

2. 동력공학 특집

MAN B&W 저속 2행정 디젤기관의 최근 동향

Recent Trends for Development of Two Stroke Low Speed Diesel Engines(MAN B&W MC and ME engines)



권 오 신
O-S Kwon

현대중공업 엔진기계사업 본부
기술담당이사



손 진 록
J-R Son

현대중공업 엔진기계사업 본부
엔진개발부

- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1. 머리말 | 와 개발 동향 |
| 2. 세계상선 시장 현황 및 향후 추세 | 7. 전자제어 저속 2행정 디젤기관 |
| 3. 세계 상선용 디젤 주기관 생산 현황 | 8. 전자제어 실린더 주유 |
| 4. 선박용 저속 2행정 디젤기관의 기종과 출력 | 9. 저속 2행정 디젤기관용 환경친화형 기술 연구와 개발 |
| 5. 육상발전용 저속 2행정 디젤기관의 기종과 출력 | 10. 현대중공업 저속 2행정 디젤기관 생산 실적 |
| 6. R&D도구를 이용한 저속 2행정 디젤기관 연구 | 11. 한국 박용 디젤기관 제조업체의 과제 |



1. 머리 말

MAN B&W 저속 2행정 디젤기관은 지난 10년 이상 대형 상선의 주기관으로 가장 많이 사용되고 있다. 주기관은 선박 운항에 가장 중요한 시스템의 하나이므로 신뢰성, 경제성, 운전성, 정비성, 환경친화성 등 모든 면에서 우수하도록 시장에서 요구되고 있으며, MAN B&W 저속 2행정 디젤기관도 계속적으로 변화되고 있다. 세계 상선 시장과 MAN B&W 저속 2행정 디젤기관에 대한 최근의 동향에 대하여 개략적으로 서술한다.



2. 세계상선 시장 현황 및 향후 추세

1.1 세계 화물교역 물동량의 운송

오늘날 세계 화물교역 물동량의 95%가 해상을 통하여 이루어지고 있다. 일부, 특히 아시아와 유럽의 화물 일부를 러시아의 시베리아 철도를 통한 운송도 고려되고 있으나 그 실현가능성은 낮고, 실행하기 위하여는 많은 시간이 소요될 것으로 예상되는바, 운송비용이 가장 저렴한 선박에 의한 화물운송은 향후도 계속적으로 현재와 같이 유지될 것으로 예상된다.

1.2 세계 선박 수주량과 건조량 향후 전망

세계 선박 수주량은 1982년 이후 꾸준한 증가세를 유지하고 있으며, 그림 1에서 보는 바와 같이 1996년 이후 한국의 선박 수주량은 폭발적으로 증가하였다. 1995년 이후 세계 선박 건조량도 그림 2

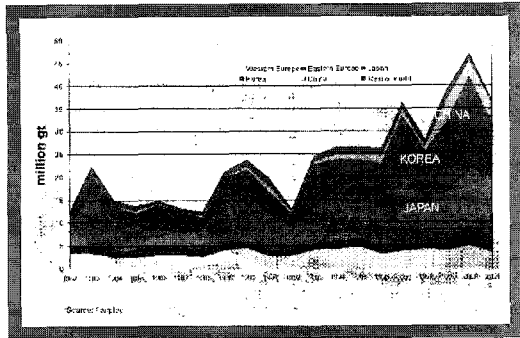


그림 1 세계주요 국가의 선박 수주량 추이

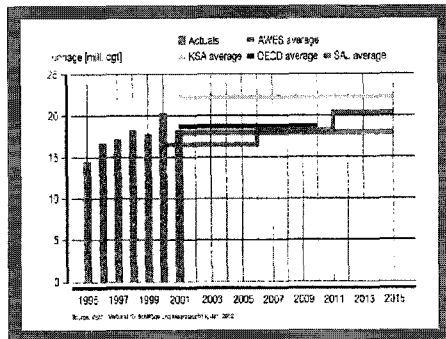


그림 2 세계 선박 건조량 추이

에서 보는 바와 같이 지속적인 증가세가 유지되고 있으나, 2001년을 기점으로 감소 추세로 전환되었다. 그러나 향후에도 약 1,800~2,000만 CGT의 선박이 건조될 것으로 예측되고 있다.^[11]

3. 세계 상선용 디젤 주기관 생산 현황

표 1에서 보는 같이 2000년에 준공된 2,000 DWT 이상 상선에 탑재된 디젤 주기관은 1,123대, 1,581만 마력(PS)이었다. 이것은 전년에 비하여 대수 기준으로 62대 감소, 출력 기준으로는 268만 마력 증가하였다. 대수가 감소하였지만 출력이 증가한 것은 대출력의 기관이 요구되는 대형(초대형) 컨테이너선 건조량 증가 때문이었다. 2000년에 준공된 2,000 DWT 이상 상선에 탑재된 디젤 주기관의 제조국별 생산 실적을 보면, 한국이 1위로 203대(639만 마력)를 생산하여, 전년에 비하여 대수로 44대, 출력으로 346만 마력 증가하였고, 세

계 시장 점유율은 전년의 22.4%에서 40.4%까지 크게 증가하였다.

1,123대(1,581만 마력) 중 2행정 기관은 625대(1,228만 마력), 77.5%(출력기준)이었고 4행정 기관은 498대(353만 마력), 22.3%(출력기준)이었다.

2행정 기관을 브랜드별로 보면 MAN B&W 403대(769만 마력), SULZER 128대(363만 마력), Mitsubishi 81대(92만 마력)로 3사가 전체의 99.5%(출력 기준) 이상을 차지하고 있다. 이 3사의 2행정 기관은 저속으로 회전수는 MAN B&W S26MC(250 rpm)를 제외하고 모두 분당회전수(rpm)가 210 rpm 이하이며, Mitsubishi UEC85LS II 기관은 최저 54 rpm이다.

또한 4행정 기관을 브랜드별로 보면 1위의 WARTSILA가 144대(129만 마력), 전년보다 대수로 42대 감소하고 출력에서도 10만 마력 감소하였다. 2위의 MAN B&W(독일)는 80대(69.4만 마력), 3위의 MaK(현재 CATERPILLAR에 합병)이 117대(61만 마력)를 생산하였다. 그 뒤를 SULZER, S.E.M.T-Pielstick, NORMO, 캐터필라, 한신, MAN B&W(덴마크)가 이었다.^[12]

오늘날 전 세계적으로 대형 상선의 주기관으로 가장 많이 사용되고 있는 저속 2행정 기관인 MAN B&W MC/MC-C의 수주량을 국가별로 보면 한국은 1990년대 말부터는 일본을 크게 앞지르기 시작하였다.^[13]

한편 최근 저속 2행정 디젤기관의 브랜드별 수

표 1. 세계 주요국 디젤 주기관 생산량

국가	생산량(2000년)				생산량(1999년)			
	대수	출력	점유율	순위	대수	출력	점유율	순위
한국	203	639	40.4%	1	159	294	22.4%	2
일본	341	447	28.3%	2	385	505	38.5%	1
독일	214	144	9.1%	3	174	118	9.0%	3
핀란드	9	75	4.7%	4	116	83	6.3%	4
중국	52	69	4.4%	5	61	61	4.6%	5
이탈리아	45	66	4.2%	6	35	49	3.7%	6
폴란드	24	39	2.5%	7	28	43	3.3%	7
네델란드	39	27	1.7%	8	36	26	2.0%	8
기타	116	75	4.7%	-	191	134	10.2%	-
합계	1,123	1,581	100.0%		1,185	1,313	100.0%	

참조 1 : 2,000 DWT 이상 준공 상선에 탑재된 주기관 기준.
참조 2 : 출력 단위는 만 마력(PS), 점유율은 출력 기준임.

표 2. 디젤 기관 생산량

브랜드	생산량(2000년)				생산량(1999년)			
	대수	출력	점유율	순위	대수	출력	점유율	순위
MANB&W	403	769	62.6%	1	428	637	66.8%	1
SULZER	128	363	29.6%	2	113	505	38.5%	1
Mitsubishi	81	92	7.5%	3	86	118	9.0%	3
MANB&W	1	0.6	0.0%	-	2	83	6.3%	4
GM	12	3.3	0.3%	-	6	61	4.6%	5
합계	625	1,228	100.0%		635	1,313	100.0%	

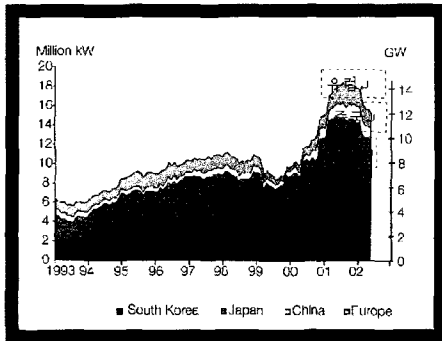


표 3. MAN B&W MC/MC-C 기관의 국가별 수주량 추이

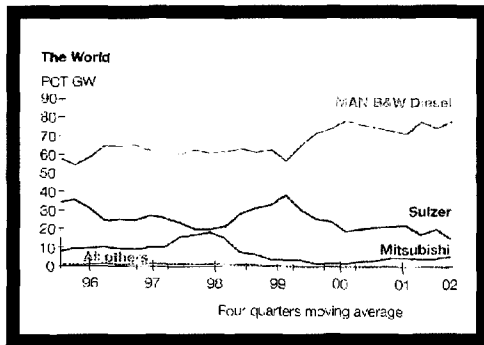


표 4. 저속 2행정 디젤기관 수주 추이

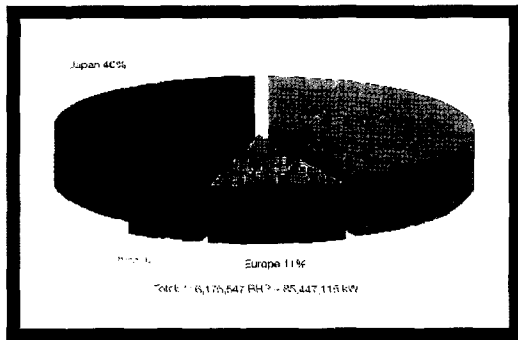


표 5. MAN B&W MC/MC-C 기관의 국가별 누적 수주량

주 실적(출력 기준)을 보면 MAN B&W가 70%를 약간 상회하여 여전히 세계 1위를 차지하고 있고, SULZER와 Mitsubishi가 그 뒤를 잇고 있다. SULZER는 최근 거의 20%대로 낮아졌고, Mitsubishi도 한때 20% 가까이 증가하였으나 최근에는 10% 이하로 감소하였다.^[9]

또한 MAN B&W MC/MC-C 기관의 국가별 누적 수주량(2002년 4월 기준)에서도 한국이 43%로 40%인 일본을 추월하고 있다.^[9]

한편 MAN B&W MC/MC-C 기관의 실린더구경별 실적은 표 3과 같다.^[9]

표 6. MAN B&W MC/MC-C 실적

기종 (실린더 구경)	대수	
	수주 또는 납품	운전
98	89	49
90	293	203
80	531	440
70	923	785
60	1,746	1,521
50	1,615	1,326
46	70	52
42	270	241
35	1,070	953
26	177	163
합계	6,784	5,733

합계 : 6,784대(116,175,547마력)

(2002년 4월 기준, 수주 또는 납품 기준)

참조 1 : 1982년 10월 - MC 기관 출시

참조 2 : 2000년 8월 - 100,000,000 마력 달성

4. MAN B&W 선박용 저속 2행정 디젤기관의 기종과 출력

선박에 가장 적합한 기관을 선정하는 것은 조선소나 선주에게 매우 중요한 과제 중의 하나이다. MAN B&W는 시장의 다양한 요구에 적극적으로 대처하여 2002년 8월 현재 캠축제어 기관인 MC/MC-C 27 기종과 전자제어 기관인 ME/ME-C 14 기종을 시장에 내놓고 있다.

20년 전, 1982년에 처음 MC 기관이 시장에 나올 때는 L 타입(Long stroke)이었다. 이 L-MC와 L-MCE 기관은 12 기종이었으며, 실린더지름이 35 cm인 L35MCE와 L35MC로부터 실린더지름

표4. MAN B&W MC/MCE (12 기종) (1982년)

	실린더지름 (cm)	실린더수	출력 (PS/cyl)	최대출력 (PS/기관)
L90MC	90	4~12	4,680	56,160
L90MCE	90	4~12	4,060	48,720
L80MC	80	4~12	3,690	44,280
L80MCE	80	4~12	3,200	38,400
L70MC	70	4~8	2,830	22,640
L70MCE	70	4~8	2,450	19,600
L60MC	60	4~8	2,080	16,640
L60MCE	60	4~8	1,800	14,400
L50MC	50	4~8	1,440	11,520
L50MCE	50	4~8	1,250	10,000
L35MC	35	4~9	680	6,120
L35MCE	35	4~9	585	5,265

표5. MAN B&W MC/MC-C (2002년)

	실린더지름 (cm)	실린더수	출력 (PS/cyl)	최대출력 (PS/기관)
K98MC	98	6~18	7,780	140,000
K98MC-C	98	6~18	7,760	139,680
S90MC-C	90	6~9	6,650	59,850
L90MC-C	90	6~12	6,630	79,560
K90MC	90	4~12	6,220	74,640
K90MC-C	80	6~12	6,210	74,520
S80MC-C	80	6~8	5,280	42,240
S80MC	80	4~12	4,950	59,400
L80MC	80	4~10	4,940	49,400
K80MC-C	80	6~12	4,900	58,800
S70MC-C	70	4~8	4,220	33,760
S70MC	70	4~8	3,820	30,560
L70MC-C	70	4~8	4,220	33,760
L70MC	70	4~8	3,840	30,720
S60MC-C	60	4~8	3,070	24,560
S60MC	60	4~8	2,780	22,240
L60MC-C	60	4~8	3,030	24,240
L60MC	60	4~8	2,600	20,800
S50MC-C	50	4~8	2,150	17,200
S50MC	50	4~8	1,940	15,520
L50MC	50	4~8	1,810	14,480
S46MC-C	46	4~8	1,785	14,280
S42MC	42	4~12	1,470	17,640
L42MC	42	4~12	1,355	16,260
S35MC	35	4~12	1,010	12,120
L35MC	35	4~12	885	10,620
S26MC	26	4~12	545	6,540

비고 : 총 27기종

이 90 cm인 L90MCE와 L90MC이었다.^[4]

2002년 8월 현재 MAN B&W 저속 2행정 디젤 기관은 캠축제어 MC/MC-C 기관 27 기종과 전자 제어 ME/ME-C 14 기종이 시장에 나와 있다. MC/MC-C는 실린더지름이 26 cm인 S26MC부터 실린더지름이 98 cm인 K98MC와 K98MC-C까지 27 기종이며, 출력은 최소 4S26MC 1,470마력부터 최대 18K98MC 140,040 마력이다. 신형 전자 제어 기관인 ME / ME-C는 실린더지름이 50 cm인 S50ME-C부터 실린더지름이 98 cm인 K98ME까지 14 기종이며, 출력은 최소 4S50ME-C 4,140 마력부터 최대 18K98ME 140,040 마력이다.^[5]

최근 MAN B&W 저속 2행정 디젤기관 프로그램에서 가장 큰 변화 2가지 중, 첫 번째는 컨테이너 운반선의 요구(크기와 속도 증가)에 따라 기존의 실린더지름 90 cm보다 큰 98 cm인 기관의 등장이다. 이 기관이 최근 주로 대형 또는 초대형 컨테이너선용 주기관으로 사용되는 K98MC/MC-C이다.

1960년 최초 운항에 들어간 컨테이너 운반선의 크기는 610 teu이었다. 그 후 계속적으로 컨테이너 운반선의 크기는 증가되어왔다. 특히 지난 5년은 컨테이너 운반선 크기에 따른 경제적 이점으로 대폭적으로 크기가 증가되어 8,000 teu 컨테이너 운반선까지 등장하였고, 최근에는 10,000, 12,000 18,000 teu 컨테이너 운반선까지 검토되고 있다. 이에 따라 MAN B&W는 18 실린더인 최대 출력이 140,040 마력인 18K98MC(또는 ME) 기관도 시장에 내놓았다.^[6]

또 하나의 큰 변화는 ME/ME-C의 도입인데, 이 기관은 기존 기관과는 달리 연료분사시기, 배기밸브 개폐시기와 실린더주유시점이 모두 전자적으로 제어되는 전자제어 기관이다. 이 신형 기관에 대해서는 뒤에서 보다 상세히 언급한다.

5. MAN B&W 육상발전용 저속 2행정 디젤기관의 기종과 출력

MAN B&W는 선박용 저속 2행정 디젤기관과 더불어 육상발전용 저속 2행정 디젤기관도 1985년 초부터 MC-S(S: Stationary를 의미)를 도입하였고, 2002년 8월 현재 7 기종이 시장에 나와 있

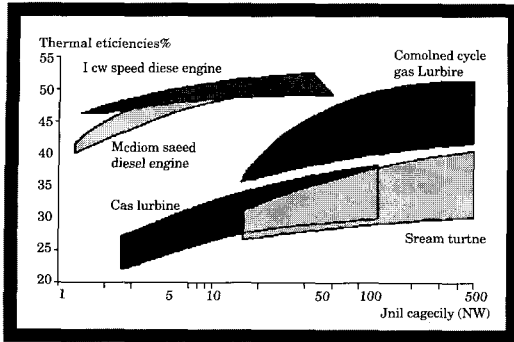


그림 6 발전용 기관 열효율 비교

다. 이 MC-S는 실린더지름이 35 cm인 L35MC-S 부터 실린더지름이 98 cm인 K98MC-S 포함하여 7 기종, 출력은 최소 7L35MC-S 3,605 kW부터 최대 14K98MC-S 79,520 kW이다.^[6]

이 MC-S 기관은 다른 발전용 중속 또는 고속 디젤기관, 가스터빈 그리고 스팀터빈 등에 비하여 열효율이 우수하다.^[7]

현대중공업은 선박용 시장뿐만 아니라 육상발전용 시장에도 적극적으로 대처하고 있으며, 1999년에 단일 발전소로는 세계 최대인 200 MW 용량의 육상 디젤발전소(GMR, 12K90MC-S×4대)를 인도의 첸나이(구, 마드라스)에 턴키로 성공적으로 건설, 인도하였을 뿐만 아니라, 중동의 이스라엘(1995년, 9K80MC-S×2대)과 아프리카의 모리셔서(2000년, 9K80MC-S×2대) 및 멕시코(2001년, 12K90MC-S×1대)에도 저속 2행정 디젤기관을 이용한 발전소를 완성하였다.

한국의 제주도에도 저속 2행정 디젤발전소(7K60MC-S×4대)가 제주도의 일부 전력 소요를 담당하고 있다. 향후 제주도가 국제자유도시로서 본격적으로 발돋움하려면 필수적으로 전력이 추가로 필요할 것이며, 이에 따라 추가로 발전소를 건설하여야 할 것으로 여겨진다. 이 때 열효율이 우수한 저속 2행정 디젤발전소가 하나의 좋은 대안이 될 수 있다. 미국의 괌에도 MC-S를 이용한 발전소를 1990년대 중반부터 운영하고 있을 뿐만 아니라, 최근에도 추가로 건설하여 운전에 들어갔다. 이 괌의 발전소는 'Water emulsified fuel' 을 사용하여 NOx 규제를 만족시키고 있다. 또한 SCR 탈질설비를 사용하면 NOx를 보다 획기적으

MAN B&W MC/MC-S 기종과 출력(2002년)

	실린더지름 (cm)	실린더수	출력 (kW/cyl)	최대출력 (kW/기관)
K98MC-S	98	9~14	5,680	79,520
K90MC-S	90	7~12	4,290	51,480
K80MC-S	80	7~12	3,570	42,840
K60MC-S	60	7~14	1,980	27,720
K50MC-S	50	7~14	1,530	18,360
K42MC-S	42	7~12	1,070	12,840
K35MC-S	35	7~12	645	7,740

로 줄일 수 있다. 현대중공업은 이미 현재의 제주도의 디젤발전소에 4기의 SCR을 설치(2000년 6월 완료)하여 NOx를 약 70%까지 줄였다.

2004년에는 세계 최대급의 육상 디젤발전소(아프리카 수단, 용량 257 MW, 7K80MC-S×1대와 12K80MC-S×6대)가 운전을 시작할 예정이며,^[8] 현재 세계 최대인 인도 GMR 디젤발전소(200 MW)보다 큰 디젤발전소가 된다.

6. MAN B&W R&D 도구를 이용한 저속 2행정 디젤기관 연구와 개발 동향

MAN B&W는 상용과 독자적으로 개발한 R&D 프로그램을 이용하여 연구, 개발 및 설계에 적극적으로 활용하고 있는데, 여기에 최근의 대표적인 사례 몇 가지를 소개한다.^[9]

6.1 Oros형 피스톤/연소실의 개발과 최적화

전통적인 MC/MC-C의 피스톤은 가운데가 오목한 Bowl형이다. 이 피스톤은 온도가 높아, 일부 대구경 기관의 경우, 고온에 견디도록 특수강인 인코넬을 피스톤 상면에 코팅을 해왔다. Oros형 피스톤은 기존의 것과는 달리 가운데가 작은 산 형상을 하고 있다. 이 피스톤을 도입함으로써 연료분사밸브와 피스톤과의 거리가 증가되어 피스톤의 온도가 낮아졌다. 이 피스톤은 고온에 의한 표면의 탈락을 줄일 수 있고, 인코넬 코팅을 필요로 하지 않기 때문에 제작비도 줄어든다.

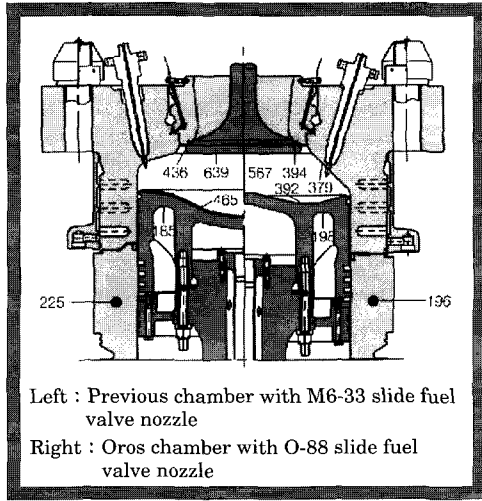


그림 7. 연소실 온도(K90MC, 부하 100%)

6.2 슬라이드형 연료분사밸브노즐 개발

MC/MC-C의 전통적인 연료분사노즐은 노즐이 클로징(Closing)되어 정상적인 분사가 완료된 후에도 노즐 색(Sac)에 남아있던 연료가 흘러서 미연소 또는 불완전연소로 인한 문제, 즉 배출가스관, 피스톤과 배출가스보일러 오염, 매연 등의 문제가 있다. 그러나 최근 거의 모든 MC/MC-C에 표준으로 채택되고 있는 슬라이드형 연료분사밸브노즐(Slide-type fuel valve nozzle)은 색(Sac)의 부피

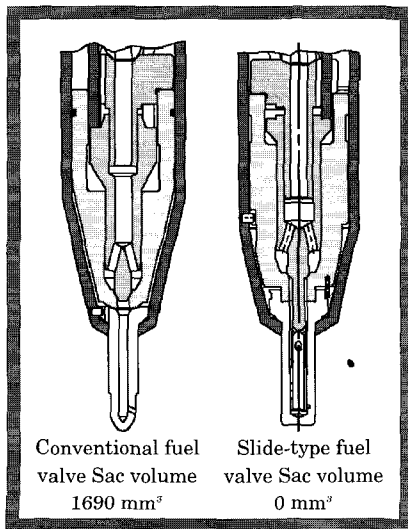


그림 8. 연료분사밸브노즐 색(Sac)비교

를 없애 상기의 문제를 줄일 뿐만 아니라 NOx까지도 줄이는 효과를 가지고 있다.

6.3 신 배기밸브 하우징 개발

배기밸브 하우징의 저온 부식 문제를 해결하기 위한 조치들이 여러 차례 강구되어 왔는데, 이 조치들의 기본은 하우징을 통과하는 냉각수량을 줄이는 것이었다. 그런데 여전히 저온 부식이 일부 기관에서 발생되고 있다.

많은 해석을 토대로 새로운 배기밸브 하우징을 개발하여 연구용 기관인 4T50ME-X에서 2002년 4월부터 시험을 시작하였다.

이 신형 설계가 도입된다면 배기밸브 하우징의 저온부식을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 설계의 단순화로 제조비도 절감할 수 있게 된다.

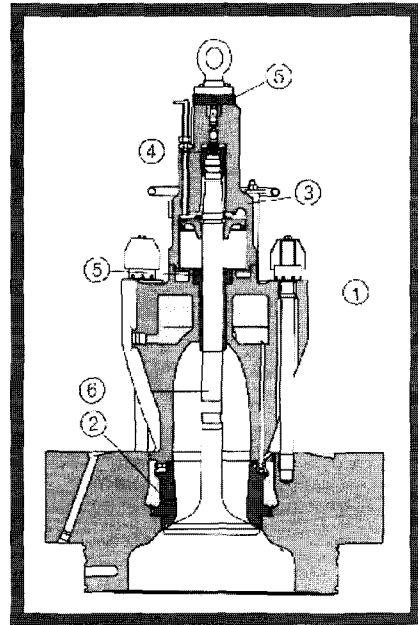


그림 9. 신 배기밸브 하우징 단면도

6.4 용접형 실린더 프레임 개발

S26MC를 제외하고 MC/MC-C의 실린더 프레임은 주조품이다.

최근 연구결과, 이 실린더 프레임을 연소공기리시버와 함께 일체형의 용접품으로 제작할 경우, 재

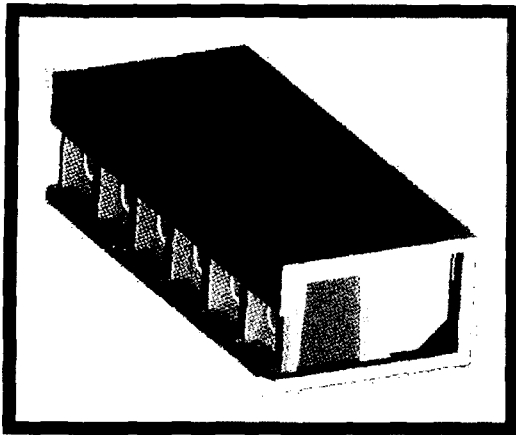


圖 11. 프레임과 연소공기비시버 일체형용접 설계

조비 절약과 무게 감소, 등등 이점을 얻을 수 있는 것으로 밝혀졌다. 특히 대 구경의 기관에서 최고의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대가 되고, 이 기관용 용접형 실린더 프레임 설계에 집중하고 있다.

6.5 실린더 마모 관련 실린더라이너 온도 연구

실리콘형 비파괴 레플리카(Silicone type non-destructive replica)를 이용하여 마모 관련 연구를 수행하여 좋은 결과를 얻었다. 향후에도 이 방법을 실린더라이너, 피스톤링 그리고 피스톤링 홈의 마모 관련 연구에 활용할 계획이다.

이 레플리카 연구를 통하여 1번 피스톤링 지점의 실린더라이너 내부 표면 온도에 대한 기준을 마련하였다.

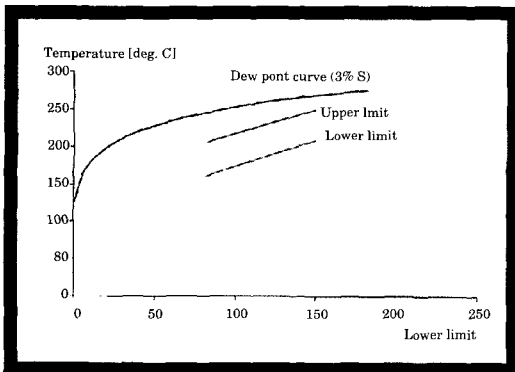


圖 12. 실린더라이너 내부 표면 온도 설계 곡선

6.6 주 베어링의 윤활 연구

독자적으로 개발한 프로그램을 이용하여 최근 주 베어링(Main bearing)의 설계를 개선하였다.

MC/MC-C용 주 베어링은 베어링의 백메탈(Back metal)이 두꺼운 'Thick shell bearing' 과 얇은 'Thin shell bearing' 2가지가 있다. 'Thick shell bearing'에는 'Flex-edge' 개념을 도입하였고, 'Thin shell bearing'에는 'Deformed edge'를 도입하여 베어링 윤활을 향상시켰다. 최근 이 개선 설계 개념을 모든 MC/MC-C에 표준으로 채택하였다.

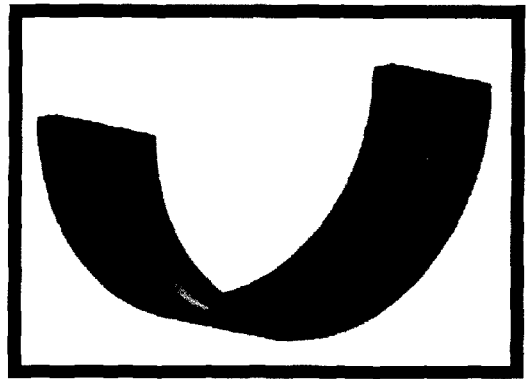


圖 13. Thick shell main bearing with flex-edge

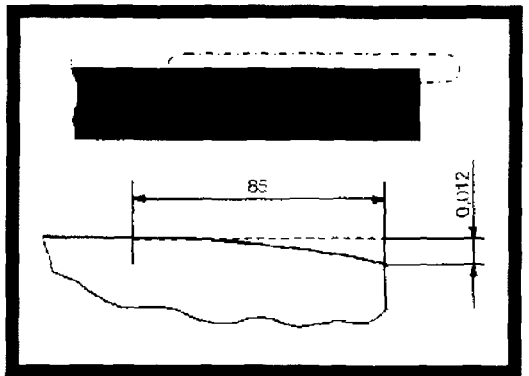


圖 14. Thin shell main bearing의 'Deformed edge'

6.7 가이드 슈 베어링 연구

독자적으로 개발한 프로그램을 이용하여 가이드 슈 베어링(Guide shoe bearing) 설계에 이용하고 있으며, 다음과 같은 계산을 할 수 있다.

- ⊙ Hydrodynamic calculation
(flexibility excluded)
- ⊙ Elasto-Hydro-Dynamic calculation
(flexibility included)
- ⊙ Oil grooves
- ⊙ Geometrical imperfections

6.8 연료분사시스템과 배기시스템 시뮬레이션

연료분사와 배기 시스템의 유압/기계적 시뮬레이션을 위해서 독자적으로 개발한 프로그램을 사용하고 있다. 이 프로그램을 이용하여 ME/ME-C 기관용 배기밸브 시스템개발에도 활용하고 있다.

그림 14와 15는 연구용 기관 4T50ME-X 배기밸브 액츄에이터 리프트와 압력을 계측한 결과와 시뮬레이션 결과를 보여 주고 있는데 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

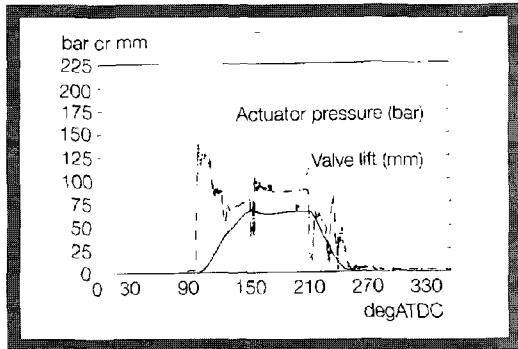


그림 14. 배기밸브 액츄에이터 리프트와 압력 계측결과

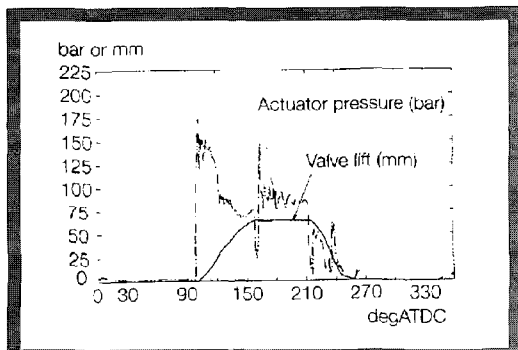


그림 15. 배기밸브 액츄에이터 리프트와 압력시뮬레이션 결과

7. 전자제어 저속 2행정 디젤기관

7.1 전자제어 기관 ME/ME-C 등장

20년 전인 1982년 10월에 저속 2행정 디젤기관인 MC 기관 시리즈를 출시한 후 계속적으로 시장의 요구에 맞추어 발전시켜 왔고, 최근에는 전자제어 저속 2행정 디젤기관인 ME/ME-C 기관을 시장에 출시하였다. 이 신형 기관은 기존의 MC/MC-C를 기본으로 하고 있지만, 기존의 MC/MC-C는 연료분사시기, 배기밸브개폐시기와 실린더주유시점이 캠축에 의하여 제어되는 반면에 이 신형 기관에서는 이러한 것들이 전자제어 된다.

MC/MC-C 기관에서 M다음의 C는 캠축제어(Camshaft controlled)를 의미하고 있고, ME/ME-C 기관의 E는 전자제어(Electronically controlled)를 의미한다. 이 ME/ME-C는 2001년 초에 공식적으로 처음 기관 프로그램에 도입되었고, 처음 도입 당시에는 13 기종(실린더 지름이 60 cm인 L60ME-C부터 실린더 지름이 98 cm인 K98ME-C까지 총 13 기종)이었으나 2002년 5월에 실린더 지름이 50 cm인 S50ME-C가 추가되어 14 기종이 되었다.

이 신형 기관은 연료분사시기, 배기밸브개폐시기 및 실린더주유시점의 전자제어를 통하여 기존의 기관에 비하여 표 7에서 보는 것과 같은 여러 가지 이점이 있다.^[9]

ME/ME-C는 기존 MC/MC-C를 기본으로 하고 있기 때문에 출력, 실린더지름, 피스톤행정, 등등 주요 항목에서 동일하다. 그러나 연료분사시기, 배기밸브개폐시기와 실린더주유시점을 전자제어 하기 위하여 추가적인 전자/유압 제어 시스템이 필요하다. 이러한 전자/유압 시스템의 채택으로 다음과 같은 부품들이 불필요하다.^[9]

표 7. ME/ME-C 기관 주요 이점

■ 연료 소모량 저감(부분부하에서)
■ 실린더윤활유 소모량 저감
■ 운전 안전성과 신뢰성 향상
■ 운전 모드의 선택 가능 (저 Emission 운전)
■ 매연 저감 (저부하에서)

- ⊙ Chain drive for camshaft
- ⊙ Camshaft with fuel cams and exhaust cams
- ⊙ Fuel pump actuating gear, including roller guides and reversing mechanism
- ⊙ Conventional fuel injection pumps and variable injection timing system
- ⊙ Exhaust valve actuating gear and roller guide
- ⊙ Engine driven starting air distributor
- ⊙ Electronic governor with actuator
- ⊙ Regulating shaft
- ⊙ Engine-side control console
- ⊙ Mechanical cylinder lubricators

한편 전자/유압 시스템은 다음과 같은 부품이나 기능이 필요하게 된다.^[3]

- ⊙ Hydraulic power supply unit
- ⊙ Hydraulic cylinder unit, including:
 - electronically controlled fuel pump, and
 - electronically controlled exhaust valve actuator
- ⊙ Electronically controlled starting air valve
- ⊙ Integrated electronic control of auxiliary blowers
- ⊙ Integrated electronic governor functions
- ⊙ Crankshaft position sensing and tacho system
- ⊙ Electronically controlled Alpha Lubricators
- ⊙ Local operating panel

7.2 전자제어 기관 운전 실적과 수주

1993년부터 연구용 기관 4T50MX에서 1세대 ME 기관 연구를 시작, 그 후 계속적으로 연구를 한 후,^[10] 2000년 11월에 M/T Bow Cecil 선박(선주: 노르웨이의 Odffjell, 최초 건조 년도: 1995년, 주기관: 6L60MC를 전자제어 기관인 6L60ME로 개조)에서 해상 시운전을 성공적으로 마치고 10,000 시간 시험을 본격적으로 시작하였다.^[11]

2002년 5월 현재 7,000 시간 이상 전자제어 운전을 실시하여 성공적인 결과를 얻고 있다.^[12]

이 노르웨이 선주는 M/T Bow Cecil의 성공적인 결과를 바탕으로 신규 발주 선박에 전자제어 기관인 7S50ME-C를 주기관으로 채택하기로 결정하였고, 이 기관은 2003년 3월 MAN B&W(덴마크)에서 육상시운전이 계획되어 있고,^[11] 6S70ME-C도 2003년 6월에 한국에서 육상시운전이 예정되어 있으며,^[12] 그리고 6S60ME-C와 5S80ME-C가 그 뒤를 이을 것으로 예상된다. 그 밖에 여러 전자제어 기관이 고려 또는 상담 중이다.



8. MAN B&W 전자제어 실린더 주유

8.1 전자제어 실린더 윤활유 주유기의 장점

전통적인 실린더 윤활유 주유기는 캠축에 의하여 구동되는 기계식으로 실린더 윤활유 주유시점이 제어되고 있다. 이 기계식 실린더 주유기는 기관제조자가 의도하는 대로 정확히 주유 시점을 맞출 수 없는 단점이 있다. 이 기계식에 비해 최근 개발된 전자제어 Alpha Lubricator는 주유 시점을 정확히 조정할 수 있다.

이 신형 주유기는 주유 시점을 정확히 조정하여 실린더 윤활유의 낭비를 막을 수 있어서 실린더유의 소모량을 줄일 수 있다. 현재까지의 사용 경험으로 기존의 주유기보다 평균적으로 0.1-0.3 g/bhph를 절감할 있다. MAN B&W는 향후에도 계속적으로 실린더 윤활유를 보다 더 줄일 수 있는 가능성을 확인하기 위하여 실 운전 경험을 조사하고 분석해 나갈 계획이다.^[13]

현재 전자제어 Alpha Lubricator는 다수의 선박에 실제로 장착되어 있고, 앞으로도 선주 요구는 더욱 증가할 것으로 여겨진다.

8.2 지능형 전자제어 실린더 주유 시스템

실린더 윤활유 주유량은 연료유의 황함량, 실린더라이너 마모, 그리고 윤활유 알칼리가(BN)와 밀접한 관계가 있다. 최근 MAN B&W는 이에 관한 연구를 여러 선박에서 실시하고 있다.^[14] 이 연구 결과가 나와 실제 선박에 적용한다면 실린더 윤활유 소모량을 더욱 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

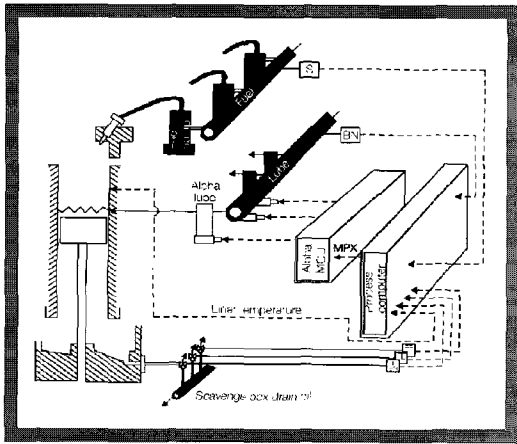


그림 16. 지능형 실린더 윤활 시스템 (MAN B&W)

그림 16은 저속 2행정 디젤기관의 지능형 실린더 윤활 시스템을 보여 준다. 이 시스템은 연료의 황함량에 따라 실린더 윤활유 주유량과 BN 값을 전자제어함으로써 윤활유 소모량을 최적화하여 선박의 운항 경비를 줄일 수 있다.

8.3 전자제어 실린더 주유기와 전자제어 기관

전자제어 ME/ME-C용 Alpha 'Lubricator' 시스템은 MC/MC-C용과는 약간 상이하다. 전자제어 기관은 이미 200 bar의 유압공급 시스템을 가지고 있기 때문에 이 시스템을 활용한 약간의 수정이 필요하며, 특히 별도의 축압기(Accumulator)도 불필요하다.^[8]

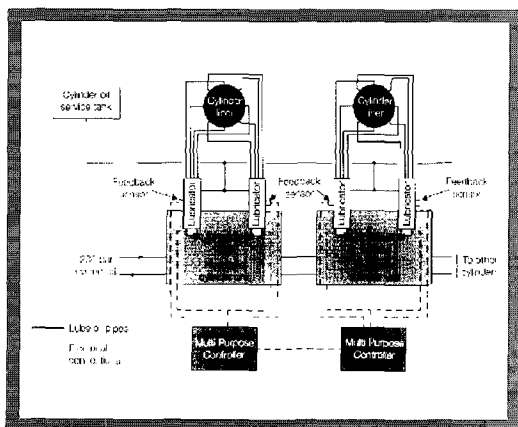


그림 17. 전자제어 기관 실린더 윤활 (Alpha Lubricator)

9. MAN B&W 저속 2행정 디젤기관용 환경친화형 기술 연구와 개발 동향

9.1 서론

연료분사밸브 Atomizer 변경을 통하여 저 NOx 연소를 구현, 선박 디젤기관의 IMO NOx 규제를 만족시키고 있다. 이러한 저 NOx Atomizer를 'Low-NOx Atomizer' 라고 부르고 있으며, 이 Atomizer는 2000년을 전후하여 납품되는 모든 MC/MC-C에 표준으로 사용되고 있다. 앞의 6.2에서도 언급한 바와 같이 최근에는 이러한 Atomizer(또는 Nozzle)뿐만 아니라 연료분사밸브 자체에 대한 연구/개발을 통하여 Slide형 연료분사밸브를 거의 대부분의 MC/MC-C와 모든 ME/ME-C 기관에 표준으로 채택하고 있다. MAN B&W의 모든 저속 2행정 디젤기관은 이미 IMO의 NOx 규제를 만족하고 있으나, 현재 또는 미래의 육상과 선박의 규제에 대비하여 다양한 연구를 실시하고 있다. 여기에서는 연구용 기관인 4T50ME-X에서 광범위하게 실시한 연구에서 얻은 결과에 관하여 간략히 소개한다.^[9]

9.2 환경친화형 기술 연구와 개발 I

유해 배기배출물 저감 관련 Primary methods 연구 결과를 간단히 소개한다.

- ◎ Load/speed variations
- ◎ Performance parameter variations
- ◎ Rate of injection variations

그밖에 여러 가지 연료분사노즐을 이용하여 수행하였다.

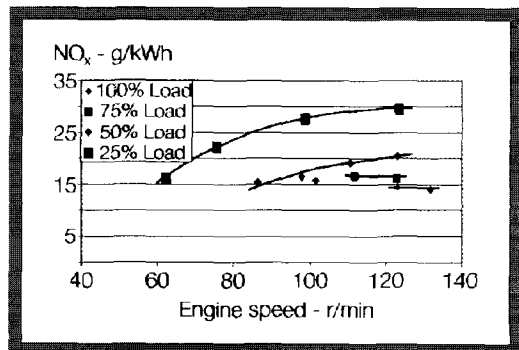


그림 18. 기관 회전수/부하와 NOx

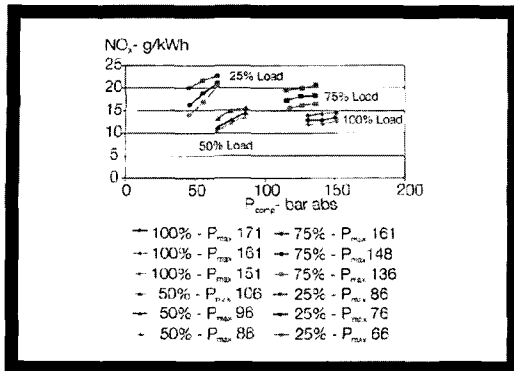


그림 19. Pmax/Pcomp와 NOx

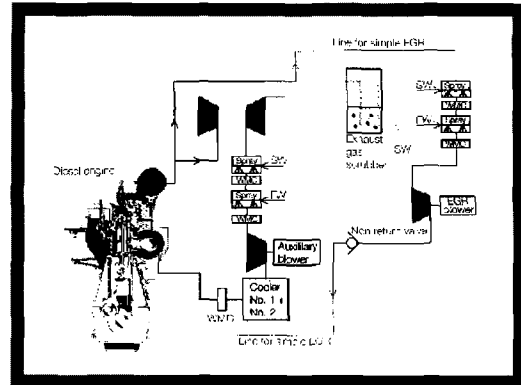


그림 21. EGR/HAM 구성도 (4T50ME-X 기관)

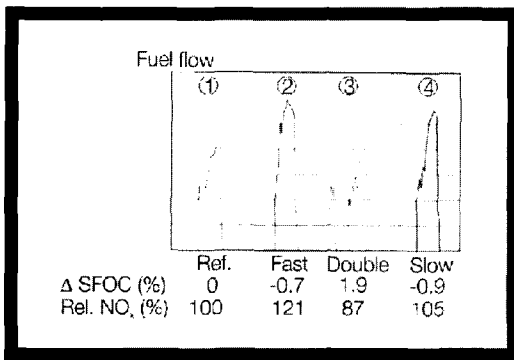


그림 20. 분사형태와 연료소모량 / NOx

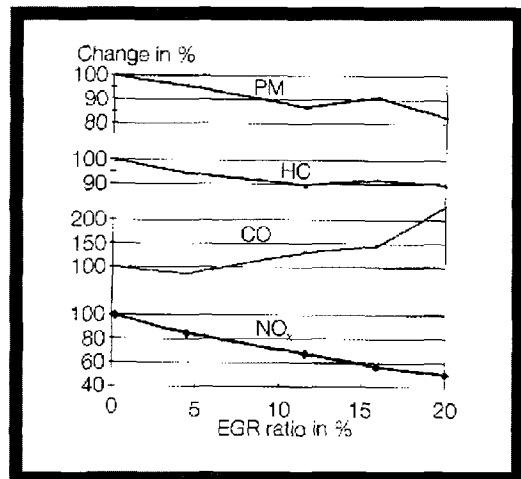


그림 22. EGR 비율과 유해 배기배출물

9.3 환경친화형 기술 연구와 개발 II

상기와 같은 유해 배기배출물 저감 연구뿐만 아니라 다음과 같은 연구를 이미 실시하거나 실시할 계획이다.

- ⊙ Water emulsified fuel
- ⊙ Water injection
- ⊙ EGR (Exhaust Gas Recirculation)
- ⊙ HAM (Humid Air Motor)
- ⊙ SCR (Selective Catalytic Reduction)

NOx를 25-50% 줄이는 유효한 기술로 이미 'Water emulsified fuel' 시스템을 개발, 육상디젤발전소에 상용화하였다. 여기에 추가하여 가까운 장래에 물을 연소실에 분사하는 'Water injection'에 관한 연구를 4T50ME-X 기관에서 실시할 계획이다.

EGR과 HAM은 이미 일부 디젤기관에서 실용화되었지만, 저속 2행정 디젤기관에서는 아직 실

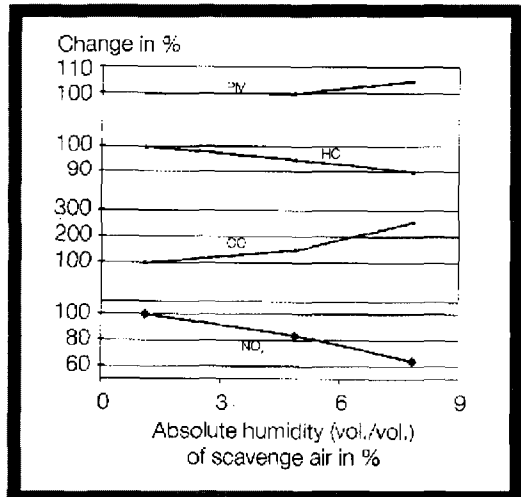


그림 23. HAM의 습기량과 유해 배기배출물

표8. SCR 설치 (MAN B&W 저속 2행정 기관)

순서	기종	플랜트	NOx 저감율
1	6S50MC	선박	93-95%
2	6S50MC	선박	93-95%
3	6S50MC	선박	93-95%
4	6S50MC	선박	93-95%
5	12K80MC-GI-S	육상	최고 98%
6	4L35MC-S	육상	최소 93%
7	7K60MC-S	육상	최소 93%
8	7K60MC-S	육상	최소 93%
9	7K60MC-S	육상	최소 65%
10	7K60MC-S	육상	최소 65%
11	7K60MC-S	육상	최소 65%
12	7K60MC-S	육상	최소 65%
13	6S35MC	선박	최소 93%

용화되지 않았다. 그림 21과 같은 시스템을 4T50ME-X 기관에 구성하여 연구를 실시하였으며, 그 연구 결과의 일부를 그림 22와 23에 그래프로 표시하였다.

SCR 시스템을 이용하여 NOx를 최고 98%까지 저감할 수 있다. 이 SCR은 시스템은 1970년대에 개발되어 육상에서 실용화되어 1989년에 처음으로 선박에까지 사용되기 시작하였다.¹⁴⁾ 이 선박은 현대중공업에서 건조한 선박으로 현대중공업, MAN B&W(덴마크) 그리고 Haldor Topso A/S(덴마크) 3사가 유기적인 협조로 성공적으로 설치 완료하였으며, 그 후 1991년까지 3척의 선박에 추가로 SCR 시스템을 설치하였다.

지난 2001년에 6S35MC 기관에 SCR을 설치한 것을 비롯하여 육상과 선박용 저속 2행정기관에 다수의 실적을 가지고 있다. 향후에는 NOx 규제 로 더욱 SCR 수요는 늘어날 것으로 예상된다.

9.4 선박용 디젤기관 대기오염물질 규제

현재 선박용 디젤기관 대기오염물질 규제는 다음과 같은 기구 또는 국가에서 실시하거나 실시를 계획하고 있다.

- ◎ IMO (국제해사기구) (NOx/SOx)
- ◎ EU (European Union) (NOx/SOx)
- ◎ Sweden (NOx/SOx)
- ◎ Norway (NOx/SOx)

10. 현대중공업 저속 2행정 디젤 기관 생산

◎ USA (NOx, THC, CO & PM)

10.1 현대중공업 저속 2행정 디젤기관 1 & 2호기

1975년 6월과 1976년 9월에 각각 WARTSILA(계약사: Sulzer Brothers)와 MAN B&W(계약 당시: Bermeister & Wain)와 기술제휴 계약을 체결하였다.

그 후 1호기와 2호기의 공식시운전을 1979년 6월과 11월에 성공적으로 완료하여, 오늘날 한국이 세계 1위의 선박용 저속 2행정 디젤기관 생산국이 되는 초석을 마련하였다.

10.2 현대중공업 저속 2행정 디젤기관 생산 실적

1979년에 저속 2행정 기관 2대를 성공적으로 생

표9. 현대중공업 저속 2행정 디젤기관 (1 & 2호기)

	현대-B&W 7L55GF	현대-SULZER 5RND76M
기술제휴선	B&W	SULZER
정격출력(마력)	9,300	12,000
정격회전수(rpm)	150	122
무게(톤)	227	376
선박건조	현대중공업	현대중공업
선주	신한해운	현대상선
공장시운전 일자	1979. 6. 26	1979. 11. 28
MEP (kg/cm ²)	12.3	12.6
연료소모율 (g/bhph)	149	151

표10. 현대중공업 저속 2행정 디젤기관 생산

년도 (공식시운전)	대수	마력 (PS)	비고
1979	2	21,380	최초 생산
1984	81	1,228,650	100만 마력 달성
1995	89	2,272,845	200만 마력 달성
2000	120	4,281,870	400만 마력 달성
2001	146	5,003,317	500만 마력 달성
2002	134	4,322,527	계획

(1) 총 누적생산 36,544,362 마력 (1979-2002. 7. 31)
 (2) MAN B&W 저속 2행정 28,570,347 마력 (1984-2002. 7. 31)

산한 후, 1984년에 81대(1,228,650 마력)를 생산하여 처음으로 한해 1,000,000 마력을 초과 달성하는 기록을 세웠으며, 그로부터 11년 후, 1995년 89대(2,272,845 마력), 2000년에 120대(4,281,870 마력), 2001년에는 146대(5,003,317 마력) 생산으로 계속적으로 기록을 갱신하여 왔다.

2002년 7월 31일 현재, 공식시운전 기준 누적 생산 1,511대(36,544,362 마력)를 생산하였고, 금년 말에는 누적 생산이 1,573대(38,329,242 마력)를 달성할 것으로 예상된다. 그리고 2003년 상반기 중에 40,000,000 마력을 달성할 것으로 여겨진다.

MAN B&W 저속 2행정 디젤기관을 보면, 현대중공업은 1984년 4월에 MC 기관 1호기인 6L60MC를 성공적으로 시운전 완료하였다. 그 후 지속적으로 생산을 증가시켜 왔으며, 2002년 7월 31일 현재 공식시운전 기준 총 1,210대(28,570,347 마력)를 생산하였다. 이러한 생산 실적은 세계적으로 최단 시간에 달성한 기록이다.

10.3 현대중공업 MAN B&W 초대형 저속 2행정 기관 K98MC/MC-C 실적

현대중공업은 세계 최초로 1999년에 실린더지름 98 cm, 7 실린더인 7K98MC를 성공적으로 시운전을 완료함으로써 초대형 저속 2행정 기관 생산에 새로운 전기를 마련하였으며, 2000년에는 그 당시 세계 최대 디젤기관인 12K98MC-C(93,120 마력)를 생산하였고, 2001년 말 현재 42대(3,308,960 마력)를 생산하였다. 그리고 현대중공

업은 이 K98MC/K98MC-C 기관에 있어서 생산과 수주 모두 세계 최대의 실적을 갖고 있다.

11.1 제조업체간 협력 체제의 구축

앞에서도 언급한 바와 같이 오늘날 한국은 세계 제1위의 저속 2행정 디젤기관 생산국의 위치를 점하고 있다. 일본은 경쟁에서 살아남기 위해서 끊임 없이 노력을 하고 있으며, 최근 중국도 급속도로 선박용 디젤기관 생산 설비를 증가시키고 있다. 이러한 상황에서 향후에도 세계 제1위의 위치를 계속 유지하기 위해서는 지금까지 노력해왔던 것보다 더욱 노력하여야 할 것으로 생각한다.

이제는 무엇보다도 제조업체간에 연구/개발, 설계, 생산, A/S, 구매, 등등 다방면에서 상호 협력하여 기술, 원가, 품질, 제조기간, A/S, 등등 모든 면에서 고객만족을 더욱 지향하여 나가야 할 것이다.

그런데 이러한 모든 분야에서 동시에 협력 체제를 구축한다는 쉬운 것은 아니라고 여겨지지만, 손쉬운 분야부터 차근차근 실시해 나가면, 결코 불가능한 것은 아닐 것이다.

11.2 산/학/연/정 협력 체제의 구축

오늘날 업체와 학교, 연구소간에 연구/개발에서 부분적으로 협력이 되고 있지만, 향후에는 업계, 학교, 연구소와 정부가 보다 장기적이고 깊이 있는 협력 체제를 구축하여야 할 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

- [1] Niels Orskov Christensen "Aspects of the shipbuilding market at present and in the future"
- [2] 일본박용기관학회지 Vol.37 No.7 2002
- [3] MAN B&W's Meeting of Licensees (Copenhagen, May 2002)
- [4] MAN B&W mini catalogue "The M&G programme", October 1982
- [5] MAN B&W mini catalogue "Marine engine programme", May 2002
- [6] MAN B&W mini catalogue "Two-stroke low speed MC-S diesel engines stationary application", August 2001

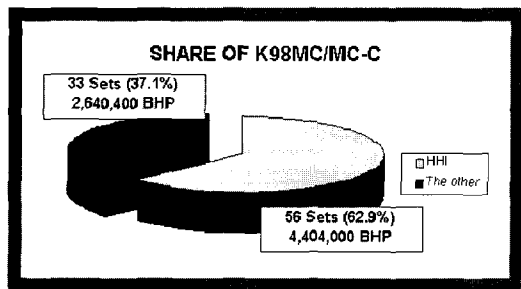


그림 24. 현대중공업 K98MC/MC-C 기관 수주

11. 한국 박용 디젤기관 제조업체의 과제

- [7] MAN B&W "Low speed engines in stationary diesel power plants"
- [8] MAN B&W News "World largest diesel power plant for Africa's largest country", 11 December 2001
- [9] MAN B&W "The electronically controlled engine", January 2002
- [10] MAN B&W "The intelligent engine: Development status and prospects", 2000.11
- [11] MAN B&W News "Odfjell opts for electronically-controlled engine after Bow Cecil success", 11 February 2002
- [12] MAN B&W News "New order for MAN B&W diesel's ME-engines", 6 May 2002
- [13] MAN B&W Thomas S. Knudsen "State of the art of electronically controlled engines", MAN B&W Diesel Symposium (Tokyo, Japan, March 18, 2002).
- [14] MAN B&W Kjeld Aabo and Henrik Rosted Jensen "Optimization of cylinder condition by intelligent lubrication", The 24th Motor Ship Marine Propulsion Conference, (Copenhagen, April 2002).