

2. 신기술 소개

ME(전자제어) 엔진에 대한 소개

Introduction of Electronically Controlled Engine (ME)



배 수 호

Soo Ho Bae

• MAN B&W Korea

• E-mail: shb@manbw.co.kr

1. 머리말

경제성, 효율성 및 편리성을 증대 시키기 위하여 끊임없는 연구와 개발이 지속되고 있는 엔진 역사에서 1892년 Rudolf Diesel 이 디젤엔진을 개발한 후 60년이 지난 1952년에 과급기가 개발되어 엔진 효율이 46% 까지 급상승한 획기적인 발전을 이룩한 이래 약 50년이 지난 지금 컴퓨터 컨트롤이 되는 전자제어(ME) 엔진이 상용화 됨으로 또 한번의 큰 도약을 하게 되었으며, 앞으로 다양한 요구 조건을 자유롭게 적용 가능한 첨단 전자제어(ME) 엔진으로의 계속된 발전을 이어 갈 것이다.

컴퓨터 컨트롤이 되는 ME 엔진은 더욱 낮은 운항 경비, 그 중에서도 특히 어떤 부하의 운전 조건에서도 연료 소모량을 최소화 할 수 있고, 또 점진적으로 강화되는 배기가스 규제치 등 여러 가지 다른 운전 조건을 자유로이 적용 할 수 있는, 한마디로 말해 시대의 변화에 적응할 수 있는 첨단 엔진을 요구하는 고객들을 만족 시키기 위해 개발된 MAN B&W 사의 검증된 엔진 모델이다.

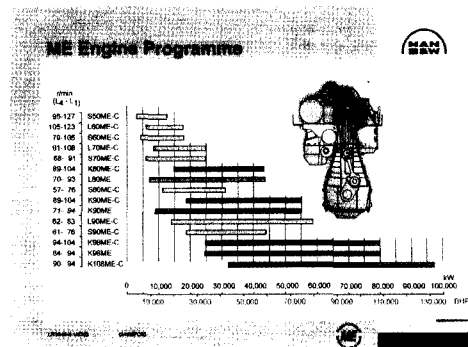


그림 1. ME 엔진 프로그램.

2. ME (전자제어) 엔진의 기본원리

기존의 캠 구동 엔진에서는 100% 혹은 90%등의 지정된 한 포인트에서만 연소가 최적화 되던 것이 전자제어(ME) 엔진에서는 각 부분 부하에 적합한 연료 분사 및 배기변 개폐 시점을 컴퓨터 프로그램에 의해 정확히 제어 해줌으로 부분 부하에서도 최적의 연소가 일어나게 하는 원리이다.

ME 엔진은 MAN B&W사의 엔진 생산 1세기 동안에 축적된 모든 경험과 기술이 반영된 컴퓨터

프로그램에 의해 정밀 수치제어가 되는 NC (Numerical Control) 밸브를 통하여 200 bar의 오일이 캠 대신에 연료분사 펌프와 배기변 작동기를 원하는 방식으로 필요한 때에 쳐주는 원리이다. 여기에 사용되는 200 bar의 오일은 엔진 주베어링 윤활용으로 사용되는 시스템 오일에서 일부를 분지하여 10 마이크론 필터로 여과한 후 엔진구동되는 펌프에 의해 200 bar로 가압 되어 사용된다.

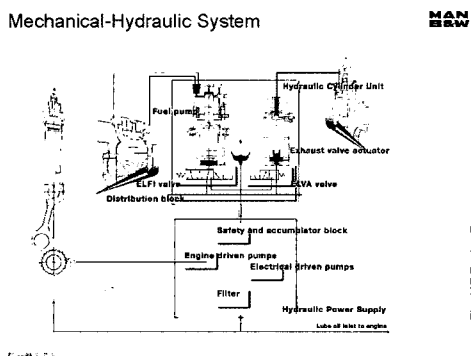


그림 2. Mechanical - Hydraulic System for ME.

c) 연료분사를 전자제어 함으로 훨씬 낮은 최저속 회전이 가능(최고 회전수의 10~15%)

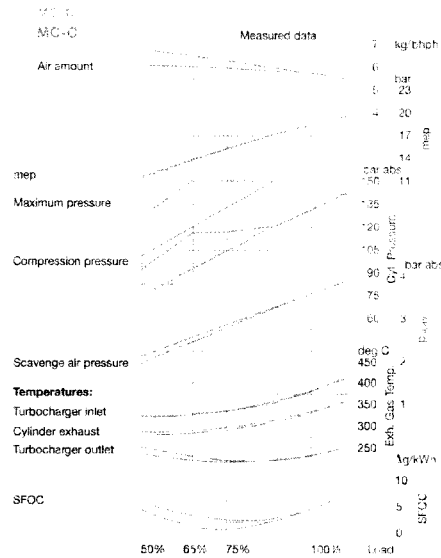


그림 3. 첫 개조 ME 엔진의 연소 특성 자료(6L60ME).

3. ME 엔진의 이점 및 개선된 방향

● 연료 소모량 감소

- a) 연료분사 특성을 넓은 부하 범위에서 최적화시켜 연료 소모량을 감소 시킴.
- b) 저 부하에서도 높은 연료 분사 압력(700 bar)을 유지 함으로써 최적의 연소가 이루어짐.
- c) 연료분사 시기와 압축율(배기변으로)을 조절하여 65% 이상에서 계속 일정한 Pmax 유지
- d) 온라인 모니터링을 통하여 실린더별 부하배분과 각 실린더의 폭발압력을 10년이 지나도 새 엔진처럼 유지 가능.

● 엔진 운전의 안전성 및 적응성

- a) 역회전에 적합한 연료 분사 및 배기변 작동 시기를 전자제어 함으로 안정된 역회전 가능
- b) 엔진 급가속시에 배기변을 조금 더 일찍 열어 더 많은 에너지를 과급기로 보냄으로써 충분한 양의 연소용 공기를 공급하여 급 가속 성능을 현격히 개선

● 배기 가스 상태의 개선 및 실린더 오일 절감

- a) 전자제어를 통한 각 부분 부하에서의 완전 연소로 배기 가스 상태를 개선 시킴
- b) IMO 규정치 이하를 요구하는 특정 지역을 위해 모드 선택만으로 경제적 모드에서 Low Nox 모드로 전환하여 운전이 가능하다.
- c) Alpha-ACC 윤활기의 적용으로 실린더 오일 소모량을 최고 50%까지 절감할 수 있고 과량의 사용으로 인한 실린더 라이너 부식 및 배기 가스 오염을 최소화 하였다.

● 운전의 편의성 및 신뢰성

- a) CoCoS-EDS(엔진 진단 시스템, 선택사양)의 적용으로 기관 조정실에 앉아서도 엔진 각 부분의 상태를 파악 할 수 있고 사전에 문제를 예방 할 수 있다.
- b) 주 운전판(Main Operation Panel)을 통하여 엔진 성능을 최적화 시킬 수 있는 변수들을 조정할 수 있어 10년이 지나도 최고의 성능을 그대로 유지하는 신뢰성이 있다.

c) 엔진제어 시스템의 하드웨어와 소프트웨어가 모두 MAN B&W사 자체에서 개발되어 업무의 일관성과 신뢰성이 높다.(Electronics & Software Development Dep't, 연구원 30명)

5. ME 엔진의 작동 원리

ME 엔진의 기능별 작동 원리를 아래와 같이 간단히 설명 한다.

1) 연료 분사 기능

200 bar의 오일 압력에 의해 작동되는 연료 분사 펌프는 컴퓨터 프로그램에 의해 정밀 제어되는 ELFI 비례제어 밸브를 통하여 각 부분 부하에 적합한 연료분사 시기와 연료 분사량을 정밀하게 제어함으로써 최적의 연소상태를 이끌어내어 연료 소모량을 줄이고, 또 특정 지역에서 요구되는 환경 관련 규정에 적합한 이중 연료분사(Double Injection) 형상을 선택하여 Nox 배출량을 IMO 규제치 보다 약 15~20%를 더 줄일 수 있다.

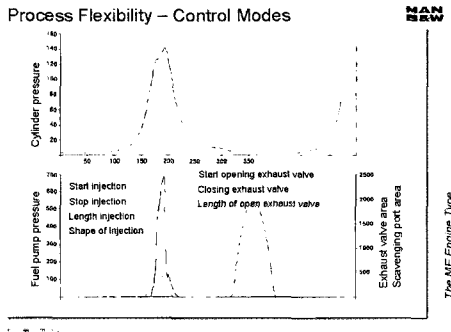


그림 4. 연료분사 시기 및 배기변 작동 제어 모습.

4. ME와 MC의 기계적 차이점

1) 기존의 MC(Cam Driven) 엔진에서 교체 및 빠지는 부품

- * 캠, 캠축 및 구동용 체인
- * 연료 펌프 및 배기변 구동 장치와 역회전 기계장치
- * 기존의 캠 구동 연료분사 펌프
- * 기계식 엔진 시동용 공기 분배기
- * 전자식 조속기(Governor) 및 조절축
- * 기계식 실린더 윤회기
- * 엔진에 부착된 엔진운전대

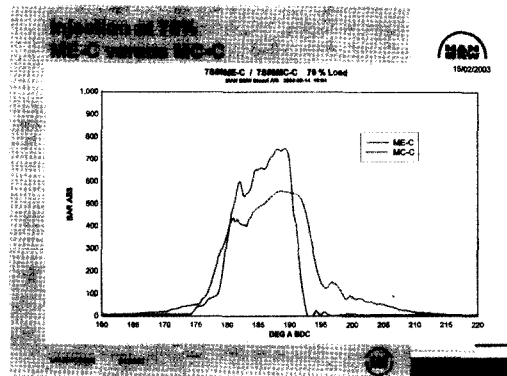


그림 5. 연료분사 압력 및 형상의 비교(ME & MC).

2) ME(Electronic Control) 엔진에 교체 및 추가 되는 부품

- * 유압 공급 시스템 및 유압 실린더 장치
- * 전자제어 연료분사 펌프 및 배기변 구동 장치(NC 밸브 포함)
- * 전자제어 시동공기 분배기
- * 전자 제어 시스템(조속기 기능 내장)
- * 전자제어 Alpha-ACC 윤회기
- * 엔진에 부착된 엔진운전판(Local Operating Panel)
- * 크랭크 샤프트 위치(각도) 감지기(Tacho sys.)
- * 실린더 내압 측정기(off-line PMI)
- * 엔진 진단 시스템(CoCoS-EDS, 선택사양)

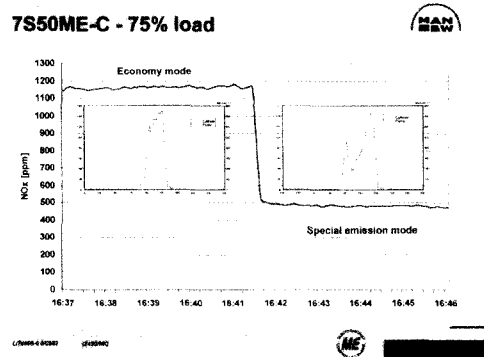


그림 6. 연료분사 형상 변화(Economy-Emission).

2) 배기변 작동 기능

배기변 작동기는 ELVA 개폐 밸브를 통한 200 bar 의 오일 압력에 의해 작동되며 배기변의 개폐 시점을 컴퓨터 제어되는 ELVA 개폐 밸브로 정확히 조절하여 캠 엔진에서 85% 이상의 부하에서만 유지 되던 Pmax 를 65% 이상의 넓은 범위에서 일정하게 유지되게 하여 연소 성능을 최적화 시키고, 이때 고부하에서는 압축율을 줄이기 위해 배기변 닫는 시점을 늦추어 Pmax 가 일정치 이상 올라가는 것을 막아준다. 캠 엔진과 마찬가지로 배기변은 스프링에어로 닫는다.

Tested Exhaust Valve Closing Time

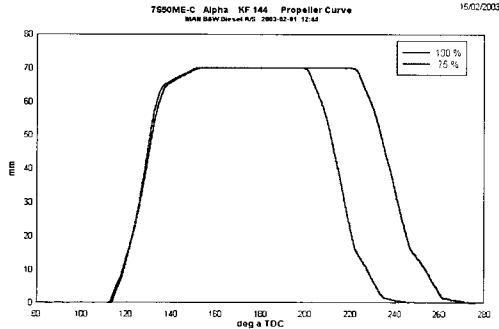


그림 7. 배기변 닫는 시점(75%, 100%).

3) 유압 공급 시스템(Hydro Power Supply System)

엔진 가동시에는 전자제어 되는 가변용량의 엔진 구동 펌프에 의해 200 bar로 오일이 압축되며

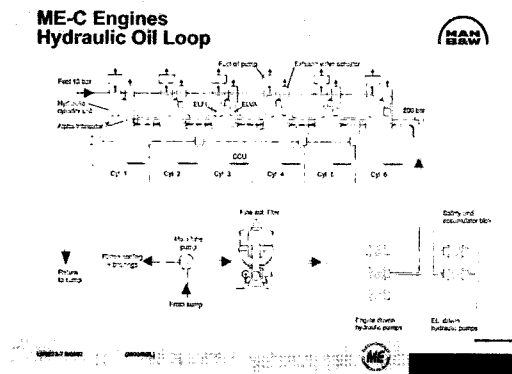


그림 8. 유압 시스템.

엔진 정지시(stand-by)에는 전기모터 펌프에 의해 200 bar 의 압력이 유지되다가 엔진구동 펌프가 돌기 시작하면 전기모터 펌프는 자동으로 멈춘다.

엔진구동 펌프는 엔진의 앞이나 뒤쪽에 선택적으로 설치 될 수 있으며 엔진 역회전 시에도 가변용량 제어 핸들이 자동으로 반대쪽으로 옮겨지면서 펌프의 기능이 원래대로 유지 된다.

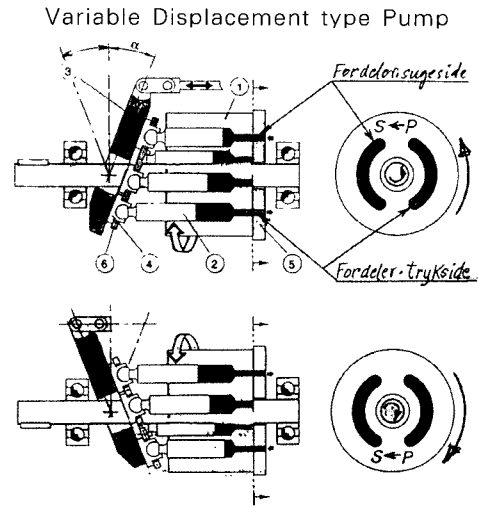


그림 9. 엔진구동 되는 가변용량 펌프 구조도.

한대의 엔진구동 펌프가 고장이 나더라도 나머지 펌프가 100% 엔진 부하에 필요한 충분한 량의 오일을 공급하도록 설계 되어 있다.

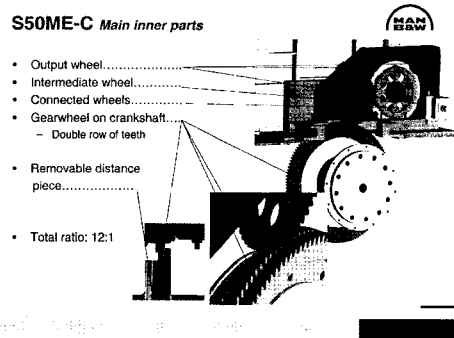


그림 10. 펌프 구동용 기어휠 구조.

펌프 흡입측에는 자동 여과기(10 마이크론) 와 수동 여과기(25 마이크론)가 병렬로 설치되어 있으며 필요시 수동으로 교체하여 사용한다.

4) 시동용 공기 시스템(Starting Air System)

ECS(엔진제어 시스템)에 의해 전자제어 되는 파일로트 밸브(각 실린더당 한 개)를 시동 순서에 따라 개폐 해줌으로 주 시동 밸브를 통하여 시동용 공기가 실린더 내로 들어가 엔진을 시동 시키고 연료가 분사 되기 시작하면 시동용 공기의 공급은 끝난다.

엔진 시동 전에 엔진 내부의 상태 점검을 위한 저속 회전(slow turning) 시스템이 표준으로 준비 된다.

5) 기타 참고 사항

참고로 현재의 ME 엔진에서 전자제어 되지 않는 과급기 매칭 및 피스톤 심(shim) 조절을 위한 엔진 최적화 포인트는 기존의 캠 엔진과 마찬가지로 엔진 부하 85% 에서 100% 범위 내에서 가능하다.

6. 제어 시스템의 개요

모든 전자제어 판넬은 각각의 백업 판넬이 준비되어 있고 케이블도 이중으로 깔려 있어 혹시라도 주 판넬이 고장 나면 지체 없이 백업 판넬이 작동되어 잠시의 공백도 없이 제어가 계속 될 뿐 아니라, 모든 다른 용도의 제어 판넬도 기계적 내부 구조는 똑 같아서 비상시에는 내부 제어 프로그램만 주운전판(MOP) 에서 다운 받아 다른 용도로 전용 할 수 있으며 각각의 기능은 아래와 같다.

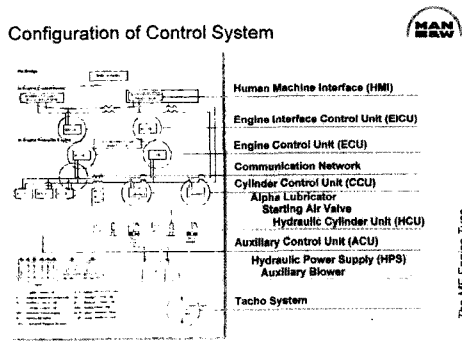


그림 11. 전자 제어 시스템의 개략도.

1) 주 운전판(Main Operating Panel)

엔진 운전자가 컴퓨터 그래픽 화면을 통하여 모든 운전 상태를 관찰하고 조정할 수 있으며 아래의 세부 기능을 갖고 있다.

- * 엔진의 운전 모드 선택 기능
- * 속도, 압력, 온도 등 엔진 관련 모든 계측치 및 운전 상태 표시
- * 최적의 연소를 위해 필요한 변수들을 수동으로 조정

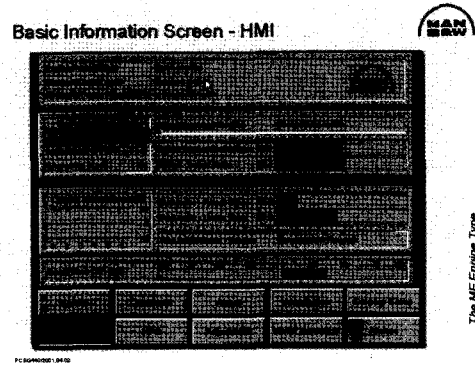


그림 12. 주 운전판(Main Operating Panel).

2) 엔진에 부착된 운전판(Local Operating Panel)

비상시에 직접 엔진을 운전 할 수 있는 장치로 ECU에 직접 연결 되어 있으며 엔진 속도 조절 핸들 및 엔진 운전에 필요한 관련 계기판들이 준비되어 있다.

Local Operating Panel (LOP)

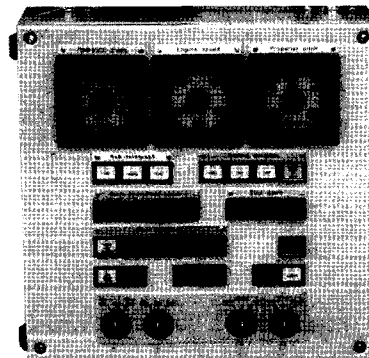


그림 13. 엔진에 부착된 운전판(Local Operating Panel).

3) 엔진 연결부 제어장치(EICU, Engine Interface Control Unit)

EICU 는 ME 엔진의 제어시스템과 아래에 명시된 외부 장치들을 연결 시켜주며 일반적으로 엔진 제어실에 설치 된다.

- * 원격 제어 시스템(BMS)
- * 안전 운전 기능(Slow Down)
- * 경보 기능(AMS)
- * 텔레그래프 시스템
- * 가변 피치 프로펠러 시스템

4) 엔진 제어장치(ECU, Engine Control Unit)

ECU 는 아래에 명시된 기능을 수행하며 똑 같은 기능의 ECU를 엔진 앞뒤에 분리 설치하여 두개가 동시에 같은 피해를 입지 않도록 배치 하였다.

- * 시동 및 정지 순서
- * 시스템에 내장된 조속기 기능으로 엔진 속도 제어
- * 과부하 방지 등의 안전 시스템
- * 엔진 운전 모드 조정

5) 실린더 제어장치(CCU, Cylinder Control Unit)

각 실린더 마다 한 개씩 별도로 설치된 CCU 는 컴퓨터 프로그램에 의해 정밀 수치 제어 되는 NC(Numerical Control) 밸브를 통하여 연료 분사 및 배기변 개폐를 제어하고, 또 시동용 공기 밸브를 정확히 제어 해주는 기능을 가지며, 각 실린더 가까이에 설치 된다.

6) 보기 제어 장치(ACU, Auxiliary Control unit)

ACU 한 개가 각각 한대씩 의 엔진구동 유압펌프와 보조 과급기 및 전기모터 구동 유압펌프를 제어하고 있다. 한 개의 ACU 가 고장 나도 나머지 ACU 에 연결된 펌프 및 과급기가 안전 운전을 보장하도록 하였다.

7) 크랭크 샤프트 위치(각도) 감지기

ME 엔진에서는 필수 장치 이므로 두개의 세트가 설치되며 크랭크 샤프트의 위치를 정확히 읽어 연료 분사 시기와 배기변 개폐 시점을 안내하는

중요한 장치이다.

7. 기타 보조 시스템

1) 전자제어 Alpha-ACC 윤활기

매 4(혹은 5,6) 회전마다 한번씩 만 고압(25 bar)의 실린더 오일을 정확히 피스톤 링 팩(pack)에 주사하는 시스템인 'Alpha Lubricator' 는 1998년에 7S50MC 엔진에 처음 장착한 이래 2002년 말 기준 200 세트 이상의 주문을 확보 하였으며 65세트 이상이 캠 엔진에 설치되어 성공리에 상업 운전 되고 있으며, 여기에서 더 발전된 Alpha-ACC 는 ME(전자제어) 엔진에 표준으로 적용되며 연료유에 함유된 유황(Sulphur) 함량에 따라 실린더 오일 주입량을 결정하며, HMI 판넬에 나타나는 엔진 대당 총 주입 횟수와 1회의 주입량을 서로 곱하여 정확한 실린더 오일 주입량을 직접 계산 할 수 있다.

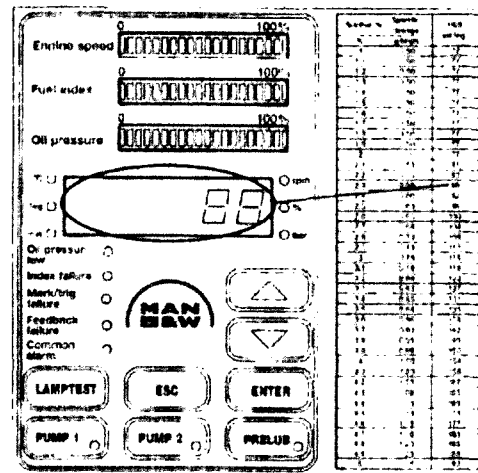


그림 14. HMI Panel.

윤활 목적 외에 연료유에 포함된 유황 성분을 중화 시키기 위하여 주입되는 염기성 실린더 오일이 과량 주입 될 경우 여분의 염기성 물질이 차라리 실린더 라이너를 부식 시키는 결과를 초래 하므로 MAN B&W 에서는 정상 운전시 유황 함량 1%에 0.25g/bhp.h 의 실린더 오일 주입을 권장하고 있

으며 적어도 0.5g/bhp.h 는 윤활 목적으로 주입 되어야 한다.

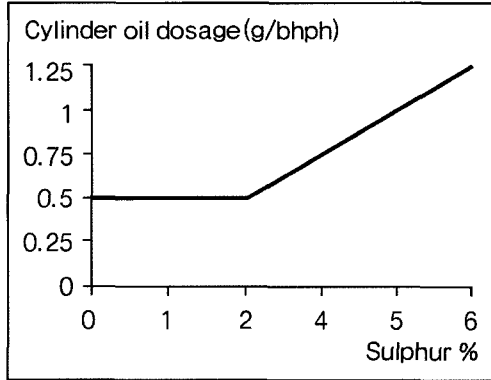


그림 15. 실린더 오일 주입량 곡선.

2) CoCoS(Computer Controlled Surveillance, 컴퓨터 제어 감시)

기존의 캠 엔진에도 40 세트 이상이 설치되어 선원들의 호평을 받고 있는 CoCoS 시스템은 아래의 4가지 시스템으로 구성된 소프트웨어이며 각각으로도 설치 될 수 있다.

데이터들을 컴퓨터 화면상에서 비교 검토 할 수 있을 뿐 아니라 엔진에 이상이 예상될 경우 스스로 진단하여 경고를 주고 그 대처 방안까지 알려주는 편리하고 신뢰성 있는 시스템이다.

- * CoCoS-MPS(Maintenance Planning System, 유지보수 계획 시스템)
- * CoCoS-SPS(Spare Part Catalogue, 예비 부품 목록)
- * CoCoS-SPO(Spare Part Ordering, 예비 부품 주문)

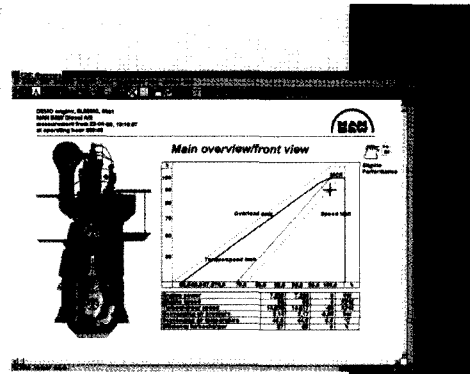


그림 17. CoCoS-EDS 관련 화면.

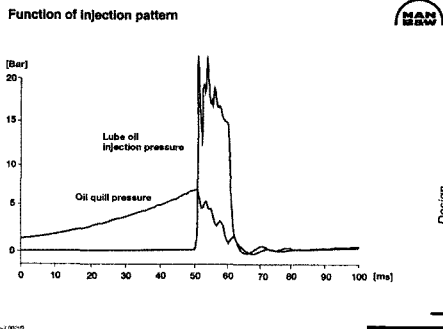


그림 16. 실린더 오일 주입 압력 형상.

3) PMI(Pressure Monitoring System, 실린더 압력 측정기)

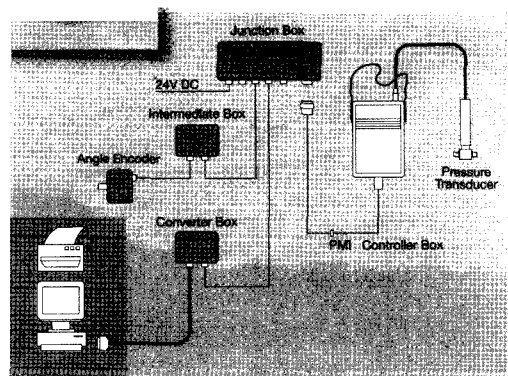


그림 18. Off-line PMI System.

- * CoCoS-EDS(Engine Diagnostic System, 엔진 진단 시스템)

MAN B&W 에서는 100년 이상의 기간에 엔진을 연구, 설계, 생산 및 유지 보수를 하면서 축적된 모든 기술과 경험을 프로그래밍화 하여 엔진에 설치된 모든 센서에서 오는 데이터를 기록하여 그

각 실린더의 연소실 압력을 측정하고 비교 검토하여 필요 시 주 조정판을 통하여 관련 변수들을

수정하여 항상 최적의 엔진 상태를 유지 하는데 사용될 뿐 아니라 인디케이터(Indicator) 기어가 없는 ME 엔진에서 엔진 동력 측정용으로도 사용된다.

Off-line 이 기본이고 On-line PMI 도 선택할 수 있다.

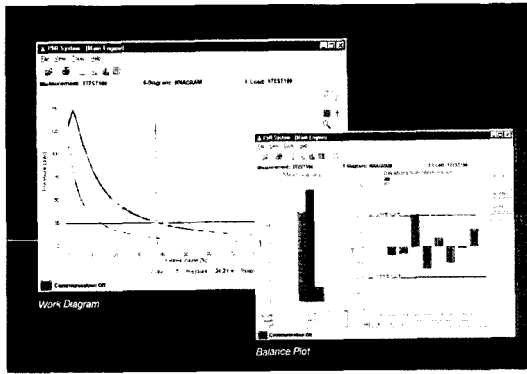


그림 19. PMI Work Diagram.

4) 2차 모멘트 보상 장치(Compensator)

2차 모멘트 보상 장치가 필요한 엔진에서는 아래의 3 가지 중에서 선택 할 수 있다.

- a) 기어 휠 구동의 유압 펌프일 경우:
: 유압 구동 2차 모멘트 보상 장치(불평형추)
- b) 체인 구동의 유압 펌프일 경우:
: 체인 구동 2차 모멘트 보상 장치(불평형추)
- c) 선체 부분에 전기 혹은 유압 모터 구동 2차 모멘트 보상 장치 설치

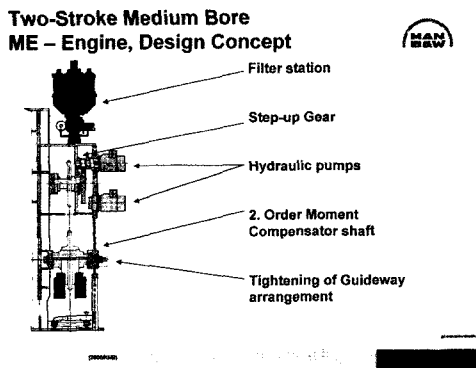


그림 20. 체인 구동 2차 모멘트 보상 장치.

8. ME 엔진의 개발 역사

- 1991 ME 엔진 연구 및 개발 시작
- 1993 4T50MX 연구용 엔진에 ME 시스템 장착하여 테스트 시작
1 세대 ME 엔진(분리된 유압 시스템)
- 1997 4T50MX 연구용 엔진에 2세대 ME 시스템 테스트 시작
2 세대 ME 엔진(시스템 오일과 통합된 유압 시스템)
- 1997/8 첫 개조 ME 엔진용 부품을 설계, 생산, 설치 및 테스트
- 1998/00 첫 개조 ME 엔진용 제어 시스템을 설계, 생산 및 테스트
- 2000 첫 개조선 Bow Cecil(6L60ME) 서비스 운전 시작
- 2001 6L60ME 개방 검사 후 선주가 7S50ME-C 엔진을 신규 주문
- 2003 2월 7S50ME-C 공장 테스트 후 5월경 본선에 탑재 예정

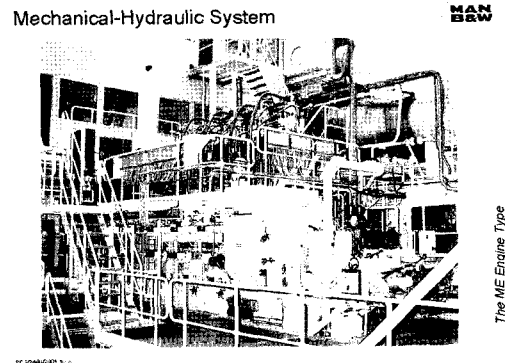


그림 21. 4T50MX 연구용 엔진.

9. 최초의 ME 개조선(6L60ME) 운항 실적

6L60MC 엔진을 6L60ME 전자제어 엔진으로 개조하여 2000년 11월부터 현재까지 13,000 여 시간을 성공리에 운항중인 23K 탱커(Bow Cecil)의 선주사인 노르웨이 올피엘(Odfjell)은 전자제

어 엔진으로 4000 시간 운전 후 지난 2001년 10월에 개방 검사를 해본 결과 연소실 내부 상태가 최상이고 운전 및 유지보수가 편리하다는 선원들의 평가에 따라 신규 37.5K 탱커선에 탑재될 7S50ME-C엔진을 주문 하였으며 이것이 최초의 신규 ME(전자제어) 엔진이다.

1×6S90ME-C, 6×7K98ME-C,
3×12K98ME

M/T Bow Cecil: Hydraulic Cylinder Unit

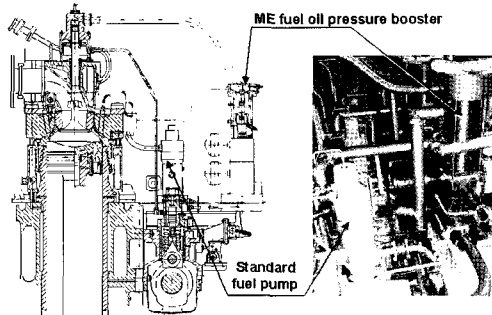


그림 22. Bow Cecil 의 유압 실린더 장치.

상기의 사실은 실제 ME(전자제어) 엔진을 사용한 선주가 만족스런 운항 결과에 따라 신규 ME 엔진을 주문 함으로 벌써 ME 엔진의 성능이 검증 되었음을 확인 시켜주고 있다.



그림 23. 최초의 신규 ME 엔진(7S50ME-C).

10. 최초의 신규 ME 엔진, 7S50ME-C

노르웨이의 올피엘(Odjfjel) 선주가 발주한 최초의 신규 ME 엔진이 지난 2003년 2월 19일 MAN B&W의 덴마크 알파 디젤 공장에서 성공리에 테스트를 마치고 선주사, 조선소, 선급 등으로 부터 초청된 200 여명의 전문가들에게 관련 기술 세미나를 가졌으며, 이 엔진은 노르웨이의 Kleven Floroe 조선소에서 건조 중인 37.5K 탱커선에 탑재될 예정이다.

현재까지 22대의 ME 엔진 주문을 확보하였으며 상세로 아래와 같다.

1×6L42MC/ME, 1×6S50ME-C,
1×7S50ME-C, 1×6L60MC/ME,
5×7S60ME-C, 3×6S70ME-C,

11. 맺음말

급변하는 시대의 다양한 요구에 부응하기 위해 개발된 전자제어(ME) 엔진은 앞으로 추가로 개발될 다양한 시스템이 쉽게 전자제어(ME) 엔진에 적용될 수 있는 기반을 마련했으며, 장치 과급기도 각 부분 부하에 맞게 최적화 시키는 시스템의 적용과 최적화를 위한 모든 변수가 자동으로 조정되는 최첨단 전자제어 엔진으로의 발전을 위해 MAN B&W는 최선을 다하고 있습니다.

참고자료

MAN B&W에서 발행한 여러 가지 자료집