

499톤 어업지도선의 “힘센추진 PACKAGE” 설계 및 성능평가

권 오 신/현대중공업 엔진기계사업본부 상무
김 세 환/현대중공업 엔진기계사업본부 이사
김 찬 선/현대중공업 엔진기계사업본부 중형엔진설계부 차장
강창민 · 김윤호/현대중공업 엔진기계사업본부 중형엔진설계부 사원

1. 서 론

“힘센추진 Package”는 추진용주기로 현대 “힘센엔진”인 8H25/33P 엔진과 가변익추진장치 및 관련장비로 구성되어 있으며, 본 추진 package는 해양수산부 499ton 어업지도선에 공급 및 설치되었고, 훌륭한 성능이 입증되어 성공적으로 인도되었으며, 그 내용은 다음과 같다.

해양수산부 산하의 어업지도선 선박은 2003년 현재 25척 취역, 가동 중이며, 한국연근해 및 일본·중국 경계수역의 어로감시 및 자원보호를 수행하고 있으나, 장비의 노후화 및 선속부족으로 현대화된 어선선단의 감시가 불가하여 정부는 매년 2~3척의 고속선으로 기존선박을 대체하는 선질 개량 사업을 추진하고 있다.

이에 당사는 본 사업에 적극 참여하였으며, 당사가 2001년도에 국내 최초로 독자 개발에 성공한 중형디젤엔진인 “힘센엔진”을 추진기관으로 하는 “힘센추진 Package”를 499ton급 어업지도선 3척에 공급하는 것으로 2002.12월 결정하여

Project를 추진하게 되었다.

본 추진 Package는 8H25/33P(3,155PS×900RPM) 힘센 주기관, 가변익 및 추진 장치, 추진 제어장치, 추진보조기계 일식으로(디젤 2기 2축) 구성되어 있으며, 총 6 Sets의 추진 장치를 공급하였으며, 2003년 8월 공식 공장시운전 및 동년 12월 선박의 공식 해상시운전을 실시하여 제반 선박성능시험 및 각종검사를 통해 그 성능의 우수함이 입증되어 성공적으로 선박인도를 완료함으로써, 국내 최초의 독자기술에 의한 추진 Package 공사를 완료하였다.

이러한 성과를 바탕으로 2004년 1월 2척의 신조선의 대한 추진 Package 4 Sets를 추가로 수주하게 되어, 해양수산부, 선박설계엔지니어링사 및 선박건조회사로부터 당사의 “힘센추진 Package”의 성능, 설계 및 공사수행능력을 인정받게 되었다.

이에 동 Project수행 과정 중 “힘센추진 Package”설계 및 성능평가 부분에 대한 기술적 사항을 소개하고 이를 계속해서 발전시키는 계기를 마련코저 한다.

2. 선박 및 추진 장치의 제원

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|
| 1) 총톤수 및 선종 : G/T 499Ton급 어업지도선 | 6) 감속기 : 수평식, 유압제어장치부착 |
| 2) L.O.A (선 장) : 64.24m | 7) 추진 장치 형식 : 4익 가변익, 13 meter length 중공축 |
| B.M (선 폭) : 9.3m | 8) 추진 제어 장치 형식 : 프로그램제어식 |
| D.L.W.L(깊이) : 3.55m | 9) 보조기기 : 공기압축기, 보조 펌프류 및 열교환기 등 |
| 3) 계획선속 : 19.15knots at sea-trial | 10) 선박 일반 배치도 : Fig. 1 참조 |
| 4) 추진방식 : CODAD(디젤 2기 2축) | 11) 추진 장치 배치도 : Fig. 2 참조 |
| 5) 주기관 출력 : 3,155PS×900rpm/Engine | |

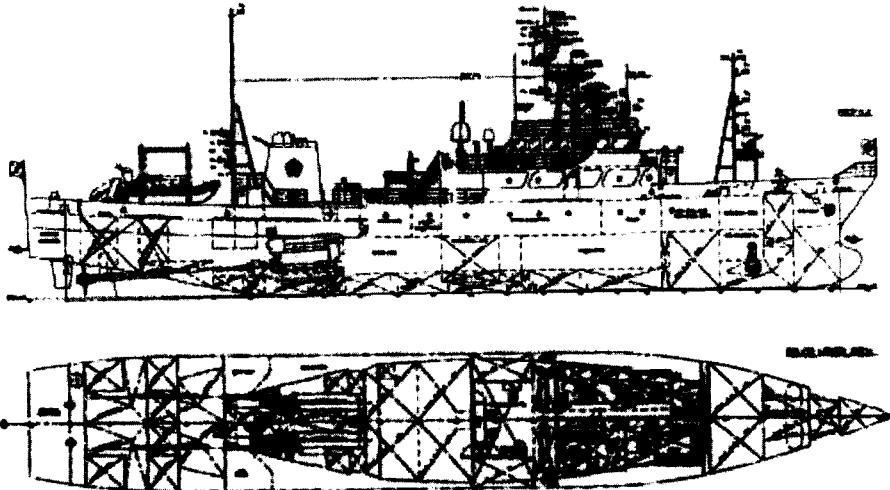


Fig.1 General Arr't of 499Ton Fishing Patrol Vessel

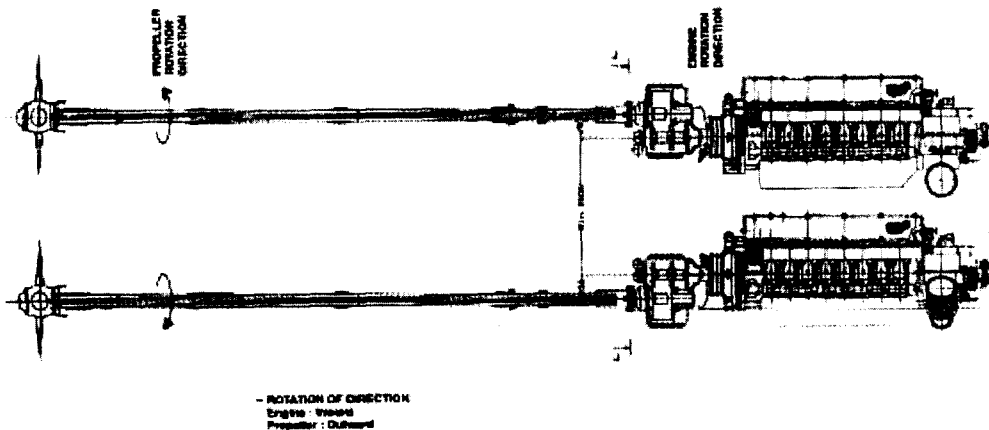


Fig.2 Shafting Arr't of 499Ton Fishing Patrol Vessel

3. 힘센추진 Package의 구성 및 System 설계

3.1 힘센추진 Package장비 선정

특수선 및 중소형 선박의 경우 엔진 제조자가 추진기, 축계, 감속기, 추진 제어 장치, 주기관, 주기관 제어장치, 주기관 Stand-by pump, 열교환기, 시동공기장치 등으로 구성되는 추진 Package를 장비선정에 앞서, 장비의 성능, 초기투자비용, 운전 및 정비 비용 등의 기술적·경제적 측면의 평가 자료를 발주처에 제시하고 평가 받음으로써 장비공급자로 선정되게 된다. 본 499ton 어업지도선의 경우 다음의 “힘센추진 Package” 자료가 어느 경쟁사보다 성능 및 기술의 우수성이 입증되어 당사가 추진 Package를 공급하게 되었다.

- ARM평가(Availability, Reliability, Maintainability)
- 20년 운전, 장기 연료비용
- 추진보조기기의 총 전력 소비량
- 힘센추진 Package System의 기본설계

3.2 주기관화 설계

힘센 8H25/33P 주기관은 499ton 어업지도선의 운전상황인 저부하 순항·순찰운전, Fire-Fighting 운전, 최고속도 운전 Mode를 고려하여, 다음과 같은 성능을 부여하였다.

3.2.1 동압과급기 적용 및 Part load matching

2기 2축선 추진엔진의 고부하운전, 저부하운전, 급속 전·후진 등의 과도운전 특성을 만족시키고, 부하 추종성 및 흑매연 발생을 최소화하기 위하여, 일반적으로 적용되는 Full Load matching을 지양하고 엔진과급기의 Compressor 선도 상의 효율을, 85% 부하 범위 이하의 저부하 운전성능을 개선하기 위하여 과급기를

최적 Load에 Matching Surging margin을 충분히 확보할 수 있게 하였고, 과부하 운전시 Pmax의 상승을 초래하는 초과된 소기압 처리는 당초 Waste gate valve의 설치를 고려하였으나, 가변익추진선의 자동부하제어(Automatic Load Control) 기능과 연계시켜 연료제한장치(Fuel stopper)의 제어기능으로 추진엔진의 성능을 달성토록 하였다.

Fig. 3은 어업지도선 과급기 Matching 계획을 표시하였고, Fig. 4는 Shop Test 시의 과급기 Matching 결과를 보여주고 있으며, 이론 Propeller load의 1.3배의 Surging Matching을 확보토록 하였다.

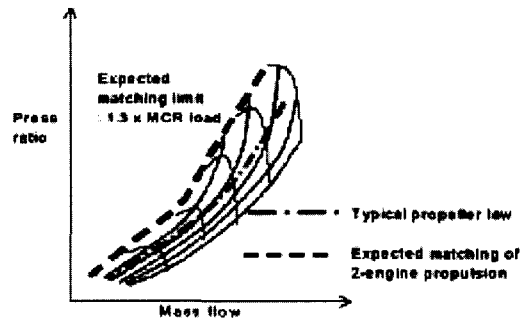


Fig. 3 어업지도선 및 과급기 Matching 계획

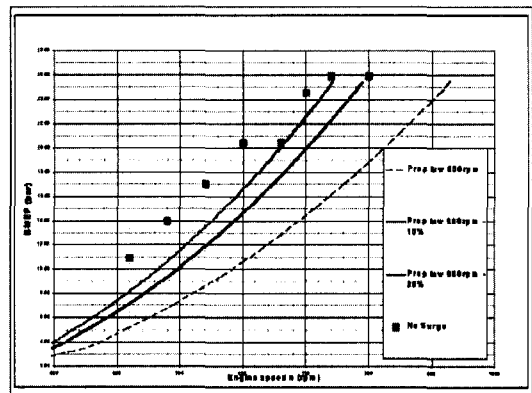


Fig. 4 Shop Test 시 과급기 Matching Test

3.2.2 조속기(Governor)

추진용 엔진의 조속기능은 Idle speed~Full speed 범위 전속도 구간 속도제어 기능 및 급속 전후진과 같은 과도 운전시 Engine fail로 인한 Dead ship을 방지할 수 있는 조속기능이 요구된다. 특히 2기 2축선의 경우 선박의 선회 또는 급속 전·후진으로 인한 피치 변경 시, 불평형 추진 부하발생으로 부하변동에 대한 안정적인 부하응답성 및 속도제어가 요구된다.

전자식 Governor의 채택은 이러한 과도운전특성을 만족할 수 있는 장점을 갖고 있으나, 상용 Service중 주기적인 Program input 관리, Supervision 경비지출, Electrical Noise 발생시 Fail 등을 고려하여, 국내 보급성, 보수 유지 및 운전성을 고려 Woodward UG10 유압식 Actuator를 선택하고, 원격속도제어의 편이성을 위해 mA speed 제어방식을 결합한 UG10-MAS governor를 채택하였다.

3.2.3 추진기 및 축계장치

추진기는 부하조정 편이성, Propeller noise 및 Vibration을 고려하여 전계면적비가 크고, 추진효율이 우수하며, 선미구조 및 Aperture가 협소한 구조의 선박에서 선속확보가 용이하고 Program 제어 및 주기관과의 Load Matching이 우수한 High skew propeller를 적용하였다.

당초 추진축계는 13meter 장축 및 베어링 마찰효율 개선을 위하여, 유유히식 선미관 베어링(Oil cooling stern tube bearing)을 고려하였으나, 국내 사용실적 및 연근해 해상 부유물상태를 고려하여 해수유히식 선미관베어링 (Sea water cooling stern tube bearing)을 채택하였다.

감속기는 가변비조정용 Oil distribute box를 별도로 부착하는 형식 외, 가변의 유압실린더 및 유압펌프가 내장되고, Main clutch가 부착된 감속기를 선택하였다. Fig. 5는 추진장치의 축계 단면도를 표시하고 Fig. 6은 YS-186호선(무궁화 8호)의 축계설치광경을 보여주고 있다.



Fig. 5 추진축계 및 감속기 단면도

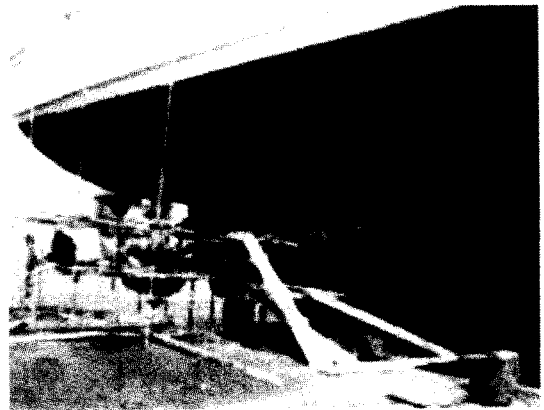


Fig. 6 YS-18(무궁화 28호), 추진축계 설치

3.2.4 추진 제어 장치

추진제어장치는 개별엔진을 Bridge 및 ECR (Engine Control Room)에서 각각 제어할 수 있도록 독립된 제어 판넬을 구성하고, 추진부하별로 엔진회전수와 Propeller pitch 제어가 가능한 통합운전(Combinator control) 및 과부하 자동제어 (Automatic load reduction) 운전이 가능토록 설계하였고, 추진부하를 프로그램으로 제어 운전할 수 있는 기능을 공급하였다.

또한 제어장치는 Power & System fail에 대비한 비상운전(Back-up control) 및 수동운전용 Local control 기능을 갖도록 하였다.

Fig. 7은 2기 2축선의 추진 제어 장치도를 표시하고, Fig. 8은 E.C.R 및 Main Bridge Panel을 표시하고 있다.

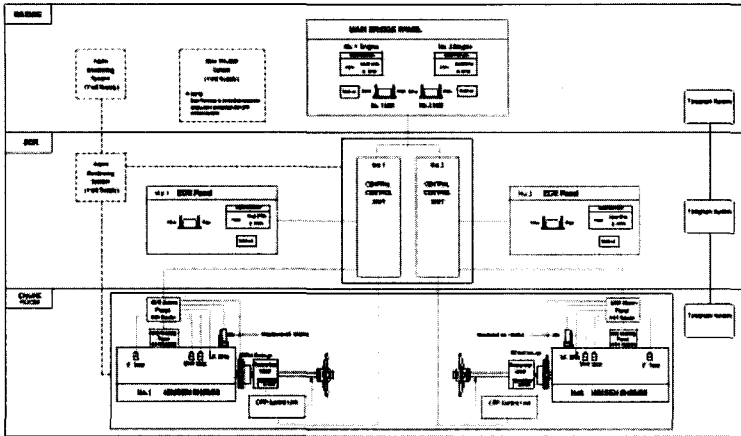


Fig. 7 Schematic diagram of twin propulsion

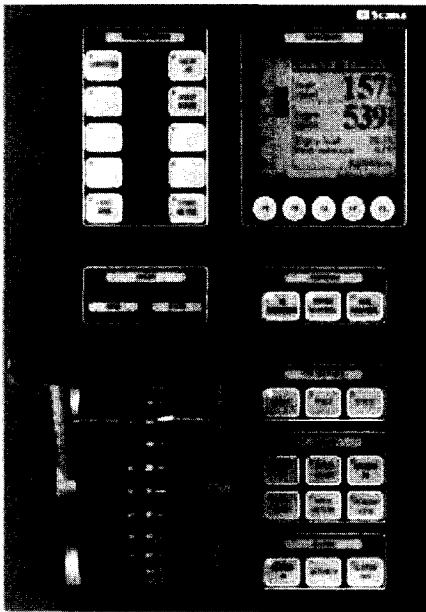


Fig. 8 ECR & Main Bridge Panel

Load diagram을 작성하고, 동력계 부하를 수동으로 조정하여 Combination control 및 Load limit control을 확인하였고 본 기능은 Fig. 9의 C1, C2 및 L1, L2점으로 표시하였다.

“1~8점은” 각 부하별 Load point를 나타내고 “9 점” Fire-Fighting mode 시의 Load point를 표시하고 있다.

본 Test는 엔진, 감속기, 엔진 경보 판넬, Governor, CPP 제어장치의 통합운전상태를 해상운전의 상태로 구현하여 Test bed에서 각 기능을 점검하였다.

Fig. 10은, 당사 중형엔진공장 Test bed상의 “힘센추진Package” 통합운전 광경을 보여주고 있다.

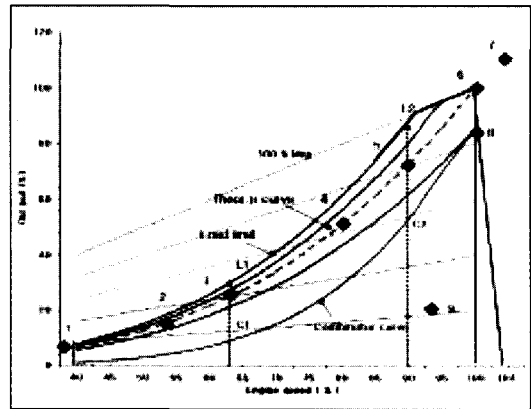


Fig. 9 Propulsion Load Diagram

4. 추진 엔진 Shop Test 및 축계설치

4.1 추진엔진의 Follow-up test

일반적인 추진엔진 부하시험과 별도로 추진 제어기능을 Shop test 시 확인하기 위하여 본선용

4.2 추진엔진의 Fuel rack-load diagram

해상 시운전시 엔진 출력을 추정하는 방식으로, Shop test 시의 엔진 Fuel rack 및 부하를 기준



Fig. 10 Propulsion Mode Test at Shop

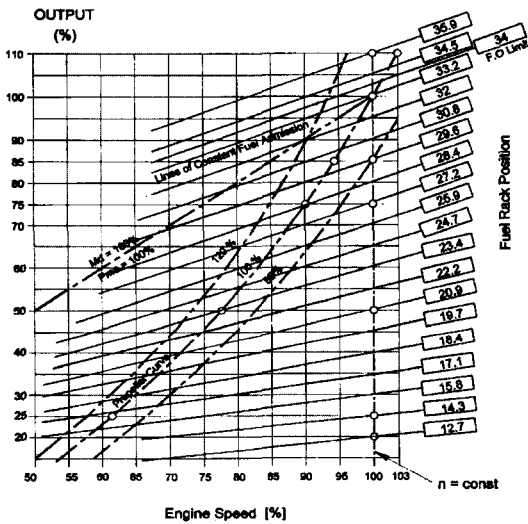


Fig. 11 Fuel Rack Load Diagram

으로 Fig. 11과 같은 Fuel rack load diagram을 작성하여, 본선 해상 시운전시 출력검증 및 가변의 추진기와의 Load setting 자료로 활용하였다.

엔진 부하별 Fuel rack은 우측에 표시하였고, 본 자료를 도출하기 위해서, 동력계 부하를 조정하여 Load-rpm별 Fuel rack을 설정하였다.

4.3 추진축계 Jack-Up Test

추진축계설치는 Free Load상태의 Bearing load 계산 결과와 Resilient mounting 구조의

엔진 정적 Loading 및 Rubber mounting의 Thermal expansion을 계산하여 축계, 감속기, Flexible coupling의 설치지침서를 작성하고, 본 설치지침서에 의거 축계 설치 작업 및 Supervision이 수행되었으며, 축계정열 완료후 Jack-up test를 실시하여 지중상태의 Bearing force를 확인하였다.

Fig. 12는 Jack 위치 NO.1과 NO.3의 Jack-up test결과를 보여주고 있다.

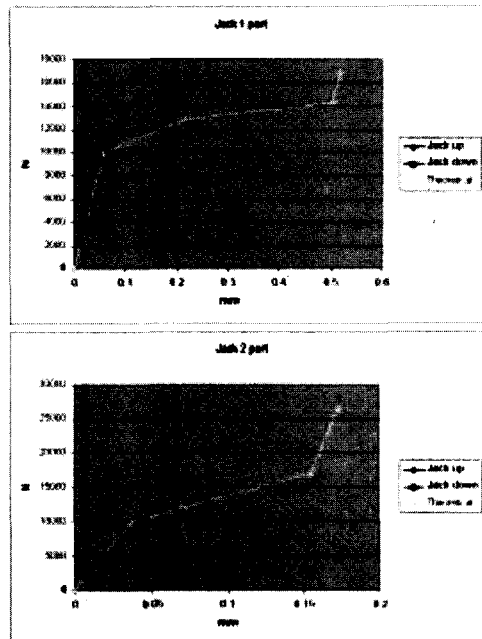


Fig. 12 Jack Up Test of Shafting

5. 해상 시운전 및 성능 평가

5.1 CPP/주기관 Load Setting

해상 시운전시 추진기의 추진 저항에 상응하는 엔진 부하를 조정하는 기능으로 목표선속에 대응하는 최적 Propeller 조건을 Program 제어에 의해 수행되도록 Fuel limit, 추진기 rpm 및 Pitch를 Setting 하였다.

본기능은 CPP 추진 엔진의 성능평가를 위한 최종 Commissioning 절차로서 선속/엔진부하를 검토하여 운전조건을 결정하고, Program control menu를 Window 상에서 제어되도록 Parameter를 입력하므로 Load matching은 완료된다.

Fig. 13은 Program control menu를 표시하고 있다.

Fig. 14는 Combinator control 시의 Pitch/RPM 비율제어를 표시하고 있다.

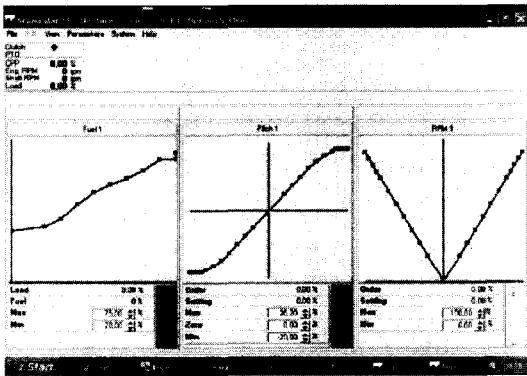


Fig. 13 Program Control of Fule/Pitch/RPM

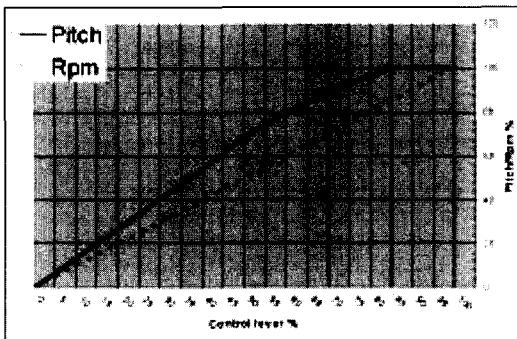


Fig. 14 Combinator control of Pitch/RPM

5.2 주기관 Service 상태

해상 시운전시 목표 선속하의 엔진 Thermal load, 배기온도, Pmax, 과급기 회전수 등의 주요

수치들이 정상적인 Service 상태로 유지되는지 여부를 Shop test 기록과 비교한다.

Fig. 15 그래프의 가로축은 기관부하율(Load %)을, 세로축은 엔진 성능을 표시하며, 실선그래프는 Shop test 부하(Step load/25~100%)하의 주기관 Service 상태를 표시하고, 점선은 해상부하 하의 주기관 service 상태를 표시하고 있다.

성능선도에서 보는 바와 같이 소기압(Pscav), 소기온도(Tscav) 및 Fuel Rack은 공장 시운전 대비 light(약 95% Load) 한 Service를 유지함을 알 수 있고, 배기출구온도는 공장 시운전 계측치와 거의 일치하고, Propeller 부하와 정상적으로 matching 되었음을 알 수 있다.

Fig. 16은 YS-186(무궁화 28호), 8H25/33P 주기관의 공식해상시운전 광경을 표시하고 있다.

5.3 Combinator Curve 설정 및 주기관 부하

Combinator Curve setting은 CPP 추진 package의 경제성 및 주기관의 Service 부하를 평가하는 척도를 나타낸다.

본선 해상시운전시 설계선속(19.15knot)을 상회하는 운전부하로 선속시험을 수행하고, Propeller pitch와 엔진 회전수를 비례제어토록 조정하여, Fig. 17과 같은 Combinator curve를 얻었다.

이는 IH-02-123호선(무궁화 27호) 해상부하 상태의 좌, 우현 propeller의 평균부하 운전 값을 엔진 Fuel rack으로 표시한 것으로, 공장 시운전 부하운전 대비, 연료소비량 절감범위를 표시하고 있다.

연료절감량은 선속 19.5knots 해상부하에서 공장 시운전부하 100%/95% RPM 대비 각각 4%/8%로 확인되어 “힘센추진 Package”의 경제성이 입증되었다.

또한 주기관 Service 부하 측면으로 볼때, 19.5 knots 선속하의 Propeller Load가 항시

OFFICIAL SHOP TEST RESULT FOR DIESEL ENGINE	Project	IH-02-123#1	Owner	해양수산부
	Eng. Type	8H25/33P	Class	KR
	Eng. No.	BA1320	Shop Test일	03.06.13
			Sea trial일	03.12.08
	Eng. Output	2320 kW x 900rpm	Evaluated by	D.J. Moon
		Operated by	J.D. Kim	

PERFORMANCE CURVE

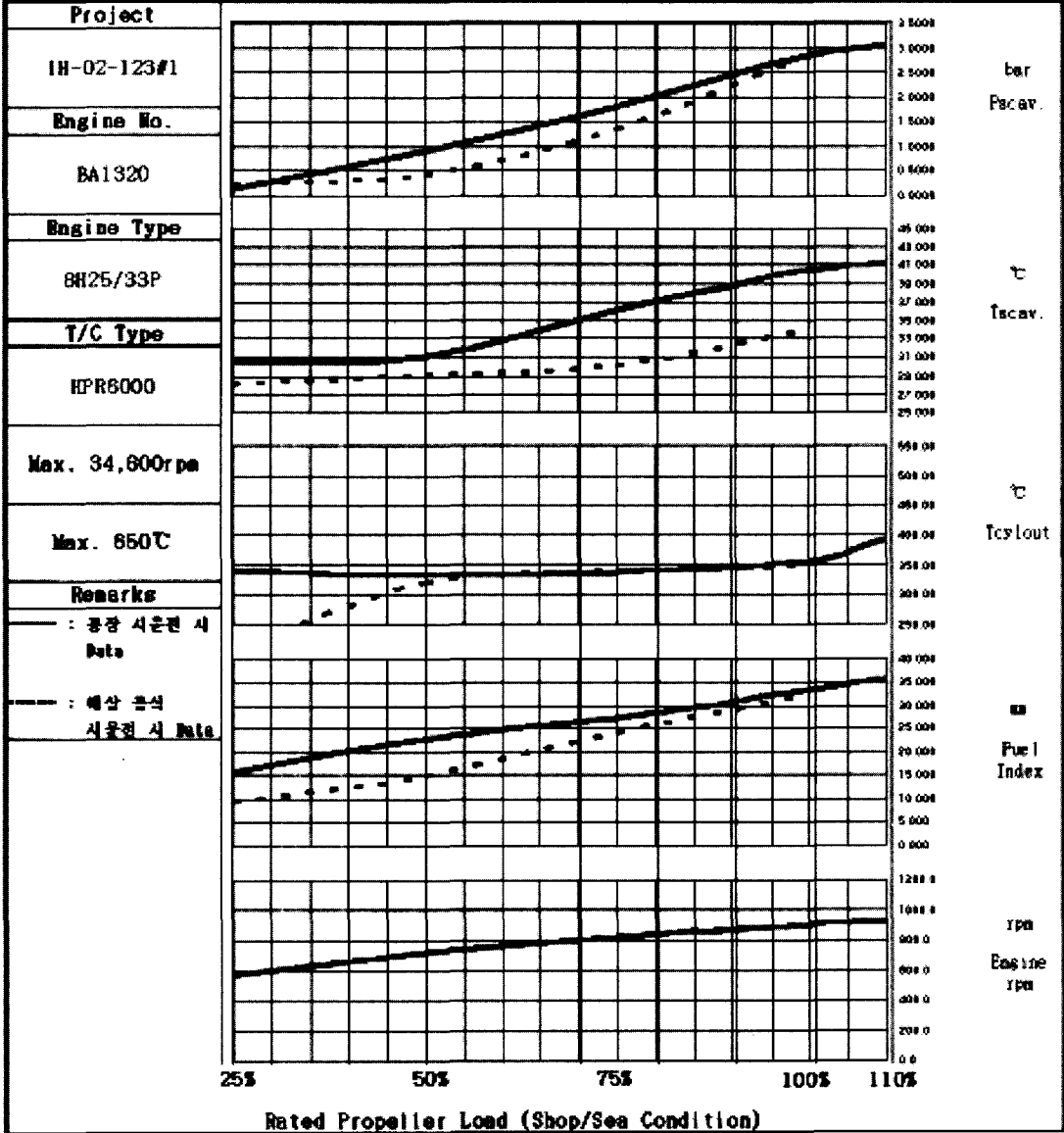


Fig. 15 Engine Performance Record of IH-02-123(무공화 27호)



Fig. 16 Engine Service at Sea trial/YS-186 (무궁화 28호)

Program 제어에 의하여, 최대 32mm Fuel Rack(96% Load point)점과, 75% Load 시 (90% RPM) 23.5mm Fuel Rack을 유지하여, 주기관의 운전 부하는 가변의 추진기 부착 엔진에서 허용하는 상용 Service Range인, 100~85% Load (Fig. 11의 Propeller Curve 100%와 85% 구간)를 만족시키고 있으므로 고정의 추진기 부착엔진 대비 출력 사용율이 높음이 확인되었고, 향후 본 선의 선체저항, 추진기 및 축계부하 증가에 대한 여유율이 충분함을 알 수 있다.

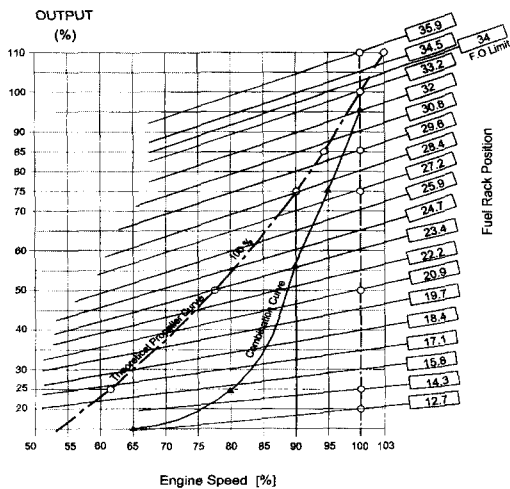


Fig. 17 Combinator Curve for IH-02-123 (무궁화 27호)

5.4 주기관 Smoke 발생

정압과급기를 채택한 대부분의 주기관은 저부하 운전, 항내 입출항운전, 과도 운전시 Heavy black smoke가 발생되고 있다.

당사가 공급한 8H25/33P 주기관은 동압과급 방식 채택 및 Part load matching 적용으로, 공식해상 시운전 결과 저부하 운전 및 Clutch-in 운전시 Light gary-white smoke가 5초 이내로 발생되었고, Crash astern test 시에는 Gray smoke가 약 7초간 발생되어 Black smoke 발생이 없는 환경친화형 엔진으로 평가되었다.

선박과 엔진 및 추진장치가 결합된 과도운전하의 Smoke 발생은 엔진자체 연소상태, 배기관 Pressure drop, 선박톤수 및 저항, 선형, 추진기의 종류 및 크기, 감속비 등에 지배적으로 결정되므로, 이 부분의 복합적인 해석이 요구된다.

Fig. 18과 Fig. 19는 YS-186호선(무궁화 28호)의 공식해상 시운전 광경을 보여주고 있다.



Fig. 18 Sea Trial of YS-186(무궁화 28호)

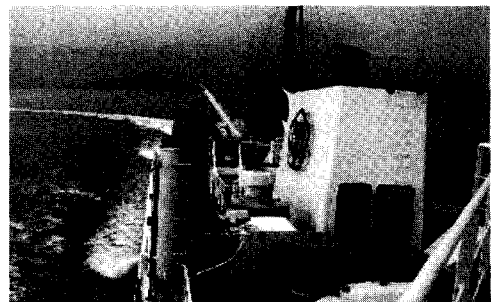


Fig. 19 Turning Trial of YS-186(무궁화 28호)

5.5 진동계측

Resilient mounting 구조의 주기관과 축계장치는 해상 시운전시, Fire-fighting mode, O-pitch, Fixed pitch mode에서 Torsional vibration 및 Vibration velocity를 각각 계측하였다.

Torsional vibration은 선급규정에 만족하였고, Engine 각부의 Vibration velocity는 최대 22mm/s(Vrms)를 초과하지 않아 ISO-10816-6 한계치(28mm/s)를 만족하였다.

5.6 선속예측 및 평가

본선 설계 선속은 시운전상태, 20% dead weight, 주기관 정격출력에서 19.15 knot로 제시되었다. Project 수주시 선박설계회사로부터 입수된 배수량계산서(Hydrostatic data) 및 저항시험자료를 검토하여, Model propeller 사양을 확정하고, 선박설계회사가 자항시험(Self propulsion test)을 실시토록 하고, 추진기의 상세설계가 진행되도록 하였다.

선속예측은 선속·출력 그래프를 입수하여 설계 선속하의 요구출력(BHP) 대비 해상여유(Sea-margin), Thruster opening으로 인한 여유출력을 계획하였다.

19.15knots 선속기준 가변의 설계조건인,

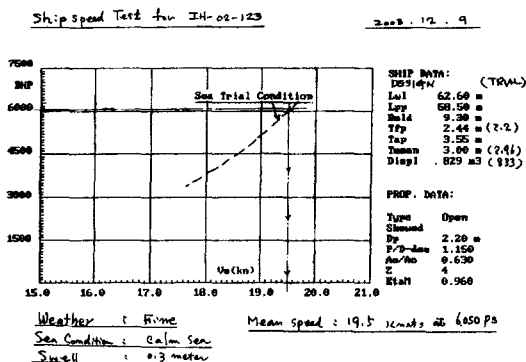


Fig. 20 Ship Speed Test of IH-02-123 (무공화 27호)

Pitch /Diameter 비율 1.15의 정격 rpm 운전시에, Model scale 기준예상출력은 정격출력(3.155ps)이 87%로 계획되었고, 해상 시운전 추진부하율은 96%로 계측되어, Full load시 주기관 Service margin은 4%로 평가되었다.

IH-02-123호선(무공화 27호)의 해상 시운전 결과, Calm sea-condition/0.3-meter 파고, Fuel rack 추정출력 6.050ps×900rpm 하의, 평균선속은 19.5knots로 측정되어 설계 선속 19.15knots를 상회하였고, 시운전시 계속된 선속은 Fig. 20과 같다.

6. 결 론

디젤 CPP 추진 Package의 공급은 추진 장비 및 보조기기들의 최적의 기능설계 및 경쟁력 있는 장비의 System 설계로 Project가 수행되며, 선박 건조 과정 중 장비의 설치 및 시운전시 완벽한 성능평가가 요구되며, 선박인도 후 Service 과정에도 지속적인 A/S 지원체제가 요구된다.

2004년 2차선 “힘센추진 Package” 공사 수행 및 후속 Project의 지속적인 수주를 위하여 전사적 노력이 요구되며, 본 기술보고서의 파급효과로 “힘센추진 Package”의 국내·외 보급이 확대되기를 기대한다.

참고문헌

1. The theory of turbocharging/Diesel Reference Book.
2. Integrated marine propulsion system/IHI report.
3. Selection of marine plants for frigates and corvettes.
4. 日本 船用機關學會紙/Vol.16, No.4.
5. Project guide of HIMSEN H25/33P for propulsion.
6. Project Planning manual of SCANA-VOKDA 외.