출 문제 해결

## 제 7 장 연구결과 활용계획서

### 1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	어업자원기술	
연구과제명	연료비 절감을 위한 소형 전기어선 추진시스템 개발			
주관연구기관	울산대학교		주관연구책임자	박노식
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	800,000천원	266,700천원		1,066,700 천원
연구개발기간	2008. 11. 01 ~ 2011. 10. 31 (3년)			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타( ) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유: )			

### 2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 1ton급 전기추진 어선의 개발	시스템 구축
② 3ton급 전기추진 어선의 개발	시스템 구축
③ 경제성이 있는 전기추진 시스템의 구축	즉시 실현가능한 경제성 구축, 완도에서 제주 까지 시험운항 성공

\* 결과에 대한 의견 첨부 가능

### 3. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	전기추진 선박
②	축전된 전기에너지 효율을 극대화한 쌍동선 구조의 전기추진 선박
③	배터리의 유지보수가 용이한 전기추진 선박

#### 4. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복 제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해 결	정책 자료	기타
①의 기술	✓					✓				
②의 기술	✓					✓				
③의 기술		✓				✓				

#### 5. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	시제품에 적용
②의 기술	시제품에 적용
③의 기술	대량 보급시 활용

#### 6. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명	전기추진 선박		
이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타( )		
이전소요기간	2012년 예상	실용화예상시기	2012년 예상
기술이전시 선행조건			

핵심기술명	축전된 전기에너지 효율을 극대화한 쌍동선 구조의 전기추진 선박		
이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타( )		
이전소요기간	2012년 예상	실용화예상시기	2012년 예상
기술이전시 선행조건			

핵심기술명	밧데리의 유지보수가 용이한 전기추진 선박		
이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타( )		
이전소요기간	2012년 예상	실용화예상시기	2012년 예상
기술이전시 선행조건			

## 제 8 장 참고문헌

- 박노식 (1997). “초대형 부유식 해양구조물에 작용하는 유체력 추정에 관한 근사계산법의 연구”, 한국해양공학회지, 제11권, 제1호, pp 74-83.
- 박노식, 김상동 (2001). “실린더형 스파부이의 안정성에 관한 연구”, 한국해양공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, pp 174-178.
- 박노식, 이옥규, 광석환 (2002). “반잠수식 Rig의 형상 변화에 따른 운동 성능에 관하여”, 한국해양공학회 2002년도 추계학술대회 논문집, pp 198-203.
- 박노식, 이문석, 김성근, 이상무, 안승환, 양영태 (2003). “다목적 TWIN HULL 소파제의 유체력 계산”, 한국해양공학회 2003년도 추계학술대회 논문집, pp 220-225.
- 선박검사기술협회 (2006). “소형 어선 및 화물선의 복원성 기준 연구(배의길이 12미터이상 24미터미만)”, 해양수산부 최종보고서
- 정우철, 박재웅, 정석호 (2004). “연안용 소형 고속 레저선 선형개발”, 한국해양공학회 제18권 제1호, pp 80-84.
- 정우철, 박찬원, 김도정, 김영준, S.Matsui (2002). “소형 연안어선의 저항성능에 관한 실험적 연구”, 한국해양공학회 2002년도 추계학술대회 논문집, pp 251-256.

- ① 박노식 (1997). “초대형 부유식 해양구조물에 작용하는 유체력 추정에 관한 근사계산법의 연구”, 한국 해양공학회지, 제11권, 제1호, pp 74-83
- ② 박노식, 김성근, 김종현 (1988). “손상 상태에서의 반잠수식 해양구조물의 운동 응답 및 표류력에 관한 연구”, 한국해양 공학회, 제2권, 제2호, pp 227\_236
- ③ 박노식, 김상동 (2001). “실린더형 스파부이의 안정성에 관한 연구”, 한국해양공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, pp 174-178
- ④ 박노식, 이옥규, 광석환 (2002). “반잠수식 Rig의 형상 변화에 따른 운동 성능에 관하여”, 한국해양공학회 2002년도 추계학술대회 논문집, pp 198-203
- ⑤ 박노식, 김성근, 오상진 (2010). “손상 시 소형어선의 형상 변화에 따른 운동응답 특성에 관한 연구” 울산대학교, 학위논문
- ⑥ “해양사고 통계”, 해양안전심판원(2010).

1. <http://www.transatlantic21.org/>
2. <http://www.planetsolar.org/index.en.php>
3. Nagasaki Newspaper, 2008
4. 김현수, 정우철, “쌍동형 레저보트의 두 선체 사이 유동특성에 관한 연구”, 한국기계기술학회지 12(1), 2010.
5. J.E. Rovera, “Catamaran Resistance from test on a single Demihull”, Fast. '97 Papers, 1997
6. 박찬원, 정우철, “쌍동선의 두 선체 간격이 저항 성능에 미치는 영향에 관한 연구”, 한국기계기술학회지 3(1), 2001

7. 김호은, 이영길, “황해형 고속 여객선의 선형 설계에 관한 연구”, 대한조선학회 논문집, 39권, 제4호, 2002

# 부록1. 논문발표자료 7건 발췌

한국해양공학회지 제00권 제0호, pp 0-0, 0000년 0월 (ISSN 1225-0767)

## 전기 추진 어선 개발 (I) - 전기추진 시스템 -

김성근<sup>\*</sup> · 박노식<sup>\*\*</sup> · 김상욱<sup>\*\*\*</sup> · 김현훈<sup>\*\*\*\*</sup>  
<sup>\*</sup>제주대학, <sup>\*\*</sup>울산대학교, <sup>\*\*\*</sup>인하공업전문대학, <sup>\*\*\*\*</sup>(주)태우해양기술

## Development of an Electric Propulsion Fishing Boat - Electric Propulsion System -

SEOUNG-GUN KIM<sup>\*</sup>, RO-SIK PARK<sup>\*\*</sup>, SANG-UK KIM<sup>\*\*\*</sup>, HYUN-HUN KIM<sup>\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Cheju National University, <sup>\*\*</sup>University of Ulsan, <sup>\*\*\*</sup>Inha Technical College, <sup>\*\*\*\*</sup>Co. TMC

KEY WORDS: Fishing Boat 어선, Electric Propulsion 전기추진, BLDC 브러쉬 없는 직류, Controller 제어기, Efficiency 효율

ABSTRACT :

We treated about system configuration for electric propulsion for a fishing boat at this paper, mentioned about the explanation regarding a characteristic of BLDC motor and the results of a real sea test. And We treated configuration course of the optimum system for electric propulsion of a fishing boat. A speed and the distance that a shipowner requires of as fitted to use of a fishing boat are decided. According to this, we were able to get the plan that can decide on spec of a propulsion motor and capacity of a battery.

### 1. 서 언

우리나라의 소형 어선의 60%는 3톤 미만의 선박이며 이들 중 대부분은 그 지역의 연안에서 조업하는 경우가 많다. 한편으로 1톤급 어선인 경우에는 많은 동력을 사용하지 않고 조업을 하고 있으며 전국에 약 2만 척이 운항되고 있다. 본 논문에서는 1톤급 어선의 전기추진 시스템 구축에 대하여 논하고, 구축된 시스템의 실해역 실험 결과를 보여 주고 있다.

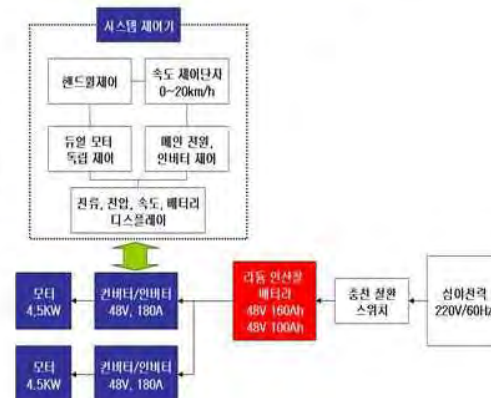
본 논문에서는 BLDC 모터의 특성, 이에 알맞은 Inverter, Converter 그리고 시스템 제어기의 구축을 소개한다. 한편으로 2개의 추진 모터로 구축된 1톤급 전기추진 어선에 대한 실해역 실험을 수행한 결과와 분석 결과를 보여주고 있다.

2축으로 구성된 전기추진 시스템 향후 물수체 형태를 구축할 계획이며, 구축될 경우 선의 환경이 최적화될 것으로 예상하고 있다. 또한, 실해역 실험의 결과를 토대로 전기추진 모터의 특성을 고려하여 선주가 요구하는 성능(속도와 운항거리)에 최적으로 접근할 수 있는 프로그램을 개발할 수 있는 방안을 도출할 수 있었다.

일반적인 Plug-in 방식으로 안전성과 신뢰성이 확인된 리튬인산철 배터리를 채택하고 있으며, 4.5kW BLDC 모터로 구성되어 있다. 시스템의 제어는 전류, 전압, 속도, 배터리 상태 등에 대한 모니터링을 통하여 시스템의 상태에 대한 정보를 바탕으로 메인 전원과 인버터 및 컨버터를 제어하고 2축 모터의 독립적인 제어가 가능하도록 구축되어 있다. 특히 속도는 현재 시속 10km/h를 기준으로 하고 있고, 향후 물수체 형태의 추진 모터를 위하여 모터의 방향에 대한 제어가 가능하도록 구축되어 있다.

### 2. 2축 전기추진 시스템

#### 2.1 전기추진 시스템 Diagram





### 3. 실험역 실험

Table 3에 1톤급 전기어선의 사양을 나타내었고, Photo. 1은 개발과정 및 실험역 실험의 전경이다.

Table 3 1톤급 전기어선의 사양

항목	구성	성능
어선 치수	7.2m x 1.828 x 0.8m	낙지잡이 어선
추진장치	BLDC 모터	4.5kW 2대
배터리	리튬인산철 2조	48V 160Ah, 10Ah
최대 속도	16km/h	1시간 운항
항속거리	40km	10km/h



Photo. 1 연구개발 과정 및 실험역 실험 전경

실험역에서 속도에 따른 배터리의 성능 실험결과 Table 4와 Fig. 4-1 그리고 Fig. 4-2에 나타내었고 이는 납축전지에 대한 실험 결과이다.

Table 4 배터리 출력에 따른 속도와 운항 거리

배터리 성능	출력 (kW)	속도 (km/h)	운항시간 (h)	운항거리 (km)
1/3 출력				
배터리 1조	2.7	9.81	1.78	17.46
배터리 2조	2.7	9.81	2.57	25.21

Fig. 4-1에서 보면 2.7kW 출력으로 105분이 경과하면 갑자기 출력이 떨어지는 것을 볼 수 있으며 이 때 배터리의 출력을 멈추고 회항을 위하여 Fig.4-2에서와 같이 배터리 2조의 출력으로 운항을 계획하도록 설정하였다. 배터리 2조는 155분 근방에서 출력이 떨어짐을 볼 수 있다.

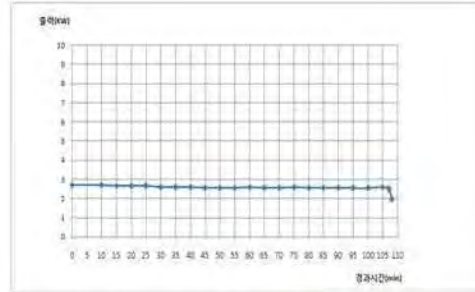


Fig. 4-1 2.7kW 출력 시 운항 가능 시간 (배터리1조 150A, 48V)

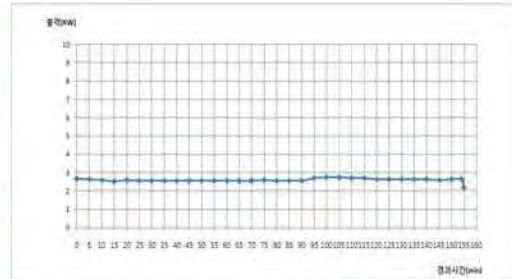


Fig. 4-2 2.7kW 출력 시 운항 가능 시간 (배터리2조 200A, 48V)

### 후기

본 논문은 농림수산식품부 농림수산식품기술기획평가원의 기획연구과제로 수행된 연구결과이다.

### 4. 결론

- 이상의 실험역 실험의 연구결과로부터 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.
- 같은 용량의 배터리로 보다 원거리를 항해할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.
  - 소형 어선의 조업에 필요한 연료비 절감의 가능성을 확인할 수 있었다.
  - WTO에서 주창하는 면세유 중단에 기술적으로 대처할 수 있는 기술적인 성과를 얻을 수 있었다.
  - 어선에서 배출하는 CO2 대폭적인 감축 방안을 제시할 수 있었다.
  - 유류 오염은 물론 진동과 소음의 극소화로 쾌적한 환경의 어선을 개발할 수 있었다.

## 어선용 전기추진 시스템 구축 (I)

김성근\* · 박노식\*\* · 김상욱\*\*\*  
 \*이어도텍, \*\*울산대학교, \*\*\*인하공업전문대학

### Construction of an Electric Propulsion System for a Fishing Boat

SEOUNG-GUN KIM\*, RO-SIK PARK\*\*, SANG-UK KIM\*\*\*

\*Eeodo-Tech, \*\*University of Ulsan, \*\*\*Inha Technical College

KEY WORDS: Fishing Boat 어선, Electric Propulsion 전기추진, BLDC 브러쉬 없는 직류, Controller 제어기, Efficiency 효율

ABSTRACT : We treated about system configuration for electric propulsion for a fishing boat at this paper, mentioned about the explanation regarding a characteristic of BLDC motor and the results of a real sea test. And We treated configuration course of the optimum system for electric propulsion of a fishing boat. A speed and the distance that a shipowner requires of as fitted to use of a fishing boat are decided. According to this, we were able to get the plan that can decide on spec of a propulsion motor and capacity of a battery.

#### 1. 서 언

우리나라의 소형 어선의 60%는 3톤 미만의 선박이며 이들 중 대부분은 그 지역의 연안에서 조업하는 경우가 많다. 한편으로 1톤급 어선인 경우에는 많은 동력을 사용하지 않고 조업을 하고 있으며 전국에 약 2만 척이 운항되고 있다. 본 논문에서는 1톤급 어선의 전기추진 시스템 구축에 대하여 논하고, 구축된 시스템의 실험적 실험 결과를 보여 주고 있다.

본 논문에서는 BLDC 모터의 특성, 이에 알맞은 Inverter, Converter 그리고 시스템 제어기의 구축을 소개한다. 한편으로 2개의 추진 모터로 구축된 1톤급 전기추진 어선에 대한 실험적 실험을 수행한 결과와 분석 결과를 보여주고 있다.

2축으로 구성된 전기추진 시스템 향후 물수체 형태로 구축할 계획이며, 구축될 경우 선의 환경이 최적화될 것으로 예상하고 있다. 또한, 실험적 실험의 결과를 토대로 전기추진 모터의 특성을 고려하여 선주가 요구하는 성능(속도와 운항거리)에 최적으로 접근할 수 있는 프로그램을 개발할 수 있는 방안을 도출할 수 있었다.

대한 정보를 바탕으로 메인 전원과 인버터 및 컨버터를 제어하고 2축 모터의 독립적인 제어가 가능하도록 구축되어 있다. 특히 속도는 현재 시속 10km/h를 기준으로 하고 있고, 향후 물수체 형태의 추진 모터를 위하여 모터의 방향에 대한 제어가 가능하도록 구축되어 있다.

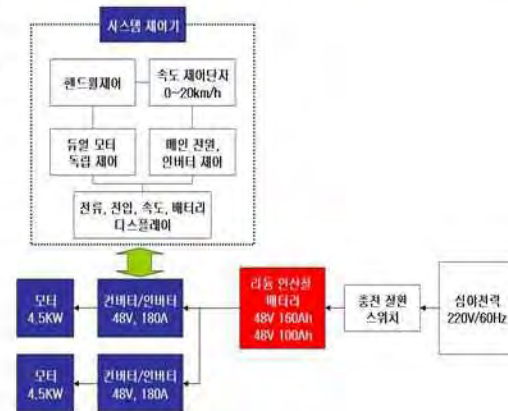


Fig. 1 1톤급 어선용 전기추진 시스템 Diagram

#### 2. 2축 전기추진 시스템

##### 2.1 전기추진 시스템 Diagram

일반적인 Plug-in 방식으로 안전성과 신뢰성이 확인된 리튬이온전 배터리를 채택하고 있으며, 4.5kW BLDC 모터로 구성되어 있다. 시스템의 제어는 전류, 전압, 속도, 배터리 상태 등에 대한 모니터링을 통하여 시스템의 상태에

##### 2.2 4.5kW BLDC 모터의 특성

전기추진 시스템 구동용 모터는 두개의 5KW BLDC 모터로 구성되었다. BLDC 모터는 최근에 배터리를 에너지원으로 사용되는 구동체에 주로 사용되고 있으며, 효율이 높고, 소음 및 진동이 적으며, 구조적 안정성 등 여러 장점으로 많이 사용되고 있다.



Photo. 1 연구개발 과정 및실해역 실험 전경

실해역에서 속도에 따른 배터리의 성능 실험결과 Table 4와 Fig. 4-1 그리고 Fig 4-2에 나타내었고 이는 납축전지에 대한 실험 결과이다.

Table 4 배터리 출력에 따른 속도와 운항 거리

배터리 성능	출력 (kW)	속도 (km/h)	운항시간 (h)	운항거리 (km)
배터리 1조	2.7	9.81	1.78	17.46
배터리 2조	2.7	9.81	2.57	25.21

Fig. 4-1에서 보면 2.7kW 출력으로 105분이 경과하면 갑자기 출력이 떨어지는 것을 볼 수 있으며 이 때 배터리의 출력을 멈추고 회항을 위하여 Fig.4-2에서와 같이 배터리 2조의 출력으로 운항을 계획하도록 설정하였다. 배터리 2조는 155분 근방에서 출력이 떨어짐을 볼 수 있다.

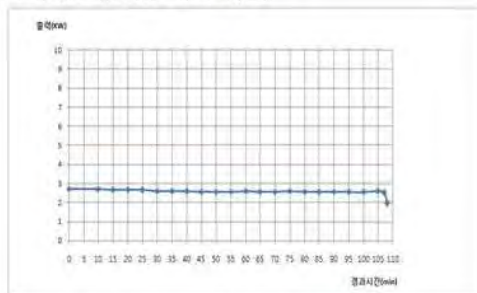


Fig. 4-1 2.7kW 출력 시 운항 가능 시간 (배터리1조 150A, 48V)

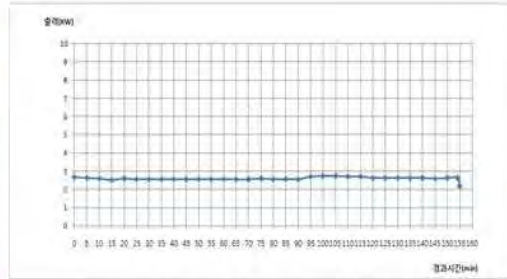


Fig. 4-2 2.7kW 출력 시 운항 가능 시간 (배터리2조 200A, 48V)

#### 후기

본 논문은 농림수산식품부 농림수산식품기술기획평가원의 기획연구과제로 수행된 연구결과이다.

#### 4. 결론

- 이상의 실해역 실험의 연구결과로부터 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.
- 같은 용량의 배터리로 보다 원거리를 항해할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.
  - 소형 어선의 조업에 필요한 연료비 절감의 가능성을 확인할 수 있었다.
  - WTO에서 주창하는 면세유 중단에 기술적으로 대처할 수 있는 기술적인 성과를 얻을 수 있었다.
  - 어선에서 배출하는 CO2 대폭적인 감축 방안을 제시할 수 있었다.
  - 유류 오염은 물론 진동과 소음의 극소화로 쾌적한 환경의 어선을 개발할 수 있었다.

현재의 연구 결과로부터 향후의 계획은 아래와 같다.

- 다양한 조업 현장에 알맞은 전기추진 시스템 개발
- 현장에 최적으로 운항할 수 있는 신뢰성 확보
- 포구에서의 최적 충전 방안 도출

## 소형어선의 형상변화에 따른 운동응답 특성에 관한 연구

박노식\* · 김성근\*\* · 오상진\*

\*울산대학교 조선해양공학부

\*\*제주대학교 기계에너지시스템공학부

### A Study on the Motion Response Characteristics for Shape Variety of a Small Fishing Vessel

Ro-Sik Park\* Seong-Gun Kim\*\*, Sang-Jin Oh\*

\*School of Naval Architecture & Ocean Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea

\*\*Department of Nuclear and energy Engineering, University of Jeju, Jeju, Korea

**KEY WORDS:** Eco-Small fishing vessel 친환경 소형어선, Three-dimensional source distribution method 3차원 특이점 분포법, Response characteristic 응답특성, Kruckle & Round Type

**ABSTRACT :** The number of domestic small fishing vessel(under about 3 tons) is about 65,000 so, it is important to study of the Motion Response Characteristics about Shape Variety of a Small Fishing Vessel. However, it is very poor situation because of insufficiency of effort local government. The development of a small fishing vessel which is related with characteristic of region and inadequate on complex coastline is difficult. In this paper, the development of 1 ton electric propulsion fishing vessel is eco-friendly fishing vessel which is suited to the south and west coast is described and hydrodynamic force and oscillation response to wave is obtained. In addition to changed hull form and original fishing vessel that evaluate stability according to characteristic of change hull form.

#### 1. 서 론

최근 우리나라 수산업은 연안 항·포구의 오염, 국제무역기구(WTO)체제 출범에 따른 수산물 시장 전면개방 등의 환경적·사회적 여건들의 변화에 따라 많은 어려움에 있으며, 면세유의 지급 중단과 고유가 시대로 인하여 어민들의 출어 포기 이어져 경제적인 어려움이 현실이다. 또한 국제적으로는 연근해 어자원의 고갈, UN 해양법 협약 발효에 따른 배타적 경제수역(EEZ) 선포 등으로 연안 조업의 경쟁이 더욱 치열해 지고 있으며 온실가스감축협약(교토의정서)가입에 따른 국가 차원의 CO<sub>2</sub> 저감 대책 마련을 고려한 어선의 개발 필요성이 크게 부각되고 있다. 그러나 대부분의 우리나라 어선들은 아직도 낙후와 영세성을 면치 못하고 있다. 그러므로 이들 어선들의 조업환경을 개선하여 친환경적이고 수익성이 높은 시스템 어업을 개발하는 것은 매우 중요한 과제이다.

또한, 소형어선의 출어 포기는 늘었지만 최근 5년간의 해양안전실관원에서 조사한 해양사고의 원인과 용도별 발생현황을 살펴보면 전복이나 좌초에 의한 사고의 비중이 약 3%로 감소한 반면에 용도별 발생현황은 어선이 71%를 넘는 비중을 차지하고 있고, 그중 5톤 미만의 어선이 16.8%로 전체 선박등록

비율을 생각하면 결코 낮은 사고 발생률이 아님을 알 수 있어 소형어선의 안정성의 중요성이 강조되고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 친환경적이고 조업여건이 좋으며 연료비 절감을 목표로 개발하고 있는 1톤급 소형전기추진선 2척을 공시도형으로 파악 중에 있어서의 동요진폭에 대하여 검토하였다.

계산은 공시 선형에 대해 손상 상태를 가정하여 Evenkeel, 1.5도, 3.0도 및 4.5도 횡경사 된 상태에 대하여 계산 하였다.

#### 2. 기초 이론

본 연구의 계산은 3차원 특이점 분포법(Three-dimensional source distribution method)을 이용하였으며, 간단히 정리하면 다음과 같다.

##### 2.1 유체력

x축의 정방향으로부터 입사하는 파에 의하여 어선이 동요 원진동수  $\omega$ 로 조화운동을 한다고 고려하면, 이때의 어선 주위의 유동장은 속도 Potential로 나타낼 수 있다.

$$\phi(x, y, z; t) = \text{Re}[\phi(x, y, z)e^{i\omega t}] \quad (1)$$

속도 Potential  $\phi$ 는 Laplace equation을 만족하며, Free surface, Bottom, Radiation 및 Boundary condition을 만족하고 있다.

오상진 : 울산광역시 남구 무거동 울산대학교 조선해양공학과

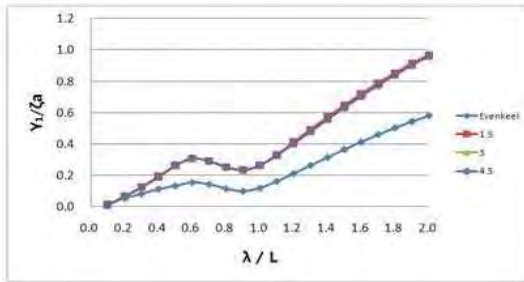
052-259-1384 crys019@nate.com

한 형상으로 생각된다. Fig. 4는 Pitch의 결과, Fig. 8은 Roll에 대한 계산 결과 그래프를 나타낸 것이다.

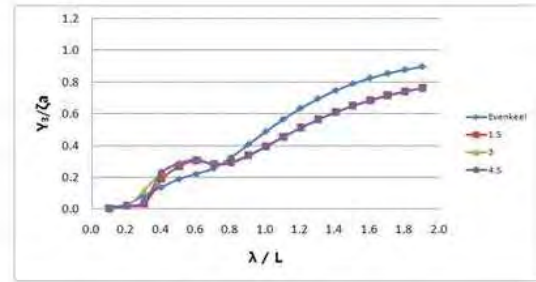
본 계산 결과는 비손상시의 결과와 크게 차이가 있으나 계산 시 선체 중심을 원점으로 계산하여 실질적인 비교 검토는 적합하지 못한 것으로 생각하며, 현재 울산대학교 해양공학수

조에서 동요시험을 진행 중에 있어 실험이 계획대로 마치면 좋은 결과를 얻을 것으로 생각된다.

이상의 결과 본 공시선형은 본 계산 범위에서는 손상시 안정성에 큰 영향을 받지 않을 것으로 판단된다.

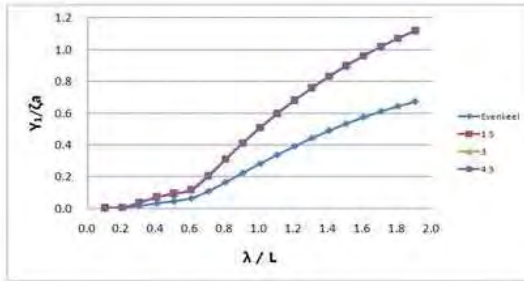


(a) Kruckle bottom



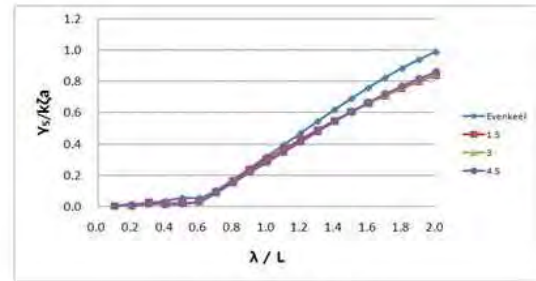
(b) Round bottom

Fig. 3 Comparison of heave motion amplitude in head sea

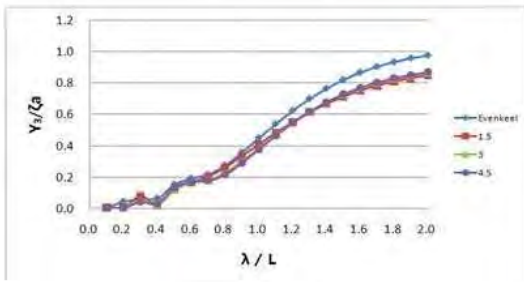


(b) Round bottom

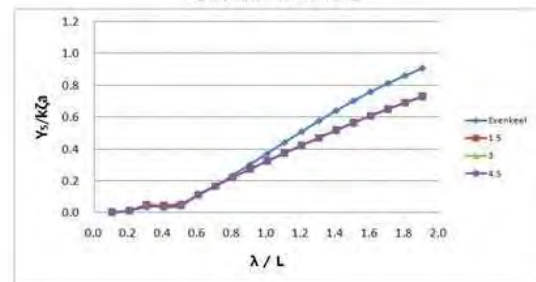
Fig. 2 Comparison of surge motion amplitude in head sea



(a) Kruckle bottom



(a) Kruckle bottom



(b) Round bottom

Fig. 4 Comparison of pitch motion amplitude in head sea

## 손상 시 소형어선의 유체력 및 동요특성에 관한 기초 연구

박노식\* · 김성근\*\* · 오상진\*

\*울산대학교 조선해양공학과

\*\*제주대학교 기계에너지시스템공학과

### A Basic Study on Hydrodynamic Forces and Oscillation Characteristics of Damaged Small Fishing Vessel

Ro-Sik Park\* Seong-Gun Kim\*\*, Sang-Jin Oh\*

\*School of Naval Architecture & Ocean Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea

\*\*Department of Nuclear and energy Engineering, University of Jeju, Jeju-do, Korea

**KEY WORDS** : Three-dimensional Source Distribution Method 3차원 특이점 분포법, Small fishing vessel 소형어선, Added mass 부가질량, Damping coefficient 감쇠계수, Wave exciting force 파장제력, Motion amplitude 운동진폭

**ABSTRACT** : 국소형어선의 친환경 전기추진시스템의 개발에 일환으로 1톤급 미만 낙지잡이 어선을 동시모형으로 손상시 동요응답을 추정하였다. 그 결과 소형어선에 작용하는 유체력 및 규칙파 중에서의 동요특성을 계산하였다.

#### 1. 서 론

최근 우리나라의 어업은 연안 항·포구의 오염, 극제무역기구(WTO)체제 출범에 따른 수산물 시장 전면개방 등의 환경적·사회적 여건들의 변화에 따라 많은 어려움과 면세유 지급 중단과 초 고유가 시대로 인하여 어민들의 출어 포기로 인한 어민들의 경제난 해결 강구, 누적된 어획 과잉으로 인한 연근해 어자원의 고갈, UN 해양법 협약 발효에 따른 배타적 경제수역(BEZ) 선포 등으로 연안 조업의 경쟁이 더욱 치열해 지고 있으며 온실가스감축협약(교토의정서)가입에 따른 국가 차원의 CO<sub>2</sub> 저감 대책 마련을 고려한 어선의 개발 필요성이 크게 부각되고 있다. 그러나 대부분의 우리나라 어선들은 아직도 낙후와 영세성을 면치 못하고 있다. 따라서 이들 어선의 안정성 확보와 경제성이 좋고, 친환경적인면의 신뢰성과 기술개발을 확보하여 수익성이 높은 시스템 어업을 개발하는 것은 매우 중요한 과제이다.

본 연구에서는 안정성이 뛰어나고, 연료비 절감을 위한 소형 전기추진선의 개발을 목표로 기존 1톤급 낙지잡이 어선을 동시모형으로 선택하고, 손상 시 상태로 가정하여 evenkeel상태, 2.5°, 5.0°, 7.5° 횡경사 시의 규칙파 중에서의 유체력 및 동요 응답 특성을 검토하였다.

#### 2. 기초 이론

좌표계는 x-y평면을 정지 수면으로 하고 연직 장방을 z축의 정방향으로 하는 직교좌표계를 사용하였다. 또한, Wave는 원주 기운동을 하며 x축에 대하여 α의 각도로 입사되고 있다고 생각한다.

수치계산은 3차원 특이점 분포법(Three-dimensional Source Distribution Method)을 이용하였으며, 간단히 정리하면 다음과 같다.

##### 2.1 유체력

x축의 정방향으로부터 입사하는 파에 의하여 어선이 동요 원진동수 ω로 조화운동을 한다고 고려하면, 이때의 어선 주위의 유동장은 속도 Potential로 나타낼 수 있다.

$$\Phi(x, y, z; t) = Re[\phi(x, y, z)e^{i\omega t}] \quad (1)$$

속도 Potential ϕ는 Laplace equation을 만족하며, Free surface, Bottom, Radiation 및 Boundary condition을 만족하고 있다.

이때의 속도 Potential을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = \phi_0 + \phi_1 + i\omega \sum_{j=1}^6 \xi_j \psi_j \quad (2)$$

교신저자 오상진 : 울산광역시 남구 무거동 산29 울산대학교 조선해양공학과

052-259-1384 crys019@nate.com 여기서,

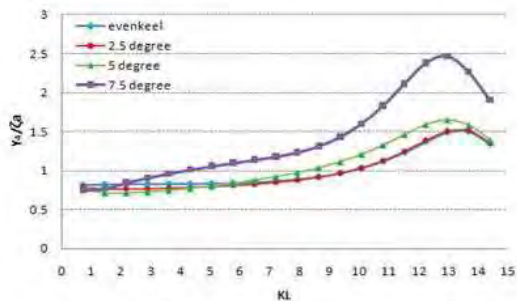


Fig. 13 Comparison of roll motion amplitude by frequency  
5. 결 론

손상 시 소형어선에 관한 유체력과 동요 특성을 연구, 다음과 같은 결론을 얻었다.

공시 모형의 경우, 경사각에 대한 동요응답 영향은 크게 차이가 없어, 선형에 따른 동요특성에 미치는 영향보다는 저항특성을 중점적으로 설계한 선형으로 예측되었다.

다양한 소형어선의 설계에 있어서는 지역 연안의 특성과 파악, 지역특성에 적합하고, 경제적이고, 친환경적인 어선의 개발은 무엇보다도 중요함을 알 수 있었다.

그 결과 소형어선의 경제적이고 친환경적인 추진선형 개발에 있어서는 성능학적 측면에서 저항성능이 우수하고, 안정성을 확보하는 시스템 개발의 필요성이 강조되고 있음을 알 수 있었다.

차후 본 연구에서는 해양공학수조에서 소형어선 모델을 파랑 중 자유 항주 시험을 통하여 유체역학적 변화를 비교 분석할 예정이다. 소형어선의 최적의 선형을 연구하고, 소형어선 선형에 대한 안정성을 도출하는 것이 최종적인 목표이다.

후 기

본 연구는 농림수산부의 농림수산식품연구개발 연구 사업으로 수행 중인 "연료비 절감을 위한 소형 전기어선 추진시스템 개발" 연구결과 중 일부이다.

참 고 문 헌

박노식 (1997). "초대형 부유식 해양구조물에 작용하는 유체력 추정에 관한 근사계산법의 연구", 한국해양공학회지, 제11권, 제1호, pp 74-83.  
 박노식, 김상동 (2001). "실린더형 스피어부의 안정성에 관한 연구", 한국해양공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, pp 174-178.  
 박노식, 이육규, 곽석환 (2002). "반잠수식 Rig의 형상 변화에 따른 운동 성능에 관하여", 한국해양공학회 2002년도 춘계 학술대회 논문집, pp 198-203.  
 박노식, 이문석, 김성근, 이상무, 안승환, 양영태 (2003). "다목

적 TWIN HULL 스피어체의 유체력 계산", 한국해양공학회 2003년도 추계학술대회 논문집, pp 220-225.  
 선박점사기술협회 (2006). "소형 어선 및 화물선의 복원성 기준 연구(배의길이 12미터이상 24미터미만)", 해양수산부 최종 보고서  
 정우철, 박제용, 정석호 (2004). "연안용 소형 고속 레저선 선형 개발", 한국해양공학회 제18권 제1호, pp 80-84.  
 정우철, 박찬원, 김도경, 김영준, S.Matsui (2002). "소형 연안어선의 저항성능에 관한 실험적 연구", 한국해양공학회 2002년도 춘계학술대회 논문집, pp 251-256.

## 횡파 중 대경사에 따른 소형어선의 동요응답 특성에 관한 연구

박노식\* · 김성근\*\* · 이진복\*

\*울산대학교 조선해양공학부

\*\*제주대학교 기계에너지시스템공학부

### A study on the motion response characteristics for large inclined state of small fishing vessel in beam sea condition

Ro-Sik Park\*, Seong-Gun Kim\*\*, Jin-Bok Lee\*

\*School of Naval Architecture & Ocean Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea

\*\*Department of Nuclear and energy Engineering, University of Jeju, Jeju-do, Korea

**KEY WORDS :** Hydrodynamic forces 유체력, Three-dimensional Source Distribution Method 3차원 특이점 분포법, Beam sea 횡파, Damping coefficient 감쇠계수, Motion of response 동요응답

**ABSTRACT :** In this paper, widely used in domestic gross tonnage of 1 ton and 3 ton based on the linear fluctuations of small fishing vessels to development of new type for motion of response and stability. It used to Three-dimensional source distribution method find out hydrodynamic force and motion of response for even keel and heeling state. we had three damaged condition experiments of two models. As a result, the numerical results and experimental results can be shown that a relatively consistent.

#### 1. 서 론

지난 5년간(2006~2010) 국내의 해양사고사례를 보면, 20톤 미만의 소형선박의 사고 발생률이 33.2%를 차지하고, 그중에서도 5톤 미만의 소형어선의 사고 발생률은 14.3%를 차지한다.

어선의 사고를 종류별로 살펴보면 기관손상(40.3%), 충돌(17.7%), 좌초(5.8%), 침몰(2.7%)등의 순서로 발생하였다. 그중에서도 복원성능과 관련된 전복, 침몰은 사고유형에서 54%로 낮은 편이지만 인명피해에 부분에서는 27%로 사고발생 빈도에 비해 높은 편이다.

현재 소형어선은 주로 경험에 의한 설계가 이루어지고 있어 인명사고와 연관된 안정성에 관한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 친환경적이고 조업능률이 좋은 1톤급 및 3톤급 소형전기추진어선 2척을 개발하여, 대경사시 선형에 따른 동요성능 및 안정성을 검토하였다. 또한 횡파중 경사시의 동요 진폭을 실험을 하여 본 수치계산 결과의 신뢰성 및 선형변화에 대한 안정성을 검토하였다.

#### 2. 기초 이론

본 연구에서 수치계산은 3차원 특이점 분포법(Three-dimensional source distribution method)을 이용하였으며, 이를 기초이론

이진복 : 울산광역시 남구 무거동 울산대학교 조선해양공학부

052-259-1384 jinbok2ya@naver.com

을 정리하면 다음과 같다.

#### 2.1 유체력

x축의 경 방향으로부터 입사하는 파에 의하여 어선이 동요 원진동수  $\omega$ 로 조화운동을 한다고 고려하면, 이때의 어선 주위의 유동장은 속도 Potential로 나타낼 수 있다.

$$\phi(x, y, z; t) = \text{Re}[\phi(x, y, z)e^{i\omega t}] \quad (1)$$

속도 Potential  $\phi$ 는 Laplace equation을 만족하며, Free surface, Bottom, Radiation 및 Boundary condition을 만족하고 있다.

이때의 속도 Potential을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = \phi_0 + \phi_f + i\omega \sum_{j=1}^6 \xi_j \psi_j \quad (2)$$

$$\phi = \frac{\rho \zeta_0}{\omega} e^{K_0 + i(Kx \cos \alpha + y \sin \alpha)} \quad (3)$$

$\zeta_0$  : 파의 진폭

$K$  : Wave number

$\xi_j$  : 운동진폭 ( $j=1, 2, \dots, 6$ )

$\phi_0$  : 입사파 속도 Potential

$\phi_f$  : Diffraction 속도 Potential

$\psi_j$  : j방향의 단위 진폭운동에 의한

radiation potential ( $j=1, 2, \dots, 6$ )

또한 각 경계조건을 만족하는 속도 Potential  $\phi(p)$ 는 Laplace equation의 해를 Green function  $G(x, y, z; x', y', z')$ 라



그림에서 알 수 있듯이 Roll Motion은 1ton의 경우 주파수 전역에서 실험값과 수치계산 결과는 잘 일치하고 있으나 3톤급의 경우에는 even keel 상태에서 파장이 커 질수록 동요 진폭이 커지며 경사시에 따라 동조주기가 짧아지고 있음을 알 수 있다. 이는 bottom 형상에 따라 유체력의 영향 일 것으로 생각 된다.

또한 bottom 및 현측에 큰 Knuckle line을 가진 선형에서는 단면형상의 변화뿐만 아니라 Knuckle line 설정도 고려하여야 할 것으로 생각한다.

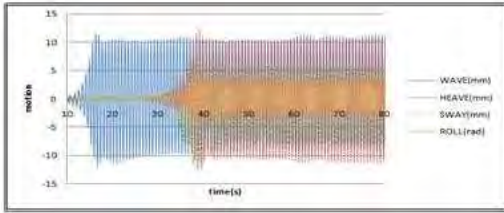


Fig. 6 numerical data 1ton class 1deg  $\lambda/L=0.8$

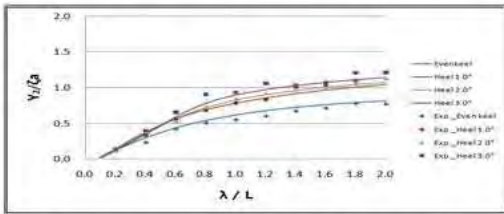


Fig. 7 M9001 sway motion amplitude in beam sea(90°)

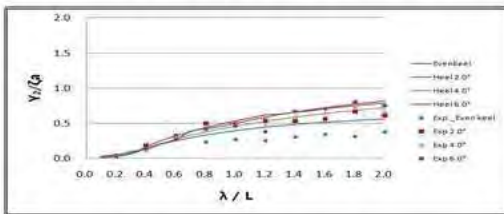


Fig. 8 M0015 sway motion amplitude in beam sea(90°)

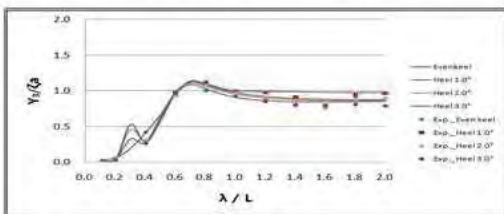


Fig. 9 M9001 heave motion amplitude in beam sea(90°)

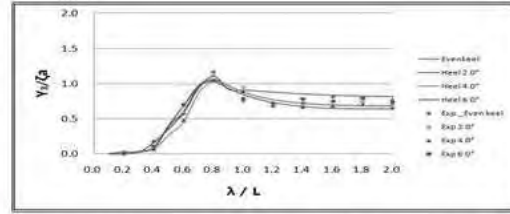


Fig. 10 M0015 heave motion amplitude in beam sea(90°)

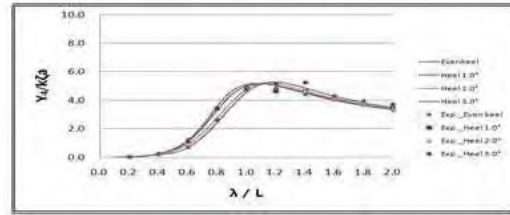


Fig. 11 M9001 roll motion amplitude in beam sea(90°)

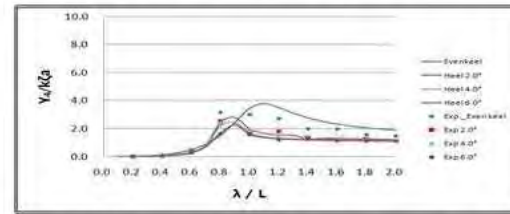


Fig. 12 M0015 roll motion amplitude in beam sea(90°)

## 6. 결 론

- (1) 소형어선의 개발에 있어서 선형의 동요성능을 검토하기 위하여 초기 경사시에 대한 수치계산 및 수조시험을 실시하였 다.
- (2) 소형어선의 설계 시 bottom 형상은 저항성능 뿐만 아니라 운동성능에 관하여 동요특성 검토를 충분히 고려하여 할 것으로 생각한다.

## 후 기

본 연구는 농림수산식품부와 울산대학교의 지원으로 수행되었 으며 지원에 많은 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

- ① 박노식 (1997). "초대형 부유식 해양구조물에 작용하는 유체력 추정 에 관한 근사계산법의 연구", 한국해양공학회지, 제11권, 제1호, pp 74-83
- ② 박노식, 김성근, 김중현 (1988). "손상 상태에서의 반잠수식 해양구조물의 운동 응답 및 표류력에 관한 연구", 한국해양 공학회, 제2권, 제2호, pp 227-236

## 횡파 중 소형어선의 안정성에 관한 연구

박노식\* · 이진복\*  
\*울산대학교 조선해양공학부

### A Study on the Stability For Small Fishing Vessel in Beam Sea Condition

Ro-Sik Park\*, Jin-Bok Lee\*

\*School of Naval Architecture & Ocean Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea

**KEY WORDS:** Small fishing vessel 소형어선, Hydrodynamic forces 유체력, Damping coefficient 감쇠계수, Motion of response 동요 응답, Beam sea 횡파, Three-dimensional Source Distribution Method 3차원 특이점 분포법

**ABSTRACT :** The marine accident case the last 5 years, a small vessel of less than 20tons of incidence of accidents accounted for 33.2%, most these vessels were composed of small fishing vessels. in addition most of ship capsized occurred by excessive roll motion. In this paper, Now widely used in domestic gross tonnage of 1 ton and 3 ton based on the linear fluctuations of small fishing vessels to development of new type for motion of response and stability. It used to Three-dimensional source distribution method find out hydrodynamic force and motion of response for even keel and heeling state. As a result, In the development of small fishing boats knuckle line resistance characteristics influence the decision a lot but does not significantly affect of the motion characteristics.

#### 1. 서 론

지난 5년간(2006~2010) 해양사고사례를 보면, 20톤 미만의 소형선박의 사고 발생률이 33.2%를 차지하고, 그중에 어선의 사고 발생률은 70.4%의 상당한 부분을 차지하고 있다.

소형선박의 사고를 종류별로 살펴보면 기관손상(32.1%), 충돌(24.5%), 좌초(7.7%), 침몰(3.4%)등의 순서로 발생하는데, 그중에서도 복원성능과 관련된 전복, 침몰은 사고유형에서 5.3%로 낮은 편이지만 인명피해에 부분에서는 23.2%로 사고발생 빈도에 비해 높은 편이다.

선박의 전복은 과도한 횡운동(roll)에 의해 발생하며 그동안 횡운동을 억제할 위하여 선형의 개량, 빌지 킴, 자이로 스코프(Gyroscopic stabilizers) 및 jet flap, stabilizing fins의 설치 등 여러 가지 방법이 연구되어 왔다.

현재 소형어선의 설계과정은 기존의 실적선 자료의 부족 등으로 주로 실무경험자의 경험에 의한 설계가 이루어져있어 인명사고와 연관된 복원성에 관한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 현재 국내에서 많이 사용되는 총 톤수 3톤급 소형어선을 공시모형으로 이용하여 선박의 운동 중 복원력이 가장 요구되는 횡파중의 동요진폭에 대하여 연구하였다.

수치계산은 공시선형에 대해 손상 상태를 가정하여 Evenkeel, 2.0도, 4.0도 및 6.0도의 횡 경사를 가정하여 규칙파 중에서 유체력 및 동요응답 특성을 검토하였다.

#### 2. 기초 이론

본 연구의 계산은 3차원 특이점 분포법(Three-dimensional source distribution method)을 이용하였으며, 기초이론을 정리하면 다음과 같다.

##### 2.1 유체력

x축의 정방향으로부터 입사하는 파에 의하여 어선이 동요 원진동수  $\omega$ 로 조화운동을 한다고 고려하면, 이때의 어선 주위의 유동장은 속도 Potential로 나타낼 수 있다.

$$\phi(x, y, z; t) = Re[\phi(x, y, z)e^{i\omega t}] \quad (1)$$

속도 Potential  $\phi$ 는 Laplace equation을 만족하며, Free surface, Bottom, Radiation 및 Boundary condition을 만족하고 있다.

이때의 속도 Potential을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = \phi_0 + \phi_r + i\omega \sum_{j=1}^6 \xi_j \psi_j \quad (2)$$

$$\phi = \frac{R \zeta_0}{\omega} e^{kz} = iR(\zeta_0 \cos \alpha + \eta \sin \alpha) \quad (3)$$

이진복 : 울산광역시 남구 무거동 울산대학교 조선해양공학과  
052-259-1384 jinbok2ya@naver.com

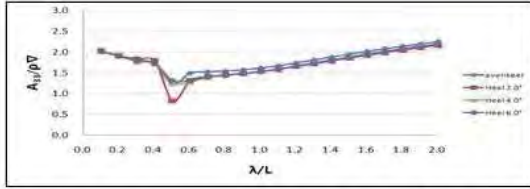


Fig. 3-a According to shape of section heave added mass

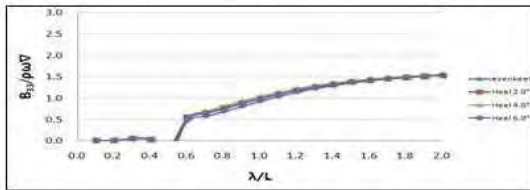


Fig. 3-b According to shape of section heave damping coefficient

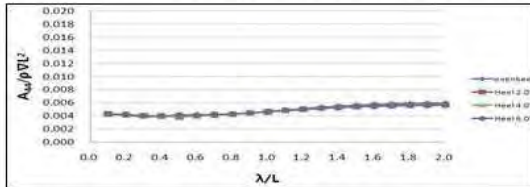


Fig. 4-a According to shape of section section roll added mass

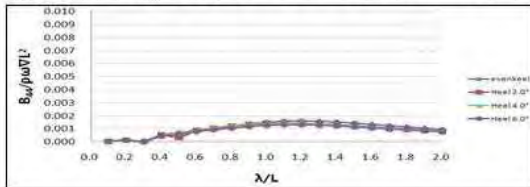


Fig. 4-b According to shape of section roll damping coefficient

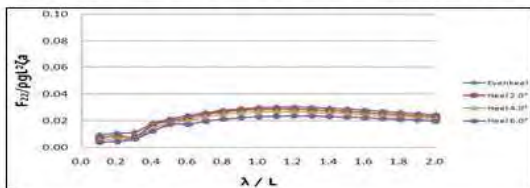


Fig. 5 Comparison of sway wave exciting force in beam sea(90°)

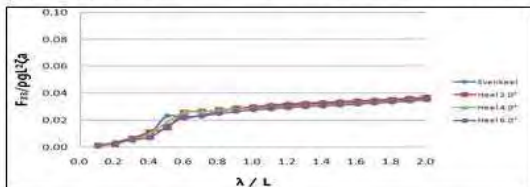


Fig. 6 Comparison of heave wave exciting force in beam sea(90°)

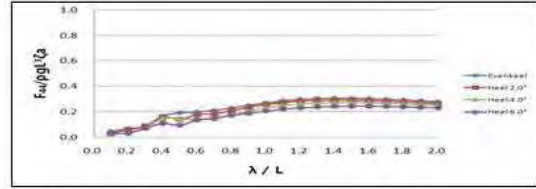


Fig. 7 Comparison of roll wave exciting force in beam sea(90°)

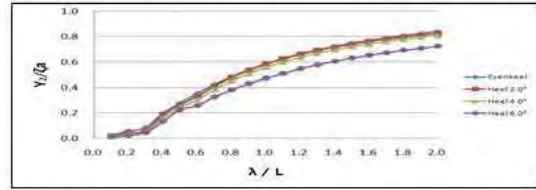


Fig. 8 Comparison of sway motion amplitude in beam sea(90°)

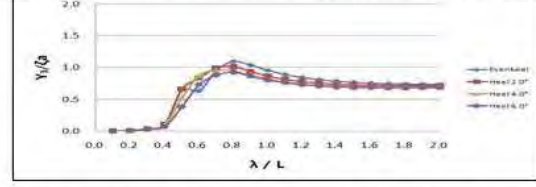


Fig. 9 Comparison of heave motion amplitude in beam sea(90°)

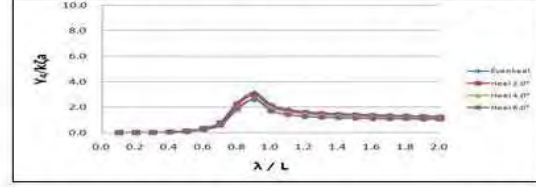


Fig. 10 Comparison of roll motion amplitude in beam sea(90°)

## 5. 결 론

형파 중 건현이 비교적 작은 어선의 손상 시 형상변화에 따른 동요특성을 연구하였다. 그 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 손상시 선형의 형상변화에 따른 Sway 방향에 작용하는 유체력의 변화는 주파수 전 영역에서 영향이 적게 나타났으며, 이는 동요응답에 단면의 영향이 적음을 알 수 있었다.
2. 소형어선의 개발에 있어서 knuckle line는 저항특성에는 많은 영향을 미치는 것으로 판단되나, 동요특성에는 크게 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.

## 후 기

본 연구는 농림수산부의 농림수산식품연구개발 연구 사업으로 수행 중인 “연료비 절감을 위한 소형 전기어선 추진시스템 개발” 연구결과 중 일부이다.

## 참 고 문 헌

## 모형시험을 이용한 쌍동형 전기추진어선 선형개발에 관한 연구

### A Study on Hull Form Development for Catamaran Type Electric Propulsion Fishing Boat using Model Test

정우철\* · 박노식\*\*

Uh-Cheul Jeong, Ro-Sik Park

**Key Words** : Electric Propulsion, Fishing Boat, Hull Form Development, Model Test, Circulating Water Channel(CWC)

#### Abstract

Hull forms for catamaran type small fishing boat powered by electric motor are newly developed by experimental approaches. Model tests for two hull forms having different length are made at circulating water channel. Resistance performance and wave patterns are compared to carry out an analysis of the effect of extension of main body. The results show that the extension of main body can give better resistance performance above a certain velocity.

#### 1. 서론

유엔의 기후변화협약에서는 향후 지구 온난화를 방지하기 위해 대기 중의 이산화탄소 농도를 450~550 ppm으로 유지하려는 이산화탄소 안정화 정책을 추진하고 있다. 특히, 매년 선박으로부터 배출되는 온실가스량이 약 6억~8억톤 정도로 전 세계 온실가스 배출량의 약 5% 정도를 차지한다고 알려져 있으며, 이는 항공기의 약 2.5배 수준이다. 머지않아 선박에 대한 온실가스 규제가 본격화 될 것으로 전망되므로 세계 조선산업 1위국인 우리나라에서도 온실가스 감축을 위한 다양한 대응책이 필요한 시점이다.

\* 인하공업전문대학 조선해양과

\*\* 울산대학교 공과대학 조선해양공학부

선박설계 단계에서 온실가스를 감축시킬 수 있는 가장 보편적인 방법은 저항을 감소시키거나 추진효율을 향상시키는 것으로 지금까지 많은 연구가 수행되어 왔다. 최근에는 신재생 에너지를 전기에너지로 변환하여 선박 추진시스템에 이용하여 온실가스를 감축시키고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그중 특히 태양광 에너지를 선박의 추진동력으로 이용하는 방법이 큰 관심을 끌고 있다. 대표적인 예로 스위스의 "SUN21"호는 길이 14m, 선폭 6.5m의 쌍동선으로 평균 4~5 노트의 속력으로 태양광만을 이용하여 대서양을 횡단하였고<sup>1)</sup>, "Planet solar"호는 전장 31m, 50인승 규모의 쌍동선으로 평균 7.5노트, 최대 14노트의 속력이 나오도록 설계되어 최근 시운전을 성공적으로 수행하였다<sup>2)</sup>. 이웃 일본의 경우, 나가사키지역 관광지인 하우스텐보스내 운하에는 태양광을 이용한 유람선이 운항되고 있다<sup>3)</sup>. 뿐만 아니라 벨기에, 영국, 독일 등 여러 나라들은 앞다투어 신재생 에너지를 이용한 선박 개발에 많

어플 뿐만 아니라 전속도 영역에서 잉여저항이 작게 나타나고 있다. 그 이유는 길이가 증가함에 따라 동일한 전속에서 길이-속도 비인 Froude수가 작아졌기 때문이고 이로 인하여 Fig. 5와 Fig. 6에서 본 바와 같이 파계가 줄어들었기 때문으로 판단된다.

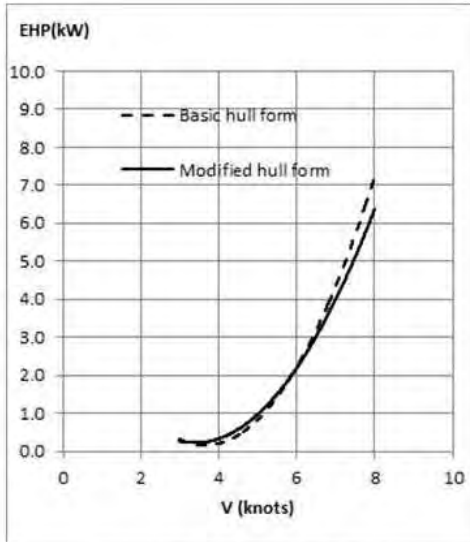


Fig. 9 Comparison of EHP

Fig. 9에 두 선형의 유효마력을 비교하였다. 설계속도인 5노트 부근에서는 두 선형의 유효마력에는 큰 차이가 없다. 속도가 증가 할수록 개량 선형의 경우 배수량이 약 55% 정도 증가하였음에도 불구하고 오히려 유효마력이 줄어드는 경향을 보인다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 길이가 증가함에 따라 Froude 수가 감소하였고, 이에 따라 파계의 저항, 즉 잉여저항이 크게 감소하였기 때문이다.

### 결 론

소형 연안어선의 온실가스 감축을 위한 방안으로 전기추진 어선을 개발하기 위하여 그 기본 선형을 회류수조에서 모형시험을 통하여 개발하였다. 넓은 갑판면적을 확보하기 위하여 쌍동형 선박으로 설계하였으며, 주선체의 길이와 두 선체사이의 간격 변화가 저항성능에 미치는 영향을 함께 비교/분석하였다.

본 개발선과 같은 비교적 고속선의 경우, 파계

에 의한 저항, 즉 잉여저항이 선박의 기본성능에 큰 영향을 미치는 관계로 주선체의 길이를 증가시키는 것은 Froude 수를 감소시키는 효과가 있기 때문에 어떤 특정 속도 이상에서는 저항성능 개선에 크게 기여할 수 있다는 것을 확인하였다.

### 후 기

본 연구는 수산기술개발사업(과제명 : 연료비 절감을 위한 소형 전기어선 추진시스템 개발)으로 수행된 결과의 일부로, 농림수산식품부와 인하공업전문대학, 울산대학교의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. <http://www.transatlantic21.org/>
2. <http://www.planetsolar.org/index.en.php>
3. Nagasaki Newspaper, 2008
4. 김현수, 정우철, "쌍동형 레저보트의 두 선체 사이 유동특성에 관한 연구", 한국기계기술학회지 12(1), 2010.
5. J.E. Rovera, "Catamaran Resistance from test on a single Demihull", Fast, '97 Papers, 1997
6. 박찬원, 정우철, "쌍동선의 두 선체 간격이 저항 성능에 미치는 영향에 관한 연구", 한국기계기술학회지 3(1), 2001
7. 김호은, 이영길, "황해형 고속 여객선의 선형 설계에 관한 연구", 대한조선학회 논문집, 39권, 제4호, 2002

## 부록2. 특허등록 출원 및 인증 성과 5건 발췌

### 【명세서】

#### 【발명의 명칭】

전기추진 선박{Ship powered by the electric energy}

#### 【기술분야】

본 발명은 전기추진선박에 관한 것이다.

본 발명은 특히 좌우분리구성된 추진모터에 의하여 좌우회전시 조타(操舵)장치가 필요 없이 작동가능한 전기추진선박에 관한 것이다.

#### 【배경기술】

선박은 부양, 추진, 구조강도, 복원, 내항 그리고 조종기능이 일체로 되었을 때 선박으로 기본적인 기능이 발휘되어진다. 이러한 기능중 일반적으로 선박의 추진은 디젤이나 휘발유와 같은 화석연료를 연소시켜 작동하는 내연기관의 동력으로 추진기능을 발휘하며, 조종기능은 별도의 또 다른 조차장치에 의지하고 있다.

이러한 내연기관에 의한 선박은 후미에 추진모터와 프로펠러가 설치되고 이것의 추진력과 함께 설치된 조타장치에 의하여 좌우회전이 가능하다.

따라서 내연기관의 작동에 필요한 엔진과 부대설비 그리고 연료 등의 다양한 구조물이 필요하다. 또한 조타장치로 회전하므로 부득이 선회각도가 넓을 수 밖에 없다.

일부 전기를 동력원으로 구동하는 선박이 있기는 하지만 내연기관의 작동불능시에 대체용, 즉 비상용으로 사용하는 것이 대부분이다. 요트와 같은 경우에도 역시 주 추진동력은 바람이며 기타 여러 선박류도 주 동력이라기 보다는 보조동력원으로 전기력을 이용하고 있다.

#### 【발명의 내용】

##### 【해결하려는 과제】

기존의 선박이 조타장치를 별도로 설치하는 경우 회전시에 많은 에너지 낭비가 있으므로 회전에 필요한 조타장치와 부대 조종설비를 전부 생략하도록 하였다.

기존의 선박은 또한 조타장치와 복잡한 구동시설에 의하여 무게가 증가하면서 조타장치가 진행중에 저항요인으로 작용하여 에너지낭비가 많다. 따라서 순수한 전기력만으로 배를 운항하기에 어려움이 많은 것을 순수한 전기력만으로 운행가능한 선박을 제공하고자 한다.

##### 【과제의 해결 수단】

본 발명은 좌우에 쌍으로 배치되어진 별도의 추진모터를 설치하여 이들을 중앙연산장치로 통합제어하므로써 좌우회전이 손쉽게 가능하게 하였다.

본 발명은 좌우회전을 위한 조타장치를 삭제하여 무게의 감소와 회전에 따른 에너지 낭비 그리고 회전반경이 최소화하게 하였다.

##### 【발명의 효과】

본 발명은 파워트리거신호, 핸드브레이크신호, 핸들의 작동시 발생하는 앵글센서의 신호, 트로틀벨브신호, 전후진신호, 현재좌표신호, 밧데리전원신호들이 마이크로프로세서에 의하여 통합연산되어져, 좌우회전이 용이하며, 특히 구동을 위한 에너지 소모가 극소화된 전기추진 선박이 가능하게 되었다.

본 발명은 특히 좁은 항구 혹은 좁은 수로에서 제자리에서 360도회전도 가능하여 다양한 종류의 선박에 적용이 가능하다.

본 발명은 또한 복잡하면서도 진행중에 저항으로 작용하는 조타장치자체가 없어 효율이 높아지게 되었다.

본 발명의 선박은 또한 필요시 선박에 설치되어지는 태양광발전패널을 함께 병용하여 비교적 원거리운행도 가능하게 할 수 있다.

## 【명세서】

### 【발명의 명칭】

축전된 전기에너지 효율을 극대화한 쌍동선 구조의 전기추진 선박{Ship powered by the electric energy effectively saving energy}

### 【기술분야】

본 발명은 배터리에 축적된 전기에너지로 운행하는 전기추진선박에 관한 것으로 특히 에너지 소비효율을 극대화한 쌍동선 구조의 전기추진 선박에 관한 것이다.

본 발명은 특히 도 1과 2에 도시한 쌍동선을 기본선체로 하여 축전지로 운행하는 전기추진선박에 있어, 축전된 에너지의 소비효율을 극대화한 쌍동선 구조의 전기추진선박에 관한 것이다.

### 【발명의 배경이 되는 기술】

본 발명은 선등록특허 제 10- 1077726호의 전기추진선박의 동력발생원에 대한 최적의 배치를 개발한 전기추진선박에 관한 것이다.

선등록특허에서는 선박의 운행을 위한 모든 동력을 축전지를 이용하고 있다. 이러한 축전지는 에너지를 축전하는 밀도에 한계가 있어, 내연기관용 연료와 달리 축전용량에 한계가 있어 실제 운행에 있어 많은 제약을 받는다.

특히 축전지는 내연기관의 연료와 달리 별도의 연료보관을 할 수 없어 내장된 축전 배터리가 소모되면 선박운항이 그대로 중단되어버리는 단점이 있다. 축전지의 축전용량이 점차 증가하지만 배터리를 적재할 수록 무게는 증가하며, 그만큼 효율이 낮아질 수 밖에 없다.

### 【발명의 내용】

#### 【해결하고자 하는 과제】

본 발명자는 도 1과 2에 도시한 쌍동선을 기본 선체로 구성한 다음 축전배터리를 이용한 전기추진 선박을 개발하였으며, 충분한 배터리전원의 공급을 위하여 선박저부 혹은 기타 다양한 장소에 배터리저장부를 배치한 다음 수많은 실주행을 반복하면서 선박의 최적의 경제속도를 파악하고 그 경제속도에 맞추어 최대의 에너지효율을 갖는 전기추진선박을 제공하고 한다.

#### 【과제의 해결 수단】

본 발명은 경제속도로 운행하는 선박을 일정한 경제속도의 범위에서 추진동력원이 되는 구동모터의 전원공급을 적절하게 온.오프 조절하여 일정속도로 유지되는 배의 가속력을 최대한 이용하여 최적의 에너지효율을 갖도록 하였다.

본 발명은 구동모터에 투입되는 입력에너지를 일정속도와 일정시간, 일정간격에 고정된 후 정속운항 할 수 있도록 하는 프로그램에 의한 에너지 최적화 소형 선박 시스템을

개발하였다.

**【발명의 효과】**

본 발명은 일정한 지정속도를 설정하고 선박의 운행시 측정된 속도가 지정속도와 비교하여 일정한 허용범위의 범위 안에서 속도를 조절하도록 하였다.

이러한 속도조절은 전원에 대한 온.오프신호로 제어됨에 따라 하부의 표 3과 같이 에너지 소비효율이 30 %이상 절감되는 극적인 효과를 거두게 되었다.

따라서 본 발명자의 쌍동선에 의하여 전기추진선박을 운행하면서 종래에 비하여 주행거리를 적어도 30%이상 연장하게 되어 효율의 극대화로 전기추진선박의 경제성을 크게 높이게 되었다.

**【명세서】**

**【발명의 명칭】**

бат테리의 유지보수가 용이한 전기추진 선박{Ship powered by the electric energy}

**【기술분야】**

**【발명의 배경이 되는 기술】**

본 발명은 선등록특허 제 10- 1077726호의 전기추진선박의 동력발생원에 대한 최적의 배치를 개발한 전기추진선박에 관한 것이다.

선등록특허에서는 선박의 운행을 위한 모든 동력을 축전지를 이용하고 있다. 이러한 축전지는 일반적인 내연기관을 이용한 선박과 달리 일정한 기간이 경과하여 축전지를 교환할 경우 다수의 бат테리를 교환하기 위하여 선박의 저부에 배치한 곳에 사람이 접근하여 수동으로 해체후 다시 선박으로 배출하고 있다. 동일한 형태로 새로운 бат테리의 조립도 수동으로 선박저부에 접근하여 교체하고 있다.

이러한 бат테리의 선박저부 배치는 통상 선박에서는 중량물을 선저에 거치하여 선박의 안정성을 갖는 것에 목적이 있다.

전기소형선박은 전기모터의 단점으로 인하여 쌍동형의 선체가 경제적으로 비교적 대용량의 출력이 가능하고 저속임을 감안할 경우 최적화된 선체라 할 수 있다.

그러나 선박의 저부에 배치한 бат테리를 교환하기 위하여 상당한 노력과 시간이 소요되면서 불편한 단점을 계속 노출하고 있었다.

본 발명자는 도 1과 2에 도시한 쌍동선을 기본 선체로 구성한 다음 축전бат테리를 이용한 전기추진 선박을 개발하였으며, 충분한 бат테리전원의 공급을 위하여 선박저부(도 2의 부호 bb)에 бат테리저장부를 배치한 다음 수많은 실주행을 반복하면서 бат테리교체와 수리에 많은 노력이 필요함을 알게 되었다.

특히 하부에 배치한 бат테리로 인하여 선박의 안정성을 크게 확보한다는 기본 개념하에 접근한 전기추진선박이 단동이 아닌 쌍동선이라는 점에 착안하여 중량이 많은 бат테리를 선박의 상부와 불필요한 다양한 공간에 배치하는 방법을 연구하였다.

**【발명의 내용】**

**【해결하고자 하는 과제】**

본 발명은 전기추진선박이 소형이면서 중량이 많이 나가는 бат테리를 선박의 저부가



아닌 상부 혹은 전원이 필요한 위치에 다양하게 배치하여 목적인 장치를 보다 용이하게 이용하고 보수교체도 용이한 전기추진선박을 제공하고자 한다.

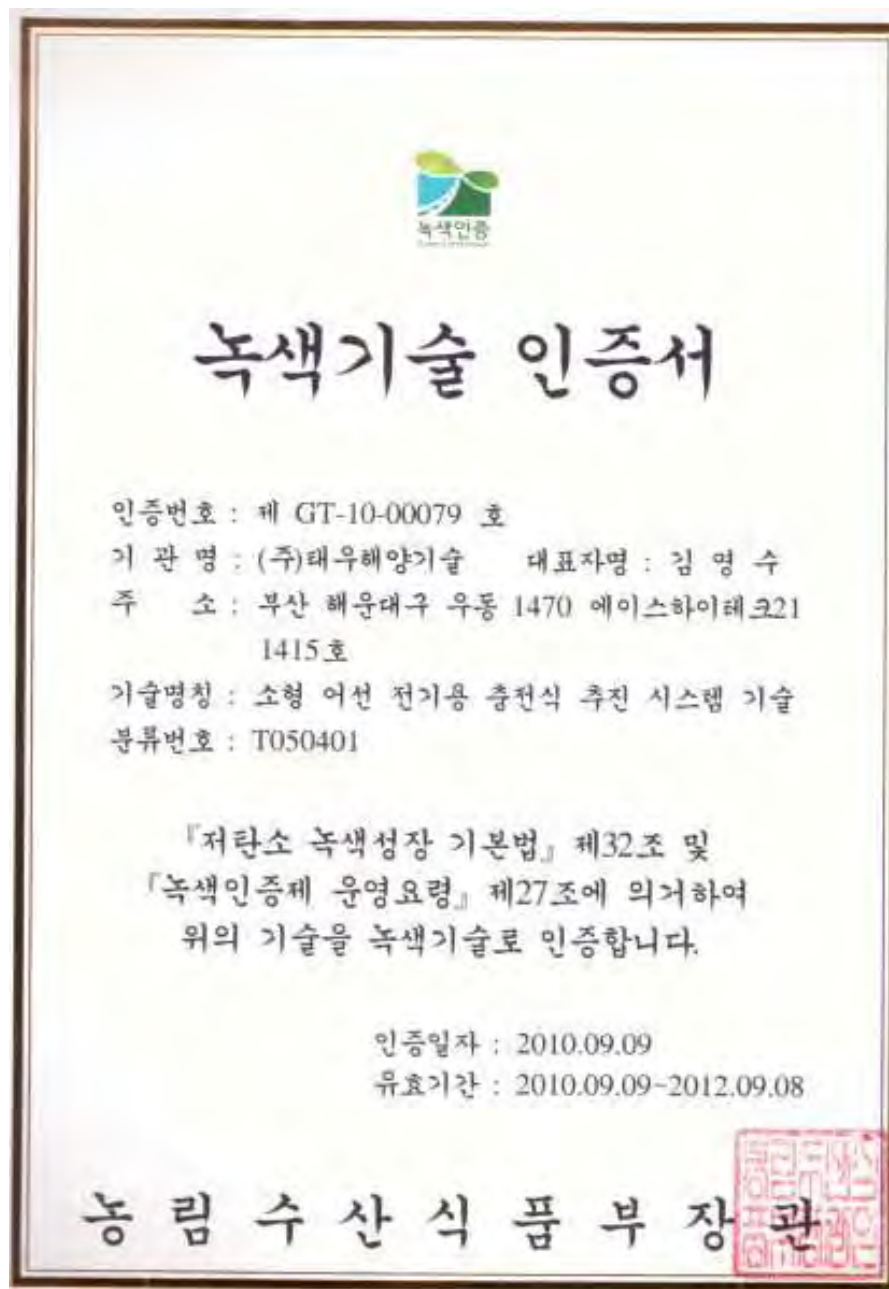
**【과제의 해결 수단】**

본 발명은 선박의 저부에 배치하던 높은 중량의 밧데리를 선박의 갑판에 노출형태로 배치하였다.

본 발명은 특히 밧데리를 갑판에서 접근이 용이한 위치에 배치하여 교체와 수리가 용이하게 하였다.

본 발명은 특히 의자 하부 및 선실 뒤쪽과 같이 작업이 거의 일어나지 않는 공간을 활용하여 밧데리를 배치토록 하였다.

**- 녹색기술 인증서**



## IPET 우수성과 사례

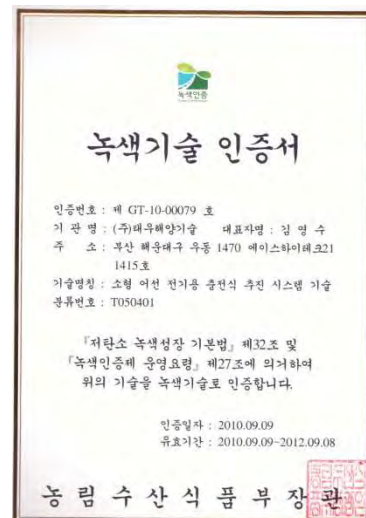
<b>제 목</b>	<b>전기 추진 소형 어선</b>		
<b>연구과제명</b>	<b>연료비 절감을 위한 소형 전기 어선 추진 시스템 개발</b>		
<b>주관연구기관</b>	<b>울산대학교</b>	<b>기 술</b>	<b>(주) 태우해양기술</b>
<b>연구책임자</b>	<b>박노식</b>	<b>실시기업</b>	
<b>연구기간</b>	<b>2008. 11. 1~2011.10.31</b>	<b>정부출연금(천원)</b>	<b>800,000</b>
<b>연락처</b>		<b>주소</b>	
<b>기술(제품) 브랜드</b>	<b>[있는 경우에 기재]</b>		

### 연구 목적

- 연료비의 대폭적인 절감을 통한 어선어업 어민의 소득 향상에 기여
- WTO의 면세유 철폐 요구에 대한 근본적인 방안 제시

### 주요 성과

- 전기만으로 추진할 수 있는 1톤급 어선용 선외기 시스템 완성
  - 5kW 모터 2기를 쌍동형으로 장착
  - 배터리(납축 혹은 리튬인산철) 72V 200A 1조
- 전기만으로 추진할 수 있는 3톤급 어선용 선외기 시스템 완성
  - 15kW 모터 2기를 쌍동형으로 장착
  - 배터리(리튬인산철) 72V 200A 3조



## 연구 특징

### ○ 기술적 측면

#### 1톤급 전기추진 어선 시스템 사양

항목	구성	성능
어선 치수	7.2m x 1.828 x 0.8m	낙지잡이 어선
추진장치	BLDC 모터	15kW 1대
배터리	납축 및 리튬인산철	72V 200Ah
최대 속도	20km/h	1시간 운항
항속거리	100km	10km/h

#### 3톤급 전기추진 어선 시스템 사양

항목	구성	성능
어선 치수	7.0m x 3.2m x 1.0m	연안어선
추진장치	BLDC 모터	15kW 2대
배터리	리튬인산철	72V 200Ah 3조
최대 속도	20km/h	90분 운항
항속거리	150km	10km/h

### ○ 학문적 측면

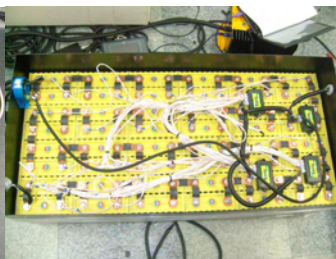
- 전기추진 모터의 Torque 특성을 고려한 제어 시스템 구축
- 선형 실험과 시운전 실험 결과에 기초한 최적 운항 조건 산출
- 전기 모터의 특성을 고려한 쌍동형 어선의 설계
- 전기 모터의 특성을 고려한 최적 조정 제어시스템 구축



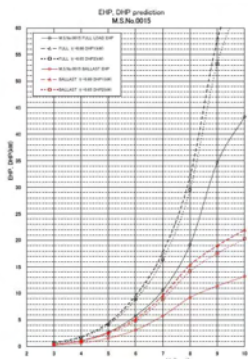
선외기



BMS



배터리



마력곡선

### 부록3 언론보도자료(2010년, 2011년)

#### 2010년 5월 전기추진어선에 관한 언론보도 자료

1. 시연회 및 발표자료
2. 친환경 전기어선 개발(KBS뉴스)
3. 친환경 '전기 어선' 개발(MBC뉴스)
4. 울산대, 배터리로 가는 어선 세계 최초 개발(국민일보)
5. 전기로 움직이는 어선 개발(부산일보)
6. 세계 첫 배터리로 가는 어선 개발(서울신문)
7. [울산] '배터리로 가는 어선' 개발(조선일보)
8. 기타

# 1. 시연회 및 발표자료





어민을 위한 고효율 저소음 전기추진 어선 개발	1톤급 어선의 사양 및 성능	예상가격 및 경제성
<p><b>개 요</b></p> <p>■ 연구과제명 연료비 절감을 위한 소형 전기어선 추진시스템 개발 (2008. 11. 1 ~ 2011. 10. 31)</p> <p>■ 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조업에 필요한 연료비 대폭절감</li> <li>- 면세유 중단 위기의 대처</li> <li>- 대대적인 CO2 감축 방안에 대처</li> <li>- 진동, 오염의 극소화</li> </ul> <p><b>&lt;목 표&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1차년도: 1톤급 전기추진어선의 개발</li> <li>- 2차년도: 3톤급 전기추진어선의 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 어선: 1ton급 낙지잡이어선 (7.200m × 1.828m × 0.800m)</li> <li>- 추진장치: 4.5kw BLDC모터 추진시스템 2대</li> <li>- 배터리: 리튬 인산철 160Ah 48V 1조 100Ah 48V 1조</li> <li>- 최대속도: 16km/h (1시간 운항)</li> <li>- 항속거리: 40km (선속: 10km/h)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전기추진시스템 (전기추진기, 배터리, 기타 악세서리) : 35,000,000원</li> <li>- 전기어선: 신조가격 50,000,000원</li> <li>- 100,000km 주행 시 유류비 : 약 40,000,000원 (전기추진시 전기료 약 4,000,000원)</li> </ul> <p>※ 평균 3년이면 시설비 상계 가능.</p>

시연회 사진 및 발표자료

## 2. 친환경 전기어선 개발(KBS뉴스)

### ◀ANC▶

경유대신 전기로 움직이는 친환경 전기어선이 국내에서 처음으로 개발되었습니다. 연료비가 일반어선의 10분의 1수준이어서 이산화탄소 저감과 환경보전에 큰 도움이 될 것으로 기대됩니다. 김유신 기자입니다.

### ◀VCR▶

소형어선이 물살을 가릅니다. 겉으로 보기에 일반 선박과 다르지 않지만, 경유가 아닌 전기로 움직입니다. 경유선박에 있는 엔진 대신 전기모터가 달려있어 소음도 적고 매연도 없습니다.

### ◀INT▶

"소리가 안나는게 좋고, 우선 기름냄새 같은 것도 없고, 뭐 기름 불안한 것도 없고, 휘발유쓰면 항상 불안하죠. 화기도 조심해야되고."

농림식품수산부가 개발한 1톤급 전기어선은 220V 가정용 전력으로 4시간동안 배터리를 충전해 모터를 가동합니다.

이 전기어선은 일반어선의 유류비의 10분의 1수준인 8,900원이면 4시간을 운항할 수 있게 설계되었습니다.

수요가 가장 많은 전국의 3톤급 어선을 20%만 대체해도 경유는 연간 21만톤, 이산화탄소발생량은 330만톤을 줄일 수 있습니다.

### ◀INT▶

"올해 1톤급 어선을 개발하였고, 내년에 보급을 하기 위해서 이같은 시연회도 개최하였습니다."

선박가격의 5천여만원으로 일반어선보다 2.5배 비싸고, 평균시속의 10km로 30%느리다는 게 단점입니다.

농림식품수산부는 시운전에서 나타난 단점을 보완해 내년에 1톤급 전기어선 100여척을 공급하는 방안을 마련할 계획이라고 밝혔습니다.

KBS 뉴스 김효신입니다.

### 3. 친환경 '전기 어선' 개발(MBC뉴스)

#### ◀ANC▶

친환경 바람이 바다에서도 불고 있습니다.

전기로 움직이는 어선이 개발됐습니다.

양현승 기자가 전해 드립니다.

#### ◀VCR▶

연근해에서 낚시용이나  
낙지잡이 등에 주로 쓰이는  
1톤급 소형 어선.

갈수록 오르는 기름값도 부담이지만  
기름 냄새와 소음이  
어민들의 고충이었습니다.

국내 연구진이 정부 지원을 받아  
전기로 움직이는 소형 어선을 개발했습니다.

◀INT▶이정동 삼학어촌계장/시험운항 참여 어민  
"무엇보다 조용하고 냄새없어"

전기로 가는 어선은  
일반 어선의 가격보다  
2.5배 정도 비쌉니다.

하지만 일반 플러그를 이용해  
4시간 정도 충전하면  
40킬로미터 운항이 가능합니다.

전기요금도  
일반어선이 쓰는 기름값의  
10분의1 수준입니다.

연구진은 오는 8월,



목포에서 제주까지  
전기어선을 시험운항한 뒤  
결과를 토대로 전기어선 톤수를  
늘릴 계획입니다.

◀ I N T ▶ 김성근 박사/제주대학교  
"3톤급 어선 개발할 것"

전기 소형어선이  
기름값과 환경오염 걱정을 동시에 덜며  
자리잡을 수 있을지 주목됩니다.

MBC뉴스 양현승입니다.

#### 4. 울산대, 배터리로 가는 어선 세계 최초 개발(국민일보)

[2010.05.13 21:25]

[쿠키 사회] 울산대학교 조선해양공학부가 전기 배터리로만 운항이 가능한 전기추진어선을 세계 최초로 개발했다.

울산대학교 조선해양공학부 박노식 교수팀은 13일 전기 배터리로만 어선의 프로펠러를 가동시키는 추진시스템을 개발해 1t급 어선을 진수했다.

박 교수팀은 농림수산식품부의 ‘연료비 절감을 위한 소형 전기어선 추진시스템 개발사업’에 선정돼 2008년 11월부터 개발에 돌입해 성공했다.

이번에 개발된 전기추진어선은 4.5kW 전기구동 모터 추진시스템을 2대 설치하고 기존 경유나 휘발유 대신 리튬 인산철 배터리로만 모터를 가동시킨다. 이 때문에 진동과 소음이 거의 없고, 오염 물질도 전혀 없다는 것이 장점이다.

또 저항을 최소화하면서도 기울지 않는 선형으로 설계해 배터리 소모량을 줄이고 어로 작업성을 높인 것이 특징이다.

전기어선의 최대 속도는 시간당 16km이며 배터리를 한 번 충전할 경우 40km 운항이 가능하다.

일반적으로 1t급 어선이 10만km 운항시 4000만원의 유류비가 드는데 반해 전기어선은 10분의 1인 400만원에 불과해 연료비 절감 효과가 클 것으로 기대된다.

박 교수는 “1t급에 이어 3t급 어선을 위한 전기추진시스템도 개발 중이고 배터리 성능을 높이는 연구도 계속하고 있다”고 말했다. 울산=국민일보 쿠키뉴스 조원일 기자 wcho@kmib.co.kr

## 5. 전기로 움직이는 어선 개발(부산일보)



전기로 움직이는 어선 개발

울산대 박노식 교수팀이 선체에 배터리를 달아 전기로 움직이는 1t급 소형 어선을 개발했다. 이 어선은 소음과 환경오염이 전혀 없다. 사진제공=울산대

배터리에 저장된 전기로 운항하는 어선이 개발돼 관심을 끌고 있다.

울산대 조선해양공학부 박노식 교수팀은 선체에 배터리를 달아 그 전기로 구동모터(4.5kW BLDC시스템)를 돌려 운항하는 1t급 소형어선을 개발했다고 14일 밝혔다. 박 교수팀은 저항을 최소화하면서 높은 파도에 견딜 수 있는 선체도 함께 개발해 배터리 소모량을 줄이고 작업효율을 높였다.

울산대 박노식 교수팀  
연료비 10분의 1로 절감  
한번 충전 40km 운항

이 어선은 전기로만 운항하기 때문에 소음과 환경오염이 전혀 없는 게 특징이다.

박 교수팀은 "기존 경유나 휘발유가 아닌 리튬 인산철 배터리로 모터를 돌리기 때문에 진동과 소음을 최소화하고 이산화탄소 등 오염물질 발생도 전혀 없다"고 말했다.

경제적인 효과도 매우 뛰어난 것으로 평가된다.

박 교수팀에 따르면 일반 어선의 경우 10만km 운항시 유류비가 4천만 원에 이르지만, 전기추진

어선은 10분의 1인 400만 원이면 된다. 국내 1t급 어선 2만 척의 10%만 전기추진 시스템으로 교체해도 연간 700억 원의 연료비를 절감할 수 있다.

배를 새로 만들 경우 전기추진시스템 3천500만 원과 선형 건조비 1천500만 원 등 5천만 원이 소요돼 기존 어선(2천만 원)에 비해 비싸지만, 연료비 절감 효과로 보면 2~3년 후에는 비용을 상계할 수 있을 것으로 예상된다.

이 어선은 한 번 충전하면 40km 정도를 운항할 수 있다. 소형 어선 대부분이 4~5km 거리의 해역에서 어로작업을 하기 때문에 특별히 문제될게 없다. 다만 배터리로 운항하기 때문에 최대속력이 시간당 16km에 불과한 것이 단점.

박 교수팀은 13일 전남 목포시 갯바위 공원 유람선 선착장에서 배터리를 단 1t급 낙지잡이 어선으로 시연회를 가졌으며 14일 오후까지 배터리 효율과 선체 안정성 등을 시험했다.

박 교수팀은 3t급 어선을 위한 전기추진시스템을 개발하고 있으며 배터리 성능을 높이는 연구도 계속하고 있다.

박 교수팀은 농림수산식품부가 해양과학기술연구개발 사업으로 추진한 '연료비 절감을 위한 소형 전기 어선 추진시스템 개발사업'에 선정돼 2008년 11월부터 시스템 개발에 나섰다. 이 사업에는 선형개발 책임을 진 정우철 인하공업전문대 교수와 (주)태우해양기술, (주)G&W테크놀러지, 배터리 전문회사 (주)REBO가 참여하고 있다.

강태봉 기자 momento@

## 6. 세계 첫 배터리로 가는 어선 개발(서울신문)

울산대학교 조선해양공학부 박노식 교수팀이 세계 최초로 '전기 배터리로 가는 어선'을 개발했다. 이 어선은 연료비와 진동, 소음, 해양·대기 오염을 최소화해 기름값 등으로 어려움을 겪고 있는 어민들에게 큰 도움이 될 것으로 기대된다.



울산대는 박 교수팀이 13일과 14일 이틀 동안 전남 목포시 갯바위 공원 유람선 선착장에서 전기추진 시스템을 갖춘 1t급 낙지잡이 어선 시연회를 갖는다고 밝혔다.

전기추진어선은 4.5kW 전기구동(BLDC)모터 추진시스템 2대로 운항한다. 경유나 휘발유가 아닌 리튬 인산철 전지로만 모터가 가동돼 진동과 소음을 줄였을 뿐 아니라 오염물질도 전혀 발생하지 않는다.

또 전기추진어선은 기름으로 운항하는 기존 어선에 비해 연료비가 10분의1 수준 밖에 안 돼 면세유 공급 중단으로 어려움을 겪고 있는 어민들에게 도움이 될 것으로 보인다. 실제 1t급 어선이 10만km 운항할 때 약 4000만원의 유류비가 들지만, 이 어선은 400만원 정도만 든다.

전기추진어선은 한번 충전으로 40km(시속 16km)를 운항하지만, 소형 어선 대부분이 연안 4~5km 조업을 하기 때문에 어로활동에는 전혀 지장이 없다는 평가를 받고 있다.

농림수산식품부가 오는 2011년 10월까지 지원하는 이 사업에는 선형개발 맡은 정우철 인하공업전문대 교수와 (주)태우해양기술, (주)G&W테크놀러지, 전지 전문회사 (주)REBO 등이 참여하고 있다.

박 교수는 “1t급에 이어 3t급 어선을 위한 전기추진시스템을 개발 중이고, 전지의 성능을 높이는 연구도 계속하고 있다.”고 밝혔다.

울산 박정훈기자 jhp@seoul.co.kr

## 7. [울산] '배터리로 가는 어선' 개발(조선일보)

김학찬 기자 [chani@chosun.com](mailto:chani@chosun.com)

울산대 연구팀 시운전 나서

울산대학교 조선해양공학부 박노식 교수팀은 13일 배터리로 운항하는 어선을 개발했다고 밝혔다.

1t급 소형 어선에 배터리를 달아 그 전기로 구동모터(4.5kW BLDC시스템)와 프로펠러를 돌려서 배를 운항하는 방식이다. 박 교수팀은 배터리 추진 어선의 저항을 최소화하면서 높은 파도에 견딜 수 있는 선체도 함께 개발해 이날 오후 3시부터 전남 목포시 갯바위 공원 유람선 선착장에서 시연회를 가졌다. 시연회는 배터리를 단 1t급 낙지잡이 어선으로 진행됐고, 14일 오후까지 배터리 사용효율과 선체 안정성 등을 다양하게 시험한다.



▲ 울산대 박노식 교수팀이 배터리 추진 어선을 시운전하고 있다. 이 배는 1t급 소형 어선으로 배터리 전기로 모터와 프로펠러를 돌려 운항한다.

박 교수팀은 "이 배터리 추진 어선은 기존 경유나 휘발유가 아닌 리튬 인산철 전지로만 모터를 돌리기 때문에 진동과 소음을 최소화하고 이산화탄소 등 대기와 해양 오염물질 발생도 전혀 없다"고 말했다. 또한 "연료비도 크게 줄여 작년부터 면세유 공급이 중단된 어민의 경제적 부담을 더는 데 도움을 줄 것"이라고 전망했다.

박 교수팀에 따르면 1t급 소형 어선이 10만km 운항할 때 유류비는 약 4000만원에 이르지만 이 배터리 추진 어선은 그 10분의 1인 400만원이면 된다. 배터리를 한 번 충전했을 때 항속 거리도 최대 40km여서 대부분 항구로부터 4~5km 거리의 공해상에서 어로 활동을 하는 소형 어선용으로 충분한 경쟁력을 갖췄다.

박 교수팀은 "1t급에 이어 3t급 어선을 위한 배터리 추진시스템을 개발 중이며, 배터리 성능을 높이는 연구도 계속 하고 있다"고 밝혔다.

박 교수팀은 농림수산식품부가 해양과학기술연구개발 사업으로 추진한 '연료비 절감을 위한 소형 전기 어선 추진시스템 개발사업'에 선정돼 2008년 11월부터 시스템 개발에 나섰다. 이 사업에는 선형개발 책임을 진 정우철 인하공업전문대 교수와 (주)태우해양기술, (주)G&W테크놀러지, 전지 전문회사 (주)REBO가 참여하고 있다.

## 8. 기타

- 이 외 뉴컷뉴스, 뉴시스, 연합뉴스, 파이낸셜뉴스, 한국경제, ETN뉴스, 경상일보에 게재

# 보도자료

울산광역시 남구 대학로 102번지 울산대학교 홍보실 259-2066~7 / F224-2062

수 신 :

날 짜 : 2010. 5. 13

제 목 : '배터리로 가는 어선' 세계 최초 개발

울산대 조선해양공학부 박노식 교수팀

울산대학교 조선해양공학부 박노식 교수팀이 연료비와 진동, 소음, 해양 및 대기 오염을 최소화한 고효율 저소음 전기추진어선을 세계 최초로 개발해 연료비 부담을 겪고 있는 어민들의 어로활동에 크게 기여할 것으로 주목되고 있다.

박노식 교수팀은 농림수산식품부가 해양과학기술연구개발 사업으로 추진한 '연료비 절감을 위한 소형 전기어선 추진시스템 개발사업'에 선정돼 지난 2008년 11월부터 개발에 나서 배터리로 어선의 프로펠러를 가동하는 추진시스템을 개발하고 최근 이를 장착한 1톤급 낚지잡이 전기추진어선을 진수했다.

이에 따라 박 교수팀은 13일 오후 3시부터 14일 정오까지 전남 목포시 갯바위공원 유람선 선착장에서 배터리 효율과 선체 안정성 등을 시험하는 시연회를 가졌다.

이번에 개발된 전기추진어선은 저항을 최소화하면서도 기울지 않는 선형으로 설계해 배터리 소모량을 줄이고 어로작업성을 높인 것이 특징이다.

어선 운항은 4.5kW BLDC(전기구동)모터 추진시스템 2대가 가동하는 것으로 이뤄지는데, 기존 경유나 휘발유 대신 리튬 인산철 배터리로만 모터가 돌아가도록 하기 때문에 진동, 소음을 극소화하면서 오염이 전혀 없어 기후변화협약에 대응한 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 감축 방안으로도 주목을 끌고 있다.

배터리 한 번 충전으로 항속거리는 40km이지만 대부분 소형 어선의 어장이 4~5km 거리의 공해상이기 때문에 어로활동에 적합한 것으로 평가받고 있다.

특히 지난해부터 어민들에게 공급되던 면세유가 중단되면서 어민들은 이번 전기추진어선 개발로 어로 활동에 크게 도움을 받을 것으로 기대하고 있다.

실제로 10만km 주행시 유류비는 4000만 원에 이르지만, 전기추진어선은 이의 10분1인 400만 원이면 돼 국내 1톤급 어선 2만 척의 10%만 전기추진시스템으로 교체해도 연간 700억 원의 연료비를 절감하는 효과가 나타난다.

또 신조 비용도 전기추진시스템 3500만 원과 선형 건조비 1500만 원 등 5000만 원으로 기존 2000만 원 정도의 어선에 비해 비싸지만, 연료비 절감 효과로 보면 2~3년 운항 후에는 어선 구입비를 상계할 수 있다. 하지만 배터리로 운항하기 때문에 최대속력은 시간당 16km에 불과한 것이 단점이다.

박노식 교수는 “1톤급에 이어 3톤급 어선을 위한 전기추진시스템도 개발 중이고 배터리 성능을 높이는 연구도 계속하고 있다”고 소개했다.

농림수산식품부가 오는 2011년 10월까지 지원하는 ‘연료비 절감을 위한 소형 전기어선 추진 시스템 개발사업’에는 선형개발 책임을 맡은 정우철 인하공업전문대 교수와 (주)태우해양기술, (주)G&W테크놀로지, 배터리 전문회사 (주)REBO가 참여하고 있다.

※ 추가취재 = 박노식 교수 :

책임간사: 제주대 김성근 박사

Naver에서 검색 가능합니다.

2010년 5월 13일

KBS 뉴스

MBC 뉴스

조선일보를 비롯한 20여개 언론기관에 수록



2011년 대표 보도자료

## 전기추진 어선 제주해협 건너다.

2011년 10월 13일(목요일) 06시 완도 화홍포 출발  
동일 18시30분 제주 도두항 도착.

### 1. 전기어선의 개발 동기

- 오래전부터 선박의 전기추진에 대한 관심을 갖고 있었으며, 2007년 말 석유가격의 급등으로 면세유를 받고 있는 어민들은 물론 국내외적으로 문제가 대두된 적이 있었고, 개발 필요성이 절실하고 시급하게 인식되었습니다.

### 2. 개발의 의의 및 가치

- 첨부 : 우수성과 사례 요약

### 3. 추진 현황

- 첨부 : 소형 전기어선 추진시스템 연구개발 추진 현황

### 4. 국내 보급 계획

- 전기자동차는 물론 전기어선인 경우에도 현재의 배터리 가격으로는 일반적인 보급은 어려운 상황임.
- 국내 어선인 경우에는 면세유를 대신하는 것을 고려하여 60%이상의 보조가 가능한 현실이며,
- 일반 엔진의 교체 사업을 전기추진시스템으로 대처하는 방안을 추진하고 있음.
- 농림수산식품부 어업정책과를 주축으로 전남, 경남, 부산, 제주 등이 많은 관심을 갖고 있음.

### 5. 해외시장

- 배터리 가격이 50% 정도 하락할 경우
- 일본의 연근해 선박
- 중국의 내수면 선박
- 동남아시아의 연근해 선박

# “전기어선 시대 임박 국가적 지원·공론화 필요”

세계 최초 전기어선 완도→제주 시험운항 성공  
상용화 땀 영세어민 유류비 절감 큰 도움 기대

2011년 11월 17일 (목) 20:54:01 정인준 기자 [womania@hanmail.net](mailto:womania@hanmail.net)



지난달 13일 오후 6시 제주 도두항에 지금까지 세계 어디에서도 볼 수 없었던 소형 어선 한 척이 들어왔다. 어선이라면 당연히 있어야 할 엔진소리도 없이 조용히 물살을 가르며 스스로 미끄러지듯 나타났다. 세계 최초 전기(충전식 리튬인산철 배터리) 어선이 등장하는 순간이다.

이 배는 이날 전남 완도 화룡포에서 오전 6시에 출발해 12시간 동안 120km의 거친 파도를 헤쳐 왔다. 평균속도 5.6노트(10.37km/h), 최고 속도 12노트(22.22km/h), 무게는 3t이다. 바다를 아는 사람들은 3t급 소형 어선이 남해바다를 건넜다는 것에 대해 “기적같은 일”이라고 말한다. 3t급 어선은 가까운 바다 어업용이기 때문에 망망대해에선 그야말로 일엽편주라는 것. 게다가 검증이 안 된 2차전지 전기어선이라니, 무모한 도전이었다고 말한다.

## ◇일엽편주, 기적같은 120km 항해

하지만 이 전기어선 개발의 산파역을 맡았던 울산대학교 조선해양공학부 박노식 교수는 “무모한 걸 알았지만 (성공에)자신 있었다”고 말했다. 기존 어선 보다 안정성이 높은 새로운 선형설계와 최장 200km까지 갈 수 있는 배터리팩 성능 등을 실험과 근해 운항을 통해 확보했기 때문에 이를 증명할 수 있는 극한 조건의 시험운항이 필요했다는 것. 그 결과 이 배는 기적 같은 성능을 보이며 당당히 그 존재감을 세상에 알렸다. 박노식 교수를 만나 소형 전기어선 개발 배경과 과정, 그리고 앞으로 남은 과제 등을 들었다.

박 교수는 “우리는(한국) 소형 전기어선이 꼭 필요해 개발을 했다”고 강조했다. 때문에 “세계 최초라는 게 별의미를 부여하지 않는다”고 말했다. 그는 또 “다른 나라는 (소형 전기어선)개발에 관심이 없었을 수도 있을 것”이라며 “세계 각국이 전기자동차 상용화 경쟁을 하고 있는 것과는 다르다”고 밝혔다.

## ◇WTO 대응 절박감이 개발 배경

‘꼭 필요하다’는 건 절박하다는 것이다. 소형 전기어선 개발의 절박함은 WTO체제에서 찾을 수

있다. 2007년부터 WTO는 우리 정부가 어민들을 지원하는 면세유에 대해 비판의 날을 세우고 있다. 1ℓ 당 1천원씩 지원하는 면세유를 중지하라고 압박하고 있다. 우리 정부는 FTA를 체결하며 WTO와의 약속 이행을 늦추고 있지만 결국 WTO의 규약에 '따라 면세유 지원을 중단해야만 한다. 즉 영세 어민들은 고유가 시대에 고사를 면치 못하는 상황에 직면하기 전 이를 대비해야 한다는 것이다.

이에 착안한 박 교수는 2008년말 농림식품부 국책과제로 선정받아 '전기 추진 소형 어선'개발에 들어갔다. 3년간 11억원(국비 8억원, 민자 3억원)이 투입됐다. 박 교수가 이론과 계산 등을 총괄했고, 태우해양기술(대표 김영수)이 선박설계를, G&W테크놀로지(대표 김상욱)가 배터리 부분을 담당했다. 박 교수와 이 두 회사의 대표는 학연과 사제지연으로 맺어져 탄탄한 기술력에 팀워크 시너지 효과를 나타냈다. 소형어선이 120km의 거친 파도를 헤치고 나갈 수 있었던 데는 이런 기술력과 팀워크가 뒷받침 됐기에 가능했다.

#### ◇“어민들이 매우 좋아 하더라”

전기어선은 1t급과 3t급 두 종류로 개발됐다. 2009년도 1t급은 낙지잡이 어선으로 항속거리 30km, 2010년도 3t급은 항속거리 180km 성능을 확보했으며 현재 프로그램이 완성되면 240km이상을 항해할 수 있을 것으로 추정하고 있다. 전기어선의 핵심이랄 수 있는 배터리는 리튬인산철 배터리로 가벼우면서 효율성이 뛰어난 것으로 알려졌다. 특히 이 배터리는 완속으로 풀충전 하더라도 4시간 밖에 걸리지 않을 정도로 성능이 좋다.

박 교수는 “전기어선을 개발해 놓고 보니 어민들이 더 좋아하더라”며 “첫째는 어민들은 대부분 엔진소리에 청각장애를 앓고 있는데 우선 조용하니 좋고 둘째, 현 3t급 어선이 10만km를 운항할 때 유류비가 4천만원 정도 드는데 전기어선은 이의 10분의 1 수준인 400만원이면 가능하다니 모두들 놀라워 했다”고 전했다. 현재 전기어선은 1t급 2척, 3t급 2척 등 4척이 제작돼 전남 목포 쪽에서 어민들이 운용하며 데이터 확보를 위한 실증사업을 하고 있다.

박 교수는 다만 “고가의 전기어선 값이 흠”이라고 말했다. 3t급 전기어선의 가격은 1억원 정도. 현 기존 어선의 값은 5천만원으로 5천만원이 비싸다. 하지만 정부가 면세유 지원금을 전기어선 지원금으로 돌려 줄 수 있는 방법을 찾는다면 불가능한 일도 아니다. 현재 정부는 전기차 구입 비용을 3천만원 정도 지원할 계획인데 1천500만원은 정부가, 1천500만원은 지자체로 배분할 계획이다. 박 교수는 “이러한 정책적 지원이 필요하다”고 지적했다. 현재 우리나라에서 3t급 이하 어선은 약 6만여척(1t급 이하 2만여척). 향후 면세유 지원 중단을 대비해 지금부터라도 조금씩 전기어선으로 전환하는 게 필요하다는 것.

#### ◇국내기업·인도네시아도 관심 보여

이와 함께 박 교수는 “전기어선의 선박등록 등 법적 제도화도 필요하다”고 지적했다. 현행 선박은 엔진선박만을 인정하고 있기 때문에 전기어선이 상용화될 수 있는 길이 막혀 있다. 또 “기술표준을 정하는 등 전기어선 시대에 대한 공론화도 필요하다”고 안타까움을 전했다. 이는

시작초기의 어지러움으로 기술은 농림수산식품부가, 선박허가는 국토해양부가, 그린산업R&D 지원은 지식경제부가 큰 몫을 하고 있기 때문에 이에 대한 부서간 협조도 필요하다고 지적했다.

그렇더라도 박 교수는 “전기어선의 상용화가 임박해 지고 있음이 틀림없다”고 말했다. 이 선박의 개발은 정부의 우수성과 사례로 소개되면서 국토해양부와 지식경제부의 관심을 받고 있다. 또 전기어선 개발이 알려지면서 국내기업의 문의와 인도네시아에서도 도입을 타진해 오고 있다. 세계 각국이 전기차 개발에 각축을 벌이고 있을 때 조선강국 한국에서 소형 전기어선 시대가 조용히 열리고 있는 것이다.

글=정인준·사진=김미선 기자

2011년 2월 11일 MBC다큐촬영 3월 방송분

2011년 10월 14일 완도-제주 운항 보도자료

KBS 9뉴스

동아일보를 비롯한 언론기과 20여 곳에서 보도