

Coal O일을 사용한 스파크 점화기관의 압축비 변화에 따른 엔진 성능에 관한 연구

한성빈^{1†} · 정연종²

¹인덕대학교 기계자동차학과, ²동국대학교 경주캠퍼스 기계부품시스템공학과

A Study on the Performance Characteristics According to the Compression Ratio of Spark Ignition Engine Fuelled with Coal Oil

SUNG BIN HAN^{1,†}, YON JONG CHUNG²

¹Department of Mechanical & Automotive Engineering, Induk University, 12 Choansan-ro, Nowon-gu, Seoul 01878, Korea.

²Department of Mechanical Parts System Engineering, Gyeongju Campus, Dongguk University, 123 Dongdae-ro, Gyeongju, 38066, Korea

†Corresponding author :
sungbinhan@induk.ac.kr

Received 18 January, 2017

Revised 14 March, 2017

Accepted 30 April, 2017

Abstract >> Coal oil is widely used as a home heating fuel for portable and installed coal oil heaters. Today, Coal oil is widely used as fuel for jet engines and some rocket engines in several grades. This paper describes the performance characteristics according to the compression ratio of spark ignition engine fuelled with coal oil. As a result, the following knowledge is obtained: As the compression ratio is decreased, there is an increase in torque, indicated mean effective pressure (IMEP), heat release rate, and brake thermal efficiency. Higher compression ratio of the engine decreases the ignition delay period, combustion period, and cooling loss.

Key words : Coal oil(등유), Compression ratio(압축비), Combustion period(연소기간), Delay period (지연기간), Indicated mean effective pressure(지시평균유효압력), Heat release rate(열발생량)

1. 서론

자동차 기관의 출력을 증대시킨다는 것은 기관의 제동열효율 증가를 의미한다. 또한 제동열효율은 지시열효율의 증대를 의미하기도 하다.

지시열효율은 이론열효율이 증가되는 원인을 조사해 보면 쉽게 접근할 수 있다. 이론열효율은 압축

비와 연료의 비열비의 함수이다. 연료의 비열비가 크면 클수록, 압축비가 크면 클수록 이론열효율은 커지게 된다. 이론열효율의 증가는 지시열효율의 증가로 이어지게 되며, 지시열효율의 증가는 곧바로 제동열효율로 이어지게 된다^{1,2)}.

하지만 압축비를 증가시키게 되면 이론열효율, 지시열효율, 제동열효율이 증가되지만, 노킹이 발생

할 수 있다. 압축비를 증가시키는 것이 이론적이든, 실제적이든 타당한 방법으로 알려져 있지만, 지나친 압축비 증가는 노크 발생으로 이어지게 되어, 연소실 헤드, 실린더 블록의 균열을 초래하게 된다³⁻⁵⁾.

또한 압축비를 증가시키는 것이 이론적으로도 실제적으로도 타당하여, 이를 실험으로 확인하는 것도 쉬운 실험은 아니다.

대기오염문제 중에서 자동차가 미치는 영향은 도시 공해의 대부분이라고 해도 과언이 아닐 것이다. 자동차 공해 물질을 해결하기 위한 연구가 여러 가지로 다양하게 진행되어 왔다. 전기, 수소, 하이브리드, 천연가스 등등이 사용되고 있으며, 신에너지 물질로써 자동차의 구조를 크게 변화시키지 않고 사용할 수 있는 바이오매스, 메탄올, 에탄올을 다시 거론하고 있는 추세이다⁶⁻⁸⁾. 더욱이 또다시 거론되고 있는 연료로써, 석유계에서 얻을 수 있는 kerosene이 있다. 북미에서는 coal oil이라고 불리 우고, 유럽에서는 paraffin oil, 램프오일로 불리고 있다. 흔히 아시아에서는 가정용 난방용으로 많이 사용하고 있는 연료이다. Kerosene은 로켓엔진 제트엔진 연료로도 사용이 되기도 한다. 원유를 150~275℃에서 증류하여 만든 제품이며, 카본 구조로써 밀도는 0.78~0.81 g/cm³ 정도이며 물과는 친화력이 없는 구조로 이루어져 있다. 자동차 연료로 가능한 연료로써, 연소 가능한 탄화수소 계통의 연료이다. 탄소 수는 10~15개이다. 발화점은 37~65℃이며, 자발화 온도는 220℃이며, 유동점은 -47~40℃, 저위 발열량은 43.1 MJ/kg이며, 고위 발열량은 46.2 MJ/kg이다^{9,10)}.

본 연구에서는 기존의 스파크 플러그가 장착한 스파크 점화기관에 백등유(kerosene, coal oil)를 이용하여 실험을 수행한다. 또한 압축비 변화에 따른 제동효율, 토크, 평균유효압력, 연소 관련 등의 영향을 연구하게 된다.

2. 실험장치 및 방법

Table 1은 연구에 수행된 기관의 제원을 제시하고 있다. 본 연구에 사용된 기관은 4행정 사이클 단

Table 1. Engine specifications

Items	Specifications
Cooling system	Water-Cooled
Displacement	667 cc
Bore × stroke	90 × 105 mm
Compression ratio	4.15~7.15
Cylinder number	single
Length of connection rod	180 mm

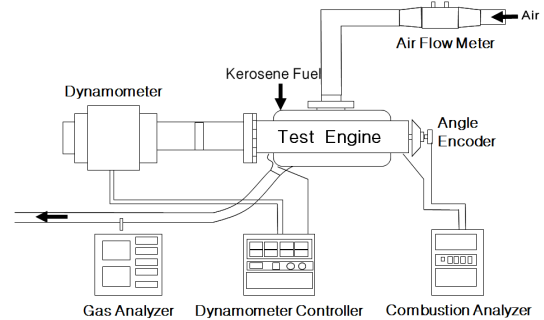


Fig. 1. The schematic diagram of the experimental set-up

기통 스파크점화기관을 이용하였다. 본 연구에서는 kerosene 100% 연료를 사용하였다. 기관 냉각 방식은 수냉식을 채택하였다.

냉각수의 온도는 80℃로 유지시켰다. 압축비헤드 가스켓의 두께를 조절하여 압축비를 4.15, 4.61, 5.13, 5.82, 6.42, 7.15로 변화시킬 수 있었다.

Fig. 1에 실험장치의 계략도를 나타냈다. 실험기관에 가해지는 엔진부하의 조절과 측정을 위해 모터링(motoring)이 가능한 직류동력계(DC dynamometer, 7.5 kW)를 사용하였으며, 또한 흡배기, 냉각수 등의 온도 측정이 필요한 부분에 열전대(thermocouple)를 삽입하여 온도를 측정하였다.

고속으로 작동하는 기관 내부의 압력 변화는 기관의 성능 평가에 중요한 자료가 되기 때문에, 압력 센서를 통하여 지압선도(indicated diagram)를 얻어, 이는 각종 연소 해석에 자료로 사용이 된다.

기관 회전수는 사용 기관의 최대 토크가 예상되는 1,400 rpm으로 고정하여 수행하였다. 점화시기는 최적의 점화시기인 minimum spark advance for the

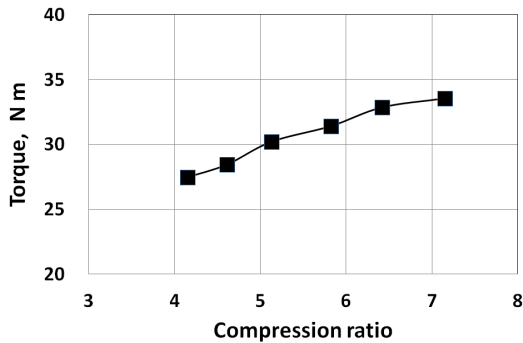


Fig. 2. Torque vs. compression ratio

best torque (MBT)에서 일정하게 수행하였다.

공기와 연료인 kerosene의 공급량을 조절하여 공기연료비를 변화시킬 수 있는데, 본 연구의 목적은 압축비 변화를 변수로 하여 각종 기관의 성능 특성을 연구하는 실험이므로, 공기연료비는 최대의 토크가 예상되는 13:1에서 수행하였다. 이때의 부하는 3/4 부하(load)에서 수행하였다.

또한 기관 회전에 대한 크랭크 각도 변화를 엔코더(angle encoder)를 이용하여 일치시켜(synchronization) 데이터를 채취(aquisition)하였다. 채취된 압력값은 100사이클을 평균하여 기관연소 해석의 데이터로 사용할 수 있었다. 크랭크각도에 대한 압력값 채취를 이용하여, 압력-크랭크각 선도, 압력상승률선도, 지시평균유효압력(indicated mean effective pressure, IMEP), 압력-체적(P-V)선도, 열발생율곡선, 질량연소율곡선, 점화지연기간, 연소구간 등의 동태를 파악할 수 있었다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 기관 회전수 1,400 rpm 일정 하에서 압축비를 4.15, 4.61, 5.13, 5.82, 6.42, 7.15로 변화시킨 경우에 대한 기관 토크에 대한 실험 결과이다.

이론적으로뿐 아니라, 압축비를 증가함에 따라 기관 토크는 증가하고 있다.

압축비를 4.15, 4.61, 5.13, 5.82, 6.42, 7.15로 점

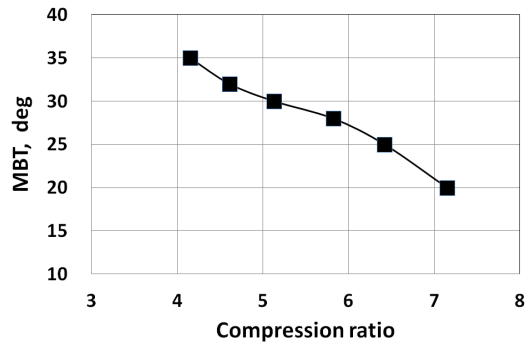


Fig. 3. MBT vs. compression ratio

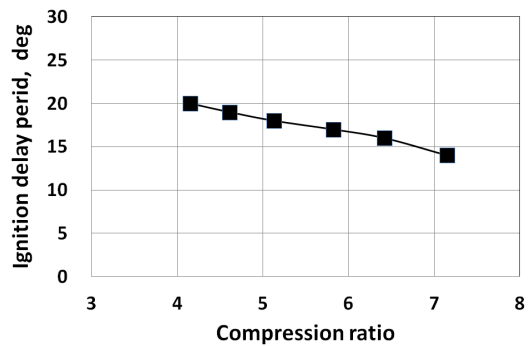


Fig. 4. Ignition delay period vs. compression ratio

차 증가시켜 나감에 따라, MBT도 변화하게 되었다.

Fig. 3은 기관 회전수 1,400 rpm 일정 하에서의 MBT를 나타내고 있는데, MBT는 압축비 증가에 따라 상사점(Top Dead Center, TDC)전 35도에서 TDC 전 20도로 변화하는 것을 알 수 있다.

압축비를 증가하여도 노킹은 발생하지 않았다. 압축비 7.15에서도 노킹은 발생하지 않았다.

Fig. 4는 coal oil을 사용한 스파크 점화기관의 기관회전수 일정 하에서 압축비 변화에 따른 점화지연기간을 나타낸 실험 결과이다. 점화지연 기간이라는 것은 스파크 플러그에 점화에너지가 공급되어 스파크 플러그 주위에 화염핵(flame kernel)이 점차 성장하여 냉염(cool flame)과 열염(hot flame)을 거쳐서 모터링(motoring) 선도로부터 이탈되어 더 이상 화염이 꺼지지 않고 안정된 화염으로 전파되어 나아가는 시기를 말한다. 일반적으로 점화지연 기간이 짧

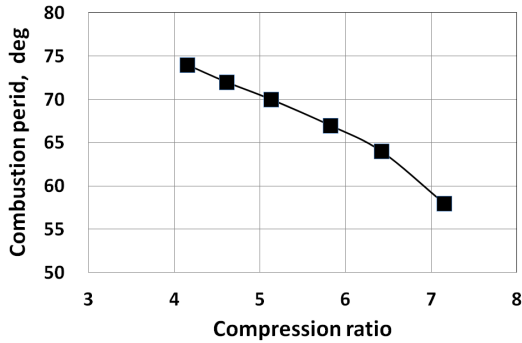


Fig. 5. Combustion period vs. compression ratio

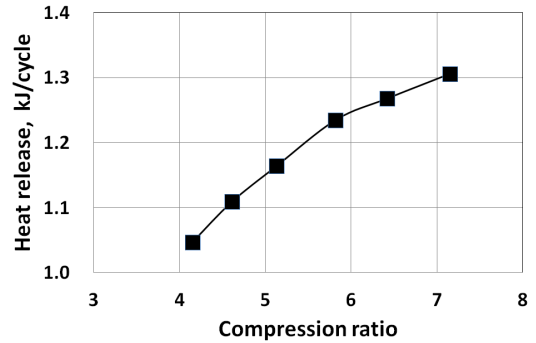


Fig. 7. Heat release vs. compression ratio

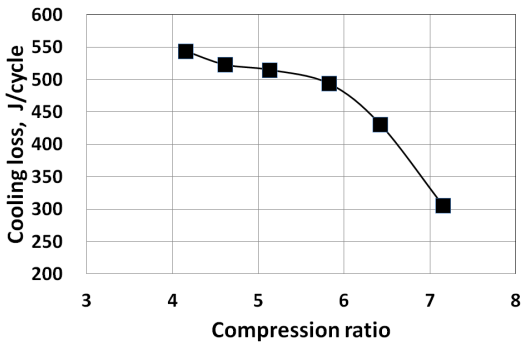


Fig. 6. Cooling loss vs. compression ratio

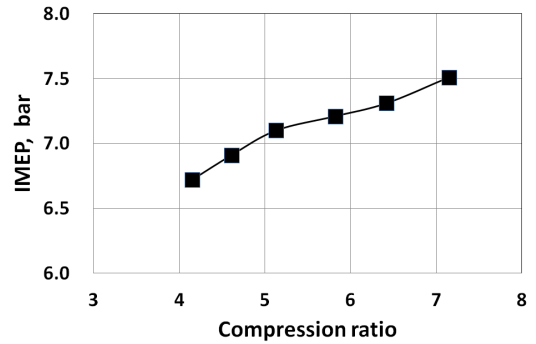


Fig. 8. IMEP vs. compression ratio

은 경우가 좀 더 안정되어지고, 화염전파 속도도 빨라지게 되어서, 연소기간(combustion period)이 짧아져서 급격연소(fast burn)가 되는 경향이 있다.

Fig. 4의 실험 결과 압축비를 증가시키기에 따라서 점화지연기간은 줄어들고 있는 경향을 나타내고 있다. 이러한 실험 결과는 Fig. 5에서도 유사한 특성을 나타내고 있다.

Fig. 5는 기관회전수 1,400 rpm에서 압축비 변화에 따른 전체 연소기간(combustion period)을 나타내고 있다. 본 연구에서 연소기간은 질량연소율 곡선을 통하여 전체의 100%의 질량 연소율에 대해서 10~90%까지를 연소기간으로 정의하고 얻은 실험 결과이다.

이것은 Fig. 4의 점화지연기간과 같은 결과를 뒷받침하는 것으로써, 압축비를 점차로 증가시키기에 따라 연소기간이 짧아져서, 연소의 경향은 급격연소의

경향이 나타나게 된다.

Fig. 6은 압축비 변화에 대한 냉각손실(cooling loss)를 나타낸 실험 결과이다. 냉각손실 계산은 뉴톤의 냉각법칙에 입각하여 구할 수 있는데, 냉각수의 출구의 온도는 80°C로 유지하였을 때의 냉각손실을 의미한다. 실험 결과 압축비를 증가시키기에 따라 냉각손실은 급격히 감소하고 있는데, 이러한 냉각손실의 에너지(J/cycle) 감소로 인하여, 기관의 토크가 증가되고, 이는 점화지연기간과 연소기간을 단축시켜서 급격연소가 진행되는 효과가 있었을 것으로 생각된다.

Fig. 7은 압축비 증가에 따른 사이클 당 열발생량(heat release, kJ/cycle)을 나타낸 결과이다. 압축비 증가에 따라 열발생량이 증가함을 알 수 있다. 이는 토크의 증가는 열발생량 증가, 냉각손실의 감소로 인하여 토크가 증가하게 되며, 이를 뒷받침하는 것

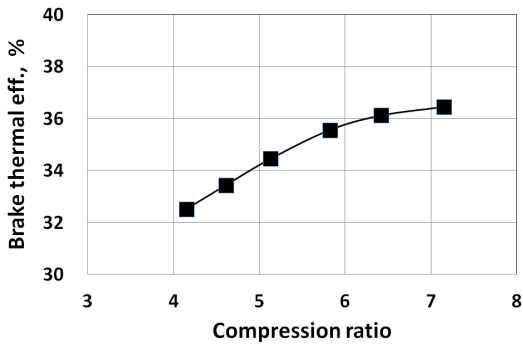


Fig. 9. Brake thermal efficiency vs. compression ratio

이 급격연소임을 알 수 있었다.

Fig. 8은 지시평균유효압력(IMEP)의 실험 결과이다.

IMEP의 결과는 앞서 제시한 Fig. 2의 토크 결과와 같은 경향을 보이고 있다. IMEP의 증가는 토크 증가를 의미하기도 한다. 또한 IMEP의 증가는 열발생량 증가, 냉각손실의 감소, 점화지연기간 감소, 연소기간 감소의 영향으로 이어진다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 9는 스파크 플러그가 장착된 기관에서 coal oil을 연료로 사용한 경우 압축비 변화에 대한 제동 열효율(brake thermal efficiency)을 나타낸 실험 결과이다. 통상적으로 공급된 열 100에 대해서 열평형(heat balance)으로 설명을 하면, 기관의 열평형은 대략적으로 35%의 제동열효율, 30%의 냉각손실, 30%의 배기손실, 5%의 기계손실로 해석이 되어 진다.

제동열효율의 실험 결과가 압축비 4.15~7.15의 변화에 따라 제동열효율이 32.5~36.5%로 변화되는 것을 알 수 있었다. Fig. 6의 냉각손실이 작으면 작을수록 제동열효율에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 생각된다.

Fig. 10은 Otto가 제시한 이론 열효율(theoretical thermal efficiency)을 이용하여 계산한 이론적인 결과 선도이다. 이론 열효율 식은 압축비와 연료의 비열비만의 함수로 나타내 있다. 즉, f (이론열효율) = (압축비, 비열비). 하지만, 기관 설계에 있어서 부여하는 의미는 크다고 생각이 든다. 이 그림을 통하여, 비열비가 큰 연료를 선택하면 이론 열효율을 증가시

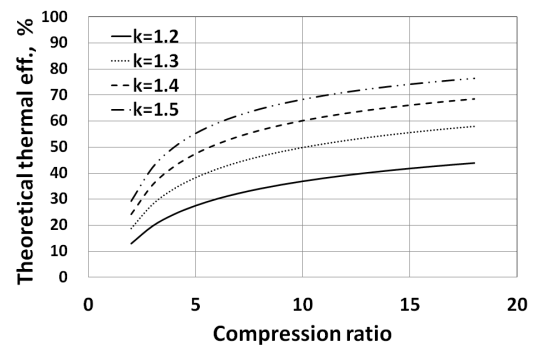


Fig. 10. Theoretical thermal efficiency vs. compression ratio

킬 수 있고, 압축비를 증가시키면 이론 열효율은 증가되어 진다. 그래서 연료의 선택과 압축비의 선택은 중요한 이론 열효율(Fig. 10) 및 제동 열효율(Fig. 9) 증대의 역할을 하게 된다.

4. 결론

Coal oil을 이용하여 스파크 플러그가 장착된 스파크 점화기관에 압축비 변화(4.15~7.15)에 대한 실험을 실시하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 압축비 증가에 따라서, 열발생량 증가, 냉각손실의 감소로 인하여 토크 및 IMEP가 증가하게 되며, 이것은 점화지연기간과 연소기간이 짧아져서 급격연소로 인하여 토크 및 IMEP의 증가의 원인임을 알 수 있었다.

2) 압축비 4.15~7.15의 변화에 따라 제동열효율이 32.5~36.5%로 변화되는 것을 알 수 있었다. 이는 압축비 증가에 따라 냉각손실이 감소되었고, 냉각손실의 감소로 인하여 제동열효율 증가에 긍정적인 영향으로 작용한 것으로 생각된다. 이러한 실험 결과는 압축비 변화와 연료의 비열비를 변수로 하여 나타낸 이론열효율(theoretical thermal efficiency)곡선과도 잘 맞는 결과이다.

References

1. S. Prasad, A. Singh, and H. C. Joshi, "Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban resi-

- dues”, Resources Conservation and Recycling, Vol. 50, 2007, pp. 1-39.
2. J. B. Heywood, “Internal Combustion Engine Fundamentals”, Mc-Graw Hill, USA, 1987.
3. S. Potteau, P. Lutz, and S. Leroux, “Cooled EGR for a turbo SI engine to reduce knocking and fuel consumption”, SAE Paper 2007-01-3978, 2007.
4. G. A. Karim, “Hydrogen as a spark ignition engine fuel”, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 28, 2003, pp. 569-577.
5. A. R. Goodwin, J. V. Sengers, and C. J. Peters, “Applied Thermodynamics of Fluids”, RSC Publishing, UK, 2010.
6. S. Dunn, “Hydrogen futures: toward a sustainable energy system”, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 27, 2002, pp. 235-264.
7. E. E. Michaelides, “Alternative Energy Sources (Green Energy and Technology)”, Springer, USA, 2011.
8. H. L. Chum, and R. P. Overend, “Biomass and renewable fuels”, Fuel Processing Technology, Vol. 71, 2001, pp. 187-195.
9. Y. A. Cengel, and M. A. Boles, “An Engineering Approach Thermodynamics”, 2nd ed, McGraw Hill, USA, 2005.
10. M. J. Moran, and H. N. Shapiro, “Fundamentals of Engineering Thermodynamics”, 2nd ed, Wiley, USA, 2006.