⊙解 說

대형 저속 2행정 사이클 디젤 기관의 현황과 전망

이 강 기*

Present Status and Prospect of Large 2-Stroke Cycle Slow Speed Diesel Engines

K. K. Lee

I. 머리말

세계 경제규모의 대형화에 의한 물적교류의 증가는 교역량을 꾸준히 증대시켜 왔으며 그 주된 수송수단인 선박을 대형화, 고속화 추세로 이끌어 왔고 이에 부합키 위하여 선박의 추진기관도 대출력화 내지 자동화되어 왔다. 그러나 2차에 걸친 유류파동으로 선박 추진기관의 연료유 가격이 크게 상승함에 따라 기관의 연료비가 선박 전체운항비의 50%, 기관 전체운전비의 70%을 상회하게 되어 기관의 개발은 연비저감 및 선박추진 효율 상승을 꾀하기 위하여 저속화 되어 왔다.

이러한 조건에 부합하기 위한 기관제작자들의 계속적인 연구, 노력의 결과 현재 저속 디젤기관들의 연료소비율은 125g/BHP.h 수준이고 그 열효율은 약 53%에 이르고 있다. 이는 기관의 초장행정화, 과급기의 고효율화, 연소실 구성부품의 재질개선과 냉각방법 개선, 연료분사계통의 개선 및 실린더 최고압력증가 등으로 이루어낸 업적이라 하겠다.

따라서 열효율이 낮은 중기 터어빈기관은 선박의 추진장치로서 점차 사라지게 되었고, Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 1974년 이후 점차 감소되면서 현재는 LNG선 등 특수한 선박을 제외하고는 대부분 디젤기관이 채택되고 있다. 특히 대형

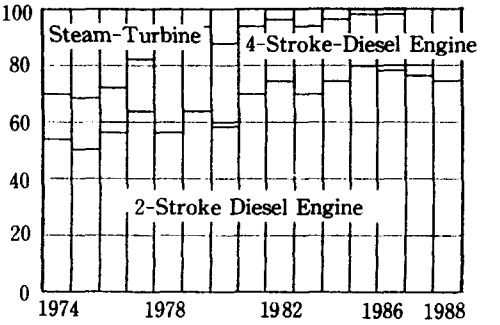


Fig. 1 Distribution of Prime Movers for Ship Propulsion

선의 추진기관으로는 2행정사이클 디젤기관이 그 독보적인 위치를 구축해왔고 시대의 요구에 발맞추어 계속 발전을 거듭하고 있다.

한편 최근의 개발동향은 연료유의 저질화와 원유가의 하락으로 인하여 연료소비율 저감을 위한 개발은 답보상태인 반면 선박의 종류와 운항특성에 부합하는 기관의 개발 및 이에 따른 기관의 고출력화, 자동화와 승선인원의 감소에 따른 기관의 신뢰성 향상을 통한 수리·보수 기간의 장기화 등에 주력하고 있는 추세이다. Fig. 2는 이러한 기관의 개발과정을 나타내고 있다. 본고에서는 현재 저속 디젤기관의 대부분이 대형저속 2행정사이클 과급디젤기관(향후 대형저속 디젤기관이라 칭한다.)에 대해서 논하고자 한다.

* 정회원, MAN-B&W 한국지사 기술부장

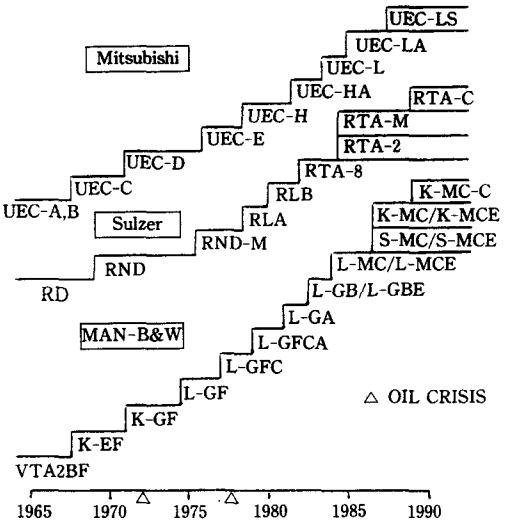


Fig. 2 *Development of Low Speed Diesel Engines*

2. 디젤기관 제작회사의 여건변화

전 세계의 대형 저속 디젤기관을 설계·제작하던 회사(Licensor)는 1970년대 초기까지는 7개사가 존재하였으나 차츰 덴마크의 B&W사, 독일의 M.A.N사 그리고 스위스의 Sulzer사 등 3개 회사로 줄어들었다.

2차에 걸친 유류파동, 다변하는 해운시장의 특성에 부합하기 위해 상기 3개사는 치열한 경쟁상태에서 새로운 기관의 개발에 주력한 결과 기관개발의 주기가 10~20년에서 1~2년으로 까지 줄어드는 등 이로 인한 누적된 적자폭은 마침내 기업의 재정상태를 극도로 압박케 되었다. 그 결과로 일부 기업의 합병과 경영주가 바뀌는 변혁을 맞게 되었고 이는 기술적 경쟁력상실에서 오는 결과라 보기에는 유류파동이후 전체 해운시장의 불황과 극심한 기관개발 경쟁에 따른 결과라 볼 수 있다.

1980년 독일의 M.A.N사가 덴마크의 B&W사를 합병함과 동시에 M.A.N형 기관의 설계 및 생산을 중단하고 B&W형 기관을 집중 연구 개발하여 이를 MAN-B&W형 기관이라 칭하였다. 또한 1989년에는 스위스의 Sulzer 그룹 디젤기관 부문이 경영악화로 MAN-B&W사에 흡수되어 MBS (MAN-B&W Switzerland)가 되었다. 이로써 MAN-B&W사는 과거 M.A.N, B&W, Sulzer의 3파전 형태를 완전히 통일하였고, 그 이전에 이미 합병되어 있던 프랑스의 S.E.M.T Pielstick사와 함께 디젤선에 장착되는 대형기관 제작사들을 사실상 모두 소유케 되었다. 그러나 이는 독일 국내법인 해운회사에 대한 기관 공급의 독과점 방지법에 저촉되어 결국 Sulzer사를 1년후인 1990년 매각하였다. 따라서 Sulzer사는 대주주인 이태리(Trieste의 Fincantieri - Cantieri - navali Italiani SPA)와 동서독 연합체 (Bremen의 Bremer Vulkan AG와 Rostock의 Deutsche Maschinen und Schiffbau AG의 2개사) 그리고 일부는 스위스 Sulzer사의 전경영주였던 Peter Sulzer씨로 구성된 새로운 경영주를 만나 New Sulzer Diesel사를 세우게 되었다. 80년대의 대형 저속 디젤기관 시장은 일대 변혁기를 거쳐 오면서 종전의 B&W, M.A.N, Sulzer의 3파전에서 MAN-B&W, New Sulzer(이후 Sulzer라 칭한다.), Mitsubishi의 새로운 3파전 양상으로 전개되고 있다.

MHI(Mitsubishi Heavy Industries Co.Ltd., 이후 Mitsubishi라 칭한다.)사는 오랫동안 M.A.N과 Sulzer형 기관의 기술 제휴사(Licencee)로서 기관의 생산에 전념해오다가 그간에 축적된 기술로 1955년 자체 기종인 UEC75형 기관을 완성하였다. M.A.N사와의 기술 제휴 계약(Licence Agreement)은 이미 종료되어 현재는 자체 기종인 UEC형과 Sulzer형 기관을 생산하고 있으며 80년대 하반기에는 자체 기종으로 세계시장 점유율이 한때 10%를 상회하기도 하였다. Fig. 3은 Mitsubish가 MAN-B&W, Sulzer사와 함께 세계시장에서 3파전을 하고 있음을 보여준다.

한국은 상기 3사 외에 다수의 기관 제작회사들과 기술제휴 계약을 맺고 현재 현대중공업(주), 한국중공업(주) 및 쌍용중공업(주)에서 대형 저속 디젤기관을 생산하고 있다. 1970년대말 현대중공업(주) (당시는 현대엔진공업주식회사)에서 시작되어 1984년 한국 중공업이 생산에 참가함으로써 저속 디젤기관의 국내 총 생산량은 이미 1,000만 BHP를 돌파하였다.

국내에서 생산되고 있는 대형 저속 디젤기관은 대부분이 MAN-B&W형이고 Sulzer형이 약 20%를 차지하고 있다.

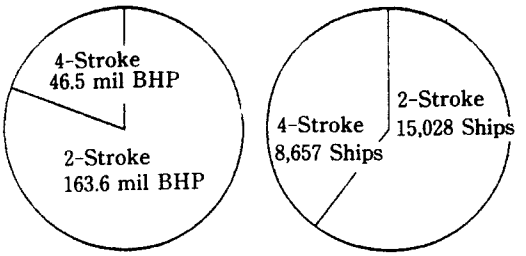


Fig. 3 (a) Market Share of Propulsion Engines Ships in Service Primo 1991 (Ships Larger than 2000 DWT)

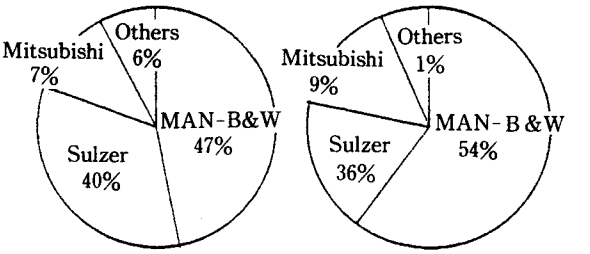


Fig. 3 (b) Market Share of 2-Stroke Propulsion Engines (Ships Larger than 2000DWT)

3. 최근의 박용기관에 대한 요구조건

최근의 박용기관에 대한 요구조건을 요약하면 다음과 같다.

① 추진 효율 극대화

- 기관의 저속화 : 프로펠라 효율 증가
- 기관의 최적 선정 : 선박의 특성에 따른 출력과 회전수의 최적조합

② 기관효율 극대화

- 연료소비율 저감 : 전 출력범위에서 낮은 연료소비율
- 신뢰성 증대 : 유지보수비 극소화
- 정격 출력의 선택 범위 확대에 의한 연료소비율 감소

③ 총체적 경제성 개념 도입

기관의 선정에 있어서는 선박 전체의 에너지 이용 최적화를 꾀한다.

- 주기관 구동 축발전기 설치
- 배기가스 동력전환장치(Turbo-Compound System)채택
- 폐기가스 이용

④ 환경보존을 위한 대책

최근 야기되고 있는 대기오염 문제에 관하여 일부 국가에서는 법률로써 내연기관의 배기가스중 SOx와 NOx의 배출량을 규제하기 시작하였으므로 이에 대한 대책이 필요하다.

- SOx : 저 유황유 사용
- NOx : NH_3에 의한 선택적 촉매반응 시스템을 이용 하거나 연료계에 물을 섞어 NOx발생을 감소케 한다.
- 연소유 미립화장치(F.O Atomizer)의 개발

2차에 걸친 유류파동이후 석유 가격이 급상승하였던 시기에는 연료소비율 저감을 위하여 기관효율을 개선하는 노력이 진행되어 왔다. 그러나 최근 석유가격의 하락, 또는 안정세를 보이면서 기관효율 증대보다는 기관의 신뢰도 향상를 통한 기관의 보수·수리기간(Time Between Overhaul)을 줄이는 방향으로, 또한 최근 대두되고 있는 환경적 측면에서의 배기가스 유해배출물 감소를 위한 방향으로 연구가 진행되고 있다.

4. 기술개발의 실태와 특성

저속 디젤기관의 기술 개발은1973년의 1차 유류파동 이후부터 운항비 절감의 목적으로 기관효율 증대를 위한 연구가 활발히 진행되었고 2차 유류파동을 거치면서 더욱 활발하여 각 기관 제작자들은 새로운 형의 기관들을 거의 매년 새로이 개발하였다. 조선기술의 발전과 시장의 요구에 부응하여 1984년경 부터는 선박의 특성에 적합한 기관의 개발에 주력하기도 하였다. 즉, MAN-B&W사의 경우 살물화물선이나 일반 화물선용으로 L-MC형 기관, 탱커선용으로는 S-MC형기관을 그리고 콘테이너선용으로는 K-MC 또는 K-MC-C형 기관을 개발하였다. 또 Sulzer사의 경우 살물화물선이나 일반 화물선용으로 RTA형 기관, 탱커선용으로 RTA-M형 기관 그리고 콘테이너선용으로는 RTA-C형 기관을 개발한 것은 마찬가지 맥락에서이다. 지난 20년동안 저속 디젤기관은 급격히 발전되었으며 그 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 고출력화, 고효율화

- 초장행정화, 행정·통경비 증가
- 평균 유효 압력 증가
- 과급기의 고효율화
- 실린더 최고 압력 증가
- 재질의 개선 및 전반적 설계기술 향상
- 정격 출력 선택 범위 확장
- 배기가스 에너지 이용 극대화
- 진동, 소음제어 기술의 진보

4.1 행정·통경비 증가

장행정에 의한 기관의 소기 효율 증가와 연료의 연소 향상에 의한 연료 소비율 저감의 일환으로 개발된 행정·통경비의 증가는 비교적 최근인 1980년대 초에서부터 시작되었다. Sulzer사가 전통적인 루우프 소기방식을 버리고 유니플로우 소기방식으로 전환하면서 RTA시리즈 기관을 개발하고 2.0~2.1대의 행정·통경비를 2.88로 증가시켰다.

수10년 전부터 전통적으로 유니플로우 소기방식을 채택해오던 B&W사가 이로부터 약 1년 후 L-MC시리즈 기관을 개발하면서 이를 2.5에서 3.24로 획기적으로 증가시켰다. 행정·통경비의 증가는 곧 기관의 열역학적 측면에서의 효율증가와 기관 회전수 저하에 따른 추진기 효율을 향상시키는 반면 기관의 높이가 증가한다는 부정적인 면도 있다. 따라서 MAN-B&W사는 기관의 개방시 높이를 종전과 같이 유지시키기 위해 기관실 크레인으로서 2중짚 크레인을 채택 하기도 하였다.

Fig. 4는 MAN-B&W와 Sulzer기관들의 행정·통경비변화추이를 보이고 있다. 행정·통경비를 증가시켜 기관의 열효율 및 추진기의 추진효율 향상을 꾀할 수 있으나 기관의 높이 증가 뿐만 아니라 선박에 따라서는 프로펠라의 직경이 제한되어 있어 무리가 따르게 된다. 즉, 콘테이너선과 같이 선체흘수선이 낮은 선박에 있어서 설계상 프로펠라의 직경이 제한되기 때문에 기관 회전수가 비교적 높은 기관이 적합하게 된다. 따라서 1980년대 후 행정·통경비를 급격히 증가시켜 기관 회전수가 Sulzer기관보다 비교적 낮았던 MAN-B&W사도 행정·통경비를 콘테이너선의 경우에 알맞도록 약 2.5~3.0정도로 다시 감소시켜 K-MC, K-MC-C형 기관을 개발하였다.

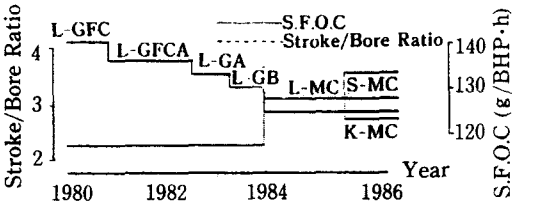


Fig. 4 (a) Stroke/Bore Ratio and S.F.O.C for MAN-B&W

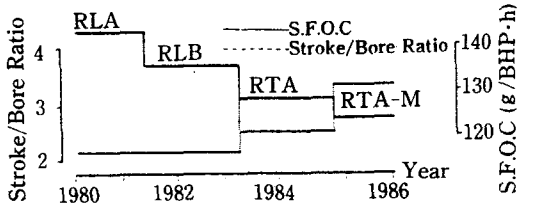
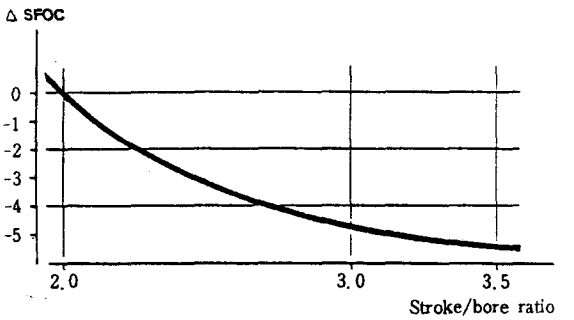


Fig. 4 (b) Stroke/Bore Ratio and S.F.O.C for Sulzer



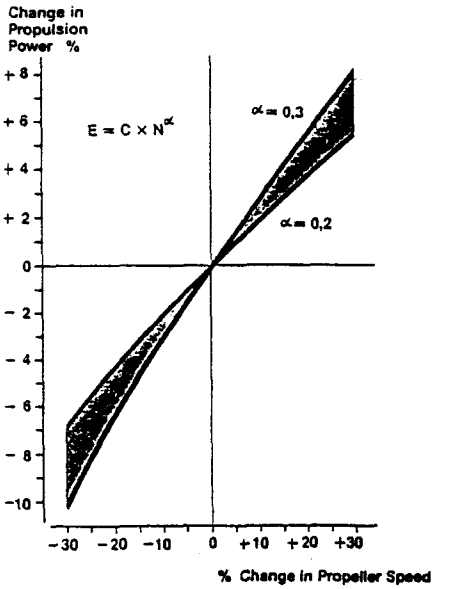


Fig. 5 Propeller Efficiency and Stroke/Bore Ratio

이에 반하여 선체 흘수선이 비교적 깊은 탱커선의 경우 행정·통경비를 가능한 한 높혀 기관 회전수의 저속화를 이루어온 MAN-B&W사의 S-MC시리즈와 Sulzer사의RTA-2, M 시리즈기관에서는 기관효율과 추진효율을 효과적으로 향상시킬 수 있었다. (Fig. 5 참조)

4.2 피스톤 평균속도 증가 및 실린더 최고압력 증가

행정·통경비의 증가에 기인하는 기관 제작자들의 또 하나의 어려움은 피스톤 평균속도 증가였다. 이는 특히 실린더라이너와 피스톤 링 등의 기관 구성품들에 대한 마모 등에 영향을 미치게 되나 재질 개선, 냉각방법개선 등으로 이를 극복아였다. 현재 운전되고 있는 기관의 최대 피스톤 평균속도는 7.8~8.0m/sec정도였다.

최고압력의 증가를 통한 기관의 열효율 증대는 이미 알려져 있었으나 기관의 기계적 강도에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 단순히 증가시킬 수는 없었다. 이는 재질의 개선을 통해 점차적으로 행해져 왔으며 특기할만한 점은 기관의 상용 운전범위, 예를 들면 기관 최대출력(MCR)의 80%~100%정도 부하범위내에서 최고압력을 MCR점에서의 값과 동일하게 유지함으로써 최고압력의 상승폭만큼 연료 소비율을 저감시킬 수 있었다.

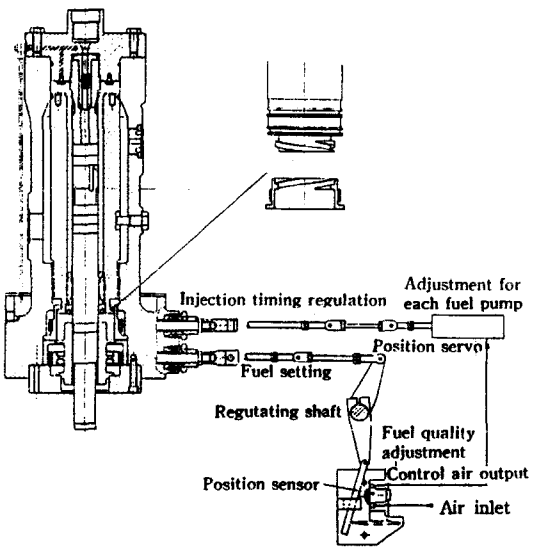


Fig. 6 MC, VIT System for MAN-B&W

즉, VIT(Variable Injection Timing)라는 장치를 기관의 연료 분사계에 장착하여 기관부하의 변화에 따라 최고압력을 일정하게 유지시킨다. Fig. 6은 MAN—B&W사의 VIT시스템을, Fig. 7은 최고압력의 변화추이를 보여준다.

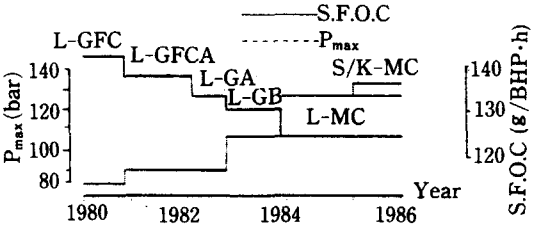


Fig. 7 (a) Maximum Firing Pressure and S.F.O.C for MAN-B&W

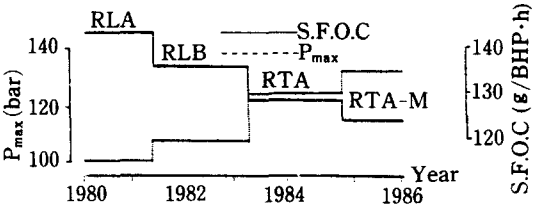


Fig. 7 (b) Maximum Firing Pressure and S.F.O.C for Sulzer

4.3 평균유효압력 증가와 과급기의 효율증가

평균유효압력은 과급기의 효율 증가와 더불어 증가하였으며 이는 최고압력의 증가와 함께 기관의 열효율과 출력을 증대시켜 연료소비율 저감을 목적으로 함은 자명하다.

내연기관의 출력을 증대시키기 위한 수단으로서

① 행정 용적을 증가한다.

② 회전 속도를 증가한다.

③ 평균 유효 압력을 증가한다.

등을 생각할 수 있는데 그 중에서 ①의 방법은 기관의 체적, 중량이 증가하므로 바람직하지 못하며, ②의 방법은 그 특성상 고속화가 곤란하다.

그것은 기통당 용적이 크고 P_{max}가 높고 이 때문에 운동 부품의 중량이 크기 때문이다. 따라서 대형 저속 디젤기관의 출력 증가는 ③의 방법이 적당하다. 디젤기관은 대량의 과잉공기를 필요로 하며 회전속도가 낮으므로 평균유효압력 증가를 통한 기관 출력 증대가 필요하다. 이러한 이유에서

디젤기관은 오랜 전부터 과급기가 채택되어 왔고 이의 발달은 급속도로 진전되어 왔다. 이 결과 기관 출력은 1970년 초기까지의 기관에 비해 기통당 출력이 2배정도 증가하였고 기관열효율도 오늘날 53%에 달하게 되었다. 임의의 기관은 그 자체의 정격출력(BHP×RPM)마다 허용범위(Layout Flexibility)가 주어진다. 이러한 정격출력의 자유로운 선택은 선주와 조선소의 요구를 충족시켜줄 뿐아니라 임의로 선택된 정격출력의 최고압력과 동일한 값을 유지할 수 있으므로 선택된 정격출력(Selected MCR or Derated MCR)이 공칭 정격출력보다 낮게 선택되어지며 따라서 전부하영역에 걸쳐 보다 낮은 연료소비율이 얻어지게 된다. 연소실 구성부품의 열부하 허용범위내에서는 열역학적으로 볼 때 Fig. 8에 보이는 것처럼 최고압력과 평균 유효압력의 비가 증가될수록 연료소비율이 낮아지기 때문이다.

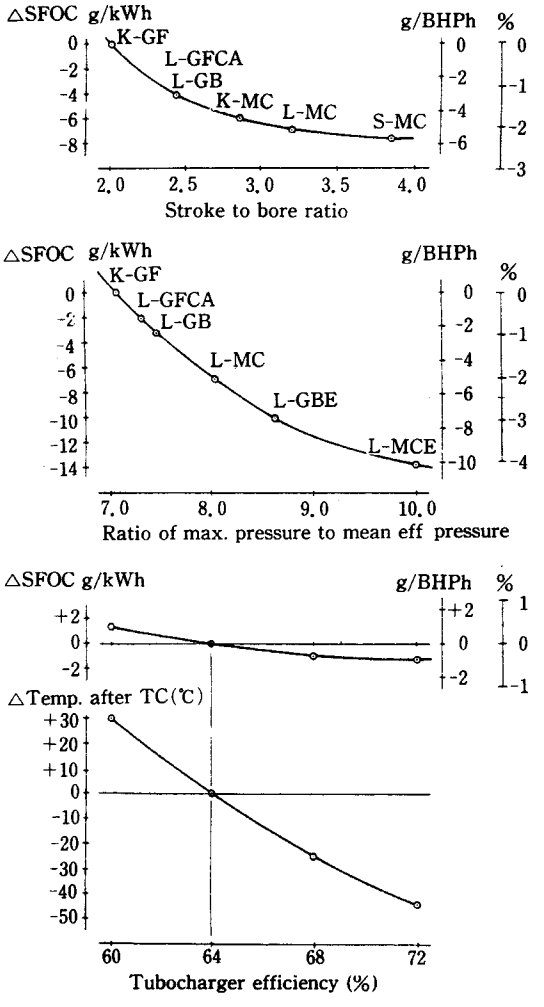


Fig. 8 Effect on S.F.O.C of Stroke/Bore Ratio

최근에 개발된 기관들의 평균유효압력은 정격에서 17~18bar 정도이며 최고압력은 140bar정도이다. 그러나 최고압력의 증가와 함께 평균유효압력의 증가는 연소실 구성부품, 예를들면 실린더 라이너, 실린더 헤드, 피스톤 크라운 및 배기밸브 등의 재질개선 및 냉각방법개선 그리고 설계의 최적화를 통하여 이러한 문제점들을 극복하고 있다. 또한 증대된 기계적 부하에 의해 수반되는 기관운동부의 응력증가는 Fig. 9와 같이 베어링 등의 지지면적증대, 재질개선 및 그 형상을 최적화 함으로써 해결해가고 있다.

과급기의 효율은 Fig. 10 과 같이 1차 유류파동

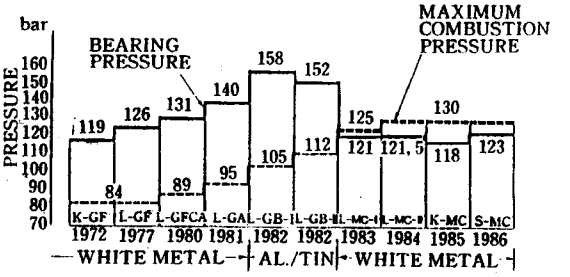


Fig. 9 Crosshead Bearing Pressure in Relation to P_{max}

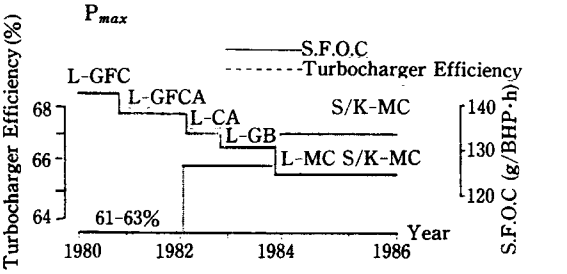


Fig. 10 (a) Turbocharger Efficiency and S.F.O.C for MAN-B&W

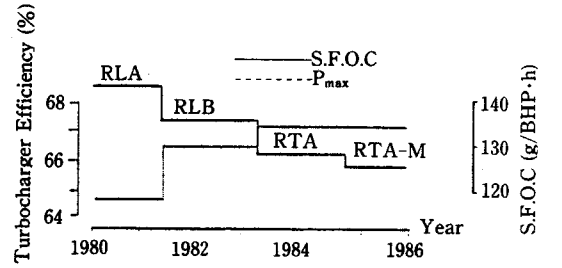


Fig. 10 (b) Turbocharger Efficiency and S.F.O.C for Sulzer

당시 60%에 채 못 미치던 것이 오늘날 ABB의 VTR-4E, MAN-B&W의 NA-TO 시리즈 그리고 Mitsubishi의 MET-SC 등이 70%대를 초과하고 있어 과급기의 고효율화가 유류파동이후 새로운 저속 디젤기관의 개발과 함께 급속히 개발되어 왔음을 보여준다. 1차 유류파동 이후 연료소비율 저감을 위한 다방면의 노력 가운데 하나는 과급방법의 개선이었다. 즉, 저속 디젤기관의 과급은 동압과급보다는 정압과급이 보다 유리하다고 판단되어 기관 제작사들은 서둘러 배기다지관과 배기모음관을 다시 설계하고 배기가스의 동적에너지를 단순히 이용하는 동압 과급보다는 배기가스의 에너지를 연속적으로 활용하는 정압과급을 채택하였다. Fig. 11과 Fig. 12는 동압과급과 정압과급의 차이를 보여준다.

4.4 종합적 설계기술 향상 및 재질의 개선

지난 20년 동안 대형저속 디젤기관 분야의 기술은 전자계산기의 발달과 함께 현격한 발전을 이룩하였다. 우선 전자계산기를 이용한 정교한 수치

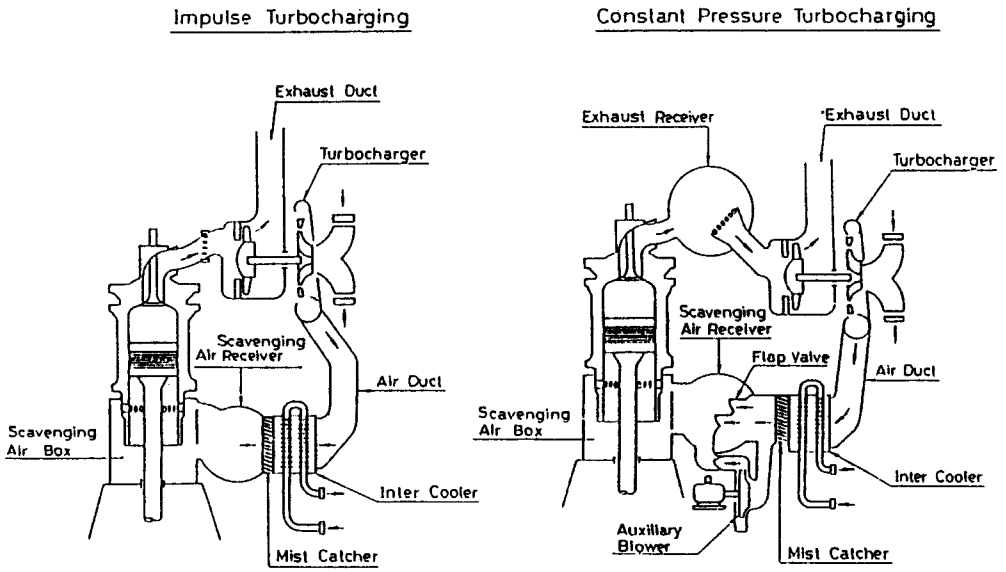


Fig. 11 Impulse Turbocharging and Constant Pressure Turbocharging System

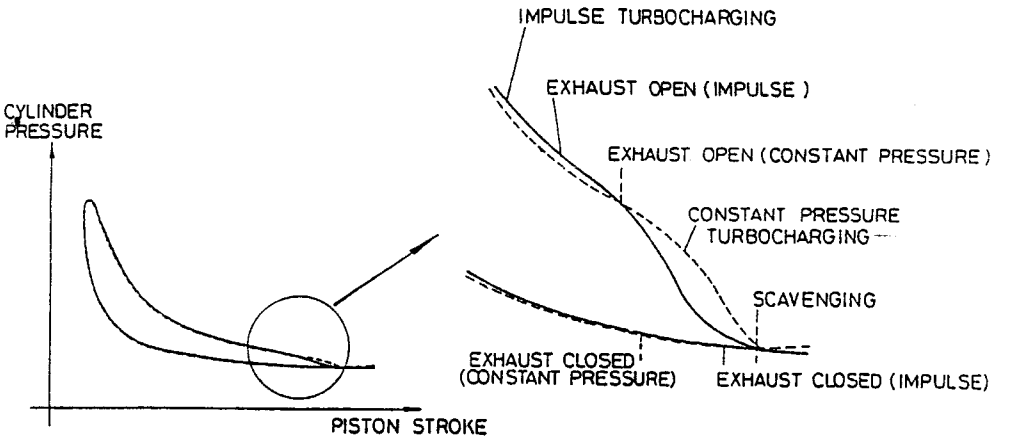


Fig. 12 Difference between Impulse Turbocharging and Constant Pressure Turbocharging System

해석기법의 도입에 따라 기관의 열역학적 시뮬레이션계산에서 설계, 생산, 시운전 및 계측에 이르기까지 거의 모든 분야가 개선, 발전되었다. 그 결과 다음과 같은 분야가 크게 발전하였다.

① 기관의 제 성능분석 능력의 재고
- 기관성능의 열역학적 시뮬레이션
- 사이클과정의 계산
- 기관부품의 열전달과 온도 분포
- 열적, 기계적 부하상태에서의 응력, 변위 및 변형계산
- 복잡한 구조물의 진동계산
- 기타

② 연소실 구성 부품들의 설계기술 개발로 열응력 및 기계적 응력의 최적화 유지 및 신뢰성 향상

③ 새로운 계측기술 개발 및 계측기의 등장

④ 터어보 과급기의 고효율화에 따른 소기효율 향상과 기관의 출력증대

⑤ 재질의 개선 및 기관부품의 성능 향상

이상과 같은 기술의 발전은 기관 개발 주기를 종래 십수년씩 걸리던 것을 최근에는 불과 1~2년으로 까지 줄여 줄 수 있었다.

최근 특기할 만한 점은 전자계산기의 도입에 의한 CAE/CAD/CAM을 설계 기술로 활용하는 것이며 이는 단순히 설계에서 뿐만 아니라 생산, 공정관리 및 엔지니어링에 대한 것으로서 현재 매우 유익하게 사용되고 있는 기술이라 하겠다.

현재 기관 제작자(Licencors)들이 주로 활용하고 있으며, 수년전부터 영국, 일본의 기술 제휴 제작자(Licensees)등에서도 사용하고 있었고 우리나라를 비롯하여 중국도 올해부터 CAD/CAM을 도입하기 시작하였다. 전자계산기술의 도입은 여기에 그치지 않고 기관성능을 스스로 진단하여 처방을내놓는 "Expert System"의 개발로 이어졌다. MAN-B&W사가 판매하고 있는 CAPA (Computer Aided Performance Analysis)시스템은 승선인원 감소와 함께 유용한 시스템으로 현재 수많은 선박에서 쓰이고 있다.

한편 행정·통경비의 증가와 이로 인한 피스턴 평균속도의 증가는 실린더 라이너와 피스턴 링 재질을 새롭게 요구하게 되었고 특히 길어진 실린더 라이너의 재질은 주조성이 뛰어나면서도 열부하와 기계적 부하에 충분히 견디어야 했으며 이에 적당한 재질이 Takalloy 또는 Takalloy-C이며 이는 현재 대부분의 기관에서 쓰이고 있다.

1981년 Sulzer사가 전통적인 루우프 소기방식에서 유니플로우 소기방식으로 전환하면서 처음으로 배기밸브를 개발하게 되었는데 이때 재질을 획기적으로 바꾸었다. 여기서 쓰여진 것이 Nimonic이다. 가격이 비싸고 용접성이 나쁜 단점도 있으나 실증에 의하면 Nimonic밸브는 40,000시간 이상의 비보수 운전이 가능하였으므로 보수비를 획기적으로 절감할 수 있게되어 현재는 대부분의 기관 제작자들이 Nimonic밸브를 선호하게 되었다.

4.5 2중 연료기관과 NOx제거 시스템

LNG선과 같이 대량의 LNG를 운반하는 선박의 경우 증류기화하는 가스는 대개 추진용 증기터어빈을 구동하기 위한 보일러의 연료로 쓰이게 된다. 따라서 최근 MAN-BNW사는 저속 디젤기관의 신뢰성이 충분히 확보되었다는 확신과 함께 중유 대신 LNG를 고압 (약 250bar)으로 분사하는 MC-GI형 기관을 개발하였다. 지금까지 일부 실험용 및 발전용 기관으로만 이용되었으나 머지않은 장래에 LNG선 등에도 장착되리라 믿는다. (Fig. 13 참조)

최근 각국의 공통 관심사인 환경오염방지와 관련하여 선박주기관으로 쓰이고 있는 저속 디젤기관의 배기가스를 규제할 움직임을 보이고 있으며 미국은 서부 해안의 공업도시를 중심으로 이미 규제에 들어갔으며 그 첫대상으로 한국선박이 해당되었다. 현대중공업에서 건조한 3척의 35,000 DWT급 "핫코일"운반선은 MAN-B&W사가 개발한 NOx제거시스템을 세계 최초로 장착하였다. 그 첫 호선은 1991년 1월부터 상용운전에 들어가 현재까지 세척 모두 운전중에 있다. Sulzer사가 최근 유사한 시스템을 개발하였는데 이는 기관의 배기관에 반응요소(Urea)를 내재시켜 물을 공급함으로써 요소에서 NH_3을 발생케 하여 배기관 내에서 NOx와 NH_3의 화학 반응을 유도하도록 설계되어 있으나 양사 모두 NH_3를 NO_x와 반응하도록 한다는 점에서 동일하다.

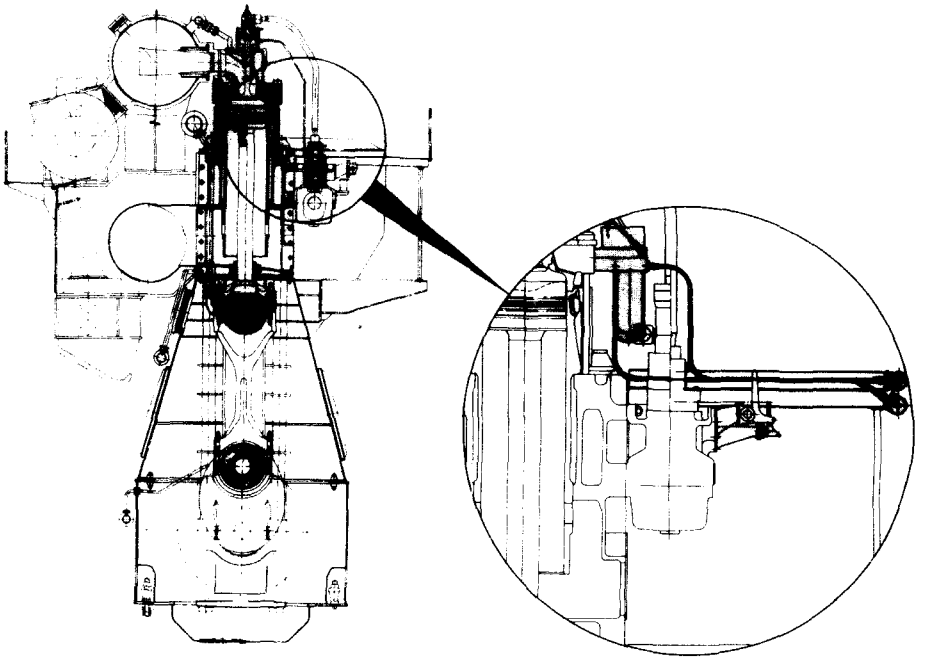


Fig. 13 K80MC-GI, Dual Fuel Engine Indicating New or Modified Components as Cmpared to the HFO-burning K80MC

그 반응식은 다음과 같다.

$$4NO+4NH_3+O_2 \rightarrow 4N_2+6H_2O$$
$$2NO_2+4NH_3 \rightarrow 3N_2+6H_2O$$

여기에서 발생하는 H_2O와의 반응열은 반응장치를 거치는 동안 발생하는 배기가스의 압력강하에 의한 과급기 효율저하를 어느 정도 보상해 주어 실제로 과급기에 미치는 영향은 그리 크지 않다.

4.6 배기가스 동력전환 시스템

앞서 언급한 바와 같이 과급기의 효율이 최근 충분히 향상되어 68%~72%를 얻을 수 있게 되었다. 따라서 과급기의 효율은 기관이 필요로 하는 과급효율을 초과케 되어 이 잉여분의 효율만큼의 배기가스 에너지를 별도로 이용하자는 방안이 대두되어 이를 과급기 제작자와 기관 제작자가 공동으로 연구하였다.

즉, 과급기의 효율이 높아짐으로서 기관에서 필요로하는 공기를 공급하기 위한 과급기의 공기압축기 구동력 이상으로 배기가스터빈 구동력이 발생하므로 이러한 과급기터빈의 잉여 구동력을 직접 이용하거나 또한 적정 공기량을 유지하기 위한 배기가스량 이외의 잉여 배기가스를 이용하여 별도의 터보장치를 통해 기계적 구동력을 발생시켜 이를 이용하는 방법이 실용화되었다. 한가지 방법은 동력터빈 (Power Turbine)을 설치하여 치차를 통해 기관 크랭크 축에 직접 동력을 부가시키는 방법이고 또 다른 방법은 터보 발전기를 구동시켜 전기적인 동력을 얻는 방법들인데 이들 모두 기관 출력의 4% 수준까지의 추가동력을 얻을 수 있다. (Fig. 14참조)

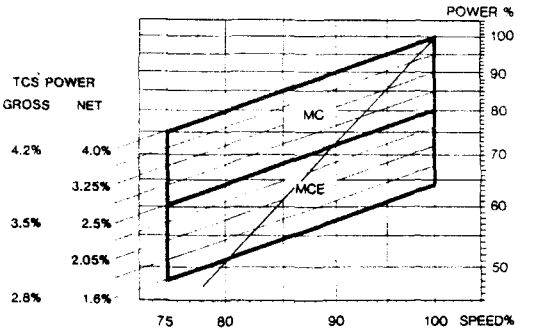


Fig. 14 Turbo Compound System, Net and Gross Power for MAN-B&W

MAN-B&W사의 TCS(PTO/PTI, Power Take In/Power Take Out system)이나Sulzer사의 Efficiency Booster등이 실용화 되었으나 1990년대에 들어서 석유 가격이 하락 내지 일정해지자 극히 일부분의 선박에만 장착되고 있는 실정이다. (Fig. 15참조)

5. 맺음말

2행정 저속 디젤기관이 최초로 선박용 추진기용으로 탑재된 이래 오늘날까지 80여년 동안 선박이 요구하는 모든 조건을 충족시켜 왔으며 앞으로도 석유자원이 고갈될 때까지 최종적으로 남는 내연기관이 될 것으로 믿어진다.

특히 최근 개발된 2중 연료기관의 경우 그 생명은 더욱 길어질 것이다.

결론적으로 대형 저속 디젤기관은 아직도 선박용 추진기관으로서 단순하며 경제적이고 신뢰성을 가지고 있다는 특성 때문에 계속 그 역할을 담당할 것이며 새로운 시장의 요구조건에 신속히 부응하기 위하여 각 기관 제작자들은 끊임없이 연구, 개발하고 있다.

특히 1차 유류파동 후부터 계속된 연료 소비율 저감을 위한 노력과 최근 6~7년간에 걸친 선박의 특성별로 기관을 개발한 것은 괄목할 만한 업적이었다. 그러나 승선인원의 감소라는 새로운 상황을 맞아 새로운 기관개발에 따른 기관의 자동화와 신뢰성 확보가 그 중요도를 부각시키고 있는 현실에서 차후 이러한 차원에서의 기술개발이 더욱 이루어 질 것으로 예상된다. 아울러 전자계산기의 도입과 함께 기관의 설계, 제작, 운전 및 보수에 이르기까지 그 활동도는 더욱 증가될 것이다.

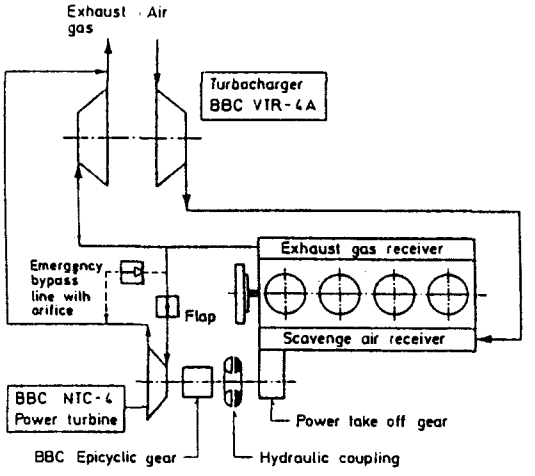


Fig. 15 (a) Schematic Diagram of the Efficiency Booster System on RTA

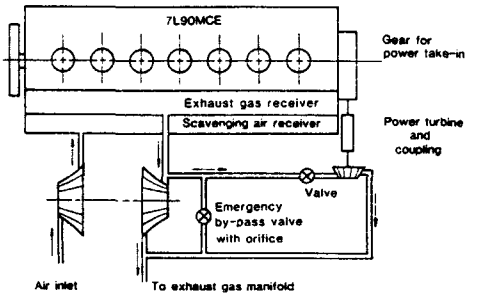


Fig. 15 (b) Flow Diagram of Power Take in on 7L90MCE

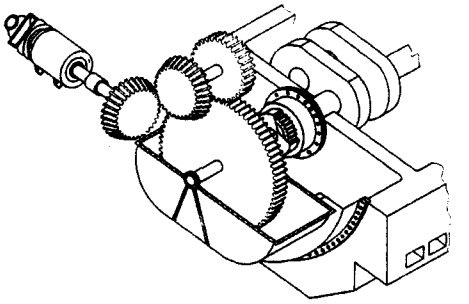


Fig. 15 (c) Front Mounted Turbo-Compound System Drive on MC series

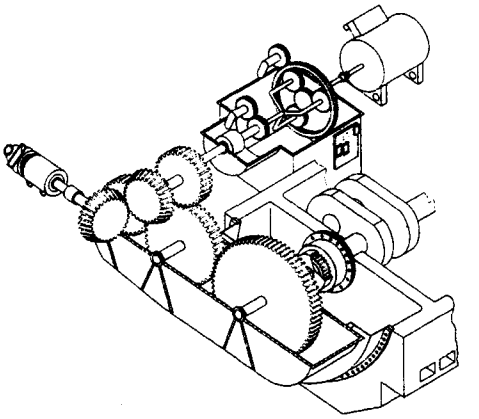


Fig. 15 (d) Front Mounted Turbo-Compound System Drive Combined with B&W/RCF Shaft Generator on MC series