

# 어선용 소형 디젤기관의 생산현황과 전망

한국기계연구소 대덕선박분소

선임연구원 김 영 주

## 목 차

1. 개 요
2. 국내 선박용 소형 디젤기관의 생산현황
3. 선박용 디젤기관의 개발경향
4. 개발전망
5. 결 론

## 1. 개 요

선박용 주기관 가운데 디젤기관의 세계적인 분포는 전체 선박량(척수) 가운데 97%를 차지하고 있어 선박의 추진기관으로서 디젤기관의 중요도는 매우 지대한 것으로 볼 수 있으며 1970년대의 두 차례의 오일쇼크를 거치면서 열효율이 유리한 디젤기관의 선박추진기관으로서의 수요는 증가추세이다. 연료유 가격이 크게 상승되면서 선박의 운항경비는 '70년대에 총경비의 8% 정도이던 것이 '80년대에 와서는 30%, '90년에 가면 40~80%까지 증가될 전망이어서 디젤기관 제작 경향은 연료소비율 저감을 위해 연구에 치중하고 있으며 이에 대한 발전템포는 1년 사이에도 몇 가지씩의 신기종이 개발되는 정도로 가속화 되고 있어 종전에는 볼 수 없는 현상이 나타나고 있다. 2행정 소형 저속기관의 경우 소기방식을 Sulzer, B & W/MAN, Mitsubishi 등 세계적인 기관제작사들은 모두 소기효율, 총합효율, 저질유 사용 등에 유리한 Uniflow 방식을 채택하고 있으며 4행정기관의 경우도 연료유의 점도가 1500~3500 초 R.W. No 1인 저질유 사용을 시도함으로써 열사이클 면에서 2행

정기관보다 유리한 점을 감안, 1980년대에 들어 오면서 VLCC, ULCC와 같은 초대형 유조선의 주기관인 종래의 증기터빈을 중속 4행정 감속 기구동 디젤기관으로 상당수 교체되는 실적을 볼 수 있었다.

어선 주기관으로는 대부분 실린더 직경이 300mm 이하인 증소형 증고속 디젤기관이 사용되고 있으며 선질의 FRP화 추세에 따라 30여년 전에 비해 최근 개발기종의 연료소비율 65%, 마력당 기관중량 20%가 개선된 것은 그동안 꾸준한 연구노력의 결과라 할 수 있다. 여기에 비해 국산 선박용 소형 디젤기관의 연료소비율이나 기관중량은 1960년대의 수준에서 크게 벗어나지 못하고 있어 유사한 외국기종의 연료소비율 175 g/ps·h, 기관중량 4~5 kg/ps인데 반하여 210 g/ps·h, 10 kg/ps 이상이고 FRP선의 단위 톤당 출력도 기관의 신뢰성, 내구성 문제로 외국의 2~5 ps/ton에 비해 6~7 ps/ton으로 나타나고 있다.

국내 어선의 주기관 탑재현황은 정부기관의 어선 동력화사업과 동력개량사업의 시책에 힘입어 전체 선박량의 동력선 분포율이 그림 1~3에서 보는 바와 같이 다소 개선되고 있으나 어민경제의 영세성과 수산자원의 제한때문에 연근해어업이 주종을 이루고 있어 무동력선이 전체등록어선 833,852톤 가운데 5.5%를 차지하고, 이들 대부분이 5톤 이하의 소형어선으로서 총척수 66,599척 가운데 44.6%나 되고 있다. 5년전 등록어선 자료인 총척수 64,785척 중 무동력선 54%에 비해 큰 변동이 없다고 할 수 있다.

그림 4에 보는 바와 같이 최근 신조어선의 주

기관 출력분포는 전체 신조선 척수의 82.5%인 5톤 미만의 어선에 사용되는 30 마력 이하의 디젤기관이 51.4%를 차지하고 선질별로는 목선이 77%, FRP선이 15%인 것으로 보아 목선이 FRP선으로 대체되기 위해서는 아직 상당한 세월이 흘러야 할 것이다.

선박용 디젤기관의 개발경향은 연료비가 증가됨에 따라 기관성능을 개선하여 종래 열효율이 40% 정도이던 것을 50%를 상회하도록 하였고 중소형 4행정기관일지라도 A중유 영역에서 벗어나 점착촉매법 등으로 정제되어 점도 3500 초 R.W. No 1 정도의 저질유까지도 효과적으로 연소시킬 수 있도록 대책을 강구하고 있으며 운항비의 5% 정도인 정비유지비를 낮추기 위해 정비작업이 용이한 구조로 개선하고 있다. 또한, 전체 열효율을 높이기 위해 폐열이용, 주기구동 보조기계의 동력감소 및 전자기기를 이용한 밸브 타이밍, 모니터링, 자동화 등에 대한 연구가 크게 진전되어 실용화하는 추세인 이 시점에서 국내 어선용 중소형 디젤기관의 현황과 장래의 전망을 살펴 보면서 국내 관련업계의 나아갈 길을 모색하는 기회를 마련하는데 보탬이 되고자 한다.

## 2. 국내선박용 소형 디젤기관의 생산 현황

국내 선박용 디젤기관 제작업체는 대형 저속기관을 생산하는 현대엔진(주), 한국중공업(주)와 중소형기관을 생산하는 쌍용중공업(주), 대우중공업(주) 이외에 소형 기관전문제작업체인 대동중공업, 중앙기계, 우신산업 등을 들 수 있는데 조선수주량 격감, 해운경기침체, 어황의 불황 등 국내외적인 영향으로 국내 선박용 기관 제작업체는 불황을 타개하기 위해 노력하고 있으며 부분품 국산화를 제고 및 연료소비를 저감을 목표로 하는 신기종 개발에 박차를 가하고 있다. 소형기관 제작업체의 경우 협소한 국내시장에서 활로와 고성능기관 및 신기종 개발을 위한 기술협력선을 찾기 위해 몇몇 업체는 '85년도에 접어들면서 생산체제를 재정비하고 있다.

700 마력 이하의 어선용 소형 디젤기관의 국내 제작업체별 대표기종은 표 1에서 보는 바와 같다.

## 3. 선박용 디젤기관의 개발경향

### 가. 일반적인 기술동향

40여년 전부터 중소형 어선용 주기기관으로 사용되어 오던 소주기기관이 디젤기관으로 대체되면서 무과급기관일 때 평균유효압력(Pme)이 5~5.5 kg/cm<sup>2</sup>이었으나 1950년대부터 과급기관 출현으로 7 kg/cm<sup>2</sup> (무냉각기관), 9 kg/cm<sup>2</sup> (냉각기관)으로 상승되면서 그림 5에 보이는 바와 같이 고효율화, 고속화, 자동화 및 고성능화 되어 왔다.

수산자원 고갈로 어장이 연해에서 점차 근해 또는 원양으로 멀어지면서 1960년대는 추진동력기관의 평균유효압력이 20 kg/cm<sup>2</sup> 정도로 상승된 고효율 중고속기관이 출현하였고 오일쇼크로 연료비가격이 크게 인상되면서 연료비 절감과 정비유지비를 감소하기 위해 감속운전 내지는 저속화 하여 추진기의 추진효율을 높이고 연소압력을 70~80 kg/cm<sup>2</sup>에서 130~150 kg/cm<sup>2</sup>로 올리면서 피스톤과 베어링 등의 재질과 구조를 변경하

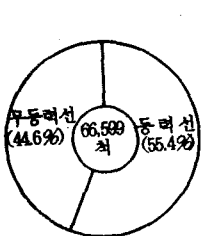


그림 1. 척수분포 ('84)

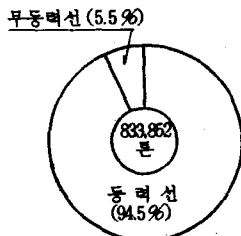


그림 2. 톤수분포 ('84)

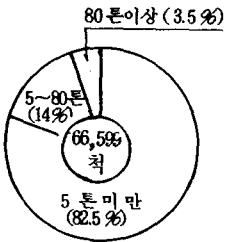


그림 3. 톤급별분포 ('84)

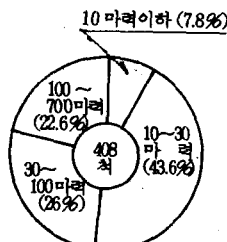


그림 4. 신조어선기관 출력분포 ('84 4/4분기)

표 1. 제작자별 생산기종

업 체 명	기 관 형 식	기 통 수	출 력 (PS)	회 전 수 (RPM)	실린더직경 (mm)	행 정 (mm)
쌍용중공업	Daihatsu M1T	6	130	2600	100	125
	" M2S	6	240	2000	120	150
	" M3S	6	350	1800	140	160
	Hanshin 6L 24GS	6	500	400	240	400
	Niigata M22GT	6	400	420	220	380
	" MG16X	6	450	1350	160	200
대우중공업	Kubota M6D17	6	400	1200	174	205
	MAN MD124	4	71	2200	108	132
	" MD126	6	128	2200	108	132
	" MD176	6	180	2000	121	150
	" MD074	4	60	3300	98	92
	" MD096	6	95	2600	102	110
	" MD176T	6	220	2000	121	150
대동중공업	1DM6	1	6	2200	80	95
	1DM11	1	11	1200	110	150
	1DM15	2	15	1500	95	120
	1DM22	2	22	1200	110	150
	3DM30	3	30	1800	106	120
	3DM45	3	45	950	135	180
	4DM60	4	60	950	135	180
	3DM75	3	75	1170	145	200
	5DM125	5	125	1170	145	200
	6DM180	6	180	1250	150	200
	MD200D	1~3	8~24	3100	79	87
중앙기계	JAM5	1	5	2200	78	84
	JAM10	1	10	1800	96	105
	JAM14	1	13	1800	105	125
	JAM16	2	16	1800	96	110
	3JAM	3	25	1800	96	115
우신산업	1WS6	1	6	1370	90	120
	1WS7	1	7	1440	95	120
	1WS9	1	9	800	110	150
	1WS12	1	12	1300	110	150
	2WS15	2	15	1200	95	120
	2WS22	2	22	1200	110	150

여 강도를 개선함과 동시에 연료분사압력도 중형 기관의 경우 500 ~ 600 kg/cm<sup>2</sup>에서 900~1200 kg/cm<sup>2</sup>까지 높이고 소형기관의 경우 연소방식도 예비연소실이나 와류실식을 직접 분사식으로 변경함으로써 30% 정도의 연료소비를 절감하게

되었다. 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 와류 실식이나 예비연소실식은 실린더 직경이 150 mm로 한정되고 있으며 이들의 기관속도는 1000 rpm 이상일 때 효과적임을 알 수 있다.

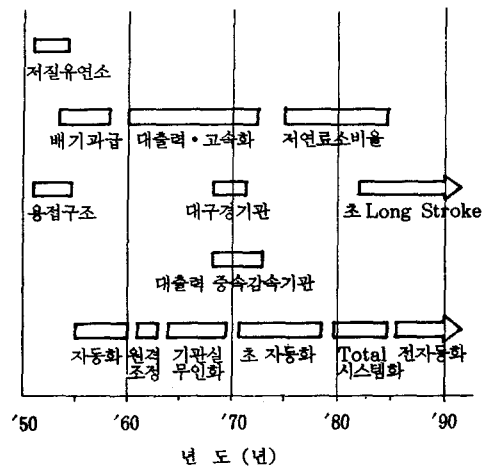


그림 5. 년도별 박용디젤기관 발달추이

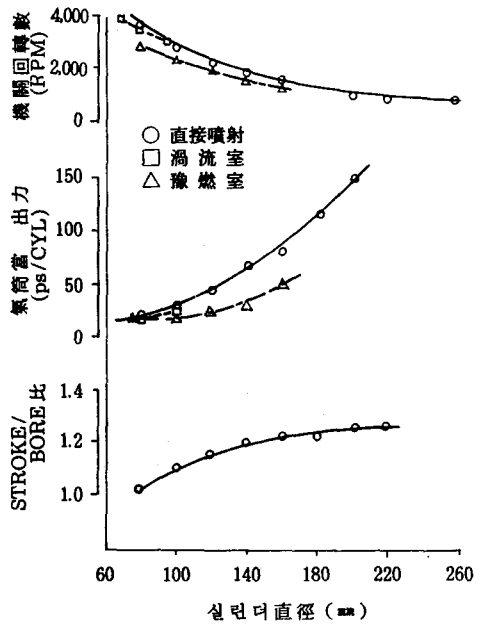


그림 6. 소형 고속디젤기관의 特性

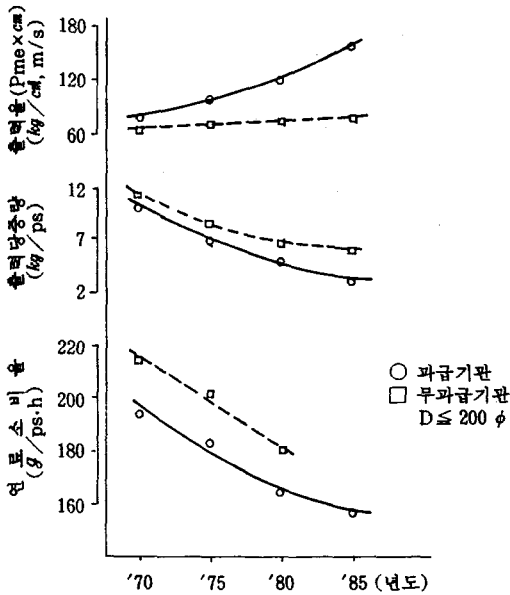


그림 7. 년도별 소형디젤기관의 성능변화 추이

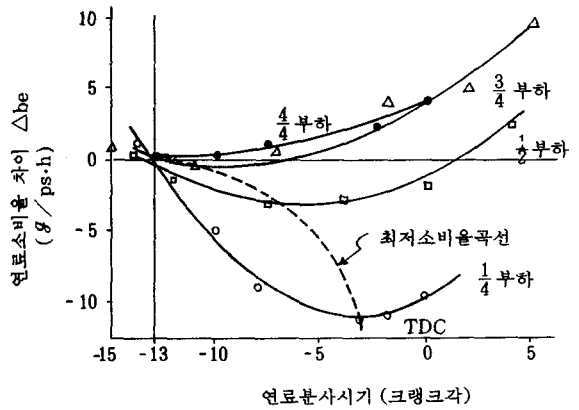


그림 8. 연료분사시기와 연료소비율 변화 (MU323기관)

그러나 1970년대 부터 목선이나 강선이 FRP 선으로 대체되면서 주기관의 소형화, 경량화를 요구하는 것으로 보아 기관설치 조건이나 연료소비율면에서 유리한 중고속의 감속기어형 디젤기관의 수요가 증가될 것으로 전망된다. 이에 따라 이들의 진동문제 해결은 매우 중요한 과제가 되고 있어 4기통기관의 경우 2차발란사의 설치

가 필수적이라 할 수 있다.

과거 15년간에 걸쳐 기관성능분석에 중요한 사항으로 되고 있는 출력을 (평균유효압력×피스톤속도), 기관중량 (kg/PS), 연료소비율 (g/ps-h)의 변화추이는 그림 7에 보이는 바와 같이 과급기관의 경우 출력을 85% 상승, 중량 70% 감소, 연료소비율 30% 감소로 나타나고 있다.

한편 대형 저속기관의 경우를 살펴 보면 저질유 사용을 가능케 하고 연료소비율을 낮추며 피스톤 행정을 길게 하며 정압과급방식 채택, 연소압력 상승, 배기밸브 무냉각과 회전장치 도입, 피스톤과 배기밸브의 Bore Cooling, 피스톤이나 라이너 등의 연소실 주위 구성부분의 재질을 내열, 내식 및 내마모성을 갖는 특수재질로 개선하고 밸브구동을 유압식 및 공기스프링 기구로 대체하며 밸브타이밍과 분사압력을 기관속도에 따라 최적 연소가 이루어 지도록 제어하고 주기구동 보조기계의 성능개선으로 소요동력 감소, PTO 축을 이용한 축발전기 구동, 배기개스 및 냉각수열 이용으로 기관 전체의 열효율을 50% 이상 높일 수 있게 되었다. 또한 정비유지가 용이하게 과급기나 소기냉각기의 취부위치를 배기관 주위에 오도록 하고 실린더헤드나 피스톤과 베어링 등의 고정볼트를 유압식으로 하는 점도 유의할 사항이다. 이들의 개선점은 중소형 고속기관에도 크게 활용되고 있다.

그림 8은 기관속도나 부하조건에 따라 최적 연료분사시기가 크게 달라짐을 알 수 있으며 그림 9에서 해수직접 냉각의 경우보다 청수간접냉각으로 하여 실린더 냉각 및 윤활온도를 종전보다 각각 40℃와 15℃ 높여서 연료소비율을 3~4%

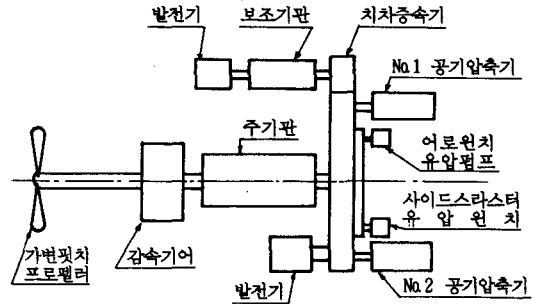


그림10. 저인망어선 보기구동시스템 배치도 예

개선시키고 있으며, 그림 10은 저인망어선의 주기구동 발전기, 공기압축기, 원치용 유압펌프 등의 배열을 예로 보이고 있다.

구미 선진국에서 기관제작자들이 신기종 개발을 위해 연구한 실적을 소개하면 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 실린더 냉각손실 및 저온부식 방지를 위해 실린더 냉각온도 고온화
- 실린더 윤활시스템을 주유공 위치와 수량, 피스톤 형상과 수량 등의 최적화로 주유율 0.79 /ps.h로 유지하면서 피스톤 수명을 14000~15000 시간 유지
- 라이너 마모율 0.05 mm / 1000 시간 이하로 개선
- 피스톤링의 연소개스 기밀상태 개선으로 브로우바이나 피스톤 하부 탄화물 퇴적감소
- 과급공기 냉각수 및 냉각유의 폐열 이용으로 열효율 개선
- 주기구동 보조기계의 용량 최적화로 동력 감소
- 배기밸브의 무냉각에 의한 배기열 이용증대 및 국부적인 저온부식 방지
- 전자식 조속장치 개발로 기관의 속도변동이나 최저회전수 저하 (정격출력의 30% 회전수)
- 정비유지가 용이하고 저질유 사용시 성능이 향상된 과급기 개발
- 주기구의 PTO 축을 이용한 발전기 구동으로 주기동력의 효율적 이용과 발전기관의 저질유화
- 공기냉각기 등의 소재약품 개발로 운전 중 효과적인 정비

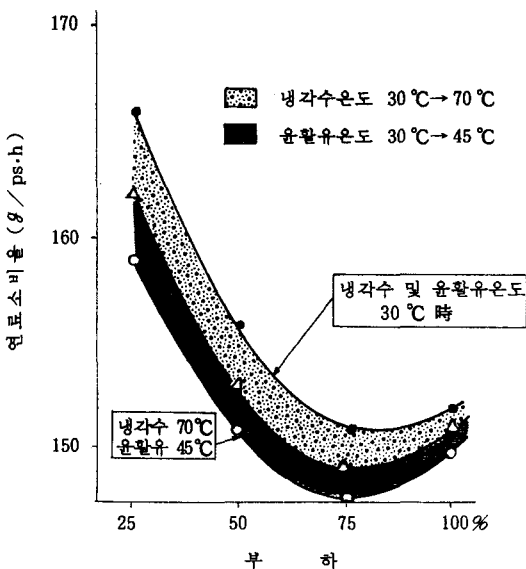


그림 9. 윤활유와 냉각수온도에 의한 연료소비율 비교

- 종진동 댐퍼의 구조개선으로 제작비 및 성능향상
- 세라믹 재료의 연소실 이용

**나. 외국 중소형 디젤기관사의 기술개발 현황**

대형기관의 신기종 개발추세에 힘입어 어선용 주기판으로 사용되는 중소형 디젤기관의 경우도 고속화, 고출력화를 위해 연료분사 방식을 실린더 직경이 170 mm 이하인 것에 직접분사식 연료분사와 청수간접냉각, 과급 및 소기냉각방식

을 채용하여 평균유효압력을 12 kg/cm<sup>2</sup> (3000 rpm), 14~15 kg/cm<sup>2</sup> (2000~2500 rpm), 17.5 kg/cm<sup>2</sup> (1200 rpm), 20 kg/cm<sup>2</sup> (750 rpm) 으로, 피스톤 속도를 8~10 m/Sec로 하고 있으며 강제윤활방식, 피스톤 냉각통로 변경, 소기의 와류유입, 크랏치의 유압 및 특수기어방식 채택, 고성능 과급기 도입 등으로 성능을 향상시키고 기관중량 감소와 내구성 향상을 기하고 있다. 국내에서 어선용 주기판으로 많이 사용되는 기종들과 관계가 많은 외국의 신개발 기종을 소개하면 아래 표 2와 같다.

표 2. 외국어선용 디젤기관의 신개발기종

제 작 비	기 관 형 식	실린더직경 (mm)	행 정 (mm)	회 전 수 (Rpm)	출 력 (ps)	연소소비율 (g/ps·h)	기관중량 (kg/ps)
니 가 다	6NSA - M	130	160	2000	360	154	3.75
미 쓰 비 시	D6M - TK	110	125	2500	280	160	3.3
"	D4TB - TK	170	210	1300	400	160	4.9
알 마	6GH - DT	118	140	2200	250	160	4.4
"	M200L - UT	200	260	720	600	145	9.6
"	4JHE	78	86	3500	40	160	3.9
구 보 다	MH150BCS	117	145	2035	245	165	5.1
이 스 즈	UM6SA1TC	115	135	2200	230	160	4.13

**4. 개 발 전 망**

중소형 디젤기관의 개발경향에서 운항비 절감을 위한 연료소비율 저감과 보수운전의 단순화, FRP선에 대처하는 주기판의 고속화, 경량화와 감속기어에 의한 추진축의 저속화(회전수 15% 감소로 추진효율 3~5% 상승), 저질유 사용으로 인한 연소악화로 마모량 증대에 대한 대책, 배기가스나 냉각수 등의 폐열이용과 발전기를 포함한 보조기계들의 주기구동, 대체연료 사용, 고출력화에 따른 신소재 개발, 연소성능을 높이기 위한 과과급 및 흡배기 개선, 연료분사압력과 분사시기 제어 등의 전자식 자동화에 대한 새로운 기술개발을 위해 국내에서도 아래에 열거한 내용들이 집중적으로 연구가 진행될 전망이다.

**가. 연소효율 개선방법**

- 연소방식을 예비연소실식이나 와류실식으로

부터 직접분사식으로 구조 변경

- 과급방식을 무과급이나 1 단과급에서 고효율과급기 사용과 2 단과급 내지는 소기냉각방식으로 변경

- 소기유입을 소기밸브에 안내 날개 부착으로 와류유도

- 연료분사압력과 분사시기 및 밸브타이밍을 부하에 따라 조정

- 연소압력 및 압축압력의 고압화 및 유분 미세화

**나. 저질유 및 대체연료유 사용**

- 세라믹 등의 내열, 내마모성 재료의 사용과 연료압력 증가에 따른 기관구조강도의 최적화

- 발전기, 공기압축기, 유압기계 등의 보조기계 구동을 주기구동으로 일원화 내지는 병렬운전

- 여과기나 유분분리기 등의 연료 전처리장치의 채용 및 고성능화와 A/C중유 혼합기 개발

- 피스톤이나 피스톤링의 형상 및 수량 최적화로 연소가스 기밀유지 및 마모량 감소
- 연소압력 상승으로 30 ~ 40의 저세탄가 연료사용 (시동성 및 녹킹방지 대책강구)

**다. 총합 열효율 개선**

- 실린더 라이너, 피스톤, 과급기 등의 냉각 온도 상승과 무냉각 과급기 채용
- 배기밸브의 배기열 상승과 저온부식을 위한 고온냉각 내지 무냉각화
- 고과급 고속기관의 감속장치 도입으로 추진기 효율증대
- 배기열과 냉각열을 효과적으로 이용가능한 시스템 및 사이클 구성

**라. 자동화, 무인화 대책**

- 조속계통, 연료분사시기 및 밸브구동의 냉각수 관리에 전자제어방식 채택과 전산화 유도
- 피스톤, 베어링 등의 윤활계통 고장진단장치와 금속 및 수분검지장치, 유량검지장치 개발 도입으로 기관사고 방지
- 소음 및 진동저감으로 기관의 내구성 향상

**마. 보수운전비 절감**

- 흡배기밸브의 수량 적정화 및 회전장치 도입
- 흡배기 밸브, 연료밸브, 피스톤 및 실린더의 Bore-Cooling으로 열용력 감소
- 유압구동밸브 개폐, 공기스프링 사용
- 실린더카바, 베어링 고정볼트 등의 유압방식 채택
- 연료분사노즐이나 배기밸브에 스텔라이트 사용
- 해수직접냉각을 청수간접냉각으로 대체
- 연료밸브 및 과급기의 무냉각화

**바. 제조원가 절감**

- 크랭크축, 연결봉 등의 가공자동화, 무인화
- 시운전 및 검사의 합리화로 기관운전시간 단축
- 공작기계의 NC화로 부품의 품질균일화

**5. 결 론**

국내에서 제작되는 어선용 소형 디젤기관은 현재 출력이 700 마력 이하, 회전수 800 ~ 3000 rpm, 실린더 직경 78 ~ 150 mm 및 피스톤 행정 95 ~ 200 mm로 비교적 광범위하게 분포되어 있고 대동중공업의 불보형을 제외하면 기관속도가 2200 rpm 이하로 비교적 저속이므로 기통당 기관중량이 외국은 4 ~ 5 kg/ps 인데 비해 10 kg/ps 전후로 무겁고 무과급 예비연소실식인 연소방식을 채택하고 있어 외국기종의 연소압력이 120 ~ 140 kg/cm<sup>2</sup>보다 낮은 100 kg/cm<sup>2</sup> 이하 이므로 운전자들에게는 취급이 용이한 반면 연료소비가 크고 저질유의 사용이 어렵다.

한편 냉각방식도 해수직접냉각이므로 냉각손실과 저온부식, 피스톤과 라이너의 마모촉진이 문제가 되고 있다. 따라서 국산엔진에 있어 장래의 신기종 개발과제로 대두되고 있는 연료소비율 저감, 저질유 및 대체연료 사용, 총합열효율 향상, 자동화기기의 도입에 의한 기관성능과 내구성 향상 등의 문제점에 쉽게 접근하면서 국산엔진의 신뢰성 확보를 기하려면 제작자들의 기술향상과 정부기관을 비롯한 관련기관의 다각적인 지원이 요망되며 선박소유자나 운전자들의 협조와 고도기술의 적용이 뒤따라야 하겠다. 이렇게 함으로써 어선용 소형 디젤기관의 연료소비율 180 g/ps·h 이하, 1500 ~ 3500초의 저질유 사용 12000 시간 이상의 무개방 운전이 가능한 국산기관의 생산이 가까운 장래에 가능하리라 믿는다. ☞