

技術開發

舶用디젤엔진 “6EDM”開發小考

斗源重工業株式會社
常務理事 金基式

1. 序 論

최근 어업계의 주기관 선호동향은 고속고마력화에 주력되고 있다. 또한 배기가스의 저감, 저소음, 저진동, 원격조정 등이 소형선에서도 강력히 요구되고 있는 점을 감안 본기관을 개발 (표1, 2)하게 되었다.

표1 Eigne 소요마력추이 (동종선박)

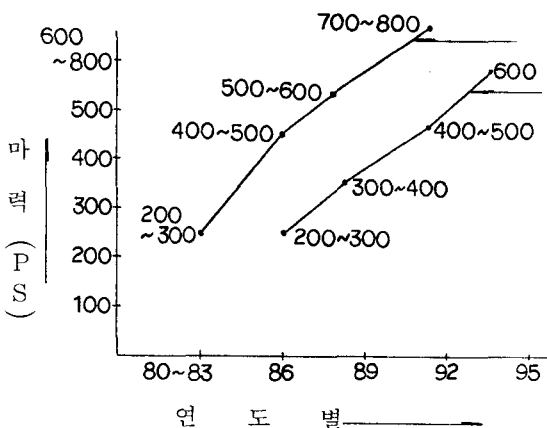


표2 최근의 기관사양동향

항목	출력율	비중량	비출력	비 고
국별				
일본국	150~200	3~5	30~35	소형중속기관
本 E/G	141.6	4.62	28.57	

출력율 : $\text{kg/cm}^2 \times \text{m/s}$ 비중량 : kg/PS
비출력 : ps/l

2. 機關의 要目

표 3에는 6EDM엔진의 주요요목을 표시하였으며 그림 1에는 외형을 나타내고 있다.

3. 開發의 主眼點

서론에서 부언한 바와 같이 선의 생력화에 주안하여 국내소형어선실정에 부합하는 사양선택에 역점을 두었으며 특히 가혹한 운전작업조건을 만족시키면서 생력화한 기관발전

표3 기관 주요요목

항 목	단 위	요 목	비 고
형 식		직렬입형 4행정 수냉	배기과급기 공기냉각기 부
내경 × 행정	mm	150×105	
배 기 량	l	17.5	
상용정격출력	PS	500	
상용정격회전수	rpm	1800	
분사 Pump		보쉬 열형 일체식	
조 속 방 식		원심식 가바너	
냉 각 방 식		다관식해수 간접냉각	
과 급 기		SCHWITZER S4T	
공기냉각기		pin tube type	T1=60 °C
연료소비율	g/ps Hr	160+3%	정격연속
감 속 기		유압다관흡식	
기 관 촌 법	전 장	mm	2387
	전 폭	mm	985
	전 고	mm	1437
건 조 중 량	kg	2310	

을 위하여 다음 사항에 특히 역점을 두었다.

3.1 高出力 輕量化

선의 속도는 기관의 출력과 중량에 크게 좌우되는바 이를 위하여 비출력 목표치 28PS/l 이상을 설정하고 기본적 달성수단으로 다음 사항에 주목하였다. (표 4)

표4 고출력 경량화를 위한 채택사항

고출력경량화 주안점	채 택 사 양
F/O Pump 형식압력	bosch "P" Type 220kg/cm ²
분사 Nozzle 공수 및 경	8 Hole × 0.27 ϕ
Turbo 형식 및 압력비	SCHWITZER S4T 2.5
Piston 연소실 형상	특수화형(花刑)
Inter Cooler ΔT	15 °C
청수열교환기 ΔT	10 °C
기관중량 비중량	2310kg , 4.62kg/ps

- (1) 분사펌프 고압화, 분사노즐의 공수(孔數), 경(徑)의 최적화
- (2) 터보의 효율향상, 고압력화, 최적매칭
- (3) 피스톤연소실 형상의 최적화
- (4) 인터쿨러의 냉각효율향상
- (5) 알루미늄제품의 다용으로 중량감소

3-2 低매연, 低燃費, 低潤滑油消費

배기색은 상용범위에서 1.5보슈번호 이하의 목표에 부합하는 연소실형상, 분사시기 등이 설정되었으며 또한 상용시 외기온도, 연료성상, 외부환경에 좌우되지 않는 안정된 수준을 확보하기 위해 B/S 표준을 정하게 되었으며 급가속시 배기색악화를 방지하기 위하여 Boost Convencer를 장착 하였다. 연료소비는 상용정격에서 160g/PS·hr(제동열 효율 41.5%)을 달성하였으며 (단 Hevy Duty 기준) L/O소비는 지금까지 최저치를 기록하였다. (0.3g/PS·hr)

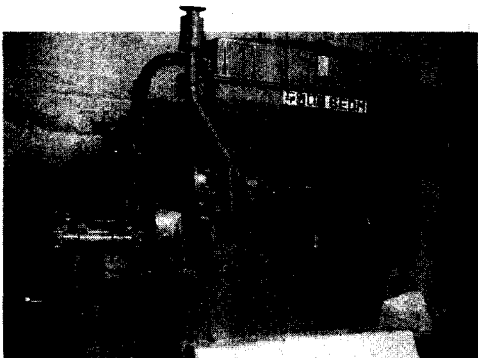


그림1 6EDM형 엔진 외관

3.3 고신뢰성, 고내구성.

고출력에 따른 열부하부품의 내구성, 신뢰성 확보가 무엇보다도 중요하다 각구성품의 품질확인을 Simulation 과정에서 실시하고 Component 단체 시험과정을 거쳐 종합적 내구시험을 상용회전 상용부하에서 최저회전부회전수의 10⁷회 실시하였다. 한편 B/S 표준에 따른 실선시험을 거쳐 문제점을 도출 개선하므로써 신뢰성과 내구성을 제고케 하였다. (표 5. 그림 2, 3)

표5 실선시험기록표

점검항목	사양 및 시험치	비고
선체의 조 건	선체규모 64ton 추진기 외경 1500mm 피치 700mm 축계사양 프로펠러축 115φ×2500 중간축 120φ×5600 작업종류 권현망 가공 운반선	
선속비교	7.5knot/12knot	1.6배 증가
연료소비비교	230g/PS·hr / 160g/PS·hr	
운전요원수	4명/2명	원격조정
선체의 진동	불량/양호	
내구 시험	liner마모 1500hr운전 : 0.02 Crank마모 " : 0.01 Ring마모 " : 0.02	
기타	B/S 항목확정 (1) Ventilation (2) Pipe Line (3) L/O 量 교환시기 (4) Option (5) 각종 계기 Limit	

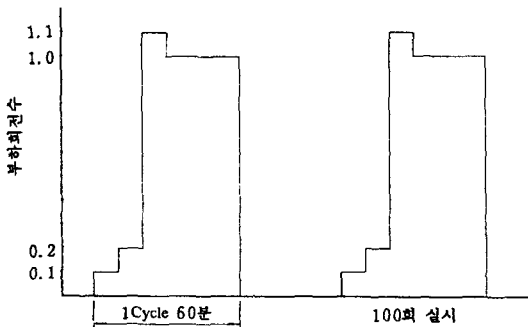


그림2 내구 Test 운전 Mode

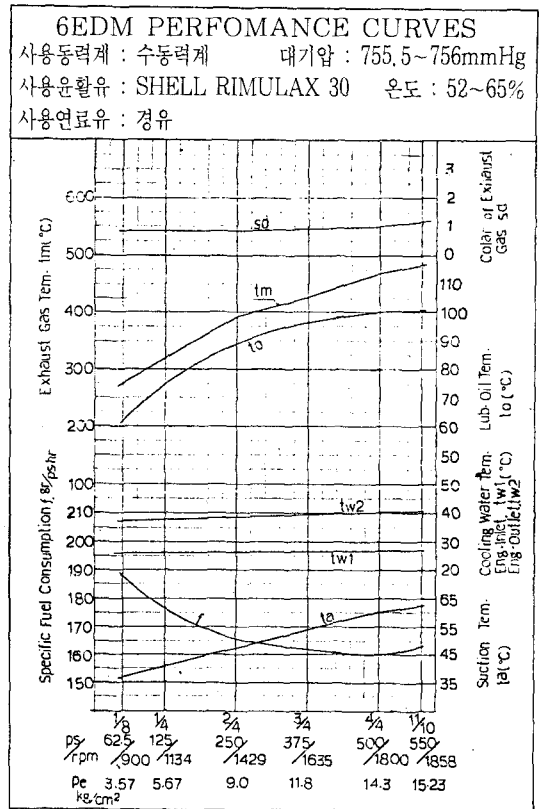
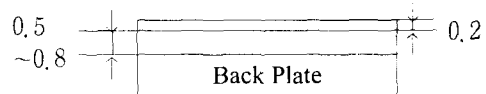


그림3 성능곡선도

(단 B/S 표준으로 Ventilation, 유수분리기, 배기관 Back Pressure 감소시공 등이 중점 관리되었음.)

이상의 시험결과 다음 조치방법이 유효함을 입증하였다.

- (1) Piston연소실부의 강제운환
- (2) Crank Metal은 High Speed E/G용 tri-metal 사용



Overlay (Pb 90% + SN 10%)
back plate s10c steel,
KJ4 kelment.

- (3) 배기 manifold는 특수합금주철을 사용. 청수강제냉각을 시도. 형상변형방지 및 각부 온도균일화를 실현 고수명화를 달성.

(4) Cylinder Liner는 Wet Type의 High Phosphor 특수주철재로 Honing實施

3.4 사용상 편의 및 안정성

기관실의 Space 고려하여 일상점검보수를 용이케 하기 위하여 다음과 같이 조치하였다.

- (1) F/O Filter는 Cartridge Type로 하여 F/O Pump측에 위치 Inside Maintenance가 용이하게 하였음.
- (2) L/O Sump용량을 크게 하여 L/O열화방지에 여유를 갖게 하였으며 L/O교환시기를 연장 하였음.
- (3) 청수의 감량을 알아볼 수 있게 보조 Tank의 장치를 표준화.
- (4) 출하시 청수line에 MCR(Multi Corrosion Resister)을 주입부식방지를 도모.

4. 성능상의 특징

4-1 연료분사계

고출력화를 위하여 필연적으로 연료분사량과 흡입공기량의 증대가 요구된다.

분사량의 증대와 고압화에는 분사계의 신뢰성면에서 한계가 존재한다. 이를 위하여 분사 Nozzle의 분사면적을 증가하는 수단이 강구되어 왔으나 통상 배기색 및 성능악화를 招來하게 되므로 본 문제 해결을 위하여 신뢰성 저하를 초래하지 않는 범위내에서 분구면적의 적정치를 선정하고 다공화하여 양호한 성능확보를 얻게 하였다.

Nozzle의 사양은 Multi Hole Type 0.27 ϕ 8Hole 로써 220kg/cm²분사압력을 유지하고 분사계의 고압화에 따라 연료계에 생기는 압력파의 영향, 저출력범위에서 생기는 배기색 악화가 문제가 되며 이점을 해결 하기 위하여 초기분사압 저하수단으로 2단계변압 Nozzle Holder를 채용했다. (그림 4).

4-2 Turbo Matching

Turbo charger는 고압력화를 위하여 고효율

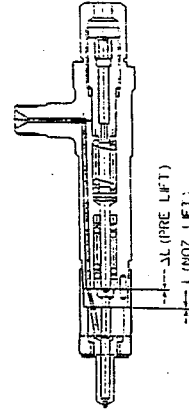


그림4 2단계변압식 Nozzle Holder

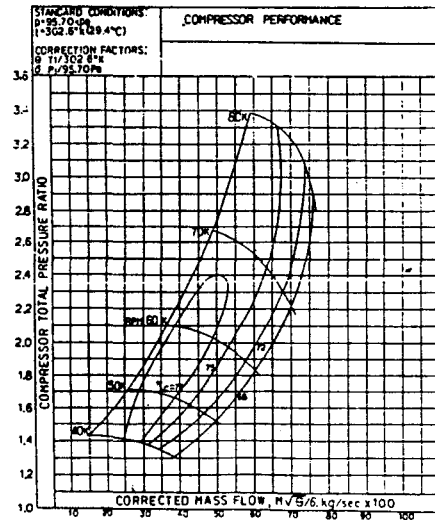


그림5 채용 Turbine 성능 곡선도

고압력비가 필요한바 기관의 사용역에서 가장 적합한 Matching이 중요하다. 최대 출력점에서 Turbo의 허용최대 회전수를 넘지 않는 Turbo가 선정되어야 하며 과대 과소의 낭비 point가 없는 Matching에 주력하였다. (그림 5)

4-3 열효율의 선정

제동열효율(BHP 기준) 41.57%를 기록하므로써 예상되는 기계효율로 효율증대를 도모할 수 있게 되었다. (참고:Cycle 해석)

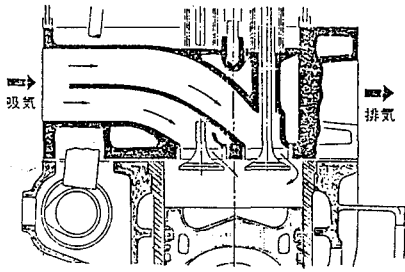


그림 6 흡기Port 단면

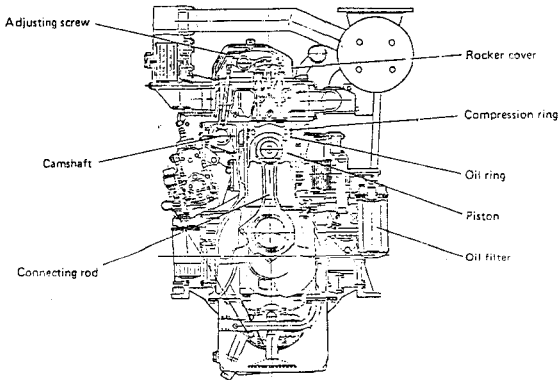


그림 7 6EDM 단면도

5. 주요부의 구성

3.3항에서 기술한바와 같이 6EDM Engine은 배의 생력화 요구에 부응하기 위한 개량된 구조로써 고출력에 따른 신뢰성 내구성 확보를 위하여 Cylinder내 최고폭발압력은 시제품 당시부터 설계치에 합당하게 실현되는지 세심한 관찰이 요구되었으며 열부하에 대응하기 위한 각부의 구조설계 및 설계치에 합당한 품질확인과정을 거치게 되었다.

5-1 Cylinder Head

1기통 1체식 1Cylinder 4Valve구조로써 밸브 주위에 강제 청수냉각으로 열부하 저감에 주력하였으며 이단식tangential 급기 port에 의하여 최적Swirl 흡기형성을 갖게 하며 고성능 Turbo charger의 채용, 연소실·형상의 최적화에 의하여 경량, 고출력, 저연비를 달성하였다. (Fig 6)

5-2 흡배 기계

(1) After Cooler

최대 출력시 Turbine 입구 온도 60°C 를 유지. 해수 직냉식 Pin Tube Type 채용으로 전 열면적을 최대화하며 열교환효율을 향상시키고 경량화 하였다.

(2) 배기계통

배기 manifold는 청수냉각 동압과급식을 채용하였으며 Manifold 및 Turbine취부 볼트는 고온에서 강도저하가 되지 않는 내열합금강을 사용했다.

5-3 Cylinder Block

Oil Pan Type로써 기관 경량화에 Turbine 다음으로 최대역할을 담당하였으며 일체식 주철제이다. 적절한 Rib 배열로 일반두께를 최소화 하였으며 Head Bolt의 Boss는 체결시의 변형이 Liner에 전달되지 않게 구조되었음.

5-4 Piston, Piston-Ring.

알루미늄 합금강 고강도 Piston으로 고압과 고열에 충분히 견딜 수 있게 구조하여 연소실 주위는 Nozzle에 의한 강제 냉각식을 채용 1번 compression ring좌에는 특수 Nickel-Resistant Ring을 삽입 강도를 유지케 하고 Piston-Ring은 압축링 3조, 오일링 2조로 구성되며 Top에는 Barrel type, 2,3번 Ring은 Taper Type, Oil Ring은 Coil Expender Ring을 채용하였다.

5-5 Crank Shaft, Gear Train

Crank Shaft는 합금강 일체식형단조품으로써 8Balance Weight를 채용, Plate부는 고주파 소입을 실시하였다. Torsional Damper는 Viscous Damper를 채용, Marine Gear, Propeller 등을 포함한 구동계의 비틀림 진동에 의한 충분한 진동감쇄효과를 부여하였다.

5-6 동변기구

Cam Shaft는 Cam면압을 낮추고 고신뢰성을 확보하기 위하여 대경Cam방식을 채택하

였으며 흡배기 밸브경은 Pumping Loss를 저감하기 위하여 대경의 Valve화 하였음. 흡기 Valve는 내마모성과 흡기효율을 고려하여 Seat각을 30도, 배기 Valve는 Carbon부착 감소를 위하여 Seat각을 45도로 하였다.

5-7 윤활냉각 계통

기본적인 사항은 종래의 System을 답습하고 있으나 고출력화에 따라 다음과 같이 개량했다.

- (1) 고온 윤활 고온냉각에 대응하는 Oil의 질 및 순환계 개선.
- (2) 장기연속 고부하 운전에 대응하기 위하여 해수직냉 Oil Cooler 를 Option 화함.
- (3) 청수 Pump 용량 10% 상승시도.
- (4) Oil Pump Regulator Valve개변압을 변경, Piston ring부에 접촉되는 유량 상승 실시.

5-8 전장품

- (1) 전기시동장치 Starter 6kw 장착.
 - (2) 전기계통 완전 방수형임.
- 6EDM 엔진의 횡단면은 그림 7과 같다.

6. 결론

본 EDM 엔진을 소개하였으나 Series화하여 기종을 다양화하고 선박의 생력화에 부응할 것을 기대하며 보기 및 FRP선의 주기에 더욱 만족할 것을 확신하며 지속적인 개선노력이 필요하며 특히 B/S강화에 주력하여야만 목적 달성이 가능할 것으로 사료된다.

본 기관 개발에 지도협력 해주신 한국어선협회 관계자 여러분과 비틀립진동 감쇄 Damper설계에 협조하여 주신 해사기술 연구소 연구팀 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

6EDM Cycle 해석

Sabate Cycle로서 다음과 같이 理論 해석함.

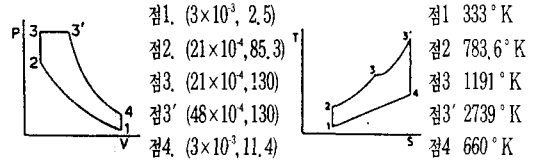
1. 주어진 Factor

압축비 ϵ : 14.5 초압 P_1 : 2.5kg/cm²
 초온 T_1 : 60 °C (333 °K)

최고압 P_3 : 130kg/cm²

비열비 K : 1.32

2. PV 및 TS 선도



3. 이론열효율의 계산

PV 선도상의 각점에서 압력과 온도를 먼저 구하면

- (1) 점1에서 $P_1 = 2.5 \text{ kg/cm}^2$
 $T_1 = 60^\circ (333^\circ \text{ K})$
- (2) 점2에서 $P_2 = \epsilon^k P_1 = 14.5^{1.32} \times 2.5 = 85.3 \text{ kg/cm}^2$
 $T_2 = \epsilon^{k-1} T_1 = 14.5^{0.32} \times 333 = 783.6^\circ \text{ K}$
- (3) 점3에서 $P_3 = \varphi P_2 = \varphi \epsilon^k P_1 = 130 \text{ kg/cm}^2$ (주어진 값)

$$\varphi = \frac{P_3}{P_2} = \frac{130}{85.3} = 1.52$$

$$T_3 = \varphi \epsilon^{k-1} T_2 = 1.52 \times 14.5^{0.32} \times 783.6 = 1191^\circ \text{ K}$$

- (4) 점3에서 $P_3' = P_3 = 130 \text{ kg/cm}^2$
 $T_3' = \xi \varphi \epsilon^{k-1} T_1 = 2.3 \times 1.52 \times 14.5^{0.32} \times 333 = 2739^\circ \text{ K}$

$$\xi = \frac{V_3'}{V_2} = 2.3$$

- (5) 점4에서 $P_4 = \xi \varphi P_1 = 2.3 \times 1.52 \times 2.5 = 11.4 \text{ kg/cm}^2$
 $T_4 = \xi^{k-1} \varphi T_1 = 2.3^{0.32} \times 1.52 \times 333 = 660^\circ \text{ K}$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } \eta_{th} &= 1 - \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{k-1} \times \frac{\varphi \xi^{k-1}}{(\varphi - 1) + k \varphi (\xi - 1)} \\ &= 1 - \left(\frac{1}{14.5}\right)^{0.32} \times \frac{1.52 \times 2.3^{1.32} - 1}{(1.52 - 1) + 1.32 \times 1.52 (2.3 - 1)} \\ &= 0.517 \approx 51.7\% \end{aligned}$$

4. 기계효율의 계산

제동연료소비가 160g/ps.hr로서 제동열효율이 41.6%을 기록하였다. 한편 3항의 이론열효율이 51.7%인바

$$\eta_m = \frac{\eta_b}{\eta_{th}} = \frac{41.6}{51.7} = 0.805 = 80.5\%$$

- 5. 보조구동장치 (수pump, 발전기, Turbine)의 효율 및 Matching 최적화하고 기계 가공 정도의 향상으로 기계효율 (η_m) 85%까지 향상시켜 더 큰 열효율의 증대가 기대됨.