

장-행정 저속 4 사이클 디젤기관의 제작 및 최적 연소조건에 관한 연구

장 태 익†

(원고접수일 : 2003년 8월 14일, 심사완료일 : 2004년 3월 8일)

A Study on Optimal Combustion Conditions with a Design and Manufacture of the Long-Stroke Slow Speed 4 Cycle Diesel Engine

Tae Ik Jang†

Abstract : Recently, fuel prices have been continually raised in diesel engine. Such a change in the fuel price influences enormously the development trend of marine diesel engines for slow speed. In other words, the focus was shifted from large diameter and high speed to low fuel consumption. Accordingly, more efforts are being made for engine manufacturing and development to develop highly efficient engines.

In this study, a single cylinder 4 stroke cycle DI slow speed diesel engine was designed and manufactured, a 4 stroke cycle was configured and basic performances were evaluated. The results are as follows.

The optimal fuel injection timing had the lowest value when specific fuel consumption was in BTDC 8~10°, a little more delayed compared to high speed diesel engines. Cycle variation of engines showed about 5% difference at full loads. This is a significantly small value compared to the cycle variation in which stable operation is possible, showing the high stability of engine operation is good. The torque and brake thermal efficiency of engine increased with an increase of engine 250~450 rpm, but fuel consumption ratio increased from the 450 rpm zone and thermal efficiency abruptly decreased. Mechanical efficiency was maximally 70% at a 400 rpm that was lower than normal engines according to the increase of mechanical frictional loss for cross head part. The purpose of this study was to get more practical engines by comparing the above results with those of slow speed 2 stroke cycle diesel engines.

Key words : S/B Ratio(행정 대비 보어 비), Long-Stroke(장-행정), Slow Speed Diesel Engine (저속디젤기관), Variable Valve Timing(가변밸브타이밍), Variable Compression Ratio(가변압축비)

† 책임저자(세명대학교 건축설비공학과), E-mail : JANGTI@semyung.ac.kr, T : 043)649-1423

1. 서론

디젤기관의 경우, 그 크기와 출력은 매우 넓은 범위에 걸쳐 있다. 특히, 대형 장-행정 디젤기관의 경우 저속에서 더 큰 관심을 가지고 연구되고 있다. 이러한 기관들은 행정과 보어의 비(S/B)가 3 이상인 경우이다⁽¹⁾. 이와 같이 S/B비가 커지면 기관 크기는 증가하나, 상대적인 연소실 틈새의 감소로 간극효과와 냉각손실이 감소하므로 기관효율이 증가하게 된다. 또한 S/B비가 커지면 운전 속도의 감소로 효율적인 연소를 도모하여 저질 연료를 사용할 수가 있다⁽²⁾. 따라서 대량의 연료소모되는 선박용 기관에 사용될 때, 연료비는 보다 절약되고 요구되는 비출력이 감소되는 장점이 있다. 그리고 장-행정 기관은 속도가 저속이므로 단위 출력당 토크가 클 뿐만 아니라, 감속을 작게 하여 동력손실을 줄일 수도 있다⁽³⁾.

본 연구에서는 상기와 같은 장점을 고려하여 단기통 실험용 직접분사식(DI) 디젤기관을 설계하고 제작하여 4행정을 구성한 다음, 이 기관으로부터 각 변수에 따른 기본성능을 평가하고자 한다. 이렇게 평가된 결과는 단계적으로 저속 2 행정 디젤기관 운전시의 기본성능과 비교하도록 함으로써 실험기관 연구에 보다 유리한 기본 자료로 활용하고자 한다.

2. 저속 디젤기관의 구성 및 특징

2.1 디젤기관의 구성

디젤기관의 열효율은 차단비가 작을수록 유리하다. 동일 연료량을 분사할 경우 요구되는 연료분사시간은 거의 같게 되므로 차단비가 상대적으로 짧은 범위에서 운전되는 저속기관이 보다 더 열효율이 클 것으로 예상된다⁽⁴⁾. 따라서 행정 대비 보어의 비가 3 이상 되는 기본 개념을 가지고 장-행정 저속 단기통 디젤기관을 Fig. 1의 (a)와 같이 설계하였고, (b)와 같은 모양으로 제작하여 기관의 기본성능실험에 사용하였다. 여기에 운전 중 압축비 변화가 가능한 가변압축비 및 가변밸브 타이밍시스템을 구성하여 저속 디젤기관의 최적 운전조건을 파악하였다.

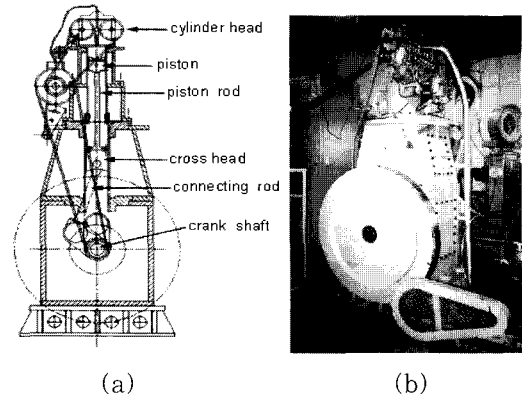


Fig. 1 The experimental slow speed diesel engine with a single cylinder for a performance test

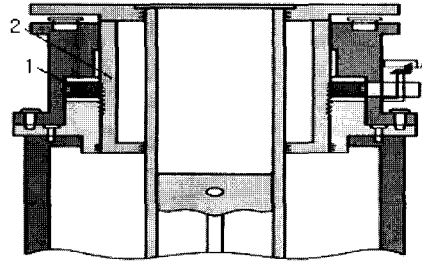


Fig. 2 Apparatus of variable compression ratio

실험용 기관은 크게 크랭크 케이스부, 크로스 헤드부, 압축비 변화가 가능한 실린더부, 실린더 헤드 및 가변 밸브타이밍 장치, 냉각 및 윤활 시스템으로 되어있고 그 내용은 다음과 같다.

크로스 헤드부: S/B비 3.326인 장-행정 기관에서 피스톤 왕복운동을 회전운동으로 변환하기 위해 크로스 헤드가 필요하며, Fig. 1에서 보는바와 같이 피스톤 로드와 커넥팅로드가 연결되어 크랭크 케이스와 실린더 사이의 2단에 위치한다. 이때 크로스 헤드부는 크로스 헤드와 안내부로 구성된다. 안내부는 실린더 타입이고 크랭크축 회전에 의한 커넥팅 로드의 꺾임 각을 고려하여 측면을 절단하였다.

가변압축비 장치(VCR): Fig. 2는 가변압축비 장치의 개략을 보여준 것이다. 기관의 가변압축비 장치는 이동이 고정된 너트의 회전운동에 의해 볼트가 움직이는 개념을 갖는 실린더 이동방식으로 발화운전 중 압축비를 가변으로 할 수 있다.

그림에서 상하운동이 제한된 너트 1의 회전에 의해 실린더 2가 회전운동 없이 상하로 움직이며 연소실체적의 변화에 의해 압축비가 변화한다.

가변밸브 타이밍 시스템(VVT): 기관 운전시 상기의 가변압축비 장치를 사용하여 압축비를 변화시키면 실린더 헤드의 이동으로 초기의 흡·배기밸브 타이밍이 변화한다. 이것을 방지하고자 배기밸브의 경우는 캠축과 분사펌프 구동축 사이에 베벨기어, 스프라인 및 타이밍 벨트로 구성된 밸브타이밍 장치를 설치하였고, 흡기밸브의 경우는 유압시스템에 의한 솔레노이드 밸브제어에 의해 작동되는 가변밸브 시스템으로 되어있다.

냉각방식: 냉각수의 냉각과 순환은 자연순환식 냉각방법을 이용하여 가압펌프에서 일정압력 2 bar로 유지 공급된다. 연소실 라이너 주위 냉각수 압력은 약 1 bar로 하였고, 기관의 냉각수 온도는 써머스태트(thermostat)와 유량 제어밸브로 유량을 제어 냉각수 평균온도 80℃를 유지시켰다.

윤활장치: 크랭크축 저널부, 크로스 헤드부, 피스톤, 실린더부 및 실린더 헤드부에 윤활유를 공급하는 장치로, 독립으로 구동되는 오일펌프와 공급라인을 구성하였다. 오일펌프로부터 압송된 윤활유는 크랭크축 내부의 오일관로를 통하여 크랭크축 저널부로 1차 공급된 후 커넥팅 로드를 걸쳐 크로스 헤드부에 압송된다. 실린더 라이너와 피스톤 링 사이의 윤활은 오일펌프로부터 별도의 윤활유 공급라인과 직결되어 실린더 내 아랫부분에 설치된 4개의 오일젯트로부터 윤활유를 분출시켜 공급된다. 실린더 헤드부 역시 오일펌프로부터 직결된 오일 공급라인으로부터 배기밸브 캠축 저널부에 공급된 후 크랭크 케이스로 회수된다.

2.2 VVT 시스템의 제어특성 및 평가

가변밸브 타이밍(VVT) 시스템은 압축비 변화시 흡·배기 밸브타이밍이 변화하는 것을 방지하고자 구축된 가변밸브 타이밍시스템이다. 이 시스템을 사용하면 압축비 변화시 실린더 블록의 이동에도 불구하고 초기와 동일한 밸브 열림시기와 닫힘시기를 유지시킬 수 있다^[5].

본 연구에서는 저속기관으로부터 유압실린더 작동의 솔레노이드 밸브에 의한 동기제어 가능성을 평가하고, 흡기밸브 열림과 닫힘시기 제어가 가능한 VVT시스템을 구축하여 단기통 4 행정 저속 디젤기관의 실험에 사용하였다. 즉 크랭크 각 또는 밸브구동 캠축의 각 신호에 해당하는 엔코더의 신호를 읽어 밸브닫힘과 열림시기를 판독하고 그에 대응한 유압실린더 작동 범위를 광센서를 통해 정밀하게 컴퓨터로 판독, 원하는 위치에서 동기제어로 흡기밸브가 열리고 닫히게 된다.

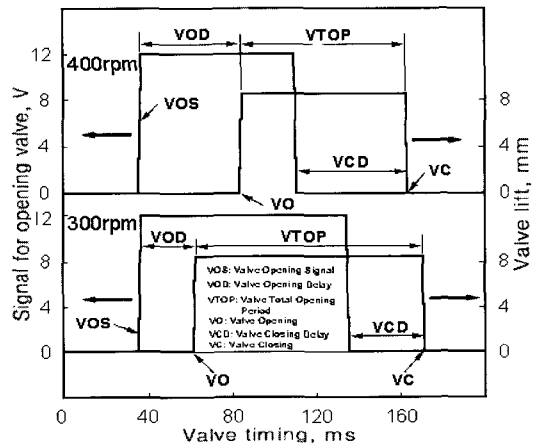


Fig. 3 Trigger signal and photo sensor signal for valve lift vs valve timing

Fig. 3은 솔레노이드 밸브와 유압 실린더에 의한 흡기밸브 제어 흐름도를 나타낸다. 캠축에 설치한 엔코더로부터 검출된 TDC와 위상 각 신호를 컴퓨터에 입력하여 흡기밸브 열림과 닫힘신호를 제어한다. TDC신호가 입력되면 엔코더 위상 각은 초기 값으로 판독되고 이후 검출되는 위상 각 수를 누적하여 설정 값과 일치하면 동시에 펄스신호가 발생된다. 이 펄스신호는 오실로스코프에 타겟신호로 검출되고, 이어 유압 실린더의 플런저부에 장치된 광센서에 의해 실제 열림과 닫힘시기가 펄스신호로 오실로스코프에 검출된다. 이때 검출된 목표신호와 비교하여 유압작동 장치의 오차 편차시간을 앞당기는 방법에 의해 정확한 밸브를 제어하였다.

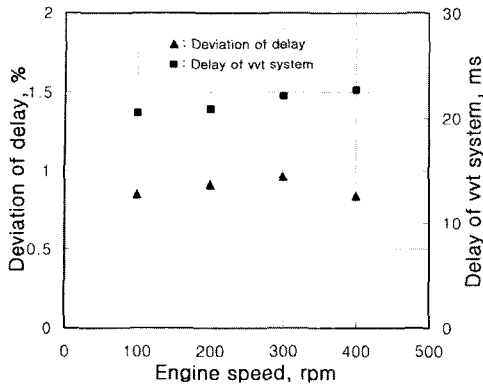


Fig. 4 Deviation and delay of VVT system vs engine speed

Fig. 4는 슬레노이드 on/off 제어출력신호에 대응한 가변 흡입밸브 타이밍 시스템의 지연시간 및 지연시간의 편차율을 나타낸 것이다. 여기서 지연시간은 트리거(trigger) 신호로부터 가변밸브가 작동하기까지의 시간이다. 지연시간의 편차율은 가변밸브의 평균지연시간에 대한 매 사이클의 지연시간 차이에 대한 표준편차를 백분율로 정의한 것이다. 초기 가변밸브는 유압 작동유를 작동유체로 하는 가변밸브 구동 슬레노이드 밸브 및 유압 실린더의 작동지연에 의해 약 20ms정도 지연되었다. 이때 본 실험의 저속회전수 범위에서 지연시간의 편차율은 기관회전수의 증가에 따라 약간 차이는 있으나 그 크기는 평균 0.8% 미만의 아주 작은 범위를 나타내었다. 이 오차범위는 본 저속기관의 회전수 범위에서 크랭크 각으로 최대 0.3° 미만으로 각 사이클마다의 가변밸브 지연시간의 편차는 무시할 만한 범위로 볼 수 있다. 위의 결과들은 가변밸브 작동의 트리거 신호가 기관회전수에 상관없이 지연시간 만큼 진각이 필요함을 보이는 것으로써 기관 운전시 밸브 닫힘과 열림 조건을 컴퓨터 제어로 일치시켰다.

2.3 VCR 장치의 압축압력 특성

Fig. 5는 제작된 기관의 기밀성을 평가하기 위하여 모터링 및 발화운전시의 실린더내 가스압력을 압축비 변화에 대해 나타낸 일례이다. Fig. 5(a)는 모터링시 실린더내 최고압력이 대체로 압

축비 증가에 따라 증가하고 그 크기 및 압력경과 곡선은 동일 압축비 조건을 갖는 통상의 기관과 비슷한 양상을 보였다. 발화운전시의 최고압력도 Fig. 5(b)에 나타난 바와 같이 압축비 증가에 따라 현저히 증가하며 실린더 내 가스의 누출로 인한 압력상승의 구배 현상이 압력경과 곡선에서 관찰되지 않으므로 제작된 디젤기관의 기밀성에 문제가 없음을 알 수 있다.

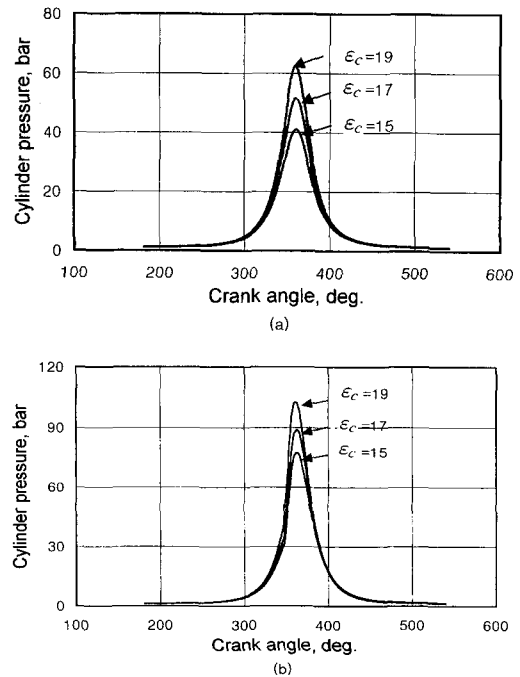


Fig. 5 In cylinder gas pressures in case of motoring and firing

3. 실험 장치 및 방법

본 연구를 위해 제작 완료된 기관은 단기통 직접분사식(DI) 장-행정 저속 4 행정 디젤기관이며, 주요제원은 Table 1과 같고, Fig. 6은 실험을 위해 구성된 실험장치의 개략을 나타낸 것이다.

실험장치는 크게 기관의 본체, 본체와 연결된 수동력계, 흡·배기를 위한 가변밸브 타이밍시스템 및 가변압축비 장치, 각 부의 압력과 온도를 측정하기 위한 데이터 취득부, 엔진을 시동하기 위한 시동부로 나눌 수 있다.

Table 1 Specification of test single engine.

Item	Specifications
Cylinder Number	Single cylinder(1)
Displacement Volume	2390(cc)
Bore × Stroke	97.1 (mm)× 323(mm)
S/B Ratio	3.326
CAM Type	DOHC(1)
Compression Ratio	15~40(Variable)
Injection Type	DI(VP37)
Low Idle Speed	100(rpm)
High Idle Speed	700(rpm)

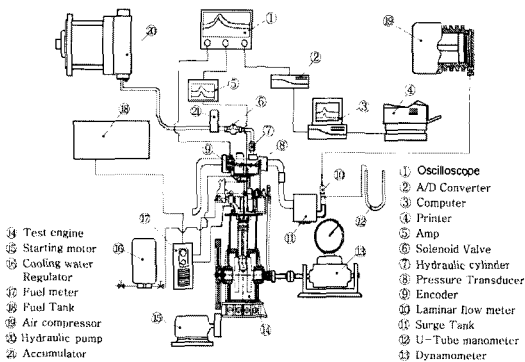


Fig. 6 Schematic diagram of experimental setup with single diesel engine

기관의 출력은 수동력계를 사용하여 산출하였으며, 특히 밸브구동 캠축에 연결된 엔코더로부터는 기관의 TDC위치 및 크랭크 각을 관측하도록 하였고, 실린더 내의 압력센서로부터는 압력 데이터를 취득하여 컴퓨터에서 지정된 사이클 수 만큼 저장하여 데이터를 분석할 수 있도록 하였다. 흡입 공기량은 오리피스 유량계 및 차압계 그리고 U-관 마노미터를 연계하여 측정하였다. 연료는 연료분사 펌프로부터 공급되며, 기관의 연료소모량은 전자저울을 이용한 질량 측정법으로 측정하였다.

4. 운전 최적화 및 성능평가

4.1 기관의 운전안정성 및 성능

4.1.1 기관의 운전안정성

Fig. 7은 기관회전수 변화에 대한 사이클 변동

치를 나타낸 것이다. 발화운전 중 기관 안정성은 사이클 변동으로 평가하였으며 사이클 변동치는 도시평균 유효압력변동의 표준편차로 정의된다. 이때 샘플링 된 사이클 수는 100사이클 이상으로 하였고, 기관부하는 무부하 및 50%, 100% 부하 상태에서 측정되었다. 그림에서 사이클 변동의 크기는 기관 회전수 및 각 부하에 따라 약간의 차이를 보이고 있다. 모든 운전영역에서 사이클 변동은 무부하시가 평균 약 7.4%, 50%부하시가 약 6.0%, 100%부하에서는 약 4.8%정도로서 기관 회전수가 증가할수록, 고부하 일수록 사이클 변동치는 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 통상적인 기관에서 안정된 운전범위의 사이클 변동치는 약

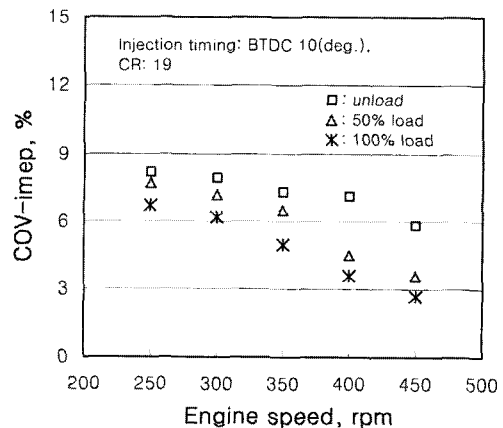


Fig. 7 COV_{imep} versus engine speed by load variation

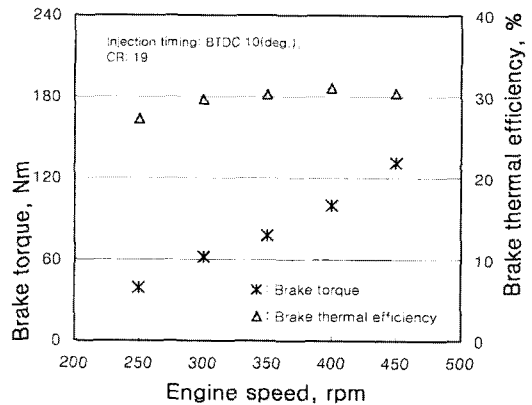


Fig. 8 Brake torque and brake thermal efficiency with engine speed

5~10%정도로 보고 있다⁶⁾. 따라서 제작된 단기통 저속 디젤기관의 사이클 변동 값은 안정된 운전할 수 있는 평균 기준 값 보다 현저히 낮으므로 모든 운전영역에서 안정적으로 운전이 된다고 평가된다.

4.1.2 기관성능

Fig. 8은 제작된 단기통 디젤기관의 운전시 100 % 기관부하에 대한 토크 및 정미열효율을 나타낸 것이다. 여기서 기관의 운전조건은 기관회전수 250~450 rpm 범위이며, 냉각수 출구온도는 80°C이고, 압축비는 19, 연료분사 시기는 BTDC 10° 로 고정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 기관 100%부하에 대하여 기관회전수의 증가에 따라 토크 및 제동열효율이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 기관회전수의 증가 시 관성력의 증가로 흡입공기량 증가에 기인하여 토크가 증가하고 열효율도 높아진 것이다. 이때 기관회전수 450 rpm보다 높은 영역에서는 열효율은 감소하는 경향으로 나타났다. 이것은 100%부하에 대하여 기관회전수 중속 이상의 높은 영역에서는 흡입공기가 회전관성에 대응하여 충분히 흡입되지 못하고 체적효율이 떨어져 불완전연소의 증가로 인해 열효율이 감소하는 것으로 보이며, 상기의 운전조건에서 기관의 최적 기관회전수 범위는 300~400 rpm사이로 판단된다.

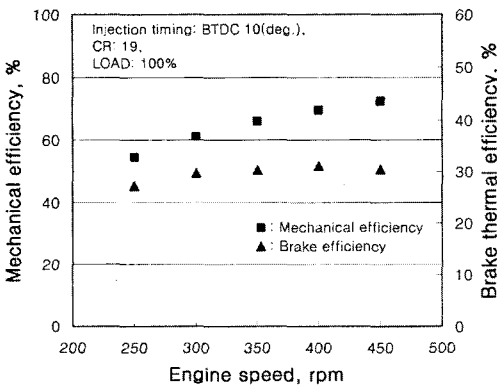


Fig. 9 Mechanical efficiency and brake thermal efficiency with the engine speed

Fig. 9는 기관회전수 변화에 대한 기계효율과

정미열효율을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 기관회전수가 증가할수록 기계효율은 높게 나타났다. 이는 통상기관에서와 같은 현상으로 회전관성에 의해 마찰저항 등의 기계손실이 상대적으로 낮아지기 때문이다. 이 때 100%부하에서 250 rpm경우 기계효율은 약 $\eta_m = 50\%$ 이고, 400 rpm의 경우가 약 $\eta_m = 70\%$ 정도로 통상의 기관보다 낮게 나타났다. 이렇게 기계효율이 낮게된 결과는 기관이 단기통이고 저속의 장-행정을 실행하는 크로스 헤드부의 설치로 인해 기계손실이 대기통의 고속기관보다 현저히 증가하였기 때문이다.

4.2 최적 분사시기 결정

Fig. 10은 연료 분사시기의 변화에 따른 발화 운전시 실린더내 가스압력의 크기를 나타낸 것이다. 운전조건은 기관 회전수 400 rpm이며, 냉각수 출구온도는 80°C, 압축비는 19, 분사시기는 BTDC 6~18° 범위이며 부하 100%인 경우이다. 여기서 분사시기가 지각될수록 연소압력은 낮게 나타나고 팽창도 작게 됨을 알 수 있다. 이것은 동일 압축비와 기관회전수에 대하여 착화지연기간은 거의 동일하나 연료분사시기가 지연될수록 상대적으로 급속연소기간 및 최고압력 발생구간이 상사점 이후로 지연되어 나타나고 이로 인해 연소시 최고압력도 작게 된 결과이다. 따라서 분사시기의 지각시점 BTDC 6°에서는 연소압력이 급격히 낮아지고 팽창과정도 작게되어 일정 분사량에 대하여 팽창일이 작게 나타낼을 보이고 있다. 각각의 분사시기에 대하여 최고압력의 크기 및 발생시점은 BTDC 18° 일 때 122.5 bar, ATDC 3° 로 나타났다.

Fig. 11은 상기와 같은 운전조건에서 분사시기 변화에 대한 도시평균 유효압력 변동계수와 최고압력 변동계수를 나타낸 것이다. 도시평균 유효압력 변동계수는 평균 약 4.7%로서 전 운전영역에서 사이클 변동은 안정적이다. 최고압력 변동계수의 경우는 1% 미만으로 분사시기 변화에 대하여 최고압력 변동이 거의 없음을 볼 수 있다. 특히 분사시기 BTDC 10° 범위에서 가장 운전상태가 좋게 나타났다.

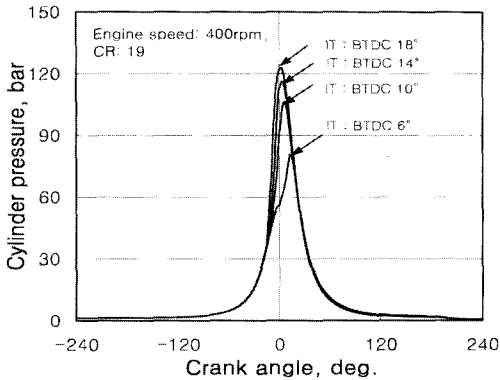


Fig. 10 Combustion pressure with the change of fuel injection timing

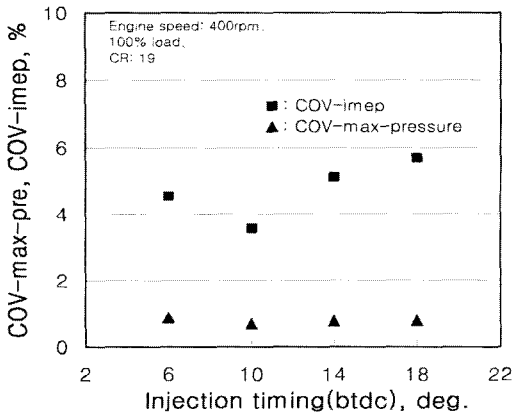


Fig. 11 COV_{imep} and COV_{max-pressure} as a function of fuel injection timing

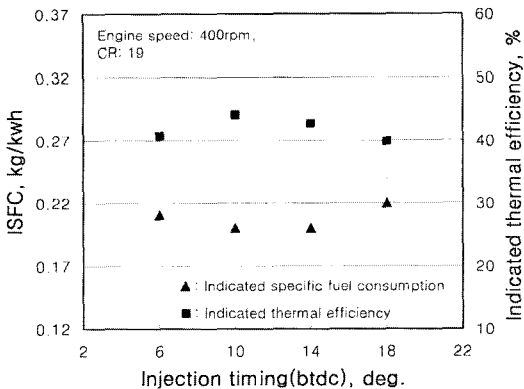


Fig. 12 Specific fuel consumption and thermal efficiency with adjustment of the fuel injection timing

Fig. 12는 상기의 운전조건에서 도시연료소비율과 도시열효율을 나타낸 것이다. 열효율 및 도시연료소비율의 크기는 분사시기 BTDC 10~14°에서 최대 및 최소 값을 나타내었다. 이것은 분사시기가 진각될수록 주연소기간이 상사점에 발생하게 되어 압축과정 중 연소가 이루어져 압축일 증가로 이어지고, Fig. 10에서 보는 바와 같이 최고압력은 증가하나 유효 일 감소로 열효율 증가로 나타나지 않음을 알 수 있다. 따라서 제작된 저속 디젤기관의 최적 분사시기는 상기 결과를 종합적으로 평가할 때 BTDC 8~10° 범위로 예측되며, 고속 디젤기관의 연료분사시기 범위인 BTDC 14~16° 보다 지각되어 나타났다. 이것은 저속기관일수록 연료분사시기를 상사점에 접근시킬 수 있고, 결국 고온을 유지하는 기간이 고속 디젤기관 보다 상대적으로 짧게 되어 배기 질을 개선시킬 수 있음을 알 수 있다^[7].

5. 결 론

단기통 저속 디젤기관을 설계, 제작하여 기본실험을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 흡입밸브 닫힘시기 제어의 VVT시스템의 평가결과 저속기관에서 유압장치 및 솔레노이드 밸브에 의한 흡입밸브 열림과 닫힘시기 실현시 유용성이 확인되었고, 최적 흡·배기밸브 열림과 닫힘시기 결정시에도 안정성을 확보할 수 있음을 보여주었다.

2) 제작된 가변압축비 장치의 연소실내 기밀성 확보여부를 파악하기 위한 모터링 및 발화운전 평가결과, 가스누출에 의한 최고압력 발생부근의 압력감소가 없고 통상의 압력선도 양상을 보여 제작된 기관의 가변압축비 장치의 기밀성에 큰 문제가 없음이 확인되었다.

3) 최적의 연료 분사시기는 연료소비율과 열효율의 관점에서 약 BTDC 10° 범위로 보이며, 이는 고속 디젤기관에 비해 약 4~6° 정도 상사점에 지각된 시기로서 저속기관에서 보다 더 배기의 질을 좋게 할 수 있음을 알 수 있었다.

4) 기관 사이클 변동의 크기는 전 운전영역에 걸

쳐 평균 5.0 % 정도로 통상 기관에서의 안정운전 가능 사이클 변동 값 보다 현저히 작아 저속기관에서는 운전 안정성이 보다 좋게 됨을 알 수 있었다.

5) 기관의 토크 및 정미열효율은 기관회전수 250~450 rpm까지 기관회전수 증가에 따라 증가하고 450 rpm이상 영역에서 연료소비율이 증가하여 열효율은 급격하게 떨어지는 경향을 보였다. 따라서 설계, 제작된 디젤기관의 최적 운전회전수 범위는 300~400 rpm범위로 나타났다.

6) 기계효율은 저속을 실현하기 위한 크로스 헤드부의 설치로 인하여 400 rpm의 기관 회전수에서 최대 약 70 %정도로 통상의 고속기관보다 낮게 나타났다. 즉, 저속의 단기통 기관에서는 기계 마찰손실이 통상기관 대비 약 15 % 이상 높게 됨을 확인하였다.

상기와 같이 단기통 저속 4 행정 대형 디젤기관을 설계, 제작하여 시험 운전한 결과 최적 운전 조건 및 기관성능에 대하여 몇 가지 파악되었다. 이 결과들은 대형 선박용 기관의 기본설계 및 기초연구가 미미한 우리 실정에서 많은 의미를 부여할 수 있고, 장차 저속 2 행정 디젤기관 연구에 따른 문제점 및 연소특성 연구의 기본자료가 될 것으로 보인다.

본 연구는 에너지관리공단 연구비 지원하에 수행된 결과의 일부이며, 실험시 도와준 박사과정 정양주에게 감사함을 전합니다.

Reference

[1] 정양주, 장태익, 이종태, "선박용 롱 스트로크 디젤기관의 아트킨슨 사이클화에 의한 열효율 향상", 한국박용기관학회 추계학술대회 논문집, pp. 1-9, 2002.
 [2] 유정대, 이병운, "저속 2행정 디젤엔진의 진동 특성과 방진대책", 한국박용기관학회지, Vol. 27, No. 2, pp. 174-180, 2002.

[3] 권오신, 손진록, "MAN B&W 저속 2행정 디젤기관의 최근동향", 한국박용기관학회지, Vol. 26, No. 5, pp. 512-525, 2002.
 [4] H. Nomura, "HITACHI-B&W and Sulzer Economical Slow Speed Diesel Engine", JSAE, Vol. 19 No. 235, 1980.
 [5] K. Inoue, "A High Power, Wide Torque Range Efficient Engine, With a Newly Developed Variable Valve Lift and Timing Mechanism", SAE 890675, 1989.
 [6] 이성열 저, "내연기관", 보성각, pp. 156~158, 1998.
 [7] 산업자원부연구보고, "A Study on the Development of Automotive Hydrogen Fueled Engine with High Power and High Efficiency", 1998-N-HY02-P-03, pp. 39~42, 2002.
 [8] B&W Diesel, "Marine Propulsion Engines, propulsion Systems, Marine Gen Sets", No. 24231, 1999.
 [9] MAN B&W, "Low speed engines in stationary diesel power plants"
 [10] H. Lenz. at al., "Effect of Variable Engine Valve Timing on Fuel Economy", SAE 880390, 1988.

저 자 소 개



장태익 (張太翼)

1959년 1월생. 1985년 국립금오공과대학교(기계공학과, 학사), 1989년 동대학원 기계공학과(석사), 1996년 성균관대학교 대학원 기계설계공학과(박사), 현 세명대학교 건설공학부 건축설비공학과 교수, 당 학회 정회원. 문