

# 육상용 디젤기관의 선용화에 대한 성능특성 고찰

(자동차엔진 사용 중심으로)

박 태 인/한국기계연구원

김 기 무/기원엔지니어링

## 1. 머리말

1980년 후반부터 국내 연근해 어선에는 해상용 엔진에 비해 초기 투자가 적은 자동차용 디젤엔진을 많이 사용하여 왔다. 특히 육상에서의 법정 사용년한이 지난 폐차엔진이나 중고엔진의 불법사용이 증가 되어 있다. 이 결과 해난사고의 주원인으로 인명안전에 크게 위해 되고 있을 뿐만 아니라, 더 나아가서는 기존 국내 소형선박용 엔진의 수요대체로 소형선박용 엔진산업의 경영악화를 심화시키고 있다.

현재 국내 소형어선에 탑재하는 엔진은 어선의 기관소요출력이 대략 100마력에서 10마력 급인경우는 대부분이 자동차용(신엔진 또는 폐차엔진) 디젤엔진을 냉각수계통의 개조와 동력전달장치인 역전크릿치를 장착하여 대부분이 해상용의 특성이 기술적으로 적절하게 검토되지 못한 상태에서 설치되어 사용되고 있는 형편이다.

본 고에서는 소형어선을 중심으로 사용되는 자동차용 엔진을 탑재하는 경우 엔진과 선체와의 구조 및 동역학적 특성, 운전조건, 노후한 차량엔진등의 문제에 대하여 기술적으로 검토되어야 할 사항을 중점적으로 기술하고자 하며 한편으로는 자동차용 엔진을 해상용으로 전용하려 하는 분들을 위해 해상용 기관의 특성 등에 대한 이해를 돕고자 한다

## 2. 우리나라 소형선박용 엔진산업

소형 어선용 엔진산업은 그 생산 및 시장 규모 면에서 현재에 이르기까지 아직도 그 영세성을 면치 못하고 있다. 1970년대 이전까지는 국내 소형 디젤엔진은 대부분이 실제 성능이 파악되지 않은 상태에서 사용되어 왔고, 군소 영세 업체에서 공급하는 엔진은 그 성능이 확실함 외에 중량, 진동 문제와 정비, 보수상의 어려움이 수반되어 왔다. 1980년대 초 정부의 연근해어선 근대화사업의 일환으로 수행된 소형 엔진 분야의 연구는 우선적으로 성능 실험에 의한 기존 엔진의 성능개량과 아울러 정부의 육성 정책에 힘입어 국내 기술에 의한 엔진 개발이 지속되어 오면서 나름대로 그 품질과 성능이 인정되어 왔고 80년대 후반에 와서는 외국의 시장개방 압력에 대비키 위해 미래 지향적이고 나아가서는 고성능 고효율의 엔진개발이 착수되어 왔다. 그러나 한편으로는 정부가 자원을 재활용하기 위한 조치중의 하나인 폐차엔진의 양성화 이후 이들 폐차엔진은 국내 소형 연안 어선용으로 사용이 증가하면서 기존 선박용 소형 엔진의 수요를 약 90%를 차지하게 되었다. 자동차 엔진은 본래 차체의 중량을 기준으로 하여 그에 따른 속도와 부하 등의 운전조건에 맞도록 설계되어 있으므로, 이를 사용할 경우에는 어선과 같이 기관/프로펠러/선체 등과의 상관관계, 작업조

건 등에 의한 고부하, 저 회전운전 조건에서 엔진 시스템에 대한 부하특성이 충분히 검토되어야 한다.

본 고에서 소형엔진이라 하면 편의상 100마력급 미만으로 하고, 소형엔진 업체의 주력기종은 엔진제작자에 따라 그 차이는 있으나 50마력급 미만이 그 수요가 가장 많은 기종이라 할 수 있다.

표 2.1은 우리나라 5톤 미만의 소형어선용 기관의 수요를 나타내며 연간 수요는 13,446대로 전체수요의 84%를 차지하고 있다.

표 2.1 소형선박용기관의 예상수요

항 목	총 계	1톤미만	1-2톤	2-5톤
신규수요	1,340	58	254	1,028
대체수요	12,106	4,224	4,832	3,050
년간수요	13446	4,282	5,086	4,078
비율(%)	100	32	38	30

### 3. 폐차엔진의 사용 실태

#### 3.1 폐차엔진 사용현황

소형선박에 사용되는 폐차엔진이란 육상에 사용되는 중대형 차량의 엔진으로서 사용년한이 관계법에 제한되어 표기 그대로 폐기된 엔진으로 부품 및 기타 주요구조부에 사용된 재료가 피로 한도를 초과한 즉 고철화된 폐기물을 말한다. 그러나 이들 폐차엔진은 적절한 유통과정을 거쳐 일반적인 철공소 등에서 조립하여 어선에 탑재되고 있어 해난사고의 주요원인이 되고 있다. 또한 이들은 기존 선박용 소형 엔진 시장을 잠식하므로써 100마력급 이하의 선박용 디젤기관을 생산하는 국내기업의 경영악화를 초래하여 대다수가 도산을 하는 결과를 낳았다. 또 폐차엔진은 불법 어업용으로도 악용되고 있으며, 기술적 안전성이 검토되지 않은 상태에서 설치되어 사

용되고 있어 앞에서 언급한 바와 같이 해상에서의 인명안전 차원에서 반드시 검토되어야 할 중요한 사항으로 판단된다. 그리고 운항경제성을 볼 때도 기관장치의 전체 효율이 극히 좋지 않아 연료소모율도 극히 불리한 상태로 운항되므로 국가의 에너지 정책측면에서도 역효과를 나타내고 있다.

표 2.2는 국내에서 1991년부터 3년간에 걸쳐 조사된 자료로서 신조선에 탑재된 폐차엔진의 탑재상황을 어선 톤수별로 나타내며 5톤 미만 어선에는 약 85% 정도의 폐차엔진이 사용되고 있음을 나타낸다.

표 2.2 신조 어선중 엔진탑재현황

(100~200마력급)

항 목	총 계	1톤미만	1-2톤	2-5톤
신조선	1,320	58	234	1,028
탑재엔진수	794	1	112	681
폐차엔진	675	0	75	600
폐차엔진비율(%)	76%	0	67%	88%

#### 3.2 사용상의 문제점

폐차엔진을 거치한 소형어선은 일반적으로 이론 소모마력 보다 과다한 용량을 가진 기관을 거치하고 있어 연료비, 윤활유 등을 약 20%이상 소모하고, 내구년한을 예측할 수 없으며 발생하는 하자도 기관의 치명적이고, 주로 기관 소착, 축계파손 기타 작동불량으로 빈번한 수리와 기관을 교체하는 부담을 가지게 된다. 따라서 이로 인한 조업 단축 등의 문제로 어선 선주만이 피해를 보게 된다.

현행 검사제도는 용도에 관계없이 어떤 종류의 엔진이든 관계검사 기관의 검사만 필하면 선박에 거치할 수 있는 것으로 되어 있다. 이에 따라 엔진검사 과정에서는 합법적으로 통과될 수 있으나 조업 현장에서 불법 어업용으로 둔갑을 하고 있어 어선 검사제도의 개선이 해결해야 할 과제로 분석된다.

예를 들면 폐차엔진도 중고엔진 검사 방법에

따라 검사 받은 것은 합법적으로 사용이 가능하므로 일부 선주들은 이를 악용하여 어선에 탑재하므로써 불법어업용으로 사용할 수 있게 되고 있다.

또한 일단 법적으로 하자가 없는 어선은 폐차엔진이든 아니든 구분 없이 면세유가 공급되고 있다.

특히 연안어민중 일부는 폐차엔진이 해상용 엔진보다 초기투자가 적고 비교적 빠른 속력을 얻을 수 있다는 이유로 폐차엔진을 거치하여 어업에 종사하는 어민도 있다. 주로 5톤급 미만의 어선에 많이 사용되고 있는 폐차엔진은 대개 150마력급 내의 엔진으로 인명의 안전을 소홀히 고속선 위주로 사용되며, 잦은 고장을 일으켜 사용자는 물론 타인의 인명과 재산에도 크게 위협을 주고 있다.

### 3.3 해난사고

1995년말 우리나라의 보유선박은 82,359척이며 이중 어선의 비율은 94%인 77,391척이다. 그러나 최근 5년간 선박의 절대척수는 계속감소하고 있는 추세이고 이는 어족자원의 감소와 노후선박의 폐선에 따른 어선의 감소로 추정된다. 또 최근 5년간 해난사고의 건수는 연평균 677건으로 표 3.1과 같이 어선이 차지하는 비율이 약 60%이다. 이들 선박의 유형별 사고내용을 보면 그림 3.2와 같이 기관손상에 의한 사고가 33.3%로 가장 많으며 그 외에 침몰, 화재폭발, 좌초, 충돌, 조난 등으로 나타나고 있으나 이들의 사고도 그 원인을 더 면밀히 분석하면 기관 고장이 그 요인으로 차지하는 것도 상당한 것으로 추측하게 된다.

일본의 경우는 어선의 사고중 5톤미만이 약 63%이고 이중 기관고장에 의한 사고는 약 9%로서, 우리나라는 표 3.2에서와 같이 기관고장이 33.3%에 달하는 것과 이를 일본에 비교하면 약 3.7배의 많은 사고를 일으키고 있다. 이는 우리나라가 소형 어선에 거치하여

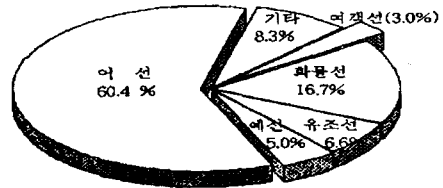


그림 3.1 선종별 해난사고 구성

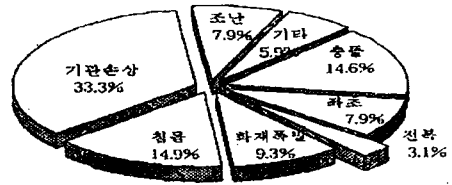


그림 3.2 유형별 사고 구성비

사용하는 엔진이 그 신뢰성에 큰 문제를 제기시키고 있는 것이다.

## 4. 기관의 성능

### 4.1 출력 성능

내연기관의 성능은 축토키, 축출력 등의 출력성능과 연료소비율 또는 열효율 등의 경제성능을 의미하나 그 사용 목적에 따라 요구되는 특성이 달라진다. 예를 들면 고속성능, 저속시의 토크 증대, 전 부하시 성능특성 등을 중점적으로 요구하는 한편, 기관의 운전성, 시동성 등의 운전성능이 우수한 기관을 희망하는 경우 또 연료나 윤활유, 기타 필요로 하는 경비, 즉 경제성을 생각하거나 내구성이나 우수한 기관을 희망하는 등 요구되는 조건이 다양하다.

즉 출력성능, 경제성능, 운전성능 또는 인간공학성능, 저공해성능 또는 사회적 성능이다. 이들 성능 중에서 제일 중점적으로 논의되는 것이 출력성능이었으나 최근에는 저공해성능에 관심이 많아지고 있다.

동일출력으로 기관이 경량이고, 열효율이 같

으면 저렴한 연료를 사용하는 편이 바람직하고, 효율이 좋고 저렴한 연료를 사용하여도 윤활유의 소비가 많고 기관의 수명이 짧다면 경제적이 못된다. 다른 조건들이 우수하나 안전성이 좋지 못해 취급이 어렵고 신뢰성이 결여되어 보수나 정비에 시간과 비용이 많이 든다면 실용상 좋은 기관이라고는 할 수 없다. 또 배기의 청정을 가장 중요시하는 저공해성은 현재로서는 인간생활 환경에 사용되는 기관을 평가하는 이상 어느것과도 비교할 수 없는 중요한 평가요소가 된다.

표 4.1 기관의 성능분류와 평가요소

성능	평가항목	비고
출력성능	출력 토크 회전속도 (가속성) (비틀림)	중량 전체외형체적 실린더체적
경제성능	열효율 연료소비율 윤활유소비량(울) 초기구입비 기관수명 신뢰성(고장율) 내구성(수명) 정비비	배기, 냉각수, 열회수  내용년수 수리비, 이용율 저하 가혹운전
운전성능 인간공학 적성능)	취급성 운전성 시동성 신뢰성 정비성 미관	비틀림(토크특성) 가속성 응답성(조속성) 안정성  설계
대공해성능 (사회적성능)	저공해성 배출물 무해성 소음, 진동 열	CO, HC, NO <sub>x</sub> , Soot, Pb 등  폐열활용
형태성능	전체질량 전체체적	기관거치

이상과 같은 넓은 의미에서 내연기관의 성능으로 고려할 필요가 있는 요인과 평가항목을 분류하여 정리한 표에서 엔진선정시 고려되어야할 요소이며 그 성능의 향상과 대책에 대하여 검토한다.

## 4.2 토크

기관의 출력은 토크(회전력)로도 표시된다. 이는 실린더내 전 압력이 크랭크암에 수직으로 작용하는 힘을 말하며 이론적으로는 기관의 회전속도에 반비례하고 제동마력은 회전속도에 비례하여 직선적으로 증가하나 실제로는 그림 4.1과 같이 자동차엔진의 경우 토크는 고속영역에서 보다 중속일 때 최대치를 나타낸다. 이는 중속시에 흡기시간이 길어서 체적효율이 향상되어 최고 압력이 높아지기 때문이다. 고속일때는 기계적 손실이 증가하고 연소속도에 피스톤속도가 따르지 못하므로 피스톤을 내리미는 힘이 감소하고, 저속일 때는 흡기행정에서 가스의 유입 관성효과가 떨어져 체적효율이 저하되기 때문에 중속때보다 토크는 떨어지게 된다.

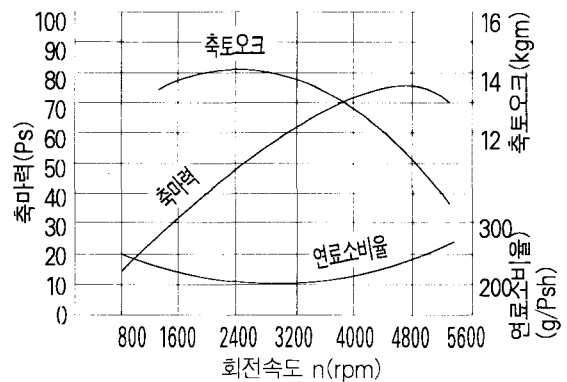


그림 4.1 자동차기관의 특성곡선

## 4.3 선박용 기관과 자동차용 기관의 출력

기관의 출력을 정의하는 데는 그 용도에 따라 다르다. 자동차의 경우는 단기간 최대로 낼 수 있는 값을 최대출력이라 하며 이때 수행하는 시험을 최대 부하시험이라 한다. 그리고 사용되는 마력 회전속도가 동시에 변화하므로 정격출력이라고 부르지 않으며, 기화기

고속밸브 전개시의 출력곡선은 보통 그림 4.2와 같으며 이 곡선의 최고 값이 최대 출력이다.

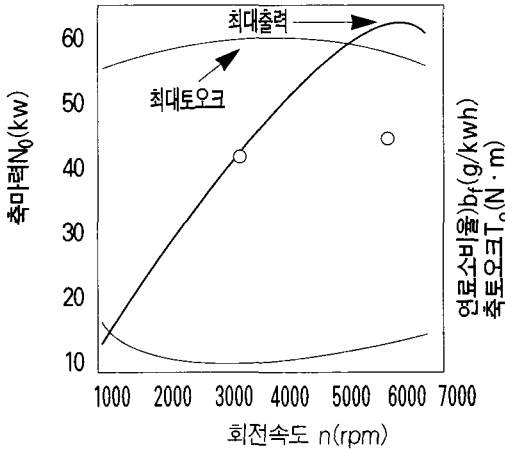


그림 4.2 자동차용 기관의 성능특성

그리고 선박에서는 보통 Propeller Law에 의해 회전속도의 3승에 비례하여 출력이 변하

므로 출력과 속도 관계는 그림 4.3에서와 같이 3차곡선으로 표시되며, 연속 최대출력, 연속 최고회전속도 또는 상용출력과 회전속도 등이 결정된다. 연속 최대출력이라함은 기관을 안전하게 연속 사용할 수 있는 최대출력을 말하며 기관의 강도계산을 위한 기초가 된다.

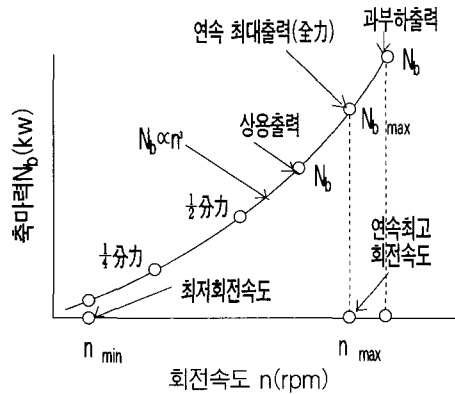


그림 4.3 선박용 기관의 성능특성

표 5.1 어선용 기관과 자동차용 기관의 특성 비교

용도면	어선용기관	자동차(폐차엔진포함)기관	비 고
설계관점	-장시간 연속적인 정속운전과 어망등 예인시 과부하로 인한 부하변동 반복부담으로 안정성, 내구성, 신뢰성 요구됨	-중량 및 크기에 절대적인 제한을 받아 출력율이 크게 설계되어 고속경량화 저연비 및 저 공해에 주관점을 부여	
토크의 발생	-사이클당 출력을 크게하여 저속에서도 높은 토크를 얻을 수 있음	-중저속영역에서 보다 큰 토크를 낼 수 있어 최대 토크점에서 출력이 매우 낮다.	-자동차용 출력표기를 적용시 토크는 낮아 추력의 유지곤란
비틀림진동	-축계의 비틀림 진동 및 종진동 고려 설계	-대응방법이 전혀 다름	-축계파손
강성구조	-사이클당 출력이 커서 구조건고	-사이클당 출력이 낮고 고속경량으로 구조 취약함	-기능부품파손
감속장치	-회전수가 낮아 토크가 크기 때문에 큰 추력 얻음	-회전수가 높아 감속을 크게 할 수 없으므로 많은 토크를 얻을 수 없음	-프로펠러 회전수가 적을수록 효율이 큼
일반구조	-해수/해양환경에 대한 내구력 및 적응성	-해수에 대한 내구력 전혀 없음	-내부식성, 내운동성 (Roll, Pitch 등)

## 5. 자동차용 기관과 어선용 기관의 특성 비교

자동차는 어선에 비하여 중량 및 외형의 크기에 절대적인 제한을 받는다는 것은 주지의 사실이다. 이로 인하여 어선에 비해 출력율을 크게 하여 최대의 하중으로 경사가 심한 길을 주행할 때 최대의 토오크가 이용된다. 그 시간은 어선에 비하여 극히 짧은 상황이며 경사진 길이나 악조건의 주행이 끝나면 곧 경부하 운전이 시작되면서 탄력을 얻어 가혹운전이 곧 해소된다. 그러나 어선의 경우는 해상에서 운항이 시작되어 정지될 때까지 가혹운전이 계속되는 사실이다. 따라서 해상용 기관은 자동차용에 비하여 출력율(PV값)이 상당히 적게 설계되어 안정성을 크게 한다.

표 5.1은 자동차용 기관과 어선용 기관과의 성능 특성을 비교한 것으로서 육상용 기관을 해상용으로 변형하여 사용할 때는 이에 대한 충분한 검토가 필요하다.

## 6. 소형어선용 기관의 특성

### 6.1 사용상의 특성

어선용 엔진이 다른 용도로 제작된 엔진과 비교할 때 설계, 제작시 고려되는 차이점은 다음과 같다.

가) 좁은 선박의 기관실에 설치되어 장기간 운전되며 인명과 화물의 안전을 위하여 특히 신뢰성이 요구된다.

나) 엔진운전중 선박의 파랑 때문에 롤링, 핏칭을 하므로 엔진 자체도 이에 대한 대비가 필요하다

다) 여러가지 속도와 부하로 움직일 수 있어야 하므로 이에 대응하는 엔진도 여러 가지 속도와 역량으로 운전되며, 특히 어선용 엔진은 장시간 과부하 운전을 행하거나 또 반대로

저속으로 장시간 운전되는 경우가 많다.

라) 특히 소형어선의 경우 엔진의 관리자는 어선의 특수성을 고려할 때 고도의 기술이나 숙련을 요구하는 것은 곤란하다. 또한 선 내에는 보수 설비가 매우 어렵고 엔진은 때때로 과부하로 혹사당하고 있는 점을 고려하여 높은 안전도와 신뢰성이 요구된다.

마) 자유자재로 전진, 후진의 되풀이가 많은 일을 하게 된다.

바) 소형 목선 또는 FRP 선의 경우 엔진 베드와 축 등에 변형을 일으키기 쉽고 기관의 축심이 어긋난 상태에서 운전되는 경우가 많다.

사) 주요 부품의 강도 기타 성능은 선박안전법, 어선법 등의 관련 안전법규에 합격하여야 한다.

### 6.2 해상용 디젤기관의 운전특성

디젤엔진의 출력 즉 제동마력, 제동평균 유효압력 (BMEP) 및 매분 회전수 (rpm)사이에는 정상운전 범위 내에서 다음 관계식을 갖는다.

$$BPS = K \cdot (BMEP) \cdot (rpm),$$

K : 상수

이 식에서는 보는 바와 같이 엔진 출력은 BMEP에 비례함을 알 수 있다.

프로펠러와 엔진의 최적결합 문제에 있어서, 엔진 특성에 관련하여 유의할 점은 주어진 rpm에 대하여 기대할 수 있는 출력은 연료분사량 외에도 다른 인자들에 의하여 제한된다. 즉 그림 6.1에서 보는 바와 같이 기관의 성능은 과급기의 맥동현상, 연소조건상의 제약, 배기 온도의 제약, 실린더 내 최고 압력의 제약, 과급기의 회전속도의 제약 등이 있는데 이와 같은 제인자들의 제약 조건은 엔진마다 다르다.

따라서 주어진 엔진에 대하여 그림 6.1에서

와 같은 운전허용 조건 및 위 식에서의 관계에 맞는 기관의 허용사용에 관한 자료가 필요하다.

그러나 폐차엔진의 경우 신뢰성 있는 성능자료가 전혀 없어서 앞에서 언급한 성능의 제인자의 제한 범위 내에서 운전이 되지 않을 가능성이 많으므로 다음과 같은 사고의 가능성을 배제할 수가 없다.

- 과부하운전으로 인한 배기관외 과열로 화재의 위험
- 무리한 운전으로 인한 엔진 주요부의 파손
- 재료 피로한도에 의한 파손

따라서 어느 엔진이든 선박용으로 사용되고 주어진 부하에서 안전하게 사용된다면 엔진의 성능이 정확하게 파악되고 내구성에 대한 성능도 확인된 것이 설치되어 사용되어야 할 것이다.

### 6.3 동력학적 특징

엔진의 운전조건의 측면에서 볼 때 해상 및 육상의 그것은 상당히 다르다. 즉 자동차의 경우는 운전이 비교적 단속이나 어선엔진의 경우는 장시간 거의 연속적인 정운전을 하게 된다. 따라서 이와 함께 프로펠러에 걸리는 부하로 말미암아 육상의 경우 보다 훨씬 큰 부하의 영향을 받게 나, 어로작업 등을 할 때는 속도변화, 전후진의 동작으로 프로펠러에 불규칙한 부하가 엔진에 전달되는 경우가 빈번하다. 따라서 자동차 엔진을 개조하여 사용할 경우에는 원래 엔진마력을 전부 이용하면 무리가 따른다.

그리고 또 한 문제로 되는 부분이 플라이휠인데, 보통 이것이 원래의 상태로 어선 기관에 사용될 경우에는 기관자체와 프로펠러에서 발생하는 토오크 변동력을 흡수하기에는 부족하다. 그러므로 이것도 축계에 미치는 동특성 영향은 좋지 못한 쪽으로 커져서, 비틀림진동

의 한계치를 넘어서 축계가 파손되는 경우가 흔히 있다.

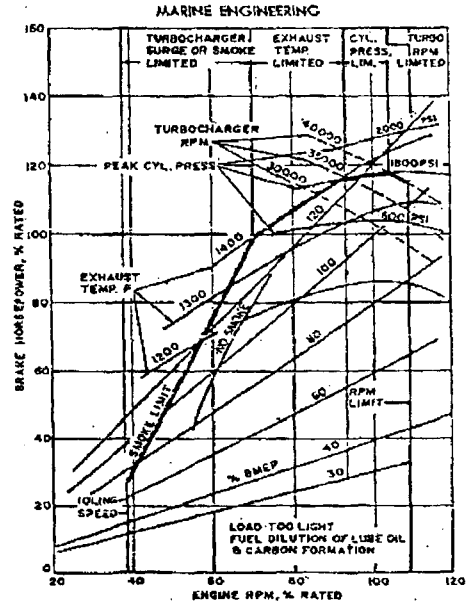


그림 6.1 해상용 기관의 성능제한곡선

### 7. 맺는 말

지금까지 자동차용 엔진 (신품, 중고, 폐차 엔진 등)을 어선기관으로 사용하고 있는 실태와 문제점 및 기술적인 사항들에 대하여 개략적으로 검토하였다.

자동차에 엔진을 박용으로 사용하기 전에 필히 사용자나 제작자 또는 관련 검사기관이 검토하고 또 이를 사용할 때 야기되는 문제들을 간략히 종합해 보았다.

첫째, 자동차 엔진을 어선용으로 사용하고자 할 때는 다음과 같은 조치가 반드시 필요하다.

- 가) 관계규정에 따라 엔진의 설계검토가 될 것
- 나) 확실한 선박용 전후진 감속장치를 장비하고 추진축계의 동특성 검토를 할 것

다) 엔진의 성능과 관계되는 제인자의 제한 조건을 나타낼 수 있는 엔진의 성능자료에 근거하여 어선의 유효마력과 상관관계를 검토한 후 엔진의 사양을 정하고, 앞에서 언급한 바와 같이 엔진/추진기/선체와의 상관이 최적 결합이 되도록 할 것

라) 기관의 표기마력은 필히 한국상업규격에 의한 시험을 필한 후 확인하고 내구성 시험을 필한 엔진을 사용할 것 등

둘째, 자동차 엔진을 앞에서 언급한 내용이 검토가 무시된 상태에서 사용하게 되면 다음과 같은 주요 문제들이 야기될 우려가 크다.

가) 어선의 불규칙한 부하, 과부하등의 운전으로 인하여 배기 매니폴드의 과열로 화재의 위험성이 높다. 본인소속 연구소에서 자동차용 기관을 Propeller Law에 준하여 실험한 경험에 의하면 최대부하에서 배기매니폴드가 별정계 과열되어 화재의 위험성을 인지하였다.

나) 자동차 엔진의 내구성은 선박용 엔진에 비해 극히 낮아서 해상에서 고장을 일으킬 가능성이 3~4배 높다.

다) 추진축계나 크랭크축 파손의 가능성이 크다.

#### 참 고 문 헌

1. 이동환, 박태인, 자동차엔진을 사용한 어선기관의 진동, 어선 제41호, 1989
2. 김극천, 주기와 프로펠러의 상관관계, 조선학회지 제12권 제1호, 1975
3. 전효중, 박용내연기관 강의
4. 장병주, 내연기관공학, 1983
4. SNAME, Marine Engineering, 1971
5. 김훈철 외, 소형어선 근대화에 관한 연구, 한국기계연구소 연구보고서 BSG 042-279. D, 1983. 3
5. 邊見正和, 漁船の 海難事故の 動向とこの對策, 日本海難防止協會, 漁船第302號, pp588-603, 1983
6. 최혁진, 어선의 해난사고실태 및 방지대책에 관한 연구, 대한조선학회 1996년도추계학술대회 논문집, pp103-107
7. 남병태, 우리나라 소형어선용 기관의 사용실태분석과 그대응방안, 어선제60호, pp9-15, 1994.

