

HOVERCRAFT 의 實船開發

REPORT OF HOVERCRAFT DEVELOPMENT

코리아 타코마造船 技術開發研究所長 李 成 振*

” 技術開發研究所副所長 李 彩 雨**

1. 서 언

코리아 타코마 조선공업(주) 기술 개발 연구소에서는 1981년 2월 수륙양용 공기부 양선(hovercraft)의 시험선 개발에 이어, 1983년 4월 hovercraft의 실선 개발계획을 수립하여 축적된 기술을 바탕으로 자체기술진에 의해 설계를 착수, 1984년 12월 국내 최초로 55+Knot, 12M 급 hovercraft의 실선 개발에 성공하여 국내 조선기술의 발전에 새로운 전기를 마련하였다.

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

최근에는 국내에서도 hovercraft에 많은 관심을 기울이고 있으며, 앞으로 활발한 연구가 진행될 전망이다. 본 보고서는 그동안의 개발과정을 정리한 것으로 hovercraft의 연구에 도움이 되길 바란다.

2. 개발선의 의의

1) 국내최초의 hovercraft로서 8년 동안의 축적된 기술을 토대로 순수한 자체 기술진에 의해

독창적인 system을 채택한 proto type으로 향상된 국내 조선기술을 세계에 입증하였다.

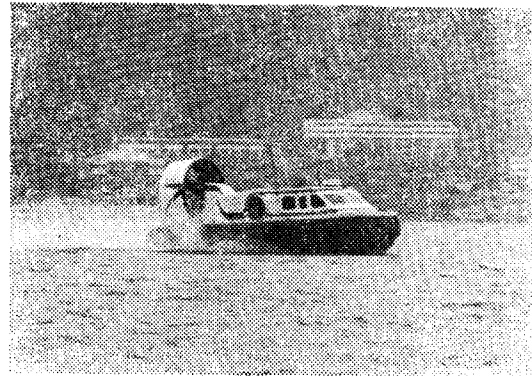


Photo. 1 12M hovercraft의 해상질주장면

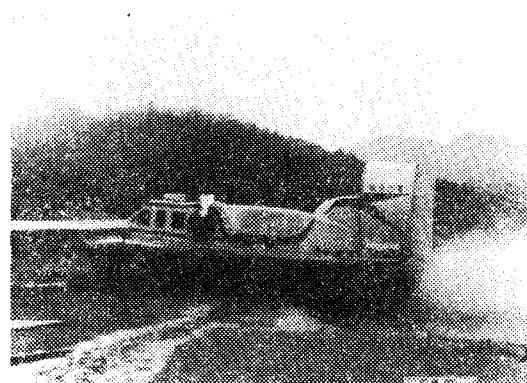


Photo. 2 해상에서 육상으로 상륙하는 장면

* 造船技術士(造船設計)

** 造船技術士(造船設計)

2) 국내 최고의 초고속선박으로 50knot의 벽을 돌파하여 55 knot 이상을 낼 수 있다.

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

4) 수륙양용으로 수송수단에 새로운 장을 열었으며 hovercraft의 다중화, 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)	
	1×428PS @ 2,300 RPM
LIFTING ENGINE (DIESEL)	
	1×324PS @ 2,300RPM
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 구조로 용접 구조에 비해 선체중량을 감소시킬 수 있으므로 적재 하중을 증가시킬 수 있으나 공기비용과 손상시 보수 비용이 많이 든다.

근래의 용접구조는 경제성을 고려한 것으로 structural efficiency가 낮지만 초기 투자비가 적게 들고 공기가 단축되며 보수유지를 최소화할 수 있다.

선각재질로는 Al alloy 5086-H116(plate)와 Al alloy 6061-T6 (extrusion)을 사용하였으며, 주 선체는 용접구조이고 deck house는 rivet 구조로 되어 있다. 선저판(wet deck)의 두께가 매우 얇다. 용접변형에 의한 panel의 초기 변형이 매우 크므로 소성설계 개념을 도입하였다.

4.2 Engine, fan, propeller 선정

(1) Engine

Diesel engine을 선정한 것은 경제성을 고려한 것으로 gas turbine에 비해 가격은 약 1/4 정도이며, 유지비, overall 비용이 훨씬 적게 든다.

Air-cooled engine은 water-cooled에 비해 중량이 가벼우며 system이 간단하여 hovercraft에 적합하다. 경량인 air-cooled diesel engine도 gas turbine의 중량에 비해 약 10배 정도 무거우므로 본선의 disposable load/AUW비의 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 공간 활용도를 증가시키고 fan을 수직으로 설치하여 difuser, duct 등에 의한 손실을 줄일 수 있으므로 fan의 효율을 증대시킬 수 있다.

그리고 한쪽 fan이 손상되었을 때도 운항이 가능하다.

(3) Propeller

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

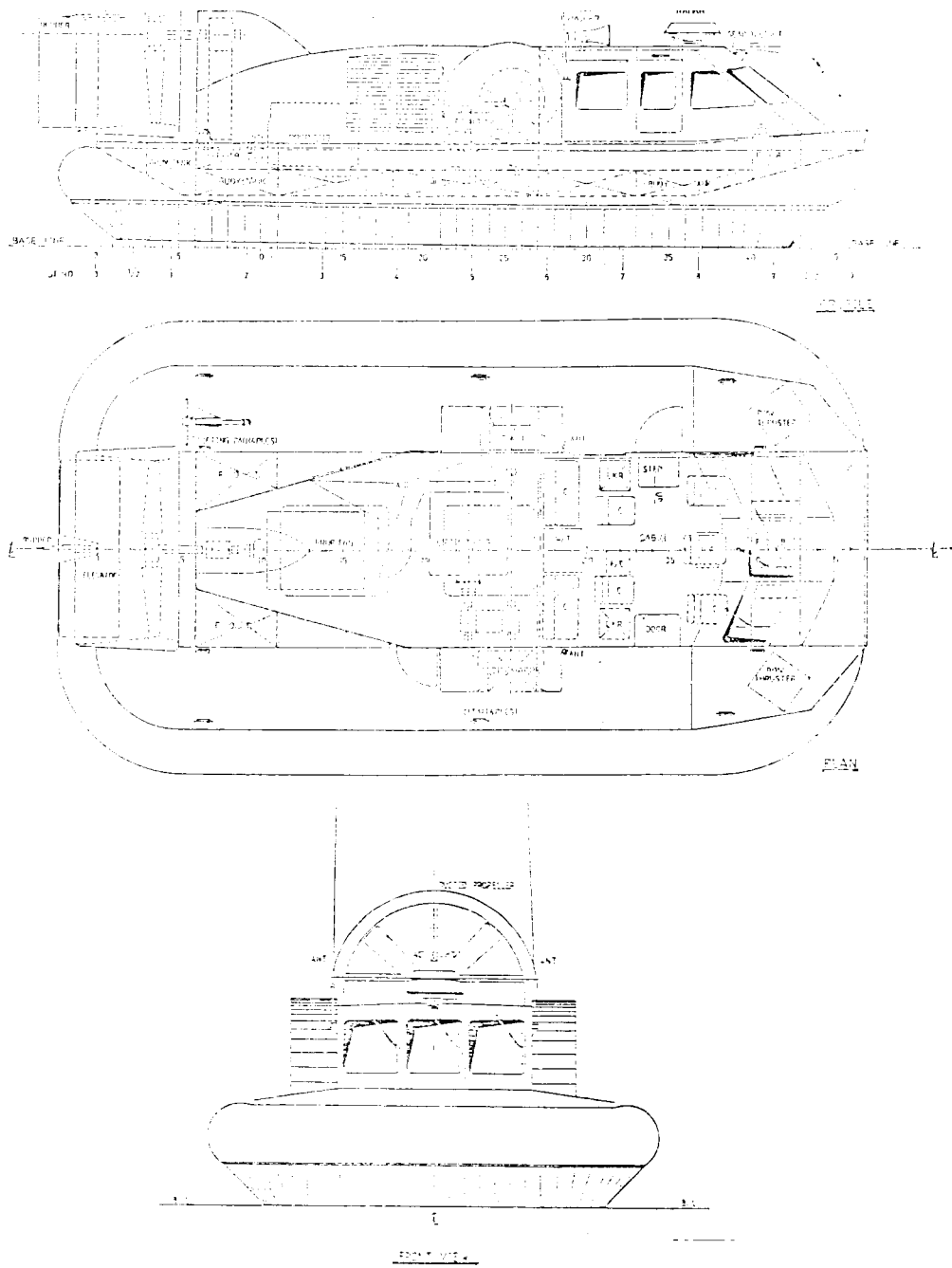


Fig.1 General arrangement

싸다.

실제적으로 hovercraft 에 사용된 CPP 를 관찰해 보면 운항중에 reverse pitch 를 사용하는 빈도가 아주 적다.

그리고 reverse thrust 는 bow thruster 를 이용하여 얻을 수 있으므로 FPP 를 사용하는 것이 합리적이다.

Ducted propeller 의 사용은 low-speed thrust 를 최대로 증가시키기 위한 것으로 경사로의 등판능력을 향상시키고, 맞바람과 해상상태에서 wavemaking 'hump drag' 를 극복하게 한다.

그리고 duct 는 propeller 의 소음을 대폭 줄일 수 있으며, control surface (rudder/elevator) 를 설치하기 편리하다.

(4) Power transmission

Bevel gear 나 right angle drive 의 경우 정확한 shaft alignment 가 필요하고 power transmission 이 복잡하다. Toothed sprocket 와 toothed belt (폭 : 340mm) 를 사용하여 설치와 보수 유지를 용이하게 한다.

4.3 Control system

Control surface 는 propeller duct 의 후부에 위치하며 여러개의 rudder, elevator 는 propeller 의 효율을 저하시키고 중량을 증가시키므로 한 개의 대형 rudder/elevator 를 설치하며, 시운전 시 필요하면 보조타를 설치할 수 있게 한다.

저속에서는 rudder 의 효율이 현저하게 떨어지므로 선수에 bow thruster 를 설치하여 low speed maneuvering 을 개선시킨다.

또한 bow thruster 를 135° 회전하여 설치함으로써 선회와 후진기능을 동시에 갖도록 한다.

그리고 trim control 을 위한 fuel ballast system 을 설치한다.

5. 개발선의 주요 System

5.1 Power transmission system

추진 및 부양기관의 출력은 power coupling, flexible coupling, toothed belt, sprocket 를 통해 propeller 와 fan 에 전달된다. Power 의 cou-

pling 은 engine 의 smooth starting 을 위해 flexible coupling 은 engine 과 축계간의 misalignment 와 shaft deflection 을 위해 설치된다. 중량을 절감하기 위해 sprocket 의 재질은 aluminum 을 사용하였으며 외부의 teeth 는 열처리 되어 있다.

5.2 Ducted propeller

Propeller 는 4-blade, 2.75m dia 이며 aluminum hub 와 wooden composite blade 가 조립식으로 연결된 ground adjustable pitch propeller 로 craft 의 상태에 적절하게 육상에서 pitch angle 을 조절할 수 있다.

Duct 는 내부의 FRP 와 외부의 aluminum 복합구조로 이루어졌으며, 내부의 표면과 propeller tip 의 clearance 가 매우 중요하다.

Duct 의 chord length 는 길면 길수록 static thrust 가 증가되나 풍압면적을 증가시키므로 weather-cock effect 를 고려하여야 한다.

5.3 Control

Rudder 는 hand-hydraulic 으로 elevator 는 mechanical control cable 로써 작동되며, 다음과 같은 방법으로 본선을 조종한다.

(가) 방향조정

(a) Propeller duct 뒤의 rudder

(b) Bow thruster

(나) Trim

(a) Propeller duct 뒤의 elevator

(b) 전, 후부의 fuel 조정을 위한 fuel ballast system

5.4 Bow thruster system

종래의 hovercraft 는 bow thruster (puff port) 를 작동하기 위해 별도의 hydraulic 이나 pneumatic system 을 사용하여 system 이 복잡하고, 중량이 증가되었다.

본 선은 Fig. 2, 3 과 같이 cushion chamber 의 cushion air 를 이용하여 별도의 동력원이 필요 없으므로 system 이 간편하고 중량도 절감된다.

Pedal 을 작동하면 control valve 의 방향을 조절하여 diaphragm 의 상부에 대기압 혹은 쿠션

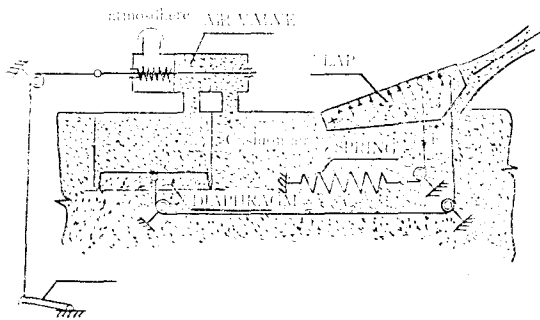


Fig. 2 Bow thruster (open)

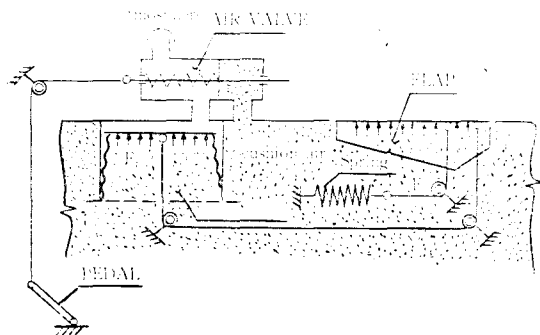


Fig. 3 Bow thruster (close)

압력을 형성하여 flap 을 개폐하게 하였다.

그리고 종래의 hovercraft 는 Fig.4 의 점선과 같이 위치하여 선회기능만 있으나, 본선은 flap 을 135°회전하여 선회기능과 후진기능을 동시에 갖도록 하였다.

5.5 Skirt(6.2 참조)

6. Skirt

초기의 skirt 는 부양마력을 줄이고 obstacle clearance (hovering height)를 크게하기 위하여 고안된 것으로 현재에 이르러서는 단순한 sealing 을 위한 부가물이라기 보다는 선체의 stability, control 및 rough sea 에서의 운동성능을 좌우하는 결정적인 요소로 발전되었다.

Hovercraft 는 skirt 의 개발로 각광을 받기 시작하였으며 hovercraft 의 신뢰도, 보수유지, 승선감을 향상하고 운동성능을 개선하기 위해 skirt

의 개발에 지대한 노력을 기울이고 있다.

현재 가장 많이 사용되고 있는 skirt 는 bag & finger type 과 loop & segment type 으로 아래와 같다.

6.1 Skirt type

(1) Bag & finger type

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

이 type 은 기본적으로 상부에 bag 과 하부의 finger 부분으로 나누어지며 finger 의 depth 는 cushion depth 의 약 50%정도가 되며 finger 의 depth 를 증가시키게 되면 skirt 의 flexibility 가 증가하게 되어서 승선감이 좋아지게 되나 반대로 plough-in 의 경향도 증가하게 된다.

(2) Loop & segment type

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

기본적으로는 bag & finger type 과 유사하나 loop 와 segment 에 동일한 압력이 가해지게 되므로 skirt 의 형태가 cushion 의 압력이나 depth 에 관계없이 모두 상사한 형태로 결정된다.

Bag & finger type 에 비해 rough water drag 가 적으며, cushion air 를 plenum chamber 에 직접 공급하게 되어 duct 및 bag 에 의한 pressure loss 가 없으므로 lifting power 를 상당히 감소시킬 수 있다.

6.2 개발선의 Skirt

Cushion pressure 와 loop pressure 가 같은 open loop & segment type 으로 일체로 된 loop, 122개의 segment 와 rope 로써 이루어지며 photo.3 과 같이 half model test 를 수행하여 skirt 의 형상을 분석하였다. Plough-in 현상을 방지하기 위해 Fig.1 과 같이 선수 skirt 를 뒷 쪽으로 이동하고 fan 을 회전하여 선수쪽에서의 air 공급을 원활하게 하였다. segment 의 선미부분은 선수와 측면의 segment 와 달리 물에 의한 끌림, 방해물에 의한 손상이 야기되므로 여러개

의 segment 에 걸쳐 drag sheet 를 장치하였다.

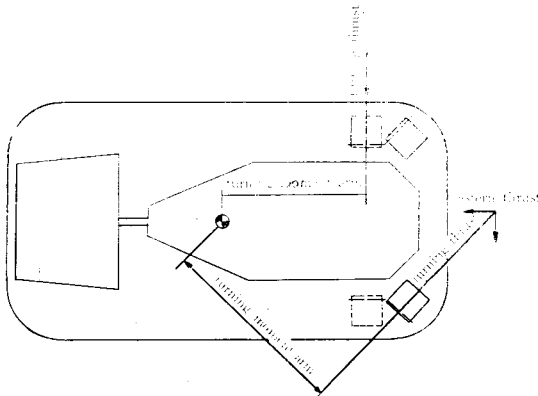


Fig. 4 Bow thruster arrangement

시운전 중에는 고속에서도 plough-in 현상이 발견되지 않았으나, skirt bouncing 이 생겨 loop 에 anti-bouncing tie 를 설치하여 bouncing 현상을 개선하였다.

개발선의 skirt 는 승선감이 양호하고, stability 가 우수하였으며, 특히 내파성이 우수하여 2.0m 파고까지는 안정된 운항을 하였다.

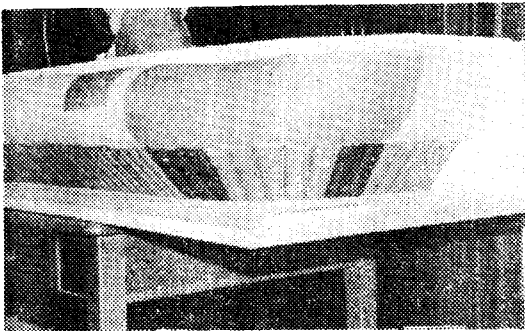


Photo. 3 Half model test

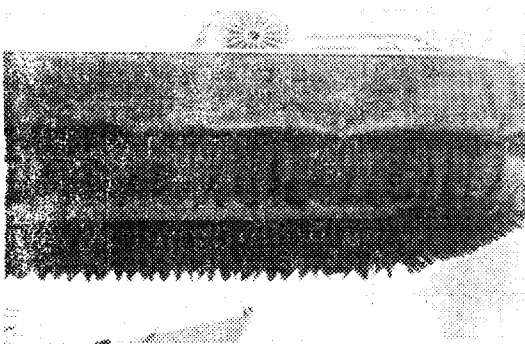


Photo. 4 Skirt & wet deck

7. STABILITY

Hovercraft 의 stability 는 maneuvering 및 ride quality 에 중요한 인자가 되며 design 특히 skirt design 의 중요한 요소이므로 많은 주의가 요구된다.

7.1 Heave stability

Heave stability 는 fan 의 특성에 크게 좌우된다. 정수중에서는 chamber 내의 압력이 균일하므로 stable 하지만 wave 중에서는 air gap leakage, cushion height, skirt height 및 fan 특성이 stability 에 영향을 미친다.

Hovercraft 의 cushion system 과 heave 와의 관계는 cushion 을 spring force 로 단순화할 수 있으므로 heave displacement 는 cushion 내의 압력에 따라 영향을 받는다.

7.2 Pitch, Roll stability

Hovercraft 운항시 surface(지면, 수면)과 접해 있으므로 pitch, roll 은 skirt 의 pitch/roll stiffness 와 밀접한 관계가 된다.

FIG. 5 는 hovercraft 의 instability 현상의 하나인 tilt 현상을 설명하고 있다.

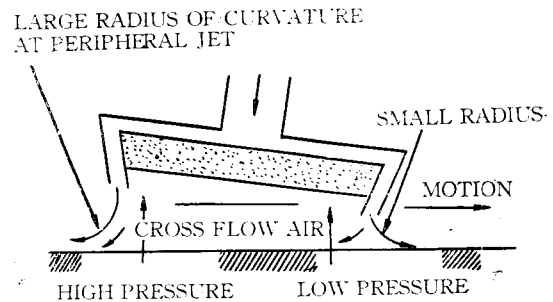


Fig. 5 Air flow and resultant direction of motion

선체가 경사하게 되면 수면과 가까운 쪽의 jet curtain 의 반경이 작아지므로 공기 유출량이 작아지게 되고 chamber 내에는 반대방향으로의 cross-flow 가 생긴다. 이 cross-flow 의 속도에 따라 압력 구배가 생기게 되며, 이 압력 구배가 instability 의 원인이 된다.

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

(1) cushion divider

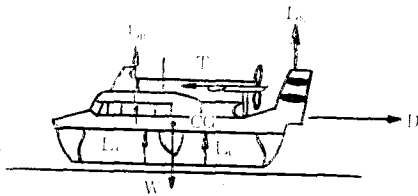
cushion chamber를 skirt로 구분하여 stability를 조절한다.

(2) cushion pressure shift method

Skirt를 움직여 cushion chamber area를 변형시킴으로써 압력중심을 이동시켜 stability를 조절한다.

7.3 Plough-in, overturning

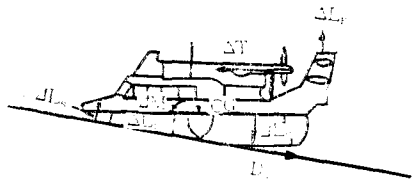
Plough-in은 hovercraft에 일어날 수 있는 현상으로 Fig.6와 같이 과도한 nose down trim



KEY:

- T-propeller thrust
- D-total effective drag allowing for thrust components due to trim, skirts, and plenum bleed
- W-craft weight acting thro' C.G.
- Lc-cushion lift fd and aft of stability curtain
- LB-hull lift due to free air flow
- LE-elevator lift due to elev incidence

ADDITIONAL FORCES THAT CAN CONTRIBUTE TO, AND RESIST, PLOUGH-IN



KEY:

- ΔT-increase of thrust associated with Increase of propeller pitch
- ΔMs-skirt drag due to contact with the water
- ΔM-bow down moment due to payload or ballast moved forward
- ΔLE-increased elevator lift due to ΔT and increased elev incidence

CONTRIBUTING FORCES

- ΔLc-change in cushion lift, increased fwd, and decreased aft, of stability curtain
- ΔLs-increased skirt lift due to increased local plenum pressure

RESISTING FORCES

Fig. 6 Forces on craft in steady motion

으로 운항할 때 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 원하지 않는 방향으로 미끄러지게 된다.

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

7.4 Weather-cock effect

Hovercraft는 surface(수면, 지면)에 완전부양되므로 Fig. 7과 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(craft 무게 중심)와 접근시켜야 한다.

Rudder와 fin은 directional control과 directional stability를 위한 것이나 지속에서는 효

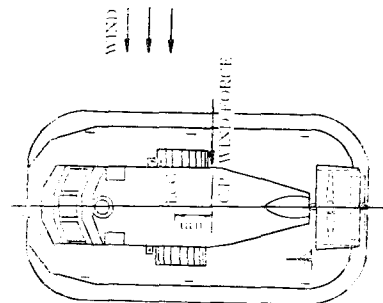


Fig. 7 Weather-cock effect

음이 급격히 감소되고 weather-cock effect 를 증가시키므로 directional stability 를 저하시킨다.

8. Test

시운전은 육상시운전과 해상시운전으로 크게 나눌 수 있으며, 3개월에 걸친 시운전 기간동안 우려했던 것과는 달리 각 system 이 기대이상으로 완전무결하여 많은 test 를 수행할 수 있었으며, 실제성능을 확인하고 만족할만한 data 를 얻을 수 있었다.

주요한 시험으로는 파고에 따른 속력시험, 위치에 따른 소음계측, 육상과 해상의 표면의 변화에 따른 SKIRT 의 PITCH/ROLL STIFFNESS 계측, 공기역학적 특성을 해석하기 위한 풍동시험, 그리. strain gage 를 이용한 propeller vibration, static thrust 계측을 들 수 있다.

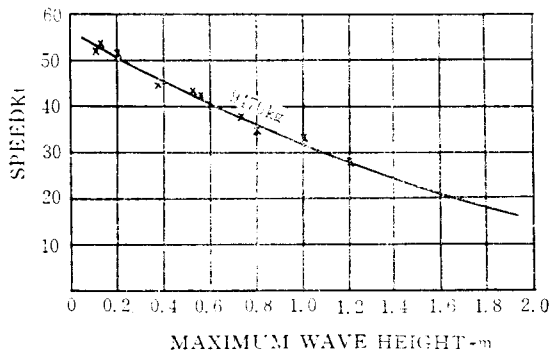
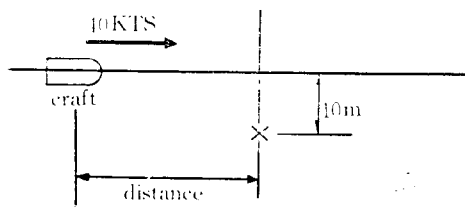


Fig. 8 Speed curve



N : MEASURING POINT
 AMBIENT NOISE: 50 dBA

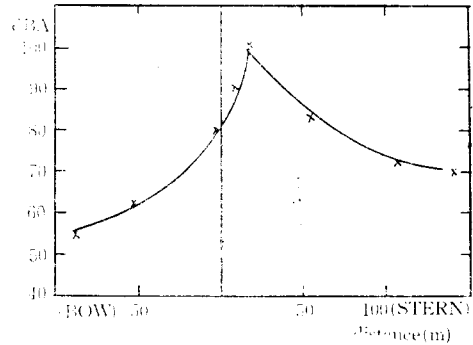


Fig. 9 Noise measurement

9. 결 언

본 개발선은 국내 최초의 hovercraft로서 순수한 자체 기술진에 의해 개발되었으며, 완벽한 성공을 거두었다는 점에서 국내 조선 기술의 발전에 중요한 의미를 가진다. Hovercraft는 수륙양용이며 초고속선박으로 바다와 육지를 동시에 연결할 수 있으므로 연안여객선, 내수 교통선 car ferry, 병원선, 고속순시선, 해안경비정, 세관감시선, 구난정, 원목운반선 등 용도가 다양하며 특히 군사목적으로 고속상륙정, 고속수송선, 소해정등으로 많이 이용될 수 있다.

특히 심각하게 대두되는 energy 문제를 고려할 때 연료가 현저하게 절약되어 경제성이 높으며 특별한 부두시설이 필요없으므로 수상 운송수단의 현대화, 고속화, 신속화로 수송수단의 혁신을 기할 수 있다.

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

앞으로 보다 적극적인 자세로 연구 개발하여 hovercraft를 대형화, 다양화 할 계획이며, 관련 학계와 연구기관의 적극적인 지원을 바란다.

참고문헌

- 12M Hovercraft 개발보고서 (코리아 타코다조선, 기술 개발연구소)
- Air Cushion Craft Development (First Revision, <p. 11 에 계속>