

# Kerosene (Coal Oil)을 사용한 스파크점화기관의 연소실헤드 온도 변화에 따른 엔진 성능 및 배기 특성에 관한 연구

한성빈<sup>1†</sup> · 정연종<sup>2</sup>

<sup>1</sup>인덕대학교 기계자동차학과, <sup>2</sup>동국대학교 경주캠퍼스 기계부품시스템공학과

## A Study on the Performance and Emission Characteristics According to the Coolant Temperature of Combustion Chamber Head of Spark Ignition Engine Fuelled with Kerosene (Coal Oil)

SUNG BIN HAN<sup>1†</sup>, YON JONG CHUNG<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Induk University, Department of Mechanical & Automotive Engineering, 12 Choansan-ro, Nowon-gu, Seoul 01878, Korea

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

†Corresponding author :  
sungbinhan@induk.ac.kr

Received 28 January, 2017  
Revised 22 February, 2017  
Accepted 28 February, 2017

**Abstract** >> Kerosene (Coal oil) is a particularly attractive fuel because it is widely used to power jet engines of aircraft as jet fuel and some rocket engine. This paper describes the performance and emission characteristics according to the coolant temperature of combustion chamber head of spark ignition engine fuelled with kerosene. As a result, the following knowledge is obtained. As the coolant temperature of combustion chamber head is decreased, torque, volumetric efficiency and brake specific fuel consumption have been increased. When coolant temperature of combustion chamber lower, THC emission increased but CO and NOx emission decreased.

**Key words** : Kerosene(백등유), Torque (토크), Brake Specific Fuel Consumption(제동연료소비율), Volumetric Efficiency(체적효율), CO(일산화탄소), THC(탄화수소), NOx(질소산화물)

## 1. 서론

스파크 점화기관의 체적효율, 열효율 등의 각종 효율을 높이는 것은 이미 오랜 전부터 연구를 해 왔다. 하지만, 어느 것 하나를 향상 시키면 또 다른 문제가 야기될 수 있기 때문에 최적의 상태를 결정하

는 것이 무엇보다 중요하다고 생각된다<sup>1,2)</sup>.

자동차 기관효율에 가장 직접적인 영향을 미칠 수 있는 기관열효율의 경우는 일반적으로 압축비를 증가 시키는 것이 이론적이든, 실제적이든 타당한 방법으로 알려져 있다. 하지만, 지나친 압축비 증가는 노크 발생으로 이어지게 되어, 실린더헤드와 실

린더 블록에 균열을 초래하게 될 수도 있다. 또한 제동열효율이나 지시열효율을 증가시키기 위해서 압축비를 증가시키는 것이 이론적으로도 실제적으로도 타당하여, 이를 실험으로 확인하는 것도 쉬운 일은 아니다. 운전 중에 압축비를 변화시킬 수 있는 장비를 이용하여 제동열효율을 증가를 시킬 수는 있겠지만, 비싼 장비를 이용해서 이미 이론적이든, 실제적이든 충분히 규명되어져 있는 연구라 생각이 든다<sup>3-5)</sup>.

열효율은 연료의 비열비, 기관의 압축비의 함수이다. 비열비가 큰 연료를 선택하면 열효율을 증가시킬 수 있고, 압축비를 증가시키면 열효율은 증가되어 진다. 그래서 연료의 선택과 압축비의 선택은 참으로 중요한 열효율 증대의 역할을 하게 된다<sup>6-8)</sup>.

자동차로부터 배출되는 대기오염문제를 해결하기 위한 연구가 많이 진행되어 왔다. 전기 자동차, 하이브리드, 수소, 천연가스 등등에 이어서, 신에너지 물질로써, 바이오매스, 알콜 연료인 메탄올과 에탄올을 많이 사용하는 추세이다. 또한 최근에 고려되는 연료로써, 석유계에서 얻을 수 있는 kerosene이다. 미국에서는 coal oil, 영국에서는 paraffin oil로 불린다.

Kerosene은 투명한 연료로써, 원유를 150~300°C에서 증류하여 만든 제품이 kerosene이다. 카본 구조로써 밀도는 0.78~0.81 g/cm<sup>3</sup> 정도이며 물과는 친화력이 없는 구조로 이루어져 있다. 탄소 수는 10~15개이다. 발화점은 37~65°C이며, 자발화 온도는 220°C이며, 유동점은 -47~40°C, 저위 발열량은 43.1 MJ/kg이며, 고위 발열량은 46.2 MJ/kg이다.

일반적으로 스파크점화기관에서 사용되는 가솔린은 100여 개의 물질을 혼합하여 만든 물질이므로 화학식으로 제시하기 어렵지만, 이소옥탄(C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>)의 성질과 비슷하다. 밀도는 0.72~0.78 g/cm<sup>3</sup>, 증발열은 305 kJ/kg, 저위발열량은 44.0 MJ/kg, 고위발열량은 47.3 MJ/kg, 분자량은 약 110이다<sup>9-12)</sup>.

본 연구에서는 기존의 스파크점화기관에 휘발유 연료가 아닌 백유(kerosene, coal oil)를 이용하여 운전을 실시한다. 또한 어려운 압축비 변화에 따른 노킹을 억제하는 방법에 대응하는 실험으로 연소실

Table 1. Engine specifications

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

헤드의 온도를 단계적으로 변화시켜서 체적효율, 토크 증대, 배기가스 저감의 효과를 확인하려 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

Table 1은 본 연구에 사용된 기관 제원을 나타냈다. 본 연구에 사용된 엔진은 4 사이클 단기통 스파크점화기관을 이용하였다. 통상적으로 가솔린을 연료로 사용하는 엔진이지만, 본 연구를 위하여 kerosene을 사용하였다. 엔진 냉각 방식은 수냉식을 채택하였다. 하지만, 연소실 헤드의 온도 변화에 따른 엔진 성능과 각종 배기 특성을 연구하기 위해서, 연소실 헤드의 냉각수의 온도를 단계적으로 20°C, 40°C, 60°C, 80°C로 단계적으로 변화를 시켰다. 또한 헤드 냉각수의 온도 변화는 흡입공기의 온도의 영향을 줄 수 있도록 설계가 되어져 있다. 그러므로 연소실 헤드의 온도는 흡입공기의 온도에 변화에 직접 영향을 줄 수 있도록 실험장치를 설계하였다. 압축비는 기관성능, 제동 열효율에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 조건이다. 본 실험엔진의 압축비는 통상의 가솔린 엔진에 비해서 낮은 편인 압축비 7.15의 엔진을 선정하여 실험을 수행하였다.

또한 Fig. 1에 실험장치의 대략도를 나타냈다. 실험기관에 가해지는 엔진부하의 조절과 측정을 위해 모터링이 가능한 직류동력계를 사용하였으며, 특히 각종 온도 측정을 위하여 열전대를 삽입하였다.

엔진 내부의 압력 변화에 따른 지압선도(indicated diagram)를 얻기 위하여 피에조 타입의 압력센서를 이용하였다. 고속의 엔진 회전에 대한 크랭크 각도

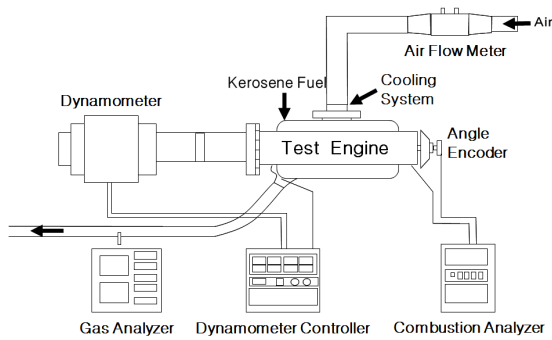


Fig. 1. The schematic diagram of the experimental set-up

변화를 엔코더를 이용하여 계측하였다. 실험을 통하여 채취된 압력값은 100사이클을 평균 내어 엔진 연소 해석의 데이터로 사용할 수 있었다. 압력센서는 스파크 플러그 일체형의 센서를 사용하였다. 연소해석 장치는 크랭크 각도 변화에 따라 압력, 노크 파형을 감지 할 수 있는 압력상승률선도, 엔진의 평균유효 압력을 계산할 수 있는 압력-체적선도, 열역학 제 1법칙을 근거로 한 사이클 동안에 엔진 내부에서 발생하는 열의 발생을 계산하는 열 발생을 곡선, 공기와 연료의 혼합가스의 질량을 연소의 동태를 파악하는 질량 연소율 곡선 등을 얻을 수 있었다.

기관회전수는 1000 rpm에서 2000 rpm까지 200 rpm씩 단계적으로 수행하였고, 분사시기는 최적의 점화시기 MBT (Minimum spark advance for the Best Torque)에서 일정하게 수행하였다.

또한 배기가스의 특성을 파악하기 위하여 배기가스 측정 장치를 이용하여 CO, HC, NOx를 측정하였다.

기존의 엔진의 냉각시스템은 단일 온도의 냉각시스템을 채택하고 있다. 일반적으로 엔진의 워밍업을 거쳐서 냉각수 물의 온도는 80°C 정도를 유지하고 있다. 하지만 본 연구에서는 연소실 헤드의 온도와 실린더 블록의 냉각시스템을 달리하여 실험을 수행하였다. 연소실 헤드의 온도를 낮추게 됨으로써 노킹 억제는 물론이며, 엔진 성능과 배기가스 저감에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단되므로 단계적으로 20°C, 40°C, 60°C, 80°C로 변화시켰다. 그러기 위해서는 기존의 냉각수 통로에서 연소실 헤드와 실린

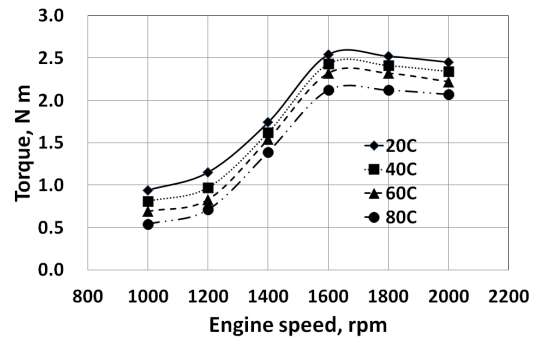


Fig. 2. Torque vs. engine speed

더 블록과의 냉각수 통로를 차단하고 서로 분리된 냉각 시스템을 구성하여 입구와 출구의 온도를 측정하였다. 실린더 블록의 온도는 통상적으로 80°C를 유지 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 기관회전수 변화에 대한 토크를 나타낸 실험 결과이다. 토크는 일종의 일의 개념이므로 공급된 연료의 량과 공기의 량에 좌우되는 것으로 알려져 있다. 또한 연료의 량은 저위발열량이 클수록 유리하다. 토크를 시간으로 나누어 준 것이 출력이다. 이러한 출력과 토크는 일정한 공기의 량에 대해서 rpm 증가를 위해서 연료의 량을 조절하는 방식을 채택하였다. 특히 공기의 량은 공기의 밀도와 상당히 밀접한 관계가 있다.

일반적으로 일정한 부하에서 공기의 량을 일정하게 하여도, 연소실 헤드의 온도가 80°C, 60°C, 40°C, 20°C로 낮아지게 되면 공기의 밀도가 커져서 토크 향상의 원인이 된다.

실험 결과의 그림에서 연소실 헤드의 온도가 낮아짐에 따라 토크가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 연소실 헤드 온도와 흡입공기의 온도가 낮아짐으로써 공기의 밀도가 증가하게 되기 때문이다. 공기유체의 유동을 위한 간단한 연속방정식과 베르누이 방정식을 통해서도 흡입온도가 저감되고, 흡입압력이 증대는 공기의 밀도를 증가시켜서 곧 바로 토

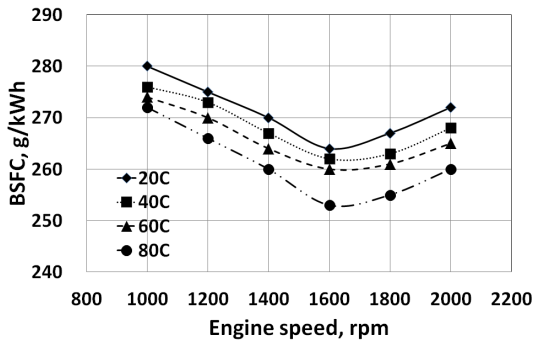


Fig. 3. BSFC vs. engine speed

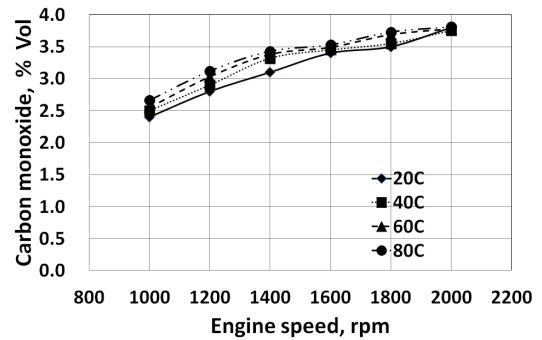


Fig. 5. CO emissions vs. engine speed

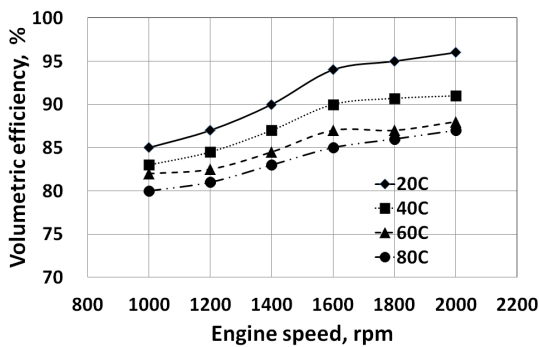


Fig. 4. Volumetric efficiency vs. engine speed

크의 증가를 가져 오게 된다는 것을 알 수 있다.

또한 기관회전수 변화에 대한 평균유효압력(BMEP, brake mean effective pressure)를 나타낸다면 토크내고 있다. 평균유효압력은 배기량이 일정한 경우에 토크에 정비례 관계가 있으므로, 본 연구에서는 제시하지 않았지만, 토크 곡선과 동일한 경향을 보여 주게 될 것이다.

Fig. 3은 연소실 헤드 온도 변수에 대한 기관회전수 변화에 대한 제동연료소비율(BSFC, Brake Specific Fuel Consumption)을 나타낸 실험 결과이다.

기관회전수에 대한 BSFC의 실험 결과는 연소실 헤드의 온도가 80°C, 60°C, 40°C, 20°C로 낮아짐에 따라 BSFC는 증가하는 경향의 실험 결과가 나왔다. 공기밀도가 증가됨에 따라 토크가 증가되지만, 연료 소비율은 반비례의 관계가 되므로, 연소실 헤드의 온도가 낮아짐에 따라 부정적인 영향으로 작용하여 BSFC의 증가로 이어지고 있다.

Fig. 4는 연소실 헤드 냉각수 온도를 80°C, 60°C, 40°C, 20°C로 단계적으로 변화시킨 경우의 기관회전수 변화에 대한 체적효율(Volumetric efficiency)를 나타낸 실험 결과이다.

실험 결과에서 냉각수 온도가 낮아짐에 따라 체적효율은 점차 증가하는 경향을 보이고 있으며, 기관회전수 증가에 대해서도 체적효율은 증가하는 결과를 보이고 있다. 이는 연소실 헤드 냉각수의 온도 저감에 따라 흡입진공압력이 증가를 촉진하는 것으로 생각되며, 이는 연소실 헤드 냉각수 온도가 더 낮아지면 흡입 공기 압력은 낮아지는 것을 의미하는데, 온도의 저감은 공기 밀도 증가로 인하여 체적효율이 점차 증가되는 것으로 판단된다.

Fig. 5은 연소실 헤드 온도 변화에 대한 기관회전수 증가에 대한 CO 배출가스를 나타낸 실험 결과이다. 기관회전수 증가에 따라 CO발생은 증가하고 있고, 연소실 헤드 온도가 감소함에 따라 CO는 줄어 들고 있다.

일반적으로 CO는 공기와 연료의 혼합이 충분하지 못하여 불완전 연소로 인하여 발생하게 된다. 특히 공기가 비교적 부족한 영역에서 운전을 자주하는 스파크 점화기관에서는 공기가 충분히 있는 압축점화기관에 비해서 CO의 발생이 많은 편이다. 특히 kerosine은 상대적으로 높은 운전범위에서 운전이 가능하기 때문에 가솔린을 사용하는 스파크점화기관에 비해서는 낮은 CO를 발생할 것으로 판단된다. 그림에서 보는바와 같이 연소실 헤드의 온도가 낮아

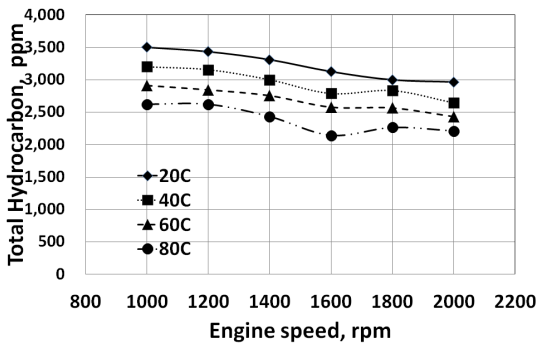


Fig. 6. THC emissions vs. engine speed

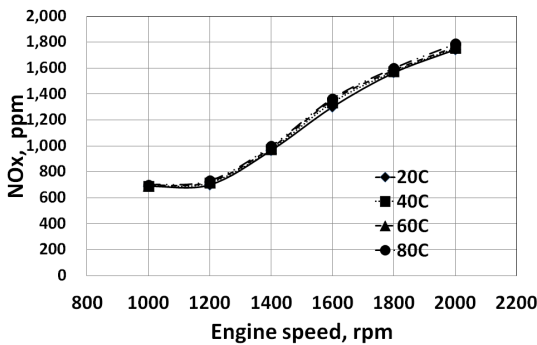


Fig. 7. Nox emissions vs. engine speed

짐에 따라 CO의 발생이 적어짐을 보여 주고 있다.

Fig. 6는 연소실 헤드 온도를 변수로 기관회전수 변화에 대한 THC배출량을 나타낸 실험 결과이다.

THC는 불완전 연소에서 발생하는 연소가 불안정한 미연의 탄화수소를 의미한다. THC는 연소에 동참하지 못한 미연가스 또는 연소의 일부분만 연소하는 탄화수소의 총칭이다. THC는 농후한 영역에서 배출량이 증가하고, 고부하나 연소가 불안정한 희박한 영역에서도 배출량은 증가하는 경향이 있다.

실험 결과에서, 기관회전수 증가에 대해서 THC 배출량은 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 냉각수 온도가 점차 저감함에 따라 THC는 불완전 연소를 초대하는 경향으로 인하여 THC가 감소하는 결과를 나타내고 있다.

Fig. 7은 연소실 헤드 온도 변화를 변수로 기관회전수 증가에 따라 NOx배출량을 나타내고 있다.

일반적으로 NOx는 연소온도의 증가에 따라 증가

하는 경향이 있고, 이론공기연료비를 중심으로 배출량이 많고, 이론공기연료비 전후로 배출량이 적은 것으로 알려져 있다. NOx는 연소온도에 좌우되는 경향이 있다. 기관회전수의 증가로 NOx는 전체적으로 증가하는 경향이 있다. 또한 연소실 헤드의 온도의 감소로 인하여 NOx는 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

기존의 스파크점화기관에 휘발유연료가 아닌 백등유(kerosene, coal oil)를 이용하여 운전을 실시하였다. 하지만, 실험 연료를 등유 연료로 수행했기 때문에 가솔린과 등유기관의 특성을 실험을 통하여 비교할 수 없어서 추후 연구의 과제로 삼을 필요가 있다. 연소실 헤드 온도를 변수로 하여 기관회전수를 단계적으로 증가시켜 실험을 실시하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 연소실 헤드의 온도가 낮아짐에 따라 토크가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 연소실 헤드 온도와 흡입공기의 온도가 낮아짐으로써 공기의 밀도가 증가하게 되기 때문이다.

2) 기관회전수 증가 대해서 체적효율은 증가하는 결과를 보이고 있고, 냉각수 온도를 점차 낮춤에 따라 체적효율이 증가하는 경향이 확인되었다. 온의 저감은 공기 밀도 증가로 인하여 체적효율이 점차 증가되는 것으로 판단된다.

3) 기관회전수 증가에 대해서 THC 배출량은 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 냉각수 온도가 점차 저감함에 따라 THC는 불완전 연소를 초대하는 경향으로 인하여 THC가 감소하는 결과를 나타내고 있다.

4) 기관회전수 증가에 따라 CO발생은 증가하고 있고, 연소실 헤드 온도가 감소함에 따라 CO는 줄어들고 있다.

5) 기관회전수의 증가로 NOx는 전체적으로 증가하는 경향이 있다. 또한 연소실 헤드의 온도의 감소로 인하여 NOx는 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

## References

1. Potteau, S., Lutz, P. and Leroux, S., Cooled EGR for a turbo SI engine to reduce knocking and fuel consumption, SAE Paper 2007-01-3978, 2007.
2. Takahashi, D., Nakata, K. and Yoshihara, Y., Engine thermal control for improving the engine thermal efficiency and anti-knocking quality, SAE Paper 2012-01-0377, 2012.
3. Celik, M. B., Experimental determination of suitable ethanol-gasoline blend rate at high compression ratio for gasoline engine, Applied Thermal Engineering, Vol. 28, pp. 396-404, 2008.
4. Prasad, S., Singh, A., Joshi, H. C., Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues, Resources Conservation and Recycling, Vol. 50, pp. 1-39, 2007.
5. Deep, A., Kumar, N., Kumar, M., Singh, A., Gupta, D. and Patel S., Performance and emission studies of diesel engine fuelled with orange peel oil and n-butanol alcohol blends, SAE Paper 2015-26-0049, 2015.
6. Singh, A. K., Mishra, C., Vibhanshu, V and Kumar, N., Performance evaluation and emission studies of a single cylinder diesel engine fuelled isopropyl alcohol and diesel, SAE Paper 2013-01-1132, 2013.
7. Ratnak, S., Katori, K., Kusaka, J. and Daisho, Y., Computational study to improve thermal efficiency of spark ignition engine, SAE Paper 2015-01-0011, 2015.
8. Milovanovic, N., Blundell, D., Pearson. and Turner, J., Enlarging the operational range of a gasoline HCCI engine by controlling the coolant temperature, SAE Paper 2005-01-0157, 2005.
9. Cehreli, Z. N., Cooling system optimization on a 5-cylinder engine, SAE Paper 2007-01-2600, 2007.
10. Chum, H. L., Overend R. P., Biomass and renewable fuels, Fuel Processing Technology, Vol.71, pp. 187-195, 2001.
11. Thomas, S., Saroop, A., Rajak, R. and Muthiah, S., Investigation on the effect of coolant temperature on the performance and emissions of naturally aspirated gasoline engine, SAE Paper 2011-26-0089, 2011.
12. Heywood, J. B., Internal Combustion Engine Fundamentals, Mc-Graw Hill, 1987.