

水陸兩用 空氣浮揚船의 開發

李 成 振* · 李 彩 雨* · 金 尙 根*

Development of Amphibious Hovercraft

by

S.J. Lee* · C.W. Lee* · S.K. Kim*

Abstract

The RIT (Research Institute of Technology) in KTMI (Korea Tacoma Marine Industries, Ltd) has played a vital role in maintaining the company's leadership as a pioneer in the technical development of shipbuilding and new type of special vessel design.

As a result, in February of 1981, the RIT could succeed in designing and constructing a small manned test hovercraft.

In April of 1983, the RIT started to design a 12 M class, 55 knots hovercraft with the highly skilled and experienced technology through the development of 4 kinds of SES(Surface Effect Ship), totally 10 vessels. In December of 1984, the diesel-powered 12 M class hovercraft of proto type was developed with RIT'S own technical ability. The craft is the first hovercraft in domestic and the first diesel-powered hovercraft in Asia area.

The paper describe the progress of development and general review of technology and concept of design about the hovercraft developed.

1. 서 언

코리아타코마조선공업(주) 기술개발 연구소에서는 1981년 2월 수륙양용공기부양선(hovercraft)의 시험선 개발에 이어, 1983년 4월 hovercraft의 실선개발계획을 수립하여 축적된 기술을 바탕으로 자체기술진에 의해 설계를 착수, 1984년 12월 국내최초로 55+Knot, 12 M급 hovercraft의 실선개발에 성공하여 국내조선기술의 발전에 새로운 전기를 마련하였다.

Hovercraft는 항공기와 선박의 중간형태로 물의 저항을 극소화하여 적은 마력으로 초고속이 가능한 energy 절약형 선박으로 일반선박으로는 운항할 수 없는 지역(천수, 갯벌, 급류, 자갈, 모래, 빙판, 눈)에서도 고속항주가 가능하다.

최근에는 국내에서도 hovercraft에 많은 관심을 기울

이고 있으면, 앞으로 활발한 연구가 진행될 전망이다. 본 보고서는 그동안의 개발과정을 정리하고 설계개념을 검토한 것으로 hovercraft의 연구에 도움이 되길 바란다.

2. 개발의 의의

1) 국내최초의 hovercraft로서 3년동안의 축적된 기술을 토대로 순수한 자체기술진에 의해 독자적인 system을 채택한 proto type으로 향상된 국내조선기술을 세계에 입증하였다.

2) 국내최고의 초고속선박으로 50 knot의 벽을 돌파하여 55+knot 이상을 낼 수 있다.

3) 경제성을 고려하여 종래의 gas turbine이나 gasoline engine을 탈피하여 diesel engine을 사용한 것으로 Asia에서는 최초의 diesel추진 hovercraft가 된다.

接受日字: 1985年 4月 26日

* 正會員, 코리아타코마조선공업(주).

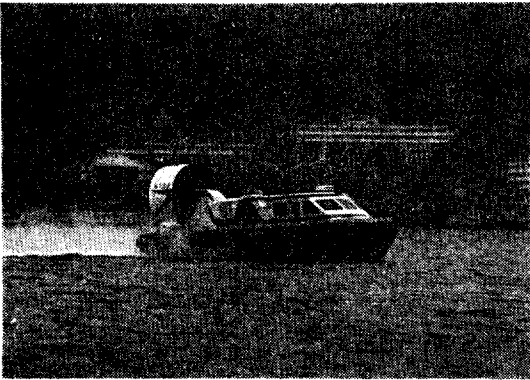


Photo. 1 12 M Hovercraft

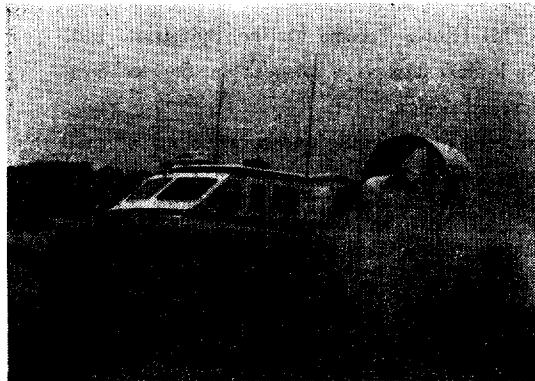


Photo. 2 Hovercraft landing

4) 공기역학적 특성을 해석하기 위해 2차에 걸쳐 풍동시험을 수행하였으며, 건조후 3개월간에 걸쳐 성능평가 시험을 수행하여 기술축적을 기하였고 대형 hovercraft를 개발할 수 있는 능력을 배양하였다.

5) 수륙양용으로 수송수단에 새로운 장을 열었으며 hovercraft의 다종화, 다변화로 수송수단에 혁신을 가져올 수 있다.

3. 개발선의 주요 제원

LENGTH, OVERALL	12.65 M
STRUCTURE	11.75 M
BEAM, OVERALL	7.04 M
STRUCTURE	5.60 M
HEIGHT, ON CUSHION	4.70 M
OFF CUSHION	4.20 M
CUSHION HEIGHT	0.80 M
CUSHION PRESSURE	35 PSF

PROPULSION ENGINE(DIESEL)

1 × 428 PS @ 2300 RPM

LIFTING ENGINE (DIESEL)

1 × 324 PS @ 2300 RPM

AERO PROPELLER

1 × 2.75M DUCTED PROPELLER

LIFTING FAN 2 × 42 INCH MIXED FLOW

WEIGHT, LIGHT 8.10 TON

PAY LOAD 1.50 TON

SPEED MAX (CALM SEA) 55+KNOTS

CRUISING 40 KNOTS

RANGE AT 40 KTS 200 N. Miles

4. 설계 개념

4.1. Structure

Hovercraft는 항공기와 선박의 중간형태로 종래의 개념은 항공기에서 접근하였으나 근래에는 선박의 개념으로 접근하는 추세이다.

종래의 hovercraft는 항공기 type의 rivet 경구조로 노동집약적으로 용접구조에 비해 선체중량을 감소시킬 수 있으므로 적재하중을 증가시킬 수 있으나 비용이 많이 든다. 근래의 용접구조는 경제성을 고려한 것으로 structural efficiency가 낮지만 초기투자비가 적게 들고 공기가 단축되며 보수유지를 최소화 할 수 있다.

본 개발선은 적절한 구조 중량비(structural weight fraction)을 갖도록하기 위해서, 초기 구조설계시 아래와 같은 요소들을 체계적으로 비교, 검토하여 선체 중량감소에 최대 역점을 두었다.

—Design load and criteria

—Material selection

—Structural arrangement

—Plastic design

선각재질로는 Al alloy 5086-H116(plate)와 Al alloy 6061-T6(extrusion)을 사용하였으며, 주 선체는 용접구조이며, deck house는 rivet구조로 되어 있다. 선저판의 두께가 매우 얇아, 용접변형에 의한 panel의 초기변형이 매우 크므로, 소성설계 개념을 도입하였다.

3.2 Engine, Fan, Propeller 선정

1) Engine

Diesel engine으로 선정한 것은 경제성을 고려한 것으로 gas turbine에 비해 가격은 약 1/4정도이며 유지비 overall 비용이 훨씬 적게 든다. 그리고 연료 소모

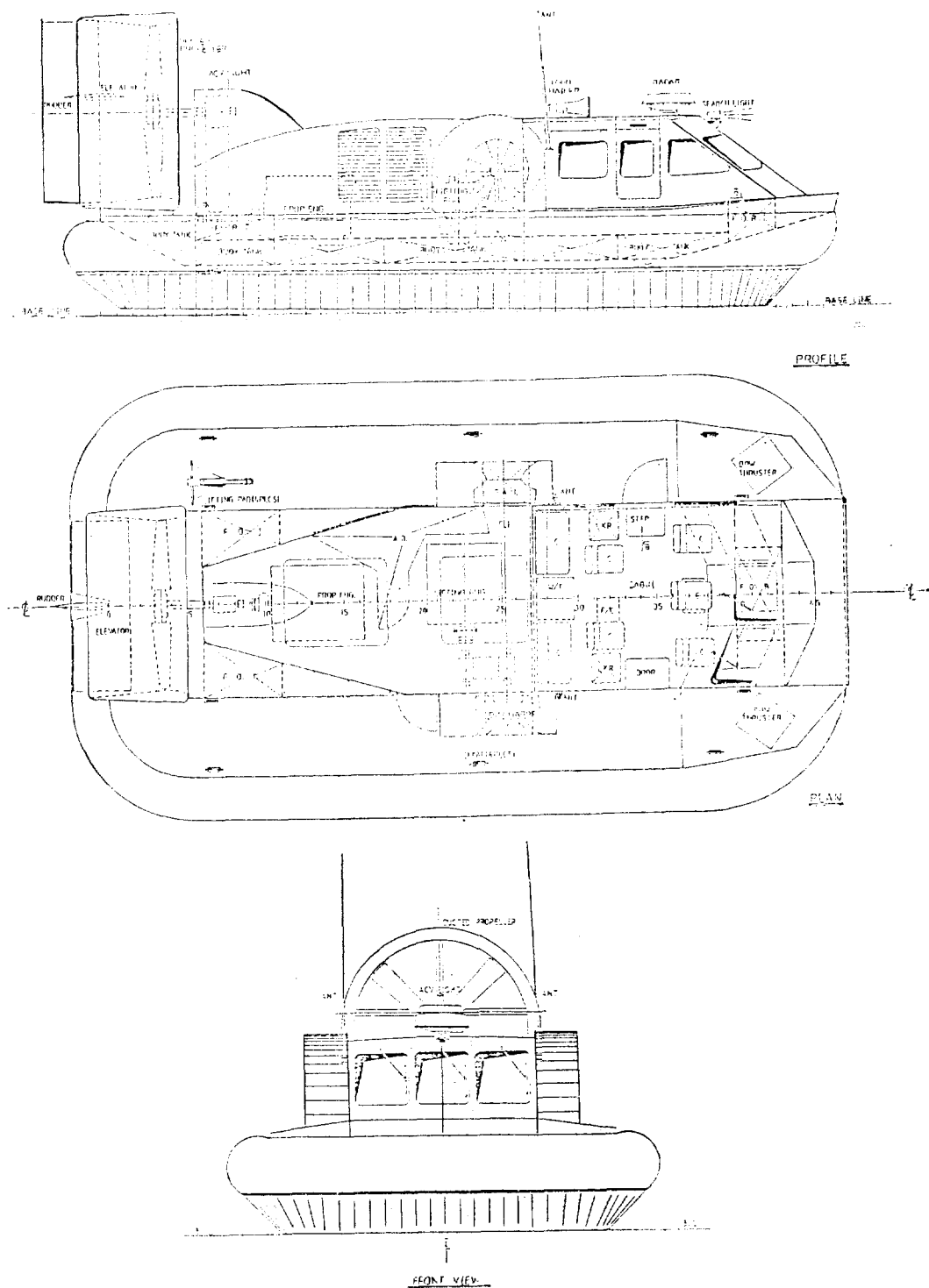


Fig. 1 General arrangement

량은 deutz engine의 경우 약 160 g/hp. hr로 gas turbine의 약 55% 정도로 큰 장점이 된다.

Deutz의 air-cooled engine은 약 3.1 kg/hp으로 water-cooled에 비해중량이 가벼우며 system이 간단하여 hovercraft에 적합하다. 경량인 air-cooled diesel engine도 gas turbine의 중량에 비해 약 10배 정도 무거우므로 본 선의 disposable load/AUW 비의 감소는 용접구조에 의한 것보다는 engine의 중량에 의해 지배적으로 작용한다.

2) Fan

한 개의 대형 fan보다는 두개의 중형 fan을 사용하는 것은 여러가지 잇점이 있다. 우선 fan을 적절히 배치하여 공간활용도를 증가시키고 fan을 수직으로 설치하여 diffuser, duct 등에 의한 손실을 줄일 수 있으므로 fan 효율을 증대시킬 수 있다. 그리고 한쪽 fan이 손상되었을 때에도 운항이 가능하다.

3) Propeller

Controllable pitch propeller는 고가이며 부수적인 system이 많아 maintenance가 번거롭지만 fixed pitch propeller는 아주 간단하며 값이 싸다.

실제적으로 hovercraft에 사용될 C.P.P를 관찰해 보면 운항중에 reverse pitch를 사용하는 빈도가 아주 적다. 그리고 reverse thrust는 bow thruster를 이용하여 얻을 수 있으므로 F.P.P를 사용하는 것이 합리적이다.

Ducted propeller의 사용은 low-speed thrust를 최대로 증가시키기 위한 것으로 경사로의 등반능력을 향상시키고, 맞바람과 해상상태에서 wavemaking 'hump drag'를 극복하게 한다. 그리고 duct는 propeller의 소음을 대폭 줄일 수 있으며 control surface(rudder/elevator)를 설치하기 편리하다.

4) Power Transmission

Bevel gear나 right angle drive의 경우 정확한 shaft alignment가 필요하고 power transmission이 복잡하다. Toothed sprocket와 toothed belt(폭 : 340 mm)를 사용하여 설치와 보수유지가 용이하게 한다.

4.3. Control system

Control surface는 propeller duct의 후부에 위치하며 여러개의 rudder, elevator는 propeller의 효율을 저하시키고 중량을 증가시키므로 한개의 대형 rudder/elevator를 설치하며, 시운전시 필요하면 보조타를 설치할 수 있게 한다.

저속에서는 rudder의 효율이 현저하게 떨어지므로 선수에 bow thruster를 설치하여 low speed maneuvering 을 개선시킨다. 또한 bow thruster를 135°회전하여 설

치함으로써 선회와 후진기능을 동시에 갖도록 한다. 그리고 trim control을 위한 fuel ballast system을 설치한다.

5. 개발선의 주요 System

5.1. Power transmission system

후진 및 부양기관의 출력은 powder coupling, flexible coupling, toothed belt, sprocket를 통해 propeller와 fan에 전달된다. Powder coupling은 engine의 smooth starting을 위해 flexible coupling은 engine과 축계간의 misalignment와 shaft deflection을 위해 설치된다. 중량을 절감하기 위해 sprocket의 재질은 aluminum으로 외부의 teeth는 열처리 되어있다.

5.2. Ducted propeller

Propeller는 4 blade, 2.75 m dia이며 aluminum hub와 wooden composite blade가 조립식으로 연결된 ground adjustable pitch propeller로 craft의 상태에 적절하게 육상에서 pitch angle을 조절할 수 있다.

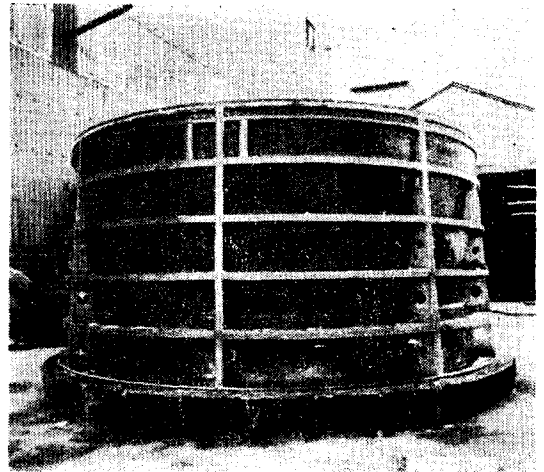


Photo. 3 Propeller duct

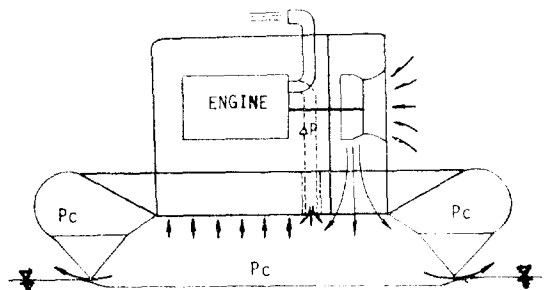


Fig. 2 Exhaust system

Duct는 내부의 FRP와 외부의 aluminum 복합구조로 이루어졌으며 내부의 표면과 propeller tip clearance가 매우 중요하다. Duct의 chord length는 길면 길수록 static thrust가 증가되나 풍압면적을 증가시키므로 weather-cock effect를 고려하여야 한다.

5.3. 추진 및 부양기관의 폐기관

ACV(Air Cushion Vehicle)에서 니질추진 및 부양기관의 경우 중량감소를 위해 Fig. 2와 같이 폐기관을 silencer없이 cushion chamber로 유도하여 폐기를 cushion air로 이용하고 engine의 소음을 완벽하게 처리할

수 있다. Engine의 최대허용역압력(back pressure)을 P_a , 폐기관내의 압력손실을 ΔP , cushion pressure를 P_c , 수면에 의한 수압을 P_b 라하면

$$\text{초기시동시의 back pressure} : P_b + \Delta P < P_a$$

$$\text{부양시의 back pressure} : P_c + \Delta P < P_a$$

이므로 engine의 출력에는 지장이 없 폐기는 cushion chamber로 공급된다. 이 방법은 최근에 개발한 대형 SES(Surface Effect Ship)에 적용하여 많은 효과를 거두었다.

그러나 개발선의 경우 주 소음원인이 propeller와

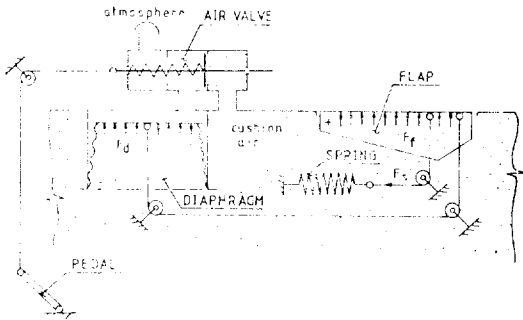


Fig. 3 Bow thruster(close)

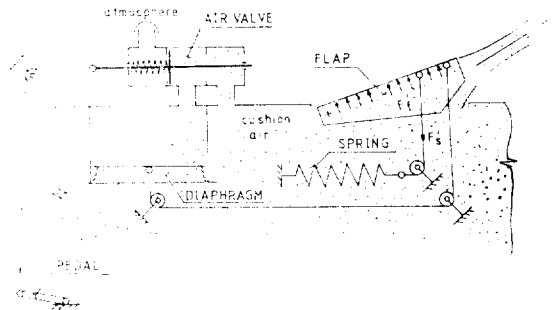


Fig. 4 Bow thruster(open)

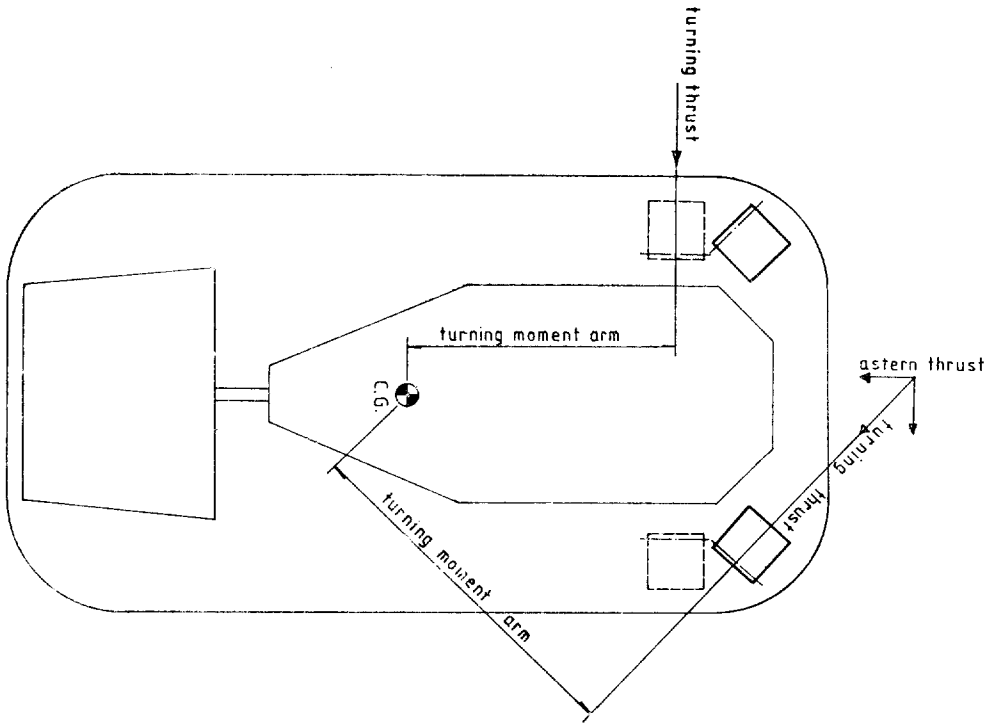


Fig. 5 Bow thruster arrangement

fan으로 engine의 소음은 무시할 수 있으며, 구조적인 문제와 증량결감에서도 cushion chamber보다는 기관실 상부로 유도하는 것이 유리하므로 Fig. 2의 실선과 같이 기관실 상부로 유도하였다.

5.4. Control

Rudder는 hand-hydraulic으로 elevator는 mechanical control cable로써 작동되며, 다음과 같은 방법으로 본 선을 조종한다.

가) 방향조정

- a) Propeller duct 뒤의 rudder
- b) Bow thruster

나) Trim

- a) Propeller duct 뒤의 elevator
- b) 전, 후부의 fuel을 조정할 fuel ballast system

5.5. Bow thruster system

종래의 hovercraft는 bow thruster(puff port)를 작동하기 위해 별도의 hydraulic이나 pneumatic system을 사용하여 system이 복잡하고, 중량이 증가되었다.

본 선은 Fig. 3, 4와 같이 cushion chamber의 cushion air를 이용하여 별도의 동력원이 필요없으므로 system이 간편하고 중량도 절감된다. Pedal을 작동하면 control valve의 방향을 조절하여 diaphragm의 상부에 대기압 혹은 P_c 를 형성하여 flap을 개폐하게 하였다. 그리고 종래의 hovercraft는 Fig. 5의 점선과 같이 위치하여 선회기능만 있으나, 본선은 flap을 135° 회전하여 선회기능과 후진기능을 동시에 갖도록 하였다.

5.6 Skirt

(6.2 참조)

6. Skirt

초기의 skirt는 부양마력을 줄이고 obstacle clearance (hovering height)를 크게하기 위하여 고안된 것으로 현재에 이르러서는 단순한 sealing을 위한 부가물이라기 보다는 선체의 stability, control 및 rough sea에서의 운동성능을 좌우하는 결정적인 요소로 발전되었다.

Hovercraft는 skirt의 개발로 각광을 받기 시작하였으며 hovercraft의 신뢰도, 보수유지, 승선감을 향상하고 운동성능을 개선하기 위해 skirt의 개발에 지대한 노력을 기울이고 있다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 skirt는 bag & finger type과 loop segment type으로 아래와 같다.

6.1. Skirt type

1) Bag & finger type

이 type은 BHC(British Hovercraft Corporation)에서 개발된 것으로 현재 사용되고 있는 skirt 중 가장 역사가 길고 사용실적이 높다.

이 type은 기본적으로 상부에 bag과 하부의 finger부분으로 나누어지며 finger의 depth는 cushion depth의 약 50%정도가 되며 finger의 depth를 증가시키게 되면 skirt의 flexibility가 증가하게 되어서 승선감이 좋아지게 되나 반대로 plough-in의 경향도 증가하게 된다. Fig. 6은 BHC의 skirt의 변천과정을 나타내는 것으로 부양효율(η_i)을 증가시키기 위해 지속적인 노력으로 종래의 과대한 bag pressure($p_b=1.5pc$)에서 현재의 낮은 bag pressure($p_b=1.1pc$)까지 낮추었다.

이 type의 결함으로는 pitch/roll에 대한 복원력이 적으며 bouncing(bag의 상하운동)등이 있으나 지속적인 노력으로 대부분 만족할만한 수준으로 개선되고 있다. 또한 이 type은 제작이 복잡하고 많은 물량이 소요되어 증량증가의 요인이 되며 maintenance가 어렵다.

2) Loop & Segment type

HDL(Hovercraft Devevelopment Ltd)에서 개발된 것으로 역사는 짧으나 많은 장점이 있으므로 근래에 많이 사용되고 있다.

기본적으로는 bag & finger type과 유사하나 loop와 segment에 동일한 압력이 가해지게 되므로 skirt의 형태가 cushion의 압력이나 depth에 관계없이 모두 상사한 형태로 결정된다.

Bag & finger type에 비해 rough water drag가 적으며 cushion air를 plenum chamber에 직접 공급하게 되어 duct 및 bag에 의한 pressure loss가 없으므로 lifting power를 상당히 감소할 수 있다.

이 type은 제작이 간편하고 물량이 적게 들며 maintenance가 쉽다. 결함으로는 anti plough web를 사용하지 못하므로 plough-in의 경향이 있으나 loop의 형상, fan의 배치등으로 충분히 개선할 수 있다.

6.2. 개발선의 Skirt

Cushion pressure와 loop pressure가 같은 open loop & segment type으로 일체로 된 loop, 122개의 segment와 rope로써 이루어지며 Photo. 4와 같이 half model test를 수행하여 skirt의 형상을 분석하였다. Plough-in 현상을 방지하기 위해 Fig. 1과 같이 선수 skirt를 뒷쪽으로 이동하고 fan을 회전하여 선수쪽에서의 air공급을 원활하게 하였다. segment의 선미부분은 선수와 측면의 segment와 달리 물에 의한 끌림, 방해물에 의한 손상이 야기되므로 여러개의 segment에 걸쳐 drag sheet를 장치하였다. 설치와 maintenance를 고려하여 loop와

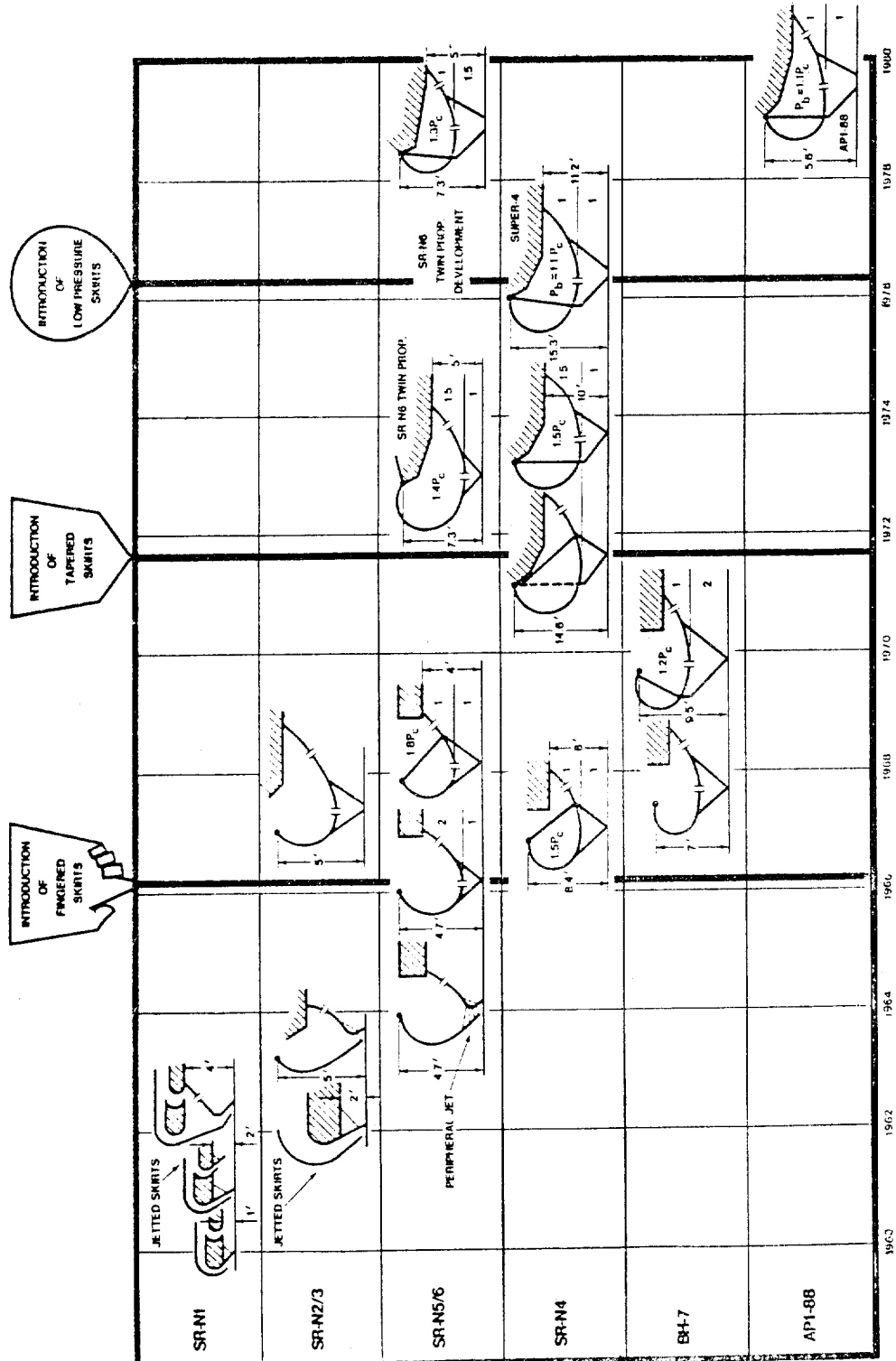


Fig. 6 Typical main skirt sections at various stages of development

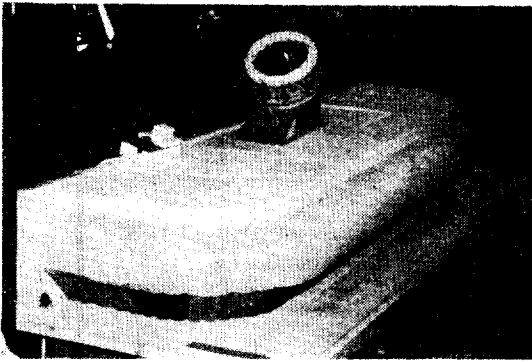


Photo. 4 Half model test

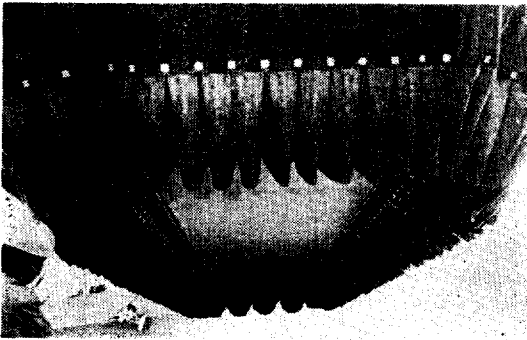


Photo. 5 Skirt & wet deck

segment는 velcro로써 연결하였으며 segment와 rope의 연결에는 plastic shackle을 이용하였다. 이 plastic shackle은 skirt의 과대한 손상을 방지하는 fuse 역할을 겸한다.

시운전중에는 고속에서도 plough-in현상이 발견되지 않았으나, skirt bouncing이 생겨 loop에 anti-bouncing tie를 설치하여 bouncing 현상을 개선하였으며 plastic shackle의 과대한 유연성에 의한 손상은 pin을 개선하여 해결하였다.

개발선의 skirt는 승선감이 양호하고, stability가 우수하였으며 특히 내파성이 우수하여 2.0 m 파고까지의 안정된 운항을 하였다.

6.3. Skirt Design

1) Skirt는 어떤 type이 절대적으로 우수하다고는 할 수 없으며 craft의 특성을 충분히 고려하여야 한다.

BHC의 경우 bag & finger type만을 고수하여 모든 craft에 적용하나 일반적으로 소형, 중형 hovercraft에는 loop & segment type이 유리하며 대형 hovercraft에는 bag & finger type이 유리하다고 할 수 있다.

2) Skirt의 설계는 hovercraft에 대한 충분한 이해와 오랜 경험을 필요로 하며 형상 설계는 half model test를

하여 형상의 변화를 분석하는 것이 좋다.

Skirt는 형상 설계도 중요하지만 이에 못지않게 제작 설계—제작, 연결, 취부도 중요하다. 우수한 형상으로 설계되었으나 제작이 미숙하면 빈번한 손상과 maintenance가 불리하여 결국 신뢰도가 떨어진다.

3) Skirt의 재질은 내파성, skirt의 수명에 관계되므로 craft의 크기, skirt type, 유연성, 내마모성, 강도, 중량, 해상상태등을 고려하여 선정하여야 한다.

4) Cushion compartment

Stability를 증가시킬 목적으로 cushion area를 나누는 것으로 이것은 wetted area를 증가시켜 additional drag를 증가시키고 표면의 돌출물에 의해 손상의 우려가 있으며 maintenance가 불편하다. 그러므로 cushion divider는 craft의 특성과 skirt의 특성을 신중히 고려하여 선택해야 한다.

7. Stability

Hovercraft의 stability는 maneuvering 및 ride quality에 중요한 인자가 되며 design 특히 skirt design의 중요한 요소이므로 많은 주의가 요구된다.

7.1. Heave stability

Heave stability는 fan의 특성에 크게 좌우된다. 정수중에는 chamber내의 압력이 균일하므로 stable하지만 wave 중에서는 air gap leakage, cushion height, skirt height 및 fan특성이 stability에 영향을 미친다.

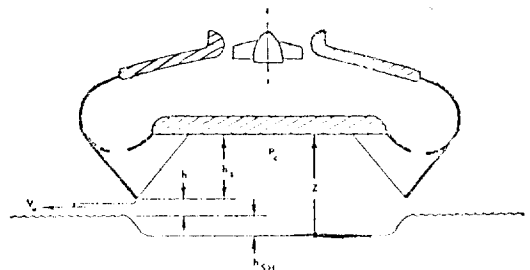
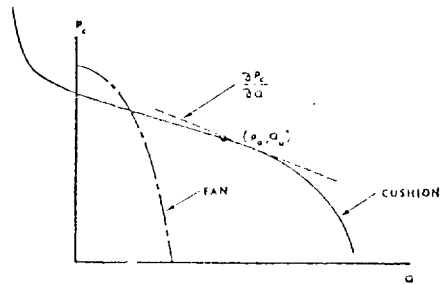


Fig. 7 Plenum heaving over water

Hovercraft의 cushion system과 heave와의 관계는 cushion을 spring force로 단순화 할 수 있으므로 heave displacement는 cushion내의 압력에 따라 영향을 받는다.

NSRDC에서는 heave stability criteria를 다음과 같은 식으로 주고 있다.

$$\frac{1}{2} \left(\frac{h}{hs} \right) \cdot \left(1 + \frac{P_a}{P_c} \right) \cdot \left(1 - \frac{2P_c/Q}{\partial P_c / \partial Q} \right) > 1$$

위 식으로부터 heave stability는

- 1) air gap height (h) 증가
 - 2) skirt height (hs) 감소
 - 3) cushion pressure (Pc) (감소)
 - 4) flow (Q) 증가
 - 5) cushion slope (Pc/Q) 증가
- 가 되면 증가함을 알 수 있다.

7.2. Pitch, Roll stability

Hovercraft 운항시 surface(지면, 수면)과 접해 있으므로 pitch, roll은 skirt의 pitch 및 roll stiffness와 밀접

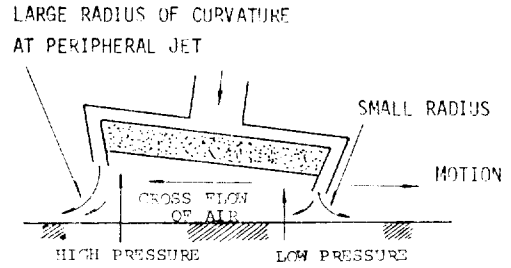


Fig. 8 Air flow and resultant direction of motion

한 관계가 된다. Fig. 8은 hovercraft의 instability 현상의 하나인 tilt현상을 설명하고 있다.

선체가 경사하게 되면 수면과 가까운 쪽의 jet curtain의 반경이 작아지므로 공기유출량이 작아지게 되고 chamber내에는 반대방향으로의 cross-flow가 생긴다. 이 cross-flow의 속도에 따라 압력구배가 생기게 되며 이 압력구배가 instability의 원인이 된다.

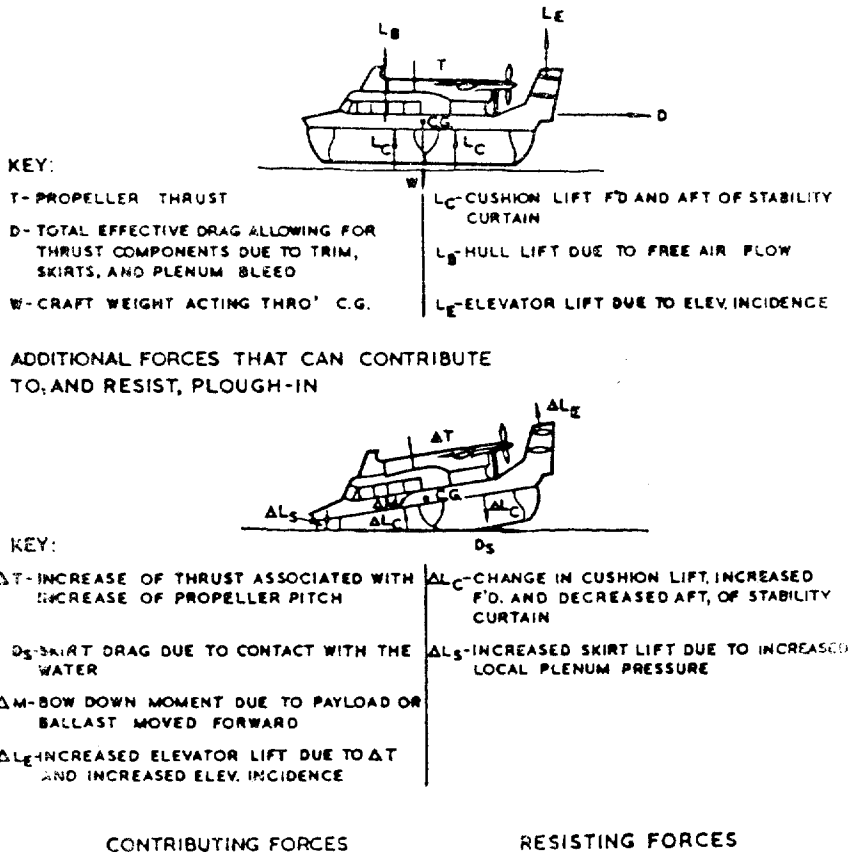


Fig. 9 Forces on craft in steady motion

이렇게 되면 cross-flow의 유출로 인해 선체는 옆으로 미끄러지게 되며 이러한 것을 줄이기 위해 다음과 같은 방법이있다.

1) cushion divider

cushion chamber를 skirt로 구분하여 stability를 조절한다.

2) C.P. shift method

Skirt를 움직여 cushion chamber area를 변화시키므로써 압력중심을 이동시켜 stability를 조절한다.

7.3. Plough-in, Overturning

Plough-in은 hovercraft에 일어날 수 있는 현상으로 Fig. 9와 같이 과도한 nose down trim으로 운항할때 선수 skirt가 물에 잠기게 되어 hydrodynamic drag가

증가하게 되어 선체는 감속되고 이때 심한 damage를 입을 수 있다.

계속되는 plough-in의 결과로 발생할 수 있는 현상이 overturning이다. 이 현상은 asymmetric nose down trim으로 선체가 원하는 방향으로 미끄러지게 된다.

Craft의 critical overturn speed는 dimension에 따라 정해지며 적절한 structure와 skirt design에 따라서 그 speed에서의 stability손실을 최소화할 수 있다.

Fig. 10은 SR. N5의 overturn sequence를 나타낸 것이며, Fig. 11은 SR. N6의 yaw angle과 speed에 따른 plough-in의 발생을 도시한 것으로 선속의 lateral component가 critical overturn speed를 넘지않는 yaw 및

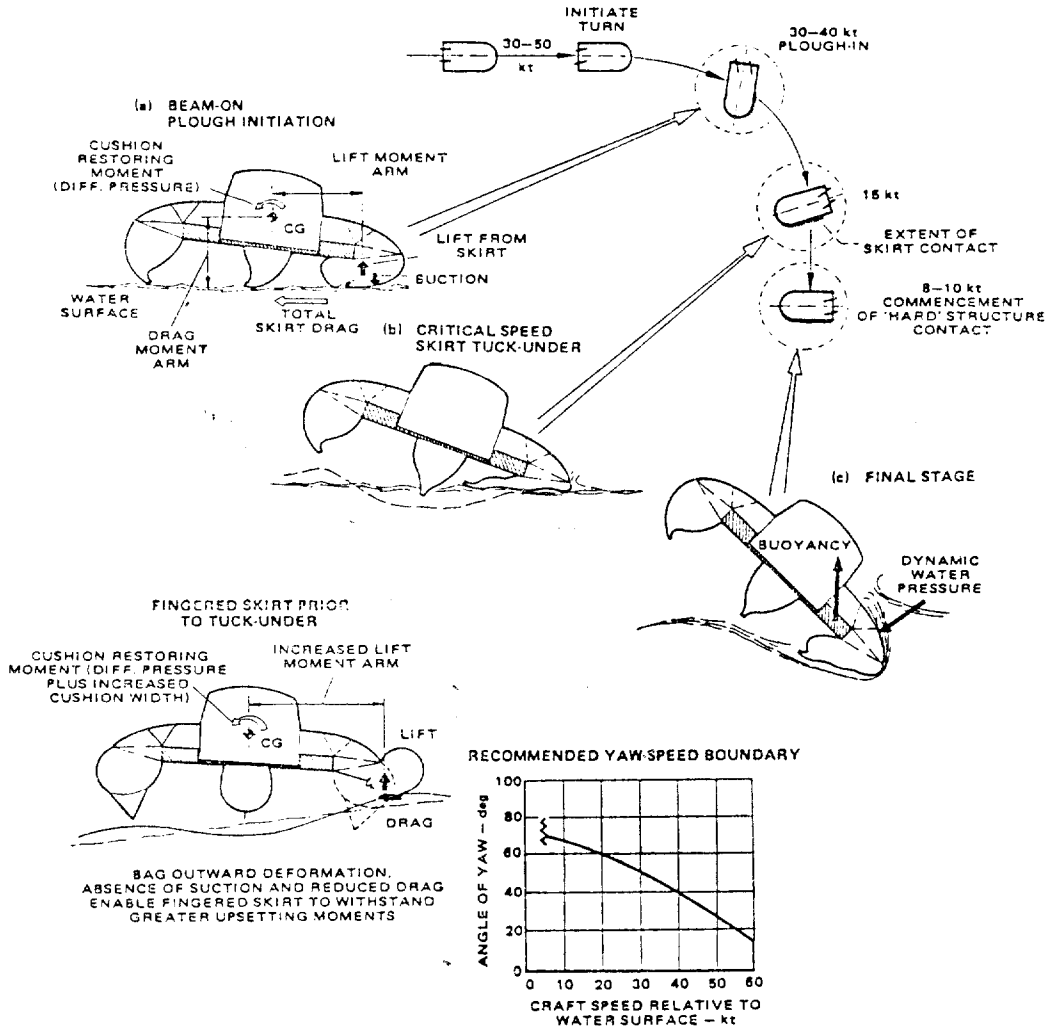


Fig. 10 Overturn sequence on SR. N5 with a jettied skirt(calm water conditions)

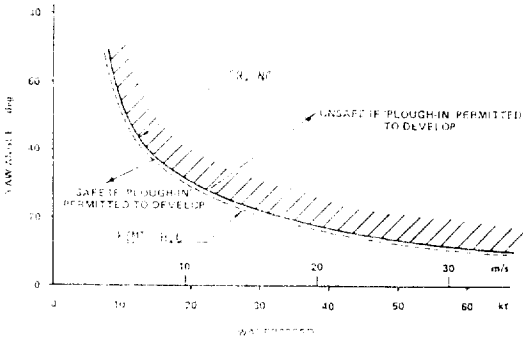


Fig. 11 Yaw angle/forward speed limit curve

speed boundary를 설정한 것이며 다음 식으로 계산된다.

$$V_c = Fn \cdot \sqrt{b \cdot g}$$

$$V_c > V_s \cdot \tan \alpha$$

V_c : critical overturn speed

Fn : Froude number

b : cushion beam

V_s : ship speed

α : yaw angle

Fig. 11의 절선은 개발선의 경우에 대한 것이며, 초기 시운전시 operating 미속으로 고속운항중 과대한 turning을 하여 plough-in을 체험한 바 있다. Model

test와 full-scale 전복사고를 분석해 보면 전복의 원인은 다음과 같다.

- 1) 심한 plough-in 상태에서의 방향조정성을 잃을때
- 2) High speed slide 상태에서의 beam-on plough-in
- 3) Yawed high speed flight 상태에서의 plough-in
- 4) High speed turn에서의 plough-in
- 5) Beam-on plough를 야기시키는 매우 큰 wave 중에서의 beam-on motion

이상에서 중요한 원인은 forward 혹은 sideway에서의 plough-in임을 알 수 있다. 그러므로 정상작동 중에는 어떠한 경우에도 plough-in을 피하여야 한다.

7.4. Weather-cock Effect

Hovercraft는 surface(수면, 지면)에 완전 부양되므로 Fig. 12와 같이 풍압에 의해 craft전체가 풍향계와 같이 풍향쪽으로 회전하려는 moment가 발생된다. 이 weather-cock effect는 yaw angle을 유발하여 directional stability를 저하시킨다.

그러므로 가능한 한 풍압면적을 줄이고 C.P.(풍압중심)은 LCG(craft무게중심)와 접근하여야 한다.

Rudder와 fin은 directional control과 directional stability를 위한 것이나 저속에서는 효율이 급격히 감소되고 weather-cock effect를 증가시키므로 directional stability를 저하시킨다.

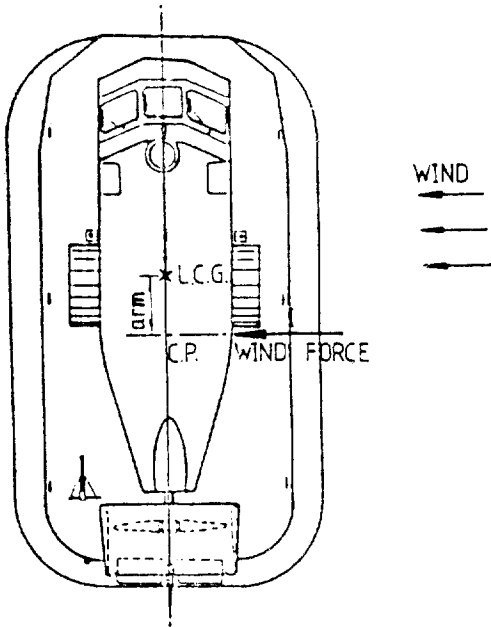


Fig. 12 Weather-cock effect

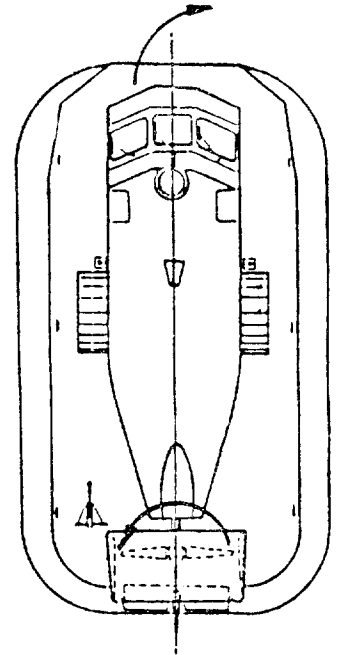


Fig. 13 Propeller rotation

7.5. Other effect

1) Propeller rotation에 의해서 Fig. 13 과 같이 turning moment가 발생되며 저속일수록 상대적으로 크게 나타난다.

2) Engine exhaust가 비대칭일 경우 exhaust asymmetric thrust에 의해 turning moment가 발생된다.

그러나 위의 현상이 craft 전체에 미치는 영향은 아주 적다.

8. Operation

Hovercraft는 항공기와 선박의 중간 형태로 일반 선박과는 차이점이 매우 많으므로 고도의 operating technique이 필요하다. operator는 control input과 외부 환경조건에 따라 발생하는 힘에 의해서 야기되는 안정성의 영향에 관하여 올바른 판단을 가져야하며, operator는 발생하는 힘들을 최대한으로 유리하게 이용할 수 있는 control technique를 이해하고 있어야 한다.

즉 control input나 임의의 외부의 힘에 의해서 기대되는 일련의 hovercraft의 특성에 관하여 operator는 잘 알고 있어야 한다.

개발선의 경우 초기의 시운전은 operating technique을 위해 대부분의 시간을 할애하였다. Hovercraft operating에서 주의할 점이 많이 있으나 여기에서는 plough-in과 directional control에 대해서 언급하도록 한다.

8.1. Plough-in을 피하기 위한 주의사항

1) Craft의 skirt feed back으로부터의 닳아올 plough-in의 경고를 인식해야 한다. 이것은 nibbling이라고 불리우는 bow segment(finger)의 snatch 혹은 drag back으로 야기되는 감속에 의해 급방 느낄수 있다.

2) Craft speed와 sea, wind condition에 따라 가장 적절한 trim을 갖도록 한다.

3) Large heading change나 wind, sea direction이 매우 크게 바뀔때 craft의 trim을 재조정 해주어야 한다.

4) Moving sideway시에는 어떤 경우라도 cushion height를 줄여서는 안되며 움직이는 방향으로 계속 전진하면서 speed를 줄여야 한다.

5) 극심한 바람과 해상상태에서 어떤 경우라도 sea beam-on 상태로 운항하지 말아야 한다.

6) 극심한 날씨에서는 down-wind에서 into-wind로 turning할 경우 turning하기전에 항상 speed를 줄인다.

8.2. Directional control의 주의사항

Directional control은 aerodynamic control의 견지에서 air speed에 영향을 많이 받는다.

1) 주어진 ground speed와 주어진 control input에서의 조종성은 into-wind 일때보다 down-wind 일때 효과가 떨어진다.

2) Relative cross wind일때 대부분의 craft는 weather-cock되려는 경향이 있다. 회전시에 response time과 회전율은 into-wind에서의 회전과 down-wind에서의 회전은 차이가 난다.

3) Wind speed가 craft speed와 똑같은 조건하에서는 상대속도가 zero가 되므로 fin이 stability효과를 거의 갖지 못하여 response time은 매우 불량하다.

4) 주어진 control input에서 into-wind에서 down-wind로 회전할때 매우 빠른 response time이 되고 높은 회전율을 보이는데 바람이 beam상태로 뒀에 따라 slow response, slow rate가 된다. Down-wind에서 into-wind로 갈때는 control pattern이 반대가 된다.

5) Craft의 low speed에서는 rudder의 효율이 현저하게 떨어지므로 directional control을 위해 bow thruster 혹은 puff port를 효율적으로 이용하며, weather-cock effect를 보상해야 한다.

9. Drag Estimation

Hovercraft의 drag계산방법은 지속적으로 개선되고 있으며 drag component는 aerodynamic, momentum, trim, cushion wavemaking, skirt wetting, skirt wave-making drag로 나눌 수 있으며 저속에서는 wavemaking drag가 고속에서 aerodynamic drag가 지배적이다.

1) Aerodynamic drag(D_a)

형상에 의한 저항으로

D_a = 1/2 ρ V² SC_{D,0}

S : frontal area

C_{D,0} : aerodynamic drag coeff

(wind tunel test로 얻을 수 있으며 본선의 C_{D,0}는

11.4 참조)

V : ship speed

2) Momentum drag (D_m)

Lifting fan의 cushion air에 의한 저항으로

D_m = ρ QV

ρ : air density

Q : air flow

V : ship speed

3) Trim Drag (D_t)

선체의 trim angle에 따른 것으로 선수, 선미 trim에

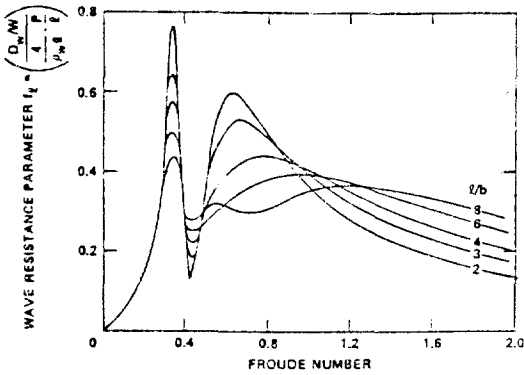


Fig. 14 Newman and Poole's wave resistance parameter

따라 drag 혹은 thrust 성분이 된다.

$$D_t = \Delta \cdot \tan \alpha$$

Δ : all up weight

α : trim angle

4) Cushion wavemaking drag (D_w)

Cushion air에 의한 wavemaking drag로

$$D_w = fl \cdot \frac{4}{f_w \cdot g} \cdot \frac{P_c}{l} \cdot \Delta$$

f_l : wave resistance parameter

ρ_w : water density

P_c : cushion pressure

l : cushion length

5) Skirt wetting drag at calm water (D_{skw})

model test의 잉여저항 성분으로 P. Mantle의 식을 이용

$$\frac{D_{skw}}{\Delta} = 0.0058 \left(\frac{h}{c} \right)^{-0.34} \cdot \frac{l+L/b}{(l/b)^{1/2}} K$$

K : pressure number ($K=1/2 \rho V^2/P_c$)

h : cushion clearance

c : peripheral length

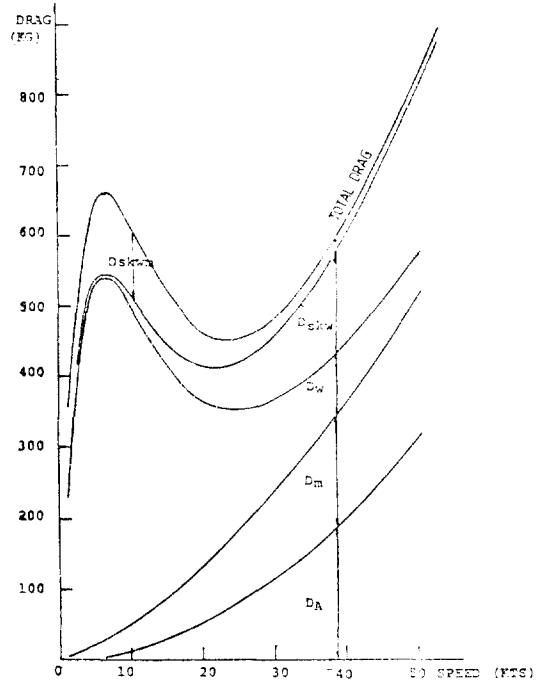


Fig. 15 Drag components

b : cushion beam

6) Skirt wavemaking Drag (D_{skwm})

잉여 저항성분으로 P. Mantle의 식을 이용

$$\frac{D_{skwm}}{D_w} = 1.374 \left(\frac{P_c}{1} \right)^{-0.259} - 1$$

10. Lifting Power Estimation

Skirt를 통해 유출되는 cushion air의 양을 계산하여 lifting power를 계산한다.

1) Air flow (Q)

경수중에서의 air flow로

Table 1 Drag estimation effective horse power prediction chart (by using N-Poole wave resistance chart)

SPEED KTS	D_w lbs	D_t lbs	D_a lbs	D_m lbs	D_{skw} lbs	D_{skwm} lbs	D_{total} lbs	EHP (HP)
6.8	1,010.7	0.0	12.3	46.6	10.9	372.5	1,453.0	30.1
12.2	796.3	0.0	40.5	84.3	35.8	293.5	1,250.5	47.0
31.3	245.0	0.0	265.1	215.8	234.6	90.3	1,050.9	101.0
39.2	173.6	0.0	414.2	269.8	366.6	64.0	1,288.3	154.7
40.0	171.2	0.0	432.3	275.6	382.6	63.1	1,324.8	162.5
47.0	132.7	0.0	596.5	323.8	527.9	48.9	1,629.9	234.9
50.0	117.5	0.0	675.4	344.5	597.8	43.3	1,778.5	272.8

$$Q = V_c \cdot h \cdot c \cdot D_c$$

V_c : air escape velocity ($V_c = \sqrt{2P_c/\rho_a}$)

ρ_a : density of cushion air

D_c : discharge coefficient

c : Peripheral length

2) Lifting power(P_l)

$$P_l = \frac{P \cdot Q}{550 \cdot \eta_f}$$

P : fan discharge pressure

η_f : efficiency of fan

$$\eta_f = 0.85 - 0.22N_s$$

N_s : specific speed of the fan

$$\begin{cases} N_s < 3 & \text{for centrifugal fan} \\ 2 < N_s < 4 & \text{for mixed flow fan} \\ N_s > 3 & \text{for axial fan} \end{cases}$$

3) Lifting fan

Lifting fan은 Fig. 16과 같은 과정을 거치면서 압력이 감소되어 chamber에 cushion air를 공급한다. 효율이 좋은 fan을 사용한다 할지라도 diffuser, duct, skirt를 고려하면 부양계통전체의 효율(η_l)은 약 40% 정도에 불과하다.

$$\eta_l = \frac{P_c \cdot Q}{550 P_l}$$

그러나 fan의 배치를 좋게 하고, skirt system을 개선하면 압력손실을 줄일 수 있으므로 η_l 를 증가시킬 수 있다.

4) Wave pumping criteria

Wave중에서 hovercraft가 운항할때 wave는 cushion air를 배출하는 vane pump로 생각할 수 있으므로 선미

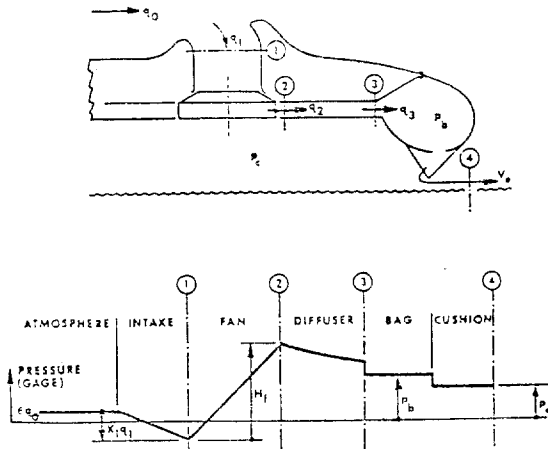


Fig. 16 Typical pressure distribution through lift system

쪽의 wave pumping을 보상할 만큼 충분한 air를 공급하여야 하며 충분히 보충하지 못하면 craft는 자세를 잃어버리고 파도중에서 pitch하게 된다.

그러므로 정수중에서의 Q 와 wave pumping에서의 Q' 중 큰것을 이용할 것을 추천한다. (ref. 2) 그러나 위의 제안은 실제적으로 아래의 관점에서 타당하지 못하다.

첫째로 위의 방법은 wave height가 cushion height와 정확히 일치할때에 대한 것으로 wave가 cushion height보다 낮을 경우 선미쪽의 air가 선체와 파정의 사이를 통해 front cushion으로 이동하며, 만약 wave가 cushion height보다 높을 경우 craft는 과도한 hull wetting drag로 design speed로 운항하지 못한다. 더우기 위의 제안은 hovercraft가 어떠한 heave 혹은 pitch mation도 없이 운항한다고 가정된 것으로 실현성이 없으며 vane pump 개념은 부정확하다. 그러므로 wave pumping criteria은 비교목적으로 이용하는 것이 타당하다.

5) h/l Criteria

Cushion clearance를 cushion length로 나눈것으로 종전에는 이값을 이용하여 간단히 flow를 계산할 수 있으나 이 criteria는 l (cushion length)만 고려하였으며 각기 다른 l/b 를 고려하지 못하므로 l 이 증가되면 h 도 비례하여 증가하므로 부정확하다.

실제적으로 air flow는 skirt의 형상, l/b , craft의 속도, 운항하는 표면(파도고려)등을 고려하여야 한다.

11. Test

시운전은 육상시운전과 해상시운전으로 크게 나눌수 있으며, 3개월에 걸친 시운전기간동안 우려했던 것과는 달리 각 system이 기대이상으로 완전무결하여 많은 test를 수행할 수 있었으며 실제성능을 확인하고 만족할 만한 data를 얻을 수 있었다.

1) Speed test

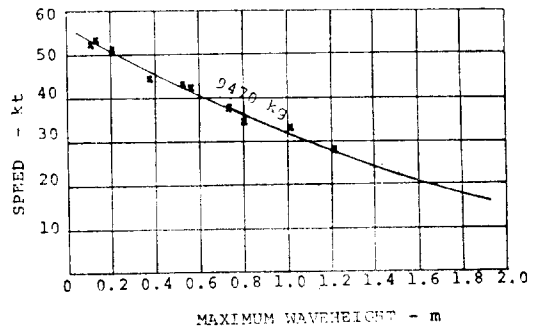


Fig. 17 Speed curve

2) Noise Measurement

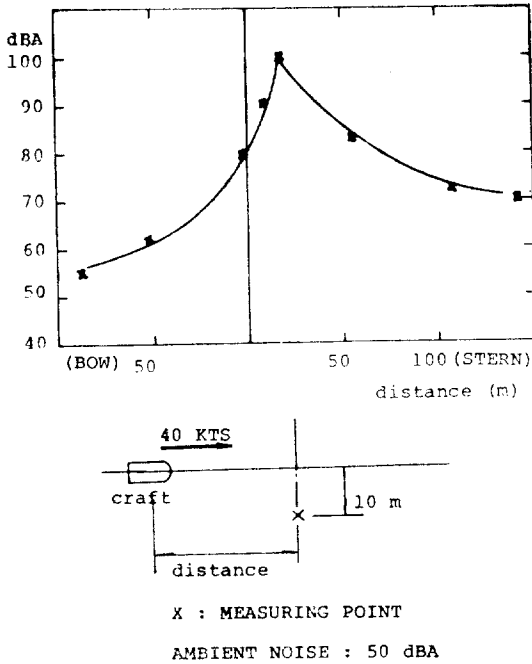


Fig. 18 Noise measurement

3) Skirt pitch/roll stiffness

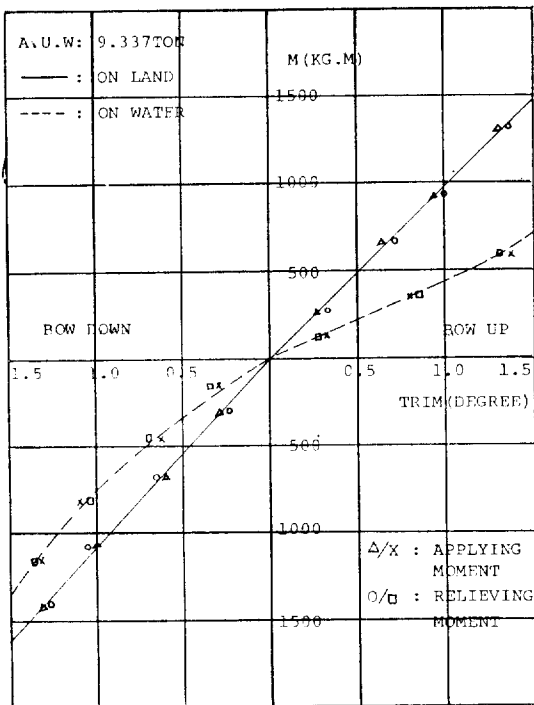


Fig. 19 Skirt pitch stiffness

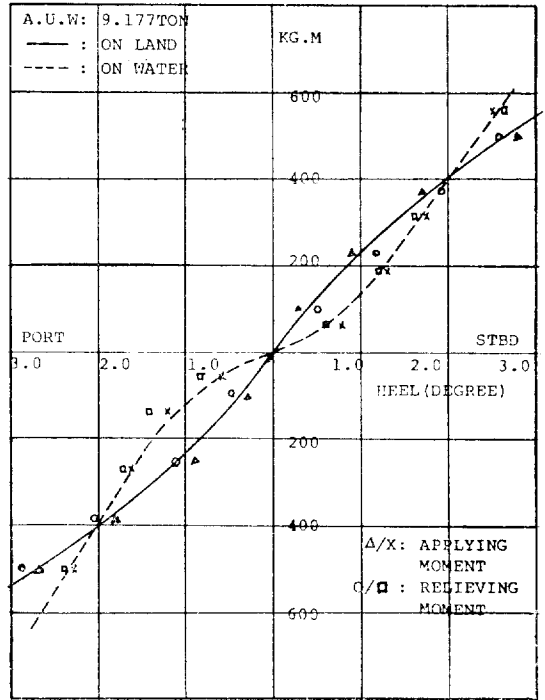


Fig. 20 Skirt roll stiffness

4) Wind tunnel test

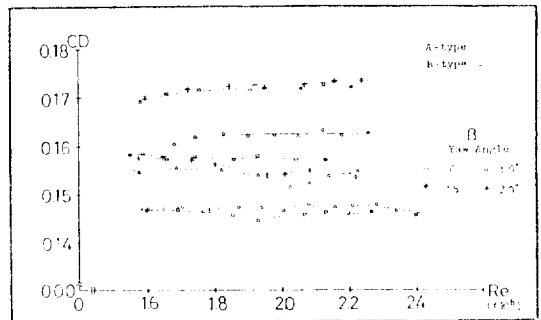


Fig. 21 Variation of drag coef. with Reynold's number for a series of yaw angle by A & B-type model

공기역학적 특성을 해석하기 위해 서울공대항공과에서 A, B 두 type에 대한 풍동시험을 수행하여 효율적인 B type선형을 채택하였다.

C_d 는 cushion area에 대해 무차원 한 것으로 실제의 front area에 대한 $C_{D,0}$ 는

$$C_{D,0} = C_D \times \text{cushion area} / \text{front area}$$

5) Propeller vibration & static thrust measurement
 날개진동수와의 공진, 토크 전달경로, 선체운동 및 propeller 지지대의 non-rigidity 등 불확실한 transient

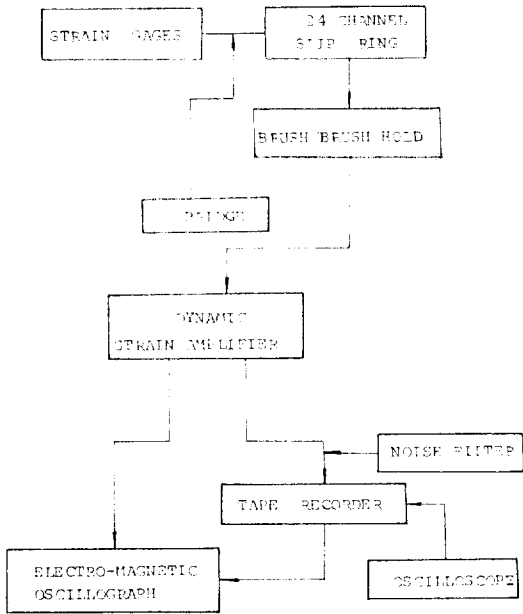


Fig. 22 Block diagrams of vibratory strain measurement

load의 작용으로 인한 과도한 응력이 발생하거나, 혹은 선미부의 기하학적 특성으로 인한 propeller wake의 불균일성으로 인하여 날개 파손 및 추진효율의 저하등 많은 문제점의 발생가능성을 동적변화율을 계측하여 분석하였다.

그리고 추진축에 작용하는 토크 및 추력을 계측하여 설계성능을 검토하였다. 이 계측방법은 Fig. 22 과 같이 Strain gage, slip ring, brush block assembly를 이용하여 만족스러운 결과를 얻을 수 있었으며 slip ring 과 brush block assembly는 자체적으로 제작하였다.

12. 결 언

본 개발선은 국내최초의 hovercraft로서 순수한 자체 기술진에 의해 개발되었으며 완벽한 성공을 거두었다는 점에서 국내조선기술의 발전에 중요한 의미를 가진다. Hovercraft는 수륙양용이며 초고속선박으로 바다와 육지를 동시에 연결할 수 있으므로 연안여객선, 내수교통선, car ferry, 병원선, 고속순시선, 해안경비정, 세관감시선, 구난정, 원목운반선등 용도가 다양하며 특히 군사목적으로 고속상륙정, 고속수송선, 소해정등으로 많이 이용될 수 있다.

특히 심각하게 대두되는 energy문제를 고려할때 연료가 현저하게 절약되어 경제성이 높으며 특별한 부두

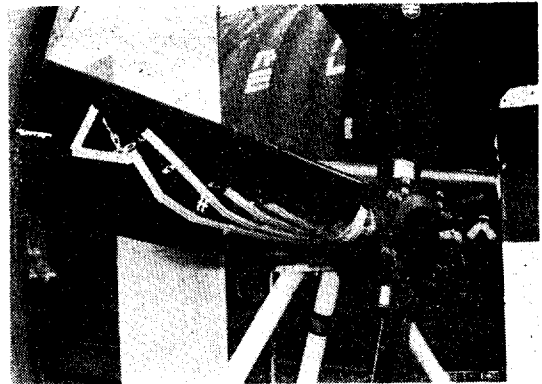


Photo. 6 Propeller vib. test(strain gage)

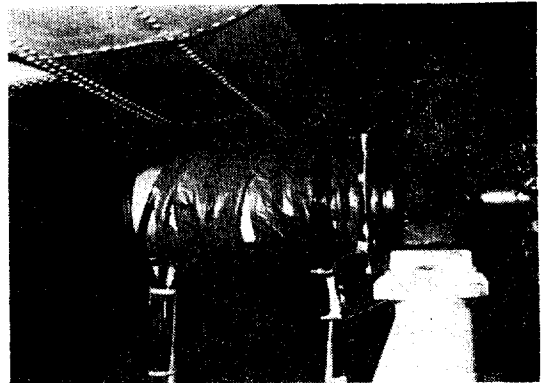


Photo. 7 Slip ring & brush block assembly

시설이 필요없으므로 수상운송 수단의 현대화, 고속화, 신속화로 수송수단의 혁신을 기할 수 있다.

국제적으로 hovercraft의 전망이 밝으며 국내에서도 많은 수요가 예상되므로 정부의 적극적인 지원과 조성, 해운항만 관계자들의 새로운 인식이 요구된다.

앞으로 보다 적극적인 자세로 연구개발하여 hovercraft를 대형화, 다양화 할 계획이며 관련학과 연구기관의 적극적인 지원을 바란다.

參 考 文 獻

- [1] 12 M Hovercraft 개발보고서 (코리아타코마조선, 기술개발연구소)
- [2] *Air Cushion Craft Development* (First Revision, 1980) Report DTNSRDC-80/012 (4727 revised)
- [3] R.A. Wells and C.E. Heber, DTNSRDC *Powering Prediction for Surface Effect Ships Based on Model Results* (AIAA/SNAME 78-744)
- [4] *Hovercraft-Towards the second quarter century Journal of SNAK, Vol. 22, No. 2, June 1895*

by G.H. Elsley & D.J. Hardy (BHC)

[5] *Hovercraft Skirt Design Requirements* by J.E.

Rapson (HCL)

[6] *Responsive Hovercraft Skirts* by J.E. Rason(HCL)

[7] *Hovercraft Design & Construction* by G.H. Elsley & A.J. Devereux

[8] 수륙양용 공기부양선 모형에 대한 공기저항 연구
(서울대학교 공과대학 생산기술연구소)



學會마크가 卍으로 鑄彫된 아래의 製品을 銀 3匁으로 製作하였읍니다. 購入을 希望하 시는 會員께서는 學會事務局으로 申請하 시기 바랍니다.

- Tie pin : ₩13,000/ea
- Cuff buttons : ₩26,000/set
- Blazer button : ₩13,000/ea

祝

發 展

本學會를 積極 支援하여 주신 團體會員 여러분께 感謝드리오며, 會員 여러분의 無窮한 發展을 봅니다.

特級

- | | | |
|----------------|--------------------|-------------|
| 大宇造船工業株式會社 | Det Norske Veritas | 三星重工業株式會社 |
| 仁川造船株式會社 | 造船工業協同組合 | 株式會社 大韓造船公社 |
| 코리아타코마造船工業株式會社 | 韓韓機械研究所 大德船舶分所 | 韓國船級協會 |
| 韓國造船工業協會 | 現代尾浦造船株式會社 | 現代重工業株式會社 |
| 現代엔진工業株式會社 | 現代重電氣株式會社 | |

1級

- | | | |
|----------|----------|----------|
| 南星海運株式會社 | 大東造船株式會社 | 大鮮造船株式會社 |
| 東海造船株式會社 | 鎮海機械廠 | 韓國漁船協會 |

2級

- | | | |
|------------------|-------------|-------------|
| 建設化學工業株式會社 | 釜山大學校 造船工學科 | 서울大學校 造船工學科 |
| 蔚山大學校 造船 및 海洋工學科 | 仁荷大學校 造船工學科 | 株式會社 東洋技術工業 |
| 株式會社 비·씨·시스템즈 | 株式會社 三工社 | 株式會社 韓國海士技術 |

3級

- 慶北大學校 中央圖書館

祝

發 展

團體會員 加入을 祝賀합니다.

忠南大學校 造船工學科

學科長：金 基 曾 教授

原 稿 募 集

本學會誌原稿를 아래의 같이 募集합니다. 本學會誌를 더욱 알차게 꾸미기 위하여 會員 여러분의 積極인 參與를 바랍니다.

1. 原稿種類：研究論文, 技術報告, 解說, 노트, 會議參加報告, 紹介記事
2. 投稿規程：本學會誌 參照
3. 提出處：서울特別市 江南區 驛三洞 635-4 (135)
科學技術會館 508號室
社団法人 大韓造船學會 (電話 568-7533)