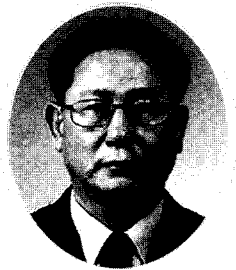
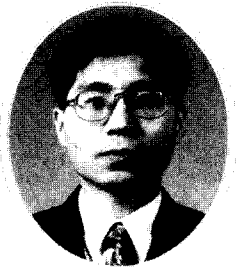


선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로



권 오 신

1950년 10월 1일생
1973년 2월 성균관대학교 기계 졸업
현 재: 현대중공업 엔진기계사업본부 디젤 기관설계/디젤기관개발/터빈기술 담당 이사
관심분야: 엔진설계, 연구, 개발



손 진 록

1959년 7월 22일생
1985년 2월 부산대학교 기계 졸업
현 재: 현대중공업 엔진기계사업본부 엔진 개발부 연소기술담당 차장
관심분야: 선박용 디젤기관 Exhaust emissions/fuel oils/lubricating oils

1. 머리말

오늘날 한국의 조선산업과 선박용 디젤기관산업은 선박 건조량과 디젤기관 생산량 면에서 일본과 함께 세계의 투톱(two-top)을 차지하고 있다.

선박을 용도에 따라 상선, 어선, 작업선, 특수선, 합정 등으로 분류할 수 있는데, 이를 보다 세분화하면 종류가 매우 다양할 뿐만 아니라 선박의 크기와 속도도 매우 다양하며, 선박에는 통상 주기관(추진용 기관)과 보조기관(발전용 기관과 기타 용도의 기관)이 있다. 그리고 최근에는 대기환경의 보전을 위하여 선박에도 환경친화형 기관이 점점 요구되고 있다.

이에 따라 오늘날 선박에 사용되는 기관(주기관과 보조기관)은 크게 디젤기관, 스팀터빈, 가스터빈, 불꽃점화기관, 원자력기관으로 분류할 수 있으며, 이러한 기관의 출력과 회전수를 고려하면 그 종류는 매우 다양하며, 그 기관에 사용되는 연료도 점점 다양해지고 있다.

오늘날 대형 선박에 사용되는 대부분의 주기관은 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관이므로 이 디젤기관을 중심으로 어떻게 변천되어 왔는지를 살펴보고 향후 어떻게 변천되어 갈 것인가를 개략적으로 서술한다. 또한 중/소형 선박의 주기관으로는 중속 4행정 디젤기관이 대부분 사용되고 있고, 보조기관으로도 대/중/소형 선박에 대부분 사용되므로 이 기관에 대해서도 간략히 언급한다. 먼저 이해를 돕기 위하여 선박의 종류와 선박용 주기관의 변천을 먼저 간략히 언급한다.

2. 선박의 종류

선박은 추진방식, 용도, 선체지지방식, 추진기관의 종류 등에 따라 여러 가지로 분류될 수 있다. 여기서는 용도와 추진기관의 종류에 따라 간략하게 분류를 하면 다음과 같다.

2.1 용도에 따른 분류

배를 용도에 따라 분류할 때, 여러 가지를 생각할 수 있으나, 일례를 들면 다음 표 1과 같이 분류할 수 있다.

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

표 1 용도에 따른 선박 종류

상선 (商船)	여객선(旅客船): 순객선(純客船), 화객선(貨客船), 자동차탑재객선, 철도연락선(鐵道連絡船) 등
	일반화물선(一般貨物船): 정기선(定期船)과 부정기선 등
	규격화물운반선: 컨테이너선, 바지(barge)탑재선 등
	벌크(bulk) 전용선(專用船): 벌크화물선, 광석선(鑛石船), 기타
	겸용선(兼用船): 광석겸유조선, 광석/벌크겸유조선 등
	특수화물선: 목재운반선, 칩운반선, 중량물운반선(重量物運搬船), 냉동화물선, 자동차운반선, 도선(渡船), 시멘트운반선, 기타
	유조선(油槽船): 원유운반선, 석유제품운반선 등
	특수탱크선(特殊탱크船): 액화천연가스운반선(LNG선), 액화석유가스운반선(LPG선), 액화이산화탄소운반선, 기타
어선 (漁船)	어선: 트롤어선, 포경선(捕鯨船), 건착망어선(巾着網漁船), 기선저인망어선(機船底引網漁船), 권망어선(卷網漁船), 유자망어선, 일본조어선(一本釣漁船), 기타
	모선(母船): 포경모선, 어업모선, 어업공선(漁業工船), 기타
	어획물운반선
	관공청선(官公廳船): 어업지도선, 어업시험선, 어업조사선, 어업연습선
작업선 (作業船)	예인선(曳引船), 압선(押船)
	준설선(浚渫船): 드래그석선준설선, 펌프준설선, 버킷준설선, 클립준설선, 디퍼준설선, 기타
	기중기선(起重機船)
	보급선(補給船)
	해저전선부설선(海底電線敷設船)
	쇄빙선(碎氷船)
	석유시추선(石油試錐船)
	부주선(浮舟船)
	기타: 쇄암선(碎岩船), 항타선(抗打船), 유회수선(油回收船), 해면청소선, 기타해양구조물선 등
특수선 (特殊船)	조사선
	기상관측선
	항해연습선
	순시선
	기타 (보급선, 기타)
함정 (艦艇)	구축함, 호위함, 초계함, 경비정(근해순시선, 원해순시선 등), 고속공격정, 군수지원함, 경비·구난함, 상륙지원함, 잠수함, 항공모함, 기타

2.2 주기관(主機關)의 종류에 따른 분류

오늘날 선박에 주로 사용되고 있는 주기관은 디젤기관(diesel engine)이며, 가스터빈(gas turbine)과 스팀터빈(steam turbine)이 일부 선박에서 사용되며, 그 밖에 원자력이나 기타 기관이 사용되고 있다. 최근 지난

2000년 1월 세계 최초로 순수한 가스기관(spark-ignition gas engine)을 주기관으로 채택한 여객선(노르웨이의 ferry인 "GLUTRA" 호)이 인도되었고,^[11] 그 밖에 연료전지, 바람, 태양력 등을 이용한 선박의 추진도 연구되고 있다.

2.2.1 디젤기관선(diesel engine 船)

디젤기관은 오늘날 선박용 주기관으로 가장 많이 사용되고 있으며, 1950년대까지는 스팀터빈을 주기관으로 많이 사용하였기 때문에 이 스팀터빈선(SS 또는 S/S)에 대비되는 표시로 디젤기관을 탑재한 배의 이름 앞에 MS, M/S(motor ship), MV 또는 M/V(motor vessel)라는 글자를 붙이는 경우도 있다. 현재 일반 상선의 주기관으로 널리 사용되고 있는 디젤기관은 주로 회전수가 70~250 rpm인 저속기관(低速機關, low-speed engine)과 250~1,000 rpm인 중속기관(中速機關, medium-speed engine)이며, 일부 소형 선박에서 회전수가 1000 rpm을 초과하는 고속기관이 사용되고 있다. 저속기관은 오늘날 일반 상선에 가장 널리 사용되는 기관이며, 1기당 최고 140,040 마력(PS)(MAN B&W의 기통수가 18인 18K98MC)까지 낼 수 있다. 현재 실제 제작되어 사용되고 있는 선박용 디젤기관의 1기당 최대 출력은 93,360 마력이다. 이 기관은 현대중공업이 지난 2000년에 세계 최초로 제작 납품한 HYUNDAI-MAN B&W 12K98MC(기통수: 12, 구경: 980 mm, 행정: 2,660 mm)이다. 중속기관은 저속기관에 비해 중량과 용적이 작고, 또한 최근의 것은 연료 소비율이 낮아지고 있어서 여객선(ferry/cruise), 중/소형고속화물선 등 용적이 특히 중요시되는 선박에 주로 탑재되고 있다.

2.2.2 가스터빈선(gas turbine 船)

가스터빈에는 항공기용의 제트 기관을 선박용으로 전용(轉用)한 형식과 육상의 산업용 가스터빈을 선박용으로 전용한 형식의 것이 있다. 현재 선박 추진용 가스터빈을 시장에 내놓고 있는 업체는 GE(General Electric Company)와 Rollce Royce를 포함하여 약 10개사이다. 일본은 선박용 가스터빈(SMGT, Super Marine Gas Turbine, 2~3 MW)을 개발하기 위한 연구를 1997년부터 실시해오고 있으며,^[2] 이 SMGT의 공개 운전이 2002년 9월 12일에 가와사키중공업(KHI) 아카시공장에서 실시되었다.^{[3][4]}

가스터빈은 작고 가벼울 뿐만 기관의장(機關艙裝)

이 간단하므로 오늘날 여객선과 소형고속화물선에 주로 사용되고 있으며, 이러한 선박에 아직은 중속디젤기관이 보다 많이 주기관으로 채택되고 있으나, 향후 배기규제가 더욱 강화된다면 가스터빈이 보다 많이 채택될 가능성도 있다.

2.2.3 스팀터빈선(steam turbine 船)

선박 주기관으로 스팀터빈이 1894년에 건조된 "TURBINIA"에 최초로 사용된 후 차츰 여러 선박에서 사용되었고,^{[5][6]} 스팀터빈선은 과거 한때는 고출력을 요하는 대형 상선(대형유조선, 고속컨테이너선, 대형여객선, LNG선 등)에서는 디젤기관을 오히려 능가하기도 하였다. 그러나 스팀터빈선은 1973년과 1978년의 두 차례 유류파동(oil crisis)으로 선박용 연료유의 가격이 3배 이상 급등하여 연료소모량에서 상대적으로 불리하였고, 고출력 저속 2행정 디젤기관의 계속적인 등장으로 대형 상선의 주기관의 자리를 디젤기관에 넘겨주고, 오늘날에는 액화천연가스운반선(LNG선)에서만 주기관으로 채택되고 있다. 향후에도 스팀터빈선은 연료소모량에서 상대적으로 불리할 뿐만 아니라 선박용 이중연료디젤기관(dual-fuel diesel engine, 경유나 중유를 점화용 pilot 연료로 사용하고 주(主)연료로는 천연가스를 사용하는 디젤기관)의 등장으로 LNG선(액화천연가스운반선)에서조차도 주기관의 위치를 위협받지 않을까 생각된다. 일례로 최근 프랑스의 한 조선소인 Chantier de l'Atlantique는 프랑스의 에너지회사인 Gaz de France로부터 수주한 LNG선(용량: 74,000 m³, 납기: 2004년 말)에 세계 최초로 이중연료디젤기관(dual-fuel diesel engine)을 이용한 전기 추진시스템을 채택하였다.^[7]

2.2.4 원자력선(船)

원자력기관(nuclear power plant)은 보일러에 해당하는 원자로에서 1차증기를 발생시키고, 그것을 열교환기로 보내서 안전한 2차증기를 얻어, 그것으로 증기터빈(steam turbine)을 구동하는 기관이다. 그러므로 직접추진기관인 터빈 부분은 증기터빈과 크게 다를 바

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

없다. 아직 상선으로서는 실험선들이 몇 척 건조되었을 뿐인데, 과거 1970년대에는 대출력(100,000 PS 이상)을 요하는 선박(초대형 화물선)에 원자력기관이 채택될 것으로 예상도 되었지만, 아직까지 현실화되지 않았다.

2.2.5 전기추진선(船)

디젤기관, 증기터빈 또는 가스터빈 등으로 발전기를 돌려 얻은 전력으로 추진용 전동기를 구동하는 방식을 채용한 배이다. 전동기는 회전수의 제어가 용이하므로, 프로펠러의 회전수를 자주 바꿀 필요가 있는 선박, 저속으로 작업하는 해저전설부설선, 관광 목적의 여객선, 특수 화물선, 등등에 주로 사용되고 있다.

최근에 대기환경보전 노력의 일환으로 연료전지(fuel cell)를 이용하여 전력을 얻는 연구가 진행되고 있어서 2010년 이전에 선박에서도 연료전지를 볼 수 있을 것으로 생각한다.^{[8][9]}

2.2.6 가스기관선(spark-ignition gas engine 船)

최근 대기환경보전에 대한 인식이 고양되어 선박에서도 보다 친환경적인 기관이 요구되고 있다. 2002년 1월, 노르웨이에서 세계 최초로 순수 가스(LNG)를 사용하는 가스기관을 주기관으로 탑재한 roro/passenger ferry 1척이 운항에 들어갔다.^[1] 향후 이 가스기관선은 많은 항구를 가지고 있는 미국과 노르웨이와 같은 국가의 Ferry에 많이 채택될 것으로 여겨진다.^{[10][11]}

2.3.7 기타

옛날에는 증기왕복동기관(蒸氣往復動機關, steam reciprocating engine)이 배의 주기관으로 널리 쓰였으나, 이제는 전혀 볼 수 없게 되었다.

또 소형어선 등에는 소주기관(semi-diesel engine)이 많이 쓰였지만, 현재는 디젤기관으로 바뀌었으며, 거의 볼 수 없게 되었다. 최근에는 풍력과 태양력을 선박에 이용하기 위한 연구가 일부에서 진행되고 있다.^{[11][10]} 이미 오스트레일리아의 시드니에서는 세계 최초로 태양력(solar power)을 이용한 Ferry가 2000년 6월부터 운항 중이다.^[10]

표 2 1963년부터 1974년까지 건조된 선박(2,000 DWT 이상, 함정 제외)^[5]

년도	디젤기관선				스팀터빈선				합 계		
	척수	DWT (톤수)	비율 (%)	DWT/SHIP	척수	DWT (톤수)	비율 (%)	DWT/SHIP	척수	DWT (톤수)	비율 (%)
1974	881	26,022,220	47.5	29,537	131	28,741,200	52.5	219,398	1,012	54,763,420	100
1973	807	22,585,950	48.7	27,988	122	23,805,560	51.3	195,128	929	46,391,510	100
1972	1,030	22,647,720	51.6	21,988	122	21,224,520	48.4	173,971	1,152	43,872,240	100
1971	1,106	20,858,470	53.3	18,859	105	18,257,510	46.7	173,881	1,211	39,115,980	100
1970	1,043	17,634,600	50.2	16,908	102	17,479,400	49.8	171,367	1,145	35,114,000	100
1969	989	16,568,070	55.8	16,752	95	13,134,560	44.2	138,259	1,084	29,702,630	100
1968	964	18,906,130	75.2	19,612	61	6,240,730	24.8	102,307	1,025	25,146,860	100
1967	913	19,992,920	86.7	21,898	37	3,074,870	13.3	83,105	950	23,067,790	100
1966	789	15,647,970	79.8	19,833	62	3,971,460	20.2	64,056	851	19,619,430	100
1965	698	13,512,540	78.3	19,359	77	3,753,430	21.7	48,746	775	17,265,970	100
1964	582	9,438,570	70.6	16,217	75	3,930,340	29.4	52,405	657	13,368,910	100
1963	547	7,910,980	64.6	14,462	108	4,342,190	35.4	40,205	655	12,253,170	100

(주: 상기 비율은 선박의 DWT 기준임.)

2.3 선박용 주기관(主機關) 변천

선박의 추진용 기관인 주기관은 시간의 흐름에 따라 변천되어 왔다. 오늘날 선박용 주기관으로 독보적인 위치를 점하고 있는 디젤기관은 1892년에 Dr. Rudolf Diesel에 의해서 고안되어 1893년에 세계 최초로 1호기 디젤기관이 제작되었으며, 1903년에 세계 최초로 디젤기관 탑재 선박 "Petit Pierre"(프랑스, 운하 바지선)이 출현하였으나,^[12] 20세기 전반까지는 석탄을 사용하는 증기기관(증기왕복동기관 또는 스팀터빈)이 주류를 이루었고, 20세기 후반부터 주기관으로 주로 채택되어 오늘에는 거의 모든 선박에 주기관으로 사용되고 있다.

앞에서도 언급한 바와 같이 한편 20세기 중반에는 스팀터빈이 고출력을 요하는 대형 상선(대형유조선, 고속컨테이너선, 대형여객선, LNG선 등)에 많이 사용되기도 하였으나, 1973년과 1978년의 2차례 유류파동(oil crisis)으로 연료유의 가격이 3배 이상 급등하여 연료소모량에서 상대적으로 불리하였고, 고출력 저속 2행정 디젤기관의 계속적인 등장으로 대형 상선의 주기관의 자리를 저속 2행정 디젤기관에 넘겨주고 오늘날에는 액화천연가스운반선(LNG선)에서만 주기관으로 채택되고 있다. 표 2에서 볼 수 있는 바와 같이 과거 한때는 대형 상선에 스팀터빈이 주기관으로 주류를 이루었다는 것을 알 수 있다.

표 3에서 보는 바와 같이 오늘날에는 거의 모든 선박에 디젤기관이 주기관으로 채택되고 있으며, 선박에 사용되는 주요 주기관은 표 4와 같다.

3. 선박용 디젤기관의 종류

앞에서도 언급한 바와 같이 디젤기관은 선박에서 가장 널리 채택되는 주기관일 뿐만 아니라, 보조기관으로서도 가장 널리 채택되는 기관으로 여러 가지로 분류할 수 있다.

오늘날 선박용 디젤기관은 작동 사이클(Cycle), 기관회전수, 사용연료, 크로스헤드유무, 과급기유무 등에 따라 여러 가지로 분류할 수 있다.

4. 선박용 디젤기관의 탄생과 저속 2행정 디젤기관 주요 약사^{[12][14]}

Dr. Rudolf Diesel은 1892년에 디젤기관에 대한 특허를 출원하여 이듬해인 1893년에 독일 정부로부터 특허를 획득하였으며, 그 해에 그는 독일 MAN사와 실험용 디젤기관 제작에 관한 계약을 체결하였고, 세계 최초로 시험용 디젤기관(1호기: 1기통, 구경 150mm, 행정 400mm, 압축압력 30기압, 크로스헤드형)을 제작하여 1894년에 처음으로 운전을 하였다. 그 후 1895년에 2호기(1호기를 수정/재제작)를 제작/시험을 하여 효율 16.5%를 얻었으며, 그 후 계속하여 시험을 거쳐서 세계 최초로 공식 시험(2호기, 출력 17.8PS, 효율 26.2%, 연료소모율 238g/PSh)을 실시하였다. 그 후 계약을 맺은 다른 회사들도 디젤기관을 제작하기 시작하였다.

오늘날 선박용 저속 2행정 디젤기관의 대표적인 SULZER사(현 WARTSILA)(스위스)는 1893년에, B&W사(현 MAN B&W)(덴마크)는 1898년에 제조권을 획득하였다.

SULZER사는 1897년에 1호기(1기통, 4행정, 20PS, 구경 260mm)를 제작 시작하여 1898년에 시험을 실시하였으며, B&W사는 1903년에 1호기(4행정)를 생산하였다. 한편 일본의 미쯔비시중공업(MHI)은 앞의 2개사보다는 늦은 1917년에 1호기를 생산하였다.

선박용 디젤기관을 보면, 20세기의 시작과 함께 선박에 사용되기 시작하여 오늘날은 선박에서 가장 많이 사용되는 기관이 되었다. 1903년에 세계 최초로 디젤기관(1기통, 25 마력)이 탑재된 선박(프랑스의 운하 바지선)이 등장하였으며, SULZER사는 1905년에 세계 최초로 2행정 디젤기관을 개발하여 1908년에 최초로 2행정 디젤기관(90PS, 4기통, 가역(可逆))을 제작/전시하였고, MAN사는 1907년에 가역(可逆) 4행정 선박용 디젤기관을 납품하였다. 1912년에는 SULZER사 최초의 2행정/크로스헤드형 디젤기관이 탑재된 선박(1969년 폐선 처리)이 운항을 개시하였으며, 한편 1912년에는 B&W사가 제작 납품한 4행정 디젤기관 2대가

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

표 3 선박의 주기관 (선박 2,000 DWT 이상, 1975년~2000년 건조, 함정 제외)¹⁾³⁾

년 도	저속디젤 (마력, PS)(%) (대수)	중/고속디젤 (마력, PS)(%) (대수)	디젤(합계) (%) (출력기준)	스팀터빈 (마력, PS)(%) (대수)	가스터빈 (마력, PS)(%) (대수)	계 (마력, PS)(%) (대수)
1975	7,220,560(49.2)	2,848,370(19.4)	68.6	4,585,000(31.24)	24,600(0.2)	14,678,530(100)
	482	621	-	132	2	1,237
1977	8,040,716(63.7)	2,513,184(19.9)	83.6	1,878,296(14.9)	186,700(1.5)	12,618,896(100)
	588	540	-	51	8	1,187
1979	5,669,798(63.1)	2,764,713(30.8)	93.9	545,200(6.1)	0(0)	8,979,711(100)
	441	564	-	15	0	1,020
1981	7,059,680(71.0)	2,483,760(25.0)	96.0	400,370(4.0)	0(0)	9,943,810(100)
	567	575	-	13	0	1,155
1983	6,832,367(70.2)	2,593,103(26.7)	96.9	301,000(3.1)	0(0)	9,726,470(100)
	594	679	-	10	0	1,283
1985	6,840,669(81.2)	1,548,863(18.4)	99.5	40,000(0.5)	0(0)	8,429,532(100)
	657	350	-	1	0	1,008
1987	4,157,771(74.6)	1,414,290(25.4)	100	0(0)	0(0)	5,572,061(100)
	348	331	-	0	0	679
1990	6,797,530(76.1)	2,133,469(23.9)	100	0(0)	0(0)	8,930,999(100)
	513	371	-	0	0	884
1992	6,599,381(75.5)	2,145,620(24.5)	100	0(0)	0(0)	8,745,002(100)
	438	459	-	0	0	897
1994	7,225,097(78.1)	1,792,021(19.4)	97.5	230,483(2.5)	0(0)	9,247,601(100)
	483	338	-	8	0	829
1996	11,133,200(77.1)	2,746,453(19.0)	96.1	271,354(1.9)	279,528(1.9)	14,441,365(100)
	678	399	-	11	12	1,103
1999	26,479,824(75.4)	8,632,276(24.6)	100	0(0)	0(0)	35,112,100(100)
2000	1,303	1,166	-	0	0	2,469

표 4 오늘날 선박(함정 제외)에 사용되는 주요 주기관

주기관 종류	선박 종류	기관 회전수
디젤기관 (compression-ignition engine)	거의 모든 종류의 선박에 사용	저속, 중속, 고속
가스터빈(gas turbine)	일부 고속선(여객선/화물선)	초고속
스팀터빈(steam turbine)	액화천연가스(LNG) 운반선	초고속

주) 불꽃점화가스기관(spark-ignition gas engine)
: 노르웨이의 Ferry(2002년 1월 인도)에 처음 채택된 기관으로서 향후 노르웨이와 미국과 같은 선진국 항구 도시의 Ferry에 사용이 증가할 것으로 여겨진다. 이 기관은 천연가스를 사용하는데 기존의 액체연료를 사용하는 디젤 기관에 비하여 질소산화물(NOx)과 이산화탄소(CO₂) 및 입자상물질(PM)이 적게 방출되는 환경친화형이다.

특 집 II

표 5 선박용 디젤기관의 종류

분 류	디젤기관 종류	비 고
작동 사이클	2행정 디젤기관	저속과 일부 중/고속 기관
	4행정 디젤기관	거의 대부분의 중/고속 기관
기관회전수	저속 디젤기관	크로스헤드형 기관과 극히 일부가 트렁크피스톤형 기관 정격회전수 250 rpm 이하
	중속 디젤기관	정격회전수 250 ~ 1,000 rpm
	고속 디젤기관	정격회전수 1,000 rpm 초과 (통상 3,500 rpm 이하)
사용 연료	액체연료 디젤기관	거의 대부분의 기관, 연료(선박용 증유 또는 경유)
	이중 연료 디젤기관	주연료(가스연료), 점화용연료(액체연료)
	가스연료 디젤기관	천연가스/바이오가스
크로스헤드 유무	크로스헤드형 디젤기관	거의 대부분의 저속 기관
	트렁크피스톤형 디젤기관	거의 대부분의 중/고속 기관
과급기 유무	과급 디젤기관(1단 또는 2단)	저속과 중속, 거의 대부분의 고속 기관
	무과급 디젤기관	극히 일부분의 고속 기관
공기냉각기 유무	Intercooled 디젤기관	대부분의 기관
	Non-intercooled 디젤기관	일부분의 고속 기관
연료분사 방식	직접분사(DI) 디젤기관	대부분의 기관
	간접분사(IDI) 디젤기관	일부분의 기관

탑재된 대양항해선박 “M/S SELANDIA”호가 인도되어 성공적으로 처녀 항해(영국 ↔ 태국 왕복)를 하였다. 참고자료 [12]와 [14]를 주로 이용해서 표 6에 선박용 저속 2행정 디젤기관을 위주로 변천사를 간략하게 정리하였다.

5. 선박용 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관

앞의 표 3에서 알 수 있는 바와 같이 저속 2행정 디젤기관은 오늘날 대형 선박에서 가장 많이 채택되는 주기기관이다. 여기에서 이 저속 2행정 디젤기관의 설계 회사와 제작회사 및 설계에 관하여 간략히 설명한다.

5.1 선박용 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 설계회사와 제작회사

저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 제작은 설계 회사가 직접 설계와 제작을 겸하는 경우와 기술제휴

를 받아서 제작만 2가지 경우가 있다.

오늘날 선박용 저속 2행정 크로스헤드 디젤기관의 생산은 설계와 제작을 겸하는 회사와 기술을 제공받아서 순수하게 제작만 하는 회사에서 행하여 이루어 지는데, 대부분이 조선산업이 발달한 한국과 일본의 제작회사가 설계회사로부터 기술을 제공받아서 생산한다.

1970년대, 1980년대, 1990년대 그리고 2000년대의 주요 저속 2행정 디젤기관 설계회사를 보면 표 7과 같다. 이 표에서 보면 1970년대에는 7개의 회사가 있었으나, 1980년대 후반부터는 오늘날과 같이 3개 회사만이 시장에 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 내놓고 있다.

한편 오늘날 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 생산하는 주요 제작회사는 한국의 3개 회사(현대중공업, HSD, STX), 일본의 8개 회사(미쓰이, Diesel United, 미쯔비시, 가와사키, 히타치, 고베, 아카사카,

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

표 6 선박용 저속 2행정 디젤기관 역사(略史)^{[12][14]}

년도	MAN B&W	WARTSILA(SULZER)	한국/일본/기타
1892			Dr. Rudolf Diesel 특허 출원
1893	MAN(기술 제휴)	특허 사용계약(스위스에서만 판매)	Dr. Rudolf Diesel 특허 득함
	MAN(세계 최초 1호기 디젤 제작) (1기통/구경150mm/행정400mm/ 압축압력30기압/크로스헤드)		
1895	시험용 디젤 수정/재제작 시험 (효율: 16.6%)	Mr. Sulzer - MAN 방문 (세계 최초 1호기 디젤 판람)	
1897	최초 공식 디젤 승인시험(2호기) (효율26.2%/238g/bhph/17.8마력/ 154rpm)(추후 계속된 효율 30.2% 달성)	Mr. Sulzer 참관	디젤의 제휴사를 포함 다수 참석 기술 제휴사들 디젤 제작 시작
		1호기 제작 시작	
1898	B&W(기술 제휴)	1호기 운전 (1기통/4행정/20마력/구경260mm/ 행정410mm/160rpm/248g/bhph)	
1901	MAN(無크로스헤드/4행정 디젤)		
1903	B&W(1호기 생산)	Diesel씨의 기술 제휴(전 세계)	최초로 디젤(1기통/25마력) 탑재 선박 등장
		디젤(D type) 생산/판매 시작	
1904	MAN(대규모 디젤 발전소 건설)		
1905		세계 최초 2행정 디젤 개발	
1907	MAN(가역/4행정/박용 디젤 납품)		
1908		최초 2행정 디젤 제작/전시 (90마력/4기통/가역 박용 디젤)	
1909		기술제휴(SLM사, 스위스)	
		Port scavenging 도입 (S type 엔진)	
1912	단동/크로스헤드/4행정/역전 디젤	Sulzer 최초의 박용/2행정/크로스헤드 디젤 탑재 선박 운항 개시 (1969년 폐선 처리)	
	B&W(세계 최초 디젤기관 탑재 대양항해선박 "M/S Selandia" 인도) (4행정, 2대, 총 출력 약 2,500 hp) ¹¹⁾	1S100 실험엔진 시험(1915년까지) (구경1,000mm/행정1,100mm/1기통 /2행정/2,000마력) 최초로 증유로 엔진 운전	
1914			제1차 세계대전 (1914-1918)
1916			미쯔비시(1호기 생산)
1917		최초로 일본 업체와 기술 제휴	
1920			미쓰이(B&W와 기술 제휴)
1921	복동/4행정 디젤 시험		
1922	Supercharging(전기구동 blower)	복동/2행정 디젤 연구 시작	
1924	B&W(최초 복동/4행정 디젤 제작)		
	MAN(최초 배기터보과급/4행정 디젤 개발)		
1925			MHI(SULZER와 기술 제휴)
1926	B&W(1기통/단동/2행정/Loop소기 디젤 시험)		MHI(MAN과 기술 제휴)
1928	B&W(1기통/복동/2행정/Uniflow소기 디젤 시험)		
1929	복동/2행정 디젤(6,000마력) 탑재	DZ90 디젤 운전 시작 (구경900mm) (1기통/복동/2행정/연구디젤엔진)	
1930	B&W(복동/2행정/크랭크축구동 BLOWER 디젤)		
1932	단동/2행정/배기밸브 디젤		
1933	2행정/Uniflow소기/저속디젤		
	1호기 제작		

특 집 II

표 6 선박용 저속 2행정 디젤기관 역사(略史) (계속)⁽¹²⁾⁽¹⁴⁾

년도	MAN B&W	WARTSILA(SULZER)	한국/일본/기타
1934	MAN(터보과급기 개발 시작)		MAN(배기터보 과급기)
1938	선박에서 Heavy fuel로 시험		
1943	1기통/2행정/터보과급디젤 시험		
1950	MAN(4행정/고압과급/효율 약 45% 디젤 시운전)	Heavy fuel 연소 설계 엔진(RS type)	
1952	세계 최초의 터보과급 디젤(674VTF160, 7500마력) 터보과급 도입(저속/2행정)		
1955		WARTSILA(1호기 디젤 생산)	MHI(자체 설계 디젤 UEC)
1956		Sulzer 최초 터보과급/2행정 디젤	
1960		WARTSILA(고유 모델 개발)	
1967			MHI - B&W와 기술 제휴
1968	최초 HFO/중속 디젤(MAN)		
1973			1차 석유판동
1976	Long stroke 2행정 디젤(L-GF: 행정/구경비 2.5)		
1978	정압과급/2행정/Uniflow 디젤 (L-GFC type)	WARTSILA(Vasa 32 개발)	쌍용중공업 : 디젤 1호기 제작 현대중공업 : 저속 2행정 디젤 1호기 제작(9,300 마력)
1979	회전/공기스프링 배기밸브 시험 (최초)		
1980	Lay-out flexibility 도입/연료소모율 140g/bhph이하 달성(L-GFCA type) MAN사가 B&W사를 합병		1차(1973년)와 2차(1978년)D의 2차례의 석유판동으로 연료 절감 디젤 개발 경쟁 본격화
1981	Lay-out flexibility 도입/연료소모율 140g/bhph이하 달성(L-GFCA type) L35MC 발표		
1982	Full L-MC 발표	RTA Type 발표 (2행정/Uniflow/크로스헤드 디젤)	
1984	MAN의 대형 디젤 부문을 B&W DIESEL A/S에 통합 -덴마크: 저속 2행정 디젤 -독일: 4행정 디젤		한국중공업(현 HSD) : 1호기 저속 2행정 디젤 제작
1986	K-MC & S-MC 발표		
1988	K-MC-C 발표		
1992			현대중공업 : 누적생산 1,000만마력 달성(저속 2행정 디젤기관)
1994	세계 최대급 K98MC-C 엔진 발표		일본 ADD사 : 고성능 중속 디젤 발표
1995			삼성중공업(현 HSD) : 1호기 저속 2행정 디젤 제작
1997	K98MC 엔진 발표		DU(11RTA96C 공장시운전)
1998			DU(12RTA96C 공장시운전)
1999	MC엔진 누계(납품/주문) 약 5,500대 (약 8,500만마력)	RT-flex 디젤 (캠축 무, 전자제어) : 저속/2행정/Common rail	HSD 탄생 : 삼성/한국중공업 디젤 통합
2000	전통적인 디젤기관을 전자제어 기관으로 개조한 디젤기관 실선(實船) 시험 개시 (6L60ME 기관, 10,000 시간 시험 예정)		현대중공업 : 세계 최대 디젤 제작 (12K98MC, 93,360마력) 노르웨이 : 세계 최초로 순수 가스 기관(spark-ignition)을 주기관으로 채택한 Ferry 운항 시작
2001		RT-flex 디젤기관 탑재 선박 운항 개시(현대미포조선 건조) (6RT-flex58T-B, 구경: 580 mm)	현대중공업 : 세계 최초 RT-flex 제작(6RT-flex58T-B, 2001년 1월)
2002	전자제어 디젤기관 수주 (7S50ME-C) (6S70ME-C) (육상시운전: 2003년 예정)	최신 7RT-flex60C 시험 완료 (실린더 구경: 600 mm) (이탈리아 Trieste 공장)	현대중공업 : 누적생산 3,830만마력 달성 예상(저속 2행정 디젤기관) HSD : 누적생산 2,330만마력 달성 예상 (저속 2행정 디젤기관)

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

표 7 저속 2행정 디젤기관 생산량과 브랜드(설계회사)별 생산비율 (1975년 ~ 2000년)¹⁹⁾

년도	저속 디젤 생산량 (출력, PS)	브랜드별 생산비율						
		SULZER (스위스)	B&W (덴마크)	MAN (독일)	MHI (일본)	GMT (이탈리아)	DOXFORD (영국)	DAILIAN/ HUDONG (중국)
1975	7,220,560	50.99	36.44	6.70	3.05	2.34	0.48	0
1977	8,040,716	52.13	29.53	12.15	2.32	2.03	1.14	0
1979	5,669,798	48.09	29.08	11.77	6.97	1.93	2.16	0
1980	5,713,773	51.06	27.12	12.28	7.72	1.38	0.45	0
1981	7,059,680	41.41	40.53	9.47	6.30	1.45	0.30	0.54
1982	7,969,973	37.24	41.35	9.69	10.59	1.02	0.11	0
1983	6,832,367	36.10	41.49	7.85	14.28	0.24	0	0.04
1984	7,230,399	41.61	47.76	7.47	9.67	0.56	0	0.32
1985	6,840,669	34.78	55.42	-	9.17	-	-	0.26
1986	9,283,546	40.34	52.82	-	6.84	-	-	-
1987	4,157,771	44.86	49.78	-	5.36	-	-	-
1988	4,351,955	37.88	52.80	-	9.32	-	-	-
1990	6,797,530	24.86	62.93	-	12.22	-	-	-
1991	5,940,980	28.6	60.4	-	11.0	-	-	-
1992	6,599,381	33.0	56.8	-	10.2	-	-	-
1995	9,953,417	25.2	65.4	-	9.5	-	-	-
1996	11,133,200	27.46	63.58	-	8.96	-	-	-
1997	12,213,368	30.75	60.32	-	8.93	-	-	-
1998	12,885,871	27.61	64.54	-	7.86	-	-	-
2000	26,479,824	25.8	66.6	-	7.52	-	-	-

비고)
 1. B&W: MAN이 1980년에 B&W를 흡수하여 MAN B&W 탄생.
 2. SULZER: WARTSILA가 1997년에 SULZER를 인수함. 브랜드는 계속해서 SULZER를 사용.
 3. MHI: 미즈비시중공업.

(주: 상기 자료는 2,000 DWT 이상 건조 선박 탑재 주기관의 생산량 기준임.)

마키타), 중국의 4개 회사(DMD, HHM, SSD, YMD) 및 유럽의 4개 회사(MAN B&W(덴마크), CHP(폴란드), Izar(스페인), WARTSILA(이탈리아))이다. 오늘날 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관은 한국과 일본에서 대부분 생산하고 그 뒤를 중국이 따르고 있다.

표 8은 한국과 일본의 2001년 1년 동안 생산한 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 생산 실적을 보이고 있는데, 한국의 3개 제작사가 약 890만 마력(PS)을 생

산하였고, 일본의 8개 제작사가 약 554만 마력(PS)을 생산하여, 한국이 일본을 상당한 격차로 능가하고 있다는 것을 알 수 있다. 한국은 이제 선박용 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 생산량에서 이미 세계 1위를 차지하고 있으며, 중국의 선박용 디젤기관 생산 업체들이 선박의 건조량 증가에 대응하여 선박용 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 생산 설비를 증설하고 있지만, 향후에도 상당기간 계속해서 세계 1위를 차

표 8 한국과 일본의 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 생산 실적 (2001년)

국가	주요 저속 2행정 디젤기관 생산 회사 (한국/일본)	생산량 (출력, PS) (2001년 공식시운전 기준)	비고
한국	현대중공업	5,003,000	세계 1위
	HSD	3,806,000	세계 2위
	STX	89,000	
	계(한국 3개 제작사)	8,898,000	
일본	미쓰이	2,178,000	세계 3위
	미쯔비시	326,000	
	DU(Diesel United)	769,000	
	히타치	658,000	
	가와사키	847,000	
	고베	423,000	
	아카사카	193,000	
	마키타	147,000	
계(일본 8개 제작사)	5,542,000		

지할 것으로 여겨진다.

특히 현대중공업(울산)은 한국으로서는 최초로 1979년 6월에 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 1호기 HYUNDAI-B&W 7L55GF(정격출력: 9,300 마력)를 생산한 후, 1990년도부터 10년 이상 계속해서 세계 최대의 선박용 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 제작업체로서 그 위상을 확고히 해오고 있으며, 2002년과 2003년에도 그 자리를 계속 유지할 것으로 예상되며, 그 이후에도 계속해서 그 위상을 유지하기 위하여 노력하고 있다. 2001년 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 생산 실적 기준으로 현대중공업에 이어서 한국의 HSD(창원)가 세계 2위, 일본의 미쓰이가 세계 3위를 차지하고 있다.

5.2 선박용 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 변천

디젤기관 개발 초기에는 모든 디젤기관은 2행정인 아니라 4행정이었으나, 오늘날 선박 주기기관용으로 사용되는 저속 디젤기관은 극히 일부를 제외하고는 모두 2행정 크로스헤드형이다. 여기에서는 선박용 저속

2행정 크로스헤드형 디젤기관의 변천에 대해서 참고 자료 [12]에 나오는 자료를 중심으로 간략히 언급한다.

저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 성능은 시장의 요구에 따라 계속해서 변화되어 왔다. 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 설계회사 3사 중에서 100년 이상의 역사를 가진 SULZER(현 WARTSILA)(스위스)의 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로 어떻게 변천되어 왔는가를 간략히 설명한다.

과거 30년은 선박용 디젤기관의 격변기라 할 수 있는데, 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 기술 개발은 선박의 대형화에 의한 고출력화와 1970년대의 2차레의 유류파동으로

운항비 절감을 목적으로 고효율화, 즉, 연료소모량 감소를 위한 연구가 활발히 진행되었고, 그 밖에 여러 가지 성능, 설계 등이 변천되어 왔으며, 1990년대 후반부터는 대기환경보전의 역할이 선박용 디젤기관에도 부과되기 시작되었다. 지난 30년 동안의 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 기술 개발의 특징을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ▼ 고효율화, 초장행정화, 평균유효압력 증가, 실린더 최고 압력 증가, 과급기의 고효율화, 고출력화,
- ▼ 정격출력 선택범위 확장
- ▼ 신뢰성 향상, 정비주기의 증가, 재질의 개선 및 전반적 설계 기술 향상. 제조단가의 하락
- ▼ 질소산화물을 비롯한 유해 배출물 제어 기술 발달, 진동과 소음 제어 기술 발달

5.2.1 SULZER사 디젤기관(2행정과 4행정) 수주량

그림 1에서 보는 바와 같이 1950년대 후반부터 디젤기관이 선박에 널리 사용되기 시작된 것을 알 수 있다.

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

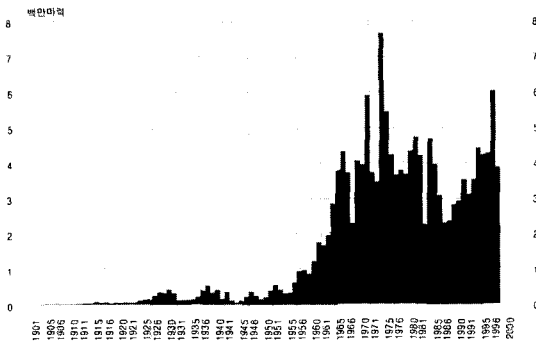


그림 1. SULZER사 디젤기관의 수주 마력 (단위: 백만마력) (2행정과 4행정 합계)

5.2.2 SULZER사 저속 2행정 디젤기관의 주요 기술 변천

1890년대에 초에 최초로 Dr. Rudolf Diesel과 특허 사용 계약을 맺었고, 1930년대에 오늘날과 같은 무기 분사(無氣噴射, airless injection)가 도입되었고, 1950년대에 중유가 사용되기 시작되었고 또한 터보과급이 도입되었다. 그 후 1980년대 초에 오늘날의 RTA 기종이 도입되면서 그때까지의 루프소기(loop scavenging) 방식 대신에 B&W와 같은 유니플로우소기(uni-flow scavenging) 방식을 채택하였는데, 이것은 1973년과 1978년 2차례의 유류파동으로 선박용 연료유의 가격이 급격하게 인상되어 유니플로우소기(uni-flow scavenging) 방식이 연료소모량 측면에서 보다 우수하여기 때문이었다. 이 유니플로우소기(uni-flow scavenging) 방식은 B&W가 1933년에 처음 도입하였는데 오늘날까지도 계속해서 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 설계회사 3사 모두가 채택하고 있다.

특히 1990년대 말에는 환경친화형 기관으로 Common rail 시스템을 이용한 전자제어(연료분사와 배기밸브 개폐)를 하는 RT-flex 기관(캠이 없는 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관)을 도입하였는데, 이 기관은 저부하에서도 중유를 사용하여도 가시매연이 없다. 현대중공업은 세계 최초로 이 RT-flex 기관인 6RT-flex58T-B(정격출력: 15,334 마력, 정격회전수: 93 rpm, 실린더수: 6, 실린더지름: 580 mm, 피스톤행정: 2,416

mm, 평균유효압력: 19.0 bar, 최고연소압력: 150 bar)를 2001년 1월에 성공적으로 육상시운전을 완료하였고, 또한 현재 세계에서 RT-flex 기관을 가장 많이 고객으로부터 제작 주문을 받아 놓고 있다.

한편 MAN B&W사의 전자제어기관은 ME(또는 ME-C)인데, 2003년도에 최초로 육상공식시운전이 예정되어 있고, 일본의 MHI사는 아직 전자제어기관을 출시하지 않고 있다.

5.2.3 SULZER사 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 주요 설계 변천

저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 최고연소압력은 1940년대 52 bar이었지만, 1999년에 출시된 SULZER RT-flex60C(구경: 600 mm, 행정: 2250 mm, 출력: 3210 PS/cyl, 회전수: 114 rpm) 기관의 최고연소압력은 155 bar이며, 이 압력은 오늘날 시장에 나와 있는 구경이 300 mm 이상인 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 중에서 가장 높은데, MAN B&W의 구경이 260 mm인 S26 디젤기관은 170 bar로 현재 모든 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 중에서 가장 높다. 지난 1990년대 상반기에 SULZER에서 연구용으로 사용하였던 RTX 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관은 최고연소압력이 180 bar이었다. 선박용 저속 2행정 디젤기관 설계회사는 1970년대 2차례의 유류파동을 겪으면서 연료소모량을 줄이기 위해서 최고연소압력을 급격히 증가시켰다. 한편 최신 기종의 중속 박용 디젤기관은 최고연소압력이 200 bar 전후이다.

오늘날 MAN B&W의 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 최고연소압력은 140~160 bar이며, SULZER 디젤기관은 140~155 bar이다.

평균유효압력은 디젤기관의 여명기인 1890년대 SULZER 디젤기관의 경우 약 5 bar이었고, 1970년대 상반기까지는 약 10.5 bar 전후이었으나, 최고연소압력과 마찬가지로 1970년대 2차례의 유류파동을 겪으면서 평균유효압력도 급격히 증가되었다. 현재 출시되고 있는 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 중에서 가장 높은 평균유효압력은 MAN B&W S60MC-C 기

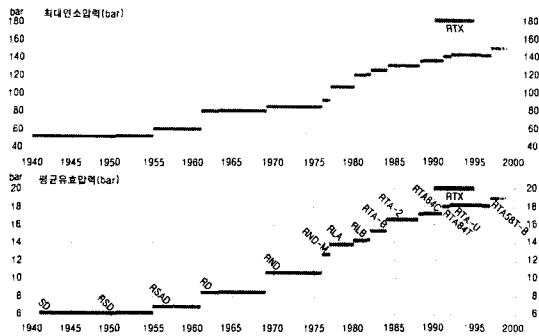


그림 2. SULZER사 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 최고연소압력과 평균유효압력 변천(1940년대~2000년)

관의 20.0 bar 이다. 한편 최신 기종의 선박용 중속 디젤기관은 대부분 평균유효압력이 20~25 bar 정도이고, 최고 약 30 bar이다.

오늘날 MAN B&W 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 평균유효압력은 18.0~20.0 bar이며, SULZER 디젤기관은 17.9~19.5 bar이다.

SULZER사 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 최고연소압력과 평균유효압력의 변천(1940년대~2000년)이 그림 2에 나타나 있다.

SULZER사는 1970년대 2차례의 유류파동을 겪으면서 연료소모량을 줄이기 위해서 행정/구경비를 최고연소압력과 마찬가지로 대폭 증가시켰다. 오늘날 MAN B&W의 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 행정/구경비는 2.4~4.2이며, SULZER 디젤기관은 2.6~4.2이다.

평균피스톤속도도 꾸준히 증가되어 왔으며, 오늘날 MAN B&W의 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 평균피스톤속도는 7.4~8.5 m이며, SULZER 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관은 7.8~8.6 m이다.

1970년대 2차례의 유류파동으로 연료비가 차지하는 비율이 선박의 전체운항비의 약 50%를 차지하게 되어 연료소모량을 저감시키는 것이 매우 중요하게 되어 1970년대와 1980년대는 연료소모량을 줄이기 위한 노력이 가속화 되었다.

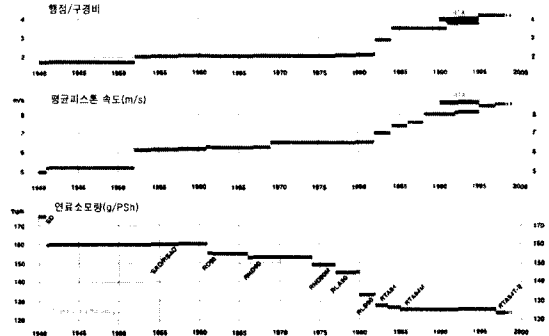


그림 3. SULZER사 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 행정/구경비, 평균피스톤속도와 연료소모량 변천(1940년대~2000년)

5.3 선박용 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 출력

오늘날 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 시장의 출력은 시장의 요구에 발맞추어 계속 증가되어 왔다. 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 3개회사의 기관의 출력을 표 9와 10, 11에 정리하였다.

오늘날의 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 출력과 비교해볼 수 있도록 지난 1970년대의 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관(실린더당 출력이 2,500 마력 이상인 기관) 출력을 표 11에 정리하였다.¹¹⁵⁾ 이 표에서 볼 수 있는 바와 같이 오늘날의 저속 2행정 크로

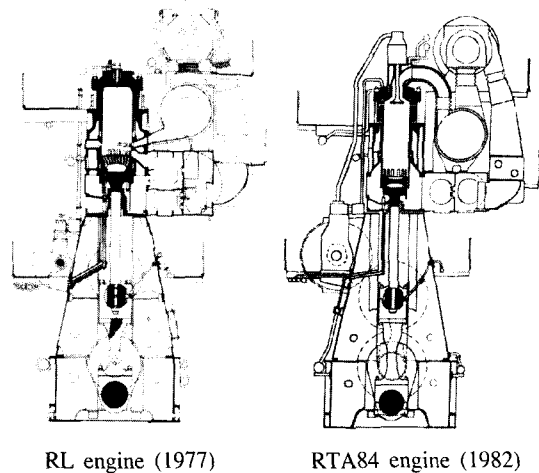


그림 4. SULZER 루우프소기형(왼쪽)과 유니플로우소기형(오른쪽)의 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 단면

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

표 9 MAN B&W MC/MC-C 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 (2002년 11월)⁶⁾

기종	실린더지름 (mm)	실린더수	출력 (PS/cyl)	최대출력 (PS/기관)
K98MC	980	6~18	7,780	140,040
K98MC-C	980	6~18	7,760	139,680
S90MC-C	900	6~9	6,650	59,850
L90MC-C	900	6~12	6,630	79,560
K90MC	900	4~12	6,220	74,640
K90MC-C	900	6~12	6,210	74,520
S80MC-C	800	6~8	5,280	42,240
S80MC	800	4~12	4,950	59,400
L80MC	800	4~10	4,940	49,400
K80MC-C	800	6~12	4,900	58,800
S70MC-C	700	4~8	4,220	33,760
S70MC	700	4~8	3,820	30,560
L70MC-C	700	4~8	4,220	33,760
L70MC	700	4~8	3,840	30,720
S60MC-C	600	4~8	3,240	25,920
S60MC	600	4~8	2,780	22,240
L60MC-C	600	4~8	3,030	24,240
L60MC	600	4~8	2,600	20,800
S50MC-C	500	4~8	2,150	17,200
S50MC	500	4~8	1,940	15,520
L50MC	500	4~8	1,810	14,480
S46MC-C	460	4~8	1,785	14,280
S42MC	420	4~12	1,470	17,640
L42MC	420	4~12	1,355	16,260
S35MC	350	4~12	1,010	12,120
L35MC	350	4~12	885	10,620
S26MC	260	4~12	545	6,540

스헤드형 디젤기관 출력이 매우 증대된 것을 알 수 있다. 일례로 오늘날의 MAN B&W K98MC와 동일한 실린더지름의 K98GF를 비교해보면 출력이 90% 증대한 것을 알 수 있다.

이러한 출력 증대는 1970년대 초까지 신조 대형 상선의 주기관으로 스팀터빈이 많이 채택되었으나, 1973년과 1978년 2차례의 유류파동으로 연료소모량이 적은 디젤기관이 유리하여 선주들이 디젤기관을 선호하

여 기관 설계회사들이 디젤기관의 출력을 증대시켜 스팀터빈을 급격하게 대신하게 되었다. 그리고 고효율화로 실린더수를 줄여서 정비비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 기관 자체의 길이를 줄이는 대신 화물칸의 길이를 증대시킬 수가 있게 되었다. 또한 최근에는 컨테이너운반선이 점점 대형화되어 최대 약 8,000 TEU급까지 실제 운항 중이고 향후 10,000 TEU 또는 12,000 TEU급까지 거론되고 있어 이러한 시장 요

특 집 II

표 10 SULZER RTA 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 (2002년 11월)

기종	실린더지름 (mm)	실린더수	출력 (PS/cyl)	최대출력 (PS/기관)
RTA96C	960	6~12, 14	7,780	108,920
RTA84C	840	6~12	5,510	66,120
RTA84T	840	5~9	5,580	50,220
RTA72U	720	5~8	4,190	33,520
RTA68T	680	5~8	4,000	32,000
RTA62U	620	5~8	3,110	24,880
RT-flex60C	600	5~8	3,210	25,680
RTA58T	580	5~8	2,890	23,120
RT-flex58T	580	5~8	2,890	23,120
RTA52U	520	5~8	2,175	17,400
RT-flex50C	500	5~8	2,200	17,600
RTA48T	480	5~8	1,980	15,840

표 11 MHI UCE 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 (2001년)

기종	실린더지름 (mm)	실린더수	출력 (PS/cyl)	최대출력 (PS/기관)
UEC85LSC	850	5~10, 12	5,300	63,600
UEC85LS II	850	5~10, 12	5,250	63,000
UEC75LS II	750	4~10, 12	4,000	48,000
UEC60LS II	600	4~8	2,780	22,240
UEC60LS	600	4~8	2,400	19,200
UEC60LA	600	4~8	2,100	16,800
UEC52LS	520	4~8	1,800	14,400
UEC52LA	520	4~8	1,600	12,800
UEC50LS II	500	4~8	1,965	15,720
UEC45LA	450	4~8	1,200	9,600
UEC43LS II	430	4~8	1,430	11,440
UEC37LS II	370	5~8	1,050	8,400
UEC37LA	370	4~8	700	2,800
UEC33LS II	330	4~8	770	6,160

구에 부응하여 기관의 출력이 증대되었다. 이러한 출력 증대가 가능하게 된 배경에는 해석/설계기술, 제작 기술의 향상과 더불어 배기터보과급기의 성능 향상이 있었다.

그림 4에 SULZER사의 루우프소기형과 유니플로우소기형의 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 단

면을 나타내었다.

5.4 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 설계회사 별 수주 추이

앞의 표 7에서 보는 바와 같이 1970년대는 SULZER가 세계의 시장의 50% 전후를 점하였으나, 1980년

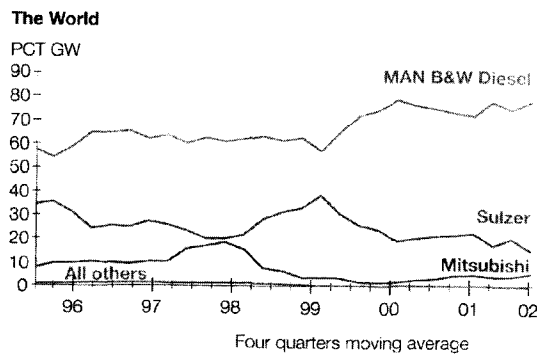
선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

표 12 1970년대의 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 (1976) (실린더당 출력 2,500 마력 이상)

Make	기종	실린더지름 (mm)	출력 (PS/cyl)
B&W	K98GF	980	4,100
	K98FF	980	3,800
	K90GF	900	3,400
	K84EF	840	2,500
Doxford	76J	760	2,500
GMT-Fiat	1060S	1,060	4,000
	A900S	900	2,900
	900S	900	2,500
MAN	KSZ105/180	1,050	4,000
	KSZ90/160	900	3,200
MHI	UEC85/1800	850	3,000
SULZER	RND105	1,050	4,000
	RND90	900	2,900

B&W와 MAN의 합병 초기 MAN B&W가 시장을 약 50% 점한 후 점점 시장점유율을 증대시켜왔다.

최근 저속 2행정 디젤기관의 브랜드별 수주 실적(출력 기준)을 보면 MAN B&W가 70%를 약간 상회하여 여전히 세계 1위를 차지하고 있고, SULZER와 Mitsubishi(MHI)가 그 뒤를 잇고 있다. SULZER는 최근 거의 20%대로 낮아졌고, Mitsubishi도 한때 20% 가까이 증가하였으나 최근에는 10% 이하로 감소하였다.^[6]



Source: Fairplay

그림 5. 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 수주 추이

5.5. 전자제어 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관

1982년에 저속 2행정 디젤기관인 SULZER RTA 기관과 MAN B&W MC 기관 시리즈가 처음 출시된 후 계속적으로 시장의 요구에 맞추어 발전되어 왔고, 최근에는 새로운 시장의 요구인 환경친화, 저부하운전 성능 향상, 획기적인 신뢰성 향상 등에 맞추어 SULZER와 MAN B&W는 전자제어 저속 2행정 디젤기관인 RT-flex와 ME/ME-C 기관을 각각 시장에 출시하였다. 이 신형 기관은 기존의 RTA와 MC/MC-C를 기본으로 하고 있지만, 기존의 디젤기관의 연료분사시기와 배기 밸브개폐시기가 캠축에 의하여 제어되는 반면에 이 신형 기관에서는 이러한 것들이 전자제어 된다.

5.5.1 WARTSILA SULZER RT-flex 전자제어 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관

SULZER는 1982년 RTA 기관을 처음 소개한 이래 꾸준한 연구 개발을 통하여 1999년 세계 최초로 캠축이 없는 전자제어 연료분사 시스템인 'Common rail'을 장착한 RT-flex 기관을 개발하여 소개하였고, 2001년 1월에 육상시운전을 성공적으로 마쳤고 이 기관을 탑재한 선박이 2001년 10월에 선주사인 'Gypsum

Transportation Ltd.'에 인도되어 현재 큰 문제없이 잘 운전 중에 있다. 이 기관은 6RT-flex58T-B(정격출력: 17,340 마력, 정격회전수: 104 rpm)로 현대중공업에서 제작되어 조선소인 현대미포조선에 납품되어 탑재되었다. 그리고 현대중공업은 이러한 최신 기종인 RT-flex 기관의 수주량에 세계 최고를 기록하고 있는데, 현재 4대의 7RT-flex60C를 비롯하여 추가적으로 수주가 기대되고 있다.

이 RT-flex60C 1호기는 2002년 9월 15일 조립이 완료되어 운전이 시작되어 2002년 10월 14일에 육상 공식시운전이 완료되었다.^[16] 이 1호기는 7RT-flex60C로 WARTSILA의 Trieste(이탈리아) 공장에서 제작되었는데, 2호기는 현재 현대중공업에서 제작되고 있다.

RT-flex의 전자제어 연료분사 시스템인 'Common rail'은 다음과 같은 특징이 있다.

- ▼ 부분부하에서 연료분사압력이 기존의 캠축 제어 기관보다 높음
- ▼ 연료분사압력을 자유롭게 선정가능
- ▼ 연료분사시기를 자유롭게 선정 가능
- ▼ 정확한 연료분사량 제어 가능
- ▼ 중유(HFO) 사용 가능
- ▼ 실린더당 3개인 연료분사밸브를 순차적으로 연료분사 가능 (부하 약 20% MCR 이하에서)

이 RT-flex는 상기와 같은 특징으로 다음과 같은 점이 기존의 캠축제어 기관보다 매우 우수하다.

- ▼ 전(全) 부하에서 매연(smoke)이 눈에 띄지 않음
- ▼ 최저 운전회전수가 매우 낮음 (10~12% MCR rpm) (캠축제어 기관 약 20~25% MCR rpm)

그림 6에서 보는 바와 같이 RT-flex는 기존의 캠축 제어 기관인 RTA를 기본으로 하지만 약간의 구조적인 차이점이 있다.

5.5.2 MAN B&W ME(또는ME-C) 전자제어 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관^[6]

20년 전인 1982년 10월에 저속 2행정 디젤기관인 MC 기관 시리즈를 출시한 후 계속적으로 시장의 요구에 맞

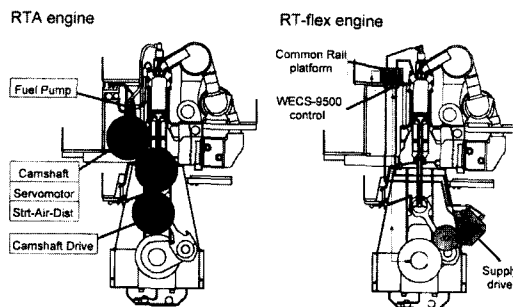


그림 6. SULZER RTA 기관과 RT-flex 기관의 구조적 차이 비교

추어 발전시켜 왔고, 최근에는 전자제어 저속 2행정 디젤기관인 MEME-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 13기종(실린더 지름이 60 cm인 L60ME-C부터 실린더 지름이 98 cm인 K98ME-C까지 총 13기종)이었으나 2002년 5월에 실린더 지름이 50 cm인 S50ME-C가 추가되어 14기종이 되었다.

이 신형 기관은 연료분사시기, 배기밸브개폐시기 및 실린더주유시점의 전자제어를 통하여 기존의 기관에 비하여 다음과 같은 여러 가지 이점이 있다.

- ▼ 연료소모량 저감 (부분부하에서)
- ▼ 실린더윤활유 소모량 저감
- ▼ 운전 안전성과 신뢰성 향상
- ▼ 운전 모드의 선택 가능 (저 Emission 운전)
- ▼ 매연 저감 (저부하에서)

ME/ME-C는 기존 MC/MC-C를 기본으로 하고 있기 때문에 출력, 실린더지름, 피스톤행정, 등등 주요

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

항목에서 동일하다. 그러나 연료분사시기, 배기밸브개폐시기와 실린더주유시점을 전자제어 하기 위하여 추가적인 전자/유압 제어 시스템이 필요하다. 이러한 전자/유압 시스템의 채택으로 다음과 같은 부품들이 불필요하다.

- 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.

- 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

여기에서 MAN B&W의 전자제어 기관 운전 실적과 수주 현황을 간단히 살펴본다. 1993년부터 연구용 기관 4T50MX에서 1세대 ME 기관 연구를 시작, 그 후 계속적으로 연구를 한 후, 2000년 11월에 M/T Bow Cecil 선박(선주: 노르웨이의 Odfjell, 최초 건조 년도: 1995년, 주기관: 6L60MC)에 전자제어 기능을 추가,

즉 6L60MC(ME)기관으로 개조)에서 해상 시운전을 성공적으로 마치고 10,000 시간 시험을 본격적으로 시작하였다. 2002년 5월 현재 7,000 시간 이상 전자제어 운전을 실시하여 성공적인 결과를 얻고 있다.

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, 6S70ME-C도 2003년 6월에 한국에서 육상시운전이 예정되어 있으며, 그리고 6S60ME-C와 5S80ME-C가 그 뒤를 이을 것으로 예상된다. 그 밖에 여러 전자제어 기관이 고려 또는 상담 중이다.

6. MAN B&W 전자제어 실린더 주유^[6]

6.1 전자제어 실린더 윤활유 주유기의 장점

전통적인 실린더 윤활유 주유기는 캠축에 의하여 구동되는 기계식으로 실린더 윤활유 주유시점이 제어되고 있다. 이 기계식 실린더 주유기는 기관제조자가 의도하는 데로 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/PSh을 절감할 있다. MAN B&W는 향후에도 계속적으로 실린더 윤활유를 보다 더 줄일 수 있는 가능성을 확인하기 위하여 실 운전 경험을 조사하고 분석해 나갈 계획이다.

현재 전자제어 Alpha Lubricator는 다수의 선박에 실제로 장착되어 있고, 앞으로도 선주 요구는 더욱 증가할 것으로 여겨진다. 현재 이 전자제어 Alpha Lubricator를 전량 MAN B&W로부터 수입하고 있는데 하루 속히 국산화를 통하여 가격경쟁력과 서비스 경쟁력을 향상시킬 필요가 있다.

그리고 2002년 9월 독일 함부르크의 SMM에서 열린 CIMAC Circle 2002에서 MAN B&W는 Alpha

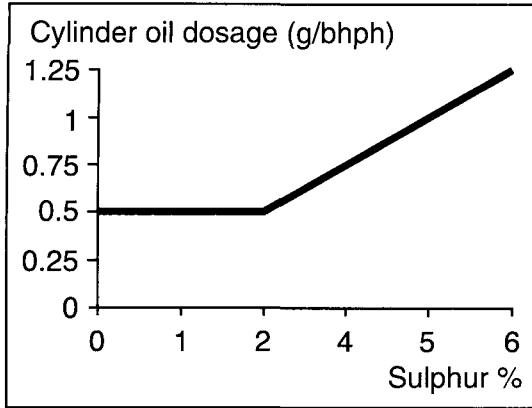


그림 7. 연료의 황함량에 따른 실린더 윤활유 주유량

ACC(Adaptive Cylinder oil Control) 개념을 발표하였는데 앞으로 더욱 실린더 윤활유 소모량을 줄일 수 있는 길을 열었다. 이 개념은 실린더 마모의 주 인자는 부식 마모인데 연소 중에 생성되는 황산화물이 연소실내에서 수증기와 반응하여 황산이 되는데 이 황산이 바로 부식마모의 주 요인이다. 따라서 이 황산을 중화시키기 위하여 실린더 윤활유 주유량을 그림 7과 같이 연료의 황 함량에 따라 비례하여 변경할 수 있다는 것이다.

6.2 지능형 전자제어 실린더 주유 시스템

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

그림 8은 저속 2행정 기관의 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.

6.3 SIP(Swirl Injection Principle) 실린더 주유기 (기계식 주유기)

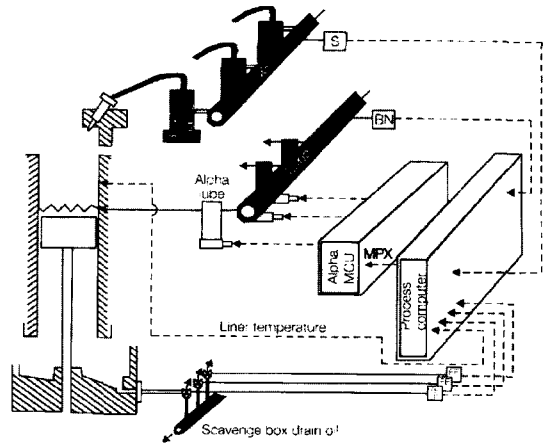


그림 8. 지능형 실린더 윤활 시스템(MAN B&W)

SIP 실린더 주유기는 덴마크의 HANS JENSEN사가 개발하였는데 MAN B&W로부터 아직까지는 정식 승인을 득하지는 못하였지만 일부 선주의 요구로 MAN B&W MC/MC-C 기관에 일부 사용되고 있고, 일본의 MHI는 최근 자사의 UEC 저속 2행정 디젤기관에 표준으로 채택을 하기 시작한 최신 기계식 주유기인데, 일부 선박의 실적에서 실린더 윤활유 소모량을 획기적으로 줄일 수 있다는 결과가 얻어져서 향후 그 귀추가 주목된다.

이 주유기는 고압으로 윤활유를 실린더 내면으로 분무하여 실린더내의 연소공기의 선회운동을 이용하여 실린더 벽면에 윤활유를 얇게 골고루 잘 묻혀서 실린더 마모를 악화시키지 않으면서 윤활유 주유량을 줄이는 방식을 택하고 있다.

7. 선박용 중속 4행정 트랭크피스톤형 디젤기관

앞의 표 7에서 알 수 있는 바와 같이 중/고속 디젤기관은 오늘날 2,000 DWT 이상의 선박에서 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 다음으로 많이 채택되는 주기관인데, 그 중에서 특히 중속 디젤기관이 고속 디젤기관보다 많이 사용되고 있다. 그리고 중속 디젤기관은 선박의 보조기관으로 가장 많이 채택되고 있다.

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

여기에서 이러한 중속 4행정 디젤기관에 관한 현황을 간략히 언급한다.

7.1 주요 중속 디젤기관 업체

오늘날 선박용 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 설계회사는 3개사인데 반하여 달리 선박 주기관용 중속 디젤기관의 설계회사는 WARTSILA(핀란드), MAN B&W(독일), MaK(현 Caterpillar에 합병됨)(독일), SULZER(현 WARTSILA에 합병)(스위스), HANSHIN(일본), Deutz(독일), S.E.M.T.-Pielstick(현 MAN B&W에 합병), YANMAR(일본), AKASAKA(일본)를 포함하여 전 세계에서 약 50개사이다.

현대중공업은 1990년대 초부터 중속 디젤기관 연구 개발을 시작하여 현재 고유모델 HIMSEN 2기종(실린더지름: 210 mm와 250 mm)을 각각 2001년 2월과 2002년 10월에 선급으로부터 형식승인시험을 득하여, 본격적으로 중속 디젤기관 설계회사로 당당히 발을 내딛게 되었다.

또한 현대중공업은 MAN B&W의 중속 디젤기관도 생산하고 있는데, 주로 대형 상선의 발전기용 기관으로 주로 납품되고 있으며, 일부가 주기관으로 납품되고 있다. 한국에서는 오늘날 현대중공업을 비롯하여 STX와 HSD도 중속 디젤기관을 기술을 받아서 생산하고 있다.

7.2 현대중공업 고유모델 HIMSEN 중속 디젤기관

HIMSEN 중속 디젤기관은 크게 2기종이 있는데, 2기종 모두 선박(주기관/보조기관)용, 육상 발전용 그리고 기타(예: 펌프 구동용) 용도로 개발이 되었다.

이제 명실상부하게 외국 중속 디젤기관 업체와 어깨를 나란히 할 수 있는 계기를 맞고 있다. 현대중공업의 고유 모델 중속 디젤기관 개발은 한국의 디젤기관 역사에서 하나의 커다란 이정표가 되었으며, 한국 정부로부터 NT(New Technology, 신기술) 인정, EQ(Excellent Quality, 우수품질) 인정, 2001년 대한민국 10대 신기술상 수상, 2002 신기술실용화유공기업 대통령표창 수상 등으로 그 기술과 품질을 인정받았다.

현재까지 수주 실적을 표 13에 간략하게 나타내고 있는데, 이 표에서 보는 바와 같이 다양한 용도로 수주가 되고 있고 이미 상용 운전 중인 것도 있다.

HIMSEN 중속 디젤기관의 출력이 표 14에 나타나 있는데, H21/32는 최대 1,800 kW(9 실린더)를 낼 수 있으며, H25/33은 최대 2,700 kW(9 실린더)를 낼 수 있으며, 이러한 출력은 최근 출시된 유럽의 중속 디젤기관과 동등 이상의 수준이다. 또한 질소산화물(NOx) 방출량도 IMO NOx 규제치를 만족하고 있다.

그림 9에 현대 HIMSEN H21/32 중속 디젤기관의 종단면도를 나타내고 있는데 외부 PIPING 작업을 없애 조립/정비성이 우수하고, 실린더프레임에 냉각수를 없애 부식을 방지하고 있으며, 피스톤과 실린더헤드

표 13. 현대중공업 고유모델 HIMSEN 중속 디젤기관 수주 또는 납품 실적 (2002년 9월말)

공사명	용도	기종	대수
바지선 2척	펌프구동용	6H21/32	4
상하이조선 2척	발전기용	7H21/32	8
현대미포조선 8척	발전기용	6H21/32	24
삼호중공업 2척	발전기용	5H21/32	6
한국정부	주기관용	8H25/33	6
남미(육상발전)	발전기용	6H21/32	1
남미(육상발전)	발전기용	9H21/32	2
남미(육상발전)	발전기용	8H21/32	4
한국토지공사	펌프구동용	5H21/32	4

표 14 현대 HIMSSEN 중속 디젤기관 출력(2002년 11월)

기종	실린더지름	720 rpm	750 rpm	900 rpm	1,000 rpm	비고
H21/32	210 mm	160 kW/cyl	160 kW/cyl	200 kW/cyl	200 kW/cyl	기납품 실적 있음
H25/33	250 mm	240 kW/cyl	250 kW/cyl	290 kW/cyl	300 kW/cyl	

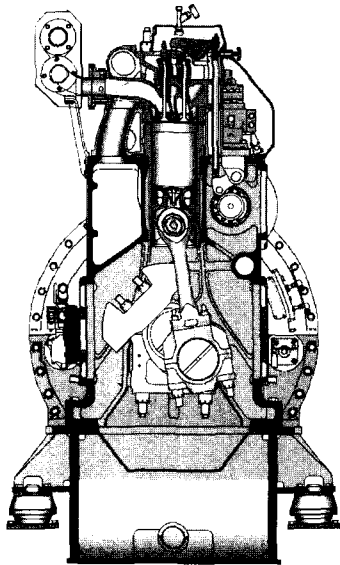


그림 9. 현대 HIMSSEN H21/32 중속 트렁크피스톤형 디젤기관 종단면도

는 고압에 충분히 견디도록 설계되어 있다. 그리고 실린더 유닛 분해가 가능하도록 설계되어 정비성을 매우 높이도록 설계되었다.

8. 선박용 디젤기관의 배출가스 규제와 대책

오늘날에는 육상용 디젤기관뿐만 아니라 선박용 디젤기관에도 배출가스 규제가 적용되거나 적용될 예정이다. 현재 주요한 선박용 디젤기관 규제를 표 15에 간략히 정리하였다.¹⁷⁾ 이러한 규제에서 보듯이 선박용 디젤기관 업체는 앞으로도 배출가스 규제에 대한 대책 마련을 위하여 계속적으로 연구 개발 노력을 더욱 기울이지 않고서는 생존할 수 없게 되어, 전 세계 디젤기관 업체는 한결같이 유해 배출가스 저감을 위한 연구 개발을 더욱 심화시키고 있다. 표 17에 주요

한 선박용 디젤기관의 질소산화물(NOx) 저감 방법을 나타내었다.¹⁷⁾ 현대중공업은 표 17에 언급된 여러 가지 저감들 중 일부는 이미 실용화하여 IMO NOx 규제에 이미 대응하고 있고, IMO NOx 규제보다 강화되고 있는 여러 규제에 대응하기 위하여 SCR을 포함한 여러 가지를 계속적으로 연구 개발하고 있다. 특히 현대중공업은 1989년부터 1991년에 걸쳐서 세계 최초로 4척의 대형 상선(한국의 포항과 미국의 피츠버그를 왕복하는 Hot Coil 운반선)의 주기관에 SCR을 설치하여 성공적으로 미국 샌프란시스코의 매우 엄격한 NOx 규제를 만족시켰으며, 현재도 이 선박의 SCR은 제 기능을 다하고 있다.

9. 현대중공업 디젤기관 부문 - 초창기¹⁸⁾

한국은 2000년부터 명실공히 세계 최대의 선박용 디젤 주기관 생산국(출력 기준)의 위치를 점하고 있다. 현재 선박용 저속, 중속 또는 고속 디젤기관을 생산하고 있는 우리나라의 제작자는 현대중공업(저속/중속), HSD(두산중공업+삼성중공업+대우조선해양 공동 출자 회사, 저속/중속), STX(구, 쌍용중공업, 저속/중속/고속), 대우종합기계(고속), 광양종합기계(고속), 두원중공업(고속) 등에서 생산하고 있다.

특히 현대중공업은 1990년 이후 단일 회사로서는 선박용 디젤기관(저속/중속 포함) 생산량에서 세계 제 1위를 달리고 있을 뿐만 아니라, 한국에서 최초로 저속 2행정 디젤기관을 생산하기 시작하였다. 여기에서 간략히 현대중공업의 디젤기관 부문, 특히 대형 저속 기관을 주로 해서 사업 기획 단계에서 오늘에 이르기까지 간략히 소개하는 것도 의의 있는 일이라 여겨진다. 보다 상세한 글은 참고자료 [18] 한국박용기관학회지 1998년 3월호를 참조하여 주시기를 바랍니다.

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

표 15. 주요한 선박용 디젤기관의 배출가스 규제

규제물질	IMO (규제)	EU (규제-제한)	USA (규제)	Sweden (인센티브)	DNV선급 (선택)		LR선급 (선택)		RINA선급 (선택)	BV선급 (선택)
					CLEAN	CLEAN DESIGN	EP	Additional Character	CLEAN -AIR	CLEAN AIR
NOx (g/kWh)	9.8~17.0 (2000.1.1)	9.8	7.2, 7.5, 7.8, 8.7, 9.8, 11.0 (NOx+THC) (2004년-2007년)	2~12 (1998.1.1)	= IMO	5.9~10.2 (= 0.6*IMO)	= IMO	N character 7.9~13.6 (= 0.8*IMO)	= IMO	= IMO
SOx (% m/m) (황함량-연료유)	Max. 4.5 (일반해역) Max 1.5 (SECA)	1) Max. 0.20 (DM grade fuel) (except for foreign-trade ships) (Directive 1999/32/EC) 2) Max. 1.0% (HFO, March 2003)	Max. 1.5 (?) (200 해리) (?)	Max. 0.5 (여객선) Max. 1.0 (기타 선박)	Max. 3.0 (일반해역)	Max. 3.0 (일반해역)	Max. 3.5 (일반해역)	S character Max. 0.2 (Gas oil) Max 1.0 (HFO)	Max. 3.0 (일반해역)	Max. 4.5 (일반해역) Max 1.5 (SECA)
THC (g/kWh)	-	1.5+2P ^{0.5} (P = Power)	7.2, 7.5, 7.8, 8.7, 9.8, 11.0 (NOx+THC) (2004년-2007년)	-	-	-	-	-	-	-
PM (g/kWh)	-	0.14	0.20, 0.27, 0.30, 0.40, 0.50 (2004년-2007년)	-	-	-	-	-	-	-
CO (g/kWh)	-	5.0	5.0 (2004년-2007년)	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂ (g/kWh)	논의 중	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Smoke (링겔만)	-	-	1) Some ports(≤1) 2) Alaska	-	-	-	-	-	-	Opacity

주) SECA: SOx Emission Control Areas specified by IMO (Internation Maritime Organization)

9.1. 저속 2행정 디젤기관 생산 참여 배경

정부의 제3차 경제개발계획 중화학공업의 핵심 전략은 조선공업을 핵심적이고 세계적인 수준으로 끌어 올려 조선입국의 꿈을 실현시키는 것이었다. 특히 선박의 심장이라 할 수 있는 저속 2행정 디젤기관의 국내 생산은 우리나라의 조선공업을 세계적 수준으로 격상시키는 상징적 의미 또한 컸다.

선박 전체 가격의 약 10~15%를 차지하는 저속 2행정 디젤기관은 당시 일본이나 유럽 지역으로부터 전량 수입에 의존해 우리가 건조하는 선박은 국제경쟁력, 특히 가격과 납기 면에서 많은 어려움을 겪었다. 따라서 현대중공업은 저속 2행정 디젤기관 국산화만이 조선입국 실현의 지름길이라고 판단하고 국내 어느 기업도 업무를 내지 못한 이 분야에 참여했다.

표 16 주요한 선박용 디젤기관 질소산화물(NOx) 저감 방법

	NOx 저감 방법
기관 자체	연료분사 최적화
	연료분사시기 지연
	IMO-NOx Optimized VIT(Variable Injection Timing)
	연소실 최적 설계
	저 NOx 연료분사 Atomizer
	과급기 Matching
	압축비 증가
	연소실내 직접 물 분사
	공기 흡입관에 미세 물입자 분사
	연소실내 증기 분사
연료 변경	EGR(Exhaust Gas Recirculation, 배기재순환)
	Water in Fuel emulsion 사용
후처리	LNG 사용 (Dual Fuel)
	SCR(Selective Catalytic Reduction, 선택촉매/환원제 사용-암모니아 또는 Urea 수용액)

9.2. 실무 추진팀 구성

1976년부터 6월부터 국산화개발계획을 수립하고 기술제휴 및 초기단계 검토에 들어갔다. 이후 여러 측면에서 엔진사업의 타당성을 검토했다. 향후 엔진공장에서 생산할 엔진타입 및 대수, 기술제휴선 선정, 생산부품, 투자규모, 공장 레이아웃 등 많은 사항을 확정하고 정부의 사업 승인도 획득했다.

저속 2행정 디젤기관 생산은 고도의 기술과 대형 설비가 필요했지만 국내 능력으로는 실린더프레임, 베드, 실린더라이너, 커넥팅로드, 피스톤로드, 실린더커버 등 대형 부품의 생산이 불가능했다. 그리하여 이들 부품을 생산 및 제작할 주조공장, 단조공장, 기계공장, 조립공장 등의 자체 건설이 불가피했다. 국내에서 이 분야에 경험과 지식을 갖춘 사람들을 선발하여 이들을 주축으로 공장 건설 업무를 추진했다.

한편 1975년 6월 스위스의 슬쩌브라더스(Sulzer Brothers: 현재는 WARTSILA)사, 1976년 9월에는 덴마크의 비엔더블유(B&W: 현재는 MAN B&W)사와 기술제휴를 맺었다.

공장 건설이 급속히 진행되어 1978년 8월 엔진공장

이 완공되었다. 총투자 규모는 431억 3,000만원, 연간 생산 대수 50대, 그리고 생산 공장으로는 주조, 단조, 기계가공 및 조립 시운전 공장을 갖췄으며, 당시에 단일공장으로서 세계 최대, 최신의 설비였다.

9.3. 입지 선정

처음에는 창원 기계공업단지 안에 엔진공장을 건설할 계획이었으나 저속 행정 디젤기관은 무게가 1,500톤 이상이고, 크기도 2차선 도로를 전부 차지할 만큼 중량물이어서 울산, 부산 및 거제도 해안에 있는 국내 조선소까지 운반하는 방법도 문제가 되어 해상 운송 방법을 채택했고 최종 단계에서 공장 위치를 울산의 본사 공장 안으로 확정했다.

9.4. 디젤기관 기술 습득 단계

9.4.1 대형 디젤기관의 세계 시황

1973년과 1978년 두 차례의 석유 파동으로 선박의 운항 경비, 특히 연료비를 줄이기 위하여 세계 선박의 주기(主機)는 종래의 증기터빈에서 열효율이 좋은 디젤기관으로 급속히 바뀌는 추세였으며, 이 경우 다음

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

2가지의 디젤기관 형태를 선정할 수 있었다.

- ① 저속 2 행정 디젤: Sulzer(현재는 WARTSILA), Burmeister & Wain(현재는 MAN B&W), MAN(현재는 MAN B&W)
- ② 중속/고속 4 행정 디젤: SEMT-Pielstick(프랑스), MAN(현재는 MAN B&W)(독일), Sulzer(현재는 WARTSILA)(스위스), WARTSILA(핀란드), Daihatsu(일본), Yanmar(일본), 등등

이러한 상황에서 현대중공업은 다음과 같은 사정을 감안하여 세계 시장에서 지명도가 높은 회사와의 기술 제휴를 검토했다.

첫째, 대형 선박 고객들이 요구하는 디젤기관은 세계적으로 지명도가 높고 안정성이 높은 특정 전문회사의 제품이였다.

둘째, 선박에 탑재되는 주기관은 선박의 생명이라 할 수 있고 선박은 고정된 장소에서 운전되는 것이 아니라 오대양을 운항하기 때문에 안전성 및 철저한 A/S망을 구축하지 못한 디젤기관은 처음부터 고려의 대상에서 제외됐다.

당시 한국의 디젤기관산업 수준은 최고 200-300 마력급 정도를, 그것도 육상용 디젤을 조립 생산하는 초보 단계였다. 따라서 현대중공업도 대형 저속 디젤기관을 독자 개발, 생산하고 전 세계에 A/S망을 갖추기에는 시간과 투자를 감당할 수 없었다.

9.4.2 기술 제휴

지난 70년대의 1, 2차 석유 파동 이후 저속 2행정 크로스헤드 디젤기관을 선박 주기관으로 채택하는 예가 현저히 늘어났다. 특히 1980년대 이후에는 특수한 경우를 제외하고는 스텝터빈을 대형 선박의 주기관으로 사용하는 예는 찾아보기 힘들게 됐다. 신조선의 주기관으로서 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관의 수요가 증가한 요인은 이 기관이 가지고 있는 다음과 같은 장점 때문이다.

- ① 프로펠러 구동용 축계와 엔진을 기어나 클러치 또는 커플링 없이 직접 연결시킬 수 있기 때문

에 추진시스템의 간소화 및 단순화가 가능하며, 엔진과 축 사이에 연결되는 기어, 클러치 또는 커플링으로 인한 추가 경비를 줄일 수 있다.

- ② 실린더 고출력을 얻을 수 있으며, 이로 인해 적은 수의 실린더를 가진 엔진을 탑재할 수 있으므로 다실린더 4행정 중속엔진에 비해 유지비가 적다.
- ③ 여러 열기관 중 최고의 열효율을 얻을 수 있으며, 이로 인해 연료비 절감 효과를 가져온다.
- ④ 저급의 연료유(중유)를 사용할 수 있다.

이 같은 장점과 함께 대형 선박용 주기관이 선박 가격의 약 10~15%이기 때문에 전량 외국, 특히 일본으로부터 수입했으므로 최대의 경쟁국인 일본에 비해 수주 경쟁력이 상대적으로 떨어졌다. 현대중공업은 선박의 심장부인 대형 저속 2행정 디젤기관을 제작하기 위해 세계 유수의 유명 디젤기관 설계회사와 기술 제휴를 맺게 되었다.

주요 기술 제휴 현황은 표 17과 같은데, 저속 디젤기관 3사와는 모두 기술 제휴를 맺고 있다.

9.4.3 해외 기술 연수

기술 제휴사인 스위스의 Sulzer사, 덴마크의 B&W사 및 독일의 MAN사에 설계, 기계가공, 품질관리, 용접, 조립 및 시운전분야에 46명의 요원이 기술 연수를 받아 디젤 제작에 필요한 제반 사항들을 습득했다. 또 상기 회사들의 제품을 라이선스 제작하는 일본 미쓰비시(MHI), 미쓰이(MES), 히타치(Hitachi)사에도 설계, 기계가공, 품질관리, 용접, 조립 및 시운전분야에 33명의 요원이 기술 연수를 다녀왔다.

9.4.4 일본 대형 저속 2행정 디젤엔진 생산업체와의 기술 협력

유명 디젤제작사와 기술 제휴 후 현대중공업 자체만으로는 수많은 디젤기관 부품을 제작하기 어려웠다. 국내 최초의 제작이었을 뿐만 아니라 국내 부품 업체 또한 개발되지 않은 상황이었다. 그래서 대형 디젤기관

표 17 현대중공업 저속 2행정 디젤기관 기술 제휴 현황 (최초 계약)

기술 제휴사	제휴 일자	사업 내용	비 고
Sulzer Brothers (현 WARTSILA)	1975. 6. 11	2행정 및 중속 4행정 디젤	현재 계속 유지
Burmeister & Wain(B&W) (현 MAN B&W)	1976. 9. 7	저속 2행정 디젤	현재 계속 유지
MAN (현 MAN B&W)	1976. 12. 20	저속 2행정 및 중속 4행정 디젤	현재 계속 유지
미쓰비시중공업	1984. 6. 20	저속 2행정 디젤	현재 계속 유지

제작에 경험이 많은 일본의 엔진제작사들로부터 부품을 공급받았다. B&W 대형 디젤은 미쓰이와 히타치, Sulzer 대형 엔진은 미쓰비시와 스미토모 및 이시가와 지마하리마(IHI)사로부터 공급받았다. 공급 받은 주요 부품은 크랭크샤프트, 터보과급기, 피스톤크라운, 피스톤링, 조속기(가버너), 연료분사펌프, 연료분사밸브, 배기밸브, 스테어링박스, 전기 부품 및 콘트롤시스템 등이었다.

반면 현대중공업은 디젤 초기 수주 및 제작 단계부터 일본 최대의 디젤제작사인 미쓰비시와 히타치가 발주한 Sulzer 5RND76M과 RND76 엔진에 대한 다음 부품을 제작 수출했다.

- ① 단조품 : 피스톤로드, 커넥팅로드
- ② 주조품 : 플라이휠, 실린더자켓(또는 실린더프림) 등

9.4.5 본사 생산 엔진의 성능 확인

세계 유수의 디젤기관 설계회사와 기술제휴를 맺기는 했지만 대형 디젤기관 생산 실적이 전무하여 본사에 디젤기관을 발주하려는 국내외 선주는 없었다. 무엇보다도 선주의 거부반응 및 우려를 해소하는 일이 필요했다. 짧은 기간의 기술연수를 통해 습득한 지식을 총동원했을 뿐만 아니라 필요에 따라서는 기술제휴선과의 복수보증을 통해 적극적으로 영업 활동을 전개하여 서서히 선주를 설득해나갔다.

- (1) 기술제휴선 기술자와의 생산 기술 협력

최초로 수주, 생산한 현대 디젤기관 1호기는 B&W형 7L55GF 타입으로 국내 신한해운의 2만 5,000t급 화물선에 탑재됐다. 현대 2호기는 Sulzer형 5RND76M 타입으로 현대상선의 3만 1,000t급 화물 및 차량운반선에 탑재됐다. 이같이 엔진 생산 초기의 주력 기종은 B&W 및 Sulzer형 엔진이었으며 크기 및 출력에서 국내에서 제작한 최대의 디젤기관이었다.

현장에서 제작상의 노하우를 단기간에 습득한다는 것은 현실적으로 한계가 있었다. 이를 해결하기 위하여 기술제휴선의 엔지니어를 필요한 분야에서 같이 근무하게 해 단시간 내에 노하우를 습득, 선주 및 조선소들의 우려를 해소할 수 있었다.

(2) 엔진성능평가위원회의 성능 입증

본사는 기술제휴선으로부터 엔진제작에 필요한 관련 기술을 입수해 검토 적용하고는 있었으나, 특히 대형 선박용 디젤기관 제작 경험이 없어 성능을 보장하고 디젤기관 제작에 도움을 줄 수 있는 자문 기관이 필요했다. 그리하여 1979년 7월 11일자 상공부 공고 제79-103호에 의거 그 당시 한국의 디젤기관 전문가들로 '선박용 디젤엔진 및 동 부분품 성능 평가위원회'가 구성됐다.

이 평가위원회는 각계의 관계자로 구성되어 초기 대형 디젤기관 제작에 기여했으며, 부품 제작시 제출한 각종 품질보고서와 시운전시 측정된 데이터를 기준으로 분석 검토해 1980년 2월 '선박용 엔진 성능평가를 위한 조사연구'를 발표했다.

선박용 디젤기관 - 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관을 위주로

표 18 B&W L-GF와 Sulzer RND-M형 디젤기관의 주요 기술 사항

기종	B&W L-GF	Sulzer RND-M
최대연소압력 (bar)	84	94
평균유효압력 (bar)	11.8	12.3
배기터보 과급	동압 과급	정압 과급
소기방식	Uniflow	Loop
연료소모율 (g/PS.h)	149	149

표 19 현대중공업 대형 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 1호기(7L55GF)와 2호기(5RND76M) 주요 제원

	현대-B&W 7L55GF	현대-SULZER 5RND76M
기술제휴선	B&W	SULZER
정격 출력(마력)	9,300	12,000
정격 회전수(분당회전수)	150	122
크기(L×B×H) (mm)	9,610×2,950×7,670	10,895×3,800×11,045
무게 (톤)	227	376
선박건조조선소	현대중공업	현대중공업
선주	신한해운	현대상선
공식시운전일자	1979. 6.26	1979. 11. 28
평균유효압력 (kg/cm ²)	12.3	12.6
연료소모율 (g/PS.h)	149	151

9.4.6 부품국산화 개발

1972년 현대중공업을 필두로 국내에서도 대형 조선의 시대를 맞이했다. 대형 디젤기관의 국산화 추진은 조선의 국제경쟁력 강화에 기여함은 물론 국내 관련 기계공업 육성의 계기가 됐다. 1975년 기술 도입 계약을 맺은 이래 개발 초기인 1979년까지는 CKD생산에서 출발했으며 1980년대 초까지만 해도 국내 협력업체들의 기술 및 경험 부족으로 본사 자체 제작분 및 국산화율은 약 30%에 머물렀다. 그 후 본사의 꾸준한 기술개발과 협력업체 육성으로 국산화율이 1982년에 약 50%에 이르렀고 1985년에는 70%에 육박했다. 현재 본사와 국내 협력업체의 기술 향상으로 일부 고기능 부품과 경제성이 없는 부품을 제외하면 국산화율이 95%를 상회하고 있다. 또 대형 저속 디젤기관뿐만 아니라 중속 디젤기관 제작에도 박차를 가하고 있다.

9.4.7 대형 저속 2행정 디젤기관의 기술

세계 유수의 디젤엔진 메이커들과 기술 제휴를 맺고 생산을 개시한 것은 1979년으로 2차 석유 파동이 한창 진행되던 때였다. 현대 디젤1호기와 2호기는 당시 신 기종 개발 주기가 5년 이상 소요되던 때의 마지막 기종에 해당한다. 이후 급격히 진행된 디젤기관 기술 혁신에 비취 볼 때 이러한 기종을 시발점으로 잡은 것은 후발 업체로서 다행이었다. 단일기종으로 장기간의 개발기간, 충분한 생산실적을 가진 기종이었으므로 기종 자체의 기술적 안정성이 부족해 겪어야 하는 부담은 적었다.

B&W L-GF형 디젤은 종래의 K-GF형 구조를 그대로 따르고 행정(Stroke)만 증가시켜 저 회전에 의한 효율 향상을 꾀한 기종으로 부품 대부분이 호환성을 가지고 있었다. Sulzer RND-M형 디젤도 1973년 제1차

표 20 MAN B&W 저속 2행정 디젤기관 연료소모율 비교 (실린더 지름: 800 mm)

	K80GF	L80GF	L80GFCA	L80GB	L80MC	S80MC	S80MC	S80MC-C
연도	1971년	1974년	1979년	1981년	1983년	1985년	1997년	1999년
과급 방식	동압	동압	정압	정압	정압	정압	정압	정압
출력/CYL (PS)	2,640	2,640	3,060	3,060	3,200	4,560	5,220	5,280
연료소모율 (g/PS.h)	154	150	137	129	124	126	125	123

석유 파동 후 연료 절감을 목표로 종래의 RND형을 개선한 기종이다. B&W L-GF형 디젤과 RND-M형 디젤의 주요 기술 사항은 표 18과 같다.

9.4.8 현대중공업 대형 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관 1호기와 2호기

앞에서 언급한 것과 같은 여러 난관을 극복하고 1979년에 현대중공업 사상 최초이면서 한국 최초인 대형 저속 2행정 크로스헤드형 디젤기관이 탄생하였다. 그 1호기와 2호기인 7L55GF 및 5RND76M의 주요 제원은 표 19와 같다.

9.4.9 1970년대와 1980년대 대형 저속 2행정 디젤기관 개발

70년대 중반까지는 일정한 간격(4-5년)을 두고 신기종 개발이 이뤄져왔으나 70년대 후반부터는 유가 폭등 및 세계 경제 환경의 급격한 변화에 대응하기 위해 각사가 경쟁적으로 연료절약형 고효율 엔진을 개발했다.

MAN B&W 저속 2행정 디젤기관 중에서 실린더 지름이 800 mm인 엔진을 비교하여 봄으로써 7-80년대에 엔진제작사가 얼마나 연료 절약을 위해서 노력하였는지를 알 수 있다.

10. 이 글을 마치면서

이 글이 독자들에게 선박용 디젤기관을 이해하는데 도움이 되기를 바라며 나아가 한국의 박용기관 업계를 다시 한번 인식하는 계기가 되었으면 합니다. 또한

오늘날 현대중공업 디젤기관 부문이 이렇게 발전하기까지 도와주신 모든 분들에게 이 지면을 빌어 고마움을 전합니다. 그리고 오늘날 이렇게 한국의 박용디젤기관이 발전하기까지 앞에서 끌어주고 뒤에서 밀어주신 조선산업에 몸담고 계셨던 분, 현재 몸담고 계시는 모든 분에게 감사를 드립니다.

끝으로 지금까지 이 글을 읽어주신 독자께 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Magazine "THE MOTOR SHIP" (2000년 5월)
- [2] Magazine "MER" (2000년 2월)
- [3] 일본 "해사프레스(海事Press)" (2002년 9월 10일)
- [4] 일본 "일본공업신문" (2002년 9월 17일)
- [5] Magazine "THE MOTOR SHIP" (1975년 1월)
- [6] 한국박용기관학회지 (2002년 9월호)
- [7] Wartsila news release "LNG carrier breakthrough for Wartsila" (2002년 4월 3일)
- [8] Magazine "THE MOTOR SHIP" (2002년 7월)
- [9] Magazine "THE MOTOR SHIP" (2002년 10월)
- [10] Magazine "THE MOTOR SHIP" (2001년 9월)
- [11] Magazine "THE MOTOR SHIP" (2002년 2월)
- [12] WARTSILA "From The Mountains To The Seas, The SULZER Diesel Engine"
- [13] Magazine "THE MOTOR SHIP" (1996년 ~ 2001년)
- [14] MAN B&W "Diesel news" (150th Anniversary issue, 18th February 1993)
- [15] Magazine "THE MOTOR SHIP" (1973년 8월)
- [16] 일본 해사프레스 (2002년 10월 21일)
- [17] 한국박용기관학회지 (2001년 5월호)
- [18] 한국박용기관학회지 (1998년 3월호)