

# 복합지지형 초고속 저항추진 기술개발(Ⅱ)

## The Resistance and Propulsion Characteristics of the Super-High Speed Hybrid Hull Forms

1993. 8.

연 구 기 관  
한 국 기 계 연 구 원  
선박 · 해양공학연구센터

과 학 기 술 처

# 제 출 문

과학기술처 장관 귀하

본 보고서를 “복합지지형 초고속 저항추진 기술개발(II)”과제의 최종보고서로 제출합니다.

1993. 8. 25.

주관연구기관명 : 한국기계연구원

선박·해양공학연구센터

총괄연구책임자 · 양 승 일

연 구 원 :

## 저항추진분야

신 명 수 (분야책임자)

김 은 찬

반 석 호

박 용 제

## 추진장치분야

이 진 태 (분야책임자)

김 기 섭

서 정 천

서 성 부

시스템설계분야

양 승 일 (분야책임자)  
고 창 두 (선 형)  
강 병 윤 ( " )  
최 혁 진 ( " )  
임 용 곤 (시스템종합)  
유 정 석 ( " )  
최 일 학 ( " )

모형제작 및 시험

김 병 연 (분야책임자)  
문 덕 용 (모형 시험)  
엄 주 열 ( " )  
권 기 진 ( " )  
남 기 풍 ( " )  
오 세 일 (모형 제작)  
전 재 달 ( " )  
권 만 기 ( " )  
이 재 술 ( " )  
하 익 수 ( " )  
김 영 태 ( " )

협동연구기관명 : 삼성중공업주식회사

주 영 렬  
장 학 수  
위 장 우

# 요 약 문

## I. 제목

복합지지형 초고속 저항추진 기술개발 (II)

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

경제규모의 확대와 생활수준의 향상으로 해상화물과 여객의 시간가치가 제고됨에 따라 해운산업도 신속한 물류서비스를 제공할 수 있어야 한다. 이에 따라 해상교통수단도 커다란 변화가 예상되고, 신속 안전 대량 수송서비스가 가능한 초고속 해상교통시대가 도래될 것으로 전망된다.

초고속 해상수송은 다른 수송산업과 경쟁하기 위해서는 빠르고 비싼 항공수송과 싸고 느린 재래선박수송의 장점을 상호 보완한 중간적 수단으로서의 수송능력을 가져야 한다.

놀웨이 등에서는 80년대 말부터 초고속선 기술개발에 착수하여 350인승, 45노트급 여객선을 상품화하였고, 최근에는 50노트급 수중익 카타마란형 여객선이 실용화되었다. 90년대부터는 일본, 놀웨이, 프랑스등에서 재화중량 1,000톤 항해속도 50노트 및 파고 6m에서 운항하는 화물선이 개발중에 있다. 이와같이 선진 조선산업국에서 초고속선을 적극 개발하는 이유는 향후 초고속선을 독점적으로 건조하는 기술경쟁 우위의 조선산업국으로의 도약을 기하고 있기 때문이다.

국내에서의 고속선 개발은 70년대부터 시도되어 168인승 35노트급 공기부양선이 개

발된 이래 고속선의 설계건조가 진행되고 있으나, 현재는 놀웨이로부터 40노트급 여객선 6척이 도입되어 연안항로에 운항중에 있다.

따라서 우리나라의 조선 및 해운산업의 경쟁력 강화를 위한 초고속선의 연구개발이 수행되어야 한다. 이에는 재래선박의 기술적 한계(초고속, 대출력추진, 고속운항 자세 제어, 고강도 경량구조)를 극복하기 위한 초고속선 관련 핵심기술이 우선 확보되어야 한다. 이중에서도 복합지지형 저항추진기술, 대출력 물제트 추진기술, 시스템 종합기술 등이 우선적인 핵심기술이다.

이에 따라 본 연구에서는 21세기 해상교통의 주역이 될 복합지지형 초고속 저항추진 기술의 개발을 최종목표로 하고 있다. 1차년도 연구에서는 복합지지형 쌍동선형의 모형시험과 저항추정기법개발, 대출력 물제트 추진장치 성능평가 기법연구, 초고속 기술의 시스템종합 기법연구와 초고속 여객선의 개념설계를 수행한 바 있다.

당해년도인 2차년도에서는 수중익선과 표면효과선의 모형시험과 성능해석 기법개발, 물제트 추진장치의 모형시험 기법연구, 그리고 새로운 복합지지형 초고속 선형개발과 초고속선 의장시스템 연구에 목적을 두고 있다.

### Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 복합지지형 초고속선 개발에 필요한 핵심기술로서 초고속 선형인 표면효과선과 전물형 수중익선의 모형시험 및 저항특성을 연구하였으며, 고속선의 저항성능 해석에 필요한 선형주위 유장의 시뮬레이션 기법을 개발하였으며, 대출력 물제트 추진시스템의 성능해석을 위한 모형시험 기법을 연구하였으며, 최적시스템 설계를 위하여 새로운 복합지지형 초고속선의 개념을 제시하여 고유의 복합지지형 초고속 선형을 개발 도출하였으며, 복합지지형 초고속선에 적용될 의장시스템 및 관련법규를 연구를 하였다.

본 연구에서의 주요 내용은 다음과 같다.

- 복합지지형 선형 연구
  - 표면효과선과 수증익선의 수조 예인시험 기법
  - 표면효과선과 수증익선의 모형시험 수행
  - 표면효과선과 수증익선의 저항성능해석
  - 초고속 선형주위 유장의 시뮬레이션 기법
- 물제트 추진장치 모형시험 기법연구
  - 물제트 추진의 전체추력 계측방법
  - 추력계측 방법의 검증
  - 물제트 펌프설계 방법
- 복합지지형 초고속 선형개발 및 시스템 구성 연구
  - 새로운 복합지지형 초고속 선형도출
  - 초고속선의 주요 의장시스템 구성기법
  - 초고속선용 국제해사법규의 분석

## IV. 연구개발 결과

“복합지지형 초고속 저항추진 기술개발”의 2차년도 연구에서 수행된 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 복합지지형 초고속 저항특성 및 선형주위 유장의 수치계산 기법연구
  - 표면효과선과 전물형 수증익선의 저항추정기법 개발 및 모형시험을 통한 저항추정과 실선 자료와의 비교를 통한 기법의 평가

- 대상선형 : 표면효과선 (길이 31m, 최대속도 54노트)

    : 수중익선 (길이 34.4m, 최대속도 48노트)

- 마력추정 : 표면효과선 (설계속도 45노트)

    . 모형시험 결과 : 4,445 HP

    . 실선 자료 : 4,471 HP

    : 수중익선 (설계속도 42노트)

    . 모형시험 결과 : 4,442 HP

    . 실선 자료 : 4,800 HP

o 인수분해 유효법에 의한 수식선형(Wigley Hull) 선형주위 유장의 계산 프로그램 개발

- 자유표면이 없는 점성유장의 계산된 선체주위의 속도와 압력분포는 실험결과와 일치하고 있음.

- 물체표면의 경계조건을 벽법칙 도입하여 계산시간의 단축 및 정도향상

## 2) 물체트 추진장치의 모형시험 기법연구

o 물체트 추진장치에 대한 모형시험에서의 추력계측방법 수립

o 모형시험용 펌프 설계방법 연구

o 모형시험 기법 개발을 위한 예비 연구

- 단독 특성시험

- 자항추진시험

## 3) 복합지지형 초고속 선형개발 및 시스템 구성 연구

o 새로운 복합지지형 초고속 선형(5종) 개발

① KRISO Design I (Catamaran + Submerged Body + Foil)

    . 선체중량지지 : 물수체부력 50% + 수중익양력 30% +

양선체부력과 활주효과 20%

② KRISO Design II (Mono Hull + Submerged Body + Foil)

. 선체중량지지 : 물수체부력 50% + 수중익양력 50%

③ KRISO Design III (SES + Foil)

. 선체중량지지 : 부양공기압력 60% + 수중익양력 20% + 양선체부력과 활주효과 20%

④ KRISO Design IV (SES + Submerged Body + Foil)

. 선체중량지지 : 부양공기압력 40% + 물수체와 부력 40% + 수중익양력 20%

⑤ KRISO Design V (Catamaran + Stepped Hull)

. Catamaran 선형에 바닥을 계단을 불연속 형상을 하여 고속항주시 침수표면적 줄여 저항 감소.

o 초고속선의 선형별 주요시스템 계획

- 선형별 주요시스템 구성기법

. 카타마란선 : 운동감쇄 시스템 (Motion Damping System)

. 표면효과선 : 운동자세 제어시스템 (Ride Control System)

부양시스템 (Lift System)

Seal 시스템

. 수중익선 : Strut와 Foil 시스템

자동자세 제어시스템 (Automatic Control System)

- 초고속선의 주요 의장시스템 구성기법

- 복합지지 선형에 적합한 선체재료 분석

- 초고속선용 관련법규 분석

. IMO Res. A.373(X)의 개정동향

. GMDSS의 도입전망과 이용방안



## V. 활용에 대한 건의

본 연구를 통하여 복합지지형 초고속선인 표면효과선과 전물형 수중익선에 대해 모형시험기법 및 해석기법을 정립하고 저항특성을 해석하였고, 선형주위 유장의 시뮬레이션 기법 개발을 통하여 계산에 의한 초고속선의 저항성능 평가기법을 마련하였다. 또한 대출력 물제트 추진장치의 성능해석을 위하여 모형시험 기법에 대한 단독시험 및 저항 추진시험의 이론적해석 기법을 마련하였다.

그리고 새로운 복합지지형 초고속 선형의 개념을 제시하여 고유의 복합지지 대상 선형을 도출하였으며 선형별 주요시스템의 구성 및 관련법규의 현황 분석을 수행하였다. 특히 본 연구결과의 활용으로 길이 40m, 40노트급 여객선(FCAT-40)과 길이 80m, 40노트급 카페리선(FCAT-80)의 선형개발 및 150인승 초고속 여객선의 개념설계를 수행하여 관련 조선업체에 제공한 바 있다.

3차년도 연구에서는 새로운 개념의 복합지지형 초고속 선형에 대한 모형시험 및 저항특성을 연구하고 초고속선 주위 유장의 수치 시뮬레이션을 수행하고, 물제트 추진장치의 모형시험 및 성능해석 평가를 연구할 예정이다. 그리고 복합지지형 초고속선의 개념설계 및 운항성능을 추정하고 수중익선의 Foil성능 해석과 설계특성 평가를 수행할 예정이다.

이러한 연구결과는 국내에서의 초고속선 개발에 필요한 원천적 요소기술로 활용될 뿐만 아니라 선진 조선국에서의 핵심기술도입에 따른 기술도입에 따른 기술종속 현상을 방지하고 앞으로 초고속선과 같이 고부가 가치선의 설계기술 자립으로 가격 경쟁력의 우위를 점유할 수 있을것이다.

앞으로 복합지지 초고속 선형의 저항.추진기술, 대출력 물제트 추진장치 기술 및 최적시스템 구성기법의 고정도와 함께 초고속선의 운항자세 제어기법, 선체 경량화 구조 설계 및 방음. 방진 설계기법에 대한 연구가 병행되어 관련기술을 보완되면 국내에서도

초고속선 개발에 필요한 핵심기술이 대부분 확보될 수있다.

이어서 기업이 참여하여 생산설계, 건조, 시운전평가가 후속적으로 수행된다면 초고속선에 관한 대외 경쟁력이 확보되어 수입대체 효과는 물론 상품화된 초고속선의 해외 수출도 기대된다. 또한 이러한 핵심기술은 초고속 화물선 및 카페리선의 원천기술로 활용될 수 있으며 고속함정등 특수목적선에도 응용기술로 이용이 가능할 것이다.

본 연구에서 개발된 핵심기술은 공유성(Generic) 내지는 경쟁전(Precompetitive) 기술로서 기업에 제공될 것이며, 따라서 앞으로 기업은 연구소, 대학 및 관련기관과의 협동연구체제 구축으로 초고속 시제선의 설계건조를 위한 개발사업으로 확대 추진하여야 한다.

# S U M M A R Y

## I. Subject

The Resistance and Propulsion Characteristics of the Super-High Speed Hybrid Hull Forms (II)

## II. The Object and Importance of the Project

The future shipping business should be able to provide more efficient service of the cargo distribution since higher values in time of passenger and cargo will be anticipated due to the expansion of the economic capacity and the improvement of the living standard. Therefore, new types of marine vehicles will be developed for new service of the shipping business and the fast and comfortable marine transportation days will come in the 21st century.

The marine transport industry will be able to strongly compete against other transport industries by providing the new transport service with merits of both the fast-but-expensive air transportation and the cheap-but-slow traditional marine transportation.

The passenger crafts with a speed of up to 45 knots and 350 seats have been commercialized from the late 80's and the hydrofoil catamarans with a speed of 50 knots have been built recently. The cargo ship (50 knots and 1,000 tons loading)

are now being studied in Japan, France, Norway, etc. These advanced countries have been actively developing the super-high-speed ships because they necessitate to keep the technological predominance as the advanced shipbuilding countries which can exclusively provide the highly valuable and sophisticated ships in the world's shipbuilding market.

Since the development of the high speed craft had been initiated from the 70's and air cushion crafts with a speed of 35 knots and 168 seats were commercialized in 1983 in Korea, several high speed passenger crafts had been designed and built in Korean shipyards. However, six passenger crafts with a speed of 40 knots built in Norway are now being operated in the coastal service lines.

Therefore, it is necessary to carry out the development of the super-high-speed ships for the consolidation of the competitive power for both the shipbuilding and the shipping industries. To overcome the technological limits of the traditional ships, the core technologies for the super-high-speed ships should be securely developed such as the super-high-speed, the large-powered propulsor, the control of ship motion and the high strength structure of light weight. Among these, the most preferential technologies are the resistance and propulsion of the super-high-speed hybrid hull forms, the large-powered propulsion system and the system integration of the technologies.

The aim of the present study is to develop the super-high-speed hybrid hull forms considering the resistance and propulsion characteristics. In the first year research, it was to carry out the model test and resistance prediction of a catamaran, the performance analysis of the waterjet propulsion system and the preliminary system integration for the design and conceptual design of the super-high-speed passenger craft.

In the second year research, the aim is to study : firstly, the model test and analysis techniques of a hydrofoil craft and a surface effect ship, secondly, the model test technique of the waterjet propulsion system and finally, the hybrid hull form designs and the outfitting systems for the super-high-speed ships.

### III. Contents and Extents of the Project

The development of the super-high-speed ships requires following technologies :  
① Firstly, the super-high-speed hybrid hull forms whose weights are supported by the combinations of either the buoyancy and/or the powered static lift and/or the dynamic lift to surpass the possible speed limit by the traditional hull forms. ② Secondly, the large-powered propulsion system which can overcome the high speed limit by screw propellers. ③ Finally, the optimum system design by integrating the related technologies.

In the present study, two hybrid super-high-speed hull forms were tested for the resistance prediction of a catamaran and a surface effect ship. Also, the numerical simulation of the flow field was carried out. The experimental technique for the performance analysis of the waterjet propulsion system was studied. Finally, new hybrid hull forms and the outfitting system were studied for the design of the super-high-speed passenger craft and the related rules and regulations were studied.

Therefore, the present study consists of the followings.

- a. Study on the super-high-speed hybrid hull forms
  - model test technique in towing tank : hydrofoil craft and SES
  - resistance test in towing tank : hydrofoil craft and SES
  - analysis of test results and prediction of full-scale performance
  - simulation of flow field
  
- b. Study on the model test technique of the waterjet propulsion system
  - measurement of total thrust by waterjet propulsion
  - validation of measuring technique
  - preliminary design of waterjet propulsion system
  
- c. Study on the super-high-speed hybrid hull forms and the system integration
  - development of new hybrid hull forms
  - integration of outfitting system
  - analysis of international rules and regulation

#### IV. Results of the Project

The results of the second year research are summerized as follows :

- a. Prediction of resistance and simulation of flow field of the hybrid hull forms
  - o development of model test and analysis techniques for a hydrofoil craft and a surface effect ship
  - o evaluation of the techniques by comparing the predicted power with the sea trial data

Hybrid hull form	Catamaran (34.4 mL, max 48 kts)	S E S (31 mL, max 54 kts)
Power. - Model test	4,442 PS at 42 kts	4,445 PS at 45 kts
Power. - Sea trial	4,800 PS at 42 kts	4,471 PS at 45 kts

- o development of computer program for theoretical analysis of the flow field
- b. Study on the model test technique of the waterjet propulsion system
- o development of measuring technique of total thrust
  - o design of pump for the model test
  - o preliminary study on propulsion test
- c. Development of hybrid hull form and system integration
- o development of new hybrid hull form for super-high-speed ship
    - ① KRISO Design I (Catamaran + Submerged Body + Foil)
      - . supported by : buoyance(50%), foil lift(30%), planing(20%)
    - ② KRISO Design II (Mono Hull + Submerged Body + Foil)
      - . supported by : buoyance(50%), foil lift(50%)
    - ③ KRISO Design III (SES + Foil)
      - . supported by : buoyance(60%), foil lift(20%), planing(20%)
    - ④ KRISO Design IV (SES + Submerged Body + Foil)
      - . supported by : buoyance(40%), foil lift(40%), planing(20%)
    - ⑤ KRISO Design V (Catamaran + Stepped Hull)
      - . the resistance is reduced by the decrease of the wetted surface area due to stepped hull

o integration of system

- catamaran : motion damping system
- SES : ride control system, lift system, seal system
- hydrofoil : strut and foil system, automation control system
- scheme of major system
- analysis of new hull material
- analysis of international rule and regulations :
  - . revision of IMO Res. A.373(X) : The code of safety for dynamically supported craft
  - . utilization of GMDSS

## V. Recommended Application

In the second year study, firstly the model test methods for a hydrofoil craft and SES and the simulation of the flow field were established, secondly experimental test method on the waterjet propulsion system was formulated, and finally the new hybrid hull forms of the super-high-speed passenger ship was visually proposed, and the international rules were reviewed. In the third year study, accurate analysis methods of resistance and propulsion will be studied for newly proposed hybrid hull forms. Also the propulsion test with the waterjet propulsion system and its analysis method will be studied. Finally the conceptual design of the new super-high-speed ship will be carried out. These results are believed to be utilized as core technologies for the development of the super-high-speed ships including high speed naval vessels.

It is firmly believed that mostly required technologies for the domestic



development will be secured in near future if the technologies such as the hybrid hull forms, the waterjet propulsion system and the system integration of the technologies are successfully studied but also the technologies such as the control of ship motion and the design of light-weighted, vibration-proof and sound-proof structure are additionally studied. The domestic shipbuilders should be able to secure new overseas export market through their stronger competitive power by subsequently succeeding the design, construction and evaluation of the proto-type ship.

The core technologies developed in the present research will be provided to the shipbuilders as generic technologies and precompetitive technologies, and then the shipbuilders should formulate the large scale R & D project for the design and construction of the proto-type super-high-speed ship through the cooperative research organization between the institutes, universities, etc.

# C O N T E N T S

Summary (Korean)	.....	3
Summary (English)	.....	10
Contents (English)	.....	17
Contents (Korean)	.....	21
List of Tables	.....	24
List of Figures	.....	26
Chapter 1 Introduction	.....	31
Section 1 Background and Object of the Project	.....	31
Section 2 Contents of the Project	.....	33
Chapter 2 Resistance Analysis of the Super-High Speed Hybrid Hull Forms	.....	35
Section 1 Introduction	.....	35
Section 2 Surface Effect Ship	.....	37
2.1 Model Ship and Test Equipment	.....	37
2.2 Resistance Components and Full Scale Prediction	.....	38
2.3 Results of Model Test	.....	41
Section 3 Hydrofoil Ship	.....	44
3.1 Model Ship and Test Equipment	.....	44

3.2	Resistance Componts	.....	44
3.3	Results of Model Test	.....	45
Section 4	Numerical Simulation of the Flow Field around a Mathematical Hull Form	.....	47
4.1	Governing Equations	.....	47
4.2	Numerical Method by Implicit Approximate Factorization	.....	50
4.3	Baldwin-Lomax Tubulence Model	.....	55
4.4	Calculated Results around a Mathematical Hull Form	.....	57
Section 5	Conclusions	.....	64
Chapter 3	Analysis by Boundary Element Method Related to HSV	.....	97
Section 1	Introduction	.....	97
Section 2	Basic Theory and Equations	.....	98
Section 3	Vortex and Source	.....	102
Section 4	Dipole and Circular Cylinder	.....	109
Section 5	Arbitrary Shape Body	.....	114
Section 6	Circulation due to Free-Surface ; Flat Plate with Angle of Attack	.....	122
Section 7	Conclusions	.....	130
Chapter 4	Survey of Model Test Technique for Waterjet Propulsion System	.....	133
Section 1	Introduction	.....	133
Section 2	Measurement of Waterjet Thrust	.....	134

Section 3	Design of Waterjet Pump	.....	137
Section 4	Survey of Model Test Technique	.....	139
4.1	Open Water Test	.....	139
4.2	Self-Propulsion Test	.....	140
Chapter 5	New Concepts of the Super-High Speed Hybrid Hull Forms and System Intergration	.....	143
Section 1	Introduction	.....	143
Section 2	New Concepts of the Super-High Speed Hybrid Hull Forms	.....	144
2.1	Concepts of the Hybrid Hull Forms	.....	144
2.2	Review of the Super-High Speed Hybrid Ship	.....	146
2.3	New Hybrid Hull Forms of Super-High Speed Ship	.....	156
Section 3	Scheme of Major Systems of the Super-High Speed Ship	...	158
3.1	Major Systems of the Super-High Speed Ship	.....	158
3.2	Anchoring and Mooring System	.....	168
3.3	Air Conditioning System	.....	172
3.4	Equipments of Passenger Space	.....	175
3.5	Life Saving and Fire Fighting System	.....	176
3.6	Electrical Power System	.....	180
3.7	Distribution System of the Electrical Power	.....	182
3.8	Navigation Equipment System	.....	184
3.9	Communication Equipment System	.....	189
Section 4	Application of New Materials for Hybrid Ship	.....	194
4.1	Composite Materials	.....	194

4.2	New Metallic Materials .....	201
Section 5	Analysis of International Rules and Regulations for Super-High Speed ship .....	204
5.1	Status of Present IMO Res. A. 373(X) .....	204
5.2	Reviews of Utilization of GMDSS .....	221
Chapter 6	Conclusions .....	269
References	.....	273

# 목 차

요약문	3
SUMMARY (영문 요약문)	10
CONTENTS (영문 목차)	17
목차	21
표목차 (List of Tables)	24
그림목차 (List of Figures)	26
제1장 서론	31
제1절 연구개발의 배경과 목적	31
제2절 연구개발의 내용	33
제2장 복합지지형 초고속 저항추진 해석	35
제1절 서언	35
제2절 표면효과선	37
2.1 모형선 및 시험장치	37
2.2 저항성분 분류 및 실선 추정법	38
2.3 시험 결과	41
제3절 수증익선	44
3.1 모형선 및 시험장치	44
3.2 저항성분 분리	44
3.3 시험 결과	45
제4절 수식선형 주위 유장의 수치계산	47

4.1	지배 방정식	47
4.2	옴해법에 의한 계산기법	50
4.3	Baldwin-Lomax 난류모델	55
4.4	수식선형 주위 유장의 계산	57
제5절	결언	64
제3장	경계요소법에 의한 초고속선 주위유장의 계산	97
제1절	서언	97
제2절	기본적인 정리 및 관계식	98
제3절	보텍스와 쏘오스	102
제4절	다이폴과 원주	109
제5절	임의 형상의 물체	114
제6절	순환에 끼치는 자유표면의 영향 ; 받음각을 가지는 평판	122
제7절	결언	130
제4장	물제트 추진장치 모형시험 기법 연구	133
제1절	서언	133
제2절	물제트 추력 계측방법	134
제3절	물제트 펌프설계 방법	137
제4절	모형시험 기법	139
4.1	단독시험	139
4.2	자향 추진시험	140
제5장	복합지지형 초고속 선형개발 및 시스템 구성	143
제1절	서언	143

제2절	새로운 복합지지 초고속 선형	144
2.1	복합지지 선형의 개념	144
2.2	복합지지 선박 연구 사례	146
2.3	새로운 복합지지 선형	156
제3절	초고속선의 주요시스템 계획	158
3.1	선형별 주요시스템	158
3.2	계선.계류설비	168
3.3	공기조화설비	172
3.4	여객실 설비	175
3.5	구명.소화설비	176
3.6	선내전원 시스템	180
3.7	배전시스템	182
3.8	항해장비 시스템	184
3.9	통신장비 시스템	189
제4절	복합지지선의 신재료 활용 검토	194
4.1	복합재료	194
4.2	신금속 재료	201
제5절	초고속선의 국제해사법규 분석	204
5.1	IMO Res. A.373(X)의 최근 개정동향	204
5.2	GMDSS의 도입전망과 이용방안	221
제6장	결론	269
	참고문헌	273



## 표 목 차 (List of Tables)

Table 2-1	Principle Dimensions of the SES .....	65
Table 2-2	Resistance Characteristics of Powering Performance (SES, Design Load) .....	66
Table 2-3	Resistance Characteristics of Powering Performance (SES, Full Load) .....	67
Table 2-4	Principle Dimensions of the Hydrofoil Ship .....	68
Table 2-5	Computational Condition .....	68
Table 5-1	Major Equipments of Super High-Speed Ship .....	232
Table 5-2	Provisional Rule(K.R) for the Anchoring & Mooring Equipment .....	233
Table 5-3	Holding Power-to-Weight according to Anchor Types	234
Table 5-4	Regulation for the Seat Equipment .....	234
Table 5-5	Phases of Impact .....	235
Table 5-6	Proposed Design and Test Criteria Seats	236
Table 5-7	Comparision of the SOLAS '83 and Res. A.373(X)	237
Table 5-8	Reviews of Practical use for the Unamored Cable	238
Table 5-9	Mechanical Properties of Various Fiber Reinforced Materials .....	239
Table 5-10	Mechanical Properties of Various Boron Fiber Reinforced Metals .....	239
Table 5-11	Comparision of Principal Characteristics of Ceramics and Metal .....	240

Table 5-12	Mechanical Properties of Various Titanium Alloys	.....	241
Table 5-13	An Example of Application of Titanium Alloys	.....	241
Table 5-14	The Function and Problems of SOLAS '74	.....	242
Table 5-15	Detailed Introduction Schedule for the System Elements of GMDSS	.....	243
Table 5-16	Control Requirements of GMDSS	.....	244

## 그림목차 (List of Figures)

Fig. 2-1	Schematic Drawing for Resistance Test of the SES .....	69
Fig. 2-2	Curves of Resistance Coefficients (SES, Design and Full Load) .....	70
Fig. 2-3	Curves of Trim and Mean Sinkage (SES, Design and Full Load) .....	73
Fig. 2-4	Curves of Wetted Surface Area (SES, Design and Full Load)	72
Fig. 2-5	Photographs of Running Ship Model (SES, Design Load) .....	73
Fig. 2-6	Curves of Effective Power (SES, Design and Full Load)	77
Fig. 2-7	Body Plan (Hydrofoil Ship) .....	78
Fig. 2-8	Photographs of Model Ship (Hydrofoil Ship) .....	79
Fig. 2-9	Schematic Drawing for Resistance Test of the Hydrofoil Ship .....	81
Fig. 2-10	Curves of Resistance (Hydrofoil Ship, Design Load and Ballast) .....	82
Fig. 2-11	Curves of Trim and Mean Sinkage (Hydrofoil Ship, Design and Full Load) .....	83
Fig. 2-12	Photographs of Running Ship Model (Hydrofoil Ship, Design Load, from Top: 28, 32, 36 and 40 knots) .....	85
Fig. 2-13	Photographs of Running Ship Model (Hydrofoil Ship, Design Load, 40 knots) .....	87
Fig. 2-14	Coordinate System .....	89

Fig. 2-15	Grid System	.....	89
Fig. 2-16	Time Evolution of the Drag Coefficients	.....	90
Fig. 2-17	Pressure Contour Map ( $\Delta p=0.005$ )	.....	90
Fig. 2-18	Pressure at $z=0.0$	.....	91
Fig. 2-19	$u$ Distribution at $z=0.0$	.....	91
Fig. 2-20	Wake Contours	.....	92
Fig. 2-21	Eddy Viscosity $\nu_t$	.....	93
Fig. 2-22	Grid System	.....	93
Fig. 2-23	Time Evolution of the Drag Coefficients ( $Fn=0.25$ )	.....	94
Fig. 2-24	Time Evolution of Calculated Wave Contour Maps at $Fn=0.25$	.....	94
Fig. 2-25	Comparison of Calculated and Measured Wave Profiles	.....	95
Fig. 2-26	Comparison of Calculated and Measured Pressure Distributions (Vertical Exaggeration is 5:1)	.....	96
Fig. 3-1	Additional Lift, $Y_v$ due to Free Surface for a Submerged Point Vortex, given by Eq. (3-38)	.....	131
Fig. 3-2	Lift, $Y_d$ due to Free Surface for a Submerged Point Dipole, given by Eq. (3-55)	.....	132
Fig. 4-1	Flow around Inlet	.....	141
Fig. 4-2	Variation in Pump Impeller Shape with Specific Speed	.....	141
Fig. 4-3	Free Surface Cavitation Tunnel	.....	142
Fig. 4-4	Flush Inlet Model	.....	142
Fig. 5-1	Schematic Representation of Possible Hybrid Vehicles	.....	245
Fig. 5-2	Hydrofoil Scaling Problems	.....	245

Fig. 5-3	HYSWAS 4000	.....	246
Fig. 5-4	Extended Performance Hydrofoil Concepts	.....	246
Fig. 5-5	Hybrid Drag Trends	.....	247
Fig. 5-6	Hybrid Hydrofoil Multimission Deployable Vehicles	.....	247
Fig. 5-7	Hydrofoil Catamaran (HYCAT)	.....	248
Fig. 5-8	CATAFOIL	.....	248
Fig. 5-9	Calm Water Drag and Thrust Curves for CATAFOIL	.....	249
Fig. 5-10	Hydrofoil Catamaran HC 2000 Concept	.....	249
Fig. 5-11	HYSWAS Ferry	.....	250
Fig. 5-12	INCAT Trifoil Concepts	.....	251
Fig. 5-13	Techno-Superliner TSL-F (Initial Version)		251
Fig. 5-14	Techno-Superliner TSL-F (Recent Version)	.....	251
Fig. 5-15	HYUNDAI Long-Range High-Speed Foil Catamaran	.....	252
Fig. 5-16	Daewoo F-CAT	.....	253
Fig. 5-17	New Hybrid Hull Form Concept (HYSWAS)	.....	253
Fig. 5-18	New Hybrid Hull Form Concept	.....	253
	(HYSWAS with Foils of Low Aspect Ratio)	.....	255
Fig. 5-19	New Hybrid Hull Form Concept (HYACS)	.....	255
Fig. 5-20	New Hybrid Hull Form Concept (SWAACS with Foils)		255
Fig. 5-21	New Hybrid Hull Form Concept (Catamaran with Stepped Bottom)	.....	256
Fig. 5-22	A Schematic Diagram of Motion Damping System		257
Fig. 5-23	Vertical Acceleration vs Sea Direction with and without MDS	.....	257
Fig. 5-24	Lift and Ride Control System of the SES	.....	258

Fig. 5-25	Strut and Foil System of the Foilcat	.....	259
Fig. 5-26	A Schematic Diagram of Automatic Control System	.....	260
Fig. 5-27	Motion Sensors of the Foilcat	.....	260
Fig. 5-28	Flow Chart of Anchoring and Mooring Equipment	.....	261
Fig. 5-29	Weight Comparison of Danforth Anchor and Stockless Anchor	.....	261
Fig. 5-30	HVAC System applied to Main Engine Cooling Water	.....	262
Fig. 5-31	System Diagram of Navigation Equipment System	.....	263
Fig. 5-32	System Diagram of RADAR System	.....	264
Fig. 5-33	System Diagram of Gyro Compass	.....	265
Fig. 5-34	System Diagram of Autopilot System	.....	266
Fig. 5-35	System Diagram of Speed Log System	.....	267
Fig. 5-36	An Example of Application of Amorphous Metal	.....	268

여 백

# 제 1 장 서 론

## 제1절 연구개발의 배경과 목적

경제규모의 확대와 생활수준의 향상으로 화물수송량은 급격히 증가하고 있으며 상품의 고부가 가치화와 생산거점의 해외 전개등에 의해 대량 고속수송에 대한 수요가 현저히 증가하고 있다. 이제까지의 국제 화물수송 수단으로써는 선박과 항공기가 주류를 이루었으나 다가오는 21세기의 대량 고속수송의 요구에는 속력과 경제적 면에서 모두 한계가 있으며 특히 항공기의 경우에는 대량 항공수송을 위해 공항시설을 확충해야 하는등 경제적 부담이 늘게된다. 국내의 화물수송을 주로 담당하는 육상운송의 경우에도 교통정체에 따라 수송력의 한계에 부딪치고 있다.

이에따라 기존 물류시스템의 고도화 혹은 새로운 물류 시스템으로의 전환이 요구되고 있으며, 초고속선은 비싼 소량 운송의 항공기와 느리고 값싼 대량운송의 재래선박 교통수단의 단점을 보완할 수 있는 중간적 수송수단으로서의 장점을 갖는 것으로 국내외에서 개발을 서두르고 있다.

군사용으로 먼저 개발된 고속선은 80년대 말부터 본격적으로 노르웨이등에서 여객선으로 상업화되기 시작하였으며 최근에는 수중익 카타마란선이 실용화되어 50노트의 속력으로 운항가능한 선박이 개발되었다.

최근의 세계적 초고속선의 개발동향은 초고속 여객선의 고성능화와 더불어 초고속선 화물선을 개발하고 있다. 초고속 화물선을 개발중인 나라는 일본, 프랑스, 노르웨이 등이며 목표성능은 1,000톤의 화물을 적재하고 50노트의 속력으로 운항 가능하며 파고 6m의 해상에서도 안전 운항할 수 있는 선박을 개발 목표로 하고 있다. 특히 일본의 초고속선 개발은 '89년에 시작되어 6년간의 TSL(Techno-Superliner) 연구사업으로 공기부양선(TSL-A) 형식과 수중익선(TSL-F) 형식의 두가지 선형을 개발중에 있으며 실



제 해상에서 실험을 수행하기 위하여 '92년부터 시험선을 건조하기 시작하였으며 '94년부터 본격적으로 실제 해상에서 실험을 수행할 예정이다. 이들 국가외에도 이태리, 스페인, 독일등의 선진 조선 기술국에서는 초고속 화물선의 전 단계로 대형 초고속 카페리선을 개발중에 있다.

이와같이 선진 조선산업국에서 초고속선을 적극적으로 개발하는 이유는 향후 초고속선의 수요가 많을 것으로 예상되기 때문이며 제어, 추진, 소재분야의 첨단기술이 집목된 고부가가치 선박으로서 현재의 재래선박 건조분야에서 상실한 조선산업의 경쟁력을 회복할 수 있을 것으로 판단하기 때문이다.

국내에서의 고속선의 기술수준이 낙후되어 1980년대 말부터 선진 기술국에서 초고속 여객선을 6척 도입하여 운항중에 있다. 우리나라가 세계 제2위의 조선산업국의 위치를 유지하기 위해서는 고부가가치 선박을 개발할 수 있어야 한다. 이에따라 한국기계연구원 선박.해양공학연구센터 에서는 1990년도 과학기술처 21세기 교통기술 개발사업의 일환으로 "21세기 쌍동형 초고속선 개발을 위한 타당성 연구"[1-1] 사업수행과 "초고속선에 관한 특별강연회"[1-2], 학술지[1-3], "'91 초고속선 WORKSHOP"[1-4], "초고속선에 관한 기술동향 보고"[1-5]를 통하여 우리나라를 중심으로 한 해상교통의 현황을 분석하고, 초고속선 관련 핵심기술을 도출하였으며 또한 초고속선의 기술개발 및 향후 추진계획에 대한 연구방향을 제시한 바 있다. 이러한 연구방향을 토대로 "'92 초고속선 WORKSHOP"[1-6]과 "'93 초고속선 WORKSHOP"[1-7]을 개최한 것을 비롯하여 학술논문[1-8,1-9,1-10] 발표등을 통하여 기술개발의 필요성 및 핵심기술에 대하여 발표한 바 있다.

본 연구에서는 21세기 해상교통의 주역이 될 복합지지형 초고속 저항추진 기술의 개발을 최종목표로 하고 있으며 1차년도 연구에서 초고속선의 기초기술인 쌍동선 형식의 선형에 대한 모형시험 및 해석기법을 개발하였으며 시스템 종합기법 연구를 위하여 초고속 여객선에 대한 개념설계를 수행한 바 있다.

"복합지지형 초고속 저항추진 기술개발" 사업의 2차년도 연구에서는 수증익선과 표

면효과선의 모형시험 및 해석기법, 물제트 추진장치의 모형시험 기법 및 새로운 복합지지 선형도출 및 의장시스템의 연구에 목적을 두고 있다.

## 제2절 연구개발의 내용

초고속선의 대형화에 따른 가장 큰 문제는 속력 증가에 따라 급격히 기관마력이 증가하는 것이다. 이를 해결하기 위해서는 선체의 중량을 재래선박과 같이 부력에 의한 단일 지지방식으로는 곤란하며 수중익 양력과 공기압력 등으로 지지하는 복합지지 선형이 되어야 한다. 그러므로 초고속선이 화물선으로 실용화되기 위해서는 복합지지 선형의 개발 및 이와 관련한 저항·추진 특성의 해석이 선행되어야 한다.

또한 고속에서 대출력을 발생시킬 수 있는 추진기 기술을 확보해야 하는데 기존의 수중 프로펠러는 고속회전시 효율저하, 선체진동, 캐비테이션, 날개 손상등이 발생되므로 물제트(Waterjet) 추진장치가 가장 유력한 추진기로 판단되고 있으므로 이와 관련한 연구가 동반되어야 한다.

초고속선이 복합지지 선형으로 되기 위해서는 선체 부양시스템이 필요하며 선체부양에 따른 선체자세의 불안정을 해결하기 위한 선체 자세제어 시스템등 첨단기술이 응용된 장비가 다수 설치되며 선체구조와 의장시스템의 고효율, 경량화 설계가 필수적이다. 또한 이들 시스템의 상호연관을 고려하여 원만한 시스템 종합기술이 대단히 중요하다.

이에따라 본 연구에서는 초고속선의 선형으로 최근 많은 관심을 모으고 있는 카타마란선과 표면효과선(SESES)에 대한 선형설계와 모형 수조시험을 1차년도에 수행한 바 있으며 본 2차년도에서는 표면효과선에 대한 좀더 정도 높은 성능추정 기법확립을 위하여 모형 수조시험을 수행하고, 수중익선에 대한 모형 수조시험을 수행하여 초고속선의 모든 기초선형에 대한 모형시험 및 해석기법을 정립하였으며, 각 선형에 대한 저항특성을 연구하고 물제트 추진장치의 성능해석 기법을 개발하였다. 또한 새로운 복합지지 선형

의 개념 제시하여 고유한 복합지지 대상 선형을 도출하였으며 복합지지 선형에 적용될 각종 의장시스템과 관련 규칙에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구를 통한 주요 연구내용은 다음과 같다.

○ 복합지지형 선형 연구

- 표면효과선, 수증익선의 수조 예인시험 기법개발
- 표면효과선, 수증익선의 모형시험
- 표면효과선, 수증익선의 저항 성능해석
- 초고속 선형주위 유장의 시뮬레이션 기법개발

○ 물제트 추진장치 모형시험 기법연구

- 물제트 추진기의 전체추력 계측기법
- 추력 계측방법의 검증
- 물제트 펌프 설계기법

○ 복합지지형 초고속 선형개발 및 시스템 구성연구

- 새로운 복합지지형 초고속 선형도출
- 초고속선의 주요 의장시스템 구성기법
- 초고속선용 국제해사법규의 분석

본 연구보고서의 제2장에서는 초고속선의 저항특성, 제3장에서는 초고속선 주위유장의 계산, 제4장에서는 물제트 추진장치의 모형시험 기법, 제5장에서는 새로운 복합지지 선형 제시와 주요 의장시스템 구성등 초고속선의 시스템 종합기법에 관하여 기술하였다.

## 제 2 장 복합지지형 초고속 저항추진 해석

### 제1절 서 언

세계적으로, 현재 상선으로서 이미 개발되어 상품화가 되어 있는 단순지지형 고속선형으로서 세가지의 선형을 생각할 수 있다[2-1,2-2,2-3].

첫째는 장폭비( $L/b$ )가 매우 큰, 길고 날씬한 두개의 선형을 횡적으로 조합한 배수량형의 선박으로서 카타마란 선형이 있다. 이 카타마란타입의 선형은 기존의 배수량에 의해 선형을 지지하는 재래식이기 때문에 특별한 성능은 기대할 수 없으나 다른 고속선형에 비해 부양시스템이 매우 간단하며 대형화에 유리하다는 장점이 있다.

두번째는 상술한 카타마란선형의 양쪽 선체사이에 선수미 스킵트를 장착하여 쿠손룸을 형성, 공기압에 의해 선체를 부양시킨 표면효과선이 있다. 선체를 부양시킴에 따라 마찰저항 및 잉여저항의 감소효과를 꾀한다. 그러나 별도의 부양동력이 필요하다는 점과 낮은 흘수 때문에 파고 중에서의 운항성능이 약하다는 단점이 있다.

세번째는 수중익선이다. 수중익의 양력에 의해 선체를 부상시키므로 조파저항과 마찰저항이 매우 적고 또 내항성능이 우수하다는 장점이 있다. 그러나 선체를 대형화시킴에 따라 배의 중량은 길이의 세제곱에 비례하지만 수중익의 양력은 단지 길이의 제곱에 비례하기 때문에 배가 커질수록 상대적으로 수중익을 크게 해야하는 단점이 있어 대형화에 불리하다.

상술한 세가지의 선형외에 조선 선진국에서는 기존 선박의 기술적 한계를 극복한 대형화된 초고속선의 개발사업을 추진하고 있다. 이러한 개발사업의 초점은 고속화, 대형화, 그리고 우수한 내항성능확보에 있다. 개발의 대상이 되는 미래형 선박으로서 배수량에 의한 부력, 수중익에 의한 양력, 공기압에 의한 부상력을 적절히 복합한 복합지

지형 선박으로 알려져 있다. 이러한 초고속선의 개발을 위해서는 새로운 컨셉트의 창출해야 하며 창출된 복합지지선형의 저항성능 평가기법의 개발은 중요한 과제이다. 이를 위해서는 각 단순지지선형의 저항성능평가기법이 우선적으로 개발이 되어야 한다.

본 연구에서는 시험에 의한 저항성능 평가기법을 개발하기위해 현존하는 고속선형으로서 노르웨이에서 건조되어 국내 운항중인 37노트급, 350명 정원의 표면효과선(SES)의 선형과 자체설계된 수중익선의 모형선을 제작하였으며 예인수조에서 저항 시험을 수행하였다. 또한 시험 결과로부터 실선자료에 의하여 추정된 실선성능과 실선 자료와의 비교를 통해 그 정도를 검증하고자 하였으며, 시험결과로부터 선형의 유체역학적 특성을 파악하여 복합지지선형의 저항성능 평가기법 개발의 토대를 구축하고자 한다.

한편, 계산에의한 고속선의 저항성능 평가기법의 개발을 위해 차분법에 의한 계산기법을 도입하여 자유표면이 없는 Wigley선형 이중모형 주위의 유장과 자유표면이 존재하는 유장의 프로그램을 구성, 계산을 수행하였다. 지배방정식으로는 3차원 Navier-Stokes방정식을 채택하였으며, 난류모델로서는 Baldwin-Lomax 대수모델을 채용하였다. 계산시간을 단축하기위해 음해법을 채용하였으며, 물체표면에서는 속도에 대하여 벽법칙을 채용하였다. 계산된 결과는 실험값과 좋은 일치율을 보여주고 있어 본 계산방법의 정도를 확인할 수 있었다.

## 제2절 표면효과선

### 2.1 모형선 및 시험장치

본 연구의 대상이 되는 표면효과선의 기본 재원은 Table 2-1과 같다. Table 2-1에서 알 수 있듯이 침수길이 31m, 순항속도 45노트, 최대속도 54노트이며, 기록된 재원은 Off-cushion 상태이다. Design Load 상태는 배가 수평으로 되어 있으나 Full Load는 선수가 선미보다 깊이 잠긴다.

모형선의 축척비는 1/18로서 무게가 약 26 ~ 30 kg정도에 부상용 Fan을 모형선안에 설치하여야 하므로 경량화를 위해 선체를 FRP 수지로 제작하였다. 본 모형선의 선수는 Finger Type, 선미는 Bag Type의 Skirt가 부착이 되어 있으며, 나일론 천으로 제작되었다. 본 연구의 모형선 사진은 전년도 보고서에 수록되어 있으므로 본고에서는 생략하기로 한다.

Fig. 2-1는 표면효과선 모형시험 장비 배치의 개략도이다. 전압 가변형 교류모터에 Fan을 장착, 전압을 조정하는 것에 의해 공기압을 조정하였다. 부상용 Fan은 2개를 설치하여 공기 쿠션룸과 선미 스킵트에 공기를 유입시켰다. 실선의 경우에는 공기쿠션룸의 공기가 직접 10% 정도 가압되어 선미 스킵트에 유입되도록 되어 있으나 모형선에서는 각기 별도의 Fan을 설치하였으며 선미 스킵트의 공기압력은 쿠션룸에 비해 실선과 같이 10% 정도 높게 가압하였다. 쿠션룸의 공기압은 U자관을 설치하여 측정, 조정하였으며 부상용 Fan의 전압을 조정하여 수두를 조정하였다.

저항은 물제트(Water Jet)의 추력선(Thrust Line)상에 Bar를 설치하였으며, 그 중간에 저항동력계를 배열하여 양쪽 선체의 저항을 동시에 계측하였다. 또한 각 속도에서의 선체자세에 따라 Bar를 이동, 추력선상에서의 저항을 계측하였다.

## 2.2 저항 성분 분류 및 실선 추정법

표면효과선의 공기부양(On-cushion)상태에서의 전저항은 다음 식과 같은 성분의 합으로 표시된다 [2-4,2-5,2-6,2-7].

$$D_{TM} = D_{FH} + D_{FS} + D_W + D_A + D_R \quad (2-1)$$

여기에서  $D_{TM}$  : 모형선의 전저항  
 $D_{FH}$  : 선체의 마찰저항  
 $D_{FS}$  : 스키프트의 마찰저항  
 $D_W$  : 쿠손룸 압력에 의한 조파저항  
 $D_A$  : 공기저항  
 $D_R$  : 잉여저항

이다.

선체와 스키프트의 마찰저항은 1957년도 ITTC의 모형선-실선 상관곡선의 마찰저항계수( $C_F$ )에 의해 다음과 같이 구하여진다[2-7].

$$D_{FH} = \frac{1}{2} \rho V^2 A_w C_F \quad (2-2)$$

$$D_{FS} = \frac{1}{2} \rho V^2 A_s C_F$$

여기에서  $\rho$  : 물의 밀도

V : 모형선 속도

$A_w$  : 선체(side-hull)의 침수면적

$A_s$  : 스키투의 침수표면적

$C_F$  : 마찰저항계수 (1957 ITTC 모형선-실선 상관곡선)

쿠손롬 압력에 의한 조파저항의 계산에는 Doctor[2-5]의 조파저항계수  $R_c$ 를 사용한다. 이 계수는 쿠손롬의 길이와 폭의 비이고 쿠손롬 길이에 대한 Froude Number의 함수로서 표시되어 있다. 이  $R_c$ 에 의한 조파저항( $D_w$ )은 다음과 같다.

$$D_w = \frac{2R_c P_c W}{\rho g L_c} \quad (2-3)$$

여기에서  $R_c$  : Doctor의 조파저항 계수  
 $P_c$  : 쿠손롬 압력  
 $W$  : 선체 중량  
 $L_c$  : 쿠손롬 길이  
 $g$  : 중력가속도

공기저항은 다음과 같이 구하여진다.

$$D_a = \frac{1}{2} \rho_a V_w^2 A_F C_{D_a} \quad (2-4)$$

여기에서  $\rho_a$  : 공기의 밀도  
 $V_w$  : 풍속  
 $A_F$  : 공기투영 면적



$C_{Da}$  : 공기저항계수

이며  $C_{Da}$ 는 풍동시험에서 구하여진다. 현재의 고속선이 유선형의 형상을 띄고 있어 점점 작아지고 있으며 일반적으로 0.3 ~ 0.5 범위이며 본 연구에서는 0.35를 사용하였다.

잉여저항( $D_R$ )은 모형선의 전저항( $R_{TM}$ )에서 상술한 저항성분을 뺀 값이며 다음과 같이 구하여진다.

$$D_R = R_{TM} - (D_{FH} + D_{FS} + D_W + D_A) \quad (2-5)$$

이렇게 하여 구한 잉여저항을 침수표면적으로 무차원화 하여 잉여저항계수  $C_R$ 을 구한다.

$$C_R = D_R / \frac{1}{2} \rho S V^2 \quad (2-6)$$

구하여진 잉여저항계수는 모형선과 실선이 같다고 가정되어 실선추정에 이용된다.

실선의 잉여저항( $D_{RS}$ )은 상기 식의 잉여저항 계수로부터 추정한다.

$$D_{RS} = \frac{1}{2} \rho S V^2 \cdot C_R \quad (2-7)$$

추정된 실선의 잉여저항을 근거로 하여 실선의 전저항을 다음과 같이 추정한다.

$$D_{TS} = D_{FHS} + D_{FSS} + D_{WS} + D_{AS} + D_{RS} \quad (2-8)$$

여기에서  $D_{TS}$  : 실선의 전저항

$D_{FHS}$  : 실선 선체의 마찰저항

- $D_{FSS}$  : 실선 스킵트의 마찰저항
- $D_{WS}$  : 실선의 쿠손튐 압력에 의한 조파저항
- $D_{AS}$  : 실선의 공기저항
- $D_{RS}$  : 실선의 잉여저항

이며 실선의 전저항 계수  $C_{TS}$ 는 다음식과 같은 방법으로 무차원화 된다.

$$C_{TS} = D_{TS} / \frac{1}{2} \rho S V^2 \quad (2-9)$$

실선의 저항은 파도와 바람이 없는 잔잔한 상태에서 해수 15℃를 기준으로 계산하며 마찰저항계수는 1957년 ITTC의 모형선-실선 상관곡선을 사용하였다 [2-7].

한편, 본 연구의 대상인 실선은 KaMeWa사 제품의 물제트 추진기를 장착하고 있다. 따라서,

$$DHP = EHP / \eta_D \quad (2-10)$$

로써 실선추정을 시도하였다. 본 연구에서의 전달효율은 참고문헌[2-8]의 실적선에 의한 실선 계측결과를 사용하였다.

### 2.3 시 험 결 과

실선의 설계속도가 45노트, 최고속도가 54노트이지만 실험은 20노트에서 45노트까지 수행되었다. 계측된 저항 값으로부터 추정된 잉여저항( $C_R$ )과 실선의 전저항계수( $C_T$ )를

Fig. 2-2에 도시한다. 잉여저항 계수와 전저항계수는 전 영역에서 속도가 증가함에 따라 감소하고 있다. 특히 설계하중상태에서의 저항계수는 속도가 증가함에 따라 급격히 작아지고 있어 고속선형으로서 적합한 선형임을 알 수 있다.

Fig. 2-3은 선체의 트림과 평균침하량이다. 이들 값은 다음과 같이 무차원화 하였다.

$$Trim(\%) = \frac{(da - df)}{L_{pp}} \times 100 \quad (2-11)$$

$$Mean\ Sinkage(\%) = \frac{(da + df)}{2 \cdot L_{pp}} \times 100$$

df와 da는 선수와 선미에서 정지상태에 대한 항주중의 흘수 변화량이며 양(+)은 침하를 뜻한다. 일반 고속선형에 비해 평균침하량이 -4% 내외로 큰 값이다. 공기부양에 의한 것이 설계하중상태에서 -3.9%, 만재상태에서 -3.2%이므로 실제 항주에 의한 자세변화는 1% 내외이다. 쿠손톱 안의 공기압에 의한 파도의 영향으로 선체 트림은 같은 크기의 카타마란선형(약 +3.5%)에 비해 거의 2배에 가까우며 속도의 증가와 함께 절대값은 커지고 있으며, 선체는 부상하고 있으나 정지상태에서 쿠손 공기압에 의한 부상량 (약 1미터)과 비교하면 부력중심(L.C.B)에서는 배가 항주 함에 따라 침하하고 있다.

Fig. 2-4는 각 속도에서의 침수표면적 변화량을 도시하고 있다. 쿠손톱 안의 파고는 선체 바깥부근의 파고에서 압력 분을 뺀 값을 사용하여 마찰저항을 추정하였으며 이에 의한 정도상의 문제는 없다는 것이 확인되어 있다 [2-6].

Fig. 2-5는 항주중의 모형선 사진이다. 선미스커트에 의한 파도가 약간 있을 뿐 선체에 의한 파도는 거의 없음을 알 수 있다. 고속으로 갈수록 활주선형 또는 카타마란과 같이 Hydraulic Jump의 효과에 의해 파도가 커지는 것과는 반대로 표면효과선은 고속 역에서 우수한 조파저항 특성을 갖고 있는 것으로 판단된다. 또한 계속된 저항 값으로부터의 저항성분 분리 및 실선의 전저항 추정을 Table 2-2와 2-3에 보인다. 전술

한 바와 같이 공기저항계수는 0.35로 하였으며 준추진계수는 실적선의 자료를 이용하였다.

모형시험 결과로부터 추정된 실선의 전저항 계수에 의한 유효마력을 Fig. 2-6에 도시한다. 만재상태는 설계하중상태에 비해 증량에 크게 차이가 없으나 만재상태에서의 유효마력은 상당히 크게 추정되었다. 이는 선미트림이 영향인 것으로 판단된다.

전술한 바와 같이 물제트 추진기의 준추진계수를 0.73으로 추정했을 경우의 전달마력과 실선자료와의 비교는 다음과 같다.

속도 (Design Load)	EHP (모형시험)	DHP (모형시험, $\eta_D=0.73$ )	DHP (실선자료)
40노트	2,866	3,926	3,772
42노트	3,027	4,147	4,031
44노트	3,205	4,390	4,315
45노트	3,245	4,445	4,471

설계속도가 45노트임을 감안하면 실선자료와 마력 수는 잘 일치하고 있다. 그러나 전달효율( $\eta_D$ )을 보다 정확하게 추정하기 위해서는 자항시험기법의 개발이 중요한 과제이다.

## 제3절 수중익선

### 3.1 모형선 및 시험장치

본 연구의 대상이 되는 수중익선의 기본제원은 Table 2-4와 같다. 아직 실제의 상세설계가 이루어지지 않은 상태이므로 LCB와 LCG를 같은 위치에 두었다. 실선의 단면도를 Fig.2-7에 보인다. 선형은 통상적인 활주선형으로서 길이 34.4미터, 폭 7.3미터이다. 모형선의 축척비는 1/25로서 무게가 7kg 정도이므로 경량화를 위해 선체는 우레탄폼으로, 수중익은 알루미늄으로 제작하였다(Fig.2-8).

실선화가 되었을 경우, 물제트(Water Jet)추진기를 사용하고 또 만재상태의 홀수보다 물제트 추진기의 노즐이 수면위로 노출되어야 하므로 추력선(Thrust Line)의 높이는 2.2미터로 하였으며 저항시험시의 개략도를 Fig.2-9에 보인다. 저항동력계는 모형선으로부터 분리, 설치되어 있으며 각 속도별로 선체의 위치변화와 함께 상하로 이동시켜 추력선상에서의 저항을 계측하였다. 또한, 선체 트림은 선수미에서의 트림계측기(Trim Gauge)를 설치, 계측하는 것에 의해 선체의 항주자세를 계측하였다. 개략도에서 알 수 있듯이 추력선이 항주시의 수선 면에 비해 매우 높기 때문에 시계방향의 모멘트를 발생하게 된다.

### 3.2 저항성분 분리

부상시의 잉여저항계수는 Froude의 가정에 의해 다음과 같다.

$$C_R = C_{TM} - C_{FM} \quad (2-12)$$

여기서  $C_{TM}$ ,  $C_{FM}$ 은 각각 모형선의 전저항계수, 마찰저항계수이다. 그리고 실선의 전저항계수  $C_{TS}$ 는

$$C_{TS} = C_R + C_{FS} + C_A \quad (2-13)$$

이다. 상기 식에서  $C_A$ (Correlation allowance)는 0로 하였으며 이는 19차 ITTC의 권고 사항에 의한다.

실선의 저항은 해수 15℃를 기준으로 계산하며 마찰저항계수는 1957년 ITTC의 모형선-실선 상관곡선을 사용하였다.

### 3.3 시험결과

실선의 설계속도가 42노트, 최고속도가 48노트이지만 모형시험은 20노트에서 48노트까지 Ballast, Design Load, Full Load에서 저항시험을 수행하였다. 각 속도에서의 전저항 값은 Fig.2-10과 같다. 각 부하상태에 상관 없이 수중익의 입사각을 고정하였기 때문에 선체의 부양 속도가 선체의 무게가 증가함에 따라 고속 역으로 치우쳐 있다. 수중익의 입사각은 앞 3.3°, 뒤 1.9°로서 추정된 양력의 약 60%를 보여주고 있다. 이는 3차원효과와 형상비에 의한 것으로 추정된다. Ballast상태에서는 30노트정도에서 선체가 부상하기 시작, 36노트에서 완전히 부양하지만 Design Load는 약 40노트에서, Full Load에서는 약 42노트 정도에서 부상한다. 또한 부상하였을 때의 저항은 부상하기 전 약 20노트부근의 저항값과 거의 같다. 선체가 부상한 42노트에서의 각 하중상태의 저항은 다음과 같이 추정된다.

Load Condition	R <sub>T</sub> (Kg)	R <sub>FM</sub> (Kg)	R <sub>RM</sub> (Kg)	R <sub>RS</sub> (ton)	R <sub>FS</sub> (ton)	R <sub>TS</sub> (ton)	EHP (HP)
Ballast	1.025	0.36	0.661	9.637	2.025	11.662	3,359
Design Load	1.28	0.364	0.916	13.40	2.025	15.425	4,442
Full Load	2.1	0.364	1.736	25.32	2.025	27.345	7,875

참고적으로 현재 실선화 되어 있는 JETFOIL선의 경우 배수량 112.5톤, 속도 44.9노트에서 7,600마력이다. 이와 유사한 배수량으로서 본 연구 수증익선의 ballast에서 물제트 추진기의 효율을 0.7로 가정하면 약 4,800마력(42노트)으로서 상당히 큰 차이를 보여주고 있다. 이는 현재 모형선의 수증익이 실선의 것과 틀리다는 점, 그리고 실선에서는 물제트의 흡입구와 배출구의 수직거리가 멀고 이로 인한 덕트구조 때문에 준추진계수가 적어진것에 기인한다고 생각된다.

Fig.2-11은 트림과 침하량의 변화를 보여주고 있다. 트림은 선체 부상 전에는 약 8%정도까지 속도가 증가함에 따라 증가하고 있지만 부상 후에는 안정된 항주자세를 보여주고 있다. 침하량은 부상과 함께 약 10%내외 부상하고 있어 애초의 수증익 설계의 예상과 잘 일치하고 있다. 속도가 증가함에 따라 선체의 부상 및 자세를 Fig.2-12에 사진으로 도시한다. 30, 34노트에서는 선체의 전반부가 부상하였으나 후반부는 아직 활주의 상태이다. 38에서 선미가 부상하여 수면을 가볍게 스치는 형상을 하고 있다. 40노트에서는 선체가 완전히 부상하여 안정된 자세를 취하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 부상할 때는 V형의 관통형 수증익선과는 달리 안정성이 부족하여, 실선에서는 능동자세제어 시스템의 채용이 필수적임을 알 수 있었다.

실제로 예인중인 모형선의 선수미 부분의 확대한 사진을 Fig.2-13에 도시한다. 선체에 의한 파도는 없으며 단지 수증익의 스트러트에 의해 파도가 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 사진에 의하면 스트러트부근의 파도는 Wave-Breaking과 Spray를 동반하는 완전 국부교란파이며 선형의 최적화를 위해서는 이 국부교란파에 관한 연구가 중요하다.

## 제4절 수식선형주위 유장의 수치계산

### 4.1 지배 방정식

물위에 떠 있는 부유체 주위의 유장을 시뮬레이션 하기 위해 본 연구에서는 점성 및 난류특성이 포함된 비압축성 3차원 Navier-Stokes 방정식을 기초 식으로 채택하였다.

무차원화된 N-S 방정식 및 연속방정식은 다음과 같다.

$$u_t + uu_x + vv_y + ww_z = -\frac{\partial P}{\partial x} + \left(\frac{1}{Rn} + \nu_t\right) \cdot \nabla^2 u \quad (2-15)$$

$$v_t + uv_x + vv_y + wv_z = -\frac{\partial P}{\partial y} + \left(\frac{1}{Rn} + \nu_t\right) \cdot \nabla^2 v$$

$$w_t + uw_x + vw_y + ww_z = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{z}{Fn^2} + \left(\frac{1}{Rn} + \nu_t\right) \cdot \nabla^2 w$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

여기에서  $u, v, w$ 는 각각  $x, y, z$  방향의 속도성분이며 식중의 변수는 다음과 같이 무차원화 되었다. 길이 변수  $(x, y, z)$ 는 물체의 단위길이  $L$ 로, 속도  $(u, v, w)$ 는 균일유속  $U_0$ 로 시간  $t$ 는  $L/U_0$ 로, 압력은  $\rho U_0^2$  ( $\rho$ 는 물의 밀도)로 무차원화 하였다. 또한 아래 첨자  $x, y, z, t$ 는 각 성분의 부분미분을 의미한다.  $\nu_t$ 는 무차원화된 동점성계수이며,  $Rn(=U_0L/\nu)$ 은 레이놀즈 수(Reynolds Number),  $Fn(U_0/\sqrt{gL})$ 은 Frude Number,  $\nu$ 는 유체의 동점성계수,  $g$ 는 중력가속도이다.

또한 Laplacian Operator는



$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2-16)$$

이다.

상술한 3차원 N-S 방정식을 벡터 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$q_t + Fq_x + Gq_y + Hq_z = R(q_x + q_y + q_z) + S \quad (2-17)$$

$$q = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} u & 0 & 0 \\ 0 & u & 0 \\ 0 & 0 & u \end{bmatrix} \quad G = \begin{bmatrix} v & 0 & 0 \\ 0 & v & 0 \\ 0 & 0 & v \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} w & 0 & 0 \\ 0 & w & 0 \\ 0 & 0 & w \end{bmatrix}$$

$$R = \left( \frac{1}{Fn} + v, \right) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} -\frac{\partial \phi}{\partial x} \\ -\frac{\partial \phi}{\partial y} \\ -\frac{\partial \phi}{\partial z} \end{bmatrix} \quad \phi = P - \frac{z}{Fn^2}$$

본 연구에서는 물체적합 좌표계에서 3차원 유장의 계산을 수행하기 위해 물리적 유장(x, y, z)를 가상적 유장( $\xi, \eta, \zeta$ )으로 변환한다. 물리적 유장에서부터 변환된 가상적 유장의 성분은 다음과 같이 표현된다.

$$\xi = \xi(x, y, z), \quad \eta = \eta(x, y, z), \quad \zeta = \zeta(x, y, z) \quad (2-18)$$

부분미분에 의해 물리유장에서의 1차미분은 다음과 같다.

$$\partial_x = a \partial \xi + b \partial \eta + c \partial \zeta \quad (2-19)$$

$$\partial_y = d \partial \xi + e \partial \eta + f \partial \zeta$$

$$\partial_z = g \partial \xi + h \partial \eta + i \partial \zeta$$

여기에서 첨자는 그 방향으로의 부분미분을 의미하며

$$a = \xi_x = (y_\eta z_\zeta - y_\zeta z_\eta) / J, \quad b = \eta_x = (y_\zeta z_\xi - y_\xi z_\zeta) / J, \quad c = \zeta_x = (y_\xi z_\eta - y_\eta z_\xi) / J, \quad (2-20)$$

$$d = \eta_y = (z_\eta x_\zeta - z_\zeta x_\eta) / J, \quad e = \eta_y = (z_\zeta x_\xi - z_\xi x_\zeta) / J, \quad f = \zeta_y = (z_\xi x_\eta - z_\eta x_\xi) / J,$$

$$g = \xi_z = (x_\eta y_\zeta - x_\zeta y_\eta) / J, \quad h = \eta_z = (x_\zeta y_\xi - x_\xi y_\zeta) / J, \quad i = \zeta_z = (x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi) / J,$$

$$J = x_\xi y_\eta z_\zeta + x_\eta y_\zeta z_\xi + x_\zeta y_\xi z_\eta - x_\zeta y_\zeta x_\eta - x_\zeta y_\eta z_\xi - x_\eta y_\xi z_\zeta$$

이다.  $J$ 는 Jacobian이며 물리적으로 본연구에서는 단위격자의 체적을 의미한다. 2차미분은 같은 방법으로 유도되며 다음과 같다.

$$\nabla^2 = \hat{a} \partial_{\xi\xi} + \hat{b} \partial_{\eta\eta} + \hat{c} \partial_{\zeta\zeta} + \hat{d} \partial_{\xi\eta} + \hat{e} \partial_{\eta\zeta} + \hat{f} \partial_{\xi\zeta} + \hat{g} \partial_{\xi\xi} + \hat{h} \partial_{\eta\eta} + \hat{i} \partial_{\zeta\zeta} \quad (2-21)$$

$$\hat{a} = a^2 + d^2 + g^2, \quad \hat{b} = b^2 + e^2 + h^2, \quad \hat{c} = c^2 + f^2 + i^2$$

$$\hat{d} = 2(ab + de + hg), \quad \hat{e} = 2(bc + ef + hi), \quad \hat{f} = 2(ca + fd + ig)$$

$$\hat{g} = aa_\xi + ba_\eta + ca_\zeta + dd_\xi + ed_\eta + fd_\zeta + gg_\xi + hg_\eta + ig_\zeta$$

$$\hat{h} = ab_\xi + bb_\eta + cb_\zeta + de_\xi + ee_\eta + fe_\zeta + gh_\xi + hh_\eta + ih_\zeta$$

$$\hat{i} = ac_\xi + bc_\eta + cc_\zeta + df_\xi + ef_\eta + ff_\zeta + gi_\xi + hi_\eta + ii_\zeta$$

$$a_{\xi} = -\frac{J_{\xi}}{J} a + \frac{1}{J} (y_{\xi\eta\zeta} + y_{\eta\zeta\xi} - y_{\xi\xi} - y_{\zeta\zeta})$$

$$b_{\xi} = -\frac{J_{\xi}}{J} b + \frac{1}{J} (y_{\xi\xi\zeta} + y_{\zeta\xi\xi} - y_{\xi\xi\zeta} - y_{\xi\zeta\xi})$$

$$c_{\xi} = -\frac{J_{\xi}}{J} c + \frac{1}{J} (y_{\xi\xi\eta} + y_{\xi\eta\xi} - y_{\eta\xi\xi} - y_{\eta\zeta\xi})$$

-----

$$J_{\xi} = U(ax_{\xi\xi} + bx_{\xi\eta} + cx_{\xi\zeta} + dy_{\xi\xi} + ey_{\xi\eta} + fy_{\xi\zeta} + gz_{\xi\xi} + hz_{\xi\eta} + iz_{\xi\zeta})$$

$$J_{\eta} = J(ax_{\eta\xi} + bx_{\eta\eta} + cx_{\eta\zeta} + dy_{\eta\xi} + ey_{\eta\eta} + fy_{\eta\zeta} + gz_{\eta\xi} + hz_{\eta\eta} + iz_{\eta\zeta})$$

$$J_{\zeta} = J(ax_{\zeta\xi} + bx_{\zeta\eta} + cx_{\zeta\zeta} + dy_{\zeta\xi} + ey_{\zeta\eta} + fy_{\zeta\zeta} + gz_{\zeta\xi} + hz_{\zeta\eta} + iz_{\zeta\zeta})$$

## 4.2 음해법에 의한 계산기법

본 연구에서는 차분계산기법으로서 IAF(Implicit Approximate Factorization)기법을 도입하였다. 이 방법은 대류항을 인수분해(Factorization)하는 것에 의해 선형화하며 각 계산면의 ( $\xi, \eta, \zeta$ ) 방향으로 Sweep하여 해를 구한다.

기초방정식을 contravariant 속도 성분 U, V, W를 사용, 변환하면 다음과 같다.

$$\frac{q^{n+1} - q^n}{\Delta t} + (Uq_{\xi})^{n+1} + (Vq_{\eta})^{n+1} + (Wq_{\zeta})^{n+1} = \left(\frac{1}{Rn} + v_i\right)(\nabla^2 q)^{n+1} + S \quad (2-22)$$

여기에서,

$$U = (au^n + dv^n + gw^n) \quad (2-23)$$

$$V = (bu^n + ev^n + hw^n)$$

$$W = (cu^n + fv^n + iw^n)$$

이다.

첨자 (n+1)은 시간 Step을 나타내며, 본 방법은 시간에 대해서 Implicit Method이다. 대류항들은 다음과 같이 선형화 된다.

$$\begin{aligned} (Uq_\xi)^{n+1} &= U^{n+1}q_\xi^{n+1} \\ &= \left(U^n + \frac{\partial U^n}{\partial t} \Delta t\right) \left(q_\xi^n + \frac{\partial q_\xi^n}{\partial t} \Delta t\right) \\ &= U^n q_\xi^n + \frac{\partial U}{\partial t} \Delta t q_\xi^n + U^n \frac{\partial q_\xi}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial U^n}{\partial t} \frac{\partial q_\xi}{\partial t} (\Delta t)^2 \\ &= u^n q_\xi^n + \Delta U^n q_\xi^n + u^n \Delta q_\xi^n + O(\Delta t^2) \end{aligned} \tag{2-24}$$

여기에서

$$\Delta U^n - \frac{\partial U}{\partial t} \Delta t = \frac{U^{n+1} - U^n}{\Delta t} \Delta t = U^{n+1} - U^n \tag{2-25}$$

$$\Delta q_\xi^n = \frac{\partial q_\xi^n}{\partial t} \Delta t = \frac{q_\xi^{n+1} - q_\xi^n}{\Delta t} \Delta t = q_\xi^{n+1} - q_\xi^n$$

$$(Vq_\eta)^{n+1} = V^n q_\eta^n + (\Delta V)^n q_\eta^n + V^n \Delta q_\eta^n + O(\Delta t)^2$$

$$(Wq_\zeta)^{n+1} = W^n q_\zeta^n + (\Delta W)^n q_\zeta^n + W^n \Delta q_\zeta^n + O(\Delta t)^2$$

$$\left(\frac{1}{Rn} + v_i\right) (\nabla^2 q)^{n+1} = \left(\frac{1}{Rn} + v_i\right) \nabla^2 q^n + \left(\frac{1}{Rn} + v_i\right) \nabla^2 (\Delta q)^n + O(\Delta t)^2$$

$$\begin{aligned}
\Delta U \cdot q_{\xi}^n &= \Delta(au^n + dv^n + qw^n) \cdot \begin{bmatrix} u_{\xi}^n \\ v_{\xi}^n \\ w_{\xi}^n \end{bmatrix} \\
&= (au_{\xi} + dv_{\xi} + qw_{\xi}) \cdot \begin{bmatrix} \Delta u^n \\ \Delta v^n \\ \Delta w^n \end{bmatrix} \\
&= U \cdot \begin{bmatrix} \Delta u^n \\ \Delta v^n \\ \Delta w^n \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{2-26}$$

V, W도 마찬가지로 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{V} = (bu_{\eta} + ev_{\eta} + hw_{\eta}), \quad \hat{W} = (cu_{\zeta} + fv_{\zeta} + iw_{\zeta}) \tag{2-27}$$

U, V, W는 대류항의 선형화 과정에서 유도되었다. 이것을 이용하여 (2-22) 식을 전개하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
\frac{\Delta q^n}{\Delta t} + (U^n q_{\xi}^n + \hat{U} \Delta q^n + U \Delta q_{\xi}^n) + (V^n q_{\eta}^n + \hat{V} \Delta q^n + V \Delta q_{\eta}^n) + (W^n q_{\zeta}^n + \hat{W} \Delta q^n + W \Delta q_{\zeta}^n) \\
= \left( \frac{1}{Rn} + v_i \right) \nabla^2 q^n + \left( \frac{1}{Rn} + v_i \right) \nabla^2 (\Delta q^n) + S
\end{aligned} \tag{2-28}$$

상기식에  $\Delta t$ 를 좌우변에 곱하고 좌변을  $\Delta q$ 로 묶어 인수분해하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
(\Delta q^n) \cdot [I + \Delta t \{ U + U \frac{\partial}{\partial \xi} - (\frac{1}{Rn} + v_i) (\hat{a} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + \hat{g} \frac{\partial}{\partial \xi}) \}^n] \\
\cdot [I + \Delta t \{ \hat{v} + v \frac{\partial}{\partial \eta} - (\frac{1}{Rn} + v_i) (b \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} + h \frac{\partial}{\partial \eta}) \}^n] \\
\cdot [I + \Delta t \{ \hat{W} + W \frac{\partial}{\partial \zeta} - (\frac{1}{Rn} + v_i) (\hat{c} \frac{\partial^2}{\partial \zeta^2} + \hat{i} \frac{\partial}{\partial \zeta}) \}^n] = \Delta t \cdot Q^n
\end{aligned} \tag{2-29}$$

여기서,

$$Q^n = -Uq_\xi - Vq_\eta - Wq_\zeta + (\frac{1}{Rn} + v_i) (\hat{a} \Delta q_{\xi\xi} + \hat{e} \Delta_{\xi\xi} + \hat{f} \Delta q_{\xi\xi}) + S \tag{2-30}$$

이다.

I는 3×3의 단위 Matrix이다. 인수분해에 의해 3차원 부분미분 방정식이 3개의 ODE(Ordinary Diferential Equations)로 변환된다.

또한 Δq를 포함하지 않은 나머지 항들은 오른쪽으로 이동하게 되며, 좌변에 포함되지 않기 때문에 (n-1) 시간의 값을 사용하게 된다.

이러한 과정을 거쳐 공간 미분인자인 ξ, η, ζ 방향으로 분리하여 정리하면 다음과 같다.

ξ - sweep

$$[I + \Delta t \{ U + U \frac{\partial}{\partial \xi} - (\frac{1}{Rn} + v_i) (\hat{a} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + \hat{g} \frac{\partial}{\partial \xi}) \}^n] \Delta q^* = \Delta t (Q^n)^* \tag{2-31}$$

η - sweep

$$[I + \Delta t \{ V + V \frac{\partial}{\partial \eta} - (\frac{1}{Rn} + v_i) (b \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} + h \frac{\partial}{\partial \eta}) \}^n] \Delta q^{**} = \Delta q^* \tag{2-32}$$

ζ - sweep

$$[I + \Delta t \{ W + W \frac{\partial}{\partial \zeta} - (\frac{1}{Rn} + \nu_i) (\hat{c} \frac{\partial^2}{\partial \zeta^2} + \hat{i} \frac{\partial}{\partial \zeta}) \}^n] \Delta q^n = \Delta q^{**} \quad (2-33)$$

Updating

$$q^{n+1} = q^n + \Delta q^n \quad (2-34)$$

모든 공간 미분에 대해서는 중심차분을 사용하였다. 높은 Rn에서는 물리적 분산항이 매우 적으므로 3차분산항이 속도항의 진동을 막기 위해 필요하게 된다.

또한 이것은 5점의 중심차분의 형태로 취해지므로, 각 방향으로 Sweep할 경우 결과적으로 Block Pentadiagonal System이 되며, Block Pentadiagonal Solver에 의해 풀린다.

한편 압력항은 통상적인 MAC 방법으로 매 시간 Step마다 Poisson 방정식을 Iterative 하는 것에 의하여 구한다. 상술한 N-S방정식을 시간항에 대하여 1차 전진 차분을 이용하여 정리하면 다음과 같다.

$$u^{n+1} = (L^n - \Phi_x^n) \Delta t \quad (2-35)$$

$$v^{n+1} = (M^n - \Phi_y^n) \Delta t$$

$$w^{n+1} = (M^n - \Phi_z^n) \Delta t$$

여기에서

$$L^n = \frac{u^n}{\Delta} t + (\frac{1}{Rn} + \nu_i) \nabla u^2 - (u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z})$$

$$M^n = \frac{v^n}{\Delta} t + (\frac{1}{Rn} + \nu_i) \nabla v^2 - (u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z})$$

$$N^n = \frac{w^n}{\Delta} \left[ 1 + \left( \frac{1}{Rn} + \nu_i \right) \nabla w^2 - \left( u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right]$$

이다. 압력에 관한 Poisson 방정식을 구하기 위해 (2-35)식을 각각 x, y, z 방향으로 미분하여 더하면

$$\nabla^2 \phi = L_x^n + M_y^n + N_z^n - (u_x^{n+1} + v_y^{n+1} + w_z^{n+1}) / \Delta t \quad (2-36)$$

이 된다. 여기서, (n+1)시간 step에서는 연속방정식을 만족시키는 것으로 가정하고 우변 마지막 항은 0로 한다. 이 압력에 관한 Poisson 방정식은 SOR (Successive Over Relaxation) 방법을 사용하여 풀려지게 된다.

### 4.3 Baldwin-Lomax 난류모델

수치계산에 의해 유장의 물리적인 특성을 파악하기 위해서는 높은 Rn의 계산이 필수적이다. 이를 위해서는 난류모델의 선정 및 특성 파악이 중요하다. 본 연구에서는 난류모델의 구조적 특성이 비교적 간단하고 정도가 높은 것으로 알려진 Baldwin-Lomax 난류모델을 채용하여 계산을 시도하였다.

Baldwin-Lomax 난류모델은 난류영역을 두개의 영역으로 분리하여 동점성계수를 고체벽면으로부터의 거리에 의한 함수로 표시하였다. 내부영역의 동점성계수  $\nu_i$ 는 Prandtl-Van Dries의 수식에 의해 다음과 같다.

$$\nu_i = l^2 |\omega| \quad (2-37)$$



여기에서

$$l = \kappa y [1 - \exp(-y^+ / A^+)] \quad (2-38)$$

$$|\omega| = \sqrt{(u_y - v_x)^2 + (v_z - w_y)^2 + (w_x - u_z)^2} \quad (2-39)$$

이며  $|\omega|$ 는 경계층내의 보오텍스의 절대치이다. 그리고

$$y^+ = Rn y u_c \quad (2-40)$$

이다.  $y$ 는 벽으로부터의 수직거리이고  $u$ 는 고체벽면에서의 마찰속도이다.

외부영역은 Clauser의 수식화에 의해 다음과 같다.

$$v_i = K C_A F_w F_k(y) \quad (2-41)$$

여기에서  $K$ 는 Clauser 상수,  $C_A$ 는 부가상수이며  $F_w$ 는 다음의 두식중 적은 것을 채택한다.

$$F_w = \left( \frac{y_{\max} F_{\max}}{C_w y_{\max} u_{\text{eff}}^2 / F_{\max}} \right) \quad (2-42)$$

여기에서 다음식의 최대 값이 되는 곳이  $F_{\max}$ ,  $y_{\max}$ 이며 그 식은 다음과 같다.

$$F(y) = y|a|[1 - \exp(-y^+/A^+)] \quad (2-43)$$

물체 후류에서는  $F(y)$ 는 0이 되며 Klebanoff의 감쇄계수인  $F_K$ 는 다음과 같다.

$$F_k(y) = [1 + 5.5(\frac{c_k y}{y_{max}})^6]^{-1} \quad (2-44)$$

$U_{diff}$ 는 고정된  $x$ 단면에서의 최대, 최소속도의 차이이며 다음과 같다.

$$u_{diff} = (\sqrt{u^2 + v^2 + w^2})_{max} - (\sqrt{u^2 + v^2 + w^2})_{min} \quad (2-45)$$

각각의  $x$ 단면에서 상기식 우변의 두번째 항은 물체가 있는 경우에는 0이 된다.

실제의 계산에서는 외부영역(2-41식)과 내부영역(2-37식)의  $\nu_i$ 를 계산하여 적은 값을 채용하게 되며 두식 (식 2-41과 2-37)에 의한  $\nu_i$ 값이 같아지는 곳이 내부와 외부영역의 경계면이 된다.

#### 4.4 수식선형 주위 유장의 계산

##### 가. 계산조건 및 경계조건

본 연구에서 채용한 IAF법의 검증과 유용성을 알아보기 위해 다음과 같은 수식선형인 Wigley 선형에 대하여 계산을 수행하였다.

$$y = b[1 - (x/l)^2][1 - (z/d)^2] \quad (2-46)$$

단,  $l=1$ ,  $b=0.05$ ,  $d=0.0625$

계산은 변환된 좌표계에서 속도와 압력이 동시에 정의되는 정규격자계에서 수행되었으며 대류항차분에는 Argarwal Scheme[2-26]을 채용하였다. 공간 및 확산항은 4차 중심차분, 경계면 근처에서는 2차 중심차분으로 계산하였으며 압력의 Poisson 방정식은 2차 중심차분으로 하였다.

압력의 Poisson 방정식은 SOR(Successive Over Relaxation)법으로 풀었으며 Relaxation Factor는 1.5로 압력수렴의 Error Maximum  $0.5 \times 10^{-4}$ 로 하여 최대 30회 반복 계산을 수행하였다.

계산은 Fig.2-16과 같은 좌표계에서 수행하였으며, 실제의 유장이 좌우대칭이므로 계산은  $y>0$ 인 영역에서 수행한다. 계산시의 경계조건은 다음과 같으며 여기서  $\Delta q$ 는  $\xi, \eta, \zeta$  방향 sweep 계산 (식 19)에서의 경계조건이다.

상류 경계면 : 속도 : 균일류  
                  압력 : 정수압  
                   $\Delta q$  : 0

하류 경계면 : 속도 : 0구배외삽  
                  압력 : 0구배외삽  
                   $\Delta q$  : 0구배외삽

외부측면 경계면 : 속도 : 0구배외삽  
                  압력 : 0구배외삽  
                   $\Delta q$  : 0구배외삽

내부측면 경계면 : 속도 :  $u, w$  ; 0구배외삽,  $v = 0$   
( $y=0$ )            압력 : 0구배외삽  
                          $\Delta q$  : 0구배외삽

바다 경계면 : 속도 : 0구배외삽  
                         압력 : 0  
                          $\Delta q$  : 0구배외삽

상부 경계면 · 속도 :  $u, v$  ; 0구배외삽,  $w = 0$   
                         압력 : 0구배외삽  
                          $\Delta q$  : 대 칭

물체표면 : 속도 : 벽법칙  
                         압력 : 0구배외삽  
                          $\Delta q$  : 0

자유표면을 동반하는 유장의 계산에서의 경계조건은 다음과 같다.

자유표면조건 : 속도 : 0구배외삽  
                         압력 : 대기압  
                          $\Delta q$  : 0구배외삽

자유표면을 시뮬레이션하기 위해 Marker Particle을 자유표면에 분포시켰으며 다음 식과 같이 Lagrangian 방법으로 이동시켜 (n+1) Time Step의 형상을 내삽 (Interpolation)하여 구한다.

$$x^{n+1} = x^n + u^n \Delta t \quad (2-47)$$

$$y^{n+1} = y^n + v^n \Delta t$$

$$z^{n+1} = z^n + w^n \Delta t$$

이 방법은 운동역학적 자유표면 조건을 만족시키면서 자유표면을 고차함수로 취급하는 것에 대응한다.

고 Rn함수를 시뮬레이션 함에 있어 물체면 속도를 0로 하는 경우 난류경계층 안의 계산격자 간격은 Rn수가 증가함에 따라 작아지고 거대한 양의 계산시간을 필요로 하게 된다. 본 연구의 대상이 수식선형이고 또한 난류경계층의 구조가 평판의 것과 유사하기 때문에 계산시간의 절약을 위해서 고체벽면의 경계조건으로서 벽법칙을 도입하였다.

본 연구에서는 다음과 같은 벽법칙을 사용하였다.

$$\frac{q}{u_\tau} = \frac{1}{0.42} \ln y^+ + 5.52 \quad (2-48)$$

여기에서 q는 벽 바로 위의 계산격자의 속도성분이며 u 는 마찰속도 이다.

벽면 바로 위 2개의 계산격자 (j=2,3, j=1은 벽면)는 로그법칙이 적용되는 영역에 해당된다고 가정하여 j=3에서의 속도성분으로 마찰속도를 구하고, 이 마찰속도로부터 j=2의 속도크기를 내삽 한다. 이때 j=2와 3에서의 y<sup>+</sup>값은 50 ~ 500의 범위에 들게 하였다. 이 법칙을 사용하는 것에 의해 고체벽면의 최소격자가 10배이상 커지기 때문에 계산시간을 크게 절약할 수 있다.

#### 나. 점성유장의 계산결과

계산에 사용된 좌표계를 Fig.2-14에 보인다. Wigley선형이 균일류에 놓여 있을 때 물체주위의 점성유장을 계산하였다. 원점은 물체의 수선면상 중심에 놓여져 있다.

계산에 사용된 격자도를 Fig.2-15에 보인다. 계산조건은 Table 2-5에 도표화 되어 있다. 본 연구에서 음해법을 채용하였으므로 시간증분이 양해법의 경우에 비해 10배 이상 크다.

계산중의 수렴성을 조사하기 위해 계산중의 항력 변화도를 Fig.2-16에 보인다. 마찰력과 압력에 의한 항력이  $T=3$ 이후에 수렴이 되어 있는 것을 알 수 있다. 계산결과에 의하면

$$\begin{aligned} Rn=4.5 \times 10^6 : C_{DF} &= 3.50 \times 10^{-3} \text{ (계산결과)} \\ C_{DP} &= 0.28 \times 10^{-3} \text{ (계산결과)} \\ C_{DF} &= 3.46 \times 10^{-3} \text{ (By Schoenner's line)} \end{aligned}$$

임을 알 수 있다. 계산에 쓰여진 벽법칙이 평판의 난류경계층에 근거한 것이므로 본 계산의 결과가 타당함을 알 수 있다.

Fig.2-17은 Wigley선형의 수선면에서의 압력 분포도이다. 고 $Rn$ 에서 계산하였기 때문에 선미의 압력이 높게 나타나 있다. 계산된 선체표면의 압력과 실험결과와의 비교를 Fig.2-18에 보인다. 선체 전반에 걸쳐 실험결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 실험결과에 의하면  $x=-0.45$ 부근에서 압력이 불연속인 것을 보여주고 있는데 이는 총류와 난류의 천이역부근 이라고 추정되나 실제의 계산에서는 선체 전 영역이 난류로 취급이 되었으므로 실험결과와 다른 경향을 보여주고 있다.

Figs.2-19 ~ 20은 선체주위 속도분포를 보여주고 있다. 전체적으로 실험값과 잘 일치하고 있다. 선체 뒷부분의 난류경계층 두께가 실제보다 약간 적게 발달이 되어 있으나 선체부근에서는 잘 일치하고 있다.

Fig.2-21은 선체주위의 동점성계수 분포도이다. 선체중심으로부터 뒷부분으로 점점

발달이 되어 가는 것을 알 수 있다.

자유표면이 없는 이중모형의 유장은 본 연구의 계산기법으로 잘 시뮬레이션이 되어 있다. 선체주위의 속도분포, 압력분포, 마찰저항계수는 실험값과 잘 일치하고 있어 본 방법이 유효함을 보여주고 있다.

#### 다. 자유표면을 동반하는 유장의 계산결과

본 연구의 계산기법은 원래 자유표면이 없는 점성유장의 계산을 위해 개발된 기법이 나 자유표면을 포함하는 유장의 계산을 시도하였다. 계산에 이용된 계산격자도를 Fig.2-22에 보인다. 자유표면을 포함하는 유장의 계산은 선체의 경계층을 시뮬레이션 하면서 파도를 계산하기 때문에 점성유장의 계산보다 많은 격자수가 요구된다. 계산조건을 Table 2-5 에 보인다.

계산중의 수렴성을 조사하기 위해 계산중의 항력 변화도를 Fig.2-23에 보인다. 마찰력과 압력에 의한 항력이  $T=3$ 이후에 수렴이 되어 있는 것을 알 수 있다. 계산결과에 의하면

$$Rn=3.0 \times 10^6 : C_{DF}=3.82 \times 10^{-3} \text{ (계산결과)}$$

$$C_{DP}=1.24 \times 10^{-3} \text{ (계산결과)}$$

$$C_{DF}=3.74 \times 10^{-3} \text{ (By Schoenner's line)}$$

$$0.89 \times 10^{-3} < C_R < 1.17 \times 10^{-3} \text{ (시험결과의 범위)}$$

임을 알 수 있다. 압력에 의한 항력은 실제의 시험값보다는 조금 크게 계산이 되어 있으나 전체적으로 잘 계산이 되었다.

Fig.2-24는 파도가 발달되는 과정을 보여주고 있다. 선수뿐만 아니라 선미로부터 파도가 발달되는 과정을 잘 보여주고 있다.

Fig.2-25는 수선면에서의 선체벽면의 파고를 도시한다.  $Fn=0.25$ 의 경우는 선수파고의 절대값이 시험값보다 작게 계산이 되어 있고  $x=0.2$ 보다 뒷부분은 파도의 위상이 일치하고 있지 않지만 전체적인 경향은 잘 일치하고 있다. 또한,  $Fn=0.316$ 의 계산된 파고는 실험값과 잘 일치하고 있다. 실제의 파고의 계산에서는 낮은  $Fn$ 수 일수록 같은 영역의 계산에서 더 많은 격자수가 필요하게 되는데, 격자수를 늘리는 것에 의해  $Fn=0.25$ 에서도 더 좋은 결과를 기대할 수 있을 것이다.

Fig.2-26은 선체표면의 압력분포도이다. 전체적인 경향은 시험결과와 잘 일치하고 있어 본 방법이 유효함을 보여주고 있다.



## 제5절 결 언

40노트급 표면효과선과 수증익선의 모형선을 제작, 저항시험을 수행하였으며 실선추정을 시도하였으며 차분법에 의한 계산기법을 개발하여 수식선형주위의 유장을 계산, 저항성능을 추정하였다.

본연구에서 얻어진 결론을 정리하여보면 다음과 같다.

- (1) 표면효과선과 수증익선의 저항시험을 수행하여 저항곡선, 트림량과 침하량의 변화로부터 선형의 특성을 파악하였다. 특히 수증익선의 경우, 실선개발 가능성을 확인하였다.
- (2) 표면효과선의 경우 추정된 전달마력과 실선자료는 설계속도에서 잘 일치하고 있음을 확인 하였고, 본 연구의 저항시험 및 해석기법을 검증하였다. 그러나, 보다 정확한 실선성능추정을 위해서는 저항시험에 의한 준추진계수의 추정이 중요하다.
- (3) 수증익선은 부양 및 항주시 자세가 불안정하므로 능동자세 제어 시스템에 의한 자세제어가 필수적이다. 또한 물제트 추진효율에 있어 물 흡입구와 출구의 수직거리가 크기때문에 준추진계수가 적어질 가능성이 많다.
- (4) 음해법에의해 계산된 수식선형주위 이중모형주위의 흐름과 자유표면을 동반한 유장의 계산결과에 있어, 경계층내의 속도, 선체표면의 압력, 계산된 파고 및 각종 저항계수는 만족할 만한 결과를 주고 있어 본 연구의 수치기법이 타당함을 알 수 있었다.

모형시험 결과로 부터의 실선추정에 있어 저항성분 분리 및 실선확장의 고정도화 그리고 개발된 계산기법의 실선응용이 앞으로의 개선방향이며, 운항율이 우수한 복합지지형 초고속선의 창출과 실선화가 앞으로의 과제이다.

Table 2-1 Principle Dimensions of the SES

Load condition		FULL L.	DESIGN L.
Length between per.	LPP (m)	31.000	31.000
Breadth, moulded	B (m)	11.500	11.500
Depth, moulded	D (m)	3.550	3.550
Draft, moulded F.P.	TF (m)	2.093	2.255
	A.P. TA (m)	2.433	2.255
	Mean TMEAN(m)	2.263	2.255
Length of waterline	LWL (m)	30.320	30.480
Wetted surface area	S (m <sup>2</sup> )	359.1	348.4
Displacement volume	DISV(m <sup>3</sup> )	172.0	168.0
KB above moulded BL	KB (m)	1.589	1.573
LCB from midship, f+	LCB (m)	0.519	0.506
Block coefficient	CB	0.2120	0.2090
Load waterline coef.	CW	0.7570	0.7270
Midship section coef.	CM	0.3190	0.3150
Prismatic coef.	CP	0.6646	0.6635
	LPP / B	2.6957	2.6957
	LPP / T	13.6986	13.7472
	B / T	5.0817	5.0998
	LCB % (fwd. +)	1.6742	1.6323

- \* Thrust line 1.59 m above base line
- \* Design speed : 45 knots (max. speed : 54 knots)
- \* Pressure in cushion room : 550 ~ 600 mm water column

**Table 2-2 Resistance Characteristics of Powering Performance  
(SES, Design Load)**

\*\* 45KNOTS CLASS SES \*\*

DESIGN LOAD: TP=2.255 TA=2.255 M FILE NAME: S408R01.SHN  
 LPP= 31.0000  
 B \* 11.5000  
 LC= 32.2500  
 BC \* 8.65000  
 DISPLACEMENT 168.195 M\*\*3  
 CUSHION ROOM PRESSURE: 0.504000 M WATER COLUMN

VS KNOTS	FN	VM M/S	DTM KGF	CFM E+3	DFM KGF	SM M2	DOC COEF	DWM KGF	DAM KGF	DFM KGF	CR E+3	TRIM %	SINK %
20.000	0.590	2.425	1.926	3.725	0.462	0.414	0.643	0.580	0.023	0.862	6.951	-6.329	-3.455
22.000	0.649	2.668	2.021	3.657	0.569	0.429	0.741	0.668	0.027	0.756	4.860	-6.155	-3.600
24.000	0.708	2.910	2.121	3.597	0.685	0.441	0.809	0.730	0.033	0.674	3.536	-5.981	-3.745
26.000	0.767	3.153	2.216	3.542	0.809	0.451	0.817	0.737	0.038	0.632	2.770	-5.806	-3.890
28.000	0.826	3.395	2.316	3.493	0.944	0.460	0.815	0.735	0.044	0.593	2.195	-5.748	-4.035
30.000	0.885	3.638	2.416	3.449	1.084	0.466	0.800	0.721	0.051	0.560	1.782	-5.574	-4.181
32.000	0.944	3.880	2.511	3.408	1.227	0.469	0.779	0.703	0.058	0.524	1.455	-5.458	-4.297
34.000	1.003	4.123	2.606	3.370	1.379	0.472	0.757	0.682	0.065	0.480	1.174	-5.400	-4.384
36.000	1.062	4.365	2.696	3.334	1.539	0.475	0.724	0.653	0.073	0.431	0.933	-5.284	-4.500
38.000	1.121	4.608	2.796	3.302	1.704	0.477	0.690	0.622	0.082	0.389	0.753	-5.226	-4.587
40.000	1.180	4.850	2.891	3.271	1.876	0.478	0.653	0.589	0.091	0.335	0.584	-5.168	-4.616
42.000	1.239	5.093	2.986	3.242	2.051	0.478	0.623	0.562	0.100	0.274	0.433	-5.226	-4.645
44.000	1.298	5.335	3.094	3.215	2.232	0.478	0.596	0.537	0.110	0.215	0.310	-5.226	-4.645
45.000	1.328	5.456	3.116	3.202	2.325	0.478	0.585	0.527	0.115	0.149	0.205	-5.226	-4.645

VS KNOTS	FN	VS M/S	CR	DRS KGF	DOC COEF	DWS KGF	DAS KGF	CFS E+3	SS M2	DFS KGF	DTS TON	CTS	EHP HP	ETAD	DHP HP
20.000	0.590	10.289	6.951	4183.524	0.643	3296.008	166.340	1.814	108.700	1092.082	8.738	14.518	1198.708	0.520	2305.207
22.000	0.649	11.318	4.860	3702.409	0.741	3798.608	201.271	1.791	113.700	1364.575	9.067	11.903	1368.211	0.540	2533.725
24.000	0.708	12.347	3.536	3318.536	0.809	4146.783	239.529	1.771	117.700	1661.623	9.366	9.981	1541.916	0.560	2753.421
26.000	0.767	13.375	2.770	3129.010	0.817	4187.632	281.114	1.752	120.700	1978.612	9.576	8.479	1707.842	0.580	2944.555
28.000	0.826	14.404	2.195	2946.758	0.815	4175.753	326.025	1.735	123.700	2328.791	9.777	7.283	1877.810	0.600	3129.683
30.000	0.885	15.433	1.782	2790.935	0.800	4097.553	374.264	1.719	125.700	2691.990	9.955	6.357	2048.447	0.620	3303.947
32.000	0.944	16.462	1.455	2613.466	0.779	3992.800	425.829	1.705	126.700	3061.218	10.093	5.620	2215.426	0.640	3461.603
34.000	1.003	17.491	1.174	2398.261	0.757	3876.248	480.721	1.691	127.700	3455.616	10.211	4.997	2381.300	0.660	3608.030
36.000	1.062	18.520	0.933	2154.802	0.724	3709.096	538.940	1.679	128.700	3875.509	10.278	4.452	2538.045	0.680	3732.419
38.000	1.121	19.549	0.753	1944.899	0.690	3534.800	600.486	1.667	129.200	4304.563	10.385	4.021	2706.780	0.700	3866.829
40.000	1.180	20.578	0.584	1677.902	0.653	3347.747	665.358	1.656	129.700	4756.414	10.447	3.637	2866.438	0.720	3981.164
42.000	1.239	21.606	0.433	1370.262	0.623	3193.069	733.557	1.645	129.700	5211.081	10.508	3.318	3027.203	0.720	4204.449
44.000	1.298	22.635	0.310	1076.294	0.596	3054.749	805.083	1.636	129.700	5685.115	10.621	3.056	3205.542	0.720	4452.141
45.000	1.328	23.150	0.205	745.752	0.585	2996.483	842.094	1.631	129.700	5929.362	10.514	2.892	3245.198	0.720	4507.219

**Table 2-3 Resistance Characteristics of Powering Performance  
(SES, Full Load)**

FULL LOAD: TP=2.093 TA=2.433 M FILE NAME: S406R02.SHN  
 LPP= 31.0000  
 B = 11.5000  
 LC= 29.2500  
 BC = 8.65000  
 DISPLACEMENT 171.805 M\*\*3  
 CUSHION ROOM PRESSURE: 0.504000 M WATER COLUMN

VS KNOTS	FN	VM M/S	DTM KGF	CFM E+3	DFM KGF	SM M2	DOC COEF	DMM KGF	DAM KGF	DFM KGF	CR E+3	TRIM %	SINK %
20.000	0.590	2.425	2.094	3.725	0.589	0.528	0.699	0.709	0.023	0.773	4.885	-6.329	-3.745
22.000	0.649	2.668	2.214	3.657	0.696	0.525	0.796	0.808	0.027	0.682	3.584	-6.329	-3.745
24.000	0.708	2.910	2.354	3.597	0.810	0.522	0.858	0.871	0.033	0.640	2.844	-6.329	-3.745
26.000	0.767	3.153	2.533	3.542	0.931	0.519	0.856	0.869	0.038	0.695	2.646	-6.329	-3.745
28.000	0.826	3.395	2.732	3.493	1.071	0.522	0.844	0.857	0.044	0.761	2.482	-6.329	-3.803
30.000	0.885	3.638	2.962	3.449	1.220	0.525	0.819	0.831	0.051	0.859	2.428	-6.329	-3.803
32.000	0.944	3.880	3.201	3.408	1.380	0.528	0.790	0.802	0.058	0.961	2.373	-6.329	-3.803
34.000	1.003	4.123	3.491	3.370	1.559	0.534	0.760	0.771	0.065	1.095	2.367	-6.271	-3.832
36.000	1.062	4.365	3.780	3.334	1.759	0.543	0.720	0.731	0.073	1.216	2.306	-6.271	-3.832
38.000	1.121	4.608	4.069	3.302	1.985	0.556	0.680	0.690	0.082	1.312	2.182	-6.271	-3.832
40.000	1.180	4.850	4.358	3.271	2.252	0.574	0.640	0.650	0.091	1.366	1.984	-6.329	-3.861
42.000	1.239	5.093	4.637	3.242	2.566	0.599	0.608	0.617	0.100	1.354	1.711	-6.329	-3.861
43.000	1.269	5.214	4.777	3.229	2.720	0.608	0.593	0.602	0.105	1.350	1.602	-6.329	-3.861

VS KNOTS	FN	VS M/S	CR	DRS KGF	DOC COEF	DWS KGF	DAS KGF	CFS E+3	SS M2	DFS KGF	DTS TON	CTS	EHP HP	ETAD	DHP HP
20.000	0.590	10.289	4.885	3940.759	0.699	4032.000	166.340	1.814	145.700	1463.812	9.603	11.903	1317.366	0.520	2533.396
22.000	0.649	11.318	3.584	3474.732	0.796	4594.250	201.271	1.791	144.700	1736.623	10.007	10.322	1510.062	0.540	2796.410
24.000	0.708	12.347	2.844	3259.035	0.858	4947.967	239.529	1.771	143.700	2028.677	10.475	9.143	1724.437	0.560	3079.352
26.000	0.767	13.375	2.646	3533.433	0.856	4939.096	281.114	1.752	142.700	2339.254	11.093	8.307	1978.298	0.580	3410.859
28.000	0.826	14.404	2.482	3870.525	0.844	4869.477	326.025	1.735	143.700	2705.313	11.771	7.548	2260.775	0.600	3767.959
30.000	0.885	15.433	2.428	4377.005	0.819	4723.451	374.264	1.719	144.700	3098.894	12.574	6.975	2587.348	0.620	4173.142
32.000	0.944	16.462	2.373	4900.263	0.790	4558.014	425.829	1.705	145.700	3520.280	13.404	6.490	2942.188	0.640	4597.168
34.000	1.003	17.491	2.367	5595.231	0.760	4382.901	480.721	1.691	147.700	3996.825	14.456	6.116	3371.249	0.660	5107.953
36.000	1.062	18.520	2.306	6233.372	0.720	4152.266	538.940	1.679	150.700	4537.990	15.463	5.719	3818.190	0.680	5614.986
38.000	1.121	19.549	2.182	6748.302	0.680	3922.009	600.486	1.667	154.700	5154.148	16.425	5.312	4281.155	0.700	6115.936
40.000	1.180	20.578	1.984	7062.696	0.640	3692.427	665.358	1.656	160.700	5893.259	17.314	4.865	4750.336	0.720	6597.689
42.000	1.239	21.606	1.711	7046.301	0.608	3505.414	733.557	1.645	168.700	6778.021	18.063	4.385	5203.789	0.740	7032.147
43.000	1.269	22.121	1.602	7039.771	0.593	3422.659	768.904	1.640	171.700	7209.128	18.440	4.196	5438.934	0.740	7349.910

Table 2-4 Principle Dimensions of the Hydrofoil Ship

	Ballast	Design Load	Full Load
Lpp ( m )	34.4	34.4	34.4
B ( m )	7.3	7.3	7.3
D ( m )	4.42	4.42	4.42
$\Delta$ (ton)	123.22	154.32	190.66
TF ( m )	1.75	1.93	2.13
TA ( m )	1.75	1.93	2.13
KM ( m )	5.358	4.946	4.534
KB ( m )	1.308	1.423	1.538
LCB ( m )	-3.154	-3.088	-3.022
CB	0.286	0.325	0.364
CP	0.653	0.675	0.694
CW	0.701	0.728	0.747

- \* Thrust line · 1.3m above Base Line
- \* Design speed · 42 knots (Max. speed : 48 knots)

Table 2-5 Computational Condition

	Viscous flow	Fn=0.25, 0.316
Domain of computation	-1.0 ≤ x ≤ 1.5 0.0 ≤ y ≤ 0.8 -0.5 ≤ z ≤ 0.0	-0.7 ≤ x ≤ 1.0 0.0 ≤ y ≤ 0.5 -0.5 ≤ z ≤ 0.0
Reynolds number	4.5 × 10 <sup>6</sup>	4.5 × 10 <sup>6</sup> 4.5 × 10 <sup>6</sup>
Minimum grid spacing	0.0008	0.0008
Time increment	0.01	0.005
Approximate number of cell	63,000	148,000
total time step	500	1,400
CPU time by CRAY-2S	2 hours	16 hours

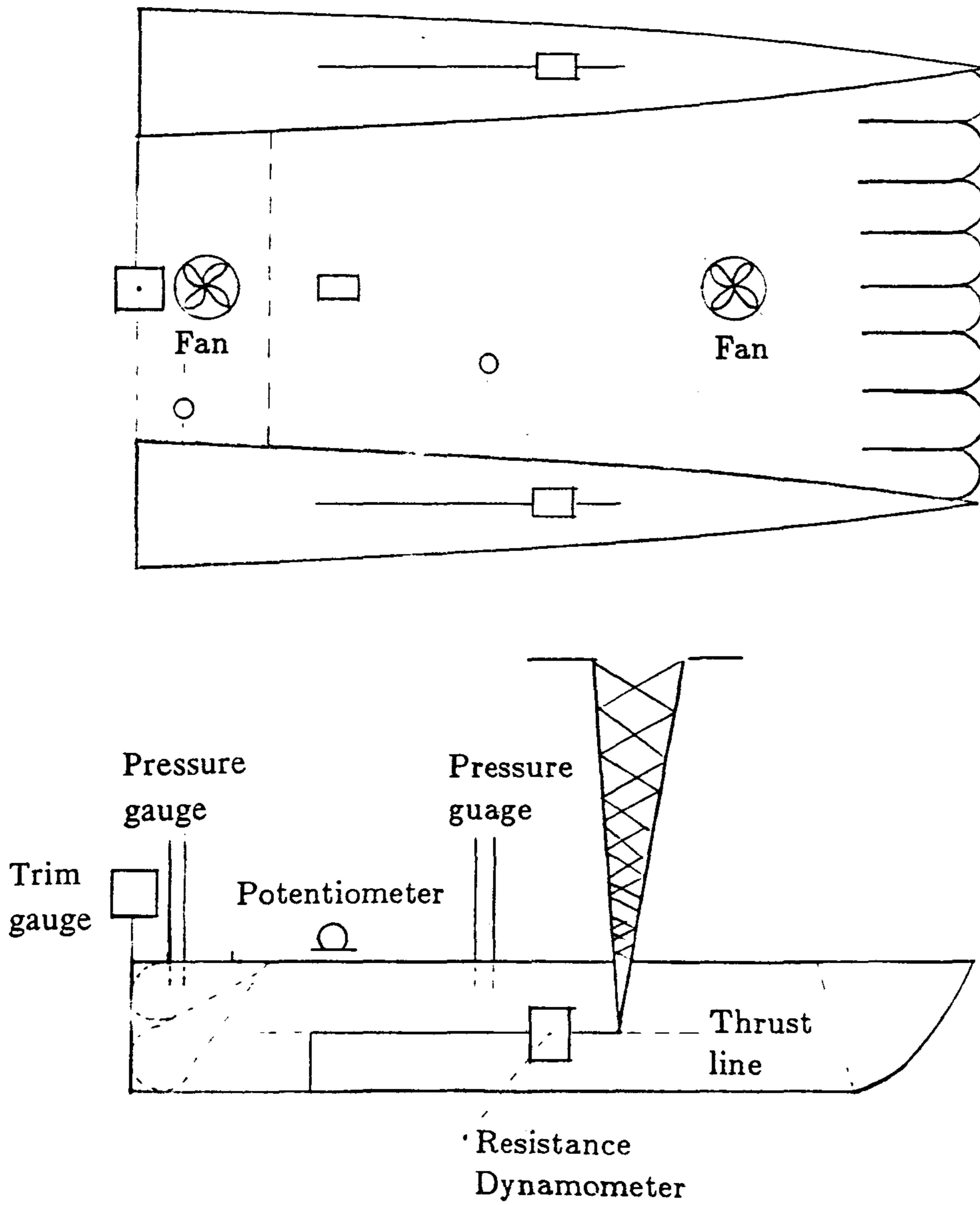


Fig. 2-1 Schematic Drawing for Resistance Test of the SES

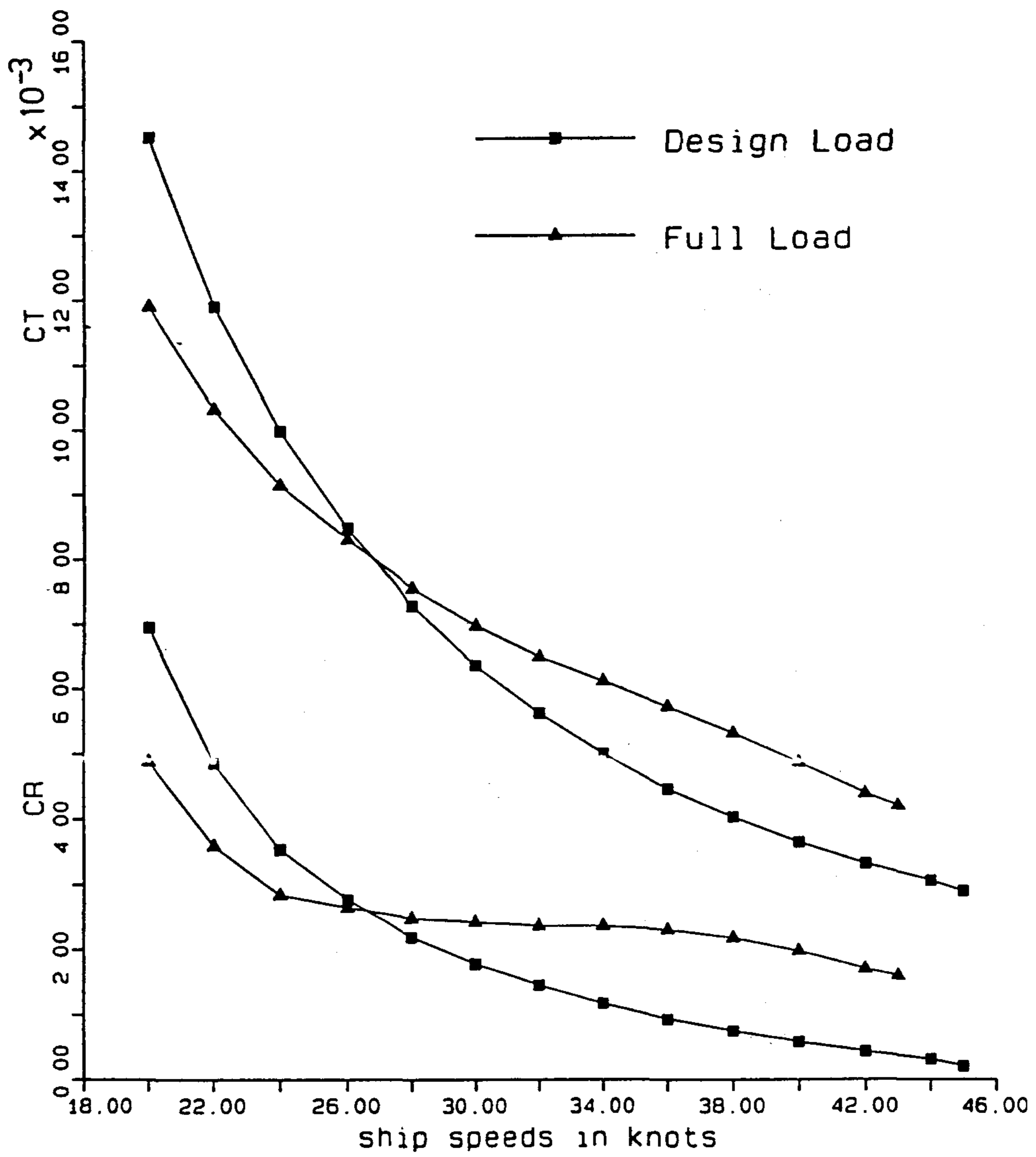


Fig. 2-2 Curves of Resistance Coefficients (SES, Design and Full Load)

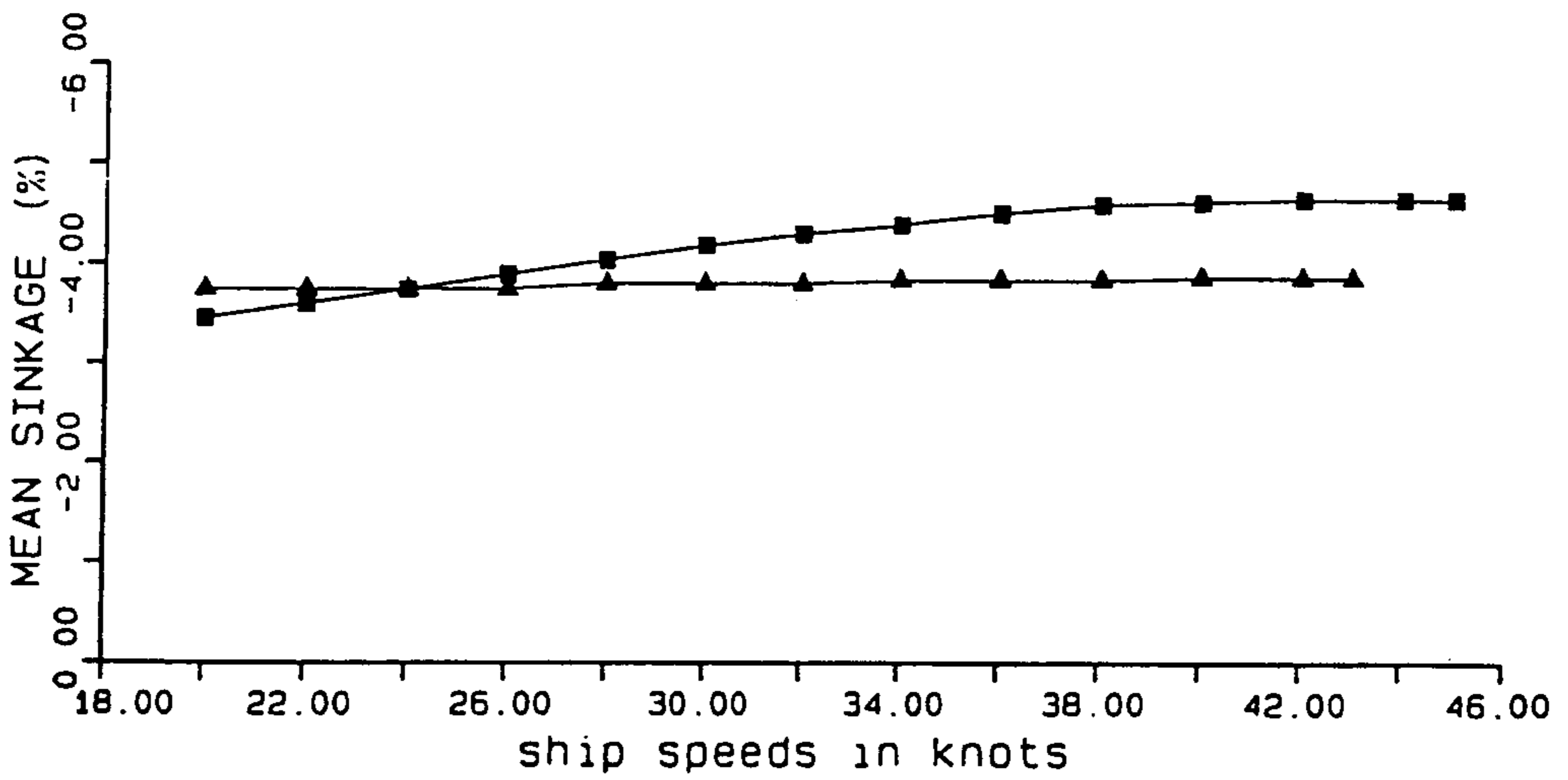
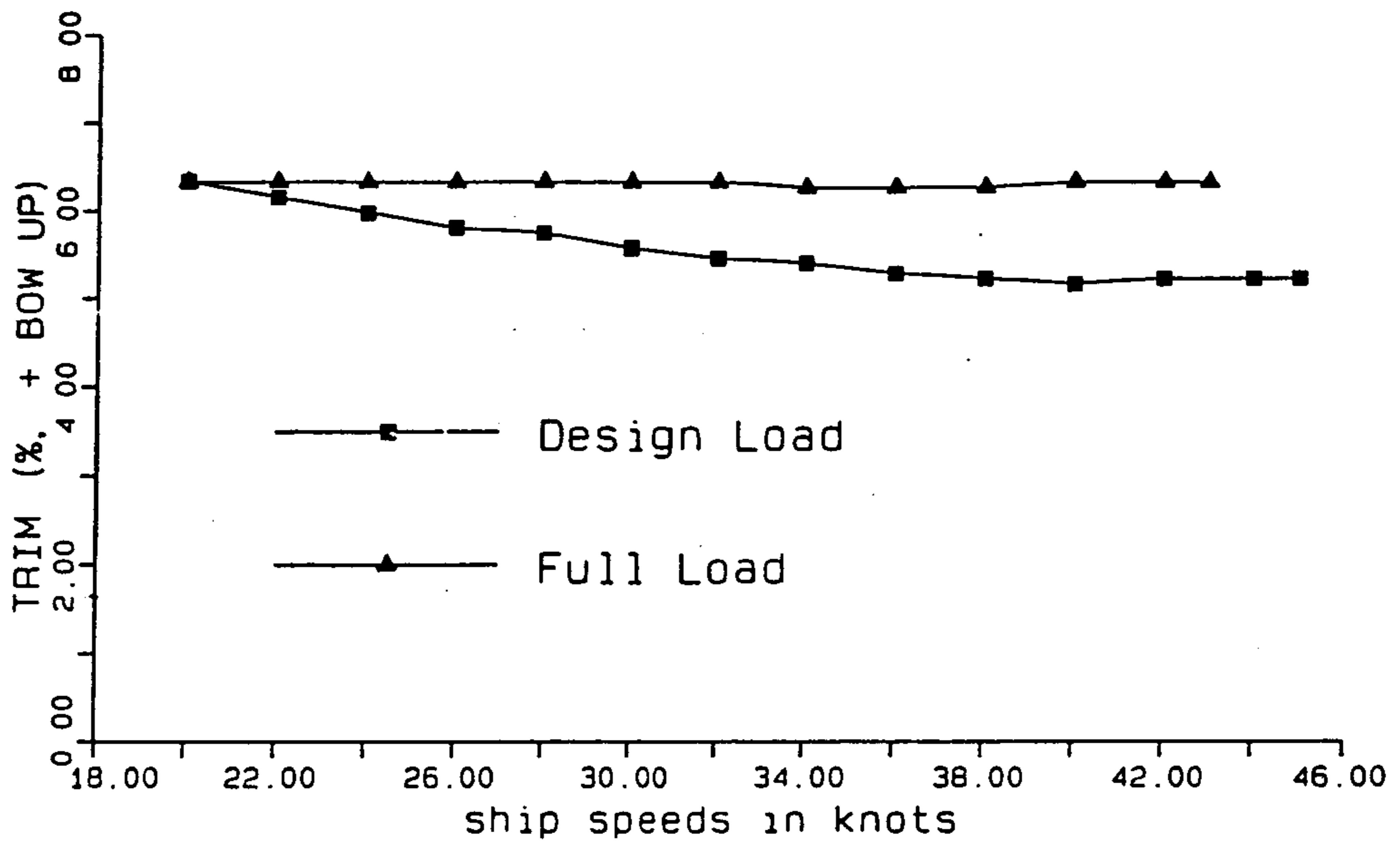


Fig. 2-3 Curves of Trim and Mean Sinkage (SES, Design and Full Load)



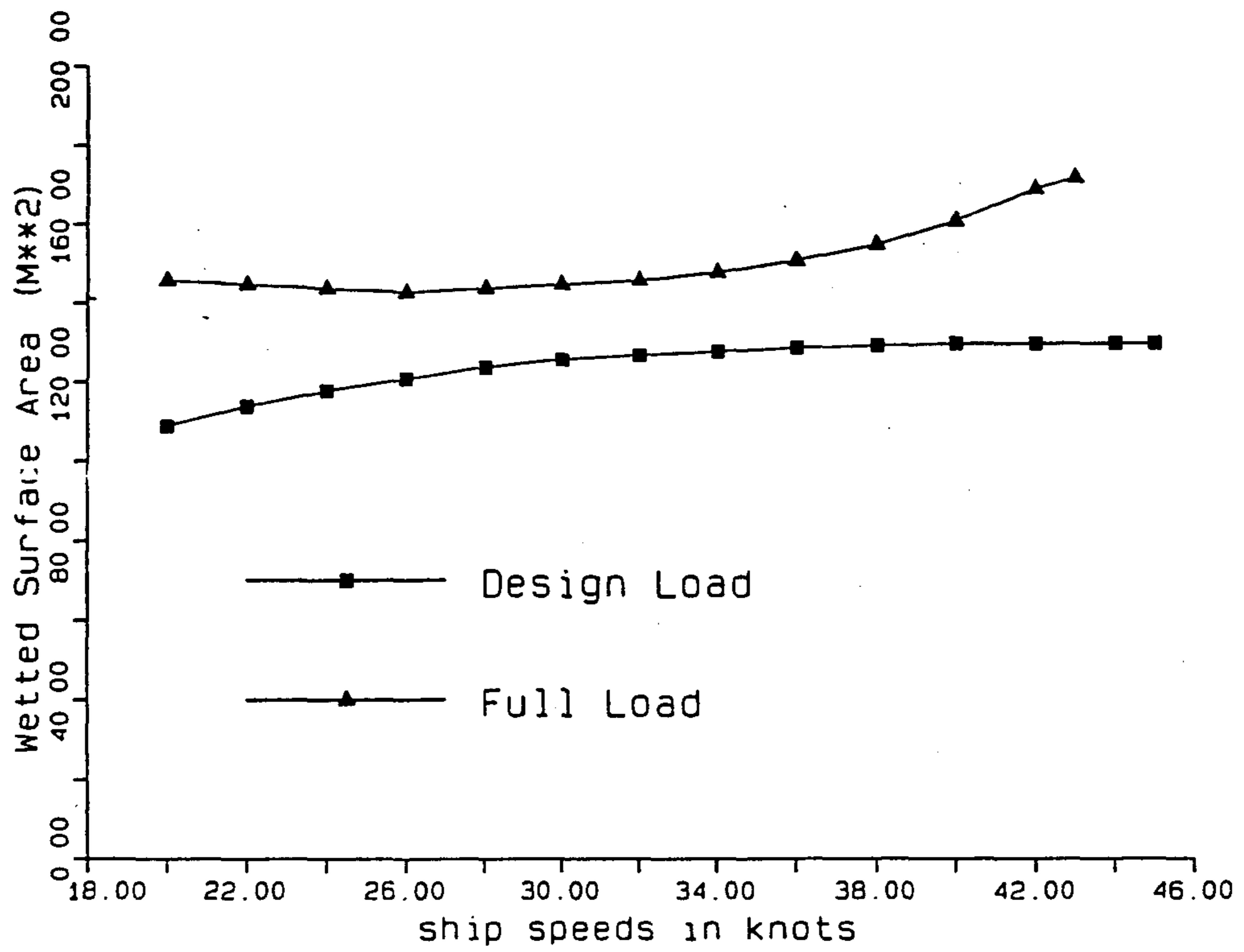


Fig. 2-4 Curves of Wetted Surface Area (SES, Design and Full Load)

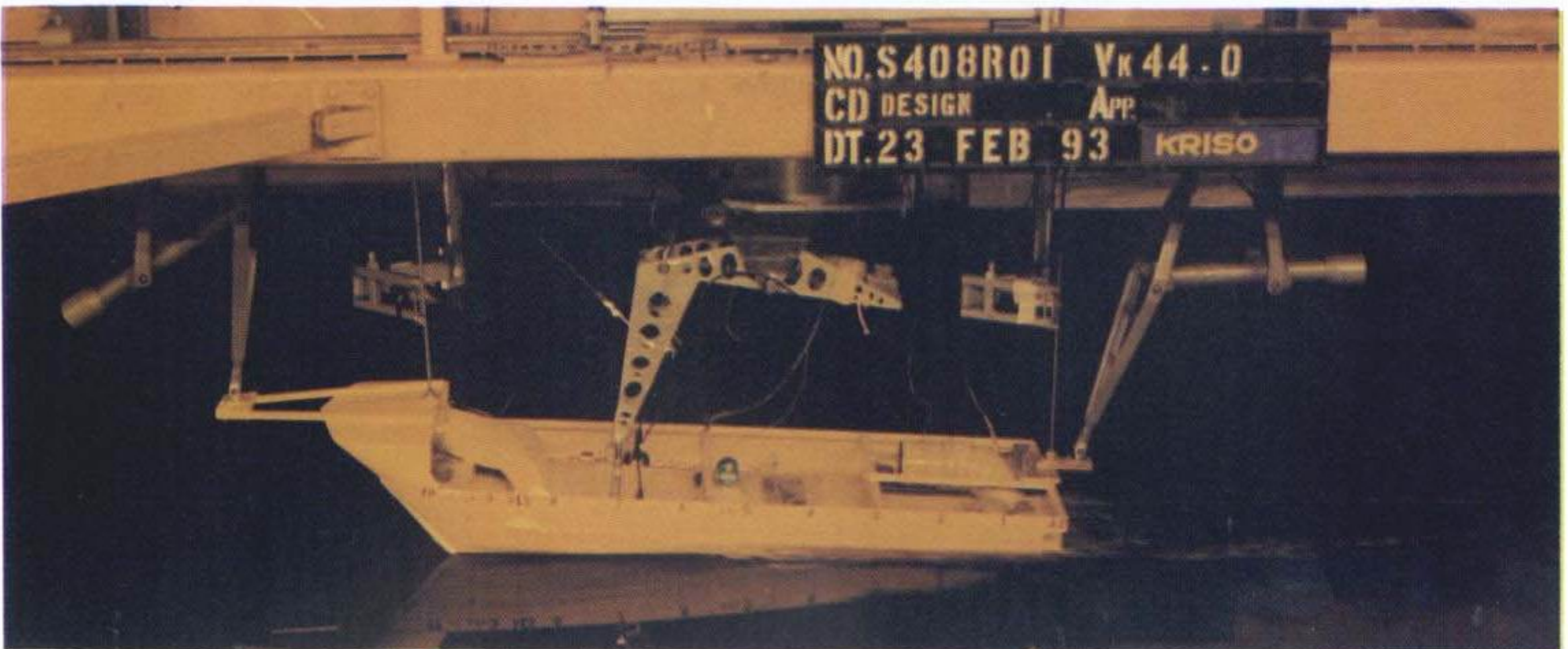
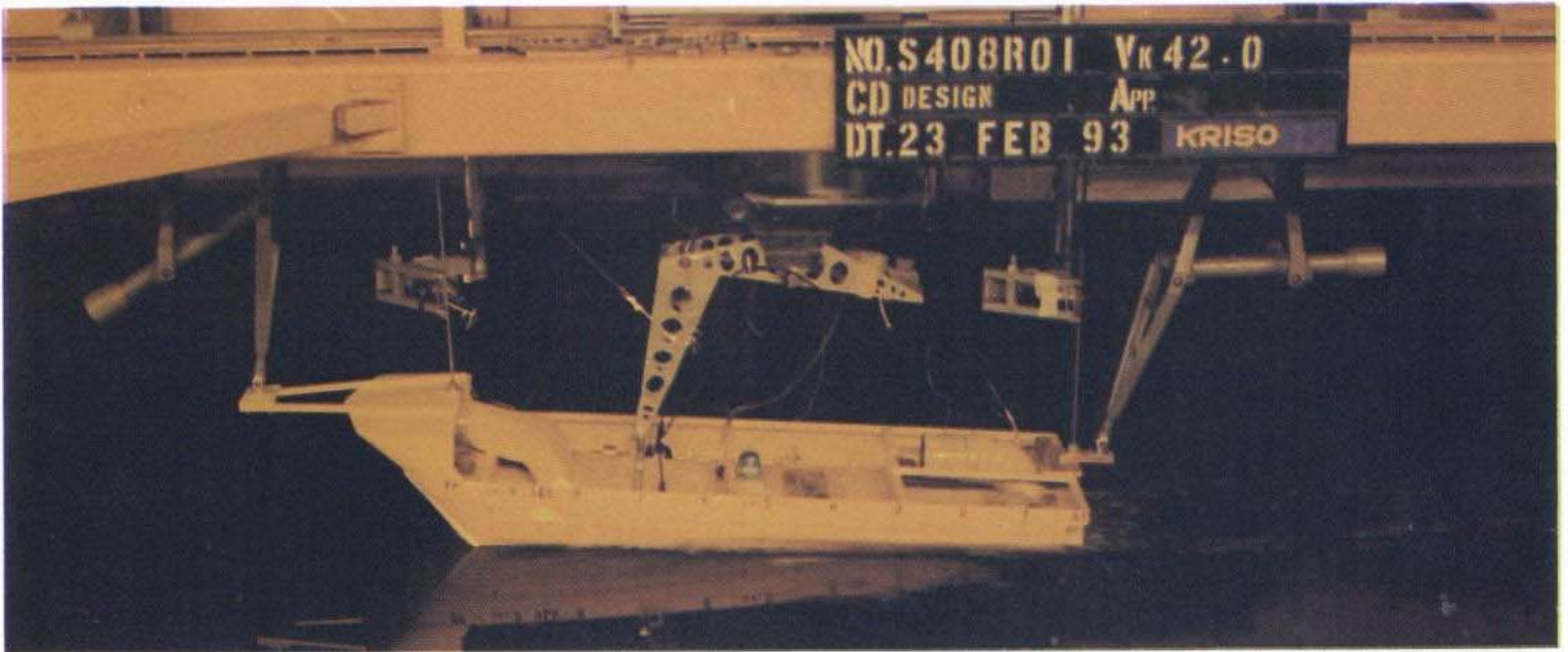
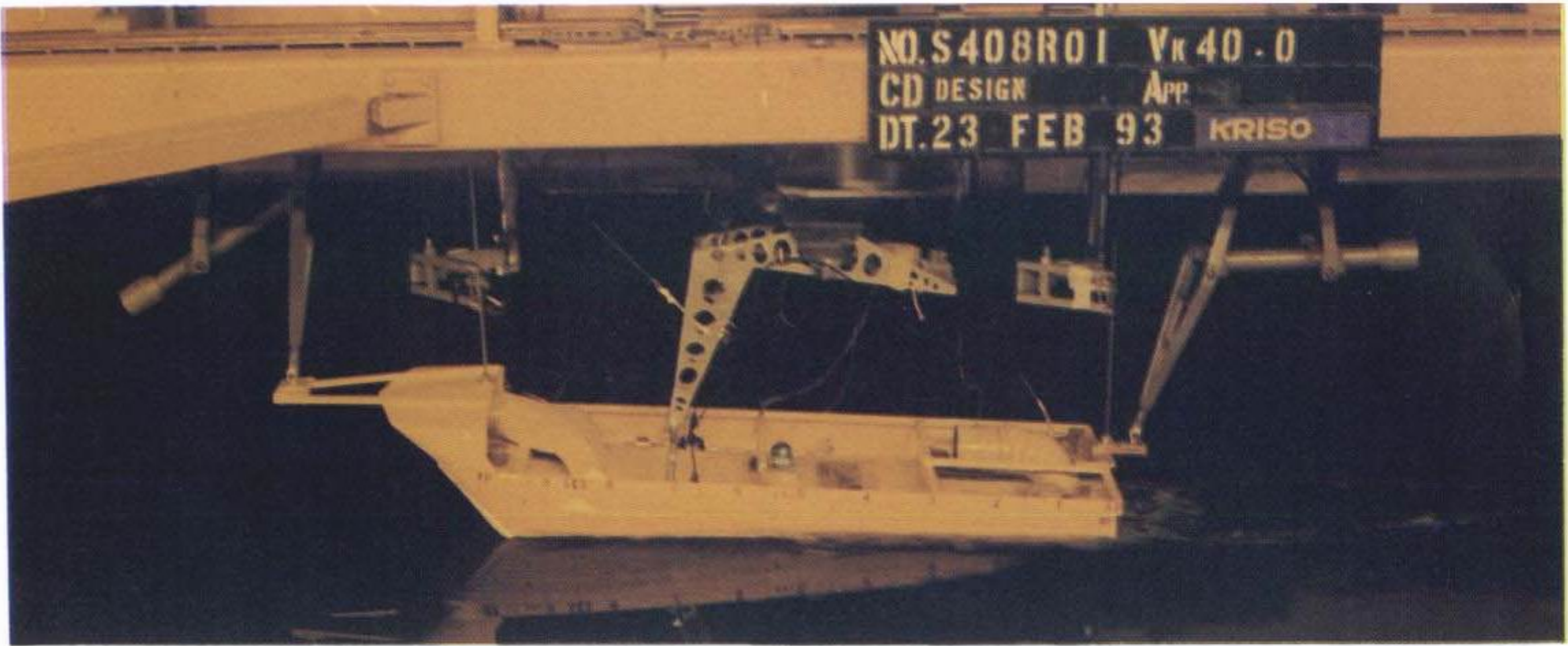
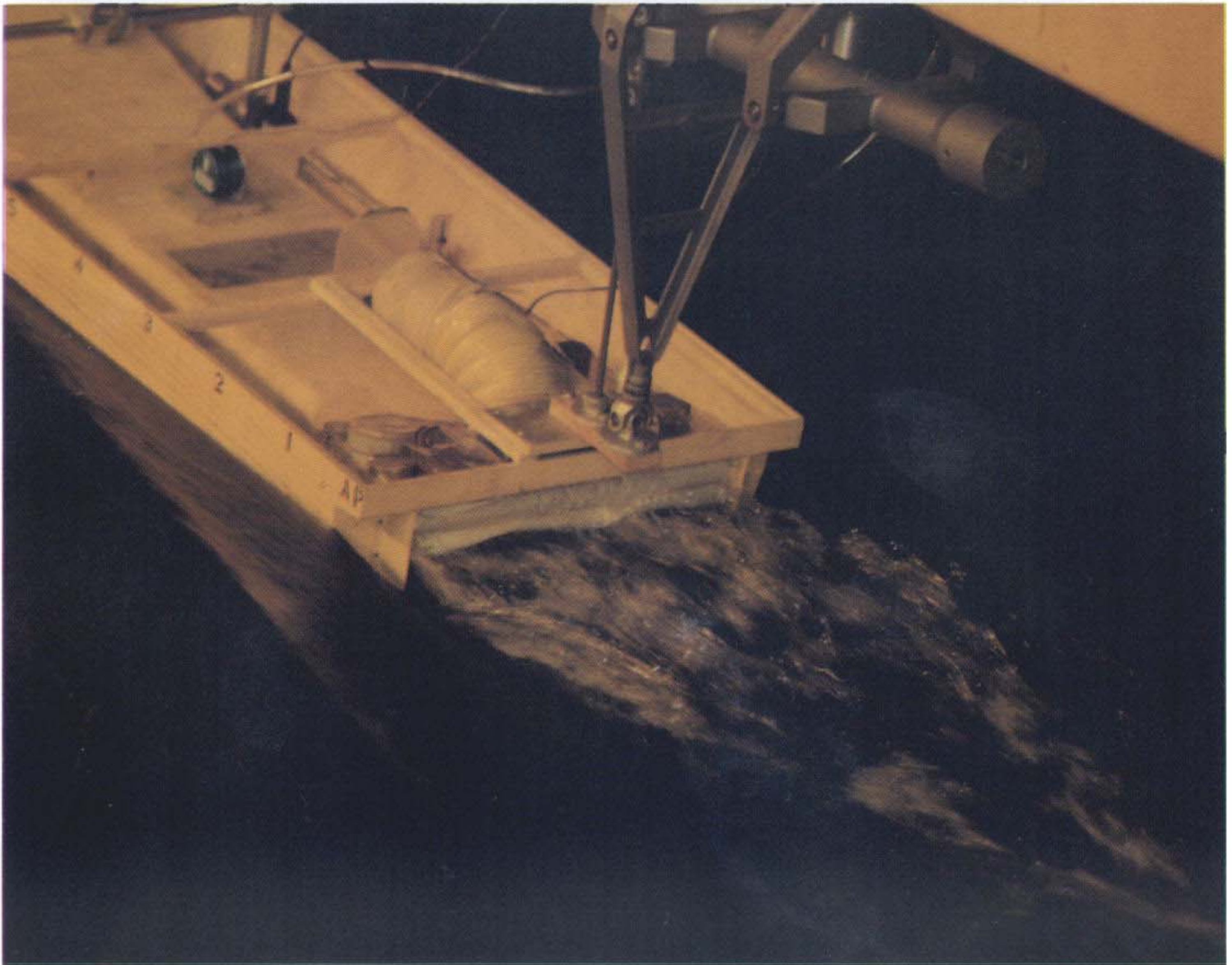
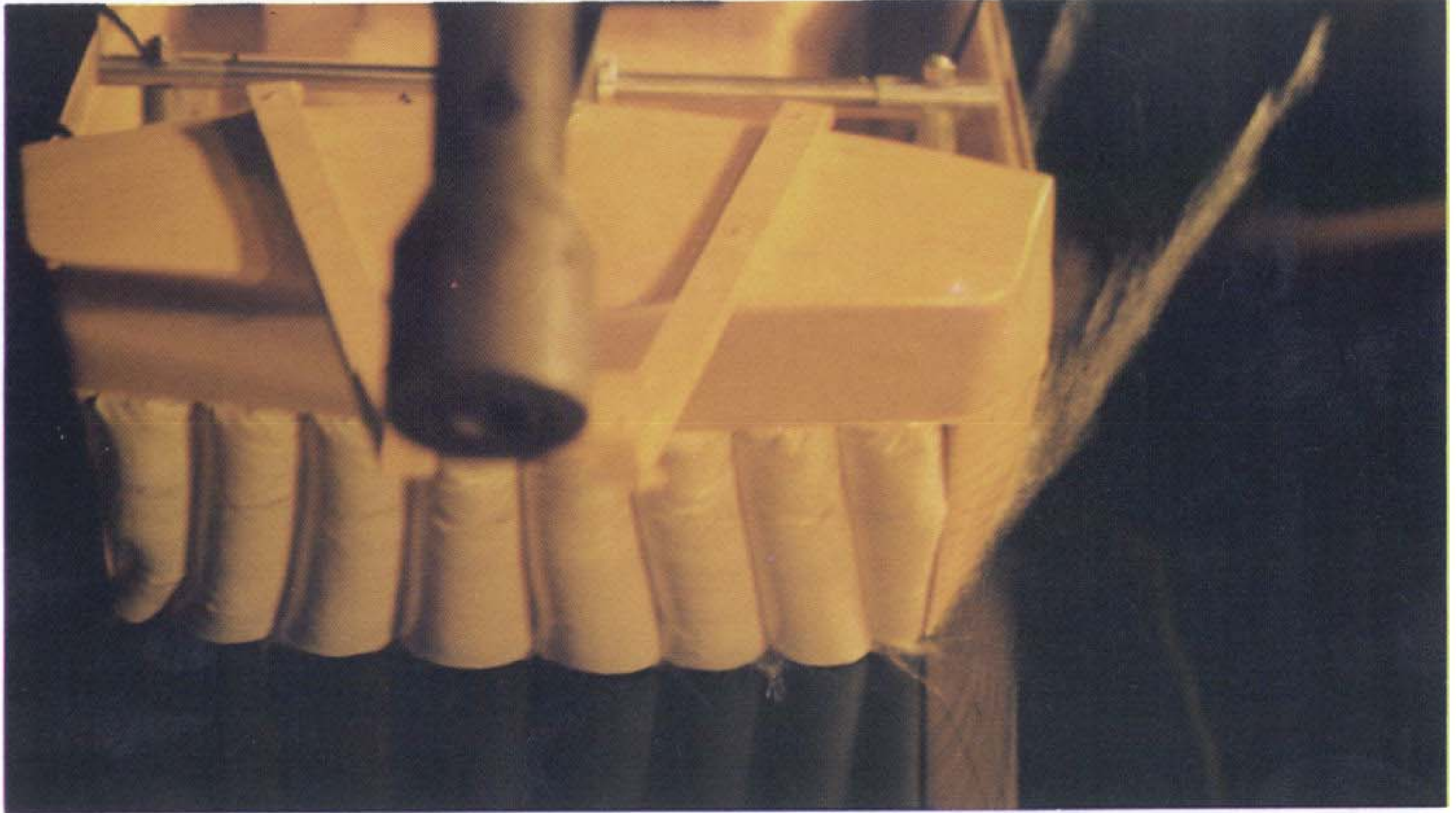


Fig. 2-5 Photographs of Running Ship Model (SES, Design Load)

To be Continued

여 백



여 백

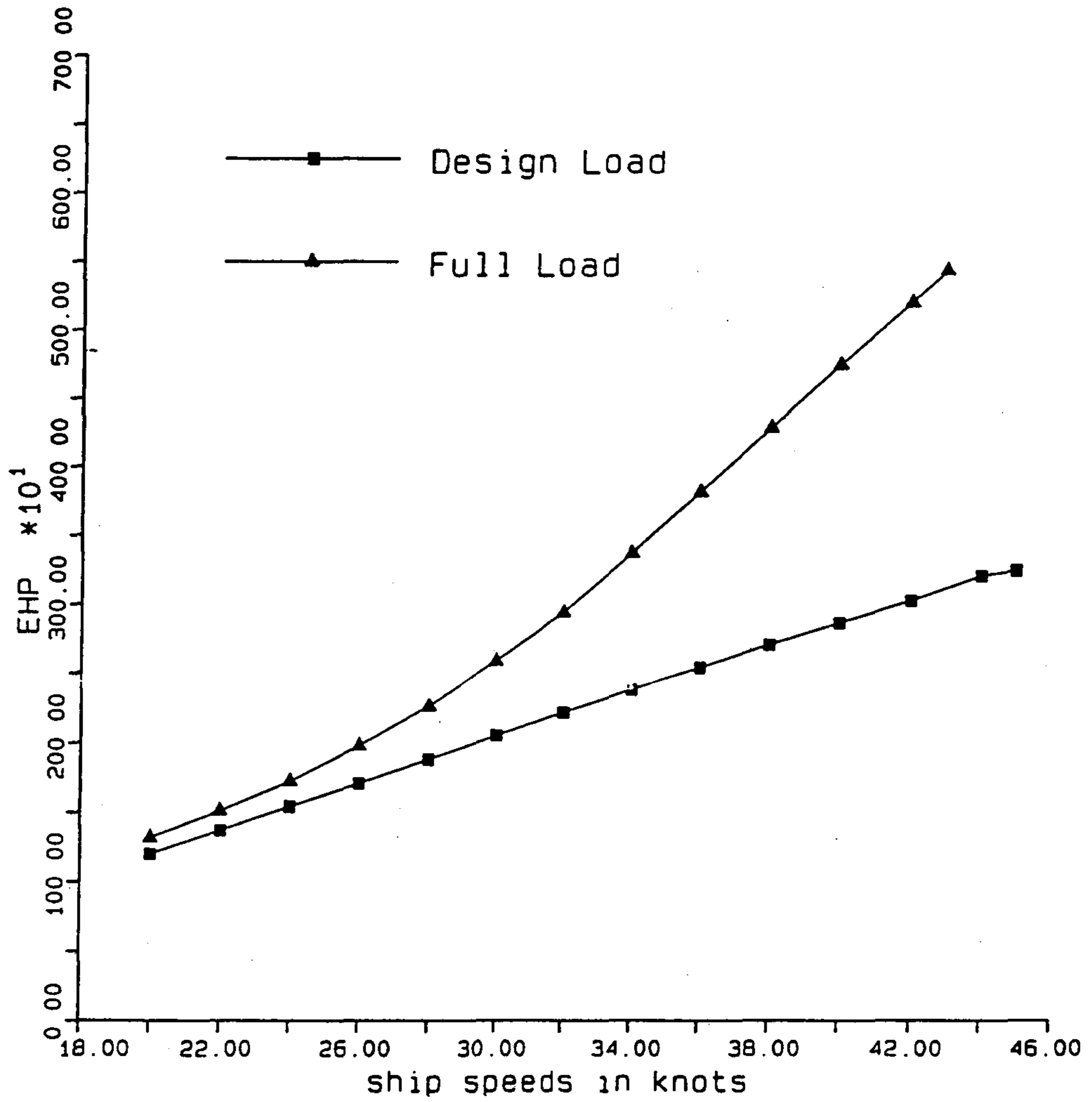


Fig. 2-6 Curves of Effective Power (SES, Design and Full Load)

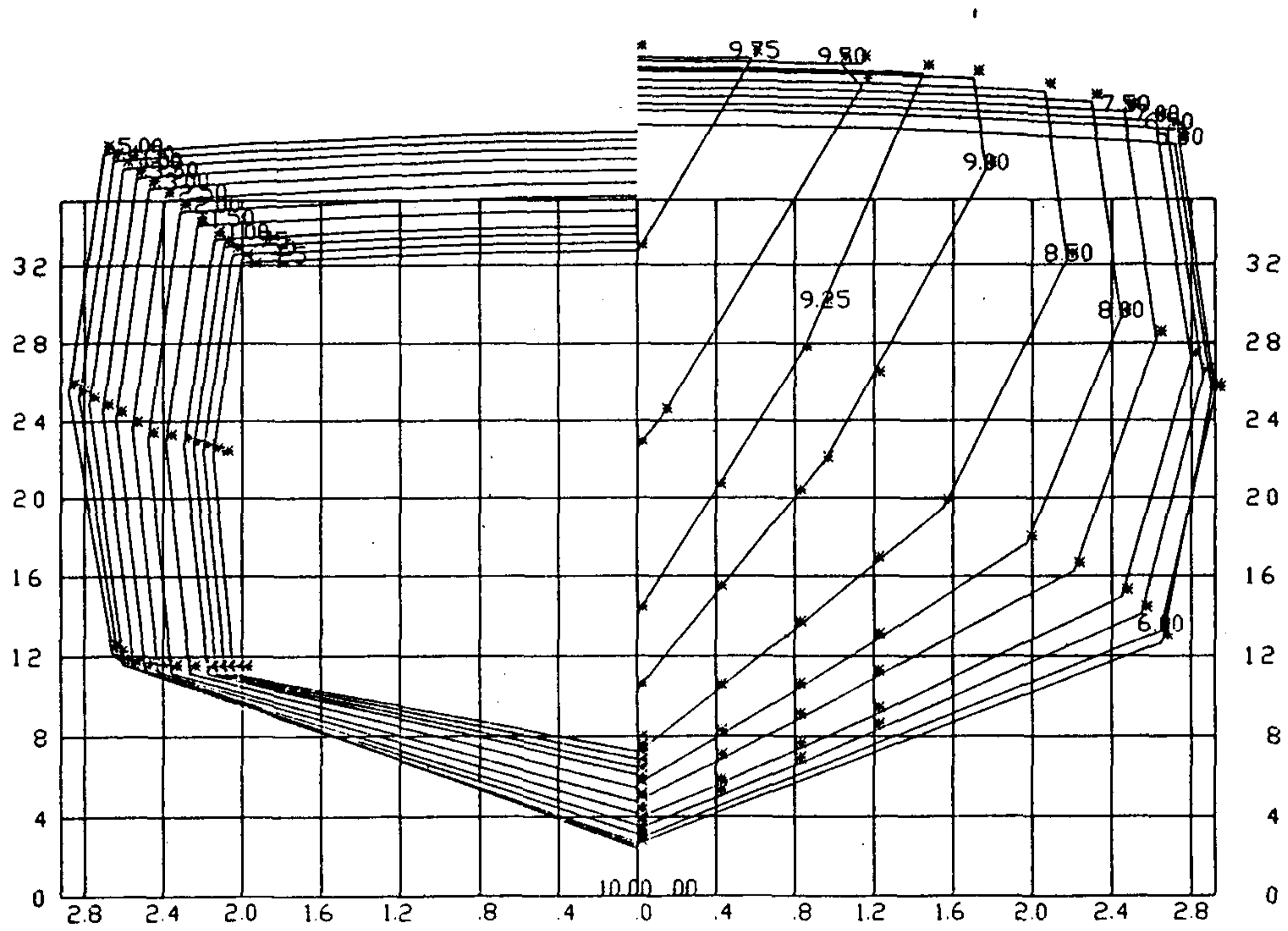


Fig 2-7 Body Plan (Hydrofoil Ship)

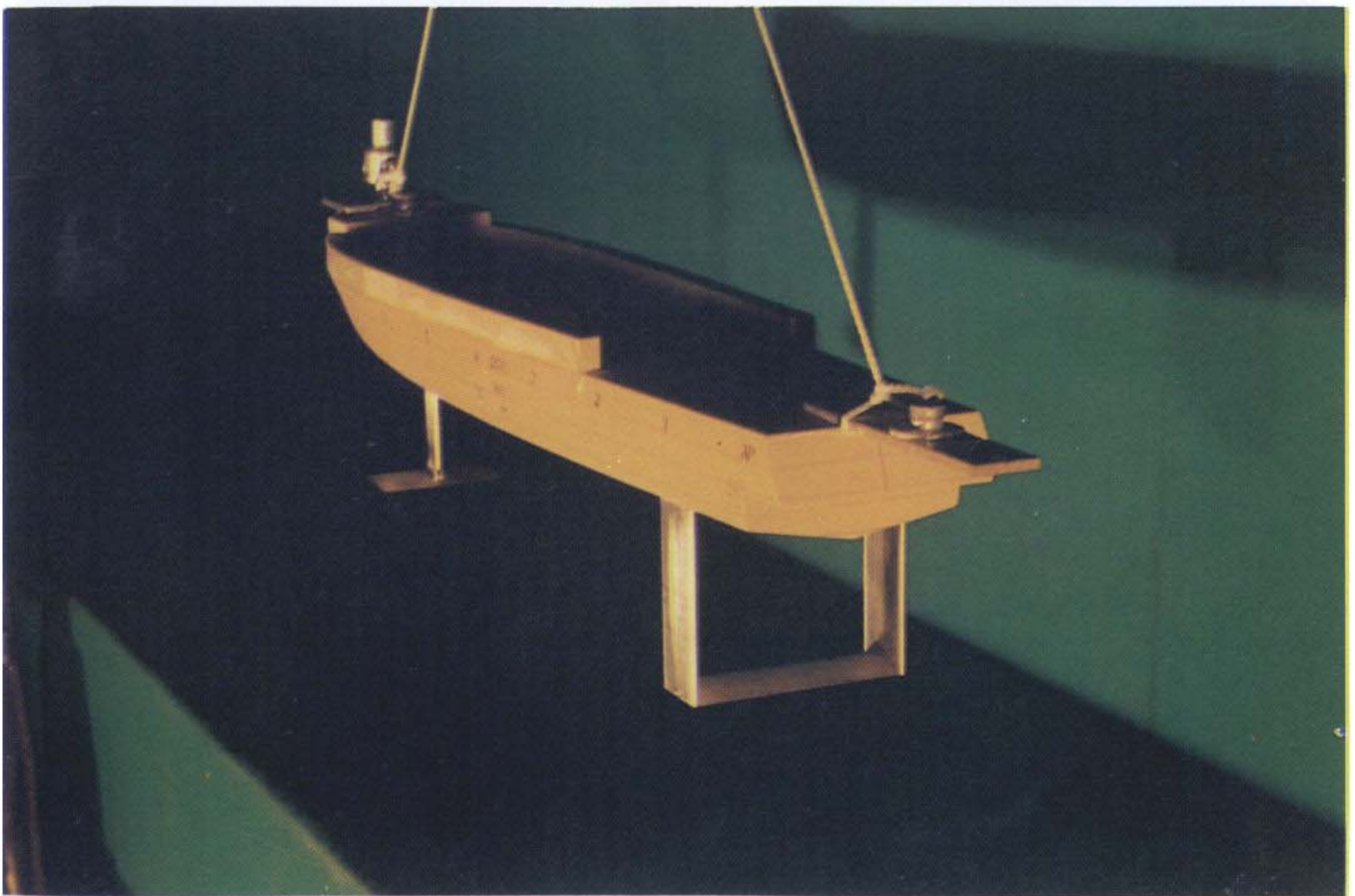
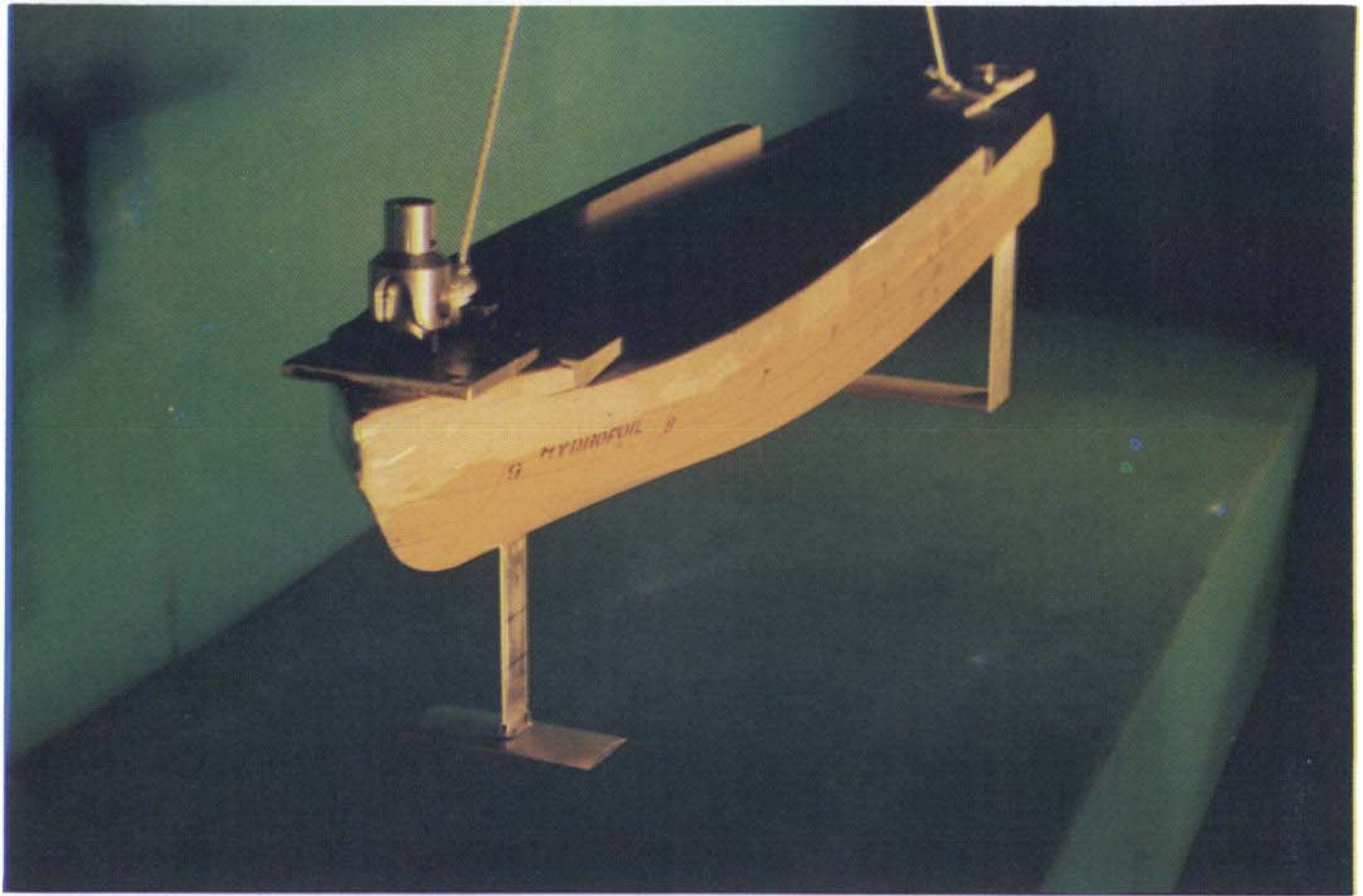


Fig. 2-8 Photographs of model ship (hydrofoil ship)



여 백

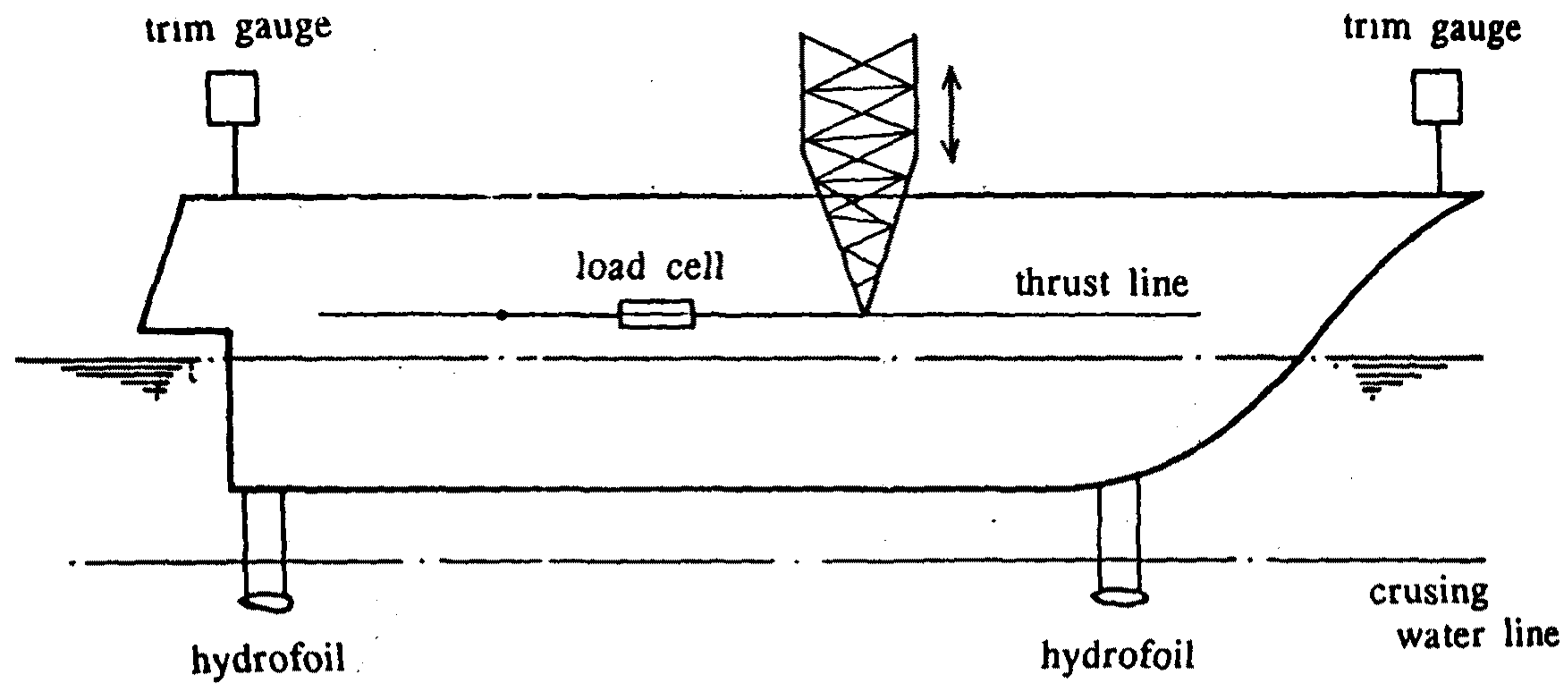


Fig 2-9 Schematic Drawing for Resistance Test of the Hydrofoil Ship

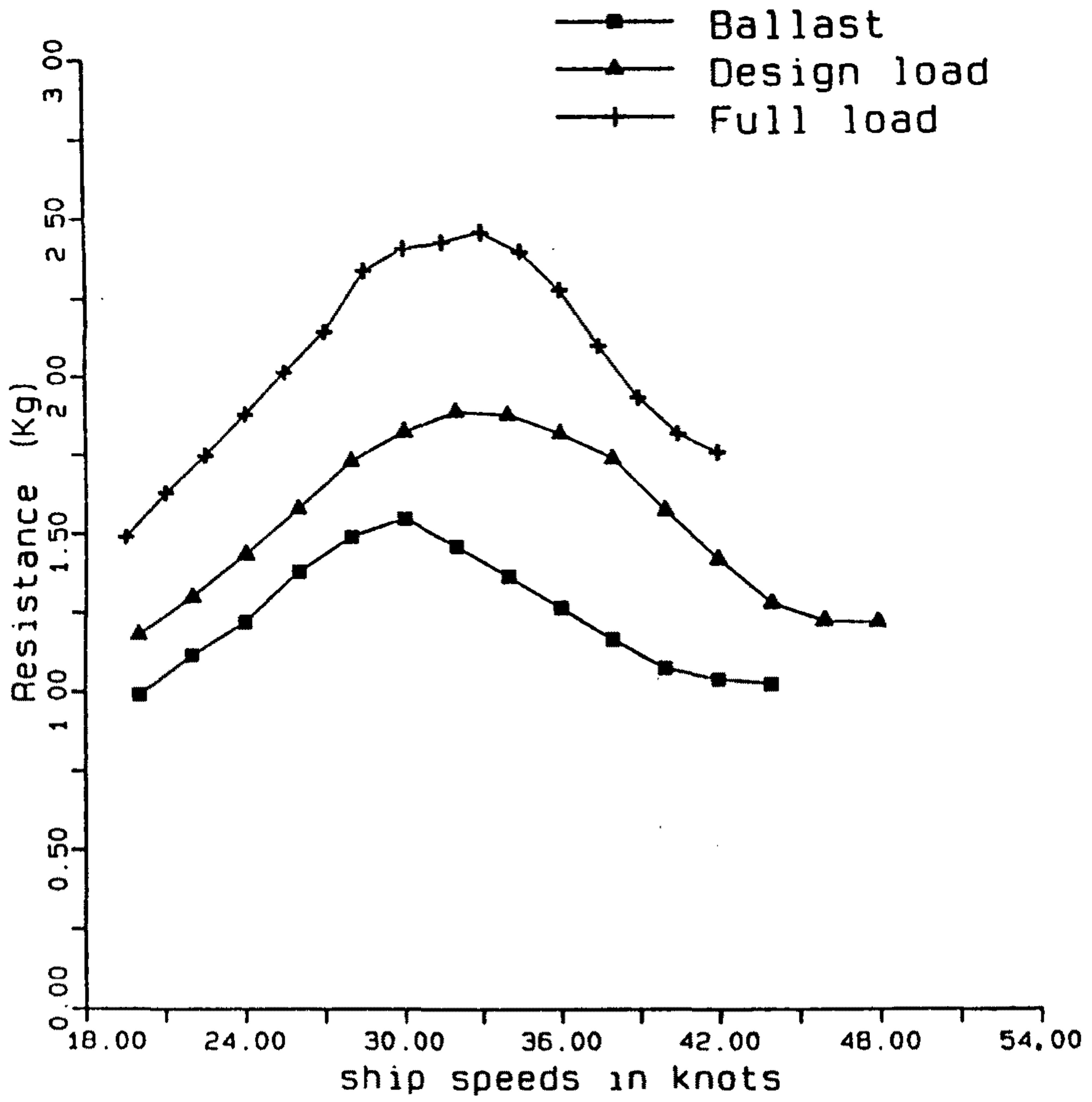


Fig. 2-10 Curves of Resistance (Hydrofoil Ship, Design Load and Ballast)

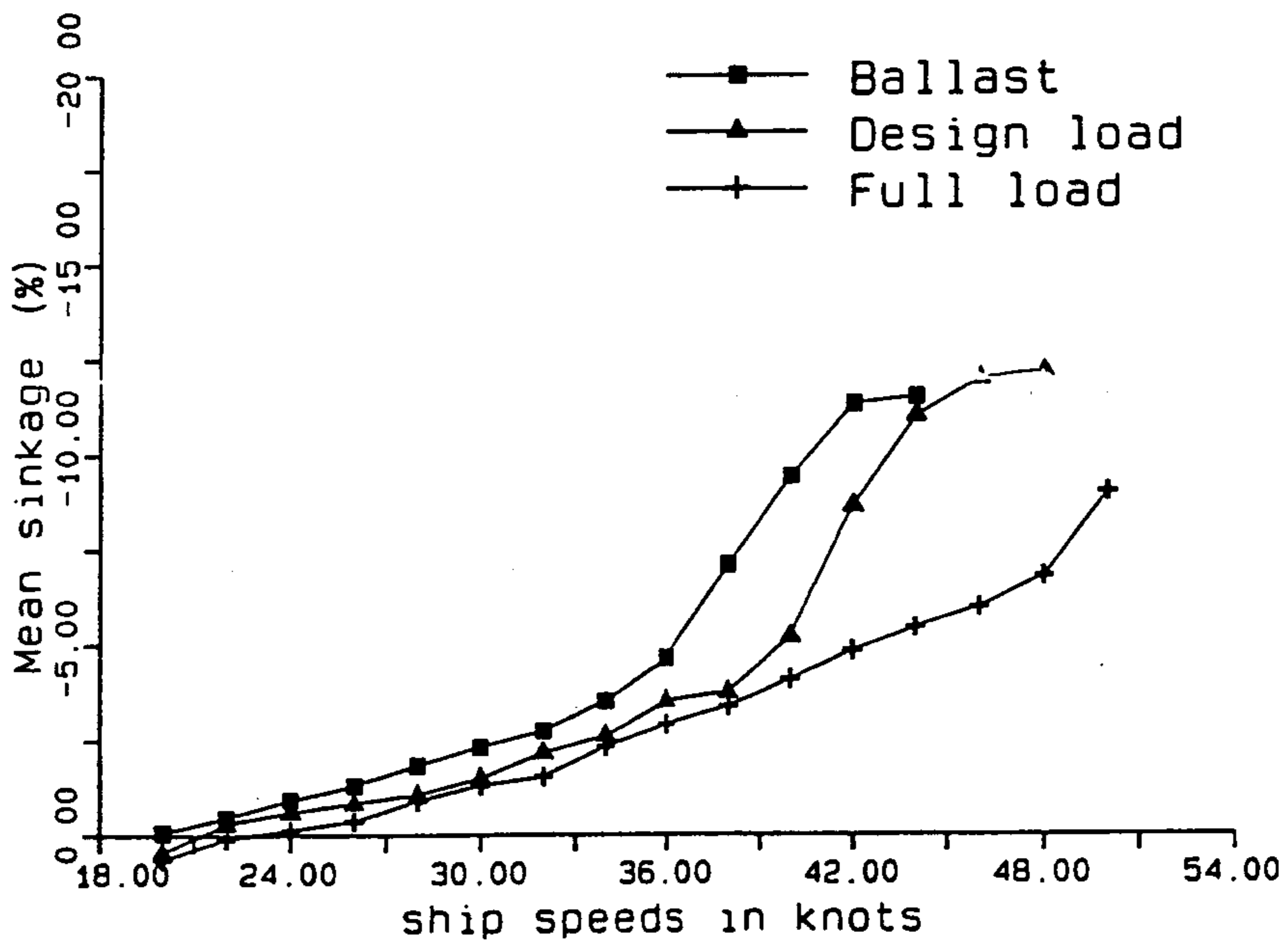
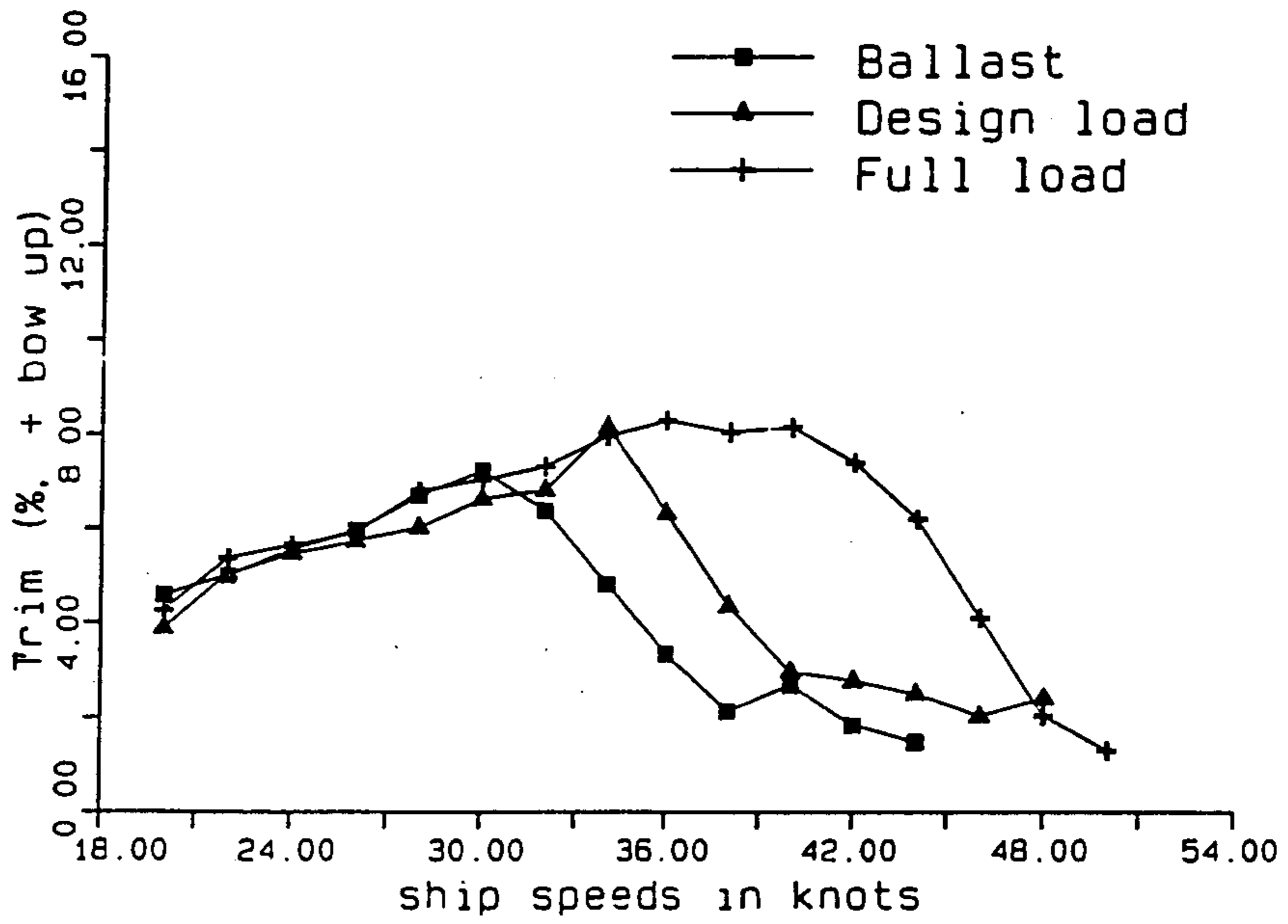


Fig. 2-11 Curves of Trim and Mean Sinkage  
(Hydrofoil Ship, Design and Full Load)

여 백

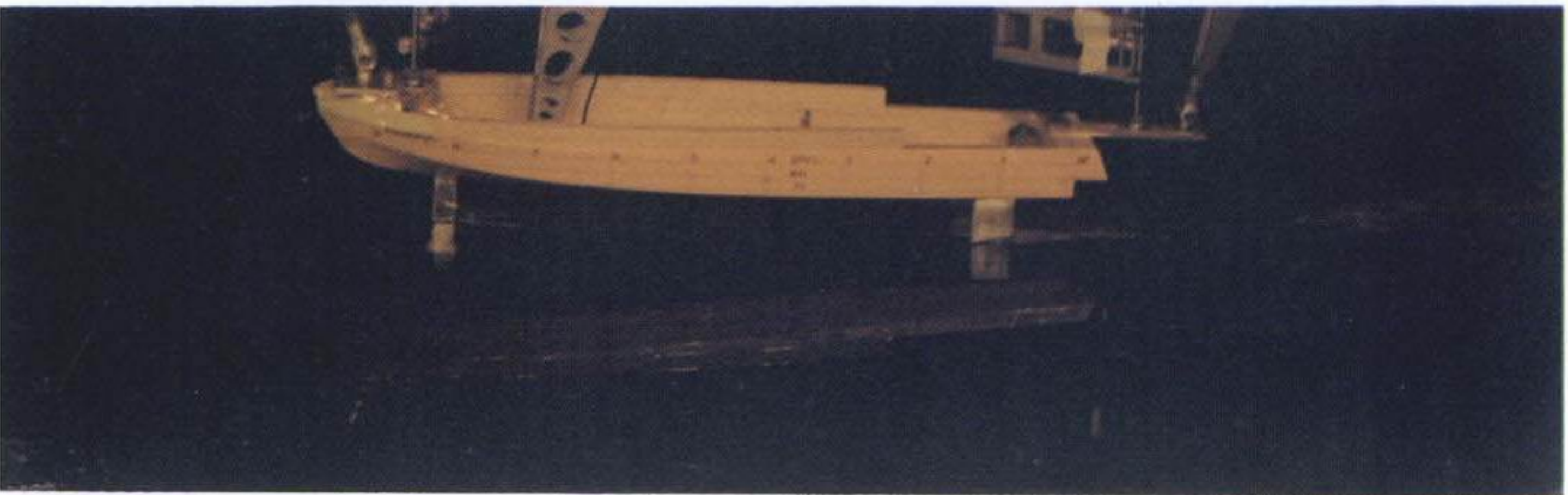
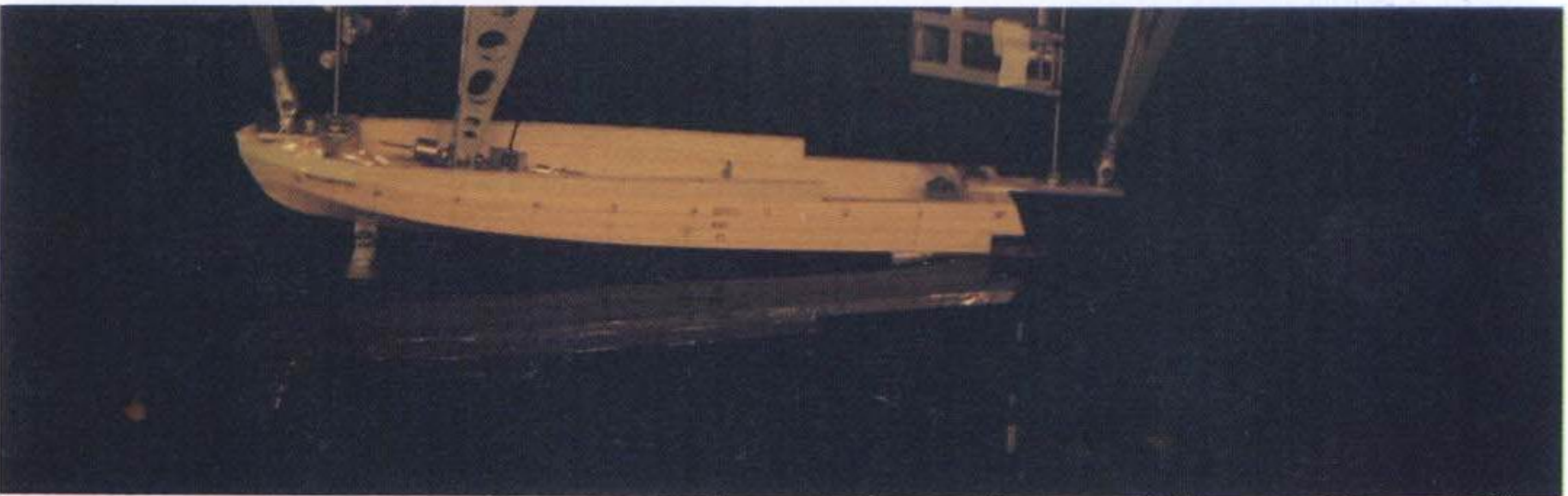
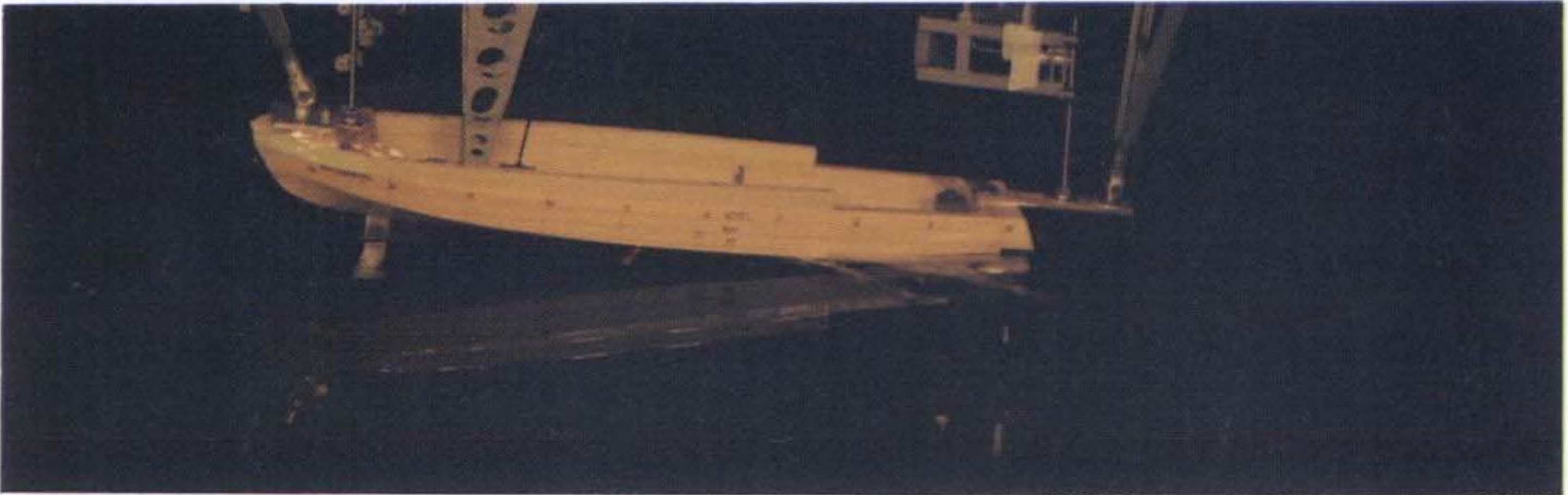
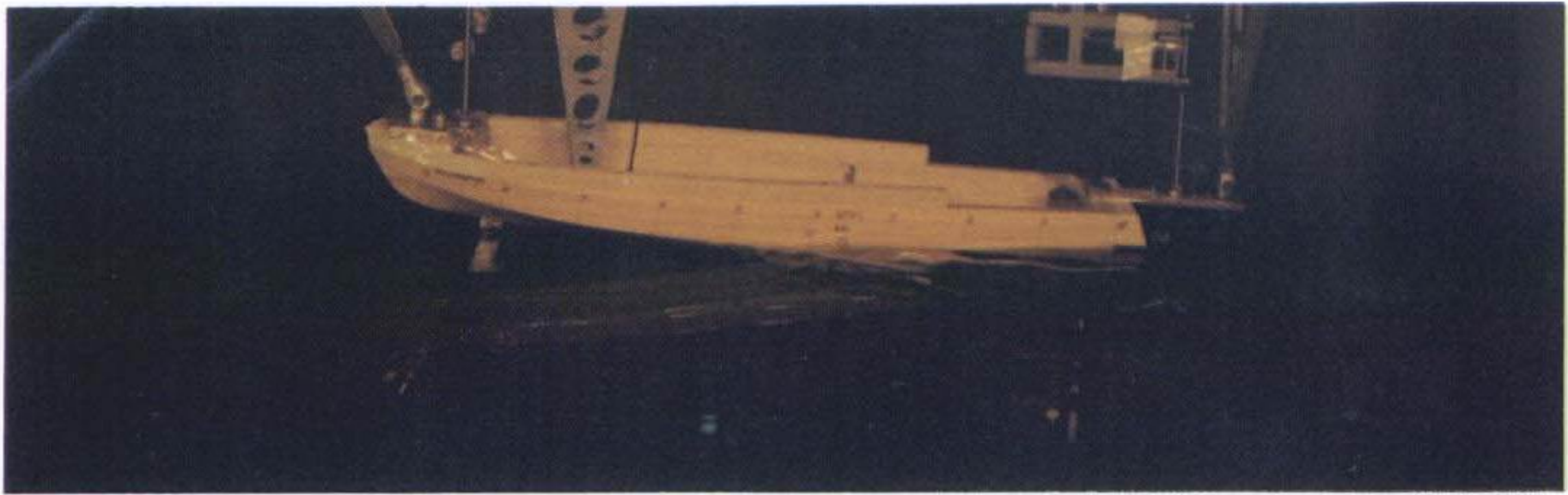


Fig. 2-12 Photographs of running ship model (hydrofoil ship, design load, from Top; 28, 32, 36 and 40 knots)

여 백

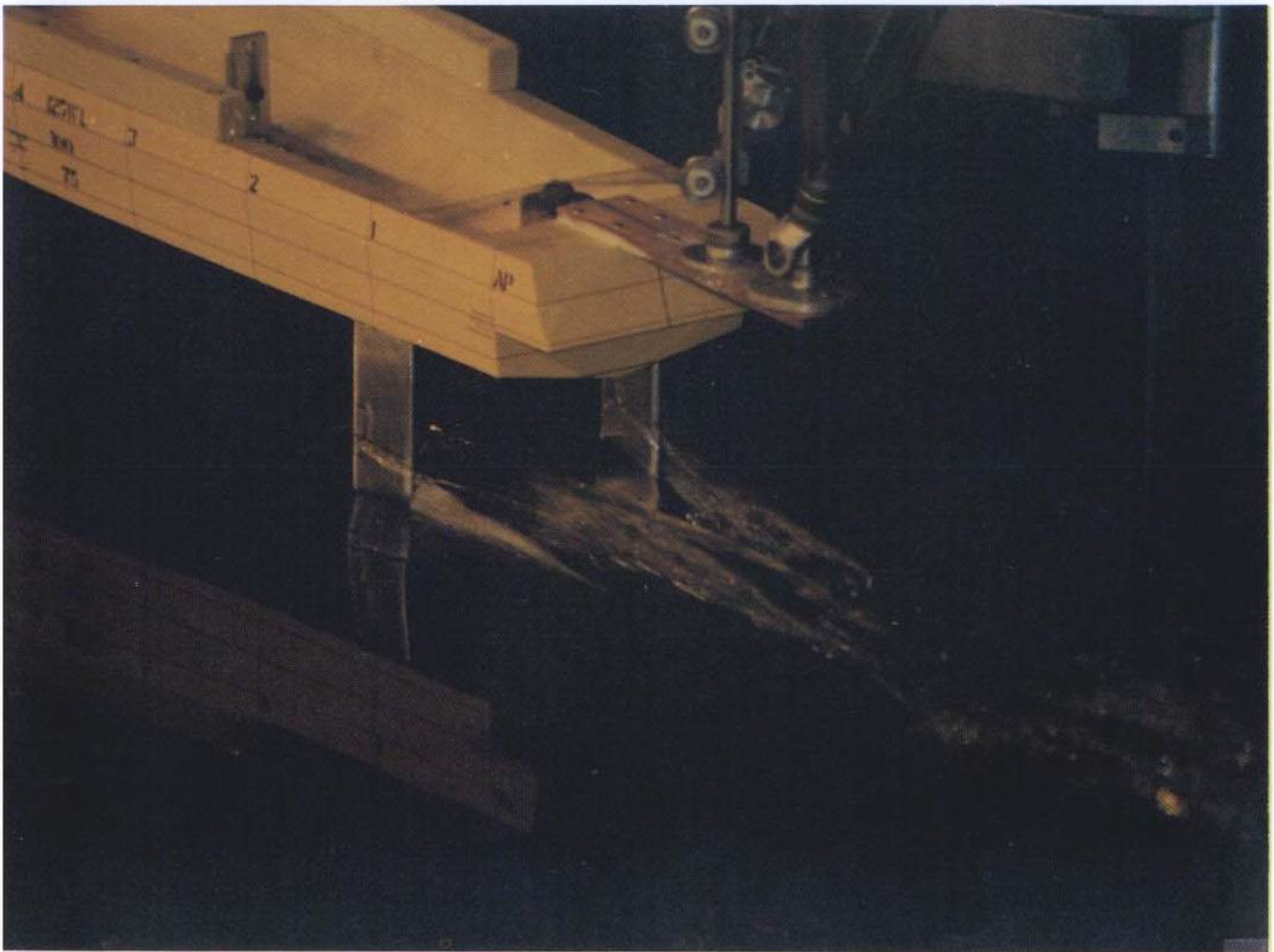


Fig. 2-13 Photographs of running ship model (Hydrofoil Ship, Design Load,40 knots)



여 백

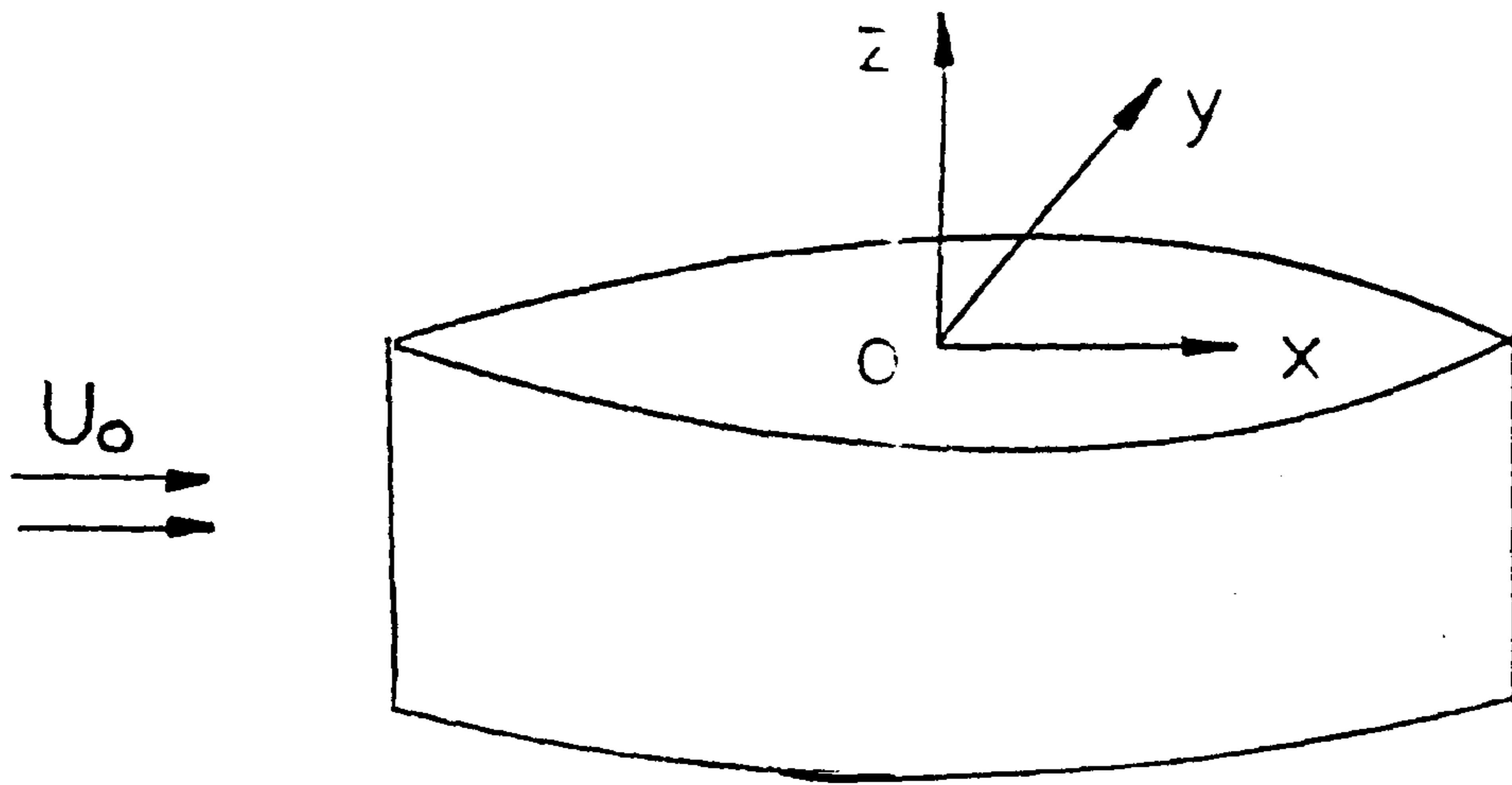


Fig. 2-14 Coordinate System

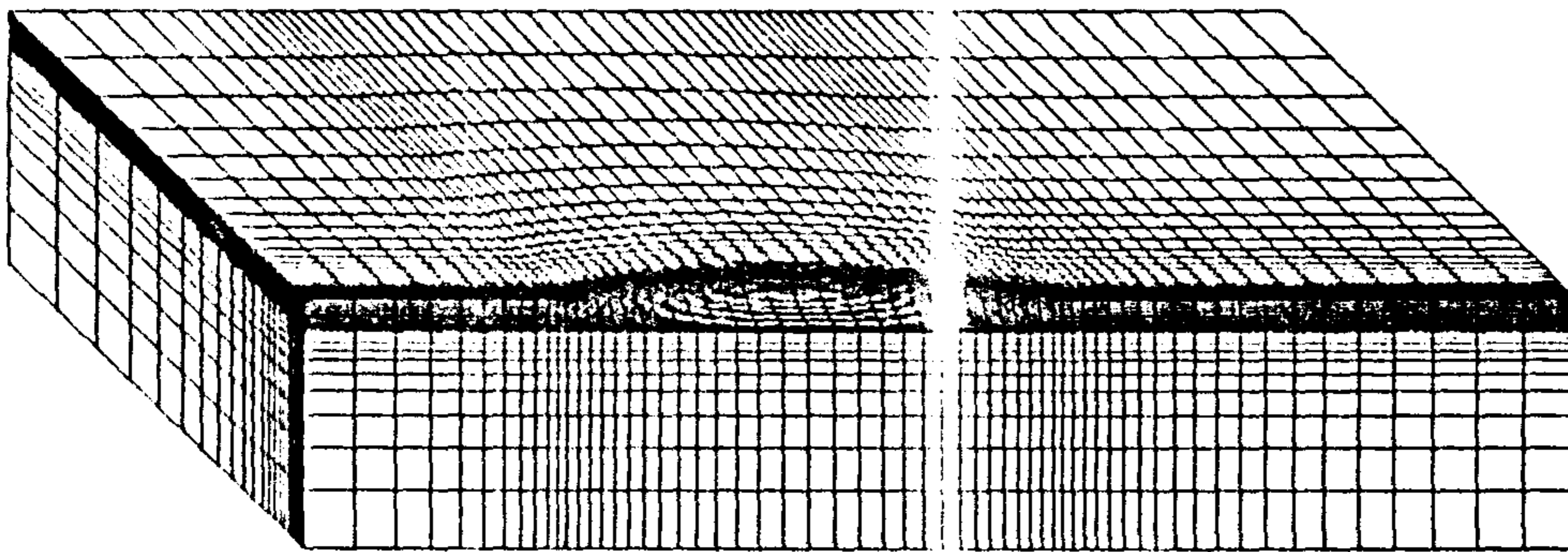


Fig. 2-15 Grid System

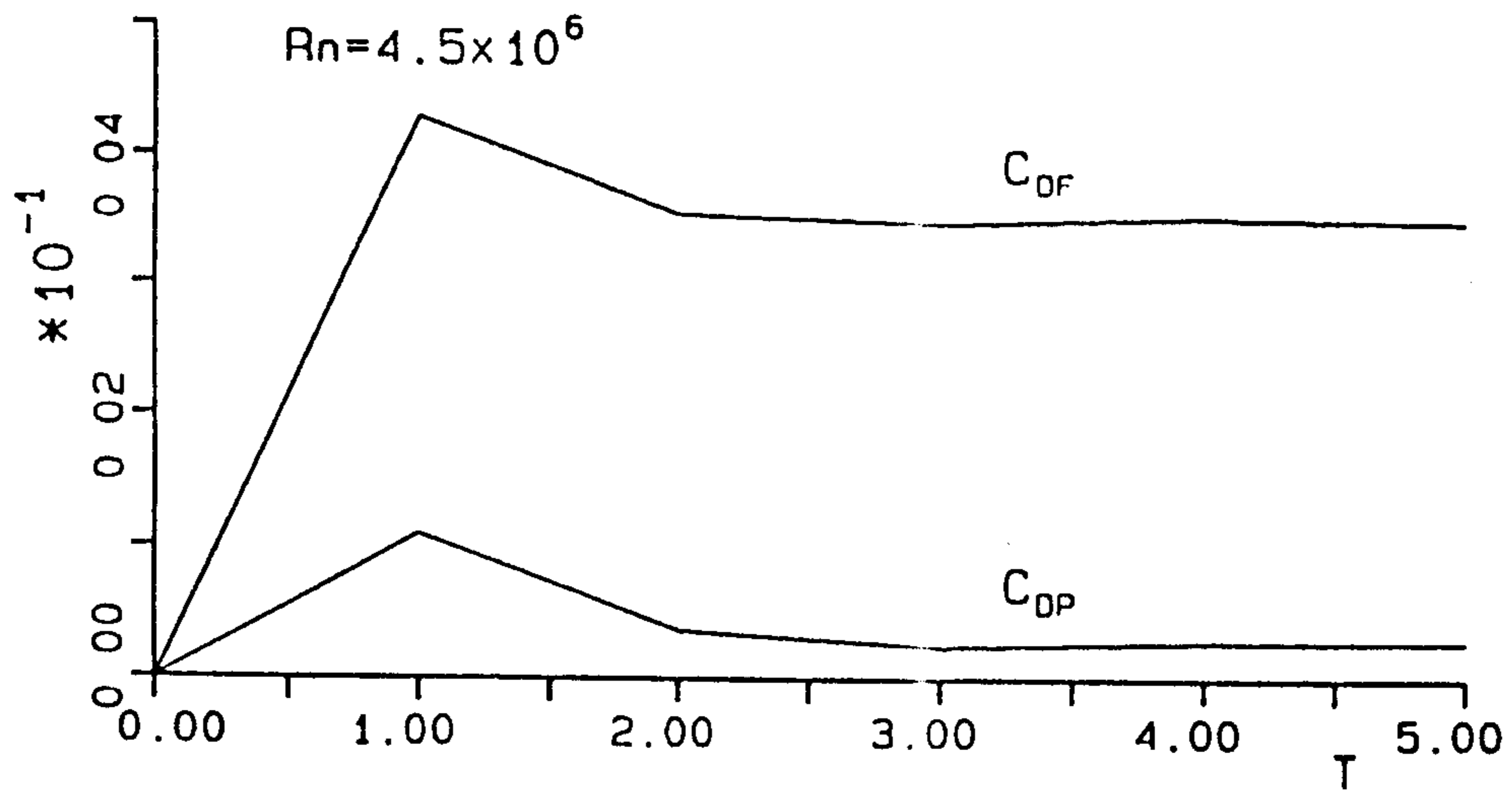


Fig. 2-16 Time Evolution of the Drag Coefficients

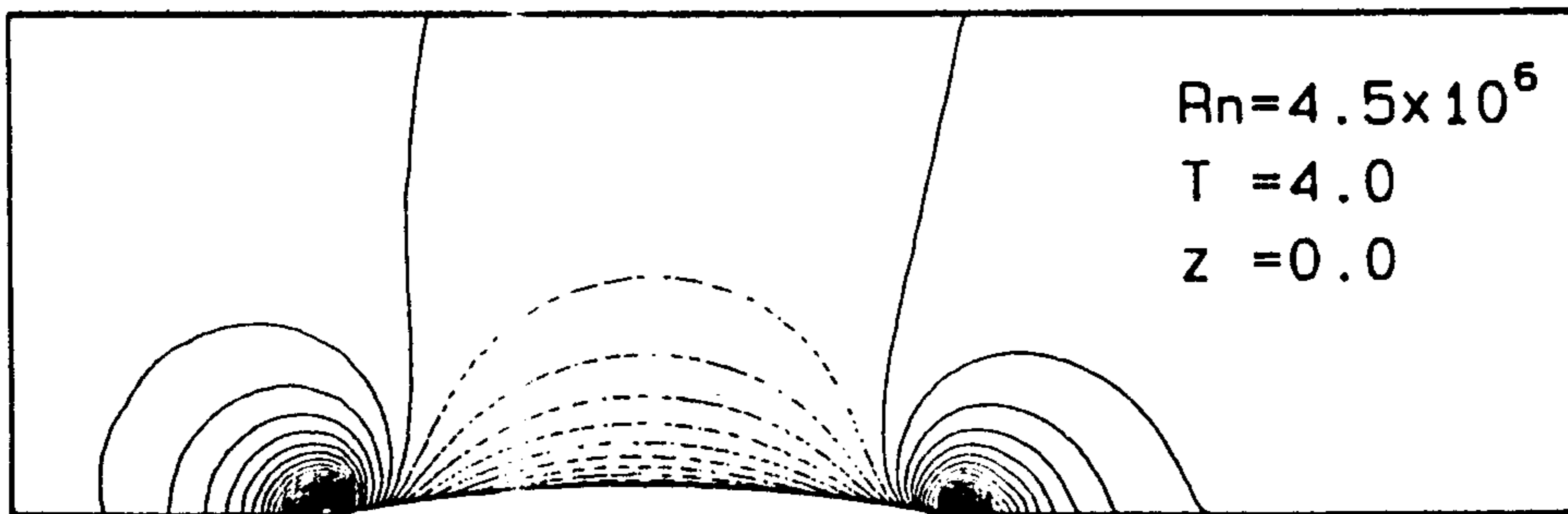


Fig. 2-17 Pressure Contour Map ( $\Delta p = 0.005$ )

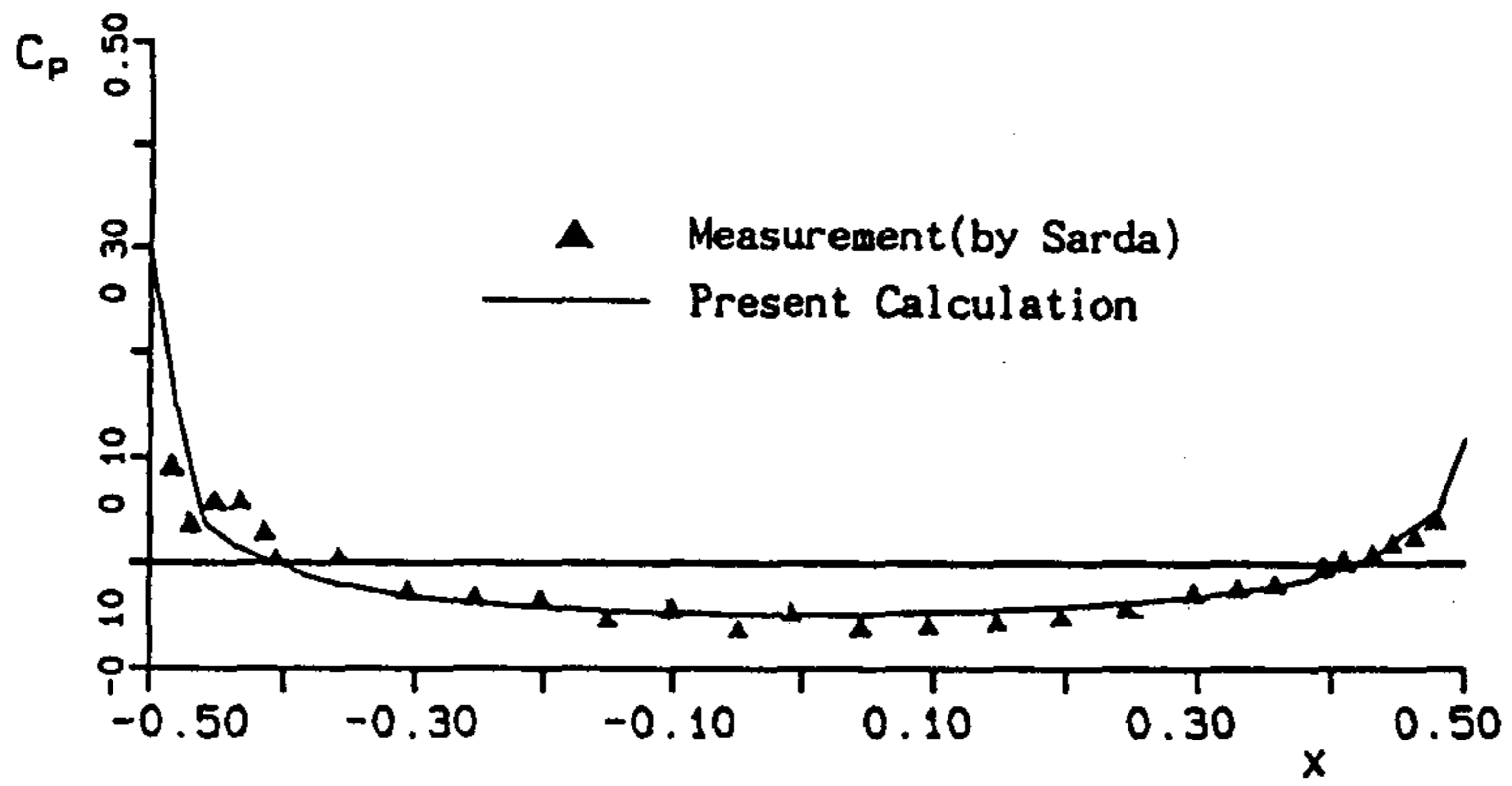


Fig. 2-18 Pressure at  $z=0.0$

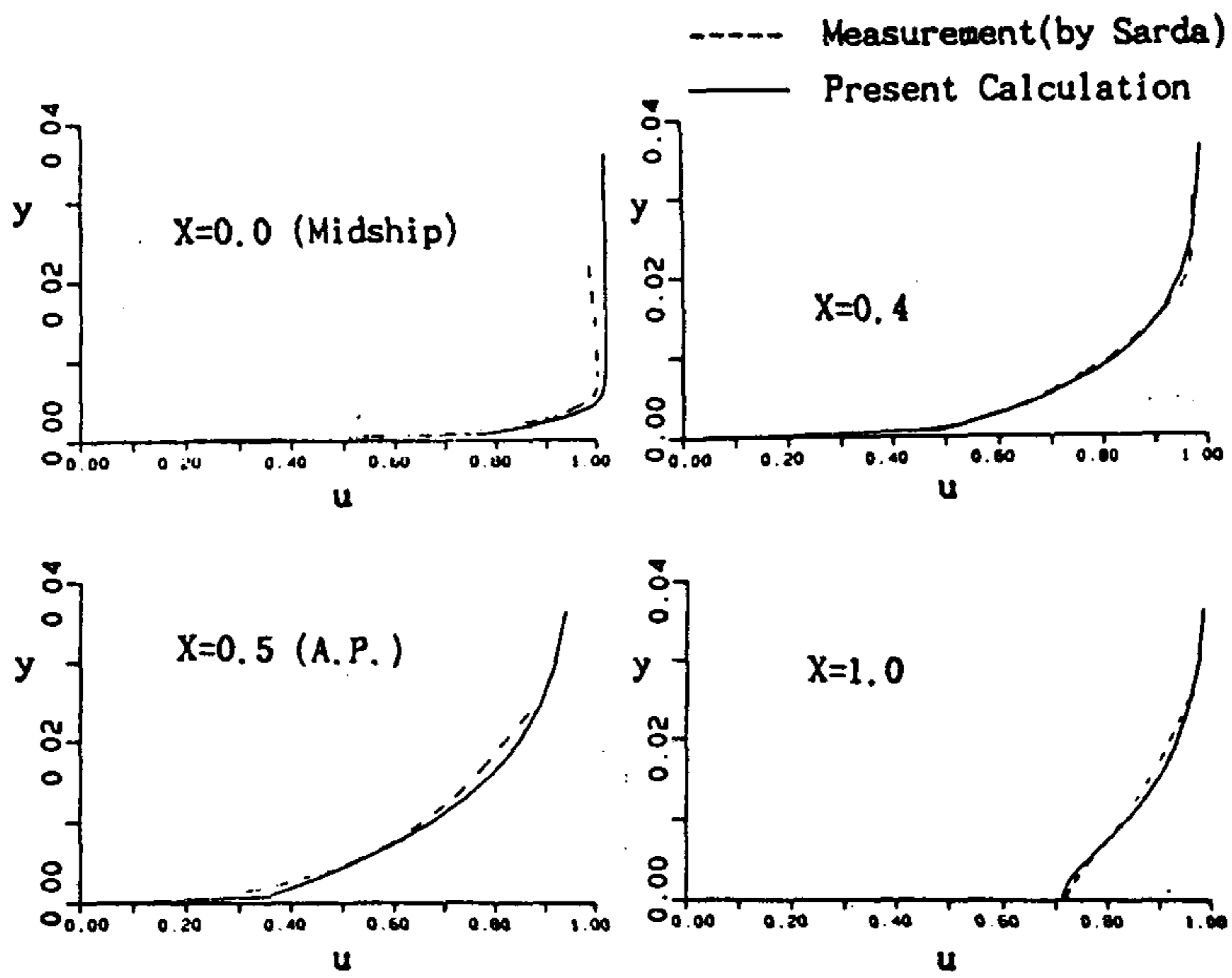


Fig. 2-19  $u$  Distribution at  $z=0.0$

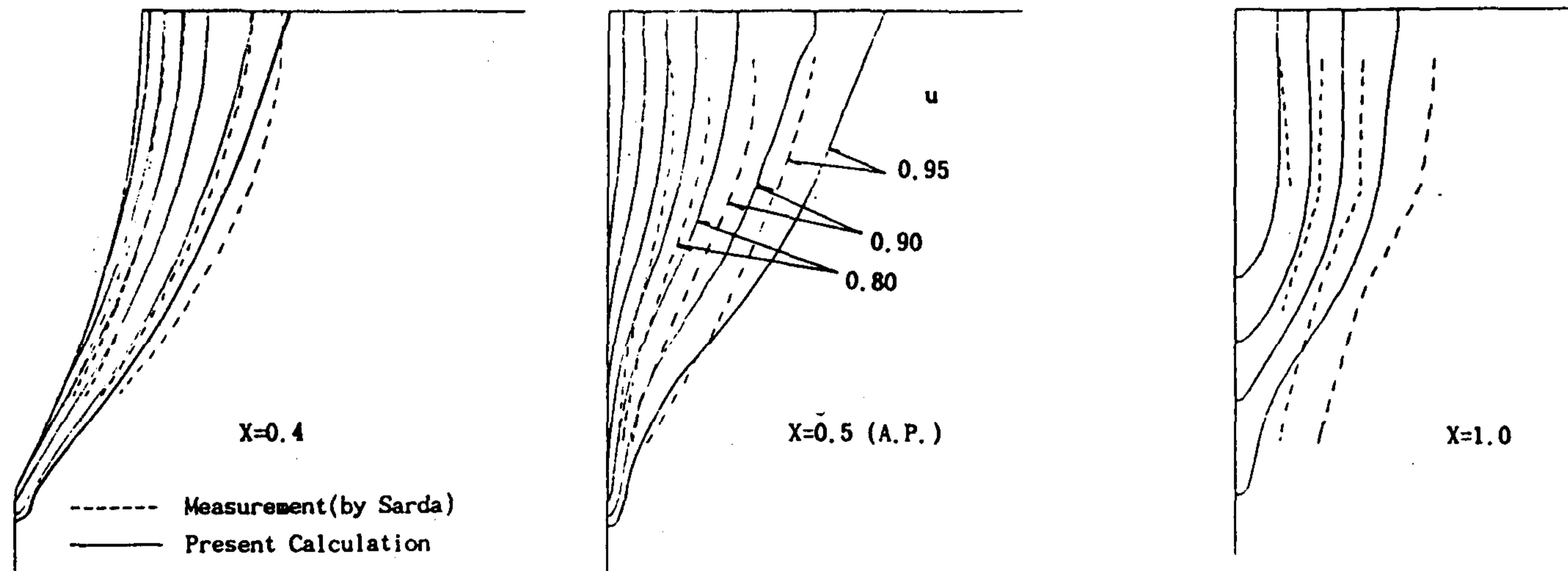


Fig 2-20 Wake Contours

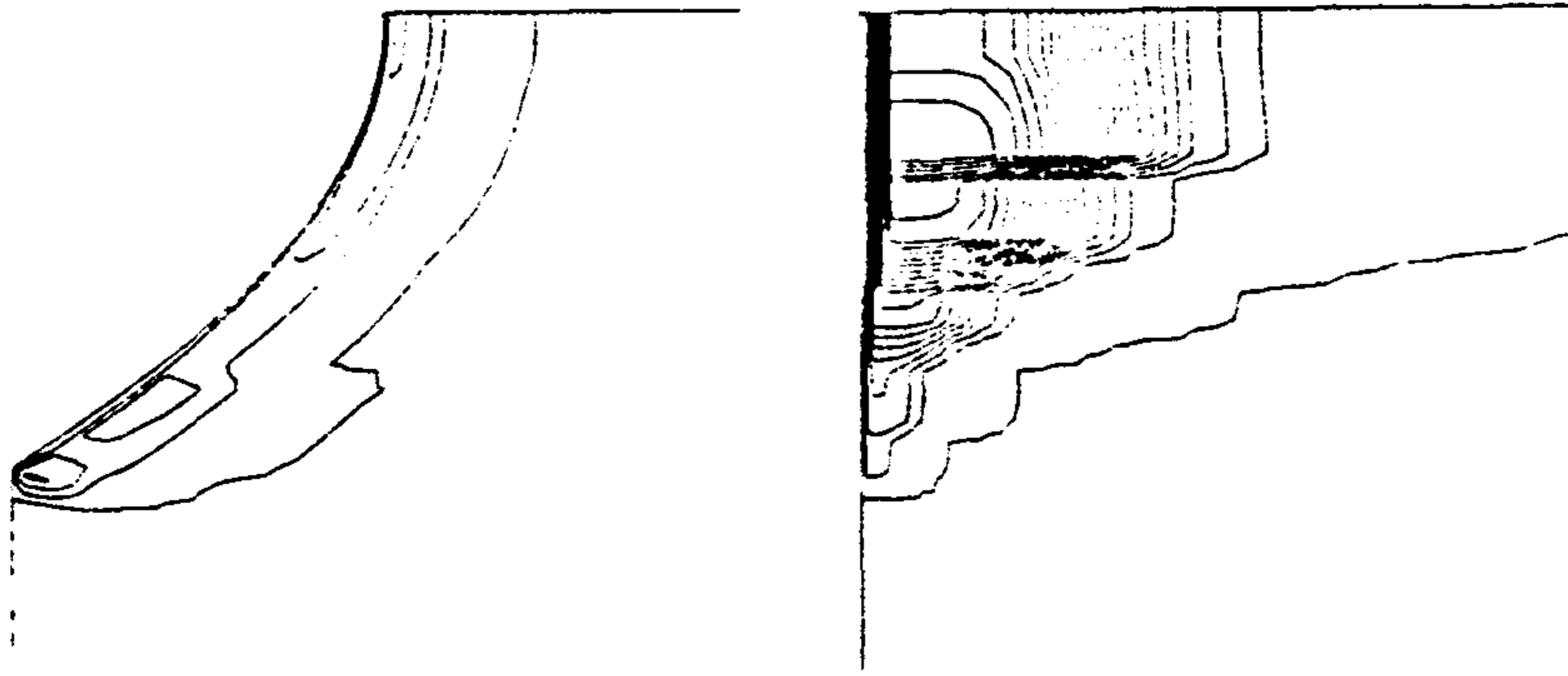


Fig. 2-21 Eddy Viscosity  $\nu_t$

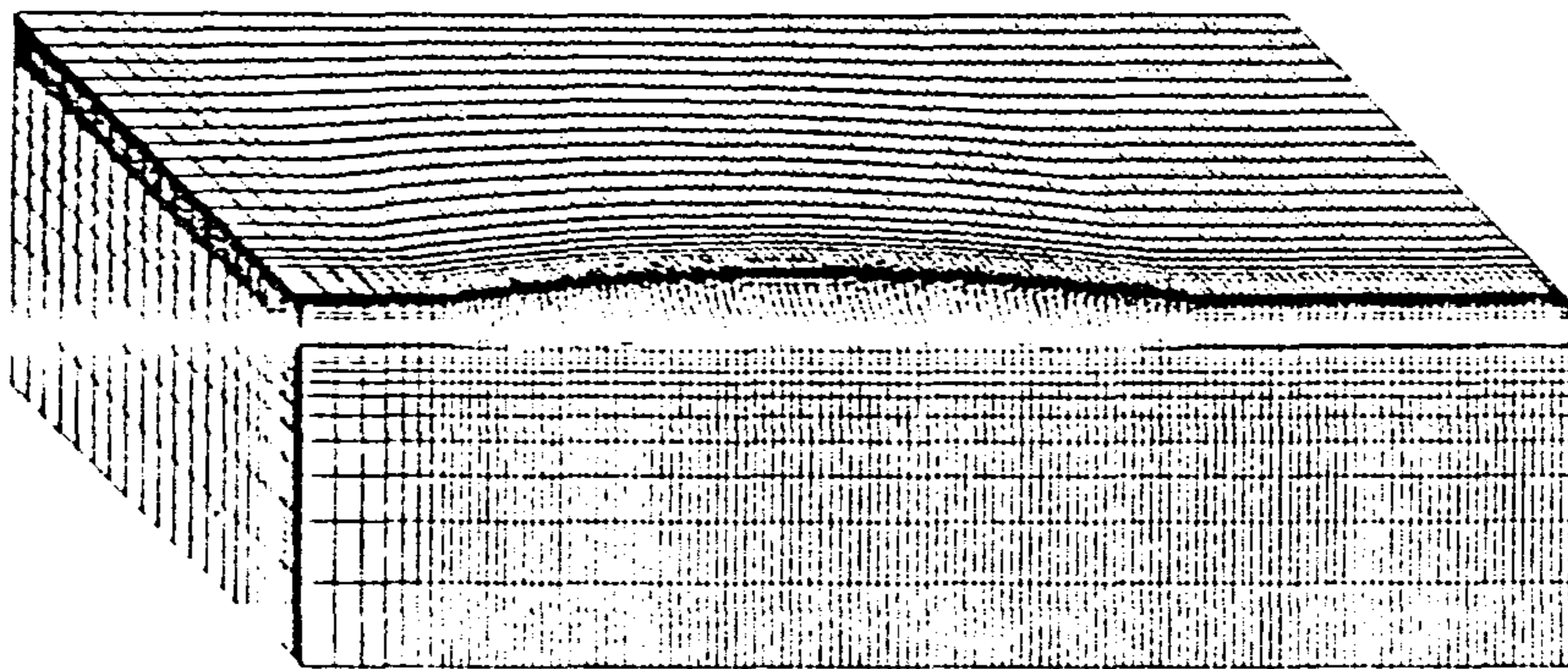


Fig. 2-22 Grid System

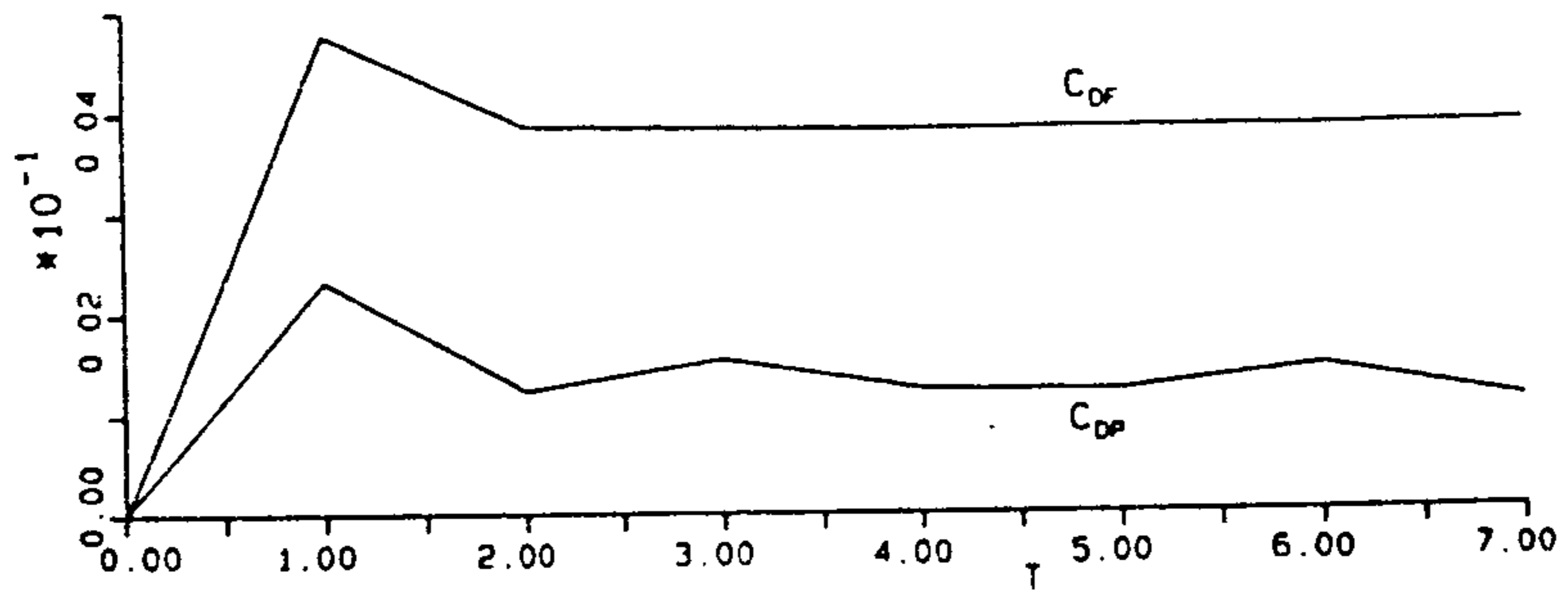


Fig. 2-23 Time Evolution of the Drag Coefficients (Fn=0.25)

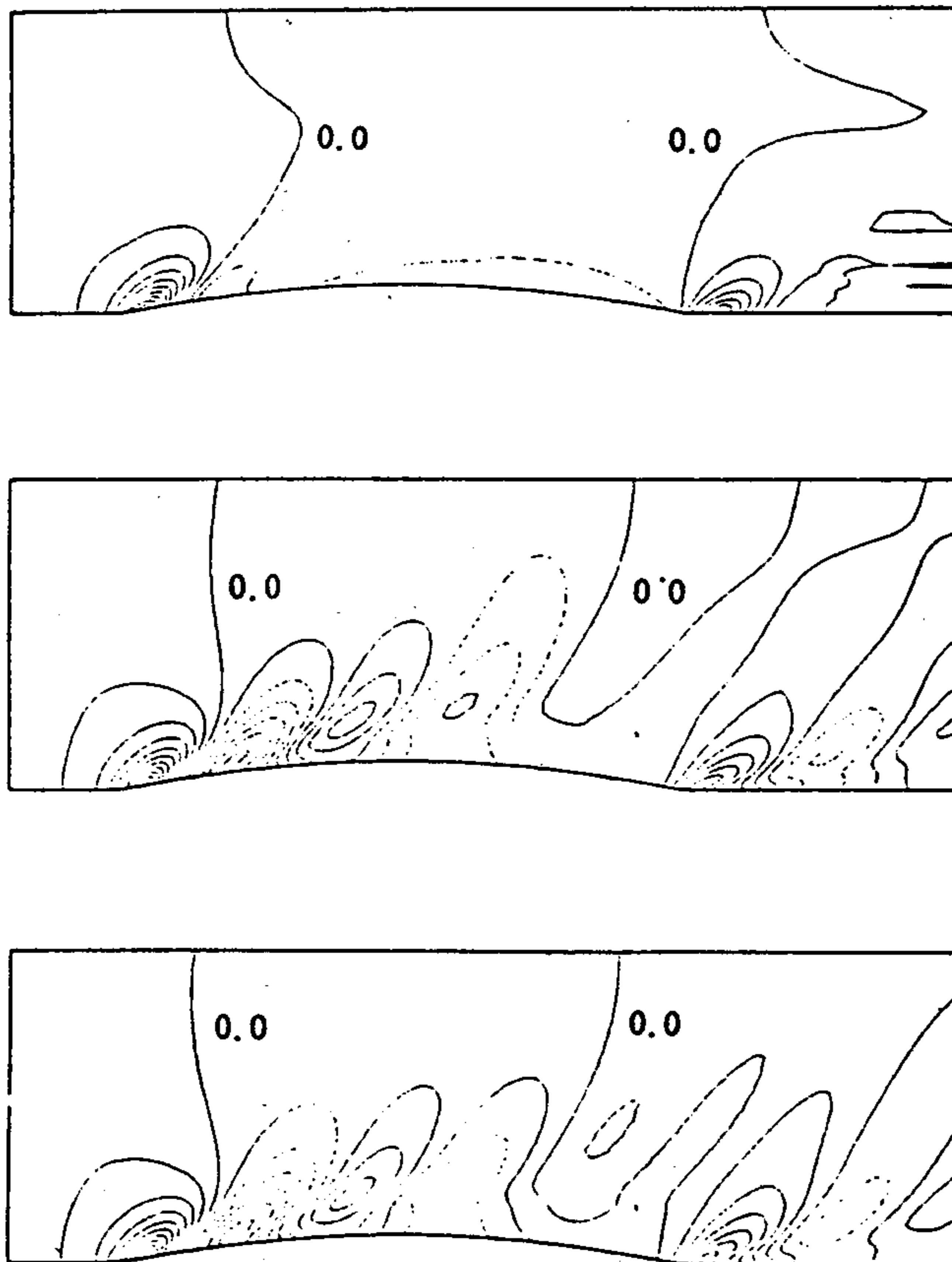


Fig. 2-24 Time Evolution of Calculated Wave Contour Maps at Fn=0.25

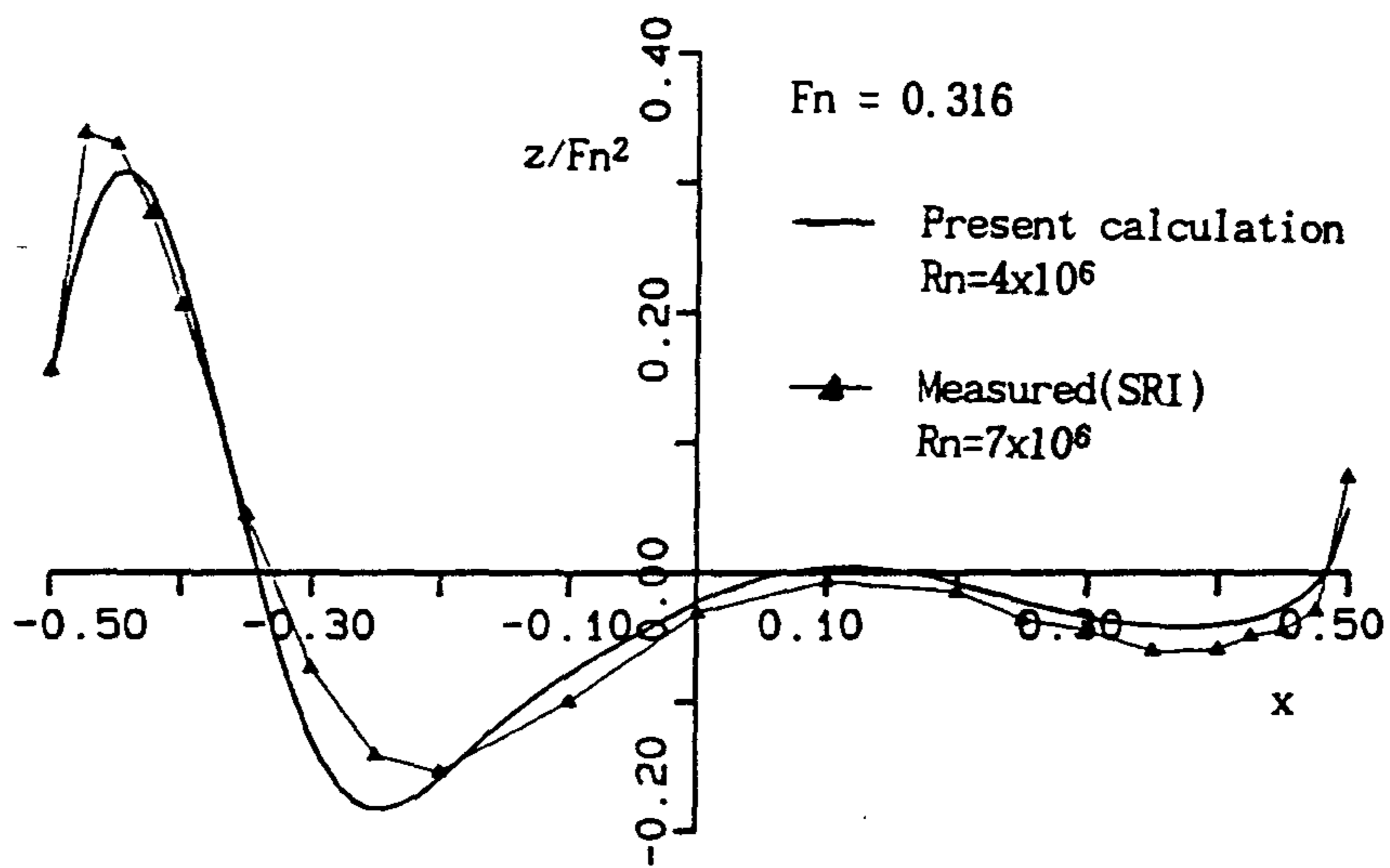
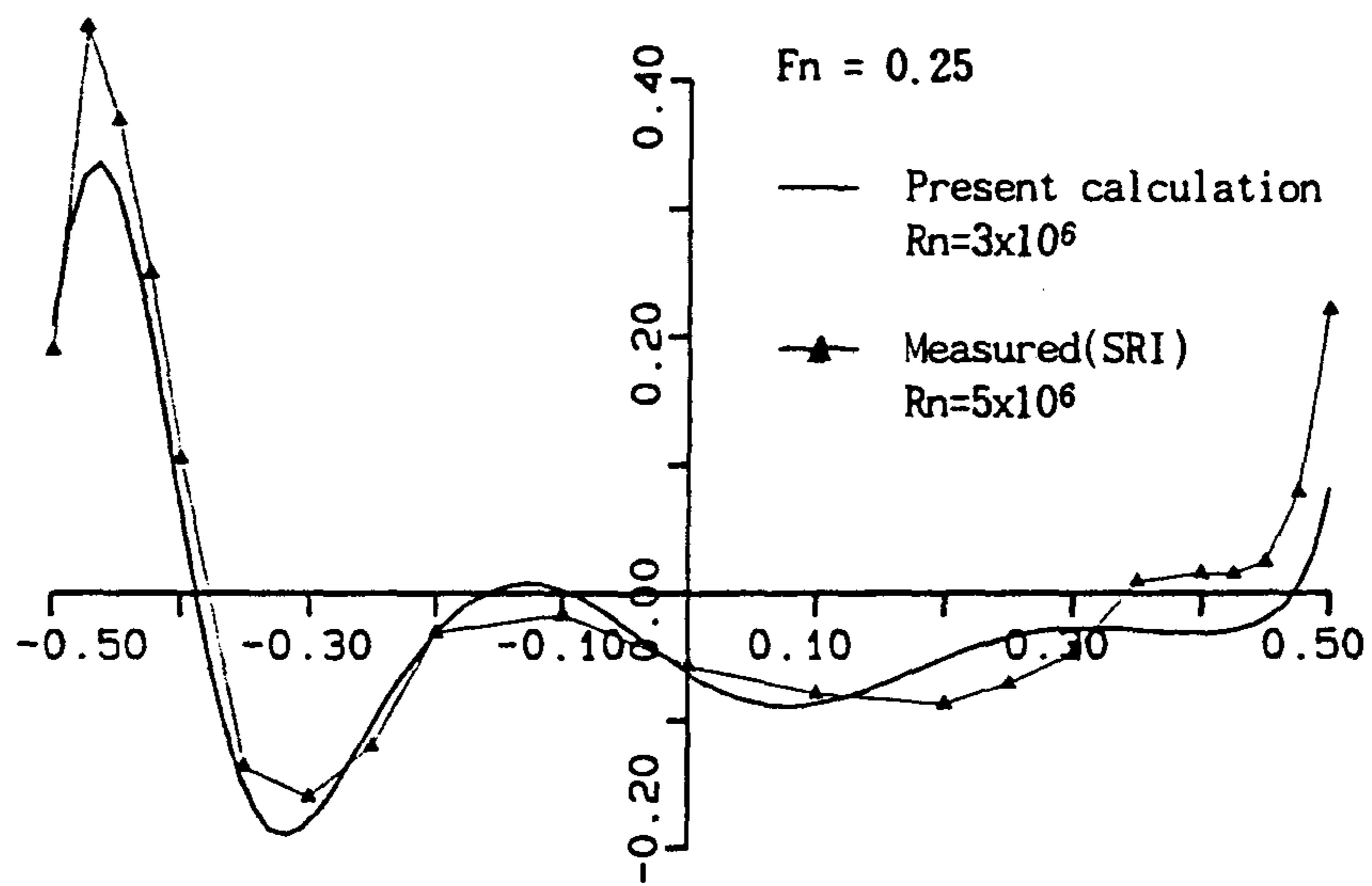


Fig. 2-25 Comparison of Calculated and Measured Wave Profiles



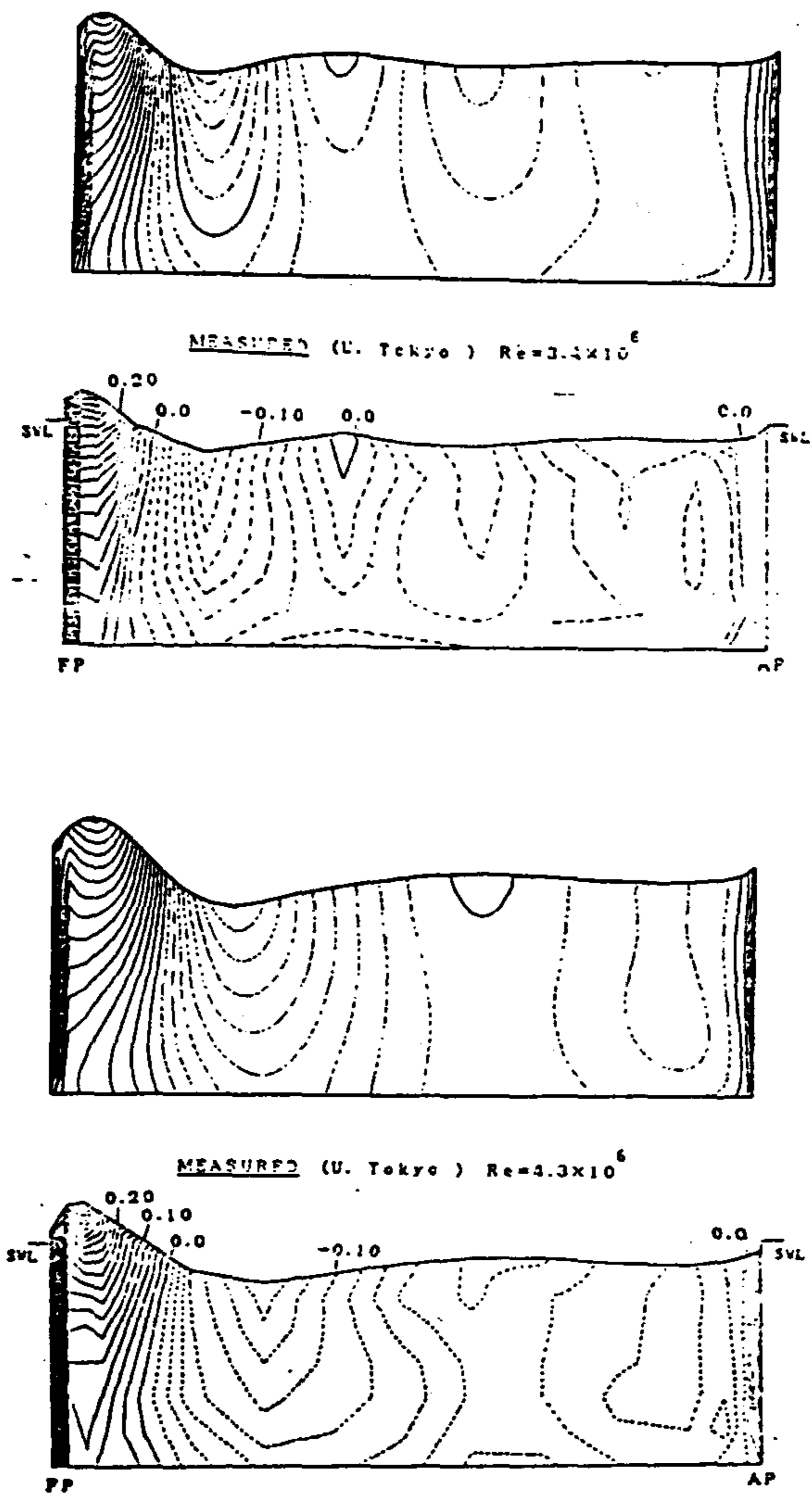


Fig. 2-26 Comparison of Calculated and Measured Pressure Distributions  
(Vertical Exaggeration is 5:1)

# 제 3 장 경계요소법에 의한 초고속선 주위 유장의 계산

## 제1절 서 언

초고속선의 선형설계에 있어 주요한 문제 중의 하나는 고속화에 따른 급격한 저항 증가를 피하기 위해 배의 침수표면적을 어떻게 줄여주느냐 하는 것이다. 만약 수중익에 의해 발생된 양력을 이용하여 배를 부상시킴으로써 소기의 목적을 달성하는 경우에는 자유수면하에서 운동하는 수중익(혹은 양력발생체)에 작용하는 힘(모멘트 포함)을 구할 수 있어야 한다. 통상 수중익의 Froude 수가 대단히 크다고 가정하여 자유수면 효과를 근사 하는 방법(고속근사이론)이 사용되고 있으나, 본 연구에서는 2차원 문제에 대해 복소함수론을 사용하여 자유수면효과를 고려한 Kochin(1951, 1964)의 연구를 중심 살펴 보고자 한다.

먼저 2절에서 기본적인 정리(Theorem)와 관계식들에 대해 논의하고, 3절에서는 수면 하에서 수평 하게 일정속도로 운동하는 보텍스와 쏘오스에 작용하는 힘(항력과 양력 및 모멘트)과 그에 기인하는 자유표면의 변위를 구한다. 또 4절에서는 먼저 다이폴에 대해서 생각해 봄으로써, 원주(Circular Cylinder)에 대한 문제를 고려하고, 5절에서는 위에서 얻은 결과들을 일반화함으로써 임의 형상의 물체를 쏘오스-보텍스 조합체로 대치하여 그 물체 주위의 유동장을 구하기로 한다. 끝으로 6절에서는 7절의 결과를 사용하여 순환에 끼치는 자유표면의 영향에 대한 일반적인 결과를 유도하고 그 결과를 평판에 적용하여 평판에 작용하는 조파저항과 양력을 구하기로 한다.

## 제2절 기본적인 정리 및 관계식

유체는 비점성, 비압축성 유체이고, 물체 및 유체의 운동이 정지상태에서 시작되었다고 하면 비회전성 유동장이 될 것 이므로 속도포텐셜  $\phi$ 를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\mathbf{u} = (u, v) = \nabla\phi. \quad (3-1)$$

좌표계는 교란되지 않은 자유수면상에 x축을 잡고, y축은 연직상방을 양으로 취하는 우수계로 하면, 복소변수  $z=x+iy$ 를 정의할 수 있고 또  $\phi$ 를 실수부로, 유량함수  $\psi$ 를 허수부로 갖는 복소포텐셜  $f(z)=\phi+i\psi$ 를 정의 할 수 있다.

먼저 원점에 위치한 특이점으로서 보텍스를 생각해보기로 한다. 보텍스에 기인하는 유동은 원주방향의 속도가 원점으로 부터의 거리에 반비례한다는 것으로 특성 지워 지는 데, 보텍스주위의 순환을  $\Gamma$ 라고 하면 보텍스의 복소포텐셜은

$$f = \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z \quad (3-2)$$

로 주어진다. 여기서 순환은 폐경로(Closed Contour)를 따라 유동속도의 접선성분을 반시계방향으로 선적분하여 얻어지는 양이며, 양력 mechanism의 설명에 대단히 중요하다.

또 원점에 위치한 쏘오스를 생각해 보면, 쏘오스에 기인하는 유동은 반경방향의 속도가 원점으로 부터의 거리에 반비례한다는 것으로 특성지워 지는 데, 쏘오스로 부터 나오는 단위시간 당의 유량을  $Q$ 라고 하면 쏘오스의 복소포텐셜은

$$f = \frac{Q}{2\pi} \ln z \quad (3-3)$$

이 된다. 한편 다이폴은 쏘오스-싱크(음의 쏘오스) 극한조합으로 이루어지며, 복소포텐셜은 다음과 같이 구할 수 있다.  $z=\zeta$ 인 곳에 쏘오스가 있고  $z=\zeta-\delta\zeta$ 인 곳에 싱크가 있을 때,  $\delta\zeta$ 를 무한히 작게 하되  $Q\delta\zeta$ 는 유한한 값인  $\mu e^{\mu}$ 에 수렴한다고 하면

$$\begin{aligned} f(z, \zeta) &= \lim_{\delta\zeta \rightarrow 0} \frac{1}{2\pi} \frac{\ln(z-\zeta) - \ln(z-\zeta-\delta\zeta)}{\delta\zeta} \mu e^{\mu} \\ &= \frac{\mu e^{\mu}}{2\pi} \frac{\partial \ln(z-\zeta)}{\partial \zeta} = - \frac{\mu e^{\mu}}{2\pi} \frac{\partial \ln(z-\zeta)}{\partial z} \\ &= - \frac{\mu e^{\mu}}{2\pi} \frac{1}{z-\zeta} \end{aligned} \quad (3-4)$$

이 된다.

복소포텐셜을  $z$ 에 대해 한번 미분하면 복소속도  $w=u-iv$ 를 얻는다.  $w$ 의 크기(modulus)를  $q$ 라고 하면, 베르누이 방정식으로 부터 물체 표면 상의 압력( $p$ )은

$$\frac{p}{\rho} = \frac{1}{2}(U^2 - q^2) \quad (3-5)$$

이다. 여기서 정수압의 영향은 고려하지 않기로 하며,  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $U$ 는 물체의 수평운동속도, 혹은 입사류의 속도이다. 따라서 물체에 작용하는 힘은 다음 식으로 주어지며,

$$\begin{aligned} F &= X+iY = i \oint_C e^{-\mu} p ds, \\ \bar{F} &= X-iY = -\frac{i\rho}{2} \oint_C e^{-i\theta} q^2 ds, \end{aligned} \quad (3-6)$$

여기서  $\theta$ 는 적분요소  $ds$ 의 연장선이  $x$ 축과 만드는 각이며,  $F$  위의 짧은 줄은 공액복소수를 뜻하고,  $C$ 는 물체경계로 구성된 폐경로이다.  $dz=dse^{i\theta}$ , 또  $w=qe^{-i\theta}$  이므로

$$\bar{F} = -\frac{i\rho}{2} \oint_C w^2 dz \quad (3-7)$$

를 얻는 데, 이는 Blasius-Chaplygin(BC) 정리로 알려져 있다.

양의  $x$  축 방향으로 입사하는 균일류 중에 놓여 있는 물체 주위에 세기  $\Gamma$ 의 순환이 있다고 하면, 복소포텐셜과 복소속도는

$$\begin{aligned} f(z) &= Uz + \sum_{k=1}^l \frac{Q_k}{2\pi} \ln(z-\zeta_k) + \sum_{k=1}^m \frac{\Gamma_k}{2\pi i} \ln(z-\tau_k) - \sum_{k=1}^n \frac{\mu_k e^{i\theta_k}}{2\pi} \frac{1}{z-a_k}, \quad (3-8) \\ w(z) &= U + \sum_{k=1}^l \frac{Q_k}{2\pi} \frac{1}{z-\zeta_k} + \sum_{k=1}^m \frac{\Gamma_k}{2\pi i} \frac{1}{z-\tau_k} + \sum_{k=1}^n \frac{\mu_k e^{i\theta_k}}{2\pi} \frac{1}{(z-a_k)^2}, \end{aligned}$$

로 쓸 수 있다. 여기서 모든 특이점은 물체 내부에 분포 되어 있으며, 쏘오스와 다이폴은 물체를 대치할 수 있는 특이점조합으로 가정하면,

$$\sum_{k=1}^l Q_k = 0, \quad \sum_{k=1}^m \Gamma_k = \Gamma, \quad (3-9)$$

를 만족해야 한다. BC 정리를 사용하는 데 있어, 복소적분에 대한 유수정리(Residue Theorem)을 적용하기로 한다. 물체외부에는 특이점이 없으므로 물체에 대한 적분을 무한원방에 있는 원에 대한 적분으로 바꿀 수 있으며, 무한원방에서의 복소속도는

$$w = \dots + \frac{b_2}{z^2} + \frac{b_1}{z} + b_0 \quad (3-10)$$

로 쓸 수 있고, 따라서  $C_\infty$ 를 반경이 무한히 큰 원이라고 하면

$$\begin{aligned} \bar{F} &= \frac{i\rho}{2} \oint_{C_\infty} w^2 dz = -2\pi\rho b_0 b_1, \\ b_0 &= U, \\ b_1 &= \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^l Q_k + \frac{1}{2\pi i} \sum_{k=1}^l \Gamma_k = \frac{\Gamma}{2\pi i}, \\ \therefore X - iY &= i\rho\Gamma U, \end{aligned} \tag{3-11}$$

를 얻는다. 위에서 밝힌 바와 같이 순환의 부호를 반시계방향을 양으로 취했으므로 음의 양력이 발생하며, 여기서 크기  $\rho U \Gamma$  인 양력은 Kutta-Joukowski(KJ) 힘으로 불리우고, 또 물체 주위에 세기  $\Gamma$ 의 순환이 있을 때 그 물체에 크기  $\rho U \Gamma$ 의 양력이 작용한다는 것은 통상 Kutta-Joukowski(KJ) 정리로 부른다.

자유수면을 가진 유체 중에서 운동하는 물체 주위의 유동을 구하고자 할 때에는 자유수면에서의 경계조건을 고려해야 한다. 본 연구에서는 물체의 운동에 의해 생기는 파도의 기울기가 작다는 가정하에 선형화된 조건식(Poisson 혹은 Kelvin식)을 사용하기로 한다. 물체 혹은 특이점이 공간상에 정지해 있고 유체가 양의  $x$  축 방향으로  $U$ 의 속도로 입사하는 문제에 대한 선형화된 조건식은, 자유수면의 변위를  $\delta(x)$ , 교란속도 포텐셜을  $\phi(x,y)$  라고 하면

$$\phi_{xx} + K\phi_y = 0, \quad y=0 \text{ 에서,} \tag{3-12}$$

이며, 여기서  $K=g/U^2$ ,  $g$ 는 중력가속도이다. 일단  $\phi(x,y)$ 를 구하면

$$\delta(x) = -\frac{U}{g} \phi_x(x,0) \tag{3-13}$$

로부터  $\delta(x)$ 를 얻을 수 있다. (3-12, 13)을 복소포텐셜을 써서 나타내면

$$IM\left[i\frac{d^2f}{dz^2} - K\frac{df}{dz}\right] = 0 \quad y=0 \text{ 에서,} \quad (3-14)$$

$$\delta(x) = -\frac{U}{g} RE\left[\frac{df}{dz}(x,0)\right], \quad (3-15)$$

가 된다. RE 와 IM 은 각각 실수부와 허수부를 뜻한다.

물체 혹은 특이점등의 교란체에 의해 자유수면에 파도가 생기는 경우, 교란체가 이 파도에 준 에너지에 상응하는 조파저항을 받게 된다. 파도의 진폭을 A라고하면, 수면 파의 단위길이당 파도의 평균에너지는  $\rho g A^2/2$  이고, 또 단위시간당 교란체에 의해 생성되는 파도의 길이는 수심이 무한한 때에는  $U/2$  이므로, 무한하류에 생성되는 파도의 진폭을 알면 조파저항( $R_w$ )은

$$R_w = \frac{1}{4} \rho g A^2 \quad (3-16)$$

으로 부터 구할 수 있다.

### 제3절 보텍스와 쏘오스

먼저 정지된 자유수면으로 부터 아랫 쪽으로 h 되는 곳에 놓인 보텍스에 대한 복소포텐셜을 구한다.  $z=-ih$  부근에서의 복소포텐셜을

$$f(z) = \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln(z+ih) + g(z) \quad (3-17)$$

로 쓰면,  $g(z)$ 는  $z=-ih$  부근(Neighborhood)에서 1)Holomorphic 이다. 자유수면에서의 조건을 만족시키기 위해 (3-14)를 고려해야 하는 데 우선

$$\alpha(z) = i \frac{d^2 f}{dz^2} - K \frac{df}{dz} \quad (3-18)$$

로 정의한다. 그러면 (3-17)을 (3-18)에 대입하여  $z=-ih$  부근에서

$$\alpha(z) = -\frac{\Gamma}{2\pi} \frac{1}{(z+ih)^2} - \frac{K\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{z+ih} + \beta(z) \quad (3-19)$$

을 얻으며,  $\beta(z)$ 는  $z=-ih$  부근에서 Holomorphic 이다.  $\alpha(z)$ 의 허수부가 실수축( $y=0$ )에서 0 이므로 Schwarz의 반사원리(Reflection Principle)에 의해  $z=ih$  부근에서는

$$\alpha(z) = -\frac{\Gamma}{2\pi} \frac{1}{(z-ih)^2} + \frac{K\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{z-ih} + \overline{\beta(\bar{z})} \quad (3-20)$$

이 된다. (3-19, 20)으로부터 모든  $z$ 에 대해 다음과 같이 가정하고

$$\alpha(z) = -\frac{\Gamma}{2\pi} \frac{1}{(z+ih)^2} - \frac{K\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{z+ih} - \frac{\Gamma}{2\pi} \frac{1}{(z-ih)^2} + \frac{K\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{z-ih}, \quad (3-21)$$

이 가정에 대해서는 나중에 추가적인 검증을 하도록 한다. (3-21)을 (3-18)에 대입하

---

1 복소함수  $f(z)$ 가 주어진 영역 내에서 다음조건을 만족시키면 holomorphic 이라고 한다: 함수 및 그 미분계수가 단일가(single-valued)이고, 크기가 유한하다[Milne-Thomson(1968)].



면, 2계 상미분 방정식을 얻는 데 (3-18)을 다시 쓰면

$$\frac{d^2 f}{dz^2} + iK \frac{df}{dz} = -ia(z) \quad (3-22)$$

이 된다. (3-22)의 일반해는 제차해(Homogeneous Solution)와 비제차해의 합으로 주어지며, 상류에서의 교란속도복소포텐셜이 0이 되어야 함을 고려하여

$$f(z) = \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln \frac{z+ih}{z-ih} + \frac{\Gamma}{\pi i} e^{-iKz} I(z), \quad (3-23)$$

$$I(z) = \int_{-\infty}^z \frac{e^{it}}{t-ih} dt, \quad (3-24)$$

을 얻는다. 위에서 밝힌 바와 같이 (3-21)을 가정했으므로 (3-23)의 유일성을 증명할 필요가 있는 데, 모순법을 사용하기로 한다. 만약 (3-14, 17)을 만족하는 해가 (3-23)이 아닌 형태로 존재한다면, 그 해를  $f_1(z)$ , 또 두 해의 차,  $\{f(z)-f_1(z)\}$ 를  $f_2(z)$  라고 하면,  $f_2$ 는  $z=-ih$ 와  $z=ih$  부근에서 Holomorphic 이며 또 0이어야 한다. 나아가서  $f_2$ 는  $y=0$ 에서 또한 0이므로 전평면에서 Holomorphic 이며, Liouville정리에 의하면 상수이어야만 하므로  $f_2$ 는 전평면에서 0 이고, 따라서 유일성은 증명된 것으로 볼 수 있다. (3-23)의 우변의 첫째 항은 수면하의 보텍스와 수면위의 경상(Image)이며, 둘째 항인 적분은 자유수면의 영향을 나타낸다. (3-23)을 (3-15)에 대입하면

$$\delta = -\frac{U}{g} RE \left[ \frac{\Gamma}{2\pi i} \left( \frac{1}{x+ih} + \frac{1}{x-ih} \right) - \frac{\Gamma K}{\pi} e^{-iKx} I(x) \right], \quad (3-25)$$

을 얻는 데,  $x$ 가 무한히 커지면 우변의 적분항만 영이 아닌 값을 주게 되는 데, 이 적

분항은 앞으로도 계속 나올 것이므로 여기서 보다 자세히 다루기로 한다. 우선 위 적분의 적분경로에  $t$  복소평면에서 상반평면에 있는 반경이 무한히 큰 반원과,  $x$  부터 무한대까지의 경로를 더하여 폐경로를 구성하고, 이에 대한 Contour 적분을 생각하면, 유수정리에 따라

$$I(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^{iKt}}{t-ih} dt = 2\pi i e^{-Kx} - \int_x^{\infty} \frac{e^{iKt}}{t-ih} dt \quad (3-26)$$

가 되며,  $x$ 가 대단히 클 때에는 (3-26) 우변의 적분항을 무시할 수 있으므로 무한하류에서의 자유수면은 결국  $t=ih$ 에서의 유수에 의해 결정되어

$$\delta(x) \approx \frac{2\Gamma}{U} e^{-Kx} \sin Kx, \quad x \rightarrow \infty, \quad (3-27)$$

이 된다. 또 (3-16, 27)을 사용하여 조파저항을 구하면

$$R_w = \rho \Gamma^2 K e^{-2Kx} \quad (3-28)$$

을 얻는다. 한편 BC 정리를 사용하려면 (3-23)의 복소포텐셜에 입사류의 복소포텐셜인  $Uz$ 를 더하여 복소속도

$$w(z) = U + \frac{\Gamma}{2\pi i} \left( \frac{1}{z+ih} + \frac{1}{z-ih} \right) - \frac{\Gamma K}{\pi} e^{-iKz} I(z), \quad (3-29)$$

를 얻고, 이를 (3-7)에 대입하면, 피적분함수의 유수에 의해 적분값이 결정되는 데,  $z=-ih$ 에서의 유수를 얻기 위해

$$w(z) = \frac{\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{z+ih} + w_0(z) \quad (3-30)$$

$$w_0(z) = U + \frac{\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{z - ih} - \frac{\Gamma K}{\pi} e^{-iKz} I(z),$$

라고 하면,  $w_0(z)$ 는  $z = -ih$  부근에서 Holomorphic 이고, 유수는  $2\Gamma w_0(-ih)$ 이다. 또

$$w_0(-ih) = U + \frac{\Gamma}{4\pi h} - \frac{\Gamma K}{\pi} e^{-Kh} I(-ih), \quad (3-31)$$

이므로,  $I(-ih)$ 를 구하기 위해  $iK(t - ih) = \xi$  로 치환하면

$$I(-ih) = e^{-Kh} \int_{-\infty}^{2Kh} \frac{e^{\xi}}{\xi} d\xi, \quad (3-32)$$

을 얻는다. (3-32) 우변의 적분항은 복소지수적분(Complex Exponential Integral)인  $E_1(z)$ 로 ( $z = 2Kh$ ) 알려져 있으며, 적분경로는 하반평면에 속해야 한다. 이 적분을 구하기 위해서는 실수축의  $2Kh$ 부터  $-\infty$ 까지의 경로를 더하여 폐경로를 구성할 수 있다. 이때  $\xi = 0$  부근에서는 하반평면에 속하는 반경이 대단히 작은 반원으로  $\xi = 0$ 를 피해가야 한다. 따라서 복소지수적분의 실수부는  $\xi = 0$ 에서의 특이점을 제외한 주치적분인  $E_{11}(2Kh)$ 로 주어지며,  $\xi = 0$ 에서의 Pole은 유수정리에 의해 구해,

$$I(-ih) = e^{-Kh} [\pi i + E_{11}(2Kh)], \quad (3-33)$$

을 얻는다. 따라서

$$X - iY = i\rho\Gamma \left[ U + \frac{\Gamma}{4\pi h} - \frac{\Gamma K}{\pi} e^{-2Kh} E_{11}(2Kh) - i\Gamma K e^{-2Kh} \right] \quad (3-34)$$

을 얻는다. (3-34)로부터 실수부와 허수부를 따로 쓰면  $X$ 는 (3-28)에서 구한  $Rw$ 와 같

음을 알 수 있고, 양력은

$$Y = -\rho\Gamma\left[U + \frac{\Gamma}{4\pi h} - \frac{\Gamma K}{\pi} E_{\pi}(2Kh)\right] \quad (3-35)$$

이 이 되는 데, (3-35) [ ]의 첫째 항은 무한유체 중에서의 KJ 힘이며, 둘째 항은  $z=ih$ 의 정상 보텍스에 의해  $z=-ih$ 에 유도된 속도에 기인하는 정상양력(Image-lift)이며, 셋째 항은 자유수면에 형성된 파동에 기인하는 소위 파동양력(Wave-lift)이다. 한편 (3-33)에서 유수에 기인하는 부분은 조파저항에 기여하는 것에 유의한다. (3-35)에 따르면 KJ 힘에 더하여 추가적으로 발생하는 양력( $Y_s$ )은

$$Y_s = \frac{\rho\Gamma^2}{4\pi h} [-1 + 4Khe^{-2Kh} E_{\pi}(2Kh)] \quad (3-36)$$

이 되어 [ ]는  $Kh$ 만의 함수인 것을 알 수 있다.  $Kh=gh/U^2$  이므로 물수깊이에 근거한 Froude 수( $Fh$ )를

$$Fh = \frac{U}{\sqrt{gh}} \quad (3-37)$$

로 정의하면,  $Kh = Fh^{-2}$  이 되어,  $Y_s$ 를

$$Y_v = \frac{Y_s}{\rho\Gamma^2/4\pi h} = -1 + 4Khe^{-2Kh} E_{\pi}(2Kh), \quad (3-38)$$

로 무차원화하면,  $Y_v$ 는 순전히  $Kh$ (혹은  $Fh$ )만의 함수가 된다. Fig. 3-1에  $Y_v$ 를  $Kh$ 의 함수로 나타내었다.  $Kh=0.41$ ( $Fh=1.57$ ) 부근에서  $Y_v$ 는 영이고,  $Fh>1.57$ ( $<$ ) 이면  $Y_v$ 는

음(양)의 값을 가진다.  $x \rightarrow 0$  일 때  $E_{11}(x) \rightarrow \ln x$  이므로  $Kh \rightarrow 0 (Fh \rightarrow \infty)$  이면  $Y_v \rightarrow -1$  이 되며,  $x \rightarrow \infty$  일 때  $E_{11}(x) \rightarrow e^x/x$  이므로  $Kh \rightarrow \infty (Fh \rightarrow 0)$  이면  $Y_v \rightarrow 1$  이 된다 (Abramowitz & Stegun(1970)). 또  $Y_v$ 의 최소값은  $Kh=0.06 (Fh=4.08)$  에서  $-1.30$ , 최대값은  $Kh=1.54 (Fh=0.81)$ 에서  $1.97$ 을 각각 가진다. 먼저 고속에서의  $Y_v$  값을  $-1$ 로 취하는 고속근사의 유효범위가 대단히 작은 점에 유의한다. 또한  $Y_v$ 의 부호는  $\Gamma$ 의 부호와 관계 없으므로, 속도가 빨라지거나 물수깊이가 작아져서  $Fh > 1.57$ 이 되면 항상 음의 부가양력이 발생하는 점에 유의해야 한다. 한편 속도가 매우 작거나 물수깊이가 대단히 클 때에는  $Y_v \rightarrow 1$  이 되지만, 물수깊이를 일정하게 유지하고 속도를 감소시키는 경우와, 속도를 일정하게 유지하고 물수깊이를 증가시키는 경우는 서로 다른 경향을 보이는 점에 유의한다. 즉 전자는  $\Gamma$ 가 일정한 한 영으로 수렴하지 않으며, 후자는  $h$ 가 무한히 커지면,  $Y_v$ 가 영으로 수렴하게 된다.

한편 정지된 자유수면으로 부터 아랫 쪽으로  $h$  되는 곳에 놓인 쏘오스에 대한 복소 포텐셜은 위에 보인 바와 같은 방법으로

$$f(z) = \frac{Q}{2\pi} \ln(z+ih)(z-ih) - \frac{Q}{\pi} e^{-Kz} I(z), \quad (3-39)$$

임을 보일 수 있다. 또 복소속도는 (3-39)를 한번 미분하여

$$\frac{df}{dz} = \frac{Q}{2\pi} \left( \frac{1}{z+ih} - \frac{1}{z-ih} \right) + \frac{iQK}{\pi} e^{-Kz} I(z), \quad (3-40)$$

을 얻는다. (3-40)을 (3-15)에 대입하고 (3-25)를 사용하면 무한하류에서의 자유표면의 변위는

$$\delta(x) \approx \frac{2Q}{U} e^{-Kx} \cos Kx, \quad x \rightarrow \infty, \quad (3-41)$$

가 되고, 또 (13-16, 41)에 의해 조파저항은

$$R_w = \rho Q^2 K e^{-2Kh} \quad (3-42)$$

이 된다. 또한 (3-40)에 U를 더하여 (3-7)의 BC정리를 사용하면, 위에서와 같은 방법으로

$$X - iY = -\rho Q \left[ U - \frac{iQ}{4\pi h} + \frac{iQK}{\pi} e^{-2Kh} E_{11}(2Kh) - QK e^{-2Kh} \right] \quad (3-43)$$

를 얻는 데, 실수부와 허수부를 따로 쓰면

$$X = -\rho Q U + \rho Q^2 K e^{-2Kh}, \quad (3-44)$$

$$Y = \frac{\rho Q^2}{4\pi h} [-1 + 4Khe^{-2Kh} E_{11}(2Kh)], \quad (3-45)$$

을 얻는다. (3-44) 우변의 첫째 항은 소위 Lagally 힘으로, 무한유체 중에서 균일운동하는 쏘오스가 받는 추력(Thrust)이며, 둘째 항은 (3-42)에서 구한 조파저항이다. (3-45) [ ]의 첫째 항은 정상 쏘오스에 의한 척력(Repulsion)이며, 둘째 항은 자유수면상의 파도에 기인하는 파동양력이다. 또한 (3-45) 우변의 [ ]는 (3-38)의  $Y_v$ 와 같으므로 쏘오스가 받는 양력은 보텍스가 받는 추가적인 양력과 유사한 성질을 가지고 있음을 알 수 있다. 그리고 자유수면의 존재 때문에 보텍스가 없는 경우에도 양력이 발생하는 점에 유의한다.

## 제4절 다이플과 원주

먼저, 전장에서 얻은 결과를 이용하여, 정지된 자유수면으로부터 아랫 쪽으로 h 되

는 곳에 놓인 다이폴에 대한 복소포텐셜을 구한다. 쏘오스에 대한 복소포텐셜을 알 때 다이폴에 대한 복소포텐셜을 알기 위해서, (3-4)를 다시 생각하면,

$$f_d(z, \zeta) = -\frac{\partial f_s(z, \zeta)}{\partial z}, \quad (3-46)$$

을 얻는 데, 여기서  $f_s, f_d$  는 각각 쏘오스, 다이폴에 대한 복소포텐셜이고,  $-ih = \zeta$  이며, 쏘오스의 세기  $Q$ 는 다이폴의 세기  $\mu e^{i\beta}$ 로 대치하기로 한다. (3-46)에 (3-38)을 대입하면

$$f(z) = -\frac{\mu e^{i\beta}}{2\pi} \left( \frac{1}{z+ih} - \frac{1}{z-ih} \right) - \frac{i\mu K e^{i\beta}}{\pi} e^{-iKz} I(z), \quad (3-47)$$

을 얻는다. 무한유체 층을 운동하는 반경  $b$ 인 원주에 의한 유동에 대한 속도포텐셜은  $\beta = \pi, \mu = 2\pi Ub^2$  인 다이폴로 대치할 수 있으므로, 물수깊이가 크다는 가정 하에 (3-47)에 상기한  $\beta, \mu$ 의 값을 대입하면, 원주 주위의 유동에 대한 복소속도는

$$\frac{df}{dz} = -Ub^2 \left( \frac{1}{(z+ih)^2} - \frac{1}{(z-ih)^2} \right) + \frac{2iKUb^2}{z-ih} + 2K^2Ub^2 e^{-iKz} I(z), \quad (3-48)$$

이 된다. 복소속도로 본 자유수면 하의 다이폴은 정상점에 주어진 다이폴의 세기와 반대 부호의 다이폴과, 또 세기  $-4\pi KUb^2$ 의 보텍스를 가진 것으로 볼 수 있는 점에 유의한다. (3-15, 16)에 (3-48)을 대입하고 (3-26)을 사용하면 무한하류에서의 자유표면의 변위와 또 그에 기인하는 조파저항을

$$\delta(x) \approx -4\pi Kb^2 e^{-Kx} \sin Kx, \quad x \rightarrow \infty, \quad (3-49)$$

$$R_w = 4\pi^2 \rho K^3 U^2 b^4 e^{-2Kx}, \quad (3-50)$$

와 같이 얻는다. 또한 (3-48)에  $U$ 를 더하여 BC정리를 사용하기 위해 (3-6)에 대입하고, 유수정리를 쓰기 위해  $w(z)$ 를  $z=-ih$  부근에서 Laurent 전개하면

$$w(z) = -\frac{Ub^2}{(z+ih)^2} + w_0(z), \quad (3-51)$$

$$w_0(z) = U + \frac{Ub^2}{(z-ih)^2} + \frac{2iKUb^2}{z-ih} + 2K^2Ub^2e^{-Kz}I(z), \quad (3-52)$$

로 쓸 수 있으며,  $w_0(z)$ 는  $z=-ih$  부근에서 Holomorphic 이다.  $z=-ih$ 에서의 유수( $B_1$ )는

$$B_1 = -4\pi i Ub^2 \frac{dw_0}{dz}(-ih), \quad (3-53)$$

이 되므로, 간단한 계산에 의해  $X$ 는 (3-50)에서 구한 조파저항과 같고

$$Y = -\frac{\rho\pi U^2 b^4}{2h^3} [1 + 2Kh + 4(Kh)^2 - 8(Kh)^3 e^{-2Kh} E_{11}(2Kh)], \quad (3-54)$$

임을 보일 수 있다. (3-54) [ ]의 첫째 항과 둘째 항은 각각 정상다이폴과 정상점에 위치한 보텍스에 의해 원주 주위에 유도된 유동에 기인하며, 셋째 항과 넷째 항은 파동에 기인하는 것으로 볼 수 있다. [ ]는  $Kh$  만의 함수이므로,  $Fh$  만의 함수이기도 하다.  $Y_d$ 를 다음과 같이 정의하고



$$Y_d = \frac{Y}{\rho \pi U^2 b^4 / 2h^3} = -[1 + 2Kh + (2Kh)^2 - (2Kh)^3 e^{-2Kh} E_{11}(2Kh)], \quad (3-55)$$

Fig. 3-2에  $Y_d$ 를  $Kh$ 의 함수로 나타내었다.  $Kh=1.413$ ( $Fh=0.84$ ) 부근에서  $Y_d$ 는 영이 되고  $Fh > 0.84$ ( $<$ ) 이면  $Y_d$ 는 음(양)의 값을 가진다.  $x \rightarrow 0$ 일 때  $E_{11}(x) \rightarrow \ln x$  이므로  $Kh \rightarrow 0$ ( $Fh \rightarrow \infty$ )이면  $Y_d \rightarrow -1$ 이 되며,  $x \rightarrow \infty$ 일 때  $E_{11}(x) \rightarrow \frac{e^x}{x^3}(x^2 + x + 2)$ 이므로  $Kh \rightarrow \infty$ ( $Fh \rightarrow$

$0$ )이면  $Y_d \rightarrow 1$ 이 된다(Abramowitz & Stegun (1970)). 또  $Y_d$ 의 최소값은  $Kh=0.6$ ( $Fh=1.29$ )에서  $-2.37$ , 최대값은  $Kh=2.96$ ( $Fh=0.58$ )에서  $3.04$ 를 각각 가진다. 다이폴의 경우에도 고속근사의 유효범위가 대단히 작은 점과, 속도가 증가하여  $Fh$ 가  $0.84$ 보다 커지면 음의 양력이 발생하는 점에 유의해야 한다.

한편 원주의 중심에 세기  $\Gamma$ 의 보텍스가 또한 있다고 하면 원주 주위의 유동에 대한 복소포텐셜은

$$f(z) = Ub^2 \left( \frac{1}{z+ih} - \frac{1}{z-ih} \right) + \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln \frac{z+ih}{z-ih} + \frac{\Gamma - 2\pi KUb^2}{\pi i} e^{-\kappa z} I(z), \quad (3-56)$$

이 된다. (3-15, 16)에 (3-56)을 대입하고, (3-26)을 이용하면 무한하류에서의 자유표면의 변위와 또 그에 기인하는 조파저항을

$$\delta(x) \approx \frac{2}{U} e^{-\kappa x} (\Gamma - 2\pi KUb^2) \sin \kappa x, \quad x \rightarrow \infty, \quad (3-57)$$

$$R_w = \rho K (\Gamma - 2\pi KUb^2)^2 e^{-2\kappa x}, \quad (3-58)$$

로 얻으며, 이들에 따르면 파동의 크기는  $\Gamma + \mu e^{i\beta} K$  에 의해 ( $\beta = \pi$ ,  $\mu = 2\pi Ub^2$  이므로) 주어진다. 또한 (3-56)을 미분한 후  $U$ 를 더하여 복소속도를 얻고, BC정리를 사용하기 위해 (3-7)에 대입하고, 유수정리를 쓰기 위해  $w(z)$ 를  $z = -ih$  에 대해 Laurent 전개하면

$$w(z) = -Ub^2 \frac{1}{(z+ih)^2} + \frac{\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{z+ih} + w_0(z), \quad (3-59)$$

$$w_0(z) = U + Ub^2 \frac{1}{(z-ih)^2} + \frac{1}{\pi i} \left( \frac{\Gamma}{2} - 2\pi KUb^2 \right) \frac{1}{z-ih} - \frac{K}{\pi} (\Gamma - 2\pi KUb^2) e^{-\alpha z} I(z), \quad (3-60)$$

와 같으며,  $w_0(z)$ 는  $z = -ih$  부근에서 Holomorphic 이다. 그러므로  $z = -ih$ 에서의 유수( $B_1$ )는

$$B_1 = 4\pi i \left[ -Ub^2 \frac{dw_0}{dz}(-ih) + \frac{\Gamma}{2\pi i} w_0(-ih) \right], \quad (3-61)$$

이 된다. (3-60)을 (3-61)에 대입하고 정리하면,  $X$ 는 (3-58)에서 구한 조파저항과 같고

$$Y = -\rho \Gamma \left[ U + \frac{\Gamma}{4\pi h} - \frac{Ub^2}{2h^2} - \frac{2KUb^2}{h} \right] - \frac{\rho \pi U^2 b^4}{2h^3} [1 + 2Kh + 4(Kh)^2] + \frac{\rho K}{\pi} (\Gamma - 2\pi KUb^2) e^{-2Kh} E_{11}(2Kh), \quad (3-62)$$

임을 보일 수 있다. (3-62) 우변의 첫째 [ ]는 KJ 힘과, 정상보텍스와 정상다이플 및 보텍스에 의해 원주의 중심에 유도된 속도와 그점에 위치한 보텍스에 기인하는 양력이며, 둘째 [ ]는 다이플에 기인하는 양력으로 (3-54)에서 지수적분에 의한 항만 뺀 값과 같으며, 마지막 항은 파동양력으로 볼 수 있다.

## 제5절 임의 형상의 물체

2, 3장에서는 특이점에 의한 유동에 대해 생각해 보았다. 이 장에서는 임의의 형상을 가진 물체 주위의 유동을 2장의 결과를 일반화함으로써 고려해 보고자 한다.

$z=\zeta=\xi+i\eta$  ( $\eta<0$ ) 인 점에 보텍스와 소오스가 놓여 있다면, 교란유동장의 복소속도는

$$\frac{df}{dz}(z, \zeta) = \frac{1}{2\pi i} \left( \frac{\Gamma+iQ}{z-\zeta} + \frac{\Gamma-iQ}{z-\bar{\zeta}} \right) - \frac{K}{\pi} (\Gamma-iQ) e^{-iKz} I(z, \bar{\zeta}), \quad (3-63)$$

$$I(z, \bar{\zeta}) = \int_{-\infty}^z \frac{e^{iKt}}{t-\bar{\zeta}} dt, \quad (3-64)$$

로 주어진다.

한편 임의형상의 물체가 무한유체 중에서 수평하게 일정속도로 운동할 때의 교란속도복소포텐셜을  $f_0(z)$ 라고 하면,

$$\frac{df_0}{dz} = \frac{1}{2\pi i} \oint_C \frac{df_0}{d\zeta} \frac{d\zeta}{z-\zeta} = \frac{1}{2\pi i} \oint_C \frac{df_0}{z-\zeta}, \quad (3-65)$$

인데 여기서 C는 물체의 경계선을 따라 형성되는 폐경로이다. (3-65) 우변을 보면,  $df_0=d\phi_0+id\psi_0$  이므로 복소속도는 C 상의 미소요소에 세기  $d\phi_0$  의 보텍스와 세기  $d\psi_0$  의

쏘오스 분포에 의해 주어짐을 알 수 있다. 이와 같은 방식의 보텍스-쏘오스 조합에 의한 물체형상의 대체는 자유수면 하에서 운동하는 물체에 대해서도 그대로 성립되나, 단 보텍스와 쏘오스의 복소속도가 (3-63)과 같이 주어지므로 자유수면 하의 임의 형상의 물체에 의한 복소속도는

$$\frac{df}{dz} = \frac{1}{2\pi i} \oint_C \frac{df}{z-\zeta} + \frac{1}{2\pi i} \oint_C \frac{\overline{df}}{z-\overline{\zeta}} - \frac{K}{\pi} e^{-iKx} \oint_C I(z, \zeta) \overline{df}, \quad (3-66)$$

과 같이 주어진다. (3-66) 우변의 첫째, 둘째 항은 물체와 그 경상에 분포된 보텍스-쏘오스이며, 마지막 적분항은 파동의 영향을 나타내는 항이다. (3-66)을 (3-15)에 대입하고, 마지막 적분항에 대해 (3-26)에서  $-i\eta$ 를  $\zeta$ 로 대체하여 사용하면, 무한하방에서의 자유표면의 변위는

$$\delta(x) \approx \frac{2}{U} RE[e^{-iKx} \oint_C e^{iK\zeta} \overline{df}] = \frac{2}{U} IM[e^{iKx} \oint_C e^{-iK\zeta} df], \quad x \rightarrow \infty, \quad (3-67)$$

로 주어진다. 여기서 Kochin 함수  $[H(K)]$ 를

$$H(K) = \oint_C e^{-iK\zeta} df, \quad (3-68)$$

로 정의하면,

$$\delta(x) \approx \frac{2}{U} IM[H(K)e^{iKx}], \quad x \rightarrow \infty, \quad (3-69)$$

로 쓸 수 있고, (3-16)과 (3-69)로부터 조파저항은

$$R_w = \rho K |H(K)|^2, \quad (3-70)$$

와 같이 얻는다. 물체의 형상을 포함한 기하학적 자료가 결정되면, 조파저항은 따라서  $K$ 만의 함수이고, Kochin 함수의 크기는 무한하방에 생성되는 자유표면파의 진폭에  $U/2$ 를 곱한 값임을 알 수 있다. 또한 (3-66)에  $U$ 를 더하고 그 결과를 BC 정리인 (3-7)에 대입하여 물체에 작용하는 힘을 구할 수 있다. 먼저

$$w = w_1 + w_2 + U, \quad (3-71)$$

$$w_1 = \frac{1}{2\pi i} \oint_C \frac{w(\zeta)}{z-\zeta} d\zeta, \quad (3-72)$$

$$w_2 = \frac{1}{2\pi i} \oint_C \frac{\overline{w(\zeta)}}{z-\zeta} d\bar{\zeta} - \frac{K}{\pi} e^{-iKz} \oint_C I(z, \zeta) \overline{w(\zeta)} d\bar{\zeta}, \quad (3-73)$$

로 표시하면,

$$w^2 = w_1^2 + (w_2 + U)^2 + 2w_1(w_2 + U), \quad (3-74)$$

이므로 각각에 대한 적분을 따로 생각하기로 한다.  $w_1$ 은  $C$  외부에서는 Holomorphic 이므로,  $C_2$ 는  $C$ 를 포함하는 하반평면 내의 폐경로라고 하면,

$$\oint_C w_1^2 dz = \oint_{C_2} w_1^2 dz = 0, \quad (3-75)$$

이 되고, 비슷한 이유로

$$\oint_C (w_2 + U)^2 dz = \oint_{C_2} (w_2 + U)^2 dz = 0, \quad (3-76)$$

이 된다. 따라서 영이 아닌 결과를 주는 것은 (3-74) 우변의 셋째항 뿐이며

$$\begin{aligned} \oint_C w_1(w_2 + U) dz &= \oint_{C_2} (w_1 + w_2 + U)(w_2 + U) dz, \\ &= \oint_{C_2} w(w_2 + U) dz, \\ &= \oint_{C_2} ww_2 dz + U \oint_{C_2} w dz, \\ &= \oint_{C_2} ww_2 dz + U\Gamma, \end{aligned} \quad (3-77)$$

이므로

$$\bar{F} = i\rho \oint_{C_2} ww_2 dz + i\rho U\Gamma, \quad (3-78)$$

를 얻는다. 물론  $\Gamma$ 는 물체 주위에 형성된 순환의 세기이고, (3-78) 우변의 둘째 항은 KJ 힘을 나타내며, 첫째 항은  $w_2$ 에 의해 물체 주위에 유도된 유동장의 영향을 나타낸다. 이 항을 구하기 위해

$$\frac{1}{z-\zeta} = i \int_0^\infty e^{-i\mu(z-\zeta)} d\mu, \quad (3-79)$$

를 이용하여,

$$\begin{aligned}
& \oint_{C_2} w(z) \frac{1}{2\pi i} \oint_{C_1} \frac{\overline{w(\zeta)}}{z-\zeta} d\bar{\zeta} dz \\
&= \frac{1}{2\pi} \oint_{C_2} \oint_{C_1} \int_0^\infty w(z) \overline{w(\zeta)} e^{-i\mu z} e^{i\mu \zeta} d\mu d\bar{\zeta} dz, \\
&= \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty |H(\mu)|^2 d\mu,
\end{aligned} \tag{3-80}$$

를 얻는다. 여기서 폐경로  $C_1$ 은  $C$ 와  $C_2$  사이에 위치한다. 또 (3-64)에

$$t - \bar{\zeta} = a \tag{3-81}$$

의 변수변환을 사용하면

$$I(z, \bar{\zeta}) = e^{iK\bar{\zeta}} \int_{-\infty}^{z-\bar{\zeta}} e^{iKa} \frac{da}{a}, \tag{3-82}$$

이며, 적분경로는 하반평면에 속해야 한다. (3-33)을 구할 때와 비슷한 방법을 사용하면,

$$I(z, \bar{\zeta}) = e^{iK\bar{\zeta}} \left[ i\pi + p.v. \int_{-\infty}^1 e^{iK(z-\bar{\zeta})a} \frac{da}{a} \right], \tag{3-83}$$

을 얻는 데, (3-83) 우변의 p.v.는 주치적분을 뜻하고,  $a$ 는 실수변수이다. 따라서

$$\begin{aligned}
& \frac{K}{\pi} \oint_{C_2} w(z) e^{-iKz} \oint_{C_1} \left[ \pi i e^{iK\bar{\zeta}} + e^{iK\bar{\zeta}} p.v. \int_{-\infty}^1 e^{iK(z-\bar{\zeta})a} \frac{da}{a} \right] \overline{w(\zeta)} d\bar{\zeta} dz \\
&= iK \oint_{C_2} w(z) e^{-iKz} \oint_{C_1} e^{iK\bar{\zeta}} \overline{w(\zeta)} d\bar{\zeta} dz \\
&+ \frac{K}{\pi} \oint_{C_2} w(z) e^{-iKz} \oint_{C_1} e^{iK\bar{\zeta}} p.v. \int_{-\infty}^1 e^{iK(z-\bar{\zeta})a} \frac{da}{a} \overline{w(\zeta)} d\bar{\zeta} dz,
\end{aligned}$$

$$= iK |H(K)|^2 + \frac{K}{\pi} p.v. \int_{-\infty}^1 |H(K-Ka)|^2 \frac{da}{a}, \quad (3-84)$$

을 얻는다. 이제 (3-80, 84)를 써서 (3-78)의 첫째 항을 Kochin 함수를 사용하여 다시 쓰면

$$\begin{aligned} \bar{F} = & \rho K |H(K)|^2 + ipU\Gamma \\ & + \frac{ip}{2\pi} \int_0^{\infty} |H(\mu)|^2 d\mu - \frac{ipK}{\pi} p.v. \int_{-\infty}^1 |H(K-Ka)|^2 \frac{da}{a}, \end{aligned} \quad (3-85)$$

을 얻는다. (3-85) 우변의 첫째 항은 (3-70)에서 구한 조파저항과 동일하며, 또 (3-85) 우변의 마지막 항은  $K-Ka=\mu$ 의 치환에 의해

$$p.v. \int_{-\infty}^1 |H(K-Ka)|^2 \frac{da}{a} = -p.v. \int_0^{\infty} \frac{|H(\mu)|^2}{\mu-K} d\mu, \quad (3-86)$$

이 되므로 결국

$$Y = -\rho U\Gamma - \frac{\rho}{2\pi} p.v. \int_0^{\infty} \frac{\mu+K}{\mu-K} |H(\mu)|^2 d\mu, \quad (3-87)$$

를 얻는다. (3-87) 우변의 둘째 항은 정상물체와 파동의 영향에 기인하는 추가적인 양력으로 볼 수 있다. 이 식에 따르면 물체 주위의 순환이 영이라고 하더라도, 정상물체 및 파동에 기인하는 양력이 작용함을 알 수 있다. 어떤 물체에 대해서도 만약 Kochin 함수와 물체 주위의 순환이 주어진다면, (3-70, 87)을 사용하여, 물체에 작용하는 조파저항과 양력을 각각 구할 수 있다.

위에서 얻은 결과를 응용하는 데 있어서의 문제점은 물체 표면상에서의 복소속도를



미리 알지 못한다는 점이다. 가장 널리 쓰이는 근사해법은 3장에서 원주에 대한 문제를 풀 때 처럼 1차 근사로서 무한유체중에 있는 물체표면 상에서의 복소속도를 미리 구할 수 있다고 보고,

$$\frac{df}{dz} = \frac{1}{2\pi i} \left[ \oint_C \frac{df_0}{z-\zeta} + \oint_C \frac{\overline{df_0}}{z-\bar{\zeta}} \right] - \frac{K}{\pi} e^{-Kz} \oint_C I(z, \bar{\zeta}) \overline{df_0}, \quad (3-88)$$

로 근사하는 방법이다. 그러면 (3-88)은 물수깊이가 클수록 더 정확한 결과를 주는 1차 근사해로 볼 수 있다.

첫번째 예로서, 3장에서 다룬 원주 주위의 유동을 Kochin 함수를 사용하여 다시 구해 보기로 한다. 반경  $b$ 인 원주의 중심이  $z=-ih$ 에 있고, 또 보텍스까지 포함시켜 고려하기로 하면

$$f_0(z) = \frac{Ub^2}{z+ih} + \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln(z+ih), \quad (3-89)$$

이므로, 1차 근사해로서

$$H(K) = \oint_C e^{-K\zeta} \left[ -\frac{Ub^2}{(\zeta+ih)^2} + \frac{\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{\zeta+ih} \right] d\zeta, \quad (3-90)$$

를 얻고, 따라서 유수정리에 의해

$$H(K) = 2\pi i \left( -\frac{\Gamma}{2\pi i} + iKUb^2 \right) e^{-Kh} = (\Gamma - 2\pi KUb^2) e^{-Kh}, \quad (3-91)$$

를 얻는다. (3-91)을 (73-69, 70)에 대입하면 쉽게 (3-56, 57)을 증명할 수 있어,

Kochin 함수의 유용성을 확인할 수 있다.

두번째 예로서, 장, 단반경이 각각  $a, b$ 인 타원의 중심이  $z=-ih$ 에 있고, 장축이 입사류에 평행하게 놓여 있을 경우에 대해 Kochin 함수를 구해 본다. 무한유체 중에서의 복소포텐셜은

$$f_0(z) = \frac{U}{2} \sqrt{a^2 - b^2} \left( \tau + \frac{r^2}{\tau} \right), \quad (3-92)$$

$$z = -ih + \frac{1}{2} \sqrt{a^2 - b^2} \left( \tau + \frac{1}{\tau} \right), \quad r = \sqrt{\frac{a+b}{a-b}},$$

으로 주어지며,  $\tau$ -평면에서  $|\tau|=r$ 은,  $z$ -평면에서 타원의 경계에 대응한다. 따라서

$$H(K) = \oint_{C_r} e^{-Kz} \frac{df_0}{d\tau} d\tau$$

$$= \frac{U}{2} \sqrt{a^2 - b^2} e^{-Kh} \oint_{C_r} e^{-i \frac{K}{2} \sqrt{a^2 - b^2} \left( \tau + \frac{1}{\tau} \right)} \left( 1 - \frac{r^2}{\tau^2} \right) d\tau, \quad (3-93)$$

$$= i \frac{U}{2} \sqrt{a^2 - b^2} e^{-Kh} \oint_{C_r} e^{\frac{K}{2} \sqrt{a^2 - b^2} \left( i - \frac{1}{i} \right)} \left( 1 + \frac{r^2}{t^2} \right) dt,$$

을 얻는 데, (3-93)의 셋째 식은 둘째 식으로 부터  $\tau=it$ 의 치환에 의해 얻어지며,  $C_r$ 은  $|\tau|=r$  혹은  $|t|=r$ 로 주어진다. Bessel 함수론으로 부터

$$J_n(z) = \frac{1}{2\pi i} \oint_{C_r} e^{\frac{z}{2} \left( i - \frac{1}{i} \right)} \frac{dt}{t^{n+1}}, \quad (3-94)$$

을 알고 또  $J_{-1}(z) = -J_1(z)$ 를 이용하여,

$$H(K) = -2\pi U b \sqrt{\frac{a+b}{a-b}} e^{-Kh} J_1(K \sqrt{a^2 - b^2}), \quad (3-95)$$

을 얻는다. Bessel 함수의 특성으로부터

$$J_1(z) \sim \frac{z}{2}, \quad z \rightarrow 0, \quad (3-96)$$

이므로, (3-95)에서  $b$ 가  $a$ 에 가까워지면, (3-91)에서  $\Gamma$ 가 영인 경우와 동일한 결과를 주는 것을 확인할 수 있다.

## 제6절 순환에 끼치는 자유표면의 영향;

### 받음각을 가지는 평판

전장까지는 물체 주위의 순환이 주어지거나, 혹은 순환이 없는 경우에 대해 생각해 보았다. 그러나 실제 수증익의 경우 대부분이 영이 아닌 받음각을 가지며, 따라서 물체 주위에 순환을 발생시키게 된다. 이 순환은 또한 자유표면의 영향을 받아 동일한 수증익이 무한유체 중에서 동일한 받음각을 가질 때 발생시키는 순환과는 다르게 된다. 순환의 크기는 통상적으로 Kutta 조건에 의해 결정된다. Kutta 조건은, 예리한 뒷끝 (Trailing Edge)을 가지는 날개의 경우, 뒷끝에서의 유체속도는 크기가 유한하고 방향은 물체에 연한 방향이 되어 유동이 물체로부터 부드럽게 떨어져 나가야 한다는 것이다. 전장의 (4.25) 아래서 밝힌 바와 같이 Kochin 함수와 순환을 알면 물체에 작용하는 힘을 구할 수 있으므로, Kutta 조건을 Kochin 함수를 사용하여 표시하기 위해서는 먼저 복소속도를 Kochin 함수로 나타낼 필요가 있다.

복소속도를 (3-71)에서와 같이 성분 별로 나누어 생각하기로 하면, (3-73, 79)로부터

$$w_2(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty e^{-i\mu z} \overline{H(\mu)} d\mu - iKe^{-\mu z} \overline{H(K)} \quad (3-97)$$

$$- \frac{K}{\pi} e^{-\mu z} p.v. \int_{-\infty}^1 e^{-i(K-\kappa)z} \overline{H(K-\kappa)} \frac{d\kappa}{\kappa},$$

와 같이  $w_2(z)$ 는 어렵지 않게 Kochin 함수로 표시할 수 있으나  $w_1(z)$ 는 조금 복잡한 과정을 거쳐야 한다.  $w_1(z)$ 를 Kochin 함수로 표현하기 위해서는 물체표면에서의 경계조건을 생각하고, 결국  $w_2(z)$ 의 함수로 나타냄으로써 (3-97)을 이용하여 목적을 달성하게 된다. 물체의 경계가  $z$ -평면에서  $C$ 로 주어진다고 하면  $C$ 를  $u$ -평면에서는 원점에 중심을 둔 반경  $r$ 의 원,  $K$ 가 되도록 하는 변환  $u(z)$ 를 생각한다.  $u$ -평면에서도  $z$ -평면에서와 같은 입사류를 가지도록 하기 위해서는

$$\frac{dz}{du} = 1 + \frac{c_1}{u^2} + \frac{c_2}{u^3} + \dots, \quad (3-98)$$

를 만족해야 하며, 또  $w_1(u)$ 는 무한원방에서

$$w_1(u) = \frac{\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{u} + \frac{a_1}{u^2} + \dots, \quad (3-99)$$

와 같은 형태를 가진다. 한편  $C$  상에서의 경계조건은

$$(w_1 + w_2 + U)dz = \alpha, \quad \alpha \text{는 실수변수}, \quad (3-100)$$

로, 또  $K$  상에서는

$$\frac{du}{u} = i\beta, \quad \beta \text{는 실수변수,}$$

이므로,  $K$  상에서의 경계조건은

$$RE[(w_1 + w_2 + U) \frac{dz}{du} u] = 0, \quad (3-101)$$

된다. (3-101) 좌변의 [ ]의 실수부가 영이므로 원에 대한 반사원리를 쓸 수 있다. 우선

$$f(u) = w_1 \frac{dz}{du} u, \quad g(u) = (w_2 + U) \frac{dz}{du} u, \quad (3-102)$$

로 놓으면, (3-101)은

$$RE[f(u) + g(u)] = 0, \quad u \in K, \quad (3-103)$$

로 다시 쓸 수 있다. (3-98, 99)로부터  $f(u)$ 는  $\Gamma/2\pi i$ 의 상수항을 가짐을 알 수 있고, 또 반사원리로부터  $|u| > r$ 인 모든  $u$ 에 대해

$$f(u) = \frac{1}{2\pi i} \oint_K \frac{g(\zeta)}{\zeta - u} d\zeta + \frac{1}{2\pi i} \oint_K \frac{\overline{g(\zeta)}}{\overline{\zeta} - \frac{r^2}{u}} d\overline{\zeta} + \frac{\Gamma}{2\pi i}, \quad (3-104)$$

을 얻는다. (3-104) 우변의 첫째 적분항에 (3-97)에서 구한  $w_2(z)$ 를 대입하고

$$G(\mu, u) = \oint_C \frac{e^{-i\mu z}}{\zeta(z) - u} dz, \quad (3-105)$$

로 놓으면,

$$\begin{aligned} \oint_K \frac{g(\zeta)}{\zeta - u} d\zeta = u & \left[ 2\pi i U \left(1 - \frac{dz}{du}\right) + \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty G(\mu, u) \overline{H(\mu)} d\mu \right. \\ & - iK G(K, u) \overline{H(K)} \\ & \left. - \frac{K}{\pi} p.v. \int_{-\infty}^1 G(K - Ka, u) \overline{H(K - Ka)} \frac{da}{a} \right], \end{aligned} \quad (3-106)$$

을 얻는다. 마찬가지로 방법으로 (3-104) 우변의 둘째 적분항도

$$\begin{aligned} \oint_K \frac{\overline{g(\zeta)}}{\zeta - \frac{r^2}{u}} d\zeta = \frac{r^2}{u} & \left[ -2\pi i U + \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \overline{G(\mu, \frac{r^2}{u})} H(\mu) d\mu \right. \\ & + iK \overline{G(K, \frac{r^2}{u})} H(K) \\ & \left. - \frac{K}{\pi} p.v. \int_{-\infty}^1 \overline{G(K - Ka, \frac{r^2}{u})} H(K - Ka) \frac{da}{a} \right], \end{aligned} \quad (3-107)$$

로 쓸 수 있다.

(3-106, 107)을 (3-104)에 대입하면  $f(u)$ 를 얻고, 또 (3-102)의 첫째 식을 이용하면

$$w_1(z) = \frac{f(u)}{u} \frac{du}{dz},$$

가 되어 결국  $w_1(z)$ 를 Kochin함수를 써서 나타낼 수 있다. 이들을 정리하면

$$\begin{aligned}
w(z) = & \left( -\frac{\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{u} \frac{du}{dz} - \frac{Ur^2}{u^2} \frac{du}{dz} + U \frac{du}{dz} - U \right) \\
& - iK \left[ \left\{ e^{-iKz} + \frac{1}{2\pi i} \frac{du}{dz} G(K, u) \right\} \overline{H(K)} \right. \\
& \quad \left. - \frac{1}{2\pi i} \frac{r^2}{u^2} \frac{du}{dz} \overline{G(K, \frac{r^2}{u}) H(K)} \right] \\
& + \frac{1}{2\pi} p.v. \int_0^\infty \left[ \left\{ e^{-i\mu z} + \frac{1}{2\pi i} \frac{du}{dz} G(\mu, u) \right\} \overline{H(\mu)} \right. \\
& \quad \left. + \frac{1}{2\pi i} \frac{r^2}{u^2} \frac{du}{dz} \overline{G(\mu, \frac{r^2}{u}) H(\mu)} \right] \frac{\mu + K}{\mu - K} d\mu
\end{aligned} \tag{3-108}$$

를 얻는다. (3-108) 우변의 주치적분을 얻는 데는 (3-86)을 얻을 때와 같이  $K - Ka = \mu$ 의 치환을 사용하였다. 또한 (3-108) 우변의 ( )는 무한유체 중에서의 보텍스와 다이폴 성분이며, 그 다음 항은 파수  $K$ 인 특성파에 기인하는 것으로 볼 수 있으며, 마지막 적분항은 그 외의 다른 파수에 기인한다. 또한  $r^2/\bar{u}$ 는  $u$ 의 반경  $r$ 인 원에 대한 역점 (Inverse Point) 임에 유의하면, 함수  $G$ 의 자변수가 역점으로 되어 있는 항은 물체표면 상에서의 경계조건을 만족시키기 위해 고려된 물체 내부의 특이점 분포에 기인하는 것으로 생각할 수 있다.

이제 복소속도를 Kochin 함수로 나타내었으므로, Kutta 조건을 생각한다. 예리한 뒷끝에 대응하는  $u$ -평면 상의 점을  $u_0$ 라고 하면

$$\frac{dz}{du} = 0, \quad u = u_0 \text{에서,} \tag{3-109}$$

이다. 따라서

$$\frac{df}{dz} = \frac{df}{du} \frac{du}{dz},$$

임을 생각하면, 뒷끝에서의 속도가 유한하기 위해서는  $u$ -평면 상의 점  $u_0$ 는 정체점

(stagnation point)이 되어야 한다. 즉

$$\frac{df}{du} = w(z) \frac{dz}{du} = 0, \quad u = u_0 \text{에서,} \quad (3-110)$$

이므로 (3-110)의 양변에  $u$ 를 곱하고 (3-108)을 대입한 후 (3-109)를 사용하여

$$\begin{aligned} & \Gamma - 4\pi U r \sin \theta_0 + 2K \operatorname{Im}[u_0 G(K, u_0) \overline{H(K)}] \\ &= -\frac{1}{\pi} \operatorname{RE} \left[ \int_0^\infty u_0 G(\mu, u_0) \overline{H(\mu)} \frac{\mu + K}{\mu - K} d\mu \right], \end{aligned} \quad (3-111)$$

을 얻는다. 여기서  $u_0 = r e^{i\theta_0}$  이다. (3-111)은 Kochin 함수로 나타낸 Kutta 조건이며, Kochin 함수가 주어지면, 이 식으로부터  $\Gamma$ 를 구할 수 있다. 전장에서 논한 바와 같이 Kochin 함수를 구하기 위해서는 물체표면에서의 복소속도를 알아야 하는 난점이 있다. (3-108)에서  $w(z)$ 를 Kochin 함수로 나타내었으므로 (3-108)의 양변에  $e^{-i\mu z}$ 를 곱하고  $C_1$ 을 따라 적분하면  $H(\mu)$ 에 대한 방정식을 얻을 수 있다. 그러나 그 형태가 매우 복잡하고 풀기 어렵기 때문에 통상은 1차 근사로서 (3-108) 우변의 ( )만 고려하며,

$$\oint_{K_1} e^{-i\mu z} \frac{dz}{z^n} = F_n(\mu), \quad (3-112)$$

로 정의하면,

$$H(\mu) = \frac{\Gamma}{2\pi i} F_1(\mu) + U F_0(\mu) - U r^2 F_2(\mu), \quad (3-113)$$



을 얻는다. 따라서 변환함수  $z(u)$ 를 알면, (3-112, 113)에 의해 Kochin 함수를 구하고, 그 결과를 (3-111)에 대입하여  $\Gamma$ 를 구할 수 있다. 또  $\Gamma$ 와 Kochin 함수를 (3-70)과 (3-87)에 대입하여 조파저항과 양력을 각각 구할 수 있다.

위에서 설명한 방법을 사용하여 길이  $2l$ 인 2차원 평판의 중심이  $z=-ih$ 에 받음각  $\alpha$ 를 가지게끔 놓여 있는 경우를 생각해 본다. 우선 변환함수는

$$z = u - ih + \frac{r^2 e^{-2i\alpha}}{u}, \quad r = \frac{l}{2}, \quad \theta_0 = -\alpha, \quad (3-114)$$

로 주어지므로 (3-112)에 대입하고, (3-94)를 사용하여  $F_n(\mu)$ 를 구하면

$$F_n(\mu) = 2\pi i \frac{e^{-\mu h}}{(ire^{-i\alpha})^{n-1}} J_{n-1}(\mu\lambda), \quad \lambda = le^{-i\alpha}, \quad (3-115)$$

를 얻는다. 이제 (3-115)를 (3-113)에 대입하여 정리하면

$$H(\mu) = e^{-\mu h} [\Gamma J_0(\mu\lambda) - 2\pi i U l \sin\alpha J_1(\mu\lambda)], \quad (3-116)$$

를 얻는다.  $\Gamma$ 를 구하려면 (3-111)을 풀어야 하므로  $G(\mu, \mu_0)$ 를 알아야 한다. (3-105)의 정의로 부터

$$\begin{aligned} G(\mu, \mu_0) &= \oint_C \frac{e^{-i\mu z}}{\zeta(z) - \mu_0} dz, \\ &= \oint_K \frac{e^{-i\mu(u)}}{u - \mu_0} \frac{dz}{du} du, \\ &= F_1(\mu) + re^{-i\alpha} F_2(\mu), \\ &= 2\pi e^{-\mu h} [iJ_0(\mu\lambda) + J_1(\mu\lambda)], \end{aligned} \quad (3-117)$$

을 얻는다. (3-116, 117)을 (3-111)에 대입하면

$$\begin{aligned} & \Gamma + \beta + 2\pi K \operatorname{IM}[\lambda e^{-2K\lambda} \{iJ_0(K\lambda) + J_1(K\lambda)\} \{\Gamma J_0(K\bar{\lambda}) + i\beta J_1(K\bar{\lambda})\}] \\ & = -RE[\lambda \text{ p.v.} \int_0^\infty e^{-2\mu h} \{iJ_0(\mu\lambda) + J_1(\mu\lambda)\} \{\Gamma J_0(\mu\bar{\lambda}) + i\beta J_1(\mu\bar{\lambda})\} \frac{\mu + K}{\mu - K} d\mu], \end{aligned}$$

(3-118)

을 얻는 데, 여기서  $\beta = 2\pi U l \sin\alpha$  이다.  $\beta$ 는 무한유체 중에서의 평판 주위에 생성되는 순환의 크기이므로[Kochin, Kibel & Roze(1964)] 윗식을  $\beta$ 로 나누어 무차원화 시키고,

$$\begin{aligned} \frac{\Gamma}{\beta} &= \gamma, \quad \omega = e^{-i\alpha}, \quad \nu = \frac{l}{h}, \\ J_n(K\lambda) &= J_n, \quad J_n(K\bar{\lambda}) = \bar{J}_n, \quad J_n(z)J_n(\bar{z}) = |J_n|^2, \\ \text{p.v.} \int_0^\infty e^{-2\mu h} J_n(\mu\lambda)J_n(\mu\bar{\lambda}) \frac{\mu + K}{\mu - K} d\mu &= \frac{1}{h} A_{nn}(h, \lambda, K), \end{aligned} \quad (3-119)$$

를 이용하면

$$\gamma = - \frac{1 + 2\pi K l e^{-2Kh} \{ \cos\alpha |J_1|^2 - \operatorname{IM}(\omega \bar{J}_0 J_1) \} + \nu \{ \sin\alpha A_{11} - RE(\omega A_{01}) \}}{1 + 2\pi K l e^{-2Kh} \{ \cos\alpha |J_0|^2 + \operatorname{IM}(\omega \bar{J}_0 J_1) \} + \nu \{ \sin\alpha A_{00} + RE(\omega A_{10}) \}},$$

(3-120)

을 얻는다. 여기서  $A_{00}$ ,  $A_{11}$ 은 실수인 점에 유의한다.  $h$ 가 대단히 큰 경우에는  $\gamma$ 의 값이 무한유체 중에서의 값인  $-1$ 로 수렴하는 것과, 또  $Kh$ ,  $\nu$ ,  $\alpha$  등이 주요한 변수인 것을 쉽게 확인할 수 있다. (3-116, 120)에서 구한 Kochin 함수와  $\gamma$ 를 (3-70)과 (3-87)에 대입하면

$$X = \rho K \beta^2 e^{-2\kappa z} [\gamma^2 |J_0|^2 + 2\gamma IM(\overline{J_0} J_1) + |J_1|^2], \quad (3-121)$$

$$Y = -\rho U \beta [\gamma + v \sin \alpha \{ \gamma^2 A_{00} + 2\gamma IM(A_{10}) + A_{11} \}], \quad (3-122)$$

를 얻는다. 물수깊이가 평판의 길이보다 대단히 크고, 받음각이 작은 경우에는 양력에 대한 자유수면의 영향이  $v \sin \alpha$  에 비례하므로 무시할만큼 작다고 할 수 있다. 그러나 받음각이 큰 경우나 혹은 배가 부상하여  $v$ 가 그렇게 작지않을 경우에는 양력에 대한 자유수면의 영향을 무시하기 곤란하며, 특히 (3-120)에서 구한  $\gamma$ 는  $-1$  이 아니므로  $\gamma$ 에 대한 자유수면의 영향 또한 무시할 수 없을 것이다.

## 제7절 결 언

이상에서 자유표면 조건을 선형화 하였을 때, 2차원 문제에 대한 이론해를 복소함수를 이용하여 여러가지 경우에 대해 구해 보았다. 이러한 결과들은 앞으로 개발될 패널법에 의한 수치코드의 적합성을 판정할 근거가 될 것이다. 또한 위에서 얻은 결과들은 수증익에 작용하는 양력에 미치는 자유수면의 효과를 간략히 추산 가능하게 해주므로, 수증익의 초기설계 단계에 있어서는 충분히 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

수치코드를 개발함에 있어 이상과 같은 지표가 없을 경우에는 개발된 코드의 결과에 대한 신뢰도를 판정할 만한 근거가 없으므로 대단히 곤란하며, 본 연구의 결과는 그러한 관점에서 대단히 유익할 것으로 생각된다. 특히 (3-121), (3-122) 등의 간략한 표현은 조파저항과 양력의 성분들을 밝혀 내는 데 큰 도움이 될 것이다.

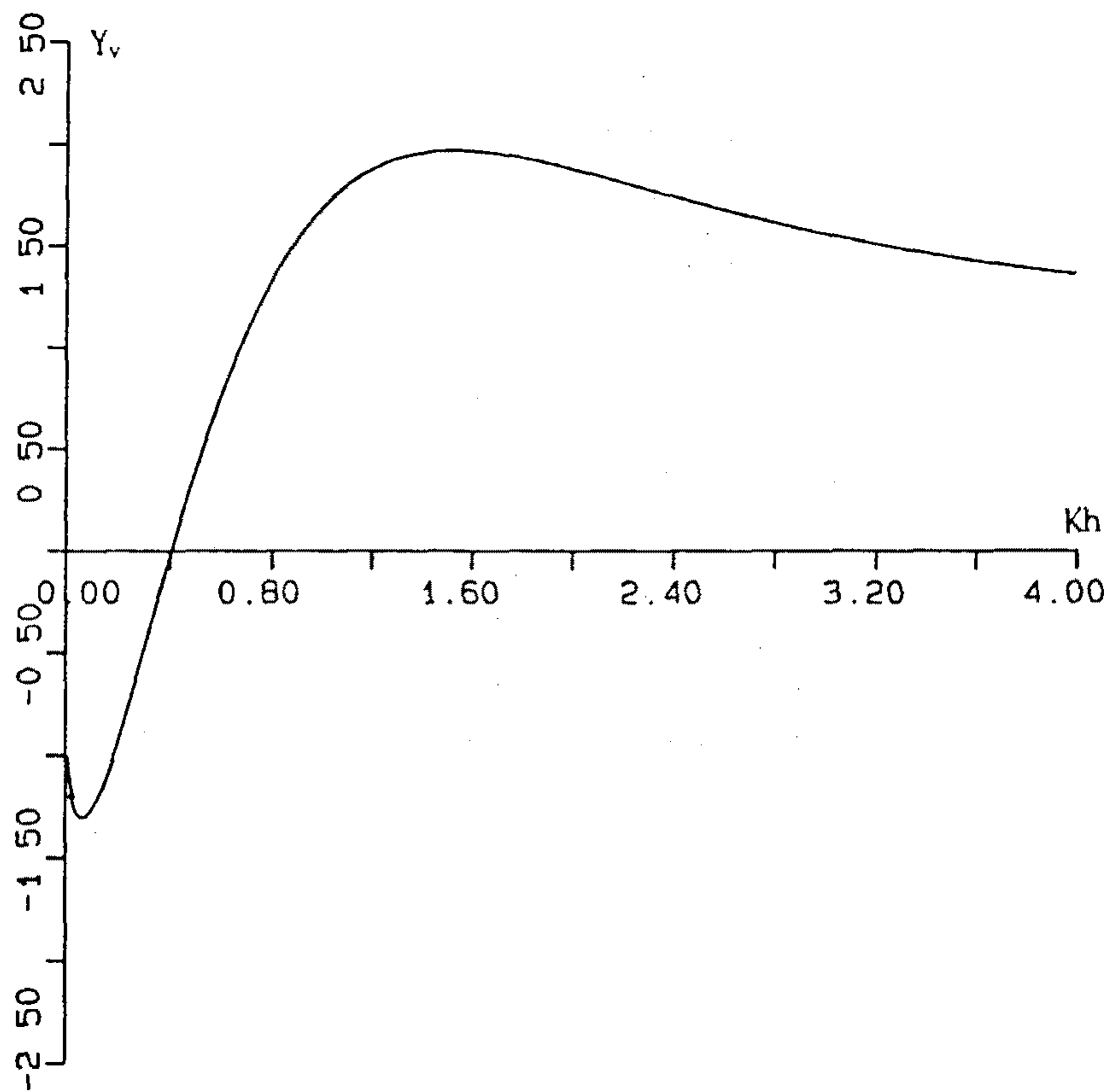


Fig. 3-1 Additional Lift,  $Y_v$  due to Free Surface for a Submerged Point Vortex, given by Eq. (3-38)

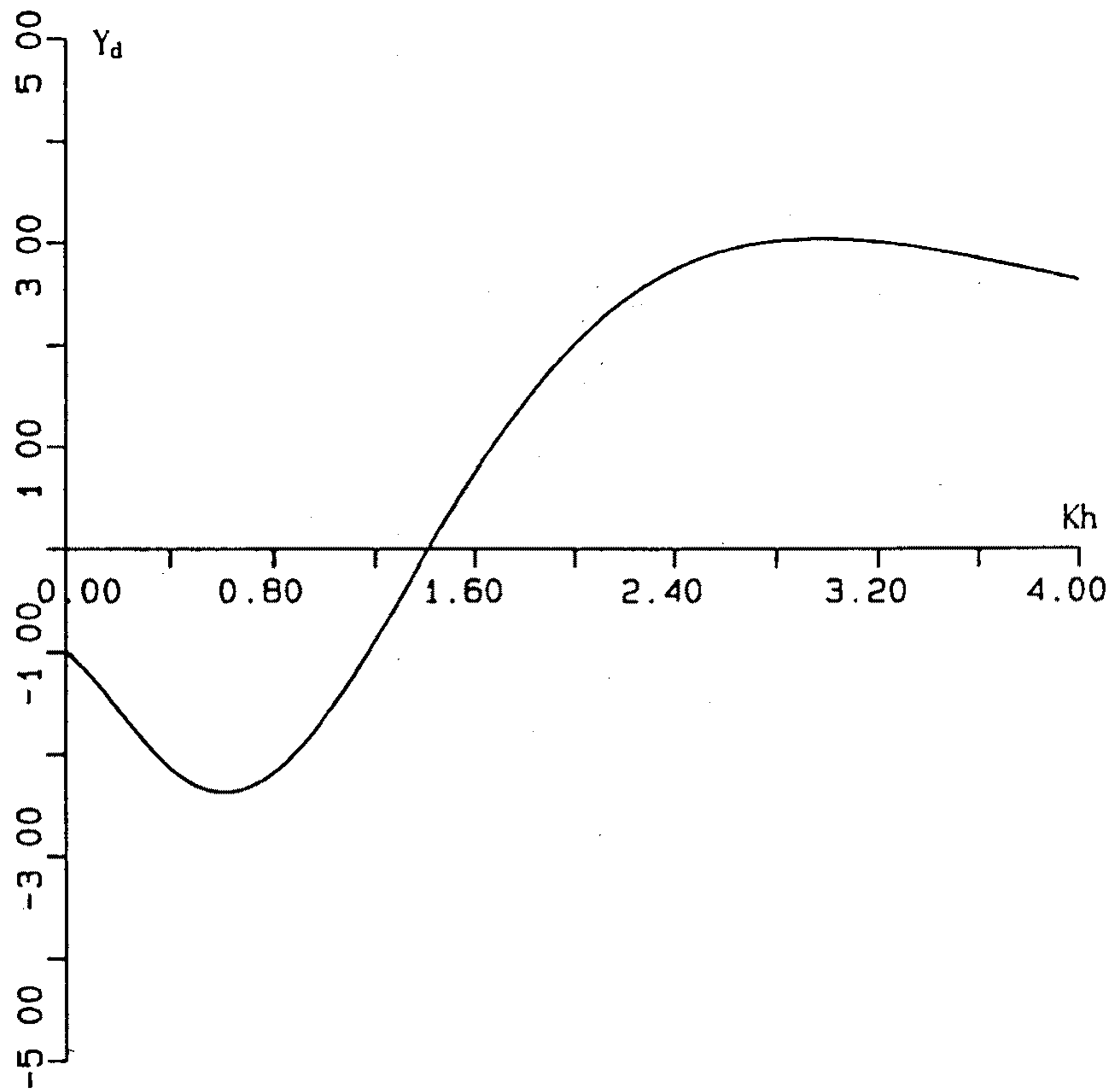


Fig. 3-2 Lift,  $Y_d$  due to Free Surface for a Submerged Point Dipole, given by Eq. (3-55)

## 제 4 장 물제트 추진장치 모형시험 기법 연구

### 제1절 서 언

21세기 해상교통 수단을 선도할 수 있는 중·장거리용 복합지지형 초고속선을 개발하기 위해서는 초고속선용 추진장치의 개발이 필수적이다. 본 연구의 타당성 조사단계에서는 선진국에서의 고속선 추진장치 개발현황을 조사하고 그 특성을 비교 검토하여, 앞으로 연구개발해야 할 초고속선용 추진 장치로서 물제트(Waterjet) 추진장치를 선택하였다[4-1]. 물제트 추진방식의 이용은 원리적으로 오래전부터 알려져 있었고, 1661년 Toogood & Hayes, 1729년 Allen, 1788년 Rumsey에 의해 실험적 연구가 시도되었다는 기록도 있다[4-2]. 그러나 1960년대 까지도 물제트 추진방식 고유의 불리한 점, 즉 덕트 시스템 내의 물의 증량 및 마찰력으로 인한 효율저하때문에 특수한 목적의 소형선 이외에는 이용되는 일이 거의 없었다. 그러나 최근 초고속선 개발과 관련하여 물제트 추진방식에 대한 새로운 시각에서의 연구가 활발히 진행되고 있고, 실선에의 적용도 많이 이루어지고 있다. 그 대표적인 이유로서는 종래의 일반적인 프로펠러로서는 고속 추진에 한계를 가지고 있는 반면, 물제트 추진방식은 각 요소들의 최적 설계를 통해 고속에서의 추진효율 향상을 꾀할 수 있기 때문이다. 선진국에서는 이미 이러한 물제트 추진장치에 대한 성능해석 기법이 정립되어 있고[4-3], 중·소형 물제트 추진장치 제작을 통한 경험을 바탕으로 대출력 물제트 추진장치 개발도 가능한 단계이다[4-4]. 그러나 국내에서는 이에 대한 연구가 거의 없어 전적으로 외국의 기술에 의존하고 있는 실정이다.

본 연구의 1차년도 과제에서는 물제트 추진장치의 국내 기술개발을 위해 성능해석 기법을 연구하고 그 문제점을 도출하고자 하였다. 또한 도출된 문제점의 해결방안으로

서 모형시험을 통한 성능해석 기법 개발을 제안하였다[4-5]. 따라서 본 연구의 당해년도에는 물제트 추진장치의 모형시험을 수행하기 위한 예비단계로서, 물제트 추력 계측 방법 및 펌프설계 방법등을 연구하고 3차년도에 실시할 펌프 단독특성 시험 및 자항시험을 위한 예비조사를 수행하였다.

## 제2절 물제트 추력계측 방법

고속선용 물제트 추진 시스템에서는 대개 평평한 선저에 설치한 플러쉬형 인렛(Flush Type Inlet)으로 부터 물을 흡입하여, 선미의 노즐(Nozzle)로 부터 물을 방출한다. 따라서 Inlet 부와 Nozzle 부의 압력차는 거의 일정하고 이것은 펌프(Pump)의 필요 수두(Head)에 포함해서 다루고 있기 때문에 Gross Thrust( $T_{gross}$ ) 혹은 Net Thrust( $T_{net}$ )가 실용적인 Thrust 정의라고 할 수 있다. Inlet 주위에서의 유동에 대해 Fig. 4.1과 같이 정의할 때 Gross Thrust( $T_{gross}$ ) 및 Net Thrust( $T_{net}$ )는 다음과 같이 표시된다.

### ● Gross Thrust

$$T_{gross} = \rho Q (V_j - V_m) \quad (4-1)$$

여기서

$\rho$  : 물의 밀도

$Q$  : 유량

$V_j$  : 제트(jet) 유속

$V_m$  : Ramp Tangency AF 에서의 유입운동량 유속

$$V_w/V_s = (V_s/\bar{V}) \cdot (\delta/\bar{y}) \int_0^{\bar{y}/\delta} (u/V_s)^2 \cdot d(y/\delta) \quad (4-2)$$

여기서

$\bar{V}$  : Ramp Tangency AF에서의 평균 유속

$V_s$  : 선속

$$\bar{V}/V_s = (\delta/\bar{y}) \int_0^{\bar{y}/\delta} (u/V_s) \cdot d(y/\delta) \quad (4-3)$$

여기서

$\delta$  : Ramp Tangency AF에서의 경계층 두께

### ● Net Thrust

Inlet이 작동하면 저항이 발생하는데, 이 영향을 고려한 것이 Net Thrust 이다. 즉,

$$T_{net} = T_{gross} - D_{inlet system} \quad (4-4)$$

여기서

$D_{inlet system}$  : Inlet의 저항 (트림 변화, 유효배수량의 영향을 포함)

단, 반류계수  $w$  및  $D_{inlet system}$ 에 의한 Thrust 감소계수  $t$ 는 다음과 같이 정의한다.



$$w = 1 - \bar{V}/V_s \quad (4-5)$$

$$t_I = 1 - T_{net}/T_{gross} \quad (4-6)$$

이러한 물제트 추진의 Gross Thrust 계측방법으로는 다음과 같은 방법들이 제안되고 있다.

① 유량계측법 [4-2]

물제트 노즐에서의 유량을 계측하고 다음식으로 물제트의 Gross Thrust를 계산한다.

$$T_{gross} = \rho Q (Q/A_j - V_m) = \rho Q (V_j - V_m) \quad (4-7)$$

여기서  $A_j$  = 노즐 단면적 (outlet nozzle area)

② 국부 제트(jet) 유속 계측법 [4-3]

피토 튜브 등을 이용하여 국부 제트(jet) 유속을 계측하고 다음식으로 물제트의 Gross Thrust를 계산한다.

$$T_{gross} = \int_{A_j} \rho \bar{V}_j (\bar{V}_j - V_m) dA_j \quad (4-8)$$

여기서  $\bar{V}_j$  : 국부제트 유속 (local jet velocity)

### ① 직접 계측법 [4-4]

Reaction Thrust Elbows를 이용하여 물제트 Gross Thrust를 직접 계측한다.

한편 Hoshino [4-6]는 계측의 단순성과 정확도를 위해 노즐에서의 유량을 계측하는 방법을 채택하고, 물제트 추진 시스템을 장착한 모형선의 자항시험에서 다음과 같은 유효 노즐 지경  $d_j$ 를 물제트의 Gross Thrust 계산에 사용하였다.

$$d_j = 2Q \sqrt{\frac{\rho}{\pi T_{\text{gross}}}} \quad (4-9)$$

여기서  $T_{\text{gross}}$ 는 정지상태에서의(즉,  $V_m=0$ ) 물제트 Gross Thrust를 load cell에 의해 직접 계측한 값이다.

## 제3절 물제트 펌프 설계 방법

선체와 물제트 추진시스템의 상호작용을 관찰하기 위한 모형시험용 펌프를 설계하기 위해서는 우선 펌프의 설계조건을 알아야 한다. 이러한 물제트 펌프의 설계조건들로서는 다음을 들 수 있다.

- $V_m$  : 모형선
  - $T_{\text{gross}}$  : 물제트의 Gross Thrust
  - $N_w$  : Engine 혹은 motor 선정에 의해 결정되는  
물제트 임펠러의 rpm
- (4-10)

한편 본연구에서는 제작의 단순성을 고려하여 Axial flow 펌프를 선정하였으나 일반적인 펌프의 선택 기준은 Pump specific speed  $N_s$ 를 사용하기 때문에 다음식에 의해  $N_s$  값을 계산한다.

$$Q = \frac{1}{2} A_j V_m \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4T_{gross}}{\rho V_m^2 A_j}} \right)$$

$$H = \frac{V_j^2}{2g} (1 + \zeta_j) - \frac{V_m^2}{2g} (1 - \zeta_i) + \Delta h$$

$$N_s = N_w Q^{0.5} / H^{0.75} \quad (4-11)$$

여기서

$A_j$  = 노즐 단면적 (  $\pi/4 \quad d^2$  )

$d$  = 노즐 직경

$\rho$  = 물의 밀도

$g$  = 중력가속도

$V_j$  = jet 유속

$\zeta_i$  = inlet 덕트 손실

$\zeta_j$  = outlet 덕트 손실

이므로,  $\zeta_i$ ,  $\zeta_j$ ,  $\Delta h$ 의 추정값과 여러 경우의 노즐 직경을 적용하면 우선  $Q$ ,  $H$ ,  $N_s$  값을 계산할 수 있다. 한편 specific speed 에 따른 일반적인 임펠러 형상의 변화를 Fig. 4-2 에 나타내었다.

다음으로 임펠러 직경  $D_a$ 의 계산식은 다음과 같다.

$$D_a = 60 U_a / \pi N_w$$

$$U_a = (2.2 \sim 1.8) \sqrt{2gH} \quad (4-12)$$

여기서

$U_a$  = 임펠러의 Tip에서의 속도

## 제4절 모형시험 기법

### 4.1 단독시험

단독특성시험으로서 추진성능에 관계되는 유량·펌핑·펌프효율 특성과, 작동 조건에 관계되는 캐비테이션 특성이 주된 대상이 된다. Svensson[4-4]은 Fig. 4-3에 나타낸 것과 같이 자유 표면을 가지는 캐비테이션 터널에 탑재된 모형 추진 시스템에 의해 성능시험을 실시하고 있다. 이 시험은 저항시험과 자항시험에서 추정된 실선의 추진기 작동조건을 가지고 설계하는 펌프를 대상으로, 다음과 같은 계측이 실시되고 있다.

#### (1) Inlet 유입속도 분포 Simulation

저항시험에서 계측된 선저의 Inlet로 유입하는 경계층을 2차원으로 근사하게 해서 1/7승 법칙에 의해 환산하는 방법을 사용한다.

## (2) 펌프의 추력

펌프 유량  $Q$ 를 펌프 출구에서의 유속분포를 직접 계측하는 방법으로 구하고, 이것으로 부터 펌프 추력을 산정한다.

## (3) 펌프 Head

임펠러 전후 단면에서의 총압력을 직접 계측하는 방법으로 구한다.

## (4) 캐비테이션

캐비테이션 영향을 받은 것은 Inlet 성능과 펌프 Head 이지만, 시험은 캐비테이션 수  $\sigma$  를 실선치  $\sigma_0$ 에 맞추어 캐비테이션 터널의 기압을 조정해서 행한다.

## 4.2 자항 추진시험

물제트 추진의 자항추진 시험에 대해서는 Fig. 4-4와 같은 Flush Type Inlet 방식에 관해서 많은 보고가 보인다. 대표적인 Hoshino[4-6]의 방법과 Svensson[4-4]의 방법이 있다. 이들은 기본적으로 어느것이나 추력 감소계수에서 sink에 의한 간섭저항을 구하고, 유량과 제트 유속의 계산으로 부터 추력을 구하고 있다. 단, 추력의 정의에 차이가 있어 전자는 유입 유속을 선속으로 하고 있는데 반해 후자는 Inlet 직전의 유입 유로의 평균 유속을 채택하고 있다. 또 전자의 방법에서 정리된  $(1-t)$  값은 펌프 작동에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있고 Inlet 저항으로 환산하면 마이너스 값으로 되어 오히려 저항 감소를 나타내는 결과가 된다. 이것은 Arcand[4-7]의 풍동실험의 결과에서도 마찬가지 경향을 나타내고 있다. 한편 후자의 모형시험 해석결과는 공표되어 있지 않지만 실선시험에서 산정된 추력과 저항시험에서 추정된 저항에서 추력감소 계수를 구하고 있다.

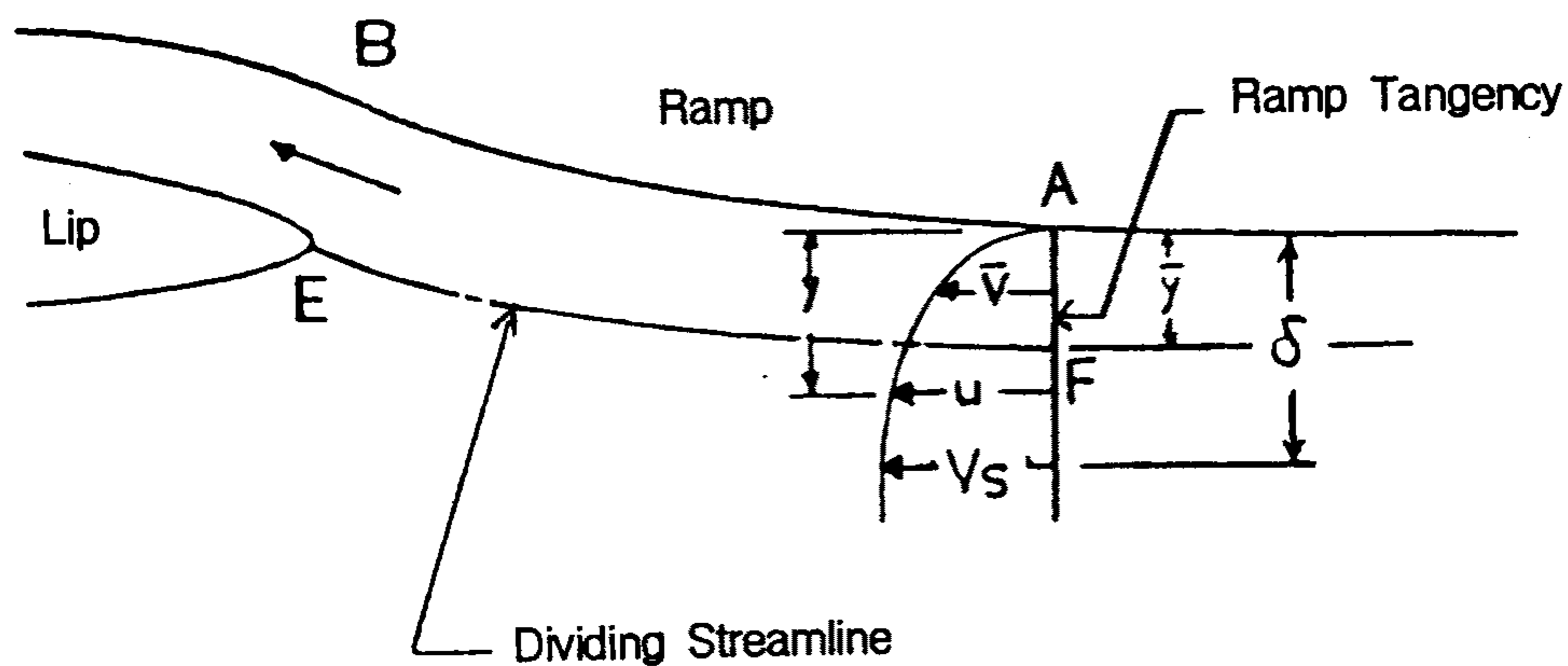


Fig. 4-1 Flow around Inlet

Typical impeller shapes (single and double entry)

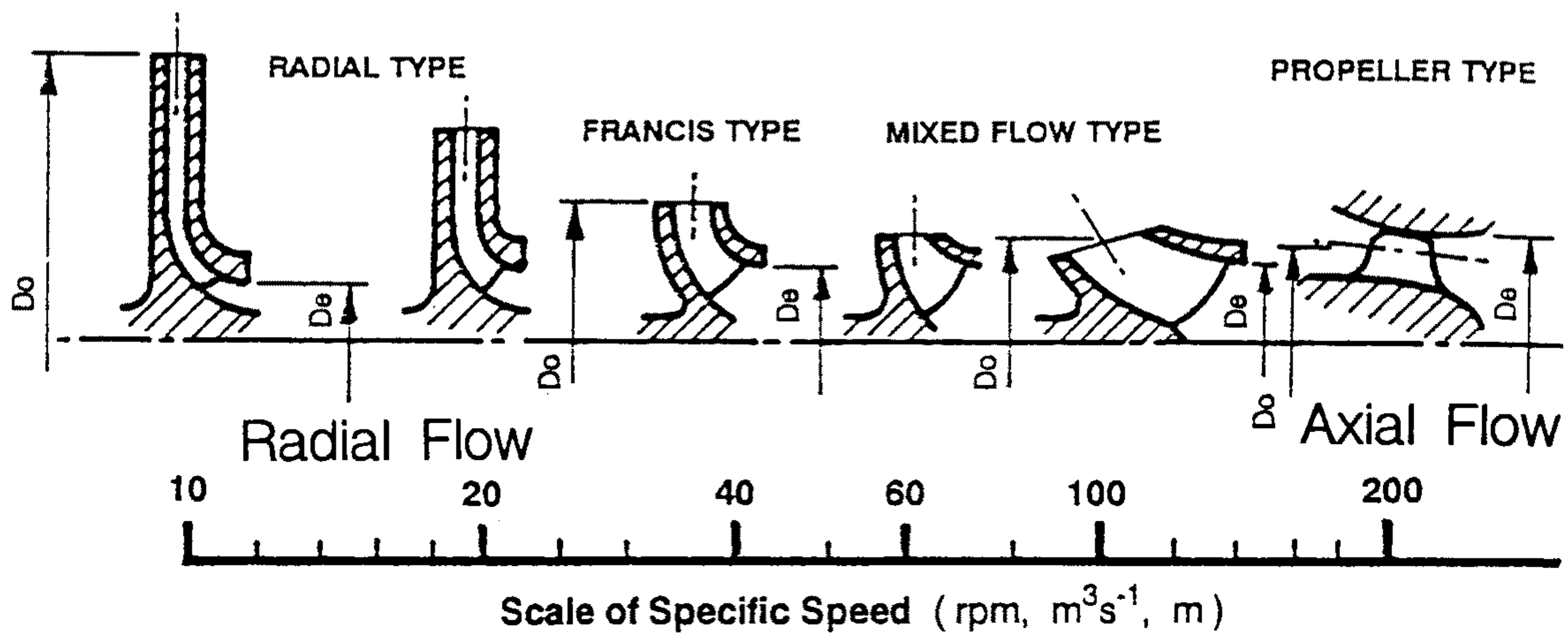


Fig. 4-2 Variation in Pump Impeller Shape with Specific Speed

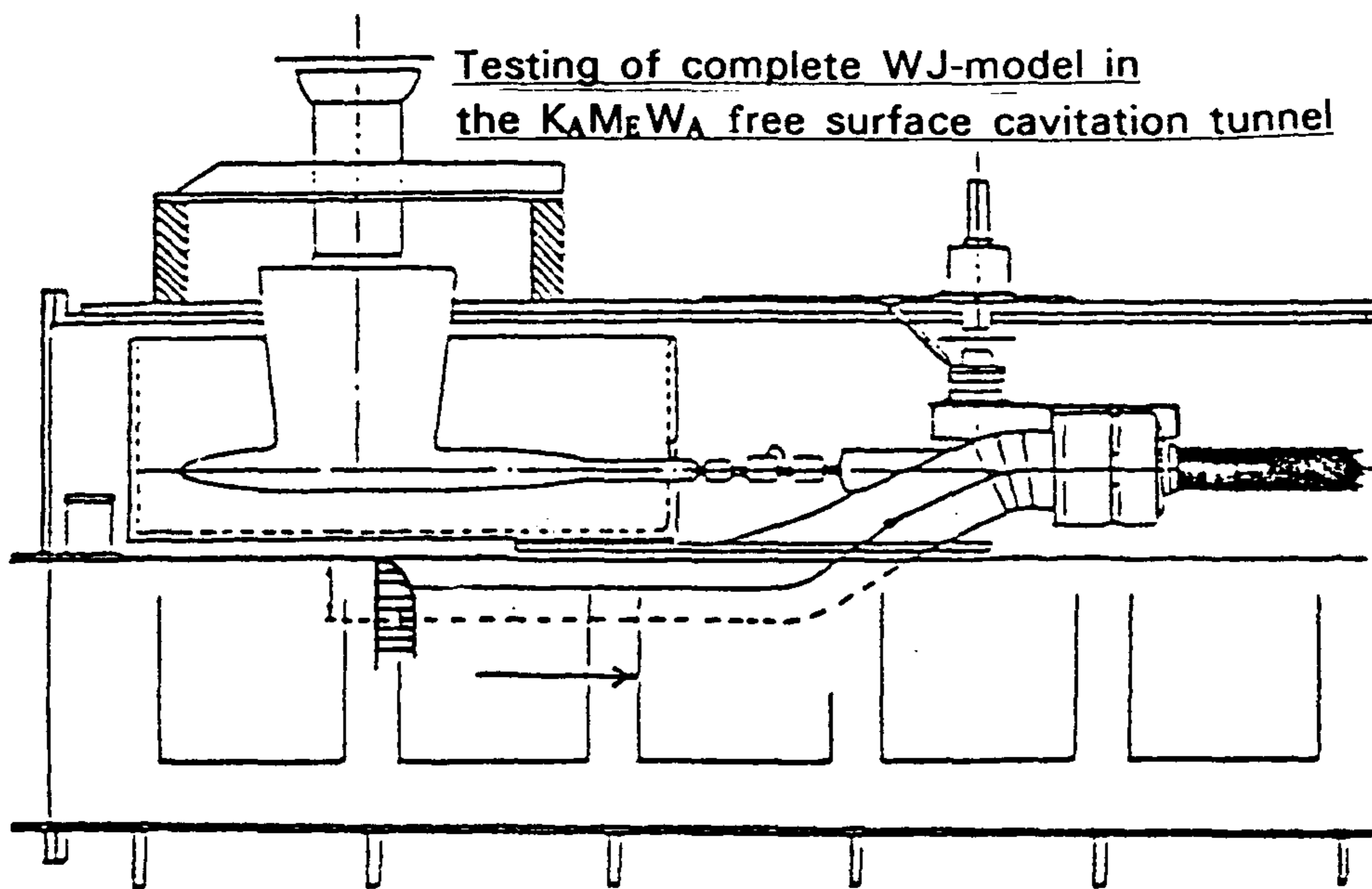


Fig. 4-3 Free Surface Cavitation Tunnel

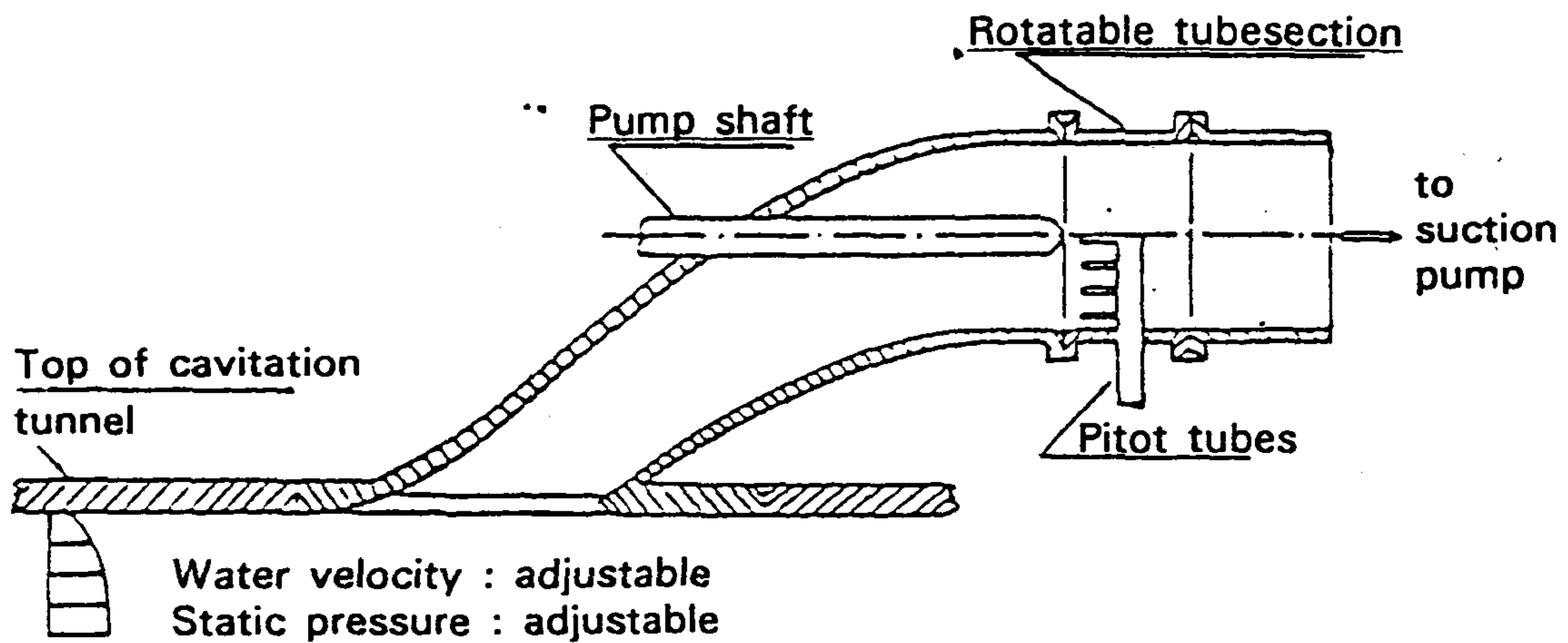


Fig. 4-4 Flush Inlet Model

# 제 5 장 복합지지형 초고속 선형개발 및 시스템구성

## 제1절 서 언

80년대 말부터 노르웨이 등에서 개발되기 시작한 초고속 여객선은 350인승 규모에 45노트까지 속력으로 향상되었으며 우리나라에도 6척이 도입되었다. 우리나라에서도 작년년부터 이러한 규모의 선박이 개발·건조되기 시작하였으며 그중 1척은 항포에 투입되어 운항중에 있다.

현재의 세계적 초고속선 개발동향은 여객선 규모 선박의 고성능화와 함께 독일, 이태리 등에서 초고속 카페리선이 개발중에 있으며 일본, 프랑스, 노르웨이 등에서 초고속 화물선 개발에 관한 연구가 수행되고 있다[5-1,5-2]. 특히 일본의 초고속 화물선 개발 사업인 Techno - Superliner 연구는 시험선을 건조하여 실제 해상에서 시험중에 있다 [5-3]. 이중에서 수중익의 양력과 물수체의 부력으로 지지되는 TSL-F선형과 같이 초고속이 대형화되기 위해서는 단일 지지 방식에 의한 지지력의 한계, 구조적인 문제 혹은 저항증가 등의 단점을 해결할 수 있는 복합 지지 선형이 되어야 한다.

복합 지지 선형에 대한 연구는 1970년대에 미국의 DTRC(David Taylor Research Center)에서 본격적으로 시작되었다. 이 연구에서 가능성 있는 몇개의 복합 지지 선형이 도출되었으며 일본의 TSL-F선을 비롯한 모든 복합 지지 선형은 이범주안에 들어간다. 결국 복합 지지 선형의 개발은 도출된 여러개념을 약간의 변화를 주거나 건조상의 여러가지 문제점을 해결하여 실선화가 가능하도록 하는 것이다.

또한 초고속선을 대형화시키기 위해서는 복합지지 선형 뿐만 아니라 선박의 중량을 가볍게 해야 한다. 선박에 적재될 화물,연료등을 가볍게 할 수 없으므로 선박의 경하중



량을 줄여야 한다. 따라서 선박의 경하중량을 구성하는 선체 및 의장시스템을 기능의 저하없이 가볍게 구성될 수 있도록 가벼운 의장품의 사용은 물론 시스템 구성시에도 최적의 구성 및 배치설계를 통하여 경량화해야 한다.

초고속선의 시스템종합(System Intergration)은 크게 저항.추진기술, 추진기기술, 내항성능기술, 운항자세제어 및 조종성능기술등의 요소기술을 이용한 성능설계와 개발선형의 성능을 가장 효율적으로 달성하기 위한 장비등의 최적 선정기법, 조합 및 배치에 관한 시스템설계에 의하여 구성된다. 따라서 제각기 상대적인 우수성을 갖는 초고속선형에 알맞는 시스템 설계는 초고속선의 성능을 향상시키기 위한 시스템 구성에 주안점을 두고 계획되어야 하며, 관련법규의 정확한 이해 및 적용이 동반되어야 한다.

본 장에서는 대형 초고속선의 개발을 위한 새로운 복합지지 선형의 제시와 초고속선의 주요시스템 구성시 고려해야할 설계기술 및 관련법규의 동향에 대하여 기술하였다.

## 제2절 새로운 복합지지 초고속 선형

### 2.1 복합지지 선형의 개념

운항중인 선박의 중량을 지지하는 힘은 부력, 양력, 압력의 3가지 힘으로 구분되며 Fig. 5-1과 같이 도식화하여 나타낼 수 있다. 현재까지의 초고속선은 이중에서 1가지 힘으로만 지지되는 단일 지지 선형이며 선박의 규모가 작은 경우에는 건조비 등의 문제에서 단일 지지 선형 원인이 유리한 면이 많다.

초고속선이 대형화되면 선박의 중량을 단일 방식으로 지지하는 것은 곤란하게 된다. 즉 수중익선의 경우 형상이 상사하며 속력이 같은 선박에서 길이가 증가하면 중량은 3제곱에 비례하여 증가하지만 수중익의 면적은 그제곱으로 증가하므로 수중익에 의하여 발생하는 양력도 그제곱으로 밖에 증가하지 않는다[5-4]. 따라서 수중익 양력의 단일

방식으로만 중량을 지지하기 위해서는 수증익의 면적을 3배쯤으로 증가시켜야 하기 때문에 상대적으로 큰 수증익이 필요하게 된다(Fig.5-2).

공기부양선의 경우에도 길이의 증가에 따라 부양실 면적은 그 제곱으로만 증가하므로 부양압력이 길이 증가에 비례하여 높아져야 하고 소요 공기 부양 마력은 3.5배쯤으로 증가하므로 대형화되면 상대적으로 큰 부양 마력이 필요하게 된다[5-5].

대형화에 따른 이상의 문제점들을 해결하기 위해서는 운항중 선박의 중량을 지지하는 3가지 힘을 적절히 복합시켜 저항·추진성능과 내항성능을 향상시키는 복합 지지 선형이 제안되고 있으며 그 중에서 대표적인 선형을 살펴보면 다음과 같다[5-6].

#### 가. SWASH(Small Waterplane Area Single Hull)Ship

단동 물수체와 Strut에 의한 부력 85%와 운항중 안정성을 향상시키기 위하여 선수와 선미에 설치된 수면 관통형 수증익에 의한 양력 15%로 지지되는 선형이다. 정지중 혹은 저속에서 상실되는 수증익에 의한 지지력을 보완하며 정지중에서 복원력을 향상시키기 위하여 양현에 작은 선체가 있다. 이 선체는 운항중에는 수증익에 의하여 선박이 부양되면 수면위로 올라오게 되어 저항성능과 내항성능을 향상시킨다.

#### 나. HYSWAS(Hydrofoil Small Waterplane Area Ship)

단동 물수체, 전물 수증익과 상부선체로 구성되는 선형으로서 단동 물수체와 1개의 Strut의 부력에 의해 중량의 70%, 수증익에 의해 30%가 지지된다. 수증익 시스템은 일반적으로 주 수증익과 보조 수증익으로 구성되며 주 수증익은 선체 중앙보다 약간 앞쪽에 부착되며 소요양력의 75%를 발생시키고 보조 수증익은 선미쪽에 부착되어 소요양력의 25%를 발생시키면서 적절한 운항자세와 중요 운동 안정성을 갖도록 한다.

#### 다. LAHHS(Large Hydrofoil Hybrid Ship)

HYSWAS 선형과 유사하게 단동 물수체와 수증익으로 구성되지만 수증익 Span /

선체폭 비가 일반적인 수중익선의 1.0 - 1.7 인데 비하여 이 선형은 1.8 - 2.3 정도로 훨씬 큰 수중익을 가지고 있다. 단동 물수체의 단면 형상은 원형이며 길이 / 직경비는 20, 중량 지지율은 50% - 70%정도가 된다. 주 수중익은 선미쪽에 있으며 소요 양력의 70%를 발생하고 선수쪽에 보조 수중익은 소요 양력의 30%을 발생시킨다. HYSWAS와는 달리 수중익이 크므로 단동 물수체와 수중익을 일반적으로 3개의 Strut로써 상부 선체와 연결시킨다.

#### 라. HYACS(Hydrofoil Air Cushion Ship)

표면효과선에 전물 수중익이 부착된 선형으로 일반적으로 공기 압력으로 70%, 수중익 양력으로 30%의 중량을 지지한다. 수중익 시스템은 2개의 수중익으로 구성되는데 선수 수중익은 작으며 1개의 Strut로 상부 선체와 연결되고 큰 수중익은 2개의 Strut로 양 선체와 연결된다.

#### 마. SWAACS(Small Waterplane Air Cushion Ship)

표면효과선에 단동 물수체가 부착된 선형으로 단동 물수체와 Strut에 의한 부력으로 30%, 좌우현 선체 부력과 부양 공기 압력으로 70%의 중량을 지지한다.

## 2.2 복합지지 선박 연구 사례

1970년대의 미국의 DTRC에서 시작된 복합 지지 선형에 대한 연구는 미래에 사용될 함정 개발에 주 목적이 있었으며 소형 경비정에서 부터 4,000톤급 구축함까지 크기를 변화시키면서 모든 임무에 맞는 선박을 개발하고자 하였다. 상업용 복합 지지 선형의 개발은 1980년대에 들어서면서 부터 Calkins가 제안한 쌍동형선에 수중익을 부착한 HYCAT이후부터라고 볼 수 있다[5-7].

가. 군사용 복합 지지 선박

(1) HYSWAS 4000

4,000톤급 구축함으로 설계된 것으로 상부 선체는 Trimaran이며 길이는 90m이고 정지중에는 410톤의 부력만을 받는다. 수중익은 상부 선체폭과 같은 Span을 가지며 수중익에 작용하는 하중은 6ton/m<sup>2</sup>으로 전체중량의 약 20%를 지지하도록 계획되었다 (Fig. 5-3). 추진 시스템은 1기당 25,000 HP의 가스터어빈 4대와 고정 피치 프로펠러로 구성된다.

이 선박의 정지중과 항주중의 중량지지는 다음과 같다.

	정 지 중	항 주 중
상부 선체 부력	401톤	-
물수체 부력	2,925톤	2,925톤
Strut 부력	635톤	280톤
수중익 부력	30톤	30톤
수중익 양력	-	765톤
선박 중량	4,000톤	4,000톤

그외 이 선박의 주요 특성은 다음과 같다.

Displacement, Full Load                      4,000 ton

Upper Hull, Length	90 m
Breadth	26 m
Displacement	410 ton
Submerged Body, Length	95 m
Breadth	6 m
Displacement	2,925 ton
Foil, Span	27 m
Semi Span	10.5 m
Average Chord	3.0 m
Average Thickness	0.25 m
Design Loading	6 ton/m <sup>2</sup>
Distance between Fore. and Aft Foils	54 m
Strut, Length	60 m
Height	7 m
Breath(max)	2 m
Waterplane Area	102 m
Draft, Hullborne	12.25 m
Foilborne	8.75 m
Propulsion Power, Max. Intermittent	82 MW (110,000HP)
Max. Continuous	74 MW (100,000HP)
Speed, Hullborne Max.	25 Knots
Foilborne Max.	45 Knots
Takeoff Min.	20 Knots
Continuous Max.	42 Knots
F.O.Capacity	1,400 ton

Range, Hullborne at 20 Knots	6,000 nm
Foilborne at 40 Knots	3,000 nm
Propulsor	FPP

## (2) EPH(Extended Performance Hydrofoil)

HYSWAS선형개발을 하면서 선박의 크기, 연료탱크로 사용되는 물수체의 크기, 수증익과 Strut의 형상, 수증익의 설계하중등을 변화시키면서 선박의 성능을 추정하는 Parametric Study중에 HYSWAS선형이 일반 수증익선보다 낮은 속도에서도 부양이 가능하지만 최대속력이 40 - 45노트가 한계인 것을 발견하였다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 HYSWAS의 후속 연구로 EPH에 대한 연구를 수행하게 되었다.

EPH의 형상은 HYSWAS와 유사하지만 수증익이 물수체의 중간이 아닌 상부에 부착되며 3개의 Strut로써 상부 선체와 연결되는 것이 다른 특징이다(Fig. 5-4). 물수체의 부력으로 중량의 50%가 지지되며 나머지 50%는 수증익의 양력에 의하여 지지 된다. 따라서 HYSWAS보다는 상대적으로 큰 수증익을 갖는다.

이 선형의 성능은 일반 수증익선의 부양 속도 영역인 20 - 35노트 범위에서는 큰 저항 Hump가 발생하는데 비해서는 좋고 40노트 이상의 높은 속도 범위에서는 HYSWAS보다 우수한 저항 성능을 갖는 일반적인 수증익선과 HYSWAS선형의 중간적 특성을 갖고 있다(Fig. 5-5).

## (3) USCG 29m Patrol Boat

미국 해안 경비대에서 고성능 경비정 개발의 일환으로 수행한 타당성 연구에서 기존의 29m급 경비정 선체에 출력이 큰 주기관과 Z-Drive의 추진 시스템으로 교체하고 가는 Strut와 단동 물수체, 전물형 수증익을 부가한 HYSWAS선형으로 변경하면 다른 기능의 저하없이 속력과 내항성능을 향상시키고 항속거리를 증대시킬 수 있음을 밝혔고 다시 USCG의 요청으로 DTRC에서 상부 선체를 포함한 차세대의 29m급 복합 지지 순

시정을 설계하였다.

#### (4) 복합 지지형 PHM

현재의 475톤급 PHM선체에 수중익 시스템, 추진시스템을 변경하여 추진효율과 내항성능을 50%이상 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

#### (5) Hybrid Hydrofoil Combatent

2,000톤 - 3,000톤급 구축함의 내항성능과 정수 및 파랑중에서의 저항.추진 성능을 일반선박 혹은 SWATH보다 향상시키는 개념이며 중량의 70%는 물수체의 부력으로, 30%는 수중익 양력으로 지지한다. 추진시스템은 Z-drive형식이나 전지구동방식으로 물수체 선미의 프로펠러를 작동시키는 방안이 검토되고 있다.

이 선박은 기존 선박보다 내항성능, 항속거리, 조종성, 40노트 이상에서의 고속성능이 우수한 반면 단점은 거의 없다.

#### (6) HH-MDV(Hybrid Hydrofoil Multimission Deployable Vehicle)

다목적 함정을 개발하기 위하여 수행한 개념설계로서 수중익은 일반 항공기의 날개 형상과 유사하며 주수중익은 무게중심 바로 앞에 위치하고 소요양력의 67%를 발생한다 (Fig. 5-6) Sea State 3에서 45노트의 최대속력을 낼 수있고 Sea State 4 - 5에서도 임무 수행이 가능하다. 보조 수중익은 선미 Propeller의 약 5.4m 앞에 위치하며 소요양력의 33%를 발생한다.

이 선박의 특성은 다음과 같다.

Displacement	423 ton
Upper Hull Overall Length	37.8 m
Breadth	8.53 m
Lower Hull Length	2.44 m

Breadth	6 m
Depth	2.13 m
Displacement	abt 160 ton
Strut, Length	27.43 m
Thickness	0.91 m
Displacement	abt 40 ton
Foil Span	13.72 m
Pay Load	46 ton
Prime Mover	Allison 571 KF * 2Sets ( 7,600 Kw * 2Sets )

(7) HH-MSV( Hybrid Hydrofoil Multimission Support Vehicle )

HH-MDV선과 형상 및 성능은 비슷하며 크기가 조금 더 크다. 주 수중익은 무게 중심 바로 앞에 위치하며 67%의 양력을 발생하고 보조 수중익은 Propeller보다 약 5.4m앞에 있으며 33%의 양력을 발생시킨다.

이 선박의 특성은 다음과 같다.

Displacement	524 ton
Upper Hull Overall Length	43.28 m
Breadth	8.53 m
Lower Hull Length	44.50 m
Breadth	2.44 m
Depth	2.13 m
Displacement	abt 210 ton
Foil Span	15.24 m
Pay Load	92.5 ton



Prime Mover	Allison 571 KF * 2Sets
Strut, Length	35.05 m
Thickness	0.91 m
Displacement	abt 50 ton

## 나. 상업용 복합 지지 선박

### (1) HYCAT(Hydrofoil Catamaran)

이 선형은 Calkins에 의해 제안된 개념으로 Catamaran 선수,선미부의 양 선체간에 수중익을 부착하여 부력과 양력으로 중량을 지지한다. 선체의 단면형상은 Multi-Stage Deep " V "형태로 선저부의 기울기는  $60 - 80^{\circ}$ , 상부는  $40 - 45^{\circ}$ 의 기울기로 되어 있다. Foilborne상태로 항주시 선체는 가늘고 선저 기울기가 큰 선저부분만 수면 아래로 잠기며 수면위의 큰 용적의 선체에 의하여 Heave, Pitch, Roll에 대한 안정성을 갖게된다(Fig. 5-7). 선저부의 용적이 적어 수중익을 좀 더 깊이 잠기게 할 수 있고 수면 위의 작은 선저 기울기를 갖는 선체부에서 활주효과를 얻기때문에 상대적으로 작은 수중익으로도 용이하게 선체를 부양시킬 수있다. 이 선박은 전물 수중익선보다 수중익 시스템의 구조가 단순하기 때문에 경제적으로 내항성능과 저항성능을 향상시킬 수 있다. 또한 선체가 대형 선형일 경우 양 선체사이의 흐름이 교란되어 선수 어깨부에서 선수파가 생성되므로 비대칭 선형을 사용하였으며 추진기는 수면아래로 잠기는 가는 선체형상 때문에 물분사 추진기를 사용할 수 없어 고정피치프로펠러를 사용하는 것으로 계획되었다.

이개념을 응용하여 설계된 선박의 특성은 다음과 같다.

L O A	24.6 m
B	9.1 m
Displacement	102 ton

Passenger	302 P
Main Engine	GM 16V 149Ti * 2 Sets ( 1,600HP * 2Sets)
Propulsor	FPP

## (2) Catafoil

이 선형은 Foil-Assisted Catamaran으로 Gee에 의하여 제안된 개념이며 50노트까지의 속력을 목표로 하고 있다. 이 선박은 HYCAT과는 달리 선체 단면형상이 대칭이며 선수부의 Entrance각이 작고 선미부의 선저 기울기는 아주 작다(Fig. 5-8). 건조 완료된 36m급 선박의 주기관은 출력이 2,000Kw인 디젤기관 2기가 설치되었으며 모형 시험 결과 만재상태에서 최대속력이 수증익이 없는 경우 34노트에서 수증익 부착시에는 45노트까지 되었다. 내항성능 모형시험에서는 최대파고 1.85m인 경우 최대속력은 37.5노트까지 유지 가능하고 무게 중심위치에서 수직 가속도는 0.08g로 장시간 운항하는 선박의 허용기준인 0.2g보다 훨씬 낮았다[5-8]. 건조후 실선 시운전에서 속력은 모형 시험 결과와 일치하는 것으로 나타났으며(Fig. 5-9) 내항성능 시험은 수행되지 못했다 [5-9].

## (3) HC(Hydrofoil Catamaran)Series

이 선형은 Miyata 등에 의하여 제안된 개념으로 선수부는 아주 가늘고 예리한 단면 형상을 하고 있으며 따라서 흘수는 깊게 되어 있다[5-10]. 수증익의 양력으로 중량의 90%를 지지하는 것으로 계획하고 있으며 수증익의 갯수는 선박의 크기에 따라 달라진다(Fig. 5-10). 배수량 2,000톤 선박인 HC 2000의 모형실험에 사용된 수증익의 단면은 Camber비가 2.5% 수정된 NACA16-012 를 사용되었으며선수에 Chord 2.4m인 수증익2개, 선미에 Chord 2.8m인 수증익2개를 설치하였다[5-11].

#### (4) HYSWAS Ferry

물수체의 부력으로 중량의 80%, 수중익으로 20%를 지지하는 선형으로 Mohr와 Betram에 의하여 제안되었다[5-12,5-13]. HYSWAS의 단점인 저속과 정지중에서 선체의 불안정성을 보완하기 위하여 양 선측에 보조 선체를 두어 유압 시스템으로 상하로 움직일 수 있도록 고안하여 Foilborne 상태에서는 수면위로 들어 올리도록 하였다(Fig. 5-11).

#### (5) Trifoil

호주의 Incat사에서 설계한 개념으로 중앙의 주 선체와 양현의 보조 선체로 된 Trimaran에 수중익을 결합한 선형이다[5-14]. 선체의 단면 형상은 매우 가는 "V" Type이며 양현의 선체는 저속과 정지상태에서 안정성을 갖게 한다. 순항 속력이상에서 수중익은 전체 중량의 75%를 지지하도록 설계되었다(Fig. 5-12).

#### (6) TSL-F

화물을 1,000톤 적재하여 50노트의 속력으로 운항 가능한 초고속 화물선을 개발하는 일본의 Techno-Superliner'93사업의 대상 선형이다[5-15,5-16,5-17,5-18]. 이 선형은 연구초기 단계에서는 2개의 물수체, 3개의 수중익과 4개의 Strut로 구성되어 있었으나 (Fig. 5-13)나중에 1개의 물수체, 2개의 수중익과 2개의 주 Strut, 4개의 보조 Strut로 구성되는 선형으로 변경되었다 (Fig. 5-14). 이것은 고속 운항시의 마찰저항을 줄이기 위하여 물수체를 1개로 하였으며 수중익을 3개에서 2개를 줄이면서 수중익의 크기가 증가하여 보조 Strut를 둔 것으로 여겨진다. 2개의 수중익으로 50%, 물수체로 50%의 중량을 지지하는 것으로 설계되었으며 현재 1/20 로 축소된 시험선을 건조하여 실제 해상에서 시험중이다. 이 선박의 대략 주요제원은 다음과 같다.

Length of Upper Hull	80.0 m
----------------------	--------

Length of Lower Hull	85.0 m
Breadth of Upper Hull	30.0 m
Diameter of Lower Hull	5.6 m
Depth	18.6 m
Draft, Hullborne	14.9 m
Foilborne	9.6 m

(7) 현대 45.5m 장거리 고속 수중익 쌍동 여객선

현대중공업(주)에서 개발한 선박으로 Catamaran 선형에 선수, 선미에 수중익을 부착한 Foil-Assisted Catamaran 선형이다 (Fig. 5-15). 이 선박은 300인승 여객선으로 항속거리는 800해리이며 주요제원은 다음과 같다 [5-19,5-20,5-21].

Length Overall	45.5 m
Length Waterline	42.0 m
Breadth	11.4 m
Depth	5.1 m
Draft	1.6 m
Deadweight	43 ton
Passenger	300 P
Speed Max.	42 knots
Cruising	35 + knots
Range	800 nm

(8) 대우 F-CAT

대우조선공업(주)와 한국 기계연구원 선박.해양공학센터에서 공동개발한 선형으로서

선미에 수증익을 부착한 Foil-Assisted Catamaran선형이다.(Fig. 5-16). 이선박은 40m급과 80m급으로 개발되었으며 40m급은 350인승의 여객선과 250인승, 승용차8대 적재 가능한 카페리가 있으며 주요제원은 다음과 같다[5-22,5-23].

Length Overall	41.8 m
Breadth	9.3 m
Draft	1.5 m
Deadweight	43 ton
Range	800 nm
Speed Max.	40 Knots
Main Engine	2000 Kw * 2Sets

### 2.3 새로운 복합 지지 선형

#### (1) KRISO Design I (Catamaran + Submerged Body + Foil)

쌍동선에 1개의 물수체와 2쌍의 수증익을 결합한 선형으로 물수체가 중량의 50%를 지지하며 수증익이 30%, 양 선체의 부력과 활주효과에 의하여 지지하도록 한다(Fig. 5-17). HYSWAS선형과 유사하지만 상부선체를 쌍동선으로 하여 중량의 일부를 지지하게 하였으므로 저항성능과 내항성능은 다소 떨어지지만 저속 운항상태 및 정지중에서 안정성을 향상시키고 고속 운항상태에서도 자세 제어가 용이한 장점이 있다.

#### (2) KRISO Design II (Mono Hull + Submerged Body + Foil)

HYSWAS 선형으로서 2개의 Strut로 상부 선체와 하부 물수체를 연결한다(Fig. 5-18). Strut의 크기를 가능한 작게하여 저항과 내항성능을 향상 시키고자 하였다. 2쌍의 수증익중에서 뒤에 있는 주 수증익을 크게하여 소요양력의 90%이상을 지지하도록

하며 수증익은 Span보다 Chord를 크게하여 수증익의 유체 역학적 특성보다는 구조 강도에 중점을 둔 형상을 갖도록 하였다.

### (3) KRISO Design III (SES + Foil)

공기부양선의 양 선체를 수증익으로 연결한 HYACS선형으로서(Fig. 5-19) 부양공기 압력에 의한 증량지지율이 60%, 수증익의 양력에 의한 지지율이 20%, 양 선체의 부력과 활주효과에 의한 지지율이 10% 되게한 선형이다.

### (4) KRISO Design IV (SES + Submerged Body + Foil)

공기부양선에 수증익을 부착한 HYACS선형과 물수체를 부착한 SWAACS선형을 합한 것으로서 부양공기 압력에 의한 증량지지율이 40%, 물수체와 양 선체의 부력에 의한 지지율 40%, 수증익의 양력에 의한 지지율이 20%가 되게한 선형이다(Fig. 5-20). 정수중에서 저항성능은 SES보다 나쁘게 되겠지만 파랑중에서의 저항, 내항성능은 보다 우수할 것으로 예상된다.

### (5) KRISO Design V (Catamaran + Stepped Hull)

Catamaran 선형의 바닥을 계단처럼 불연속 형상이 되도록 하여 고속 항주시 침수 표면적을 줄여 저항을 감소하고자 하였다(Fig. 5-21). 여기에 수증익을 첨가할 경우 Miyata등에 의하여 제안된 HC Series와 유사한 형상이 된다.

## 제3절 초고속선의 주요시스템 계획

### 3.1 선형별 주요시스템

초고속선은 제각기 상대적인 우수성과 경제성을 갖고 있는 선박으로 21세기의 해상 수송수단의 고속화 및 다양화에 대응하기 위해서는 선형에 알맞는 주요시스템에 대한 핵심 요소기술 개발이 시급한 실정이다.

시스템종합(System Integration)은 크게 저항.추진기술, 추진기기, 내항성능기술, 운항자세제어 및 조종성능기술등의 요소기술을 이용한 성능설계와 개발선형의 성능을 가장 효율적으로 달성하기 위한 장비등의 최적 선정기법, 조합 및 배치에 관한 시스템 설계에 의하여 구성된다.

지금까지 초고속 여객선으로 각광받고 있는 선형으로는 카타마란선, 표면효과선 및 수중익선으로 이 선형에 설비되는 주요시스템은 부력으로 지지되는 배수량형 선박과는 달리 복합지지방식에 의한 초고속선의 성능을 향상시키기 위한 시스템 구성에 주안점을 두고 계획되고 있다. 따라서 본 절에서는 상기 선형에 대한 시스템설계시 고려해야할 설계기법에 대하여 정리하였으며, Table 5-1에는 초기설계 단계시 초고속선의 시스템 설계시 개념을 정립하기 위한 항목을 나타내었다.

#### 가. 카타마란선

여객수송수단으로 1970년대까지는 수중익선과 공기부양선(ACV)이 주종을 이루었으나, 1980년대에 들어서면서 부터 35노트급의 배수량형 쌍동선(Displacement Catamaran)이 노르웨이를 비롯한 유럽각국에서 건조되기 시작하여 현재 국내에서도 3척이 운항중에 있다. 이 배수량형 쌍동선에 주요시스템으로는 쌍동선 하부에 Extended Foil을 붙여 항해시 과도한 선체운동에 대응하여 속도손실을 줄여주는 장치로 운동감쇄장치

(MDS : Motion Damping System)를 들 수 있다.

(1) 운동감쇄장치(Motion Damping System)

운동감쇄장치는 쌍동형 고속선의 선체운동 특성에 기인하는 증력가속도를 감소시킴으로서 여객의 승선감을 향상시키고, 고속에서의 속도손실을 줄여주는 장치로서 과도한 선체운동에 대응하여 이를 감소시키는 역할을 하는 양력 발생장치인 최소 수선면 쌍동선(SWATH)의 Fin Stabilize와 비슷한 기능을 가진다. 최근에는 전자 기기의 급속한 발전과 함께 이들 시스템에 사용하는 각종 감지 기능소자(Senor)와 제어장치가 고성능 화합에 따라 예전에 비해 훨씬 더 정밀하고 신속,정확한 기능을 갖춘 장비가 개발되고 있다[5-24].

(가) 운동감쇄장치의 구성설비

- o 운동감쇄효과를 발휘하는 포일(Foil)형 단면감쇄장치
- o 종동요(Pitch), 상하동요(Heave), 선수가속도등의 선체 운동특성을 감지하는 센서
- o 센서가 읽어들이는 운동특성을 기억하고 이에 따른 대응책을 지령하는 컴퓨터
- o 감쇄장치를 작동시키는 유압장치등으로 이루어진다.

센서에 의해 선체 운동특성에 기인하는 가속도 또는 각속도를 읽어들이고, 이를 전기신호를 이용해 컴퓨터에 전달하면 컴퓨터는 이에 상응하는 양력을 계산하고, 그 결과를 감쇄장치의 기동부 제어기에 전달하여 감쇄장치를 작동시키는 것이다(Fig. 5-22) 이와같은 운동감쇄장치는 각 동체의 선수 선저부 최대 증력가속도 작용부위에 설치하며, 양현의 운동특성에 맞추어 각각 작동하게 됨에 따라 선체 안정화에 기여하게 되는 것이다.



#### (나) 운동 감쇄장치 시스템 설계시 고려사항

포일형 단면의 감쇄판은 각도에 따른 양력 효과에 대한 면밀한 검토와 함께 작동상의 여러가지 하중 조건에 대해 충분한 강도를 발휘할 수 있도록 하여야 하고 최소중량을 가지도록 한다. 또한 이러한 운동감쇄장치를 설치하고자 할때는 설계과정상 이들의 중량과 아울러 저항증가에 기인하는 속도손실을 미리 검토하는 것이 필수적이다. Fig. 5-23에는 38.8m급 카타마란선의 파고 1.0m-1.5m에서 운동감쇄장치의 효과를 나타내었다[5-25].

#### 나. 표면효과선(Surface Effect Ship)

표면효과선은 호버크라프트의 여객선으로서의 단점 즉 파랑이 큰 해상에서 속도, 조종성 및 내항성이 크게 저하되는 점과 Air Screw에 의한 추진력의 제한때문에 대형선의 개발이 어려운점을 보완한 것이다[5-26]. 이 선형은 여객선용으로 40노트이상의 고속영역에서 가장 경제성이 있다고 판정받고 있으며 부양실내의 공기압력 제어에 의한 내항성 향상에도 실효성이 있어 현재에도 꾸준히 세계 각국에서 건조되고 있으며 국내에서도 개발된 실적을 보유하고 있는 선형이다.

표면효과선의 주요시스템으로는 부양실내의 공기압력을 조절하여 승선감을 향상시키기 위한 운항자세 제어시스템, 선체를 부양시키기 위한 부양시스템 및 측벽의 격벽에 대하여 선수미부분의 공기가 새어나가는 것을 방지하기 위한 Seal시스템 설계로 나눌 수 있다.

#### (1) 운항자세 제어장치(RCS : Ride Control System)

표면효과선과 같이 공기로 부양시키는 선박의 해상상태 및 선박의 동요에 따라 부양실의 공기압력을 조절하여 승선감을 개선하는 것을 목적으로 설비하며, 일반적으로 RCS는 잔잔한 해상상태에서는 작동할 필요가 없으나 파고가 높아지고, 선체의 동요가 심해지면 RCS를 작동시킨다. 초고속 여객선의 경우 공기압력은 전자유압 조절장치

(Micro Processor-Based Electro-Hydraulic Control System)에 의한 Hydraulically Louvre Units의 Vent 밸브 열림정도에 따라 조정되는 시스템으로 대부분 설비되고 있으며 표면효과선에 대한 개발실적이 많은 미국의 Maritime Dynamics사가 그기술을 보유하고 있다.

(가) 운항자세 제어장치의 구성설비

o ECU (Electric Control Unit)

Technical Room에 설비되어 있으며, 모든 정보를 집약하여 Display and Control Unit로 보내어 각 시스템의 중계역할을 수행한다.

o Display and Control Unit

조타실에 설비되어 RCS를 제어하며 표시되는 정보는 다음과 같다.

- Cushion Pressure
- Aft Seal Pressure
- Heave Acceleration
- Hydraulic Pressure
- Trim and Roll

o Vent Valve Override and Positioning

조타실에 설비되며 밸브의 열림정도를 수동으로 조절할 수 있다.

o Cushion Pressure Sensor

부양실내의 공기압력을 감지하여 조타실로 전달한다.

o Vent Valve

Wet 갑판에 설비되며 밸브의 열림정도는 유압구동에 의하여 작동되며, 열림정도에 따라 공기압력이 조절되며 밸브는 승객의 승선감을 개선하기 위하여 매우 빠르게 공기압력을 조절하여야 한다.

o Heave, Trim and Roll Inclining

선박의 Heave, Trim 및 Roll을 감지하여 ECU에 전달한다.

o Hydraulic Actuator and Servo Valve

Vent 밸브의 열림정도를 유압으로 조절한다.

(나) 운항자세 제어장치의 설계시 고려사항

- o RCS는 선박을 지지하는 부양공기압력을 조절하는 것으로 압력은 부양팬에 의하여 조절될 수 있다. 만약에 압력강하가 오랫동안 지속되면 Finger가 분리되든지 Bag이 손상을 받는다. 또한 부양공기압력이 낮으면속력의 손실을 가져오며, 지나치게 높으면 Waterjet Duct내에 공기의 흡입,속도손실 및 연료손실을 발생시키므로 선박의 증량에 비례하여 적당한 부양공기압력을 유지해야한다.
- o 트림은 선미 트림각도를 의미하며, RCS 작동에 큰영향을 미치므로 반드시 선박의 특성에 따라 설정된 각도를 유지하여야 한다.
- o 표면효과선의 로우링은 선박이 좌 또는 우로 기울어진 상태로 운항하면 부양공기의 손실이 많아지며, Waterjet Duct에 Air가 흡입될 우려가 있다.
- o 수직운동가속도는 선박의 수직(상하)방향 움직임의 수치를 나타낸 것으로 RCS의 최종목적은 수직운동가속도를 감소시키는데 있으며, 이 값은 승객의 안락감을 위한 중요한 인자이다. 일반적으로 수직운동가속도의 값은 0.16g 아래로 유지해야 한다.
- o 표면효과선의 특징중에 하나는 부양실내의 Helmholtz형의 공명현상이다. 이러한 현상은 소위 "Cobblestone"이라 불리는 승용차가 기복이 심한 돌밭 위를 달릴때 같은 상하운동이 일어난다. 공명의 현상은 통상 작은 주파수에서 일어나지만 200톤급의 30m 길이의 표면효과선에서는 파장이 10m에서도 일어날 수 있으므로 설계시 이를 고려한 시스템구성이 필요하며 궁극적으로 파고가 높은 악천후 상태에서는 속도를 줄이는 것이 최선의 방책이다. Fig. 5-24에는 표면효과선의 운항 자세 제어시스템 구성의 예를 나타내었다[5-27].

## (2) 부양시스템(Lift System)

표면효과선의 부양시스템은 선박의 만재배수량의 감당정도 및 부양실의 면적에 따라 시스템을 구성하는 부양기관의 용량을 산정하게 된다. 실적선을 참고로한 초고속 여객선의 경우의 부양시스템의 구성은 다음과 같다.

### (가) 부양시스템의 구성설비

- 부양기관 : 기관실내의 좌우현에 설비되며 주부양팬을 구동한다.
- 주부양팬 : Centrifugal , Double Inlet 형식
- 선미부양팬 : Centrifugal 형식으로 유압모터에 의하여 구동된다.

부양시스템은 기관실내의 좌우현에 설비된 부양기관에 의하여 부양팬을 구동하여 만재배수량의 80%이상을 지지할 수 있는 소요공기량이 Wet 갑판의 닥트를 통하여 공기부양실로 송풍되어 공기부양실의 주부양압력을 유지하도록 구성되며, 선미부분에는 유압모터에 의한 부양팬을 구동하여 선미 Seal압력을 공기부양실의 압력보다 약 10% 정도 높게 유지하여 부양실의 공기가 선외로 누출되는 것을 방지하는 시스템으로 계획한다.

### (나) 부양시스템의 구성설계시 고려사항

- 추진시스템과 부양시스템과의 관계는 선박의 전체중량중에서 공기로 부양할 비율을 어떻게 정해지는가에 따라 달라지므로 이를 고려한 추진기관과 부양기관의 소요동력을 결정해야한다[5-28].
- 부양공기의 압력의 저항이 최소화하는 범위로 닥트배치를 고려한다.
- 부양팬 시스템은 소요동력이 최소화되도록 하고, 여객 및 화물의 적재공간을 넓히기 위하여 차지하는 공간을 최소가 되게 배치한다.

### (3) Seal 시스템

공기부양 압력에 의하여 선체를 지지하는 표면효과선의 경우 Seal 또는 Skirt System 설비를 갖추고 있다. Seal 시스템은 초기에는 부가물로서 취급 되었으나, 최근에는 Stability와 Control면에서 가장 중요한 요소로 해석되고 있다[5-29].

#### (가) Seal 시스템의 분류

공기부양선의 선수미 부분에 설비되는 Seal의 형태에 따른 분류 및 특성은 다음과 같다.

##### o Trunked Type

Double layer skirt을 노즐형상의 체인 또는 strap이 지지하고 있으며 공기는 Air curtain을 형성하며 통과하는 형식으로 Sea State가 높은 파고에서 유리하다.

##### o Convoluted Type

이 형식은 근본적으로 Trunked Type과 비슷하며 Flexible Material에 의한 수직 Panel이 분리된 구획을 갖는 차이점이 있으며 내부 Panel에 의하여 공기의 손실이 적어져서 효과적이다.

##### o Jetted Type

Flexible Jet Nozzle을 Bag Skirt하부에 붙이는 형식으로 후에 노즐의 형태에 체인을 붙이는 Type이 개발되었으며 과도한 압력에 의하여 Seal의 손상이 발생하기 쉽다.

##### o Segmented Finger Type

Finger가 독립적으로 움직임으로서 Hovercraft의 Single Plenum Chamber에 자주 사용되는 형식으로 독립적인 Finger 시스템으로 Seal의 손상을 줄일 수 있으며 손상시 쉽게 대체할 수 있다.

##### o Bag-Finger Type

구조는 상부는 Bag Type이고, 하부는 Segment Finger로 되어 있으며 공기는 Lift Fan에 의하여 유입되며, Holes을 통하여 Segment Finger로 공급된다. 초기에는 Finger length가 Cushion Depth의 50%정도이었으나, 최근에는 Finger보강재 감소 및 저항감소로 인하여 75%-100% 정도로 증가하고 있다.

#### o Plenum Chamber Type

Flexible Tube가 Ballel 형식으로 되어 있으며 공기의 공급은 Lift Fan에 의하여 연속적으로 공급되어야 한다.

### (나) Seal 시스템설계시 고려사항

#### o Seal System의 선정

선수는 Bag Type, 선미는 Segment Finger Type이 많이 사용되고 있으며 이러한 시스템은 미국 해군에서 처음 개발된 것으로 초고속 항해시 Stability와 Ride Control면에서 유리하며, 현재는 초고속 SES선에 대부분 적용되고 있다.

#### o Seal의 재질

Seal의 재질은 선형에 따라 Seal에 작용하는 복합하중, 압력, 가속도등을 고려하여 선택되어야 하며, 종류로는 Chain Mail, Glass-Reinforced Plastics, Sheet Rubber, Elastomer-Coated Fabrics 및 최근에 개발된 Rubber-Coated NylonFabric등이 있으며, Seal의 재질은 Tensile Strength와 Tear Strength 면에서 우수한 제품을 선정해야 하며 이러한 점에서 Nylon Fabric 계통이 우수하여 현재 상업용 초고속선에 많이 이용되고 있다.

#### o Seal 재질의 수명

Seal의 수명은 대체로 재질의 결합보다는 응력집중부인 Web 접합부와 볼트로 결합된 부분의 응력집중과 피로수명의 한계를 넘어선 부분에서 발생된다. 또한 Bag-Finger System인 경우 Finger의 수명은 속도와 밀접한 관계가 있는데 속도가 2배로 증가한 경우 Finger의 수명은 1/10배로 감소한다.

#### 다. 수중익선

수중익선은 19세기말 부터 연구되어 여객선으로는 이태리의 Rodriguez사의 PT-20 수중익선이 1956년에 최초로 건조되었다. 과거의 이 선형은 단동형에 수중익을 부착한 선형이 주종을 이루었으나, 최근에는 쌍동선에 수중익을 부착한 수중익 쌍동선이 여객선으로 등장하고 있다. 수중익 쌍동선은 선체의 형상, L/B비, 양력장치 배치의 조합, 터널(Tunnel)부의 수면상의 높이 및 추진장치 등이 비교적 자유롭게 선택이 가능해서 그것만으로도 여객정원, 속력등 설계사양을 결정하는데 광범위한 설계자료와 경험이 필요하며 수중익 쌍동선의 특징과 가능성으로는 수중익선중의 몇개의 시스템은 이미 실용화되어 있고 완성도도 높은편이다. 그러나 여러가지 이유에서 이들의 대형화가 문제시 되어 왔는데 가장 중요한 이유로는 대형 선체를 부양시키기 위한 수중익 면적이 부족하며 형상시스템이 대형화되어 있지 않는 점이다. 수중익의 양력은 부력과 공기압등 다른 지지력에 비해 큰 변화를 제어하기 쉬운 힘으로 수중익 쌍동선 경우도 선체중량의 80%이상을 수중익 양력에 의하여 지지되며 제어시스템의 기준이상 된다면 높은 파랑중에서 운동성능이 우수하다고 할수 있다. 수중익 쌍동선의 설계시 주요시스템으로는 Strut와 Foil 및 자동자세 제어장치(ACS)를 들 수 있다.

##### (1) Strut 및 Foil

전물 수중익선의 경우 익주중은 Foil에 의하여 발생하는 양력에 의하여 선체를 수면상으로 들어올려 항해한다. Foil과 선체사이에는 Strut이라 불리는 익형단면을 가진 지주로 연결되어 있다. 전부 Strut는 1개로 Foil과 잘 맞게 역T형으로 결합되어 있다. 후부 Strut는 Strut를 하부로 내린 상태에서 해수흡입구를 형성하는 중앙의 Strut 1개와 좌우현측의 Strut 2개가 Foil과 연결되어 있다(Fig. 5-25). 수심이 얇은 상태에서 항해시에는 양방의 Strut와 Foil를 유압 Accumulator로 끌어 올려서 항주하는 것이 가능하다. 특히 정수중 조종성능을 중요시하는 경우에는 전부 Strut만을 하부로 내려서 항해

할 수도 있으며 전부 Strut를 하부로 내린 상태에서 항해할 경우 이것을 이용하여 통상 선박의 타(Rudder)과 같이 회전시킬 수 있고 정주중에는 타로서 그리고 익주중에는 경사균형에 맞고 Side Force가 거의 가해지지 않도록 연구되고 있다. 또한 수중부유물 및 대형 수중생물과 만일 충돌할 때에는 Strut와 선체를 보호할 목적으로 전부 Strut에는 충돌에너지를 흡수할 수 있는 Shock Absorber, 후부 Strut에는 Sheer Beam이 각각 설치되어야 한다. 또한 안정성면에서도 충분히 고려되어야 한다.

## (2) 자동자세 제어장치(ACS)

부력에 의해 전중량을 지지하는 일반선과는 달리 양력으로 선체를 지지하는 선박에 있어서는 자동자세 제어장치(ACS : Automatic Control System)은 필수 불가결한 시스템으로 없이는 쌍동선 특유의 뛰어난 승선감이 없다고 해도 과언이 아니다[5-30]. 일반적으로 선박의 운동은 다음과 같이 3개의 직선운동과 3개의 회전운동으로 나누어진다.

- o Surging · 전후 직선운동
- o Swaying : 좌우 직선운동
- o Heaving : 상하 직선운동
- o Pitching : 길이방향의 회전운동
- o Rolling : 폭방향의 회전운동
- o Yawing : 수평면상의 회전운동

실제선박은 이들이 복잡하게 운동되고 있으나 이가운데에서 Surging과 Swaying를 제외한 주요한 4개의 운동을 검지하고 Control Surface라 불리는 6개의 제어익면(전부Strut, 전부Flap, 4개의 후부Flap)을 제어하고 있어서 일반선과 비교할때 승선감면에서 뛰어나다고 할 수 있다. 이 ACS는 자동적으로 선박의 자세를 일정하게 유지하기 위한 Sensor로서 선체의 수면상의 높이를 검지하는 고도Sensor와 승선감을 개선하기



위하여 선체의 피치각 및 트림각을 검출하는 연직자이로로 구성되어 있다. 이 가운데에서 선체의 자세에 직접 연관하는 Sensor 및 ACS전원은 2중 시스템으로 구성되어 있어 하나의 Sensor 및 ACS전원이 고장나도 안전하게 항해할 수 있도록 구성되어 있도록 하는 연구가 진행되고 있다. Sensor의 신호는 끊임없이 컴퓨터로 보내져 타(Rudder)와 항로결정 레버의 신호와 비교되어 컴퓨터가 Real Time으로 최적 자세제어를 계산해 Flap 및 전부 Strut를 거동하는 유압 Accumulator에 대해 최적 자세제어에 알맞는 신호를 출력해서 Sensor의 자세를 조정한다.

### (3) 수중익 쌍동선의 설계시 고려사항

엄정한 중량 및 중심의 관리, 파랑하중의 정확한 예측과 강도해석, 특수 추진축 배치에 자세제어를 조합한 고도의 설계건조기술이 필요하며 국내 수중익 쌍동선의 실적이 없는 만큼 Foil 단면설계를 시작으로 주요시스템 개발을 위한 연구가 수행되어야 한다. Fig. 5-26은 ACS의 구성계통도를 나타내었으며, Fig. 5-27은 수중익 쌍동선의 Motion Sensor의 감지기능에 대하여 나타내었다[5-31].

## 3.2 계선.계류설비

일반 상선에서 계선.계류설비를 하는 목적으로는 대양에서 선박의 정박, 좁은 수역에서 선수의 회전 및 항내등에서 타선박 혹은 물체와의 접촉을 피하기 위한 선박의 고정 등에 사용되고 있으나, 초고속선의 경우에는 조종성능이 뛰어나므로 좁은 수역에서 선박의 회전에 사용되는 경우는 적고 오히려 항구의 접안시설을 고려한 선측의 Fender설비 및 Waterjet 추진기의 보호대(Protection)설비등에 주안점을 두고 계획하여야 한다.

이에 따라 초고속선의 계선.계류설비 계획시에는 일반 상선과는 다른 개념으로 Fig. 5-28에서와 같이 의장수(Equipment Number)계산으로부터 시스템 구성을 고려해야 한다. 최근의 한국선급(KR)에서는 초고속선의 계선.계류설계시 적용할 수 있는 Provision

Rule 로서 “고속 경구조선 규정”[5-32]을 마련하였다(Table 5-2).

가. 의장수(Equipment Number)계산

계선시 작용하는 풍압은 선체의 흘수선상의 측면적 및 종단면적에 비례하고 조류의 영향은 흘수선 하부 선체의 용적과 침수표면적에 비례한다. 따라서 의장수는 계선시 선체에 작용하는 외력의 크기를 나타낸것으로 초고속선의 경우에는 고속항주시 전통갑판(Upper Deck)상부의 구조물이 받는 풍압저항이 크므로 이를 고려하여 의장수(E.N)는 다음식으로 계산된다.

$$E.N = \Delta^{2/3} + 2BH + 0.1A$$

여기서,

$\Delta$  : 하기 만재배수량(tons)

B : 형폭(m)

H :  $f + \sum h_i \sin\phi$

f : 만재흘수선으로 부터 최상층 전통갑판 상면까지의 수직거리(m)

$\sum h_i \sin\phi$  : 최상층 전통갑판으로 부터 폭이 B/4를 넘는 선루 또는 갑판실의 최상부까지의 높이(m)와 선수부각도(deg.)를 곱한 값(m)

A :  $f L + \sum h^l$

L : 수선간 길이(m)

$h^l$  : 최상층 전통갑판으로 부터 폭이 B/4를 넘고, 높이가 1.5m이상인 선루 또는 갑판실의 높이(h")와 길이(l)를 곱한 값(m<sup>2</sup>)

즉, 초고속선의 의장수값은 모든 주요치수가 같은 조건하에서 최상층 전통갑판상의 구조물이 둔각으로 갈수록 작아진다. 따라서 초기에 선형계획시 풍압저항 감소측면에

서 조타실(Wheel House)부분의 형상을 Sharp하게 할 필요가 있다.

#### 나. 앵커(Anchor)의 선정

현재 초고속선에 적용되는 앵커의 수는 “ 고속 경구조선 규정 ”에 따라 1개의 앵커로 설비할 수 있으며 앵커의 형식은 파지력(Holding Power)에 따라 일반 상선에서 많이 사용되는 Stockless Anchor인 JIS 형식 앵커와 고속선에 많이 적용되는 High Holding Power Anchor로서 Danforth Anchor 및 특수선에서 사용되는 Super High Holding Power Anchor로 나눌 수 있다. Table 5-3에는 앵커의 종류에 따른 단위 중량의 파지력[5-33]을 나타내었다.

##### (1) Danforth Anchor

국내법규 및 규정에서는 Danforth Anchor에 대한 적용기준은 앵커의 중량 125kg까지의 길이가 30m 미만인 선박으로 제한되어 있다. 그러나 초고속 여객선은 선박의 길이가 30m 이상인 경우가 대부분이므로 이러한 경우에는 “ 고속 경구조선 규정 ”에 맞도록 의장수를 계산한 다음 Danforth Anchor를 적용할 수 있다. Danforth Anchor를 적용하는 경우 JIS 형식의 Stockless Anchor와 비교하여 다음과 같은 장단점을 고려하여 설비하여야 한다.

##### ○ 장 점 :

- 같은 의장수에서 앵커자체의 중량을 경감 시킬 수 있다(25%감소).
- 앵커와의 연결방법을 앵커체인 및 앵커로우프를 사용할 수 있으므로 전체 Anchoring System구성시 중량경감 효과가 크다.
- 경우에 따라 앵커체인 및 앵커로우프를 체인로커에 적재하지 않고 앵커윈치에 감아놓을 수 있다.

○ 단 점 :

- 국내에는 Danforth Anchor에 대한 사용 예가 적어 큰 중량의 경우에 공급에 어려움이 있다.
- Danforth Anchor를 사용할 경우 앵커체인을 10m 이상을 연결하게 되어 있으므로 Hawse Pipe의 배치에 영향을 줄 수 있다.
- Stockless Anchor와 비교하여 Stock길이가 크므로 Hawse Pipe의 배치에 따른 갑판상의 높이를 고려해야 한다.
- 125Kg이상의 Danforth Anchor를 사용 할 경우에 내력시험 및 제조법 승인등 검사규정 승인을 받아야 한다.

초고속선에 Danforth Anchor를 설비한 경우와 Stockless Anchor를 설비 한 경우를 비교하여 같은 의장수에서 Danforth Anchor를 설비한 경우가 Fig. 5-29에서와 같이 중량면에서 2.5 - 3.8배 정도 우수하며, 설비면에서 체인로커를 설비하지 않아도 되는 등 장점을 가지고 있으나, 아직까지 사용실적 및 큰 중량(125 kg이상)의 Danforth Anchor의 파지력 성능 시험자료가 없어 한국선급(KR)에서 주저하고 있는 실정이다.

(2) Stockless Anchor

국내에서 일반적으로 상선에 사용되고 있는 Stockless Anchor 형식의 대표적인 것으로는 JIS(Japanese Industrial Standard) 형식으로 초고속선에 적용하는 경우에는 다음과 같이 Danforth Anchor와 비교하여 장단점을 가지고 있다.

○ 장 점 :

- Anchoring System 구성이 간단하여 갑판상의 배치가 용이하다.
- 무게가 가벼운 중량부터 큰중량(18.5tons)까지 중량별로 구분되어 있어 의장수가 큰 대형 초고속화물선 계류설비시 사용할 수 있다.

- 같은 무게의 Danforth Anchor와 비교하여 Stock의 길이가 짧아서 Hawse Pipe의 배치가 용이하다.

o 단 점 :

- 체인로커 및 체인파이프가 필요하므로 중량이 증가하며, 선수부배치에 영향을 줄 수 있다.
- Danforth Anchor에 비하여 파지력이 떨어진다.

JIS 형식의 Stockless Anchor는 갑판상의 배치 및 의장수가 큰 경우에 사용할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 중량경감을 요구하는 초고속선의 계류설비에는 부적절하다.

### 3.3 공기조화설비

최근에 초고속 여객선의 여객실 환경이 고급화되어감에 따라 승객과 승무원에게 쾌적하고 위생적인 거주환경을 제공하는 공기조화설비의 중요성이 강조되고 있다. 초고속 여객선의 공조구역(Air-conditioning Space)은 여객실과 조타실을 대상으로 하며 통풍설비는 거주구의 외측구조가 Weather 또는 Water Tight 구조로 창문이나 출입문을 통한 자연통풍은 기대할 수 없으므로 대부분의 경우에는 강제통풍 방식에 의하여 설비되고 있다. 본 절에서는 초고속 여객선의 공기조화장치 부하계산시 고려해야될 사항과 발전기의 용량을 경감시킬 수 있는 시스템구성에 대하여 기술하였다.

#### 가. 공기조화장치 용량계산

공기조화장치의 용량을 계산하기 위한 부하계산시 고려해야될 사항은 다음과 같다.

o 설계온도조건(Design Temperature)

선박이 취항하는 계획항로에 따라 실내외 온도,습도를 결정해야 하며 실내온도 및

습도는 대부분의 승객이 쾌적함을 느낄 수 있는 상태로 건구온도 24도 - 26도, 상대 습도 40% - 50%로 계획한다.

o 태양열부하(Solar Heat Loads)

일반 상선의 경우에는 유리창를 통한 열의 출입을 적벽과 같이 계산되나, 초고속 여객선의 경우에는 유리창의 면적을 고려한 부하계산이 필요하다[5-34].

$$\Phi_s = \sum (A_v * K * \Delta T_r) + \sum (A_g * G_s)$$

여기서,

$\Phi_s$  = 태양열부하 (Kcal/hr)

$A_v$  = 태양복사열을 받는 표면면적(m<sup>2</sup>)

$K$  = 열관류율(Kcal/m<sup>2</sup>h°C)

$\Delta T_r$  = 초과온도 (°C)

$A_g$  = 태양복사열을 받는 유리면적(m<sup>2</sup>)

$G_s$  = 유리면적당 열의 취득(W/m<sup>2</sup>)

o 인체부하(Personal loads)

여객실내의 거주하는 승객은 앉아서 휴식하는 상태로 현열 및 잠열을 계산 기준으로 고려한다.

- 현열(Sensible Heat) : 55 W

- 잠열(Latent Heat) : 80 W

o 공조구역에 공급해야될 공기량(supply Air) : 다음 중 가장 큰 값으로 결정한다.

- 냉.난방시 계획된 실내상태를 유지하기 위한 풍량

- 규정에서 요구하는 신선외기 도입량을 만족시킬 수 있는 풍량으로

25m<sup>3</sup>/Person/Hour이상으로 계획하며 부족시 급기량을 증가 시킨다.

- 규정에서 요구하는 환기횟수(=풍량(m<sup>3</sup>/h) / 실용적(m<sup>3</sup>))만족시킬 수 있는 풍량

으로 계획하며 여객실의 경우 10회 이상으로 한다.

#### 나. 공기조화장치 시스템구성

공기조화설비는 공조방식에 따라 다음과 같이 구분되어 진다.

##### o Central Station 방식 ·

이 방식은 공기를 공급부,냉각부,가열부등을 하나의 Unit로 묶어서 그것을 기관실에 설치하여 공기를 송풍다트를 통하여 공조구역에 보내는 방식으로 대부분의 선박의 경우에 사용되고 있다

##### o Terminal Reheat 방식 :

이 방식은 냉각시 Central Unit에서 냉각코일에 의하여 냉각, 감습하고 난방시에는 혼합공기를 예열기를 통하여 가열한 후 보내는 방식으로 작은 구획별로 보내는 방식으로는 자주 적용된다.

##### o 2중 닥트방식 :

이 방식은 단일 닥트에 비해 공기조절 효과울 쉽게 하기 위하여 냉난방 공기를 따로 보내어 각구획의 객실마다 설치된 습도 조절장치에 의하여 공조되는 방식으로 닥트 무게를 고려해야 한다.

##### o Package Unit 방식 :

이 방식은 압축기, 응축기, 증발기, 송풍기 및 전동기를 하나의 Unit에 설치된 방식으로 독립된 구획 및 용량이 작은 선박에 주로 적용된다.

초고속 여객선의 경우에는 상기에서 언급된 시스템구성의 장단점을 분석하여 설치하여야 하며 또한 증량경감을 고려한 설비, 난방시의 발전기 용량을 감소시키는 설비 및 조작성이 편리한 설비로 계획하여야 한다. Fig. 5-30에서는 난방시의 Heating Coil를 사용하지 않고 Main Engine의 냉각수를 이용하여 발전기의 용량감소 및 증량을 감소시키는 방안을 나타내었다.

### 3.4 여객실설비

초고속 여객선의 여객실 내부배치 및 장비의 선정은 승객들로 하여금 첫 인상의 이미지를 평가받는 부분으로 어떤 의미에서는 선박이 갖는 조선공학적인 성능보다 중요한 설비요건의 하나이다. 여객실 설계시 고려해야될 사항으로는 각종 의장품 및 내장재를 미려하게 설계하여야 하며, 화재안전을 위하여 각종 내장재의 선정은 난연 및 불연성 재질로 하며 중량 경감면에서도 기여할 수 있도록 한다. 이러한 관점에서 최근의 여객선 내부설계시 중요시되고 있는 의자배치 및 구조, 유리창배치에 대하여 언급하였다.

#### 가. 의자배치 및 구조

여객선의 개념설계시 여객 수송능력을 감안한 의자의 배치는 선체 주요부재의 간격을 고려하여야 하며 또한 짧은 시간내에 많은 승객을 신속하게 탑승하기 편리한 배치로 한다. 최근에 건조되는 여객선 의자배치는 여객실의 면적에 따라 3-5-5-3, 3-4-4-3 및 2-5-5-2 등 여러가지 배치로 설계되고 있다. 현재 여객선에서의 의자의 크기 및 간격을 정하는 관련법규로는 Table 5-4에서와 같이 "선박설비규칙" [5-35]에서 언급되고 있으나 승객의 안전 및 안락함을 주기 위한 설비요건으로는 부족함이 있다. 최근에 이와 관련하여 노르웨이의 NTNF(Royal Norwegian Council for Scientific and Industrial Research) 주관으로 초고속 여객선에서의 승객이 의자에 앉아 있는 경우 충격에 대한 반응의 형태를 계측하여 IMO내에서의 새로운 Safety 기준으로 규정할것을 제의하고 있다[5-36]. Table 5-5에서는 선박충격(Collision)에 따른 승객의 반응 상황을 나타내었다. Table 5-6에는 충격하중(G-Load)에 따른 의자설비 요건에 대하여 나타내었으며 보통 초고속 여객선은 7G - 10G사이에서 운항되고 있으나 승객의 안전을 위하여 15G의 충격하중을 고려하여 설계되어야 한다. 국내에서도 여객선의 의자를 자체 개발하여 설비하고 있으나 좀더 승객의 안전을 고려한 초고속선용 의자의 개발에 관심을 갖어야 할



부분이다.

#### 나. 유리창

초고속선에서의 유리창은 외관상 미려함 물론 항해시 승객이 전망할 수있는 부분으로 설계시 유리창의 크기 및 형태를 고려해야 한다. 특히 조타실부분 및 여객실 선수부분의 유리창의 구조는 폭면처리되는 형태가 많이 있으므로 제작을 감안한 설계가 되어야 한다. 유리창의 재질은 강화유리 등 충격에 강한 재질을 선택해야 하며 또한 채광설비로도 충분한 기능을 갖는 구조로 한다.

### 3.5 구멍.소화설비

초고속선에 적용될 구멍.소화설비는 항해구역에 따라 적용되는 규정이 다르다. 국내 항해에 종사하는 선박의 경우에는 선박안전법내에 "선박구멍 설비규칙 "[5-37]과 "선박소화 설비규칙 "[5-38]에 적용받게 되며, 국제항해의 경우에는 " SOLAS'83 "[5-39]과 아직까지 IMO내에서 계속 수정.보완되고 있는 " Res. A.373(X) "[5-40]에 의하여 적용 받을 수 있다. SOLAS'83 규정의 구멍.소화설비 개념은 선박이 항해중 비상시 자선의 동력에 의하여 생존해야 되는점이다. 즉, 비상시 소화 후 대피해야 되는 개념이고 Res. A.373(X)은 이와달리 비상시 탈출 후 소화하는 개념의 차이에서 출발하게 된다. 이미 유럽 각국에서는 초고속선의 설계시 SOLAS'83적용을 Res. A.373(X)로 대체 적용하여도 인정해주는 추세이며, 이에 따라 국내에서도 시급히 법규 개정작업을 추진할 필요가 있다. Table 5-7에는 국제항해에 종사하는 여객선의 구멍설비에 대한 SOLAS'83과 Res. A.373(X)과의 요건을 나타내었다.

#### 가. 구멍.소화설비에 대한 Res. A.373(X)규정

Res. A.373(X)규정은 현재 IMO내에서 1993년 말까지 개정 작업의 완료를 목표로"

The Code of Safety for High Speed Craft "란 제목으로 계속 수정작업을 진행[5-41] 하고 있는 상황이며, 또한 이 규정은 국가간의 강제 사항이 아니므로 정부 승인하에 선택적으로 받아 들여질 수 있다. A.373(X)의 적용대상선 및 기본개념은 다음과 같다.

o 적용 대상선

- 국제항해에 종사하는 선박
- 12인 이상 450인 까지의 여객을 운송하는 선박
- 피항지로부터 100 n.m이내를 항해하는 선박
- 탱크안에 연료를 넣고 항해하는 동력선

o 기본 개념

- 비상사태 발생시 탈출후 소화하며 안전설비는 항공기의 안전기준을 도입.
- 기본적으로 면제조항은 SOLAS'83 규정에 따른다.
- 피항지로부터 가장 가까운 항로(100 n.m이내)를 선택하여 항해하므로 비상시 선박이 즉시 귀항 및 항로상에 적절한 구명.소화설비를 갖춘다.
- 화재 방지시간( Fire Protection Time)내에 자선의 동력으로 피항지까지 대피할 수 있어야 한다.
- 선박자체의 구난설비, 육상과의 통신설비를 보강한다.

나. 구명설비

Res. A.373(X)의 구명설비에 대한 요건을 분석하면 다음과 같다.

- o A.373(X)에서는 비상시 여객이 탈출할 수 있는 시간(10 Seconds/Person)에 맞도록 모든 구명설비를 가장 빠른 시간내에 편리하고, 안전하게 사용할 수 있도록 규정하고 있다.
- o SOLAS'83에서는 생존정(Survival Craft)에 구명정과 구명뗏목을 각각 설비해야 되나, A.373(X)에서는 구명뗏목을 총 승선인원의 110%을 양현에 배치하여도 되

므로 설비면 및 중량경감면에서 유리하다.

- o 구조정(Rescue Boat)은 생존정 개념에 포함되므로 설비를 하지 않아도 되나, 생존정중 1척은 구조정의 역할을 수행하여야 한다.
- o SOLAS'83에서의 구명부환 수는 선박의 길이에 따라 다르나, A.373(X)에서는 최소한의 수 2개만을 규정하고 있다. 이는 초고속선의 경우 항해시 폭로된 갑판에 승객이 나가는 것을 금지되는 안전조치내에서 허용 가능해야만 한다.

#### 다. 소화설비

초고속선의 소화설비 구역으로는 크게 Major, Moderate 및 Minor 구역으로 나눌 수 있으며, Major구역으로는 화재발생시 가장 위험한 기관실 및 제어실등이 해당되며, Moderate 구역은 승객이 탑승하는 여객실, 창고이며, Minor 구역으로는 폭로된 갑판에 설비되는 구조물로 구분될 수 있다. Res. A.373(X)규정을 중심으로 초고속선의 소화설비 계획시 고려해야될 사항은 다음과 같다.

#### o 방화설비

초고속선에 사용되는 선체의 재질은 불연성 재질을 사용하는것을 원칙으로 하며 현재 대부분의 초고속선은 유리섬유인 FRP와 알루미늄을 사용되고 있다. 하나의 화재구역에서 다른 구역으로 전달되지 않도록 하는 주수직구역(Main Vertical Zone) 구분은 40m를 넘지 않도록 하며, 그 경계는 불연성 재질을 사용한다.

#### o 방화구역 (Fire -resisting Divisions)

방화구역은 가능한 한 불연성재질을 사용하여야 하며, 주관청에서 승인된 내화성 재질을 사용할 수있다. 이 구역의 재질은 표준화염시험을 통하여 30분이상 태워도 화염 및 연기가 통로를 통하여 번지지 않는 것으로 하며 이는 화재시 생존정에 승선하기 위한 필요시간의 3배와 부가하여 초기에 화재를 진화시킬 수 있는 시간 7분에 근거를 두고 있다.

o 격벽 및 천정(Ceiling)

격벽 및 천정은 불연성재질의 사용을 원칙으로 하며, 표면은 가연성재질을 사용하  
되 두께가 1.5mm를 넘어야 한다.

라. 화재탐지 및 구획소화설비

최근의 초고속선의 기관실내에는 항해시 승무원이 거주하지 않는 경우가 많다. 이에  
따라 감시용 설비인 CCTV(Closed-circuit Television)를 설비하여 조타실에서 탐지  
후 화재시 자동으로 소화되는 등 첨단설비로 계획되고 있다. 이에 따른 Res.  
A.373(X)규정에서 언급된 화재탐지 및 소화설비는 다음과 같다.

o 화재탐지 (Fire Detection)

- 조타실에서 자동으로 화재탐지할 수 있는 설비 및 제어도 원격으로 조작할 수  
있는 설비를 하여 한다.

o 구획 소화설비

- 거주구역과 제어실(Control Room)에는 휴대식 소화기를 설비한다.
- 주관청에서 승인한 물소화펌프(Water Fire Pumps)를 설비한다.
- 또한 다음의 설비중 한가지를 선택하여 설비할 수있다.
  - 수동 및 자동으로 조작할 수 있는 Fixed Water-spray System
  - Fixed Gas Fire Extinguishing System
  - High Expansion Foam System
  - Semi-portable Fire Extinguisher \* 2개

### 3.6 선내전원 시스템

선내전원 시스템은 선박의 정상항해시 선내에서 수요되는 전력을 공급하는 주전원장치와 주전원장치의 고장으로 전력공급이 불가능할때 선내의 수요전력을 공급하는 비상전원 장치로 대별된다. 주전원장치는 일반적으로 디젤엔진 구동 교류발전기를 선급규칙에서 요구하는 적정용량으로 2대를 설비한다.

비상전원장치는 자기 기전식의 발전기나 축전지를 설비한다. 초고속선의 경우 본 시스템 계획시 특히 유의해야 할 사항은 안정정 전원공급과 발전기 출력의 최소화에 의한 증량경감이다. 이를 위하여 발전기 선정기준을 검토하였다.

#### 가. 발전기 선정기준

##### (1) 발전기의 정격

발전기의 사용조건은 항해시, 출입항시, 작업시 및 정박시로 구분하며 각 경우 발전기의 정격출력은 발전기의 실수요전력 이상이 되도록 검토한다. 각 설비 기기의 시스템은 효율, 부하율, 부동율을 검토하여 집중 혹은 분산시스템을 선정한다. 발전기의 실수요전력은 다음과 같이 계산된다.

$$P_G = \sum P_c + \sum P_i / X \quad [5-42]$$

여기서,

$P_G$  = 발전기의 실수요전력 (KW)

$\sum P_c$  = 연속부하의 수요전력 합계 (KW)

$P_c$  = 설비기기의 정격출력 \* 부하율/기기의 효율 (KW)

$\sum P_i$  = 단속부하의 수요전력 합계 (KW)

$X$  = 부동율

$X > 1$

부동율 = 단속부하 각개의 최대 수요전력의 합계 / 총합 최대 수요전력

## (2) 부하의 기동시 수요전력

각 사용조건에서 부하의 기동시 수요전력은 기동용량이 최소화되는 시스템을 채택하여 다음을 만족하여야 한다.

$$\text{기동시 수요전력(KVA)} \leq 1.5 \text{ 발전기의 정격출력(KVA)} [5-42]$$

여기서,

$$\text{기동시 수요전력(KVA)} = \text{기존부하(KVA)} + \text{기동용량(KVA)}$$

$$\text{기동용량(KVA)} = 3 * \text{정격전압} * \text{기동전류} / 1000 ; \text{3상부하의 경우}$$

## (3) 발전장치의 부하율

원동기의 분해주기 및 효율과 관련하여 제작소 자료에 의거하여 검토한다.

## (4) 원동기의 순시과부하

원동기의 순시과부하는 기동 입력용량이 최소화되는 시스템을 채택하여 다음을 만족하여야 한다.

$$\text{순시과부하(KW)} \leq 1.1 \text{ 원동기의 정격출력(KW)} [5-42]$$

여기서,

$$\text{순시과부하(KW)} = \frac{\text{기존부하 입력용량(KW)} + \text{기동입력용량(KW)}}{\text{발전기와 구동기간의 연결효율} * \text{발전기 효율}}$$

(5) 발전기의 순시전압 강하는 규정치를 넘지않는 것을 검토한다[5-42].

## 나. 비상전원용 축전지용량

비상전원장치는 법규상 어느 선박이라도 의무적으로 설치되어야 한다. 비상용 전원

을 공급해야 할 부하의 종류, 용량 및 최소한의 급전시간은 선급규칙 및 SOLAS(해상 인명안전조약)의 해당 부분을 참고한다. 비상전원장치는 축전지 방식과 발전기 방식이 있다[5-43]. 중량경감의 면에서 큰 소비전력을 가진 비상소화펌프와 비상조타장치는 전동기 구동식이 아닌 다른 시스템으로 계획하여 축전지 방식을 검토한다. 비상용 축전지의 용량은 주전원 공급시 항상 만(Full) 충전상태를 유지하며 비상시에 전원을 안정적으로 공급하는 시스템을 검토하여 최소화되게 검토하였다.

### 3.7 배전시스템

일반적으로 통용되는 시스템외에 중량경감을 위하여 다음사항을 검토하였다.

#### 가. 전원 전압

선내전원의 공칭전압 및 주파수형식은 IEC-92 및 선급협회에서 정하는 기준에 따르고, 이들 기준값은 다음과 같다[5-43].

3상	- 120V, 220V	50, 60Hz
	- 240V, 380V, 415V	50Hz
	- 440V	60Hz
	- 3300V, 3000V	50, 60Hz
	- 6600V, 6000V	50, 60Hz
단상	- 120V, 220V	50, 60Hz
	- 240V	50Hz

한편, 한국선급협회의 “선급 및 강선규칙”[5-44]에서 기준하는 전원 전압형식은 주파수가 50Hz, 전압 380V의 형식을 채택하지 않으므로, 이 경우 배전반 중량, 전선 중량, 조명 및 기타 전압기기의 급전전압, 발전기 및 전동기의 중량을 고려한다면, 발전기 용량이 200 KVA 이하에서 3상 440V를 급전하는것보다 3상 220V를 급전하는 것이 경량

화가 가능한 것으로 검토하였다.

#### 나. 주기관 및 보조기관의 시동장치

내연기관의 시동장치는 일반적으로 압축공기에 의한 시동장치와 축전지에 의한 시동장치로 대별할 수 있다. 각 시동장치의 중량, 주 및 보조기관의 축전지 전압의 통일 및 주기관 시동 축전지를 보조기관 시동용으로 겸용하는 등을 감안하여 축전지에 의한 시동장치를 검토하였다.

#### 다. 사용 전선

선박에 사용되는 전선은 여러가지 종류가 있으며 전선의 종류는 선급규칙에서 사용되는 장소에 따라 다르다. 전선의 종류를 크게 대별하면 외장전선(Armored Cable)과 비외장전선(Unarmored Cable)으로 구분된다. 현재까지 특수한 장소를 제외하고 외장전선은 모든 곳에 사용되었고 비외장전선은 사용제한을 받았다. 전선은 전원에서 부하까지 절단하여 재접속함이 없이 연속하여 포설되고, 여러구획을 경유하여 포설되며 외장이 틀린 경우에 동일 Band로 묶지 못한다. 이와같은 이유에 대하여 일반선박에서 전선의 중량은 선박의 성능에 영향을 미치지 않았으며 비외장전선의 부분적인 사용제한은 비외장전선을 선박전체에 사용하는 방안을 강구하지 않게 되었다. 초고속선의 경우 중량경감이 선속에 많은 영향을 주므로 중량경감 방안의 하나로 비외장전선을 사용할 경우는 외장전선을 사용할 경우에 비하여 전선중량을 경감할 수 있다. 그러나, 비외장전선에 대한 사용제한은 IEEE45 Standard[5-45], 한국선급협회(KR)[5-44] 및 독일선급협회(GL)[5-46]등에서 규정하고 있다. IEEE45 Standard에서의 사용제한 요건으로써는 전전포설시 전선의 외상에 대한 문제점을 제기하고 있고[5-45], KR과 GL에서의 사용제한 요건으로써는 포설후 사용시 외상의 문제점을 제기하고 있다[5-44,5-46]. 따라서 본 연구에서는 이를 사용제한 요건을 만족시키는 사용방안이 검토되었다. 검토결과는 Table 5-8에 나타내었다.



### 3.8 항해장비시스템

선박의 항해장비 시스템은 선박의 위치나 주위의 물체를 확인 . 결정하여 충돌 및 좌초를 예방하고 도착지점까지 최적운항을 위한 항해계획 및 추적에 필요한 장비들로써 구성되어 있다. 따라서, 선박의 항해장비 시스템을 이루고 있는 구성요소들은 선주의 요구사항, 항행구역에 따른 관련법규 및 규정의 요건 및 제작소의 제작형식에 따라 다소간의 차이가 있으나, 본 개발선이 초고속선이고, 여객선이라는 점을 고려하여 항해장비 시스템을 Fig. 5-31과 같이 구성하였다.

본 시스템은 Fig. 5-31에서 보는 바와 같이 RADAR, Speed Log, GPS Receiver 및 Gyro 시스템을 근간으로 한 항해계획 및 항로추적 시스템과, Speed Log, Echo Sounder 및 풍향 풍속센서등을 근간으로 한 Display Console 로써 구성되어 있다. 이들에 대한 구성요소들을 기술하면 다음과 같다.

#### 가. RADAR

RADAR는 Radio Direction and Ranging 혹은 Radio Detection Ranging의 약어로서 전파의 전파(Propagation) 및 반사특성을 이용하여 이동물체 또는 정지물체를 감지하는 장비이다. 따라서, 본 장비의 기본원리는 안테나에서 지향성이 있는 전파를 전파시켜 목표물에서 반사하여 되돌아오는 전파(Echo)를 수신하여 브라운관에 영상으로 Mapping 시키므로써 안테나에서 목표물까지의 거리, 방향 및 위치를 측정한다.

선박에서는 이와같은 원리를 이용하여 야간 및 우천시 이동물체를 탐지하고, 자선의 진방위 및 위치를 탐지하며, 목표물까지의 거리 및 방위를 측정하는 데 사용하고 있다.

본 장비에 대한 탑재요건은 선박설비규칙 86-3항에서 규정하고 있다. 본선의 경우 규정된 탑재요건에 따라 다음과 같은 구성요소 및 사양을 갖는 RADAR가 선정되었고, 이에대한 계통구성도는 Fig. 5-32과 같다.

#### (1) 구성요소

- 송신부
- Antenna부
- 수신부
- 지시부

(2) Interface되는 관련 보조기기

- RADAR/ARPA
- Gyro Compass
- Doppler Speed Log
- Echo Sounder
- GPS (Global Positioning System)
- Autopilot
- Magnetic Compass
- ECDIS(전자해도) / Chart Plotter

나. GPS (Global Positioning System)

GPS는 인공위성을 이용한 전파항법 시스템으로써 전세계, 전천후로 고정궤도의 위치정보를 24시간동안 연속으로 이용자에게 제공하고, 각 위성으로부터 이용자의 수신장치에 신호의 전파시간을 측정하여 주는 시스템이다. 본 장비는 화물선, 여객선 및 어선 등 거의 모든 선박에 설비되는 필수장비로써, 이에대한 주요기능 및 구성요소는 다음과 같다.

(1) 주요기능

- 자신의 위치(위도, 경도) 표시
- 선속(절대속도) 표시
- 항로계획 : 199개의 변침점 설정가능
- 목적지의 위치표시 (위도, 경도, 거리 및 항해 소요시간등)

- o 위치보정 : 자동 혹은 수동
- o 자기 컴파스(Magnetic Compass)의 방위보정

## (2) 구성요소

- o 안테나 (Whip Antenna)
- o 주제어기 (연산처리 및 입출력장치)
- o Data 통신부 (RS-232C 및 NMEA0183/0184)
- o 표시부 (LCD Display부)

### 다. 자기 컴파스 (Magnetic Compass)

본 장비는 자석을 자유롭게 회전할 수 있도록 지지하면 자석이 지구의 자장방향과 일치한다는 원리를 이용하여 자석 나침의로써 자북방향을 설정하는 장비임. 본 장비에 대한 설비요건은 선박설비규칙 제87조 2항에 규정되어 있고, 종류에 따른 구성요소는 다음과 같다.

#### (1) Dry Compass

- o Compass Bowl (Magnetic Needle, Card, Pivot)
- o Binacle (Clinometer-선박의 횡요각도 표시) : 나침함
- o Corrector

#### (2) Wet(Liquid) Compass

- o Magnetic Needle
- o Compass Card
- o Compass Bowl

### 라. 자이로 컴파스 (Gyro Compass)

본 장비는 Gyro의 원리를 이용한 회전 나침의로써 진북방향 및 방위각을 설정하고,

회전관성과 방향성의 유지력 및 축 선리특성을 가진 장비임. 이에대한 계통구성도는 Fig. 5-12와 같고, 계통의 구성요소 및 관련 Interface 장비요목은 다음과 같다.

(1) 계통 구성요소

- o Master Compass : 고속회전 Gyro의 회전관성에 의해 방향성의 유지력 및 방위 선회특성을 가짐.
- o Repeater-Wing
  - Pedestal Stand Type
  - Bracket Type
  - Digital 또는 Analogue Type

(2) 관련 Interface 장비

- o 자동조타장치 (Autopilot)
- o RADAR
- o GPS (Global Positioning System)
- o 타각 지시기 (Rudder Angle Indicator)
- o RDF (Radio Direction Finder) 등임.

마. 자동조타장치 (Autopilot)

자동조타장치는 선박을 조종할 경우 예정침로에 대하여 현재 선박의 침로와 편위각을 자동으로 수정하는 장비로써, 이는 제어방식에 따라 비례타, 미분타, 적분타 및 적응 제어타등으로 구분된다. 이에대한 계통구성도는 Fig. 5-34과 같고, 구성기기 및 구성요소와 자동조타장치의 입력신호 종류는 다음과 같다.

(1) 구성기기 및 구성요소

- o Autopilot-Tiller (wheel)
- o Hydraulic Power Unit : 유압 반영장치

- o Feedback Unit : 타각(Rudder Angle) 신호를 자동조타장치에 보내는 장치임.
- o Power Unit : 주.비상전원 공급용
- o Selector Switch : (Follow-up / Non-Follow-up)
- o 제어신호 증폭기 (Amplifire of Control Signal)
- o 제한 스위치 (Limit Switch)
- o 타각(Rudder Angle) 지시기
- o Setting Course Indicator (설정 침로 지시기)

(2) 자동 조타장치의 입력신호 종류

- o Gyro Compass의 출력신호
- o Magnetic Compass의 출력신호
- o 전파장치(RDF등)의 출력신호
- o 위성항법장치 (GPS, Loran, Decca 및 Omega등)의 출력신호
- o RADAR/ARPA의 출력신호
- o 전자해도 또는 Chart Plotter

바. 선속 측정장치 (Speed Log)

선속측정장치는 선박이 진행하는 상대속도를 측정하는 장치로써, 측정방식에 따라 압력식 선속측정장치(Pressure Speed Log), 전자기학적 선속측정장치(Electro-magnetic Speed Log) 및 도플러 선속측정장치(Doppler Speed Log) 등이 있다. 이들에 대한 계통구성도는 Fig. 5-35와 같고, 선속측정원리 및 구성기기는 다음과 같다.

(1) 압력식 선속측정장치 (Pressure Speed Log)

- o 선속측정원리 : 본 장치는 Pivot Tube-Bernoulli 정리를 이용하여 관과 정관압의 압력차에 의해서 유수속력을 측정하는 장치임.
- o 구성기기 : Log Lod, Rod Elevator Unit, Distance Indicator, Speed Indicator, Sea Valve, Static Valve 및 Master Unit 등으로 구성됨.

## (2) 전자기학적 선속측정장치 (Electro-magnetic Speed Log)

- 선속측정원리 : 본 장치는 유속에 따른 저항의 변화에 의한 기전력의 변화를 증폭하여 신호처리함으로써 선속으로 변환시키는 장치임.
- 구성기기 : EM Rod, Rod Elevator, Master Unit, Speed/Distance Indicator 등으로써 구성되어 있음.

## (3) 도플러 선속측정장치 (Doppler Speed Log)

- 선속측정원리 : 본 장치는 Doppler 효과를 이용하여, 즉 A와 B간의 거리에 초음파를 전파(Propagation) 시킬때 B가 이동하면서 미치는 상대적 이동효과 (편이각)을 이용하여 선속을 측정하는 장비임.
- 구성기기 : Speed Indicator, Distance Indicator, Tranceiver, Transducer 및 Master Unit 등으로 구성되어 있음.

### 3.9 통신장비 시스템

선박 통신시스템은 선내통화 및 방송, 육상국과의 교신 및 조난신호등을 발신하는 장비로써, 이는 유선통신과 무선통신으로 구성되고, 이들의 기본장비의 계통구성은 다음과 같다.

#### 가. 무선 통신장비

선박용 무선통신장비는 자선의 조난신호를 송신하고, 타선의 조난 및 인명구조 요청 신호를 수신하기 위한 장비들로써 구성되어 있다. 이들의 설비요건은 선박의 규모(크기), 종류 및 운항구역(연해, 근해, 원양)에 따라 차이가 있으므로 본 시스템은 선주 및 관련 항로가 결정된 후에 다시 검토, 계획되어야 한다는 특성을 가지고 있다. 따라서 선박에서 주로 채용되는 일반적인 통신시스템에 대한 계통구성은 다음과 같다.

### (1) 송신기

- 주송신기(Main Transmitter) : 자선의 구조요청 신호를 몰스(Morse) 신호로써 송신하기 위한 장비
- 보조송신기(Reserve Transmitter) : 주송신기의 고장시를 대비한 송신기임.  
기능은 주송신기의 기능과 동일하고, 통달 거리는 주송신기보다 작음.

### (2) 수신기

- 주수신기(Main Receiver) : 타선의 구조요청을 몰스(Morse) 신호형태로 수신하기 위한 장비임.
- 보조수신기(Reserve Receiver) : 보조수신기의 고장시를 대비한 수신기임.  
기능은 주수신기의 기능과 동일하고, 통달거리는 주수신기보다 작음.

### (3) 기타 부속장비

- 자동경보수신장치(Auto Alarm Receiver) : 타선으로부터 오는 S.O.S. 수신시 통신사에게 자동으로 경보장치임.
- Watch Keeping Receiver : 타선의 조난신호를 수신하는 장치임.
- 자동전근(Auto Keyer) : 자선의 침몰시 관련법규(SOLAS) 에서 요구하는 규정 시간동안 S.O.S. 신호를 송신하는 장치임.
- 축전지 및 충전기(Battery/Battery Charger) : 주전원 상실될 경우를 대비한 비상전원 공급장치임.

### (4) EPIRB

EPIRB는 Emergency Position Indicating Radio Beacon의 약자로서, 자선의 조난시 Radio Beacon 형식의 조난신호를 자동으로 발신하는 기능을 갖는 장비임. 본 장비의 사용주파수는 2182 KHz로 전세계적인 공통 주파수이다.

## (5) MARISAT

MARISAT는 Maritime Satellite Communication System의 약어로서, 인공위성(통신위성)을 이용한 통신방식으로 Telephone, Telex, Data Communication 및 Facsimile 등을 이용할 수 있는 장비임.

## (6) INMARSAT 선박 지구국 (Ship Earth Station)

INMARSAT는 일종의 International Maritime Satellite Organization Station으로써, 자선의 조난시 선박지구국 또는 위성용 EPIRB를 이용해서 조난 통보신호를 송신하고, 상용으로써 전화, Telex, Facsimile 및 고속 Data 통신이 가능한 기능을 갖는 장비임. 본 장비의 이용 주파수는 1.5 GHz 또는 1.6 GHz이고, Antenna의 형식에 따라 Standard-A 선박지구국과 Standard-C 선박지구국으로 구분되어 진다. 이들에 대한 특징 및 구성요소는 다음과 같다.

### o INMARSAT Standard-A

본 형식의 Antenna는 Parabolic Antenna로서 선박이 파랑에 의해서 상하.좌우로 동요하는 경우에는 적도상공에 떠있는 정지위성인 INMARSAT에 조난신호를 전송.수신하지 못한다는 특징을 가지고 있음.

### o INMARSAT Standard-C

본 형식의 Antenna는 INMARSAT Standard-A에 비하여 소형.경량이고, 무지향성이며, 선박의 동요에 의한 영향을 받지않는다는 장점을 가지고 있다. 다만 기능면에서 Telex 이용만 가능하고, 전화 및 Data 통신은 할 수 없으며, 전송방식도 축전 전송방식이 이용되고 있다. 축전 전송방식은 조난선박에서 조난통보신호를 영국 런던(London)에 있는 Data Bank에 전송하여 수신난 조난 Message Data를 축적한 다음 순차적으로 이용자(User)에게 배분 전송하는 방식이다.



## o 구성요소

### . 안테나

- 890mm Dia. Parabolic Reflector
- Enclosure : FRP Radome (1390mm Dia.)

### . Video Display Unit : 14 inch CRT

### . Ro-Printer

### . Telephone Set

### . Facsimile Receiver

## 나. GMDSS

GMDSS는 Global Maritime Distress and Safety System의 약자로서 조난중인 선박 근처에 있는 타선박, 육상의 구조기관인 해안선박국, 해안지구국 및 구조조정본부에 통신위성을 통하여 신속하고 정확한 조난신호를 보냄으로써 합동 조난수색 및 구조작업이 이루어지도록 하는 시스템이다[5-47]. 본 시스템의 기능특성 및 구성요소는 다음과 같다.

### (1) 기능특성

본 시스템의 기능특성을 열거하면 다음과 같다.

- o 기존 통신시스템에서 사용하던 몰스(Morse) 신호체계 대신 디지털(Digital) 위성통신이 사용된다. 따라서 선내에 별도의 무선통신사가 필요하지 않다.
- o 조난 안전통신을 위한 다양한 주파수 영역이 구비되어 있다.
- o 위성통신 체계를 이용할 수 있는 다음과 같은 첨단 무선장비로써 신뢰도높은 선박조난 통신체계의 구축이 가능하다.
  - DSC (Digital Selective Call)
  - NBDP (Narrow Band Direct Printing)
  - EGC (Enhanced Group Calling)
  - NAVTEX (Navigation Telex)

- RADAR Transponder

- o 선박 상호간의 구조체계에서 육상의 구조기관에 의한 구조활동 체계로 전환
- o 조난통보의 자동수신 (기존의 청각수신에서 인쇄방식에 의한 자동수신)

(2) 구성요소

GMDSS에서 사용되는 시스템을 크게 분류하면 지상통신 시스템과 위성통신 시스템으로 구분된다. 지상통신 시스템은 중파(MF), 단파(HF) 및 VHF 등의 주파수를 이용하는 무선설비로써 구성되어 있고, 위성통신 시스템은 정지위성인 INMARSAT와 극궤도 위성인 COSPAS-SARSAT를 이용하기 위한 위성통신 설비로써 구성되어 있다.

## 제4절 복합지지선의 신재료 활용 검토

복합지지선의 선체재료는 선박 건조기술과 재료 가공기술의 측면에서 고장력강, 알루미늄, 유리보강섬유등이 유력시되며, 운항영역 및 속도범위, 복합지지방식의 특성에 따라 새로 개발된 신소재가 조합되어 사용되는 사례가 많을 것으로 예상된다. 이를테면, 대양을 항해구역으로 하는 60~70 m 이상의 대형선의 경우에 주선체는 고장력강으로 하고, 갑판실 또는 내부 구획격벽등은 알루미늄 또는 유리보강 섬유로 하며, 소형선 일지라도 스트럿(Strut), 수중익등 국부적 고응력부는 중량면에서는 불리하지만 내구성의 측면에서 고장력강을 사용하도록 하는 것등이 그 예이다[5-48].

그러므로 복합지지선 선체구조의 설계와 제작에 있어서는 복잡한 선체구조에 대한 설계, 해석기술외에도 이종재료간의 연결부 설계와 그에 따른 공작성에 대하여 충분히 검토하여야 한다. 특히 재료특성이 제대로 잘 알려져 있지 않고, 해양환경에서 적용실적이 미흡한 재료인 경우에는 이것이 무엇보다도 큰 문제점으로 대두된다.

본 절에서는 이러한 관점에서 초고속선 및 복합지지 선박등에 점진적으로 사용사례가 늘어나고 있는 복합재료와 최근 일부 의장품의 재료로의 적용 가능성이 적극 검토되고 있는 New 세라믹 등의 신소재의 특성과 용도, 응용상의 문제점들을 검토하였다.

### 4.1 복합재료

#### 가. 유리 보강 프라스틱

##### (1) 유리보강섬유의 종류

유리보강섬유를 가공한 제품에는 여러가지가 있으나 선박용 유리섬유로는 일반적으로 Mat (유리섬유실을 정해진 길이로 잘라 중첩시켜 성형한 것), Roving Cloth (유리섬유실을 모아서 만든 가닥을 서로 엇갈리게 짠 것), Cloth (가는 유리섬유실로 옷감처럼

판 것) 등이 주로 사용되고 있다. 이중에서 클로우스와 로빙클로우스는 직조 특성상 강도가 방향에 따라 다르므로 주의가 요구된다.

## (2) 성형법

유리보강섬유의 성형법으로는 수적층법(Hand-lay up 법), 스프레이업법 (Spray up), 필라멘트 와인딩(Filament Winding)법 등이 있다. 이들 성형법은 구조물의 형상과 규모, 사용수지의 종류등을 고려하여 선택되며, 동일 수지에 동일 함량의 유리섬유를 사용할 지라도 성형법에 따라 완성품의 제반 물성치 차이가 난다. 또한, 수적층법은 사람 손으로 성형하므로 적층 기능공의 기량에 따라서도 강도 특성이 다르게 나타난다.

## (3) 특성

유리보강섬유를 수지로 적층하면 수지 단독특성에 비해 강도와 내열성이 현저하게 개선되고 선팽창율과 성형시의 수축율이 작아진다. 또한 내마모성과 내충격성도 향상된다. 특히 유리섬유 보강 적층판은 강하고 가벼운 점이 주된 특징으로 강도/비중(비강도)이 아주 크다. 그러나 구조재로서의 사용시에는 강성이 문제시되며, 강성지수가 고장력강, 알루미늄, 티탄늄등에 비해 상당히 떨어진다. 유리섬유보강 적층판과 철강재료를 비교하면 일반적으로 강성은 판두께의 제곱과 탄성율의 곱에 비례하므로 FRP판의 두께는 철강재보다 훨씬 두껍게 하여야 한다.

그리고 FRP의 응력-변형을 관계의 곡선은 직선부분과 그것에 이어지는 곡선 형태를 보이는데, 목재나 금속과 유사한 항복점은 거의 존재하지 않는다. 또한, FRP는 절결(Notch), 단면 축소부, 예각부등의 응력 집중부에서 응력 완화현상을 기대할 수 없을 정도로 연성이 낮으므로 설계 안전율에는 이러한 점을 감안하여야 한다.

## (4) 용도

소형 선박, 건축자재, Tank 용기, 헬메트, 육실 관련품등 여러가지 용도로 사용되고

있으며, 그 대부분은 유리보강 섬유를 불포화 폴리에스테르 수지는 추가적인 열을 가하지 않고도 촉매에 의해 상온 경화되며, 경화시 부생성물이 없어 가압을 필요로 하지 않고 성형공정이 간단하며, 비교적 가격이 싼 장점이 있다. 그리고 에폭시, 포리아미드 수지를 이용한 GFRP는 고강도, 고내열성 등이 요구되는 경우에 사용된다.

#### (5) 문제점

- 고온조건하의 장기 사용에는 부적합하며, 내열성과 난연성이 나쁘다.
- 내식성은 있으나 사용환경에 따라 내후성의 문제로 내용년수가 긴 경우에는 성능이 저하된다.
- 제품의 균질성에 떨어지고, 여러가지 기재(基材)로 구성되므로 영향인자가 많아서 특성치가 분산되어 재료의 신뢰성이 낮다.

### 나. 탄소(Carbon) 섬유 보강 플라스틱

#### (1) 종류 및 특성

탄소섬유는 앞서의 유리섬유보다 비강도가 높은 재료로서, PAN 섬유, 피치섬유, 레이온의 유리섬유를 여러단계의 온도에서 탄화 소성시켜 제조하며, 현재로는 PAN계 탄화섬유가 주종을 이루고 있다[5-49]. 이는 레이온계 탄소섬유는 세계적으로 쇠퇴하여 거의 생산되지 않고, Pitch계 탄소섬유는 강도특성이 PAN계 보다 뒤떨어지기 때문이다.

그러나 탄소섬유는 Table 5-9 에서 보는 바와 같이 다른 소재에 비해 뛰어난 특성을 많이 가지고 있다. 특히 인장강도가 고장력강의 2배이고, 탄성율은 유리섬유의 3배이며, 열전도율은 알루미늄의 1/10 이다. 그리고, 무엇보다도 알루미늄보다 가볍고, 철보다 강하다는 점이 가장 큰 주목을 끈다.

#### (2) 용도 및 문제점

초기에는 골프채의 Shaft, 테니스 라켓, 낚시대등의 스포츠 용품에 주로 사용되었으

나, 1980년대에 접어들면서는 항공우주용으로 예를들면, 항공기의 Floor 材, Beam, 날개/동체의 Fairing 등에 본격적으로 사용되면서 경량화(=연비 향상)에 크게 기여하고 있다. 그리고 고강도/고탄성의 Pitch계 탄소섬유는 PAN계 탄소섬유 보다도 훨씬 싼 장점이 있어 세계 각국이 특성개선 노력과 아울러 개발을 서두르고 있다.

#### 다. 아라미드 섬유 (Kevlar : 케블라) 강화 플라스틱

케블라 미국 듀폰사가 개발한 아라미드 섬유(방향족 포리아미드 섬유)의 일종으로, 고무 강화제로 개발된 케블라, 로우프, 가스켓 등에 사용되는 케블라-29, 강화 플라스틱 용으로 개발된 케블라-49 등의 3종류가 있다. 이중에 경주용 보트나 고속정등에 선체 재료로 가끔 사용되는 케블라-49의 특징은

- 저밀도 고인장 강도, 고탄성율이 특징이며, 그 수지함침재료의 인장 비강도는 강(鋼)의 5배이다.
- 열안정성이 양호하여  $-251^{\circ}\text{C} \sim 204^{\circ}\text{C}$  까지 안정된 특성이 있어 극저온용으로 사용될 수 있다.
- 수지와 섬유의 접착력이 우수하여 복합재의 내구성이 뛰어나다.
- 진동 감쇄특성이 뛰어나 강의 8배, Glass 섬유, 탄소섬유 복합재의 4~5배 정도가 된다.

케블라-49 강화 플라스틱의 주된 용도로는 우주 항공기(항공기 내장 마감재, 외장 페어링재, 인공위생용 압력용기), 볼트류, 자동차용 부품(Drivershaft, Sport Car 외장 패널) 등이 있다.

#### 라. 탄화 규소섬유 강화 복합재료

복합재료 중에서 가장 개발이 앞선 유리섬유 보강 플라스틱이나 탄소섬유는 앞서 언급한 바와 같이 금속과 잘 결합되지 않고, 고온에서 강도가 저하되며,  $400^{\circ}\text{C}$  이상의 산

소성 분위기에서는 산화, 소모되는 결점이 있다.

이러한 결점을 보완하기 위하여 탄화규소, 질화규소, 질화붕소등의 세라믹을 섬유로 하여 강화제로 사용하는 연구가 활발히 진행되고 있는데, 이중에서 가장 먼저 공업화된 것이 탄화규소 섬유이다. 이 탄화규소 섬유는 인장강도 250 Kg/mm<sup>2</sup>, 탄성을 2\*10<sup>3</sup>, 비중 2.55, 최고 사용온도 1250°C 이며, 고온하의 강도가 우수하고, 금속과의 결합성이 뛰어난 특성이 있다.

용도로는 알루미늄, 티탄등을 복합시킨 FRM 이란 것이 자동차 엔진, 내열 콘베이어 등에 응용이 기대되고 있다.

#### 마. 섬유 강화 금속재료 (FRM)

섬유강화 금속복합재료로는 모재에 강화제를 입자형으로 넣은 것과 섬유형으로 넣을 것, 또는 WHISKER (WHISKER는 금속 산화물의 수소환원과 열분해, 증기응축을 통해 자라난 침상의 결정으로 수열결정 이라고도 불려진다)를 넣은 것 3종류가 있다. 이 중에서 섬유강화금속(FRM)으로 개발되었거나 실용화된 것으로는 카본 알루미늄, Beryllium 섬유강화 알루미늄, 탄화규소 섬유강화 알루미늄, 알루미늄 섬유강화 금속, 보론 섬유강화 합금등이 있다.

섬유강화 금속재료(FRM) 분야의 연구에서는 섬유와 금속의 적합성(適合性)과 섬유의 균일 분포화가 어렵고, 제조가격이 비싼 것이 문제시 되고 있다. 예를들면, 유일하게 실용화 된 보론 섬유강화 금속 (BFRM : Boron Fiber Reinforced Metal) 의 경우에 인장강도는 탄소섬유와 유사한 수준이나, 탄성을 탄소섬유의 1.7배, 비중 2.6으로 알루미늄과 유사하다. 그리고 500°C 에서 60~95 Kg/mm<sup>2</sup> 의 강도를 가지는등 고온 특성이 뛰어난 점이 있다. 그러나, 가격이 Carbone 섬유에 비해 10배로 비싼 것이 약점이다. Table 5-10은 보론 섬유강화 금속의 모재의 차이에 따른 특성치를 비교한 것이다.

## 바. 뉴 세라믹 (New Ceramics)

### (1) 종류 및 특성

세라믹이라고 하는 것은 원래 점토와 같은 천연물을 성형, 가열, 처리한 것으로 도자기, 내화물, 시멘트, 유리, 호우로우, 탄소제품등이 이에 해당한다. 그러나 근년(1940년 이후)에 가열처리를 한 것은 마찬가지로, 종래의 일반적인 전통 세라믹(Traditional Ceramics)과는 다른 비금속 무기재료가 출현하기 시작하였다. 이것을 New Ceramics라 부르는데, 다음과 같은 특성이 있다[5-49].

- 정선했던 재료를 사용한다 (고순도 또는 정밀한 순도제어).
- 고도로 제어된 제조를 한다 (고압 소결등).
- 치수정도(程度)를 포함하여 정밀한 구조를 지닌다 (소결체뿐 아니라 단결정, 분체(粉體), 박막, 섬유 및 이들의 복합체등)

그리고 뉴세라믹은 Modern Ceramics, Special Ceramics, Technical Ceramics, Fine Ceramics 이라고도 부르는데, 주로 제2차 대전후 우주개발, 원자력 산업, 전자공업 등의 발전과 함께 그 뛰어난 내열성, 기계적 강도, 전자기 특성등이 인정되어 기능성 재료로서의 중요성이 크게 증가되고 있다.

뉴세라믹의 종류에는 천연재료를 화학처리에 의해 추출 둔화시킨 둔산화물, 이것을 원료로 하여 합성시킨 복합 산화물과 경질 금속성 화합물 (질화물, 탄화물, 붕화물등)과 같이 천연에서 산출되지 않는 것, 이밖에 천연으로는 극히 소량밖에 존재하지 않는 광물을 합성시킨 것이 있다. 뉴세라믹을 이러한 화학적 조성에 따라 분류하면 아래와 같이 된다.

- 산화물 세라믹 ( $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $ZrO_2$ ,  $SiO_2$ )
- 비산화물 세라믹
  - 탄화물 ( $SiC$ ,  $TiC$ ,  $ZrC$ ,  $B_4C$ ,  $WC$  등)



- 硼化物 (TiB<sub>2</sub>, ZrB<sub>2</sub>, LaB<sub>6</sub> 등)
- 질화물 (BN, AlN, TiN 등)
- 규화물 (MoSi<sub>2</sub> 등)
- 유화물 (CoS, CdS 등)
- Beryllium 화물 (ZrBe<sub>3</sub> 등)
- 알루미늄 화물 (NiAl 등)
- 기타 (다이아몬드, C 등)

이중 산화물 세라믹은 내열성 및 기계적 강도외에도 전도성, 반도체성, 압전성, 자성등의 여러가지 성능이 우수하여 전자공업, 화학공업, 금속공업등 넓은 분야에 이용되고 있다. 그리고 비산화물 세라믹은 공업적으로 유용한 물질은 많이 가지고 있으나 이용범위가 한정되는 경향이 있다. Table 5-11은 금속과 뉴세라믹의 주요특성을 비교한 것이다.

## (2) 문제점 및 금후 개발방향

뉴세라믹 기술에 있어서의 문제점으로는 우선 성형성과 가공성을 들 수 있다. 일반적으로 소성(燒性)후 복잡한 가공을 하는 일은 사실상 불가능하다. 그러므로 세라믹 제품은 소성전에 앞서 제품의 용도와 형상에 맞추어 기본 제조 Process를 선정하여야 한다. 최근 성형법이 상당히 발달하고, 정밀가공도 가능하게 되었지만 아직 대형 기계부품용 뉴세라믹의 생산기술에는 불충분한 점이 많다. 그리고 뉴세라믹은 금속 또는 프라스틱등 여타 재료와의 조합에 의해 Device 또는 시스템으로서 세라믹 특유의 재료특성을 활용하는 예가 많다. 이렇게 하면 단독으로 사용하는 경우보다도 훨씬 용도가 확대된다.

따라서 세라믹의 활용에 있어서는 무엇보다도 여타 재료와 마찬가지로 원하는 형상을 자유로이 가공할 수 있는 소성 및 가공기술의 개발이 필수적이다. 그리고 세라믹의

결점으로는 취성, 높은 Notch 감수성, 낮은 열전도 저항성등 세라믹 본래의 성질에 기인되는 것들이 지적되고 있다. 이들은 금속과의 복합화에 의한 취성 고정 재료나, 세라믹 섬유보강에 의한 세라믹 합성재료의 개발등을 통해 일부 극복되고는 있으나, 대부분은 아직 연구단계에 있다고 할 수 있다.

세라믹의 용도상의 경향을 예로들면 다이아몬드보다 단단한 재료, 공진 주파수의 온도의존성이 없는 압전체, 정보화 사회를 향한 전자재료, 에너지 관련 재료, 의료용 재료로서 생체와의 친숙성이 금속 고분자보다 우수한 재료, 지구심부 탐색용 지하자원 개발용 재료, 우주용 재료등으로 그 활용성이 가일층 증대할 것이라 예상된다[5-49].

## 4.2 신금속 재료

### 가. 티탄 합금

#### (1) 종류 및 특성

티탄합금은 첨단기술의 개발에 필수적인 소재의 하나로 그 장래성이 기대되고 있으며, 결정구조에 따라 알파합금(최밀 6방정 구조), 베타합금(체심 입방정 구조), 알파+베타 합금의 3종류로 나누어진다.

Table 5-12는 티탄합금의 대표적인 것을 정리한 것인데, 이중에서 현재 가장 많이 사용되는 것은 Ti-6Al-4V 로 전체 수요의 약 70~80%를 점한다.

#### (2) 특성 및 용도

티탄합금은 가벼우면서도 강도, 내식성, 내열성등이 뛰어난 것이 주된 특성이라 할 수 있다. 이에 따라 그간 중량경감과 강도특성 개선의 목적으로 심해 잠수정등에 철강재의 대체재료로 사용되기도 했으며[5-50], 높은 내열성이 요구되는 개소에 알루미늄을 대신하여 사용되기도 하였다. 그리고 이밖에도 Table 5-13에 나타낸 것과 같은 분야에 그 용도가 확대되고 있다.

### (3) 금후의 과제

티탄합금 부품의 문제점으로는 소재중량과 제품중량의 과대한 차이를 들 수 있는데, 이로 소재의 가공 잔재가 많이 발생된다는 것을 의미한다. 이 때문에 최근 티탄합금의 Near-net-shape (최종부품에 가까운 형상) 가공기술의 개발에 연구의 초점이 모아지고 있다. 현재 이러한 문제점의 해결을 위하여 연구되는 가공법으로는 초소성 성형 + 확산접합법, 항온 단조법, 열간 수압 프레스법등 3가지가 있다. 이들 연구가 실용화되면 티탄합금의 가공과 관련하여 큰 폭의 비용절감이 예상된다.

### 나. Amorphous 금속

#### (1) 특성 및 용도

Amorphous 금속이란 비정질(非晶質) (결정이 없음을 의미하며, 결정과는 달리 원자의 규칙적인 배열이 없는 Random한 구조) 구조로서, 금속을 용융상태에서 원자가 결정화될 수 없는 정도의 빠른 시간내에 급냉시킴으로써 제조되며, 다음과 같은 특성이 있다.

- 기계적 성질 우수 (강의 수배, 초합금과 동등급의 강도, 인장강도  $300 \text{ Kg/mm}^2$  이상)
- 내식성 우수 (특히 구리를 첨가하면 스테인레스의 수십배의 내식성을 가진다)
- 뛰어난 자성특성 (저보자(低保磁)성, 고투자성, 저철손이 뛰어난 磁性)
- 높은 전기저항 특성
- 낮은 온도계수 (Mo계, Ti계, Nb계 등은 저온에서 초전도성을 나타낸다)

용도는 상기와 같은 특성을 고려하여 Fig.5-36과 같은 여러가지를 생각할 수 있으며, 이 중에서 자기 Head는 이미 실용화되었고, 현재 철(鐵)의 손실이 적은 특성을 살려

전력 Transformer 재료로 연구가 활발히 진행되고 있다.

## (2) 문제점 및 금후 개발방향

### Amorphous 금속은

- 안정된 양산법이 아직 확립되어 있지 않다 (작업시 냉각 및 용고조건에 따라 특성이 크게 변화한다)
- 가공성이 나쁘다.
- 열에 약하다 (400°C 이상의 고온에서 원상태(결정)로 다시 돌아온다)
- 두께에 한계가 있다 (두꺼우면 급냉시, 외측만 Amorphous화 하고, 내부는 결정화되어 버린다)

등의 결점이 있어 실용화가 늦어지고 있으며, 이를 해결하기 위하여 합금조성 및 열처리의 최적화, Amorphous와 결정질 금속을 결합시킨 복합합금등에 관한 연구가 많이 수행되고 있다.

## 제5절 초고속선의 국제해사법규 분석

### 5.1 IMO RES. A.373(X)의 최근 개정동향

#### 가. 개요

고속정의 안전성 확보에 적용되는 세계 각국의 관련법규와 선급규칙의 대부분은 국제해사기구가 1978년에 공표한 "The Code of Safety for Dynamically Supported Crafts" (IMO A373(X), 이하 DSC Code)를 기본골격으로 하고 있다.

이 DSC Code는 지금까지 "해상에서의 인명 안전을 위한 국제협약(SOLAS)"에 맞추어 설계, 건조된 선박에 통상적으로 기대할 수 있는 안전도와 대등한 수준의 안전도를 설계, 건조 채비가 이와 다른 고속정에도 달성될 수 있도록 한다는 원칙에서 개발된 유일한 문서로서, 고속정의 건조, 운항, 유지관리 및 감독에 관한 모든 사항을 열거하고, 통신설비와 구난정의 신속한 활용성을 고려하여 운항에 적합한 해상상태와 운항거리를 제한함으로써 기틀이 마련되었다 [5-51].

이에따라 이 Code의 적용범위는 13인 이상 450인 이내의 승객을 수송하고, 피난처와는 100 Nautical Mile 거리내에서 운항하는 선박만에 적용하는 것으로 제한하였으며, 적절한 통신설비, 신속피난이 가능한 구난설비, 정부의 엄격한 운항통제등을 전제로 하고 있다. 그리고, 한편으로는 이 분야의 급격한 기술발전 속도, 경량화 설계 및 고속성능 확보에 필요한 설계자의 최대능력 발휘를 고려하여 동등급의 안전도가 유지되는 한은 예외규정을 두어 다른 요건이 대체적용될수 있도록 하였고, 회원국 정부가 적절한 안전도가 확보되도록 부족한 조항을 보완한다면 화객선이나 화물선에도 확대적용될 수 있도록 하였다.

하지만, 고속정 개발기술은 80년대 중반이후에 급속히 발전되어 최근 개발된 고속정은 규모와 선속, 운항영역의 면에서 DSC Code 제정 당시의 예상제한조건을 훨씬 앞지르고 있다. 이를테면, 이웃 일본국의 50노트급 대형 화물선(적재화물 1000톤) Techno Superliner 개발사업과 영국의 1400인승 고속화물선 건조사업등이 그 좋은 예라고 할 수 있다 [5-52,5-53].

이들 선박이 적절한 안전성을 확보하기 위해서는 기존 코우드의 일부 보완만으로는 불가능하며, '고속 (High-Speed)', 경구조 (Light Weight Construction)', '운항거리', '해상조건'등 코우드 적용상의 용어를 새로이 정의하고, 구획 및 복원성, 화재안전, 구명 및 탈출설비, 항해시스템, 선원훈련 및 자격등의 전항목에 걸친 수정, 보완이 불가피하다. 이에따라, 국제해사기구에서는 1978년 DSC 코우드 공표이후에 이루어진 고속정의 본질적인 발전을 반영하기 위하여 현재 'The Code of Safety for High-Speed Crafts'란 제하에 1993년 말까지 완성할 것을 목표로 기존 DSC 코우드에 대한 대대적인 개정작업을 수행하고 있다 [5-54].

이에따라 영국, 일본, 노웨이등은 선급협회, 관련 조선소 및 연구소, 고속정선주협회가 중심되어 초고속선의 운항성능 및 안전성에 관한 연구를 집중적으로 수행하고 있으며, 또한 이와는 별도로 오스트레일리아, 미국, 홍콩, 스페인, 캐나다, 중국, 러시아등은 상기 국가들과 비공식적인 모임을 구성하고 그간 축적된 300-400인승 고속여객선의 개발 또는 운항경험을 바탕으로 개정에 대비한 제안내용들을 마련하고 있다 [5-55]. 우리나라도 이러한 모임에의 참여의사는 적극 밝히고 있으나, 아직은 국내 관련조직이나 전담기구 부재로 준비가 부족하여 제대로 활동은 못하는 실정이다 [5-56].

본 연구에서는 이러한 관점에서 최근에 상기각국이 각종 국제회의나 비공식적인 모임을 통하여 제안한 견해중에 의견수렴이 되는 항목들을 모아서 기존코우드의 목차에 따라 정리한 것이다. 물론, 이들 각 항목들이 새로운 코우드에 포함되려면 아직 국제해사기구 산하의 해사안전위원회(Maritime Safety Committee) 심의와, 각종 소위원회(Sub-

Committee)의 토의, 총회(Assembly)에서의 최종적인 채택과정등을 남겨두고 있다 [5-57].

## 나. 개정안의 주요내용

### (1) 일반 (General)

일반 부분의 주요 개정안의 하나로는 신형식 선박과 고속화물선(High Speed Cargo Craft)에 관한 상세요건을 포함시키자는 것이다. 이러한 관점에서 새로운 코우드는 국제항로에 종사하고 피항지까지 정상속도로 4시간 이내에 갈 수 있는 항로를 운항하는 여객선과, 피항지로부터 200 Mile 또는 정상속도로 8시간 이내의 거리중에 작은 거리를 운항하는 총톤수 500톤 이상의 화물선을 적용대상으로 하고 있다.

그리고 고속화물선(Cargo Craft)은 여객선이외의 선박으로 일구획이 손상되어도 비손상 부위는 추진력을 포함하여 주요기능과 안전체계가 유지될 수 있는 선박이라 정의하고 여객선(Passenger Craft)는 다시 A형선과 B형선으로 분류하여 A형선은 450인승 이하로 운항항로의 어느 지점에서나 탑승인원 전원이 신속, 용이한 구조지원을 받을 수 있는 선박이라 정의하고, B형선은 A형선 이외에 이 코우드의 적용받는 선박으로 손상 받아도 한 구획의 모든 기계류 및 안전체계가 무능하게 되는 일이 없이 안전항행이 가능한 기계류 및 안전시스템을 갖춘 선박이라 정의하였다. 이는 기존 DSC 코우드의 개념은 A형 여객선에만 적용되도록 한다는 것이 근본적인 취지이며, 즉각적인 구조가 불가능한 영역을 운항하는 대형선이나 구조설비(Rescue Service)로 대처할 수 없는 450인승 이상의 여객선은 기존과 다른 방화설비 기준이 적용하고 하나의 엔진이 고장나더라도 느린 속도로나마 항구로 돌아갈 수 있는 수단을 구비시키기 위함이다.

이와 관련하여 '표면효과선(Surface Effective Ship)', '표면효과익선(Wing-in-Ground

Effect)', 화물정 (Cargo Craft)' 등을 비롯한 관련 용어들을 추가로 정의되었으며, '고속정 (High Speed Craft)'의 정의도 새로이 하였다. 고속정은 만재상태에서 20노트 이상 또는  $3.7 * \Delta^{0.1667}$  이상의 속도를 가진 선박이라 정의하였다.

이밖에 개정안은 그간 제7장에서 언급하였던 화재안전 관련용어를 새로이 보완하고, 이를 제1장으로 옮겨서 다룰 것을 제안하였으며, 장비와 시스템에 관한 '파손 Mode 영향해석'을 추가로 정의하고 있다. 파손 Mode 영향해석은 고속정의 장비와 시스템에 발생될 수 있는 파손이나 사고, 오작등이 재해나 선박의 안전에 극단적인 영향을 미치지 않는가를 검증하는 시험으로, 새로 마련된 부속서에 따라 수행될 전망이며, 그 적용범위는 검토중에 있다 [5-58].

## (2) 부력, 복원성 및 구획 (Buoyancy, Stability and Subdivision)

이 분야는 고속 화물선에 대한 추가보완사항보다도 고속여객선의 다양한 선형에 연관하여 제안된 것이 많다. 이는 근본적으로 선박의 안정성이 화물선보다는 여객선이 훨씬 더 엄격하기 때문인 것으로 풀이된다. 이에따라 상당부분의 내용을 늘웨이, 일본, 홍콩, 캐나다등의 고속정 개발실적이나 운용경험이 풍부한 국가들이 주로 제안하고 있다. 주요 제안내용으로는,

- 배의 길이(Length)와 폭(Breadth)의 정의에 있어 비손상 부력(Intact Buoyancy)에 기여되는 구획은 모두 포함할 것.
- 별도 정의한 범규의 기준을 만족하는 경량 폼재(Low Density Foam)는 공창(Void space)의 부력재로 사용할 수 있도록 할 것.
- 경사우력의 영향을 손상후 갑판 최대경사각의 계산에 포함시키지 말 것.
- 모든 선박은 운항 안전시험시에 제17장의 요건에 따라 종 및 횡방향 안정성을 정성적으로 평가할 것.



- 규정된 손상조건하에서 모든 방향의 경사각은 어떤 경우에도 12도는 초과하지 않도록 할 것. 단 이것이 분명히 비현실적인 경우에는 15도까지의 경사각에 대해 15분 이내에 12도까지 줄이는 대책을 마련한다는 조건하에서 허용할 것.
  - 선측부의 손상깊이는  $0.2B$ ,  $0.05L$  또는 5m중 적은 값으로 할 것
- 등이 있으며, 이밖에 표면효과선과 카타마란선에의 적용을 염두에 둔 조항도 있다.

### (3) 구조 (Structure)

구조에 관해서는 기존 코우드의 제정 당시부터 강도만족이라는 대전제에서 포괄적으로 기술되었기에 개정내용이 그다지 없는 항목이다. 단지 오스트레일리아가 3.3항의 '운항조건'을 '그 선박에 허용된 운항조건'으로 분명히 하자고 제안하였고, 캐나다가 '종방향 감속을 제안할 수 있도록 선수구조를 에너지 흡수구조로 설계하도록 하자'는 제안을 하고 있다. 하지만, 후자는 세부항목의 설정이 모호하여 채택될 가능성이 희박하다. 이외에도 선급규칙에 의한 설계가 최소중량 구조가 되지 못하는 경향이 있음을 감안하여 직접 설계법에 의한 구조설계를 보다 폭넓게 수용할 것을 제안하려는 움직임이 있다.

### (4) 거주 및 탈출설비 (Accommodation and Escape Measures)

거주 및 탈출설비는 제7장의 화재안전에 관한 요건과 깊이 관계되고, 승객 및 승조원의 안전에 직결되는 요소이므로 개정작업에 있어서 가장 큰 관심을 모으는 부분중의 하나이다. 이에따라, 국제해사기구의 설계 및 의장 소위원회(DE)와 방화 소위원회(FP)에서도 이미 많은 작업을 수행하여 상당한 개정안을 마련하였으며, 최근 일본, 독일, 중국, 캐나다, 홍콩등의 제안은 이 개정안에 대한 또 다른 생각이다. 개정안은 주로 좌석의 설계와 시공, 출구와 탈출수단, 퇴선시간(Evacuation Time), 퇴선검증시험

(Evacuation Demonstration) 등에 관한 요건의 보완에 집중되고 있으며, 소음(Noise) 요건이 새로이 추가되었다. 주요 제안내용을 간단히 요약하면 다음과 같다.

- 일반 비상경보 시스템은 모든 승객 거주구와 통상의 승조원 작업구역, 노출감판에 들릴 수 있도록 설비되어야 하고, 각 구역의 음압(Sound Level)은 국제해사기구에서 개발한 기준에 따르도록 할 것.
- 모든 여객선에는 안전조치에 관한 사항을 조명 또는 발광 게시판이나 비디오 정보 시스템을 갖추어 비치하고, 착석한 모든 여객이 볼 수 있도록 할 것.
- 좌석설비는 당해선박에 설정된 하중조건에 맞추어 승인되도록 할 것.
- 좌석의 설계와 배치는 황천항해, 격심한 로울링과 피칭, 정의된 충격하중 및 Grounding 하중에도 안전하도록 할 것.
- 좌석은 황천항해, 격심한 로울링과 피칭, 정의된 충격하중 및 Grounding 하중 조건 하에서 손잡이로 사용되더라도 충분히 견딜 수 있도록 견고하게 부착할 것.
- 좌석과 그 지지구조, 갑판 부착물은 에너지 흡수능력이 뛰어나고 75Kg의 사람이 착석하였을 때에 발생할 수 있는 별도 정의된 각 방향별 하중에 견딜 수 있도록 할 것.
- 승객거주공간, 탈출로, 출구, 구명동의 적재장, 구명정 탑재소, 승선구등에는 국제해사기구의 관련기준에 맞추어 조명되도록 할 것.
- 출구 근처에는 승무원들이 여객의 신속한 탈출을 보장할 수 있도록 승무원들에게 필요되는 공간을 충분히 마련할 것.
- 비상구 뿐만 아니라 모든 출구는 승객안내용으로 그 개방요령과 함께 적절한 표시를 할 것. 또한, 선박의 바깥 쪽에도 구조원안내용으로 적절한 표시를 동일요령으로 설비할 것.
- 탈출로의 조명은 주전원과 비상전원으로부터 모두 공급되도록 할 것.

- 퇴선설비는 통제조건(Controlled Condition)하에서 A형선은 15분, B형선은 30분 이내에 퇴선 가능하도록 설계할 것. A형 선박중에 퇴선시간이 8분 이내인 선박은 구조적인 방화시간(Structural Fire Protection Time)을 30분으로 할 수 있도록 할 것.
- Critical Path Analysis를 포함하는 퇴선절차는 Fire Insulation 계획의 승인에 연관되어 정부당국에 제공하는 정보도 되고 퇴선검증시험을 계획하는 선주와 건조자에게 도움이 될 수 있도록 작성할 것. 그리고, 퇴선절차속에는 선장의 비상방송, 모항(Base Port)에의 연락, 구명동의의 착용, 구명정과 비상구획의 인원배치, 연료공급라인의 차단 및 기계류 작동중지, 퇴선명령, 구명정과 해상구조시스템 및 구조정의 발진, 여객감독, 감독하의 질서정연한 여객의 퇴선, 잔류승객 확인, 승무원 퇴선, 구명정 진수, 구조정에 의한 구명정 정열등이 포함되도록 할 것.
- 퇴선시간은 통제조건하에서의 실제적인 검증을 통해 입증할 것.
- 퇴선시간은 승객과 승조원을 포함한 전탑승객의 50%가 한쪽 현의 출구를 사용하는 시간으로서 퇴선검증시험을 통하여 이를 입증할 것.
- 퇴선검증시험의 인원구성은 가능한 한 성별과 나이의 구별없이 정상적인 신장과 체중을 가진 건강한 사람으로 하고, 퇴선검증시험에 선별된 사람의 요건으로는 이러한 시험을 위해 훈련을 받았거나 최근에 경험이 있는 자는 아닐 것.
- 승객 거주구내에 소화물 적재를 위하여 Over-head 선반을 설치할 때는 어떠한 조건에서도 내용물이 떨어지는 일이 없도록 적절한 조치를 취할 것.
- 승객 및 승조원 거주구의 소음수준은 85 dB 이하가 되도록 하고, Operating Compartment는 65 dB를 넘지 않도록 할 것.

이밖에 출구 및 탈출수단, 퇴선검증시험등에 대해서도 상당부분이 보완되었으나, 지면관계로 줄인다.

(5) 방향조종시스템 (Directional control Systems)

방향조종시스템에 관해서는 공기부양선, 표면효과선, 표면효과익선에의 적용을 고려하여 일반요건이 개정되었고, 'Thrusting Device(추력장치)', 'Moving Parameter(이동매개변수)', 'Air Cushion Parameters Control Device(공기압 매개변수 조종장치)' 등의 새로운 용어가 추가로 정의되었다. 그리고, 이에따라 전항목에 걸쳐 'Directional'이란 용어가 'Moving Parameter'로 대체되었다. 일반요건에 대한 제안내용은 다음과 같다.

- 고속정은 승인된 모든 운항조건과 전 속도범위에 대하여 부당한 물리적인 힘을 작용시키지 않고도 효과적으로 이동매개변수를 조정할 수 있는 적절한 구조, 강도의 이동매개변수 조정장치를 설비하여야 한다.

그러나, 이 분야는 당분간만 별도로 다루어지고, 향후에는 제15장의 운항안정시스템 (Stabilisation System)에 합쳐질 것이라 전망된다.

(6) 계선, 예인 및 정박 (Anchoring, Towing and Berthing)

기존 코우드에서는 규정이 아주 단순하였으나, 설계 및 의장 소위원회 (DE)의 활동으로 그간 다소 보완되었으며, 그 주요내용은 다음과 같다.

- 고속정의 앵커는 비상용으로 필요된다고 가정함.
- 계선, 예인 및 정박설비와 관련국부구조의 설계는 이러한 작업을 수행하는 사람에게 위험이 최소가 되도록 설계한다.
- 고속정은 관련 케이블 또는 케이블과 밧줄 및 회수수단을 갖춘 하나 이상의 앵커를 설비할 것. 단 정부로부터 소형정으로 분류된 선박은 적절하고 안전한 투묘수단과 케이블 및 밧줄등을 조건으로 하는 회수수단을 갖추 필요없다.
- 앵커 회수설비를 보관하는 폐위된 공간의 설계에는 장비를 사용하는 사람이 위험

에 빠지지 않도록 우수한 공학적인 관례가 활용될 것. 또한 그러한 공간에의 접근 수단과 보도(Walk Way), 조명, 케이블 및 회수기기로부터의 보호등에 대해서는 특히 신중을 기할 것.

- 설계 최악환경 조건하에서도 선체를 예인할 수 있도록 적절한 설비를 갖추고, 예인점이 2지점 이상일 때에는 적합한 고삐(Bridle)를 마련할 것.
- 최대허용예인속도를 운용지침(Operating Manual)에 포함시킬 것.
- 선박이 겪게 될지도 모르는 상대풍속과 가속도가 클지라도 계류삭을 쉽게 사용, 보관할 수 있도록 적절한 적재공간을 마련할 것.

#### (7) 화재안전 (Fire Safety)

화재안전분야의 규정은 승객 및 승조원의 안전확보, 선박보호의 관점에서 법규의 근본 취지와 가장 밀접한 요소이고 탈출 및 구난, 항해등의 여타 분야설비와도 연계성이 크므로 아주 중요하게 다루고 있다. 이에따라, 이 분야의 개정작업에는 방화소위원회(FP)와 설계 및 의장소위원회(DE) 외에도 항해안전소위원회(NVA)와 복원성, 만재흡수선 및 어선안전소위원회(SLF)에서도 많은 제안을 하고 있다.

금번의 개정은 고속 화물정 및 선형식 선박에의 적용, 복합재료의 사용등에 따른 구체적인 상세요건의 설정과 기존코우드의 수정, 보완이 주종을 이루었다. 이 결과, 일반요건의 보완, 화재발생 가능성 및 심각성을 고려한 구획분류, 구획 경계부의 설비요건 설정, 연료의 저장, 배분, 사용에 따른 상세요건의 보완등에 대한 대대적인 작업이 수행되었다.

개정된 내용은 분량이 방대하므로 요목별로 주요작업의 내용만을 간단히 소개한다.

(가) 일반요건 (General)

- B형 고속선의 여객거주구 구획요건 보완
- 표면효과익선 사용연료의 인화점( 28c )에 대한 고려
- 고속 화물선에 대한 화재비상 탈출훈련간격 설정
- 극장, 디스코텍 및 유사장소 설치금지조항 설정
- 위험물 및 인화성 물질 운송금지 조항 설정

(나) 용어 정의 (Definition)

관련용어 ('불연성 재료', '표준 방화시험', '강 및 동등급의 재료' 등)의 정의내용을 제1장의 일반(General) 분야로 옮김으로써 전 분야에 적용될 수 있도록 함.

(다) 용도공간의 분류 (Classification of Space Use)

- 용도공간을 화재발생의 가능성과 화재시의 심각성을 고려하여 분류, 정의.
  - ' Area of Major Fire Hazard ', ' Area of Moderate Fire Hazard ', ' Area of Minor Fire Hazard ', ' Control Station ', ' Evacuation Stations and External Escape routes ', ' Open Deck ' 등
- 구획분리용 격벽 또는 갑판의 방화요건 보완
- 방화구획(Fire-resisting division) 요건 강화

(라) 구조적 방화 (Structural Fire Protection)

- 구조적 방화시간(Structural Fire Protection Time)의 축소요건의 구체화
- 물과 접하는 구조에 대한 방화구획요건 적용범위의 완화
- 주하중 전달구조(Main Load Carring Structure)에 대한 보조설명 추가

- 알루미늄과 가연성재료에 대한 고려 및 사용요건 설정

(마) 연료, 가연성 액체탱크 및 시스템 (Fuel and Other Flammable Fluid Tank and Systems)

- 인화점이 35℃에서 43℃사이인 연료유 사용선박에 대한 연료유의 저장, 분배, 사용에 따른 상세요건설정.

이밖에도 통풍(Ventilation), 화재탐지 및 소화설비에 관한 요건들이 일부 삭제 또는 보완되었으며, B형 여객선과 고속화물선에 고유하게 적용되는 조항은 각각 후미에 별도로 정리되었다. B형 여객선과 고속화물선에 대해서는 다음과 같은 요건이 있다.

- B형 여객선은 두개 이상의 구역으로 나누고, 각 구역의 평균길이는 40m 이상으로 할 것.
- B형 여객선은 각 구역의 탑승자를 화재시 탈출시킬 수 있는 별도의 장소 (Alternative Location and Area)를 마련하여야 하고, 이 장소는 갑판과 갑판사이에 방화재료의 Smoke Tight 구획벽으로 타승객 거주구와 분리시킬 것. 이러한 용도로 비상시에 추가승객을 수용할 수 있는 다른 승객 거주구도 활용될 수 있음.
- 고속화물선의 Open Deck Area를 제외한 화물공간에는 자동연기탐지장치를 갖추고, 이 장치는 승인을 득한 고정용 조기작동 소화시스템에 의해 보호되어야 하고 Control Station에서 작동시킬 수 있어야 함.

(8) 구명설비 (Life-Saving Appliance)

해상인명안전에 관한 국제협약(SOLAS)[5-59]이 최근에 완전히 개정됨에 따라 이를 적시에 효과적으로 활용할 수 있게 되어 개정안은 중국이 제안한 몇가지에 불구하고 다. 개정안의 주안점으로 다음과 같은 것들이 거론되고 있다.

- 구명부환과 구명조끼의 갯수, 퇴선시간규정이 비합리적이거나 비현실적인 선박의

구명정 요건등은 개정된 SOLAS 규정에 준할 것.

- 고속여객선용 구명정은 최소한 2척 이상으로 총 승선인원을 충분히 수용하여야 하고, 각 구명정은 총승선인원의 25% 이상을 수용할 것.
- 고속화물선의 구명뗏목요건은 개정된 SOLAS 규정에 준할 것.

이외에도, 구조정을 필요치 않는 작은 선박의 규모를 정하자는 견해가 비공식적인 모임을 통해 제안되고 있으나 아직은 구체화되지 못하고 있다.

#### (9) 기관 (Machinery)

기관설비는 해양환경에 적합하고 믿음직하게 설계, 구성, 설치, 유지되어야 한다는 전제에서 기관실이 정기적으로 무인되는 경우에는 자동화재탐지시스템, 발지경보시스템, 원격기관조정장치, 기계사용 경고장치등을 공인된 기준에 따라 설비하여야 하며, 그렇지 않으면 기관실의 순찰, 감시를 충분히 하고 폐쇄회로 TV를 설치하여야 한다.

이 분야는 이테리, 캐나다, 일본만이 한 두개의 개정안을 제안하였는데, 그 내용은 'B형선에는 적어도 두개 이상의 독립된 추진수단이 설비되도록 한다' 는 것에 초점이 맞추어져 있다. 이는 이들 선박은 대개 운항영역이 넓어 신속한 탈출 및 구조자원에 한계가 있으므로 일부구획의 화재나 뜻밖의 사고로 하나의 엔진을 못쓰게 되는 경우일 지라도 느릿한 속도나마 자력으로 항구로 돌아올 수 있게 하기 위함이다. 따라서, 기관설비중에는 파손 Mode 영향해석(FMEA)이 요구되는 장비가 다수 있을 것으로 예상된다.

#### (10) 보기 (Auxiliary System)

설계 및 의장소위원회(DE)의 작업결과로, 연료유, 윤활유 및 기타 가연성 기름에



관한 설비요건과 단동선 빌지펌프의 배치와 용량에 관한 요건이 최근 개정된 SOLAS 규정에 따라 보완되었고, 빌지펌프 구동동력을 가연성 액체의 Pumping 외에는 소화나 일반 용도에 사용할 수 있도록 하자는 개정안이 제시되었으며, 다동체선박(Multi-hull Craft)의 빌지펌프 배치요건과 용량산정식이 새로이 마련되었다.

일본은 고속 화물선에 대한 요건으로 '다동체 선박에 대하여 한쪽 동체의 빌지펌프가 다른 쪽의 빌지를 Pumping 하지 못하는 경우에는 각각의 동체마다 적어도 2개의 Power Pump설비하여야 하며, 그 중에 적어도 하나는 독립된 동력펌프이어야 한다'는 것을 제안하고 있다.

(11) 원격조종경보 및 안전시스템 (Remote Control alarm and Safety Systems)

일반요건에 관해서는 설계 및 의장소위원회(DE)가, 고속여객선과 화물선은 일본이 각각 몇가지의 요건을 제안하고 있다. 일반요건에 관한 주요 제안내용으로는

- 원격 또는 자동조정장치의 파손은 가청가시의 경보를 개시시켜야 하며, 정상적인 수동조종을 방해하지는 말 것.
- 여객, 화물 및 기관실의 화재와 침수를 감시하는 장비는 가능한 한 모든 비상상태에 대한 감시 및 활동조종장치(Activation Controls)와 통합하여 집중된 Sub-Centre로 형성시키고, 이 Sub-Centre에는 개시된 행동이 완전히 이행되었음을 가르켜 주는 피이드백설비의 설치도 요구할 수 있도록 할 것.
- 지속적으로 살피지 않는 기관실과 특수분류구역은 Control Station에서 감시할 수 있도록 폐쇄회로 TV를 설치할 것.

등이 있다. 그리고, 일본은 B형선의 추진기계와 방향조종장치의 원격조종 시스템에 대해서는 Operating Station에서 조종가능한 Back-up 시스템을 의무화하자는 것을 골자로 한 내용을 제안하고 있다. 이외에도 설계 및 의장소위원회 산하 작업반(Working Group)에서

는 경보시스템에 관해 IMO Res 686(17) (Comprehensive Code of Alarm and Indicator)를 참고하도록 할 것 인가, 그러지 않으면 고속정에 특별한 경보조항을 별도의 지침으로 마련할 것인가가 논의되고 있다.

#### (12) 전기장비 (Electrical Equipment)

이 분야에서는 비상전원설비의 선택방법을 많이 논의하고 있다. 즉, 종래의 주발전기에다 분리된 비상발전기를 더할 것인가와, 아니면 별도의 비상발전기는 없이 다동채형 배치로 인해 분리된 발전기의 여분을 이용하도록 할 것인가가 그 내용이다.

MODU(Mobile Offshore Drilling Unit) 코우드는 현재까지 후자의 배치에 관해 기술하고 있는데, 각각의 발전기는 각 선체에 소요되는 비상전원요건을 만족하는 충분한 용량일 것을 요구하고 있다. 하지만, 이것은 지나치게 부담이 되고 단동선에 비해 과대하는 점에서 논란이 되고 있다.

개정된 비상전원의 요건을 검토해보면 B형선박은 적어도 12시간은 Emergency Service를 공급할 수 있도록 설비를 갖추어야 한다는 결론이다.

#### (13) 무선통신 및 항해설비 (Radio Communication and Navigational Equipment)

무선통신설비에 대해서는 국제해사기구가 1988년 11월에 기존의 SOLAS 규정 제 IV장 (무선통신) 분야를 전면한 개정된 전세계 해상조난 및 안전제도(GMDSS : Global Maritime Distress and Safety System)을 채택함으로써 1992년 2월 1일 이후에 건조되는 이 GMDSS 요건의 적용이 의무화 되었다 [5-60, 5-61, 5-62]. 이 결과, 선박의 안전을 비상상태에는 육상구조 지원국에 경보를 발하게 되었다.

그리고, 항해장비에 관해서는 총톤수를 기준으로 한 기존의 요건은 최근 개발된 고속정에 전혀 적합하지 않아 선박의 운항조건과 속도를 반영한 장비를 요건으로 하고

있다. 이에 따라, 개정안의 제안내용에 따르면 콤파스, 레이더, 속도계측기기등의 주요 장비는 선속 및 선박운동특성에 적합한 것이어야 함을 전제로 하고 있다. 이밖에도 상기의 요건을 충족시키기 위하여 콤파스는 총톤수가 500톤 미만인 선박이거나 450인승 미만 또는 운항속도가 60노트 이하인 선박에 대해서는 마그네틱 콤파스외에 보조로 자이로 콤파스, Transmitting Magnetic Compass, Electronic Magnetic Compass 중에 하나 더 설치되어야 하며, 총톤수가 500톤 이상인 선박이거나 선속이 60노트 이하이면서도 450인승 이상의 여객을 수송하는 선박은 마그네틱 콤파스와 함께 자이로콤파스도 설치하여야 한다.

그리고 레이더도 대형선(총톤수 500톤 이상 또는 450인승 이상)은 2개 이상을 설치하여야 하며, 그중 하나는 ARPA(Automatic Radar Plotting Aid) 기능을 갖추고 Real time 출력이 가능한 것이어야 한다. 이외에도, 복잡한 항내에서의 접안을 위하여 Echo Sound와 Night Vision Enhancement Equipment가 필요로 되며, 러시아의 제안으로 전자위치확보시스템(Electronic Positioning System)의 설치가 요구되고 있다. 그러나, Amphibious Craft에는 Echo Sound를 설치할 필요가 없다.

#### (14) 조타실 배치 (Operating Compartment Layout)

조타실의 설계와 배치에 관해서는 시야를 가리는 부분을 가급적 최소로 하고, 전 방향 시야가 확보되도록 하며, 승조원들이 불필요한 어려움이나 과도한 정신집중, 피로함이 없이 정상운항상태와 비상상태에 자신의 임무를 원활하게 수행할 수 있도록 한다는 전제에서 개선, 보완되었다.

이를 위하여 개정안은 우선 관련조항을 원만하게 기술하기 위하여 'Operating Compartment', 'Operating Area', 'Operating Station', 'Work Station', 'Docking Workstation', 'Primary Control' 등의 용어를 새로이 정의하고, 이들 용어의 정의를 제1장으로 옮김으로

써 전분야에 걸쳐 적용할 것을 제안하고 있다. 이밖에 개정안의 주요내용으로는 다음과 같은 것이 있다.

- Operating Station은 여타 어떤 상부구조물보다 최상단에 위치하여 Navigation Workstation에서는 수평전방향의 시야가 확보되도록 할 것. 이러한 요건이 하나의 Navigation Station 만으로는 실현성이 없는 경우에는 두개의 Navigation Station을 조합시키던가 정부당국을 만족시키는 별도의 다른 수단을 강구할 것.
- 항해석의 위치에서 선측을 따라 0.225B 후방의 지점을 잇는 직선과 전방이 이루는 각도범위에서 시야를 가리는 부분의 원호 총합은 20도를 넘지 않을 것. 또한 그 개개의 원호는 10도를 넘지 않도록 할 것.
- 홀수나 트림, 갑판화물에 상관없이 Operating Station에 항해사가 착석하여 전방의 해면을 보았을 때에 각현 10도의 범위에서 배길이 이상은 시야가 방해되지 않을 것.
- 항해, 조종, 선내통신 및 기타 중요설비에 관련된 장치와 도구는 인접되게 배치하여 항해책임자와 보조사관들이 앉아서도 필요한 정보를 받고 요구에 따라 장비와 조종장치들을 사용할 수 있도록 할 것. 그러므로, 이러한 기능을 만족시키기 위하여 필요에 따라서는 장비와 도구가 이중으로 설치되어야 함.
- 가구, 가구페널, 조종장치등은 유지 및 환경조건을 고려하여 콘솔이나 다른 적합한 장소에 붙박이로 설치할 것.
- 가구나 조종장치에는 번쩍거림이나 반사가 최소가 되도록 하고 강한 빛으로 인해 어두워지는 것을 막을 수 있도록 차폐 및 제광(Dimming) 수단을 구비할 것.

#### (15) 운항안정시스템 (Stabilization system)

운용감쇄장치나 Ride Control System과 같이 선박의 안전운항에 상관없는 장치는 적용범위에서 배제시킬 것을 명기하였고, 이를 대신하여 설계 및 의장소위원회는 운항관

련 시스템장치에 대하여 새로 마련한 부록 IV의 파손 Mode 영향해석 절차에 따라 실물검증 및 입증을 행하여 안전사용가능범위를 정할 것을 제안하고 있다. 그리고, 이외의 개정안으로는 러시아가 표면효과익선에의 적용을 염두에 두어 일부 자구를 수정한 것이 있다.

(16) 운항, 조종 및 제어성능 (Handling, Controllability and Performance)

주요장비에 대해서는 파손 Mode 영향해석의 개념이 도입되어, 선박의 운항, 조종, 제어성능에 관련된 설비와 장치에 대해서는 설계 및 의장소위원회가 마련한 부록 IV의 절차에 따라 예상가능한 파손의 영향을 검증할 것을 제안하였으며, 캐나다는 야간운항시험을 통해 선박내외의 전등시설과 시계확보의 적합성을 평가하자는 제안을 하고 있다.

(17) 운항요건 (Operational Requirement)

기존 코우드의 기술, 운항지침 요건이 상세요건에 의해 상당히 보완되었다. 그리고 개정안의 하나로 선박이 운항중일 때는 전시간에 걸쳐 2명의 항해사가 임무를 수행토록 한다는 내용이 있는데, 이것은 대형선에는 합리적이거나 소형선에는 비경제적이어서 상당한 논란이 예상되고 있다.

(18) 관리요건 (Maintenance Requirement)

아직 새로운 개정안이 마련되지 못하였음.

## 5.2 GMDSS 도입전망과 이용방안

### 가. 개요

GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System)는 SOLAS '74에서 정해진 부근 항행선박 및 인근 육상기지에서 조난구조를 수행하는 기존 방식과는 달리, 선박과 선박뿐만 아니라 선박과 구조조정본부, 구조조정본부와 수색구조선간의 신뢰성 높은 조난안전구조를 실현하기 위한 통신방식의 일환이다 [5-63]. 본 시스템을 구현하기 위해서는 기존 통신방식인 무선전신 (500KHz) 을 중심으로한 Morse 신호체계 대신 위성통신, 디지털 선택호출 (Digital Select Call:DSC) 및 협대역 직접인쇄전신(Narrow Band Direct Printing NBDP)을 근간으로한 새로운 형식의 통신체계가 도입된 조난안전 통신설비의 완전자동화가 계획되어야 한다.

또한, 본 시스템의 도입에 따른 법적환경으로서는 1979년 제11차 IMO 총회에서 최근에 개발된 위성통신기술이 도입된 전세계 해상조난 및 안전제도에 대한 필요성이 결의됨에 따라, 1988년 11월에 GMDSS 도입을 위한 SOLAS 개정회의가 개최되었다. 여기서 개정된 SOLAS 조약이 1992년 2월 1일에 발효됨에 따라 GMDSS를 1992년 2월 1일부터 단계적으로 도입하여 1999년 2월 1일까지는 운항하는 모든 선박에 채용될 전망이다.

따라서, 본 연구에서는 GMDSS 도입전망에 따른 현존 선박안전 통신체계와 GMDSS의 통신체계를 비교·분석하고, GMDSS의 시스템 구성요소들의 특성에 따른 설계시 고려되어야 할설비의 탑재요건 및 효율적인 이용방안을 위한 시스템의 성능특성 및 제어요건등을 다루었다.

### 나. 현존 선박통신 시스템의 기능과 문제점

현존 선박통신 시스템은 SOLAS '74 요건에 따라 어느 일정한 선박이 해상에 있을 때만이 국제무선통신 연합의 무선통신 규약에 따라 국제 조난주파수를 계속 청취하고, 규정

된 최소 도달거리 이상의 송신능력을 갖춘 무선설비를 탑재하도록 되어 있다. 그러나, 여기서 규정하는 선박용 통신장비의 최소 통신거리는 100~150마일 이므로 조난중에 있는 선박을 구조하는 것은 조난 근처에 있는 선박에 의존할 수 밖에 없다. 따라서 SOLAS '74 요건에 근간한 현존 선박 통신시스템의 구성요소에 따른 기능과 문제점들을 요약하면 Table 5-14와 같다.

#### 다. GMDSS의 기능특성 및 구성요소

##### (1) 기능특성

###### (가) 기본개념

본 시스템의 기본개념은 조난중인 선박근처에 있는 타선박, 육상의 구조기관인 해안선박국, 해안지국국 및 구조조정 본부에 신속하고 정확한 조난신호를 보내므로써 합동수색 및 구조작업이 이루어지도록 되어있다.

또한, 본 시스템을 통하여 선박의 긴급 및 안전통신, 항해안전을 위한 기상안전 정보 및 해상안전정보등이 제공된다.

###### (나) 기능특성

본 시스템의 기능에 따른 특성을 열거하면 다음과 같다.

- 기존의 통신시스템에서 사용하던 Morse 신호를 대신한 디지털 음성통신이 사용된다. 따라서, 선내에 별도의 무선 통신사를 두지 않아도 된다.
- 조난 안전통신을 위한 주파수 영역이 다양하게 구비되어 있다.
- 위성통신체계를 이용할 수 있는 다음과 같은 첨단 무선장비를 이용함으로써 신뢰도 높은 선박조난 통신체계 구축이 가능하다.

- DSC (Digital Selective Call)

- NBDP (Narrow Band Direct Printing)
- EGC (Enhanced Group Calling)
- NAVTEX (Navigation Telex)
- Satellite EPIRB
- RADAR Transponder
- 선박간의 상호 구조체계에서 육상의 구조기관에 의한 구조활동 체계로의 변환
- 조난통보의 자동수신 (기존의 청각수신에서 인쇄에 의한 자동수신)

## (2) 구성요소

GMDSS에서 사용되는 시스템을 크게 분류하면 지상통신 시스템과 위성통신 시스템으로 구분된다. 지상통신 시스템은 중파(MF), 단파(HF) 및 VHF등의 주파수를 이용하는 무선설비로써 구성되어 있고, 위성통신 시스템은 정지위성인 INMARSAT와 극궤도 위성인 COSPAS-SARSAT를 이용하기 위한 위성통신 설비로써 구성되어 있다. 이들 구성요소에 대한 기능별 특성을 기술하면 다음과 같다.

### (가) 지상통신 시스템

#### ① Digital 선택 호출 (Digital Selective Call : DSC)

본 시스템은 Digital 부호를 이용해서 자국이 타 무선국과 또는 Group 무선국과 통신을 설정하여 정보를 전송하는 무선통신 시스템이다.

#### ② 협대역 인쇄전신 (Narrow Band Direct Printing : NBDP)

본 시스템은 0.5KHz의 협대역 주파수 대역을 이용하여 조난, 안전 및 일반 Telex통신을 목적으로 한 송 수신 무선장치이다.



③ NAVTEX (Navigation Telex)

본 시스템은 항해정보와 기상정보등을 직접 인쇄방식으로 선교에 있는 항해사에게 직접 상시 전송하는 무선장비이다. 또한 본 시스템이 이용 주파수는 518KHz이고, 통달거리는 약 200Km이다.

④ 원거리 통신

본 시스템은 선박과 육상, 육상과 선박간의 원거리 통신을 위한 무선 통신 설비로써, 여기서 사용되는 주파수는 단파(HF)를 사용한다.

⑤ 중거리 통신

본 시스템은 선박과 육상, 선박과 선박 및 육상과 선박간의 조난통보와 안전호에 사용되는 장비로써, 여기서 사용되는 주파수는 2MHz, 2187.5KHz, 2182KHz 및 2174.5 KHz 이다.

⑥ 근거리 통신

본 시스템은 수색구조활동과 현장통신등의 조난안전구조를 위한 무선전화로써 근거리 통신에는 VHF가 사용되고, CH70의 156.525 MHz가 DSC에 의한 조난통신과 안전호출을 위해서 사용되며, 수색구조협력을 위한 통신으로서는 156.8MHz의 CH16이 사용된다.

⑦ RADAR Transponder (위치표시신호/Locating/Homing)

본 시스템은 조난한 선박 또는 생존자의 위치를 발견하기 위한 장비로써, 이를 SART (Search and Rescue Transponder)라고도 부른다.

(나) 위성통신 시스템

① INMARSAT 지구국

INMARSAT는 1.5GHz와 1.6GHz의 주파수로 운용되고 있으며, 선박지구국 또는 위성용 EPIRB를 사용하여 선박으로부터의 조난통보를 송신하고, 전화,

TELEX, FACSMILE 및 고속 Data 통신망을 지원한다.

② EGC (Enhanced Group Call)

EGC란 어느 지역에 있는 선박, 또는 어느 회사의 선박등 특정 Group 선박에 TELEX를 사용해서 해상안전 조난통보를 각 특정 선대 및 해운선사에 통보할 수 있는 기능을 가진 장비이다.

③ COSPAS-SARSAT

COSPAS-SARSAT 시스템은 극궤도 위성을 이용하는 위성통신 시스템으로써, 400MHz 대의 주파수로 송신하는 EPIRB로부터 조난통보를 수신해서 COSPAS-SARSAT가 지구국 상공에 왔을 때, 그 Data를 송신하는 기능을 가지고 있다. 본 시스템에서는 위성이 이동하므로써 발생하는 Doppler 효과에 의해서 NNSS와 같은 원리로 EPIRB의 위치를 결정한다.

라. GMDSS의 도입·전망

(1) 도입 일정

IMO는 1988년 12월에 SOLAS 협약에 GMDSS를 도입하기 위한 국제회의를 개최하여, GMDSS의 채용을 내용으로 한 SOLAS 제IV장 (무선통신)이 전면 개정하였다. 그 결과 각국의 주관청이 법으로 정한데 따라서 1992년 2월 1일부터 1999년 2월 1일까지 모든 선박에 GMDSS의 탑재가 의무화 되었다 [5-64].

이에따른 조치의 일환으로, 우리나라도 1991년 12월 14일자 관보 제4441호를 통하여 전파관리법을 개정하였고, 1992년 6월 30일자 관보 제13673호를 통하여 전파관리법 시행령을 개정하였다.

따라서, GMDSS의 구성요소별 세부 도입일정은 Table 5-15와 같다.

## (2) GMDSS의 탑재요건

### (가) 적용조건

모든 여객선 및 순톤수 300톤 이상의 화물선

### (나) 항행구역

선박에서 GMDSS의 탑재요건은 선박의 항행해역에 따라서 결정된다. 그 항해해역은 다음의 4개 해역으로 분류된다.

- A<sub>1</sub>해역 · 육상에 있는 VHF 해안국의 통달범위 (약 25 N.M)
- A<sub>2</sub>해역 · 중파 해안국의 통달범위 (약 150 N.M)
- A<sub>3</sub>해역 · INMARSAT 통달거리
- A<sub>4</sub>해역 · A<sub>1</sub>-A<sub>3</sub> 해역 이외의 해역 (남극, 북극등)

## 마. GMDSS의 이용방안

### (1) GMDSS의 설치요건

#### (가) 기기의 배치설계

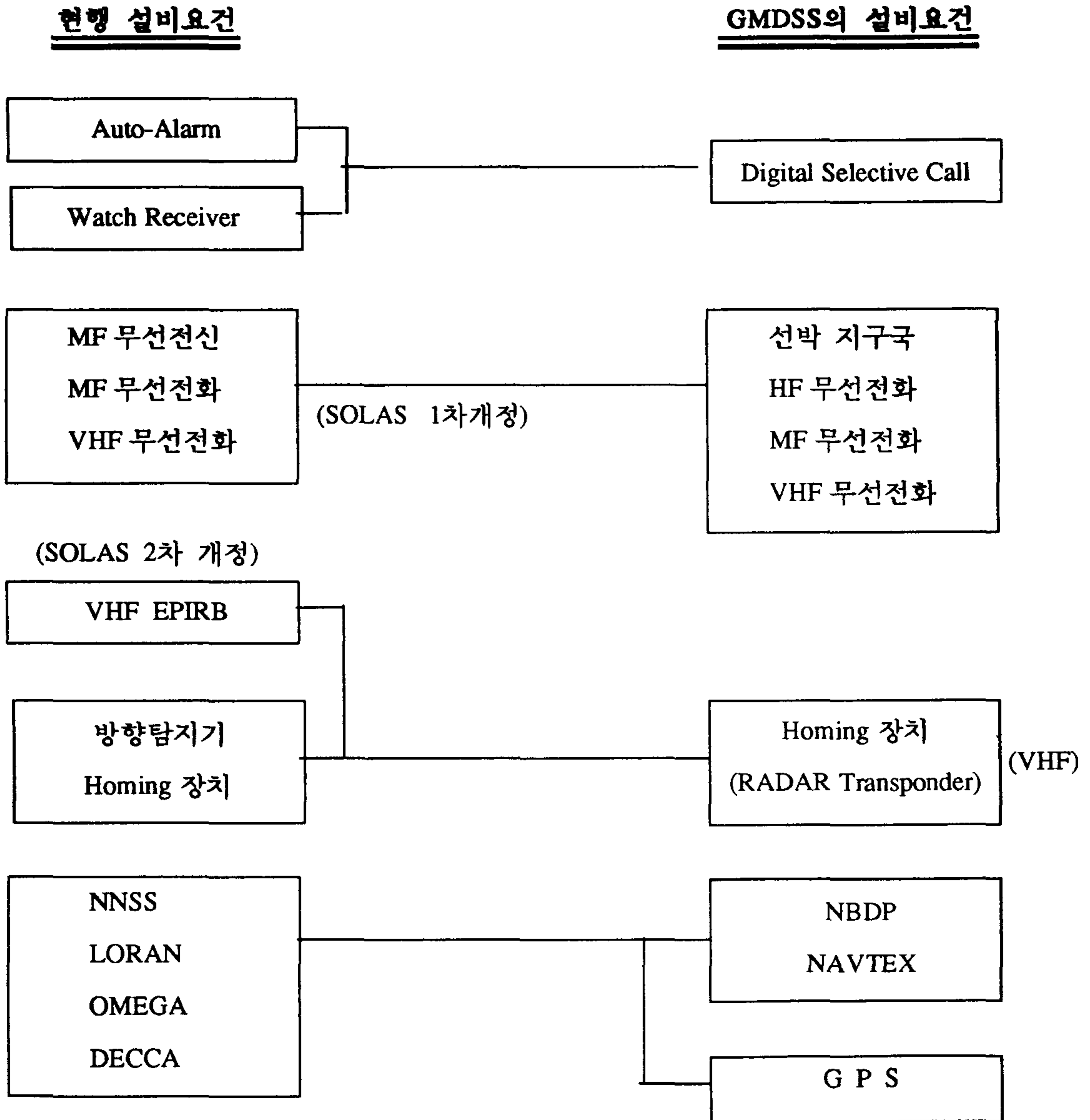
GMDSS의 통신체계가 종래의 Morse부호 체계에서 음성에 의한 전화 통신체계로 바뀔에 따라, 선내 전임통신사 없이 항해사가 무선통신 업무를 겸임할 수 있다. 따라서, GMDSS에 관련한 각종 무선장비도 조타실에 설치되어 기존에 별도공간으로 두었던부선실이 없어짐에 따라 상갑판의 구획배분에 있어서도 2구획 배분방식에서 1구획 배분방식으로 바뀌었다 [5-65].

선박의 무선통신체계를 크게 분류하면 일반통신 Mode와 비상통신 Mode로써 대별된다. 따라서, 조타실내의 각종 무선통신기기도 제어기능에 따른 운용 Mode를 고려해서 설치위치가 검토되어야 하지만 일반통신 Mode와 비상통신 Mode를 모두 충족시키는 최적배치를 수행하는 데에는 많은 어려움이 따르므로, 초고속선의 경우에는 승선인원이 많고, 일반여객선에 비하여 고속이라는 점을 고려해서 비상통신

(다) 항행해역에 따른 탑재요건

NO	A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub> + A <sub>3</sub> 해역	A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub> 해역	A <sub>1</sub> 해역	비 고
1		0	0	1992년 2월 1일까지 항행 장소에서 CH6의 청취를 의무화 함.
2	VHF DSC RX CH70	0	0	항시 청취
3	RADAR Transponder x 2대	0	0	500톤 이하의 화물선은 1대
4	NAVTEX 518 KHZ	0	0	
5	INMARSAT EGC	0	0	INMARSAT-C에는 EGC의 기능이 포함되어 있음.
6		0	0	주파수 = 406 KHZ
7	2182 KHZ 무선전화 조난 주파수 청취 수신기	0	0	1999년 2월 1일 이후에 건조되는 선박에는 불필요.
8	RADAR 9GHZ	0	0	2대중 1대는 9 GHZ
9	HORMING 장치 2182 KHZ	0	0	1980.5.30 ~ 1995.2.1. 사이에 건조된 1600톤 이상의 선박은 1999.2.1. 까지 설비요.
10	쌍방향 VHF 무선전화장치 3대	0	0	500톤 이하의 화물선은 2대
11		0	X	
12	MF DSC RX 2187.5 KHZ	0	X	항상 청취요.

(라) 현행 조난통신 시스템과 GMDSS와의 설비요건 비교



Mode에서 조작, 제어되어야 할 관련 무선장비는 항해용 기기가 집중 배치되고, 일반통신 Mode에서 조작되는 무선장비는 주로 조타실 전면벽에 배치되는 것이 기기 배치설계 요건중의 하나이다.

(나) MF/HF 송신기에 의한 유도 Noise 방지

GMDSS에서의 유도 Noise원은 주로 안테나로서 사용되는 접지형 공중선과 동조기가있다. 종래에는 이들이 별도 구획인 무선실에 설치되어 무선실 격벽이 유도 Noise를 차폐시키는 역할했으나, GMDSS를 채용할 경우 이들 유도 Noise원이 조타실에 설치되므로 주위의 항해장비에 유도장애(Interference)를 주는 경우가 있다.

따라서, GMDSS의 설치시 전파출력부에 대한 차폐, 격리 및 적절한 접지공사 등에 전파특성이 고려된 세심한 주의가 요구된다.

(다) 안테나(Antenna)의 배치

GMDSS의 Antenna 설치요건은 안테나의 형상에 따른 전파특성, 장치의 중요도에 따른 수신우선순위 및 관련법규에서 제시하는 설치공간의 제약성등에 대한 일반적인 사항에서는 큰 차이가 없으나, 안테나의 형상과 전파전파(Wave Propagation) 특성이 종래의 방식과 다르므로 실제로 설치하는 데에는 많은 차이가 있다. 여기서, 종래의 선박무선통신 시스템과 GMDSS와의 안테나 특성 및 안테나 설치 요건상의 차이점을 기술하면 다음과 같다.

- 중파대(500 KHz) 전신에 의한 비상통신이 중단파(MF)/단파(HF)로 됨에 따라 보조통신 안테나와 Auto-alarm용 수신 안테나를 장비하지 않아도 된다.
- 비상통신용 중단파/단파전화의 송신 안테나 및 INMARSAT용 안테나가 추가로 설치되어야 한다.

## (2) 제어요건

1979년 '79 SAR(Search And Rescue) 국제협약이 체결되었고, 이 회의에서는 해상에서의 수색 및 구조에 대한 효과적인 실시를 위한 원거리 통신규정을 포함한 GMDSS의 개발을 IMO에 요청하였다. 그 결과 1979년 제11차 IMO 총회에서 해상인명안전을 위한 해상조난 및 안전제도를 결의하였고, 1988년 11월에 열린 SOLAS 개정회의에서 GMDSS 도입을 위한 새로운 결의안을 채택하였다.

따라서, 기존의 SOLAS Rule에서 요구하는 선박 무선통신의 제어요건과 SOLAS '88 결의안에서 요구하는 GMDSS의 제어요건을 비교하면 Table 5-16과 같다.

## (3) GMDSS의 운영방안

GMDSS를 이용하여 조난통신을 보다 효율적으로 수행하기 위한 이용방안을 기술하면 다음과 같다.

- 선박과 육상간의 조난통보는 선박지구국 또는 EPIRB에서 인공위성을 통해 해안지구국으로 통보되거나, VHF, MF 및 HF대의 DSC와 VHF EPIRB를 통해 해안국을 경유하여 구조조정본부(RCC)에 통보된다.
- 선박과 선박간의 조난통보는 VHF 및 MF대의 DSC를 이용하여 이루어진다.
- 조난통신을 수신한 해안국, INMARSAT 해안지구국 및 COSPAS SARSAT 지구국은 구조조정본부(RCC)에 직접 조난통보를 할 수 있다.
- 육상의 구조조정본부로부터 선박에 대한 조난통보는 특정선박, 특정선단, 특정해역에서 운항하고 있는 선박 및 전 선박에 대하여 적절한 방법으로 송신될 수 있다.
- 조난선박, 생존자의 위치발견에는 9 GHz대의 RADAR Transponder가 이용된다.

#### (4) GMDSS의 성능기준

GMDSS를 이루고 있는 모든 구성요소들은 주관청의 형식검정에 합격한 장비이어야 한다. 여기서, 형식검정의 요건을 살펴보면 쌍방향 VHF 무선전화장치는 1m의 수심에서 1분간 침수시킨 후에도 정상적으로 작동되어야 하고, 406 MHz Satellite EPIRB는  $-20^{\circ}\text{C}$ 의 주위온도에서도 정상적으로 작동해야 하며, 4m의 수중에서 부상할 경우에도 수직으로 부상하지 않고, 45도 각도로 부상되어야 하는 등 많은 요건들이 있다.

이와같이 GMDSS에 적용되는 성능기준에서는 모든 해상에서의 경험에 의한 실제적인 요건들을 구체적으로 규정하고 있다.



Table 5-1 Major Equipments of Super High-Speed Ship

항 목	구 분	시스템 및 장비
Ship Equipment	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Manoeuvring Machinery</li> <li>o Navigation and Searching Equipment</li> <li>o Communication Equipment</li> <li>o Anchors and Mooring Equipment</li> <li>o Major Equipment of the Ship Type</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propulsion System, Steering System</li> <li>- Radar, GPS, Autopilot, Gyro Compass, Electric Log etc.</li> <li>- VHF, Internal Communication System, TV/Video, Data Transmission etc.</li> <li>- Anchor, Windlass, Mooring Equipment</li> <li>- Catamaran : Motion Damping System</li> <li>- SES : Lift System, RCS, Seal System</li> <li>- Hydrofoil : Automation Control System</li> </ul>
Accommodation	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Safety Equipment</li> <li>o Accommodation Arrangement</li> <li>o Ventilation - Air Conditioning System</li> <li>o Sanitary System</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Life Rafts, Fire Extinguishers, Personal Safety Equipments etc.</li> <li>- Service Area, Chair etc.</li> <li>- Accommodation Area, Engine Room</li> <li>- Sanitary Discharge System, Hot/Cooling Water System etc.</li> </ul>
Machinery Main Components	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Main Engines for Propulsion</li> <li>o Propulsion Unit</li> <li>o Generator</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Engine Capacity (Dimensions, Weight, Output) etc.</li> <li>- Propulsion Power</li> <li>- Reduction Gear</li> <li>- Driven Method</li> </ul>
System for Main Machinery Components	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Fuel Oil System</li> <li>o Lube. Oil System</li> <li>o Cooling System</li> <li>o Exhaust System and Air Intake</li> <li>o Automation System for Machinery Plant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dry Tank, Fuel Oil Separator etc.</li> <li>- Diesel Engine Fresh Water Cooling System</li> <li>- Alarm, Monitoring System for Engine Room</li> </ul>
Ship System	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Ballast and Bilge System</li> <li>o Fire and Deck Washing System</li> <li>o Air and Sounding System</li> <li>o Common Electrical System</li> <li>o Electrical Distribution System</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Watertight Compartments</li> <li>- Hydrants, Deck Washing Pump</li> <li>- Remote Sounding System</li> <li>- Main Switch Board, Control Panel etc.</li> <li>- Fluorescent Light etc.</li> </ul>

**Table 5-2 Provisional Rule(K.R) for the Anchoring & Mooring Equipment**

항 목		적 용 기 준	
의장수 (Equipment Number)		$EN = \Delta^{2/3} + 2BH + 0.1A$ (단, $H = f + \sum hi \sin \phi$ )	
Anchor의 수		One (1)	
Anchor의 중량		① Stockless Anchor Weight (Ws) $Ws = 3.00 \times EN$ (Kg)  ② High Holding Power Anchor (Wh) $Wh = 2.25 \times EN$ (Kg)  ③ Super High Holding Power Anchor (Wsh) 파지력이 Ordinary Stockless Anchor보다 4배 이상인 Anchor를 사용할 경우 선급이 적당하다고 인정하는 바에 따른다.	
제한항로에 대한 의장수 경감 규정		의장수 Table 이 확정되기 전까지는 항로에 따른 의장수는 아래 산식에 의하여 계산한다. 연해구역 : $EN' = 0.80 \times EN$ 평수구역 : $EN'' = 0.65 \times EN$	
Anchor Chain의 강도 및 Anchor Rope의 강도	Chain 사용시 Diameter	GR. I	$d1 = 1.00 \times \sqrt{3} \times \sqrt{EN}$ (mm)
		GR. II	$d2 = 0.875 \times \sqrt{3} \times \sqrt{EN}$ (mm)
		GR. III	$d3 = 0.875^2 \times \sqrt{3} \times \sqrt{EN}$ (mm)
	Rope 사용시	① Rope에 연결된 Chain의 최소길이 : 10 m ② Rope의 강도 Chain Diam.에 상당하는 강도 $\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{ 둘중 큰값}$ $3 \times EN \times (44 - 0.14 \sqrt{EN})$ (Kg)	
Anchor Chain 또는 Anchor Rope의 길이		$l \geq 10 \times \sqrt{EN} + 50$ (m) (단, Anchor Rope에 연결되는 Chain의 길이가 10m를 초과할 경우 Chain의 길이만큼 Rope의 길이를 감소시킬 수 있다.)	
Mooring Line의 길이 및 강도		소형강선규칙 제25장 표 25.1 (앵커, 앵커체인 및 로우프)에 의한 설비를 할것.	
Tow Line의 길이 및 강도			

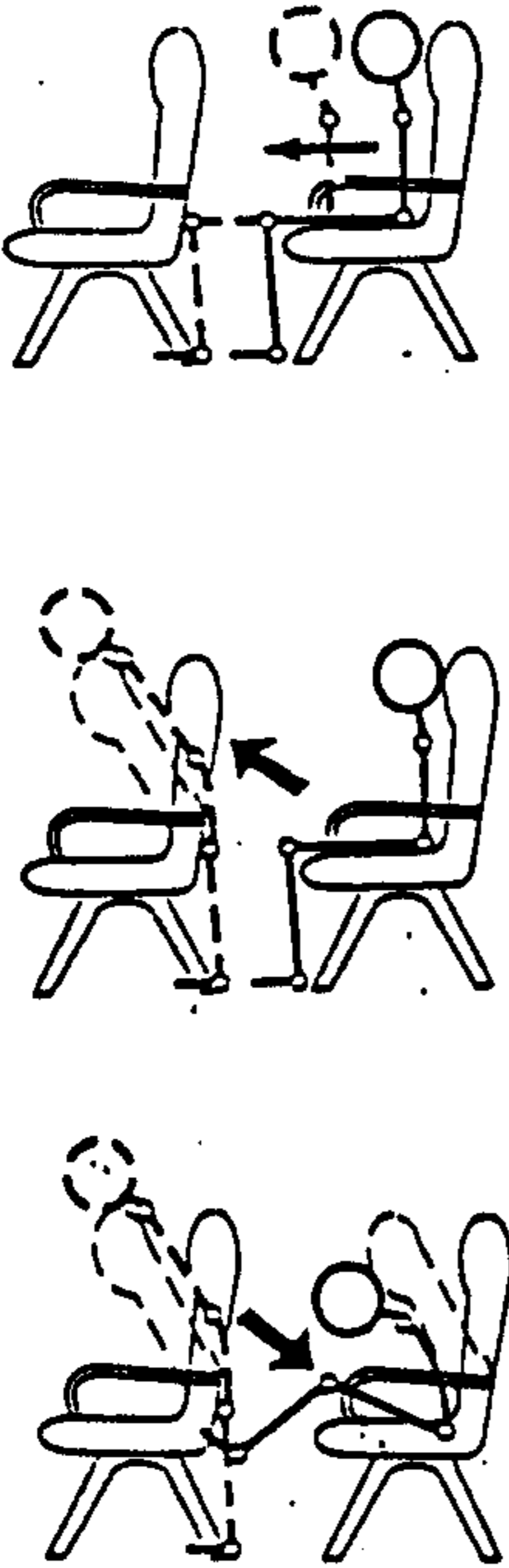
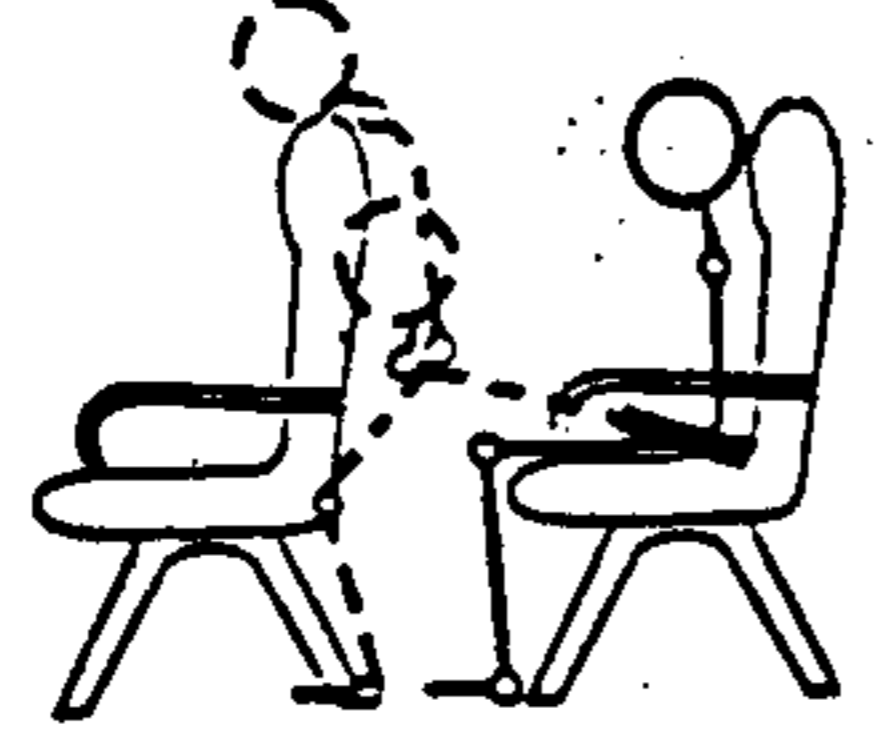
**Table 5-3 Holding Power-to-Weight according to Anchor Types**

Mushroom Anchor	$H = 2.5 W$
Standard Navy Stockless	$H = 7.0 W$
Commercial Stockless	$H = 4.7W \sim 5.0 W$
Danforth	$H = 16W \sim 21W$
H : 파지력 (Kg)      W : 앵커의 단위중량 (kg)	

**Table 5-4 Regulation for the Seat Equipment**

항 목 \ 항해예정시간	6 ≥ 시간 > 24	1.5 ≥ 시간 > 6	1.5 > 시간
단위너비	50 Cm	45 Cm	40 Cm
등판높이	65 Cm	55 Cm	--
팔받침너비	6 Cm	5 Cm	--
안쪽길이 : 40Cm 이상 단, 항해예정시간이 3시간 미만인 경우 완화			
전면공간거리 : 30Cm 이상			
통로에서 착석장소까지의 거리 : 2m 이내			

Table 5-5 Phases of Impact

 <p>(a) No Seat Belt 의 경우</p>	<p>: 초기의 충격에 의하여 무릎이 닿을때 까지 앞으로 나아감. 따라서 무릎이 닿는 부분은 충격을 흡수할 수 있는 재질로 고려한다.</p> <p>: 머리와 가슴이 닿는 상황이 발생시 목부분이 닿을 수 있으므로 높이를 고려할것.</p> <p>: 충격을 받은후 다시 원상태로 되돌아 올때의 충격을 완화하기 위한 고려할 것.</p>
 <p>(b) Lap Belt 의 경우</p>	<p>: 2-Point Seat Boats을 할 경우 12G - 15G 사이에서 충격을 감소할 수 있는 요건이 되지 못한다.</p>

**Table 5-6 Proposed Design and Test Criteria Seats**

Max. G-load	Collision HSMV (Cats)	Assumed optimal protective features ("No fatalities")	
		No belts	With belts
20 G	<u>20m / 50kn</u> <u>20m / 40kn</u>	Improved "conventional" seats. Rearward facing	High quality "conv." seats 3-point belt, should barness.
15 G	<u>20m / 30kn</u>	Improved "conv" seats. Foreard facing	Foreard facing
10 G	<u>40m / 40kn</u> 130 kn	High quality conv. seats Forward facing	
5 G	<u>80m / 40kn</u> 30 kn		
3 G		Standing person & sitting person conv. seats	

Table 5-7 Comparison of the SOLAS'83 and Res. A.373(X)

항 목		SOLAS 83		IMO A. 373 (X)
		여 객 선		여 객 선
		단국제항해	단국제항해 이외	국제항해, $V/\sqrt{gL} > 0.9$
생 존 정	구명정 (Lifeboats)	① 총 승선인원의 30% 이상 수용가능한 구명정 + 구명뗏목 (진수설비부착) = 100%이상	① 각현에 총 승선인원 50% 이상 구명정 ② 주관청이 승인하는 경우 37.5% 이상 구명정 + 구명뗏목(진수설비부착) = 50% 이상 (각현)	<ul style="list-style-type: none"> <li>총 승선인원의 110%를 수용가능한 최소한 2척의 생존정 비치.</li> <li>2척중 1척은 구조용으로 사용 가능하며 폭로된 구역에 설비.</li> <li>생존정은 간단한 진수설비부착.</li> <li>부양식 생존정의 경우에는 유압장치에 의하여 부양.</li> </ul>
	구명뗏목 (Liferafts)	(부가) 25% 이상의 구명뗏목 (진수설비 부착) (대체) 총톤수 < 500톤 미만, N < 200인 미만의 경우 i) 각현에 100% 이상의 구명뗏목 (이동가능한 경우) ii) 각현에 150% 이상의 구명뗏목 (이동불가능한 경우)		
구조정 (Rescue boats)		① 500톤 ≤ 총톤수 : 각현에 1개 이상 ② 총톤수 < 500톤 : 1척 이상		<ul style="list-style-type: none"> <li>별도의 설비를 하지 않고 생존정에 포함.</li> </ul>
개 인 용 구 명 설 비	구명부환	L < 60m : 8개 이상 60m ≤ L < 120m : 12개 이상 120m ≤ L < 180m : 18개 이상 180m ≤ L < 240m : 24개 이상 240m ≤ L : 30개 이상 ◦ 양현측에 균등히 배치, 한개는 선미에 배치.		<ul style="list-style-type: none"> <li>최소한 2개 이상</li> </ul>
	구명줄	<ul style="list-style-type: none"> <li>각현에 적어도 한개의 구명부환은 30m의 부양성 구명줄 부착.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>적어도 1개의 구명부환에 27.5m 부양성 구명줄 부착.</li> </ul>
	자기점화등	<ul style="list-style-type: none"> <li>구명부환 총수의 반 이상은 자기점화등 부착.</li> <li>60m 미만의 여객선은 6개의 구명부환에 부착.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>각현에 1개의 구명부환에 1개의 자기점화등 부착.</li> </ul>
	자기발연신호	<ul style="list-style-type: none"> <li>자기점화등을 갖춘 구명부환의 2개는 자기발연신호 부착.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>각현에 1개의 구명부환의 1개의 자기발연신호 부착.</li> </ul>
	구명등의	<ul style="list-style-type: none"> <li>탑재인원의 105% 이상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>탑재인원의 100% 이상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>탑재인원의 105% 이상.</li> </ul>
	방수복, 보온복	(부가) 어린이용 구명등의 10% 또는 어린이당 1개씩 설비		(부가) 어린이용 구명등의 설비.
방수복, 보온복		<ul style="list-style-type: none"> <li>방수복 : 3벌 비치.</li> <li>보온복 : 구명정에 승선되는 사람의 총수 단, 전폐, 부분폐형 구명정에 수용되는 사람이 있거나 따뜻한 기후에는 생략.</li> </ul>		-
구명줄 발사기		1개		1개
낙하산 신호		12개 이상		12개 이상 (자기추진식)

Table 5-8 Reviews of Practical use for the Unarmored Cable

비외장전선의 사용제한사항	사용 방안	비 고
수밀 Jacket를 주의하지 않고 강제로 잡아 당기지 않아야 한다.	○ 작업자의 훈련	IEEE
수밀 Jacket를 금속이나 꺼칠꺼칠한 부분위에서 잡아당기므로 찢어지지 않을 것.	○ 작업자의 훈련 ○ Roller 받침대 활용	IEEE
금속이나 다른 전선에 Sliding하여 Jacket의 두께가 감소하지 않아야 한다.	○ 작업자의 훈련 ○ Jacket 재질 개발	IEEE
날카로운 Band에 의한 파열	○ 작업자의 훈련 ○ Band 개량	IEEE
거주구등 외상의 염려가 없는 장소를 제외하고 케이블은 외장을 가지는 것이라야 한다.	○ 천정은 Cable Tray 위에, ○ 입상개소는 보호관내에 포설한다.	KR & GL

주. Jacket는 Sheath로 표기하기도 한다.

Table 5-9 Mechanical Properties of Various Fiber Reinforced Materials

섬유종류	재료명	비중 (g/cm <sup>3</sup> )	인장강도 (kg.f/mm <sup>2</sup> )	종탄성계수 (kg.f/mm <sup>2</sup> )
유리섬유	E glass	2.55	200 ~ 280	7,350
탄소섬유	T300A	1.78	250	23,000
Boron 섬유	Borofill	2.63	175 ~ 280	40,000
Armid	Kevlar	1.45	280	13,300
실리콘 카바이드	일본 카본 니칼론	2.5	250	18,000

Table 5-10 Mechanical Properties of Various Boron Fiber Reinforced Metals

목재의 종류	섬유 함유율	탄성율 (kg/mm <sup>2</sup> )	인장강도 (kg/mm <sup>2</sup> )
알루미늄	0.45	22,400	154
마그네슘	0.30	22,000	96.4
티탄늄	0.30	20,400	98
니켈	0.42	23,000	132



Table 5-11 Comparison of Principal Characteristics of Ceramics and Metal

재료 \ 특성	내열성	고온강도	연성	열충격저항	내산화성
금속	불량	불량	양호	우수	불량
유리	불량	불량	불량	불량	우수
도자기	보통	보통	불량	보통	우수
New Cermics					
산화물	양호	양호	불량	불량	우수
탄화물	우수	우수	불량	양호	불량
硼化物	우수	우수	불량	양호	보통
규화물	우수	우수	불량	불량	양호
질화물	양호	양호	불량	보통	보통

Table 5-12 Mechanical Properties of Various Titanium Alloys

결정 구조	합금 종류	열처리법	인장강도 (kg.f/mm <sup>2</sup> )	항복강도 (kg.f/mm <sup>2</sup> )	신율 (%)
α	Ti-5Al-2.5Sn	소둔	88	82	16
	Ti-5Al-2.5Sn-ELI	소둔	82	76	16
α + β	Ti-8Al-1Mo-1V	2중소둔	102	97	15
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	소둔	100	91	15
	Ti-6Al-4V	소둔	100	94	14
		STA*	119	112	10
	Ti-6Al-4V-ELI	소둔	91	84	15
	Ti-6Al-6V-2Sn	소둔	108	101	14
		STA	130	119	10
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	STA	130	120	10
β	Ti-15Mo-5Zr-3Al	STA	150	148	14

주) STA : 용체화 시효 (溶體化 時效)











Table 5-13 An Example of Application of Titanium Alloys

분야	사 용 예
항공기	[F-15] 전투기용 제트 엔진부품, [B757] (보잉사)의 Riding Gear Beam
우주기용품	로켓트 엔진의 엔진 케이싱, 인공위성용 업포즈 모타 케이스
해양용품	심해 잠수정 선체 또는 각종 탱크류, 인버터 용기등
극저온용품	초전도 자석용 용기, 냉동기 콤포레샤 등

Table 5-14 The Function and Problems of SOLAS '74

통신종류	통신구간	통신수단	문 제 점
조난통보	조난선 -> 선박 -> 육상국	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ VHF(16CH) 무선전화</li> <li>◦ MF 무선전신(500KHz) (Auto Alarm)</li> <li>◦ MF(2182 KHz) 무선전화</li> <li>◦ VHF/MH 무선전신전화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 조난경보는 500KHz 무선전화 일변도이다.</li> <li>◦ 수동청각 수신이다.</li> <li>◦ 통신 유자격자가 필수이다.</li> <li>◦ 무선전신은 1600G/T 미만의 선박의 경우 설치의무가 없다.</li> </ul>
수색구조	구조 조정 본부 -> 구조선 -> 부근 항행선		<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 무선전화는 1600G/T 이상의 선박과 1600G/T 미만의 선박에서 청취의무가 통일되어 있지 않다.</li> </ul>
현장통신	조난선 -> 구조선 -> 부근 항행선		<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 최소통달거리가 100~150마일 이므로 인근을 항행하는 선박 또는 인근의 지상국에만 조난 통신이 가능하다.</li> </ul>
일반통신	선박 -> 선박 -> 육상국	VHF/MF/HF 무선전신전화	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ HF의 통달거리는 세계 전해역이지만, 시간대에 따라서는 Fading 때문에 불안정하고 연락의 확증이 없다.</li> </ul>
Horming 신호	조난선 -> 구조선 -> 부근 항행선	구명정용 EPIRB	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Horming 신호의 방위 Error 때문에, 위치가 부정확하여 수색에 시간이 걸린다.</li> </ul>
선교 대 선교통신	선박 - 선박	주로 VHF 무선전화	
해상안전 정보방송			청취의무 없음.

Table 5-15 Detailed Introduction Schedule for the System Elements og GMDSS

구성요소	설비대상	'92.2/1	'93. 8/1	'95. 2/1	'99. 2/1
VHF 쌍방향 무선전화기	'92.2.1.이전 건조선박 '92.2.1.이후 건조선박				
NAVTEX/SAT EPIRB	모든 선박				
무선통신	'95.2.1.이전 건조선박 '95.2.1.이후 건조선박				
RADAR (X-Band)	모든 선박				
RADAR Transponder	'92.2.1.이전 건조선박 '92.2.1.이후 건조선박				

 설치 유예기간  
 모든 선박의 의무화

Table 5-16 Control Requirements of GMDSS

기 기	SOLAS 74 수정안	SOLAS 결의안 ('88)
VHF 무선기기	7. 규칙 1.1.1 선박을 통상 항행하는 장소에서 CH70으로 조난정보를 개시할 수 있어야 한다.	A.609, 4.1.6 설비의 제어는, 선박을 통상 항행하는 장소에서 할 수 있어야 한다. 추가기기를 설비할 경우에는 선박을 통상 조선하는 장소로부터의 제어가 우선이다.
406 MHZ 위성 EPIRB	8. 규칙 1.2 당해 선박이 항행하는 장소의 가까이에 위치하여야 하고, 그 장소에서 원격조작 되어야 한다.	A.611, 2.6.1 항해하는 장소에서 수동조작이 가능할 것. 본 장치가 바다에 떠 있을 때는 선교에서 원격조작이 가능해야 한다.
NF 무선설비	9. 규칙 2. DSC : 2187.5 KHZ, RT : 2182 KHZ 조선하는 장소에서 조난통신 가능.	A.610, 통칙 2.6 선박의 조선하는 장소 및 그 부근에서 조난통신 및 안전통신 가능할 것. A.610 선박의 항행하는 장소에서 조난호출 및 안전호출이 가능할 것.
MF/HF 무선설비	10. 규칙 3. DSC, R.T 통상 항행하는 장소에서 조난정보의 송신을 개시할 수 있어야 함.	A.613, A부 통칙 2.6 통상 항행하는 장소 및 그 부근에서 조난통신 및 안전통신의 수행 가능할 것. A.613, D부 DSC 4. 통상 항행하는 장소에서 조난호출 및 안전호출의 개시 및 수행이 가능할 것.
INMARSAT-A	10. 규칙 3. DP 통상 항행하는 장소에서 조난정보 개시가 가능할 것.	A.608, 3.2 통상 항행하는 장소에서 조난정보를 전화 및 직접인쇄전신으로 조난호출을 할 수 있어야 하고, 무선통신실에서도 조난호출이 가능할 것.
INMARSAT-C	10. 규칙 3. DP 통상 항행하는 장소에서 조난정보의 송신을 개시할 수 있을 것.	A.608, 3.2 통상 항행하는 장소에서 조난호출의 개시가 가능할 것.

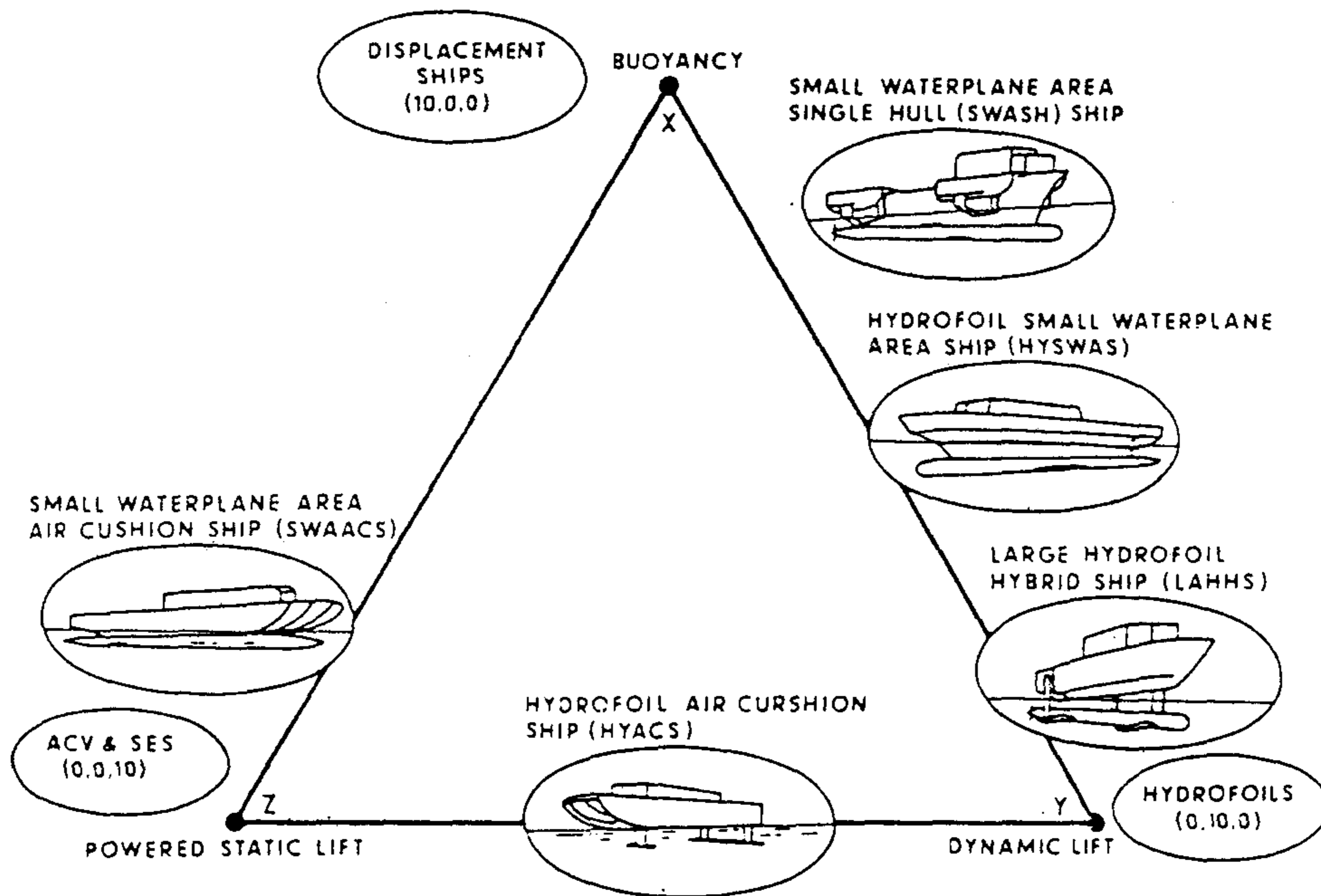


Fig. 5-1 Schematic Representation of Possible Hybrid Vehicles

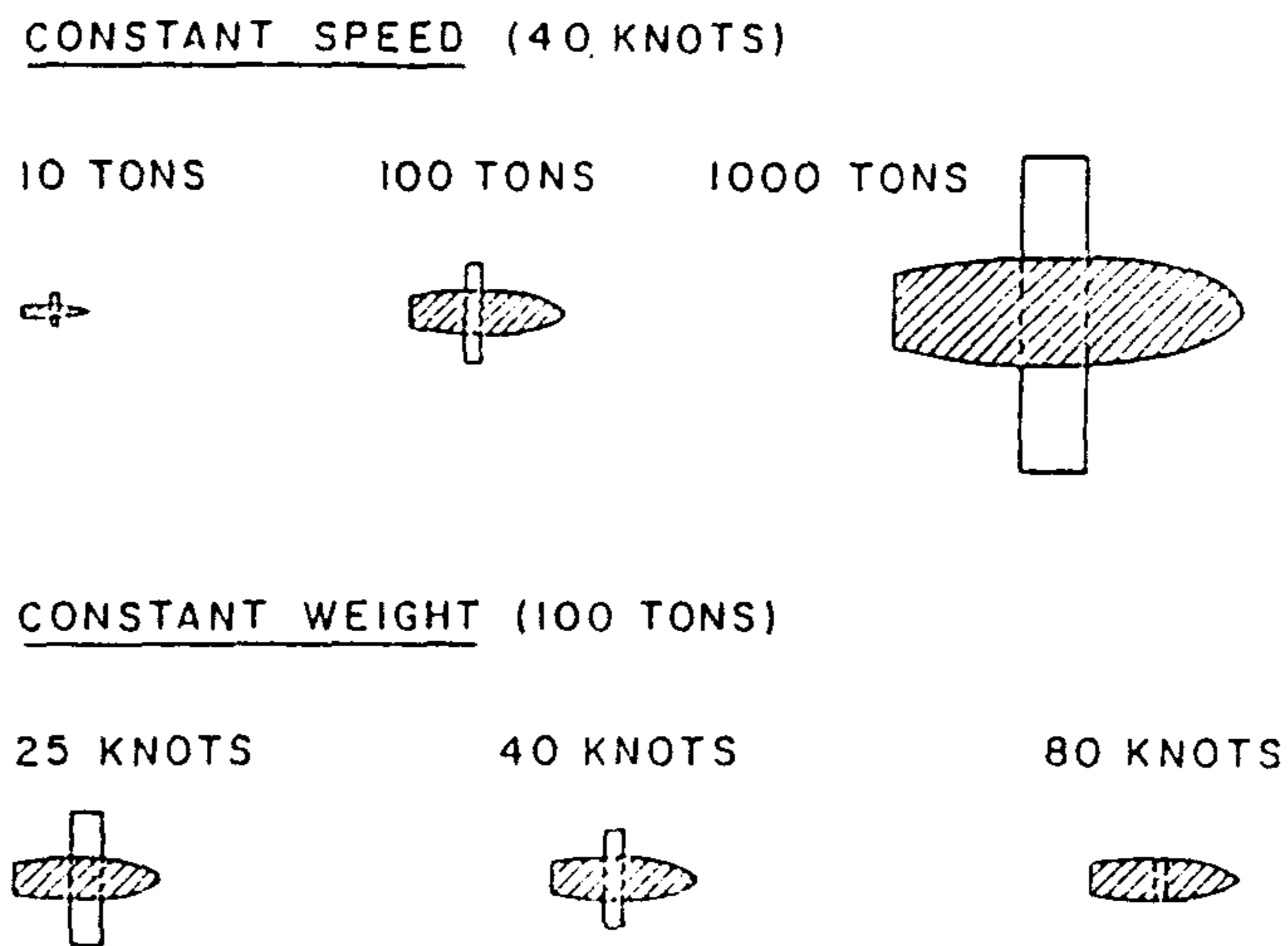


Fig. 5-2 Hydrofoil Scaling Problems

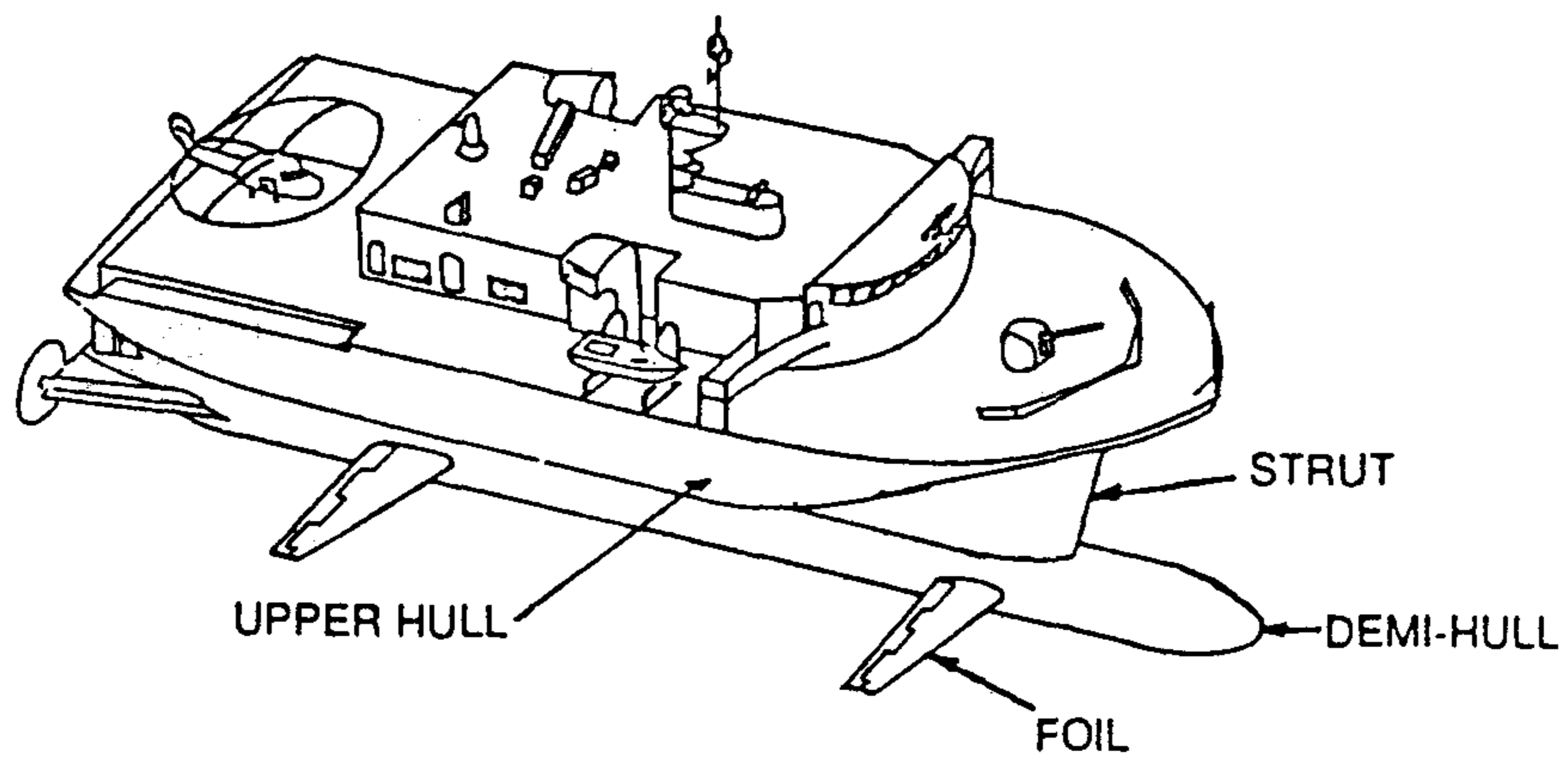


Fig. 5-3 HYSWAS 4000

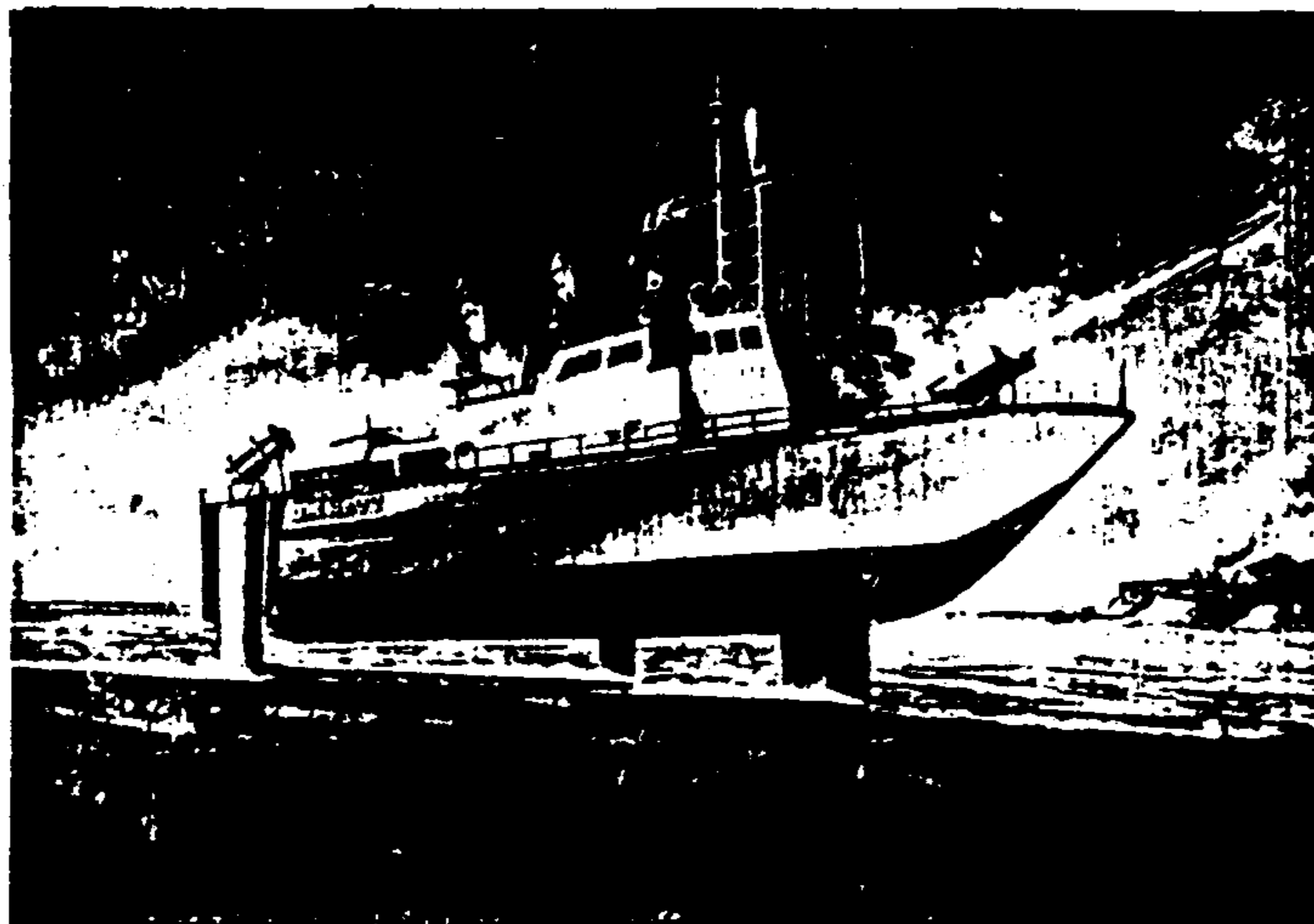


Fig. 5-4 Extended Performance Hydrofoil Concepts

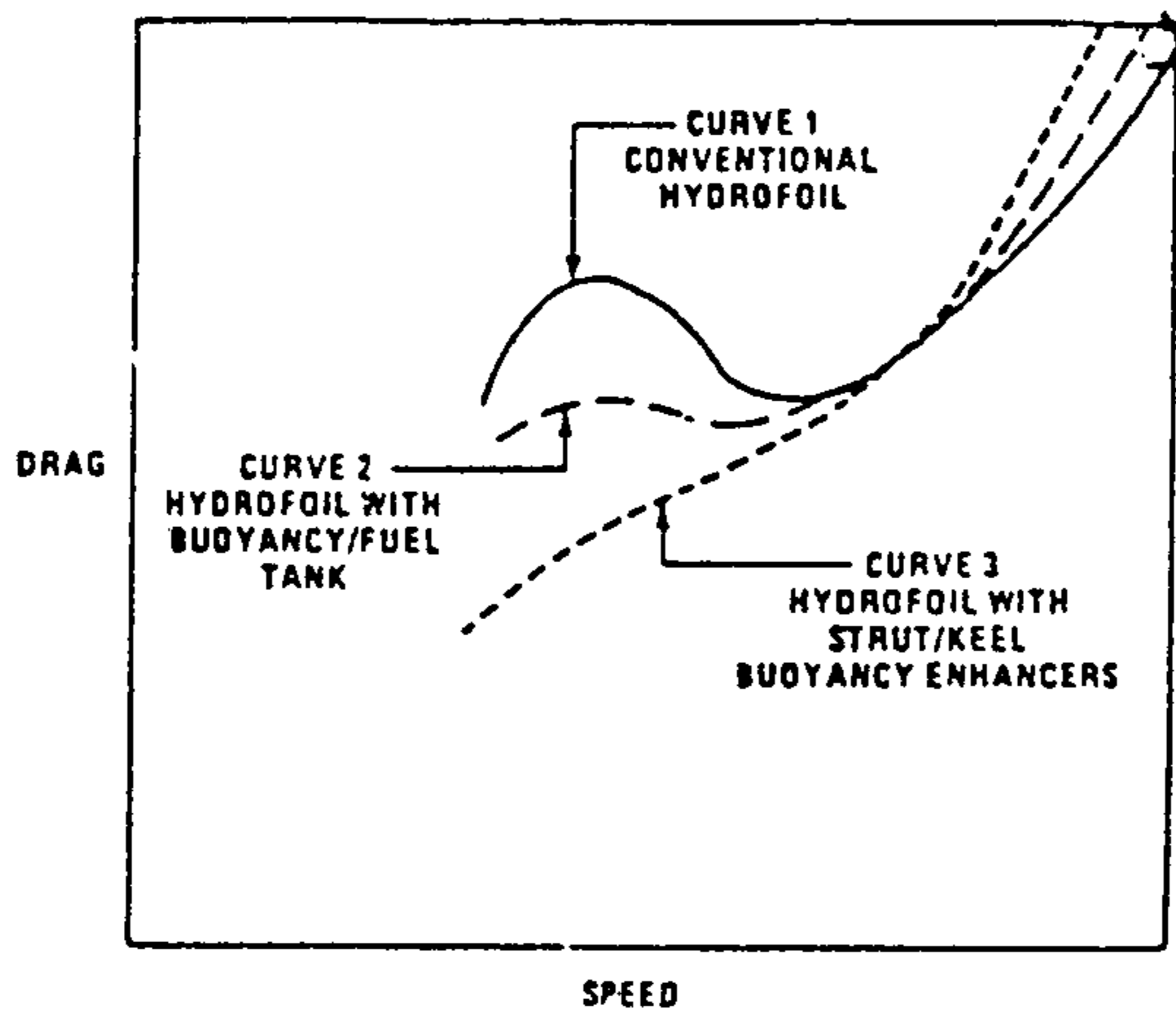


Fig. 5-5 Hybrid Drag Trends

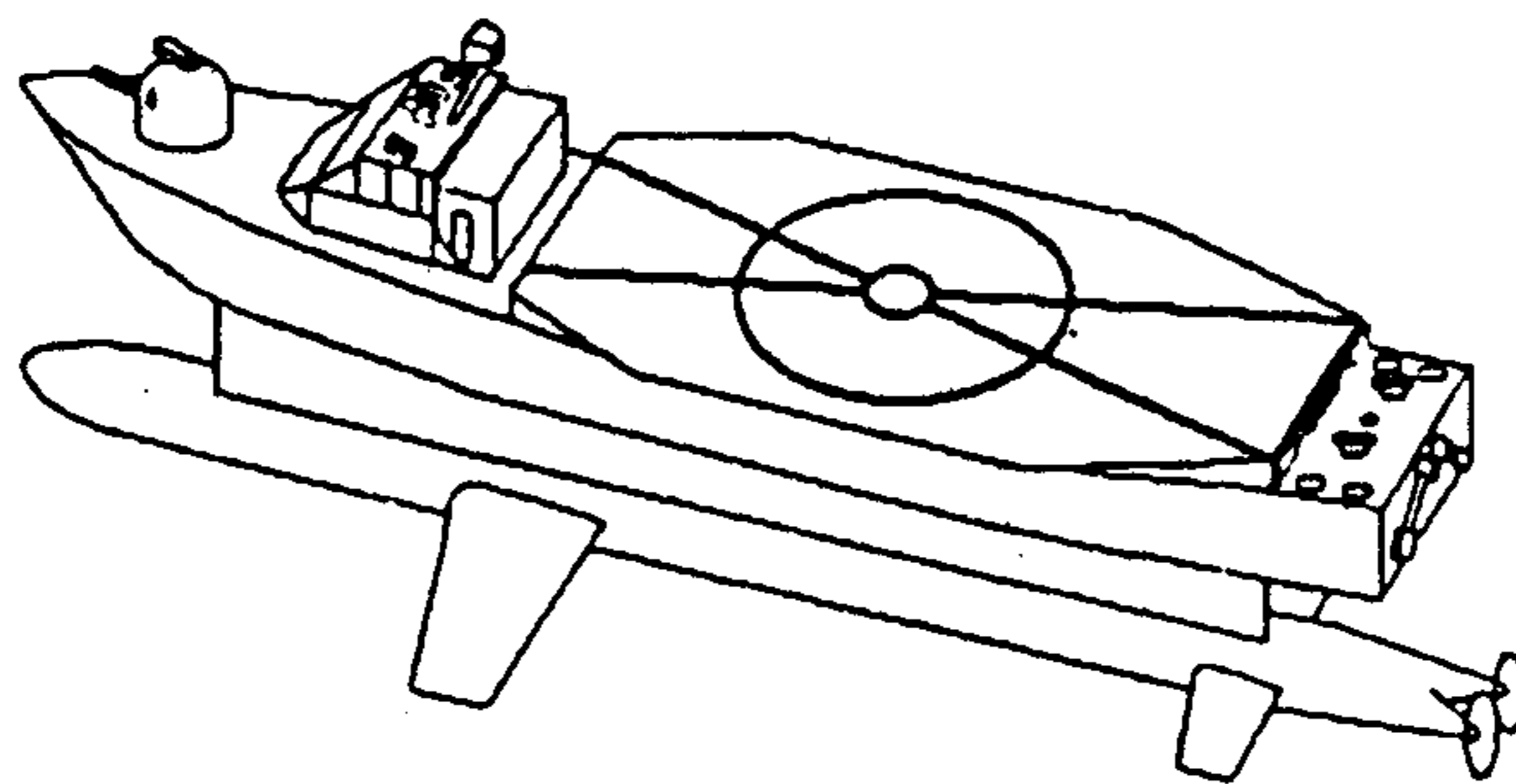


Fig. 5-6 Hybrid Hydrofoil Multimission Deployable Vehicles



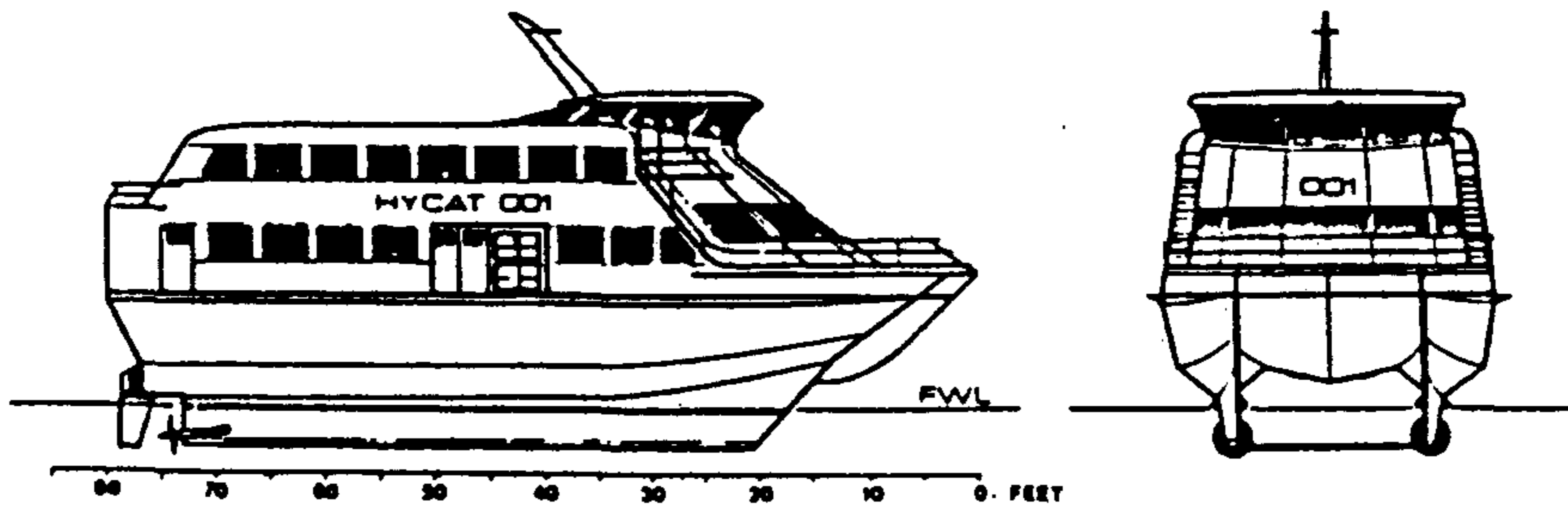


Fig. 5-7 Hydrofoil Catamaran (HYCAT)

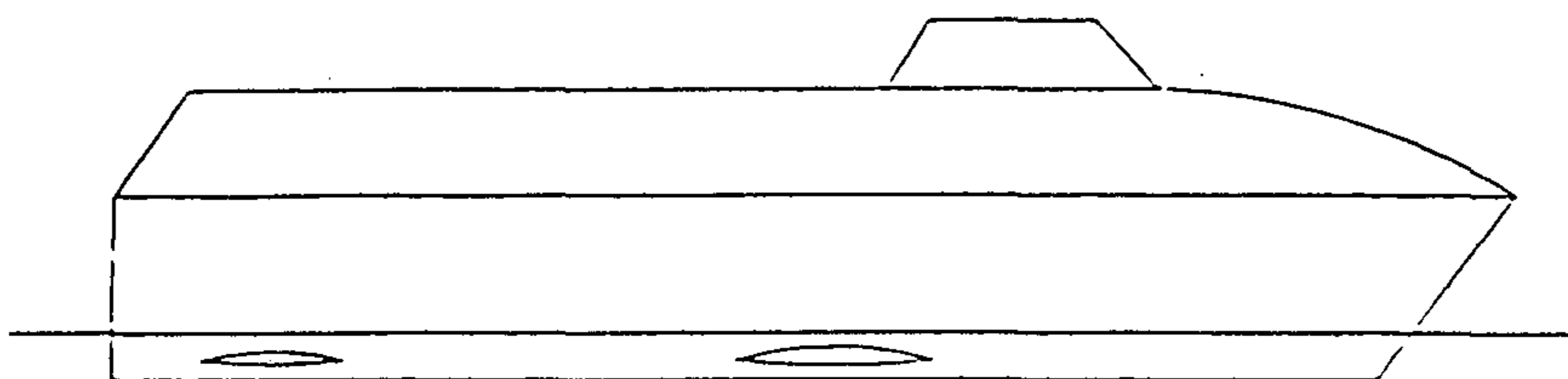


Fig. 5-8 CATAFOIL

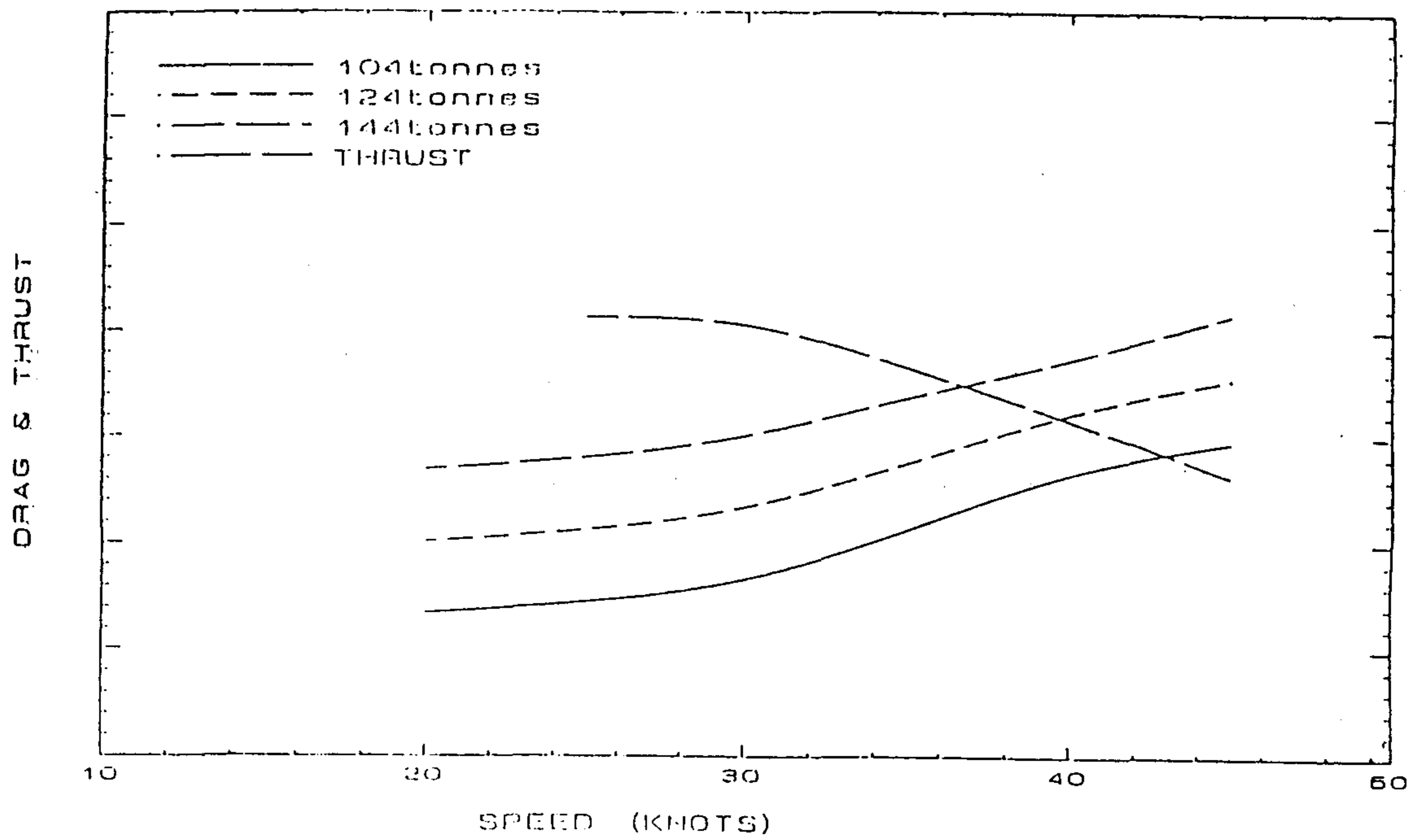


Fig. 5-9 Calm Water Drag and Thrust Curves for CATAFOIL

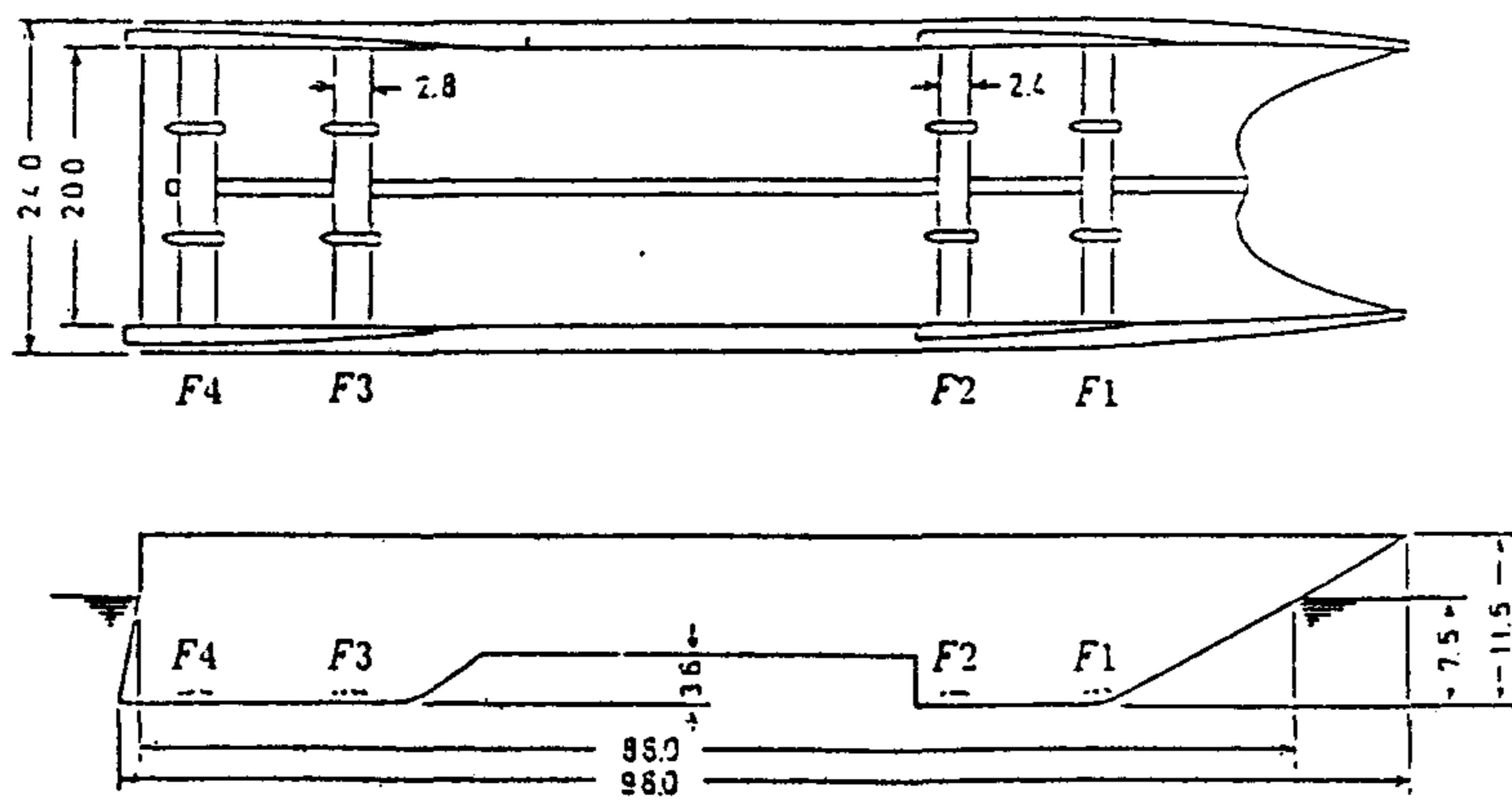


Fig. 5-10 Hydrofoil Catamaran HC 2000 Concept

Table 1: Main characteristics of ferry

total mass of ship	600 tons
length over all	40 m
width	16 m
draft minimal	3.5 m
draft supported by hydrofoils	10 m
size of superstructure platform	40 × 16 m <sup>2</sup>
diameter of buoyancy hull	4.5 m
length of buoyancy hull	40 m
length of side floater	20 m
width of side floater	3 m
draft of side floater	2 m
hydrofoil span	16 m
total hydrofoil area	65 m <sup>2</sup>
(canard, main aft control)	(8,50,7) m <sup>2</sup>
engine power	14800 kW
maximal speed	40 kn
take-off speed	23 kn
number of passengers	300

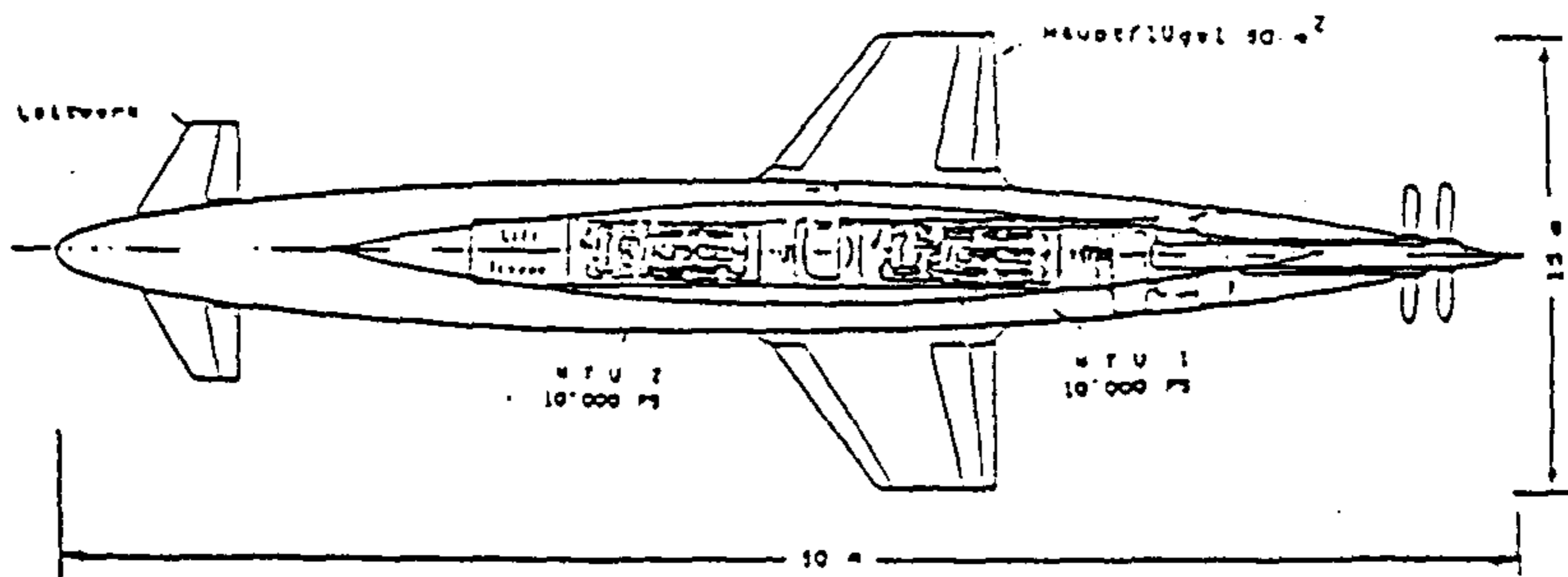
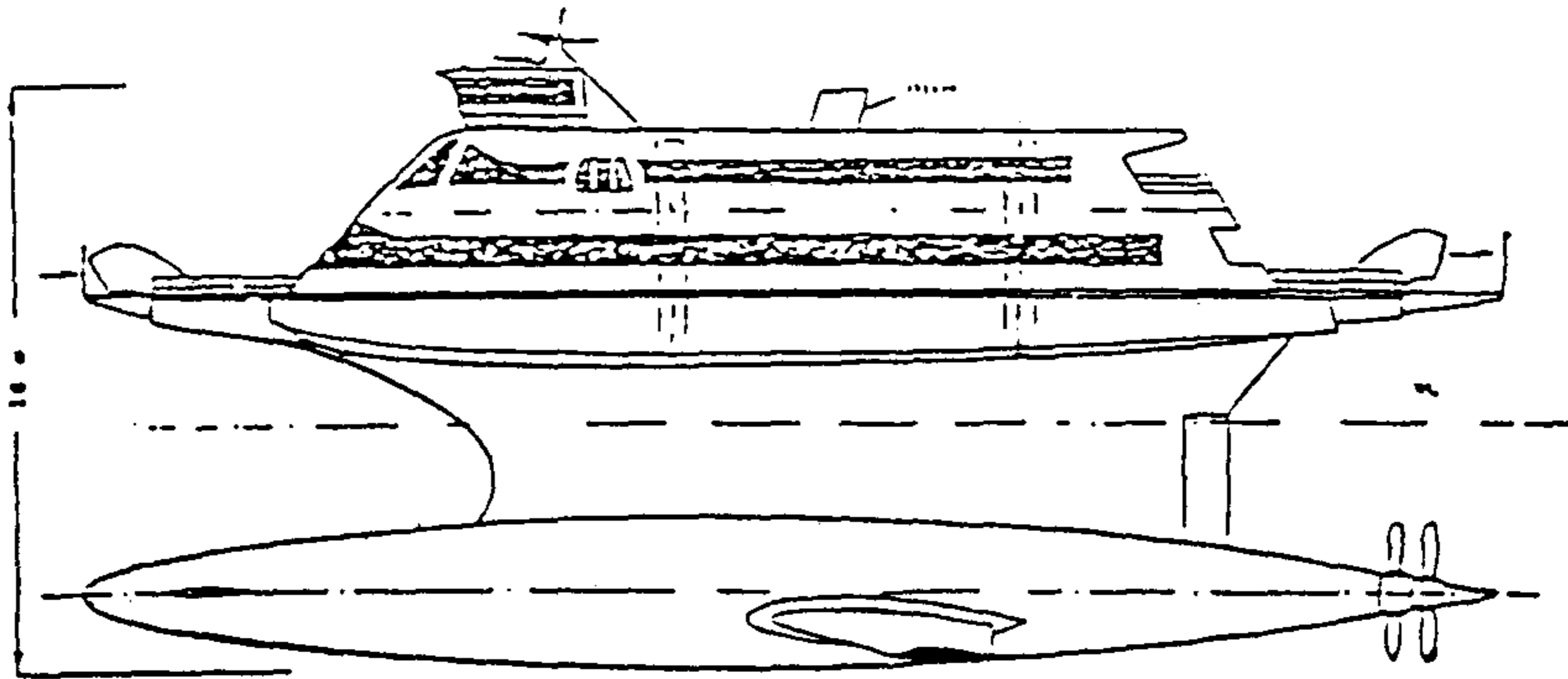
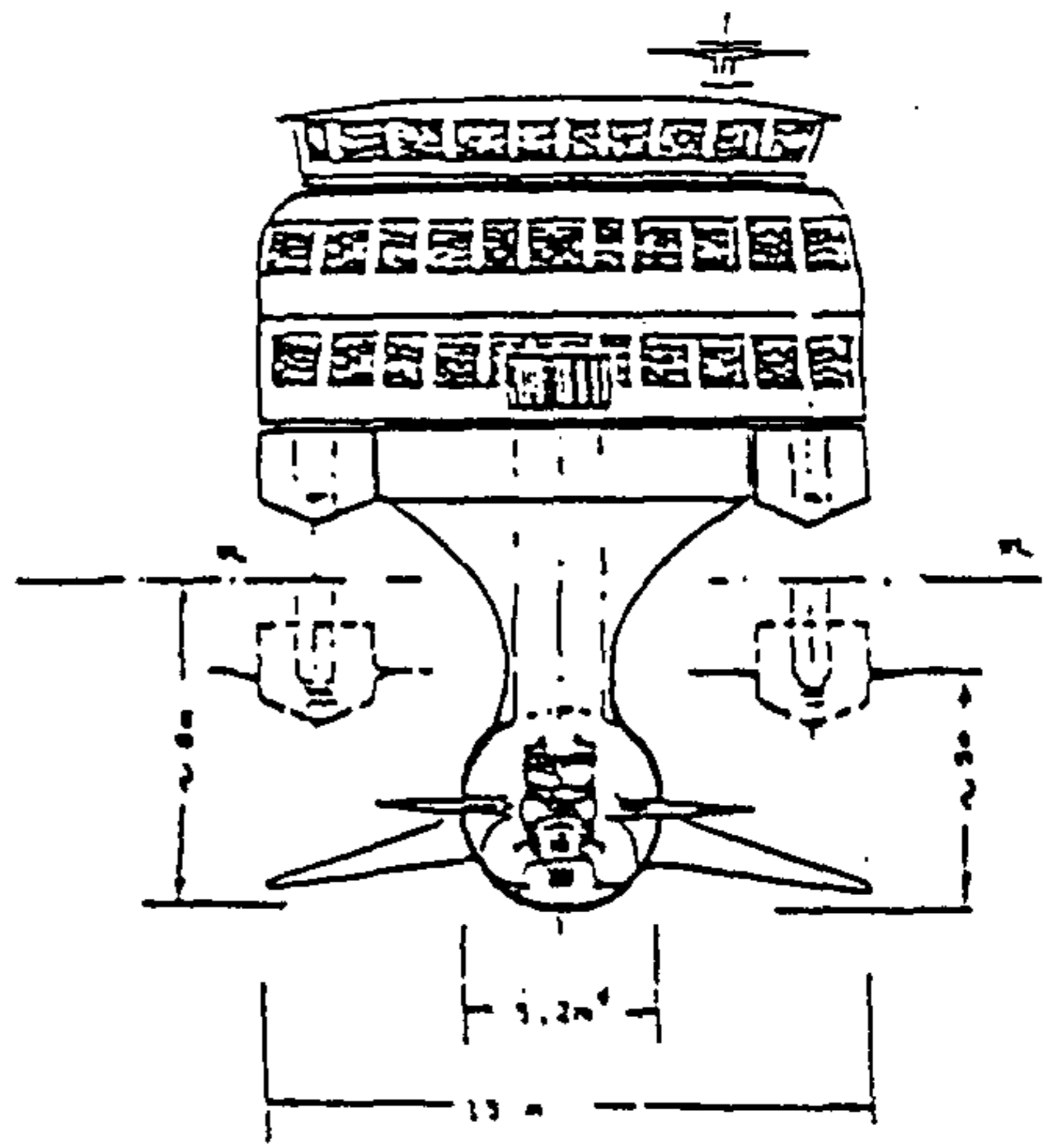


Fig. 5-11 HYSWAS Ferry

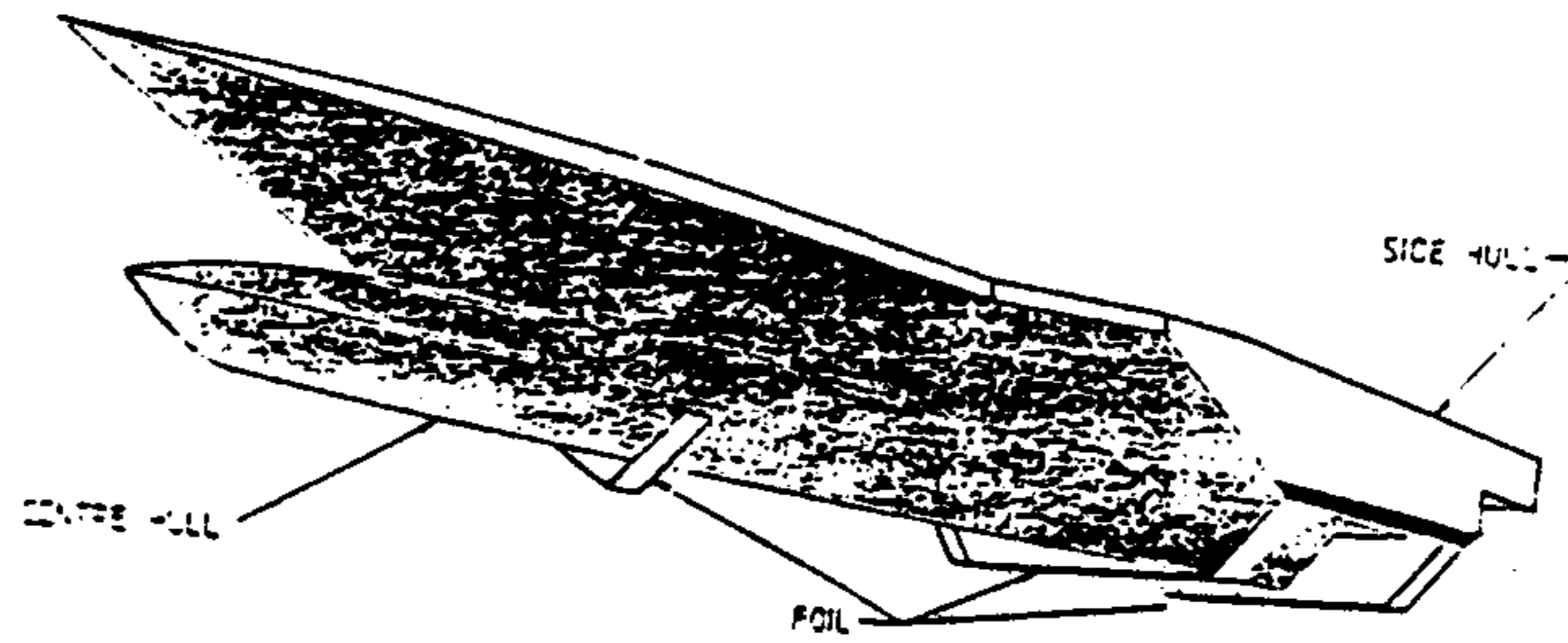


Fig. 5-12 INCAT Trifoil Concepts

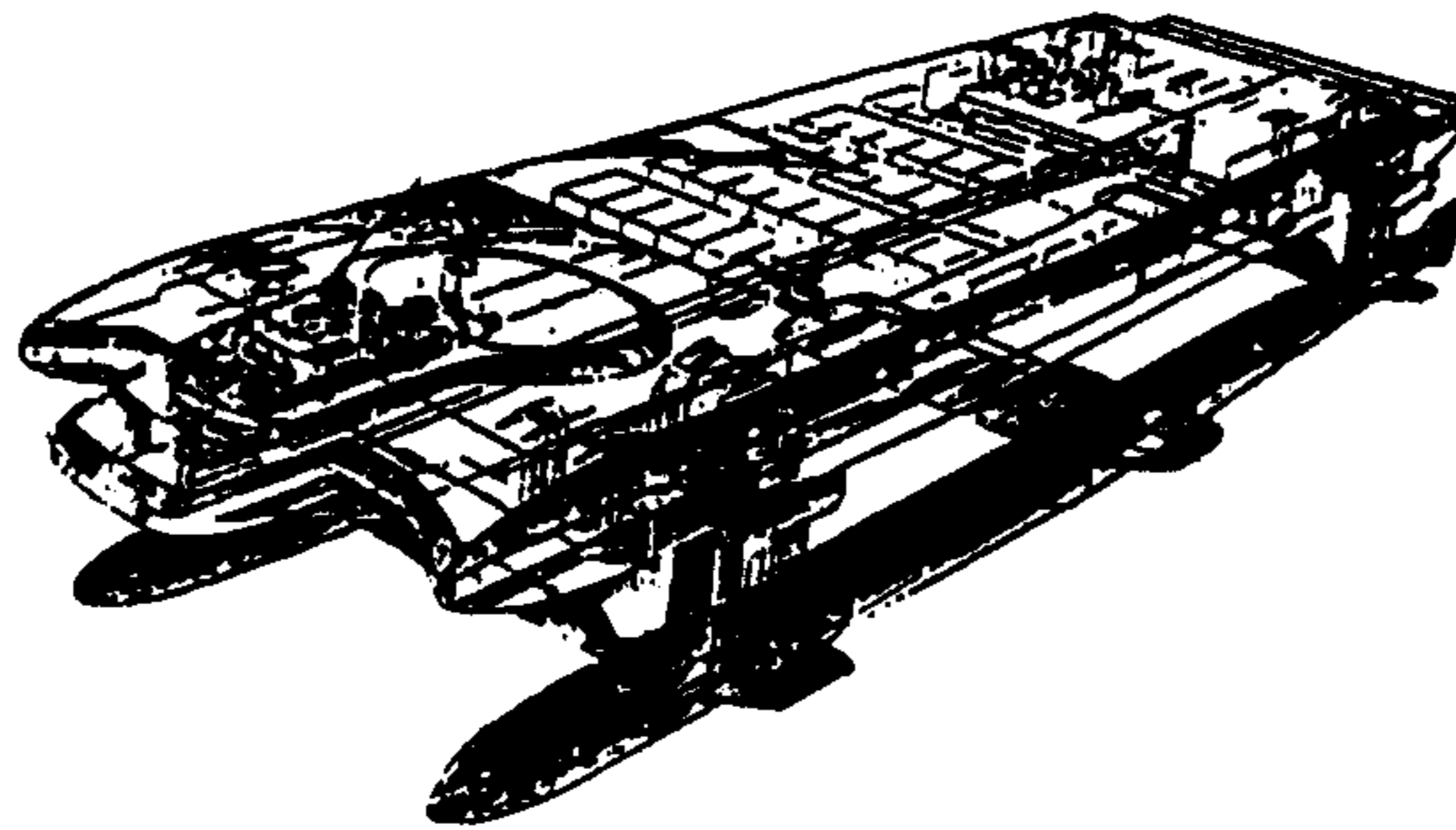


Fig. 5-13 Techno-Superliner TSL-F (Initial Version)

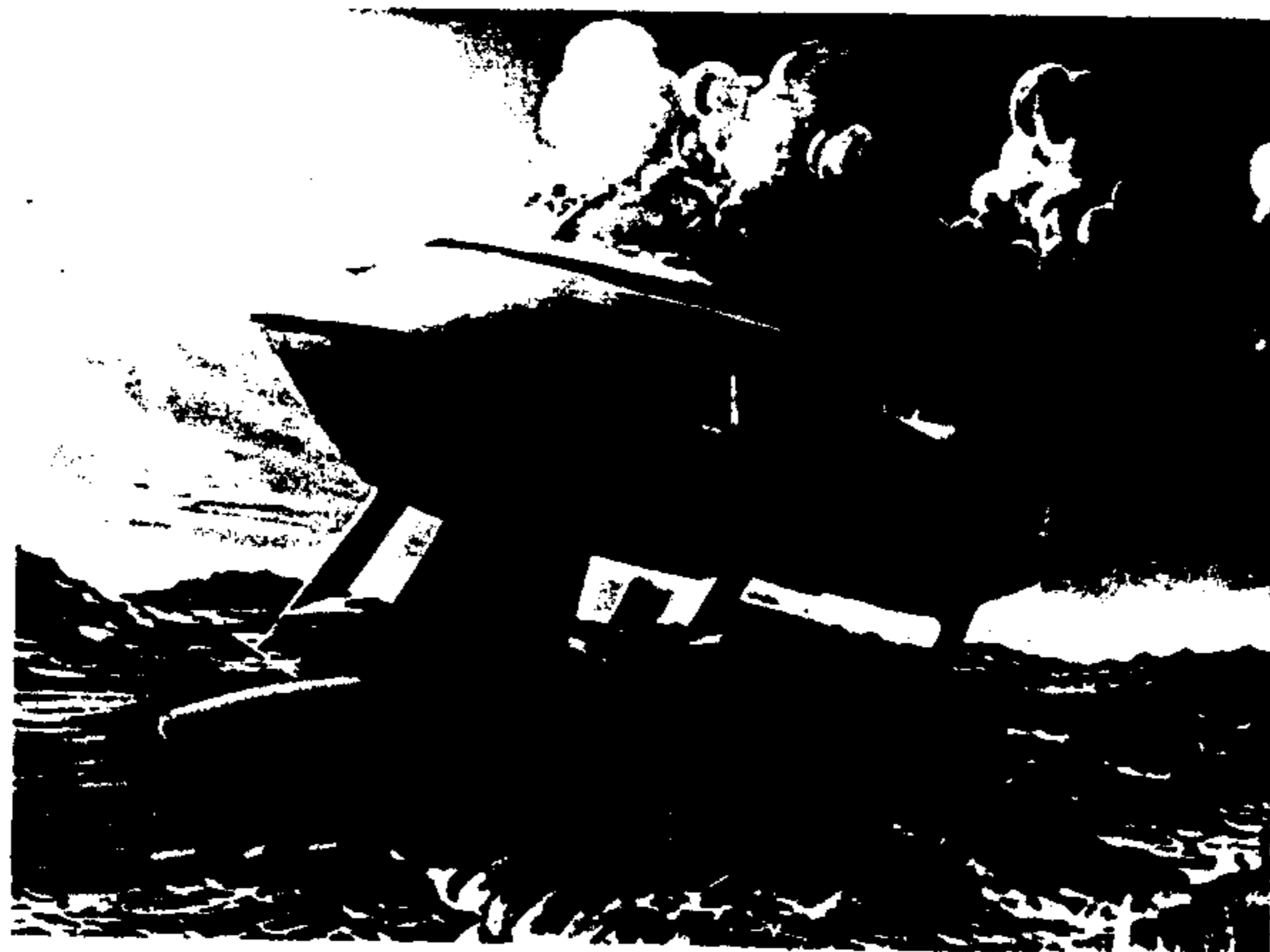


Fig. 5-14 Techno-Superliner TSL-F (Recent Version)

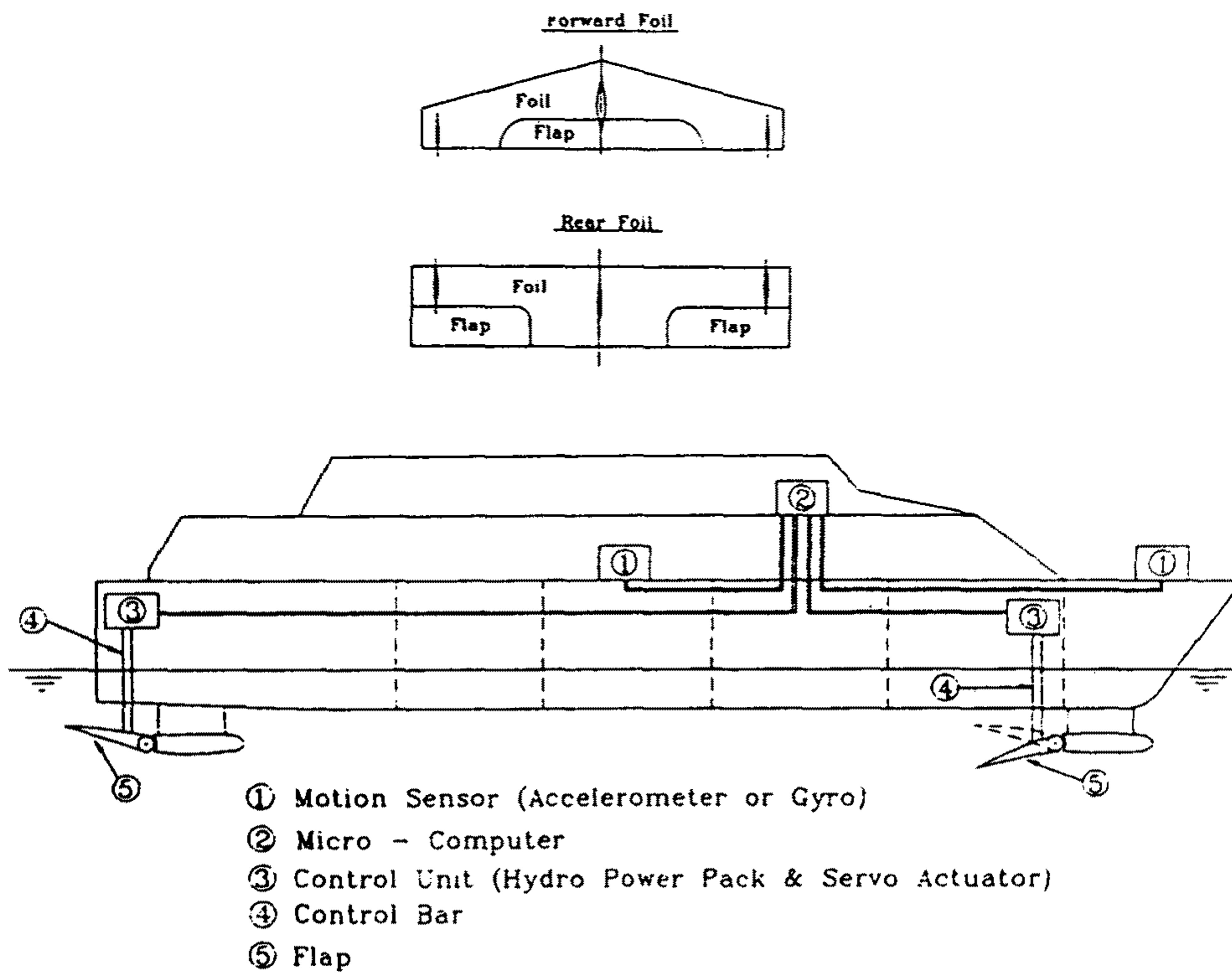


Fig. 5-15 HYUNDAI Long-Range High-Speed Foil Catamaran



Fig. 5-16 Daewoo F-CAT

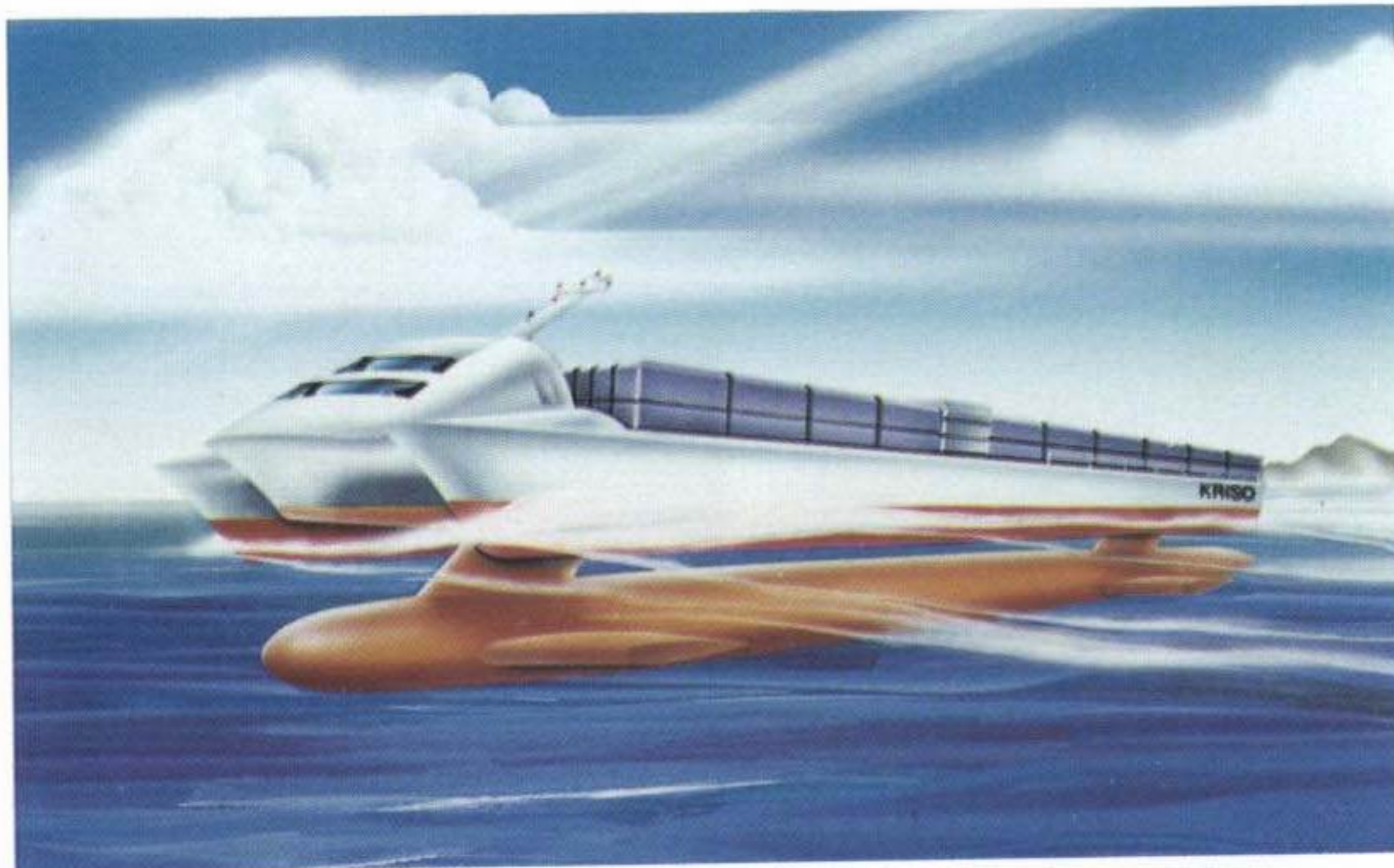


Fig. 5-17 New Hybrid Hull Form Concept (HYSWAS)



Fig. 5-18 New Hybrid Hull Form Concept  
(HYSWAS with Foils of Low Aspect Ratio)

여 백



Fig. 5-19 New Hybrid Hull Form Concept (IHYACS)

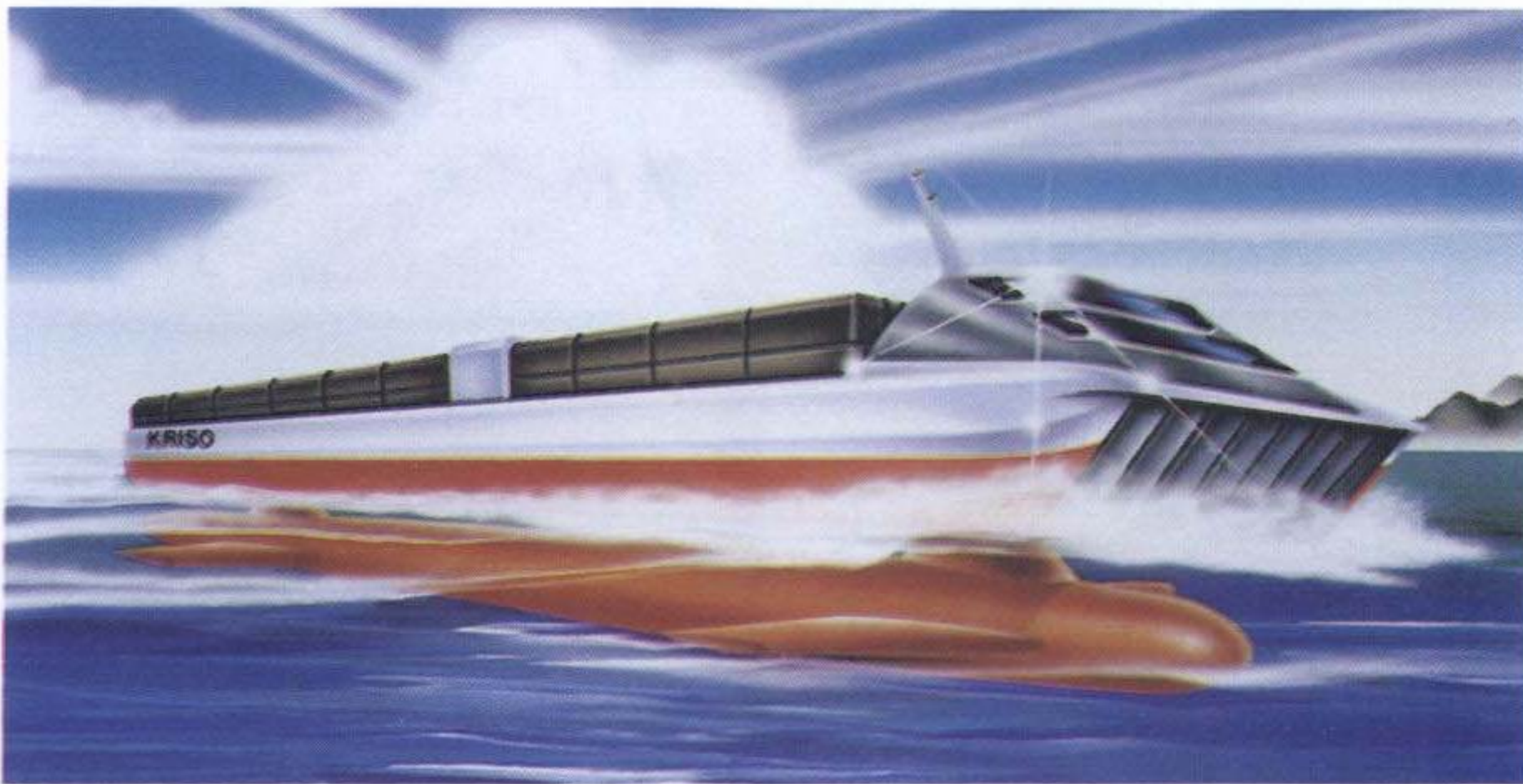


Fig. 5-20 New Hybrid Hull Form Concept  
(SWAACS with Foils)



Fig. 5-21 New Hybrid Hull Form Concept  
(Catamaran with Stepped Bottom)



여 백

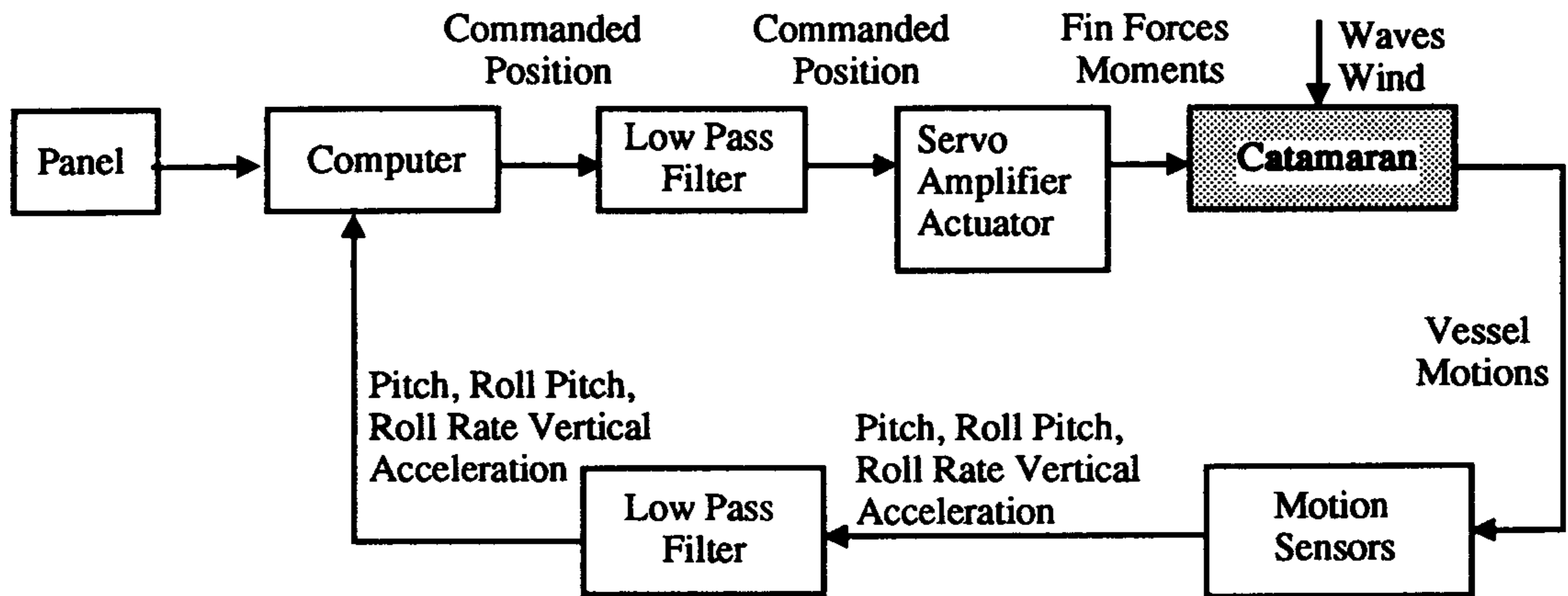


Fig. 5-22 A Schematic Diagram of Motion Damping System

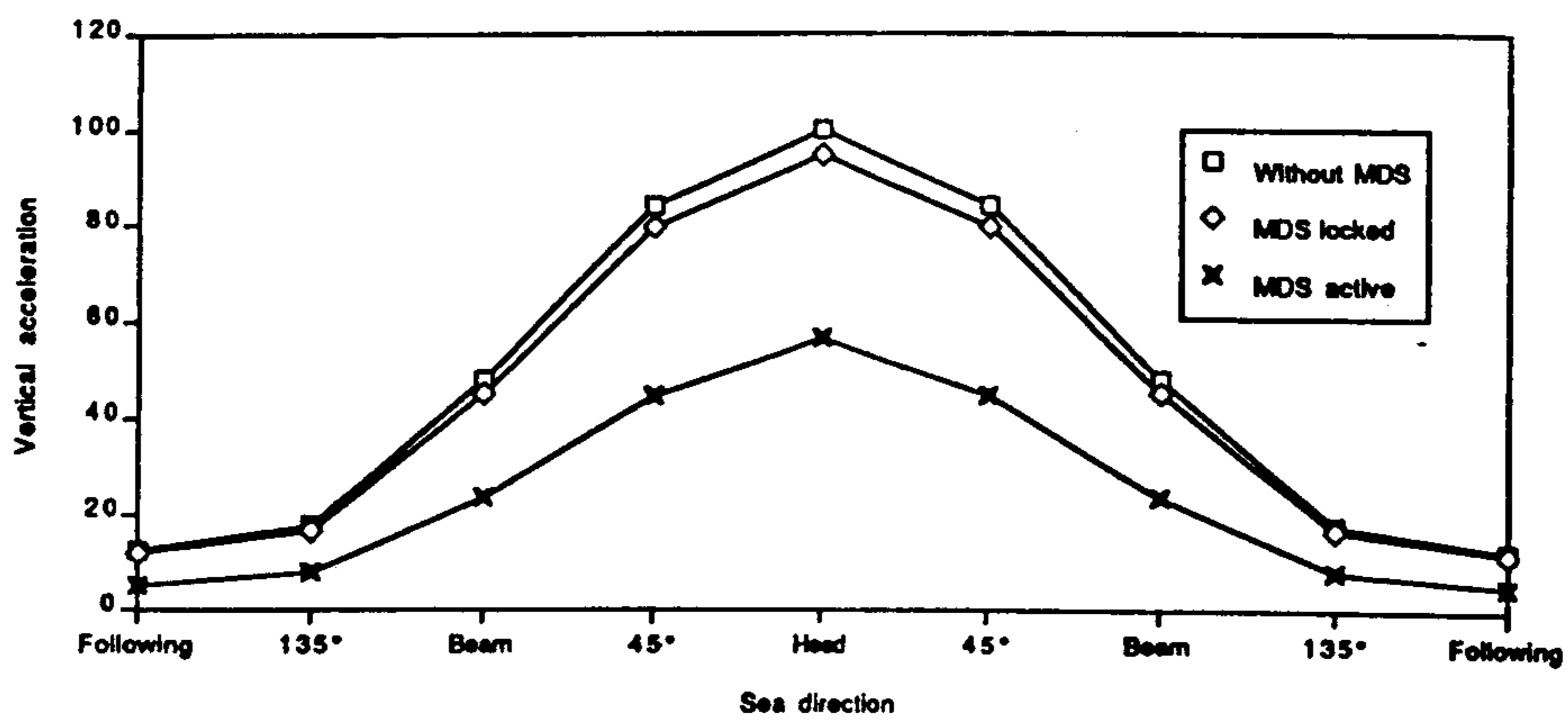
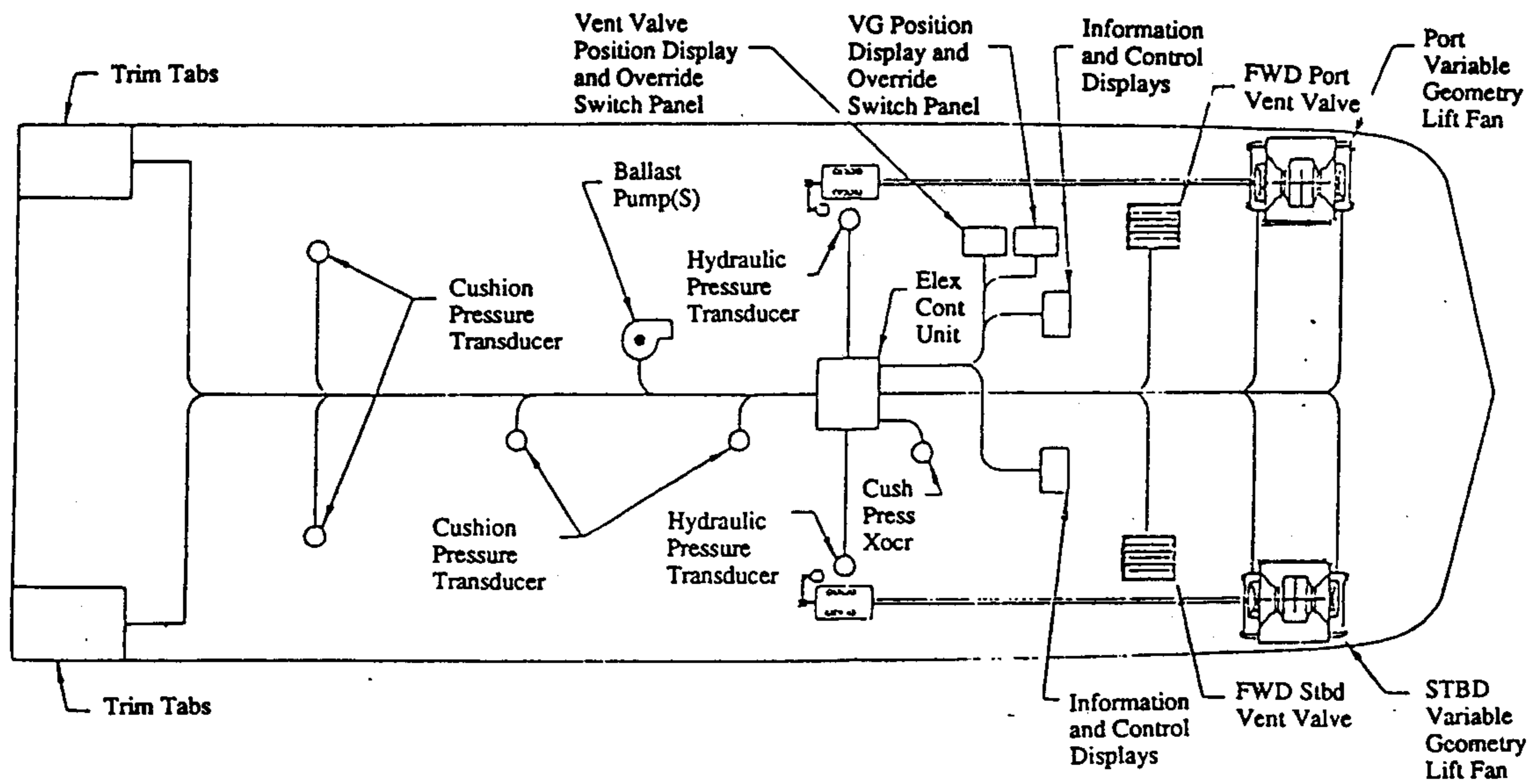
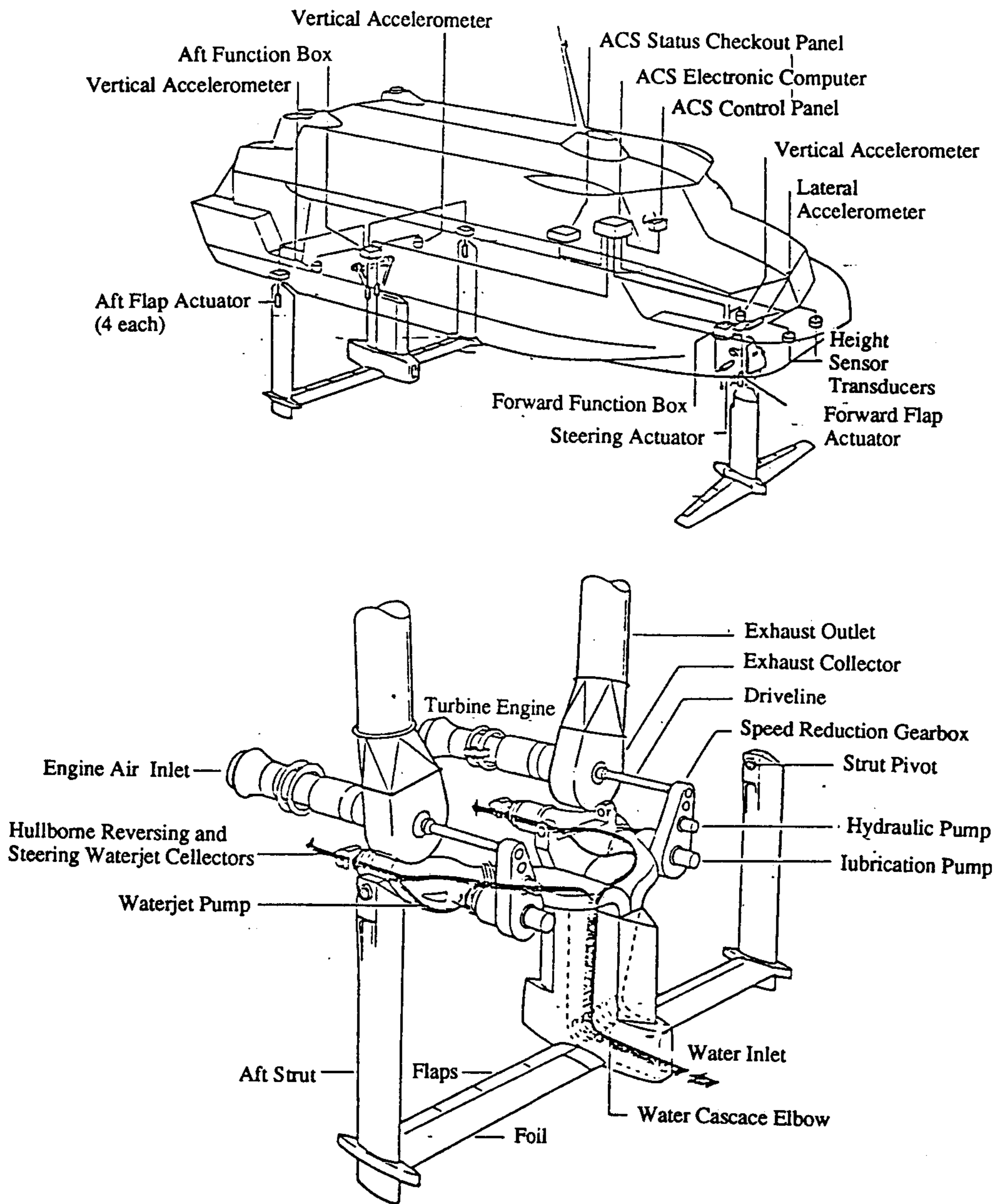


Fig. 5-23 Vertical Acceleration vs Sea Direction with and without MDS



**Fig. 5-24 Lift and Ride Control System of the SES**



**Fig. 5-25 Strut and Foil System of the Foilcat**

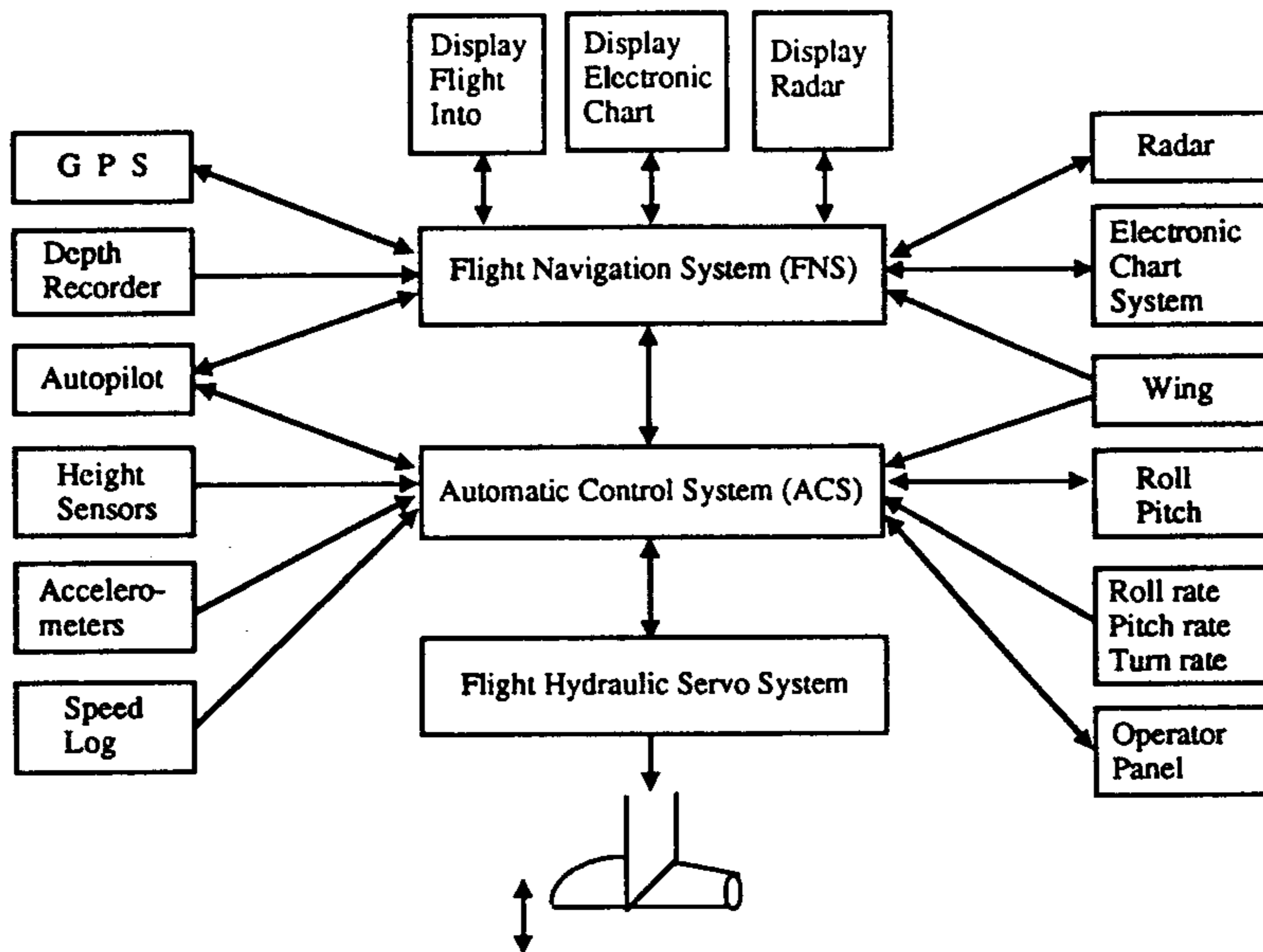


Fig. 5-26 A Schematic Diagram of Automatic Control System

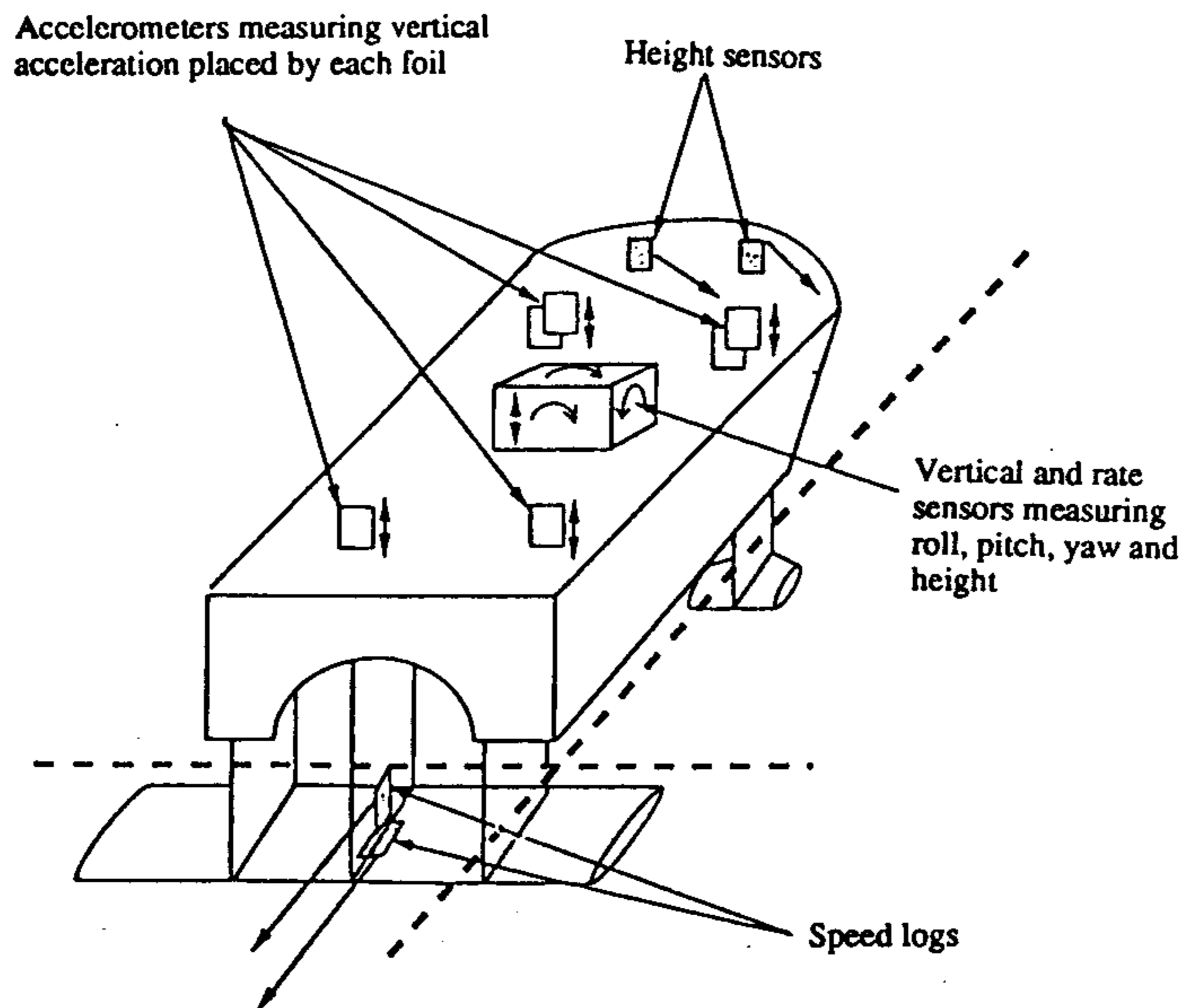


Fig. 5-27 Motion Sensors of the Foilcat

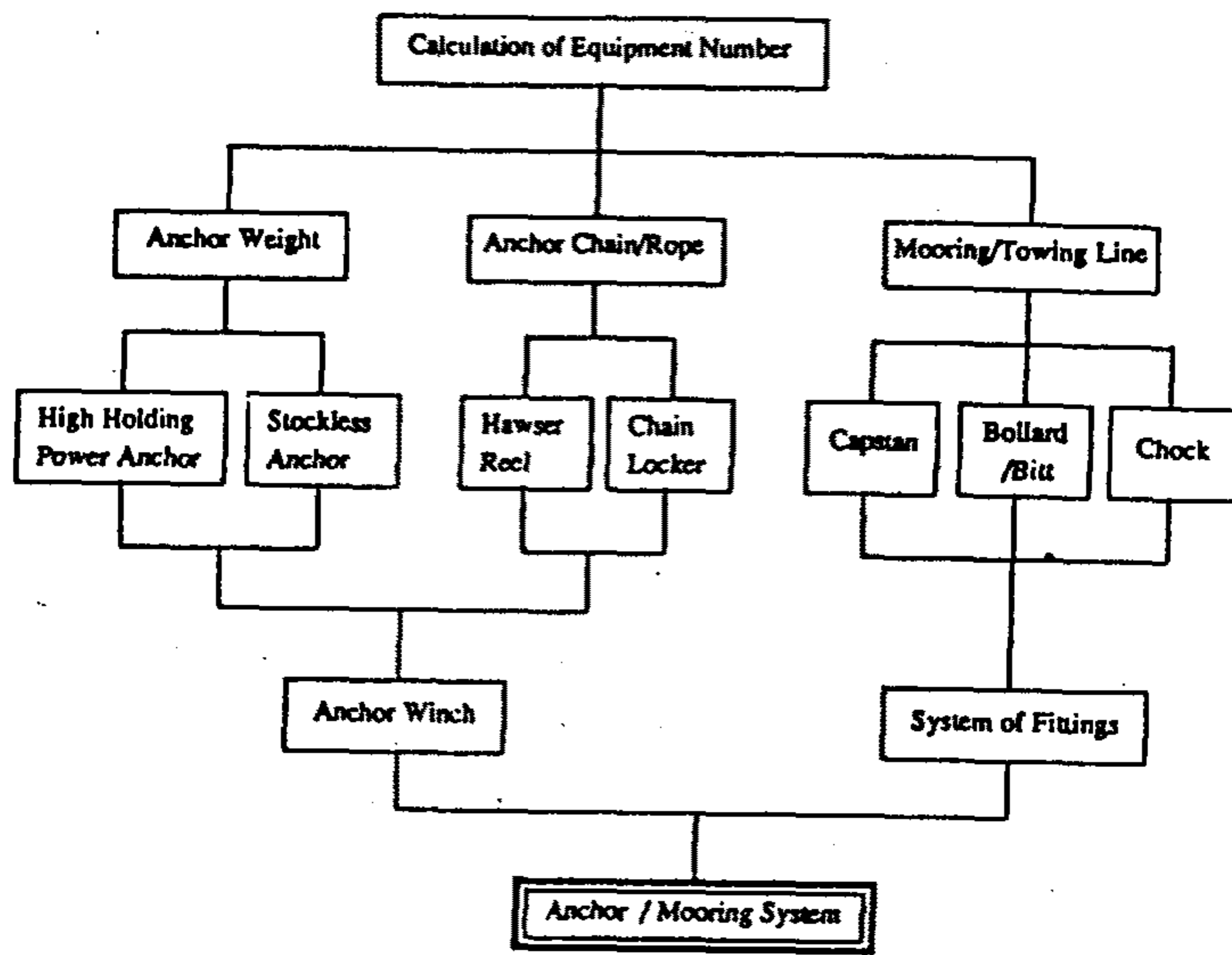


Fig. 5-28 Flow Chart of Anchoring and Mooring Equipment

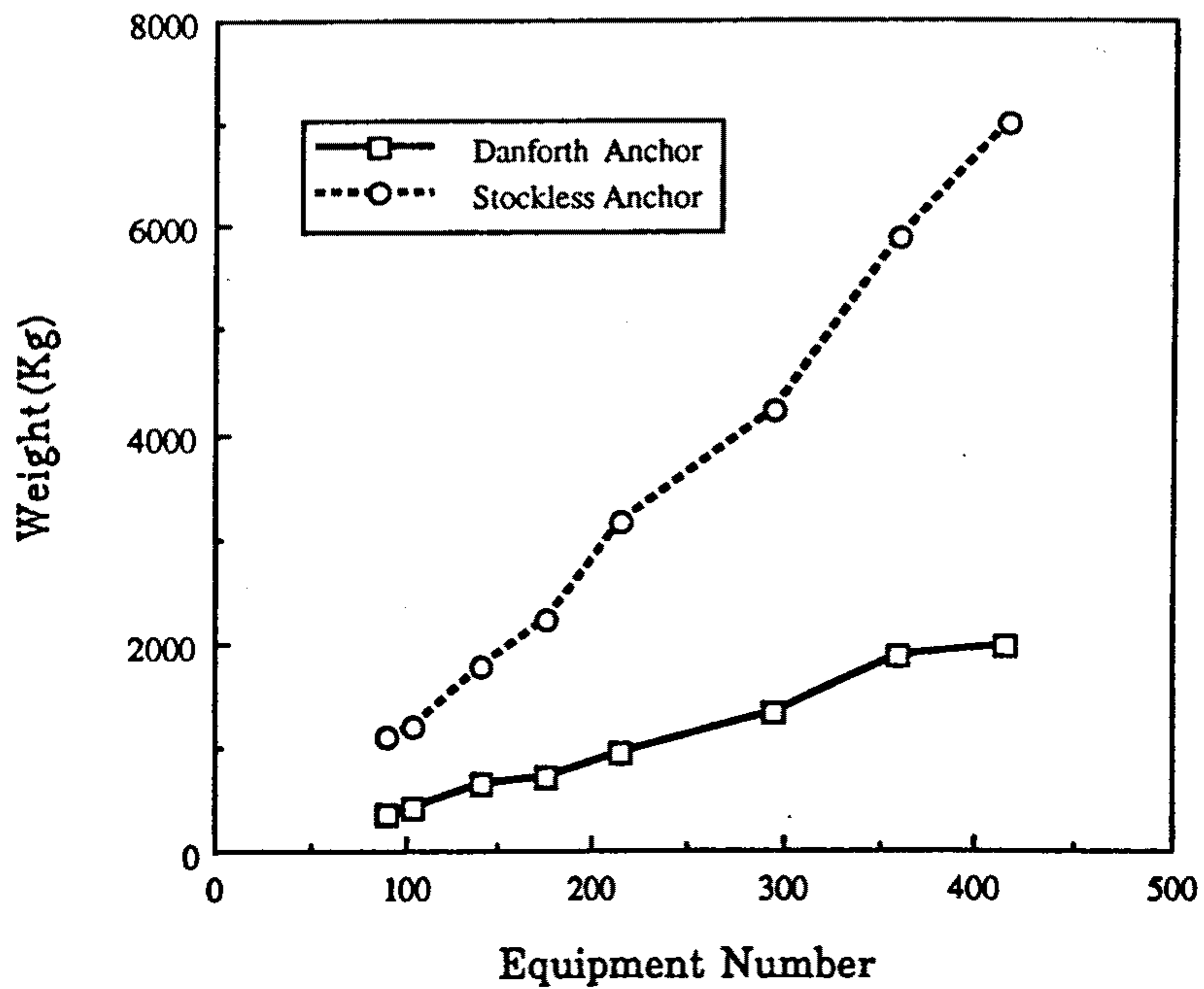
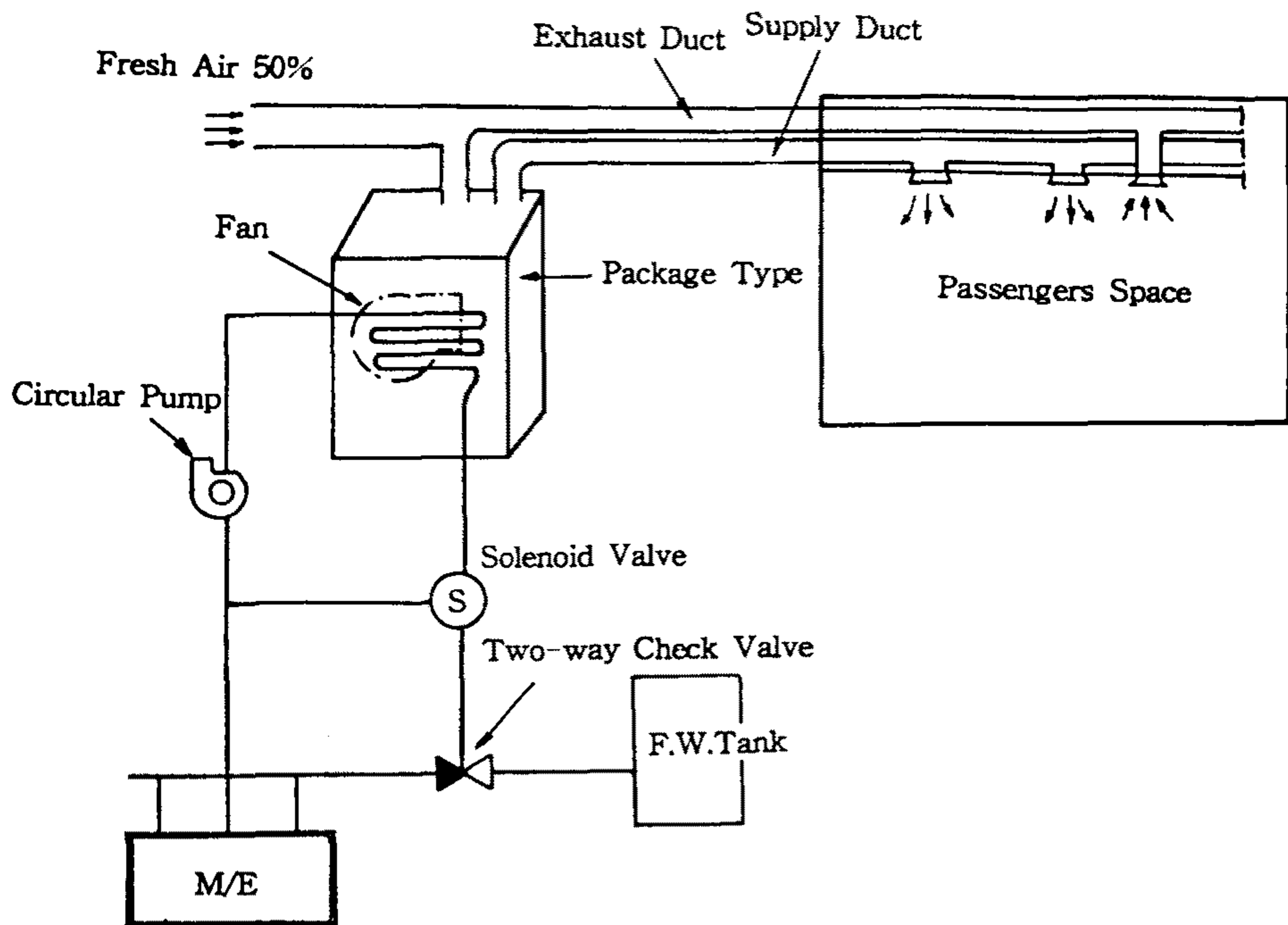


Fig. 5-29 Weight Comparison of Danforth Anchor and Stockless Anchor



**Fig. 5-30 HVAC System applied to Main Engine Cooling Water**

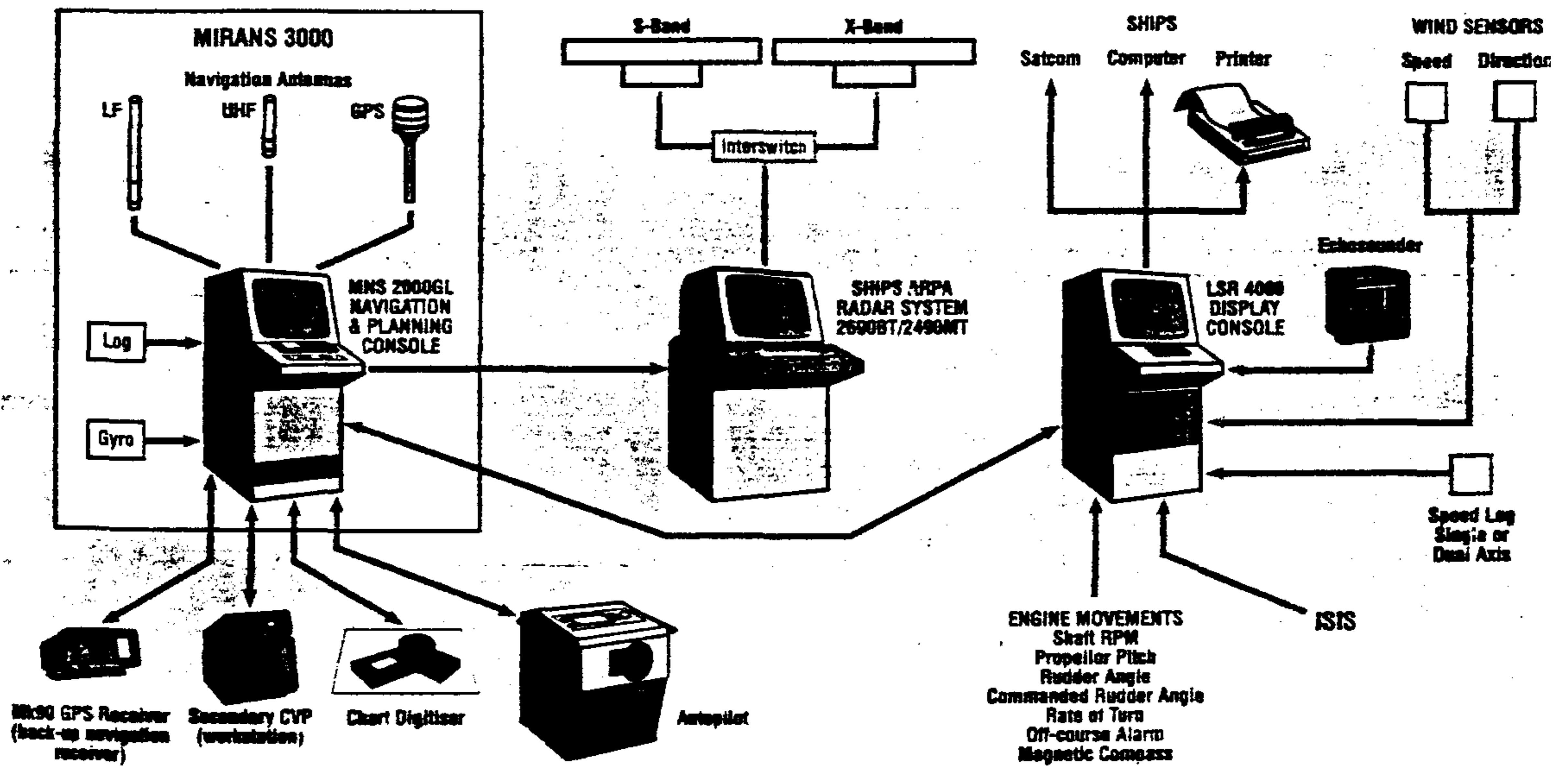


Fig. 5-31 System Diagram of Navigation Equipment System



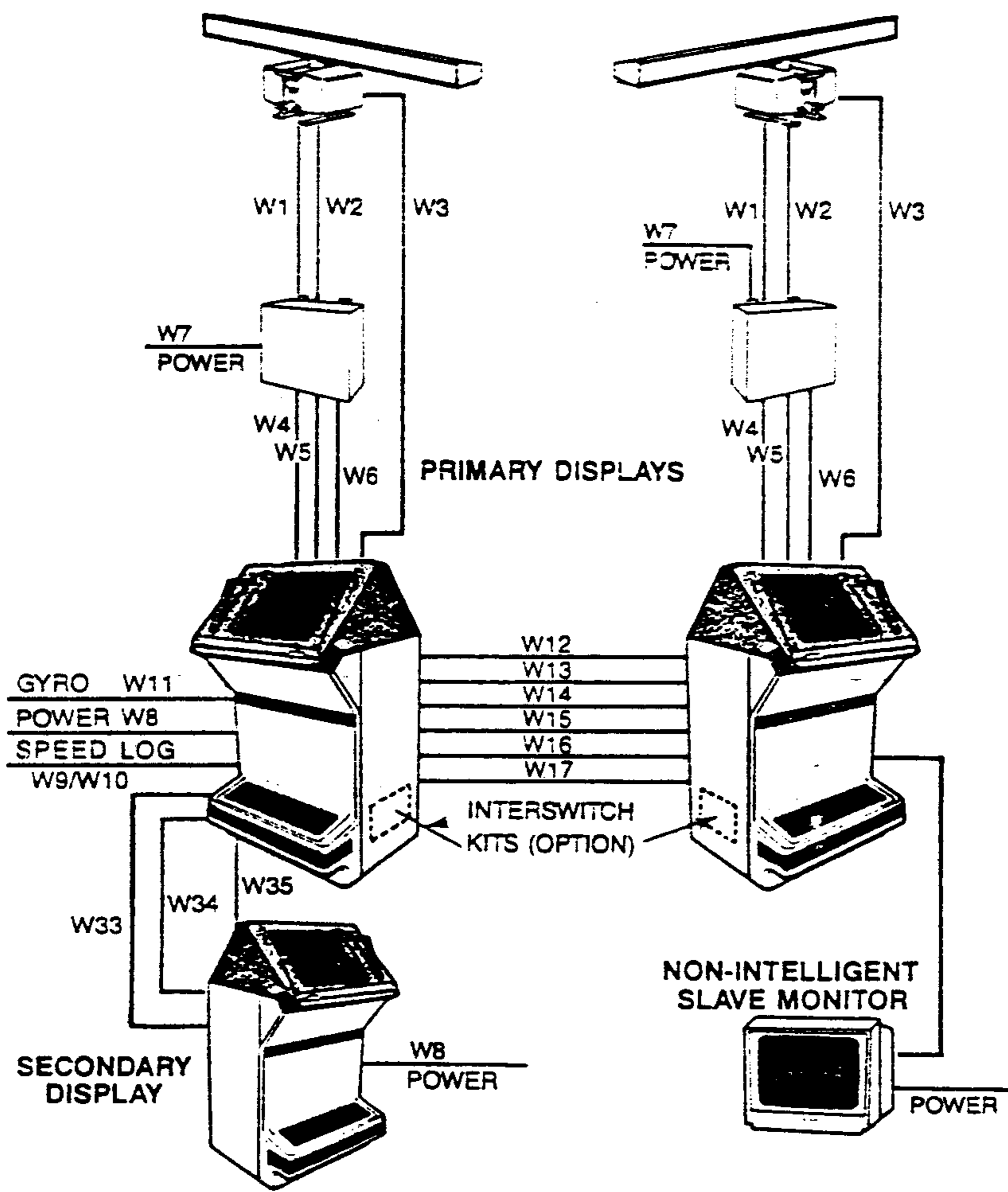


Fig. 5-32 System Diagram of RADAR System

# Bridge Configuration

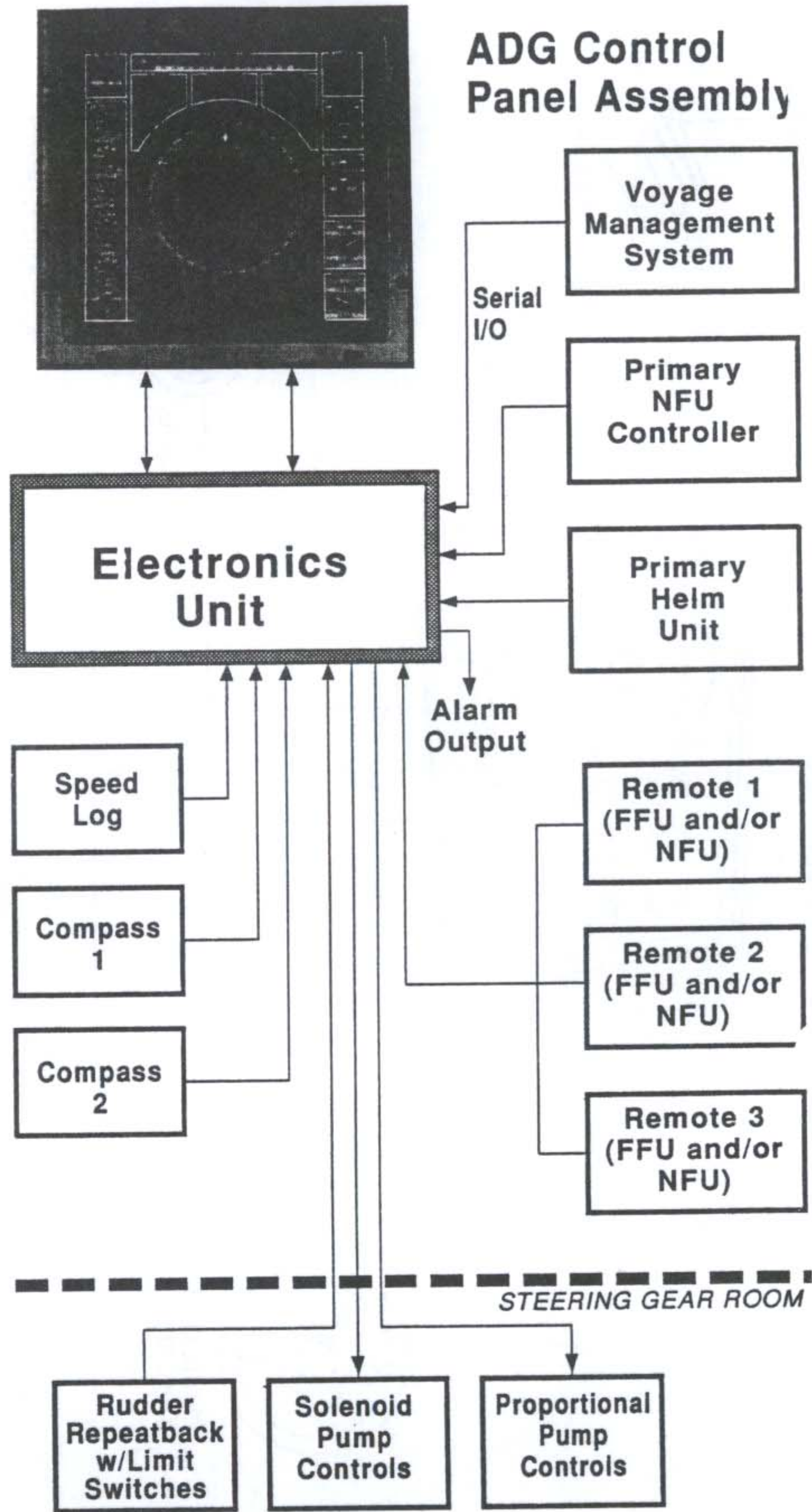


Fig. 5-33 System Diagram of Gyro Compass

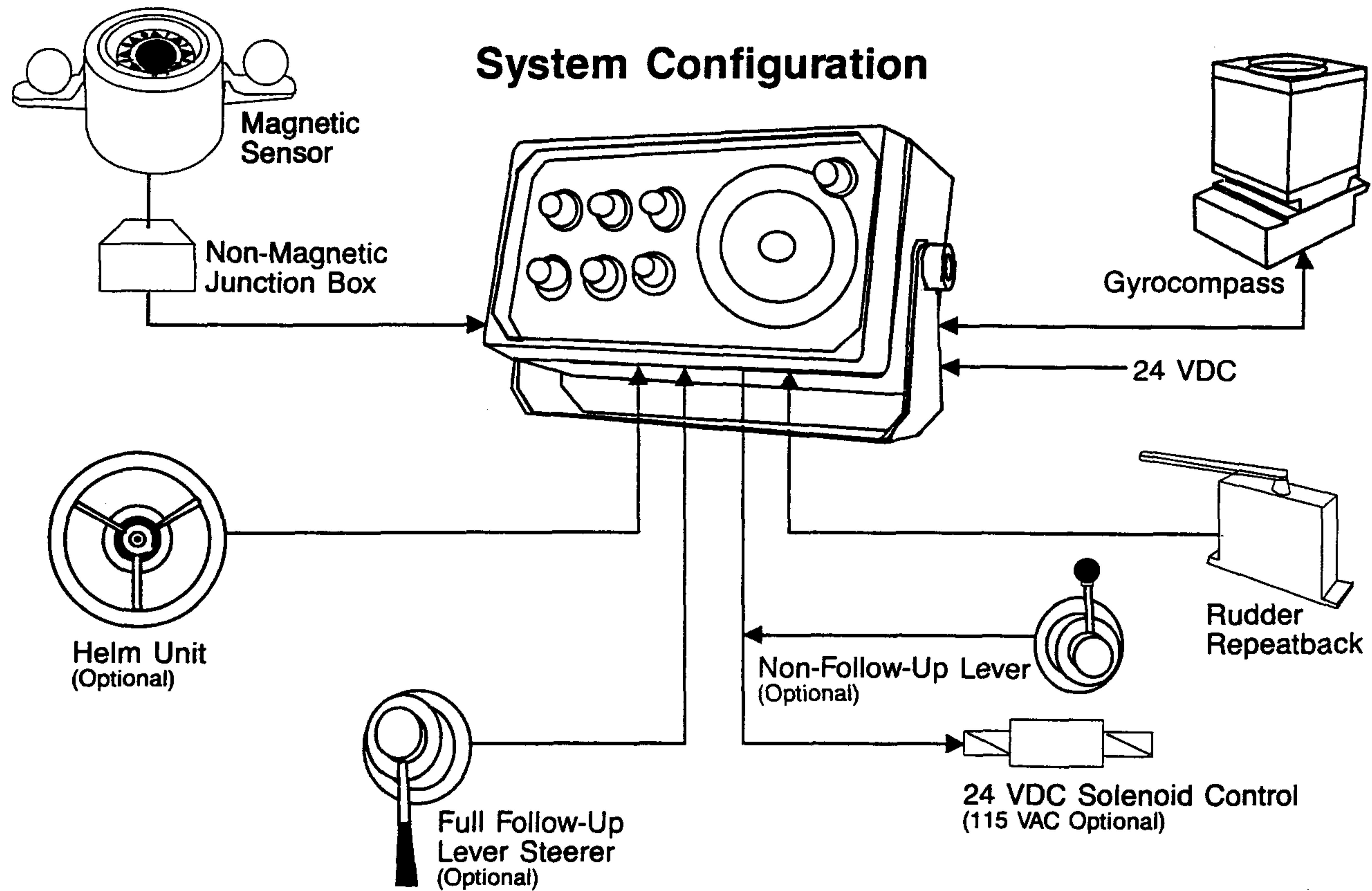


Fig. 5-34 System Diagram of Autopilot System

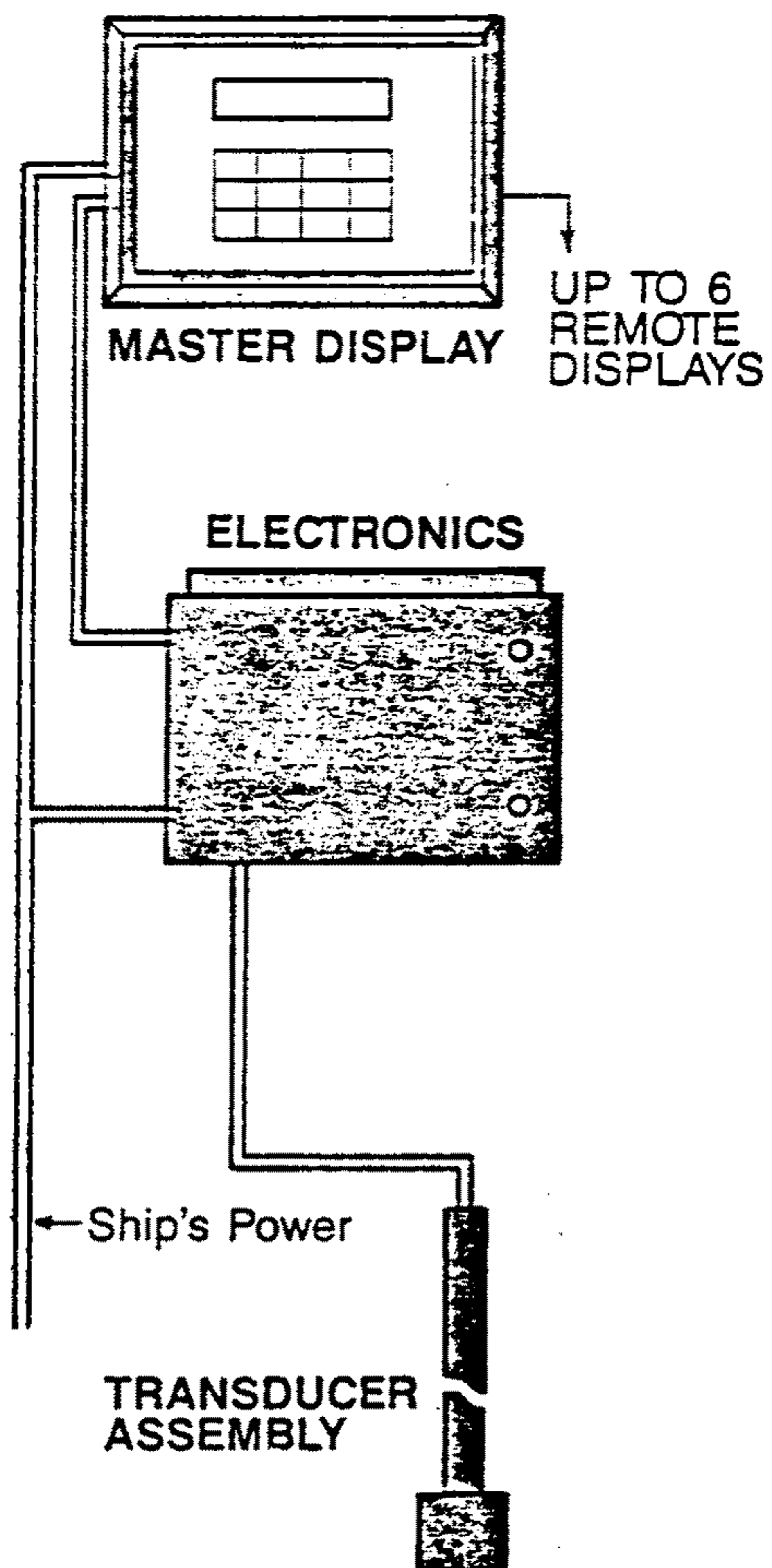


Fig. 5-35 System Diagram of Speed Log system

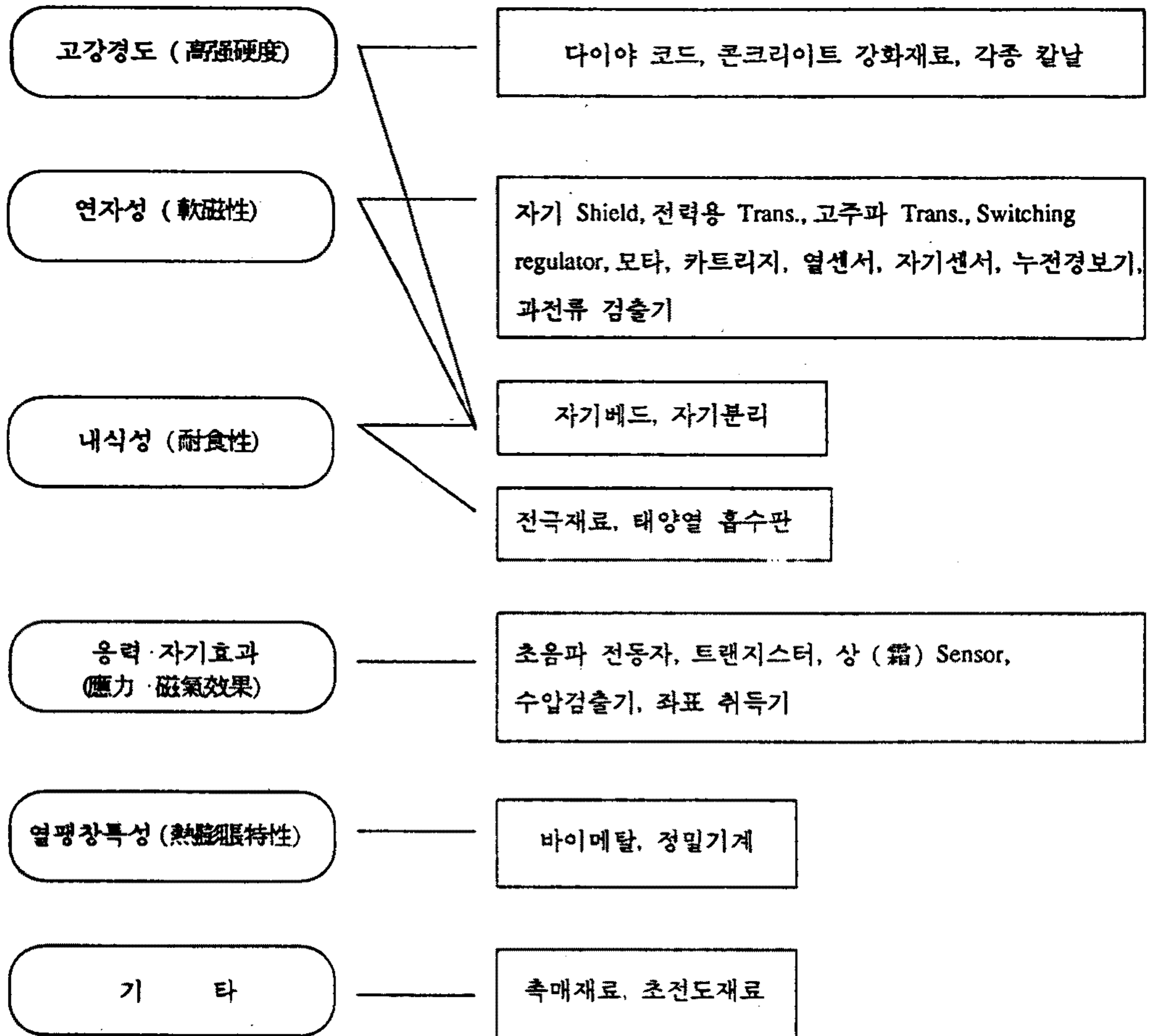


Fig. 5-36 An Example of Application of Amorphous Metal

## 제 6 장 결 론

선진 조선기술국에서 개발중인 초고속선은 연안 항로용 여객선은 이미 상품화되었으며 여객선을 대형화시킨 카페리선이 개발 완료단계에 있다. 초고속 카페리선은 근거리 연안 수송은 물론 장거리 수송까지도 담당하게 될 것으로 예상되며 일본, 노르웨이, 프랑스 등에서 개발중인 초고속 화물선도 개발 완료되어 취항하게 되면 항공기와 기존 컨테이너 운반선의 중간적 수송수단으로서의 역할을 수행하는 차세대의 중요한 수송수단으로 등장하게 될 것이다. 이러한 조짐은 본격적으로 초고속 화물선을 개발중인 일본에서 나타나고 있으며 일본의 각 지방단체들은 초고속 화물선의 항로유치 활동을 적극적으로 전개중이다. 이러한 초고속선 관련 기술은 이미 선진 조선기술국에서 상당한 기술수준을 보유하고 있는 고부가가치 선박인 초호화 여객선, LNG 운반선과는 달리 현재 개발중인 기술이므로 기술도입이 곤란하므로 독자적인 연구개발로 기술을 확보하지 않으면 부가가치가 낮으며 경쟁이 치열한 기존 재래선박만을 건조하게 되고 결국은 후발 조선산업국의 추격에 의해 낙후된 조선 산업국으로 전락하게 될 것이다.

본 연구에서는 국내에서 독자적으로 초고속선을 개발함에 있어 필수적으로 확보해야 할 핵심요소기술인 복합지지형 초고속 저항추진 저항기법, 대출력 물제트 추진장치 성능해석기법, 복합지지형 초고속 선형 및 시스템 구성 기법에 대하여 연구를 수행하였으며 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

### ① 복합지지형 초고속 저항특성 및 선형주위의 수치계산 기법연구

- 초고속선의 대표적인 선형중에서 전년도에 카타마란과 표면효과선에 대한 저항 시험 기법개발에 이어 본 연구에서는 표면효과선(길이 31m, 최대속도 54노트)의 저항시험기법 정도향상과 수중익선(길이 34.4m, 최대속도 48노트)의 저항시험기법을 개발하였고 저항추정과 실선자료와의 분석을 통하여 실선 성능추정기법이

유효함을 확인하였다.

- 표면효과선과 수중익선의 저항시험 결과 추정된 마력은 다음과 같다.
  - 표면효과선의 경우 설계속도 45노트에서의 모형시험의 해석결과, 전달마력은 4,445 HP 으로서 실선자료의 4,471 HP 과 잘 일치한다.
  - 수중익선의 경우 설계속도 42노트에서 모형시험의 해석결과, 전달마력이 4,442 HP 로서 실선자료의 4,800 HP 과 잘 일치한다.
- 움해법에 의해 계산된 수식 이중 모형 주위의 흐름과 자유표면을 동반한 유장의 계산결과, 경계층내의 속도와 선체표면의 압력, 파고, 각종 저항계수는 만족할 만한 결과를 주고 있다.
- 자유표면 조건을 선형화하여 2차원 문제에 대한 이론해를 복소함수를 이용하여 계산한 결과, 수중익에 작용하는 양력에 미치는 자유수면의 효과를 간략히 추산 가능하게 해주므로 수중익의 초기설계 단계에서 활용할 수 있다.

## ② 물제트 추진장치의 모형시험 기법연구

- 물제트 추진장치에 대한 모형시험에서의 추력 계측방법을 수립하였다.
- 모형시험용 펌프설계 방법을 연구하였으며 모형시험 기법개발을 위하여 단독특성 시험과 저항추진시험 기법을 예비 조사하였다.

## ③ 복합지지형 초고속 선형의 개념 개발 및 시스템 구성 연구

- 기존의 발표된 복합지지형 초고속 선형을 분석하여 새로운 복합지지형 초고속 선형의 개념을 개발하였다.
  - KRISO Design I (Catamaran + Submerged Body + Foil)  
물수체 부력 50%, 수중익 양력 30%, 양선체 부력과 활주효과에 의하여 20%의 중량이 지지되는 선형이다.
  - KRISO Design II (Moho hull + Submerged Body + Foil)

물수체 부력 50%, 수중익 양력 50%로 중량을 지지하는 선형이다.

- KRISO Design III (SES + Foil)

부양공기압력 60%, 수중익 양력 20%, 선체부력과 활주효과로 10%의 중량을 지지하는 선형이다.

- KRISO Design IV (SES + Submerged Body + Foil)

부양공기압력 40%, 물수체 부력 40%, 수중익 양력 20%로 중량을 지지하는 선형이다.

- KRISO Design V (Catamaran + Stepped Hull)

Catamaran의 선체 바닥을 계단처럼 불연속 형상으로 하여 고속 항주시 침수표면적 감소에 의하여 저항이 감소되는 선형이다.

o 초고속선의 시스템 구성 연구

- 초고속선의 각 선형별 특성에 따른 주요 시스템을 구성하는 기법을 개발하였다.

. 카타마란선 : 운동감쇄장치 (Motion Damping System)

. 표면효과선 : 운항자세 제어장치 (Ride Control System)

공기부양시스템 (Lift System)

Seal System

. 수중익선 : Foil과 Strut 시스템

자동 운항자세 제어시스템 (Automatic Control System)

- 초고속선의 주요 의장시스템 구성요소에 대한 분석을 하였다.

- 초고속선에 적용될 국제해사기구(IMO) 규정 (A.373(X))의 개정동향과 GMDSS의 이용방안을 수립하였다.

이러한 복합지지형 초고속 저항추진 기술개발을 통하여 초고속선의 핵심적인 요소기술을 확보함으로써 우리나라의 조선 및 관련 기자재 분야의 기술수준을 질적으로 향상시켜 부가가치를 높힐 수 있으며 다음과 같은 기대효과가 있을 것이다.



- ① 초고속 선형의 저항추진 기법확립으로 국내에서 모형시험이 가능하며 따라서 우리나라 독자적인 복합지지 선형 개발이 가능하다.
- ② 초고속 대출력 추진시스템의 성능해석 기술을 확보하여 국내에서 독자적인 추진 시스템을 개발할 수 있다.
- ③ 새로운 복합지지형 초고속 선형 및 시스템 종합 기술의 확보로 초고속선의 개발이 가능하며 초고속 화물선, 함정등 고부가가치 선박 개발시 활용할 수 있다.

## [참 고 문 헌]

- [1-1] 양승일의, “21세기 쌍동형 초고속선 개발을 위한 타당성 연구”, 해사기술연구소 연구보고서 UCN 230-1442.D, 1991.
- [1-2] 양승일, 강창구, “21세기 초고속선에 대하여”, 대한조선학회 추계학술강연회, 1989. 11. 10.
- [1-3] 양승일, “선박 고속화의 단계”, 대한조선학회지, 제28권 제1호, 1991. 3.
- [1-4] “'91 초고속선 Workshop”, 해사기술연구소, 1991. 5. 24.
- [1-5] 황종홀, “초고속선의 기술동향”, 과학기술처 기술동향 보고자료, 1991. 7. 1.
- [1-6] “'92 초고속선 Workshop”, 해사기술연구소, 1992. 5. 29 - 30.
- [1-7] “'93 초고속선 Workshop”, 한국기계연구원 선박.해양공학연구센터, 1993. 6. 4-5.
- [2-1] 양승일의, “복합지지형 초고속 저항추진 기술개발(I)”, 해사기술연구소, 연구보고서 UCN 261-1597.D, 1992.
- [2-2] 신명수, “초고속선의 대형화에 따른 문제점”, 해사기술연구소, 1991.
- [2-3] 신명수, 고창두, 양승일, “초고속 카타마란 선형의 저항성능 평가”, 대한조선학회 춘계연구발표회, pp.117 ~ 121, 1992.
- [2-4] “Report of the High-Speed Marine Vehicles Committee”, Proceedings of 19th ITTC, Madrid, 1990.
- [2-5] Doctors, L. J., “Unsteady Influences on a Surface Effect Ship Model in a Towing Tank”, DTNSRDC-79/009, 1979.
- [2-6] Mishima, S., “A Simple Method of Predicting the Resistance of SES in Calm Water”, Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.169, pp.47 ~ 54, 1991.

- [2-7] "Report of the Performance Committee", Proceedings of 15th ITTC, Hague, 1978.
- [2-8] Svensson, R., "A Description of the Water Jets Selected for DESTRIERO", Proceedings of First International Conference on Fast Sea Transportation, Trondheim, Norway, pp.1169 ~ 1184, 1991.
- [2-9] Wilson, R. A., et al., "Status of Hydrodynamic Technology as related to Model Tests of High-Speed Marine Vehicles", DTNSRDC-81/026, 1981.
- [2-10] 양승일의, "21세기 쌍동형 초고속선 개발을 위한 타당성 연구", 해사기술연구소, 연구보고서 UCN230-1442.D, 1991.
- [2-11] 신명수, 고창두, 양승일, "표면효과선의 저항성능 평가", 대한조선학회 춘계연구발표회, pp.335 ~ 340, 1993.
- [2-12] Miyata, H., Tsuchiya, Y., Kanai, A., and Manabe, T., "Development of a New-Type Hydrofoil Catamaran (4th report : Hydrofoil Interactions and Hydrodynamical Properties of a 4000 ton Type Ship)", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.168, pp.1 ~ 7, 1990.
- [2-13] Miyata, H. et al., "Full-Scale Experiments of a Hydrofoil Catamaran on a Steady Straight Course", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.170, pp.15 ~ 22, 1991.
- [2-14] 김성환외, "활주형선의 선형시험기법 개발", 한국기계연구소, 1982.
- [2-15] Svensson, R., "A Description of the Water Jets Selected for DESTRIERO", Proceedings of First International Conference on Fast Sea Transportation, Trondheim, Norway, pp.1169 ~ 1184, 1991.
- [2-16] "Report of the High-Speed Marine Vehicle Committee", Proceedings of 17th ITTC, 1984.

- [2-17] Beam, R.M. and Warming, R.F., "An Implicit Factored Scheme for the Compressible Navier-Stokes Equations", AIAA Journal, Vol.15, No.4, pp.581-590, 1977.
- [2-18] Steger, J. L., "Implicit Finite Difference Simulation of Flow about Arbitrary Two-dimensional Geometries", AIAA Journal, Vol.16, No.7, pp.679-686, 1978
- [2-19] Kodama, Y., "Computation of High Reynolds Number Flows Past a Ship Hull Using the IAF", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.161, pp.24-38, 1987.
- [2-20] Kodama, Y., "Grid Generation and Flow Computation for Practical Ship Hull Forms and Propellers using the Geometrical Method and the IAF Scheme", Proceedings of the 5th International Conference on Numerical Hydrodynamics, pp. , Hiroshima, Japan, 1989.
- [2-21] Hino, T., "Numerical Simulation of a Viscous Flow with a Free Surface around a Ship Model", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, pp.1 ~9, Vol.161, 1987.
- [2-22] Hino, T., "Computation of a Free Surface Flow around an Advancing Ship by the Navier-Stokes Equations", Proceedings of the Fifth International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics pp.103-118, Hiroshima, Japan, 1989.
- [2-23] Mori. K., Kwak, S.-H., and Doi, Y., "Numerical Simulation of Ship Waves and Some Discussions on Bow Wave Breaking & Viscous Interactions of Stern Wave", Proceedings of 18th Symposium on Naval Hydrodynamics, Michigan, USA, 1988.
- [2-24] Sarda, O.P., "Turbulent Flow Pst Ship Hulls-An Experimental and Computational Study", Ph.D thesis, the University of Iowa, August, 1986.

- [2-25] Patel, V.C., Chen, H.C. and Ju, S., "Solutions of the Fully-Elliptic Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equations and comparisons with Experiments", IIHR Report No.323, 1988.
- [2-26] Agarwal, R.K., "A Third-Order-Accurate Upwind Scheme for Navier Scheme for Navier Stokes Solution at High Reynolds Number", AIAA Paper, No.81-0122, 1981.
- [2-27] Shin, M.S., Lee, Y.G., Kim, E.C. and Yang, S.I., "Numerical Simulation for the Nonlinear Free-Surface Flow around a Blunt Bow", Proceedings of the 19th Symposium on Naval Hydrodynamics, pp.201 ~ 212, 1992.
- [3-1] Kotchin, N.E., On the wave-making resistance and lift of bodies submerged in water, Technical and Research Bulletin No. 1-8, SNAME, 1951(English translation of Russian original published in 1936).
- [3-2] Kochin, N.E., Kibel, I.A., Roze, N.V., *Theoretical Hydromechanics*, Interscience Pub., John Wiley & Sons, Inc., 1964(English translation of Russian original published in 1955).
- [3-3] Milne-Thomson, L.M., *Theoretical Hydrodynamics*, Macmillan & Co. Ltd., 1968.
- [3-4] Abramowitz, M., Stegun, I.A., *Handbook of Mathematical Functions*, Dover Pub., 1965.
- [4-1] 양승일 외, "21세기 쌍동형 초고속선 개발을 위한 타당성 연구", 해사기술연구소 연구보고서 UCN230-1442 D, 1991.
- [4-2] 成合英樹, "Water Jet 推進에 대해서", 日本造船學會誌, 1969.
- [4-3] Sato, R. and Saito, Y., "Waterjet Propulsion.", 日本造船學會, 차세대선 개발에 있어서의 추진공학 심포지움, 제4회 보고서 April 1991.
- [4-4] Svensson, R., "Experience with the KAMEWA Water Jet Propulsion System."

AIAA Intersociety Advanced Marine Vehicles Conference, 1989.

- [4-5] 양승일 외, "복합지지형 초고속 저항추진 기술개발", 해사기술연구소 연구보고서 UCN261-1597 D, 1992.
- [4-6] Hoshino, T. and Baba, E., "Self-propulsion Test of a Semi-displacement Craft Model with a Waterjet Propulsor.", Journal of SNAJ, 1984.
- [4-7] Arcand, L. and Comolli, C.R., "Water-Jet Propulsion for High-Speed Ships.", AIAA/SNAME Advanced Marine Vehicles Meeting, 1967.
- [5-1] 양 승일외, "21세기 쌍동형 초고속선 개발을 위한 타당성 연구", 해사기술연구소 연구보고서 UCN 230-1442.D,1991.
- [5-2] 양 승일외, "복합 지지형 초고속 저항추진 기술 개발(I)", 해사기술연구소 연구보고서 UCN 261-1597.D,1992.
- [5-3] Techno-Superliner 기술 연구 조합, "신형식 초고속선의 연구개발 (일본어)", 조선기술, 1992.12.
- [5-4] 신 명수, "초고속선형의 대형화에 따른 문제점", '91 초고속선 WORKSHOP 논문집, 해사기술연구소, 1991.5.24.
- [5-5] 고 창두, "공기부양선의 부양계통 설계에 관한 연구", 해사기술연구소 연구보고서, UCN 519-1651.D,1992.
- [5-6] Meyer,J.R., "Hybrid Hydrifoil-An Overview", Proceeding of FAST'91, Trondheim, Norway, 1991.
- [5-7] Meyer,J.R., "Hybrid Hydrifoil Technology Application", Proceeding of HPMV'92, Arlington, USA , 1992.
- [5-8] Gee,N., "The Catafoil-A Foil Assisted Catamaran for Fast Ferry and Yacht Application ", Proceed. of FAST'91, Trondheim, Norway , 1991.
- [5-9] Gee,N., "Passive Foilcats - Design, Practice and the Future", Proceed. of 9th International High Speed Surface Craft Conference, Singapore, 1993.

- [5-10] Miyata,H., "Development of a New Type Hydrofoil Catamaran", Journal of Ship Research, Vol 33 , No.2, 1989.
- [5-11] Ohtsubo,H. and Kubota,A., "Vertical Motion and Wave Loads of Large High-Speed Ships with Hydrofoil", Proceed. of FAST'91, Trondheim, Norway ,1991.
- [5-12] Mohr,E.and Betram,V., "A Concept for a Fast Ship Stabilized by Hydrifoil", Proceed. of IMAS'91, Sedney, Australia, 1991.
- [5-13] Betram,V.and Mohr,E., "Hydro-Numeric Hyswas Design", Proceed. of HPMV'92, Arlington, Norway , 1992.
- [5-14] Trillo,R.L., "Jane's High Speed Marine Craft", 1990.
- [5-15] Sugai,K., "Research and Development Program of Techno-Superliner", Proceed. of FAST'91, Trondheim, Norway , 1991.
- [5-16] Yamanaka,N.,Yamamoto,O., Satoh, R.,Nagatsuka,T.,Arii,T.and Fuwa,T., " A Submerged Hull and Foil Hybrid Super-High Speed Liner ", Proceed. of FAST'91, Trondheim, Norway , 1991.
- [5-17] Itoko,T.and Higashino,V., "The Development of an Automatic Control System for a Submerged Hull and Foil Hybrid Super-High Speed Liner", Proceed. of FAST'91, Trondheim, Norway , 1991.
- [5-18] Fuwa, T. Hirata, N. and Hino,T., "A Fundamental Study on a Flow Field around a Submerged Body of Revolution with Surface Piercing Struts", Proceed. of FAST'91, Trondheim, Norway , 1991.
- [5-19] Min,K.S., "Long-Range High-Speed Catamaran Passenger Ship Design", Proceed. of FAST'91, Trondheim, Norway , 1991.
- [5-20] 김 정환, 정 효식, "45.5m 장거리 수중익 고속 쌍동 여객선 개발 현황", '92초고속선 WORKSHOP논문집, 해사기술연구소,1992.

- [5-21] 민 계식, 김 외현, "장거리 고속 수중익 쌍동여객선의 설계와 건조", 1992년도 대한조선학회 추계 연구발표회 논문집, 1992.
- [5-22] 김병수의, "대우조선 초고속선 개발계획 및 현황소개", '93 초고속선 Workshop 논문집, 한국기계연구원, 1993. 6.
- [5-23] 한동훈외, "F-CAT 선형개발", '93 초고속선 Workshop 논문집, 한국기계연구원, 1993. 6.
- [5-24] "Motion Damping System", Report of Kvaerner Fjellstrand, 1990.1.
- [5-25] "Motion Damping System" , Fast Ferry International, 1993.1.
- [5-26] 이 정득, "서구의 쌍동형 초고속선의 개발사례 조사", 포항공과대학, 1991.5.
- [5-27] "New SES Ride Control System Developed", Fast Ferry International, 1991.6.
- [5-28] 고 창두, "공기부양선의 부양계통 설계에 관한 연구", 해사기술연구소 연구 보고서 UCE519-1651.D, 1992.12.
- [5-29] Mantle, P.J., "A Technical Summmary of Air Cushion Craft Development", DTNSRDC Report No.4727, 1975.9.
- [5-30] Yasuo Hasegawa, "Super High Speed Fully Surmerged Hydrofoil(일본어)", 용접학회지, Vol7, 1992.7.
- [5-31] "Cruise + Ferry 91", Fast Ferry International, 1991.9.
- [5-32] "고속 경구조선 규정(Provisional Rule)", 한국선급, 1992.5.
- [5-33] Amelio M. D'arcangels, "Ship Design and Construction", SNAME , 1980.
- [5-34] "Air-conditioning and Ventilation of Accommodation Spaces on Board Ships Design Condition and Basis of Calculation", ISO7547, 1975.
- [5-35] "선박 설비규칙", 교통부령 제 737호, 1982.6.
- [5-36] Per Werenskiold, "High Speed Craft Operational Performance and Limitation ", Proceed. of 3rd Conference on High Speed Marine Craft ", Kristiansand,



Norway, 1992.9.

- [5-37] "선박 구명 설비규칙", 교통부령 제 753호, 1982.12.
- [5-38] "선박 소화 설비규칙", 교통부령 제 754호, 1982.12.
- [5-39] "1983년 해상에서의 인명 안전협약(SOLAS'83)", IMO, 1985.
- [5-40] "The Code of Safety for Dynamically Supported Craft" IMO, Res.A.373(X), 1977.
- [5-41] Andrew Blyth, "Summary of the Current State of the Revision of A.373(X)", Fast Ferry International, 1992.9.
- [5-42] 최일학, "발전장치의 선정", 한국기계연구소 소보 제4권 1호
- [5-43] "전기의장 설계기준 [I]", 한국조선공업협회, 1988
- [5-44] "선급 및 강선규칙", 한국선급, 1992
- [5-45] "IEEE, 45. STANDARD", 1979
- [5-46] "Rules for the Classification and Construction of Soagoing Steel Ships", Germanischer Lloyd, 1973 Edition Vol.II
- [5-47] "전세계 해상조난 및 안전제도", 한국선급, 1987.12.
- [5-48] 강병윤, 유정석, 김성환, "초고속선 선체설계를 위한 주요고려사항 고찰", '92 초고속선 Workshop 논문집, 해사기술연구소, 1992.5.
- [5-49] 森戸久朝, "鐵獎設の計新しい方向 (新材料をあくつて)", 新しい造船學, 日本造船學會, 1986.
- [5-50] 강병윤, 위재용, "잠수정 내압선체의 구조설계에 관한 연구", 한국기계연구소 소보, 1986.11.
- [5-51] IMO Res. A.373(X), "Code of Safety for Dynamically Supported Crafts", 1977.11.
- [5-52] 양승일의, "21세기 쌍동형 초고속선 개발을 위한 타당성 연구", 해사기술 연구소 연구보고서 UCN230-1442.D, 1991.

- [5-53] Graham, W.A., "The Administration's Role in the Development and Implementation of Safety Standards for High-Speed Craft", IMAS 91,1991.11.
- [5-54] Andrew Blyth, "Summary of the Current State of the Revision of A.373(X)", Fast Ferry International, 1992.10.
- [5-55] Jenman, C.A., "Lessons to be Learned from the Apollo Jet Cat Casualty in Hong Kong", IMAS 91, 1991.11.
- [5-56] 강병윤외, "초고속선용 법규 및 규정 마련작업의 현황", 선박해양기술 11권, 1992.9.
- [5-57] 임종식, "국제해사기구(IMO)의 조직과 활동", 대한조선학회지 제28권 제4호, 1991.12.
- [5-58] Informal Correspondance Group, "CONSOLIDATED TEXT (WORKING DRAFT) OF THE REVIEW OF DYNAMICALLY SUPPORTED CRAFT CODE(RES.A.373(X))", 1992.12.
- [5-59] 한국선급협회, "1983년 해상인명안전조약", 1985.9.
- [5-60] 한국선급협회, "전세계 해상조난 및 안전제도(GMDSS)", 1987.
- [5-61] 관보, 제11995호(그2), 1991.12.14.
- [5-62] 관보, 제12156호, 1992.6.30.
- [5-63] "New Distress and Safety System is Operational", Marine Log, Sep., 1992.
- [5-64] 飯島房夫, "GMDSS 適用機器のき裝設計", 日本船用機關學會誌, 第27券, 第10號, 1992.10.
- [5-65] 三島元雄, "GMDSS(海上遭難安全システム)の機能と運用", 日本船用機關學會誌, 第27券, 第2號, 平成4年 2月.