

工學碩士 學位論文

선박용 중형 2행정과 4행정 디젤기관의
특성 비교에 관한 연구

A Study on the Comparison Characteristics for Medium
Sized 2-stroke and 4-stroke Marine Diesel Engines

指導教授 崔 在 星

2004年 2月

韓國海洋大學校 海事産業大學院

機關시스템工學科

朴 鍾 復

本 論 文 을 박종부의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

심사위원장 金正烈 (印)

심사위원 趙權回 (印)

심사위원 崔在星 (印)

2004年 2月

韓國海洋大學校 海事産業大學院

機關시스템工學科

朴 鍾 復

목 차

Abstract	i
제 1 장 서 론	1
제 2 장 디젤기관의 특징 및 주요 설계인자.....	5
2. 1 디젤엔진의 기본적인 특성.....	5
2. 2 주요 설계인자.....	6
제 3 장 중형 디젤기관의 비교.....	11
3. 1 이상사이클에 의한 비교.....	11
3. 2 구조적 특징의 비교.....	17
제 4 장 박용 디젤기관 개발 현황.....	25
4. 1 엔진 종류별 개발현황.....	25
4. 2 기관치수의 변화.....	27
4. 3 엔진별 특성 비교.....	29
4. 4 엔진 특성에 따른 이용범위.....	39
제 5 장 결 론.....	41
참고문헌	43

Abstract

Since the invention of internal combustion engine, various kinds of diesel engines were developed for the demands and requirements of industry. The reason for the adoption of diesel engine is the fact that it can accommodate many requirements of modern ship propulsion system.

There were non-interrupted research and development in accordance with the applications and necessities required by many areas ranging small engines for agricultural uses and industrial uses, diesel engines of 50 to 550BHP for motors, some hundreds to 2,000BHP for trains, and 10,000 to over 100,000BHP for large ships.

The performance of the engine can be distinguished by economic, conductive performance and environmental affinity.

Conductive performance can be mentioned as credibility, maintenance management, minimization of components numbers, usage of lower grade heavy oil. And the economic performance means conductive expenses, conductive life, initial investment, minimization of weight, flexibility of installation. Conductive expenses include the factors resulted by thermodynamic characteristics such as heat efficiency and fuel consumption.

With this reason such as economic consideration, over 95 percent of the modern world commercial ships and navy vessels gain propulsion by Diesel engines.

Therefore, consideration of security, economy, and environmental affinity will be the direction of the development from now on.

And performance renewed consistently and finally reached current level. with a review of the process of development carried out up to now, characteristics of the diesel engine can be optimized as follows

(1) Grass-cutters, which is portable and super small-sized, 2-stroke gasoline engines are used as the power engines. The major reason is that they are simple in structure and light in weight.

(2) Little HP power engines, which is used for cars and ocean leisure, 4-stroke gasoline engines are used because they are comfortable with a small tremble.

(3) Little HP power engines for industrial uses are 4-stroke diesel engines. The reason includes the economic consideration, which is superior in fuel consumption, or heat efficiency.

(4) Medium HP power engines for industrial uses are both 4-stroke and 2-stroke diesel engines. It is because of the major consideration of economic propriety.

(5) For the merchant large ships 2-stroke diesel engines are used. The major consideration is lower fuel consumption and capability of lower-grade heavy oil application. And also cross-head engines are used, respectably.

As shown above, the structures of the engines are discernable by their application. Therefore, 2-stroke, 4-stroke, gasoline and diesel engines have distinct characteristics and have developed to optimize their superiority.

But in the range of medium sized HP, the range of the 2-stroke and 4-stroke engines are overlapping. To select the power engine in this range properly, the quantitative comparison and analysis of the characteristics in the range are need.

The characteristics of the engines can not be said simply, because they can be considered in many different view points. But it is necessary to make characteristics distinctive by comparative analysis in many different views, which can be usefully applicant to the collective judgement in the selection of a proper engine.

In this research, we will make a comparative approach which is restricted to the output performance in the view of thermodynamic cycle.

제 1 장 서 론

내연기관이 발명된 이래 산업의 수요와 요구에 부응하여 다양한 디젤기관이 개발되었다. 디젤기관을 선박에 채택하는 이유는 디젤기관이 현대 선박의 추진시스템의 많은 요구조건을 수용하고 있다는 사실 때문이다.

디젤기관이 개발된 이후 각 분야의 활용 및 요구조건에 부응하여, 소마력의 농공용 원동기, 50~350마력 정도의 자동차용 디젤기관, 수백마력에서 수천마력에 미치는 기관차용 디젤기관, 수천마력~100,000마력의 박용 디젤기관 등 지속적으로 연구 및 개발되고 있다. 1903년에 최초의 4행정 자기역전식 박용기관을 MAN사가 제작하였으며, 1905년에 Sulzer사가 처음으로 2행정 자기역전식 박용기관을 만들었다. 그 후 박용 디젤기관은 출력과 크기가 점차 확대 발전되었으며, 세계 2차대전 종료 후 전후의 경제부흥과 더불어 선박의 수요량이 폭발적으로 늘어나면서 선박의 척수와 규모가 커지고 점진적으로 디젤기관의 채택이 늘었다. 특히 1952년 최초로 B&W사가 배기터빈에 의한 과급에 성공하면서 그 당시까지 1기당 8,000마력 정도이던 기관출력이 대폭적으로 늘어나고, 보일러용으로만 사용하던 C중유를 대형 디젤기관에 사용할 수 있게 되면서 디젤기관이 절대우위를 차지하게 되었다.¹⁾

성능 또한 지속적으로 개선되어 지금의 수준에 도달했다. 기관의 성능은 표 1에 나타난 것과 같이 경제성능, 운전성능 및 환경 친화성능으로 대별할 수 있다.

운전성능은 신뢰성, 유지관리, 부품수의 최소화, 저질중유의 사용 등을 말하며, 경제성능은 운전비용, 사용수명, 초기투자비, 경량화, 설치의 유연성을 의미하고, 운전비용에는 기본적으로 열효율, 연료소비율 등 열역학적 특성에 기인하는 요인이 포함된다. 이러한 경제성능의 이유로 현재 세계 상선 및 군함 등 98% 이상이 디젤엔진에서 추진력을 얻고 있으며, 향후에도 각 엔진 제작사는 안전성, 경제성, 그리고 환경 친화성 등을 고려한 지속적인 발전을 위해 노력할 것이다.

표 1 기관의 요구성능

경 제 성	운 전 성 능	환 경 친 화 성
운전비용 사용수명 초기투자비 경량화 설치의 유연성	신뢰성 유지관리 부품수의 최소화 저질중유의 사용	NOx, SOx CO ₂ , HC 매연, 소음

표 2는 지금까지의 발전과정을 통하여 현재 이용되고 있는 디젤기관의 특징을 분류한 것으로 출력의 규모를 구분하여 나타낸 것이다.

이를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 제초기와 같이 휴대용 초소형 동력기관으로는 2행정 가솔린기관이 이용되는데, 주된 이유는 구조가 간단하고, 경량이라는 장점 때문이다.
- (2) 자동차와 해상레저용과 같은 소마력급의 동력기관으로는 4행정 가솔린기관이 이용되며, 그 이유는 진동이 적어 승차감이 좋기 때문이다.
- (3) 산업용과 같은 소마력급의 동력기관으로는 4행정 디젤기관이 이용되며, 그 이유는 연료소비율 즉, 열효율이 좋다는 경제적인 이유 때문이다.
- (4) 산업용으로서 중형 규모 마력의 동력기관으로는 4행정 및 2행정 디젤기관이 모두 이용되는데, 이는 산업용으로서 경제적인 이유가 무엇보다도 크기 때문이다.
- (5) 선박용 및 내연발전용 대마력의 동력기관으로는 2행정 디젤기관이 이용되며, 경제적인 이유 즉 낮은 연료소비율과 저질유의 사용가능성이 주된 이유이고, 크로스헤드형 기관이 이용되고 있는 것이 특징이다.

이상과 같이 기관의 형식은 사용목적에 따라 그 특징이 분명하다. 즉 2행정기관과 4행정기관 그리고 가솔린기관과 디젤기관은 각기 분명한 특징을 가지고 그 장점을 극대화시키는 방향으로 발전되어 왔다.

표 2 왕복동 내연기관의 이용범위

구분	규모	이용범위	주요 요구사항	사용기관	구조적특징
1	소형	제초기 등	휴대 가능	2행정가솔린기관	
2	소마력	승용차, 해상레저용	저 진동	4행정가솔린기관	
		상용차, 산업용	저 연비	4행정디젤기관	
3	중마력	발전기용, 산업용, 선박용	저 연비	4행정디젤기관	트런크형
				2행정디젤기관	트런크형 크로스헤드형
4	대마력	선박용	저 연비, 중질유	2행정디젤기관	크로스헤드형

그러나, 중형 규모 마력의 범위에서는 4행정기관과 2행정기관의 이용범위가 겹치고 있다. 이 범위에서의 동력기관을 합리적으로 선택하기 위하여서는 이 출력의 범위에 있는 두 기관의 특징을 정량적으로 비교 분석하여 분명히 구분할 필요가 있다.

기관의 특징은 위에서 언급한 바와 같이 다양한 관점에서 거론될 수 있기 때문에 간단하게 언급할 수는 없지만, 각각의 관점에서 비교 분석을 통하여 특징을 분명하게 하는 것은 기관의 선택에 있어서 종합적 판단을 하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 열역학적 사이클의 관점에서 출력, 성능면에 국한하여 비교하고, 현재의 이용현황으로부터 그 외의 성능을 분석비교하고자 하였다.

제 2 장 디젤기관의 특징 및 주요 설계인자

일반적으로 디젤기관을 실제로 설계한다는 것은 복잡하고, 또한 어려운 이론식을 세우고 이로부터 엄밀해를 구해서 이를 설계에 이용하는 것만으로 충분하지 않다. 이는 밝혀진 이론식이나 수학적 엄밀해는 항상 약간의 가정을 전제로 하고 있으나, 이러한 가정이 실제로 정확하다고는 할 수 없기 때문이다. 특히 내연기관의 설계에는 사용재료, 재료의 강도, 하중의 종류, 부품의 형상, 운동 상태 외에 열적, 유체역학적 문제가 있으며, 더욱이 윤활작용, 냉각작용, 화학적 현상 등을 열역학적 현상과 연계하여 복합적으로 생각하지 않으면 안 되기 때문이다. 따라서 내연기관의 설계에는 지금도 어느 정도의 경험을 필요로 하고 있다.

그러나 디젤기관의 특징과 주요 설계인자에 관한 정확한 이해는 최적의 디젤기관을 설계함에 있어서 매우 중요하다.

2.1 디젤기관의 기본적인 특징

디젤기관은 실린더 내에 공기를 흡입·압축해서 고온·고압으로 하고, 여기에 액체 연료를 분사하여 자연 발화시켜 피스톤을 작동시킴으로써 동력을 얻으므로 저질연료 사용이 가능하고 연료비가 적게 드는 장점이 있다.

디젤기관은 풍부한 공기를 이용하여 연료를 유효하게 연소시키고,

압축비가 높은 점과 연료를 경제적으로 사용하는 특징이 있는데 정리하면,

- (1) 간헐적인 연소를 하기 때문에 연소온도는 높으나, 주변 온도는 낮다.
- (2) 열효율이 높다.
- (3) 다양한 연료, 특히 저질연료를 사용할 수 있다.

2.2 주요 설계인자²⁾

(1) 기관출력 및 한계

기관의 설계에 있어서 가장 먼저 생각해야 할 것은 기관의 출력이며, 이를 결정하기 위해서는 기관의 사용용도를 분명히 하여야 한다. 또한 용도와 사용목적에 따라서 동일 출력이 요구된다 하더라도 자동차용, 차량용, 일반 동력용, 발전용, 선박용 등에 따라 기관의 크기, 중량 등의 제한으로 소형, 중형, 대형 등으로 분류되거나, 또는 고속, 중속, 저속 등으로 분류된다. 이들의 분류 기준에는 이론적인 근거가 있는 것은 아니므로 여기에서는 논외로 하고자 한다. 그러나 기관을 설계함에 있어서 기본적인 것은 출력임이 분명하다.

기본 설계치수가 결정된 기관의 출력한계는 기관의 구성부품이 받는 기계적 또는 열적 부하에 대하여 구성부품의 최대 허용응력에 의하여 결정된다.

이 외에도 열역학적 관점에서 4행정기관의 흡기작용과 2행정기관

의 소기작용에 의하여 실린더에 공급되는 공기량과 분사된 연료의 연소에 의하여 일어나는 기계적인 일의 전환에 있어서도 한계가 있다. 이는 결과적으로 최고폭발압력과 회전수에 의하여 표현되는 기계적이고 열적인 문제에 의한 것이다. 따라서 설계된 기관의 최대 출력한계는 크기와 중량을 최소로 한다는 조건을 만족하여야 한다.

(2) 기관의 형식

기관을 설계함에 있어서 2행정과 4행정, 과급의 유무, 냉각방법, 연소실의 형태 및 시동방법 등도 사용목적에 따라서 선택되어야 할 기본적인 사항이다.

(3) 기관회전수와 평균 피스톤속도

출력과 기관의 형식 그리고 실린더 수가 결정되면 기관회전수는 결정된다. 그러나 기관회전수의 증가는 기관을 구성하는 주요 부분 및 밸브 구동장치 등 운동부분의 관성력을 증대시키기 때문에 하중을 증가시키고 윤활 작용을 어렵게 할 수 있다. 그러므로 출력과 평균 피스톤속도를 고려하여 기관회전수는 결정되게 된다.

또한 기관출력은 기관회전수의 증가에 따라 증가할 수 있지만, 고속기관이 되면 연소문제는 물론 피스톤 링과 밸브 등의 이상운동이 야기될 수 있다. 밸브계통은 이들의 설계를 최적화하거나 적합한 재질의 선택으로 해결할 수 있다고 하더라도 피스톤 및 피스톤링과 관

련해서는 평균 피스톤속도를 척도로 하여 회전수와 스트로크를 연관 지어 생각하는 것이 실용적이다.

(4) 압축비와 최고폭발압력

압축비가 기관성능에 미치는 중요한 인자들 중에 하나라는 것은 열역학적으로도 분명하게 설명된다. 즉 복합사이클의 경우 최고폭발압력을 일정하게 하는 조건에서 압축비를 증가시키면 에너지의 변환 효율이 높아지게 된다. 따라서 압축비를 증가시켜 최고폭발압력을 높게 하면 효율은 증가하지만, 기계적인 마찰일, 냉각손실 및 진동 등이 심하게 증가하기 때문에 이들은 이론적인 근거보다는 오히려 실존하는 기관들의 자료를 참고하여 결정하게 된다.

소형기관의 압축비가 대형기관에 비하여 크게 되는 것은 연소실 용적당의 표면적이 크기 때문에 압축행정에서 공기유동 등에 의한 열손실이 있고, 더욱이 착화현상에 불리한 점이 나타나기 쉽기 때문에 압축비를 크게 하여 이를 보완하고자 하는 의미가 있다. 압축비의 증가에 의한 폭발압력의 증가는 피스톤의 직경이 작기 때문에 기관에 미치는 기계적인 부하는 기관전체의 강성에 비하여 작게 된다.

압축비와 관계가 있는 최고폭발압력은 기관설계에 있어서 강도계산의 기준이 되기 때문에 연속최대출력에 있어서의 실린더 직경에 대응하여 경험치로써 정하게 된다.

(5) 열부하와 냉각

디젤기관의 작동방식으로는 2행정기관과 4행정기관이 있으며, 각각 뚜렷한 특징을 가지고 있다. 2행정기관은 4행정기관보다도 같은 실린더 용적에 대하여 출력면에서 유리하지만, 최근의 기관에서 보는 것처럼 4행정기관에 과급을 행하여 이 차이는 줄어들게 되었다.

그러나 이는 기관의 신뢰성과 수명을 결정하는 중요한 요소중의 하나인 피스톤의 열부하 및 열적현상이 중요한 문제로 되기 때문에 2행정기관과 4행정기관을 선택하는 기본적인 문제를 검토하는데 있어서 기초가 된다고 생각된다.

디젤기관에 있어서 피스톤의 중앙부 온도는 경합금제에서는 200~250℃, 주철제에서는 350℃로 예상되고, 피스톤링에서는 250~280℃가 최고온도이며, 이 이상이 되면 윤활유는 탄화를 시작하기 때문에 링은 고착되고 장력이 약해진다. 또한 이 때문에 가스의 누설이 발생하고 피스톤과 실린더의 마모가 증가하여 수명과 신뢰성이 저하한다. 이 현상이 심하면 타서 늘어붙는 현상이 발생하기도 한다. 이들 대부분이 피스톤 온도와 관계가 있다.

따라서 4행정기관의 출력을 2행정기관의 2배의 값을 기준으로 하면, 비교적 용이하게 출력을 비교할 수 있기 때문에 피스톤 면적당 출력으로 표시하고 있다. 이에 의하면 4행정기관의 경우가 명백하게 유리하다는 결론을 얻게 된다.

2행정기관에서 발생하는 실린더헤드의 균열도 열부하가 주원인이

다. 4행정기관을 과급한다 하더라도 2행정기관과 동일 치수, 동일 출력이라면 2행정기관의 냉각수 온도가 보다 높게 나타난다. 이는 2행정기관의 연료소비율이 높게 되는 이유 중 하나가 된다.

(6) 윤활

디젤기관은 폭발압력이 높고, 또한 연료유도 저질중유 등 저등급 연료를 사용하는 경우가 많기 때문에 윤활유의 오염율도 다른 기관에 비하여 많다. 따라서 기관고장도 주요부분의 윤활계통에서 기인하는 경우가 많다. 그러므로 소형기관을 제외하고는 대부분 강제윤활방식을 채용하고 있다.

대형기관에서는 크로스헤드형 기관을 채택함으로써 이에 대한 문제를 해결하고 있다.

제 3 장 중형 디젤기관의 비교

3.1 이상사이클에 의한 비교

중형급 기관에 있어서 2행정기관과 4행정기관의 이용범위는 다소 겹치는 경향이 있다. 이 범위에서의 동력기관을 합리적으로 선택하기 위하여서는 이 출력의 범위에 있는 두 기관의 특징을 정량적으로 비교 분석하여 분명히 구분할 필요가 있다.

앞장에서 언급한 기관의 주요 설계인자가 기본적으로 기관성능에 미치는 영향을 고려하여 정량적인 면에서 비교해 보고자 한다. 단, 실제기관에 의한 비교는 복잡 미묘함으로 비교를 단순하게 하기 위하여 다음과 같이 가정한다.

(1) 비교를 위한 가정

- (가) 이론적 열사이클을 이용하고, 복합사이클을 가정한다.
- (나) 실린더 직경, 최대폭발압력, 평균 피스톤속도는 같다.
- (다) 열부하(냉각), 기계손실(윤활)은 고려하지 않는다.
- (라) 2행정기관의 소기기간은 120° 로 한다.(행정의 약 1/4)

(2) 실린더 직경이 같은 경우의 비교

가정에서의 실린더 직경, 최대폭발압력, 평균 피스톤속도가 같은 두 엔진을 **그림 1.1**과 같이 비교하였다. **그림 1.1**은 2행정기관과 4행정기관의 P-V선도로써 비교를 쉽게 하기 위하여 동일선상에 나타낸 것이다.

(a) 기하학적 압축비를 같게 한 비교 (b) 실제 압축비를 같게 한 비교

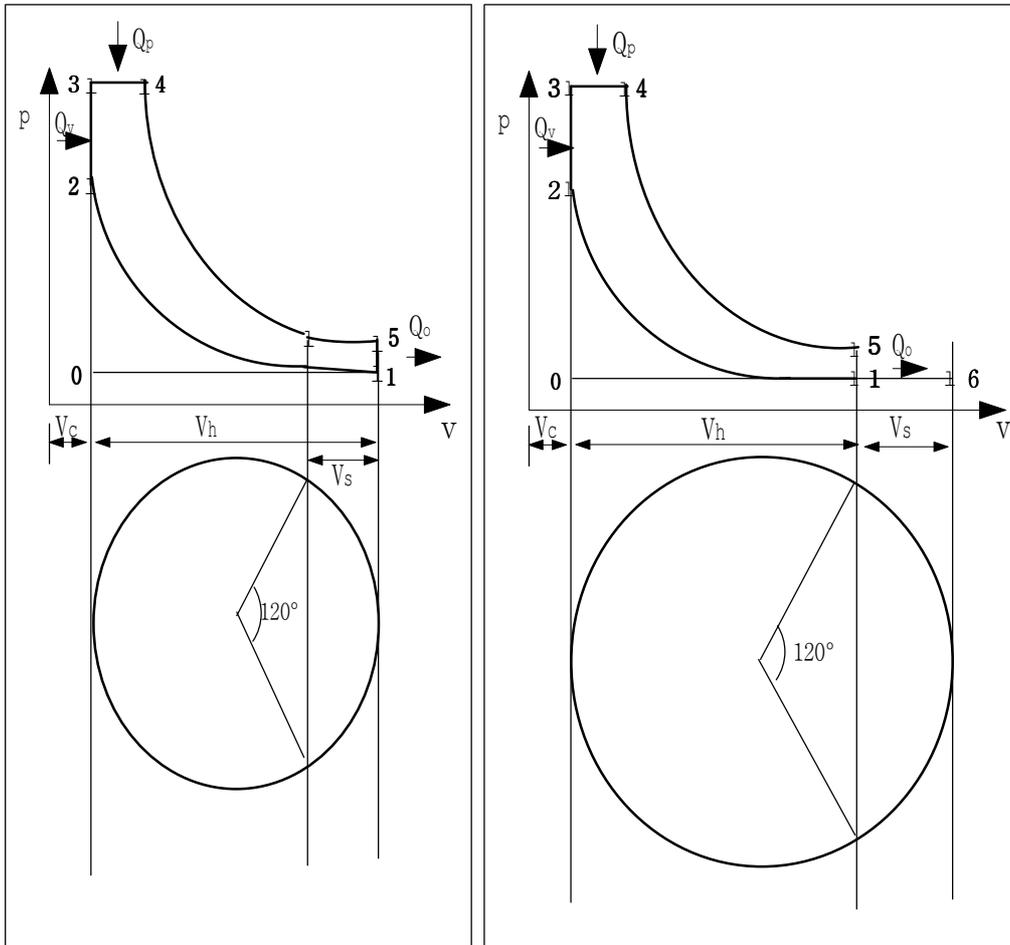


그림 1.1 이론복합사이클의 P-V선도 비교

(a)는 기하학적 압축비를 같게 한 것이고, (b)는 실제(유효) 압축비를 같게 한 것이다. (a)는 앞에서 언급한 가정에 의하여 사이클의 각 특정점에서의 상태는 같고, 평균 피스톤속도도 같다는 것을 의미한다. 또한 사이클의 시작점 1의 상태가 같다고 하는 것은 공급공기량

이 같다는 것을 의미한다.

일반적으로 구조적 특성상 4행정기관의 경우는 체적효율이 높으나, 2행정기관의 경우는 소기효율이 나쁘기 때문에 공급공기량의 확보가 어렵다. 그러나 최근에는 유니플로우 소기방식을 채택하고, 고효율 과급기를 이용함으로써 소기효율이 낮은 결점이 보완되었기 때문에 이러한 가정에 무리가 없다고 판단된다. 이론사이클의 특정점에서의 상태와 주요 성능인자를 표 3에 비교하여 나타냈다. 표 4는 기관의 출력성능과 관련되는 인자들의 영향을 비교하기 위하여 각 인자들의 계산치를 정리하여 나타냈다.

그림 1.1 (a)와 표 3의 (a)를 대비하여 고찰하면 평균 피스톤속도가 같은 경우로써 2행정기관의 경우가 사이클당 일량이 4행정기관에 비하여 적기 때문에 정의에 의하여 평균유효압력은 적게 되고, 회전속도가 같기 때문에 물론 기관출력도 2행정기관의 경우가 적게 된다. 결과적으로 연료소비율은 증가하게 되고, 표 3에 나타낸 것처럼 압축비도 적기 때문에 2행정기관의 경우가 적게 된다.

그림 1.1 (b)와 표 3의 (b)를 대비하는 경우는 평균 피스톤속도가 같다고 하면 2행정기관의 경우가 행정은 25% 증가하고, 회전속도는 20% 감소하게 된다. 가정에 의하여 평균유효압력은 25% 감소하고, 기관회전속도도 20% 감소하게 되므로 결과적으로 출력은 32% 감소하여 (a)의 경우보다도 더욱 불리하게 된다. 즉 어느 경우에 있어서도 동일 회전속도의 조건에서 열역학적으로도 2배의 출력을 달성하

기는 어려우므로 열효율에 있어서도 낮다. 또한 열부하에 의한 문제 등의 어려움을 포함하여 생각한다면 2행정기관의 장점을 강조할 수 없다. 실질적으로 4행정기관의 경우 고속으로 인하여 기계손실이 증가하기 때문에 이러한 차이는 어느 정도 감소한다고 판단되지만, 이론적인 검토에 의하면 4행정기관이 유리하다고 할 수 있다.

이상의 검토결과로써 2행정기관은 4행정기관에 비하여 이론적인 열사이클에서의 비교에 의하면 불리하다는 결론을 얻었다. 그러나 운전관리 측면에서 부품 수, 진동 등의 면에서 유리한 점이 있기 때문에 2행정기관과 4행정기관의 선택은 전혀 다른 고려할 점, 즉 구조 또는 환경 등에 의하여 결정되어야 할 것으로 판단된다.

표 3 4행정기관과 2행정기관의 비교

내 용	4행정기관	2행정기관		비 고
		2행정기관(a)	2행정기관(b)	
행정용적	$V_h = \pi D^2 S / 4$	←	$V_h'' = 5/4 \cdot V_h$	
압축비	$\varepsilon_g = (V_c + V_h) / V_c$	←	$\varepsilon'' = 5/4 \cdot \varepsilon_g - 1/4$ ($\varepsilon'' > \varepsilon_g$)	
실제압축비	$\varepsilon = \varepsilon_g$	$\varepsilon' = \frac{3}{4}\varepsilon_g + \frac{1}{4}$ ($\varepsilon' < \varepsilon_g$)	$\varepsilon_g'' = \varepsilon_g$	
최고압력	$p_{max} = 150$	←	←	
피스톤속도	$C_m = S \cdot n / 30$	←	$C_m'' = 5/4 \cdot C_m$	$4/5 \cdot n$ (if $C_m = \text{const.}$)
일량(면적)	F	$F' < F$	$F'' = F$	
평균 유효압력	$p_{mi} = F / V_h$	$p_{mi}' = F' / V_h$ ($< p_{mi}$)	$p_{mi}'' = F'' / V_h''$ ($4/5 \cdot p_{mi}$)	
출력/실린더	$P = p_{mi} \cdot n / 2$	$P' = p_{mi}' \cdot n$ ($< P$)	$P'' = p_{mi}'' \cdot n$ ($\ll P$)	
연료소비율	$b_e = Q / P / h$	$b_e' > b_e$	$b_e'' \gg b_e$	

표 4 이론사이클의 각 위치에서의 실린더내 상태

위치	4행정기관	2행정기관		비 고
		2행정기관(a)	2행정기관(b)	
0	$p_0 = p_{atm}$ $T_0 = T_{atm}$	←	←	
1	$p_1 = p_0$ $T_1 = T_0$	$p_{1'} \cong p_0$ $T_{1'} \cong T_0$	$p_{1''} = p_0$ $T_{1''} = T_0$	
2	$p_2 = p_1 \varepsilon_g^k$ $T_2 = T_1 \varepsilon_g^{k-1}$	←	←	
3	$p_3 = p_{max}$ $T_3 = T_2 + Q_v / C_v$	←	←	
4	$p_4 = p_{max}$ $T_4 = T_3 + Q_p / C_p$	←	←	
5	$p_5 = p_4 (\Phi / \varepsilon)^k$ $T_5 = T_4 (\Phi / \varepsilon)^{k-1}$	$p_{5'} \cong p_5$ $T_{5'} \cong T_5$	$p_{5''} = p_4 (\Phi / \varepsilon)^k$ $T_{5''} = T_4 (\Phi / \varepsilon)^{k-1}$	
6			$p_{6''} = p_0$ $T_{6''} = T_0$	
공급열량	$Q = Q_v + Q_p$	←	←	
방출열량	$Q_0 = (T_5 - T_1)$	$Q_{0'} \cong Q_0$	←	
일량	$W = F$ (면적)	←	←	

3.2 구조적 특징의 비교³⁾

중형 중속 디젤기관은 2행정기관과 4행정기관 모두 광범위하게 이용대상이 되고 있다. 또한 구조적으로는 트런크형 기관과 크로스헤드형 기관이 이용되고 있다.

(1) 2행정기관과 4행정기관

두 기관의 기본적인 차이는 폭발 행정수와 공기 공급과정의 차이라고 할 수 있다. 동일 피스톤속도에서 4행정기관은 같은 폭발 행정수를 얻기 위하여 회전속도가 2배 필요하다. 4행정기관에서는 공기의 흡입과정과 배기과정이 분리되어 있으나, 2행정기관에서는 공기의 흡입과정과 배기과정이 거의 동시에 일어나기 때문이다. 동일 회전속도라면 2행정기관이 압축, 폭발 그리고 팽창에 소요되는 유효시간이 약 2배로 길게 되어 연소에는 유리한 장점도 있다. 따라서 4행정 디젤기관은 배기가스와 새로운 공기를 흡입하기 위하여 별도의 회전이 필요하기 때문에 고출력을 위해서는 회전수의 증가가 당연하다. 회전수의 증가는 왕복질량에 의한 동적인 힘과 진동의 원인이 되기 때문에 항상 왕복질량을 감소시키기 위하여 피스톤과 직접 연결된 콘로드를 가진 트런크형 기관으로 만들어진다.

그러나 4행정기관의 장점은 높은 출력밀도, 즉 작은 중량과 크기에 대한 높은 출력이다. 더욱이 발전기 규모에서는 마찬가지로 적을 것이다. 단점은 일반적으로 연료소비율이 높고, 연료의 질에 있어서

연소를 시킬 수 있는 질적인 한계가 있다는 것이다.

4행정기관은 기계적으로 복잡한 밸브 트레인과 많은 작은 밸브들로 이루어져 있다. 그러나 더 큰 문제는 연소 잔존물이 크랭크케이스에 직접 내려가서 윤활유를 오염시킬 수 있다는 것이다. 크로스헤드형 기관을 이용하면 이에 대한 대책이 가능하다.

또한 기본적으로 왕복동기관의 출력은 실린더 내에 채워지는 산소의 양에 의하여 제한을 받기 때문에 새로운 공기의 충분한 공급이 중요하다.

두 기관의 공기 공급과정에 있어서 유효시간을 비교하면 흡입기간의 면에서는 2행정기관이 불리하다. 이는 2행정기관에 있어서 공기 흡입 유효기간은 매우 작은 시간간격을 가지도록 제한되기 때문이다. 그러나 이러한 단점은 유니플로우 소기방식의 경우 실린더라이너 밑부분의 전 원주에 걸쳐서 소기포트를 이용할 수 있기 때문에 문제가 되지 않는다. 즉 1회전동안 소기포트를 통하여 흐르는 유효면적은 배기밸브에 의한 면적보다 거의 3배이다. 바꾸어 말하면, 유효 흐름면적은 정상적인 흡입밸브가 만드는 것보다 훨씬 크고, 이 상태는 흡입타이밍으로 조절할 수 있다. 소기포트의 설치위치를 낮게 하면, 전체 흡입기간은 짧아지고, 이 영향으로 압축비는 약간 증가할 것이며, 흐름면적은 약간 감소하나 그 영향은 크지 않다.

배기온도와 관련하여 언급하면 4행정기관은 분사된 연료에 의하여 연소한 뜨거운 가스로 전환된 공기만이 배기밸브를 통과할 것이다.

결과적으로 배기온도는 4행정기관에 있어서 실린더 부하 배분의 판단에 중요하다. 한편 2행정기관에 있어서 같은 위치에서 측정된 온도는 배기가스와 차가운 공기 사이의 혼합된 것을 나타낼 것이다.

(2) 트런크형 기관과 크로스헤드형 기관

앞에서 언급한 바와 같이 중형디젤기관을 선택하고자 하는 경우가 출력 범위에서는 2행정기관과 4행정기관의 이용영역이 겹치는 영역이기 때문에 그 선택이 간단하지는 않을 것이다. 또한 2행정기관의 경우 피스톤의 작동 구조의 차이에 의하여 트런크형 기관과 크로스헤드형 기관으로 분류되기 때문에 이에 관한 비교 검토도 필요하다.

중형기관을 2행정기관으로 선택할 경우 비출력을 고려하면, 저속은 바람직하다고 할 수 없다. 또한 왕복질량에 의한 영향을 고려할 때 크로스헤드형 기관은 왕복질량이 크게 되기 때문에 부적합하다고 할 수 있다. 따라서 중속 중형의 트런크형 2행정기관이 4행정기관의 대안이 될 수 없다고 생각된다.

트런크형 2행정기관은 4행정기관에 비하여 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- ① 피스톤의 단위면적당 출력, 즉 비출력이 크다.
- ② 구조적으로 단순하고, 부품수가 적기 때문에 보수 유지면에서 유리하다.

그러나 이러한 장점은 2행정기관이 가지고 있는 공통된 장점으로 크로스헤드형 기관도 같은 장점을 가지고 있다. 이에 비하여 트린크형 기관이 가지는 결점으로는 다음사항을 지적할 수 있다.

- ① 실린더 및 피스톤 부위의 윤활 및 냉각이 어렵기 때문에 열부하가 크게 된다.
- ② 연소가스의 블로우바이(blow-by) 현상에 의하여 윤활유의 오손이 심하다.⁴⁾

앞에서 언급한 바와 같이 이론적인 비교 검토에서 동일 출력의 기관이라면 4행정기관이 유리하다는 결과와 트린크형 기관의 결점을 고려하여 종합적으로 판단할 때, 중형기관은 저속 장행정 크로스헤드형 기관의 장점을 극대화하는 것이 합리적인 선택이 될 수 있다고 판단된다. 즉 중형기관은 중속의 4행정기관을 이용하는 경우와 저속의 크로스헤드형 2행정기관을 이용하는 것이 바람직하며, 4행정기관이 비출력면에서 불리한 결점은 V형 또는 W형과 같이 실린더수를 증가시키면서 기관의 크기를 감소시키는 방법을 강구하는 것이 바람직하다고 판단된다. 결론적으로 트린크형 2행정기관은 중형기관의 범위에서 4행정기관의 대안으로 선택하기에는 적합하지 않다고 생각된다.

오늘날의 대형 2행정기관은 거의 크로스헤드형 기관으로 만들어진다. 크로스헤드형 기관의 크랭크챔버는 피스톤로드 스테어링박스에 의하여 실린더로부터 분리되므로 왕복질량이 크게 된다. 따라서 최대

회전속도가 제한된다.⁵⁾

그러나 4행정기관과 같은 평균 피스톤속도를 이용할 때 피스톤 행정을 증가 시킨다. 단점은 출력밀도가 적기 때문에 엔진 규모는 매우 크게 된다는 것이다. 또한 큰 기초설비 때문에 비싸다는 점이다. 장점은 상대적으로 큰 연소실 때문에 저질중유를 연소시킬 수 있고, 긴 피스톤 행정이 팽창비를 크게 하여 연료 소비를 낮게 한다는 것이다.

(3) 실제 기관의 비교

지금까지 검토한 결과의 확인을 위하여 실제로 제작되어 운전되고 있는 선박용 중형디젤기관의 예를 들어 비교하고자 한다. 비교를 위한 기준으로는 직경이 동일한 경우와 출력이 동일한 경우에 한하여 살펴보았다.

표 5와 표 6은 실제 이용되고 있는 기관의 주요 성능치를 비교하여 나타낸 것이다. 비교를 위하여 평균피스톤 속도가 거의 비슷한 기관을 대상으로 하였다. 표 5는 실린더 직경이 같은 기관의 비교로써 4행정의 L58/64 기관과 2행정의 RTA58 기관 그리고 4행정의 Wartsila 46 기관과 2행정의 S46MC 기관에 대한 각각의 비교이다.

또한 표 6은 기관출력이 같은 기관의 비교를 나타낸 것으로 4행정의 VASA 32LNE 기관과 2행정의 S26MC 기관 그리고 4행정의 L58/64 기관과 2행정의 S46MC 기관을 선택하였다.

표 5 실린더 직경이 동일한 중형기관의 비교

Engine type	L58/64	RTA58	S46MC	Wartsila 46
Cycle	4	2	2	4
Bore /Stroke (mm)	580 /640	580 /2416	460 /1932	460 /580
Pm (bar)	23	19	19	25
Cm /RPM (m/s, rpm)	8.5 /400	8.3 /103	8.3 /129	8.7 /450
ϵ	13.2	-	-	-
b_e (g/kWh)	177	170	174	-
Pmax/Pc (bar)	150/125	150/125	150/132	-
Output (kW)	1300	2000	1310	905
Output ratio (kW/m ²)	0.49	0.75	0.79	0.54
Weight/Power (kg/kW)	17.3 ~ 18.5	24.4 ~ 26.4	-	17.5
Vh (liter)	169	638	320.9	96.3
Piston type	trunk type	cross-head type	cross-head type	trunk type

표 6 출력이 동일한 중형기관의 비교

Engine Type	Vasa 32LNE	S26MC	L58/64	S46MC
Cycle	4	2	4	2
Bore/Stroke (mm)	320/350	260/980	580/640	460/1932
Pm (bar)	23.3~24.0	18.5	23	19
Cm/RPM(m/s, rpm)	8.4/720	8.2/250	8.5/400	8.3/129
ε	-	-	13.2	-
b_e (g/kWh)	-	179	177	174
Pmax/Pc (bar)	-	170/152	150/125	-
Output (kW)	405	400	1300	1310
Output ratio (kW/m ²)	0.50	0.75	0.49	0.79
Weight/Power (kg/kW)	13.7	-	17.3~18.5	-
Vh (liter)	-	-	169	320.9
Piston type	trunk type	cross-head type	trunk type	cross-head type

표 5와 표 6으로부터 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

- ① 유감스럽게도 최근의 트런크형 2행정기관의 자료를 구하기가 곤란하여 비교에서 제외되었으나, 오히려 앞에서 검토된 결과의 타당성을 입증하고 있다고 생각된다. 즉 트런크형 2행정기관의 경우 4행정기관에 비하여 그 장점을 유지하기가 곤란하기 때문이다.
- ② 평균유효압력은 4행정기관이 20% 정도 높게 나타난다.
- ③ 연료소비율은 4행정기관의 경우가 높게 나타나지만, 2행정기관의 경우도 회전수의 증가에 따라 연료소비율이 증가하여 4행정기관과의 차이는 좁혀진다. 그러므로 2행정기관의 경우 저속을 선택하여 연료소비율의 저하를 꾀하는 것이 유리하다는 것을 입증하고 있다고 생각한다.
- ④ 피스톤의 단위면적당 출력 즉, 비출력은 2행정기관의 경우가 50% 정도 크게 나타난다. 이는 2행정기관의 장점인 작동 행정수가 2배인 것에 기인하지만, 비출력이 2배가 되지 못하는 점을 분명히 나타내고 있다.
- ⑤ 출력당 기관중량은 2행정기관이 크게 되어 불리하다는 것을 의미한다. 4행정기관의 경우 V형 또는 W형 등으로 경량화 하는 것이 가능하기 때문에 출력당 기관중량은 2행정기관의 경우가 더욱 불리할 것으로 생각된다.

제 4 장 박용 디젤기관의 개발현황

4.1 엔진 종류별 개발현황

2차에 걸친 유류과동으로 박용 디젤기관의 개발경쟁은 1980년대에 들어오면서 더욱 심화되었고, 새로운 기종을 개발할 때마다 출력을 높이고 호칭도 바꾸어 왔으나, 1981년에 Sulzer가 RTA시리즈, MAN B&W가 1982년에 MC시리즈를 발표하면서 호칭이 고정되어 오늘에 이르고 있다.¹⁾

1950년대만 하여도 Stork, Werkspoor, Götaverken, Fiat, Doxford 등 여러 제조회사가 각기 특색 있는 대형 박용기관을 제작하여 왔으나, 차례로 제조 중단되었으며, 유류과동 직전에는 B&W, MAN, Sulzer, Mitsubishi 등 4개사만이 남게 되었다. 그러나 1973~1978년 두 차례에 걸친 유류과동을 겪으면서 MAN이 루우프 소기를 버리고 단류소기를 채택하면서 나머지 3사 모두 단류소기로 통일하였다. 또한 디젤기관이 선박용 내연기관으로 자리 잡게 되는 계기가 되었다.

오늘날 박용 디젤기관은 시류에 맞도록 최선의 노력을 다한 결과 역사적인 변혁과 진보를 이룩하여 대형 상선의 99%에서 추진기관으로 채택되고 있다. 따라서 금후에는 지난 반세기와 같은 급격한 변화는 없을 것이며, 연료소비율의 개선, 신뢰성의 향상, 가격 경쟁력의 강화 및 배기가스 개선 등을 위한 끊임없는 노력은 지속될 것이

다.⁶⁾ 또한 2행정기관으로는 MAN B&W사의 MC시리즈, Sulzer사의 RTA시리즈가 주로 사용되며, 4행정기관으로는 MAN B&W, MTU, SEMT사의 디젤엔진이 주를 이룬다.

한편 국내의 중·대형 디젤엔진은 현대의 Himsen 엔진을 제외하고는 모두 외국과 기술제휴에 의해 생산하고 있으며, 대형은 주로 Sulzer, MAN B&W, Mitsubishi사, 중형은 Wartsila, SEMT Pielstick, MTU, Hanshin, Niigata사 등과 기술도입에 의존하고 있는 실정이다.

2행정과 4행정기관은 각기 특정한 목적에 맞게 운용되고 있으나, 1993년 이후 건조된 중형급 이상 선박 중 숫자적으로는 약 2/3 정도가 4행정기관을 사용하고 있다.⁷⁾

2행정기관의 특징은 대형·저속엔진으로 대형선박 즉, 컨테이너선, 산적화물선, 원유수송선 등 추진기관으로 사용되며, 4행정기관은 중·고속의 높은 속력이 요구되는 중·대형선박(보통의 화물선, 크루저, 페리, 소형 컨테이너선, 특수 화물선, 어선, 예인선) 및 군함 등 특수선박의 주 추진기관 및 모든 선박의 보조 또는 발전용 기관으로 사용된다.

중형·고속 선박을 운용하고 있는 우리나라 해군 및 해경함정의 주 추진기관을 살펴보면, 고속이 가능한 함정용 가스터빈 및 4행정기관의 MTU계열, SEMT-Pielstick계열 엔진을 주로 탑재 운용하고 있으며, 항해 시 사용되는 전력은 4행정기관만을 사용하고 있다.

해군 전투함정중 중·대형함정(배수톤수 1,000톤급 이상)의 추진기관에는 두 종류의 기관을 운용하는데, 고속(20kts 이상) 시에는 함정용 가스터빈 엔진(1~2대)을 운용하고, 중속(20kts 이하)에서는 4행정기관인 MTU계열 엔진중 V956(기통당 배기량 9.56리터, 실린더 배열은 V형을 말함.) 엔진(기통수 12 또는 20) 2대씩을 탑재 운용하고 있으며, 35kts 이상의 고속을 요하는 소형 전투함정(배수톤수 150톤급)에는 4행정 디젤엔진인 V538 엔진(기통수 20) 2대를 탑재 운용하고 있다. 또한 인원, 장비, 물자를 주로 수송하는 함정은 기동성(속력 측면) 보다는 비교적 큰 톤수가 요구되는데, 이러한 함정에는 엔진 출력이 다소 우수한 SEMT-Pielstick계열 엔진(기통수 12 또는 16)을 2대 또는 4대를 운용하고 있다. 그러나 해경 함정에서는 MTU계열 엔진중 고속엔진으로는 주로 V1163 및 V538 엔진을 탑재 운용하고 있다.

4.2 기관 치수의 변화

박용 디젤기관의 평균유효압력은 처음에는 15bar정도이던 것이 3~4년 터울로 1bar씩 증가하여 현재는 대체로 2행정기관은 약 19bar, 4행정기관은 약 19~25bar에 달하고 있다. 평균 피스톤속도는 2행정 기관에 있어 초기에는 약 7m/s정도이던 것이 현재는 약 8.5m/s, 4행정기관은 약 12m/s에 달하고 있다. 또한 최고폭발압력은

125bar정도이던 것이 현재는 150~200bar에 달하고 있다.⁸⁾

또한 기관의 대소를 비교하면, 실린더 직경에 있어 2행정기관은 350~980mm, 4행정기관은 200~580mm정도이며, 행정에 있어 2행정기관은 1,300~3,200mm이상까지의 장행정이며, 4행정기관은 200~640mm정도의 단행정이다.

엔진의 분당 회전수에 있어서 2행정기관은 54~200rpm정도의 저속이고, 4행정기관은 400~1,900rpm정도의 높은 회전수의 엔진이다.

실린더당 엔진 출력에 있어서 2행정기관은 800~8,000BHP정도의 높은 출력이며, 4행정기관은 100~1,900BHP정도의 비교적 낮은 출력을 내는 엔진이다. 실제 엔진에 있어서는 총 실린더 수에 의해 출력이 되는 마력이므로 2행정기관은 약 3,000~100,000BHP까지 대출력의 엔진이고, 4행정기관은 약 1,000~10,000BHP이하의 엔진이다.

실린더 배열 및 수에 있어서 2행정기관은 대부분 직렬형 4~12기통이며, 4행정기관은 직렬형으로는 4~9기통이고, 실린더 수가 많을 때는 60~90° 배열인 V형으로 20기통까지의 엔진이 생산되고 있다.

4.3 엔진별 특성 비교

표 7과 표 8은 우리나라의 박용 디젤기관으로 주요 사용되고 있는 엔진 종류별 특성과 정량적 비교를 보인 것이다.

표 7 2행정 디젤기관의 종류 및 특성

Engine type	Bore* Stroke (mm)	Mean Piston Speed (m/s)	Speed (rpm)	Power(1cyl.)		MEP (bar)	SFOC (g/kWh)	Comp' ratio	
				BHP	kW				
MAN B&W	S80MC	800*3,200	8.11	76	5,280	3,883	19.1	166	14.8
	S70MC	700*2,674	8.11	91	3,820	2,810	18	169	15.7
	S60MC	600*2,292	8.02	105	2,780	2,045	18	172	15.7
	S42MC	420*1,764	8.00	136	1,395	1,026	18	174	17.1
	S35MC	350*1,400	8.07	173	1,010	743	19	175	17.1
	L80MC	800*2,592	8.04	93	4,940	3,633	18	170	14.6
	L70MC	700*2,268	8.16	108	3,845	2,828	18	174	15.5
	L60MC	600*1,944	7.97	123	2,600	1,912	17	172	15.8
	L42MC	420*1,360	7.98	176	1,355	997	18	177	15.4
	L35MC	350*1,050	7.35	210	880	647	18.3	177	15.5
	K98MC	980*2,660	8.33	94	7,780	5,720	18.2	171	15.1
	K80MC-C	800*2,300	7.97	104	4,900	3,604	18	171	14.8
	K50MC-C	500*1,370	7.83	167	1,780	1,309	17	175	15.2
Sulzer	RTA84T	840*3,150	8.00	76	5,580	4,100	18.5	168	-
	RTA60C	600*2,250	8.50	114	3,210	2,360	19.5	170	-

표 8 4행정 디젤기관의 종류 및 특성

Engine type	Bore* Stroke (mm)	Mean Piston Speed (m/s)	Speed (rpm)	Power(1cyl.)		MEP (bar)	SFOC (g/kWh)	Comp' ratio	
				BHP	kW				
MAN B&W	L58/64	580*640	9.10	428	1,890	1,390	23	177	-
	L+V32/40	320*400	10.00	750	660	485	23.9	184	13.0
	V28/32A	280*320	8.30	750	333	245	19.3	187	13.3
	L23/30H	225*300	9.00	900	239	176	17.9	196	13.0
	H25/33	250*330	9.90	900	400	290	23.9	185	-
	H21/32	210*320	10.70	1,000	275	200	21.7	185	-
SEMT- Pielstick	PA5L/V	255*270	9.00	1,000	300	220	19.6	186	12.6
	PA280	280*290	9.67	1,000	400	294	19.8	187	11.7
	PC2-5V	400*460	9.50	520	650	485	19.6	186	12.3
MTU	V1163	230*280	11.2	1,200	380	300	25.8	207	12.0
	V956	230*230	11.5	1,500	310	245	20.5	223	12.0
	V538	185*200	12.0	1,900	213	169	18.6	194	12.0
	V396	165*185	12.0	1,800	91	67	17.5	223	12.0

표 7은 2행정기관의 종류별 특징으로 실린더 직경과 행정이 비교적 크고, 평균 피스톤속도는 7~9m/s정도이며, 분당 회전수는 200rpm이하의 저속이다.

실린더당 출력은 수 천(1천이상~8천이하) 마력이고, 평균유효압력은 17~19bar정도이며, 연료소비율은 170g/kWh정도이다.

실린더 직경 및 행정이 큰 기관일수록 저속이고, 실린더당 출력이 크게 나타나며, 연료소비율은 낮게 나타나는 것이 특징이다.

표 8은 4행정기관의 종류별 특징으로 **표 7**의 2행정기관에 비해 실린더 직경 및 행정이 큰 기관도 있으나, 평균적으로는 다소 작으며, 분당 회전수는 매우 높은 기관이다. 또한 출력이 적으며, 연료소비율도 높게 나타난다. 주요 특징으로는 고속 기관(분당 회전수 1,000이상) 일수록 출력은 낮고, 연료 소비율은 높은 편이다.

표 9는 2행정기관과 4행정기관의 엔진 모델별 특성을 비교하기 위해 실제 엔진의 행정 대 직경 및 출력이 유사한 엔진을 선정하였다. 엔진의 출력 표시는 기통 당 출력과 실제 엔진의 전체 실린더 수를 곱한 출력이며, 기통 당 출력이 2행정기관은 주로 1,000마력 이상이 대부분이고, 4행정기관은 주로 1,000마력 이하의 엔진이므로 2행정기관중 비교가 가능한 출력이 비교적 낮은 엔진을 선정하여 상호 성과 관련되는 주요 특성을 제시하였다.

표 9 2행정기관과 4행정기관의 특성 비교

I t e m		Two-stroke	Four-stroke		
		L35MC	PC2-5V	V28/32A	V956
Cyl. Bore*Stroke(mm)		350*1,050	400*460	280*320	230*230
Power (BHP/kW)	1 Cyl.	880/647	650/485	333/245	310/245
	Cyl. No.	8	12	16	20
	Total	7,040/5,176	7,800/5,820	5,328/3,920	6,200/4,900
Speed(r/min)		210	520	750	1,500
Piston speed(m/s)		7.35	9.50	8.30	11.50
MEP(bar)		18.3	19.6	19.3	20.5
P-max(bar)		130	147	145	146
P-comp(bar)		112	-	-	-
P-scav.(bar)		3.3	-	-	-
Cyl-Exh' temp'(°C)		max'430	max'500	max'400	max'720
SFOC(g/kWh)		177	186	187	223
Compression ratio		15.5	12.3	13.3	12
Inlet L.O temp'(°C)		40~45	65~75	40~60	70~85
Outlet L.O temp'(°C)		50~65	65~85	60~70	80~95
Inlet F.W temp'(°C)		65~70	69~80	65~70	70~80
Outlet F.W temp'(°C)		75~85	80~90	70~85	75~90
T/C Inlet temp'(°C)		max'500	max'550	max'650	max'720
T/C Outlet temp'(°C)		max'325	max'400	max'400	max'650
Fuel oil		H.F.O	Gas oil, Diesel oil	H.F.O, Diesel oil	Diesel oil
Engine type		Uniflow scavenging 2-cycle crosshead turbo charged type	Turbo charged 4-cycle diesel engine with air cooler		Turbo charged 4-cycle diesel engine with water cooled

2행정기관과 4행정기관을 비교하여 보면, 표 9에서 보이는 바와 같이 동일 크기(bore)의 기관에서는 2행정기관이 다소 출력이 클 것이며, 동일 출력을 설계한다면 엔진 크기는 4행정기관이 훨씬 클 것이다. 출력이 유사한 2행정기관의 L35MC 엔진과 4행정기관의 PC2-5V 엔진을 상호 비교하면 실린더 직경(bore)은 유사하나 행정(stroke)은 2행정기관이 2.3배 큰 반면, 엔진 회전수는 2.5배, 피스톤 평균 속도는 1.3배 적다.

또한 평균유효압력 및 최대 연소압력도 적으며, 연료 소비율은 9g/kWh 적다. 그러나 압축비는 3.2정도 크다.

2행정기관의 L35MC 엔진은 4행정기관의 다른 비교대상 엔진과 비교하여도 PC2-5V 엔진의 비교 특성과 유사하다. 4행정기관에 비하여 분당 회전수와 평균피스톤속도, 평균유효압력, 연료소비율이 낮고 압축비가 높으며 저질유도 연소할 수 있으며, 밸브, 기어 등 기계적인 단순한 구조적 특징으로 주요 작동 부분의 열적 부담이 적어 비교적 낮은 온도 분포를 보인다.

그러므로 2행정기관의 특징은 4행정기관과 비교할 때 엔진 크기에 비하여 높은 출력과 낮은 연료소비율, 광범위한 연료 사용이 가능하다는 점에서 가장 큰 장점이다.

표 9의 엔진 특성을 그림 4.1~4.4에 성능곡선으로 표시하였다.

그림 4.1의 L35MC 기관은 2행정기관 중에서도 실린더 직경 및 행정이 매우 적은 기관으로 4행정기관과 비교 시 실린더 직경 및 행

정은 유사하나, 분당 회전수는 저속이고, 평균유효압력 및 최대압력, 연료소비율이 낮은 반면, 압축비는 높게 나타난다. 또한 각종 온도도 낮은 편이다. 4행정기관의 3가지 유형의 기관에서는 각종 특성 항목이 유사하게 나타난다.

그림 4.2, 4.3의 4행정기관을 상호 비교해 보면, 분당 회전수가 높은 엔진일수록 출력은 낮고, 연료소비율은 높게 나타나는 것이 특징이다.

그림 4.4는 V956기관의 엔진 성능시험 결과로써 부하 운전 시 실제로 축에 미치는 성능과 연료제한 성능을 표시한 그림이다. 각 성능치는 상호 비례적이나, 연료소비는 반비례적이다.

이상의 결과로 보면, 실제 엔진에서도 2행정기관과 4행정기관의 성능 차이는 실린더 직경 및 행정, 실린더 수에 따라 분당회전수, 출력, 연료소비율, 평균유효압력, 최대압력, 압축비 등이 차이가 난다고 볼 수 있다.

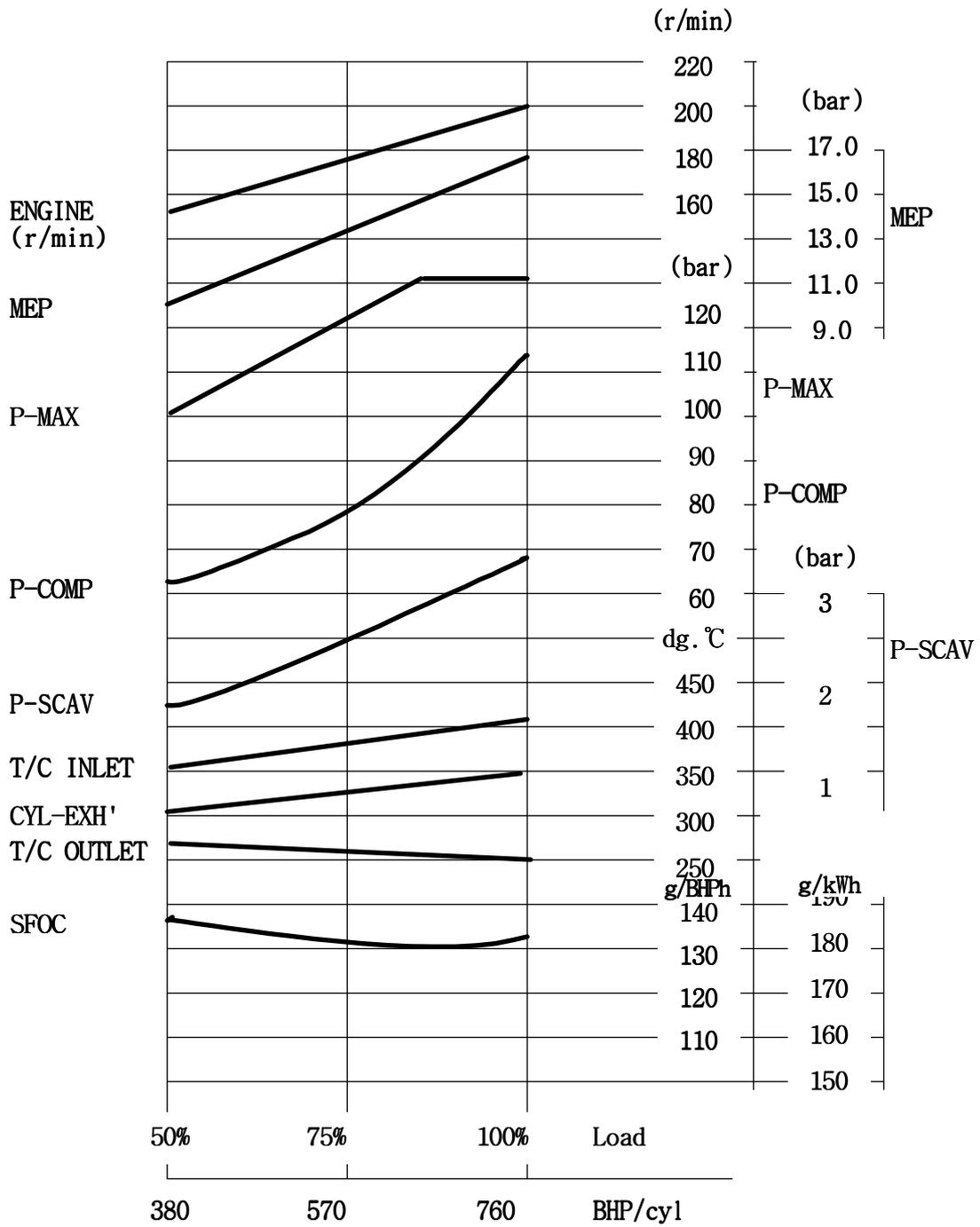


그림 4.1 L35MC 엔진의 성능 곡선

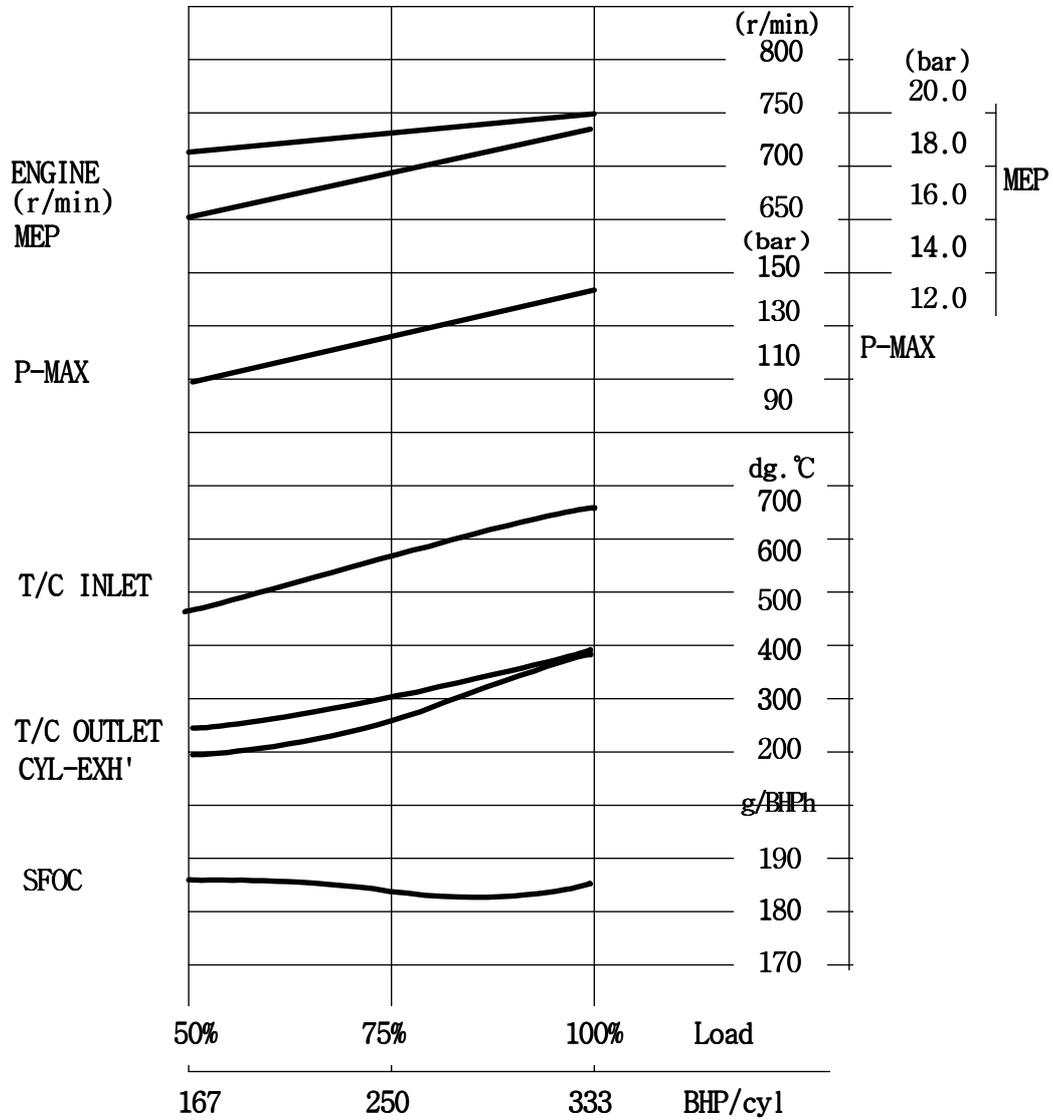


그림 4.2 V28/32A 엔진의 성능 곡선

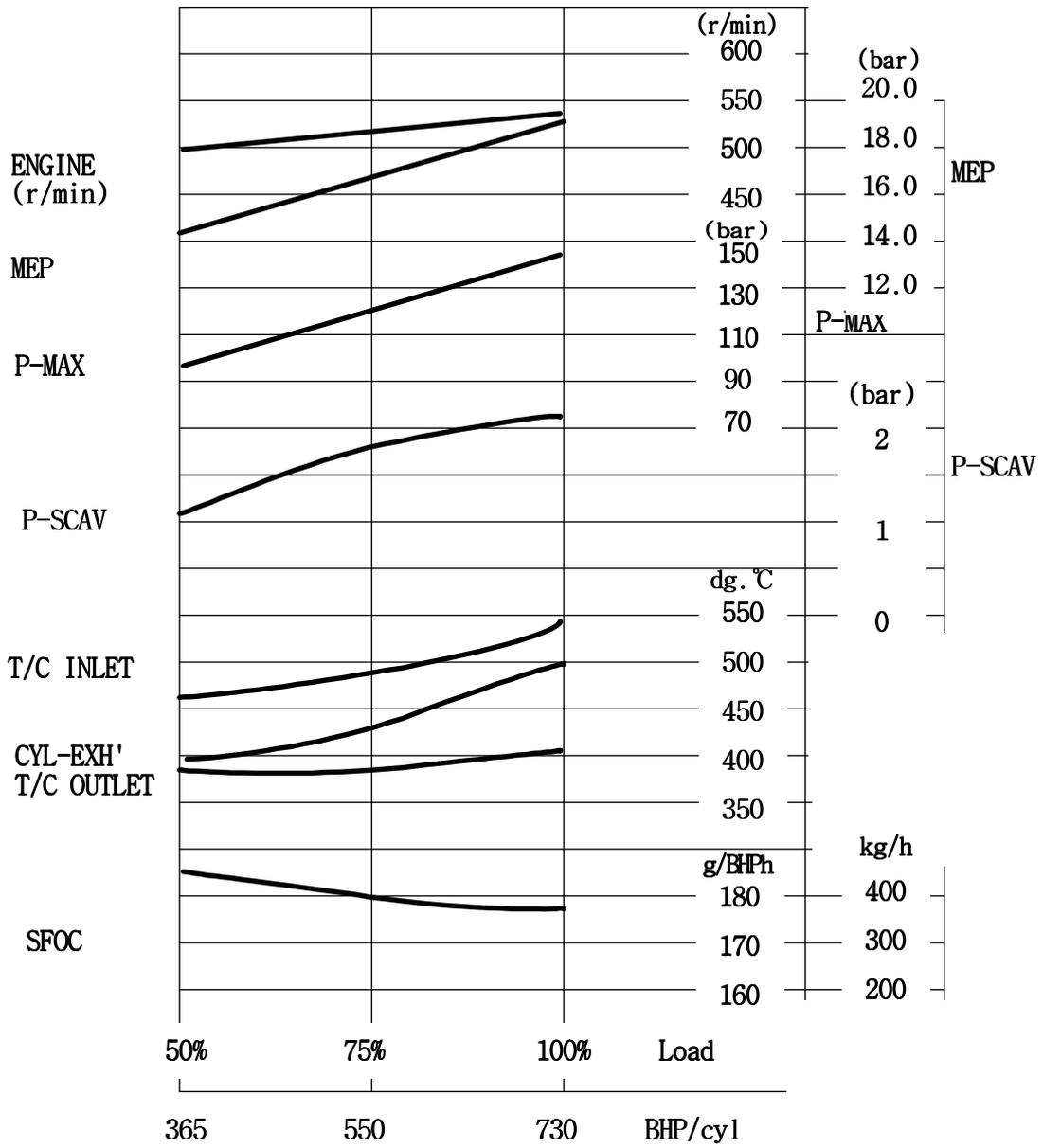


그림 4.3 PC2-5V 엔진의 성능 곡선

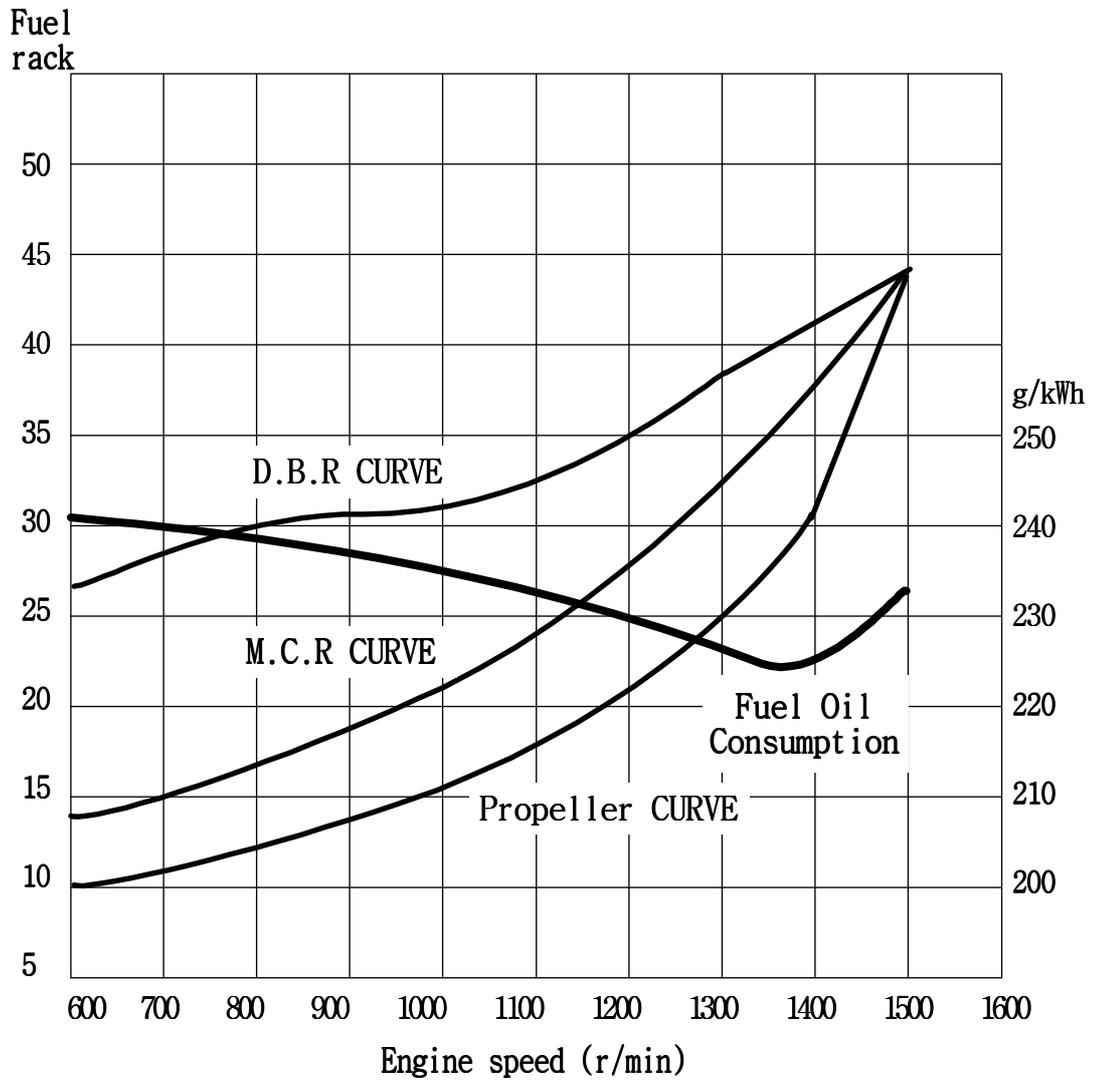


그림 4.4 V956 엔진의 성능 곡선

4.4 엔진 특성에 따른 이용범위

중형 규모 마력 이상에서 주로 사용하고 있는 디젤기관의 특성을 고찰해 본 결과, 중형 규모 마력에서는 4행정기관과 2행정기관의 이용범위가 겹치고 있다. 왜냐하면 이론적인 검토에 의하면 4행정기관이 유리하나, 운전관리 측면에서 부품 수, 진동 등의 면에서는 2행정기관이 다소 유리하기 때문이다.

동일 출력의 기관이라면 4행정기관이 유리하다는 결과와 트런크형 기관의 결점을 고려하여 종합적으로 판단할 때, 중형기관은 저속 장 행정의 크로스헤드형 기관의 장점을 극대화하는 것이 합리적인 선택이 될 수 있다고 판단된다. 즉 중형기관은 중속의 4행정기관을 이용하는 경우와 저속의 크로스헤드형 2행정기관을 이용하는 것이 바람직하며, 4행정기관이 비출력면에서 불리한 결점은 V형 또는 W형과 같이 실린더수를 증가시키면서 기관의 크기를 감소시키는 방법을 강구하는 것이 바람직하다고 판단된다.

오늘날의 모든 대형 2행정기관은 크로스헤드형 기관으로 만들어진 다. 크로스헤드형 기관의 크랭크챔버는 피스톤로드 스테어링박스에 의하여 실린더로부터 분리되므로 왕복질량이 크게 된다. 따라서 최대 회전속도가 제한된다.

그러나 4행정기관과 같은 평균 피스톤속도를 이용할 때 피스톤 행

정을 증가 시킨다. 단점은 출력밀도가 적기 때문에 엔진 규모는 매우 크게 된다는 것이다. 또한 큰 기초설비 때문에 비싸다는 점이다. 장점은 상대적으로 큰 연소실 때문에 저질중유를 연소시킬 수 있고, 긴 피스톤 행정이 팽창비를 크게 하여 연료 소비를 낮게 한다는 것이다.

4행정기관은 용적효율이 높고 평균유효압력이 높으며, 시동의 용이 및 저속 운전이 원활하고 운전범위도 2행정기관에 비해 넓고 운전의 유연성이 크다는 점이다.

2행정과 4행정기관은 각기 특정한 목적에 맞게 운용되고 있으나, 1993년 이후 건조된 중형급 이상 선박 중 숫자적으로는 약 2/3 정도가 4행정기관을 사용하고 있다.⁹⁾

2행정기관의 특징은 대형·저속엔진으로 대형선박 즉, 컨테이너선, 산적화물선, 원유수송선 등 추진기관으로 사용되며, 4행정기관은 중·고속의 높은 속력이 요구되는 소형 및 중형선박(보통의 화물선, 크루저, 페리, 소형 컨테이너선, 특수 화물선, 어선, 예인선 등)과 군함 등 특수선박의 주 추진기관 및 모든 선박의 보조 또는 발전용 기관으로 사용되고 있다.

제 5 장 결 론

기관의 설계에 있어서 앞에서 언급한 주요 설계인자에 대해 충분히 검토하여 구조와 환경에 맞는 최적의 기관이 설계 제작되어야 할 것이다.

기관 설계 시 먼저 고려되어야 할 사항은 사용용도에 따른 기관출력이며, 사용목적에 따라 2행정과 4행정 기관을 구분하고, 기관이 결정되면 과급의 유무, 냉각방법, 연소실의 형태 및 시동방법을 선택하여야 할 것이다.

기관형식과 출력이 결정되면 해당 기관에 대한 제원 즉, 기관회전수, 평균피스톤속도, 압축비, 최고폭발압력 등을 고려한 기관을 설계해야 할 것이다.

본 연구에서의 중형급 디젤엔진 특성 비교 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 열역학적 사이클의 관점에서 비교할 때 같은 출력 조건에서는 4행정기관이 유리하고, 또한 연료소비면에 있어서도 4행정기관이 유리함을 알 수 있다.
- (2) 실제 기관의 비교에 있어서는 평균유효압력과 연료소비율에 있어서는 4행정기관이 약간 높으며, 피스톤 단위면적당 출력(비출력)과 기관중량 면에서는 2행정기관이 높게 나타난다. 따라서 4행정기관의 선택을 적극 검토 할 필요가 있다.

(3) 트런크형 기관과 크로스헤드형 기관의 비교에서는 피스톤 단위 면적당 출력(비출력), 구조적인 면에서의 보수 유지, 연료잔존물에 의한 연료오염도, 실린더 및 피스톤 부위의 윤활과 냉각상태 등을 고려 시 중형 2행정외의 경우 크로스헤드형 기관을 적극 검토 하는 것이 바람직하다 하겠다.

(4) 또한 사용현황에 따른 비교로부터 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- ① 대형선박, 즉 컨테이너선, 산적화물선, 원유수송선 등의 추진 기관에 이용되는 박용 디젤기관은 대형 저속엔진으로서 2행정 기관이 사용되며, 그 주된 이유는 추진효율을 포함하여 추진 시스템 전체의 연료소비율이 낮기 때문이다.
- ② 소형 및 중형선박의 경우 2행정기관과 4행정기관의 이용범위가 겹치고 있으나, 발전가능성을 고려하면 4행정기관이 유리할 것으로 판단된다.

參 考 文 獻

1. 大韓機械學會誌, “船舶用 디젤기관의 研究開發 動向”, 1999.12月號.
2. 大道寺達, ディーゼル 機關設計法, 工學圖書株式會社版, 1964.
3. Ole F. Hansen, "Illustrative story of diesel engines", MBD Diesel course 1997 Material.
4. 쌍용엔진기술연구소, D/E NOx System 기술자료, 1995.3月號.
5. CIMAC Congress 1998 Copenhagen (Is there an alternative to today's large-bore diesel engine)
6. 全孝重·崔在星, 內燃機關講義, 曉星出版社, 1999, pp.4~5.
7. 韓國船用機關學會誌, “大形 船用엔진의 動向과 앞으로의 展望”, 1999.3月號.
8. 해군본부, 기관장교편람(제2권), pp.241~260.
9. 김용성, 船用內燃機關, 제일문화사, 1997, pp.58~76.