

휘발유 물성변화가 엔진의 연소특성에 미치는 영향 연구

노경하[†] · 임상빈* · 이민호* · 김기호* · 하종한*

*한국석유관리원

(2015년 8월 10일 접수, 2015년 12월 8일 수정, 2015년 12월 10일 채택)

A Impact Study on Combustion Characteristics of the Engine by Changing the Gasoline Properties

Noh Kyeong-ha, Im Sang-bin, Lee Min-ho, Kim Ki-ho, Ha Jong-han

Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

(Received 10 August 2015, Revised 8 December 2015, Accepted 10 December 2015)

요 약

본 연구에서는 물성 변화에 따라 자동차 성능 및 환경에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 휘발유 대비 물성이 상이한 연료를 선정하여 연소특성을 살펴보았다. 실험은 각 연료에 맞는 점화시기 및 공연비제어를 수행하여 물성 변화에 따른 최적의 점화시기와 희박연소에에서의 연소특성을 살펴보았으며, 그에 따른 배출가스도 평가하였다. 실험을 위해 단기통 엔진을 사용하였으며, 휘발유 물성변화를 위해 「석유 및 석유대체사업법」에 고시된 품질기준을 벗어나는 가짜연료를 선정하여 실험을 수행하였다. 그 결과 선정된 연료의 경우 옥탄가와 증류성상, 증기압에서 차이를 보였으며, 불안정 연소 및 다량의 유해배출가스를 유발함을 알 수 있었다.

주요어 : 휘발유, 점화시기, 희박연소, 연료물성, 연소특성

Abstract - This study examined combustion characteristics by selecting the fuel which have a different physical properties compared to gasoline in order to examine the effects of vehicle performance and environment depending on the physical properties. The experiment examined the combustion characteristic in the optimum ignition timing according to the physical properties change and the lean burn by performing control about ignition timing and air-fuel ratio for each fuel, and it was also evaluated the exhaust gas according to the experiment. We used a single-cylinder engine for the experiment, and tested for gasoline properties change by selecting a fake fuel that beyond the fuel quality standards in 석대법. As a result, in the case of the selected fuel showed a difference in Octane and distillation characteristics, vapor pressure and it was also found to unstable combustion, and leads to a large amount of harmful exhaust gas.

Key words : gasoline, ignition timing, lean burn, physical property, combustion characteristic

1. 서 론

국내 유통되는 휘발유는 「석유 및 석유대체사업법」

(이하 석대법)에 의해 규정된 물성치 범위 내에서 유통되고 있다. 그러나 1973년 제4차 중동전쟁에서 비롯된 1차 석유파동과 1978년 2차 석유파동을 거치면서 국내에 가짜석유가 나타나기 시작하였는데, 이는 상승하는 원유가와 늘어나는 원유 사용량을 막기 위해 한국 정부에서 수송용 연료에 세금을 부가하기 시작하면서 점점 늘어나기 시작하였다. 또한, 많은 손님을 유치하기 위한 주유소간의 경쟁으로 가짜석유 원료를

[†]To whom corresponding should be addressed.
Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority 1207, Anyangpangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Korea
Tel : 043-240-7958 E-mail : nokyha@kpetro.or.kr

섞어 유통함으로써 가짜석유가 본격적으로 확산되기 시작하였고, 소비자가 가짜석유를 찾는 현상까지 발생하게 되었다. 그러나 가짜석유가 지속적으로 유통됨에 따라 차량의 손상, 체감에너지소비효율 등 다양한 문제점이 지속적으로 나타나기 시작하였고, 가짜석유의 물성치가 기존 석대법상에 고시된 품질기준을 벗어남에 따라 옥탄가, 증류성상, 밀도, 발열량 등 엔진 성능에 영향을 미치는 요소들이 변화되어 성능저하뿐 아니라 실화로 인해 다량의 유해배출가스를 유발함으로써 국민 건강상의 문제까지 위협하고 있는 실정이다.

이를 규명하기 위하여 한국석유관리원에서는 현재 판매되고 있는 차량과 엔진을 대상으로 2006년부터 석대법에 명시된 자동차용 연료 품질기준에서 벗어나는 연료가 자동차 성능 및 대기오염에 미치는 영향에 대해 많은 연구를 수행 중에 있으며, 가짜석유의 심각한 폐해성에 대해 다양한 연구 결과를 도출해 내고 있다. 그에 따라, 본 연구에서는 자동차 성능 및 환경에 미치는 악영향에 대한 원인을 밝히기 위해 휘발유 대비 물

성이 상이한 연료를 평가함에 있어 단기통엔진을 활용하고, 각 연료에 맞는 점화시기 및 공연비제어를 수행함으로써 자동차 연료의 물성변화가 엔진의 연소특성에 미치는 영향에 대해 근본적인 원인규명을 수행하고자 하였다.

2. 실험장치

2-1. 실험연료

실험에 사용된 연료는 Table 1과 같으며, 「석유 및 석유대체연료 사업법」 자동차용 휘발유의 품질기준에 따라 물성을 평가 하였다.

가짜석유로 사용되는 연료는 단일 원료의 사용보다는 혼합되어 사용되는 비율이 높음에 따라 실제 한국 석유관리원에서 적발된 유형을 사용하였으며, 단기적인 효과를 위하여 혼합비율을 증가시켜 사용하였다. 휘발유와 용제를 혼합한 유형은 A형, 용제와 톨루엔의 혼합형은 B형으로 표기하여 사용하였다.

Table 1. 실험연료 혼합비율

| 실험연료 | 혼합비율 | | |
|------|------|------|-----|
| | 휘발유 | 용제1호 | 톨루엔 |
| 휘발유 | 100% | - | - |
| A형 | 10% | 90% | - |
| B형 | - | 50% | 50% |

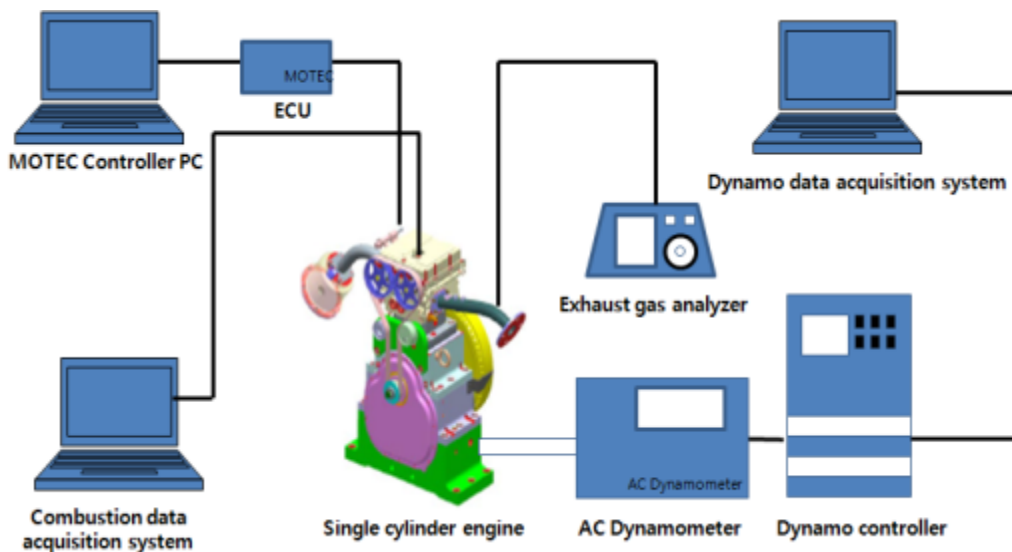


Fig. 1. 단기통엔진 시스템 개략도

Table 2. 엔진동력계 제원

| | | |
|------------------------|--------------------------|----------------|
| Dynamometer | Max Torque | 190 Nm |
| | Max speed | 8,000 rpm |
| | Torque respnse 0 to 100% | 10ms |
| | accuracy | ±0.2% of 190Nm |
| Coolant circuit | Filling quantity | 6L |
| | Coollant temperatur flow | 20~25℃ |
| | Temperatur increase | 5℃ |
| | Flow rate total | 10 L/min |

Table 3. 엔진제원

| | | | |
|--------------------|-------------------|---------|----------|
| 일반사항 | 배기량 | | 499 |
| | Bore × Stroke(mm) | | 86×86 |
| | 압축비 | | 10.6 : 1 |
| | 흡기방법 | | NA |
| Valve Train | Valve Angle | Intake | 26° |
| | | Exhaust | 21° |
| | Valve Train Type | | DOHC |
| Valve Lift | Intake | | 8.7 |
| | Exhaust | | 8.2 |

Table 4. 배출가스분석기 제원

| Model | MEXA-554JK | |
|---------------------------------|---------------------------|---|
| range | CO | 0.00~10.00 %vol |
| | HC | 0.00~10.000 ppm |
| | CO ₂ | 0.00~20.00 %vol |
| | O ₂ | 0.00~25.00 %vol |
| | AFR | 10.0~30.0 |
| | LAMBDA | 0.5~2.5 |
| Accuracy | CO | ±0.06 %vol |
| | HC | ±12 ppmvol |
| | CO ₂ | ±0.5 %vol |
| | O ₂ | 0.4 %vol이내(0~10.00%±vol) 1.0 %vol이내(10.0~25.00%±vol) |
| Principle of measurement | CO/HC/CO ₂ | Non-dispersive infrared rays |
| | O ₂ | Chemical type |
| Response | 90% response within 10sec | |

2-2. 압축점화엔진용 단기통 엔진 시스템

Fig. 1은 연료에 대한 성능 및 배출가스 평가를 위하여 사용한 단기통엔진 시스템의 개략도이다. 본 연구에 사용된 AVL사의 단기통 엔진동력계는 최대 8,000 rpm과 190Nm의 토크가 측정 가능하며, 냉각수 및 오일 온도가 제어되는 시스템을 갖춰 엔진 온도조건에 대한 변수를 최소화 하였다. 엔진동력계에 대한 상세제원은 Table 2와 같다.

또한, 본 연구에서 사용된 엔진은 MPI형식의 499cc 단기통 엔진을 사용하였으며 상세제원은 Table 3과 같다. 엔진제어는 MOTEC사의 ECU를 이용하여 점화시기, 분사량 등 연구에 필요한 엔진제어를 수행하였으며, 공연비 제어를 위해 광대역 공연비 센서(ETAS Lambda Meter LA4)를 사용하였다.

2-3. 배출가스 분석 시스템

본 연구에서 사용된 배출가스 분석기는 연소실 후단에 배출가스 분석 시스템의 Probe를 설치하여 raw gas를 채취하였으며, 질소산화물(NOx), 일산화탄소(CO), 미연탄화수소(HC), 이산화탄소(CO2) 등의 배출량을 측정하였다. 분석기의 정밀도 및 분석원리에 대한 상세제원은 Table 4와 같다.

용되는 저속(1400rpm)영역과 중부하 (2/4 load)로 실험을 실시하였다. 각 연료의 물성차이로 인해 달라지는 이론공연비는 계산식에 의해 계산하여 광대역 공연비 센서에 인식시켜 사용하였다. 안정된 엔진상태에서 연료량을 이론 공연비로 고정시켜 점화시기를 조정하였으며, 점화 시기는 BTDC 0°~BTDC60°까지 변화시키며 수행하였다. 또한, 각 연료별 연소상태를 확인하기 위하여 실린더 상부에 연소압센서(KIESLER)를 장착하여 연소해석기(DEWETRON DEWE1020)를 통해 연소압 및 도시평균유효압력의 변동계수(COV_imep : Coefficient of variation_indicated mean effective pressur)를 동시에 평가하였다.

3-2. 희박연소 특성

점화시기 특성과 같이 물성변화에 따른 엔진의 희박연소 특성을 확인하기 위하여 MBT실험에서 수행된 실험결과를 통해 MBT 조건에서 희박연소 실험을 수행하였다. 실험조건은 MBT실험과 동일하게 저속(1400 rpm) 중부하(2/4 load)에서 실시하였으며, 엔진제어시스템(MOTEC)을 통해 연료량을 조절하여 엔진이 안정된 상태에서 λ 를 0.8~1.5까지 변화시켜 희박연소 상태에서의 연소안정성을 평가하였다.

3. 실험방법

3-1. 점화시기 특성(MBT:Max Brake Torque특성)

실험은 옥탄가, 증류성상 등 물성 변화에 따른 엔진의 성능을 확인하기 위하여 정차 후 가속 시 주로 사

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 물성결과

Table 5는 휘발유, A형, B형 연료의 물성을 분석하여 나타낸 것이다. A형 연료의 경우 옥탄가가 66으로

Table 5. 물성분석 결과

| 구분 | 품질기준 | 휘발유 | A형 | B형 | |
|--------------------------|-------------|---------|---------|---------|-------|
| 옥탄가 | 91~94 | 91 | 66 | 97 | |
| 증류성상 | 초류점(℃) | - | 28.7 | 34.9 | 45.8 |
| | 10% 유출온도(℃) | 70이하 | 44.5 | 54.2 | 82.0 |
| | 50% 유출온도(℃) | 125이하 | 78.3 | 79.0 | 103.7 |
| | 90% 유출온도(℃) | 175이하 | 129.8 | 111.6 | 109.7 |
| | 종말점(℃) | 225이하 | 186.4 | 140.2 | 115.7 |
| 중기압(37.8℃,kPa) | 44~82 | 81.2 | 62.9 | 32.8 | |
| 밀도(g/cm ³) | - | 0.7056 | 0.6888 | 0.7901 | |
| Elemental Analysis (무게%) | Carbon | - | 82.98 | 84.17 | 88.61 |
| | Hydrogen | - | 15.00 | 15.63 | 11.39 |
| | Oxygen | 2.3이하 | 2.03 | 0.20 | 0.00 |
| 발열량(MJ/kg) | - | 44.4914 | 47.5924 | 44.5914 | |

휘발유 품질기준을 벗어나 있었으며, 휘발유와 B형 연료에 비해 낮은 옥탄가를 형성하고 있어 엔진의 노킹을 유발할 수 있을 것으로 보인다. 또한, B형의 경우에는 기관성능에 영향을 미치는 증기압이 낮게 형성되어 있어, 실제 차량에서 연소 시 차이를 보일 것으로 판단되며, 시동성에 영향을 미치는 10% 유출온도가 품질기준을 넘어 시동성에 문제가 있을 것으로 사료된다.

성분분석 결과를 통해 A형, B형의 이론공연비를 계산하여 광대역 램파미터에 입력하여 이론공연비를 제어하였는데, 휘발유는 이론공연비 14.7로 제어하였으며, A형은 15.1:1, B형은 14.1:1로 계산되어져 휘발유의 이론공연비로 제어되는 실제차량에서는 부조 및 불완전 연소가 발생할 수 있을 것으로 사료된다.

4-2. 점화시기 특성

Fig. 2는 옥탄가 및 증류성상 변화에 따른 성능평가를 위하여 점화시기를 변경하며 측정된 Torque와 출력 변화를 나타낸 것이다. MBT는 가솔린의 경우 BTDC 35°에서 나타났으며, A형과 B형은 모두 BTDC 30°에서 가장 높은 Torque를 나타냈다. 이는 가솔린 연료에 맞춰진 엔진 연소특성이 물성이 상이한 연료가 연소됨에 따라 MBT지점이 달라진 것으로 보이며, A형 연료의 경우 점화시기를 점점 진각 하였을 때 낮은 옥탄가로 인해 Torque가 휘발유에 비해 상대적으로 낮게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 낮은 옥탄가가 원인으로 판단되며, Fig.3(좌)에서 볼 수 있듯이 진각 시 노킹으로 인하여 COV_imep에서도 높은 수치를 나타냄에 따라 연소안정성 면에서도 좋지 않음을 알 수 있

다. 또한, MBT조건에서의 Torque는 가솔린이 가장 높게 나타났으며, A형 약 17%, B형이 18% 정도 낮은 Torque 특성을 나타냈다. 연료물성 중 발열량이 상대적으로 높은 A,B연료가 충분한 열량을 확보하여 높은 출력을 나타낼 것으로 보였으나, 이는 낮은 옥탄가의 A형 연료와 기관성능에 영향을 미치는 휘발성에 기인하는 증기압이 품질기준을 벗어난 B연료가 공기와 충분한 혼합기가 형성되지 못하여 낮은 성능을 나타낸 것으로 사료된다. 특히, A형의 경우 낮은 옥탄가로 인해 압축과정에서 실화(노킹)을 일으킨 것으로 보이며, COV_imep를 측정한 결과에서도 휘발유보다 높게 형성되어 있음에 따라 불안정한 연소로 인한 성능저하가 나타남을 확인하였다. B형의 경우에는 기관성능에 미치는 중요한 인자인 증류성상이 대체로 높게 형성되어 있었으며, 10%유출온도는 품질기준을 벗어남에 따라 저속, 중부하 운영조건에서 연료가 기화되어 직접 실린더 내로 들어가지 않고 관벽에 부착되어 실화됨으로써 휘발유에 비해 낮은 성능곡선을 나타낸 것으로 판단되나, 그에 따른 추가적인 실험은 필요할 것으로 보인다.

점화시기 변경에 따른 Torque 변화를 비교 하였을 때, 가솔린이 높게 나오에 따라 가솔린의 MBT지점에서 연소압력을 측정하여 fig3(좌)에 나타내었다. 연소압의 경우에도 가솔린이 가장 높게 나타났으며, Torque곡선과 동일한 순으로 나타나 동일한 조건하에서 가솔린이 가장 높은 연소압력을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그에 따른 열전환율을 Fig3(우)에 나타내었으며, 그림과 같이 A와 B형의 경우 열전환율에서도 기존 가솔린 보다 느리게 나타남에 따라 동일한 엔진

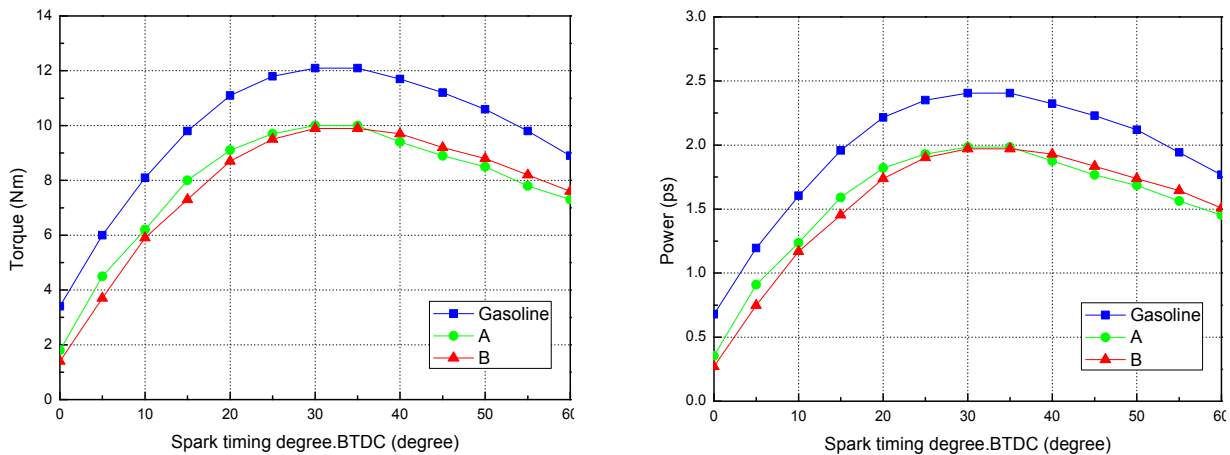


Fig. 2. 점화시기 변경에 따른 토크(좌) 및 출력(우) 변화

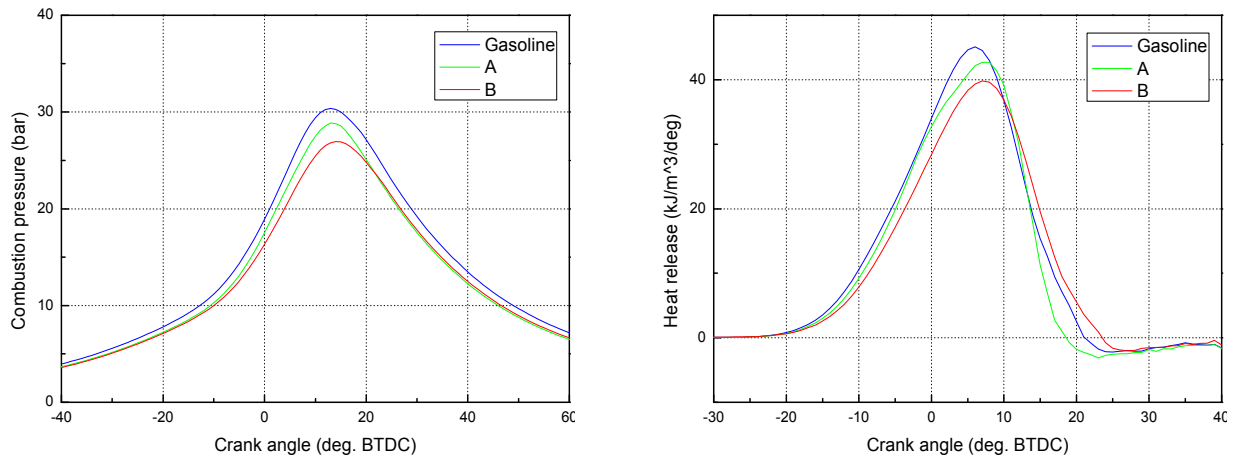


Fig. 3. BTDC 35°에서 각 연료별 연소압(좌) 및 열전환율(우)

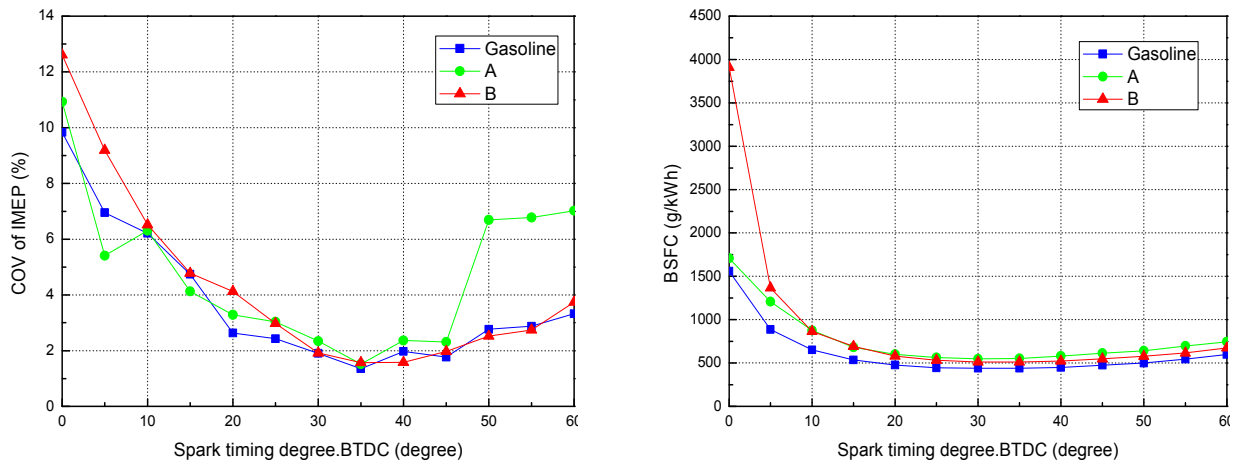


Fig. 4. 연료별 도시유효평균압력의 변동계수(좌)와 제동연료소비율(우)

조건에서 가솔린 보다 열전환율이 상대적으로 느린 A,B형 연료가 충분한 연소압을 가져가지 못하고 배기 행정으로 넘어가게 된 것으로 판단되며, 그에 따라 가솔린 보다 낮은 토크를 형성하였으므로 사료된다.

연소안정성을 평가하기 위하여 앞서 언급한바와 같이 COV_imep를 측정하여 평가해 본 결과를 Fig4(좌)에 나타내었다. 이 결과에서도 BTDC변화에 따라 A와 B형의 경우 가솔린보다 불안정한 연소를 보였으며, BTDC 60°에서 휘발유 3.33%, A형 7.02%, B형 3.74%로 나타났다. 상대적으로 옥탄가가 낮은 A형 연료가 점화시기를 진각 시켰을 경우 연소특성이 매우 좋지 않음을 확인할 수 있었으며, 가솔린 보다 높은 옥탄가를 가진 B형의 경우에도 휘발유보다 좋지 않은 연소 특성을 보여 휘발유 품질기준을 벗어나는 연료의 경우 좁은 점화시기를 가지고 있으며, 휘발유에 비해 좋

지 않은 연소 특성을 가지고 있음을 확인하였다. 그러므로 가솔린이 보다 안정적인 연소와 넓은 점화시기를 가지고 있어 엔진설계 시 연료소비율을 낮추고, 유해 배출가스를 낮출 수 있는 폭을 넓혀 줄 수 있을 것으로 사료된다. 또한, Fig. 4(우)는 점화시기를 변경해 가면서 본 제동연료소비율(BSFC:Brake Specific Fuel Consumption)을 나타낸 것인데, 출력 당 연료소비율의 경우에도 가솔린이 가장 낮게 나타났으며, A형, B형 순으로 높게 나타났다. 동일한 출력을 얻기 위해 가솔린 보다 A, B형이 더 많은 연료를 소비함에 따라 연료소비율 측면에서도 좋지 않음 알 수 있으며, 이는 연료가 가지는 물성 중 발열량의 영향 보다는 실화와 혼합기 형성의 어려움으로 인한 성능저하가 단위 출력 당 연료소비율에서 좋지 않은 영향을 미친 것으로 판단된다.

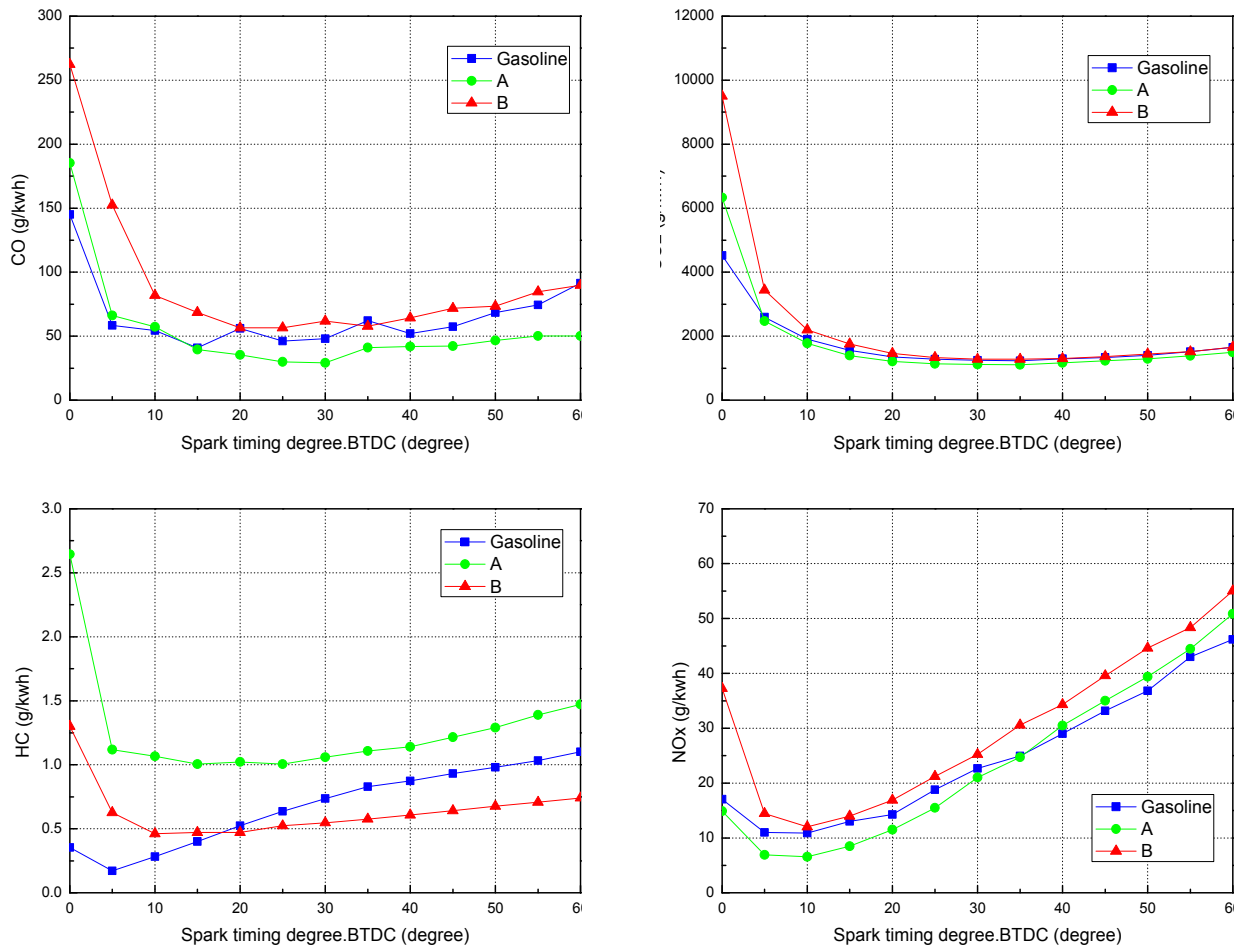


Fig. 5. 점화시기 변경에 따른 배출가스 변화

Fig. 5는 점화시기 변경에 따른 유해 배출가스의 변화를 살펴 본 것이다. CO와 CO₂의 경우 전체적으로 비슷한 배출경향을 보였으며, 점화시기를 변경하며 최대 배출된 구간에서 비교한 결과 CO의 경우 A형이 휘발유 대비 약 28%, B형 연료가 약 81% 높게 배출되었으며, CO₂의 경우 A형 40%, B형 110% 높게 배출되어졌다. HC의 경우에는 A형 연료가 휘발유 대비 약 15% 높게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 낮은 옥탄가로 인하여 실화된 연료가 연소되지 못하고 배출가스를 통해 나오는 것으로 판단되며, 실화로 인해 높은 연소온도를 가져가지 못함에 따라 NO_x의 경우에는 낮게 나타남을 알 수 있다. 상대적으로 B형의 경우에는 A형과 반대의 경향을 보이며, 점화시기 변경에 따라 NO_x가 휘발유 대비 약 3% 정도 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 높은 연소온도가 기인한 것으로 판단되며 이에 대한 보다 심층적인 분석을 위해서는 연소실 내 온도측정을 통한 추가적인 연구

가 필요할 것으로 판단된다. 가솔린의 경우에는 전체적인 배출가스 경향이 A와 B형의 중간형태를 나타냄에 따라 A, B형의 연료보다 연소안정성 및 유해배출가스 생성에도 유리함을 알 수 있다.

2-2. 희박연소 특성

fig. 6은 각 연료에 이론공연비 상에서 λ 를 0.8~1.5까지 변화시켜가며 살펴본 Torque 및 출력을 나타낸다. 공연비가 변화됨에 따라 모든 연료에서 희박으로 갈수록 Torque는 떨어지는 것을 볼 수 있으며, λ =0.9와 1.0 사이에서 가장 높은 Torque를 나타냄을 알 수 있다. 이는 모든 연료가 약간 농후한 조건에서 안정된 연소를 보이는 것을 알 수 있다. 그러나 희박 조건으로 갈 경우 동일한 조건하에서 fig7(좌)의 COV_{imep}에서 알 수 있듯이 불안정한 연소를 나타내는 A와 B형이 보다 낮은 Torque값을 보이며, 연소적인 면에서 좋지 않은 특성을 나타냄을 알 수 있다. 희박연

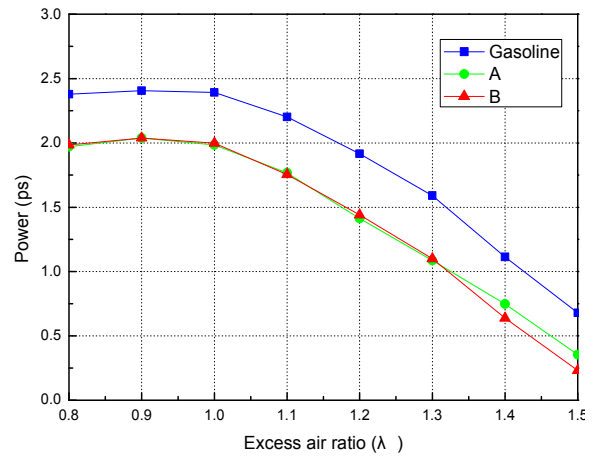
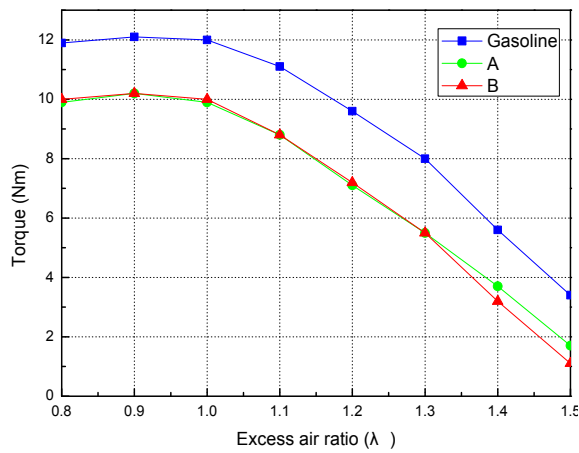


Fig. 6. λ 변화에 따른 연료별 토크(좌) 및 출력(우) 변화

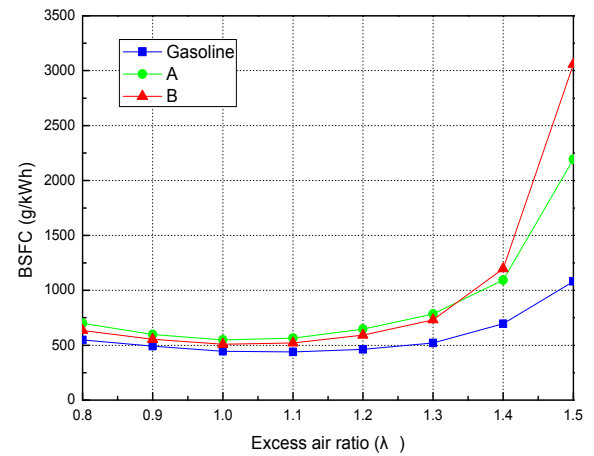
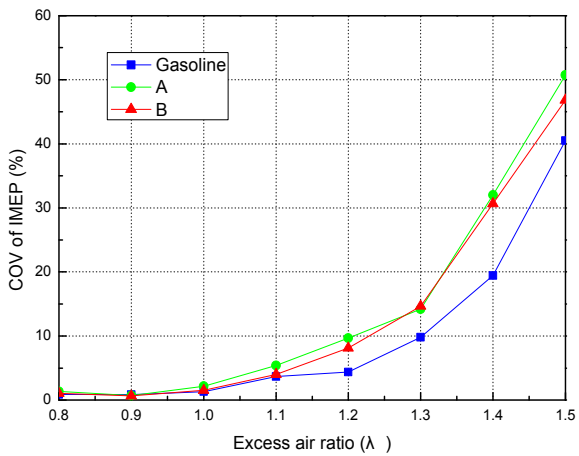


Fig. 7. λ 변화에 따른 연료별 도시평균유효압력의 변동계수(좌)와 제동연료소비율(우)

소에 따른 전체 COV_imep 결과에서 연소안정성을 평가해 본 결과를 Fig7(좌)에 나타내었다. 희박연소로 갈수록 연소안정성 측면에서 가솔린 보다 A와 B형이 매우 불안정함을 알 수 있는데, 이는 가솔린의 경우 보다 희박한 상황에서의 연소가 가능함에 따라 연료 소비율측면에서도 유리한 조건으로 운영이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 위의 결과를 통해 공기량이 많은 아이들 구간과 fuel cut구간에서 엔진 부조현상 또는 연료의 특성에 따른 불안정연소로 유해배출가스가 다량 배출될 것으로 사료된다.

Fig7(우)는 제동연료소비율을 나타낸 것으로 점화 특성과 동일하게 A와 B형이 가솔린 연료보다 높은 소비율을 나타내고 있으며, 희박으로 갈수록 높은 제동연료소비율을 나타냄을 알 수 있다. 이는 희박조건으로 갈수록 A와 B의 불안정연소로 인해 단위 출력

당 연료소비량이 늘어난 것으로 보이며, COV_imep 에서도 매우 불안정한 연소를 보여줌을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 휘발유의 물성변화가 엔진의 연소특성에 미치는 영향을 규명하기 위하여 자동차용 휘발유 1종과 물성이 상이한 연료 2종을 대상으로 단기동 엔진동력계 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 물성결과 휘발유는 품질기준에 적합한 특성을 나타냄에 비해 A형 연료는 옥탄가가 66으로 휘발유 품질기준을 벗어났다. 또한, B형의 경우 증기압이 32.8로 낮은 증기압 특성을 가지고 있었으며, 증류성상 10% 유출온도도 품질기준

- 을 벗어나 있었다.
- (2) 물성결과에 따라 이론 공연비를 계산한 결과 A형은 15.1:1, B형은 14.1:1로 계산되어 졌다.
 - (3) 1400rpm에서 점화시기를 변경하여 MBT 평가를 수행한 결과 가솔린의 경우 BTDC 35°에서 MBT를 나타내었으며, A형, B형은 BTDC 30° 나타냈다. 점화시기를 진각시킬수록 옥탄가가 낮은 A형 연료의 경우 불완전연소로 인해 휘발유보다 낮은 성능 특성을 나타냈으며, 도시평균유효압력의 변동계수를 측정하여 살펴본 결과 BTDC 60°에서 휘발유 약 3.33%, A형 7.02%, B형 3.74%로 옥탄가가 낮은 A형 연료가 매우 불안정한 연소를 나타냈다.
 - (4) 희박연소의 경우에도 도시평균유효압력의 변동계수가 급격히 상승함을 볼 수 있었으며, Lambda 1.2 부터 A와 B형 연료의 경우 휘발유 대비 불안정한 연소 특성을 나타내었으며, 완전희박조건인 Lambda 1.5 조건에서는 휘발유 40.51%, A형 50.73%, B형 46.82로 휘발유에 비해 A,B형 연료 모두 매우 불안정 연소가 이루어짐을 나타냈다.
 - (5) 모든 연료는 MBT 지점에서 희박연소를 평가하였으며, 모두 약간 농후한 지점인 Lambda 0.9에서 최대 토크를 나타내었다. 이때, A, B 연료 모두 휘발유 대비 약 15.7%의 낮은 출력 특성을 나타내었다.
 - (6) 점화시기를 변경하여 배출가스를 살펴본 결과 모든 연료가 CO, CO₂는 비슷한 배출 경향을 나타내었으며, 전체구간 중 최대 배출가스 배출량을 비교한 결과 CO의 경우 휘발유 대비 A형연료가 약 28%, B형 연료가 약 81% 높게 배출되었으며, CO₂의 경우 A형 40%, B형 110% 높게 배출되어졌다. HC는 A형 연료가 15%, NO_x는 B형 연료가 약 3% 정도 높게 나타났다.

PAPER SERIES 2006-01-3407

3. Kalghatgi G.T; “Fuel anti-knock quality—Part II: Vehicle studies—How relevant is motor octane number(MON) in modern engine?”; SAE 2001-01-3585
4. Akihama et al., Toyota-Exxon, “Fuel Octane and Composition Effects on Efficiency and Emissions in a High Compression Ratio SIDI Engine”SAE 2004-01-1950
5. Farrell et al., Exxon Toyota, “Fuel Effects on SIDI Efficiency and Emissions”SAE 2003-01-3186

References

1. H.C.LEE et al., 1992, Effect of Fuel Octane Number on Knock Characteristics in a Spark-Ignition Engine, ksea, 3-7
2. Christopher Beck, Pal Stevenson and Paullne Ziman, “The Impact of Gasoline Octane on Fuel Economy in Modern Vehicles”, SAE TECHNICAL