

# LP가스 차량용 기관의 성능특성에 관한 실험 연구 - 압축비 변경에 따른 기관 성능 특성 -

백태실\* · 조기현\*\* · 백 이\*\*\*

## An Experimental Study on Engine Performance Characteristic of LPG Engine - Engine Performance Character at Various Compression Ratios -

T. S. Baek \* · K. H. Cho\*\* · Y. Paek\*\*\*

**Key words** : Exhaust emission(배기배출물), Performance(성능), Kerosene engine(석유기관), Compression ratio(압축비)

### Abstract

This is a fundamental study to improve performance of the SI engine. In this study, a conventional kerosene engine was modified to LPG dedicated engine which can be operated with LPG(Liquefied Petroleum Gas).

The modified model were tested in accordance with various compression ratios. Also, the engine performance with modified model was compared with the conventional one. The results are summarized as follow;

1. In comparison with the conventional kerosene, Gasoline engine and LPG dedicated engine can be operated with lower exhaust emission, better fuel economy, and better thermal efficiency.
2. But, it produce a slightly lower brake horse power.

### 1. 서 론

자동차 배기규제가 계속하여 엄격하여지면서

미국의 ULEV 규제를 만족하기 위한 자동차 엔진 기술은 초저공해자동차 개발이 가장 우선된 과제로 자리잡아왔다. 그러나 기후온난화 협약에 따른

\* 포항1대학 자동차과(원고접수일 : 99원 4월)

\*\* 경도대학 자동차과

\*\*\* 마산대학 자동차과

CO<sub>2</sub> 규제에 대한 국제적 규제가 본격화되면서 최근 이에 대응하기 위한 엔진기술로는, 가솔린직접분사식(GDI)기술, 직접분사식 소형 고속디젤엔진(HSDI) 기술을 들 수 있다.

청정연료로는 수소, 천연가스, LPG, 알코올연료, DME 등이 있으나 매장량과 청정성 등에서 천연가스가 가장 주목을 받고 있다. 지금까지 연구된 대체연료는 각종 바이오가스, 알콜, 전기에너지, 태양에너지 및 식물유로서 이러한 에너지원은 그 자체를 그대로 이용하거나 물리적, 화학적 또는 생물학적 에너지로 변환하여 사용하거나 또는 유용 에너지의 형태로 변환하여 이용하고 있다. 그러나 수소는 폭발의 위험성과 소형의 고압용기를 써야 하는 문제로 실용성에 어려움이 있고, 전기는 무공해로 이상적인 에너지이나 부피가 크고 무거운 축전지의 제작상 어려움과 사용시간이 짧으면서 충전시간이 긴 문제점이 있다<sup>1)</sup>. 그리고 국내에서도 비교적 많이 연구가 진행되고 있는 식물유인 옥수수유<sup>2)</sup>, 미강유<sup>3)</sup>, 피마자유<sup>4)</sup> 및 유채유<sup>5)</sup> 등은 장시간 운전시 분사장치 등의 주요 부위에 카본 등의 퇴적물이 축적되는 문제로 실용화에 어려움이 크다. 그러나 전기집화기관의 대체연료로서 널리 사용되는 액화석유가스는 옥탄가가 상당히 높고 공기와 혼합이 균일하기 때문에 국부적인 이상연소가 일어나지 않고 오염물질 배출량이 비교적 적어서 이용률이 계속 증가되고 있다.<sup>6,7,8)</sup> 또한, LPG연료의 특성으로는 석유보다 월등히 옥탄가가 높아 고압축비화가 용이하며 가연한계가 넓어 희박영역에서의 운전이 가능하기 때문에 장래의 대체연료 기관으로서 주된 역할을 할 CNG, LNG기관의 개발과 함께 기관성능 및 배기성능 특성에 관한 연구가 활발히 추진되고 있다.<sup>9,10,11,12)</sup>

우리나라 농업기계의 경우 1980년대초부터 동력경운기에 석유기관을 탑재하여 사용되었지만 등유는 옥탄가가 매우낮기 때문에 압축비가 4.5 : 1로 제한되어 등유연료의 경제성과 열효율 지하 및 오일회석 현상은 석유기관의 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 문제점들을 개선하기 위한 대책으로 LPG연료의 이용이 고려되고 있으나 이를 위해서는 우선적으로 LPG연료 사용에 의한 제반성능 특성이 파악되어야 할 필요가 있다.

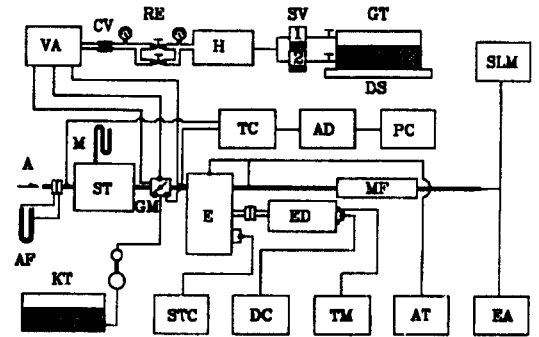
따라서 본 연구에서는 배기가스의 공해문제로 특히 밀폐된 시설내에서 기존 내연기관의 공해문제가 발생되기 때문에 LPG연료가 저공해 SI기관의 대체연료로서 타당한지를 규명하기 위하여 동력경운기 탑재용 석유기관과 LPG 및 가솔린기관의 성능(토크, 체적효율, 연료소비율, 제동열효율, 배기가스온도, 배기배출물) 등을 비교 분석하여 LPG기관의 보급 및 운용에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

본 연구를 위한 실험장치의 개략도를 Fig.1에 나타내었다.

실험장치는 Fig.1에서 보는 바와 같이 시스템은 흡입계통, 실험기관, 교류동력계, 연료공급장치, 배기계통, 배기가스 분석장치 등으로 구성되어 있고, 각 부분의 필요한 곳에 온도를 측정할 수 있도록 하였다. 본 연구에 사용된 기관은 D사의 동력경



- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| A : Air                     | H : Preheater               |
| AF : Air flow meter         | KT : Kerosene tank          |
| AT : Analogue thermometer   | M : Manometer               |
| CV : Check valve            | MF : Muffler                |
| DC : Dynamometer controller | RE : Regulator              |
| E : Engine                  | ST : Surge tank             |
| ED : Electric dynamometer   | STC : Spark time controller |
| EA : Exhaust gas analyzer   | SLM : Sound level meter     |
| GM : Gas mixer              | SV : Solenoid valve         |
| GT : Gas tank               | TM : Tachometer             |
| VA : Vaporizer              |                             |

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

운기 탑재용 석유기관으로 주요 제원은 Table.1과 같으며, Table.2에는 동력계의 사양을 나타내었다.

본 실험을 실시하기 위하여 기관과 교류동력계를 직접 연결시켰으며, 기관의 회전수 측정에는 Magnetic pick up을 신호원으로 하는 Digital Speed Indicator가, 부하의 조정에는 Load resister가 사용되었다. 흡기계통은 흡입공기 흡입관과 흡입공기의 맥동현상을 방지하기 위한 서어지 탱크로 구성되었으며, 흡입관의 직경은

52.9mm로 하였고, 흡입공기량을 측정하기 위하여 오리피스형 유량계를 흡입 서어지탱크 입구쪽에 설치하였다. 한편, 흡입 서어지탱크의 용적은 기관의 행정체적의 약 360배 이상인 0.343m<sup>3</sup>로 하였다. 사용된 3종 연료의 물성값은 Table.3에 나타내었다.

가솔린과 석유연료는 연료탱크를 기관으로부터 1.7m 높이에 설치하여 중력에 의하여 공급되도록 하였고, 연료 유량측정을 위해 연료유량계를 설치하였다. 한편 LPG 연료공급장치는 LPG탱크, 연료차단장치, LPG의 기화를 돕기 위한 예열기 및 기화기와 기화의 분사장치 등으로 구성되었다. LPG 소비량은 디지털 바란스로 최소 2g을 감지할 수 있는 측정장치를 구성하여 이용하였다. 기관의 작동이 원활하게 되기 위하여 기관내부의 온도를 적당한 온도로 유지시켜야 하므로 기존의 방열기를 제거하여 일정한 용량을 갖는 냉각수 탱크를 설치하여 냉각수를 중력식으로 연속적으로 공급 되도록 하여 출구 온도가 약 80℃로 유지될 수 있도록 하였다. 배기가스 온도, CO, HC측정에 사용된 배기가스분석장치의 주요 사양은 Table.4와 같다. 배기가스 온도측정에는 배기관 50mm 위치에서 thermo-couple을 설치하여 정밀도 0.1℃의 Analogue thermometer를 사용하였고, 기관의 배기관에 샘플링 프로브를 직접 삽입하여 채취된 배기가스로부터, 배기가스농도를 측정하였다.

**Table 1. Specification of engine used.**

| Item                       | Specification  |
|----------------------------|--|
| Engine type                | 4 stroke cycle kerosene engine, Horizontal type, Single cylinder |
| Bore(mm) × Stroke(mm)      | 90 × 105   |
| Compression ratio          | 4.5  |
| Total displacement(cc)     | 667  |
| Maximum output(ps/rpm)     | 11/2200  |
| Ignition timing(BTDC)      | 30°  |
| Maximum torque(kg · m/rpm) | 3.9/1700   |

**Table 2. Specification of dynamometer used.**

| Item                     | Specification             |
|--------------------------|---------------------------|
| Form                     | A.C commutator motor type |
| Max. absorbing power(ps) | 10.2                      |
| Revolution range(rpm)    | 800 - 2600                |
| Force balance            | Spring balance            |

**Table 3. Physical and chemical properties of fuel on the experiment**

| Item                           | Specification  |  |  |
|--------------------------------|--|--|--|
|                                | Kerosene   | LPG  | Gasoline                                 |
| Chemical formula               | C12H26   | C4H10  | C8H16                                    |
| Lower calorific value(kcal/kg) | 10300  | 10926  | 10500                                    |
| Theoretical AF ratio(kg/kg)    | 15.0   | 15.34  | 14.8                                     |
| Specific gravity(15℃)          | 0.783(Water : 1)   | 20.68(Air : 1)   | 0.758                                    |
| Mean mole weight(g/mol)        | 170.0  | 58.12  | 100                                      |
| Ignition temperature(℃, 1atm)  | 350  | 441  | 251                                      |
| Octane number                  | 25   | 105  | 91                                       |
| Constituent                    | No.2 Kerosene<br>Carbon : 86.3%<br>Hydrogen : 14.0%<br>Oxygen : 0.0% | Commerical LPG<br>for automotive<br>(butane 90% above) | Commerical<br>Gasoline<br>for automotive |

Table 4. Measuring Items

| Item                    | Content                       | Remark                           |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Kerosen oil flow rate   | Bullet type(cc/min)           | Stop watch                       |
| Gasoline oil flow rate  | Bullet type(cc/min)           | Stop watch                       |
| LPG flow rate           | computing scale               | Stop watch                       |
| Intake air flow rate    | Orifice                       | Flow coefficient : $\beta 0.546$ |
|                         | Manometer(mmH <sub>2</sub> O) | U-tube type                      |
| Exhaust gas temperature | Thermocouple                  | 0~1300℃                          |
| Exhaust gas analysis    | CO(Vol %)                     | NDIR 0~9.99%                     |
|                         | HC(ppm)                       | NDIR 0~10000ppm                  |

2.2. 실험방법

본 연구에서 측정해야 할 항목과 사용된 각종 계측기구들을 Table.4에 나타내었으며, Table.5 에는 실험설계의 인자들과 조건을 나타내었다.

기관출력 시험은 한국공업규격 소형 육용 내연 기관의 성능측정 방법에 준하여 표준상태 대기압에서 부하 하중에 대한 수정계수를 이용하여 다음식에 의해서 산출한 실제 출력으로 하였다.

$$W = W_1 / K$$

$$K = \frac{749}{P_a - P_w} \frac{273 + \theta}{293}$$

- W<sub>1</sub> : 수정계수 미포함시 부하하중(kg)
- W : 수정계수 포함시 부하하중(kg)
- K : 표준상태로 환산하는 수정계수
- P<sub>a</sub> : 측정대기압(mmHg)
- P<sub>w</sub> : 대기중의 수증기분압(mmHg)
- θ : 시험에 있어서의 대기온도(℃)

공시 기관이 최대 토크를 발생하기 위하여 공기 연료의 혼합비, 점화시기, 압축비 등의 최적운전 조건을 각 연료의 특성에 맞게 조정하였다. 기화기내의 공기와 연료의 혼합비는 오리피스 유량계로부터 측정된 공기 양과 연료소비량계로 측정된 연료의 양과 시간을 측정함으로써 구하였다. 공기-연료의 혼합비는 각 기화기의 주 연료조정밸브를 조정하여 평균연료비 즉, 당량비가 1.0으로 유지되도록 하였고, 특히 LPG연료 운전시 기관의 최대토크에 맞는 공기-연료비를 조절하기 위해 Fig.2에 나타난 바와 같이 기화기에는 미터링

Table 5. Experimental design and conditions

| Item                   | Kerosene                     | LPG           | Gasoline |
|------------------------|------------------------------|---------------|----------|
| Compression ratio      | 4.5                          | 4.5, 6.5, 8.5 | 4.5      |
| Engine speed(rpm)      | 1000, 1300, 1600, 1900, 2200 |               |          |
| Spark timing           | MBT                          |               |          |
| Throttle opening       | WOT                          |               |          |
| Equivalence ratio(φ)   | 1.0                          |               |          |
| Coolant temperature(℃) | 80                           |               |          |

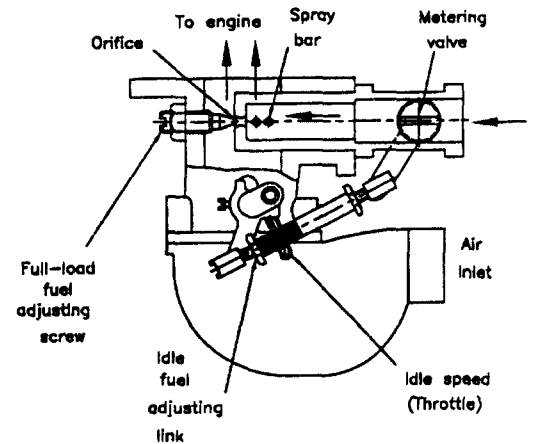


Fig 2. Modified LPG carburettor

밸브, 아이들조정밸브를, 각 부위에는 조절스크류를 설치하여 기관을 최적운전조건으로 조절하였다.

Table.3에 보는 바와 같이 가솔린과 등유의 옥탄가는 각각 91, 25전후인데 반하여 LPG는 105전후

로 LPG의 옥탄가가 월등히 높은 장점을 이용하여, 기관의 열효율을 증대시키기 위해 전기점화기관의 옥탄가와 한계압축비에 맞도록 기관의 압축비는 Fig.3에서 보는 바와 같이 실린더 헤드면을 절삭가공하여 압축비를 증대시켰다. 실린더 헤드면을 기준면으로부터 10.9, 14.0mm로 절삭가공하여 연소체적을 줄임으로서 압축비를 4.5, 6.5, 8.5의 3단계로 변화시켰다. Table.6에는 기존기관과 압축비를 증가시킨 기관을 비교한 것이다.

LPG, 가솔린 및 석유연료는 기관의 압축비와 공연비가 다르기 때문에 두 연료 모두 MBT로 설정하여야 최대토크를 발생시키므로 LPG기관의 점화시키는 contact breaker의 캠 위상각을 변화시켜 조절하였다. 기관의 운전은 두 경우 모두 throttle밸브를 전개한 상태, 즉 WOT상태에서 운전하였고, 기관의 회전수는 교류동력계의 Load Resister를 이용하여 부하를 조정함으로써 1000rpm에서 300rpm간격으로 2200rpm까지 5단계로 변화시켰으며, 시험의 오차를 줄이기 위해서 먼저 무부하상태로 약 30분 시운전하여 예열시킨 후 부하를 걸어서 3회 반복실험을 실시하였다. 기관의 냉각수를 출구온도는 냉각수 유량조정 Valve를 사용하여 어느 경우에서도 약80℃로 유지되도록 하였고, 배기가스 농도측정은 NDIR방식으로 기관이 정상운전상태에 도달된 후 5분동안 연속 측정하여 그 평균치를 측정치로 하였다.

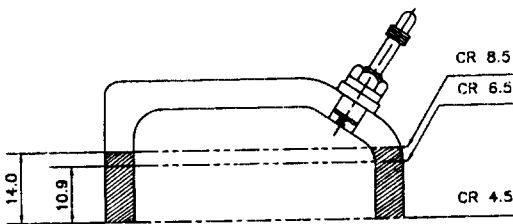


Fig 3. Configuration of combustion chamber

Table 6. Modification of the engine

| Item                          | Original engine | Modified engine(A) | Modified engine(B) |
|-------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Displacement(cc)              | 667.0           | 667.0              | 667.0              |
| Combustion chamber volume(cc) | 190.6           | 121.3              | 89.0               |
| Compression ratio             | 4.5             | 6.5                | 8.5                |

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 토크 및 체적효율

기존의 석유기관과 압축비 4.5, 6.5 및 8.5로 개조된 LPG기관을 당량비 1.0, WOT, MBT상태에서 기관의 회전수를 1000~2200rpm범위에서 5단계로 변화시켰을 때의 토크 및 체적효율의 변화를 Fig.4와 Fig.5에 각각 나타내었다. Fig.4에서 보는 바와 같이 압축비 4.5 LPG기관의 경우 석유기관에 비해 토크는 약 42%정도 크게 저하되는 것으로 나타났으나, LPG기관의 압축비 증가에 따라 석유기관과의 토크차이가 감소되어 압축비 8.5의 LPG기관의 경우 고회전수 영역에서는 석유기관의 토크와 거의 비슷한 것으로 나타났다.

한편, LPG기관의 경우에 있어서 압축비의 증가로 인한 노킹현상은 인지할 수 없는데 이는 LPG의 옥탄가가 석유의 옥탄가에 비하여 월등히 높기 때문인 것으로 생각된다. 압축비가 낮은 경우, LPG기관의 토크가 석유기관에 비하여 작은 것은 Fig.5에 도시된 바와 같이 LPG기관의 체적효율이 석유기관에 비하여 전회전수 영역에서 평균 16% 정도 저하되었다. 이는 LPG연료가 가솔린에 비해 기화집열에 의한 온도강하 때문이며, 또한 기관의

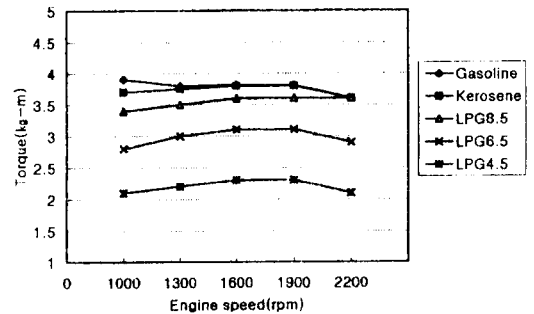


Fig 4. Torque vs. engine speed of LPG, kerosene and gasoline engine

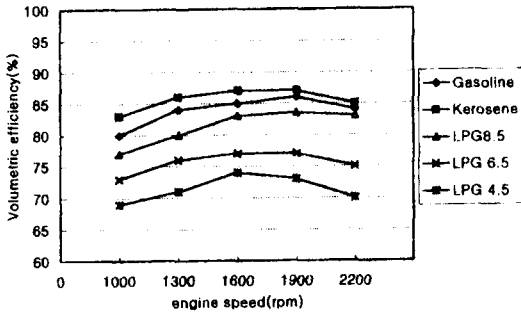


Fig 5. Volumetric efficiency vs. engine speed of LPG, Kerosene and gasoline engine

회전속도가 증가하면서 흡·배기 밸브를 통과할 때, 가스의 속도가 빨라지므로 마찰에 의한 압력강하로 흡입행정말의 압력은 감소하고 배압이 증가하기 때문이다. 그리고 연료-공기 혼합기의 단위 체적당 발열량이 상대적으로 낮기 때문인 것으로 생각된다.

### 3. 2. 연료소비율 및 제동열효율

기관의 회전수 변화에 따른 각 기관의 연료소비율을 나타낸 것이 Fig.6이다. Fig.6에서 보는 바와 같이, 본 연구의 시험 회전수 범위 내에서 LPG기관의 연료소비율은 석유기관에 비하여 평균 5% 감소하는 것으로 나타났다. 이처럼 LPG기관의 연료소비율이 석유기관에 비하여 감소된 것은 LPG의 단위질량당 발열량이 석유에 비하여 더 높다는 이유 이외에도 액상의 석유보다 기상의 LPG가 흡입과정에서의 혼합 및 분배성이 양호하고 또한 연소실 내에서의 연료의 증발과정이 없어서 보다 완전한 연소가 가능하여 Fig.7에서 보는 바와 같이 제동열효율이 석유기관 보다 전반적으로 높으며, 압축비 증가에 따라 열효율이 향상되었기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 LPG 기관의 운전특성이 석유기관에 비하여 양호함을 알 수 있었다. 또한, LPG기관들 사이에 압축비가 증가함에 따라 연료소비율은 감소하였다. 즉 압축비가 4.5의 LPG기관에 비하여 평균 11% 정도 감소한 것으로 나타났는데 이는 압축비 증가에 따른 열효율의 향상으로 나타난 결과로 생각된다. 한편, 동일 압축비일 경우 LPG기관의 열효율은 석유기관에 비하여 약 2%

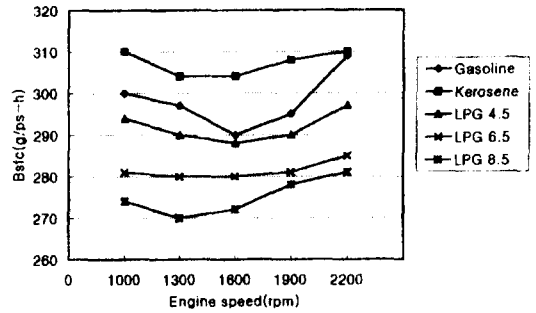


Fig 6. Bscf vs. engine speed of LPG, kerosene and gasoline engine

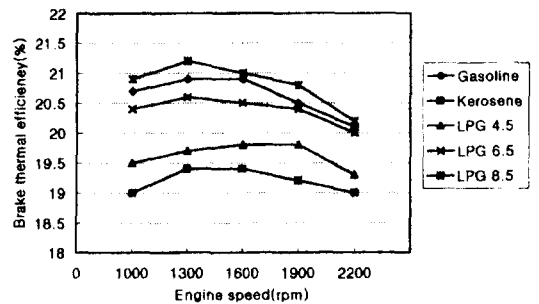


Fig 7. Thermal efficiency vs. engine speed of LPG, kerosene and gasoline engine

정도 증가하였는데 이는 연소실내에서 연료의 증발현상이 없기 때문에 일어난 결과로 생각된다.

### 3. 3. 배기가스온도 및 배기배출물

Fig.8, 9 및 10에는 당량비 1.0, WOT 및 MBT상태에서 기관의 회전수 변화에 따른 본 연구에 사용된 각 기관의 배기온도와 배기배출물인 CO, HC 함유율을 각각 나타내었다. Fig.8에서 보는 바와 같이 배기가스 온도가 LPG기관의 경우는 평균 약 15% 정도로 석유기관에 비하여 낮게 나타났는데, 이는 LPG기관의 연소최고압력과 최고압력상승율(dp/dθ)이 석유기관에 비하여 높아 연소온도가 높아지기 때문인 것으로 판단되며, 동일 LPG기관에서는 압축비가 증가할수록 배기가스 온도가 낮게 나타났는데 이는 연소실내 최고압력상승율과 최고압력이 높았기 때문인 것으로 판단된다.<sup>13)</sup>

기관의 회전수에 따른 일산화탄소 배출농도를 도시한 Fig.9에서 보는 바와 같이 대체로 저회전수

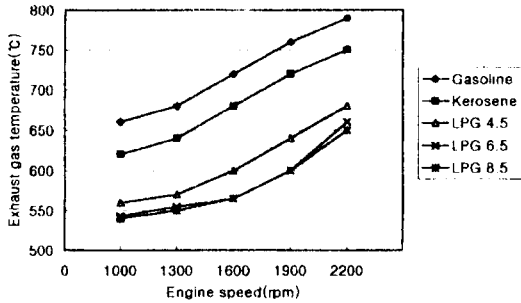


Fig. 8. Exhaust gas temperature vs. engine speed of LPG, kerosene and gasoline engine

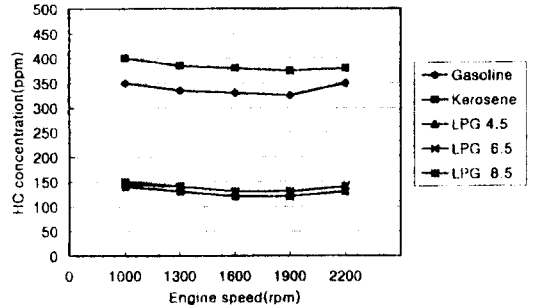


Fig. 10. HC concentration vs. engine speed of LPG, kerosene and gasoline engine

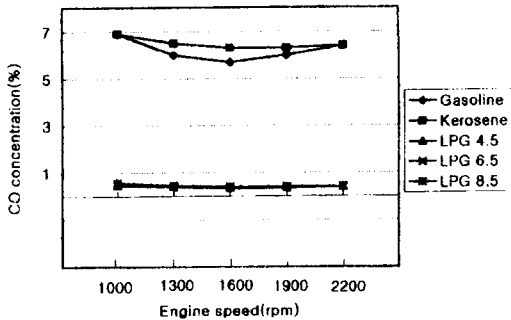


Fig. 9. CO concentration vs. engine speed of LPG, kerosene and gasoline engine

영역에서의 배출농도가 고회전수 영역에서의 배출농도에 비하여 큰 것으로 나타났으며 LPG기관이 석유기관에 비하여 배출농도가 월등히 작은 것으로 나타났다. 탄화수소 배출농도는 Fig.10에서 보는 바와 같이 회전수 변화에 따라 거의 변화가 없었으며, LPG기관이 석유기관보다 평균 65%정도 작은 것으로 나타나 배기성능이 크게 향상되었다. LPG기관의 압축비에 따른 탄화수소 배출농도의 변화는 거의 없었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 LPG연료가 단기통 기관의 대체연료로서 타당한지를 규명하기 위하여 동력경운기 탑재용 수냉식 4사이클 단기통 가솔린, 석유기관과 이를 압축비가 서로 다르게 개조시킨 LPG기관을 사용하여 기관의 회전수를 변화시키면서 성능(토크, 체적효율, 연료소비율, 제동열효율, 배기가스

온도, 배기배출물 등)을 비교 분석하였는바, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. LPG기관의 토크는 가솔린, 석유기관에 비해 같은 압축비에서 약 42%정도 저하되었다.
  2. LPG기관의 연료소비율은 압축비 증가에 따라 감소하였으며, 가솔린, 석유기관에 비해 평균 5%감소하였다. 또한, 동일 압축비일 경우 LPG기관의 열효율은 가솔린, 석유기관에 비하여 평균 2%향상 되었다.
  3. LPG기관의 배기온도는 가솔린, 석유기관에 비해 15% 정도 낮게 나타났으며 두 기관의 CO 배출농도는 기관의 회전수와 압축비의 영향을 거의 받지 않았다. LPG기관의 HC의 농도는 가솔린, 석유기관에 비해 약 65%정도로 감소되었다.
- \* 본 연구 결과는 발명특허 제 173544호에 등록되었음(1999)

#### 참고문헌

1. Ingamells, J.C. and R. H Lindquist. 1975. Methanol as a Motor Fuel or a Gasoline Blending component. SAE Paper 750123.
2. 정태상. 1990. 소형 디젤기관의 대체연료로서 옥수수유유의 이용 가능성에 관한 연구. 경상대학교 석사학위논문.
3. 조용우. 1987. 소형 디젤기관의 대체연료로서 미강유의 이용에 관한 연구. 경상대학교 석사학위논문.
4. 하창욱. 1984. 피마자유의 디젤기관의 연료로서의 이용가능성에 관한 연구. 경상대학교 석사학위논문.

5. 고장권. 1988. 대체연료로서 유채유를 이용한 소형 농용 디젤기관의 성능 향상에 관한 연구. 경상대학교. 박사학위 논문.
6. Baxter, M. C, G. W. Leck. and P.Z. Mizelle. 1968. Total Emissions Control Possible with LP Gas Vehicle. SAE Paper 680529. 1--6.
7. Blalock, W.S. and R. N. Little. 1967. Carburetion and Other Factors which Affect Propane Fueled Engines. SAE Paper 67005
8. 52-62.8. Hendren, f. 1983. Propane power for Light Duty Vehicles An Overview. SAE Paper 830383.
9. Lamouria, G. H. 1950. LP Gas as a Fuel For Farm Power Units. Argi. Engng. : 215-218
10. Lamouria, L.H. 1953. The Place of LP Gas as a Tractor Fuel. Argi. Engng. : 825-826.
11. Stephanson, B. T. and S. John. 1965. Influence of Gasoline and Propane Fuels on Spark-Ignition Engine Wear Rates During Low-Temperature Operation. Transaction of the ASAE pp.441-442.
12. Urban, R., et al. 1982. LPG in the Future Automotive Scenario. GAS TECH. 82 Proceedings.
13. 홍준태, 전광민. 1992. 단기통 스파크 점화 기관에서 압축비 증가에 따른 연소특성 변화. 한국 자동차 공학회 춘계학술대회논문집 1-2 : 21-29.

## 저 자 소 개



### 백태실(白泰實)

1960년 10월생. 1983년 2월 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1989년 2월 동대학원 졸업(공학석사). 1999년 한국해양대학교 기계공학과 박사과정 수료. 현~포항 1 대학 자동차과 전임강사.



### 조기현(趙基顯)

1969년 1월생. 1991년 대동공업(주) 기술연구소. 1994년 경상대학교 졸업(석사). 1997년 경상대학교 기계공학과 박사수료. 현~경북도립 경도대학 자동차과 전임강사.



### 백 이(白 耳)

1961년 6월생. 1990년 경상대학교 졸업(석사). 1997년 경상대학교 기계공학과 졸업(박사). 현~ 마산대학 자동차과 겸임교수.